

“十一五”国家重点图书

材料科学与工程系列教材 研究生用书

宏观材料学导论

INTRODUCTIVE OF MACRO-MATERIALOLOGY

肖纪美 著

哈尔滨工业大学出版社

材料科学与工程系列教材 研究生用书

宏观材料学导论

INTRODUCTIVE OF MACRO-MATERIALOLOGY

肖纪美 著



哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

全书分 3 篇 13 章。第Ⅰ篇总论——材料学的方法论,包含 4 章,依次讨论历史分析、逻辑分析、系统分析、简易材料论,这些内容也适用于微观材料学。第Ⅱ篇分论,共 8 章,第 5 章简介宏观材料学的结构;第 6 章在可持续发展战略的指引下,讨论生态材料;第 7 及第 8 章与社会科学交叉,分别讨论材料经济及科技法律;第 9 及第 10 章在科教兴国战略的指引下,分别讨论材料科研及材料教育;第 11 及第 12 章分别与决策论及未来学交叉,分别介绍材料选用及材料展望。第Ⅲ篇结论,第 13 章,简论处事三论——算计,生态,适中。

图书在版编目(CIP)数据

宏观材料学导论/肖纪美著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.6

(材料科学与工程系列教材)

研究生用书

ISBN 7-5603-1861-4

I. 宏… II. 肖… III. 材料科学 - 研究生 - 教材

IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 043929 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787×960 1/16 印张 15.75 字数 287 千字

版 次 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-1861-4/TB·34

印 数 1~3 000

定 价 20.00 元

序

作为学生是没有资格为先生的书作序的，但我有幸成为《宏观材料学导论》这本书的第一个读者，读后顿觉豁然开朗，遂以此文抒发感想并致敬意。

《宏观材料学导论》的结构完全不同于传统的材料学专著，有着鲜明的时代特色。在我看来，这部著作映射着肖先生长期教学和科研成果的结晶，是 60 余年知识和智慧的沉淀。将材料学的原理和应用、理论和实际紧密结合，是肖先生的治学体会，更是材料学的治学方法论。从中我们可以领悟到肖先生强烈的敬业精神、严谨的治学态度、精湛的学术造诣，以及在材料科学的发展和材料科学的教育事业中做出的巨大贡献。

数十年来，肖先生博览中外古今群书，博采众家之长，将宏观与微观结合、自然科学与社会科学结合，创建了别具一格的学术体系。《宏观材料学导论》就是其中的一部力作。《宏观材料学导论》以方法论为主线，精辟地论述了材料学中的逻辑思想方法、系统思维方法、简易材料论的分析方法与归纳方法。此外，又以个论的形式，论述了宏观材料学的结构及系统的分析方法，内容涉及生态材料、材料经济、材料科研、材料教育、科技法律及材料的应用。

本书主要特色在于，体系新颖，思路独特。在理论和应用，乃至经济学和哲学等多方面都有独到的论述和创见。理论概念严谨清楚，深入浅出，可读性强。丰富的应用事例，学用结合，为读者提供了一条学习和研究材料的高效方法。多学科交叉与渗透是本书的又一大特色。肖先生运用了多种学科的原理，提出了各种材料问题的分析方法及共性通则，读后大有余味未尽之感，确实是一部难得的具有创新体系的科学著作。

我相信，肖先生的这部新作，将给予材料学界和科学界的专家学者以启发。我同样相信，本书一定会强有力地推进中国的研究生教育事业的发展，并成为当代材料学科类研究生“宏观材料学”的入门教材。

衷心祝福肖先生健康长寿。

才鸿年

2003 年夏



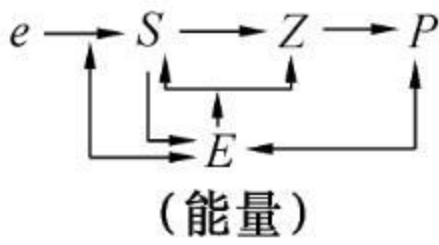
前言

“学然后知不足，教然后知困。知不足然后能自反也，知困然后能自强也。故曰：教学相长也。”([C1]p1521)

1943 年，著者在唐山交通大学矿冶工程系毕业后，在高中任数理化教师及钢厂技术员。1948 年 1 月赴美留学，1950 年 8 月获美国密苏里大学冶金学博士，在冶金及机械厂的研究部门工作 7 年后归国。1957 年至今，在北京科技大学任材料物理教授。一生都在“学”，大部分时间都任“教”；真是“知不足”、“知困”，期望“教学相长也”。

在长期教学与科研实践的基础上，编著出版了 19 部著作(见参考文献 A)，深感人生总会有几次改行，为了适应 21 世纪的发展需要，必须借助于广泛的“类比交叉”。1986 年，我在编著的关于材料科学与工程 20 小时电视教材——《材料的应用与发展》([A8])中，提出“材料学”及“宏观材料学”、“微观材料学”，并发表了 60 余篇材料宏观问题方面的论文(见参考文献 B)。

简单回顾人类认知“材料”的历程，大致可分为如下五个阶段：

[I] 微观材料学	
(1)性能的测试	P (性能)
(2)相关法—— P 与 S 的相关关系	$P \leftrightarrow S$ (结构)
(3)过程法——从 Z 去理解和控制 P	e (环境) $\rightarrow S \rightarrow Z$ (过程) $\rightarrow P$
(4)能量法—— E 是控制因数 (说明见正文)	
[II] 宏观材料学	
(5)在社会环境中，“经济”是控制因数	

撰著本书是一种新的尝试，资料也采用新的方式组织。在“前言”之后，分 3 篇，共 13 章。

第 I 篇总论，计 4 章。前三章依次运用“分析方法”——历史、逻辑、系统，从整体上论述“宏观材料学”的来龙去脉，明确它的定义和划分，了解它的各部分和各部分之间的关系，期望读者不仅学到宏观材料学的基本内容，而且能初

步理解分析问题的科学方法；第 4 章尝试遵循《易传》所云的“简易、变易、不易”三义，总结“微观材料学”中性能、结构、环境、过程、能量五个命题的 18 种方法，提出“微观材料学”的两个基本方程：

$$P = f(e, S)$$

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

式中， P 、 e 、 S 依次为材料的性能、环境和结构，而 E 是材料中“组元(Element)”的集合， R 是组元之间“关系(Relationship)”的集合。这一章名曰“简易材料论”，与前三章合并，称为“材料学的方法论”，运用它，不仅可认识材料这类“物”，推而广之，还有助于分析其他的物、人、事，故称之为本书的“总论”。

第Ⅱ篇分论，从第 5 至第 12 章，计 8 章。第 5 章在我国 1996 至 2010 年的 15 年大局的两个基本战略的指引下，简介随后七章之间的关系；第 6 章以生态材料为例，阐明可持续发展战略的实施；第 7 章讨论宏观材料学的核心问题——材料经济，第 8 章简述材料经济活动的保证——科技法律；第 9 章的材料科研及第 10 章的材料教育涉及落实我国第二个战略——“科教兴国”；第 11 章材料选用及第 12 章材料展望分别论述材料的现时及未来的问题。

第Ⅲ篇结论，仅含第 13 章，分 3 节。本章简单小结前面 12 章的主要内容之后，依次介绍和平发展时期的处事三论：算计论，生态论，适中论。

全书的图、表以篇计数，如图 I .4 为第 I 篇第 4 图，表 II .2 为第 II 篇第 2 表，余类推。方程式、引语、韵言则合并以章计数，如(7.3)为第 7 章第 3 式(或引语，或韵言)。注意，不加括号的 7.3 表示第 7 章第 3 节。

为了有助于阅读、选读、查阅、查核，本书试采用下列方式：

- (1)用较详细的正文、图、表目录，替代索引；
- (2)在每章之首，以斜体字选警句，供重视；
- (3)在每页书眉，以短句标明本页重点；
- (4)提供较详细的参考文献目录，以便查核或进一步阅览。

成稿时，回忆 70 余年学海拾贝往事，如有所获，要特别感谢师友们的指点和帮助，老伴洪镜纯在国内外的风雨同舟。

本书初探，如有谬误，敬请批评指正。



肖纪美
2003 年 3 月于
北京科技大学



目 录

第 I 篇 总论	1
第 1 章 历史分析	1
1 材料与人类社会	2
1.1 人类超越其他动物的历史	2
1.2 新技术革命与材料科技	2
2 材料学的进化	5
2.1 实践	5
2.2 认知	7
2.2.1 美国 MIT 矿冶及材料系名称的演变	7
2.2.2 简论材料	7
2.2.3 微观材料学体系的建立历程	11
2.2.4 宏观材料学体系的建立历程	13
第 2 章 逻辑分析	16
1 概念	16
1.1 形式逻辑的规则	17
1.2 辩证逻辑中的概念	18
1.3 在“材料”中的应用	22
1.4 在“材料学科”中的应用	22
1.4.1 定义	22
1.4.2 材料学的划分	23
2 推理	23
2.1 概述	24
2.2 第三种推理方法——类比法	24
2.3 类比法的广泛应用 30 案例	28
2.4 材料学与生物学的类比与交叉	29
2.4.1 环境	29
2.4.2 性能	30
2.4.3 结构	31

2	宏观材料学导论	
2.4.4	过程和能量	32
2.4.5	结语	32
2.4.6	附录	33
2.5	应用学科的宏观分支	33
2.5.1	实践与反思	33
2.5.2	共鸣和启示	35
2.5.3	共性特点	37
2.5.4	总结和前瞻	38
3	因果	39
3.1	引言	39
3.2	分析	39
3.2.1	亚氏的应用	39
3.2.2	亚氏困境和缓解	40
3.3	结语	41
4	辩证思维的示例	42
4.1	引言	42
4.2	氢对材料的有益作用	42
4.2.1	氢对材料工艺的影响	42
4.2.2	氢对材料性能的影响	43
4.3	阳极溶解的有益作用	43
4.3.1	浸蚀	43
4.3.2	化学加工	44
4.3.3	抛光	44
4.4	腐蚀广论	46
4.4.1	环境	46
4.4.2	腐蚀广论	47
第3章	系统分析	49
1	系统的定义	49
2	系统分析	50
2.1	定义和内容	50
2.2	作用和重要性	51
2.3	模型化技术	51
2.4	最优化技术	52
3	模型化与结构设计	52

4 反馈的应用	53
4.1 概貌	53
4.2 学术实践的慎思	53
4.2.1 合金钢的研究	53
4.2.2 断裂机理的研究	54
4.2.3 耗散结构理论的启示	55
4.2.4 材料微观现象的新反馈	55
第4章 简易材料论	57
1 引言	57
2 分论	58
2.1 性能——一个符号	58
2.2 结构——一个方程	59
2.3 环境——五个对待	59
2.4 过程——三条原理	61
2.5 能量——八个分析	62
3 结语	63
第Ⅱ篇 分论	64
第5章 引论——书的结构	64
1 材料学的划分	64
2 宏观材料学的结构	65
第6章 生态材料	67
1 历史回顾	67
2 逻辑思考	68
2.1 环境与材料	68
2.2 发展与增长	69
2.3 材料的定义和判据	70
2.4 生态	71
2.4.1 顾名思义或望文生义	71
2.4.2 溯源及定义	71
2.4.3 划分及引申	72
2.5 生态材料	72
2.6 外延和研究领域	73
2.6.1 环境	73

4	宏观材料学导论	
2.6.2	人文社科问题	74
2.6.3	科学技术问题	76
3	系统分析	78
3.1	模型化	78
3.2	最优化	79
4	未结束语	80
4.1	可持续发展法则	81
4.2	广义生态	81
第7章	材料经济	84
1	引言	84
2	经济体制	85
2.1	基本类型	85
2.2	我国经济体制改革历程	86
2.2.1	功能	87
2.2.2	环境	88
2.2.3	结构	90
3	经济学的基本规律	92
3.1	收益递减律	93
3.2	商品价格律	94
4	材料经济学	97
4.1	定义和内容	97
4.2	物质与信息流动与循环	97
4.2.1	物质循环	98
4.2.2	材料企业的信息循环和反馈	101
4.3	材料生产的经济分析	101
4.3.1	成本分析	101
4.3.2	生产要素的最优组合	103
4.3.3	社会分工的经济效益	104
5	结语	104
第8章	科技法律	106
1	概述	106
1.1	逻辑分析	106
1.1.1	定义	106
1.1.2	划分	106

1.2	系统分析	107
1.2.1	科技发展对法律的影响	108
1.2.2	法律对科技发展的影响	109
1.2.3	科技法律内的系统分析	109
2	功能	109
2.1	规范功能	109
2.2	社会功能	111
3	结构	111
3.1	纵向结构	112
3.2	横向结构	113
3.2.1	科技法与民法之间的关系	113
3.2.2	科技法与行政法之间的关系	113
3.2.3	科技法与环境法之间的关系	114
3.2.4	科技法与经济法之间的关系	114
3.2.5	科技法内的横向结构	114
4	环境	115
4.1	社会环境	116
4.2	科技环境	117
5	过程	117
5.1	概念	117
5.2	特点	118
5.3	两个阶段	118
5.3.1	第一阶段	118
5.3.2	第二阶段	119
5.4	利益	119
5.4.1	利益与科技法形成的关系	119
5.4.2	利益与科技法实施的关系	120
6	能量	121
6.1	含义	121
6.2	作用	121
第9章	材料科研	123
1	引言	123
2	类型	124
3	选题	125



6	宏观材料学导论	
4	方法	128
4.1	系统分析法	128
4.1.1	寻求韧性最佳的工艺	128
4.1.2	寻求满足性能要求的材料和工艺	129
4.1.3	材料理论问题的研究	130
4.2	假说法	130
4.2.1	假说法在形式逻辑中的位置	132
4.2.2	提出假说的方法	134
4.3	直觉法及机遇法	137
5	科研水平	137
6	评价和管理	138
6.1	科研效益	138
6.2	科研效率	139
第 10 章	材料教育	141
1	简言中国的人才	141
1.1	定义	141
1.2	才能	141
1.3	知识结构	142
1.4	环境	142
1.5	过程	142
1.6	能量	143
2	初论人文素质教育	144
2.1	破题	144
2.2	概念	144
2.2.1	素质	145
2.2.2	人文及人文学	148
2.2.3	人文素质	149
2.3	人文素质教育	149
2.3.1	目的和内容	149
2.3.2	方式与方法	150
2.4	结语	151
3	学习论	151
3.1	引论	151
3.2	概念	152

3.3	环境	153
3.4	目的——提高才能	153
3.5	内容——知识结构	155
3.6	方法——学习过程	156
3.6.1	认真地学	156
3.6.2	学、思、问的结合	156
3.6.3	博学之	157
3.6.4	学以致用	157
3.6.5	专与博	158
3.6.6	整理资料	158
3.7	结语	158
第 11 章	材料选用	160
1	提出问题	160
2	性能选材法	162
2.1	使用性能	162
2.2	工艺性能	162
2.2.1	淬裂过程	162
2.2.2	钢种选择	165
2.3	性能递增选材法	165
3	成本选材法	168
3.1	材料成本法	168
3.2	生产成本法	172
4	多目标选材法	173
4.1	问题和目标	173
4.2	评价技术	174
4.2.1	分级法	174
4.2.2	优化法	175
5	决策论	177
5.1	概念——决策与问题	177
5.2	决策技术	178
5.3	问题的划分与分析	179
6	材料的管理	180
第 12 章	材料展望	182
1	引言	182

8	宏观材料学导论	
2	预测方法	182
2.1	分类	183
2.1.1	直观预测法	183
2.1.2	探索预测法	184
2.1.3	目标预测法	184
2.1.4	反馈预测法	185
2.2	外推法	185
2.3	特尔菲法	187
3	未来材料	189
3.1	总的趋势	189
3.1.1	材料生命曲线	189
3.1.2	竞争与替代	190
3.2	传统材料的改进	192
3.2.1	调整成分	192
3.2.2	改进工艺	193
3.3	新材料的研制	195
3.3.1	需要与满足	195
3.3.2	引进和创新	197
	[例]纳米材料	198
	(1)哲理	198
	(2)逻辑思考	199
	(3)历史进程	200
	(4)微观分析——科技问题	201
	(5)宏观控制——市场问题	203
	(6)现况与展望	204
	(7)结语	204
3.3.3	系统和环境	205
第Ⅲ篇	结论	207
第13章	结论	207
1	算计论	208
1.1	引子	208
1.2	分析	208
1.2.1	区别	208

1.2.2	关系	209
1.2.3	假算出假计	209
1.2.4	错算出错计	210
1.3	结语	210
2	生态论	211
2.1	自然环境	211
2.2	社会环境	211
3	适中论	212
3.1	破题	212
3.2	人文思考	212
3.2.1	哲理	212
3.2.2	历史	213
3.3	社会评价	214
3.3.1	政治运动	214
3.3.2	经济改革的宣传导向	214
3.3.3	经济体制的改革	215
3.3.4	经济规模和收益递减律	215
3.4	科技分析	217
3.4.1	数学的极值问题	217
3.4.2	系统工程的最优化	218
3.4.3	材料物理问题	219
3.4.4	功能过剩	219
3.5	结语	220
参考文献		
A	肖纪美著或编著的学术著作	221
B	肖纪美的材料宏观问题论文	222
C	其他文献	224
图目录		227
表目录		231

第 I 篇 总论

——实践认知材料和材料学——

本篇共四章，前三章将依次运用历史、逻辑和系统方法，通过学习和工作实践，认知材料和材料学；第 4 章为简易材料论，总结材料学中简易的、不易的、变易的规律。

第 1 章 历史分析

“史鉴使人明智。”([C6]p180) (1.1)

“史者何？记述人类社会赓续活动之体相，校其总成绩，求得其因果关系，以为现代一般人活动之资览者也。”([C7]p1) (1.2)

“事物的秘密，只有从它的形成过程去理解。” (1.3)

材料学是一门技术科学，它是在社会需求的推动和基础科学的牵引下发展的。著者将参考如下资料，论述材料和材料学的历史。

(1) 爱因斯坦与英费尔德，《物理学的进化》(1938)([C4])，从结构的观点考察物理学的进化，即从组元之间的关系来认识物理学的发展。

(2) 赫胥黎，《进化论与伦理学》(1894)([C5])，从竞争与协调的观点分析生物的进化与人类社会的演化。

(3) 系统论——从整体来推论部分比从部分来求解整体要容易得多。

(4) 逻辑学——希望做到概念明确，判断恰当，推理正确。

(5) 生态学的要求——遵循生态学的要求，学会人类与自然和社会的协调发展，不再强调人定胜天、征服自然。

在下面两节，先讨论两个问题：

(1) 材料与人类社会；

(2) 材料学的进化。



1 材料与人类社会

1.1 人类超越其他动物的历史

在地球表面,人类赖以生存和生活的有物质、能量和知识。这三方面,人类与其他动物都有很大的区别。虽然所有的动物都是由物质组成的,并且都需要食物来维持生命,但是:

“人是能制造和使用生产工具的动物。” (1.4)

人“属”于动物,人与其他种动物之间的差异——“种差”,便是上述语句中的定语。制造工具时,需要物质;不是所有的物质都是材料,从这些概念,可以定义材料:

“材料是能为人类制造有用器件(或物品)的物质。” (1.5)

同理,材料“属”于物质,而上述语句中的定语便是“种差”。

自从人类社会采用私有财产制以后,“经济”因素进入材料领域,材料的定义必须考虑经济:

“材料是能为人类社会经济地制造有用器件(或物品)的物质。” (1.6)

材料的生产和使用对于人类社会又带来越来越多的环境污染,材料的定义也应随着改变。对于“能为人类社会”也可采用更确切的叙述,因而现代的材料定义是:

“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)

1.2 新技术革命与材料科技

人类与其他动物之间的第一个差别在于物质的利用。

历史学家曾用“材料”来划分时代,例如石器时代、陶器时代、铜器时代、铁器时代等。原始的人类,逐渐使用天然材料,如石头、骨骼、木材、兽皮等,来制造工具、武器、住所、衣服、用品等,这个时代叫做石器时代。随后,人类发现可塑性好的粘土加热变硬,制备了陶器,进入了陶器时代。在人类进化史上,这是一个里程碑,因为人类的智慧发展到将天然材料改造为人工材料。耗费更大的能量,人类将铜矿石及铁矿石分别还原为铜及铁,因而分别进入铜器时代及铁器时代。

人类与其他动物的第二个重要区别在于能量的利用。原始的人类与陆上的许多动物一样,采用穴居来利用贮存的太阳能。火的发现,是人类利用能源

的一个跃进,人类已不再仅仅直接地依赖太阳能,而且能将生物的化学能转变为热能。人类用火来烧林、开荒、烹煮食物,用火来加热燧石使之易于成形为工具,加热使粘土器皿变成陶器,加热及用还原剂使矿石变为金属。火这个能源的利用,促进了材料及人类文明的发展。因此,古代社会十分重视火的重要作用:古希腊神话中,将火描写为普罗米修斯从天神那里偷来而送给人类的宝贝;亚里士多德将火与空气、水、土合称为四个基本元素;我国古代的五行学说将水、火、木、金、土称为五行,是构成各种物质的基本元素;许多宗教仪式将火称为圣火。

在另一方面,保存和利用能量,一点也离不开材料。远古人类住在洞穴里,依赖天然材料贮存太阳能;火的利用,离不开木料及其他燃料,若将定义(1.5)的“器件”扩大为“物品”,则燃料也是广义的材料,而燃料的砍伐和采掘,当然需要材料;现代的先进能源转换技术中,如发电机、汽轮机、燃气轮机、核反应堆、磁流体发电、煤的气化和液化、太阳能的转换、高能密度电池、燃料电池等,为了实现能量转换,为了提高效率、安全性、经济性,都依赖于材料的改进和新材料的发现。材料的生产和利用,也需要能量,今天的社会,材料与能源是相互依靠的。为了强调这种关系,也可将能源的开发、转换、运输、贮存所需的材料,统称为能源材料。顺便指出,“能源”是属于“能量”的:

“自然界中的能量,可为人类经济地利用的,叫做能源。” (1.8)

人类与其他动物之间的第三个重要区别在于信息的传播和保存。“知识”与“信息”之间是难于区别的,类比于(1.8),可以认为:

“人类社会中的知识,需要利用和传播的,叫做信息。” (1.9)

远古的人类同其他动物相似,用姿势、表情和简单的语言来传递信息。随后,人类不仅发展了有别于其他动物的高级语言,更重要的是创造了文字,并且发明了印刷术,使文化能够积累和保存,信息在空间及时间的多维坐标系内广为传播。古代的人类用简单的材料——石片、龟甲、芦苇叶、竹片、粘土板、布片等记录知识。我国的夏商时代,在铜鼎、竹简上长期地保存了文化。11世纪中期,我国毕昇发明了活字印刷术,这是信息传播的一个跃进。很明显,这些信息贮存和传播方面的进展,一点也离不开材料。现代的信息贮存、处理和传播的先进技术,如电话、电报、收音机、照相机、电视机、录音机、录像机、计算机等的出现、改进和换代,都依赖于材料。

在另一方面,信息技术的发展,又使材料的生产和利用达到更高的水平。今天的社会,信息与材料也是互相依靠的。为了强调这种关系,也可将信息的接收、处理、贮存和传播所需的材料,统称为信息材料。

在人类历史的进程中,材料本身也经历了巨大的变化。从天然材料的木、

石等发展到简单的人造材料,如陶瓷、玻璃、金属、高分子化合物、半导体等,进一步发展到用优异材料巧妙地组合成和谐而有高性能的器件和装备,如集成线路、计算机、飞机、潜艇、核反应器、宇宙飞船、人造卫星等。这些巨大的成就,不是其他动物所能达到的!这是因为只有人类才能利用他们祖先积累的信息和各种能源。

简单地回顾人类超越动物的发展历史,可以看到材料的重要性,可以看到材料、能源和信息在发挥人类聪明才智中的巨大作用。还应该指出,人类的生活和生存所依赖的衣食原料依赖于农业的科学技术,随着农业的工业化,材料在农业工业中的作用,将越来越重要。甚至人类延寿的一条途径——更换器官也依赖生物材料,而遗传工程的实施也需材料来保证。在原材料的形成、有用金属的富集、材料的损坏等方面,生物特别是微生物扮演着重要的角色。因此,不仅是现代,而且自从有人类以来,材料、能源、信息和生物这四根支柱,便在地球的空间支撑着人类赖以生存的大厦(图 I .1),只是随着时代的前进,这四根支柱的内涵有所不同而已,这四根支柱通过横木而相互联系和支持。

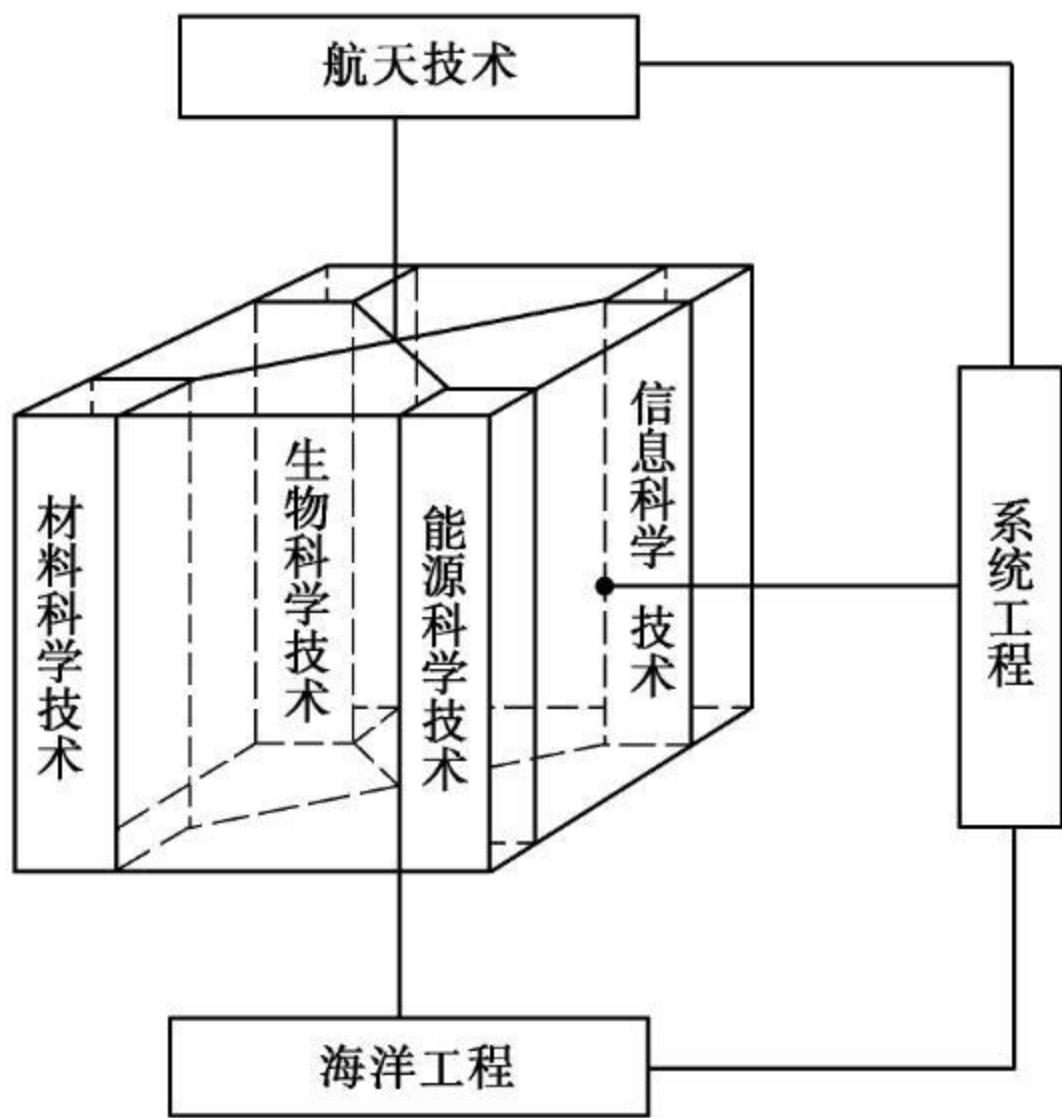


图 I .1 新技术革命的技术群([A8]p4)

