

走耗费更大的“先污染后治理”的老路。要宣传环境保护是实现可持续发展的战略的关键,是功在当代、利在千秋的大业;发展生态材料是这个大业的重要组成部分。

(6)社会效益

生态材料便是要主动地考虑材料的三个战略性判据:资源、能源、环保,这具有重大的社会效益,要从法律和经济两方面来保证这种效益的获得。例如,法令禁止或限制使用某些化学元素,违者罚款或判刑。

2.6.3 科学技术问题

分评价、性能、资源、能源、环境控制五方面简述生态材料的科技问题。

(1)评价

关于单个因素对于环境的影响,因时因地而异。政府用法令的形式规定使用的范围。例如,二战期间,美国为了节约钢中的合金元素而发展的 En 系列的合金结构钢和不含或少含钨的 M 系高速钢。为了满足表 II .1 所示的汽车尾气标准,必须开发价廉高效的催化材料,在很短的时间内既要氧化 CO 和 HC,又要还原 NO_x。

表 II .1 美国及其加州的汽车尾气标准 (g•mi ⁻¹)						
	美 1990	美 1994	加 1993	TLEV 1994	LEV 1997	ULEV 1997 ~ 2000
HC	0.41	0.25	0.25	0.125	0.075	0.040
CO	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
NO _x	1.0	0.40	0.40	0.40	0.20	0.20

mi 为英里,1 mi = 1 609.36 m。

对于材料的寿命全程的每一步的资源及能源消耗量和有害物质(气、液、固)的排放量,已积累了大量的数据,可评价单个因素对环境载荷的影响,但需持续地补充经济评价,以便于“以利润为主导思想”的企业家决策。

关于材料的环境载荷的“寿命全程评价法”(Life cycle assessment,缩写为 LCA),则需对上述三方面因素的综合评价,困难的问题是各个因素权重因子和计算方法的选择,有待反复的研究和协商解决。

(2)性能过剩

使用材料的工程师依据工况,并依据经验,采用适当的安全系数,对材料的主要性能提出要求,从而选择材料——标准的或新开发的。生产材料的工程师,为了“安全”或“广告”,所生产的材料性能,也有“过剩”的倾向。

“信息过剩”,或噪声高,需要过滤;或占据人脑的记忆单元,需要舍弃。“性能过剩”,也会带来其他不利的效应:

1) 是否需要? 以结构钢为例,一般以屈服强度(σ_s)为主要性能指标,低合



金高强度钢的 σ_s 高于碳钢,以前者代替后者,是否经济合算? 分析结果表明:

①对于固定结构,采用等强度判据,则这种代替,可节约钢材;是否有经济效益? 还受两种钢材的价格比的影响。

②对于固定结构,若采用等刚度判据,则这种代替不能节约钢材,反而增加了成本。

③对于交通运输等动态结构,如车辆、船舶等,则钢材的节约,可增加运输量,从而增加经济效益;对于航空航天器,重量的减小,更为重要。

2)是否有坏的副作用? 仍以高强度结构钢为例。在 20 世纪 70 年代以前,没有断裂韧性 K_{IC} 的要求;接收传统的“强度愈高愈安全”的设计思想,导致不少低于 σ_s 的重大脆断事故。

3)不需要的过剩性能,增加了对环境的不必要载荷,不符合对材料的生态要求。

(3)资源

对于材料工业来说,狭义的资源主要指矿物资源,也兼顾生产过程所需水源。从生态学考虑,有四方面问题:

- ①资源的综合利用;
- ②从资源的可循环性设计材料的成分和工艺;
- ③从当代的先进工艺,评价传统材料的成分,降低对环境的载荷;
- ④三废(气、水、垃圾)处理和回收资源的科技。

(4)能源

有三方面问题:

- ①能源的综合利用;
- ②开展洁净而丰富的能源材料(如太阳能、水能、风能、核能、废热能、垃圾发电等)研究;
- ③开展节能和利用太阳能的少污染的生态建筑材料研究。

(5)环境污染控制

主要有四方面问题:

- ①针对汽车尾气转化的高效经济的催化材料;
- ②输入为化学信息、输出为电或光学信息的传感器材料;
- ③输出为力学信息的各种致动(或起动)材料;
- ④各种有毒物质的感知材料。

以上(3)至(5),分别对应于材料的资源、能源及环保三个判据,减少环境载荷所需开展的主要科技工作。

3 系统分析

3.1 模型化

图 II .5 示出材料与环境之间关系的模型,说明如下。

(1)《纲要》中所提的两个根本转变和两个基本战略是 1996 至 2010 年的大社会环境:其中两个根本转变可促进材料经济判据的满足①;可持续发展战略既受自然环境的限制②,又可促进材料三个战略判据的满足③;人口数量影响人均资源及能源,从这个角度考虑,我国是地大而物不博;科教兴国战略影响了材料的五个判据的战略④、经济⑤、技术⑥的满足。

(2)材料的生产和使用环境(自然的或人为的)是材料性能涉及的变化外因

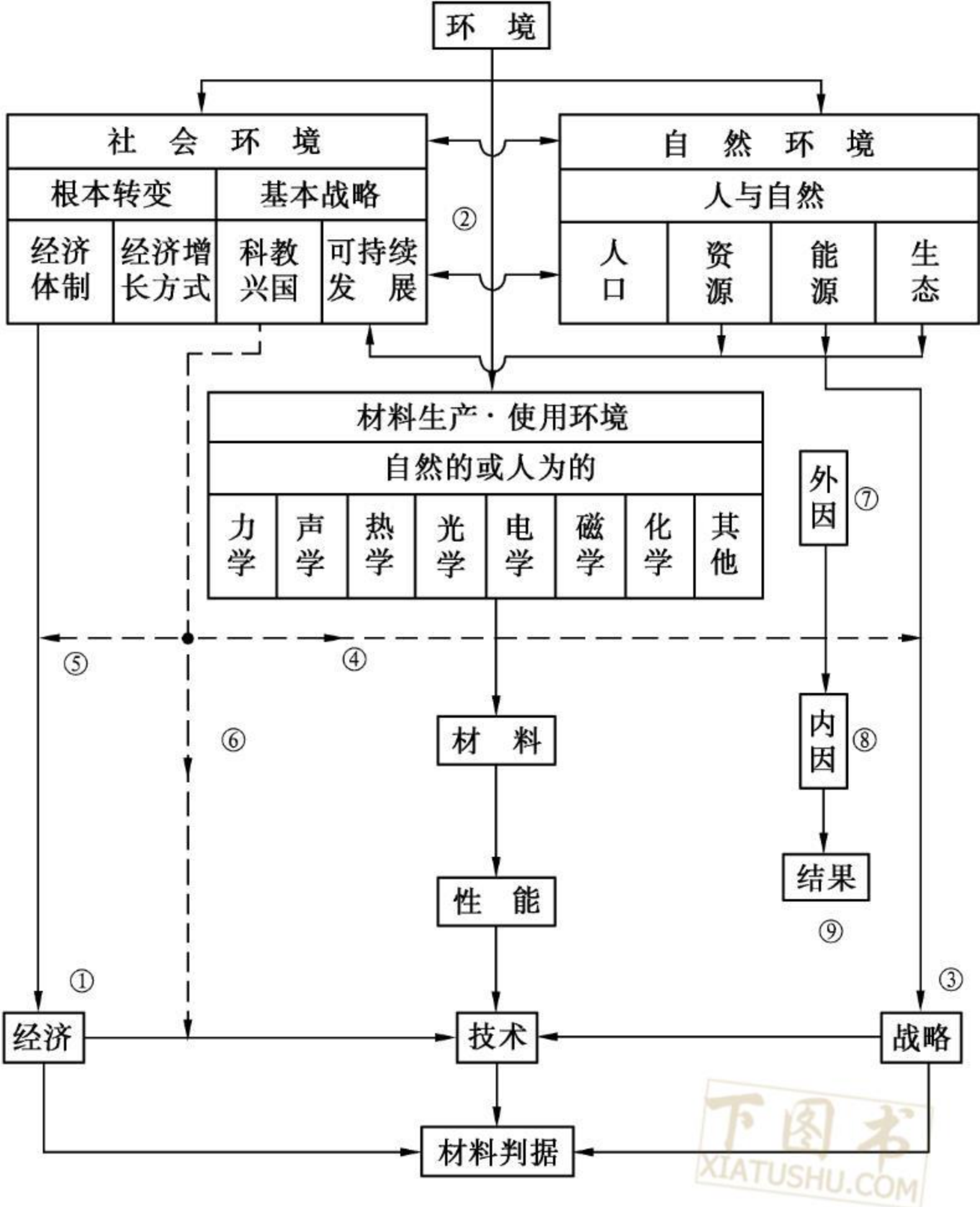


图 II .5 材料与环境

⑦, 材料的结构是变化的内因(⑧), 由外因通过内因而起作用的辩证关系, 可理解变化的结果⑨——性能 P_{ij} , 其中 i 及 j 分别是输入和输出信息。

3.2 最优化

最优化(Optimization)技术简称为优化技术(参考[A8]第九章第 4 节), 可定义如下:

“系统最优化是使系统的目标函数在约束条件下达到最大或最小。” (6.16)

一般认为, 最优化技术是运筹学的一个分支, 因为运筹学还包括排队论、决策论、博弈论、优选法、控制论等; 另一方面, 从广义来说, 运筹学也是要求最优化, 因此, 最优化又是运筹学中的基本思路 and 主要技术。

在数学上, 优化技术是在一组限制条件下寻求目标函数的极值(极大值或极小值)问题。对于钢铁工业结构的优化的目标, 应该是提高经济效益, 即在钢铁材料的其他四个判据——资源、能源、环保、质量(包括性能)——及社会环境的限制条件下, 寻求经济效益最大的钢铁冶金工序的组合(即结构)。

对于材料(包括钢铁)的五个判据简单地说明如下:

(1)从战略角度考虑, 特别是战时, 各个国家都需要制定材料政策, 对于资源、能源、环境保护三方面提出限制或要求, 这在优化时, 既可是限制条件(法律规定), 也会增加生产成本。例如, 废钢是电炉冶炼过程的主要原料, 西欧、美国和日本典型电炉厂的废钢成本分别占钢材总成本的 50%、40% 和 30%。每吨钢的废钢消耗量, 意大利最高达 650 kg; 美国次之, 为 550 kg; 英国在 400 kg 左右; 法国、原西德和日本均超过 300 kg。到 2000 年, 美国仍保持每年 1 000 万 t 的废钢出口量, 但是, 单是韩国的废钢需求将从 1989 年的 1 000 万 t 增到 2000 年的 1 700 万 t。关于我国废钢的资源尚待查明, 进口条件和价格也在变化。因此, 资源这项判据影响生产成本, 也可是限制条件。美国转炉、平炉和电炉炼钢的能耗分别为标煤 501.6、490.9 和 231.1 kg/t。我国的电能各个地区能否保证供应? 美国匹兹堡现在已是人们乐于居住的空气清洁城市, 这是由于钢铁厂担负不起改建符合环保要求的巨大费用而关闭了。

(2)质量技术判据, 必须符合国家标准要求; 为了保持竞争力, 应该符合国际标准, 满足“物美”而又“价廉”。

(3)经济判据是目标函数, 必须计算, 也要算得正确。俗话说: “经济合算”, 算后方知是否经济。经济学(Economics)曾译为“计学”; 《孙子兵法》十三篇中首篇是“计篇”。俗话说: “计算”和“算计”, 由计→算→计, 有一个如何算的方法、信息数据是否准确以及算后生计的问题。计篇第六章提到:



“多算胜,少算不胜,而况于无算乎?”

(6.17)

按不同方法计算,结果可能有很大区别,应分析差异原因。此外,为了降低成本,提高国际竞争力,有如下几点建议:

(1)采用系统分析,从生产过程中的物流和能流逐步分析成本,找出串联或并联的关键环节。

(2)从能流及物流中开展科学研究和技术革新,并寻求“三废”的利用,增加收益,从而降低成本。

(3)按国际价格计算成本,作为“第二本账”,准备迎接“复关”及“价格大放开”后的冲击和挑战。否则,算的结果误导,效果更坏。(6.17)的后面可加“假算更坏”。

4 未结束语

顾名最好能思义,可减少误会;其次,名不正,则言不顺。

“环境材料”一词来的很曲折,溯源而止于英词“Environment conscious materials”,日本学者取定语之首先一、二个字母而成 E-co-materials,可直译为“环境意识的材料”,逐一简化为“环境意识材料”及“环境材料”。

“环境”如何能形容“材料”?它们分别是变化的外因和内因,可有“材料的环境”;难于理解“环境的材料”。若保留“意识”二字,它的主体是人类,则“环境意识材料”是人类意识到环境的作用而去研究材料。实际上,长期以来,材料工作者已处理了环境的敌对破坏作用,如化学环境中的“腐蚀”、力学环境中的“断裂”等等,并无新意。现在是反过来,要求材料“从摇篮到坟墓”(From cradle to grave)的生命全过程要善意而友好地对待环境,意虽佳,但词未达意。

若要保留 Conscious,过去是“性能意识”,现在要增加“环境意识”;若无“经济意识”,则企业难于自愿实施;三类“意识”都有,则包括了材料的全部五个现代判据,便无新意了。

Ecomaterials 中 Eco 也是 Economic 的简写,从而可误解为“经济材料”。也可将错就错,Eco 又是 Ecology 的简写,因而就成为“生态材料”了,更进一步叫做“绿色材料”,也许是歪打正着。

实质上,Ecomaterials 并不是一大类材料,只是在开发材料时,要使自然环境所受的载荷为最小,是一个有益的重要新概念。

在本节,再介绍 21 世纪中,“生态”这个新概念的两个重要应用,可持续发展法则及广义生态。

4.1 可持续发展法则

(6.6)定义了“可持续发展”，这个概念来源于生态学，所遵守的法则也简易，简单而易懂：

“对于自然资源，若消耗量大于产生量，则这种现象不能持续
(Non-sustainable)发展。” (6.18)

其中，消耗有捕杀、灭绝、侵蚀、死亡、破坏等；对应的产生有再生、进化、形成、出生、再造等。也就是野兽的捕杀与再生、物种的灭绝与再生、土壤的侵蚀与形成、人类的死亡与出生、森林的破坏与再造等，包括材料在内的自然现象和社会现象。短期内违反这个法则，后果不严重；长期违反而又不觉悟，则后果不堪设想。

以金属材料的生产为例，建国初期，为了解决“有无”问题，侧重“数量”，1958 年大跃进，期望钢的年产量翻一倍，从 535 万 t 翻到 1 070 万 t，不计质量而算数量。随后质量与数量并重，钢材有了“质量”一个判据。经济体制改革以来，在市场经济体制下，必须是质量与效益并重，也就是俗话讲的“物美价廉”才有竞争力，既要价廉，又要赚钱而有经济效益，必须降低成本，是“算了干”，而不是“干了算”，因此，全国的企业学习邯钢经验：

“模拟市场核算，实行成本否决。” (6.19)

这样一来，材料就有“质量”和“经济”两个判据。

1996 年，开始实施“可持续发展”战略，材料的判据又增加三个——资源、能源、环保，其中能源也是一大类自然资源，地球上这些自然资源是有限的。因此，保护环境是实施可持续发展战略的关键，我们不能走许多发达国家严重浪费资源和“先污染后治理”的老路，而是要坚持环境与发展的综合决策。

符合可持续发展法则的三个判据，可并为“环境”这一个战略性判据(图 II.3)。

4.2 广义生态

在 2.4 节，初论了“生态”；在 2.6 节，从环境、人文社科、科学技术三方面，讨论了生态材料的外延和研究领域。本节将简要从如下四个方面分析广义的生态。

(1)从发展中认识人类与自然环境之间的关系

西方的工业社会时代，人们信奉“人定胜天”的哲学，即人是自然的主人和所有者，通过自己的努力，可以征服自然，统治自然。我们在大跃进年代，“大炼钢铁”、“填湖造田”、“大打麻雀”等，都是基于相同的信念。现在，在实践中吃了

亏,才认识到,人类只是自然链条上的一个环节,这根链上无论哪个环节上断裂,整个系统将会濒临崩溃。因此,人类必须学会与大自然协调共生,天人合一,认识自然、尊重自然、利用自然、改造自然,和谐共处,这便是正确的人类与自然的关系,赖以可持续发展的关系,也就是可持续发展的“生态”。

人类有后代,后代人与当代人也应该有同等的生存权和发展权。若当代人浪费自然中的资源和能源,污染自然环境,则会严重地影响后代人的生存和发展,这是不公平的。

发达国家先进入工业社会,对于环境,是“先污染后治理”,他们犯了错误,现在是“亡羊补牢”。我们是发展中国家,还要亦步亦趋地走发达国家的老路,这是愚笨而错误的。1997年1月16日中国科学院与美国全国科学院所发表的、关于可持续发展的联合声明指出:“美国必须改变其生活方式、工业生产过程、资源消耗的种类和总量,以及所生产商品的特征和数量。”

(2)生态学的原理

归纳起来,有下列四条:

- ①高效原理。能量的高效利用和资源的循环再生。
- ②低污染原理。人类社会的生活和生产活动对自然环境带来尽可能低的污染。
- ③和谐原理。系统中各组元之间和睦共生,协同进化。
- ④自我调节原理。系统的演化依赖于系统内部组织结构的自调节,符合非平衡态热力学的耗散结构原理([A8]p532)。

在下面,举例说明上述原理在自然环境及社会环境中的应用。

(3)材料学和工业生态学

“工业生态学是一种通过减少原料消耗和改善生产程序以保护环境的新学科。” (6.20)

这门学科显然是符合生态学的第①及第②原理的。这门新学科创始人之一、美国电话电报公司副总裁布拉德·艾伦比进一步说明这门学科的内涵:

“工业生态学包括各种研究,涉及能源生产及使用、新材料、基础科学、经济科学、法律、管理、人类学和人文学科。” (6.21)

“工业生态学应被看做是对所有工业和经济实体以及它们与自然系统的基本联系(物理、化学和生态联系)进行多学科客观研究。” (6.22)

这门生态学科在西方受到广泛重视。

(4)新经济环境中出现的商业生态系统

穆尔首先总结工业后的经济环境的特点:



- ①资本市场全球化,能提供现成的支持;
- ②技术和管理知识广泛传播;
- ③政府对实业界的管制已减少或取消;
- ④有才干的人愿从事有风险的新事业。

因而对现有的企业的结构和功能提出疑问,要求更新:

- ①等级分明的军队的管理结构(M 式),难于使众多成员积极参与;
- ②对众多的成员实行领导,而不是管制;
- ③尊重和发挥周围人的才智,共同致力于创新;
- ④新结构的功能是开创未来,而不是捍卫过去的企业。

针对 M 式结构的缺点,形成商业(或企业)生态系统(E 式),这是与其他公司携手、培育以发展为导向的协作性经济群体。它的结构((1.23)中 S)是组元(E)的集合和关系(R)的集体的总合:

①组元。客户、供应商、主要生产家以及其他有关单位的人员,包括投资者、行业协会、技术标准机构、工会、政府或半官方机构。

②关系。互相配合、补充、帮助,完成生产和商品的销售和售后服务。

成功的商业生态系统有英特尔、微软、通用电器等公司。例如,英特尔公司的核心业务是微处理器的芯片,每年耗费巨资,鼓励客户使用新的电脑;开发因特网;形成巨大的生态系统。微软公司致力于培育有关的生态系统,如投资于 Teledesic 公司,与康卡斯特公司联手。

看来,人类社会,中,既要有竞争,也要协调,这就要求发展各种社会生态系统,如商业、教育、科研等。这种 E 式结构可从环境中吸取资源,为了获得更多的有益合作者:

- ①任何有实力的重要角色,都应进入;
- ②不完全控制别人,让较多的组元做出贡献,并在这些部门中投资。

总之,“生态”是人、事、物与其自然和社会环境之间的关系;应综合地分析它们组成的巨系统。有别于传统科学所用的“还原论”方法(包括培根的实验方法和归纳逻辑以及笛卡儿的数学方法和演绎逻辑),生态学是“整体论科学”,有着广泛的应用领域。

第 7 章 材料经济

([A8]p400 ~ 421,[B41],[C21])

“追求自我利益的人常常被‘一支看不见的手’牵着走……最终促进了全社会的利益。”[C20]p442) (7.1)

“社会主义市场经济。” (7.2)

1 引言

材料不仅是一类产品,而且是在商场上能够销售而获利的商品,因此,材料的定义(1.7)和判据(1.15)都含有“经济”因素;正如图 I .6 所指出那样,“经济”和“能量”分别是“宏观材料学”和“微观材料学”的主要线索或控制因素。

英词 Economy 的主要意义有:

- (1)仔细或节俭地使用或管理资源,例如收入、材料或劳动。
- (2)管理国家、社会或企业的资源。

此英词依次源于:

- (1)古法语 economie—家务管理;
- (2)拉丁语 oeconomia, 希腊语 oikonomia, oikonomos—家务管理人,其中 oiko—家,nomos—管理。

其衍生词 Economics 的英文定义为:

“Economics—The science that deals with the production, distribution, and consumption of commodities.” (7.3)

“Economics 是研究商品的生产、分配和消费的科学。” (7.4)

这门学科传到东方,我国严复译为“计学”,强调方法;日本学者借用汉文“经国济民”之意,强调目的,译为“经济学”。现中日双方均用“经济学”。我国《辞海》采用如下定义:

“经济学。研究各种经济关系和经济活动规律的科学。” (7.5)

“经济。经世济民,治理国家。” (7.6)

看来,还是“原装”的[(7.3),(7.4)]较为直截了当。

英国著名的经济学家亚当·斯密(1723 ~ 1790)所著的《国民财富的性质和

原因的研究》(1776),严复意译为《原富》,现简称为《国富论》,他在书中对个人出于私利的行为如何产生公共利益的过程,进行了精辟的论述。在书中,他反复强调自由竞争的制度([C20]p442):

“由于竞争,人们要改善自身状况的天生愿望就会变成有益于社会的力量。互相竞争的结果迫使商品的价格降到与生产成本一致的‘自然’水平。” (7.7)

“经济上不加限制,任其自由竞争,就会增加财富。这是人性使然。” (7.8)

“自私自利”不好听,叫它为“追求个人的利益”,这便是“一支看不见的手”,有力而有效地操纵市场经济的运行;市场经济是资本主义社会几百年来行之有效的增进效益的制度,但易于造成贫富差距太大、导致社会不公的问题。因此,我国采用:

“社会主义市场经济。” (7.9)

适当地兼顾公正与效率。

本章第 2 节,将从我国的经历,并借用材料学方法论的思路,简论经济体制;第 3 节简介经济学的基本规律;第 4 节讨论材料经济学的一些问题,如学科分支、材料循环、生产成本等。

2 经济体制

材料工作者是在三个战略判据(资源、能源、环保)的限制及在保证质量的前提下,降低生产成本及其他费用,求整个社会经济效益的最优化;或者在经济上可售的条件下,求质量的最优化。“物美价廉”与“优质优价”一般分别是消费者与生产者的倾向性愿望,但应使双方都有经济效益,从而使整个社会有收益。

更为重要的是,如何从经济体制上调动生产者为消费者服务的积极性。

2.1 基本类型

从发展历程来看,经济体制大体上可分为计划经济和市场经济两个类型。

计划经济强调产量和速度,应该是在保证质量好和经济省的前提下,追求多、快。计划经济是在统一计划下,由国家统一定货来安排生产,产品符合统一标准后,便由国家按统一的价格收购库存,然后由国家统一分配消费。在这种“五统一”体制下,生产者较为省心,但会出现标准是否先进,价格合法是否合理,分配是否恰当,信息反馈是否灵敏等问题。

在另一方面,市场经济强调质量和效益,在好、省的保证下,追求多、快,以最大利润为主要判据。在利润的推动下,在“自由”竞争中,必须将销售放在第一位。为了能大量销售产品,首先,要不断地了解各种用户在质量、数量、价格、进度等方面的要求。其次,在原料、产品、工艺、设备、能源、人源等方面必须调查研究,采取有效措施。第三,在资本主义社会,还要采用博弈论技术,预测竞争者动向;只有采用这一系列措施,才能使产品在生死存亡的斗争中有竞争能力,能有足够的销售量,从而可维持生存,并进一步发展。

竞争与协调,从来是人类社会需要解决的重大问题。赫胥黎在《进化论与伦理学》中指出:

“一个否定生存斗争这种天性的社会,必然要从外部遭到毁灭(Destroyed without);一个被这种天性统治的社会,必然要从内部遭到毁灭(Destroyed within)。”([C5]) (7.10)

看来,像美国这种高度发达的资本主义国家,如听任早期的自由竞争发展下去,如不采取措施使之“进化”(Evolution),必然会从内部发生革命(Revolution),使之毁灭。因此,美国政府通过税收,掌握巨大财力,然后,通过订货、贷款、社会福利、科研经费控制、国家基建计划、立法等措施,对自由竞争进行干预、调节或引导。

2.2 我国经济体制改革历程

1949至1979年的30年来,新中国采用了计划经济体制,在高速度发展材料工业方面,取得了巨大成绩,这是应该充分肯定的。但是,不可避免地也存在计划经济的一些缺点,例如,“大锅饭”、“铁饭碗”、信息反馈不灵敏等。哈耶克曾从信息机制和认识论证明计划经济的空想性,因而获得1974年的诺贝尔经济学奖。参考微观材料学的思路,现从功能、环境、结构、过程四方面,论述社会主义市场经济。

在运用这种思路之前,先需说明“广义的性能”。图I.5的互通融图已经表明材料的性能、人才的才能、系统的功能等同于变化的结果;(4.3)性能定义中的“行为”也蕴含行为的结果。因此,与材料性能名异而实同的概念有如图II.6所示的14种,可用材料性能的分析方法[(4.4)~(4.7)]去分析这14种概念。

注:与材料性能(Property,1)名异而实同或密切相关的概念有如图II.6所示的:

- 系统:输出(Output,2); 响应(Response,3);
- 作用(Effect,4); 目的(Aim,5);

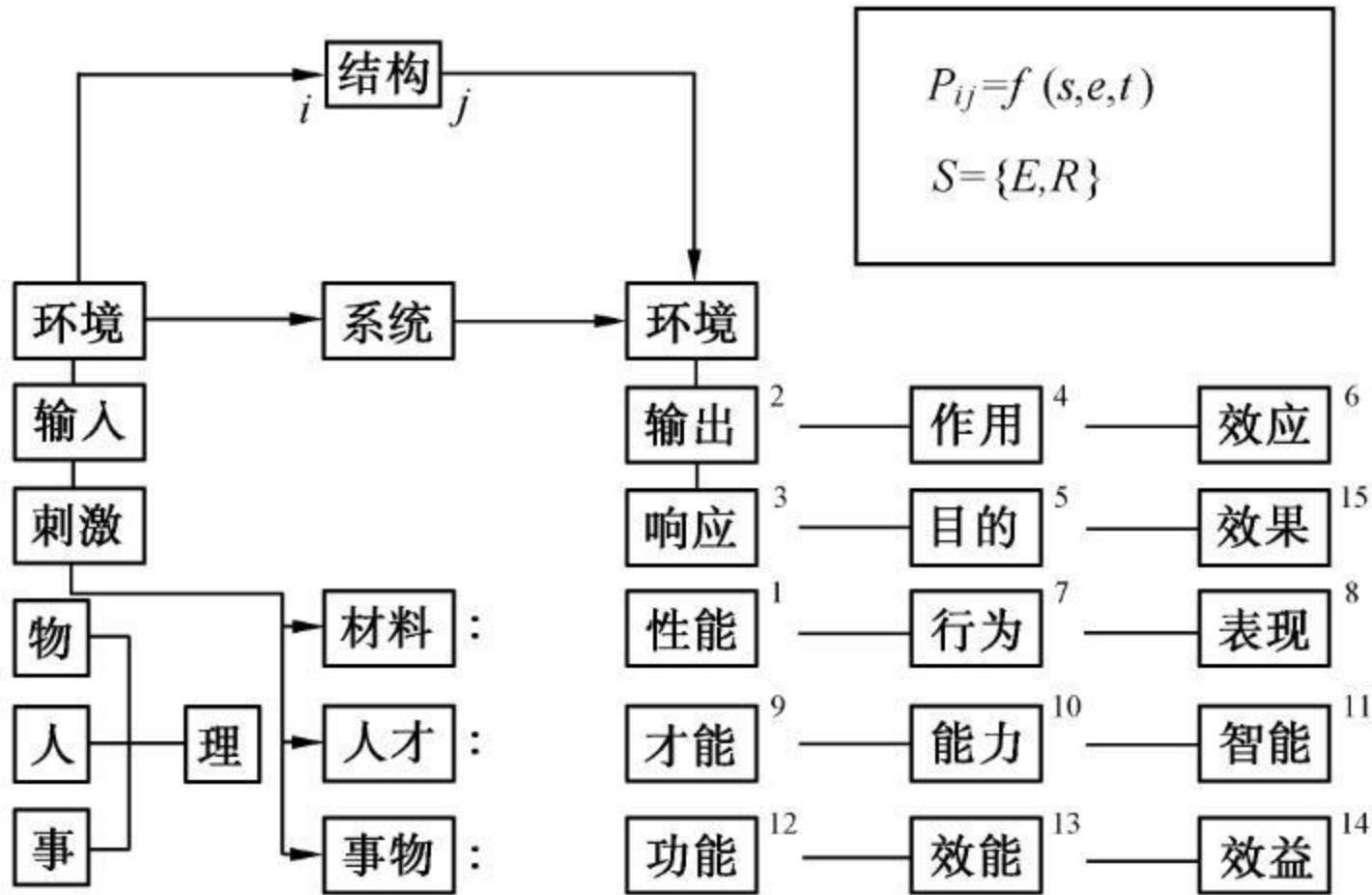


图 II .6 性能通论

效应(Effect, 6); 效果(Effect, 15)。

材料: 行为(Behavior, 7); 表现(Performance, 8)。

人才: 才能(Talent, 9); 能力(Ability, 10);

智能(Intelligence, 11)。

事物: 功能(Function, 12); 效能(Efficiency, 13);

效益(Benefit, 14)。

它们都是系统输入(记为 i)与输出(记为 j)之间关系的特性, 记为 P_{ij} 。

2.2.1 功能

表 II .2 列出我国从“计划经济”到“社会主义市场经济”的逐渐转变历程。
 “把社会主义和市场经济结合起来, 是一个伟大的创举”。

(1)“市场经济”是几百年来资本主义社会行之有效的经营方式, 讲究经济效率; 这种方式资本主义社会可以用, 我们社会主义社会当然也可以用。

表 II .2 我国经济体制的转变历程

年 月	体 制
1949	计划经济
1978.12	十一届三中全会, 工作重点转移到以经济建设为中心
1982.9	十二大, 计划经济为主, 市场调节为辅
1987.10	十三大, 社会主义有计划商品经济
1992.10	十四大, 社会主义市场经济
1997.9	十五大, 坚持社会主义市场经济的改革方向

(2)“社会主义”的根本任务是什么？

“社会主义的根本任务是发展社会生产力。在社会主义初级阶段,尤其要把集中力量发展生产力摆在首要地位。” (7.11)

这个根本任务便是社会主义市场经济体制的目的或功能。用什么来判断我们是否在建立和完善这种体制？这种根本判据是什么？

“一切以是否有利于增强发展社会主义社会的生产力、有利于增强社会主义国家的综合国力、有利于提高人民的生活水平这‘三个有利于’为根本判断标准。” (7.12)

这“三个有利于”的根本判断标准可以理解为社会主义前提下的国强民富。

为了达到(7.11)所规定的功能,满足(7.12)所提出的三个判据,各个时期因形势而提出不同的工作方针：

- ①1989 年初——“治理经济环境,整顿经济秩序,全面深化改革”；
- ②1992 年初——“调整结构,提高效益”；
- ③1993 年初——“优化结构,提高产量,增进效益”；
- ④1994 年初提出,1995 年未变,以后一段长时期将坚持的二十字方针：

“抓住机遇,深化改革,扩大开放,促进发展,保持稳定。” (7.13)

上述方针合并示于图 I .19 中：“环境”是经济环境；“秩序”是动态结构；“效益”类似于材料的性能,效益的提高有助于保持结构的稳定。

十五大报告继续强调“二十字方针”的重要性：

- ①“能否抓住机遇,历来是关系革命和建设兴衰成败的大问题。” (7.14)
- ②“努力提高对外开放水平。” (7.15)
- ③“发展是硬道理,中国解决问题的关键在于依靠自己的发展。” (7.16)
- ④“要把改革作为推进建设有中国特色社会主义事业各项工作的动力。” (7.17)
- ⑤“在社会主义初级阶段,正确处理改革、发展同稳定的关系,保持稳定的政治环境和社会秩序,具有极端重要的意义。” (7.18)

2.2.2 环境

完成经济体制改革的根本任务的内因和外因分别是结构和环境,这个环境包括国际形势和基本国情。这种分析与材料问题的分析相似：

工作环境→材料结构→材料性能 (7.19)



运行环境
国际形势
基本国情

→ 经济结构 → 根本任务

(7.20)

(1) 国际形势

在新世纪到来的时刻,我们既面对着严峻的挑战,更面临前所未有的有利条件和大好机遇:

- ①和平与发展已成为当代的主调,我们力争世界格局走向多极化;
- ②世界范围内科技革命突飞猛进;
- ③国际竞争日趋激烈,经济与科技上同发达国家的差距给我们的压力很大。

面对这种国际形势,我们应该抓住机遇——和平与多极化;扩大开放,充分利用外资和国际科技;深化改革,促进发展,缩小同发达国家之间的差距,并有助于保持稳定。

(2) 基本国情

十一届三中全会做出我国还处在社会主义初级阶段的科学论断;十五大进一步认为这样的历史进程,至少需要一百年时间。这个历史阶段有如下九个特征:

- ①逐步摆脱不发达状态,基本实现社会主义现代化;
- ②农业人口占很大比重,逐步转变为工业化国家;
- ③自然经济和半自然经济占很大比重,逐步转变为经济市场化很高的社会;
- ④文盲和半文盲占很大比重,逐步转变为科技、教育、文化比较发达的社会;
- ⑤贫困人口占很大比重,逐步转变为全体人民比较富裕;
- ⑥地区经济文化很不平衡,逐步缩小差距;
- ⑦通过改革和探索,建立和完善比较成熟的、充满活力的社会主义市场经济体制、社会主义民主政治体制;
- ⑧广大人民坚定地树立建设有中国特色的社会主义共同理想,自强不息,锐意进取,艰苦奋斗,勤俭建国,在建设物质文明的同时,努力建设精神文明;
- ⑨逐步缩小同世界先进水平的差距,在社会主义基础上,实现中华民族伟大复兴。

这是中国的最大实际,是否认识到这个实际,是十一届三中全会前与后,在建设社会主义社会中出现失误和取得成功的根本原因之一。也就是所提出的任务和政策是否超越了社会主义初级阶段,也就是是否承认中国的最大实际,



是否重视环境的作用。这便是“实事求是”的基本要求。

2.2.3 结构

依据系统结构的普遍定义,各类经济结构便是它们的组元(E)同组元之间定性和定量关系(R)的总和。

(1) 产业结构

战略性调整的总原则是:

- ①以市场为导向,使生产适应国内外需求的变化;
- ②依靠科技进步,促进产业结构优化;
- ③发挥各地优势,推动区域经济协调发展;
- ④转变经济增长方式,改变高投入、低产出,高消耗、低效益的状况。

各类产业的位置和政策:

- ①坚持把农业放在经济工作的首位;
- ②改造和提高传统产业;
- ③发展新兴产业和高技术产业;
- ④鼓励和引导第三产业加快发展;
- ⑤促进地区经济合理布局和协调发展;
- ⑥实施科教兴国和可持续发展战略;
- ⑦充分发挥市场机制的作用,健全宏观调控体系,促进重大经济结构优化。

(2) 所有制结构

这种结构包括两大类组元,它们之间关系如下:

- ①公有制为主体。公有资产有量的优势,并注意质的提高。

(a)国有经济——在关系到国民经济命脉的重要行业和关键领域,必须占支配地位。

(b)集体所有制经济——是公有制经济的重要组成部分。

②非公有制经济是重要组成部分。对个体、私营等非公有制经济要继续鼓励、引导,使之健康发展。

对于我国国民经济的支柱——国有企业,必须改革,这对建立社会主义市场经济体制和巩固社会主义制度,具有极为重要的意义。改革方向是建立现代企业制度;要求是“产权清晰,权责明确,政企分开,管理科学”。具体做法有:

- ①把国有企业改革同改组、改造、加强管理结合起来;
- ②抓好大的,放活小的,对国有企业实施战略性改组;
- ③以资本为纽带,通过市场形成竞争力较强的大企业集团;

④采取改组、联合、兼并、租赁、承包经营和股份合作制、出售等形式,加快搞活国有小型企业的步伐;



⑤实行鼓励兼并、规范破产、下岗分流、减员增效和再就业工程,形成企业优胜劣汰的竞争机制。

总之,国有企业必须适应国内外市场环境的要求,调整结构,满足“三个有利于”的根本判断标准。

(3)分配结构

为了保证社会主义,十四大提出两个主体:在所有制结构上,以公有制为主体;在分配制结构上,以按劳分配为主体。在分配结构上,十五大有所发展,特别是为了落实“科技是第一生产力”的理论,“允许和鼓励资本、技术等生产要素参与收益分配”。分配结构(S)的 E 及 R 归纳如下:

- ①坚持按劳分配为主体、多种分配方式并存的制度;
- ②把按劳分配和按生产要素分配结合起来,坚持效率优先、兼顾公平;
- ③允许和鼓励资本、技术等生产要素参与收益分配;
- ④允许和鼓励一部分人通过诚实劳动和合法经营先富起来;
- ⑤取缔非法收入,完善个人所得税制,开征遗产税等新税种;
- ⑥逐步提高各级政府的财政收入。

(4)其他经济结构

除上述的产业、所有制、分配结构之外,还有其他经济结构,例如消费、贸易等结构。

①消费结构。为了实施可持续发展战略,在国家资源消费上,“资源开发和节约并举,把节约放在首位,提高资源利用率”。在不断改善人民生活时,“拓宽消费领域,引导合理消费”。

②贸易结构。“以提高效益为中心,努力扩大商品和服务的对外贸易,优化进出口结构”,“积极合理有效地利用外资,有步骤地推进服务业的开放”。包括商业在内的第三产业,是十分重要的产业,它容纳大量的就业人口;20世纪80年代美国一产(农、林、牧、渔业等)、二产(工业)及三产(商业、服务业等)分别约占就业人口的3%、17%及80%。因此,应该十分重视第三产业的结构优化。

从上述学习体会可以看出,十一届三中全会以来,在经济领域内,邓小平理论回答了“什么是社会主义、怎样建设社会主义”这个根本问题,提出“三个有利于”为根本判断标准,“科学技术为第一生产力”的新论断,指导我国的经济体制改革,取得了举世瞩目的成绩。在政治体制改革和民主法制建设、有中国特色社会主义文化建设、推进祖国和平统一、对外政策和中国共产党的建设五个方面,在邓小平理论指导下,都取得了巨大的成绩。因此,邓小平同志不愧为20世纪站在时代前列的三个伟大人物之一;我们应该遵循江泽民同志十五大报告题目的指引:

“高举邓小平理论伟大旗帜，把建设有中国特色社会主义事业全面推向二十一世纪。” (7.21)

3 经济学的基本规律

俗话说：“经济合算”；算后方知是否经济。经济学(Economics)曾译为“计学”，《孙子兵法》十三篇中首篇是“计篇”，俗话说“计算”或“算计”，计篇第六章提到：

“多算胜，少算不胜，而况于无算乎？” (6.17)

军事如此，材料也是一样，要“算经济账”。

在第 2 章 1.4.2 节提到，材料学可划分为宏观及微观两支，图 II .7 进一步示出它们与社会科学及自然科学之间的关系。宏观材料学研究材料的社会现象，是微观材料学与社会科学之间的交叉科学，主要是以经济为线索，贯穿材料宏观现象的研究。

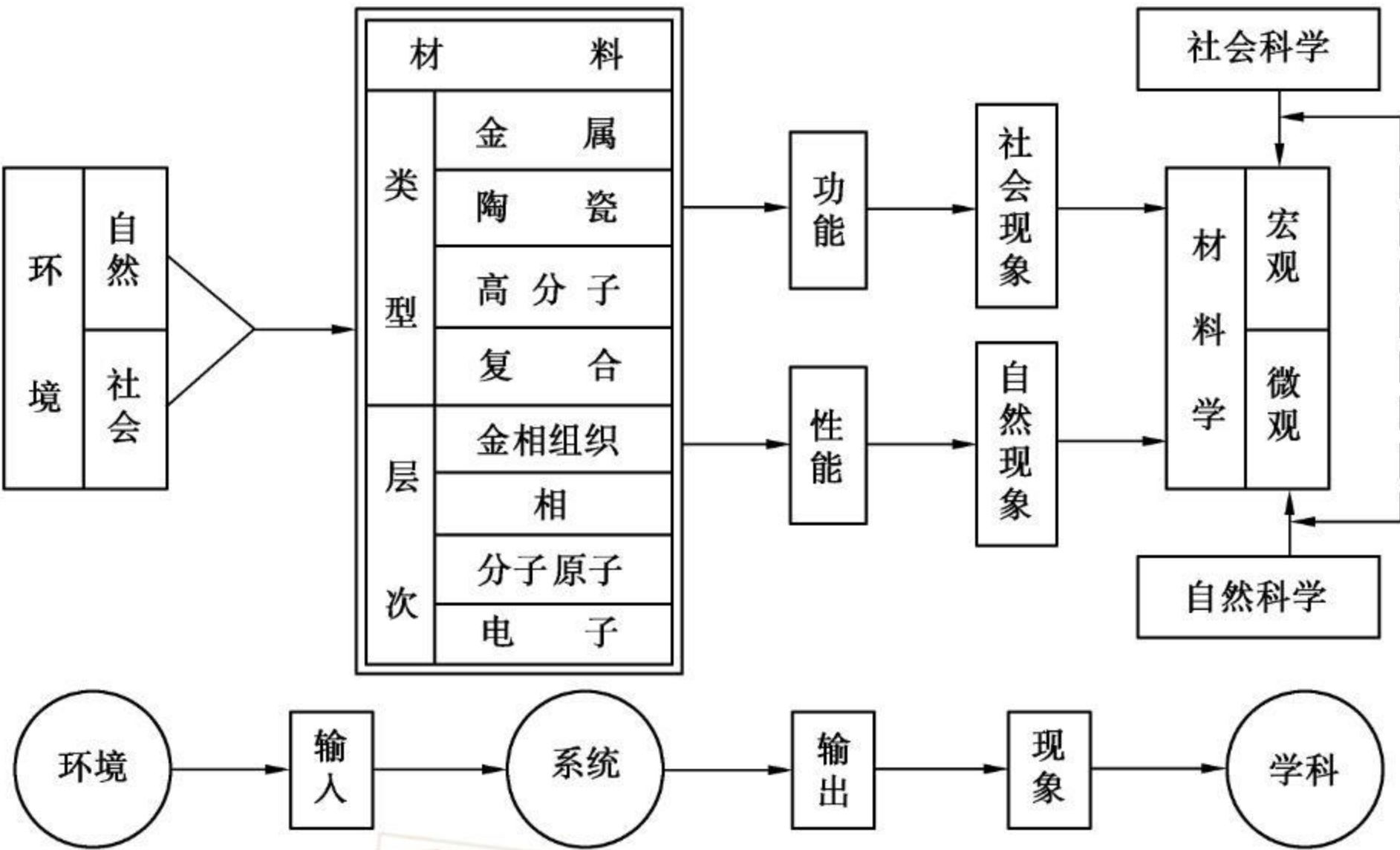


图 II .7 材料和材料学

图 II .7 还显示科学学中的“科学的突破点”原理([C22]p7)，即科学的突破点往往发生社会需要和科学内在逻辑的交叉点上。材料学要达到充分的社会效益，必须了解社会的需要，学习一些社会科学。

人类经过漫长的自然经济时代，当生产的分工专业化越来越细之后，放弃了以物易物的交换方法，用货币来表示产品的价值和价格。我们今天的社会生活，几乎全部都得从“买”开始，买东西，供我们消费或再生产。与买相对应，则



有“卖”。做买卖是商人的事,他们买进卖出,进行交换,是中间人。

以卖为目的而生产的物品,叫做商品。商品进入市场之后,买者一般是向商人购买,希望“物美价廉”,“物美”是合乎买者需要,对买者有价值;而卖者是商人,货来自生产者,卖价是生产者的售价加上商人的利润和成本,商人总是希望抬高售价,获得更大的利润。买方希望价廉,而卖方希望价高,这都是主观愿望;在自由竞争前提下的商品经济,商品价格是由客观规律决定的。

为了简化分析,暂时忽略商人的中间作用,以消费材料者为需方,以生产材料者为供方。在下面,介绍边际分析方法和收益递减规律,以及供需平衡确定的商品价格律,这是经济学中的两个基本规律。

3.1 收益递减律

劳动、资本和资源是经济学中的生产三要素:劳动是最重要的要素,包括生产中的各种劳动;资本是厂房及各种固定设备的总称,它是过去的劳动、资本和资源的产物,是过去产物中没有被消耗掉而用于以后生产的物品;资源包括土地、矿藏、日照、雨水等自然界存在且于人有用的物品。设劳动、资本和资源分别用 x 、 y 和 z 表示,管理、技术和信息分别用 α 、 β 和 γ 表示,这些都是生产的投入量,则产出量 g 是投入量的函数:

$$g = f(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma, \dots) \quad (7.22)$$

应用偏导数 $\partial f / \partial x$ 可以求出其他因素不变时 x 对 g 的贡献,这个偏导数叫做 x 对于 g 的边际产出,因而:

$$g(x) = \int_0^x \frac{\partial f}{\partial x} dx \quad (7.23)$$

这个 $g(x)$ 是其他投入量 $y, z, \alpha, \beta, \gamma, \dots$ 不变时 g 与 x 的关系,这个函数 $g(x)$ 叫做产出函数或收益函数。

很明显, $g(x)$ 具有如下几个特点(参考图 II.8):

(1) $g(0) = 0$, 若 x 是劳动,则不劳而获是不存在的。

(2) $g(x) \geq 0$, 因为产出不可能为负值。

(3) $dg/dx \geq 0$, 即投入必定有助于产出, dg 与 dx 同号;当 g 趋于饱和时,则 $dg/dx = 0$;有时 x 过多时,由于相互干扰,也可能使 $dg/dx < 0$, 例如,高炉炼铁时,铁矿加入过多,影响正常生产,使 $dg/dx < 0$, 又例如,办公室面积固定时,办事人员继续增多到彼此碍事时,也会使 $dg/dx < 0$ 。

(4) d^2g/dx^2 有三种情况,典型的投入产出关系如图 II.8 所示,其中 g 和 x 都用货币表示。当 x 较小时, $d^2g/dx^2 > 0$, 两个人从事一项工作,每人的产出率 (dg/dx) 一般比单独一个人的为高,图中 OA 段都是如此;随后的 AB 段是 g 随 x 成比例增加的,即 $d^2g/dx^2 = 0$;当投入量 x 达到一定限度以后,出现经常遇到

的 BCD 段,此时 $d^2g/dg^2 < 0$,这便是经济学中有名的收益递减律,也是建立现代经济学的重要基石。

应该指出,收益递减律只是在其他因素不变的条件下成立的;如 x 为劳动,则只有在资本(g)、资源(z)、管理(α)、技术(β)、信息(γ)等不变的条件下,当 x 大于一定值后,才有 $d^2g/dx^2 < 0$ 。图 II.8 中还绘出一根斜率为 1 而通过原点的直线 OAD ,交曲线于 A 点及 D 点,只有 x 值在 A 点及 D 点之间,才有 $g > x$,可以获利 $g - x$ 。求获利最大时的投入 x ,即:

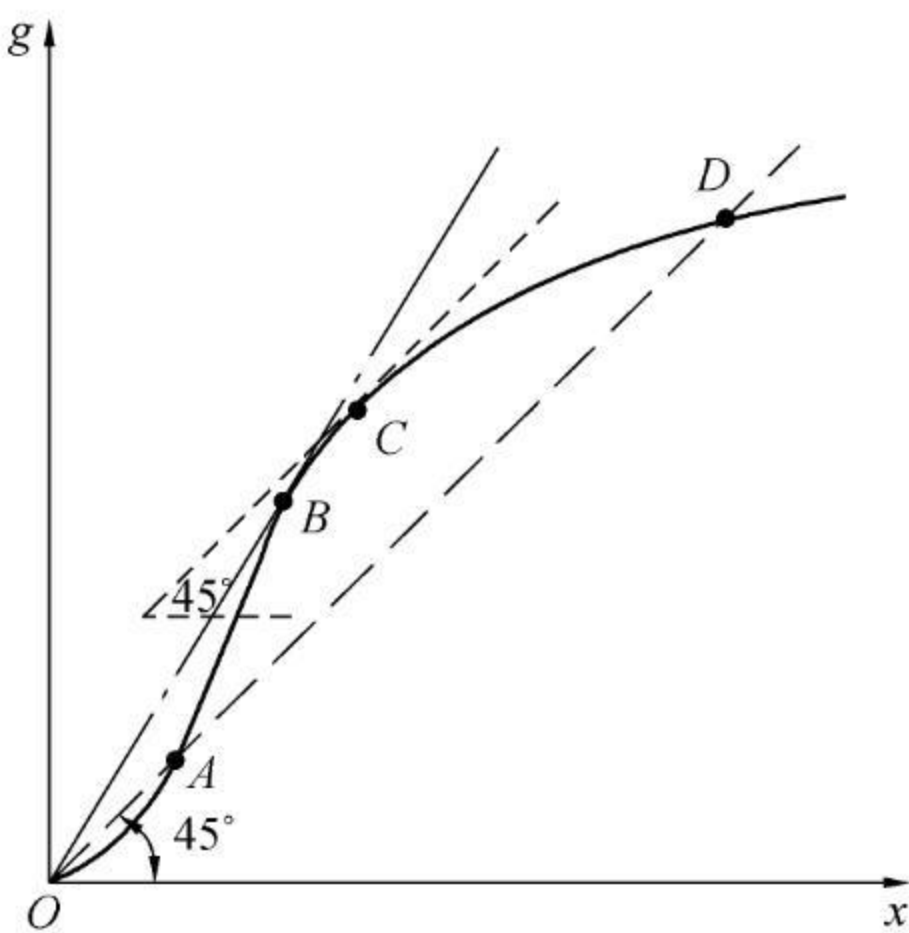


图 II.8 典型的投入(x)产出(g)曲线

$$\frac{d}{dx}(g - x) = 0$$

故: $\frac{dg}{dx} = 1$ (7.24)

即曲线的切线斜率为 1 时的 x (图中 C 点)。

若采取平均每投入 1 元(即单位 x)获利最大为判据,则求:

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{g - x}{x} \right] = 0$$

故: $\frac{dg}{dx} = \frac{g}{x}$ (7.25)

即从原点 O 作曲线的切线,切点 B 满足这个条件,同时 B 点也是 g/x 最大的点。

由于收益递减律所决定的曲线下凹特性,上述的 B 点必然在 C 点左侧,因而用投入的平均产出(g/x)及边际产出(dg/dx)作判据,所获最大利润对应的 x 值是不一样的。

收益递减律也使我们对于技术指标有一个经济合理的认识。例如,选矿时精矿的成分、冶炼炉的炉龄、切削加工的表面精度等,不是越高越好,它们都有一个经济合理的限度。在这些情况下,图中纵坐标是产出的质量参量,横坐标则是投入的费用。

3.2 商品价格律

商品经济的商品价格是由买卖双方自由地共同确定的,这个价格是由买方的需求曲线(DD)和卖方的供给曲线(SS)的交点(图 II.9 中 A 点)来确定,图中 P 为商品价格, Q 是商品量, P_e 为成交的价格, Q_e 为成交的商品量。

消费者是需方,消费者需要商品,是因为商品对消费者有效用。一个消费者

在一定时期内要消耗各种商品 1, 2, 3, ..., n , 消耗量分别为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, 则效用 u 是它们的函数, 即:

$$u = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7.26)$$

类似于(7.22)式至(7.23)式, 我们可以定义: 商品的边际效用 $\partial f / \partial x$, 并获得 i 商品的效用为:

$$u(x_i) = \int_0^{x_i} \frac{\partial f}{\partial x_i} dx_i \quad (7.27)$$

类似于收益递减, 同样有效用递减, 因此 $u(x_i)$ 有如下三个特点:

(1) $u(0) = 0$;

(2) 由于有多多益善的心理, 故

$du/dx_i \geq 0$;

(3) 由于效用递减, 故 $d^2 u / dx_i^2 < 0$ 。

正是由于这些特点, 当消费者的收入为定量时, 他们选择商品时, 在众多需求的商品中, 总是希望各种商品的边际效用所耗的货币平衡, 获得等效用, 因而某种商品的价格(P)上涨时, 则对这种商品的需求量(Q)下降, 因而有如图 II. 9 所示的需求曲线 DD 。

需求曲线可用需求函数来表示, 对于 i 商品的需求量 Q_i 取决于消费者的收入 M , 以及商品的价格 P_1, P_2, \dots, P_n , 即:

$$Q_i = f_i(P_1, P_2, \dots, P_n, M) \quad (7.28)$$

因此, 图 II. 9 所示的需求曲线 DD 是除 P_i 以外各量不变的情况下 Q_i 与 P_i 之间的关系; 很明显, 其他量变化了, DD 曲线也会随着上下移动。

从理论上讲, 需求曲线有两种极端情况: 一种是无无论价格如何变动, 需求量不改变, 粮食这种商品, 接近这种情况; 另一种则相反, 价格是常数, 需求量却可变动, 这是政府定价的情况。实际情况却介于这二者之间, 如图 II. 9 DD 曲线所示。

为了反映价格的相对变化($-dP/P$)引起需求量相对变化(dQ/Q)的感应性(Responsiveness), 人们仿照力学概念, 定义了“需求弹性”(Elasticity of demand) e_D 为:

$$e_D = \frac{|dQ/Q|}{|dP/P|} = \left| \frac{dQ}{dP} \right| \times \frac{P}{Q} = \frac{d \ln Q}{d \ln P} \quad (7.29)$$

e_D 越大, 则反映越灵敏。像粮食这类生活必需品, e_D 是很小的, 而像录像机这类

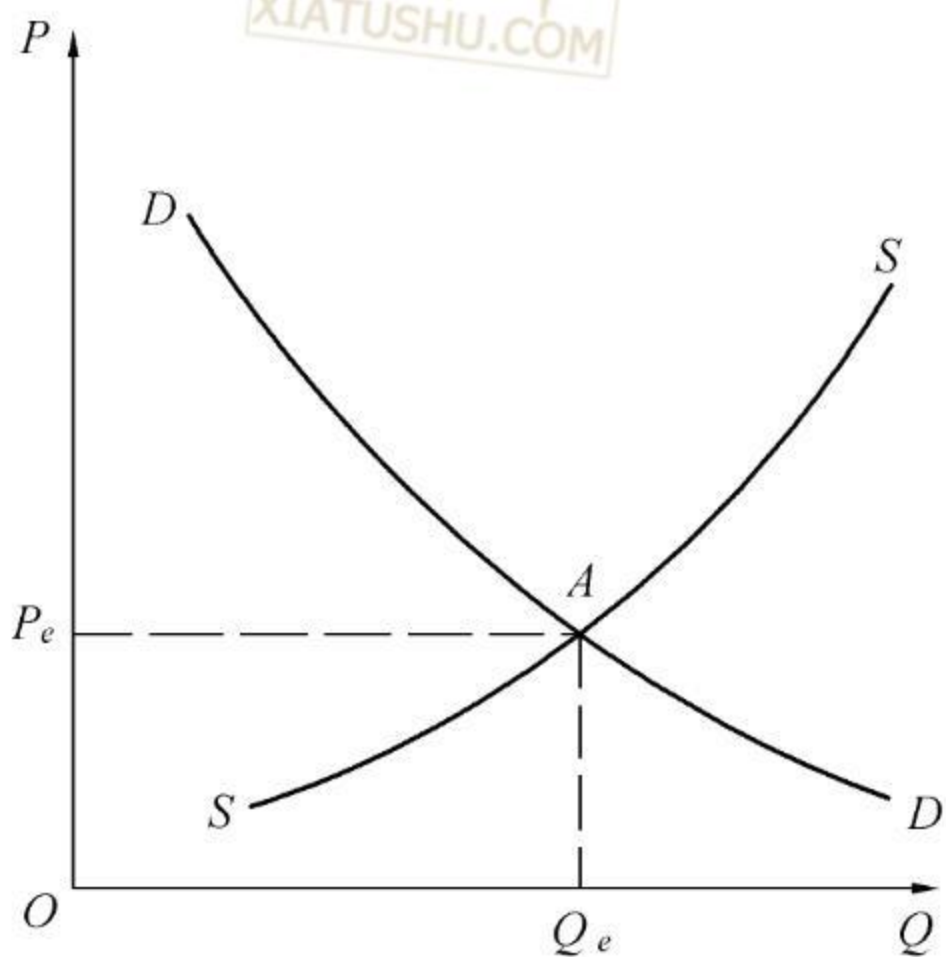


图 II. 9 供需平衡决定价格

奢侈品, 则 e_D 较大。依据(7.29) e_D 的定义, 可用如图 II. 10 所示的图解法求 e_D 。由于:

$$\frac{FC}{BF} = \tan\alpha = \left| \frac{dQ}{dP} \right|$$

$$DB = Q$$

$$BF = P$$

将上列各式代入(7.29), 得到:

$$e_D = \frac{FC}{DB}$$

而 $\triangle ABD$ 与 $\triangle BCF$ 相似, 故:

$$e_D = \frac{BC}{AB} \tag{7.30}$$

由于图中切线 ABC 是随切点 B 而变化的, 因而 e_D 也随着变化。

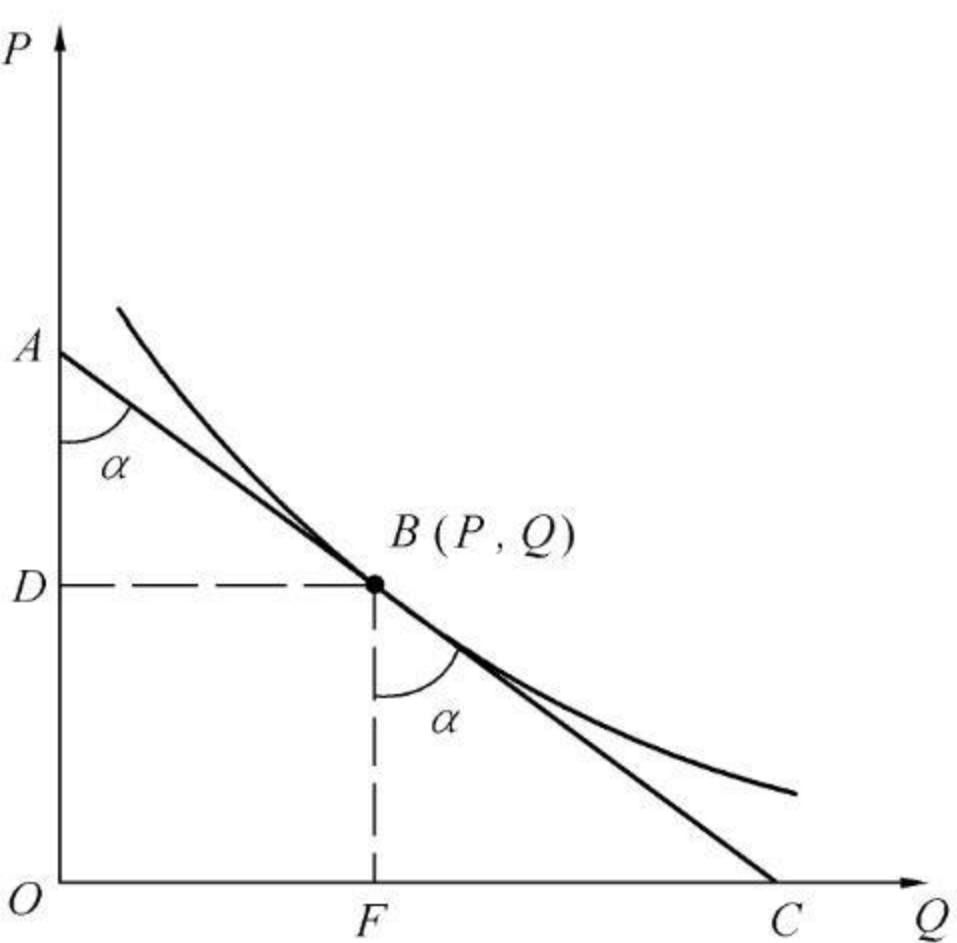


图 II. 10 图解法求 e_D

还应该指出, 需求曲线还受消费者心理因素的影响, 因而分析消费者的效用评价趋势, 利用广告技术, 可以提高需求曲线。

再来分析图 II. 9 中的供给曲线 SS 。生产商品的企业依据市场上的价格 (P) 来调整产量 (Q)。这个产量 Q 是价格 P 的函数, 即:

$$Q = Q(P) \tag{7.31}$$

依据边际成本 K_M 的概念:

$$K_M = \frac{dC_T}{dQ} \tag{7.32}$$

通过成本分析, 可以导出供给曲线具备如图 II. 9 中 SS 的形式([C24]p231 ~ 241)。与(7.29)相似, 可以定义“供给弹性”(Elasticity of supply) e_S 为:

$$e_S = \frac{dQ}{dP} \frac{P}{Q} = \frac{d\ln Q}{d\ln P} \tag{7.33}$$

e_S 大时, 表明小的价格相对变化会引起大的供给量相对变化。

人们可从各方面去理解和认识图 II. 9 所示的价格规律。从表面看来, 供需双方为了追求自身的利益而适应价格的变化。商品价格提高了, 需方的收入是一定的, 则购买这种商品的量下降, 这便是需求曲线; 商品价格提高了, 刺激供方生产更多的商品, 这便是供给曲线。这是从价格来认识商品量。反之, 从“物以稀为贵”来理解: 商品紧缺时价格上涨, 刺激生产, 限制消费; 商品多余时, 价格下降, 刺激消费, 又限制生产。

只用产品的成本来确定商品的价格, 只能表达生产企业对于产品的评价, 不是社会对于产品的评价。供需双方决定价格, 是社会对于产品的评价, 对供

需双方起到调节和反馈的作用。有时,不是成本决定价格,而是价格决定了边际成本。例如,铜价上涨了,才能采用品位低的铜矿;石油价上涨了,才能使难开采的油田投入生产。但是,成本仍是决定价格的基本因素,生产者通过改善管理、采用新技术等措施,降低成本,提高所生产的商品竞争力。

4 材料经济学

4.1 定义和内容

“材料经济学是一门材料科学与经济学的交叉科学。” (7.34)

具体说来,是对材料的生产、消费(即应用)、交换、分配、科研、发展、规划等活动进行经济效益的分析和评价的学科。它是技术经济学([C27]p134~138)在材料工业中的应用。

材料经济学也可仿照经济学分为宏观和微观两部分。宏观的材料经济学包括:

- (1)材料的大循环;
- (2)材料工业的布局;
- (3)材料工业的技术政策;
- (4)材料工业的发展规划;
- (5)材料科研的发展规划;
- (6)材料生产结构和消费结构的经济评价等。

微观的材料经济学则应用微观经济学,主要是价值价格论和厂商理论分析单个经济体的经济活动,例如:

- (1)经济合理地利用资源、能源、设备、工具等;
- (2)工艺流程和材料产品的成本分析;
- (3)原料供应和产品销售的经济评价;
- (4)材料科研和发展的经济评价;
- (5)材料选择和应用的经济分析;
- (6)产品的标准化、系列化、通用化等。

本章只能简略地、示例地分析材料经济学中的一些问题。

4.2 物质与信息的流动与循环

从事物所经历的过程,可以更好地理解事物的本质。本节从材料企业的物质和信息的流动与循环,去理解材料的经济问题。

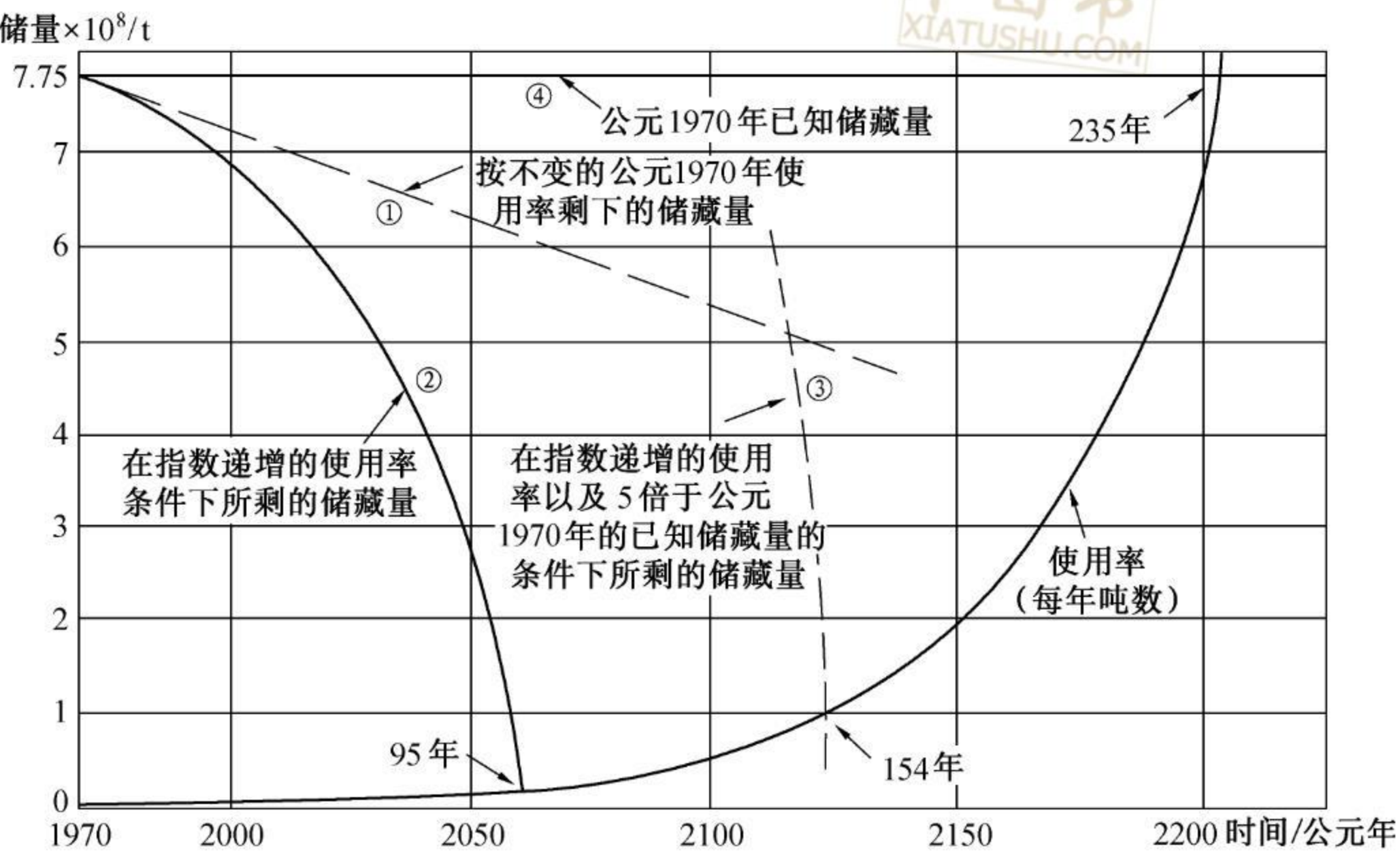


图 II .12 铬的储量及使用年数

表 II .3 重要金属的世界储量及可供开采的年数

金属	储量 $\times 10^6/t$	每年消耗增加率/%	可用年数/年	10 倍现有储量 + 50% 再循环可用年数/年
Fe	1×10^6	1.3	109	319
Al	1 170	5.1	35	91
Cu	308	3.4	24	95
Zn	123	2.5	18	101
Mo	5.4	4.0	36	104
Ag	0.2	1.5	14	117
Cr	775	2.0	112	256
U	4.9	10.6	44	—
Ti	147	2.7	51	152

