

實驗材料科學

(修訂版)

周 安 琪
張 士 欽 編著



文京圖書有限公司

實驗材料科學

(修訂版)

周安琪 編著
張士欽



文京圖書有限公司



有著作權 不准翻印

實驗材料科學 (修訂版) 精裝本：定價新台幣 160 元

中華民國 66 年 4 月 5 日 初版
 中華民國 67 年 9 月 15 日 修訂版
 中華民國 71 年 9 月 1 日 修訂二版
 中華民國 72 年 9 月 1 日 修訂三版

著作者：周安琪·張士欽
 出版者：文京圖書有限公司
 台北市萬大路 170 號 109
 TEL: 3070576
 郵 劃 18007 號

本公司登記證字號：行政院新聞局
 局版台業字第 0929 號

發行人：陳 炳 煌
 台北市萬大路 170 號
 TEL: 3070576

印刷者：東雅印製廠有限公司
 台北市西藏路 528 ~ 530 號
 TEL: 3084886



本書著作權執照：台內著字第 9620 號

序 言

隨著科技的進步，材料科學在工程科學中之重要性亦日益增加，近年來由於材料的發展甚速，許多工程上的問題及技術均因材料的進展而得以解決。因此工程師對於材料必須有深入的研究與認識，始能充分利用其優異及特有的性能，以適應各種工程上之需要。

材料科學實驗之目的在試驗某些材料之機械或物理性質及觀察其內部顯微組織，判定及認識其所具之性能，更進而發展具有優越性質之材料。由於目前國內尚無有關材料科學實驗的介紹書籍，故筆者不揣鄙陋編成此書，以供大專工程學子研習參考。本書內容除對各種材料試驗（例如硬度、拉伸強度、衝擊強度、金相等）之有關理論及方法做一說明外，並列以實驗步驟，讀者可在實習時依循參考。此外尚介紹一些強化金屬材料之實驗過程，以期讀者對於材料科學的發展方向及實驗方法有所瞭解。

筆者學識有限，內容難免有欠妥之處，盼讀者及先進不吝指正。

周 安 琪 謹 識
張 士 欽

中華民國六十六年一月
於清華大學材料科學工程系

國內第一本中文 電子顯微鏡 巨著！

電子顯微鏡 原理與應用

賀 俊 校訂 楊 永 盛·楊 慶 宗 編著

25 開：386頁：印刷優美：精裝：定價新台幣 240 元

- ✦ 對於自然科學的研究，光學顯微鏡已不敷應用。電子顯微鏡以其高倍率（50 萬倍）及高解像能力，而成為從事物理，化學，生物，醫學，地質，材料等研究之權威性工具。
- ✦ 本書作者從事電子顯微鏡工作多年，以實際工作的經驗並參考多項文獻，編撰此書。在原理與應用上都有詳盡的介紹，資料珍貴異常。

全 書 要 目

緒論／電子顯微鏡之主要構件及其功能／電子之特性／電磁透鏡之原理／電磁透鏡之像差／電子顯微鏡之解像能／電子顯微鏡之透鏡與成像／電子顯微鏡之校正與維護／試樣之支持與物體表面之觀察／金屬內部組織之觀察／電子繞射在結晶學上之應用／生物組織之觀察／生物組織切片之染色技術／掃描電子顯微鏡／附錄 1 電子顯微鏡及其試樣製作法演進狀況／2 電子顯微鏡之試樣分類與製作方法／3 常用之物理常數／4 單位換算表／5 元素週期表及其物理性質／6 常用金屬之金相觀察用浸蝕液／7 單晶晶體之電子繞射圖型／8 金屬薄膜試樣之製作法／9 中英名詞對照索引