事物总是在运动和变化的,“人间正道是沧桑”,“粪土当年万户侯”。正是这个含义,事物在运动和变化所导致的进展和发展(Evolution)是复杂和不平稳的,若是逐渐的变化,我们叫做发展或改革;若出现了飞跃的质变,我们叫做革命(Revolution)。在不同的领域内,有着不同的革命:

“人类认识客观世界的飞跃叫科学革命。” (1.10)

“人类改造物质世界的飞跃叫技术革命。” (1.11)



“生产体系的组织结构和经济结构的飞跃叫产业革命。” (1.12)

“社会制度的飞跃叫社会革命。” (1.13)

在科学史、技术史、经济史、社会史中,不同的学者可以列举许多称得上“革命”的发现或事例。如原始社会的崩溃、奴隶社会的产生,由奴隶社会变为封建社会,封建社会变为资本主义社会,社会主义社会的建立,都是大家所熟悉的社会革命。

现代的新技术革命是由一群新技术所引起的改造物质世界的革命。这些新技术群如图 I.1 所示,除了支撑人类文明大厦四大支柱技术——材料、能源、信息、生物——有着新的飞跃外,还有上天的航天技术和深海的海洋技术以及系统工程。

地球表面不能满足人类的需要,从而在深海和近海探索能源和材料、生物资源,在太空建立信息和能源转换站进行材料的加工,分别发展了海洋工程和航天技术。此外,国防的需要,也促使人们发展这两门技术。材料是人类物质文明的基础和支柱,它支撑着其他新技术的前进。能源的开发、提炼、转化和贮运,信息的传播、贮存、利用和控制都离不开材料,航天技术、海洋工程、生物工程和系统工程都需要结构或(和)功能材料。在另一方面,常规材料的发展和新材料的涌现,也是由其他新的科学技术,特别是信息科学技术与系统工程促进的。

从上面的分析可以看出,以材料为研究对象的材料科学技术(或叫材料科学与工程),在新技术革命中将扮演着重要角色。

生物竞争,大自然选择了人类,让人类生存下来,并且统治着地球;人类为了更好地生活,通过园艺过程,选择了生物,通过环境保护,维持了生态平衡,人类与其他生物共同和谐地生存下去。人类社会对于学科也在它们的竞争中进行选择,正如大自然选择生物品种一样。从人类的长期发展史和最近出现的新技术革命来看,尽管材料科学与技术将会继续存在,但是,一方面它需要适应社会的需要,才能通过社会的严峻选择;另一方面也需要与其他有关学科协调地发展,相互地吸收营养,共同地健康成长。

2 材料学的进化

分两小节,探寻材料学的进化:实践和认知。

2.1 实践

(1)1943年到现在,著者有幸没有离开“材料”这个领域;在生产、科研、教

学、咨询、评审、规划等工作中,在学习、提问及运用的反复过程中,不停地审查“材料问题”的纠纷。

(2)1943 年著者在唐山交大矿冶工程系毕业后的 60 年,在材料领域的生产、科研、教学、咨询、评审、规划等工作的学习、提问及讨论的过程中,反复地学习和运用材料的知识;对于这些知识,通过学、思、问,开设了金属材料学、金属物理、合金相理论、合金相与相变、断裂力学、断裂化学、材料学的方法论等课程;参加了合金钢、断裂、腐蚀、应力腐蚀、相图与相变、氧化与蠕变、材料的失效分析和设计、材料学的方法论等方面的研究。在上述教学和科研工作的基础上,从 1962 到 2002 年,编著出版了 19 部书(见参考文献 A),它们的主要内容如表 I .1 所示;发表了 64 篇材料宏观问题方面的论文(见参考文献 B)。

表 I .1 著者编著出版的 19 部书的主要内容

性 能	2 腐蚀	4 韧性	9 应力腐蚀	19 腐蚀
结 构	7 相与相变			
能 量	6 合金	12 材料		
材 料	1 金属材料	3 高速钢	5 不锈钢	8 材料 16 钢
方法论	10 腐蚀学	11 材料学	14 人事物	15 应用
宏 观	8 材料学	17 学术经历	18 治学体会	19 腐蚀学
其 他	13 士心集			

(3)1986 年,国家教委和中国科协决定利用通讯卫星开辟教育频道,并为具有大专以上文化水平的科技人员举办“继续教育”节目。关于材料科学与工程方面的内容,委托中国金属学会筹办。通过多次协商,确定题目为“材料的应用与发展”。1986 年 6 月,我勉为其难地接受编著教材的任务,吸收国内专家们的意见,总结著者 40 余年从事材料工作的经验和教训,遵循邓小平同志关于“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”的指示,迎接交叉学科的到来,明确以下两个问题,以确定全书的框架:

①教学和读者对象。以材料的应用和管理人员为主,兼顾材料的生产、科研和教学人员。

②目的和体系。提出“材料学”(Materialogy)的新概念和新体系,尝试使读者:

(A)从整体上理解材料学,除开传统的“材料科学与工程”、“微观材料学”外,吸收必要的社科和人文学科知识,如哲学、经济学、系统科学、教育学、科学学等知识,建立“宏观材料学”。



(B)获得必要的、现代的基础知识。

(C)熟悉处理包括材料在内的各种问题的方法,开拓思路,提高分析和解决问题的能力。

为了有利于教学,编著出版了教材[A8]。

2.2 认知

2.2.1 美国 MIT 矿冶及材料系名称的演变

通过实践,我认识并知道了什么? 这就需要回答最基础的几个问题:材料是什么? 它的判据是什么? 如何划分材料? 如何控制和发展它们? 这就需要运用第 2 章逻辑分析和第 3 章系统分析来回答。在下面,从历史分析角度,审视美国 MIT 矿冶及材料系名称的演变,可以看出美国材料学科的演变。这种演变如表 I .2 及图 I .2 所示,这正如《三国演义》第一回开门见山地提出:

“话说天下大事,分久必合,合久必分。” (1.14)

有关材料学科的大势,也不例外。

从图 I .2 和表 I .2 的学科的合→分→合的情况可以看出,MSE 与社会科学的结合,形成了“材料学”,仿照 Astrology, Biology, Ecology, Geology, Mineralogy, Pathology, Sociology, Theology, Zoology 等,可将之译为“Materialogy”。1986 年夏,我在筹组《材料的应用与发展》的电视教学片时,提出这个新英词;当年冬,李振民教授为了响应 M.Cohen 教授的号召,当金属扩展而包括所有材料时,不谋而合地提出这个新词来代替“Metallurgy”。但同词的含义却有广狭之别,李教授提出这个词,只是代替“Metallurgy”,没有包括社会科学。

表 I .2 美国 MIT 矿冶及材料系名称的演变^①

年	系 名 称
1865 ~ 1879	地质与采矿工程
1879 ~ 1884	采矿工程
1884 ~ 1888	采矿工程(地质,采矿,冶金)
1888 ~ 1890	采矿与冶金
1890 ~ 1927	采矿工程与冶金
1927 ~ 1937	采矿与冶金
1937 ~ 1966	冶金
1966 ~ 1975	冶金与材料科学
1975 ~ 现在	材料科学与工程(MSE)

①([A11]p23)。

2.2.2 简论材料

为了便于以下两小节的讨论,先简论材料八条。

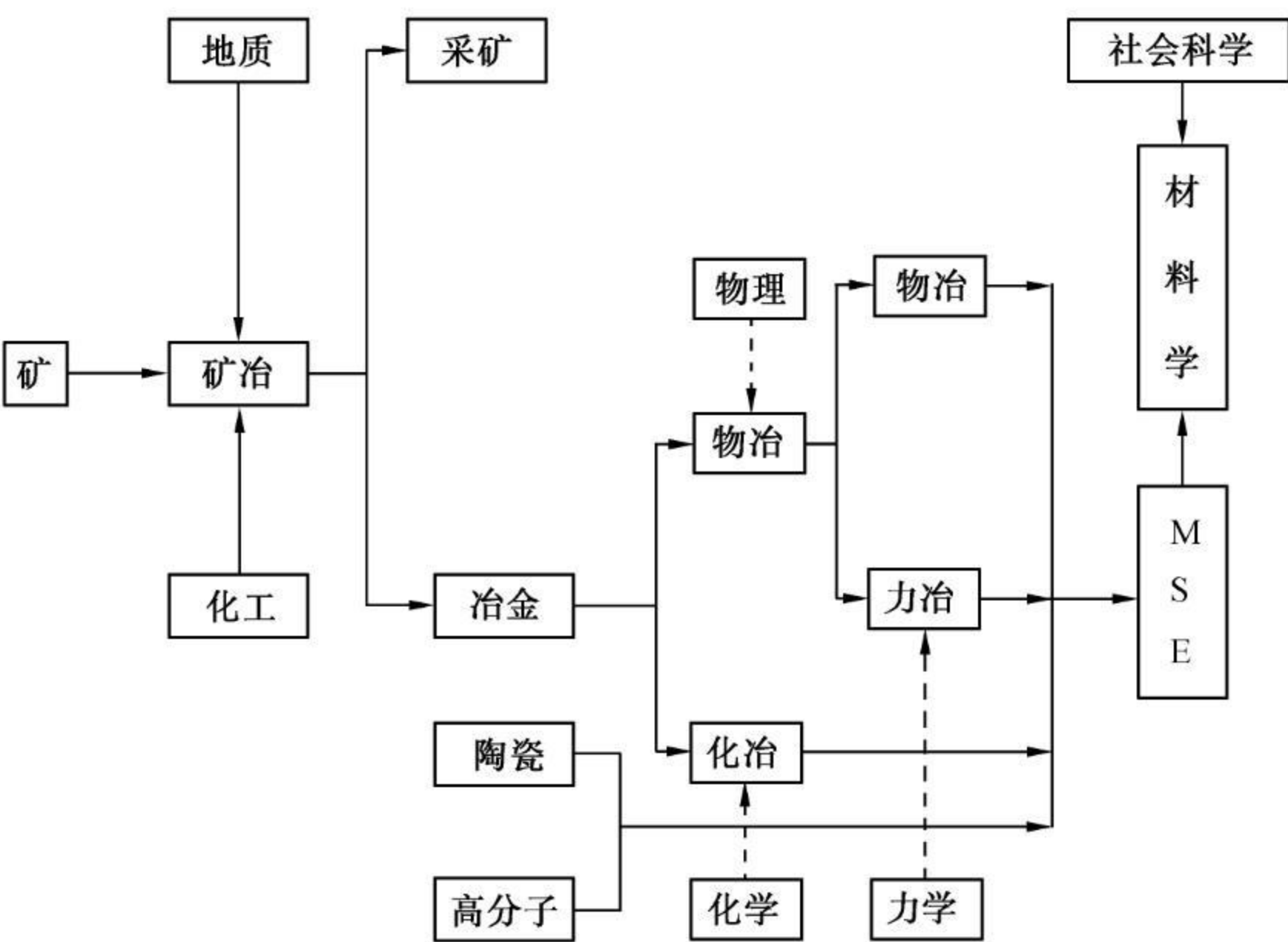


图 I .2 材料学科的分合图([A11]p24)

(1)定义

“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)

(2)判据

从定义引入五判据，即判断物质是否是材料的依据：

“五判据：资源，能源，环保，经济，性能。” (1.15)

前三者是战略判据，后二者便是俗称的“价廉物美”。

(3)划分

“传统材料——已大量生产并长期使用，积累了经验；
先进材料——具有优异性能，但尚未商业化。” (1.16)

(4)发展途径

对于传统材料，应是五判据并存；对于先进的新材料，在尊重知识产权的基础上，可采用：

“一用、二批、三改、四创。” (1.17)

即“应用、批判、改变、创新”。更宜：

“自力赶超辟新径。” (1.18)

合并而得七言古诗一首，便于回忆：

“资源能源环保令，价廉物美拼生存，
用批改创短捷路，自力赶超辟新径。” (1.19)

(5)宏观控制

参考图 I .3, 主流应是:

“面向市场, 抓两头(应用, 设备), 带中间(性能, 结构, 工艺)。” (1.20) 也应依据国家财力, 在“有所不为, 有所为”方针的指引下, 适当地支持基础研究和应用基础研究, 发现奇异的结构, 例如金属玻璃、纳米晶体等, 这些结构是美丽的花朵。下一步应“两头推进”, 如图 I .3 所示: 向左探寻有无在“市场”“应用”的“性能”; 如有, 则向右推进, 探索获得这种“结构”的稳定而价廉的“工艺”和“设备”, 促使美丽的花朵“结”成有用和有经济效益的实“果”。这便是:

“中央(结构)开花, 两头(性能, 工艺)推进, 促使结果。” (1.21)

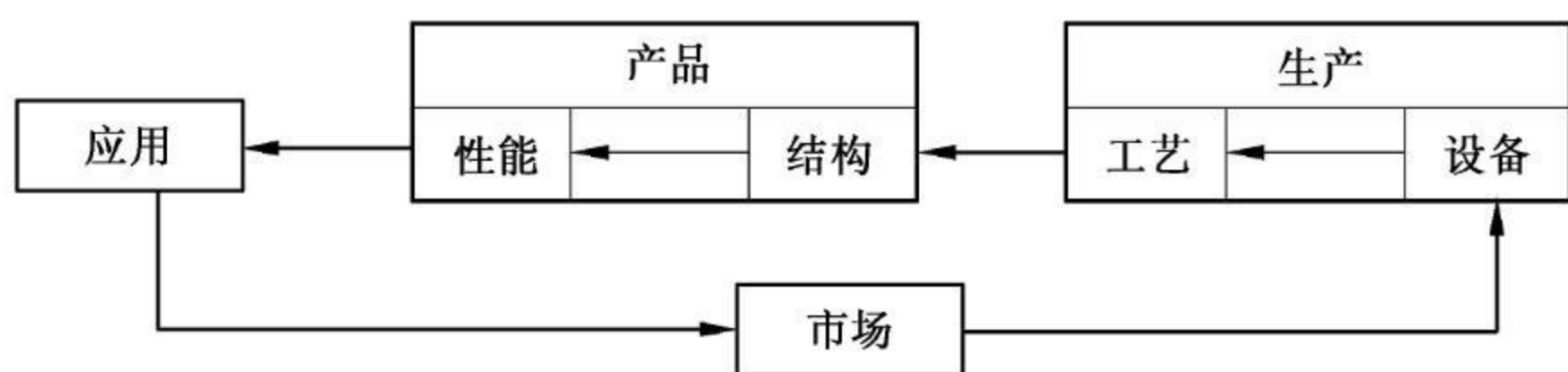


图 I .3 材料宏观问题的结构

(6)微观系统

图 I .4 示出微观材料学的结构及其五个组元(e, S, Z, P, E)之间的关系。

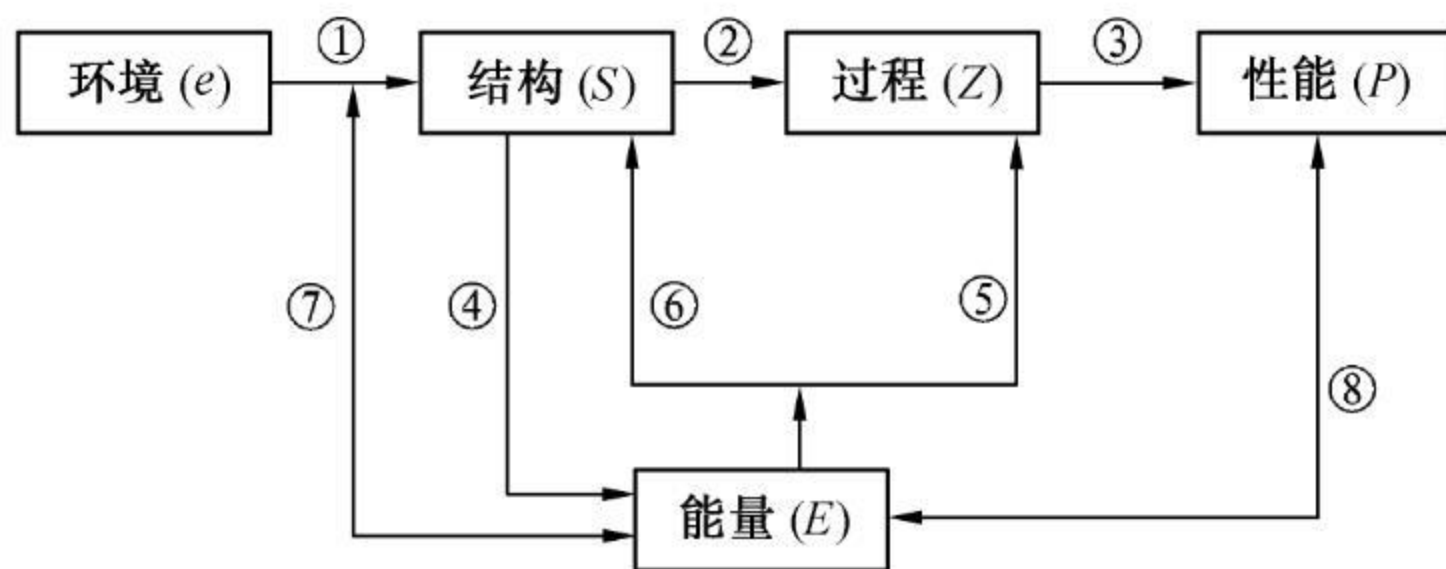


图 I .4 材料微观问题的结构

e 作用于 S ①, 通过 Z ②, 而导致 P ③; E 控制 S 的稳定性⑥和 Z 的进行⑤; 从 S 可以计算 E ④; e 和 S 可交换 E ⑦; 某些 P (例如材料的性能——韧性, 以及人才的才能, 系统的功能) 也是一种 E ⑧。从图 I .4 可看出“能量”在分析材料微观问题时的重要性。

(7)基本方程

任何学科都有它的基本方程。可以总结, 材料学有两个基本方程: 设 P 、 S 及 e 依次是材料的性能、结构及环境, 则第一方程是:

$$P = f(S, e) \quad (1.22a)$$

在给定的环境中，即 e 不变，则(1.22a)为：

$$P' = f_e(S) \tag{1.22b}$$

即 P' 唯一地取决于 S ，可称为“性质”。英文对于“性能”与“性质”不加区别，都称为“Property”。设 E 为系统中组元(Element)的集合， R 为组元之间关系(Relationship)的集合，则第二方程是：

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

推而广之，(1.22)及(1.23)也可用于分析人才的才能和系统的功能(P)， S 便分别是人才的知识结构和系统的结构。本来，古汉字“材”与“才”不分；看来，物理、人理、事理、哲理之间可互通融(图 I .5)。

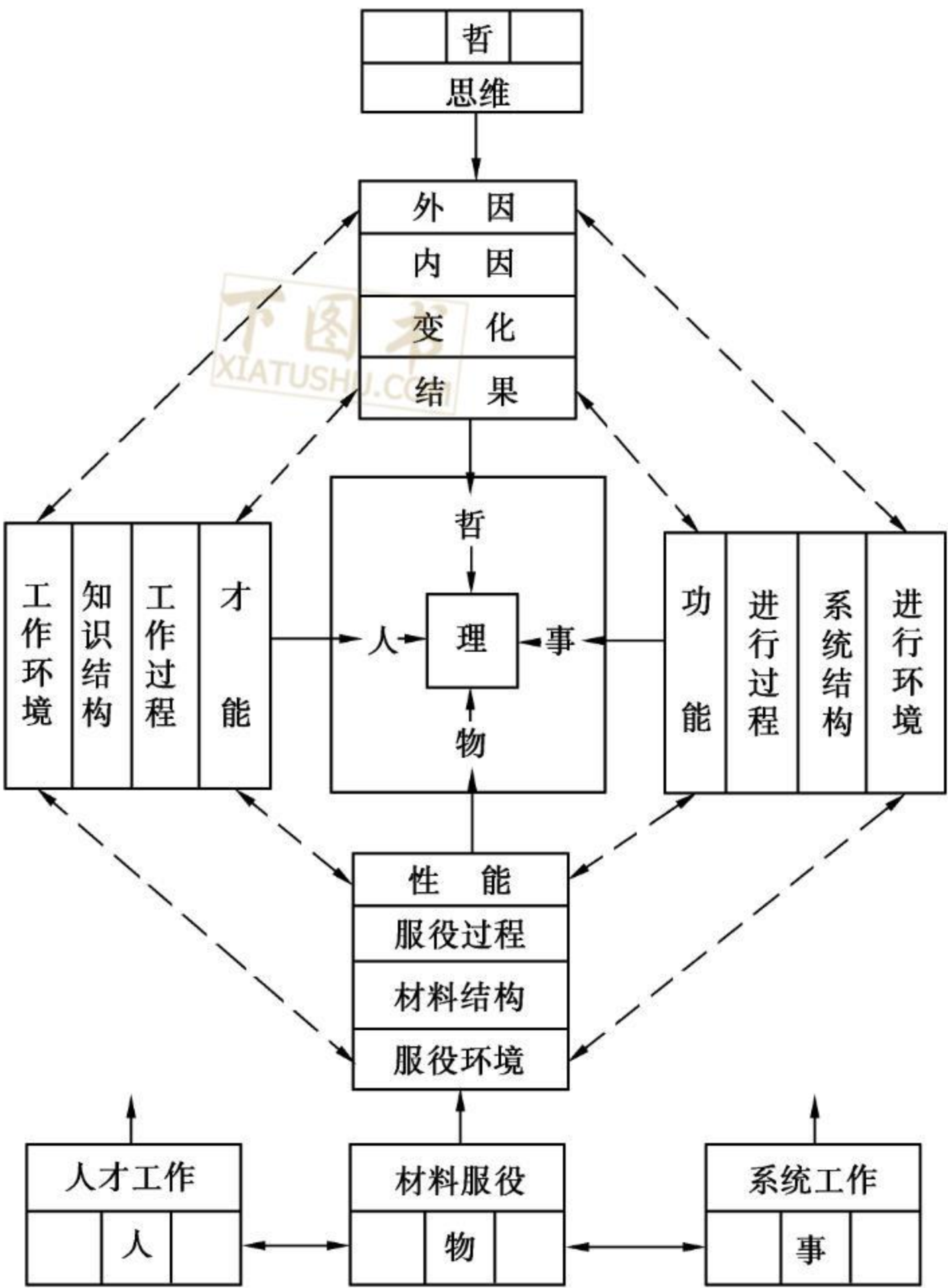


图 I .5 物、人、事、哲理互通融图

(8) 结语

遵循《易传》：

“易一名而含三义：易简一也，变易二也；不易三也。”([C1]p7) (1.24)

在上面，简论材料的定义、判据、划分、发展途径、宏观控制、微观系统、基本方程七个命题。借助于 3 图、2 式、7 语、1 诗，明理述怀，并示例地介绍重要的科学方法：

逻辑思维：概念的内涵——定义(1)；外延——划分(3)；
 确定——判据(2)，发展途径——(4)。

数学方法：基本方程——(7)(1.22a, 1.23)。

系统分析：图 I .3 ~ 图 I .5。

“天下本无路，路是人走成的。”(鲁迅) (1.25)

“路——道也，从足从各——道路，人各有适也。”([C9]p4) (1.26)

历程分析也是一种历史分析，在下面，叙述著者在长期教学和科研的实践中，是如何认知微观和宏观材料学的发展的。

2.2.3 微观材料学体系的建立历程

按时间顺序，列出十条：

(1)材料学科久远而永恒的命题是性能。宇宙中的“物质”，能够成为“材料”，首先，并且永恒地因为它具有能为人类服务的性能！随后，由于私有财产制的出现，对于材料，才加上“经济”这个新判据。

(2)1960 年我开创的“金属材料学”这门新课程，便是以“性能”为线索分类分章，教材整修后，于 1996 年出版([A1])。

(3)认识影响材料性能诸因素的历程：

1	性能	测定
2	结构↔性能	相关法确定所需结构—工程
3	环境→结构→过程→性能	过程法深入理解性能—科学
4	环境→结构→过程→性能 ↑ ↑ ↑ 能量	哲理—能量为统一控制因素

(4)1980 年受仪表材料学会邀请，为了有新意，作了题为“合金的能量与过程”的书面发言，并发表([B1])。

(5)1982 年在北京钢铁学院，为金属物理专业开设 72 学时的“合金能量学——能量的关系、计算和应用”：应用热力学阐明关系；应用统计力学、固体物理、弹塑性力学及表面科学分别计算熵、内能、应变能及界面能；示例地说明应用。1985 年出版此教材([A6])；1999 年扩充为《材料能量学》出版([A12])。

(6)1973 年后的 20 余年，从事材料环境断裂的科研，因而深知“环境”对材料性能的重要影响；出版了几部有关腐蚀方面的专著([A2],[A9],[A10]，

[A19])。

(7)学习、思考关于“观念的进化”的论著《物理学的进化》，A·爱因斯坦和 L·英费尔德著，1938，周肇威译，上海科技出版社，1962([C4])，获得关于“结构”的四点启示：

- ① “从希腊哲学到现代物理学的整个科学史中，不断有人力图把表面上极为复杂的自然现象归结为几个简单的基本观念和关系。”([C4]p35)
- (1.27)

杨振宁在一次报告中指出，物理学的理论框架也许由 10 个方程式组成。通过长期的科教实践，我认为，微观材料学含有两个基本方程式：

$$P = f(e, S)$$

(1.22)

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

(1.23)

式中， P 、 e 、 S 、 E 及 R 分别是材料性能 (Property)、环境 (Environment)、结构 (Structure)、系统中组元的集合 (Element) 及组元之间关系的集合 (Relationship)。

- ② “麦克斯韦方程的特色显现在现代物理学的所有其他方程式中，这种特色可以用一句话来概括，即：麦克斯韦方程是表示场的结构的定律。”([C4]p91)
- (1.28)

“电磁场的结构定律建立起来了，它是用空间和时间把毗邻的事件((1.23)的 E) 联系起来的定律。”([C4]p155)

(1.29)

③《物理学的进化》([C4]p37 ~ 42) 中，介绍了布朗的观察——花粉粒子在水中不停运动的动人景色；在结论中指出：

“形成一个很成功的物质结构的图景。”([C4]p42)

(1.30)

这种无规则的运动特点，也是结构定义(1.23)中的 R ！

④侦探柯南道尔([C4]p2) 首先搜集所需要的事件((1.23)中 E)，通过思维，灵机一动，找到它们之间的关系((1.23)中的 R)， S 知道了，就好侦破案件。

(8)类比。《进化论与伦理学》，赫胥黎著，1894，中译本，科学出版社，1971([C5])。

在生物界，类似于材料界，也存在环境、结构、过程、功能、能量五个命题，获启示，发表一文：“材料学与生物学的类比与交叉”([B39])，借助于生物学原理，发展“微观材料学”。

