

动。自然,作这种移动时,还应该考虑工具形状及热处理工艺是否适当,同时还应该考虑其他的工艺性能,例如加工及切削性等。

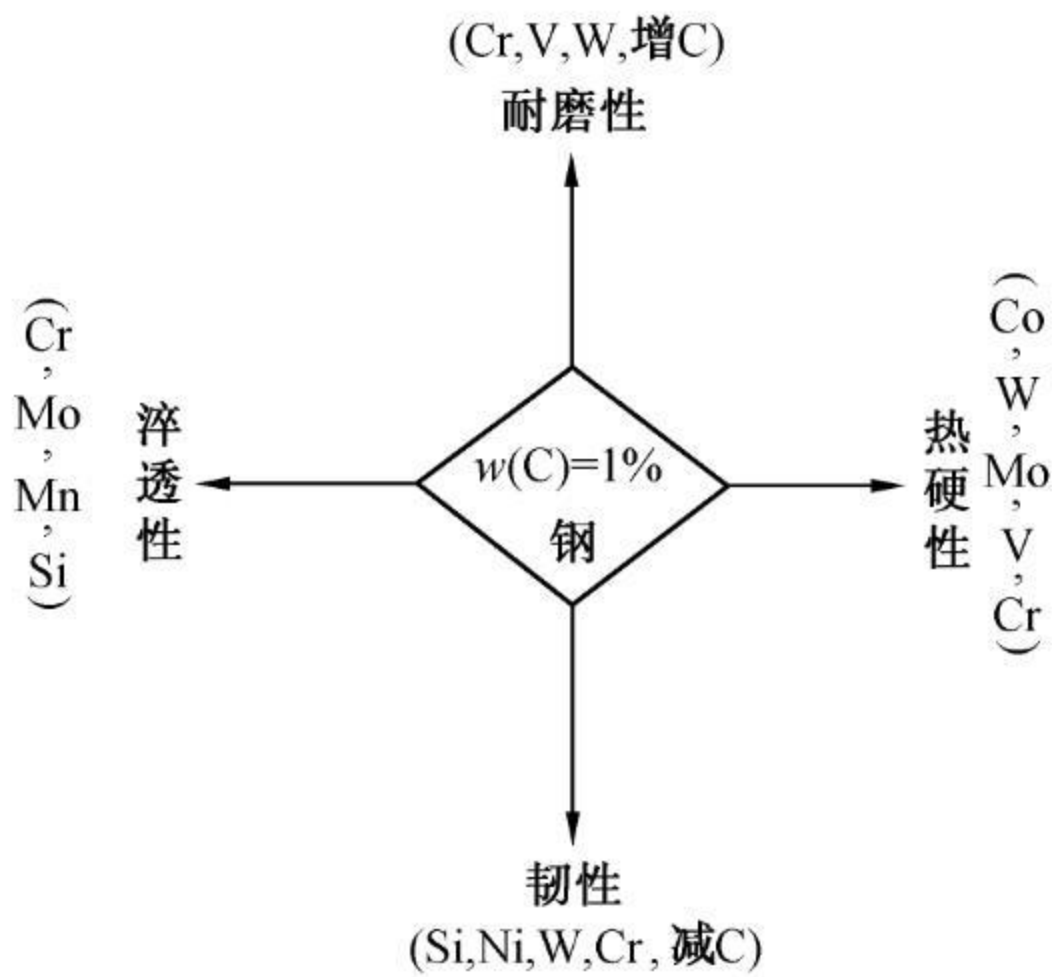


图 II .38 改善  $w(C)=1\%$  的工具钢性能的方向及合金元素的影响

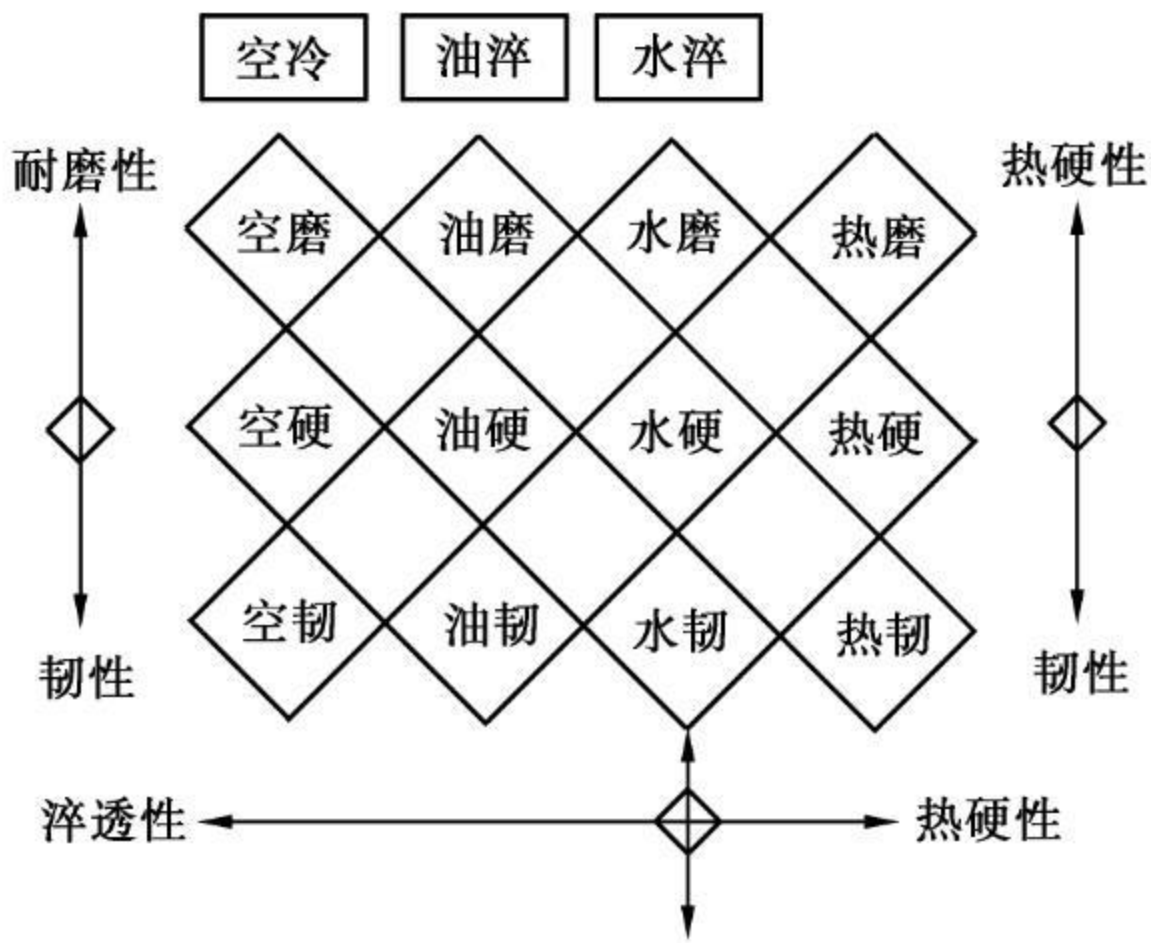


图 II .39 工具钢的分类

值得指出,图 II .39 及图 II .40 中的耐磨性、韧性及抗热软化性只是相对的,不应该将同一水平线上钢种的韧性及耐磨性看做相等;而耐热工具钢虽列于同一垂直线上,也不表征它们的耐热软化性相等。根据国外一些比较性的数据,图 II .41 较为正确地表示它们间的相对关系。

本节所介绍的三种方法,首先考虑性能是否能满足使用及工艺要求;对于性能都能满足要求的各种材料,当然是选用价格或成本最低的材料。下一节将从经济角度讨论选材的方法,即成本选材法。

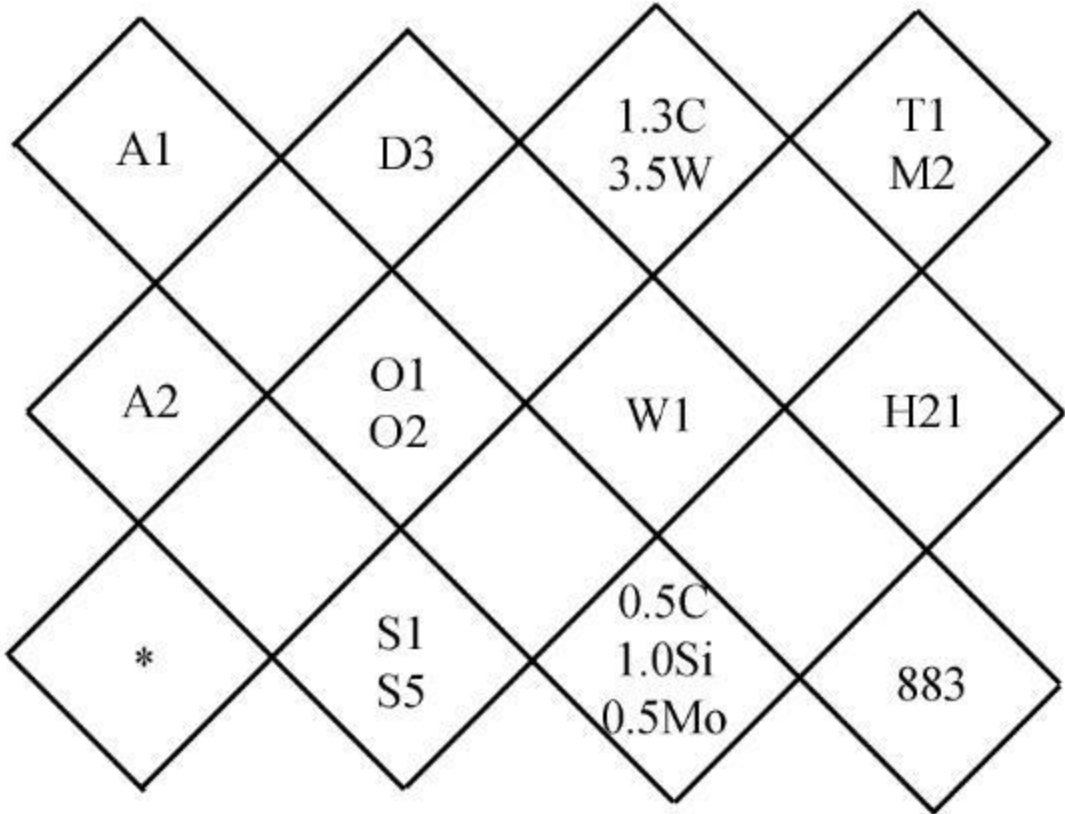


图 II .40 美国工具钢的分类

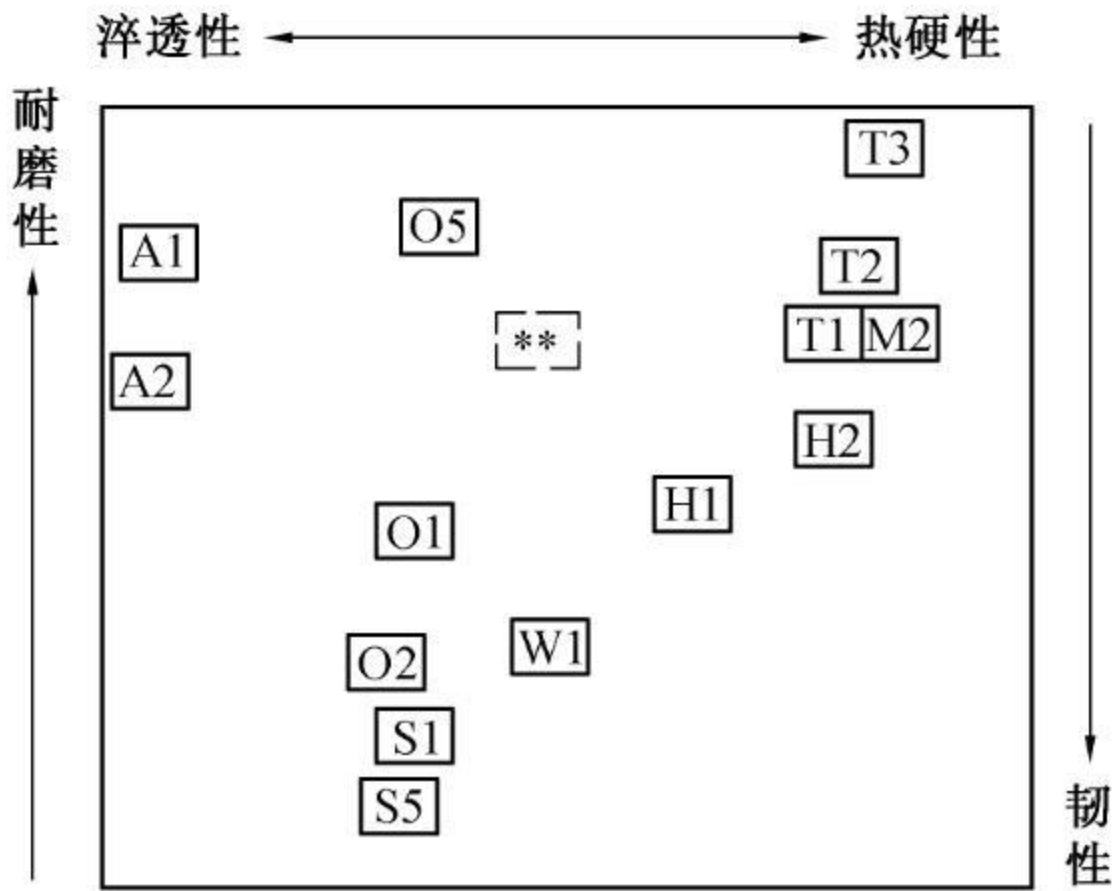


图 II .41 美国工具钢的相对性能图[ C32]



表Ⅱ.7 典型工具钢的化学成分<sup>①</sup>

类型	质量分数/%								美	前苏	商业牌号
	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	W	Co			
水硬	1.00	—	—	—	—	—	—	—	W1	y10	No.11 Special
	1.00	—	—	—	0.25	—	—	—	W2	—	—
水磨	1.30	—	—	—	—	—	3.5	—	—	—	K-W
水韧	0.50	—	1.0	—	—	0.5	—	—	—	—	Solar
油硬	0.90	1.00	—	0.5	—	—	0.5	—	O1	9×B1	—
	0.90	1.60	—	—	—	—	—	—	O2	—	Stentor
油磨	2.10	—	—	12.0	—	—	—	—	D3	X <sub>12</sub>	Hampden
	2.25	—	—	12.0	—	1.0	—	—	D4	—	—
	1.50	—	—	12.0	—	1.0	—	—	D2	—	—
油韧	1.00	—	—	12.0	—	1.0	—	—	D1	—	—
	0.50	—	—	1.5	—	—	2.5	—	S1	—	—
	0.50	0.80	2.0	—	—	0.4	—	—	S5	—	—
	0.75	—	—	1.0	—	—	—	1.75	—	—	RDS
空硬	1.00	—	—	5.0	—	1.0	—	—	A2	—	No.484
空磨	1.50	—	—	12.0	0.9	0.8	—	—	—	—	No.610
	1.25	—	—	5.0	1.0	1.0	—	—	A3	—	—
空韧	0.70	2.00	—	1.0	—	1.4	—	—	—	—	Vega
热硬	0.35	—	—	3.5	—	—	9.5	—	H 21	—	T-K
	0.35	—	—	5.0	0.4	1.5	1.5	—	H 12	—	—
热磨	0.70	—	—	4.0	1.0	—	18.0	—	T1	P18	Star-Zenith
	0.85	—	—	4.0	2.0	—	18.0	—	T2	—	—
	0.85	—	—	4.0	2.0	5.0	6.3	—	M2	—	—
	0.80	—	—	4.0	1.5	5.0	4.0	12.0	M6	—	—
热韧	0.40	—	1.10	5.0	0.9	1.4	—	—	—	—	No.883

①Carpenter Steel Co.

3 成本选材法

对于消费材料的单位,若制造工艺的费用没有差异,则从材料的成本或购买费用,可选用不同的参量选用材料(3.1节);否则,需综合考虑材料和工艺费用来选用材料(3.2节)。

3.1 材料成本法

若制造工艺的费用没有差异,则使用材料的单位对不需要热处理的钢种,





采用不同的经济参数来比较和选用。

- (1) 等强度的相对质量  $R_{u\sigma}$ ;
- (2) 等刚度的相对质量  $R_{u\Delta}$ ;
- (3) 等强度的相对成本  $R_{c\sigma}$ ;
- (4) 等刚度的相对成本  $R_{c\Delta}$ 。

设计时若使用屈服强度,则计算  $R_{u\sigma}$  及  $R_{c\sigma}$  时,选用屈服强度。刚度用变形量  $\Delta$  来表述,载荷相同时,则  $\Delta$  越大,刚度越小。很容易看出,变形及所需要的屈服强度因负荷方式而不同,并与结构部件的几何形状有关。例如,直径为  $D$ 、长度为  $l$  的圆柱形部件,当中心拉伸负荷为  $F$  时,其拉伸变形量  $\Delta_t$  及拉伸应力  $\sigma_t$  分别为:

$$\Delta_t = \frac{Fl}{AE} = \frac{4Fl}{\pi D^2 E} \quad (11.6)$$

$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (11.7)$$

式中,  $A$  为截面积,  $E$  为杨氏模量。如这种圆柱形部件作为简单横梁使用,中心负荷仍为  $F$ ,而支点间距为  $l'$ ,则最大弯曲量  $\Delta_b$  及最大应力  $\sigma_b$  分别为:

$$\Delta_b = \frac{Fl'^3}{48EI} = \frac{4Fl'^3}{3\pi ED^4} \quad (11.8)$$

$$\sigma_b = \frac{MY}{I} = \frac{32M}{\pi D^3} \quad (11.9)$$

式中,  $M$  为挠矩,  $I$  为转动惯量,  $Y$  为距中心轴的距离。

如  $C$  为单位质量的成本,  $\rho$  为密度,  $\sigma_s$  为屈服强度,令下标 1 及 2 分别代表两种钢号,则在上述两种情况下,可以计算各种经济参数。表 II.8 列出这些结果,在计算时,假定 1 号钢的各种参数为 1。从这些数据可以看出,当  $E_1 \approx E_2$  及  $\rho_1 \approx \rho_2$  时,如 2 号钢为强度大而成本高的低合金高强度钢,即  $C_2 > C_1$ ,  $\sigma_{s2} > \sigma_{s1}$ ,从质量参数考虑,  $(R_{u\sigma})_2$  虽然大于  $(R_{u\sigma})_1$ ,但  $R_{u\Delta}$  却没有区别。从成本参数考虑,2 号钢不一定比 1 号钢经济:  $(R_{c\Delta})_2 > (R_{c\Delta})_1$ ; 而  $(R_{c\sigma})_2$  是否小于  $(R_{c\sigma})_1$ ,

则取决于  $\left[ \frac{\sigma_{s1}}{\sigma_{s2}} \right]^n$  是否小于  $\left[ \frac{C_1}{C_2} \right]$ ,  $n$  随部件的形状而异。

现以单轴拉伸为例,说明表 II.8 中数据的计算方法。从(11.7)得知  $D \propto (1/\sigma_t)^{1/2}$ ,在等强度的判据下,材料的屈服强度  $\sigma_s$  大时,则所需  $D$  值小:

$$\frac{D_2}{D_1} = \left[ \frac{\sigma_{s1}}{\sigma_{s2}} \right]^{1/2} \quad (11.10)$$

材料的体积  $V = lA = l(\pi D^2/4)$ ,  $l$  相同时,  $V \propto D^2$ , 故:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left[ \frac{D_2}{D_1} \right]^2 = \frac{\sigma_{s1}}{\sigma_{s2}} \quad (11.11)$$



材料的质量  $W = V \times$  密度  $\rho$ , 则:

$$R_{w\sigma} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{V_2}{V_1} \times \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\sigma_{s1}}{\sigma_{s2}} \times \frac{\rho_2}{\rho_1} \tag{11.12}$$

材料的成本  $C = W \times$  单位质量的价格  $C$ , 故:

$$R_{c\sigma} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{\sigma_{s1}}{\sigma_{s2}} \times \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{C_2}{C_1} \tag{11.13}$$

虎克定律指出:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F}{A} \times \frac{l}{\Delta_t} \tag{11.14}$$

从上式及(11.7) 得到:

$$\Delta_t = \frac{Fl}{AE} = \frac{4Fl}{\pi D^2 E} \tag{11.15}$$

在等刚度的判据下, 而  $F$  及  $l$  又相同, 则:

$$D \propto (1/E)^{1/2} \tag{11.16}$$

故:

$$R_{w\Delta} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{V_2 \rho_2}{V_1 \rho_1} = \frac{D_2^2 \rho_2}{D_1^2 \rho_1} = \frac{E_1}{E_2} \times \frac{\rho_2}{\rho_1} \tag{11.17}$$

$$R_{c\Delta} = \frac{E_1}{E_2} \times \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{C_2}{C_1} \tag{11.18}$$

对于碳素及低合金结构钢,  $E_1 \approx E_2, \rho_1 \approx \rho_2$ 。表 II. 8 中结构钢的关系式, 采用了这种近似。

从上面的分析, 可以得到如下几点看法:

(1) 用低合金高强度钢代替碳钢, 屈服强度提高了, 只在等强度的判据下, 可以节约钢材, 节约的程度与屈服强度的比值也因载荷方式而不同, 不能因为屈服强度提高 30% 就认为能节约钢材 30%。若使用等刚度判据, 并不能节约钢材。

(2) 使用强度高的钢种, 若采用等刚度判据, 肯定会增加成本; 若采用等强度判据, 是否有经济效益, 取决于屈服强度的比值及钢材价格的比值。

(3) 对于交通运输, 例如车辆、船舶等用钢, 为了减少运输费用, 增加运输量, 应该考虑采用  $R_{w\sigma}$  及  $R_{w\Delta}$ ; 对于固定结构, 例如桥梁、房屋等, 则应使用  $R_{c\sigma}$  及  $R_{c\Delta}$ 。至于改用钢种所引起的经济效益的分配, 则随经济体制的不同(例如计划经济、商品经济等), 而有不同方法。

(4) 上面的分析只考虑材料的屈服强度和变形, 在下面, 将结合材料工艺综合地分析成本。若有低温韧性、大气腐蚀、可焊性、耐磨性等问题, 则应参考第 2 节的方法, 将这些因素作为约束条件, 或采用第 4 节的多目标选材法。

表 II . 8 材料经济参数的计算公式<sup>②</sup>

公式	部 件 及 载 荷	可变尺寸 <sup>①</sup>	$R_{\sigma}$ <sup>③</sup>	$R_{u\Delta}$ <sup>③</sup>	$R_{\sigma}$ <sup>③</sup>	$R_{c\Delta}$ <sup>③</sup>
一般公式	受拉或受压的圆柱体	$D$	$[\rho]/[\sigma_s]$	$[\rho]/[E]$	$[\rho][C]/[\sigma_s]$	$[\rho][C]/[E]$
	受弯或受压的圆柱体	$D$	$[\rho]/[\sigma_s]^{2/3}$	$[\rho]/[E]^{1/2}$	$[\rho][C]/[\sigma_s]^{2/3}$	$[\rho][C]/[E]^{1/2}$
	受压的细长圆柱体	$D$	—	$[\rho]/[E]^{1/2}$	—	$[\rho][C]/[E]^{1/2}$
	受弯、扭或内压的圆柱管	管壁厚	$[\rho]/[\sigma_s]$	$[\rho]/[E]$	$[\rho][C]/[\sigma_s]$	$[\rho][C]/[E]$
	受弯的矩形截面板	板 厚	$[\rho]/[\sigma_s]^{1/2}$	$[\rho]/[E]^{1/3}$	$[\rho][C]/[\sigma_s]^{1/2}$	$[\rho][C]/[E]^{1/3}$
近似公式 <sup>④</sup>	受拉或受压的圆柱体	$D$	$1/[\sigma_s]$	1	$[C]/[\sigma_s]$	$[C]$
	受弯或受压的圆柱体	$D$	$1/[\sigma_s]^{2/3}$	1	$[C]/[\sigma_s]^{2/3}$	$[C]$
	受压的细长圆柱体	$D$	—	1	—	$[C]$
	受弯、扭或内压的圆柱管	管壁厚	$1/[\sigma_s]$	1	$[C]/[\sigma_s]$	$[C]$
	受弯的矩形截面板	板 厚	$1/[\sigma_s]^{1/2}$	1	$[C]/[\sigma_s]^{1/2}$	$[C]$

① 变动部件尺寸,保持等强或等刚度。② 文献[C33],p182 ~ 187。③ 材料 1 的经济参数为 1,求材料 2 的  $R$  值。

④ 近似公式适用于同类材料,如结构钢。 $[\sigma_s] = \sigma_{s1}/\sigma_{s2}; [C] = C_2/C_1; [\rho] = \rho_2/\rho_1; [E] = E_2/E_1$ 。







3.2 生产成本法

从原材料制成部件全过程的成本分析,提供选材的另一种方法。

汽车工业消费大量材料,主要是金属材料。以美国汽车工业为例,从 20 世纪 60 到 70 年代,汽车所用塑料从小于 1% 也只增到 4%。但由于塑料易于成形和装配,特别是降低质量,已使美国 80 年代的某些牌号汽车塑料用量达到 10%。

选用塑料制造汽车部件时,除使用性能需要满足要求外,对生产成本要进行计算和比较,计算结果为选材的依据,并提供成本的组织和各项的敏感性。

表 II .9 以汽车用冷却风扇叶片为例,列出成本所包括的项目及其占总成本的百分数。计算时,输入如下信息:材料及其价格,部件的几何形状、质量及产量,和其他数据,代入计算方程,由计算机输出如表 II .9 所示的结果。