文京圖書有限公司

台北市慕大路170號
TEL: (02) 307-0576 號
郵政劃撥：18007 號

金 屬 材 料

日 本 東 北 大 學 工 學 博 士 呂 璞 石

國立台灣大學工學院機械工程學系兼教授

呂 璞 石

編著

國立台灣大學工學院機械工程學系教授 黃振賢

25 開：346 頁：印刷精美：精裝：學生版不二價：新台幣 200 元

本書的主要對象為大專程度初學金屬材料的學生。在內容的安排及文字的敘述上。儘量使初學者，能先從較淺顯的具體現象得到確實的初步概念，然後漸次步入問題的核心。

學習金屬材料的主要目的是要明瞭各種材料的特性，以便能選擇適當的材料用在適當的地方。因為材料的特性主要取決於它的內部組織。所以本書在記述上注重：(1) 內部組織與材料特性之間的關係；(2) 內部組織的變化對材料特性之影響。

全 書 要 目

第 1 章金屬總論 導言／金屬和合金／金屬材料的組織／平衡圖／塑性加工／物理性質／機械性質／材料試驗法。

第 2 章鐵 和 鋼 生鐵和鋼鐵的製造法／純鐵和鋼的顯微鏡組織／鋼的變態／Fe-C 平衡圖／鋼的熱處理／碳鋼／合金鋼／鑄鐵。

第 3 章非鐵金屬材料 銅和銅合金／鋁和鋁合金／鎂和鎂合金／錫、鉛、鋅及其合金／鎳和鎳合金／鈦和鈦合金／其他金屬和合金。



文京圖書有限公司

台北市萬大路170號 109
TEL: (02) 307-0576 號
郵政劃撥：18007 號

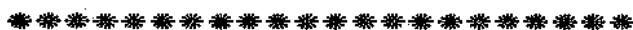
新書介紹 說明最詳盡的材料力學理論與實務巨著

「材料力學解析」(上)(下)

高考及格工業技師 陳 乾 道 編著

全書 969 頁，分上、下兩冊，印刷精美，精裝本。

- ◎本書係著者潛心研究材料力學十餘年之精心著作，理論推演簡明，說明深入淺出，範例之解析，討論詳盡正確。
- ◎本書雖專為初學者，依學校教學進度，逐章演習、解析，以建立讀者之深厚材料力學基礎為主要目的，但全書計收集英、美、日等國材料力學名著之範例 500 題，並加以解析、說明，故自修、已畢業工程師之實務參考、或參加考試亦頗為適用。
- ◎本書計分 17 章，每章均分為以下三部份。①理論之說明、重點之提示與討論。②範例之解析，理論之印證與結論，及各種解答實務之比較分析。③已提供標準解答之典型習題，供讀者演練。



全 書 要 目

- (上冊)：1 張力、壓力、剪力(含應力與應變關係)。2 薄壁容器(含圓柱與圓球)。3 平面應力、主應力、最大剪應力(含單軸向雙軸向應力)。4 扭轉。5 剪力圖與彎矩圖之繪法。6 部份彎矩圖之繪法。7 樑中應力。8 樑之撓度(面矩法)，附錄，平面性質之理論。
25 開：518頁：精裝：定價新台幣 300 元
- (下冊)：9 靜不定樑。10 三力矩原理(連續樑之解法)。11 組合應力。12 曲樑之應力。13 不對稱彎曲樑(含剪力中心)。14 樑之塑性分析。15 應變能(含衝擊負載)。16 柱。17 鉚訂與焊接。
25 開：451頁：精裝：定價新台幣 270 元

新書介紹

說明最詳盡的工程力學理論與實務巨著

工程力學解析 (上)(下) 兩冊

高考及格工業技師 陳 乾 道 編著

25開精裝本：印刷優美 裝訂堅固 封面燙字 圖文並茂

上册383頁，定價320元·下册167頁，定價150元

本書上册內容含高考（46～71年）及特考工程力學歷屆試題之詳盡分析，討論與解答，下册內容為專科升技術學院歷屆工程力學試題之解析；本書已網羅以往26年來國內全部工程力學試題，研讀本書定可高分通過任何工程力學考試，實為土木、建築、水利、機械、造船、航空等科系讀者參加、高考、特考、升技院、研究所、留考等考試之最具有價值參考書。

