

■ 国家质量技术监督行业
检验人员培训系列教材

材料物理性能检验

国家质量监督检验检疫总局职业技能鉴定指导中心 组编
陈融生 王元发 主编



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

材料物理性能检验

责任编辑：李保忠

封面设计：弓禾碧工作室

ISBN 7-5026-2220-9



9 787502 622206 >

ISBN 7-5026-2220-9/TB • 673

定价：48.00 元

国家质量技术监督行业检验人员培训系列教材

材料物理性能检验

国家质量监督检验检疫总局职业技能鉴定指导中心 组编

陈融生 王元发 主编

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料物理性能检验/国家质量监督检验检疫总局职业技能鉴定指导中心组编. —北京: 中国计量出版社, 2005. 10

(国家质量技术监督行业检验人员培训系列教材)

ISBN 7 - 5026 - 2220 - 9

I. 材… II. 国… III. ①金属材料—物理性质试验—技术培训—教材②高分子材料—物理性质试验—技术培训—教材 IV. ①G115.2②TB324.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 114694 号

内 容 提 要

本书为质量技术监督行业金属及高分子材料物理性能检验岗位职业资格培训的专业课教材, 内容涉及金属和高分子材料的拉伸、弯曲、压缩、扭转、剪切、硬度、冲击、疲劳、工艺性能、高温性能及断裂韧性等试验的基本原理、试验方法及试验设备等相关知识, 涵盖了职业标准对材料物理性能检验各等级从业人员的知识和技能要求。同时, 书中还系统阐述了实验室管理体系、计量认证与审查认可 (验收)、实验室认可及 ISO 9000 族标准的相关知识。

本书适用于材料物理性能各级检验员及技师和高级技师的学习、考核与培训。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 24.25 字数 579 千字

2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

*

定价: 48.00 元

编写与审定人员

主 编	陈融生	王元发		
编写人员	陈融生	王元发	柳荣厚	
主 审	施昌彦			
审定人员	施昌彦	张 斌	张世广	杜小平
	林升泉	林开诚	谢 英	刘宝兰

前言

为适应我国社会经济发展和劳动体制改革的需要，更好地贯彻国家职业资格证书制度，推动质量技术监督行业职业技能鉴定工作的开展，依据《中华人民共和国劳动法》关于“国家确定职业分类，对规定的职业制定职业技能标准，实行职业资格证书制度”的规定，按照《中华人民共和国职业分类大典》中检验、计量人员的职业分类和材料物理性能检验岗位职业标准，我们组织编写了国家质量技术监督行业检验人员培训系列教材。

本次出版的《材料物理性能检验》教材，内容涉及金属、高分子材料的成品、半成品、原材料的物理性能的检验、测试、实验岗位的检验技术，对金属和高分子材料物理性能检验等岗位的知识作了介绍。本教材包括了材料物理性能的初级、中级、高级检验员以及技师和高级技师5个等级的培训内容，每个等级的内容均分为知识要求和技能要求两部分。知识要求是指本职业等级岗位人员应掌握的业务知识，包括基础知识、专业知识和相关知识；技能要求是指本职业等级岗位人员应掌握的技能水平，包括设备使用、技能操作和相关技能。

我们在组织编写教材时，按照国家职业标准的要求，在内容上反映了现阶段质量技术监督行业的材料物理性能检验职业从业人员应达到的理论、技术水平，注意了不同等级的培训目标，兼顾了初级、中级、高级检验员以及技师和高级技师的不同需要，力求将各等级人员所应具备的基础知识、专业知识、相关知识和实际操作技能融为一体。体现了以职业活动为导向、以职业技能为核心的特点。突出了实用性和可操作性，符合培训、鉴定和就业工作的需要。教材内容理论联系实际，深入浅出，通俗易懂。在教材中还适当介绍了一些本专业领域的新技术、新知识。

本书由福建省中心检验所陈融生和王元发两位同志主编，中国计量科学研究院施昌彦研究员主审。教材在编写、出版过程中，得到了国家质量监督检验检疫总局人事司、劳动和社会保障部就业培训司、福建省中心检验所、福建省计量测试学会、国家质量监督检验检疫总局福州培训中心、中国计量出版社、相关高等院校和科技单位等有关领导和专家的大力支持。在此，谨向参与本书工作的单位和个人表示衷心的感谢。

欢迎广大读者就教材使用过程中遇到的问题提出宝贵建议，以便在今后教材修订时进一步完善。

国家质量监督检验检疫总局职业技能鉴定指导中心

2005年6月15日

编写说明

本书作为质量技术监督行业金属、高分子材料的物理性能检验岗位职业资格培训的专业课教材，是根据国家职业标准《材料物理性能检验》的要求编写的。

本教材包括金属材料和高分子材料物理性能检验职业中两个检验岗位的检验技术。每一检验岗位的培训内容均包括对初级、中级、高级检验员以及技师和高级技师的要求。要求是依次递进的，高级别包括低级别的内容。

职业标准对各等级技术的要求分为知识要求和技能要求两个部分。知识要求是指胜任本岗位本等级应具有的技术（业务）知识，包括基础知识、专业知识和其他知识三个方面。技能要求是知识要求的具体反映，即胜任本岗位本等级应具有的实际操作（工作）能力，包括设备使用、技术应用、操作技能、培训能力和实验管理等方面。各岗位各等级培训的具体要求详见本书附录的“材料物理性能检验人员培训大纲”和“材料物理性能检验人员教学大纲”。

教材对金属和高分子材料每一项性能检验的阐述都独立成章、层次分明。教材的编写，既考虑了知识结构的合理性、系统性，又兼顾了技能培训的特点。内容力求突出实用性和可操作性。每章后都附有复习思考题，以方便学员自学掌握。

本书的编写工作主要由福建省中心检验所承担。其中第二至第八章、第十章、第十一章、第十三章、第十四章由王元发编写；第一章和第十二章由陈融生编写；第九章由王元发、陈融生合编；第十五章至第十八章由陈融生、柳荣厚合编。初稿由陈融生负责统稿。

在教材的编写和出版过程中，得到了国家质量监督检验检疫总局职

业技能鉴定指导中心、中国计量出版社、福建省计量测试学会的专家的具体指导和大力支持。

在此，谨向在本书编写和出版过程中曾给予我们支持和帮助的各方面专家和同行表示诚挚的谢意。

编 者

2005 年 6 月



目 录

第一章	职业道德	(1)
第二章	金属材料和高分子材料常温拉伸试验	(3)
第一节	拉伸试验的工程意义	(3)
第二节	材料拉伸时的力学性质	(3)
第三节	金属材料和高分子材料的拉伸试样	(6)
第四节	强度指标及其测定	(12)
第五节	塑性指标及其测定	(18)
第六节	弹性模量的测定	(21)
第七节	特殊试样的拉伸试验	(23)
第八节	金属材料拉伸试样的断口分析	(25)
第九节	影响拉伸试验检测结果的主要因素分析及测量不确定度的估计	(27)
第十节	引伸计	(32)
第三章	金属材料和高分子材料的弯曲、压缩和剪切试验	(38)
第一节	金属材料和高分子材料的弯曲试验及其试验方法标准	(38)
第二节	金属材料和高分子材料的压缩试验	(53)
第三节	金属材料剪切试验	(59)
第四章	金属材料扭转试验	(64)
第一节	扭转试验的工程意义和特点	(64)
第二节	金属扭转时的力学性质	(65)
第三节	扭转试验方法	(67)
第四节	国产 NJ 系列扭转试验机操作方法	(69)
第五节	扭转试样的断口分析	(70)
第五章	材料硬度试验	(72)
第一节	硬度的概念	(72)
第二节	布氏硬度试验	(75)

第三节	金属洛氏硬度试验	(83)
第四节	维氏硬度、显微硬度和努氏硬度试验	(90)
第五节	肖氏硬度试验	(97)
第六节	其他硬度试验	(99)
第七节	高温和低温硬度试验	(101)
第八节	塑料邵氏硬度试验	(104)
第九节	各种硬度与硬度、强度之间的近似关系	(105)
第六章	金属材料和高分子材料冲击试验	(108)
第一节	冲击试验的意义、分类及其力学性质	(108)
第二节	常温冲击试验和冲击试验机	(110)
第三节	金属低温冲击试验	(115)
第四节	高温冲击试验	(117)
第五节	金属多次冲击试验	(119)
第六节	金属冲击试验的应用	(122)
第七节	冲击试样的断口分析	(123)
第八节	冲击试验的影响因素	(124)
第七章	金属疲劳试验	(127)
第一节	概述	(127)
第二节	交变应力及其循环特性	(129)
第三节	疲劳曲线和疲劳极限及其关系	(131)
第四节	金属弯曲疲劳试验	(133)
第五节	高温疲劳试验	(137)
第八章	金属工艺性能试验	(141)
第一节	金属工艺试验的目的、特点、分类和意义	(141)
第二节	金属杯突试验 (GB/T 4156)	(142)
第三节	金属的冷、热弯曲试验 (GB/T 232)	(144)
第四节	金属线材扭转试验 (GB/T 239)	(148)
第五节	金属冷、热顶锻试验 (GB/T 233)	(149)
第六节	金属反复弯曲试验 (GB/T 238)	(152)
第七节	金属线材缠绕试验	(155)
第八节	金属管材的工艺试验	(156)
第九章	金属材料、高分子材料物理性能试验	(159)
第一节	金属材料导电性能测试	(159)
第二节	高分子材料的电性能	(164)
第三节	金属磨损试验	(171)

第四节	高分子材料磨损	(181)
第十章	金属高温试验	(185)
第一节	概述	(185)
第二节	金属蠕变试验	(186)
第三节	高温持久强度试验	(193)
第四节	应力松弛试验	(198)
第五节	金属高温拉伸试验	(203)
第十一章	金属断裂韧性试验	(209)
第一节	断裂过程和断裂力学的一般概念	(209)
第二节	应力强度因子 K 和平面应变断裂韧度 K_{IC}	(210)
第三节	裂纹尖端张开位移 CTOD 和 J 积分	(212)
第四节	断裂韧度试验技术	(214)
第十二章	材料试验机	(221)
第一节	液压万能材料试验机	(221)
第二节	机械式拉力试验机	(224)
第三节	拉力试验机发展简介	(227)
第四节	硬度试验机	(229)
第五节	冲击试验机	(234)
第六节	疲劳试验机	(235)
第七节	扭转试验机	(238)
第八节	蠕变持久试验机	(239)
第十三章	金属热处理基础知识	(241)
第一节	金属学基础知识	(241)
第二节	钢的热处理及其组织	(244)
第三节	钢的化学热处理及其组织	(250)
第四节	铝及铝合金热处理	(252)
第五节	铜及铜合金热处理	(254)
第十四章	材料物理性能检验技术发展综述	(257)
第一节	材料力学性能试验发展状况	(257)
第二节	材料力学性能检测仪器设备发展方向	(258)
第三节	产品标准和检测方法标准的动态	(258)
第十五章	实验室的管理	(261)
第一节	实验室质量管理基本知识	(261)
第二节	建立实验室质量管理体系的步骤	(263)
第三节	编制质量体系文件	(264)

第十六章	计量认证与审查认可(验收)概述	(284)
第一节	计量认证与审查认可(验收)的起源、发展与法律效力	(284)
第二节	产品质量检验机构计量认证/审查认可(验收)评审准则简介	(287)
第三节	计量认证/审查认可(验收)的管理	(303)
第十七章	实验室认可概论	(309)
第一节	实验室认可的国际发展概况	(309)
第二节	实验室认可与合格评定	(314)
第三节	我国的实验室认可	(317)
第四节	实验室认可准则简介	(321)
第五节	实验室认可程序及认可标志	(342)
第十八章	ISO 9000 族标准概述	(346)
第一节	质量管理体系标准的产生和发展	(346)
第二节	ISO 9000 族标准的构成和特点	(348)
第三节	ISO 9001 与其他管理体系标准的比较	(350)
第四节	八项质量管理原则	(352)
附录一	材料物理性能检验人员培训大纲	(363)
	材料物理性能初级检验员培训大纲	(363)
	材料物理性能中级检验员培训大纲	(364)
	材料物理性能高级检验员培训大纲	(365)
	材料物理性能检验技师培训大纲	(366)
	材料物理性能检验高级技师培训大纲	(367)
附录二	材料物理性能检验人员教学大纲	(368)
	材料物理性能初级检验员教学大纲	(368)
	材料物理性能中级检验员教学大纲	(369)
	材料物理性能高级检验员教学大纲	(371)
	材料物理性能检验技师教学大纲	(373)
	材料物理性能检验高级技师教学大纲	(375)

第一章 职业道德

随着科学技术进步和现代化管理发展步伐的加快，产品（商品）质量在生产领域、流通领域越来越受到人们的重视。而国家质检行业的各级技术机构的从业人员以及各生产企业的质检人员的主要工作就是采用仪器设备对产品质量的特性指标进行检测、试验，用数据对其指标进行评判。因此，掌握本岗位的检测技术、检测方法以及所使用的仪器设备的基本原理，是员工上岗的必备条件。正是在这种形势下，我们才要进一步推行质检人员的职业培训。

为了适应我国加入 WTO 后所面对的新的国际竞争形势，质检人员培训工作必需深化改革，全面推进素质教育，加强职工道德修养。

职业道德是人们在一定的职业活动范围内所遵守的行为规范的总和。质检人员的职业道德是对质检人员在职业活动中的行为的规范。质检人员的职业道德修养，主要是指职业责任、职业纪律、职业情感以及职业能力的修养。优良的职业道德是新时期质检行业端正行业作风和加强精神文明建设的需要，也是树立技术监督“科学、公正、廉洁、高效”的行业形象的需要。

质检人员的职业道德规范主要包括 7 个方面的内容，它们分别是：

1. 爱岗敬业，忠于职守

各行各业的工作人员，都要热爱本职工作，忠于职守。这是职业道德的一条主要规范。质检人员要有强烈的事业心和责任感，要忠于质检这个特定的工作岗位，自觉履行质检人员的各项职责，认真做好各项工作，注重社会主义精神文明建设，反对不良思想和作风。

2. 遵纪守法，严守机密

遵纪守法，严守机密是质检人员职业活动能够正常进行的重要保证。质检人员应严格遵守国家和上级部门的有关质量法规和方针政策，坚持科学的态度和公正的立场，严格执行标准，依法办事，对出具的检验数据负法律责任。质检人员还应严守机密，为委托人提供的样品、资料及所有与测试相关信息要注意保密，未经委托人授权保证不向任何一方提供，也不用下本单位测试技术开发或咨询，严格维护委托人的专利权和所有权。

3. 秉公办事，诚实守信

质检人员必须秉公办事，严格执行各项规章制度，不以权谋私，不弄虚作假，坚决杜绝不正之风。对客户应诚实守信，委托检验应在与客户商定的时间内完成；应严格按照规定收取检验费，不得擅自提高收费标准，不准刁难客户。

4. 热情接待，优质服务

要树立为客户和企业服务的思想，急客户之所急，想客户之所想，力求减轻客户的负担。凡是客户要求加急检测的样品，应主动调整检验次序或加班检验，以满足客户的需要。对业务的接洽要做到热情、耐心、细心，对客户提问尽力给予满意的答复；委托检验中客户未能提出所依据的标准、技术参数或检验项目的，应主动为其提供咨询服务。

5. 实事求是，工作认真

质检人员要坚持实事求是的工作作风。根据标准要求，科学检测。检测工作的各个环节都要求准确，一切以数据说话。在工作中认真负责，切忌主观臆断，分析问题必须从客观实际出发。委托人对检测结果和工作质量有异议时，可以提出申诉，由有关部门负责受理，并将处理结果及时反馈给申诉者。确因本单位工作失误造成检测结果错误的，应负责出具更正报告以挽回影响。

6. 积极主动，团结合作

质检工作决定了从业人员应具有积极主动、团结合作的精神。工作中要求全体人员要积极协调，主动配合，团结合作，形成合力，共同开展质检的各项工作。还要求质检人员能够脚踏实地，埋头苦干，任劳任怨，不计个人得失，维护和树立本单位整体良好形象。

7. 刻苦学习，勇于创新

现代科学技术的发展突飞猛进，新技术、新材料不断涌现，知识更新速度加快，因此，要求材料检测人员要刻苦学习，不仅具有丰富的基础知识和专业知识，还要了解本行业的发展动态，掌握新的技术，以适应工作的需要。

质检人员是否具有良好素质是一个非常重要的问题，它是评价质检人员是否称职的基本依据。因此，质检人员必须勤奋学习，刻苦钻研，努力提高自身的思想素质和业务水平。质检人员还必须不断更新观念，勇于开创新的工作局面，不断提出新问题，研究新方法，走出新路子。

质检人员要根据自身不同的分工和行业发展形势的需要，掌握产品质量检验所需要的各项具体技能，同时还应掌握实验室的各种管理知识，以便进一步提高本单位的经济效益和社会效益。

第二章 金属材料和高分子材料常温拉伸试验

第一节 拉伸试验的工程意义

任何工程材料受力后都将会产生变形。这个变形过程大体上可以分为弹性变形、塑性变形和最后断裂三个基本阶段。所谓弹性，是指固体材料在外力作用下改变其形状与大小，但当力撤去后即恢复原来状态的性质。而塑性是指固体材料受到超过一定特定值的外力作用时，其形状与大小会发生永久性变化的特性。而断裂是固体材料受外力作用变形的最终结果，也就是固体材料受力变形产生裂纹和裂纹扩展到一定的临界值后即产生断裂。

静拉伸试验是一种较简单的力学性能试验。它能够清楚地反映出材料受力后所发生的弹性、弹塑性与断裂三个变形阶段的基本特性。静拉伸试验对所测试的力学性能指标的测量稳定可靠，而且理论计算方便。因此各个国家和国际组织都制定了完善的拉伸试验方法标准，将拉伸试验方法列为力学性能试验中最基本、最重要的试验项目。

由拉伸试验得出的力学性能指标包括诸如规定的非比例延伸强度、屈服强度、抗拉强度等强度指标，断后伸长率、断面收缩率等塑性指标，弹性模量、泊松比等力学常数以及表征材料形变硬化规律的参数。这些力学性能参数的测试为工程材料的材质检验、结构强度设计、工程材料的选用以及塑性成型理论与加工工艺等方面提供了技术评定依据。因此，静拉伸试验是工程上最广泛采用的力学性能试验方法之一。

第二节 材料拉伸时的力学性质

一、力—伸长曲线图

在进行静力单轴拉伸试验时，按 GB 228 标准规定的速率对试样施力，利用万能材料试验机上的自动绘图装置或者加设的自动绘图系统，可以绘出试样在试验过程中力与伸长量之间的关系曲线，即所谓力—伸长曲线图，或称作拉伸图。由于利用该图不仅能明确显示出材料在拉伸过程中的变形特征，而且根据精确绘制的力—伸长曲线图，还可以直接得出主要力学性能试验数据。因此国际标准和国家标准都将力—伸长曲线图的绘制列入测定项目，并对实验作了明确的精度要求。

由于退火低碳钢在拉伸试验过程中明显地表现出不同的变形阶段，所以通常将低碳钢的力—伸长曲线图当作典型情况来说明材料的拉伸特性。如图 2—1 所示。

图中的纵坐标表示力 F ，单位为 N；横坐标表示绝对伸长量 ΔL ，单位为 mm。低碳钢的 $F-\Delta L$ 关系曲线可以分为如下几个阶段：

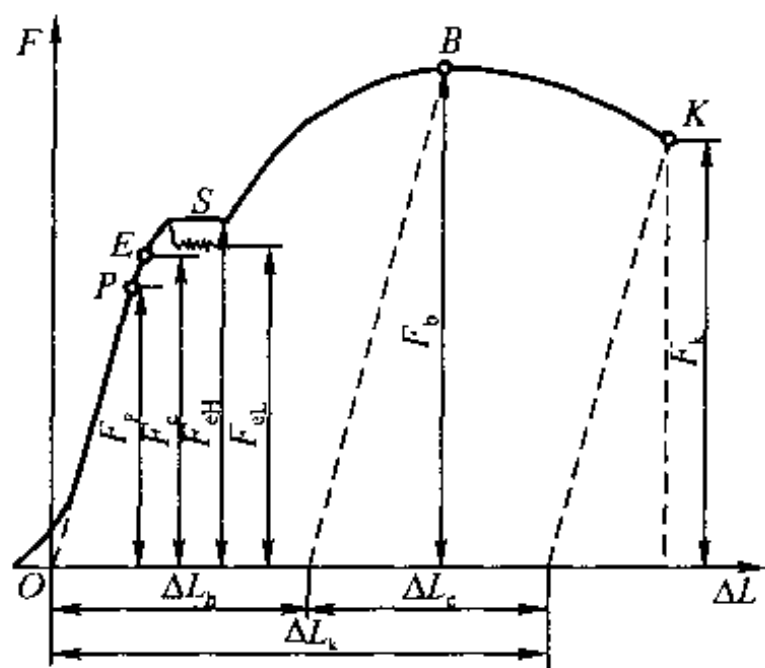


图 2-1 低碳钢的力—伸长曲线图

OE——弹性阶段。此阶段的试样变形完全是弹性变形，卸力后试样即恢复原状态。力比较小时，试样伸长随力成正比地增加，保持正比的比例关系。超过比例伸长力 F_p 后， $F-\Delta L$ 呈非比例关系，直至最大弹性力 F_e 。一般说来， F_p 与 F_e 是很接近的。

ES——屈服阶段。当力超过 F_e 后，再卸力时，试样的伸长只能部分地恢复，而保留一部分残余变形，卸力后的残余变形叫做塑性变形。当力增加到一定值时，测力度盘的指针停止转动或开始往回转，力—伸长曲线图上出现了平台或锯齿状的峰和谷，这种在力不增加或减少的情况下试样还继续伸长的现象叫屈服。平台阶段的力为屈服力。试样屈服时力首次下降前的屈服力为上屈服力，当不计初始瞬时效应时屈服阶段中的最小力为下屈服力，屈服后，材料开始明显塑性变形，金属试样表面出现滑移带。

SB——强化阶段。在屈服阶段以后，要使材料继续变形必须不断施力，随着塑性变形增大，材料变形抗力不成比例地逐渐增加。这种现象叫做形变强化或加工硬化。力—伸长曲线图上断裂前的最大力 F_b 即为材料在拉伸时的最大力。

BK——局部塑性变形阶段。当力达到最大值 F_b 后，试样的某一部分横截面开始急剧缩小，即出现“缩颈”现象。试样抗力下降，施加的力也就随之下降而变形继续增加，这时变形主要局限于“缩颈”附近，直至断裂。

工程上使用的金属和分子材料，多数没有明显的屈服现象，其力—伸长曲线如图 2-2 的 (a) 和 (b) 所示，图 2-2 (a) 是塑性材料的力—伸长曲线图，如铝合金、铜合金、调质钢等。图 2-2 (b) 是低塑性材料的力—伸长曲线。它不但没有屈服现象，而且也不产生“缩颈”，最大的力就是断裂时的力，此类材料如塑料、有机玻璃、玻璃钢及金属材料的球墨铸铁等。

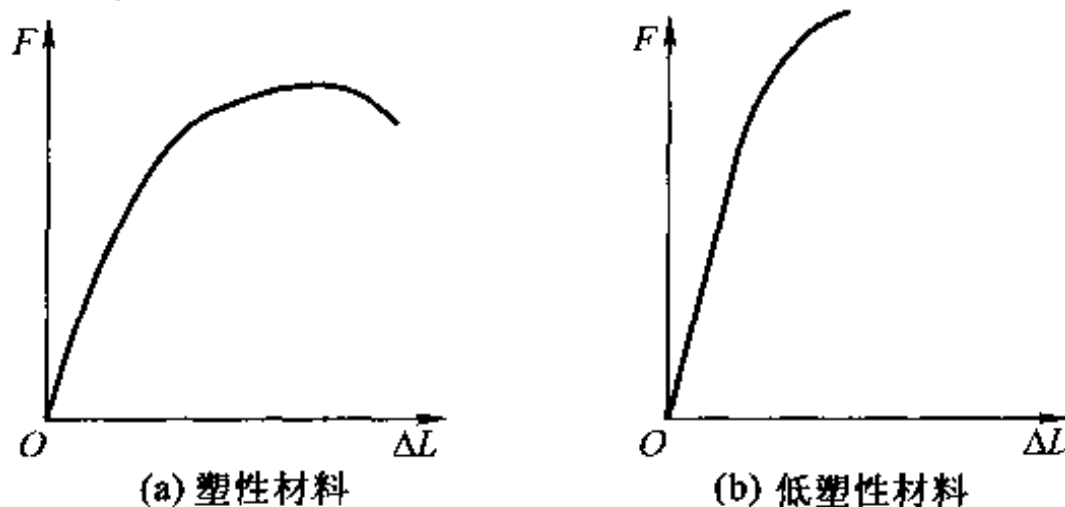


图 2-2 力—伸长曲线

利用万能材料试验机自动绘图所绘出的力—伸长曲线图中伸长量 ΔL 主要包括整个试样及试验机与夹头本身的弹性变形、夹头与试样头部的间隙及使试样自动调整对中的球面承座的滑动等因素。因此，力—伸长曲线图的起始部分是一段曲线。有时为了满足单轴拉伸条件，以便测定力学常数，还必须对试样施加一定大小的初始力。

二、应力—应变曲线图

力—伸长曲线图只代表试样的力学性质，因此该图的横坐标值和纵坐标值均与试样的几何尺寸有关。若将力—伸长曲线图的纵坐标（力 F ）除以试样原始横截面积 S_0 ，并将横坐标（伸长 ΔL ）除以试样的标距 L_0 ，则得到的曲线与试样无关，因而可代表材料的力学性质。此曲线称为应力—应变曲线或 $R-\epsilon$ 曲线。

下面仍以低碳钢为例介绍一下 $R-\epsilon$ 曲线（如图 2-3 所示）中的几个特殊点及与之相应的应力含义。

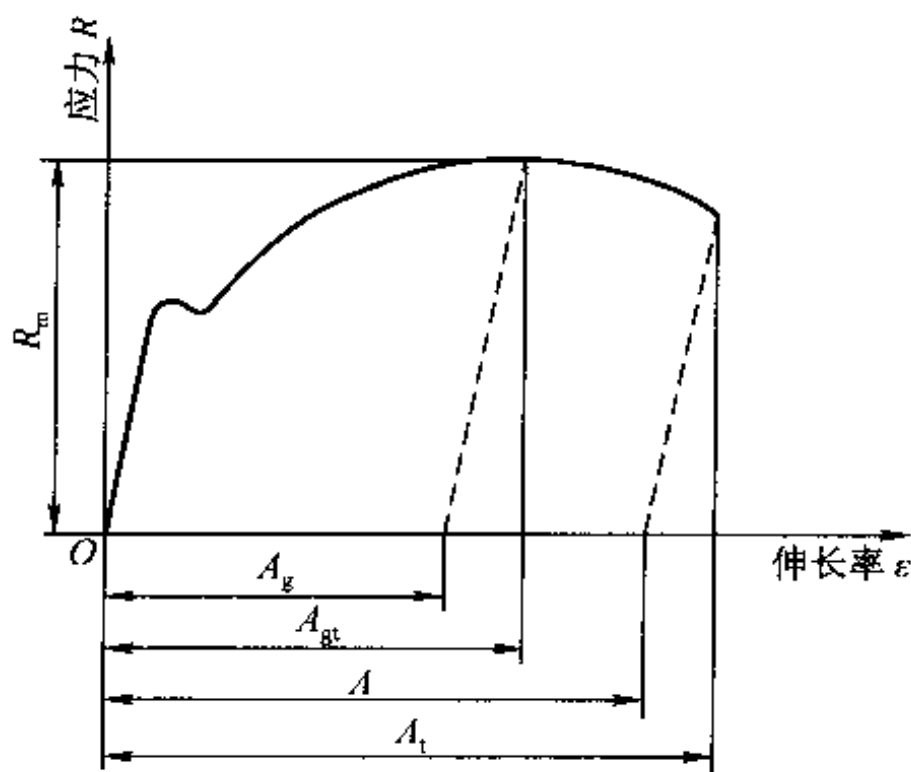


图 2-3 低碳钢的应力—应变曲线图

在弹性阶段内，应力与应变成正比关系，即服从虎克定律。它所对应的最大应力为材料的比例延伸强度，通常称为比例极限，以 R_p 表示。但该应力很不容易测得。GB 228 拉伸试验方法标准就规定了测试方法，它规定了非比例延伸强度，即规定非比例伸长达到规定值的应力，如 $R_{p0.1}$ 、 $R_{p0.01}$ 等。如某金属材料试样的原始标距 $L_0 = 50 \text{ mm}$ ，其中的 $R_{p0.1}$ 即该试样在拉伸试验中非比例伸长的应变达到 0.05 mm 时的应力。

在屈服阶段，应力 σ_s 有幅度不大的波动时，试样发生屈服，而力首次下降前的最大应力，称为上屈服强度 R_{eH} ，在不计初始瞬时效应时的最小应力称为下屈服强度 R_{eL} 。下屈服强度较为稳定，不会在很大程度上受拉伸速度的影响。

在强化阶段，最大拉伸力所对应的应力表示试样的工程应力达到最大值，作为材料的抗拉强度，以 R_m 表示。

第三节 金属材料和高分子材料的拉伸试样

一、金属材料拉伸试验试样

金属材料拉伸试验的试样目前可遵循的国家标准是 GB/T 228 附录 A, B, C, D 及特殊的行业试样标准, 如 GB/T 16865《变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样》。而《金属拉伸试验试样》标准所规定的试样形状、尺寸和要求是所有黑色金属和有色金属材料所通用的。若有关标准和技术协议无特殊规定的话, 所有棒材、型材、板(带)材、管材、线(丝)材、铸件、压铸件和锻件的试样均按该标准的规定执行。

1. 拉伸试样的一般规定

金属拉伸试样总体可分为比例试样和定标距试样两种。所谓比例试样, 系按公式 $L_0 = k \sqrt{S_0}$ 计算而得来的试样原始标距长度的试样。式中 L_0 为标距长度, S_0 为试样原始截面积, k 为常数系数, k 通常为 5.65 或 11.3, $k=5.65$ 也称为短试样, 此时的原始标距应不少于 15 mm; $k=11.3$ 试样为长试样。对于圆形试样来说, 标距长度为工作直径 d 的 5 倍时为短试样, $L_0=10d$ 时为长试样。但在特殊情况有关标准有规定时, 也用 $L_0=4d$ 或 $L_0=8d$ 的试样。

2. 拉伸试样分类

对于金属棒材, 一般采用圆形截面的试样。其直径通常为 3~25 mm。试样又分带夹头和不带夹头的两种, 而带夹头的试样又分单肩夹头和双肩夹头两种。仲裁试样应采用双肩带夹头试样。单、双肩试样夹头可为圆柱形或螺牙形。

(1) 圆形截面

试样形状和尺寸见图 2-4。

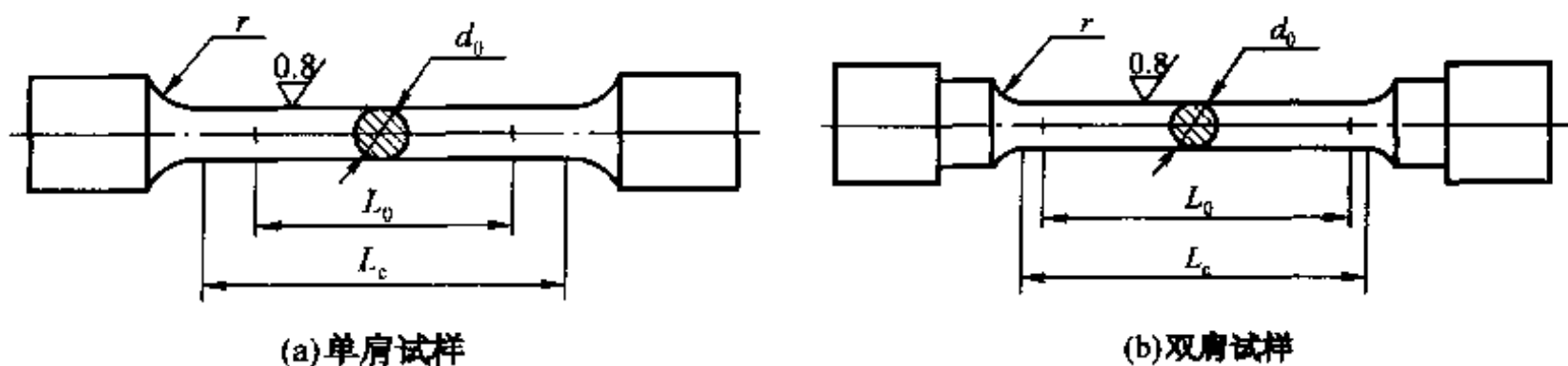


图 2-4 带夹头圆形试样图

圆形比例试样尺寸见表 2-1。

表 2-1 圆形比例试样尺寸表

mm

一般尺寸		短试样			长试样		
d	r	试样号	L_0	L_c	试样号	L_0	L_c
25	$\geq 0.75d$	R1	$5d$	$\geq L_0 + d/2$ 仲裁试验: $L_c + 2d$	R01	$10d$	$\geq L_0 + d/2$ 仲裁试验: $L_c + 2d$
20		R2			R02		
15		R3			R03		
10		R4			R04		
8		R5			R05		
6		R6			R06		
5		R7			R07		
3		R8			R08		

注：1. 如相关产品标准无具体规定，优先采用 R2、R4 或 R7 试样。

2. 试样总长度取决于夹持方法，原则上 $L_c > L_c + 4d$ 。

机加工的圆形横截面试样横向尺寸公差和形状公差应符合表 2-2 的规定要求。

表 2-2 试样横向尺寸公差与形状公差

mm

名称	标称横向尺寸	尺寸公差	形状公差
机加工的圆形横截面直径	3	± 0.05	0.02
	$>3 \sim 6$	± 0.06	0.03
	$>6 \sim 10$	± 0.07	0.04
	$>10 \sim 18$	± 0.09	0.04
	$>10 \sim 30$	± 0.10	0.05

对于恒定横截面试样，可以根据测量的试样长度、试样质量和材料密度确定其原始横截面积。试样长度的测量应准确到 $\pm 0.5\%$ ，试样质量的测定应准确到 $\pm 0.5\%$ ，密度应至少取 3 位有效数字。

(2) 矩形试样

对厚、薄板材，一般采用矩形试样。根据厚度（通常为 0.10~25 mm），采用宽度为 10 mm, 12.5 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm 的 6 种试样，比例试样尽可能采用 $L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$ 的短比例试样。矩形试样也可分为带夹头和不带夹头的比例或定标距的两种，加工矩形试样的宽度为 10~15 mm 时，在标距内偏差为 ± 0.2 mm，其最大与最小宽度差小于等于 0.1 mm，对宽度为 20~30 mm 的矩形样，宽度偏差为 ± 0.5 mm，最大与最小宽度差小于等于 0.2 mm。对于小于 3 mm 的薄板试样，宽度公差在仲裁试验时要求宽度在 10~15 mm 时为 0.04 mm；宽度为 20 mm 时为 0.05 mm。矩形拉伸试样形状如图 2-5 所示。

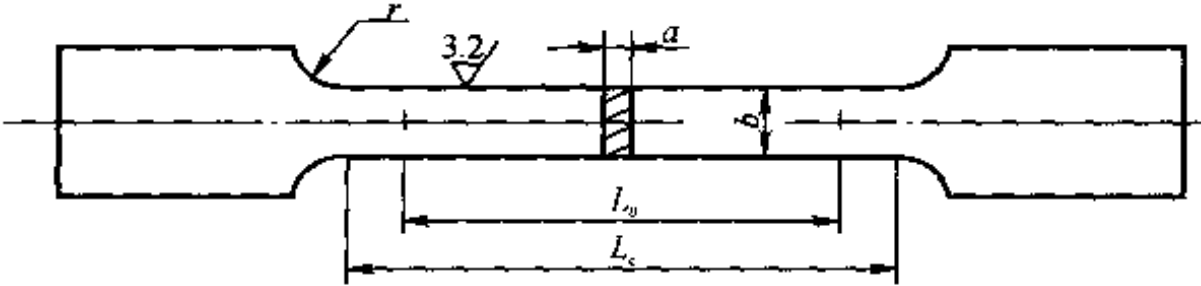


图 2-5 矩形带夹头拉伸试样图

矩形带夹头拉伸试样尺寸见表 2--3。

表 2-3 矩形带夹头拉伸比例试样尺寸 mm

一般尺寸			短试样				长试样			
a_0	b_0	r	L_0	L_c		试样 编号	L_0	L_c		试样 编号
				带头	不带头			带头	不带头	
≥ 0.1 至 < 3	10	≥ 20	$5.65 \sqrt{S_0}$ ≥ 15	$\geq L_0 + b/2$ 仲裁试验: $L_0 + 2b$	$L_0 + 3b$	P1	$11.3 \sqrt{S_0}$ ≥ 15	$\geq L_0 + b/2$ 仲裁试验: $L_0 + 2b$	$L_0 + 3b$	P01
	12.5					P2				P02
	15					P3				P03
	20					P4				P04
> 3	12.5	≥ 12	$5.65 \sqrt{S_0}$	$\geq L_0 + 1.5 \sqrt{S_0}$ 仲裁试验: $L_0 + 2 \sqrt{S_0}$		P7	$11.3 \sqrt{S_0}$	$\geq L_0 + 1.5 \sqrt{S_0}$ 仲裁试验: $L_0 + 2 \sqrt{S_0}$		P07
	15					P8				P08
	20					P9				P09
	25					P10				P010
	30					P11				P011

注：如相关产品标准无具体规定，优先采用短试样式（比例系数 $k=5.65$ ）的比例试样。若比例标距小于 15 mm，建议采用非比例试样。

矩形横截面非比例（定标距）试样尺寸见表 2-4。

表 2-4 矩形非比例试样尺寸 mm

一般尺寸			L_0	L_c		试样编号
a	b	r		带头	不带头	
$0.1 \sim < 3$	12.5	≥ 20	50	75	87.5	P5
	20		80	120	140	P6
> 3	12.5	≥ 12	50	$\geq L_0 + 1.5 \sqrt{S_0}$ 仲裁试验: $L_0 + 2 \sqrt{S_0}$		P12
	20		80			P13
	25		50			P14
	30		50			P15
	40		200			P16

(3) 管材试样

管材试样一般为自管材切取的全截面管段或从管材切取的全壁厚纵向条状试样。对于 d 小于等于 50 mm 的无缝管及焊管，可切取全截面管段进行试验。对于 d 大于等于 50 mm 的管可切取纵向弧形试样，对于管材壁厚大于等于 8 mm 的，可制成纵向圆形试样。

全截面管段拉伸试样图如图 2-6 所示，形状尺寸见表 2-5。

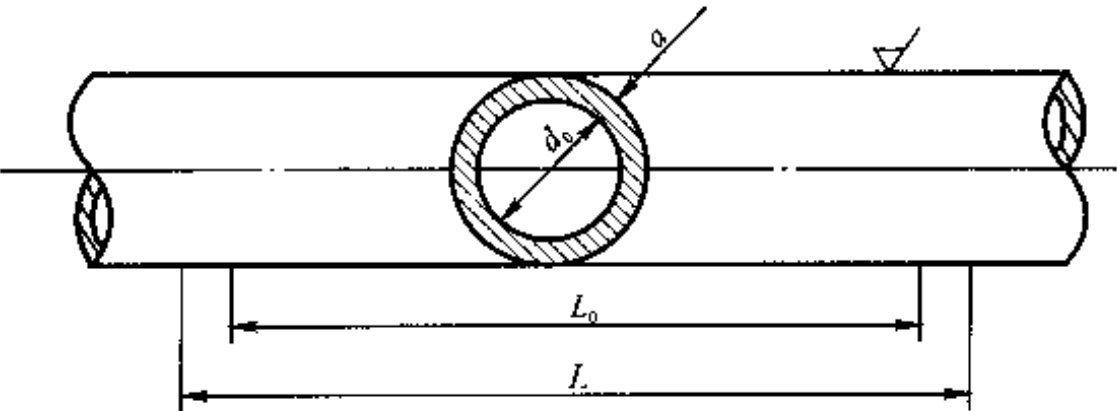


图 2-6 全截面管段拉伸试样图

表 2-5 管材尺寸表 mm

试样号	L_0	L
S7	$5.65 \sqrt{S_0}$	$\geq L_0 + 1.5 \sqrt{S_0}$ 仲裁试验: $L_0 + 2 \sqrt{S_0}$
S8	50	≥ 100

管材纵向弧形比例试样以及定标距试样形状见图 2-7，尺寸见表 2-6。

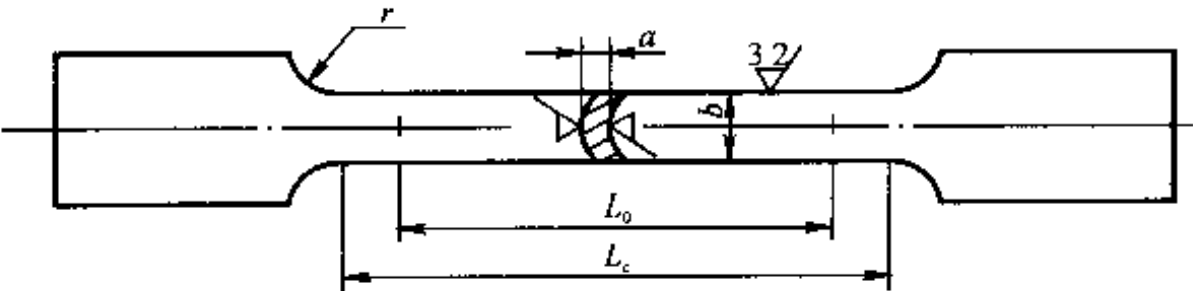


图 2-7 管材纵向弧形比例试样及定标距试样图

表 2-6 管材纵向弧形试样尺寸表 mm

管外径 d	试样宽度 b	试样厚度 a	r	短试样			长试样		
				试样号	L_0	L_c	试样号	L	L
30~50	10	原壁厚	≥ 12	S1	11.3 $\sqrt{S_0}$	$\geq L_0 + 1.5 \sqrt{S_0}$ 仲裁试验: $L_0 + 2 \sqrt{S_0}$	S01	11.3 $\sqrt{S_0}$	$\geq L_0 + 1.5 \sqrt{S_0}$ 仲裁试验: $L_0 + 2 \sqrt{S_0}$
$>50 \sim 70$	15			S2			S02		
>70	20			S3			S03		
≤ 100	19			S4	50				
$>100 \sim 200$	25			S5					
>200	38			S6					

(4) 直径或厚度小于 4 mm 的线材、棒材和型材试样

通常，为产品的一部分而不经机加工的试样，一般可采用 L_0 为 100 mm 或 200 mm 的定标距试样，见表 2-7。

表 2-7 非比例试样 mm

d 或 a	L_0	L_c	试样编号
≤ 4	100	≥ 150	R9
	200	≥ 250	R10

二、高分子材料拉伸试样

高分子材料包括塑料橡胶、纤维增强塑料等。各个产品标准都有自己拉伸试样的特定形状，这里重点介绍在工程构件上最常用的玻璃纤维增强塑料的拉伸试样，见图 2-8 的 I、II、III 型。

测定塑料及橡胶等复合高分子材料的拉伸强度，弹性模量，割线弹性模量，最大载荷伸长率，破坏伸长率及应力—应变曲线的试样尺寸见表 2-8 和表 2-9，试样型式有如图 2-8 所示的形式。

表 2-8 I、II 型试样尺寸 mm

尺寸符号	I 型	II 型
总长（最小） F	180	250
端头宽度 C	20 ± 0.5	/
厚度 h	2~10	2~10
中间平行段长度 B	55 ± 0.5	/
中间平行段宽度 b	10 ± 0.2	25 ± 0.5
标距（或工作段）长度 L_0	50 ± 0.5	100 ± 0.5
夹具间距 E	115 ± 5	170 ± 5
端部加强片间距离 D	/	150 ± 5
端部加强片最小长度 T	/	50

表 2-9 III 型试样尺寸 mm

试样厚度	A	B
6	6 ± 0.05	10
3	3 ± 0.05	6

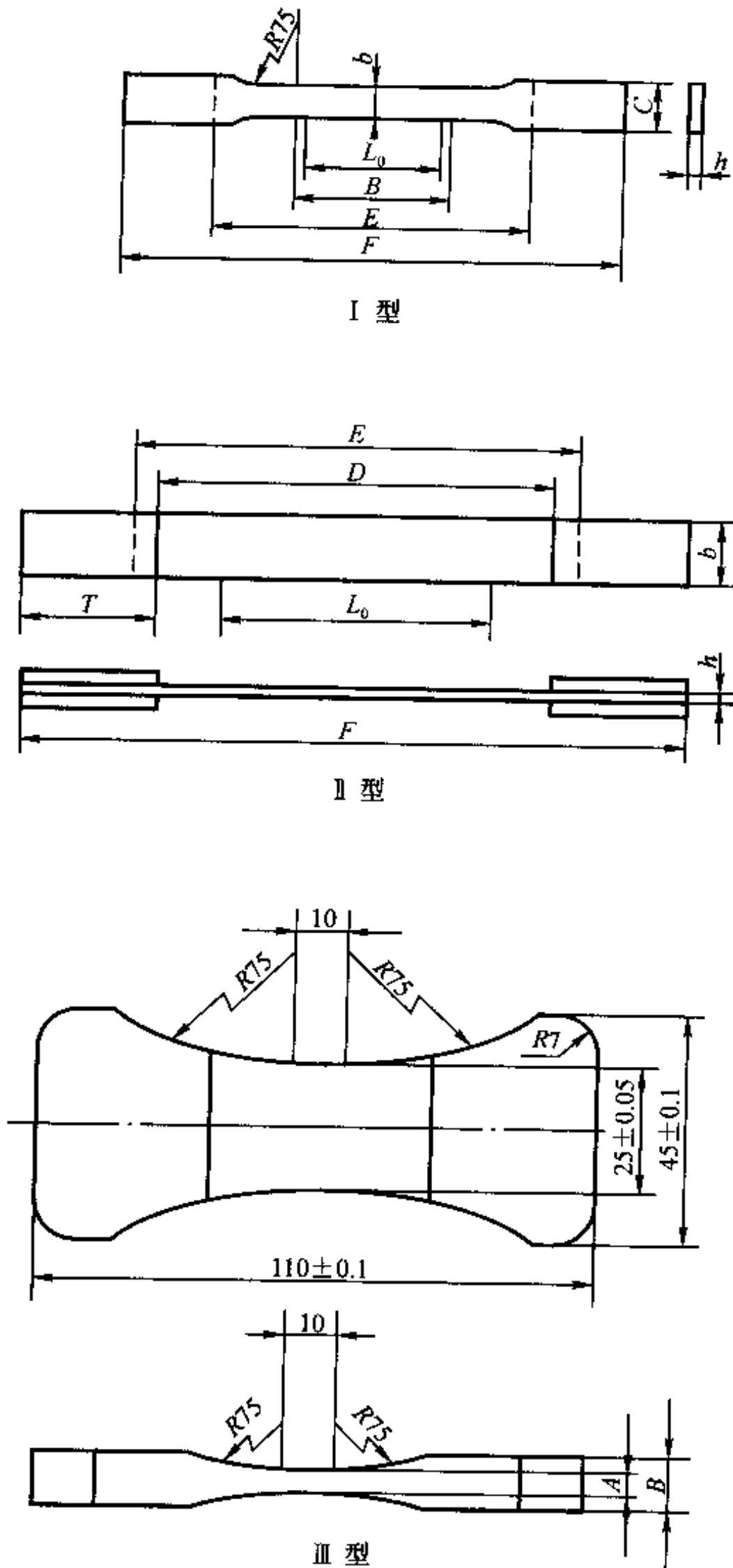


图 2-8 高分子纤维增强塑料力学性能拉伸试样 I、II、III 型图

第四节 强度指标及其测定

一、规定非比例延伸强度 (R_p) 的测定

1. 规定非比例延伸强度的定义

试样标距部分的非比例延伸率达到规定的原始标距百分比的应力。

规定非比例延伸强度是作为表征材料的重要性能的这个强度指标。它是建筑和桥梁结构金属材料和机械重要零部件的设计的力学依据。表示此应力的符号应附以角注说明, 例如 $R_{p0.01}$, $R_{p0.05}$, $R_{p0.2}$ 等分别表示规定非比例延伸率为 0.01%, 0.05% 和 0.2%。

2. 规定非比例延伸强度测定方法

测定规定非比例延伸强度, 最适用的方法有图解法和逐级施力法两种, 也可以使用自动装置 (例如微处理机等) 或自动测试系统测定。其可以不绘制力—延伸曲线图。还有生产用的绘制力—夹头位移曲线图测定 $R_{p0.2}$ 的方法。

(1) 图解法

首先用自动记录方法绘制试样力—伸长曲线图。为了保证测量精度, 要求力轴每 mm 所代表的应力一般不大于 10 N/mm^2 , 曲线的高度应使 F_p 处于力轴量程的二分之一以上。伸长放大倍数的选择应使图 2-9 中的 OC 段的长度不小于 5 mm。举例来说, 若测某一试样其标距为 50 mm 的 $R_{p0.2}$, 其伸长放大倍数应不小于 50 倍, 然后在力—伸长曲线图上, 自弹性直线段与伸长轴交点 O 起, 截取一相应于规定非比例伸长的 OC 段, 应使 $OC = n \cdot L_e \epsilon_p$ (n 为伸长放大倍数, L_e 为引伸计标距, ϵ_p 为规定非比例伸长率), 再过 C 点作弹性直线段的平行线 CA, 交曲线于 A 点, A 点对应的力 F_p 即为所测规定非比例伸长力, 见图 2-9。

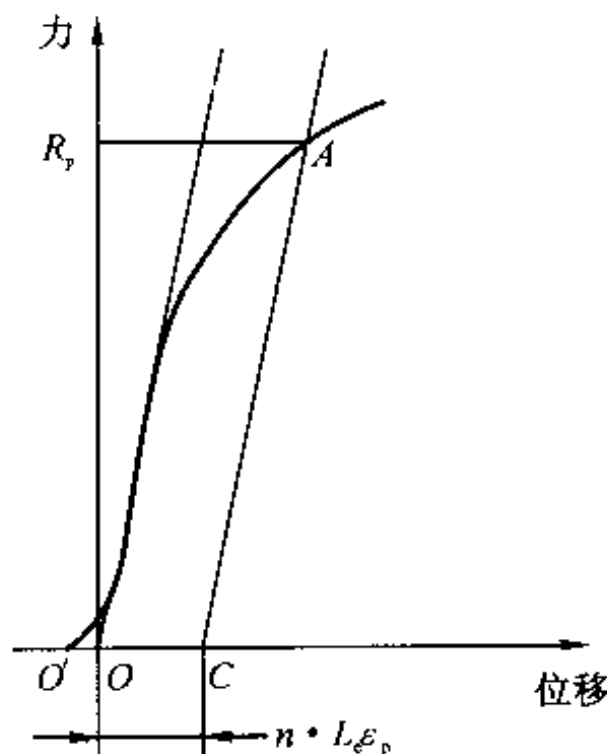


图 2-9 图解法测定 R_p

然而, 日常我们所接触到的材料在拉伸时力—伸长曲线上无明显弹性直线段出现, 而 GB 228 标准又规定了滞后环方法、逐步逼近方法及逐级施力方法 (或称作引伸计法)。

(2) 引伸计法

用引伸计法时, 一般对试样施加力至约为规定非比例伸长应力的 10%, 然后装上引伸计, 在相当于预期规定非比例伸长力的 70%~80% 以内施加大等级力, 以后施加小等级力 (一般约为 20 N/mm^2)。施力时应保证准确读取各级力值和伸长值。

从各级力下的总伸长读数中减去计算得到的弹性伸长,即为非比例伸长。施力直至得到的非比例伸长等于或稍大于所规定的数值为止。用内插法求出精确的力值。规定非比例伸长应力按式(2-1)计算。

$$R_p = \frac{F_p}{S_0} \quad (2-1)$$

式中 F_p ——规定非比例延伸力(N);

S_0 ——试样平行长度部分的原始横截面积(mm^2)。

下面介绍用规定非比例延伸强度 $R_{p0.01}$ 逐级施力法测定结构钢的例子。

试样尺寸为直径 $d=10\text{ mm}$; 原始横截面积 $S_0=78.5\text{ mm}^2$ 。采用的引伸计为表盘式机械引伸计,引伸计表盘分格值为 0.002 mm ,标距为 50 mm 。试验机的最大量程为 600 kN ,选用表盘量程为 120 kN 。材料预期规定比例延伸强度 $R_{p0.01} \approx 600\text{ N/mm}^2$,相应此应力值 10% 的预拉力为 $F_0 = 10\% \cdot S_0 \cdot R_{p0.01} = 0.1 \times 78.5 \times 600 = 4710\text{ N}$,化整后取 $F_0 = 5000\text{ N}$ 。

此时引伸计的条件零点在 10 分格上。相当于预期规定非比例延伸强度 $R_{p0.01}$ 的 80% 的力为 $F = 80\% R_{p0.01} \cdot S_0 = 0.8 \times 600 \times 78.5 = 37\,680\text{ N}$,化整后取用 $37\,000\text{ N}$ 。从 F_0 到 F 分四大等级施力,大等级力值为

$$\Delta F = \frac{37\,000 - 5000}{4} = 8000\text{ N}$$

以后的力以小等级 ($\Delta R = 25\text{ N/mm}^2$) 增加,小等级力值为

$$\Delta F_1 = \Delta R \cdot S_0 = 25 \times 78.5 = 1960\text{ N}$$

化整后取 2000 N ,按照所使用引伸计标距为 50 mm ,则测定规定非比例延伸强度 $R_{p0.01}$ 所要求的伸长为 $50 \times 0.01\% = 0.005\text{ mm}$,折合引伸计的分格数为 $0.005 \div 0.002 = 2.5$ 格。试验直至求得非比例伸长部分达到或稍微超过 2.5 格为止。

试验结果见表 2-10。

表 2-10 力和非比例伸长

力, N	引伸计读数	引伸计读数增量	计算弹性伸长	计算非比例伸长
	分 格 (每格 0.01 mm)			
5000	10.0	/		
13 000	22.5	12.5		
21 000	34.5	12.0		
29 000	46.0	11.5	$\Delta L_{2000} = 3.0$	
37 000	58.0	12.0		
39 000	61.0	3.0		
41 000	64.0	3.0		
43 000	67.5	3.5	67.0	0.5
45 000	71.5	4.0	70.0	1.5
47 000	77.5	6.0	73.0	4.5
49 000	86.0	8.5	76.0	10.0

在力值与伸长读数间成直线比例关系阶段上,计算出相似小等级力 ΔF_1 的平均弹性伸长为

$$\Delta L_{2000} = \frac{(64.0 - 10) \times 2000}{41\,000 - 5000} = 3.0\text{ 格}$$

然后,从弹性直线较最末一级力 ($41\,000\text{ N}$) 的伸长读数的基础上,按每一等级力 ΔF_1

(2000 N) 平均增加 3.0 分格这样计算各级力的弹性伸长, 以各级力的总伸长读数减去计算所得的弹性伸长可得非比例伸长, 见表 2-10。

从表中代出计算的非比例伸长最接近 2.5 格时的力值读数 $F'_{p0.01}$ 为 45 000 N, 用内插法求出其精确的力值 $F_{p0.01}$ 为

$$F_{p0.01} = F'_{p0.01} + \Delta F_2 = 45\,000 + \frac{(47\,000 - 45\,000) \times 2.5 - 1.5}{4.5 - 1.5} = 45\,667 \text{ N}$$

相应的规定非比例延伸强度 $R_{p0.01}$ 为

$$R_{p0.01} = \frac{45\,667}{78.5} = 581.7 \text{ N/mm}^2$$

修约结果为 $R_{p0.01} = 580 \text{ N/mm}^2$ 。

(3) 逐步逼近方法测定规定非比例延伸强度 (R_p)

下面介绍根据力—延伸曲线图测定规定非比例延伸强度。

试验时, 记录力—延伸曲线图, 至少直至超过预期的规定非比例延伸强度的范围。在力—延伸曲线上任意估取 A_0 点拟为规定非比例延伸率等于 0.2% 时的力 $F_{p0.2}^0$, 在曲线上分别确定力为 $0.1F_{p0.2}^0$ 和 $0.5F_{p0.2}^0$ 的 B_1 和 D_1 两点, 作直线 B_1D_1 。从曲线原点 O (必要时进行原点修正) 起截取 OC 段 ($OC = 0.2\%L_c \cdot n$, 式中 n 为延伸放大倍数), 过 C 点作平行于 B_1D_1 的平行线 CA_1 交曲线于 A_1 点。如 A_1 与 A_0 重合, $F_{p0.2}^0$ 即为相应于规定非比例延伸率为 0.2% 时的力。

如 A_1 点未与 A_0 点重合, 需要按照上述步骤进行进一步逼近。此时, 取 A_1 点的力为 $F_{p0.2}^1$, 在曲线上分别确定力为 $0.1F_{p0.2}^1$ 和 $0.5F_{p0.2}^1$ 的 B_2 和 D_2 两点, 作直线 B_2D_2 。过 C 点作平行于直线 B_2D_2 的平行线 CA_2 交曲线于 A_2 点, 如此逐步逼近, 直到最后一次得到的交点 A_n 与前一次的交点 A_{n-1} 重合 (见图 2-10)。 A_n 的力即为规定非比例延伸率达 0.2% 时的力。此力除以试样原始横截面积得到测定的规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 。

最终得到的直线 B_nD_n 的斜率, 一般可以作为确定其他规定非比例延伸强度的基准斜率。

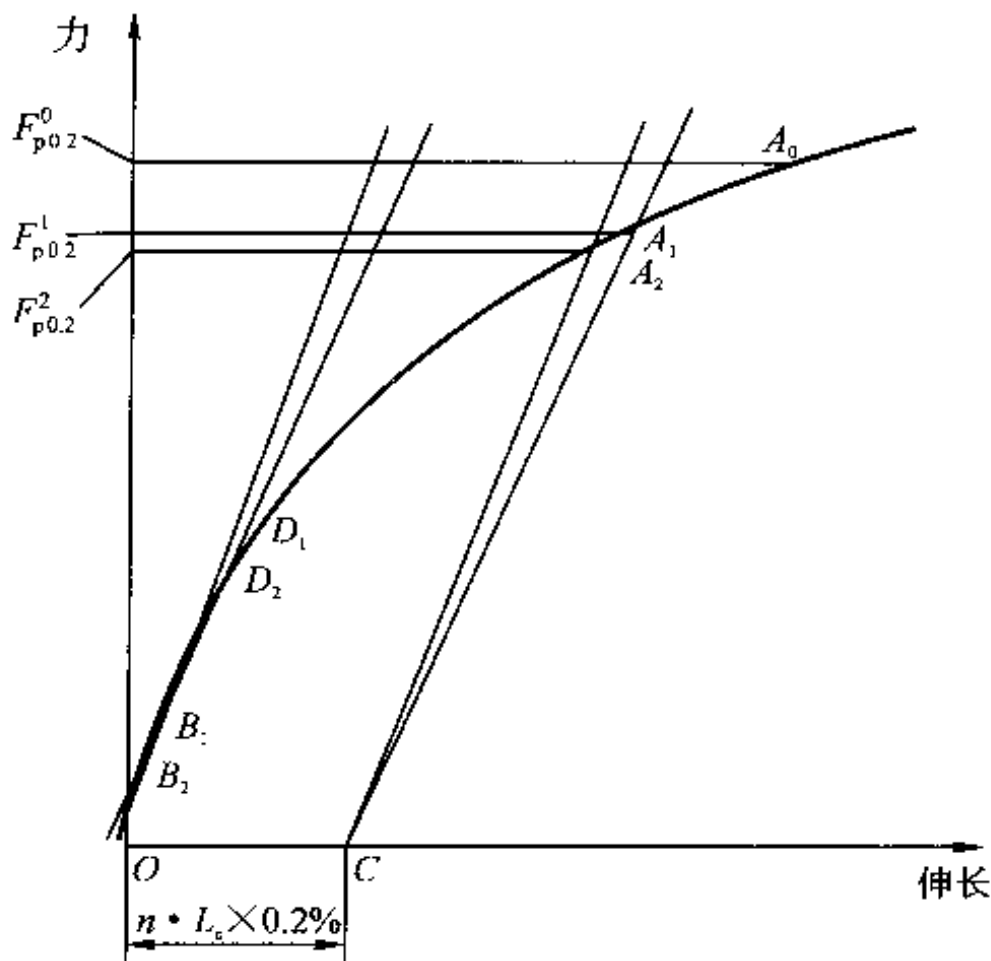


图 2-10 逐步逼近方法测定规定非比例延伸强度 (R_p)

二、规定残余延伸强度的测定

1. 定义

试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。

2. 方法

卸力方法：对试样施加约相当于预期规定残余伸长应力 10% 的力 F_0 ，装上引伸计，继续施力至 $2F_0$ 后再卸至 F_0 ，记下引伸计读数作为条件零点。从 F_0 起第一次施力至使试样在引伸计标距内产生的总伸长为 $n \cdot L_e \cdot \epsilon_r + (1 \sim 2)$ 分格。式中第一项为规定残余伸长，第二项为弹性伸长，在引伸计上读出首次卸至 F_0 的残余伸长。以后每次施力应使试样产生总伸长为前一次总伸长加上规定残余伸长与该次残余伸长（卸至 F_0 ）之差，再加上 1~2 分格弹性伸长增量。试验直至实测的残余伸长等于或稍大于规定残余伸长值为止。

例 某一钢样用卸力法测定 $R_{r0.2}$ 。试样尺寸为 $d=10\text{ mm}$ ， $S_0=78.5\text{ mm}^2$ ；引伸计的标距为 50 mm，每分格为 0.01 mm。

预期规定残余延伸强度 $R_{r0.2} \approx 800\text{ N/mm}^2$ ，则相应此应力值 10% 的预拉力为 $F_0 = 10\% R_{r0.2} \cdot S_0 = 0.1 \times 800 \times 78.5 = 6280\text{ N}$ ，化整取 6000 N，此时，引伸计零点为 1 分格。按照所使用引伸计标距 50 mm，则测规定残余延伸强度 $R_{r0.2}$ 所要求的伸长应为 $50 \times 0.2\% = 0.1\text{ mm}$ 。即引伸计分格数为 10 分格，以后起，第一次施力至使试样处于引伸计标距内产生总的伸长（相当于引伸计上的格数）为 $10 + (1 \sim 2) = 11 \sim 12$ 分格，由于条件零点为 1 分格，故总计为 13 分格，第一次卸力至 F_0 ，引伸计上的读数为 2.3 分格减去零点 1 格，则残余伸长为 1.3 分格（即 0.013 mm）。

第二次施力至使引伸计达到读数为上一次读数 13 分格的基础上，加上规定残余伸长 10 分格与已得残余伸长 1.3 分格之差，再加上 1~2 分格，即， $13 + (10 - 1.3) + 2 = 23.7$ 格。

第二次卸力至 F_0 得到 7.3 分格的残余伸长，所以第三次施力使引伸计达到读数为 $23.7 + (10 - 7.3) + 1 = 27.4$ 分格，试验直至试样残余伸长达到或稍微超过 10 分格为止。试验结果见表 2-11。

表 2-11 规定残余延伸值测试记录表

力/N	施力读数	卸力后读数	残余伸长
	分 格		
6000	1.0	/	/
41 000	13.0	2.3	1.3
57 000	23.7	8.3	7.3
61 000	27.4	10.7	9.7
62 000	28.7	11.5	10.5

从表中查出残余伸长读数最接近 10 分格的力值为 61 000 N，用插入法可更精确地算得

$$F_{r0.2} = 61\,000 + \Delta F = 61\,000 + \frac{1000 \times 0.3}{0.8} = 61\,375 \text{ N}$$

三、屈服强度、上屈服强度、下屈服强度的测定

对于无明显屈服现象的金属材料，应测定其规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 或规定残余伸长应力 $R_{r0.2}$ ，而对于有明显屈服现象的金属材料，则应测定其强度，上屈服强度与下屈服强度。在有关标准或协议无规定时，一般只测定下屈服强度 R_{eL} 。日常测定上屈服强度或下屈服强度的方法有两种，即图示法和指针法。在有自动测试系统试验机时，可以使用自动装置（如微机）来测定上屈服强度和下屈服强度，可以不绘制拉伸曲线图。

1. 图示法

试验时，用自动记录装置绘制力—夹头位移图。要求力轴的比例为每 mm 所代表的应力一般 $\leq 10 \text{ N/mm}^2$ 。曲线的高度应使 F_e 或 F_{eL} 处于力轴量程的 1/2 以上，放大倍数适当选择，曲线至少绘制到屈服阶段结束点。在曲线上确定屈服平台恒定的力 F_e 、屈服阶段中力首次下降前的最大力 F_{eH} 或不到初始瞬时效应时的最小力 F_{eL} ，参见图 2-11 和图 2-12。

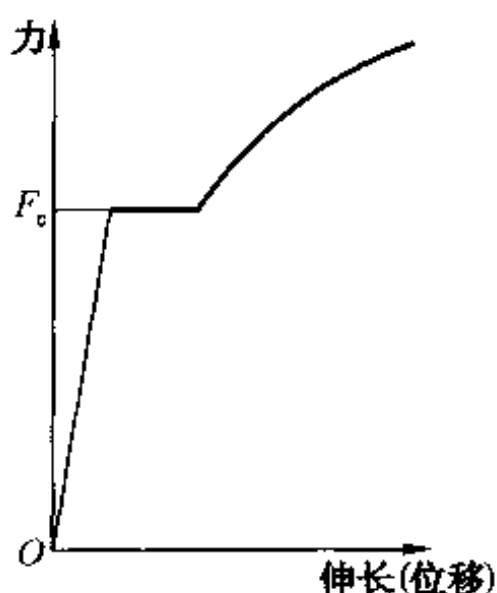


图 2-11 图示法测定 F_e 。

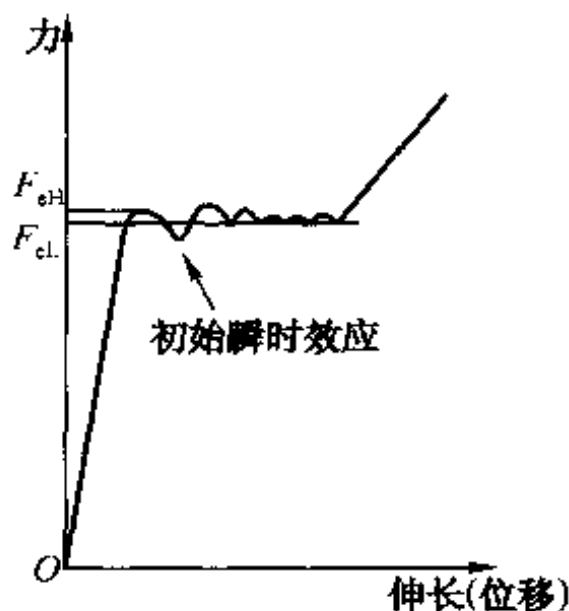


图 2-12 图示法测定 F_{eH} 和 F_{eL} 。

屈服强度、上屈服强度或下屈服强度分别按式 (2-2)、(2-3)、(2-4) 计算。

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (2-2)$$

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \quad (2-3)$$

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \quad (2-4)$$

式中 F_e ， F_{eH} ， F_{eL} ——屈服时的恒定力、最大力和不到瞬时效应时的最小力。

2. 指针法

生产检验允许用指针法测定屈服强度、上屈服强度和下屈服强度。即试验时，当测力度盘的指针首次停止转动的恒定力或指针首次回转前的最大力或不到初始瞬时效应时的最小

力, 分别对应的应力为屈服强度、上屈服强度和下屈服强度。仲裁试验应采用图示法。

四、抗拉强度的测定

试样拉断前所承受的最大标称应力即是抗拉强度。抗拉强度按式 (2-5) 计算。

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (2-5)$$

式中 F_m ——拉断前最大力 (N);

S_0 ——试样平行长度部分的原始横截面积 (mm^2)。

试样在拉伸过程中, 对于塑性材料, 在 F_0 前将产生均匀变形, 而在 F_m 之后变形将集中于试样的某一部分, 从而在该部位出现缩颈。由于缩颈处横截面积急剧减小, 试样承受的力应减小, 测力盘上的主动指针就回摆, 力-变形曲线下滑。而对于脆性材料就不出现缩颈或缩颈很不明显, 测力盘上指针没有回摆 (退回) 的现象出现。力-变形曲线只划到某一最高点后即断裂。

五、金属拉伸试验计算结果修约规定

金属拉伸试验试样尺寸测量后截面积计算结果及强度延伸率及断面收缩率的计算结果均有有效位数和修约规定。

1. 横截面积计算结果有效位数

应取 4 位有效数字。

2. 拉伸试验强度、伸长率、断面收缩率的结果计算修约

规定见表 2-12。

表 2-12 强度、伸长率和断面收缩率计算结果修约值表

测试项目	范围/ (N/mm^2)	修约到
R_{eH} , R_{eL} , R_p , R_t , R_r , R_m	≤ 200	1 N/mm^2
	$> 200 \sim 1000$	5 N/mm^2
	> 1000	10 N/mm^2
A_e		0.05%
A , A_t , A_{gt} , A_g		0.5%
Z		0.5%

第五节 塑性指标及其测定

伸长率和断后收缩率 Z 表示金属断裂前塑性变形的能力。塑性也是工程材料重要的性能指标。这可以从 4 点说明：①当材料具有一定塑性时，机件或构件偶而遭受到过载荷时能发生塑性变形从而产生形变强化，保证了机构件的安全，避免了突然断裂。②机械零构件不可避免地存在截面过渡油孔、沟槽、夹角等，加载后这些地带将出现应力集中，具有一定塑性的材料，可以通过应力集中部位的塑性变形来削减应力峰使之重新分配，从而保证零件不致于早期断裂。③材料具有一定塑性，有利于某些成形工艺（如冷冲、冷弯、校直等）、修复工艺和装配的顺利完成。④塑性指标还是金属生产的质量标志，它反映出材料冶金质量的好坏（纯净度、加工质量和热处理水平）。

一、最大力总伸长率 (A_{gt}) 和最大力非比例伸长率 (A_g) 的测定

用自动记录装置绘制力—伸长曲线图时，选择适当的力轴比例。应根据达到最大力的总伸长量，选择适当的伸长放大倍数，使引伸计标距应尽可能等于试样原始标距。在曲线上过最大力点 K ，分别作力轴和弹性直线段的平行线 KI 和 KJ ，交伸长轴于 I 点和 J 点。延长弹性直线段交伸长轴于 O 点，然后测量图中 OI 和 OJ 的长度（见图 2-13），最大力 T 的总伸长率和非比例伸长率分别按式 (2-6) 和式 (2-7) 计算。

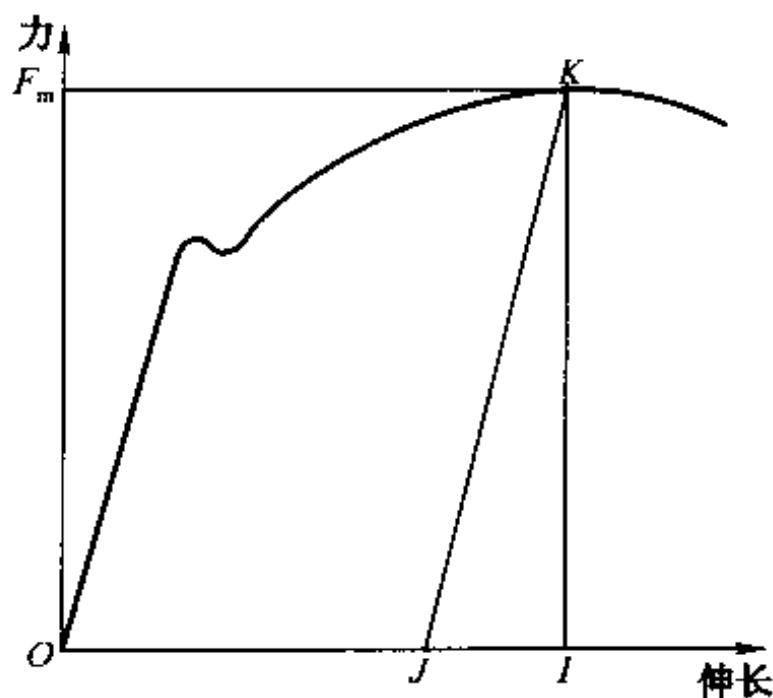


图 2-13 总伸长率和非比例伸长率拉伸曲线图

$$A_{gt} = \frac{OI}{n \cdot L_c} \times 100\% \quad (2-6)$$

$$A_g = \frac{OJ}{n \cdot L_c} \times 100\% \quad (2-7)$$

二、断后伸长率 (A) 的测定

目前多数的金属材料标准中所说的伸长率，实际指断后伸长率。所谓断后伸长率，系指

试样拉断后，标距的伸长与原始标距的百分比，它以 A 来表示。断后伸长率计算公式见式 (2-8)。

$$A = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2-8)$$

式中 L_1 ——试样拉断后紧密对接的标距 (mm)；

L_0 ——试样断裂前原始标距 (mm)。

断后伸长因试样的不同又分比例试样、非比例试样及定标距试样。 $L_1 - L_0 = \Delta L$ 为试样拉断后的残余伸长，它由两部分组成，见图 2-1， $\Delta L = \Delta L_b + \Delta L_c$ ，这里 ΔL_b 为拉伸达到最大力之前的均匀伸长量， ΔL_c 为最大力后的局部伸长量。根据实验研究结果， ΔL_b 与试样标距 L_0 成正比，而 ΔL_c 与试样横截面积 S_0 的平方根成正比，即

$$\Delta L = \beta L_0 \quad \Delta L_c = \gamma \sqrt{S_0}$$

式中 β, γ ——常数，对于同一材料的标准试样，其值几乎是不变的。

所以伸长率为

$$A = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta L_b}{L_0} + \frac{\Delta L_c}{L_0} = \beta + \gamma \frac{\sqrt{S_0}}{L_0}$$

这表明，只要试样尺寸能满足 $L_0 / \sqrt{S_0} = \text{常数}$ 的条件，由试验得出的同一材料试样的伸长率就与试样绝对尺寸无关，也就是说，比例试样的伸长率可以相互比较。严格地说，同一材料由于原始标距不同，对于其试样的伸长率，比例试样、非比例试样及定标距试样是不能相互进行比较的。所谓比较试样也就是目前常用的 $5.65 \sqrt{S_0}$ (5 倍试样) 和 $11.3 \sqrt{S_0}$ (10 倍试样) 的试样定标距的试样，它们常见于钢丝、电线等标准，例如 $L_0 = 100 \text{ mm}$ (A_{100}) 和 $L_0 = 200 \text{ mm}$ (A_{200})。

断裂后标距 L_1 的测量方法是将拉断的试样两段的断裂处紧密地对接在一起，尽量使其轴线在一直线上。如拉断处形成缝隙，则此缝隙应计入该试样拉断后的标距内。当应用直接测量法时，断后伸长率还与断裂位置有关，因而还需采用某分格小冲点和某分格细划线方法标出试样原始标距的标志，但这些标志不应影响试样断裂位置。对于脆性试样和极小试样，建议用快干墨水或带色涂料划线。对于断裂后标距的测量，由于拉断裂位置的不同，可分直测法和移位法两种。测量断后标距 (L_u) 的量具精度应优于 0.1 mm。

1. 直测法

拉断处到邻近标距端点的距离大于 $\frac{1}{3} L_0$ 时，可以直接测量标距两端点间的距离。

2. 移位法

如拉断处到最邻近标距端点的距离小于或等于 $\frac{1}{3} L_0$ ，则应按移位法测定 L_1 。

如图 2-14 和图 2-15 所示，在长段上从拉断处 O 取基本等于短段格数得 B 点，接着取

等于长段所余格数（偶数格见图 2-14）的一半为 C 点，或者取所余格数（奇数格见图 2-15）分别减 1 与加 1 的一半，得 C 和 C₁ 点，移动后的 L₁ 分别为 AB+2BC 或者 AB+BC+BC₁。有时试样拉断于移位法所述位置，但如用直测法求得的断后伸长率能达到技术条件之规定值，则可不采用移位法。

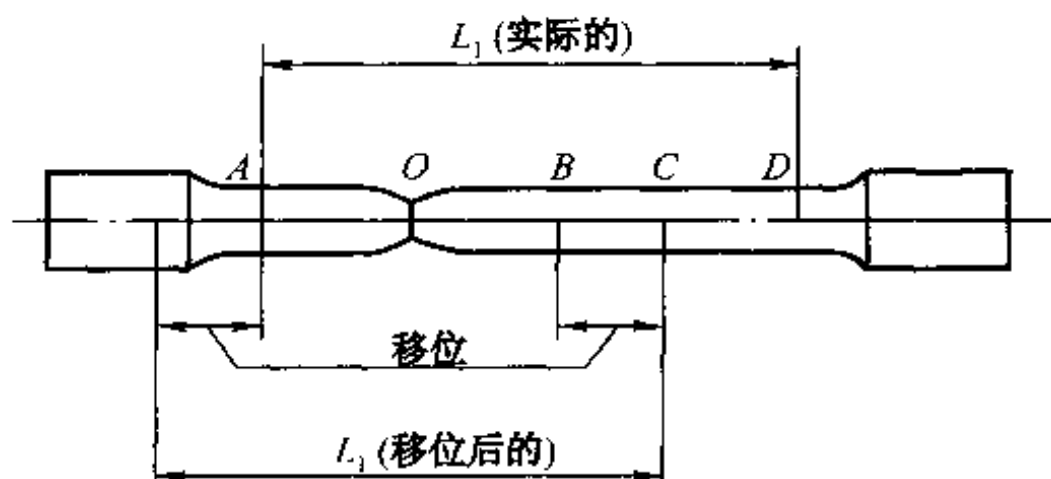


图 2-14 断裂为偶数格移位示意图

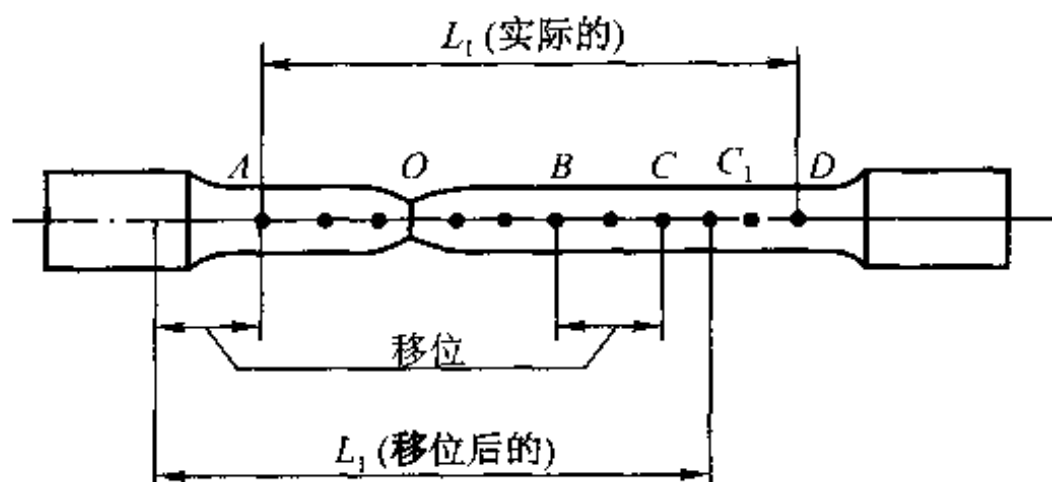


图 2-15 断裂为奇数格移位示意图

三、断面收缩率（Z）的测定

断面收缩率即试样拉断后，缩颈处横截面积最大缩颈量与原始横截面积的百分比，按式（2-9）计算。

$$Z = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (2-9)$$

式中 S₀——试样平行长度部分的原始横截面积（mm²）；

S₁——试样拉断后缩颈处的最小横截面积（mm²）。

对于试样拉断后缩颈处最小横截面积 S₁ 的测定，由于试样有圆形和矩形两种，可分两种情况进行测定。对于圆试样，应在缩颈最小处两个相互垂直的方向上测量其直径（需要

时, 应将试样断裂处对接起来), 用两者平均值来计算。对于矩形样, 应用缩颈处 (如图 2-16 所示) 的最大宽度 b_0 乘以最小厚度 a_0 来求得。

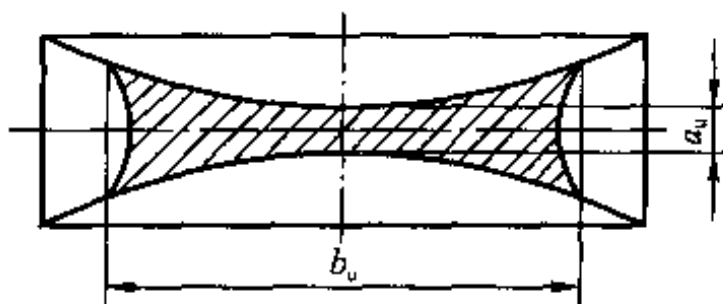


图 2-16 矩形试样拉伸样断口

对于薄板和带材试样、圆管材全截面试样、圆管材纵向弧形试样或其他复杂横截面试样以及直径小于 3 mm 的圆试样, 一般不测定断面收缩率。

在同样材料、同样试验条件下, 圆形试样的断面收缩率比矩形试样的大, 同样为矩形试样, 断面收缩率也因 b_0/a_0 的不同而有很大差异, 这是“颈缩”时截面上三向应力状态不同所致。所以, 要使断面收缩率可进行比较, 应采用圆形试样。考虑到断面收缩率不可能大于 100%, 而塑性材料的断后伸长率可远远超过这个界限, 所以断后伸长率能够在数值上更明确地表征材料的塑性变形能力。然而断后伸长率只能代表试样最大均匀变形相对伸长, 而不能反映局部变形区域的真实相对伸长, 即在均匀塑性变形阶段, 断后伸长率比断面收缩率大, 而在断面收缩率大于断后伸长率的情况下, 试样拉断必定与缩颈形成同时发生, 这时断面收缩率更接近真实伸长率, 而且断面收缩率不受试样标距长短的影响, 所以它比断后伸长率更能代表材料的塑性性能。

测定塑性性能的计算数值修约规定按表 2-12 执行。

第六节 弹性模量的测定

弹性模量代表材料产生单位弹性变形所需应力的, 也就是说, 在弹性范围内物体的应力和应变呈正比关系, 其比例数即为弹性模量 E 。工程上常将构件产生弹性变形的难易程度叫做构件的刚度, 所以弹性模量 E 是决定构件刚度的材料常数。构件的刚度又与构件本身的横截面积有关, 故刚度用 ES_0 来表示。对于材料弹性模量, 因力和变形的形式及试验方法的不同, 又可分为拉伸试验的拉伸杨氏模量、压缩试验的杨氏模量、扭转试验的切变模量及弯曲试验的弯曲模量。而高分子材料多为测定其刚度的弯曲弹性模量。

一、金属材料杨氏拉伸弹性模量的测定

单轴拉伸试验是进行弹性模量测定的一种传统方法, 试样可制成圆形和矩形两种。试验可采用绘图法或引伸计法, 这里就引伸计法进行介绍, 试验装置如图 2-17 所示。试验时,

先预加一定的初始应力，再装上引伸计（蝶式引伸计）。在逐级加荷的测试过程中，变形量的测量记录以右左两表头的平均值为准。

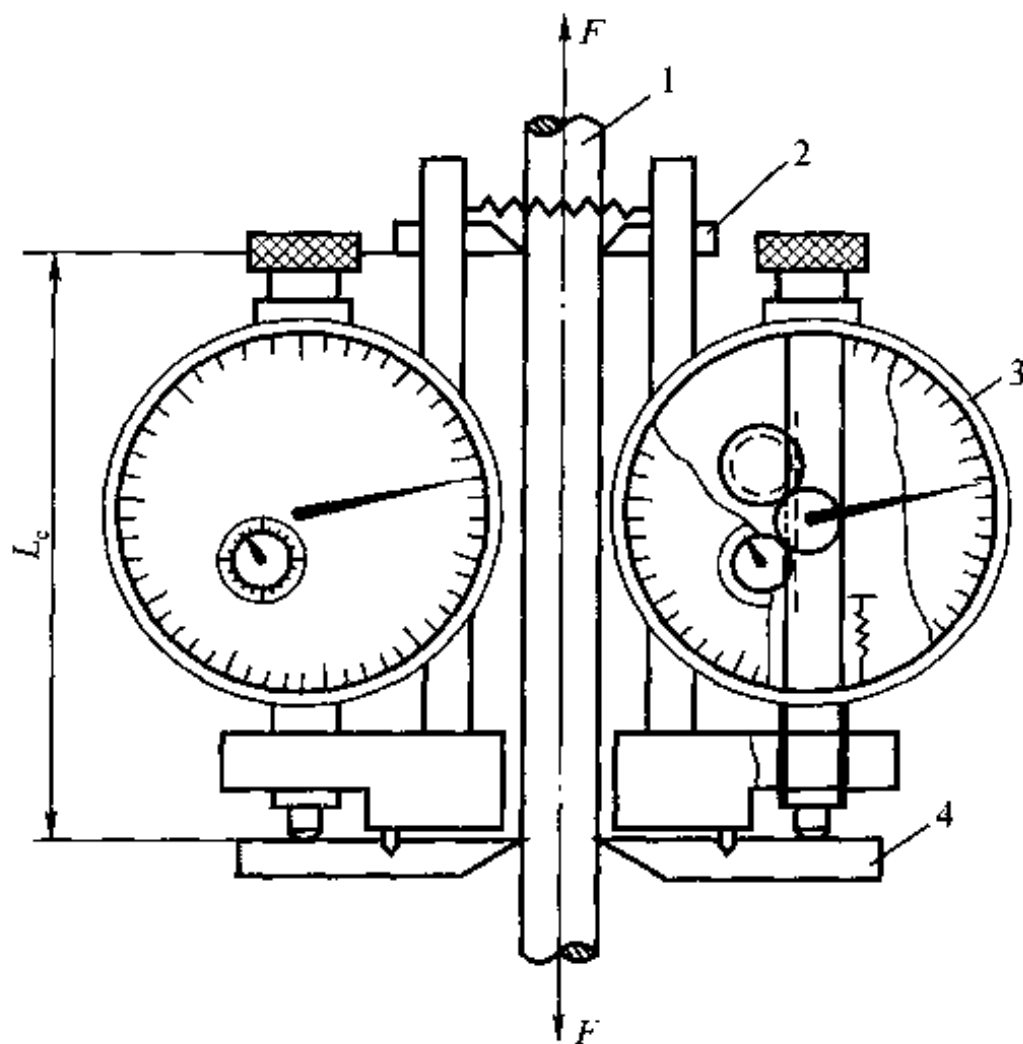


图 2-17 蝶式引伸计测定 E 的装置示意图

1- 试样；2- 固定刀刃；3 千分表；4 活动刀刃兼杠杆

设试样横截面积为 S_0 ，引伸计标距为 L_e ，取六次伸长增量的算术平均值为 $\delta(\Delta L)$ ，由虎克定律即可计算出弹性模量（拉伸杨氏弹性模量），见计算公式（2-10）。

$$E = \frac{\Delta F L_e}{\delta(\Delta L) S_0} \quad (2-10)$$

式中 ΔF —— 力增量 (N)；

L_e —— 引伸计标距 (mm)；

$\delta(\Delta L)$ —— 伸长增量的算术平均值 (mm)；

S_0 —— 试样平行长度部分的原始横截面积 (mm^2)。

试验时施加的最大力不应超过比例伸长力，但也不宜低于它的一半。试验时的最大力值和最大变形要分别与试验机拉力的量程和引伸计量程相适应。试验施加力一般要为 5~6 级，第 1 级作为初始力，每级施加的力要使引伸计指示数值有明显变化。在弹性模量测试中，为了保证拉伸过程中力作用线与试样轴线相重合，必须施加足够大的初始力，由于工程材料缺乏均匀性和留存制造加工中导致的残余应力，往往在首次施力时，力与伸长的关系不显线性，因此测定应多进行几次。当在一系列某量递增力作用下，所读出的相应伸长增量也接近相等时，即可用来计算相应的应力和应变增量的数值，从而求得弹性模量。

二、高分子材料弹性模量的测定

高分子材料的拉伸杨氏弹性模量测试与金属材料基本一样。试样一般只制成矩形样，变形的测试可采取夹持杠杆引伸计或百分表测量拉伸试验机夹头所在的横梁移动距离（在夹头不打滑的情况下），施加的初始力约为破坏载荷的 5%，分五级加力，每级的力级差为破坏载荷的 5%~10%，施加的最大力不应超过破坏载荷的 50%，一般至少重复测定三次，取其两次稳定的变形增量。记录各级力与相应变形值，高分子材料拉伸弹性模量按式（2-11）计算。

$$E_t = \frac{L_0 \cdot \Delta P}{b \cdot h \cdot \Delta L} \quad (2-11)$$

式中 E_t — 拉伸弹性模量 (MPa)；

ΔP — 力的增量 (N)；

ΔL — 与力增量 ΔP 相应的标距 L_0 内变形增量 (mm)；

L_0 — 拉伸试样平行长度内的原始标距 (mm)；

b — 矩形拉伸试样的宽度 (mm)；

h — 矩形拉伸试样的厚度 (mm)。

第七节 特殊试样的拉伸试验

对一种金属材料进行拉伸试验时，有时不能按标准尺寸取样和制备拉伸试样。如金属线材、管材、钢丝绳和钢绞线及进行金属材料缺口敏感度试验的缺口拉伸试验。这些试样在试验前必须在取样、装夹及测量上做出一些附加的技术规定。

一、金属线材拉伸试验

对于直径小于 10 mm 的圆形截面的盘状材料的线材，其进行拉伸试验的标距长度取为 100 mm，200 mm 的定标距试样。试验前线材若需矫直时，可将试样放在木垫上，用木锤、紫铜锤或铅锤打直或以平稳压力压直。线材拉伸时，一般要有专门制作的钢丝夹具——双夹头夹具。这样可避免拉伸后断口位置在夹头处而造成结果无效。对于某些细金属线材，可用打结拉伸力 F_j 来代替反复弯曲试验。试验前，将试样打一个简单死结（不得拉紧），然后使其固定在试验机夹具内，对试样施力直至拉断，则金属细线断裂在打结处为正常。

二、管材拉伸试验

对外径小于等于 30 mm 的金属管材，可取整个管的一段作为试样进行试验。试样的标距可按一般比例试样进行计算。为了避免断在夹头部位，一般须在两端头堵塞带一定锥度的低硬度值的圆锥体堵头。

管材横截面积按式（2-12）计算。

$$S_0 = \pi a (D_0 - a) \quad (2-12)$$

式中 a ——管壁厚度 (mm);

D_0 ——管试样的原始外径 (mm)。

对于管材外径, 应在管的一端两个相互垂直的方向各测一次, 取算术平均值。对于厚度, 应在同一管端圆周上相互垂直方面测量四处, 取其算术平均值。管试样的原始标距应采用等距离的连续打点或划线处理方法。对于大管径的试样 (一般外径大于 30 mm 的管材), 可用取纵向弧形样或弧形样的横截面积按公式 (2-13) 计算。

$$S_0 = ab \left[1 + \frac{b^2}{6D(D-2a)} \right] \quad (2-13)$$

式中 a ——弧形管材试样厚度 (mm);

b ——弧形管材试样平行长度部分宽度 (mm);

D ——管材试样原始外径 (mm)。

原始标距也应当采用等距离连续打点或划线方法作标志。

三、钢丝绳和钢绞线拉伸试验

钢丝绳和钢绞线都是由钢丝或钢线多根绞合成股组成的, 它们的拉伸试验按产品标准的不同, 可以整根拉伸, 也可以拆股成多根钢线或钢丝分别拉伸进行计算而得。

1. 整根钢丝绳和钢绞线拉伸试验

整根钢丝绳拉伸试验可在拉力机或万能材料试验机上进行, 但试验机的最大拉力不应超过钢丝绳或钢绞线预定断裂拉力的 5 倍。试验机的两端钳口的距离不应小于钢丝绳或钢绞线直径的 20 倍, 并不得小于 250 mm。如果试样的拉断处发生在距固定点 50 mm 范围内, 但达到了规定的断裂拉力要求, 则可认为试验有效, 否则应重作试验。

作整根钢丝绳和钢绞线拉伸试验时, 选择夹头和制作试样夹是一个关键的步骤。钢丝绳试样需将头部松开, 弯成小钩并镀锡, 然后用铅或巴氏合金将其浇注于特制的锥孔夹头中, 或者采用夹扣打结方法固定。对于整根钢绞线的拉伸试验, 应选用相应的锥形夹片和内孔为锥形的套筒。试样由夹片 (2 片或 3 片) 夹住试样并套在套筒内。试验机夹头夹住套筒进行整根钢绞线的拉伸试验。

2. 钢丝绳拆股拉伸试验

按照钢丝绳和钢绞线的产品标准规定, 也可以对钢丝绳和钢绞线进行拆股并进行单根钢丝和单根线拉伸。按拆全部各股或部分股作拉伸试验并考核“钢丝 (钢线) 破断拉力总和”再按标准规定的系数 (钢丝绳不同型号规格有 0.8~0.98) 的不同换算系数。从而测定出钢绞线 (钢线) 的断裂拉力总和后再乘以所规定的换算系数即得整根钢丝绳 (钢绞线) 的破断拉力。

四、缺口静拉伸试验

在现实的金属构件中, 都存在截面突变的情况。如构件有键槽销孔、夹角刀痕、螺纹等, 这些都是缺口的形式。这些缺口的存在将导致应力集中, 从而引起金属构件的早期断

裂。缺口静拉伸试验就是为了测定金属材料在静拉伸下对缺口敏感程度而作的试验，也就是用缺口静拉伸试验可以衡量金属材料对缺口的敏感性。

为了表示在静拉伸力作用下金属对缺口的敏感性，通常用金属的光滑试样所得的拉伸强度 R_m 和同样型式的缺口试样的抗拉强度 R_{mN} 之比 R_{mN}/R_m 作为衡量静拉伸缺口敏感度的标准，其比值愈小，缺口敏感度就愈大，见式 (2-14)。

常用缺口静拉伸试样见图 2-18 (圆截面试样) 和图 2-19 (矩形截面试样)。

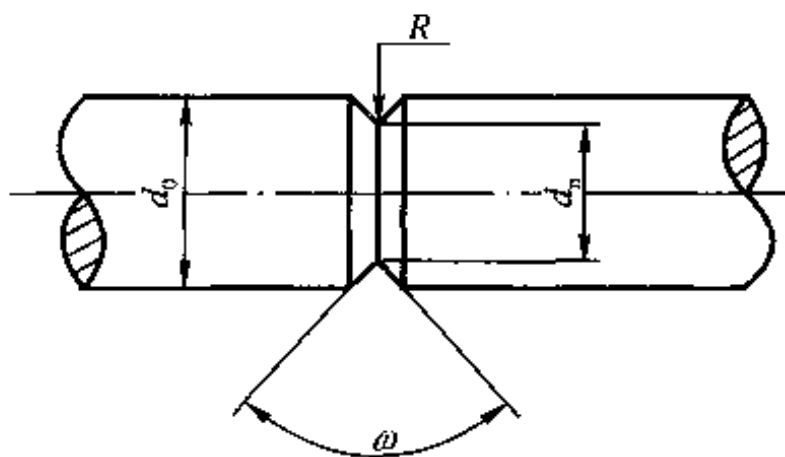


图 2-18 圆截面试样缺口拉伸试样图

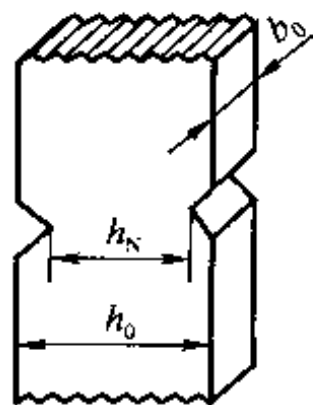


图 2-19 矩形缺口拉伸试样图

$25\% \leq \frac{d_0^2}{d_n^2} \leq 50\%$ ，图 2-18 中 $45^\circ \leq \omega \leq 60^\circ$ ， $R=0.1 \text{ mm}$ ， $10 \text{ mm} \leq d_n \leq 20 \text{ mm}$ 。

由于影响缺口拉伸试验的因素较多，因而缺口拉伸试验数据较分散，因而除缺口拉伸试样必需严格按试样图的要求加工外，还应制备多个试样来测定 R_{mN} 。

$$NSR = \frac{R_m}{R_{mN}} \quad (2-14)$$

式中 NSR —— 静拉伸下缺口敏感度；

R_{mN} —— 缺口拉伸试样的抗拉强度 (MPa)；

R_m —— 光滑拉伸试样的抗拉强度 (MPa)。

第八节 金属材料拉伸试样的断口分析

各类金属拉伸试样的断口是各不相同的，即使是同一材料或相同形式的拉伸试样，也会出现各种不同的断口。在生产和检验工作中，人们可以通过拉伸试样的断口的各种特征来判定其材料性能的优劣。

一、光滑圆试样的拉伸断口

一般光滑圆试样的拉伸断口如图 2-20 所示，它由三个部分组成，即中心纤维区、放射区和剪切唇区，这种断口也称典型的杯维断口，断裂起源于中心纤维区，它是粗糙纤维状，颜色呈灰暗色，通常呈环状，当纤维区达到一定尺寸即临界尺寸后，

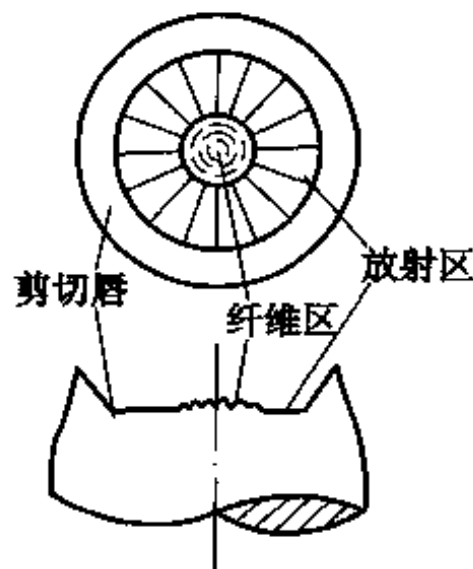


图 2-20 典型的光滑圆试样静拉伸断口

裂纹开始快速扩展，形成放射区，最后断裂时形成剪切唇，剪切唇表面光滑，它与应力轴，也就是光圆拉伸试验试样的轴线的交角约为 45° 。中心纤维区和最后断裂的剪切唇区是金属材料韧性断裂的宏观特征。也就是说，这两个区愈大，材料静拉伸韧性愈好。

二、矩形静拉伸试样的断口

矩形拉伸试样的断口同圆形试样的断口一样，它也有三个区域，如图 2-21 所示。

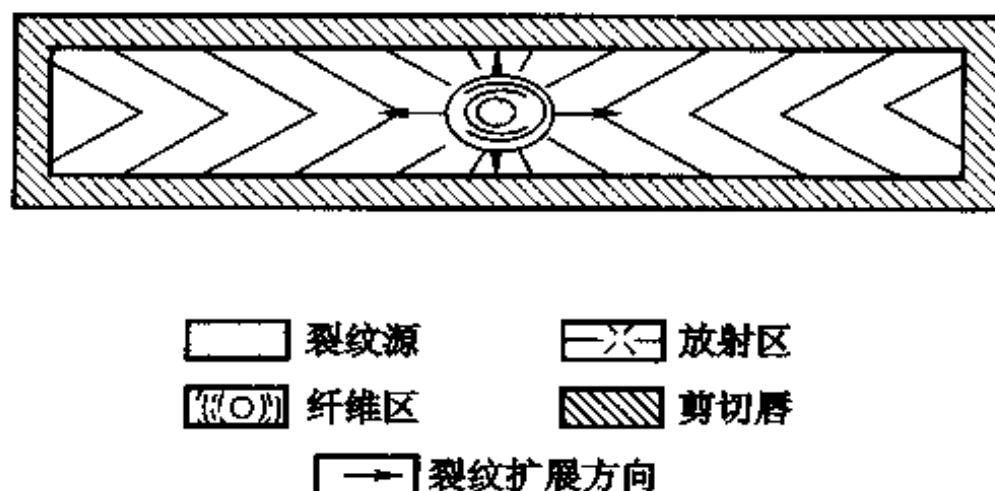


图 2-21 矩形静拉伸试样断口示意图

图中纤维区呈椭圆形，放射区则出现“人字纹”花样。人字纹光端指向裂纹源，人字纹尖端相反方面为裂纹扩展方向，靠近表面的剪切唇为最后破断区。

三、带缺口的圆形拉伸试样断口

带缺口圆形拉伸试样由于缺口处的应力集中造成裂纹直接在缺口附近产生，此时其纤维区不再在试样断口中央，而是沿圆周分布而后向内部扩展，见图 2-22。

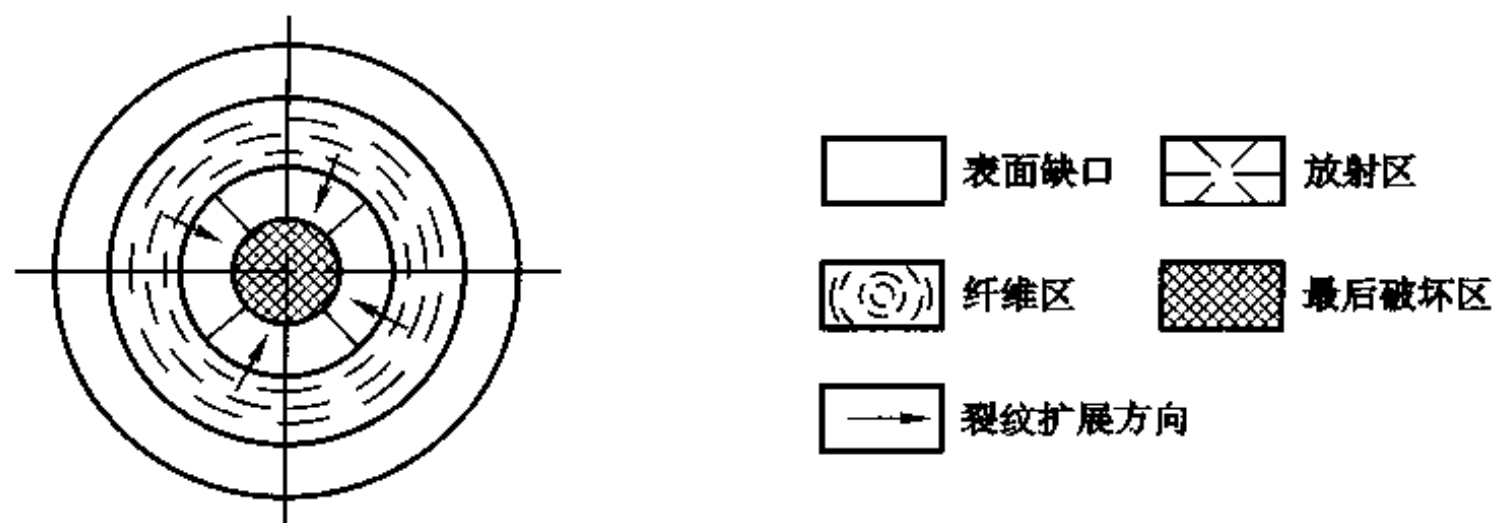


图 2-22 缺口拉伸试样断口形象示意图

若缺口较钝，则裂纹仍可能首先在试样中心形成。缺口裂纹也可能不对称式地扩展形成较为复杂的断口。

一般说来，断口都有可能三个区域，即纤维区、放射区和最后破裂区。材料强度增高或塑性下降，则缺口尖锐度增大或应力状态变硬，加载速度增大，而韧断特征区即纤维区和剪切唇区就缩小，反之则出现相反情况。有时可能只出现脆断特征花样，有时也可能只出现

韧断特征花样。

四、带缺口或带表面缺陷的矩形拉伸样断口

带缺口或带表面缺陷的矩形样拉伸断口见图 2-23 和图 2-24。

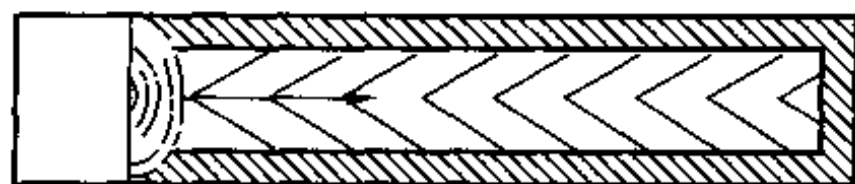


图 2-23 带缺口的矩形拉伸试样断口示意图



图 2-24 带表面缺陷的矩形样断口示意图

以上两种情况下，裂纹不再发生在中心部位，而是发生在缺口根部（见图 2-23）或在表面缺陷处（见图 2-24）。在拉伸试样断口上有时常可以发现气孔、夹杂等一般缺陷，也可以发现层状断口、白点、纵向和横向裂纹、严重夹杂和偏析等特殊缺陷。但是，由于试样本身断面较小，取样部位不一定正好落在缺陷区域，因此拉伸试样断口出现以上所述的缺陷，实属很大的偶然性。

从拉伸试样断口的形态来分，断口一般可分为两大类，一类是韧性断口，金属材料韧性断裂，开始先是均匀伸长，进一步发生颈缩，最后才断裂，断裂的情况与颈缩附近的应力状态有关，一般最大应力以高于平均应力 30%~40% 的水平位于试样中心，使断裂从中心开始，从而成为杯维状。另一类是脆性断口。造成脆性断裂的因素很复杂，它一般表现为无明显塑性变形的突然断裂。

韧性断口与脆性断口也没有严格的界限。随着应力状态的变化从软到硬其拉伸试样断口从韧性转向脆性。如低碳钢常温拉伸试验时为杯维状韧性断口，若在尖锐缺口的拉伸或低温拉伸时，就可能成为脆性平断口。

第九节 影响拉伸试验检测结果的主要因素分析及测量不确定度的估计

拉伸试验测试结果的影响因素是多方面的，但总的说来，它可分为主观和客观两大影响因素。主观因素具体又可分为人为因素和试样制作的因素两方面。而客观因素主要指仪器设备条件及环境条件等方面。作为材料力学性能检测人员，在进行材料力学性能检测时必须严格按相应的材料力学性能试验方法标准及相关的产品标准规定进行，否则也会使检测结果产生重大差错。

一、试样制作的影响

拉伸试验首先接触的就是拉伸试样，拉伸试样的形状、尺寸和精度要求应遵循

GB/T 228附录的规定。但实际制备的试样有时就与标准的技术要求有一定距离,这样,由于拉伸试样的缺陷,带来测试结果的偏差,其中主要有试样尺寸和精度的影响和试样工作表面的粗糙度影响。

1. 试样加工形状尺寸和精度的影响

大量试验得出的同一材料同一状态的金属材料的对于不同截面形状的试样进行比对试验时的结果,对屈服强度中的上屈服强度 R_{eH} 影响大,而对下屈服强度 R_{eL} 影响小。试样尺寸的大小对试验结果的影响是同一材料、同一状态试样大横截面积(大尺寸)的试样的抗拉强度较小尺寸的低,而且塑性指标也下降。矩形试样的工作长度部分的对称度,圆试样在工作部分轴线与夹头部分的轴线不同心,都会在拉伸时产生力偏心,产生附加弯曲应力,使强度和伸长率均降低。试样平行长度内的平行度和尺寸精度也很容易影响测试结果,因为试样测量的尺寸值可能不是实际样品的最小位置尺寸,这将造成测试的结果偏低。

2. 试样工作表面的粗糙度的影响

试样表面粗糙度不同,对抗拉强度几乎没有影响,对塑性较好的金属材料,其屈服点略受影响,对塑性较差的脆性材料,表面粗糙变化使得规定非比例伸长应力与断后伸长率稍有提高。

二、人为因素的影响

力学性能测试主要也是由上岗人员进行操作来完成的,不管多先进的测试设备也应由人来操作。操作人员的人为因素影响是多方面,具体分析如下。

1. 试验尺寸的测量准确性及试样截面积的确定

(1) 拉伸试样横截面积的确定

进行均匀等截面的金属材料拉伸试验时,操作人员对拉伸试样的横截面积的确定是一个关键的问题,材料力学检测人员进行拉伸试验时测试的依据有两个,一个是金属拉伸试验方法 GB 228,另一个是材料相应的产品标准。有的产品标准明确规定拉伸试验试样的横截面积按名义尺寸的横截面积要求,如果产品标准无此特殊规定,均应遵循 GB 228 标准,测量实际尺寸计量横截面。如果都按名义尺寸计算横截面积,其测试的结果会受到严重的影响以致将合格强度结果测成不合格的,有的把不合格的产品测成合格的。

(2) 试样尺寸的测量方法和测量的准确性影响

拉伸试样应视直径大小选用外径千分尺、游标卡尺或矩形样用游标卡尺。如果测量方法不准确,会导致人为把试样的尺寸测量偏大,造成强度测试结果偏低。如图 2-25 所示,量具测量面与试样轴线不垂直时,测得的结果就是 $d_1 > d_0$ 。



图 2-25 测量方法错误导致人为尺寸偏大的示意图

(3) 测量位置的确定对测量结果的影响

例如,有一 Q 435 材料的拉伸试样,工作直径为 $\phi 10$ mm。该样品在平行长度内工作直

径左、中、右三个位置平均直径为 $d_x = 10.02 \text{ mm}$, $d_m = 10.0 \text{ mm}$, $d_d = 9.90 \text{ mm}$ 。拉伸破断前最大力 $F_m = 33.5 \text{ kN}$, 若操作者只测中间位置直径 $d_m = 10.0 \text{ mm}$, $S_m = 78.5 \text{ mm}^2$, 计算出抗拉强度 $R_m = 425 \text{ MPa}$, 则不合格。若依据 GB 228 金属拉伸试验方法的要求, 在光圆拉伸试样平行长度内, 分别在两端和中间三个位置测量取最小平均直径, $d_d = 9.90 \text{ mm}$, $S_d = 77.0 \text{ mm}^2$, 计算抗拉强度 $R_m = 435 \text{ MPa}$, 则为合格。

(4) 试样尺寸测量读数的人为误差

这里是指测量试样尺寸时, 把量具的数值看错, 如将游标卡尺、百分表、外径千分尺读错, 特别是对于光圆拉伸试样外径和薄板的矩形拉伸试样, 用外径千分尺或壁厚千分尺测量时很容易读错 0.5 mm , 因为外径千分尺和壁厚千分尺测量同一圈就是 0.5 mm , 不注意极易弄错一圈, 这样就造成测定结果不准确的后果。

2. 试验机零点的调整

无论对于哪一种材料试验, 在进行拉伸试验前均必须进行零点的校准调整, 若没校准好, 所测的力和力与变形的曲线图就均失真。

3. 拉伸试验的拉伸速度的影响

在常温下, 试验机的拉伸速度对试验结果有一定的影响, 拉伸速度太大, 所测的屈服强度或规定比例延伸强度将有不同程度的提高, 因此, GB 228 标准规定, 在测定规定非比例延伸强度及屈服强度和上屈服强度时应按表 2-13 规定的应力速率拉伸。

表 2-13 弹性范围内的拉伸应力速率

金属材料的弹性模量 $E/(\text{N/mm}^2)$	应力速率/ $[(\text{N} \cdot \text{mm}^2)/\text{s}]$	
	最小	最大
$<150\,000$	2	20
$\geq 150\,000$	6	60

测定下屈服强度时, 平行长度内的应变速率在 $0.000\,25 \sim 0.0025 \text{ s}^{-1}$ 之间。若试验机无能力测量或控制应变速率时, 拉伸速率只要控制试验机两夹头在力的作用下的分离应力速率按表 2-13 规定进行即可。测定抗拉强度 R_m 时, 塑性范围平行长度的应变速率 $\leq 0.008 \text{ s}^{-1}$ 弹性范围, 不包括屈服强度和规定强度的测定试验机速率可达塑料范围内允许的最大速率。

高分子材料的拉伸速率, 其确定方法标准有的规定试验机横梁(夹头)移动的速度, 如玻璃钢常规试验拉伸速度为 5 mm/min , 仲裁试验速度为 2 mm/min , 有的规定每分钟拉伸力的增加数 (N/min) 。

4. 拉伸夹具选用不当的影响

在拉伸试验中, 一般不允许对试样施加偏心力, 因为力的偏心易使试验力与试样轴线产生明显偏移。而拉伸夹具选用不当会使试样产生附加弯曲应力, 从而使结果产生误差。同时, 夹具选用不当也极易造成拉伸过程中的打滑现象, 从而造成测试结果的误差。

三、仪器设备故障的影响

1. 仪器设备特别是拉伸试验机本身故障的影响

在试验进行过程中出现故障,也会直接影响其测试结果的准确性和有效性,如材料试验机在拉伸过程中因意外停电或试验机故障,力不能继续加上,在这样情况下该试样应报废,否则,若继续用该试样试验时,对塑性较好的金属材料试样,因已加力产生冷作硬化,使所测得的 R_{eL} 和 $R_{p0.2}$ 升高,从而使断后伸长率降低。

2. 夹具磨损后的影响

试验机夹具一段时间后会因磨损造成拉伸试样夹不紧贴而打滑,这样可使 $F_{0.2}$ 和 F_L 不准确而造成规定比例伸长应力和屈服点升高。

四、环境条件的影响

这里所讲的环境条件影响因素是拉伸检测环境条件,如温度、湿度、振动和电磁干扰等。对拉伸试验影响比较显著的是温度、振动和电磁干扰。

1. 温度的影响

在 GB 228 金属拉伸试验方法标准中,拉伸试验的环境温度条件是 $10\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$,一般金属材料随环境温度的升高所测强度下降,塑性升高,反之则相反。特别是对某些高强度金属材料,温度的影响更大,对于如 30CrMnSiA 这类高强度合金结构钢,冷脆转变温度较高,拉伸试验环境温度对其强度和塑性影响更显著。因此,标准又规定,对于温度要求严格的试验,试验温度应为 $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。

2. 环境振动的影响

振动的环境对拉伸试验结果的影响特别显著,特别是对测试金属材料的规定非比例伸长应力的影响更大。因此,大多数万能材料试验机及电子拉力机使用说明中,都要求设置防振沟,以免周围环境的振动对拉伸试验的影响。

3. 电磁干扰影响

如今家庭工厂和实验室大量使用电器设备,这些电器设备在运行中总会产生电磁干扰,它将对电子拉力机和液压伺服式材料试验机产生严重的干扰,使试验机不能正常运行,甚至导出错误的结果。

五、误差累积方法估计拉伸试验的测量不确定度

影响拉伸试验结果的因素如上所述,具体地说,可以提出下列引起不确定度的原因:

- ①材料的不均匀度，它存在于同一炉材料的一个工艺批内；
- ②试样的几何形状、制备方法和公差；
- ③夹持方法和施力的轴向性；
- ④拉伸试验机和辅助测量系统（刚度、驱动、控制、操作方法）；
- ⑤试样尺寸的测量、标距的标记、引伸计标距、力和伸长的测量；
- ⑥试验的各阶段中的试验温度和加载速率；
- ⑦人为的或与拉伸性能测定相联系的软件误差。

下面对利用误差累积原理计算室温拉伸试验测量不确定度的方法提出要点，并给出一些材料对已知试验参数影响的例子。这一误差累积方法仅仅给出由于测量技术所引起的不确定度的估计，而并非对归因于材料不均匀性而引起试验数据的固有分散性作出容限。

1. 不确定度的估计

(1) 与材料无关的参数

采用常规的方和根方法。表 2—14 给出了各种拉伸性能试验参数的误差与不确定度的期望值。由于应力应变曲线的形状特点，有些拉伸性能原则上能以较高的精密度测定，例如上屈服强度 R_{eH} 仅仅取决于力和横截面积的测量误差；而规定强度 R_p 却取决于力、变形（位移）、标距和横截面积的测量误差。对于断面收缩率 Z ，则需考虑试验前、后横截面积的测量误差。

表 2—14 确定拉伸试验数据的最大允许测量不确定度（使用方和根法）

参数	拉伸性能误差（%）					
	R_{eH}	R_{eL}	R_m	R_p	A	Z
力	1	1	1	1	—	—
应变 ^① （位移）	—	—	—	1	1	—
标距 L_0 ^②	—	—	—	1	1	—
S_0	1	1	1	1	—	1
S_n	—	—	—	—	—	2
不确定度期望值	$\pm\sqrt{2}$	$\pm\sqrt{2}$	$\pm\sqrt{2}$	$\pm\sqrt{4}$	$\pm\sqrt{2}$	$\pm\sqrt{3}$

注：①假定为按时检定过的 1 级引伸计。

(2) 与材料有关的参数

对于室温拉伸试验，材料受应变速率（或应力速率）控制参数影响明显的拉伸性能是 R_{eH} ， R_{eL} 和 R_p 。抗拉强度 R_m 也与应变速率相关，但试验中，通常以比例比 R_p 高得多的应变速率进行试验测定，一般受应变速率的影响呈现较小的敏感性。

原则上，在计算累积误差之前需要测定应变速率对材料性能的影响。表 2—15 和表 2—16 给出了一组用以确定材料受规定应变速率范围影响的典型数据的例子。同时，表 2—15 也给出了应变速率对几种材料的规定强度的影响。

表 2-15 应变速率范围对室温规定强度 $R_{p0.2}$ 影响的例子

材料	标称成分	$R_{p0.2}$ 平均值 (N/mm ²)	应变速率对 $R_{p0.2}$ 的影响(%)	等效误差 (%)
铁素体钢: 管线钢 板钢 (Fe430)	Cr-Mo-V-Fe (其余)	680	0.1	±0.5
	C-Mn-Fe (其余)	315	1.8	±0.9
奥氏体钢: X5CrNiMo17-12-2	17Cr, 11Ni-Fe (其余)	235	6.8	±3.4
镍基合金: NiCr20Ti NiCrCoTiAl25-20	18Cr, 5Fe, 2Co-Ni (其余)	325	2.8	±1.4
	24Cr, 20Co, 3Ti	790	1.9	±0.95
	1.5Mo, 1.5Al-Ni (其余)			

2. 总测量不确定度

将表 2-14 中规定的与材料无关的参数与表 2-15 所给应变速率对规定强度的影响数据进行合成, 即可给出所示各材料的测量不确定度总估计, 见表 2-16。

表 2-16 室温规定强度的总不确定度期望值例子

材料	$R_{p0.2}$ 平均值 (N/mm ²)	取表 2-14 之值 (%)	取表 2-15 之值 (%)	总测量不确定 度期望值 (%)
铁素体钢: 管线钢 板钢 (Fe430)	680	±2	±0.05	±2.0
	315	±2	±0.09	±2.2
奥氏体钢: X5CrNiMo17-12-2	235	±2	±3.4	±3.9
镍基合金: NiCr20Ti NiCrCoTiAl25-20	325	±2	±1.4	±2.4
	790	±2	±0.95	±2.2

为了进行合成总不确定度, 将表 2-15 中允许的应变速率范围内对规定强度影响值取其一半, 表示为等效误差。例如对于 X5CrNiMo17-12-2 不锈钢, 其规定强度 $R_{p0.2}$ 在允许的应变速率范围内受影响为 6.8%, 取一半的值等于在 ±3.4% 的误差。因此其总不确定度为

$$\pm \sqrt{2^2 + 3.4^2} = \pm \sqrt{15.6} = \pm 3.9\%$$

第十节 引伸计

在弹性变形范围内进行力学性能测试的实验中, 试样的变形往往很小, 如测定金属材料弹性模量时, 伸长增量一般仅有数十微米。必须用精度高、放大倍数足够大的仪器来测量。

这种用来测量微小伸长与缩短变形的仪器也叫引伸计。

引伸计一般由三部分组成，即：变形部分——用来直接与试样表面接触，以感受试样变形的机构；传递和放大部分——把所感受的变形加以放大的机构；指示部分——指示或记录变形大小的机构。

各种引伸计能感受到试样上不同长度所发生的线变形。这种长度称为引伸计的标距。一般 0.5~3.0 mm 为小标距，3.0~25 mm 为中标距，25 mm 以上为大标距。如果变形是不均匀的，则应采用小标距，其测量结果便能较好地反映局部变形。

在引伸计标尺（或度盘）上所指示的数值，是变形放大后的数值。设在标距内试样变形实际数值是 ΔL ，在标尺上的读数是 ΔB ，则引伸计的放大倍数为

$$m = \frac{\Delta B}{\Delta L}$$

一般情况是 $m = 30 \sim 2000$ 。

引伸计所能测量变形的最大范围叫量程。当试样变形超过引伸计量程时，就不能使用引伸计了，否则将损伤仪器。

放大倍数和量程是表示引伸计性能的主要参数，试验时要根据要求选用适宜的引伸计。

按引伸计放大机构的原理来分，常用的引伸计有机械式、光学式和电子式三类。

一、机械式引伸计

1. 杠杆式引伸计

杠杆式引伸计是一种机械式引伸计，标距为 10 mm 或 20 mm，加上接长杆后可为 50 mm 或 100 mm。放大倍数为 900~1300，量程为 0.10~0.25 mm。

杠杆式引伸计的工作原理如图 2-26 所示。固定刀刃 2 与主体 1 固接在一起，它与活动刀刃 3 的距离为 L ，是引伸计的标距。使用时，把 2 和 3 刀刃接触到试样上，试样变形而带动刀刃 3 绕其上端支点转动，刀刃 3 与杠杆 4 为一整体一起转动，同时又带动 T 形连杆 5 并推动指针 6 绕其支轴 7 转动。经过一系列杠杆放大，指针便在标尺 8 上给出读数 ΔA ($\Delta A = A_2 - A_1$)。

由杠杆 4 得

$$\frac{\delta}{h_2} = \frac{\Delta L}{h_1}$$

由指针 6 得

$$\frac{\delta}{\Delta A} = \frac{h_3}{h_4}$$

由上两式消去 δ 得

$$\Delta L = \frac{h_1 h_3}{h_2 h_4} \Delta A = \frac{\Delta A}{m}$$

式中 m ——引伸计的放大倍数。

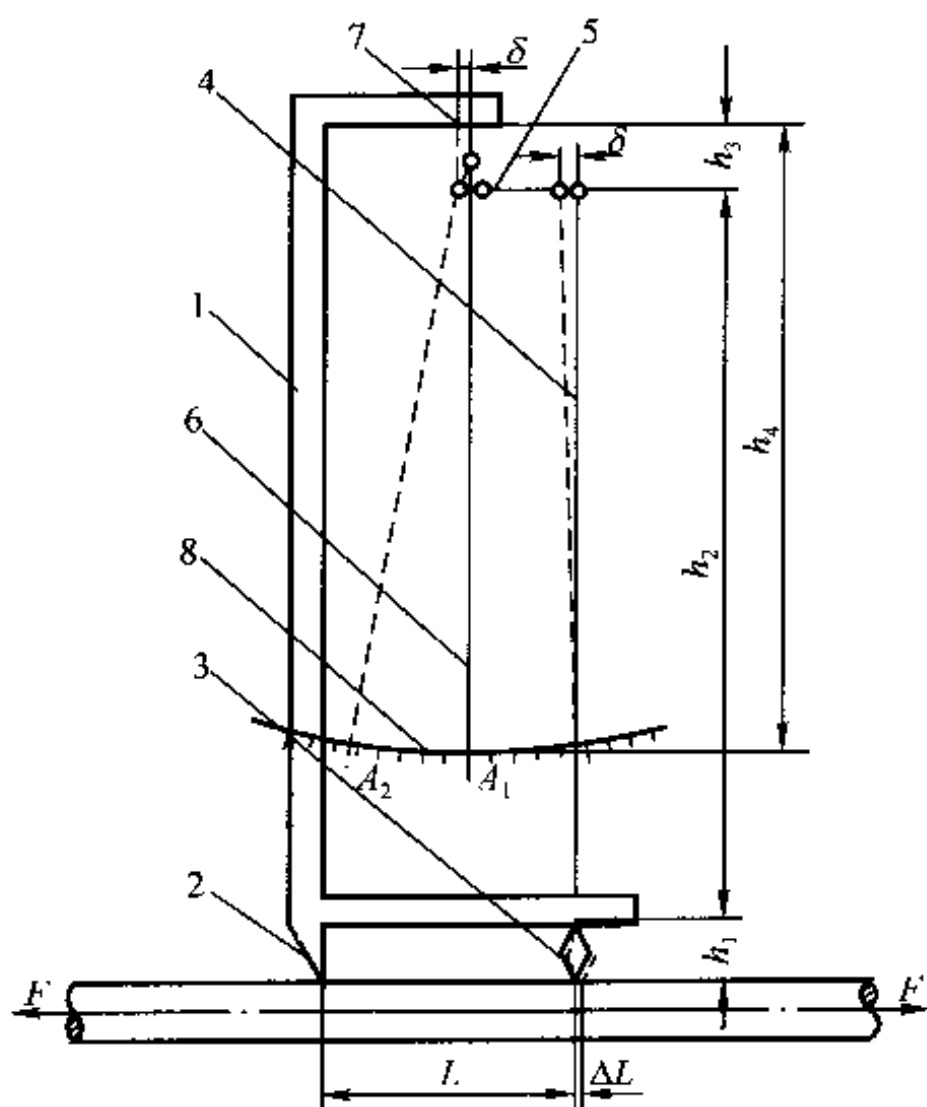


图 2-26 杠杆式引伸计

1—主体；2—固定刀刃；3—活动刀刃；4—杠杆；5—T形连杆；6—指针；7—支轴；8—标尺

h_1 , h_2 , h_3 , h_4 一定, 放大倍数便可确定。但制造时, 不可能保证每个引伸计的尺寸完全相同, 并且使用一段时间后, 经过磨损, 它们的尺寸也会有些变化。所以每个引伸计制成后, 都要经过一次校验, 测定 m 值。使用一定时间后还需要重新校验以测定 m 值。

使用时, 先将夹具装入引伸计安装孔, 然后利用夹具将引伸计装在试样上。夹具的压紧力要适当。过松时, 仪表容易滑动或脱落, 过紧时, 又将导致活动刀刃传动不灵活, 可能给测量数值带来较大的误差, 甚至使夹具和刀刃等受到损伤。

引伸计标距可以根据具体情况而改变。

附加一个标距加长杆, 便可使标距加长。用不同长度的加长杆可使标距在 20~100 mm 范围内改变。

2. 表式引伸计

表式引伸计型式很多, 但基本上都是利用百分表或千分表附加一套变形传递系统而构成。为了消除试样受力偏心所引起的伸长量测量偏差, 目前还较多地使用一种双表式引伸计, 如图 2-17 所示。这种引伸计可同时测出试样对称两侧的伸长量, 然后取其算术平均值作为试样轴向的伸长量。

二、光学式引伸计

镜式引伸计是应用光线反射原理制成的测量变形的仪器。它的准确度较高; 多用于测量拉压弹性变形或校验其他引伸计的精度。

三、电子式引伸计

1. 电阻应变片式引伸计

电阻应变片式引伸计是一种在拉伸试验中常用的变形测量仪器。其结构原理如图 2-27 所示。

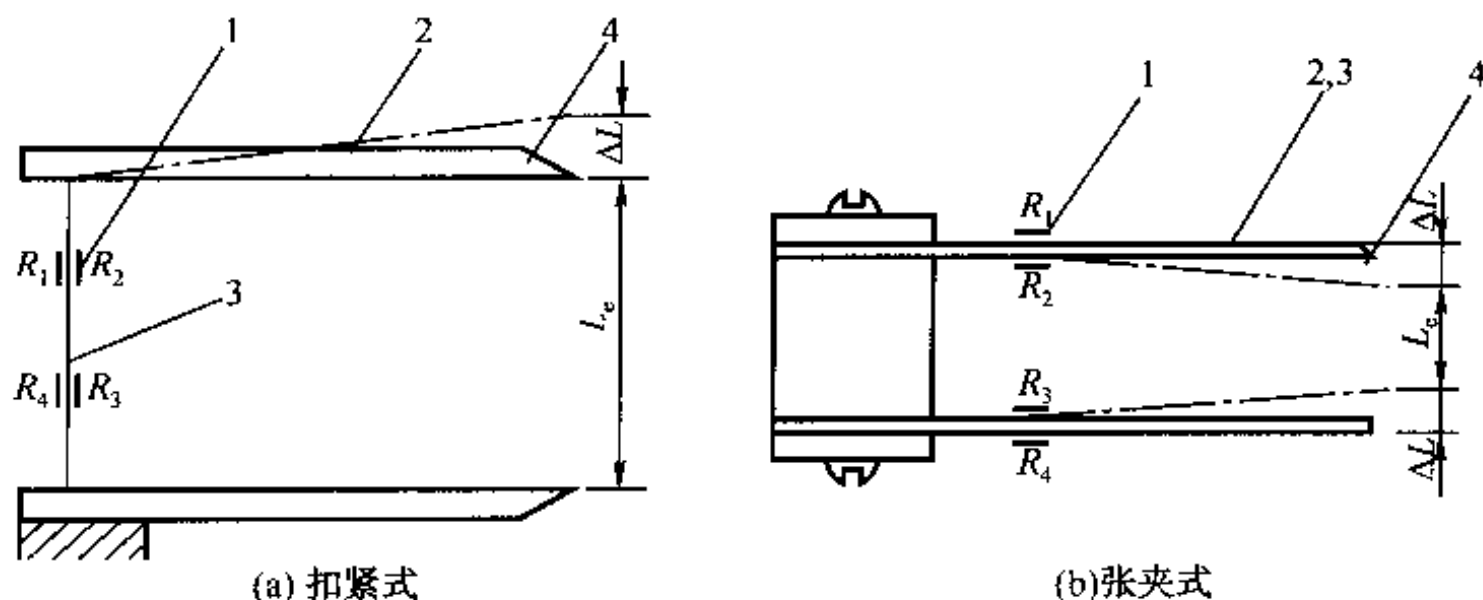


图 2-27 电阻应变片式引伸计

1—电阻应变片；2—变形传递杆；3—弹性元件；4—刀刃

仪器的主要组成部件为电阻应变片 1、变形传递杆 2、弹性元件 3 和刀刃 4 等。 L_e 为引伸计的标距。测量变形时，将引伸计装夹于试样上，刀刃与试样接触而感受变形 ΔL ，通过变形传递杆使弹性元件产生应变 ϵ ，然后再通过粘贴在弹性元件上的应变片把应变量转换为电阻的变化量 ΔR 。由应变电测法原理可知， ΔL 与 ϵ 和 ϵ 与 ΔR 均成线性关系，因此测得 ΔR 后，即可得到所测变形 ΔL 。 ΔL 是一个微量，通常要配一套电子测量仪器（例如动态电阻应变仪和 X-Y 函数记录仪）来进行测量和记录。

使用前，必须对引伸计进行标定。所谓标定，就是给定引伸计两刀刃间以一定的标准位移，并测出引伸计的相应输出量（电量），从而确定标准位移与输出量的对应关系。标定时，如图 2-28 所示，先将引伸计 4 装夹到变形校准器 1 上，并连接好测量系统，包括动态电阻应变仪 5 和 X-Y 函数记录仪 6 等。一般将电阻应变仪输出信号接到 X-Y 函数记录仪的 X 坐标轴上。

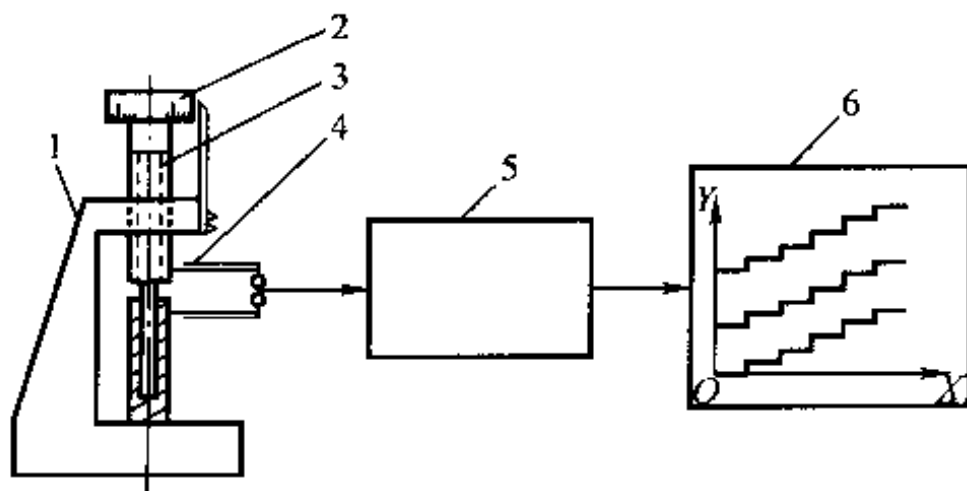


图 2-28 引伸计的标定

1—变形校准器；2—刻度盘；3—螺杆；4—引伸计；5—放大器（动态电阻应变仪）；6—X-Y 函数记录仪

标定前，先调整好测量系统的平衡，选择好仪器的有关参数（例如应变仪的衰减量，X—Y 仪的量程范围等），置 X—Y 函数记录仪的记录笔于“零”位。然后转动校准器的刻度盘 2，使精密螺杆 3 移动，引伸计感受给定的标准位移值。经过转换、传递、放大，将电信号输给 X—Y 函数记录仪，推动记录笔沿 X 坐标轴移动即可得到相应的移动格数。再用标准位移除以格数，可得每格所代表的位移值（mm/分格），这一数值便作为引伸计的标定值。

在标定完成以后，引伸计便可使用。应当指出，使用时整个测量系统的有关参数必须与标定时的相同，否则标定值将不再是正确的。

2. 差动变压器式引伸计

此仪器使用时先用夹具将它装夹于试样上，如图 2—29 所示。其变形传递杆 4 的刀刃 5 与试样 6 接触，刀刃之间的距离 L_e 是引伸计的标距。当试样变形时刀刃感受变形，其中一根变形传递杆绕支点 3 转动，推动差动变压器 1 的铁心 2 移动，差动变压器即可将位移量转换成电量输出，经放大、相敏检波等处理后，将信号输给 X—Y 函数记录仪进行记录。

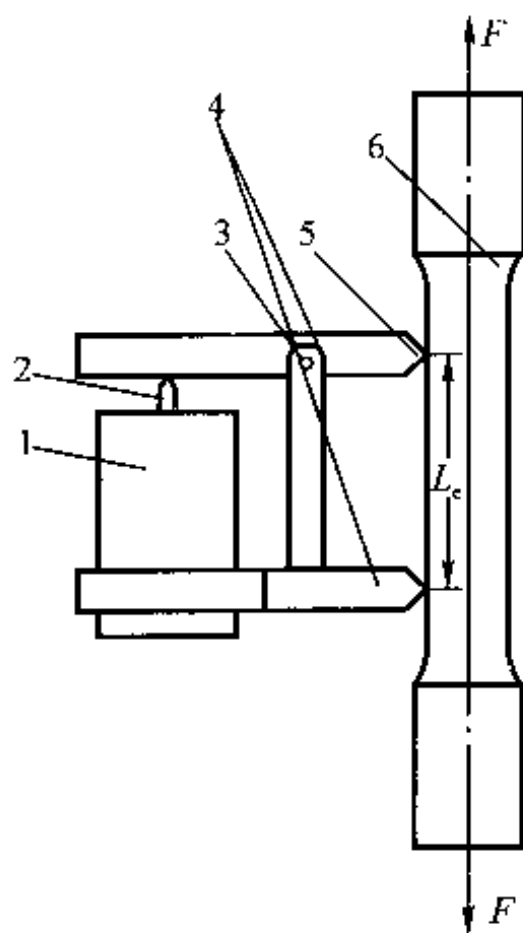


图 2—29 差动变压器式引伸计

1 差动变压器；2 铁心；3—支点；4 变形传递杆；5 刀刃；6—试样

差动变压器式引伸计使用前也要进行标定，标定方法与电阻应变片式引伸计相同。

思考题

1. 金属材料拉伸试验可测得哪些力学性能指标？这些指标有什么工程意义？
2. 高分子材料拉伸试验可测得哪些力学性能指标？

3. 试描述具有屈服现象的低、中碳钢材料拉伸时有什么不同的变形阶段？这些变形阶段的特征是什么？
4. 如何使用杠杆引伸计对金属材料的规定非比例延伸强度和规定残余延伸强度进行测定？
5. 光滑的圆柱形金属试样在拉伸后断口呈何状态？有哪些区域？试画出示意图。
6. 何谓比例试样？何谓定标距试样？
7. 试分析同一材料的试样，在拉伸试验中长标距与短标距对断后伸长率的影响。
8. 在 GB 228 金属拉伸方法标准中对计算横截面积，原始标距和计算强度，断后伸长率及断面收缩率的数据修约有何规定？
9. 材料力学性能测定结果的数据有效性有哪些要求？
10. 金属拉伸试验断后伸长率如何用移位法进行测定？仲裁试验有什么要求？
11. 有一 $\bar{d}_0 = 10.0 \text{ mm}$ 和 $L_0 = 100 \text{ mm}$ 的长比例低碳钢试样，拉伸试验时测得 $F_{eL} = 2100 \text{ N}$ ， $F_m = 29\ 000 \text{ N}$ ， $d_1 = 5.65 \text{ mm}$ ， $L_1 = 138 \text{ mm}$ ，试计算确定 R_{eL} ， R_m ， A ， Z 。
12. 弹性模量定义是什么？在进行试验时，应注意哪些问题？
13. 影响拉伸试验结果的主、客观因素是什么？在试验操作时应怎样处理？

第三章 金属材料和高分子材料的弯曲、压缩和剪切试验

第一节 金属材料和高分子材料的弯曲试验及其试验方法标准

在工程和建筑上，很多构件和零部件是在弯曲负荷作用下工作的，如桥式起重机的横梁、火车的轮轴、电缆桥架、高分子材料的通风和输液管道等。我们常用弯曲试验（高分子材料抗折试验）来评定材料的抗弯强度（抗折强度）及塑性变形大小。弯曲试验依其加载方式的不同，又分为三点弯曲和四点弯曲试验两种。弯曲试验所要求的试样形状简单（一般有圆形和矩形两种），弯曲试验操作相对于拉伸试验要方便得多，而且很适用于低塑性材料受弯曲载荷条件下的力学性能测试，如铸铁、硬质合金陶瓷和高分子材料。

一、弯曲试验原理

1. 加载的应力状态

从加弯曲加载的应力状态来看，受拉的一面基本上和静拉伸的应力状态相同，弯曲试验中，常使用两种加载方法，即三点弯曲法（见图 3-1）和四点弯曲法（见图 3-2）。

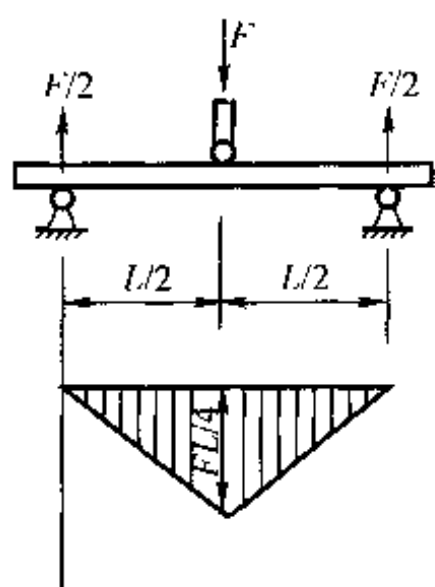


图 3-1 三点弯曲加载方法示意图

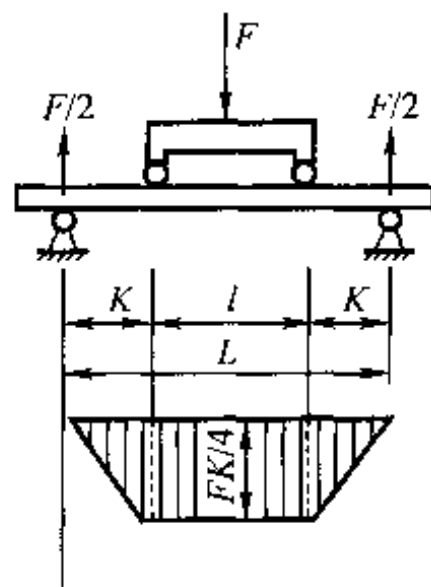


图 3-2 四点弯曲加载方法示意图

三点弯曲加载时，由于在支距中部施加集中载荷 F ，故中央处弯矩最大($M=FL/4$)，因而在该处破裂。四点弯曲时，这种加载方法使弯矩较均衡地分布在试样的工作长度上形成等弯矩区，如图 3-2 所示，因而试验时试样会在该长度上的任何薄弱处破裂，故试验的结果也较准确。而三点弯曲试验由于集中加载，弯矩分布不均匀（如图 3-1 所示），所以某些部

位的缺陷不易显示出来。但三点弯曲加载方法简单，而四点弯曲的压夹结构比较复杂，在一般的工厂实验室中不采用四点弯曲而采用三点弯曲。

2. 最大弯曲应力公式

对于矩形截面试样，当采用四点弯曲加载方法做纯弯曲试验时，从变形几何方程和静力学平衡方程导出了梁在弹性变形范围内横截面上任意一点的弯曲应力，按式 (3-1) 计算。

$$\sigma = \frac{MY}{I} \quad (3-1)$$

式中 σ —— 弯曲应力 (N/mm^2)；

M —— 弯曲力矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$)；

I —— 试样横截面对中性轴的惯性矩 (mm^4)；

Y —— 试样外测表面到中性轴的距离 (mm)。

因公式 (3-1) 中 M 和 I 的大小由试样横截面的尺寸大小决定，所以横截面上任意一点弯曲应力的大小随 Y 而变化， Y 为正值试样受拉， Y 为负值试样受压，如图 3-3 和图 3-4 所示。

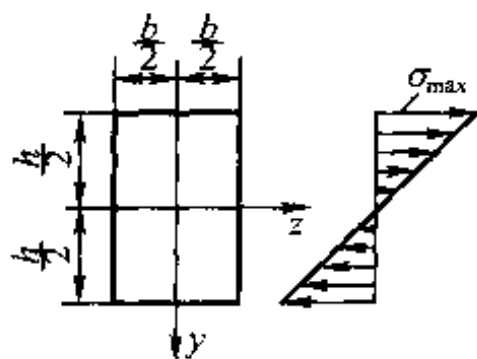


图 3-3 矩形截面弯曲应力大小及分布示意图

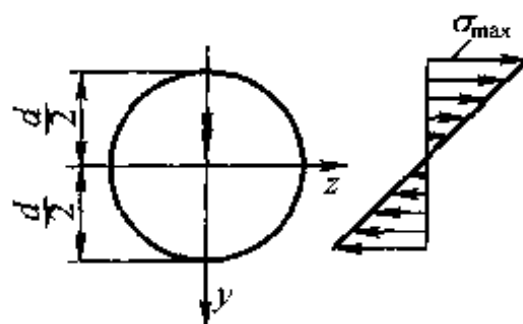


图 3-4 圆形截面弯曲应力大小及分布示意图

当 Y 和 M 为最大值时，可得至横截面上的最大弯曲应力公式 (3-2) 为

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \frac{M_{\max} Y_{\max}}{I} = \frac{M_{\max}}{I/Y_{\max}} = \frac{M_{\max}}{W} \quad (3-2)$$

式中 $\sigma_{\max} (\sigma_{\min})$ —— 最大弯曲应力 (N/mm^2)；

M_{\max} —— 最大弯矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$)；

W —— 抗弯断面系数 (mm^3)。

当矩形样高为 h ，宽为 b 时， $I = bh^3/12$ ， $Y_{\max} = h/2$ ， $W = bh^2/6$ 。

当用直径为 d 的圆形试样时， $I = \pi d^4/64$ ， $Y_{\max} = d/2$ ， $W = \pi d^3/32$ 。

对于宽度为 b ，高度为 h 的矩形，其三点弯曲试样的抗弯强度计算公式 (3-3) 为

$$\sigma_{bb} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (3-3)$$

式中 σ_{bb} —— 弯曲抗弯强度 (N/mm^2)；

F —— 三点弯曲最大破坏载荷 (N)；

L ——三点弯曲下支点跨距(mm);

b ——矩形试样宽度(mm);

h ——矩形试样高度(mm)。

四点弯曲矩形试样弯曲强度公式 (3-4) 为

$$\sigma_{bb} = \frac{3F(L-l)}{2bh^2} \quad (3-4)$$

式中 F ——四点弯曲最大破坏载荷 (N);

L ——四点弯曲下支点跨距 (mm);

l ——四点弯曲上支点跨距 (mm);

b ——矩形试样宽度 (mm);

h ——矩形试样高度 (mm)。

直径为 d 的圆柱形三点弯曲试样抗弯强度计算公式 (3-5) 为

$$\sigma_{bb} = \frac{8LF}{\pi d^3} \quad (3-5)$$

式中 σ_{bb} ——弯曲强度(N/mm²);

L ——三点弯曲下支点跨距(mm);

F ——三点弯曲最大破坏载荷(N);

d ——抗弯曲试样直径(mm)。

二、弯曲曲线 ($M-f$ 曲线或 $F-f$ 曲线)

弯曲试验时,为了测量弯曲载荷作用下材料变形量,通常在支座中心测量试样的变形挠度值 f ,然后将弯矩 M (或弯曲载荷 F) 与试样的挠度 f 的关系在直角坐标上用曲线表示出来称为弯曲曲线,图 3-5 为塑性材料的弯曲曲线。