仍是一项巨大的事业，值得重视。虽然海水中有可观的巨量的金属储藏(表 II .5)，但开发成本高，难于满足目前的经济判据。

表 II .4 1972 年美国再生金属的产量及所占比例

金属	年消耗量/t	年再生量/t	再生金属的所占比例/%
Pb	1 485 000	617 000	41.5
Ag	5 258	2157	41.0
Cu	3 183 000	1 301 000	40.9
钢铁	133 200 000	42 200 000	31.7
Zn	1 829 000	388 000	21.2
Ni	195 200	35 900	18.4
Al	5 588 000	946 000	16.9
Mg	115 000	15 700	13.6
共计	145 600 000	45 506 000	31.2

表 II .5 海水中金属的储量

金属	含量/(t•n mile ⁻³)	总量/Mt
Mg	6 400 000	2.1×10 ⁹
Sr	38 000	1.2×10 ⁷
Li	800	2.6×10 ⁵
Zn, Fe, Al, Mo	47	1.6×10 ⁴
Sn, Cu, U	14	5.0×10 ³
Ni, V	9	3.0×10 ³
Ti	5	1.5×10 ³
Sb	2	800
Ag	1	500
W	0.5	150
Cr, Th	0.2	78
Pb	0.1	46
Au	0.02	6

各国的资源自足情况不一,美国矿物局于 1977 年公布了各种金属依靠进口的百分比如下:

Nb	Mn	Co	Ta	Cr	Ni	W	Ti	Cu	Al
100	98	97	97	89	70	38	38	17	8

各国依据自己资源情况,颁布政策,限制或引导材料的生产、应用、发展和科研。例如,美国在第二次世界大战及 20 世纪 50 年代侵朝战争时期,颁布了合金使用政策,促进了硼钢及钨钼系高速钢的科研与生产。战争结束后,取消了这些政策,硼钢产量大降,而钨系高速钢由于技术上和经济上的优越性,代替了绝大部分的钨钼系高速钢。

陶瓷材料及有机高分子材料的资源较金属材料丰富,但要代替金属材料,除开性能问题外,也有经济问题。例如,工程塑料中“塑料王”售价是 21 美元一磅,性能更好的 Vespl 售价是 2 700 美元一磅;全碳纤维复合材料的汽车车体,估价是一百万美元,若不降低生产成本,是无法大量代替金属材料的。

4.2.2 材料企业的信息循环和反馈

如图 II .13 所示,框内是材料企业内部的与生产有关的主要部门,它们之间要有经常而有效的信息流动,才能保持为一有机联系的整体。采用市场调节或者是商品经济,便要树立为用户服务的思想,重视市场开拓,增设服务部门。通过如图 II .13 所示的“销售”和“服务”这两个触角,捕获市场及本企业产品的信息,为“生产”、“发展”、“研究”部门提供反馈,将管理和生产搞活。

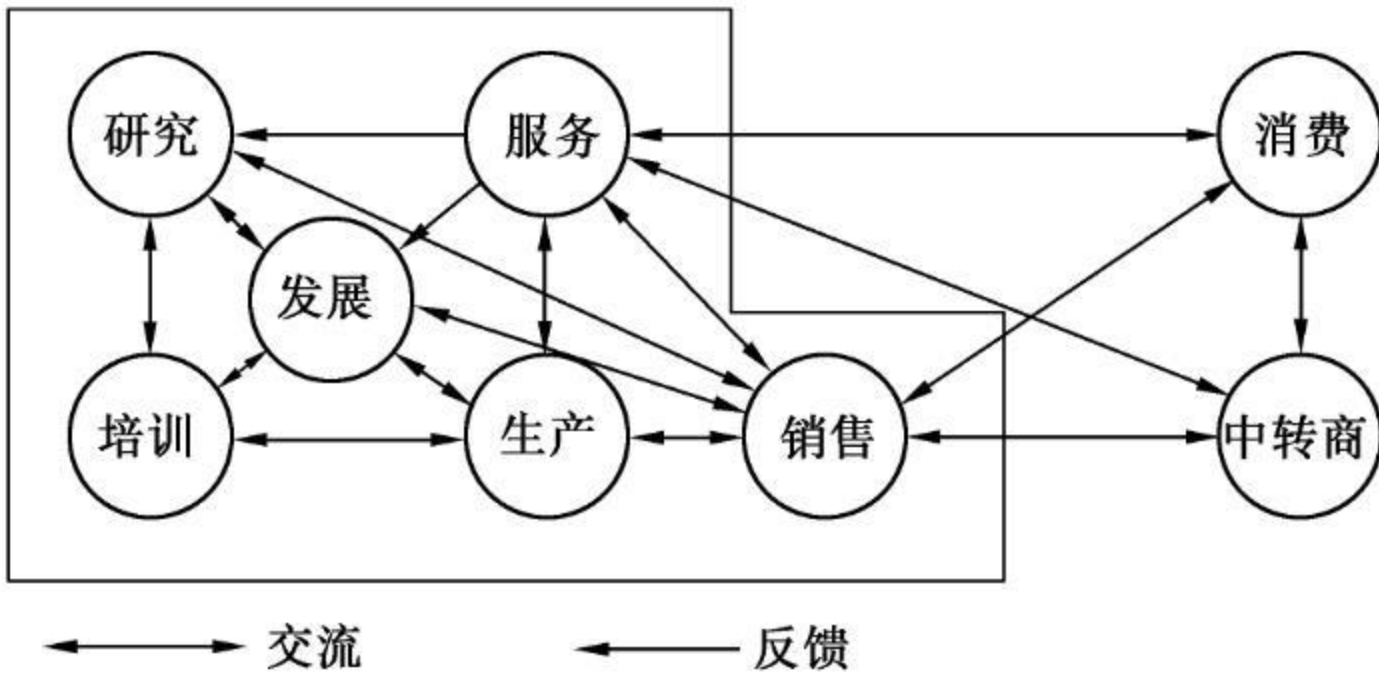


图 II .13 材料企业的信息循环和反馈

现代化的材料企业应该是一个开放系统,与环境既有商品的交换,也有信息的交流。因此,对本企业要进行系统分析,重视反馈的信息,从而能有效地控制,这便是系统论、信息论和控制论的应用。

4.3 材料生产的经济分析

增加包括材料生产在内的企业经济效益或利润的途径可能会:

- (1)降低生产成本;
- (2)较高价格出售产品;
- (3)增加产量直到增加的收益足以补偿增加的成本为止。

成本分析影响上列(1)及(3),是生产经济学中的重要内容,在微观经济学中的厂商理论,占有极为重要的地位。在下面,着重介绍成本分析的基本概念和方法,然后简要介绍社会分工的经济效益。

4.3.1 成本分析

总成本(C_T) 包括固定成本(C_F) 及变动成本(C_V):

$$C_T = C_F + C_V \tag{7.35}$$

C_F 又叫间接费用,指即使没有生产也要开支的费用,包括固定设备的投资利息、折旧、税款、与产量无关的工资、办公费用等; C_V 又叫直接费用,包括随产量的增加而增加的原料、工资、能耗、设备磨损折旧等。若产量用 Q 表示,则平均成本为:

$$K_T = \frac{C_T}{Q} = \frac{C_F}{Q} + \frac{C_V}{Q} = K_F + K_V \tag{7.36}$$

此外,还有(7.32)所示的边际成本为:

$$K_M = \frac{dC_T}{dQ} = \frac{d}{dQ}(C_F + C_V) = \frac{dC_V}{dQ} \tag{7.37}$$

式中, C_F 是不随 Q 而变的常数。图 II. 14 示出 K_F 、 K_V 、 K_T 及 K_M 这几种“单位成本”与产量 Q 之间的关系:

- (1) 由于 C_F 是常数, K_F 是随着 Q 的增加而连续下降的。
- (2) 在技术和设备条件不变的情况下, K_V 、 K_T 和 K_M 在开始时都是随着 Q 的增加而递减的;但当 Q 增大到一定程度,由于收益递减律在起作用(参阅图 II. 14),故随 Q 的增加而递增,都呈 U 形,故叫做 U 形成本曲线。

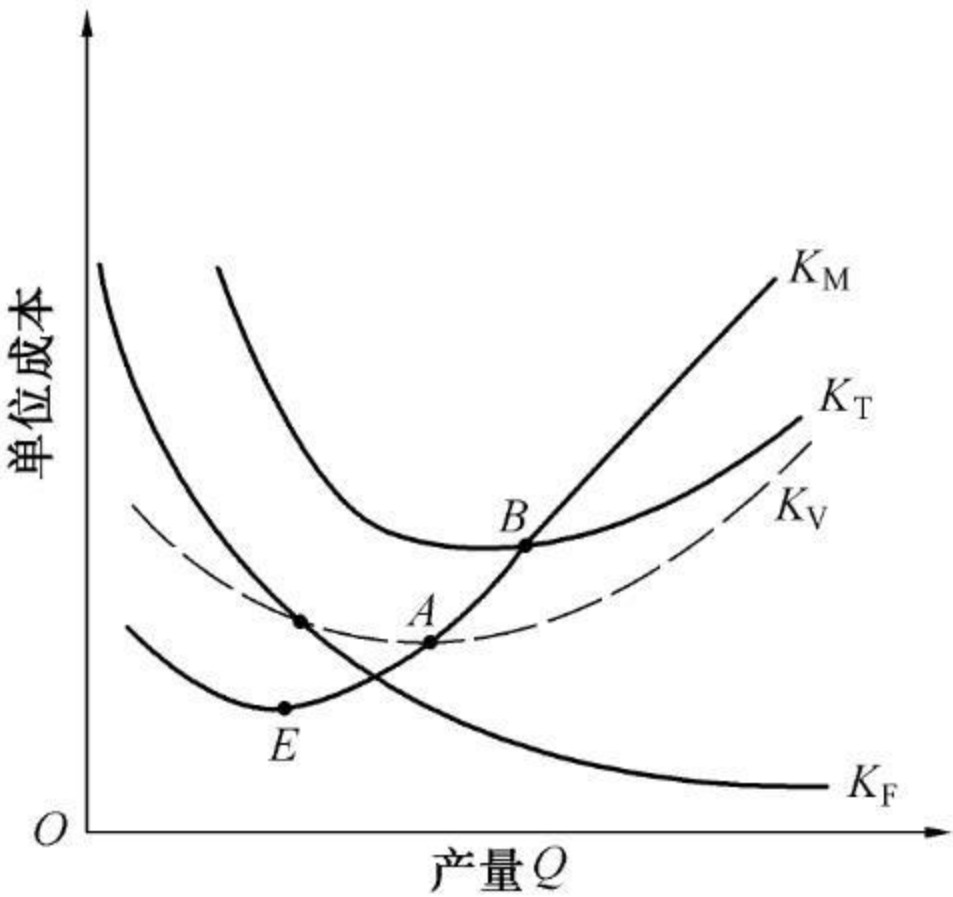


图 II. 14 平均成本及边际成本曲线

- (3) 由于 K_T 包括随 Q 的增加而连续下降的 K_F , 所以它由递减转为递增较 K_V 及 K_M 为迟,即图中 K_T 曲线的最低点 B 位于 K_V 曲线最低点 A 和 K_M 曲线最低点 E 的右边。

- (4) 可以证明, K_M 曲线通过 A 点和 B 点。由于 A 点是 K_V 曲线的极小值, 则:

$$\frac{dK_V}{dQ} = \frac{d}{dQ} \left[\frac{C_V}{Q} \right] = \frac{Q \frac{dC_V}{dQ} - C_V}{Q^2} = 0 \tag{7.38}$$

故: $\frac{dC_V}{dQ} = K_M = \frac{C_V}{Q} = K_V$ [利用(7.35)及(7.36)式] (7.39)

同理, 由于 B 点是 K_T 曲线的极小值, 则:

$$\frac{dK_T}{dQ} = \frac{d}{dQ} \left[\frac{C_F + C_V}{Q} \right] = \frac{Q \frac{d(C_F + C_V)}{dQ} - (C_F + C_V)}{Q^2} = 0$$

故: $\frac{dC_V}{dQ} = K_M = \frac{C_F + C_V}{Q} = K_T$ (7.40)

- (5) B 点叫做“经济有效点”(Point of economic capacity), 因为它是平均成



本(K_T)的最低点,又是 K_T 曲线与 K_M 曲线的交点。当 $K_M < K_T$ 时,多生产一件产品多花的代价[即边际成本 K_M , 见(7.37)]低于平均成本 K_T [见(7.36)],并使 K_T 继续下降(图 II.14),这是有利的。当 $K_M > K_T$ 时,则相反,多生产会使平均成本上升。

由于上述的特点,从成本分析角度对 3.2 节的商品价格问题提出两个观点:

(6) 在商品经济情况下,市场机制会引导企业将边际成本与产品价格看齐;对于铁路、煤炭、钢铁等垄断性国有企业,则必须依靠觉悟及法律做到这一点,提高社会的经济效益。

(7) 供给曲线。 K_M 线位于 K_V 线之下的一段并不能构成供给曲线,因为当价格低于平均可变成本 K_V 时,企业无论怎样调整其产量,结果总是消耗多于产出。只当 $K_M > K_V$,才构成图 II.9 中的供给曲线 SS 。当价格高于 K_V ,企业从事生产可减少损失;当价格高于平均成本 K_T ,才能获利。

具体的成本分析是成本会计人员的工作,材料工作者应该从分析结果,寻求降低成本的技术措施和管理措施。例如,材料生产的配料方案,可以依据优化原理求最优解。在下面,以生产三要素的投入组合为例,说明优化方法的应用。

4.3.2 生产要素的最优组合

产出的价值(g)是投入的生产三要素劳动(x)、资本(y)及资源(z)的函数,即:

$$g = f(x, y, z) \quad (7.41)$$

应该指出,上式是(7.22)的简化,是在管理(α)、技术(β)、信息(γ)等不变的情况下的表达式。若用 p_x 、 p_y 及 p_z 分别表示 x 、 y 及 z 的单价,则总成本 C_T 为:

$$C_T = xp_x + yp_y + zp_z \quad (7.42)$$

现在来求 C_T 恒定时(约束条件)的 g 值最大(目标函数)时的 x 、 y 及 z 值。

设拉氏函数 L 为:

$$L = g + \lambda(C_T - xp_x - yp_y - zp_z) \quad (7.43)$$

式中, λ 为任一数值,从(7.41)及(7.42)可知, $L = g$ 。最优解就是要满足求极值的条件:

$$\frac{\partial L}{\partial x} = \frac{\partial g}{\partial x} - \lambda p_x = 0 \quad (7.44)$$

$$\frac{\partial L}{\partial y} = \frac{\partial g}{\partial y} - \lambda p_y = 0 \quad (7.45)$$

$$\frac{\partial L}{\partial z} = \frac{\partial g}{\partial z} - \lambda p_z = 0 \quad (7.46)$$

合并上列三式得到:

$$\frac{\partial g}{\partial x} \frac{1}{p_x} = \frac{\partial g}{\partial y} \frac{1}{p_y} = \frac{\partial g}{\partial z} \frac{1}{p_z} = \lambda \tag{7.47}$$

上式的意义是：生产三要素最优组合的条件，使一元钱不论用于增雇职工，或用于增加投资，或用于增加资源，应该取得同样的边际收益。因此，要获得生产要素的最优组合，必须疏通流通渠道，鼓励而不是限制流动，这是商品经济的一个重要前提。

4.3.3 社会分工的经济效益

为了发扬各个企业、地区甚至国家的优势，获得较高的边际效益，在自然经济向商品经济发展时，社会分工是完全必要的。分工的深化也会给科学技术的发展以及社会生产的革新创造条件，具有间接的经济效益。

由于收益递减律的作用，收益(G)随分工度(F)的增加也是递减，因此图 II.15 中 G 曲线的 $d^2G/dF^2 < 0$ 。但是，在另一方面，随着分工的深化(即 F 增加)，交换次数增加，这种交换总费用 C (包括物质运输、保险、信息交流等)却是随 F 的增加而增加的，并且 $d^2C/dF^2 > 0$ 。因此，由于社会分工得到的净产出为：

$$Y = G - C \tag{7.48}$$

合适的分工度 F^* 应使 Y 为最大，故：

$$\frac{dG}{dF} = \frac{dC}{dF} \tag{7.49}$$

交换技术如运输、信息交流的进步，使 C 曲线下移到 C' ，则对应的最适分工度从 F^* 移至 F'^* 。总之，在不同的情况下，都不是分工越细越佳，都有一个最适的分工度。

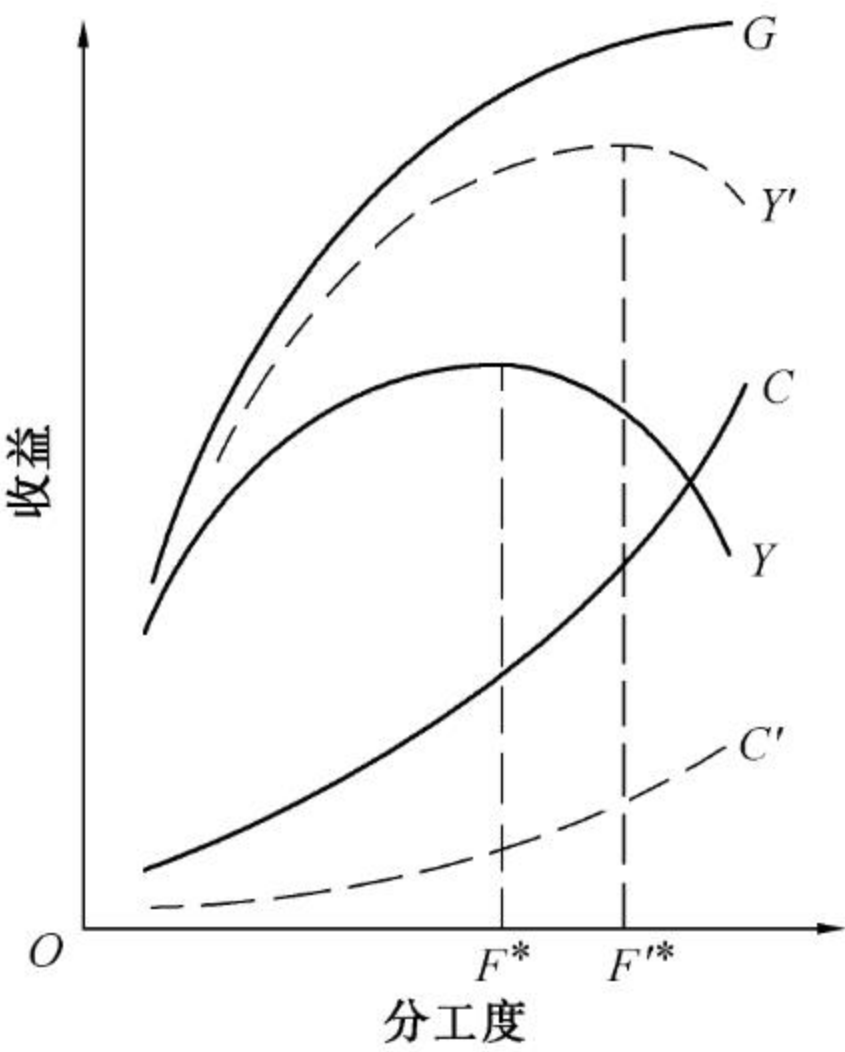


图 II.15 最适分工度

5 结语

第 1 节引言中，回顾了“Economics”从西方东传时，曾有“计学”和“经济学”两个译名，它们分别强调“方法”和“目的”，都很重要，不可偏废。西洋人的原意是“管家”，并指明管理什么(7.3 及 7.4)；直截了当。西洋人回答“*What?*”，严复及日本人的意译名却尝试分别回答“*How?*”及“*Why?*”，对比一下，悟到文化的差异。

学科之间可以相互启示，从而扩大思路，并借用分析方法。



在第 2 节,借助于材料学的方法论,从功能、环境、结构三方面,介绍我国“社会主义市场经济的特征”,并从生物学中的竞争和协调,理解经济体制中的计划经济和市场经济的区别。

经济学(Economics)曾译为“计学”,既有计算,也有算计,都需要应用数学,特别是导数的概念。同力学中的速度和加速度概念类比,平均速度表示过去现象,而瞬时速度(ds/dt)则表示现状。在 3.1 节,介绍了数理经济学中的边际分析方法和收益递减律;并进一步在 3.2 节讨论了商品价格,引入需求弹性和供给弹性这种类似于力学中的概念。收益递减律及商品价格律是经济学中的两个基本规律。

第 4 节定义了“材料经济”,列举了它的两个分支的主要内容;并示例地讨论了两个问题:

- (1)物质与信息的流动与循环;
- (2)材料生产的经济分析。

本章只能介绍一些重要概念和方法;在第 11 章及第 9 章将分别从材料选用和材料科研两方面涉及经济因素的重要作用;在第 12 章的材料展望中,将会看到经济因素的推动作用。因此,正如第 3 节中所指出的那样:宏观材料学是以经济为线索,贯穿材料宏观现象的研究,这是由于材料的定义中有经济判据。



第 8 章 科技法律

“依法治国。” (8.1)

材料学问题属于科技问题,因而科技法律适用于分析材料的社会问题。本章学习和宣传国家软科学重点研究项目——“科技法制系统工程研究”的成果之一《科技法学》([C26]),运用著者的《材料学的方法论》([A11])思路,介绍科技法律。本章分六节,分别论述六个问题:概述,功能,结构,环境,过程,能量。

1 概述

本节将从逻辑和系统两方面分析科技法律这个概念。

1.1 逻辑分析

采用定义和划分这两个逻辑方法可分别明确“科技法律”这个概念的内涵和外延。

1.1.1 定义

按照我国国家科委发布的《中国科学技术指南》:

“所谓科技法,指的是调整科学技术活动中社会关系的法律规范的总称。” (8.2)

这是从“科技法”的一种“功能”来定义的。从第 2 节将会看到,科技法还有其他功能。此外,科技活动中的社会关系,除了科技法加以调整外,民法、刑法、行政法、劳动法、经济法等,也都参与调整。在我国,“法律体系”通常是指部门法体系,即一国的全部现行法律规范可以划分为哪些部门,或者说一国现行法律的整体是由哪些部门构成的。划分法律部门的判据一般有两种:一是法律所调整的对象;二是法律的调整方法;前者是主要依据。

应该指出,科技法在我国社会主义法律体系中,是一个新兴的法律部门;1993 年 7 月 2 日颁布的《中华人民共和国科学技术进步法》标志着我国有了第一部科学技术基本法,它与其他法律之间的关系,例如科技法与环境法调整范围的划分,还是探讨中的问题。

1.1.2 划分

按照主干性法律(法典或单行法)所适用的范围,科技法可划分为如下八类



(列举主干性法律):

(1)综合性科技立法

指在科技领域中涉及面较宽广、带有基础性的立法及其从属性法律文件,例如科学技术进步法。

(2)科技研究开发法

是针对研究与开发活动或事业所制定的规范性法律文件的总称,例如研究院(所)法、科学技术基金法、研究开发活动法、标准化法、计量法等。

(3)科技成果法

是有关科技成果的管理、保护、转化、推广、应用等方面的立法,例如促进科技成果转化法、农业技术推广法、专利法、著作权法、商业秘密法、科技成果管理法、军工技术管理法等。

(4)技术贸易法

指有关技术市场管制、技术贸易组织管理和技术合同制度等方面的立法,例如技术市场法、技术合同法等。

(5)条件保障法

指为科技进步活动提供条件和环境保障的立法,例如科技投入法、高新技术产业开发区法、科技人员法^①、物资保障法^①、科学技术普及法^①等。

(6)科技奖励法

奖励科技人员、科技成果创造者的有关立法,例如科学技术奖励法。

(7)专门领域的科技法

指特定科技产业或特定科技研究开发领域的立法,例如原子能法、信息法、生物工程法、太空法、海洋技术法等。

(8)国际科技交流与合作法

指促进国际科技交流与合作的国内立法,不包括我国加入、参与或签订的国际条约。

在上述科技立法体系中八个方面的主干性法律内,又可有若干从属性法律文件。例如,计量法实施条例、国家测试中心管理条例都是主干性法律——计量法的从属性法律文件;技术秘密(Know-how)保护条例、反不正当竞争条例、反垄断条例都是主干性法律——商业秘密法的从属性法律文件。

1.2 系统分析

若“科技法律”是我们的研究对象——系统,则系统分析包含两方面内容:系统与环境的关系,系统内各组元之间的关系。分述如下。

^① 只表示立法的一个分类,并无具体立法。



1.2.1 科技发展对法律的影响

法律的产生和执行涉及立法和司法,科技发展对它们的影响以及对法律思想和法学方法论的作用,分述如下。

(1)对立法的影响

①随着科技的发展,出现了新的立法领域,即科技成果只要用于生产,就会出现社会关系,从而需要法律来处理这些关系。1474年,威尼斯共和国颁布了第一个专利法,开创了用法律保护技术发明的先例。工业革命开始后,工业国家相继颁布了专利法,承认了专利权,成立了专利机构。从此,国家便开始通过立法来管理科技活动。现代科技的发展,导致许多新法律的出现,如航空法、宇宙空间法、计算机法、原子能法、基因技术法等。

②科技的发展以及相应的社会关系的改变,对一些传统的法律领域提出许多新的问题,例如,现代医学的高速发展,使婚姻、家庭、财产继承等方面的法律受到很大的冲击;人工授精、试管婴儿、人类胚胎移植等新技术的成功,使社会遇到新问题;静电复印技术的普及,大大削弱了版权法的效力;电子计算机创作的音乐、美术、诗歌等已大量出现,其版权归属也需研究。

③科技研究成果已大量应用于立法过程,例如,医学、遗传学和其他生物学原理有助于《婚姻法》的执行:关于禁止“直系血亲和三代以内的旁系血亲结婚”;关于禁止“患麻风病未经治愈和患其他在医学上认为不应当结婚的疾病的人结婚”。此外,标准法、环境保护法、专利法等,都需要应用大量的科技成果。

(2)对司法的影响

司法过程的三个主要环节——事实认定、法律适用和法律推理都越来越多地受到现代科技进步的影响。借助于医学、生物术、摄影、通信、计算机、微电子等技术及其他物理、化学、生物学的科学方法和理论,司法部门能够快而准地查获证据,认定事实。此外,计算机在文件处理、信息检索和协助推理判案三方面,都起到重要的辅助作用。

(3)对法律思想和法学方法论的影响

例如,由于生理学和医学的发展,一些国家在法律上已接受“脑死亡”的概念;人们强调对犯罪的精神病理因素持宽容态度。又如,世界出现“信息社会”的趋向,各国之间的空间距离大为缩短,各个社会之间的相互影响以及人们关于时效及时限的观念大为增强。因此,在立法时,不能不考虑国际法、国际惯例和其他国家法律的规定,以求得本国法律适用的方便和有效。

在法学研究的方法论上,也出现交叉的趋向,例如法律信息论、法律系统论、法律控制论等。“科技法律”既是由于社会发展的需要而出现的新的部门法律,又是在“科学技术”与“法学”之间的交叉地带所形成的“交叉科学”,这是学

科的丰收地带。

1.2.2 法律对科技发展的影响

科技对于人类社会有正、负两方面作用：它既能带来财富和利益，也会造成灾难和损失。法律对科技发展的作用便是“兴利”与“除害”。

(1)运用法律管理科技活动，确立一国科技事业的地位，规范国际竞争与合作的准则。

(2)促进科技经济一体化、科技成果商品化。

(3)抑制和预防科技活动和科技发展所引发的各种社会问题。

在第 2 节“功能”中，将进一步讨论这个问题。

1.2.3 科技法律内的系统分析

类比于《材料学的方法论》([A11])对“微观材料学”系统分析，采用图 II . 16，说明以下五节(2 至 6 节)之间的关系。

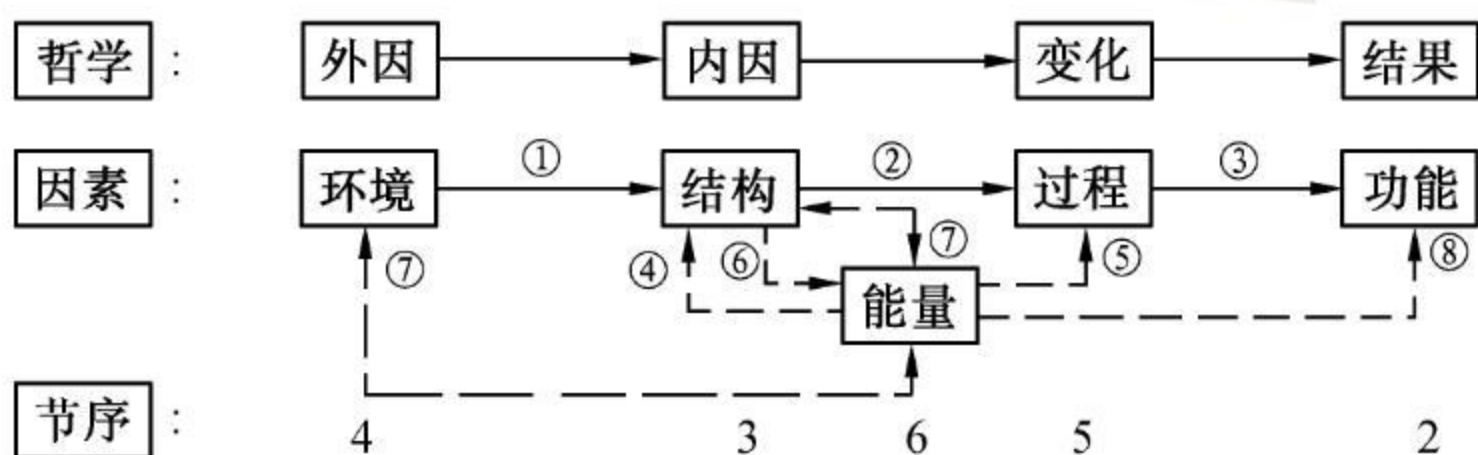


图 II .16 科技法律五因素与微观材料学五因素的类比
 (① ~ ③与④ ~ ⑧的说明分别见第 4 节与第 6 节)

2 功能

对于人、材料和事的分析，我倾向于在阐明概念之后，先分别讨论才能、性能和功能，它们分别是人、物和事的变化结果；它们是由外因(环境)通过内因(结构)引起的过程所造成的。本节讨论科技法功能之后，第 3、4 及 5 节分别论述结构、环境和过程；第 6 节阐明科技法的能量。

科技法的功能可分为规范功能和社会功能两大类，分述如下。

2.1 规范功能

一切法律都具有规范功能，科技法的规范功能在科技活动领域内实现。与其他部门法的规范功能一样，表现为指引、预测、评价、强制、教育和激励六种。一般对于法的强制功能印象深刻，造成“法者罚也”的错觉。其实，法还有其他五种鼓励守法的积极作用。我国古代法家，例如韩非，就强调赏罚并用：

“治国之有法术赏罚，犹若陆行之有犀车良马，水行之有轻舟



便楫也,乘之者遂得成。伊尹得之,汤以王;管仲得之,齐以霸;商君得之,秦以强。”(《韩非子·奸劫弑臣》) (8.3)

“夫善赏罚者,百官不敢侵职,群臣不敢失礼,上设其法,而下无奸诈之心,如此则可谓善赏罚矣。”(《韩非子·难一》) (8.4)

科技法的规范功能简述如下。

(1)指引功能

对人们行为的指引是一种规范的指引,具有权威性,这种指引可分为确定性指引和非确定性指引。

确定性指引表明在一定场合是必须如此行为或不得如此行为的,人们没有选择的余地;一般都规定了相应的后果,即法律后果。这种立法的意图在于防止人们做出违反法律的行为。例如,规定不得侵犯他人专利权;签定和履行技术合同不得有欺诈行为。非确定性指引表明人们在一定场合下可以这样行为,至于人们是否这样行为,由行为人凭自己意愿加以选择。这种立法的意图在于鼓励或容许人们从事法律所指引的行为。

(2)预测功能

这种功能具有两种含义:一方面,行为人可以预测有关人可能采取的行为;另一方面,行为人可以预测自己的行为在法律上是有效还是无效,是受法律的肯定还是否定。例如,依据技术合同法,一方当事人在履行合同时,可合法地期望另一方当事人相应地履行合同;如果一方当事人由于非法定原因而不履行合同,则可预测到另一方当事人的求偿行为以及法律对自己违法行为的态度。

(3)评价功能

人们依据科技法,可以判断、衡量某种行为在法律上是有效的或是无效的,是合法的或是违法的;如果是违法的,是属于何种违法,程度是轻还是重,必定招致何种制裁等。所有这种评价都是依法做出的。法律评价只是针对人们的实际行为做出的,对人们的思想或心理活动,法律不能发挥评价功能。