表 II .9 塑料制造汽车用冷却风扇叶片的成本分析<sup>①</sup>

工 艺	注射成形		压制成形		反应注射成形	
成 本	每件/ \$	占总/ %	每件/ \$	占总/ %	每件/ \$	占总/ %
变动成本						
材料费	1.551	56.3	1.591	82.9	1.829	64.4
电 费	0.052	1.9	0.038	2.0	0.045	1.6
直接工人费	0.063	2.3	0.086	4.5	0.114	4.0
小 计	1.666	60.5	1.715	89.4	1.988	70.0
固定成本						
主机费	0.209	7.6	0.038	2.0	0.176	6.2
模具费	0.443	16.1	0.039	2.0	0.320	11.3
管理费	0.254	9.2	0.041	2.2	0.197	6.9
建筑费	0.019	0.7	0.014	0.7	0.008	0.3
装置费	0.021	0.8	0.006	0.3	0.018	0.6
辅助设备费	0.027	1.0	0.020	1.0	0.034	1.2
维持费	0.006	0.2	0.001	0.1	0.007	0.2
投资利息费	0.111	4.0	0.043	2.2	0.092	3.2
小计	1.090	39.5	0.203	10.6	0.851	30.0
总成本	2.756	100.0	1.919	100.0	2.839	100.0
原材料价/( \$ ·lb <sup>-1</sup> ) <sup>②</sup>	1.68		1.66		1.66	
材料报废率/ %	0.04		0.06		0.18	
每年直接工时/(人·时 <sup>-1</sup> )	2 264		3 089		4 069	
直接工人数	4.2		5.7		4.5	
模中工件数	8		6		10	
成件时间/s	54.0		40.0		121.1	
机器开工率/ %	30.6		30.8		51.4	
模具寿命/年	1.11		1.05		1.74	
厂房面积/ft <sup>2</sup> <sup>③</sup>	3 378		2 511		1 404	

其他数据:产量—每年 50 万件;单件质量—0.90 lb;直接工人的工资—每时 \$ 14;电费—\$ 0.060/(kW·h);利息(年)—10%;材料—尼龙 + 30%(质量分数)玻璃。

①[C34]。②1 lb(磅) = 0.45 kg。③1 ft<sup>2</sup>(平方英尺) = 9.29 × 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>。



使用这种方法的步骤如下(以表 II.9 为例):

#### (1) 市场调查

从市场上已有的 23 种材料中,挑选使用性能可满足要求而价格较低的几种作为候选者。

#### (2) 工艺分析

对候选材料可能采用的工艺进行分析,抽出影响成本的因素。

#### (3) 成本计算

对材料和工艺的各种组合,应用计算机及适当公式计算。

#### (4) 敏感性分析

对影响成本的主要项目进行单项分析。例如表 II.9 的例中,原材料费占总成本的 56.3% ~ 82.9%,原材料费若下降 50%,则总费用约下降 30% ~ 40%。此外,产量及投资回收期若变动 50%,则总成本可分别变动 8% 及 10%。

#### (5) 决策

依据 II.9 的结果,建议选用尼龙 + 30% (质量分数) 玻璃加强的塑料及压制成形的工艺生产,并采取措施增加产量及降低原料价格。

## 4 多目标选材法

选材都是多目标的决策问题,这些目标有成本和性能两类。成本分为变动成本及固定成本两大项(表 II.9),在市场调查及工艺分析基础上,易于计算。在第 4 章第 2.1 节,我们给出了性能的定义:

“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)

考虑到材料的应用,可将性能分为使用性能及工艺性能。应该指出,上述定义中的外界条件除自然条件外,也包括社会条件,特别是人类的喜爱和社会的选择。

本章第 2 及第 3 节所讨论的是,将多目标简化为单目标与性能或成本,实质上,性能本身,也有多目标,例如图 II.35。本节将进一步介绍多目标选材法,或叫“多属性的效用分析”(Multi-attribute utility analysis)。

### 4.1 问题和目标

当前可供选择的材料(金属、陶瓷、高分子、复合材料等)品种(各种钢、各种工程塑料等)很多,而计算机又可迅速处理复杂信息,因而可将选用材料的问题表述为:



“给出一套材料  $X$ , 每一个具有性能  $x$ , 选择  $X_i$ , 用于  $Y$ , 使成本最低, 并能满足部件的使用要求  $Z$ 。” (11.19)

将价值工程用于材料的选用, 则上述定义简化为:

“选择能满足部件对材料的最低要求而成本又是最低的材料。” (11.20)

当然, 也可将对材料性能及成本的要求并称为特性 (Characteristics), 则 (11.19) 可改写为:

“给出一套材料  $X$ , 每一个具有性能  $x_i$ , 选择  $X_i$ , 用于  $Y$ , 具有最佳的使用特性。” (11.21)

(11.19) 至 (11.21) 明确地表述了选材是一个求极值的优化问题 (Optimization)。因此, 要明确限制条件及目标函数 (参见第 4 章)。

(1) 限制条件

不同国家和地区在不同的历史时期, 对材料的生产和应用, 关于资源的利用、能源的消耗、环境的保护等, 都有一些指导性文件或指令性的法规。此外, 国内外材料市场、外贸政策等, 与资源、能源、环保等, 同样是求极值的限制条件。

(2) 目标函数

成本的概念是明确的, 也较易计算。但是, 人为地而又不合理地规定价格, 对成本计算将会带来一些假象; 对于开放社会, 宜采用国内及国际价格进行分别计算, 才会有应变能力。

对于“特性”、“要求”、“性能”等的确定是较为困难的, 需要依据科学知识和实际经验进行判断。为了协助判断, 向有经验的专家提问咨询是有用的, 但要注意专家的选择, 即对所提问题确有判断能力, 不要盲目追求“专家”数量。其次, 要精心设计所提问题, 使问题的答案便于整理和量化。

4.2 评价技术

4.2.1 分级法

类似于图 II.35 所示的坐标分类选材法, 示例地考虑“质量”和“成本”双参数组合的六种系统:

系 统	A	B	C	D	E	F
质量 $W/\text{kg}$	6	8	5	6	8	5
成本 $C/\text{美元}$	30	32	32	35	36	38



将上表中的数据标于图 II .42 中,然后进行选择。若以可接受的最低要求  $W = 7\text{ kg}$ 、 $C = 37$  美元两直线的交点为原点,则位于第Ⅲ象限的 A、C、D 系统均可满足要求。这种方法叫做排除分级选材法,将不符合要求的 B、E、F 三系统排除。但是,对于符合要求的 A、C、D 三系统,特别是系统数目较多时,仍需用其他方法选择最佳者。

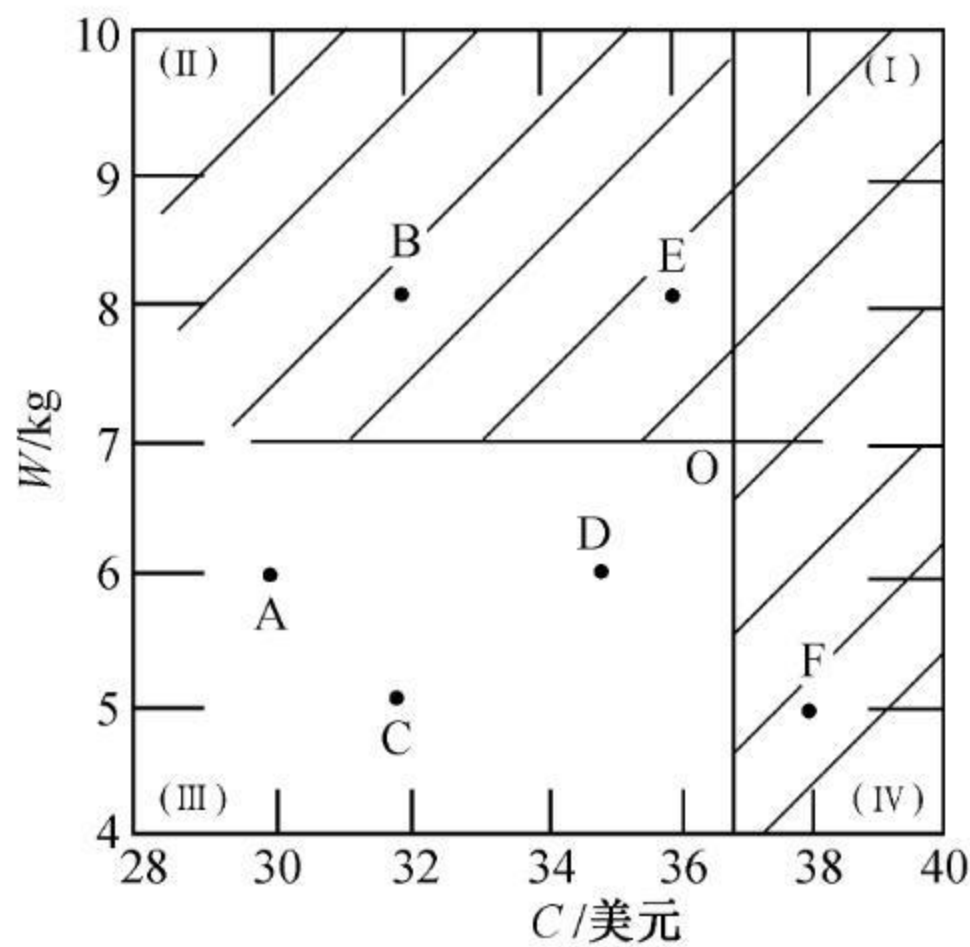


图 II .42 排除分级选材法

排队法需要确定排队标准。一种是先按成本,成本相同时,再按质量;另一种是先按质量,质量相同时,再按成本(成本、质量单位同上):

先按成本再按质量排队			
顺序	系统	成本	质量
1	A	30	6
2	C	32	5
3	B	32	8
4	D	35	6
5	E	36	8
6	F	38	5

先按质量再按成本排队			
顺序	系统	质量	成本
1	C	32	5
2	F	38	5
3	A	30	6
4	D	35	6
5	B	32	8
6	E	36	8

4.2.2 优化法

线性规划法(参见第 3 章第 2.4 节),将目标表述为线性方程,限制条件则表述为一系列线性不等式;然后用代数法或图解法求满足这些等式及不等式的目标极值。这种方法及其他方法都需要将多目标转化为单目标,一般是采用简单平均或权重平均的方法。

作为示例,表 II .10 只选用质量及成本两个目标,由于  $W$  及  $C$  的单位不一样,一般用归一化的  $W'$  及  $C'$ ,即分别用  $W$  及  $C$  的最大值去除各个单值。各种平



均法求得的综合参量  $I_1$  及  $I_2$ :

$$I_1 = \frac{W' + C'}{2} \qquad I_2 = \frac{W' + 3C'}{4} \qquad (11.22)$$

是不同的, 按着它们排列的顺序也有异。

表 II .10 综合目标及系统排列顺序

系统	W	C	$W' = \frac{W_i}{W_m}$	$C' = \frac{C_i}{C_m}$	$I_1$		$I_2$	
					计算	顺序	计算	顺序
A	6	30	0.750	0.600	0.675	3	0.637 5	2
B	8	32	1.000	0.640	0.820	7	0.730 0	6
C	5	32	0.625	0.640	0.633	1	0.636 3	1
D	6	35	0.750	0.700	0.725	6	0.712 5	3
E	8	36	1.000	0.720	0.860	8	0.790 0	7
F	5	38	0.625	0.760	0.693	5	0.726 3	5
G	4	40	0.500	0.800	0.650	2	0.725 0	4
H	3	50	0.375	1.000	0.688	4	0.843 8	8

(11.22)式的权重法有一定的任意性。文献[C34]所提出的多属性效用分析法, 先初步考虑一些属性, 通过专家咨询, 筛去其中某些属性, 并给出余下属性的权重, 然后计算各系统的效用值, 依据这些效用值进行优选。例如, 图 II .43示出成本-切削速度坐标系中切削工具的等效用线,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  工具的切削速度虽然可达 2 000 r/min, 但价格太贵, 只有降到每片 6 美元, 才有竞争力([C36])。

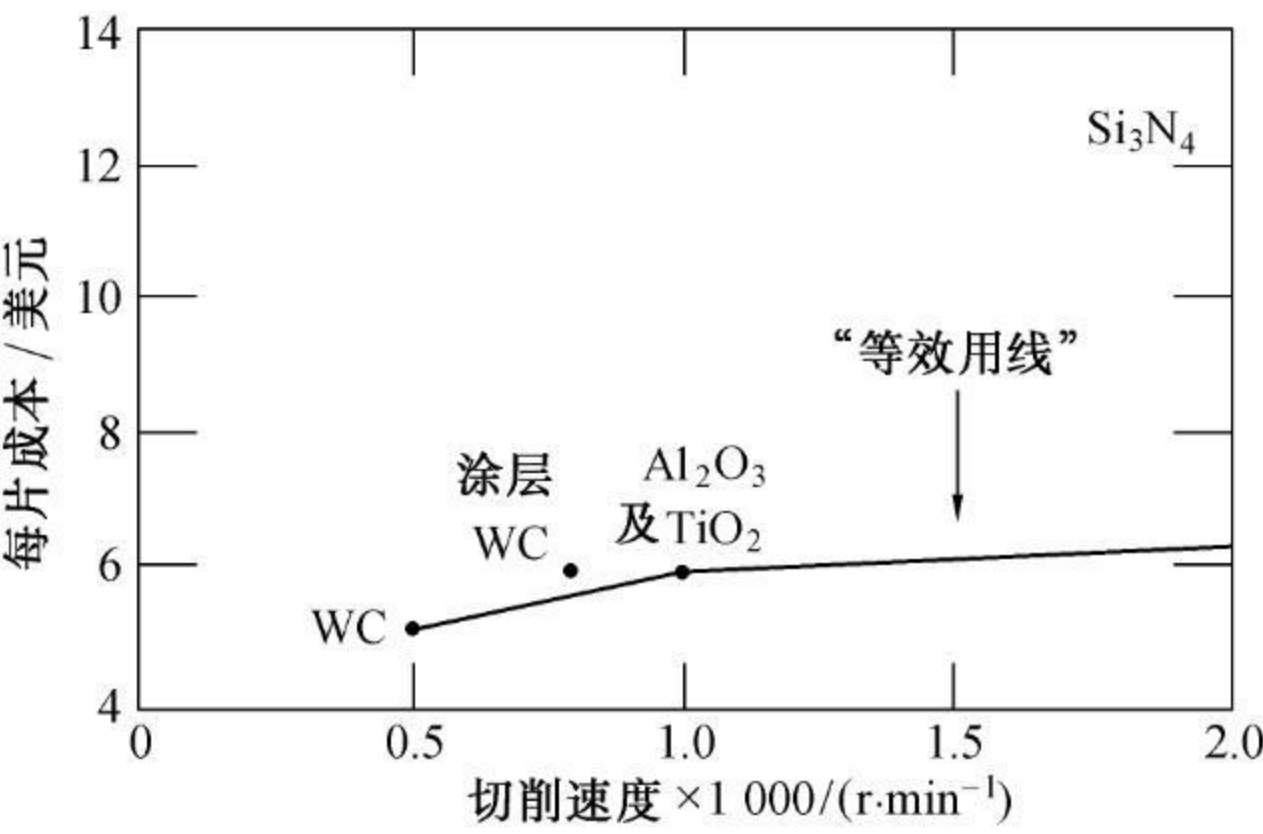


图 II .43 切削工具的等效用线[C36]





## 5 决策论



### 5.1 概念——决策与问题

决策是决定政策,决定策略,即对出现的问题进行判断,采取办法。决策要合乎科学,即合乎实际情况。怎样才能科学地决策?

决策是为了解决问题,什么是问题?定义如下:

“对于决策来说,问题是实际现象与应有现象之间的偏差,偏差愈大,则问题愈大。” (11.23)

设实际现象(Actual)、应有现象(Deserved)及问题(Question)分别为  $A$ 、 $D$  及  $Q$ ,则:

$$Q = |D - A| \quad (11.24)$$

因此,决策分析可分为如下七步:

#### (1)建立价值准则

即用什么准则来判断,明确应有现象是什么,即确定(11.24)中  $D$  值。

#### (2)发现和提出问题

取决于对(11.24)中  $D$  及  $A$  的掌握:调查研究明确  $A$ ,价值准则决定  $D$ 。领导者的职责,便是能敏锐地发现问题,通过分析,能明确地提出问题。

#### (3)确定目标

从战略上考虑系统的总体最优,使(11.24)中  $Q$  趋于最优值。有时,从总体考虑,  $Q \rightarrow 0$  并非最优。目标要具体而准确;确定目标时,应考虑可能发生什么潜在问题,产生什么不良的副作用。

#### (4)明确限制条件

依据系统和环境特性,明确限制条件,通过它们,可以确定数学上的约束方程。

#### (5)建立决策模型

定量地描述系统各部分之间的关系,从而能明确地表示决策问题的内容和过程。

#### (6)制定各种可行方案

用图或表的方式,表明各种可行方案的差别,供决策者选择。

#### (7)选择最优决策

通过综合分析,选择最优决策。

上述七步的关系如图 II.44 所示。从图可以看出,广义的“决策论”便是整



个的“系统分析”(图 I .17),不过是从系统分析的最后一步——“做出决定”来提出和分析问题;而系统分析的重要目的,也是要做出决策。

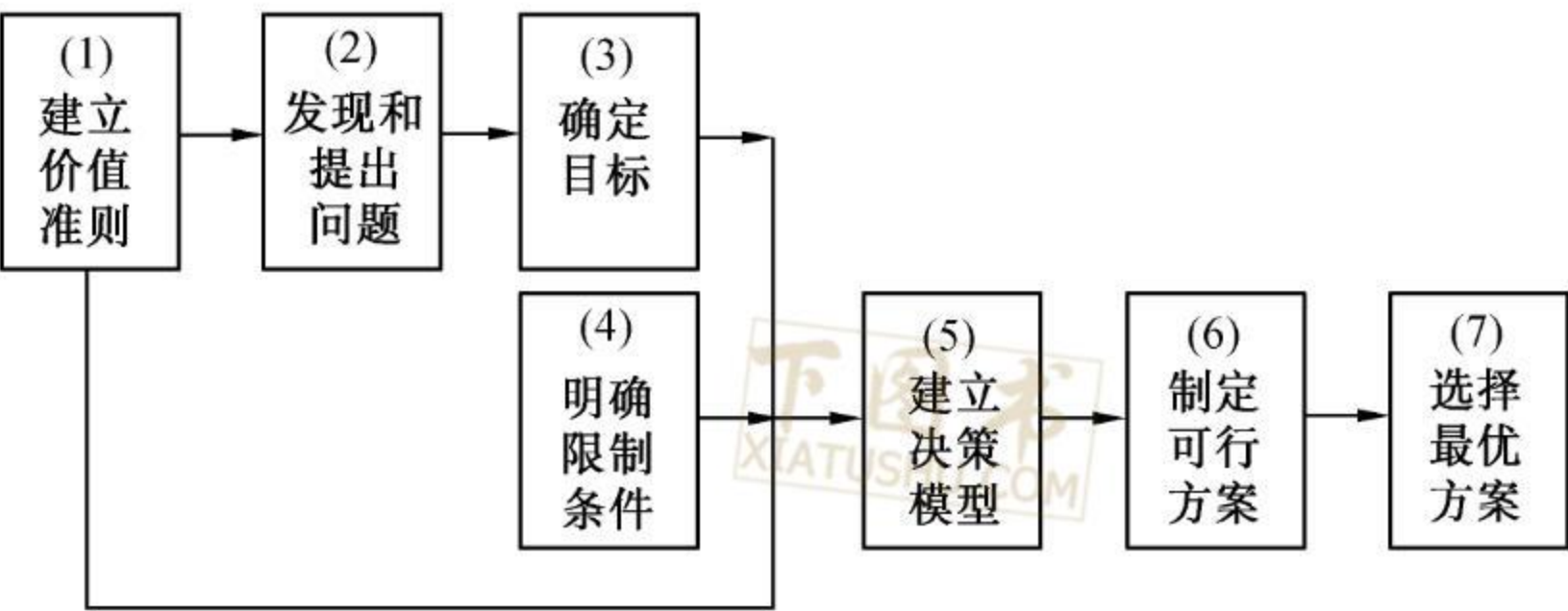


图 II .44 决策分析的步骤

5.2 决策技术

从图 II .44 可看出,狭义的决策论只是第 7 步,从最优化角度做出决策。因此,从这个角度考虑,决策技术也就是要应用最优化技术做出决定,也就是最优化技术。

决策问题有确定型决策、风险型决策等类型。确定型决策是指每一种决策都可导出一确定的结果,一般可用各种最优化技术如线性规划、动态规划、网络法等来决策。风险型决策是指所做的决策要冒一定的风险,这是由于决策所涉及的因素具有几率变化,而不是确定的。

在下面,举所经历的实例介绍一个风险型决策方法——评分优选法。

长期未调升教师工资,1979 年本人主持调整某单位内 60 人的工资,确定其中表现较好的 25 人增加工资。上级规定,从成绩大小、业务水平及劳动态度来评定表现,以成绩大小为主。

对于这个决策性问题,首先需要对上级提出的评定标准这个“价值准则”定量化。通过单位全体会议投票决定采用如下的权重:

- 成绩大小——0.5
- 业务水平——0.2
- 劳动态度——0.3

对于单位内每一个人这三个方面按 5、4、3、2 四级评分,评分由单位内所有人不记名投票确定。每一个人的表现(V)便是 60 人评定结果的平均值:

$$\overline{V} = \frac{\sum_{i=1}^{60} \sum_{j=1}^3 w_{ij} V_{ij}}{60} \tag{11.25}$$

式中,  $w_{ij}$  为权重因子,  $V_{ij}$  为评分。例如,第五人对张三的评分为:成绩 5 分,业务水平 5 分,劳动态度 4 分,则:





$$V_5 = 5 \times 0.5 + 5 \times 0.2 + 4 \times 0.3 = 4.7$$

求 60 个  $V_i$  的平均值,按平均值排队,前 25 名应提工资。

这种方法又叫做比较矩阵法。例如,对于某种工程部件,有  $n$  项要求,有  $m$  个材料和工艺的方案,构成了  $n \times m$  项矩阵。征求  $P$  个专家意见,代入(11.25)求  $\bar{V}$ ,  $\bar{V}$  值最大者当选。上例中,  $n = 3$ ,  $m = 60$ ,  $p = 60$ , 不是挑选最优者,而是挑选  $\bar{V}$  值大的前 25 名。

这种方法只是材料(也是人才)选用时所遇到的多目标决策的一种方法。

顺便指出,决策技术也叫做评价技术,是事前评价技术,是决策阶段所用的评价技术。

### 5.3 问题的划分与分析

(11.23) 或(11.24) 是“问题”的定义,明确了问题的内涵;通过划分,可明确问题的外延,从中可理出分析各类问题的方法。

问题可划分为三类:凡人的、智人的和哲理的。凡人的问题很简单,依据(11.24),实际的  $A$ ,需如实地调查研究;应有的  $D$ ,或为政法、伦理规定,或为科学规律; $A - D$  便弄清  $Q$ 。智人的  $Q$  是尚未出现的,  $D = ?$ ,  $A = 0$ ,故  $Q = ?$  这便是爱因斯坦所指的:

“提出一个问题往往比解决一个问题更重要,因为解决一个问题也许仅是一个数学上的或实验上的技能而已。而提出新的问题,新的可能性,从新的角度去看旧的问题,却需要有创造性的想像力,而且标志着科学的真正进步。” (11.26)

在逻辑上,正确解决凡人的问题,只有在如实数据( $A$ )的基础上,在适当的规定或规律的指导下,正确地运用演绎法;而解决智者的问题且有所创新,则是在博学、审问、慎思的基础上,善于运用归纳和类比法。

第三类的哲理问题是:

$$1 \triangle 1 = ? \quad (11.27)$$

有别于算术中的  $+-\times\div$ ,  $\triangle$  表示两个事物的“组合”,原拟用  $*$ ,但计算机领域已抢先用它代表  $\times$ ,以避免与英文字母的混淆。两个事物 1 与 1 组合在一起,等于什么?在算术中,  $1 + 1 = 2$ ,学童时已知,难改!但组合“ $\triangle$ ”代替加“ $+$ ”,就有包括一切的三种可能:

$1 \triangle 1 = 2$ ,组合物之间没有发生变化的混合;

$1 \triangle 1 < 2$ ,例如“合二为一”的化学变化,互相完全抵消为 0;

$1 \triangle 1 > 2$ ,例如机械作用的打碎、增强的相乘、生物的繁殖等。“合二为一”的佳例是:



1 环境(*e*) + 1 系统(*s*) = 1 宇宙(*u*, universe) (3.3)

其反向是“一分为二”的广例, *e* 作用于( $\rightarrow$ )*s*, 将发生千变万化:

$u = e + s$  (3.3)

$e \rightarrow s = \infty$  (11.28)

## 6 材料的管理

工厂是一个开放系统, 它从社会购买原材料, 库存、调出, 用于生产; 产品库存, 然后销售给社会, 材料在这个循环中流动。为了有效地发挥正确选择和使用材料的作用, 材料的管理是一个曾被忽视的、重要的中间环节。

制造单位的资产中, 约有 25% ~ 30% 存于仓库。由于成本分析将这一部分作为管理费、间接成本或固定成本, 不像可变成本那样受到重视。近年来, 将材料的选用并入材料的管理, 在企业中的作用越来越重要; “物流”已是很红的专业。

材料管理的目的在于以最低的成本在适当的时候提供适合质量和数量的材料, 过少及过多的库存或是冒风险或导致浪费。材料管理包括如图 II .45 所示的各种活动或功能[C35], 简述如下:

### (1) 市场分析和预测

对原材料的供应及产品的销售市场, 进行分析和预测, 对材料的选用提供现在及未来的资料。

### (2) 购买

依据市场的供需情况, 适时地以最低价格购买所选择的原材料, 保证生产的正常进行。

### (3) 库存

有效的库存控制系统, 能保证最经济的库存量, 既不过多而积压资金, 也不过少而冒影响生产的风险。

### (4) 运输

物料在厂内有效而经济地流动, 是降低生产成本的重要措施; 运输工具的选择要进行经济分析。

### (5) 销售

产品的销售是拖动整个循环流动的动力。

作为一个整体, 材料的选用必须纳入或配合材料的管理, 才能发挥更大的作用。



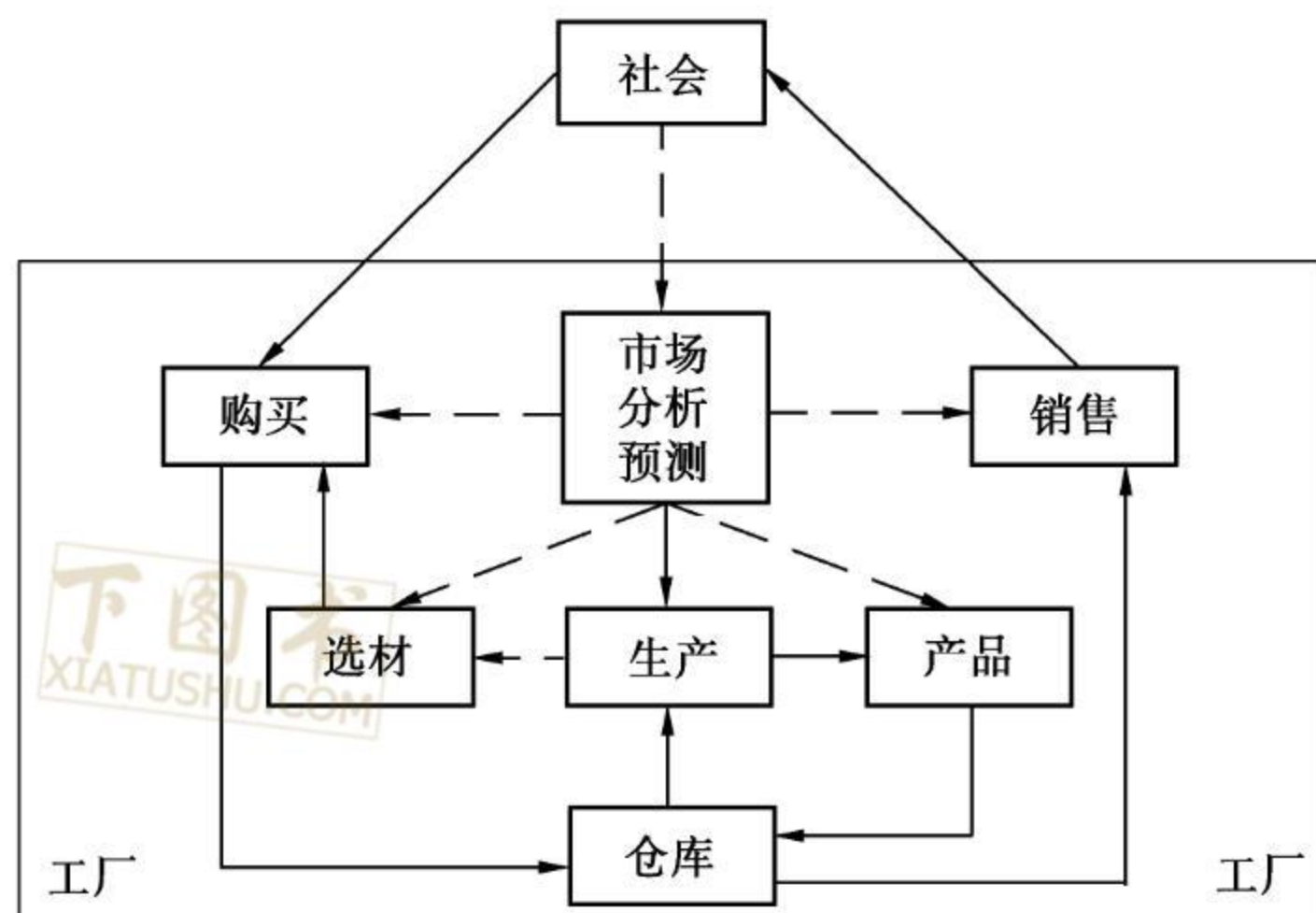


图 II .45 材料管理与材料选用  
 —→物料流动；- →信息流动



# 第 12 章 材料展望

“材料的希望,在未来。” (12.1)

## 1 引言

“现在”是非常短促的,也可以说是瞬刻的。流水如斯,我们可以回顾它的“过去”,展望它的“未来”,难于断水而分析它的“现在”。从过去到现在是发展,而从现在到未来,或从过去到未来是展望。

第 1 章的第 1.1 节,回顾人类超越其他动物的历史发展历程中材料的地位,第 1.2 节的“新技术革命与材料科技”,展望了材料在未来人类社会中的作用。材料与人类的关系发生了根本性的转变:开始时,采用天然物质(石、木、泥、动物组织、植物纤维等)而满足需要;接着是加工天然物质(例如烧制陶器、冶炼矿石、造纸等)而满足需要;正在依靠对于无机及有机物质结构的了解以及工艺的进步,从原子设计来创制新材料,才能满足人类越来越新的要求。这样,不只是被动地满足社会的需求,也可创造新的就业机会,并主动地提供分析社会问题的新途径,这些问题包括资源供应、能源消耗、保持经济生长、形成资本累积、改变劳工结构等([C36])。

前面一章的第 5 节“决策论”,是为了未来的,必须展望未来。科学的展望叫做预测,材料的展望可以应用“预测学”(Prognostics)([C37])或未来学(Futurology 或 Futuristics)来分析材料问题,属于材料学和预测学的交叉领域。

作为分论最后一章,将在下面两节分别讨论两个问题:预测方法和未来材料。

## 2 预测方法

人类总是在过去的基础上,从现在预测未来。预测活动如图 II.46 所示。预测目标确定之后,预测概念五要素——预测者、预测对象、预测依据(即知识)、预测方法和预测结果之间的关系示于图 II.47,即预测者对预测对象搜集有关知识,采用适当的预测方法进行判断和推理,得到有关预测对象的未来和



未知的状况，即预测结果。

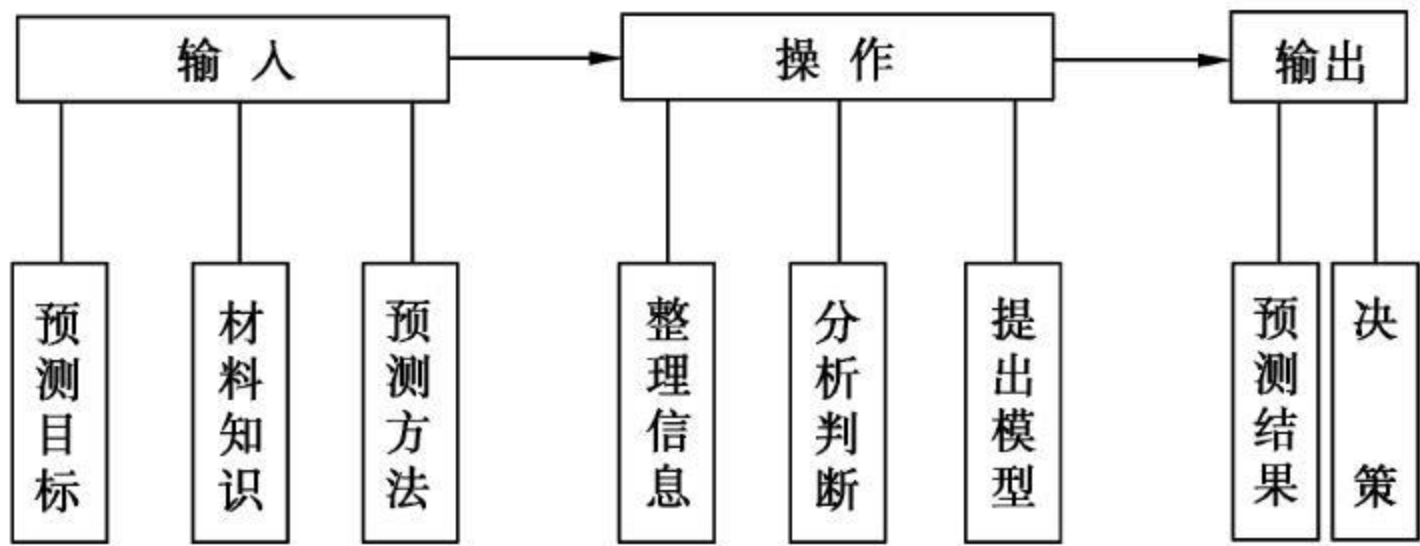


图 II .46 预测活动

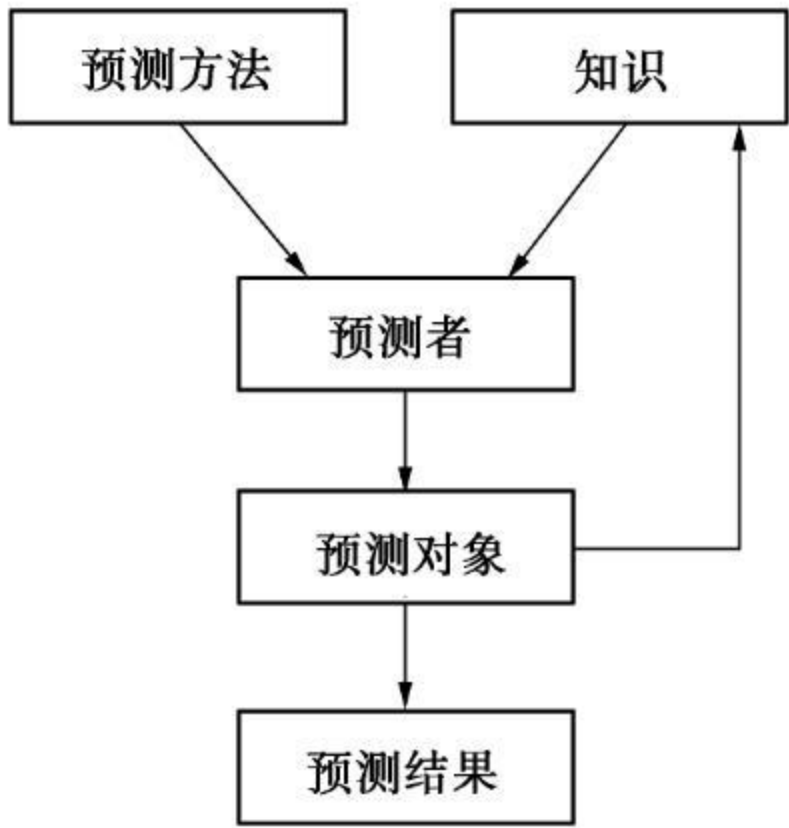


图 II .47 预测概念关系图

2.1 分类

预测活动按照图 II .48 所示的五种判据分为 13 种基本预测形式，它们之间可有：

$2 \times 2 \times 3 \times 4 \times 2 = 96$

种组合。预测方法多达 150 ~ 200 种，常用的主要方法只有 15 ~ 20 种，可以归并为如表 II .11 所示的四类，分述于下。

2.1.1 直观预测法

通过直观感觉和了解，个人或集体观测者利用直觉的判断和推理能力，预测对象的未来。这类方法包括如表 II .11 所示的专家小组讨论、个别专家预测、智囊团讨论、前景方案和特尔菲法五种。

前景方案是对预测对象未来发展的全面设想和各种可能性提出方案。特尔菲法既能集中专家的集体智慧，又可避免专家会议的缺点，将在 2.3 节介绍。

这类方法成功的关键在于专家的挑选。要挑选名副其实的专家，在所预测的领域确有专长，或有独创性见解，或有丰富的经验，等等，最好先由同行不记



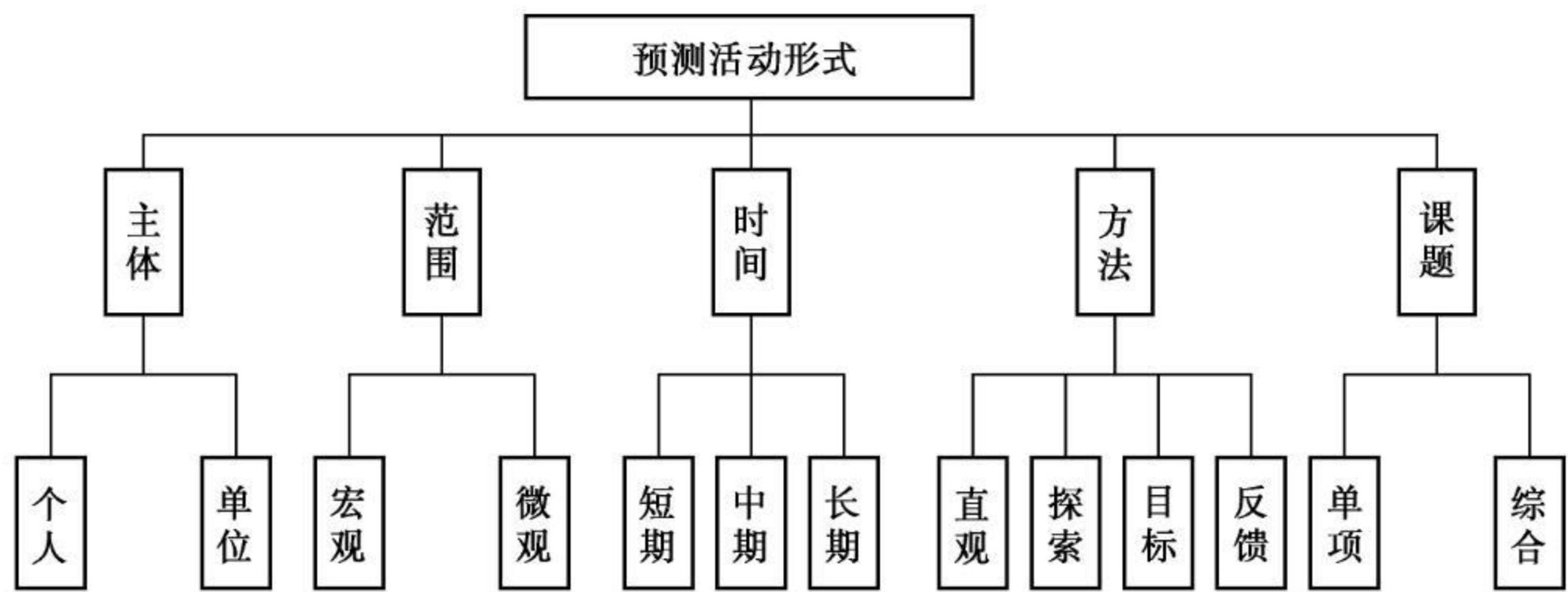


图 II .48 预测活动形式的分类([ C37]p125)

名投票及主办单位共同确定。

2.1.2 探索预测法

包括表 II .11 所示的各种从过去到现在的倾向线外延到未来的方法,如外推法、历史类比法、统计法、概率论预测法、模拟法、因果关系模拟法、连续图像法等。这类方法只考虑可能性,不考虑可行性,因而不能提供促使预测的未来如何实现的措施。

2.1.3 目标预测法

这类方法又叫做规范预测法,它依据社会需要和其他规范条件,预测对象应朝什么目标和方向发展,并预测实现这一目标应采取的措施。这是一类从未来反推现在的方法,包括如表 II .11 所示的并在第 3 章讨论的优化技术及第 11 章所讨论的决策技术等。

表 II .11 各种预测方法使用程度的比较①

方法	程度 /%	方法	程度 /%	方法	程度 /%	方法	程度 /%
直观预测法		探索预测法		目标预测法		反馈预测法	
专家小组讨论	10.0	外推法	8.8	交叉影响分析	3.9	计量经济模型	* *
个别专家预测	8.7	统计法	8.4	运筹模型	5.1		
智囊团讨论	8.1	模拟法	6.9	网络法	2.8		
前景方案	7.9	历史类比法	5.9	相关树法	2.4		
特尔菲法	5.5	概率论预测法	5.8	决策论法	2.3		
		因果关系模拟法	3.9	动态规划	* *		
		连续图像法	2.1	任务流程	* *		
共计	40.2	共计	41.1	共计	16.5	共计	* *

①单位使用,[ C37]p176。  
\* \* 其他方法:2.2%。





这类方法与探索预测法是互为补充的:如果没有社会需要,就没有必要再探索预测;反之,若探索预测认为不可能实现,也不必再进行目标或规范预测。

### 2.1.4 反馈预测法

这是上述两种预测互相补充的一种活动方式,使它们共处于不断反馈的整体,可以获得质量较高的预测成果。计量经济模型便应用这种方法。

从表 II .11 的统计结果可以看出,目前广泛应用的是直观预测法和探索预测法,分别占 40.2% 及 41.1%,而决策论方法已在第 11 章介绍,因此,在下面两小节,示例地讨论外推法及特尔菲法。

## 2.2 外推法

这种方法又叫做“趋势法”,是将从过去到现在的趋势,延长到未来。若以时间  $t$  为自变量,所要预测的量  $X$  为他变量,首先用图解法或解析法建立  $X$  与  $t$  之间的关系,然后以未来的  $t$  代入,便可预测未来的  $X$ 。

图解外推法是将一组已知数据绘制在坐标纸上,获得通过这些实验点的最优化曲线,然后将曲线外延到所研究的区域,从而得到解答。图解外推法适用于直线或曲率不大的曲线,若曲线的曲率很大,则外推的误差较大。因此,若从实验数据的趋势或从物理实质的推测,选择适当的坐标,使实验数据落在一根直线上,则使外延容易,并便于解析外推法的应用。例如,已知材料的高温持久强度( $\sigma$ )是随断裂时间( $t_f$ )的对数( $\lg t_f$ )增加而下降的,因而在  $\sigma$ - $\lg t_f$  坐标系中的实验点便会落在一根直线上,然后外延这根直线,便可预测长时间(例如  $10^5$  h)的持久强度(图 II .49)。

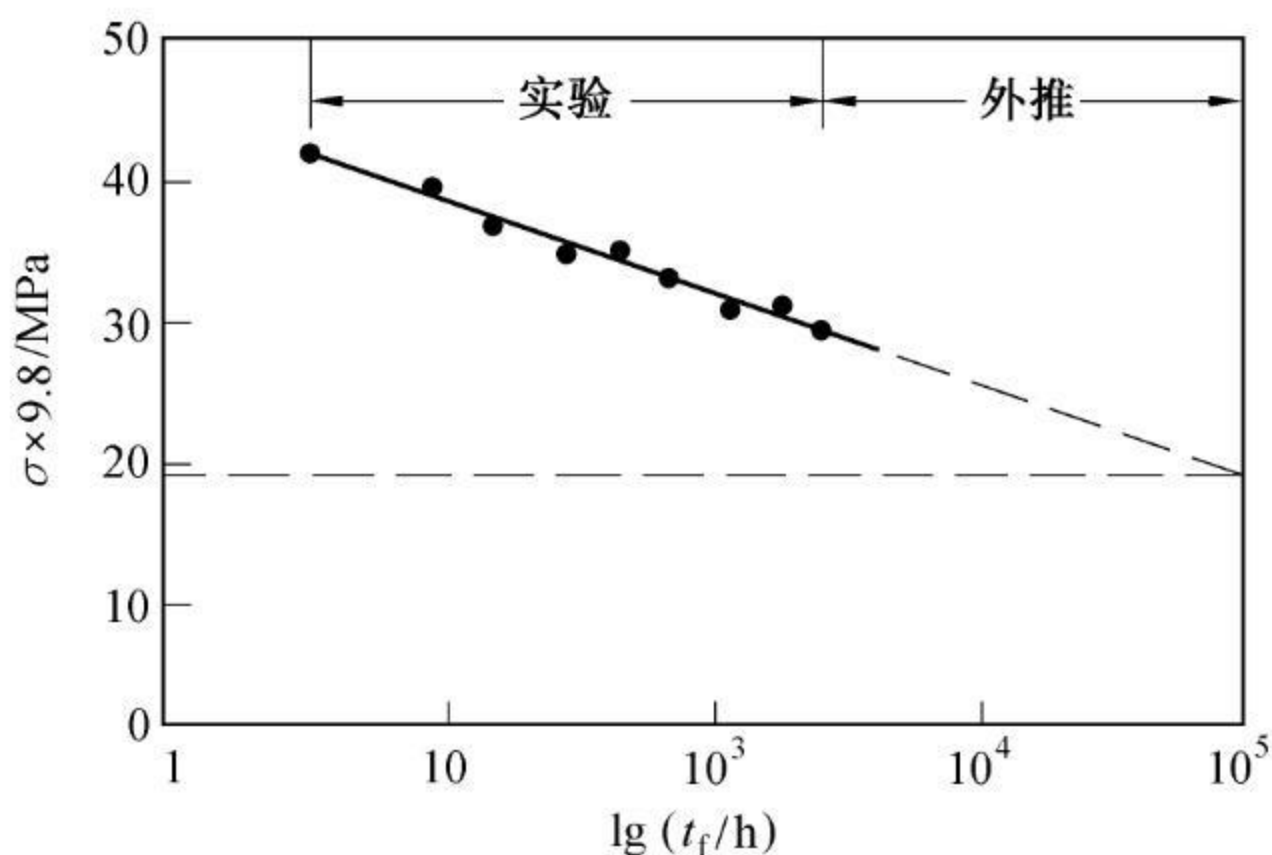


图 II .49 高温持久强度

最常见的、可使图 II .49 中的实验点落在一根直线的坐标系有:

$$X-t, X-t^k, X-\lg t, \lg X-\lg t, \dots$$



又例如,已知不少金属氧化时,遵循如下的抛物线规律,即氧化膜的厚度  $d$  与  $t^{1/2}$  成正比:

$$d = a + bt^{1/2}$$

(12.2)

将实验数据绘制在  $d$ - $t^{1/2}$  坐标系中,便会获得易于外延的直线。

解析外推法便是首先获得表示实验数据的解析式,然后将这个解析式应用到所研究的区域。确定解析式时,一般用最小二乘法。例如,现在的科学技术情报发展很快,将表 II.12 的  $N$ - $t$  数据绘制在  $N$ - $t$  坐标系中,可以看出  $N$  随  $t$  呈指数函数关系增加(图 II.50),令它为:

$$N = N_0e^{\alpha t}$$

(12.3)

应用最小二乘法及计算器程序解出:

$$N_0 = 99.95$$

$$\alpha = 0.095\ 344\ 6$$

相关系数:

$$R = 0.999\ 999\ 5$$

将  $t = 25$  及  $30$  代入,分别得到  $N = 1\ 084$  及  $1\ 746$ 。

表 II.12  现代科技情报指数  $N$  的变化

	已        知					预        测	
年    份	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985
$t$ (年数)	0	5	10	15	20	25	30
$N$ (指数)	100	161	259	418	673	1 084	1 746

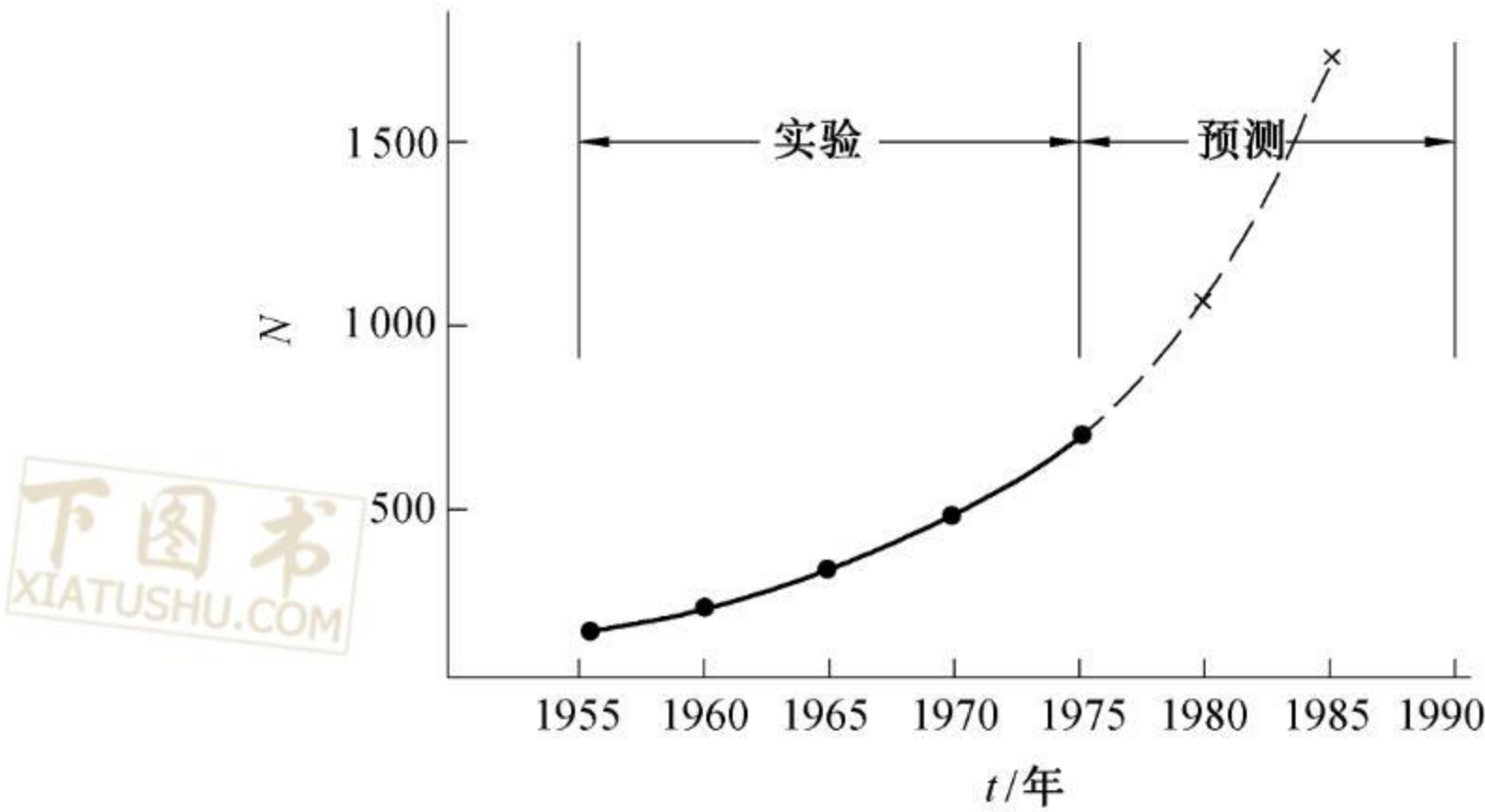


图 II.50  现代科技情报指数( $N$ )的变化

应用外推法时,应该注意几点:

(1)从已知到预测的时间范围内,没有不连续的异常变化,否则,外推值的可靠性不大。



(2)预测的时间范围不要太远,越远,则可靠性越低。例如为了获得如图 II .49 所示的、工程设计所需要的  $10^5$  h 持久强度数据,一般需要几千到 1 万小时的数据,然后外推。

从已举出的事例,可以看到一些外推结果的价值和作用:

(1)从短时的数据获得外推的长时间数据[例如(12.2)、图 II .49],节省了试验时间。

(2)图 II .50 所示的科技情报的迅速增加的趋势,使科技人员面临一些决策性问题:1985 年能否像 1955 年那样阅读科技资料? 如何组织好综合评述? 如何能有效地掌握科技动向?