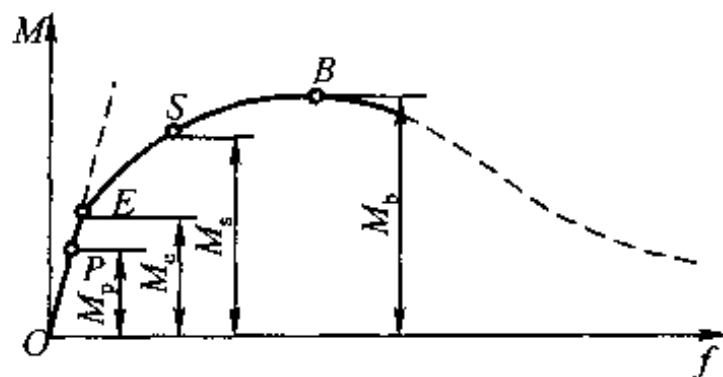


图 3-5 塑性材料的弯曲曲线

从图 3-5 中看出,当试样弯曲变形进行到 P 点时,弯曲力矩 M 与挠度 f 仍保持正比关系,进行到 E 点时,挠度 f 为弹性变形。超过 E 点时则除弹性变形外同时还产生一定的塑性变形,到 B 点时,弯曲力矩为最大值 M_b ,这一关系曲线和拉力—伸长曲线相似。 B 点以

后的延长线说明塑性金属材料在进行弯曲试验时，一般未断裂，因此，对塑性金属材料，弯曲试验一般只作弹性极限和弯曲屈服强度和冷弯工艺试验，不作抗弯强度试验。

三、弯曲试验的特点

弯曲试验与拉伸试验比较，其优点是

- (1) 对脆性材料拉伸试验时变形较小就断裂了，而弯曲试验可用挠度表示脆性材料的塑性。
- (2) 弯曲试验不受试样偏斜的影响，可较容易地测试脆性材料的抗弯强度。
- (3) 对塑性材料进行弯曲试验通常达不到破坏的程度，除某些金属材料和弯曲工艺性试验外，一般不作弯曲强度试验。
- (4) 弯曲试验试样形状简单（一般有圆形、方形和矩形三种）。
- (5) 弯曲试验的试验操作相对于拉伸试验要简单方便得多。

四、金属弯曲力学性能试验方法标准 GB/T 14452

用三点弯曲或四点弯曲试验测定脆性和低塑性金属材料的弯曲弹性模量 E_b ，规定非比例弯曲应力 σ_{pb} ，规定残余弯曲应力 σ_{rb} ，抗弯强度 σ_{bb} ，挠度 f 和断裂挠度，弯曲断裂能量 U 。

（一）名词解译

弯曲弹性模量 E_b ：弯曲应力与弯曲应变呈线性比例关系范围内的弯曲应力与弯曲应变之比。

规定非比例弯曲应力 σ_{pb} ：弯曲试验中，试样弯曲外表面上的非比例弯曲应变达到规定值时，按弹性弯曲应力计算的最大弯曲应力。

规定残余弯曲应力 σ_{rb} ：对试样施加弯曲力和卸除此力后，试样弯曲外表面上的残余弯曲应变达到规定值时，按弹性弯曲应力公式计算的最大弯曲应力。

抗弯强度 σ_{bb} ：试样弯曲断裂，断裂前所达到的最大弯曲力，按弹性弯曲应力公式计算的最大弯曲应力。

挠度 f ：试样弯曲时，其中性线偏离原始位置的最大距离断裂挠度 f_{bb} ，试样弯曲断裂时的挠度。

弯曲断裂能量 U ：试样弯曲至断裂所需的能量。

（二）试样

1. 试样的形状尺寸

金属弯曲试验采用的试样形状有圆形横截面和矩形横截面两种。试样的形状、尺寸及弯曲试验参数公差见表 3-1 和表 3-2。

表 3-1 一般金属材料弯曲试验试样尺寸和试验参数 mm

试样	试样 直径 d	试样高×宽 $h \times b$	二点弯曲		四点弯曲		支承滚柱直径 D_s 、 施力滚柱直径 D_f
			跨距 L_s	长度 L	跨距 L_s	长度 L	
圆形横截面	5		$\geq 16d$	$L_s \cdot 20$			10
	10						
	13						
	20			20 或 30			
	30			30			
	40						
矩形横截面 (硬金属用)		5×5	30	35			5
		5.25×6.5	14.5	20			
矩形横截面		5×5	$\geq 16h$	$L_s \cdot 20$	$\geq 16h$	$L_s + 20$	5
		5×7.5		10			
		10×10					
		10×15					
		13×13					
		13×19.5					
		20×20	$L_s + h$	$L_s + h$	20 或 30		
		20×30			30		
		30×30					
		30×40					

表 3-2 薄板金属材料弯曲试验试样尺寸和参数 mm

薄板试样横截面尺寸		试样高度 h	跨距 L_s	试样长度 L	刀刃半径 R
产品宽度					
≤ 10	> 10				
$b \times h$	$10 \times h$	0.25~0.5	100~150 h	250 h	0.10~0.15
		$> 0.5 \sim 1.5$	50~100 h	160 h	
		$> 1.5 \sim \leq 5$	80~120	110~150	2.5

2. 取样要求

弯曲试样的取样部位按有关标准规定，标准无明确要求时按 GB/T 2975 取样部位规定。但取样和试样加工的方法以不改变材料的弯曲力学性能为原则。

3. 试样的尺寸和形状公差要求

若标准无规定则按表 3-3 执行。

表 3-3 弯曲力学性能的试样尺寸和形状公差表

mm

试样横截面尺寸范围	非机加工试样		机加工试样	
	尺寸公差	形状公差	尺寸公差	形状公差
$>3\sim5$	± 0.5	标称尺寸的 3%	± 0.05	0.03
$>5\sim10$	± 1.0		± 0.10	0.05
$>10\sim20$	± 1.5		± 0.15	0.08
$>20\sim45$	± 2.0		± 0.20	0.10

4. 试样表面粗糙度的要求

铸造试样若表面需加工粗糙度 $R_a \leq 3.2$ ，硬金属 $R_a \leq 0.4$ ，并且硬金属矩形样的四条棱角应进行 45° 角倒棱；棱宽 ≤ 0.5 mm。薄板两个宽面应保留原表面；板宽两侧面粗糙度 $R_a \leq 6.3$ ；其他试样长度范围内加工表面粗糙度 $R_a \leq 0.8$ 。

5. 试样平直度要求

试样应平直，从盘卷抽取的薄板试样允许稍有弯曲，但曲率半径与厚度之比应大于 500。不允许对试样进行矫直或矫平。

6. 试样数量

薄板试样至少取 6 个样，试验时拱面向上和向下各试验 3 个。圆形矩形横截面试样一般每个试验点需试验 3 个试样。

(三) 试样尺寸测量

1. 圆形横截面试样的测量

应在跨距两端和中间处相互垂直的方向测量其直径。计算弯曲弹性模量时，取用三处直径测量值的算术平均值；计算弯曲应力时，取用中间处直径测量的算术平均值。

2. 矩形横截面试样的测量

应在跨距两端和中间处分别测量其高度和宽度。计算弯曲弹性模量时，取用三处高度测量值的算术平均值和三处宽度测量值的算术平均值。计算弯曲应力时，取用中间处测量的高度和宽度测量值。对于薄板试样，高度测量值超过其平均值 2% 的试样不应用于试验。

3. 尺寸测量的量具精度和测量值读数精度要求

量具精度要求见表 3-4。

表 3-4 弯曲试验性能试样测量的量具精度要求

mm

尺寸范围	测量工具最小分度值不大于
0.25~1.0	0.002
$>1.0\sim20$	0.01
>20	0.02

注：测量尺寸时，应估读到最小分度的半个分度值。

(四) 弯曲试验装置

1. 三点弯曲试验装置

如图 3—6 (a) 所示, 两支承滚柱的直径应相同, 施力滚柱直径一般与支承滚柱的直径相同。滚柱直径按表 3—1 弯曲试验参数规定执行。两支承滚柱的轴线和施力滚柱的轴线应平行, 施力滚柱的轴线至两支承滚柱的轴线的距离应相等。偏差应不大于 $\pm 0.5\%$ 。试验时, 力的作用方向应垂直于两支承滚柱的轴线所在平面。同时, 试验时, 滚柱应能抗其轴线转动 (有关标准另作规定除外), 但不应发生相对位移。两支承滚柱间的距离应可调节, 应带有指示距离的标记。跨距应精确到 $\pm 0.5\%$ 。滚柱的硬度应不低于试样的硬度。滚柱的表面粗糙度 $R_a \leq 0.8$ 。

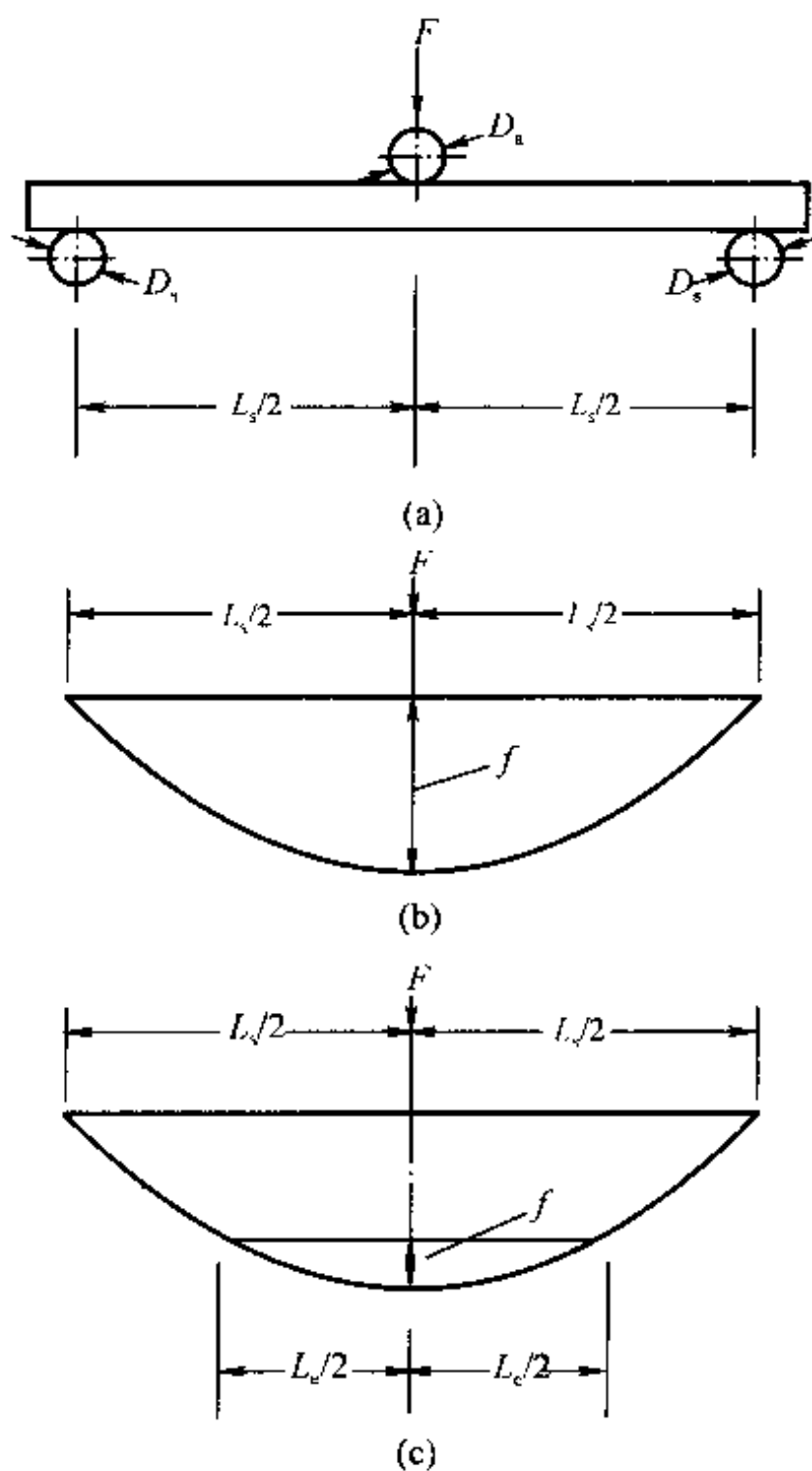


图 3—6 三点弯曲试验示意图

2. 四点弯曲试验装置

如图 3-7 (a) 所示, 两支承滚柱和两施力滚柱的直径应分别相同, 前者与后者的直径一般相同, 按表 3-1 选用。滚柱的长度应大于试样的直径或宽度。两支承滚柱的轴线和两施力滚柱的轴线应相平行。前两者所在的平面与后两者所在的平面平行。两力臂应相等, 且不小于跨距的 $1/4$ 。力臂应精确到 $\pm 0.5\%$ 。试验时, 施力者拉的力的作用方向应垂直于支承滚柱的轴线所在的平面, 试验时滚柱应能抗其轴线转动而不发生相对位移。两支承滚之间距离应能调节并带有距离标记。跨距应精确到 $\pm 0.5\%$, 滚柱的硬度和表面粗糙度要求与三点弯曲装置要求相同。

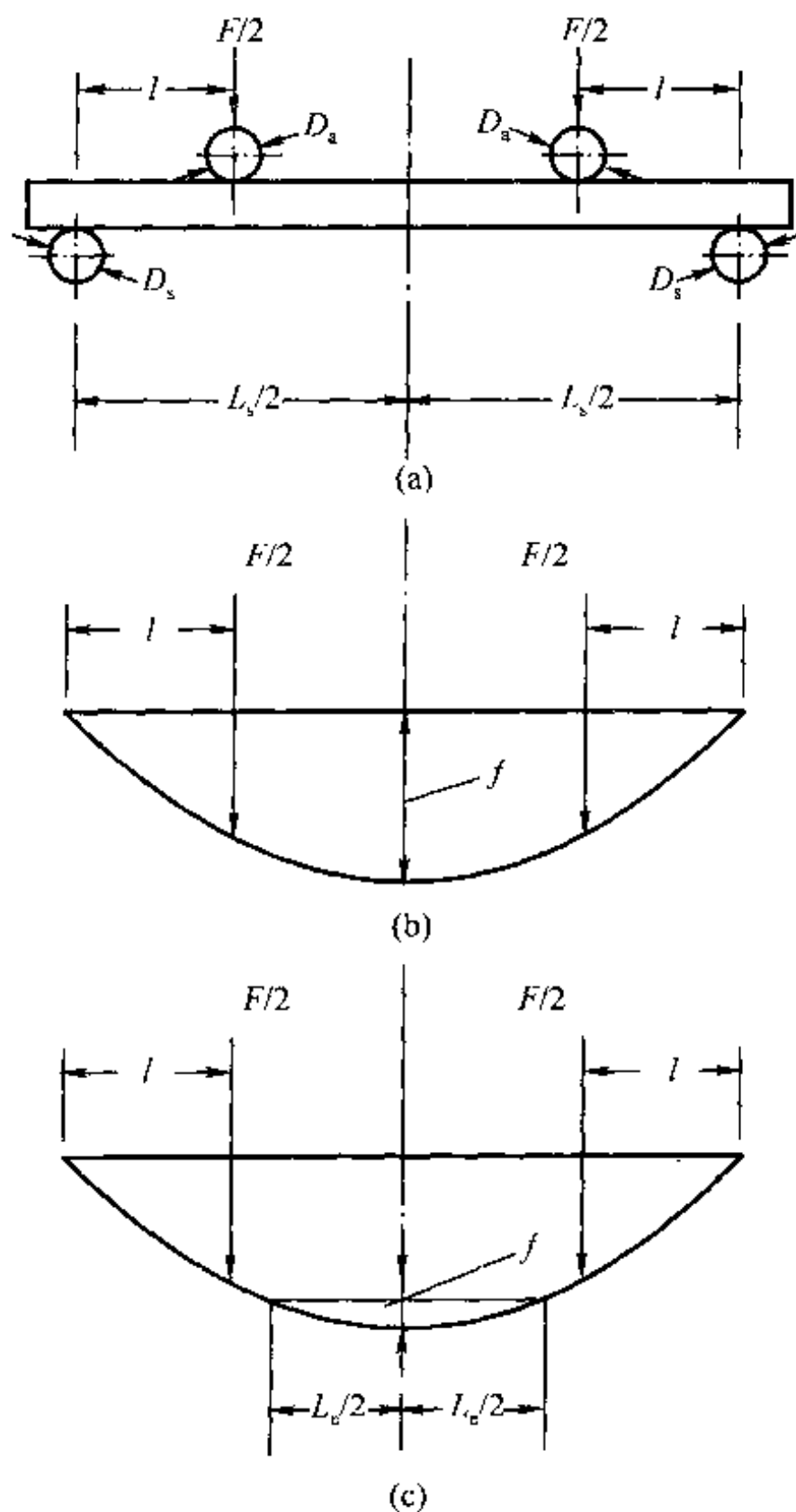


图 3-7 四点弯曲试验示意图

3. 薄板试样用三点弯曲试验装置

如图 3—8 所示，支承刀和施力刀的刀刃半径应在 $0.10 \sim 0.15 \text{ mm}$ 范围内，刀刃角度为 $60^\circ \pm 2^\circ$ ，其中一个支承刀刃和施力刀均为平直刀刃。刀刃长度应大于试样宽度，另一支承刀刃呈圆拱形，其半径为 $(13 \pm 1) \text{ mm}$ 。施力刀的刃线应平行支承刀的刃线及支承刀的刃线与另一支承点所在平面。施力刀刃的力作用方向应垂直于支承刀的刃线与另一支承点所在平面。施力刀刃应位于两支承刀刃间的中点，偏差不大于 $\pm 0.5\%$ ，两支承刀刃之间的距离应可调节，并带有指示距离的标记。跨距应精确到 $\pm 0.5\%$ ，支承刀和施力刀的硬度应不低于试样的硬度。刀刃表面应光滑。

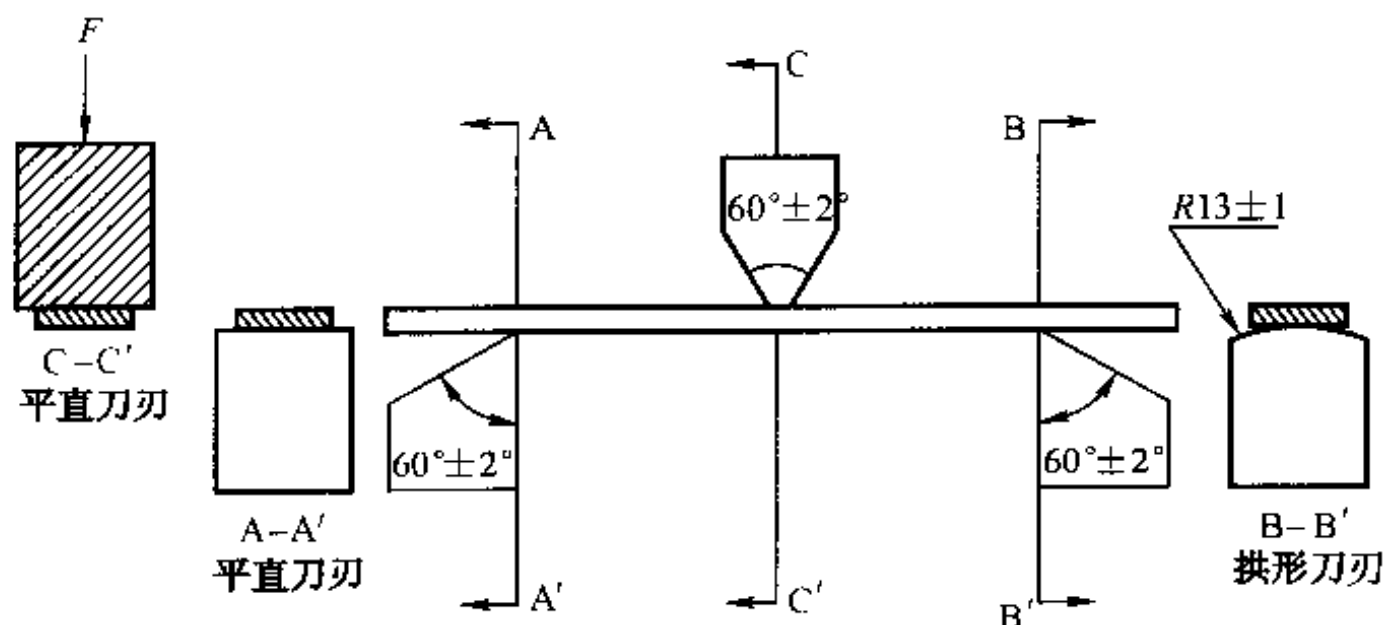


图 3—8 薄板三点弯曲试验示意图

(五) 试验条件要求

1. 挠度计的选用

应遵循表 3—5 的规定。

表 3—5 挠度计选用表

性 能	规定非比例弯曲应变 (%)	允许挠度计位移示值相对误差 (%)
E_b (弯曲弹性模量)		± 0.3
σ_{pb} (规定非比例弯曲应力) σ_{rh} (规定残余弯曲应力)	< 0.05	± 0.3
	$> 0.05 \sim 0.2$	± 0.5
	> 0.2	± 1.0
U (断裂能量) f_{bb} (断裂挠度)		± 1.0

2. 挠度计

挠度计跨距与其标称值之差应不大于 $\pm 0.5\%$ ，采用挠度计测量试样挠度时，挠度计本身对试样产生的附加弯曲应力应不大于试验中所施加弯曲力的 0.05% ，若采用千分表测量就无此项要求。

3. 试验条件

要求之一是室温度在 $10 \sim 35^\circ\text{C}$ 下进行，之二是弯曲应力的增加速率应控制在

3~30 MPa/s 范围内。

4. 安全防护装置

试验时, 为防试样断裂碎片飞出伤害试验人员, 应设置安全防护罩。

(六) 测试方法

1. 弯曲弹性模量的测定

(1) 人工记录法

将挠度计或千分表测头装置于测量位置上, 试样对称地安放在弯曲试验装置上。对试样施加相当于 $\sigma_{pb0.01}$ ($\sigma_{rb0.01}$) 10% 以下的预弯曲力 F_0 , 并记录此力和跨距中点的挠度值, 然后对试样连续施加弯曲力, 直至相应于 $\sigma_{pb0.01}$ (或 $\sigma_{rb0.01}$) 50% 记录弯曲力的增量和相应挠度增量。按公式 (3-6) (三点弯曲) 和 (3-7) (四点弯曲) 计算弯曲弹性模量:

$$E_b = \frac{L_s^3}{48I} \left(\frac{\Delta F}{\Delta f} \right) \quad (3-6)$$

$$E_b = \frac{l(3L_s^2 - 4l^2)}{48I} \left(\frac{\Delta F}{\Delta f} \right) \quad (3-7)$$

式中 L_s —— 试样跨距 (mm);

I —— 试样截面惯性矩 (mm^4), 其中圆形横截面试样为 $I = \frac{1}{64} \pi d^4$, 矩形横截面试样

为 $I = \frac{bh^3}{12}$;

d —— 圆柱试样直径 (mm);

b —— 矩形试样宽度 (mm);

h —— 矩形试样厚度 (mm);

l —— 力臂 (mm);

ΔF —— 弯曲应力增量 (MPa);

Δf —— 挠度值增量 (mm)。

(2) 图解法 (见图 3-9)

将挠度计装置于测量位置上, 挠度计跨距的端点与最邻近支承点或施力点的距离应不小于试样的高度或直径。试样对称地安放在弯曲试验装置上, 对试样连续施加弯曲力, 同时采用自动方法连续记录弯曲力—挠度曲线直至超过相应于 $\sigma_{pb0.01}$ (或 $\sigma_{rb0.01}$) 的弯曲力。记录时, 建议力轴比例和挠度轴放大倍数的选择宜使曲线弹性直线与力轴的夹角不小于 40° , 弹性直线段的高度应超过力轴量程的 $3/5$ 。在记录的曲线图上, 借助于直尺的直边确定最佳弹性直线段。读取该直线段的弯曲力增量和相应的挠度增量, 再按三点弯

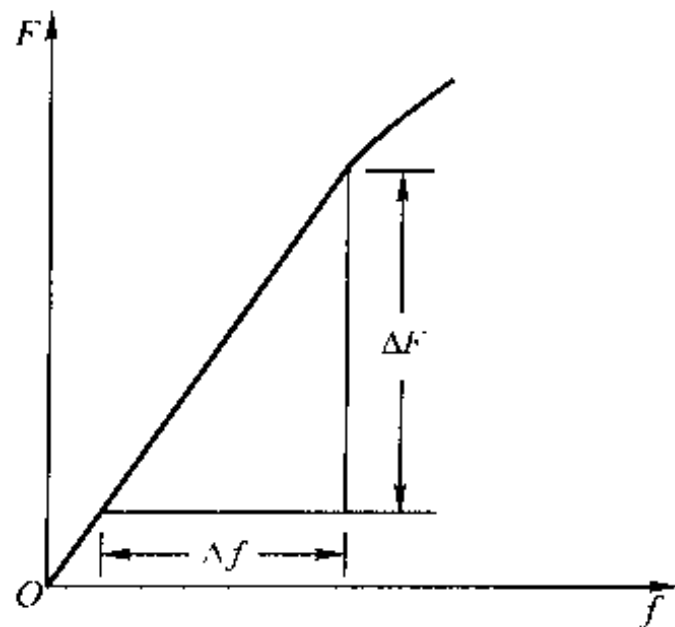


图 3-9 图解法测定弯曲弹性模量曲线图

曲公式 (3-6) 和四点弯曲公式 (3-7) 计算弯曲弹性模量。

2. 抗弯强度的测定

将试样对称地安放于弯曲试验装置上, 对试样连续施加弯曲力, 直至试样断裂。从试验机测力度盘上或从记录的弯曲力-挠度曲线上读取最大弯曲力 F_{bb} , 三点弯曲按式 (3-8) 和四点弯曲按式 (3-9) 计算抗弯强度。

$$\sigma_{bb} = \frac{F_{bb} L_s}{4W} \quad (3-8)$$

$$\sigma_{bb} = \frac{F_{bb} l}{2W} \quad (3-9)$$

式中 σ_{bb} ——抗弯强度 (MPa);

F_{bb} ——最大弯曲力 (N);

L_s ——跨距 (mm);

l ——力臂 (mm);

W ——试样截面系数 (mm^3)。

对圆形试样有

$$W = \frac{1}{32} \pi d^3$$

对矩形试样有

$$W = \frac{1}{6} b h^2$$

式中 d ——圆形截面试样直径 (mm);

b ——矩形截面试样宽度 (mm);

h ——矩形截面试样厚度 (mm)。

3. 断裂挠度的测定

将试样对称地安放于弯曲试验装置上, 按三点弯曲或四点弯曲方式, 对试样连续加弯曲力, 直到试样断裂。试样断裂瞬间跨距中点的挠度即为断裂挠度 f_{bb} , 此方法用于仲裁试验。测定断裂挠度一般可与测定抗弯强度在同一试验中进行。可以利用试验和横梁位移测定断裂挠度。但应修正试验和柔性等因素影响。

4. 断裂能量的测定

将试样对称地安放于弯曲试验装置上。按三点弯曲试验方式对试样连续加弯曲力, 测量试样在跨距中点的挠度, 用自动方法连续记录弯曲力-挠度曲线直至试样断裂, 见图 3-10。

在记录曲线图上, 用面积仪或其他方法求得弯曲力-挠度曲线下方的面积 S , 精确至 $\pm 2\%$, 按式 (3-10) 计算弯曲断裂能量。

$$U = \frac{ZS}{n} \times 10^{-3} \quad (3-10)$$

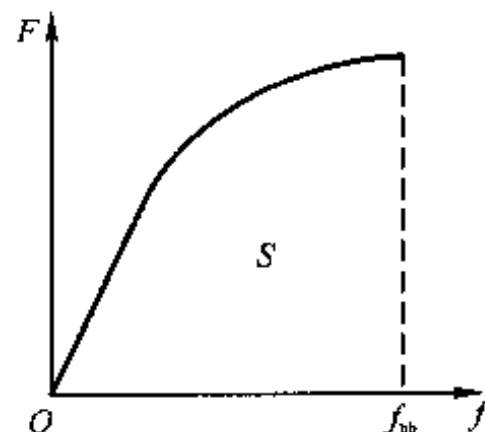


图 3-10 图解法测定弯曲断裂能量曲线图

式中 U ——弯曲断裂能量 (J);
 Z ——力轴每毫米代表的力值 (N/mm);
 S ——弯曲试验曲线 T 包围的面积 (mm²);
 n ——挠度放大倍数。

5. 测试结果数值的修约

测试结果数值按表 3-6 修约。

表 3-6 弯曲测试结果的修约值规定

性能	范围	修约到
E_b	$\leq 150\,000\text{ MPa}$	500 MPa
	$> 150\,000\text{ MPa}$	1000 MPa
$\sigma_{pb}, \sigma_{rb}, \sigma_{bb}$	$\leq 200\text{ MPa}$	1 MPa
	$> 200 \sim 1000\text{ MPa}$	5 MPa
	$> 1000\text{ MPa}$	10 MPa
F_{bb}		0.1 mm
U	$< 10\text{ J}$	0.05 J
	$> 10\text{ J}$	0.1 J

五、非金属材料——玻璃纤维增强塑料弯曲性能试验方法(GB/T 1449)

(一) 适用范围

1. 适用对象

测定玻璃纤维织物增强塑料板材和短切玻璃纤维增加塑料的弯曲性能。

2. 弯曲试验的方法

采用三点弯曲试验方法。

3. 测定的弯曲性能内容

①弯曲弹性模量 E_t ; ②弯曲挠度 f ; ③弯曲强度 σ_t 。

4. 试样形式

矩形试样。

(二) 试样

1. 试样形式

如图 3-11 所示。

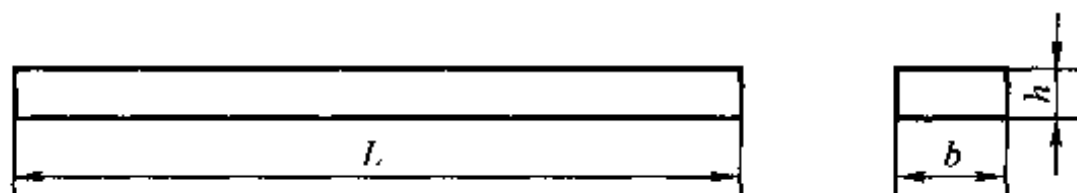


图 3-11 玻璃纤维增强塑料弯曲试样示意图

2. 试样尺寸要求

如表 3-7 所示。

表 3-7 弯曲试样尺寸要求表

mm

名义厚度 h	宽度 b	长度 L_{min}
$1 < h \leq 10$	15 ± 0.5	$20h$
$10 < h \leq 20$	30 ± 0.5	
$20 < h \leq 35$	50 ± 0.5	
$35 < h \leq 50$	80 ± 0.5	

仲裁试样尺寸见表 3-8。

表 3-8 玻璃纤维增强塑料仲裁试样尺寸

mm

材料	厚度 h	宽度 b	长度 L
玻璃纤维织物增强塑料	4 ± 0.2	15 ± 0.5	≥ 80
短切玻璃纤维增强塑料	6 ± 0.2	15 ± 0.5	≥ 120

(三) 试验条件

1. 试验装置

三点弯曲试验装置如图 3-12 所示。

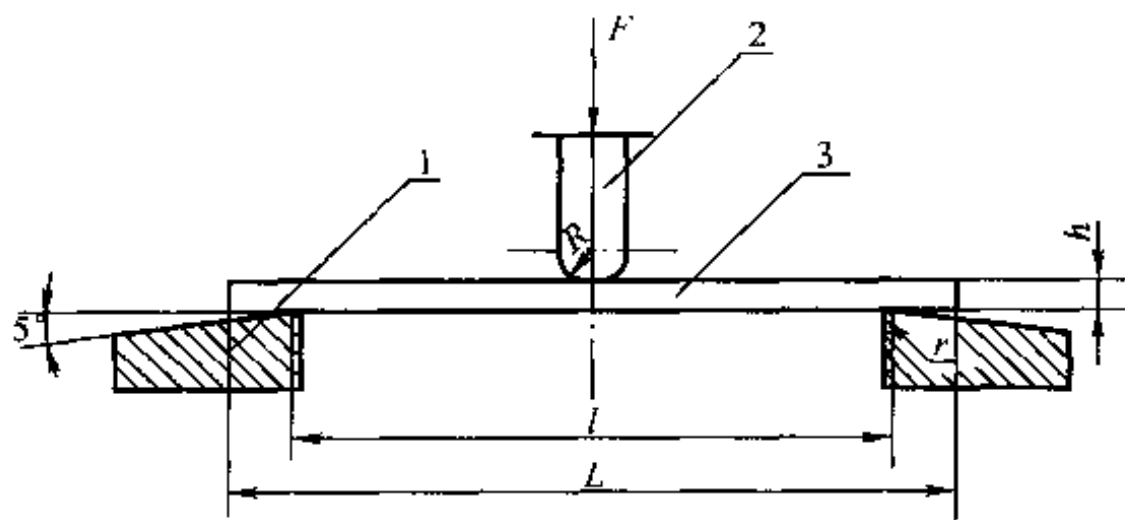


图 3-12 玻璃纤维增强塑料弯曲性能试验装置示意图

1—试样支座；2—加载上压头；3—试样； l —跨距； F —载荷； L —试样长度； h —试样厚度； R —加载上压头半径； r —支座圆角半径

加载压头：加载上压头应为圆柱面，其半径 $R=5\pm 0.1\text{ mm}$ ，支座圆角半径为 r 。

①试样厚度 $h>3\text{ mm}$ 时， $r=2\pm 0.2\text{ mm}$ 。

②试样厚度 $h\leq 3\text{ mm}$ 时， $r=0.5\pm 0.2\text{ mm}$ 。

若试样出现明显支座压痕时，支座圆角半径 r 应改为 2 mm 。

2. 试验条件

(1) 加载速度

当测定弯曲强度时，加载速度 V 为

①仲裁试验跨厚比 $l/h=16\pm 1$ 时为

$$V=\frac{h}{2}(\text{mm/min})$$

注：加载速度 V 是根据 $V=\frac{l^2}{6h}S_t$ 换算而得的。

式中 S_t —外层纤维跨中的应变速率 ($\%/min$)，取为 $1\%/min$ 。

②常规试验时为

$$V=10\text{ mm/min}$$

③测定弯曲弹性模量及弯曲载荷—挠度曲线时，加载速度 $V=2\text{ mm/min}$ 。

(2) 试验标准环境条件

温度 $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $(50\pm 5)\%$ 。

(3) 试样状态

待试验的样品在试验标准环境条件下，放置时间 $\geq 24\text{ h}$ 。

(四) 试验步骤

1. 试样

(1) 试样数量

每组试样应 ≥ 5 个，保证同批有 5 个有效试样。

(2) 试样的准备和尺寸测量

将合格的每组试样编组号，测量试样中间 $1/3$ 跨距 l 内任意三点的宽度和厚度，取其平均值。

(3) 试样尺寸测量精度要求

尺寸 $\leq 10\text{ mm}$ 时，选用量具精度为 0.02 mm ，尺寸 $> 10\text{ mm}$ 时，精度为 0.05 mm 。

2. 压头和支座的安装调节

(1) 调节跨距 l 及加载上压头位置

准确调至 0.05 mm 。加载压头位于支座中间，且使上压头和支座的圆柱面轴线相平行。

(2) 跨距计算公式

$$l=(16\pm 1)h \quad (3-11)$$

式中 h —试样厚度 (mm)，对于厚试样跨厚比 l/h 可大于 16。对薄试样 l/h 可小于 16。

3. 试样和变形仪表的安装

将试样放于支座中心位置上（单面加工的试样，加工面应朝上），试样长度方向与支座和加载上压头相垂直。测量试样挠度变形的仪表应置于试样跨距的中点处并与试样的下表面接触，并施加约为破坏载荷的 5% 的力，来检查和调整仪表。

4. 加载分级

测定弯曲载荷—挠度曲线和弯曲弹性模量时，分级加载的级差为破坏载荷的 5%~10%，并至少应分五级加载，并应不超过破坏载荷的 50%。一般至少重复测定三次，取其二次稳定的变形增量。记录各级载荷和相应的挠度。当采用自动记录装置时，可以连续加载。

5. 弯曲强度测试时的破坏载荷确定

测定弯曲强度时，应连续加载。对于挠度小于或等于 1.5 倍试样厚度下呈现最大载荷或破坏，则记录该最大载荷或破坏载荷，当在挠度等于 1.5 倍试样厚度下，不呈现破坏的材料，记录试样挠度下的载荷。

6. 试样破坏形式和测试结果的有效性

当试样破坏呈层间剪切破坏，有明显内部缺陷或在试样中间 $1/3 l$ 跨距以外破坏的应予以报废。同批有效试样不足 5 个时应重做试验。

（五）计算公式及其平均值计算

1. 弯曲强度计算公式

$$\sigma_i = \frac{3F \cdot l}{2b \cdot h^2} \quad (3-12)$$

式中 σ_i —— 弯曲强度或挠度为 1.5 倍试样厚度时的弯曲应力 (MPa)；
 F —— 破坏载荷或最大载荷或挠度为 1.5 倍试样厚度时的载荷 (N)；
 l —— 跨距 (mm)；
 b —— 试样宽度 (mm)；
 h —— 试样厚度 (mm)。

2. 弯曲弹性模量计算公式

$$E_i = \frac{l^3}{4b \cdot h^2} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta f} \quad (3-13)$$

式中 E_i —— 弹性模量 (MPa)；
 ΔF —— 载荷—挠度曲线上初始直线段的载荷增量 (N)；
 Δf —— 与载荷增量 ΔF 对应的跨距中点处的挠度增量。

3. 最后计算玻璃纤维增强塑料弯曲强度和弹性模量

应将同批 5 个试样有效测试结果数据按算术平均值计算，并将结果保留到三位有效数字。

第二节 金属材料和高分子材料的压缩试验

日常物体和结构件很多是在压缩载荷下工作的，这就需要对它们的材料进行抗压性能试验评定。因此压缩试验也是常用的一种试验方法。

压缩试验大多用来测定脆性材料的抗压强度和塑性。对塑性材料只是测定弹性模数、比例极限和弹性极限等指标。

压缩试验的过程与应力试验一样，可在万能材料试验机或专用压力机上进行。试验时，材料抵抗外力变形和破坏的情况也可用负荷—变形曲线或应力—应变曲线来表示，以此，确定材料的主要压缩性能指标。

如图 3-13 所示为脆性材料和塑性材料的变形曲线。

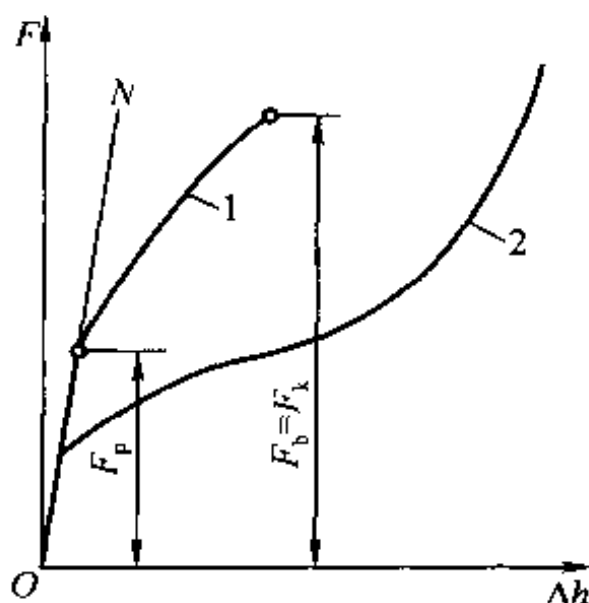


图 3-13 脆性材料和塑性材料压缩试验的变形曲线
1—塑性材料；2—脆性材料

一、金属材料压缩试验

金属压缩试验一般是在室温下进行单向压缩来测定规定的非比例压缩应力。规定总压缩应力、屈服点、弹性模量及脆性材料的抗压强度。

1. 试样的形状及尺寸

金属压缩试验的试样可分为无约束和约束型两种。

(1) 无约束型压缩试样

这种试样又可分为圆柱形和正方形两种，见图 3-14 和图 3-15 的试样图。

圆柱形和正方形压缩试样中， $L = (2.5 \sim 3.5) d_0 (b_0)$ 尺寸的试样适用于测定规定非比例压缩应力 σ_{pe} ，规定总压缩应力 σ_{te} 和压缩屈服点 σ_{sc} ， $L = (5 \sim 8) d_0 (b_0)$ 试样适用于测定规定非比例压缩应力 $\sigma_{pe 0.01}$ 和压缩弹性模量 E_c ，而 $L(1 \sim 2) d_0 (b_0)$ 仅适用于脆性金属材料测定抗压强度。

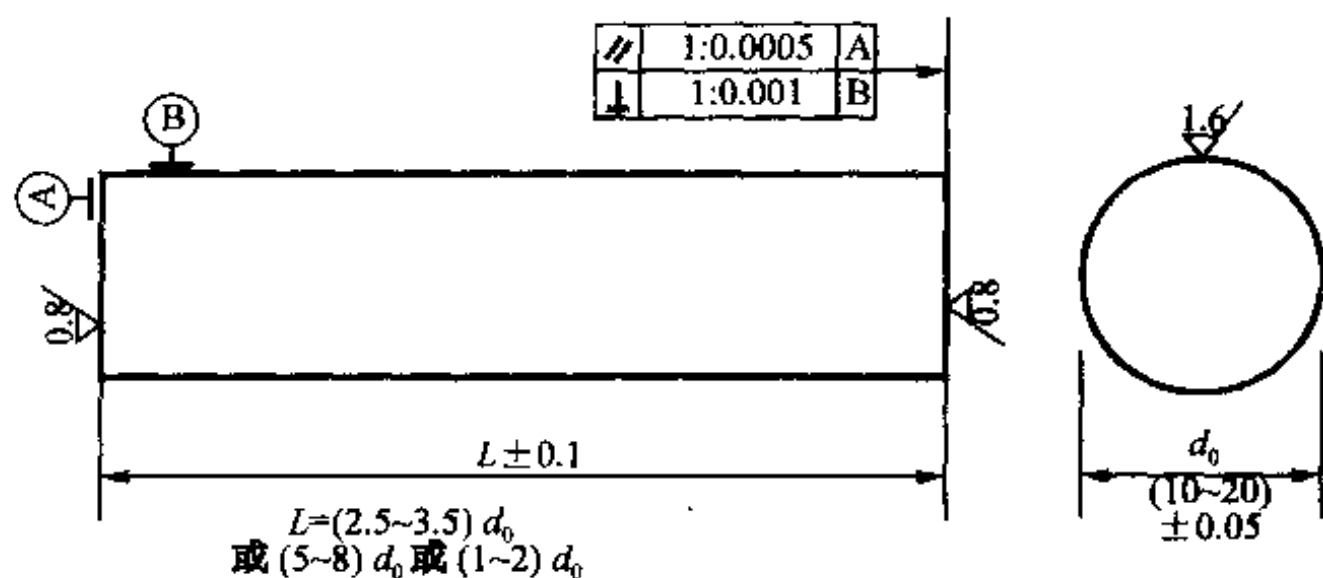


图 3-14 金属压缩试验圆柱形试样图

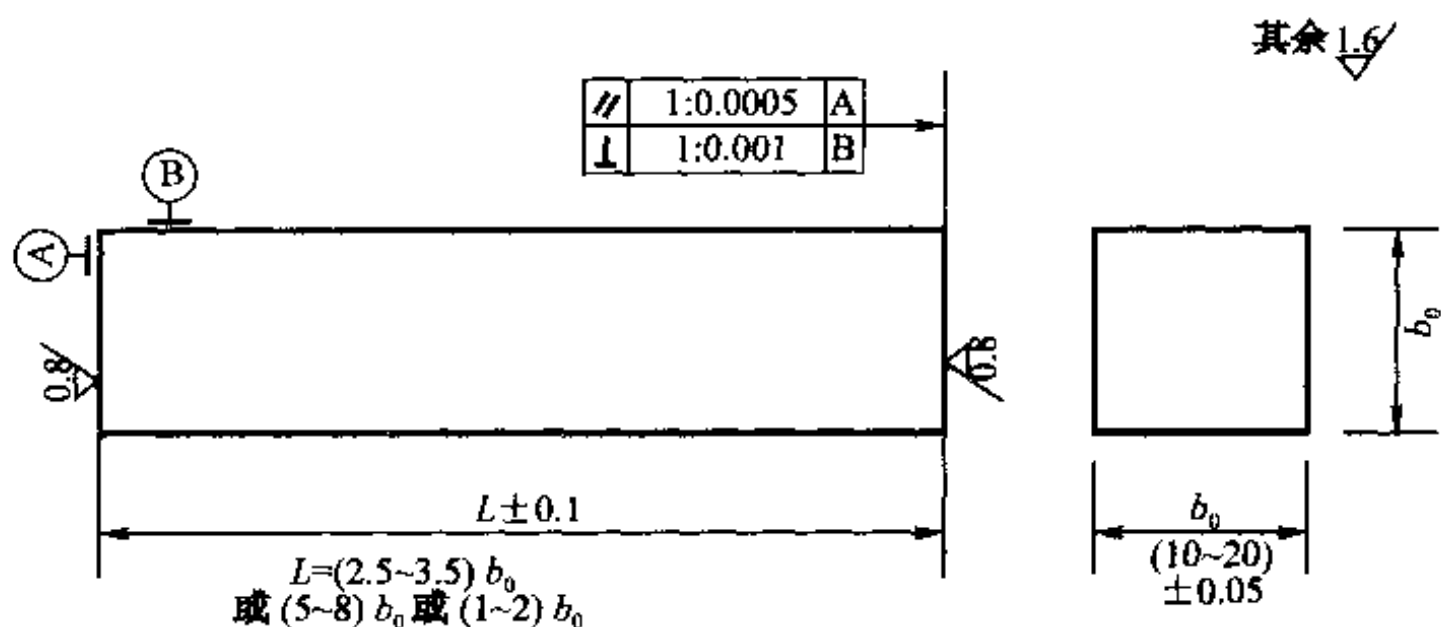


图 3-15 金属压缩试验正方形试样图

(2) 约束型压缩试样

约束型压缩试样为矩形样，它又分矩形板（见图 3-16）试样和带凸耳（见图 3-17）板状试样。

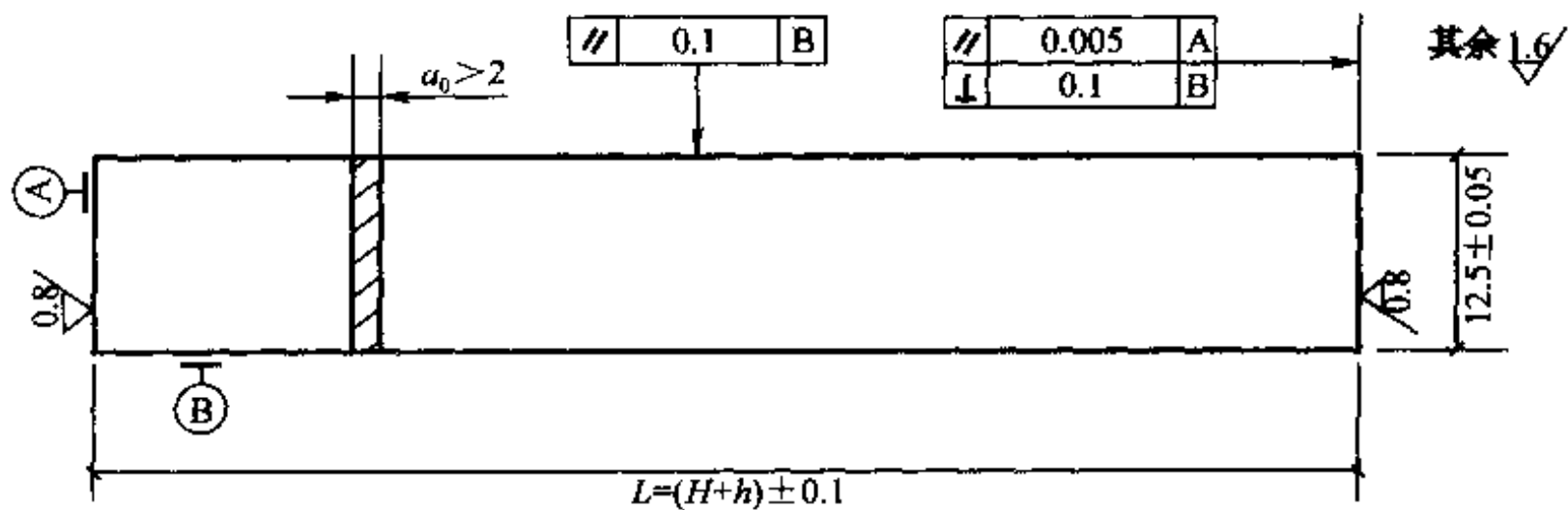


图 3-16 约束型矩形板压缩试样图

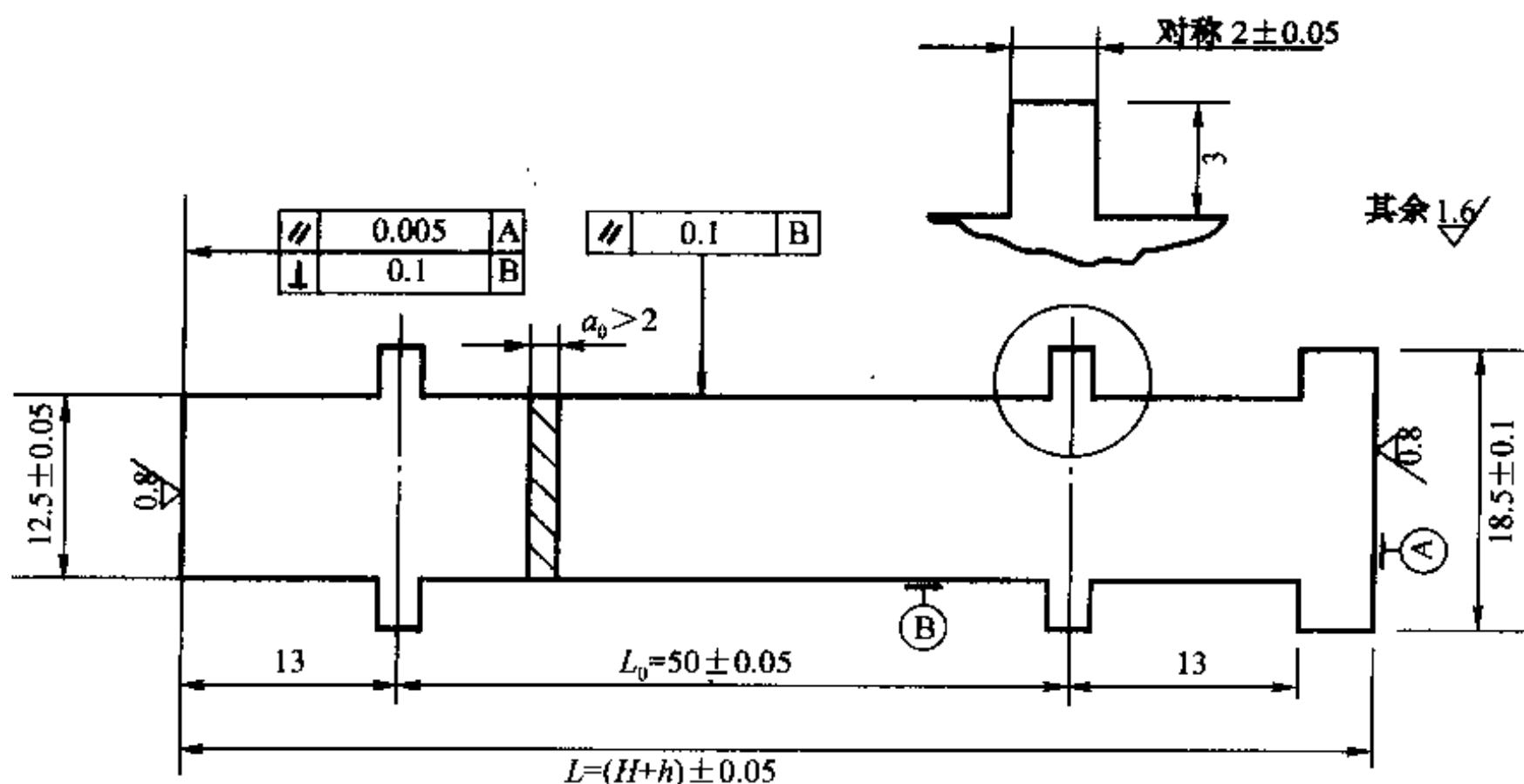


图 3-17 约束型带凸耳板状试样

注：凸耳根部圆角半径不大于 0.1 mm。

金属板状约束型试样除脆性材料外，一般不能测抗压强度 σ_{bc} ，为了使试样在支座上保持稳定及避免受压时过早失稳，在两端必须加大接触面。

2. 试验设备

(1) 设备的技术要求

试验设备可以是万能材料试验机或压力机，但有如下要求

- ①某力值误差应不超过 $\pm 1\%$ ；
- ②试验机台板安装试样的表面与压头压在试样的表面应平行，其平行度不低于 $1 : 0.0002$ ；
- ③试验过程中，压头台板间不应有侧向的相对移动和转动；
- ④试验机应备有放大和记录力及变形的装置；
- ⑤对硬度较高的试样，两端应垫以合适的硬质材料做成的垫板；
- ⑥当试验设备不满足②和③的要求时，应加力导向装置，如图 3-18 所示。

(2) 试验操作要求

①压缩试验的速度

一般地，上下压板移动速度为 2.5 mm/min ，在测定规定非比例压缩应力 σ_{pc} 和压缩弹性模量 E_c 时，速度应不大于 1 mm/min 。

②负荷—变形曲线的测定

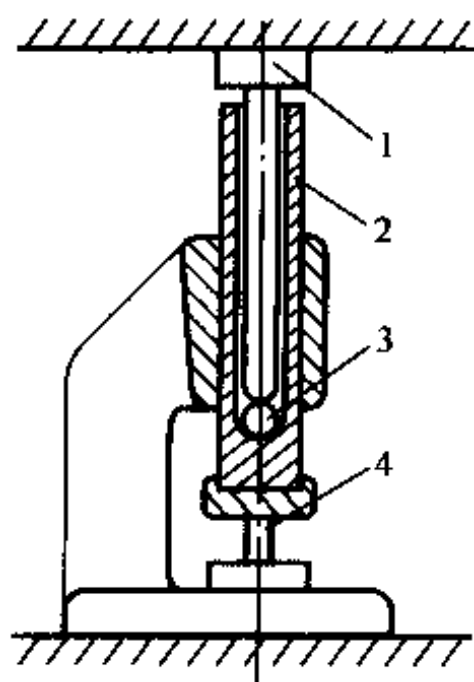


图 3-18 力导向装置示意图

1—压柱；2—压柱筒；3—钢球；4—试样

试验时, 利用自动绘图器绘出该曲线。对于塑性金属材料, 屈服时测力盘指针转动减慢不明显, 因而常借助压缩曲线来判定屈服载荷。

3. 计算公式

因压缩试验可看作反向拉伸试验, 因此, 金属拉伸试验时所定义的各种性能指标和相应的计算公式对压缩试验都保持有相似的型式, 所不同的是压缩试验变形是缩短而不是伸长, 横截面是增大而不是缩小, 而且金属压缩试验对脆性材料一般测抗压强度 σ_{bc} 、弹性模量 E_c 和规定非比例压缩强度 σ_{pc} , 而对塑性材料, 可测压缩弹性模量 E_c 、规定非比例压缩强度 σ_{pc} 、规定总压缩强度 σ_{tc} 和压缩屈服点 σ_{sc} , 还可测相对压缩率 ϵ_c 和相对断面扩展率 χ_c , 其计算公式如式 (3-14)、式 (3-15) 和式 (3-16)。

强度

$$\sigma_{bc} (\sigma_{pc}, \sigma_{tc}, \sigma_{sc}) = \frac{F_{bc} (F_{pc}, F_{tc}, F_{sc})}{F_0} \quad (3-14)$$

相对压缩率

$$\epsilon_c = \frac{h_0 - h_k}{h_0} \times 100\% \quad (3-15)$$

相对断面扩展率

$$\chi_c = \frac{S_k - S_0}{S_0} \times 100\% \quad (3-16)$$

式中 $F_{bc} (F_{pc}, F_{tc}, F_{sc})$ —— 压缩破坏负荷 (规定非比例压缩负荷、规定总压缩负荷和压缩屈服负荷) (N);

S_0, S_k —— 试样原始和破坏时的断面积 (mm^2);

h_0, h_k —— 试样原始和破坏时的高度 (mm)。

4. 压缩试样的破坏形式

压缩试验时, 试样的破坏形式与材料的性质的端面支承情况有关。

(1) 塑性金属材料压缩试样破坏形式

对于塑性材料, 在压缩试验过程中仅作侧向扩展, 即高度减低、横断面扩大形成鼓形或圆板状, 一般不会破裂。

(2) 脆性金属材料压缩试样破坏形式

脆性金属材料如铸铁、高碳钢等压缩时最终破裂, 其破裂的型式由压缩试样端面的摩擦阻力的大小形成两种破裂变形的型式。

① 压缩试样端面摩擦阻力大的破坏形式

将阻碍试样端截面的横向变形, 出现上下端面小, 中间的腰鼓形破裂, 如图 3-19 (a) 所示。

② 压缩试样无端面摩擦阻力时的破坏形式

无端面摩擦阻力时对脆性材料端截面与腰截面基本相同变形破坏呈纵向破裂形式, 如图 3-19 (b) 所示。因此在压缩试验时, 为了减少端面摩擦的影响, 以得到稳定的试验结果, 压头和试样端面粗糙度要小。试验时试样端面应涂以润滑油脂。

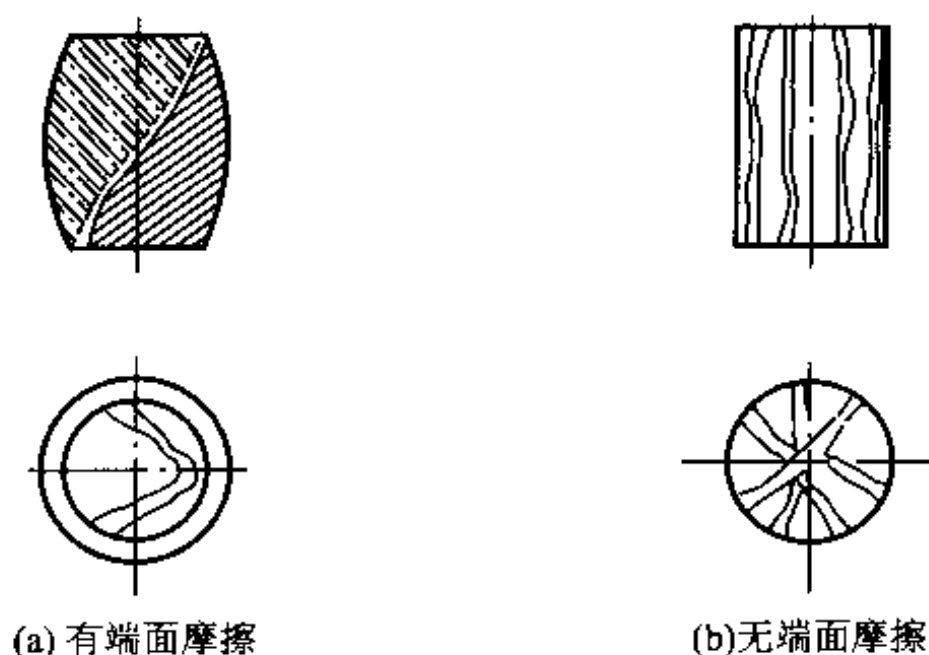


图 3-19 脆性金属材料端面摩擦对压缩破坏型式的影响示意图

二、高分子非金属材料压缩试验

高分子非金属材料压缩试验与金属材料的压缩试验形式类似，这里仅以玻璃纤维增强塑料的压缩性能试验方法为例加以介绍。

1. 压缩试样要求

(1) 试样的形式

玻璃纤维增强塑料压缩性能试样形式分为两种，即 I 型长方形试样和 II 型圆柱试样，见图 3-20 I 型和 II 型。

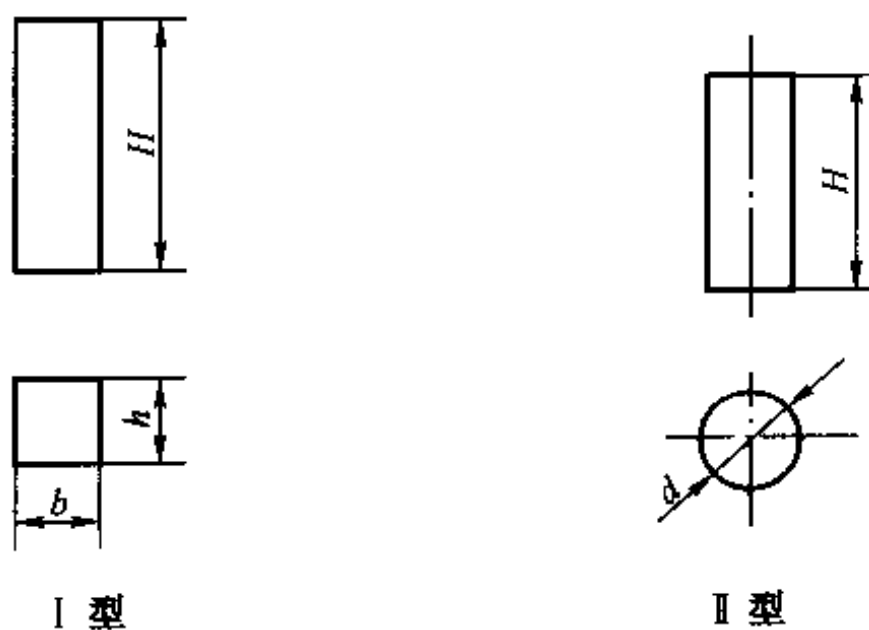


图 3-20 (I、II 型) 玻璃纤维增强塑料压缩试样图

(2) 试样的尺寸

见表 3-9。

表 3-9 I、II 型压缩试样尺寸表

mm

尺寸位置 及符号	I 型		尺寸位置 及符号	II 型	
	一般试样	仲裁试样		一般试样	仲裁试样
宽度 b	10~14	10 ± 0.2	/	/	/
厚度 h	4~14	10 ± 0.2	直径 d	4~16	10 ± 0.2
高度 H	$\frac{\lambda}{3.46}h$	30 ± 0.5	高度 H	$\frac{\lambda}{4}d$	25 ± 0.5

注： λ 为长细比（某截面柱状体的高度与其最小惯性半径之比）。

矩形试样厚度 h 小于 10 mm 时，宽度 b 取 (10 ± 0.2) mm，测定压缩强度时 λ 取 10，测定压缩弹性模量时 λ 取 15，一组试样应取 5 个有效试样。

2. 试验条件

(1) 环境条件

环境温度应为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $(50 \pm 5)\%$ 。

(2) 试验设备

① 试验机载荷误差不超过 $\pm 1\%$ ；

② 试样施加载荷应落在满载 $10\% \sim 90\%$ 范围内，且不得小于试验机最大量程的 4% ；

③ 试验机加载压头应平整、光滑，并具有可调整上下压板平行度的球形支座。

(3) 试验加载速度

① 测定压缩强度时，压板移动速度取为 $1.5 \sim 6$ mm/min；

② 测定压缩弹性模量时为 2 mm/min。

3. 试验步骤

(1) 试样尺寸的测量

测量任意三处宽度和厚度（直径）取算术平均值。

(2) 试样的安放

试样安放应使试样的中心线与上、下压板的中心线对准。

(3) 压缩弹性模量测量时变形测量仪表安装及初载的施加

在试样高度中间位置安放变形仪表，施加约 5% 的破坏载荷，检查并调整变形测量系统使整个系统处于正常工作状态，同时使试样两侧压缩变形比较一致。然后，以一定的间隔加载荷，记录相应的变形值。至少分五级加载，所施加的载荷不宜超过破坏载荷的 50% （或最大载荷）。

(4) 测定压缩强度

对试样施加均匀、连续的载荷，直到破坏（或达到最大载荷），记录破坏载荷（或最大载荷）。

(5) 试验结果的有效性

当遇到有明显内部缺陷或端部挤压破坏的试样时应予以作废，同批有效试样不足 5 个时应重做试验。

4. 计算

(1) 压缩强度公式

$$\sigma_c = \frac{F}{S} \quad (3-17)$$

式中 σ_c —— 压缩强度 (MPa);
 F —— 破坏载荷或最大载荷 (N);
 S —— 试样横截面积 (mm²).

$$\text{I 型样 } S = b \cdot h, \text{ II 型样 } S = \frac{\pi}{4} d^2$$

式中 b —— 试样宽度 (mm);
 h —— 试样厚度 (mm);
 d —— 试样直径 (mm).

(2) 压缩弹性模量公式

$$E_c = \frac{L_0 \cdot \Delta F}{b \cdot h \cdot \Delta L} \quad (3-18)$$

式中 E_c —— 压缩弹性模量 (MPa);
 ΔF —— 载荷—变形曲线上的初始直线段的载荷增量 (N);
 ΔL —— 与载荷增量 ΔF 对应的标距 L_0 内的变形增量 (mm);
 L_0 —— 测量变形仪表的标距 (mm).

5. 试验结果的处理

(1) 5 个样平均值

试验结果以 5 个试样有效为准, 结果的算术平均值作为该试验的结果。

(2) 数据处理

测试结果计算后取三位有效数字。

第三节 金属材料剪切试验

一、金属剪切试验的意义及分析

工程结构中的一些构件除承受拉力、弯曲等负荷外, 还有一些结构件如脚钉、各种定位销、建筑外装饰花岗石板的吊挂螺栓, 特别如汽车配件安全件转向节钢球头销和钢板弹簧销等, 它们主要承受剪切力的作用, 所以对这些构件所用的材料要进行剪切试验, 除提供材料的抗剪强度作为设计依据外, 也作为选材依据。

构件受剪切时力和变形的特点见图 3-21。

作用在构件上两侧的外力合力大小相等、方向相反、作用线相隔

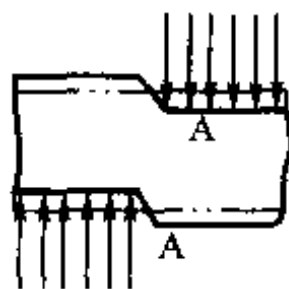


图 3-21 构件受剪切时力和变形特点示意图

较近。将各自作用的构件部分处在与合力使用线平行的受剪面（A-A）截面上的内力称为剪力，相应的受剪面上将有剪应力。在剪切试验时，通常假设受剪面上各点处剪切应力相等，因此，它实际上就是截面上的平均应力。

二、金属剪切在构件中的实例分析

金属结构件很多是承受剪切力的作用，如图 3-22 所示的（a），（b），（c），（d）为钢板螺栓联接受剪切破坏的示意图。

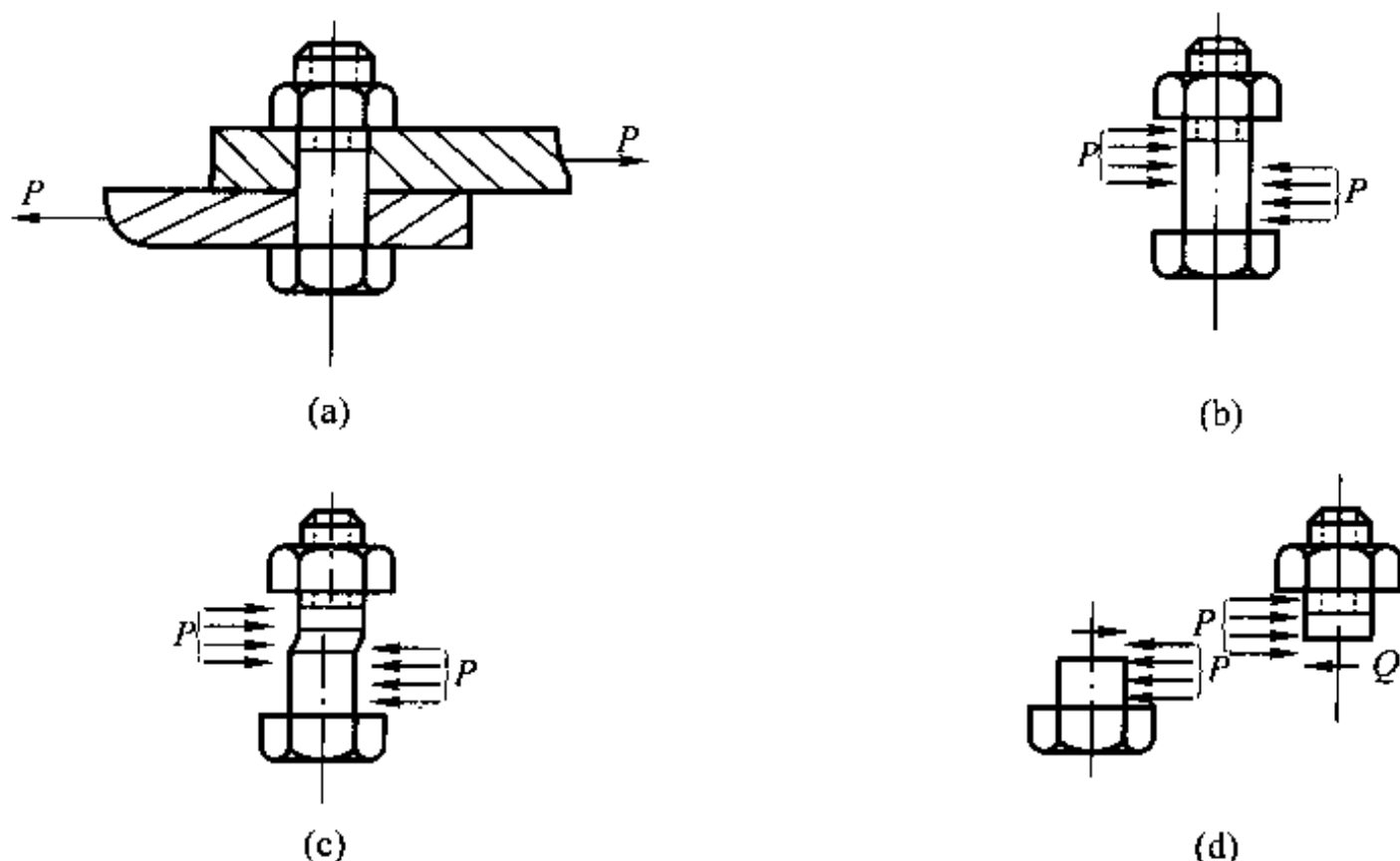


图 3-22 钢板螺栓联接构件剪切破坏示意图

钢板螺栓联接受剪切力的特点是两侧面上所受的合力大小相等，方向相反，其力的作用线很近。如图 3-22(b)所示，当外力逐渐增加时，螺栓将在中间相反方向力的交界面处发生错动，如图 3-22(c)所示，直至破坏。产生错动的面叫做剪切面，剪切面与力的作用线平行，对于在剪切条件下工作的结构件，材料作剪切试验的目的有两个方面，其一是确定材料的剪切应力和剪切应变的关系。其二是测得材料的剪切规定比例极限、剪切屈服强度和材料的剪切弹性模量。

三、金属剪切试验

对于金属剪切试验方法，现尚无正式的国家标准。多年来，不同结构件和零部件材料进行的剪切，有单剪切、双剪切及冲孔三种剪切试验形式。

1. 单剪切试验

如 3-23 所示为销柱式试样单剪切示意图。

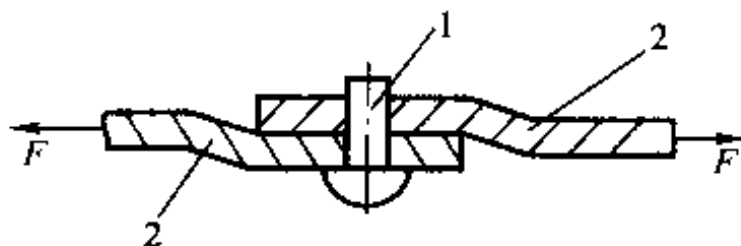


图 3-23 销柱式试样单剪切试验图

F 拉伸力；1—圆柱销试样；2—拉伸式单剪切夹具

销柱式单剪切试验装置主要靠两根板状的相反变形拉板，拉板的受力线与剪切面应在同一平面内，拉板的剪切孔应比销柱样直径大 0.05~0.10 mm。拉板拉伸时在两拉板叠合的平面上圆柱样横截面产生剪切力直至样品断裂。

剪切强度公式 (3-19) 为

$$\tau = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3-19)$$

式中 F —— 剪切拉伸破坏力 (N)；

d —— 试样直径 (mm)。

销柱式单剪切试验大量用于受剪切力作用的结构件和一些防超载的运动机械剪断销保险结构件的尺寸设计和选材中。

板状矩形单剪切试验适用于图 3-24 所示的单剪切装置。试样 1 被固定在底座 2 上，3 为底模。压力通过上压模 4 传至试样 1，在试样 $m-m$ 面上产生剪切作用，直至此平面被剪断。底模和上压模均应以淬火工具钢制成，表面必须光滑，边缘应锐利，以减少摩擦阻力。剪切强度按式 (3-20) 计算。

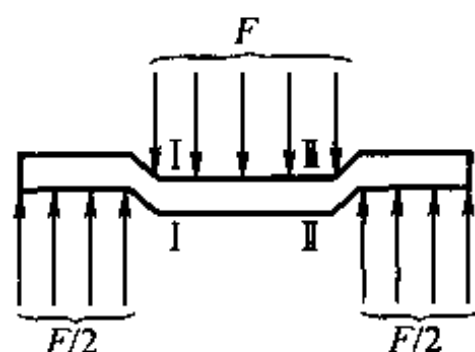
$$\tau = \frac{F}{S_0} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3-20)$$

式中 F —— 试样被剪断时的最大负荷 (N)；

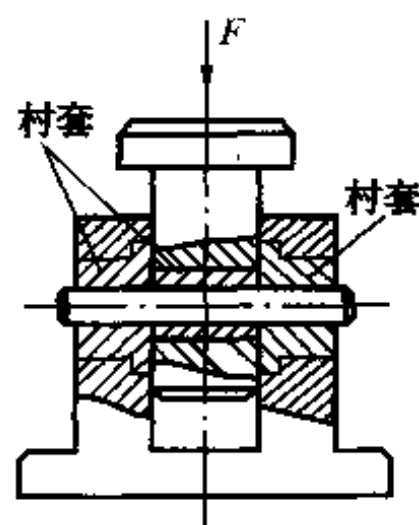
S_0 —— 试样的原截面面积 (mm^2)。

2. 双剪切试验

如图 3-25 (a) 和 (b) 所示。



(a) 试样受剪情况



(b) 压式剪切装置

图 3-25 金属双剪切试验示意图

双剪切试验的试样为圆柱形试样时，其尺寸如表 3-10 所示。

表 3-10 双剪切圆柱样尺寸表

mm

试样外径 D	试样长度 L
$5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.01 \end{smallmatrix}$	20 ± 1
$10 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.01 \end{smallmatrix}$	30 ± 1
$15 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.01 \end{smallmatrix}$	40 ± 1

进行双剪切试验时, 试样在两截面 I-I 和 II-II 上同时受剪力作用。双剪切试验装置如图 3-25 (b) 所示。由于单剪切试验较难做准确, 所以一般用双剪切试验装置比较多。双剪切试样被剪切部分的长度不宜太长, 因为剪切过程中除两个截面受剪切外, 试样还受弯曲作用。为了减少弯曲的影响, 被剪部分的长度最好不超过试样直径的一倍半。双剪切强度计算公式为式 (3-21)。

$$\tau = F/2S_0 = 2F/\pi d^2 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3-21)$$

式中 F ——试样被剪断时的最大截荷 (N);

d ——试样直径 (mm)。

剪切速度一般在 1 ~ 10 mm/s 之内。

3. 冲孔式剪切试验

如图 3-26 所示。

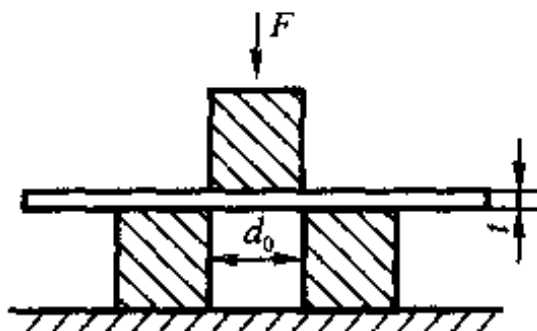


图 3-26 冲孔式剪切试验装置示意图

对于薄板材, 不宜作成圆形试样时, 可用冲孔剪切试验。受剪力的部分为圆柱环截面。按剪切强度式 (3-22) 计算。

$$\tau = \frac{F}{\pi d_0 t} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3-22)$$

式中 F ——试样被冲出圆孔时的最大负荷 (N);

d_0 ——冲孔直径 (mm);

t ——试样厚度 (mm)。

思考题

1. 写出金属材料和高分子材料的抗弯强度的计算公式, 并作图说明最大弯曲应力发生在试样横截面的什么位置。

2. 抗弯试验只适用于哪些金属材料的抗弯强度？为什么对塑性金属材料所进行的弯曲试验不是力学性能试验？
3. 试述三点弯曲与四点弯曲试验方法和弯曲曲线的不同。
4. 脆性金属材料和高分子材料的抗弯试验如何进行？
5. 怎样用百分表来测定试样的挠度？
6. 哪些金属材料适用抗压强度试验？金属压缩试验和拉伸试验相比有何特点？
7. 画简图说明单、双剪切试验的原理，并写出剪切强度的计算公式。

第四章 金属材料扭转试验

第一节 扭转试验的工程意义和特点

一、金属扭转试验的工程意义

在工程中，机械零件和结构件中受扭转作用的例子很多，如传动轴、弹簧、钻杆等。通过扭转试验，研究材料在扭矩作用下的力学性能，如规定非比例切应力、抗扭强度、抗扭刚度及塑性变形能力。无论是从工程结构件、零件中的实际受力状况还是从材料力学、弹塑性理论和实验应力分析的角度来看，都是十分必要的。

扭转试验时，试样从开始变形直至破坏，其长度和截面尺寸几乎保持不变。试样沿标距长度的塑性变形始终是均匀发生的，没有锁颈现象出现。因此对于那些塑性好的材料用扭转试验方法可以精确地测定其应力和应变的关系。

二、金属扭转试验的特点

1. 扭转试验应力状态较软

有的金属材料在拉伸试验时表现脆性特点（如淬火、低温回火的工具钢和某些结构钢），但在扭转时往往表现为韧性状态，所以，扭转试验往往是评价材料塑性，特别是拉伸时呈脆性的材料并比较其塑性的最好方法。

2. 以扭转断口形式反映出材料的不同强度特性

通过扭转试验后的材料断裂方式，正拉断或切断反映出材料的不同强度特性。如低碳钢试样的扭转破坏是沿横截面切断的，说明低碳钢的抗扭强度低于抗拉强度。而铸铁试样的扭转破坏是沿与试样轴线约成 45° 的螺旋面发生的。这说明，铸件样的抗拉强度较抗扭强度为低。

3. 薄壁圆筒试样扭转试验时可获得近似均匀分布的切应力场

用圆柱形试样进行扭转试验时，试样始终保持均匀圆柱形，其截面和工作长度基本上保持原有大小不变，这样便有可能很好地测定高塑性材料直至断裂前的变形能力和变形抗力。

4. 扭转试验可以灵敏地反映材料的表面缺陷

对于低塑性材料，扭转试验对反映其表面缺陷特别敏感，如工具钢的表面淬火微裂纹还

可以用扭转试验来检测。

5. 扭转试验在试样截面上的切应力分布不均匀

这也是扭转试验的缺点之一。

第二节 金属扭转时的力学性质

一、扭矩—扭转角曲线图

若把一对扭矩 M 施加于长为 L_0 直径为 d_0 的圆柱体上, 如图 4-1 所示, 它将产生扭转角度 φ , 随 M 的增加而增大。如把 M 和相应的 φ 值绘成曲线, 如图 4-2 所示, 就成为低碳钢材料试样的扭矩—扭转角曲线图 ($M-\varphi$ 曲线图)。它与拉伸试验中的力—伸长曲线图相似。

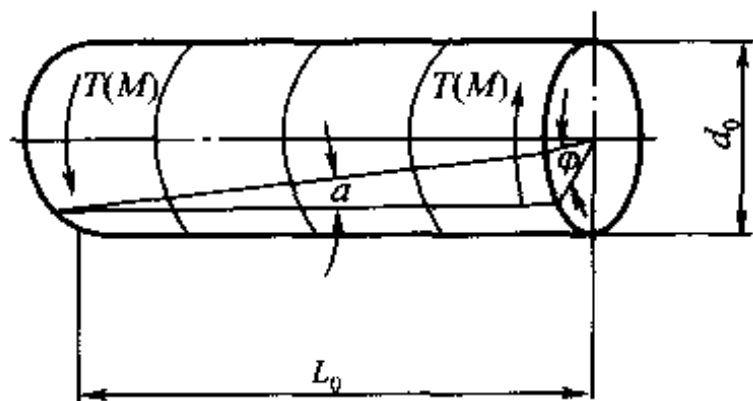


图 4-1 圆柱体受扭矩作用产生扭转角示意图

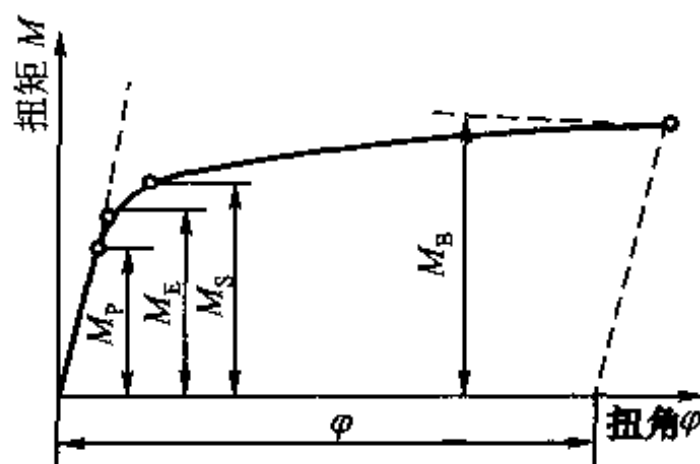


图 4-2 低碳钢扭转试验扭矩与扭转角曲线图

二、扭转时的力学公式

扭转试验的试样一般为圆柱形, 如图 4-3 所示 (长试样 $L_0 = 100 \text{ mm}$, 短试样 $L_0 = 50 \text{ mm}$)。

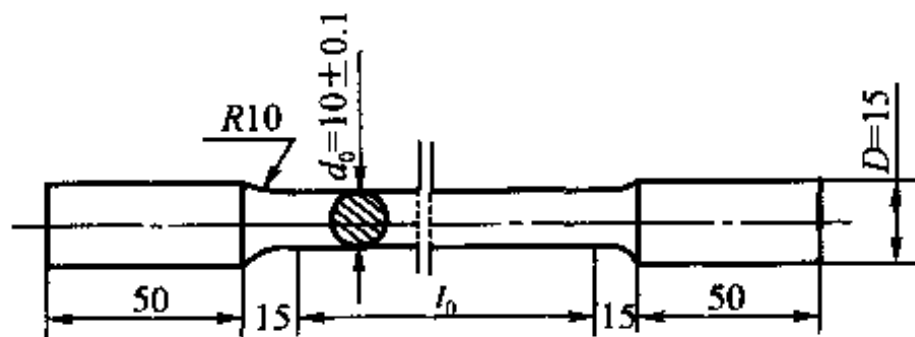


图 4-3 标准扭转试样图

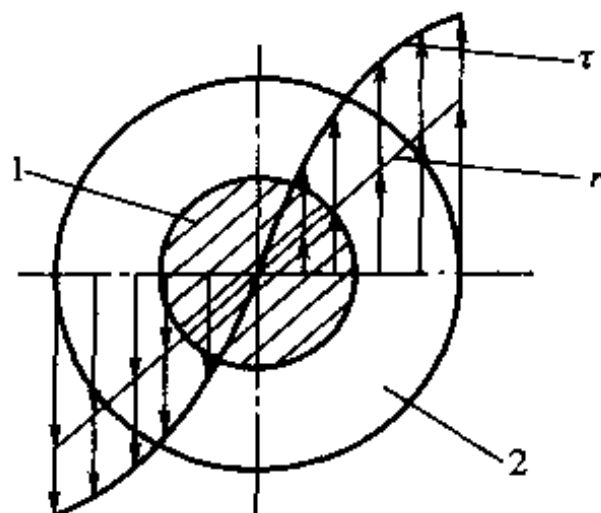


图 4-4 扭转试样横截面上切应力和应变分布图

1—弹性变形区；2 塑性变形区

在扭转试验中，实心圆柱形试样横截面上各点的切应力是不相等的，如图 4-4 所示，在弹性变形阶段，试样横截面上各点所受的切应力与其至试样中心的距离成比例关系，中心所受的切应力为零，表面所受的切应力最大。

在超过比例切应力后，各点的切应力因其所处位置是否发生塑性变形将仍继续维持与中心距离的比例关系，近表面部分因发生塑性变形，就失去了比例关系。在未超过比例切应力时，圆形试样横截面上距中心为 r 处的任意切应力用公式 (4-1) 计算。

$$\tau_r = \frac{M}{I_p} r \quad (4-1)$$

式中 M —— 扭矩 ($N \cdot mm$)；

r —— 任意点至试样横截面中心的距离 (mm)；

I_p —— 试样横截面的二次极矩 (mm^4)。

公式 (4-1) 称扭转公式。这样，实心圆试样表面的切应力为

$$\tau_{max} = \frac{M d_0}{2 I_p} = \frac{M}{\frac{\pi d_0^3}{16}} = \frac{M}{W} \quad (4-2)$$

式中 W —— 试样抗扭横截面系数 ($W = \frac{\pi}{16} d_0^3$)；

d_0 —— 试样平行长度部分原始直径 (mm)。

抗扭切变模量公式为式 (4-3)。

$$G = \frac{\tau_{max}}{r_{max}} = \frac{32 M L_0}{\pi (\varphi_1 - \varphi_2) d_0^3} \quad (4-3)$$

式中 φ_1, φ_2 —— 试样标距两端扭转角， $\varphi_1 > \varphi_2$ 。

扭转比例极限公式为式 (4-4)。

$$\tau_p = \frac{M_p}{W} = \frac{M_{p.0.3}}{\frac{\pi d_0^3}{16}} \quad (4-4)$$

在扭矩—扭转角曲线 ($M-\varphi$ 曲线) 上一般没有明显的屈服平台，这时要用 $\tau_{0.3}$ 代替屈服极限 τ_s ， $\tau_{0.3}$ 是残余切应变 r 为 0.3% 时最大正应变的 1.5 倍。即 $r_{max} = 1.5 \epsilon_{max}$ ，所以当 $\epsilon_{max} = 0.2$ 时 $r_{max} = 0.3\%$ ，因此采用 0.3% 残余切应变时的 $\tau_{0.3}$ 是为了和拉伸试验时 $\sigma_{0.2}$ 能相互比较。计算公式为式 (4-5)。

$$\tau_{0.3} = \frac{M_{0.3}}{W} = \frac{M_{0.3}}{\frac{\pi d_0^3}{16}} \quad (4-5)$$

第三节 扭转试验方法

一、扭转试样的制备

金属扭转试样一般为实心圆柱形试样，如前图 4-3 所示。有时为了克服实心圆柱试样横截面上应力分布不均匀而影响真实切应力的测定的缺陷，而采用薄壁空心圆筒试样，如图 4-5 所示。

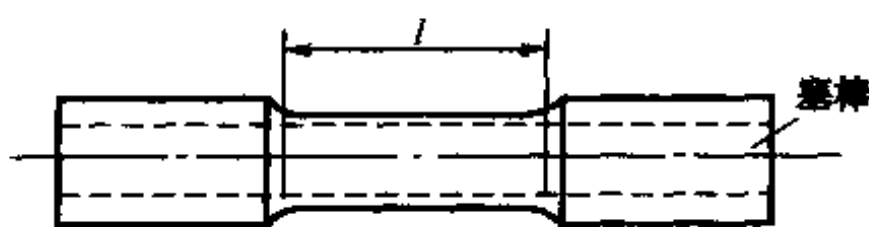


图 4-5 薄壁空心圆筒扭转试样图

采用薄壁空心圆筒试样时，为减少内外壁之间的应力变化，壁厚应尽量减小，但直径与壁厚之比不应大于 20，否则会产生失稳扭曲。

二、扭转应变计的应用

扭转试验中为了测定扭转角必须安装转角应变计。通常有镜式转角仪和表式转角应变计。镜式转角仪虽然测量精度高，但操作较复杂，特别是调整望远镜刻度尺与反射镜片的位置花时间较多，而表式转角仪装置较简单，测量也简便，如图 4-6 所示为表式转角仪安装操作程序，调整 A 和 B 环间距离，使其等于测量标距 L_0 ，将两环固定在试样 1 的两个截面上。当这两截面发生相对转动时，百分表 2 指示为距试样中心轴线为 b 的两点相对位移 δ ，A 和 B 截面的相对扭转角 $\varphi = \delta/b$ (rad)。

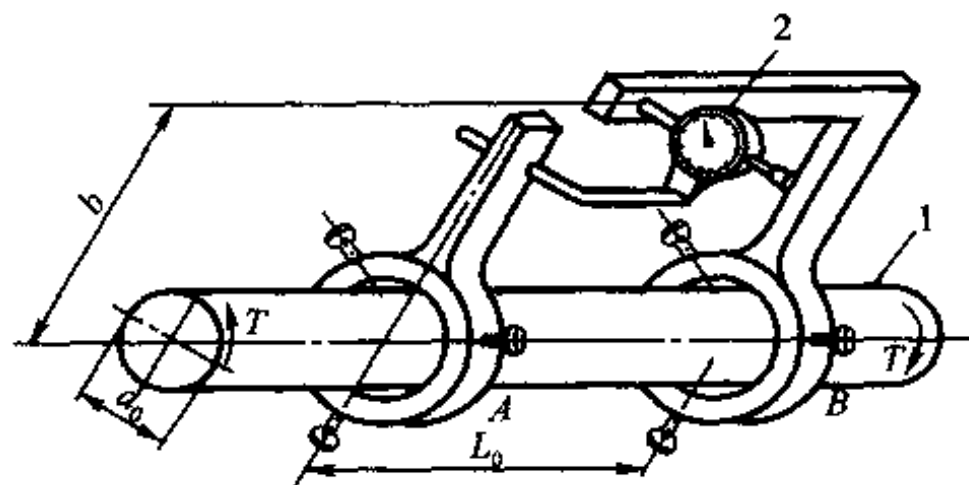


图 4-6 表式转角仪示意图

1—试样；2—百分表

三、切变模量的测定

测定切变模量时，将试样装夹在扭转试验机的夹头上，然后施加约为预期比例切应力的10%初扭矩，使试样产生一定的初始切应力 τ_0 ，然后装上转角仪，在试样上逐级等量施加扭矩时，级数应不小于4次，且最后一次应使所产生的切应力不超过比例切应力值的80%。切变模量按公式(4-6)计算。

$$G = \frac{32ML_0}{\pi(\varphi_1 - \varphi_2)d_0^3} \quad (4-6)$$

四、规定非比例切应力的测定

所谓规定非比例切应力一般指在试验过程中当试样标距部分的非比例切应变等于0.3%时的切应力，即按公式(4-7)计算的结果。

$$\tau_{p0.3} = \frac{M_{p0.3}}{\frac{\pi d_0^3}{16}} \quad (4-7)$$

式中 $M_{p0.3}$ ——规定非比例切应变为0.3%时的扭矩(N·mm)。

规定非比例切应力 $\tau_{p0.3}$ 之所以采用0.3%的非比例切应变，是为了和拉伸试验得出的规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 能相互比较。测定规定非比例切应力和规定非比例拉伸应力一样，可分为连续加载法和作图法两种。

1. 连续加载测量法

试验时，对试样逐级施加扭矩，在相当于预期规定非比例切应力的70%~80%之前，可给试样以较大等级扭矩，然后施加小等级扭矩。每加一个等级扭矩之后，记录试样扭转角度一次，直到非比例切应变已超过0.3%时为止。

2. 规定非比例切应力的图解法

规定非比例切应力图解法是首先绘出扭应力 τ (M)与扭应变 ν (φ)的关系曲线图，如图4-7所示。

然后在曲线图上，自弹性直线段与切应变轴交点O起，截取相应于规定非比例切应变0.3%的OC段，过C点作弹性直线段的平行线CA交曲线于A点。A点对应的切应力即为规定非比例切应力 $\tau_{p0.3}$ 。为了保证测量精度，与作图法测定规定非比例伸长应力一样，要求切应力轴每毫米所代表的切应力应不大于10 N/mm²，曲线的高度应使 $\tau_{p0.3}$ 处于应力轴量程的二分之一以上，切应变轴上的OC段长度应不小于5 mm(即放大倍数不小50倍)。

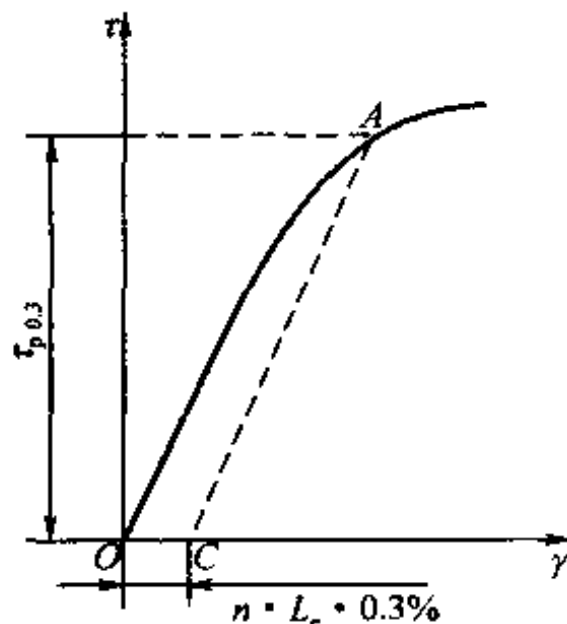


图4-7 图解法测定 $\tau_{p0.3}$ 示意图

五、抗扭强度的测定

试验时，加扭矩直至试样断裂，同时记下断裂前的最大扭矩 M_b 及标距两端的扭转角 φ_b 和 φ_s 。

抗扭强度 τ_b 一般按扭转公式 (4-8) 计算。

$$\tau_b = \frac{M_b}{W} = \frac{M_b}{\frac{\pi d_0^3}{16}} \quad (4-8)$$

式中 M_b 试样断裂前的最大扭矩 (N·mm)。

第四节 国产 NJ 系列扭转试验机操作方法

目前国内扭转试验机种类不多，而国产机型主要为 NJ 系列，这里就以 NJ 系列扭转试验机为例，进行操作方法介绍。

1. 量程选择

根据试样平行长度部分的横截面积和材料的抗扭强度估计测试所需施加的最大扭矩，尽可能使其处于选定量程的 40%~80% 范围之内。转动选择量程手轮，调节至相应的测扭矩度盘。

2. 安装试样

根据试样尺寸，选定夹块和衬套，并塞放在试验机的两夹头中。先将试样插入固定夹，再将主动夹头旋转到适当位置移动溜板，对准试样装入夹头。用内六角扳手拧紧夹头侧面的压紧螺钉，使夹块夹紧试样。

3. 检查绘图机构

检查记录笔有否墨水，观察笔夹划线是否流畅。注意记录纸走动是否正常。记录筒的转速可通过齿轮予以变换以便获得适当的走纸速度。

4. 调零计数

在施加扭矩之前，测扭矩度盘的主动指针应在零位，并应将从动指针转到与其靠拢，同时调整附在主动夹头上的扭转角刻度环，使其零点与指针重合。如需计扭转变形的整圈数，应事先在试样的表面沿轴线刻划一直线作为标记，以便扭转变形后查出标记的螺线圈数。

5. 调节转速

扭转速度的选定应符合试验要求。一般脆性材料和塑性材料在屈服前均应以低速施加扭矩。塑性材料屈服后，可以提高扭转速度。试验过程中，如果需要卸扭矩，可以掀反向扭转

按钮。

6. 完成试验

扭转试验时，应严格遵守所用试验机的有关操作规程，同时，对试验的条件、状态与结果都应作出明确的记录，以便正确评价材料的扭转性能。

第五节 扭转试样的断口分析

扭转试验的最后阶段，试验断裂后，从断裂面的具体状态可以判断金属的性能是韧性断裂还是脆性断裂以及产生断裂的原因是正应力引起的还是切应力引起的。

1. 切断断口

由材料力学的应力状态分析可知，圆试样承受扭矩时材料处于纯切应力状态。在与试样轴线成 $\pm 45^\circ$ 角的螺旋面上由于塑性材料抗扭强度较低，所以横截面切断试样的断面与轴线垂直，同时有回旋状塑性变形的痕迹。这种断口较平整，如图4-8(a)所示。

2. 正断断口

对于脆性材料，由于抗拉强度较低，所以断裂在与试样轴线成 45° 角的螺旋面上，如图4-8(b)所示。

3. 木质纤维断口

扭转断裂的断口还有第三种形式，这种断口呈木质纤维状，如图4-8(c)所示。断裂的特点是顺着试样的轴线成纵向剥层或裂纹，甚至因夹杂物的存在出现两处以上的断口。因试样存在着非金属夹杂物偏析或金属及合金碾压锻造、拉拔的方向与试样轴线一致时，造成试样轴线方向上金属抗切能力降低，就常会出现这种断裂形式。

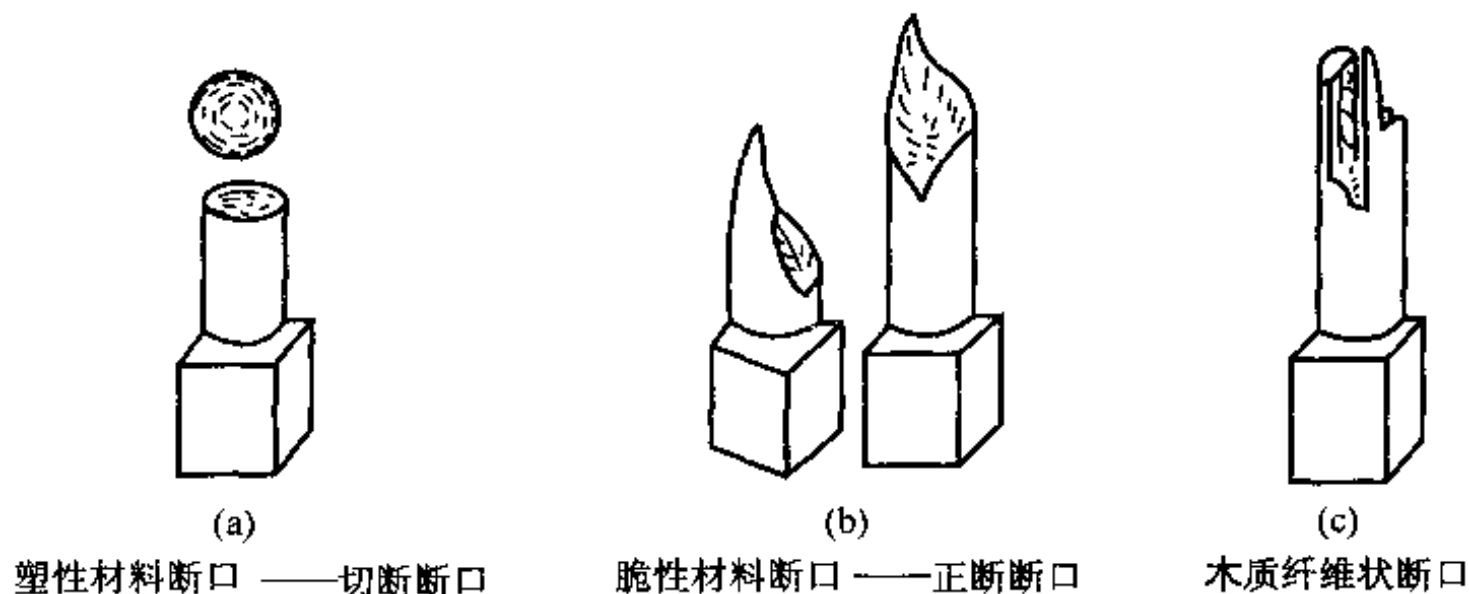


图 4-8 扭转断裂形式

思 考 题

1. 扭转试验的工程意义是什么？它有什么显著特点？
2. 扭转公式是在什么条件下得出来的？
3. 扭转力学性能试验与扭转工艺性能试验有哪些不同？
4. 切变模量 G 表示材料的什么性能？测定时为什么要量出两个截面的相对扭转角？
5. 试述金属脆性材料和塑性材料扭转断裂的形式和断口状态。

第五章 材料硬度试验

第一节 硬度的概念

硬度是衡量固体材料软硬程度的一种性能指标。固体状态金属材料有硬度而非金属固体材料也有硬度，金刚石的硬度为所有固体材料中硬度最高的材料。对于金属材料，硬度能敏感地反映出金属材料在化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异。在工程上和机械冶金工业上，人们可以通过简单的硬度测试，并应用经验公式推算出金属材料的其他力学性能和断裂特性等材料的性能。在材料研究上，硬度测试也得到广泛的应用。因此硬度测试已成为检验产品质量、研制材料和确定合理的加工工艺所不可缺少的手段之一。

硬度实际上是指固体材料表面一个小的或很小的体积内抵抗弹性变形、塑性变形或抵抗硬裂的一种抗力。因此，硬度不是一个单纯的、确定的物理量，而是一个由材料的弹性、塑性、韧性等一系列不同力学性能组成的综合性能指标。所以，硬度所表示的量不仅取决于硬度本身，而且还取决于试验方法和试验条件。

一、金属材料硬度测试的意义

硬度的物理意义是由其测试方法与强度和塑性或断裂指标之间的关系所决定的。总的可归纳为一句话，即金属的硬度指金属表面上体积不大的范围内金属抵抗变形或者抵抗破裂的能力。

通过硬度试验不但可以测出材料本身的硬度值，同时还可以测定金属材料的其他性能，这些性能是：

- (1) 用弹跳法测定材料的弹性性能。
- (2) 用压入法测得微量塑性变形抗力，从而获得类似屈服极限的性能。
- (3) 用压入法测得大量塑性变形抗力，从而获得类似颈缩金属强度的性能。
- (4) 用划线（刻线）法测得真实拉伸强度。
- (5) 用弹跳法测得形变比功。
- (6) 用压入法与划线法测得塑性变形的各向异性。

二、硬度测试方法的分类

材料硬度的测试方法较多，首先，按一般分类标准可分成四大类，即压入法、刻痕法、弹跳法和其他方法。



1. 一般分类法

(1) 压入硬度试验法

以各种压头或压针压入材料表面而得到硬度值的方法称为压入法。此方法又可按加荷速度的不同而分静载压入法和动载压入法两种。如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度及努氏硬度测试方法均属静载压入法的硬度测试方法。肖氏硬度、韦氏硬度和塑料邵氏硬度测试方法则属动载压入法。

(2) 划线（刻线）硬度试验方法

这种方法是用金钢石尖端刻划被测材料表面。以其划线粗细，深浅来量度其硬度值的方法，如莫氏硬度试验方法。

(3) 弹跳法测试材料（金属材料）硬度的试验方法

这种测定方法是用一定重量和一定形状的冲头，从一定高度自由落在试件表面上，以其弹跳回来的高度作为硬度测定的依据，如肖氏硬度试验方法。

(4) 其他方法测定材料硬度

目前材料硬度特别是金属材料硬度测试方法正往无损、快速、流水线生产的形式发展，这方面测试仪器目前已有商品化的超声波硬度测试仪和电磁硬度测试仪两种。

① 超声波硬度测试方法

它是借助于超声能传感器杆的谐振频率的变化来测定金属硬度的一种试验方法。

② 电磁法测定金属材料硬度

它是以测定钢的不同热处理状态不同的金相组织而有不同的矫正力来测定其硬度。

③ 其他硬度测试方法

还有用标准锤刀锉削法、钻孔法等硬度测定方法。

2. 按所加载荷试验力的性质分类

(1) 静载硬度试验法

所加载荷的特点是速度缓慢或静止状态，无冲击，硬度的测定主要取决于被测试样表面压痕的状况。

(2) 动载硬度试验方法

所加载荷的特点是动态和具有冲击性的。

3. 按试验温度分类

(1) 常温硬度试验方法

硬度试验是在室温下进行的。

(2) 低温硬度试验法

硬度试验的环境条件是 0°C 以下。

(3) 高温硬度试验法

硬度试验的环境条件是室温以上的特定温度。

三、硬度试验方法选择的基本依据

硬度试验的方法很多，这些方法不仅在试验原理上有区别，而且就是同一种方法也还存在着负荷、压头和标尺的不同。因此，如何根据被测试样的特性来选择一种合适的硬度试验方法和试验条件，是进行硬度试验时必须首先认真考虑的问题，一般的选择依据有

(1) 根据被测试样估计硬度范围来选择，如表 5-1 所示为常用金属材料硬度范围。

表 5-1 常用金属材料硬度范围表

金属种类		硬度值(HBS)	金属种类		硬度值(HBS)
灰铸铁		143~269	滚珠轴承钢(退火)		179~207
球墨铸铁		156~269	高速工具钢(热处理后)		HRC≥62
耐磨铸铁		160~260	不锈钢耐酸钢(热处理后)		HRC≥48
耐热铸铁		140~321	合金工具钢	交货状态	≤269
可锻铸铁		163~269		淬火后	HRC≥62
优质碳素结构钢	热轧	≤302	黄铜		53~164
	退火	≤255	锡青铜		55~200
易切削钢	热轧	≤207	铸造用锡青铜		≥60
	冷拔	≤223	白铜		38~100
碳素工具钢	退火	≤217	铸造铝合金		50~100
	淬火	HRC≥62	锌合金		45~120
金属结构钢退火或回火状态		≤269	镍合金	退火	90~200
				冷轧	140~300
弹簧钢		≤321	硬质合金		HRA≥86

如果不能对试样硬度作出大致的估计，可按高硬度的材料来选择试验方法，根据试验结果再进一步选择正确的方法。

(2) 根据试样的形状、大小和厚薄以及热处理工艺来选择，如对铸铁、有色金属以及纯铝等较软的金属用布氏硬度测试较适宜。对较薄的金属试样或镀层试样宜用维氏硬度或努氏硬度试验法。对于大工件，如轧辊、大曲轴等宜选用肖氏或里氏硬度试验法。

(3) 在选定一种硬度试验方法后，按试样的大小、厚薄及硬度允许的范围，应采用同一试验法的大试验力进行试验，以便保证试验结果有较小的相对误差。

(4) 为避免因换算引入误差，在硬度试验工作中，应尽可能选用与标准或所提供资料相同的试验方法来进行试验。

第二节 布氏硬度试验

布氏硬度试验方法是 1900 年由瑞士人布瑞聂耳 (Brinell) 提出来的测定金属和某些塑料的硬度的方法。这种试验方法由于其压痕较大, 因而硬度值受试样成分的偏析和组织的不均匀等因素的影响较小, 其试验的结果分散度小, 重复性好, 能比较客观地反映出试样的宏观硬度。因而成为使用最早、应用最广泛的压入式硬度试验方法之一。

一、布氏硬度试验的定义和原理

1. 布氏硬度的定义

金属布氏硬度试验方法是采用一定直径的钢球或硬质合金球以规定的试验力压入试验金属表面, 见图 5-1 (a), 经规定保持时间后卸除试验力, 并测量压痕直径, 见图 5-1 (b), 计算出布氏硬度值。

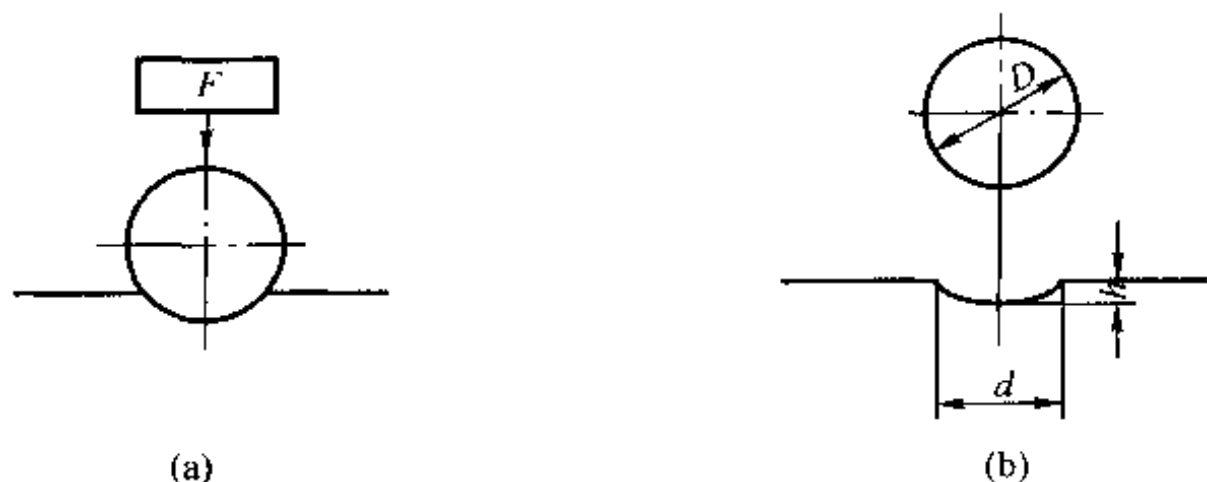


图 5-1 布氏硬度定义示意图

2. 布氏硬度的原理

布氏硬度是以压痕单位面积上所承受的负荷大小来表示材料的硬度值的。所以, 布氏硬度值是试验力除以压痕球形表面积所得的商, 以 HBS 表示, 即公式 (5-1) 所得的值。

$$HBS = \frac{F}{S} \quad (5-1)$$

按几何学推算出 $S = \pi D h = \frac{1}{2} \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})$, 代入公式 (5-1) 得布氏硬度计算公式 (5-2)。

$$HBS(W) = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (5-2)$$

当力值单位为 N 时, 公式 (5-2) 变换为

$$HBS(W) = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F 试验力 (N);

D 钢球直径 (或硬质合金球直径) (mm);

d 压痕直径 (mm)。

当压头为钢球时, 布氏硬度值用 HBS 表示, 压头为硬质合金球时, 用 HBW 表示。

在实际试验中, 为了避免对每个压痕进行计算, 而只是利用测量压痕直径和硬度值的对照表来确定硬度值, 此表是根据计算公式 (5-2) 事先计算编制而成的。这样, 测得压痕直径后, 就可很快查出相应的布氏硬度值来。

二、布氏硬度试验中的相似法则

在布氏硬度试验中, 按 GB 231 的要求必须用标准压头直径、试验力和加力的时间这三个试验条件。通常这些试验条件采用分数表示, 如 HBS (W) 10/1000/30, 它表示布氏硬度试验采用直径为 10 mm 的压头 (钢球或硬质合金球), 用 10 000 N 的力, 力保持时间为 30 s 的试验条件。标准规定布氏硬度试验的基本条件是试验力 F 和压头直径 D 必须恒定, 这样, 所测得的硬度值才能进行比较。

1. 布氏硬度相似法则的提出

在实际进行布氏硬度试验时所遇到的试样、工件, 因材料和热处理的不同, 它的软硬程度不同。同时, 试样厚薄相差甚大, 试样有宽有窄。因此, 如果使用一种标准的试验力和统一的压头直径, 那么往往会出现对厚的材料合适而薄的材料可能造成压透的现象。为了避免出现这些现象, 就需要选择适合该材料布氏硬度试验的力和压头直径。在试验力和压头直径改变后, 怎样才能使得在同一试样上所测得的硬度值相同或在不同的试样上所测得的结果能够相互比较呢? 这就要求, 在进行布氏硬度试验时必须遵循相似法则。

2. 布氏硬度相似法则

根据梅耶尔的研究, 当改变试验力和钢球直径时, 要想在同一材料上得到相同的硬度值, 就必须满足以下几点要求:

- (1) 压痕的几何形状相似。
- (2) 压入角 (φ) 相等, 见图 5-2。
- (3) 压痕表面所受的平均压力相等。

这就是相似原则, 可用公式 (5-3) 表示。式中的 $d/D = d_1/D_1 = d_2/D_2 = \sin\varphi/2 = \text{常数}$ 。

如图 5-2 所示, 当两个直径分别为 D_1 和 D_2 的压头在不同试验力 F_1 和 F_2 作用下进行布氏硬度试验时, 要保证得到在同一材料的布氏硬度值相同, 就必须保证压痕的圆心角 φ 为常数。即保证 $P_1/D_1^2 = P_2/D_2^2 = \dots = \text{常数}$ 。

对于布氏硬度计算公式 (5-2), 以 $d = D\sin\varphi/2$ 代入, 可得

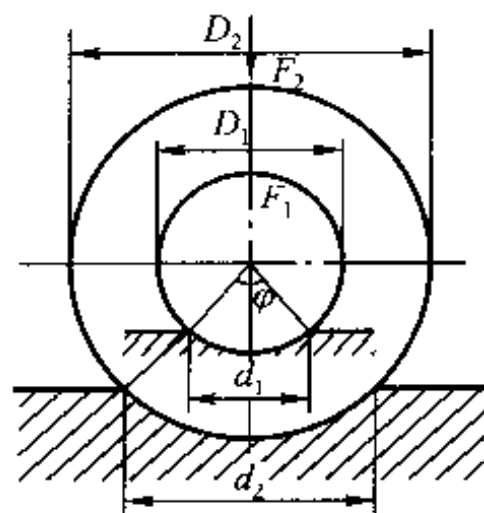


图 5-2 布氏硬度相似法则压痕示意图



$$HBS(W)=\frac{F}{D^2}\left[\frac{2}{\pi\left(1-\sqrt{1-\frac{D^2}{d^2}}\right)}\right]$$

(5-3)

将公式 (5-2) 代入公式 (5-3)，得公式 (5-4)。

$$HBS(W)=\frac{F}{D^2}\left[\frac{2}{\pi\left(1-\frac{\cos\varphi}{2}\right)}\right]$$

(5-4)

由公式 (5-4) 可知，当采用大小不同的试验力和不同直径的压头进行布氏硬度试验时，要保证同一材料的布氏硬度值相同，其压痕的圆心角 φ 应为常数。同时 F/D^2 也应保持为常数，即满足

$$F_1/D_1^2=F_2/D_2^2=F/D^2=K(\text{常数})$$

(5-5)

只要试验力和压头直径满足上述关系，则对同一材料来说布氏硬度值是相同的。而对不同材料所得到的布氏硬度值也可以进行比较。这两个条件满足了，也就是布氏硬度试验严格遵守了相似法则。

GB 231 的国家标准中给定的常数 K 的值为 30, 10, 5, 2.5, 1.25。例如，有一退火状态碳素结构钢，要测其 HBS 时，若用 $D_1=10\text{ mm}$ 的压头， $F_1=10\,000\text{ N}$ 试验力进行试验时，发现试样厚度太薄，要更换压头和试验力，为满足 $F/D^2=10$ 的条件，可选 $D_2=5\text{ mm}$ ， $F_2=2500\text{ N}$ 或 $D_3=2.5\text{ mm}$ ， $F_3=625\text{ N}$ 。

三、布氏硬度试验的要求和条件

1. 试验要求

(1) 对试验后压痕大小的要求

GB 231 金属布氏硬度试验方法要求按相似法则规定所选择的压头直径和试验力后，试验结果的压痕直径必须满足 $0.24D<d<0.6D$ 的条件，否则所测得硬度值不能相互比较。

(2) 对试样的要求

- ①试样的试验面应为光滑平面，不应有氧化皮及外来污物。为保证压痕直径能精确地测量，试验表面的粗糙度 $R_a\leq 0.8$ ；
- ②在试样的制备过程中，应尽量避免由于受热或冷加工等对试样表面的影响；
- ③试样厚度应大于压痕深度的 10 倍。压痕深度 h 可按式 (5-6) 计算；

$$h=\frac{F}{\pi DHBS(W)}$$

(5-6)

试样的最小厚度见表 5-2。

表 5-2 试样最小厚度表 mm

压痕平均直径	试样最小厚度				
	$D=1$	$D=2$	$D=2.5$	$D=5$	$D=10$
0.2	0.10				

续表

压痕平均直径	试样最小厚度				
	$D=1$	$D=2$	$D=2.5$	$D=5$	$D=10$
0.4	0.41				
0.6	1.00	0.46	0.36		
0.8		0.84	0.66		
1.0		1.38	1.04		
1.2		2.00	1.54	0.73	
1.5			2.50	1.15	
2.0				2.09	
2.6				3.65	1.73
3.0				5.00	2.30
3.6					3.35
4.0					4.18
4.6					5.60
5.0					6.70
5.6					8.58
6.0					10.00

④布氏硬度试样表面必须是平面，而测试面与支撑面也应保证平行，从而保证压头轴线与被测试面相垂直。试样的厚度应保证试验后试样支撑面无可见变形痕迹。

2. 试验条件

(1) 试验环境条件

试验应在 $10\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行。对温度有较高要求的试验应控制在 $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 范围内。

(2) 试验时压头轴线必须与试样的被测试面相垂直

试验过程中加荷要平稳、均匀，应避免振动和冲击。

(3) 压痕中心距试样边缘应不小于压痕直径的 2.5 倍，即 $\geq 2.5d$

相邻两压痕的中心距离应不小于压痕直径的 4 倍，即 $\geq 4d$ 。当试样硬度较低时，如 $\leq 35\text{HBS}$ 时，距边缘应 $\geq 3d$ ，相邻压痕距离 $\geq 6d$ 。

(4) 压头的使用

被测试样的 $HBS \leq 450$ 时可用淬火钢球压头, $HBS \geq 450$ 时, 用硬质合金压头。

(5) 试样支撑面、压头表面及硬度计试台应清洁

试样应稳固地放置于试台上, 从而保证试验过程中不发生位移和挠曲。

(6) 根据材料和布氏硬度范围选择 F/D^2 值

如表 5-3 所示。

表 5-3 试验力与布氏硬度压头直径 F/D^2 的选择表

材料	布氏硬度 HBS(W)	F/D^2
钢及铸铁	<140	30
	≥ 140	10
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5(1.25)
	35~80	10(5 或 15)
	>80	10(15)
铅、锡		1.25(1)

注: ①当试验条件允许时, 应首先选用直径为 10 mm 的压头;

②当有关标准中没有明确规定时, 应使用无括号的 $F \cdot D^2$ 值。

(7) 施加力的时间为 2~8 s

对于黑色金属的试验力, 保持时间为 10~15 s, 有色金属为 (30 ± 2) s, 布氏硬度值小于 HBS 35 时为 (60 ± 2) s。

(8) 试验后压痕直径应在 $0.24 \sim 0.6D$ 之间

通常认为 $d = 0.375D$ 时为最好。

(9) 压痕直径应呈现平面圆状

测量圆直径应从两相互垂直方向测量, 并取其平均值。压痕任意相互垂直两方向的直径之差不应超过较小直径的 2%, 但对各向异性明显的材料可不受此限制。但应在有关标准中规定。

(10) 压痕测量装置的最小分度应能估测到 $0.5\%d$

允许误差不大于 $\pm 0.5\%d$ 。用压头直径 10 mm 或 5 mm 时, 压痕直径的测量应精确到 0.02 mm, 用 2.5 mm 压头直径时, 应精确到 0.01 mm。

(11) 硬度值的校核

在每次更换压头试台或支座后, 以及大批试验前, 均应用三等标准硬度块进行硬度示值的校核。

(12) 布氏硬度计应按规定进行定期计量检定

硬度计应在计量检定合格的有效期内使用。

(13) 布氏硬度值不用对照表而进行计算时数值修约规定

当 $HBS(W) \geq 100$ 时, 取整数。 $HBS = 10 \sim 100$ 时, 取一位小数。 $HBS < 10$ 时, 取两位小数。

四、布氏硬度误差来源与试验结果影响因素

1. 布氏硬度的误差来源分析

布氏硬度误差来源可从客观和主观两方面分析。客观上主要是硬度计本身的缺陷造成的。主观因素主要是试样的制备操作者的试验操作问题。

(1) 硬度计本身的问题

① 硬度计压头问题

主要包括：压头直径及椭圆度超差，压头表面生锈、损伤，表面粗糙度不符合要求，压头钢球或硬度合金球在套内有活动的现象，钢球硬度合金球与压头柄部中心线同心度超差等压头存在问题。

② 硬度计试验力的误差问题

试验力超差，如刀子刀垫松动产生移位、刀刃磨损或崩缺、砝码重量超差、负荷杠杆变形或负荷杠杆三个刀刃不在同一平面上、硬度计安装不水平产生摩擦等出现硬度计试验力的误差。

试验力没有全部加上。这里主要是指硬度计的工作台下沉或试验条件选择不当使压头压入过深或控制加荷杠杆下沉的定位块调整不当等造成试验力没有全部加上。

加荷有振动。由于机座安装不稳固或硬度计附近有振源，以及硬度计变速机构有故障造成加荷有振动。

③ 测量装置问题

测量装置问题主要指分划板刻度不准或刻度模糊，镜片或接头松动，测量显微镜片擦伤严重或测微筒“零位”不对，或测微筒螺杆磨损，光源不足，光线投射到压痕上的方向不当等。

(2) 测试的试样问题

试样问题主要指试样制备不符合要求造成误差，如试样表面粗糙度不符合要求，试验加工方法不当，试样表面有氧化层或有污物的问题，或试样被侧面与试台面不平行或试样表面太薄或有曲率等问题。

(3) 试验条件的问题

试验环境温度不符合要求，加卸荷时有振动、试验力保持时间不符合要求或加卸荷速度快慢不符合要求等问题。

(4) 操作者人为影响问题

包括压头和试验力选择不当，压痕中心及压痕与试件边缘距离太近或工作台选择不当，测量压痕直径时，对线读数不准或照明选择不当，或试验后硬度值对照表查错。

2. 影响试验结果的主要因素分析

前面已从主、客观两方面对布氏硬度的误差来源进行了分析，而影响试验结果的主要因素也就是从误差来源中进一步从主要方面进行分析而已。

(1) 试验力和压头直径的影响

当钢球（硬度合金球）直径一定而改变试验力时，由于产生了不相似的压痕形状以及应



变状态不同，从而导致所测的硬度值有较大差别。当试验力一定时，钢球硬质合金球直径大小对布氏硬度值也有影响。试验结果表明，用小直径的压头测出的硬度值大于用大直径的压头测出的硬度值。

(2) 主轴倾斜或试样被侧面倾斜的影响

主轴倾斜或试样被侧面倾斜一方面会使所施加的试验力的垂直分量减小，从而使测得的硬度值偏高，另一方面，因相切于试样被侧面的试验力分量增加，导致压痕直径增大，从而硬度值偏低。在上述两种影响因素中，前者影响小于后者。所以总的影响结果是使硬度值偏低。主轴或试样被侧面倾斜的影响见表 5-4。

表 5-4 主轴与工作面倾斜的影响表

标准硬度块硬度值 (HBS)	试验力 /N	试验力保持时间 /s	压头直径 /mm	主轴与工作台不垂直度		
				1°	2°	3°
				硬度值 (HBS) /主轴与工作面不垂直每变化 1°影响		
226.8	187.5	30	φ2.5	226/-0.35	224.8/-0.29	224.1/-0.24
86.7	2500	30	φ5	86.4/-0.35	85.9/-0.31	85.2/-0.30
84.9	10 000	30	φ10	84.7/-0.24	83.9/-0.39	83.8/-0.26
386.5	30 000	30	φ10	384/-0.65	377/-0.82	370/-0.85

从表 5-4 中可看出主轴与试样被侧面的倾斜度对布氏硬度值的影响，特别是对高硬度值影响较大。所以一般要求倾斜度应在 2°以下。

(3) 压头表面粗糙度的影响

压头钢球表面粗糙度 R_a 应小于 0.2，否则，对低硬度试样影响较大。如对 $HBS < 130$ 的试样，分别用抛光和浸触处理的钢球进行试验时，后者要比前者硬度高，其差值最大可在 4%左右。但对 $HBS > 130$ 的试样，两者无明显差别。

(4) 试样备样加工的影响

试样经机械加工金属的加工硬化能提高其硬度值。对铜铝等加工硬化程度大的金属，硬度提高得更多。因而在制备这些软金属布氏硬度试样时应尽量避免对试样造成冷加工硬化。

(5) 两压痕之间及压痕距试样边缘的距离对试样的硬度值的影响

从表 5-5 可看出，若压痕之间距离过小，由于受邻近压痕形变硬化的影响，使测试的结果偏高。从表 5-6 看出压痕距试样边缘太近时，因形变过大造成硬度值偏低。

表 5-5 压痕间距对 HBS 的影响表

两压痕边缘之间的距离/mm	HBS			HBS(平均值)
4	82.06	80.74	82.42	81.74
8	79.06	79.68	79.86	79.53
12	78.06		78.82	78.75

表 5-6 压痕度试样边缘距离对 HBS 的影响表

压痕边缘距试样 边缘距离/mm	HBS	压痕边缘距试样 边缘距离/mm	HBS	压痕边缘距试样 边缘距离/mm	HBS
0.60	195.65	2.61	241.75	5.74	249.25
2.05	231.95	3.48	245.55	5.85	251.3
2.26	239.25	3.96	249.1	6.77	250.9
2.40	240.25	4.60	249.7	6.82	249.25

(6) 试样表面不清洁的影响

如果试样表面有油污,它就会减小压头和试样表面接触的摩擦力,为压头压入试样创造良好的润滑条件,使试验结果稍偏低。见表 5-7。

表 5-7 试样表面不清洁对 HBS 的影响表

试样表面状况	所测的硬度值 HBS					HBS 平均值
清洁	213	209	207	209	209	209.4
涂有机油	207	209	209	209	209	208.6
涂有凡士林油	207	207	207	207	207	207.0

五、布氏硬度试验方法的优缺点

布氏硬度较适用于铸铁、有色金属及其合金以及各种退火及调质处理后的钢材,特别是对软的金属如铝、铅、锡等更为适宜。布氏硬度有它的优点和缺点。

1. 布氏硬度试验方法的优点

(1) 测量精度高,测量结果再现性好

布氏硬度试验的试验力较大,一般压痕面积较大,它能较真实地反映出多晶体金属材料的平均性能。它特别适宜于对具有较大晶粒或粗大组成相的金属材料硬度的测定。试验的结果稳定,重现性好。

(2) 钢球压头容易制造,压头成本低

2. 布氏硬度的缺点

(1) 布氏硬度测量的操作较复杂,时间较长

布氏硬度试验对不同材料的试样需要更换压头和试验力,而且测试后还要测量压痕直径,操作时间较长,相对于洛氏硬度,它对大批量的硬度测试和流水线上的硬度检测不适宜。

(2) 压头变形问题

对于较高硬度的材料,测试布氏硬度时压头的钢球本身的变形使测量结果不准确,它对于 $HBS < 450$ 较适宜。当布氏硬度值在 450~600 时就必须采用硬质合金 (WC) 球作压头。

(3) 压痕面积的影响

由于布氏硬度压痕面积较大，特别对硬度值较低的材料压痕面积更大，因而它不适宜某些表面不允许有较大压痕的成品零件的硬度检测。

(4) 布氏硬度对被测工件表面质量要求高

布氏硬度只适用于被测工件的测量面为平面的试样，有曲率的面都不适宜。同时布氏硬度的测量硬度值是由其压痕直径的大小而测得，而压痕直径 d 的测量精度又对被测试样表面质量如平面度、粗糙度等有直接影响，因而它对试样表面质量和形状偏差要求较高。

第三节 金属洛氏硬度试验

洛氏硬度试验法是美国人洛克尔在 1919 年提出的。它是用金刚石锥体或淬火钢球做的压头压入被侧面，根据试样压痕深度来表示硬度值的静载压痕法硬度试验。洛氏硬度试验法的出现也是针对布氏硬度试验法所存的问题而提出的。洛氏硬度试验是目前应用最广的硬度试验方法。洛氏硬度表示符号为 HR。

一、洛氏硬度试验原理

洛氏硬度试验方法系采用锥角为 120° 的尖端圆弧半径 0.2 mm 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm (即 1/16 英寸) 的淬火钢球为压头测定系统先后两次施加负荷 (即负荷 F_0 及总负荷 F) 的作用下压入试样表面，如图 5-3 和图 5-4 所示。然后卸除主负荷 F_1 ，在保持初负荷下用测量出由主负荷 F_1 所引起的残余压入深度 e 作为洛氏硬度指标。如图 5-3 和图 5-4 所示， $e = \Delta h = h_1 - h_2$ ，这样 e 值硬度值愈大，洛氏硬度值愈小；反之， e 值愈小，洛氏硬度值愈大。这和我们习惯概念正好相反。为此选定一个常数 K ，再减去 $(h_1 - h_2)$ 来表示洛氏硬度值高低，并规定压入 0.002 mm 为一个硬度单位，由此可得洛氏硬度公式 (5-7)。

$$HR = \frac{K - (h_1 - h_2)}{0.002} \quad (5-7)$$

式中 HR — 洛氏硬度值；

h_1 — 卸主负荷后，因弹性变形而压头提升的高度；

h_2 — 在主负荷下的压痕深度；

K — 常数。

因此，洛氏硬度值是一个无量纲物理量。可以从硬度计的读数表盘或光学投影刻度板上直接读出。表盘或刻度板上有 A (C) 和 B 两种刻度，B 刻度和 A (C) 刻度零位相重合。当用金刚石压头时，读 A (C) 刻度。洛氏硬度公式中的常数 $K = 0.2$ mm，即有

$$HRA(C) = \frac{0.2 - (h_1 - h_2)}{0.002} \quad (5-8)$$

当用钢球或硬质合金压头时，洛氏硬度公式中的常数 $K = 0.26$ mm，即有

$$HRB = \frac{0.26 - (h_1 - h_2)}{0.002} \quad (5-9)$$

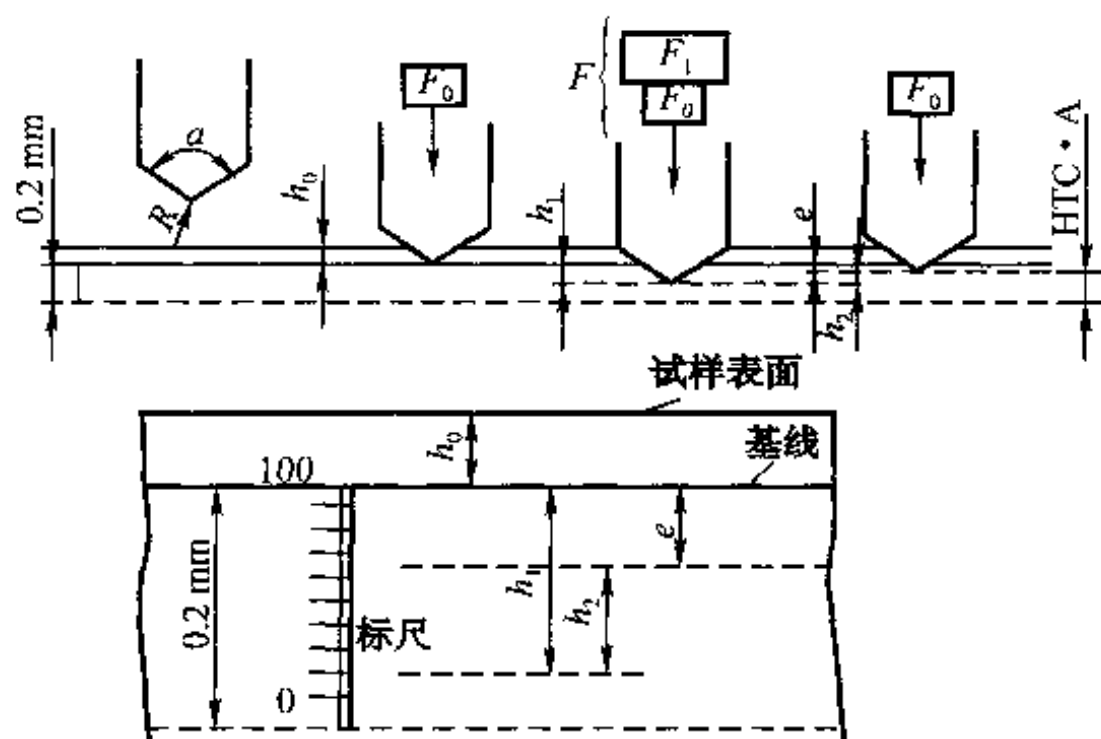


图 5-3 用金刚石锥体压头所做的洛氏硬度试验原理示意图 (HRA, HRC)

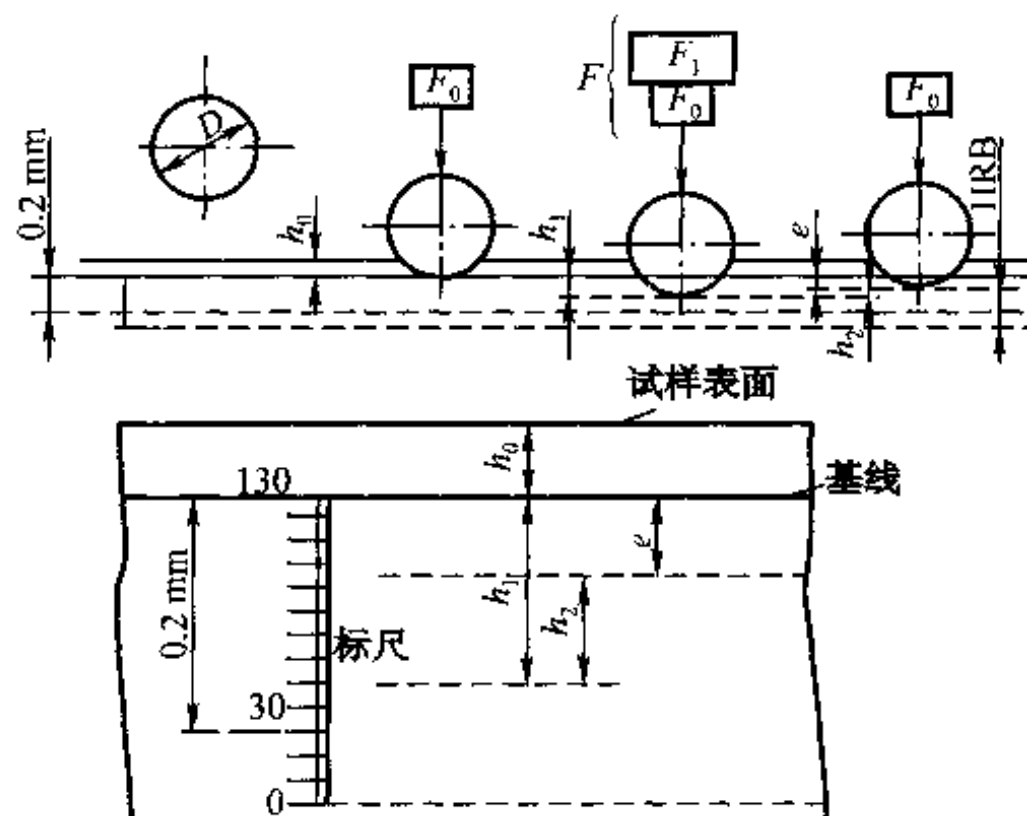


图 5-4 用钢球压头所做的洛氏硬度试验原理示意图 (HRB)

若以 e 表示 $\frac{h_1 - h_2}{0.002}$, 则上述公式可分别表示为

$$\text{HRA}(\text{HRC}) = 100 - e \quad (5-10)$$

$$\text{HRB} = 130 - e \quad (5-11)$$

公式 (5-10) 和 (5-11) 中的 100 和 130 是 K 常数值折合成表盘或刻度板上的格数和刻度的值。对于表盘式洛氏硬度计来说, $K=100$ 刚好在硬度计表盘上为一圈, 常数 $K=130$ 为表盘上一圈加上 30 格。对于 HRB 来说, 一般是试验软的材料时其压入深度较深, 有时可能大于 0.2 mm, 也就是说, 压头压入时指针要转动 100 格以上, 若 K 值定为 100 时, 计算结果硬度值会等于零或者出现负值。为避免上述现象的发生, 故将 K 值定为 130。同时钢球压入的深度一般不会小于 0.06 mm, 也就是说, 指针沿刻度盘的转动不会少于 30 格。所以



起点提高 30 格。而 HRA (HRC) 是用于测量较硬的材料, 一般不会出现压入深度大于 0.2 mm 而使硬度值为零的现象。

图 5-3 中压痕深度 h_1 是试样产生的塑性变形量, 弹性变形将随着主负荷 F_1 的卸除而消失。因此表盘上指针反向转动的情况是可估计试样弹性变形量的多少的。洛氏硬度试验中, 施加初负荷 F_0 主要是为了确定压入深度的起点, 消除压头试样和工作台之间的间隙以及试样表面凹凸不平对硬度显示值的影响, 以保证试验结果的正确性。

洛氏硬度以符号 HR 表示。因所用的压头和负荷的不同分别再标 A, B, C, E, F, N, T 等大写英文字母, 如 HRA 和 HRC 为洛氏硬度金刚石压头负荷为 600 N 和 1500 N 的洛氏硬度标尺, 而 HRB 为淬火钢球压头负荷为 1000 N 的洛氏硬度标尺。而 E, F, N, T 等均为低负荷的表面洛氏硬度表示法。

二、洛氏硬度试验要求

洛氏硬度试验方法的要求与布氏硬度试验一样, 总的来说包括对硬度计本身的要求, 环境条件, 对试样的要求和操作人员操作的正确性等 4 个方面。

1. 环境条件要求

- (1) 洛氏硬度试验应在 10~35 °C 温度范围内进行。
- (2) 洛氏硬度试验应在无冲击振动的环境内进行。

2. 对洛氏硬度计本身的要求

洛氏硬度计包括压头的标准硬度块, 应在力学计量仪器的定期计量检定合格有效期内进行试验, 硬度计还应经常上油清洁, 保持仪器的完好、整洁、无锈, 特别是支持台的台面清洁无锈。

3. 对试样的要求

(1) 试样的被测面必须经过精细的加工, 表面粗糙度 $R_a \leq 0.8$, 且表面应平坦, 无锈蚀裂纹, 无明显的加工痕迹和凹坑等现象, 机械加工试样表面应防止出现过热或冷作硬化等现象。

(2) 试样支承面应清洁, 无外来污物, 试样支承面上不允许有毛刺。对于平面试样应保证支承面与测试面的平行。

(3) 试样放在工作台上应平稳, 在试验过程中不应发生位移。

(4) 试样的最小厚度应不小于压痕深度的 10 倍。试验后试样背面不得有肉眼可见的变形痕迹。试样最小厚度可参考表 5-8。

表 5-8 洛氏硬度的最小厚度表

洛氏标尺	A			B									C				
HR	70	80	90	25	30	40	50	60	70	80	90	100	20	30	40	50	60
最小厚度 mm	0.7	0.5	0.4	2.0	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.8	0.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.8

4. 对检测人员的试验操作要求

(1) 试验时两相邻压痕中心及压痕中心至试样边缘的距离不应小于 3 mm。

(2) 在施加初负荷 F_0 时应平稳地转动手轮, 使试样向上移动至初负荷 F_0 全部加完为止, 不得用手或其他物敲手轮, 若初负荷 F_0 超过硬度计所规定的标志时, 应卸除再另选一点重新进行试验。

(3) 加负荷时必须平稳均匀, 不得附加振动和冲击。

(4) 硬度计的加荷速度以压入时间来表示, 对 A, B, C 标尺均为 4~8 s, 在 1000 N (100 kgf) 负荷空程下进行。

(5) 施加完主负荷 F_1 后, 总负荷 F 的保持时间应以表盘指针或刻度板刻线基本停止移动为准。总负荷保持时间推荐如下:

①对于加荷后不随时间继续变形的试样, 保持时间为 ≤ 2 s;

②对于加荷后随时间缓慢变形的试样保持时间为 6~8 s;

③对于加荷随时间明显变形的试样保持时间为 20~25 s。

(6) 当主负荷 F 卸完后, 在保留初负荷 F_0 的作用下应立即从表盘上或影屏刻度线上读出相应标尺的硬度值, 其读数精度为 0.5 刻度。

(7) 测试要求为在每个试样上的测试点应不小于 4 点, 其中第一点不记录。对批量试样的检测点数可适当减少为 3 点。但除有关标准和技术条件规定以外, 一般每个试样应给出 3 个点的洛氏硬度值。

(8) 进行洛氏硬度试验时, 检测人员必须保证压头的负荷作用线与试样被测试面相垂直。

(9) 对于试样测试面有曲率半径的, 当曲率半径小于 20 mm 时, 必须将所测得的硬度值按实际曲率半径对照 GB/T 230.1 洛氏硬度试验方法的修正表加以修正。因为在有曲率半径的试样表面所测的硬度值要比平面上测得的结果低。这种现象可从力学角度来分析, 即压头压入具有曲率的试样表面时, 被压处四周的抵抗力比平面试样要低得多, 致使压痕深度增加, 硬度值降低, 曲率半径愈小, 硬度值降低愈明显。因此对于有小曲率的试样测得的硬度值应加以修正。

三、洛氏硬度误差来源分析

(一) 洛氏硬度误差来源

洛氏硬度试验误差总的来说可以从试验环境条件、硬度计本身、试样的制备及试验操作者的操作水平四个方面来分析。

1. 试验环境条件

①试验环境温度不符合要求, 太高及太低且变化大;

②试验环境有振源, 造成试验有振动。

2. 硬度计本身存在的问题

(1) 硬度计压头问题



①金刚石压头几何形状不正确,如锥角及顶端半径超差,金刚石表面有裂纹等缺陷,金刚石与压头座焊接不牢;

②钢球直径和椭圆度超差,钢球表面质量不符合要求。钢球与压头柄部中心线同心度超差。

(2) 硬度计负荷问题

①初负荷超差或不稳定,初负荷指示表位置变动。初负荷弹簧失效,主轴与轴套百分表测量杆有污物锈蚀,调重块移动等;

②主负荷超差或不稳定,负荷杠杆上刀子和刀垫位置改变,砝码缺损质量超差,初负荷超差,砝码吊杆过长,试样下沉,缓冲器失灵等。

(3) 主轴问题

弹簧失效,主轴上、下运动不灵活,摩擦太大等。

(4) 升降丝杆与工作台问题

升降线杆下沉晃动,丝杆与主轴不同心,工作台面不平度超差或锈蚀严重。

(5) 缓冲器问题

缓冲器有冲击现象出现,缓冲器下不到底或缓冲器内有空气。

(6) 测量指示机构问题

测量杠杆比失调或变形,指示器失灵或刻线脏污等。

3. 试样制备问题

试样机加工不当影响硬度测试结果或试样不符合要求,试样支承面与硬度工作台面不平行或密合性不好。

4. 试验操作者的操作问题

操作者不熟练,工作台选择不当,压头装夹不符合要求,样尺选择不当等。

(二) 影响试验结果的主要因素

洛氏硬度试验结果主要影响因素也可从试样本身、试验环境条件和操作者测试技术水平来分析。

1. 试样本身问题

(1) 试样表面粗糙度的影响

试样表面粗糙度太大,会使加上初负荷后表盘零位不真实,从而影响试验结果,还会造成示值的波动性,也就是说测点在波谷底时示值偏高,在波峰顶时示值偏低,试样表面愈粗糙,波动就愈大。经验表明,表面粗糙度 $R_a > 6.3$ 时影响较大, $R_a < 0.8$ 影响较小。

(2) 试样组织不均匀的影响

若试样有较大缺点,局部脱碳、缩孔、气孔、针孔、夹杂等缺陷及加工使其产生各向异性时,会使试验结果分散性大,结果就会没有代表性。

(3) 平面试样几何形状不符合要求的影响

平面试样应保证在工作台上测试面与压头轴线相垂直,否则试验结果偏低。

2. 环境条件的影响

(1) 试验温度的影响

温度不仅会使材料内部结构产生微小变化, 而且还能引起硬度计缓冲器中油的粘度变化, 因而改变加荷速度, 当温度升高时硬度值降低, 反之硬度值增高。

(2) 冲击与振动环境影响

当环境有较显著的冲击源时, 整个硬度计在加荷测试时, 振动会造成测试结果偏低。

3. 人员操作的不当造成的影响

(1) 加荷速度的影响

实践证明, 加荷速度对硬度值有影响。当主负荷 F_1 施加速度由 2 s 变为 12 s 时, 对硬度值的影响为: 低硬度值为 0.2 HRC, 中硬度值为 0.4 HRC, 高硬度值为 0.6 HRC。

(2) 初负荷施加是否到位的影响

当试验操作初负荷不到位时, 硬度值会明显偏高。

(3) 负荷保持时间的影响

负荷保持时间愈长, 测出的硬度值愈低。这对低硬度材料的影响更大, 对高硬度值材料影响小, 见表 5-9。

表 5-9 负荷保持时间对洛氏硬度值 (HRC) 的影响

洛氏硬度值(HRC)	负荷保持时间/s		
	2	10	30
65	0.3	0	-0.1
40	0.5	0	-0.2
20	0.7	0	-0.4

(4) 硬度测试时操作者人为造成样品移动的影响

当洛氏硬度试验在施加负荷的过程中, 操作者人为保持试样水平时造成试样微动, 这样硬度测试结果严重偏低、失真。

四、洛氏硬度试验应用范围及其优缺点

洛氏硬度试验方法就是针对布氏硬度所存在的缺点而出现的, 对于致密较均匀金属材料, 从高硬度到低硬度处都适用, 甚至有些非金属材料也规定其硬度用特定的钢球压头进行硬度测试。这也是洛氏硬度的优点之所在。

1. 洛氏硬度试验方法的优点

(1) 洛氏硬度测定金属材料硬度范围宽。

洛氏硬度可以用不同的压头 (金刚石和淬火钢球) 和不同的总负荷 (如 600 N, 1000 N, 1500 N, 150 N, 300 N, 450 N), 从而组成 15 种不同的洛氏硬度标尺, 因而可以测量从较软到较硬的材料硬度, 使用范围广。如表 5-10 所示。