(4)强制功能

强制的对象只是违法者的违法行为。科技法的强制功能不仅是外在的,而且是内在的。违反科技法的行为,不仅将招致法律制裁,而且往往由于这种行为也违反了自然规律,从而受到来自自然规律的惩罚。例如,违反章程的操作行为,不仅要受到法律制裁,还可能会机毁人伤而受到自然规律的惩罚。人们遵守科技法,不仅需要有法律意识,也要有科技知识。

(5)教育功能

法律的实施,不仅对违法者有教育作用,而且对试图违法者起着预警作用,对社会公众也起着守法的教育作用。当人们的合法权益受到法律保护而起到

预期后果时,也会对社会公众起着示范性的教育作用。此外,科技法的教育功能还教育人们尊重科学,尊重客观规律,尊重知识,尊重人才;这种影响往往是潜移默化的。

(6)激励功能

表彰或奖励性的科技法律规范的实施,对于激发人们从事科学研究和技术开发、科技成果的合理利用与推广,鼓励人们积极从事促进科技进步的工作,具有重大意义。科技法的这种功能,同主要用于制裁不法行为的刑法一类法律,有着显然不同的特征。

2.2 社会功能

科技法的社会功能可以概括为如下相辅相成的四个“保障和促进”:

- (1)科学技术进步;
- (2)科技成果的合理使用和推广;
- (3)国际的科技交流与合作;
- (4)协调人和自然的关系。

科技法一般通过如下八种形式体现其社会功能:

- (1)确认科技进步在社会发展中的地位;
- (2)确认国家发展科技的目标、任务、方针、政策、原则和制度;
- (3)确认科技发展中的各种关系以及这些关系中的主体、客体和事实的法律地位;
- (4)划定各种主体在法律上的权利、义务或职权、职责的范围;
- (5)保护以上所确认的法律地位以及所划定的权利义务关系或职权出现的关系;
- (6)管理、调整和监督科技关系和科技活动;
- (7)规定人们行为的法律后果,借以激励合法行为、制裁违法行为;
- (8)规定解决法律关系主体间纠纷或其他法律问题的机构、方式和程序,以保障法律的实施。

3 结构

设系统的结构、组元的集合与组元间关系的集合分别用 S 、 E 与 R 表示,则:

$$S = \{ E, R \} \tag{1.23}$$

在下面,依次讨论纵向和横向结构。

3.1 纵向结构

图 II .17 示出与科技法有关的纵向结构。

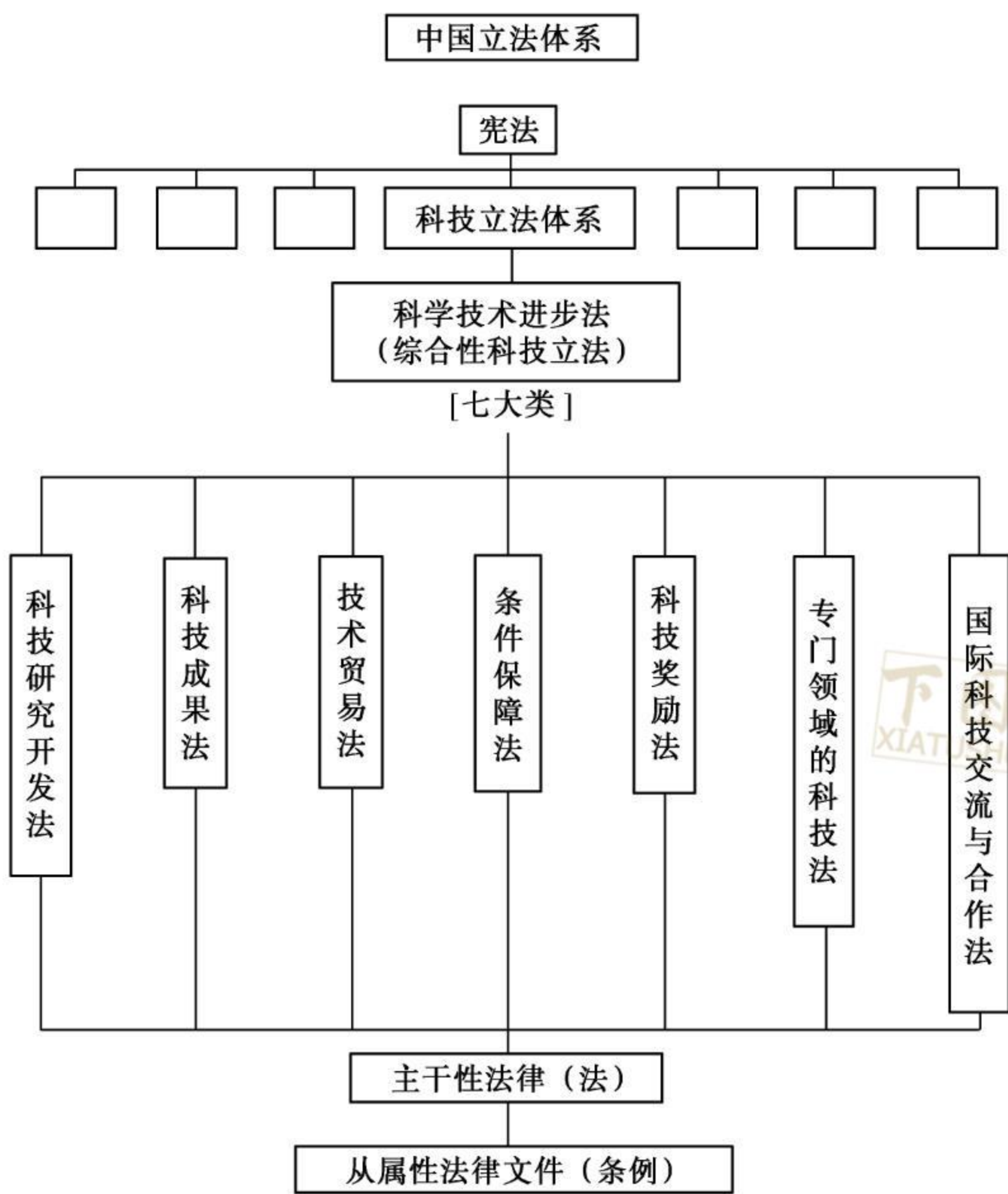


图 II .17 我国科技立法体系的纵向结构

在我国，根据宪法规定，全国人大及其常务委员会行使“国家立法权”，其他有关国家机关可分别行使制定法规、规章等规范性法律文件之权：国务院制定科技行政法规；国务院有关部委制定科技行政规章；地方人大及其常务委员会制定地方性科技法规。

我国科技立法较晚，这是由社会经济、科学技术的发展形势导致的。20 世纪 80 年代以来，我国政府确定了“经济建设必须依靠科学技术，科学技术工作必须面向经济建设”的指导方针和相应政策，开始了科技体制改革，先后制定和实施了科技发展的中长期总体规划和各种层面的计算，例如：“星火计划”，“火炬计划”，“科技成果推广计划”，“八六三计划”，“国家重点科技攻关计划”，“基

基础性研究计划”等。我国的科技事业正朝着明确的战略目标迅速发展,“科学技术是第一生产力”和“科教兴国”的战略思想正成为全民之共识,这为建立我国科技立法体系,创立了良好的社会环境。1993 年 7 月 2 日颁布的《中华人民共和国科学技术进步法》是我国第一部科学技术基本法。正如图 II.17 所示,它是“综合性科技立法”,必须依据《中华人民共和国宪法》——国家的根本大法定制,不得与宪法相抵触,否则归于无效;在它的下面,有七大类法,各种主干性法律,大量的从属性法律文件;这便是“科技立法体系的纵向结构”。

3.2 横向结构

科技法是一个新兴的部门法,是从老的部门法中分立出来的。从(1.23)可以看出,论述结构 S ,就是在寻求组元 E 及关系 R 。现从如下两方面讨论横向结构:科技法与其他部门法之间的关系;科技法内的横向结构。

3.2.1 科技法与民法之间的关系

民法是调整平等关系主体的公民之间、法人之间、公民与法人之间的财产关系和人身关系的法律。它与科技法之间的关系和区别表现如下。

(1) 渊源关系

科技法主要是从行政法、民法中分立出来的,因而科技法与民法有着历史渊源关系。例如,《技术合同法》、《专利法》等是由民法转属于科技法的。因此,它们之间有着交叉关系。

(2) 所调整的社会关系不全同

民法只调整平等主体之间的关系,而科技法却调整平等主体之间或不平等主体之间的关系。

(3) 调整手段有所不同

民法坚持以等价、有偿的原则调整;而科技法虽也坚持有偿原则,但很难以等价为原则,这是因为精神财富(科技成果)往往很难精确计算其价值。科技法可通过奖励方式调整社会关系,而民法和其他部门法却很难采用这种方式。

3.2.2 科技法与行政法之间的关系

行政法是调整国家行政关系的法律规范的总称。它与科技法之间的关系和区别如下。

(1) 渊源关系。

同 3.2.1(1)。

(2) 所调整的社会关系不全同

行政法调整国家行政关系,这种关系的当事人必有一方是国家机关,因而当事人双方往往处于不平等的地位;大多数科技法关系的双方都是在平等主体



之间发生的。

(3) 调整手段有所不同

在大多数情况下,科技法都采用平等、有偿的原则;而行政法的调整,一般以权力性、命令性和双方关系的不平等性为特征。对违法行为,行政法主要采用行政制裁;而科技法则兼有行政制裁和民事制裁。

3.2.3 科技法与环境法之间的关系

环境法是保护环境和自然资源、防治污染和其他公害的部门法,通常指自然资源法和环境保护法,前者指对各种自然资源的规划、开发、利用、治理和保护等方面的法律,如《森林法》、《草原法》、《渔业法》、《矿产资源法》、《土地管理法》、《节约能源管理暂行条例》等;后者指保护环境、防治污染和其他公害的法律,如《环境保护法》、《海洋环境保护法》、《水污染防治法》、《大气污染防治法》等。关于科技法与环境法之间的关系,我国法学界存在不同的认识,但环境法的调整对象,不仅涉及科技领域的社会关系,也涉及其他领域的社会关系,而且科技法作为一个部门法,也不应太广泛,因此,这两种法以分开为宜。

3.2.4 科技法与经济法之间的关系

经济法在我国也是近十余年才兴起的部门法,顾名思义,它是调整社会经济关系的法律规范的总称。但是,经济关系也是一个很大的社会关系领域,除开经济法外,民法、行政法等部门法在不同程度上,也在调整经济关系。《民法通则》颁布后,澄清了这几种法的界限:民法主要调整平等主体之间的财产关系,即横向的财产、经济关系;不是平等主体之间的经济关系,主要由经济法、行政法调整。

科技法与经济法的关系和区别分述如下。

(1)两者具有交叉关系。如上所述,经济法调整纵向的经济关系,而科技法则调整因科技活动引起的科技关系。在一般情况下,二者的界限是清楚的。若纵向的经济关系和科技关系同时存在于某一社会关系之中,如政府科技拨款,便出现了交叉关系。

(2)所调整的社会关系有所不同。经济法仅仅调整纵向的经济关系;而科技法既调整科技活动中平等主体之间的横向关系,也调整不平等主体之间的纵向关系。

(3)采用的手段也有不同。经济法既然调整纵向经济关系,则采用的手段主要是行政的;而科技法的调整则综合运用行政的和民事的手段。

3.2.5 科技法内的横向结构

在图 II.17 中,平列了七大类科技立法[(1.23)中 E],但没有讨论这些 E 之间的关系 R ,只是指出有许多主干性法律和从属性法律文件。

在科技法学文献中,曾有建议将科技法分为科技基本法、科技行政法、科技民法、科技劳动法、科技刑法等,这个建议值得进一步探讨,是一个尚未解决的问题。

建立这种横向结构时,应该遵照《中华人民共和国科学技术进步法》给出的框架,因为如图 II.17 所示,它是我国第一部科学技术基本法。这部法律以邓小平关于“科学技术是第一生产力”的科学论断为依据,总结了建国以来发展科技的成功经验和十四年科技体制改革的重大政策,确定了我国科技立法的总的指导思想和基本原则,并建立了科技法律制度体系的框架。这个框架包括五部分:

(1)从事科技事业和科技实业的主体法律制度组合,包括科技行政管理体系、研究开发机构、科技人员、企业技术创新等。

(2)增强科技实力和促进科技长入经济,将科技工作的如下三个层次纳入法制轨道的法律制度组合:

①科技工作直接为经济建设服务的法律制度,例如技术合同与技术市场、科技成果转化、科技计划、知识产权等法律制度;

②加速高技术产业的发展的法律制度;

③基础研究和应用基础研究方面的法律制度。

(3)依靠科技进步,解决社会发展重大问题,促进社会经济持续发展的法律制度,例如人口控制、改善环境、提高社会公共设施技术水平、促进人体生命健康的医药卫生保健等的法律制度。

(4)为提高科技成果的产出率的有关法律制度。

(5)其他组织管理方面的法律制度,例如国际科技合作、国防科技、科技信息网络、生物资源出境控制等法律制度。

上述框架列出横向结构(S)的组元集合(E),仍须寻求组元间关系的集合(R),才能确定 S 。

4 环境

从图 II.16 可以看出,“环境”是一切系统变化过程的外因,对于科技法来说,本节仅从立法来说明环境对法律过程的影响。

法律是调整人类社会关系的一种规范,而如图 II.16 所指出的那样,科技法要调整科技活动中的社会关系。这种调整便是科技法的形成,即立法过程。现从社科和科技两方面,试图说明当前的社会环境和科技环境对我国科技法的形成极为有利。

4.1 社会环境

当代中国正处于社会主义初级阶段,社会主义的本质在于解放和发展生产力,消灭剥削阶级,消除两极分化,最终达到共同富裕。对于生产力,应该如何理解?马克思早就说过:

“生产力里面也包括科学在内。” (8.5)

1982年,邓小平丰富和发展了马克思主义的科技生产力理论:

“科学技术是生产力,而且是第一生产力。” (8.6)

我曾尝试用“生产力”(P)的结构来理解这个重要思想([B26])。在给定的社会环境(e)中,生产力(P_e)取决于系统的结构(S),依据(1.23)结构的定义, P_e 取决于系统的组元($x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$)和组元间关系(用函数f表示):

$$P_e = f(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) \tag{8.7}$$

式中, x, y 及 z 分别为劳力、资本及资源,属硬件; α, β 及 γ 分别为科技、信息及管理,属软件。同类相加、异类相乘,可较好地表明交互作用:

$$P_e = [X(x) + Y(y) + Z(z)] \cdot [A(\alpha) + B(\beta, \alpha) + \Gamma(\gamma, \alpha)] \tag{8.8}$$

(1) 科技函数 $A(\alpha)$

1991年5月,江泽民在中国科协全代会上讲话指出:“科学技术为劳动者所掌握,就会极大地提高人们认识自然、改造自然和保护自然的能力;科学和技术和生产资料相结合,就会大幅度地提高工具的效能,从而提高使用这些工具的人们的劳动生产率,就会帮助人们向生产的深度进军。”我理解:这里所提到的“掌握”,便是(8.8)式中的 $[X(x)] \cdot [A(\alpha)]$,这就指出了科技教育的重要性;所提到的“结合”,便是(8.8)式中的 $[Y(y) + Z(z)] \cdot A(\alpha)$ 。(8.8)中 $[X + Y + Z] > 0$,欲使 $P_e > 0$,则要求 $[A + B + \Gamma] > 0$,只有真科学技术,才有 $A > 0$ 。

(2) 信息函数 $B(\beta, \alpha)$

一方面,信息科学是一门科学;另一方面,如何对待和分析信息,又受信息提供人员的动机和水平影响。因此在(8.8)中,我用 $B(\beta, \alpha)$ 。在国际竞争激烈的当代,引用国际信息宜注意:

- ① 适用性 —— 针对国情,不应盲目引进。
- ② 滞后性 —— 公布的资料较实际情况滞后若干年。
- ③ 欺骗性 —— 由于竞争需要,有些企业公布甚至鼓吹已放弃领域的科技资料,应去伪存真,免误入歧途。

我国春秋战国时代,争夺十分激烈;《孙子兵法》第十三篇“用间”,可供获取和分析信息以及技术保密参考。



(3) 管理函数 $\Gamma(\gamma, \alpha)$

一方面,从科学管理到管理科学, Γ 受 α 的影响;另一方面,如何管理,又受管理人员道德水平和业务能力的影响。因此在(8.8)中,我用 $\Gamma(\gamma, \alpha)$ 。

Γ 同 B 一样,可大可小,可正可负。内耗、低能、不勤政,则 Γ 小;若腐败而不廉政,则 Γ 为负,抵消科技函数 A 的正值作用。

至此,我初步认识了四点:

① 由于科学技术(α)影响了(8.8)中其他五个因素,而它的函数 $A(\alpha)$ 又是正值,从它的重要性认识到它是“现代生产力中最活泼的因素和最主要的推动力量”,因而初步理解“科学技术是第一生产力”的深远意义。

② 为了发挥科学技术的实际作用,要十分注意“信息”和“管理”的作用:不要使它们的函数 B 及 Γ 为负值,抵消科技函数 A 的正作用;而要增大它们的正值,从而增强 A 的正作用。

③ 尽管我国科技的某些领域在世界范围内并不落后,但在实际上,并未导致发挥第一生产力的作用,从中可以探索“管理”的作用和影响。

④ 不注意科技信息的适用性、滞后性及欺骗性,将会导致浪费。

1992 年 10 月召开的中共中央第十四次全国代表大会,将建立社会主义市场经济体制确立为我国经济体制改革的目标;1993 年 3 月,第八届全国人民代表大会第一次会议通过的宪法修正案,将此载入国家根本大法;1995 年 5 月 6 日,中共中央、国务院发布《关于加速科学技术进步的决定》;同年 5 月 26 ~ 30 日召开全国科学技术大会,提出了“科教兴国”的伟大战略方针;1996 年初,中共中央又提出“依法治国,建设社会主义法制”的治国方略,这已为全国人大八届四次会议批准的《国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》所肯定。这一系列的重大措施,为科技法的建立,创造了优良的社会环境。

4.2 科技环境

在本章 1.2.1(1),我们已简明地指出科技的发展对立法的影响,这是世界的大势所趋,我们应急起直追,加速我国科技法体系的建立。

5 过程

本节分四小节,依次论述科技法运行过程的概念、特点、两个阶段、利益。

5.1 概念

科技法的运行过程是社会^①→科技法^②→社会的过程,即社会提出对科技



法的要求,促使法律的形成①;然后用科技法去调整社会关系②,实现其立法目的的过程。在第①阶段,由于科技、经济、社会的发展,提出以法律调整科技领域的社会关系的要求,国家根据这种要求,创制科技法,确立在科技活动领域中指引人们行动的准则。在第②阶段,科技法作为社会关系的调整器而运作,被人们遵守、执行、适用,从而发挥其功能,并实现其目的。

5.2 特点

科技法的运行有如下四个特点:

- (1)这种运行是人的活动的结果和表现,这里所说的人是泛指,既指个人,也指国家机关、社会团体、企业事业单位乃至国家整体。
- (2)这种运行借助于国家强制力的保障。
- (3)第①阶段的运行表现为法律规范的形成,即权利、义务被设定;第②阶段则表现为令行禁止,即主体的权利得到享受、义务被履行、禁令被遵守。
- (4)从运行结果来看,国家有利于科技进步的社会关系模式化,并转化为现实的社会关系,从而形成促进科技进步的社会环境和法律秩序。
- (5)科技法的运行并不是孤立进行的,它不仅受到其他相关法律运行的强烈影响,而且受到经济、科技、政治、道德、宗教、文化系统运行的强烈影响,因此,科技法的运行要与这些系统的运行相互配合,相互促进。

5.3 两个阶段

5.3.1 第一阶段

一般经过如下五个过程:

(1)提出立法案

在我国,首先由党和政府提出科技政策。党中央根据科技、经济、社会发展的规律和现实,提出科技发展的总方针和总政策(例如1985年中共中央《关于科技体制改革的决定》)以及有关领域的政策(例如高科技领域的特殊政策),由有关部门,特别是政府主管科技工作的部门,再根据党中央的政策,针对具体领域,为解决某一方面问题而提出较为具体的政策(如产业政策,技术选择政策,科技人员政策,有关资金、税收、贷款、物资等政策)。由有立法提案权的人提出立法案。

(2)形成法律草案

一般成立起草工作小组,进行调查研究,总结规律和经验,发现问题,提出对策,提交法律草案;有时由提案人直接提出法律草案。



(3) 审议法律草案

由全国人大及其常务委员会进行审议。

(4) 通过法律草案

由全国人大代表不记名投票,需获全体代表(不是出席会议的代表)的半数以上同意才能通过。由全国人大通过的科技法是科技基本法。

(5) 颁布法律

由国家主席根据大会的决定,以主席令的方式公布为法律。

5.3.2 第二阶段

这个阶段的一般情况的运行机制主要是:法律规范—法律事实—法律关系—享受权利和履行义务的行为—实现法律关系。这些运行是通过法律执行和法律监督来完成。此外,在特定情况下,还会出现法律适用问题:

- (1) 科技争议发生,但法律主体之间不能自行解决时;
- (2) 违法情况出现而必须加以处理时;
- (3) 依法必须由主管机关审核批准时;
- (4) 依法必须由主管机关分配资源时。

总之,法律主体靠自己不能使科技法继续运行的情况下,便要借助于法律适用的手段。法律适用都经过下列一些过程:

- (1) 调查研究;
- (2) 选定适用于经甄别认定的事实和情况的法律规范;
- (3) 针对事实、情况和选定的法律规范做出法律推理、法律解释;
- (4) 做出裁决并制作和送达裁决文书;
- (5) 执行裁决文书中的要求或采取措施以保证其实现。

5.4 利益

利益,俗称“好处”,它含有如下两方面意义:

(1) 利益始终是一定主体的利益。在这里,主体既可以是个人,也可是人的聚合体,如团体、单位、派别、阶级、社区、国家等。

(2) 利益是主体生存与发展的客观需要,它以一定方式获取资源,从而使这种需要得到满足。

人们利益的多样性,决定了社会关系的复杂性;对利益的分配、调整、控制,呈现着复杂的社会图景。在下面,分别论述利益对于科技法形成和实施的影响。

5.4.1 利益与科技法形成的关系

人们在科技的生产(研究与开发)、科技产品(知识产品,如著作、技术)的分



配和交换(如技术转让、科技进出口贸易)的过程中,逐渐形成人们的利益关系结构。人们的利益决定了人们在科技生产、分配和交换中的行为的方式,并逐渐形成一定的行为规则。这些规则中,有的反映为道德规范,有的反映为习惯,另一些则形成法律,具有极大的权威性。立法案的提出,实际上是一种利益关系的形成和利益要求成熟的反映。

从国家利益考虑,科技法案的提出、草案的拟定、审议、通过和公布为法律的全过程,都是为了国家自身利益的要求。

一方面,利益是科技法运行的内在动力;另一方面,科技法也是保护正当利益、调整利益关系的有力工具,这反映在如下三个方面:

(1)科技法确认一定的利益是正当的、合法的,则以法律形式确认利益主体、主体需要以及主体为满足需要而获取相应资源的行为都是合法的、正当的。

(2)科技法对正当利益实现过程中发生的法律关系加以确认。

(3)科技法否定不正当利益,制止获取不正当利益的行为,排除对正当利益实现过程的干扰和阻碍。

5.4.2 利益与科技法实施的关系

追求正当利益的合法行为,是推动法律正常运行的力量;而追求不正当利益的违法行为,则是引起法律适用的原因之一。

作为行为动力的“利益”,其作用有二:

(1)推动主体行为的动机。为了利益,推动主体采取合法行为来满足自己的利益的要求;反之,若主体需要与满足该需要的行为受法律否定,而主体硬要去满足这种需要时,便使主体产生违法行为的动机,推动主体实施违法行为去获取不正当的利益。

(2)需要和获取资源的综合考虑,即实现两者的结合,推动人们去寻求和采取最经济的行为。人们为满足需要而获取资源的行为,都要耗费一定的既得资源(体力、智力、财力、荣誉等)。以最小耗费而获取最大利益的经济原则,对于合法行为和违法行为的选择,具有内在的导向。即使是在社会主义社会,利益推动人们选择行为的经济原则,仍然会推动一些人选择违法行为来实现自己的利益。

合法行为对于推动科技法和其他法律的运行,尤其是对于实现法律的目的具有重要意义:

(1)合法行为是实现法律规范的惟一形式;

(2)一定社会关系的主体,也只有通过合法行为,才能将法律的权利和义务转化为自己的现实的权利和义务;

(3)只有通过合法行为才能实现社会管理的功能。



6 能量

在微观材料学领域内,应用“能量”这个概念,可简易地说明许多问题。如图 I .16 所示:能量控制结构的稳定性④和过程的进行⑤;从结构可计算能量⑥;环境与结构可交换能量⑦;某些功能(人才的才能,材料的性能如韧性,法律的功能)也是一种能量⑧。在下面,从“含义”与“作用”两方面,说明科技法能量与科技法的运行。

6.1 含义

任何法律(包括科技法)都有其能量,它能够调整社会关系、推动科技进步,它是一种国家强制力,是下列三种力的合力:

(1)物质力量

包括下述三因素:

①人员——从事立法、执法、司法活动的立法法官、检察官、警官、警察、狱政人员、行政官员等;

②有关法律活动的物质投入;

③用于法律活动的人力资源和物质资源的结合方式和状况,包括法律机构的设置、相互关系、相互配合、内部结合和工作程序、人员素质及配置、法律设施等。

(2)精神力量

这主要指科技法所体现的科学性、逻辑性等因素对人们的说服力,以及社会对法律的价值观等。

(3)传统力量

这主要指人们守法、执法、司法的素质,这是一个社会的文明素质,即社会的传统力量。

6.2 作用

国家耗费一定的人力和物质资源,在原有的文化和文明的基础上,形成包括科技法在内的法律能量,通过鼓励合法行为与制裁违法行为的方式,影响人们的行为,调整社会关系,发挥 2.1 节所论述的六种规范功能和 2.2 节所论述的四种社会功能。

很明显,法律的能量越大,则法律推动社会前进的力量越大。参考物理学中力的三要素原理:

$$F = Ma \tag{8.9}$$

式中,推动力 F 是矢量 ,其三要素为大小、方向和着力点;质量 M 为标量,我国约有 13 亿人口,设每人的平均质量为 m ,则:

$$M = \sum_{i=1}^{1.3 \times 10^9} m_i = 1.3 \times 10^9 m \tag{8.10}$$

要使这个巨大的 M 有可觉察到的 a ,则必须有巨大的 F :

$$F = \sum_{i=1}^{1.3 \times 10^9} f_i \tag{8.11}$$

增大 F 的途径从力的三要素考虑:

- (1) 教育和培训,提高国民素质,增大 $|f_i|$;
- (2) 政策和宣传,调整力的方向,减小抵消;
- (3) 政策引导和法令限制,控制着力点,防止团团转。



第 9 章 材料科研

([A8]第八章,[B9],[B30])

“材料科研的结果应有学术或/和经济效益。” (9.1)

1 引 言

图 II .2 示出,1996 至 2010 年我国的大局是:为了实现两个根本转变,必须实施两个基本战略。在第 6 章“生态材料”中,我们论述了“可持续发展”战略;本章及第 10 章将以“材料科研”及“材料教育”为例,分别论述另一个基本战略——“科教兴国”的实施:一个谈科研的“科”,另一个谈大学人才培养的“教”。这样选题,只是著者有些实践,学习思考后,有些认知。

办大学,一般都期望办成研究型大学;当教师,也希望参加科学研究。这些期望和希望是可以理解的,也应鼓励。

首先,要明确什么是“研究”?它与“学习”有什么区别?

俗话说:“研究研究”,主要是认真分析问题;《辞源》谓:“研究是穷究事理。”英文将研究叫“Research”,其中“search”是探索,反复(re-)探索构成研究。目前在国内外将研究与开发(Development)并称为科学研究,简称为 R&D。

首先,推敲一下,学习与科研之间,有什么区别?如图 II .18 所示,将一个事物置于个人的判断,若属“未知”,再置于科学界进行判断,若仍属“未知”,才有必要进行科研,否则通过学习,就能达到“已知”。因此,发现与发明的参考点是科学界整体,不是个人,进行科研之前,要进行文献检索,将本应“学习”的事,变为“科研”,这是一种很大的浪费。

科学技术是生产力,科研是发展科技的一种重要手段。科研是“科学学”的主要内容,它既是一种技巧,也是一种艺术。在科学发展史中可以看出,科研既自觉或不自觉地受着哲学的支配;而科研成果的反馈,又影响了哲学的发展。从宏观材料学考虑,必须十分重视成果的经济效益和社会效益。

本章对材料科研的类型、选题、方法、科研水平、评价和管理各问题扼要地提出一些看法。

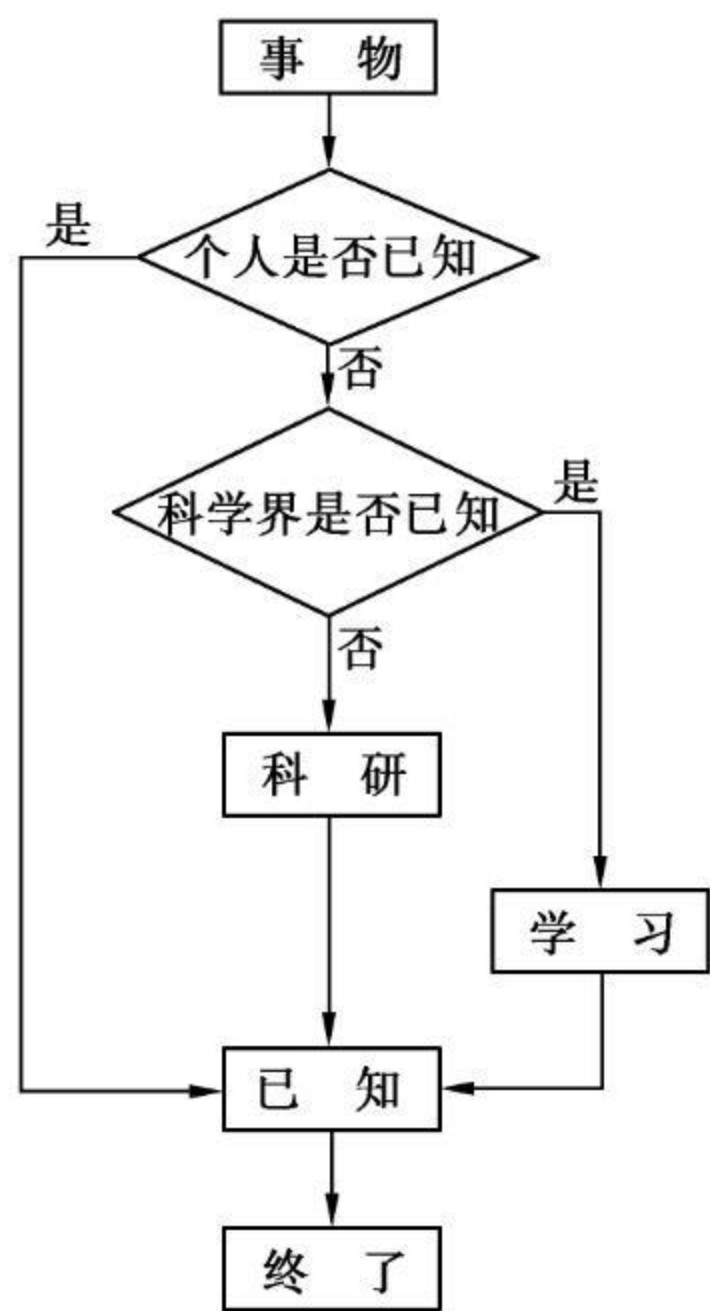


图 II .18 学习与科研

2 类 型

对科学研究的分类,可以明确科学研究这个概念的外延,即具有科学研究所反映的特有属性的具体类型。为了明确概念,定义和分类(或划分)是十分必要的,当然也是较困难的。

因此,应该迎难而上,对于科学研究要尝试进行分类,只有这样,才能明确概念和要求,制定政策和采取措施。

美国科学基金会(NSF)及联合国教科文组织(UNESCO)对于科学研究分为基础研究(Basic research)、应用研究(Applied research)及发展或开发(Development)三类,定义如下:

①“基础研究——是没有特定的商业目的而进行的、为了使科学知识进展的原始性研究。它可以是提出单位现在或将来感兴趣的领域。” (9.2)

②“应用研究——是为了特定产品或工艺而进行的、发现新科学知识的研究。” (9.3)

③“开发——是将研究结果或其他的一般科学知识转移到产



品或工艺所遇到的非常规问题所涉及的一系列技术活动。” (9.4)

若采用这些定义,则它们的共性是一个“新”字:“原始性”当然是崭新的;“非常规”也有新意。因此,有些“科研”,只是常规的检验,既不是研究,也称不上开发。这三类研究的主要区别在于应用:基础研究没有特定的商业目的,或只是现在或将来感兴趣的领域;应用研究却是针对特定产品或工艺;开发则进一步将成果转移而进行物化,创造经济效益。

从技术发展史来看,不是取消哪一种科研,而是依据国家的经济条件和长远利益,确定合适的比例,这就需要国家制定政策,予以保证。关于理论联系实际的问题,可以有多种方式:进行如定义(9.1)所规定的基础研究,若有意识地注意可能的实际应用,就可能有实用的效益;若进行如定义(9.2)及定义(9.3)所示的应用研究及开发工作,若有科学判断力,则可抽出需要解决的基础理论问题。依靠专家和系统工程,剖题而进行各类科学研究,有可能形成理论与实际密切结合的整体。