本書特點

1. 理論與實務合一，解說詳盡

本書每試題，依分析（說明）⇒解答⇒結論（討論）之次序纂寫，各段之重點如下：

分析：本段設法令讀者了解，（1）如何着手分析問題（2）為何（說明）要如此分析問題（3）如此分析問題有何好處。本段借歷屆試題來說明力學之重要理論與觀念。

解答：本書解答採步驟化，漸近化，以建立讀者有條理分析問題之能力。

結論：本段目的，在借試題之分析結果以印證力學之理論，使（討論）讀者之力學觀念得以清晰，及應用力學觀念，以簡易數學解答複雜工程力學問題之能力。

2. 說明圖表特多

3. 解答嚴謹，正確

本書係著者，潛心研究工程力學十數年之心得與精華，並費時數年時間以最負責任之態度纂寫，貢獻讀者。



文京圖書有限公司

台北市萬大路170號
TEL: (02) 307-0576號
郵政劃撥：18007號

機械公式活用

(增補版)

高考及格
機械技師

陳 乾 道 編著

279 頁：印刷優美：精裝：定價新台幣 160 元

本書網羅應用力學、材料力學、機動學、機械設計學、流體力學、熱機工程學、熱力學、現場施工及計測等計 500 個以上重要公式，且精心選擇 520 個以上之實例，以說明此等公式的活用方法。更配置最實用之附錄，將機械工程學之理論及其應用法於一冊，並採一頁一主題設計；上半部為公式列舉及符號單位說明，下半部則為實例。內容正確、扼要簡潔，實為機關、工廠實際擔任設計工作者之最佳座右機械技術資料，並為機械工程人員參加高、普、特考，專科畢業生升技術學院準備應考之必讀書籍。同時亦為在學學生研究，模擬之最佳參考書。

● 本書的特色 ●

✦ 1 頁 1 主題 ✦ 1 主題 1 組實例 ✦ 收集 500 個重要公式 ✦
收集 520 個實用例題 ✦ “MEMO” 提示重點便於了解與應用
✦ 採手冊式使用便利 ✦ 學生、機械工程人員均適用 ✦ 全部採用“公制”計算法

優待 } 各機關，工廠，學校團體一次購買 20 冊以上者打 8
辦法 } 折優待每冊 N.T. \$ 128 元



發 行 所
文京圖書有限公司

台北市萬大路 170 號
TEL: (02) 307 0576 號
郵政劃撥：18007 號

新書介紹

油 壓 機 械

許 建 育 編 著

25 開：230頁：印刷精美：穿線平裝：定價 150 元

工業自動化的先驅，在於空油壓，而油壓更爲其重心。省力化機械的根本亦非油壓不爲功。油壓的應用與吾人的生活密不可分，其普遍性和優越性已在整個工業體系中占有舉足輕重的地位。國人欲發展更高度的科技或使工業升級大力推展油壓是不可或缺的一項課目。

筆者有鑒於此，特蒐集市上各種有關油壓的資料有系統的詳加編輯，並以口語化的說明，深入淺出，俾使初學者得以收事半功倍之效果，突破翻譯上語意之障礙，使讀者易懂是本書的一大特色。

本書另一特色爲，所附圖片豐富，使讀者在文字說明的配合下很容易的加以理解。

本書適合一般機械類科學生的修習，同時也適合從事有關油壓機械生產工作者的參考。

全 書 要 目

1. 緒論
 2. 油箱
 3. 油壓泵（幫浦）
 4. 控制閥
 5. 致動器
 6. 配管
 7. 油壓附屬品
 8. 防漏的角色
 9. 油壓迴路及其符號
 10. 如何設計油壓
- 附 錄 1. ANSI 油壓符號 2. 油壓元件型錄參考例
3. 中英文名詞對照表