(9)依据哲理制备“物、人、事、哲理互通融图”(图 I .5)，得到外延“材料学的方法论”的理性基础。

(10)性能在材料学中的重要性。材料的定义回答了材料是什么 (What?)，从而知道“性能”的永恒要求(图 I .6)。

从图 I .6 可看出材料性能(P)在材料学中的重要位置：图的左方是微观材

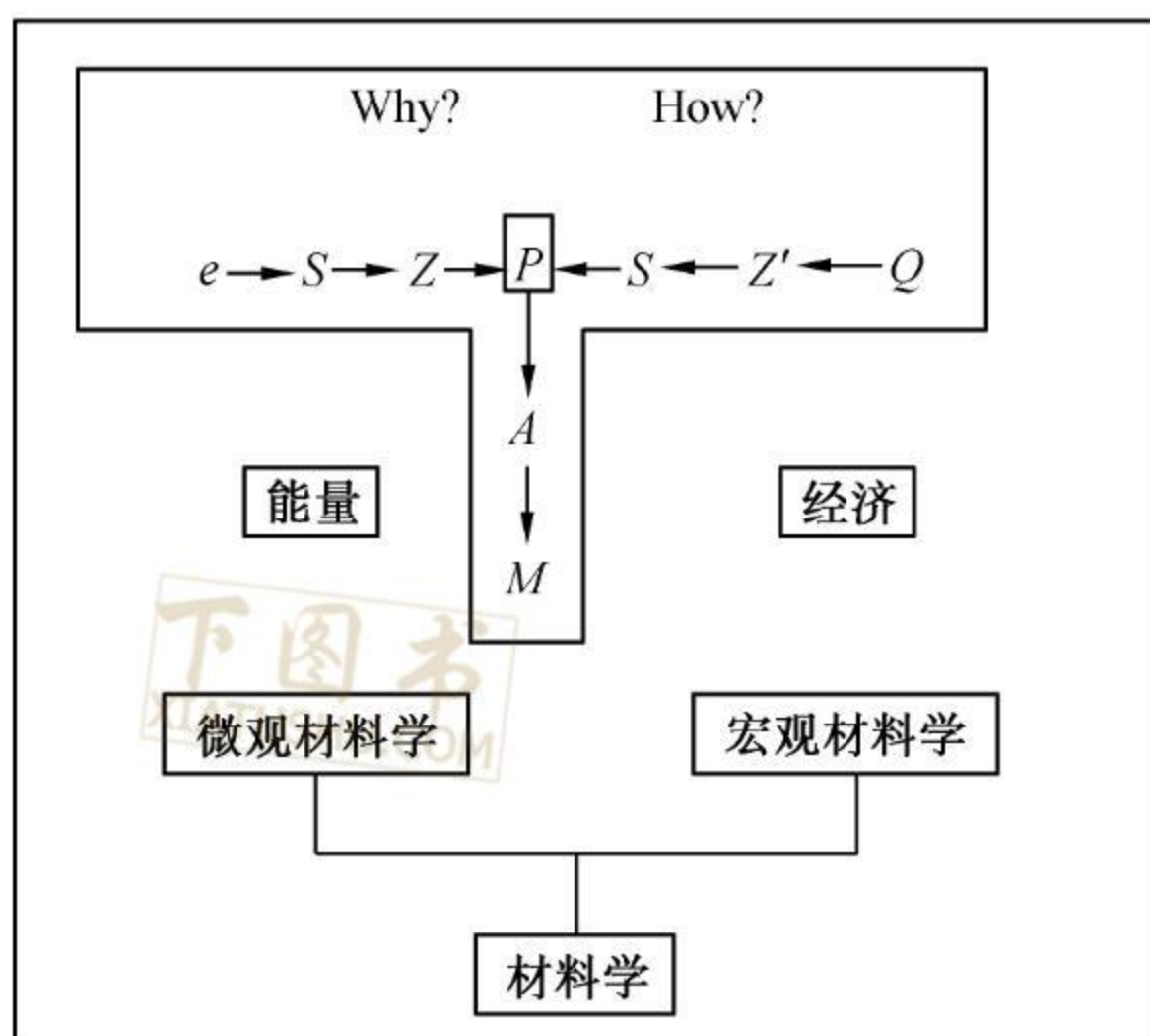


图 I .6 性能在材料学中的重要位置
 e —应用环境; S —结构; Z —过程; P —性能;
 Z' —工艺; Q —设备; A —应用; M —市场

科学的领域,以“能量”为线索,回答为什么(Why?)有这种“性能”;图的右方是宏观材料学的领域,以“经济”为线索,回答如何(How?)在生产中获得这种性能。作为材料学的整体,必须十分重视性能的研究和开发工作。

这是我从特殊到一般的治学历程和认知,供参考。

2.2.4 宏观材料学体系的建立历程

(1)1943 年到现在,这半个多世纪有幸没有离开“材料”这个领域;在生产、科研、教学、咨询、评审、规划等工作中,通过学习、提问及运用的反复过程,不停地审查“材料问题”中的物、人、事的纠纷。

(2)1957 年从美留学与工作 10 年归国后,在北京钢铁学院(1988 年改为北京科技大学)担任金属物理教授至今。“文革”前,只知“低头拉车”;“文革”后,开始“抬头看路”。在教学和科研成果的基础上,在国内,自成体系地编著出版了有关“材料”的 17 部书:

- ①《腐蚀金属学》(1962)([A2])
- ②《高速钢的金属学问题》(1976)([A3])
- ③《金属的韧性与韧化》(1980)([A4])
- ④《不锈钢的金属学问题》(1983)([A5])
- ⑤《合金能量学》(1985)([A6])
- ⑥《合金相及相变》(1987)([A7])
- ⑦《应力下的金属腐蚀》(1990)([A9])



⑧《金属材料学的原理和应用》(1996)([A1])

⑨《材料的应用与发展》(1988)([A8])

⑩《腐蚀总论》(1994)([A10])

⑪《材料学的方法论》(1994)([A11])

⑫《士心集》(1999)([A13])

⑬《材料能量学》(1999)([A12])

⑭《问题分析方法》(2000)([A14])

⑮《拾贝与贝雕》(2000)([A15])

⑯《治学体会漫谈》(2002)([A18])

⑰《材料腐蚀学原理》(2002)([A19])

前八部(①~⑧)论述某类材料或某类材料现象,属“微观材料学”;后九部(⑨~⑰)从总体上论述材料现象,属“宏观材料学”。

(3)前面提到,1986年,著者承担“继续教育”的电视节目——《材料的应用与发展》提出“材料学”(Materialogy)的新体系,尝试使读者从整体上理解材料学。并仿“经济学”中“微观”和“宏观”两个分支的定义,吸收哲学、系统学、经济学、科学学、教育学等人文、社科知识,建立“宏观材料学”分支。1986年后的10余年,在“宏观材料学”方面,发表了60余篇文章,其中两篇长文较详细地阐述“宏观材料学”:

“应用学科的宏观问题和分支”(1997)([B40])

“宏观材料学的结构——技术科学分支的思考”(2000)([B52])

为了便于读者的阅读和理解,在第Ⅱ篇第5章的引论——书的结构中,按(1.23)先简述“宏观材料学”中各组元(E)之间的关系(R)(图I.7);然后在随后的第6至第12章中,分论各个组元(E);最后,在第13章结论中,讨论处事三论——算计,生态,适中。

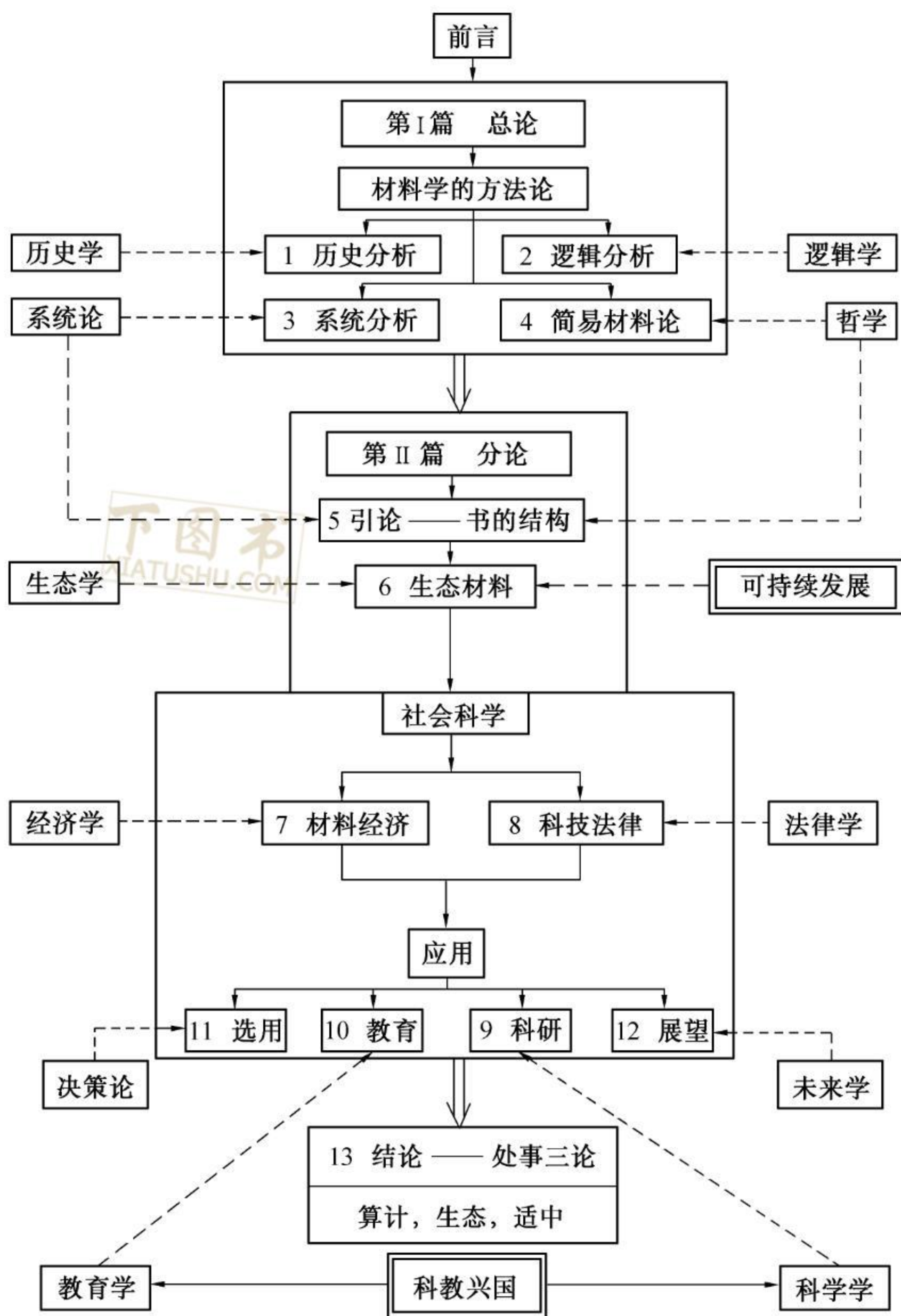


图 I .7 《宏观材料学导论》的结构



第 2 章 逻辑分析

([A11]p52 ~ 120)

“逻辑与修辞使人善辩。”([C6]p180) (2.1)

“正确地运用逻辑,可以做到概念明确,判断恰当,推理正确。” (2.2)

“逻辑是研究思维的形式及其规律和思维方法的科学。”
([A11]p52) (2.3)

人类的思维有三种基本形式:概念,判断,推理。

(1)概念

在生活与生产的实践中,人与自然界和社会接触,从感觉而逐渐知道了客观事物的各种属性,在感性认识的基础上,人们抓住了事物的本质属性,形成了概念,并设法用图形、语言或文字来描述。因此:

“概念是反映事物的特有属性的思维形态。” (2.4)

(2)判断

人们形成概念之后,又要应用这些形成的概念,去断定客观事物的情况,这便是判断。因此:

“判断是断定事物情况的思维形式。” (2.5)

(3)推理

人们形成了许多判断,判断与判断之间在真假之间是有联系的:

“从一个或几个判断出发,推出一个新的判断的思维形式,便是推理。” (2.6)

一般用“名词”表示概念;用“语句”表示判断;用“句组”表达推理。

在下面,先简介“逻辑分析”中“概念”和“推理”,然后,阐明它们在“材料”及“材料学科”中的应用。

1 概念

先简述“形式逻辑”的规则和“辩证逻辑”的发展;再示例地说明它们在材料和材料学科中的应用。



1.1 形式逻辑的规则

应用“定义”和“划分”这两种逻辑方法,可分别明确概念的“内涵”和“外延”;再通过实践和思考,可明确“材料”和“材料学科”这两个概念。

概念在反映事物特有属性的同时,也反映了具有这些特性的事物,这就分别形成了概念的内涵和外延两个方面:

“概念的内涵,是概念所反映事物的特有属性。” (2.7)

“概念的外延,是具有概念所反映的特有属性的事物。” (2.8)

在逻辑学中,人们采用“定义”和“划分”来分别明确概念的内涵和外延:

“定义是揭示概念的内在的逻辑方法。” (2.9)

“划分是把一个概念的外延分为几个小类的逻辑方法。” (2.10)

从亚里士多德开始,人们就开始普遍地采用“真实定义”这种方法:

定义项 = 属 + 种差 (2.11)

例如,第1章(1.4)关于“人”的定义便采用这种方法:其中,人“属”于“动物”;动物前那个定语,便是“种差”,即“人”与动物中“非人”之间的“差”异。

定义的逻辑方法,除开“真实定义”之外,还有:

(1) 发生定义

“发生定义是用事物发生或形成过程中的情况作为种差的定义。” (2.12)

(2) 因果定义

“因果定义是用事物发生的原因作为种差的定义。” (2.13)

(3) 语词定义

“语词定义就是说明或规定语词意义的定义。” (2.14)

形式逻辑提出了三条划分的规则:

(1)划分的各个子项应当互不相容。否则,便会有一些事物,同属于几个子项,犯子项相容的错误。例如,把材料分为金属材料、钢铁材料、陶瓷材料与高分子材料,这个划分,就是犯了子项相容的错误,因为钢铁材料就是一类金属材料。

(2)各子项之和必须穷尽母项。否则,就会有一些属于母项的事物被遗漏,犯子项不穷尽母项的错误。

(3)每次划分必须按同一划分标准进行。如果在同一划分中采用几个划分标准,结果不仅是达不到明确概念外延的目的,也很难满足上面两条规则。

列举概念的一部分外延,叫做举例。为了明确概念,我们经常是首先给出概念的定义,然后再用划分或举例的办法;这样,就从内涵和外延两方面来明确

概念。最后,应该强调,概念是反映事物的特有属性的[(2.7)]。形式逻辑中事物、概念、内涵、外延、语词、定义、划分等的关系示于图 I .8。

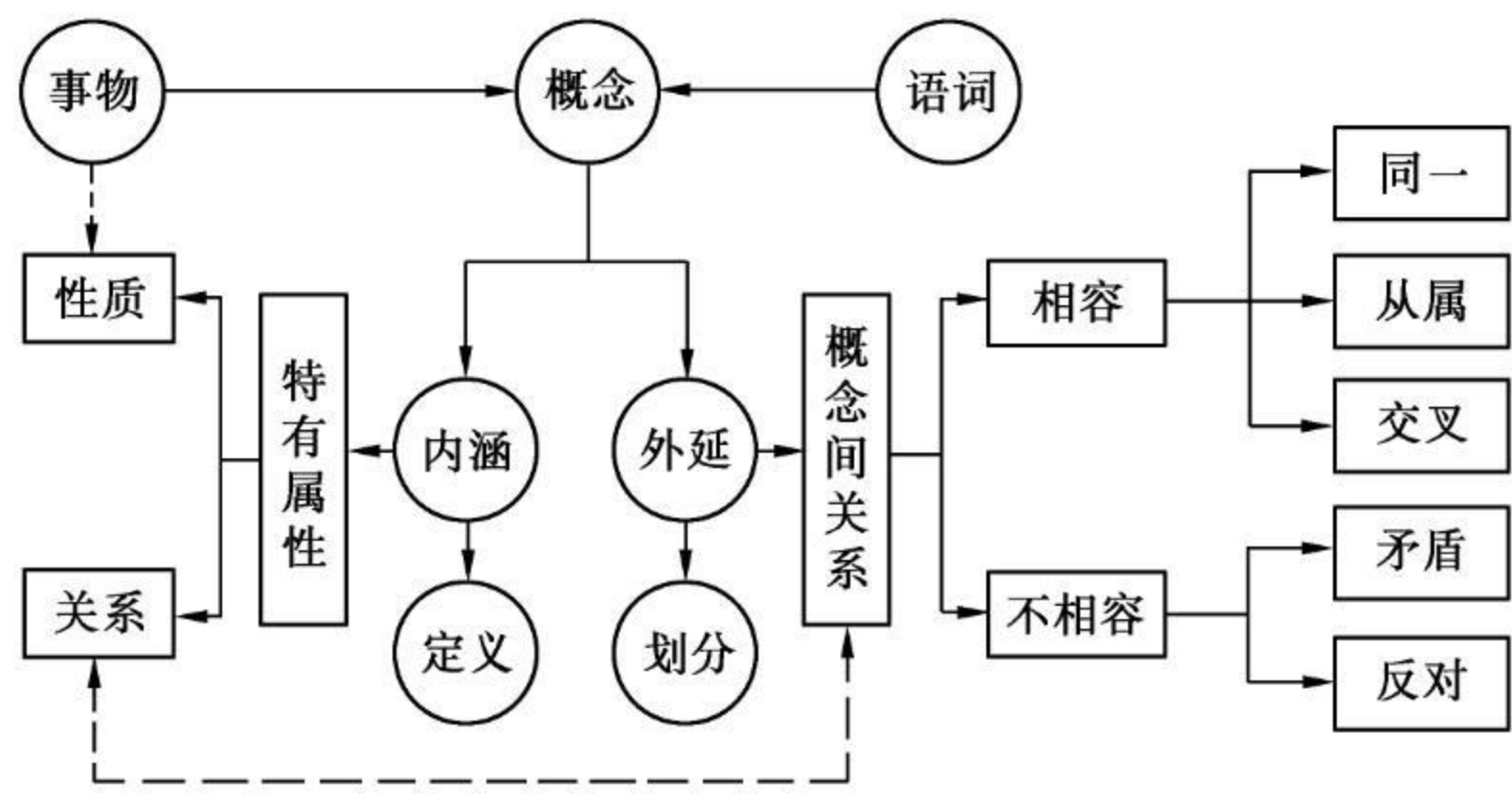


图 I .8 形式逻辑中的概念

1.2 辩证逻辑中的概念

从表 I .3 的比较可以看出:形式逻辑的思维形式是相对静止的,图 I .8 便示出形式逻辑中的概念的含义;而辩证逻辑的思维形式是运动变化和相互联系的,因而反映客观事物的概念也是运动变化和相互联系的。

表 I .3 辩证逻辑与形式逻辑的比较

	形 式 逻 辑	辩 证 逻 辑
思维类型	抽象思维	辩证思维
思维形式	相对静止的	运动变化和相互联系的
思维形式间关系	并列的	隶属的、深化的
思维范畴	固定的	流动的
指导规律	同一律 矛盾律 排中律	对立统一律 质量互换律 否定之否定律
类比	静力学 初等数学	动力学 高等数学

首先,概念具有内部矛盾性,即内涵和外延的矛盾。由于概念是事物特有属性的反映,因此,它就反映着个别和一般(即种和属)、现象和本质、量和质等辩证的矛盾。例如,“材料性能”这个概念,它是各种性能抽象出来的,反映着个别和一般的矛盾;从性能的发生定义(2.12)可以看出内因和外因的矛盾;从测试所获得的性能和材料具有这种性能的原因,可以看出现象和本质的矛盾。

其次,概念具有变化和发展性。既然客观事物是变化 and 发展的,那么反映

客观事物的概念当然是变化和发展的。这种特性可从如下两方面去理解。

(1) 概念本身的变化

用于表达概念的同一语词,由于概念本身发生了变化,因而这个语词的含义也发生了变化。例如,“Metallurgy”这个词,我们曾译为冶金学,已经包含了冶金学及金属学的含义([A11]p25~26)。又例如,“生产工具”这个概念,从历史发展来看,它的内涵和外延都在变化:由于材料领域的进步,依次出现了石器工具、青铜器工具、钢铁工具等;由于能源领域的发展,依次有手工工具、机动工具、电动工具等;由于信息领域的革命,又出现了自动化的工具。同一语词反映的概念,有了很大的变化。

(2) 新事物、新现象所导致的新概念

新事物的出现,新现象的发现,就必须有新语词去反映新概念。例如,传统的概念认为固态金属是晶态的,即原子的排列是简单地规则排列的,但是,采用超高速的冷却,可以保持液态金属结构,获得固态金属,因而创造出新语词“金属玻璃”或“非晶态金属”来表达新生事物所具有的新概念。又例如,传统上用缺口试样所获得的冲击韧性(Impact toughness)来反映材料的韧性,20世纪60年代后期,用裂纹试样来反映材料的韧性,这种新韧性命名为断裂韧性(Fracture toughness)。

第三,概念具有联系性。恩格斯说过这样两段话:

“当我们深思熟虑地考察自然界或人类历史或我们自己的精神活动的时候,首先呈现在我们眼前的,是一幅由种种联系和相互作用无穷无尽地交织起来的画面,其中没有任何东西是不动的和不变的,而是一切都在运动、变化、产生和消失。”

([C13]p18) (2.15)

“辩证法是关于普遍联系的科学。”([C12]p3) (2.16)

从事物之间的区分和联系,可以进一步明确概念所反映的事物。例如,大家所“熟悉的”金属如何定义?也就是:“什么是金属?”对于这个简单问题的回答,可从几方面考虑。

(1) 内涵和外延

金属是一类(或种)物质(属),依据(2.11)属+种差的定义,则物质是“属”,必须明确“种差”,也就是确定金属这种物质的特有属性(内涵)是什么?具有这种特有属性的物质(外延)又有哪些?可从如下两方面分析内涵和外延。

(2) 现象和本质

我们可从现象中抽出金属的特有属性。例如:

“金属是具有高的导电性和导热性、良好的塑性和不透明性



的物质。”

(2.17)

首先,这个定义不够确切,因为,一方面,定义中“高的”、“良好的”只是定性的描述;另一方面,石墨也符合这个定义。其次,这个定义还没有触及金属的本质,只是从派生属性来定义。有些人认为,从派生属性来定义金属,也许最好的一个是:

“金属是电阻率温度系数为正的物质。”

(2.18)

这个定义较(2.17)确切。但是,某些合金,例如 Manganin(84% Cu-12% Mn-4% Ni)^① 在 100 ~ 250℃ 范围内的电阻率的温度系数为负,是否就不算金属?此外,这个定义也没有涉及到现象的本质。

在化学中,从单个金属原子的特有属性,本质地定义了金属:

“金属是具有这样化学反应特性的一类元素:它们失去电子而与氧化合形成碱性氧化物和氢氧化物,并与酸化合而成盐。”

(2.19)

在金属学中,从原子的巨大集合体来定义金属:

“金属是这样一类物质,当它们的大量原子集合时,每个原子都提供自己的电子给整个集体。”

(2.20)

这也是从内部结构的本质上定义了金属,可用它来说明定义(2.17)及(2.18)。依据定义(2.20),固态氢及石墨碳也应划分为金属。

(3)区分和联系

从事物之间的区分和联系,可以进一步理解概念所反映的事物。例如,从晶体类型的区分和联系,可以进一步理解金属。我们可从形成晶体时价电子“所有制”的不同,将晶体分为四类:

- ①金属键晶体——价电子“公”有;
- ②共价键晶体——价电子“共”有;
- ③离子键晶体——价电子“私”有;
- ④分子键晶体——价电子不再重新分配。

实质上,用部分共价键概念可将共价键及金属键统一起来。在共价键晶体中,共有的一对电子的键力集中在两个原子之间,而在金属键晶体中,这种键力要分布在所有的邻近原子,特别是对应于配位数所表示的那些最近邻原子。虽然,电子在整个晶体中不停地运动,但电子在晶体内各部分停留的几率是不一样的,从时间的统计平均来看,仍然可以计算最近邻原子之间的平均键力。泡林(Pauling)用这种方法成功地计算了有机化合物的结合键和原子间距,并试图推广到金属键晶体。结合愈强,则原子间距愈小,依据实验数据,有着如下的经

^① 百分数分别表示 Cu、Mn、Ni 的质量分数。

验关系[C14]:

$$R_1 - R_n = 0.03 \lg n \quad (2.21)$$

式中, R_1 为单价键的原子半径, n 为键数, R_n 为键数是 n 的原子半径。现在举例说明这个概念的应用。

已知体心立方晶体的锆(β -Zr)的点阵常数为 0.361 nm, 试求密排立方的锆(α -Zr)的原子直径。如图 I.9 所示, 原子 A 有 8 个最近邻原子(如 B), 6 个次近邻原子(如 C)。从简单的几何关系得到:

$$AB = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 0.361 \text{ nm} = 0.313 \text{ nm}$$

$$AC = 0.361 \text{ nm}$$

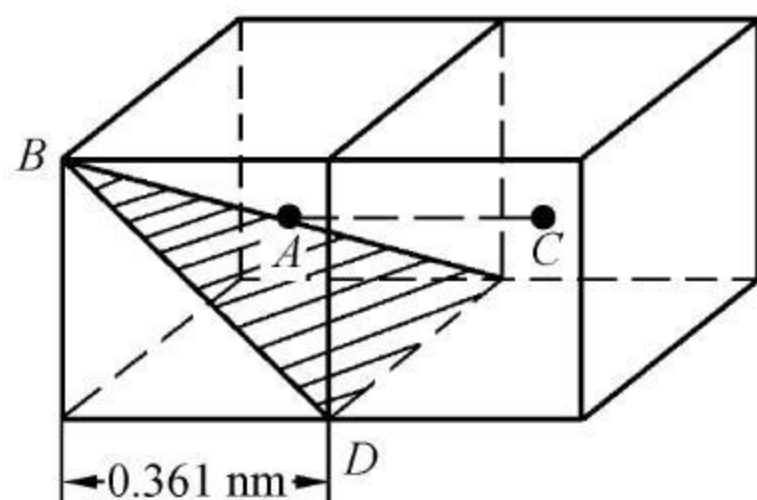


图 I.9 体心立方晶体结构

Zr 有 4 个价电子, 设其中 x 个用于与最近邻 8 个原子形成结合键, 余下的 $(4 - x)$ 个用于与次近邻 6 个原子形成结合键。因此, 与最近邻原子形成的键数为 $x/8$, 与次近邻原子形成的键数为 $(4 - x)/6$, 分别代入(2.21) 得到:

$$R_1 - R_{(x/8)} = 0.03 \lg \frac{x}{8} \quad (2.22)$$

$$R_1 - R_{(4-x)/6} = 0.03 \lg \frac{4-x}{6} \quad (2.23)$$

而 $R_{(x/8)} = AB/2 = 0.156 \text{ nm}$, $R_{(4-x)/6} = AC/2 = 0.181 \text{ nm}$ 。分别代入上列二式, 联解得到:

$$\begin{cases} x = 3.58 \\ R_1 = 0.146 \text{ nm} \end{cases}$$

在密排六方晶体中, 4 个价电子平均分配于 12 个最近邻的原子(次近邻原子相距较远, 可忽略不计), 则 $n = 4/12 = 1/3$, 代入式(2.21) 得:

$$0.146 \text{ nm} - R_{1/3} = 0.03 \lg(1/3)$$

故: $R_{1/3} = 0.160 \text{ nm}$

与实验值 0.160 nm 符合较好。

异类金属原子(例如 Ni 和 Al)形成合金时, 除开公有的价电子形成金属键外, 也会发生电子迁移现象(例如 Al 的价电子填充 Ni 的 3d 层孔洞), 也会有部分离子键特性。即令是纯金属, 例如具有复杂晶体结构的 β -Mn, 却有两类不同的锰原子: Mn I 及 Mn II, 它们的近邻原子数分别为 12 及 14, 参加结合键的电子数分别为 5.8 及 4.0。

总之, 金属键晶体中, 价电子公有程度与离子球间的空间大小有关, 这种空间越大, 则公有的程度越高。至于金属向晶体提供的价电子数, 则随金属及合



金而异。此外,金属键晶体有些还可认为是具有部分共价键(如 Zr),而另一些由于电子迁移,还有部分离子键特性(例如 Ni-Al 合金)。因此,从概念的本质属性间的区分和联系,可以更好地理解概念所反映事物的现象。

认识上面所讨论的、辩证逻辑中概念的三个特性,便可以防止思想僵化;但是,概念的这些变化,一点也不能脱离它的客观基础,并且也应该承认概念的相对静止和稳定,否则将会陷入唯心主义诡辩论。

1.3 在“材料”中的应用

(1.7)至(1.9)关于“材料”的定义,采用了(2.11)的“真实定义”方法,其中“物质”是“属”,即材料属于物质,“物质”前那个定语便是“种差”,从它可导出材料的判据,即物质是否是材料的依据。

此外,定义(1.7)到(1.9),反映了辩证逻辑中“与时俱进”的思想,我们应该:

“有定义,不唯定义,重在事物实质。” (2.24)

“有定义”,则概念明确,不容诡辩;当“事物实质”发生了变化,便“不唯定义”,而应“与时俱进”,改变定义。

关于材料的“划分”,宜遵守上面讨论的三条划分规则,不应犯规。

1.4 在“材料学科”中的应用

1.4.1 定义

在发展过程中,关于材料的知识,曾总结而成许多学科,如 MS(材料科学)、ME(材料工程)、MSE(材料科学与工程)及 M(材料学)的共性是研究对象一样,都是材料(Material),但侧重点有别:MS 及 ME 分别研究科学及工程问题,尝试回答 Why 及 How 的问题;MSE 则兼而有之;M(材料学, Materialogy)的含义最广,可与任何学科交叉。这些学科的定义如下:

“MS 是一门科学,它从事于材料本质的发现、分析和了解的研究。” (2.25)

“ME 是工程的一个领域,其目的在于经济地而又为社会所能接受地控制材料的结构、性能和形状。” (2.26)

作为 MSE 整体,美国 MSE 调查委员会(COMAT)给出了如下的定义:

“MSE 是关于材料成分、结构、工艺和它们的性能与用途之间有关的知识 and 应用的科学。” (2.27)

对于材料学,顾名思义,可定义如下:

“研究材料的学科(Discipline, 学问的科目门类)叫材料学。” (2.28)

这是内涵少、从而外延广的定义,通过划分,才能进一步明确“材料学”这个概念



的含义和内容。

1.4.2 材料学的划分

如图 I .2 所示,已经是高度综合的材料学,如何划分?

