

71.22  
HTY

科學圖書大庫

71.22  
HTY

# 基本材料科學與工程

譯者 侯天益

徐氏基金會出版

## 譯 序

本書為材料科學之入門書，其編排方式如原序所指出的，前面幾章介紹材料學所用到的基礎知識，接著的幾章則利用這些基礎知識來敘述材料三大材料三大類金屬，聚合物及陶質材料的性質和微觀結構，同時強調性質和微觀結構之間的密切關係。

本書最大特點在於每章之“覆習和研討”中之“討論”部分，讀者研讀此書時，尤須對此部份加以思考推敲，以求融會貫通，並收“舉一反三”之效。

本書第七章承筆友黃屏生之幫忙，在此表示謝意。翻譯及校對期間承程振亞女士及王明儀小姐之鼓勵與協助，在此深致謝意。

譯者才疏學淺，若有疏漏及謬誤之處，甚盼先進不吝指正。

侯天益 於台北

# 原 序

材料科學和工程在本書之第一版（1959）到第二版（1964）期間其教學內容發展得很快。主要的一點是這期間的發展幫助我們形成一個觀念即材料之性質和行為與該材料之內部結構有密切的關係：

1. 爲了要改進性質，其內部結構需作適當的變化。

2. 若處理過程或使用情況改變了結構，則材料的特性也受到影響。

這個觀念建立後，我們在技術上並不急迫去修改第二版，不過這十年中預修科學課程，課程型式，教學人員以及教學過程中的累積經驗有了變化，因此現在出第三版以適應這些是適當的。

和前一版一樣，本版也是爲相同之教育程度而寫。這也就是說它是遵循大學之基礎科學課程，我們仍然保留前一版的一般版式，但最初的要點則放在有關的工程性質上，同時覆習相關之化學鍵結原理，第3章到第5章我們考慮原子和電子階層之結構特性，作爲(1)第6章金屬，(2)第7章聚合物，和(3)第8章陶質材料這些單相材料之性質的基礎，第9章到11章我們討論多相材料，其後一序列的重點則放在相圖，微觀結構以及經由微觀控制以達到所希望之性質的方法上，由於腐蝕的重要性我們單獨成立一章，和以前一樣，最後一章討論複合材料，作爲(1)將前面各章之原理相連貫起來之基礎，(2)介紹工程師和科學家可利用之更複雜之材料和材料系統。

此版和前版有些方面不同，由課堂之經驗我們發展出對教學有輔助的事物，這些包括每章的提要，每章結尾時的覆習和研討部分，這包含摘要，名詞覆習，討論及問題。例題及其說明可強化課文之觀念。數百位使用本書第二版的教師提出許多建議，這些建議從數據的修正到章節的重新安排，身爲本書之作者，我非常感謝國內外的教學同仁。

本書從頭至尾採用SI單位，但由於它尚未廣泛使用，所以不擬完全放棄英制單位，尤其是溫度我們以 $^{\circ}\text{C}$ 表示但其後以括弧表示其華氏度數。由於許多工程師在幾年之中要和技術同事以及非技術性工人連繫事情，所以他們要通曉兩種單位，本書中力、應力和能量數據都以兩種單位表示，一般在電學上的數據採用公制單位。

和第二版一樣，有些章節若任課老師認為有必要刪去，則由老師自行決定。章節前面有(•)記號者即表示該章節並非以後之章節(沒有記號者)所必備之基礎知識。

本人無法對每位同仁，辦公室全體職員以及密西根大學的許多學生一一表示謝意。他們對本書都有其貢獻，我要將此書給予今日的學生，即明日的工程師，如此他們可瞭解到他們的貢獻是深受讚賞的。

麻省理工學院(M. I. T.)的莫里斯·谷翰(Moris Cohen)教授對全書提出許多建議，以及他任國家科學學術委員會(National Academy of Science Committee)主席時以卓越之觀點所寫的作為本書之前言，在此要特別感謝他，我對Addison-Wesley公司的全體人員也表示謝意，最後，也是最重要的是修訂本書之幾個月中Fran的耐心和鼓勵是不能缺少的。

1974年8月

L.H.VV.