(3)图 II .51 示出新产品销售量的典型曲线:

$$N = \frac{L}{1 + be^{-kt}} \quad (12.4)$$

式中,  $N$  为销售量,  $L$  为  $t \rightarrow \infty$  时的  $N$ ,  $b$  及  $k$  是待定系数。当  $t = 0$ , 则:

$$N = N_0 = \frac{L}{1 + b} \quad (12.5)$$

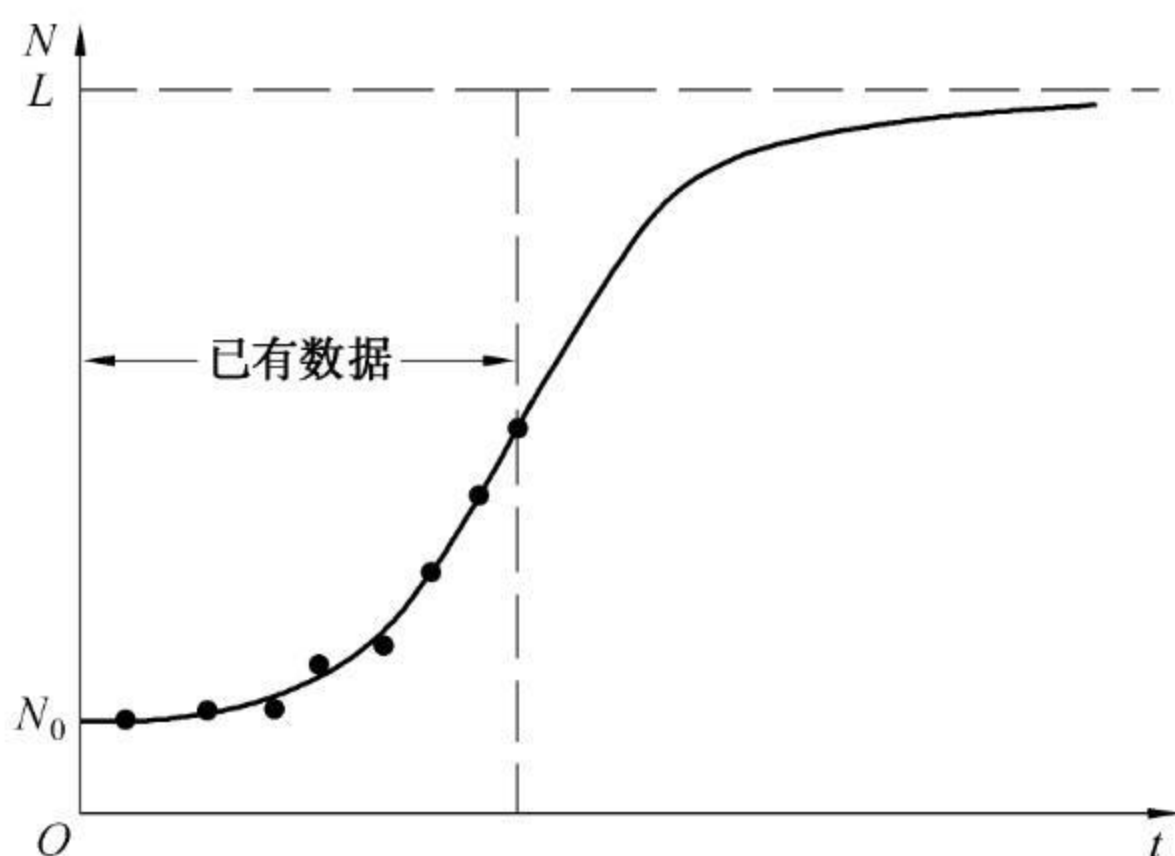


图 II .51 新产品销售量预测图

一个新研究领域的发展,也

有类似图 II .51 的情况,商业及科技工作者应该针对所处的境遇有所决策。有趣的是,形核-长大型的相变百分数以及科技成果的收获,也有类似图 II .51 的曲线:开始时,相变慢,收获少;随后约是线性成长;后期有“冲突”效应,相变又变慢,收获又递减(参见第 7 章图 II .8)。这种曲线叫做珀尔(Pearl, 1870 ~ 1940)曲线。

(4)对于大型而长期的工程,例如,历时将近九年的美国阿波罗登月计划,应该选择重要参量,依据进程中的已有数据,进行预测;并依据预测值不断地进行校正。

## 2.3 特尔菲法

上述的外推法依赖于过去的数据和数学处理,看来是科学的、客观的;但是,它的科学性和客观性也只限于已有的数据,这是归纳法的共性。外推法还忽视了人们、特别是专家们的长期经验和有识的判断。

预言法的基本思想便是利用专家们的长期的丰富经验和有远见的直觉判



断,集体地做出预言性的推测。这种方法又叫做特尔菲法,是以希腊城市命名的,这个城市据说是因珍藏有阿波罗神谕而出名。

这个方法是定性的,例如,人类何时才能治服癌症?材料科学目前最活跃的领域是什么?经济上可行的海水淡化工作在哪个年代可以实现?经济上可行的煤的气化液化工作在哪个年代可以实现?等等。

这个方法的实施可以分为如图 II .52 所示的几步,分别说明如下。

(1)确定问题提纲

问题要明确,要便于答复,也要便于随后整理。

(2)选择专家人选

要在真的专家范围内选择有代表性而又热心这项工作的人。这是关键的一步:不是真的专家,则答案不会有远见;若无代表性,则答案也会有偏向性;若不热心于此项工作,则答案收回的概率下降。

(3)征询专家意见

一般采用通讯方式,并尽量减少专家们的时间和精力。

(4)整理归纳结果

采用图表的方式整理归纳。如图 II .53 所示,纵坐标为频率,即该答案的人数:横坐标为答案。然后,从两端分别去掉答案的 25%,并附以两端人们的理由,再进行第二次质询。经过 3~5 次反复,可获如图 II .53(c)的结果。

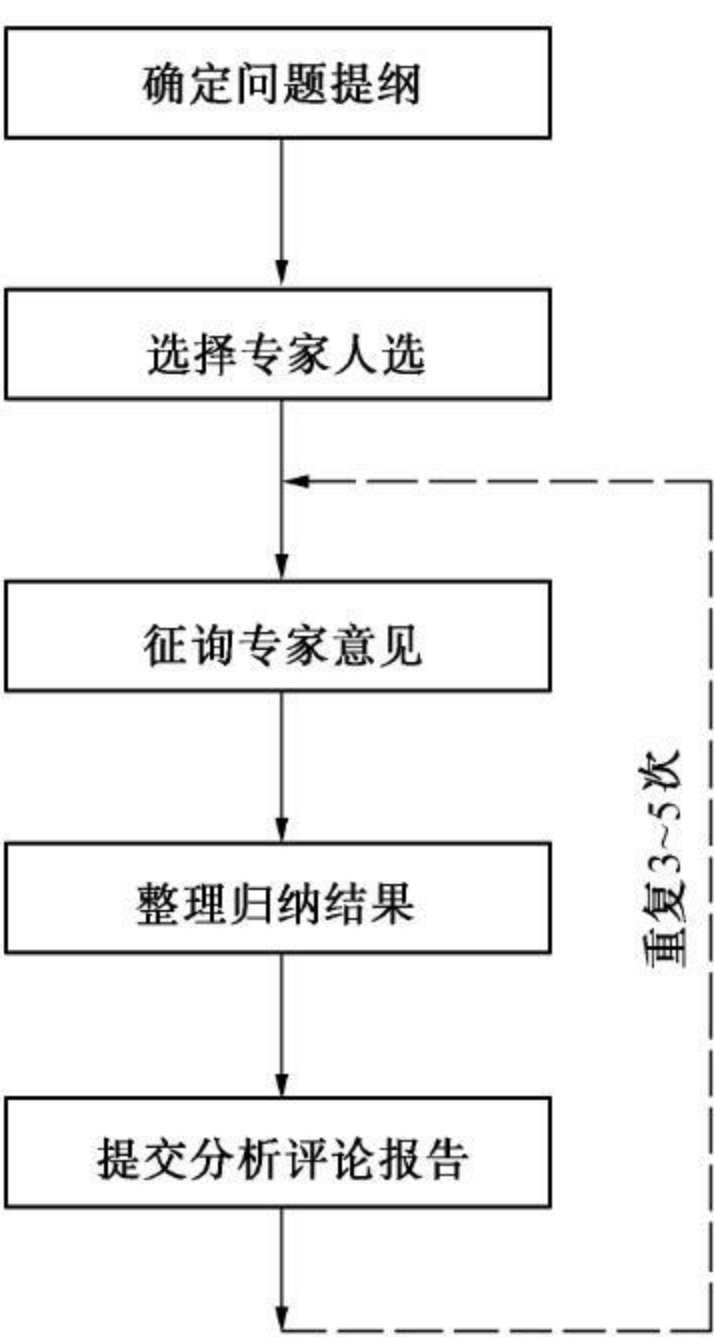


图 II .52 特尔菲法预测顺序

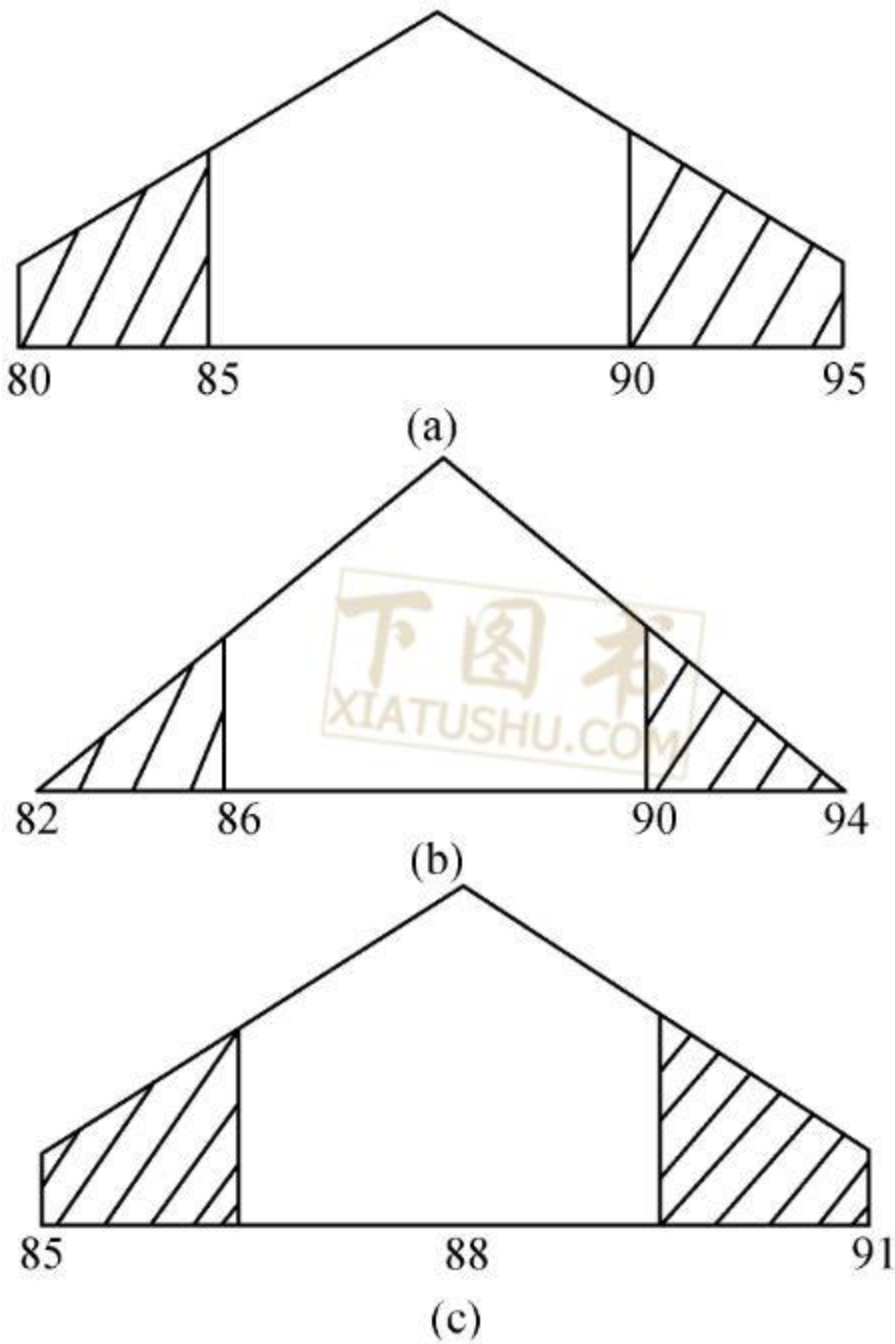


图 II .53 特尔菲法预测举例



这种方法与会议法比较,其优点是专家们可以独立思考,其意见可以不受压制,而能充分表现。

表面看来,这种方法依赖于个人的主观见解,但是这种见解也是专家们长期实践中形成的,仍有很大的价值。

## 3 未来材料

未来的材料也是材料的未来:在下面三小节,分别讨论总的趋势、传统材料的改进和新材料的研制三个问题。

### 3.1 总的趋势

#### 3.1.1 材料生命曲线

材料的相变,有形核、长大到完成的过程;事物的生命,也有发生、发展到成熟的三个阶段。这三个阶段的速度是不同的:发生阶段,速度缓慢;发展阶段,速度加快;成熟阶段,速度减慢。

事物的生命曲线或增长曲线主要有两种:一种是(12.4)及图 II .51 所描述的珀尔曲线,另一种是戈珀资(Gomparts, 1779 ~ 1865)曲线。

珀尔曲线具有如下数学特性:

- (1) 当  $t = -\infty$ , 则  $N = 0$ ;
- (2) 当  $t = +\infty$ , 则  $N = L$ ;
- (3) 曲线的拐点(即  $d^2N/dt^2 = 0$ ) 位于:

$$t = \frac{\ln b}{k} \quad (12.6)$$

对应的  $N = L/2$ ;

- (4) 曲线的拐点将曲线分为互为反映的两部分,因而是对称的。

戈珀资曲线则是不对称的

(图 II .54):

$$N = Le^{-b \exp(-kt)} \quad (12.7)$$

数学特点如下:

- (1) 当  $t = -\infty$ , 则  $N = 0$ ;
- (2) 当  $t = +\infty$ , 则  $N = L$ ;
- (3) 拐点位置为:

$$\begin{aligned} t &= \frac{\ln b}{k} \\ N &= \frac{L}{e} \end{aligned} \quad (12.8)$$

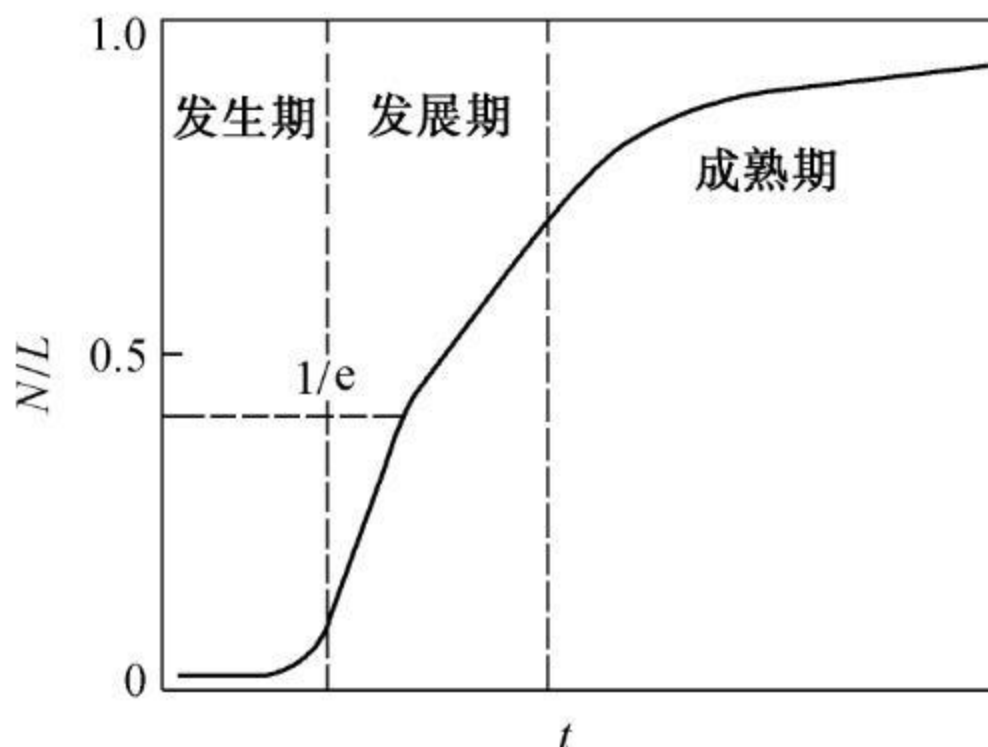
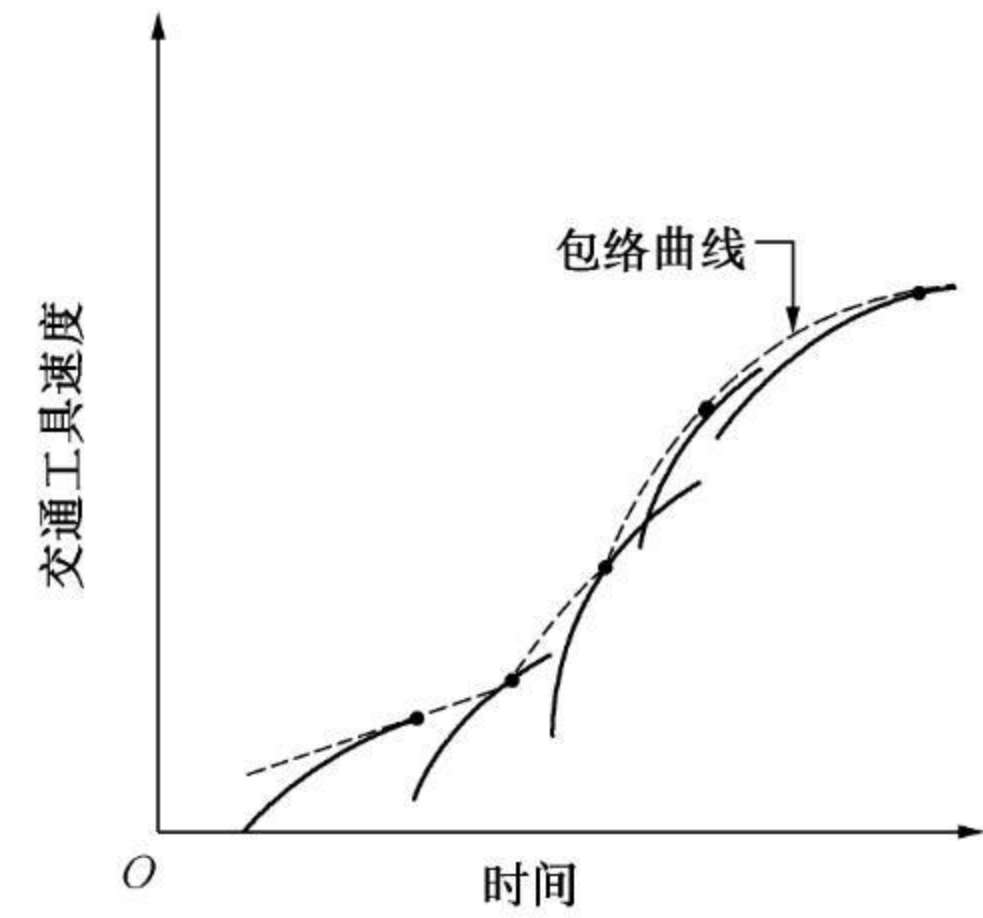


图 II .54 戈珀资增长曲线

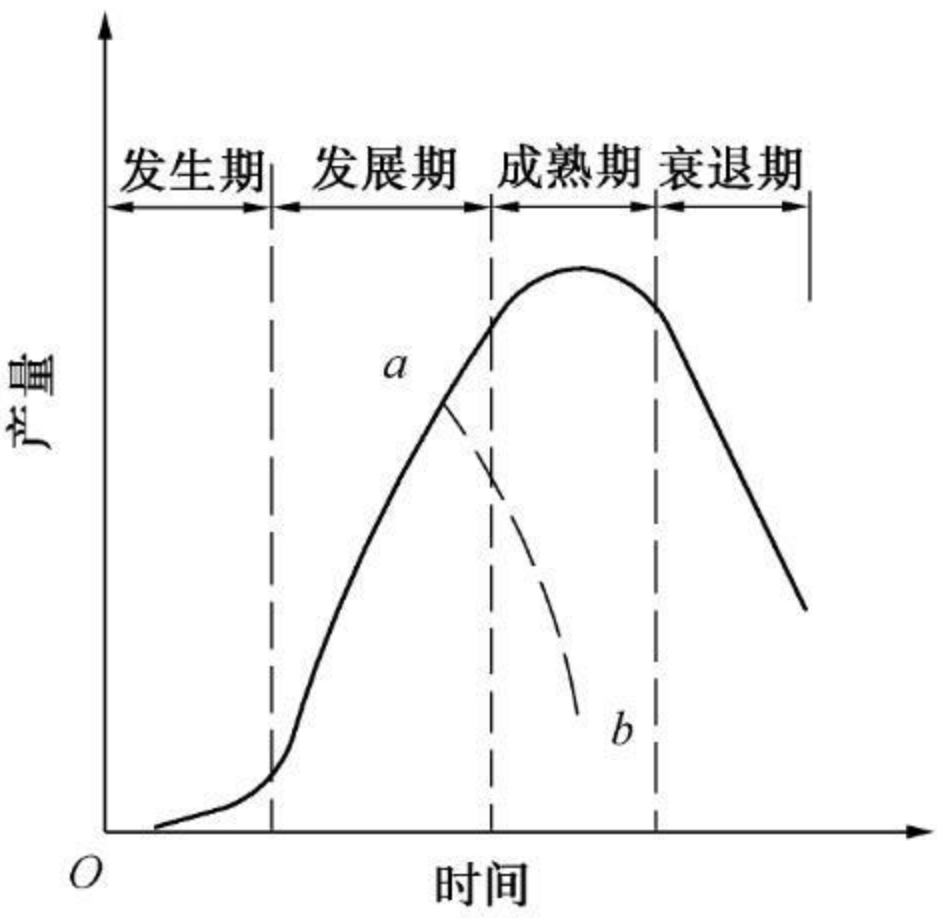


一个人都有出生、成长、成熟到衰亡的阶段，也会有不自然死亡的事故。一个人只是人类大系统中的一个子系统，即令一个人死亡，但又有婴儿出生；在漫长的时间内，相切于各个子系统的总曲线叫做包络曲线(图Ⅱ.55)，表示整个大系统的变化趋势。这种包络曲线可用于预测长期发展趋势。

材料也是一样。每一种材料都有如图Ⅱ.56所示的发生期、发展期和成熟期，还有衰退期。有些材料在成熟之后衰退，而另一些材料却是“未老先衰”，如图Ⅱ.56中虚线(ab)所示，这些衰退都是由于竞争引起的，物美价廉或资源、能源或环保因素的限制，使新材料新工艺替代了旧材料旧工艺。但是，作为材料的整体，类似图Ⅱ.55的包络曲线，它仍然是在增长。只要人类还存在，人类赖以生存的大厦仍然需要材料这根支柱来支撑(图Ⅰ.1)。此外，各国的各种材料可位于生命曲线的不同阶段。



图Ⅱ.55 包络曲线



图Ⅱ.56 材料的生命曲线

3.1.2 竞争与替代

新陈代谢是自然和社会的普遍现象。一个人体中的细胞既有不停的死亡，又有不断的出生；一个人的知识，在稍长的时期内，必须吐故纳新，才能保持活跃的生命；面对着知识老化和知识废旧率不断提高的严酷现实，活到老，学到老，才能面向现代化、面向世界、面向未来。

在漫长的历史进程中，在残酷的生存斗争中，大自然选择了适于生存的人类这个品种，由于人类能够创制材料，巧于利用能源，有效地保存和传播信息，因而他能统治地球，并且企图征服宇宙。材料一直在面临人类社会的选择，材料工作者必须迎合社会的需要，处理好竞争与协调，即斗争与合作的关系。