自然现象依据空间尺度从大到小,可将研究模糊地划分为:

宇观→宏观→细观→微观→介观→ (2.29)

各门学科依据习惯,大致确定分界线。

在 20 世纪 60 到 70 年代,美国经济学界为了避免分界线的困难,巧妙地将经济学划分为宏观和微观二支:

“微观经济学分析单个经济单位(如厂、商或消费者)的经济活动,以及单个市场的经济现象,一般包括价值论、价格论、厂商理论、分配理论、经济福利理论等。” (2.30)

“宏观经济学分析整个国民经济活动,一般包括国民收入的均衡理论、就业理论、经济周期理论、通货膨胀理论、财政金融理论、经济增长理论等。” (2.31)

仿效经济学者的思路,将材料学也分为微观和宏观二支:

“微观材料学着眼于材料——单个的或集体的——在外界自然环境作用下,所表现的各种行为,以及这些行为与材料内部结构之间的关系和改变这些结构的工艺。” (2.32)

“宏观材料学着眼于从整体上分析材料问题,即将材料整体作为研究对象——系统,考察它与社会环境之间的交互作用,分析在环境的影响下材料内部宏观组元(各类材料)的自组织问题。” (2.33)

2 推理

两种经典的逻辑推理方法——演绎和归纳,在不少教材和专著(例如 [C10])中已有详细论述,故只在 2.1 节中概述;随后四小节,依据自己的学术实践,较详细地讨论第三种推理方法:

- 2.1 概述;
- 2.2 第三种推理方法——类比法;
- 2.3 类比法的广泛应用 30 案例;
- 2.4 材料学与生物学的类比与交叉;
- 2.5 应用学科的宏观分支。

2.1 概述

“推理是根据一个或一些判断得出另一个判断的思维形式。” (2.34)

在推理中,推理所依据的判断,叫做前提,由前提得出的那个判断,叫做结论。判断用语句表达,推理由句组构成。

要做到推理正确,即保证结论真实的推理,必须具备两个条件:第一,前提是真实的,即前提是正确反映客观事物的真实判断;第二,推理的前提和结论之间的关系符合正确思维规律的要求。应该指出,这些正确的思维规律,是从大量的正确的具体推理中抽象出来的,而后者又是客观世界中事物情况之间联系的反映。因此,归根到底,正确的思维规律是客观世界中事物情况之间联系的反映。

人们根据正确的思维规律,就能由已知的真实前提,推出新的真实的结论。因此,推理是一种由已知推出未知的思维形式,是人们获得未知知识的重要手段。

可从不同角度对推理进行不同的分类,依据前提与结论之间的联系特征,可将推理分为演绎推理和归纳推理两大类,它们的定义如下:

“演绎推理是前提与结论之间有必然性联系的推理。” (2.35)

“归纳推理是前提与结论之间有或然性联系的推理。” (2.36)

从推理的方向来看:归纳推理是从特殊到一般,而演绎推理则是从一般到特殊。演绎推理的大前提多是一般性原理或公理,而它们又是从实践中归纳推理得来的。

2.2 第三种推理方法——类比法

如果两个或两类事物在许多属性上都相同,则推出它们在其他属性上也相同,这就是类比法。这种方法表述为:

“A 与 B 有属性 a_1, a_2, \cdots, a_n ,
A 有属性 b ,
所以, B 也有属性 b 。” (2.37)

惠更斯比较了光和声这两类现象,发现它们具有一系列相同的属性,如直线传播、反射、干涉等,而已知声具有波动性,因而推论光也有波动性,提出光波这一重要的科学概念。

很明显,用类比法获得的结论是或然的,为了提高结论的正确性程度,应当尽可能从两类事物的本质属性去类比,并尽可能找到较多的共同属性去类比。从结论是或然的,可将类比法归于归纳法。但是,从推理的方向来看,类比法或

者是一种由个别到个别的推理,或者是由普遍到普遍的推理,又与由个别到普遍的归纳推理不同;因此,有些逻辑书上把推理分为演绎、归纳与类比三类。

类比法不仅比较事物属性之间的相似[(2.37)],也可比较事物关系之间的相似,从而启示我们理解新现象的思路以及解决问题的方法。例如,在浓度梯度($\partial c/\partial x$)下的物质扩散和在温度梯度($\partial T/\partial x$)下的导热,分别遵循菲克定律和傅里叶定律:

$$\frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2.38)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2.39)$$

式中, D 及 α 分别是扩散系数及导温系数,且:

$$\alpha = \frac{k}{c\rho} \quad (2.40)$$

式中, k 为热导率, c 为比热容, ρ 为密度。若 α 及 D 为常数,则(2.38)及(2.39)有相同的解,因而扩散与导热可以有关系之间的相似,更适宜于类比。

在科学发展史上,德布罗意(de Broglie)于 1925 年曾提出勇敢的类比:

“自然爱好对称,

物质与能量必须相互对称;

若辐射能是波动的及/或粒子的,

则物质必须是粒子的及/或波动的。” (2.41)

他的想法导致薛定谔(Schrödinger)于 1926 年提出波动力学(Wave mechanics),随后发展为量子力学(Quanton mechanics);戴维森·革默(Davisson Germer)于 1927 年用镍的单晶体从实验上证明了电子波的存在,其波长为:

$$\lambda = 2d \sin \theta = 2(0.215 \sin 25^\circ) \sin 65^\circ = 0.165 \text{ nm} \quad (2.42)$$

而计算值为:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = 0.167 \text{ nm} \quad (2.43)$$

式中, m 及 v 分别是电子的质量和速度, h 为普朗克常数。上列两式的结果相符合,因而证明了电子波的存在。

应该指出,德布罗意关于微观粒子的“两象性”假说的提出,采用了类比法;假说得到实验证明,并引起量子力学和电子显微术的发现,推动了现代材料科学的发展。

从表 I .4 可以看出,物理学中许多重要理论,都是从类比交叉中获得新概念而发展的。此外,物理化学、化学物理、生物物理、生物化学、生物力学等,则是大家所熟悉的交叉科学。

表 I .4 物理学中的重大发现与类比交叉

年	提出人	年龄	类比交叉的现象	定律或理论
1666	牛顿	24	天体及地上物体运动	万有引力定律
1850	克劳修斯	28	温差与落差	热力学第二定律
1856	麦克斯韦	25	电与磁	电磁场理论
1868	麦克斯韦	38	光与电磁	光的电磁理论
1900	普朗克	42	热与光	黑体辐射
1905	爱因斯坦	26	光量子	复活光的微粒说
1924	德布罗意	32	物质和辐射	物质波

我国的文化源头活水,在华北有《诗经》,在华南有《楚辞》,它们充分而广泛地运用类比的方法。

文学中有“模仿与超越”,模仿是类比,超越则是创新,郭启宏([C17])例举崔颢名篇“黄鹤楼”:

“昔人已乘黄鹤去,此地空余黄鹤楼。
黄鹤一去不复返,白云千载空悠悠。
晴川历历汉阳树,芳草萋萋鹦鹉洲。
日暮乡关何处是? 烟波江上使人愁。” (2.44)

此诗由景入情,怀古思乡,纵横交叉,沉郁苍凉。溯源,崔仿沈全期之《龙池篇》,先作“雁门胡人歌”,再作“黄鹤楼”而超越之。

据传,李白曾登临黄鹤楼,览龟蛇锁大江之胜,正欲题诗,抬头忽见崔诗,只得停笔自叹:“眼前有景道不得,崔颢有诗在上头”。李仿崔诗,初作“鹦鹉洲”;继作“登金陵凤凰台”,有所超越:

“凤凰台上凤凰游,凤去台空江自流。
吴宫花草埋幽径,晋代衣冠成古丘。
三山半落青天外,二水中分白鹭洲。
总为浮云能蔽日,长安不见使人愁。” (2.45)

十八岁时的王勃,在“滕王阁序”中留下多年传诵的佳句:

“落霞与孤鹜齐飞,秋水共长天一色。” (2.46)

据传,是模仿庾信“华林园马射赋”中:

“落花与芝芥齐飞,杨柳共春旗一色。” (2.47)

谢榛在《四溟诗话》中评曰:“虽有所祖,然青愈于蓝矣!”

学习作诗词,多仿名诗或词牌习作,然后可能有所超越。蘅塘退士所编《唐诗三百首》原序中称:“熟读唐诗三百首,不会吟诗也会吟。”([C18])。

模拟法与类比法类似,它是在自然科学和技术科学中广泛应用的研究和推理

方法,也就是在实验室中模拟自然界现象,制备这种现象的模型,从模型研究其规律。这种模拟可以是以模型来模拟自然界大规模现象的几何模拟,也可以是物理模拟,例如,用电路来模拟某些力学过程,用计算机来模拟人的大脑某些功能等。此外,化学仿生学便是研究在化学中如何运用生命的法则。生物体内的各种化学反应不仅效率高,而且在常温常压下进行,没有副反应,很值得化学界仿效。例如,固氮酶、叶绿素的仿制,海水的淡化,仿猫头鹰和鼠能接受红外线的夜视器等,都是重要的研究课题。又例如,医师的剖尸分析与材料界的断口分析,从思路和实验技术上,都有不少可以相互借鉴的地方。又例如,下面第 4 章 2.4 节将要讨论的自然过程第三原理,就是从生物学中达尔文主义借鉴而来。

总之,学科间相互借鉴、渗透而发展的类比和模拟的推理方法,经常可孕育出新的成果,是一种重要的工具,值得重视。

从表 I .5 中“结论可靠性”及“创造性”来看,类比法与归纳法一样,可以认为类比是一种归纳法;但是,从推理方式来看,类比法又不同于归纳法及演绎法,可以独立而为第三种方法。

表 I .5 三种推理方法

方法	推理方式	结论可靠性	创造性
演绎	一般→特殊	必然	发展发现
归纳	特殊→一般	或然	新发现
类比	一般→一般 特殊→特殊	或然	新发现

表 I .5 中的三种推理方式(或途径)可示于图 I .10。材料是一种“物”;“人”也是一种物,不过是万物之灵;人与人之间、人与物之间或物与物之间构成“事”。我尝试将材料的规律(即图 I .10 中的“物理”)外延,从而分别对人才问题(即“人理”)及管理问题(即“事理”)的理解有所借鉴,这是一种高效的学习方法。人们认识事物,是从“不知”到“知”;认识“不知”的新事物,若能从类比中,发现它与认识者“已知”的旧事物之间的相似性,非常有助于认识新事物。善于表述的教师、说客或演讲者,总是在揣摩听众已知的事物或已有的情意,并在这个基础上发挥。我国战国时代的纵横家,非常重视揣摩术,《鬼谷子》便是一例。

为了少而精,在教学上,一般采用演绎法,如几何学、力学、热力学、统计力学、量子力学等。但是,推理的前提都是从归纳法获得的,例如几何学的公理,牛顿的力学三定律,热力学三定律,统计力学中质量守恒、能量守恒、熵值最大原理,量子力学的薛定谔方程等。门捷列夫周期表也是用归纳法建立的,应用



- ⑦材料学及宏观、微观材料学(1987)[A11]p28
- ⑧基础性科研的选题原则(1987)[A8]p449 ~ 453[*]
- ⑨事物观与方法论(1992)[B45]
- ⑩简易材料论(1995)[B25][B45]
- ⑪材料学的方法论(1994)[A11]
- ⑫腐蚀学及宏观、微观腐蚀学(1994)[A10]p5 ~ 9
- ⑬两个基本方程: $P = f(e, S)$; $S = \{E, R\}$ (1995)[B55]
- ⑭腐蚀广论十首(1996)[B29]
- ⑮类比与交叉(1995)[B28][B49]
- ⑯广义生态论(1996)[B39][B43]
- ⑰应用科学的宏观问题和分支(1997)[B40]
- ⑱经济结构和功能(1997)[B41][*]
- ⑲材料学与生物学的类比与交叉(1997)[B40][*]
- ⑳问题分析方法(2001)[B61]
- ㉑物、人、事、哲理互通融图(1997)图 I .5
- ㉒适中论(1999)[B47]
- ㉓教育改革(1999)[*]
- ㉔冶金工业形势(1999)
- ㉕宏观材料学的结构(2000)[B52]
- ㉖“三个代表”(2000)[*]
- ㉗材料著作的阅读性(Readability)(2001)[B59]
- ㉘学术演讲的宣讲性(Speakability)(2001)
- ㉙人的情意结构(报答、恩、复、仇等)(2001)
- ㉚学习我国经典著作的体会(2001)[A18]

2.4 材料学与生物学的类比与交叉([B39])

试从环境、性能、结构、过程、能量五方面类比这两门学科。

2.4.1 环境

严复将“Evolution and Ethics”意译为《天演论》([C5]); 将大家熟知的“生存竞争, 适者生存”(Struggle for existence, survival to the fittest)译为:

“一争一择,而变化之事出矣。” (2.49)

在材料界,从宏观控制到微观分析,都会遇到与社会环境和自然环境的争与择的问题。



(1) 科研选题

社会选择学科,正如大自然选择生物品种一样。我曾建议,基础性科研选题的五原则之一,便是“生存竞争,适者生存”。[参见随后的(2.56)]

(2) 战略思考

在市场经济体制下,市场便是材料面对的社会环境,因此提出:

“面向市场,抓两头(应用,设备),带中间(性能,结构,工艺)。”(1.20)

(3) 经济体制

我国在实践中提出的“社会主义市场经济”,便是要正确处理与国内外环境的竞争和协调的问题。

(4) 自然环境

自然环境是材料各种表现和工艺过程的外因,也是自然界生物生活与生存的环境。

(5) 园艺过程

农业的园艺过程与自然的宇宙过程是相互对立的:后者的特点是紧张而不停地为生存斗争,而前者的特点是排除引起斗争的对象而消除斗争;后者的倾向是调整生物的类型以适应现时的环境,而前者的倾向是调整环境以满足园丁所希望培育的生物的需要。例如,农民清除稗子而使稻子成长;材料界人士也是一样,他们采用工艺流程,获得人造材料出现的环境;改变使用环境,延长材料的寿命;取缔低价的伪劣商品,保证正常商品的流通。

2.4.2 性能

生物适应环境而自生自灭,但它们却具有许多奇异而优越的性能。在材料界:

(1) 仿生物功能而创制仿生材料。

(2) 应用各类材料,制作感知器、处理器、效应器,组装而成具有智能的系统。

(3) 应用耗散结构理论,创制延年益寿的材料。

赫胥黎《进化论与伦理学》中指出:

“大自然常常有这样一种倾向,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)

(2.50)

在材料界,人类从大自然母亲那儿借来金属矿石,耗费能量,制造金属,进一步加工而成桥梁、船舶、钢轨、房屋……,有时是赫然而存,威风凛凛。但是,大自然母亲的风雨、潮汐、日照……,日夜不停地工作,通过腐蚀、磨损、断裂等方式,讨回本来是属于她的东西。就是人的本身,也是在劫难逃。但是,作为人类整体,仍在与大自然母亲斗争,改变工作环境或材料内部的结构,提高材料的性能,反抗材料的失效!

2.4.3 结构

系统的结构(S)是系统中组元(Element)的集合(E)和组元之间关系(Relationship)的集合(R)的总和:

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

赫胥黎在《进化论与伦理学》中写道:

“宇宙的最明显的属性是它的不稳定性。”([C5]p35) (2.51)

在不同的时间和空间的尺度内,宇宙都是在运动和变化:沧海桑田是如此,基本粒子也是这样。这种不稳定性导致的变化,便是结构的变化。赫胥黎继续生动地描绘动态结构:

“正如没有人在涉过急流时,能在同一水里落脚两次,——(事物)表面平静乃是无声激烈的战斗。在每一局部,每一时刻,宇宙状态只是各种敌对势力的一种暂时协调的表现,是斗争的一幕,所有的战士都依次在斗争中死亡。”([C5]p34) (2.52)

诚然,生物界中的战士可以死亡,死亡后的物质并没有消灭。在材料这种物质世界,质量(m)是守恒的,只是在某些条件下,质量可转变为能量(E)($\Delta E = c^2 \cdot \Delta m$, 式中 c 为光速),因而质量与能量的和是守恒的。

“人类社会在开始的时候,也像蜜蜂的社会一样,是一种官能上需要的产物。” (2.53)

因而成员[(1.23)中 E]之间的分工是明确的,它们之间有交互作用[(1.23)中 R]。在材料界,我们了解材料内各个化学元素的功能,它们与蜂群社会中的各类成员相似,分工与交互作用是明确的。人类社会中组元的能力是在发展和变化的,而材料中各个化学元素的功能是相对稳定的,因此,材料的控制也许较为容易。在另一方面,处理材料问题的是人,材料工作者在人类社会,要善于认识和处理自然过程(材料、人的生老病死、生存斗争等)以及伦理、社会过程(道德、法律、经济等),才能在合理合法的竞争中求生存。

在结构中组元(E)的层次,材料界和生物界的认识都在向更微观的方向发展:材料界从“相”深入到“纳米晶体”和“原子”、“电子”;生物界从“器官”深入到“细胞”和“基因”。也应该指出,每一层次都有它自己新的、激动人心的、普遍性的规律,这些规律往往不能从所谓更基本的规律推导出来。大量的复杂的基本粒子的集体,并不等于几个粒子性质的简单外推,这是更易理解的“森林与树木”关系的问题。

材料界与生物界的交叉结合已使生物学者大量地进入智能材料系统的研究领域,也使材料学者学习生物学,从而进入仿生材料和智能材料系统领域。

通过结构的探讨和交流,生物界和材料界可从“类比”发展到“交叉”结合,

从而推动学科的发展和新生。

2.4.4 过程和能量

《进化论与伦理学》指出：

“它(宇宙)所表现的面貌与其说是永恒的实体,不如说是变化的过程,在这过程中,除了能量的流动和渗透于宇宙的合理秩序之外,没有什么东西是持续不变的。”([C5]p35) (2.54)

在这里,“秩序”可以理解为(1.23)中的结构(S);这句话叙述了一个生物学者对过程、能量和结构关系的看法。

为了教与学的少而精,我尝试总结自然过程三原理,分别指方向、路线和结果：
“自然过程总是朝着能量降低的方向、遵循阻力最小的路线进行的,其结果是适者生存。” (2.55)

它们分别可用演绎、归纳和类比法证明,其中第三原理便是类比生物进化原理。

1980年,我乘长江轮东下,在欣赏沿途文物风光中,成五言古诗三十句,最后三句,以“长江轮”为题,佐证上述三原理：

“我欲降势能,东行方向明;
今有航标在,前进路线清;
回顾艰坎路,方悟适者存。” (2.56)

什么是合理的秩序? 能量的流动对事物的过程又有什么影响? 我曾用能量分析方法论述了平衡结构、过程的失稳、方向、选择、类型、速度和进度共七类问题。

2.4.5 结语

(1) 类比

上面四节,我示例地引用赫胥黎经典著作的生物学警句,类比了材料学的有关问题,可相互启示,加深认识,如表 I .6。

表 I .6 材料学与生物学的类比

生物学引语	材料学问题
(2.49), (2.55)——生物进化原理	科研选题,材料宏观问题战略
(2.56)——竞争与协调	经济体制
(2.50)——大自然母亲的讨回	材料失效,材料性能
(2.51), (2.52)——稳定性	工艺调整结构,质量和能量守恒
(2.53)——蜂群社会	材料中化学组元,人类社会组元
(2.54)——过程,秩序,能量	自然过程三原理
八段警句	五问题:环境、性能、结构、过程、能量

(2) 交叉

通过学科的交叉,可孕育新品种,发展新学科。文中列举了仿生材料、智能

材料系统;材料学界欢迎生物学人进入这些领域;我相信,材料学界积累的知识、技术和方法,对生物学人,也许有参考意义。

(3) 颂

“支离破碎曾满意,壮年反复审纠纷,
继续深入疑无路,类比交叉又一村。” (2.57)

2.4.6 附录

“在生物界,这种宇航过程的最大特点之一,就是生存斗争,每一物种和其他所有物种的相互竞争,其结果就是选择。这就是说,那些生存下来的生命类型,总的说来,都是最适应于在任何一时期所存在的环境的。”([C5]p3) (2.58)

“如果没有从被宇宙操纵的我们祖先那里遗传下来的天性,我们将束手无策;一个否定这种天性的社会,必然要从外部遭到毁灭(Destroyed without)。如果这种天性过多,我们将更是束手无策,必然要从内部遭到毁灭(Destroyed within)。”([C5]pIV) (2.59)

“在每个复杂的结构中,就像在它们最微小的组成部分中一样,都具有一种内在的能量,协同在所有其他部分中的这种能量,不停地工作,来维持其整体的生命,并有效地实现其在自然界体系中应起的作用。”([C5]p33) (2.60)

2.5 应用学科的宏观分支([B40])

在1.4.2节,我们讨论了经济学和材料学可划分为宏观和微观两个分支,本节将扩大思路,分析其他学科类似问题,期望共鸣,相互启示,寻求共性,总结和前瞻。

2.5.1 实践与反思

(1) 科学与学科——破题

它们之间有什么区别?科学译自 Science,一般将它限于自然现象。例如,英文字典(The American Heritage Dictionary of the English Language, New College Edition 1978)对于 Science 的释义为:

“科学是对于自然现象的观察、认知、描述、实验研究和理论解释。” (2.61)

《辞源》无此词;《辞海》(1980)将“社会和思维”纳入:

“科学是关于自然、社会和思维的知识体系。” (2.62)

由于所采用的方法有很大的差异,包括文、史、哲等的“人文学”似不宜混同



于“自然科学”，不宜叫“人文科学”；而社会科学能否属于科学，则取决于对于“科学”的定义和理解。

Discipline 译为“学科”，对于它的释义，则较为一致。《辞海》的释义为：

“学科——学术的分类。指一定科学领域或一门科学的分支。”(2.63)

《辞源》认为：

“学科——学问的科目门类。”(2.64)

(2) 拉车与看路

“文革”期间，不破不立，总是大批判开路；轰烈巨声，仍在震耳。受批者不时地听到：

“你们这些人只会低头拉车，不知抬头看路！”(2.65)

事过 30 余年，仔细冷静思考，这句话如实反映情况，没有错。“低头拉车”也没有错，而只是走错了路：跟着走，或是盲从，是为不智；不敢不跟着走，是为不勇；强迫别人跟着你走错路，是为不仁。都很可怜。

路是路线，是途径。治学也有“拉车”与“看路”的问题。学术带头人，慎之慎之。大学的研究生导师可类比于牧羊人，将可爱的羔羊沿着什么路线、引向何方？在什么领域成长？诗一首，明理述怀：

“智慧的牧羊人，
具有善良的心肠。
将可爱的羔羊，
引到水草茂盛的地方，
喜看羔羊们茁壮地成长。

* * * *

啊！

好心的牧羊人，
有时误入歧途，
在风寒干燥的沙漠战场上，
与可爱的羔羊，
共同生活、战斗，
而悲壮地共同死亡！”

(2.66)

(3) 腐蚀总论与广论

采用内涵恰当的材料腐蚀定义：

“材料腐蚀是材料受环境介质的化学作用而破坏的现象。”(2.67)

因此，研究腐蚀的学科——腐蚀学，也可分为微观、宏观二分支，它们的定义如下：

“微观腐蚀学着眼于腐蚀现象的微观分析,建立腐蚀理论;在它的指导下,开发防蚀技术。” (2.68)

“宏观腐蚀学着眼于从整体上分析腐蚀问题,即将腐蚀现象的整体作为研究对象——系统,考察它与社会环境之间的交互作用以及腐蚀学的经济及社会效益。” (2.69)

图I.11 及图I.12 分别示出微观及宏观腐蚀学体系。从图I.11 可看出:腐蚀科学和防蚀技术都是处理环境(特别是化学环境)与材料(特别是金属材料)之间交互作用的问题:前者主要包括四方面理论;后者也有四方面技术。因此,这一分支的内容便是流行的“腐蚀与腐蚀控制”或“腐蚀科学与工程”的内容。从图I.12 看出,宏观腐蚀学是自然科学与社会科学之间的交叉科学,强调腐蚀学的经济效益和社会效益,这一分支的主要内容是以方法论为指导,腐蚀教育为基础,腐蚀经济为核心,科学研究与技术开发为未来,腐蚀管理为保证。

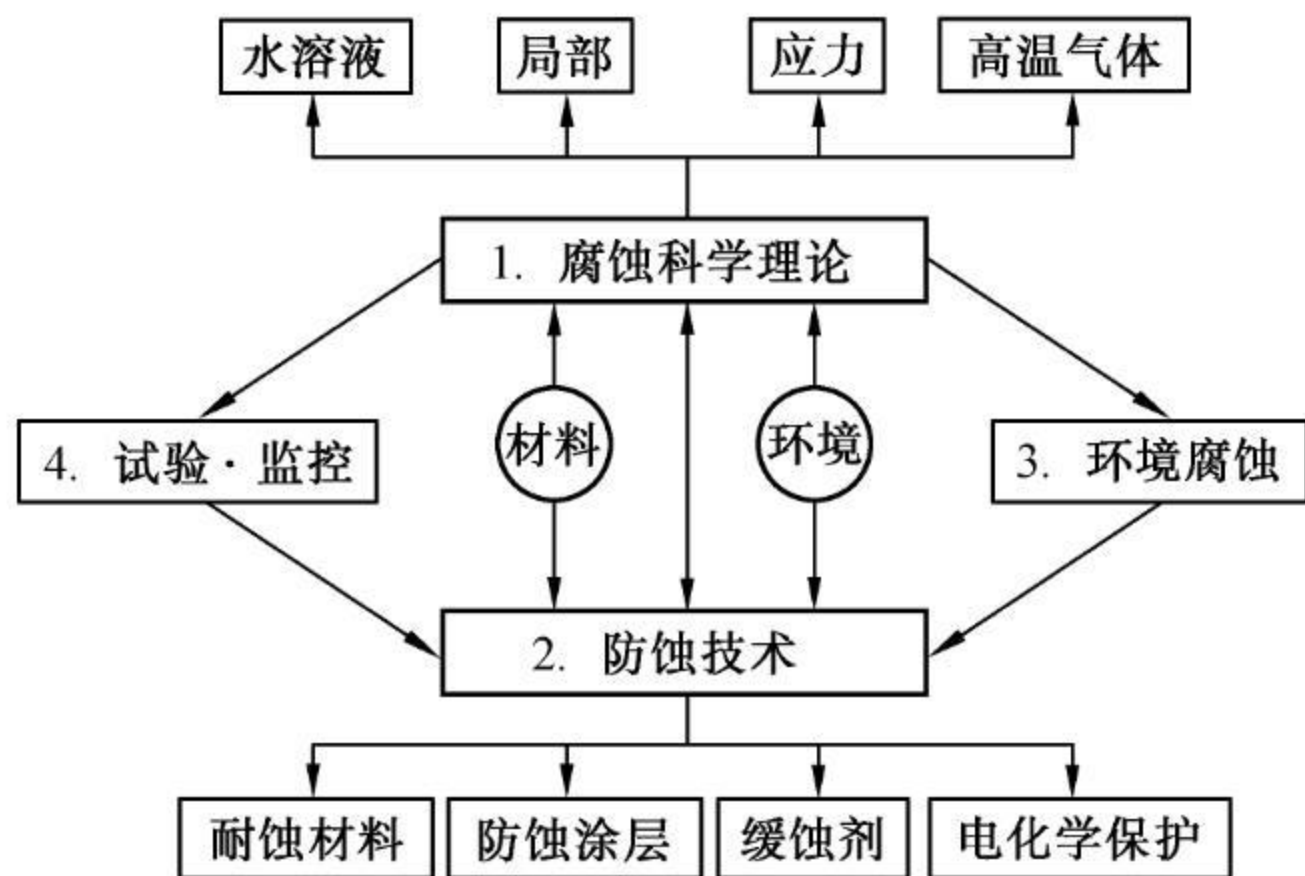


图 I.11 微观腐蚀学体系

腐蚀总论应综合论述微观、宏观二分支,分论机理和诊治。广思天下、地上、人间腐蚀事,顿悟物理、事理、人理相通,若用因缘之道,通过类比,仍可延年益寿,曾试作“腐蚀广论”诗十首([B29]),有获。