表 5-10 各种洛氏硬度标尺试验条件和应用范围

标尺符号	所用压头	初负荷 /N	总负荷 /N	测量范围 (HR)	应用举例
HRA	金刚石圆锥	100	600	≥ 70	硬质合金碳化物, 表面 淬火钢, 硬化薄板
HRB	直径为 1/16 英寸* 的钢球	100	1000	25~100	铜合金退火钢, 铝合 金, 可锻铸铁
HRC	金刚石圆锥	100	1500	20~67	淬火钢, 冷硬铸铁, 钛 合金等调质钢
HRD	金刚石圆锥	100	1000	40~77	薄钢板, 表面硬化层为 中等厚度的钢, 珠光体 可锻铸铁
HRE	直径为 1/8 英寸* 的钢球	100	1000	70~100	铸铁, 铝, 镁合金, 轴承 合金等退火铜合金, 薄 软钢板等
HRF	直径为 1/16 英寸* 的钢球	100	60	40~100	
HRG	直径为 1/16 英寸* 的钢球	100	1500	31~91	磷青铜, 铍青铜和可锻 铸铁
HRH	直径为 1/8 英寸* 的钢球	100	600		铝, 锌, 铅等
HRK	直径为 1/8 英寸* 的钢球	100	1500	40~100	轴承合金和其他薄软 材料
HRL	直径为 1/4 英寸* 的钢球	100	600		
HRM	直径为 1/4 英寸* 的钢球	100	1000		
HRP	直径为 1/4 英寸* 的钢球	100	1500		
HRR	直径为 1/2 英寸* 的钢球	100	600		
HRS	直径为 1/2 英寸* 的钢球	100	1000		
HRV	直径为 1/2 英寸* 的钢球	100	1500		
15N	金刚石锥	30	150	70~92	表面硬化钢, 硬薄钢板
30N	金刚石锥	30	300	43~82	
45N	金刚石锥	30	450	25~72	
15T	直径为 1/16 英寸* 的钢球	30	150	72~93	铜, 黄铜, 青铜的薄板
30T	直径为 1/16 英寸* 的钢球	30	300	39~83	
45T	直径为 1/16 英寸* 的钢球	30	450	7~73	

注: * 英寸为非法定计量单位, 1 英寸 = 25.4 mm。

(2) 洛氏硬度操作简便, 适用于成批生产检验。

洛氏硬度操作比布氏等其他硬度要简便又迅速, 因而工作效率高, 适用于成批生产检验。有不少企业生产大批量的同一形状的零件时, 将硬度检验置于生产线上形成流水作业。而其他压入式的硬度测试就难以胜任。

(3) 洛氏硬度对工作表面操作损伤轻微，因而可作零部件成品的硬度检验。

2. 洛氏硬度试验的缺点

(1) 洛氏硬度使用不同的压头和不同的负荷，因而有不同的标尺，其不同标尺间测得硬度值无法进行相互比较。

(2) 洛氏硬度测量的面积较小，所以对具有粗大组成相的金属以及组织不均匀的材料不适用。

(3) 对于太软的材料，洛氏硬度测试时压头压入过深，误差大。而当硬度太高时，由于压头端圆弧半径只有 0.2 mm，因而单位面积受力大，易使压头损坏，同时压头深度过浅，测得结果也不准确。

第四节 维氏硬度、显微硬度和努氏硬度试验

由于布氏硬度硬度试验法存在钢球压头变形等问题及洛氏硬度不同标尺测定的硬度值不能直接对比等问题，1925 年英国维克尔公司 (Vickers) 的 R. 史密斯和 G. 桑德来德提出维氏硬度试验法。维氏硬度符号为 HV，维氏硬度试验负荷由百分之几 N 力到 300 N 力范围很大，一般又把负荷为 10 N 力以下的维氏硬度试验称为低负荷维氏硬度或显微维氏硬度。再从显微维氏硬度压头从正四棱锥改为扁四棱锥又分出一个努氏硬度。

一、维氏硬度试验

1. 维氏硬度试验原理

(1) 维氏硬度试验定义

维氏硬度试验是用一个相对两面夹角为 136° 的正四棱锥体的金刚石压头在一定的负荷 (50, 100, 200, 300, 500, 1000 N 力) 的作用下压入试样表面，经规定的保持时间后卸除试验力并测量两对角线长度平均值，从而测得压痕之单位表面积上的负荷大小，以此表示硬度值的大小，其示意图如图 5-5 所示。

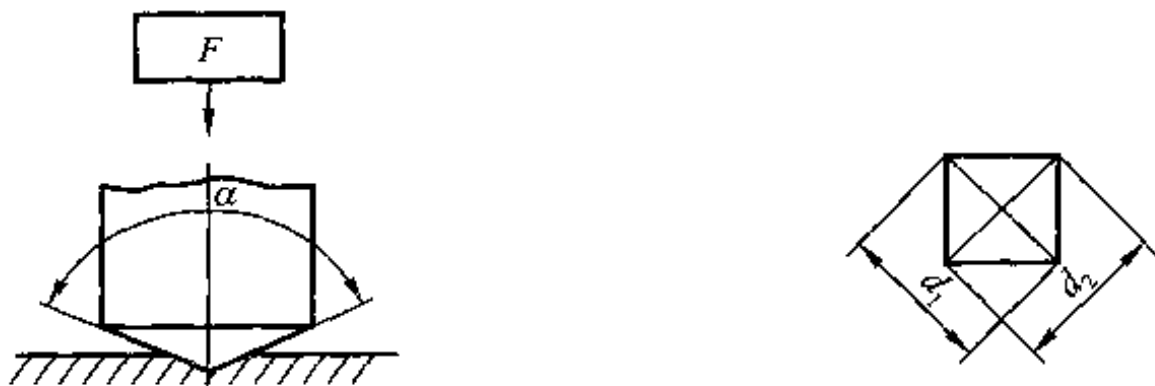


图 5-5 维氏硬度试验原理示意图

(2) 维氏硬度值计算公式来源

维氏硬度计算公式为式 (5-12)。



$$HV = \frac{F}{S} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (5-12)$$

式中 F — 试验力 (N);

S — 压痕表面积 (mm^2)。

下面把维氏压头的压痕器表面积以压痕对角线计算出来。如图 5-6 所示为维氏四棱角锥压痕放大图, 压痕的俯视图为正方形 $ABCD$, 其对角线 $AC = d_1 = BD = d_2 = d$ 。压痕的表面积为 4 个等腰三角形 ABO 的面积之和, 即

$$S_{ABO} = \frac{1}{2} AB \cdot EO, \text{ 因正方形对角线 } d_1 = d_2 =$$

d , 而且正方形边长 $AB = \frac{d}{\sqrt{2}}$ 。在直角三角形 FEO

$$\text{中因 } EF = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{\sqrt{2}}, \text{ 所以 } EO = \frac{EF}{\sin 68^\circ} = \frac{\frac{d}{2\sqrt{2}}}{\sin 68^\circ},$$

$$\text{所以 } S_{ABO} = \frac{1}{2} AB \cdot EO = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\frac{d}{2\sqrt{2}}}{\sin 68^\circ} =$$

$\frac{d^2}{8\sin 68^\circ}$, 压痕表面积公式为

$$S = 4S_{ABO} = \frac{d^2}{2\sin 68^\circ} \quad (5-13)$$

式中 d — 压痕对角线长度 (mm);

$$\sin 68^\circ = 0.92718。$$

将公式 (5-13) 代入式 (5-12) 中得出维氏硬度计算公式 (5-14)。

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{d^2}{2\sin 68^\circ}} = 2 \cdot \sin 68^\circ \frac{F}{d^2} = 1.8544 \frac{F}{d^2} \quad (5-14)$$

$$\text{当试验力用 N 表示时, } HV = 0.102 \times \frac{2F\sin 68^\circ}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2}。$$

(3) 维氏硬度试验的相似原则

为使维氏硬度尽量接近布氏硬度值, 以使维氏硬度能进行比较, 维氏硬度四棱锥两相对面的夹角选 136° 。因为当布氏硬度压头球直径为 D 时, 其压痕直径 $d = 0.375D$ 时所对应的压入角为 44° (此值为最佳压力角), 而维氏硬度为 136° , 四棱锥体的压入角也为 44° , 所以维氏硬度四棱锥两相对面的夹角选用 136° 。

2. 维氏硬度试验要求

(1) 对试验环境的要求

- ① 试验环境温度应在 $10 \sim 35^\circ\text{C}$ 。对温度有较严格要求时, 应在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 温度范围内进行;
- ② 试验应在无冲击和振动的环境下进行。

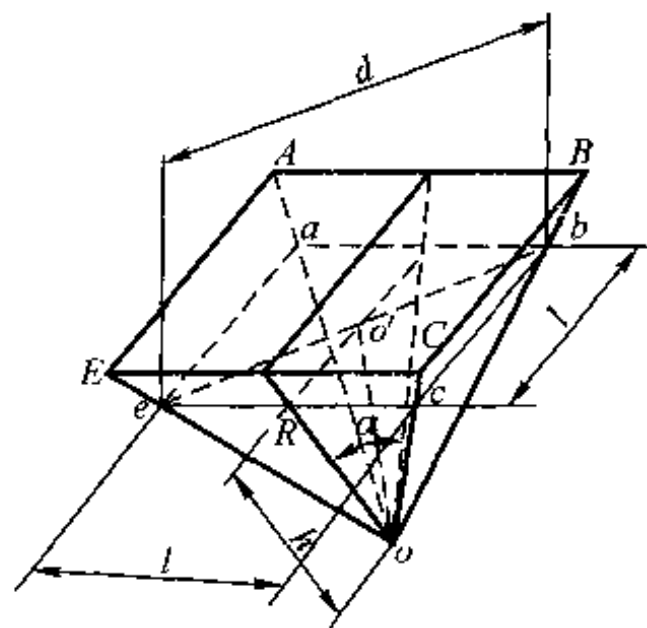


图 5-6 四棱角维氏压痕放大图

(2) 对试样的要求

①试样制备时, 不应产生加工硬化现象, 也不允许改变金属的相和组织;

②试样表面应平整光洁, 不得有油污、氧化皮及外来污物。试样的试验表面粗糙度 $R_a \leq 0.2$, 对于平面试样试验面与支承面必需保证平行;

③试样或试验层的厚度至少应为压痕对角线平均长度的 1.5 倍。其厚度一般可按试验力—硬度值—试验最小厚度关系的图 5-7 进行, 试验后试样背面不应出现可变形痕迹, 否则试验无效需重新试验。

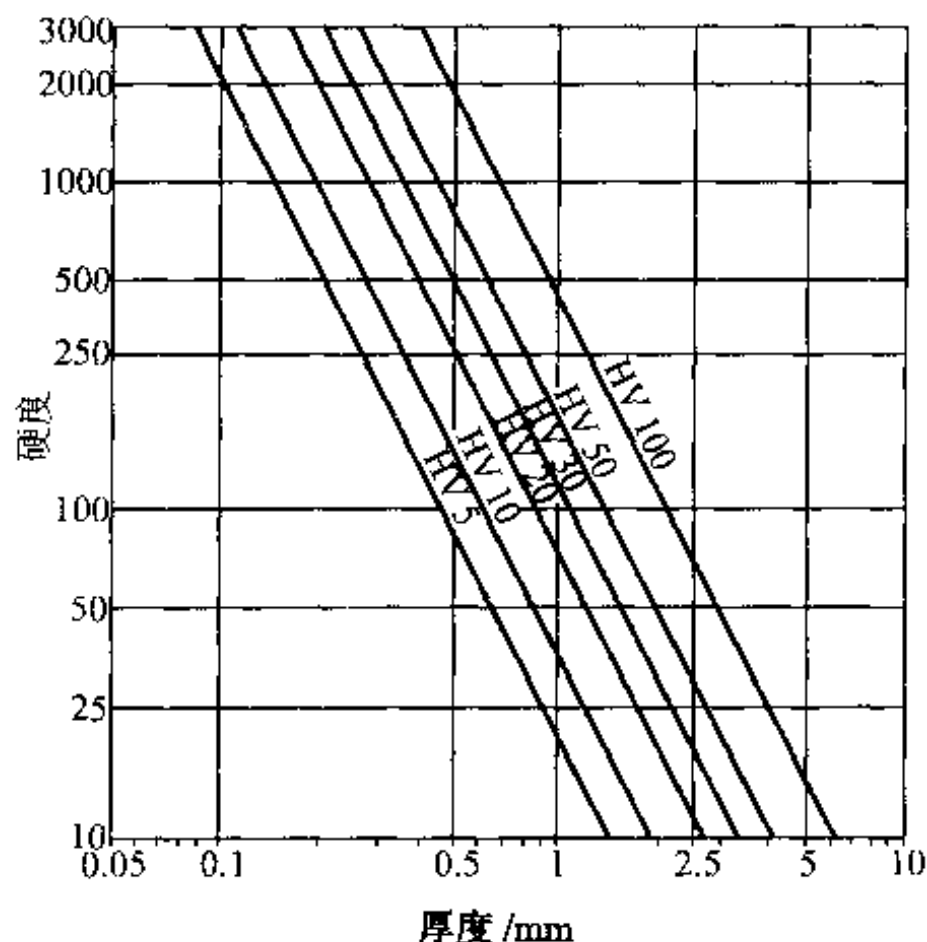


图 5-7 试验力、硬度值和试样最小厚度

(3) 对试验操作者的要求

①试验力的选择为：一般按表 5-11 试验力选择表中规定的试验力进行试验；

表 5-11 试验力的选择表

硬度符号	HV5	HV10	HV20	HV30	HV50	HV100
试验力 /kgf(N)	5 (49.03)	10 (98.07)	20 (196.1)	30 (294.1)	50 (490.3)	100 (980.7)

试验时应尽可能选用大的试验力, 但当试样的维氏硬度值大于 500 时, 最好不选大于 490.3 N 的试验力, 以免损坏压头;

②操作者应保证试样支撑面压头表面及试验台清洁。试样应稳固地放置在试台上, 确保试验过程中不发生位移和挠曲;

③施加试验力应均匀平稳, 不得有冲击和震动。试验力作用线与实验面垂直;

④加荷速度 (以压入时间计) 为 2~8 s, 对黑色金属, 加荷时间一般为 10~15 s。对有色金属为 30 ± 2 s。若有关标准另有规定应按标准执行;

⑤对黑色金属两压痕之间的中心距或任一压痕的中心距试样边缘距离应不小于压痕对角



线平均值的 2.5 倍 (即 $\geq 2.5 d$)，对有色金属，上述距离应不小于压痕对角线平均值的 5 倍 (即 $\geq 5 d$)；

⑥关于硬度值测试的有效性，卸除试验力后测量压痕两对角线的长度时，两对角长度之差不应超过短对角线长度的 2%，但各向异性的材料不受此限制，对此，有关标准中有相应的规定；

⑦对于压痕对角线测量的量具精度要求，测量装置的最小分度值应不大于 0.001 mm，当压痕对角线 $l \leq 0.2$ mm 时允许误差为 ± 0.001 mm；当对角线 $l > 0.2$ mm 时应为 $\pm 0.5\% d$ ；

⑧操作者试验时，每个试样至少测三个点的维氏硬度值；

⑨根据相似原理，虽然维氏硬度不取决于试验力的大小，但在做重要的试验时，需注明使用的试验力；

⑩对有曲率面的试样，维氏试验后应加修正值。

3. 维氏硬度误差来源及分析

(1) 维氏硬度误差来源

维氏硬度误差来源与布氏硬度相似，也是由硬度计本身问题、试样问题、试验条件问题和操作者问题 4 个部分组成。

(2) 影响试验结果的主要因素

①试验力大小的影响

对于匀质材料，在任何试验力作用下，所得的压痕都是几何形状的，所以从理论上说，试验力的选择对硬度值没有影响，然而对于软钢和许多软金属，由于在较大的试验力作用下塑性影响区较大，使材料抵抗压头压入的能力减小，因而硬度随着负荷的增加而下降。

②加荷速度的影响

加荷速度以 0.1~0.2 mm/s 为宜，若加荷速度过快，由于产生了附加惯性力，会使结果偏低，这尤其对高硬度材料影响较大。对低硬度材料影响较小。同时，加荷速度过快又会使试验力作用时间短，试样来不及充分变形又有使硬度值增高的倾向。这种影响对塑性较好的金属比较明显。

③试验力保持时间的影响

试验力保持时间对硬度值是有影响的，保持时间过短，试样未充分变形会使压痕减小硬度值增高。保持时间过长，除降低试验效率之外，还可能造成更多的受外界因素（如振动等）的影响而使结果偏低的机会。

④试验温度的影响

一般说来，温度升高时测得的硬度值偏低，反之偏高。由温度的变化引起的硬度值的误差 ΔHV 可用公式 (5-15) 进行计算。

$$\Delta HV = -K HV (t - t_0) \quad (5-15)$$

式中 t 试验时的温度 (°C)；

t_0 标准温度 20°C；

K 修正系数， $K = 5.25 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 。

⑤试样表面状况的影响

试样表面粗糙度、曲率、厚度都会给硬度值带来误差。试样表面粗糙度符合要求，测压痕的轮廓清晰，测量结果准确性就高，分散性就小。当测试带有曲率的试样时，如测有凸形曲率的试样时，测得结果偏低，测凹形曲率试样时结果偏高。因此，对已知被测试样测试面曲率半径的试样，测试结果应按标准要求加以修正。

4. 维氏硬度应用范围及其优缺点

(1) 维氏硬度应用范围

维氏硬度试验法广泛应用于材料研究工作中和热处理工艺质量检验工作中，特别地，可应用于细小、极薄的材料以及测定热处理表面淬火时的硬化层深度和氮化、渗碳等试件表面硬度及镀层表面硬度的测定。它还可以用于表面的脆性等级的测定。

(2) 维氏硬度试验法的优点

①维氏硬度应用广泛，它对较硬或较软材料、极薄细的材料以及表面有薄层处理的材料都能适用；

②维氏硬度对负荷的选择无严格限制。维氏硬度与布氏硬度一样，它不受试验力的影响，对于一均质材料用不同的试验力所获得的压痕几何形状相似，其硬度值相同；

③在 HV 400 以下的维氏硬度值与布氏硬度值近似；

④维氏硬度的测定对试样损伤小。因维氏硬度压痕小，对试件损伤有的肉眼都不能看出，因此它可作成品工件的检测；

⑤维氏硬度测量精度高。维氏硬度压头采用相对夹角为 136° 的正四棱锥，只要试件表面粗糙度符合要求 ($R_a \leq 0.2$)，试验后的压痕就是轮廓清晰的正方形压痕，很容易对其对角线进行准确的测量；

⑥用 100 N 的试验力试验，试验后的压痕边缘和四方角整齐与否可作表面层脆性等级的测定。

(3) 维氏硬度试验法的缺点

①维氏硬度操作复杂，不易掌握，维氏硬度试验条件要求比洛氏硬度和布氏硬度都高。试验后的压痕对角线测量精度要求也相对布氏硬度高。所以硬度测试结果受操作者人为因素影响较大，而且测试效率不高；

②维氏硬度压头要求高，加工困难，价格昂贵。

二、显微硬度试验

由于维氏硬度的负荷可以任意选择而不影响硬度的测定。因此不难想像若将维氏硬度试验负荷从原值减小到原值的千分之一（以 mN 为单位），便可以测定一个极小范围内的硬度值了，如可测量极薄的表面层和金属内个别夹杂物或其他组成相的维氏硬度值。这就是微观维氏硬度试验，一般称显微硬度试验。

1. 显微硬度试验法的基本原理

显微硬度试验所用的压头与维氏硬度一样也是相对夹角为 136° 的四棱锥金刚石压头，只不过其制作的精度要求更高。显微硬度的计算公式和维氏硬度一样，即 $HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$ ，但

所用单位不同，式 (5-14) 的维氏硬度用的试验力的单位为 N，而显微硬度用的力的单位是 mN，是它的千分之一，所以前面的系数不是 0.1891，而是 189.1。故显微硬度的计算公式为式 (5-16)。

$$HV_m = 189.1 \frac{F}{d^2} \quad (5-16)$$

所以显微硬度也叫显微维氏硬度。

2. 显微硬度的用途

(1) 单独进行硬度的测定

- ①测定表面粗糙度 $R_a \leq 0.1$ 以上的细小薄片、细线材等试件的硬度；
- ②测定试件表面薄层、硬化层、电镀层、渗碳层、氮化层的硬度；
- ③测定一些高硬度的非金属材料，如人造金刚石等。

(2) 作为金相显微镜的附件装置

- ①用它来测定金属相和组织的硬度从而帮助鉴别该相和组织；
- ②测定渗层和硬化层的深度。

三、努普硬度试验

努普硬度 (Knoop) 试验与维氏硬度一样只是金刚石四棱锥压头采用了对棱角为 172.5° 及 130° 。在被测试样表面得到扁四棱形压痕，从而得到的长对角线比短对角线长度大 7.11 倍。只测量长对角线 L 便可算出硬度值。努普硬度的表示符号为 HK。

1. 努普硬度试验原理

努普硬度试验是用一定的试验力，将一个对棱角分别为 172.5° 及 130° 的四棱角锥压入试样表面，保持一定时间后卸除试验力，测量其压痕的长对角线，计算出压痕的投影面积，如图 5-8 所示。

努普硬度值 HK 等于施加的试验力除以压痕投影面积，即

$$HK = 0.102 \frac{F}{S} \quad (5-17)$$

式中 S —— 压痕投影面积 (mm^2)；

F —— 试验力 (N)。

压痕投影面积扁四棱形中长对角线为 L ，短对角线为 W ，扁四棱形的面积为 $S = \frac{1}{2}WL$ ，而根据几何关系， $L =$

$7.1144W$ ，即 $W = 0.14056L$ ，因此 $S = \frac{1}{2} \times 0.14056 L^2 = 0.07028 L^2$ ，将 S 代入式 (5-17) 中，得努普硬度计算公式 (5-18)。

$$HK = \frac{0.102 F}{0.07028 L^2} = 1.451 \frac{F}{L^2} \quad (5-18)$$

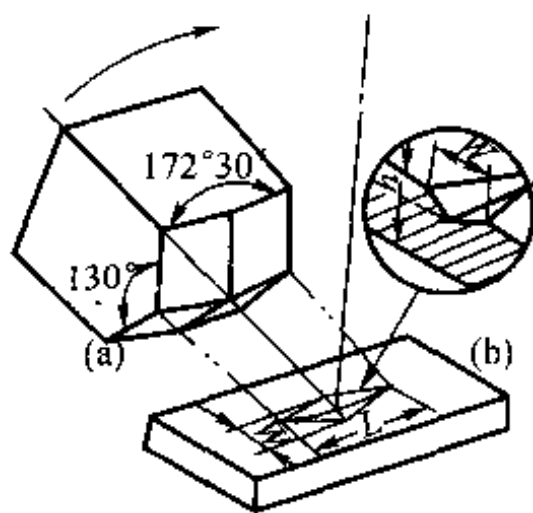


图 5-8 努普硬度试验原理示意压痕图

式中 F —— 试验力 (N);
 L —— 压痕长对角线长度 (mm)。

2. 努普硬度试验要求

(1) 努普硬度试验环境条件要求

① 试验温度条件

试验应在 $10 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内进行, 对精度要求较高的试验, 温度应控制在 $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 范围内;

② 努普硬度试验应在无冲击振动的环境内进行, 以便保证加荷平稳。

(2) 对试样的要求

① 试样表面应按金相试片的制备方法进行研磨和抛光, 应尽量避免加工硬化对硬度值的影响, 试样被侧面应为平面;

② 试样被测表面粗糙度应为 $R_a \leq 0.1$, 最好采用电解抛光;

③ 试样不应有磁性, 表面不应有油脂及其他外来污物和影响测量的其他疵病;

④ 试样应有相应的厚度。试验后试样背面不应呈现变形的痕迹;

⑤ 对于极细小或很薄的试样, 可将其镶嵌在塑料或其他较软的材料上, 如低熔点合金等。但镶嵌材料应有足够强度, 使其在试验时不产生位移。

(3) 对试验操作者的要求

① 根据试样的估计硬度和厚度值来选择试验力。一般应使压痕长度大于 $20 \mu\text{m}$, 否则压痕太小, 会使测量误差增大, 影响试验结果的精确性;

② 压痕中心距及压痕与试样边缘的距离通常不应小于 2.5 倍压痕长对角线长度;

③ 应保证被侧面与压头轴线垂直;

④ 操作时加荷应平稳、均匀, 不应有人为的冲击和振动现象;

⑤ 施加全部试验力的时间应不大于 10 s, 其保持时间一般应为 10~15 s, 对于特殊材料, 试验力保持的时间可以适当延长, 但其误差应不大于 ± 2 s;

⑥ 试样或试验层的厚度至少为压痕长对角线长度的 1.5 倍, 试验后试样支撑面不应出现变形痕迹;

⑦ 试验时, 每个试样至少测 3 点。试样上的压痕部位应遵循有关标准的规定;

⑧ 被测的相组织、晶粒、夹杂物等应具有足够的面积, 所以试样的面积的直径就不小于 5 倍压痕长对角线长度。其厚度就不小于压痕深度的 10 倍。试样最小厚度与试验力见表 5-12。

表 5-12 努普硬度试验试样最小厚度表

试验力 /N	HK								
	1000	900	800	700	600	500	400	300	200
	试样最小厚度/mm								
0.5	0.009	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.016	0.020
1	0.013	0.013	0.014	0.014	0.016	0.018	0.020	0.023	0.028

试验力 /N	HK								
	1000	900	800	700	600	500	400	300	200
	试样最小厚度/mm								
2	0.018	0.018	0.020	0.021	0.023	0.025	0.028	0.032	0.039
5	0.028	0.030	0.031	0.034	0.036	0.040	0.045	0.052	0.063
10	0.040	0.042	0.045	0.048	0.051	0.056	0.063	0.089	0.126

3. 努普硬度的特点和应用范围

(1) 努普硬度的特点

- ①由于努普硬度试验采用了几何形状特殊的四棱锥金刚石压头（如图 5—8 所示），所以它和维氏硬度一样，测量结果几乎不取决于试验力的大小，即努普硬度值不随试验力的变化而变化；
- ②努普硬度在 1 N 以上与维氏硬度值几乎相同；
- ③压痕细长，长对角线比短对角线大 7.11 倍，计算硬度值只需测量长对角线，因而测量相对误差较小，测量精度高；
- ④维氏硬度与努普硬度相比，在相同的试验力作用下，努普硬度的压痕比较浅，这更适宜测定薄层和相组织的硬度。

(2) 努普硬度试验的应用范围

- ①努普硬度测量范围广，它可以测量极薄、极细的小试样，又可以测量如珉琅、人造金刚石、玻璃、玛瑙、矿石等非金属脆性材料的硬度；
- ②努普硬度试验不仅适用于测定各种软金属及合金，又可对较薄、较脆的材料进行硬度测试，特别适用于对经表面热处理或化学热处理的工件的硬度和硬度梯度的测定；
- ③努普硬度还可以用来测定金属的相和组织的硬度，借以鉴定合金中相和组织的性质和类别；
- ④努普硬度还用于研究金属及其合金晶内偏析、时效、扩散、相变、合金状态图、合金化学成分不均匀性及金属结晶点阵的歪扭等对硬度的影响；
- ⑤由于努普硬度压头几何形状特殊，当试验力卸除后，弹性回复主要发生在短对角线方向，长对角线的弹性回复很小，可忽略不计。因此，可以根据同一压痕的恢复（测量短对角线）和不恢复（测量长对角线）尺寸分别得出硬度值，这样就可以得到它们的比值关系，借此可以定性判断材料的弹性和塑性之间的关系。

第五节 肖氏硬度试验

肖氏硬度是一种动载荷硬度试验法。它是 1906 年由美国的肖尔提出的，这种方法是以一定形状尺寸的冲头以规定的高度自由下落到试样表面上，用测量冲头与试件冲击后回跳高

度来确定试样的硬度值。肖氏硬度值符号为 HS，由于肖氏硬度使用的冲头和刻度值不同，肖氏硬度又有 D 型和 C 型之分，常用的为 D 型，即 HSD。

一、肖氏硬度试验法工作原理

1. 肖氏硬度试验公式

肖氏硬度是以标准的冲头从固定的高度 h_0 自由下落在试样表面上，根据冲头回跳的高度 h 计算金属硬度的高低，计算式为式 (5-19)。

$$HS = K \frac{h}{h_0} \quad (5-19)$$

式中 K ——肖氏硬度系数。

2. 肖氏硬度工作原理

前面已述，肖氏硬度以冲头回跳高度 h 来衡量金属硬度的高低，其原理是，假定肖氏硬度冲头的质量为 Q ，并以一定高度 h_0 自由落下，其下落前势能为 $h_0 \cdot Q$ 。冲头冲击试样表面将势能变为动能，其中一部分能量使试样表面产生塑性变形，另一部分产生弹性变形，而只有弹性变形这一部分能量因恢复时使冲头回跳。如果不考虑冲击时摩擦损失，同时冲头的质量又远远小于试样和仪器机架的总质量，则消耗在试件产生塑性变形的能量为 $W = Q(h_0 - h)$ 。由于肖氏硬度计的 Q 和 h_0 是一定值，所以肖氏硬度值与冲头回跳高度成正比。

冲头回跳时将表盘齿条顶杆顶起，齿条顶杆拨动带有指针的针轴从而指示硬度值。

肖氏硬度计的冲头分为镶金刚石圆柱体和钢球两种，因肖氏硬度计又分 C 型和 D 型两种，故有肖氏硬度测试结果在 HS 后面再另加上型号字母，如 HSD 45。

二、试验要求

(1) 试验应在 $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ 下进行。

(2) 硬度计必须调至水平，试验周围环境不应有振动，试验时应避免横向移动。试样和冲头不得有磁性。

(3) 试样的测试面一般为平面。对于曲面试样，其试验面曲率半径 $r \geq 32 \text{ mm}$ ，同时测试点应在凸曲面的最高点和凹曲面的最低点。

(4) 在肖氏硬度计固定支架上试验时，试样的质量 $m \geq 0.1 \text{ kg}$ 。试样的厚度应在 10 mm 以上，对于较薄的试样建议用焊锡的方法，将试样固定在 5 mm 厚以上的钢板上再进行试验。

(5) 被测试表面应清洁无外来污物，如油脂等。试样的表面粗糙度 $R_a \leq 1.6$ 。

(6) 试样的试验面应足够大。试验时，试样同一位置不能进行两次试验。相邻两次试验的测点距离不小于 2 mm 。印痕中心距试样边缘的距离 $l \geq 4 \text{ mm}$ 。



(7) 对于大工件试样,需将测量筒从机架上取下。以手提试验时,所测得硬度值应注明手提测量。

(8) 硬度计应安装在稳固的机架上。测量筒在测试时应与测量试样面保持垂直状态。使试验面与冲击作用方向垂直。特别是手提时更应由操作者掌握好测量筒与试验面的垂直。

(9) 在固定试验支架上测定硬度时,试样在试台上受到的压紧力约 20 kgf (约 200 N)。当试样质量在 20 kg 以上时,采用手提测量筒进行试验时,其试样的压紧力应以测量筒在试样上保持稳固为宜。

(10) 肖氏硬度操作应注意:对 D 型硬度计,其操作鼓轮的回转时间约 1 s,复位时操作以手轮缓慢进行。操作 C 型硬度计时,读取冲头反弹最高位置时的瞬间读数。

(11) 试验时,每个测量位置至少进行 5 次测试,即测试 5 个测量点,以 5 点的硬度平均值作为该位置的肖氏硬度值。

(12) 严禁硬度计的冲头对试台冲击。

(13) 采用金刚石冲头的 D 型肖氏硬度值与采用钢球冲头的 C 型硬度值之间换算关系为 $HDS=0.56 HSC$ 。

三、肖氏硬度试验的特点与应用

肖氏硬度试验方法是一种近似测量方法,肖氏硬度计也是一种轻便手提式的硬度计,操作方便,它的冲头测点也很小,不会对试件造成明显损伤。因此它的特点是对于大型不易搬动的材料或构件进行硬度测试最为方便,如大型机辊、曲轴成品等高硬度的工件。但肖氏硬度误差来源多,试验结果重复性差,因而试验结果准确性低,特别是对于弹性系数相差大的材料,试验结果不能相互比较。对于非金属材料如橡胶之类材料肖氏硬度不能使用。

第六节 其他硬度试验

由于材料的硬度与某些物理量之间有一定对应关系,所以通过测量某一定物理量的大小,可以间接地判别材料的硬度值。由于材料的物理量类别不同,所以检验方法也各不相同,其中常见的方法有划痕法莫氏硬度、压入法韦氏硬度及剩磁感应法、磁矫顽力法、磁导率法、动态磁损法、涡流法及超声波法等。

一、莫氏硬度试验

1. 莫氏硬度定义与定级

莫氏硬度是一种划痕硬度,它是以材料抵抗划痕的能力作为衡量硬度的依据。主要用于非金属材料,特别是矿石。莫氏硬度对金属材料的硬度测定与非金属材料的测定级别不同,非金属材料莫氏硬度以标准矿石作为测头,如表 5-13 所示,标准矿石的级别共 10 级。

表 5-13 莫氏硬度级别

矿物名称	硬度级别	矿物名称	硬度级别
滑石	1	长石	6
石膏（或岩盐）	2	石英	7
方解石	3	黄玉	8
萤石	4	刚玉	9
磷灰石	5	金刚石	10

莫氏硬度即以表 5-13 所示的相应级别的标准矿石对被测试样进行刻划定级。后来发展到对纯金属莫氏硬度级别从 0.1~10.0 或更多级别。对金属及其合金的莫氏硬度测试就比较复杂。它的原理是，利用装有金刚石圆锥体的台架杆，并将抛光过的金属试样置于活动架上，其活动架可在两个相互垂直方向上移动并与试样表面保持严格水平，这样，金刚石锥体在不同压力的试样上划出数道划痕，从而测出划痕的不同宽度，并以压力 F 和划痕宽度 a 为坐标轴绘制出曲线。从而从曲线上定出划痕宽度为 $10\ \mu\text{m}$ 和相应负荷为硬度值。

2. 莫氏硬度的试验要求与应用

莫氏硬度测试目前广泛用在非金属矿石和建材瓷砖玻璃及石材上。测试时应使用标准矿石的棱角在被测试样的小平面上以人手中等大小的压力（约 10 N）划线，若在被测试样上划出线道，即再取高一级的标准矿石刻划直到不能划出线道时为止，这一级即为试样的莫氏级别。由于对于金属及其合金，莫氏硬度的测试所用的仪器较复杂，而且要一定熟练的操作人员操作才行，故这里就不介绍了。

二、超声波硬度试验

1. 超声波硬度试验法的基本原理

超声波硬度试验是利用超声波传感器杆的谐振频率随硬度而改变的特性所建立起来的硬度测量方法。其原理如图 5-9 所示。

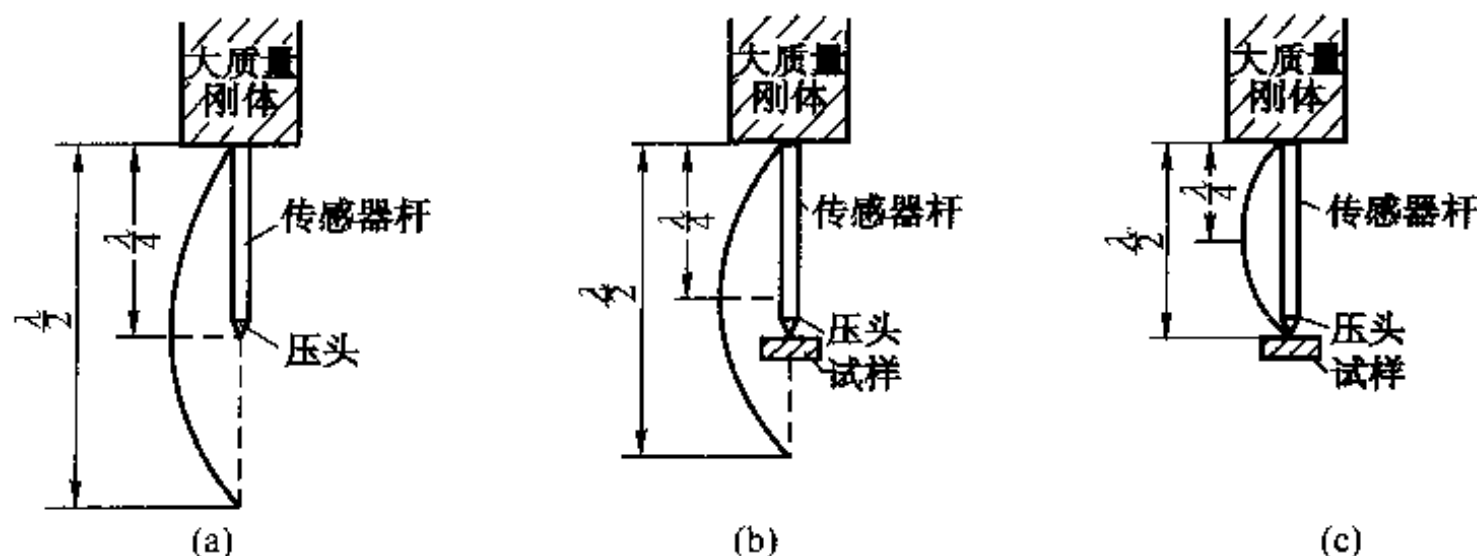


图 5-9 超声波硬度试验原理示意图

它的测量头中的传感器杆一端和大质量刚体固定在一起,另一端镶有 136° 金刚石角锥体压头。当压头与试样不接触时如图 5-9 (a) 所示,这时压头呈自由状态。在产生纵向振动后,传感器固定端成为振动的波节点,杆的长度等于波长的 $1/4$,相应的频率就是传感器处于自由状态下的谐振频率。当杆的压头端完全被试样紧固地压住时,如图 5-9 (c) 所示,这时杆的端部成为波的节点,这时杆的长度等于振动波长的 $1/2$ 。这时谐振的频率等于在自由状态下起始频率的 2 倍。

当压头压到试样上时,一般谐振频率介于上述两者之间,如图 5-9 (b) 所示。在固定试验力作用下,对于弹性模量相同试样来说,其硬度愈低,则接触面积愈大,使压头夹得愈紧,压头端的振幅也愈小,振动的波腹愈向杆的固定端方向移动。因此振波就愈小,即杆的谐振频率也就愈高。通过测量传感器杆谐振频率的变化即可测定试样的硬度。

2. 超声波硬度试验的特点和应用

(1) 超声波硬度计的主要特点

- ①对试件表面的破坏性很小,完全做到无损检测;
- ②操作简单,测量速度快,它是一次加荷,在全负荷作用下 $2\sim 3\text{ s}$ 就能完成一次硬度测量;
- ③使用方便,重量轻 (4.3 kg)、便于携带;
- ④对试样的要求是:试样测试表面粗糙度 $R_a \leq 1.6$ 。试样的厚度应是压头压入深度的 10 倍以上。

(2) 超声波硬度计的应用

由于超声波硬度计的特点,它对于现场不易移动的大型工件和形状复杂的结构件及不易拆卸的部件可用便于携带的超声波硬度计在不同角度表面上测量,也适用于金属薄片、金属层(包括渗碳和电镀层等)的硬度测定。但这种测试方法还不很成熟,特别是半导体元件的可靠性会直接影响其测量结果。

第七节 高温和低温硬度试验

为了研究金属材料在高温和低温下的性能及其随温度而变化的规律,人们常常用测定高温和低温硬度试验的方法来初步估价在高温或低温下材料的性能。所谓高、低温硬度试验也就是硬度试验的温度条件在常温之上为高温试验、常温之下为低温试验。有时也把高、低温硬度试验作为确定下一步试验方案的预选性试验。因为金属材料的高温持久性能、蠕变性能和高温疲劳性能等与高温硬度都有一定关系。

一、高温硬度试验

与常温硬度试验一样,高温硬度试验也可以分为静力试验和动力试验两种。静力试验包括压抑法、互相压入法和一端压平法。动力试验包括压抑法、回跳法和摆动法。这里主要介绍一下静载压抑法高温布氏硬度试验方法。

1. 高温布氏硬度仪的主要结构和装置

高温布氏硬度仪主要装置与常温布氏硬度计结构基本一样，只是有几个特殊的附加机构及特殊部件。

①加热炉和控温装置。一般加热炉为桶式管状电炉丝加热炉，上下炉口应配隔热塞块密封，炉内加热元件为电炉丝，上下两段式控温。控温测温装置为电子电位差计；

②加装用耐热钢特制的加长的带有耐热钢球压头的压杆，使压头能伸入桶管式加热炉内进行试验；

③硬度计的工作台材料也应改为耐热钢或耐热合金材料；

④对高于 600℃ 的高温下进行的试验，考虑到试样表面的氧化而带来的影响，因而用常温布氏硬度计改造后的装置不适用而要采用其他高温硬度计。

2. 高温布氏硬度试验的注意事项

随着温度的升高，试样材料的硬度会降低，同时还可能在试验过程中伴随着材料的蠕变、回复、再结晶过程，因此除了保证压痕在几何形状上相似和清晰完整外，当试验温度高于再结晶温度时，应注意试验力大小和加荷时间的配合。常用的高温静力硬度试验，加荷的持续时间是根据材料性能的不同而定的，可由几秒到几分钟，有时为了建立蠕变和持久强度与高温硬度之间的关系，加荷持续的时间长达数小时。常用的高温布氏硬度试验的条件如表 5-14 所示。

表 5-14 高温布氏硬度试验条件表

试验材料	试验温度范围/℃	试验力 /N	加荷持续 时间/s	压头材料	压头直径 /mm
紫铜	20~300 >300	7000 4000	180	钢	10
轴承合金	20~200	10 000	5~10	合金钢	10
低合金钢	20~400 400~600 >600	30 000 10 000 7500	10 10 10	合金钢	10
高合金钢	20~700 >700	10 000 5000	5 5	特殊高合金钢	10
高速钢	20~800	7500	—	烧结碳化物	10
高合金耐热钢	20~700 >700	7500 5000	5	硬质合金	5~10
耐热合金	600~900	7500	30	伯比里提合金	5



3. 影响试验结果的主要因素

(1) 加荷时间的影响

高温布氏硬度试验压痕的直径 d 与加荷时间 τ 呈式 $d = a\tau^n$ 所示的关系，式中 a 和 n 由材料和施加的试验力大小决定。

(2) 试验力的大小的确定必须考虑材料在高温下的软化现象。为了使压痕直径 d 与压头直径 D 之比不超出一般的允许限度，在事先应作一系列试验来确定如何随温度改变而变换试验力。

(3) 温度的影响

高温硬度值一般随温度的上升而下降。

(4) 氧化层的影响

试样表面存在氧化层会影响试验结果的准确度，为此试样除应预先真空处理外，还需要在真空状态下试验。

4. 高温硬度试验的条件要求

(1) 对硬度计的要求

硬度计的试验力、压头直径、主轴对工作台的垂直度、同心度、常温硬度示值均应符合布氏硬度计技术条件中规定的各项要求，否则都会影响试验结果。

(2) 测温精度要求

①试件工作面上任意两点的温差及炉温的波动度（最大值与最小值的一半）见表 5—15；

表 5—15 试件工作面上任意两点的温差及温度的波动度

℃

试验温度	<300	300~900	0~-196
温度波动度	±6	±3	±2
温差	6	5	5

②在抽真空而不加热的常温状态下进行硬度测试，并与一般布氏硬度计上硬度测试结果对比，其误差不应超过 2%。

二、低温硬度试验

低温硬度试验是指在低于室温的条件下进行的硬度试验。低温硬度试验装置与高温硬度试验装置一样，可在普通常温的硬度计上附加必要的装置而成。最简单的办法是在常温的布、洛、维硬度计的载物台上加装一个冷却容器，把试样和压头浸入到有低温介质的容器中，再加制冷剂，使试样冷却到指定温度，并按规定时间保温后，再按常规的方法进行硬度试验，即可得到指定温度下的硬度值。该方法虽然简单，但不能得到连续变化以及随意控制的温度。对于要求较严格的试验，应在专用的低温硬度计上进行。

第八节 塑料邵氏硬度试验

邵氏硬度计适用于软、硬塑料及其制品的硬度试验。由于邵氏硬度计设备简单、操作简易，因此该方法广泛在塑料工业上应用。它也属动载压入型硬度试验。

一、邵氏硬度试验原理

邵氏硬度是将规定形状的压针，在标准的弹簧压力下压入试样，把压针压入试样的深度转换为硬度值。由于针尖和针的锥度不同，邵氏硬度又分为 A 和 D 两种型号，如图 5-10 所示为邵氏硬度原理示意图。

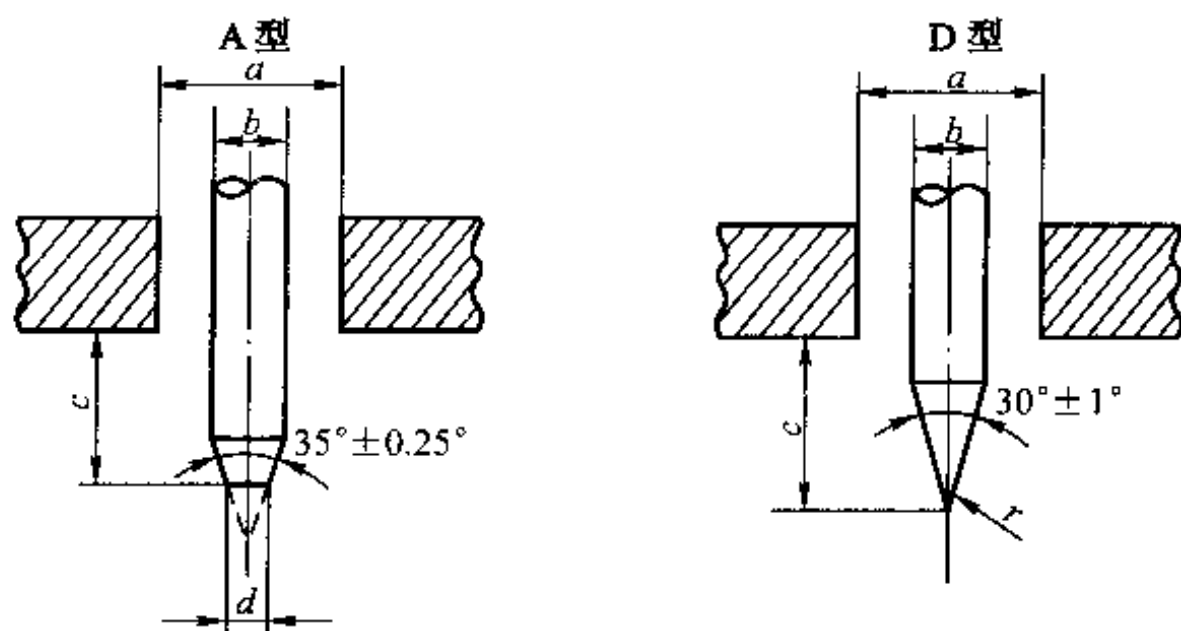


图 5-10 邵氏硬度原理示意图

邵氏硬度符号为 H，由其相应使用的 A 型和 D 型的不同而附相应的字母，即 HIA 和 HD。

二、邵氏硬度试验条件要求

1. 环境条件

- (1) 邵氏硬度试验环境温度在 $(23 \pm 10)^\circ\text{C}$ 下进行，温度要遵循相关标准规定。
- (2) 邵氏硬度应在无冲击振动的环境条件下进行。

2. 对试样的要求

- (1) 试样应厚度均匀，表面光滑、平整、无气泡、无机械损伤及杂质等。
- (2) 对试样厚度的要求为：用 A 型硬度计测定时试样厚度应 $\geq 5\text{ mm}$ ，用 D 型时应 $\geq 3\text{ mm}$ 。
- (3) 试样的大小应保证每个测点与试样边缘距离不小于 12 mm 。



3. 对试验操作人员的要求

- (1) 对于与温度无关的材料, 试验人员应将试样放置在试验环境中 1 h 以上。
- (2) 测试前应用厚度均匀的玻璃片平放在试样平台上, 在相应的重锤作用下 (A 型 1 kg、D 型 5 kg) 使硬度计下压板与玻璃片完全接触, 此时读数盘指针应指“100”; 当指针完全离开玻璃片时, 指针应指示“0”, 这也是硬度计的调零。
- (3) 测试时把试样置于试样平台上, 应使压针头离试样边缘至少 12 mm。
- (4) 应平稳而无冲击地使硬度计在 A 型 1 kg、D 型 5 kg 的重锤的作用下压在试样上, 从下压板与试样接触 15 s 后立即读硬度值读数。如果规定要瞬时读数, 则在下压板与试样完全接触后 1 s 内读数。
- (5) 每个试样的测量点之间的距离应在 6 mm 以上, 不同处应测试硬度 5 次, 取其算术平均值。
- (6) 试验结果的计算: 试验结果以一组 5 个试样的算术平均值表示。

4. 对硬度计的要求

邵氏硬度计应按规定每半年检定一次。检定要求按 GB 2411 附录进行。硬度计应在检定合格有效期内检测。

第九节 各种硬度与硬度、强度之间的近似关系

由于硬度不是一个物理常数, 因此各种硬度之间从理论分析上是不存在数学换算关系的。但从试验实践证明, 各种硬度值之间, 硬度与强度之间是有近似的相应关系的。这种相应关系可以通过大量的试验实践数据, 通过数学方法归结得一些近似的换算公式。在生产、研究和检验工作中起一定的作用。例如, 一些弹性元件形状复杂, 即薄又小, 不能直接测量其强度, 这时可以通过测量其硬度来估计其强度。又如, 某些特大的结构件, 不能破坏取样又不能用常规的硬度计检测, 这时也只能用某些适宜的硬度计来测试。这时可以通过测量其硬度来估算其强度或通过测量其某一适宜的硬度来换算另一规定的硬度。应该指出: 这些换算公式是根据各种不同的试验条件, 通过大量的数据实测以及对各种数据进行处理后得出的, 换算所得的结果仅供参考。

应当指出, 我国已制定了 GB/T 1172 “黑色金属硬度与强度换算表”、“铜合金硬度与强度换算表”、“铝合金硬度与强度换算表”, 有了换算表就可以通过相应的表上查得材料的相应硬度或强度。这些换算表都是经过大量生产实践的考验和反复验证的。作为国家标准正式使用的换算表基本上解决了黑色金属、铜合金和铝合金的硬度与硬度、硬度与强度的换算问题, 同时在检验工作上也有了法定依据。

一、常见的几种硬度近似换算关系

各种硬度与硬度之间没有严格的理论关系。同样是静载压入式硬度, 布氏硬度与洛氏硬

度试验的原理不一样，一个是压痕单位表面积的力，一个是压头压入的残留深度。因此通过大量实践所归纳出的关系式都是近似换算的关系。

1. 布氏硬度与维氏硬度的关系式

当 $HB \leq 400$ 时， $HB \approx HV$ ； $HB > 400$ 时， $HB < HV$ 。

2. 布氏硬度与洛氏硬度的关系式

$$HB = \frac{4030}{130 - HRF}$$

$$HB = \frac{7300}{130 - HRB} \quad (40 < HRB < 100)$$

$$HB = \frac{333\,000}{(100 - HRA)^2} \quad (55 < HRA < 70)$$

$$HB = \frac{1\,520\,000 - 4500HRC}{(100 - HRC)^2} \quad (20 < HRC < 40)$$

$$HB = \frac{25\,000 - 10(57 - HRC)^2}{100 - HRC} \quad (50 < HRC < 60)$$

3. 维氏硬度与洛氏 HRC 的关系式

$$HV = \frac{2 \times 10^6}{(112 - HRC)^2}$$

4. 布氏硬度与肖氏硬度(HB 与 HSD)的关系

试验结果表明， $HB = aHSD$ ，式中的系数 a 随材料不同而异，见表 5-16。肖氏硬度为带金刚石所测得的肖氏硬度值 HSD，如采用钢球冲头时， $HB = 0.56aHSD$ ，即以系数 0.56 折算成带金刚石冲头的肖氏硬度值。

表 5-16 几类钢的 HB 与 HSD 的关系系数

材料	淬火工具钢	低碳钢	镍铬钢	铸铁
a	6.6	5.3	7.7	4.6~5.5

二、硬度与强度之间的一些经验公式

从目前已确定的硬度之间及硬度与强度之间的近似关系来看，世界不少国家都有自己的近似换算表。但它们之间有差异，如 20 世纪 70 年代末我国的几个省从当时的西德进口一批轴承钢，在硬度和强度等质量问题上，就涉及到硬度、强度换算的差异上。我国按 GB 1172 “黑色金属硬度与强度换算表”换算强度结果，与当时西德的西门子公司所采用的换算表在同一布氏硬度值的条件下强度值会偏高 0.3~0.4 MPa，这些差异与其制定换算表的实验方法、对象有关。目前对于铁、碳钢、某些合金钢已经用大量实验方法确定了硬度与强度的关系，但这种关系不能随意引用到其他金属材料上去，也就是碳钢换算表不能套用在合金钢上，就是合金钢不同种类也不能相互套用。



1. 有色金属布氏硬度 HB 与强度 R_m 的关系

$R_m = aHB$

式中 a 的大小与有色金属的种类有关, 见表 5-17。

表 5-17 有色金属的 R_m 与 HB 的关系系数

材料	软铝	硬铝	铝合金	铜	黄铜	铅	锡	锌合金	H62
a	0.41	0.36	0.33	0.55	0.35	0.29	0.29	0.09	0.43~0.46

2. 黑色金属硬度与强度关系(见表 5-18)

表 5-18 黑色金属强度与硬度关系表

材 料	关 系	范 围
铸钢	$R_m = (0.3 \sim 0.4)HB$ $R_m = \frac{8.61 \times 10^3}{106 - HRC}$	HRC < 40 HRC > 40
碳钢	$R_m = 2.5HBS$ $R_m = \frac{51.32 \times 10^4}{(100 - HRC)^2}$	HRC > 27
淬火碳素钢	$R_m = 0.34HB$	HBS < 250
灰铸铁	$R_m = \frac{48.86 \times 10}{(100 - HRC)^2}$ $R_m = \frac{HBS - 40}{6}$	10 < HRC < 40
淬火合金钢	$R_m = 0.332HB$	HBS 240 ~ 250
未淬硬钢	$R_m = 0.343HB$ $R_m = 0.362HB$ $R_m = 0.345HB$ $R_m = \frac{2.64 \times 10^3}{130 - HRB}$ $R_m = \frac{2.51 \times 10^3}{130 - HRB}$	HBS 125 ~ 127 HBS > 175 HBS < 175 HRB < 90 100 > HRB > 90

思 考 题

1. 何谓材料硬度? 试述硬度试验方法的分类及其选择原则。
2. 要想在同一材料上得到相同的硬度值, 试验时应满足什么条件?
3. 布氏、洛氏、维氏、邵氏、肖氏和莫氏硬度是根据什么作为硬度计量值指标的? 它们是怎样规定的?
4. 试比较各种常用硬度试验方法的应用范围及其优缺点。
5. 试分析影响常用硬度试验结果的主要因素。
6. 硬度与硬度、强度之间有哪些关系? 它们之间的换算关系为什么是近似关系?

第六章 金属材料和高分子材料冲击试验

第一节 冲击试验的意义、分类及其力学性质

一、冲击试验的意义

我们日常生活中经常看到“冲击”的现象。如建筑工地上的打桩机打桩，风钻凿破水泥路面，火车开车停车时挂钩承受的冲击及模具、凿岩机等在服役过程中都承受不同程度的冲击载荷。我们把载荷以很高速度作用于机件或物体上的现象叫做“冲击”。

受冲击载荷作用的构件，特别是用高强度低塑性材料制造的零件，在服役过程中往往会发生无预兆的突然断裂而造成重大事故，因此研究构件在冲击载荷作用下的力学性能具有重要的现实意义。

实践证明，冲击试验对材料的缺陷很敏感，如金属材料白点、夹杂及热处理过程中产生过热、过烧、回火脆性等都会在冲击试验中暴露出来。另外，应力集中和试验温度对冲击韧性的影响也较大。

事物总是一分为二的。“冲击”有造成破坏的一面，同时人类在生产和生活实践中，又经常利用“冲击”现象为生产、生活和国防服务。如冲床、锻锤、凿岩机、风钻、穿甲弹等都是利用“冲击”为人类服务的。

由于冲击试验试样加工简便，试验时间短，同时容易辨别出材料及金属热处理工艺选择是否合理等。所以，冲击试验得到了工程界的广泛采用。

二、冲击试验的力学性质

1. 冲击载荷的特性与作用

(1) 载荷作用时间短、速度快

冲击载荷与静载的主要区别在于：冲击载荷的载荷作用时间短、速度快。一般只有 10^{-3} s的数量级，而进行静拉伸试验时，从开始到试样断裂至少也要几分钟时间。

(2) 载荷呈动态变化，作用力大

冲击载荷和相同情况下的静载荷相比，冲击载荷作用力大而且在受冲击的构件（试样）作用的时间内呈不断变化的特点，因此对冲击载荷作用力和变形的分析是比较困难和复杂的。

(3) 冲击载荷主要表现为能量载荷的性质

构件（试样）在冲击载荷作用下，为计算其作用力就必须计算出载荷作用那一瞬间相对作用于构件的速度及其惯性，而这些数据都是很难准确测量和精确计算的，从能量角度来考虑则比较方便。

(4) 冲击能量为整个受冲击载荷的构件体系所接受

静载荷作用下的构件受力大小，只取决于构件本身与外力的关系，无须考虑受荷体系中相连的其他机件，而在冲击载荷作用下其冲击能量为整个受荷体系所分担。各机件所分担能量的大小取决于它们的体积和刚度。

(5) 冲击应力与机件的形状和体积有关

在冲击载荷作用下，冲击应力的的大小不仅与断面积大小有关，还与机件形状和体积有关。如果构件断面是均匀的，那么整个构件均匀地吸收冲击能量。如果断面有变化，则断面积小处则承受的冲击能量集中，所受冲击应力也大。

2. 金属材料在冲击载荷作用下的变形过程

(1) 冲击载荷下弹性变形和塑性变形的特点

在冲击载荷作用下，同样存在弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。只要是加载速度低于声速的情况下，受冲击载荷的构件弹性变形不受影响，而塑性变形则需要时间。当加载速度很快时，塑性变形有可能来不及发展而直接产生断裂。

(2) 冲击载荷下构件脆性破坏的倾向

金属构件在冲击载荷作用下使塑性变形过程受到限制，从而导致形变抗力的增加，造成变形阶段的变形量减少，最终倾向于脆性破坏。

三、冲击试验及其分类

冲击试验的分类很多，从实验温度条件来分可分为高温冲击、室温冲击和低温冲击三类。从受力形式来分，又可分为拉伸冲击、弯曲冲击、扭转冲击和剪切冲击等四类。而在弯曲冲击试验中又可分为简支梁冲击和悬臂梁冲击。常用的冲击形式如图 6-1 所示。

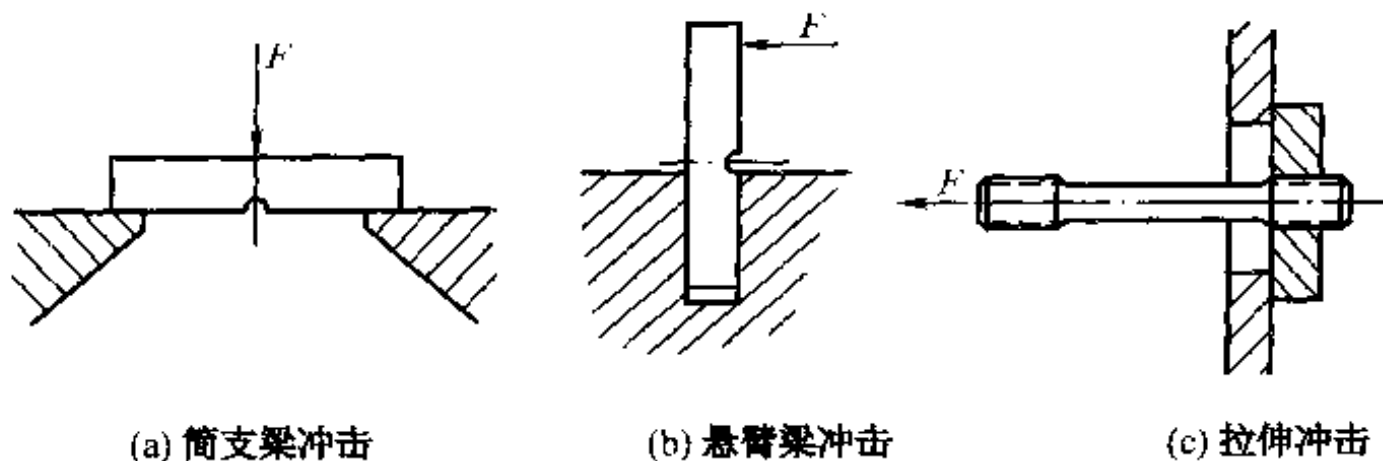


图 6-1 常用冲击试验形式示意图

从能量来区分，又可分为大能量一次冲击和小能量多次冲击。从试样形式又可分为常规试样冲击和实际工作区的冲击试验。

第二节 常温冲击试验和冲击试验机

一、冲击试验的原理

冲击试验是利用能量守恒原理（对空气和转动结构摩擦的能量损失可忽略不计）用摆锤冲击试样，而试样断裂前所吸收的能量即为摆锤试验前后的势能差，如图 6-2 所示。试验时，把试样放置于 A 处，把摆锤置于 H 处，自由落下，打击试样直至试样断裂。

试样冲断后，所消耗的冲击能由式（6-1）确定，摆锤起始处势能为

$$E = GH = GL(1 - \cos\alpha) \quad (6-1)$$

冲断试样的势能如式（6-2）所示。

$$E_1 = Gh = GL(1 - \cos\beta) \quad (6-2)$$

冲断试样所消耗的冲击功见式（6-3）。

$$A_n = E - E_1 = GL(\cos\alpha - \cos\beta) \quad (6-3)$$

式中 G —— 摆锤重力 (N)；

L —— 摆长（摆轴到摆重心的距离）(mm)；

α —— 冲断试样前摆锤扬起的最大角度；

β —— 冲断试样后摆锤扬起的最大角度。

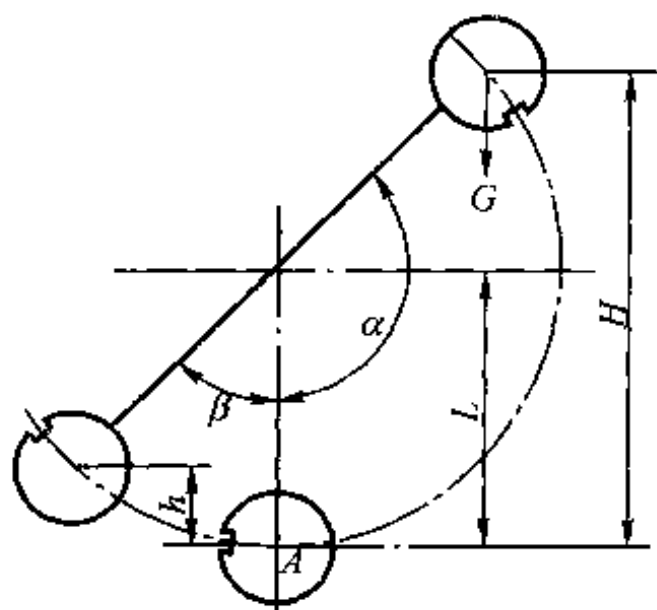


图 6-2 冲击试验原理图

二、冲击试验机构造

冲击试验机具有一个刚性较好的底座和机身。见图 6-3 冲击试验机结构示意图。机身上安装有一定重量的摆锤、表盘及指针等。

机身内装有电动机（自动提锤冲击试验机才有）、减速皮带盘及蜗轮、蜗杆减速器和刹车片等。小能量冲击试验机一般无自动提锤机构。

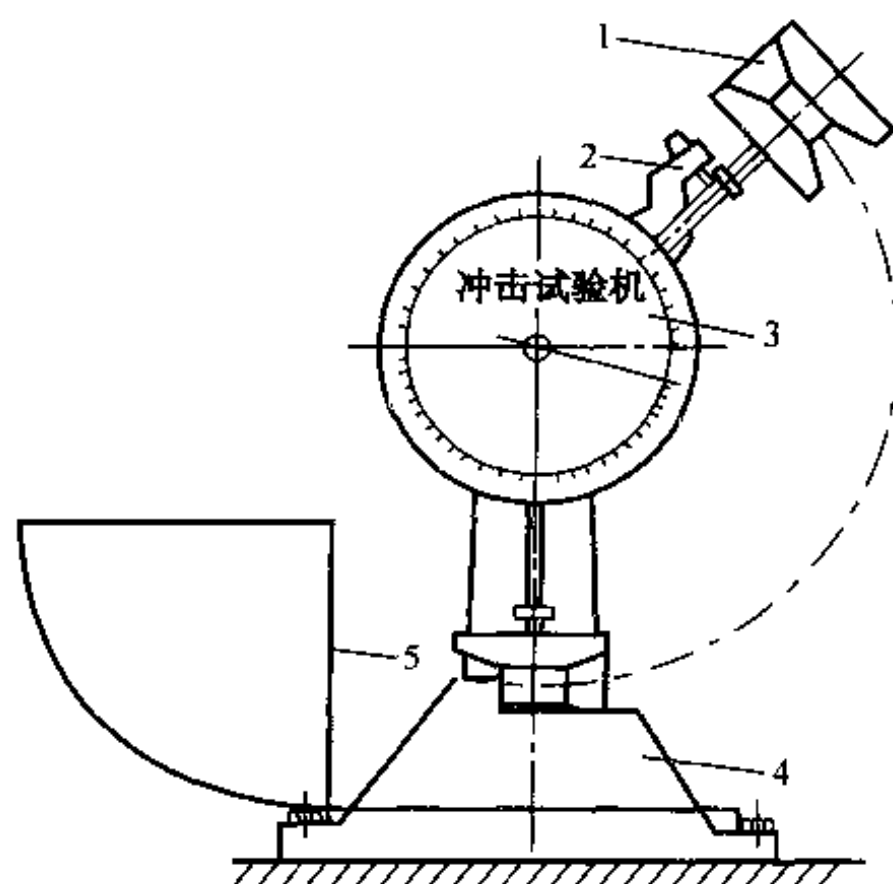


图 6-3 冲击试验机结构示意图

1- 冲击摆锤；2- 摆臂定位器；3- 表盘；4- 机座；5- 防护罩

对自动提锤冲击机，提锤是通过电动机转动，使摆锤达位后撞击限位开关，从而使电动机停止而实现的。一般冲击机由操作者人工提锤到定位挂钩固定位置。要进行冲击时，只要按下冲击按钮或扳开定位挂钩手柄，使摆锤脱钩，突然释放而自由落下冲击试样即可。防护罩是为防止摆锤伤人而把摆锤摆动面范围内外隔离开，避免人员进入。试样冲击断裂后，可通过制动按钮或制动手柄使刹车片夹紧转动主轴，从而使摆锤停止摆动，此时表盘上指针指示了试样冲击后吸收的能量。

安全注意事项包括：在操作中，特别应注意安全。试验操作时严禁非操作人员进入摆锤摆动面危险区内。还应特别注意防止在试验机前方试样飞出伤人。

三、简支梁式冲击试验机的试验要求

1. 冲击试样的类型和要求

(1) 冲击试样尺寸和形式

简支梁冲击机冲击试样类型较多，对于金属材料的规格，有 $(10 \times 10 \times 55)$ mm 的 V 型缺口、U 型缺口或无缺口的试样，这种试样也叫金属材料标准冲击试样。对于因材料和被取样的金属构件厚度限制，可制成非标准的小试样，如 $(5 \times 10 \times 55)$ mm 和 $(5 \times 5 \times 55)$ mm 的 V 型、U 型缺口冲击试样或无缺口试样。对于某些铸铁冲击试样，又可制成 $(20 \times 20 \times 120)$ mm 的大冲击无缺口试样。

图 6-4 和图 6-5 所示的为我国 U 型和 V 型缺口冲击试样及其主要尺寸和公差范围。

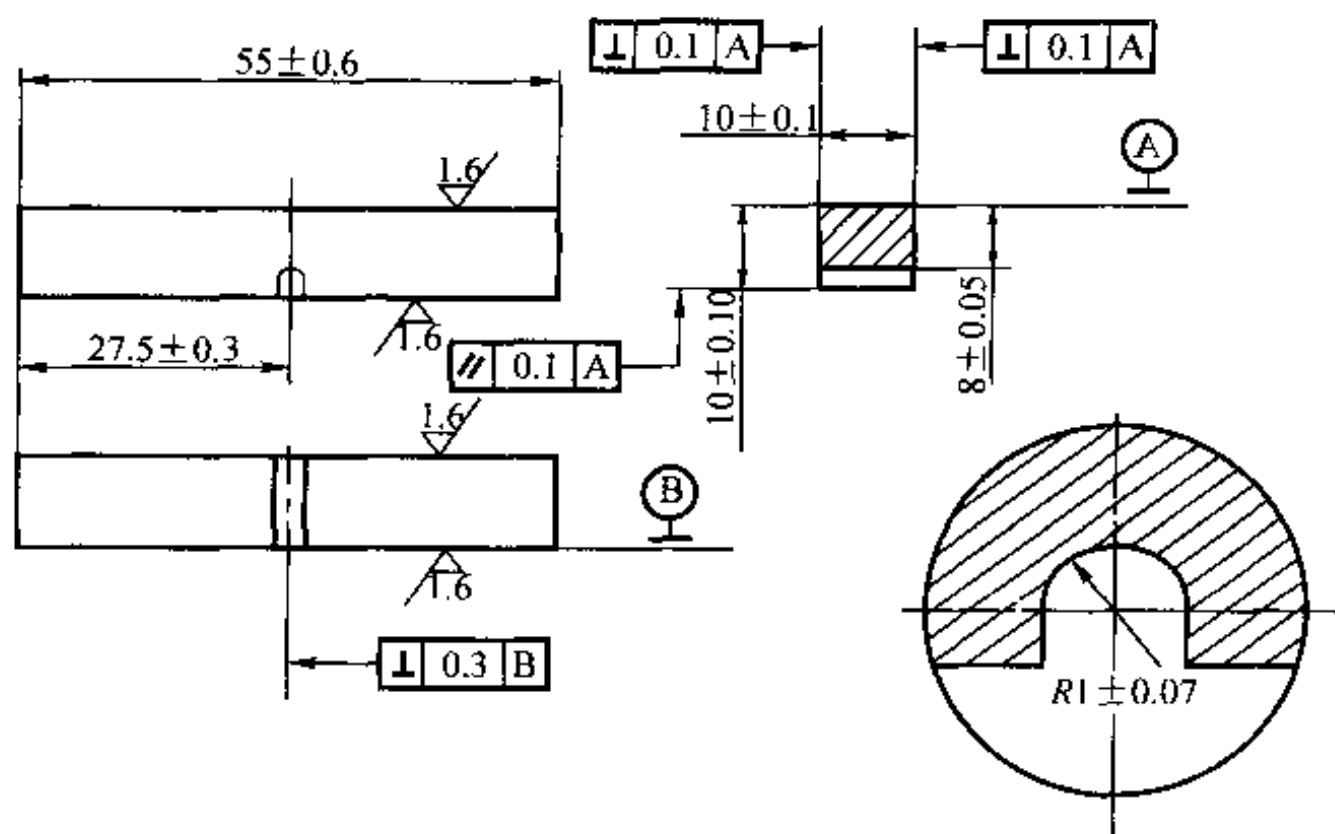


图 6-4 金属 U 型冲击缺口试样图

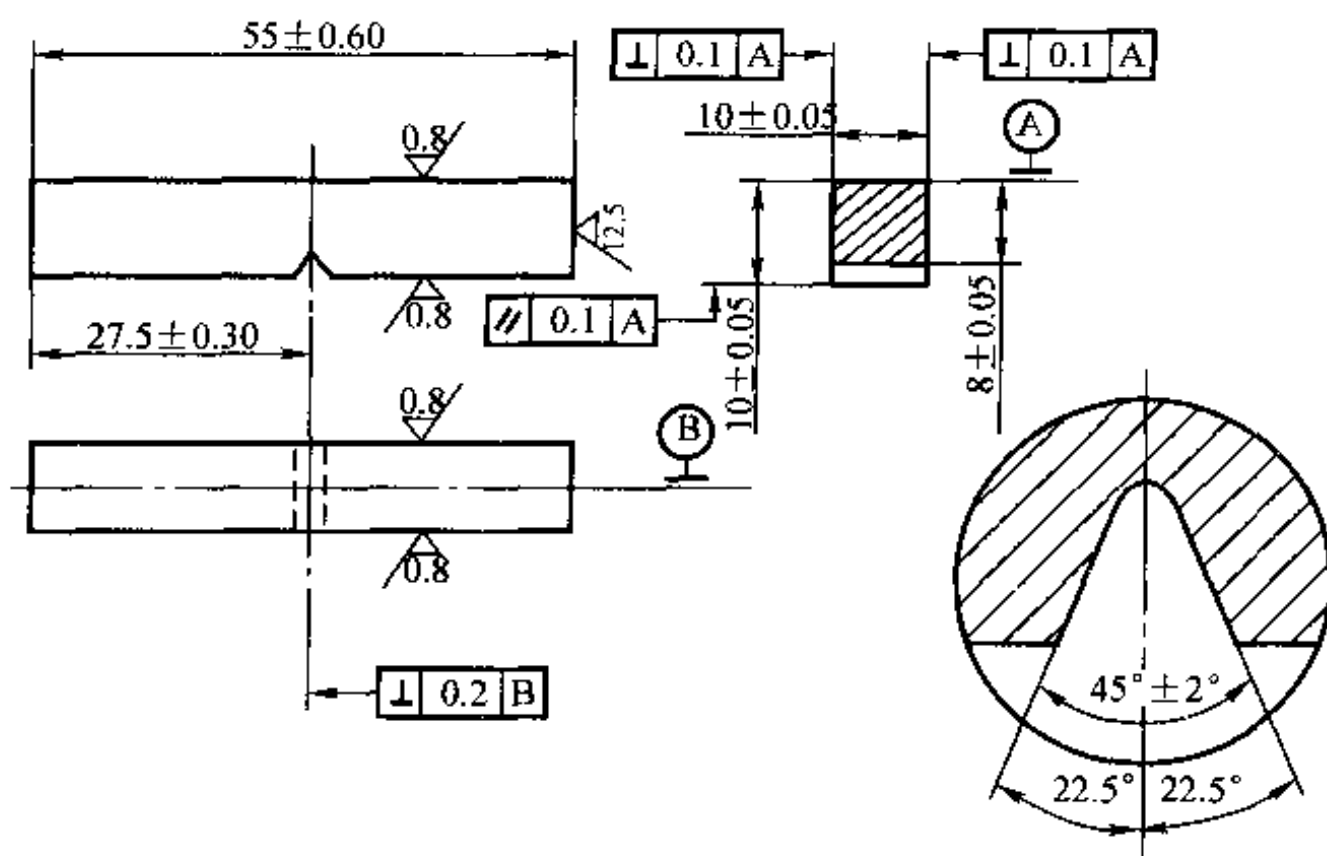


图 6-5 金属 V 型冲击缺口试样图

玻璃纤维增强塑料简支梁冲击试样形式尺寸图如图 6-6 所示。

缺口开的方向按要求可与布层垂直或与布层平行。一般硬塑料可按图 6-3 加工，但要求每组应加工 5 只样品。

(2) 金属冲击试样加工要求

①冲击试样毛坯截取及加工应符合 GB/T 2975 的取样规定。试样截取应不影响材料组织状态，避免影响材料原来的性能；

②可在试样的长度两端面打试样编号；

③加工缺口的形状、尺寸和粗糙度按试样图要求。缺口底部应光滑，不允许有与缺口轴

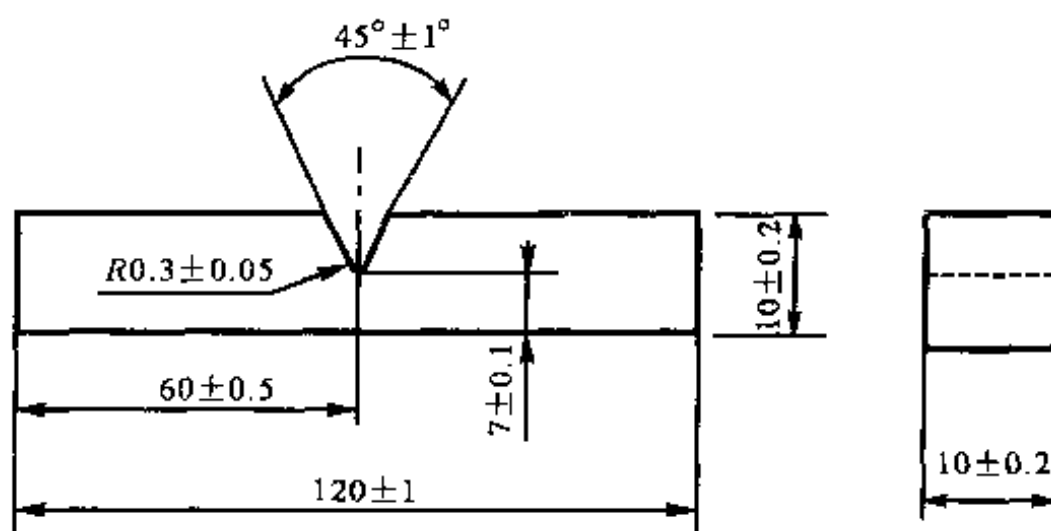








图 6—6 玻璃纤维增强塑料冲击试样图

线平行的明显划痕。

(3) 表 6--1 汇集了各种类型的冲击试样及其应用范围。

表 6—1 各种类型的冲击试验及其应用范围

冲击试样简图	适用范围
<p>V 型缺口</p> 	供可靠性较高的结构材料选择和验收
<p>U 型缺口</p> 	在选择和验收金属材料时用 V 型缺口试样(标准确定前使用)
<p>钥匙孔型缺口</p> 	用于韧性较好的材料
<p>V 型缺口处带预制裂缝缺口</p> 	选择验收特别重要结构的金属材料,并能估计裂纹扩展程度及研究破坏原因
<p>光滑无缺口</p> 	在脆性材料中使用,如铸铁、工具钢、硬质合金、粉末冶金等
<p>U 型缺口(小尺寸冲击试样)</p> 	当材料厚度不够,或零部件实际取不出 10×10×55 试样时采用

2. 冲击试验环境条件要求

(1) 金属常温冲击试验 一般应为 (20±5)℃

当室温不符合要求时,应在实验结果中注明冲击实验的具体环境温度,当环境温度在 0~10℃之间时,可对试样加热至 20℃左右,并按规定时间保温后再进行试验。

(2) 对塑料之类冲击试验标准环境条件的要求
温度为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ；相对湿度为 $(50 \pm 5)\%$ 。

3. 对冲击试验机的要求

(1) 冲击试验机必须在计量检定合格有效期内进行试验。

(2) 冲击试验支承档块应按试样尺寸调整，长度为 55 mm 时，支承间距为 $400^{+0.5}_0$ mm，长度为 120 mm 时，支承间距为 75 mm。

4. 对操作者的要求

(1) 零点的调整：在提锤并不放置试样的情况下空打一次，并及时刹车，看指针是否指零，若有偏差，应及时调整使空打时指针指“零”。

(2) 用 0.02 mm 精度的游标卡尺测量冲击试样缺口处有关尺寸和形状是否符合试验要求并记录。

(3) 试验时注意安全。提锤后严禁在摆锤摆动的危险区内操作。

(4) 放置的试样应紧贴在支承块上，尽量使其面接触。放置缺口试样时，缺口背面应对正摆锤的冲击刀口。

5. 冲击结果

按式 (6-4) 计算，冲击韧性值为

$$\alpha_K = \frac{A_K}{S_0} \quad (\text{J}/\text{cm}^2) \quad (6-4)$$

式中 A_K —— 冲击吸收功 (J)；

S_0 —— 试样缺口断面面积 (无缺口即断面面积) (cm^2)。

此计算公式对于金属和塑料都一样。而对于金属材料冲击结果，当为 V 型缺口形状时，冲击韧性值用 α_{KV} 表示。

(1) 数据处理

金属材料 and 塑料冲击试验计算结果应至少有两位有效数字，数据处理用四舍六入、五单双法。在界限时不允许进行数字修约。对塑料类的冲击试验值应依据 5 只样的算术平均值出具。

(2) 若是由于试验机打击能量不足使试样未完全折断时，应在 α_K 值前加“>”符号，并注明“未折断”。

(3) 试验过程中遇到下列情况之一时，试验数据无效，应重新取样试验。

① 误操作：如缺口方向放置反了，冲击试验机“零点”调整不对，试验时试样未冲断就提前刹车等等都为误操作，致使试验结果无效；

② 试样打断时，试样有卡锤现象；

③ 对于金属试样，断口有明显淬火裂纹等其他热加工裂纹，且试验数据显著偏低；

④ 试验环境温度明显低于要求，且冲击值显著偏低时，应重新采取措施，重作试验；

⑤ 对塑料类试样，若冲断后有明显内部缺陷或不在缺口处破坏的试样为无效。同批有效试样不足 5 个时，也应重作试验。

(4) 试验后，在原始记录中还应注明冲击断口的形貌特征，如夹杂、白点、断面晶粒状态，冲断后弯曲角度等宏观断口情况。

第三节 金属低温冲击试验

一、低温冲击试验的意义

金属材料的力学性能受温度影响是比较大的，如有的金属材料在常温时，塑性较好，当温度降低时，原来塑性较好的材料会变脆。如属于高强度合金结构钢的 30CrMnSiA 调质钢材在正常调节处理状态下，在常温（20℃左右）时， α_{KV} 为 90~100 J/cm²，而在 0℃左右进行冲击试验时，其冲击韧性 α_{KV} 只有 5~10 J/cm²。这种当温度降到某一界限值时，其冲击韧性值突然跌下很多的现象就叫做低温脆性转变。

脆性破坏的事例是很多的，据有关文献介绍，世界上已有儿座大桥由于气温骤然下降而在短短的时间内就全面崩溃。因此在低温下工作的一些构件，如高压电输送铁塔、寒带地区运输的车辆和贮藏低温液体的一些压力容器等，在设计时都应考虑到温度对材料冲击韧性的影响，避免造成一些重大事故。实践证明，对金属材料进行系统的低温冲击试验与研究具有很重要的现实意义。

二、低温冲击试验机的结构

低温冲击试验机基本可分为三个部分，即冲击试验机主体（即与常温冲击试验机一样）、产生低温的低温炉罐（包括管道）、控温电器及操纵部分。如图 6-7 所示为我国目前正在使用的 JB7-9A 型高、低温冲击试验机的结构简图。

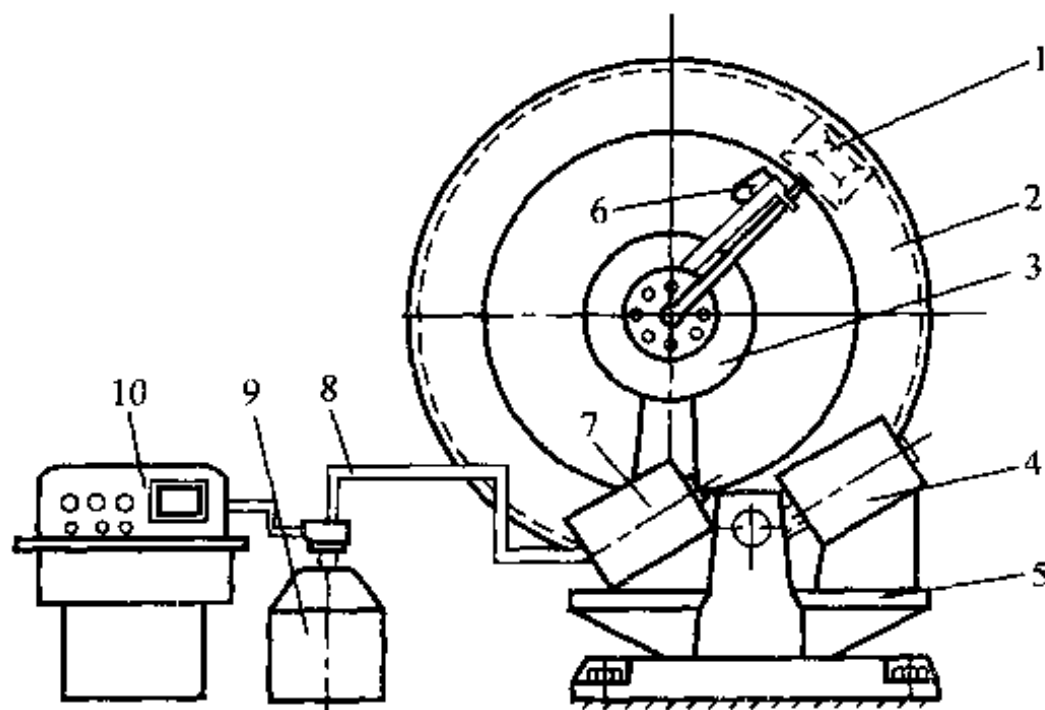


图 6-7 高、低温冲击试验机结构简图

- 1-摆锤；2-保护罩；3-刻度盘；4-高温炉；5-底座；
6-取摆摇臂；7-低温炉；8-钢管；9-液氮瓶；10-操纵台

若利用常温冲击试验机进行低温冲击试验，只要配备低温罐、制冷剂、酒精溶剂（调低

温用) 和相应的夹持器具即可。下面分别介绍低温冲击试验机的三个部分和利用常温冲击试验机进行低温冲击试验的有关配套要求。

1. 冲击试验机主体结构

冲击试验机主体与常规冲击试验机相同, 它由底座、机身、摆锤、保护罩及表盘等组成。正规低温冲击试验机低温试样是靠机械杠杆输送到冲击机支承座上的, 这样可使操作迅速趋于自动化。

2. 低温炉罐及产生低温的装置

低温罐也称低温液体膨胀室, 它是由不锈钢罐体和绝热(隔热)材料等组成。罐腔内装有冲击试样匣, 罐旁设有一根管子, 用作通入炉腔内的制冷介质, 促使试样降温, 当降到规定试验温度时, 保温不少于 15 min, 以使试样表面与心部温度一致。温度的控制与保持均在操纵台上进行。

3. 控制与操纵部分

低温环境的产生和控制是这样进行的:

(1) 对液氮瓶上的电阻丝加热, 造成液氮蒸发产生一定压力, 并将制冷介质通过管路压进低温炉罐内以降低试样温度。

(2) 当达到所需的温度后, 控制部分的电路就切断电炉丝, 停止加热, 此时液氮停止输送, 从而达到保温的目的。

(3) 低温温度的指示是通过低温炉罐内的热电偶来测量完成的。

4. 利用常温冲击试验机进行低温冲击试验的配套装置

具有以上三个部分的冲击试验机, 操作较方便, 但一般实验室在只有常温冲击试验机的条件下, 如何进行低温冲击试验呢? 现就此介绍如下:

采用低温罐, 如市场上销售的玻璃内胆的保温罐之类即可, 如图 6-8 所示。

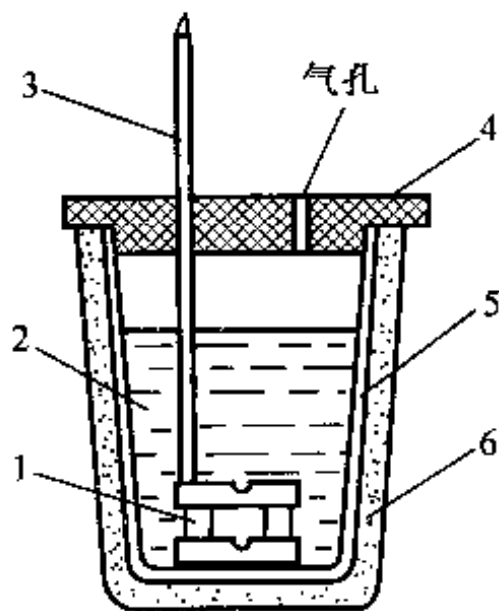


图 6-8 简易低温冲击制冷器示意图

1—冲击试样; 2 冷却介质; 3—温度计; 4—软木塞; 5 玻璃杯; 6—泡沫塑料

低温制冷罐结构如图 6-8 所示。它是由保温罐体（包括玻璃容器、塑料保温层）、软木塞等组成的。罐中放置制冷介质固体二氧化碳（干冰）或液氮并盛有一定量的酒精以调节温度。测量温度采用低温温度计。当试验温度高于 -70°C 时，可采用干冰作为制冷介质。而低于 -70°C 的则应采用液氮作为制冷介质。要调节温度可加一定量的酒精。在达到规定温度后，保温 $5\sim 10\text{ min}$ ，然后打开软木塞盖，用长柄手钳从罐中取出样品，迅速放置于冲击机的支承座上进行冲击。从取出样品到冲击结束的时间应为 $3\sim 5\text{ s}$ 。考虑到操作过程这段时间试样的温度会上升，所以应按表 6-2 所示的过冷度调节试样温度。

表 6-2 室温 (20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ 低温冲击试验的试样过冷度 $^{\circ}\text{C}$

温度范围	过冷温度	温度范围	过冷温度
$0\sim 15$	0	$-100\sim -60$	$2\sim 3$
$-60\sim 0$	$1\sim 2$	$-192\sim -100$	$3\sim 4$

试样过冷度与环境温度有关，当环境温度较高时，建议通过实验来确定过冷度。金属试样的长柄钳应与试样一起降温，这样可避免夹持试样时使试样温度变化。

有两点应是严禁的，其一是严禁用手指夹持试样，因为手指的体温会促使试样温度急速升高，同时，低温将冻坏手指。其二是严格禁止使用液氧和液氢以及含氧超过 10% 的液态空气作制冷剂，以免产生重大事故。

第四节 高温冲击试验

一、高温冲击试验的目的和意义

在现代化机械设备中，许多零部件处在高温下，而且承受冲击载荷的作用。如燃气轮机的启动，锻造时锻模和航空航天飞行器启动等都承受着高温冲击载荷的作用。有些金属材料在某温度区间会由韧性较好的状态转变为脆性状态。如图 6-9 所示为某种钢在 $525\sim 550^{\circ}\text{C}$ 温度区域内出现的冷脆、脆脆和重结晶脆性。

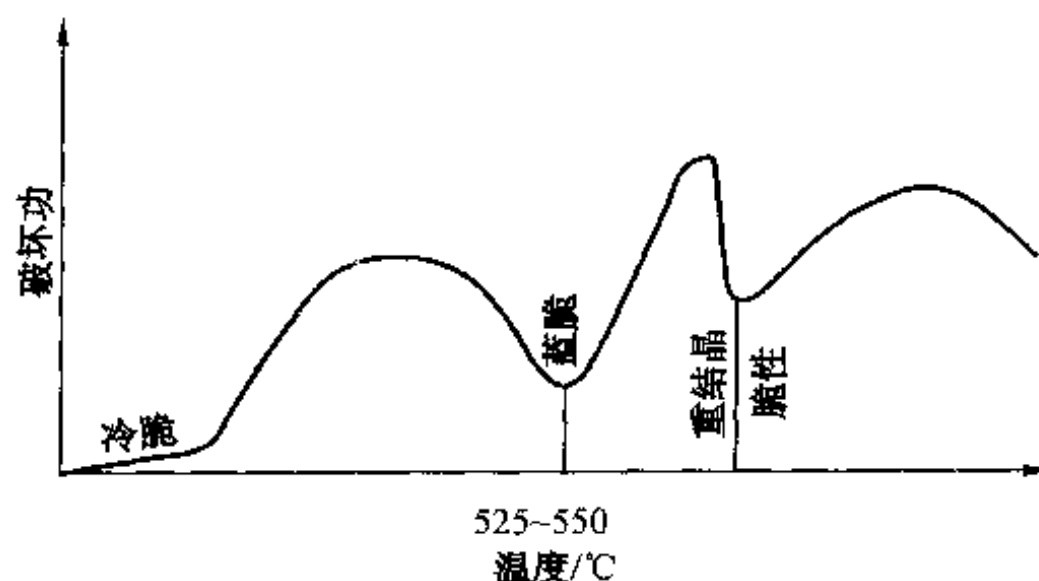


图 6-9 钢的几个脆性温度区曲线图

这种韧性的降低，将导致在这个温度下服役的机件早期破坏、失效。所以研究金属材料在高温下的冲击韧性具有很重要的意义。

大多数钢在高温下将会出现两个脆性区，第一个区域在 500℃ 左右，称为兰脆区。当温度高于兰脆区后，温度继续上升可出现第二脆性区，即重结晶脆性区。

高温冲击试验可分为规定温度下冲击试验和高温系列冲击试验，可绘制冲击韧性与温度的关系曲线。

二、高温冲击试验机及其结构

目前我国正在使用的完整的高温冲击试验机即国产的 JB 7-9 A 型高低温冲击试验机，见第三节图 6-7。该机工作温度范围是 -196~900℃，试验过程中，提锤、高温送样、冲击、制动均为电器机械控制。除主机体外，低温部分的结构、配套件在第三节均已介绍，这里只介绍高温的结构配套件。高温炉是由炉壳、塞管、电阻丝组成的管状加热炉的加热器以及绝热填料及试样托盘等组成。管状加热炉由二段电阻丝制成，分别控制加热炉工作段的温度和温度梯度，并通过电子电位差计控测温和显示。

一般实验室也可以用常温冲击试验机再用一只小型箱式炉来加热试样，但箱式电阻加热炉应靠近冲击试验机。冲击试样在箱式炉内加热到规定的温度后保温 15~20 min 后即可开箱取样进行冲击试验。从夹持试样到冲击这段时间应不超过 3~5 s。同时加热试样应考虑实验室环境温度与高温冲击温度的温差造成的试样温度降低，因而要确定试样加热时的过热度。如表 6-3 所示为推荐的过热度值。

表 6-3 高温冲击过热温度值[试验环境温度为 (20±5)℃]

℃

试验温度	过热温度	试验温度	过热温度
100	3	600	12
200	5	700	20
300	7	800	30
400	9	900	40
500	10		

三、高温冲击韧性的测定和要求

高温冲击试验与常温冲击试验一样，首先检查试样并测量试样的有关尺寸、形状公差及表面粗糙度等。但不同的是，在高温冲击试验时对温度和温度梯度有严格的要求。

高温冲击试验的冲击韧性计算公式与常温冲击一样，公式为式 (6-5)。

$$a_k^t = \frac{A_k^t}{S_0} \quad (\text{J/cm}^2) \quad (6-5)$$

式中 A_k^t —— 表示在 t 温度下的冲击功 (J)；

S_0 —— 冲击试样缺口处截面积 (cm^2)。

对系列高温试验,每一温度下要有不少于3个冲击试样,并将试验数据计算后绘出冲击功(或冲击韧性值)和温度的关系曲线图,从而可以确定材料的脆性倾向区。

第五节 金属多次冲击试验

一、小能量多次冲击在工程上的实用意义

上面几节介绍的冲击方法属于简支梁式三点弯曲冲击试验,也就是一次冲击试验。这些试验的基本点是“一次冲断”试样所消耗的冲击功。这种试验方法可以灵敏地反映材料的脆性倾向。工程技术上也惯用这个指标来衡量在冲击载荷作用下机械及其构件抗冲击载荷的能力。也就是说,在设计和制造时对承受冲击载荷的构件的材料尽可能选用 α_k 值高的金属材料。为了提高 α_k 值,也许就不能采用便宜的普通钢材和价格低廉的铸件。然而实际上,很多机械、构件是在一定能量下的多次冲击破坏的。如汽车、拖拉机发动机的曲轴、凿岩机风镐上的活塞、冲模的冲头等,其破坏的过程是裂纹的产生和发展的过程,也是各次冲击操作积累的结果,根本不同于一次冲击的破坏过程。

试验证明,一次冲击韧性高的材料,小能量多冲抗力不一定高,因此盲目地追求一次冲击韧性 α_k 值高并不一定符合实际工况。现在很多国家广泛采用球墨铸铁制造内燃机车、汽车、拖拉机和轮船发动机的曲轴,而球墨铸铁材料的 α_k 值只有几个 J/cm^2 ,而它们在长期使用中一般也不发生断裂。用 y_8 和 y_{12} 碳素工具钢来代替昂贵的 $12Cr_2Ni_1$ 合金工具而使凿岩机活塞使用寿命反而提高一倍。

当机械和构件承受小能量多次冲击时,用一次冲击试验结果不能说明和解决问题。一种更接近实际机件破断过程的多次冲击试验出现了。因此,对材料进行小能量多次冲击试验和研究具有很重要的实用意义。我国的西安交通大学强度研究室较早在这方面做了大量的工作。目前国内小能量多次冲击试验的形式基本是西安交通大学强度研究室的模式。

二、多次冲击试验机结构

早在1958年,西安交通大学就自制了DC-150型落锤式多次冲击试验机。它可以作多次冲击弯曲、多次冲击拉伸和多次冲击压缩试验。经改良后还可以作齿轮的单齿多冲弯曲试验。目前国内有几家材料试验机厂已生产有商品化的多次冲击试验机,如吴忠材料试验机厂生产的JD-125型多次冲击试验机等。多次冲击试验机是由一个刚性较好的机座、冲头、齿轮箱、飞轮和偏心轮等组成,试验机由电动机带动飞轮,通过齿轮箱使带有偏心轮的旋转头转动,由两偏心轮轮换托起冲锤做垂直上、下运动,对试样进行反复冲击。试验工作部分承受四点纯弯曲力。如图6-10所示为小能量多次冲击工作示意图。

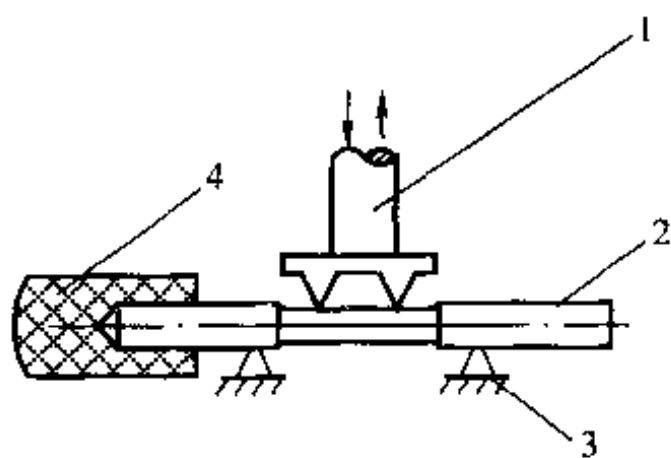


图 6-10 小能量多次冲击工作示意图
1—冲头；2—试样；3 支承座；4 转动轴

三、小能量多次冲击试验方法和结果的分析

1. 小能量多次冲击试验方法

小能量多次冲击试验目前还没有试验标准，一般试验方法有 3 种，即：

- ①在规定的冲击能量下进行试验；
- ②系列冲击能量试验；
- ③承受规定冲击次数而不损坏的最大冲击能量 A_m 试验。

小能量多次冲击试验可参考如图 6—10 所示的工作示意图。试验所用的试样，按试验机的使用说明书所提供的试样图加工。JD—125 型多次冲击试验机要求的小能量多次冲击试样见图 6—11。

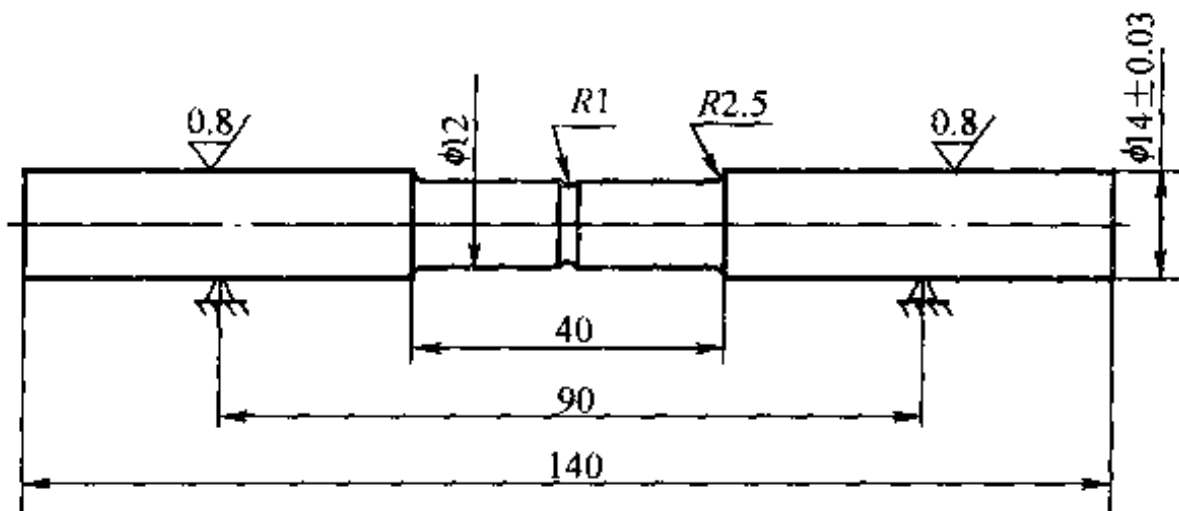


图 6—11 JD—125 型多冲机试样

试样的工作部分承受四点纯弯曲。试样的一端由传动机构带动，每冲击一次，转动一个角度。试样转动的角度可按要求进行调整。冲击能量的调整可通过改变冲锤重量、改变两偏心轮距离或改变冲击速度来实现。

按第一种试验方法即确定一个冲击能量，把一定尺寸的试样进行多次冲击，一直到试样开裂或冲断为止，就可以得到一个冲击次数，用 N 来表示。第二种方法是系统地采用不同冲击能量，每一级冲击能量一般取三根试样。每级试样用相同的冲击能量，冲击后三根试样的冲击断裂的次数 N 取平均值。如表 6—4 所示为三种钢在相应热处理状态下用系列的冲击能量试验的多次冲击试验结果。

表 6—4 三种钢小能量多次冲击试验结果

钢种及状态	在下列冲击能量下出现裂缝或破断的冲击次数 N									
	7 J		5 J		3 J		2.5 J		1.5 J	
	开裂	破断	开裂	破断	开裂	破断	开裂	破断	开裂	破断
25 钢, 920℃ 正火	50	205	80	330	100	930	300	1750	1000	4160
45 钢, 840℃ 水淬, 600℃ 回火	100	277	350	611	1500	2440	—	3750	7000	12 500

续表

钢种及状态	在下列冲击能量下出现裂缝或破断的冲击次数 N									
	7 J		5 J		3 J		2.5 J		1.5 J	
	开裂	破断	开裂	破断	开裂	破断	开裂	破断	开裂	破断
T8 钢, 780℃ 油淬, 200℃ 回火	—	215	—	416	—	6760	12 000	13 610	—	—

以这三种钢的小能量多次冲击结果绘出的冲击能量—断裂周次曲线见图 6—12。

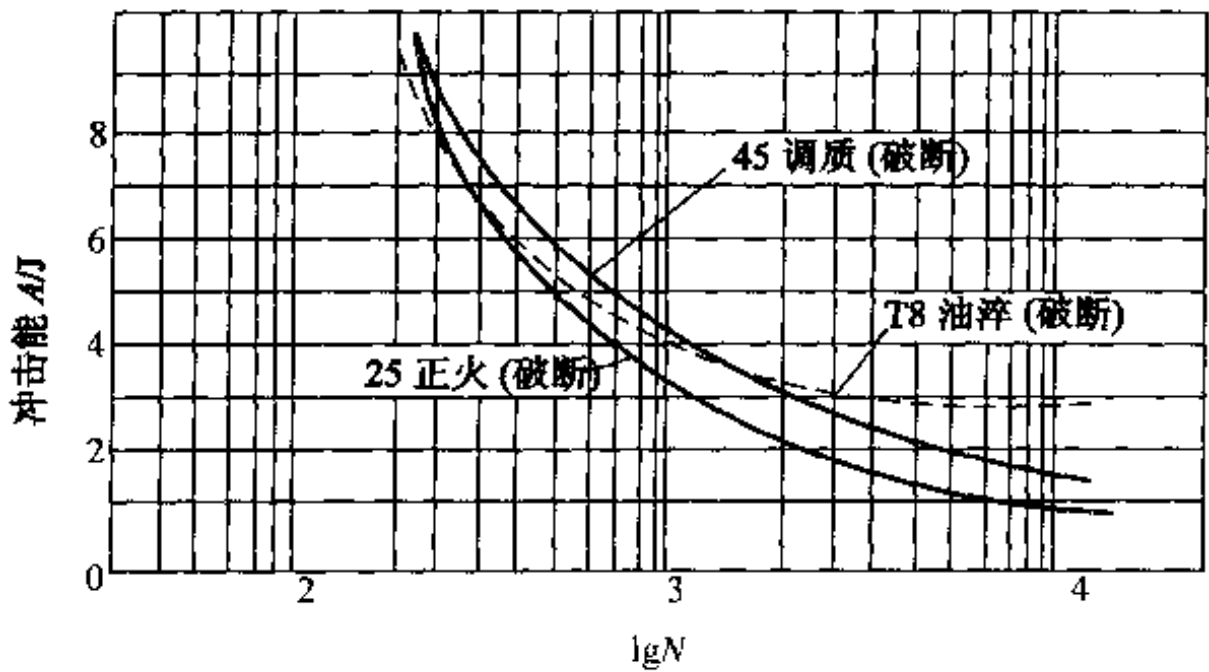


图 6—12 三种钢冲击能量—断裂周次曲线图

2. 小能量多次冲击试验结果的分析

上面所述 3 种相应热处理状态钢的小能量多次冲击结果与它们拉伸力学性能和一次冲击试验的结果见表 6—5，对照分析可以得出如下结论：

表 6—5 3 种钢的拉伸力学性能与一次冲击韧性值表

钢种及状态	机 械 性 能				
	$A_m / (N/mm^2)$	$R_m / (N/mm^2)$	$A_5 (\%)$	$\varphi (\%)$	$\alpha_k / (J \cdot cm)$
25 钢 920℃ 正火	385	246	41.0	70.0	>100
45 钢 840℃ 水淬, 600℃ 回火	740	530	26.2	62.0	>100
T8 钢 780℃ 油淬, 200℃ 回火	1060	—	10.0	36.0	>51.6

从表 6—4、表 6—5 和图 6—12 对照可知，当冲击能量高时，材料的多冲抗力主要取决于材料的塑性和韧性，也就是这时材料的延长率 δ 和断面收缩率 ψ 和一次冲击韧性值 α_k 高的多冲抗力也高。当冲击能量低时，材料的多冲抗力主要取决于材料强度，由此可见，对于承受多次冲击载荷的机件，要使材料的强度和塑性韧性有一定的配合才能达到理想的服役寿命。

第六节 金属冲击试验的应用

1. 常温一次冲击试验的应用及其缺陷

直至现在，很多工程上最方便最简单的获得材料动态强度和变形能力的方法，还是应用常温一次冲击试验方法获得冲击值或冲击韧性值。这因为人们还是习惯于用冲击值来表示材料抵抗冲击载荷能力的大小。但是前面也已提出，冲击抗力有明显的体积效应和波传导特点，与载荷的变形速度有很大的关系，而冲击试验又是在特定试验加载速度、特定试样尺寸和缺口情况下进行的，所以冲击试验所得到的冲击值大，并不一定是实际结构件冲击抗力也大。它包含着强度和塑性两方面的贡献。对于强度高的塑性化材料，在某特定的冲击条件下也可以获得高冲击值。因此光用常温一次冲击试验，还不能真实地表示材料冲击抗力和脆性倾向。

2. 小能量多次冲击试验的应用

小能量多次冲击这种试验方法可以灵敏地反映材料的脆化倾向。这种冲击试验可以用于控制热处理工艺，也可以用于检查材料品质。在目前的工程中，对承受小能量多次冲击的服役结构件和材料也习惯于应用小能量多次冲击。

3. 高温冲击试验的应用

冲击试验在检验材料品质、内部缺陷、工艺质量等方面也非常敏感。例如金属材料疏松、夹杂、流纹、白点、过热、过烧、变形时效及回火脆性等都可以从冲击值大小明显地反映出来。

同样一种材料和状态的钢的一组冲击试样进行高温冲击试验，在不同温度下其冲击值在某特高温的温度下出现低冲击值的结果，这就是利用高温冲击来反映某些金属材料的变形时效、回火脆性、蓝脆、重结晶脆性。

4. 低温冲击的应用

金属材料承受低温冲击载荷时，有时材料在某一特定的温度时，其冲击韧性值会出现突降现象，这就是冷脆问题。不同的材料，冷脆转变温度也不一样，因此工程上就要选择某种在某一低温下受冲击载荷下的构件不会因在该低温条件下产生低温脆性的断裂事故的材料。

采用多组冲击试样，每组 3 个样，分别在不同低温下（如 $-40 \sim 4^{\circ}\text{C}$ ）进行冲击试验，从而找到某一温度间隔会出现冲击韧性值突降的现象，如图 6-13 所示。

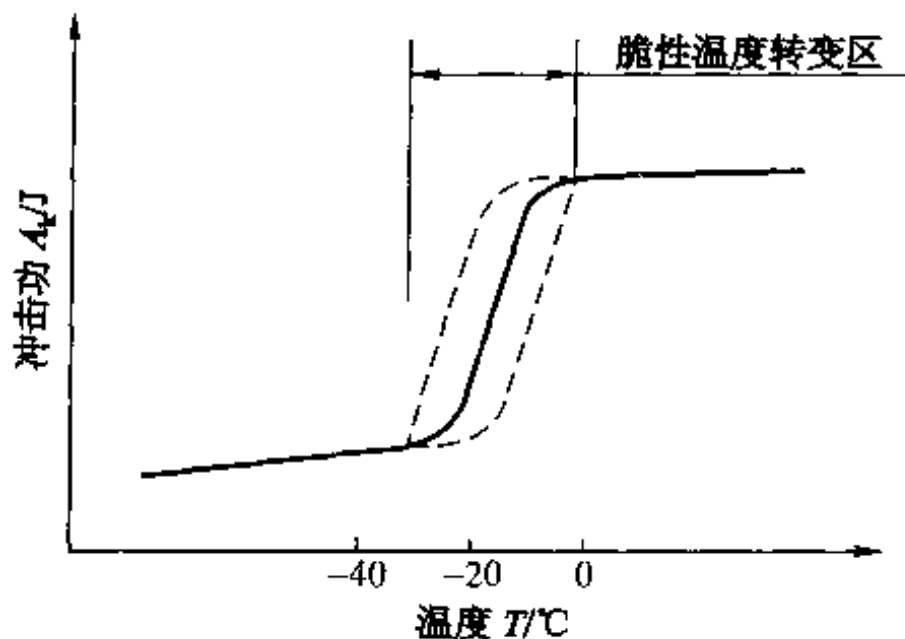


图 6-13 低温系列温度与冲击功关系曲线

图中所示该材料 0°C 是冷脆转变温度，0°C 与 -20°C 为冷脆转变温度区。因此，可利用低温冲击测出材料的冷脆转变曲线和转变温度。

第七节 冲击试样的断口分析

一、试样断口分析的内容

冲击试验除了测定材料的冲击韧性值外，同时也分析冲击试样断口的形貌特征。因为在冲击试样宏观断口上，经常可以发现诸如夹杂、气孔、夹层、白点之类金属材料冶炼铸造和轧制、挤压、锻造等工艺缺陷，晶粒大小断面晶状率等热处理工艺缺陷以及试样冲断后弯曲角和侧向膨胀率等。用冲断或冲弯后试样断口来评定材料性能是不可缺少的内容之一。

二、断口分析方法

冲击后的试样一般用肉眼就可以观察断口的形貌，也可以用低倍放大镜来观察断口形貌，以此评定金属材料的缺陷和钢材韧脆性。这里将在下面介绍两种断口分析方法。

1. 断面晶状率分析法

这种方法是把断口分成二个部分，见图 6-14。

一部分叫延性断口部分，也叫剪切断口，其宏观特征是断面呈暗灰色纤维状，无光泽。另一部分为脆性断口，也叫解理断口、结晶断口。解理断口一般出现在断口的中央或偏中央部位，其宏观特征是有光亮的晶粒状结构，类似灰口铸铁的断口。我们用脆性断口面积与总断口面积之比并乘以 100% 来表示断面晶状率。

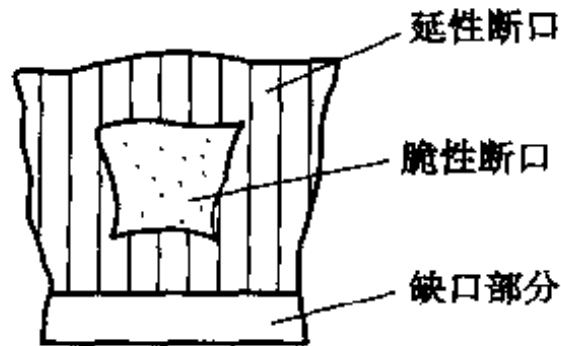


图 6-14 冲击试样断口晶状率评级示意图

在进行金属材料低温系列温度冲击试验时，常用断面晶状率 50% 所对应的冲击值作为低温冲击试验脆性的临界点。

2. 试样冲断后断面处侧向膨胀率分析法

这种方法是用冲断后试样侧向膨胀率来评定，如图 6-15 所示，侧向膨胀率按式 (6-6) 计算。

侧向膨胀率为

$$K = \frac{a-b}{b} \times 100\% \quad (6-6)$$

式中 a —— 断面断口处尺寸 (mm)；

b —— 冲击前该处尺寸 (mm)。

侧向膨胀率大小与材料的塑性有关。在脆断的情况下，由于断口处无剪切区而呈平整断面，侧向不产生扩展。也就是如图所示 a 尺寸与 b 尺寸接近，或几乎相等，膨胀率几乎为零。

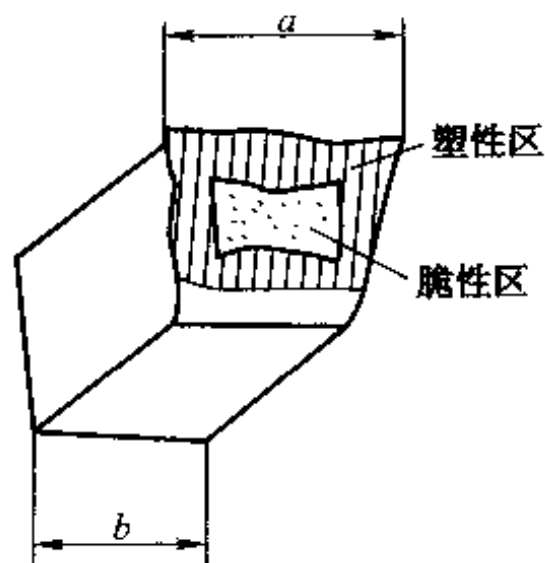


图 6-15 冲击试样断口侧向膨胀率示意图

由此可知，侧向膨胀率的大小与冲击韧性呈正

比。例如灰口铸铁的冲击韧性值很低，它的侧向膨胀率也很小，几乎等于零。

此外，评定钢材的缺陷和脆性还可以用测量冲断后试样的弯曲角度的方法来进行，但这种方法目前试验室中不常用，这里就不详细介绍了。

第八节 冲击试验的影响因素

金属材料的冲击韧性和脆性转变温度对材料内部组织结构、宏观缺陷及试验条件很敏感，因此，影响冲击试验结果的因素很多。下面介绍一些影响冲击试验结果的主要影响因素。

1. 化学成分的影响

对于金属材料的化学成分，有的元素的增加会提高材料的冲击韧性值，有的则相反。如钢材的冲击韧性 α_k 值随着材料的含碳量的增加而降低，因为碳的增加促使碳化物的产生，从而使其硬度增高，塑性、韧性降低。

钢材化学成分中的 S 和 P 两元素含量的增加，会形成热脆和冷脆，从而降低冲击韧性值，Ni 元素的增加，会促使冲击韧性值提高，特别是低温冲击韧性值的提高比较显著，因为加入 Ni 后，强化了铁素体，并能细化珠光体，而且会使脆性转变温度区降低。

2. 热处理的影响

金属材料经过不同的热处理工艺，可以得到不同的相、组织和不同粗细的晶粒，这些不同相和组织都直接影响材料的强度、硬度和韧、塑性。如钢经淬火处理，得到淬火马氏体，使钢得到比较高的硬度，但淬火马氏体脆性大，从而使淬火钢的冲击韧性值大大降低，因此

单一淬火处理的钢材一般不在工程上应用。钢退火后的组织为珠光体和铁素体，使钢的硬度大大降低，冲击韧性值提高，钢经正火处理，使钢的晶粒细化，也提高钢的常温冲击韧性值。钢的调质处理，能得到强度、塑性和韧性的很好配合，从而得到高的综合机械性能。

在热处理过程中，若工艺控制不适当，就会造成脱碳、过热、过烧等缺陷，这些缺陷将严重地降低材料的冲击韧性值。

3. 取样方向和机械加工方法的影响

工程上使用的金属材料大多是轧制、挤压和锻造成型的，由于轧制、挤压和锻造时产生纤维组织，所以取样方向对 α_k 值有一定的影响。如沿轧制、挤压和锻造纤维方向取样，冲击韧性值就偏高，而垂直于纤维方向取样则冲击韧性值偏低。锻造和铸造的材料中形变方向和结晶方向的不同取样，对 α_k 亦有影响。冲击试样取样加工的方法，也直接影响试验结果。若采用气割、砂轮切割取样，则取样端应留一定的加工余量，否则其热影响区的组织变化将严重降低 α_k 值。对于带缺口的冲击试样，不同的缺口加工方法都会影响冲击韧性值，对于 V 型缺口，无论是采用成型刨刀刨、成型铰还是砂轮切削，不同的加工方法都将影响冲击韧性值。

4. 试验温度的影响

试验温度对某些金属材料的 α_k 影响较大。从室温到低温会出现 α_k 值明显降低，甚至有一个临界温度的突变。如 30CrMnSiA 钢就是一个典型的例子，它从室温降到 0℃ 左右， α_k 值会突然下降。因此，该材料室温的变化对其 α_k 值影响很大。

从室温到高温，一般温度升高而 α_k 值增加。但随着温度进一步提高会出现二次低谷值，第一次为兰脆区，第二次为重结晶脆性区。

5. 材料缺陷的影响

金属材料的白点、夹杂、带状偏析等缺陷的存在都会使材料的 α_k 降低。本质粗晶粒钢 α_k 值较低，本质粗晶粒钢 α_k 也比本质细晶粒钢低。材料铸造缺陷、气泡、夹渣、砂眼、气孔等均会降低 α_k 值。

6. 试样的形状和表面粗糙度的影响

试样的缺口形状对 α_k 值影响较大。目前常用的也是国家标准规定的有 V 型和 U 型两种缺口冲击试样，对同一材料、同一尺寸的 V 型和 U 型试样进行试验，其所得到的冲击韧性值 α_{kV} 和 α_{kU} 值的差别是较大的，特别是强度高的材料，差值就更为显著，同一材料的 $\alpha_{kV} < \alpha_{kU}$ 。

冲击试样缺口的粗糙度对低碳钢及塑性较好的金属材料 α_k 值不明显，而对高强度钢则影响较大。

7. 其他方面的影响

尺寸精度对 α_k 值影响也较大。因此对尺寸超公差的非标准试样，试验前必须测量缺口处的尺寸。试样安放的位置，如缺口凹槽是否对中，两支承座跨距 L 是否为规定的尺寸公差，

若偏大则 α_k 值会偏低，若缺口凹槽不对中心，则 α_k 值会偏高。因此，试验时应该用随机所配备的凹槽卡板调整支承座的跨距和试样安放的对中位置。

思考题

1. 常用的冲击试验形式有哪些？常温简支梁冲击试验的原理是什么？
2. 常用简支梁冲击试样有哪些形式？它们适用于哪些材料的冲击试验？
3. 试验温度对冲击结果有何影响？如何测定金属材料的低温脆性转变温度？
4. 几种接近实际服役的冲击试验有什么特点？
5. 如何通过冲击试验后的冲击断口来评定材料的断裂性质和缺陷？
6. 影响冲击试验结果的主要因素有什么？

第七章 金属疲劳试验

第一节 概 述

一、金属疲劳试验发展历史

1. 交变应力及疲劳破坏

前面的第二章到第五章所介绍的试验方法和研究的是材料强度问题。它们的试验是在静载荷作用下的情况。在静载荷作用下，构件和试样内部各点的应力大小是不随时间的变化而变化的。但是在工程实践中，许多金属构件和零部件，如各种轴类零部件、齿轮、轴承、汽轮机叶片和燃气轮机叶片、弹簧等，它们在工作过程中都受随周期变化的应力的作用。这种周期变化的应力称作交变应力。

金属结构件和零部件在交变应力的作用下，虽然构件所受的应力低于材料的屈服强度，但经过较长时间的工作也会发生断裂。这种现象称为金属的疲劳。

2. 金属疲劳试验方法及其发展现状

金属疲劳试验的研究工作从 19 世纪初开始。早期的试验是利用试样在重复载荷作用下的破坏来描述金属材料破坏过程。1839 年巴黎大学教授 J. U. Panelet 首先提出“金属疲劳”的问题。1871 年德国工程师 A. Wönlér 第一个系统地开展了疲劳试验研究，进行了钢轨的弯曲疲劳试验，提出了应力—寿命图和疲劳极限的概念。

随着生产的发展，金属构件在周期性的复杂应力作用下出现的破坏现象已属常见。为了模拟这种工作状态，相继出现了拉压疲劳、弯曲疲劳、接触疲劳、扭转疲劳、小能量多次冲击疲劳、振动疲劳、冷热疲劳、高温疲劳、低温疲劳、腐蚀疲劳、弯扭复合疲劳和低周疲劳等试验方法。近年来微动磨损疲劳和随机疲劳在国内外发展也很快。

近年来，由于断裂力学的研究日渐广泛，从断裂力学的观点来研究疲劳断裂，无论在理论上或试验方法上都为金属材料疲劳断裂的研究提供了一种新的方法。断裂力学建立了疲劳裂纹扩展速率 da/dN 与应力强度因子幅值 ΔK_I 之间的关系，这就把材料性能与外力及试样几何尺寸之间建立了关系，为金属构件疲劳寿命的估计提供了有效的方法。

二、疲劳试验的意义

疲劳破坏是机械零部件失效的主要原因。统计表明，机械零部件大约有 80% 属于疲劳破

坏,而且机械零部件在疲劳断裂前从裂纹的产生、发展直至断裂整个过程并没有明显的变形,很难预防。所以疲劳破坏经常造成重大事故和不可估量的损失。许多科学家经过多年的努力,在同疲劳破坏作斗争方面取得了不少成果,但对疲劳断裂的机理的研究,还只是建立在模型的基础上。另一方面,材料的疲劳性能数据又为机械构件的疲劳寿命设计提供了可靠的依据,因此,模拟使用状态下的疲劳试验,包括形状、尺寸、表面状态以及环境介质等对金属材料疲劳性能的影响,就成为当前疲劳试验研究中的重要组成部分。

三、疲劳的分类

由于金属材料的疲劳是在变动载荷作用下经过一定循环周次之后才出现的现象,因此,按机件所受应力的大小和交变频率的高低,通常可以把金属的疲劳分为两大类,一类为应力较低、应力交变频率较高情况下产生的疲劳,即通常所说的疲劳,而另一类为应力高(工作应力接近于或高于材料的屈服强度)、应力交变率低,断裂时应力交变周次少,应力循环周次小于 $10^3 \sim 10^5$ 次的情况下产生的疲劳,简称低周疲劳。

这里把第一类低应力的疲劳按不同的试验方法还可进行分小类,即按照机件受力方式不同,可以将其分为弯曲疲劳(按受力方式不同又可分悬臂式和宏梁式)、拉压疲劳、扭转疲劳和复合疲劳。按试验温度、介质环境可以分为室温空气中的疲劳、高温疲劳、低温疲劳、冷热疲劳、腐蚀疲劳、接触疲劳、多冲疲劳和微动磨损疲劳等。从载荷和时间的关系上,可以分为定常疲劳(即载荷与时间有确定的函数关系的疲劳)和随机疲劳(随机载荷作用下的疲劳)。

四、疲劳破坏的特征

金属疲劳及其破坏虽然有各种不同的类型,但其疲劳破坏的过程都有以下 3 个特征:

1. 疲劳断裂的突然性

疲劳过程和断裂时没有宏观塑性变形的出现,因此断裂前没有明显的预兆,而是突然地破坏。即使一个在静载作用下有较大塑性变形的金属材料,在疲劳载荷作用下也会显示出类似脆性断裂的宏观特征。

2. 低应力引起疲劳断裂

金属材料及机件往往在低于其材料屈服强度时引起疲劳断裂,这是因为疲劳破坏是从机件局部薄弱部位开始的,这些部位应力集中度很高,所谓局部薄弱部位是指缺口、沟槽或几何形状突变等易造成应力集中的部位,它也可能是由材料内部缺陷造成的。疲劳裂纹在局部地区形成后,经过多周次的循环使裂纹逐渐扩展至使剩余部分的截面不能再承受应力时便突然断裂。

3. 疲劳断裂的宏观断口特征

破坏的宏观断口如图 7-1 所示,它由 3 个部分组成,即疲劳裂纹产生的裂纹源、裂纹

扩展的前沿线（辉纹区）和最后断裂区。

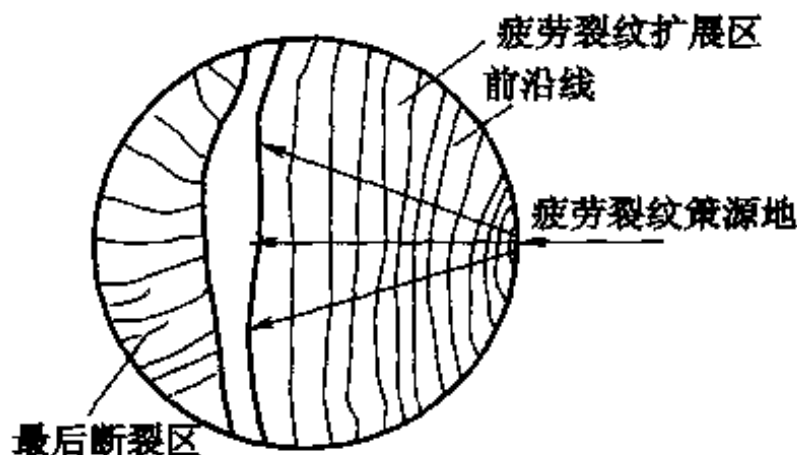


图 7-1 疲劳宏观断口示意图

（1）疲劳裂纹的产生

由于材料的质量缺陷（如夹杂、偏析等）、加工缺陷（如加工刀痕等）或结构设计不合理（截面突变等）等原因，在机件的局部区域产生应力集中，这些区域便是疲劳裂纹产生的核心策源地，使疲劳裂纹产生。当应力集中程度大、工作应力高时，疲劳源就多。

（2）裂纹扩展区——疲劳辉纹的形成

疲劳裂纹产生后，随着应力循环周次的增加，裂纹逐渐扩展形成贝壳状或海滩状条纹——疲劳辉纹。这些条纹开始时比较密集，以后间距逐渐增大。由于载荷的间断或载荷大小的改变，裂纹经多次张开、闭合、断口表面反复挤压摩擦，形成一条条光亮的弧线，这弧线就叫做疲劳裂纹前沿线。这部分断口呈细瓷状，其大小与工作应力的大小有关，当工作应力小时，裂纹寿命长，这时断口大。

（3）最后断裂区

由于疲劳裂纹的不断扩展，机件或试样有效断面逐渐减小，因此应力就不断增加。当应力超过材料强度极限时，则发生断裂，形成最后断裂区。这个断裂区的形态对于塑性材料断口则为纤维状，断口的颜色呈灰色，而对脆性材料则呈结晶状断口。

第二节 交变应力及其循环特性

由于金属的疲劳现象是在交变应力作用下，经过一定循环周次之后才出现的，所以首先需要了解交变应力的特性。交变应力是指应力的方向或大小和方向都随时间发生周期性变化（或无规则变化）的应力。例如，汽车等车轴和曲轴的轴颈上的某点，在运转中所受应力的方向和大小在周期性地变化。又如汽缸盖螺栓，当活塞运转时，它受交变的拉应力，只是应力大小在变动。又如内燃机连杆，它始终受大压小拉的应力作用，其应力的方向和大小随时间都在变化。此外汽车在行驶过程中，车轮在地面上受到地面不平的偶然冲击，飞机在空中受到气流的冲击等，应力在一定范围内均为无规则变化。交变应力的类型如图 7-2 所示。

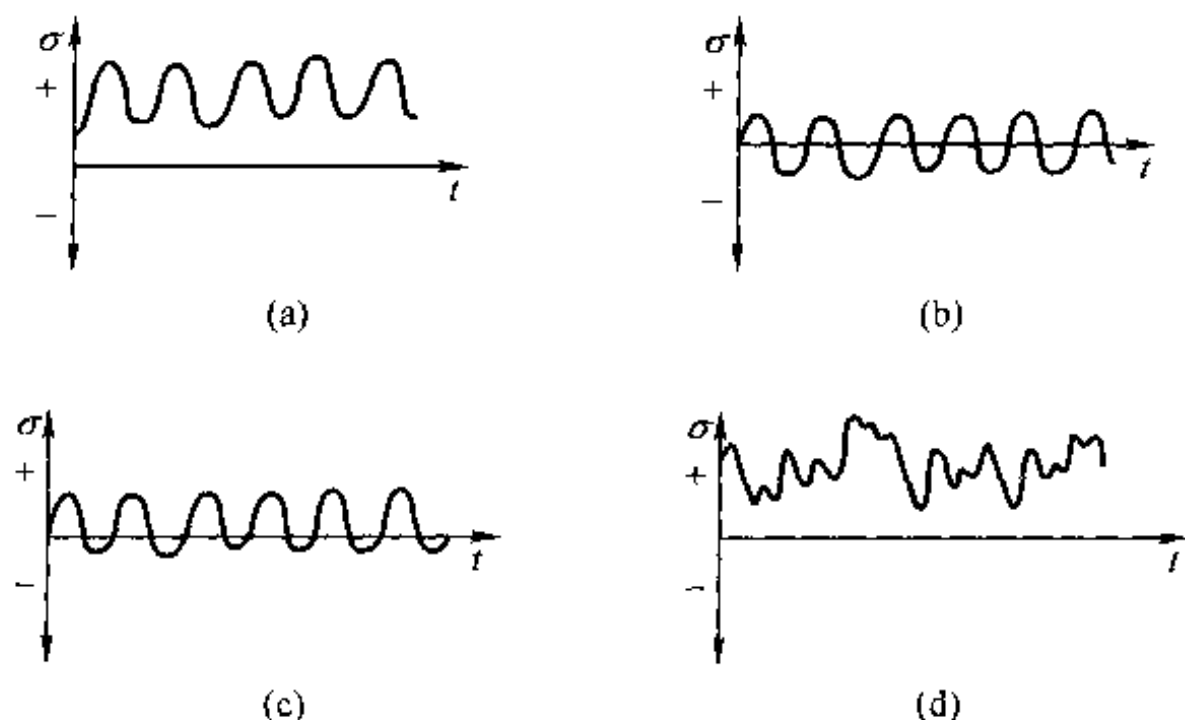


图 7-2 交变应力类型示意图

(a) 应力大小变化；(b)，(c) 应力大小及方向都在变化；(d) 应力大小无规则变化

除了无规则变动应力外，变动应力的特性可用图 7-3 所示的几个参数来表示。

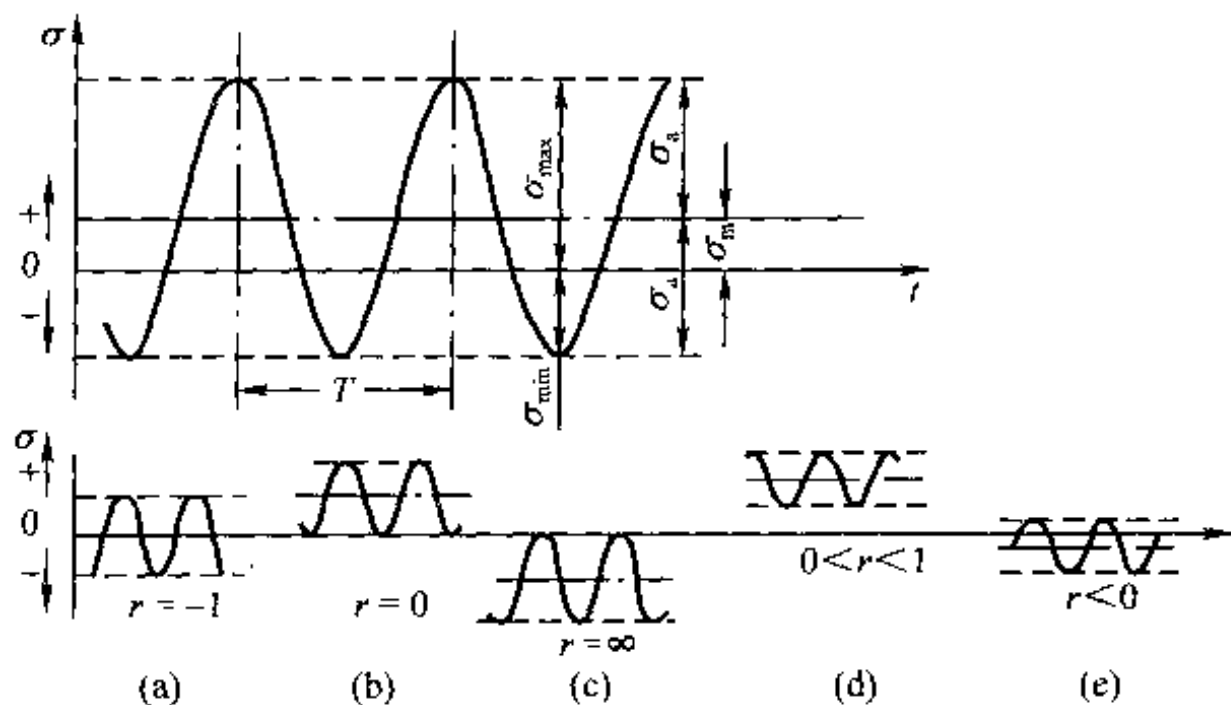


图 7-3 循环应力特性图

交变应力的特性可用应力半幅 (σ_s)、平均应力 (σ_m) 和应力循环对称系数 (r) 等几个参数来表示。其中最大应力与最小应力之和的平均值称为应力循环的平均应力 σ_m ，见公式 (7-1)。

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (7-1)$$

而最大应力与最小应力差的一半称为应力循环的应力半幅，用 σ_s 表示，见公式 (7-2)。

$$\sigma_s = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (7-2)$$

最小应力和最大应力的比值称为应力循环对称系数，用 r 表示，见公式 (7-3)。

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (7-3)$$

对于对称应力循环, $r = -1$, 如火车轴的弯曲, 曲轴轴颈的扭转等, 旋转弯曲疲劳也属于这一类, 如图 7-3 (a) 所示的曲线。当 $r = 0$ 时, 称为脉动循环, 例如齿轮、齿根的弯曲, 如图 7-3 (b) 所示, 对于 $r \neq -1$ 的应力循环, 都称为不对称循环, 例如滚珠轴承的滚珠承受循环压应力; $r = \infty$ 如图 7-3 (c) 所示, 如汽缸盖螺栓受大拉、小拉循环应力; $0 < r < 1$ 如图 7-3 (d) 所示, 如内燃机连杆受大压、小拉循环应力; $r < 0$, 如图 7-3 (e) 所示。

第三节 疲劳曲线和疲劳极限及其关系

一、疲劳曲线和疲劳极限

在交变载荷作用下, 金属承受的交变应力和断裂循环周次之间的关系通常用疲劳曲线来描述。多年来, 人们通过对于疲劳的研究, 发现金属承受的最大交变应力 (σ_{\max}) 愈大, 则断裂时应力循环周次 (N) 愈少; 反之 σ_{\max} 愈小, 则 N 愈大。如果将所加的应力 σ_{\max} 和对应的应力循环周次 N 绘成图, 便得到图 7-4 所示的曲线, 此曲线称为疲劳曲线。通常用 $\sigma - \lg N$ 来表示。

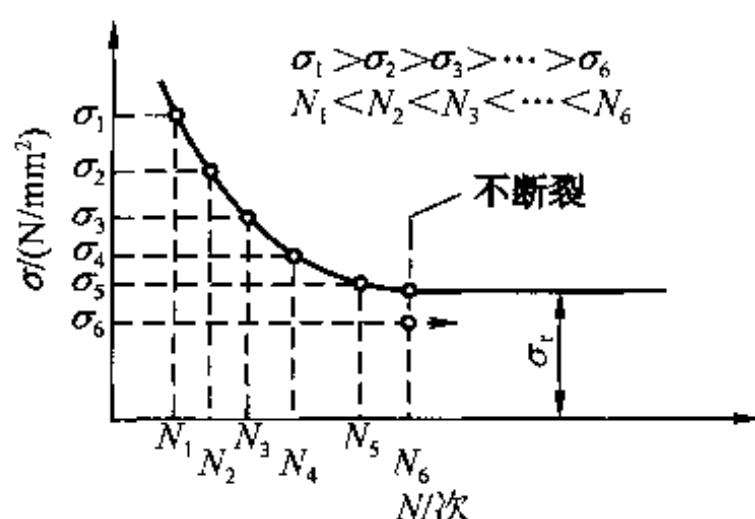


图 7-4 疲劳曲线 $S-N$ 示意图

最初疲劳曲线绘制时用 $\sigma - S$ 来表示, 所以也称疲劳曲线为 $S-N$ 曲线。

从图 7-4 所示的曲线图中可以看出, 当应力低于一定值时, 试样可以经受无限周次的循环而不断裂。此应力值称为材料的疲劳极限, 疲劳极限通常用 σ_r 来表示。注脚 r 表示应力循环对称系数。对于对称循环 $r = -1$, 疲劳极限用 σ_1 表示。

不同材料的疲劳曲线开头也不同, 大致可分为两种类型。如图 7-5 (a) 和 (b) 疲劳曲线所示。

对于具有应变时效现象的金属和合金, 如常温下的钢铁材料疲劳曲线图上有明显的水平部分, 见图 7-5 (a), 疲劳极限有明确的物理意义。而对于没有时效应变现象的金属和合金, 如部分有色金属, 见图 7-5 (b), 如在高温下或腐蚀介质中工作的钢等, 则它们的疲劳曲线没有水平部分, 这时就规定某一 N_0 值所对应的应力为“条件疲劳极限”或“有限疲劳极限”, N_0 称为循环基数。在机械工程上, 一般火车轴取 $N_0 = 5 \times 10^7$ 次, 汽车发动机曲轴取 $N_0 = 12 \times 10^7$ 次, 汽轮机叶片取 $N_0 = 25 \times 10^7$ 次, 总之, 对于黑色金属一般 N_0 取 10^7 次, 有色金属和不锈钢等取 10^8 次。

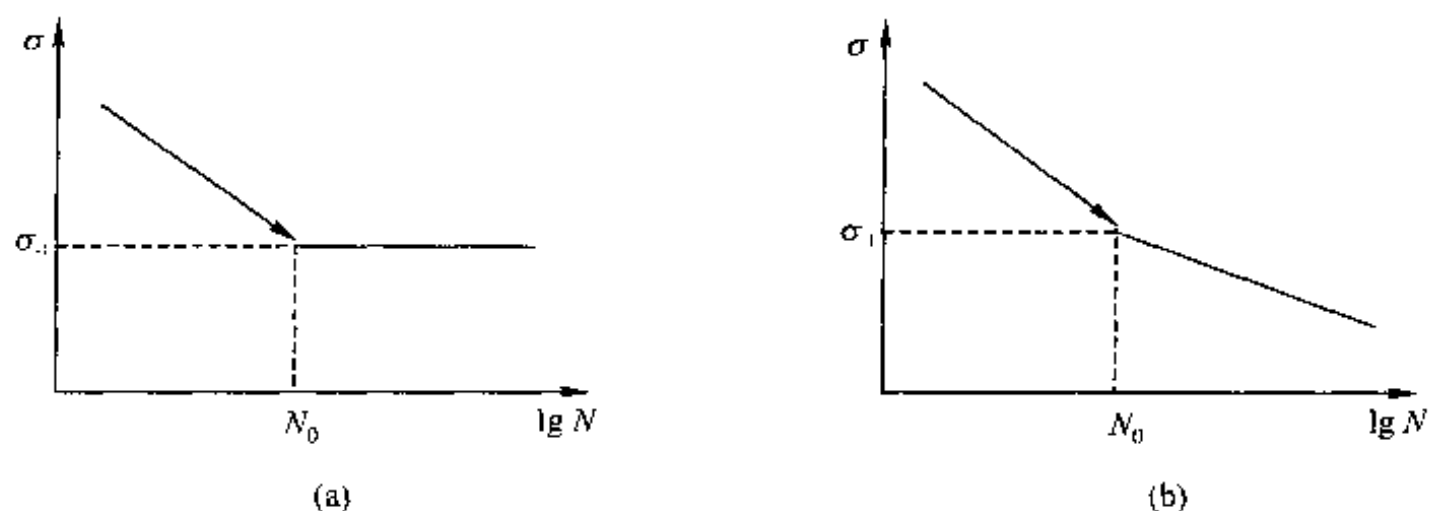


图 7-5 两种类型疲劳曲线示意图

二、弯曲疲劳极限与抗拉强度的关系

大量试验结果说明，金属材料的疲劳极限与材料的抗拉强度之间存在着一定的关系，这种关系随材料的不同和相组织的不同而存在有一定范围的不同关系，如图 7-6 所示为碳钢的弯曲疲劳极限与抗拉强度的关系曲线图。

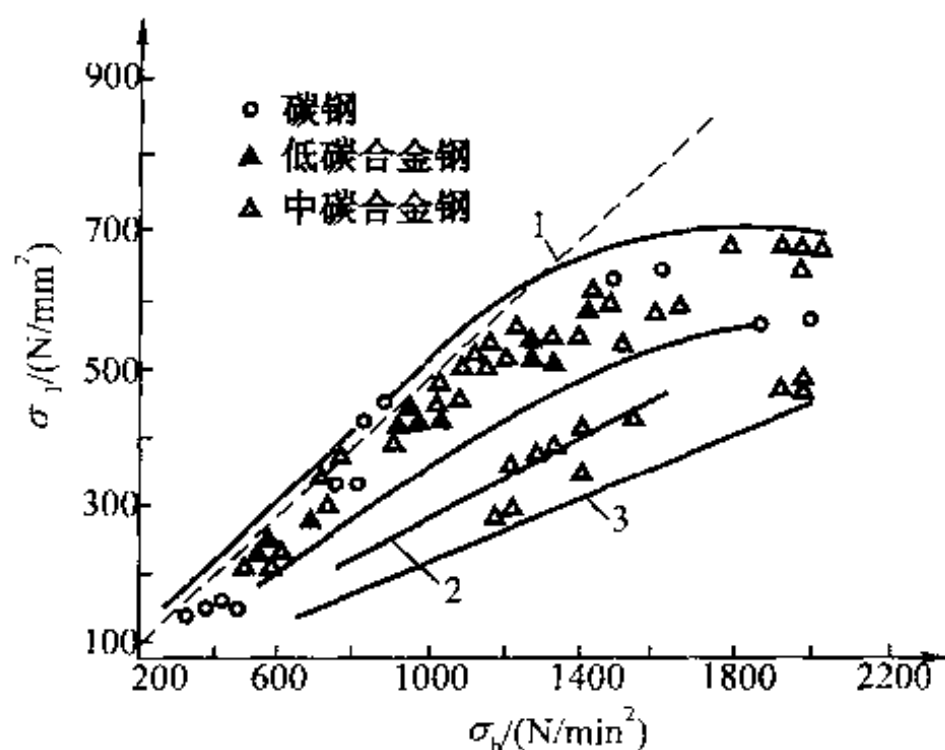


图 7-6 金属材料疲劳极限与抗拉强度关系曲线图

1 $\sigma_1/\sigma_b=0.5$; 2 $\sigma_1/\sigma_b=0.3$; 3 $\sigma_1/\sigma_b=0.24$

图中有三条直线。这是当 $\sigma_b \leq 1400 \text{ N/mm}^2$ 时，光滑的弯曲疲劳极限与抗拉强度之间存在的线性关系。材料抗拉强度高，弯曲疲劳极限也高。当 $\sigma_b > 1400 \text{ N/mm}^2$ 时，线性关系偏离大。

三、拉压、扭转疲劳与弯曲疲劳极限的关系

现今，在机械结构件和零部件的设计强度计算中，广泛应用金属材料的弯曲疲劳与拉压疲劳。对比试验结果说明，在一般情况下，对称弯曲疲劳极限高于对称拉压疲劳极限。

对于不同金属材料，拉压疲劳极限与弯曲疲劳极限的经验公式为

退火、正火钢: $\sigma_{-1\text{拉压}} = 0.85\sigma_{-1}$

淬火、回火钢: $\sigma_{-1\text{拉压}} = 0.91\sigma_{-1}$

对于对称扭转疲劳试验, 由于金属材料扭转抗力低于拉伸抗力, 所以, 扭转疲劳极限更低于弯曲疲劳极限, 其关系为

$$\tau_{-1} = 0.58\sigma_{-1}$$

第四节 金属弯曲疲劳试验

一、旋转弯曲疲劳试样受力状态

通常, 金属材料疲劳试验是在旋转弯曲疲劳试验机上进行的。这种试验方法的优点是比较简单, 试验成本低, 而且在大量试验的基础上, 也已建立了金属材料旋转弯曲疲劳极限与静拉伸强度拉压疲劳极限和扭转疲劳极限的经验关系, 因而目前得到了广泛采用。对于旋转弯曲疲劳试验试样受力状态, 这里介绍最常用的四点对称弯曲疲劳试验的受力状态, 即试样在旋转状态下受弯曲应力, 因为试样表面上任意一点在旋转一周时, 应力变化顺序由最大压应力至最小压应力又到最大压应力呈正弦波形变化状态, 如图 7-7 所示。