社会的需要便是材料的五个判据：资源、能源、环保、经济和性能。当资源、能源、环保这三个限制条件能满足时，社会总是选用俗称的“物美价廉”的商品。



对于材料来说,“物美”是材料具备人类需求的使用性能和工艺性能;“价廉”才能满足人们愿意付出的费用。这是商品经济的基本原则(参见第 7 章第 2 节)。有时,资源、能源或环境可以突出为材料发展和展望的主要因素。例如,战时各国资源政策的指令式规定,可以使某些合金钢停止生产;耗能较少的无机非金属材料,具有广阔的发展前景;一些严重污染环境的工艺和产品,已被和将被取缔,如氰化液电镀工艺、排气管冒毒气的汽车等。

材料的竞争和斗争有各种方式:

### (1) 材料与环境的斗争

材料是一个开放系统,它在使用时,面临着大自然风雨和温度变化以及人为的力学、化学、电学等环境的侵蚀和损伤,导致材料的失效,善于处理材料与这种环境的关系,是微观材料学的共性问题。现代的进步社会应该是开放的,提高材料在国际中的竞争力,是宏观材料学(参见第 7 章第 1、2 节)中的一个重要命题。

### (2) 材料类间的竞争

材料各大类如金属材料、陶瓷材料、高分子材料等之间存在着竞争。保持生存力的原则是:扬长避短,各得其所。过分宣扬一类材料的重要性,只是为了商业性的广告,具有科学片面性。

### (3) 材料类中种间的竞争

如金属材料类中钢铁材料与非铁材料之间的竞争,高速钢类中各种钢种之间的竞争等。保持生存力的原则和注意事项同(2)。

材料大类、小类以及各种材料为了生存与发展,除开竞争和斗争之外,还要注意向生物界学习各种协调和合作的方式,例如:

#### (1) 合作发展

生物界中不少凶猛的动物可以和平共处,动物寻食、迁居和防御,经常是成群活动的。材料科学和工程以及材料学的形成,各种材料学会的联合会议等,都是合作发展的形式。通过这些形式,可以相互启发、共同提高。

#### (2) 共生和寄生

共生是互利关系。金鱼缸里的水生植物在光合作用中吸收二氧化碳,并释放氧气,这净化了水,对金鱼的生活有利;在另一方面,金鱼在呼吸过程吸收氧气,排除二氧化碳,并且在消化过程排除粪便,增加水里的矿物质,这对水生植物有利。因此,金鱼缸里的金鱼和水生植物是共生关系。寄生是寄生者有利,宿主受害。寄生可以转变为共生,例如鞭毛虫在白蚁肠里,开始是寄生虫,随后能产生纤维素酶,能消化白蚁蛀蚀木材的纤维素,为白蚁提供营养,因而白蚁与鞭毛虫是共生。



材料工业也可利用类似的共生关系,相互促进。例如,高炉炼铁的炉渣,可用作水泥的原料;炼焦的副产品——煤焦油,是重要的化工原料。

材料之间的替代曲线类似于生长曲线,初始阶段是缓慢替代,在增长阶段是迅速替代,然后又是缓慢替代。除替代曲线外,图 II .57 还示出与之对应的旧材料的衰退曲线。

### 3.2 传统材料的改进

已经投产和较长期应用的材料,叫做传统材料。改进它们的目的在于满足和刺激消费者的要求;参考第 11 章材料的选用,这些要求归纳为提高性能、降低成本,从而获得最大的经济效益。改进的措施可以并为调整成分和改进工艺两个方面,主要以研究较多的、较成熟的金属材料为例,分述如下。

#### 3.2.1 调整成分

传统材料都有工业标准,规定它们的成分范围。这些标准既有公用的,也有内控的;它们有时过严,有时又过宽。生产和使用材料的工程师应该理解标准中关于成分的规定,才能依据需要,在成分范围内予以调整。

对于材料的成分,有些在工业标准中未予规定,而规定中又有两种形式,一种是“自  $X$  至  $Y$ ”,另一种是“ $\leq Z$ ”。一般说来,资本主义国家强调竞争,公用标准中的成分规定较宽,而社会主义国家强调统一,国家标准中的成分规定较严。例如,美国 AISI-SAE 标准对于合金结构钢中的硫及磷质量分数分别规定为  $\leq 0.040\%$  及  $\leq 0.035\%$ ,而我国国家标准对这个规定分别为  $\leq 0.035\%$  及  $\leq 0.030\%$ 。使用现代的冶炼方法,很容易达到 AISI-SAE 标准中关于硫、磷的规定;但是,对于韧性要求高的高强度钢,这种硫、磷含量的上限显然是过高了。因此,用户订货时,可以有其他条件,而钢厂为了提高竞争能力,也有工厂的内控标准,例如对于航空用超高强度结构钢,规定  $w(S + P) \leq 0.017\%$ 。此外,有色金属杂质如锡、锑等,可以引起合金结构钢的回火脆性,虽然在标准中,对这些杂质的含量一般没有规定,但是,钢厂为了满足韧性的要求,对于这些杂质都有内部措施,特别是加强废钢原料的管理,控制这些杂质的含量。

除开有害杂质采用“ $\leq Z$ ”的规定外,其他的合金元素则采用“自  $X$  至  $Y$ ”的规定。例如,AISI301 奥氏体不锈钢的主要成分范围以及成分范围内马氏体开

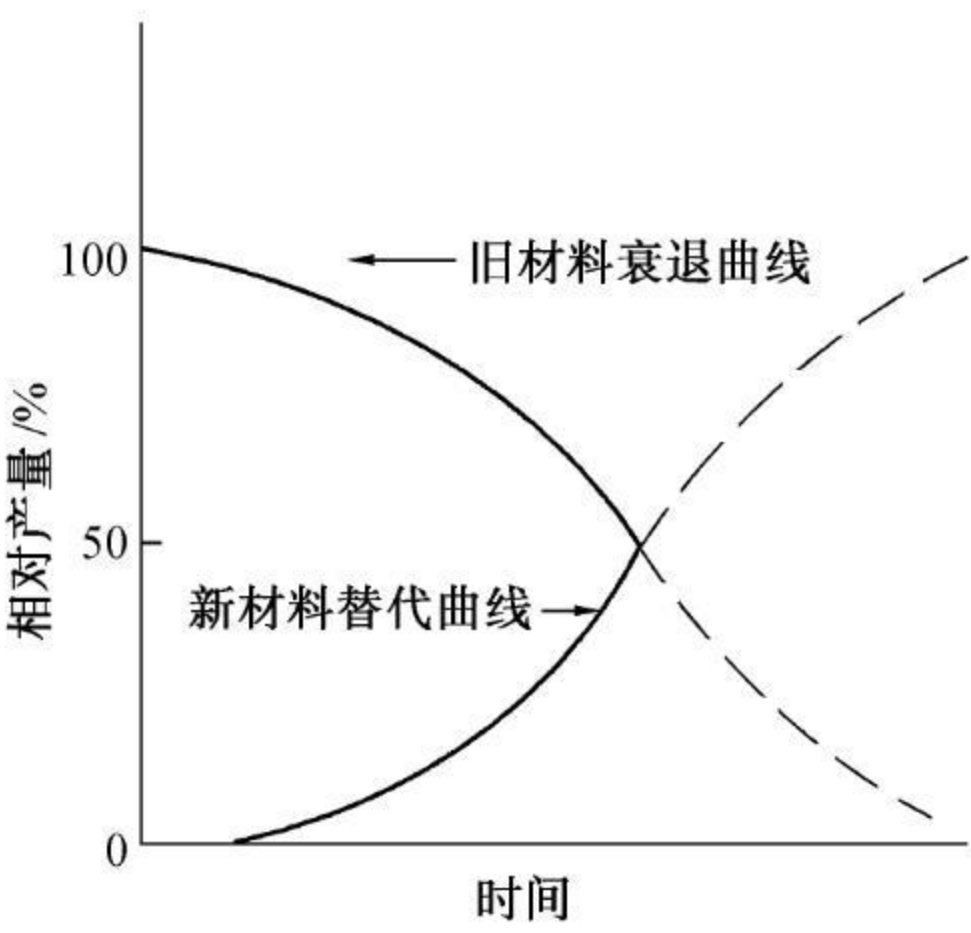


图 II .57 替代曲线及衰退曲线



始形成的温度  $M_s$  如下表所示:

化学元素			C	Mn	Cr	Ni	$M_s/^\circ\text{C}$
标准规定的质量分数/%			$\leq 0.15$	$\leq 2.0$	16 ~ 18	6.0 ~ 8.0	—
计算 $M_s$ 所 需的 成分 质量 分数 /%	高 碳	低 NiCr	0.12	2.0	16	6.0	+ 4.6
		高 NiCr	0.12	2.0	18	8.0	- 201.0
	低 碳	低 NiCr	0.09	2.0	16	6.0	+ 54.6
		高 NiCr	0.09	2.0	18	8.0	- 151.0

$M_s$  是按下式计算的:

$$M_s(^{\circ}\text{C}) = 1\,305 - 1\,667w(\text{C} + \text{N}) - 41.7w(\text{Cr}) - 61.1w(\text{Ni}) - 33.3w(\text{Mn}) \tag{12.9}$$

形变使  $M_s$  提高约 170℃,因此除高碳高镍铬外,其余的三个成分的奥氏体( $\gamma$ ) 在形变过程都是不稳定的,转变为具有铁磁性的  $\alpha'$  马氏体,不能满足无磁不锈钢的要求。在另一方面,正是利用  $\gamma \rightarrow \alpha'$  相变,可以提高钢的强度。

除上述的技术原因之外,调整成分的另一个目的是获得更多的经济效益。在保证成分在标准规定的范围的前提下,对于产品的成分以及原料的配比,可进行优化处理,用计算机辅助生产。

### 3.2.2 改进工艺

工艺的改进不仅可提高材料的质量,也可提高生产率,降低生产成本,导致巨大的经济效益。这是改进传统材料的有效措施和最活跃的领域。

以钢铁生产为例:氧气炼钢加速了冶炼过程;炉顶加压及提高风温强化了高炉炼铁过程;连续铸锭及连续轧制加速了生产,也节约了能耗;控制轧制合并了轧制和热处理工艺,提高了钢材的性能……

还应该指出,新工艺的采用,可以导致新材料的兴起和旧材料的衰亡。例如,奥氏体不锈钢不仅有较高的耐蚀性,而且易于冷加工成形,它一出现,便被采用来制造化工容器。这些容器的制作需要熔化焊接,焊后在热影响区可能有严重的晶间腐蚀。产生这种局部腐蚀的原因是在晶界沉淀碳化铬以及邻近的贫铬区的选择性腐蚀。解决这个问题有效措施有二:一是超低碳 [ $w(\text{C}) < 0.03\%$ ]的不锈钢;二是加入钛或铌,形成稳定的碳化物,固定了碳,因而有含钛的 1Cr18Ni9Ti(前苏联的 Я1Т, AISI321)和含铌的 1Cr18Ni10Nb(AISI347)。生产超低碳不锈钢时,铬的损耗大、炉龄低,因而成本高,这就促使表面质量差的 Я1Т 不锈钢长期地统治着这个领域。





但是,20 世纪 70 年代初开始用氩氧脱碳(AOD)法大量生产超低碳不锈钢,克服了用传统的电弧炉生产这种钢的缺点,并降低了成本,这种钢正在迅速地替代 Я1Т。

再从钨系及钨钼系高速钢在美国的几次消长,可以看出工艺改进与经济和政治因素的配合,决定了钢种的命运。1930 年以前,钼的价格高于钨的价格;直到 1930 年,两者价格才大致相等;由于钼与钨的化学性质类似,而相对原子质量分别为 96 及 184,因而就促进了钼系高速钢的科研工作。1932 年出现了无钨的高速钢 M10(0% W-8% Mo-4% Cr-2% V)<sup>①</sup> 及低钨的高速钢 M1(1-9-4-1)。但是钼系高速钢存在易于脱碳和淬火温度要求严格控制这两个技术上的缺点,难于推广应用,直到 1940 年,产量极少。

第二次世界大战时,美国进口钨受到限制,被迫限制使用钨系高速钢,而新发展的钨钼系高速钢 M2(6% W-5% Mo-4% Cr-2% V),简称为 6542)的脱碳趋势较小,因而从 1941 至 1944 年的战争时期,开始大量使用 M2、M1 及 M10。

战后,限制用钨的禁令取消,用户对于这种“代用钢”仍不习惯,因而从 1945 至 1950 年,美国高速钢 T1(18% W-4% Cr-1% V),简称为 18-4-1,前苏联的 P18)又回升到统治地位。美国侵朝战争时期,钨的供应重新感到紧张,从 1951 年起,T1 钢的产量急剧下降。一方面,由于盐浴炉及精密温度控制的设备广泛制造和使用,解决了钨钼系高速钢的重要技术问题;另一方面,由于性能相似的高速钢,钨系价格较钼系高 10% ~ 50%,钨系高速钢从此一蹶不振;一些国家中的钢种标准,还取消了这种高速钢。

若近似地忽略回收率的差异,以 6542 代替 18-4-1 高速钢,令 Y 为年产高速钢的吨数,则每年节约的原料费为:

$$\Delta C = Y[(180 - 60)C_W - 50C_{Mo} - (20 - 10)C_V] = Y[120C_W - 50C_{Mo} - 10C_V] \tag{12.10}$$

式中,  $C_W$ 、 $C_{Mo}$  及  $C_V$  分别为钨铁中钨、钼铁中钼及钒铁中钒的每公斤价格。1979 年 12 月 25 日,国际价格为  $C_W = \$ 25.463$ ,  $C_{Mo} = \$ 19.004$ ,  $C_V = \$ 14.336$ , 设  $Y = 35\,000\text{ t}$ , 代入上式得到:

$$\Delta C = 68.672\,1 \times 10^6 \text{ 美元}$$

这并不是一个小的数字。设  $C_V \approx C_{Mo}$ , 则从(12.10)可以看出,只当  $C_{Mo} = 2C_W$ ,  $\Delta C$  才会为零。上面的估算,若以百分数计,则节约铁合金费为:

$$\frac{120C_W - 50C_{Mo} - 10C_V}{180C_W + 10C_V} = \frac{1962.06}{4726.64} = 41.51\%$$

总之,工艺改进带来的材料质量的提高,只有伴随着经济效益的增加,才会

① 百分数表示 W、Mo、Cr、V 的质量分数,以下同。





使采用这种工艺的材料,得到迅速的增长。

3.3 新材料的研制

“新”是相对的,相对于上述的传统材料,具有新意;“研制”指研究和试制,当然具有新意。在不同的时期,总会有些专家,回顾过去,展望未来。例如,田中良平([C39])组织了日本专家,于 1979 年出版了《向极限挑战的金属材料——开拓 21 世纪的技术》,论述了 26 种结构材料和功能材料;《Scientific American》1986 年 10 月这一期([C40]),出了“为了经济增长的材料”专集,共 13 篇评述论文,组织美国专家们从行业、学科和各类材料三方面陈述了观点,展望了前景,可供参考。

这一小节将从如下三个方面提出看法,尝试掌握动向,窥视未来。

3.3.1 需要与满足

为了适应自然资源和能源的限制,符合社会关于环境保护的规定,以及满足越来越多、越来越高的要求,人们应用和发展材料学关于性能和结构方面的知识,采用或寻求适当的工艺,研制新的材料。例如,在第一章图 I .1 所示新技术革命的技术群中所需用的材料。

(1)能源材料

由于各种能源系统的力学、热学、化学等环境不一样,因而对材料的要求也有区别,表 II .13 列出这种要求。

表 II .13 能源系统对先进材料的要求①

要求 系统 材料	电子材料	陶瓷	高分子材料	金属材料	复合材料
开采	高温	硬钻头	密封及包装	耐蚀②	—
精炼	—	催化剂②	—	耐蚀②	—
煤的燃烧和 液化	—	催化剂② 耐磨损②	—	—	耐磨损②
核能	抗辐照	废料处理等 离子绝缘	—	废料罐② 高温抗辐照②	—
发电及输电	超导体②	透平部件	绝缘体	叶片② 蒸汽轮机部件	—
太阳能	廉价太阳能电池②	吸光	包装	—	—
废物燃烧	—	—	—	耐蚀②	—
地热	高温	—	—	耐蚀②	—
能量节约	高效磁铁能量控制 系统	热迁移部件	降低车辆质 量	高温合金② 能量回收部 件	降低车辆质 量

①[C38]。  
②研制活跃的领域。





如表 II.13 所示,能量系统中有不少的新材料的研制工作。例如,美国在 1975 年,光电池利用太阳能装置费为 \$ 75 000/kW,而烧煤的汽轮机发电厂及核发电厂的装置费分别是 \$ 230 及 500/kW;由于制备硅及其他技术的研制结果,1985 年已使太阳能装置费降至 \$ 1 500/kW,而烧煤的电厂装置费增至 \$ 1 100/kW。又例如,过去 30 年,燃气轮机叶片工作温度平均每年提高 6.67 °C,工作温度提高 83 °C,可使推力提高 20%,这些成就是由于强化了镍基合金、采用了定向结晶技术。用  $w(B) = 0.02\%$  的韧化  $Ni_3Al$  合金、采用快速冷却制备粉末以及等静压成形等技术,可使工作温度进一步提高。但是镍基高温合金的工作温度毕竟受熔点的限制, $Si_3N_4$  或  $SiC$  可使长期工作温度提高到 1 200°C 以上,但临界裂纹尺寸只有 0.1 mm,并且成本很高。今后,韧化这类陶瓷和降低生产成本是主要的研制方向。又例如,输电变压器的铁损,全世界每年为 4 000 亿 kW·h,若采用非晶态合金,可节约 1 000 亿 kW·h。

### (2) 信息材料

信息的储存和传递装置要求小、轻、快。硅芯片内的线宽,1960 年为 30  $\mu m$ ;1986 年降为 1  $\mu m$ ,因而每片可容纳  $10^5$  以上的晶体管,储存  $1.6 \times 10^6$  bit 以上的信息;1990 年可达 0.1  $\mu m$ 。因而光刻技术将由可见光转为高能电子及 X 射线。硅中电子的有效质量( $m^*$ )为自由电子质量( $m_0$ )的 1/5,而 GaAs 中  $m^*/m$  为 1/15,因而后者的信息传递速度更快。为了增加集成度从而获得更小更快的信息装置,人们在研究分子外延生长的三维器件。

生物芯片是未来的材料和技术。生物芯片既是类似生物分子或生物分子的芯片,也是类似生物功能的芯片。

光学玻璃的透明度已惊人地提高,16 km 厚的最好玻璃中的光损失比 2.5 cm 厚的普通窗玻璃的光损失还少。用光传递信息较电子或电波更有效,20 世纪 70 年代中期已开始用光导纤维通话;世界第一条长达 6 684 km 的跨大西洋海底的光缆(TAT-8 工程)已于 1987 年秋完成,最多可同时通四万条话路。目前,光学信号仍需借助于转化为电信号而放大;非线性光学材料已在研制,它类似于晶体管放大电信号,可以放大光信号。关于光信息的接受、传递和发放,除了改进  $SiO_2$  玻璃及 GaAs 外,正在研制对红外线(2 000 ~ 5 000 nm)透明的  $ZrF_2$ 、 $As_2Se_3$ 、KI 以及其他的 III-V 族半导体 GaAlAs、InGaAsP、光开关材料  $LiNbO_3$  等。光子技术方兴未艾,前程似锦。

### (3) 生物材料

人是最宝贵的生物。人们在研制各种新材料,特别是用高分子、陶瓷、复合材料来替代人体的各种组织,如血管、心瓣、心脏、骨骼、眼睛、皮肤等([C40] p118 ~ 124),以达到延年益寿的目的。除开力学因素外,医疗材料的关键问题



是“人体适应性”，过去认为人体材料应该不与人体环境发生化学反应，今天认识到不是所有的这种化学反应都是有害的，可以利用这些反应来增强界面结合或吸收外来物质。

#### (4) 航天材料

减轻质量是航空和航天工具的首要要求。减轻材料质量可以提高燃料效率、降低操作费用。美国 1980 年的飞机的直接操作费用中，燃料占 55%。对于航天用结构材料，要求比强度大，有些部件要求耐热。非金属基的复合材料可以替代许多不要求耐热的金属部件；金属基的复合材料在减轻质量的前提下，可提高使用温度。提高燃料效率的另一途径是提高发动机的工作温度（参见能源材料）。

#### (5) 汽车材料

汽车是方便而有效的地面交通工具。1984 年，全世界共生产  $42 \times 10^6$  辆汽车，每年用去钢铁、铝合金、塑料等  $56 \times 10^6$  t；以美国为例，共有  $164 \times 10^6$  辆汽车在行驶，全年行程共  $2 \times 10^{12}$  mi<sup>①</sup>（[C40]p93），若以每加仑汽油能行驶 20 mi 估算，则耗汽油  $10^{11}$  gal<sup>②</sup>。因此，汽车是消耗巨大能源和材料的行业。因此，全世界在满足各国环境保护规定的前提下，都在研制轻质而又经济合算的材料。

综上所述，社会的需要是材料研制的推动力，也是材料工业发展的推动力；材料学的进展，使人类有能力满足这种需要，这是材料研制以及材料工业发展的拉力；一推一拉可以加速过程的进行，如图 II .58 所示。

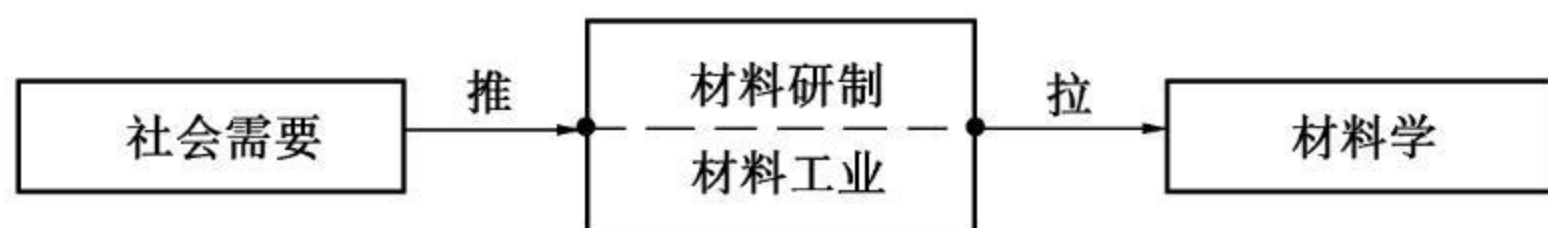


图 II .58 材料研制和材料工业的进展

### 3.3.2 引进和创新

信息和物质、能量有一个重要区别：物质是守恒的，能量是守恒的，或者通过  $\Delta E = C^2 \Delta m$ ，物质与能量之和是守恒的；但是，信息却不是守恒的。信息的这种特性导致了人类的科学和技术知识是共享的，因此，这种信息的交流和引进，可以促进人类的共同发展。

第二次世界大战后，美国利用当时的雄厚的财力，十分重视人才的引进，这是更高级的信息引进。日本则十分重视信息的引进，在先进国家已公开或出售的科学技术基础上前进，起点和制高点高，这对日本的经济和科技的起飞，起了

① 1 mi(英里) = 1 609.344 m。  
② 1 gal[(美)加仑] = 3.785 43 L。





重要的作用。

研制新材料信息的引进，俗话是“抄”，也是十分重要的，但宜注意三点：

(1)实用性

要针对国情，不宜盲目引进。

(2)滞后性

由于工作的进程或竞争的需要，公开发表的资料较之实际进展，一般要滞后 2~5 年。

(3)欺骗性

由于竞争的需要，个别企业将公布一批已决定放弃领域的资料，因此，我们要去伪存真，不要误入歧途。

创新就要进行科学研究，特别要解放思想，注重一个“超”字。书中规律都是在一定客观条件范围内成立的，超过这些范围，也许能有所创新。作者在总结不锈钢的发展历程时，注意了 this 超字([A5]p430~432)；文献[C39]所介绍的 26 种向极限挑战的金属材料，大多数都带有或隐含着“超”字，例如超纯、超高强、超硬、超塑、超细、超导、超低温、超高导磁、超速冷却等。

参考第 9 章材料的科研，要重视不均匀形核理论的应用：单学科的“破绽”及多学科的“界面”上易于形核。

此外，在理论指导下研制新材料，要充分应用理论的成就，例如：

(1)在新的结合概念和新反应理论指导下，合成新材料。

(2)在界面(表面)科学成就的基础上，探索材料各种界面现象，设计新材料。

(3)发扬各种材料的优点和材料界面研究的成就，创制各个层次复合的材料。

(4)应用仿生学，仿效动植物组织的功能，试制新材料。

**【例】 纳米材料**

现以纳米材料为例，运用第 I 篇所论述的各种分析方法，回顾和展望新材料的发展历程([B62])，分七段。

(1)哲理

从哲理上认识物质的结构，有如下三种有争议但可兼容互补的看法：还原论、层创论和底部空间论。

1)还原论

爱因斯坦认为：

“物理学家的无上考验在于达到那些普遍性的基本规律，再从它演绎出宇宙。”

(12.11)

这是还原论者的豪言壮语。他们认为，将客观世界依层次地分成许多小的部分，把每一小部分研究清楚了，把它们再拼合起来，问题便解决了。





## 2)层创论

安德森认为:

“将一切事物还原成简单的基本规律的能力,并不意味着我们有能力从这些规律来重建宇宙。……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。” (12.12)

卡达诺夫认为:

“我认为已经有相当多的经验表明,物质结构有不同的层次,而这些不同层次构成不同群落的科学家研究的领域……每一层次都有新的、激动人心的、有效的、普遍的规律。这些规律往往不能从所谓更基本的规律推导出来。” (12.13)

这两种哲理的争论焦点是:“部分”组合成“整体”,发生什么变化?

①界面性质有什么作用?

②部分本身发生了什么变化?