3 选 题

提出一个问题往往比解决一个问题更重要,科研选题若不合适,则或者出不了成果,或者成果只是低水平的重复,意义不大。因此,科研选题是十分关键的。

在第2章的2.5.1节,曾以新诗“牧羊人”[(2.66)]描绘大学的研究生导师治学、研究择路的遭遇,可供参考。

选题的方法因科研类型而异。在下面,借用生物学、军事学、经济学、固体物理学中的著名原理,提出几点基础性科研选题的看法。

(1)生存竞争,适者生存

将达尔文的进化论应用于科研选题,需要说明“适”、“竞争”和“生存力”三点。

“适”就是要符合社会的选择原则,即国家的科学技术方针:经济建设必须依靠科学技术,科学技术必须面向经济建设。科研选题必须深刻理解并符合这个方针。

任何“竞争”,都有一个规则。美式足球赛允许挡人、挤人、打倒人,抱球前进。我国的科研竞赛,各有自己的跑道,应在自己的跑道上奋力前进。

科研的“生存力”,主要是比贡献,摆实力。应该记住,学科的界限从来是模糊的,学科领域从来是在变化的。若能站得高,则看得远,当强大实力队在主战场竞赛时,弱小的力量可在学科的边缘形核而壮大。美国的“硅谷”成长是一



个很好的实例。这便是科研的战略,也是科研的艺术。

(2)加强协调,继续生存

人类社会,既有竞争,才能前进;又要协调,才能维持强大的生存力。吃“大锅饭”,是社会结构中很落后的关系。赫胥黎从生物进化论得出这样的看法:一个否定生存斗争这种天性的人类社会,必然要从外部遭到毁灭;一个被这种天性统治的社会,必然要从内部遭到毁灭。竞争与协调,从来是人类社会需要解决的大问题。科研协调有各种含义,既有学科之间的协作,相互启发借鉴;也有科研队伍内部的协调,扬长避短;也有科研队伍之间的协作,增强集团竞争力和生存力。为了保持良好的协作关系,必须有合作的伦理道德。

(3)明确科研类型,选题选人

《孙子兵法》谋攻篇指出:“知彼知己者,百战不殆。”科研选题时,知彼者,了解题目的类型和难度;知己者,了解自己队伍的能力。只有这样,才能百战而不败。

(4)收益递减律的借鉴

如图 II.19 所示的、表示投入产出关系的、经济学中的收益递减律,当 $\frac{d^2g}{dx^2} < 0$, 则边际收入 $\frac{dg}{dx}$ 便会递减。科研有效益(经济的或学术的)问题,可类比和借用经济学原理。经济就是计算和选择,因此,科研选题时,可以借用经济学中的收益递减律。

以材料科学中位错理论为例,自从 1934 年 Taylor、Orowan、Polanyi 分别独立地提出位错假说,1955 至 1956 年 Hirsh 等人利用电子显微镜在薄晶体中观察到了位错及其运动以来,位错的研究一直很活跃。但是,到了 20 世纪 70 年代以后,这种活跃的势头已经大为减弱。这种现象可用收益递减律来说明:位错周围的弹性问题已经基本解决,并进入教科书;而位错中心的问题难度大,既需要运用量子力学,又要求大容量的计算机,从事这方面科研工作,投资大,收益少;此外,还有不少的新兴工作,吸引了有才华的科学家。

科技工作者自选科研课题以及科技管理人员组织科研课题时,都应该自觉地注意收益递减律的作用。

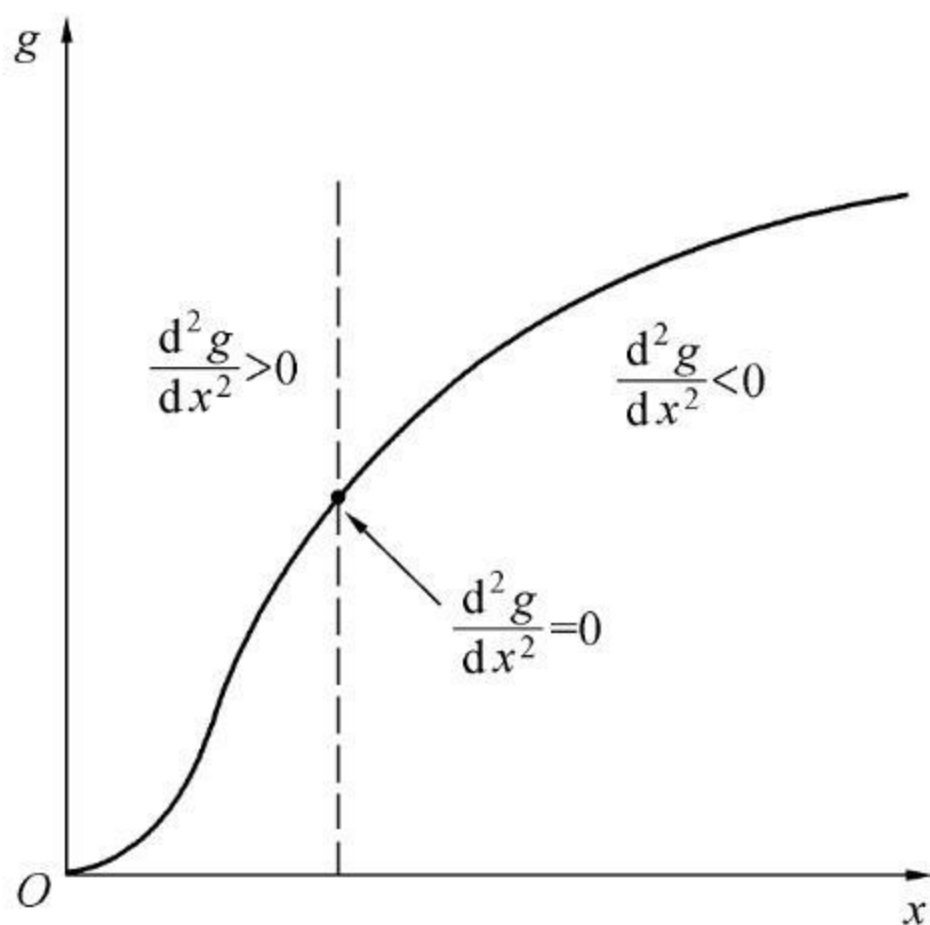


图 II.19 投入(x)产出(g)曲线



(5)形核理论的启示

在科研过程中,不管是实验观测还是理论分析,都是复杂的思维过程。在这些过程中,人脑中形成新概念和新理论。可从固体物理中的形核理论受到启示,这对科研选题,是很有参考意义的。

图 II.20 中 OA 是溶解度线。温度为 T_1 时,成分为 C_1 的 1 号合金及成分为 C_2 的 2 号合金均为单相 α 。温度为 T_2 时,2 号合金仍为 α ,而 1 号合金则有过饱和度 ΔC 及过冷度 ΔT ,应有新相 β 析出。形核理论导出初期的形核速度 I 为:

$$I = A \exp \left[- \frac{\Delta G^* + Q}{RT} \right] \quad (9.5)$$

$$\Delta G^* = K_1 \frac{\gamma_{\alpha\beta}^3}{(\Delta G_V + \Delta G_S)^2} \quad (9.6)$$

$$\Delta G_V = K_2(\Delta T) \text{ 或 } K_3(\Delta C) \quad (9.7)$$

$$\Delta G_S = K_4 \delta^2 \quad (9.8)$$

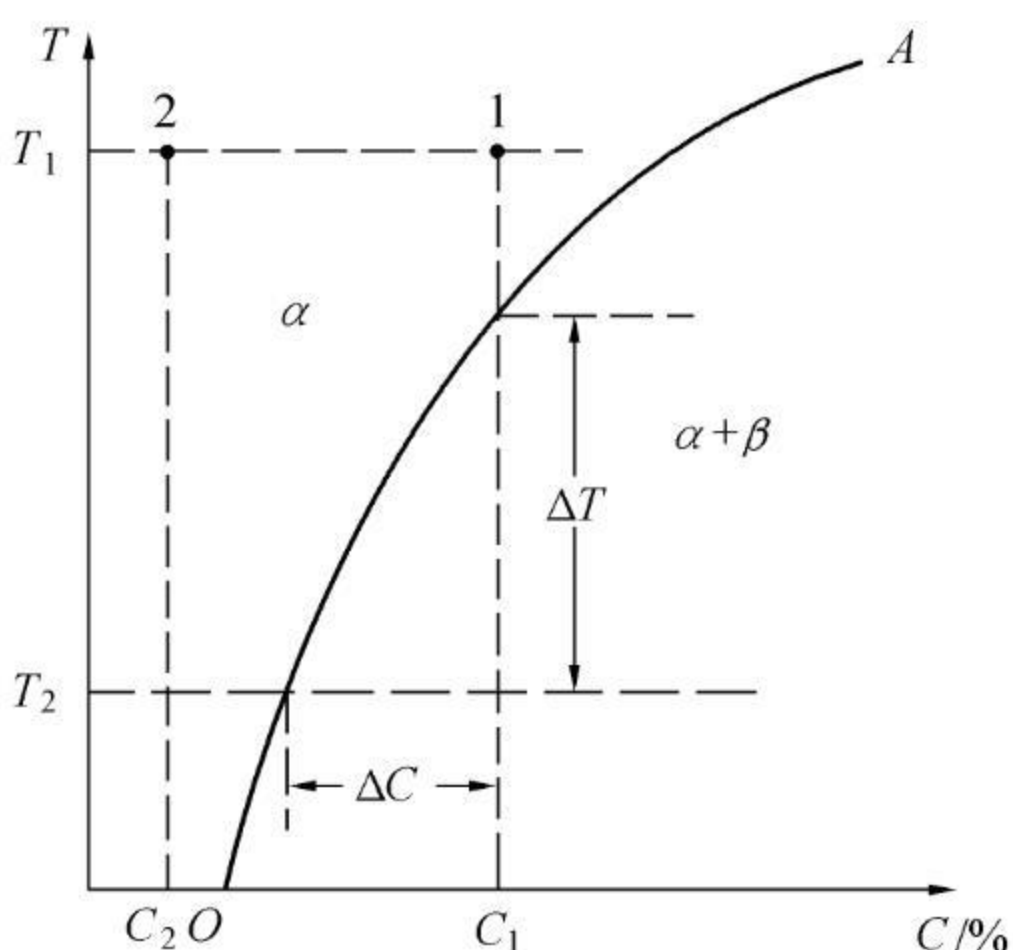


图 II.20 二元系相图

式中, ΔG^* 是形核功; Q 是溶质原子的扩散激活能; T 是绝对温度; $\gamma_{\alpha\beta}$ 是 α/β 的相界面能; R 是气体常数; ΔG_V 是对应于 ΔC 或 ΔT 的单位体积体系的化学自由焓变化,为负值,是析出过程的推动能量,它正比于 ΔT 或 ΔC ; ΔG_S 是弹性应变能,为正值,它正比于原子尺寸不吻合度 δ 的平方,它与 $\gamma_{\alpha\beta}$ 都是析出过程的阻止能量; A 、 K_1 至 K_4 都是比例系数。

若将脑中析出新概念和新理论的过程类比于上述的均匀形核理论,则图 II.20 中的 C 便是知识量,因而得出几点看法:

(1) 析出的必要和首要条件是系统处于过饱和状态,因此,博学 and 广泛地搜集资料,才能增加 C ; 冷静的思考、降温可增加 ΔT ; 轻松的环境、降压与降温一样可增加 ΔC 。

(2) 相界面能 $\gamma_{\alpha\beta}$ 以三次方的关系影响形核功 ΔG^* ; 而 ΔG^* 又以指数关系影响形核速度; 弹性应变能 ΔG_S 为正值,抵消了负值 ΔG_V 的一部分,也以 $(\Delta G_S + \Delta G_V)^2$ 的关系增加 ΔG^* ; 不吻合度 δ 不仅以平方的关系增大 ΔG_S , 也以类似的关系增大 $\gamma_{\alpha\beta}$ 。由此可以看出和理解: 与传统概念(母相 α)析出吻合度很差的概念和理论(新相 β)是多么的困难; 科学史中这种重大事例并不罕见。

但是,依据非均匀形核理论,振动和刺激影响了起伏,有助于形核。最有效形核的地点是界面,完全润湿的界面可以使 $\Delta G^* = 0$, 非常有效地促进了形核。

这个道理也很简单,依靠已有界面的支持,即受交叉学科的支持,较易形核。

上述分析提供了一个很重要的选题启示:寻求学科的结合,在界面上易于孕育出新概念和新理论。材料科学中的金属学,开始时,典范地结合了冶金学和机械学,在发展中,又不断地与物理、力学和化学结合,分别形成金属物理、金属力学和金属化学。当前,以材料为整体,与系统学、经济学、未来学、科学学等的结合,在界面上正孕育而形成宏观材料学。

话说天下大势,合久必分,分久必合,在科研选题上,也要“迎接交叉科学的时代”([C27])。

4 方 法

依据科研类型,正确选题之后,便要选好科研人员;实质上,应该是从已有的科研人员及科研类型去选题。在下面,简述科研方法。

科研方法可分为三大类:

- (1)系统分析法;
- (2)假说法;
- (3)直觉和机遇法。

前两类是理性的方法,第(3)类为非理性的方法。因人因题而异,可选用不同方法。分三小节介绍如下。

4.1 系统分析法

一般采用的系统分析法的思路如下:首先明确目标,然后进行分析,最后用图解法标明科研的步骤。在下面,示例说明。

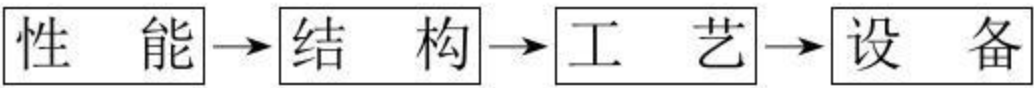
4.1.1 寻求韧性最佳的工艺

(1)目标

这个问题在材料成分固定的条件下寻求韧性最佳的工艺或探寻断裂的机理,前者是材料工程问题,后者是材料科学问题。

(2)分析

运用性能分析的相关法思路:



其中,“性能”是目标,“结构”是理解性能和选择工艺的桥梁环节,“工艺”是另一个目标,“设备”是限制条件。这是一个双目标选择问题,先确定最佳韧性所对应的结构,然后在“设备”这种限制条件下,考虑到“经济”因素,确定工艺。

韧性用 X_C 表示,依据问题的要求,可以是 a_K 、 K_{IC} 、 J_{IC} 、 δ_C 等。在图 II.21

中,用 S 及 P 分别表示“结构”和“工艺”。关于断裂机理的研究,则采用第 4 章 2.1 中所讨论的“相关法”及“过程法”。

(3)步骤

图 II .21 示出上述两类问题的科研步骤。

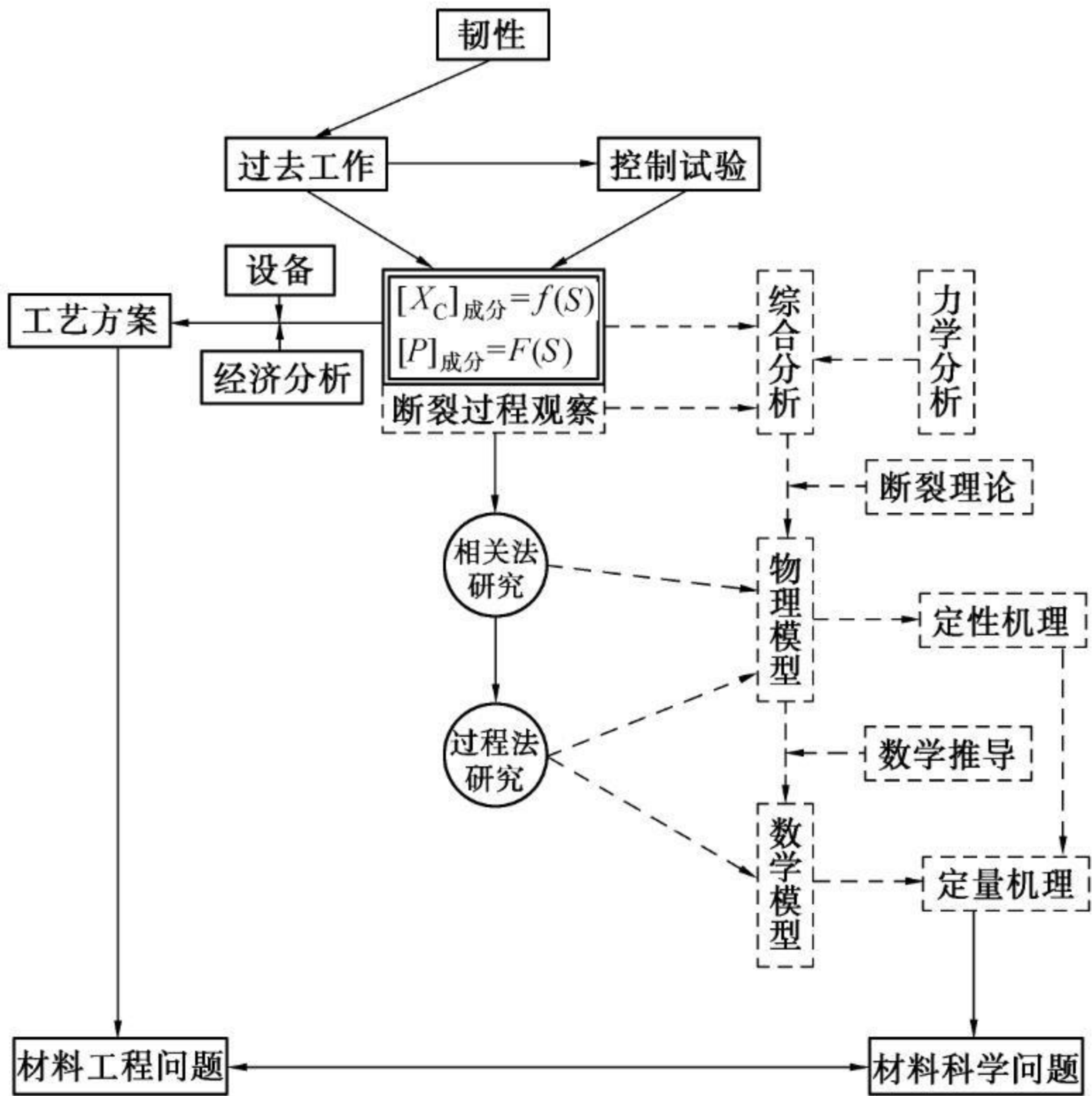


图 II .21 韧性及韧化的研究方法

4.1.2 寻求满足性能要求的材料和工艺

(1)目标

这是一类不计成本的材料工程问题。在一般情况下,性能的要求较高,首先不计成本。若有几种材料都能满足要求,当然选用成本较低的材料和工艺。

(2)分析

为了避免不必要的科研,首先要进行判断(图 II .22 中步骤①),只有现有的材料和工艺不能满足要求时,才综合运用经验(步骤②)及理论(步骤③),提出可能满足性能的结构(步骤④),推论获得这种结构的工艺(步骤⑤)。然后设计试验,进行试验;只当试验结果满足要求,才算完成科研任务。

(3)步骤

示于图 II .22。

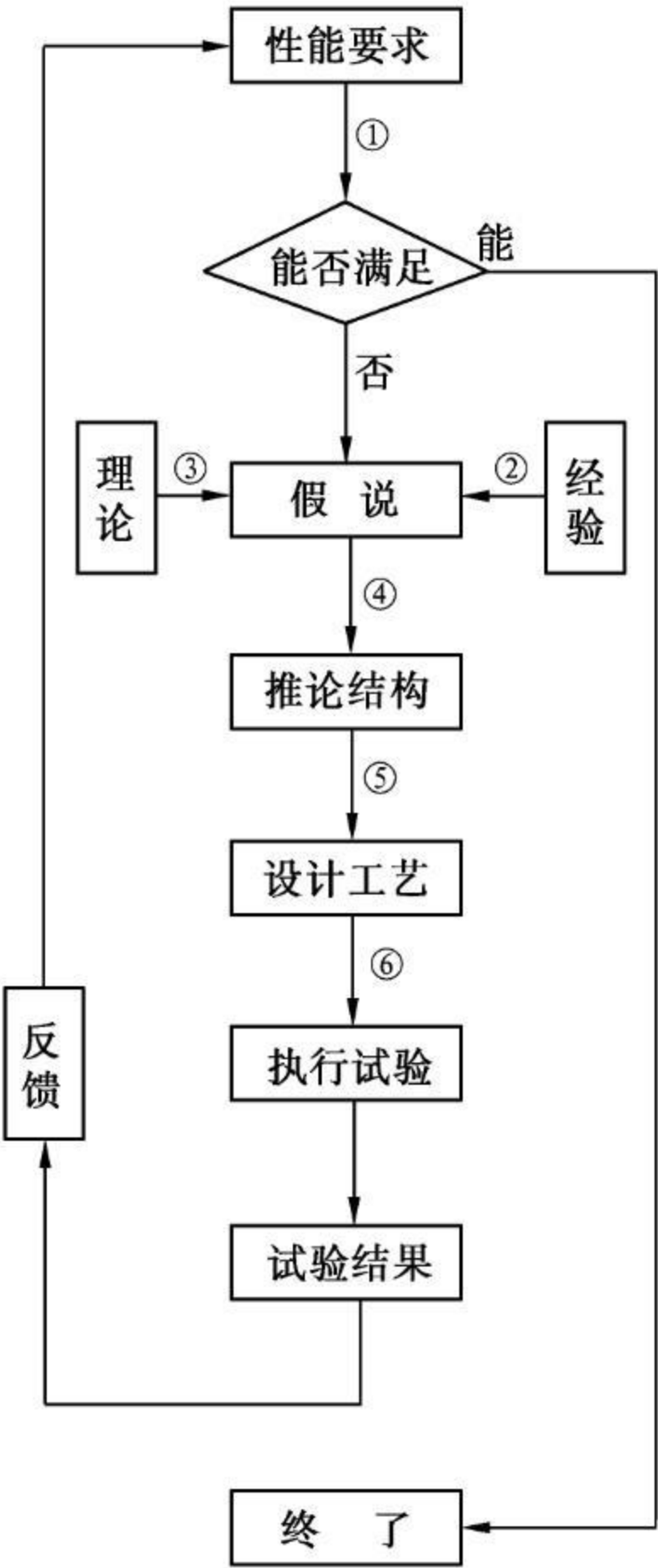


图 II .22 性能研究

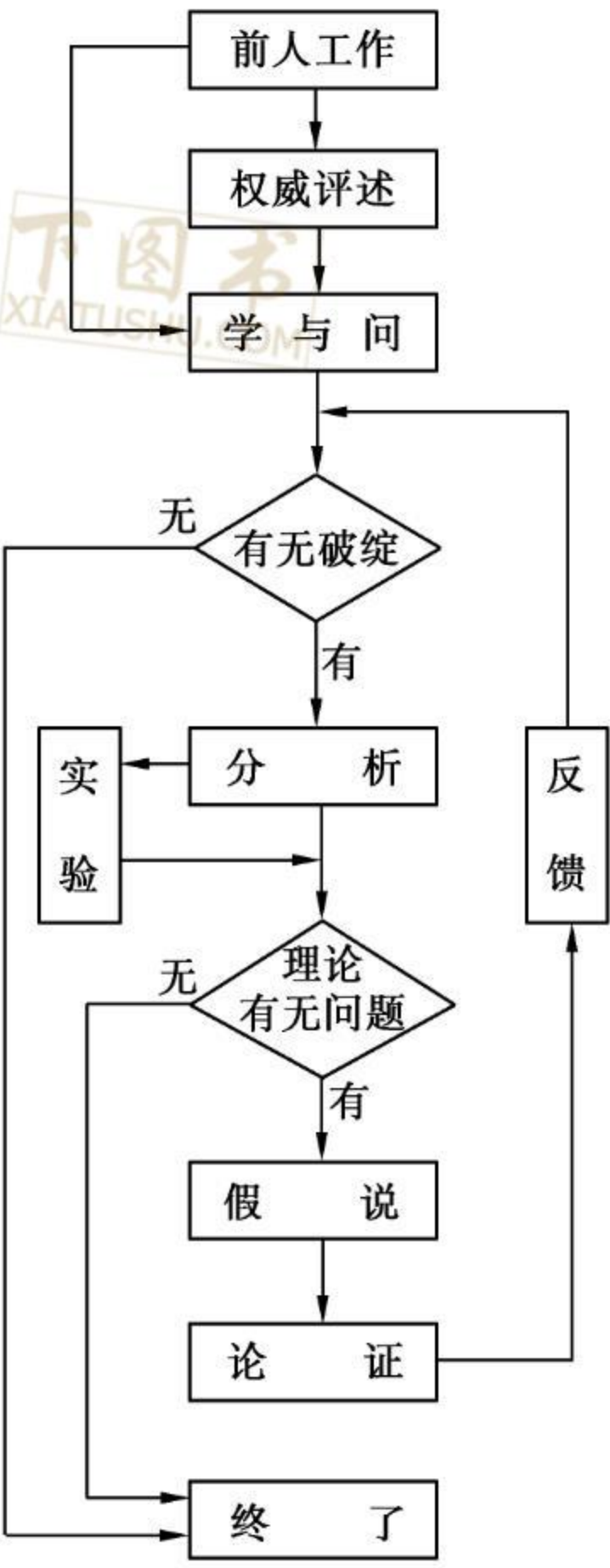


图 II .23 理论研究

4.1.3 材料理论问题的研究

(1)目标

发展或否定现有的理论,提出新的看法,然后进行归纳和演绎的证明,建立新理论。

(2)分析

发现旧理论出现的破绽,便是理论将要跃迁的开始。学而问,非但解惑,也要置疑,实事求是地判断是否有破绽? 如确有,才是在喜悦之后开始艰巨的工作。(见图 II .23)

如何提出假说? 在下节详细介绍。

4.2 假说法

人们通常说,进行科研要有一个“想法”,或者说是工作“假说”,或简称为“假说”(Hypothesis)。假说不一定全是假,译名不妥,易于误会;它实质上是思



维开始时所提出的想法或建议,“想法”较“假说”为佳,从俗,以后仍用假说。

恩格斯有一句名言:

“只要自然科学在思维着,它的发展形式就是假说。”([C12]p201)

(9.9)

系统分析法的图 II . 22 及 II . 23 都指出了假说的重要性;而图 II . 21 中的“综合分析”实质上也是假说法,因为分析的结果——“物理模型”,也是一种初步的设想或假说。从这几个方面验证了(9.9)的论断。

从图 II . 24 可以进一步看出假说法在发现中的关键作用:演绎法只能“发展发现”,因为研究结果不会超过前提;而归纳法通过所提出的假说,通过验证后,可以获得新发现。当然,从新发现导出的结果,也就是假说法导出的结果,需要从两方面反复验证,才能得到广泛承认:

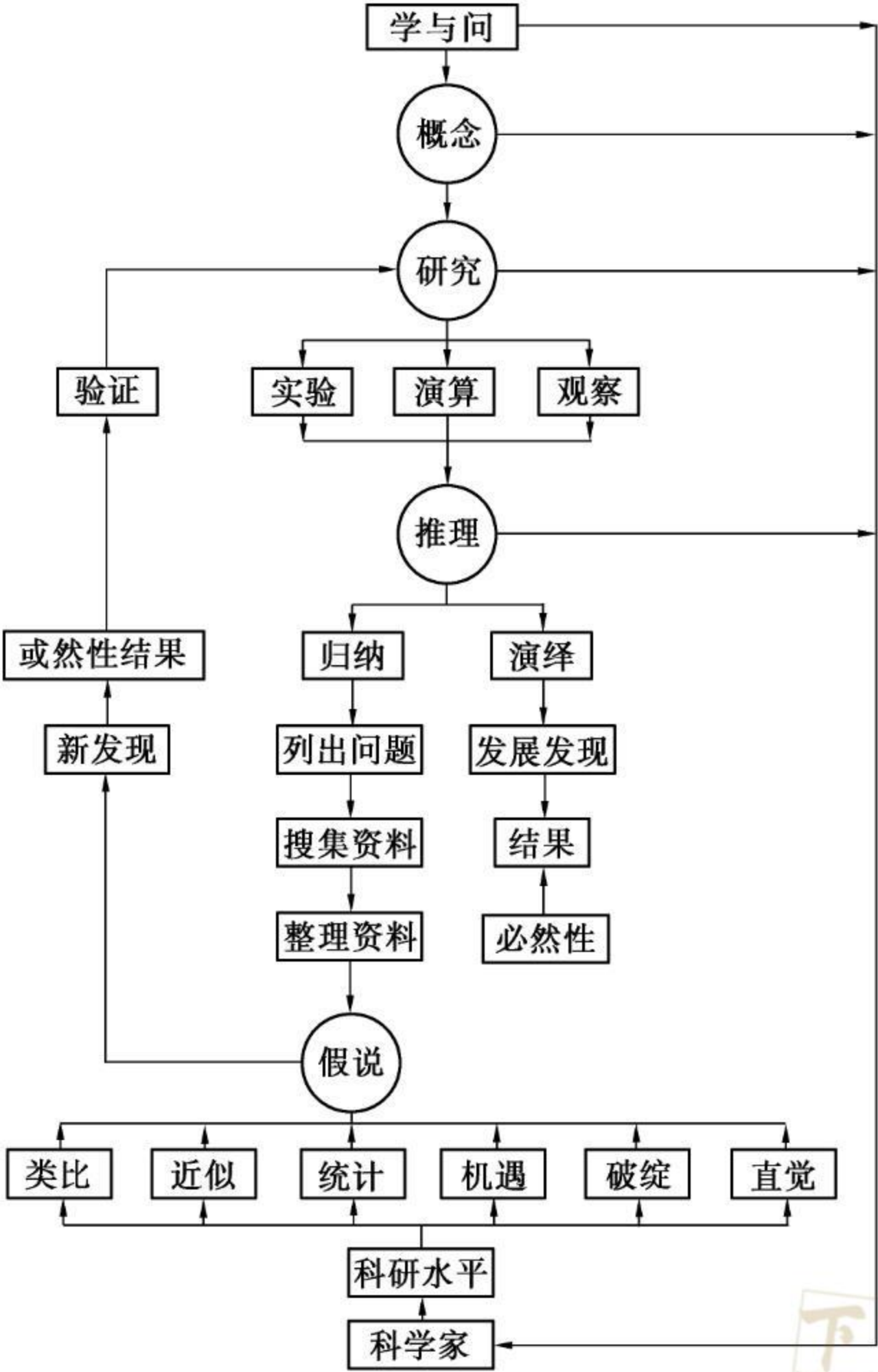


图 II . 24 发明和发现思维图

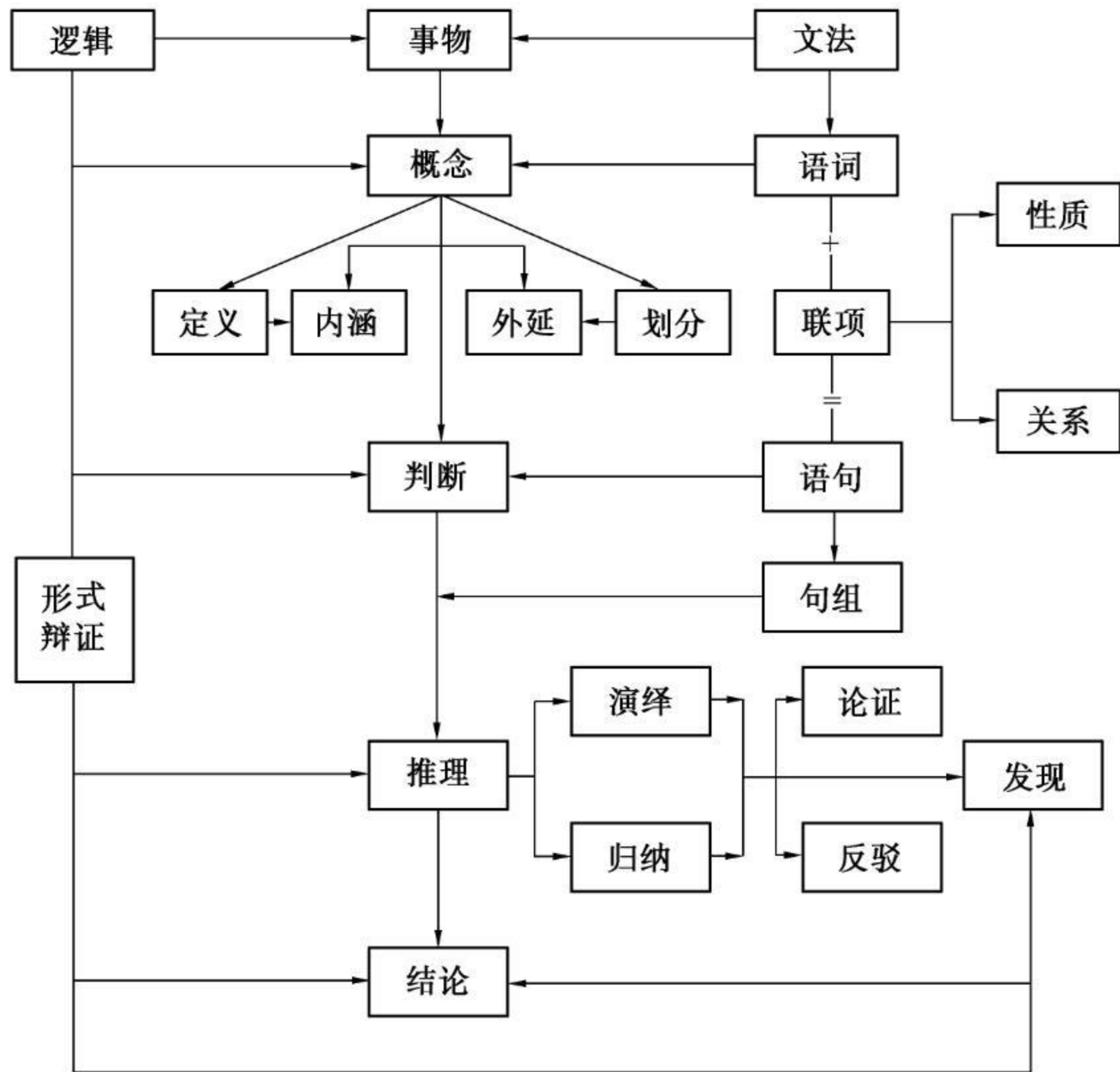
- (1)归纳验证——从大量的事实,进行考核;
- (2)演绎验证——以假说为大前提,其他的判断为小前提,导出新的结论,然后搜集事实或进行控制条件下的实验,进行考核。