图中 AC 为试样支点至力作用点的距离, 用 a 表示。CD 是试样的工作长度, 用 L 表示。试样 CD 长度受等弯矩的作用, 其弯曲应力见式 (7-4)。

$$\sigma_1 = \frac{M}{W} \quad (7-4)$$

式中 M —— 试样危险截面的弯曲力矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$);

W —— 试样截面系数 (mm^3)。

以 $M = \frac{1}{2}F \cdot a$, $W = \frac{\pi d_0^3}{32}$ 代入式 (7-4), 得
旋转弯曲应力公式 (7-5)。

$$\sigma_{-1} = \frac{16F \cdot a}{\pi d_0^3} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (7-5)$$

式中 F —— 作用在试样上的弯曲力 (N);

d_0 —— 试样危险截面直径 (mm);

a —— 支点至力作用点的距离 (mm)。

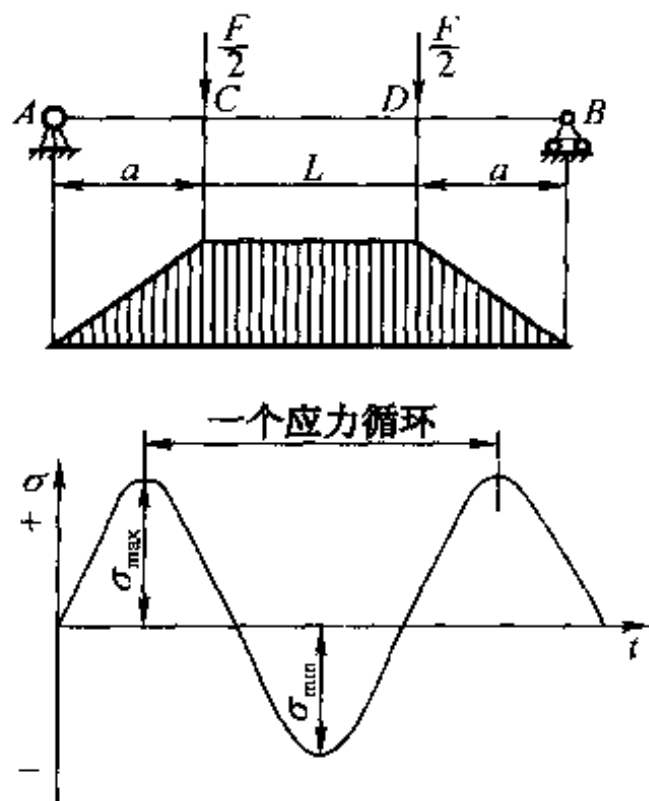


图 7-7 对称弯曲疲劳试样应力状态示意图

二、试验条件

1. 试验设备

按 GB/T 4337 《金属旋转弯曲疲劳试验方法》的规定, 旋转弯曲疲劳试验设备可以是悬

臂式加载试验机，也可以是试样两端均有支承的四点弯曲加载试验机。前面的旋转弯曲疲劳试样受力状态及旋转弯曲应力公式（7-5）系按四点弯曲加载试验机形式推出的。

无论使用何种旋转弯曲疲劳试验机，都必须满足如下条件：

- ①试验机必须安装在牢固的基础上，以防试验机在使用中机件振动，以减少噪声；
- ②用静力法检测时，试验机在使用范围内的负荷误差不大于 $\pm 1\%$ ；
- ③试验循环频率范围为 $15\sim 170\text{ Hz}$ ；

④两主轴或轴筒要保持水平和同心。将试样装在试验机上后，慢慢转动试验机主轴，在试验机主动轴加荷部位上，径向跳动量不得大于 0.02 mm ，动态径向跳动应小于 0.06 mm ；

⑤试验机要求准确可靠的应力循环计数器和试样断裂后自动停机装置。

2. 旋转弯曲疲劳试样

(1) 试样的型式和尺寸

试样的型式和尺寸应随试验机型式不同而不同，同时也要考虑金属材料的强度高低，试样型式也有不同。图7-8所示为推荐的适用于旋转弯曲疲劳试验机（四点式和悬臂式）上的两种试样。

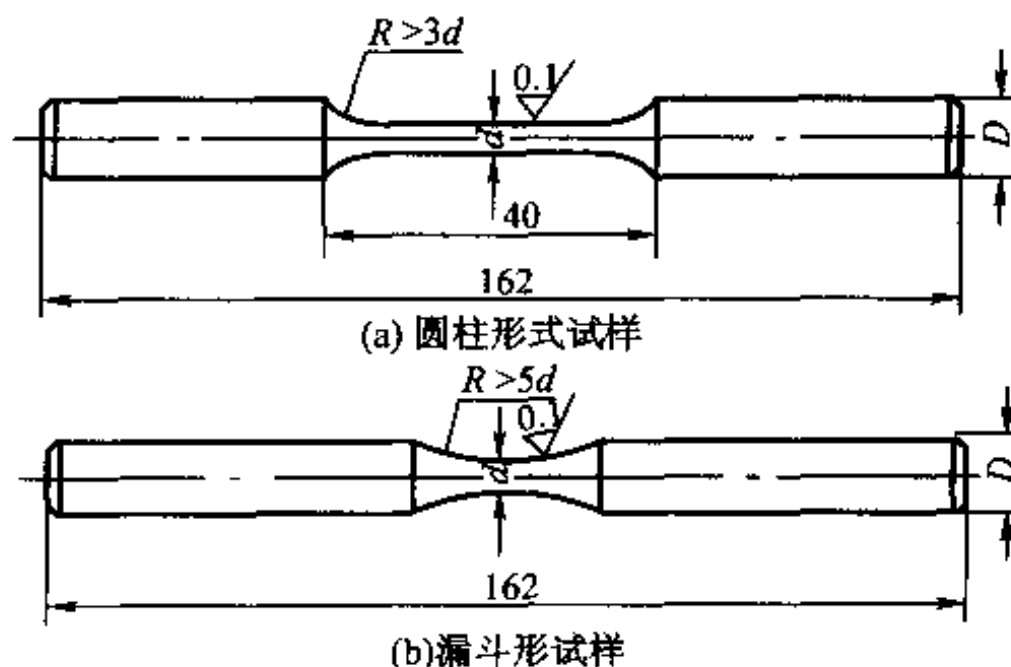


图7-8 旋转弯曲疲劳试样图

其工作直径 d 推荐 $6.0, 7.5, 9.5\text{ mm}$ ；夹头直径按试验机弹性夹头的中间直径。

(2) 取样和机加工的要求

试样的取样方向必须严格按有关技术条件或双方协议的要求进行。试样的加工也应严格遵照疲劳试样加工工艺要求，避免使试样工作直径表面产生残余应力和加工硬化。精加工缺口试样缺口处必须进行研磨，精加工后不得对试样进行校直。漏斗形试样精加工时要求纵向磨削。

(3) 试样型式的选择

对于屈服强度比较低的中、低碳碳钢，建议采用漏斗形试样，对于缺口敏感性大的金属材料，建议采用缺口圆试样试验。一般情况则采用圆形光滑疲劳试样。

三、旋转弯曲疲劳试验方法

1. 疲劳极限的测定

疲劳极限的测定按 GB 4337 标准，推荐采用“升降法”测定旋转弯曲疲劳极限。其进行的程序如下：

(1) 试样的数量

采用升降法测定疲劳极限要制备一定数量的试样。一般对同一种材料、同一种热处理状态的试样制备 13~16 根即可。

(2) 估计材料的疲劳极限

用“升降法”测定疲劳极限时，须先对该材料的疲劳极限有一个估计值。如果该材料的静拉伸强度已知，也可用经验公式计算出其疲劳极限估计值。若没有这个条件，可利用 2~4 根试样进行预备试验，以取得疲劳极限的估计值。而且预备试样的试验的各级应力还可以作绘制升降图的数据。

(3) 力增量 $\Delta\sigma$

在取得疲劳极限估计值 $\sigma_{-1估}$ 后，则可取 $3\% \sim 5\% \sigma_{-1估}$ 作为应力增量 $\Delta\sigma$ ，试验应在 3~5 级的应力水平下进行。在试验过程中，应力增量不应改变。第 1 根试样的试验应力水平略高于估计疲劳极限应力。如果在达到规定疲劳极限循环数（如 10^7 次）不断时，则下一根试样的试验应力升高 $\Delta\sigma$ 进行；反之，若未达到规定疲劳极限循环数而断裂时，则下一根试验的试验应力降低 $\Delta\sigma$ 进行，这样直至完成全部试验。应力升降图如图 7-9 所示。

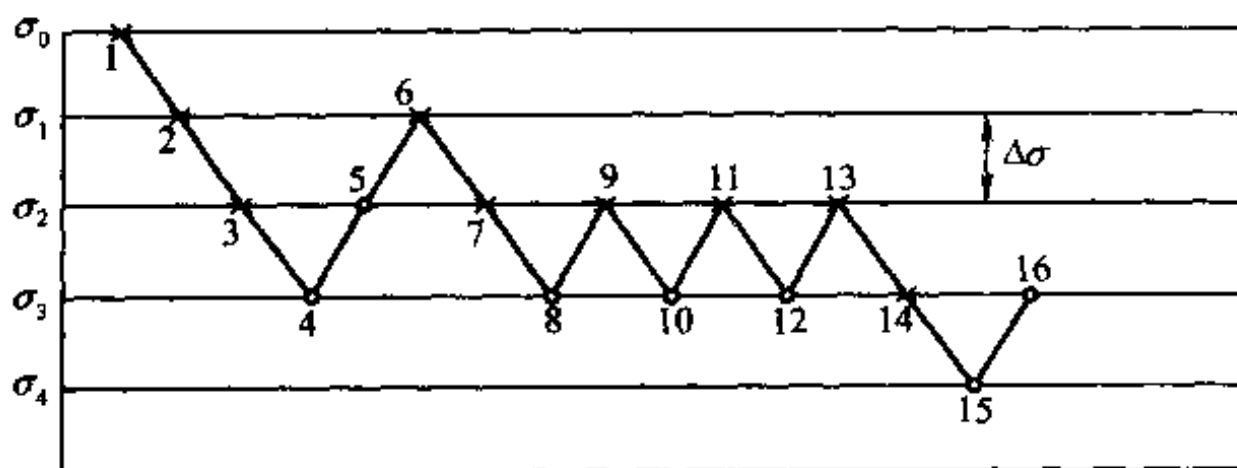


图 7-9 升降法测定疲劳极限示意图
循环基数 $N_0 = 10^7$ ；× —— 破坏；○ —— 通过

试样第 1 根在 σ_0 应力未达到 10^7 周次之前断裂。于是第 2 根试样在低一级的应力水平 σ_1 下进行试验。一直进行到第 4 根样时，该试样在 σ_3 应力作用下经 10^7 周次未破坏，故第 5 根试样应在高一级的应力水平 σ_2 下进行。照此办理，凡是前一根试样小于 10^7 循环周次而破坏，则随后的一项试验就要在高一级的应力水平下进行，直至完成全部试验。

由于长寿命区 ($N > 10^7$) 试验数据的分散性，用小子样升降法测定材料的疲劳极限时，一般有效的试样数量不少于 13 根。图 7-9 的升降图所示是 16 根试样的试验结果。处理试验结果时，如图中第 3 点与第 4 点是第一对出现相反的结果，故第 1 点和第 2 点舍去。而第一对出现相反结果的第 3 点和第 4 点的试验应力平均值 $(\sigma_2 + \sigma_3) / 2$ 就是疲劳极限值。同样

第7点与第6点、第7点和第8点、第9和第10点、第11和第12点、第14和第15点也都是出现相反结果的对。最后对于不能直接配对的数据点13和16也可以凑成一对,但这两个数据必须在相邻两个应力水平上出现相反的结果。按此要求,图7-9中共有7个相反结果的对子,它们试验应力的平均值即可作为疲劳极限的精确值,即

$$\sigma_{-1} = \frac{1}{7} \left(\frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_2 + \sigma_4}{2} + \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_3 + \sigma_4}{2} + \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} \right)$$

化简后得到

$$\sigma_{-1} = \frac{1}{14} (\sigma_1 + 6\sigma_2 + 6\sigma_3 + \sigma_4) \quad (7-6)$$

由式(7-6)可以看出,括号内各级应力前的系数恰好代表在各级应力下试验进行的次数。若以 V_i 级应力 σ_i 表示第 i 级应力 σ_i 下进行的试验次数, n 表示试验的总次数, m 表示应力水平的级数,则疲劳极限 σ_{-1} 可按式(7-7)计算。

$$\sigma_{-1} = \frac{1}{n} (V_1\sigma_1 + V_2\sigma_2 + \cdots + V_m\sigma_m) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m V_i\sigma_i \quad (7-7)$$

实际上,在进行疲劳极限计算时,总比实际试验次数多考虑一个数据点,因为当最后一次试验未达 10^7 周次破坏(或 10^7 周次通过),故下次试验应在低一级(或高一级)的应力水平下进行,因此这一数据点虽未经试验,但仍可作为一个有效的数据点。

2. 疲劳曲线的测定

测定疲劳 $S-N$ 曲线按GB 4337标准要求至少取4~5级应力水平,故一般需5根左右试样,用升降法测得的疲劳级极限作为 $S-N$ 曲线的低应力水平点,其他3~4级较高应力水平下的试验,则采用成组试验法,高应力水平的间隔可取大一些,随应力的降低,间距愈来愈小。最高应力水平可通过预试确定。不同材料,其取值是不同的,屈服强度比较高的材料可取高一些。在绘制 $S-N$ 曲线时,可以用应力 σ 或加载系数 K 为纵坐标,对数疲劳寿命 $\lg N$ 为横坐标。对于绘制上述两种基本类型的 $S-N$ 曲线,目前一般采用以下两种方法:

(1) 逐点描迹法

以应力 σ_{\max} 或加载系数 K 为纵坐标,对数疲劳寿命 $\lg N$ 为横坐标,将各数据点画在坐标纸上,然后用曲线尺光滑地把各个点连接起来。在连线过程中应注意到各种不同材料的 $S-N$ 曲线的特点,并力求做到使曲线匀称地通过各数据点。曲线两侧各数据点与曲线的偏离应大致相等。如图7-10和图7-11所示,就是按逐点描迹法绘制的 $S-N$ 曲线图。



图 7-10 钢的 $S-N$ 曲线图

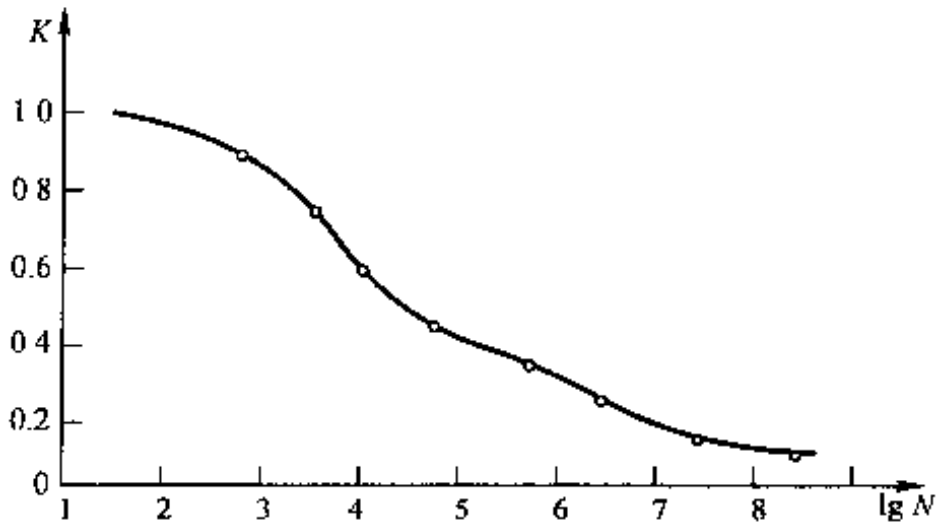


图 7-11 铝合金的 $S-N$ 曲线图

逐点描迹法这种作图法能真实反映试验结果。它也是绘制 $S-N$ 曲线较常用的方法。

(2) 直线拟合法

一般材料的 $S-N$ 曲线，在某一区间内接近于直线。因此，在绘制时，可采用“直线段假设”，即在某一区内用直线拟合各点数据点。当然，这种作图法带有一定的近似性，但当数据不够充分，数据点过少，或过于分散时，可参照同类型的 $S-N$ 曲线形式，用直线拟合某些数据点还是比较方便、可靠的。如图 7-12 所示的 30CrMnSiA 钢的 $S-N$ 曲线（光滑圆试样，旋转变形， $r=-1$ ）即为参照图 7-10 中典型钢材 $S-N$ 曲线的形式，用两段直线拟合而成的。两直线交接处用圆角过渡。

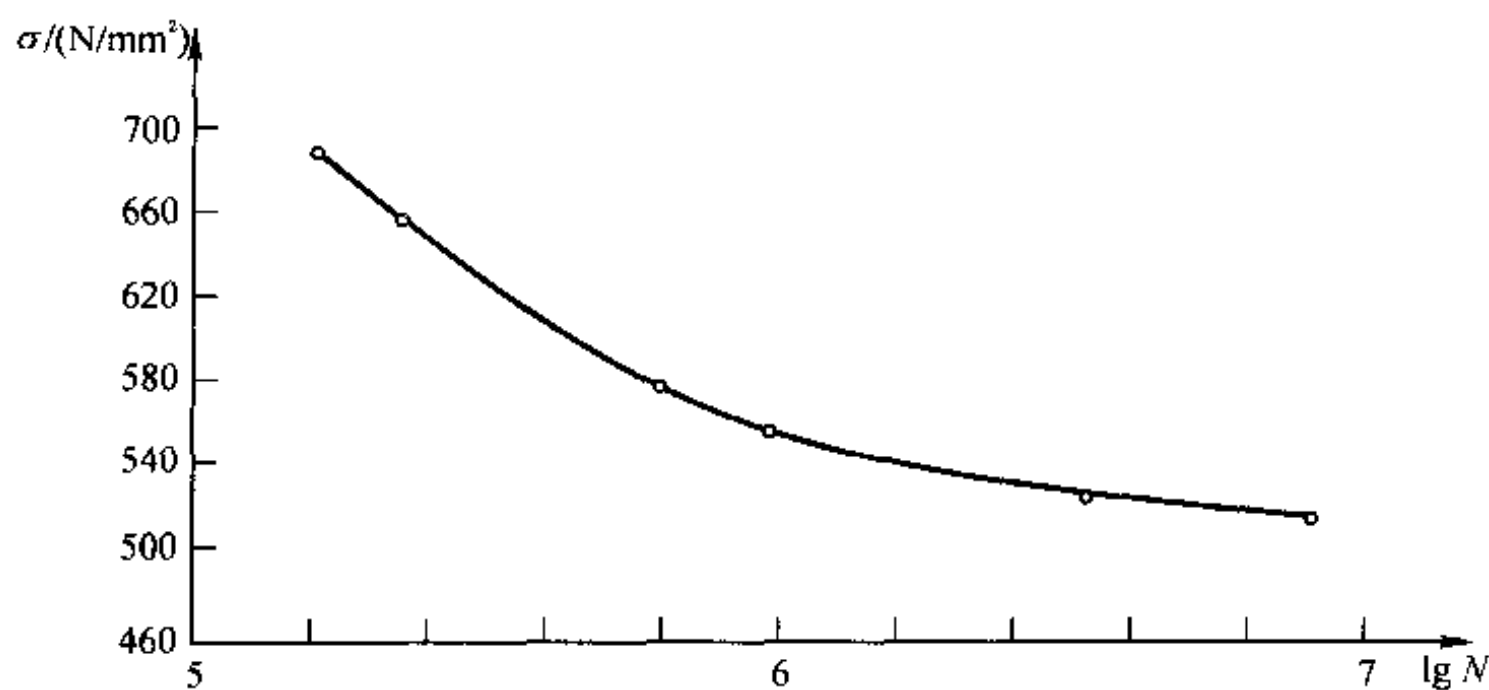


图 7-12 30CrMnSiA 钢的 $S-N$ 曲线示意图

第五节 高温疲劳试验

一、高温疲劳的工程意义

所谓高温疲劳即金属材料在高温和交变应力作用下发生破坏的现象。实际上这种以室温来划分常温和高温的方法是不严格的。比较科学的划分应是以试验材料的熔点以下多少范围更合理。因为某些低熔点合金，如铅在室温下就会发生高温行为，即发生晶界滑移和断裂。

在航空、动力、冶金和化学工业等设备中，许多零部件需在高温、高压、高应力等极为复杂的条件下工作，因此高温疲劳破坏事例时有发生。发动机的主要零部件如涡轮盘、叶片、燃烧室等的破坏，多数为高温疲劳破坏。发电动力用的燃气轮机的叶片和航空发动机涡轮叶片虽是不大的零件，但只要在运转过程中发生高温疲劳破断，就会产生机毁人亡的特大灾难性事故。因此开展材料高温疲劳性能的试验和研究，对发动机等机件的安全使用或提高其使用寿命都具有重要意义。

二、高温疲劳试验方法

这里所介绍的高温疲劳试验方法是按 GB 2107《金属高温旋转弯曲疲劳试验方法》的规定进行的。试验方法除高温的温度控制之外，其余部分与室温弯曲疲劳相同。疲劳试验所用的试样可以是光滑圆试样，也可以是带缺口圆试样。由于高温疲劳试验有其本身的特点，故应作补充介绍。

在室温疲劳试验机上配备一套加热装置及相应的温度控制系统和耐高温夹具，就能进行高温疲劳试验。下面就从高温旋转弯曲疲劳试验设备的试验机、加热炉及控温系统和温度测量等几个方面加以介绍。

(1) 试验对试验机的要求

已在第四节中对试验机（室温旋转弯曲疲劳试验机）的 5 点要求中提出。

(2) 加热炉及温度控制系统

加热炉应加热均匀，确保试样的试验部位处于匀热区内。加热炉 20 mm 均热区的温度梯度应保证满足表 7-1 所示的要求。

表 7-1 加热炉 20 mm 均热区的温度梯度要求

试验温度 $t/^\circ\text{C}$	温度波动/ $^\circ\text{C}$	温度梯度/ $(^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^{-1})$
$t<600$	± 3	$1.5\%t$
$600\leq t<900$	± 4	$1.0\%t$
$900\leq t<1200$	± 6	

(3) 温度测量系统

测量所使用的热电偶应定期进行检定，测温仪表的准确度应为 $\pm 0.1\%U_{\max}$ （测量上限），灵敏度不低于 1°C 。温控系统还应具有试样断裂时自动切断加热炉的供电的功能。

(4) 试样及其制备

试样的制备的要求与室温旋转弯曲疲劳试样相同。试样的形状如图 7-13 所示。试样的尺寸见表 7-2。

表 7-2 旋转弯曲疲劳试样尺寸表 mm

最大应力截面直径		试样试验部分的圆弧半径 R	试样最大直径 D
公称尺寸 d	公差		
6.0	± 0.02	$\geq 5d$	≥ 14
7.5	± 0.02		
9.5	± 0.02		

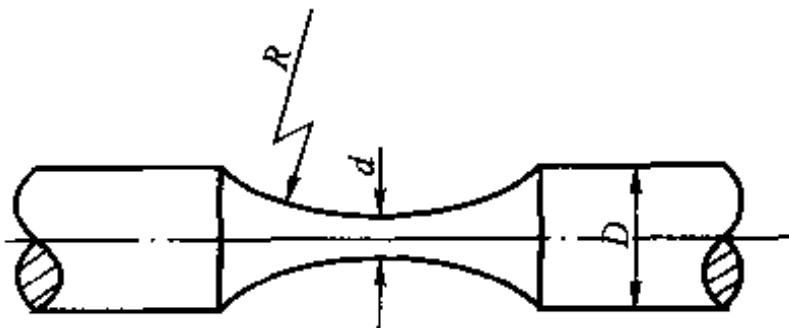


图 7-13 旋转弯曲疲劳漏斗形试样示意图

试样夹持部分的形状应根据试验机夹具的要求设计。推荐试样图见图 7-14。

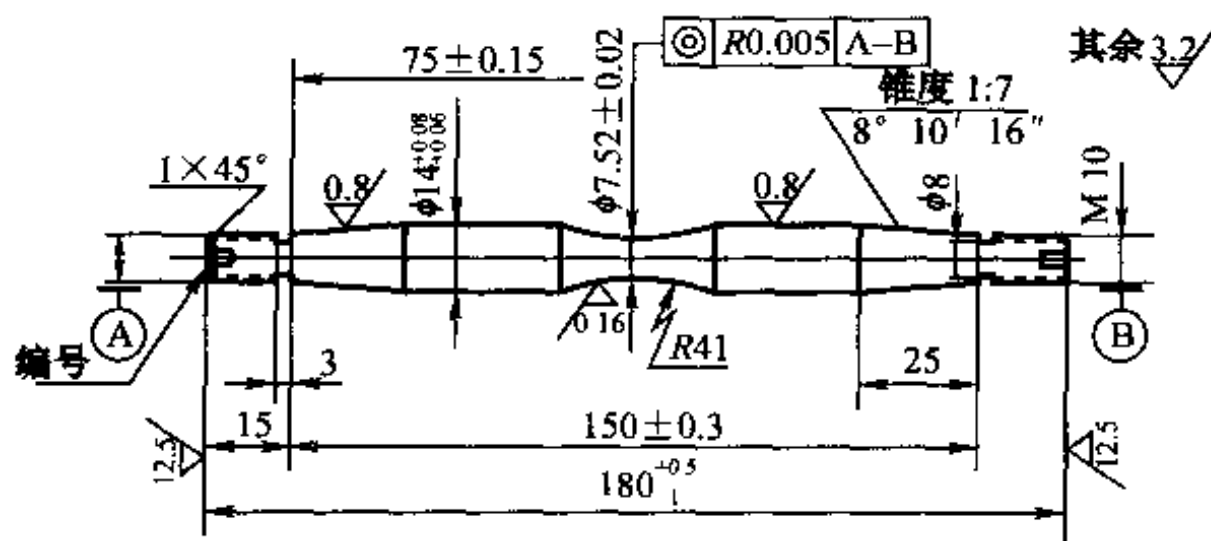


图 7-14 纯弯曲式旋转弯曲疲劳试样图 ($K_t < 1.03$)

(5) 操作要求

① 试样的安装

将试样装入试验机并夹紧，试样在整个试验过程中不得松动。试验机主轴筒加荷部位的径向跳动为：静态时 ≤ 0.03 mm，动态时 ≤ 0.06 mm。装试样的操作中不得划伤试样表面。

② 试样的加热及温度测量与控制

试样加热至试验温度的时间一般为 2~4 h (包括保温时间 1 h)，升温时，试样必须旋转。试样温度的监测：首先，在试样的旋转状态下，测得在试样最大截面的同一平面内距试样表面 1.5~2.0 mm 处的温度 t_1 值后，使试样停止转动，并迅速将测 t_1 的热电偶向前推，使其热接点接触试样最大应力处 (即小直径处) 的表面，测得试样停转后 15~20 s 内试样的表面温度 t_2 ，然后迅速使热电偶与试样脱离接触，使试样立即恢复旋转，将热电偶退回原处并紧固好。试验过程中，采用此热电偶监测试样温度。监测温度按公式 (7-8) 计算。

$$t_{\text{监}} = t + (t_1 - t_2)^\circ\text{C} \quad (7-8)$$

在整个试验期间，试样试验部分的温度波动应符合表 7-1 的规定。

③ 施加负荷

施加负荷应平稳、无冲击，试验过程负荷不得中断。

④ 测定疲劳极限 (条件疲劳极限即 $N \geq 10^7$ 周次)

测定疲劳极限与第四节室温旋转弯曲疲劳极限测定法一样采用升降法。

三、影响高温疲劳性能的因素

1. 试验温度的影响

一般说高温疲劳试验随温度的升高，疲劳极限下降，试验的温度愈接近所试材料的熔点，下降趋势愈明显。

2. 频率的影响

在室温无腐蚀的环境中，应力交变频率在 50~170 Hz 范围内，则可认为对疲劳极限没

有明显的影响。但高温时频率的变化对疲劳裂纹的产生和扩展影响很大。频率升高使其达到破坏的循环周次增加。所以在高温疲劳试验时一定要标明试验频率。

3. 表面状态的影响

大量试验结果说明, 疲劳极限与试样表面状态有很大关系。表面粗糙度低, 疲劳极限就高。同时, 试样加工方法不当, 使试样表面形成表面硬化的层就会明显地降低疲劳极限, 而且硬化层深度愈大, 对疲劳极限的降低愈大。因此疲劳试样的加工应按 GB 2107 标准附录“疲劳试样机械加工工艺”的要求进行。

4. 应力集中的影响

倒角、油孔、键槽等缺口会造成应力集中, 应力集中将使疲劳极限显著降低。缺口愈尖锐, 应力集中愈严重, 疲劳极限降低幅度愈大。

5. 晶粒度的影响

一般来讲, 在室温下的材料的粒度愈细, 疲劳极限愈高, 但高温疲劳却相反, 晶粒度愈细, 高温疲劳极限愈低。

6. 冶炼工艺的影响

由于合金的不同冶炼工艺使合金中非金属夹杂物的成分大小分布及含量也不一样, 而非金属夹杂物对金属材料有极大的危害。同样的金属材料, 用真空冶炼工艺, 冶炼后的材料比其他冶炼工艺的疲劳极限都高。

思 考 题

1. 何谓金属的疲劳? 金属疲劳按受力方式的不同可分成几种类型?
2. 金属疲劳破坏的特点是什么? 其断口有什么特征?
3. 什么叫交变应力? 交变应力的类型有哪些?
4. 金属材料疲劳极限的定义是什么? 如何用升降法测定疲劳极限?
5. 什么是金属材料的 $S-N$ 曲线? 不同材料的 $S-N$ 曲线有什么特点?
6. 如何采用成组试验法测定金属材料的 $S-N$ 曲线?
7. 什么是金属材料的高温疲劳? 如何测定材料高温疲劳的抗力指标?

第八章 金属工艺性能试验

第一节 金属工艺试验的目的、特点、分类和意义

一、金属工艺试验的特点与目的

金属材料的工艺试验的项目繁多,在我国的有关金属材料试验方法标准中,工艺试验方法标准就占了很大一部分比例。工艺试验是检查金属材料承受变形的能力的方法,它是鉴定金属材料的一种好方法。

工艺试验的目的是检验金属材料是否适用于某种加工工艺的最实际的试验方法。它有别于其他常规的机械性能试验(如拉伸、冲击、硬度等试验)。金属工艺性能试验特点如下:

- (1) 工艺试验的结果能显示金属材料的塑性和韧性及其他部分质量问题。
- (2) 金属工艺试验的试样加工简易,试验方法简便,无需复杂的试验设备。
- (3) 工艺试验的方法和判定可按技术协议要求作为产品交货条件。
- (4) 金属工艺试验的结果优劣,可以成为为材料生产企业从冶炼、冷、热加工工艺方面提供提高质量措施的依据。
- (5) 金属工艺试验还能作为一般常规材料机械性能检验的补充试验。

二、金属工艺试验分类

这里所提到的金属工艺试验分类,是按金属材料的种类来进行分类,有如下6类:

1. 金属棒材工艺试验

它包括金属冷、热顶锻试验(GB/T 233)、金属弯曲试验(GB/T 232)。

2. 金属型材工艺试验

它包括金属弯曲试验(GB/T 232)、金属反复弯曲试验(GB/T 235)等。

3. 金属板材工艺试验

它包括金属反复弯曲试验(GB/T 235)、金属冷弯工艺试验(GB/T 232)和金属杯突试验(GB/T 4156)。

4. 金属管材工艺试验

它包括金属管液压试验(GB/T 241)、金属管扩口工艺试验(GB/T 242)、管材弯曲工艺

试验 (GB/T 244)、管材卷边工艺试验 (GB/T 245) 和金属管材压扁工艺试验 (GB/T 246)。

5. 金属线材工艺试验

它包括金属线材反复弯曲试验 (GB/T 238) 和金属线材扭转工艺试验 (GB/T 239)。

6. 金属丝、带材工艺试验

金属丝材工艺试验可按线材工艺试验方法进行。带材工艺试验可按板材工艺试验方法进行。

三、金属材料工艺试验的实践意义

工艺试验的对象一般都是金属材料。其中不少材料需加工成型, 虽然其强度和塑性、韧性指标都达到技术要求, 但其加工工艺能否达到要求还必须进行有关相应变形的工艺试验。例如某标准件厂从国外进口了一批铆螺钢, 未经冷、热顶锻工艺试验就成批投入生产。结果造成铆夹工序成批开裂的现象, 严重地影响了生产和产品质量, 造成了经济损失。又如某小刀厂, 进口一批原西德的弹簧钢盘条, 未经工艺试验就成批投产, 锻片的工序也出现成批锻造开裂的现象。所有这些因为原材料问题而在工艺加工中成批报废的现象, 均是工艺性能不能保证而造成的。因此, 金属工艺试验在工程和企业中是一项必不可少的性能试验之一。

随着生产实践的发展, 金属工艺试验的方法和种类在日益改进和发展, 为了适应生产和质量检测工作的需要, 现将目前较普遍应用的有国标的工艺试验方法加以介绍。

第二节 金属杯突试验 (GB/T 4156)

杯突试验也叫艾利克森试验, 它主要用于测定薄板和带状金属材料的冷冲压性能。它的显著特点是试验过程同薄板加工成形的工艺过程相似。所以, 杯突试验作为薄板等主要工艺的试验, 被搪瓷厂等金属深冲成形工厂广泛采用。

一、试验前的准备

1. 试验设备

试验是在艾利克森型试验机和液压杯突试验机上进行的。其试验机的结构如图 8-1 所示。

其主要部分的名称及所采用的标准冲头与固定模的尺寸允差应符合图 8-1 中的规定。

具体各部分的要求如下:

(1) 夹模及固定模与试样接触的工作面应平行, 其粗糙度应为 $R_a = 0.05$ 。硬度 HV > 750 。

(2) 冲头的表面粗糙度为 $R_a=0.05$ ，硬度值 $HV>750$ 。

(3) 冲头的轴线与固定模的中心线应重合，而且在冲头前进时保持不变。其偏差不应超过 0.1 mm 。

(4) 装在工作杆上的冲头必须无摆动而能自由旋转，但在试验过程中，冲头不应转动。

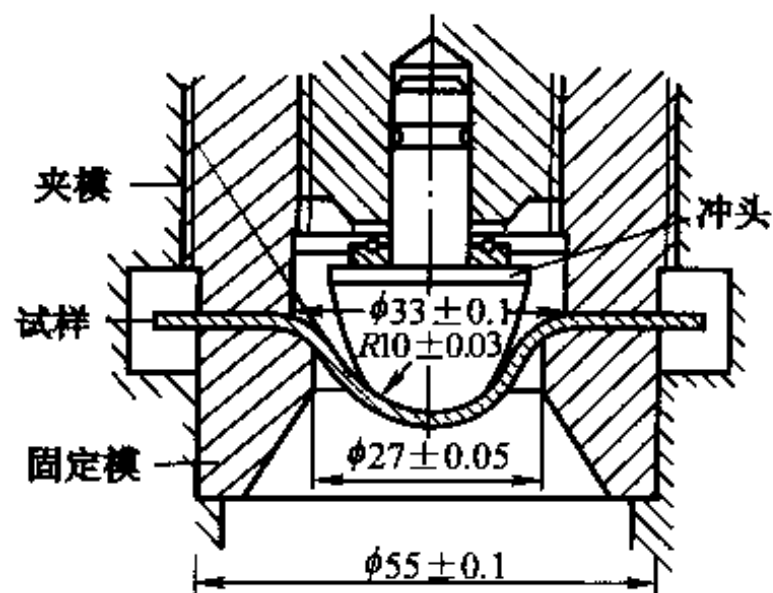


图 8-1 杯突试验机结构示意图

2. 固定模与冲头直径的选择

根据试样的宽度（或边长）来选择固定模内径与冲头直径之尺寸。其相互关系及所选用材料的厚度范围可参照表 8-1。

表 8-1 试样厚度及固定模内径、冲头直径的试验规定表

mm

杯突类型	试样宽度或边长	固定模内径	冲头直径	金属材料厚度
I	70~90	27	20	≤ 2
II	70~90	27	14	2~4
III	30~<70	17	14	<1.5
IV	20~<30	11	8	<1.5
V	10~<20	5	3	<1.0

3. 试样的要求

杯突试验试样切取位置、数量、宽度，试样类型及杯突深度的要求按有关标准规定执行。一般试样为带形，厚度为原材料厚度，也可采用方形试样。试样应去除边缘毛刺，并不应受锤击，防止冷、热加工对材质的影响。

4. 对环境的要求

杯突试验要求环境温度为 $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。

二、试验方法

1. 试样与冲头的润滑

在试验进行前,须将试样工作部分与冲头接触的一面及冲头的球面顶部涂以无腐蚀性的润滑油。

2. 测试

将试样装在夹模与固定模之间,并旋转夹模夹紧试样后,根据刻度盘回转夹模0.05 mm,然后即可进行试验。对于机械式装置,可缓慢旋转手轮,使冲头均匀前进。对于液压式装置,可把阀门转向慢速一档,同时注意观察试样,直至裂纹出现即可停止,记录深度标尺的读数。

三、测试结果的评定

由上述试验过程可知:杯突试验的过程是用一定尺寸的冲头向规定的压模及夹模内的试样施加压力,直至产生裂纹为止。此时的压入深度值(mm)则为衡量杯突试验结果的杯突深度值。

杯突试验过程相似于金属材料的冷冲压过程。所以,杯突试验结果可直接用来确定金属材料的冷冲压工艺。

四、试验的注意事项

①分析杯突试验结果时,必须注意影响杯突深度的多种因素,如冲头直径大小,夹模及固定模的尺寸;试样的尺寸,如厚度及宽度;试样的夹紧程度;试样与冲头的润滑程度;金属材料的晶粒度等;

②必须控制冲头,使其缓慢前进。若冲头前进得太快,当发现裂纹出现时,其标尺已经变动,所测结果深度偏深,同时也不能把试样被冲头顶出塑变区误认为裂纹出现,若以此来定杯突深度,其结果则是偏低的。

第三节 金属的冷、热弯曲试验(GB/T 232)

这里所指的冷、热弯曲试验与工程结构及机械构件的弯曲试验不同。这里的冷、热弯曲试验并不测其弯曲强度极限 σ_{bb} 及弯曲时的挠度 f ,它是用以检定金属材料弯曲成一定尺寸和形状后的变形能力,并显示其缺陷。这种工艺试验是考核金属材料质量的有效方法之一。适用于各种尺寸的板材、型材、带材、条材及有焊缝性能要求的材料等。

一、试验的准备

试样及其制备包括：

(1) 试样的尺寸及形状

①对于板材、型材及宽度大于或等于 10 mm 的带材，试样的厚度 a 应等于材料的厚度。宽度 $b=2a\pm 2$ (mm)。长度 $l=5a+150$ (mm)；

②对于宽度小于 100 mm 的带材及条材（圆形或方形），试样的横截面积应等于材料的横截面积，试样的长度 $l=5a+450$ (mm)；

③对于厚度大于 30 mm 的板材或扁材及厚度大于 35 mm 的型材或异型材，采用厚 a 为 20 mm、宽 b 不小于 30 mm 的板状试样。对于直径大于 35 mm 的条材，应车制成 25 mm 的圆形试样，并保留一个原轧制面。

(2) 对试样的要求

①试样加工时，在试样的一面或一侧，必须保留原轧制面，试验时，该面应向外弯曲；

②在试样中央 1/3 的一段内，不允许有各种工具造成的任何伤痕及锤击的痕迹；

③将板状试样的尖锐棱边锉圆，但圆弧半径不得大于 2 mm；

④对有必要矫直的试样，应在常温下平稳地施加压力。

(3) 压头的选择

根据技术条件的规定，选择适当的压头（压头直径和长度），但压头的长度必须大于试样的宽度，见图 8-2。

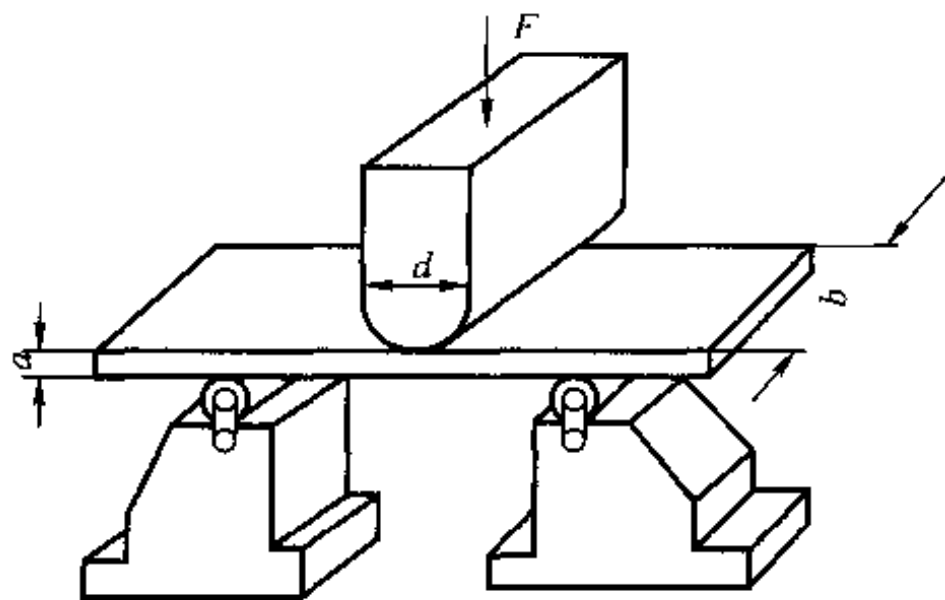


图 8-2 冷弯试验试样与装置示意图

(4) 支辊间距的调节

$$L=d+2.1a$$

式中 L ——两支辊的间距；
 d ——压头弯心直径；
 a ——试样的厚度。

二、试验方法

进行冷弯曲试验时，其装备见图 8-3 (a)，按弯曲程度可把冷弯试验分为 3 种类型。

1. 冷弯曲类型

- (1) 冷弯试验达到某角度 α 的弯曲，见图 8-3 (b)。
- (2) 绕着弯头至试样两面平行的弯曲，见图 8-3 (c)。
- (3) 弯至试样两面接触、重合的弯曲，此时弯曲处的内面形成“自然环形”，见图 8-3 (d)。

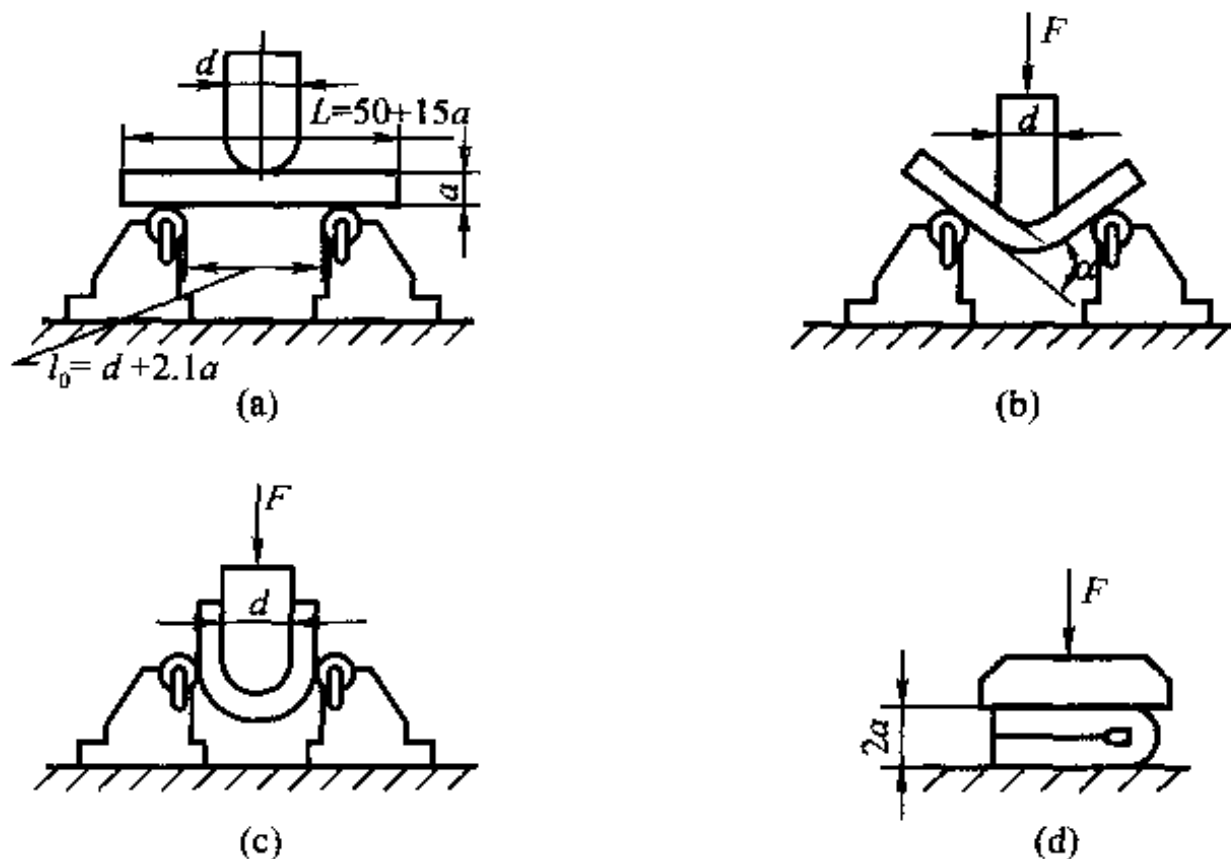


图 8-3 冷弯曲类型图示

2. 试验设备

作弯曲试验可用压力机、万能材料试验机或圆口老虎钳等设备。

3. 试验温度

冷弯曲试验是在室温下进行的，而热弯曲试验时，试样的加热温度应高于试验温度 $35\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。这样可使试验终了时试样温度刚好为所要求的温度。

4. 试验过程的注意事项

- (1) 弯头必须紧固在试验机上，弯头轴线应平行于两支辊轴线且与试样垂直。
- (2) 两支辊必须紧固，在试验过程中不应发生向外侧移动的现象。
- (3) 脆性材料进行弯曲试验时，必须加防护罩。以防止发生人身与设备事故。
- (4) 如果因试样棱边毛刺未修平而出现棱边裂口，试验应重新进行。
- (5) 弯曲的角度大小，以卸荷前压头处工作状态下试样弯曲角度大小为准。并非卸荷后的试样变形角度。

三、试验结果的评定

弯曲达标准中要求的弯曲类型与角度后，检查被测试样弯曲处的外表面及侧面，若无缺陷时为合格，有出现缺陷者，应根据缺陷情况，分别注以“断裂”、“裂缝”、“起层”等名称。下面就缺陷出现的位置和缺陷的分类加以说明。

1. 断裂

此种缺陷是容易理解的缺陷。试样弯曲后，弯曲部位的外表面或侧面拉应力区都有可能发生部分和完全破裂，统称断裂。

2. 裂缝

这个缺陷可由裂缝的长度、数量、大小和深度的不同可再分为发裂、微裂、小裂、大裂4种状态。

(1) 发裂

有微小裂缝。其长度小于2 mm，宽度小于0.2 mm。

(2) 微裂

其裂缝长度为2~5 mm，宽度小于0.5 mm。

(3) 小裂

其裂缝长度为5~10 mm，宽度小于1.0 mm。

(4) 大裂

其裂缝长度大于10 mm，宽度大于1.0 mm。

判断是否为裂缝时，应按有关专业标准的技术要求进行。如锅炉焊接试样的冷弯，对裂缝作了长度、深度和数量的规定。

弯曲试验按其应力状态的分布可说明为什么裂缝等缺陷将出现在试样弯曲处外侧及自然环附近。见图8-4(a)和(b)。

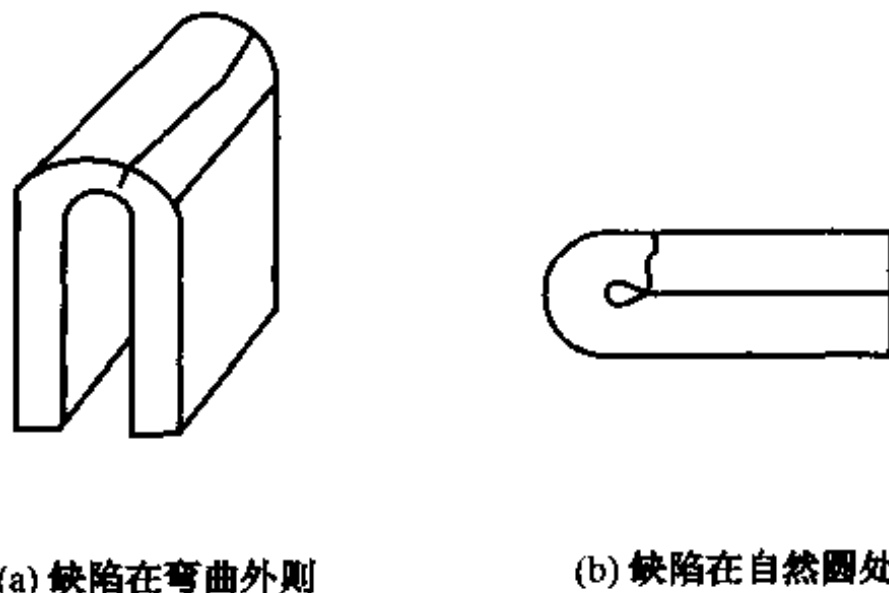


图8-4 冷弯试验缺陷出现在样品位置的示意图

试样弯曲处的外侧为拉应力状态，故为裂缝产生部位。而冷弯试样的自然圈附近产生裂缝的原因是这样：在弯曲试验的初期（冷弯角 $\alpha < 90^\circ$ 时），自然环圈附近受压应力作用，而

试验后期 ($\alpha > 90^\circ$ 时), 自然环圈附近也受压应力作用, 由包辛格效应可知, 预选正向加载, 然后再反向时, 弹性极限大为降低, 金属强度也降低, 而自然环圈外始终受压应力作用, 形成软化作用, 该处强度增高, 这样就导致裂纹发生在自然环圈附近。

断裂和裂缝都同属一个性质的缺陷, 只是破坏的程度不同而已。它们有共同的特征。如它们都是沿垂直于轧制方向开裂, 开裂的取向略有弯曲。金属材料表面的各种缺陷是开裂源, 故改进金属材料的表面质量, 是消除弯曲试验断裂和裂纹产生的主要途径。

3. 起层

起层亦称为分层。分层破坏了金属材料组织结构的连续性, 使力学性能大为降低。冶炼带来的夹杂、气泡、缩孔等是引起分层的主要原因, 故改进金属材料的冶炼工艺, 是消除起层的主要措施。

第四节 金属线材扭转试验(GB/T 239)

金属线材扭转试验测定的是使金属线材在固定式交变方向扭转时的塑性变形性能, 它可显示出金属的不均匀性、表面缺陷及部分内部缺陷。它适用于直径小于等于 10 mm 的冷拉、热轧的线材。

一、试验仪器的要求

金属线材扭转工艺试验是在线材扭转试验机上进行的, 其仪器设备应符合下列要求:

- ①试样的夹头应有相当的硬度, 一般是淬火或淬火低温回火的状态;
- ②夹头的位置必须保证试样的轴线与扭转轴线相重合;
- ③夹头中之一边不得转动, 但能沿轴线方向自由移动; 另一边夹头则仅能绕本身轴线旋转;
- ④仪器的速度应能调节, 并应备有记录扭转次数的记录器。

二、试样及其要求

- ①试样应从外观检查合格的线材的任意部位截取;
- ②试样的尺寸为:

$$L = 100d$$

式中 L —— 试样长度;

d —— 线材公称直径。

但试样最小标距长度应为 $L \geq 50$ mm。最大不超过 500 mm;

- ③试样如需矫直, 可用软质锤子轻打。

三、试验方法

- (1) 将试样夹紧在夹头内不得活动，并使试样的纵轴与试验机轴线相重合。
- (2) 拉紧试样的力为线材最大公称拉力负荷的 2%。
- (3) 开机转动或手摇转动时其扭转的速度应均匀。其扭转的速度要求是：试样直径小于 3 mm 的线材为 60 r/min，直径大于 3 mm 的为 30 r/min。

- (4) 试验需连续扭转，中途不得停转，直至断裂为止。
- (5) 对固定方向的扭转，以转动 360° 为扭转一次。其扭转次数为“扭转数”。
- (6) 特殊规定的扭转包括：

① 交变方向的扭转

交变方向的扭转是以试样旋转一端向任意一方转动一整圈 (360°) 作为扭转一次，然后再向相反方向倒转一整圈。对于不同方向，应把扭转次数分别记录之。交变方向扭转次数简称“交变扭转数”。

② 二重扭转

两个并排夹起试样的扭转，以旋转夹头转动一整圈 (360°) 作为扭转一次。其扭转次数简称为“二重扭转数”。

- (7) 试验中如果试样断在夹头中，或断口离夹头距离小于 $2d$ (两倍直径) 时及试样断口出现严重的劈裂，则最后扭转次数无效，需重新进行试验。

(8) 试验记录的内容

① 断口形状的记录：平的、阶梯状、倾斜的、扇形状、带裂缝的、带残余缩孔或与试样的轴线垂直的等；

② 试样的裂层：它是在沿轴线或在试样上有破坏金属连续性的裂缝或飞刺出现；

③ 将扭转后的试样夹紧在台钳内，用锤子击破裂时裂缝之表现；

④ 扭转次数：固定方向扭转数为 n ，交变方向扭转数正向 n_1 及反向 n_2 。

四、试验结果的评定

① 试验至按标准规定的次数，符合的为合格；

② 断口，若断口非齐平的劈口状则试验需重新进行，重做的试验仍不符合齐平断口的要求，即认为不合格。

第五节 金属冷、热顶锻试验(GB/T 233)

顶锻试验是检验金属材料在冷或热状态下承受规定程度的顶锻变形的能力，并且显示其缺陷。试验方法按 GB/T 233 进行。它适用于各种尺寸的金属材料，但直径或边长大于 30 mm 的圆形或方形材料，如需作冷顶锻试验时，应按有关技术条件或双方协议中规定进行。

一、试样的制备

- ① 试样应从外观检查合格的材料任意部分截取，为取样方便，可在头部或尾部切取，但所取下的试样应无缺陷存在；
- ② 试样可用锯、刨、剪切或烧割的方法截取，但要求应在加工试样的过程中去除其冷、热影响区；
- ③ 试样的横截面应与被试材料的横截面相等。同时保留原轧制或冷拔制面；
- ④ 试样在顶锻试验前其外表面不得碰伤；
- ⑤ 试样尺寸见图 8—5，其一般高度为直径的 2 倍。

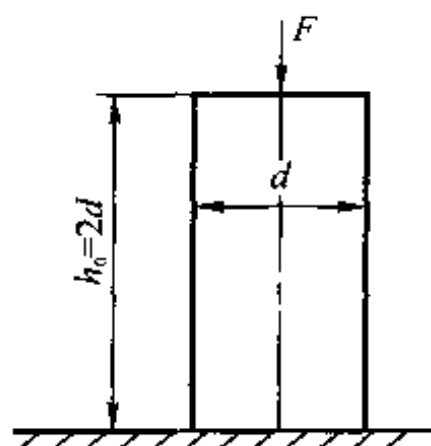


图 8—5 冷热顶锻试样尺寸图

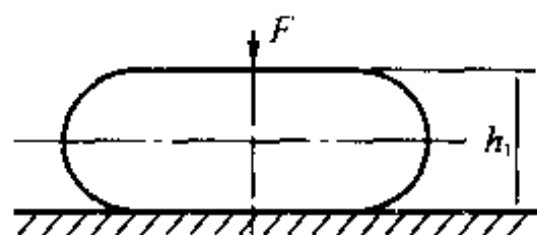


图 8—6 顶锻试验示意图

二、冷顶锻试验方法

顶锻试验锻压比的确定：

冷顶锻试验应在常温下进行。若试样直径或边长小于等于 15 mm，可用锤击或锻打；直径或边长大于 15 mm 时，则可在压力机上压或锻至规定高度，见图 8—6。

锻压比 x 由有关技术协议规定，并由式 (8—1) 计算。

$$x = \frac{h_1}{h_0} \quad (8-1)$$

式中 h_0 ——顶锻前试样高度；

h_1 ——顶锻后试样高度。

三、试验的技术要求

(1) 冷顶锻试验后，试样上不得有扭歪、锻斜的现象。

(2) 冷顶锻高度偏差见表 8—2。

表 8—2 冷顶锻高度偏差表

mm

试样直径或边长	顶锻前试样高度 h_0 的允许偏差	顶锻后试样高度 h_1 的允许偏差
≤ 10	± 1	± 1
$> 10 \sim 30$	± 2	± 2

(3) 热顶锻试验

热顶锻试验是在规定温度（被试材料的锻轧温度）下进行的。

①热顶锻试验方法及要求为：

对于小截面试样可用手锤锻打，大截面试样在空气锤上锻打，但试样不得打斜。试样应在温度可控制、温度均匀的炉内加热，但不得用红炉。

②热顶锻高度偏差见表 8—3。

表 8—3 热顶锻高度偏差表 mm

试样直径或边长	热顶锻前试样高度 h_0 的允许偏差	热顶锻后试样高度 h_1 的允许偏差
≤ 10	± 1	± 1
11~50	± 2	± 2
51~100	± 3	± 3
101~150	± 4	± 4
151~400	± 5	± 5
> 400	± 6	± 6

四、试验结果评定

顶锻后，检查试样的侧面，如无裂缝、裂口、贯裂、扯破、折叠或汽泡即认为合格。下面将上述缺陷的特征加以说明。

1. 裂缝

其特征是裂口窄小，两端尖细，缝壁不光，可见缝底，沿纵向呈单条或多条分布，有时还不十分规则。

生成的原因主要是钢材本身塑性低，经锻压后引起开裂。钢材表面在冷却时，因锻轧工艺不当，也可能产生此种现象。

2. 裂口

其特征是开裂较深，张口较大，与裂缝同属于一个类型，也可理解为较严重的裂缝。

3. 贯裂

其特征是贯穿于整个试样的表面的裂口，其裂口断面长，不带岔。

生成原因与裂缝、裂口相同。它是金属材料低塑性和不可加工性的重要标志。

4. 扯破

其特征是试样表面形成不规则的、纵横交错、相互连接的裂缝和裂口，主要是大块夹杂、翻皮、折叠等缺陷单独或同时作用的结果。

5. 折叠

折叠即钢材表面的重叠层。其特征是裂缝表面有皱皮，类似锯齿状，在横断面上，折叠

层与试样呈一定角度，称为折角，折角愈小，则折叠层愈薄。

6. 汽泡

汽泡是冶炼过程中形成的。因材料规格不同，汽泡存在的多少、形状亦不同。材料愈大，汽泡存在得愈多，愈完整，规格愈小。在锻轧过程中汽泡被拉长变形，顶锻后就显示为不同形状。

第六节 金属反复弯曲试验(GB/T 238)

金属线材反复弯曲试验可用于检验金属线材（及其复盖层）及某些薄板、带材的反复弯曲性能，并显示其缺陷。它适用于直径（0.8~7）mm 的线材。

一、对试样的要求

- ①试样系从外观检查合格线材的任意部位截取；
- ②截取的试样长度为（100~150）mm，试验前应用软质锤子轻轻打击而矫直；
- ③由绳索上取下的线材试样不必矫直，应保持原状态进行测试。

二、试验设备

试验可在线材反复弯折试验机上进行，如图 8—7 所示。

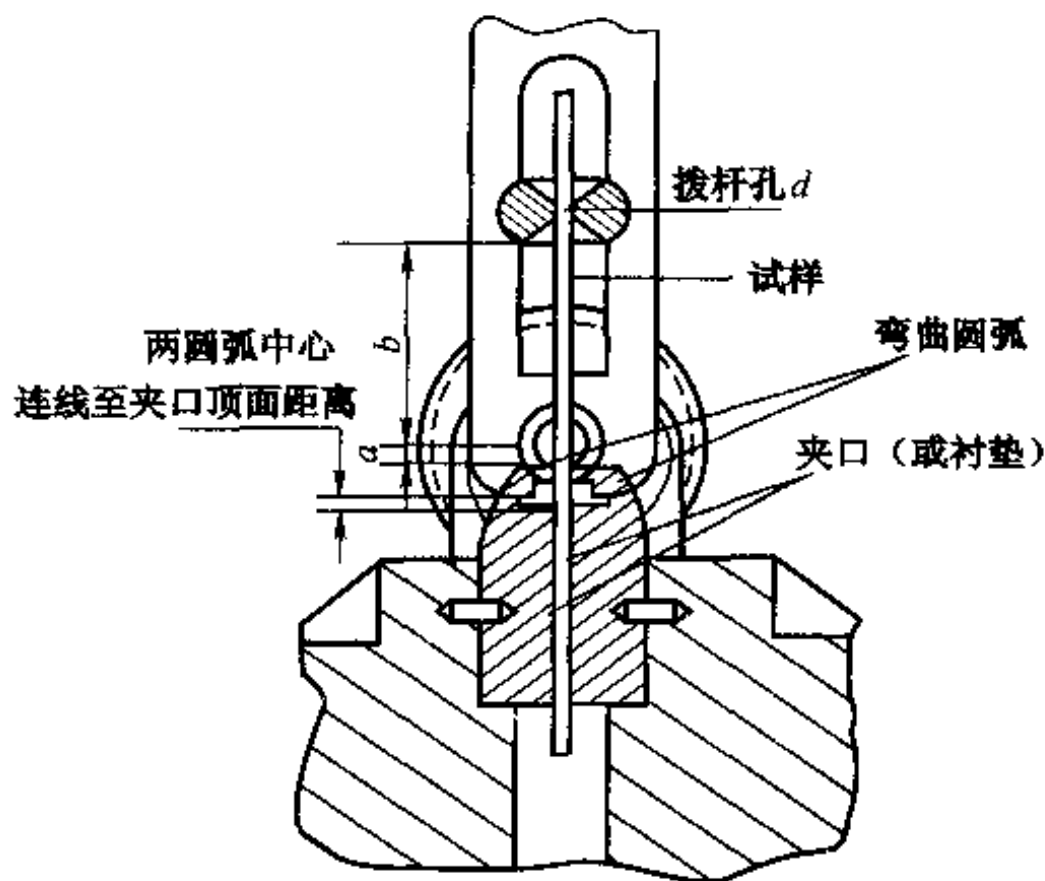


图 8—7 线材反复弯折试验机结构图

其各部分的要求如下：

- ①钳口弯曲圆弧及夹口必须具有足够的硬度 (HRC50~55), 以便试验时弯曲圆弧及夹口的表面粗糙度 $R_a \leq 0.8$;
- ②钳口 (或衬垫) 间距应能调整 (接近或分开), 使夹口的接触面与仪器上拨杆之中心线位于同一平面上;
- ③夹口 (或衬垫) 的顶面须低于两弯曲圆弧中心之连线, 其高度差为:
当圆弧半径为 2.5 mm 时, 为 1.5 mm; 当圆弧半径为 5 mm 时, 为 3.0 mm;
- ④两圆弧之中心线应相互平行, 同时两圆弧中心线之平面与拨杆之轴线应垂直;
- ⑤为使试样能紧贴在弯曲圆弧上以便反复弯曲能在线材的同一处进行, 仪器上应具有拉紧试样的装置。

三、试验方法

(1) 将试样通过拨杆孔, 并垂直夹于试验机的钳口上, 对于线材, 其钳口圆弧半径 r 及拨孔直径 d 距离按表 8-4 所示的试验规范执行。

① 圆形试样

表 8-4 线材反复弯折试验钳口圆弧半径 r 及拨孔直径 d 距离的规定 mm

线材直径 d	弯曲圆弧半径 r	拨孔直径 d	距离 a	距离 b
0.8~1.0 >1.0~1.2	2.5±0.1	1.5 2	0.5±0.1	15
>1.2~1.6 >1.6~2.6	5±0.1	2 3	1.2±0.1	20
>2.6~3.0 >3.0~3.5	7.5±0.1	3.5 4	1.7±0.1	25
>3.5~4.0 >4.0~5.0	10±0.1	5 6	2.0±0.1	35
>5.0~6.0 >6.0~7.0	15±0.1	7 8	2.8±0.1	50

②板材、带材试样按表 8-5 所示的试验规范执行。

表 8-5 金属板材、带材反复弯曲试验规范 mm

板、带厚度	钳口半径 r	弯曲距离 b	拨叉距离
0.5	2	25~40	$a+0.5\sim 1$
1.0	2		
1.5	4	25~40	$a+0.5\sim 1$
2.0	4		
2.5	4	25~40	$a+0.5\sim 1$
3.0	6		

续表

板、带厚度	钳口半径 r	弯曲距离 b	拨叉距离
3.5	6	25~40	$a+0.5\sim 1$
4.0	8		
4.5	8	25~40	$a+0.5\sim 1$
5.0	8		

(2) 夹紧下钳口，在仪器上拉紧试样。拉紧力的大小以使试样弯曲处不发生弛曲为度，但不得大于试样公称最大拉力负荷的 2%。

(3) 试验过程中，试样不允许在夹口内转动及纵向移动。

(4) 弯折时，试样在与仪器夹口接触线成垂直的平面内沿左右方向作 90° 的反复弯折，如图 8-8 所示。

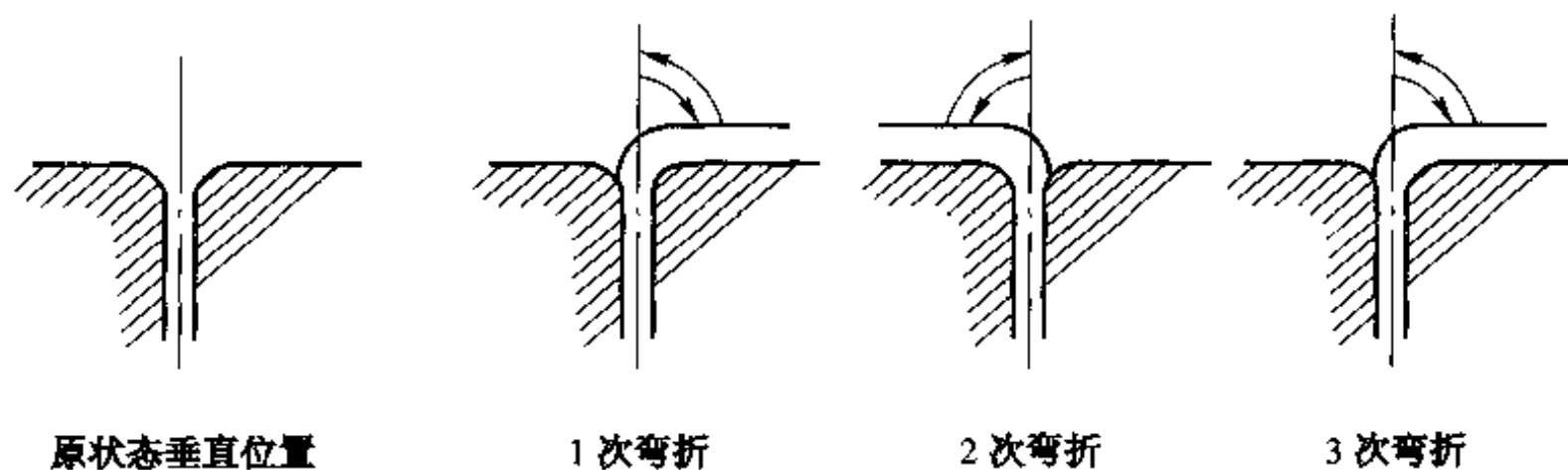


图 8-8 反复弯折次数示意图

弯折过程应以均匀一致的速度进行，一般速度以 60 次/min 为宜，试验次数以有关标准中规定的次数或至折断为止。

(5) 试验注意事项

① 在夹紧试样时，应注意试验机的夹口，不得咬伤试样。试样夹紧后，不允许扭转试样；

② 试样折断时最后一次弯曲次数不算。

四、试验结果的评定

反复弯曲试验有两种评定方法。

(1) 当试验达到有关金属材料的技术标准中规定的反复弯曲次数后停止试验，检查弯曲处，如无裂缝、裂口、起层、起皮、断裂即为合格。

(2) 将试样反复弯曲至断裂，记下次数。

前者为正常生产的检验中评定反复弯曲性能的方法。后者用于比较相同或不同金属材料抵抗反复弯曲性能的优劣。作为合理的选材或设计，这个结果是必需的。

第七节 金属线材缠绕试验

弹簧钢丝及有镀层的金属线材等除要求具有一定的强度外,还要求其能按成形工艺的要求缠绕成形(直径不大的弹簧钢丝一般直接冷缠),所以缠绕试验的目的在于确定金属线材承受缠绕变形的性能、表面缺陷和表面镀层的结合牢固性。

一、试样的制备

- (1) 试样应从合格产品的任意部位上截取或按有关标准规定执行。
- (2) 试样的长度应能保证完成试验,线材直径应是 $d \leq 10 \text{ mm}$, 长度 $(500 \pm 10) \text{ mm}$ 。
- (3) 试验前可将试样放在木垫上,用木锤轻轻打直,但试样表面不允许有任何损伤。

二、试验设备及试验要求

缠绕试验可在扭转试验机或车床上(较大直径的线材)进行,对于小直径的线材也可以在有夹紧钳口的工具上进行。如图 8-9 所示为缠绕试验装置示意图。

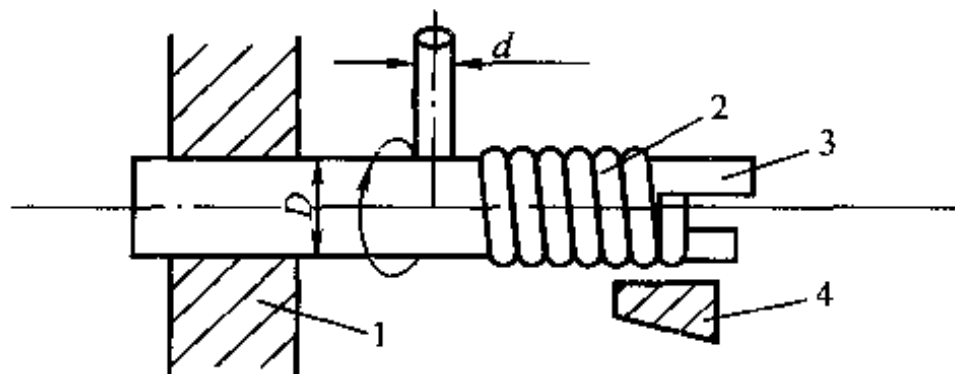


图 8-9 缠绕试验装置示意图

1 夹头; 2 线材试样; 3—心轴及槽口; 4—垫块

以紧密的螺旋圈沿螺旋方向缠在一个直径为 D 的心棒上。 D 的大小应符合有关技术条件要求。没有具体规定时,通常可按如下方法确定:当线材 $d < 3 \text{ mm}$ 时, $D = d$; 当 $d = 3 \sim 6 \text{ mm}$ 时, $D = 2d$; 当 $d > 6 \text{ mm}$ 时, $D = 3d$ 。

试验时,将线材一端头插入心棒的槽口内,手拉线材的另一端头,转动心棒或拉线手绕心棒旋转。试验中螺旋圈应紧密排列,不应松懈和重叠。

试验在常温下进行,缠绕速度应均匀,一般缠绕速度应控制在 $u \leq 60 \text{ r/min}$,缠绕的圈数遵循有关技术条件的规定。当无规定时,一般为 5~10 圈。

三、缠绕试验结果的判定

缠绕后用肉眼检查,有镀层的线材,其镀层不得开裂或起皮、剥落。无镀层的线材,其结果应符合相应标准的规定(一般是不得有裂缝、折断和分层)。

第八节 金属管材的工艺试验

金属管材因用途和规格不同,需做各种工艺性能试验,以确定对机械加工的适用性,并显示其缺陷。

管材常用的工艺试验有管扩口试验、缩口试验、弯曲试验、卷边试验、压扁试验等。

一、金属管扩口试验(GB/T 242)

1. 试样及其要求

管材扩口试验的试样应从外观检查合格的金属管材的任意部位上切取,但必须注意切割口应垂直于轴线以保证两端面的平行。切口处棱边应锉圆,所用切割方法不应改变材料的力学性能。

试样的尺寸规定如下:

当扩口锥度小于 30° 时,试样长度为金属管材外径的 2 倍,即

$$h=2d$$

式中 h —— 试样长度 (高度);

d —— 材料外径。

当扩口锥度大于 30° 时, $h=1.5d$,但其长度不得小于 50 mm。

2. 试验方法

(1) 根据有关标准的技术条件,选用不同锥度的顶心。顶心的锥度 α 通常采用 6° , 12° , 30° , 45° , 60° , 90° 和 120° 等。

(2) 扩口率 x 应用式 (8-2) 计算。

$$x = \frac{D_1 - D}{D} \times 100\% \quad (8-2)$$

式中 D —— 原试样的外径 (mm);

D_1 —— 扩口后管端部的外径 (mm)。

x 值由有关标准中技术要求而定。

(3) 试验时,将管的一端放在垫板上,用压力机或其他方法把顶心压入试样的另一端,并使其均匀扩张到规定的扩口率。如图 8-10 所示。

(4) 试验在冷或热状态下进行,若未规定试验温度,则在常温下进行,但不得低于 -10°C 。

(5) 顶心压入速度应控制在 $20 \sim 50 \text{ mm/min}$ 之间。

3. 试验结果的评定

试验后,检查试样扩口处,如无裂缝、裂口或焊缝

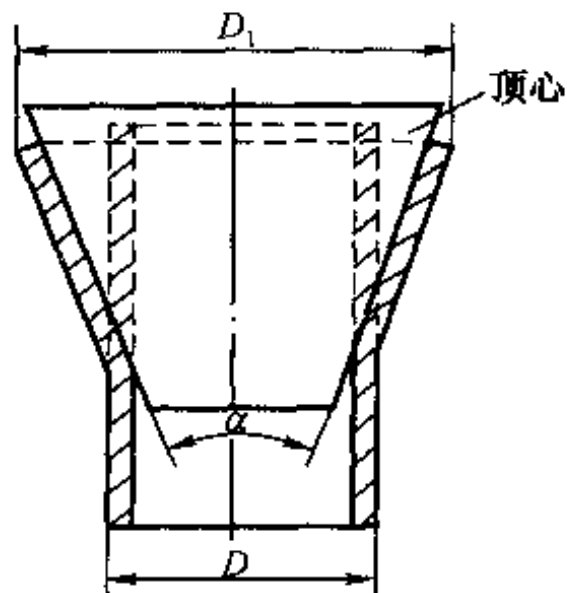


图 8-10 管材扩口试验示意图

开裂（对于焊管）即认为合格，否则即不合格。

二、金属管弯曲试验(GB/T 244)

管材弯曲试验是检验金属管弯曲到一定尺寸和形状后的弯曲性能，并且显示其缺陷的工艺性能试验方法。

1. 试样及其要求

试样应从外观检查合格的金属管材的任意部位切取。如有关标准另有规定的取样部位，则按规定执行。

对试样尺寸的要求是：试样长度只要能保证在规定的弯曲角和弯曲半径下进行即可。

2. 试验方法

(1) 试验根据有关技术条件规定的方法进行，如机械或人工弯曲方法，管内装填物或不装填充物，有弯心或无弯心等。

(2) 将长度为 L 的金属管材绕带槽的弯心连续缓慢地弯曲到规定的角度 α 。

(3) 试验时，要使金属管弯曲处截面短轴的最小值不得小于原外径的 85%。

(4) 外径小于或等于 60 mm 的金属管试样，应在常温下进行试验。外径大于 60 mm，小于 114 mm 的管材试样，如无特殊规定时，则在 700~750 °C 温度下作热弯曲试验。外径大于 114 mm 的管材，不作弯曲试验。

(5) 对于焊接管材的弯曲试验，其焊缝的位置若无特殊规定，则可置于任意位置。

3. 试验结果的评定

试验后，检查试样弯曲处，如无裂缝、裂口、起层或焊缝开裂，即可认为合格（注意缺陷可能出现的部位，是否是弯管后试样曲率半径的外侧拉应力面）。

三、金属管压扁试验(GB/T 246)

管材压扁试验是检验金属管压扁至规定尺寸时的变形性能，并显示其缺陷的一种工艺性能试验。

1. 试样及其要求

试样应从外观检查合格的金属管材的任意部位切取。取样时，要防止损伤试样表面及改变材料的力学性能。切口处的棱边也应锉圆。

试样长度大致等于金属管材的外径。但外径小于 20 mm 时，可切取 20 mm 长度。但最大长度不应超过 100 mm。

2. 试验方法

(1) 试验时，将已制备好的试样放置在两平行平板之间，用压力机或其他方法均匀地压至技术要求中规定的压扁距离 H 或内壁距离 h ，如图 8-11 (a) 所示。其 H 或 h 应在载荷

作用下测定，不得在卸荷后测得。

(2) 试验焊接管时，若有关标准无焊缝位置的特殊规定，则一般将焊缝置于 90° 位置，如图 8-11 (b) 所示。

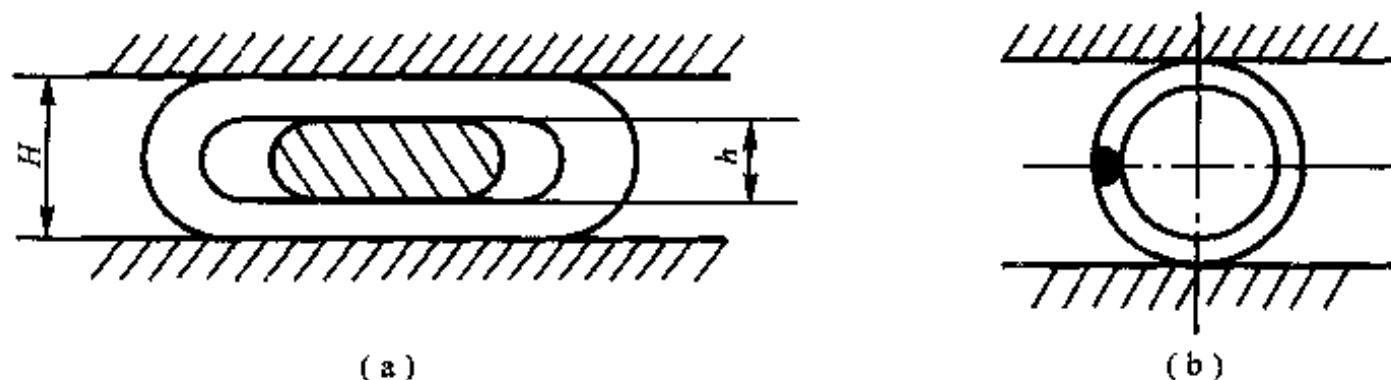


图 8-11 管材压扁试验示意图

(3) 若试样需要打字编号，则应标在与压板接触面处。

(4) 试验在常温（但不能低于 -10°C ）下进行，也可在规定的高温下进行。

(5) 压扁试验的速度一般应为 $20\sim 50\text{ mm/min}$ 。

3. 试验结果的评定

试验后，检查压扁样品 90° 方向的两侧面及上下压板接触处的管内壁。因为该四处是处于压扁试验的拉应力面，裂缝最容易出现在这些部位。若无裂缝、裂口、焊缝开裂（对焊管来说）即认为合格，而裂缝的分类和说明同冷弯试验。

上面所介绍的 9 种工艺试验，其中 4 种为管材工艺试验，这些工艺试验是较常用的试验。还有管材卷边试验、液压试验、型材展平试验、薄板双层胶合弯曲试验及线材缠绕、松懈试验，这里就不一一介绍了。

思考题

1. 金属工艺性能试验的目的和特点是什么？
2. 金属工艺性能试验怎么分类？其内容是什么？
3. 冷弯试验结果如何评定？它与抗弯强度试验有何不同？哪些金属材料需进行冷弯试验？
4. 哪些金属材料需要进行杯突试验？试验结果如何评定？影响试验结果的因素是什么？
5. 金属线材扭转试验的结果如何评定？它与扭转力学性能测定有何不同？
6. 金属顶锻试验有什么特征？它与金属抗压试验有何不同？
7. 金属反复弯曲试验的结果如何评定？它与反弯试验有何区别？
8. 线材缠绕试验的目的是什么？试验结果如何判定？
9. 金属管材工艺试验有几种？它们的试验结果如何评定？

第九章 金属材料、高分子材料物理性能试验

第一节 金属材料导电性能测试

金属传导电流的能力，称为导电性。通常用电阻率（电阻系数）、电导率及电阻温度系数来衡量导电性的好坏。铜和铝的导电性好，一般可用作导线。

一、电阻率

电阻率是计算和衡量金属材料在常温下（20℃时）电阻值大小的性能指标。金属导体材料电阻率试验一般是测定实心金属导体材料的体积电阻率和质量电阻率以及单位长度电阻。

电导率是电阻率的倒数。电导率大的材料，电阻值小，则导电性好。

1. 体积电阻率

体积电阻率为单位长度和单位截面积的导体的电阻，在标准温度为 t_0 时，它的值由式（9-1）计算得出。

$$\rho(t_0) = \frac{A(t_0)}{l_1(t_0)} \cdot R(t_0) \quad (9-1)$$

式中 $\rho(t_0)$ ——标准温度 t_0 时的体积电阻率；
 $R(t_0)$ ——标准温度 t_0 时标距长度试样的电阻；
 $A(t_0)$ ——标准温度 t_0 时试样的截面积；
 $l_1(t_0)$ ——标准温度 t_0 时试样的标距长度。

2. 质量电阻率

质量电阻率为单位长度和单位质量的导体的电阻，在标准温度为 t_0 时，它的值由式（9-2）计算得出。

$$\delta(t_0) = \frac{m}{l_2(t_0)} \cdot \frac{R(t_0)}{l_1(t_0)} \quad (9-2)$$

式中 $\delta(t_0)$ ——标准温度 t_0 时的质量电阻率；
 $R(t_0)$ ——标准温度 t_0 时标距长度试样的电阻；
 m ——试样的质量；
 $l_1(t_0)$ ——标准温度 t_0 时试样的标距长度；
 $l_2(t_0)$ ——标准温度 t_0 时试样的总长度。

3. 单位长度电阻

单位长度电阻在标准温度时由式（9-3）计算得出。

$$R_1(t_0) = \frac{R(t_0)}{l_1(t_0)} \quad (9-3)$$

式中 $R_1(t_0)$ ——标准温度 t_0 时单位长度的电阻；
 $R(t_0)$ ——标准温度 t_0 时标距长度试样的电阻；
 $l_1(t_0)$ ——标准温度 t_0 时试样的标距长度。

二、电阻温度系数

电阻随温度而变化的比例常数，称为电阻温度系数。其物理公式见式 (9-4)。

$$\alpha = \frac{\rho_t - \rho_0}{\rho_0 \Delta t} \quad (9-4)$$

式中 ρ_t ——温度 t 时电阻率；
 ρ_0 ——标准温度 t_0 时的电阻率；
 Δt ——温度 t 与 t_0 的温度差；
 α ——电阻温度系数。

铜和铝在 20℃ 时体积电阻率、电阻温度系数等特性值见表 9-1。

表 9-1 铜和铝在 20℃ 时的特定值

特 性	铜	铝排	硬铝线	退火铝线
体积电阻率 $\rho(t_0)/(10^{-8} \Omega \cdot m)$	1.7241	2.90	2.8264	2.80
电阻温度系数 $\alpha_R(t_0)/(10^{-4}/^\circ\text{C})$	3.93	3.93	4.03	4.07
线膨胀温度系数 $\gamma/(10^{-5}/^\circ\text{C})$	1.7	2.3	2.3	2.3
体积电阻率的温度系数 $\epsilon/(10^{-11} \Omega \cdot m/^\circ\text{C})$	6.8	11.46	11.46	11.46
密度 $d_s(t_0)/(10^6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3})$	8.89	2.703	2.703	2.703

三、电桥的工作原理及使用注意事项

从测量电阻率的关系式可知，要测量电阻率或电阻温度系数，主要是测量试样的电阻。从现行标准中可以看出，电阻 R 的测定均采用电桥法。现把常用的单臂电桥和双臂电桥的工作原理及使用注意事项介绍如下：

1. 单臂电桥

(1) 工作原理

单臂电桥又叫惠斯通电桥，一般用作测量 $10^2 \sim 10^5 \Omega$ 范围电阻之用。

图 9-1 为直流单臂电桥工作原理图。将四个电阻（即 R_x ， R_2 ， R_3 ， R_4 ）串联为四角形，电阻 R_2 和 R_3 为比例臂，电阻 R_4 为比较臂，而电阻 R_x 为被测电阻值，在一对角线上接上直流电源 E ，在另一对角线上接上检流计 G 。电桥工作时，根据所测量电阻 R_x 的大小，适当选择比例臂 R_2 和 R_3 ，再调节比较臂 R_4 ，使检流计 G 的指示为零时，单臂电桥达到平衡，其平衡公式为：

$$R_x \times R_3 = R_2 \times R_4$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_3} \times R_4$$

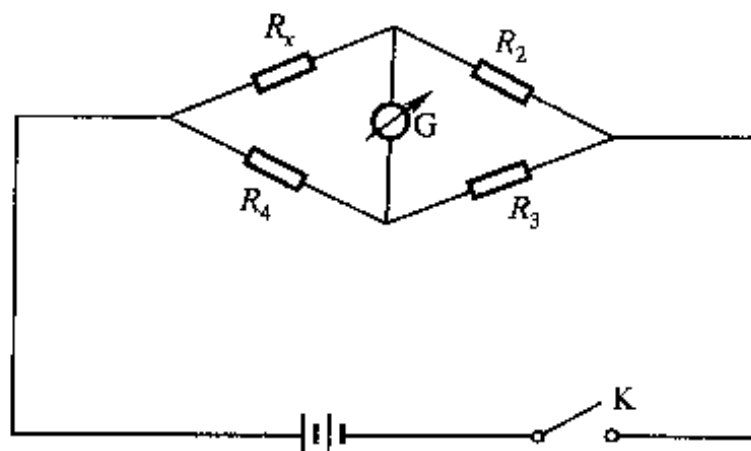


图 9-1 直流单臂电桥工作原理图

根据 R_2 、 R_3 和 R_4 的数值，可以计算出被测电阻 R_x 的数值。

(2) 使用注意事项

①用直流单臂电桥，只能测量较大的电阻（如大于 $10^2 \Omega$ ），测量较小（如 $10^{-4} \sim 10^2 \Omega$ ）电阻时，应该用直流双臂电桥。因为 R_x 值实际上包括了连接被测电阻与接线柱间的导线的电阻及接线柱间的接触电阻。当被测电阻很大时，导线电阻、接触电阻可忽略不计。而当被测电阻很小时，导线电阻及接触电阻势必影响测量结果；

②在测量过程中，如果发现有热电势影响测量结果的准确度，可采用电源正反向测量两次，取其两次读数的平均值；

③与电桥相配的晶体管检流计，使用前必须按规定进行预热；

④电桥必须存放在干燥环境中。

2. 双臂电桥

(1) 工作原理

双臂电桥，又叫凯尔文电桥，可作精密测量低电阻（ $10^{-2} \sim 10^{-4} \Omega$ ）之用。

图 9-2 所示是双臂电桥工作原理图。图中， R_1 和 R_2 为比例臂， R 和 R_3 为比较臂， R_N 为与待测量电阻值相近似的标准电阻，称为镇定电阻， R_x 为被测电阻。

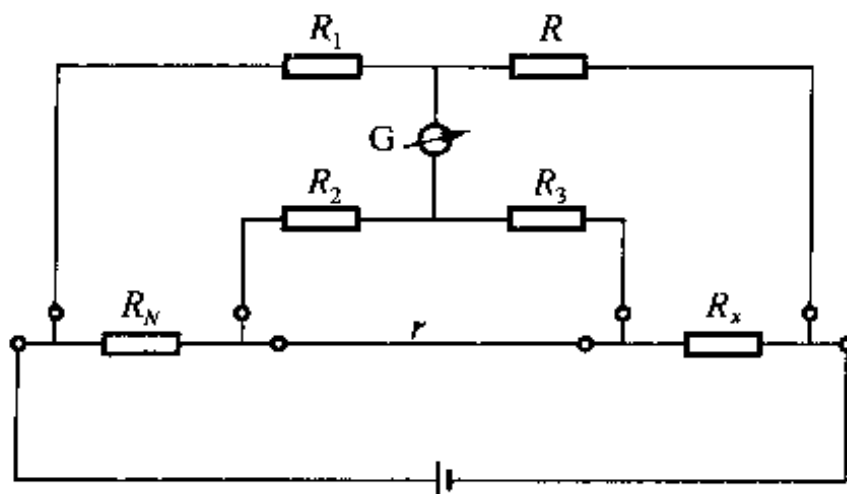


图 9-2 双臂电桥工作原理图

双臂电桥的平衡公式见式 (9-5)。

$$R_x = \frac{R}{R_1} R_N + \frac{rR_2}{r+R_2+R_3} \left(\frac{R}{R_1} + \frac{R_3}{R_2} \right) \quad (9-5)$$

若令 $d = \frac{rR_2}{r+R_2+R_3} \left(\frac{R}{R_1} + \frac{R_3}{R_2} \right)$, 则简化为式 (9-6)。

$$R_x = \frac{R}{R_1} R_N + d \quad (9-6)$$

与单臂电桥平衡公式相比, 多出了第二项 d , 一般称为误差项。若用电阻很小的短而粗的紫铜线 r 将被测电阻 R_x 和镇定电阻 R_N 连接起来, 当双臂电桥达到平衡时, 检流计的指示为零, 这时 $d=0$, 则各桥臂间有如下的平衡公式, 见式 (9-7)。

$$R_x = \frac{R}{R_1} R_N \quad (9-7)$$

其中 R 和 R_1 可以直接读出得数, R_N 是已知的标准电阻, 则被测电阻 R_x 可以计算出。

(2) 使用注意事项

①采用双臂电桥可以消除一定的接触误差, 测量一定范围的低值电阻。但是在双臂电桥中, 要使误差项 d 为零实际上是不可能的, 因为 r 总会有一定的阻值, 必然会引起测量误差。在测量精确度要求很高时, 就需要采用三次平衡电桥了;

②为了消除热电动势的影响, 可在电流回路上安置倒向开关, 多次测量电流正反向通过时的电阻值, 然后取其平均值;

③无论采用双臂还是单臂电桥, 接头一定要牢靠, 这样一是可以减小接触电阻, 另外也可以防止某一桥比突然断开, 破坏电桥的平衡, 损坏检流计;

④利用直流电桥测量电阻的优点是, 能一次读出电阻值, 比其他方法快; 比较电阻与被测电阻均在平衡状态下测量, 即使电源不稳定也不会影响测量结果的准确度。利用电桥测量电阻的缺点是接触电阻只能控制在一定范围内, 不能完全消除。

四、电阻率的测量方法

1. 试样要求

(1) 试样为截面大体上均匀的任何形状的杆材、线材、带材、排或管材等, 其表面应光滑。

(2) 沿试样标距长度以相等间距分 5 次或更多次所测得横截面, 其相对标准偏差应不超过 1%。

(3) 测定单位长度的质量时, 试样两端应呈平面且垂直于纵轴, 试样表面无毛刺、飞边和弧边 (锯齿状边)。

(4) 从大块材料中截取的试样, 应注意在准备试样时防止材料性能发生明显变化。塑性变形会使材料加工变硬, 电阻率增加; 加热会使材料退火, 电阻率减小。

(5) 试样应设有接头。表面应无裂纹和缺陷。横向尺寸为 1 mm 及以上试样用肉眼检查, 小于 1 mm 的试样用 20 倍放大镜检查, 试样表面基本上无斑疤、灰尘、油污, 特别是在电流和电位接头的表面上应没有上述缺陷。必要时, 在测量试样尺寸之前应将试样清洗干净。

(6) 标距长度应不小于 0.3 m, 其他尺寸应与试验设备相适应。

(7) 在电位接头之间标距长度上的电阻应不小于 0.000 01 Ω 。

2. 测量步骤

(1) 试样电阻为 10 Ω 及以下者应采用四点法, 电阻大于 10 Ω 者可以采用两点法。

(2) 标准电阻和试样均应处于 (15~25) $^{\circ}\text{C}$ 温度条件下。在整个试验过程中:

① 温度引起的总误差应不大于 $\pm 0.06\%$;

② 温度误差与电阻温度系数的乘积应不大于 $\pm 0.04\%$ (0.1 $^{\circ}\text{C}$);

③ 温差 $(t-t_0)$ 与试样电阻温度系数误差的乘积应不大于 $\pm 0.04\%$ 。为了保证上述要求, 必要时应采用液浴。

(3) 在试验温度 t 时测定试样两电位点之间的标距长度 $l_1(t)$ 并精确到 $\pm 0.05\%$ 。

(4) 截面积测量误差应不超过 $\pm 0.15\%$ 。简单截面积的试样, 测定尺寸时应沿试样的计量长度以大约相等的间距至少测量 5 次, 计算出算术平均值。截面复杂的试样, 截面积应按式 (9-8) 确定。

$$A(t) = \frac{m}{l_2(t)d_s(t)} \quad (9-8)$$

式中 $A(t)$ —— 试验温度 t 时的截面积;

m —— 试样质量, 精确到 $\pm 0.05\%$;

$l_2(t)$ —— 试样温度 t 时的试样总长度, 精确到 $\pm 0.05\%$;

$d_s(t)$ —— 试样温度 t 时的试样密度, 精确到 $\pm 0.12\%$ 。

(5) 在满足试验系统灵敏度要求的情况下, 应尽量选择最小的测试电流, 以免引起过大的温升。

(6) 四点法测量电阻时, 电位接触点应由相当锐利的刀刃构成, 且互相平行, 均垂直于试样纵轴。接点也可是锐利针状接点。每个电位接点与相应的电流接点之间的距离应不小于试样断面周长的 1.5 倍。消除由于接触电势和热电势引起的测量误差, 可采用电流换向法, 读取一个正接读数和一個反向读数, 取算术平均值。也可以采用平衡点法 (补偿法), 达到闭合电流时检流计上基本观察不到冲击。使用凯尔文双臂电桥时, 标准电阻和试样间的跨线电阻应明显地既小于标准电阻, 又小于试样电阻。

3. 试验结果及计算

考虑到电阻及线性尺寸都随温度而变化, 计算时应将试验温度 t 时测得的数值换算到标准温度 t_0 , 标准温度 t_0 为 20 $^{\circ}\text{C}$ 。

(1) 电阻计算

设试样的电阻与温度呈线性变化关系, 电阻按公式 (9-9) 计算。

$$R_{20} = \frac{R(t)}{1 + \alpha_{20}(t - 20)} \quad (9-9)$$

式中 R_{20} —— 20 $^{\circ}\text{C}$ 时试样标距长度的电阻;

$R(t)$ —— 试验温度 t 时试样标距长度上的实测电阻;

α_{20} —— 20 $^{\circ}\text{C}$ 时试样的电阻温度系数。

(2) 单位长度电阻计算

标准温度 20℃ 时单位长度电阻按公式 (9-10) 计算。

$$R_{120} = \frac{R_1(t)}{1 + (\alpha_{20} - r)(t - 20)} \quad (9-10)$$

式中 $R_1(t)$ —— 试验温度 t 时试样的单位长度电阻；

r —— 试样线膨胀系数，对大部分材料来说， r 比电阻温度系数 α_{20} 小得多，在 $(t-20)$ 较小时， r 可忽略不计。

(3) 体积电阻率计算

标准温度 20℃ 时的体积电阻率按公式 (9-11) 计算。

$$\rho_{20} = \frac{\rho(t)}{1 + (\alpha_{20} + r)(t - 20)} \quad (9-11)$$

式中 $\rho(t)$ —— 试验温度 t 时试样的体积电阻率。

(4) 质量电阻率计算

标准温度 20℃ 时的质量电阻率按公式 (9-12) 计算。

$$\delta_{20} = \frac{\delta(t)}{1 + (\alpha_{20} - 2r)(t - 20)} \quad (9-12)$$

式中 $\delta(t)$ —— 试验温度 t 时试样的质量电阻率。

第二节 高分子材料的电性能

高分子材料也称为塑料，它之所以能成为最理想的电器材料之一，是因为它具有无与伦比的综合特性，如制造容易、价格低廉、重量轻以及具有优良的绝缘性能。如果在塑料基体材料中添加适当添加剂进行简单的改性，又可使塑料成为导电体。

塑料作为绝缘体来讲，它最主要的电性能是介电强度、介电常数和介质损耗因子、绝缘强度（体积电阻率和表面电阻率）。

一、介电强度

在规定的试验条件下，击穿电压与施加电压的两导电部分之间距离的商即为介电强度。介电强度以单位厚度的伏特数表示，例如 kV/mm。所有的绝缘体都会有微弱的电流通过，这个过程会随时间和所施电压的增加而缓慢加速，直到产生介电破坏或被击穿为止。介电强度作为绝缘体的耐电强度的指标是绝缘材料很重要的特性。介电强度越高，绝缘质量越好。

介电强度试验包括：

(1) 试验装置

图 9-3 为介电强度试验的基本装置。该装置通常用可变低压正弦电源供给一个升压变压器和一对电极，该变压器的容量应足够大，使之在发生击穿之前均能维持试验电压。对于大多数试验来说，其容量范围为：对于 10 kV 及以下的小电容试样试验，其容量为 0.5 kVA，对于试验电压为 100 kV 以下者则为 5 kVA。升压变压器应能使试验电压平滑、均匀地变化，无过冲或瞬变现象。对试验电压的测量必须能测量试验电压的有效值，测量精度

应符合有关规定。

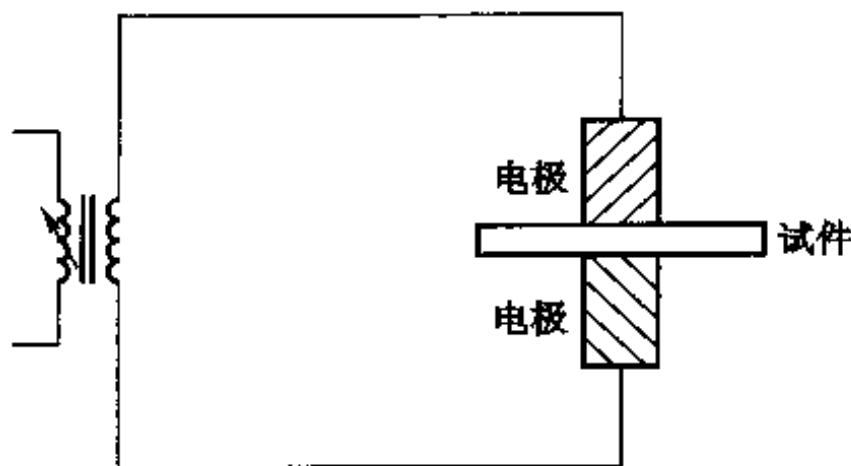


图 9-3 介电强度试验的基本装置

金属电极应始终保持光滑、清洁无缺陷。根据被测材料的不同，可以选择不同形状和尺寸的试样。

(2) 试样和试验要求

①不同试样除应符合有关规定外，还应符合以下要求：

- a. 制备试样时要注意与电极接触的试样两表面要平行，而且尽量平整光滑。
- b. 对于垂直材料表面的试验，要求试样有足够大的面积以防止试验过程中发生闪络。

②用来计算电气强度的值应为下列之一：

- a. 标称厚度或两电极间距离（除非另有规定，一般采用此值）。
- b. 试样的平均厚度或对于平行于表面的试验为两电极间的距离。
- c. 在每个试样上击穿点附近直接测得的厚度或两电极间的距离。

③绝缘材料的电气强度随温度和含水量而变化。除被试材料已有规定外，试样应在 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度在 $(50 \pm 5)\%$ 的条件下，处理不少于 24 h。

④试验在空气、油或材料使用时的周围媒质中进行时，所使用的任何媒质均不能对被试材料产生有害的影响。且还需符合有关规定。

⑤试验通常做 5 次，取试验结果的中值作为电气强度或击穿电压。如果任何一个试验结果偏离中值 15% 以上，则另做 5 个试验。然后由 10 次试验的中值作为电气强度或击穿电压。

(3) 测量方法

测量绝缘体介电强度的方法一般有：短时（快速）法、逐级升压法和慢速升压法 3 种。

①短时（快速）法

试验电压由零开始以均匀的速率上升直至击穿发生。对于大多数材料，通常使用 500V/s 的升压速率。一般也可采用 100, 200, 1000, 2000, 5000V/s 的速率，对被试材料选择速率应使大多数击穿发生在 10~20 s 之间。

②逐级升压法

该方法有 20 s 逐级升压和 60 s 逐级升压两种，即每一级耐变电压时间分别为 20 s 和 60 s。

从表 9-2 选出最接近于 40% 短时击穿电压的电压值并将它施加在试样上，假如试样耐变电压 20 s (60 s) 还未击穿，则可接着施加下一级更高的电压 20 s (60 s)，直到发生击穿。升压要尽可能地快，级间升压所用的时间包括在较高一级电压的 20 s (60 s) 内。如果击穿发生在从起始算起少于 6 级的电压内，则用更低的起始电压再做到 5 个试样的试验。根据试

样能耐受 20 s (60 s) 而不击穿的最高试验电压来确定电气强度和/或击穿电压。

表 9-2 施加电压的顺序

(峰值/ $\sqrt{2}$, kV)

0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95					
1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9					
2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8
5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5					
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					
20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
50	55	60	65	70	75	80	85	90	95					
100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200				

③慢速 (很慢速) 升压法 (120 ~ 240 s, 300 ~ 600 s)

从 40% 的预计短时击穿电压开始, 以升压速率 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 V/s 中的一种速率匀速升压, 使击穿发生在 120 ~ 240 s 之间, 称为慢速升压法。如果从 40% 的预计短时击穿电压开始以升压速率 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 V/s 中的一种匀速升压, 使击穿发生在 300 ~ 600 s 之间, 称为很慢速升压法。

二、介电常数和介质损耗因数

1. 介电常数

一种绝缘材料的相对介电常数是电极间及其周围的空间全部充以绝缘材料时, 其电容 C_x 与同样构型的真空电容器的电容 C_0 之比, 见式 (9-13)。

$$\epsilon_r = C_x / C_0 \quad (9-13)$$

在一个给定的测量系统中, 绝缘材料的介电常数是该系统中绝缘材料的相对介电常数 ϵ_r 与真空介电常数 ϵ_0 的乘积。

真空介电常数见式 (9-14)。

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \approx \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m} \quad (9-14)$$

2. 介质损耗因数 $\tan\delta$

绝缘材料的介质损耗因数是介质损耗角 δ 的正切 $\tan\delta$ 。而介质损耗角 δ 是由该绝缘材料作为介质的电容器上所施加的电压与流过该电容器的电流之间的相位差的余角。

3. 影响介电性能的因素

影响介电常数、介质损耗因数的因素有频率、温度、湿度、电场强度等。因此, 一般的绝缘材料必须在它所使用的频率下测量介质损耗因数和相对介电常数。绝缘材料温度、湿度、电场强度对相对介电常数和介质损耗因数的测试结果都存在较大影响。

4. 试样和电极

(1) 测定材料的试样最好采用片状试样,也可以采用管状试样。试样制备和处理可按产品规范中的要求或有关规定执行。

(2) 在测定 ϵ_r 值时,试样厚度误差对测试结果影响很大。如果精度要求为 1%,那么试样厚度为 1.5 mm 就可满足要求,对于更高的精度要求,则试样应更厚些。

(3) 试样厚度测量应精确到 $\pm(0.2\%+0.001)$ mm 以内,测定应均匀地分布在整个测量面上。

(4) 电极一般采用金属膜、金属箔或导电涂料等,使它们紧贴成为试片的两面或者密着在两表面上来进行测定,这种称为接触式电极。对于损耗很小或极薄的试样,有时采用电极与试样一侧或两侧有一个充满空气或液体的间隙,这种称为不接触电极。

5. 测量方法

对于绝缘材料相对介电常数和介质损耗因数的测量,在工业用频率下检测可用电压电流计法;若能够在宽频带范围内进行高精度测定,可用零点指示法和回路谐振法。零点指示法适用于不超过 50 MHz 的测量,通常采用西林电桥、变压器电桥和平行网络,可用替代法和直接法测量。回路谐振法用于 10 kHz~30 MHz 的测量;这种方法用替代法,常用的有变电纳法和变 Q 值法。

(1) 电压电流计法

电压表、电流表以及功率表按图 9-4 所示连接。

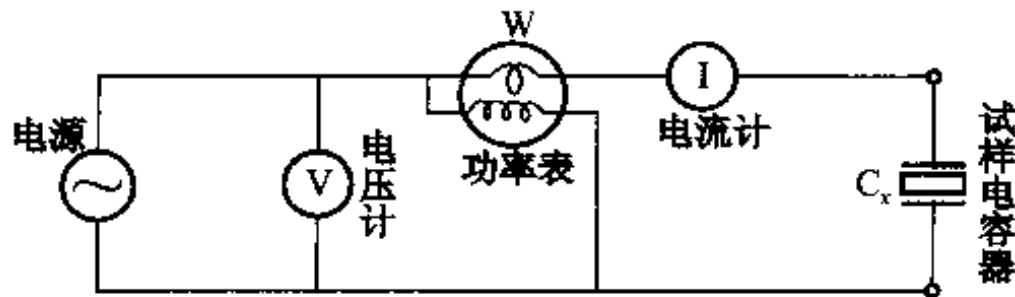


图 9-4 电压电流计法的电路图

根据表的读数,通过式 (9-15),式 (9-16),式 (9-17) 将算出等效并联电容量 C_x ,功率因数 $\cos\theta$ 和介质损耗因数 $\tan\delta$ 。

$$C_x = (I/PU) \sqrt{1 - \cos^2 \omega} = (I/PU) \sqrt{1 - (UI)^2} \quad (9-15)$$

$$\cos \omega - UI \quad (9-16)$$

$$\tan \delta = \frac{\cos \omega}{\sqrt{1 - \cos^2 \omega}} = \frac{UI}{\sqrt{1 - (UI)^2}} \quad (9-17)$$

式中 I 电流表读数 (A);
 U 电压表读数 (V);
 P 功率表读数 (W);
 ω 角频率 (rad/s)。

(2) 西林电桥

西林电桥是测量介电常数和介质损耗因数的最典型装置。西林电桥可以分为高频西林电

桥和低频西林电桥。

低频西林电桥一般为高压电桥，电路如图 9-5 所示，该电桥平衡时，介电常数按式 (9-18) 计算。

$$C_x = \frac{R_1}{R_2} C_N \quad (9-18)$$

介质损耗因数按式 (9-19) 计算。

$$\tan \delta_x = \omega C_1 R_1 \quad (9-19)$$

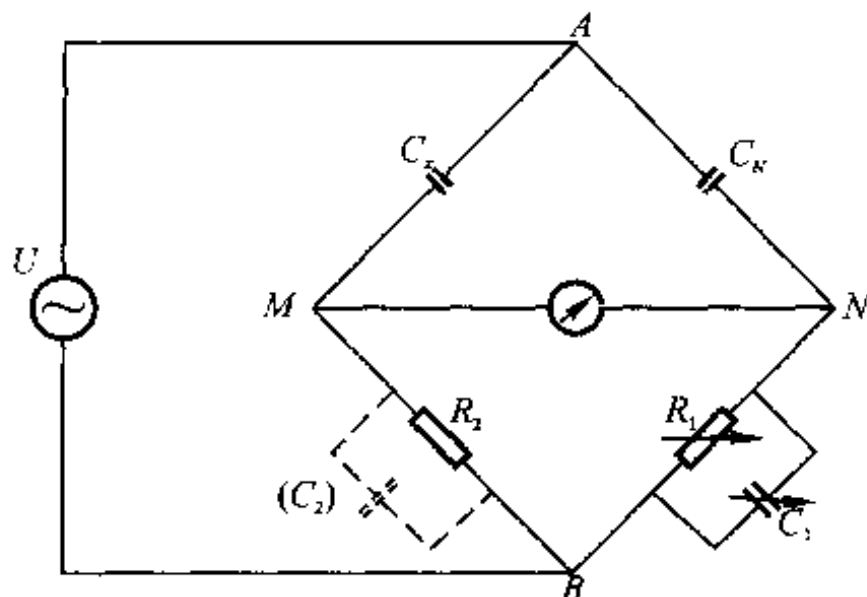


图 9-5 西林电桥线路图

三、绝缘电阻

固体绝缘材料的主要功能是使带电的导体彼此绝缘，并使电导体与地绝缘，所以，对绝缘材料要求的最主要特性是它阻止电流泄漏的能力。绝缘电阻越高，绝缘就越好。

绝缘电阻可以再分为体积电阻和表面电阻。

1. 体积电阻、体积电阻率、表面电阻、表面电阻率

在试样的相对两表面上放置的两电极间所加直流电压与流过两个电极之间稳态电流之商，称为体积电阻。稳态状态可用电化时间来判定，电化时间可从 1 min, 2 min, 10 min, 50 min, 100 min 中选取。一般情况下采用 1 min 电化时间。单位体积内的体积电阻称为体积电阻率。

在试样的某一表面上两电极间所加电压与经过一定时间后（一般电化时间为 1 min）流过两电极间的电流之商，称为表面电阻。单位面积内的表面电阻称为表面电阻率。

2. 试样与电极

(1) 试样与电极配置

测定体积电阻率和表面电阻率的试样一般分为平板试样和管状试样两种，其与电极配置见图 9-6 和图 9-7。

图 9-6 和图 9-7 给出了三电极装置的配置，测量电极、保护电极、不保护电极直径或长度以及间隙 g 等应遵循有关规定。

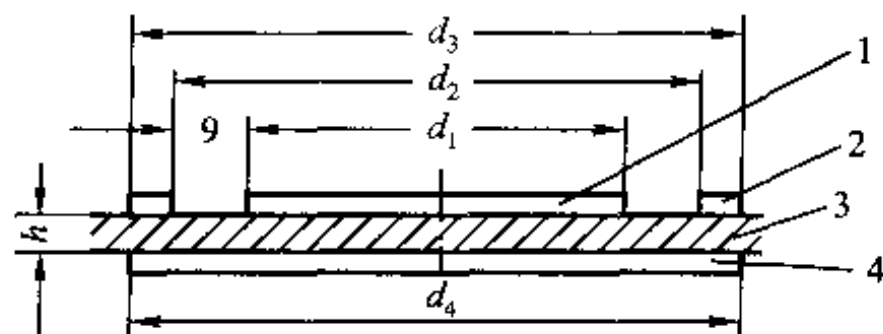


图 9-6 平板试样的电极配置

1—电极①；2—电极②；3—试样；4—电极③

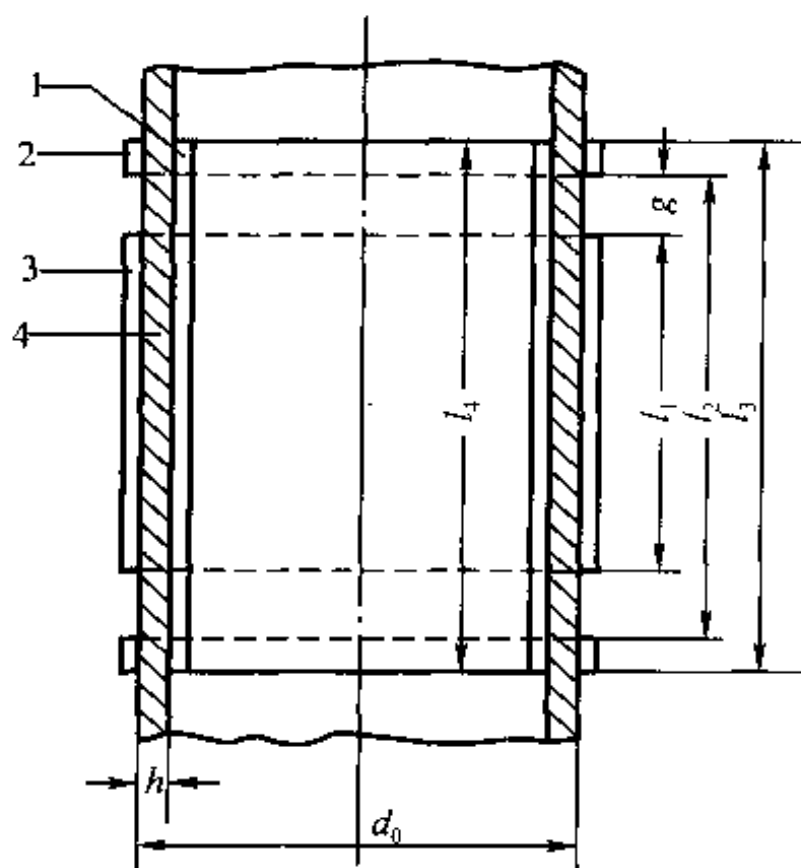


图 9-7 管状试样的电极配置

1—电极③；2—电极②；3—电极①；4—试样

(2) 电极

电极采用锡箔、铝箔等金属箔或导电银漆。通常以精炼凡士林等粘贴剂将金属箔粘贴到试样上，应充分压紧，以消除一切皱褶、气泡和多余粘合剂。也可以采用真空镀膜或金属电镀电极。还可以采用胶体石墨、导电橡皮和液体（汞）电极。

(3) 试样

试样除非另有要求，应均采用原厚度；其应比电极最大尺寸每边至少多 7 mm。每组试样至少 3 个。试样预处理可按 GB 10580 标准中规定进行。试样厚度以在测量电极范围内沿直径方向测量三点，三点算术平均值作为试样厚度，测量误差不大于 1%。

(4) 测量方法

① 电源

电源为直流稳压电源，试验电压通常为 100 V，250 V，500 V，1000 V；电压误差应小于 ±5%。

② 方法

测量高电阻常用的方法是直接法和比较法。

直接法是测量加在试样上的直流电压和流过试样的电流而求得试样电阻。直接法主要有检流计法和高阻计法；比较法主要有检流计法和电桥法。

a. 检流计法

如图 9-8 所示，被测试的电阻 R_x 的计算见式 (9-20)。

$$R_x = \frac{UN}{C_g a} \quad (9-20)$$

式中 R_x ——试样电阻 (Ω)；

U ——试验电压 (V)；

- N 分流比;
 a 检流计偏转数, 用两次读数的平均值表示 (mm);
 C_g 检流计常数 (A/mm)。

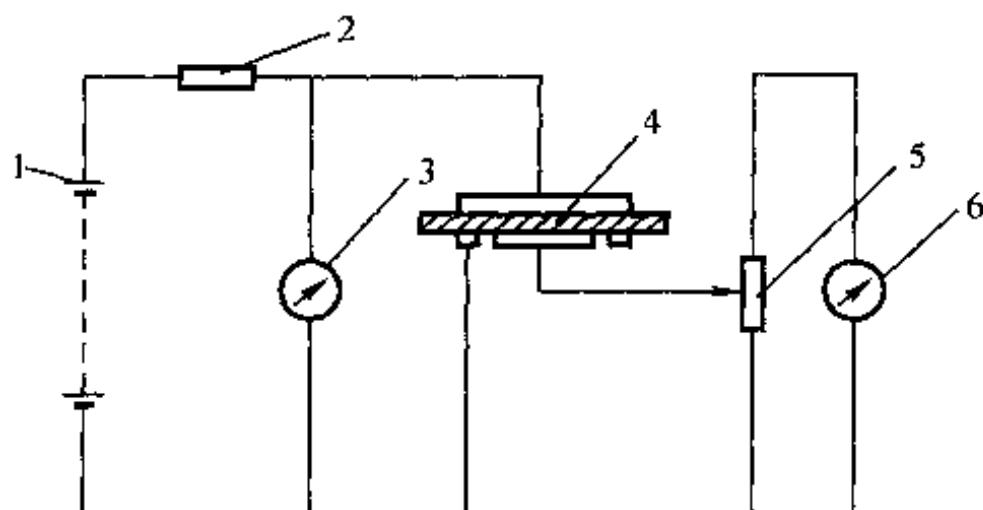


图 9-8 检流计直接测量原理图

1—电源; 2—保护电阻; 3—电压表; 4—试样电阻; 5—分流器; 6—检流计

b. 高阻计法

高阻计法又称直流放大法, 它是将通过试样的微弱电流经过放大后, 推动指示仪表, 故可测量较高的绝缘电阻。通常在高阻计中, 有数个数量级不同的标准电阻, 以适应测量不同数量级的 R_x 的需要, 被测电阻可以直接读出。高阻计法一般可测 $10^{17} \Omega$ 以下的绝缘电阻。

图 9-9 表示高阻计的测量原理, 当 $R_x \leq R_s$ 时, 则被测电阻按式 (9-21) 计算。

$$R_x = \frac{U}{U_s} R_s \quad (9-21)$$

式中 R_x —— 试样电阻 (Ω);
 U —— 试验电压 (V);
 U_s —— 标准电阻两端的电压 (V);
 R_s —— 标准电阻 (Ω)。

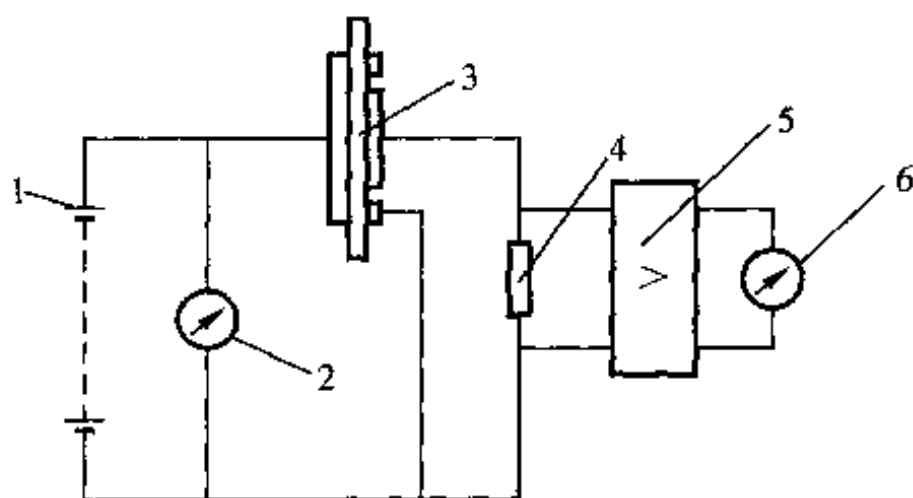


图 9-9 高阻计法测量原理图

1—电源; 2—电压表; 3—试样电阻; 4—标准电阻; 5—直流放大器; 6—检流计

③精度

对于大于 $10^{16} \Omega$ 的电阻, 仪器误差应在 $\pm 20\%$ 的范围内; 对于不大于 $10^{10} \Omega$ 的电阻, 仪器误差应在 $\pm 10\%$ 的范围内。

(5) 试验结果

① 体积电阻率

体积电阻率按式 (9-22) 计算。

$$\rho_v = \frac{R_v \cdot A}{h} \quad (9-22)$$

式中 ρ_v —— 体积电阻率 ($\Omega \cdot m$);

R_v —— 测得的试样体积电阻 (Ω);

A —— 测量电极的有效面积 (m^2);

h —— 试样的平均厚度 (m)。

② 表面电阻率

表面电阻率应按式 (9-23) 计算。

$$\rho_s = \frac{R_s \cdot P}{g} \quad (9-23)$$

式中 ρ_s —— 表面电阻率 (Ω);

R_s —— 试样的表面电阻 (Ω);

P —— 所使用的特定电极装置或测量电极装置中, 测量电极的有效周长 (m);

g —— 两电极之间的距离 (m)。

③ 数据处理

数据处理按产品标准进行, 若产品无此项规定, 则取各试验值的几何平均值作为最终结果。

第三节 金属磨损试验

机器运转时, 任何机件在接触状态下相对运动 (滑动、滚动或滑动+滚动) 都会产生摩擦, 引起磨损。如轴与轴承、活塞环与气缸、十字头与滑块、齿轮与齿轮之间经常因磨损和接触疲劳造成尺寸变化, 表层剥落, 因而失效。

例如, 发动机的活塞环由于受磨损后尺寸的变化, 致使活塞环开口间隙显著增大, 结果引起发动机功率不足, 耗油量增加, 产生噪音和振动等。

可见, 磨损是降低机器和工具效率、准确度甚至使其报废的一个重要原因。因此, 研究磨损规律, 提高机件耐磨性, 对延长机件寿命具有重要意义。

机件正常运行的磨损过程一般分为三个阶段, 见图 9-10。

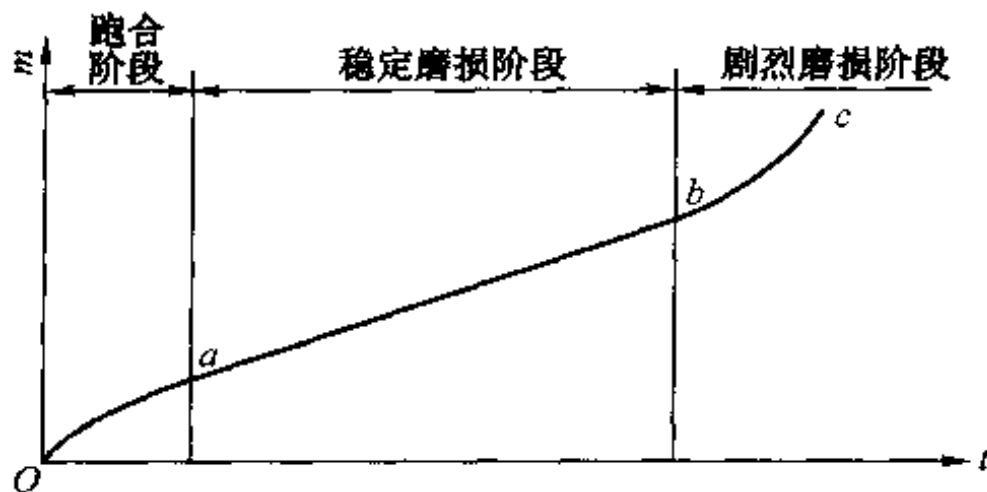


图 9-10 磨损量与时间的关系示意图

1. 跑合阶段(又称磨合阶段)

新的摩擦偶件表面总是具有一定的粗糙度,其真实接触面积较小。在跑合阶段,表面逐渐磨平,真实接触面积逐渐增大,磨损速度减缓,如图9-10的O~a段所示。

2. 稳定磨损阶段

这是磨损速度稳定的阶段,如图9-10中a~b段所示,线段的斜率就是磨损速度,横坐标时间就是机件的耐磨寿命,在跑合阶段跑合得越好,稳定磨损阶段的磨损速度就越低。

3. 剧烈磨损阶段

随着机件工作时间的增加,b点以后,摩擦偶件接触表面之间的间隙逐渐扩大,机件表面质量下降,润滑剂薄膜被破坏,机件振动加剧,磨损速度急剧增长,机件很快即告失效。

一、磨损类型及耐磨性

本书前几章叙述了金属材料整体变形与断裂的机制。有关的基本概念与理论也可用来分析磨损过程。但在磨损过程中,塑性变形与断裂过程是周而复始不断循环的,一旦形成磨损产物后,随之开始新的循环,因此,磨损过程具有动态特征。机件表面的磨损不是简单的力学过程,而是物理的、力学的和化学的等过程极为复杂的综合,理论上对其认识还不成熟,因此,分类方法也不统一。

依据磨损的破坏机理,磨损可分为粘着磨损、磨粒磨损、表面疲劳磨损(接触疲劳)、腐蚀磨损(包括微损、气蚀、液体冲蚀磨损等)。

依据机件表面磨损状态,又可分为连续磨损、粘着磨损、疲劳磨损、磨粒磨损、腐蚀磨损、微动磨损、表面塑性流动磨损。

耐磨性是材料抵抗磨损的一个性能指标,可用磨损量来表示。显然,磨损量越小,耐磨性愈高,反之亦然。磨损量既可用试样表层的磨损厚度来表示,也可用试样体积或重量的减少来表示。耐磨性有时也用单位摩擦距离的磨损量表示,称为线磨损量;或用单位摩擦距离、单位负荷下的磨损量表示,称为比磨损量。此外,为和通常的概念一致,有时还用线磨损量的倒数来表征材料的耐磨性,还经常使用相对耐磨性的概念,相对耐磨性 ϵ 用式(9-24)表示。

$$\epsilon = \frac{m_0}{m_1} \quad (9-24)$$

式中 m_0 —标准试样的线磨损量(mg);

m_1 —被测试样的线磨损量(mg)。

1. 粘着磨损

粘着磨损又称咬合磨损,它是通过接触面局部发生粘着,在相对运动时粘着处又分开,使接触面上有小颗粒被拉拽出来,这种过程是反复进行多次而发生破坏的,对于机械性能相关不大的两种金属之间发生的磨损,最常见的就是粘着磨损,它是破坏严重的一种磨损形

态, 影响因素也比较复杂, 蜗轮与蜗杆啮合时, 经常产生这种磨损。

2. 磨粒磨损

磨粒磨损也称为磨料磨损或磨研磨损。它是当摩擦偶件一方的硬度比另一方的硬度大得多时, 或者在接触面之间存在着硬质粒子时所产生的的一种磨损。其特征是接触面上有明显的切削痕迹。

3. 腐蚀磨损

腐蚀磨损是由于外界环境引起金属表层的腐蚀产物(主要是氧化物)剥落, 与金属磨面之间的机械磨损(磨粒磨损与粘着磨损)相结合而出现的(故又称腐蚀机械磨损)。空气、腐蚀性介质的存在会加速腐蚀磨损。在氮气等不活泼气体和真空中则可减少腐蚀磨损。

腐蚀磨损包括各种机械中普遍存在的氧化磨损、在机件嵌合部位出现的微动磨损、在水利机械中出现的浸蚀磨损(又称气蚀)以及在化工机械中因特殊腐蚀气氛而产生的腐蚀磨损。

4. 接触疲劳磨损

接触疲劳是滚动轴承、齿轮等一类机件的接触表面在接触压应力的反复作用后所引起的一种表面疲劳剥落损坏现象。其磨损形式是在光滑的接触表面上分布有若干深浅不同的针状或豆状凹坑, 或较大面积的表层压碎, 一般统称接触疲劳失效。这些剥落现象将使机件工作时噪声增加、振动增大、温度上升和磨损加剧, 甚至导致机件不能工作而失效。

接触疲劳也是裂纹产生和扩展的破坏过程。和其他疲劳破坏一样, 接触疲劳的裂纹生成也是金属局部反复塑性变形的结果, 某些初裂纹的不断扩展, 就造成金属剥落, 按照剥落的不同形状, 可分为麻点剥落、浅层剥落和硬化层剥落三种主要类型。

二、磨损试验方法

磨损试验方法可分为现场实物试验与实验室试验两类。现场实物试验具有与实际情况一致或接近一致的特点。如将活塞环装机并使汽车行驶一定行程后, 拆机测量活塞环的开口间隙即可得磨损量。因此实物试验结果可靠性大。但这种试验所需时间长, 且外界影响因素难于掌握和分析。实验室试验虽然具有试验时间短、成本低且易于控制各种影响因素等优点, 但试验结果往往不能直接表明实验情况。因此研究重要机件的耐磨性时往往两种方法都要使用。本节主要介绍实验室的磨损试验方法。

(一) 磨损试验机

现在常用的磨损试验机有下列 7 种:

1. 滚子式磨损试验机

①作用与用途

如图 9-11 所示为滚子式磨损试验机的原理示意图, 它模拟齿轮啮合、活塞环与缸套、

火车车轮与钢轨类摩擦形式的磨损。国产 MM-2000 磨损试验机属于此类型。它可用来测定金属或非金属的磨损及摩擦系数。它主要进行滑动，亦可进行滚动，滚动带滑动。对滑、带冲击的磨损或带轴向运动的滑动磨损试验，可以进行干摩擦或有润滑摩擦的试验。

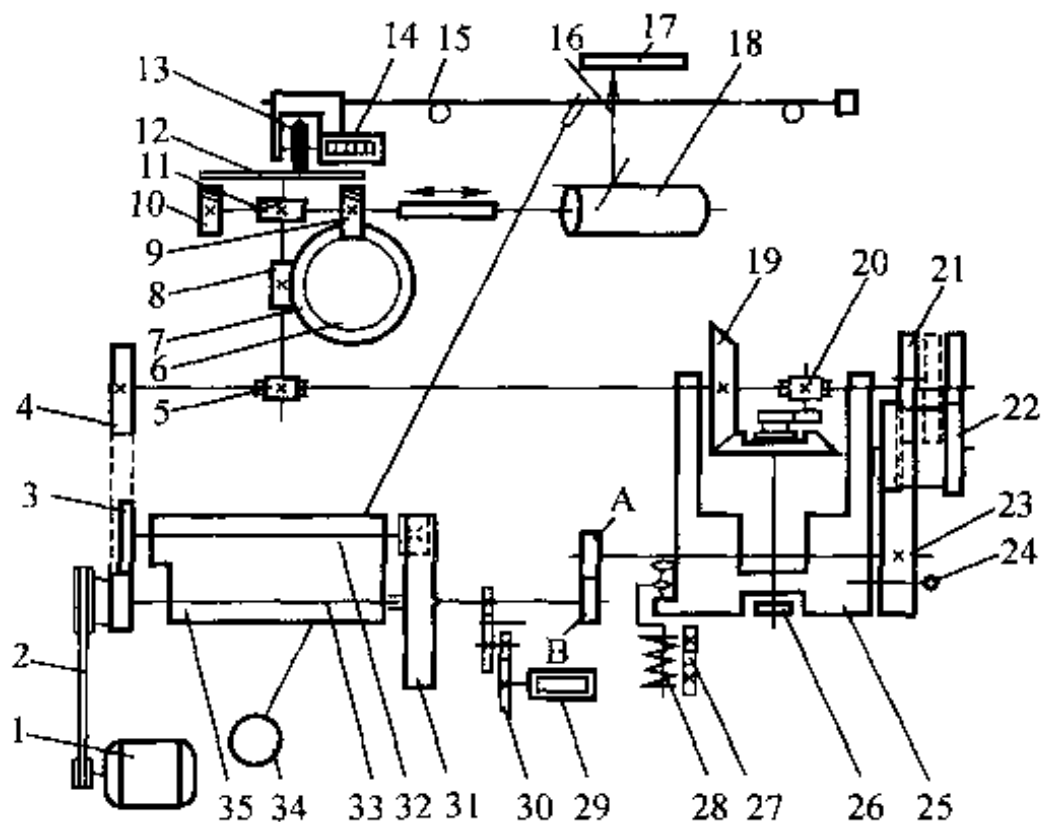
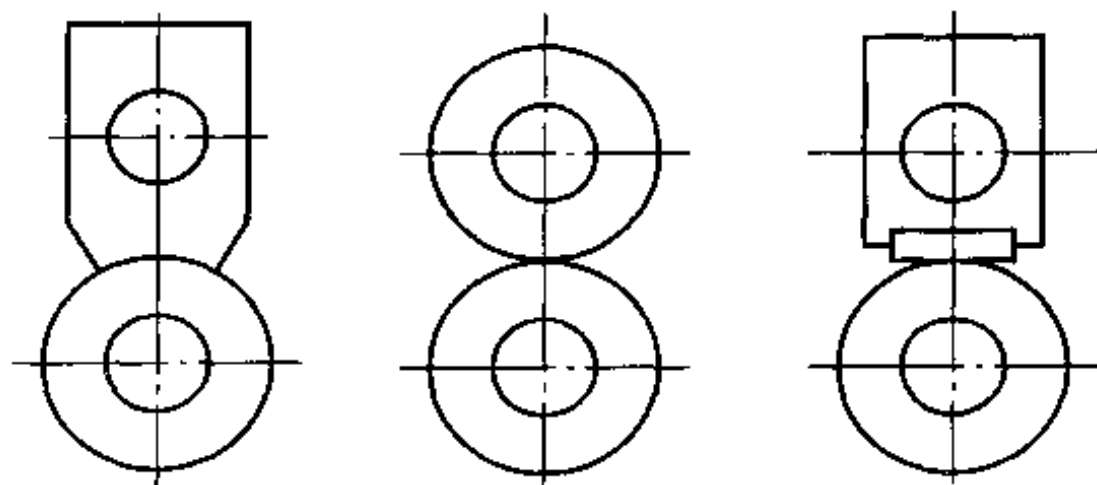


图 9-11 MM-2000 磨损试验机原理示意图

A 上试样；B-下试样；1 双速电动机；2-三角带；3、4-齿轮；5-蜗轮副；6、11-螺旋齿轮；7、8-蜗轮副；9、10-移动螺旋齿轮；12-测功圆盘；13-小滚轮；14-计数器；15-滑杆；16-指示器及记录笔；17-摩擦力矩标尺；18-记录筒；19-圆锥齿轮；20-齿轮；21-移动齿轮；22-双联齿轮；23-齿轮；24-固定销；25-摇头；26-偏心轮；27-载荷标尺；28-载荷弹簧；29-计数器；30-齿轮；31-内齿轮；32-摆动轴；33-摆架支承；34-平衡力矩重锤；35-摆架

② 试样

试样分上试样和下试样两种。下试样为圆盘形，其标准直径为 40 mm。上试样可以是圆盘形，也可是轴瓦形和长方形，见图 9-12。



(a) 上试样为轴瓦形 (b) 上试样为圆盘形 (c) 上试样为长方形

图 9-12 MM-2000 型磨损试验机试样图

③ 操作

a. 进行滑动试验时，将摇头 25 抬起，用手推内齿轮 31 外缘，使其转动而上轴不动。若内齿轮推不动或上轴转动，要检查移动齿轮 21 的位置，使其处于脱开状态，并将其固定好，插好固定销 24。

- b. 开总电源。用两只手指捏住摆架 35 上端，并启动试验机（注意：启动试验机前要严禁左手抓内齿轮，并防止袖口及头发卷入内齿轮）。
- c. 起动五分钟后，如摩擦力矩指示不在零位，需调节摆架两侧的锤块，最后销紧。调节摩擦功测定系统小滚轮 13，使其不转，接着可停机。
- d. 试样可用酒精或丙酮清洗后，烘干并称重。
- e. 安装试样。
- f. 将载荷弹簧上的大螺钉提到摇摆头 25 上。
- g. 调节摩擦力矩平衡重锤 34，并换上相应力矩标尺 17，使力矩指示在 $1/4 \sim 1/2$ 处。装上记录纸，对准零位。
- h. 调节滴油速度。
- i. 用两手指捏住摆架上端，启动试验机。
- j. 调节载荷到规定值。
- k. 读下主轴与小滚轮旁计数器上的读数并记录开机时间。
- l. 到规定转数或时间后停机。
- m. 切断润滑油，关掉总电源。
- n. 松开载荷弹簧，卸下试样。
- o. 用酒精或丙酮清洗试样，称重或测磨痕宽度。

2. 环块磨损试验机

(1) 作用与用途

环块磨损试验机有国产 MHK-5000 型磨损试验机，它是在滑动摩擦条件进行金属或非金属材料的耐磨性评定及摩擦系数的测定，亦可进行润滑剂作用的条件下负荷能力和摩擦特性的测定。MHK-5000 环块磨损试验机结构示意图见图 9-13。

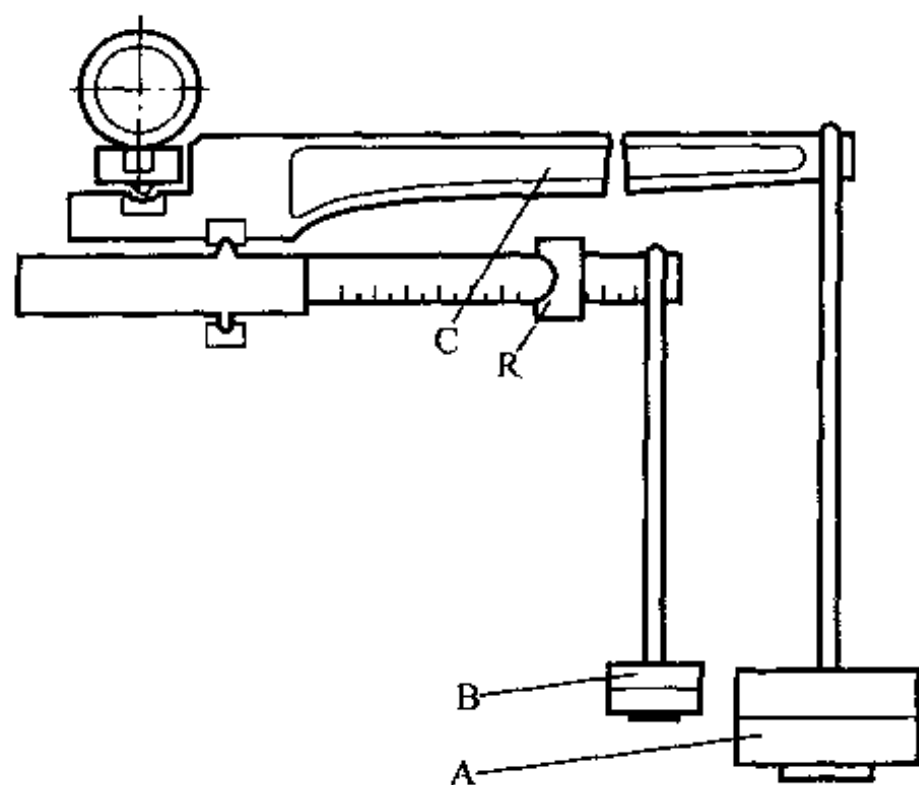


图 9-13 MHK-5000 环块磨损试验机示意图

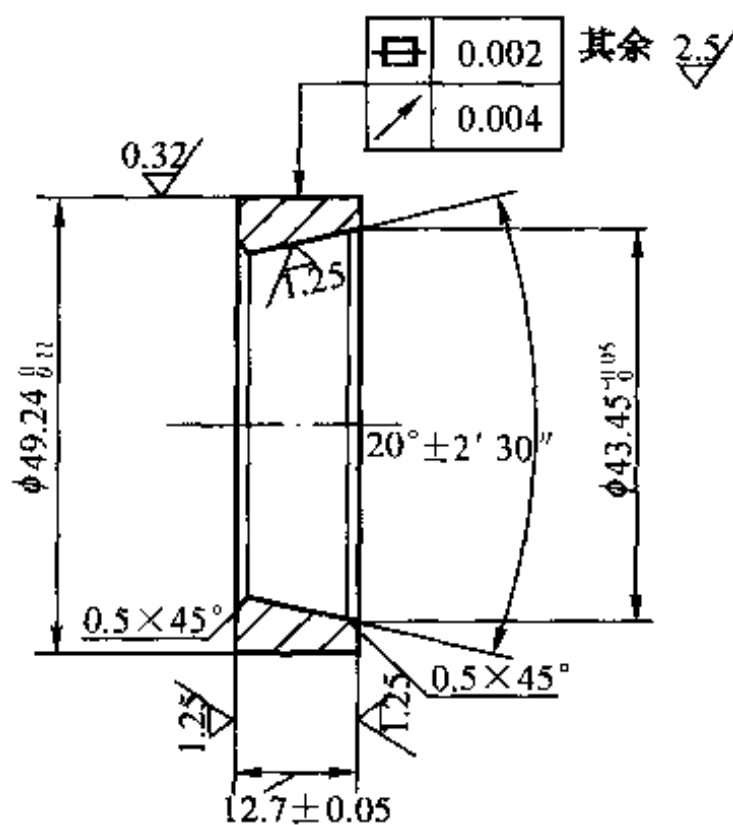


图 9-14 试环形状、尺寸和形位公差图

(2) 试样

试样由试环和试块组成磨擦偶。试环形状尺寸见图 9-14。试环材料一般要求用 GCr15 制造，热处理后，硬度为 58~62HRC。每批试环需采用相同的磨削规范加工。试块为需作耐磨性试验的材料。

(3) 试验操作要求

- a. 试样用酒精或丙酮清洗并称重。
- b. 将试环装在主轴上，试块装在试块座上。
- c. 用专用板手，按顺时针方向转动主轴，看是否有异常现象。
- d. 组装杠杆，将圆支承、摩擦力杠杆及装有试块的试块座依次装上。摩擦杠杆标尺的上游码对准零位。
- e. 合上离合器，打开三道调节阀进行所需的润滑。
- f. 按加载装置的“电源”按钮，再按“向上”按钮，当载荷砝码盘托起时，按“停止”按钮，加上砝码。
- g. 把无级调速旋钮按逆时针方向转到起始位置，按下“电源”按钮，再按“启动”按钮，将可控硅调速装置上的开关从“断”拨到“通”，顺时针方向旋无级调速旋钮，主轴开始旋转，逐渐增加到所需的试验速度。
- h. 按自动加载装置的“向下”按钮进行加载。
- i. 将摩擦力杠杆右端的称盘挂上，游码从零开始向右移。如杠杆未达到水平，将游码调回零点，在称盘上加 0.5 N 的载荷，再移动游码，如还不平衡，游码再回零，再加力，直至平衡。
- j. 试验终了或遇特殊情况时，按“急停”按钮。
- k. 将无级调速旋钮回复到起始位置。
- l. 按自动加载装置的“向上”按钮进行卸载。
- m. 依次将试样座、载荷杠杆等卸下。
- n. 取下试环及试块清洗、称重或测量磨痕。
- o. 试验结束后，关总电源。

3. 旋转圆盘—销式磨损试验机

如图 9-15 所示为旋转圆盘—销式磨损试验机结构示意图。

该试验机上试样由销子固定，下试样圆盘可旋转，试验精度较高，易实现高速，并可加套炉子，进行低温或高温摩擦与磨损性能试验。国产 MD-240 型磨损试验机是该型式的试验机。

4. 往复式摩擦、磨损试验机

如图 9-16 所示为国产 MS-3 型往复式磨损试验机的结构示意图，它适用于试验导轨、缸套、活塞环等摩擦的试验。

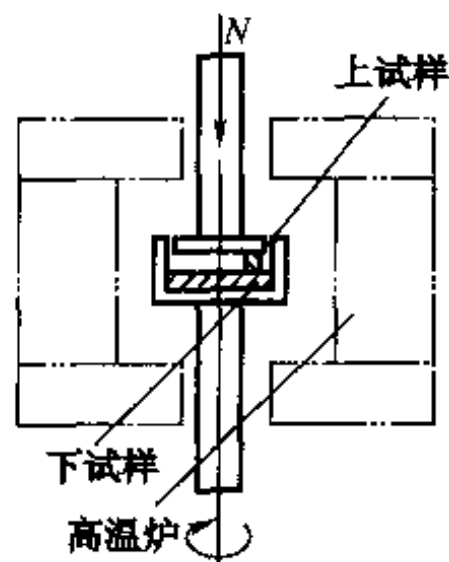


图 9-15 旋转圆盘—销式磨损试验机示意图

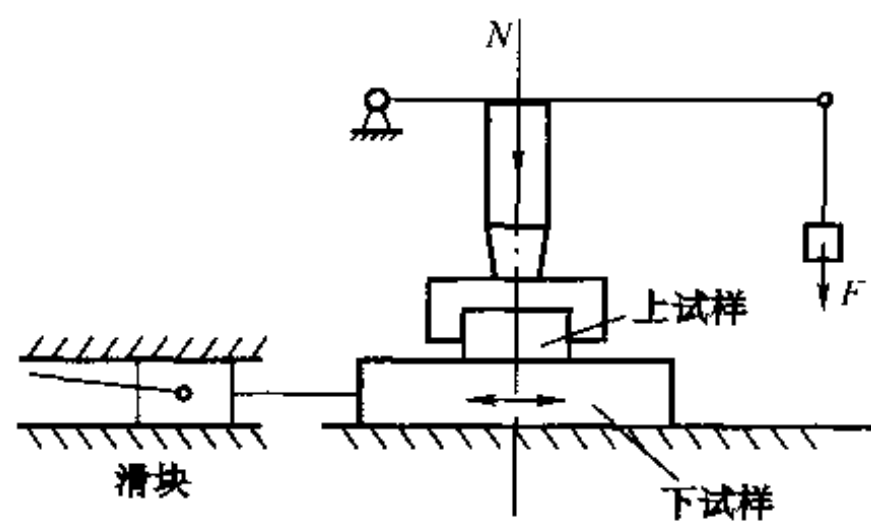


图 9-16 往复式磨损试验机示意图

5. 四球式摩擦、磨损试验机

如图 9-17 所示为国产 MQ-12 型四球式摩擦、磨损试验机结构示意图。该试验设备中三个钢球由滚道支承，试验球则支承在三球上。主动轴带动试验球自转，试验球带动支承球自转与公转。该机可用来测定摩擦系数和进行接触疲劳试验。