当许多纳米颗粒组成大块材料时,都会遇到上列问题。

## 3)底部空间论

1959 年,物理学家理查德·费因曼(Richard Feynman)发表了:

“《底部有很大空间》” (12.14)

一文,媒界誉为纳米技术的最早梦想。这种梦想似乎也可延伸到:

“深海有很大的空间。” (12.15)

“太空有很大的空间。” (12.16)

## (2)逻辑思考

形式逻辑中的一个重要命题是“概念”,通过“定义”和“划分”这两种逻辑方法,可分别明确它的“内涵”和“外延”。

### 1)定义

“‘纳米’(Nanometer)为十亿分之一米( $10^{-9}$  m),记为 nm。” (12.17)

“纳米技术”、“纳米材料”等是在纳米概念的基础上定义的:

“‘纳米技术’是至少在一维尺度为纳米级(典型的为 1 至 100 nm)的技术。它包括电子学、化学、材料学、机械学、医学等。” (12.18)

“‘纳米材料’是至少在一维是纳米级(典型的为 1 至 100 nm)。这类材料可含晶体相、准晶相或非晶相,这些相可是金属、陶瓷、高分子或复合物。” (12.19)

从概念的内涵来看:

“科技”>“技术”>“材料技术” (12.20)



- 那么: “纳米科技”>“纳米材料科技” (12.21)
- 同样: “物质”>“材料” (12.22)
- 因此: “纳米物质”>“纳米材料” (12.23)
- 这是由于: “马”>“白马” (12.24)

在概念内涵方面的误导,将所有的“马”都叫“白马”,将所有的“物质”(Substance)都称为“材料”(Material),将所有的“纳米物质”都奉为“纳米材料”,同样是犯逻辑错误的!

应该强调,在逻辑上,“材料”与“物质”是“种”与“属”之间的关系。

2)划分

按纳米级的维数,如表 II .14 所示,可划分纳米晶体材料([ C39]p361)。

对于概念,应该是:

“有定义,不唯定义,重在事物的实质。” (12.25)

因为没有定义,则各说各的,难于交流,难于争鸣;而当事物的实质改变了,表征事物实质的定义必需随之改变,否则便会流于僵化。

表 II .14 纳米晶体材料的划分

维 数	命 名	典型制备工艺
0-D	簇团	凝胶法
1-D	薄膜	气相沉积,电沉积
2-D	细丝	化学气相沉积
3-D	等轴晶	气相沉积,机械合金化

(3)历史进程

真理不是教条,而是在历史过程中形成的;我们应从事物的形成过程去探寻它们的秘密。

在金属材料的发展历程中:1906 年,Alfred Wilm 意外地发现 Al-Cu 合金的室温时效硬化现象;1916 年,Merica、Waltenberg and Scott 尝试从第二相的沉淀,来说明这种硬化现象;1938 年,Guinier Preston 用 X 射线方法,指出这种沉淀相是铜原子的富集区——GP 区;20 世纪 90 年代已确认,对应于 Al-4% Cu<sup>①</sup> 合金最高硬度的显微组织中的沉淀相是共格的  $\theta$  相( $\theta'$ )及 GP 区 II,其中  $\theta'$  是直径为 100 nm、厚为 10 nm 的薄盘——一种纳米晶体相。

对于低碳钢的屈服强度( $\sigma_s$ ),早在 1951 至 1953 年,Hall 及 Petch 分别得到如下的经验关系式:

$$\sigma_s = \sigma_0 + k_Y d^{-1/2}$$

(12.26)

① 百分数表示 Cu 的质量分数。



式中,  $d$  为晶粒的平均直径,  $\sigma_0$  及  $k_Y$  为实验系数。 $d$  与晶粒号( $N$ ) 的关系如下:

$N$		1	3	5	7	9	11	13	15	17		19	21	23	25	27
$d$	$\mu\text{m}$	254	127	64	32	16	8	4	2	1	$\text{nm}$	500	250	125	63	32

一般地说,  $N > 5$ , 为细晶;  $N > 11$ , 为超细晶。通过热处理或控制轧制, 可细化晶粒, 提高强度和韧性。

对于工业生产的超导  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  丝, 其临界电流密度  $I_c$  反比于晶粒大小, 当晶粒为  $50 \sim 80 \text{ nm}$  时, 可获得高的  $I_c$ 。

更大的震动是 IBM 在 1990 年进行的实验: 他们利用扫描隧道显微镜和类似镊子的工具移动氙(Xe)原子, 用 35 个 Xe 原子组成 IBM 三个字母。从这种操纵单原子的能力, 看到设计和制造纳米器件的希望。在下面两段, 从微观和宏观两方面分别侧重简述科技和市场问题。

(4)微观分析——科技问题

在下面, 先简述纳米晶体材料的结构( $S$ ), 再理解它们的性能( $P$ )。

1)纳米材料的结构

现以金属的纳米晶粒(I 相)及晶界(B 相)为例, 说明纳米晶体材料的结构特征, 它们是由 I + B 组成的复相合金, 有如下四个主要特征:

①大量的 B 相

假定 I 相为球形或立方体,  $d$  为晶粒直径,  $\Delta$  为 B 相宽度, 则 B 相的体积分数为:

$$\varphi = 3\Delta / d \tag{12.27}$$

示例的计算结果如表 II .15 所示, 可见 B 相是大量的。

表 II .15 晶界相(B)的体积分数

$d/\text{nm}$	$\Delta/\text{nm}$	$\varphi/\%$
5	1	60
10	1	30
100	1	3
10	0.6	18

②I 相的晶体结构——结构类型虽然难变, 但晶粒很小, 又受 B 相的影响, I 相的点阵常数发生变化。例如,  $\text{Ni}_3\text{P}$  及  $\text{F}_2\text{B}$  虽是长方晶体, 纳米材料中 I 相的  $\varphi$  值均小于粗晶材料中 I 相的  $\varphi$  值, 但前者的  $d$  值却大于后者的  $d$  值。

③B 相没有长程的周期性, 原子的排列较紊乱。



④当  $d < 5\text{ nm}$  时,三晶相交的区域占有重要的体积分数。  
从上述的四个特征,易于定性地理解下面将要介绍的性能。

2)纳米晶体材料的性能

现从制造和使用两方面,分别述评工艺性能和使用性能。

(A)工艺性能

从热力学考察,纳米晶体粉是亚稳定的,这就影响它们储存时的稳定性和成块时的烧结性(Sinterability),简介如下。

①稳定性。这涉及晶粒长大的问题。如表 II .15 所示,纳米粉含有大量的晶界相(B),原子易于移动。传统的概念指出:晶界扩散的激活能( $Q_B$ )只是晶内扩散激活能( $Q_I$ )的一半,即:

$$Q_B = 0.5 Q_I \tag{12.28}$$

但是,纳米粉在室温的晶粒长大远较预期的要快:熔点较低的金属如 Sn、Pb、Al、Mg 的纳米粉,在室温饱 24 h 长大成倍,已令人奇怪;对熔点较高的 Cu 及熔点为 1 662 °C 的 Pd 纳米粉,也观察到室温的晶粒长大,迫使人们思考两个问题:

- a.传统的晶粒长大物理如何修改?
- b.如何阻止晶粒长大? 杂质偏聚在 B 相有无效果?

②烧结性。传统的粉末冶金方法用于纳米晶体粉末的烧结成块,需要增加两个考虑因素:晶粒长大和粉末之间的高摩擦力。文献[C41]p375 ~ 377 简介了现用的六类工艺:

- a.放电成块(Electro-Discharge Compaction);
- b.等离子活化烧结(Plasma Activated Sintering);
- c.冲击波成块(Shock Consolidation);
- d.热等静压(Hot Isostatic Pressing,简称 HIP);
- e.陶瓷代气的热等静压(Ceramic Processing 或 ceramic HIP);
- f.烧结锻造(Sinter Forging)。

(B)使用性能([C41]p377 ~ 392)

从前述的纳米晶体材料结构特征,可定性地理解这类材料的使用性能。

①扩散性。扩散系数  $D$  大,对于 Cu:

样品及部位	8 nm 晶粒	一般,晶界	一般,晶内
室温时 $D/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	$2.6 \times 10^{-20}$	$4.8 \times 10^{-24}$	$4 \times 10^{-40}$

这种巨大差异影响与原子迁移有关的性能,如蠕变、超塑性等。

②力性

- a.由于孔洞的百分数增加,弹性模量( $E$  及  $G$ )下降。



b.硬度和强度增加,符合前述的 Hall-Petch 关系式(12.26);但当  $d < 20\text{ nm}$  时,这个关系不再适用。

c.塑性和韧性。一般规律是细化晶粒,不仅强化,而且韧化;但当  $d < 100\text{ nm}$ ,这个规律不再适用,塑性及韧性有所下降。

d.超塑性的临界温度下降。

e.形变机制:  $d = 100 \sim 50\text{ nm}$  时,仍是位错机;当  $d < 10\text{ nm}$  时,位错的产生已困难。

③声性

a.由于弹性模量下降,使声速下降。

b.由于可吸收某一波段范围的雷达波,可发展为隐身涂料。

④热性

a.热膨胀系数( $\alpha \times 10^{-6}\text{ K}$ )增大:

	粗晶	非晶管	纳米晶
Cu	16	—	31
NiP	13.7	14.2	21.6

b.热容远大于粗晶及非晶材料。

⑤电性。电阻率( $\rho$ )增大,下表为 $(\text{Fe}_{99}\text{Cu})_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 数据:

$d/\text{nm}$	90	50	30	非晶
$\rho/(\mu\Omega\cdot\text{cm})$	44	60	126	102

有可能发展为大的巨磁阻(GMR)的材料。

⑥磁性。晶粒很小,可是单畴;周围基体是晶界相,可使磁的交互作用忽略不计。在软磁材料 Fe-M-B 合金系的非晶薄带适当晶化,可获纳米晶的薄带,其中 M 为 Zr、Hf、或 Nb。这类合金的优良磁性是下列因素导致的:

a.高  $B_s$ : 增加 Fe 量,纳米 bcc 晶粒与铁磁性非晶相的磁耦合。

b.纳米 bcc 格 Fe 相小于磁畴壁宽,磁的均匀性导致可逆磁化。

c.溶质富集在非晶相,增加纳米晶体结构的稳定性。

d.饱和磁致伸缩系数  $\lambda_s$  的降低是由于溶质原子在纳米晶与非晶相间的再分配。

⑦化性。由于纳米晶体材料具有大的比表面,在催化、储氢等方面可能有发展前途,对  $\text{TiO}_2$ 、Pd-Fe 等已开展工作。

(5)宏观控制——市场问题

从宏观控制考虑,参考图 I .3,主流应是:

“面向市场,抓两头(应用,设备),带中间。”
(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 1.3 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)

#### (6) 现况与展望

依据美国《商业周刊》(Business Week)2002 年专刊([C42])的报道,在 5 900 多种报刊和其他出版物发表的、论及“纳米科技”的,1999、2000 及 2001 年分别为 750、1 500 及 2 700 篇。2001 年各国政府和企业对纳米技术的研究和开发的投入共约 12 亿美元。

目前全世界共有纳米技术公司 300 多家,虽然规模都不大,但声势可观,它们大部分是由大学科研人员组成的。纳米技术市场是微不足道的,包括碳分子纳米管以及其他有关原材料在内,估计总共不过 5 000 万美元,但仅利用这些原材料制造的产品的价值已达 265 亿美元。这些产品有:利用超微催化剂颗粒制造化学产品;利用超微氧化锌碎片制造的遮挡紫外线功能的防晒涂液;能够防止油漆脱落的乳化剂;能够增强眼镜抗划痕能力的镀膜;可延长工业工具寿命的原材料;等等。纳米技术可把原材料的性能提高到空前的水平,潜力很大;美国国家科学基金会(NSF)预测,到 2015 年,纳米技术市场将达到 1 万亿美元。

纳米技术产业化的进程将取决于以下两个因素:

- ①必须开发全新的制造系统和制造方法;
- ②被取代的产业经营情况,例如硅芯片至少还有 10 年进一步发展的余地。

文献[C43]指出:纳米技术时代将加速到来,其首要推动因素是开发工具的进步,这些工具包括原子力显微镜、纳米操作器、分子束外延技术等;其他的十个推动因素是:生产规模的扩大,公共资金的支持,蓬勃开展的研究工作,相互得益的思想交流,受到鼓励的企业家精神,风险资本的推动,强大竞争的推动,强大计算能力的推动,更复杂软件的推动,对纳米技术的深入认识。

#### (7) 结语

①真理不是教条,而是在历史过程中形成,我们应从事物的形成过程去探寻它们的秘密。

②对哲人之言[例如(12.11)至(12.13)],可获启示,但不执迷;我十年在国外工作,听到一句也许是过分的警言:有重大实用价值的东西,好的不发表。值得参考。对新材料方面的文献,要慎重分析。

③对于概念,应该是:“有定义,不唯定义,重在事物的实质。”



④“科学”与“技术”既有密切关系,也有区别;科学强调理解,技术注重实用;对于这两类工作的管理,应有区别。

⑤从实用角度考虑:微观分析的目标是提高材料的性能,通过自然环境作用于材料的结构,从所表现的过程去理解和提高性能。宏观控制的目标是提高经济效益,没有经济效益的“纳米物质”不能叫做“纳米材料”。微观和宏观的联合控制,可使“纳米物质”成为俗称的“物美价廉”(即性能优成本低)的“纳米材料”商品。

⑥国家财力有限,对于探索性的“纳米物质”与“纳米材料”的基础性研究,应慎重选择,有所不为,才能有所为。

### 3.3.3 系统和环境

材料是一种系统,系统的功能便是材料的性能(参见第 1 章)。我们正是应用系统的概念来定义性能的(参见第 4 章 2.1 节),因此,要控制材料的性能应充分注意环境的作用。

分析材料性能时,一般是固定环境条件(外因),探索性能与结构(内因)之间的关系;讨论结构稳定性和过程问题时,也是应用经典热力学,处理平衡和接近平衡的问题。

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;讨论这种结构的稳定性,已超出经典热力学的适用范围,可以应用“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,处理开放系统,可应用于物理、化学、生物、天文、地理、医学、农业等领域,于 1977 年获诺贝尔奖。在他的新著《探索复杂性》讨论这种理论的应用时,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)

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。

耗散结构理论将环境与系统看做是一个整体,强调系统的开放性或非孤立性,为人们提供了一种新方法分析自然现象和社会现象。

材料在制造及使用过程都不是一种孤立系统,应用耗散结构这个概念,可以解释许多已知现象并启示新的思路。

在第 3 章第 4.2.3 节,我们曾初步介绍了耗散结构理论,现进一步说明表 I .11 所示的实例。

(1)高碳高锰钢(1.3% C-13% Mn)<sup>①</sup>,由于在使用过程形成马氏体及大量层

① 百分数表示 C、Mn 的质量分数。



错,因而具有很好的耐磨性(表 I .11 中例 1)。

(2)不锈钢,只在氧化性介质中,由于环境提供氧而在不锈钢表面形成钝化膜而保持不锈性(表 I .11 中例 2)。

(3)相变诱生塑性钢(TRIP 钢),由于环境提供机械能,在裂纹尖端形成马氏体,可以显著地提高钢的韧性(表 I .11 中例 3);同样的原理用于提高陶瓷材料  $ZrO_2$  的韧性(表 I .11 中例 4)。

(4)发汗材料,利用环境的热能使某些组元气化,从而提高材料的耐热性(表 I .11 中例 5)。

(5)消振材料,利用环境的机械能引起不同内界面的大量移动而减少振动(表 I .11 中例 6)。

(6)钢铁在水介质中的阴极保护是由于从环境提供电能,从而在钢铁表面形成富集电子从而阻止阴极溶解的结构(表 I .11 中例 7)。

在过去,人们不自觉地运用耗散结构概念,取得有意义的结果;今后,如能自觉地运用这种概念,将会启示思路,提高材料的环境适应性,创制“智能材料”。

表 I .16 物质或材料的耗散结构实例

例	物质或材料	环 境	耗 散 结 构
8	水	温差	Benard 水花结构
9	BZ 反应物质	泵入或泵出物质	化学钟
10	液态金属	温差,压差	凝固结构
11	固体	激光或粒子源	玻璃态
12	熔岩	温差,压差	成矿结构
13	固体	外力	位错结构
14	固体	外力	裂纹结构

本表是第 3 章中表 I .11 的继续。





## 第Ⅲ篇 结论

### 第 13 章 结论

“结而论之。” (13.1)

人生一世,行路一程,面临和经历自然与社会环境,分别有“物事”与“人事”,总称为“事”。本篇为结论,仅一章,分三节。在总结全书内容之后,依次为处理人事三论(简称为处事三论):算计,生态,适中;即,为求生,要算计,需适中。

本书第Ⅰ篇“总论”四章,在讨论历史、逻辑、系统分析方法之后,简论材料。第 1 至第 4 章的重点分别是:

- (1)通过学习、讲授、科研实践,认知材料;
- (2)第三类推理——类比交叉;
- (3)反馈的应用;
- (4)遵循《易传》道路:

“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。” (4.1)

第Ⅱ篇“分论”,共八章(从第 5 至第 12 章)。长短有异,各有所重,各有所司,分论了八个问题:

第 5 章依据 1996 至 2010 年的我国大局,阐明《宏观材料学导论》全书的结构( $S$ ):组元( $E$ )和组元之间的关系( $R$ )(图 I.7):

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

第 6 章以“生态材料”为例,阐明第一个战略——“可持续发展”。

第 7、8 两章分别论述社会科学中经济学及法律学的贡献,这是由于“材料是商品”及“以法治国”。

第 9、10 两章是在第二个战略——“科教兴国”的指引下,分别论述“材料科研”与“材料教育”。

第 11、12 两章从“材料是商品”这个重要和易被忽视的观点出发,分别从现在与未来两方面,讨论“材料应用”与“材料展望”。





# 算计论

([B35])

## 1.1 引子

20 世纪 80 年代中期,我拟从事专家系统工作时,浏览计算机方面论著关于算法(Algorithm)和计算(Calculate, Compute)的讨论;从事《材料的应用与发展》([A8])电视广播教学教材的编写时,重新学习材料经济中的成本分析,知道不同的算法,会有不同的计算结果,从而出现“错算”。

1996 年全国学习邯钢经验:“模拟市场核算,实行成本否决。”领导重视算经济账,报载效益显著,令人欣慰。12 月 29 日,《冶金报》刊登“‘反平衡’不可取”。所谓“反平衡”,是先拟定利润指标,然后根据这个“指标”逆向推算产值的成本消耗,以预算作决算,以推算成本作为实际成本,夸报利润,听来可怕。

2001 年美国的安然公司,出现虚报利润的丑闻,2002 年美国的第二大长途电话公司——世界通信公司会计假虚报 38 亿元利润,更是令人惊讶,这是犯罪的“假算”!

《孙子兵法》十三篇之首为“计篇”,共 6 章 339 字,言简意赅,可见重要;其第 6 章云:

“多算胜,少算不胜,而况于无算乎?” (6.17)

“算”与“计”重要,其组合有“计算”和“算计”,试论之。

## 1.2 分析

“算”与“计”是既相关而又有区别的两种操作,人类的活动便是这两个组元连续的无穷尽的循环操作:

计→算→计→算→计→ (13.2)

开始时,计数的关系,谓之算;随后,我国曾将掌握财物出纳的叫做“计官”,当今则分为“会计”和“出纳”,前者算账,后者算钱。“Economics”在我国曾译为“计学”,后采用日译名“经济学”。军事上,依据侦察结果,开会研究(孙武时代称之为“庙算”),定出作战大计,因而参谋们也可称为“计官”。在商海、政海、学海等领域,都有大量“出点子”的“谋士”;谋源于计,计基于算。

综上所述,可见算与计的重要性;在下面,分析四点。

### 1.2.1 区别

计与算的侧重点有所不同。将“数”扩大为“数据”,则“算”是对“数据”进行



较简单的操作，如加、减、乘、除、乘方、开方、求对数、三角函数、比较等逻辑运算，可获准确的结果。而“计”则不然，它不仅提供算法，为算所用，而经常需要“议”与“谋”，从而获得或然性的“计谋”、“计划”等，是较为复杂的思维活动。表Ⅲ.1 总结计与算之间的区别。

表Ⅲ.1 计与算之间的区别

比较项目		算	计
操作	性 质	机械操作	议与谋
	复杂性	简 单	复 杂
结果	可靠性	准 确	或然性
	用 途	计的基础	算的指导

### 1.2.2 关系

搞计划，出计谋，要“心中有数”，这个数是算的结果，是计的基础(表Ⅲ.1)。算有个算法，这个算法是计的结果，因而算是在计的结果指导下进行的。

“眉头一皱，计上心来。”皱眉时，有所盘算，而盘算时，不过调出脑内所储存的数据及已算出的结果，加以推衍，得出计谋。“算·计”时，由算出计！脑内空空的，又储存假数据，运用错误的算法(有意的或无意的)，绝无好计。

计算机是一种计算工具，可叫做“·算·器”，这类·算·器包括算盘、计算器(Calculator)、计算机(Computer)等。运用·算·器计算时，是由计到算，都有一套算法。这些算法便是计谋落实到规划、计划等。因此，算是在计的指导下进行的。

计算机是硬件；而在算法和语法(Syntax)指导下所制定的具体计划，即程序(Program)，叫做软件。计算机进行“计算”时，是在程序这个“计”的指挥下工作的。

综上所述，算与计的关系很密切：“计算”强调算，而“算·计”强调计；计算是在计的指导下进行算，而算·计则是在算的结果基础上推衍计的；它们是如(13.2)所指的那样，是人类无限发展过程中两个思维组元。

### 1.2.3 假算出假计

以前面提到的“反平衡”为例，算法简单正确，易懂易从：

$$\text{利润}(F) = \text{售价}(P) - \text{成本}(C) \tag{13.3}$$

式中， $F$  是期望的利润值， $P$  是估计的售价，而  $C$  则是所计算的·成本·。这是一种“预算”，这是“模拟市场的核算”；若所计算的  $C$  值太小，难于达到，则需“实行成本否决”。若不能否决，则实行“决算”时，以实际的  $P$  及  $C$  值代入，将会出现两种情况：

(1)  $F \geq$  预定值，皆大欢喜；或





(2)  $F <$  预定值,甚至为负值,即亏损。

出现第(2)种情况,如何办?

(1)实事求是,总结教训;或

(2)假算:以规定的  $F$  值及实际的  $P$  值代入(13.3),计算假的  $C$  值,当然会低于或远低于实际的  $C$  值。这种假算导出的假计,将会使:

①企业广大职工不知真相,不去改进和上进;

②在社会上,助长浮夸不实之风。

这种假算,正是 1958 年工农业大跃进沉痛教训的重演;那时,不讲经济效益,只讲产量,也有类似的假算假计的问题。

导致假算的原因也有二:

(1)企业领导出于无奈,为了保住利润指标的荣誉而玩数字游戏;或

(2)企业领导深谙“官出数字,数字出官”之道,“低投入高产出”方显领导有方。

病因既明,则可对症下药。

#### 1.2.4 错算出错计

凡事也有“合理不合法”或“合法不合理”的情况。按照上级的规定是“合法”的,但是计算结果却是不合理。计划经济体制下的国营企业,还要遵循上级指示的无形的“法”去算和计的。错算出的错计,谁去计较?

在市场经济体制下,限制企业领导的法令较少,他们将会更主动地追寻高利润的合理措施。例如:

(1)成本计算时,设备折旧率以多少为合理?高了,则成本高;低了,则难于更新,降低竞争力。外部投资,不交利息,行吗?哪有不收利息的金融家?无形资产如何评估?苛捐与广告费的区别?

(2)降低成本的措施总是值得分析的,例如,采用系统分析,从生产过程的物流和能流,逐步分析成本,找出串联和并联的关键环节;从能流和物流开展科学研究和技术革新,寻求三废的利用,增加收益,降低成本。

(3)按国际价格及合理的算法计算成本,作为合理的第二本账,准备迎接“复关”及“价格大开放”的挑战。

不要满足现状,不要沉溺于过去落后的、甚至错误的算法和数据,错算将出错计!