發 行 所



文京圖書有限公司

台北市萬大路170號
TEL: (02) 307-0576 號
郵政劃撥：18007 號

英・中・日

中・日・英

機械名詞圖解辭典

工業教育研究會 原編 台灣大學機械系教授 劉鼎嶽 校閱
張 兆 豐 譯著 工 學 博 士

大32開：643 頁：印刷優美：裝訂堅固：精裝：定價 350 元

本機械名詞圖解辭典以英・中・日對照部分，中・日・英對照部分及附錄（機械用縮寫及符號表・數學符號・讀法及其意義・希臘文字）所編成。本書之中文機械名詞均按照國立編譯館編訂教育部公佈之名詞予以翻譯。

英・中・日對照部分

本辭典英文機械名詞依英文字母次序排列，由日本文部省（教育部）制定學術用語「機械工學編」中精選而解說，同時亦由「物理學編」「船舶工學編」「採鑛冶金學編」「電氣工學編」之有關機械名詞及機械學會曾所制定之術語，現場慣用語・俗語・新語等既作適當之收錄及簡明的說明。約計有8000語之多，且均作簡明之解說，此外尚另加圖面・照片約1300幀，令人對此更易理解。

本辭典始終在現場關係人員之立場而編輯，所以與現場無關之理論上用語概不列入。

本辭典除為機械技術人員所極端需要外，大專・高工機械系學生亦為其他工程系學生・幹部工員技工・工場關係職員・推銷技術員以及一般從事產業人員等所必讀之書籍。

本辭典另加機械用語縮寫及符號表・數學符號讀法・希臘文字為附錄以資參考。

中・日・英對照部分

- 1 中文機械名詞依照筆畫順序排列。
- 2 日文機械名詞表示於〔 〕之內。
- 3 阿拉伯數字為該名詞排列之頁數。

文京圖書有限公司

台北市萬大路170號
TEL:(02) 307-0576 號
郵政劃撥：18007 號

目 錄

第一章	顯微組織的觀察	1
第二章	顯微組織的定量方法	14
第三章	由金相決定鋼中之含碳量	19
第四章	差排之觀察	24
第五章	高溫測度與熱電偶之校正	34
第六章	材料之硬度	44
第七章	材料之拉伸性質	49
第八章	材料之壓縮性質	59
第九章	脆性斷裂與衝擊試驗	64
第十章	金屬材料之疲勞	73
第十一章	潛變及應力破斷	84
第十二章	相平衡圖之製作	93
第十三章	三七黃銅之冷加工與退火	101
第十四章	鋁合金之析出硬化	107
第十五章	鋼的硬化能力	113
第十六章	鋼之熱處理 (I) — 退火與正常化	119
第十七章	鋼之熱處理 (II) — 淬火溫度, 淬火介質及回火溫度	126
第十八章	鋼之熱處理 (III) — 淬火, 回火, 麻回火與沃斯回火	130
第十九章	鋼的滲碳處理	135

第二十章	鋼之火花試驗	138
第廿一章	脆性材料表面缺陷之觀察與表面處理對其強度的影響	148
第廿二章	固體材料之熱膨脹	153
第廿三章	金屬材料之電阻率	158
第廿四章	金屬之腐蝕與防蝕	165
第廿五章	粉末冶金技術	179
第廿六章	X光繞射(Ⅰ)—粉末照相術	192
第廿七章	X光繞射(Ⅱ)—繞射儀之作用與勞易照相法 ...	200
第廿八章	X光繞射(Ⅲ)—決定晶格常數與晶體結構 ...	208
第廿九章	穿透式電子顯微鏡實驗	212
第三十章	掃描電子顯微鏡	222
第卅一章	電子顯微鏡試樣之準備	229
附錄 1.		236
表 1-1	元素之性質	236
表 1-2	標準氧化電位表	236
附錄 2.	各種浸蝕液	237
附錄 3.	CA熱電偶之溫度—電動勢表	244
附錄 4-1	洛氏硬度試驗機操作要領	246
附錄 4-2	勃氏硬度試驗機操作要領(藤井精機 FNB-3) ...	249
附錄 4-3	沙丕衝擊試驗機操作要領(藤井精機 FS C-30)	250
附錄 5.	勃氏硬度表	251
附錄 6.	鋼鐵各種硬度近似換算表(a)	252
附錄 7.	溫度換算表	254
附錄 8.	各類金屬與合金的電解拋光溶液(錄自 ASTM-E3)	256