2.5.2 共鸣和启示

学习中,喜知医、农、史三界均有宏观问题和宏观分析,录以共鸣,并相互启示。

(4) 医界

中国科协第四次全国代表大会上,吴阶平的发言指出:

“人们对于疾病的认识随着科学技术的进步而发展。从很笼统的整体认识(区别病人和健康人),发展到病变的类型,某个生理系统的病变,直至亚细胞、分子水平病变的认识。这是一个向微观发展的认识过程,使人们对生物学上的认识不

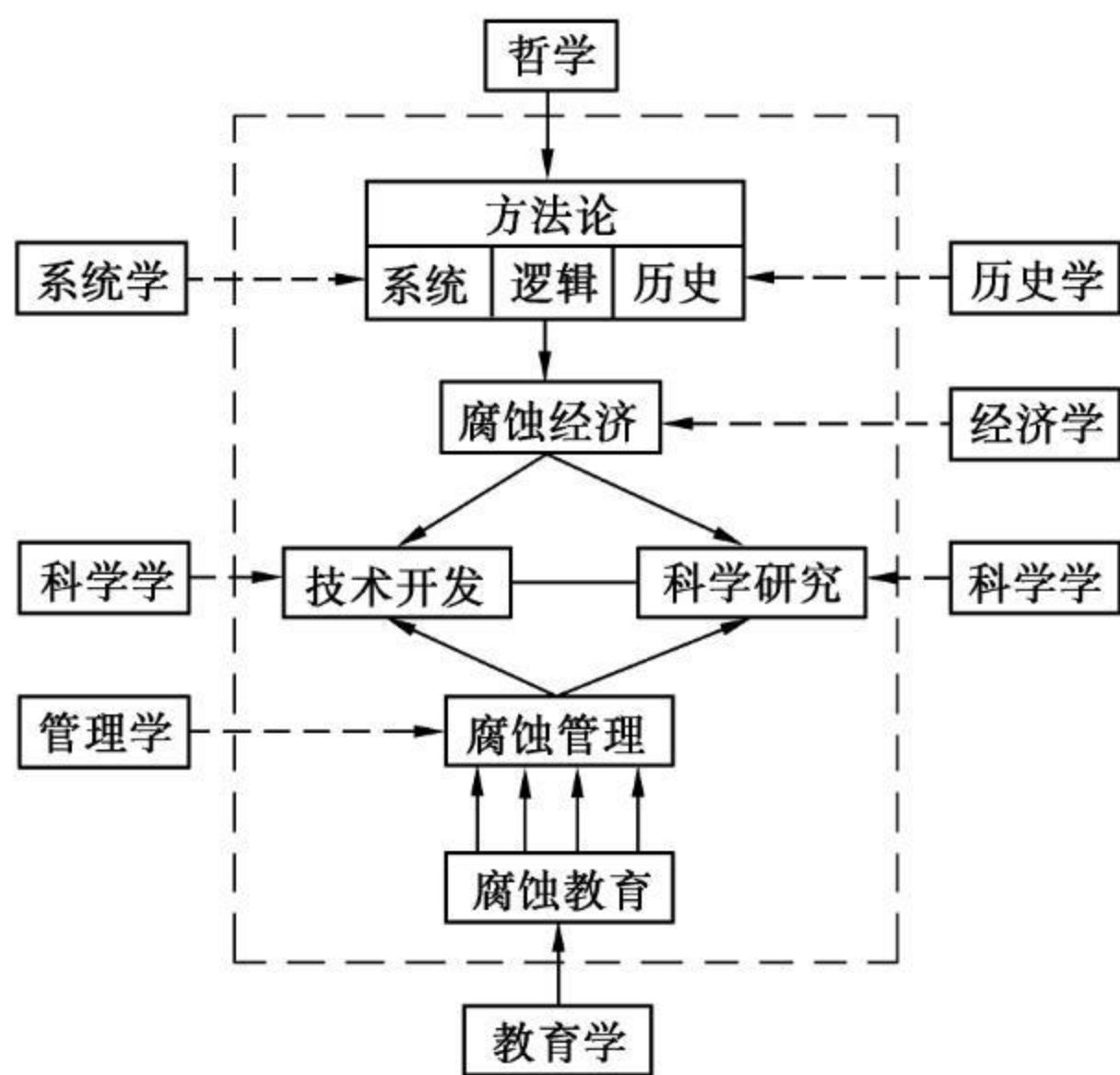


图 I .12 宏观腐蚀学体系

断深入。微观认识又回到整体,随后又向宏观发展,从社会角度来认识疾病,认识人,使人们对于健康的认识更为全面。”

(2.70)

(5) 农界

中国科协第四次全国代表大会上,何康作的题为“依靠科学技术,实现农业上台阶”的报告中指出:

“积极开展农业宏观研究,为各级领导部门提供服务。农业宏观研究,涉及自然科学和社会科学的若干领域,是一种多学科、多层次的知识处理和再生的创造活动。”

(2.71)

(6) 社会史研究

龚书铎任总主编的八卷本《中国社会通史》的总序提出社会史的研究包括:

“宏观研究不仅要从断代史或通史的角度出发,从总体上研究长时段或短时段的社会本身构造、运行及变化过程,而且还应对社会重大问题进行综合研究。”

(2.72)

“微观研究主要是对社会本身的某一细部展开描述,或是一些无法置于宏观研究范围内的课题。”

(2.73)

(7) 殊途同归

要看路,必须登高望远,从大处着眼,进行宏观分析。从自然科学引入微观及宏观概念,经济学有微观及宏观二分支。1986 及 1990 年,我分别将这种分支方法引入我从事的专业——材料学及腐蚀学,感到别有洞天。1991、1997 及

2000年,我偶然地分别触及医学、农学、社会史研究及科技法学,喜知他们也在运用微观和宏观方法分析问题。大家殊途同归。此外,许多社会现象,如社会发展、财务管理、人事制度等,也经常谈到宏观控制和微观分析。看来,工、农、医、文、法科都有殊途同归的认识,在下面,总结它们在方法论方面的共性。

2.5.3 共性特点

(8) 系统思考

从系统论考虑,各门应用学科,只是巨系统中的一个组元。一方面,要在本学科内进行深入的微观研究,例如对物质系统,深入到电子、原子、基因、细胞的层次;另一方面,要扩大视野,到科技、社科、人文学科组成的巨系统中去定位思考。

人们的工作岗位不同,则微观分析和宏观思考的深度和广度也有异。一般地说,进入管理层次的人,包括行政领导、公司经理、学术带头人、各种参谋参议人士等,愈是要思考宏观问题。

(9) 环境分析

环境是一切事物变化的外因;只有开放系统,才有强大的生命力。各门应用学科不仅受自然环境的影响,其实用性则要考虑人文、社会环境的决定性作用。只会“低头拉车”、不知“抬头看路”的人,有时会盲目地误入歧途。

要十分重视社会与经济的需求以及人文环境的积极和消极作用;也就是在中国特色的社会主义市场经济体制下,如何发展技术科学和应用学科的问题。

(10) 逻辑思辨

从空间的大小来划分问题的“宏”和“微”,在分界线的选择上,有一定的困难;一般认为,空间尺度从大到小,有:

$$\text{宇观} \rightarrow \text{宏观} \rightarrow \text{细观} \rightarrow \text{微观} \rightarrow \text{介观} \rightarrow \quad (2.74)$$

各门学科都有它们大致的分界线。例如,在材料学领域内,传统上认为人们肉眼可见者,约在 $10^{-4} \sim 10^2 \text{ m}$,叫做宏观;较小的,需借助于显微镜,则叫做微观;大于宏观的,叫宇观;小于微观的,叫介观;在宏观与微观之间的,叫细观。这种划分,完全是人为的模糊概念。

现在,将事物(或叫系统)内部问题的研究,叫“微观”分析;而将它与环境(包括自然、社会和人文)关系的研究,叫“宏观”分析。一内一外,较为明确和完整。

(11) 理论与实践

要依据《实践论》,正确处理实践和理论之间的关系。从人生实践,我认识到学科宏观问题和学科的重要性;通过学习,从其他学科的发展,获得启示和共鸣,巩固我的认识,上升到理性阶段。我相信,对于应用学科宏观分支的这种理

性认识,将有助于应用学科的发展。上述认识历程如图 I .13 所示。

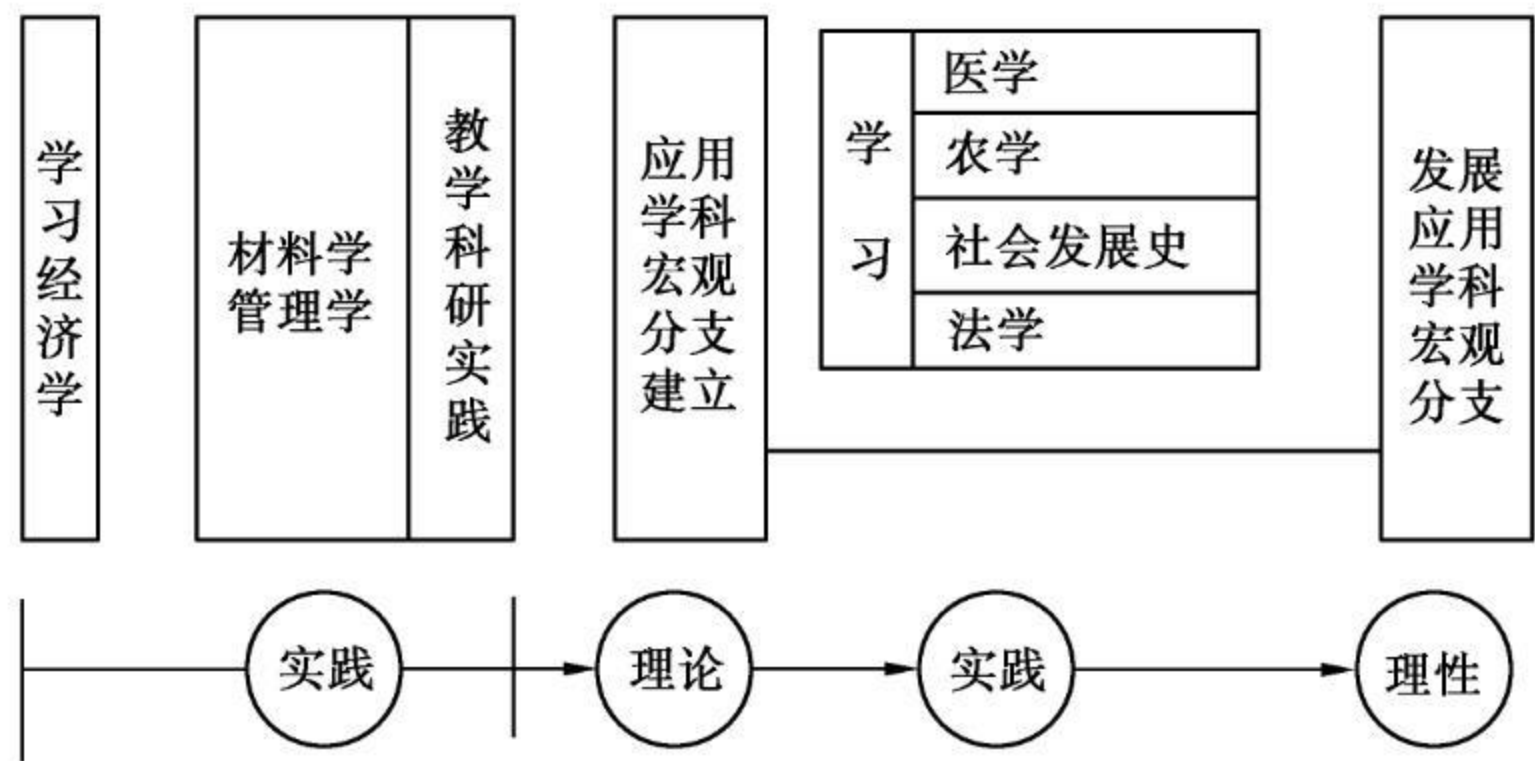


图 I .13 应用学科宏观分支的认识

2.5.4 总结和前瞻

(12)应用学科的分支

应用学科应有微观及宏观两个分支,内外夹攻,则学科明矣! 建立应用学科的宏观分支,有助于解决实际问题,满足社会的需要,增强社会经济实力,从而社会可资助科研,发展学科,这些关系如图 I .14 所示。

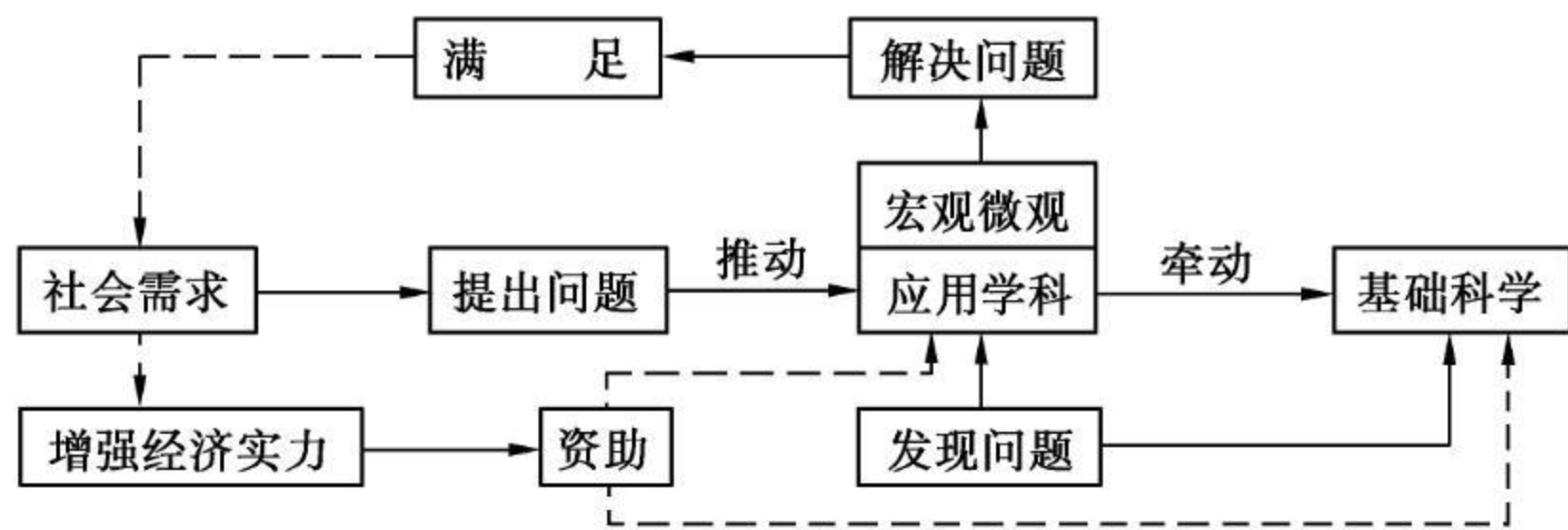


图 I .14 社会、经济、应用学科及基础科学

学科的宏观分支是在微观分支的基础上建立的;而微观分支若在宏观分支的指导下发展,将会产生更大的经济效益和社会效益。社会选择学科,正如大自然选择生命品种一样:“生存竞争,适者生存”。应用学科的发展,不能违背这个规律,要承认和重视宏观方面的研究。

(13)学习的分工与结合

①工农医等专科人才的培养,要注意人文素质的提高;在智育上,结合专业,也应有些经济、法律、哲学等的基础知识。

②一般地说,中青年时,侧重微观,准备拉好车;但应适当地注意宏观,才能看准路线和日后转向。

③“仕而优则学,学而优则仕。”(《论语·子张第 19.13》) (2.75)

④“三日不读书,则语言无味,面目可憎。”(黄庭坚) (2.76)

应该是终身学习！

3 因果

3.1 引言

古今东西的哲人都对事物的因果关系有所论述。例如，亚里士多德(公元前 384 ~ 362)认为([C11]p13 ~ 14),对一种相关或过程的合理解释,应该详细地说明因果关系的四个方面。这四个方面与释迦牟尼的缘起论、毛泽东的矛盾论以及微观材料学的五因素的对比列于表 I .7。

表 I .7 因果关系的各种学说的对比

四因论	矛盾论	缘起论	微观材料学
形式因——变化发生的条件	外因	缘	环境
质料因——发生变化的物质	内因	因	结构
作用因——发生什么变化	变化	诸法起	过程
目的因——为什么发生变化	—	—	能量？性能？

从表 I .7 可以看出,需要进一步讨论的是“目的因”。

3.2 分析

3.2.1 亚氏的应用

目的论的解释,使用“为了”(in order that)或其他的措词。亚里士多德用“目的因”批评了其他学者,例如:

(1)他批评了德诺克利特和留基伯的“原子论”,因为这种理论用原子的聚集和分散来“解释”自然的过程。但是,它忽视了“目的因”。

(2)他批评了毕达哥拉斯学派的自然科学家,因为他们认为,当他们发现了某种过程的数学关系,他们便解释了这个过程。亚里士多德认为这个学派过分地注重形式因。

物体可分为无生命的和有生命的两大类,亚里士多德对于运动的目的,曾尝试进行如下并不成功的解释:

(1)火的上升、石头的下落等,是为了达到它们各自的“自然位置”或达到它们各自的“自然目的”。

(2)变色蜥蜴从树叶向树枝移动时,其皮肤颜色自动地从翠绿色向暗灰色改变,这种改变过程的目的是力求避免被它的天敌发现。一颗橡树种子落入土



中,按着它既定的方式发育,使它能长大而实现它成为橡树的“自然目的”。这些情况是未来的状况决定了和牵引着现在状态的发展,达到了“自然目的”。

3.2.2 亚氏困境和缓解

什么叫“自然位置”?“自然目的”?这是难于回答的。

学科的发展,有助于缓解亚氏的困境——什么是过程的目的?由于人类有丰富的感情和复杂的意志,现将人类从生物分出,在下面,按无物、生物及人类三个命题,论述因果关系中的“目的因”。

(1) 无生物的过程目的

上面提到的“自然位置”、“自然目的”等概念在亚里士多德时代是较为神秘的;现在看来,所谓“自然”便是符合或遵循“自然规律”。19世纪以来所发展的热力学,从大量的自然现象所总结的热力学第一及第二定律,获得用能量(E)作判据的下式:

$$dE \leq 0 \quad (2.77)$$

式中,“ $=$ ”表示平衡条件;“ $<$ ”表示过程方向。因此,自然过程的方向是能量下降,自然过程的目的是使系统的能量下降。

面临“滚滚长江东逝水”,逝者如斯,真是“抽刀断水水更流”。

对于实际的大系统,有时由于时间或空间的限制,即时间太短,或区域局限,可达到“亚稳平衡”或“局部平衡”,使局部的能量为极小值。

1977年,普里高津获诺贝尔奖的“耗散结构理论”(Theory of dissipative structure)指出,通过系统与环境不断交换(或耗散)能量或物质,使原来的无序态保持有序的稳定。这种稳定也可称为“动态平衡”或更确切地称为“耗散平衡”,即这种平衡是靠“耗散”环境中的能量或物质来维持的。这种远离平衡的系统可以是物理的,化学的,生物的,甚至社会的。

很奇怪,为什么用能量作为过程的判据?为什么用能量的变化作为过程的“目的因”?只能说,这是大量事实的归纳;归纳法具有局限性,所归纳的结论有无例外?只能说“没有发现”。

(2) 生物过程的目的

不知道为了什么,它们一切活动的最终目的,都是求生存:或者是延长自己的生命;或者是繁殖,传下自己的生命。在这里,达尔文的进化论——“生存竞争(Struggle for existence),适者生存(Survival to the fittest)”在起作用。为了生存,这是过程的目的,必须适应,即改变系统的结构(这是内因)或环境(这是外因),使之相互适应而继续生存。

为什么生物要求生存?只能说,这是生物的本性,为什么有这种本性?则口哑,无可回答。

(3) 人的生命过程的目的

这是难以回答的人生哲学问题。在下面,只能就生命中某些过程提出一些问题或看法,供进一步探讨。

①适者生存。人号称是“万物之灵”,但他或她毕竟是一种生物。“适者生存”这一条适用于生物的规律,同样适用于他们。经历过“文革”的中国人,实践使他们更易理解这种人性,知道这种求生存的人生过程的目的:岁寒知松柏,其尖平树叶,也是为了适应岁寒;乱世明人性,绝大多数人的言行,都是为了求生存。

②伦理道德。人之性善或性恶,历代争论不休。但经济是基础,它决定了上层建筑。为了适应“中国特色的社会主义市场经济”体制,必须加强伦理道德教育,使人的生命目的高于一般的动植物;并励行法治,惩恶扬善,并辅以经济手段。

③规定目的。对于人间事,依据具体情况,规定目的。例如,对于材料、人才或系统,可分别提出对性能、才能或功能的要求,这些要求便是这些物、人或事的各种过程的目的。这些过程有制造或培育,使用或爱护,移动或流动,弃置或提升,等等。这种类比,便是“材料学方法论”广泛应用的理性基础。

④分析(物)与(人、事)问题的差异,在于过程的目的因。对于自然界各种无生物过程,我们用“能量”来分析这些过程的目的因。材料是人所规定的“物”,人才是人所规定的“人”,因而在材料的生产过程及人才的培育过程中,分别将“性能”及“才能”作为过程的目的因。材料在使用过程中,由于它们是无生物,经常用“能量”来分析过程的目的;但是,人才在使用过程中,由于他们是一类特殊的动物,他们有复杂的意志和丰富的感情,他们是社会的成员,他们生命过程的目的,即过程的方向已如前述。

3.3 结语

(1) 对于材料

①生产过程中,“性能”是目的,为了这个目的而调整:设备→工艺→结构→性能的关系。

②使用过程中,“能量”是目的,能量对平衡“结构”及“过程”的失稳、速度、进度等起着决定性作用。

(2) 对于“人”和“事”,对应的“才能”和“功能”是目的,也就是过程的方向。

(3) 所有的“物”、“人”、“事”的变化过程都依据表 I.5 所示的外因和内因的关系;令 S 、 e 及 P 分别表示结构、环境及性能(才能,或功能),则下列两个基本方程都适用:

$$P = f(S, e) \tag{1.22}$$

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

式中, E 是组元的集合, R 是组元间关系的集合。

4 辩证思维的示例

“祸兮。福之所倚;福兮,祸之所伏。”([C2]第 58 章) (2.78)

4.1 引言

以前各节主要介绍“形式逻辑”,它遵循表 I .3 所示的三条指导规律([C10]p265 ~ 278):

(1)同一律

“任何思想如果是真的,那么,它就是真的;如果它是假的,那么,它就是假的。” (2.79)

(2)矛盾律

“任何思想不能既是真实的又是虚假的。” (2.80)

(3)排中律

“任何思想或者是真实的,或者是虚假的。” (2.81)

形式逻辑只从思维形式方面研究思想本身的准确性、无矛盾性与一贯性。形式逻辑不能研究思维形式如何正确反映客观现实的运动、变化与发展问题。但是,辩证逻辑却要应用表 I .3 所示的对立统一律、质量互换律与否定之否定律研究这些问题。例如,金属在水溶液中腐蚀过程有阳极溶解及阴极释氢。前者耗费了金属,后者导致氢脆、氢致开裂等,都是有害的。氢在金属中,是否都有害? 科技界能否利用阳极溶解为人类服务并创造经济效益? 下面的 4.2 节及 4.3 节,分别简示这两方面的答案。

4.2 氢对材料的有益作用

氢可引起材料的各种损伤;但是,在许多情况下,氢对材料的工艺和性能,确是有益的,举例如下。

4.2.1 氢对材料工艺的影响

(1)还原气氛。

(2)细化钛合金晶粒及其他途径,提高塑性,改进加工性能。

(3)制备塑性金属粉末。例如钽,难于磨成粉末,故先氢化成脆性氢化物,磨细后再加热,脱氢而获得钽粉。



(4)加氢使重油转化为轻油。

4.2.2 氢对材料性能的影响

(1)Si-20%(原子)H^① ——利用悬挂键的太阳能电池。

(2)加氢导致钛合金的超塑性。

(3)氢化物的储氢材料。

(4)铅中加锂及氢,由于形成氢化锂,显著地提高铅在室温的蠕变断裂强度及降低室温蠕变速率。

(5)铂中加氢,通过多次加工,可提高强度,制备纯化氢的过滤片。

(6)铁中充氢,由于勒夏特利埃(Le Chatelier)原理,可提高抗酸蚀能力。

(7)氢化物可用作核反应堆中减速剂、反射器、屏蔽或控制材料。

(8)氢化物用于热能转换。

4.3 阳极溶解的有益作用

现从浸蚀(Etching)、化学加工(Chemical milling)及抛光(Polishing)三方面简介如下。

4.3.1 浸蚀

对于金属进行化学或电化学浸蚀,可达到如下四个目的:

(1)显示金相组织

当金相组织中的各相硬度有显著差别时,则软相在抛光时磨去较多,在显微镜下可区别软相与硬相;否则,必须选用适当的浸蚀剂(Etchant)才能清晰地观察到由各相组成的金相组织。

(2)阐明晶间腐蚀的机理

Cihal 及 Prazak 于 1959 年测定了 Cr-Ni 奥氏体不锈钢中 γ 及 σ 相的阳极极化曲线:在检验晶间腐蚀的 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-CuSO}_4$ 溶液中的氧化-还原电位下,由于 σ 相比 γ 相还稍耐蚀,显示不出 σ 相在晶界形成时所引起的晶间腐蚀;而在检验晶间腐蚀的沸腾质量分数为 65% 的 HNO_3 溶液中的氧化-还原电位下, σ 相的耐蚀性远低于 γ 相,故能显示 σ 相在晶界沉淀时所导致的晶间腐蚀。

(3)塑性粉末的制备

应用晶间腐蚀,可以制备塑性合金的粉末。晶间腐蚀后的合金,晶粒之间丧失结合力,使合金的强度几乎为零。经过这种腐蚀的奥氏体不锈钢样品,外表仍然十分光亮,但轻轻敲击,便断成细粉。控制晶粒度号(N),便可确定粉末的平均直径($D, \mu\text{m}$):

① 百分数表示(原子)H 的质量分数。

<i>N</i>	1	3	5	7	9	11	13	15
<i>D</i>	250	125	63	32	16	8	4	2

若晶粒再细,细到 $0.1\ \mu\text{m} = 100\ \text{nm}$ 数量级,便可获得纳米级的合金粉末。

(4)制备印刷电路

即溶去多余的导体。

4.3.2 化学加工

与机械加工比较,利用阳极溶解对金属材料进行化学加工,有四个优点:

- (1)适用于表面形状复杂的构件;
- (2)对于已成型的板状构件,只能用化学加工;
- (3)对于加工量较小的构件,化学加工较省;
- (4)加工后的表面较光滑。