### 1.3 结语

(1)计、算、计是人类思维的三部曲;有两种组合,计算和算计;从“计”(算法)开始,经过“算”,到更高或更深层次的“计”。



(2)“计算”是“算”，在“计”的指挥下进行；“算计”是“计”，在“算”的基础上考虑或议谋。

(3)《孙子兵法》十三篇的首篇为“计篇”，其第 6 章谈“算”[见(6.17)]。今人搞“假算”及“错算”，孙武未曾想到，建议在(6.17)之后添加几字：

“错算坏，假算更坏！” (13.4)

对于冤假错案：有错必纠；有假必打。

(4)“预算”只是预谋和设想，计划不全是事实，有时只是纸上画画，墙上挂卦，口上话话；“决算”应是事实的总结，求实地找出经验和教训。

## 2 生态论

为了理解和遵循“可持续发展”的战略，本书专设第 6 章，从“生态材料”理解“生态”。该章 2.4 节指出：

“Ecology。生态是生物与它们环境之间的关系。” (6.9)

人类是一大类生物，人类生活和生存的环境可分为自然环境和社会环境。现按环境类型，总结现代人类应如何处理好生态问题，即处理好(6.9)中的关系。

### 2.1 自然环境

西方的工业社会时代，人们信奉“人定胜天”的哲学；对于自然环境，是先污染，后治理。人类有后代，后代人与当代人应该有同等的生存权与发展权，若当代人浪费自然中的资源和能源，污染自然环境，则会严重影响后代人的生存和发展，这是不公平的。因此，材料的现代判据包括了资源、能源、环保这三个战略性判据。

对破坏自然环境生态的行为，如滥伐森林、破坏草原、围湖造田、污染环境等应坚决制止，依法处理。

“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……对应的产生有再生、进化、形成、出生、再造……

### 2.2 社会环境

人类是一类生物，生物学中的原理：

“生存竞争，适者生存。” (13.5)





同样适用于人类社会。正如赫胥黎指出的那样：

“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)。” (2.59)

因此，竞争与协调从来是人类社会需要解决的重大问题。为此，要求发展各种社会生态系统，如工业、商业、教育、科研等。

## 3 适中论

([B47])

### 3.1 破题

“适”为“適”的简体，意为“适合，恰好”；“中”意颇多，取其常用者，即：“不偏不倚，无过不及，叫中。”这里所论“适中”，为上述二意之合：

“处事要不偏不倚，无过不及，适合客观情况，此之谓适中。” (13.6)

时下谈规模经济，有人误认为规模越大越好；议改革，有人的主观愿望是越快越佳；搞开发区，对引进外资有利，不细致地分析，也要来一个；别人建高尔夫球场，听说有好处，本地区为什么不让搞第三个？知识经济是热门话题，不好好学习和论证，我们城市也上；国外的先进高技术，不考虑条件，都要跟踪；1958年全民都来炼钢；1984年国外一些专家高叫钢铁、机械制造等传统工业是“夕阳工业”，国内也有呼应……这种事，太多了。

当前，时代的主调是和平与发展。在和平发展的当代，本节尝试从人文、社科与科技三方面，论述人类社会的大量问题；观点是：“为了适，应该中。”

### 3.2 人文思考

#### 3.2.1 哲理

中国人“中”的思想，是儒家的正统思想，溯源于《论语·先进 11.16》。孔子的学生子贡问孔子：“颛孙师(子张)和卜商(子夏)谁强？”原文是：“子贡问：‘师与商也孰贤？’子曰：‘师也过，商也不及。’曰：‘然则师愈与？’子曰：‘过犹不及。’”

朱熹在《四书章句集注》对于上列引语理解为：“子张才高意广，而好为苟难，故常过中。子夏笃信谨守，而规模狭隘，故常不及。”“道以中庸为至。贤知之过，虽若胜于愚不肖之不及，然其失中则一也。”因此，“过”与“不及”，都不是





“中”。这段对于人的评价,值得求职者和用人者参考。在《中庸》,对于“中”,朱熹与二程(程颢、程颐)的释义相同,对于“庸”,则有异:

“不偏之谓中,不易之谓庸。”(程子) (13.7)

“中者,不偏不倚,无过不及之名,庸,平常也。”(朱熹) (13.8)

我欣赏“中”,难于接受“庸”。封建统治利用中庸,使民趋于保守,无法改革,并禁民革命。晚清,仁人志士如严复等,宣传达尔文的进化论,意译赫胥黎(T. H. Huxley)的“Evolution and Ethics”(1898)为《天演论》(天,自然也;演,演化也),近人直译为《进化论与伦理学》([C5])。对于其中心思想“Struggle for existence”和“Survival to the fittest”,严复意译为:“物竞天择”;近人直译,通称为:“生存竞争,适者生存”。“Fittest”直译似应为“最适者”,简洁而去“最”字,正如系统分析技术的“Optimization”,将“最优化”简化为“优化”一样。

“适者生存”的先进思想,冲破“中庸”特别是“庸”的消极束缚,发奋图强,适应国际潮流。即令是和平发展的当代,仍有许多问题。例如,各种竞赛只有一个冠军,科学创新也是越新越佳等,不是“适中”问题,不是通过“中”来达到“适”。当然,与这些问题直接有关的过程,如上述冠军的培养锻炼和基础研究经费的预算等,也分别与受培养者的体力和国家的财力等有关,也有“过犹不及”的分析,从而决定是否“适”。此外,技术领域内,有时,最优的技术对某些发展中国家来说,不一定适用,即“优而不适”。因此,“适”就有个判据问题。例如,对钢的生产,用产量最大或利润最多,便是不同的判据;又例如,自动化是先进技术,但是否适用,还取决于机械化、人员素质、经济效益等分析结果。

从矛盾的普遍性和绝对性来看,“过犹不及”这种“中”的思想,是“适”合对立统一法则的;这个法则“承认(发现)自然界(精神和社会两者也在内)的一切现象都含有互相矛盾、互相排斥、互相对立的趋向”这一切现象中,某些因素使之“过”,而另一些因素又使之“不及”。“中”便是平衡,从“矛盾论”观点来分析:“所谓平衡,就是矛盾的、暂时的、相对的统一”。

在本文随后所列举的材料的平衡结构、过程失稳和过程速度问题,都是符合上述对立统一法则的。

### 3.2.2 历史

对于历史中的人与事,一方面,似应适中评价,才算公平;另一方面,也应学习,正如培根在“论学问”中所云:“史鉴使人明智。”([C6])。

我幼习中国历史,深信尧舜自动禅让的美德不疑。近年读唐诗,注意到李白在“远别离”中持异议:“君失臣兮龙为鱼;权归臣兮鼠变虎。或云尧幽囚,舜野死”。程千帆等引文献而论证这个观点:尧年老德衰,被舜所囚;百岁老人的舜,在遥远的南方野死,是流放。古代帝王被誉有过高的美德,难以置信。



又例如,英国的著名思想家 F·培根(1561 ~ 1626)于 1618 年升任法相,1621 年因贪赃枉法,有重罪,故被关进伦敦塔的死狱,后被赦免释放。但是,他的科学思想和划时代的名著《培根论说文集》,流传至今,具有深远影响。

对历史人物的评价,既不能奉为神明,也不宜轻易地全盘否定;对其是非功过的评定,也应恰如其分,不偏不倚。对前人和洋人的学说和观点,宜去伪存真,取其精华,舍其糟粕。

政事,也有速度“适中”的问题。例如,俄罗斯不顾国情,采用西方学者建议的“休克”疗法,导致长时间的经济负增长;而我国则采用适合国情的改革方针政策,逐步进行,取得世界瞩目的成就。科技的发展,有一个从模仿到超越的过程,美、日的历史经验可供参考。看来,政事的发展速度也有一个符合我国成语所说的适中问题:

“欲速,则不达。”(《论语·子路 13.17》) (13.9)

3.3 社科评价

3.3.1 政治运动

政治运动是社会主义国家过去的政治特色之一。如图 III.1 所示,政治运动一般易于“左”倾,出现过“左”(图中 I 点)。运动后要纠偏,纠正偏差(OI),使之归于中道。

“矫枉过正”中的“矫”是手段,“正”是目的,“过正”只是可能出现的现象。若强调必须的过正,则波动大(比较曲线①、②、③)。这种巨幅波动,对于社会的损失,是巨大的。

3.3.2 经济改革的宣传导向

从 1996 至 2010 年这 15 年的大局是:实现两个根本性转变——经济体制从计划经济转变为社会主义市场经济,经济增长方式从粗放型转变为集约型;实施两个基本战略——可持续发展、科教兴国。这一切,都是为了经济改革。用“三个有利于”作为建立和完善社会主义市场经济体制的根本判断标准,这个标准可以理解为社会主义前提下的民富国强。为此,我们要进行三个层次的宣传导向。这三个导向的关系如表 III.2 所示,它们之间要不偏不倚,适当平衡,避免误导(是谓“中”)。

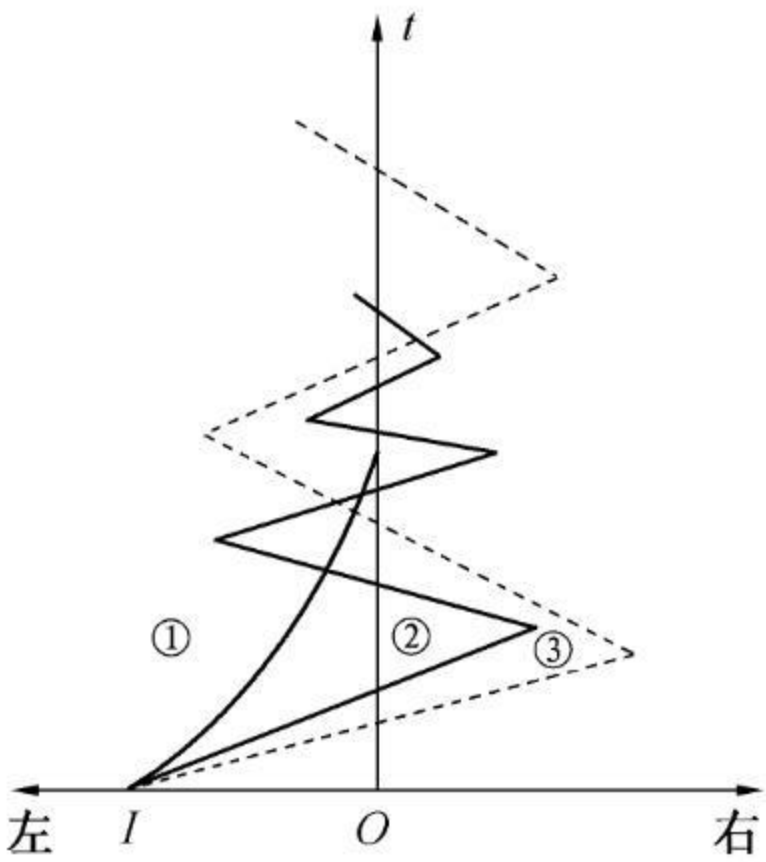


图 III.1 纠偏





表Ⅲ.2 宣传导向的层次、特征、影响和对策

宣传导向		特征	影 响		对策
名称	层次		变化因素	成 品	
政策	战略	权威	政治环境	产品,商品	吃透
市场	战术	无情	经济环境	商品	摸清
技术	战斗	有理	生产力结构	产品	创新,适用

政策具有权威性,必须“吃透”、理解后执行,提高执行的自觉性。吃透政策,既避免违法乱纪,又有利于产品和商品的改进。

市场是无情的,必须“摸清”。市场如战场,对于市场的信息,要注意分析其欺骗性、滞后性和适用性,避免盲目跟进,自取灭亡。

科技是有理的,在生产力结构中,科技是第一生产力,在强调创新的同时,要重视适用。

### 3.3.3 经济体制的改革

竞争和协调,或者是赫胥黎所谓的“自我肯定”和“自我约束”,从来是人类社会需要解决的重大问题,文献[C5]序言中指出:“如果没有从被宇宙操纵的我们祖先那里遗传下来的天性(注:生存竞争),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)。”

好的经济体制就是要适中解决效益和公正的问题:市场经济是几百年来资本主义社会行之有效的高效益的经济增长方式,但解决不了公正和公平的问题;社会主义就是要解决社会的公正和公平。近年来,我国逐步从实践中建立的“社会主义市场经济体制”,就是要适中地解决效益与公正的问题,即竞争与协调的问题。

### 3.3.4 经济规模和收益递减律

商品价格律和收益递减律是经济学中的两个基本规律,现试用后者来阐明经济规模的适中问题。

图Ⅲ.2示出典型的投入( $x$ )及产出( $g$ )曲线。 $g$  是三个硬件因素——劳力( $x$ )、资本( $y$ )、资源( $z$ ) 和三个软件因素——科技( $\alpha$ )、信息( $\beta$ )、管理( $\nu$ ) 的函数:

$$g = f(x, y, z, \alpha, \beta, \nu)$$

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

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



这个  $g(x)$  叫做产出函数或收益函数。从图 III.2 可以看出,  $g(x)$  具有如下几个特点:

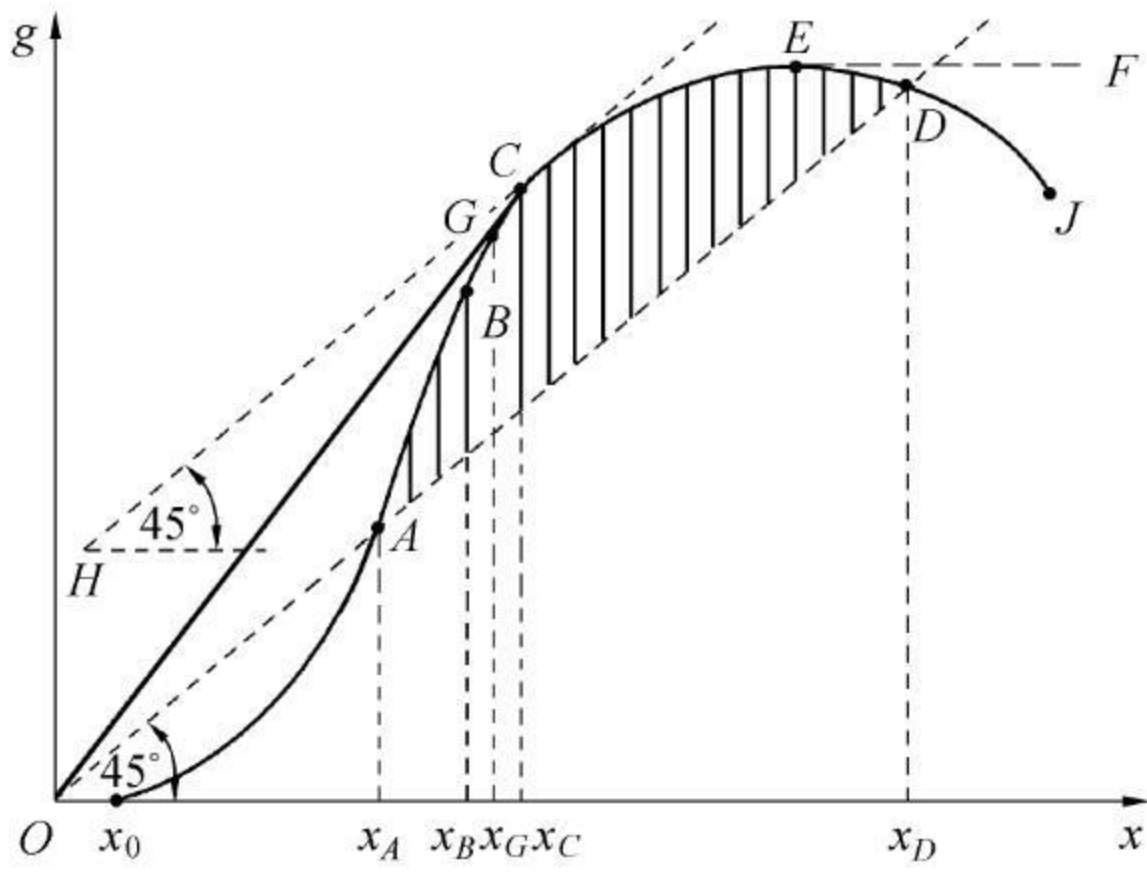


图 III.2 典型的投入( $x$ )产出( $g$ )曲线

- (1)  $g(0) = 0$ , 若  $x$  是劳力, 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) 在一般情况下, 只当  $x > x_0$  时, 才有  $g(x) > 0$ , 即有一个产出所需的最小规模( $x_0$ )。

(4)  $dg/dx > 0$ , 即投入必定有助于产出, 这时,  $dg$  及  $dx$  都是正数; 当  $g$  趋于饱和时,  $g$  不再因增加  $x(dx > 0)$  而增加, 这时  $dg/dx = 0$  (图中  $E$  点); 有时,  $x$  过多时, 由于相互干扰, 也可能使  $g$  减小, 即  $dg/dx < 0$ 。例如, 高炉炼铁时, 铁矿加入过多, 影响还原过程的进行, 使  $dg/dx < 0$ ; 又例如, 办公室面积固定时, 办事人员继续增加到彼此碍事时, 也会使  $dg/dx < 0$ ; 已经是“人浮于事”, 则再增人, 也会使  $dg/dx < 0$ 。

- (5) 关于边际产出( $dg/dx$ ) 的变化( $d^2g/dx^2$ ) 也有三种情况:
- ① 当  $x$  较小时,  $d^2g/dx^2 > 0$ , 两个人从事一项工作, 每人的产出率一般比单独一个人的要高, 图中  $x_0A$  段便是如此。
  - ② 随后的  $AB$  段,  $g$  随  $x$  成比例地增加,  $dg/dx$  为一常数,  $d^2g/dx^2 = 0$ , 当  $AB$  缩短为一点时, 则这点叫做拐点。
  - ③ 当  $x$  达到一定限度( $B$  点) 以后, 经常出现  $d^2g/dx^2 < 0$  的  $BCED$  段, 这便是经济学中的收益递减律。

只当  $g > x$  时, 才会有利可获。从图 III.2 中原点  $O$  作斜率为 1 的直线  $OAD$ , 与曲线交于  $A$  点及  $D$  点, 只有  $x$  值在  $A$  点( $x_A$ ) 及  $D$  点( $x_D$ ) 之间, 才有  $g > x$  (图中影线区), 可获利  $g - x$ 。求获利最大时的投入量  $x$ , 先求  $d(g - x)/dx$ , 令它等于 0:





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

故：

$$\frac{dg}{dx} = 1$$

即曲线上切线斜率为 1 的点，可获利最大，这便是图 III.2 中的 C 点，其投入量为  $x_C$ 。

若采用单位  $x$  的平均获利  $(g - x)/x$  为判据：

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

故：

$$\frac{dg}{dx} = \frac{g}{x}$$

从原点  $O$  作曲线的切线  $OG$ ，切点  $G$  的斜率满足上式。

由于满足收益递减律的  $g-x$  的曲线的下凹特性，上面求出的  $G$  点必然在  $C$  点的左侧。从上面的简单数学分析可以看出：

- (1) 只有适当地投入 ( $x_A$  至  $x_D$ )，才能获利，即  $(g - x) > 0$ 。
- (2) 采用投入的总获利  $(g - x)$  或平均获利  $(g - x)/x$  作判据，所获最大收益对应的投入量 ( $x_C$  及  $x_G$ ) 也不一样。

收益递减律使我们对于投入的规模有一个合理的认识。

《美国制造》是 MIT 工业生产率委员会的调查报告，将美国制造业的制胜法宝——大规模生产方式列为第一陈旧的战略。美国贝恩咨询公司的调查分析结果指出：20% 的兼并案，在谈判过程中，就宣告失败了；其余的 80% 实现了兼并的企业，也只有 30% 获得成功。“船大能耐浪”，但“船小好调头”，合适的规模有待具体地分析，显然不是越大越好。

## 3.4 科技分析

### 3.4.1 数学的极值问题

数学是科学和技术的基础。俗话说，“心中有数”；社会科学中的经济学，也有数理经济学这个分支；图 III.2 的投入产出分析，也用了微积分的概念。

数学中有一个最大（或称极大，Maximum）和最小（或称极小，Minimum）的极值问题。如图 III.3 所示，当  $x = x_A$  及  $x_B$  时， $y$  分别为极大值及极小值。在这里， $x_A$  及  $x_B$  便是使目标值  $y$  为极大（如经济效益、或产量等）或极小（如成本或消

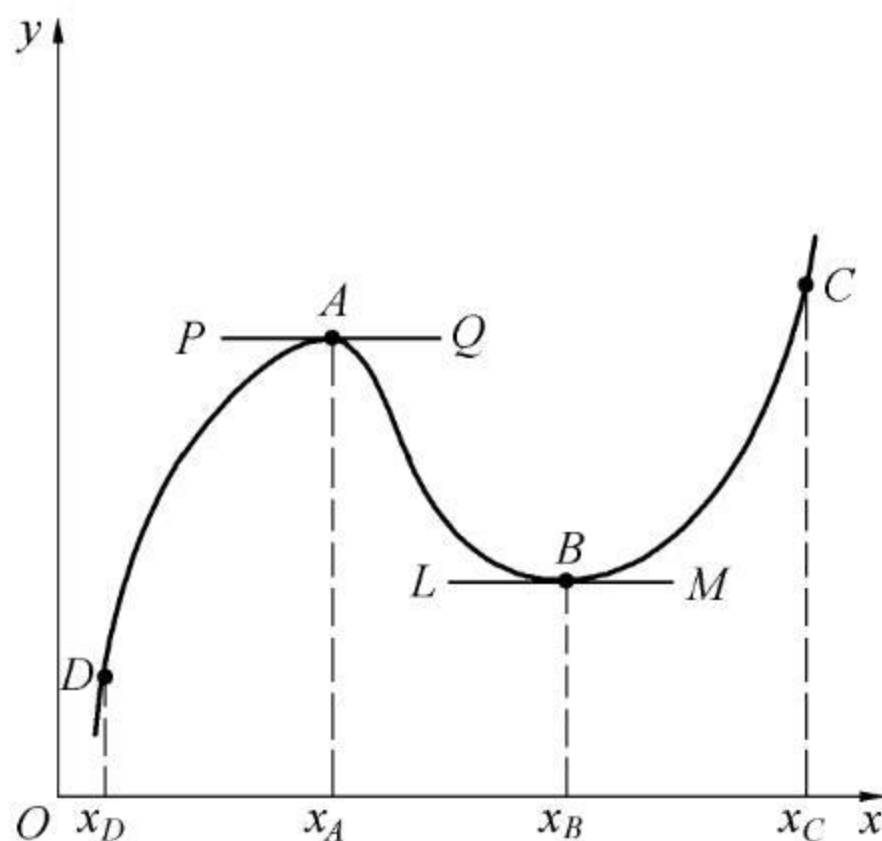


图 III.3 最大值与最小值



耗或污染等)的适中值,“不过”,也“不及”。值得指出,极值只是相对其邻近值而言,不是在整个自变数范围内它是最大或最小;因为图 III.3 示出, $f(x_C) > f(x_A), f(x_D) < f(x_B)$ 。

现在,回顾上述分析在收益递减律时的应用。图 III.2 的  $y$ (或函数  $f$ ) 是“产出”(  $g$  ),曲线最大值  $E$  点的切线  $EF$  是水平的,其斜率  $f'$  为 0,切点处斜率变化  $f'' < 0$ ,符合上述分析。

如采用“收益”(  $g - x$  ) 作为函数  $f$ (或  $y$  ),情况便不一样了。如图 III.4 所示:

- (1)  $x$  自 0 至  $x_0$ ,没有产出,故  $f < 0$ 。
- (2)  $x_A \leq x \leq x_D, f > 0$ ,图 III.2 中影线区。
- (3)  $x_0 < x < x_A, f < 0$ 。 $x$  自  $x_0$  增加,产出(  $g$  ) 仍小,不够抵消投入(  $x$  ),企业仍属亏损;只当  $x > x_1$  后,  $g - x$  才开始上升;直到  $x_A$ ,才收支平衡,无亏无盈。
- (4)  $x > x_D, f < 0$ ,此时,投入越多,亏损越大。

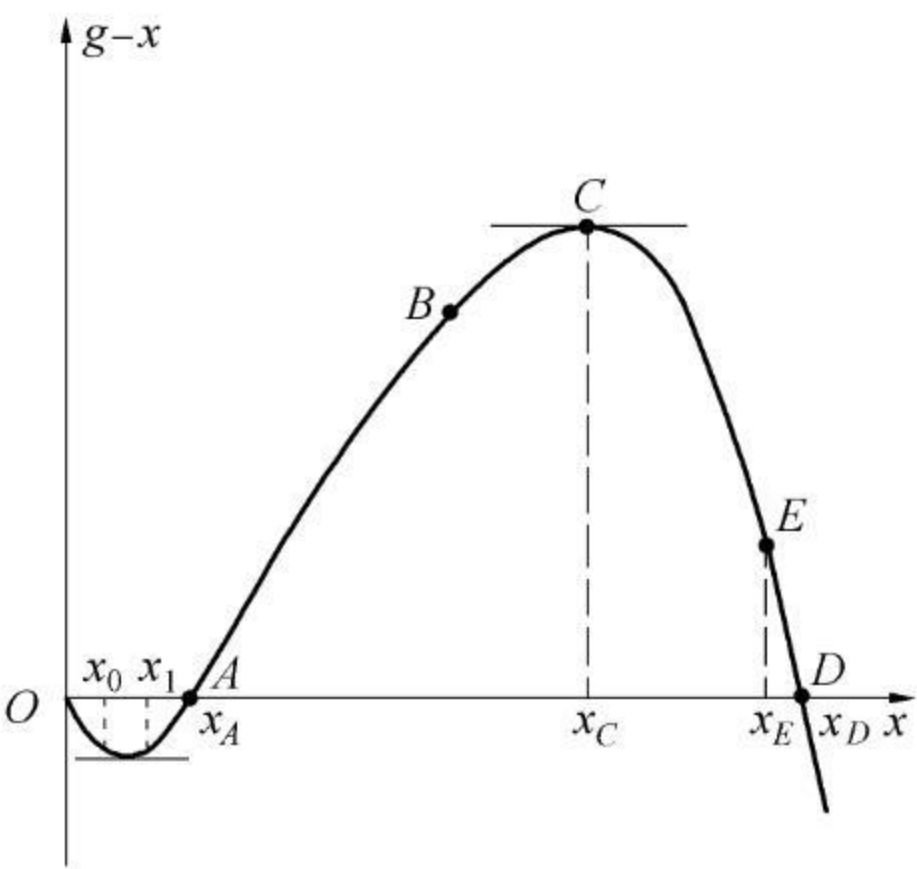


图 III.4 收益(  $g - x$  ) 投入(  $x$  ) 曲线

最后应该强调,产出(  $g$  ) 不等于收益(  $g - x$  )!