第一章

顯微組織的觀察

材料科學是一門研究材料內部結構與其性質間關係的學問，金屬或其他材料之性質主要是由材料內部微細的缺陷所決定。這些缺陷包括析出物、裂縫、晶粒界、差排、疊差與雜質等。預備及觀察這些顯微組織之學問稱為金相學（Metallography）。茲將觀察光學顯微組織試片之預備及顯微鏡之觀察等程序及原理說明如下：

1. 試片之預備

金相顯微鏡下金相組織之檢查及組織之說明必須視試片之準備情形而定。磨光及浸蝕的方法有許多種，依材料之不同而擇其最適當者為之，但有時亦依個人之喜好而定。一般金相作業所必須具備之過程如下：

(1) 取樣（Extraction of Specimens）

試片不可太大或太小。大的試片須花費額外的時間以獲得適當的大小及平面；小的試片如不經鑲埋（mount）處理則不易把穩，且在研磨時易搖幌，使試片邊緣部份成弧形，於觀察組織時，發生對焦距困難。理想的試片尺寸為擁有一可研磨面積為 $2 \sim 3 \text{ cm}^2$ ，高度則依個人習慣，以能把穩為準。高度／面積比愈大時，則愈不易將試片把穩。

硬度低於 300 BHN 者，可以手鋸或機鋸成適當大小，高硬度者，則以耐磨切斷砂輪為之。切取試片時，必須注意其組織勿受切鋸時所發生的高熱或塑性變形的影響。切鋸時，如以適當速度進刀同時以

大量冷却劑冷却時，則可使試片承受最小的損害。以砂輪切鋸時常會灼燒部分斷面，故通常使用軟質砂輪切鋸，以減少此種傾向。此種砂輪消耗很快，切削時連續暴露其尖銳之切割面因而減少了磨擦熱的發生。金相儀器的製造商，可提供適當的砂輪使用。

某些表面層的損害可於以後的研磨及拋光處理時去除。在此處理時，必須注意勿再過度損傷。而切鋸過熱，將使基體組織發生變化，無法觀察到原有之組織。

試片太大，以火焰切割時切割部分組織會完全改變。在此情形下，最初切割的試片必須足夠大，以便接着使用他種切鋸工具再切取未受火焰影響的部分。

(2) 粗磨

粗磨可去除被灼燒或加工硬化之部分，以獲得可研磨之平面，此可在平面砂輪上或 # 60 ~ # 120 號研磨紙上磨平。後者，可在圓盤式或帶式研磨機上操作。研磨紙或研磨布，其面上粘附的研磨材料為金剛砂、碳化矽或氧化鋁。後兩者，因可濕磨，較為常用，因在研磨或拋光過程中，常有因摩擦生熱而損傷斷面之可能性，故通常以水做為必要的冷却劑。

粗磨後之試片面必須平整且研磨刮痕為單一方向之平行線。

(3) 鑲埋 (Mounting)

如試片太小，或要觀察邊角部分組織時，試片即必須鑲埋。最常用的方法為加熱熔融鑲埋材料（如電木等）以固定試片，或以樹脂塑膠鑲埋固定試片。前者常在一壓機中加熱、加壓以熔融固定材料，後者則以觸媒劑作用硬化，不須加熱及壓力。

(4) 細磨 (Grinding)