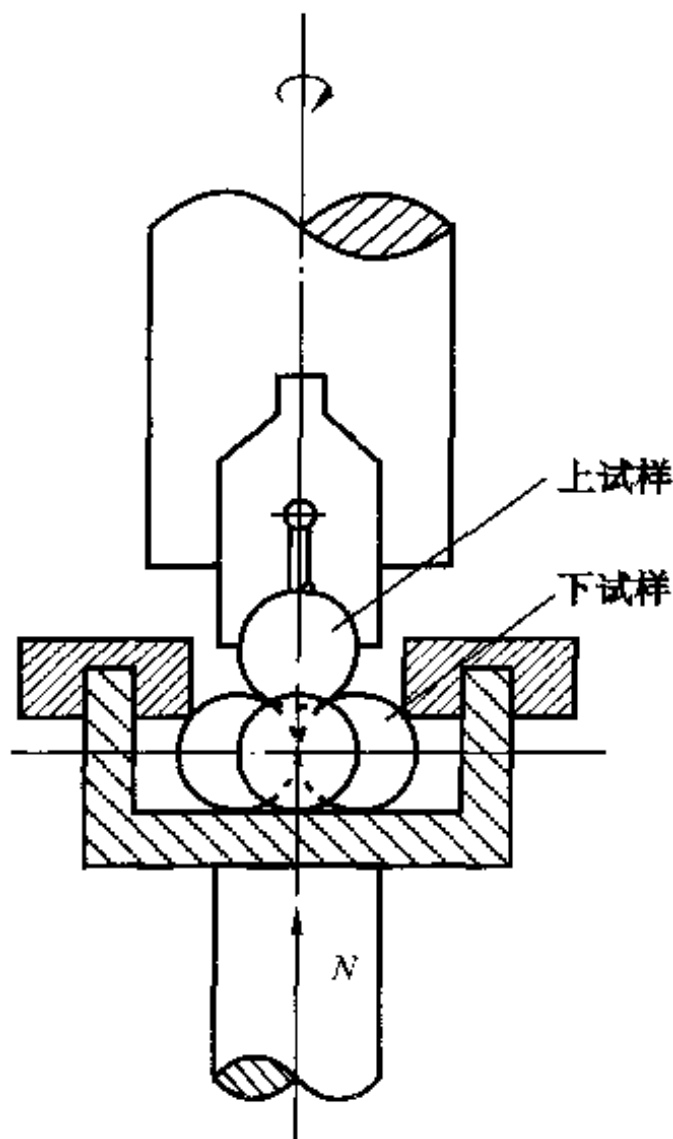


图 9-17 四球式磨损试验机示意图

6. 接触疲劳试验机

如图 9-18 所示为国产 ZYS-6 型接触疲劳试验机结构示意图，它主要用于轴承钢的接触疲劳试验。

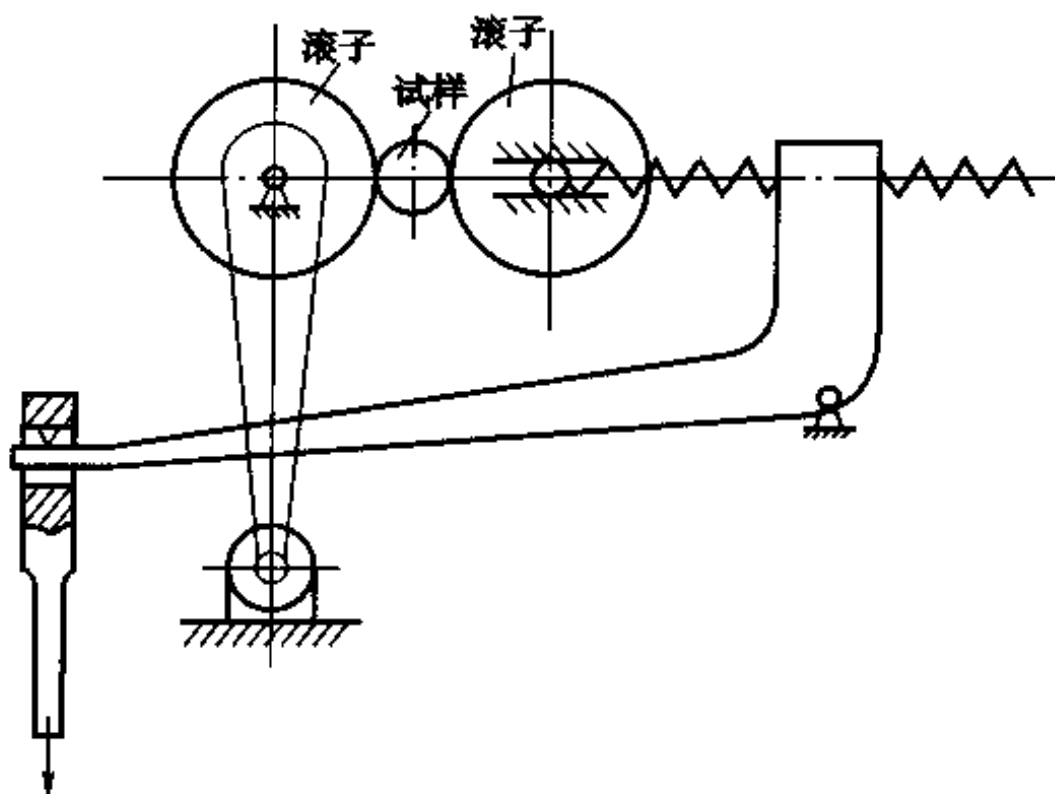


图 9—18 ZYS—6 型接触疲劳试验机示意图

7. 湿磨料磨损试验机

如图 9—19 所示为湿磨料磨损试验机结构示意图。试验机主轴带动旋转体旋转，12 片试样安装在旋转体周围。试验时试样在沙与水的混合物中旋转，可模拟犁铧砂泵以及水轮机叶片的工作条件。

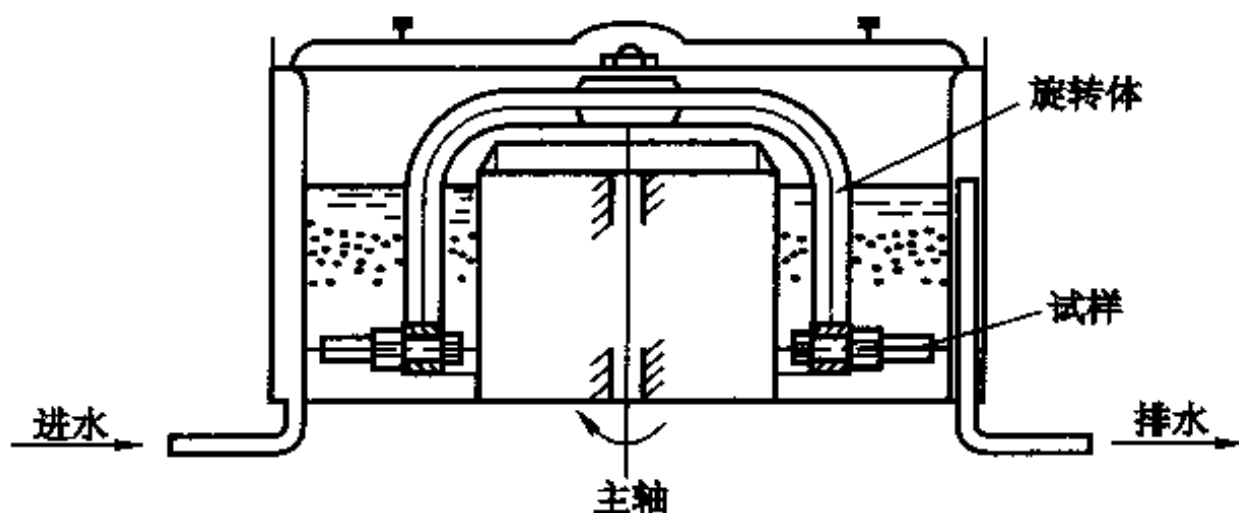


图 9—19 湿磨料磨损试验机示意图

(二) 磨损量的测量及表示方法

1. 磨损量的测量方法

磨损试验后，要确定其磨损量就一定要有最适宜的磨损量测量方法，下面就目前常用和特殊的几种方法进行介绍。

(1) 称重法

测量磨损试验前后试样重量变化，其差数即为磨损量。最常用的测量器具是感量为万分之一克的分析天平。对于一些磨损量较大或本身质量太大的试样，分析天平称量的总重量不够时，可由感量千分之一克的天平或百分之一克的工业天平代替。称量法不适用于磨损量极

微的磨损样品的测量。

(2) 测长法

使用适当精度的长度测量器对磨损试验前后的摩擦表面法向尺寸进行测量，其差数即为磨损量。测量器具可以是千分尺、指示百分表、指示千分尺、测长仪、比较仪读数显微镜、电子量仪或气动量仪。选用器具要根据磨损样品的大小、形状及磨损量大小进行。对于磨损量在 μm 级的极小样品，测量时应在恒定条件下进行。

(3) 微观轮廓法

试验前后在摩擦表面上同一部位记录其微观轮廓起伏曲线，即测定同一部位轮廓线的试验前后变化量，根据其变化量来确定磨损量。它主要用于磨损量极微小的样品。测量器具是表面粗糙度轮廓仪。

(4) 人工测量基准法

这种方法是在磨损试样表面上人为地做一个测量基准——凹痕，用试验前后测量凹痕的变化来确定磨损量。这种人工测量基准法适用于磨损量较小的磨损样品的磨损量测量。按人工基准形成方法不同又可分为三种：

① 压痕法

用维氏硬度计的金刚石压头锥体在磨损试样的摩擦表面上压出凹痕，如图 9-20 压痕法测量示意图所示。

其磨损量即是磨损试验前后压痕对角线的变化差 $d_1 - d_2$ 。对于维氏硬度压痕来说对角线长度与压痕深度又有 7:1 的关系，所以磨损量一般以压痕深度变化来衡量。如公式 (9-25) 所示。

$$\Delta h = \frac{d_1 - d_2}{7} \quad (9-25)$$

式中 Δh —— 磨损量；

d_1 —— 磨损试验前压痕对角线平均值；

d_2 —— 磨损试验后压痕对角线平均值。

② 台阶法

在磨损试样的摩擦表面边缘加工一凹陷台阶，其试验前后台阶高度的变化即为磨损量。

③ 切槽磨槽法

它是利用一个旋转的刀具或小砂轮片在磨损试样的摩擦表面上切削出一个月牙形的凹槽，如图 9-21 所示。

平面或沿圆柱母线分布的凹槽的测量计算公式如式 (9-26) 所示。

$$\Delta h = \frac{l_1 - l_2}{8r} \quad (9-26)$$

式中 Δh —— 磨损量；

l_1 —— 试验前月牙槽长度；

l_2 —— 试验后月牙槽长度；

r —— 刀具旋转半径。

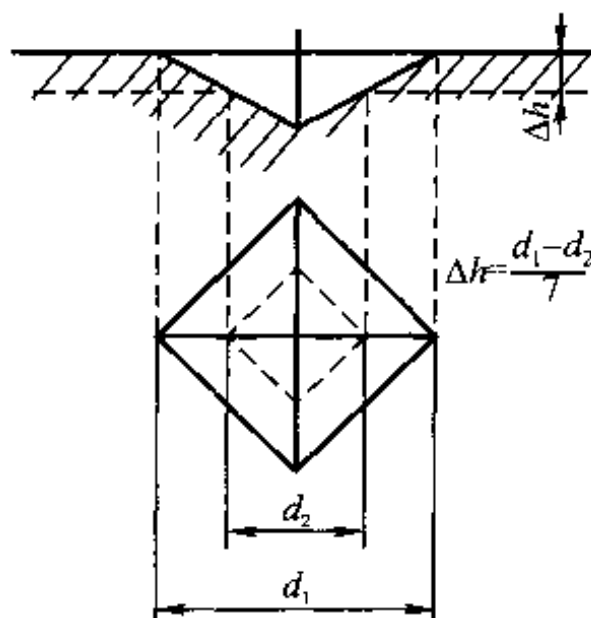


图 9-20 维氏硬度压痕法测量示意图

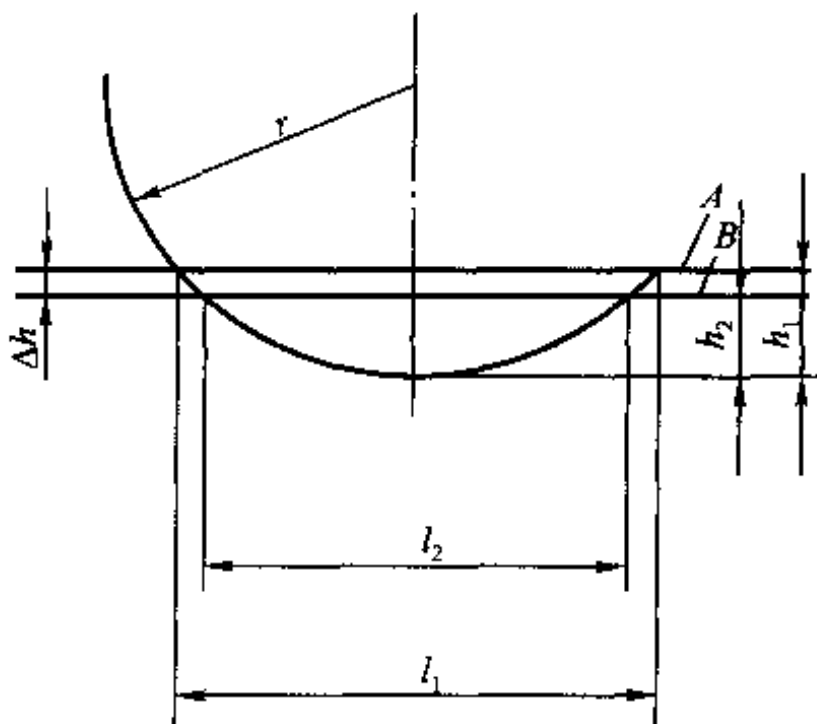
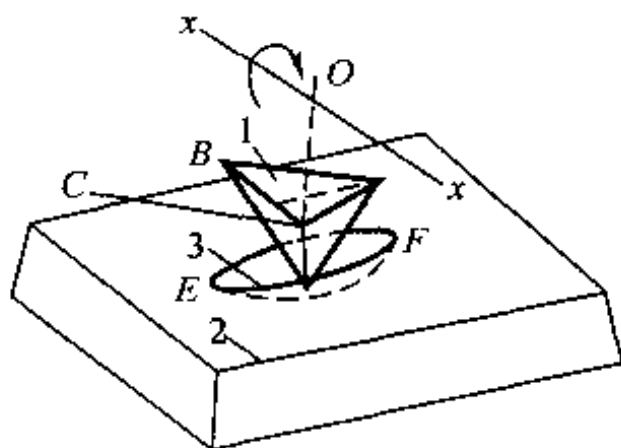


图 9-21 切槽法测定磨损量示意图

应当注意的是，这种切槽法测量磨损量，对于在试验过程中表面会发生明显塑性变形的材料以及应力很大的部位会引起严重应力集中而降低强度的不适用。

(5) 化学分析法

此法是利用化学分析来测定磨损试验摩擦偶件落在润滑剂中的磨损产物的含量，从而间接测定磨损速度。因为磨损试验时，金属磨屑不断掉入润滑剂中，润滑剂中的金属含量就不断增加，只需知道润滑剂的总量，便可每隔一定时间从油箱中取油样分析出单位体积的润滑剂的金属含量，得出每段时间的磨损速度。

(6) 放射性同位素法

此方法的基本原理是首先使磨损试验的试样带有放射性，或嵌入放射性物质，这样，在磨损过程中，落入润滑剂油中的磨损产物具有放射性，因此可以利用计数器（盖率计数器或闪烁计数器等）确定润滑油中的放射性强度。通过标定，可换算成相应的磨损量。这种方法灵敏、迅速，可测微量磨损，但需特殊的防护措施及测量仪器。

(7) 运转特性改变法

根据试样或零部件运转特性的改变，来决定磨损程度。它是一种间接而综合的判定磨损的方法。如利用密封件泄漏量的改变等。

2. 磨损量的表示法

磨损试验结果的表示方法有很多，上面所介绍的 7 种磨损试验方法其试验结果的表示方法可归纳为以下 6 种表示法：

(1) 线磨损

线磨损的物理意义为磨损试验试样摩擦表面试验前后法向尺寸的变化。

$$\text{线磨损量} = \text{试样原始尺寸} - \text{磨损后尺寸}$$

(2) 质量磨损

其物理意义为磨损试验前后试样质量的变化。其表示式为：

$$\text{质量磨损量} = \text{试样原始质量} - \text{磨损后试样质量}$$

(3) 体积磨损

其物理意义为磨损试验前后试样的体积变化。其表示式为：

$$\text{体积磨损量} = \frac{\text{质量磨损量}}{\text{密度}}$$

(4) 磨损率

其物理意义为磨损试验单位时间试样的质量磨损量或单位摩擦距离的质量磨损量。其表示式为：

$$\text{磨损率} = \frac{\text{质量磨损量}}{\text{时间}}, \text{磨损率} = \frac{\text{质量磨损量}}{\text{摩擦距离}}$$

(5) 磨损系数

其物理意义为磨损试验后试验材料与对比材料质量磨损量之比。其表示式为：

$$\text{磨损系数} = \frac{\text{试验材料的质量磨损量}}{\text{对比材料的质量磨损量}}$$

(6) 耐磨性系数

其物理意义为磨损试验后对比材料与试验材料质量磨损量之比，即磨损系数的倒数。其表示式为：

$$\text{耐磨性系数} = \frac{\text{对比材料的质量磨损量}}{\text{试验材料的质量磨损量}} = \frac{1}{\text{磨损系数}}$$

第四节 高分子材料磨损

高分子材料的耐磨损性是一个复杂的课题。但可以肯定，磨损与摩擦力、载荷和实际接触的面积有密切关系。一般地说，以上三种因素中任何一种因素增加，都会使磨损或磨耗增加。材料的硬度对磨损特性有明显的影响，耐磨性还受其他因素影响，例如材料的性能、回弹性和所加入的填料或添加剂的类型与用量。磨损定义为：物体相对运动时相互接触表面的物质不断损失或产生残余变形。

高分子材料磨损一般分为滑动摩擦磨损和滚动磨损两种。

一、滑动摩擦磨损

材料按规定要求制成试样，装在固定的夹具上，在磨损试验机上进行与圆环对在规定转速和规定时间内试验，试验完毕对试样磨痕宽度或体积磨损进行测量。

1. 试样要求

①试样的尺寸见图 9-22；

②试样表面平整，无气泡、裂纹、分层、明显杂质和加工损伤等缺陷。每组试样不少于 3 个；

③试样应按 GB 2918 进行状态调节，温度为 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，湿度为 $(50 \pm 10)\%$ 。

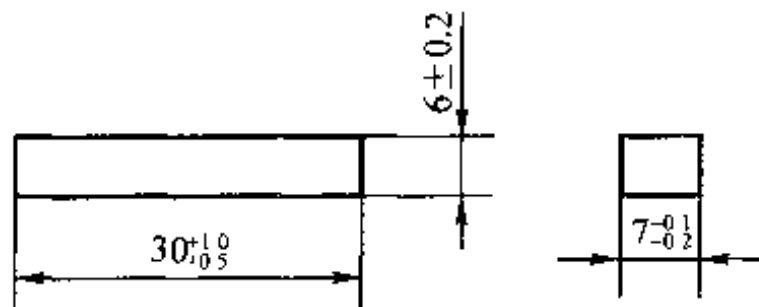


图 9-22 试样尺寸

2. 试验设备

①传动系统用来带动圆环以给定的转速旋转，精确到 5% 以内，并要求圆环安装部位轴的径向跳动小于 0.01 mm；

②加载系统对试样和圆环可施加法向力，精确到 5% 以内；

③测定和记录摩擦力矩系统，精确到 5% 以内；

④记录圆环转数的计数器或记时器，精确到 1% 以内；

⑤圆环的材质对磨损试验结果影响很大。所以圆环一般采用外径为 (40 ± 0.05) mm，材料为 45 号钢，整体淬火，热处理 HRC 40~45，外圆表面粗糙度 R_a 为 0.8，倒角处均为 $0.5 \times 45^\circ$ ，内、外圆表面同心度偏差小于 0.01 mm 的试样。圆环可以反复使用，每次试验后，需要重新磨削，当外径小于 36 mm 就不能再用。作仲裁试验时，必须用外径为 40 mm 的圆环。

3. 试验步骤

①试验环境温度为 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；

②试样经状态调节后用感量为 0.1 mg 的分析天平称取其质量 (m_1)；

③把试样装进夹具，摩擦面用角尺校正并使它与圆环的交线处于试样正中。装好摩擦力矩记录纸，开机校好零点；

④用乙醇、丙酮等溶剂仔细消除试样和圆环上的油污；

⑤保持上转轴静止，下转轴以 200 r/min 的转速转动，摩擦副做滑动磨擦；

⑥平稳地加荷至 20 kg（或规定负荷）；

⑦对磨 2 h 后，停机卸负荷，取下试样和圆环，清理试样表面后，用精度不低于 0.02 mm 的量具测量磨痕宽度，或在试验环境下存放 1 h 后称取试样质量 (m_2)；

⑧读取摩擦力矩值。

4. 计算结果

单个试样的结果计算：

以磨痕宽度来表征磨损量。测量三点，取平均值，各点之差不得大于 1 mm。

以体积磨损表示磨损量时，可用式 (9-27) 计算。

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho} \quad (9-27)$$

式中 m_1 —— 试验前试样的质量 (g)；

m_2 —— 试验后试样的质量 (g)；

ρ —— 试样在 23°C 时的密度 (g/cm^3)。

摩擦系数 μ 可用式 (9-28) 计算，结果取二位有效数字。

$$\mu = \frac{M}{r \cdot F} \quad (9-28)$$

式中 M —— 趋向稳定的摩擦力矩 ($\text{kg} \cdot \text{m}$)；

F —— 试验负荷 (kg)；

r —— 圆环半径 (cm)。

二、滚动磨损

使材料产生磨损所用的橡胶砂轮在规定负荷与圆盘转数的条件下,使试样产生磨损,然后测其磨损量的试验。

1. 试样要求

①试样应厚度均匀,表面光滑、平整、无气泡、无机械损伤及杂质等;

②取直径为 $(100\sim 108)$ mm的圆形或边长为100 mm的正方形的试样,在中心开一直径为6.5 mm的孔,厚度为 $(0.5\sim 5)$ mm。推荐试样用直径为100 mm、厚度为2 mm的圆片。每组试样不少于5个;

③试验前将试样表面用无水乙醇等溶剂除去污垢杂质,按GB 2918的条件处理不少于24 h。

2. 滚动磨损试验仪

滚动磨损试验最常用的仪器为GM-II滚动磨损试验仪和GM-17磨轮。

滚动磨损试验仪由转动圆盘、磨轮、加荷装置、磨损粉吸入装置、修磨机等组成。转动圆盘的转速为 (60 ± 2) r/min。转动圆盘的上端面跳动应在0.1 mm以下。磨轮用120号棕刚玉与丁苯胶等原料按一定配比制成橡胶砂轮,其外径为 $50^{+0.10}_{-0.05}$ mm(使用极限为45 mm),厚度为 (13 ± 0.2) mm,硬度为邵氏硬度 33 ± 3 ,并要采用标准试片进行试验,标准试片质量磨损要达到 (20 ± 3) mg。加荷装置应带有质量为 (250 ± 3) g及 (750 ± 3) g的砝码各两只。两磨轮安装臂的有效负荷各为 (2.45 ± 0.05) N。磨损粉吸入装置采用吸尘器,用软管与试验仪本体相连接。修磨机用于整修磨轮外圆。

3. 试验步骤

(1) 将一副符合规定的磨轮同时在修磨机上用金刚石进行修整后,分别固定在安装轴上,各加上9.8 N的负荷,磨轮安装位置见图9-23。

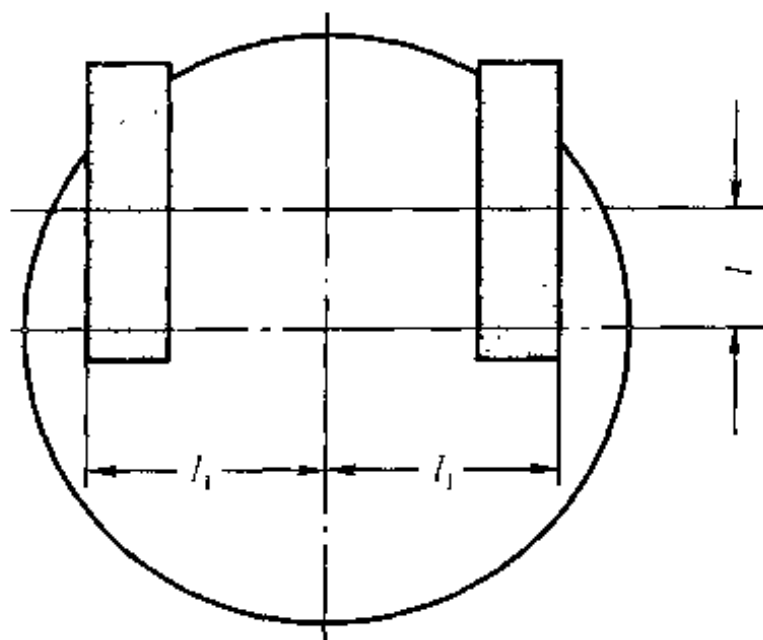


图9-23 圆盘与磨轮安装位置

l_1 、 l_2 —转动圆盘轴中心线与磨轮安装面之间距离为 (39.5 ± 0.2) mm;

l —转动圆盘轴中心线与磨轮轴中心线之间的距离为 (20.0 ± 0.2) mm

(2) 将一张直径为 100 mm 的 150 号水砂纸在中心开一直径为 6.5 mm 的孔并装在圆盘上, 缓慢地放下磨轮, 开动圆盘和吸尘器, 运转 20 r 修整磨轮, 经修整后的磨轮表面不得用手接触。

(3) 试样经状态调节后用感量为 0.1 mg 的分析天平称取其质量。

(4) 将试样安装在仪器的圆盘上。

(5) 将磨损粉吸入管放下, 并调节吸入孔与试样之间的距离到约为 3 mm。

(6) 将磨轮缓慢地放在试样上, 起动圆盘和吸尘器, 并调节风量使磨损粉被吸入吸尘器内。

(7) 每一试样连续试验 1000 r, 取出试片用清洁的布擦去试片上的磨损粉等杂质, 称取试样质量。

4. 结果计算和表示

(1) 质量磨损值按式 (9-29) 计算。

$$m_r = m_1 - m_2 \quad (9-29)$$

式中 m_r ——质量磨损 (mg);

m_1 ——磨前质量 (mg);

m_2 ——磨后质量 (mg)。

(2) 体积磨损值按式 (9-30) 计算。

$$V_r = \frac{m_r}{\rho} \quad (9-30)$$

式中 V_r ——体积磨损 (mm^3);

ρ ——试样的密度 (mg/mm^3)。

(3) 试验结果以一组试样的算术平均值表示, 取三位有效数字。

思 考 题

1. 金属材料的导电性一般用哪些参数表示? 其物理意义是什么?
2. 高分子材料进行介电强度试验时, 其测量方法有几种? 升压法试验时如何确定其介电强度值?
3. 单、双臂电桥工作原理是什么?
4. 磨损可分为几个阶段? 试用图表示。
5. MM-2000 磨损试验机可进行哪几种摩擦形式的磨损试验? 它的试样形式和要求是什么? 操作注意事项是什么?
6. 测定金属磨损的方法有哪些? 这些方法的原理是什么?
7. 如果 A 材料的质量磨损量为 25 mg, 对比材料为 42 mg。试求 A 材料的耐磨性系数及磨损系数。
8. 耐磨性系数及磨损系数的含义是什么? 它们之间的关系是什么?
9. 高分子材料磨损试验是哪两种? 它们分别对试样有哪些要求?

第十章 金属高温试验

第一节 概 述

一、高温下金属材料的力学性能表现

在机械工业中，很多构件是在高温条件下工作的，如高压锅炉、汽轮机、燃汽轮机、航空发动机等，最经常遇见的如汽车的活塞也是在一定高的温度下工作的。这些金属材料构件在高温下所表现出来的力学性能和室温时的性能有很大的差别，因为金属材料在高温长期应力作用下，其内部组织会发生显著变化，随着组织的变化，性能也会改变。

1. 高温条件下金属材料表现的特殊现象

钢材在高温长期应力作用下会出现蠕变、松弛、持久断裂、氧化和腐蚀及热疲劳损坏等。这些特殊现象在常温状态下是没有或不显著的，只有在高温下才显示出来。

2. 高温条件下钢的强度、塑性、韧性指标的变化

在高温条件下，随着温度的增加，钢的强度、塑性、韧性指标是变化的，试验结果表明，20号钢在不同温度下强度、塑性、韧性是按如下规律变化的：

(1) 抗拉强度 σ_m 随着温度的变化

20号钢除了在200℃附近由于出现“兰脆现象”使强度 σ_m 比室温下有所增高外，均随温度的上升而下降。

(2) 塑性指标 δ 随温度的变化

20号钢延伸率 δ 除在200℃下因出现“兰脆现象”而有所降低外，在高于300℃时均是延伸率 δ 随温度上升而增加。

(3) 在高温下钢的强度 σ_m 随负荷持续的时间而变化

在高温下钢的强度 σ_m 也会随着负荷持续时间的增长而降低，如20号钢的强度为

$$\sigma_m = 330 \text{ N/mm}^2 \text{ (450 } ^\circ\text{C 的瞬时强度)}$$

$$\sigma_{300 \text{ h}} = 230 \text{ N/mm}^2 \text{ (450 } ^\circ\text{C 条件下持续 300 h 的持久强度)}$$

$$\sigma_{1000 \text{ h}} = 120 \text{ N/mm}^2 \text{ (450 } ^\circ\text{C 条件下持续 1000 h 的持久强度)}$$

上面实验数据说明，钢的强度在同样温度下，随着负荷保持时间的增长而降低。

二、高温下金属材料力学性能试验内容

处于高温状态下工作的金属材料不能用一般的应力—应变关系加以评定，还必须考虑温度和时间这两个因素的作用，来研究在一定温度下应力、应变和时间之间的关系。

第二节 金属蠕变试验

一、蠕变现象及其实际意义

古代人们就发现，铅放在垂直的位置，有向下缓慢流动的现象，悬挂的铝管子有自身伸长的现象。这些蠕变现象由于当时条件限制没有被人们所重视。1905年菲利溥斯发表了橡胶、玻璃及金属丝在恒定的拉应力作用下有缓慢延伸的实验结果，并把伸长值与恒力作用时间用数学式表达了出来。

1910年后，安德雷德等人发表了金属和合金的蠕变、变形的研究报告，于是，更多的学者发表了他们关于蠕变的研究成果。

狄根逊等人的研究结果证明了在相当长的时间内承受应力时（特别是在高温下），材料在低于室温或试验温度下的 σ_m 时也会发生破坏，甚至更低的应力下也会发生破坏。

对蠕变的研究对长期在高温条件下工作的机械零件和构件具有特别重要的意义。比如锅炉、涡轮发动机、内燃机、火箭及汽轮机等，其热机械构件的选材和设计，都必须考虑材料的蠕变性能，否则将发生破坏性事故。因此，蠕变性能是高温机械设计的主要依据之一。

高精度的蠕变试验是为金属材料提供准确可靠的蠕变性能的重要手段。蠕变试验不仅为高温机械的设计和选材提供可靠的材料依据，同时也为新高温合金的研究提供了可靠的依据。

二、蠕变定义及蠕变曲线

1. 蠕变定义

金属在一定温度和应力作用下，随着时间的增加慢慢地发生塑性变形的现象称为蠕变。

2. 蠕变的变形规律及其特征——蠕变曲线

蠕变变形的基本规律可用蠕变曲线来描述，蠕变曲线表明了温度、应力、变形量和时间之间的关系。

蠕变曲线是金属在一定温度和应力作用下，伸长率随时间而变化的曲线。

蠕变曲线各段的物理意义如图10-1所示，此曲线为典型的蠕变曲线，它可分4个部分和3个阶段，即：

(1) Oa 段

开始加载部分为 Oa 阶段，它是加载荷时的瞬间伸长，其应变为 ϵ_0 。这一形变是由外负荷引起的形变过程。

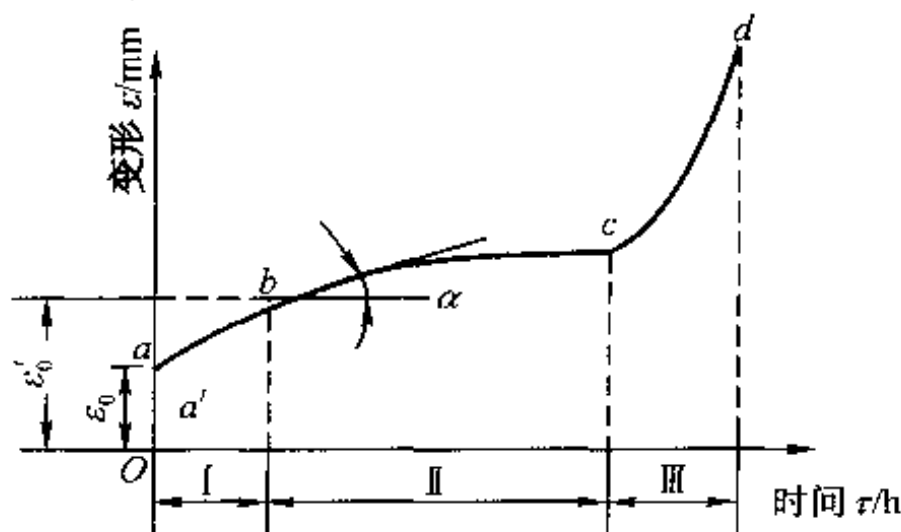


图 10-1 典型的金属蠕变曲线

(2) *a b c d* 曲线

a b c d 曲线称为蠕变曲线，其中任意一点的斜率表示该点的蠕变速度。就以 *a b c d* 曲线来分，又可分 *a b*，*b c* 和 *c d* 这 3 段，称蠕变的 3 个阶段。

(3) *a b* 段——第Ⅰ阶段

蠕变第Ⅰ阶段也叫减速蠕变阶段，在这一阶段，开始时蠕变速度很大，随着时间的延长，蠕变速度逐渐减小，到 *b* 点蠕变速度达到最小值。

(4) *b c* 段——第Ⅱ阶段

称蠕变第Ⅱ阶段，也叫恒速蠕变阶段，这一阶段的特点是蠕变的速度几乎保持不变，也叫稳定蠕变阶段，一般指的蠕变速度就是以这一阶段曲线的斜率 $\tan\alpha$ 表示，此时的蠕变速度 $\dot{\epsilon}$ 称为最小蠕变速度。金属材料的设计、使用、蠕变变形的测量，都是依据蠕变变形的第二阶段进行的，故这个阶段的蠕变速度就显得非常重要。

(5) *c d* 段——第Ⅲ阶段

称蠕变第Ⅲ阶段，这一阶段的特点是，随着时间的增长，蠕变速度逐渐增加，直至 *d* 点断裂，主要特征是试样出现缩颈，或材料内部产生空洞、裂纹等，从而使蠕变速度激增。

蠕变第Ⅲ阶段可提供蠕变断裂时间 τ_r 和总的变形量 ϵ_r 。

3. 蠕变曲线特点

如图 10-2 和图 10-3 所示，若改变温度和应力，蠕变曲线的形状就将改变，从图中可看出，温度恒定，改变应力或应力恒定，改变温度，对曲线的影响是等效的，其蠕变曲线的形状有下列特点：

(1) 曲线仍然保持三个阶段的特点

(2) 各阶段的持续时间不同

若应力大或温度高，则第Ⅱ阶段持续时间很短，甚至消失，此时仅由第Ⅰ和第Ⅲ阶段组成。

若应力或温度低，则第Ⅱ阶段很长，有时甚至没有第Ⅲ阶段。

(3) 蠕变断裂抗力指标变化的情况

在大应力高温度的作用下，蠕变断裂抗力指标 ϵ 大， τ_r 短， ϵ_r 大；在小应力低温度的作用下，蠕变断裂抗力指标 ϵ 小， τ_r 长， ϵ_r 小。

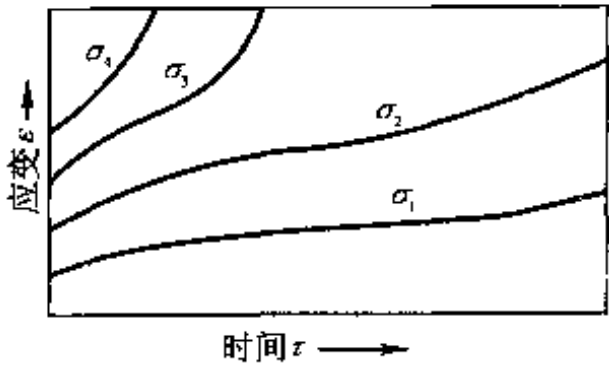


图 10-2 温度恒定的条件下应力对材料蠕变曲线的影响
($\sigma_4 > \sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$)

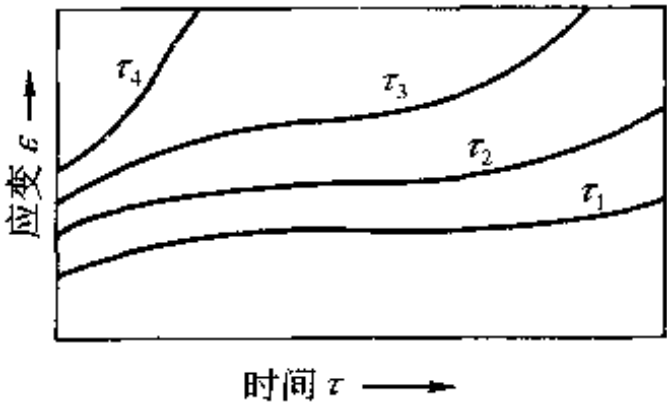


图 10-3 应力恒定条件下温度对蠕变曲线的影响
($\tau_4 > \tau_3 > \tau_2 > \tau_1$)

4. 蠕变速度

所谓蠕变速度是指单位时间内单位长度的变形量。单位长度变形也称相对变形或应变，以百分号（%）表示，时间单位以小时（h），所以蠕变速度的单位为 $\% \cdot h^{-1}$ ，如图 10-4 所示的蠕变曲线若要确定第 II 阶段的蠕变速度，可由第 II 阶段的曲线上取时间由 τ_1 到 τ_2 的一段。

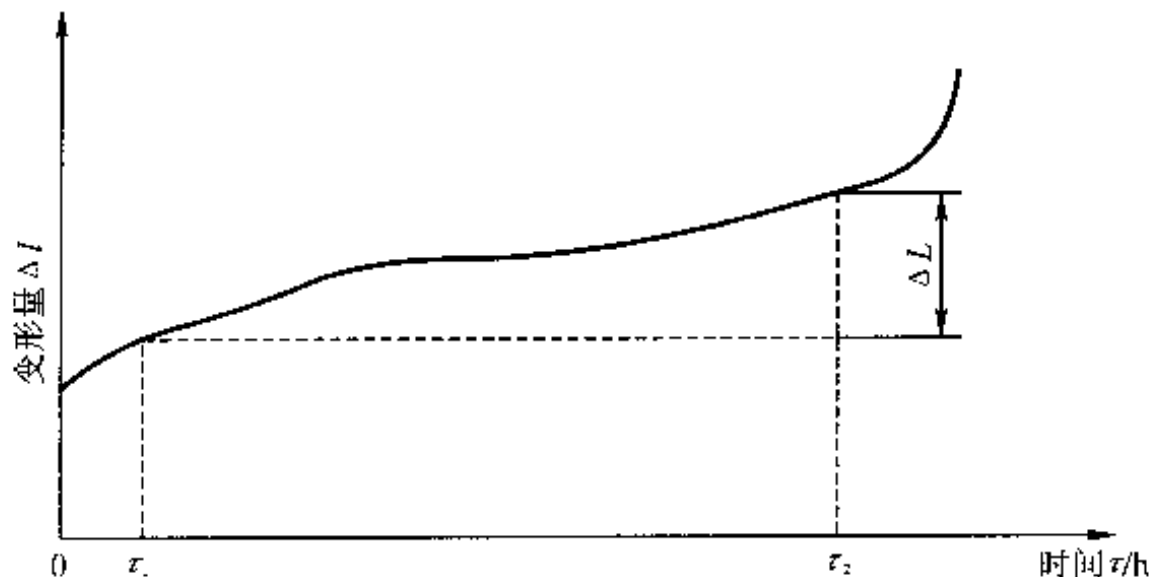


图 10-4 蠕变速度求法曲线图

设这段时间内变形增量为 Δl ，用千分表或差动变压器测量（单位为 μm ），试样计算长度为 100 mm，则蠕变速度为

$$v = \frac{\Delta l}{1000} \times \frac{l}{100} \times \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \times 100\% \quad (10-1)$$

式中 v —— 蠕变速度 ($\% \cdot h^{-1}$)；
 Δl —— τ_1 至 τ_2 时间内的蠕变变形量 (μm)。

三、蠕变强度——蠕变极限

工程上需要的是通过蠕变试验来确定金属材料的蠕变强度，而不是蠕变曲线第 II 阶段的蠕变速度。

1. 蠕变强度的定义和应用

蠕变强度是指在一定温度的条件下，蠕变曲线第 II 阶段蠕变速率达到某规定值时的最大应力。蠕变强度也称为条件蠕变极限——蠕变极限。有的行业，如电站、化工等行业所用金属材料的蠕变强度定为，在一定温度条件下，蠕变第 II 阶段，蠕变速度达到 $10^{-5} \% \cdot h^{-1}$ 的应力为蠕变强度。也就是说，金属零部件运行期限为 $10^5 h$ 。在实际使用的应力下，第 I 阶段蠕变变形是很小的，这样，因前面两种定义得出的金属材料蠕变强度相差很小，因第 II 阶段蠕变速度确定蠕变强度不但使用很方便。而且试验时间可以短一些。

2. 蠕变强度——蠕变极限的表示和求法

(1) 蠕变强度——蠕变极限的表示法

按 GB/T 2039 标准的规定和上面第 I 部分的介绍, 用 $\sigma'_{\epsilon/\tau}$ 或 $\sigma'_{\epsilon p/\tau}$ 及 σ'_t 上标 t 为试验温度, 下标 $\epsilon t/\tau$ 为单位时间蠕变总伸长率, $\epsilon p/\tau$ 为单位时蠕变塑性伸长率, v 为规定的蠕变速度, 单位表示为 $\% \cdot h^{-1}$ 。

蠕变极限有蠕变规定速度的应力和蠕变规定变形速率的应力两种表示法。如在稳定的温度下使试样产生规定的蠕变速度的应力为 $\sigma'_{1.10^{-5}} = 60 \text{ N/mm}^2$, 它表示: 在 600°C 的温度条件下, 产生规定蠕变速度为 $1.10^{-5}/h$ 的最大应力值。蠕变极限为 60 N/mm^2 。在电站锅炉、汽轮机和燃气轮机的制造中, 材料蠕变极限以一定温度下的蠕变速度应力来表示。

另一种表示法是给定温度下, 使试样产生一定蠕变变形量的应力。例如: $\sigma'_{1/100\ 000} = 100 \text{ N/mm}^2$, 它表示在温度为 500°C 的条件下, 经 10 万 h 后应变量为 1% 的蠕变, 应力值为 100 N/mm^2 。蠕变速度和蠕变量表示法的值之间相差甚小, 可忽略不计。

(2) 蠕变极限的求法

在固定温度下, 第 II 阶段蠕变速度与试验应力的关系见式 (10-2)。

$$v = K\sigma^n \quad (10-2)$$

将式 (10-2) 两边取对数得到 $\lg v = \lg K + n \lg \sigma$, 显然在双对数坐标上, 第 II 阶段蠕变速度与应力成直线关系。有了这根直线就可在图上求出任意规定的蠕变速度下的蠕变极限。如图 10-5 的 (a) 和 (b) 所示。

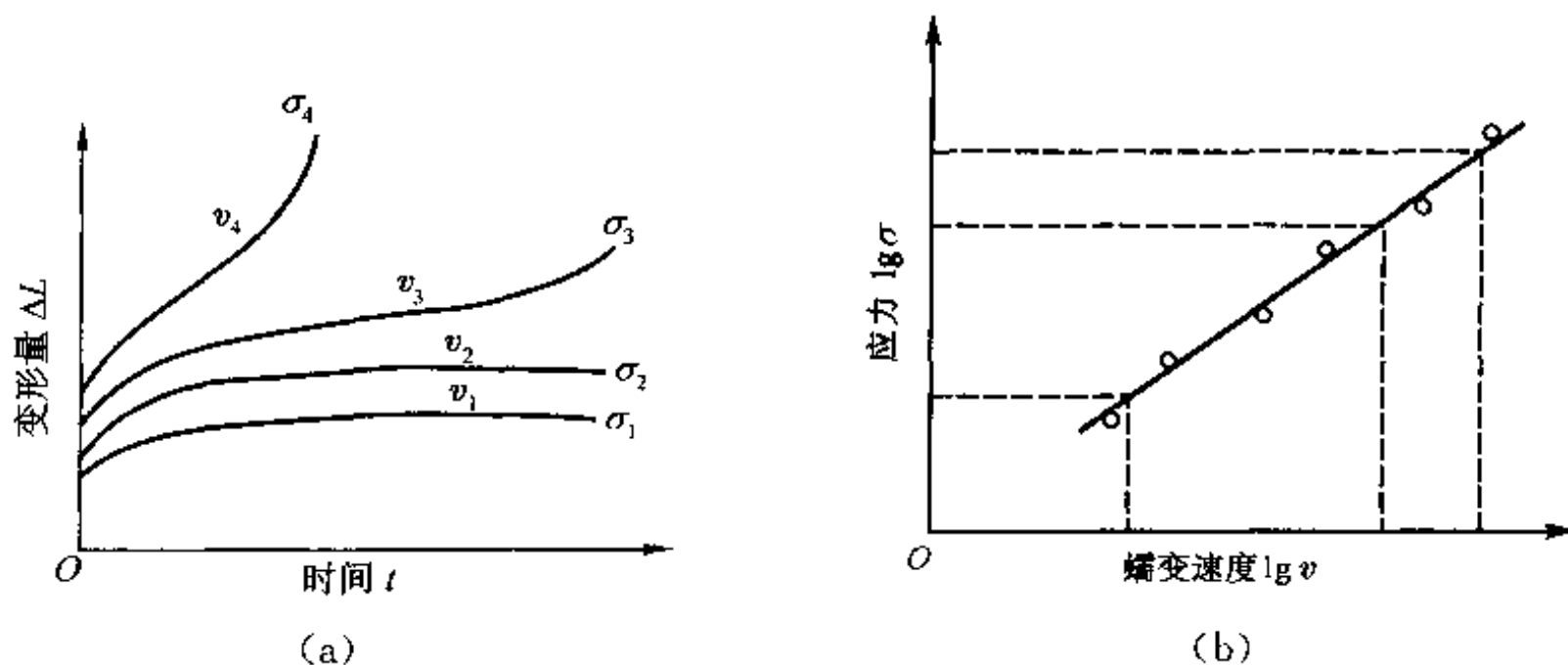


图 10-5 蠕变极限求法曲线图

根据曲线图求任意规定的蠕变速度下的蠕变极限的步骤如下:

① 在同一温度下 (一般为材料的工作高温), 以不同的应力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$ 分别进行蠕变试验, 并绘出蠕变曲线, 计算出各应力下对应好的第 II 阶段蠕变速度 v_1, v_2, v_3, \dots ;

② 在双对数坐标纸上, 以应力为纵坐标, 蠕变速度为横坐标, 以上述应力及对应的蠕变速度描点;

③ 用作图法, 将双对数坐标纸上的点连成直线。考虑到试验点可能出现分散现象, 用直尺直接连线会引起人为误差, 也可用最小二乘法依试验数据计算出直线方程, 而得出的直线即是试验点的最佳拟合点;

④ 直线上蠕变速度为 $10^{-5} \% \cdot h^{-1}$ 所对应的力即为规定蠕变速度 $10^{-5} \% \cdot h^{-1}$ 的蠕变极限。

四、蠕变试验方法

蠕变试验方法有现行标准 GB/T 2039。

1. 试样制备及要求

蠕变试样与一般拉伸试样一样分成夹头部分和工作部分。根据蠕变试验机拉杆夹头的形式, 试样夹头部分可作成螺纹或台阶式, 现行我国蠕变试验方法标准 GB/T 2039 推荐如图 10-6 所示的圆形螺纹类夹头试样和图 10-7 所示的矩形试板状销孔连接试样。

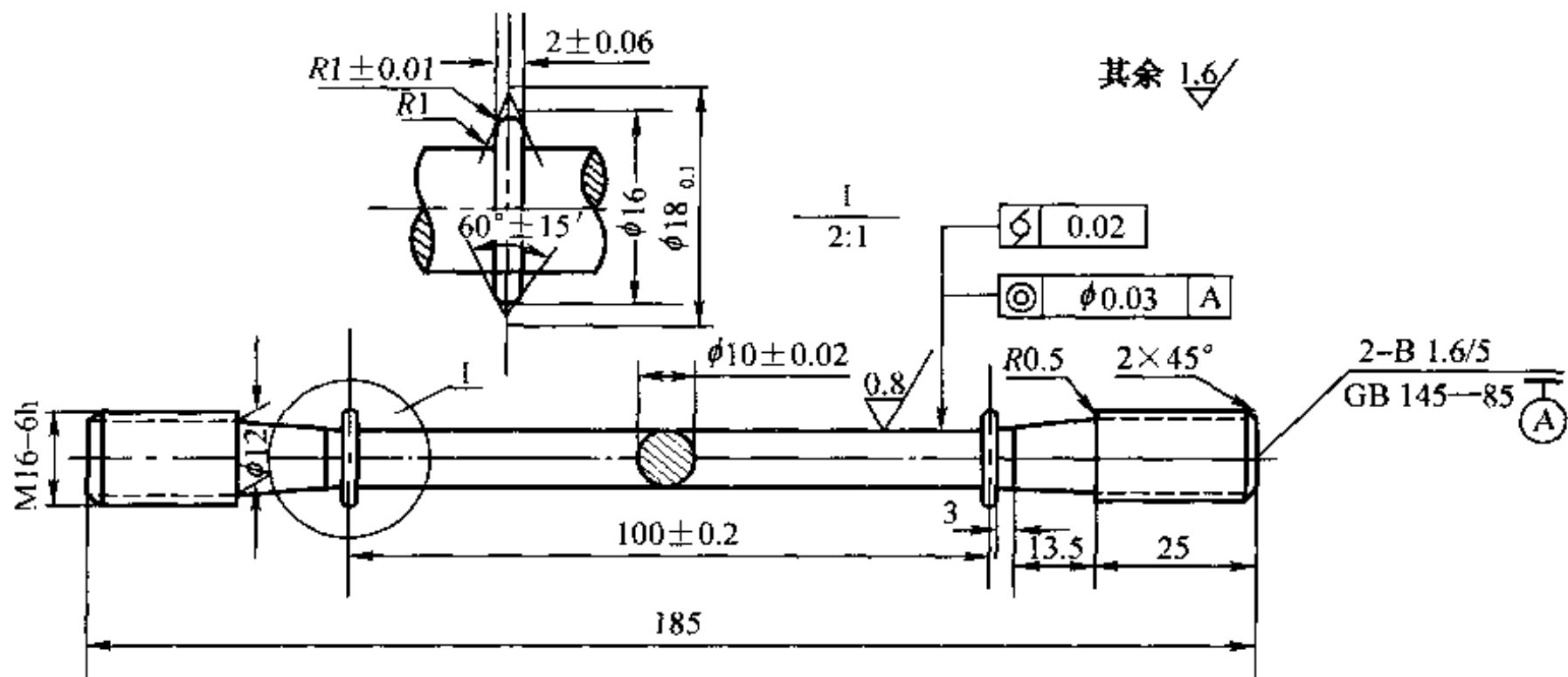


图 10-6 圆形标准蠕变试样图

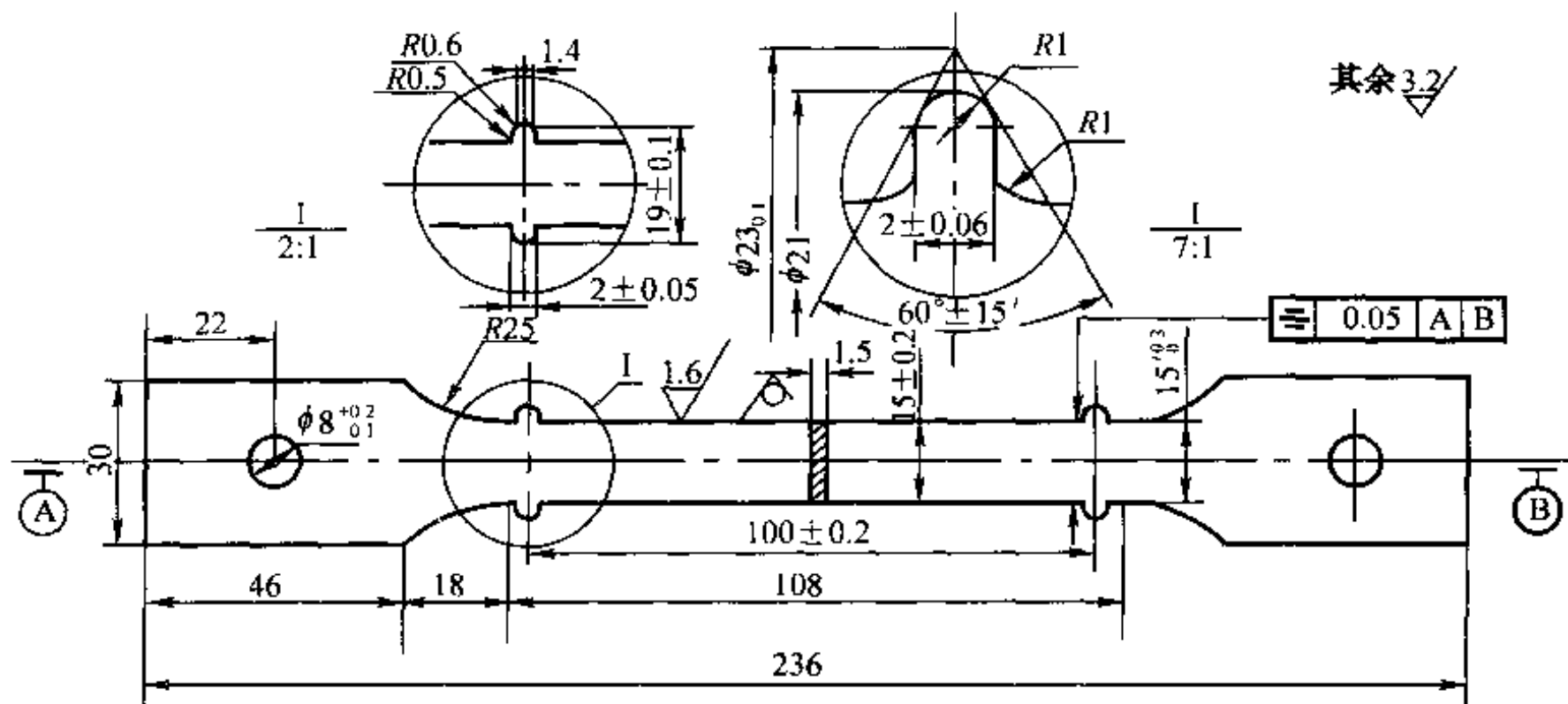


图 10-7 矩形模横截面标准蠕变试样图

蠕变圆试样的工作直径为 5~10 mm，原始计算长度为 $5d_0$ 或 $10d_0$ ，蠕变试样厚度一般为 1~5 mm，宽 6~15 mm。

2. 蠕变试验测试技术

(1) 蠕变极限的短时测定法

某些耐热材料，如锅炉透平等，使用时间在 10 年以上，在试验室中，这样长时间的蠕变试验是无法进行的。如何用较短的试验时间来推导长期的结果？这就是蠕变极限短时试验法要解决的问题。

(2) 蠕变测试的条件要求

①蠕变试验是一项比较精密的试验，它的环境条件要求较高，室温应保持在 10~35℃ 之间，必须做到防振、恒温、恒湿、恒电压、防电磁干扰等。

②对蠕变试验机的要求

蠕变试验机的质量好坏对蠕变试验的结果影响极大。对蠕变试验机的基本要求有：

- a. 试验机要有稳固的基础，周围要挖防振沟，这样可减少外来振动的影响。
- b. 试验机的安装要求水平，试样在试验过程中，始终保持轴向受力并进行轴向变形的测量。

③对载荷的要求

- a. 在全部试验过程中，载荷恒定不变。
- b. 加卸荷均匀平衡。
- c. 加荷应从试验机最大载荷的 5% 开始，其示值误差不大于 1%。
- d. 加载时偏心度应不大于 15%，为

$$\rho = \frac{\bar{L} - L}{\bar{L}} \times 100\%$$

式中 \bar{L} ——在弹性范围内，试样两相对方向伸长的平均值；

L ——在弹性范围内，试样任意一边的伸长率。

④对引伸仪精度的要求

引伸仪示值之精度不低于 0.002 mm，实际上要获得精确结果精度要达到 0.000 2 mm。

⑤对炉温的要求

加热炉应保证试样均匀加热至规定温度并在整个试验过程中保持温度恒定，其误差要求见表 10-1。

表 10-1 蠕变试验对炉温要求表

试验温度在试样标距内/℃	温度波动/℃	在标距范围内温度梯度' (℃/cm)
<900	±3	≤3
900~1100	±4	≤4

测温点个数随试样标距长度而定。标距 $L \leq 100$ mm 时，至少测二点；标距 $L > 100$ mm 时，至少测三点。

在整个试验过程中，炉温要保持连续测量和自动记录。

3. 蠕变试验的操作步骤

(1) 试验的过程

①试样的尺寸测量

用千分尺测量其直径（圆试样）或厚度与宽度（板状试样）。

②安装引伸仪

一般安装上杠杆千分表式引伸仪或差动变压器引伸仪，应牢靠、不偏心。

③捆绑热电偶

根据试样标距长度和试验温度选用镍铬偶或铂铑—铂偶，一般在标距长度上、中、下绑三偶，应使电偶结点紧贴在试样表面上，结点用石棉绳包裹。

④室温下检查

检查室温下引伸仪的读数，测其偏心度，应小于15%。

⑤升温加载

初始升温要快，接近试验温度前要慢下来，并进行保温，加载应平稳进行，逐级加上，并随时调正杠杆，使其保持水平。

⑥变形的测量及卸载

对于变形测量，开始形变不均时可间隔15~30 min记录一次，待变形均匀后每隔1~2 h记录一次。当试验至规定时间后，要卸荷，先卸重载荷，并记录读数后卸主载荷，待变形稳定后，停止试验。

(2) 蠕变极限测定的步骤

不同金属材料，试验持续时间和允许的伸长率按各自有关的技术条件来确定，若未作规定时，可选择持续时间为50，100，500，1000 h，伸长率对应为0.1%，0.2%，0.5%，1.0%时的应力为蠕变极限。

当以蠕变速度作为蠕变极限时，其试验持续时间应不少于2000~3000 h，并以蠕变第Ⅱ阶段的最后500 h来确定蠕变极限。具体工作步骤如下：

①在一定温度和不同应力下，进行蠕变试验，作出一组曲线。每组试样约5~6根，至少也要4根。根据所测定的应变与时间的关系，对于所作出的曲线，其直线部分的斜率即是蠕变第Ⅱ阶段的速度；

②在应力与蠕变速度的对数坐标上作 $\sigma-v$ 关系曲线；

③根据 $\lg\sigma-\lg v$ 之间的线性关系，用外推法，求得 $\sigma'_{10^{-4}}$ ；

④用上述方法，选择几种不同温度进行试验，其具体做法按①②③进行，绘出不同温度下的 $\lg\sigma-\lg v$ 曲线。如图10-8所示为低合金珠光体耐热钢12Cr₃MoVSiTiB在不同温度下的蠕变极限图。

(3) 试验结果的处理

当出现下列情况之一时，试验结果无效，应补做试验（除合格外）。

①试样断在标记上或计算长度之外；

②试样断口有明显缺陷；

③温度超过规定范围上限或试样受力异常。

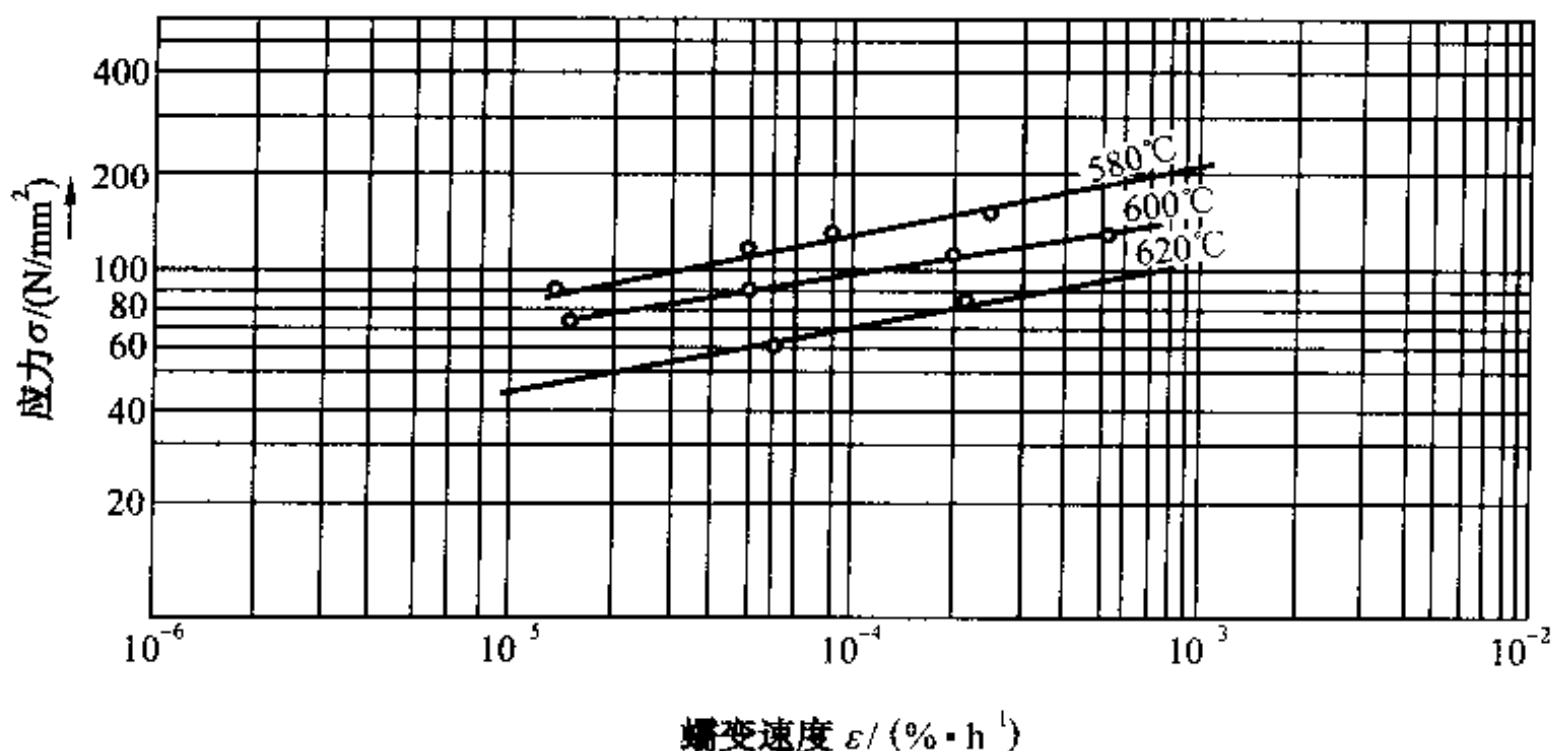


图 10-8 12Cr₃MoVSiTb 在不同温度下的蠕变极限图

第三节 高温持久强度试验

一、概述

高温蠕变极限表征了金属材料的在高温长期负荷作用下，对塑性形变的抗力，但它不能反映断裂时的强度及塑性，与常温时的情况一样，材料在高温下的形变抗力与断裂抗力是两种不同的性能指标。而持久强度也是高温下金属材料的另一个高温强度指标，为了全面评定钢材高温性能，除蠕变外，还必须进行持久强度的测试。

1. 高温持久强度及其定义

金属持久强度是利用给定温度下，使材料经过规定的时间发生断裂的应力值来表示的。GB/T 2039 所下的定义为：试样在规定温度下，达到规定的试验时间不致断裂的最大应力。

例如，某机种蜗轮盘，材料为 GH 135，规定在 700 °C 下，应力最大值为 440 N/mm²，经 60 h 而不断裂为合格，则称 GH 135 钢在 700 °C 下受力 60 h 的持久强度为 440 N/mm²。

2. 持久强度的表示法

持久强度用 σ_r (N/mm²) 表示，其中的 r 为试验持续时间， t 为试验温度 (°C)。

上述例子应表示为： $\sigma_{60}^{700} = 440 \text{ N/mm}^2$ 。

3. 高温持久强度在实践应用中的意义

金属材料的持久强度，对于设计某些在高温条件下运转的、不考虑变形量大小、而只考虑在承受给定应力下的使用寿命的机件是极其重要的。对于以蠕变极限作为设计依据的构

件，往往也用持久强度进行校正。对于发电设备和化工方面使用的材料，其设计使用期限多为 10 万 h，所以，热强钢的持久强度就规定为一定温度下，持续 10 万 h 断裂的应力。对航空工业用材料，有的设计使用期限为 100 h，其持久强度就定义为一定温度下，持续 100 h 断裂的应力。为安全起见，在实际设计中应力总是取为持久强度值再除以安全系数。

二、持久强度的试验方法

金属材料的持久强度是通过高温拉伸持久试验测定的。持久强度试验与蠕变试验相似，但相对要简单一些，一般不需在试验过程中测定试样的伸长量，只要测定试样在给定的温度和一定的应力作用下的断裂时间即可。

1. 试样及其要求

由于持久强度试验不需测量试样的蠕变变形，因此试样的形状尺寸范围比蠕变试样要大。GB/T 2039 标准推荐的有 3 种试样：圆试样、矩形截面试样和缺口圆试样。其夹头一般为螺纹夹头，也有制成吊栓式的短夹头。主要应与持久试验机夹头配对。

(1) 圆试样

标准持久圆试样直径为 5 mm 和 10 mm，原始计算长度分别为 25 mm 和 50 mm，直径为 5 mm 的圆形横截面标准持久试样图见图 10-9。

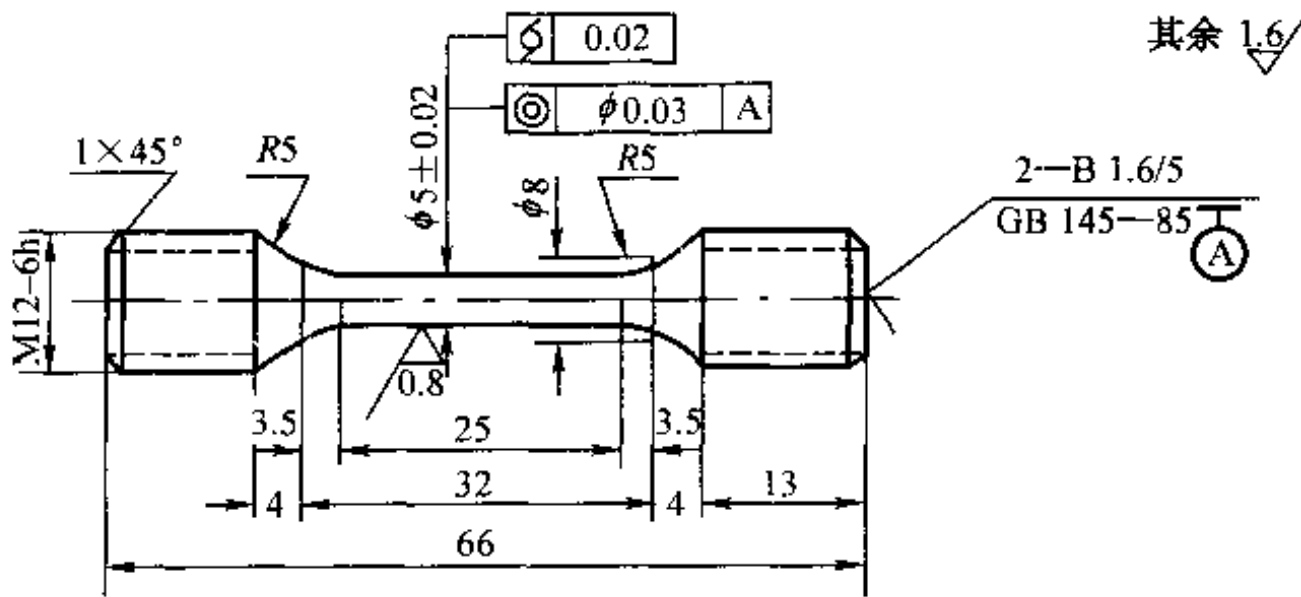


图 10-9 直径为 5 mm 的圆形横截面标准持久试样图

(2) 矩形横截面的试样

矩形横截面持久试样宽度一般为 10 mm，原始计算长度与厚度的关系见表 10-2。试样形状见图 10-10。

表 10-2 原始计算长度与厚度的关系表 mm

厚度 a	$\geq 0.8 \sim 1.0$	$> 1.0 \sim 1.5$	$> 1.5 \sim 2.4$	$> 2.4 \sim 3.0$
L_0	15	20	25	30
L_c	111	116	121	126



其余 3.2/

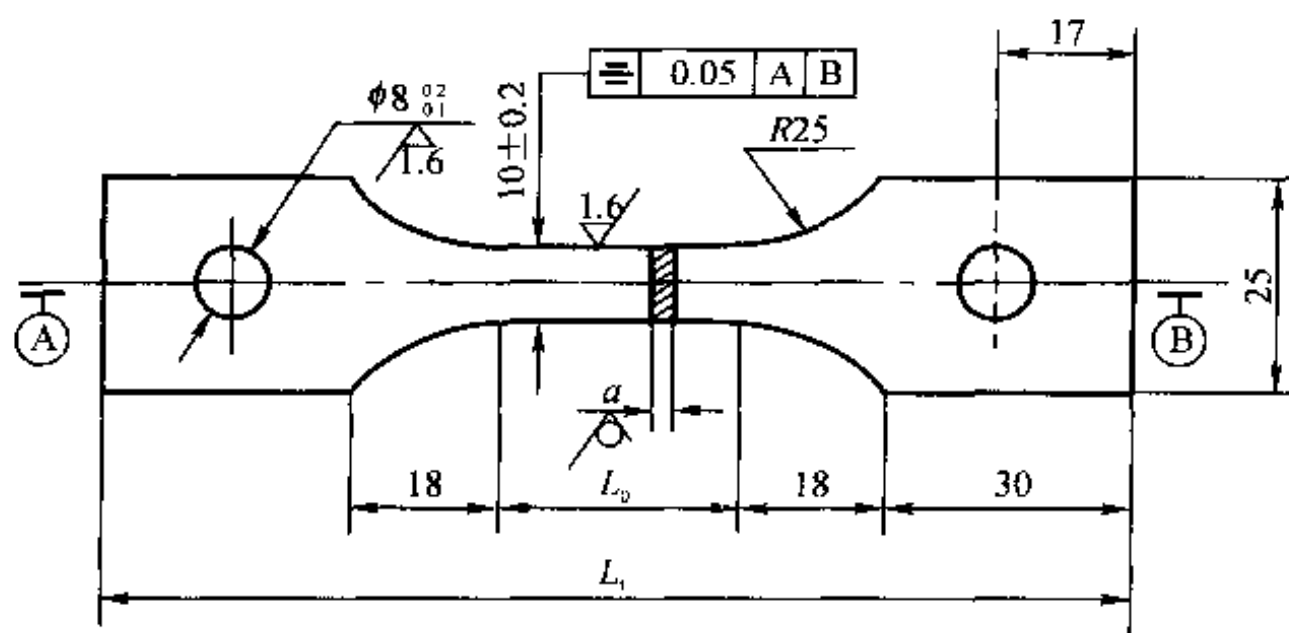


图 10-10 矩形截面标准持久试样图

(3) 缺口圆截面试样

对于缺口截面试样，国标推荐弹性应力集中系数 $K=3.85$ 的试样见图 10-11。

其余 1.6/

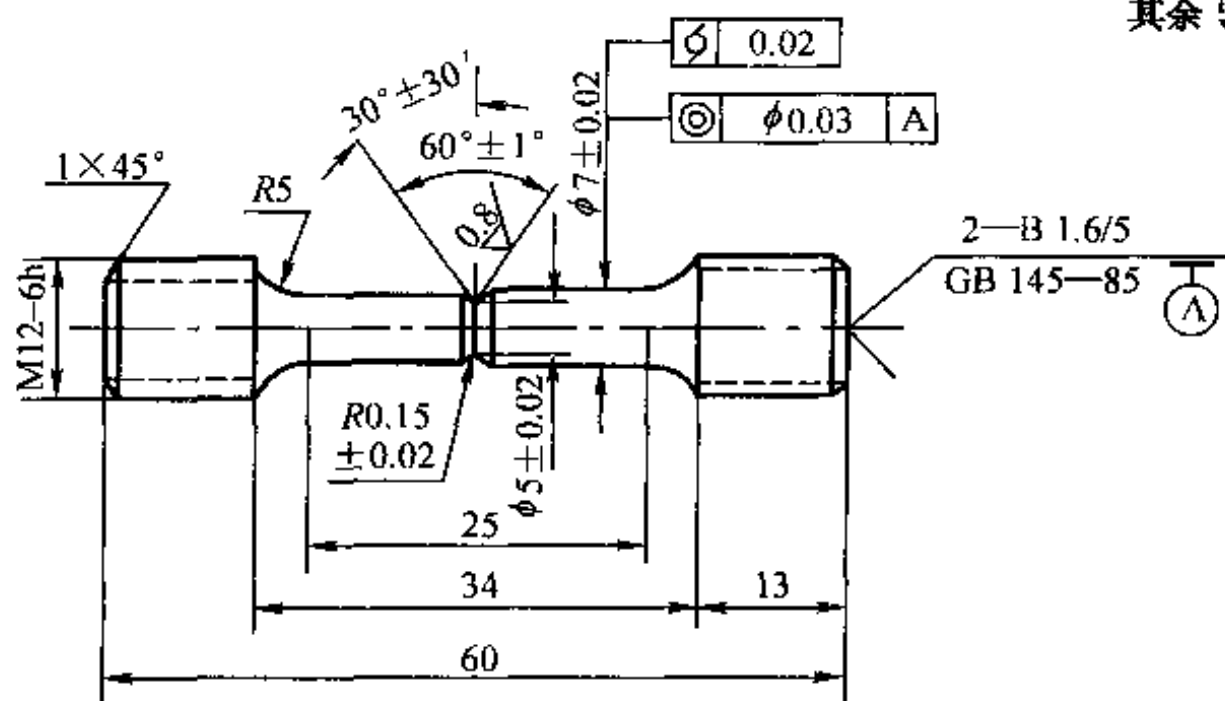


图 10-11 圆形横截面缺口持久试样图

(4) 试样制备技术要求

- ①切取的试样毛坯应代表试验材料的冶金组织和力学性能，取样部位及方向应遵照产品标准规定或双方协议；
- ②试样加工过程中不应因发热或加工硬化而改变材料性能；
- ③矩形横截面试样一般应保留原始表面，如技术条件或双方协议另有要求，可磨光表面。

2. 试验设备及其要求

持久强度试验的主要设备如前苏联制造的 Bn—Z 高温持久试验机。对试验机和加热炉的要求如下：

①试验机力值误差

试验机在使用范围内（5%~100%）的力值相对误差应不大于±1.0%。

②试验力角度误差

试验机上下夹头拉杆之间的试验力同轴度不应超过15%。

③温度控制与测量要求

对于温度控制及加热装置，应保证在试验期间温度符合表10-3的要求。

表 10-3 试验温度偏差和梯度

试验温度/℃	温度偏差/℃	温度梯度/(℃/cm)
<900	±3	3
900~1100	±4	4

温度测量仪器的分辨率应在0.5℃内，误差不大于±1℃。

试验机和热电偶应按规定的期限进行检定，合格后才能使用。

3. 环境条件要求

试验室温度一般应保持在10~35℃之间；试验室应远离或隔离震源，室内严防震动。

4. 持久试验操作

(1) 试样的尺寸测量

试验前，首先应对试样表面及尺寸进行检查，试样表面不应有划伤或缺陷。试样的截面尺寸应在计算长度内的两端及中部测量，以计算的最小横截面积为准，测量试样截面尺寸的量具最小分度值应不大于0.01mm。

(2) 捆绑热电偶

对于计算长度等于或小于50mm的试样，一般在两端各固定一支热电偶，上端固定下热电偶，下端固定上热电偶（热电偶交叉固定）；对于计算长度大于50mm的试样，计算长度中间还应固定一支热电偶。对于缺口试样，应有一支热电偶固定在缺口处。热电偶工作端应紧贴试样表面，为防止炉壁热辐射，热电偶应用石棉绳捆绑，并将热电偶工作端点用石棉绳包扎严密。

(3) 挂样、装炉

试样先要安装在试验机可装卸的上、下拉杆上，固定热电偶后再装挂到试验机的管状炉内，调整试样，使其处在管状炉中段位置。装样时用石棉绳堵住管状炉上、下口和拉杆。

(4) 升温前，可对试样施加初始力，此力值应不大于总试验力的10%，且应力不超过10 N/mm²。

(5) 升温加热至规定温度的时间一般为2~8h，温度保持时间为1~2h。在升温保温期间，不应超过规定温度的上限，并作好试验记录。

(6) 平稳加荷

当试样达到规定温度并按要求保温一定时间后，即可平稳施加试验力。对于杠杆砝码加载的试验机，还应在加载后及时调整杠杆的水平位置。

(7) 温度记录要求

施加规定试验力后, 在开始阶段每 0.5 h 记录一次温度, 后期每 1 h 记录一次, 直至试样断裂。

5. 外推法求长期持久强度

对于设计寿命为几百 h 至几千 h 的高温工作机件, 其材料的持久强度可以按以上方法得到的直接试验结果来确定。但对于设计寿命为几万 h 以上的机件, 要直接进行持久强度试验并得出结果有一定的困难。为了求出长时间的持久强度, 可以采用和蠕变试验一样的方法, 作出一些应力较大、断裂时间较短的试验数据。经过绘图, 求出力和负荷时间的关系, 并将其应用到更长的试验时间上, 即用外推法求出更长的持续时间下的持久强度。

例如, 对于 12Cr1MoV 钢, 在 580℃ 及 600℃ 时, 每个温度采用 5 个适应应力水平进行等温持久试验。建议至少有 3 个应力水平, 每组做出 3 个数据, 在单对数或双对数坐标上用作图法或最小二乘法绘制出应力—断裂时间曲线, 如图 10-12 所示为 12Cr1MoV 钢 580℃ 及 600℃ 时的持久强度曲线图。

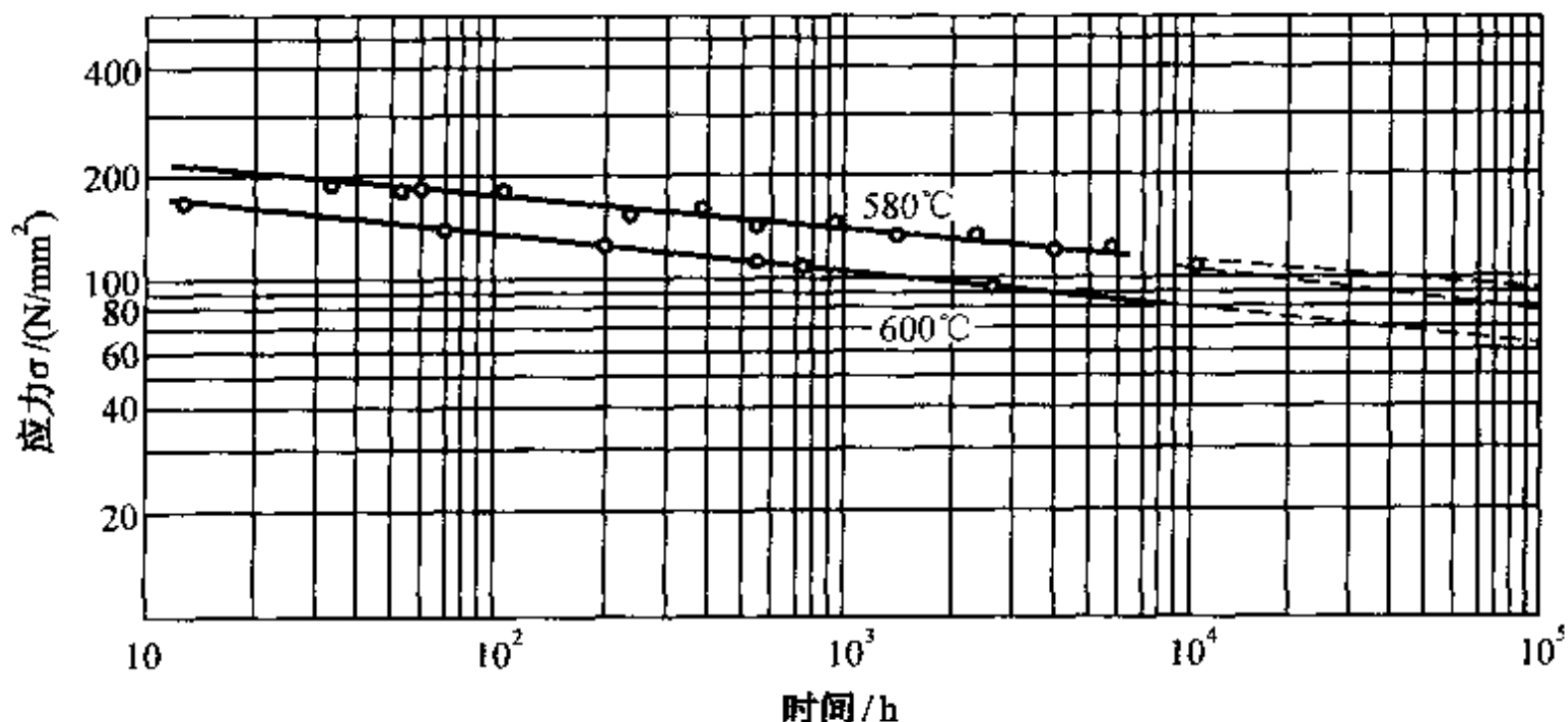


图 10-12 12Cr1MoV 钢 580℃ 及 600℃ 时的持久强度曲线图

由图 10-12 可见, 试验最长的时间为几千 h (实践部分), 但用外推法 (见虚线部分) 可得一万至十几万 h 的持久强度值。

$\sigma_{t=10^4}^{580}$ 为 110 N/mm², 而虚线外推可得 $\sigma_{t=10^5}^{580}$ 为 89 N/mm²。但外推法是有一个限度的, 外推出的时间应不大于最长试验时间的 10 倍。高温长时间试验表明, 在双对数坐标中, 试验结果的应力点并不真正符合线性关系, 而是一条后面具有转折的曲线, 其转折的位置和形状随材料在高温下的组织稳定性和试验温度高低而不同。因此直线外推法还只是很粗略的方法, 见图 10-13 的 X15CrMoWV121 钢持久强度曲线。

6. 持久塑性的测试

通过持久强度试验, 还可以测量试样断裂后的延伸率 δ (%) 及断面收缩率 ψ (%) , 以

反映钢的持久塑性，它也是耐热材料的一个重要性能指标。过低的持久塑性会使材料在设计使用期间发生脆性断裂。持久塑料并不总是随时间的增加而降低，因而，不能用外推法来确定持久塑性的变化规律。

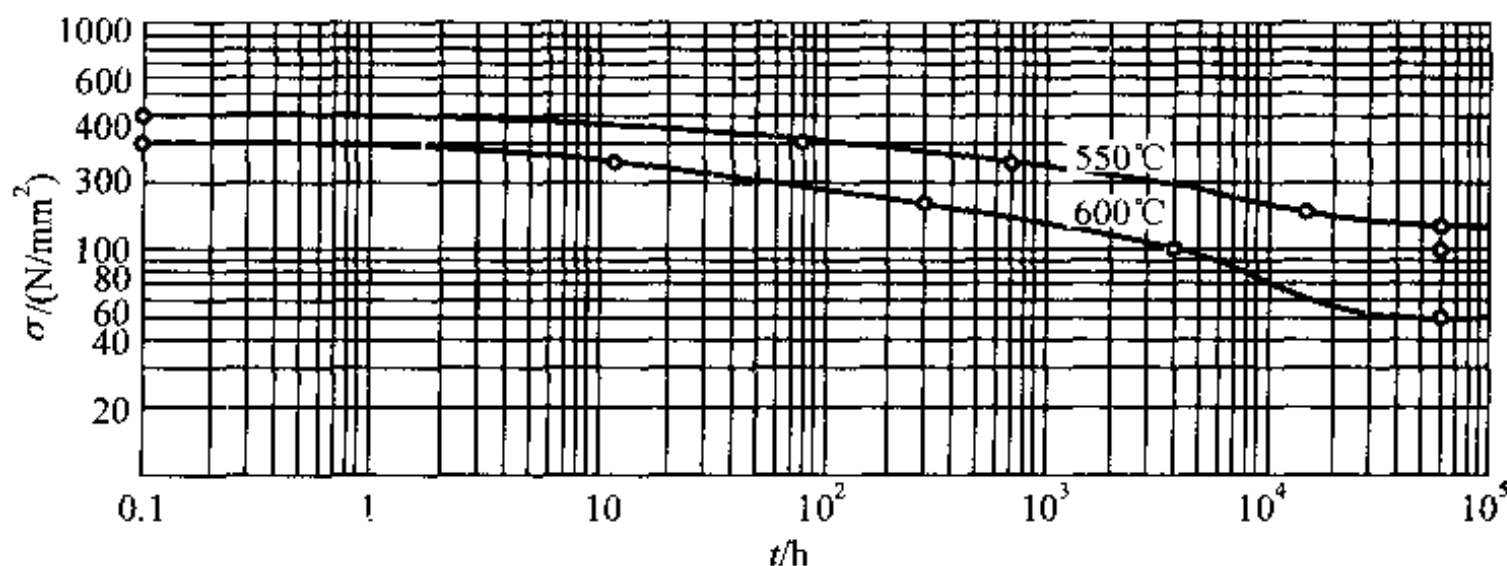


图 10-13 X15CrMoWV121 钢 550℃ 和 600℃ 下持久强度曲线

7. 持久强度试验中的试样缺口敏感性

在 GB/T 2039 持久强度试验方法中采用的三种试样中有缺口试样，带缺口的试样在高温长期负荷作用下，较光滑试样过早脆性断裂的现象，与常温缺口效应试样一样，也称缺口敏感性。

持久强度缺口敏感度 q_k 可用在断裂时间相同的情况下，缺口试样的持久强度 $\sigma_{\text{缺}}$ 与光滑试样的持久强度 $\sigma_{\text{光}}$ 之比来表示，如式 (10-3) 所示。

$$q_k = \frac{\sigma_{\text{缺}}}{\sigma_{\text{光}}} \quad (10-3)$$

式中 $\sigma_{\text{缺}}$ —— 缺口试样的持久强度 (N/mm^2)；

$\sigma_{\text{光}}$ —— 与缺口直径相同的光圆试样持久强度 (N/mm^2)。

第四节 应力松弛试验

一、应力松弛概念

1. 应力松弛现象

动力机械中有很多零部件，如汽轮机和燃气轮机组转子或法兰的紧固螺栓都是在高温环境应力松弛条件下工作的。所谓松弛，是指高温下承受拉应力或者压应力的金属零部件在使用过程中总变形保持不变，零部件内应力随时间增加而自发地逐渐地下降的现象。

法兰接头上使用的螺栓是应力松弛的典型例子。在拧紧螺母时，螺栓产生一定的弹性伸长，靠弹力作用使螺栓产生紧固力。随着时间延长，虽然螺母并未松动，由于螺栓的一部分

弹性变形转变为塑性变形，螺栓的紧固力下降了，这种现象在高温条件下显得明显。又如压紧弹簧，在固定压缩量时，使用过程中弹簧的压紧力由于随时间延长，一部分弹性变形转为塑性而使压紧力下降。

在室温下金属材料也有松弛的现象，但它进行得极为缓慢。同样材料在高温条件下，应力松弛现象就变得显著多了，环境温度愈高，松弛现象愈显著。

2. 应力松弛与蠕变现象的比较

金属材料的高温松弛也是由于蠕变现象而引起的。按照松弛定义，松弛过程可用公式(10-4)表示。

$$\epsilon_0 = \epsilon_p + \epsilon_e = \text{常数} \quad (10-4)$$

式中 ϵ_0 —— 总变形；

ϵ_p —— 塑性变形；

ϵ_e —— 弹性变形。

在应力松弛过程中，弹性变形与塑性变形的变化情况可由图 10-14 来说明。

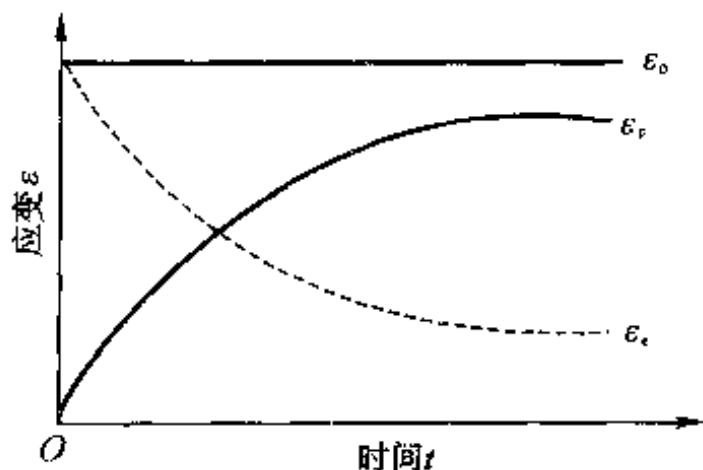


图 10-14 应力松弛弹性变形与塑性变形曲线图

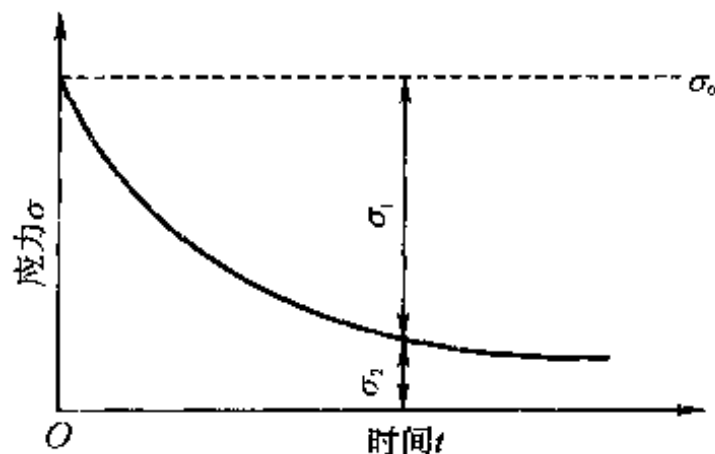


图 10-15 应力松弛曲线图

蠕变时，应力保持不变，塑性形变和总形变随时间延长而增大。而松弛时，总形变不变，随时间延长，塑性变形不断取代弹性变形，使弹性应力不断下降。虽然它们表现的形式不同，但两者在本质上并无区别。因此松弛现象可看作是一种在应力不断减少条件下的蠕变过程，或者说是在总变形量不变条件下的蠕变。一般蠕变抗力高的金属材料应力松弛抗力也高，但应力松弛与蠕变又是两个不同的概念，因此，蠕变并不能代替应力松弛。

二、应力松弛曲线

应力松弛过程可以通过应力松弛曲线来描述。在恒温 and 总应变恒定的条件下，应力随时间延长而逐渐下降，如图 10-15 所示为应力松弛曲线图，纵坐标为应力，横坐标为时间。两个坐标可以是直角坐标系，也可以是对数坐标系。在图 10-15 上，松弛开始进行的应力 σ_0 称为初应力， σ_1 称为松弛应力， σ_2 称为剩余应力。由曲线可以看出，松弛一般可以分为两个阶段，开始时应力下降很快，持续时间也不长，这个阶段称为第一阶段，随后应力下降逐渐减慢，直至趋向平稳，这个阶段称为松弛第二阶段。但有学者提出还有应力急剧下降的第三阶段存在，但实际试验中较难观察到。

三、应力松弛试验方法

应力松弛可以采用拉伸、压缩、弯曲和扭转等不同方法进行。我国用得比较多的是拉伸和弯曲两种方法进行应力松弛试验。下面分别介绍拉伸与弯曲两种松弛试验方法。

1. 拉伸松弛试验法

试验在专门设计的拉伸试验机上进行，它是模拟螺栓工作条件的一种松弛试验。试样采用类似于蠕变的圆柱截面试样。在一定的温度下给试样加载，试样即产生蠕变变形，这时试验机上自动减荷机构会同时动作，减去试样上的部分载荷，使试样保持总变形不变，也就是保持刚加载时的试样工作长度，而所卸去的载荷值由仪表自动记录，根据记录的数据可以绘制出松弛曲线。

由于现有的拉伸松弛试验机多采用弹簧加载，卸载由电动机带动丝杆放松弹簧。这样的加卸载荷的方法只有当试样产生一定伸长后减荷机构才会动作，使试样恢复到原来工作长度。因此实际所绘制的松弛曲线是一个阶梯形不光滑的曲线。如图 10-16 的 (a) 和 (b) 所示即为变形曲线和松弛曲线。

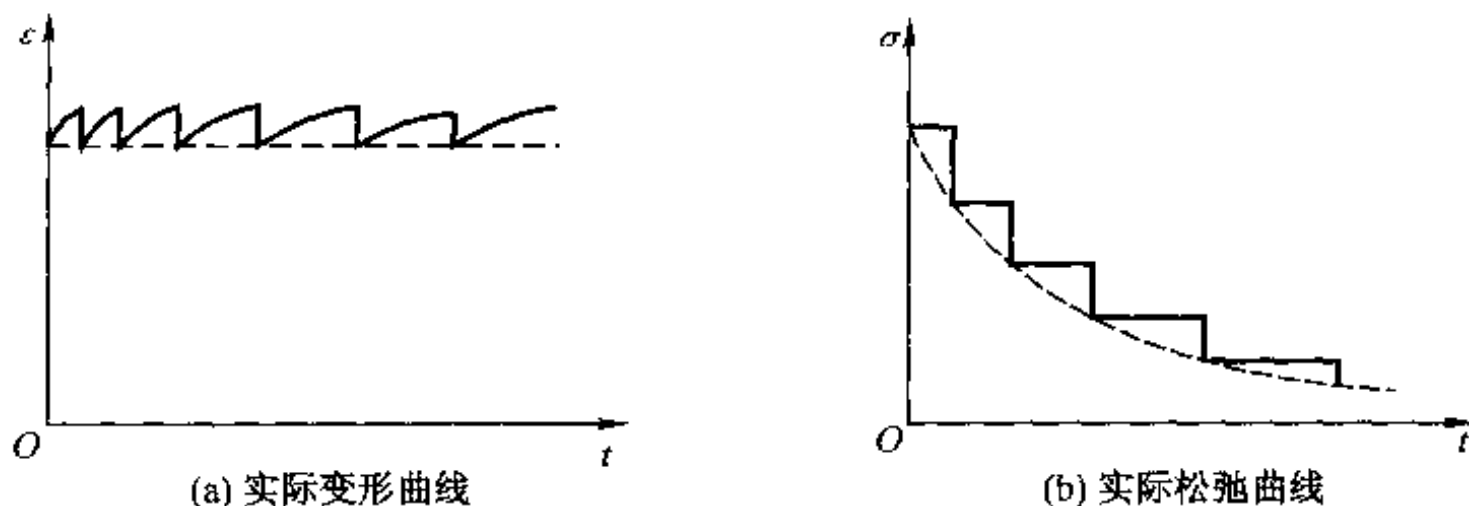


图 10-16 拉伸松弛试验实际变形及松弛曲线示意图

从拉伸松弛试验的松弛曲线图可以看出，严格讲它不能保持总变形不变。但如果每次试样的变形量极小的话，所绘制的松弛曲线就极接近理想的曲线了。一定的温度环境由电炉加热来实现，由于炉温波动会引起试样和加荷系统热胀冷缩，这也会引起卸荷电动机启动，因此试验对温度要求较高。在应力、应变均能自动控制的电子拉伸试验机上进行拉伸松弛试验就比较简单，如图 10-17 所示，一定的温度环境通过电炉加热实现，应力、应变通过载荷传感器和引伸计与电子控制系统来实现。试样的标距长度可由引伸计监控使其保持不变。当长度发生伸长时，应力便会自动降低，使其标距恢复原来长度并记录 $\sigma - t$ 曲线。

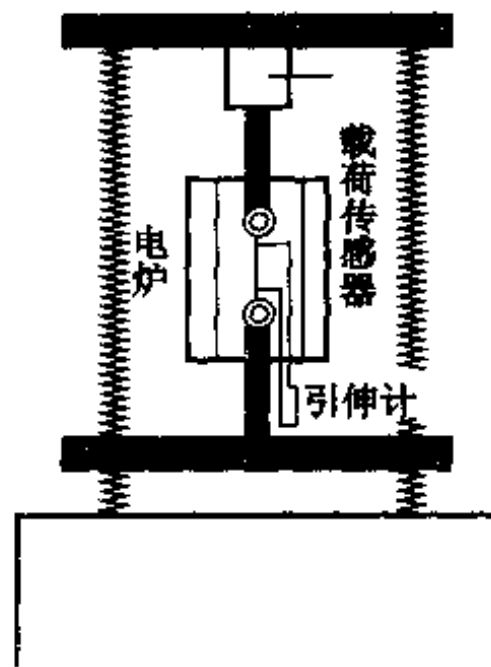


图 10-17 电子拉力机进行拉伸松弛试验示意图

2. 弯曲松弛试验——环状试样试验法

弯曲松弛试验是目前我国普遍采用的一种松弛试验法。由于这种试验法采用的试样是环形开口样，类似内燃机和汽车的活塞环试样，故也称环状试样试验法。如图 10-18 所示为试样图，其工作部分是等强度半圆环 BCB。

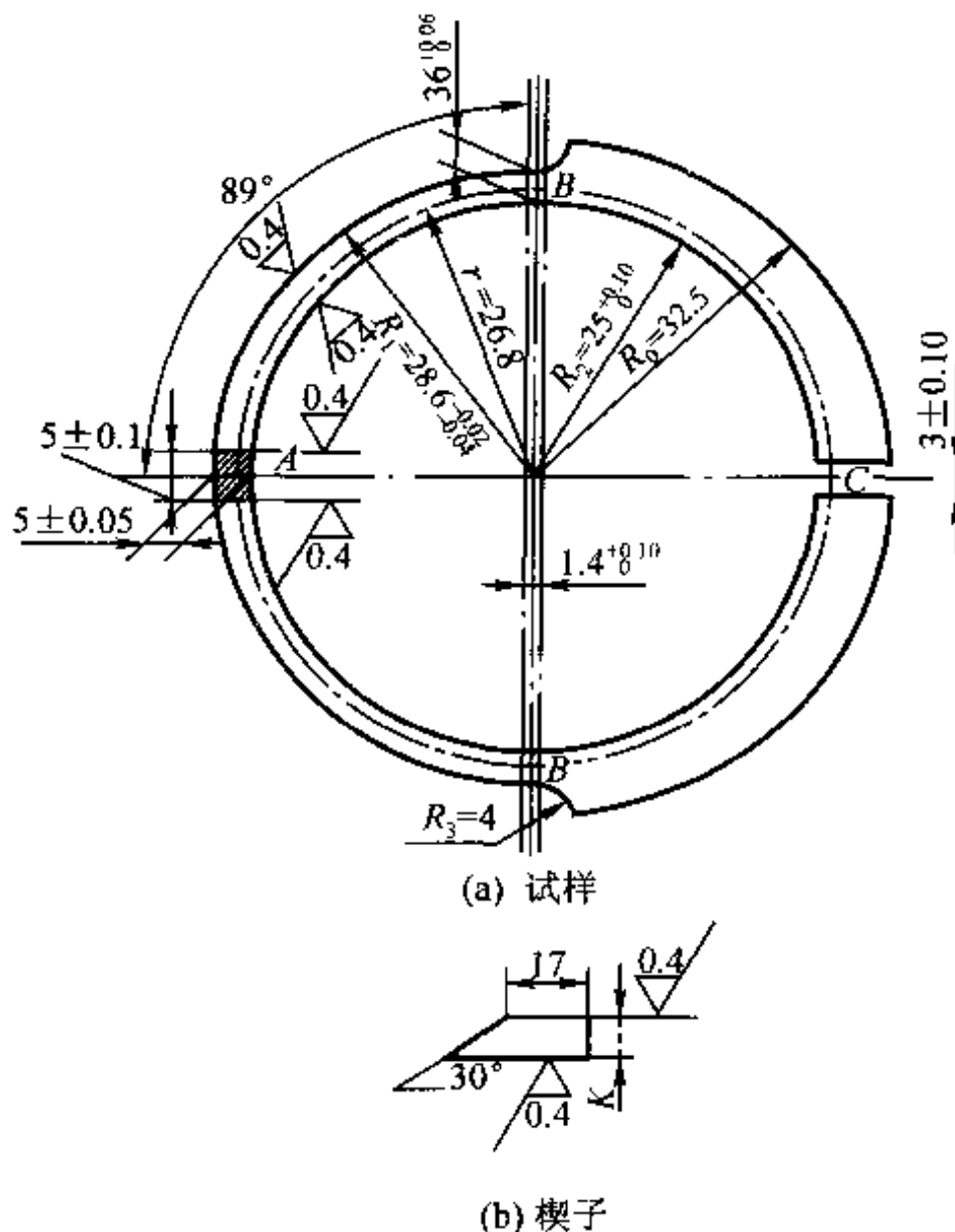


图 10-18 弯曲松弛试验环形试样图

施加载荷时由开口处 C 打入楔子 K，使工作部分产生弯矩。楔子打入后实现加荷，试环工作部分应力依据公式 (10-5) 进行计算。

$$\sigma = AE\Delta \quad (10-5)$$

式中 E ——试环材料在试验温度下的弹性模量 (N/mm^2)；

A ——与试环尺寸有关的常数，图 10-16 所示的试样 A 为 $0.000\,583/\text{mm}$ ；

Δ ——试环开口处楔子打入后宽度增加量 (mm)。

试验时要依据公式 (10-5) 使得打入楔子后开口宽度的增加正好为产生应力 σ 的张开量 Δ ，然后放在电炉内保温。到规定时间后，拔出楔子，测量开口处宽度的变化，并以此变化量按公式 (10-5) 计算应力的下降。为了保证测量试环开口宽度的准确性，一般是在开口处两边用维氏硬度计压头打上测量标记压痕。

每次测量后重新打入楔子时均需使开口的宽度保持第一次加荷时的宽度 C_3 ，这是保持变形不变的条件。

例如，试环开口原始宽度为 C_1 ，为造成试样产生初始应力而将楔子打入。当保留一段时间后，由于试环产生了塑性变形，因此，拔出楔子时，开口的宽度为 C_2 ，宽度变大了，宽度的变化量为 $\Delta_1 = C_1 - C_2$ ，这段时间内应力下降为 $\sigma_1 = AE\Delta_1$ 。第二次试验仍将楔子打入，使开口处宽度为 C_3 ，试验一段时间后拔去楔子，开口宽度变 C_4 ，则应力下降为 $\sigma_2 = AE(C_3 - C_4)$ 。然后重复上述操作，直到测出完整的松弛曲线为止。

四、松弛试验数据的处理和外推

对于在一定温度下承受一定应力的机械零部件，在设计中都以经过规定时间的剩余应力作为设计的依据。例如，某型号汽轮机的汽缸螺栓工作温度为 520°C ，第一次的紧固应力为 300 N/mm^2 ，设计使用期限为 $20\,000\text{ h}$ ，剩余应力大于等于 140 N/mm^2 ，而该材料的松弛试验一般不进行 $20\,000\text{ h}$ 。因此，试验数据需外推至 $20\,000\text{ h}$ ，看其是否满足设计要求。由此可见，如何将松弛试验数据处理和外推是松弛试验的最终目的。

大量实践表明，将松弛曲线绘制在 $\lg\sigma-t$ 坐标纸上时，一般曲线的第 II 阶段呈直线段，如图 10-19 所示。

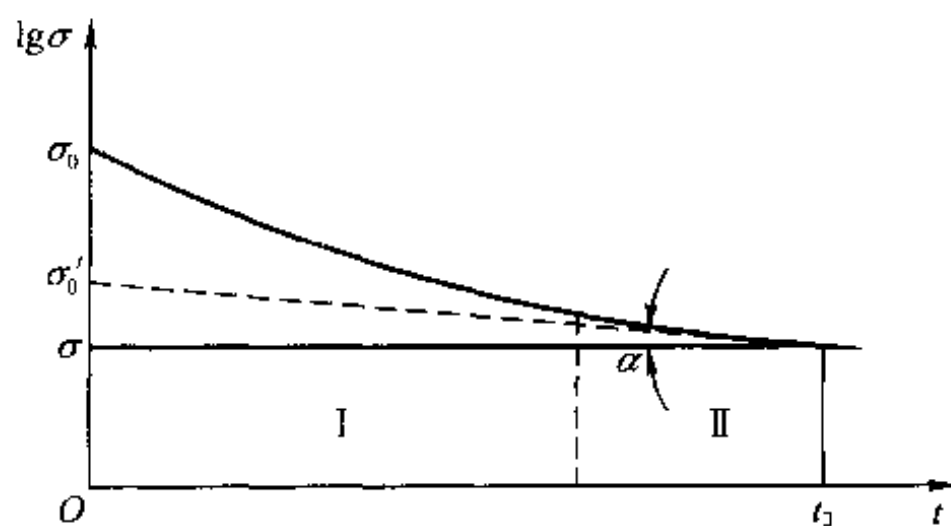


图 10-19 松弛数据外推图示

用数据公式表示，第 II 阶段剩余应力与时间关系式可写为公式 (10-6)。

$$\sigma = \sigma_0' e^{-\frac{t}{t_0}} \quad (10-6)$$

式中 σ —— 试样剩余应力 (N/mm^2)；

σ_0' —— 松弛第 II 阶段的假定初应力 (N/mm^2)；

t_0 —— 常数；

t —— 松弛时间。

将公式 (10-6) 两边取对数，得出公式 (10-7)。



$$\lg \sigma = \lg \sigma'_0 - \frac{t}{2.3t_0} \quad (10-7)$$

若是 $\lg \sigma = y$, $t = x$, $\lg \sigma'_0 = a$, $-\frac{1}{2.3t_0} = b$, 则化成标准直线方程式为 $y = a + bx$ 。

若最长的试验时间为 10 000 h, 则在松弛单对数坐标曲线图中将试验点用直线连接并将其延长, 即可得到 20 000 h 的剩余应力点。

第 II 阶段的直线可以用作图法作出。当数据比较分散时, 可以用最小二乘法由公式 (10-7) 拟合出最佳线段, 也可以用公式 (10-7) 直接算出外推值。

第五节 金属高温拉伸试验

一、高温拉伸试验的实践意义和特点

高温拉伸试验也叫高温短时拉伸试验。评定耐热材料的力学性能时, 虽然短时拉伸性能远不如蠕变和持久强度重要, 但如果在高温工作时间短, 如火箭、导弹中的某些零部件或 400 °C 以下使用的钢铁材料, 蠕变现象并不起决定性作用。又如, 为了制定钢的热锻工艺, 就需要了解钢材的热塑性, 这时金属高温短时拉伸性能就有其重要意义了。

高温短时拉伸试验特点是: 试验可以在普通的拉力试验机或万能材料试验机上进行, 但需附加加热与测温装置及耐高温的试样夹具及引伸计。高温拉伸力学性能试验可测试的项目与常温拉伸试验一样, 是测定高温规定非比例延伸强度 R_p , 高温屈服强度 R_e , 高温上屈服强度 R_{eH} , 高温下屈服强度 R_{eL} , 高温抗拉强度 R_m , 高温断后伸长率 A , 断面收缩率 Z 和规定非比例伸长率及规定残余伸长率等。但高温短时拉伸时试验温度和载荷持续的时间或拉伸速度对性能有较显著的影响。

二、高温短时拉伸试验方法

高温短时拉伸试验已有 GB/T 4338 金属材料高温拉伸试验方法标准。所测高温力学性能项目、强度和塑性的方法除温度控制外与常温力学性能项目的试验操作方法基本一样。

1. 高温拉伸试样及测量要求

(1) 试样的形状和尺寸

高温拉伸试样横截面的形态可以为圆形、矩形、环形等。试样一般采用原始标距长度 L_0 与原始截面积 S_0 的关系为 $L_0 = K \sqrt{S_0}$ 的比例试样。但要求 $L_0 \geq 20$ mm。常用的高温拉伸试

样图及尺寸按 GB/T 4338 标准推荐的矩形比例试样（见图 10-20 和表 10-4）、圆形比例试样（见图 10-21 和表 10-5）、弧形比例试样（见图 10-22 和表 10-6）及线、棒材比例和非比例试样（见图 10-23 和表 10-7）。

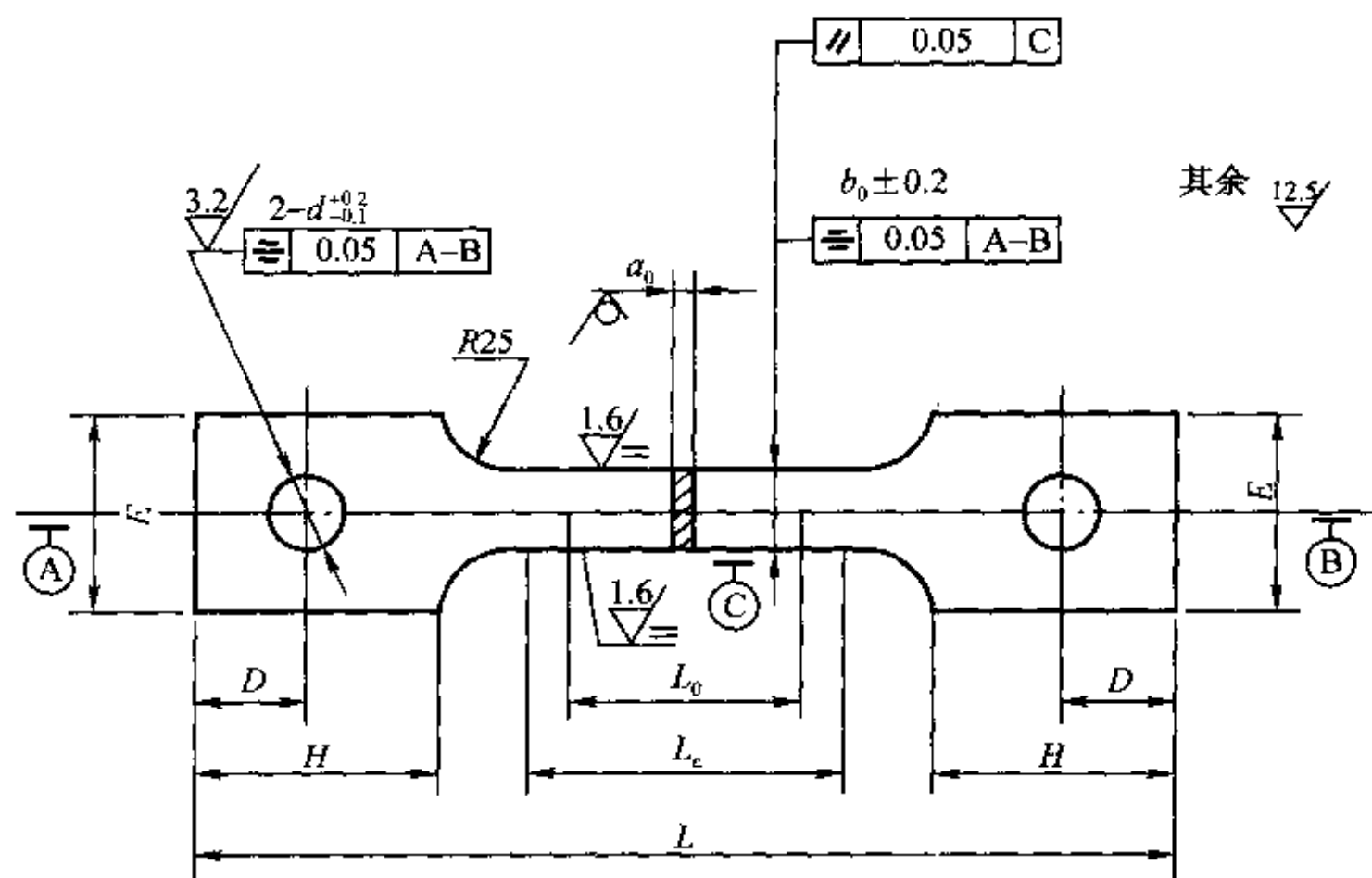


图 10-20 高温拉伸矩形试样图

表 10-4 高温拉伸矩形比例试样尺寸表

mm

[illegible]

注：试样原始标距按标称尺寸计算。

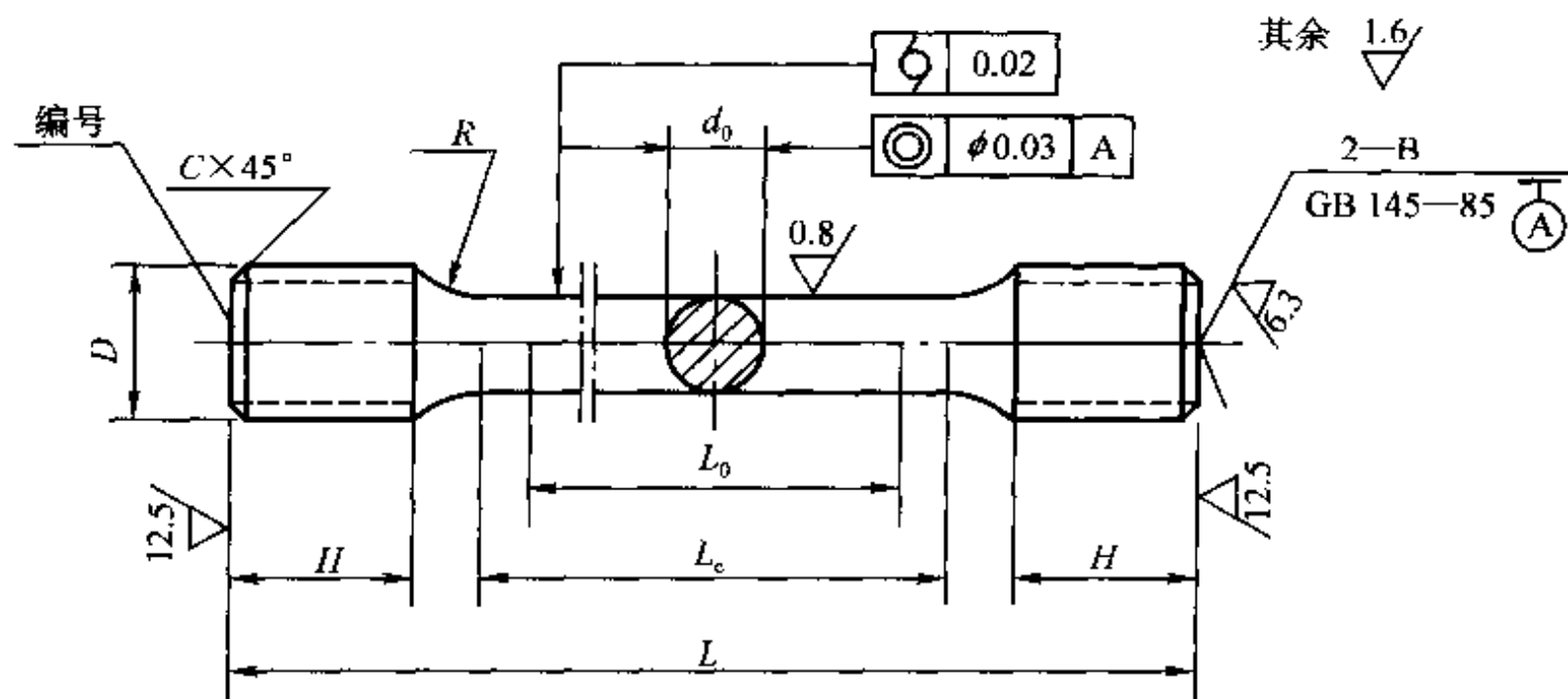


图 10-21 高温拉伸圆形试样图

表 10-5 高温拉伸圆形比例试样尺寸表

mm

试样号	d_0	D	C	R	L_0	L_e	H	L	B
GR 1	$\phi 10 \pm 0.03$	M16-6h	2	10	50	60	20	114	B1.6/5
GR 2	$\phi 5 \pm 0.03$	M12-6h	2	5	25	30	15	70	B1.6/5
GR 3	$\phi 4 \pm 0.03$	M8-6h	1	4	20	24	10	51	B1.3.15

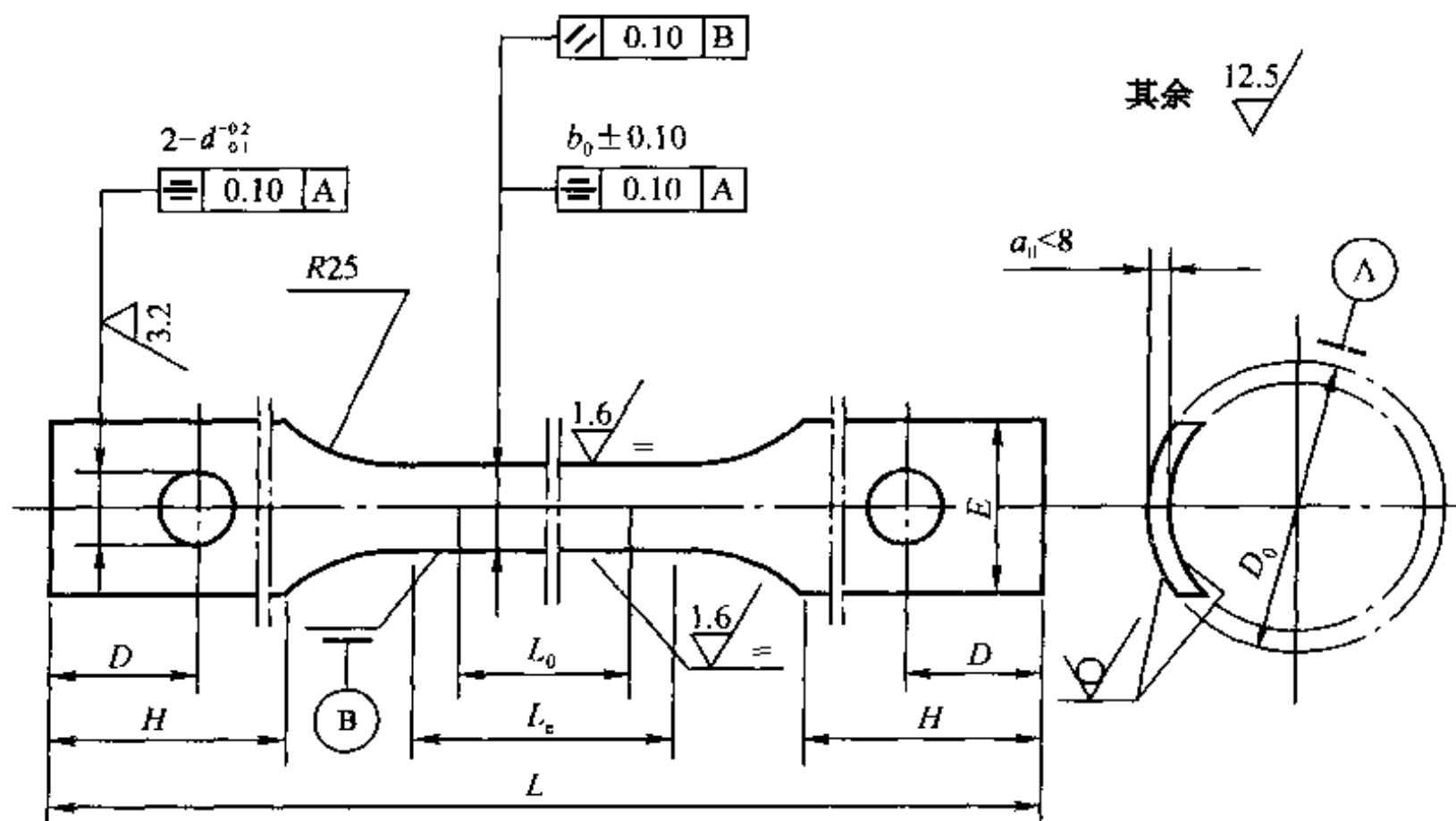


图 10-22 高温拉伸弧形试样图

表 10-6 高温拉伸弧形比例试样尺寸表

mm

试样号	D_0	b_0	E	d	D	S	L_0	L_e	L
GS 1	$>\phi 15\sim 20$	8	16	$\phi 6$	15	30	$L_0 = 5.65 \sqrt{S_e}$	$L_0 + 8$	$L_e + 87$
GS 2	$>\phi 20\sim 40$	10	20	$\phi 8$	17	35		$L_0 + 10$	$L_e + 100$
GS 3	$>\phi 40$	15	30	$\phi 10$	22	45		$L_0 + 15$	$L_e + 126$

其余

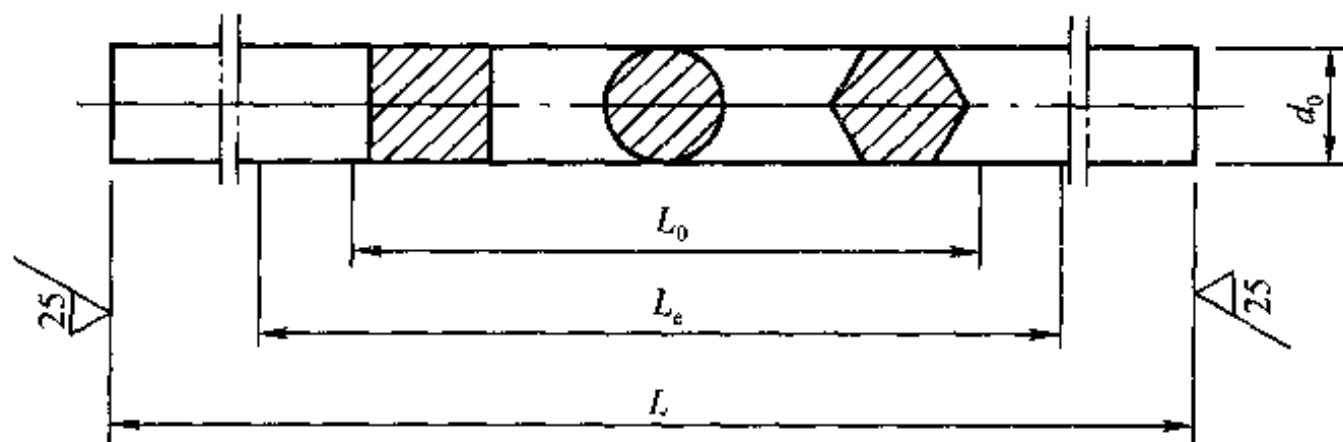


图 10-23 高温拉伸线、棒材试样图

表 10-7 高温拉伸线、棒材比例试样尺寸表

mm

试样号	d_0	L_0	L_e	L
GS 9	≥ 4.0	$5.65 \sqrt{S_e}$	$L_0 + 2d_0$	足够夹持所需的长度
GS 10	< 4.0	100	100+50	

注：试样保留原表面。

(2) 试样的加工要求

首先，切取样环和机械加工试样时应防止因冷加工或受热而改变力学性能。需热处理的试样应在最后一道机械加工前热处理。试样应平直、无毛刺、无机械损伤、无表面无锈蚀和可见缺陷。对于断后伸长度低（ $<5\%$ ）的材料，可以采用平行长度中间处的直径或宽度比其两端的直径或宽度稍小的试样，但其差不应超过直径或宽度的 0.5% ，其从中间较小至两端较大的变化应连续光滑，并在报告中注明。对厚度大于 8 mm 的板材和管壁大于 8 mm 的管材，可加工尽可能大的纵向圆形试样。板材、薄板加工成矩形横截面试样时，两宽面应保留原表面。对于管材，如试验机允许，应尽可能采用全截面管段试样。

(3) 试样尺寸的测量

圆形、矩形和管材纵向弧形及全截面管段试样的尺寸测量方法与常温拉伸试验试样的测

量方法一样，横截面积计算公式也一样，测量尺寸所用量具精度要求也一样。

2. 高温短时拉伸试验设备要求

高温短时拉伸试验装置包括拉伸试验机或万能材料试验机、引伸计、加热装置和测温装置 4 个部分。

① 试验机要求

试验机精度和定期校验要与常温试验机要求一样。

② 引伸计要求

引伸计所用的精度等级与常温拉伸一样，但高温短时拉伸建议使用试样的相对两侧伸长的引伸计。

③ 加热装置要求

加热装置应能把试样加热到规定温度，其温度偏差应达到表 10—8 所示的要求。

表 10—8 高温短时拉伸温度偏差表

℃

试验温度	温度允许偏差
≤ 600	± 3
$> 600 \sim 800$	± 4
$> 800 \sim 1100$	± 5

④ 温度测量装置要求

温度测量仪器的分辨力应不大于 1℃，误差不超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，并定期校验，热电偶和补偿线应定期检定，热电偶参考端应保持恒定，其偏差不应超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

3. 试样加热与温度测量

① 测热电偶的测点要求

试样原始标距离 $L_0 \leq 50\text{ mm}$ 时，应在原始标距两端各绑一支热电偶；对于 $L_0 > 50\text{ mm}$ 的试样，应在两端和中间各绑一只热电偶。热电偶的测量端与试样表面应有良好的接触，并在测量点外面捆绑石棉线，以此避免炉壁热幅射的影响。

② 加热速度要求

试样装入炉内后，一般应在 1 h 内加热至规定试验温度。

③ 保温时间及温度偏差要求

试样在规定的试验温度保持时间应根据试样截面积大小而定，但至少应保持 10 min，保温期间直至试验结果断裂前温度偏差应符合表 10—8 的规定。

4. 试验条件

高温短时拉伸试验的拉伸速率对试验结果的影响很显著。GB/T 4338 要求测定非比例伸

长应力、屈服点（包括上、下屈服点）、试样平行长度的应变速率应在 0.001 min^{-1} 和 0.005 min^{-1} 之间并尽可能保持恒定速率。在试验机不具备控制应变速率能力的情况下，可采用试验机空载移动速率 $0.02 L_0 (\text{min}^{-1})$ ，屈服点过后，应变速率应在 0.02 min^{-1} 和 0.20 min^{-1} 之间。也可采用试验机夹头空载移动速率 $0.1 L_0 (\text{min}^{-1})$ 。

5. 高温短时拉伸力学性能的测定

高温短时拉伸力学性能非比例延伸强度、屈服强度（上、下屈服强度）、抗拉强度、断后伸长率和断面收缩率的测定方法与常温拉伸试验方法一样。

6. 性能结果数值修约规定

对于高温短时拉伸试验，强度、断后伸长率和断面收缩率的计算结果的修约要求和规定同常温拉伸的计算结果修约规定一样。

7. 试验结果的有效性判断

与常温拉伸试验相同。

思 考 题

1. 什么叫金属材料的蠕变？请作图说明蠕变的三个阶段。
2. 蠕变强度的定义是什么？如何依据蠕变曲线求出蠕变强度？
3. 什么叫持久强度？什么叫持久强度外推法？
4. 如何按等温线法进行持久试验？
5. 什么叫应力松弛？如何采用拉伸松弛和环状试样试验法进行松弛试验？
6. 如何正确进行高温短时拉伸试验？
7. 试述高温试验中温度如何控制。

第十一章 金属断裂韧性试验

第一节 断裂过程和断裂力学的一般概念

一、金属结构件脆性断裂与传统设计的问题

断裂是金属结构件和零部件服役中的最后损坏形式。断裂通常可分为韧性断裂和脆性断裂两种类型。随着高强和超高强金属材料的发展和使用及大量的焊接构件及大型锻件的生产和使用,诸多材料及结构件的脆性断裂灾难性事故正不断发生,如焊接油管、货船及桥梁断裂等事故。通过对这些事故的分析,我们发现它们具有下列共同的特点:

①破坏应力远低于材料的屈服应力;

②构件处在弹性变形状态,未发生明显的整体塑性变形;

③可在材料或焊缝区断裂面上找到宏观裂纹源。按常规的强度理论和设计方法是不可理解也是不能接受的。

传统的防止脆性断裂的设计方法是,在选择材料时,除要求构件服役过程中承受的应力小于许用应力外,还要求材料必须具有一定大小的塑性和冲击韧性。但工作中需要多大的 A , Z 和 α_k 是无法计算的,只能凭经验估计。所以这样的设计方法并不能确保构件的工作安全性。

二、断裂力学的一般概念

1. 结构存在裂纹造成脆性断裂

断裂力学认为,造成低应力脆断的主要原因是零件或结构件中存在裂纹,裂纹可能是冶炼、加工及热处理过程中产生的缺陷,也可能是构件在服役过程中产生的,对具体的材料,在一定的力学条件下,这些裂纹将发展并导致构件的断裂。

2. 断裂力学的任务

断裂力学的任务之一就是提出含裂纹零件或结构件(裂纹体)受载的合理力学参量以及裂纹体断裂时力学参量达到的临界值——断裂判据。断裂判据一方面是力学条件,一方面是材料抵抗断裂的性能,这表明材料抵抗断裂能力的指标即断裂韧度。

3. 线弹性断裂的提出

当含裂纹物体断裂时,如果整个物体受力基本上处在线弹性状态,即只在裂纹尖端有很

小的塑性区，且塑性区对裂纹尖端附近的应力、应变影响可以忽略，则这样的断裂问题叫做“线弹性断裂”问题。对于低温、高速加载或包含裂纹的零件和结构件，如果断面尺寸很厚，达到平面应变条件以及材料本身强度高、韧性低的情况，就容易发生线弹性断裂。线弹性断裂的特点是，当达到断裂的临界条件时，立即失稳断裂，这时构件不显示出明显的塑性变形，断裂是脆性的。

4. 弹塑性断裂的提出

当裂纹尖端塑性区较大，塑性区对裂纹尖端附近的应力、应变的分布影响不能忽略，这时裂纹尖端附近应力、应变处于弹塑性状态，这样的问题叫做“弹塑性断裂”问题，对于低温、非高速加载试验条件和含裂纹断面尺寸较小、满足平面应力条件及材料本身韧性较好、强度不高的情况，经历一段缓慢的稳定扩展过程，然后断裂。断裂后有较明显的塑性变形，断裂是韧性的。

5. 断裂力学设计程序

断裂力学对上述裂纹体线弹性和弹塑性问题都提出了相应的描述，如受载过程的力学参量 K 、 $CTOD$ 、 J 等达到裂纹起裂或失稳扩展的判据以及表明材料抗断裂能力的性能指标（如 K_{IC} 、 δ_{IC} 和 J_{IC} 等）。解决实际工程断裂问题的程序是：

- ①用查手册或计算的办法，寻求实际含裂纹零件或结构件的断裂力学参量；
- ②从手册上或用实验的方法确定材料抗断裂性能的指标，然后对比力学参量与断裂抗力的大小来进行结构件安全设计或估计结构件在服役过程中的安全与寿命。

第二节 应力强度因子 K 和平面应变断裂韧度 K_{IC}

一、应力强度因子 K

应力强度因子 K 的计算公式见式 (11-1)。

$$K = y\sigma \sqrt{\pi a} \quad (11-1)$$

式中 σ —— 名义应力 (N/mm^2)；

a —— 裂纹长度 (mm)；

y —— 形状因子（它取决于裂纹体形状尺寸、加载形式、裂纹部位等）。

从公式 (11-1) 可以看出：

当应力 σ 固定，裂纹长度 a 增大或裂纹长度固定而应力增大并达到一定程度时，裂纹便扩展，造成构件失稳断裂，此时应力强度因子 K 达到临界值 K_c 。材料的断裂韧性的性质称 K_{IC} 为断裂韧度。切变弹性模量 G 与应力强度因子 K 之间存在的简单平面应力关系见式 (11-2)，平面应变关系见式 (11-3)。

$$G = \frac{K^2}{E} \quad (11-2)$$

(11-3)

泊松比。

上述公式中 K 包含了 σ 和 a 。当已知 σ 时, 可依据 K_c 估算允许裂纹缺陷长度 a , 或依据裂纹长度 a 换算承载能力——应力 σ 。 K 的单位为 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ($\text{MN}/\text{m}^{3/2}$)。 G 的单位是 MN/m 。

二、裂纹体裂纹的三种受载形式及平面应变

如图 11-1 所示为裂纹体裂纹的三种受载形式。

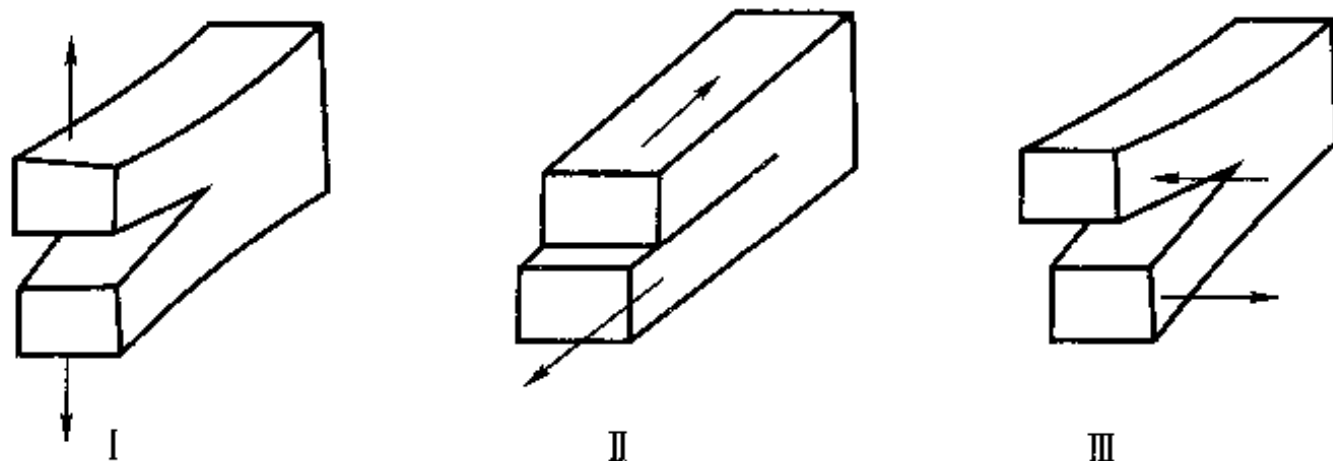
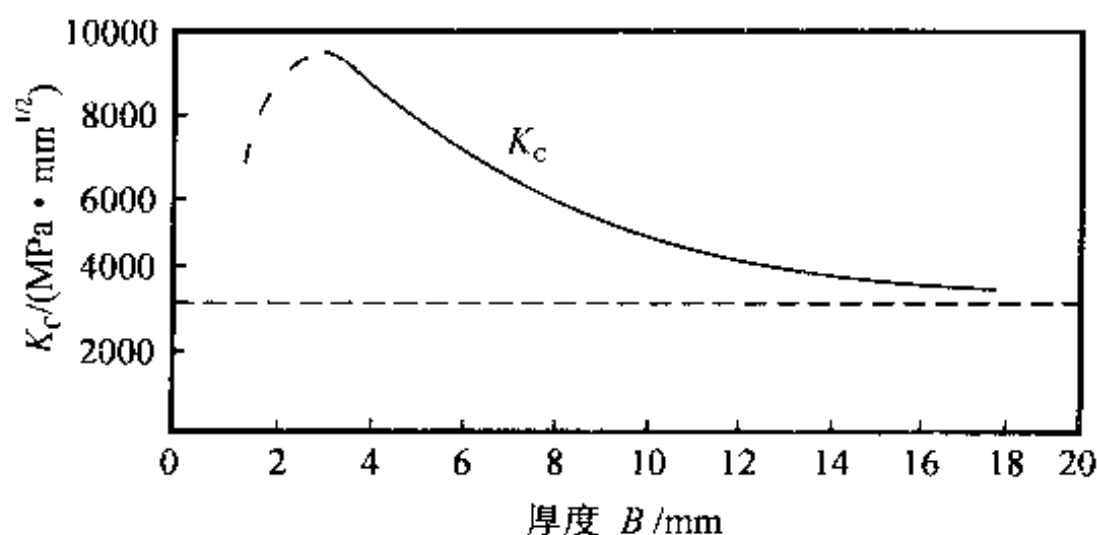


图 11—1 裂纹受载三种形式示意图

外作用力正好垂直于裂纹面的加载形式称为 I 型，I 型也称为张开型；其他方向的作用力还有 II 型（称为滑开型）、III 型（称为撕开型），其相应的强度因子有 K^I ， K^{II} ， K^{III} 三个分量。其中以张开型 I 型为最危险的加载型，故实际问题中，一般着重讨论 I 型（ K^I 分量）问题应用的最多。

应力强度因子 K_c 值的大小与裂纹所在断面的厚度 B 值有关, 如图 11-2 所示为 K_c 与 B 的关系曲线图。

图 11-2 K_c 值与厚度 B 的关系曲线图

从图 11-2 可看出随厚度 B 的增大, K_{Ic} 值降低。当 B 大到一定值后, K 值成恒定, 此时的厚度达到平面应变程度, 称平面应变条件下的 I 型 K_{Ic} 值为 K_{Ic} 。此时的 I 具有 I 型和平面应变双重意思。

第三节 裂纹尖端张开位移 CTOD 和 J 积分

当裂纹尖端塑性变形区域较大时, 线弹性处理的办法已不适用, 需要适合弹塑条件的新参量。现在应用比较广泛的弹塑性断裂力学参量是裂纹尖端张开位移 CTOD—— δ 和围绕裂纹尖端与路径无关的线积分—— J 积分, 相应其断裂韧度指标临界值为 δ_{c} 和 J_{c} 。

一、裂纹尖端张开位移 CTOD 的概念

I 型载荷下裂纹变化动态为: 裂纹体承受 I 型载荷时, 裂纹尖端首先是弹性张开, 随载荷的增大, 裂纹尖端发生塑性变形而钝化, 钝化到一定程度时, 裂纹开裂。如图 11-3 所示为 I 型载荷下裂纹变化动态图。

大量试验说明, 裂纹尖端张开位移 CTOD—— δ 能反映裂纹端部的变形强度, 并且开裂瞬时的裂纹张开位移 CTOD 与材料的性质和试样尺寸无关, 因而它可以作为变形过程的参量和判据。对于裂纹尖端塑性区范围较大的情况, 裂纹体开裂时, 不满足平面应变的条件, 起裂后不马上失稳, 而且有一定的裂纹扩张的过程。因此, 对于裂纹尖端塑性变形区域范围较大的裂纹体裂纹张开位移有一个起裂 CTOD、稳定扩张 CTOD 和失稳 CTOD 的过程。

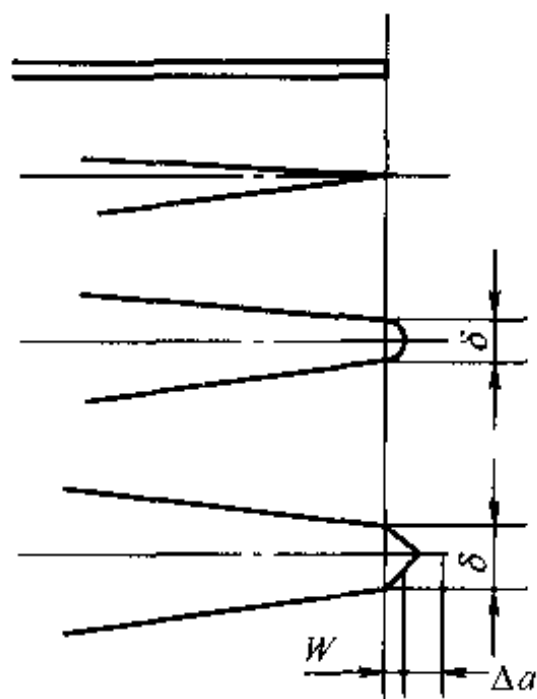


图 11-3 I 型载荷下裂纹变化动态示意图

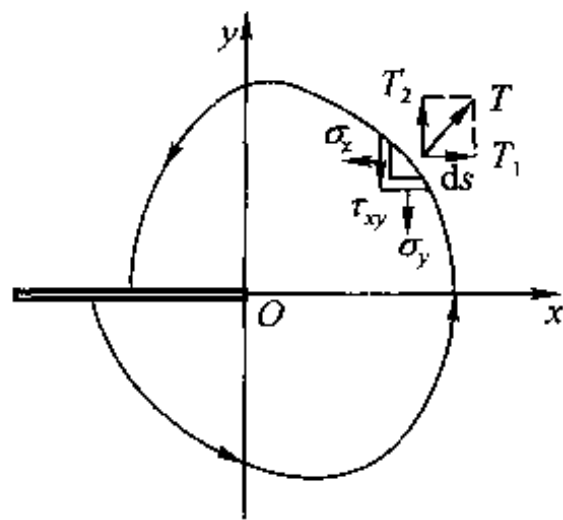


图 11-4 J 积分定义示意图

二、 J 积分的定义和性质

1. J 积分的定义

J 积分是对 I 型载荷裂纹体在裂纹尖端任意指定的路径从裂纹下表面逆时针方向到裂纹

上表面对给定函数进行的积分,如图 11-4 所示。

如图所示, J 积分计算公式为式 (11-4)。

$$J = \int_{\tau} (w dy - \mathbf{T} \times \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} ds) \quad (11-4)$$

式中 w ——应变能密度, $w = \sum \sigma_y \epsilon_y$;
 τ ——围绕 (即包含) 裂纹尖端的积分路径;
 ds ——路径的增量;
 \mathbf{T} —— ds 上的外张力矢量;
 \mathbf{U} —— ds 处的位移矢量;
 x, y, z ——直角坐标。

2. J 积分的性质

(1) J 积分回路是任意的, J 积分数值与积分回路所取路径无关。

(2) J 积分表示了裂纹尖端地区的应力应变场强度。实验表明, 裂纹尖端附近地区任意点的应力应变可以用公式 (11-5) 和式 (11-6) 来表示。

$$\sigma_y(r, \theta) = \left(\frac{J}{aI} \right)^{\frac{n}{1+n}} \cdot r^{-\frac{n}{1+n}} \cdot \tilde{\sigma}_y(\theta) \quad (11-5)$$

$$\epsilon_y(r, \theta) = a \left(\frac{J}{aI} \right)^{\frac{1}{1+n}} \cdot r^{-\frac{1}{1+n}} \cdot \tilde{\epsilon}_y(\theta) \quad (11-6)$$

式中 n ——材料硬化指数;
 a ——材料硬化系数;
 r ——裂纹尖端塑料区半径;
 I ——硬化指数 n 的函数;
 $\tilde{\sigma}_y, \tilde{\epsilon}_y$ —— θ 角的函数。

从公式 (11-5) 和式 (11-6) 中可看出, 只有 J 决定了应力应变强度, 因而 J 可以作为裂纹尖端应变场参量而作为断裂判据。

(3) J 积分的形变功率定义

实验证明, J 积分另有与上述公式等效的定义, 即公式 (11-7)。

$$J = - \frac{\partial U}{\partial a} \quad (11-7)$$

在线弹性情况下, $J=G$, 即 J 与 G 一样, 为裂纹微量扩展受载裂纹体系统弹性释放率。但在弹塑性情况下, 裂纹向前扩展时, 裂纹后面将发生卸载现象。对于 J 积分计算时所用的塑性力学全量理论不允许有卸载情况发生, 故 $\frac{\partial U}{\partial a}$ 的意思不再是裂纹扩展微量的意思, 它转变为受载裂纹体系统弹性能释放率, 是两个尺寸形状完全相同的受载体条件也完全相同的裂纹体或试样, 只是裂纹尺寸相差 da 在受载过程中其内储弹性能的差异。这样的定义对 J 积分实验有很大方便, 也奠定了 J 积分的实验基础。 J 积分的单位和 G 一样, 为 KN/m 。

(4) 用 J_{1c} 换算平面应变断裂韧度 K_{1c}

应力强度因子 K_I 和应变断裂韧度 K_{1c} 只适合于线弹性, 而 J 积分既适合于线弹性也适合于弹塑性, 因而可用弹塑性情况下测定的 J_{1c} 来换算线弹性下的 K_{1c} 。

实验表明,对一般结构钢,试样厚度 6~7 mm 受载时,裂纹前缘起裂处即属平面应变起裂,故可用很小尺寸试样取得 J_{IC} 值,并可换算需要很大尺寸试样才可满足平面应变的测试值 K_{IC} ,其换算按式 (11-8) 进行。

$$K_I = \sqrt{\frac{E}{1-\nu^2}} \cdot J_I \quad (11-8)$$

式中 $E=200\,000\text{ MPa}$; $\nu=0.3$, $K_I=470\sqrt{J_I}$, K_I 单位为 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$, J_I 单位为 MN/m 。

实际工作中常用小试样测得 J_{IC} 换算 K_{IC} ,但必须保证断裂形式相同。

第四节 断裂韧度试验技术

一、平面应变断裂韧度 K_{IC} 的测试

平面应变断裂韧度 K_{IC} 的试验过程就是把试验材料制成一定形状尺寸的试样,并在试样上预制出相当于缺陷的裂纹后进行加载实验。加载过程中,连续记录载荷 F 与相应的裂纹嘴张开位移 (CTOD) δ 。 δ 的变化表示了裂纹尚未起裂、已经起裂或稳定扩展的情况。当裂纹起裂失稳扩展时,记录下载荷 F_Q 后再将试样压断。测得预制裂纹长度 a ,代入 K 表达式中得到临界 K 值,暂记做 K_Q 。然后依一些规定判断 K_Q 是不是真正的 K_{IC} ,如果不符合判别要求,则 K_Q 仍不是 K_{IC} ,需要重新进行实验。下面分别介绍实验的各项操作和要求。

1. 平面应变断裂韧度试验试样

依据 GB 4161 的规定,金属材料平面应变断裂韧度 K_{IC} 的试验方法规定了三点弯曲紧凑拉伸、C 形拉伸及圆形紧凑拉伸等试样,而多数实验室采用三点弯曲和紧凑拉伸两种试样。

试样尺寸和计算公式如下:

① 三点弯曲平面应变断裂韧度试样及计算公式

三点弯曲断裂韧度试样见图 11-5。

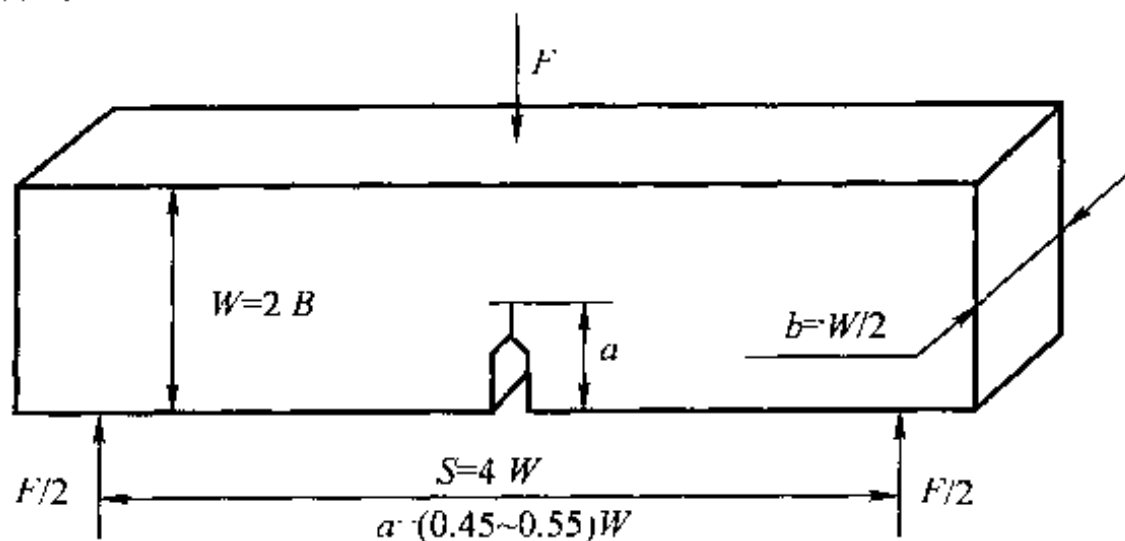


图 11-5 三点弯曲断裂韧度试样图

其计算公式为式 (11-9)。

$$K_I = \frac{FS}{BW^{\frac{3}{2}}} \times \frac{1}{2 \left(1 + \frac{2a}{W}\right) \left(1 - \frac{a}{W}\right)^{\frac{3}{2}}} \times 3 \left(\frac{a}{W}\right)^{\frac{1}{2}} \left[1.99 - \left(\frac{a}{W}\right) \left(1 - \frac{a}{W}\right) \times \left(2.15 - 3.93 \frac{a}{W} + 2.7 \frac{a^2}{W^2}\right) \right] \quad (11-9)$$

② 紧凑拉伸试样及计算公式

试样见图 11-6。

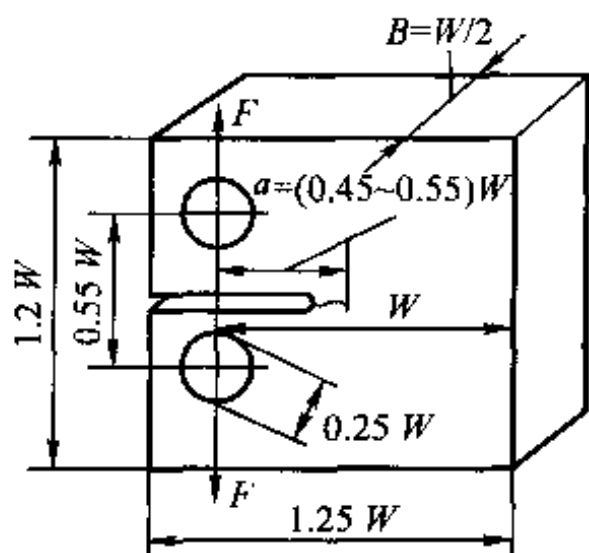


图 11-6 紧凑拉伸试样图

计算公式为式 (11-10)。

$$K_I = \frac{F}{BW^{\frac{1}{2}}} \times \frac{1}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^{\frac{3}{2}}} \times \left(2 + \frac{a}{W}\right) \times \left[0.886 + 4.64 \frac{a}{W} - 13.32 \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 14.72 \left(\frac{a}{W}\right)^3 - 5.6 \left(\frac{a}{W}\right)^4 \right] \quad (11-10)$$

③ 试样尺寸的确定

首先确定试样的种类，然后依照平面应变要求确定试样厚度 B ， $B \geq 2.5 \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_s}\right)^2$ 。当 K_{IC} 尚无法估计时，可参考类似钢种的数据。GB 4161 中规定

了参照 $\frac{\sigma_s}{E}$ 选择试样尺寸的办法。试样厚度 B 确定后，则可依试样图确定试样的预制裂纹长度 a 、韧带尺寸 $W-a$ 及其他尺寸。

④ 试样的制备要求

试样的毛坯可以从实物上制取，但取样方向应依据有关标准的要求，也可专门锻铸试样毛坯。毛坯经机加工、热处理磨削后，再按规定用钼丝线切割开缺口，并在高频疲劳试验机上预制裂纹。预制裂纹时，开始阶段加力可相对大些，但到最后阶段，应使循环应力强度因子 $K_{max} \leq 60\% K_{IC}$ ，以保证裂纹尖端的尖锐度，并形成较大的塑性区，使测得的 K_Q 偏高。疲劳裂纹从线切割缺口顶端至少扩展 1.3 mm。

2. 断裂试验

(1) 断裂试验的设备和装置及求 K_Q 的过程

如图 11-7 所示是三点弯曲试样断裂韧性试验的示意图。

试验是在一般的万能材料试验机或电子拉力机上进行的。在试验机上装有专用的放置平面应变三点弯曲试样 2 的支座，试验机压头座上装有载荷传感器 1，传感器下连压头。三点弯曲试样预制裂纹张开口两侧胶接对称的刀口，并装上夹式引伸计 3，在

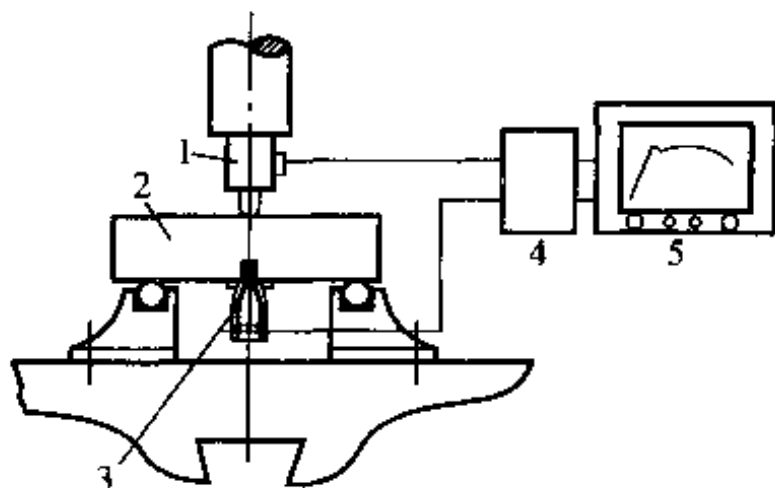


图 11-7 三点弯曲试样断裂韧性试验示意图

加载过程载荷传感器 1 将载荷 F 的信号、夹式引伸计 3 将裂纹口张开量 δ 的信号各通过放大器 4 输入 $x-y$ 函数记录仪 5, 从而描出载荷和裂口张开量的 $F-\delta$ 曲线。然后依 $F-\delta$ 曲线确定裂纹失稳扩展临界载荷 F_Q , 再将 F_Q 和试样压断后实测的裂纹长度 a 代入式 (11-9), 求出 K_Q 。

(2) 断裂试验测试结果的处理

试样压断后, $x-y$ 函数记录仪描出的 $F-\delta$ 曲线有如图 11-8 所示的 I、II、III 三种形式的曲线。

如图 11-8 所示的曲线 III 为强度高、塑性低的材料, 它在加载初始阶段 $F-\delta$ 曲线呈直线关系, 而当载荷大到一定程度时试样突然断裂, 曲线突然下降, 因而曲线 III 上最大的载荷就是计算 K_{Ic} 的 F_Q 。而对塑性较好的材料, 在 $F-\delta$ 的曲线图上曲线首先依直线关系上升, 到一定值后突然下降后又回升, 从而出现“突进”点, 直到某一更大载荷值出现后才完全断裂, 这种形式如图 11-8 的曲线 II 所示。对于韧性更好的材料, 可得到 $F-\delta$ 曲线 I。对于 $F-\delta$ 的 II 和 III 两种曲线, GB 4161 规定, 从坐标原点做比试验曲线斜率低 5% 的斜线与试验曲线相交而得 F_s 点, 在图 11-8 的曲线中, 若 F_s 以左有高于 F_s 的载荷, 则以该高载荷为 F_Q 计算 K_Q , 若以左无更高的载荷, 则以 F_s 为 F_Q 计算 K_Q 。

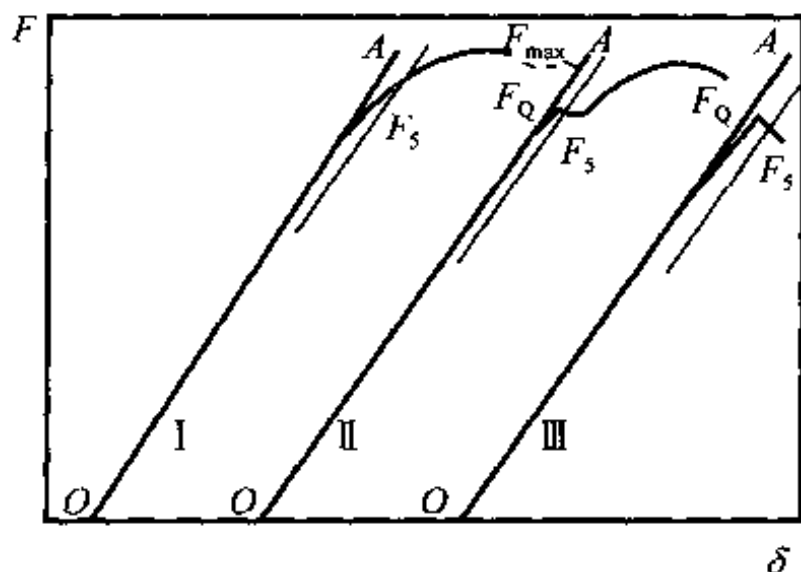


图 11-8 $F-\delta$ 曲线图

F_Q 确定后, 将压断后的试样进行原先预制裂纹长度 a 的测量, 然后将 F_Q , a , B , W , S 等代入应力强度因子表达式计算 K_Q , 三点弯曲试样的计算公式为式 (11-10)。

应该注意的是, 断口上预制的裂纹并不是一条平直的线, 而是一条弧形线, 对于弧形线, GB 4164 中已规定了测量长度 a 的办法。

(3) K_{Ic} 试验有效性的判定

GB 4161 中规定, 测得的 K_Q 是否有效须进行如下判定:

① 是否符合 $B \geq 2.5 \left(\frac{K_Q}{\sigma_s} \right)^2$ 的条件;

② $F_{max}/F_Q \leq 1.1$ 。

如果符合以上条件, 则 K_Q 即 K_{Ic} ; 如果不符合, 则 K_Q 不是 K_{Ic} , 须重新制作加大尺寸的试样并重新试验。

二、CTOD 与 J 积分试样简介

1. CTOD 与 J 积分测试与 K_{Ic} 测量的共同点

CTOD 与 J 积分测试都是 K_{Ic} 测试的延伸, 它基本采用了与 K_{Ic} 相近的一些做法, 如试样、压断装置和设备、对曲线的分析等。具体共同点如下:

- (1) 都采用了三点弯曲加载带预制裂纹的试样。
- (2) 压断装置和设备也是采用载荷传感器、位移传感器及 $x-y$ 函数记录仪。
- (3) 在试验过程中描出载荷 F —裂纹口张开位移 δ (对 CTOD) 或载荷 F —载荷作用点垂直位移 Δ (对 J) 曲线。
- (4) 对曲线进行分析以求出 CTOD 或 J_c 。

2. CTOD 和 J 积分测试与 K_{Ic} 的不同点

CTOD 和 J 积分测试与 K_{Ic} 的不同表现为测试的临界状态、试样尺寸及开裂点的测量等问题的不同。

(1) 关于测试的临界状态

平面应变断裂韧性 K_{Ic} 试验是裂纹一开始起裂就立即达到沿裂纹全面失稳开裂, 而 CTOD 和 J 积分试验却允许有亚临界稳定扩展试验, 它只要求在试样厚度中间部分是平面应变起裂即可。所以国标中将起裂时的 J 和 δ , 即 J_i 和 δ_i 定义为临界 δ_c 和 J_c 。

(2) 关于试样尺寸问题

对 CTOD 试样, 标准规定优先采用结构所用材料的全厚进行试验。标准的三点弯曲试样的 $\frac{W}{B}$ 名义上等于 2, 也可采用 $\frac{W}{B}$ 为其他值。加载跨度 $S=4W$, 平均裂纹长度 $a=(0.45 \sim 0.55)W$ 。而 GB 2038 标准中规定, 测定 J 积分试样厚度必须满足 $B_0 > 25 \frac{J_{Ic}}{\sigma_r}$, $\sigma_r = \frac{1}{2} \sigma_s + \sigma_b$ 。若 J_{Ic} 无法预估, 则对低碳钢取 $B=20$ mm, 对铝钛合金取 $B=15$ mm; $\frac{W}{B}$ 取 2, 也可以取其他值。

3. CTOD 的计算公式

三点弯曲试验受载时所绘制的载荷 F —裂纹张开位移 δ 曲线如图 11-9 所示。

其中原始裂纹尖端张开位移按公式 (11-11) 计算。

$$\delta = \delta_L + \delta_P = \frac{K_I^2 (1 - \gamma^2)}{2 \delta_s E} + \frac{\gamma_P (W - a) \delta_P}{\gamma_P (W - a) + a + z} \quad (11-11)$$

式中 δ_L —— δ 的弹性部分;

δ_P —— δ 的塑性部分;

γ_P —— 转动因子, 标准规定, $\gamma_P = 0.44$ 或实测;

K_I —— 断裂韧性;

$$K_I = Y \frac{P}{BW^{\frac{1}{2}}}。$$

其中 δ_P 部分可以从图 11-10 中 δ_P 指导示意图中的三角形相似关系推导出。

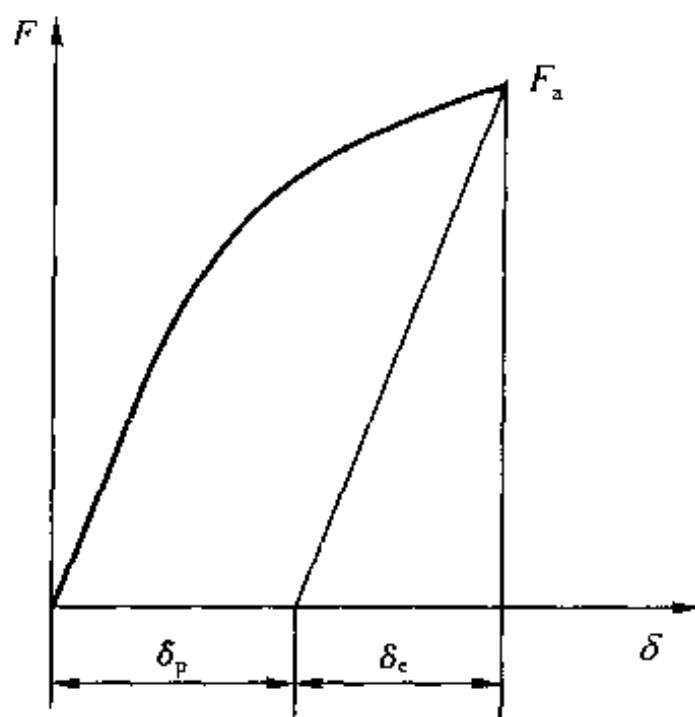


图 11-9 CTOD 试验的 $F-\delta$ 曲线图

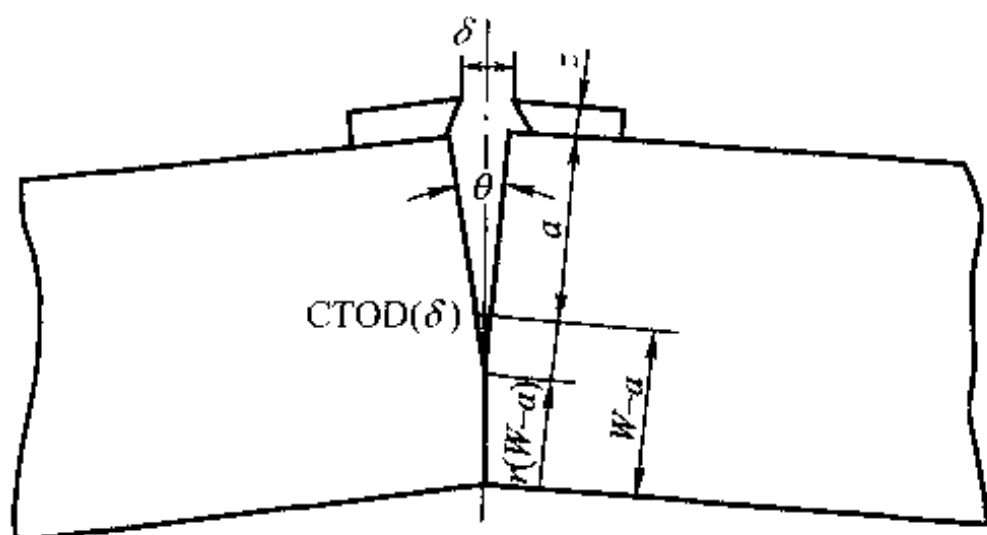


图 11-10 δ_p 指导示意图

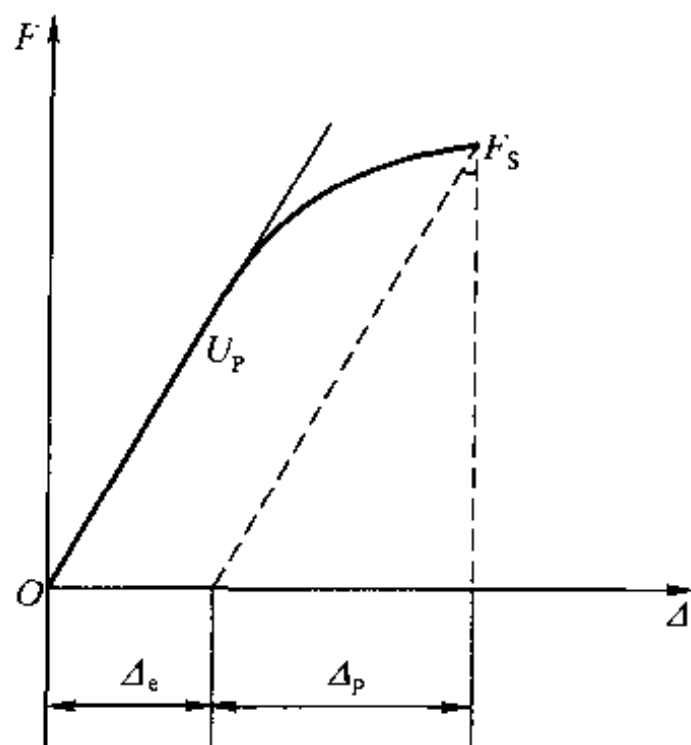


图 11-11 J 积分试验 $F-\Delta$ 曲线图

4. 计算 J 积分的公式

三点弯曲试验受载时，绘制载荷 F —施力点垂直位移 Δ 曲线图，如图 11-11 所示即为 J 积分试验 $F-\Delta$ 曲线图。

如 J 积分试验 $F-\Delta$ 曲线图中的曲线所包的面积为变形功比 u ，则 $F-\Delta$ 曲线可用公式 (11-12) 表示。

$$F = 4(\Delta)B(W-a)^2 \quad (11-12)$$

积分得 u ，再对 a 微分得公式 (11-13)。

$$J = -\frac{1}{B} \left(\frac{\partial u}{\partial a} \right) \Delta = \frac{2u}{B(W-a)} \quad (11-13)$$

这样，就可以用单一试样求 J 了。

由曲线下的面积可分为弹性部分和塑性部分，得公式 (11-14)。

$$J = J_e + J_p = \frac{1-\gamma^2}{E} \left[\frac{P_s}{BW^{\frac{3}{2}}} + f\left(\frac{a}{W}\right) \right]^2 + \frac{2u}{B(W-a)} \quad (11-14)$$

5. 关于开裂点及 J_i 和 δ_i 的测量

在试验过程中， $x-y$ 函数记录仪绘出 $F-\delta$ 曲线（对 CTOD 测量）或 $F-\Delta$ 曲线（对 J 测量）后，要在曲线上确定与预制裂纹开裂点对应的 δ_i 或 J_i 。国标中规定采用阻力曲线方法进行开裂点的测量，另外也可以用声发射、电位法等物理检测方法测量。阻力曲线法的原理是用多个试样，预制疲劳裂纹后进行断裂试验。

如图 11-12 所示，试验中加载到一定程度如 F_1 点时，停机卸载，并取下试样，再将试样进行二次疲劳引发裂纹，再将试样压断。

再测量压断试样试验前预制裂纹与试验后二次疲劳裂纹之间的间距，即为加载至 F_1 点裂纹的宽度 Δa ，如图 11-13 裂纹开裂宽度示意图所示。

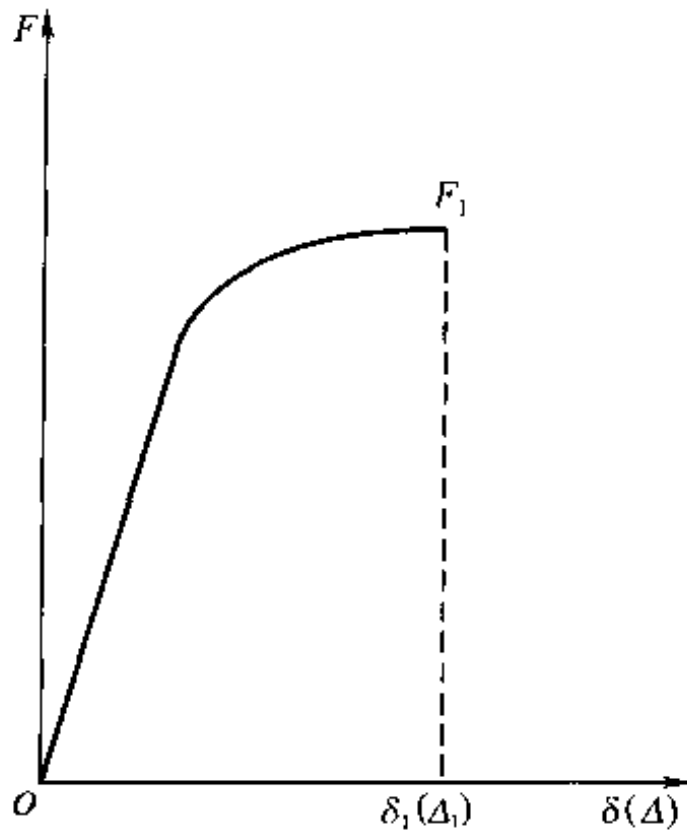


图 11-12 J 和 δ 试验时加载到 F_1 停机卸载曲线

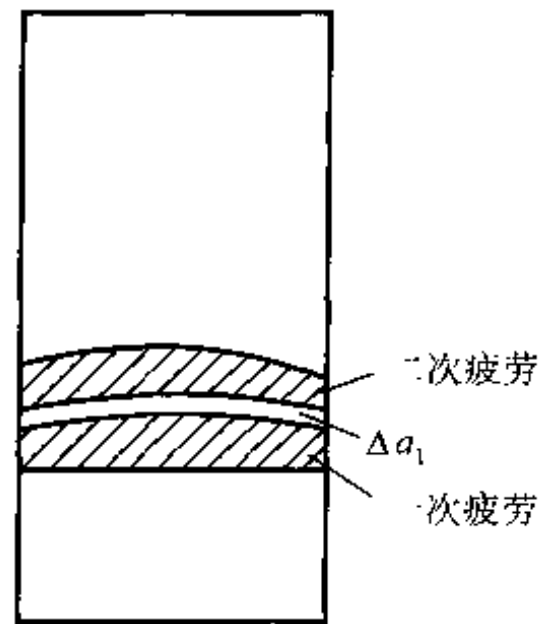


图 11-13 测量裂纹开裂宽度示意图

依据 $F-\delta$ (对 CTOD) 或 $F-\Delta$ (对 J) 以及 Δa_1 计算 J_1 和 δ_1 。同样, 再用另外的试样, 得到 $J_2, J_3, J_4, (\delta_2, \delta_3, \delta_4, \dots) \dots$, 测得相应的 $\Delta a_2, \Delta a_3, \Delta a_4, \dots$ 。将这些数据绘在 $J(\delta)-\Delta a$ 坐标中, 如图 11-14 所示即为 $J(\delta)-\Delta a$ 曲线图, 外推到裂纹起裂处即可。

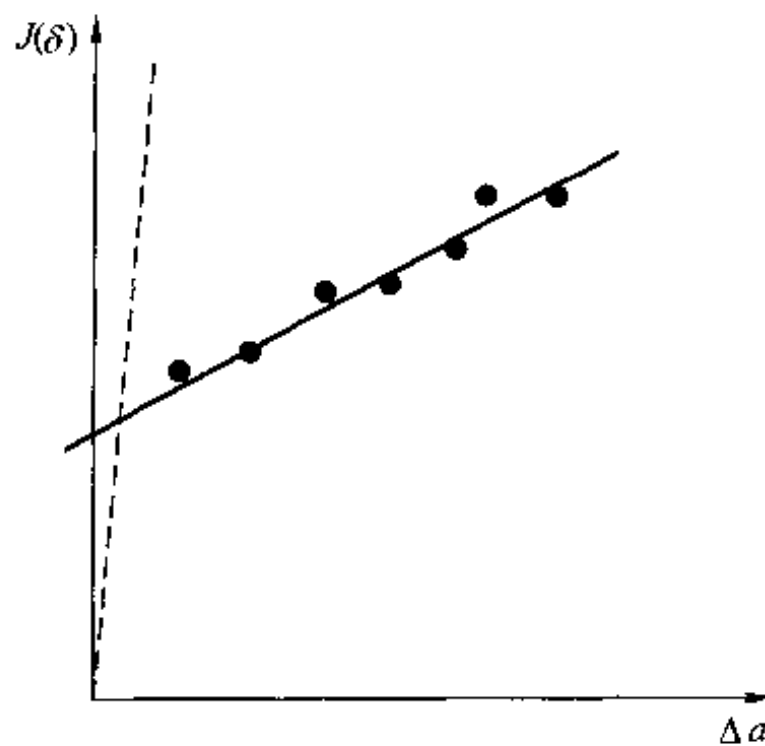


图 11-14 $J(\delta)-\Delta a$ 曲线图

外推后, 即可得到裂纹的起裂点的 J_1 和 δ_1 。曲线连接时, 标准中规定了直线和双曲线两种数据点回归处理办法。曲线外推以确定 δ_1 和 J_1 时, 要注意试样受载时由于裂纹尖端已向前扩展了 Δa , 故外推时应将其扣除, 标准中规定了扣除方法。对 J 积分采用阻力曲线法; 对 δ , 采用 $\Delta a=0.20 \text{ mm}$ 时的 δ 为 δ_1 , 也可采用阻力曲线。

思考题

1. 金属构件断裂破坏有几种类型？脆性断裂灾难性事故中断裂的发生有什么共同特点？
2. 断裂力学概念是什么？它的主要任务是什么？解决实际工程断裂的程序是什么？
3. 应力强度因子 K 是怎么定义的？什么叫金属材料的断裂韧度？
4. 裂纹尖端张开位移 CTOD 是什么？它有几个过程？有哪三种表达式？
5. 平面应变断裂韧度 K_{Ic} 测试的基本过程是什么？试样如何确定？有什么要求？测试结果如何处理？实验有效性如何判定？
6. CTOD 与 J 积分实验与 K_{Ic} 测量有什么共同点及不同点？

第十二章 材料试验机

根据材料试验用途的不同，材料试验机分为：万能材料试验机、硬度试验机、冲击试验机、疲劳试验机、扭转试验机以及金属工艺性能试验机（金属杯突、反复弯曲、线材缠绕）等。各类材料试验机品种、型号很多，在这里只能介绍一些常用材料试验机的一些结构原理、正确使用和维护的知识。

第一节 液压万能材料试验机

万能材料试验机分液压式、机械式、电子式三种形式；WE 系列为液压式，W 代表万能，E 代表液压；WJ 系列为机械式，J 代表机械；WD 系列为电子式，D 代表电子。目前形成的系列规格有 50 kN，100 kN，200 kN，300 kN，500 kN、600 kN、1000 kN、2000 kN。

万能材料试验机主要用于金属材料和非金属材料拉伸试验，还可以对金属材料进行压缩、弯曲试验。

一、结构原理

WE 系列液压式万能材料试验机从外形看分两大部分，即主体部分和测力计部分。

1. 主体结构

两根立柱用螺母固定在机座上，其上端装有大横梁。工作油缸固定在大横梁中央，工作油缸内有工作活塞，用防震调心球端轴支持着小横梁，其下端固定在工作台上，下夹头则装在机座中心的丝杆上端，丝杆受蜗轮螺母控制。当开动下夹头升降电动机时，由于蜗杆带动蜗轮旋转，致使丝杆带动下夹头做上升或下降运动，把夹头座调到需要的位置。

2. 测力计结构

它由载荷指示、自动描绘器、液压传动系统、高压油泵及操作部分等组成。这些机构全部安装在钢板外壳内，外壳各面必要处开有门，打开时能清楚地看到内部，以便进行调整和维修。下面分 7 个方面进行叙述。

（1）载荷指示机构

指示度盘上有两根指针，指示载荷数值，一根为主动针，另一根为从动针。当试验时主动针带着从动针，随载荷的增加做顺时针方向转动。当试验终了卸掉载荷后，主动针回到零点，而从动针仍留在原载荷数值的地方，以便有足够的时间来读出准确载荷数值。

(2) 自动描绘器

自动描绘器装在测力计右上方,由描绘笔、导轨架及记录筒等组成。根据试验需要,可绘出力—伸长曲线图。

(3) 测力机构

测力油缸内装有测力活塞,该活塞经夹板与蜗轮相联动。当油泵开动时油泵上小槽轮用皮带带动测力油缸上的蜗杆,使蜗杆传动蜗轮及测力活塞。因此测力油缸中的静摩擦变为动摩擦而提高了测力活塞上下滑动性能。当油压作用在测力活塞上并使测力活塞向下移动时,通过连杆及上部方铁使主轴带动摆杆,使摆砣产生一个角位移,这个角位移的大小与加到测力活塞上的载荷大小能以正比例推动齿杆,使指针指出作用在试样上的载荷数值。

(4) 液压传动系统

油箱内的油经过两道滤油网而被吸入油泵,再经油泵的送油管送到油阀内,当送油阀的送油手轮关闭时,由于油压作用将送油阀的活塞推开,油从送油阀的油管流回油箱。当送油手轮打开时,则油液经由送油管而至工作油缸内,再由压力油管到回油阀的孔路,进测力油缸,测力活塞被压并向下移,带动连杆,压板、齿杆使指针沿度盘转动指示出试验载荷数值。

(5) 可调缓冲阀

缓冲阀装在测力油缸上部的测力计左侧回油阀内。它的作用原理是,当载荷逐渐增加时,高压油由工作油缸通过测力油管经钢球流进测力油缸内;当试样断裂而压力骤然下降时,钢球堵住了原来的进口,使测力油缸内的高压油必须经过预先已经调节好的油针间隙缓慢地流出,使摆杆无冲击地回落到原来的位置。

(6) 油泵

油泵是试验机的心脏。油泵分径向柱塞泵和轴向柱塞泵两种。这里简单介绍轴向柱塞泵,它由主轴、斜盘、活塞及活塞套、泵体、进出油阀门、集油器等组成,具有压力高、流量小、噪声小的特点。

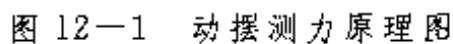
(7) 送油阀

送油阀由溢流阀和节流阀两部分组成。它有两个作用:一是稳定压力,二是控制加载速度。

3. 液压摆锤测力计的基本原理

见图 12—1。图中: O_1 为摆锤固定旋转中心,摆锤转动受轴承方铁控制; O_2 为轴承方铁与连杆接合点; β 为摆杆中心线与压杆夹角,轴承方铁反时针转动一个 β 角时,度盘指针转 180° ; W 为动摆总重量,包括摆杆、摆轴折合到理论重心的重量; l 为动摆的重心到 O_1 的距离; m 为 O_1 至齿杆中心线的垂直距离; b 为 O_1 至 O_2 的距离; φ 为受力后摆杆系统转角; x 为齿杆位移。

公式计算及推导从略。



223

三、故障排除（见表 12-1）

表 12-1 液压万能材料试验机故障原因及排除方法表

序号	故障	可能原因	排除方法
1	空载时灵敏度呆滞，主动针在零点附近有变动	(1) 测力活塞与衬套摩擦； (2) 皮带断裂，测力活塞不旋转； (3) 摆轴轴承锈蚀； (4) 指针轴承摩擦阻力大	(1) 清洗测力油缸，研磨测力杆； (2) 换新的皮带； (3) 清洗或更换摆轴轴承； (4) 清洗或更换指针轴承
2	齿杆不灵活，主动针在某几点上停住	(1) 导轨滚轴轴承锈蚀； (2) 滚轮安装不符合要求	(1) 清洗或更换导轴轴承； (2) 重新安装滚轮，使之与笔架平行
3	做试验时发现误差很大， σ_b 比平时高	联杆刀垫脱出刀刃，从而大大改变杠杆比	将测力计联杆拉起复位到刀刃上
4	空载时工作活塞上升，主动针也随之移动	(1) 工作活塞脏污或锈蚀； (2) 安装不水平； (3) 上下夹头不同心	(1) 清洗、细心修； (2) 按说明书要求找正水平； (3) 调正同心度
5	缓冲器失灵	(1) 缓冲单向阀钢球与阀座有异物； (2) 缓冲单向阀钢球与阀座之间间隙过大； (3) 钢球上的小弹簧变形； (4) 油变质或油太稀	(1) 清洗排除异物 (2) 调正间隙，以 0.5 mm 为宜； (3) 更换小弹簧； (4) 按说明书要求换油
6	油泵启动后不排油或流量不足，压力打不到满载	(1) 油箱油面过低； (2) 进油管滤油器堵塞； (3) 油路内存有空气； (4) 油泵内弹簧损坏； (5) 皮带过松，油泵转数下降； (6) 送油阀阻尼油针间隙过小	(1) 给油箱加满油； (2) 清洗与排除堵塞物； (3) 拧开集油器螺钉放空气，不断升高压力，打开回油阀放空气； (4) 将油泵拆开换弹簧； (5) 调整三角带长度； (6) 用铰刀适当放大间隙

第二节 机械式拉力试验机

机械式拉力试验机一般是以交、直流电动机为动力，通过蜗杆、蜗轮、螺母、螺杆等将作用力传递到机械传动测力机构，在度盘上指示出力值。这类试验机加荷方法的特点是，试样所受的载荷是缓慢地、逐渐地增加或减少，又叫做静荷试验机。机械式拉力试验机的品

种、型号很多，下面仅介绍一种常用的试验机的原理及结构。

一、机械式拉力试验机的原理及结构

1. LJ-5000 型的拉力试验机

它是采用典型的正切摆锤测力原理，如图 12-2 所示，当试样受到作用力 F 后，上夹持器上的刀垫悬挂在刀承上，使摆杆倾斜并扬起一个角度 α ，推板固定在摆杆上部，推动推杆（齿杆）作水平位移，推杆带动齿轮及与齿轮同轴的主动指针转动，即在度盘上指示出力值。推杆的位移与作用力 F 成正比，所以度盘上的刻度是等分的，它仅适用于 10 kN 以下的各种材料试验。

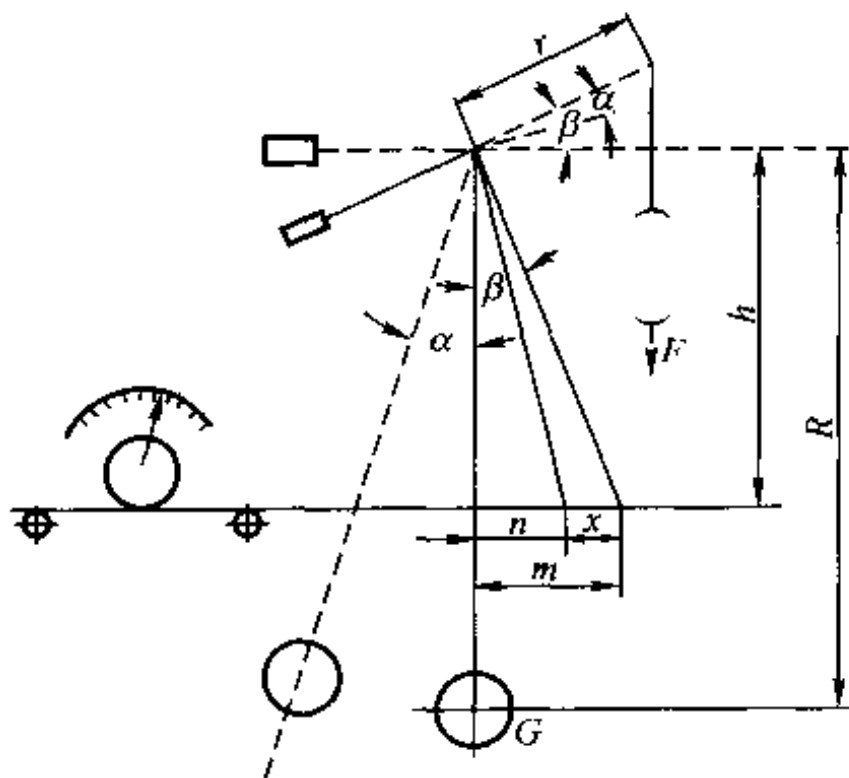


图 12-2 LJ-5000 型正切摆锤测力原理

2. LJ-5000 型拉力试验机结构

一般由夹持机构、加荷机构、测力机构和绘图记录机构 4 部分组成。

(1) 夹持机构

由上夹持器、下夹持器等组成。为了防止上夹持器夹紧试样时上接头有所活动而产生摆杆自由摆动，装有偏心制动器。装夹试样时，使上夹持器锁紧。做试验时，必须松开制动器。如果装上反向装置，可以改变受力方向，即可做压缩、弯曲等试验。

(2) 加荷机构

是以交流电动机为动力来源的机械传动加荷装置，由摩擦轮、离合器、螺杆、升降螺母和操纵手柄等组成，将力作用于试样上。当操纵手柄向上扳动时，下夹持器上升。当操纵手柄处在中间位置时，螺杆为静止状态，下夹持器不动。当操纵手柄向下扳动时，下夹持器下降。调整空载荷下降速度，可以转动调速手柄，来改变摩擦轮与摩擦盘接触部位，达到无级变速。为防止螺杆升降到极限位置而引起不必要的故障和损失，可调整紧固圈，并将销子插入制动杆，一旦下夹持器升降到极限位置时，可自动停止，切断电源。

(3) 测力机构

由固定摆轴、与摆轴联接为一体的摆杆、摆锤、推杆（齿杆）、主动指针及度盘等组成。它是采用正切摆锤测力原理，当试样受到作用力时，力即通过上夹持器传递到与摆轴固定在一起的短臂上使摆杆扬起一个角度，由固定摆杆上的推板推动推杆作水平位移，带动齿轮和主动指针按顺时针方向转动，在度盘上指示出力值的大小。

为了防止试样断裂后摆杆突然冲回，在机架上装有缓冲器，使摆杆平稳缓慢地返回，且不影响主动指针回零位。

(4) 绘图记录机构

绘图记录机构是记录拉伸应力与应变曲线图的，其应力是通过推杆水平移动时，直接带动描绘笔记录在纸上，试样的应变由传动装置使绘图筒转动，绘制应变。

二、试验操作注意事项及试验机保养

(1) 试验机安装完毕，必须进行试车，接通电源后，下夹持器的升降应符合试验方法规定的要求，空载荷下降速度用秒表测量三次取平均值，必要时进行调整。同时，升降下夹持器上下固定的限位开关应起作用，防止螺杆与螺母轧刹。

(2) 选择好度盘，挂好相应摆锤，各级度盘的选择，最好是在每级度盘载荷的 20%~80% 载荷内选择，这样既能保证试验机力值的正确性，又可以保证试验机的正常运转而延长寿命。

(3) 试验前试验机度盘上的主动指针应对准零位，使摆杆真正处于铅垂位置，试验机零位调整的一般方法是，A 砣本身固定在摆杆上，调整平衡锤，使其主动指针对准零位，然后挂放 C 砣，调整推杆，使主动指针对准零位。反复数次后，使调换不同摆锤时，主动指针始终对准零位。

(4) 必须相应地调节好缓冲器，当试样断裂时，使摆杆缓慢地回落，避免突然下落而撞击损坏仪器。

(5) 试验机的传动测力机构要灵敏，包括推杆、齿轮同轴主动指针、摆轴轴承、缓冲器等都应灵敏。检查方法是，使摆杆扬起一个角度，看主动指针是否复零位。

(6) 装好自动绘图器的传动装置和笔纸等。

(7) 试验时操作者不得离开，试验时不得触动摆锤，听见不正常响声或发生故障时应立即停车。

(8) 试验机在使用过程中若发现示值误差出现超差时，应从以下两方面查找原因。

① 传动比的改变引起误差

试验机经过一段时间的使用后，试验机本身的各个参数都可能发生变化，会引起传动比的改变；包括部件磨损、部件松动等。如部件松动，往往是短臂上刀承松动出现示值正超差，只要固紧一下螺丝就可以。如果是上夹持器上接头刀垫脱落，出现示值正或负超差，需要重新装好，凡是松动的零部件必须固紧。如果经检定后，出现示值误差第一点前正超差，最后一点负超差，中间几点在精度内，或第一点前负超差，最后一点正超差，中间几点在精度内，这种原因是起始短臂上刀承与摆轴轴中心原始夹角 β 角度的改变所致，解决办法是拆下摆杆、摆轴与联接摆轴的短臂刀承，用光隙法目测，重新进行装配就可以了。

②由摩擦力所引起的误差

一般是指测力机构传动系统有阻力。如摆轴的轴承、指针轴承和导向滚轮的锈蚀,推杆与齿轮啮合过紧或有毛刺脏物,被动指针弹簧片过紧,接触表面光洁度差,缓冲器连接杆与摆杆横臂连接处不灵活,缓冲器油缸内壁与活塞外径有摩擦,上夹持器有碰擦等。以上诸因素都是产生负偏差的原因。解决方法是清洗加油或调换轴承,重新拆装。另外一种原因造成示值误差最后一点超差的,就是摆杆碰到电器限位开关或线轮上绕线过短。解决办法是调整限位开关到最大载荷的3%~5%,绕线适当放长。

(9) 试验机使用环境应清洁干燥,周围无振源、无腐蚀气体。必要时试验温度应控制在 $(20\pm 10)^{\circ}\text{C}$ 范围内。

(10) 试验机机械传动系统应经常保持清洁,擦洗加油,防止灰尘与脏物影响试验机的性能。每年还需请当地计量部门定期进行检定。

第三节 拉力试验机发展简介

常用的拉力试验机一般分为机械式和液压式两种。近年来,随着科学技术的发展,特别是随着电子技术和液压技术的发展,80年代发展起来的还有电子试验机和自动试验机。

电子式万能试验机是一种先进的、用户极易操作的精密万能试验机。微机控制电子万能试验机利用计算机经调速系统控制伺服电机转动,经减速系统减速后通过滚珠丝杠副带动移动横梁上升、下降,完成试样的拉伸、压缩、弯曲等力学性能试验。它大多采用带有电阻应变片的载荷传感器测力装置和差动变压器伸长仪或以自整角和同步伺服方法测量变形。因此,无污染、噪声低、效率高,具有非常宽的调速范围和横梁移动距离,在金属、非金属等力学性能试验中,无论高精度小变形的高强度合金材料,还是试样变形较大,拉伸速度较快的绳、带、丝、橡胶、塑料等材料试验领域,都具有非常广阔的应用前景。

电子式万能试验机最大试验力有限,目前最大试验力为300 kN。然而液压试验机目前采用传感、伺服、数显微机等多项先进技术,基本实现了试验的自动化。微机控制电液伺服万能试验机,为了加强试验机控制方式设置的灵活性和数据处理能力,配备了PC机,通过GPIB接口和电控部分相连,实现PC机系统和电控部分的数据通信,实现试验数据的人机交互处理,存储后处理、再分析试验结果,可实现计算机网络管理。试验机具有等速试验力、等速活塞行程、等速应变、等速应力等控制,准确度高,各种控制模式之间可以任意平滑切换。

WAW-Y500型微机控制电液伺服万能试验机是目前比较先进的一种机型。该试验机分三个部分,一是主机部分,二是控制操作部分,三是微机控制操作和显示部分。

试验机结构包括以下各部分:

1. 主机部分

固定机架由底座、下移动横梁及两根丝杠构成。底座由地脚螺栓固定在混凝土基础上。移动机架由工作台、上移动横梁和两根支柱组成,它与固定机架相交叉,工作台与活塞连接在一起。油缸固定在底座中央,它的内部有连接着工作台的活塞,因此,当压力油进入该油

缸时, 活塞即带动机架上升。相反, 压力油返回油箱时, 则下降。移动横梁升降, 在固定机架的下移动横梁上, 有与丝杆相咬合的拉紧螺母, 其下部连有齿轮, 利用下横梁升降液压马达使其旋转, 以使下移动横梁升降, 对试验空间进行调整。下横梁当增加试验力时向上提起, 如果丝杆及拉紧螺母的螺纹部分有间隙时, 通过丝杆间隙消除, 机构中弹簧将下移动横梁弹起, 即可将该间隙消除。对于上横梁位置的调整, 为了按照试样的长度, 将上横梁调整到最容易操作的位置, 在支柱上设置了凹槽, 并附加了上横梁的卡、块件及安装环, 这样即可对试验空间进行调整。活塞行程还有行程检测器, 工作台随着活塞移动到上、下极点时活塞行程检测器可控制主油源油泵的电机立即停止旋转。油源由油箱、油泵和泵用电机、过滤器、油压控制阀、电液伺服阀、油缸和高压橡胶软管经配管连接而成, 电液伺服阀是为试验机专门开发的控制阀, 它既能使微机完成对液压系统的自动控制, 也可以用手动控制。上下横梁装有液压夹头, 它通过油箱、油泵、电机、电磁换向阀及节流阀对上下横梁内的夹紧油缸输送压力油, 实现钳口的夹紧和松开。试验机配置各类附件, 就可进行拉伸、压缩、抗弯、抗折等试验。

2. 控制操作部分

试验力指示部分包括以下指示计和显示器: ①试验力模拟指示计。②试验力数字显示器。③试验力峰值显示器。④液晶显示器。(各种试验条件的设定在显示器上以对话形式显示, 并可显示试验中活塞的行程)

控制操作部分由以下旋钮和按键组成:

①试验力满度调整器。②试验力零点调整旋钮。③峰值清除按键。④试验力量程选择按键。(试验过程中也可进行试验力量程的转换, 并具有自动切换功能) ⑤数值设定键。⑥试验力手动控制旋钮。⑦油泵 ON/OFF 键。⑧下横梁升降键。⑨操作键 START 试验力受控开始, STOP 试验力受控停止, HOLD 任意点保持, RETURN 活塞复位。⑩试验方法选择键 LOAD 试验力速控制, STRAIN 应变速率控制, STROKE 活塞上升速率控制。⑪试验条件存储器键, SET 外存储器存入, RON 外存储器调出。⑫控制选择键 AUTO/MAN 自动/手动, AUX/INT 外部指令/内部指令选择。⑬行程键 (ZERO 活塞位置显示置零, SPAN 活塞行程间距设定)。

试验机连接好线路, 打开电控柜后部的空气开关。启动主油泵和夹紧油泵, 预热 15~30 min 就能进行正常操作, 此时可以按前控制面板的旋钮和按键进行试验操作。手动操作主要用来预热主油源液压油和设备年检, 而自动操作才是真正用来控制试验过程的操作。自动操作是在手动操作调整完毕后, 将手动控制阀置于保持位置, 利用数值设定键设置试验条件, 由液晶显示器以对话形式显示, 使用自动控制选择键, 则试验过程自动进行。

3. 微机控制操作和显示

该机型配备 PC 机控制与数据处理系统, 通过 GPIB 接口和电控部分相连, 实现 PC 机系统和电控部分的数据通信, 可以实现工作方式、试验条件、数据处理条件的设定和试验过程的闭环控制以及控制参数的设置、存储、各种控制模式之间的任意平滑切换, 进行试验结果的数据处理、打印记录、存储和试验数据再分析等功能。

第四节 硬度试验机

硬度试验机有布氏硬度计、洛氏硬度计、维氏硬度计、肖氏硬度计以及超声和其他硬度计。根据检测材料的不同以及材料表面的处理和材料形状等的不同,还有邵氏橡胶硬度计、塑料洛氏硬度计、表面洛氏硬度计及显微硬度计等等。现在的硬度试验机还有数显、自动、微机控制等类型。下面仅介绍国内常见的布氏、洛氏、维氏三种硬度计。

一、HB-3000 型布氏硬度计

该硬度计是国内最广泛用于测定钢材、铸铁、有色金属及较软的轴承合金等材料的布氏硬度的仪器。

硬度计由机体、工作台、大小杠杆、减速器、换向开关等部件组成,另外,还附有 20 倍读数显微镜,供测量压痕用。

1. 机体与工作台

硬度计有一个坚固的铸铁机件,在突出于机体前面的座子上安装了套筒,套筒中装有配合精确的螺杆,螺杆上装有工作台立柱和可更换的工作台。工作台上升与下降是借螺杆的上下移动实现的,而螺杆的移动则由转动手轮通过螺母来实现。

在手轮和螺母之间装有一个钢球弹性定向器,当压头与试样接触并产生一定压力时,钢球弹性定位器失效,手轮与螺母产生相对滑动,借以保证接触压力不超过一定范围。

2. 杠杆机构

硬度计的杠杆机构是由大杠杆、小杠杆、吊架、压轴等零件组成。其中大杠杆的臂比为 1:12.5,小杠杆为 1:4,总杠杆比为 1:50。

负荷是借杠杆系统施加在试样上的。在大杠杆的长臂上有吊环挂有可更换的砝码,砝码组合分别得出不同负荷(187.5 kg, 250 kg, 750 kg, 1000 kg 及 3000 kg 等。负荷的施加是由电动机自动进行的,该电动机装在机体上。电动机的转动借减速器传动到连杆上,连杆下降时负荷经大杠杆、小杠杆、压轴及主轴衬套等传至压头。

3. 压轴部分

硬度计压轴部分是由弹簧、压轴、主轴衬套等零件组成的。

弹簧在非工作状态下将主轴衬套压靠在机头锥形凹座内,并使压轴紧靠在小杠杆中间的刀刃支承上,从而保持轴的精确位置。当试样与压头接触时,主轴衬套被顶起,这样确定压轴工作时的位置,保持了试样与压头中心的对准。

4. 减速器部分

减速器由两级蜗轮机构组成，传动比均为 $1:40$ ，故总传动比 $j=40 \times 40=1600$ 。

曲柄的转动是由减速器带动的。由曲柄、连杆、摇臂组成连杆机构，在电动机反转后连杆重新升起，负荷从压轴上卸除。

5. 换向开关系统

换向开关是控制电动机回转方向的装置，以此使加卸荷时自动进行。当按动按钮时，换向开关上的接触点 a 和 b 分别与 a_1 和 b_1 接触，电动机启动，于是减速器轴带着固定挡板、活动挡板和曲柄共同按顺时针方向旋转（观察机体右侧之固定螺钉），此时摇臂向下移动，辊子与大杠杆离开，负荷施加完毕，同时指示灯亮。

当活动挡板触动销子时，杠杆随之转动，于是接触点 a 和 b 分别与 a_1 和 b_1 断开，而使接触点 c 和 d 分别与 c_1 和 d_1 接触，电机反向回转，至挡板又碰到销子，则杠杆被拨回到中间位置，接触点 c 和 d 分别与 c_1 和 d_1 断开，电动机则停止转动，此时连杆重新顶起大杠杆，将负荷卸除。

二、HR—150 型洛氏硬度计

该硬度计主要用于测定淬火后钢件及硬质合金等的洛氏硬度，也可测定中等硬度金属材料的洛氏硬度。

该硬度计由负荷机构、加卸荷控制机构、测量指示机构、试样支承机构和机架等部分组成。

1. 负荷机构

由砝码、试验力杠杆、游码、主轴等组成。试验力杠杆装在硬度计体内上部，主负荷由砝码经试验力杠杆放大 20 倍以后所产生，再通过主轴传递到压头。预负荷主要由试验力杠杆处在水平位置时所形成的重力、游码、吊杆、主轴的重力以及指示器的测量拉力等组成。主轴为钢球滚动导向结构。

2. 加荷控制机构

由加卸荷手柄、连杆和缓冲器等组成。当向后推动加卸荷手柄时，连杆顶端上的滚动就与托盘的底端分开，开始在缓冲器的控制下负荷平稳地通过试验力杠杆、主轴加在试样上。如果将加卸荷手柄向前扳回原位，通过偏心轮使连杆顶端上的滚轮将托盘顶起，将砝码托住，即卸除主负荷。

3. 测量指示机构

由臂比为 $5:1$ 的测量杠杆和指示百分表等组成。把压入深度放大并由百分表直接指示出硬度值。

4. 试样支承机构

由手轮、丝杠、丝杠套止推轴承以及工作台等组成。丝杠与丝杠套键配合，旋转手轮可使丝杠和工作台一起升降。

5. 机架

为一封闭的壳体，除工作台、升降丝杠以及主轴座外，其余部件均装在壳体内。

三、HV—120 型维氏硬度计

该硬度计用于测定金属及其合金和经表面硬化处理工件的维氏硬度。

硬度计由机身、负荷杠杆机构、砝码变换机构、加卸荷机构、试件夹持机构、转动头机构、光学测微计以及照明系统等部分组成。

1. 机身

为一封闭的流线型壳体，除试件夹持机构的丝杠、操纵手柄外，其他机构均设在机体内部。

为便于调整及维修，在硬度计顶部设有上盖，后面设有后盖等，分别以销钉和螺钉紧固在机身上。

2. 负荷杠杆机构

杠杆靠弹簧装于支承架上，其杠杆比为 1:25，通过杠杆、压轴及压头主轴将负荷传到金刚石压头上。压轴通过导向套被弹簧拉靠在杠杆的出力点上。杠杆前端的平衡砣仅供校准公斤负荷时调整用。

3. 砝码变换机构

由支座反正螺旋丝杠、左右滑块、套筒式砝码及刻有负荷标记的手柄等部分组成。

负荷共分七级。第一级 (5 kg) 靠杠杆及主轴构件的自重和砝码盘等来达到，其余各级负荷是由里至外依次逐加标重为 10 kg, 20 kg, 30 kg, 50 kg, 100 kg, 120 kg 的砝码来实现。

各级砝码的底面均在同一平面上，与之对应的左右两滑块的上部平面亦呈水平，用以托住各级砝码。硬度计处于预工作状态（手柄处于水平位置）时，全部砝码均靠砝码盘吊在杠杆上，而不与滑块平面接触（间隙约 0.5 mm）。

当手柄上的负荷标记“120”对正定位盘的刻线时，左右滑块的距离处在最远的极限位置，这时，如启动硬度计，则全部砝码将随砝码盘一起下降，产生 120 kg 的负荷。如逆时针转动手柄使其圆周上的各负荷标记依次对正定位盘的刻线时，则左右滑块亦相应托住各层砝码，从而达到变换负荷的目的。

当手柄上的零点标记对正定位盘刻线时，左右滑块就将全部砝码托起而离开砝码盘，使硬度计在不使用时，杠杆不受力。

4. 加卸荷机构

(1) 结构

由缓冲器、重砣、拨叉、升降杆、套管、定位销及手柄等部分组成。

重砣的下降能量，可使一次试验的加荷、持续、卸荷形成自动循环。但每次试验前（即试件尚未接触压头之前）须用手压下手柄，升起重砣（储存能量）以达到试验的预工作状态。

当机构处在预工作状态时，升降杆托住杠杆；重砣上的小托架又托住升降杆；重砣直接固定在缓冲器的活塞杆上，活塞杆又与小杠杆、套管呈铰链联接；套管被与手柄呈刚性联接的下托杆托住，此时手柄处于水平位置，其上的孔和装弹簧销子的底盘孔正好对正，销子自动弹入手柄的孔里，使手柄不能转动，从而锁住整个机构，使硬度计处于预工作状态。另外，小杠杆的另一端又通过拉杆与上托杆铰接。

(2) 传动原理

启动传动装置加荷时，向左平推手柄，则销子被顶脱孔外，此时在重砣的作用下，套管、升降杆便开始下降，与此同时，拉杆的上升，便使上托杆迎着升降杆而上升。当升降杆产生 mm 级的下降时，便与上托杆接触。此时套管继续下降，则上托杆就顶着升降杆逐渐回升，当缓冲器的活塞行程至终了时，升降杆就被顶回到初始位置，从而完成自动卸荷的过程。当进行第二次试验时，将手柄压回至水平位置，则整个机构又处于预工作位置。

(3) 其他装置

为了在升起重砣时，不致使杠杆跟升降杆一起下降而使砧码产生冲击，在机身上装有能转动的拨叉，在重砣上部装有弹簧顶杆，在预工作位置时，拨叉被弹簧顶杆顶住。当启动时，重砣开始下降，由于弹簧顶杆的作用，拨叉并不转动，而不影响杠杆的下降，当重砣下降接近终了时，弹簧顶杆脱离拨叉，则拨叉在弹簧的作用下开始转动；重砣下降行程终了时，杠杆又回升到初始位置，此时，拨叉在弹簧作用下转到杠杆的销子下面（销子与拨叉之间的间隙已调整在 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ 之间）。

压下手柄，升起重砣时，升降杆开始下降，则杠杆便压靠在拨叉上，而不随升降杆一起下降。当升降杆由下降转变到回升而未与杠杆接触之前，虽然重砣上的顶杆已与拨叉接触，但因其顶力远小于杠杆的压力，所以拨叉仍不能转动。当升降杆继续上升，顶起杠杆至预工作位置时，因拨叉与杠杆下面的销子之间保持 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ 的间隙，则在弹簧顶杆的作用下拨叉转至预工作位置上。

为了指示负荷持续时间的长短，升降杆与端头螺钉绝缘。常态下杠杆与端头螺钉接触组成回路。当升降杆下降与杠杆脱离时（全部负荷作用在试件上），原回路切断，则指示灯燃亮。当升降杆再重新回升，顶回杠杆（卸荷）恢复常态回路，指示灯熄灭。从指示灯燃亮到指示灯熄灭的时间为负荷保持时间。其长短可用缓冲器上的调节阀来调整。

5. 试件夹持机构

由保护套、丝杠、工作台及手轮等部分组成。



根据试件的大小和形状来选择一定的工作台，然后将试件装于丝杠上端的孔中，转动手轮，即可使试件夹持在保护套和工作台之间。

6. 转动头机构

由转盘、压头主轴、限位杆等部分组成。在压头主轴的两侧 60° 角位置，分别固定有指示灯和光学测微计。转盘的转角以两上限位螺钉定位。

两个限位螺钉用来调整压头（压痕）和物镜轴心的重合度（使用时仅调整左面未封死的螺钉即可）。

压轴锥端的钢球与压头主轴顶面的间隙为 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ ，而该间隙值已于硬度计出厂前调整好，并以止动保护套上的顶丝固牢锁定（如不更换压头时不必调整）。

7. 光学测微计

测微目镜和物镜分成两体，测微目镜按水平方向固定在机身的头部，而物镜垂直固定在转盘上。当逆时针转动转盘时，依靠限位螺钉使物镜对准压痕，此即测量位置。

光学测微计用以测量压痕对角线的长度。在测微目镜测微器内，设有一块分划板（上面刻有间距为 1 mm 的 11 条刻线）和一块刻有一条细线的玻璃指标板；当转动测微目镜左面螺钉面移动分划板时，指标板即随动。当转动联接在指标板上的螺旋百分筒时二板相对移动。

当采用 10 倍物镜时，分划板的每一刻度线间距相当于 0.1 mm 压痕对角线长度，螺旋百分筒上每一分度则等于 0.001 mm 。当采用 4 倍物镜时，分划板的每一刻度线间距相当于 0.25 mm 压痕对角线长度，螺旋百分筒上每一个分度则等于 0.0025 mm 。

测微目镜可转 90° 角，用以测量另一条对角线的长度。

8. 照明系统

由硬度计的指示灯和光学测微计本身的照明灯组成。装入转盘上的指示灯用来指示试件承受负荷的持续时间，而装入光学测微计上的照明灯为在测量压痕时，供应照明视场之用。所用电源为 $220/6.3 \text{ V}$ ， 50 Hz 的交流电。

四、硬度计的维护、保养

硬度计应安装于干燥、清洁、无振动及无腐蚀性气体的室内。安放硬度计的基础坚固平稳，硬度计安装要水平，一般纵、横方向上水平度不超过 $0.2/1000$ 。硬度计电源应根据说明书要求接线，一定要接地线。试样的两个表面一定要平整，对于倾斜的面或圆柱面应采用特殊支座，特别要保护好压头，不可损坏压头。

硬度计需定期保养，摩擦表面均须定期加润滑油，减速器、缓冲器也要隔 $1 \sim 2$ 年更换。硬度计不使用时应在卸荷状态。试验完毕套上防尘罩，以保持机内清洁。硬度计每年要由计量部门检定。

第五节 冲击试验机

一、冲击试验机的原理及结构

摆锤式冲击试验机是科研生产中最常用的一种试验机。其工作原理为：在忽略摩擦和阻尼等情况下，摆锤被举起后所储存的势能将在摆锤落下时转化为动能，在冲断试样后，又将剩余的动能转化为继续扬起摆锤的势能。因此，冲断试样所消耗的冲击功，即为冲断试样前后的势能差。

冲击试验机可分为常温冲击试验机，高、低温冲击试验机和多次冲击试验机。其基本结构在第六章中已介绍。

二、冲击试验机的保养和维修

1. 保养

冲击试验机的外表应保持清洁，无油污和锈蚀，刹车制动可靠，摆锤主轴和轴承应清洁、润滑，防止异物进入。各运动部件连接处可适当加一些铰子油，以保证试验机各部件的正常动作。

试验机应根据使用情况定期检定，使其精度符合各项技术要求。

2. 维修

(1) 摆锤空打

指针不对准零位时，可能是锥形摩擦套相碰，这时只要调节推杆上螺栓，使摆轴转动时彼此有一定的间隙。若是手动操作的摆轴与刹车片，调整时应有相同的间隙，保证未制动时转动灵活。

安装试验机时，应根据要求调整机座的水平度至 $0.2/1000$ 以内。实时检查是否符合要求，否则应重新调整。

主轴轴承如有异物或因为加了凡士林使主轴转动的摩擦力增加，这时可用航空煤油清洗，然后加点钟表油。如因主轴轴承使用时间较长使滚珠不均匀磨损，或主轴轴承受潮后产生锈蚀使摆动阻力增加，就要对磨损或锈蚀严重的轴承进行更换。若主动指针的位置未调正，此时只要将摆锤放在铅垂位置，把主动指针调到最大位置并固紧即可。

(2) 从动指针颤动或空击时不为零

应将蝶形簧片适当压紧一些。

(3) 刀口钳口变形

一般是使用时间较长造成的，在这种情况下，应更换钳口。

(4) 打击中心偏差过大



应使用随机带来的卡板检查。检查时将摆锤轻轻地放下，观察摆锤刀刃中心是否对准卡板 V 型槽，如有偏差时，可将机座上的斜形楔块松开，然后移动左右支座的相对位置，利用卡板调至中心位置，调好后，固紧斜形楔块。

(5) 操作机构失灵，挂不上摆锤或不脱钩

这时可调节电磁铁调整螺丝，使其产生动作时有足够行程，让挂摆掣子足够距离挂入。若不脱钩，可将电磁铁带动掣子的行程适当调短一些。因此，调整时应适当控制行程。

当电磁铁与连接机构螺丝松动时，只要将它紧固一下，保证电磁铁传递的动作无松动，同时，可在传动中节点小轴处滴入少许锭子油，以防止锈蚀，并起滑动作用。倘若机件已磨损，不起作用，应更换有关零件。

(6) 制动失灵

当摆锤冲击试样后，按下制动按钮时或用手操作拨向制动时，摆锤仍在不断摆动。这时需要调节蹄片上摩擦片或锥形套间的间隙，使得在冲击时摆轴能自由转动；但在制动时，应该使刹车蹄片或者锥形套与摆轴接触而产生摩擦阻力，起制动作用。

(7) 电气控制方面

检查主机电器控制线路有否脱焊或虚焊，接触器线圈和电磁线圈有没有断路，限位开关及换向开关是否正常动作等，如发现问题应及时修理。

第六节 疲劳试验机

一、疲劳试验机的分类

疲劳试验机的种类和形式繁多，其分类的方法也较多。目前通常采用下面几种分类方法。

(1) 按照频率的高低，可分为高频疲劳试验机和低频疲劳试验机。

(2) 按照加载方式的不同，可分为机械式疲劳试验机、共振式疲劳试验机和电液伺服疲劳试验机。

(3) 按照试样承受的应力状态，可分为旋转弯曲疲劳试验机（分纯弯曲和悬臂梁弯曲）、平面弯曲疲劳试验机（平板试样）、拉压疲劳试验机、扭转疲劳试验机和复合应力疲劳试验机。

另外，还可以按照疲劳载荷产生的方式，即激振的原理来分类，例如，利用恒定载荷（离心力或杠杆砝码）加载的；利用曲柄偏心机构加载的；利用压缩空气激振加载的；利用电磁、电动和磁致伸缩加载的；利用电气液压激振加载的等。目前，较普遍的都是按照试样承受的应力状态不同来分类。

二、疲劳试验机的结构

尽管疲劳试验机的种类很多，而且各有其特点，但是它们的结构均是由加载系统、测力

系统、控制系统、计数装置、安全装置以及计算机系统等组成。下面就对两种常用的疲劳试验机，即旋转弯曲疲劳试验机和高频疲劳试验机作介绍。

1. 旋转弯曲疲劳试验机

这是应用最早的一种疲劳试验机。它具有结构简单、精确度高、使用方便可靠等特点，目前国内外都还比较广泛地应用它，并在不断地加以改进。

(1) 加载系统

这种试验机用砝码加载，外加力的大小、方向不变，而依靠试样的旋转来实现交变加载。试样被主轴孔内的弹簧夹头所夹持，支承在两边的滚珠轴承上。砝码通过吊杆和两个挂柱使试样产生弯曲。由电动机带动软轴使试样旋转从而产生交变应力，试样旋转一周，应力交变一次。

(2) 测力系统

因为砝码的重力是经过标定的，且砝码的重力就是外加力的大小，所以测力部分很简单。

(3) 控制系统

控制系统的主要功能是控制载荷恒定。砝码的重力通过吊杆和两个挂柱施加在试样上，从而使载荷恒定，同样，控制系统也很简单。

(4) 计数装置

在试验机上装有机械式计数器（或电子计数器），计数器连接在减速箱上，电动机的转速通过减速箱由计数器记录下来，这就是试验的循环周次。

(5) 安全装置

在试验机主轴下面装有一个限位开关，当试样断裂或变形过大时，主轴下降，压住限位开关，关闭电机。

2. 高频疲劳试验机

由于这种试验机频率高（一般频率在 50~300 Hz 左右；红山试验机厂生产的高频疲劳试验机调频范围在 60~250 Hz 左右），试验周期短，配上相应的夹具可以进行拉压、弯曲、扭转等疲劳试验，同时装上高温炉或低温箱还可进行高、低温疲劳试验。在测定材料或零部件的疲劳极限时，特别是在测定循环基数 N_0 为 10^7 ， 10^8 甚至 10^9 循环周次的疲劳极限时，需要花费很长时间，此时，提高试验机的频率是一种有效的方法。因此，高频疲劳试验机得到了广泛的应用。它是一种共振式试验机，对于其结构原理，现介绍如下：

(1) 加载系统

任意一个非对称的变动载荷都可分解为两部分：平均载荷和循环载荷，前者是静载部分，后者是交变部分。高频疲劳试验机的加载部分也分为这样两个机构：一是施加平均载荷的机构，试样下端通过夹头、测力计固定在机座上，试样上端与振动质量、加载弹簧、丝杆连接。当电源接通，电动机就启动，并带动一组齿轮，通过齿轮传动，丝杆就上升或下降，从而使试样受拉或压；二是施加交变载荷的机构，该机是基于共振振动原理进行工作的，脉冲发生器发生一定频率和强度的电信号，经放大器放大后给激振器，由于激振器是一个电磁铁，因而便产生一个相应原周期性变化的电磁力，这电磁力的大小就是激振力的大小，作用

在由振动质量、试样和测力计组成的弹性系统的自振频率相同时，便使该弹性系统发生共振，从而使该弹性系统的振幅和应力均放大了很多倍，这样就能使很小的激振力产生较大的交变载荷，并施加于试样上。

(2) 测力系统

测力系统的作用是检查和测量平均载荷和交变载荷的大小。该机的测力系统在试验机的下部，它是采用光学测力原理进行测量的，可分为测力计和光学系统两部分。近年来，许多疲劳试验机的测力系统已应用电阻测力方法。用电阻测力方法，静载、动载分别用两只毫伏表来指示，载荷的传感用电阻应变片。这种测力机构的精度比光学测量高。

(3) 控制系统

该试验机的控制系统包括平均载荷自动保持器、动载自动保持器和应力选择器。平均载荷自动保持器在疲劳试验过程中的运行方式是，当某种因素使得试样上的平均载荷发生改变时，反映在加载弹簧上就产生了相应的变形，把这个变形引入转换器，经过转换器转化为一个电信号，再经过放大器放大后操纵电动机和齿轮组，使丝杆上、下移动，以达到平均载荷不变的目的。动载自动保持器主要是用光电管来保持交变载荷的振幅不变，其工作原理是，当光电管的位置调节得适当时，在试验过程中，有少量的光线超过遮光片进入光电管，将这部分光电信号引入交变加载系统的放大器中，并与脉冲发生器产生的电压信号进行比较后送到激振器，产生激振力，由于这两个电压信号的相位差 180° ，相互抵消，所以，只要调节光电管输出的大小就能起到控制交变载荷振幅恒定的作用。应力选择器的作用是，不改变平均载荷，而只是改变交变载荷的振幅来达到程序加载；其主要组成部分就是在动载保持器的基础上，附加一套自动调节光电管滑块的机构；其原理为，由电动机带动丝杆，使丝杆上的滑块作上、下运动，滑块的运动带动了光电管的移动，从而控制了交变载荷的大小。而电动机的转动则是把已知的程序加载，通过一个鼓轮的装置输入给电动机的。

(4) 计数装置

是由一个很小的同步电动机和一个计数器组成的。

同步电机受脉冲发生器控制，所以能保证其频率与脉冲发生器信号的频率相同，即与试样上所加的载荷频率相同。计数器由同步电机带动。

(5) 安全装置的作用

当试样出现较大的过载、裂纹或断裂时，能自动停机，以保护试样和试验机不受损坏。该机设有限位开关，可实现过载保护和断裂保护。限位开关安装在机器的柱子上，当试样出现裂纹或断裂时，限位开关能通过限制横梁的位置，切断电源，停止试验。

过载保护和断裂保护是针对动载荷的保护装置。当动载荷过大，自动保持器无法维持原载荷时，过载保护设备即自动关闭振动系统。当试样出现裂纹时，动载荷下降，如果自动保持器无法维持原载荷时，断裂自动保护设备即自动关闭振动系统，停止试验。

三、疲劳试验机的维护

(1) 主轴和减速箱的维护，为保证试验机在高速情况下正常转动，主轴和减速箱应定期更换润滑脂。一般是每隔半年或一年更换一次，具体视试验机的利用率而定。更换时可将主轴上轴承盖取下，用汽油清洗后涂挂上说明书规定的润滑脂。试验机在工作条件下，主轴表

面温度不应超过 50°C 。

- (2) 试验机未经电镀或油漆的表面以及弹簧夹头、主轴孔内均应清洁后加润滑油。
- (3) 试验机的砝码、吊杆、电动机及传动部分也要及时清洗、保养。

第七节 扭转试验机

这种试验机可以对试件施加扭矩，并能测出扭矩的大小，是一种专供扭转试验用的设备。它一般都是由加载和测力两个基本部分组成的。现仅介绍国产 NJ 系统扭转试验机。

一、试验机的工作原理

该机器具有固定夹头及严格对心且能主动旋转的夹头。当圆形试样装夹在这两夹头之间以后，由于主动夹头的旋转，即施加扭矩使试样的各个横截面绕着轴相对转动。主动夹头是由可控硅控制转速的直流电机，经减速器带动旋转，它具有两挡较宽的无级调速范围： $0\sim 36^{\circ}/\text{min}$ 与 $0\sim 360^{\circ}/\text{min}$ 。主动夹头、减速器和直流电机一起组装在溜板上，溜板可在机座的导轨上自由滑动，便于装夹不同长度的试样。由夹头传递来的扭矩 T 通过杠杆或反向杠杆经变支点杠杆至拉杆，作用于水平拉杆。由于拉杆力 F 的作用，水平杠杆失去平衡，右端上翘，推动差动变压器的铁心移位而输出电信号，经放大器放大，使伺服电机转动，通过钢丝拉动游砣移动到新的平衡位置，杠杆恢复水平状态。这时，差动变压器铁心恢复原位，无信号输出，伺服电机停止转动。游砣移动的同时，通过钢丝拉动绳轮，使指针在测扭矩度盘上指示扭矩 T 的数值。

试验机有四挡不同范围的测扭矩度盘，变换度盘时，需转动量程选择手轮，经链条、圆锥齿轮、凸轮来变换支点及度盘，带着指针转动的绳轮，同时通过钢丝带动记录笔沿记录筒移动。如指针转动一圈，记录笔所描绘的直线长度，就代表该度盘的满度扭矩值，作为扭矩座标。主动夹头强迫试样扭转变形，它所转过的角度，由自整角发送机输出电信号，经放大器传至伺服电机，带动自整角变压器转动，由齿轮啮合转动记录筒使记录笔在纸上绘出代表扭转变形的曲线。因此，记录笔的移动和记录筒的转动合成描绘出试样的扭矩—扭转角曲线图。

扭转试验机的操作方法在第四章中已介绍。

二、注意事项

- (1) 机器运转时，操纵者不得离开。听见异声或发生任何故障，应立即停车。
- (2) 在实验时，不得任意触动摆锤。
- (3) 试件要夹紧，以免开车后打滑。装试件时，不要把夹头中的夹板槽突出太多，防止脱出。
- (4) 电动加载时，要先取下手摇柄。加载方法或加载速度如需要改变，必须在停车后进行。还应经常检查电器部分及限位开关是否良好。

第八节 蠕变持久试验机

由于蠕变和持久强度试验有许多共同的特点,所以很多试验机是蠕变和持久两用的。属于这种类型的试验机吨位都较大(3~5 T),并配有进行蠕变试验的变形测量系统,炉子尺寸也较大。

另一类试验机是专门设计用来进行持久强度试验的,吨位小,电炉尺寸也小。

一、蠕变持久试验机的构造

蠕变和持久试验机都由以下几个主要部分组成。

1. 机架

这是试验机的框架,目前采用的有四立柱式和二立柱式,并要求立柱有足够的刚度。底座要保证试验机安装牢固,并附有调节水平的螺丝。

2. 加荷机构

这是由夹头、杠杆支承和砝码盘等组成的一套机械结构。采用丝杆系统可以使得施加少量砝码即可获得较大的力值。杠杆系统通常可分为上杠杆式和下杠杆式两种。上杠杆式指加荷杠杆位于机架上部;下杠杆式指加荷杠杆位于机架下部。杠杆系统还具有结构简单、加荷稳定、使用方便等优点。为提高负荷精度,杠杆系统的力点、重点和支点多采用刀承结构。老式试验机有用轴承结构的。试验机采用双杠杆结构,使试验结构更加紧凑。

3. 加热部分

试样加热都是在电炉中进行的。试验温度为900℃以下时,加热电炉的发热体可用镍铬电热丝,温度更高时需要用钼丝或钨丝。为保证炉温均匀,选用圆炉膛为好,电热丝缠绕在上面,通常分成二个或三个独立绕组,可以分别调节温度,使炉温均热带长度不小于常用试样总长度的1.5倍。炉温调节需配备高精度、高可靠性的温度控制系统。

4. 变形测量机构

它是为蠕变试验机专门配备的。多采用引伸杆将试样变形引到炉外测量。用于测量变形的有千分表和差动变压器两种。

因蠕变变形量都很小,无论千分表还是差动变压器,其测量精度都要求为0.001~0.002 mm,并且要求在3000~5000 h之间稳定可靠。千分表的优点是读数直观,装拆方便,不用附加其他仪表及电气线路,缺点是不能自动记录。差动变压器是将试样变形位移转换成电信号用仪器测量,配备适当仪器可实现自动记录及自动绘制蠕变曲线。对于有的试验机变形曲线,有的试验机变形测量采用螺旋显微读数。

为了保证在试样伸长过大或拉断时不损坏测量元件,蠕变变形测量都采用倒读式,即随

试样伸长, 读数应逐渐退至零点。

二、对蠕变持久试验设备的要求

各种型号的试验机, 结构形式虽各不相同, 但都应满足一些共同的要求才能进行蠕变和持久试验。归纳起来主要有如下几点:

(1) 为防止外来振动的影响, 试验机本身基础要稳固, 机架要有足够刚度, 加载后不应有明显变形。

(2) 试验机的结构应保证加荷、卸荷以及杠杆调平过程中没有冲击和振动。在试验过程中载荷保持不变, 并具有准确的加载中心。在试验机使用载荷范围内, 负荷误差不大于 $\pm 1\%$, 杠杆同一位置负荷变动值不超过 $\pm 1\%$, 载荷偏心率不大于 15% 。

(3) 加热炉应保证在规定时间内升到规定的温度, 并在整个试验过程中保持温度恒定。温度控制系统应保证试样计算长度内的温度偏差符合表 12-2 的规定。

表 12-2 蠕变试验允许温度偏差

温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	温度波动/ $^{\circ}\text{C}$	温度梯度/ $(^{\circ}\text{C}/\text{cm})$
≤ 600	± 3	3
$> 600 \sim 800$	± 4	4
$> 800 \sim 1000$	± 6	6

(4) 变形测量系统精度不低于试样总蠕变伸长量的 1% 。

一般情况下, 试验机的负荷精度和偏心率应每年请计量部门检定一次, 不合格者不能投入使用。

思 考 题

1. 试述液压万能材料试验机的主体部分和测力计部分的结构。
2. 液压万能材料试验机如何正确安装、调试、使用及进行一般故障的排除?
3. HB-3000 布氏硬度计、HR-150 洛氏硬度计和 HV-120 维氏硬度计有哪几个部分组成?
4. 对各类硬度计如何进行维护、保养和调整?
5. 冲击试验机由哪几个部分组成?
6. 冲击试验机能量损失如何测定? 摆轴中心到打击中心是如何测量的?
7. 疲劳试验机一般由哪几个部分组成? 如何正确操作?
8. NJ 系列扭转试验机由哪几个部分组成?
9. 扭转试验机的扭矩如何检定?
10. 蠕变和持久试验机一般由哪几个部分组成?
11. 如何正确操作和使用各类金属材料工艺试验的仪器设备?

第十三章 金属热处理基础知识

第一节 金属学基础知识

金属学是研究金属和合金的成分、组织、性能及其变化规律的一门科学。学习金属学基础知识重点在于掌握组织、组织的形成及其变化规律等方面的基本概念和基本原理。因为这是材料力学性能检验者借以了解各种金属材料的成分、热处理、组织与性能之间关系的基础。

一、纯金属的结构与结晶

(1) 金属晶体的结构特点

金属晶体是由原子在空间严格按照一定的规则周期性重复排列所构成的。这是把晶格中原子排列看成是绝对完整的，而被称为理想晶体。但在实际金属晶体中，原子的排列不可能这样规则完整。实际晶体是以结构的规则排列为主，兼有不规则排列，这是金属晶体的结构特点。

(2) 金属晶体中的 3 类缺陷

金属晶体中的缺陷可分为点缺陷、线缺陷和面缺陷。

二、合金的结构与结晶

合金有比纯金属更好的机械性能和某些特殊的物理化学性能。因此目前应用的金属材料绝大多数是合金。

1. 合金的基本概念

(1) 合金

由两种或两种以上的金属或金属与非金属经熔炼、烧结或其他方法组合而成并具有金属特性的物质称合金。组成合金的最基本的独立物质（如各元素或稳定化合物）称为组元。如碳钢和铸铁，是由铁和碳元素组成的合金，又称铁碳合金。如果尚有其他合金元素存在时，则称多元合金。

(2) 相

相是合金中具有同一化学成分、同一结构和原子聚集状态以及同一性能的均匀组成部分。在固态下，可以形成均匀的单相合金，也可能由几种不同相组成多相合金。不同相之间有明显的界面，称相界面。

(3) 组织

合金的组织是由相组成的。纯金属一般是以单相组织存在的。合金的组织较为复杂，如铁碳合金中，铁素体和渗碳体都是相，它们可以组成珠光体组织。

(4) 合金的性能

一般是由组成合金的各相本身的结构特性和各相的组合情况决定的。

2. 合金的基本组织

根据合金的各元素之间相互作用的不同，合金中的相结构大致可分为固溶体和金属化合物两大类型。合金的这两大类相，又可按其成分和结构进一步分成若干具体类型。

合金的组织组成物主要有三种：固溶体、金属化合物和机械混合物。

(1) 固溶体

固溶体是溶质原子溶入溶剂中所形成的均匀结晶相。合金固溶体是由组成合金的各元素以合金元素为溶质，溶入基体金属（溶剂）中而形成的均匀的金属晶体。固溶体的结构保持基体金属的结构，如碳钢中的铁素体是以 α -Fe 为基体（溶剂）和碳为合金元素（溶质）相互溶解而成的固溶体。其晶体结构仍保持 α -Fe 的体心立方晶格。

根据溶质原子在基体晶格中所处位置的不同，固溶体又分为间隙固溶体和置换固溶体。

(2) 金属化合物（中间相）

溶质含量超过固溶体的溶解限度时，就可能形成新相，这种新相是由两组元按一定的或大致一定的原子比相互化合而成的，并且完全不同于原来组元晶格和性质的固溶体，称为金属化合物。由于金属的化合物在二元相图中总是处在两个固溶体区之间的中间部位，所以又称为中间相。

金属化合物一般具有复杂的晶体结构，因此，熔点高、硬而脆。金属化合物是各类合金钢、硬质合金及其他有色金属的重要组成相。

金属化合物的类型很多，主要有正常价化合物、电子化合物及间隙相和间隙化合物等。

(3) 机械混合物

组成合金的各组元，在固态下既不能互相溶解，又不能形成化合物，而混合式组成的称为机械混合物。机械混合物的性能取决于各组成相的相对量、形状大小和分布情况。最常见的机械混合物是铁碳合金中的共析组织珠光体，它是由铁素体和渗碳体两种单独的相机械混合而成的。珠光体的性能完全取决于其中的铁素体及渗碳体的相对量、形状、大小和分布情况等。

三、铁—碳平衡图

铁—碳平衡图是分析铁碳合金结晶过程，寻找该合金的组织形成及变化规律，以便利用这些规律来指导生产实践的依据，如在研究和应用材料、制定其热加工和热处理工艺以及分析工艺废品的原因时，都需要应用铁—碳平衡图。

1. 铁—碳平衡图和铁—碳合金双垂相图

如图 13-1 所示为铁—碳平衡图。

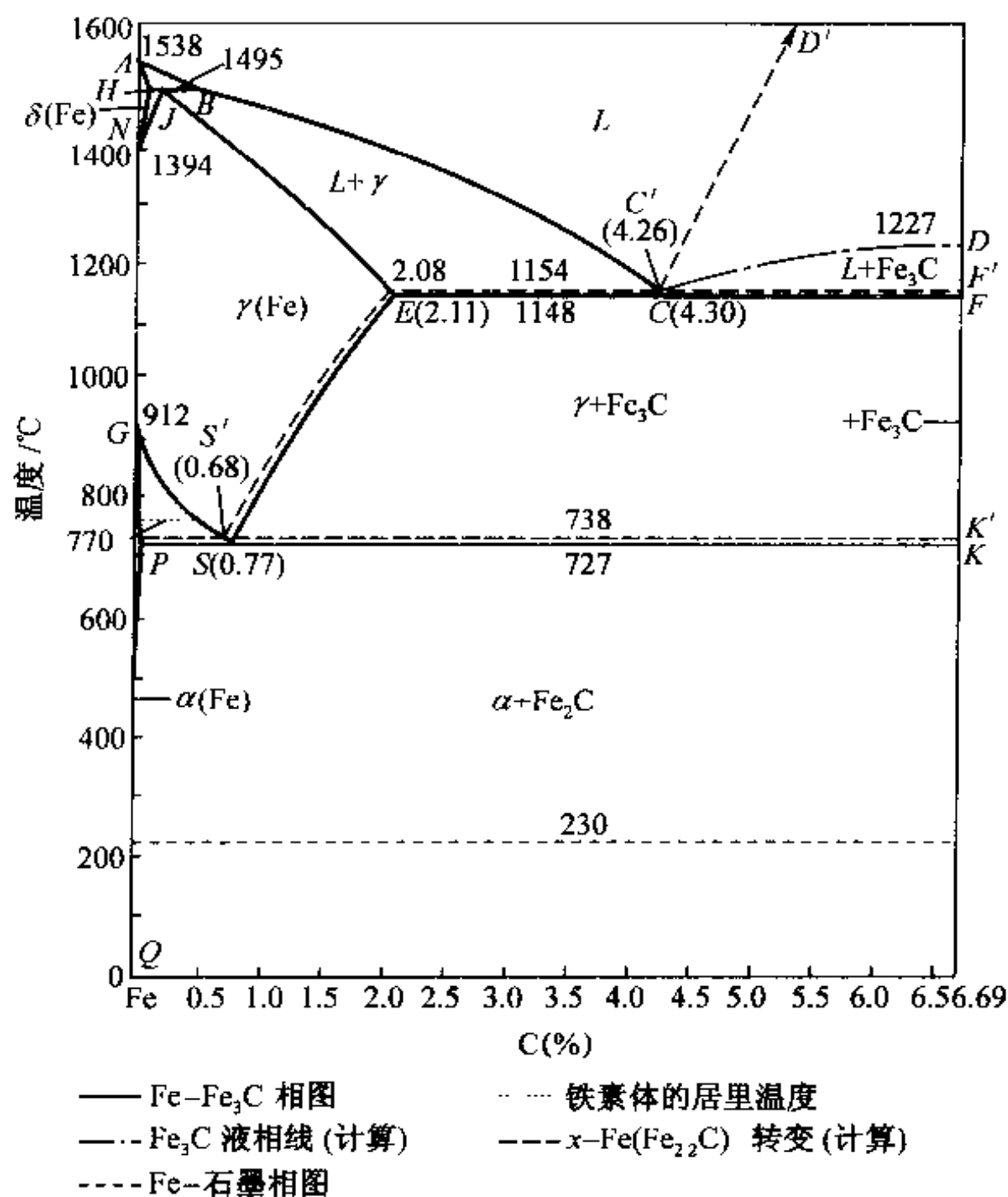


图 13-1 铁-碳平衡图 铁-碳合金双垂相图

铁-碳平衡图通常称铁-碳合金相图。因为它能够表示该合金系中任一合金在任何温度下所存在的相，故也称相图。相图又可以表示任何成分的合金在任何温度下的组织状态，所以又称为状态图。铁-碳平衡图是在极缓慢冷却条件下（接近平衡条件）测定的，它表示合金在平衡状态下组织的变化，故又称平衡图。

铁-碳平衡图按铁-渗碳体 (Fe₃C) 相图进行结晶固态转变。但是渗碳体 (Fe₃C) 是一个亚稳定相。在某种条件下渗碳体会分解为铁的固溶体和石墨，即 $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow (\gamma\text{-Fe}) + \text{石墨}$ 。因此，可以测得一个新的铁碳合金图，即铁-石墨相图。把铁-渗碳体相图的部分实线再加上虚线即表示铁-石墨相图。

2. 铁-碳合金结晶过程的分析

(1) 铁-碳合金中的相组织

① 铁素体

碳原子溶于 α 铁形成的固溶体称为铁素体。

② 奥氏体

碳原子溶于 γ 铁形成的固溶体称为奥氏体。

③ 渗碳体

碳含量超过溶解限度后, 剩余的碳形成的 Fe_3C 化合物称渗碳体。

(2) 铁—碳合金结晶过程的分析

如图 13-1 所示, $ABCD$ 为液相线, $AHJECF$ 为固相线, 整个相图主要由包晶、共晶和共析三个恒温转变所组成的。

① 包晶转变

在 HJB 水平线 (1495°C) 发生包晶转变, 即 $L_d \rightarrow \gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}$, 转变产物是奥氏体。此转变仅发生在含碳量为 $0.09\% \sim 0.53\%$ 的铁—碳合金中。

② 共晶转变

在 ECF 水平线 (1148°C) 发生共晶转变, 即 $L_c \rightarrow \gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}$, 转变的产物是奥氏体和渗碳体的机械混合物, 称为莱氏体。含碳量为 $2.11\% \sim 6.69\%$ 的铁—碳合金都发生这个转变。

③ 共析转变

在 PSK 水平线 (727°C) 发生共析转变, 即 $\gamma_S \rightarrow \alpha_P + \text{Fe}_3\text{C}$, 转变产物是铁素体和渗碳体的机械混合物, 称为珠光体。所有含碳量超过 0.02% 的铁—碳合金都发生这个转变。共析转变温度常称为 A_1 温度。

④ 铁—碳相图中三条重要固态转变线

如图 13-1 所示, GS 线为奥氏体中开始析出铁素体或铁素体全部溶入奥氏体的转变线, 称为 A_3 温度。 ES 线为碳在奥氏体中的溶解限度线, 此温度称 A_{cm} 温度, 低于此温度时, 奥氏体中将析出渗碳体, 此渗碳体也称二次渗碳体。 PQ 线为碳在铁素体中的溶解度线, 在 727°C 时, 碳在铁素体中的最大溶解度为 0.0218% , 600°C 时降为 0.008% , 因此铁素体从 727°C 冷却下来时也将析出渗碳体, 此渗碳体称为三次渗碳体。图中 MD 线 (770°C) 表示铁素体的磁性转变温度, 常称为 A_2 温度。 230°C 水平线表示渗碳体的磁性转变线。

第二节 钢的热处理及其组织

热处理是强化金属材料, 发挥钢材潜力的重要工艺措施之一, 也是改善材料加工性能的重要手段。它具有极其重要的现实意义。

所谓热处理, 就是把金属和合金加热到给定温度, 并保持一段时间, 然后用选定的速度和方法使之冷却, 得到所需要的组织和性能的一种工艺。根据不同的要求和目的, 可以采用不同的热处理工艺。

钢的热处理工艺大致可以分为退火、正火、淬火、回火、调质及表面热处理等 6 种。但是不论哪种具体的热处理过程都不外乎加热、保温和冷却 3 个阶段。而热处理正是通过控制加热、冷却等条件以达到控制组织、改善性能的目的。因而热处理与金相组织之间关系密切。热处理后的效果和质量在现场一般用硬度计来检验。下面将分别介绍这 6 种热处理工艺。

一、钢的退火及其金相组织

1. 退火工艺的定义和退火方式

所谓退火，即将钢件加热到一定的温度，保温一定的时间，然后缓慢冷却的工艺过程。退火的目的是为了获得接近于平衡状态的组织。亚共析钢的退火组织为铁素体和珠光体。共析钢为珠光体，过共析钢为渗碳体和珠光体。退火一般作为毛坯件的预先热处理工序。

根据毛坯件的钢种、原始组织、加工方法（铸、锻、焊等）和要求性能的不同，需用不同的退火方法。下面将分别介绍退火方法。

2. 扩散退火

扩散退火主要是为了消除铸晶的偏析。它主要应用于中、高合金钢的大型铸件和高合金钢锭等。扩散退火的加热温度高，保温时间长。处理后的铸件内部晶粒十分粗大。扩散退火的工艺过程如图 13-2 的扩散退火工艺曲线图所示。

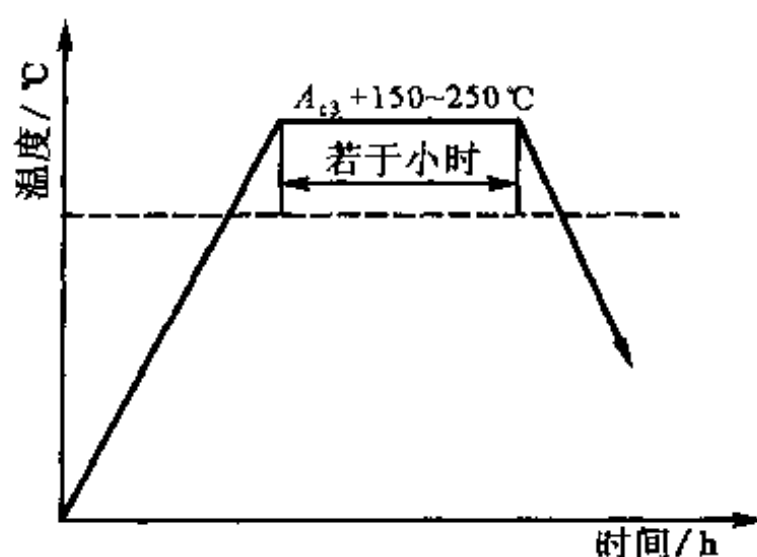


图 13-2 扩散退火工艺曲线图

3. 完全退火

完全退火工艺过程如图 13-3 的完全退火工艺曲线图所示。

完全退火工艺主要应用于亚共析钢的锻件、热轧钢材及中型铸件等。处理的目的是细化晶粒、提高韧性、消除内应力、降低硬度和强度、便于切削加工。它得到的是接近平衡状态的组织。

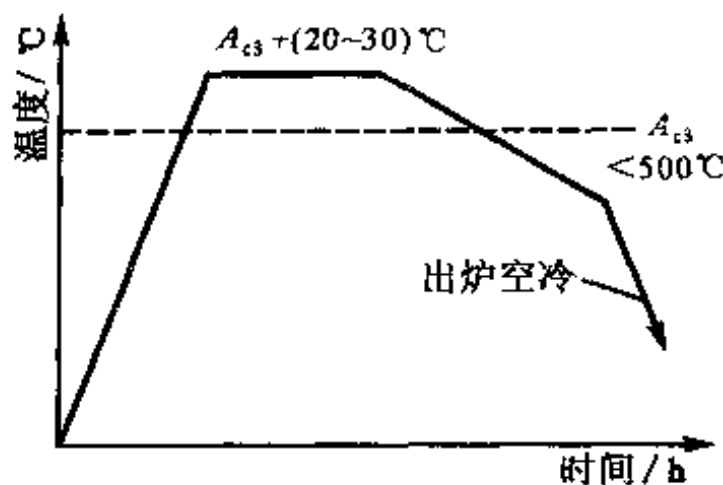


图 13-3 完全退火工艺曲线图

4. 球化退火

球化退火主要应用于共析钢和过共析钢（即含碳 0.7%~1.4%）的锻件。处理的目的是把片状珠光体变为球状珠光体，从而降低硬度，以便于切削加工后获得光洁的机加工表面，改善组织，减少淬火时的变形和开裂。球化退火的工艺过程如图 13-4 的球化退火工艺曲线图所示。

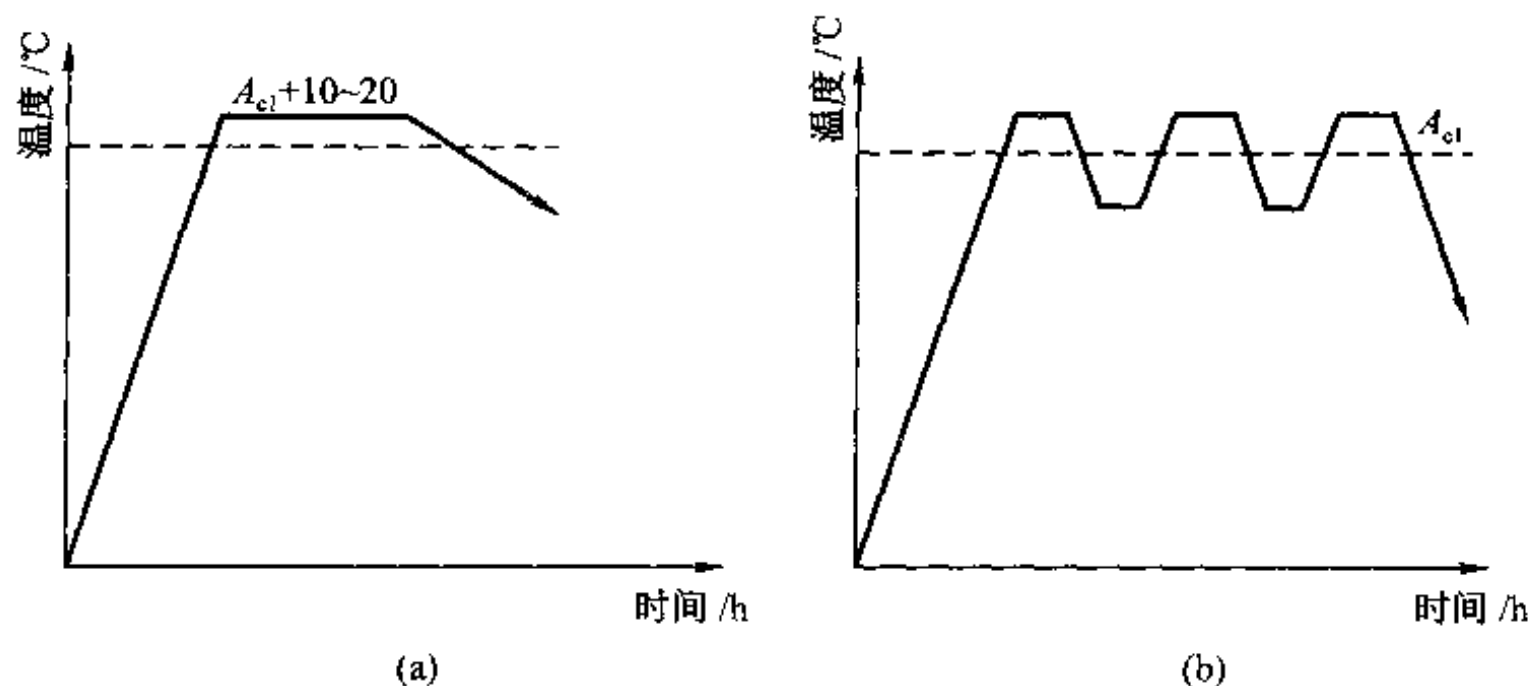


图 13-4 球化退火工艺曲线图

为了获得细小均匀的球状珠光体，就要选择合适的退火温度，如果温度偏低便会出现片状珠光体，失去球化退火的作用。

5. 等温退火

等温退火是将钢件加热到 A_{c3} （亚共析钢）或 A_{c1} 以上（共析钢和过共析钢），保温一定时间，然后使钢件较快地冷至 A_{r1} 点稍下的温度（相当于珠光体转变的最不稳定区）保持一定时间，待转变完成后取出在空气中冷却。等温退火工艺如图 13-5 等温退火工艺曲线图所示。

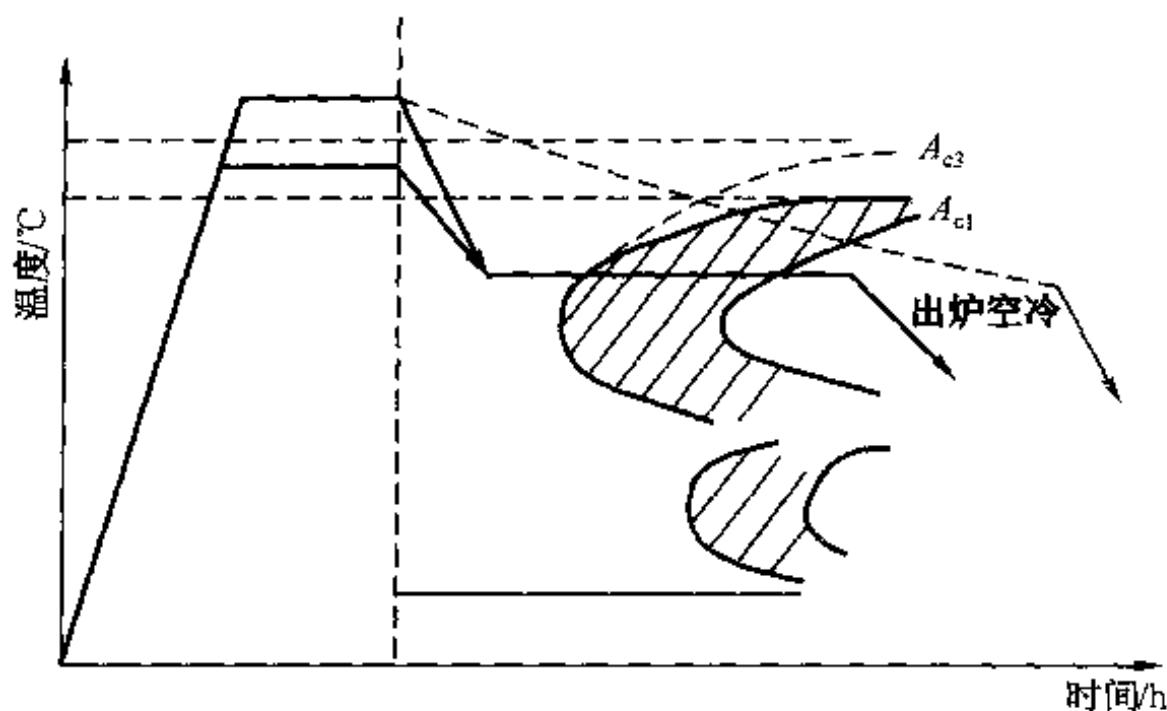


图 13-5 等温退火工艺曲线图

6. 去应力退火（低温退火）

去应力退火是为了消除工件的残余应力，稳定尺寸。用于要求尺寸稳定、变形小的铸件、焊接结构件以及形状复杂、厚薄相差悬殊、易变形的工件。它常在机加工之后、淬火之前进行。去应力退火工艺如图 13-6 去应力退火工艺曲线图所示。

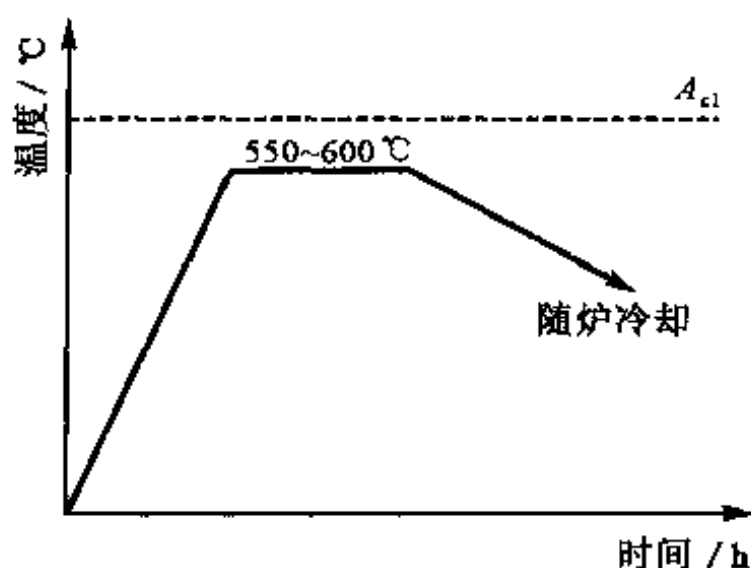


图 13-6 去应力退火工艺曲线图

7. 再结晶退火

再结晶退火是为了消除冷塑性变形后被拉长的晶粒和加工硬化的现象，得到细小的等轴晶粒及良好的塑性，以便进一步进行冷塑性加工变形。再结晶退火工艺如图 13-7 所示。

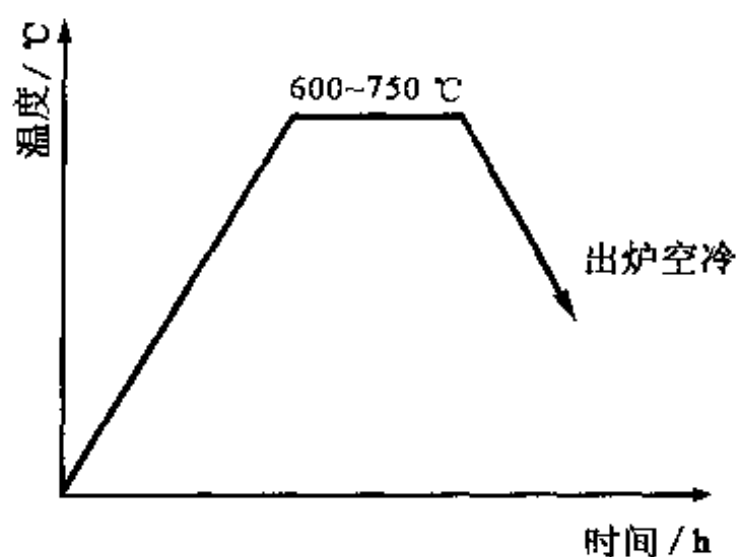


图 13-7 再结晶退火工艺曲线图

二、钢的正火工艺及其组织

1. 钢的正火工艺和目的

钢的正火工艺如图 13-8 正火工艺曲线图所示。

正火的目的是为了细化晶粒，改善钢的机械性能，提高硬度，改善钢的切削加工性，消除网状碳化物，以利于球化退火或代替渗碳后的第一次淬火。与退火相比，正火所获得的珠光体比较细密，它的强度与硬度也比退火高。亚共析钢的正火组织除珠光体细密外，还使铁素体晶粒细小、数量减少。对过共析钢来讲，正火常作用在球化退火前的一道工序，以消除网状的二次渗碳体。

2. 钢正火处理的主要用途

如上所述钢的正火处理工艺主要用于如下几个方面：

(1) 用于中碳钢制的普通结构零件以代替调质作用为最后热处理。正火还可以作为代替完全退火的预先热处理，可节省工时、简化工序。

(2) 低碳钢（含碳量 $<0.3\%$ ）退火后硬度太低，切削加工会“粘刀”，采用正火能提高硬度，改善切削加工性，这时正火温度应提高到 $A_{c3} + (100 \sim 150)^\circ\text{C}$ 为宜。

(3) 可用于过共析钢球化退火前去除网状碳化物。当渗碳件在渗碳缓冷后表层出现网状碳化物时，也可以用正火来代替第一次淬火，以消除网状碳化物，减小渗碳件变形。

正火温度对组织影响很大，只有正火工艺所选用的温度合适才能得到细小的晶粒。温度过低正火作用不大，温度过高，正火后晶粒会粗大，甚至会重新出现魏氏组织。

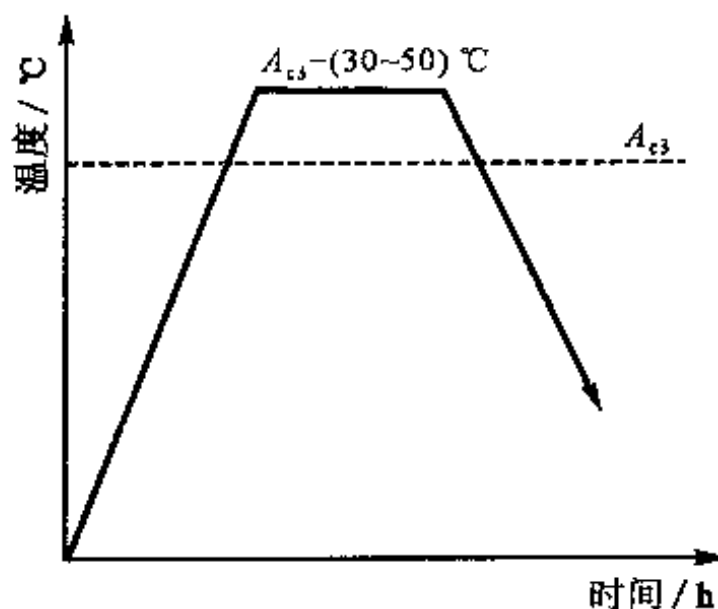


图 13-8 正火工艺曲线图

三、淬火及其金相组织

1. 淬火工艺的定义和淬火组织

所谓淬火，对钢来讲，就是将钢加热到临界温度（亚共析钢 A_{c3} 和过共析 A_{c1} ）以上的适当温度经保温后，以大于临界冷却速度（ v_c ）急骤冷却，以获得马氏体组织的热处理方法。钢经淬火后在性能上突出的特点是硬度高、塑性低。

2. 淬火工艺规范

(1) 淬火加热规范

钢的淬火温度主要是根据钢的成分，由其临界点 A_{c1} 或 A_{c3} 的位置来确定。亚共析钢采用 $A_{c1} + (20 \sim 30)^\circ\text{C}$ ，共析钢与过共析钢为 $A_{c1} + (30 \sim 50)^\circ\text{C}$ 。在铁—碳平衡图中，如图13-9所示即为钢淬火时加热温度示意图。

在实际生产中，要确定淬火温度，还要考虑工件的形状、尺寸变形的要求、冷却介质、钢的本质晶粒度等因素的影响。

(2) 淬火方法

根据钢的成分、工件性能的要求及工件的形状尺寸，可以采用以下各种淬火方法：

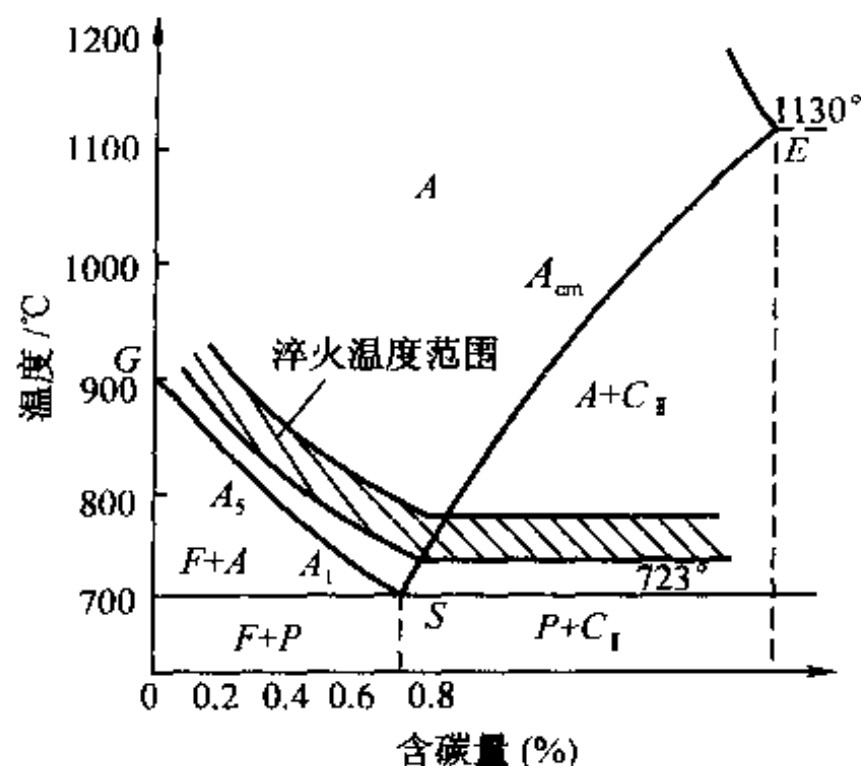


图 13-9 钢淬火时加热温度示意图

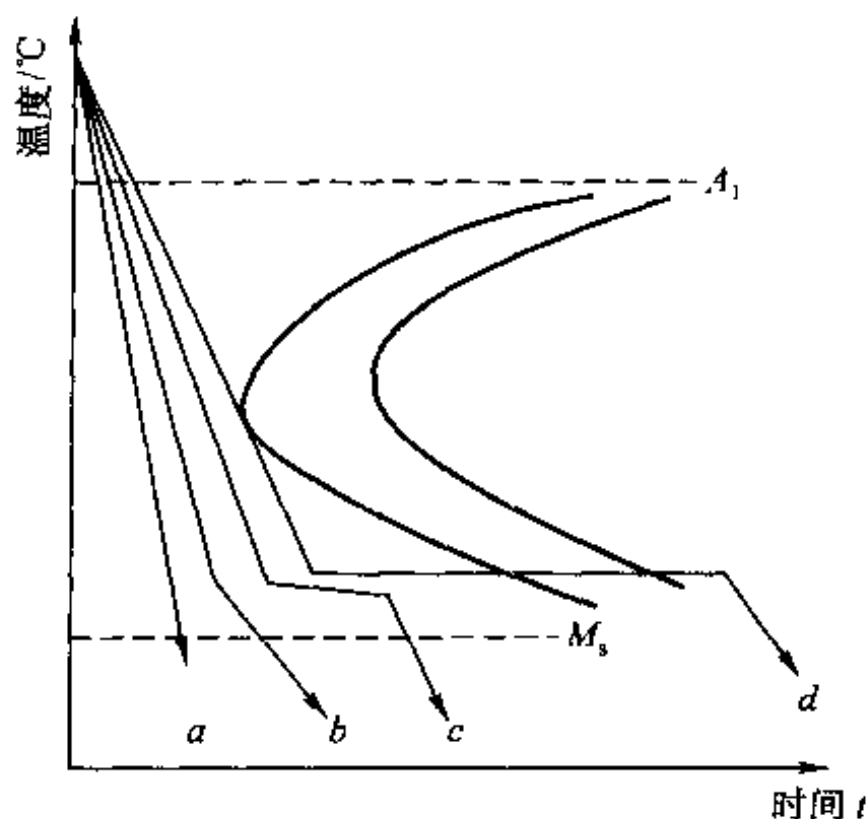


图 13-10 各种淬火方法曲线示意图

①单液淬火

即普通淬火，如图 13-10 所示为各种淬火方法示意图中 *a* 冷却曲线。它是将加热到淬火温度经保温后的钢件在一种淬火介质中冷却到室温的淬火方法。淬火冷却介质是一般钢件在水中冷却，合金钢在油中冷却。

②双液淬火

如图 13-10 中 *b* 线所示，把工件加热到淬火温度以后，先在强烈的淬火冷却剂（水或盐水）中快速冷却，使工件冷到 300~400 °C 左右，迅速地把工件转移到较弱的淬火冷却剂（油或空气）中继续冷却。

③分级淬火

分级淬火法又称分段淬火或热浴淬火。如图 13-10 中 *c* 线所示。它是将钢件加热后，淬入温度略高于或低于所用钢的马氏体点 (M_s) 的热浴中，保温至与热浴温度一致，然后取出冷却，使过冷奥氏体转变为马氏体。

④等温淬火

如图 13-10 中 *d* 线所示，它是将加热到淬火温度的工件迅速放在温度稍高于马氏体点 (M_s) 的热浴中，等温保持到过冷奥氏体基本完全转变为贝氏体组织后，取出空冷。等温淬火可以不再进行回火处理。

3. 淬火处理的目的

钢件经淬火处理后，硬度高，但脆性大，除低碳钢的淬火得到低碳马氏体组织的钢件及淬火方法中的等温淬火得到下贝氏体的钢件，淬火后可以不经回火，其他淬火均应相应回火处理后才能使用。淬火的目的是增加钢制工具的硬度及耐磨性。通过淬火和随后的中温或高温回火也可使工件获得良好的综合机械性能。

淬火处理若是在钢件表面进行的话，即为表面热处理。

四、回火及其组织

1. 回火定义及回火的目的

(1) 回火工艺的定义

所谓回火，就是将淬火后的钢件加热到 A_{c1} 临界点以下的适当温度，保温一定时间后冷却到室温过程的工艺。回火是使亚稳定组织转变为较稳定的组织的一种热处理方法。

(2) 回火的目的

淬火后的工件虽具有高的硬度和强度，但脆性大且存在很高的内应力，特别是合金钢类，如不及时回火会造成开裂破坏，经回火后才能实际应用，因此回火的主要目的是：

- ①减少或消除工件中的淬火应力；
- ②提高钢件的韧性和塑性，适当降低硬度，从而得到优良的综合机械性能；
- ③稳定组织，使工件尺寸在长期使用中不发生变化。

2. 回火的种类和应用

根据回火温度的不同，回火可分为 3 类，即：

(1) 低温回火

低温回火的回火温度在 $150\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。低温回火的目的是减少淬火后钢件的应力和脆性。得到的组织是回火马氏体。它可保持高的硬度和耐磨性。

(2) 中温回火

它是在 $250\sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间进行。中温回火的目的是获得较高的弹性、屈服强度以及相当的韧性。中温回火后得到的组织是回火屈氏体组织。

(3) 高温回火

它是在 $500\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行的。高温回火的目的是得到回火索氏体。它使工件具有强、韧配合很好的综合机械性能。所谓钢的调质处理工艺就是将钢件淬火后再进行高温回火的热处理工艺。

第三节 钢的化学热处理及其组织

化学热处理就是将工件在一定温度、一定介质条件下加热，使工件与介质接触，从而改变工件表面的化学成分，再经过热处理从而达到强化表面的目的。这就是说化学热处理是以改变工件表面的成分为基本特点的，它与一般热处理（如退火、淬火、回火）有基本不同的地方。表面化学热处理有渗碳、氮化、碳、氮共渗、渗硼、渗铝等。下面着重介绍渗碳和氮化两种化学热处理。

一、钢的渗碳热处理

1. 渗碳的基本原理及气体渗碳法

渗碳的过程是指碳原子向钢中渗入的过程。要完成这一过程,就必须使零件处在含碳的介质中加热、保温,从而使工件表面和次表面由低碳变为高碳。渗碳介质可分为固体、气体和液体3种。固体渗碳是古老的工艺,且渗碳工艺不易控制,而液体渗碳其介质有巨毒,现今已明令禁止采用,所以现广泛采用气体渗碳工艺。气体渗碳工艺的一般过程和原理分为分解、吸收、扩散3个基本过程。

(1) 分解阶段

主要指渗碳剂的分解。气体渗碳目前所用的渗碳剂为煤油、苯系、醇类(甲醇、乙醇)、丙酮以及天然气、煤气、液化石油气等。这些渗碳剂热分解后形成两种气体。

①对渗碳有作用的是 CO 、 CH_4 ,它们在高温下与钢表面接触,产生活性很强、渗入能力很大的碳原子;

②对渗碳不利的使钢件产生脱碳和氧化的是 CO_2 , H_2O , O_2 等。

(2) 吸收阶段

活性碳原子被钢件表面吸收,从表面生成高碳层。

(3) 扩散阶段

碳原子从钢件表面向内部深处扩散,形成一定深度的渗碳层。

(4) 渗碳温度的选择

一般选用渗碳温度为 $900\sim 950\text{ }^\circ\text{C}$,在保证渗碳介质供应有充分碳原子的情况下,渗碳温度愈高,在表面层的含碳量也愈高,但实际上,一般控制在含碳量为 $0.9\%\sim 1.05\%$,此为工艺控制要求。

(5) 渗碳时间

在一定的渗碳温度下,渗碳时间愈长,则渗碳层愈深,一些重要耐磨件在技术要求中都规定了一定的渗碳层深度。

2. 渗碳后缓冷的组织

渗碳后的金相组织依渗碳钢的材料而定,对20号和15号亚共析优质低碳钢来说,其退火组织状态为珠光体和铁素体,而渗碳后表面为珠光体加二次渗碳体或全部珠光体,然后由表面向中心过渡,碳含量逐渐下降,出现铁素体,到一定深度则回复到钢的原始成分。碳钢渗碳后缓冷组织由表面至中心相当于高碳、中碳、低碳各种退火组织。

3. 渗碳后的热处理

要达到钢件表面较高的强度和好的耐磨性,而心部有良好的韧性,就必须在渗碳后经过适当的热处理。渗碳后的热处理包括淬火和回火热处理工艺。因渗碳时温度在 $900\sim 950\text{ }^\circ\text{C}$ 之间,温度较高,而且渗碳的时间又长,这样造成晶粒粗大。因此,渗碳后的淬火方法有两种。

(1) 渗碳后预冷淬火

这种淬火也叫直接淬火法。它是利用渗碳后的钢件高温预冷至一定温度（稍高于 A_{r3} ）再进行淬火、回火。这种直接淬火法处理后，一般晶粒粗大且表面碳化物一般呈网状分布，对耐磨性和接触疲劳强度都有极大影响。

(2) 一次淬火法

即在渗碳后在缓冷坑中冷至室温再装炉重新加热淬火、回火。这种方法是目前生产大都采用的方法。

二、钢件的氮化处理和碳氮共渗

1. 氮化处理及软氮化

(1) 氮化处理及其目的

氮化处理即是将氮渗入工件表面的化学热处理。工件经氮化后表面产生一层脆硬的含氮化合物白亮层，它具有较高的耐磨性、较高的疲劳强度及优良的抗腐蚀性能。氮化时工件变形小，但是氮化周期长。

(2) 软氮化

软氮化实质是在较低温度下进行的氮碳共渗的过程。软氮化分为气体软氮化和液体软氮化两种。液体软氮化因使用剧毒介质氰化盐而早被明令禁止。气体软氮化采用的活性介质有尿素热分解气氛、甲酰胺分解气氛、三乙醇胺分解气氛、吸收型气体与氨的混合气氛等 4 种。气体软氮化的温度在 $540\sim 570\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间，时间为 $1\sim 3\text{ h}$ 。进行气体软氮化时，由于气相反应所生成的新生态 $[\text{N}]$ 和 $[\text{C}]$ 原子被工件吸收，通过扩散渗入工件表面。软氮化的渗层按其结晶构造与金相特征不同，可分为白色的氮化合物层与含氮扩散层。

2. 碳氮共渗与软氮化

钢的碳氮共渗是指同时向钢件表面渗入碳和氮的化学热处理。碳氮共渗的温度在 $820\sim 880\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间，因此它与软氮化在较低温度下氮碳共渗不同。因为在同样介质中，高温下渗碳占优势，而低温下，渗氮占优势。

碳氮共渗可以在固体、液体和气体介质中进行，固体介质是古老的工艺，现基本不采用，而液体碳氮共渗采用剧毒的氰化物为介质，已被明令禁止。现共渗采用的介质为气体介质。这也和软氮化一样。

第四节 铝及铝合金热处理

铝及铝合金应用日益广泛，它已成为工业上仅次于钢铁的常用金属。常用铝合金热处理工艺主要有退火、固溶处理（淬火）、时效等。下面将分别介绍这 3 种铝合金热处理。

一、铝合金退火工艺

1. 铝合金退火定义及退火方法

所谓铝合金退火，即把合金加热到一定温度，保温一定时间，然后在炉中或空气中缓慢冷却的工艺。铝合金退火的工艺方法分扩散退火、再结晶退火和低温退火 3 类。

2. 铝合金扩散退火

(1) 扩散退火的目的

扩散退火主要是为了消除合金铸锭或铸件的成分偏析及非平衡的共晶组织，从而提高合金的塑性。在铝合金建筑型材的生产中，企业也把它叫做均热处理工艺。

(2) 扩散退火工艺

对于铝合金来说，扩散退火的加热件应加热到该合金固相线以下 $10\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，长时间保温，然后空冷或炉冷。

3. 再结晶退火

(1) 再结晶退火的目的

再结晶退火主要是为了消除挤压等加工硬化，改善塑性，以利于下一步的挤压变形加工工序的进行。

(2) 再结晶退火工艺

再结晶退火的温度是该合金再结晶温度以上，保温一定时间随后空冷。

4. 低温退火

在再结晶温度以下保温一定时间后空冷的工艺为低温退火。它的目的是在改善塑性的同时保留一定加工硬化效果。此类退火的温度范围一般为 $180\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

二、铝合金固溶（淬火）处理

铝合金固溶处理一般是作为下一步时效强化处理的前期热处理工序。固溶处理的质量直接影响后面的时效强化处理的效果。

1. 固溶处理工艺

所谓固溶处理，也如钢的淬火处理一样，把铝合金加热到该合金的溶解度曲线以上的温度，保温并得到最大溶解度的固溶体后，以较快的速度冷却下来，得到高浓度的过饱和固溶体。固溶处理的冷却介质可以是油、熔盐、甘油。现在国内铝合金建筑型材生产企业均用鼓强冷风冷却，这样可保持铝合金的表面不致于受冷却介质污染的影响。

2. 固溶处理的目的

固溶处理除了处理后铝合金的强度、硬度略有提高外，主要是为后道时效处理提供最佳的原始状态。

三、时效处理工艺

1. 时效处理工艺原理

以铝—铜合金为例，将上述固溶处理后所得到的过饱和铝—铜合金固溶体置于一定的温度下，随着时间的增长，处于亚稳定状态的过饱和固溶体不断析出 Al_2Cu 化合物，而使合金的硬度、强度提高，这种处理工艺称为“时效”。整个时效的过程共分为时效初期的“孕育”阶段和时效阶段。初期的“孕育”阶段强化效果小，只有继续时效处理，其强化效果才明显。

2. 时效处理工艺方法

由于时效处理是将过饱和固溶体置于一定温度下进行的，这温度可高可低，因此时效又分为人工时效和自然时效两种。

(1) 人工时效处理

所谓人工时效即将固溶处理所得到的过饱和铝合金固溶体置于一定温度的炉内，保温使其析出化合物相组织，使合金得到强化效果。这种人工时效，由于有一定温度，析出的相快，而且相组织较粗大，强化效果相对不如自然时效的效果。但人工时效的时间相对自然时效要短得多。

(2) 自然时效处理

所谓自然时效即为将固溶处理后的过饱和铝合金固溶体置于室温自然温度条件下，让其逐渐析出化合物相。自然时效时间长，但时效强化效果比人工时效要大得多。

第五节 铜及铜合金热处理

铜及铜合金是我国几千年前最早使用的金属材料。因此，铜合金的热处理也是我国最早应用的热处理工艺。铜合金的热处理常用的有退火、淬火和回火工艺。下面分别介绍铜合金的这3种热处理。

一、铜合金的退火工艺

根据铜合金生产过程和产品的性质及合金的特点，铜合金有以下4种退火工艺：

1. 均匀化退火

铜合金铸锭热轧前的高温退火，即为均匀化退火，也叫扩散退火。均匀化退火的目的是消除铜合金化学成分和组织上的不均匀性，提高塑性，改善冷、热加工的变形性能。对于含锡低于8%的压力加工锡青铜，有严重偏析现象，使冷加工困难，故必须在760℃温度下退火数小时。

2. 中间退火和半成品退火

中间退火也称再结晶退火。对于两次冷变形间及生产供给变形用的半成品都要采用中间退火，中间退火的目的是消除加工硬化，获得高的塑性变形能力。退火的温度一般要高于再结晶温度，工业纯铜中间退火温度为 $500 \sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，黄铜为 $520 \sim 720\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，锡青铜为 $600 \sim 780\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。黄铜退火时应特别注意晶粒度的控制，因为后工序变形愈强烈，半成品退火的晶粒要求愈大些。

3. 低温退火

低温退火是在再结晶温度以下加热的退火。主要目的是消除铜合金的内应力及某些铜合金的应力腐蚀倾向，获得某些强度高、塑性稍低的产品。

4. 光亮退火

为了防止铜合金的氧化，生产表面质量高的半成品，可在各种保护气体下进行退火。铜合金管、线、板、片等半成品退火主要要求具有均匀的机械性能、一定的晶粒度及良好的表面质量。

二、固溶时效处理

固溶处理和时效处理也叫淬火处理和回火处理。工业上常用的 $\text{Cu}-\text{Sn}$ 、 $\text{Cu}-\text{Al}$ 、 $\text{Cu}-\text{Zn}$ 合金及以它们为基的多元合金，均可以进行淬火、回火处理。如含锡大于 16% 的锡青铜和含铝大于 9.8% 的铝青铜淬火后虽然也能得到针状组织，其形态就像钢淬火后的马氏体，但这些铜合金的针状组织对性能提高的促进不大，故无实用价值。能进行这种处理并有实用价值的只有少数特殊黄铜、铍青铜、铬青铜及复杂的铝青铜。

思 考 题

1. 什么叫合金、相和组织？什么叫固溶体、金属化合物及机械混合物？
2. 请在低碳钢中举例说明什么是相、组织、固溶体及机械混合物。
3. 什么是铁—碳平衡图？铁碳合金中的铁素体、奥氏体和渗碳体的定义是什么？
4. 什么叫热处理？钢的热处理大致内容有哪些？
5. 什么叫钢的退火工艺？退火工艺有几种？退火的目的是什么？它们最终得到的相组织是什么？
6. 钢的淬火定义是什么？淬火方法有几种？淬火处理的目的是和得到的相组织是什么？
7. 什么叫钢的回火？回火温度有哪 3 类？回火的目的及回火的相组织是什么？
8. 什么叫钢的化学热处理？它的目的是什么？

9. 什么叫钢的渗碳处理？它的目的是什么？低碳钢渗碳淬火回火后，从表面到心部的金相组织是什么？

10. 什么叫钢的氮化处理？处理工艺有哪两种？目的是什么？得到的金相组织是什么？

11. 铝合金常用的热处理工艺有哪些？其中退火方法有几种？它的目的是什么？什么叫固溶处理？它的目的是什么？什么叫时效处理，它的目的是什么？

12. 铜合金的退火工艺有几种？它们的目的是什么？

第十四章 材料物理性能检验技术发展综述

第一节 材料力学性能试验发展状况

材料力学性能试验按试验条件可分为常温、高温和低温试验；按所施加的载荷可分为静载荷、动载荷（包括冲击、疲劳、爆破试验等）；按试样是否被破坏可分为破坏试验和非破坏试验。

一般说来，力学性能是指在力或能的作用下材料所表现出来的一系列力学特性。其中主要是强度、刚度、塑性、韧性、弹性、硬度等，也包括在高低温、腐蚀、表面介质吸附、冲刷、磨损、空蚀（氧蚀）、粒子照射等力或机械能不同程度结合作用下的性能。另外，现在不少实验室也把材料的工艺性能和零部件的试验列入力学性能的范围内。

产品质量的好坏，除了从结构设计、加工工艺、处理规范诸方面考虑之外，合理选用材料也是一个重要方面。材料的选用依据首先是材料的性能，而力学性能又是材料的重要性能之一。一般机械制造工业部门（如动力机械、汽车、仪表、机床、农机），尤其是许多重要工程和军用工业生产部门，掌握材料力学性能就更为必要了。

研究材料力学性能，其目的就是从事物的角度出发与零部件和结构件失效现象作抗衡。由于各种机械零部件和结构件在服役过程中一般承受诸如拉、压、剪、扭、弯、冲击、摩擦、疲劳等载荷作用，因而引起各种变形、断裂、表面损伤等而失去了所要求的效能。测定材料的力学性能的另一个很主要的目的，是从零部件和工程结构件的服役条件和失效现象出发研究失效的原因和规律，如近年来国内外所发生非人为的桥梁和楼房倒塌、飞机的空难坠毁等，从而提出合理的衡量指标，然后通过试验来测定这些指标，为失效分析提供必要的依据。

但是，力学性能测试工作并不是单纯地提供试验数据。通过对金属材料试样断口的观察，应不仅能帮助判断是材料的缺陷（如夹杂、气孔、偏析）和工艺不当，还是其他原因（如偏心加载、缺口敏感等）造成破断，还应能分辨是疲劳破断、脆性破断还是韧性破断。事实上，对力学性能试验的结果进行理论分析，还能发现和总结出新的规律，建立塑性变形、蠕变、疲劳破坏、脆性断裂等方面的理论。

随着脆性破坏事故的不断出现，断裂力学及其测试方法也随之发展起来。此外，在力学性能试验中模拟实物使用条件，以实物进行试验的也愈来愈多。在研究实际构件的失效原因时，总希望把材料的力学性能试验与实验应力分析的方法有机地结合起来。因此，应该在力学性能试验人员中普及实验应力分析的理论 and 实践。这也就是说，力学性能试验人员要求对材料力学的分支——断裂力学基础知识要有一定的了解。

锅炉、汽轮机、燃气轮机以及各种类型发动机和各种类型发动机等的不少零部件（如叶

片)均是在高温下工作的,因此,要求材料在高温下具有良好的力学性能。金属材料在高温长时应力作用下,虽然所加载荷远低于该温度下的屈服强度,也会发生残余变形、应力松弛及某些组织变化。因此金属材料高温力学性能试验的研究也是十分重要的。高温力学性能试验方法也很多,最常用的有高温拉伸、蠕变、持久强度、应力松弛及高温疲劳试验。

第二节 材料力学性能检测仪器设备发展方向

拉力试验机和万能材料试验机是力学性能试验中用得最多的设备。近年来,随着科学技术的发展,特别是随着电子技术和液压技术的发展,拉力试验机和万能材料试验机的性能有了很大的提高。硬度计和冲击试验机也有了很大发展。

近年来拉力试验机和万能材料试验机在应用电子技术对载荷和变形进行精确测控并记录方面取得重大发展,其中多数采用带有电阻应变片式载荷传感器的测力装置和差动变压器式或电子式伸长仪测量变形,使加载和变形能以与整流器同步伺服的方法进行。如今电子万能材料试验机甚至能做到人机对话的先进水平。这些试验机只要更换或不更换(自动进行)传感器,其试验的载荷域和加荷速率或形变速率范围就会变得很宽。同时由于载荷测量系统跟踪速度很高,几乎达到同步水平,因此它能消除一般摆锤式测力计因惯性较大而引起的测量误差。在液压试验机上采用灵敏度和精度都很高的电液伺服控制系统可以精确控制载荷和变形,试样性能的非线性变化也能自动补偿,这种液压伺服材料试验机可保证在选定的载荷状态下按一定的载荷变化程序进行试验。

硬度试验由于设备简单,操作迅速方便,同时又能够敏感地反映材料化学成分及组织结构的差异,因而广泛用来检验热处理工艺质量或研究热处理的相变过程。近年来,国内外硬度计正朝着小型、轻便、自动等方面发展。

冲击试验是检验材料韧性的基本方法。该方法快速、简便,发展历史较长,积累数据十分丰富。目前,针对金属材料高、低温冲击试验,为了降低劳动强度和实现安全操作,国内外都在积累数据,冲击试验自动化问题也提上了议事日程。一般冲击试验都是测量试样破断时的总能量,但这是很不全面的,因为高强度、低韧性和低强度、高韧性的材料可能吸收的能量相等,若试验技术能把消耗的总能量中几部分区分开,就可以较好地查明断裂的原因,于是就要求测定冲击试验过程中的力和位移随时间的变化情况,这就要求记录和分析冲击全过程。多年前德国就生产了光栅示波器显示冲击载荷与位移瞬间的全过程变化记录的自动冲击试验机。

疲劳试验机近年来也都往程序控制和全自动微机控制的先进设备装备方面发展,但至今还未见工艺试验的试验机和设备的大更新改造。

第三节 产品标准和检测方法标准的动态

标准是检测的依据。了解标准变化的动态,是每个检测实验室必须密切关注的问题,应该及时跟踪新标准的发布和实施,保持和发展本实验室的检测能力。

我国在1988年公布标准化法,1989年4月1日开始施行,标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。国家标准和行业标准又分为强制性标准和推荐性标准。有些标准虽然不是强制性标准,但其中某些条款被列为强制要求,这一般在标准的前言中都作出说明,这些条款也应按强制性标准对待。国家标准代号为“GB”,国家推荐性标准代号为“GB/T”。国家标准除了强制性标准和推荐性标准外,还有“GBJ”是“验收规范”,“GB/Z”是“指导性技术文件”,标准号“GB 5000”以后是技术规范性标准,为“JB/T”、“QB/T”等,行业标准也还有内部标准、分等规定等。省、自治区、直辖市人民政府标准化行政主管部门制定的工业产品的安全、卫生要求等地方标准,在本行政区域内是强制性标准。但是由于我国标准制修订工作开展得不好,致使许多专业标准和一些国家标准未按“标准化法”和“标准化法实施条例”进行转化和修订,到1998年底,有6000多项专业标准和未修订的3353项国家标准还在使用,于是国家质检总局的[1998]52号文件《关于规范使用标准代号的通知》和[1998]216号文件《关于废止专业标准和清理整顿后应转化的国家标准的通知》规定:1999年3月1日专业标准全部作废。这样才促进了我国标准制修订工作的发展。这二三年来,标准更新速度较快,新标准大量增加,标准更新周期也缩短,因此,应该特别注意跟踪标准的信息。如金属材料力学性能试验方法最常用一个标准GB 228-1987《金属拉伸试验法》已被GB/T 228-2002《金属材料 室温拉伸试验方法》代替,它还代替了GB/T 3076-1982《金属薄板(带)拉伸试验方法》和GB/T 6397-1986《金属拉伸试验试样》,内容也作了修订。当得到新标准后,马上就应与旧标准作比较,有了什么变化,及时地向有关人员传达、宣贯。

经过清理整顿后,目前国家标准约有2万多个,57类行业标准约有十几万个。要检索这些标准目录,及时跟踪标准信息,可以从以下几个方面进行:①国家标准,每两年都要出版一本国家标准目录总汇供使用者检索。国家标准目录总汇按两种方式编排,一种是按大行业的类别;一种是按标准顺序号排列。按类别排列的国家标准按大类分24类,如综合、机械、纺织等等,分类号包含中、小类号,并有分类号名称,检索时先查大类,再查分类号,最后查询所需要的标准号和标准名称。按标准顺序号查询,首先要先知道标准后,才能查标准名称。②国家标准目录信息已建立了计算机数据库,进行实时维护和管理。目前中国情报信息中心也将国家标准目录信息库上网公布,也可供使用者检索。③据了解,现在各省的标准化情报部门也都将其收集到的国家标准、行业标准的目录信息建立数据库上网公布,可供使用者检索。④有些行业标准定期或不定期也编制了本行业的标准目录汇编,或刻录成光盘等。可以检索。⑤为了及时了解标准修订情况和新标准发布信息,也可以从“中国标准化”、“标准化导报”等期刊得到。行业标准也可从行业发布的一些资料、信息中得到。

我国入世后,实验室使用国际标准和国外先进国家和区域性的标准也越来越多,因此,也必须注重国外标准的检索和收集。首先必须熟悉国际和国外有关国家和区域的标准代号。下面列举了一些常见的国际标准和国外标准的代号。

ISO 国际标准化组织
IEC 国际电工委员会
BS 英国国家标准
DIN 德国国家标准
EN 欧盟标准

ANSI 美国国家标准协会

ASTM 美国试验和材料学会

JIS 日本工业标准

要检索这些标准目录，也可以找到一些这些标准目录的汇编本。如果想要得到这些标准文本，也可以从各省、市标准化情报部门得到。

最后，一定要注意在使用标准文本时探讨使用该标准最新版本的可能性，也就是说必须要确认所使用标准的有效性。

思考题

1. 进行材料力学性能试验的目的是什么？
2. 材料力学性能试验的发展方向是什么？
3. 万能材料试验机在控制和记录方面有哪些进步？
4. 简述我国标准体系的组成。
5. 如何检索国家和行业标准？

第十五章 实验室的管理

第一节 实验室质量管理基本知识

一、实验室在经济社会中的地位和作用

材料检测实验室是各类专业实验室中的一种特定的实验室。在现今经济社会中，材料检测实验室也是为社会提供检测数据的实体，因此它是一个特殊的技术群体，它在社会的技术经济活动中和社会发展过程中都占有重要的地位。例如，政府机构的各部门要依据有关检测结果来制定和实施各种方针和政策；科研部门要利用检测数据来发现新现象，开发新技术、新产品；生产部门要利用检测结果来判断自己的行为；流通领域可以用检测数据来决定其购销活动；消费者则用各种检测结果来保护自己的权益；司法部门也可以利用各类检测数据作为调解或仲裁的依据；材料力学性能实验的检测结果还可决定一个大工程的命运。基于实验室在技术经济活动和社会发展过程中的特殊重要地位，可以想象，实验室所出具的任何一个错误的检测报告或结果都将带来不可估量的损失。

作为一个实验室的管理者或技术骨干，如何保证本实验室出具的检测报告和结果是科学、准确、公正且满足社会的需求呢？这就要求实验室的管理者和技术骨干应对自己的实验室进行有效的质量管理和技术管理。另外，在如今的技术经济社会中，特别是我国加入WTO组织后，国外的检测实验室也都试图挤进我国检验市场中来，这就要求我国的材料力学性能实验室在竞争激烈的检验市场中能占有一席之地。

如何在竞争激烈的检验市场上占有一席之地已成为材料检测实验室自身生存和发展的首要问题，要解决这一问题，就需要实验管理者在实验内外把对影响检测数据和结果的诸多因素进行全面控制，将检测工作的全过程以及涉及到的其他各个方面作为一个有机整体，系统而协调地把影响检测工作质量的技术、人员、资源等因素加以有效控制，要实现这一目标，就需要建立一个完善的实验室质量管理体系。

二、实验室质量体系基本知识

1. 实验室质量体系的概念

材料实验室为了保证检测数据和结果的科学、准确、公正，以满足社会需求，也为了实现自身的生存和发展，必须建立一个适合自己实验室特点的质量管理体系。作为实验室的管

理者和骨干,首先要了解质量管理体系是什么,然后才能根据自己实验室的特点建立一个较完善、较科学的质量体系。

按照 ISO 8402:1994 的规定,质量体系的定义是:“为实施质量管理所需的组织结构、程序、过程和资源。”对于一个实验室来讲,首先必须具备相应的检测条件,即包括必要的并符合要求的仪器设备、试验场地、办公设施及合格的检测人员等资源,这也就是所谓的硬件。然后通过与其相适应的组织机构分析确定各检测工作的过程,协调地进行工作并成为一个有机的整体,同时通过采用管理评审,实验室之间验证、比对等方式,不断使质量体系完善和健全,这也就是所谓的软件。

2. 实验室质量体系的构成和质量体系要素

(1) 实验质量体系的基本构成

一个较完善的实验室由五个方面构成,即:

①组织机构

它是实验室为实施其职能而按一定格局设置的组织单元(即部门),同时应明确各组织单元(部门)的职责范围、隶属关系和相互联系的方法。它是完成实验室方针目标的组织保证。实验室组织机构的配置必须遵循根据自身具体情况而设计的原则,一般应做4个方面的工作。

- a. 设置与检测工作相适应的检测部门。
- b. 确立综合协调的管理部门。
- c. 确定各个部门的职责范围及相互关系。
- d. 配备与各个部门开展工作所需的资源。

②程序

所谓程序,即为完成某项具体工作所需遵循的规定和方法。它的主要内容是规定某项工作的目的、范围,应做什么事、由谁来做、如何做、什么时间实施,如何控制和记录以及采用什么材料、设备和文件等。

③职责

这里的职责是指实验室内所规定的各检测部门和相关人员的岗位责任,即在质量管理体系的检测工作中应承担的任务和责任以及对在检测工作中的失误所负有的责任。

④过程

所谓过程,是将输入转换成输出的一组彼此相关的资源活动。输入是实施过程的基础,输出是过程的结果。这就是说,过程是彼此相关的资源活动。因而过程又含有价值的转换,其价值的来源就是过程投入的资源 and 活动所应产生的结果。实验室在进行一项检测工作时,成本核算是一个不可缺少的重要环节。

⑤资源

资源包括人员、设备、设施、资金、技术和方法。它是质量体系的硬件。为了实施实验室的质量方针、质量目标,实验室的领导应采取有效措施,提供适宜的资源,以确保各类检测人员的工作能力适应和满足检验工作的需要,如仪器设备能得到正常维护,并能根据开展的检测工作需要而及时更新,添置必要的仪器、设备以及对新标准规范和测试方法的研究等。

(2) 质量体系要素

组成质量体系的基本单元是质量体系的要素。也就是说,质量体系是由一系列相互关联、相互作用的质量体系要素所组成的。实验室为实施质量方针和质量目标,就要对检测工作中的影响质量的活动进行控制,也就是对检测报告质量形成的全过程中的相关的质量体系要素进行有效的控制,并要制定程序化的文件加以规定和实施。

3. 质量体系的特性及其所应具备的功能

质量体系的特性主要由系统性、全面性、有效性和适应性等四个方面体现。

(1) 系统性

质量体系各要素之间不是简单集合,而是具有一定的相互依赖、相互配合、相互促进和相互制约的关系,形成了具有一定活动规律的有机整体,在建立质量体系时,必须树立系统观念才能确保实验室质量方针和目标的实现。

(2) 全面性

质量体系应对与质量相关的各项活动进行有效的控制。对检测报告的质量形成全过程、全要素、全方位(硬件、软件、物资、人员、报告质量、工作质量)控制。

(3) 有效性

质量体系应能减少、消除和预防质量缺陷的产生,一旦出现质量缺陷能及时发现和迅速纠正,使各项质量活动都处于受控状态。

质量体系还应具备对所有影响实验室质量的活动进行有效的和连续的控制能力;质量体系还应能够注重并采取预防措施,减少或避免质量问题的发生,质量体系还应具有一旦发现问题能够及时作出反应并加以纠正的能力。

第二节 建立实验室质量管理体系的步骤

在实验室领导层统一思想、统一认识的前提下,同时,在实验室全体人员积极参与的条件下,可按下列步骤建立实验室质量管理体系。

1. 确定实验室的质量方针和质量目标

质量方针是实验室的质量宗旨和质量方向。质量目标是质量方针的组成部分,它有更具体、更明确的内容。同时,质量方针又是实验室各部门和全体人员在检测工作中均应遵循的准则。因此,实验室领导者要结合实验室的工作内容和性质要求主持制定符合自身实际情况的质量方针和质量目标。例如,有的实验室发布的质量方针是:公正、科学、准确、高效。它高度地概括了实验室的性质并表达了实验室的宗旨。一个实验室向社会提供公正、科学和准确的检测数据和结果是经济社会的需要。但如果实验室从样品接收到出具报告这中间的周期太长,等客户拿到检测数据和结果时已经失去委托意义了,即这个公正、科学和准确的报告也不是客户的需求了,因此还应当明确检测工作高效这个方针。急用户之急,在保证公正、科学和准确的基础上实现高效率的工作作风。