3.4.2 系统工程的最优化

系统分析中的“最优化”(Optimization) 技术,或简称为“优化”([A8]p482 ~ 501),它的定义是:“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的一种方法。”这种方法在技术科学中,得到广泛的应用,如求最短时间、最大速度、最短途径、最低成本、最高效益、最小能量、最少阻力等。这种方法是数学中求极值法的实际应用。现以线性规划法(Linear programming) 为例,说明这种方法的数学形式。所谓线性规划,是指目标函数是线性函数,约束条件也是线性等式及线性不等式。线性规划的数学形式如下。

求  $x_j(j = 1, 2, \cdots, n)$ ,使之满足约束条件:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \cdots, m)$$
$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \cdots, n)$$

与:

(13.10)

并且使目标函数  $f = \sum_{j=1}^n c_j x_j$  达到最大(或最小)值。

很明显,这是一大类求极值的适中问题。





### 3.4.3 材料物理问题

材料学处理五个命题——性能、结构、环境、过程、能量——之间的关系；材料物理只处理材料在力、热、光、电等物理或自然环境中的问题。材料是通过它具备的性能为人类服务的。在给定的环境（自然的和社会的）中，性能又惟一地取决于材料的结构。结构的秘密可从它的形成过程、性能的控制即需从它的表现过程去理解。结构的稳定性取决于系统的能量，而过程的进行又涉及时间。这些问题便是下面要分析的极值问题。

#### （1）热力学问题

将系统的能量（ $E$ ）用结构参量（ $x$ ）表述，则：

- ① 平衡结构的能量值为极小；
- ② 过程失稳所对应的能量值为极大。

#### （2）动力学问题

动力学分析指出，扩散控制的固态转变过程，恒定转变量（开始到完成）时转变温度（ $T$ ）和转变时间（ $t$ ）之间的关系，经常出现如图 III.5 所示的“C”形曲线。开始转变的最短时间（ $t_c$ ）所对应的温度（ $T_c$ ）是“适中”的：

- ① 低于  $T_c$ ，扩散起控制作用，温度越低，转变所需的时间越长；
- ② 高于  $T_c$ ，转变的驱动力起控制作用，温度越高，则距转变的临界温度（ $T_0$ ）越近，转变的驱动力越小，故转变所需的时间也越长。

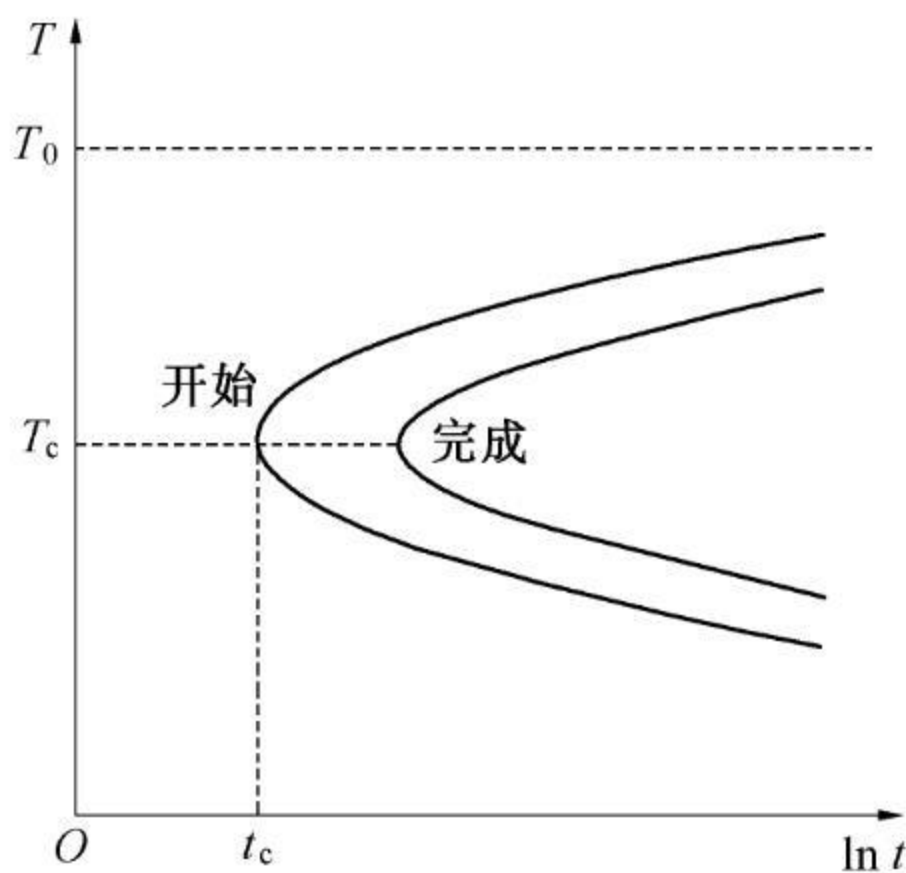


图 III.5 固态转变的温度与时间

### 3.4.4 功能过剩

研究的对象，叫做系统；材料和人才只是特殊的系统。因此，材料的性能、人才的才能和系统的功能，既可以类比，在分析时也是同义词。

俗话说：“物美价廉。”对于“材料产品”来说，“物美”是广义的性能高，“价廉”要求成本低。经常是二者难于兼顾，“物美”是要付出代价的，即增加成本，从而使“价廉”困难。当然，有实用价值的技术革新如二者能兼顾，则有可能使既“物美”又“价廉”成为现实。

对于“材料商品”来说，如“物美”确能开拓市场，即令“提价”，也能增加销售，显然是合算的。如“物美价贵”使销售额下降、获利减少，当然会使性能过剩，从而导致商业上的危害。





对于广大的消费者,他们希望在满足性能的前提下,价格尽可能低。性能过剩,不符合“适中”的考虑,也应重视。

日本在20世纪90年代初期,各大公司亏损。分析结果表明,他们的产品“功能过剩”,这些过剩的功能或者是消费者不需要,或者是不会用,他们叫做“巴洛克化”,巴洛克是欧洲过去只重视外部装饰的建筑风格。广告、包装、信息等,是否也有功能过剩?

人的才能类似材料的性能,人要尽其才,屈才也是一种浪费。才能和用才都有恰如其分问题,避免“过犹不及”。有一位拿了博士学位的人,在美国半年找不到工作。他隐瞒了这个高学位,只报硕士,很快找到工作;过去老板看到他的履历表是博士学位,不能用他,老板说:这个职位,具有硕士学位的人就够了。老板主要担心是留不住这种才能过剩的人才。



### 3.5 结语

(1) 前面三节从人文、社科及科技三方面,列举了十类问题,论述了在和平发展的当代,“为了适,应该中”即“适中”的判据。

(2) 治理13亿多中国人民的大事——中国的政治,要遵循中国特色的社会主义制度下的“三个有利于”的根本判断标准;把这些标准运用到这个巨系统,应该从我国的国情(人力、财力、资源、能源、文化等)出发,全面地分析,做出适中的决策。例如,科研有三个类型——基础、应用和开发,对这三者的投资间的分配,为了适中的决策,就会有所选择,即:“有所不为,有所为。”对国外的高新技术,也会有所选择,即:“有所不跟,有所跟。”

(3) 治理过热,需冷静分析。这种经济和技术问题,涉及两步:“计算”与“算计。”第一个“计”是算法,在正确算法的指导下,进行具体的运算;在这种运算结果的基础上,提出计划、计谋等。

本章的处事三论:

(1) 生态是从20世纪90年代以后,人类强调的问题。

(2) 算计是技术问题,有争夺和竞争的人类社会,求胜必循。两千多年前的孙武,已有很好的总结——《孙子兵法》。

(3) 适中是和平发展当代的主调——“为了适,应该中”。





## 参 考 文 献



### A 肖纪美著或编著的学术著作

- 1 金属材料学的原理和应用. 包头: 包钢科技编辑部, 1996
- 2 金属材料的腐蚀问题——腐蚀金属学. 北京: 中国工业出版社, 1962
- 3 高速钢的金属学问题. 北京: 冶金工业出版社, 1976(1978 再版)
- 4 金属的韧性与韧化. 上海: 上海科学技术出版社, 1980(1982 再版)
- 5 不锈钢的金属学问题. 北京: 冶金工业出版社, 1983
- 6 合金能量学. 上海: 上海科学技术出版社, 1985  
(获 1988 年全国高校优秀教材奖)
- 7 合金相及相变. 北京: 冶金工业出版社, 1987  
(获 1992 年全国高校优秀教材奖, 合作者田中卓, 杜国维, 高配钰)
- 8 材料的应用与发展. 北京: 宇航出版社, 1988(1990, 1992 再版)  
(获 1990 年全国优秀科技图书二等奖)
- 9 应力下的金属腐蚀. 北京: 化学工业出版社, 1990
- 10 腐蚀总论. 北京: 化学工业出版社, 1994
- 11 材料学的方法论. 北京: 冶金工业出版社, 1994  
(获 1995 年全国优秀科技图书二等奖)
- 12 材料能量学. 上海: 上海科学技术出版社, 1999  
(获 2000 年华东地区优秀科技图书一等奖, 合作者朱逢吾)
- 13 士心集. 广州: 广东教育出版社, 1999
- 14 院士科普书系: 问题分析方法. 北京: 清华大学出版社, 2000
- 15 材料学方法论的应用——拾贝与贝雕. 北京: 冶金工业出版社, 2000  
(获 2001 年全国优秀科技图书二等奖)
- 16 “Chapter 4 Iron and Steel” in “Microstructure and Properties of Materials”. Volume 2.  
Ed. by J C M Li. Singapore: World Scientific, 2000: 179 ~ 334  
(合作者张统一)
- 17 学习与学术经历——纪念肖纪美院士八十寿辰文选. 北京: 科学出版社, 2000
- 18 治学体会漫谈. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- 19 材料腐蚀学原理. 北京: 化学工业出版社, 2002  
(合作者曹楚南)





## B 肖纪美的材料宏观问题论文

1980—1984

- 1 合金的能量与过程. 仪表材料, 1980, 11(5): 1 ~ 11
- 2 材料科学与工程的方法论. 湖北金属学会, 1983(11): 1 ~ 58
- 3 新产业革命与材料科学技术. 昆明市科协, 1984(4): 1 ~ 10

1985—1989

- 4 从材料科学与工程看新技术革命. 材料科学与工程(MSE), 1985, 4(2): 1 ~ 10
- 5 材料论与系统论. 中国机械学会材料学会第一届年会, 1986. 12 ~ 20
- 6 材料的环境, 结构和性能. 大自然探索, 1987, 6(2): 2 ~ 11
- 7 材料性能分析方法. MSE, 1987, 6(3): 8 ~ 15
- 8 材料学的发展与展望, 面向未来. 高新技术讲座. 北京: 中国友谊出版公司, 1987. 61 ~ 90
- 9 材料的科研与展望. 宇航材料与工艺, 1988(1): 1 ~ 10; 1988(2): 1 ~ 6
- 10 诗二首: 材料与人才; 奇迹. 科协通讯, 1989(2): 30
- 11 材料的失效分析, 性能预测和结构设计. 兵器工业科学与工程, 1989(1): 1 ~ 94
- 12 序·见: 李健明编著. 磨损金属学. 北京: 冶金工业出版社, 1990. II ~ V
- 13 理性认识在实际与认识过程中升华. 见: 中国基础研究百例. 北京: 能源出版社, 1990. 425 ~ 429
- 14 材料学的结构论. 中国机械学会材料学会第二届年会, 1990. 6 ~ 11
- 15 稀土在钢中应用的几点分析. 中国稀土学会第二届学术年会, 1990. T4 ~ T14
- 16 序·见: 杨道明编著. 金属力学性能与失效分析. 北京: 冶金工业出版社, 1991
- 17 材料学海拾贝. MSE, 1993, 11(1)
- 18 热处理与韧化. 金属热处理(增刊), 1994(8): 5 ~ 15
- 19 稀土科技事业的二十字方针. 中国机械学会材料学会第三届年会, 1994. 12 ~ 19
- 20 学会与学科. 见: 中国腐蚀与防护学会 15 周年纪念文集, 1994. 2 ~ 11

1995—1999

1995

- 21 通论材料的性能. 结构和工艺, MSE, 1995, 13(1): 1 ~ 11
- 22 不宜鼓励轿车进入家庭. 科技日报, 1995-03-01
- 23 立足国情走自强不息的道路. 中国科学报, 1995-04-24





- 24 材料学者的机械强度观.机械强度,1995,17(2):62~67
- 25 简易材料论.北京科技大学学报,1995,17(4):303~314
- 26 材料工作者学习宏观事物的思考.世界科技研究与发展(WSTRD),1995(4):3~8
- 27 试从生产力结构论科教兴国的知与行.WSTRD,1995,17(5):1~3
- 28 类比与交叉,WSTRD,1995,17(6):9~14
- 1996
- 29 腐蚀广论(诗十首).WSTRD,1996,18(1):77~78
- 30 科技研究与开发的类型与选题.WSRTD,1996,18(2):36~39
- 31 智能材料的来龙去脉.WSTRD,1996,18(3/4):120~125
- 32 对联二首:评家与学人;材料与人才.WSTRD,1996,18(3/4):172
- 33 人文素质教育.WSTRD,1996,18(5):21~25
- 34 环境,材料与发展.WSTRD,1996,18(6):25~31  
(合作者万发荣)
- 1997
- 35 计算与算计.WSTRD,1997,19(1):52~54
- 36 论学习.WSTRD,1997,19(2):35~40
- 37 抗断裂的材料设计.纪念《金属学报》创刊40周年专辑,1997,33(2):113~125
- 38 庆香港回归祖国·南乡子·WSTRD,1997,19(3):14
- 39 材料学与生物学的类比与交叉.WSTRD,1997,19(4):51~55
- 40 应用学科的宏观问题和分支.WSTRD,1997,19(5):56~62
- 41 经济结构和功能.WSTRD,1997,19(6):62~67
- 42 环境与材料.材料科学与工程,1997,15(2):1~9
- 1998
- 43 生态材料论.WSTRD,1998,20(2):57~62
- 44 十五年大局和两个热门话题——知识经济和生态在十五年大局中的作用.WSTRD,1998,20(4):76~80
- 45 简易材料观.WSTRD,1998,20(5):84~88
- 1999
- 46 环境断裂机理及控制措施.腐蚀与防护,1999,20(1):5~8
- 47 适中论.国务院发展研究中心,国际技术经济研究(GJJY),1999,2(1):1~8
- 48 材料能量学的结构.材料科学与工程,1999,17(1):1~6
- 49 再论类比与交叉.WSTRD,1999,21(4):19~23





50 对材料学科和产业的一些思议. 中国科技月报, 1999(12): 8 ~ 9

51 腐蚀与防护. 第 14 届国际腐蚀会议(ICC)的学术论文综述, 1999, 20(12): 531 ~ 532

#### 2000—2004

##### 2000

52 宏观材料学的结构——技术科学分支的思考. GJJY, 2000, 3(1): 1 ~ 14

53 漫谈功能过剩. 科技潮, 2000(2): 78 ~ 79

54 材料学各分支的结构探讨. MSE, 2000, 20(1): 2 ~ 9

55 微观材料学的两个基本方程和三个基础概念. MSE, 2000, 18(2): 1 ~ 8

56 铁路车轴钢 50 与 40 的对比. 材料导报, 2000, 14(6): 8 ~ 9

57 新经济初探. GJJY, 2000, 3(4): 1 ~ 7

58 材料物理教学体会. 北京科技大学学报, 2000, 22(5): 389 ~ 395

##### 2001

59 材料学术著作的阅读性. MSE, 2001, 19(1): 1 ~ 6

60 明辨材料的“性质”与“性能”. WSTRD, 2001, 23(2): 4 ~ 6

61 问题分析方法. 机械工程材料, 2001, 25(7): 1 ~ 6

62 对纳米晶体材料的思考. MSE, 2001, 19(3): 10 ~ 14

##### 2002

63 “三”与“二”——丰富多彩与多变创新. MSE, 2002, 20(1): 1 ~ 4

64 利用腐蚀的有益作用. 第三届海峡两岸材料腐蚀与防护研讨会(大会报告), 2000

#### C 其他文献

1 [清]阮元校刻. 十三经注疏. 北京: 中华书局, 1983

2 高亨. 老子注释. 郑州: 河南人民出版社, 1982

3 《孙子兵法》注释小组. 孙子兵法新注. 北京: 中华书局, 1981

4 A 爱因斯坦, L 英费尔德. 物理学的进化. 周肇威译. 上海: 上海科学技术出版社, 1962

5 进化论与伦理学. 释译组译. 北京: 科学出版社, 1973

6 培根论说文集. 水天同译. 北京: 商务印书馆, 1958

7 梁启超. 中国历史研究法. 北京: 商务印书馆, 1923

8 N 维纳著. 控制论(或关于在动物和机器中控制和通讯的科学). 郝季仁译. 北京: 科学出版社, 1962





- 9 许慎.说文解字.北京:中华书局,1963
- 10 金岳霖主编.形式逻辑.北京:人民出版社,1979
- 11 Losee J.科学哲学历史导论.邱仁宗等译.武汉:华中工学院出版社,1982
- 12 恩格斯.自然辩证法.北京:人民出版社,1971
- 13 恩格斯.反杜林论.北京:人民出版社,1971
- 14 Pauling L. Theory of Alloy Phases, Ed. By ASM, 1956
- 15 张沛主编.辩证逻辑基础.长沙:湖南人民出版社,1982
- 16 梁庆迎.辩证逻辑学.长沙:中山大学出版社,1988
- 17 郭启宏.模仿与超越.光明日报,1997-03-05
- 18 蘅塘退士编.唐诗三百首.北京:中华书局,1959
- 19 Yamamoto, R.etc. Advanced Materials' 93, V18A. Ecomaterials, Elsevier, 1994
- 20 简明大不列颠百科全书.第7卷.北京:中国大百科全书出版社,1986
- 21 江泽民.高举邓小平理论伟大旗帜,把建设有中国特色的社会主义事业全面推向二十一世纪.光明日报,1997-09-22
- 22 田夫,王兴成主编.科学学教程.北京:科学出版社,1983
- 23 张培刚,厉以宁.微观宏观经济学的产生和发展.长沙:湖南人民出版社,1986
- 24 茅于軾.择优分配原理.成都:四川人民出版社,1985
- 25 盐泽由典著.数理经济学基础.张强等译.杭州:浙江人民出版社,1984
- 26 赵震江主编.科技法学.北京:北京大学出版社,1998
- 27 中国科学技术培训中心.迎接交叉科学的时代.北京:光明日报出版社,1986
- 28 Beveridge W I B. 科学研究的艺术.陈捷译.北京:科学出版社,1979
- 29 曹日昌主编.普通心理学.北京:人民教育出版社,1980
- 30 Sawrey J N and Telford C W. 教育心理学.高觉敷等译.北京:人民教育出版社,1982
- 31 毛泽东选集(一卷本).北京:人民出版社,1966
- 32 Searbright L H. The Selection and Hardening of Tool Steels, McGraw-Hill Book Co., 1950
- 33 ASM, Metals Handbook. 8<sup>th</sup> Ed.. Vol. 1, 1961
- 34 Busch J V. Primary Fabrication Methods and Costs in Polymer Processing for Automotive Application. MS Thesis, MIT, 1983
- 35 Tersine R J and Campbell J H. Modern Materials Management. New York: Northhol-land, 1977
- 36 Clark J P and Fleming M C. Advanced Materials and the Economy. Scientific Ameri-





- can, 1986, 255(4): 50
- 37 秦麟征. 预测科学. 贵阳: 贵州人民出版社, 1985
- 38 Claassen R S and Girifalco L A. Materials for Energy Utilization. Scientific American, 1986, 255(4): 103
- 39 田中良平. 向极限挑战的金属材料. 陈彰男等译. 北京: 冶金工业出版社, 1986
- 40 Materials for Economic Growth. Scientific American, 1986, 25(4)
- 41 C C Koch and C Suryanarayana. Microstructure and Properties of Materials. Volume 2. Singapore: World Scientific, 2000(2): 360 ~ 403
- 42 纳米技术的发展态势和展望. Special Annual Issue of Business Week. Spring, 2002
- 43 纳米技术时代将加速到来. The Futurist, March - April, 2002
- 44 大仲马. 基督山伯爵. 蒋学模译. 北京: 人民文学出版社, 1986





# 图 目 录

## 第 I 篇 总论

### 第 1 章 历史分析

I .1	新技术革命的技术群 .....	4
I .2	材料学科的分合图 .....	8
I .3	材料宏观问题的结构 .....	9
I .4	材料微观问题的结构 .....	9
I .5	物、人、事、哲理互通融图 .....	10
I .6	性能在材料学中的重要位置 .....	13
I .7	《宏观材料学导论》的结构 .....	15

### 第 2 章 逻辑分析

I .8	形式逻辑中的概念 .....	18
I .9	体心立方晶体结构 .....	21
I .10	推理途径 .....	28
I .11	微观腐蚀学体系 .....	35
I .12	宏观腐蚀学体系 .....	36
I .13	应用学科宏观分支的认识 .....	38
I .14	社会、经济、应用学科及基础科学 .....	38
I .15	电解抛光过程中金属表面与膜表面大致平行 .....	45
I .16	自然变化后的变化 .....	46

### 第 3 章 系统分析

I .17	系统分析与系统工程 .....	51
I .18	模型化与模拟 .....	52
I .19	1989 至 1994 年我国经济工作方针 .....	53

### 第 4 章 简易材料论

I .20	信息的输入和输出 .....	59
-------	----------------	----





第Ⅱ篇 分论

第5章	引论——书的结构	
Ⅱ.1	材料学的系统分析图 .....	65
Ⅱ.2	知识经济和生态在十五年大局中的位置 .....	66
第6章	生态材料	
Ⅱ.3	材料、人类、环境之间的关系 .....	68
Ⅱ.4	材料的现代判据 .....	71
Ⅱ.5	材料与环境 .....	78
第7章	材料经济	
Ⅱ.6	性能通论 .....	87
Ⅱ.7	材料和材料学 .....	92
Ⅱ.8	典型的投入( $x$ )产出( $g$ )曲线 .....	94
Ⅱ.9	供需平衡决定价格 .....	95
Ⅱ.10	图解法求 $e_D$ .....	96
Ⅱ.11	材料大循环 .....	98
Ⅱ.12	铬的储量及使用年数 .....	99
Ⅱ.13	材料企业的信息循环和反馈 .....	101
Ⅱ.14	平均成本及边际成本曲线 .....	102
Ⅱ.15	最适分工度 .....	104
第8章	科技法律	
Ⅱ.16	科技法律五因素与微观材料学五因素的类比 .....	109
Ⅱ.17	我国科技立法体系的纵向结构 .....	112
第9章	材料科研	
Ⅱ.18	学习与科研 .....	124
Ⅱ.19	投入( $x$ )产出( $g$ )曲线 .....	126
Ⅱ.20	二元系相图 .....	127
Ⅱ.21	韧性与韧化的研究方法 .....	129
Ⅱ.22	性能研究 .....	130
Ⅱ.23	理论研究 .....	130
Ⅱ.24	发明和发现思维图 .....	131
Ⅱ.25	逻辑分析的总结 .....	132
Ⅱ.26	演绎法和归纳法的比较 .....	133





II .27	实验数据的处理 .....	135
II .28	科学研究的效益 .....	139
第 10 章	材料教育	
II .29	人才教育问题的五个环节 .....	143
II .30	材料的性能、结构、过程、能量及环境之间交互关系 .....	146
II .31	人才、材料和系统的类比 .....	146
II .32	人的表现、素质、过程、能量及政治环境之间交互关系 .....	146
II .33	刺激-反射联系图 .....	148
第 11 章	材料选用	
II .34	材料选择与其他材料问题之间的关系 .....	161
II .35	坐标分类选材法 .....	162
II .36	1.0% C-1.5% Cr 滚珠钢线尺寸随温度的变化 .....	163
II .37	钢的恒温转变曲线和冷却曲线 .....	163
II .38	改善 $w(C) = 1\%$ 的工具钢性能的方向及合金元素的影响 .....	166
II .39	工具钢的分类 .....	166
II .40	美国工具钢的分类 .....	167
II .41	美国工具钢的相对性能图 .....	167
II .42	排除分级选材法 .....	175
II .43	切削工具的等效用线 .....	176
II .44	决策分析的步骤 .....	178
II .45	材料管理与材料选用 .....	181
第 12 章	材料展望	
II .46	预测活动 .....	183
II .47	预测概念关系图 .....	183
II .48	预测活动形式的分类 .....	184
II .49	高温持久强度 .....	185
II .50	现代科技情报指数( $N$ )的变化 .....	186
II .51	新产品销售量预测图 .....	187
II .52	特尔菲法预测顺序 .....	188
II .53	特尔菲法预测举例 .....	188
II .54	戈珀资增长曲线 .....	189
II .55	包络曲线 .....	190
II .56	材料的生命曲线 .....	190
II .57	替代曲线及衰退曲线 .....	192





II .58 材料研制和材料工业的进展 ..... 197

第 III 篇 结论

第 13 章 结论

III .1 纠偏 ..... 214

III .2 典型的投入( $x$ )产出( $g$ )曲线 ..... 216

III .3 最大值与最小值 ..... 217

III .4 收益( $g - x$ )投入( $x$ )曲线 ..... 218

III .5 固态转变的温度与时间 ..... 219





表 目 录  
 XIATUSHU.COM

第 I 篇 总论

第 1 章	历史分析	
I .1	著者编著出版的 19 部书的主要内容 .....	6
I .2	美国 MIT 矿冶及材料系名称的演变 .....	7
第 2 章	逻辑分析	
I .3	辩证逻辑与形式逻辑的比较 .....	18
I .4	物理学中的重大发现与类比交叉 .....	26
I .5	三种推理方法 .....	27
I .6	材料学与生物学的类比 .....	32
I .7	因果关系的各种学说的对比 .....	39
I .8	美国的铝合金化学抛光工艺 .....	44
I .9	美国的各种合金的电解抛光工艺 .....	45
第 3 章	系统分析	
I .10	系统定义中内涵的比较 .....	50
I .11	材料的耗散结构实例 .....	55
第 4 章	简易材料论	
I .12	简易材料论内容 .....	58

第 II 篇 分论

第 6 章	生态材料	
II .1	美国及其加州的汽车尾气标准 .....	76
第 7 章	材料经济	
II .2	我国经济体制的转变历程 .....	87
II .3	重要金属的世界储量及可供可采的年数 .....	99
II .4	1972 年美国再生金属的产量及所占比例 .....	100
II .5	海水中金属的储量 .....	100