采用酸性或碱性溶液,对铝及铝合金部件进行化学加工,已是工厂的成熟工艺。另一种有趣的成熟工艺是“电解加工”(Electrolytic machining),它将磨削与化学加工结合:加工的部件是阳极,金刚砂轮是阴极,在适当的电解液中通电磨削,砂粒既起到磨削作用,又起到阳极-阴极之间的绝缘作用。

4.3.3 抛光

抛光(Polishing 或 Brightening)有化学及电解抛光两类,前者不需要外加电流,而后者则需要;它们的共性是表面的突起处溶解快,逐步达到表面光滑。

(1)化学抛光

工厂广泛地采用这种工艺抛光铝合金,抛光液为浓酸或加入氧化剂的稀酸,常用的酸有硫酸、盐酸、硝酸、磷酸、醋酸等。表 I .8 列出美国最广泛使用的两种化学抛光槽的化学成分及工艺条件。

表 I .8 美国的铝合金化学抛光工艺

成分或条件	范 围
磷酸-硝酸	
85%磷酸的质量分数/%	45 ~ 98
60%硝酸的质量分数/%	0.5 ~ 50
水的质量分数/%	2 ~ 35
温度/℃	88 ~ 110
时间/min	0.5 ~ 5
磷酸-醋酸-硝酸	
85%磷酸的质量分数/%	80
99.5%醋酸的质量分数/%	15
60%硝酸的质量分数/%	5
温度/℃	88 ~ 110
时间/min	0.5 ~ 5



(2)电解抛光

电解抛光易于控制,广泛地用于各类合金,如铝合金、不锈钢、黄铜、铍青铜、锌合金、高温合金钢、低温合金钢。在电解抛光过程中,金属阳极溶解产物与电解液作用,在金属表面形成一层薄膜。这种薄膜有两种类型:

- ①阳极溶解产物饱和的电解液粘性膜。
- ②阴极释放的气体,一般是氧。

在大多数工业上采用的电解液中,这两种膜同时存在,如图 I .15 所示。这种膜的外貌(AB)大致与金属表面外貌(CD)平行,而与表面的微观形貌(yxwvu)无关。继续电解抛光时,金属表面的突出部分 y、w、u 较易溶解,从而趋于表面光滑。表 I .9 示例地列出各类合金的电解抛光的工艺条件,供参考。

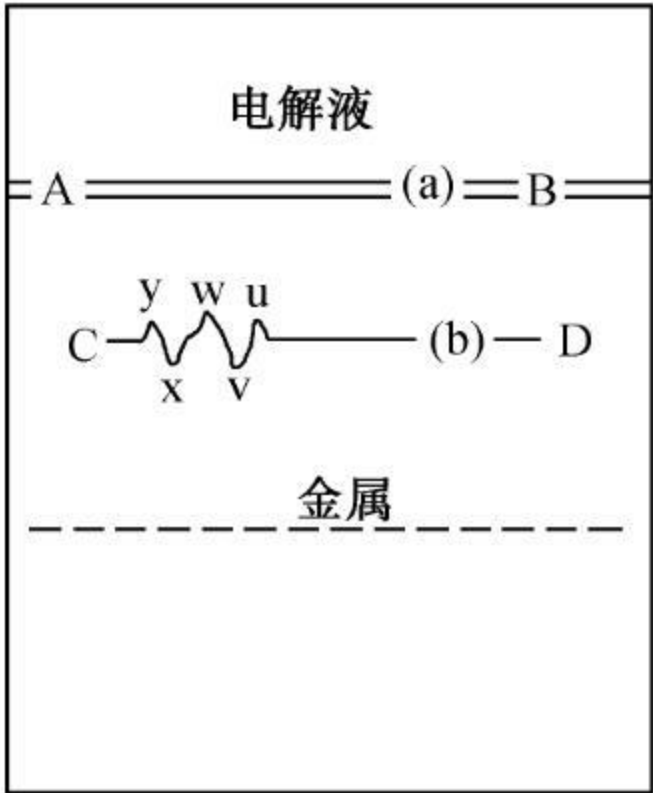


图 I .15 电解抛光过程中金属表面(CyxwvuD)与膜表面(AB)大致平行

表 I .9 美国的各类合金的电解抛光工艺

合金	电解液成分—质量分数/%	温度/℃	电压/V	电流密度/A•m ⁻²
铝合金	Na ₂ CO ₃ -15, Na ₃ PO ₄ -5, H ₂ O-80	80 ~ 83	9 ~ 12	220 ~ 230
不锈钢	H ₂ SO ₄ -41, H ₃ PO ₄ -45, H ₂ O-14	77 ~ 110	12	2 200 ~ 3 770
铜合金	H ₂ SO ₄ -14, H ₃ PO ₄ -59, 铬酸-0.5, H ₂ O-36.5	16 ~ 77	—	1 080 ~ 10 800

(3)N 型半导体的抛光特征

半导体芯片在制造过程中,需要多次应用腐蚀原理进行抛光,例如,切割形成的表面变形层,需要抛光去掉。

有别于金属及 P 型半导体,N 型半导体的腐蚀阳极过程的进行,较困难,原因如下述。令 X 代表金属 M 或半导体 S,则腐蚀的阳极过程是:



电子的能带理论指出,金属及 P 型半导体的能带含低能的空穴(h^{*}),阳极过程释放的电子(e⁻)极易填充这个低能量的能级。N 型半导体则不然,没有这种低能量的电子接受这些电子,只能与已填充的能带中空穴(h^{*})反应:



而安居其位。但是,这种 h^{*} 的浓度很低,很快耗尽,需要从半导体的内部扩散至表层,才能满足(1.82)式向右进行。这种扩散限制了抛光的溶解速度仅约为 20A/m²。

理解了上述物理过程,便可采用表面层的“光激活”(Photoexcitation)或加热整个芯片,从而增加抛光速度。

4.4 腐蚀广论

材料腐蚀的定义可采用:

“材料腐蚀是材料受环境的化学作用而破坏的现象。” (1.84)

将材料改为系统,得到:

“系统腐蚀是系统受环境的化学作用而破坏的现象。” (1.85)

4.4.1 环境

环境可分为“自然环境”和“社会环境”两大类,简述如下。

(1)自然环境

人类生活在地球上,依靠地球上的水生活和生存。很幸运,地球上有大片的海洋,而在陆地上,还有不少的江河湖泊。但是,也正是这些水和水溶液,通过腐蚀过程,担当大自然母亲的大军,为她讨回本来是属于她的东西——矿石:

“大自然常常有这样一种倾向,就是讨回她的儿子——人——从她那儿借去而加以安排结合的、那些不为普遍宇宙过程所赞同的东西。” (1.86)

在材料界,人类从大自然母亲那儿借来金属矿石,耗费能量,制造金属,进一步加工而成桥梁、船舶、钢轨、铜像、房屋……有时是赫然而存。但是,大自然的风雨、潮汐、日照……日夜不停地工作,通过腐蚀、磨损、断裂等方式,讨回本来是属于她的东西。就是人类本身,也是浩劫难逃!但是,作为人类整体,仍在与大自然斗争,改变环境和材料的结构,提高材料的性能,反抗材料的失效;并且改变生活环境,医治人类器官,企图延长人类的寿命!

应该强调指出:自然变化后的结果又可改变原来的结构和环境,导致新的变化,以材料为例:

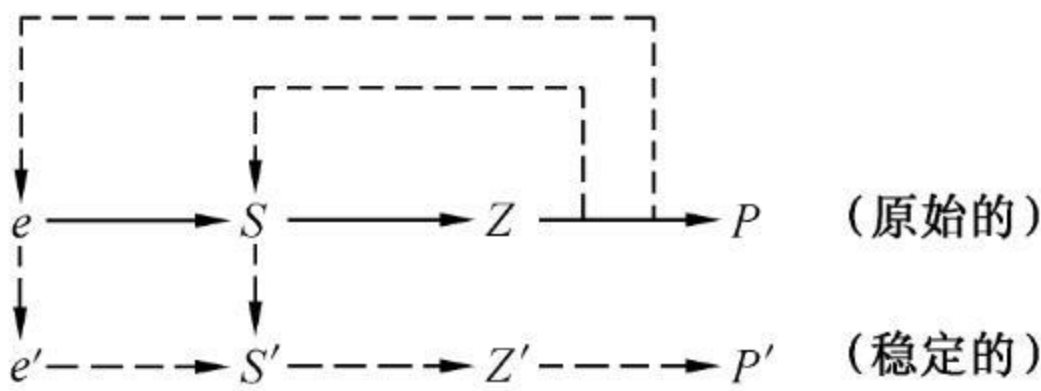


图 I .16 自然变化后的变化

中的 $e(e')$ 、 $S(S')$ 、 $Z(Z')$ 及 $P(P')$ 分别代表环境、结构、过程及性能

大自然还存在品类繁多的细菌,它们既可有助于农作物的成长,而那些病菌,又催促人类的早亡。



(2) 社会环境

自从人类社会采用财产私有制并使用货币(俗称金钱)之后,人类需要金钱才能生活及更好地生活;但是,金钱又是腐蚀(或叫腐败)人类灵魂的有效“化学物质”!

权势可为人类做许多好事,但它与金钱一样,或通过金钱而使政经腐败!对于经济体制,也提出类似材料界的方针:

“治理经济环境,整顿经济秩序(即结构),全面深化改革。” (1.87)

4.4.2 腐蚀广论

“水”及“金钱”是人类社会的两大腐蚀介质,人类需要它们,又要警惕它们。此外,人类饮食也是一种腐蚀现象:被腐蚀的,是食物,而人类成了腐蚀介质。人类因感染而生病时,细菌成了干坏事的腐蚀介质,而人类又一次成了被腐蚀的对象。有感于此,成诗十首,广论腐蚀,相互启迪。

腐蚀广论十首

广思天下,地上,人间腐蚀事,顿悟物理,事理,人理相通。用因缘之道,仍可延年益寿。曾成诗九首,抒情达意,明理述怀。今思人类与酶菌,均生物也:人类食粮可成长;酶菌食粮贡献美酒。腐蚀这个坏事可变好事,为人类效劳。增加“生物腐蚀”一首,成全了腐蚀,纠了偏。

(一) 金属腐蚀

顽童借矿石^①,冶炼化成宝。巧制成器皿,人类齐夸好。
天下至柔水,攻坚谁比高^②? 慈母遣水兵,追回锈蚀投怀抱^③。

(二) 政经腐蚀

金钱如圣水,覆舟载船巧^④。鬼谷揣摩术^⑤,仍需财货饱。
孙吴兵法商^⑥,圣智用间妙^⑦。说客间谍辈,腐败人才无节操。

(三) 自然奇景

盘古开天地,山川风雨雕。有理复有情,江山何多娇。
腐蚀创奇景,游客齐赞窍。宇宙风化事^⑧,谁是导演谁知晓^⑨?

(四) 凡人存亡

坠地呱呱嚎,饱食安睡好。中壮勇拼搏,曾有几欢笑?
磨损又疲劳,腐蚀促衰老。孺子如矿石,慈母思念回怀抱^⑩。

(五) 大厦倾倒

雕梁巨柱新,大厦何风骚。虫食上梁歪,风化钢筋凋。
腐蚀又腐败,大厦易倾倒。狠心勿忌医,延年益寿晚悲悼。



(六) 医治预防

宇宙与人世,共惊腐蚀妙。世上有情人,离别悲难消。
诸法因缘起^①,环境慎理调。强身优结构,延年益寿医护好。

(七) 英雄尽折腰

道理互通融,人事与材料。凡人惊奇景,出没有共道。
医防人所望,悲伤物早夭。宇宙腐蚀事,无数英雄尽折腰^②。

(八) 回皈何必殇

金属腐蚀自然势,政经腐败社会殇;
自然奇景宇宙创,凡人回皈何必伤?
万年地层显沧桑,大厦自毁太匆忙;
覆巢之下无完卵,众志成城齐救亡。

(九) 诸法因缘起

相逢聚情难离别,延年益寿人共望。
佛语诸法因缘起,英雄折腰觅预防。

(十) 生物腐蚀

人类腐食壮成长,美食腐臭非人望。
酶菌食粮成美酒,李白斗酒诗豪放。
稀散宝矿何回收?细菌选冶有所望。
白色污染逞刚强,降解酶菌驰疆场。

注:①人类,大自然母亲的顽童,违背自然的意愿,借来矿石,冶炼金属。

②“天下莫柔弱于水,而攻坚者莫之能胜。”([C2]第71章)

③矿石,本属于大自然慈母,她思念它,要向人类讨回。

④“君,舟也。人,水也。舟能载舟,亦能覆舟。”(《贞观政要·政体篇》)

⑤鬼谷子为苏秦、张仪之师,纵横家之祖,讲揣摩术,说服人君。

⑥孙武著《孙子兵法》,兵书也,后人经商,也引用。

⑦《孙子兵法》第十三篇“用间”,重用间谍:“非圣智不能用间,非仁义不能使间。”

⑧地质界的“风化”(Weathering),即岩石的大气腐蚀也。

⑨英雄时势谁主造?千年纷争从未停。

⑩大自然母亲思念她的儿女——矿石。

⑪“因”为关系,即系统的结构,“缘”为条件,即环境;它们分别对应于事物变化的内因和外因。

⑫毛泽东《沁园春·雪》:“江山如此多娇,引无数英雄尽折腰。”



第 3 章 系统分析

([A11]p121 ~ 183)

系统论——“从全体来推论部分比从部分来求解全体要容易得多。”([C44]p687) (3.1)

本章将简明地回答四个问题：“系统”是什么？“系统分析”的核心内容是什么？“结构分析”与“系统分析”之间有什么关系？“反馈”在材料学中有什么应用？

1 系统的定义

从物理化学,我最早知道的、到现在仍然最喜欢的系统定义是:

“研究的对象叫做系统(s),宇宙(u)中系统以外的部分叫做环境(e)。” (3.2)

这个定义使宇宙变得很简单,它只有两部分:

$$u = s + e \quad (3.3)$$

这个定义的另一优点是:具体事物有时是系统,而另一个时候又可以是环境。例如,研究夫妻组合的家庭时,夫与妻都是 s 中的组元(E , Element);当研究丈夫时,丈夫是 s ,妻子则是 e 中的一个组元。

20 世纪 70 年代后期,我学习系统论时,注意到系统的定义不少。例如,系统论创始人之一贝塔朗菲给出如下的定义:

“系统是由相互联系的组元(E)的、与环境(e)发生关系(R)的总体。” (3.4)

其中,“相互联系的组元的……总体”便是材料学者熟悉的“结构”,即材料学的第二基本方程:

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

式中, E 是系统中组元的集合, R 是组元之间关系的集合。“与环境发生关系”这个内涵包括了材料的隔绝、关闭、开放系统。系统的功能 P 便是 e 与 S 的函数:

$$P = f(e, S) \quad (1.22)$$

这是材料学的第一基本方程。

钱学森从控制论角度强调了系统的功能(P):

“系统是由相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。” (3.5)

其中,系统的功能对应于材料的性能。材料学的先驱——金属学,很早就将“结构和性能”作为几乎是全部的研究内容。

在系统工程的专著或教科书中,系统定义的内涵都远较(3.2)多,综合这些书中的十余个定义得到:

“系统是由两个或两个以上相互联系和作用的、物理的或抽象的组元所构成的综合体,它是为了完成一个统一目的而组合的,其功能是从环境接受信息、能量或物质,并按时间的程序而产生信息、能量或物质。”([A11]p121) (3.6)

这个定义的内涵最多,按照逻辑学中内涵和外延的反变关系,则(3.6)的外延将会最少。如采用(3.6),则组元间的交互作用可忽略不计的理想气体不是系统,与环境没有物质、能源或信息互换的隔绝系统也被划外,没有统一目的或时间程序的,不是系统。还应该指出,定义(3.6)包括了材料学中四个核心问题:结构,功能,环境,过程(按时间程序而产生)。表 I .10 比较了上述四个定义中的内涵,其中(3.2)最少,(3.6)最多。

表 I .10 系统定义中内涵的比较

定 义		(3.2)	(3.4)	(3.5)	(3.6)
内 涵	结构	X	0	0	0
	环境	X	0	X	0
	功能	X	X	0	0
	过程	X	X	X	0

X 表示无,0 表示有。

从哲学角度考虑, S 及 e 分别是变化的内因及外因, P 是变化的结果,具体变化叫做过程,设为 Z , 则:

$$e \rightarrow S \rightarrow Z \rightarrow P \tag{3.7}$$

推而广之, e 包括自然环境及社会环境。

2 系统分析

2.1 定义和内容

“在明确系统目的的前提下,分析和确定系统所应具备的结

构、功能和相应的环境条件，便是系统分析。” (3.8)

狭义的系统分析包括如图 I .17 所示的模型化和最优化，而广义的系统分析则有如图 I .17 所示的四步：

- (1)系统目的分析和确定。这是系统分析的基础，为模型化取得必需的信息。
- (2)模型化。建立不同模型，进行比较。
- (3)最优化。运用最优化理论，求几个替换解。
- (4)系统评价。依据限制条件，决定最优解。

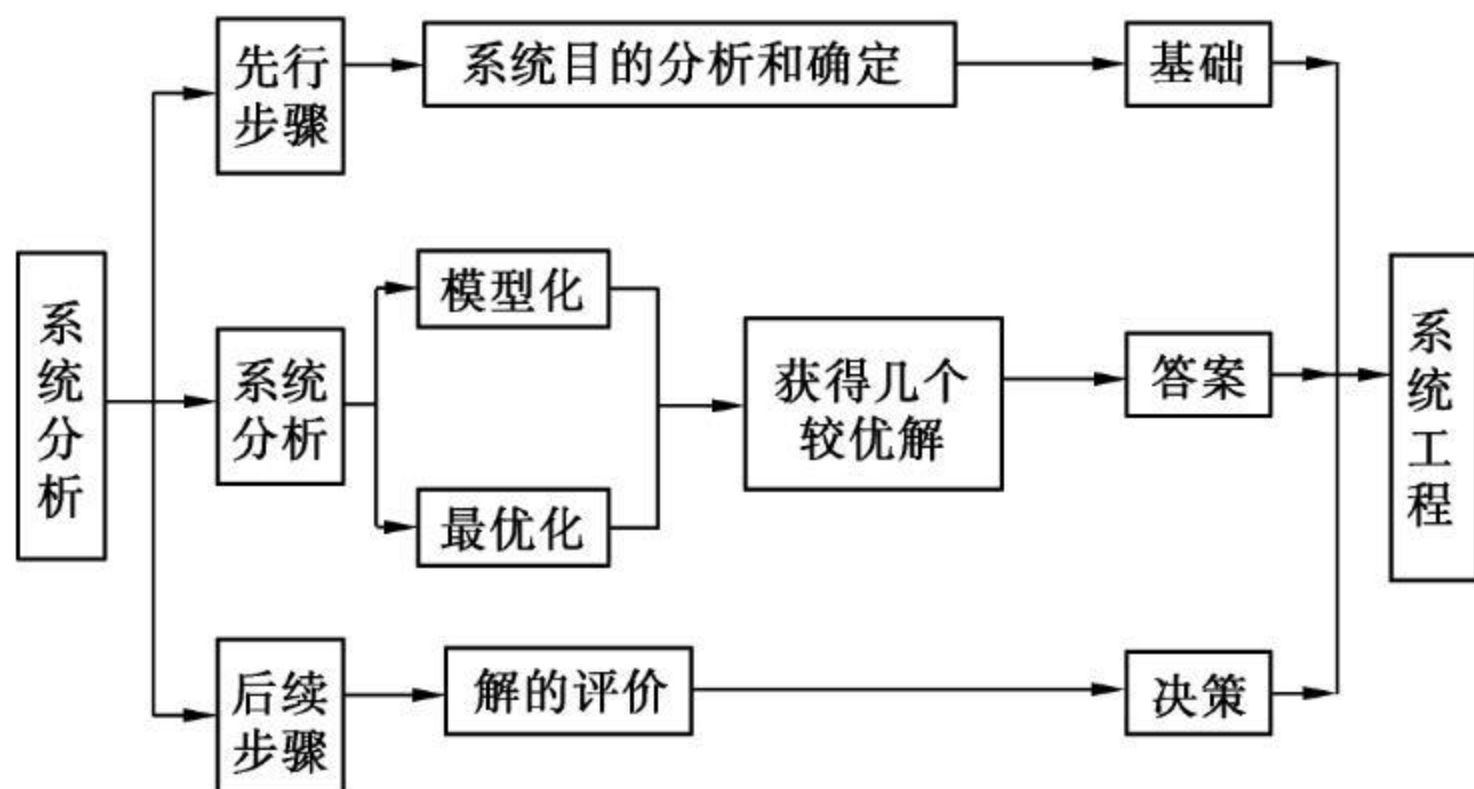


图 I .17 系统分析与系统工程

2.2 作用和重要性

- (1)可进行创造性思维，有助于发现、表达和分析问题。
- (2)技术开发的重要途径，例如美国阿波罗登月计划。
- (3)人类认识自然的螺旋式上升：
古代自然知识→近代实验科学→现代自然科学理论；
综合→分析→系统分析。

2.3 模型化技术

“模型化(Modeling)是用适当的文字、图表或数学方程来表述系统的结构和行为的一种科学方法。” (3.9)

这里的“行为”便是材料的“性能”，系统分析主要是结构分析。明确系统内“组元”的集合(E , Element)和组元之间关系的集合(R , Relationship), 则系统的结构(S , Structure)便是：

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

建立模型时的一个重要步骤是抽象，将系统内组元间、组元与环境间的相

互关系和作用,抽出来用若干参数来表示,然后运用已有的科学原理或实验规律,确定这些参数之间的关系。若这个关系能用数学方程表示,那么这个数学方程便是表述这个系统的数学模型。这些关系简示如下:

系统

抽象
现象—本质

属性的各参量

科学原理
实验规律
原因—结果

数学方程

(3.10)

模拟也叫做仿真(Simulation),是模型化的继续。模型化是表示系统的一种科学方法:有了模型之后,还必须采用某种模拟方法,对这个初步模型进行测试或计算,然后依据结果,对初步模型进行考核。模型化和模拟之间的关系如图 I .18 所示。

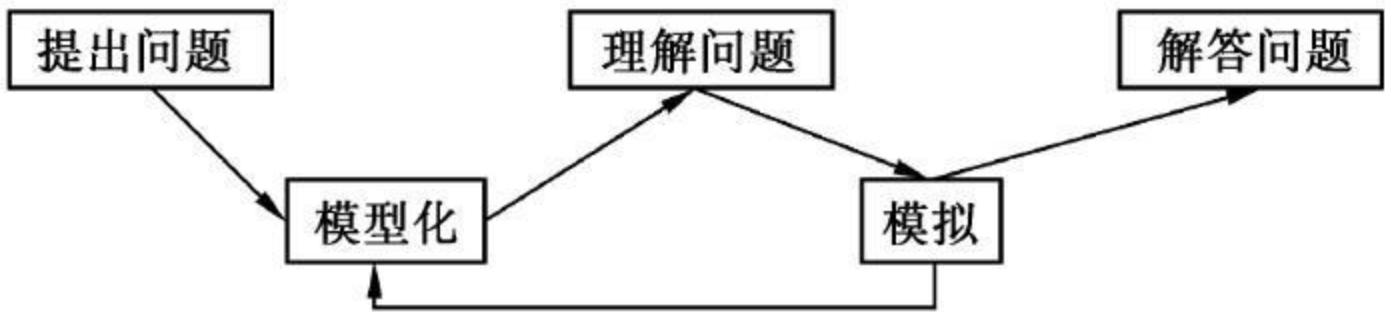


图 I .18 模型化与模拟

模拟有几何、数字、物理(电)几种技术;依据(1.23),测定物质(或材料)结构中的 E 和 R ,也是一种建立模型的技术。常用的系统分析技术有模型化、最优化、评价、决策和预测,其中模型化是一个最重要的环节。

2.4 最优化技术

“模型化”与“最优化”可分别简称为“模化”与“优化”。

“系统的最优化(Optimization)是在限制条件下求目标函数为最大或最小值的科学方法。”

(3.11)

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;在另一方面,运筹学的目的从广义来说,也是在求最优化,因此,最优化又是运筹学中的基本思路 and 主要技术。

3 模型化与结构设计

模型化就是建立模型,“建立”与“设计”都是动词;而“模型”和“结构”,只是不同领域的工作者用不同的语词表达遵循同一方程式(1.23)的不同事物,因此,处理它们的方法是可以相同或相通的。近十年来,经济工作的方针也喜用“结构”二字,因而处理方法也可类比相通([B26]):

- 1989 年:“治理经济环境,整顿经济秩序,全面深化改革。”
- 1992 年:“调整结构,提高效益。”

1993 年：“优化结构，提高质量，增进效益。”
 1994 年：“抓住机遇，深化改革，扩大开放，促进发展，保持稳定。”

“深化改革”什么？如图 I .19 所示，应是改革“结构”；这里的“秩序”，包括动态及静态“结构”。

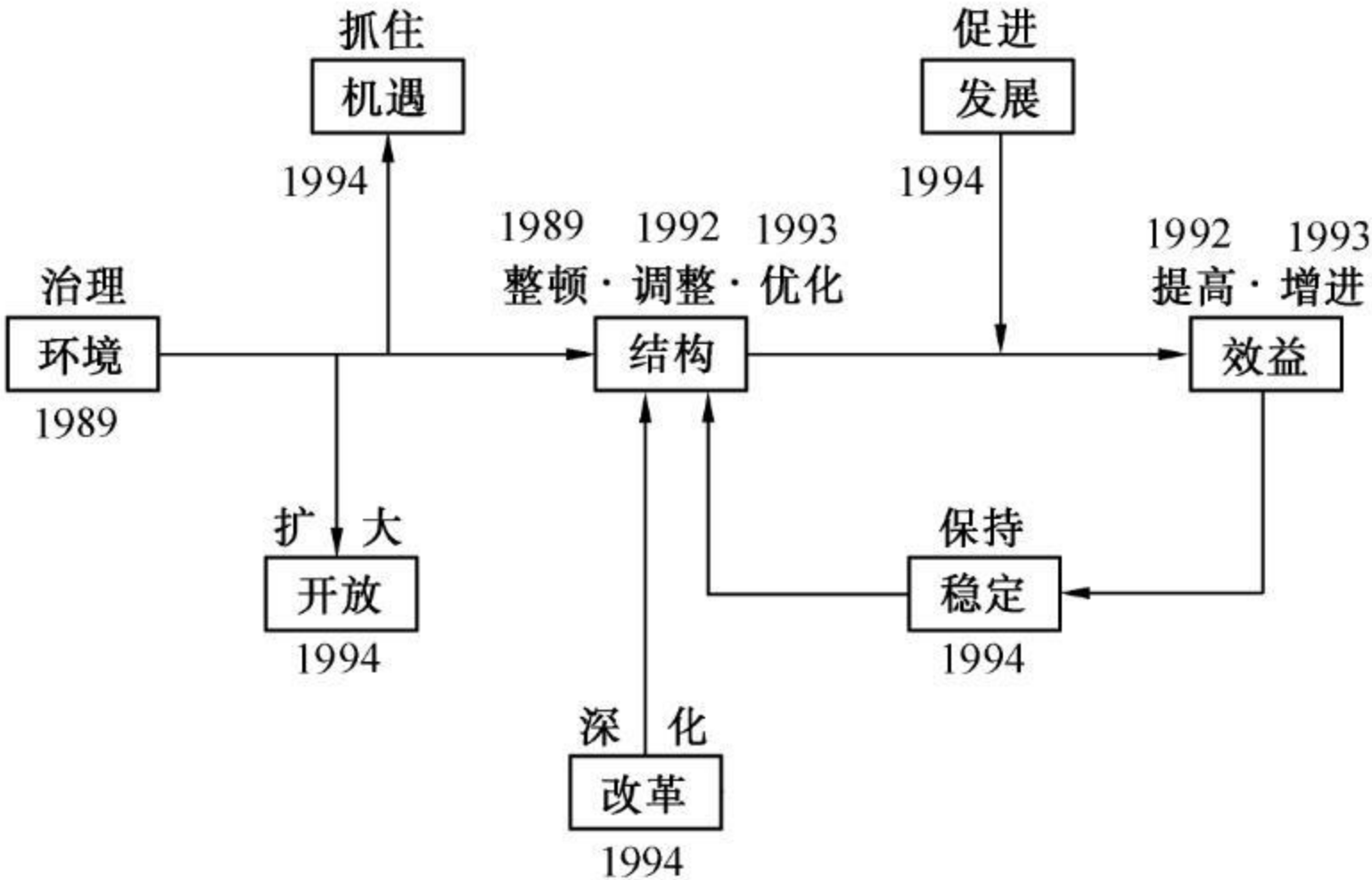


图 I .19 1989 至 1994 年我国经济工作方针

4 反馈的应用

4.1 概念

“把系统的输出反过来送到输入端，从而对输出产生影响，这个过程叫做反馈。” (3.12)