想法或假说是很重要的,目前各国的实验和工艺水平都比较接近,因而在未验证之前,想法也保密,否则在竞争中将会落后。各种工作中的“智囊团”的出谋划策作用,是十分值得重视的。

图Ⅱ.24 所示的提出假说的各种方法中,类比、近似、统计、破绽法属于理性推理的方法;而机遇和直觉则属于非理性的方法。前者在本节介绍,后者在4.3 节讨论。

4.2.1 假说法在形式逻辑中的位置

从形式逻辑的教科书([C10]),可以总结出如图Ⅱ.25 及表Ⅱ.6 所示的推理方法的比较,以及如图Ⅱ.25 所示的三种思维形式——概念、判断和推理之间的关系。从表Ⅱ.6 的几个特征来看,假说法属于归纳法,但从假说推出结论,要用到演绎推理以及其他的科学原理,因此图Ⅱ.26 用虚线表示这种关系。假说法虽然只是一种归纳方法,但它又贯穿在其他归纳方法之中,是一种极为



图Ⅱ.25 逻辑分析的总结



表 II .6 演绎法和归纳法的比较

	演 绎 法	归 纳 法
前提与结论之间联系	必然联系	或然联系
认识发展过程	一般到特殊	特殊到一般
结论判断范围	没有超过前提	超过前提

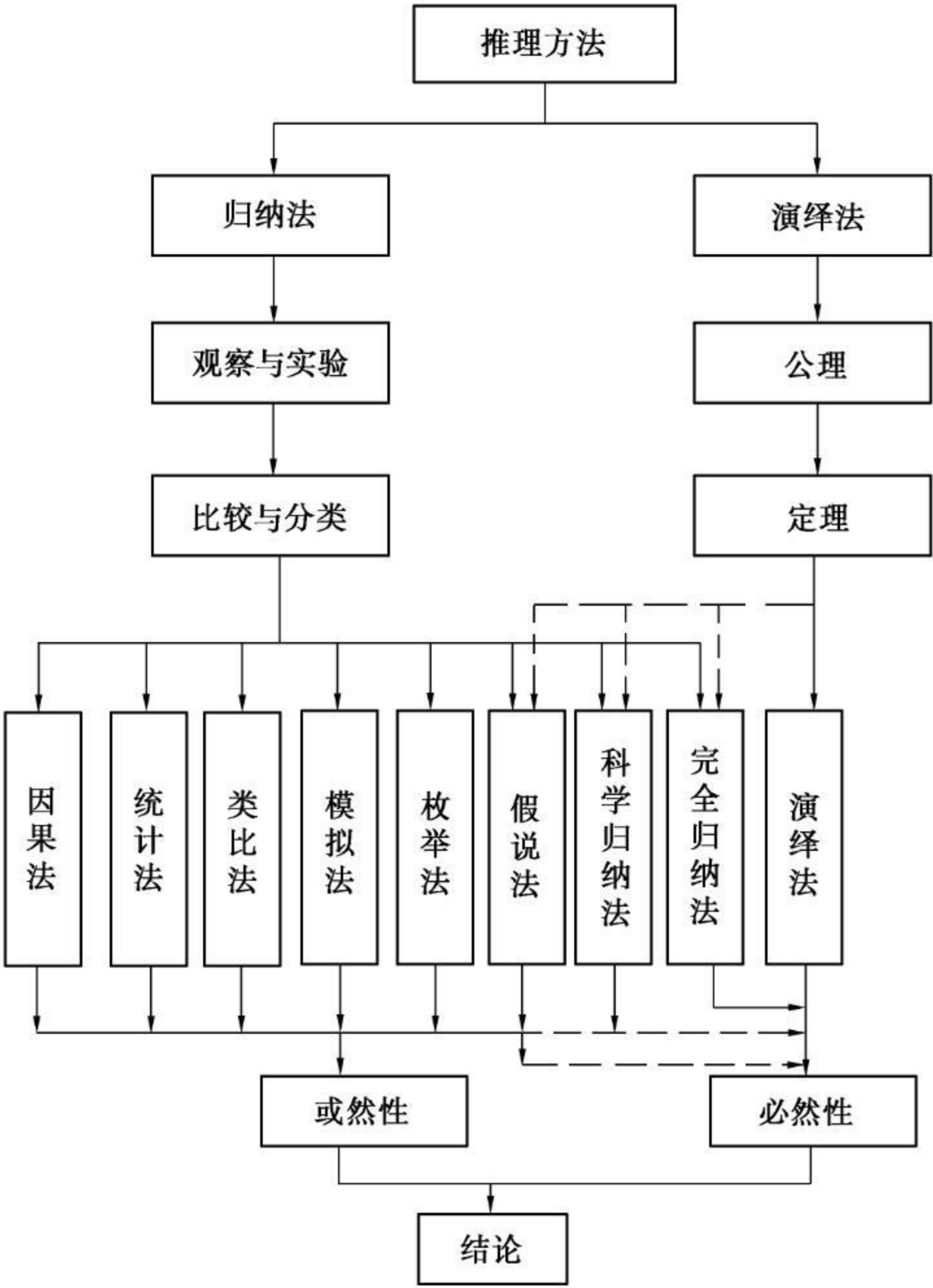


图 II .26 演绎法和归纳法的比较

重要的科研方法。对于假说,采用如下的定义:

“根据已有知识,人们对于所研究的事物或现象做出初步的解释,这就是假说。”[C10]

(9.10)



4.2.2 提出假说的方法

对图 II .24 所示的、提出假说的各种方法示例简要地说明如下，并对科学家科研水平略予评述。

(1)破绽法

图 II .23 曾示出破绽法的系统分析。例如，材料理论强度与实际强度之间巨大差异这个破绽，促使人们有各种各样的设想，终于在 1934 年，Taylor、Orowan、Polanyi 分别提出位错假说，企图弥补这个破绽。又例如，1900 年 Drude-Lorentz 提出的金属的自由电子气理论，运用气体分子动力论所导出的结果，成功地说明了金属的导电性、导热性、光学性质、Wiedemann-Franz 定律等。但是，自由电子气理论的一个主要破绽是自由电子的比热容。依据气体分子动力论，每个自由电子的比热容应为 $3k/2$ ，而实验值只有它的 $1/100$ 。这个破绽导致了 1928 年 Sommerfeld 提出的量子自由电子理论，Bloch 的能带理论以及 1926 年的 Fermi-Dirac 统计，成功地弥补了电子比热容的破绽。

位错理论与固体电子论已成为材料科学的两根重要支柱。

(2)类比法

类比法按照形式逻辑中的定义为：

“我们观察到两个或两类事物在许多属性上都相同，便推出它们在其他属性上也相同，这便是类比法。” (9.11)

则这种方法的可靠程度决定于两个或两类事物的相同属性与推出的那个属性之间的相关程度。采用不同事物中的关系进行类比，可以提高类比法的可靠性和创造性；这种关系便是事物的“结构”，利用同构进行类比，更有意义。

在第 2 章 2.2 至 2.4 节，我们已详细地介绍这种创造性思维和高效的表述方法。

(3)统计法

在热学中的两方面理论——热力学及统计物理学，分别采用了图 II .25 所示的演绎法及归纳法中的统计法。热力学从三个基本定律出发，演绎出大量的推论，并具有高度的可靠性和普遍性。爱因斯坦在高度评价热力学时说过这样的话：

“理论推理前提愈简单，它所联系的不同事物愈多，它的应用范围愈广泛，则这个理论给人的印象愈深刻。因此，经典热力学给了我深刻的印象，它是具有普遍内容的惟一的理论。对于它，我深信，在它的基本概念适用的范围内，它绝不会被推翻。” (9.12)

热力学之所以具有这种高度的可靠性和应用的普遍性，正是由于它不考虑



各种物质的具体结构;也正因为如此,它不能给出物质的具体知识,它只是一种宏观的表象理论。

但是,统计物理却是在物质微观结构和统计学原理的基础之上,运用力学定律研究极大数目的微粒的综合作用,从微观量的统计平均结果,理解物质的宏观性质。这种统计方法建立的统计物理正好弥补热力学之不足,二者的结合,可以彼此联系、互相补充地研究热运动。

从“状态等几率”这个假说出发,人们先后于 19 世纪 60 年代建立麦-玻(Maxwell-Boltzmann)统计,1924 年建立玻-爱(Bose-Einstein)统计及 1926 年建立费-狄(Fermi-Dirac)统计。麦-玻统计对粒子的能量没有限制,而后两种统计则采用了量子力学中的测不准原理,叫做量子统计。与此对应,则麦-玻统计便是经典统计。玻-爱统计对每一相格中所容许的微粒数没有限制,而费-狄统计采用了泡利不相容原理,每一相格中至多容许一个微粒。相格体积 $\Delta\tau_i$ 为:

$$\Delta\tau_i = \Delta x_i \Delta y_i \Delta z_i \Delta p_{xi} \Delta p_{yi} \Delta p_{zi} = h^3 \quad (9.13)$$

式中, x, y, z 为位置坐标, p_x, p_y, p_z 为动量分量。

统计法建立的统计物理在物质科学或材料科学中得到极为广泛的应用。它的成就得到热力学大师吉布斯(Gibbs)高度的评价:

“从历史的发展过程来看,统计力学虽源于热力学的研究,但它值得独立地发展,一方面由于其原理简单而优美,另方面它导致新的结果,使热力学以外的领域的一些旧真理置于新的光彩之中。” (9.14)

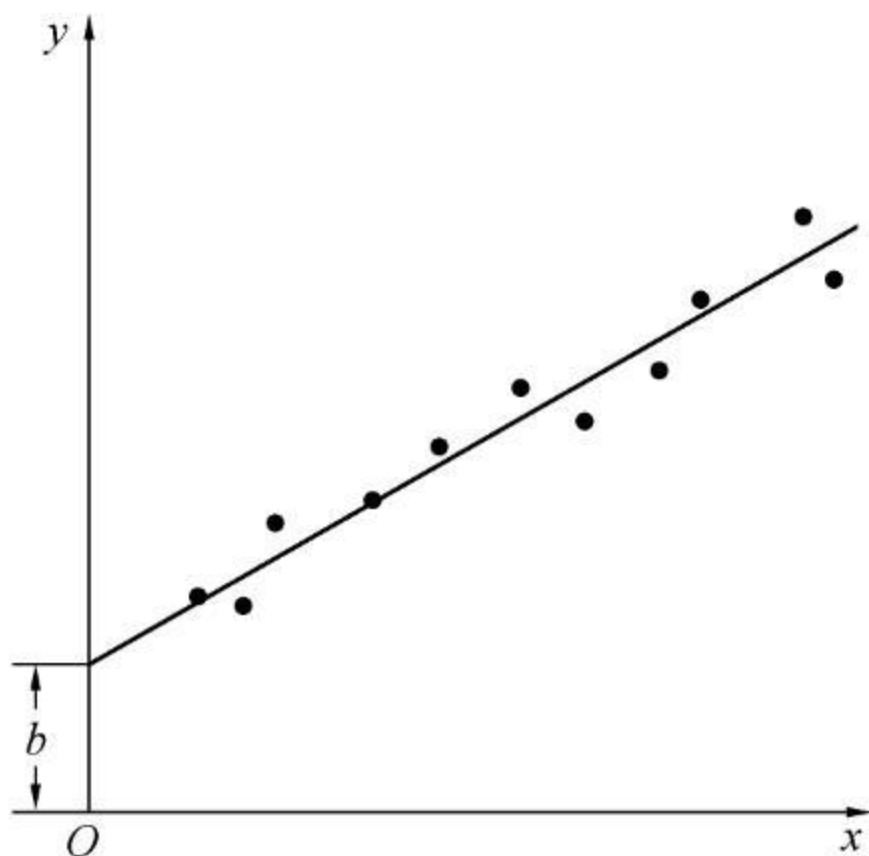
统计法的第二类应用是从样本具有某属性推出总体具有某属性,这类应用的关键是客观地选样本和数据的权重。统计法的第三类应用是大量实验数据的数理统计处理,例如,建立性能参量与结构参量之间的相关性关系,并计算相关系数 R 。

若如图 II.27 所示, $y = mx + b$, 则:

$$m = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}} \quad (9.15)$$

$$b = \frac{\sum y - m \sum x}{N} \quad (9.16)$$

$$R = \frac{m\sigma_x}{\sigma_y} \quad (9.17)$$



式中, N 是实验数据 (x_i, y_i) 数, σ_x 是标准

图 II.27 实验数据的处理

偏差:

$$\sigma_x = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}{N-1}^{\frac{1}{2}} \tag{9.18}$$

对于同一参量观测 N 次,按上式求 σ ,按下式求平均值 \bar{x} :

$$\bar{x} = \sum x / N \tag{9.19}$$

则观测值为 $\bar{x} \pm k\sigma$ 的几率 p 为(按照高斯误差理论):

k	0.00	0.32	0.67	1.00	1.15	2.00	2.58	3.00
p	0.00	0.25	0.50	0.68	0.75	0.95	0.99	0.997

若 $\bar{x} = 25.13, \sigma = 0.03$, 则 \bar{x} 值为 25.13 ± 0.09 的几率为 99.7%; 在这范围之外的几率只有 0.3%。

从上面的示例介绍可以看出,统计法在科学研究中,有着广泛的应用。

(4) 近似法

实际的情况是复杂的,依据已有的知识,能够对所研究的问题,抓住本质,进行近似的假说,处理“理想”的情况,然后对照实际情况,对近似模型进行修正。所以这种方法又叫做理想化方法,爱因斯坦和英费尔德([C4])曾以这种方法为线索,论述了物理学发展史。

以热力学为例,第一定律只是能量转变与守恒定律的扩大,只是在能量项中增加了热能,是力学定律的延伸。第二定律的“可逆性”是一种近似。理想气体定律只当 $p \rightarrow 0$ 时才精确:

$$pV = RT \tag{9.20}$$

适用于溶液或固溶体的拉乌尔(Raoult)定律只当 $x_i \rightarrow 1$ 时才精确:

$$p_i = x_i p_0 \tag{9.21}$$

而热力学第三定律适用于 $T \rightarrow 0$ 的情况:

$$\lim_{T \rightarrow 0} [\Delta S_{(c)}] = 0 \tag{9.22}$$

上述三式都只精确地适用于极限的情况(压力、浓度或温度),Guggenheim 将这三个极限性定律并称为热力学第三原理。

实际情况与理想情况有偏离,则进行修正。例如,范德瓦尔斯于 1880 年考虑了气体分子占有体积 b 以及气体分子之间有交互作用,修正了(9.20)为:

$$(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT \tag{9.23}$$

由于 a 及 b 的效应很小,一般可忽略不计。对于与理想溶体有偏离时,则引入活度系数来修正(9.21)式。



在物理学中,还有许多理想化的假定,例如“绝对黑体”、“无摩擦的运动”、“光波机制的确定”、“电磁理论的建立”等。又例如,为了验证均匀形核理论,设计无杂质的微滴试验。

提出近似的理想化假定,是科学研究中的一个重要方法。

4.3 直觉法及机遇法([C28])

一种突如其来的颖悟或理解,叫做直觉。直觉是脑内下意识活动,有时会出现在睡眠之中。产生直觉的典型条件是:对问题进行了一段时间专注的研究,并渴求得到解答;当放下这项工作之后,在其他的场合,常常会冒出一种使人感到喜悦的获得解答的思路。文献[C28]列出一些史例,例如,爱因斯坦说,他有关时间与空间的深奥概括是在病床上想到的;亥姆霍兹说,巧妙的设想往往是在一夜酣睡之后的早上,或是当天气晴朗缓步攀登树木葱茏的小山时;达尔文关于进化变异的趋向,是在坐马车的途中想起来的……

新概念和新知识有时起源于研究过程中某种意外的观察或机遇现象,例如,伦琴发现 X 射线, Richet 发现生物的诱导敏感作用, Durham 发现抗血清, Wilm 意外地发现铝合金的时效硬化……

直觉和机遇都是非理性的方法,能够有所发现,需要几个先决条件:

(1)长时期的思索和追求。机遇偏爱有准备的头脑;她只垂青那些懂得怎样追求她的人。因此,要留意意外之事。

(2)直觉和机遇是一种刺激或振动的促进形核,为了获得足够的知识过饱和度(参考图 II .20),学习、降温 and 降压都是有助的。

5 科研水平

针对提高科学研究人员的水平,特别是从事基础研究和应用基础研究的水平,提出几点看法:

(1)科学家的品质

最基本的两条品格是对科学的热爱和难以满足的好奇心。聪明、勤奋和坚忍不拔的精神,都是科研成功所需的必要条件。

(2)科研的战略

较长期的科研计划和设想是战略问题。一个是选人,另一个是选题。对于基础研究,主要是支持人;对于应用研究和开发,支持的是项目。选题可参考第 3 节,值得特别强调的是其中的“界面形核”,当甲学科与乙学科结合时,甲学科中一些普通的概念、原理或技术应用到乙学科,可能是非常新奇而有效的。材



科学从本质上讲,是一门交叉的边缘学科,不要放弃或忽视“移植”方法。依据选题的“适者生存”的原则,在适当的时候要战略转移。

(3)科研的战术

《孙子兵法》的十三篇对科研的战术,具有十分有益的作用。对于科研工作,要有充分准备,集中兵力发动进攻,占领阵地,必要时,要迂回作战,或暂时搁置难题,先扫清外围问题。对于成果,要跟踪线索,扩大收获;对于发现和发明,要善于运用系统法和各种假说法。

(4)科研战斗

必须有攀登科学技术高峰的拼搏精神和毅力。成功时的最大报酬是做出新发现时感到的激动,也要准备将会遇到痛苦的失败。Kelvin 写道:

“我坚持奋战五十五年,致力于科学的发展。用一个词可以道出我最艰辛的工作特点,这个词就是失败。” (9.24)

一个人的创造力也许由于对一个问题长期接触而衰退。恢复战斗力的一个措施就是更换领域,这不是“逃兵”,而是不自觉地在领域的界面上形成新的概念,保持敏锐的头脑,做出更多的贡献。

6 评价和管理

科研管理的内容很多,可归纳为事、物、财、人、信息五类:事即课题的始终;物即设备;财包括经费和经济效益;人包括选用和评价;信息包括获得、存储和利用。这些科研管理的内容都是为了科研的目标或效益,科研成果的评价也必须首先针对这种目标或效益。作为本章的结语,围绕科研效益,对评价和管理提几点看法。

6.1 科研效益

如图 II .28 所示,第 2 节所讨论的三种科研类型有不同的效益,不能强求一致。

(1)开发

是科研与生产之间的桥梁,其成果应有明显的经济效益,在这类科研的全过程,应交替地有技术评价和经济评价,依据这些评价结果做出决策:确定课题,选择或变动技术路线以及最后的成果评定。应该指出,开发工作所获经济效益也包括了基础研究和应用研究的贡献,从这个角度讲,这两类研究具有间接的经济效益。

(2)应用研究

具有明确的应用目标,它的经济效益需要发展工作的肯定和证实,因而只能预测。由于应用研究具有“发现新科学知识”的特点[(9.3)],因而它具有导致技术上的突破以及开辟新工业领域的学术效益。

(3)基础研究

主要的效益是学术效益,它丰富了人类科学知识的宝库,应用研究和开发工作从这个宝库汲取营养。因此基础研究的经济效益是潜在的,难以估量的。

由于这三类科研工作有不同的目标和效益,评价时有不同的判据和方式,不能雷同。

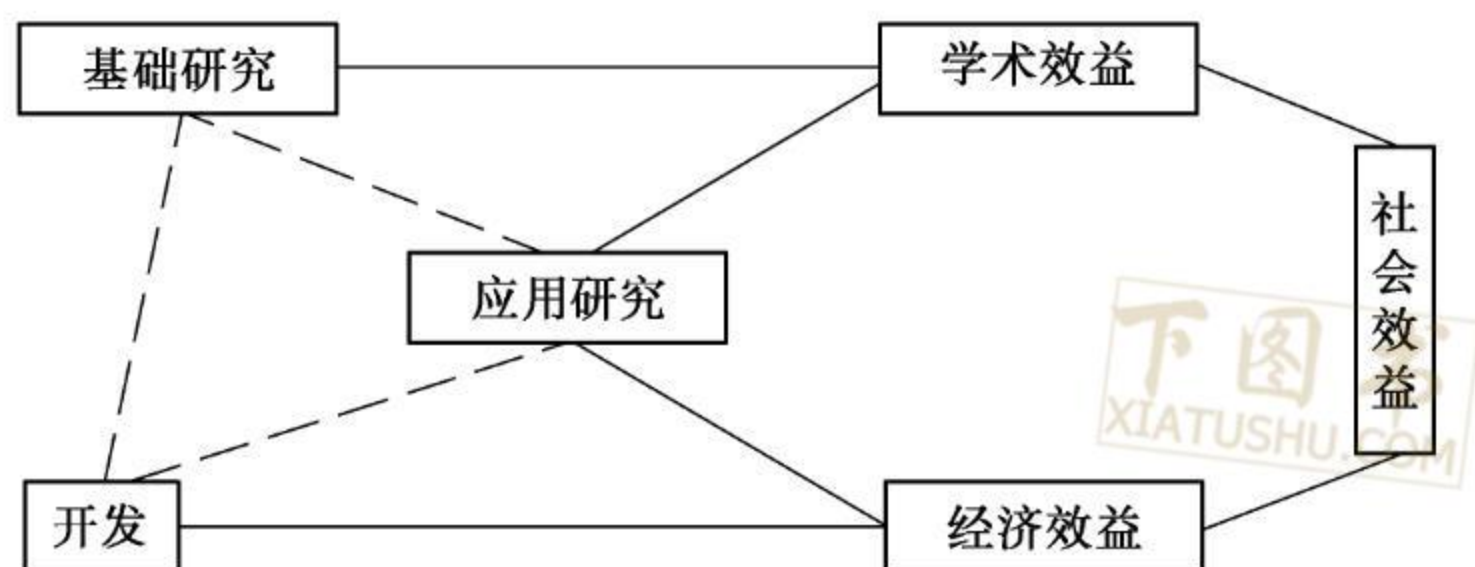


图 II .28 科学研究的效益

6.2 科研效率

效率有时间的概念、速率的概念,如何加速科研效益的获得,是科研管理的目标。科研成果必须有新意,因而科研是具有创造性的劳动,在正确选题(参见第3节)之后,对于不同类型的课题如何适当管理,特别是处理好人际关系和信息流动,是提高科研效率的重要方面。分述一些观点如下:

(1)开发工作应加强管理,对立项及各阶段应进行技术评价和经济评价,依据评价结果进行调整。应用研究在立项时应注意应用背景及前景的分析和论证、技术路线是否可行和是否具有新意;进行时注意阶段成果或进展情况的检查。基础研究则支持人,而不是支持项目;只要人选恰当,就可以放心,因为科学家对他所从事的工作总比管理人员知道的更清楚。过多的干预会影响创造性;更重要的是,为他们准备良好的工作环境——物质的和精神的。

(2)科研组负责人或学术带头人除开道德品质端正及具备一定学术威望之外,要具备组织才能。对于基础研究和应用研究更应挑选想像力丰富的人,因为这些人足智多谋,更富启发性。一个研究集体应该建立共同的目标集中研究,而每个成员又要相对独立。青年的独创精神和拼搏精神与成熟科学家的丰富经历相结合,是十分有益的。



(3)竞争与协调是人类社会需要解决的、在各行各业中的共性问题(参见第7章2.1节)。科研组内以及科研组之间当然都有竞争与协调问题。大的科研项目特别要强调协调,而科研中的各种竞争必须是公平的,并有一定的竞争规则。

(4)在信息爆炸的当代,信息的搜集、整理、储存和调用是十分重要的。正如图Ⅱ.18所指出的那样,科研与学习是有区别的,发现和发明的参考点是科学界整体,不是个人。文献检索是必需的,但有一定的滞后性;参加国内和国际学术会议以及国内、国际的学术访问,可以弥补这种滞后性。

第 10 章 材料教育

“科教兴国,关键在人才。”

(10.1)

依据图 I .7 的整体部署,本章是材料学与教育学的交叉,讨论材料界的人才培养问题。中国的这类人才,尚属于中国的人才。著者于 1957 年担任教授以来,尚未下岗;以前,又在国内外大学的有关科系,注册为学生 7 年。半个多世纪,在巨变的政经风云中,总是低头学习,“低头拉车”;只是近 20 余年在改革开放的大好形势的鼓励下,才“抬头看路”,认真思考。

按照本书“实践出认知”的指导思想,本章分析三个问题:

- (1)简言中国的人才([B26])。
- (2)初论人文素质教育([B33])。
- (3)学习论([B36])。

1 简言中国的人才

古汉字,“才”及“材”通用;遵古训“言简意赅”,参照本书第 4 章“简易材料论”思路;类比材料,浅言中国的人才六点。

1.1 定义

类比人才与材料、知识分子与物质,参考(1.7)得到:

“中国的人才是在能为中国社会高效地做出贡献的知识分子。” (10.2)
在这里,“人才”属于“知识分子”。凡是通过不同途径(不限于在正规学校学习)真正掌握知识的人,统称为知识分子;不是所有知识分子都是中国的人才,定义中那个定语便是“种差”。

这是一个德才兼备的定义:“德”要求为中国社会做贡献,不限国籍;“才”便是下面将讨论的“才能”。

1.2 才能

从人才的定义可以看出“才能”包括:

- (1)贡献
多多益善,并非捣乱,有好的含义。
- (2)有用
为了不误会,“有用”肯定是好。
- (3)高效地
既有“效率”中快的含义,也有“效益”上省的含义。
合并则为“才能是具有多快好省做贡献的能力。”

1.3 知识结构



从材料的性能可以看出,在给定的环境中,人才的才能取决于他的知识结构:

使用环境

→

知识结构

→

才 能

(10.3)

邓小平在给北京景山学校的题词中指出:
“教育要面向现代化,面向世界,面向未来。” (10.4)

- (1)面向未来
生产要解决“今天”的问题,科研成果将在“明天”得到应用,教育质量将在“后天”受到考验。在这里,今天、明天和后天,只是时间的相对含义。
- (2)面向世界
我们已经是、而且必须是开放社会,因而要面向世界,在时间及空间组成的多维空间中进行多维思维,洋为中用,古为今用。
- (3)面向现代化
为了适应现代化的需要,应培养学生具有系统概念、分析方法、综合能力。
为了培养能够“三个面向”,在知识结构方面要加强三个方面:基础是未来的潜力,方法是为了培养应变能力,外语是为了面向世界。

1.4 环境

对于(10.3)所列的使用环境来说:一方面,用人单位要创造良好的工作环境,另一方面,“人才”也可选择工作单位,这样,可以人尽其才。因此,应该允许人员的合理流动。

1.5 过程

关于人才的教育和使用过程简述如下。

- (1)教育过程
类比图Ⅰ.3,教育问题也有如图Ⅱ.29所示的五个环节,也应该是:

“面向社会,抓两头,带中间。” (10.5)

材料企业不重视设备,则竞争力下降;一个社会在实际上轻视教师,则后患无穷。

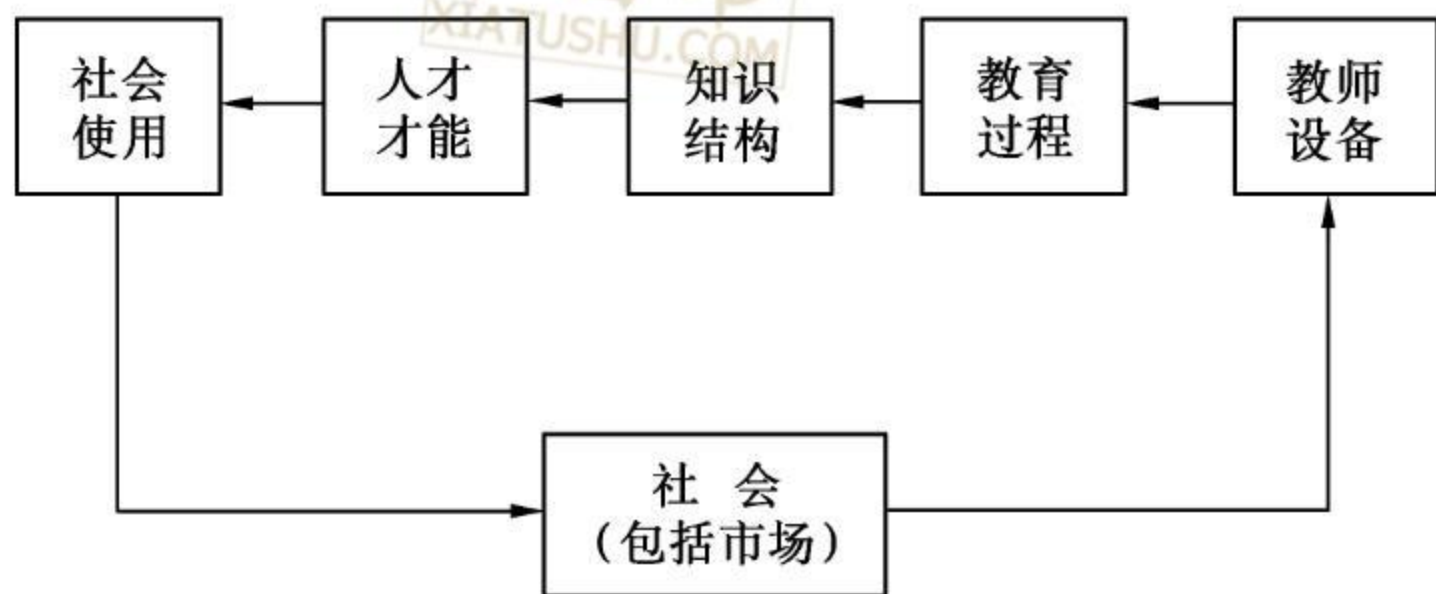


图 II .29 人才教育问题的五个环节

分析教育过程,还有三个问题:

①推动力。解决求知欲问题。

②阻力。疏通学习渠道,讲究学习效果与效率,重视教育心理学应用,改善学习的物理环境。

③学习内容的更新。计划经济体制下的统一教学大纲甚至统一教材,难于适应发展,劳而效低。

(2)使用过程

与自然过程类比,人才的使用过程也有方向、路线和结果,不过,判据不同。

①方向。要符合人才的价值准则,这是“应有现象” D ,通过调查,“实际现象”是 A ,则工作方向便是要解决问题 Q :

$$Q \equiv A - D \quad (10.6)$$

②路线。依靠法令(例如教师法)和政策,保证过程方向。

③结果。人尽其才,才尽其用。

1.6 能量

包括材料科学在内的自然科学,应用能量的观点,可以说明大量的问题(参见第 4 章 2.5 节)。虽然物质是守恒的,能量是守恒的,或者物质和能量之和是守恒的,但信息(或知识)却并不守恒,取之不尽,用之不竭。但是,“知识就是力量”,知识对于人才的作用,可类比于能量对于材料的影响。示例地陈述两个问题。

(1)储能待放

通过学、思、问,可以增加学问;不罔不殆,提高人才脑内的知识浓度。

“君子学以聚之,问以辩之。”(《易·乾》) (10.7)

“学而不思则罔，思而不学则殆。”(《论语·为政》) (10.8)

博学才易有新概念析出。脱溶沉淀理论指出：过程的推动力是自由焓的下降 ΔG ，而 ΔG 却正比于过饱和度 ΔC ：

$$\Delta G = - K\Delta C \tag{10.9}$$

若在学科的界面非均匀形核，便出现维纳在《控制论》所指的“最大收获领域”。

(2) 过程的推动力

与(4.17) 相关，在恒温恒容条件下过程方向的判据是：

$$(dF)_{T,V} < 0 \tag{10.10}$$

写成增量式，并应用统计热力学公式：

$$F \equiv U - TS \tag{10.11}$$

$$S = k \ln W \tag{10.12}$$

式中， F 、 U 及 S 分别是系统的自由能、内能及熵， T 为温度， k 为玻尔兹曼常数， W 为状态数，得到：

$$(\Delta F)_{T,V} = [\Delta U - kT\Delta(\ln W)]_{T,V} \tag{10.13}$$

欲使 $(\Delta F)_{T,V}$ 的负量增大，可有三条途径：

- ① 教育培训，提高潜能 (ΔU) ；
- ② 提高工作热情，使 T 升高；
- ③ 广开思路，则状态数 W 及熵 S 均大。

2 初论人文素质教育

2.1 破题

1996 年以来，人们对于大学的人文素质教育，颇感兴趣。什么是素质？什么是人文素质？明确概念后，便于判断和推理：教育的内容、方式和作用？对德、智、体三育起什么作用？

每个人身上，都深深地被打上业务出身的烙印；由于著者的业务出身的限制，本节侧重地思考理工科大学的人文素质教育，并尝试用著者建立的“材料学的方法论”([A11],[A15])，分析这方面问题。

2.2 概念

以下将采用定义和类比的方法，由简到繁地，从素→素质、人文→人文素质，明确它们的内涵。

2.2.1 素质

(1) 定义

汉文中,“辞”通“词”,有“文词”(“文辞”)、“言词”(“言辞”)、“辞典”(“词典”)等。《辞源》索词之源,并释其意;《辞海》为词之海,所收之词已扩充到 1840 年以后的新词,并补充词之现代含义。