# 前 言

## 材料在整個體系扮演的角色

材料就在我們的四周；它們存在於我們的文化、思想以及我們的生命中。事實上材料與人類的出現和進化有著密切的關係，因此我們將文明分作石器、銅器和鐵器時代，自然的材料和人造的材料已形成我們生活中的一部分，因此我們常將它們視為理所當然之事物，但材料和能量及知識同為人類的基本資源，雖然材料看起來好像“沒能做什麼”，但它們的確是社會的工作介質，不僅在我們的生活方式同時在國家的富裕和安全上材料都扮演一個重要的角色。

但材料是什麼呢？我們如何去瞭解、控制及利用它們呢？類似這些的問題都是國家科學學院在1971 - 73所廣泛研究的題目，因此產生了一篇著名的有關“材料和人類需要”之COSMAT報告\*。當然材料是宇宙物質的一部分，但精確地說材料是在結構、機器、裝置或成品方面具有用之性質的物質，例如金屬、陶質、半導體、聚合物（塑膠）、玻璃、介電質、纖維、木頭、砂、石頭和許多複合材料，這些材料的生產和加工製造成物品就佔了美國之工作和國家生產總額之1/5。

我們可以將人體視為一種結構或機器或裝置，因此也可以將食物、藥品、生物物質、肥料等歸在材料中，但現在我們通常將它們歸於生命和農業科學方面，同樣的，甚至化石燃料、水和空氣也都是廣義的材料，但通常也歸給其他的科學界來研究。

人類的材料可視為在一個巨大的材料循環中流動——一種整體的搖籃 - 到 - 墳墓之系統。原料由地球利用挖礦、鑛取、挖掘或收割之方式

---

\*COSMAT是Academy's Committee on the Survey of Materials Science and Engineering（材料科學和工程觀察學會）的縮寫。寫本前言的念頭是來自於COSMAT報告。

而取得，然後做成像金屬鑄錠、碎石塊、石油化學品和木材這類的材料，然後再製造成像電線、結構用鋼、混凝土、塑膠和合板之類的工程材料以應社會成品之需要，最後經人類的適當使用後，這些材料又以廢物的形式回到地球，或是在經最後處置之前再進入加工之循環中，作更進一步的利用，材料循環的觀念可以顯示材料、能量和環境之相互關係，同時也告訴我們在國家的計劃和技術的評估上必須將三者一起考慮、在這人們深切關心他們生活環境之品質，但能量和材料又漸缺乏的時代中，這種考慮正日漸重要。舉個例來說明，假如我們使廢鋁罐有效地再處理，則其所需要的能量大約是直接從鋁礦中開採等重之鋁所需能量之 $1/12$ ，如此則地球上也不會因開採而留下許多的痕跡。

顯然在人類知識的發展上，對於材料科學和工程之超越其他人類所尋求和研究的方面，我們並不感到驚訝，簡單說材料科學和工程是將材料之組成、結構和處理與它們的性質和用途相連貫起來的科學，並將此知識予以發展和應用，在此我們看出材料之結構、性質、加工、功用和性能之間的相互關係，但如果我們想使材料學更為顯者，那我們必須努力去瞭解材料的本性，建立學說來解釋結構與組成、性質、和行為如何發生關連，另一方面，材料工程部分是將基本的和實驗的知識綜合使用，來發展、準備、改良和應用材料以應特別的需求。

顯然材料科學和材料工程的區別主要在於立場或強調之中心不同，這兩種科學領域並沒有分界線，因此我們覺得使用材料科學和工程這個名詞較合邏輯，實際上本書使用材料科學這個名詞無論是在名稱或範圍都已將二者結合起來，同時包括許多材料工程方面。

圖 I 和圖 II 表示兩個材料系統中之材料的選擇和功能，關於性能，可靠性，可維持性，經濟上的價值和環境上的考慮每一種都需要無數的專業上的判斷。在圖示的核子反應器中，燃料為球狀體之氧化鈾，這些球狀體裝在能夠抗熱且不會浪費中子的鈾合金之容器內，中子通量和燃料的操作溫度是由能夠吸收中子的碳化硼裝置來控制，這種碳化硼裝置須以不銹鋼來抗腐蝕。產生的蒸氣收集在外部耐高壓之低合金容器內，這種低合金在合理的價格內仍有足夠的強度，容器外層又包上更昂貴的不銹鋼以作抵抗腐蝕用，這種核能轉換器牽涉到複雜的材料系