反馈这个概念被广泛地用于对机器、动物、经济、社会等各种系统的控制。这是一种简单而有效的控制方法，因为它只利用受控量的实际值与目标值的差异来进行控制，只考虑一个因素；另一方面，也不要去过问产生差异的原因。依据反馈是增强或减弱了输入，分别叫做正反馈或负反馈，它们分别是增加或减少目标值与实际值的差异。

本节尝试探索反馈这个概念在材料学中的应用。

4.2 学术实践的慎思

4.2.1 合金钢的研究

20 世纪五六十年代，我研究不锈钢。首先，需要理解“不锈性”。此词译自英词“Stainless”；“-less”及“不”都有些绝对化，哪有“不锈”的钢？查 1951 至 1954

年两卷的 Monypenny 经典著作“Stainless Iron and Steel”，书中引用一个发人深思而令我终身难忘的研究结果：在稀盐酸中，低碳钢的腐蚀速度反而低于含铬的不锈钢。早已查明：含铬不锈钢的“不锈性”，来源于在氧化性介质中所形成的富铬的钝化膜。也就是说，这种腐蚀变化后的材料表面结构不再是不锈钢，而是钝化膜。

20 世纪 70 年代，我曾进行高碳[$w(C) \approx 1.2\%$]高锰[$w(Mn) \approx 12\%$]奥氏体钢的研究。这种钢固溶处理后很软，布氏硬度在 170 ~ 210 范围内，使用过的、用这种钢制作的碎石机颚板及车轨叉道的表面布氏硬度可超过 500，而在表面下 20 及 8 mm 处的布氏硬度只有 220。一般认为，在使用过程中，表面层形成大量的层错、 ϵ 马氏体、细小亚晶等，导致这种硬化。也就是说，这种摩擦后的材料表面结构不再是软的奥氏体结构，而是复杂的加工硬化组织。顺便指出，在我国材料界，习惯于用“组织”来描述尺度较大的结构，如显微组织、宏观组织等；“结构”来描述较细的结构，如晶体结构、原子结构、电子结构等；(1.23)中的 E 是“成分”， R 是“狭义的结构”， S 是“结构”或“组织”。这只是习惯而已。

4.2.2 断裂机理的研究

20 世纪 80 年代到 90 年代中期，我们集中力量研究断裂，特别是环境断裂机理，即化学环境(主要是水溶液)及外力协同作用下对材料的破坏。这有两方面机理：氢致开裂(Hydrogen Induced Cracking, 简称为 HIC)和应力腐蚀开裂(Stress Corrosion Cracking, 简称为 SCC)；它们都涉及断裂过程中局部化学环境和材料结构的变化，它们分别强调阴极释氢和阳极溶解的控制作用。简述如下。

(1)HIC——有两个重要问题需要回答

①在中性水溶液($pH \approx 7$)中，一般金属结构材料如 Fe、Al、Ti 等，为什么能放氢？

②所释放的氢，对金属材料的结构又有什么作用？

热力学计算和实验测定结果表明：在中性的质量分数为 3.5% 的 NaCl 水溶液中，裂纹尖端构成闭塞电池，其 pH 值降低到：

材料	结构钢	铝合金	钛合金
pH 值	4	3.5	2

可以放氢，所释放的氢在裂纹尖端区的富集及导致的形变、相变及化变，改变了材料裂纹尖端区的结构，促进了断裂。

(2)SCC——腐蚀对于应力有无影响

实验测定，腐蚀可导致拉应力，叠加在外加载荷，促进了断裂。这两方面的大量研究结果表明，应力腐蚀过程既改变了局部的化学和力学环境，又改变了



表面区的材料结构。

4.2.3 耗散结构理论的启示

材料在使用时,是一个开放系统,它与环境可以交换物质和能量,形成远离平衡的结构;对于这种结构的稳定性,已超过经典热力学的适用范围,可用“耗散结构(Dissipative structure)理论”来处理。这个理论是普里高津(Prigogine)于 1970 年在国际理论物理和生物学会议上提出的,能处理开放系统,可应用于物理、化学、生物、天文、地学、农业等领域,于 1977 年获诺贝尔奖。在他的新著《探索复杂性》讨论这种理论应用时,已将耗散结构泛指为:

“从环境输入能量或/和物质,使系统转变为新型的有序形态,叫做耗散结构。” (3.13)

因为这种结构依靠不断地耗散能量或/和物质来维持,所以叫耗散结构;不仅开放系统可有这种结构,封闭系统与环境有能量交换,也可有这种结构。

材料在制造和使用过程中,都是开放系统,应用“耗散结构”这个新概念,可以解释许多已知现象,并启示新的思路。表 I .11 列出一些材料的耗散结构实例,这都是无意产生、事后总结的。

表 I .11 材料的耗散结构实例①

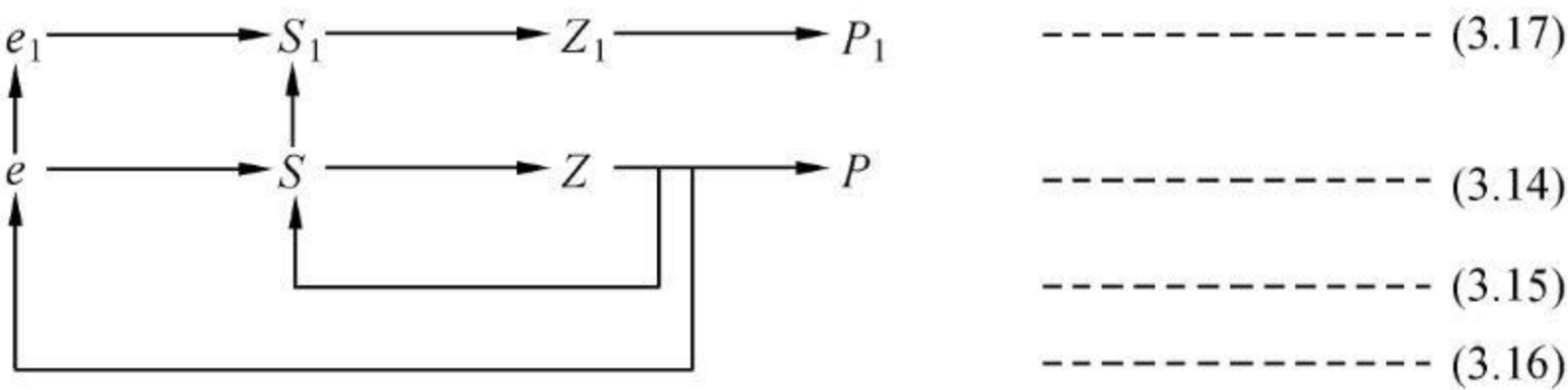
例	材 料	环 境	耗 散 结 构
1	高锰钢	力的摩擦	层错,ε 马氏体
2	不锈钢	含氧的化学介质	钝化膜
3	相变诱生塑性钢	外力	相变结构
4	ZrO ₂	外力	相变结构
5	发汗材料	热	蒸发气
6	消振材料	声	消振结构
7	钢铁	水介质及外加电流	阴极保护结构

①[A8]p532。

本表的继续是第 12 章的表 II .16;本表的说明见第 12 章 3.3.3 系统和环境。

4.2.4 材料微观现象的新反馈

从上述的三方面学术实践后的慎思,可以看出:若(3.13)发生过程(Z)之后有反馈,从而影响 S , e , 或 $S + e$; 如:



则进一步起作用的,是 S_1 及 e_1 ,而不是原来的 S 及 e ,这是一种新反馈,这种新反馈发生了“质变”。控制论中的反馈,只是信息量增及减的“量变”,分别称之为正反馈及负反馈。反馈的定义(3.12)同样适用于这种新反馈。





第 4 章 简易材料论

([B45])

《易传》云：

“易一名而含三义：易简一也；变易二也；不易三也。一易则易知，简则易从。”([C1]p7) (4.1)

《中庸》云：

“博学之，审问之，审思之，明辨之，笃行之。”([C1]p1632) (4.2)

图 I .7 中的“材料学的方法论”包含四部分，其中三个分析方法已在本书的前 3 章，以“材料”为例简述，并在专著[A11]、[A14]、[A15]中较详细地介绍，请参考。本章专述“简易材料论”，或叫“简易材料观”，不包括表 I .12 中的引论。

本章分三节：引言，分论，结语。

1 引言



1943 年著者大学毕业后，有幸连续地在材料的一些领域从事各项科技工作，通过学、问、思，希望有益于辨和行[(4.2)]，深感材料是在变易的，并遵循不易的规律，按照古训[(4.1)]，尝试以简易的方式，陈述材料学领域内不易的变易规律，阐明对材料的观点和处理方法。本章全部内容见表 I .12，它们都属于“微观材料学”。

分论和结语共 6 命题(表 I .12 中第 5 至第 10 章)，计 19 个方法或观点；表中其他内容已散见于以前章节：

材料	第 1 章第 1.1 及 2.2.2 节
问题	第 1 章第 2.2.2 节
推理	第 2 章第 2 节
因果	第 2 章第 3 节

如不分散，本章就难“简易”；如照搬原文，又有不少重复，只好这样互参。

表 I .12 简易材料论内容

一 引论		
命题	不易方法	变 易 内 容
材料	1 定义	五判据,属 + 种差
问题	2 模化	十命题,组元 + 关系
推理	3 逻辑	二区分:必然性,创造性
因果	4 分析	形式因,质料因,作用因,目的因
二 分论		
性能	1 符号	7×7 矩阵,四分析
结构	1 方程	三问题:层次,测定,控制
环境	5 归纳	五对待:适应,改变,利用,学习,保护
过程	3 逻辑	三原理:方向,路线,结果
能量	8 分析	结构(1),过程(6),性能(1)
三 结语		
观点	1 总结	

2 分论

本论简易地陈述材料五个微观命题的观点或方法——性能、结构、环境、过程、能量。

2.1 性能—— 一个符号

“材料的性能是一种参量,用于表征材料在给定外界条件下的行为。” (4.3)

这个定义陈述了材料性能的内涵,参考图 I . 20,可用参量“ P_{ij} ”表达,还可用 P_{ij} 来划分性能。当 i 及 j 为 1,2,3,4,5,6 及 7 时,分别对应于力学、声学、热学、光学、电学、磁学及化学信息; i 为输入, j 为输出——反射、吸收、传导、转换:

- 当 $i = j$, 则有反射、吸收、传导共 $3 \times 7 = 21$ 种性能;
- 当 $i \neq j$, 则有 $7 \times 6 = 42$ 类转换性能,如 P_{35} 为热电性, P_{45} 为光电性等。
- 若用 i 及 j 分别表示输入量及输出量, S 为材料的结构, e 及 t 分别为环境

及时间,则性能分析方法可用下列方程表示($P = P_{ij}, i = j$):

黑箱法: $K = P \cdot I$ (4.4)

相关法: $P = fe(S)$ (4.5)

过程法: $P = F(e, S)$ (4.6)

环境法: $P = \Phi(e, t)$ (4.7)

人才的才能和事物的功能可类比于材料的性能,进行分析。



图 I .20 信息的输入和输出

2.2 结构——一个方程

“系统的结构是它的组元及组元间关系的总和。” (4.8)

若组元的集合、关系的集合及系统的结构分别用 E (Element)、 R (Relationship)及 S (Structure)表示,则:

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

(1.23)

我曾定义材料的结构:

“材料的结构是它的组元及其排列和运动方式。” (4.9)

“组元”则依层次不同而分别有基本粒子、质子、中子、电子、原子、几何学组元(空位、位错、晶界、相界、表面等)、分子、相、裂纹、缺口等;“关系”则包括排列方式及运动方式,后者包括原子振动所导致的声子,电子平移运动引起的布里渊区、费米球、禁区等以及电子自旋导致的磁子等。

结构的测定实质上是采用(4.4)的黑箱法。例如,输入的 X 射线波长为 λ ,输出的衍射角为 θ ,则依据布喇格方程:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

(4.10)

可以计算未知的结构参量 d 。

结构是一个用途很广的概念,除物以外,还用于人、财、事:

(1)人——人体结构、细胞结构、阶级结构等。

(2)财——金融结构、投资结构、成本结构等。

(3)事——社会结构、政府组织、学校组织、教育结构、科研结构、知识结构、诗词结构等。

2.3 环境——五个对待

时势造英雄? 英雄造时势? 争论难休。时势便是环境,可以采取五方面措施,正确地对待环境。



(1)适应

经济是基础,当经济体制改变了,为了适应这个大环境,上层建筑必须随着改变;生物进化以及大自然选择生物品种,遵循着“生存竞争,适者生存”的生物学原理;入境随俗,也是为了适应环境等等。

(2)改变

水溶液中加入缓蚀剂及排除氧气,金属表面覆盖防蚀涂层,都是为了降低腐蚀而改变化学环境;为了加速和增加化学反应而加入的催化剂,也是改变化学环境;材料表面引入残余压应力,从而改变力学环境;电磁波屏蔽、热阻挡层及声吸收层分别是改变电磁、热学及声学环境;孟母三迁其居,为的是改变学习环境,使孟轲能勤学;人才分流的目的之一,便是改变人才的使用环境,使人能尽其才;等等。

(3)利用

化学环境可以腐蚀金属材料,在另一方面,我们又可以利用腐蚀,例如,金相试样的浸蚀,电解抛光,电化学加工,利用奥氏体不锈钢的晶间腐蚀制备粉末,电化学保护的牺牲阳极等,都是在利用化学环境。氢脆、氢致开裂使人们认识到氢这个环境的有害作用,但材料工业中,将氢作为合金元素或有用元素来应用的事例也是不少的。利用耗散结构理论来增进材料的性能,也是利用材料与环境的交互作用。社会现象利用环境的事例也是不少的,国与国之间的间谍、不法商人等,都在利用金钱的腐蚀作用,改变工作环境而获暴利。

(4)学习

观察环境,向环境学习,可以受到启示。例如,向环境中的生物功能学习,出现了仿生学及仿生材料;人们旅游埃及,看到木乃伊及金字塔,应分别在防腐技术及工程建筑方面有所借鉴。1980年春,我自重庆沿长江东下,长江轮的航行,佐证了我提出的自然过程三原理。

(5)保护

人类既是一类动物,容易大发兽性,对自然环境进行自私的无厌掠夺,导致大地千孔百疮,蓝天昏暗;大自然必将对人类进行更无情的报复。为了人类群体和子孙万代,通过教化和刑罚,文明人重视了环境的保护。材料的五个现代判据中,资源、能源和环保便是涉及环境的三个战略性判据:汽车给人类带来了方便和舒适,但对所排出尾气的成分,文明社会已严加限制;钢厂的污染问题不能解决,则被迫关闭。从积极方面考虑,“三废”的妥善处理,化害为利,已形成巨大产业,降低整个生产的成本。重视保护自然环境,社会幸甚,子孙万代幸甚!

以诗一首,总结本节五观点:



“英雄时势谁主造？千年纷争从未停。
 诸法因缘起，系统临环境：
 适应求生存，改变更长命；
 学习获启示，利用争优胜！
 掠夺无厌显兽性，环境人类互依存。
 天地厚人类，回报何无情？
 千孔又百疮，蓝天已昏沉；
 人类有后代，环保减报应！”



(4.11)

2.4 过程——三条原理

“自然过程总是朝着能量降低的方向、遵循阻力最小的路线进行的，其结果是适者生存。” (4.12)

应用演绎法、归纳法及类比法可以分别证明这三条过程原理。

(1) 方向

能量下降。从热力学第二定律可以导出不同限制条件下的不同能量判据 (U 为内能, H 为焓, F 为自由能, G 为自由焓):

$$\text{绝热恒容: } (dU)_{S,V} \leq 0 \quad (4.13)$$

$$\text{绝热恒压: } (dH)_{S,p} \leq 0 \quad (4.14)$$

$$\text{恒温恒容: } (dF)_{T,V} \leq 0 \quad (4.15)$$

$$\text{恒温恒压: } (dG)_{T,p} \leq 0 \quad (4.16)$$

而:

$$H \equiv U + PV, F \equiv U - TS, G \equiv H - TS \quad (4.17)$$

(2) 路线

阻力最小。从物理及化学中的大量变化,如水流、电流、热流、光程最短时间原理、力学中最小作用原理、塑性变形的最小阻力原理、化学反应及相变选择最小激活能途径,我们可以归纳出过程的第二原理:自然过程有着尽量快地降低能量的倾向,简述为,自然过程的路线是阻力最小。

(3) 结果

类比生物进化的规律:生存竞争,适者生存,即相互竞争的各种自然过程的结果是适者生存。“适”是指适应所存在的环境,对于无生物的材料来说,只是第二原理的补充。

1980年,我乘长江轮自重庆东下,在欣赏沿途文物、风光中成诗一首,最后三句分别佐证上述的自然过程三原理:

“我欲降势能,东行方向明;

今有航标在,前进路线清;
回顾艰坎路,方悟适者存。” (4.18)

2.5 能量 —— 八个分析

运用能量的观点,可以分析下列的八类材料结构、过程和性能问题。

(1) 平衡结构

求能量极小值所对应的结构。设结构及能量参量分别为 X 及 Y , 由:

$$Y = f(X, T, P) \tag{4.19}$$

解:
$$f' = \frac{dY}{dX} = 0 \tag{4.20}$$

求 X_e 。验证:
$$f'' = \frac{d^2Y}{dX^2}(X = X_e) > 0 \tag{4.21}$$

(2) 过程失稳

求能量极大值所对应的结构。同(4.19) 及(4.20), 仅(4.21) 的验证条件改为:

$$f'' < 0 \tag{4.22}$$

以形核理论及断裂力学的裂纹扩展为例, 则 X_e 分别是临界晶核尺寸及临界裂纹长度。

(3) 过程方向 —— $\Delta Y < 0$ 。

(4) 过程选择 —— $|\Delta Y|$ 最大。

(5) 过程速度

从过程激活能 Q 计算化学反应速度 V 及扩散系数 D :

$$V = V_0 \exp(-Q_C/RT) \tag{4.23}$$

$$D = D_0 \exp(-Q_D/RT) \tag{4.24}$$

(6) 过程类型

从 Q_D 可以判断扩散的类型; 从 Q_C 可判断化学反应的类型。

(7) 过程进度

从化学反应的标准自由焓变化 ΔG_T^0 可计算平衡常数 K :

$$\Delta G_T^0 = - RT \ln K \tag{4.25}$$

对于化学反应:



从 K 的定义:

$$K \equiv \left[\frac{a_L^1 \cdot a_M^m \cdot \cdots}{a_A^a \cdot a_B^b \cdot \cdots} \right]_{\text{平衡}} \tag{4.27}$$

所计算的 K 值及反应物的活度 (a_A, a_B, \cdots) 可计算反应产物的活度

(a_L, a_M, \dots), 从而可知道(4.26) 化学的反应过程进行的程度。

(8)性能参量

材料的韧性是材料的强度和塑性的综合表现; 表面光滑、缺口及裂纹试样所测定的韧性, 都可换算为能量参量。磁性材料的磁回曲线, 由矫顽力(H_c)及剩余磁感(B_r)所界定, 它所包含的面积——磁能, 是一种性能: 软磁材料要求这个面积小而瘦长, 则铁损小而磁感高; 硬磁材料则要求这个面积肥大, 则贮能大。

3 结语

(1)在分论中

用一个符号及一个方程分别表示“性能”和“结构”; 总结对“环境”的五个对待; 用演绎法、归纳法及类比法分别导出自然“过程”三原理——方向、路线及结果; 总结八个“能量”分析方法。

(2)材料观

在《合金能量学》([A6])的最后一段, 得到一段话:

“我们面临的是有缺陷的材料, 它们在形成过程中, 由于相互竞争的过程的结果, 留给我们的, 只是适于生存的各种亚稳相。我们应该从结构不均匀概念和动力学观点, 用以能量为控制因素的过程三原理(方向、路线、结果), 去理解和控制材料的现象。”

(4.28)

(3)事物观

扩充材料观, 结合以前的论述, 获得五点事物观, 供商讨。

①沧桑是正道。“已见东海三为桑田”, 宇宙形成、地壳风化、历史演变、生老病死……莫不如此。

②“诸法因缘起”。“因”是关系, 是变化的内因; “缘”是条件, 是变化的外因; 这正是表 I .7 所论述的因果关系。

③实践是第一。真理只有通过实践来检验, 这是《实践论》的思想。

④事物无完整。材料和事物都有缺陷, 材料不可能没有缺位和杂质。

⑤系统需开放。弱秦引进人才而吞并中原; 丝绸之路大开放, 导致汉唐盛世; 这也是图 I .19 中“二十字方针”所包括的“扩大开放”。

第Ⅱ篇 分论

——依据宏观材料学的结构,分论各组元——

依据材料学的第二基本方程:

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

在第5章“引论”,先简述材料学结构及宏观材料学结构(S)中各组元(E)之间的关系(R);在随后的第6至第12章,则分论宏观材料学中各组元(E)。

第5章 引论——书的结构

“从事物的内部结构探寻它们变化的内因。” (5.1)

1 材料学的划分

宏观材料学和微观材料学是符合逻辑学划分规则的材料学划分,比较它们的定义[(2.32)及(2.33)],可理出它们之间的三点主要区别:

(1)环境

微观材料学分析自然环境的作用;而宏观材料学则侧重考虑社会环境的作用,对自然环境则考虑资源、能源、环境污染等宏观问题。

(2)结构

宏观材料学考虑材料的宏观结构,这种结构是以材料的“种”、“类”、“小类”等宏观组元而构成材料这个“属”;微观材料学则考虑材料的微观结构,这种结构包括“相”所构成的显微组织以及更微细到原子、电子的层次。

(3)输出

微观材料学研究材料的性能这种自然现象,而宏观材料学则研究材料对人类社会的功能这种社会现象。如图Ⅱ.1所示,材料的性能和功能都是材料的输出。

这两门材料学之间又是相互联系而依存的:

(1)总量由分量组成,通过各类材料的各种性能而反映材料整体对社会的

功能。因此,微观材料学是宏观材料学的基础。

(2)个体难于离开总体而发展,学科的发展依赖于社会的需要,通过材料的性能而开发、满足、刺激和创造材料对社会的功能,是发展微观材料学的主要动力。因此,微观材料学依赖宏观材料学而发展。

从图 II .1 所示的系统分析,可以看出这两门材料学的区分与联系。

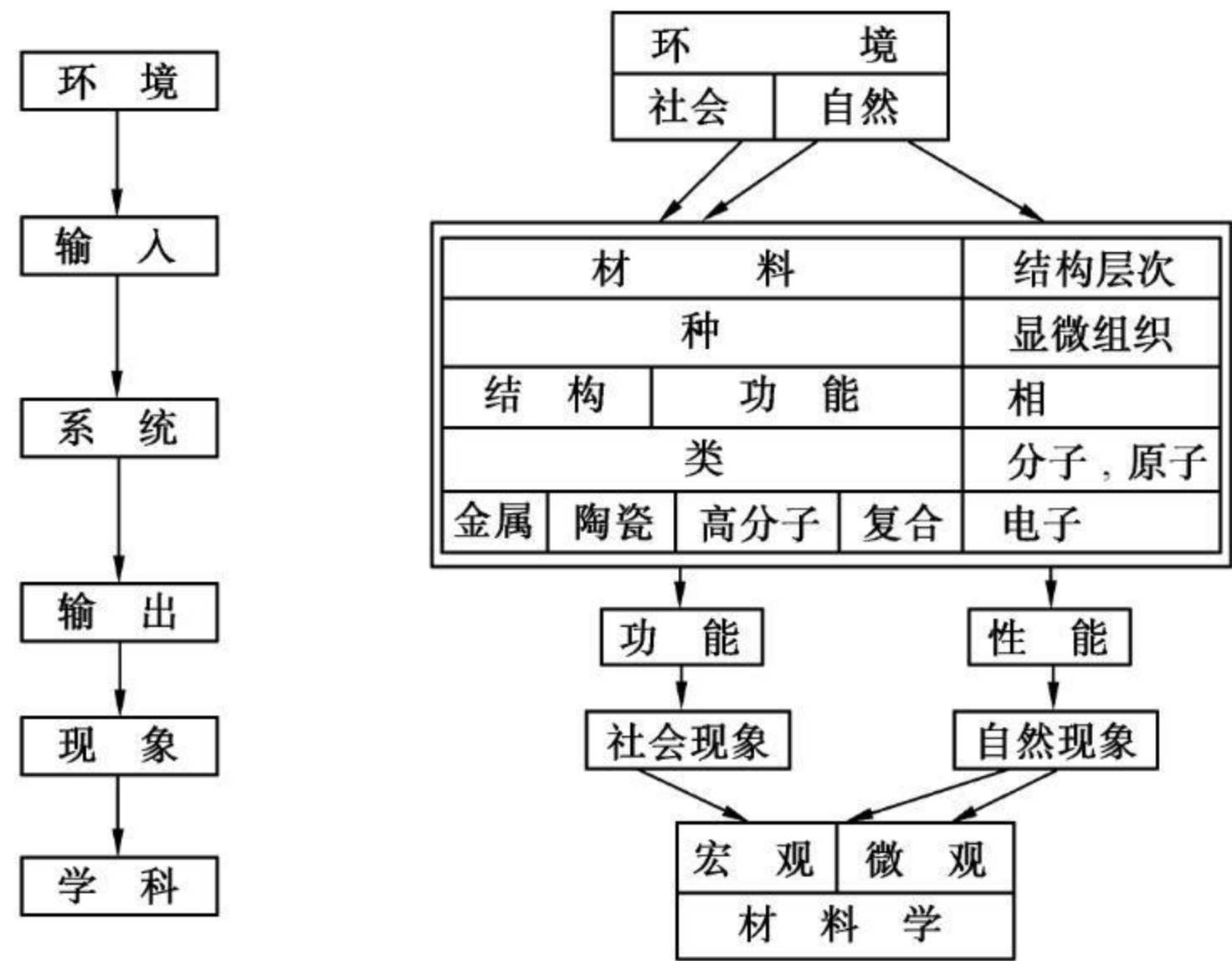


图 II .1 材料学的系统分析图

2 宏观材料学的结构

参照(1.23)关于事物结构(S)的定义,图 I .7 示出宏观材料学的 E 和 R,简释如下。在引言(1)及结论(6)之间,包括四大部分[(2)至(5)]:

(2)材料学方法论是指导和基础。包含两个分析(逻辑分析、系统分析)和纵横的两条线索(材料历史、简易材料论)。这四个命题已在第 I 篇的第 1 至第 4 章依次导论。

(3)生态材料。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。这两个根本转变是:经济体制从计划经济到社会主义市场经济;经济增长方式从粗放型到集约型。这两个基本战略是:可持续发展和科教兴国。图 II .2 示出“生态”和“知识经济”的重要性。

(4)材料经济是核心,科技法律是保证。有别于基础科学,技术科学必须考虑经济问题;因此,科技法律是保证。在市场经济的法治国家里,工农等实用学科的大学生,在校应有一些经济与法律的基础知识,便于日后工作。市场和法