作为实验,最终需出具检测报告,因此,多数实验室以报告的差错率指标作为实验室的

质量目标。质量目标应体现出时间性，如近期目标、长远目标。随着实验室质量管理体系的不断完善，运行有效报告的差错率会不断下降。

2. 组织质量管理体系建立的工作班子

实验室领导要组织既熟悉实验室业务工作，又熟悉管理工作，以及文字表达能力较强的实验室骨干人员参加质量管理体系建立工作班子。

3. 分析现状，确定过程和要素

实验室的最终产品是向社会提供的合格的检测报告。这个检测报告是由各个检测过程来完成的。因此，各质量体系要素必须作为一个有机整体去考虑，了解和掌握各要素要达到的目标，按 GB/T 15481—2000 的要求，并结合自身检测工作及实施要素进行比较，确定检测报告形成过程中的质量环加以控制。

4. 确定机构并分配质量职责

为了做好质量职责的落实工作，实验室应根据自身情况筹划设计组织机构的设置，但这个组织机构的设置必须有利于实验室检验工作的顺利开展，有利于实验室各个环节与管理工作的衔接，有利于质量职能的发挥和管理。

分配质量职责的原则是，将各个质量活动分配并落实到有关部门，并根据各部门的质量活动确定其质量职责、各岗位的职责以及赋予相应的权限。同时，在分配质量职责时应注意规定各项质量活动之间的接口和协调的措施，避免出现职能重叠，谁都不负责或者相反出现职能空缺，造成无人管理的现象出现。

5. 质量体系文件化

质量体系很大程度上是通过文件化的形式表现出来的，或者叫做建立文件的质量体系。它是规范检测工作和全体人员行为达到目标的质量依据，它也就是实验室的质量立法。

第三节 编制质量体系文件

一、质量体系文件

1. 质量体系文件的特点

(1) 法规性

质量体系文件一旦批准实施，就必须认真执行；文件如需修改，须按规定的程序进行；文件也是评价质量体系实际运作的依据。

(2) 惟一性

一个实验室只能有惟一的质量体系文件系统，一般一项活动只能规定惟一的程序；一项规定只能有惟一的理解；不能使用文件的无效版本。

(3) 适用性

质量体系文件的设计和编写没有统一的标准化格式，要注意其适用性和可操作性。

2. 质量体系文件层次

质量体系的文件一般包括：质量手册、程序文件、质量计划、质量记录。

质量体系文件中的上下层文件要相互衔接、前后呼应，内容要求一致，不能有矛盾。

质量体系文件的层次可根据实验室的具体情况和习惯进行划分，通常习惯划分为三或四层次，如图 15-1 所示。

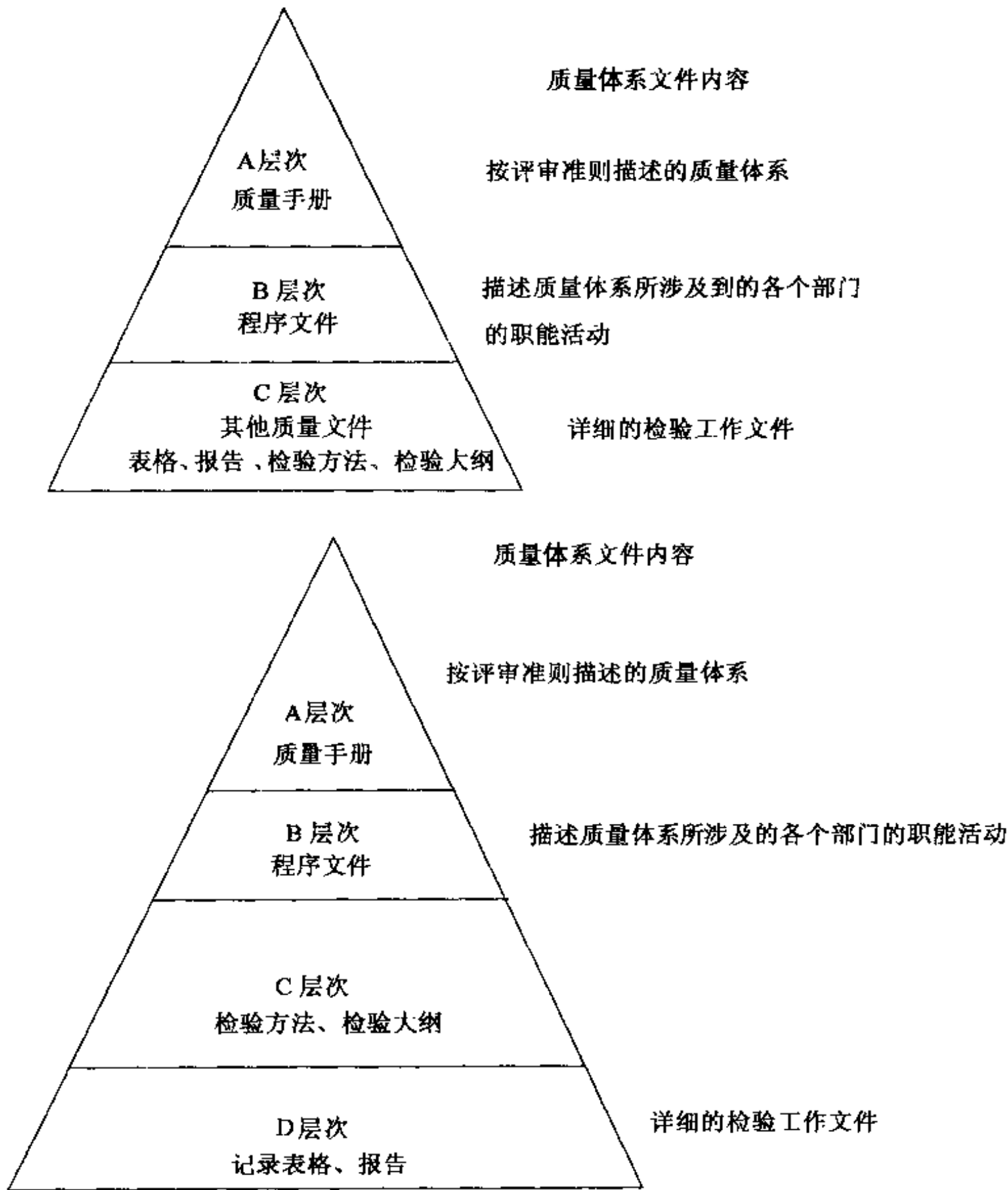


图 15-1 质量体系文件层次

编写质量体系文件是一项系统工程。在编写时，写作班子一定要按照质量体系文件的编写实施计划的内容要求进行。尽管这个计划可能在实施过程中要进行必要的调整和修订。

3. 质量体系文件的编写原则

(1) 系统协调的原则

质量体系文件应从检验机构的整体出发进行设计、编制，对影响检测质量的全部因素进行有效的控制，接口要严密、相互协调、构成一个有机整体。

(2) 科学合理的原则

质量体系文件不是对质量体系的简单描述，而是对照《评审准则》，结合检验工作的特点和管理现状，做到科学合理，这样才能有效地指导检验工作。

(3) 可操作实施的原则

编写质量体系文件的目的在于贯彻实施，指导实验室的检验工作，所以编写质量体系文件时始终要考虑到可操作性。便于实施、检查、记录、追溯。

4. 质量体系文件的编写过程

(1) 培训学习阶段

- ①学习国家有关的法律法规；
- ②学习评审准则。

(2) 调查策划阶段

- ①了解组织机构的现状；
- ②了解各部门职能权限的现状；
- ③各部门提出需解决的接口问题；
- ④了解并掌握现有的管理制度及执行状况；
- ⑤了解并掌握现有的各项标准、仪器设备等情况。

(3) 质量体系文件的编写阶段

- ①制定编写体系文件的格式；
- ②制定编写计划分布实施的步骤；
- ③编写组按照评审准则和检验工作实际情况分工合作进行编写；
- ④质量体系文件的研讨、协调；
- ⑤质量体系文件的批准、发布。

(4) 质量体系文件的宣贯，质量体系试运行阶段

- ①质量体系文件下发，宣讲；
- ②贯彻实施，认真检查考核；
- ③组织内部审核；
- ④根据质量体系试运行的情况，修订质量体系文件；
- ⑤质量体系正式运行。

二、质量手册的编写

1. 质量手册

质量手册是阐明一个组织的质量方针并描述其质量体系的文件。它的内容范围涉及一个

实验室的全部检验活动。

2. 质量手册的基本结构及内容

(1) 封面

实验室名称和标志，质量手册的标题、编号、持有人或部门（分受控和有不受控两类）。

(2) 批准页（也称为发布令，见表 15-1）

批准人签名、生效日期、内容（见下面实例）。

(3) 修订页

修订页用修订表的形式说明质量手册各部分的修订状态。

修订表基本形式见表 15-2。

表 15-1 批准页实例

发布令	
本《质量手册》描述了××质量体系及其实践活动，符合 ISO/IEC 17025：2005《检测和校准实验室的通用要求》的规定，是本所质量管理和质量保证活动的法规和纲领性文件，具有严肃性和权威性。	
现予批准发布，自××××年××月××日起实施。全体人员必须严格遵照执行。	
实验室名称及法人代表：×××	
××××年××月××日	

表 15-2 修订表

修订序号	对应的章、节、条号	修订内容	批准人	批准日期

受控质量手册的持有者应负责在收到修订页次后立即将旧页次换下。

(4) 手册目录

列出质量手册所含有的章、节、条号及题目，见表 15-3。

表 15-3 目录实例

质量手册	第 × 章
	第 1 页 共 × 页
	第 1 版第 0 次修订
	实施日期：××××年××月××日
主题：目录	
第 1 章 概述	
1.1 简介	
1.2 公正性声明	
第 2 章 质量方针与目标	
2.1 质量方针	
2.2 质量目标	
第 3 章 术语与缩略语	

续表

质量手册	第 × 章
	第 1 页 共 × 页
主题：目录	第 1 版 第 0 次修订
	实施日期：××××年××月××日
3.1 术语（定义） 3.2 缩略语（仅适用于本手册） 第 4 章 组织与管理 4.1 总则 4.2 组织机构 4.3 技术委员会 4.4 质量监督网 4.5 权利委派 4.6 防止不恰当干扰 4.7 保护委托人机密和所有权 第 5 章 质量体系 5.1 总则 5.2 职责 5.3 质量职责分配 5.4 质量体系文件组成与维持 5.5 质量体系审核	

（5）前言（概述）

提供实验名称、地址、通讯方式、经历和背景、规模、性质等，对社会的各项承诺（如公正性声明）也可单独列章。

（6）定义及缩略语（必要时）

对质量手册中出现的新定义和术语及缩写进行定义和说明，并指出质量手册中使用的其他术语所符合的标准。

（7）质量方针和目标

陈述质量方针和质量目标，并说明质量方针和质量目标如何为实验室全体人员所熟悉理解和执行。

（8）组织机构

高层管理人员（包括技术、质量主管）和任职条件、职责、权力、相互关系及权力委派等，与检验质量有关的部门和人员的职责、权力和相互关系，组织机构框图。

组织机构框图要能表示实验室的内外部关系和内部组织关系。当实验室不是独立的法人实体时，要求清楚地表示实验室与母体法人单位及其平行机构之间的关系，母体法人单位同上级行业主管部门的隶属关系以及行业主管部门与国家、地方质量技术监督局的关系；内部组织关系应包括管理部门、技术部门、检测部门、计量检定部门（如适用）、有关的后勤保障部门。

组织机构还包括监督网框图和监督人员的任职条件、职责、权力及人数比例以及防止不恰当干扰，保证公正性、独立性的措施。

对所有客户能保证同样的检测服务水平；检测人员不得从事与检测业务有关的开发工作，不得将客户提供的技术资料、技术成果用于开发；对客户要求保密的技术资料和数据要能做到保密；检测工作不受各级领导机构的干扰等。

(9) 质量体系

包括质量职能分配表，按质量体系要素分配给各部门，指出哪些部门具有领导职责，哪些部门具有管理与监督检查职责，哪些部门具有执行与配合职责以及质量体系文件结构如何宣贯和实施等。

(10) 质量体系要素描述（见表 15—4 和表 15—5）

对所选择的要素分章编写。质量手册一般只作原则性的描述，内容包括：目的范围；负责和参与部门；达到要素要求所规定的程序；开展活动的时机、地点及资源保证；支持文件。此外，质量体系要素描述还包括：用表格的形式表述实验室开展产品检验所具备的能力。

表 15—4 要素描述实例 1

质量手册	第 × 章
	第 1 页 共 2 页
主题：样品管理	第 B 版 第 0 次修订
	实施日期：××××年××月××日
<p>1.1 总则</p> <p>检测样品的处置是影响检测结果的准确度和有效性的的重要因素之一，为保证样品的完整性和有效性，保护客户和本所利益，应对样品的接收、流转、贮存、处置以及样品的识别等各个环节实施有效的质量控制。</p> <p>1.2 样品的接收和识别</p> <p>1.2.1 业务科业务接待组在接收客户送检的样品时，应根据客户的检测需求，认真检查样品及其配件、资料的完整性和对应于检测要求的适宜性，并在“委托检验协议书”和“检验业务流转卡”上登记说明，同时应与客户商定样品准备和试毕样品处理方式，并将样品及其资料及时传递到主检室。</p> <p>1.2.2 抽样样品、送检样品传递或送达检验室后，各室样品管理员应进行交接验收，查看样品状况是否与抽样单或流转卡相符。对以封装方式送达的样品，应检查封签是否完整有效以及运输过程有无损坏，必要时会同抽样人员进行验收。</p> <p>1.2.3 检验室样品管理员在接收样品时应记录样品状态，并登记入账。</p> <p>1.2.4 在对接收的样品是否适合于检测有任何疑问，或对委托方的检测要求不明确，或认为样品不符合有关规定要求并有异常情况时（包括包装和封签），检验室应与委托方联系，取得进一步说明后再进行检测。</p> <p>1.2.5 样品根据所处的试验状态，分别加贴“未试”、“试毕”标签，标签上应有样品识别号，识别号由主检室编排。样品在不同试验状态或样品制备、流转、贮存过程，都应做好标识的转移工作，以保持样品识别的惟一性，保证必要时可追溯。</p> <p>1.3 样品的流转</p> <p>1.3.1 样品按流转顺序流转，交接签署时应检查样品状况。</p> <p>1.3.2 样品在制备、测试、传递过程中应加以防护，应严格遵守有关样品的使用说明，避免受到非检验性损坏，并防止丢失。样品如遇意外或丢失，应予以说明，要追查责任，必要时应立即与委托方联系。</p>	

续表

质量手册	第×章
	第2页 共2页
	第B版 第0次修订
	实施日期：××××年××月××日
主题：样品管理	
<p>1.3.3 试毕样品（必要时甚至包括经验证已失效或损坏的样品）应交由样品管理员入样品库保管。</p> <p>1.4 样品的贮存</p> <p>1.4.1 检验室应有专用且适宜的样品贮存场所，并指定专人负责，限制出入。样品应分类存放，贮存环境应安全、无腐蚀、清洁干燥且通风良好。</p> <p>1.4.2 对要求在特定环境下贮存的样品，应严格控制环境条件，必要时加以警示。危险样品应隔离存放并严格按《样品管理》的有关规定执行。</p> <p>1.5 样品的处置</p> <p>1.5.1 试毕样品留样期不得少于报告申诉期，留样期一般不超过60天，特殊样品根据要求另行商定。留样期满，样品处置按《样品管理》的有关规定执行</p> <p>1.5.2 供样单位需提前领回样品时，应签注“对本样品的检验报告无异议”之后方可办理。</p> <p>1.6 样品的保密与安全</p> <p>1.6.1 本实验室严格按与委托方的协议或有关规定进行样品的检测、贮存与处置，严格执行《保密和保护专利权的规定》对委托方的样品、附件及有关信息负保密责任。留样期内的样品不得以任何理由挪作他用。</p> <p>1.6.2 对要求担保的样品，应根据客户的特殊要求作出特殊安排，包括样品接收、流转、贮存、处置及附件、资料的管理，应采取相应的安全防护措施，保护样品的完好性和机密性。</p> <p>相关文件</p> <p>a. ××01—2001 抽样工作程序</p> <p>b. ××02—2001 样品管理</p> <p>c. ××03—2001 保密和保护专利权的规定</p> <p>d. ××04—2001 质量记录（档案）管理</p>	

表 15—5 要素描述实例 2

质量手册	第×章
	第1页 共3页
	第B版 第0次修订
	实施日期：××××年××月××日
主题：设施和环境条件	
<p>1.1 总则</p> <p>为了保证检测结果的准确性和有效性，实验室应根据不同的检测要求设置相应的检测环境并加以控制，确保环境条件不会对测量质量产生不良影响。必要时，配置环境监控和记录设施。当环境条件危及检测结果的有效性和准确性时，应停止检测工作。</p> <p>1.2 设施与环境条件要求</p> <p>1.2.1 各检验室应实行测试区域（包括样品制备和存放区域）与办公场所分离，防止对检测工作质量产生不利影响。</p>	

续表

质量手册	第 × 章
	第 2 页 共 3 页
主题：设施和环境条件	第 B 版 第 0 次修订
	实施日期：××××年××月××日
<p>1.2.2 实验室应布局合理，并采取有效隔离措施，防止相邻工作区域间的不利影响。</p> <p>1.2.3 对于实验室的设计或改造，应根据实验室的功能和用途，充分考虑能源、采光、采暖、通风等要求，并应考虑环境因素（如温湿度、电磁干扰、噪声、振动等）对检测工作可能造成的不利影响而采取有效预防措施。</p> <p>1.2.4 对于实验室各种辅助设施和环境要求的工作区域（如高精密仪器区、无菌试验区、危险试验区、特殊样品制备区、恒温恒湿间、屏蔽间等），应检查其设施的配备是否满足规定的要求，必要时应经过验证，具体要求按《检测工作环境控制》的有关规定执行。</p> <p>1.2.5 检测过程中使用的消耗性材料和物质的贮存对环境条件有要求时，应有措施保证予以满足，避免材料和物资的损坏或变质。</p> <p>1.2.6 样品的收发、制备、测试和贮存环境应符合标准规定或样品特定的要求，特殊样品应采取有效防护措施防止样品污染变质或对环境造成危害，详见《样品管理》的有关规定。</p> <p>1.2.7 试验过程有强噪声产生时，应采取减噪或隔声措施。有废气、废水、烟雾产生的实验和试验装置，应配有合适的排放系统，以保证测试工作质量和工作人员的健康不受影响或损害。</p> <p>1.2.8 本实验室的供配电、用电由后勤科统一调配、统一管理，各部门应按《供配电及用电管理》的规定保证用电安全，有特殊用电要求的实验应加装必要的辅助装备。</p> <p>1.2.9 为保证检测工作的正常开展，各部门应配备足够和适用的办公、通讯及其他服务性设施，并按有关规定加强管理。</p> <p>1.2.10 个别检测项目按委托方要求在实验室外进行时，其设施与环境也应按本章的有关规定进行控制。</p> <p>1.3 监控与维持</p> <p>1.3.1 若环境条件对测试结果和设备精度有影响，应按影响程度采取不同的监控措施，必要时配备相应的监控与记录设备。具体措施和配备要求由各检验室提出，经审批后组织实施。</p> <p>1.3.2 检验室应按《仪器设备及标准物质管理》的相关要求做好各种设施的日常维护，定期检查设施的完好性和环境条件的符合性，如有损坏应及时修复。</p> <p>1.3.3 质量监督人员在履行监督职责时，发现检测过程中环境条件或辅助设施不符合要求的，应提出纠正和整改通知，必要时责成检验人员终止试验，对此间出具的检测数据的有效性应作分析和判断处理。</p> <p>1.4 检测工作安全</p> <p>1.4.1 为保障检测工作过程中人身和仪器设备的安全，各检验室应严格遵守《实验室安全管理》的规定。</p> <p>1.4.2 对于试品有爆炸及类似危险的试验，应限定场所进行，并采取有效隔离和明显警示措施，对有危险性的试验辅助设施也应进行安全隔离。</p> <p>1.4.3 易燃易爆及有毒有害物品等危险品的使用保管应严格按《危险品管理》的有关规定执行。</p> <p>1.4.4 各工作场所均应配备相应的消防设施并放置于醒目易取的地点，根据需要还应配备其他相应的防范和应急装置。在必要的区域配备防盗和安全保密设施。</p> <p>1.5 实验室的内务管理</p>	

续表

质量手册	第 × 章
	第 3 页 共 3 页
主题：设施和环境条件	第 B 版 第 0 次修订
	实施日期：××××年××月××日
<p>1.5.1 各检验室应按《实验室内务管理》的要求搞好内务管理，使实验室保持清洁、整齐、安全的良好受控状态。不得在实验室内进行与检测无关的活动和存放与检测无关的物品。</p> <p>1.5.2 无关人员未经批准不得随意进入实验室，尤其是有特殊环境要求的工作区域，应有警示并严格限制人员的进出，以免影响环境的稳定性和检测工作安全。</p> <p>1.5.3 外来人员进入实验室须经实验室负责人许可，并应有实验室人员陪同，须遵守本实验室保密规定及其他有关管理制度要求。</p> <p>相关文件</p> <p>a. ××01-2001 检测工作环境控制</p> <p>b. ××02-2001 实验室内务管理</p> <p>c. ××03-2001 实验室安全管理</p> <p>d. ××02-2001 样品管理</p> <p>e. ××14-2001 危险品管理</p> <p>f. ××01-2001 仪器设备及标准物质管理</p> <p>g. ××05-2001 供配电及用电管理</p> <p>h. ××21-2001 质量记录（档案）管理</p>	

(11) 质量手册的管理

对质量手册保存、分发、评审、修订以及是否保密等作出规定。

(12) 附录：支持性资料目录

包括质量手册所需列出的附录（如实验室平面布置图）和支持性文件目录（如程序性文件、技术标准等）。

三、程序文件的编写

1. 程序文件

质量体系文件中的程序文件是规定实验室质量活动方法和要求的文件，是质量手册的支持性文件。质量体系所选定的每个要素或一组的相关的要素一般都应该形成书面程序。在编制程序文件时要注意其内容必须与质量手册的规定相一致，特别要强调的是程序文件的协调性、可行性和可检查性。要对检验活动过程中的每一个环节作出具体、细致的规定，以便有关人员的理解、执行和检查。

2. 程序文件的内容和格式

(1) 封面（一般是几个程序文件以活页形式组装成一本，装几本编几本）

包括实验室的名称和标志，程序文件的标题、编号、受控状态、持有人或部门（分受控

和授控两类)。

(2) 刊头

包括实验室的名称和标志, 程序文件标题、文件编号。

(3) 正文

包括文件名称和对所描述质量活动的目的、适用范围、职责、工作程序、相关文件的阐述。具体包括:

①目的、适用范围

简要说明开展这项活动的作用和重要性及其涉及的范围。

②职责

明确实施此项程序有关部门人员的职责和相互关系。

③工作程序

按顺序列出开展该项活动的细节。明确输入、输出和整个流程中各个环节的转换内容, 对人员、设备、材料、环境和信息等方面作出具体要求, 阐明规定应做的工作和执行者, 在何时、何地、如何进行, 所使用的仪器设备, 依据的文件、控制方式, 记录要求及特殊情况处理等。

④相关文件

包括相关的体系文件和对应的记录。

(4) 刊尾

包括版次号、修改次号、批准日期、实施日期、总页数和该页的页码。

3. 程序文件实例

样品管理

1. 目的

检测样品的处置是影响检测结果正确性和有效性的重要因素之一，为保证样品的完整性和有效性，并保护客户和本所的利益，应对样品的运输、接收、识别、保护和清理进行管理。

2. 适用范围

本程序适用于本所各类型检测业务中检测样品的运输、接收、识别、存储、处理、保留和清理的管理，不适用于陈列样品、标准样品的管理。

3. 职责

3.1 业务受理员负责对客户送检的样品及其附件进行规格、批号、数量、状态和包装情况的检查验收，根据客户的检测要求对所供样品的适宜性进行初步检查判断，并及时做好待检样品的标识。

3.2 检验室负责对所接收的样品及其附件的状态、数量、完整性、适宜性和相关信息进行核查、确认，记录接收样品的状态，进行样品标识的转移、细分和检验状态标识，并负责保护样品的状态和完整性以及试毕样品的保留、存储、退还或清理。

3.3 检验室或其他部门的抽样人员负责抽样样品运输过程中的保护。

3.4 行政科负责协助检验室退还样品。

4. 样品的接收

4.1 送检样品的接收

4.1.1 客户送检的样品由业务受理员接收。业务受理员接收样品时应核查样品的包装、外观、商标、规格、等级、批号、数量、性状等与“委托检验协议书”的描述相一致，并根据客户的检测需求及所确定的检测方法和项目检查样品的数量是否足够、配件和相关资料是否提供完整、样品的状态和特征是否完好、所供样品是否适宜于所要求的检测等，必要时还应检查样品的包装材料或容器是否造成样品的特性变异，并在“委托检验协议书”和“检验业务流转卡”上作必要的说明。业务受理员无法准确判断的，应请检验室的专业人员协同进行样品的接收检查。

4.1.2 业务受理员应向客户了解样品有无处理、储存、留样、安全防护等方面的特殊

××××××××

程序文件

文件编号: ××B 02—2001

要求,并向客户征询有关试毕样品处置意见。若客户有特殊的要求,且其要求适用时,应在“委托检验协议书”上详细注明。“委托检验协议书”填写和签署完毕,应将其客户联交与客户,作为领回样品和领取报告的凭证。

4.1.3 业务受理员收样后应及时将样品编号、标识,并立即通知承检室领样。若无特殊情况,一般样品在业务接待室放置时间不超过一个工作日,加急样品不超过半个工作日。有特殊存储要求或安全保密要求的样品,由业务受理员立即送往检验室,亲自交与样品管理员签收。样品在业务接待室放置期间,业务受理员负责保护样品的状态和完整性。

4.1.4 各检验室的样品管理员或指定人员在领样时应与业务受理员进行交接验收,查看样品状况和数量是否与“委托检验协议书”填写内容相符,样品及其包装、封签是否完整、有无异常,相关资料和配件是否齐全,并对样品的符合性进行确认,在“委托检验协议书”上签收。

4.1.5 客户邮寄或托人转交的样品由样品收件人检查样品的符合性、完整性和有效性。样品收件人应在与客户联络确认后,代客户填写“委托检验协议书”,并将其客户联转交于客户。邮寄或转交的样品未明确收件人的,由与此样品相关的专业检验室负责相应的联络、确认和代办委托检验手续。

4.1.6 与客户签有长期委托等技术服务协议的检测业务,在协议有效期内,协议范围内的样品送检时,可以不通过业务受理员而由相关检验室按 4.1.1 和 4.1.2 的有关要求直接接收样品。

4.2 抽样样品的接收

4.2.1 承担抽样任务的人员应了解相关样品的抽样要求、存储要求、运输要求及其对检测结果的影响。应按 B 03《抽样工作程序》的有关规定抽取样品。

4.2.2 抽样的样品一般应由抽样人员带回本所,抽样人员应负责样品运输过程中的防护,保护样品的完整性。若因客观原因样品不易携带(如样品数量大、样品笨重、样品较贵重、样品易燃易爆等),可按有关文件规定封样后由被抽检单位运送样品,但抽样人员应将有关样品存储和运输过程中的保护要求明确告知企业。

4.2.3 抽样人员回所后应立即将随身带回的样品及抽样单交给检验室样品管理员,检验室样品管理员或指定人员应依据抽样单上的信息核对和验收样品,并检查样品的完好性。

4.2.4 由被抽检单位邮寄或运送的样品,由承检室样品管理员进行验收,验收时除应对照抽样单检查样品的符合性、完整性,并检查样品运输过程有无损坏以外,还应对封签的完好性和有效性进行检查确认。必要时,样品管理员应会同抽样人员对样品进行检查验收。

4.2.5 对于指令性的抽样检验,抽样样品验收后由检验室开“业务流转卡”安排试验。对于委托性的抽样检验,应到业务接待室办理“检验业务流转卡”,业务员应核对抽样单与

“委托检验协议书”的一致性。

4.3 样品的接收记录

4.3.1 样品进入检验室后,各检验室样品管理员或指定人员应按《样品登记表》(表A)的内容记录接收样品的有关信息,或将有关信息录入计算机管理信息系统。如果样品有任何异常或与标准的规定有所偏离,负责样品接收登记的人员应进行详细的记录并将有关信息传递给承检人员和本室的检验报告授权签字人。

4.3.2 检验室的承检人员领取样品进行检测时,应首先对领取的样品进行检查,并在检验原始记录中记录样品的状态,尤其是异常情况和对检测方法偏离状况应进行详细的描述。

4.4 针对样品的问题与客户进行的联系

检验室对接收的样品是否适合于所要求的检测有任何疑问,或对客户的检测要求了解不够明确,或认为样品不符合有关规定或供样说明时,应在样品测试之前及时与客户联系,取得进一步的说明或认可。与客户联系和讨论的有关内容应在检验记录中体现。

5. 样品的识别

5.1 不同的样品以样品编号进行识别,样品编号包含工作令号和样品序号。样品所处的试验状态,用“未试”、“在试”和“试毕”的标签或文字进行标识。

5.2 样品在接收、存储待检、处理、检测、试毕留存、清理等不同的阶段,应根据样品的不同特点和要求,如样品的物理状态(固态、液态或气态)、样品的处理要求(分样或混样、加工或分解)、样品的形状大小、样品的包装状态(裸状样品、器皿盛装样品)等,采用合适的标识方法,并在样品流转和存储过程中保护样品的标识,做好样品标识的转移,以保证样品从接收到清理始终保持标识清晰,不发生模糊和混淆,并在必要时可追溯。

5.3 从一组样品中取出单个样品,或在样品处理过程中伴随样品分解、拆卸,或样品在检验室内部主、辅检室之间传递时,样品编号应保持不变。送辅检室的样品由主检室编号标识。

5.4 各检验室可根据专业要求,在子体系文件中对样品标识方法、样品标识转移方式以及如何保证样品标识的惟一性和有效性做出规定。

6. 样品的保护

6.1 样品存储过程中的保护

6.1.1 检验室应有专用的样品库,并配备必要的样品柜或样品架。样品进入检验室经样品管理员(或指定人员)签收登记后,未立即安排试验的,应进入各室样品库存储保管。遇特殊情况样品库容量不足时,应指定专门地点存放样品。样品存储环境应安全、无腐蚀、

清洁干燥、通风良好、防雨防晒,并满足检验标准、指导书或客户提出的要求,保证样品在存储过程中不发生退化、变质、损坏或丢失。

6.1.2 要求在特定环境条件下储存和养护的样品,其储条件应满足相应的要求,样品存储期间应对环境条件进行监控和记录。

6.1.3 易燃、易爆和有毒有害的危险样品应隔离存放,加以明显标记,并采取适当的防护措施。

6.1.4 样品库由样品管理员专人负责管理,限制人员进出。存储的样品应分类存放,标识清楚,账物一致,并防止交叉污染。对有特殊安全防护或保密要求的样品,必要时应隔离存放,小心保管,除样品管理员、检验室主任和指定的检验人员以外,其他人员不得接触该样品及相关资料。

6.2 样品流转过程中的保护

6.2.1 检验人员领取样品进行样品准备和检测时,应向室样品管理员办理领样登记手续并核查样品状况。室样品管理员应将领样的时间、人员、领出数量等信息录入计算机网络系统。

6.2.2 样品应按规定的检测流程流转。对测试项目有先后顺序之分的样品,应按规定的测试顺序安排检测,不应倒序或错序。样品标注的信息应录入计算机网络。

6.2.3 样品制备、处理、测试、传递过程中应注意保护其完整性和正常的状态,避免受到非检验性的损坏,防止发生变质或性能退化,并注意防止丢失。应遵守客户提出的备样或样品处理说明(适用时),遵守样品的使用说明书的有关要求。当客户未提供适用的样品制备或处理说明时,应按照标准或检验指导书的规定进行样品的制备、处理和测试。

6.2.4 对于测试之后客户欲取回照常使用的样品的,应特别注意样品的保护,采用非破坏性的检测方法,并尽可能减少测试对样品正常使用功能的影响,确保样品在处理、检测和存储过程中不被破坏或损伤。若本所不具备条件进行这样的检测,则不应承接此类业务。

6.2.5 对因价值昂贵或其他原因有特殊安全防护或保密要求的样品,承检人员应注意样不离身,样品准备和测试过程中应避开无关的人员,应尽可能连续操作,若因任何原因中断工作,应将样品暂时退回样品库或存放在安全的地点。

6.2.6 样品流转过程中如遇意外损坏、变质或丢失,相关人员应立即向部门负责人和质量技术部门报告,必要时应立即与客户联系。

6.3 留样期间的保护

6.3.1 样品测试完毕,检测人员应及时将保留的样品交给样品管理员入样品库或在专门的地点保存。保留的样品既包括测试后剩余的部分,也包括有分析意义和验证需要的已失

效或损坏的部分。有特殊安全或保密要求的样品和客户要求全部退回的样品, 测试完毕应全部留样。

6.3.2 样品管理员应在留样上加贴“试毕”标签或以其他方式标明“试毕”状态。保留的“试毕”样品应与待检样品、中转样品分开存放, 并有明显的标识。

6.3.3 保留样品的存储环境也应满足检验标准、指导书或客户提出的要求, 保证留样期间样品不发生退化、变质、损坏或丢失。要求在特定环境条件下存储的留样样品, 应在规定的条件下储存并监控和记录环境条件。无法长期留样的, 应与客户协商, 缩短留样期。

6.3.4 危险样品在留样时应隔离存放, 加以明显标记, 并采取适当的防护措施。相关检验室应对所涉及的危险样品的保管和处置做出具体规定。

6.3.5 对有特殊安全或保密要求的保留样品, 应存放在专门的地点, 小心保管, 并经常检查样品的状态和完整性。

6.3.6 试毕样品的留样期一般不得少于报告的申诉期, 或与客户协商确定。保质期短、易变质的样品的留样期不得超过其保质期限, 并应明确告知客户。

6.3.7 留样期间, 样品管理员应定期检查库存样品的状态和完整性, 若发现样品变质、异常、损坏或丢失, 应立即报告部门负责人和质量技术部门, 必要时应通知客户。留样内样品的非正常损坏或丢失, 按 B 15《质量管理奖罚规定》进行处罚。留样期内的样品不得以任何理由挪做他用。

7. 样品的退还和清理

7.1 委托检验的样品

7.1.1 对于委托检验的试毕样品(包括抽样样品和送样样品), 检测后已损坏且客户不要求退回的, 留样期满后由检验室样品管理员报本部门负责人批准进行清理; 客户要求退还的, 或客户虽不要求退还但仍有使用价值的样品, 在留样期满后由检验室样品管理员通知客户取回, 或按委托协议由检验室代为发送。代为发送的样品应选择合适的发运方式, 保证样品运送过程中不发生损坏。

7.1.2 客户领回样品时, 需持有委托检验协议书或抽样单、单位介绍信、本人身份证明等取样凭证, 由室样品管理员办理退样手续。对未交或欠交检验费的客户, 退样时应要求客户补交检验费。

7.1.3 客户若要求在报告申诉期内取回样品, 样品管理员应在办理退样手续时要求客户签注“对检测报告无异议”的签字。

7.1.4 由于客户原因而逾期未退回的样品, 超过留样期 3 个月以后, 若样品已损坏、

××××××××

程序文件

文件编号: ××B 02--2001

失效的, 由样品管理员报本部门负责人批准后进行清理; 样品未损坏或尚有使用价值的应继续保留, 除非客户同意“报损”或“报废”。

7.1.5 检测后未损坏或尚有使用价值的样品, 若因保管时间过长(一般在1年以上)需进行清理时, 样品管理员应填写《样品清理申请表》(表B), 经业务管理部门审核、所领导批准后进行清理。但客户有特殊安全要求或验证需要, 或特别约定留样期限的样品, 应遵从客户的要求和约定。

7.1.6 样品清理时应采取必要的措施防止污染环境或造成危害, 样品清理应有记录。各检验室应保存所有样品清理记录, 保存时间一般不少于3年。

7.2 指令性抽检的样品

7.2.1 因承担各级质量技术监督部门或其他行政部门下达的指令性任务而抽检的样品, 应按有关文件的规定或下达任务部门的要求处置试毕的样品。

7.2.2 若下达任务的部门未规定退还样品的期限, 除损耗品以外, 流通领域抽检的样品一般应于留样期满后半年内退还供样单位或个人, 生产领域抽检的样品可与供样单位协商退样的时间, 但一般不应超过一年。有关部门或文件已明确规定还样期限的, 从其规定。在退样时应注意样品运送过程中的保护, 应保护样品的状态和完整性直至样品安全交付供样方。

7.2.3 各检验室承接有关指令性任务时应统筹考虑退样的具体操作事项, 若确有实际困难, 应及时与有关部门协商处理的办法。

7.2.4 行政科应密切配合和协助检验室退还样品, 提供车辆和人力上的支持。

8. 分包和所外检测样品的管理

8.1 各检验室对提供给分包实验室的样品, 在交付前应检查样品完好性。交付分包实验室的样品应有对方接收凭证, 应将有关样品准备(或处理)、样品存储、样品保护的具体要求或注意事项明确告知对方, 并与对方协商确定试毕样品的退样方式。

8.2 对于因检测工作需要而在所外进行检测的样品, 各检验室应有保护样品完整性的措施, 做好样品的标记, 保证样品在合适的地点存放, 并要根据本室样品的专业特点做好所外检测样品的管理。

相关文件

- a. B 03 抽样工作程序
- b. B 04 危险品管理
- c. B 15 质量管理奖罚规定

记录表格

- a. 样品登记表(表格A)
- b. 样品清理申请表(表格B)

表格 A

样品登记表

检验室名称:

第 页 共 页

[illegible]

文件编号: ××B 02-2001

样品清理申请表

第 页 共 页

[illegible]

批准（分管负责人）：

四、质量记录的编制

质量记录应能客观反映质量活动和体系运行的实际情况，是质量活动追踪和预防的依据。大量的质量记录是以表格的形式表述的。

1. 质量记录的要求

质量记录一般要做到便于管理，易于操作，能正确、真实、准确地进行质量活动，具有很强的可追溯性。同时，质量记录应尽可能做到信息完整。判定技术性记录信息是否完整的标准是看能否复（再）现技术活动，管理性记录信息是否完整的标准是看能否实现跟踪检查。

2. 检验记录表的编制要求

（1）检验表格栏目设计要适当。能按照检验标准的要求反映出质量特性，做到有充分的信息量，易于追溯。

（2）检验表格要规范化。对检验记录内容、格式应力求标准化、规范化，要简明，同时又便于填写。

（3）具有惟一性的标识，以便于归档、检索。

五、质量计划的编制

1. 质量计划

质量计划是针对特定的产品、项目或合同，规定专门的质量措施、资源和活动顺序的文件。质量计划可以是质量策划的一部分，是将特定要求与现行通用的质量体系程序有机地联系起来，从而保证质量手册中规定的原则和方法可以贯彻和实施。

2. 质量计划的主要内容

包括项目内容、质量目标、该项目各阶段的有关部门的职责、特殊程序和方法、所使用仪器设备及其配置要求、检验指导书（实施细则）、检验人员的培训、检验记录的要求、重要阶段验证和审核大纲、计划修订等内容。

3. 质量计划的编制要求

- （1）要与实验室的质量方针、已有的质量体系文件协调一致。
- （2）要针对其特殊性和单一性制订明确的质量目标。
- （3）要围绕目标制订实用、有效的措施，具有可操作性。
- （4）对质量计划的内容及格式作出统一规定。



思 考 题

1. 简述实验室管理的重要性。
2. 什么是实验室的质量体系？
3. 实验室质量体系由哪些方面构成？其特性是什么？
4. 建立实验室质量体系的步骤有哪些？
5. 质量体系文件的层次有几层，其内容是什么？
6. 请简述编写质量体系文件的过程。
7. 质量手册中对各质量体系要素描述的主要内容应包括哪些？
8. 在编写程序文件时，应注意什么问题？
9. 程序文件的一般内容应包括哪些？
10. 检验记录表的编制要求有几点，其内容是什么？

第十六章 计量认证与审查认可（验收）概述

第一节 计量认证与审查认可（验收） 的起源、发展与法律效力

一、计量认证与审查认可（验收）的起源

80年代初期，随着我国对外开放和经济体制改革进程的不断加快，计划经济逐步被市场经济所取代，因此，也就产生了供需双方的验货检验需求，同时政府管理部门对产（商）品的产、供、销管理职能转为对产（商）品的质量监督管理职能，进而形成政府对检验机构的需求。于是在随后的几年里从国家到各行业、部门，从省（自治区、直辖市）到地、市、县相继成立了各级产（商）品质量监督检验机构，承担政府对产（商）品的质量监督抽查、验货及仲裁任务。为了规范这批新成立的产（商）品质检机构和依照其他法律法规设立的专业检验机构的工作行为，提高检验工作质量，在1985年颁布《中华人民共和国计量法》时，规定了对检验机构的考核要求。1987年发布的《计量法实施细则》中将检验机构的考核称为计量认证。

《计量法实施细则》实施后，在试点的基础上于1987年开始对我国的检验机构实施计量认证考核。依据从1987年至1990年3月对检验机构计量认证的考核实践，原国家技术监督局发布了我国对检验机构计量认证的考核标准——《产品质量检验机构计量认证技术考核规范》（JJG 1021—1990）（参考采用ISO/IEC 导则 25：1982）。该规范发布10余年来，经考核获得国家质量技术监督局颁发的国家计量认证合格证书（含自愿申请）的国家级和部委级检验机构1818个，省级质量技术监督部门颁发的省以下计量认证合格证书（含自愿申请）17 430个（含审查认可质检机构）。

随后国家技术监督局在1990年发布的《标准化法实施条例》中以法规的形式明确了对设立检验机构的规划、审查条款（《标准化法实施条例》第29条），并将规划、审查工作称为“审查认可（验收）”。

为实施对依照《标准化法》设立和授权的产品质量检验机构的审查认可（验收）工作，原国家技术监督局质量监督司于1990年发布了《国家产品质量监督检验中心审查认可细则》、《产品质量监督检验所验收细则》、《产品质量监督检验站审查认可细则》（三个细则也参照采用ISO/IEC 导则 25：1982），由此开始了对国家、省、地、县等各级产品质量监督检验机构的审查认可（验收）工作，历经10多年的时间，现已审查认可（验收）国家级产品质量监督检验机构几百个，省级及省级以下质检机构几千个。

二、计量认证与审查认可的发展及社会作用

10余年来，我国计量认证和审查认可工作不断发展。2000年10月24日国家质量技术监督

监督局认证与实验室评审管理司以“质技监认函〔2000〕046号文”发布了《产品质量检验机构计量认证/审查认可(验收)评审准则》，替代原计量认证考核条款(50条)和审查认可(验收)条款39条，成为“二合一”的评审准则。目前，经计量认证、审查认可考核合格的产品质量检验机构的专业已涉及机械、电子、冶金、石油、化工、煤炭、地勘、航空、航天、船舶、建筑、水利、公安、公路、铁路、建材、医药、防疫、农药、种子、环保、节能等国民经济各个领域，他们承担了产品质量监督检验、质量仲裁检验、商贸验货检验、药品检验、防疫检验、环境监测、地质勘测、节能监测和进出口等大量的检验检测任务，为政府执法部门打击假冒伪劣商品提供了有力的技术保障，为审判机关裁决因产品质量引发的案件提供了准确的技术依据，为商业贸易双方提供了公正的检验结果，为工农业生产和工程项目出据了科学、准确、可靠的检测数据。

该《评审准则》不仅涵盖了GB/T 15481-1995《校准和检验室能力的通用要求》(等同采用ISO/IEC导则25:1990)的全部内容，同时满足了《计量法》对检验机构计量认证的要求和《标准化法》对检验机构审查认可(验收)的特殊要求，也参照了ISO/IEC 17025:1999《检测和校准实验室能力的通用要求》的有关规定。

三、计量认证/审查认可(验收)同实验室认可的关系及其发展

为了使实验室认可工作同国际通行做法完全一致，使我国的实验室管理水平和检测能力同国际惯例接轨，1994年9月原国家技术监督局成立了中国实验室国家认可委员会(英文缩写为CNACL)，由CNACL负责实验室认可工作，其运作程序同国际通行做法完全一致，运行数年来已为国际同行所认同，1999年同亚太实验室认可合作组织(APLAC)有关成员签署了互认协议，2000年又同国际实验室认可合作组织(ILAC)的35个成员签署了互认协议。按照惯例，申请实验室认可是实验室的自愿行为。实验室为完善其内部质量体系和技术保证能力向认可机构申请认可，由认可机构对其质量体系和技术能力进行评审，进而作出是否符合认可准则的评价结论。如获得认可证书，则证明其具备向用户、社会及政府提供自身质量保证的能力。

计量认证是我国通过计量立法，对凡是为社会出具公证数据的检验机构(实验室)进行强制考核的一种手段，也可以说计量认证是具有中国特色的政府对实验室的强制认可。

审查认可(验收)是政府质量管理部门对依法设置或授权承担产品质量检验任务的质检机构设立条件、界定任务范围、检验能力考核、最终授权(验收)的强制性管理手段，这种授权(验收)前的评审，当然也完全可以建立在计量认证/审查认可评审或实验室认可评审的基础上。这样就可以大大减少对实验室的重复评审。

综上所述，我们了解到计量认证/审查认可(验收)是法律法规规定的强制性行为，其管理模式为国家和省两级管理，以维护国家法制的需要，其考核工作是在注重国际通行做法的基础上充分考虑了我国国情和计量认证/审查认可(验收)实践的基础上而实施的。CNACL的实验室认可工作是我国完全与国际惯例接轨的一套国家实验室认可体系，为促进CNACL认可工作与计量认证/审查认可(验收)工作的逐步统一，1997年5月，国家质量技术监督局以“技监局评发〔1997〕81号文”规定了：国家产品质检中心“审查认可”、“计量认证”和省、自治区、直辖市及计划单列市质检所“验收”的评审工作授权给CNACL承担。2001年国家质量监督检验检疫总局成立，认证认可和标准化工作从总局分出分别成立了中国国家认证认可监督管理委员会(简称“国家认监委”)和中国国家标准化管理委员会，

现在“验收”的评审工作由“国家认监委”承担。可以预料,随着中国经济同世界经济的不断融合和中国经济加入经济大循环进程的不断推进,政府对检验机构考核的管理模式将逐步改革,到那时,计量认证、审查认可(验收)的评审和实验室认可评审的模式必将趋于一致,我国经济发展的轨道也将完成与世界经济的对接。

四、计量认证的有关法律规定及法律效力

我国的计量认证工作是依据《中华人民共和国计量法》第22条的规定进行的,其立法原意在于对为社会提供公证数据的产品质量检验机构要实施计量监督,即要通过严格的技术考核,确认其是否真正具备同检验工作相适应的计量检定、测试能力和可靠性,也可以说是国家凭借政府计量行政部门的计量技术手段,来评价产品质量检验机构是否真正具有为社会提供公证数据的条件和资格,为此,它是一项技术性很强的法制监督工作。

《计量法》中所称的“公证数据”,是指面向社会从事检测工作的技术机构为他人做决定、仲裁、裁决所出具的可引起一定法律后果的数据,即除了具有真实性和科学性外,还具有合法性。公证数据的准确可靠,必须溯源用于贸易出证、产品质量评价和成果鉴定方面,具有法律效力,不仅在国内可赢得社会的信誉,而且在国际上也容易得到双边或多边的相互承认,这有利于提高本国商业活动参加国际竞争的能力。为此,计量认证的法律效力归纳为

(1) 在计量法律法规体系中占有相当重要的地位,即从法律、法规、部门规章均有明确的规定来体现。

(2) “为社会提供公证数据的产品质量检验机构,必须经省级以上人民政府计量行政部门对其计量检定、测试能力和可靠性考核合格。”是指未取得计量认证合格证书的,不得开展产品质量检验工作。这表明这项工作强制性的政府行为。

(3) 计量认证定位在省级以上的政府计量行政部门考核合格,才有资格为社会提供公证数据,这同计量工作的其他方面不一样,表明政府对这项工作行使的权限是严格控制的。

(4) 强制要求产品质量检验机构的量值必须溯源到国家计量基准,最高等级的计量标准也应取得法定的资格,以保证国家单位量值的统一、准确可靠。

五、审查认可(验收)的有关法律规定及法律效力

审查认可(验收)是针对质量技术监督系统依法设置的有关行业部门建立的经质量技术监督行政部门授权的质检机构进行的评审考核,而这些质检机构的设立和授权依据是《中华人民共和国标准化法》第19条关于“县级以上政府标准化行政主管部门,可以根据需要设置检验机构,或者授权其他单位的检验机构,对产品是否符合标准进行检验”的规定。法律、行政法规对检验另有规定的,依照法律、行政法规的规定执行,处理有关产品是否符合标准的争议,以前款规定的检验机构的检验数据为准。

《中华人民共和国标准化法实施条例》第29条规定:县级以上人民政府标准化行政主管部门,可以根据需要设置检验机构,或者授权其他单位的检验机构,对产品是否符合标准进行检验和承担其他标准实施的监督检验任务。处理有关产品是否符合标准的争议,以本条规定的检验机构的检验数据为准。即以依法设置和依法授权的检验机构数据为准。由于承担执行具有法律效力的检验工作的特殊性,同时对执行人员也赋予很强的法律责任,为此,第39条中严格规定:标准化工作的监督、检验、管理人员有下列行为之一的,由有关主管部门给

予行政处分,构成犯罪的,由司法部门追究其刑事责任,具体行为包括:

- ①违反条例规定,工作失误,造成损失的;
- ②伪造、篡改检验数据的;
- ③徇私舞弊,滥用职权,索贿受贿的。

2000年7月8日经第九届全国人民代表大会常务委员会修改后的《中华人民共和国产品质量法》中第19条规定:产品质量检验机构必须具备相应的检测条件和能力,经省级以上人民政府产品质量监督部门或者其授权的部门考核合格后,方可承担产品质量检验工作。法律、行政法规对产品质量检验机构另有规定的,依照有关法律、行政法规的规定执行。前者就是我们所说的审查认可(验收),后者是依据计量法必须经计量认证合格。

综上所述,为社会提供公证数据的产品质量检验机构必须获得省级以上人民政府计量行政部门的计量认证证书,而质量技术监督系统依法设置或依法授权的产品质量监督检验机构必须获得省级以上人民政府产品质量监督管理部门审查认可(验收)的授权证书,这是我国法律、法规的强制性要求。

第二节 产品质量检验机构计量认证/审查认可(验收)评审准则简介

一、《产品质量检验机构计量认证/审查认可(验收)评审准则》的基本构成

2000年10月24日,国家质量技术监督局认证与实验室评审管理司以“质技监认函[2000]046号文”发布了《产品质量检验机构计量认证/审查认可(验收)评审准则》(试行)(以下简称《评审准则》)。该《评审准则》的法律依据是《中华人民共和国计量法》、《中华人民共和国标准化法》、《中华人民共和国质量法》。《评审准则》的参考资料主要有《产品质量检验机构计量认证技术考核规范》(JJG 1021—1990)、《产品质量监督检验所验收细则》、《产品质量监督检验站审查认可细则》、《校准和检验实验室能力的通用要求》(GB/T 15481—1995)、《检测和校准实验室能力的通用要求》(ISO 17025:1999)以及计量认证和审查认可的特殊要求。《评审准则》的适用范围主要有,为社会提供公证数据的产品,质量检验机构计量认证的评审,依法设置和授权的产品质量检验机构计量认证和审查认可(验收)的评审,其他类型实验室自愿申请计量认证的评审。《评审准则》中的“实验室”是指从事检验(检测)工作的质检机构,不包含从事校准工作的质检机构。

《评审准则》共有16章56条,包括:

- 第1章 总则
- 第2章 参考文件
- 第3章 定义
- 第4章 组织与管理
- 第5章 质量体系,审核和评审
- 第6章 人员
- 第7章 设施和环境

- 第 8 章 仪器设备和标准物质
- 第 9 章 量值溯源和校准
- 第 10 章 检验方法
- 第 11 章 检验样品的处置
- 第 12 章 记录
- 第 13 章 证书和报告
- 第 14 章 检验的分包
- 第 15 章 外部支持服务和供应
- 第 16 章 抱怨

二、《评审准则》条文要点的理解

为了正确理解《评审准则》的有关条款，以利于质检机构依据准则建立质量体系，现从几个方面做详细的解释。

1. 质量体系，审核和评审

本章是实验室质量体系的重点，对质量体系的要素、质量手册的内容、质量体系的建立和维护提出了要求。本章由 5.1~5.6 共 6 条构成，现逐条简述如下：

5.1 条要点如下：

(1) 质量体系包括实施质量管理所需的组织结构（含职责）、程序、过程和资源，它们是有机组成的整体，缺一不可，也不能互相隔裂。质量体系是指实验室用文件化的形式列出有效的、一体化的技术和管理程序，以便以最好、最实际的方式来指导实验室的工作人员、设备及信息的协调活动，从而保证顾客（委托方）对质量满意和降低成本。

组织结构是为了使实验室执行其职能（准则）而按一定的格局所安排的组织单元、岗位、职责、职权及其相互关系，它可以用文字和图表结合起来清晰地加以表示。

质量职责是指一个组织内每个部门对分配在质量体系运行中应完成的职责和应做的工作，以及由于没有做好工作而承担的过失及责任，职责应明文规定。

程序是为了进行或完成某项活动所规定的途径（或方法）。其中书面程序包括：目的（Why）；范围（What）；职责（Who + What）；工作顺序〔做何事（What）？何人做（Who）？为何做（Why）？何时做（When）？何地做（Where）？如何做（How）？即所谓 5W + 1H 或 6 何；以及如何对人（M）、机（器）（M）、（材）料（M）、（方）法（M）、环（境）（E）、测（量）（M）即 5M + 1E 进行控制和记录〕；引用文件；使用的质量记录等。

过程是将输入转化为输出的一组彼此相关的资源和活动。所有的工作（即所有的质量活动）都是通过“过程”来完成的。任何一项质量活动，在对其提出要求（即输入）后均有一个将输入转化为输出（即结果）的“过程”。一个复杂的“大过程”可以分解为若干个简单的“小过程”。上一个“小过程”的输出即可为下一个“小过程”的输入。每个过程本身是或应当是一种增值转换。每一过程均以某种方式包含着人和/或其他资源。在输入端过程的不同位置以及在输出端都存在着测量机会。过程是质量体系的主要组成部分之一。实验室必须把它的各种过程加以系统规划、组织、控制、检查和协调，使之能更有效地实施。实验室质量体系要素可以划分为两大类：一类是直接影响质量的过程要素（例如检测中的测试过程）；另一类是提供支持，间接影响质量的过程要素（如人员培训和积极性调动、质量文件

和记录的控制、内部质量审核和管理评审等)。间接要素涉及质量环的每一个阶段,也就是每一个直接过程要素在实施中都应考虑这些间接要素。

对每个有关质量的工作(直接和间接的)过程的确定、展开,明确规定其相应的职责、职权、程序和资源,就是质量体系要素。一个质量体系不只是质量体系要素的简单总和,为使体系有效,还必须使其组成的过程相互协调和相容,并明确它们之间的接口关系。体系要素所描述的过程既存在于职能部门之中,也可跨越职能部门。一个组织(实验室)在进行质量职能的分配落实时,必须以过程(或质量活动)为主线,通过协调,把各个过程(或质量活动)的责任落实到各职能部门,并明确其接口和协调措施。

每一个组织的存在是为了实现价值增值,它是通过一个过程网络完成的。网络的结构通常并不是一个简单的按顺序排列的结构,一般来说大多数组织的过程网络的结构是相当复杂甚至是错综复杂的,因此强调主要过程并简化和按优先次序排列过程,对质量管理来说尤为重要。一个组织需要识别、组织和管理其过程网络和接口。组织通过过程网络来创造、改进和提供稳定的产品(实验室的产品是检测报告的质量)。这是质量管理的一个基本概念基础。应对所有的过程及其接口进行分析并不断改进。对于一个被评价的过程应明确地回答如下3个问题:①每一个过程是否被确定?过程的程序是否被恰当地形成文件化的程序(方法、途径是否确定)?②每一个过程是否被充分展开并按文件要求贯彻实施?③过程输出是否提供预期的结果?过程是否生效?

资源包括:人才资源和专业技能;设计和研制设备;制造设备;检验和试验设备;仪器仪表和计算机软件。

明确了实验室的质量体系的概念后就可以从组织结构(职责)、程序、过程和资源等几个方面来判定实验室所从事的检验业务的工作类型、工作范围和工作量是否相适应。

(2) 质量体系的要求也就是质量体系的要求应用文件化的形式表示出来,也就是说本《评审准则》中的质量体系要素要在质量手册及其配套的质量文件中以文件化的形式表示出来。实验室可以用对照表的形式加以核查。

(3) 质量文件应为实验室人员方便地获得并有效地使用。实验室明确各类文件的管理,特别应防止文件的误用。

(4) 实验室应有文件规定达到良好工作水平,提供优质服务,并将检验服务的质量方针、目标形成文件,并作出满足相应方针、目标的承诺,实验室的方针、目标以便于实验室员工易于贯彻理解的形式提出,并体现在质量手册中。

(5) 质量主管负责质量手册的维护工作,并确保其现行有效地实施。

5.2 条要点如下:

质量手册是阐述一个组织的质量方针并描述其质量体系的文件。质量手册可以涉及一个组织的全部活动或部分活动。手册的标题和范围反映其应用的领域。质量手册通常至少应包括或涉及质量方针,影响质量的管理、执行、验证或评审工作人员的职责、权限和相互关系,质量体系程序和说明,关于手册的评审、修改和控制的规定。质量手册规定质量体系的基本结构,是实施和保持质量体系在较长时期内应遵循的文件。质量手册至少包括组织的质量方针(包括目标与承诺)和对所采用的质量体系标准和全部适用要素的描述。质量体系文件是描述质量体系的一整套文件,它主要由质量手册、质量体系程序、作业指导书、表格报告及质量记录等质量文件构成。典型的质量体系文件层次图有如图 16-1 和图 16-2 所示的两种划分层次的方法可供选择。

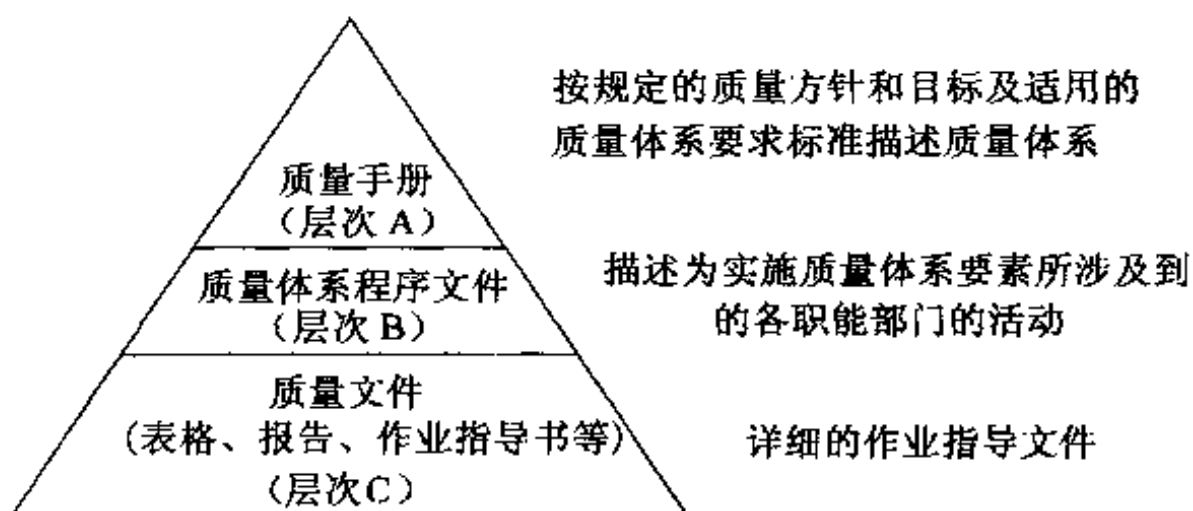


图 16-1

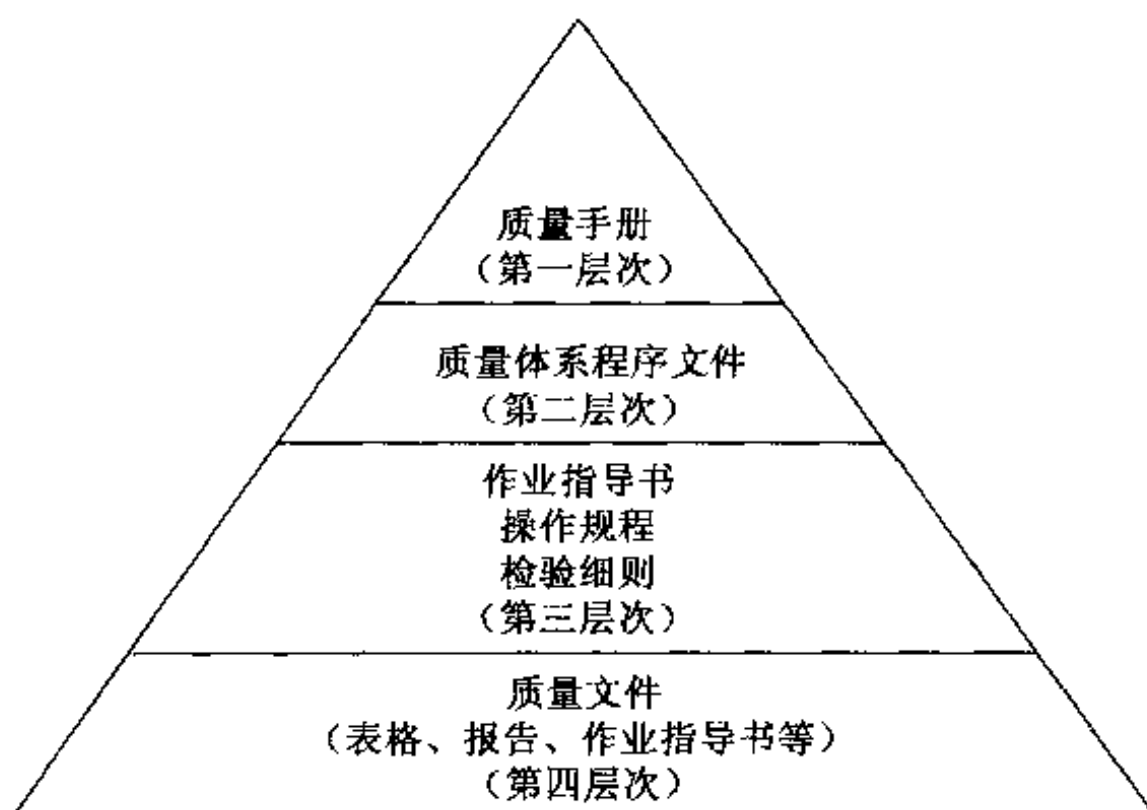


图 16-2

(1) 质量手册中应有最高管理者声明的质量文件，包括质量目标与承诺。质量方针是由组织的最高管理者正式发布的该组织总的质量宗旨和质量方向。实验室最高管理者应规定质量方针，包括质量目标和对质量的承诺，并形成文件。质量目标可以包括质量总目标和近期的目标。

(2) 实验室上下左右和外部关系应尽量在一个图中表示出来，实验室内各个部门及其关系也应以图表形式表示出来。结构图要反映实际情况，表达应清楚、明了、科学、合理，并表明相互之间的联系。

(3) 实验室的管理工作、技术工作、支持服务工作和质量体系之间的关系在其质量体系中应予以明确。

(4) 文件控制和维持程序的目的是对与质量体系有关的文件〔含资料数据及需要控制的外来文件（包括标准）〕进行控制，确保实验室各有关场所使用的文件及资料为最新的有效版本。实验室应明确必须控制的文件和资料范围。

(5) 所谓关键工作人员是指从事与校准或检测工作质量有关的管理人员，执行检验的工作人员和校核验证测试结果的工作人员，特别是独立行使权力对检验结果的质量有重大影响并负有直接责任的人员。

(6) 实验室授权签字人（或获准签字人）指的是经过评审机构授权（或批准），对被认

可的实验室出具的检验报告签字负有责任的主要技术人员。

(7) 实验室对它所用的所有测量器具, 如果对检验结果的准确性和有效性有影响, 原则上均应溯源到国家计量基准。所以应制定出本实验室所有的量值溯源程序。为保证测量数据的准确、可靠, 在国际以及全国范围内实现数据相互的可比性与相互认可, 其关键在所有测量数据的溯源能力上, 所以实验室内部的测量器具校准链应与国家校准链衔接。

国际法制计量组织给出的国家校准链溯源等级图的理论结构如图 16-3 所示。

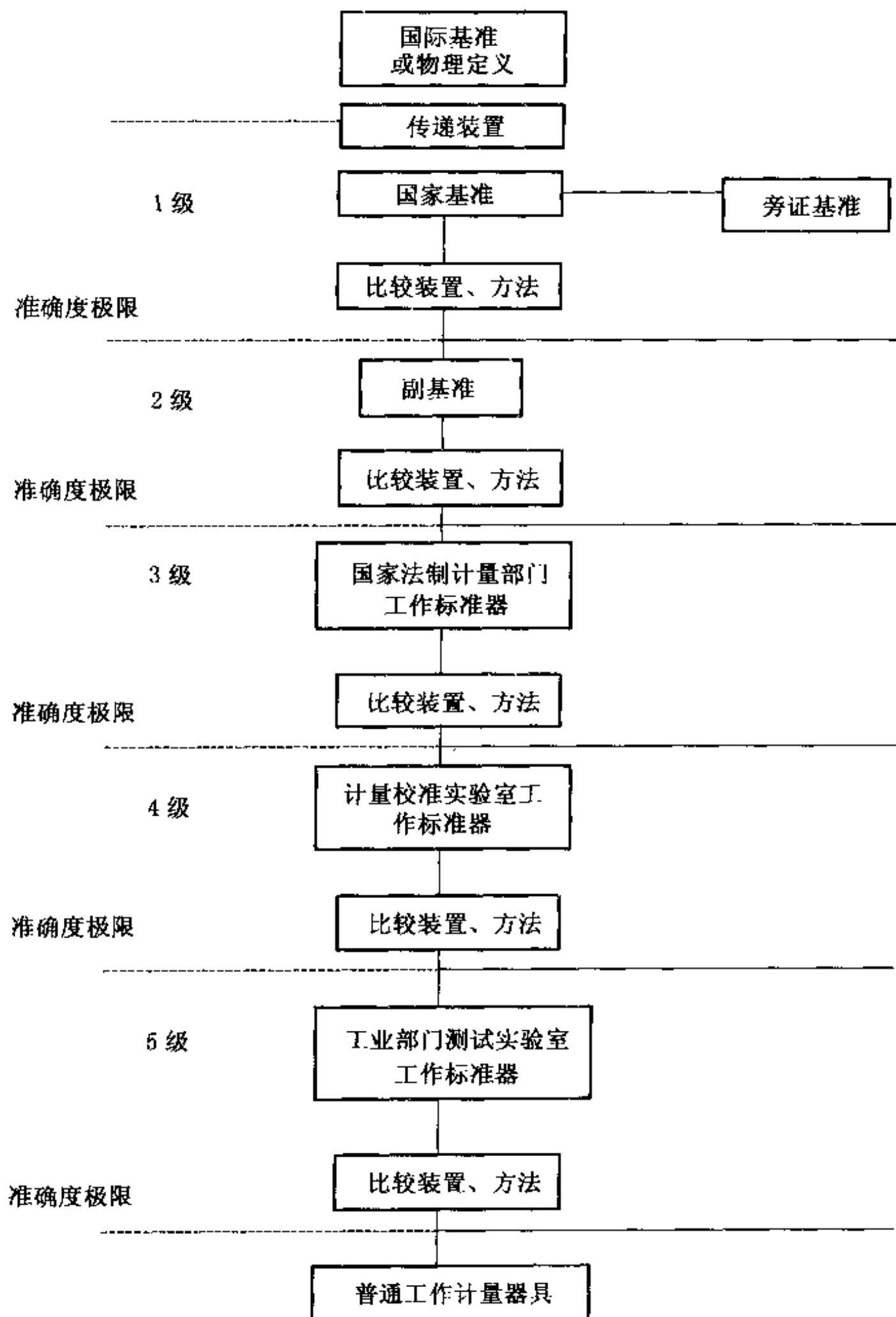


图 16-3 国际法制计量组织建议的国家校准链溯源等级示意图

例如，某工业部门实验室拥有校准一般工作计量器具的 5 级标准器，这就形成一个最低层次的校准链。它又必须保证定期与计量校准室（计量室）保存的 4 级标准器比对（接受其校准），这就又构成了一个校准链。而这些校准链还必须与国家和地方政府授权的法定计量校准机构的 3 级、2 级、甚至 1 级标准器联系起来，从而使每个测量器具都能与国家基准相连。这些自下而上的校准链就构成国家测量校准溯源等级图。

类似的自上而下的量值传递系统图在我国称为国家计量检定系统图，如图 16-4 和图 16-5 所示。

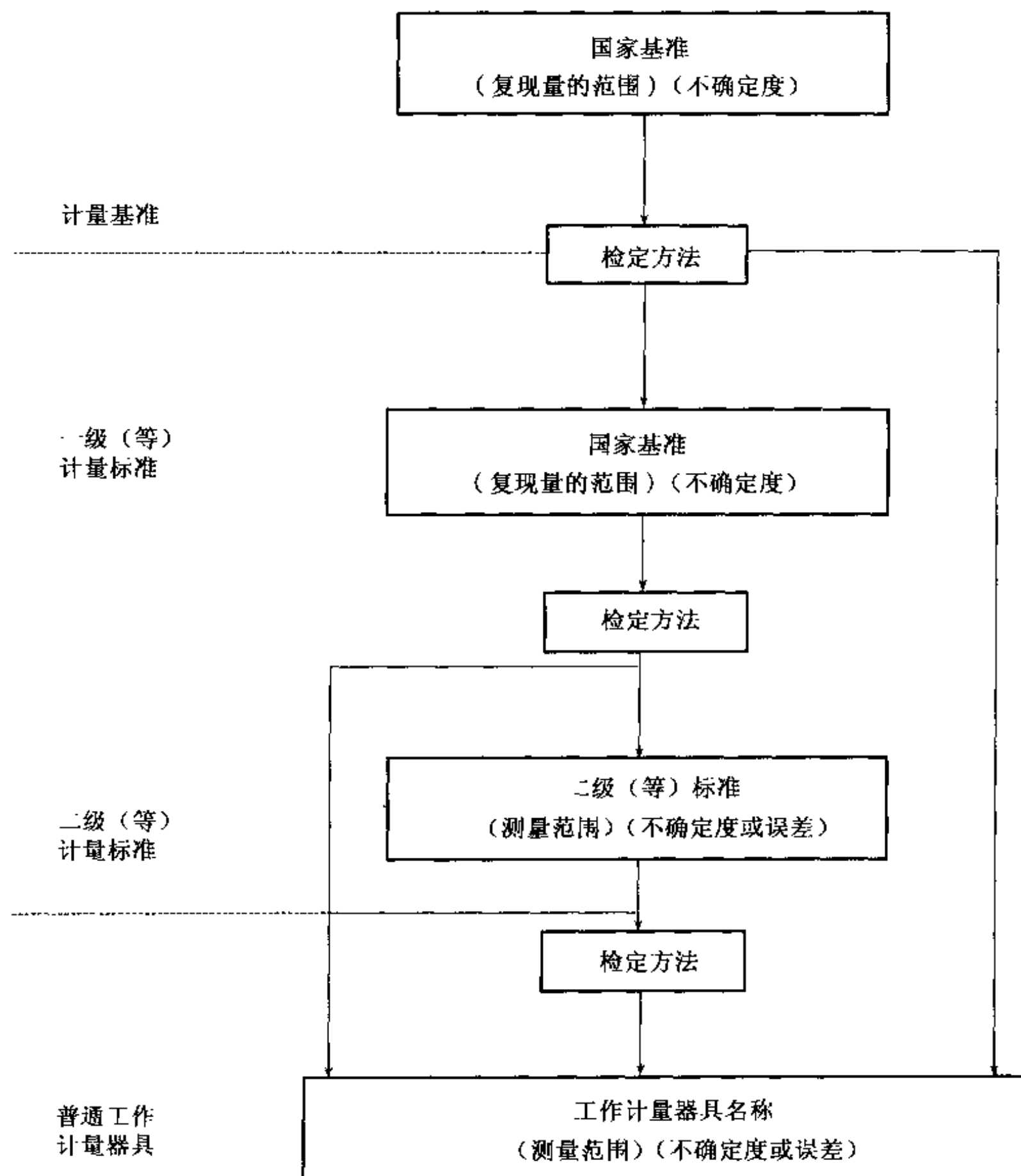


图 16-4 国家计量检定系统框图

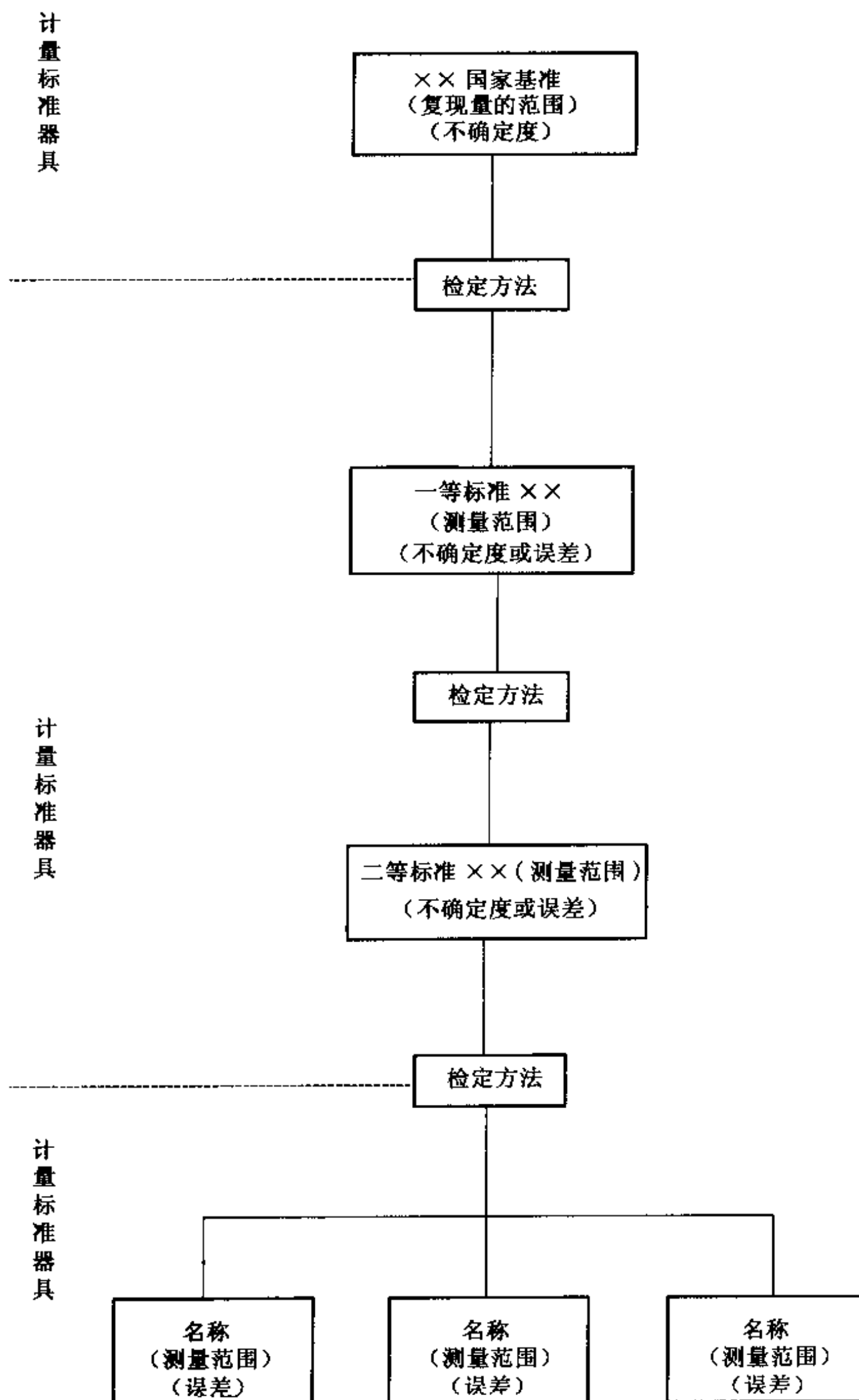


图 16—5 国家计量检定系统框图格式××××计量器具检定系统框图

我国依据《计量法》的要求以国家计量技术形式公布了近 100 个国家计量检定系统，为计量器具的检定校准和传递提供了途径。检定系统图明确规定了由国家计量基准到各级计量标准，直到一般工作计量器具的量值传递程序，包括名称、测量范围、准确度（或不确定度，或误差）和检定方法等。

量值溯源程序一般应包括：目的、要求、范围、职责、计划管理、程序步骤（包括溯源系统图）、周期复校的选定、校准或检定结果的记录或证书的保存。

一般工作用的计量器具的校准（或检定）用的计量标准器都有一个确定校准周期（一定的时间间隔）的问题。它是保证计量器具和标准器能持续不断地受控而有效工作的重要措施。

首次复校周期的选定主要考虑以下方面：制造厂提供建议，进行形式批准的有关部门提供的资料或有关检定规程中提供的检定周期，预计使用频率和严酷性，环境影响，所要达到的测量准确度。

修正复校周期的方法有：自动修正法、控制图法、统计法、实际使用时间法；黑盒子法。

(8) 实验室检验工作范围主要是申请评审的项目的（或申请认可项目的）内容，如表 16-1 所示。

表 16-1 申请计量认证/审查认可（验收）项目表

序号	项目名称	依据的标准代号	限制范围或说明
1			
2			
3			
⋮			
⋮			

有时实验室（申请）认可项目本身情况比较特殊，需要有特殊的变通表达方式，例如采用限制范围的表达方式，此时可随具体情况不同稍有差异。

(9) 实验室对新工作项目的评审，其目标是保证开展新工作（特别是新开展的检验项目）要有足够的设施和资源，要有可靠的质量保证体系。例如，某实验室要开拓新的一项检验任务，至少要按本程序严格要求。本程序制定可包括：目的、范围、计划、职责、程序、步骤、引用文件、记录格式存档等。

(10) 实验室在列出检验程序前，首先应明确流程，即：样品从客户处抽取（抽样或送样）样品进入实验室→样品准备→样品验收→登记编号→样品流程卡→检验→记录→报告→审批→客户。实际上这是一个质量环，该环由一个复杂的过程网络所组成，分清其主次后可以编制出通用检验程序。局部有不同于通用程序的环节处，可用“质量计划”来调整或弥补。然后，再针对不同的具体检验工作制度制订出各种不同的程序，并列出清单。

(11) 完善的样品管理程序包括样品抽取、样品的惟一性编号（含样品的状态标志管理）、样品的接收（验收）、样品的制备和准备、样品处理、样品存放、传递、辨别、保护、样品的事故处理等。这可以用一个程序或二个程序来体现，以上内容都必须涵盖到程序中。

(12) 实验室对在用的主要仪器设备和参考测量标准应予以有效控制，并进行登记管理。

(13) 实验室应编制仪器设备（应包括标准物质）的校准、检定和维护程序。

(14) 列出验证（检定）工作（Verification practices）计划，内容包括：实验室之间比对（Interlaboratory comparisons）、能力验证计划（Proficiency testing Programmes）、使用标准物质、内部质量控制计划。

其中的能力验证计划是实验室与实验室之间比对试验的一种特殊情况。实验室之间比对试验的目的可以有多种，其中之一是确定实验室对规定的试验或测量的能力，并监控近期实验室的持续能力，能力验证是以上述目的为己任的实验室之间的比对试验。

(15) 当发现测试结果有差异（不一致），或出现偏离政策、程序时，实验室应采取反馈和纠正活动。实验室必须建立能够迅速发现其检验工作中任一个过程或环节发生的不符合（不合格）项、测试差错或出现偏离方针、程序时的反馈机制，并及时予以纠正。实验室也必须建立仪器设备的标准、消耗材料的质量检查，工作人员的监督、原始记录，测试报告和证书的检查，内部或外部审核（包括过程和质量体系的审核，以及技术校核等），管理评审建立不合格项的检出和反馈机制以及纠正措施程序。纠正措施程序必须包含为确定问题产生根源的调查过程，并采取预防措施。这里须应用质量管理中的许多统计技术和方法。

(16) 实验室关于允许偏离方针、程序或标准的规定是指要有一定批准程序，不是随随便便可以偏离方针、程序或标准的，这些例外偏离应以不降低质量要求为原则，应有报告说明原因，阐述理由，经过实验室的最高管理层审批，记录要存档。

(17) 实验室质量体系文件应明确规定处理抱怨的程序，明确职责。抱怨不应有不适当的时间限制。

(18) 实验室有责任为用户保密，保护用户的所有权，制定保密和保护所有权（含专利权）的程序。

(19) 实验室应有审核和评审程序。制定审核和评审程序时应考虑审核和评审的具体要求。

内部质量体系审核要编制审核计划，确定审核的目的和范围、审核依据、审核方法。审核员要编制检查表，审核中发现不符合项要填写不符合项通知单，编写内部质量体系审核报告。还要对审核中发现的问题的纠正措施进行跟踪验证。

5.3 条要点如下：

(1) 实验室应定期对其工作进行审核（通常一年不少于两次，至少一次包括全要素），通过审核检查其工作是否持续不断地按质量体系要求运转。

(2) 实验室应对内审员提出资格要求，并明确内审员必须参加相应的培训。

(3) 实验室审核者是否独立于被审核工作，这对于审核工作的公正性至关重要，应特别注意。

(4) 当审核中发现检验结果的正确性和有效性可疑时，实验室应仔细分析，并立即采取纠正措施，书面通知可能受到影响的所有委托方。

5.4 条要点如下：

(1) 管理评审是指为了确保质量管理体系的适宜性、充分性、有效性和效率，以达到规定的质量目标所进行的活动。

(2) 管理评审应由机构负责人实施，并按计划的时间间隔和程序进行。管理评审的目的是确保质量管理体系持续的适宜性、充分性和有效性。

“适宜性”是指质量管理体系适应内外环境变化的能力。质量管理体系是在一种特定的内、外环境条件下建立的，机构内、外部环境总是在不断变化的。例如，机构一般会面临组织机构或人员变动、新技术和新设备的引进运行、行业机制改变等内部环境的变化以及市场、顾客、法律法规和检验方法的变化等外部环境的变化。质量管理体系应根据这些变化而有所改进，以不断满足各方面的要求。

“充分性”是指质量管理体系满足市场、顾客潜在的和未来的需求和期望的足够能力；也可以是指质量管理体系各过程的充分展开。机构一方面应不断地借鉴以往的经验教训，并考虑今后的发展来充分地展开所确定的各过程，实现所设定的质量方针和质量目标；另一方面应不断地预测市场和顾客潜在的需求和期望，及时调整机构的方针和目标。

“有效性”是指质量管理体系运行的结果达到所设定的质量目标的程度，同时也要考虑运行的结果与所花费的资源之间的关系，确保质量管理体系的经济性。

(3) 管理评审的输入包括：内部的监督和审核报告、外部对机构的评审、顾客的反馈、实验室之间的比对和能力验证的结果、预防和纠正措施状况以及可能影响质量管理体系的变化（其中包括机构内、外部环境的变化，例如法律法规的变化、新技术和新设备的应用、职工的教育培训等等）。

(4) 管理评审的输出包括：质量管理体系及其过程的改进、与顾客要求有关的检验工作质量和服务质量的改进、质量管理体系所需要的资源的改善等。此外，还应对现有质量管理体系（包括质量方针和目标）的评价结论，以及对检定、校准和检测工作符合要求的评价。

(5) 通常管理评审的周期为每 12 个月 1 次。

5.5 条要点如下：

(1) 实验室在审核和评审中发现的问题、采取的纠正措施及其效果应以文件的形式记录。

(2) 对质量负有责任的人员应保证纠正活动按议定的时间完成。

5.6 条要点如下：

实验室除了定期审核以外，还应采取其他有效的“校核方法”来确保检验结果的质量及可信度。在使用有效的校核方法时，可分别按下列各项来选用，但不仅限于以下各项，也可以开拓新的校核方法。

(1) 使用适合的数理统计技术来进行内部质量控制。

(2) 参加能力验证 (Proficiency testing) 或实验室间比对。

(3) 定期使用有证标准物质和/或在内部质量控制中使用副标准物质。

(4) 用相同的或不同的方法来重复检验。

(5) 对保留样品重新检验。

(6) 参照一个样品不同特性检验结果的相关性 (相互关系)。

(7) 实验室应对以上这些“校核方法”的有效性定期加以评审，并提出分析报告。

2. 人员

人员素质与水平的考察对实验室是至关重要的。人员是最宝贵的资源，一个实验室的水平高低优劣，很大程度上取决于人员素质与水平，特别是对关键人员的任职资格条件应加以规定，如受教育程度、理论基础、实际工作能力（组织管理能力、技术能力）、工作经验等。

实验室应明文规定技术主管和质量主管人员任职的资格条件,应明确规定高层、中层管理人员必备的资格条件以及从事技术测试人员的任职资格条件,也应明确规定验证审核的监督人员的任职资格与条件,并定期进行培训、考核和认可。本章由 6.1~6.3 共 3 条构成,现逐条简述如下:

6.1 条要点如下:

(1) 实验室应根据工作需要配备足够的管理、监督、检验人员。对各类人员的资格要求,实验室应有明确界定,包括任职条件和上岗条件。

(2) 实验室对人员的培训应包括三方面内容:一是实验室应对各类人员的教育和技能素质提出明确的要求,如教育程度、理论基础、实际工作能力、工作经验、知识更新能力等;二是应编制程序文件,按程序确定机构人员的培训需求,并为员工提供培训;三是应根据实验室当前的需要和今后发展的目标,编制人员培训计划,并认真按计划组织实施,计划一般应是年度计划。

(3) 根据计量认证/审查认可(验收)的特殊要求,实验室最高管理者、技术主管、质量主管及各部门主管应有任命文件;最高管理者和技术主管的变更需向发证机关或其授权部门备案;非独立法人的产品质量监督检验机构的最高管理者应由其法人单位的行政领导成员担任,行政领导成员在实际运用中可解释为某单位法人,其业务范围很宽,可能涉及所检验产品的生产、销售、开发、研究。为保证第三方公正检验的条件,可由法人直接授权给不涉及主管生产、销售、开发、研究的单位领导负责质检机构。其法人不能是质检机构的最高管理者。实验室技术主管应具有工程师以上技术职称、熟悉检验业务。

6.2 条要点如下:

实验室应切实保证其人员培训,使知识与技能不断地得到更新。应有完善各类人员培训的计划、执行情况及成效。

6.3 条要点如下:

(1) 实验室应保存与技术人员有关的资格证书、培训、技能和经历等技术业绩档案。

(2) 实验室应有各类人员的培训计划、执行情况及其总结的文字记录,有各类人员的定期考核认可记录以及持证上岗制度。

(3) 人员培训计划应包括专业知识、标准知识、质量控制与监督管理知识、计量理论知识、误差理论知识、数据处理知识、数理统计知识、抽样方法与理论知识、法律法规知识、职业道德规范知识、外语知识等各岗位所需的应知应会的培训。

(4) 应加强对全体人员职业道德、廉政建设、作风纪律的教育。应建立对各类人员的定期考核制度,应建立持证上岗制度,确保人员素质与质量,应有各类人员培训的规划、计划和实施情况的文字记录。

3. 设施和环境

本章对实验室环境条件所提出的要求是为保证检验工作正常进行,并确保检验结果的有效性和准确性所必需的。本章由 7.1~7.6 共 6 条构成,现逐条简述如下:

7.1 条要点如下:

实验室的设施,包括检验工作区域、能源、照明(采光)、采暖、通风等是否有利于保证正常进行检验工作的质量。

7.2 条要点如下:

(1) 实验室的工作环境条件应能确保测试结果的有效性和测量准确性, 特别要注意在非固定场所和设施情况下(临时的, 可移动的设施)工作时的环境条件是否能保证测试结果的有效性和测量准确性。

(2) 检验实验室的工作环境条件[气候环境条件、机构环境(冲击振动)条件、电磁干扰(电磁屏蔽)等]能否确保测试结果有效性和测量准确性, 必要时应提供测试证明或验证报告, 说明对各种影响量值以及构成误差的各种因素的控制情况。

7.3 条要点如下:

(1) 根据需要, 实验室应对环境条件进行监测、控制、记录, 应保留其有关设备及监控记录。

(2) 实验室应充分注意周围环境因素, 诸如微生物菌种、灰尘、电磁干扰、湿度、电源电压(和/或电网频率以及谐波分量)、温度、噪声、振动、海拔、大气压强、雷电、有害气体等的影响, 以免影响工作质量或准确性。应注重配置停电、停水、防水等情况下应急的安全设施。

7.4 条要点如下:

实验室任何两相邻区域的工作(活动), 在相互之间有不影响时应采取有效的隔离措施, 以防止交叉污染。

7.5 条要点如下:

(1) 实验室应允许客户(委托方)或其代表进入有关区域, 以观察为该客户所进行的检测或校准, 这种准入应不与为其他客户的工作保密与案件的规定相冲突。

(2) 进入和使用会影响工作质量的区域应明确加以限制和控制, 并应有良好的措施。

7.6 条要点如下:

(1) 实验室应有充分的措施保证做好其“内务管理”。实验室的内务管理可以包括清洁、卫生、文明、房屋、环境、设施管理(修理、装饰也包括在内)、防漏雨等。

(2) 实验室应有符合有关健康、安全和环保的要求, 如管理危险品、防爆(炸)、防毒、防火、安全接地、防雷击、防触电、防机械损伤、防盗、安全保密、三废处理等。

4. 仪器设备和标准物质

本章对实验室的仪器设备和标准物质提出了要求, 仪器设备和标准物质是实验室正常开展检验工作, 并取得准确可靠的测量数据的重要资源之一。本章由 8.1~8.3 共 3 条构成, 现逐条简述如下:

8.1 条要点如下:

(1) 实验室应具备正确进行检验所需的全部设备(包括标准物质), 应有分析报告及证据; 如果实验室使用“永久受控”范围以外的设备, 则该仪器设备应仅是使用频次低或价格昂贵的。

(2) 实验室申请检测能力分析及分包表(包括测量器具设备、试验设备和标准物质等所有设备, 见表 16-2)和配置分析表, 可以有助于判别该实验室是否正确地具备了所有必要的设备, 所以应按表 16-3 所示的要求, 必须根据每个申请标准要求的检测项目或校准项目逐条逐项列出必要的设备, 认真仔细编制和审查。

表 16-2 检测能力分析及分包情况一览表

第 页 共 页

序号	被检产品/参数名称	标准/规范代号	总项数	能检项数	份额(%)	不能检测的参数名称	分包单位认证/认可证书号	分包期限及合同号	备注
1									
2									
3									
⋮									
⋮									

注：①被分包单位必须为计量认证/CNAL 认可的质检机构（实验室），并以合同形式确定；

②总项数指标中及标准中规定应检测的总项目数。

表 16-3 仪器设备（标准物质）及其检定/校准一览表

第 页 共 页

检测项目 参数名称	标准条款/ 检测细则编号	仪器设备名称、 型号/规格	技术指标		制造 单位	检定/校准 机构	有效 日期	自检/校规 范名称及 编号	备注（比 对情况）
			测量 范围	准确度等级 /不确定度					
⋮									
⋮									

(3) 使用外部仪器设备（包括租用外部设备、外部现场试验设备等），或在外部现场使用他人试验仪器设备，应制定“外部现场试验质量保证体系程序”。

(4) 实验室应对仪器设备的购置、验收、流转进行控制，若是专用检验仪器设备，未经定型的，需提供相关技术单位的验证证明。

8.2 条要点如下：

(1) 实验室的所有仪器设备应得到正常维护，应有形成文件的维护程序，主要仪器设备需专人维护。

(2) 凡经过载、错误操作、显示的结果有疑问或通过检定等方式表明仪器设备有缺陷时，应立即停止使用并对其进行明显标识，以防误用。如可能，应将其贮存在规定的地方，直至修复后才予以使用。

(3) 修复的仪器设备都必须经过校准，经检测证明其功能指标已恢复后方能投入使用。

(4) 实验室应检查由于某种缺陷对产前所进行的检验工作的影响。

8.3 条要点如下：

每一台仪器设备（包括标准物质）应有明显的标志表明其校准状态或检定状态。

应有“合格”、“准用”、“停用”等计量检定标志；通常上述标志对应地用“绿”、“黄”、“红”等三色标志表示；（非计量）试验设备也应有类似的彩色标志表明经验证后是否处于完好状态，具体标志管理为：

(1) 贴合格证（绿色）的设备为计量检定合格者。

(2) 贴准用证(黄色)的设备一般为不必检定的设备,包括:经检查其功能正常者(如计算机、打印机等);设备无法检定,经比对或鉴定适用者;多功能检测设备,某些功能已丧失,但检测工作所用功能正常,且经校准合格者;测试设备某一量程准确度不合格,但检验(测)工作所用量程合格者;降级使用的设备。

(3) 贴停用证(红色,停用证上要有停用时间)的设备包括:检测仪器、设备损坏者;检测仪器、设备经计量检定不合格者;检测仪器、设备性能无法确定者;检测仪器、设备超过检定周期者。

8.4 条要点如下:

本条对仪器设备及对检验有重要意义的标准物质的档案内部作了规定,具体包括以下9项:

- (1) 仪器设备名称。
- (2) 制造商名称、型号、序号或其他惟一性识别。
- (3) 接收日期和启用日期。
- (4) 目前放置地点(如果适用)。
- (5) 接收时的状态及验收记录(例如新的、用过的或改装过的)。
- (6) 仪器设备使用说明书(或复印件)。
- (7) 校准和/或检定日期和结果以及下次要校准和/或检定日期。
- (8) 迄今所进行维护的记录和今后维护的计划。
- (9) 损坏、故障(失灵)、改型(改装)或修理的历史情况。

5. 量值溯源和校准

量值的溯源性是指通过不确定度明确的连续不间断的比较链,将测量结果或计量标准的量值与规定的标准(通常是国家基准、国际标准或自然常数)联系起来的情况。量值溯源是检验实施中的一个关键环节。本章由9.1~9.7共7条构成,现逐条简述如下:

9.1 条要点如下:

(1) 对检验的准确性和有效性有影响的测量设备和检验仪器设备在投入使用前必须经过校准和/或检定(验证),并保存相关记录。

(2) 实验室应制定有关测量和检验仪器设备的校准、检定或验证的周期检定计划。

9.2 条要点如下:

(1) 实验室应制定和实施仪器设备的校准和/或检定(验证)和确认的总体计划,确保(适用时)实验室的测量可追溯到已有国家计量基准,使所有对检验的有效性或准确度有明显影响的仪器设备具备有效的检定或校准证书。

(2) 校准或检定证书应有能证明溯源到国家计量基准,并提供测量结果和有关测量不确定度和/或符合经批准的计量规范的说明。

(3) 对自检定/校准的仪器设备,应满足计量法规的有关规定,按国家计量检定系统的要求,绘制能溯源到国家计量基准的量值传递方框图(适用时),以确保在用的测量仪器设备的量值符合要求。

9.3 条要点如下:

某些测量仪器设备如不可能或不适宜溯源到国家基准时,实验室应制定特殊的程序和合

法化的办法,以确保测量结果的可靠性。常用办法有:

- (1) 使用有证标准物质给出可能的材料特性。
- (2) 由有关各方一致同意并明确规定的协议标准或方法。
- (3) 参加适当安排的实验室之间的比对或能力验证计划。

9.4 条要点如下:

实验室自己建立的测量参考标准只能用于校准,原则上不能用于其他目的,但当证明其作为测量参考标准的性能不会失效时,可作他用。

9.5 条要点如下:

- (1) 测量参考标准的校准工作应由能溯源到国家计量基准的机构来完成。
- (2) 应有测量参考标准的校准和检定(验证)计划。
- (3) 计量检定用最高计量标准必须按《中华人民共和国计量法》的相关规定经考核合格。

9.6 条要点如下:

参考标准(器)、测量设备和试验设备在两次校准(或检定、验证)之间应经受运行检查。运行检查方法应文件化、程序化。运行检查应予记录并保存检查结果。

9.7 条要点如下:

标准物质应溯源到国家计量基准或溯源到国家或国际标准参考物质(如可能)。应使用有证标准物质并保证在有效期内。

6. 检验方法

检验方法是实施检验的技术依据,它既是实验室开展检验服务的重要资源,也是实施检验工作不可缺少的过程,本章由 10.1~10.8 共 8 条构成,现逐条简述如下:

10.1 条要点如下:

(1) 实验室应制订以下程序性文件或作业指导书(在缺少这些指导书时可能会对检验工作带来危害):

- ① 有关仪器设备使用、操作、工作的规程;
- ② 有关样品(试品)处置(管理)和准备(制备)的指导书;
- ③ 有关校准和检测工作的实施细则或指导性文件。

(2) 所有上述指导性文件、标准、手册和工作参考数据等应随时更新,并为工作人员容易得到和有效地使用。

10.2 条要点如下:

(1) 实验室应使用合适的方法和程序来进行检验工作,并规范其职责范围内的其他有关业务活动(要有工作程序、检验工作程序;还应有职责范围内的其他业务工作程序,例如抽样程序,制备程序,样品处理、传送和贮存程序,测量不确定度的估算指导性文件,数据分析指南等)。

(2) 上述方法与程序应与所要求的准确度和有关检验标准规范一致。

10.3 条要点如下:

(1) 实验室应尽可能用国际、国家、行业、地方规定的检验方法,当没有这些方法时,应尽可能选择由知名的技术组织或有关科技文献或杂志上公布的方法。

(2) 上述选用方法应经实验室技术主管确认。

10.4 条要点如下:

需要使用非标准方法时,应与委托方协商、确认并形成有效文件,使出具的报告为委托方和用户所接受。

从长远来看实验室应将现行的客户填写的检验委托单(书)向检验协议书(合同)方向发展,实验室质量体系也要引入“合同评审”这一要素。例如需要使用非标准方法时,应在合同中明确,征得委托方同意。

10.5 条要点如下:

当抽样(采样)作为检验方法的一部分时,实验室应使用文件化的程序和适当的统计技术去抽样(采样)。抽样活动应保证科学性、公正性。

10.6 条要点如下:

实验室应对计算和数据计算建立校核程序,程序中规定需要校核而未经校核的计算和数据换算应视为过程控制中的不符合项。

10.7 条要点如下:

采用计算机或自动化设备进行检验数据的采集、处理、运算、记录、报告、存贮或检索等工作时,实验室应满足以下要求:

- (1) 符合本准则中规定的要求。
- (2) 计算机软件应形成文件,并能满足使用要求。
- (3) 建立和执行保护数据完整性所必需的程序。这些程序应包括(但不限于)数据输入或采集、数据贮存、数据传输和数据处理的完整性。
- (4) 有维护计算机和自动化设备,保证其功能良好、工作正常的措施;有保证计算机和自动化设备能正常工作和保证检验数据完整性所必需的环境条件和工作条件。
- (5) 建立和执行计算机数据安全保密的程序,防止非授权人员接触和未经批准修改。

7. 证书和报告

证书报告是实验室的最终产品,也是实验室工作质量的最终体现。证书和报告的准确性和可靠性,直接关系顾客的切身利益,也关系实验室自身的形象和信誉。本章由 13.1~13.7 共 7 条构成,现逐条简述如下:

13.1 条要点如下:

- (1) 实验室完成的每一项或每一系列检验的结果,均应按照检验方法中的规定,准确、清晰、明确、客观地表达在检验报告和证书中。
- (2) 检验报告和证书应采用法定计量单位。
- (3) 证书和报告中的信息应全面,特别要注意采用方法和对检验结果予以说明的信息的全面性。

13.2 条要点如下:

证书或报告应至少包括下列 15 个方面的信息:

- (1) 标题,例如“检验报告”或“检验证书”。
- (2) 实验室的名称与地址及进行检验的地点(如果与实验室地址不同)。
- (3) 检验证书或报告的惟一性标识(如序号)和每页及总页数的标识。
- (4) 委托方的名称地址(如果适用)。

- (5) 被检验样品的说明和明确标识。
- (6) 检验样品的特性和状态。
- (7) 检验样品的接收日期和进行日期(如果适用)。
- (8) 对所采用检验方法的标识,或者对采用的任何非标准方法的明确说明。
- (9) 涉及的抽样程序(如果适用)。
- (10) 对检验方法的任何偏离、增加或减少以及其他任何与特定的检验有关的信息,如环境条件。
- (11) 测量、检查和导出的结果(适当地辅以表格、图、简图和照片加以说明),以及对结果失效的证明。
- (12) 对估算的检验结果不确定度的说明(如果适用)。
- (13) 对检验证书或报告(不管形式如何)内容负责人员的签字、职务或等效标识,以及签发日期。
- (14) 如果适用,作出本结果仅对所检验样品有效的声明。
- (15) 未经实验室书面批准,不得复制检验证书或报告(完善复制除外)的声明。

13.3 条要点如下:

如果检验证书或报告中含分包方所进行的检验结果,则应明确地标明,必要时可以详细说明。

13.4 条要点如下:

实验室所用的检验证书和报告应经过精心设计编排,编排科学合理,有关数据的表达应使读者易于理解,不同类的检验报告格式应逐一专门设计(有国际通用的报告格式注意搜集吸收应用),但标题应尽可能标准化。

13.5 条要点如下:

- (1) 若实验室对已发出的检验证书或报告作重大修改,应以重新颁发的方式,或采用对“编号为×××的检验报告或证书”作出补充声明或以检验数据修改单的方式加以声明。
- (2) 检验报告或证书的修改应有相应规定并符合本准则12条记录的全部相应要求。

13.6 条要点如下:

当发现诸如检验仪器设备有缺陷等情况,而对任何检验报告、检验证书或对报告或证书的修改单所给出的结果的有效性产生怀疑时,实验室应分析原因,需要告知委托方时,应及时以书面形式通知委托方。

13.7 条要点如下:

当委托方要求用电话、电传、图文传真或其他电子和电磁设备传送检验测试结果时,实验室应制定相应程序,并保证其工作人员遵守文件化和程序,维护客户的保密要求。

第三节 计量认证/审查认可(验收)的管理

为了规范计量认证/审查认可(验收)工作,保证计量认证/审查认可(验收)的评审尺度的统一和有效性,依据《中华人民共和国计量法实施细则》、《中华人民共和国标准化法实施条例》、《产品质量检验机构计量认证管理办法》、《国家产品质量监督检验测试中心管理试

行办法》、《产品质量监督检验站管理办法》的有关规定，本节将对质检机构申请计量认证/审查认可（验收）管理、受理原则评审程序、审批发证标志使用、监督扩项/复查的管理内容进行阐述。

一、计量认证的管理

凡是为社会提供公证数据的产品质量检验机构必须依据《中华人民共和国计量法》和《产品质量检验机构计量认证管理办法》的有关规定，进行如下管理：

（1）省以上产品质量监督部门负责产品质量检验机构的计量认证。

（2）属全国性的产品质量检验机构由国家认证认可监督管理委员会负责并会同有关主管部门组织实施。

（3）属地方性的产品质量检验机构由省、自治区、直辖市质量技术监督部门负责并会同有关主管部门组织实施。

（4）省级以上质量技术监督部门或授权承担计量认证评审的机构负责实施，其具体职责是：

- ①受理计量认证申请；
- ②制定计量认证评审计划；
- ③负责对申请计量认证质检机构的申请资料进行审查；
- ④组织实施计量认证的现场评审；
- ⑤省以上质量技术监督部门审核、批准计量认证证书的颁发；
- ⑥对获得计量认证证书的质检机构组织发证后监督、扩项及复查评审工作；
- ⑦向社会公布计量认证结果；
- ⑧办理计量认证的其他有关事项。

二、审查认可（验收）的管理

对于依法设置和授权的产品质量检验机构，根据《中华人民共和国标准化法实施条例》的有关规定进行如下管理：

（1）依法授权的国家产品质量检验机构由国家质量技术监督局会同国务院有关行政主管部门进行规划，并由国家质量技术监督局负责组织实施。

（2）县级以上质量技术监督部门根据需要依法设置的产品检验机构的计量认证和审查认可（验收）由省级以上质量技术监督部门负责组织实施。

（3）依法授权的地方产品质量检验机构由省、自治区、直辖市产品质量技术监督部门会同省级有关行政主管部门规划，其计量认证和审查认可由省级质量技术监督部门负责组织实施。

（4）省以上质量技术监督部门或授权承担计量认证和审查认可（验收）的评审机构负责实施的具体职责是：

①根据市场经济的发展及政府对产品质量监督检验的需求，对质检机构的设置和授权进行统一规划；

- ②受理计量认证和审查认可(验收)的申请;
- ③制定计量认证和审查认可(验收)的评审计划;
- ④负责对申请计量认证和审查认可(验收)的产品质量检验机构申请资料进行审查;
- ⑤组织实施计量认证和审查认可(验收)的现场评审;
- ⑥省以上质量技术监督部门审核、批准计量认证和审查认可(验收)证书的颁发;
- ⑦组织对获得计量认证和审查认可(验收)证书的质检机构进行监督、扩项及复查评审工作;
- ⑧负责向社会公布计量认证和审查认可(验收)结果;
- ⑨办理计量认证和审查认可(验收)的其他有关事项。

三、申请与受理

1. 计量认证的申请

(1) 属全国性的质检机构向国家认证认可监督管理委员会具体负责计量认证/审查认可(验收)的评审机构申请计量认证。

(2) 属地方的质检机构向省级质量技术监督部门具体负责计量认证/审查认可(验收)的评审机构申请计量认证。

(3) 自愿申请计量认证的其他类型的质检机构(实验室)可按隶属关系向省以上质量技术监督部门具体负责计量认证/审查认可(验收)的评审机构申请计量认证。

2. 计量认证和审查认可的申请

(1) 对已列入国家质量技术监督局发展规划的质检机构,应向国家认证认可监督管理委员会申请实验室认可和进行授权计量认证和审查认可的评审。

(2) 对于已列入省级发展规划的地方产品质量检验机构应向省、自治区、直辖市质量技术监督部门负责计量认证和审查认可(验收)的评审机构申请计量认证和审查认可的评审。

3. 申请材料的受理(所有的工作准备好后才报材料)

申请计量认证/审查认可(验收)的质检机构应按规定提交下列资料:

- ①质检机构计量认证/审查认可(验收)申请书一式两份;
- ②现行有效版本的质量手册一套和程序文件目录;
- ③质检机构法律地位证明文件;
- ④典型检验报告 1~2 份;
- ⑤质检机构批准设置的文件[仅限于审查认可(验收)的质检机构];
- ⑥能力验证活动记录(若有)。

负责计量认证/审查认可(验收)的评审机构收到申请材料后,在规定的时间内,对申请书的填写内容及递交的证明材料是否符合要求进行审核,及时与申请方沟通,通知其是否已被受理。

质检机构计量认证/审查认可(验收)申请书由国家质量技术监督局统一制定。

四、现场评审与审批发证

1. 现场评审前的准备

现场评审前一个月，评审机构应确定评审组长，由评审组长对被评审方的质量手册、程序文件等资料进行审查，符合《评审准则》的要求后，与评审机构共同确定评审组成员，必要时配备技术专家。协商后确定现场评审时间。

2. 现场评审的实施

现场评审的主要程序是：预备会议→首次会议→参观→软、硬件小组评审→评审组沟通并汇总情况→与被评审方领导沟通→末次会议。

对于现场评审提出的问题和整改要求，在两个月内被审核方进行整改，整改后将书面的整改材料交评审组长确认。

3. 审批发证

被评审的质检机构将整改材料交评审组长后，评审组长在 15 日内将申请材料和现场评审材料上报评审机构，由其指派专人对全部材料进行审核，确认批准项目，上报省以上质量技术监督部门批准。凡经国家认证认可监督管理委员会安排“二合一”评审并获得认可资格，需办理计量认证/审查认可（验收）审批手续的质检机构，将计量认证/审查认可（验收）申请书、“国家认可委”认可批文（认可项目）、质检机构的法律地位证明文件等材料直接报省以上质量技术监督部门，在认可结果的基础上，再经审核确认后，即可办理计量认证/审查认可（验收）证书手续。

对于申请计量认证并经审核合格的质检机构由省以上质量技术监督部门批准颁发计量认证合格证书；申请计量认证和审查认可（验收）并经审核合格的质检机构，由省以上质量技术监督部门批准并颁发计量认证合格证书及审查认可（验收）合格证书，在证书附表中明确计量认证项目和审查认可（验收）项目，证书期限一般为 5 年。

五、标志的使用

（1）通过计量认证的质检机构允许在其出具的检验报告上加盖 CMA 标志，并在标志下加印计量认证证书编号。



图 16-6 标志图形

（2）通过计量认证和审查认可（验收）的质检机构，允许在其出具的检验报告上加盖 CMA 标志和 CAL 标志，并分别在两个标志下加印计量认证和审查认可（验收）的证书编号。

（3）产品质量检验机构的计量认证标志和标志的使用说明如下：

①标志的图形如图 16-6 所示，整个图形由英文字

母 CMA 组成, C 为外框;

②关于标志的使用, 凡取得计量认证合格证书的产品质量检验机构, 均可按证书上所限定的检验项目, 在其产品检验证书上使用此标志;

③关于标志的规格, 采用标志时, 可根据情况按比例放大或缩小;

④标志的字母: CMA 分别由英文 China Metrology Accreditation 三个词的第一个大写字母组成, 意为“中国计量认证”;

⑤在标志下面标出认证合格证书编号, 字号与尺寸自定;

⑥标志应印在产品检验证书的左上方。

(4) 产品质量检验机构考核合格符号说明和图例如下:

考核合格符号由 CAL 三个英文字母形成的图形和检验机构考核合格证书编号两部分组成。CAL 分别是“中国考核合格检验实验室”相应英文单词 (China Accredited Laboratory) 的字头, 证书编号是省级以上质量监督管理部门按技监监函 (1994) 04 号文件向其考核合格的产品质量检验机构颁发的证书的编号。图例见图 16-7。

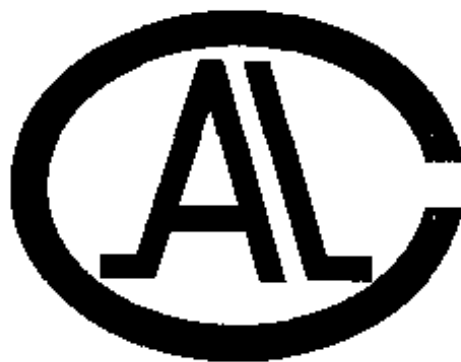


图 16-7 标志图形

(5) 其他地方使用标志, 必须严格按标志的使用规定放大或缩小尺寸, 其形状不能随意改变。

六、监督评审

对获得计量认证/审查认可(验收)证书的产品质量检验机构由计量认证/审查认可(验收)的评审机构进行监督评审。监督评审分定期监督评审和不定期监督评审两种形式。

1. 定期监督评审

对已取得计量认证/审查认可(验收)的产品质量检验机构, 在其证书有效期 5 年内, 将有计划地对其进行至少一次监督评审, 监督评审的主要目的是保证产品质量检验机构的质量体系运行持续有效, 保证其出具的检验数据公正、准确、科学。

2. 不定期监督评审

根据产品质量检验机构或实验室的检验工作状况及客户对其投诉的情况, 可进行不定期监督评审, 及时发现问题, 限期进行整改。

七、扩项/复查评审

1. 扩项的申请

质检机构对于新开展的检验项目待其检验条件具备后, 可向原发证单位提出计量认证/审查认可(验收)的扩项申请, 需提交的扩项申请材料包括:

- ①扩项申请书;
- ②如质量手册有变化,也一并上报;
- ③典型检验报告;
- ④能力验证活动记录。

2. 扩项的现场评审程序

(1) 扩项的现场评审程序与监督评审程序相同,现场试验重点对新开展项目的检测能力、环境条件、人员操作水平进行评审。

(2) 扩项申请可以在监督评审或复查评审前提出,以便与监督评审或复查评审同时进行,减少现场评审次数,提高工作效率。

(3) 对于比较简单的项目的扩项也可将书面申请材料上报后,由负责计量认证/审查认可(验收)的评审机构书面确认,即可开展工作,待监督评审时一并对其进行现场评审。

3. 复查评审的管理

(1) 在5年有效期满前6个月,质检机构应向负责计量认证/审查认可(验收)的评审机构提交复查申请材料,负责计量认证/审查认可(验收)的评审机构受理申请后,制定复查评审计划,复查评审计划可与监督评审初次现场评审计划一并下达,复查评审程序与初次现场评审的程序相同。

(2) 对于到期前提出复查换证申请的质检机构,不列入评审计划,其计量认证/审查认可(验收)证书到期后,不得对外出具数据,也不得在基检验报告上使用计量认证/审查认可(验收)标志。

思 考 题

1. 计量认证如何形成?其主要原因是什么?
2. 计量认证与审查认可(验收)有什么区别?其评审准则是否一样?
3. 计量认证与审查认可(验收)的法律地位和法律效力是什么?
4. 计量认证与审查认可(验收)《评审准则》的适用范围是什么?
5. 计量认证与审查认可(验收)《评审准则》的基本构成有哪些?
6. 何谓管理评审?管理评审的目的是什么?
7. 不同实验室进行计量认证和审查认可(验收)应向什么部门提出申请?申请应提交什么材料?
8. 简述计量认证与审查认可(验收)工作程序。
9. 如何使用计量认证的标志?产品质量检验机构考核合格符号是什么?

第十七章 实验室认可概论

第一节 实验室认可的国际发展概况

一、实验室认可

1. 实验室定义

实验室是指从事在科学上为阐明某一现象而创造特定的条件，以便观察它的变化和结果的机构。

在实验室认可活动中，实验室是指从事校准和（或）检测工作的机构。如果实验室只是某组织的一部分；该组织除了进行校准和检测工作以外，还进行其他活动，则术语“实验室”仅指该组织内进行校准和检测工作的部分；实验室可以是在一个固定的地点，也可在远离固定设施的场所，或是在有关的临时或移动设施中开展校准和（或）检测工作。

检测实验室是指从事检测工作的实验室。所谓检测（测试、检验）是指对给定的产品、材料、设备、生物体、物理现象、工艺过程或服务，按照规定的程序确定一种或多种特性或性能的技术操作。检测的对象涉及面很宽，在工业部门主要是材料和产品。校准的目的是为了保证测量设备准确可靠，而检测是为了确定材料或产品的性能或特性而进行的测量或试验。对材料或产品的某些性能是需要定量确定其量值的，例如收录机灵敏度，酒精中乙醇的浓度等，但也有一些特性只能按规定的方法或程序进行操作，以其是否能够通过（或不损坏）来评定，如环境特性试验、安全性试验、可靠性试验、抗腐蚀性试验等。还有一些情况不可能严格区分测量和试验，例如电磁兼容性测试，既包括对电子设备敏感度的试验，也包括对电子设备产生的电磁干扰场强的定量测量，测试的结果通常要出具测试报告。

对产品的一个或多个特性进行的诸如测量、检查、试验或度量，并将结果与规定的要求进行比较，以确定每项特性是否合格所进行的活动称为检查。

在工厂（企业）的检测实验室需要进行生产过程中的工序检验和产品出厂前的最终检验，通常包括外观检查、性能测试和其他特性的试验。经检验符合产品规范要求的产品，出具产品合格证。

2. 实验室认可定义

按照 ISO/IEC 导则 2 的定义，认可是“权威机构对某一机构或某个人有能力执行特定任务的正式承认。”引申到实验室认可，其定义就是：“权威机构对实验室有能力进行规定类型

的检测和（或）校准所给予的一种正式承认。”

实验室认可的概念和目前社会上盛行的 ISO 9000 系列认证不同，认证的定义是：“第三方依据程序对产品、过程或服务符合规定的要求给予书面保证（合格证书）。”

由此可以看出实验室认可与质量认证的主要区别是：

（1）实验室认可的对象是各类检测和（或）校准实验室；而质量认证的对象是产品、过程或服务。

（2）认可是由权威机构进行的；认证是由第三方进行的。

（3）认可是正式承认；认证是书面保证。

正式承认意味着经批准可从事某项活动。例如，经中国实验室国家认可委员会（CNAL）认可的实验室应是依据程序规定经批准从事某个领域的检测和（或）校准活动的机构，其结果将受国家承认。

保证的含义是确信，书面保证是通第三方认证机构颁发的认证证书，使有关方面确信经认证的产品或质量体系满足规定的要求。

（4）认可是证明具备能力，是对能力的评审；认证是证明符合性，是对符合性的审核。

经认可的实验室表明该实验室具有从事某个领域检测和（或）校准任务的能力；经认可的评审员则表明该评审员具有从事实验室认可现场评审的能力。

经认证的产品或质量体系是由第三方认证机构证明该产品或质量体系符合特定的产品标准规定或符合某一质量保证标准要求。

二、实验室认可的目的、意义和作用

1. 进行实验室认可的必要性

（1）实验室自身发展的需要

实验室存在的目的就是为社会提供准确可靠的检测数据和检测结果，实验室在技术经济活动中和社会发展过程中都占有重要的地位。

（2）实验室认可是客观需要的产物

社会的方方面面都需要实验室为他们服务，归纳起来有 4 个方面需要，即：

- ①发展贸易的需要；
- ②质量认证发展的需要；
- ③公证活动的需要；
- ④政府管理的需要。

显然，为市场服务的各类实验室，他们出具的检测结果若不能在市场内运行，或是其有效性只能局限在某个部门或某个地区，那么这些实验室对社会的贡献也就受到限制。因此，需要对各类实验室的公正性和技术能力按照一个统一的标准进行认可。

2. 实验室认可的作用和意义

实验室认可的好处是显而易见，围绕检测结果可信度这个实质性问题，实验室认可为用

户、为实验室自身发展以及商品的流通和贸易的开展都带来了极大的方便。归纳起来有以下6方面益处:

- ①表明实验室具备了按有关国际认可准则开展检测和(或)校准服务的技术能力;
- ②增强了实验室的市场竞争能力,赢得了政府部门、社会各界的信任;
- ③获得与CNAL签署互认协议的国家与地区实验室认可机构的承认,有利于消除非关税贸易技术壁垒;
- ④参与国际间实验室认可双边、多边合作,促进工业、技术、商贸的发展;
- ⑤可在认可的业务范围内使用“中国实验室国家认可”标志;
- ⑥列入《国家认可实验室名录》,提高了实验室的知名度。

三、实验室认可的国际发展概况

1. 实验室认可活动的演变

实验室认可这一概念的产生可以追溯到50多年前。作为英联邦成员之一的澳大利亚,当年由于缺乏一致的检测标准和手段,在第二次世界大战中不能为英军提供军火,为此,在二战后着手建立一致的检测体系。1947年,澳大利建立了世界上第一个国家实验室认可体系并成立了认可机构——澳大利亚国家检测机构协会(NATA)。60年代英国也建立了实验室认可机构,从而带动了欧洲各国实验室认可机构的建立。70年代,美国、新西兰和法国等国家也开展了实验室认可活动。80年代实验室认可发展到东南亚,新加坡、马来西亚等国家建立了实验室认可机构,90年代更多的发展中国家(包括我国)也加入了实验室认可行列。

2. 建立统一的实验室国家认可机构

继1947年澳大利亚建立NATA之后,从1967年起,英国工贸部利用国家物理实验室(NPL)的国家基准和雄厚的技术力量,也先后建立了专门从事实验室认可的机构,现名称为英联邦认可机构(UKAS)。此外加拿大的标准理事会(SCC)、新西兰的新西兰国际认可组织(IANZ)、越南的越南实验室认可委员会(VILASA)、新加坡的新加坡实验室认可机构(SINGLAS)、法国的法国实验室认可体系(COFRAC)、芬兰的芬兰实验室认可服务机构(FINAS)、韩国的韩国实验室认可体系(KOLAS)等都是负责本国实验室认可的统一机构。在欧洲实验室认可合作组织(EAL)谅解备忘录的17个签署国中,除德国外,其他16个国家均是只有一个实验室认可机构的体制。因此,建立统一的实验室认可体系已成为目前各国普遍采用的模式。

3. 几个主要国家的实验室认可简介

(1) 澳大利亚国家实验室认可

1947年,澳大利亚建立了世界上第一个实验室认可机构NATA,通过50多年的发展,其工作范围已由认可实验室扩展到企业的质量体系认证(ISO 9000系列标准)和环境管理体系认证(ISO 14000系列标准)。近年来,NATA的模式已成为多数国家建立实验室认可体

系的参考。

NATA 现在是第三方的从事实验室认可、企业质量体系认证以及环境保护认证工作的机构，由澳大利亚工业科学技术部授权，主要从事以下各方面的工作：

- ①承担亚太实验室认可合作组织（APLAC）秘书处的工作；
- ②开展国内外的实验室认可工作；
- ③开展有关检测人员资格认证工作及培训服务；
- ④开展检查机构认可工作；
- ⑤开展能力验证活动；
- ⑥从事质量体系认证工作；
- ⑦实验室认可的国际合作。

（2）英国国家实验室认可

英国的实验室认可已有 30 多年的历史，1966 年工贸部组建了英国校准服务局（BCS），它是世界上第二个这方面的机构，60 年代还没有认可工作，BCS 只负责对工业界建立的校准网络进行国家承认。之后，BCS 又开展了检测实验室的认可工作，1981 年授权建立了国家检测认可体系（NATLAS），1985 年两者合并为英国实验室国家认可机构（NAMAS），近 20 年其认可工作发展很快，1995 年 NAMAS 私营化，变成目前的 UKAS。UKAS 虽然私营化了，但仍属非营利机构。在英国认可工作都是由 UKAS 进行的。目前已有 2200 多家实验室通过其认可（其中检测实验室 1600 多个，校准实验室 600 多个），第三方实验室约占 1/3～1/2，每年出具的校准证书在 60 万份以上，检测报告的数量更是难以估计。政府对 UKAS 的公正性进行监督，每 4 年还要接受欧洲认可合作组织（EA）的监督评审，这样可保持其技术能力。

4. 区域性实验室认可合作组织简介

（1）欧洲实验室认可合作组织（EAL）

欧洲是实验室认可工作开展最早、成员国之间实验室认可互认协议签署最多、实验室认可工作发展最快的地区。1975 年成立了西欧校准实验室合作组织（WECC），该组织由欧共体和欧盟 17 个成员国组成，1989 年又成立西欧实验室认可合作组织（WELAC），1994 年合并为欧洲实验室认可合作组织（EAL）。

1998 年 1 月，EAL 和 EAC（欧洲认证认可合作组织）合并为 EA（欧洲认可合作组织），EAL 的工作为 EA 所取代。

（2）亚太实验室认可合作组织（APLAC）

APLAC 是 1992 年在加拿大成立的一个区域性合作组织，由环太平洋国家的实验室认可机构和主管部门组成。1995 年 4 月 4 日，在印度尼西亚雅加达召开的第 7 次 APLAC 会议上包括中国实验室国家认可委员会在内的 16 个国家和地区的实验室认可机构签署了《谅解备忘录》。目前 APLAC 的秘书处设在澳大利亚的国家机构协会（NATA）。

5. 国际实验室认可合作组织（ILAC）

1977 年，热心于实验室认可的专家和较早开展实验室认可工作的国家在丹麦的哥本哈根

成立了有关实验室认可工作的国际论坛——国际实验室认可会议 (International Laboratory Accreditation Conference, 简称 ILAC), 其宗旨是实现实验室检测和校准结果的国际互认, 提供有关实验室认可方面的基本信息, 并促进国际贸易发展。ISO, IEC, BIPM, OIML 等国际组织都派代表参与 ILAC 定期召开的会议。1996 年 9 月, 在荷兰首都阿姆斯特丹召开的第 14 届国际实验室认可会议上, 包括我国 CNACL 在内的 44 个实验室认可机构签署了正式成立“国际实验室认可合作组织”的《谅解备忘录》, 这标志着 ILAC 已由一个松散的论坛会形成了一个实体, ILAC 这个缩写已被赋予了新的内容, “国际实验室认可合作组织” (International Laboratory Accreditation Cooperation) 简称仍是 ILAC。

四、实验室认可的发展趋势

1. 概述

目前, 实验室认可已打破国界, 朝着实现国与国之间的相互承认, 并向多边相互承认的趋势发展。这是消除非关税贸易技术壁垒、促进贸易全球化及国际合作的需要。

要实现互认, 必须基于统一的国际标准, 采用同样的运作模式, 对技术等效性给予承认, 要求市场能够接受外国的技术证书, 对强制性法规方面还要求政府也要认同。这样, 当产品从一个国家销往另一国时, 才可减少重复检验, 以时间、空间、人力、物力、财力的大量节约来促进商品的自由流通, 促进国际贸易的往来。

互认就是承认对方等同于自己的体系, 各签约方都等同地接受其他机构发出的证书。签署协议的各方有义务保证体系不断按标准运作, 有义务参加有关技术活动 (如实验室间比对和能力验证计划)。签约方应承认其他签约方出具的证书或报告, 如我国的 CNAL 和澳大利亚的 NATA 都是 APLAC 的互认成员, 则 NATA 认可的实验室签发的证书流通至我国, CNAL 就应承认它和 NATA 认可实验室签发的证书是一致的, 同样的, NATA 也承认 CNAL 的认可结果。

至 2000 年底, 签署了 APLAC 互认的已有 16 个认可机构, EA 也有 18 个签约方, 覆盖面很广, 不属于此区域的国家, 如南非国家 (认可体系为 SANAS), 也与 EA 或 APLAC 签署双边互认协议, 区域性互认发展后, 就促进了国际互认协议机制的建立。近年来正在探讨建立 ILAC 互认的安排, 建立国际互认网络。ILAC 互认协议的签订是有基础的, 因为 APLAC 和 EA 已有互认协议, 和其他认可机构也有互认活动, ILAC 形成互认协议后, 区域性仍然保持, 协议成员仍是有效成员。2000 年 11 月, 在 ILAC 大会上, 来自欧洲、亚太、南非和南美洲的 28 个国家的 36 个认可机构签署了 ILAC 互认协议, 最终形成了国际性的互认。

2. CNAL 顺利签署 APLAC-MRA

我国是亚洲最大的实验室认可体系, 从 1994 年 9 月 CNAL 组建至今, 经过 5 年的艰苦工作, 历经研究并学习国外先进经验、统一思想认识、制订评审工作规范、健全机构和认可业务拓展发展阶段, 于 1999 年 9 月至 10 月, 接受了由来自新西兰、美国、新加坡和马来西

亚 4 国专家组成的同行评审组的评审。评审组对 CNAL 秘书处按 ISO/IEC 导则 58 进行了检查,并见证了 CNAL 依据导则 25 对位于北京、青岛、上海、广州、深圳等地区的 10 个实验室的现场评审和监督评审,终于在 1999 年 12 月 3 日于印度新德里召开的 APLAC 全体大会上,成功地签署了 APLAC 相互承认协议 (APLAC-MRA)。

CNAL 签署 APLAC-MRA 是近年来我国合格评定工作取得的又一项硕果,证明我国实验室认可工作与国际同行的做法是一致的,也说明由原国家质量技术监督局(现为国家质量监督检验检疫总局)负责建立的合格评定体系与国际同行做法是一致的,与国际的先进水平是同步的。它有利于我国加入世界贸易组织 (WTO) 后,进一步发展国际贸易和亚太地区的经济合作;可增强 WTO 各签约方对我国实验室认可工作的信任,有利于我国国际贸易的发展。另外,它规范了我国实验室认可体系,促进了该制度的持续、健康、有效、有序发展。它还提高了我国实验室认可工作的知名度,使获得 CNAL 认可的实验室成为直接的受益者。它有利于统一管理我国实验室认可工作,减少因重复评审、重复考核而造成的人、财、物资源的浪费。它同时有利于更广泛吸取国际实验室认可工作的方法和经验,为实验室提供更好的服务。

3. CNAL 顺利签署 ILAC-MRA

2000 年 11 月 2 日,在美国华盛顿召开的国际实验室认可合作组织 (ILAC) 的全体大会上,CNAL 与其他实验室认可机构签署了 ILAC 相互承认协议 (ILAC-MRA)。该协议由来自欧洲、美洲、南非和亚太地区的 36 个实验室认可机构共同签署,包括中国、美国、澳大利亚、英国、西班牙、瑞典、瑞士、新加坡、南非、挪威、新西兰、荷兰、日本、韩国、意大利、德国、法国、芬兰、丹麦、捷克、加拿大、巴西、比利时、越南等国家和中国香港地区、中国台湾地区的实验室认可机构。

ILAC 互认协议是促进世界自由贸易的重要合作成果之一,它规定签署协议的各方需相互承认实验室认可结果。签署协议后,凡中国境内经 CNAL 认可的实验室出具的校准和检测数据均能得到与其签署协议各方的承认。这是继 1999 年 12 月在印度新德里签署亚太实验室认可合作组织 (APLAC) 相互承认协议 (APLAC-MRA) 后,我国实验室认可工作取得的又一突破性进展,为我国加入 WTO 后在检测与校准市场的互认方面奠定了良好的基础。

第二节 实验室认可与合格评定

一、合格评定的概念

1. 合格评定的起源与发展

合格评定一词最早由国际标准化组织 (ISO) 所使用,1985 年 ISO 理事会将其所设的认证委员会 ISO/CERTICO 改名为合格评定委员会 ISO/CASCO,但没有给出合格评定

的定义。

“合格评定”的使用来源于消除非关税贸易技术壁垒的需要。关税和贸易总协定(GATT)自1984年1月1日生效后,经多次关税减让谈判,使数以千计的工业品和家用产品的关税大大削减,就9个主要国家而言,平均关税从40%降到4.7%。但与此同时,各国为保护本国的利益,又出现了新的非关税壁垒,其中最突出的是技术壁垒,主要是利用技术法规、标准与合格评定制造国际贸易障碍。在1973年至1979年GATT的“东京回合”谈判中,贸易中的非关税壁垒问题是主要议题之一,会议期间达成了一系列非关税壁垒协议,其中涉及技术法规、标准和质量认证的是《贸易技术壁垒协议》,于1980年1月1日起生效,1993年结束的“乌拉圭回合”谈判又进一步发展和完善了这一协议,重点是将质量认证扩展为合格评定程序。《贸易技术壁垒协议》中对技术法规、标准与合格评定程序均给出了定义,并对技术法规、标准以及合格评定程序做出了基本规定,其主要精神是技术法规和标准不应形成贸易壁垒,要采用国际标准以及透明度和非歧视原则;各国制定的合格评定程序应符合国际指南,不建立特殊的进口产品合格评定程序,收费标准内外统一,并采取早期通报,及时提供合格评定程序;各国政府机构也应在可能时接受其他缔约国实行的合格评定程序的结果等,以促进贸易全球化的发展。

2. 合格评定的定义

在《贸易技术壁垒协议》中给出的合格评定程序定义是:“任何直接确定满足技术法规和标准中相关要求的程序”。合格评定程序包括:抽样、试验和检验程序,合格的评价,验证和保证程序,注册,认可以及批准程序。

ISO采用此定义,对合格评定定义如下:

合格评定(conformity assessment)是与直接或间接确定相关要求被满足的任何有关活动。

典型的合格评定活动包括:抽样、试验和检验、评价、验证和合格保证、注册、认可和批准以及这些活动的综合。

ISO所述的合格评定主要包括以下两点:

(1) 认证

包括产品质量认证和质量管理体系认证。

(2) 认可

包括检测/校准实验室认可、审核机构认可、认证机构认可、审核员/评审员资格及培训机构的认可。

3. 合格评定结构

有关合格评定的结构,国际上通行的框图如图17-1所示。

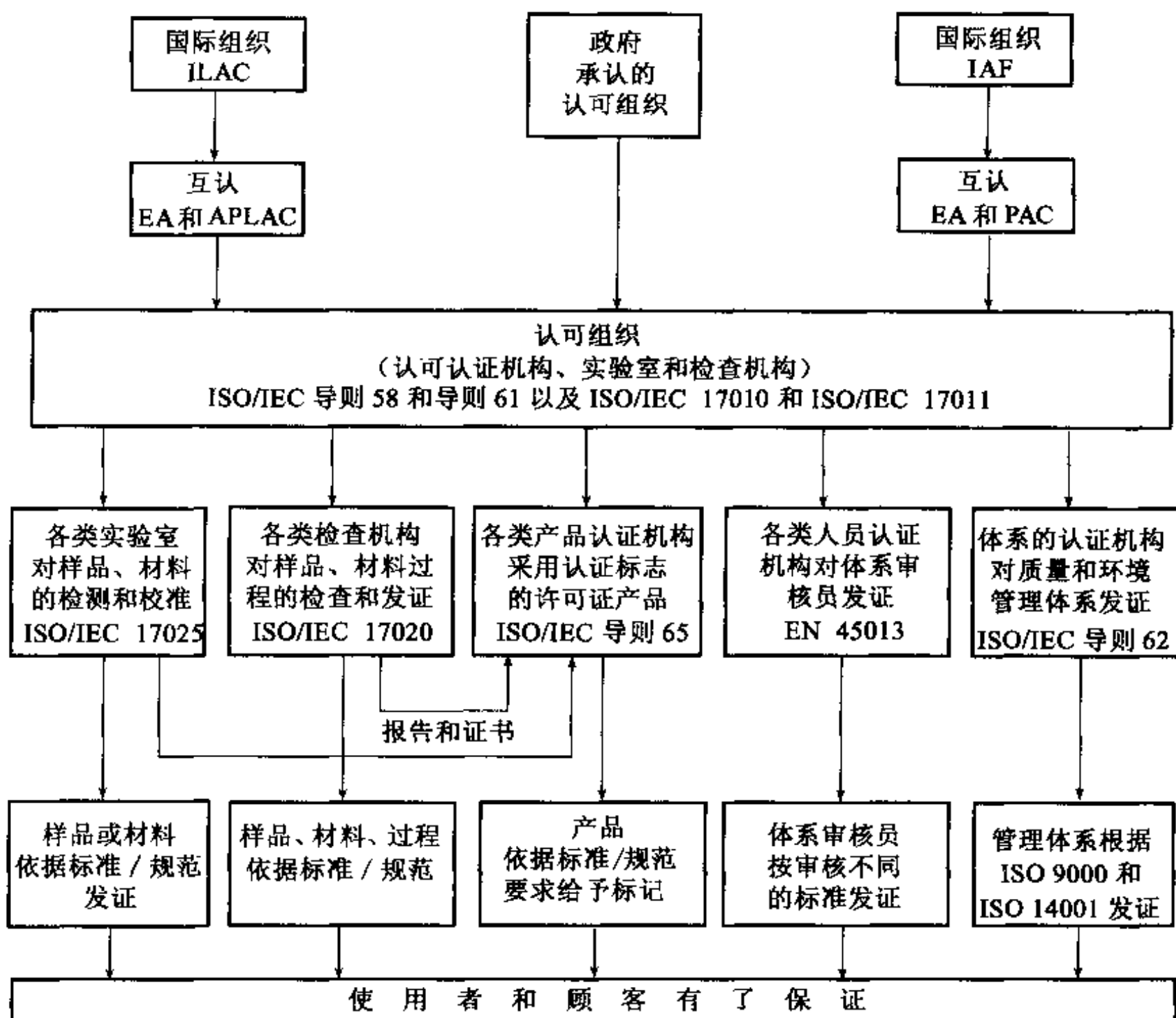


图 17-1 合格评定结构图

二、我国合格评定的管理与实施

根据国际上开展合格评定工作的要求，我国也开展了相应的活动。

目前，把实验室认可、产品质量认证、管理体系（包括质量管理体系和环境管理体系）以及审核员/评审员资格认可（包括培训机构的认可）4 方面的内容统称为“合格评定”。

按照合格评定的内容，根据 2001 年 8 月 7 日“国办发〔2001〕56 号”文《国务院办公厅关于印发国家质量监督检验检疫总局及国家认证认可监督管理委员会、国家标准化管理委员会职能配置内设机构和人员编制规定的通知》的有关规定。国务院决定组建中国国家认证认可监督管理委员会（中华人民共和国认证认可监督管理局），统一管理我国的合格评定工作。该委员会将履行国务院授权的行政管理职能，研究起草并贯彻执行我国合格评定方面的法律、法规和规章，制定、发布并组织实施合格评定的监督管理制度、规定。该委员会内设机构由办公室（人事部、外事办公室）、政策与法律事务部、认可监管部、认证监管部、注

册管理部、实验室检测监管部、国际合作部和财务管理部等 8 个部门构成。

我国合格评定制度总体方案的原则应该是：

(1) 国家对合格评定制度实行统一管理。

(2) 充分发挥各部门、各地方和各方面的作用。

(3) 按照国际通行做法规范我国合格评定工作，积极参与国际双边和多边互认合作，与国际接轨。

(4) 从事合格评定工作的机构应是具有明确法律地位的第三方实体，接受相应的监督，可靠、公正、科学、有效地服务并取得信誉，在公平竞争中发展。

(5) 坚持自愿申请原则，对国家规定实行安全认证的产品，在进入流通领域时，实行强制性管理。

(6) 合格评定的目的在于促进企业（或实验室）强化技术基础，完善质量管理体系，提高产品（或报告/证书）质量，增强市场竞争能力。

因此，从我们对合格评定的了解知道了“实验室认可”是对实验室的技术承认，它是合格评定工作的一部分，与质量认证和人员注册等工作共同构成合格评定。

第三节 我国的实验室认可

一、实验室认可、计量认证和质检机构审查认可的异同及发展趋势

我国存在着 3 种对实验室认可的方式，实验室认可（依据国际最新认可标准）、计量认证（依据计量认证考核条款 50 条）和质检机构审查认可〔依据审查认可（验收）条款 39 条〕，在 1995 年以前，分别由原国家技术监督局 3 个专业司主管，即质量认证办公室、计量司和质量监督司，他们的落脚点都是各类实验室。

国家质检中心的审查认可最早是由原国家标准局（后转国家技术监督局质监司）进行的，不仅要对中心进行能力考核，同时还给予授权，也就是说。国家质检中心（包括部委、省质检所、站）在组建之初就具有相应的政府色彩，它们代表政府对某个行业或领域实施质量监督，被授权承担一定的任务，如行业评比、产品抽查等。

对质检机构的计量认证最早是由原国家计量局（后转为国家技术监督局计量司）组织进行。计量认证只考核能力，无所谓授权问题，但具有强制性，凡是质检机构必须通过计量认证，否则不能向社会出具公证数据。

至于由中国实验室国家认可委员会（CNAL）进行的实验室认可，也是能力考核，承认实验室具有开展某个领域的检测/校准的技术能力，其检测报告/校准证书将受到国家承认。但实验室是否申请认可可是完全自愿的。

三者都有能力考核的内容，又都是以 ISO/IEC 导则 25 作为评审的依据，三者的异同可见比较表（表 17-1）。由比较表可看出，它们之间存在不少相同之处，有合在一起的基础，为了与国际接轨，1995 年国家技术监督局将三个专业司中的有关部分抽出，专门成立了一个“实验室评审办公室”，进行了“三合一”评审。为了减少对实验室的重复评审，提高工作的

有效性,需要统一计量认证/审查认可(验收)评审标准,故制定了《产品质量检验机构计量认证/审查认可(验收)评审准则》(试行)[简称“评审准则”]。评审准则于2001年12月1日正式实施。

表 17-1 实验室认可、计量认证和审查认可的比较表

	实验室认可	计量认证	审查认可
目的	提高实验管理水平和技术能力	提高质检机构的管理水平和技术能力	提高质检中心(所、站)的管理水平和技术能力
依据	GB/T 15481-1995 或 CNACL 201-1999 (现为 ISO/IEC 17025:2005)	《计量法》第二十二条, JJG 1021-1990, 等效采用 ISO/IEC 导则 25:1982	《标准化法》第十九条,《质量法》第十一条,“国家质检中心审查认可细则”,等效采用 ISO/IEC 导则 25:1982
性质	实验室认可自愿性的,我国的认可原则中第一项就是自愿原则	计量认证是强制性的,未经计量认证的质检机构不得向社会出具公证数据	审查认可强制性的,是代表政府行使产品监督,给予授权可以在某个行业进行抽查、评比
对象	第一、二、三方的检测/校准实验室	属于第三方的各类质检机构(检测实验室)	属于第三方的国家质检中心及部委、省级质检所、站
类型	一级国家认可	两级认证(国务院和省)	两级审查(国家和部委、省)
实施	中国实验室国家认可委员会(CNAL)	各级政府的质量技术监督部门(省级以上)	省级以上质量技术监督部门
考核内容	公正性和技术能力(13个要素、56条、ISO/IEC 17025:2005是25个要素)	公正性和技术能力(6个方面、50条)	公正性和技术能力(6个方面39条)
结果	发证书,可使用认可标志	发证书,可使用 CMA 标志	发证书,可使用 CAL 标志
国际接轨	国际通行做法, CNAL 已与亚太实验室认可合作组织以及国际实验室认可合作组织签订互认协议	仅对国内适用,不能与国际接轨	仅对国内适用,不能与国际接轨
发展动态	ISO/IEC 导则 25:1990 已变成国际标准 ISO/IEC 17025:2005,目前正处于过渡期,但 ISO/IEC 17025 还不能与 ISO 9000:2000 完全兼容	继续维护(因有法律依据),但要修改,制定与认可准则统一的新规范[计量认证/审查认可(验收)评审准则]	继续维持(因有法律依据),同样要制定与认可准则统一的新规范[计量认证/审查认可(验收)评审准则]

二、我国实验室认可体系

1. 我国实验室认可的基本原则

根据 CNAL 制定的有关文件的规定, CNAL 实施实验室认可基于如下基本原则:

(1) 自愿申请原则

凡愿承认《中国实验室国家认可委员会章程》, 遵守发布的公开文件有关规定的实验室均可自愿申请 CNAL 认可。

(2) 非歧视原则

凡加入 CNAL 认可体系的实验室, CNAL 既不会以其规模或其社会地位为认可条件, 也不以其经济状况予以限制。CNAL 受理国内、外所有实验室的认可申请。

(3) 专家评审原则

CNAL 聘用其注册的评审员和技术专家对申请认可的实验室按 CNAL 要求对其技术能力予以评审和评价。

(4) 国家认可原则

CNAL 所从事的认可工作是对实验室技术能力的国家认可, 代表中国国家对实验室的技术能力的承认。

所谓自愿是指实验室自己决定是否申请实验室认可。它取决于以下两点: 一是实验室对所获得认可的认识, 即为了提高自身的管理水平和技术能力, 增强在检测市场中的竞争力; 二是市场的驱动, 即用户质量意识的提高, 会选取已获认可的实验室为其服务, 以提高他们对检测结果的信心。

所谓非歧视是指任何实验室, 不论其隶属关系如何、级别高低、规模大小、所有制性质怎样, 只要能满足认可准则要求, 均可被一视同仁地认可。

所谓专家评审是指为保证认可的科学性和客观公正性, 对申请认可的实验室进行评审是指派训练有素的技术专家(主体为注册的评审员)承担评审工作, 而非由政府官员来完成。

所谓国家认可是指实验室认可仅由 CNAL 代表国家进行, 获得认可的实验室, 其技术能力和所出数据均可得到国家承认。

2. 我国的实验室认可体系

一个完整的实验室认可体系, 应该至少包括以下 5 个要素: 权威的认可机构、明确的认可准则、完善的认可程序、训练有素的实验室认可评审员和满足要求的各类已认可的实验室。下面以我国为例加以介绍。

(1) 权威的认可机构

我国的实验室认可机构是中国实验室国家认可委员会, 成立于 1994 年 9 月 20 日, 现已归属到中国国家认证认可监督管理委员会并改为 CNAL。CNAL 由政府有关部门、科研单

位、学术团体、实验室用户和实验室的代表组成，统一负责校准和检测实验室资格认可和获准认可后的日常监督，CNAL 是 ILAC 和 APLAC 的正式成员。

CNAL 按照科学、公正和与国际通行准则相一致的原则运作中国的实验室认可体系，其目的是促进实验室加强管理，提高技术水平，使实验室以公正的行为、科学的手段、准确的结果为社会提供有效的服务，保护用户和消费者的合法权益，积极参与实验室认可的国际合作和相互承认。

CNAL 的组织结构分为：管理委员会、执行委员会、评定工作组、申诉工作组和秘书处。执行委员会是管理委员会的下设机构，在管理委员会闭会期间负责处理有关重大事宜；评定工作组主要负责认可资格的评定，决定认可资格的暂停和撤消以及监督评审员/技术专家的工作质量；申诉工作组主要负责对 CNAL 的相关申诉作出决定；秘书处则是 CNAL 的常设机构，由秘书长负责，由综合部、评审部、评审员部、技术部和能力验证部等五个部门组成，CNAL 的组织机构图如图 17-2 所示。