沸水反應器

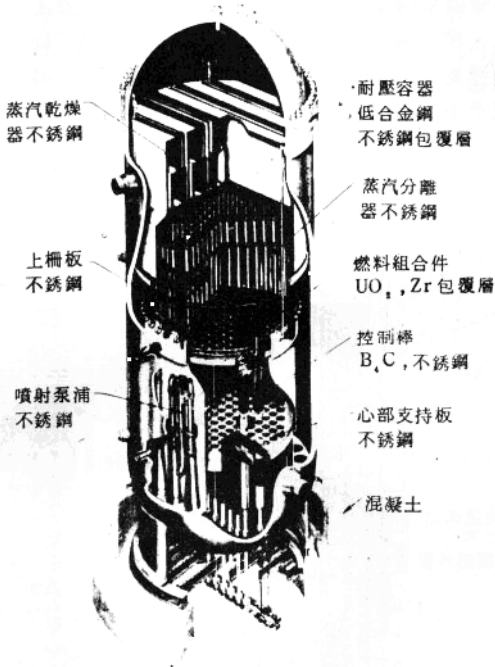


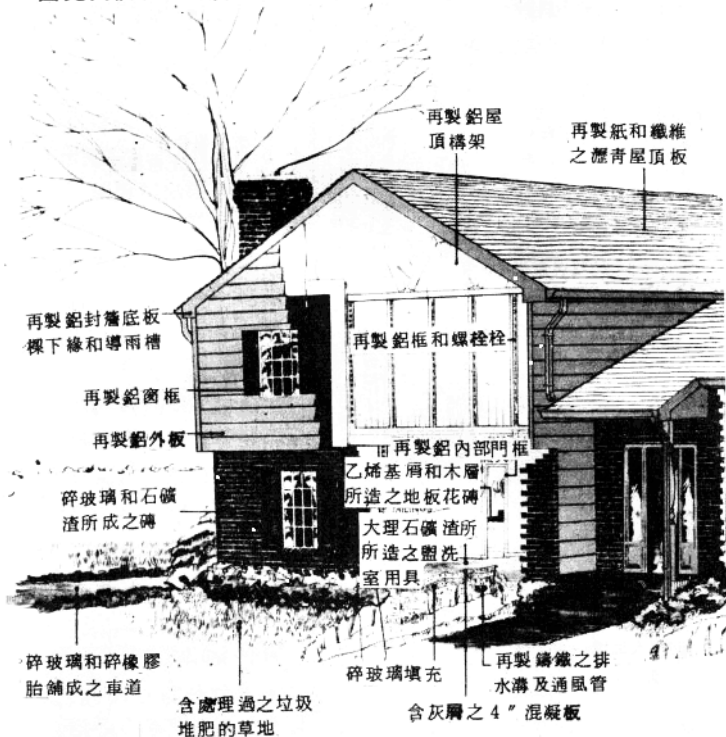
圖 I. 能量轉換之材料系統。任何像沸水核子反應器之類的整體設計都需要各種材料的特別貢獻，假如科學家或工程師要設計一個可用的、安全的、價格合理的以及環境上可依賴之系統，則他必須考慮每種材料所擔任之角色、性質及限制。

統，所選擇的材料必須能夠互相依靠，而超過它們的特別功能。這是一種爲了產生能量而應用材料的明顯例子，反過來說，美國大約有十分之一的能量是用在材料的製造和形成上。

另一個材料系統示於圖 II，表示材料如何運用在人類的住屋上，雖

然住屋的材料科學和工程比核子反應器要簡單，但在此我們所提例子仍然是具挑戰和機會性的，因為這住屋幾乎是全由再製材料造成，因此保存了地球的資源和能量，同時減少對環境的危害，要產生再製金屬、玻璃、混凝土、屋頂板、包覆紙、絕緣物和木材成品，則我們需要發展材料和技術使達到高水準的地步而在品質及價格上能夠與傳統材料相抗衡。

因此我們看出材料科學和工程是一種重大的事業，涉及到原子和電



■ II. 再製材料。再循環是我們所希望的，也正受到國際上的注意，但除非再製材料在外表、性質和一些品質方面能和原始材料相似（同時不必增加費用），否則在資源和環境問題上它仍然不是個有效的解決方法，這些需求對工程師來說具有許多技術上的挑戰。



子之微觀世界，並且將物質的凝結狀態與材料功用和用途的巨觀世界相連繫在一起，以解決社會問題。圖 III 的圓形圖描述了大部分的人類知識，由核心之基本科學往外延伸，經由中圈之應用科學到外圈之各種工程界，在中心為物理和化學，並以數學和機械為其側翼；沿半徑方向往外時我們有各種不同應用方向之訓練。圖中右邊陰影扇形區可視為材料科學和工程之部分，此可與其他生命科學和地球科學之扇形區相比較，廣