“素”,《辞源》之㊸意(p2401)中,第㊸意为“始,本”;因而“素质”之㊸意(p2403)中,第㊸意为“本质”。《辞海》对它们,有进一步的发挥,“素”的㊸意(p1222)中,第㊸意为“构成事物的基本成分。如元素,因素”;对“素质”,则释义如下(p1222):

“素质——人的先天的解剖生理特点,主要是感觉器官和神经系统方面的特点。素质只是人的心理发展的生理条件,不能决定人的心理的内容和发展水平。人的心理来源于社会实践。素质也是在社会实践中逐渐发育和成熟起来的,某些素质上的缺陷可以通过实践和学习获得不同程度的补偿。” (10.14)

这个释义的优点是:既认为人的素质是人的心理现象的生理条件,又指出它在社会实践中可以改变。不足之处是太长,挂一而可漏多。例如,人的素质可以“改变”,变好也可变坏;发育也是一种改变,什么叫“成熟”? 不确切;心理发展、内容、水平、条件等都属于“心理现象”;“补偿”也是人的素质的一种变化,补偿的方法除实践和学习外,也可采用器械,例如,耳不聪、眼不明的人,影响他或她的“聪明”素质,可以采用助听器或眼镜来“补偿”。依据亚里士多德的“四因论”,释迦牟尼的“诸法因缘起”、毛泽东的“矛盾论”等中外古今的哲人学说(参考表 I .7),事物的变化都是由外因和内因引起的,在给定的外界条件下,这种变化的现象取决于内因。

依据上面的讨论,(10.14)的释义可简化并改为:

“人的素质是人的先天的感觉、神经等生理特点,可以通过后天的社会实践改变。在给定的自然和社会环境中,人的心理现象取决于人的素质。” (10.15)

在下面,通过与“材料学”、“心理学”的类比,可进一步明确“人的素质”这个概念。

(2) 类比

从释义(10.14)可以看出,人的素质是人的心理过程的内因,类似于材料现象(图 II .30)的结构(S)。

如图 II .31 所示,人才的才能和知识结构分别类似于材料的性能和结构,可在教育过程中改变;系统的功能也相似。

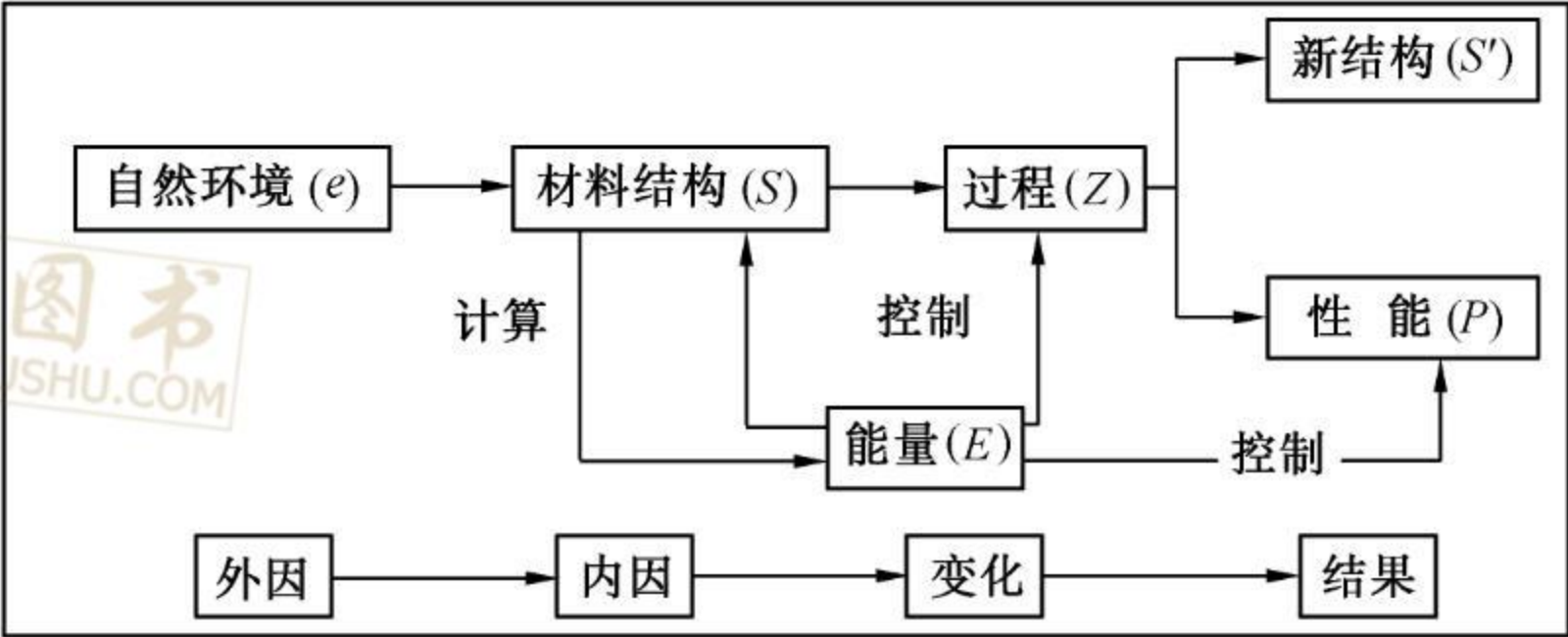


图 II .30 材料的性能、结构、过程、能量及环境之间交互关系

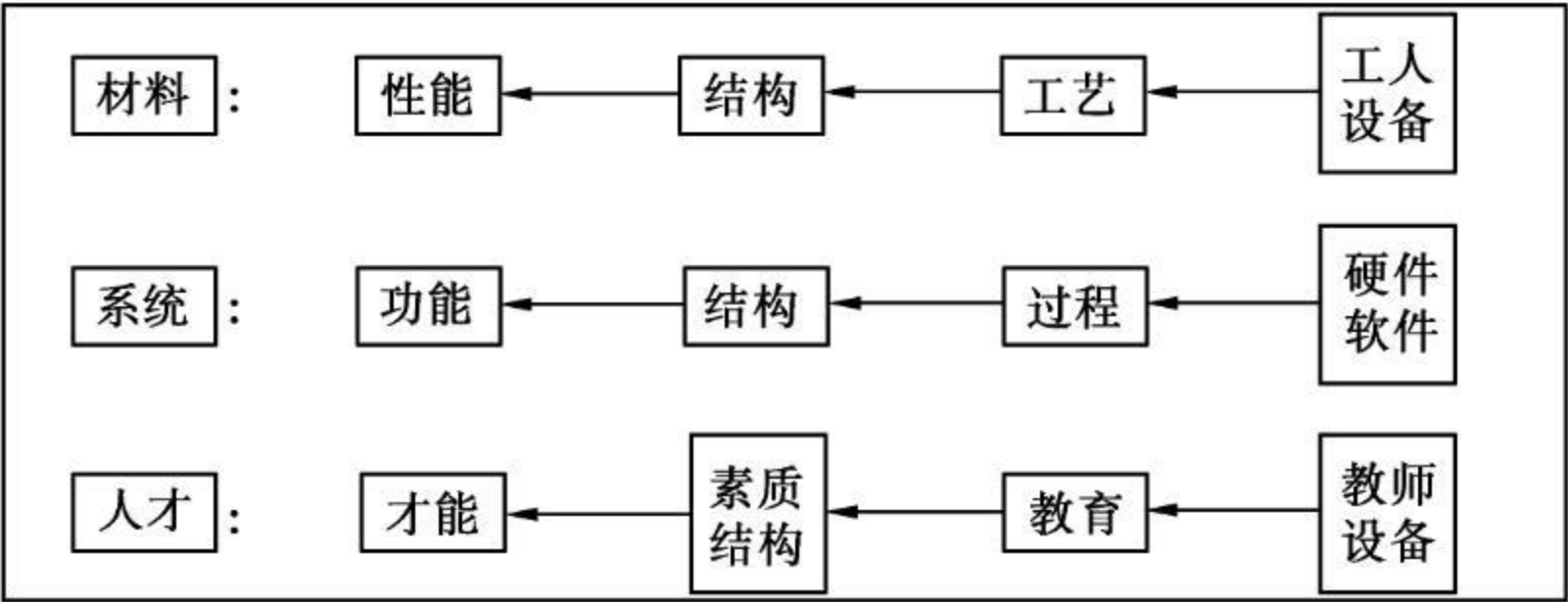


图 II .31 人才、材料和系统的类比

如图 II .32 所示,人的素质在政治环境的作用下,在政治运动(例如“文化大革命”)过程中:一方面有所表现;另一方面,素质也可发生变化($S \rightarrow S'$);这种变化的方向可好可坏,变化的性质可以是可逆的或不可逆的。这种政治运动也是一种社会实践[参见释义(10.14)]。

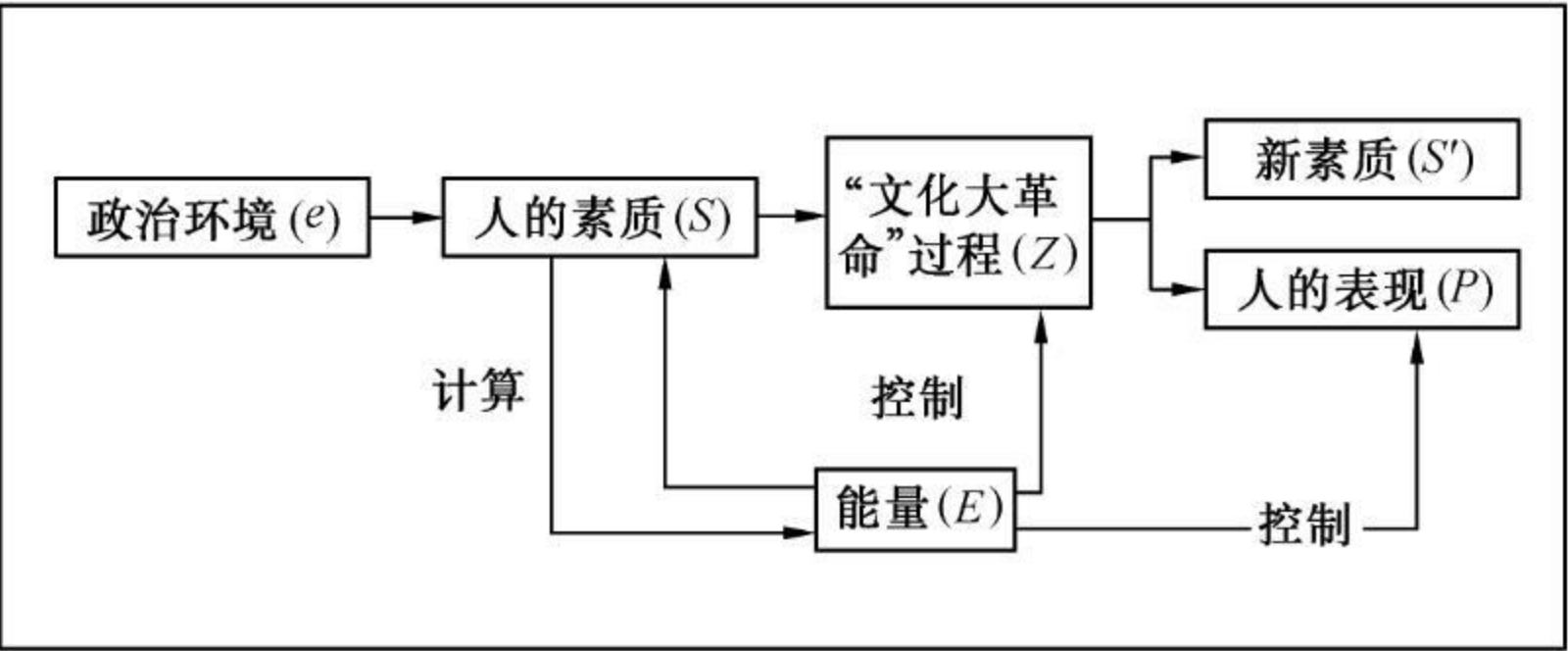


图 II .32 人的表现、素质、过程、能量及政治环境之间的交互关系

人的表现是人的素质的心理过程,现在试用材料学的五因素来思考心理学内容和人的素质。

物、人、事的道理分别有物理、人理、事理;心理则是译名的误会,心理绝不



是“心脏”活动的道理,心理现象不是跟心的活动而是跟脑的活动直接联系的。若将“Psychology”译为“脑理学”,未免太晚;也很奇怪,现通用心理学。

采用《普通心理学》([C29])的定义:

“心理学是研究心理现象的科学。” (10.16)

这个定义还需要进一步明确,什么是心理现象,假如我们再说:

“心理现象是心理学研究的对象。” (10.17)

这就犯了“循环定义”的错误。

心理现象包括“心理活动”和“心理特征”两大部分,分述如下。

(1)心理活动——又叫心理过程,包括:

- ①感觉——对客观事物个别属性的反映;
- ②知觉——对这些事物各部分和属性的整体反映;
- ③注意——心理活动对一定事物的指向和集中;
- ④记忆——认知、识记和回忆感知的事物;
- ⑤思维——对客观现实的概括的、间接的反映。

经过思考,掌握事物不能直接感知的方面和属性,了解事物的本质和规律,包括形成概念,做出判断,进行推理。

上面五个现象并称为认识过程;心理活动还有下述的情绪过程和意志过程:

- ⑥情绪和情感——对客观事物采取的态度;
- ⑦意志——自觉地确定目的并支配其行动以实现预定目的心理过程。

(2)心理特征——各个人的特点,包括:

⑧能力——为了顺利地、成功地完成感知或思维活动,重要的心理前提是具备某些能力。例如,学习活动需要观察力、记忆力、概括力、理解力等。许多心理活动都要求记忆的清晰、思想的敏捷、反应的灵活等,这些都是能力。

⑨性格——个性中鲜明表现出来的心理特征,可以区别一个人与众不同的、明显的、主要的差异,表现在行为之中。

上列两个方面都是过去心理活动的结果,储存于个人的脑中。

类比于材料学的四论:心理过程是一大类过程;心理特征中的能力,既是能量,又是性能;而性格是完成各种心理活动的素质,也是进行心理过程的内部结构,它是有层次的,既有微观的生理组织,包括脑的结构(细胞、分子、原子等),也有宏观的“智慧结构”等。

材料是无生物,既无感情,又无意志;但可通过处理,改变内部结构,从而改变性能。人类是高等动物,在漫长的进化过程中,发展了大脑结构,改变了性格,提高了素质。在环境的刺激下,发生如图 II.33 所示的各种反应,由感觉到

知觉,由注意、认知、识记,并能回忆和运用知识进行思维。一方面,这些能力是过去心理活动的广义教育所累积的;另一方面,与已具备的感情和意志结合,形成了性格。

心理活动的物质基础是包括大脑在内的各种生理组织,但环境如何通过这些生理组织而起作用,尚有待从不同结构层次深入探索。

附带指出,图 II .33 也是计算机的工作框图。

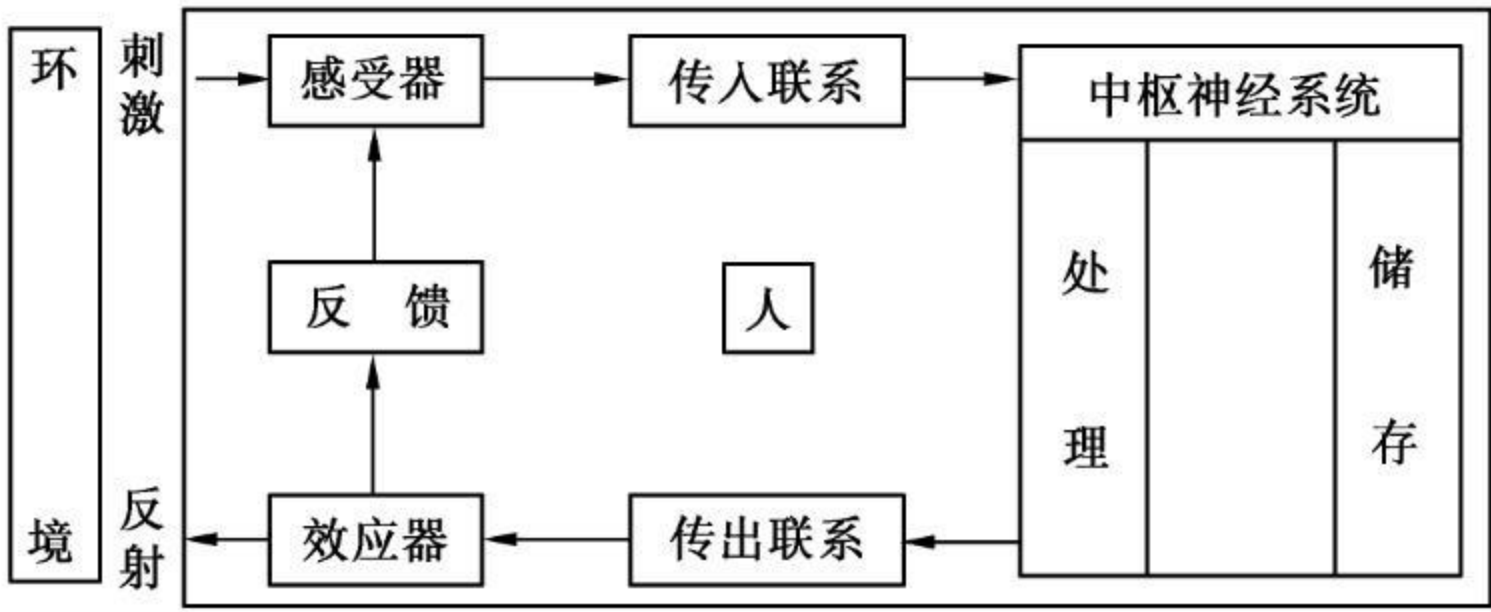


图 II .33 刺激-反射联系图

2.2.2 人文及人文学

“人文指人类社会的各种文化现象。”(《辞海》p302) (10.18)

“人文是文治和教化。……今指人类社会历史发展过程中所创造的全部物质财富和精神财富,也特指社会意识形态。”(《辞源》p1357) (10.19)

“人文科学源出拉丁字 Humanitas。广义指对社会现象和文化艺术的研究,包括哲学、经济学、政治学、史学、文艺学、伦理学、语言学等。”(《辞海》p304) (10.20)

王同忆主编译的《英汉辞海》,将“Humanities”译为“人文学”,因为它所采取的方法有别于自然科学。

“Humanities 是关于人类及其文化的知识,如哲学、文学、艺术等有别于科学的知识。”(见 The American Heritage Dictionary of the English Language) (10.21)

在西方,也将人文科学(或人文学)叫做“Liberal arts”;在上述英文字典中,释义如下:

“Liberal arts: 学术的智力训练,如文学、历史、哲学及抽象科学,它们提供一般的普遍的文化知识,有别于较狭的实用的技能训练。” (10.22)

看来,人文学包括文学、艺术、历史、哲学等,而社会科学包括政治学、经济学、社会学、法学等;二者并称为文法科,或简称为文科。狭义的人文学仅指文、



史、哲等文科,广义的人文学则包括语法科。自然科学与工程技术则并称为理工科,或简称为理科。文理渗透是指这两大类学科之间的渗透。

2.2.3 人文素质

基于上面对于“素质”及“人文”的理解,则“人文素质”只是人类的一种素质,是一种共性的素质;与此对应的,有“科技素质”,在这里,“科”是指狭义的自然科学,“技”是指狭义的工程技术。

对于理工科大学,人文素质教育及科技素质教育分别是德育及智育所必须;若要德才兼备,则这两种素质教育,不可缺一。

对于文法科大学,在科技迅速发展成为第一生产力的今天,吸收科技方法和内容,走理渗入文的道路,将有利于对学生全面素质的培养。

应该强调指出,知识不恒等于能力。学习了人文方面的课程,理解这方面的知识,只是提高人文素质的一个条件;不等于说,有了这方面知识的人,他的德方面的素质就提高了。很明显的例子是,贪污蜕化变质分子,口头上仍是满口仁义道德。

2.3 人文素质教育

为了提高全民族的素质,促进社会主义物质文明与精神文明,贯彻执行我国《教育法》第一条的规定,人文素质教育对于受教育者在德、智、体三方面全面发展,都将起到重要作用。

2.3.1 目的和内容

(1) 德育

首先,是爱国主义教育。为什么国家服务,是人才的首要问题。《人民日报》1996 年“五一”社论指出:“弘扬爱国主义精神,增强民族自尊心、自信心和自豪感,使‘振兴中华’成为 12 亿人的共同追求。”为此:

①进行中国历史和中华民族优秀传统文化传统教育,这种文、史、哲的人文教育,使受教育者从理智上和感情上热爱中国,以振兴中华为己任。

②爱国有理智主义和浪漫主义观点,这种意志和情感都是前述的心理活动,应该从“教育”心理学角度认真研究([C30]),改进教学内容和方式,并对有关政策提出建议。

第二,经济建设理论的学习。经济是上层建筑的基础,应该认真学习邓小平建设有中国特色社会主义理论以及党中央制定的方针,我国的经济工作都是在这个理论的基础上和这些方针指导下进行的。

第三,进行社会主义的世界观、人生观、价值观、社会公德、职业道德教育,清除“文化大革命”所导致的自私自利负面效应。



(2) 智育

为了贯彻执行邓小平给北京景山学校的题词[(10.4)],前面提到的知识结构要加强的三个方面,都涉及文、史、哲等的人文素质教育。我赞成:

“今后的大学不再培养容易落后的专家,而要培养能够适应变化情况的通才。” (10.23)

因为:

“专家是对于愈来愈少的事物知道的愈来愈多的人。” (10.24a)

此外,大学四年,难于培养出专家;即令培养出“专家”,也极易落后,缺乏后劲。以诗述之:

“人间正道是沧桑,专家落后正茫茫。

环境巨变需通才,新园异花分外香!”

“三个面向是目标,坚实基础最重要。

面向世界需外语,掌握方法傲明朝!” (10.24b)

(3) 体育

体育锻炼是健身的主要方法,而丰富多彩的人文素质教育,可以陶冶人的情操,帮助树立正确的人生观,使人处于高尚的精神境界,对受教育者的身心健康,也会是有益的。

2.3.2 方式与方法

建议如下七点:



(1)加强大学,特别是理工科大学的人文素质教育,是涉及精神文明建设的大事,学校的党政领导应该作为重要的使命来完成。大学校长是教育家,应该有足够的人文素质,才能认识到这种教育的重要性,完成这种重要使命。

(2)精简陈旧、重复、繁杂的专业课程,在不增加学生负担的前提下,安排人文素质教育的内容。

(3)科学与技术也含有丰富的人文素质教育的内容,专业课教师若能挖掘这方面内容,如方法论、技术史等,对提高学生的人文素质,将会起到重要的交叉渗透作用,效果可能更好。

(4)开设人文学的选修课,如中西哲学概论、中西文学鉴赏、自然科学史、科学方法论、艺术欣赏、心理学概论、经济学概论、法学概论等。关键的问题是选择教师和精选教学内容,希能做到深入浅出,启发兴趣,引人入胜。

(5)结合形势需要,聘请校外名流,做专题报告,使学生能在浪潮前沿思考。

(6)加强校园的文明建设,营造育人的文化环境,可收到潜移默化的效果。一句名言,一幅名画,一首名歌,也许使人终身难忘。

(7)组织有益于人文素质提高的社会实践活动,例如社会调查、参观访问、

公益劳动、社会服务等。

2.4 结 语

破“人文素质教育”之题,采用了定义和类比于材料学和心理学的方 法,由简到繁地:

素→素质→人文素质

人→人文↑

首先尝试明确“人文素质”这个概念的内涵。其次,讨论“教育”,讨论人文素质教育的内容和目的,及其对德、智、体三育的作用。最后,建议互补的七种人文素质教育的方式。

类比于材料和系统,“人的素质”是人类心理过程变化的内因,它既是先天的生理特点,也可通过后天的社会实践而改变;人文素质教育便是这类社会实践。

人的心理过程包括感觉、知觉、注意、记忆、思维、感情、意志等;这些变化的内因,即人的素质结构,有智慧结构、微观(从细胞到分子、原子)生理组织等层次。外因如何通过内因而变化,有待深入的探索。

3 学习论

3.1 引论

从小学到研究生院,我学习了 19 年;摘了学生的帽子,从事教育和科研工作,又是 53 年,总是在学习;展望今后 15 年(1996 至 2010 年)大局,为了实现两个根本转变、实施两个基本战略,许多新概念、新事物,又必须学习。真是:“活到老,学到老。”否则,人云亦云,还易犯错误。

试择经历数则,阐明“学习”的重要性。

(1)在中国的大学培养人才。什么是中国的人才?

“中国的人才 是能为中国社会高效地做出贡献的知识分子。” (10.2) 人才属于知识分子,他们需要学习,掌握知识,具有才能。

(2)在许多场合,遇到“专家”这个称呼。我在从事“专家系统”的研究时,找到了一个饶有风趣的专家定义是:

“专家是对于愈来愈少的事物知道的愈来愈多的人。” (10.24a) 要“知道”,就必须学习。

(3)作为教师,应该学点讲“脑理”的教育“心理”学。使我大吃一惊的是,一

本厚为 833 页共十八章的《教育心理学》([C30])中,第三编“学习”占去了六章 207 页,约占全书的三分之一,可见学习的重要性。

(4)我国经典古籍《十三经注疏》([C1])中,多处论及学习。例如,《礼记·正义》中“学记第十八”专论学习,早已提出类比法:

“良治之子,必学为裘。良弓之子,必学为箕。”([C1]p1524) (10.25)

“占之学者,比物丑(同比)类。”([C1]p1524) (10.26)

《礼记·正义》中“中庸第三十一”所总结的:

“博学之,审问之,慎思之,明辨之,笃行之。”([C1]p1632) (10.27)

渊远而流长。《周易正义》中“乾”论及“学与问”:

“君子学以聚之,问以辩之。”([C1]p17) (10.28)

《论语·为政第二》论“学与思”:

“学而不思则罔,思而不学则殆。”([C1]p2462) (10.29)

(5)时下科研,重复颇多。这是由于没有区分“科研”与“学习”。如图 II.18 所示,将一个事物置于个人的判断,若属“已知”,则不必列题研究;若属“未知”,再置于第二个判断,若整个科技界仍属“未知”,才有必要进行科研,否则,通过学习,就能达到“已知”。把本应“学习”的事,变为科研,这是一种很大的浪费。

(6)科研贵在创新,科研选题时,我赞赏类比与交叉,因而应该广泛地学,才能有所类比和交叉,这便是(10.27)中的“博学之”。类比于图 II.20 所示的二元相图,若 C 表示“知识量”,则博学使过饱和度(ΔC)增加,在传统概念(母相 α)中可析出新概念(新相 β)。依据固体物理中的非均匀形核理论,从动力学考虑,在学科界面上,较易形核。为此,也需要“博学之”。

“科教兴国”的关键在于人才的培养,上面的经历六则,从教育和科研两方面,尝试论述学习的重要性。在下面,尝试运用本人提出的“材料学方法论”([A11],[A15])的思路,在明确“学习”这个概念之后,扼要论述环境、提高才能、知识结构、学习过程四个命题。

3.2 概念

什么是学习?

“学习①《礼记·月令》:‘[季夏之月]鹰乃学习。’学,效;鸟频

频飞起,指小鸟反复学飞。②求得知识技能。” (10.30)

这个释义就会涉及对《论语·学而第一》1.1 的理解:

“子曰:‘学而时习之,不亦说乎?’” (10.31)

在这里,“说”同“悦”,无争议;有争议者,“时”与“习”二字。宋代大儒朱熹在《四书章句集注》中把“时”解为“时常”,是用后代的词义解释古书;杨伯峻引《孟子·

梁惠王上》内的一句话：“斧斤以时入山林”中“以时”是“在一定的時候”或者“在适当的時候”，王肃的《论语注》正是这样解释的。“习”一般人认为是“温习”（程子认为，习，重习也。）；但古书中，“习”还有“实习”、“演习”之意，如《史记·孔子世家》：“孔子去曹适宋，与弟子习礼大树下。”这一“习”字，更是“演习”之意。此外，孔子所授的六艺中，礼、乐、射、御、书、数，尤非演习和实习不可，空谈不行。因此，杨伯峻将(10.31)译为：

“学了，然后按一定的时间去实习它，不也高兴吗？” (10.32)

我赞赏这个译文，这便是“学习”的正确含义。

孔夫子是伟大的教育家，虽然他率领学生，周游列国，求官活动的成效不大，但是，终身为师，亲授六艺，著书立说，类似于“学而时习之”的许多话，千古流传，值得重视和借鉴。

3.3 环境

环境是事物变化的外因，“学习”这个事也不例外。

从 1966 至 1976 年，在神州大地所涌现的“文化大革命”，人们为了活命和生存，被迫学习讲假、大、空话，充分暴露了人类的动物天性。总结各方面人士在这个史无前例时期的学习心理，也许可加深理解“适者生存”这个生物学原理。在那个时期，宣扬知识无用，知识越多越反动，谁敢、谁愿真正学习？学习的目的何在？要学的话，便是适应生存的、低级生物式的学习，多可怜。

打倒了“四人帮”，这伙人肆意摧残科教事业、迫害知识分子的那种环境，一去不复返。为了建设中国特色的社会主义，为了“四个现代化”的宏伟事业，又必须尊重知识，尊重人才。中国人的学习又转向人类正常生活的轨道，处于正常的环境中。

在市场经济体制下，可能出现知识价值很高、知识分子价格很低的情况，这要认真分析，采取措施，营造对社会有益的学习的社会环境。

3.4 目的——提高才能

为什么学习？

“广义来说，可以把学习视为与生命并存。”([C30]p199) (10.33)

生存竞争，适者生存；为了适，必须学。高等动物的生活就是学习，大家易于体会。低级生物是否如此？已有证明，草履虫经过练习，能够减少在毛细管中旋转所需的时间，这显然是由经验引起的行为变化。

动物的级别越高，则婴儿期越长，学习能力越强，本能行为的固定性也相应减少。例如，原生动物一生出来，实际上就是一个成熟的有机体，几乎没有婴儿



期。而人呢?出生的婴儿,若无照顾,便会死亡;人的学习能力强,也易变,行为的固定性也低。

通俗地说,学习有如吃饭,目的是吸收营养。吃饭(或广义的饮食)是为了维持人体的生命和成长;而学习则使人的精神生命健康成长。学习的目的是为了

下图书

提高人的能力或才能,这就包括两个方面——技能和品质:前者是各行各业的具体技术能力;后者包含道德品质和科学素质;这分别可促进人类的物质文明和精神文明的发展。

学习的目的不仅是适应环境,而且要改变环境。在自然界,若没有人类的干预,则“生存竞争,适者生存”的规律使生命力强盛的本地杂草,靠着它们长期获得的特殊适应能力,将会淹没外来的禾苗,使人类颗粒无收。因此,人类需要农业知识,用创立和维持人为状态的园艺过程原理来对抗宇宙过程原理。但是:

“大自然常常有这样的倾向,就是讨回她的儿子——人——从她那儿借去而加以安排结合的、那些不为普遍的宇宙过程所赞同的东西。”([C5]p9) (10.34)

在金属材料界,人类学习矿冶的知识,从大自然母亲那儿借来金属矿石(采矿),耗费能源,甚至污染环境,将矿石还原为金属(冶金);进一步加工而制成汽车、飞机、船舶、桥梁、高楼大厦……(机械工程、土建工程……),有时是威风十足,赫然而存。但是,大自然的风雨、日照、潮汐……不停地工作,而人造环境又无意而无情地协助,通过腐蚀、磨损、断裂等方式,将金属构件损坏、氧化,使大自然母亲能讨回本来是属于她的东西——矿石。就是人本身,也是浩劫难逃。

但是,作为人类整体,通过学习,掌握知识,提高能力,仍在与大自然做斗争:对于材料,反抗失效,抑制或减少各种失效破坏;对于人体,期望延年益寿,进行医药研究;这些,都需要学习。在人类社会,坏人总是有阴谋地陷害好人,劣质商品总是用伪装欺骗人民,因而需要教化的伦理过程和刑罚的法律过程来改变这些社会环境。

在适应和改变自然和社会环境之外,学习还有其他的功能,例如,提高人的水平,即储存知识能量,待机释放。专家不仅掌握而且运用知识做出贡献,前提是学习。

专家也要博学,博于专何用?