治是无情而有理的，它们遵循经济学和法律学的道理。

(5)四方面应用。材料的选用、人才、科研和展望。

从第 6 章到第 12 章便依次地简论生态材料、材料经济、科技法律、材料科研、材料教育、材料选用、材料展望这七个宏观材料学问题。

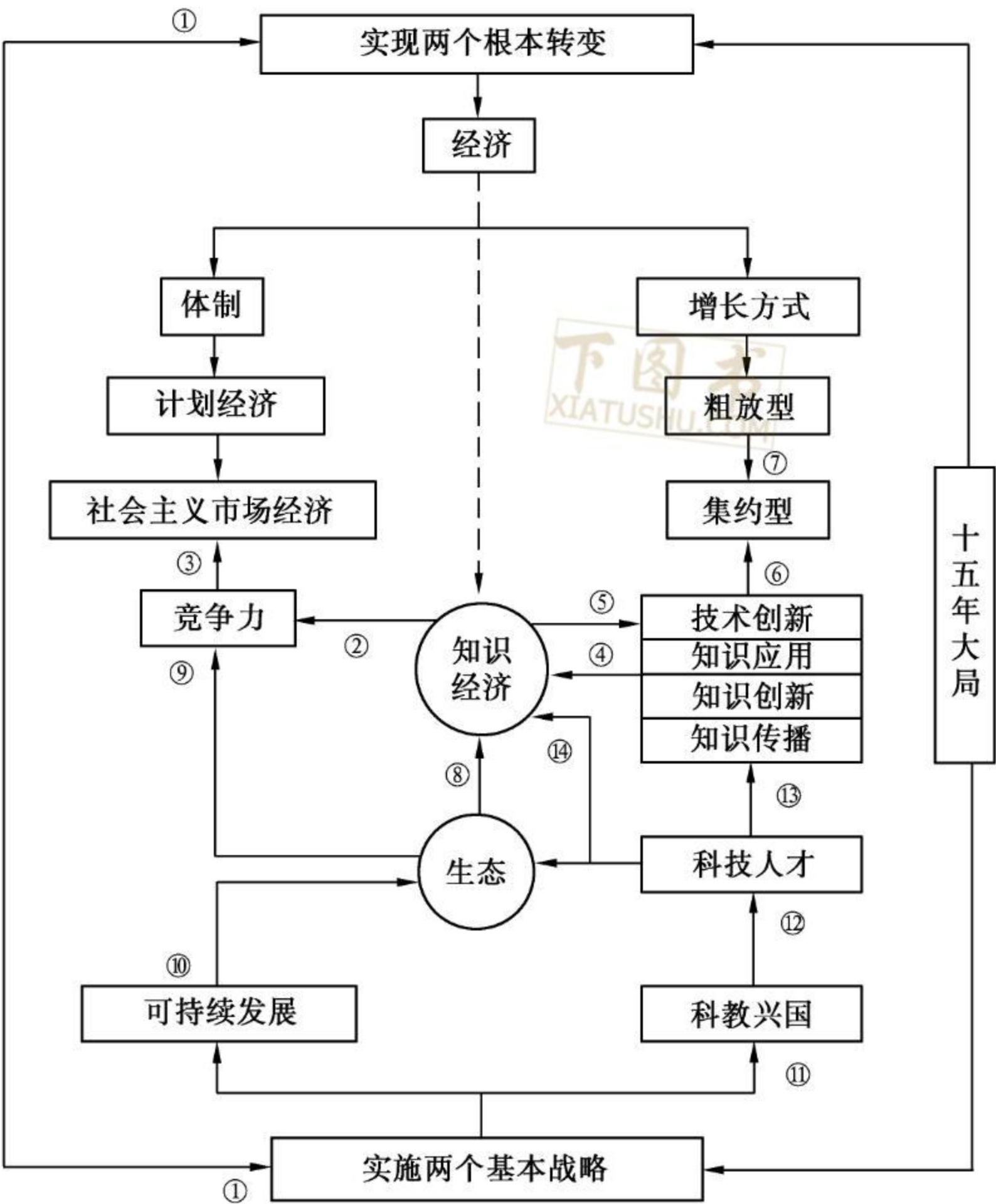


图 II .2 知识经济和生态在十五年大局中的位置([B44])

第 6 章 生态材料

([B34],[B43],[B44])

“我们只有一个地球。” (6.1)

本章将运用第 1、2、3 章所介绍的历史、逻辑、系统分析方法,遵循第 4 章所介绍的“简易”方式,论述生态材料。

1 历史回顾

人类从树上爬下来,开始两足直立行走,然后使用天然材料,制造工具,形成社会。开始时,对所捕获的野兽,只能“茹毛饮血”:

“昔者先王……未有火化,食草木之实,鸟兽之肉,饮其血,茹其毛。”(《礼·礼运》) (6.2)

随后,传说古帝燧人氏“钻木取火”,熟食而促人脑发达,制造及使用生产工具,积累了财富和文化,已经统治了地球,企图开发其他星球,进而统治整个宇宙。

与太阳的年纪(约 100 亿年)及生物圈(Biosphere)的年纪(约 38 亿年)相比,人类圈(Humanosphere)是太年轻了,仅约几万岁。物极必反,辉煌的人类文化难于持续;资源、能源、环境、人口等问题,已使人类步入自毁的边缘。为了解救这个困境,人类社会逐渐普遍地认识到“可持续发展”(Sustainable Development)的必要性,我国已将它与“科教兴国”并列为 1996 至 2010 年国民经济和社会发展的基本战略。

著者在业务实践中认知“生态材料”,也有一个发展过程。1957 年归国后的“低头拉车”年代,大跃进时,跟着大打麻雀;随后“围湖造田、增产粮食”,也认为是对的。20 世纪 80 年代,要求“抬头看路”,1980 年构造“材料学的方法论”时,学习国外的动向,定义了材料,引入了“人类社会所能接受地”这个状语[(1.7)],导出“环保”这个材料的第五个判据;随后,在大量的学术宣讲活动中,广为宣讲这个观点。

1996 年公布的《国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》中提出:为了实现两个根本转变,必须实施两个基本战略(参见图 II.2)。对于“可持续发展”战略对发展材料的指导作用,引起我治学的深思。

邻国日本,人众地小,国富而天然资源不博,对自然环境十分敏感:1992 年日本科技厅(STA)组织了 23 个产、学、研单位,实施“与环境协调的材料技术——Ecomaterials”国家计划;1993 年 8 月 31 日至 9 月 4 日在日本阳光城举行的第三次国际先进材料会议的 K 会场,专门讨论这类材料,收集了 11 个国家的 173 篇论文,其中 142 篇来自日本,首篇报告定义了 Ecomaterials (缩写为 ECOM):

“ECOM 是使环境载荷为最小、可循环性为最大而设计的材料。”(6.3)

此风西吹,1995 年 9 月 10 日至 15 日在我国西安,由中日双方联合主持召开了 ECOM 的国际会议,收集了 199 篇论文的详细摘要。会后,由日本科技厅选编了日、加、美、中、德、韩、法七个国家的作者 29 篇论文,出版了题为“可循环的材料设计及生态平衡的国际专题讨论会文集”,文集标题未用 ECOM;29 篇论文的标题,有 3 篇用 ECOM。

我学习了这些文章,审问和慎思后,于 1996 至 1999 年在《世界科技研究与发展》发表了 3 篇文章([B34],[B43],[B44]),这便是本章的基础,原始文献不再重列。

2 逻辑思考

2.1 环境与材料

当我们研究材料时,则材料是“系统”(s);材料是宇宙(u)的一部分,环绕材料的、宇宙的其余部分叫做“环境”(e);因此:

$$u = s + e \tag{6.4}$$

英文将“环境”叫做“Environment”(en + viron + ment),这个英文及中文名词,均使人们能顾名思义,做到了词以达意,也较文雅而不生硬。

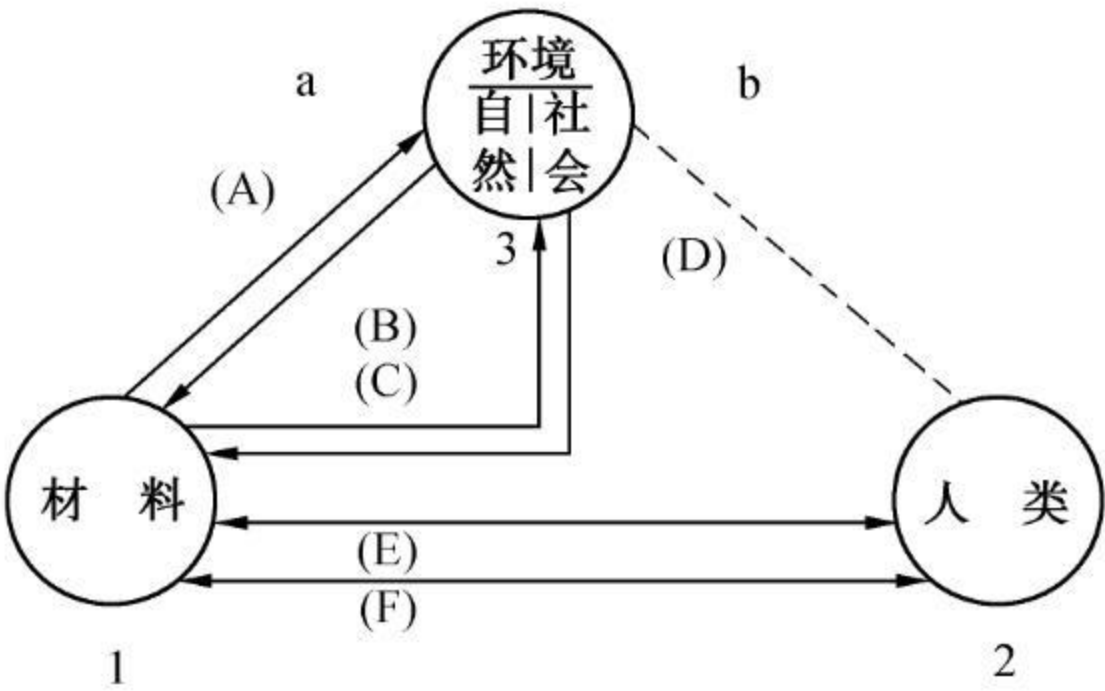


图 II .3 材料、人类、环境之间的关系

研究的对象(*s*)可以改变,则环境(*e*)也随之变化。如图 II.3 所示,存在四种可能的研究对象(*s*),则环境随之而变:

<i>s</i>	<i>e</i>	注 释
1	3	2 的自然属性及社会属性分别并入 3a 及 3b
2	3	天然材料及人工材料分别并入 3a 及 3b
3a	1, 2, 3b	
3b	1, 2, 3a	

天与地便是自然环境。

研究材料时,有如下的六种作用可包括在内:

- (A)材料对于自然环境的影响(1→3a);
- (B)自然环境对于材料的影响(3a→1);
- (C)材料对于社会环境的影响(1→3b);
- (D)社会环境对于材料的影响(3b→1);
- (E)材料对于人类的影响(1→2);
- (F)人类对于材料的影响(2→1)。

若将人类的自然属性及社会属性分别并入自然环境(3a)及社会环境(3b),则(E)及(F)删去,(E)并入(A)或(C),(F)并入(B)或(D)。

材料为人类社会奠基划代,它是人类社会的物质基础。依据它,人类社会被划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代等;材料与能源、信息、生物科学技术是支撑现代人类文明大厦的四大支柱;这些讨论属于(C)([A8]p1~5)。

国际政经形势和趋向,国内的有关立法和政策、经济体制和增长方式,国内的科教体制等,对材料工业有着巨大的影响,是宏观材料学研讨的内容([A8]p400~532,[A11]p22~30),属于(D)。

过去的材料工作者侧重研究自然环境以及人类环境所导致的力、声、热、光、电、磁及化学信息对于材料的敌对破坏作用,从而理解材料的有关性能,从环境和材料结构(即分别是外因和内因)两方面进行失效分析。这些工作属于(B)或(D)。

近几年受到注意的 Environment Conscious Material,简写为 Ecomaterials,可暂译为“环境意识材料”,即发展材料时,要意识到材料对于自然及社会环境的影响,它不是一类材料,而是分析材料从生到死的生命全过程(Life Cycle)对自然及社会环境的影响,属于(A)。

2.2 发展与增长

“发展”(Development)与“增长”(Growth)两个概念是有区别的,联合国秘书长吴丹于 1960 年提出:



$$\text{发展} = \text{经济增长} + \text{社会变革} \tag{6.5}$$

20 世纪 60 年代末以来,国际学术界普遍地同意这个观点,发展的意义较经济增长为广,还包括各种社会指标,即反映生活质量的非经济指标,如教育、健康、住房、犯罪、社会地位变化等。20 世纪 70 年代以来,未来学的研究结果指出:经济增长与人口增长、资源消耗、环境污染等因素之间的关系;对世界的发展战略提出看法。20 世纪 80 年代中期,欧洲一些国家提出“可持续发展”一词;1989 年 5 月联合国环境署第 15 届理事会达成共识:

$$\text{“可持续发展系指满足当前需要而又不削弱子孙后代满足其需要之能力的发展。”} \tag{6.6}$$

1992 年的联合国环境与发展大会以“可持续发展”为方针,通过了《21 世纪行动议程》和《里约宣言》。我国八届全国人大第四次会议于 1996 年 3 月通过了《国民经济和社会发 展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》(以下简称《纲要》),提出要认 真实施可持续发展战略。

2.3 材料的定义和判据

“材料”是一类“物质”,不是所有的物质都是材料。在逻辑上,“物质”是“属”、“材料”是“种”:

$$[\text{属}] > [\text{种}]; [\text{属}] \neq [\text{种}] \tag{6.7a}$$

$$[\text{物质}] > [\text{材料}]; [\text{物质}] \neq [\text{材料}] \tag{6.7b}$$

采用(属 + 种差)这种定义的方法,必须确定“材料”这种“物质”,与不能叫做材料的那些物质之间的差异。在材料领域内长期的实践和思考,我们归纳出性能、经济、资源、能源、环保五个因素,即:

(1)材料必须具备为人类服役的使用性能,如强度、韧性、耐蚀性、导电性等;材料是一种产品,必须具备好的工艺性能,便于它的生产和使用;二者并称为性能。

(2)材料是一种商品,需要在市场上出售,在市场经济体制下,必须成本低,价格低。这个经济因素与上述的性能因素合并,便是俗称的“物美价廉”,才在市场上有强大的竞争力。

(3)发展材料:必须考虑国内及世界上正在耗竭的自然资源,注意到废料可以是再生资源;20 世纪 70 年代初的中东能源危机,促使人们重视能源这个因素;材料工业中的“三废”(气、水、料)严重地损害了人类的生活及生存环境,为了人类的今天及后代,必须保护环境,简称为环保。上述三个因素并称为环境因素。

上列五个因素便是材料的判据,判断物质是否为材料的依据。从这些依

据,1983 年,我们尝试提出如下的定义,并在随后的著作及演讲中广为交流:

“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)

“物质”是“属”,它前面那个包括状语的定语,便是表述判据的“种差”。定义和判据的关系如图 II .4 所示。

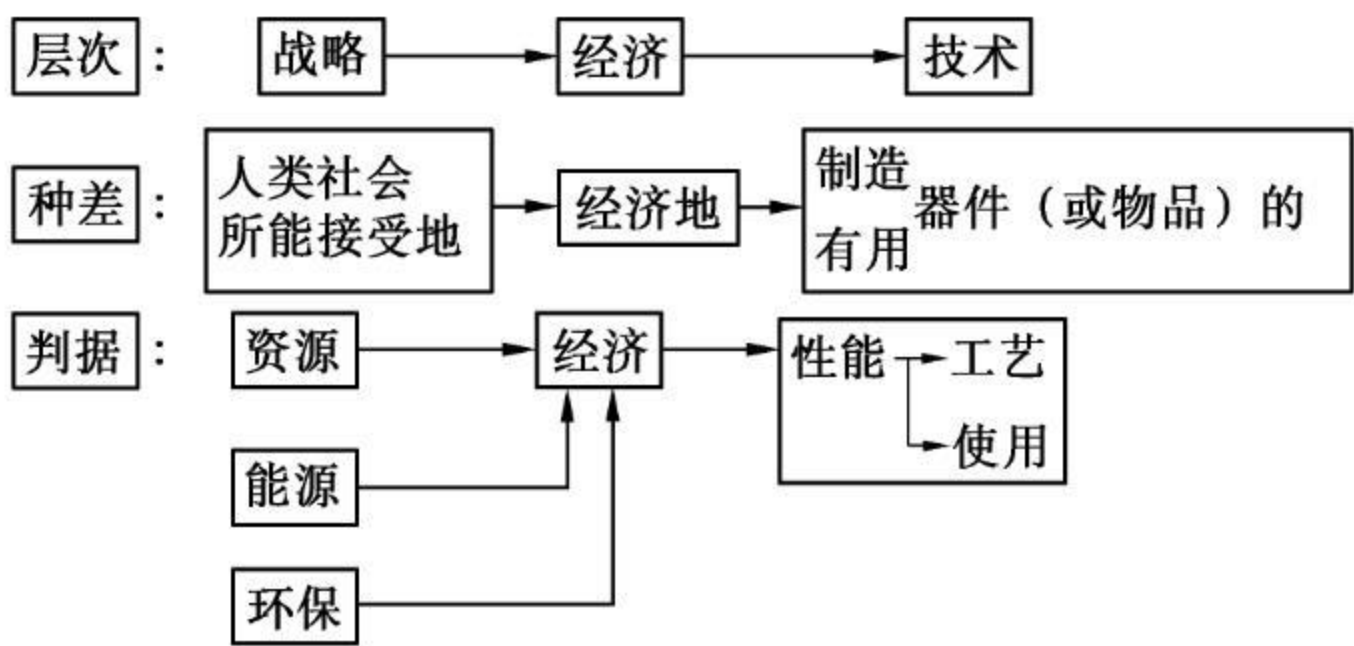


图 II .4 材料的现代判据

2.4 生态

2.4.1 顾名思义或望文生义

“生”是生物？生命？生育？生长？生存？生活？它们之间有密切关系，因为生物都有上列的一系列从生到死的问题。人也属于生物，也可被收容在内；但“人”中先生、后生、学生、小生等，也含有“生”字，在这里，似不限于这些特殊的人。

“态”可理解为“状态”，或扩充为“性态”，即“性质”和“状态”。顾名思义，则“生态”之义为“生物的性质”。这种方法有时会引起误解；宜溯源，并尊重学术界已有的含义，再思考能否引申。

2.4.2 溯源及定义

《辞源》中无“生态”及其衍生词，看来，它是 1840 年以后出现的。确是如此，德国生物学家于 1866 年提出“Öcologie”，英译名为“Ecology”，其定义在随后的“The American Heritage Dictionary of the English Language”(1978)及“Webster’s Ninth New Collegiate Dictionary”(1984)中均包含“生态学”及“生态”两个意义：

“Ecology。生态学是研究生物及其环境之间关系的科学。也叫做‘Bionomics’。” (6.8)

“Ecology。生态是生物与它们环境之间的关系。” (6.9)

生态学的显著特点在于它强调生物与环境之间的相互关系，强调整体论与还原论、微观与宏观、硬技术与软科学的融合，强调系统整体功能与自然关系的协调。

以 eco-或 ecological 组合的衍生词不少,从五本词典,可获 ecocide(生态破坏)、ecoclimate(生态气候)、ecological factor(生态因素)、ecosystem(生态系统)、ecosphere(生态圈)、ecovalue(生态价)等 24 个新词;我曾将“Ecomaterials”叫做“生态材料”。这些新词属于包括“环境”与“系统”的大系统问题;是大综合地观察问题,可避免一些片面性。

2.4.3 划分及引申

按不同标准,可将生态学划分为若干分支,从而明确它的外延。例如:

- (1)研究对象的组织层次——个体、种群、群落、生态系统生态学等;
- (2)栖息环境——海洋、草原、森林、农田、景观、工矿、城镇生态学等;
- (3)产业——农业、工业、商业生态学等;
- (4)交叉学科——生理、心理、进化、化学、数学、材料、经济、社会生态学等。

生态及生态学已在两方面而引申:

(1)生——原意的“生”是非人类的生物,但人也是一大类生物,他及她与他们的生存环境之间的关系,应该是人类最关心的生态。

(2)环境——原意侧重于自然环境,人类组成了社会,人事的生态不得不包括社会(包含人文)环境。

由于上述的引申,就出现人类生态、学校生态、金融生态、经济生态等。因此,定义(6.9)由于引申,可具体化为如下两点:

- (1)生态是人、事、物与其自然和社会环境之间的关系;
- (2)生态综合地考虑[(人、事、物)—(自然、社会、环境)]组成的巨系统。

广义生态学的研究范围广泛,研究方法通用;是人类在 21 世纪治理西方工业革命由于掠夺自然所带来的危害的重要工具。

2.5 生态材料(Ecological Material)

“Ecomaterials”一词为日本学者取英文复合词“Environment Conscious Materials”中定语的开头一、二字母 E 及 CO 组合而成。知其源,则此词中直译为“环境意识的材料”,随后,逐次简化为“环境意识材料”及“环境材料”。

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”一词来的曲折,若返回而译为英语,则为“Enviroment Materials”。人们研究材料的行为时,则“环境”为这种变化的外因,而材料本身(结构)为变化的内因,用“外因”作“内因”的定语,是否恰当?值得商榷。可有“材料的环境”,而“环境的材料”难于理解。

ECOM 中的 ECO 也可是“Economics”的缩写,从而会误解为“经济材料”,又非定义(6.3)的本意。也可将错就错,也许歪打正着,认为 ECO 是“Ecology”(生

态学)或“Ecological”的缩写,则 ECOM 便是“生态材料”([C15]p512)。或者感情用事,将“生态材料”叫做“绿色材料”([C15]),用“绿色”指示“生态”也较时髦,如“绿色能源”、“绿色农药”、“绿色化学”、“绿色冶金”(利用植物来富集金属)、“绿色机器”(零件易于拆卸翻新而回收的机器)等。但城市交通、机场候机室等已广泛使用“绿色通道”,“绿色”已有用处。

生态学有确切的科学含义,而绿色则较浪漫,且易误解。此外,支撑现代人类文明大厦的,似应为能源、信息、材料、生物科学技术([A8]p1~5)四大支柱,而不是只指前三者的三大支柱。通过能源材料、信息材料及生物材料(包括生态材料、仿生材料、人体器官材料、医疗材料等),材料科技便可分别与这三门有关的科技交叉结合了。交叉地带是学术上可以丰收的地带,而结合可孕育出新的品种。

综上所述,在“Ecomaterials”的三个译名——环境材料、绿色材料、生态材料——中,我倾向于采用第三者。在下面,简论它的外延和重要的研究领域。

2.6 外延和研究领域

2.6.1 环境

当我们研究“生态材料”时,生态材料便是“系统”,这个系统特别重视它与人类生态环境之间的关系。从这种关系,可将生态材料的问题和关键课题划分为若干类,从而理解生态材料的外延。

首先,生态材料是人类采伐(天然材料)或制造的(人工材料)的,并为人类服役;而人类又是生活在太阳系中地球上;因此,在考虑生态材料与环境之间关系时,应重视如下四点:

(1)环境应包括人所构成的社会环境,因而就有人文、政经因素对于材料的影响。

(2)对于自然环境中的矿产资源、能源、水源等,需要考虑人口的影响,有人均参量来补充分析。

(3)材料生产和使用过程中所排放或弃置的固态、液态、气态废物对环境污染的影响以及这“三废”的处理和利用。

(4)不仅要抑制环境对材料的敌对破坏作用,还要设法利用环境对材料的有益作用,并且保护环境,使材料与环境能协调相处,尽力维持生态平衡。

其次,对于生态材料的研究,要克服忽视经济因素和社会环境影响的纯技术倾向。

第三,生态材料(Ecomaterials)并不是一大类材料,只是在开发材料时,包括从设计、生产、使用、弃置、回收各个阶段,都要考虑生态问题,即对人类生存及



生活环境的影响。这种影响叫做“环境载荷”(Environmental load, 定义(6.3)), 即所采用的地球上自然资源和能源尽可能少, 并尽可能多地回收。所排放或弃置的、污染环境的废物尽可能少, 则环境载荷少, 这便是要主动地遵守图 II.4 所示的材料三个战略性判据——资源、能源及环保。

能源材料和信息材料可分别按照能源和信息类型而划分, 生态材料则不然, 它提出一个应主动采用的、有益的重要概念, 对现代人类来说, 在一般情况下, 适用于所有的材料。因此, 难于采用一个标准来划分生态材料; 但是, 我们可从“人文社科”和“科学技术”两方面来陈述“生态材料”这个概念的外延, 从而明确重要的研究领域。

2.6.2 人文社科问题

人文学主要包括文、史、哲; 社会科学则主要包含政、经、社。现从这两方面提出六点管见, 供商榷。

(1) 历史

学者大多重“史”。回顾在材料方面人类与自然环境之间关系的历史, 是有借鉴意义的; 人类为了生存、生活和更舒适的生活, 这种关系大致经历三个阶段:

①适应·改变。开始时, 使用适于人类生存的天然材料; 随后, 发展违背大自然意愿的人工材料, 特别是金属材料, 或调整材料的成分和结构, 或改变材料的工作环境, 如添加缓蚀剂、施加表面层压应力、热阻挡层、电磁屏蔽等, 分别改变材料工作时的化学、力学、热学、电磁学等环境, 抑制材料因腐蚀、断裂、磨损、软化、熔化等原因而失效, 使材料延年益寿。

②利用·学习。随后, 人类聪明一些后, 可使坏事变好事, 利用环境的破坏作用, 如利用电化学腐蚀进行抛光或精密加工, 利用脆性断裂制备金属细粉, 利用环境和耗散结构理论制备智能材料。向大自然的木材、竹材、贝壳、蛛丝等的结构学习, 开发仿生材料。

③保护。人类面临人口的迅速膨胀、资源和能源的高度贫乏及环境的严重污染的局面, 开发、生产和使用材料, 必须十分重视环境的保护, 使之符合可持续发展的原则。

(2) 哲理与伦理

中国的正统哲理是《易传》中的“自强不息”和“厚德载物”, 向自然(天地)学习:

“天行健, 君子以自强不息。” (6.10)

“地势坤, 君子以厚德载物。” (6.11)

在伦理上, 强调勤俭顺从, 以暴弃天物为可耻。西方强调个人, 在“物竞天

择、适者生存”的影响下,竞争并向海外掠夺,在殖民地财富的滋育下,尽情消费,浪费资源,污染环境。当代,殖民地时代一去不复返,南北国家走在一起来了。为了保护共同生活的地球,各国共同参加人类环境会议,通过《联合国人类环境宣言》和“行动计划”,在对于环境的哲理和伦理上,至少在书面上取得若干共识。在一些双边会议上,也反映了一些共识。例如,中国科学院和美国全国科学院于1997年1月16日发表了关于可持续发展的联合声明。首先,指明了重要性:

“中、美两国特别应当为应用科学技术来实现可持续发展,以便更好地为利用世界三分之一资源的目标而共同努力。” (6.12)

其次,阐明各自努力的方向:

“中国具有独特的人口及资源条件……必须创造性地开拓自己可持续发展的道路。” (6.13)

“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。” (6.14)

最后,指明两国共同面临的议题:

“可再生资源、节能、农业生产力的可持续发展和有效利用水资源,是中、美两国共同面临的一些重要议题。” (6.15)

(3)经济

《纲要》指出,要实现两个根本转变:经济体制从传统的计划经济体制向社会主义市场经济体制转变;经济增长方式从粗放型向集约型转变。

第一个转变使材料的“经济”判据自动地得到满足。在市场经济体制下,材料从“产品”转变为“商品”,从国家分配变为市场上竞争销售,材料这个商品,除性能好(“物美”)之外,还必须“价廉”,因此就必须有一个“经济”判据。

“粗放型”产品的特点是“三高一低”,满足不了除性能以外的其他四个材料判据。因此,实现第二个转变,便可解决这个问题。

实施“可持续发展”这个基本战略,可充分考虑生态的要求,保证了生态材料的要求;而实施“科教兴国”这个基本战略,分别从科技和人才两方面保证我国各项事业的发展。

(4)法律

各种措施,必须有法律来保证。材料工作者也必须学习有关法律,主动遵守,避免无知犯法。国外一些工学院规定大学生必修法律方面课程,可供借鉴。

(5)宣传教育

提高干部和国民的人文素质,这是十分必要的。发达国家走过的“先污染后治理”道路,是一个教训,是一种错误;我们要发扬“后发展”的优势,我们不应