義而言，材料科學和工程是一種多重訓練，這個訓練包含（但非取代！）一些訓練（如冶金和陶質）及一些更細的訓練（如固態物理和聚合物化學），同時也重覆一些工程訓練。

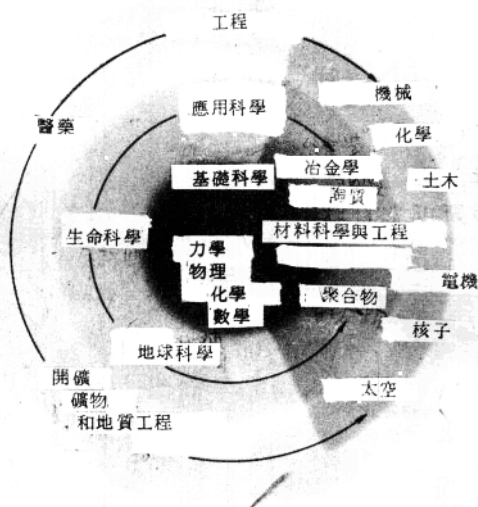


圖 III. 材料科學和工程。本文由物理和化學的基本科學原理來將材料之組成和結構與用途和行爲（這個對工程師很重要）相連繫起來。我們國家之技術上的努力超過 1/4 是用在材料的發展和技術上。這個努力是取自於物理科學和所有工程部門。

當然有許多科學家和工程師是材料專家—冶金學家，陶質學家和聚合物化學家，而且是全部與材料科學和工程有關。同樣重要的是，由政府資料分析知所有其他工程師的專業工作中每 6 小時就有 1 小時是直接與材料和其使用有關。對於化學家和物理學家來說，這個時間分數甚至更高。結果，在美國幾乎兩百萬的科學家和工程師中就有五十萬人正為國家

生產和福利的這個主題而貢獻其力量。

就實質意義來說，材料科學和工程構成了一個骨架，在這骨架上其他的專業人員正以創造的精神去探討自然界的過程，同時在人類需求的推動下而使知識更進一步。

劍橋，麻塞諸塞州

莫理斯·谷翰

1974年7月

# 目 錄

譯序.....	I
原序.....	II
前言.....	V
<b>第一章 材料簡介：材料的幾個特性</b>	
1-1 結構→性質 .....	1
1-2 機械行爲 .....	5
1-3 熱之特性 .....	13
1-4 對電場的反應 .....	16
1-5 性質的測量 .....	18
複習和研討 .....	22
<b>第二章 材料簡介：化學鍵結複習</b>	
2-1 原子個體 .....	28
2-2 強鍵結力 .....	33
2-3 分子 .....	40
2-4 次要鍵結力 .....	46
2-5 原子間的距離 .....	49
2-6 配位數 .....	55
2-7 材料種類 .....	58

復習和研討 .....	61
-------------	----

### 第三章 固體中之原子秩序

3-1 結晶性 .....	67
3-2 結晶系 .....	69
3-3 等軸晶體 .....	72
3-4 六方晶體 .....	77
3-5 同質多形 .....	79
3-6 多原子格子點 .....	80
3-7 結晶方向 .....	82
3-8 結晶面 .....	86
● 3-9 X射線繞射 .....	91
復習和研討 .....	95

### 第四章 固體中原子之無序狀態

4-1 固體中之雜質 .....	103
4-2 金屬之固溶體 .....	104
4-3 化合物之固溶體 .....	107
4-4 晶體中之缺陷 .....	110
4-5 非結晶材料 .....	118
4-6 原子振動 .....	123
4-7 原子之重新排列 .....	128
復習和研討 .....	135

### 第五章 固體中之電子輸送

5-1 電荷載體 .....	142
5-2 金屬之傳導性 .....	144
5-3 絕緣體 .....	150
5-4 本質半導體 .....	151
5-5 外質半導體 .....	160