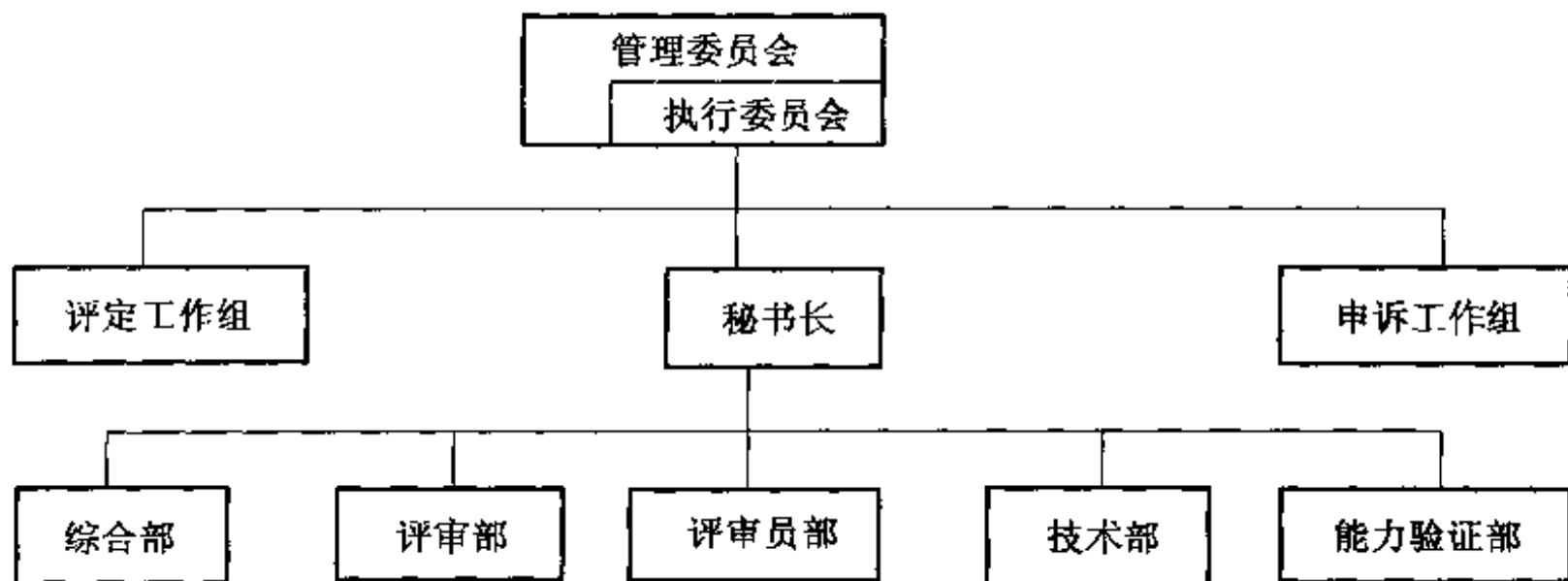


图 17-2 CNAL 的组织机构图

(2) 规范的认可文件

根据我国开展实验室认可工作的需要，CNAL 秘书处依据国际通行的有关认可文件及其运作规范，于 1999 年颁布了 CNAL 相应的工作文件，在这些工作文件的基础上，经过修订、归类，2003 年 9 月正式对外发布了公开文件，全套文件由以下 4 个层次的文件组成：

- ①CNAL 章程（黄色）；
- ②CNAL 规则文件（AR）（黄色）；
- ③CNAL 准则文件（AC）（绿色）；
- ④CNAL 指南文件（AG）（粉色）。

2005 年 5 月 15 日，国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）联合发布了 ISO/IEC 17025:2005《检测和校准实验室能力的通用要求》。根据国际实验室认可合作组织（ILAC）的要求，实施新标准的过渡期为自发布之日起 2 年。CNAL 于 2005 年 9 月 1 日发布新的《检测和校准实验室认可准则》（CNAL/AC 01:2005），等同于 ISO/IEC 17025:2005，取代《检测和校准实验室认可准则》（CNAL/AC 01:2003）。

(3) 明确的认可准则

目前,国际上统一使用的对校准和检测实验室资格的通用要求是 ISO/IEC 17025:2005, 以此取代 ISO/IEC 17025:1999, 国际上规定的过渡截止期为 2007 年 5 月, 即届时各国都应统一使用 ISO/IEC 17025:2005。

一个实验室若希望证明自己的运作符合了质量体系, 有技术能力, 且能出具技术上有效的检测/校准结果, 就应该按 ISO/IEC 17025:2005 来规范自身的工作, 也就是说, ISO/IEC 17025:2005 规定了实验室从事检测/校准的能力(包括抽样能力)的通用要求, 这些检测和校准包括应用标准方法、非标准方法以及实验室自己制定的方法所进行的检测和校准。它适用于所有从事检测/校准的组织, 包括诸如第一方、第二方和第三方实验室, 以及将检测和校准作为检查和产品认证工作一部分的实验室。

(4) 完善的认可程序

与国际上实验室认可的通常做法相仿, CNAL 所采用的实验室认可程序主要分为三个阶段, 即申请阶段、评审阶段和认可批准阶段。申请阶段包括实验室询问、了解情况、索取有关文件、提交申请资料等具体事宜; 评审阶段包括选派评审员、文件资料初审和实验室现场评审等工作; 评审合格的实验室由专家评定工作组进行评定, 并办理批准认可的相关手续。

有关实验室认可程序详见 CNAL/AR 01《认可程序规则》。

(5) 实验室认可评审员

评审员是实验室认可活动全过程中至关重要的因素。评审员素质的高低, 决定了实验室认可工作水平的优劣, 进而还会影响到 CNAL 的声誉。

(6) 认可对象

各类检测和校准实验室是被认可的对象。实验室自获得认可之日起就加入了实验室认可体系, 这意味着要承担一定的义务, 包括要始终保持与获得认可时同样的工作水平, 不断改进自身的质量管理体系, 不断提高已有的技术能力; 正确使用认可标志, 维护 CNAL 的声誉; 珍视所获得的认可, 接受 CNAL 定期、不定期的监督和每 5 年一次的复评审以及参加能力验证活动等等。

第四节 实验室认可准则简介

一、概述

本节介绍中国实验室国家认可委员会(CNAL)制定的《检测和校准实验室认可准则》(CNAL/AC 01:2005), 本准则等同于国际标准 ISO/IEC 17025:2005《General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories》的要求。《检测和校准实验室认可准则》(即 CNAL/AC 01:2005, 以下简称《准则》)的内容目录如下:

1. 范围
2. 引用标准

- 3. 术语和定义
- 4. 管理要求
 - 4.1 组织
 - 4.2 管理体系
 - 4.3 文件控制
 - 4.4 要求、标书和合同的评审
 - 4.5 检测和校准的分包
 - 4.6 服务和供应品的采购
 - 4.7 服务客户
 - 4.8 投诉
 - 4.9 不符合检测和/或校准工作的控制
 - 4.10 改进
 - 4.11 纠正措施
 - 4.12 预防措施
 - 4.13 记录的控制
 - 4.14 内部审核
 - 4.15 管理评审
- 5. 技术要求
 - 5.1 总则
 - 5.2 人员
 - 5.3 设施和环境条件
 - 5.4 检测和校准方法及方法的确认
 - 5.5 设备
 - 5.6 测量溯源性
 - 5.7 抽样
 - 5.8 检测和校准物品（样品）的处置
 - 5.9 检测和校准结果质量的保证
 - 5.10 结果报告

以上 4.1~4.15 为管理要求；5.1~5.10 为技术要求。为了正确理解 CNAL 新准则的要求，下面就有关条款进行一些解释。有些条款解释可参考第 16 章第二节的内容。

二、《认可准则》有关条款理解

1. 组织

- (1) 实验室是指符合 ISO/IEC 指南 2 中定义的实验室。它通常又可分为检测实验室和校

准实验室两类。从法律上讲,实验室有两种情况必须注意区分:一种是实验室本身就是一个独立法人单位,它由国家有关的政府管理部门依法设立、依法登记注册,获得政府的批准,具有明确的法律身份,因此它的法律地位是明确的,能够独立地承担相应的法律责任;另外一种情况是实验室本身不是独立法人单位,而是某个母体组织的一部分,这时母体组织必须出具正式书面授权书,授权实验室进行与检测和/或校准相关的活动,并且应承诺当实验室被追究法律责任时,承担起实验室应负的法律 responsibility。能满足以上两种情况之一者,并能提供书面有效的法律证据的,均可认为本条款要求得到满足。

(2) 规定了实验室的职责有 4 个方面,具体职责是:

①要符合本《准则》的要求开展检测和(或)校准活动;

②满足客户需求;

③满足法定管理机构的需求;

④满足认可机构的需求。满足本《准则》要求,也就是满足管理方面的 15 个要素的要求和技术能力方面 10 个要素的要求。

(3) 要求实验室的管理体系应覆盖的实验场所、设施及工作内容包括:

①固定设施;

②离开它的固定设施的场所(譬如远离实验室本部的郊外开阔场试验基地);

③相关临时设施(该设施在时间上是临时,过了一定时间后该设施被拆除掉);

④相关的移动设施(该设施在空间上是移动的)中所进行的工作(指检测、校准乃至抽样工作)。

(4) 如果实验室所在母体组织还从事检测和(或)校准工作以外的活动,母体组织中关键人员或部门的职责权限应该有明文规定的限制和约束,目的是确保实验室工作的公正性和独立性,确保其他部门或关键人员不会对实验室满足本《准则》的要求产生不良(不利)的影响。

(5) 规定了实验室应做到以下 10 点,即:

①实验室必须配备足够的管理人员和技术人员,其数量和质量应满足实验室工作类型、工作范围、工作量的需求。这些管理人员和技术人员的岗位职责应明确,做到有职、有权、有资源,足以确保他们能履行其职责(参见表 17-2)。另外,识别在质量体系程序上的偏离、识别在检测或校准工作程序上的偏离,并且采取措施预防或减小以上两种情况下的偏离,这是管理人员和技术人员的职责,应在岗位工作描述中明确地写清楚并加以实施;

②实验室应有明文规定的措施以确保它的管理层(各级管理者)和员工(如公开发表书面声明)不受任何对工作(检测或校准)质量有不良(有利)影响的、来自实验室内部的或外部的不正当的商业、财务和其他方面(例如行政方面等)的压力和影响。

表 17-2 即为《检测和校准实验室认可准则》(CNAL/AC 01: 2005)管理体系要素要求的岗位职能分配表(举例)。

表 17-2 岗位职能分配表

ISO/IEC 17025 要素	要 求	部门或岗位负责人														
		最高管理者	技术管理层人员	质量经理	业务办公室人员	业务受理员	样品管理员	试验计划员	检测一室人员	一室质量监督员	检测二室人员	二室质量监督员	仪表设备组成员	文件资料管理员	人教科人员	内审员
4.1 组 织	4.1.1 实验室或其所在母体组织承担法律责任	●	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
	4.1.2 实验室有责任满足 4 方面需求	●	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
	4.1.3 管理体系须覆盖 4 种形式场所中实际所具有的场所	●	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
	4.1.4 实验室母体从事其他活动的不良影响限制	●	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
	注 1: 母体组织其他部门不干预实验室	●	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
	注 2: 第 3 方实验室应满足要求 (如适用的话)	●			◎											
	4.1.5 实验室应做到的 10 点要求															
	(a) 有管理人员、技术人员, 有职权资源, 识别、预防并减小偏离	●	○	○	◎				○	○	○	○				◎
	(b) 有措施保证免受不良影响或压力	●	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
	(c) 有保密保护所有权政策与程序	●	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○		○		◎
	(d) 有政策程序确保公正性、独立性、诚实性	●	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○				◎
	(e) 确定组织和管理结构及在母体组织中的地位	●			◎											◎
	(f) 规定管理、执行和核查人员职权及相互关系	●	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
	(g) 监督人员足够的监督		●				○		○	○	○	○	v			◎
	(h) 有技术管理层全面管理技术工作, 确保资源	●	○	◎												
	(i) 有一名质量经理	●	◎	○												
	(j) 指定关键管理人员的代理人	●														
	注: 每项都指定代理人可能不现实															

续表

ISO/IEC 17025 要素	要 求	部门或岗位负责人														
		最高 管理者	技 术 管 理 层 人 员	质 量 经 理	业 务 办 公 室 人 员	业 务 受 理 员	样 品 管 理 员	试 验 计 划 员	检 测 一 室 人 员	一 室 质 量 监 督 员	检 测 二 室 人 员	一 室 质 量 监 督 员	仪 表 设 备 组 成 员	文 件 资 料 管 理 员	人 教 科 人 员	内 审 员
4.2 管 理 体 系	4.2.1 实验室建立实施和维持与其活动范围适应的管理体系	●		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
	实验室应建立并维持管理体系			●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
	管理体系必须文件化	●		◎	○											◎
	管理体系文件应传达至有关人员			●												◎
	管理体系文件被有关人员理解，获取及执行	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎

符号说明: ●表示负决策责任; ○表示负执行责任; ◎表示协助决策者 (兼负核查责任)。

③实验室应有保护客户机密信息和所有权的政策和程序, 该程序内容中还应包括保护以电子媒体方式来存储和传输检测和 (或) 校准结果的内容。

④实验室应有政策和程序, 用来控制避免卷入任何可能会降低其技术能力、公正性、判断或运作诚实性的信任程度的活动。用政策和程序来规范实验室人员自己的行为。并制定职工道德等规定制度。确保公正性、独立性、诚实性。

⑤实验室应确定自己的组织和管理结构, 描述清楚实验室在母体组织中的地位, 以及确定质量管理、技术运作和支持服务之间的关系。

实验室的组织和管理结构一般用组织机构图并结合岗位职责的文字描述来表述。实验室的组织机构图最好用二张图表述: 一张是描述实验室内部组织机构的图, 用方框表示各种管理职务或相应的部门, 箭头表示权力的指向, 通过箭头线将各方框连接, 标明了各种管理职务或部门在组织机构中的地位以及它们之间的关系。下级 (箭头指向) 必须服从上级 (箭头发出处) 指示, 下级必须向上级报告工作, 岗位职责的文字描述要求简单明确地指出该管理岗位 (职务) 的工作内容、职责和权力、与组织中其他部门和职务的关系、担任某项职务者

所必须拥有的基本素质、技术知识、工作经验、处理能力等任职条件；另一张图主要是用来描述实验室在母体组织中的地位，重点是描述实验室与外部组织之间的接口。当然以上两张图也可以合二为一。在组织机构图绘制过程中，应把组织机构的质量管理部门、技术运作部门和支持服务部门之间的相互关系尽量表示出来，表示不尽的可用文字补充说明。

⑥要求实验室规定对检测和（或）校准工作质量有影响的三类人员（管理人员、操作人员、核查人员）的职责、权力和相互关系。在规定岗位或某个需要负责的事以外还必须规定同其他部门或其他岗位协同配合的要求，这就是相互关系。实验室应根据自身的工作类型、工作范围、工作量来设置管理人员岗位、操作人员岗位和核查人员岗位，详细规定他们的职责、权力和相互关系。

⑦实验室要对检测和校准人员包括正在培训的人员进行足够的监督。这是十分重要的工作，也是一个很重要的概念。质量监督的定义是为了确保满足规定的要求，对实体的状况进行连续的监视和验证并对记录进行分析。可由顾客或以顾客名义实施质量监督，质量监督可以包括为防止实体（如过程）随时间推移而变质或降级所进行的观察和监视的控制。如何进行足够的监督？监督有效性如何判定？这应该在程序文件中明确；监督人员在日常监督中所监督的内容、监督的连续频次等都应有所规定，并应对监督记录有所规定。监督人员（或管理人员）在日常监督中发现的偏离或问题，应及时记录下来，应在日常的管理会议上汇报，并进行分析、讨论、改进。监督人员名单应予以认定并经正式书面授权。

⑧应有一名技术负责人全面负责技术工作。本条规定，可以由技术管理层（可以有多名技术负责人）全面负责技术工作和确保实验室检测和校准工作质量所需的资源。大量实践证明，对于规模较大、学科门类众多的实验室来说，仅有一名技术管理者全面负责技术工作是不实际的，也是不科学的，所以这次标准修改为由一个技术管理层（也就是说可以有多名技术负责人）来全面负责技术工作更科学合理并切合实际情况的。此外还新增了一项职责，就是技术管理层要确保实验室检测和校准工作质量所需资源（物质资源、人力资源、信息资源）的供应。

⑨实验室应指定一名人员担任质量经理，不管他如何称谓，不管他现有何种其他职责，他应保证质量体系在任何时候都能有效运行，并被赋予相应的权力，以便他能承担起相应的责任和义务。质量经理的地位不能太低，必须能与最高管理层（最高管理者及其代理人）直接沟通，而这些最高管理层正是实验室的方针、政策和资源的决策者。

⑩此条中的关键管理人员一般指最高管理者、技术管理层（多名技术负责人）、报告或证书的最终批准的授权签字人和质量经理等。在工作人员极少的实验室中每个人可能有不只一个职务（职能），不可能为每一个职务（职能）指定代理，在此种情况下不必死抠条文，应以有效性为准。

2. 文件控制

(1) 实验室应建立（编制）并维持一个质量体系文件的控制程序，简称为文件控制程序

(参见图 17-3)。那么,实验室的完整质量体系文件应该包括哪些内容呢?它的来源可分为两部分,一部分来自实验室内部制订的文件,例如质量手册、检测或校准计划、管理性程序文件、技术性程序文件、作业指导书、记录表格等;还有一部分来自外部的诸如法律法规、规章、标准、规范、检测或校准方法、图纸、软件参考数据手册等。文件可以承载在各种媒体上,包括硬拷贝和电子媒体。

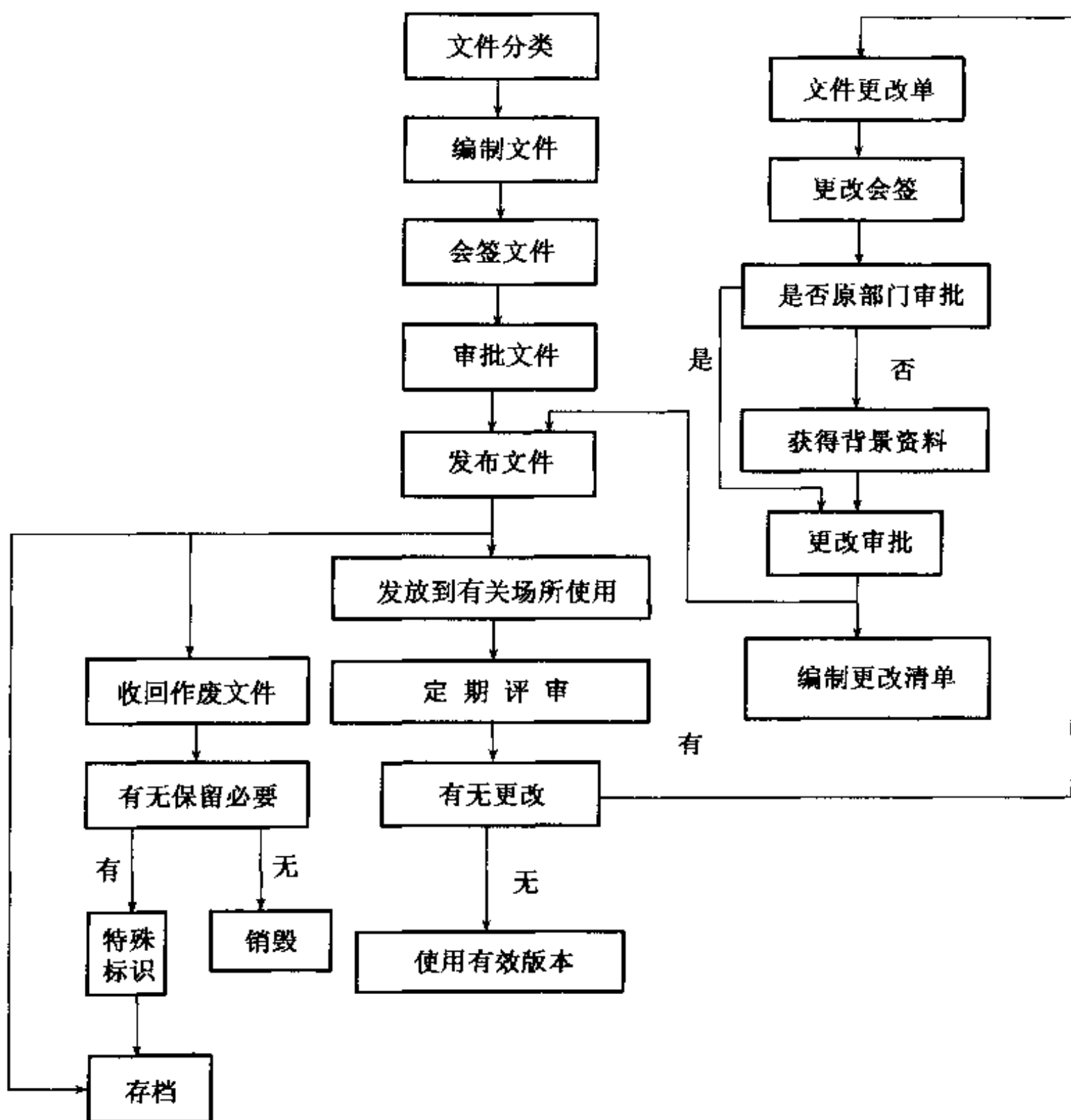


图 17-3 文件控制流程图

(2) 文件的批准和发布应注意以下 8 个方面,即:

①明确纳入到质量体系控制范围之内内的所有文件在发布给实验室工作人员使用之前,必须经过授权人员审查并批准(以确保文件是充分的和适宜的);

②编制识别质量体系文件当前的修改状态和分发的控制清单（目的是便于查阅，确保防止使用无效或作废的文件；确保文件的更改和修订状态在现场可以得到识别）；

③确保在实验室作业现场都能得到授权（批准）的版本；

④定期评审文件（必要时修订），以确保持续适用；

⑤及时从使用场所撤出无效或作废文件以防误用；

⑥有必要保留的作废文件应有适当标识以防误用；

⑦确保外来的文件（特别是标准规范）得到识别和控制，目的是防止误用过期与失效或作废的标准；

⑧实验室制订的质量体系文件应有惟一性标识，该标识需包括发布日期和（或）修订标识、页码、总页数或表示文件结束的标记和发布机构。

（3）文件变更应重视以下 4 个方面的内容。

①除非另有特别指定，文件变更最好由原审批人（不是特指人员，而是职能）负责。被指定人员应获得进行审批所必需的有关背景资料；

②可行的话，更新的内容应在文件或附件中标明；

③如果实验室文件控制制度允许文件再版之前进行手写修改，则应明确规定修改程序和权限。修改之处应有清楚的标注、签名并注明日期。修订的文件应尽快正式发布；

④应制订程序来描述如何更改和控制计算机系统文件。

3. 要求、标书和合同的评审

（1）实验室必须建立（制订）和维持评审客户要求、标书和合同的程序（参见图 17-4）。

合同评审实际上是指合同签订前对合同草案的评审，是指供方对客户订约提议未接受（未承诺）前（即签订合同、接受订单前），由供方（实验室）对招标书、合同草案、书面或口头的订单草案进行系统的评审活动，以保证客户提出的质量要求及其他要求合理、明确且文件齐全，同时确定供方（实验室）确有能力和资源实现履约。

（2）合同评审的记录应保存，包括修改合同所做的再评审记录、合同执行期间就客户的要求与工作结果与客户进行的讨论的有关记录、任何重大的变化记录等等都应保存。通常分以下 3 种情况来考虑，即：

①对常规的例行的简单任务的评审，只要实验室中负责合同工作的人员（应授权）注明日期并签字即可；

②如果客户要求不变，仅需在初期调查阶段，或在与客户有一个总协议下对持续进行的例行（常规）工作合同批准时进行评审；

③对于新的（第一次的）、复杂的、重要的或先进的检测和（或）校准任务，则需要较复杂细致的评审，且需保存较全面完整的记录。

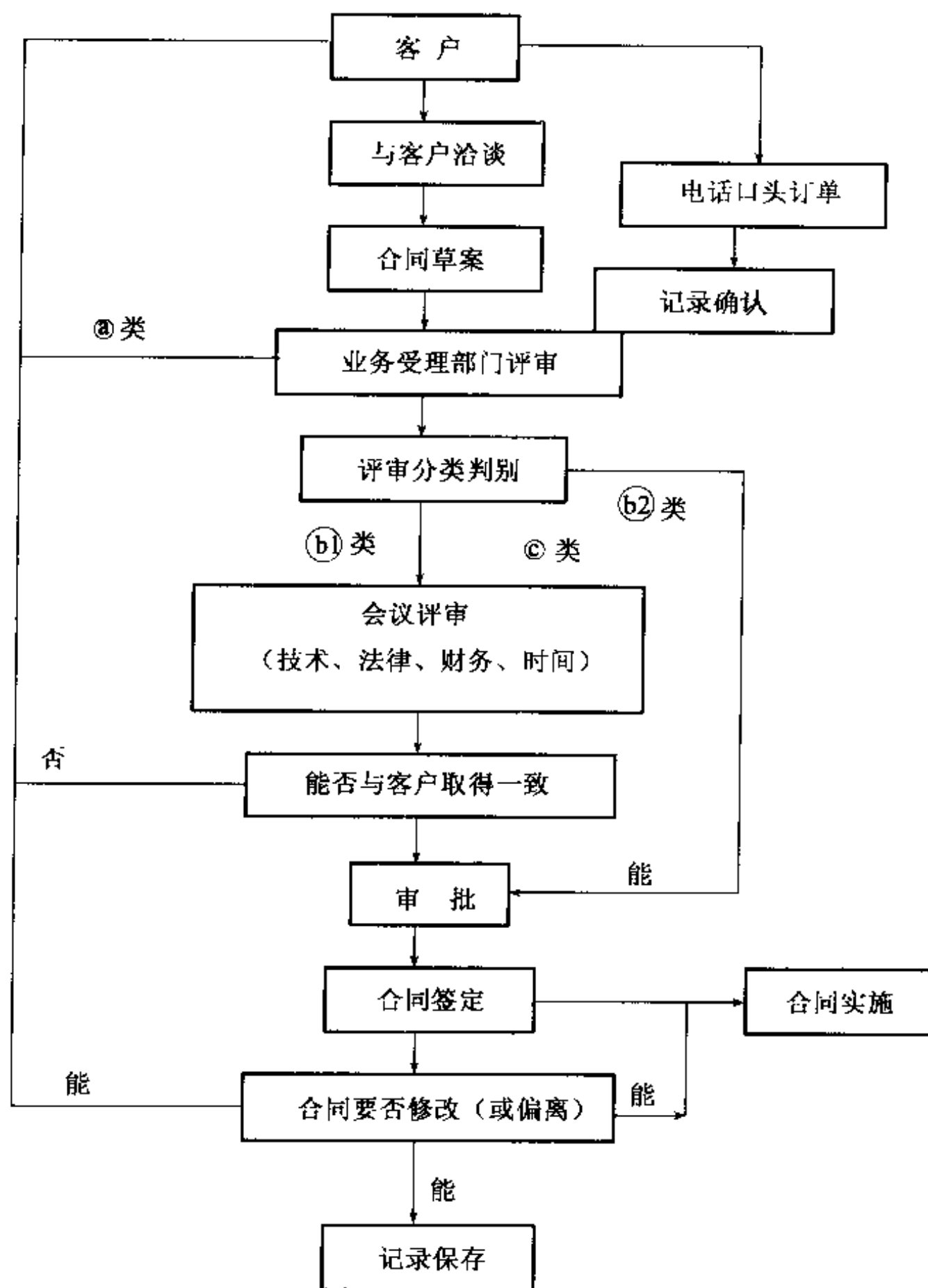


图 17-4 实验室合同评审流程图

Ⓐ类 常规例行简单任务；Ⓑ类—客户要求不变的重复性例行任务；Ⓒ类 代表第一次；
Ⓓ类—代表第二次以后的各次；Ⓔ类—新的、复杂的、先进的、重要的任务

(3) 当合同涉及分包项目时，合同评审的内容必须包括被分包出去的所有工作。

(4) 对合同的任何偏离必须通知客户。

(5) 合同签订后，如在工作时发现合同需要修改，应重新进行评审，修改并通知内容通知中所涉及的所有受到影响的人员，防止因工作差错造成损失。

对于合同评审，今后实验室应适当地改进并完善“试验委托书”的格式及其内容栏目的设计，使之向合同（或协议书）靠拢。以下诸点供设计试验委托合同书时参考。

①名称要适当体现合同或协议的性质；

②合同的要素要包括：技术要素；财务要素；交付时间要素；法律责任要素；分包的要求；样品的要求（包括样品的制备、准备，样品的安装托运及返回处置方式等）；保密和保护所有权的要求或有时客户申明同意放弃的其中的某些要求；传送测试结果的要求；根据测试结果提供评价意见和建议的要求；其他要求（例如在检测报告中有否测量不确定度的要求）等等。

4. 服务客户

要牢固树立实验室所有人员为客户服务的意识，制定具体为客户服务的措施，要持续不断地改进对客户的服务工作。

实验室应与客户或客户的代表合作，通过合作可以正确（比较全面而且深入地）理解客户的要求。在确保不损害其他客户机密的前提下，应允许客户进入实验室监视与该客户所委托的检测或校准工作有关的操作。这种合作可以包括：允许客户或客户代表进入实验室的相关区域直接观察为该客户所进行的检测或校准；实验室应该为客户准备（含制备）、包装和发运验证用的样品提供服务。

实验室应向客户征求反馈意见。应使用和分析这些意见并应用于改进管理体系、检测和校准活动及对客户的服务。

5. 投诉

实验室应制订处理投诉的程序。应保存所有投诉的记录及针对投诉所开展的调查和纠正措施的记录。

实验室应确定处理投诉的责任部门，即谁负责对投诉的登记、立项、汇报（向谁报告），谁负责决定开始处理、（必要时成立调查小组）开展调查工作，谁负责弄清事实真相、判断投诉是否成立（如果投诉不成立，向客户耐心细致解释清楚道理，书面答复客户；如投诉成立，按不合格项处理，调查根本原因直到采取纠正措施，并书面通知客户，向客户赔礼道歉并承担赔偿损失责任）、纠正措施、记录存档以及总结教训以防重犯等工作。

处理投诉的程序可包括以下内容，即：

- (1) 目的。
- (2) 适用范围。
- (3) 名词术语或定义（如果需要的话）。

(4) 职责，也就是职责分配，即谁全部（或部分）负责接收（受理）投诉，谁负责投诉的记录（书面投诉、口头电话投诉要记录在案，向谁报告由谁来处理投诉，可成立调查小组调查，或进行一次临时局部的内审等等）。

(5) 调查处理程序，即调查问题，分析问题，找出根本原因，判断投诉是否成立（如果不成立也要很好地向客户很有礼貌地说清楚道理，将其解释清楚；如果投诉成立，则要采取纠正措施，转入 4.11 纠正措施）的程序。

(6) 支持性文件。

(7) 质量记录，即所有有关投诉的调查和处理记录（必须保存好）。

图 17-5 是处理投诉的流程图，供编写程序时参考。

6. 不符合检测和（或）校准工作的控制

(1) 所谓不符合检测和（或）校准工作的控制，实际上是指对检测和（或）校准工作不

符合程序规定并导致检测和（或）校准的结果不符合其程序规定或客户同意的要求，即通常所说的结果发生差错的现象要加以控制。实验室里的“不合格或不符合项”，或者说“工作不合格”，与样品检测结果是合格还是不合格是两个不同的概念，不可混淆。

实验室应该制订并实施控制检测或校准工作发生差错的程序（参见图 17-6）。

如果差错被识别出来以后，就要依据《不符合检测和（或）校准工作控制程序》来解决，为此该控制程序必须规定：

①谁有责任 and 权力来对这些识别出来的差错（不合格）采取措施，例如必要时暂停检测或校准工作，扣发报告或证书等应急补救措施。避免差错扩大化造成更严重的后果或损失。

②谁负责对差错的严重性作出评估。

③谁对差错立即采取纠正措施，同时对差错工作的可接受性作出决定。

④谁决定必要时通知客户并取消工作。

⑤谁有责任或权力来批准恢复工作等职责权力并写入部门岗位职责与权力说明书中去。

（2）上述的 4.9.1 不合格工作控制中所采取的“立即进行纠正”，严格说来应是“纠正”的概念，还需继续经过评价，当评价表明不符合工作可能再度发生，或对实验室工作是否符合其政策和程序有怀疑时还应立即执行 4.11 中规定的纠正措施程序。4.11 中所提及的纠正措施，只有包括调查根本原因在内的并采取防止问题再发生的措施才是真正的“纠正措施”。

7. 纠正措施

（1）实验室应制订纠正措施控制程序，以便在一旦发现并经确定不合格工作、偏离质量体系或技术运作中的程序或出现测试结果错误的情况下执行纠正措施程序。发现（识别、鉴别）和确定差错的途径或环节有很多，在要素 4.9 不符合工作控制流程图中（见图 17-6）顶部的 19 个小方框上可以看出来。

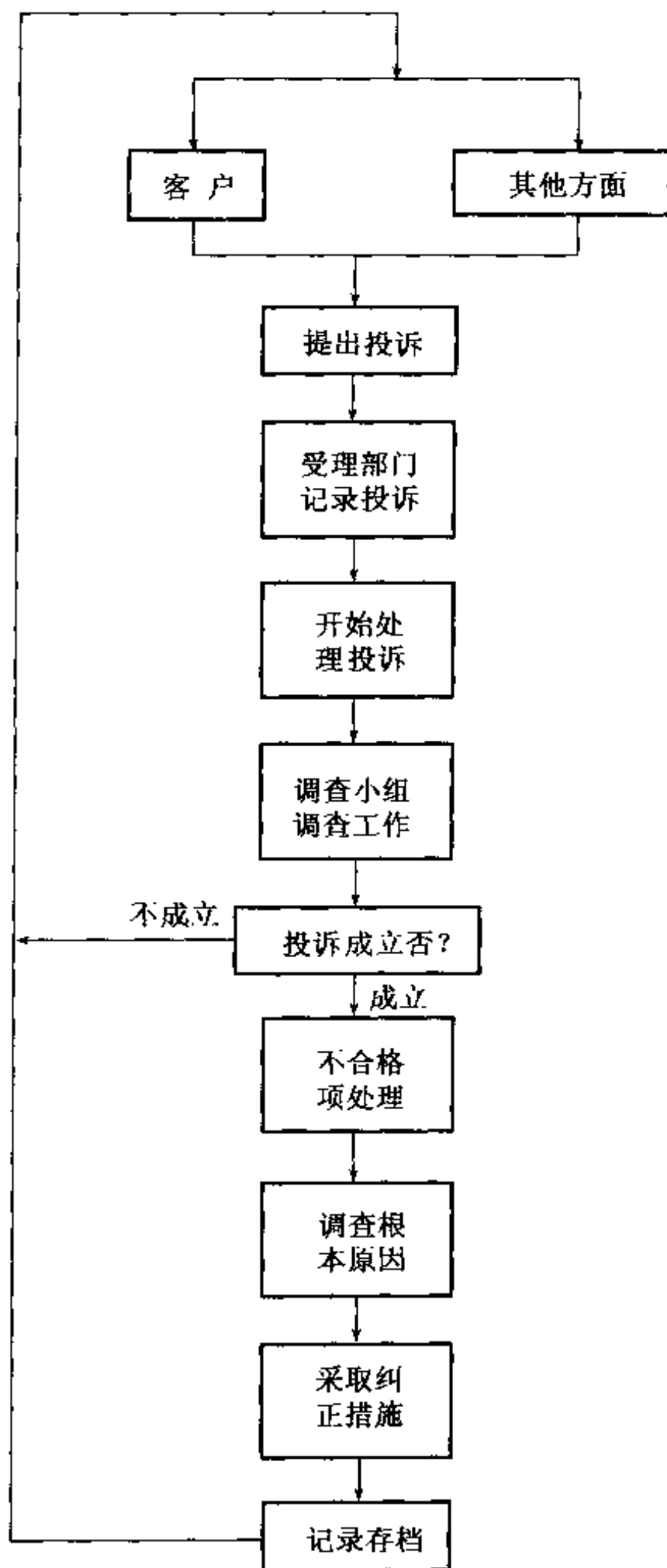


图 17-5 处理投诉的流程图

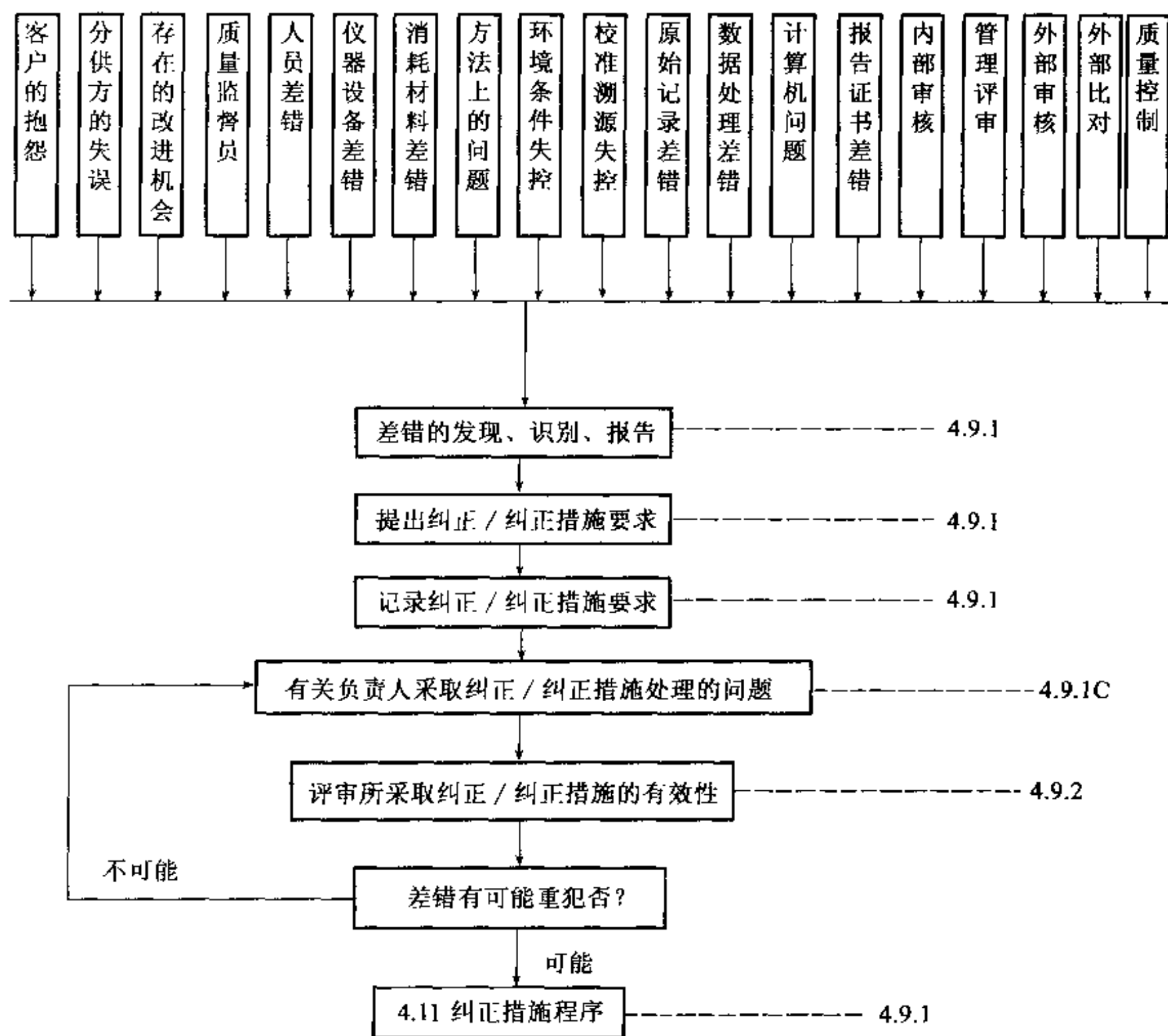


图 17-6 不合格工作控制流程图

(2) “纠正措施”的定义和“纠正”的定义有本质的不同，必须注意区别。“纠正措施”定义为消除已发现的不合格或其他不期望情况的原因所采取的措施。需注意以下几点：一个不合格可以有若干个原因；采取纠正措施是为了防止再发生，而采取预防措施是对尚未发生不合格的情况而言的，是为了预防发生；纠正和纠正措施是有区别的，“纠正”被定义为消除已发现的不合格所采取的活动或措施。纠正可连同纠正措施一起实施。返工或降级可作为纠正的示例，它并没有消除产生问题的根本原因。纠正措施程序必须从确定问题（差错）的根本原因调查开始，根本原因调查分析是该程序中最关键也是最困难的部分，所以在解决比较复杂的问题时，往往需要成立一个专门小组（项目小组），集中多方优势来研究、调查、分析问题产生的根本原因。

(3) 纠正措施的方案可能有多种，必要时还须加以验证，应选择其中最能消除问题根本原因并防止问题再发生的有效措施。当然采取纠正措施要花费代价提高成本的，所以实际开展纠正措施的力度要与问题的严重程度以及由此问题造成的风险大小相适应，必须综合全面考虑。最后须指出，纠正措施调查结果往往会导致对原程序的修改，此时必须遵循文件控制程序，按规定修订文件并经批准后加以实施。

(4) 对于纠正措施的实施和结果，实验室必须加以跟踪验证监控，以确保纠正措施的有效性。

(5) 当偏离和不合格的性质比较严重，导致对实验室是否符合其政策和程序有怀疑，甚至对实验室是否符合本《准则》有怀疑时，实验室应尽快根据导则 4.14 的规定对相关活动区域进行一次附加的审核。附加审核通常是在纠正措施后进行的，目的是确定纠正措施的有效性。但必须注意，仅仅在证实了问题的严重性或对业务有危害时，才有必要进行附加审核。

实验室应编制纠正措施程序文件，为此可先画流程图，确定必须开展的活动内容、职能分配以及设计必要的质量记录表格以供使用。图 17-7 绘出一个纠正措施控制程序的流程框图以供参考。图中也把 4.9 要素“不符合检测 and (或) 校准工作的控制”作为纠正措施过程的一个输入画入，这样可以看出它们之间的相互接口联系。

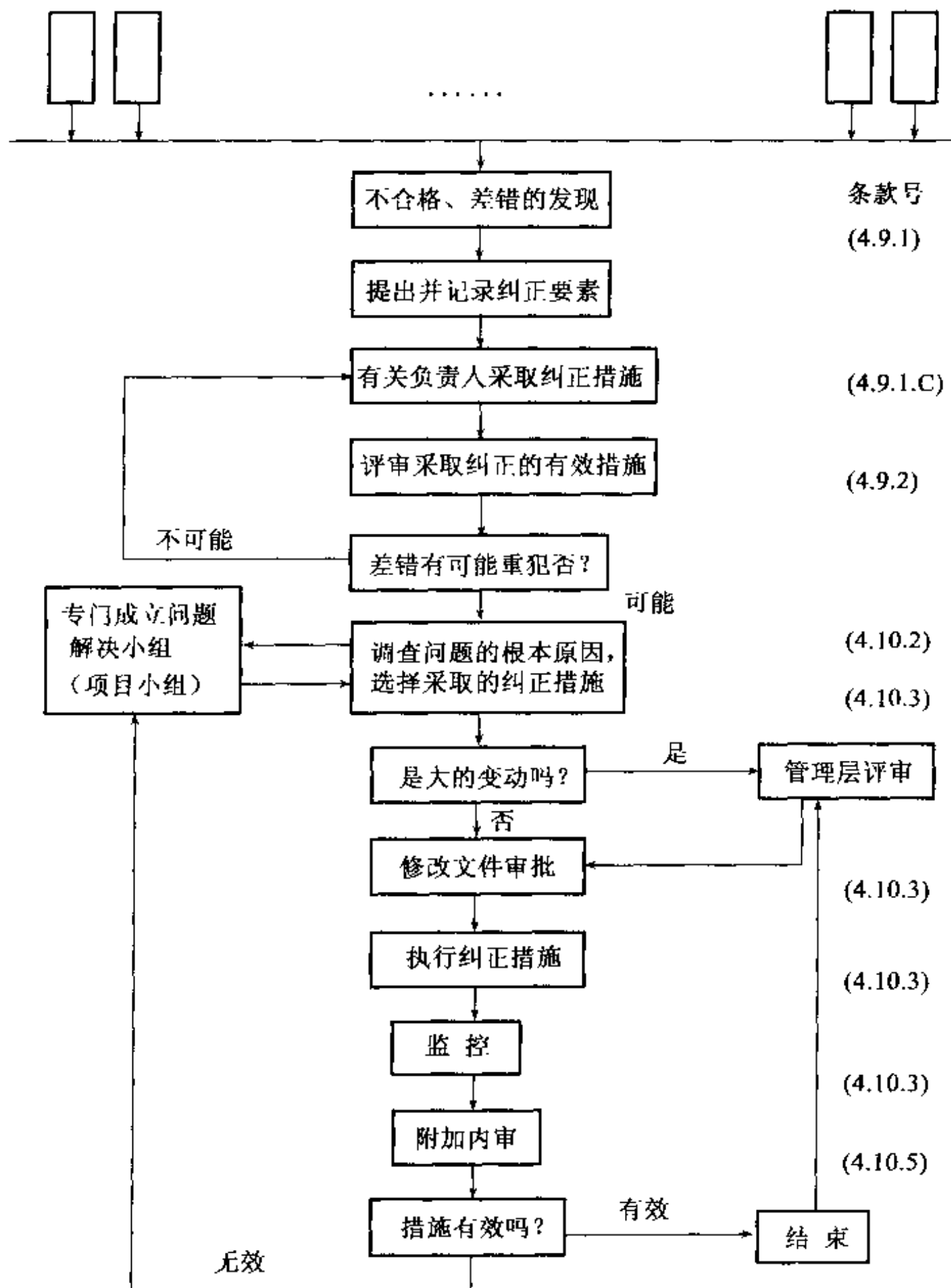


图 17-7 纠正措施控制程序的流程图

8. 预防措施

(1) 预防措施定义为消除潜在不合格或其他潜在不期望情况的原因所采取的措施。当然一个潜在不合格可能是由若干个原因引起的。采取预防措施是为了防止发生（对尚未发生的不合格情况而言），而采取纠正措施是为了防止再度发生（对已发生了的不合格情况而言）。

实验室应分析确定可能存在的不合格的潜在原因，并制订需改进的措施，这些措施可以包括技术工作（检测或校准工作）方面的，也可以包括质量体系方面的。如需采取预防措施，则应制订、执行并监控这些预防措施计划，目的是减少类似的不合格情况发生的可能性并充分利用改进的机会。

(2) 实验室应制订预防措施控制程序文件，该预防措施程序应包括两个方面，第一个方面是启动阶段或者准备工作阶段，第二个方面才是正式实施控制的预防措施。启动阶段可以包括策划、调查研究、分析信息资料、培训教育队伍以及在此基础上制订出的预防措施计划，它是为第二方面的实施与控制计划奠定基础，从而确保其有效实施。

实验室应编制的预防措施控制程序文件应规定的诸方面的要求参见图 17-8。

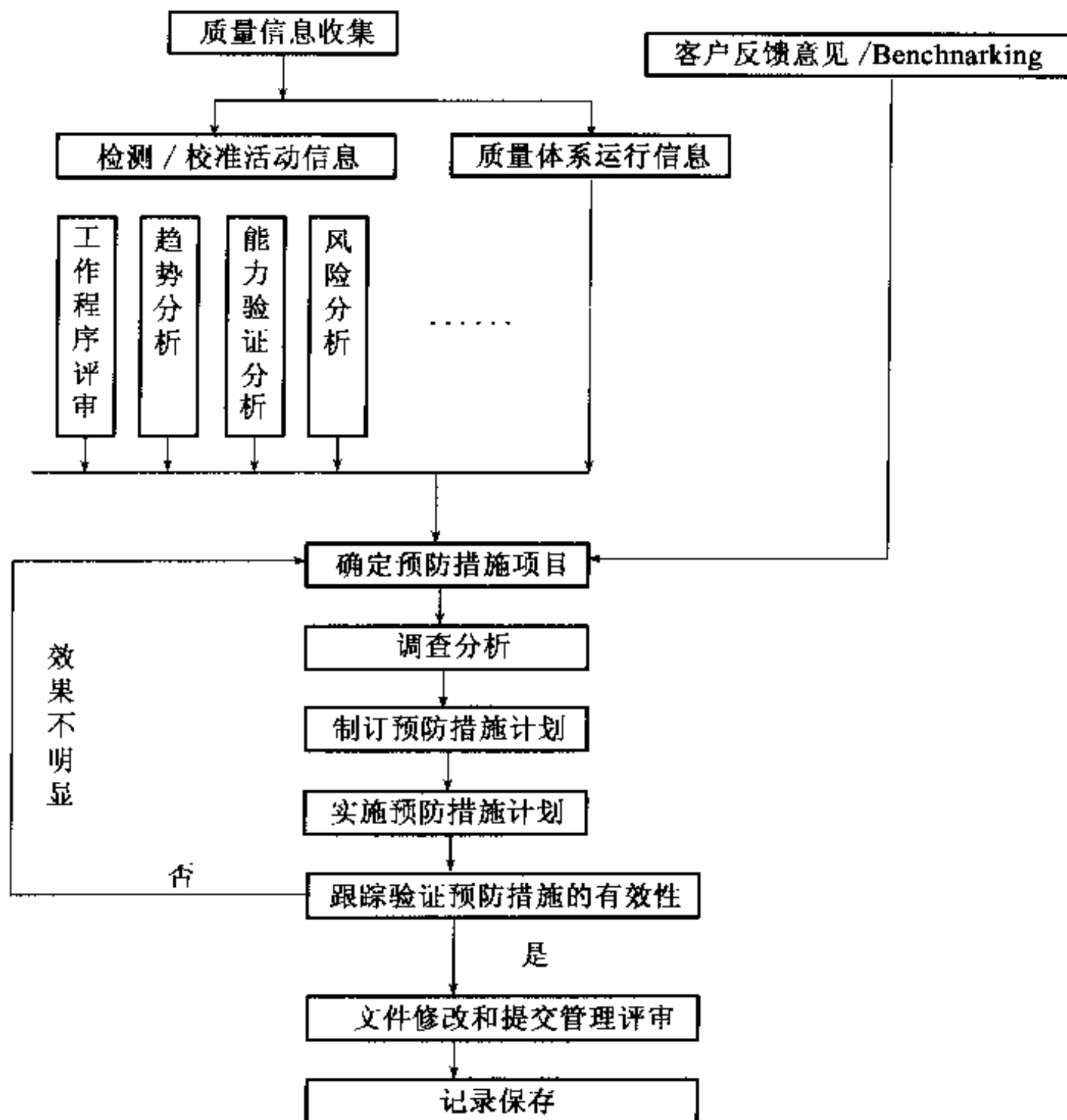


图 17-8 预防措施流程图

实验室应编制的预防措施控制程序文件应规定的具体要求为：

- ①确定实验室潜在的不合格及其原因；
- ②对防止潜在不合格发生的措施的需求进行评价；
- ③确定和实施所需的措施；
- ④记录采取措施的结果；
- ⑤对所采取的预防措施进行评审。

预防措施是事先主动确定改进机会的过程，而不是对已发现（出现）问题或客户投诉的事后反应。预防措施除了包括对原先的运作程序进行评审之外，还可以包括趋势分析、风险分析、能力验证结果等资讯分析。

实验室的战略目标应当是对过程进行持续改进，从而提高实验室的业绩，使相关方均受益。持续改进有两种方式：一种是以突破性项目方式出现，即对现有过程进行突破性修改和改进或实施新过程，它们可能要由日常运作之外的横向跨职能的协调小组（项目小组）来实现。另一种是以由检测或校准人员对现有过程进行渐进的持续改进的活动形式出现。实验室内工作人员是提供渐进的持续改进信息的最佳来源。实验室管理者应对持续改进过程的活动加以策划、组织和领导，对参与改进工作小组的人员应授予相应权限并在资源上充分给予支持。

9. 记录的控制

(1) 实验室应建立（制定）和维持识别（标识）、收集、（编）索引（编目）、取用（借阅）、存档（归档）、储存、维护和清理处置记录（含质量记录和技术记录）的管理程序。

记录的定义可以表述为阐明所取得的结果或提供所完成的活动的证据的一种文件。它可用于为可追溯性提供文件 and 提供验证、预防措施、纠正措施的证据。通常记录不需要控制版本。本《准则》中将记录分成两种：第一种称为质量记录，包括内部审核、管理评审、纠正措施和预防措施记录；第二种为技术记录，包括人员培训教育考试记录、评价采购活动记录、质量管理体系活动等的记录。

记录应做到：清晰、明了；便于取存；保存环境应达标——防止损坏、变质和丢失；应明确规定保存期限（不同类的记录应有不同的适当保存期限）。记录的载体可以有不同的形式，如硬拷贝，电子媒体等。

记录应做到妥善（安全）保护并保密。制定的记录管理程序要考虑到包括保护电子形式存储的记录，并为电子形式存储的记录做备份，以防止这些记录遭受未经授权的侵入或修改。

(2) 原始观察记录、导出数据、开展跟踪审核的足够信息、校准记录、人员（签字）记录、已签发出的每份检测报告或校准证书的复制件等都被归属于技术记录。技术记录也应保存适当足够的时间（对该保存期限实验室也应分类作出明确规定）。如可能的话，每次检测或校准的记录都应包含足够的信息，这里所谓足够信息的含义是指：根据这些信息可以在接近原来的情况下复现检测或校准活动并识别出产生不确定度的影响因素。原始记录中必须包含负责抽样的人员、从事检测或校准的人员和记录校核结果的人员的姓名。在某些领域，保留所有的原始观察记录也许是不可能的或不实际的。技术记录是进行检测或校准所得数据与信息的积累，它们表明检测或校准是否达到了规定的质量或过程参数。技术记录可包括表

格、工作单、工作手册、核查表、工作笔记、控制图、外部和内部的检测报告及校准证书、客户的信函、文件和反馈。

技术记录应在进行工作时及时做出，并按任务的工作号分类标识，以便于识别。当记录中出现差错时，应遵循记录的更改原则，被更改的原记录仍必须清楚可见，不允许消失或不清楚（应采用“杠改法”），更改后的值应在被更改值附近，并有更改人签名。电子存储记录更改也必须遵循上述更改原则，以免原始数据丢失或改动。

实验室必须根据所进行的检测、校准、抽样项目以及质量管理体系的不同要求设计不同的质量管理记录表格和技术活动记录表格的格式。格式栏目中要求填写的内容必须满足信息足够的原则，并经审核和批准。应定期评审其必要性、充分性可追溯性，并随着实践不断改进完善。实验室应有记录格式的控制清单，在批准起用新格式时，原有的老格式应予以停用并废除。

记录应予标识以便识别。标识包括记录的名称及其代码（记录的惟一性识别号码，并能按任务工作号分类识别，确保符合标准 4.13.2.2 的要求）。此外，必要时还应反映使用部门的识别和（或）时间识别。

对于记录收集，应有规定收集记录的组织渠道以及收集的时间间隔。

对于记录编目，应按记录内容分类编目，必要时还可以按其他方式编目，以满足不同的需要。

对于记录的查阅取用（借阅），应明确可以查阅的范围、人员和取用手续，要防止不允许借阅取用的人的取用，这涉及到保护客户机密和所有权的问题。

关于记录的归档与保存期，记录是文件档案资料的一种特殊形式，应将需要保存的记录归档管理。记录应保存适当期限，应符合法律法规、客户、法定管理机构、认可机构以及标准规定的要求。

对于记录的贮存，实验室要创造适宜的环境贮存记录，防止损坏、变质和丢失。

关于记录的保管方式，应便于存取和检索，例如设置档案柜架、箱。不应随意扎捆混放，以免取用时翻箱倒柜。电子媒体的记录的存储取用应适合于电子媒体存放取用的特点。

关于记录的处理，过了保存期的记录需要销毁时，必须经过审查和批准，以免造成无可挽回的损失。

质量记录和技术记录的管理过程流程图如图 17-9 所示。

10. 技术要求总则

（1）决定检测和（或）校准结果（以下简称实验结果）正确性和可靠性的因素有很多，至少应包括以下几点：

- ①人（5.2）；
- ②机（设备）（5.5）；

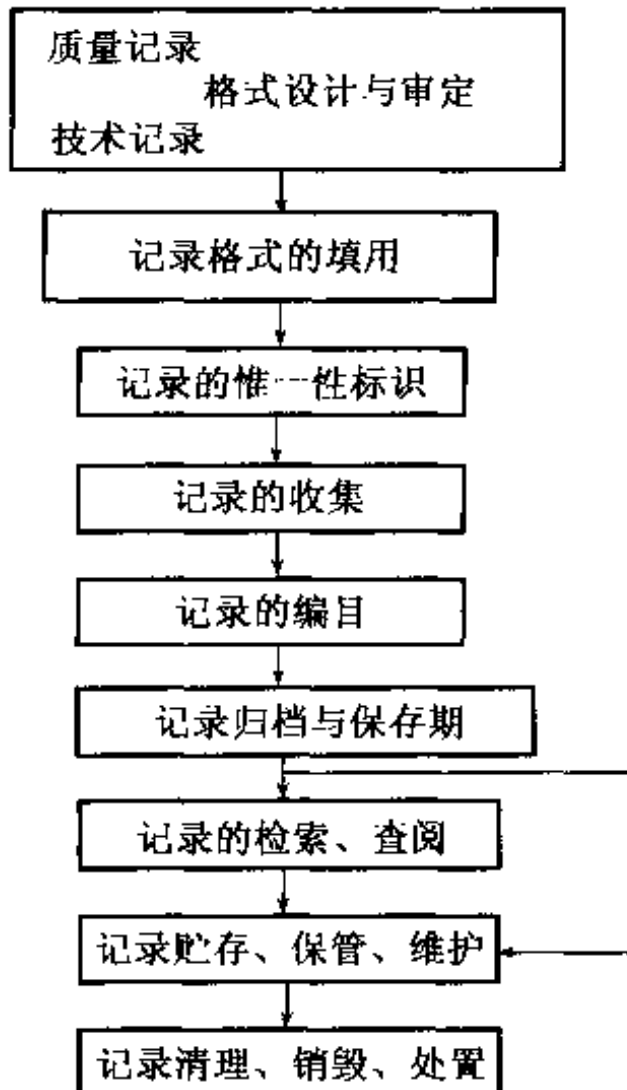


图 17-9 质量记录和技术记录的管理流程图

③料（消耗材料）（4.6，因该要素与本条其他7个要素的相关性，故将其纳入本条统一考虑）；

④法（方法及其确认）（5.4）；

⑤环（设施、环境条件）（5.3）；

⑥测（测量溯源性）（5.6）；

⑦抽样（5.7）；

⑧样品处置（5.8）。

以上各因素可以用图17-10表示。

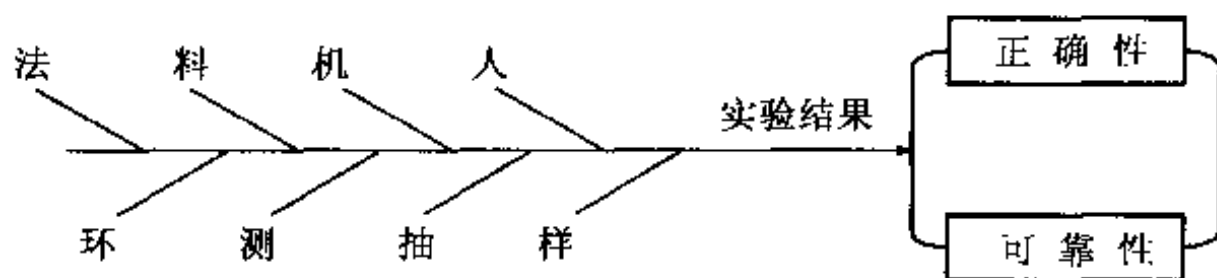


图 17-10 决定实验结果正确性和可靠性的因素

(2) 以上8种（类）因素对不同类别的检测实验室和不同类别的校准实验室结果的测量不确定度的影响是明显不同的，所以实验室在制订实验方法和程序、培训和考核人员以及选择和校准所用的设备（仪器）时应考虑到这些因素。

要把“5.1 总则”看作是一个要素，并认为它是一个非常重要的要素，实验室也应该把“5.1 总则”看作一个非常重要的要素，它是实验室长期积累并总结出来的一条经验，可用以系统性地指导其他相关要素，并将它的精神写入质量手册和程序文件中去，作为指导检测或校准工作及其相关工作的一项原则。

11. 检测和校准方法及方法的确认

(1) 实验室应使用合适的方法和程序（可以列表。实验室应给出所使用的全部程序的一览表，包括标准、规范中的方法和程序）进行所有的检测和（或）校准，包括被检测和（或）校准样品（或样件）的抽样、样品处理（例如预处理等）、运输、储存和准备（样品准备、制备），适用时还需包括测量不确定度的评估（程序）和对检测和（或）校准中所得数据进行分析应采取的数理统计技术和方法。

如果缺少作业指导书可能会给检测或校准结果带来不利的影响，则实验室必须编制这些作业指导书。该作业指导书的第一类为所有相关设备的使用和操作说明书（简称为设备操作规程），第二类是所有样品的处置（处理）、准备（制备）的作业指导书（简称样品的准备规程）。

实验室工作中有关的作业指导书、标准、手册、参考资料（含数据）应保持现行有效，并容易为工作人员所取得。

对检测和校准方法的偏离，仅仅必须在该偏离已被文件化规定、经过技术判断（例如经过技术分析、论证、验证、评审、确认等）、授权批准和客户同意（最好书面同意）的情况下才允许发生。

如果国际、区域（例如亚太地区）或国家的标准或其他公认规范已包含了如何进行检测或校准的明确和足够的信息，并且这些标准是可以被实验室工作人员作为公开文件的方式使

用,则不必将该标准中的方法或程序重抄一遍转化为内部程序(通常称为检测或校准细则)。但是当方法中有可选择的步骤,则实验室还是有必要制订附加的检测或校准细则或补充检测或校准细则(简称检测或校准补充细则或附加细则),这就是第三种类型的作业指导书。

(2) 实验室所采用的检测和(或)校准的方法(包括抽样方法)必须满足客户的需求,并适合于所进行的检测或校准工作本身的特点;实验室应优先使用国际、地区、国家标准中公布的标准方法,应确保使用标准的最新版本,除非该版本不适宜或不可能使用(这种情况经常会碰到的,所以正确地说应该是确保使用标准的现行有效版本,有时候老标准也可以是现行有效版本的)。必要时,还应采用检测或校准的附加细则或补充细则,以便确保标准应用的一致性。

当客户未指定所用方法时,实验室应选择以国际、区域、国家标准发布的,或由著名的技术组织或有关科学书籍和期刊公布的,或由设备(样品、样件)制造商规定的方法;实验室自己开发制定的方法或采用的其他方法如能满足实验室的预期用途并经过验证,也可以使用;实验室所选择的方法应通知客户;在开始检测或校准之前,实验室应确认能够正确地运用标准方法。如果标准方法发生了变化,应重新进行确认。确认是通过检查并提供客观证据使实验室能够正确地执行标准方法;当实验室认为客户提出的方法不合适或已过时时,应通知客户。

(3) 实验室制定方法的过程是一个设计过程,所以必须按照以下7个方面来进行,即:

- ①设计开发的策划;
- ②设计开发的输入;
- ③设计开发的输出;
- ④设计开发的评审;
- ⑤设计开发的验证;
- ⑥设计开发的确认;
- ⑦设计开发的更改。

(4) 当必须使用非标准方法时,应征得客户同意,并应清楚地说明客户的要求及检测和(或)校准的目的;所开发的方法在使用前应经适当的确认。

对于新的检测和校准方法,在进行检测或校准之前应制定成程序,程序中至少要包含以下信息:

- ①新方法名称及程序代号(适当的标识);
- ②适用范围;
- ③被检测或校准样品的类型(种类)描述;
- ④被测定的参数或量值及其范围;
- ⑤用于检测或校准的装置和设备,包括技术性能参数要求;
- ⑥所需要的参考标准和参考物质;
- ⑦检测或校准所要求的环境条件及其稳定周期;

⑧对检测或校准程序的描述包括:样品加贴标识、处置、运输、储存和准备;工作开始前的检查;检查设备是否能正常工作、需要时,每次使用前对设备进行校准或调整;记录观察情况和结果的方法;需要遵守的安全措施;

- ⑨予以接受或拒绝的准则和(或)要求;

⑩需记录的数据以及分析和表达的方法；

⑪不确定度或评估不确定度的程序。

(5) 所谓确认是指通过考查并提供客观证据，以证实某一特定的预期用途的特殊要求得到满足（定义）。实验室应对4种方法（即非标准方法、自己新设计开发的方法、超过预期范围使用的标准方法、扩充和修改过的标准方法）进行确认，以证实这些方法适用于预期用途。

确认应尽可能广泛全面，以满足预定用途或应有领域的需要。实验室应记录确认所获得的结果、使用确认的程序以及确认对方法是否适合于预期用途的声明。确认可以延伸或扩展到包括抽样、样品处置和样品运输程序。

用来确定某方法性能的技术（简称确认技术）可能是以下5种情况之一或是其组合。

①使用参考标准或标准物质进行校准；

②与其他方法所得的结果进行比较；

③实验室之间比对；

④对影响结果的因素作系统性评审；

⑤根据对方法的理论原理和实践经验的科学理解，对所得结果不确定度进行评估。

当对已确认的非标准方法作某些改动时，需将这些改动的影响文件化。适当时需重新进行确认。

采用按预期用途进行评价并确认的方法所得到的量值的范围和准确度，应适应客户的需求。这些值包括：

①测量结果的不确定度；

②检出限；

③方法的选择性；

④线性；

⑤重复性限（ r ）；

⑥复现性限（ R ）；

⑦抵抗外来影响的稳健性；

⑧抵抗来自样品基体干扰的交互灵敏度。

确认包括：

①详细说明有关要求（指被确认的方法应满足某些具体预期用途的特定要求，其中也包括满足客户的要求）；

②确定检测或校准方法的特性；

③核查所使用的该方法能否满足有关要求；

④核查有效性声明。

在新方法的开发设计过程中，应进行定期评审以证实持续满足客户需要。新方法开发设计的计划的任何修改均应经过批准和授权。确认通常是成本、风险和技术可行性之间的一种平衡。由于缺乏信息，许多情况下的值（如准确度，检出限，选择性，线性，重复性限，复现性限，稳健性，交互灵敏度）的范围和不确定度只能以简化的方法给出。

(6) 关于测量不确定度的评定，具体规定如下：

①校准实验室或者进行自校准服务的检测实验室，在进行所有校准和各种检测时，都应

该有并应用“评定测量不确定度程序”；

②检测实验室应具有并应用“评定测量不确定度程序”。某些情况下，由于检测方法的特点（性质）会妨碍对测量不确定度进行严格计量学和统计学上的有效计算，此时，实验室至少应努力尝试找出影响不确定度的所有分量，作出合理的评估，并确保报告结果的表达方式不会引起错觉。合理的评估应建立在对方法实施知识以及测量范围熟练掌握的基础上，并利用过去经验和确认过的数据进行；

测量不确定度的评估所需的严密（精确）程度取决于某些因素，它们是：检测方法的要求；客户要求；存在着一个窄限，依据它作出满足某些规范的决定。

在某些情况下，公认的检测方法规定了测量不确定度主要来源的值的极限，并规定了计算结果的表示方式，这时，实验室只要遵守该检测方法和报告的要求（参见 5.10）即被认为符合本条款要求；

③在评定测量不确定度时，对给定条件下的所有重要不确定分量，均应采用适当的分析方法加以考虑。不确定度来源包括但不限于所用参考标准和标准物质、所用方法和设备、环境条件、被检测被校准样品的性能和状态以及操作人员。在评估测量不确定度时，通常不考虑被检被校样品预计的长期性能变化，进一步信息可参见 ISO 5725 和 GUM 文献。

（7）数据控制的具体规定如下：

①对于非计算机和非自动化设备所进行的计算和数据转换应进行系统地 and 适当地检查（校核）；

②当利用计算机或自动化设备对检测或校准数据进行采集、处理、记录、报告、存储或检索时，实验室应确保三个方面的要求，首先，由使用者开发的计算机软件应文件化至足够详细的程度，并对其适用性进行适当的确认，确认只需表明满足使用即可；其次，建立并实施数据保护的程序，这些程序应包括（但不限于）数据的输入或采集、数据存储、数据传输和数据处理完整性和保密性；最后，维护计算机和自动化设备以确保其功能正常，但如果实验室软件进行了设置或调整则需进行确认（验证）。

12. 检测和校准结果质量的保证

实验室必须有监控所进行的检测和校准（过程）有效性的质量控制程序。所得结果数据应被记录，并以可检查出其发展趋势的方式来记录，若实际可行的话，应使用统计技术评审结果。这种监控应有计划地进行并加以评审，且可以包括但不限于以下技术核查方法。

①定期使用有证标准物质和/或使用次级标准物质进行内部的质量控制；

②参加实验室之间的比对或能力验证计划；

③利用相同的或不同的方法反复试验或校准；

④保留样品的再检测或再校准；

⑤某一样品不同特性结果的相关性分析。

实验室对以上方法的选择，需与所从事的工作类型和工作量相适应。

本条实际上是表述为实验室除了定期质量体系内部审核以外，还必须采取其他有效的技术校核方法来确保检测校准工作结果的质量。

顺便指出，如果我们把实验室的“产品”看作是制造“检测或校准结果数据”，“结果数据”经过处理包装，最后成了“报告或证书”，则在整个生产制造“结果数据”的全过程中

需要监控的环节可归纳为以下 26 个方面：

- (1) 质量监督员的充分（足够）监督 [4.1.5g)]。
- (2) 合同的评审 (4.4)。
- (3) 采购消耗材料等的控制 (4.6)。
- (4) 客户监督 (4.7)。
- (5) 工作差错（不合格）的控制 (4.9)。
- (6) 纠正措施 (4.11)。
- (7) 预防措施 (4.12)。
- (8) 技术记录 (4.13.2)。
- (9) 内部审核 (4.14)。
- (10) 管理评审 (4.15)。
- (11) 对使用培训人员的监督 (5.2.1)。
- (12) 实验室确保对某些人员的充分足够监督 (5.2.3)。
- (13) 监测、控制和记录环境条件 (5.3.2)。
- (14) 在开始检测或校准之前，实验室应先确认能够正确运用标准方法 (5.4.2)。
- (15) 实验室所制定的新方法在使用之前应经适当确认 (5.4.3)。
- (16) 实验室对非标准方法的确认 (5.4.5.2)。
- (17) 对计算和数据转换进行系统的和适当的核查 (5.4.7.1)。
- (18) 计算机作为数据采集、存储、处理系统时，应进行适当的确认或验证 [5.4.7.2a)]。
- (19) 仪器设备在投入使用前和每次使用前进行核查或校准 (5.5.2)。
- (20) 必要时对设备进行期间核查 (5.5.10)。
- (21) 对检测或校准结果有显著影响的所有设备，包括辅助设备在投入使用前应进行校准 (5.6.1)。
- (22) 标准器、标准物质等有效期间核查 (5.6.3.3)。
- (23) 应注意抽样过程中需控制的因素以确保检测或校准结果的有效性 (5.7.1)。
- (24) 样品管理程序对样品的控制要求 (5.8)。
- (25) 要求有质量控制程序，监控检测和校准数据结果的有效性 (5.9)。
- (26) 结果报告的质量控制要求 (5.10)。

质量控制活动可以分内部质量控制活动和外部质量控制活动。5.9b) 描述的参加实验室之间比对计划和参加能力验证计划就是属于外部质量控制活动。如果我们实验室的测试系统、测试过程及其测试结果不能同我们国内的其他实验室相比较，其不一致性（差异）没有控制在公认的允许误差范围内，或者说我国实验室的测试系统、测试过程以及测试结果不能与国际上（例如亚洲太平洋区域）的其他国家实验室相比较，其不一致性（差异）不能控制在一定允许误差范围内，则我们的实验室就很难与国际接轨。所以参加实验室间比对计划或能力验证计划是非常重要的。它是 5.9 “检测和校准结果的质量保证”这一要素中所要求的。

实验室结合其具体工作特点策划编制监控其所有检测与校准领域质量的控制程序，该质量控制程序的内容大致描述如下：

- ①程序的名称及代号；

- ②目的；
- ③适用范围；
- ④名词术语或定义（如果有必要的话）；
- ⑤职责；
- ⑥程序内容；

程序内容包括：可以选用的监控技术方法；监控结果数据的记录方式（应便于可发现其发展趋势，如可行的话，可采用统计技术和方法对结果进行评审，例如利用美国休哈脱控制图理论对检测或校准结果数据的监控就是其中一个例子）；监控计划及其实施（具体监控计划应在年度计划或项目计划中体现，并根据职责分工切实地加以实施。实施情况应记录并写分析报告）；定期评审监控计划的实施情况及其效果，并向每年的管理汇报，以利不断改进提高。

- ⑦相关支持性文件（目录）；
- ⑧相关的质量记录（目录）。

第五节 实验室认可程序及认可标志

一、认可程序

针对实验室认可工作的特点，为使认可工作有序、高效并公正地进行，ILAC 推荐了实验室评审、认可的通用程序（即认可程序）。这个程序不仅广泛为各国国家实验室认可机构所采用，而且为大多数国际组织以及双边、多边实验室认可活动所接受。这主要是由于它具有如下属性：

（1）科学地列出了实验室评审认可的大致流程、主要阶段及相关要素，反映了认可应遵循的客观规律以保证客观地进行评审认可工作。

（2）认可程序运行流程为认可机构与实验室提供评审认可和认可批准阶段的相应信息，保证评审认可工作规范、有序、高效地开展。

（3）保证认可机构使整个评审认可活动处于受控状态，保证评审活动的公正性。

（4）保证认可机构可获得批准认可所必需的信息资料，这些资料包括。

- ①实验室在申请书中必须提供的信息资料；
- ②实验室在认可机构专门调查表中所提供的信息资料；
- ③实验现场评审中所提供的信息资料；
- ④实验对评审员初审结论的反馈资料；
- ⑤实验室能力验证资料。

依据 ILAC 推荐的通用评审认可程序，CNAL 制订了《认可程序规则》（CNAL/AR 01）。根据该程序将实验室评审认可过程分为申请、现场评审和批准认可三个阶段，其 20 项流程要素见图 17—11。

二、过程要素

如上所述,图 17-11 形象地列出了实验室认可的主要阶段及各阶段认可机构及实验室的相关活动要素。现以申请认可活动为主线分述各阶段的主要要素的意义如下:

1. 第一阶段, 申请阶段

本阶段涉及的图 17-11 中的流程要素有:

(1) 实验室认为认可对其工作有意义,即可向 CNAL 表明申请认可意向,可通过电话、信函等进行申请。

(2) CNAL 收到实验室的认可意向后,向实验室提供申请书及相关资料。

(3) 根据实验室要求, CNAL 可派员去实验室初访。

(4) 正式申请。实验室在理解 CNAL 的章程及认可要求,并确认其已符合申请认可要求(质量体系及技术能力符合认可准则要求,且质量体系已有效运行了 6 个月,并至少做过一次完整的内部审核和管理评审;申请认可项目也已具备相应工作经验——至少已出具 2 份检测报告)后,向认可机构提出正式申请,表示愿履行相关义务,提交申请书(即与认可机构的正式契约)及申请书述及的所有相关资料。

(5) 资料审查。CNAL 收到实验室提交的正式申请资料后,进行规范性、完整性审查,必要时(如某些事项表达不清楚、不详尽时)可向实验室发调查表,直至确认满足要求后正式立项,转入现场评审阶段。

2. 第二阶段, 现场评审阶段

其主要流程要素有:

(1) 现场评审立项。

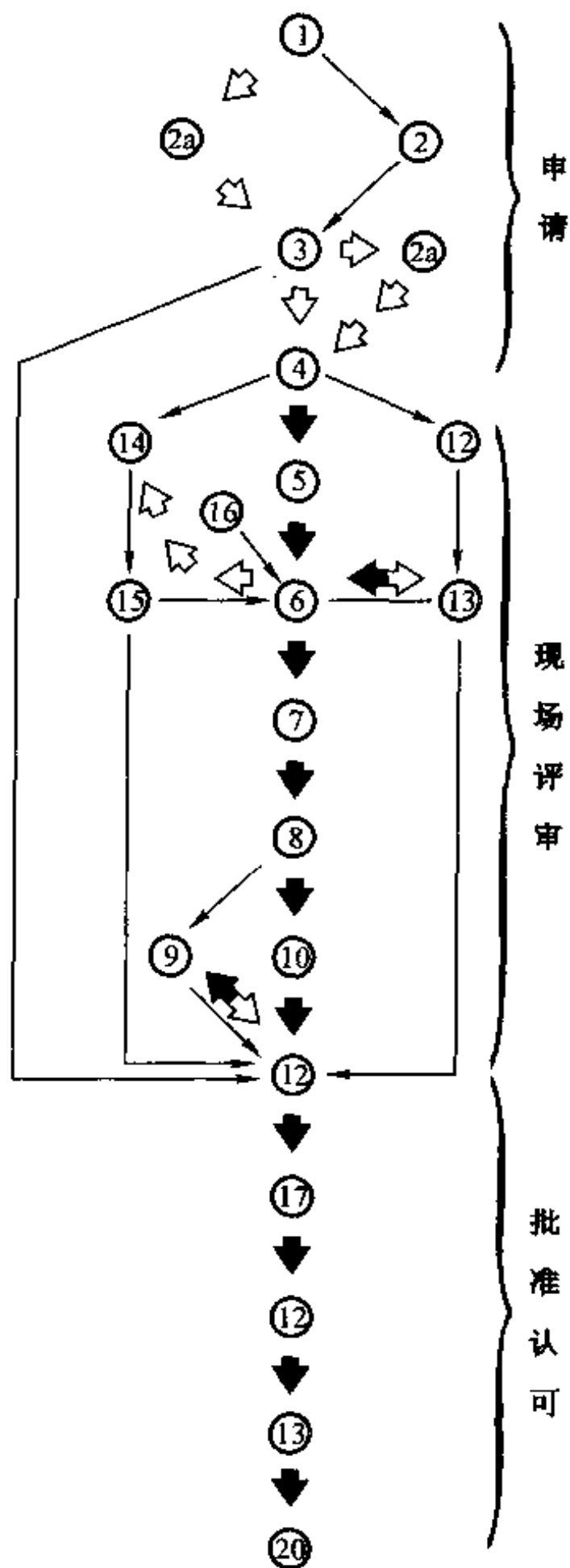


图 17-11 认可工作流程图

- ①—实验室表示申请认可的意向; ②—申请书和有关资料的获取; ③—初访; ④—正式申请; ⑤—调查表; ⑥—资料初审; ⑦—现场评审立项; ⑧—现场评审计划安排; ⑨—现场评审; ⑩—现场评审意见的通报; ⑪—现场评审后的整改报告; ⑫—现场评审报告; ⑬—专业技术工作评审; ⑭—认可附加信息资料; ⑮—实验室向 CNAL 提交认可附加信息资料; ⑯—能力验证计划(有适当的计划时); ⑰—CNAL 评价能力验证结果; ⑱—评审员评审前的准备; ⑲—CNAL 评定; ⑳—CNAL 向实验室指出尚存在的某些缺陷; ㉑—对所有缺陷整改的确认; ㉒—CNAL 批准认可

(2) 现场评审计划安排。正式立项后, CNAL 依据实验室的性质、工作量、工作范围, 首先选择一位有评审工作经历、知识相应的评审员作组长, 并将申请的相关资料转交他(她) 进行资料审查。作为将来的现场评审组长, 该阶段的资料审查应比较全面。

(3) 现场评审。CNAL 正式下达现场评审任务通知书后, 评审组长应依据拟定计划, 到现场组织实施评审活动。

(4) 现场评审意见的通报。评审组通过实地调查, 评审实验室的组织管理运作和实际技术能力, 并利用各种附加信息和能力验证结果等信息, 通过评价实验室的能力及存在的问题, 在适当的时机, 评审组长(可含相关专家) 向实验室的主要管理人员通报现场评审意见。

(5) 现场评审后的整改。在实验室确认了现场评审意见后, 评审组长应向实验室提出整改要求, 要求实验室在适当的时间内向 CNAL 提交整改报告。

(6) 现场评审报告。现场评审活动结束后, 评审组长应负责依据现场评审结果如实地、完整地向 CNAL 提交现场评审报告及相关资料, 包括现场评审后的整改报告的验证说明。至此, 就结束了现场评审阶段的各项活动。

3. 第三阶段, 批准认可阶段

主要流程要素有:

(1) 专家评定。CNAL 专家评定组按规定的工作程序, 依据评审组提交的实验现场评审的所有资料, 包括申请资料、各种附加信息、实验室整改报告、能力验证结果及评审员的各项准备计划, 对现场评审活动进行程序性和规范性审查, 并向 CNAL 提出批准/暂停/撤销认可的建议。

(2) CNAL 审查。CNAL 对评定工作组报告及相关资料进行最终的审查。

(3) CNAL 向实验室指出整改要求。

(4) CNAL 对实验欠缺整改进行确认, 满意后转入最后的流程要素。

(5) 批准认可。CNAL 正式批准认可。

三、认可标志

1. 认可标志的图案

实验室认可标志的图形如图 17-12 所示, 由 CNAL 认可机构标志和正下方的认可号组成, 认可号为 CNAL 指定给已认可机构的惟一代码。按照已认可机构的类型, 认可分别为实验室 (No. L×××××)、检查机构 (No. I×××××)、能力验证计划提供者 (No. P×××××) 和标准物质生产者 (No. M×××××)。××××× 为 0~9 的数字序号。认可标志按照附件的式样成比例地放大或缩小, 标志颜色为蓝色或黑色, 标准色: C: 100, M: 80, Y: 0, K: 0。



No. L×××××

图 17-12 实验室认可标志的图案

2. 认可标志的使用

(1) 认可机构标志

①CNAL 有惟一认可机构标志，并拥有其所有权和使用权，其他机构未经 CNAL 的许可不得使用认可机构标志；

②CNAL 认可机构标志可用于其公开出版物、证书、内部文件、办公用品、宣传品、电子文件、网站宣传等；

③认可机构标志可采用印刷和电子图文等方式使用。

(2) 认可标志

①CNAL 拥有认可标志所有权，已认可机构拥有使用权，其他任何机构不得使用；

②CNAL 认可标志可用于已认可机构签发的报告/证书、内部文件、办公用品、宣传品、电子文件和网站宣传等。也可采用印刷、电子图文和认可标志章等方式使用；

③已认可机构只能在认可有效期和认可范围内，由 CNAL 批准授权签字人签发，其他人员不得签发。

思 考 题

1. 什么是实验室认可？
2. 为什么要进行实验室认可？
3. 我国实验室认可的基本原则是什么？
4. 合格评定的定义是什么？它与实验室认可有什么关系？
5. 我国实验室认可与国际间实验室认可的关系是什么？
6. 实验室认可准则的管理要求的要素有哪些？
7. 实验室认可准则的技术要求的要素有哪些？
8. 如何正确理解认可准则中“组织”这一条款的含义？
9. 有哪些主要因素影响检测和（或）校准结果的正确性和可靠性？
10. 申请实验室认可的步骤有哪些？
11. 对于“二合一”、“三合一”评审验收有哪些规定？

第十八章 ISO 9000 族标准概述

第一节 质量管理体系标准的产生和发展

一、质量管理体系标准的产生

第二次世界大战期间,世界工业得到了迅猛的发展。一些国家的政府在采购军品时,不但提出了对产品特性的要求,还对供应厂商提出了质量保证的要求。20世纪50年代末,美国发布了 MIL-Q-9858 A《质量大纲要求》,成为世界上最早的有关质量保证方面的标准。尔后,美国国防部制订和发布了一系列对生产武器的承包商进行评定的质量保证标准。

20世纪70年代初,借鉴军用质量保证标准的成功经验,美国标准化协会(ANSI)和美国机械工程师协会(ASME)分别发布了一系列有关原子能发电和压力容器生产方面的质量保证标准。

美国军品生产方面的质量保证活动的成功经验,在世界范围内产生了很大影响。一些工业发达国家,如英国、美国、法国和加拿大等国在70年代末先后制订和发布了用于民品生产的质量管理和质量保证标准。

顾客要求产品具有满足其需求和期望的特性。这些需求在产品规范中应加以表述。如果提供产品的组织的质量管理体系不完善,那么,规范本身不能保证产品始终满足顾客的需要。因此,对这方面的关注导致了质量管理体系标准的产生,并以其作为对技术规范中有关产品要求的补充。

国际标准化组织(ISO)于1979年成立了质量管理和质量保证技术委员会(TC176),负责制定质量管理和质量保证标准。1986年,ISO发布了 ISO 8402《质量——术语》标准,1987年发布了 ISO 9000《质量管理和质量保证标准——选择和使用指南》、ISO 9001《质量体系——设计开发、生产、安装和服务的质量保证模式》、ISO 9002《质量体系——生产和安装的质量保证模式》、ISO 9003《质量体系——最终检验和试验的质量保证模式》、ISO 9004《质量管理和质量要素——指南》等6项标准,通称为 ISO 9000 系列标准。

ISO 9000 系列标准的颁布,使各国的质量管理和质量保证活动统一在 ISO 9000 族标准的基础上,经过几年实施和 ISO/TC 技术委员会的工作,1994年,ISO/TC 176 完成了对标准第一阶段的修订工作,发布了1994版的 ISO 8402, ISO 9000-1, ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003 和 ISO 9004-1 等6项国际标准,到1999年底,已陆续发布了22项标准和2项技术报告。1996年,在广泛征求世界各国标准制定者的意见、了解顾客对标准修订的要求并比较修订方案后,ISO/TC 176 相继提出了《2000版 ISO 9001 标准结构和内容的设计规范》和《ISO 9001 修订草案》,作为对1994版标准修订的依据。1997年,ISO/TC 176 在总结质量

管理实践经验的基础上,吸纳了国际上最受尊敬的一批质量管理专家的意见,整理并编撰了 8 项质量管理原则,为 2000 版 ISO 9000 族标准的修订奠定了理论基础。

2000 年 12 月 15 日,ISO/TC 176 正式发布了新版本的 ISO 9000 族标准,统称为 2000 版 ISO 9000 族标准。该标准的修订充分考虑了 1987 版和 1994 版标准以及现有的其他管理体系标准的使用经验,因此,它将使质量管理体系更加适合组织的需要,可以更适应组织开展其商业活动的需要。

2000 版标准更加强调了顾客满意及监视和测量的重要性,促进了质量管理原则在各类组织中的应用,满足了使用者对标准应更通俗易懂的要求,强调了质量管理体系要求标准和指南标准的一致性。2000 版标准反映了当今世界科学技术和经济贸易的发展状况以及“变革”和“创新”这一 21 世纪企业经营的主题。

二、ISO 9000 族标准

ISO 9000 族标准是国际标准化组织 (ISO) 在 1994 年提出的概念,是指“由 ISO/TC 176 (国际标准化组织质量管理与质量保证技术委员会) 制定的所有国际标准”。该标准族可帮助组织实施并有效运行质量管理体系,是质量管理体系通用的要求或指南。它不受具体的行业或经济部门的限制,可广泛适用于各种类型和规模的组织,在国内和国际贸易中可促进相互理解和信任。

2000 版 ISO 9000 族标准包括以下一组密切相关的质量管理体系核心标准:

(1) ISO 9000《质量管理体系 基础和术语》,表述质量管理体系基础知识,并规定质量管理体系术语。

(2) ISO 9001《质量管理体系 要求》,规定质量管理体系要求,用于证实组织具有提供满足顾客要求和适用法规要求的产品的能力,目的在于增进顾客满意度。

(3) ISO 9004《质量管理体系 业绩改进指南》,提供考虑质量管理体系的有效性和效率两方面的指南。该标准的目的是促进组织业绩改进和顾客及其他相关方面的满意。

(4) ISO 19011《质量和(或)环境管理体系审核指南》,提供审核质量和环境管理体系的指南。

三、ISO 9000 族标准在中国的应用

1987 年 3 月,ISO 9000 系列标准正式发布以后,我国在原国家标准局的部署下组成了“全国质量保证标准化特别工作组”。1988 年 12 月,我国正式发布了等效采用 ISO 9000 标准的 GB/T 10300《质量管理和质量保证》系列国家标准,并于 1989 年 8 月 1 日起在全国实施。

1992 年 5 月,我国决定等同采用 ISO 9000 系列标准,制订并发布了 GB/T 19000—1992 idt ISO 9000:1987 系列标准,1994 年又发布了 1994 版的 GB/T 19000 idt ISO 9000 族标准。

我国对应于 ISO/TC 176 技术委员会的机构是全国质量管理和质量保证标准化技术委员会(以下简称 CSBTS/TC 151),是国际标准化组织 (ISO) 的正式成员,参与了有关国际标准和国际指南的制定工作,在国际标准化组织中发挥了十分积极的作用。CSBTS/TC 151 承

担着将 ISO 9000 族标准转化为我国国家标准的任务,对 2000 版 ISO 9000 族标准在我国的顺利转换起到了十分重要的作用。

原国家质量技术监督局已将 2000 版 ISO 9000 族标准等同采用为中国的国家标准,其标准编号及与 ISO 标准的对应关系分别为:

GB/T 19000—2000《质量管理体系 基础和术语》(idt ISO 9000:2000)

GB/T 19001—2000《质量管理体系 要求》(idt ISO 9001:2000)

GB/T 19004—2000《质量管理体系 业绩改进指南》(idt ISO 9004:2000)

在使用本书时,应对照国家标准进行学习。

第二节 ISO 9000 族标准的构成和特点

一、2000 版 ISO 9000 族标准及支持性文件

1999 年 9 月召开的 ISO/TC 176 第 17 届年会提出了 2000 版 ISO 9000 族标准的文件结构(详见表 18-1)。由表看出,2000 版 ISO 9000 族标准由核心标准和其他支持性的标准和文件组成。

表 18-1 2000 版 ISO 9000 族标准的文件结构

核 心 标 准	
ISO 9000	质量管理体系 基础和术语
ISO 9001	质量管理体系 要求
ISO 9004	质量管理体系 业绩改进指南
ISO 19011	质量和(或)环境管理体系审核指南
支持性标准和文件	
ISO 10012	测量控制系统
ISO/TR 10006	质量管理——项目管理质量指南
ISO/TR 10007	质量管理——技术状态管理指南
ISO/TR 10013	质量管理体系文件指南
ISO/TR 10014	质量经济性管理指南
ISO/TR 10015	质量管理——培训指南
ISO/TR 10017	统计技术指南
	质量管理原则
	选择和使用指南
	小型企业的应用

在 2000 版 ISO 9000 族标准中, 包括 4 项核心标准, 即: ISO 9000, ISO 9001, ISO 9004, ISO 19011。1994 版 ISO 9000 族其他标准的主要内容被纳入上述 4 项核心标准之中。

二、ISO 9000 族核心标准介绍

(一) ISO 9000: 2000《质量管理体系 基础和术语》

此标准表述了 ISO 9000 族标准中质量管理体系的基础知识, 并确定了相关的术语。该标准取代了 ISO 8402: 1994 和 ISO 9000-1: 1994 的一部分。

标准首先明确了质量管理的八项原则是组织改进其业绩的框架, 能帮助组织获得持续成功, 也是 ISO 9000 族质量管理体系标准的基础。标准还表述了建立和运行质量管理体系应遵循的 12 个方面的质量管理体系基础知识。

标准给出了有关质量的术语共 80 个词条, 分成 10 个部分, 并用较通俗的语言阐明了质量管理领域所用术语的概念。在提示的附录中, 用概念图表达了每一部分概念中各术语的相互关系, 帮助使用者形象地理解相关术语之间的关系, 系统地掌握其内涵。

(二) ISO 9001: 2000《质量管理体系 要求》

标准规定了对质量管理体系的要求, 供组织需要证实其具有稳定地提供顾客要求和适用法律法规要求产品的能力时应用。组织可通过体系的有效应用, 包括持续改进体系的过程及确保符合顾客与适用法规的要求, 增强顾客满意度。

此标准取代了 1994 版 ISO 9001, ISO 9002 和 ISO 9003 三个质量保证模式标准, 成为用于审核第三方认证的惟一标准。它可用于内部和外部 (第二方或第三方) 评价组织提供满足组织自身要求和顾客、法律法规要求的产品的能力。由于组织及其产品的特点对此标准的某些条款不适用, 可以考虑对标准中的要求进行删减, 但是删减仅限于该标准的第 7 章“产品实现”中那些不影响组织提供满足顾客和适用法律法规要求的产品的能力或责任的要求, 否则不能声称符合此标准。

与 1994 版标准相比, 标准的名称发生了变化, 不再有“质量保证”一词, 这反映了标准规定的质量管理体系要求除了产品质量保证之外, 还旨在增强顾客的满意度。

标准应用了以过程为基础的质量管理体系模式的结构, 鼓励组织在建立、实施和改进质量管理体系及提高其有效性时, 采用过程方法, 通过满足顾客要求增强顾客满意度。过程方法的优点是对质量管理体系中诸多单个过程之间的联系及过程的组合和相互作用进行连续的控制, 以达到质量管理体系的持续改进。

(三) ISO 9004: 2000《质量管理体系 业绩改进指南》

此标准以八项质量管理原则为基础, 帮助组织用有效和高效的方式识别并满足顾客和其他相关方的需求和期望, 实现、保持和改进组织的整体业绩, 从而使组织获得成功。

该标准提供了超过 ISO 9001 要求的指南和建议, 不用于认证或合同的目的, 也不是 ISO 9001 的实施指南。标准强调一个组织质量管理体系的设计和实施受各种需求、具体目标、所提供的产品、所采用的过程及组织的规格和结构的影响, 无意统一质量管理体系的结构或文件。

标准也应用了以过程为基础的质量管理体系模式的结构,鼓励组织在建立、实施和改进质量管理体系及提高其有效性和效率时,采用过程方法,使通过满足相关方要求来提高对相关方的满意程度。

标准还给出了自我评价和持续改进过程的示例,用于帮助组织寻找改进的机会;通过5个等级来评价组织质量管理体系的成熟程度;通过给出的持续改进方法,提高组织的业绩并使相关方受益。

(四) ISO 19011: 2000《质量和(或)环境管理体系审核指南》

标准合并了1994版ISO 10011-1《质量体系审核指南 第一部分:审核》、ISO 10011-2《质量管理体系审核指南 第二部分:质量体系审核员的评定准则》、ISO 10011-3《质量管理体系审核指南 第三部分:审核工作管理》三个分标准,并取代了1996版的ISO 14010《环境审核指南 通用原则》、ISO 14011《环境审核指南 审核程序》和ISO 14012《环境审核指南 环境审核员资格要求》。它遵循了“不同管理体系可以有共同管理和审核要求”的原则,该标准对于质量管理体系和环境管理体系审核的基本原则、审核方案的管理、环境质量管理体系审核的实施以及对环境质量管理体系审核员的资格要求提供了指南。它适用于所有运行质量和/或环境管理体系的组织,指导其内审和外审的管理工作。

该标准在术语和内容方面兼容了质量管理体系和环境管理体系的特点。在对审核员的基本能力及审核方案的管理中,均增加了了解及确定法律和法规的要求。该标准于2001年正式发布。

三、2000版ISO 9000族标准的特点

从结构和内容上看,2000版质量管理体系标准具有以下特点:

(1) 标准可适用于所有产品类别、不同规模和各种类型的组织,并可根据实际需要删减某些质量管理体系要求。

(2) 采用了以过程为基础的质量管理体系模式,强调了过程的联系和相互作用,逻辑性更强,相关性更好。

(3) 强调了质量管理体系是组织其他管理体系的一个组成部分,便于与其他管理体系相容。

(4) 更注重质量管理体系的有效性和持续改进,减少了对形成文件的程序的强制性要求。

(5) 将质量管理体系要求和质量管理体系业绩改进指南这两个标准作为协调一致的标准使用。

第三节 ISO 9001与其他管理体系标准的比较

一、ISO 9001和ISO 9004的关系

ISO 9001和ISO 9004已制订成一对协调一致的质量管理体系标准,以促进组织将两个标准一起使用。为了方便使用者,ISO 9004标准将ISO 9001的基本内容置于每一项相应条

款的方框之中,既可互相补充,也可单独使用。

尽管 ISO 9001 和 ISO 9004 标准遵循了相同的质量管理原则和方法,有许多共同点,但它们的适用范围不同,它们之间存在着区别和联系。

ISO 9001 标准规定了质量管理体系“要求”,可供组织作为内部审核的依据,也可用于认证或合同目的,而 ISO 9004 标准是“指南”,不拟用作审核/认证/合同的依据。

在满足顾客的要求方面,ISO 9001 所关注的是质量管理体系的有效性,而 ISO 9004 标准提供了超出 ISO 9001 要求的指南,除了有效性外,该标准还特别关注持续改进一个组织的总体业绩和效率。与 ISO 9001 相比,ISO 9004 标准将顾客满意和产品质量符合要求的目标扩展为包括相关方满意和改善组织的业绩,为希望通过追求业绩持续改进的组织推荐了指南。

虽然两项标准具有不同的适用范围,但由于具有相似的结构,有助于使用者将它们作为协调一致的一对标准加以应用。当它们被一起使用并得到全面实施时,组织将获得比仅使用一个标准更大的收益。

二、ISO 9001 质量管理体系标准与 ISO 14001 环境管理体系标准的相容性

质量管理体系和环境管理体系的相容协调受到了 ISO 技术局 (ISO/TMB) 和 ISO 合格评定委员会 (ISO/CASCO) 的高度重视。ISO/TC 176 和 ISO/TC 207 两个技术委员会成立了联合工作组,具体负责两类标准的协调。ISO 9001《质量管理体系 要求》与 ISO 14001《环境管理体系 规范及使用指南》两类管理体系标准的相容性主要体现在以下方面:

(1) 对管理体系中共同的概念和词汇运用一致的术语或词汇。例如:在 ISO 9001 标准中,用“内部审核”、“记录的控制”等通用性的词汇,既适用于质量管理体系也适用于环境管理体系。

(2) 基本思想和方法一致——着眼于持续改进和预防为主的思想,控制因素不是末端治理;强调最高管理者的承诺,建立方针、目标;强调员工意识和能力以及全员参与等。

(3) 建立管理体系的原理一致——系统化、程序化的管理,必要的文件支持,系统的管理过程、体系文件、工作程序、文件控制、记录等。

(4) 与其他管理体系的协调一致——管理体系纳入组织管理活动的整体,提高整个组织的效率,节约资源,资源共享等。

(5) 管理体系运行模式的一致——两个管理体系标准都遵循“PDCA”螺旋式上升的运行模式,通过内部审核和管理评审使组织的体系在自身的运行中不断地自我完善。

三、质量管理体系要求标准和其他管理体系标准的相容性

质量管理体系是组织管理体系的一个组成部分,质量管理体系要求不包括与其他管理体系(例如环境管理、职业卫生与安全管理、财务管理或风险管理)有关的特定要求。

质量管理体系致力于组织质量目标的实现,以达到持续的顾客满意;而组织的质量目标与其他管理目标如环境、职工健康与安全、资金、利润等目标是相辅相成、互为补充的。因

此, 将一个组织的管理体系的各个部分连同质量管理体系结合或整合成一个整体, 形成一体化管理体系, 将有利于策划和合理配置资源、确定互补的目标并评价组织整体的有效性, 这对提高组织的有效性和效率以及资源的综合利用等都是十分有利的。

ISO 9001 标准使组织能够将自身的质量管理体系与相关的管理体系要求结合成一体。质量管理体系要求标准和其他管理体系标准的相容性主要体现在以下方面:

(1) 管理体系的运行模式都以过程为基础, 用“PDCA”循环的方法进行持续改进。

(2) 都是运用设定目标, 系统地识别、评价、控制、监视和测量并管理一个由相互关联的过程组成的体系, 并使之能够协调地运行这一系统的管理思想。

(3) 管理体系标准要求建立的形成文件的程序如: 文件控制、记录控制、内部审核、不合格(不符合)控制、纠正措施和预防措施等, 在管理要求和方法上都是相似的, 因此, ISO 9001 标准要求制订并保持的形成文件的程序, 其他管理体系可以共享。

(4) ISO 9001 标准中强调了法律法规的重要性, 在环境管理和职业卫生与安全管理体系统标准中同样强调了适用的法律法规要求。

第四节 八项质量管理原则

八项质量管理原则分别是: ①以顾客为关注焦点; ②领导作用; ③全员参与; ④过程方法; ⑤管理的系统方法; ⑥持续改进; ⑦基于事实的决策方法; ⑧与供方互利的关系。现分别叙述如下:

一、以顾客为关注焦点

组织依存于顾客。因此, 组织应当理解顾客当前和未来的需求, 满足顾客要求并争取超越顾客期望。

任何组织(工业、商业、服务业或行政组织等)均需提供满足顾客要求和期望的产品(包括软件、硬件、流程性材料、服务或它们的组合), 如果没有顾客, 组织将无法生存。因此, 任何一个组织均应始终关注顾客, 将理解和满足顾客的要求作为首要的工作考虑, 并以此安排所有的活动。顾客的要求是不断变化的, 为了使顾客满意, 以及创造竞争的优势, 组织还应了解顾客未来的需求, 并争取超越顾客的期望。如某建筑工程公司, 按业主招标要求, 施工建筑一座优质工程标准的钢结构写字楼, 该工程公司为超越业主的期望, 经过努力, 使该建筑获得了鲁班奖, 赢得了业主的高度赞扬, 进而导致该工程公司不断投标获中。

以顾客为关注焦点可建立起对市场的快速反应机制, 增强顾客的满意度和改进顾客忠诚度, 并为组织带来更大的效益。

应用“以顾客为关注焦点”的原则, 组织将会采取如下活动:

(一) 调查、识别并理解顾客的需求和期望

顾客的需求和期望主要表现在对产品的特性方面, 这些特性包括产品的符合性、可信性、可用性、交付能力、产品实现后的服务、价格和寿命周期内的费用等。有些要求也表现

在过程方面,如产品的工艺要求。组织应该辨别谁是组织的顾客,并判断顾客的要求是什么。用组织的语言表达顾客的要求,了解并掌握这些要求。例如某公司拟在住宅区开设餐饮服务,就应首先了解顾客群,进行餐饮服务定位,确立饭店的规模。

GB/T 9001—2000 标准对顾客与产品有关的要求如何识别,对产品的有关要求的确定、评审以及沟通安排做了明确的要求。

(二) 确保组织的目标与顾客的需求和期望相结合

最高管理者应针对顾客现在和未来的需求和期望,以实现顾客满意为目标,确保顾客的需求和期望得到确定,进而转化为要求并得到满足。

GB/T 19001—2000 标准要求最高管理者建立质量目标时应考虑包括产品要求所需的内容,而产品要求主要是顾客的要求,这些要求恰好反映了组织如何将其目标与顾客的需求相结合。

(三) 确保在整个组织内沟通顾客的需求和期望

组织的全部活动均应以满足顾客的要求为目标,因此需加强内部沟通,确保组织内全体成员能够理解顾客的需求和期望,知道如何为实现这种需求和期望而运作。

GB/T 19001—2000 标准要求质量方针和质量目标要包括顾客要求,在组织内得到沟通 and 理解,并进一步要求最高管理者应建立沟通过程,以对质量体系的有效性进行沟通。

(四) 测量顾客的满意程度并根据结果采取相应的活动或措施

顾客的满意程度是指对某一事项满足其要求的程度的意见。顾客满意度测量的目标是为了评价预期的目标是否达到,从而为进一步的改进提供依据。顾客满意程度的测量或评价可以有多种方法。测量和评价的结果将给出需要实施的活动或进一步改进的措施。

GB/T 19001—2000 标准明确要求要监视和测量顾客满意度。组织可以借助于数据分析提供所需的顾客满意度的信息,进一步通过纠正措施和预防措施,达到持续改进的目的。

(五) 系统地管理好与顾客的关系

组织与顾客的关系是以通过组织为顾客提供产品为纽带而产生的。良好的顾客关系有助于保持顾客的忠诚,改进顾客满意的程度。系统地管理好与顾客的关系涉及许多方面。

GB/T 19001—2000 标准从多个方面系统地提出了要求。如针对顾客沟通提出了与顾客如何进行联络与沟通;提出爱护顾客财产,可在顾客中建立良好的信任;提供合格产品并实施防护可使顾客满意;提出对顾客满意度的信息与数据的分析可为持续改进与顾客的关系提供重要的信息。可以说这些要求形成了一个系统的活动。

二、领导作用

领导者确立组织统一的宗旨及方向。他们应创造并保持使员工能充分参与实现组织内部环境的措施。

组织的管理活动可分为制定方针和目标、规定职责、建立体系、实现策划、控制和改进

等活动。质量方针、质量目标构成了组织宗旨的组成部分，即组织预期实现的目标。而组织与产品实现及有关的活动形成了组织的运作方向。当运作方向与组织的宗旨统一，组织才能实现其宗旨。组织的领导者的作用体现在能否将组织运作方向与组织宗旨统一，使其一致，并创造一个全体员工能充分参与实现组织目标的内部氛围和环境。

运用“领导作用”原则，组织通常采取下列有意义的措施，以确保员工主动理解和自觉实现组织目标，以统一的方式来评估、协调和实施质量活动，促进各层次之间的协调，从而将问题减至最少。

（一）考虑所有相关方的需求和期望

组织的成功取决于能否理解并满足现有及潜在顾客和最终使用者的当前和未来的需求和期望，以及能否理解和考虑其他相关方的当前和未来的需求和期望。组织的最高领导者应将其作为首要考虑的事项加以管理。顾客和其他相关方的需求在组织内得到沟通，从而为满足所有相关方的需求和期望奠定基础。

（二）为本组织的未来描绘清晰的远景，确定富有挑战性的目标

组织需要建立未来发展的蓝图，确定远景规划。质量方针给出了这一蓝图。目标具有可测性、挑战性、可实现性是其重要特点。组织的领导者应设定符合这种特点的目标，为组织实现远景规划、实现组织的方针提供基本保证。在组织建立质量管理体系的活动要求中，最高管理者应制定质量方针和质量目标，并在相关职能和层次上分解质量目标。同时应结合产品考虑，目标应在方针的框架下形成。方针和目标应通过管理评审予以评价。

（三）在组织的所有层次上建立价值共享、公平公正和道德伦理观念

在组织中，人与人之间建立的关系，很大程度上取决于组织的管理文化。管理文化是将一个组织的全体成员结合在一起的行为方式和标准，它代表了该组织的目标、信念、道德伦理和价值观，也反映了组织处理内部和外部事务的基本态度，因而管理文化直接影响管理活动的成效。组织的领导者可以通过管理文化在组织各层次上建立价值共享观、公平公正和道德伦理观念，重视人才，尊重每个人，树立职业道德观念，创造良好的人际关系，将员工活动的方向统一到组织的方针、目标和方向上。在组织的质量管理体系活动要求中，管理者作出承诺是必要的，管理文化的建立可由培训来实现。

（四）为员工提供所需的资源和培训，并赋予其职责范围内的自主权

领导者应充分调动员工的积极性，发挥员工的主观能动性。应规定组织职责、权限，赋予员工职责范围内的自主权。通过培训提高员工的技能，为其工作提供合适的资源，创造适宜的工作条件和环境。评估员工的能力和业绩，采取激励机制，鼓励创新。

三、全员参与

各级人员都是组织之本，只有他们的充分参与，才能使他们的才干为组织带来收益。

人是管理活动的主体，也是管理活动的客体。人的积极性、主观能动性、创造性的充分发

挥,人的素质的全面发展和提高,既是有效管理的基本前提,也是有效管理所应达到的效果之一。组织的质量管理是通过组织内各职能各层次人员参与产品实现过程及支持过程来实施的。过程的有效性取决于各级人员的意识、能力和主动精神。随着市场竞争的加剧,全员的主动参与更为重要。人充分参与是组织良好运作的必需要求。而全员参与的核心是调动人的积极性,当每个人的才干得到充分发挥并能实现创新和持续改进时,组织将会获得最大收益。

运用“全员参与”原则,组织将会采取下列措施:

(一) 让每个员工了解自身贡献的重要性及其在组织中的角色

每个人都应清楚其本身的职责、权限和相互关系,了解其工作的目标、内容以及达到目标的要求、方法,理解其活动的结果对下一步以及整个目标的贡献和影响,以利于协调开展各项质量活动。

在质量管理体系活动的要求中,管理者承诺和管理者代表均起着主要作用。职责和权限的规定可为这一活动提供条件。

(二) 以主人翁的责任感去解决各种问题

许多场合下,员工的思想和情绪是波动的,一旦做错了事,往往倾向于发牢骚、逃避责任,也往往试图把责任推卸给别人,因此管理者应当找出一种方法,把无论何时都有可能发生的此类借口消灭在萌芽中。更进一步,应在员工中提倡主人翁意识,让每个人在各自岗位上树立责任感,不是逃避,而是发挥个人的潜能。这种方法可以是对员工确定职能,规定其职责、权限和相互关系,进行培训和教育,也可以是在指示工作时把目标和要求讲清,还可用数据分析给出正确的工作方法,使员工以主人翁的责任感正确处理和解决问题。

(三) 使每个员工根据各自的目标评估其业绩状况

员工可以从自己的工作业绩中得到成就感,并意识到自己对整个组织的贡献,也可以从工作的不足中找到差距以求改进。因此,正确地评估员工的业绩,可以激励员工的积极性。员工的业绩评价可以用自我评价或其他方法(如内审和管理评审)。

(四) 使员工积极地寻找机会增强他们自身的能力、知识和经验

在以过程为导向的组织活动中,应授予员工更多的自主权去思考、判断及行动,因而员工必须有较强的思维判断能力。员工不仅应加强自身的技能,还应学会在不断变化的环境中判断、处理问题的能力,即还应增强其知识和经验。GB/T 19001—2000 idt ISO 9001:2000 标准对人力资源的总则要求即强调了这一点。

四、过程方法

将活动和相关的资源作为过程进行管理,可以更高效地得到期望的结果。

通过利用资源和实施管理,将输入转化为输出的一组活动,可以视为一个过程。一个过程的输出可直接形成下一个或几个过程的输入。

为使组织有效运行,必须识别和管理众多相互关联的过程。系统地识别和管理组织所应

用的过程，特别是这些过程之间的相互作用，可称之为“过程方法”。

采用过程方法的好处是由于基于每个过程考虑其具体的要求，所以资源的投入、管理的方式和要求、测量方式和改进活动都能互相有机地结合并做出恰当的考虑与安排，从而可以有效地使用资源、降低成本、缩短周期。而系统地识别和管理组织所应用的过程，特别是识别过程之间的相互作用，可以掌握组织内与产品实现有关的全部过程，清楚过程之间的内在关系及相互联结。通过控制活动能获得可预测、具有一致性的改进结果，特别是可使组织关注并掌握按优先次序改进的机会。

应用“过程方法”原则，组织将会采取下列活动：

（一）为了取得预期的结果，系统地识别所有的活动

活动决定输出结果。为了确保结果能满足预期的要求，必须有效地控制活动。因而识别活动，特别是系统性地识别所有相关的活动，也就是全面地考虑组织的产品实现的所有活动及其相互关联，可以使组织采取有效的方法对这些活动予以控制。

系统地识别所有的活动，是 GB/T 19001—2000 标准强调的核心。如产品实现策划的活动要求，产品要求评审、设计开发策划、采购、生产和服务提供等。

（二）明确管理活动职责和权限

活动对输出结果起着重要作用，这些活动应在受控状态下进行，因此，必须确定如何管理这些活动。首先要确定实施活动的职责和权限，并予以管理。在 GB/T 19001—2000 标准中，设计和开发活动对组织提供的产品起着关键作用，因此应规定设计和开发的职责与权限。

（三）分析和测量关键活动的的能力

掌握关键活动的的能力，将有助于了解相应的过程是否有能力完成所策划的结果。因此 GB/T 19001—2000 标准要求组织采用适宜的方法确认、分析和测量关键活动的的能力。

（四）识别组织职能之间与职能内部活动的接口

通常，组织会针对实现过程的不同分过程（或阶段），设置多个职能部门承担相应的工作。这些职能可能会在过程内，也可能涵盖一个或多个过程。在某种意义上讲，职能之间或职能内部活动的接口，可能就是过程间的接口。因此，识别这些活动的接口，会有助于过程顺利运行。

在质量管理体系活动中，内部沟通为管理这种识别接口的活动创造了条件。对设计和开发这一典型的活动，识别并管理参与设计的不同小组之间的接口，将使设计和开发的输出符合顾客要求。

（五）注重能改进组织活动的各种因素，诸如资源、方法、材料等

当资源、方法、标准等因素不同时，组织的活动将会有不同的运行方式，因而输出的结果也不相同，或有差异。因此，组织应当注重并管理这些会影响或改进组织活动的诸多因素。为确保有能力生产或提供合格的产品，GB/T 19001—2000 标准要求识别、确定组织运

作所需的合适资源,这些资源可能是人力资源、基础设施、工作环境等。为确保采购的材料符合要求,应对采购的全过程实施控制。在生产和服务提供的策划活动中,应注重并管理与产品相关的信息、作业指导书。

五、管理系统方法

将相互关联的过程作为系统加以识别、理解和管理,有助于组织提高实现目标的有效性和效率。

为了成功地领导和运作组织,需要采用一种系统和透明的方式进行管理。这里的“系统”的含义是指将组织中为实现目标所需的全部的相互关联或相互作用的一组要素予以综合考虑。要素的集合构成了系统。要素和系统构成部分和整体的关系。一个系统相对高于它的一级系统,它自己又是要素,因此,产生子系统的概念。相互关联和相互作用是指要素与要素之间,当然也可包括要素和系统甚至系统与所处环境的联系及影响。系统内要素不是简单的排列,要素的顺序、关联及构成方式决定了系统的结构。

质量管理体系的构成要素是过程。一组完备的、相互关联的过程的有机组合构成了一个系统。对构成系统的过程予以识别、理解并管理系统,可以帮助组织提高实现有效性及效率的能力。这是一种管理的系统方法,其优点是可使过程相互协调,最大限度地实现预期的结果。

GB/T 19001—2000 标准应用了管理系统方法思想。标准 4.1 节依据这一管理思想详细地提出了建立质量管理体系系统方法的逻辑步骤。

运用“管理的系统方法”原则,组织将采取以下措施:

(一) 建立一个体系,以最佳效果和最高效率实现组织的目标

每个组织都有自己的目标,目标依赖于管理活动来实现。管理应当有系统性,可通过构造一个体系并运作来实现。一个良好的体系是高效地实现目标的保证,质量管理体系标准为建立这样的体系提供了系统的方法和逻辑步骤,同时也指明这样的系统用文件来表述将更加清晰。

(二) 理解体系内各过程的相互依赖关系

体系是由一组关联的过程及其相互作用构成的。过程的相互作用和相互依赖关系表现在某个过程的输出是下一个过程的输入上。实际上这种相互作用和相互依赖的关系是很复杂的。GB/T 19001—2000 标准的每个过程从原则角度指明了关键的相互作用和相互依赖关系,如以实现过程为主过程而实施的管理活动、资源提供和测量分析改进的活动要求中所明确提出的相互关系。

(三) 更好地理解为实现共同的目标所必需的作用和责任,以减少职能交叉造成的障碍

质量方针和质量目标构成组织总目标的重要组成部分。最高管理者和全体员工应理解总目标对他们的意义,以及在实现目标过程中各自的作用和责任。通过明确职能,确定责权,

沟通了解,从而减少或消除由于职能交叉和职责不清导致的障碍,提高过程运行的效率。在 GB/T 19001—2000 标准中,职责中权限的确定、内部沟通以及能力意识和培训活动的要求是这一措施的具体实施要求。

(四) 理解组织的能力,在行动前确定资源局限性

最高管理者及整个组织应清楚地理解保证产品实现过程和支持过程有效运作所需的资源并应确保得到这些资源。这些资源包括人力资源、设备资源、工作环境及信息资源等。

(五) 设定目标,并确定如何运作体系中的特殊活动

系统的目标是通过构成系统的各过程协调运作来实现的。因此,根据组织的目标,设定各过程的分目标,运作这些过程,实现其分目标,从而确保实现预期总目标是管理的系统方法的重要思想。

针对设定的总目标和分目标,体系过程的特殊的活动运作可能有下列几方面:

- ①过程期望的结果及所达到的要求的准则;
- ②过程运作的方式;
- ③如何监视、测量、分析;
- ④资源的提供;
- ⑤改进的方面及改进方法;
- ⑥数据搜集、分析和使用(如 GB/T 19001—2000 标准对实现过程的策划所要求的内容)。

(六) 通过测量和评估,持续改进体系

持续改进体系可以在组织的各个过程中用“PDCA”循环方法实现。对于组织特定过程,按系统的目标设定对过程的目标,确定过程并实施过程,对照目标和产品要求或顾客要求测量和监视过程并报告结果,最后采取措施,持续改进过程业绩。对子系统和总系统,也可采用同样的“PDCA”方式来改进体系。

为达到上述目的,需要确定如下内容:

- ①怎样监视过程的业绩,包括过程能力和顾客满意度;
- ②需要何种测量监视手段;
- ③如何分析信息以及从信息分析中得到什么结果;
- ④如何改进该过程;
- ⑤需要采取何种纠正措施和预防措施;
- ⑥这些纠正措施和预防措施是否得到实施且有效。

管理的系统方法和过程方法既有区别又是紧密的联系。这两种方法研究的对象都与过程相关,都可采用“PDCA”循环方式;两者均着重地关注顾客,并通过识别组织内的关键过程以及随后对其展开的持续改进来增强顾客满意度;目的都是为了促进过程和体系的改进以提高有效性和效率。两者的区别在于:过程方法侧重于研究单个的过程,即过程的输入、输出、活动及所需的资源,该过程和其相关过程的关系;管理的系统方法侧重于研究若干个过程乃至过程网络组成的体系,以及体系运作如何有效地实现组织目标。显然,过程方法是管

理的系统方法的基础。管理的系统方法是将相关的各个有效运行过程构筑成一个有效运行的体系,从而高效地实现组织的目标。

六、持续改进

持续改进总体业绩应当是组织的一个永恒目标。

事物是在不断发展的,都会经历一个由不完善到完善,直至更新的过程。人们对过程的结果的要求也在不断地变化和提高,例如对产品(包括服务)的质量水平的要求。这种发展要求都会促使组织变革或改进。因此,组织应建立一种适应机制,使组织能适应外界环境这种变化要求,使组织增强适应能力并提高竞争力,改进组织的整体业绩,让所有的相关方都满意。这种机制就是持续改进。组织的存在就决定了这种需求和持续改进的存在,因此持续改进是一个永恒目标。

持续改进是增强满足要求能力的循环活动。持续改进的对象可以是质量管理体系、过程、产品等。持续改进可作为过程进行管理。在对该过程的管理活动中应重点关注改进的目标及改进的有效性和效率。

持续改进作为一种管理理念和组织的价值观,在质量管理体系活动中是必不可少的重要要求。

综上所述,当组织坚持持续改进,从组织发展的战略角度,所有层次实现改进,就能增强组织对改进机会的快速反应,提高组织的业绩,增强竞争能力。

应用“持续改进”的原则,组织将会采取如下措施:

(一) 在整个组织范围内使用一致的方法持续改进组织业绩

在组织的质量管理体系活动中,通常采用的一致改进的方法是:基于组织的质量方针、质量目标,通过内部审核和管理评审评价组织的质量管理体系存在的不合格,当然也可以通过数据分析方法,提供质量管理体系、过程、产品的各种有价值的信息,最终导致采取纠正措施、预防措施而达到持续改进的目的。在组织范围内理解并掌握这种一致的改进方法,可以快捷有效地实施持续改进活动,取得预期的效果。

(二) 为员工提供有关持续改进的方法和手段的培训

持续改进是个制定改进目标、寻求改进机会、最终实现改进目标的循环过程。过程活动的实现必须采用合适的方法和手段,例如质量管理体系审核,使用统计技术进行数据分析等。对于组织的员工来说,这些方法的真正掌握,应通过相应的培训才能实现。

(三) 将产品、过程和体系持续改进作为组织内每位成员的目标

持续改进的最终目的是改进组织质量管理体系的有效性,改进过程的能力,最终提高产品质量。涉及产品、过程、体系的持续改进是基本要求,在组织内也是非常广泛的,是每位员工的日常工作都能涉及到的。将这几方面的持续改进作为每位员工的目标是恰当的,也能达到真正实现持续改进的目的。所以在 GB/T 19001—2000 标准“产品实现”的要求中,每项活动均有对结果评审的要求,而评审发现的问题应采取措施,并予以实施,以消除原因,

这是一种持续改进要求，它应当是每位员工都必须做的。

（四）建立目标以指导、测量和追踪持续改进

持续改进是一种循环的活动，每一轮改进活动都应首先建立相应目标，以指导和评估改进的结果。管理评审活动恰好符合这一活动的基本情形。

七、基于事实的决策方法

有效决策是建立在数据和信息分析的基础上的。

成功的结果取决于活动实施之前的精心策划和正确的决策。决策是一个在行动之前选择最佳行动方案的过程。

决策作为过程就应有信息或数据输入。决策过程的输出即决策方案是否理想，取决于输入信息和数据及决策活动本身的水平。决策方案的水平决定了某一结果成功与否。

由此可知，当输入的信息和数据足够且可靠，也就是能准确地反映事实时，则为决策方案奠定了重要的基础。而决策过程中的活动应包括一些必不可少的逻辑活动。例如为决策的活动制定目标，确定需解决的问题，实现目标应进行的活动，决策形成方案可行性的评估等。这里包括了决策逻辑思维方法，也即依据数据和信息进行逻辑分析的方法。统计技术是一种有效的数学工具。依照这一过程形成的决策方案应是可行或最佳的，是一种有效的决策，这也被认为是基于事实的有效决策方法。

基于事实的决策方法的优点在于，决策是理智的，增强了依据事实证实过去决策的有效性的能力，也增强了评估、挑战和改变判断和决策的能力。

应用“基于事实的决策方法”，组织将会采取下述活动：

（一）确保数据和信息足够精确和可靠

这是保证决策正确条件。在 GB/T 19001—2000 标准中，对记录的控制是这一活动的具体要求。有效沟通活动可以做到提供准确可靠的数据和信息。对监视和测量装置的控制为测量和监控结果的可靠和准确提供了最重要保证的基础。

（二）让数据/信息需要者能得到数据/信息

这是有效决策能够进行的保证。GB/T 19001—2000 标准中，记录保存为这一活动提供了保证条件。设计和开发输入的信息为设计人员提供了所需的信息。

（三）使用正确的方法分析数据

统计技术可帮助我们正确并准确地分析数据以得到恰当的信息并应用于决策。

在 GB/T 19001—2000 标准中，许多活动有这种要求，例如过程的监视和测量，测量、分析和改进的总则要求，顾客满意度的测量和监控等。

（四）基于事实分析、权衡经验与直觉，做出决策并采取措施

将依据数据和信息分析所得到的结果与经验和直觉平衡，可能会进一步判断、确认结果的可

靠性,依据可靠的结果所做的决策是可行的。在此方案基础上采取措施,将获得满意的结果。

在 GB/T 19001—2000 标准中,所有的策划活动都要求基于事实分析,并权衡经验与直觉之后完成策划方案。当然,数据分析也包含了这种要求。基于事实分析,所采取的措施将是理性的,结果将会是有效的。

八、与供方互利关系

组织与供方是相互依存的,互利的关系可增强双方创造价值的能力。

随着生产的社会化不断发展,组织生产活动分工越来越细,专业化程度越来越高。通常某一产品不可能由一个组织从最初的原材料开始加工直至形成顾客使用的产品并销售给最终顾客,这往往是通过多个组织分工协作,即通过供应链来完成的。因此任何一个组织都有其供方或合作伙伴。供方或合作伙伴所提供的材料、零部件或服务对组织的最终产品有着重要影响。供方或合作伙伴提供的高质量的产品将使组织为顾客提供高质量的产品提供保证,最终确保顾客满意。组织市场的扩大,则为供方或合作伙伴增加了提供更多产品的机会。所以,组织与供方或合作伙伴是互相依存的。组织与供方的良好合作交流将最终促使组织与供方或合作伙伴均增强创造价值的能力,优化成本和资源,对市场或顾客的要求联合起来作出灵活快速的反应并最终使双方都获得效益。

应用“与供方互利关系”原则,组织将会采取的措施有:

(一) 在对短期收益和长期利益综合平衡的基础上,确立与供方的关系

任何一个组织都存在着众多的供方或合作伙伴。组织与供方或合作伙伴存在着相互的利益关系。为了双方的利益,组织应考虑与供方或合作伙伴建立伙伴关系或联盟关系。在这种情形下,组织既要考虑短期的利益也要考虑长期合作所带来的效益。

(二) 与供方或合作伙伴共享专门技术和资源

充分意识到组织与供方或合作伙伴的利益是一致性,这是实现这一活动的关键。由于竞争的加剧和顾客要求越来越高,组织之间的合作不仅仅取决于组织的能力,同时也取决于供方的过程的能力,组织应考虑让关键的供方分享自己的技术和资源。

组织吸收供方专家的知识,有助于确保高效地使用所采购的产品。

(三) 识别和选择关键供方

组织运用过程方法,识别构成产品实现的各分过程及其相互作用,应用管理的系统方法管理产品实现过程。其中识别并选择起着关键作用的供方或合作伙伴也构成实现过程的组成部分,合适的供方对顾客满意和组织的业绩可起到相当重要的作用。供方或合作伙伴的范围可能有:材料或零部件供应方、提供某种加工活动的合作伙伴、某项服务(如技术指导、培训、检验、运输等)的提供者等。组织可通过数据分析提供有关供方的信息,以供评价和选择使用。

(四) 清晰与开放的沟通

组织与供方或合作伙伴的相互沟通,对于产品最终能满足顾客的要求是必不可少的环

节。沟通将使双方减少损失，在最大程度上获得收益。通常采购信息应当予以沟通，这一沟通的方式和渠道应当有利于沟通的实施。

(五) 对供方所做出的改进所取得的成果进行评价并予以鼓励

实施这一活动将进一步促进组织与供方或合作伙伴的密切关系，增进供方或合作伙伴改进产品的积极性，增强双方创造价值的能力，从而共同取得顾客的满意。组织的数据分析活动和对供方提供产品的验证活动将为这一活动提供准确的信息。

思考题

1. 质量管理体系标准在什么背景下产生？其发展分几个阶段？
2. 2000 版 ISO 9000 族标准修订的理论基础是什么？
3. 2000 版 ISO 9000 族标准的核心标准有哪些？支持性标准和文件是哪些？
4. ISO 9001 和 ISO 9004 的关系有哪些方面？
5. 八项质量管理原则是什么？
6. 应用“以顾客为关注焦点”的原则时，组织应采取哪些活动？
7. 运用“全员参与”原则时，组织要采取哪些措施？
8. 应用“持续改进”原则时，组织将要采取哪些措施？

附录一 材料物理性能检验人员培训大纲

材料物理性能初级检验员培训大纲

一、培训目标

通过初级检验员技术理论教育和操作技能训练，使学员达到材料物理性能检验员应具备的知识和技能要求。基本达到本岗位独立上岗操作的水平，并为进一步学习中级技术知识和操作技能打好基础。

二、课程设置

根据培训目标和材料物理性能检验的项目分类情况，初级检验员应基本掌握 7 类（项）专业知识和操作技能，并要求首先学习职业道德。

具体的课程内容设置如下：

- (1) 职业道德。
- (2) 金属和高分子材料常温拉伸试验技术。
- (3) 金属和高分子材料的弯曲、压缩和金属材料的剪切试验技术。
- (4) 材料硬变试验技术。
- (5) 材料常温冲击试验技术。
- (6) 金属工艺性能试验技术。
- (7) 材料试验机知识。
- (8) 金属材料热处理基本知识。

三、学时（150）

1. 专业知识

学时为 90。

2. 操作技能

学时为 60。

材料物理性能中级检验员培训大纲

一、培训目标

通过中级检验员技术理论教育和操作技能训练,使学员达到材料物理性能中级检验员应具备的知识和技能要求。掌握本岗位检验技术,并为进一步学习高级检验员知识和操作技能打好基础。

二、课程设置

根据培训目标和材料物理性能检验的项目分类情况,中级检验员应较熟练地掌握如下11类(项)专业知识和操作技能。

- (1) 金属和高分子材料常温拉伸试验技术。
- (2) 金属和高分子材料的弯曲、压缩和金属材料的剪切试验技术。
- (3) 金属材料扭转试验技术。
- (4) 材料硬度试验技术。
- (5) 材料常温冲击试验技术。
- (6) 金属疲劳试验技术。
- (7) 金属工艺性能试验技术。
- (8) 金属高温强度试验技术。
- (9) 金属断裂韧性试验基本知识。
- (10) 材料试验机知识。
- (11) 金属热处理基础知识。

三、学时 (150)

1. 专业知识

学时为 60。

2. 操作技能

学时为 90。

材料物理性能高级检验员培训大纲

一、培训目标

通过高级检验员技术理论教育和操作技能训练,使学员达到高级材料物理性能检验员应具备的知识和技能要求。熟练掌握本岗位检验技术,能传授材料力学性能检测技能,并为进一步学习技师技术知识和操作技能打好基础。

二、课程设置

根据培训目标和材料物理性能检验项目分类情况,高级检验员应熟练掌握如下 12 类(项)专业知识和操作技能。

- (1) 金属和高分子材料常温拉伸试验技术。
- (2) 金属和高分子材料的弯曲、压缩和金属材料的剪切试验技术。
- (3) 金属材料扭转试验技术。
- (4) 材料硬度试验技术。
- (5) 材料常温、高温和低温冲击试验技术。
- (6) 金属疲劳试验技术。
- (7) 金属工艺性能试验技术。
- (8) 金属和高分子材料物理性能试验技术。
- (9) 金属高温强度试验技术。
- (10) 金属断裂韧性试验基础知识。
- (11) 材料试验机知识。
- (12) 金属热处理基础知识。

三、学时 (150)

1. 专业知识

学时为 60。

2. 操作技能

学时为 90。

材料物理性能检验技师培训大纲

一、培训目标

通过有关专业技术理论教育、操作技能训练和实验室管理知识学习,使学员达到具备与其岗位相应的知识和技能的要求。熟练掌握本岗位所有的检验技术,能传授材料物理性能检验技能和熟悉一般的实验室的管理知识,并为进一步学习高级技师技术知识和管理水平打好基础。

二、课程设置

根据培训目标,技师应全面掌握包括金属高温持久试验和金属断裂韧性试验在内的材料物理性能的专业知识和操作技能,以及实验室管理、计量认证与审查认可(验收)、实验室认可等有关基础知识和运作要求。

具体的课程内容包括:

- (1) 金属高温旋转弯曲试验技术。
- (2) 金属高温试验技术。
- (3) 金属断裂韧性试验技术。
- (4) 材料物理检验技术发展状况。
- (5) 实验室的管理。
- (6) 计量认证与审查认可(验收)知识。
- (7) 实验室认可要求。
- (8) 企业 ISO 9000 标准的基本知识。

三、学时(120)

1. 专业知识

学时为 60。

2. 操作技能

学时为 60。

材料物理性能检验高级技师培训大纲

一、培训目标

通过培训教育,使学员达到具备与其岗位相应的专业知识和操作技能的要求。不仅能熟练地掌握本岗位所有物理性能试验的技术,还能解决和处理有较高难度的检验技术问题,能引进当今材料物理性能试验的新技术和新方法;能对有关人员进行材料物理性能检验的培训;懂得材料物理性能实验室的管理,能承担与计量认证、审查认可(验收)或实验室认可相关的工作,并代表实验室参与技术交流与合作,制定、验证有关标准。

二、课程设置

根据培训目标,高级技师应具有材料物理性能试验扎实的理论基础和实际操作经验,还应具有较丰富的实验室管理的知识和运作经验。课程内容的设置除了包含本专业的理论知识外,还要根据不同时期材料物理性能的新技术、新标准、新方法、新设备补充新的内容。目前着重对实验室的管理等知识进行培训教育。

具体的课程内容设置如下:

- (1) 材料物理性能新技术等补充内容。
- (2) 实验室的管理。
- (3) 计量认证与审查认可(验收)知识。
- (4) 实验室认可要求。
- (5) 企业 ISO 9000 标准基本知识。

三、学时(120)

1. 专业知识

学时为 80。

2. 操作技能

学时为 40。

附录二 材料物理性能检验人员教学大纲

材料物理性能初级检验员教学大纲

一、课程性质

本课程是材料物理性能检验岗位初级检验员的专业课。

二、教学要求

通过教学,使学员基本掌握常温下材料物理常用性能的检验知识和技能。具体要求如下:

1. 职业道德

- (1) 职业道德基本知识。
- (2) 职业守则。

2. 金属材料和高分子材料常温拉伸试验技术

- (1) 了解材料拉伸试验过程的基本力学性能的名称及其定义。
- (2) 了解金属和高分子材料拉伸试样的各种形式,并能正确理解试样的技术要求。
- (3) 初步掌握材料拉伸试验的整个操作规程。
- (4) 基本能理解和掌握材料的常用主要强度指标和塑性指标的定义、符号,并能基本掌握其测试技术。
- (5) 理解金属和高分子材料拉伸试验常用的试验方法。
- (6) 能操作常规的液压万能材料试验机进行拉伸试验。

3. 金属材料和高分子材料的弯曲、压缩和金属材料剪切试验技术

- (1) 基本掌握金属和常用高分子材料的弯曲、压缩试验方法,并能理解其试验方法标准。
- (2) 基本掌握金属剪切试验方法,并能正确选用专用剪切试验设备。

4. 材料硬度试验技术

- (1) 能基本理解金属的布氏、洛氏和维氏硬度以及塑料邵氏硬度的试验方法标准,并懂

得使用相应的硬度计。

(2) 基本掌握布氏、洛氏、维氏、邵氏硬度的试验方法。

5. 材料常温冲击试验方法

(1) 基本理解金属和高分子材料常温冲击试验方法标准,同时基本掌握该试验的方法和技术。

(2) 了解常温冲击试验机,并掌握上机操作技术。

(3) 基本了解金属材料冲击试验断口的形式。

6. 金属材料工艺性能试验技术

(1) 理解和掌握常用的金属材料工艺性能,诸如金属杯突试验、弯曲试验、金属线材扭转试验、金属顶锻试验、反复弯曲试验和反弯试验及金属线材缠绕试验和金属管材弯曲、压扁等试验方法标准。

(2) 对这些常用的金属材料工艺性能试验,应能正确选用相应检具和进行正确操作。

7. 材料试验机知识

(1) 对常用的液压式和机械式万能材料试验机的基本结构、特点有一定的了解,并基本能正确掌握万能材料试验机的操作。

(2) 基本了解常用硬度计的结构特点,并能正确操作这些硬度计。

(3) 基本了解常温冲击试验机的结构特点,并能正确操作。

(4) 基本了解金属材料工艺试验的仪器设备,并能正确操作。

8. 金属材料热处理基础知识

(1) 了解金属材料常用热处理名词定义,诸如退火、淬火、回火、调质等。

(2) 了解这些常用热处理的目的。

材料物理性能中级检验员教学大纲

一、课程性质

本课程是材料物理性能检验岗位中级检验员的专业课。

二、教学要求

通过教学,使学员掌握常温下金属材料和高分子材料力学性能试验、金属高温强度试验和金属低温冲击试验,并能独立进行正确操作,同时掌握编写检验报告等检验知识和技能。具体要求如下:

1. 金属材料和高分子材料常温拉伸试验技术

- (1) 了解拉伸试验在工程上的实际意义。
- (2) 较深入地了解材料拉伸试验过程的基本力学性能、名称及其定义。
- (3) 熟悉并能绘制常用的金属和高分子材料拉伸试样。
- (4) 基本掌握金属和高分子材料常温拉伸过程中的各种强度指标和塑性指标的测试技术。
- (5) 对各种材料拉伸试验方法的标准有一定深度的理解。

2. 金属材料和高分子材料的弯曲、压缩和金属材料剪切试验技术

- (1) 熟悉和掌握材料弯曲和压缩试验及金属材料剪切试验方法标准。
- (2) 较熟练地掌握常用金属和高分子材料的弯曲和压缩试验方法，懂得如何测定相关的参数。
- (3) 基本掌握金属材料剪切试验方法，同时也能正确、合理选用适合的专用剪切试验设备和装置。

3. 金属扭转试验技术

了解并掌握金属棒材的扭转试验方法标准，并能正确操作。

4. 材料硬度试验技术

- (1) 基本掌握金属布氏、洛氏、维氏（包括显微维氏硬度）及肖氏硬度的试验方法以及相对应的硬度计的正确使用。
- (2) 基本掌握塑料邵氏硬度的试验方法并能熟悉方法标准。
- (3) 基本掌握各种硬度之间以及硬度与强度之间的关系及其换算的条件。

5. 材料冲击试验技术

- (1) 基本掌握材料常温冲击试验方法，并能正确操作，同时对金属和高分子材料的冲击试样的不同要求有一定了解。
- (2) 掌握金属冲击试样断口的分析技术。
- (3) 了解冲击试验的影响因素。

6. 金属疲劳试验技术

- (1) 了解金属疲劳时应力的特征——交变应力及其循环特性。
- (2) 基本了解金属疲劳试验时的 $S-N$ 曲线的绘制和疲劳极限的求法。
- (3) 了解金属常温弯曲疲劳试验的方法及其设备。

7. 金属材料工艺性能试验技术

- (1) 熟悉并掌握金属杯突、弯曲试验，金属线材扭转试验，金属材料顶锻试验，反复弯曲试验和金属反弯试验，金属线材缠绕试验及金属管材弯曲、扩口、缩口、压扁和卷边试验的试验方法。

(2) 能熟练、正确地选用与金属材料工艺性能相应的检具，并能正确地操作。

8. 材料试验机知识

(1) 较全面地了解常用的液压式和机械式万能材料试验机的基本结构、特点和原理，并能较熟练地操作。

(2) 较全面地了解常用的布氏、洛氏、维氏、肖氏硬度计和塑料邵氏硬度计的结构、特点，并能较熟练地操作。

(3) 了解常温冲击试验机的结构特点，并能正确地进行试验。

(4) 了解常温疲劳试验机的结构特点，并懂得其正确的试验操作。

(5) 了解金属棒材扭转试验机的结构特点，并懂得试验的操作。

(6) 较全面地理解金属材料工艺试验的仪器、设备，并能熟练地进行操作。

9. 金属热处理基础知识

(1) 对金属晶体结构等一般概念有所了解。

(2) 懂得铁—碳平衡相图的原理和使用方法。

(3) 基本掌握几种常规热处理的定义和目的。

材料物理性能高级检验员教学大纲

一、课程性质

本课程是材料物理性能检验岗位高级检验员的专业课。

二、教学要求

通过教学，使学员熟练掌握常温下的金属材料和高分子材料物理、力学性能试验和金属高温强度试验及高低温冲击试验。同时对其检测设备的原理有一定深度的了解，懂得安装、调试这些设备。对试验出现的异常现象能分析和排除，对初、中级检验员的试验能进行指导，具体要求如下：

1. 金属材料和高分子材料常温拉伸试验技术

(1) 能深入理解材料拉伸试验的基本力学性能。

(2) 能制定拉伸试验的有关试验机操作规程。

(3) 熟悉并能绘制和验收各种拉伸试样的试样图。

(4) 能熟练地掌握金属和高分子材料的各种强度指标和塑性指标并能进行准确测试。

(5) 能熟悉金属和高分子材料拉伸试验方法的相应标准。

(6) 能基本掌握特殊的金属拉伸方法。

- (7) 能正确分析金属拉伸试样断口。
- (8) 懂得常用引伸计的工作原理,并能正确使用。
- (9) 能结合实际正确分析影响拉伸试验结果的主要影响因素。

2. 金属材料和高分子材料的弯曲、压缩和金属材料的剪切试验技术

- (1) 熟练地掌握金属和高分子材料的弯曲和压缩以及金属材料剪切试验的方法及其方法标准。
- (2) 能较全面地掌握与材料弯曲和压缩有关的力学性能指标的测试方法和各种形式的剪切专用工夹具的使用。

3. 金属材料扭转试验技术

- (1) 基本了解和掌握金属棒材的扭转试验方法、扭转试验机的操作及扭转力学性能的测定。
- (2) 能对扭转断口的形式进行科学分析。

4. 材料硬度试验技术

- (1) 熟练掌握金属的布氏、洛氏、维氏(包括显微维氏和努氏硬度)、及肖氏硬度的试验方法及其相应硬度计的结构、原理和维护保养措施。了解影响硬度测试结果的有关因素。
- (2) 基本掌握塑料邵氏硬度的试验方法和邵氏硬度计的结构原理。
- (3) 了解非金属材料莫氏硬度的试验方法。
- (4) 基本掌握金属努氏硬度的试验方法。
- (5) 基本熟悉各种硬度之间、硬度与强度之间的关系及其换算的条件。
- (6) 基本了解金属材料高温硬度、低温硬度和其他硬度试验的方法。

5. 材料冲击试验技术

- (1) 熟练掌握金属和高分子材料冲击试验的方法,掌握冲击试样的不同要求以及冲击试验机的结构原理。
- (2) 基本掌握金属材料高、低温冲击试验的方法,较熟悉冲击试验的实际应用——检验材料内部缺陷和确定高温和低温韧脆转变温度。
- (3) 能熟练地对金属冲击试样进行断口分析。
- (4) 了解几种接近实际服役状况的冲击试验。
- (5) 对与冲击试验有关的影响因素,能加以具体分析。

6. 金属疲劳试验技术

- (1) 了解受交变应力作用的金属疲劳时的应力状况及其循环特性。
- (2) 进行金属疲劳试验时,能较熟练地绘制 $S-N$ 曲线,同时掌握疲劳极限的求法。
- (3) 了解高温疲劳试验的方法及其试验设备。
- (4) 能较熟练地进行常温弯曲疲劳试验。

7. 金属材料和高分子材料物理性能检验技术

- (1) 了解金属和高分子材料电性能参数的含义及其测试方法。
- (2) 了解对金属和高分子材料磨损试样、试验设备及操作步骤的要求。
- (3) 能正确选用磨损试验方法进行磨损量的试验和测量。

8. 金属高温试验技术

- (1) 了解高温蠕变试验方法及其试验条件和要求。
- (2) 能正确进行高温短时拉伸试验操作。

9. 金属断裂韧性试验技术

- (1) 对金属断裂过程的机理和断裂力学的一般概念有一定了解。
- (2) 对断裂力学的主要参数测试技术有一定深度的了解。

10. 材料试验机知识

- (1) 掌握拉力、万能材料试验机的安装、调试以及使用中一般故障的排除方法。
- (2) 掌握各类硬度试验机的维护保养和调整方法。
- (3) 掌握常用冲击试验机的维修和一般检定方法。
- (4) 了解各类高、低温和常温疲劳试验机的原理、结构，并能懂得正确的试验操作。
- (5) 熟悉 NJ 系列金属扭转试验机的调整和检定方法。

11. 金属热处理基础知识

- (1) 对金属的晶体结构有一定深度的了解。
- (2) 熟悉铁-碳平衡相图的原理和应用。
- (3) 深入了解钢的常规热处理方法、定义、目的和相应的组织。
- (4) 了解钢的化学热处理的内容和处理工艺。
- (5) 了解铝合金、铜合金的热处理内容。

材料物理性能检验技师教学大纲

一、课程性质

本课程是材料物理性能检验岗位技师的专业课。

二、教学要求

通过教学，使学员除了熟练掌握金属或高分子材料常规材料力学性能试验技术外，还应

掌握高温蠕变、高温持久强度、应力松弛和金属断裂韧性试验技术，同时还应懂得实验室的管理、企业的质量管理和培训有关人员。具体要求如下：

1. 金属高温试验技术

- (1) 金属蠕变和应力松弛变形的规律及其特征。
- (2) 金属拉伸松弛和弯曲松弛的试验方法。
- (3) 高温蠕变和高温持久强度试验方法。

2. 金属断裂韧性试验技术

- (1) 了解金属断裂过程的机理和断裂力学概念。
- (2) 金属材料断裂力学的主要参数。
- (3) 金属材料平面应变断裂韧度的试验方法。

3. 材料物理性能检验技术发展

- (1) 材料力学性能试验发展状况。
- (2) 材料力学性能检测仪器设备的发展方向。

4. 实验室的管理

- (1) 实验室管理的基本知识。
- (2) 程序性文件、试验记录表格的编写内容与要求。

5. 计量认证与审查认可（验收）知识

- (1) 计量认证与审查认可（验收）的有关法律规定及法律效力。
- (2) 计量认证与审查认可（验收）《评审准则》（试行）的基本构成。
- (3) 计量认证与审查认可（验收）的管理。

6. 实验室认可知识

- (1) 实验室认可的意义和作用。
- (2) 合格评定与实验室认可的关系。
- (3) 实验室认可准则的总体结构。

7. 企业质量管理知识

- (1) ISO 9000 族核心标准的基本内容。
- (2) 八项质量管理原则的内容。

材料物理性能检验高级技师教学大纲

一、课程性质

本课程是材料物理性能检验岗位高级技师的专业课。

二、教学要求

通过教学,使学员除了掌握材料物理性能的所有技术外,还应会跟踪材料物理性能技术发展的方向,同时还应懂得材料物理性能实验室的建设和管理,做好实验室计量认证、审查认可(验收)的申请及其基础工作。具体要求如下:

1. 材料物理性能检验技术发展

- (1) 材料力学性能检验技术和仪器设备发展状况。
- (2) 金属或高分子材料产品标准和检验方法标准更新的动态。

2. 实验室的管理

- (1) 实验室检测工作质量的控制。
- (2) 实验室的质量体系的建立。
- (3) 实验室质量手册有关内容的编制。

3. 计量认证与审查认可(验收)知识

- (1) 计量认证与审查认可(验收)的发展情况及今后的发展方向。
- (2) 计量认证与审查认可(验收)的评审要求、程序 and 规定。

4. 实验室认可知识

- (1) 实验室认可的发展趋势。
- (2) 实验室认可准则各条款的内容和要求。

5. 企业质量管理知识

- (1) 质量管理体系标准的产生和发展。
- (2) 正确理解八项质量管理原则。

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 材料物理性能检验

作者 =

页数 = 3 7 5

S S 号 = 1 1 6 1 6 3 1 8

出版日期 =

封面
书名
版权
前言
目录
正文