(1)知识越丰富,则产生重要设想的可能性越大;

(2)有重要独创性贡献的科学家,常常是兴趣广泛而博学的人;

(3)工作停滞不前时,从外行的交谈中或对貌似无关的现象观察中,可以获得启示;



(4)移植是发展科学的一种重要方法,只有博学的人,才能善于采用移植。

读书和学习也可提高人的精神境界。有钱,是物质上的富。在能维持生命的条件下,穷人不一定在精神上是穷,而有些大发的富人,也许精神境界很低,穷得可怜:

“我很穷,穷得一无所有,只剩下金钱。” (10.35)

总之,学习的目的在于提高人类适应和改变自然环境和社会环境的能力,提高人类的精神境界,做文明人。

3.5 内容——知识结构

类比于材料,从微观分析考虑,在给定的使用环境中,人才的才能取决于他的知识结构[(10.2)]。

从宏观分析(图 II .29)考虑,也应该是:

“面向社会,抓两头(社会使用,教师、设备),带中间(三个环节)。” (10.36)

而“知识结构”是核心环节。

学习是一个终生的问题,俗话说:“活到老,学到老”,便是这个意思。在这里,补充“在职学”的几个问题。

(1)专业培训

在校读书时,很难预测今后干什么事业。走上了工作岗位之后,有战略眼光的管理人员——领导或老板,为了本身的利益,对招收进来的人才坯子,为了适应岗位工作及未来发展,进行有计划的专业培训。这一方面可提高工作人员的工作质量;在另一方面,也有助于稳定工作人员,因为他们“陷得越深”,则拔出也越难。

(2)适应工作岗位的自学

埃德加·富尔在联合国教科文组织出版的《学会生存》一书中指出:

“未来的文盲不再是不识字的人,而是没有学会怎样学习的人。” (10.37)

走上了工作岗位,便要抓紧自学,否则,不能适应工作要求,就有下岗失业的危险。自学有两方面:向有经验的人学,向书本学。

在市场经济体制下,人与人之间有竞争,向有经验的人学,难度较大。首先,要认识:

“满招损,谦受益。”([C1]p137) (10.38)

这样,才愿意学;有经验的人才有可能愿意教。另外一个渠道是业余自费参加短训班。



向书本学,一方面,要有一套学习方法;另一方面,要有一定的基础;否则,学不好,学不懂。书到用时方知少。

(3)广泛地自学

在能适应工作岗位之后,为了今后的发展,必须广泛地自学。当今的时代,是多种观念相互冲击和汇合的时代,在时空构成的多维空间中,要综合中外古今的多维思维,洋为中用,古为今用。为此,必须广泛地自学,不要固步自封,思想僵化。站得高,才能望得远;而高水平的人必须博学。

3.6 方法——学习过程

学习是从未知到已知的过程。起点是“未知”,因人、因时而异,归纳起来,可有三类:

(1)受命而学,例如必学的文件、规章等,“文革”期间,这种事最多,被动性最大;

(2)因任务而学,例如管理领导、科研任务、开设课程等,这是带着问题学;

(3)主动地、广泛地、经常地学,主动性最大。

它们之间的共性是“学”与“习”,依据个人经历,总结几点学习过程的体会,供交流。

3.6.1 认真地学

谨记《老子》第71章的一句话:

“知,不知,上;不知,知,病。” (10.39)

切忌不懂装懂,因为这是学术界的“病”人,应进医院治病。不知或知之不确切,便要学而思问。例如,我在材料学界工作了几十年,学生问我:什么是材料?当时,我给不出确切的“定义”,日后思与问,采用“属+种差”的定义方法,得到:

“材料是人类社会所能接受地、经济地制造有用器件(或物品)的物质。” (1.7)

其中,“物质”是属,“物质”前那个定语是“种差”。从“种差”得到材料的五个判据——判断物质是否是材料的依据:资源、能源、环保、经济、质量。采用这个定义18年,颇为自恰。采用这种方法,我尝试定义“中国的人才”[见(10.2)],得到德才兼备的判据。

3.6.2 学、思、问的结合

学习和理解古语警句[见(10.26)至(10.28)]中关于学、思、问的论述,我很留恋在幸福的中壮年代里,在科技领域内,于图书馆的避风港内,无畏地独立学习和思考:

“定期翻阅,耳目清新;

分析对比,慎思善问。
顿悟方法,如释重任;
广阔兴趣,开拓新径。” (10.40)

因此,勤学、慎思和善问要结合。

在动乱的年代里,观察和体验史无前例的众生相,也是学;留待适当时候去思和问,也可能会有收获,弥补失去的宝贵年华。

3.6.3 博学之

很幸运,1977年后,中国知识分子真正地得到了思想解放,敢于、也有条件博学中外古今的名著,我采用和受益于:

(1)从特殊到一般,再从一般到特殊的《实践论》([C31]p271)方法,首先从各种材料的特殊规律上升为五论——结构、性能、环境、过程、能量,然后尝试外延到其他物、事、人,贯通物理、事理及人理。

(2)分析事物变化的《矛盾论》([C31]p287),特别是内因和外因的辩证关系。

(3)“系统论”和“逻辑学”的方法,尝试分别做到:

①概念明确,判断恰当,推理正确,结论有用;

②建立模型,寻求优化,利用反馈,有效控制。

(4)重视维纳《控制论》关于丰收地带的警句:

“在科学发展上,可以得到最大收获的领域是各种已经建立起来的部门之间被忽视的无人区。”([C8]p2) (2.48)

(5)推广“类比法”在提出“假说”时的应用,突出结构的类比,采用结构(S)的广泛的定义,便于推广:

$$S = \{E, R\} \quad (1.23)$$

式中, E 是系统中组元的集合, R 是 E 间关系的集合。

(6)将“经济学”中“宏观”及“微观”概念返回到自然科学,提出“宏观材料学”、“宏观腐蚀学”等。

3.6.4 学以致用

学是为了用;若能用,则又增强了学的效果。我一辈子也学了不少东西,只有用过的,才理解深,记得牢;这种“牢”与“深”正比于“用”的程度。教是为了使受教的人学到东西,变“不知”为“知”,那么,就要设法联系受教者的过去经历和未来可能的工作,使其能“用”到所学的东西。对教者来说,“教”就是“用”,多教多用,加深理解;“教学相长”,有这种含义。

对于知识结构,我强调基础、方法和外语,正是由于这三者的用途甚广。



3.6.5 专与博

专与博孰先? 大有争论。“博士”之称号, 当今也名实不符。汉字“博”为大、广、通达、多闻、众多、丰富之意, 而“博士”则多为专科之士。唐代江南俗称卖茶人为“煎茶博士”外, 六国时有博士, 秦汉相承, 诸子、诗赋、术教、方技, 都立博士。汉武帝置五经博士, 唐有国子诸博士, 律学博士、算学博士、医学博士等。英文将博士叫做“Doctor”:

“博士是获得学院或大学在任何专科所授予最高学位的人。”(10.41)

看来, 古今中外, 博士都是专科博士, 专中博, 由专而博。博而不专, 则为“万金油”, 治不了大病。事物道理有相通和可类比之处, 由专入博易, 某一领域的深度是达到广度的基础, 也就是说, 专是博的基础。在另一方面, 博又有助于专。

从实践与认识来看, 也应是先专后博, 由博再专, 螺旋式上升:

专→博→专→博→ (10.42)

总之, 我对于学习的观点是: 学、思、问并用, 才能提高; 学以致用, 用有助于学; 先专后博, 博有助于专。

3.6.6 整理资料

由于教学与科研任务的需要, 我需要学习, 学习之后的资料, 有笔记, 有议论……这些广义的资料, 如何整理分类以便查阅? 这是学习方法的一个重要方面。

我习惯于用活页纸, 便于组装。问题的关键在于设计一个分门别类的方法, 便于储存资料和随后的查阅和整理, 否则, 年代久了, 将是一大堆废纸。

藉助于矿冶术语, 以个人经历为例, 简述资料整理方法之一。从 1960 至 2002 年, 由于教学和科研工作的需要, 将学习资料及札记的活页纸汇成 154 本, 学习而获的矿石及脉石均在其中。经选矿和精冶, 编著出版了 19 部专著(见参考文献 A), 残存者为第一矿区。从 1971 至 1996 年, 习做韵文 758 首, 曾选 285 首, 以时间为经, 主题为纬, 交织而成《士心集》([A13]), 留存者为第二矿区。从 1980 至 2002 年, 仿《培根论说集》体裁, 选冶而成宏观方面论文 64 篇发表(见参考文献 B), 余者为第三矿区。偷闲时, 仍视察矿区, 并整顿以备日后开、采、选、冶之用。

3.7 结语

3.1 节的引论择个人在教育 and 科研方面的经历六则, 阐明“学习”在实施“科教兴国”战略时的重要性; 在第 3.2 节论述“学习”这个概念之后的第 3.3 至第 3.6 节, 运用我提出的“材料学的方法论”思路, 依次论述了环境、提高才能、



知识结构、学习过程四个命题。我是湘人,愿引楚人屈原《离骚》互勉:

“路漫漫其修远兮,吾将上下而求索。” (10.43)

按照图 I .7 的整体安排,下两章涉及从宏观上论述材料的现实和未来的问题,即材料的选用和材料的展望。

第 11 章 材料选用

“材料的生命, 在于应用。” (11.1)

生产材料的目的是为了应用, 正如图 II . 11 所指出的那样, 材料消费者的需求, 拖动整个循环的材料流动, 是整个循环的推动力。因此, 从宏观材料学考虑, 材料生产者的任务是在自然和社会条件约束下, 既要满足材料消费者的要求, 也要激发材料消费者的新需求。

材料的选用包括材料的选择和应用。本章先用系统分析的方法提出问题, 然后讨论选择材料的方法, 并简介决策论, 最后, 简述材料管理问题。

1 提出问题

从图 II . 34 所示的系统分析可以看出, 材料选择与材料各种问题之间的逻辑关系, 依据选用的目的而有如下的各类材料的选用问题。

(1)防止失效事故。依据失效原因, 选用恰当的材料和工艺。这类失效既可发生在使用阶段, 也可发生在生产制造阶段, 这就分别涉及材料的使用性能和工艺性能。本章将以“淬裂”问题为例, 说明这类选材的方法。

(2)选择成本最低而又满足最低使用性能的材料。这是价值工程(Value engineering)在材料问题的应用, 也是多目标的决策问题。

(3)材料生产成本的比较分析。这涉及第 7 章第 4.3 节知识的应用。

(4)适应科技、社会和市场的发展, 选择材料。这是带战略性的选材问题。分别示例说明如下:

①科技成果。1906 年发明了三极真空管, 直到 20 世纪 50 年代, 它一直是电子线路的主要部件。1947 年发明了晶体管, 硅成为现代信息和通信的主要材料。光导纤维的应用, 使信息和通信从电子时代进入光子时代。1973 年超导材料 Nb₃Sn 的转变温度只有 23 K, 1986 年底到 1987 年初中、美、日三国科学家独立地宣布钇钡(或镧)铜氧系超导体的转变温度已超过液氮的气化温度(77.3 K), 这些材料的应用, 可以对电子和仪器工业带来重大影响, 并为电力超导传输、制造大功率电磁铁和新一代粒子加速器等先进技术提供了可能。又例如, 如能从材料及设计上改进陶瓷材料的韧性, 则能在 1 473 K 长期稳定受载使

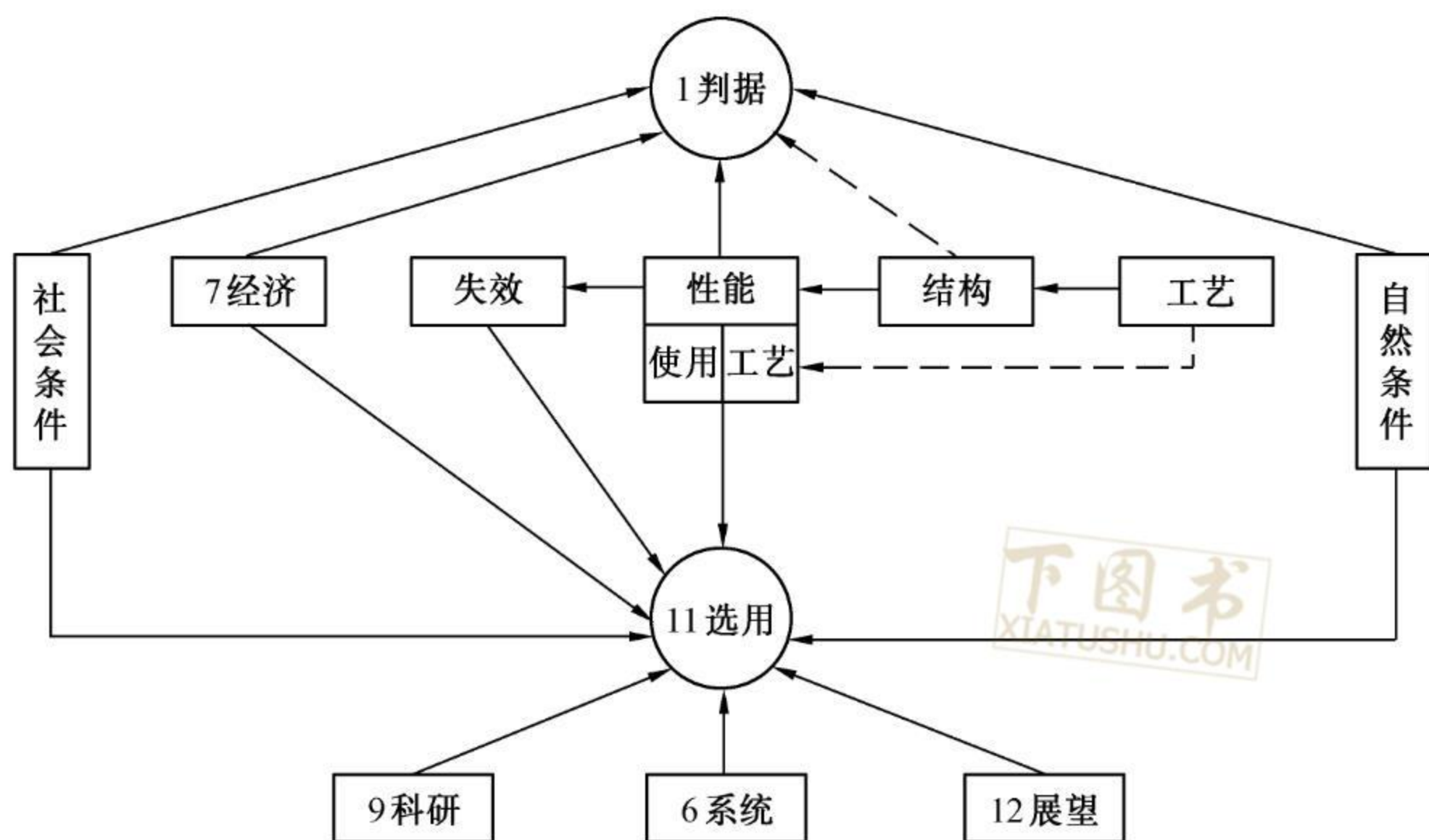


图 II .34 材料选择与其他材料问题之间的关系(数字为章次)

用的 Si_3N_4 及 SiC , 将显著地提高燃气轮机的热效率。因此, 高技术的发展有赖于先进材料(Advanced material)的出现。关于材料的发展及展望见第 12 章。

②社会条件的限制。不同的国家在不同的时期, 都以指导性或指令性法规, 限制材料的使用。例如, 战争时期, 各国对大量使用稀缺元素的合金钢中的成分都有限制性规定。又例如, 1973 年石油禁运所导致的能源危机, 迫使美国政府以法律规定了汽车耗油量的上限以及排气中氧化氮和一氧化碳的最高含量, 因而促使美国的汽车公司研究高强度低合金钢、铝合金、塑料、石墨纤维等在汽车中的应用以及转化器中的催化剂问题。选材的这些限制便是材料的资源、能源及环保三个判据[参见(1.15)]。

③市场预测。消费者对产品式样的嗜好和购买力影响了产品的档次, 从而影响了对材料的选用。这些问题有赖于对市场要求的判断, 涉及心理学、技术美学、预测学等方面知识。

综上所述, 材料的选用是一种复杂的判断问题, 需要应用本章第 5 节所介绍的“决策”方面技术, 即明确问题, 包括目标函数及限制条件, 然后分析问题, 最后提出选用方案。

第 2 至第 4 节依次地示例介绍性能选材法、成本选材法及多目标选材法; 第 5 节简介决策论; 第 6 节讨论材料的管理。

2 性能选材法

2.1 使用性能

设计工程师惯于从各种材料手册中查阅和比较各种材料的性能,然后选用。近年来,由于计算机的普遍应用,已将这些性能汇编为数据库,便于检索和专家系统调用。

若有两种主要性能时,则可应用如图 II .35 所示的“坐标分类法”进行筛选。例如,对于所需用的奥氏体耐热钢,设计部门提出两个主要的力学性能要求:900 K-10⁵ h 持久强度大于 100 MPa,900 K 时效 10⁵ h 后室温冲击韧性(α_K)值大于 500 kJ/m²,则以这两个数值为原点,将数据(手册查出的或实验测定的)绘于图 II .35 中,第 I 象限的钢种 A、B、C 均可满足设计要求;第 III 象限的钢种 X、Y、Z 性能最差,持久强度及时效后冲击韧性都达不到设计要求。

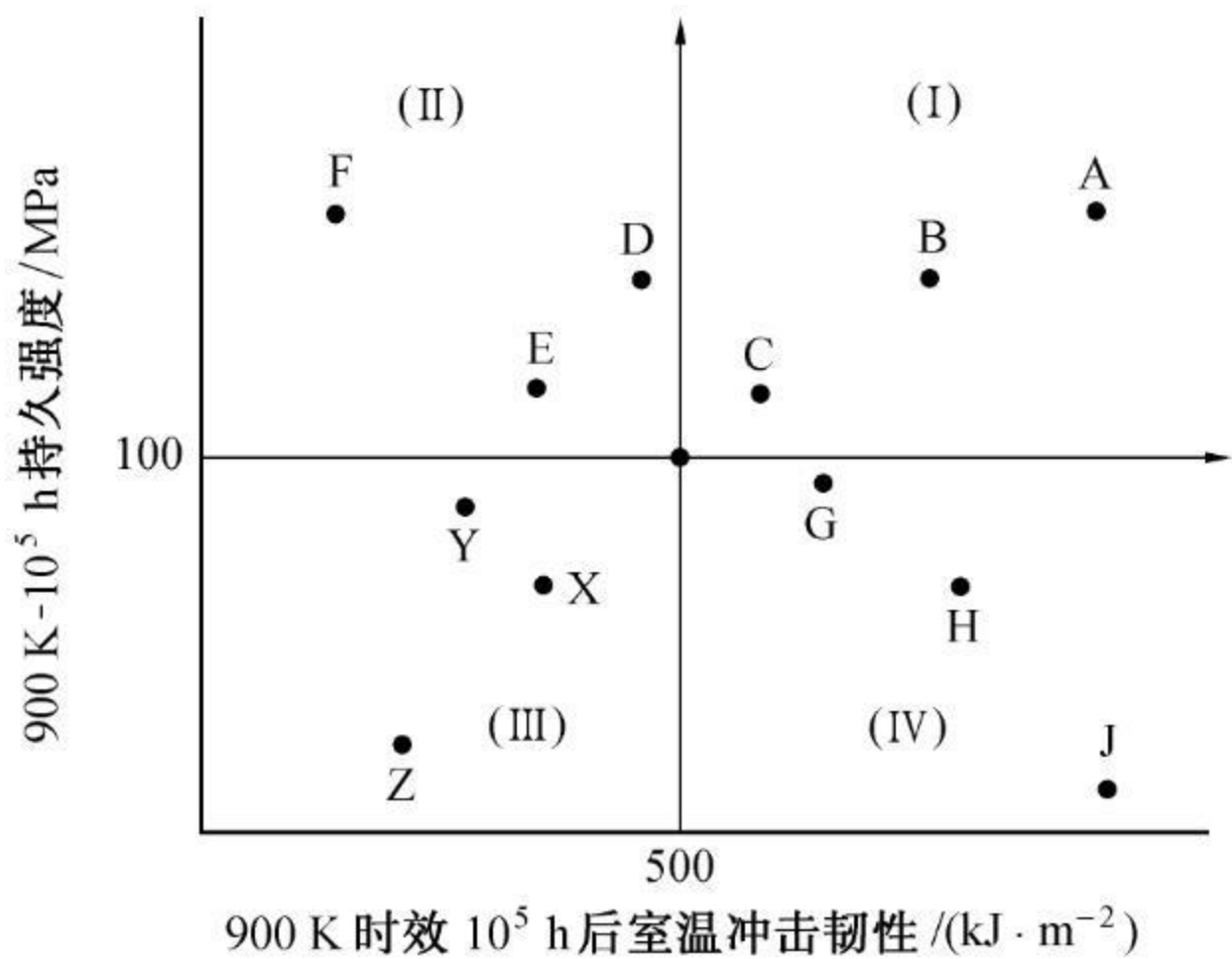


图 II .35 坐标分类选材法

2.2 工艺性能

本节从选材角度示例地分析“淬裂”这个失效问题,即淬裂性问题。

2.2.1 淬裂过程

淬火过程有两个变化使部件的尺寸改变:一个是冷却的收缩,另一个是马氏体转变的膨胀。图 II .36 示出质量分数为 1.0% C - 1.5% Cr 的滚珠钢从 850 ℃ 淬火至 20 ℃ 的线尺寸随温度的变化:奥氏体及马氏体的平均线热膨胀系数分别为 $23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 和 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;马氏体转变的线膨胀量为 0.7%;850 至

20 ℃的平均收缩系数为 $12.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

淬火过程中部件各部分,例如表层和心部,冷却和相变的进行是不均匀的,并且有先有后,因而就会有不均匀变形,从而产生内应力,这种内应力叫做淬火应力。若局部地区的淬火应力过大,便会产生塑性变形,甚至开裂。这种淬裂现象涉及淬火应力的分布、热处理工艺所导致的冷却条件、钢材的热学性质、形变和断裂特性、 M_s 温度、淬透性等。

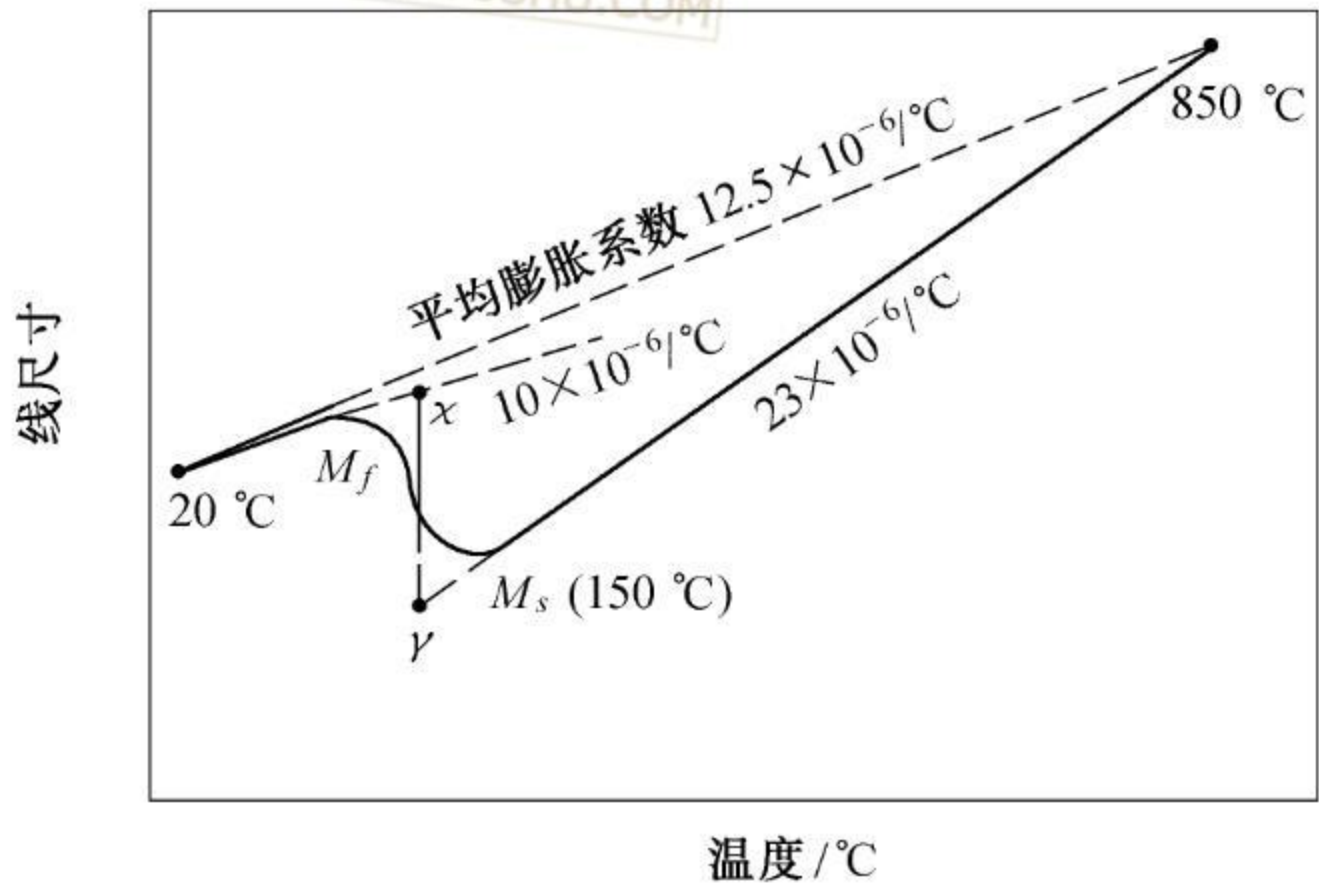


图 II .36 1.0% C-1.5% Cr^① 滚珠钢线尺寸随温度的变化

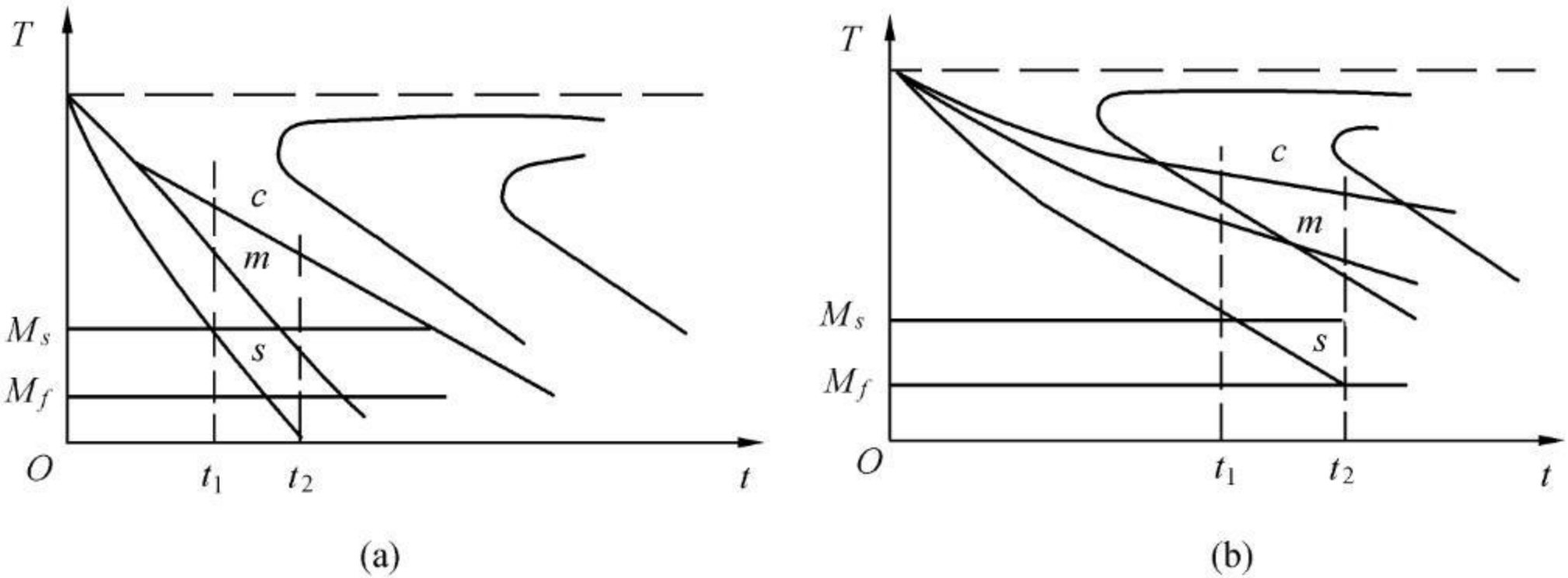


图 II .37 钢的恒温转变曲线和冷却曲线

图 II .37 示出钢的恒温转变曲线和钢件表层(s)、中层(m)和心部(c)的冷却曲线。在图(a)所示的全淬透的情况下,当部件各部分的温度都高于 M_s 时,即 $t < t_1$ 时,由于表层冷却较快,较大的收缩使表层产生压应力,中层及心部产生拉应力。冷却速度差别越大,则这种内应力越大。当表层温度低到 M_f 以下,而心部温度仍然高于 M_s 时,即 $t = t_2$,则表层的马氏体转变引起的体积膨

① 百分数表示 C、Cr 的质量分数。

胀,使表层产生拉应力,心部则产生压应力。在图(b)所示的未全淬透的情况下,在表层进行马氏体转变的时间范围内($t_2 - t_1$),心部处于高温的珠光体或上贝茵体,较易适应表层的体积变化,因而淬火应力较小。

因此,淬火应力的性质和大小取决于冷却曲线和相变曲线的相对位置,前者取决于热处理工艺,后者取决于钢的成分,涉及钢种的选择。从热处理工艺考虑,影响淬裂趋势有如下几个因素:

(1)表层与心部的冷却曲线越接近,则淬火应力越小。对于圆柱体解热传导方程:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_t \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \tag{11.2}$$

$$D_t = \frac{k}{c\rho} \tag{11.3}$$

得到:

$$\frac{T_0 - T}{T_0 - T_s} = 1 - \operatorname{erf}\left[\frac{x}{2\sqrt{D_t t}}\right] \tag{11.4}$$

式中, D_t 叫做热扩散系数或导温系数; k 、 c 及 ρ 分别是材料的热传导系数、比热容及密度; T_0 为开始时的温度,即奥氏体化温度; T_s 为表面温度,即淬火介质的温度; T 为距表面为 x 及时间为 t 时的温度; $\operatorname{erf}(z)$ 为 z 的误差函数。从(11.4)可以看出,影响冷却曲线有两个参量:一个是 D_t ,它是随钢种而变的,对于合金调质钢,它的变化不大;另一个是热导距离 x ,这是随部件的尺寸而变的。因此,对于给定的钢种和热处理工艺,部件越大,则淬火应力越大。当钢种及部件尺寸不变时,可能采用控制冷却的方式,使表层和心部的冷却曲线较为靠近。这种措施的原则是:避免珠光体转变的鼻尖,在 M_s 以上的温度均温。例如,对电站用大锻件,从 $860\text{ }^{\circ}\text{C}$ 奥氏体化出炉后,空冷几分钟,使温度下降,但不低于珠光体鼻尖温度;然后油淬,保温足够的时间,使表层和心部均温在 M_s 以上,再拿出空冷,使马氏体缓慢形成;最后再油淬,促进心部转变。

(2)当部件的表面有宏观缺陷时,或者有应力集中部位时,淬火应力甚至低于材料的屈服强度,也可产生开裂。这是因为应力集中使有效应力提高,或者淬火应力与宏观缺陷的组合使应力场强度因子(K_I)大于材料的断裂韧性(K_{IC})。高碳工具钢及模具钢的屈服强度与抗拉强度的比值较高,断裂韧性也低,较易淬裂。淬火裂纹不仅可在淬火过程出现,也可在淬火后停放一段时间发生。后者是由于不均匀淬火应力在停放过程的松弛作用可产生局部的应力集中引起的。基于这些考虑,部件的设计应尽可能避免不必要的应力集中;部件的机械加工应避免表面缺陷;淬火后应尽快地回火,如无适当的回火炉待用,也应设法先在 $150 \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行消除淬火应力处理,这对形状复杂的工具模具尤为必要。



(3) 淬火裂纹易从表面开始, 并且一般是拉伸应力产生开裂。因此, 若在表面产生压缩应力, 不仅对防止淬裂有利, 而且可提高材料的疲劳强度。表面高频淬火或表面火焰淬火, 只使表面层发生马氏体转变, 可使表面处于压缩应力状态而心部处于拉伸应力状态。

上面三条是合理使用材料, 下面分析正确选择材料的问题; 前者是淬裂的外因, 后者是内因, 变化是外因通过内因而发生的。

2.2.2 钢种选择

调质钢的导温系数 D_t 相差不大, 影响淬裂的主要内因是 M_s 及淬透性。

(1) M_s 温度愈高, 则淬火应力愈小。 M_s 高时, 则表层形成马氏体时, 心部处于塑性较好的高温态, 易于适应表层相变的体积变化, 因而淬火应力低。

(2) 淬透性。加入合金元素的主要目的之一是提高淬透性。前面提到, 部分淬透部件的淬火应力较低, 因此, 只需要足够而不是过剩的淬透性。此外, 增碳及加入合金元素, 不仅提高淬透性, 也降低了 M_s , 增加淬透趋势; 碳是降低 M_s 点最强烈的元素:

$$M_s(^{\circ}\text{C}) = 539 - 423w(\text{C}) - 30.4w(\text{Mn}) - 17.7w(\text{Ni}) - 12.1w(\text{Cr}) - 7.5w(\text{Mo}) \quad (11.5)$$

式中, $w(\cdot)$ 表示钢中该元素的质量分数。因此, 应尽可能降低钢中碳含量。

综上所述, 正确选择调质钢, 应考虑如下两条原则:

(1) 选择足够而不是过剩淬透性的钢种, 这样, 才能在保证淬透性的前提下获得 M_s 尽可能高的钢种。

(2) 在保证所需强度的基础上尽可能选择碳含量低的钢种。

2.3 性能递增选材法

现以工具钢为例, 说明这种选材法的应用。全世界成千的工具钢号, 若加以合并, 不过几十种, 为了便于选择工具钢, 可按使用性能及工艺性能, 以 $w(\text{C}) = 1\%$ 的碳素工具钢为中心(图 II.38)将工具钢分为如图 II.39 所示的十二类。表 II.7 列出各类工具钢的典型成分, 可供参考。

我们首先考虑为什么要使用合金工具钢, 即在碳素工具钢中加入合金元素后对性能起了什么影响。我们知道碳素工具钢[例如 $w(\text{C}) = 1\%$]的价格最便宜, 应该尽可能采用它。但是, 它需要水淬才能淬透, 硬化层很薄, 淬火时易于变形; 在使用时易于因热而软化; 韧性及耐磨性在某些情况下也感到不足。为了改善这些性能, 应该加入如图 II.38 所示的各种合金元素, 并对碳量作适当的调整。根据这些考虑, 我们可以将工具钢分为如图 II.39 所示的十二类。假如碳素钢或某种合金钢不能满足要求时, 我们可以根据图 II.39 作适当的移