複習和研討 .....	168
-------------	-----

## 第六章 單相金屬

6-1 單相合金 .....	174
6-2 多晶之微觀結構 .....	178
6-3 彈性變形 .....	182
6-4 金屬單晶之塑性變形 .....	187
6-5 多晶金屬之變形 ( 低溫 ) .....	194
6-6 塑性變形金屬之性質 .....	196
6-7 再結晶 .....	198
● 6-8 多晶金屬之變形 ( 高溫 ) .....	202
● 6-9 破斷 .....	206
● 6-10 輻射損傷 .....	210
複習和研討 .....	213

## 第七章 分子相

7-1 大分子 .....	220
7-2 線性分子 .....	227
7-3 分子的不規則性 .....	235
7-4 三元聚合體合體 .....	240
7-5 聚合體的變形 .....	245
7-6 聚合體的電的性質 .....	252
7-7 聚合體的穩定性 .....	257
複習和研討 .....	260

## 第八章 陶質材料

8-1 陶質相 .....	268
8-2 陶質結晶 ( $AX$ ) .....	270
8-3 陶質結晶 ( $A_mX_p$ ) .....	274
8-4 三成分化合物 ( $A_mB_nX_p$ ) .....	276
● 8-5 矽酸鹽結構 .....	278

8-6 玻璃	284
8-7 陶質材料之電磁行爲	286
8-8 陶質材料之機械行爲	299
複習和研討	304

## 第九章 多相材料：平衡

9-1 相之定性關係	311
9-2 相圖	317
9-3 相之化學成分	321
9-4 相之定量	324
9-5 商用合金和陶質材料	328
9-6 鐵-碳系統之相	334
9-7 Fe-Fe <sub>3</sub> C之相圖	337
9-8 沃斯田鐵之分解	341
9-9 普通碳鋼和低合金鋼	345
複習和研討	348

## 第十章 多相材料：微觀結構和性質

10-1 固相反應	356
10-2 多相之微觀結構	363
10-3 加成性質 (混合法則)	366
10-4 交互影響之性質	369
複習和研討	376

## 第十一 多相材料之熱處理

11-1 反應速率	381
11-2 退火和均質處理	389
11-3 析出處理	394
11-4 $\gamma \rightarrow (\alpha + \bar{C})$ 之反應速率	399
11-5 商用之鋼熱處理程序	407
● 11-6 硬化能	413

複習和研討	420
-------	-----

## 第十二章 金屬之腐蝕

12-1 電鍍：腐蝕的逆反應	429
12-2 流電偶極（電池）	431
12-3 流電電池的種類	436
12-4 腐蝕速率	442
12-5 腐蝕之控制	447
複習和研討	453

## 第十三章 複合材料

13-1 黏聚材料	458
13-2 表面改良	471
13-3 強化材料	474
13-4 木材	478
複習和研討	481

## 附 錄

A 常數和轉換表	488
B 元素表	492
C 工程材料之性質（20°C）	494
D 材料名詞解釋	496



# 第一章 材料簡介：材料的幾個特性

## 提 要

本章的主題為材料的性質和行為依其內部結構而定。本章對機械，熱和電之參數及其影響作個定義，作為以後幾章討論結構一性質的基礎。同時對數據的表示，它們的變化和計算的準確性作個簡要的說明。

### 1-1 結構一性質

每位應用科學家和工程師——機械、土木、電機或其他——都十分關心他所用的材料，不管他的成品是橋、計算機、太空梭、心臟跳動調整器或是汽車排氣系統，他對於他所建議使用之材料的性質和行為特性必須有精確的瞭解。暫且考慮汽車製造業所用的材料：鐵、鋼、玻璃、塑膠、橡膠，我們只舉其中的一些而已，單單是鋼其種類就有 2000 之多。因此對於所要製造的零件憑什麼去選擇它的材料呢？

當設計者選擇材料時他必須考慮到強度、電和 / 或熱之傳導性、密度及其它性質，進一步他必須考慮處理和使用（此處成形性、加工性、電穩定、化學持久性及輻射行為都很重要）時材料的行為以及價格和可利用性，舉個例（圖 1-1.1）說，傳送齒輪所用的鋼在生產時必須容易加工，但韌性又要足夠大能夠耐得住嚴厲的使用。擋泥板所用的金屬材料必須容易成形但又能抵抗衝擊時所造成的變形，配電線必須能抵得住極端的溫度而半導體在長時間的使用中必須能維持一定的安培 / 伏特比之特性。

完全新式材料的發展使得許多設計得以改進，舉個例說幾年前的材料還沒辦法製造電晶體；雷射的發展依靠新型的結晶體和玻璃；儘管汽