細磨有時亦稱為粗拋光，順次以不同號砂紙迭換研磨試片表面。

每一步驟中，前一號砂紙的磨痕必須去除。因此，在更換砂紙時，必須將試片轉 $45 \sim 90^\circ$ 角再研磨。過去一般使用金剛砂紙研磨，最近則盛行碳化矽砂紙濕磨。並非所有研磨紙均可濕磨。有些研磨紙粘膠會溶於水中，當須要濕磨時，砂紙必須特別要求。

到拋光階段後，須重視清潔，各種不同號砂紙必須分開置放。每次換下一號砂紙研磨前，手及試片均須洗淨。

以手在玻璃等平且硬之平面墊上研磨，作拋光處理。或者在一轉速為 $250 \sim 500 \text{ rpm}$ 之研磨具或研磨輪上使用全新研磨紙拋光。

優先使用碳化矽砂紙。當砂紙全新時，則可乾磨，如砂紙已用過，則以濕磨為宜。各號研磨紙之使用順序如下：

金 剛 砂	碳 化 矽
細金剛砂研磨紙	180 粒號
# 2 金剛砂拋光紙	
# 1 金剛砂拋光紙	280 粒號
# 1/0 金剛砂拋光紙	400 粒號
# 2/0 金剛砂拋光紙	
# 3/0 金剛砂拋光紙	600 粒號

兩者間粒子相對大小對照如上表。可能有人喜歡以 # 240 粒號取代 # 280 粒號研磨，然後接着再以 # 320 粒號研磨。

每一次的拋光手續必須保證試片及手的充分洗淨。

(5) 拋光 (Polishing)

最初及最後之拋光手續可以兩個步驟完成。

最初拋光必須在一速度為 550 rpm 左右 (即在一有二速拋光機中速度較低者) 的標準 8" 拋光輪上實施。拋光之同時必須加入氧化

鋁之淨懸液於研磨絨布面上。氧化鋁通常約為 $1 \sim 15$ 微米(micron)。亦可用具特殊優點之鑽石膏(diamond compound)，以縮短拋光時間，保持邊角完整，同時不會有凸面效應發生。鑽石膏有多種粒號或等級。研磨劑浮懸於糊狀帶動液中，以一加力器送入研磨具中。鑽石膏供應商可提供特殊研磨油，做為潤滑劑。

大部分的拋光程序均以反研磨盤轉動方向實施。但就石墨性材料而言，則此種方法萬萬不可。反研磨盤轉動方向研磨，將剝落石墨。較為理想之研磨方法是將試片由圓盤中心處慢慢地沿法線方向移向圓周邊上，然後再反向回去，轉盤壓力適度即可。

最後的拋光手續，可在絨毛布圓輪上實施。此絨毛布為一種人造絲質之斜紋棉布。砂輪速度 $150 \sim 250$ rpm，較粗磨時轉動速度小些。研磨劑可為鑽石膏或乾性氧化鋁粉。使用鑽石膏時，其適當之規格為 # 1 或 # $\frac{1}{4}$ 微米。氧化鋁則小至 0.05 微米。

水份需要量以試片離開研磨盤 2 ~ 3 秒內，水份即可蒸發為度。

氧化鋁及碳化矽拋光紙之分級是以篩目(mesh)大小為準。鑽石膏及細氧化鋁粉則依微米大小分級。金剛砂拋光紙則依金剛砂粒度分級。

經氧化鋁最後拋光後，試片須經水洗，然後再以酒精清洗，最後以空氣管或熱風式吹風機吹乾。以沖水式沖洗試片表面之研磨劑時，須用棉布擦拭。

使用鑽石膏時，須以酒精或肥皂水沖洗，因糊狀帶動液和潤滑劑不會立即溶於水中。最後之擦拭仍為必要之步驟。

(6) 浸蝕 (Etching)

基地組織經適當浸蝕液處理後，即可顯現。鋼鐵材料一般之基地組織可以 2 % 硝酸酒精溶液或含飽和苦味酸酒精溶液浸蝕。苦味酸酒