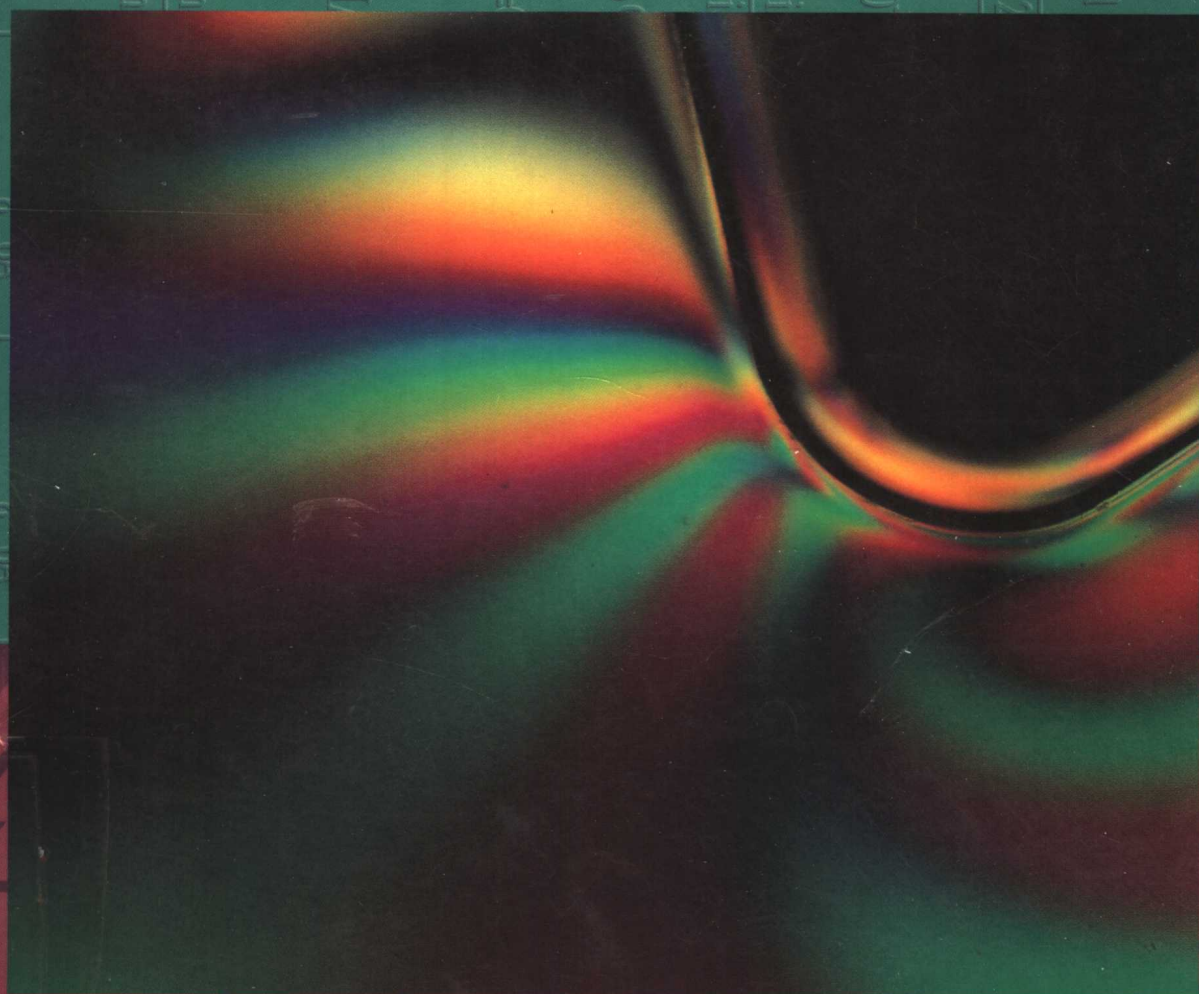


高級物理學

上册：材料和力學

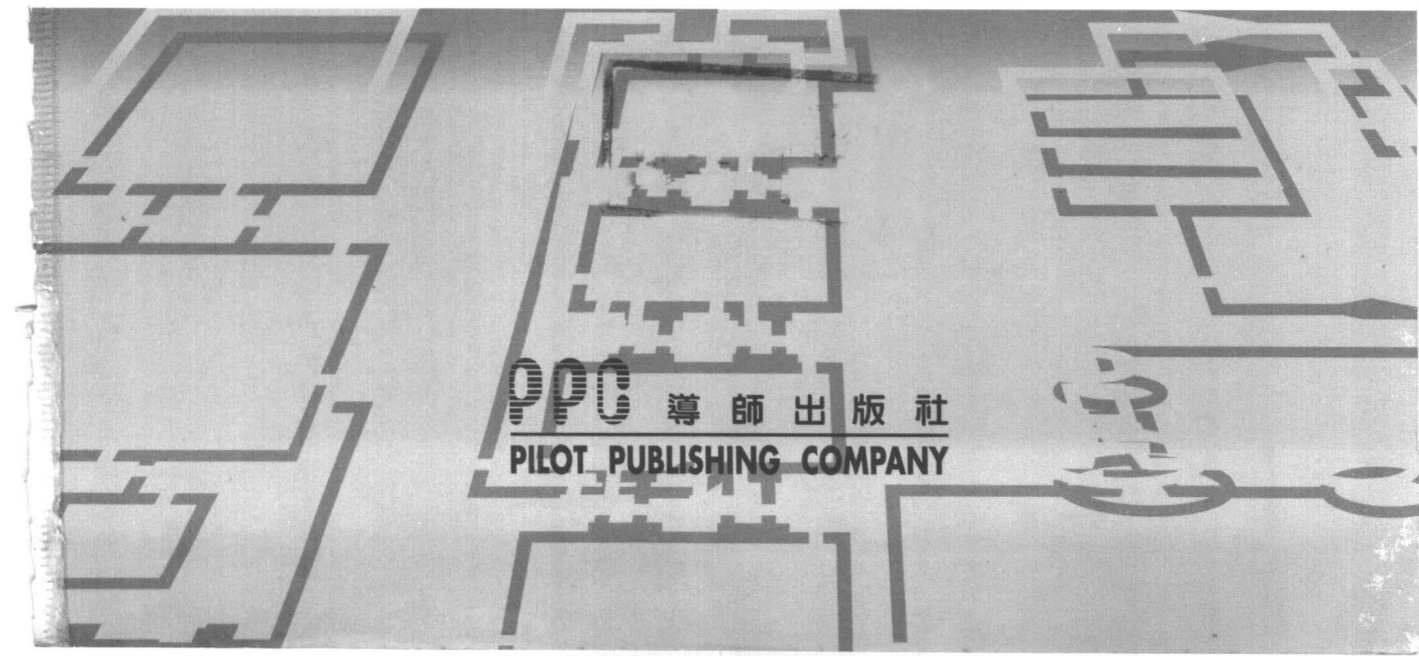
Tom Duncan 著
劉一貫、周顯光譯



高級物理學

上册：材料和力學

Tom Duncan 著
劉一貫、周顯光譯



PPC 導師出版社
PILOT PUBLISHING COMPANY

本書原著為

Advanced Physics For Hong Kong

(Hong Kong edition 1992, John Murray (Publishers) Ltd)

© T. Duncan 1973, 1981, 1987, 1992

Hong Kong edition published 1992 by

John Murray (Publishers) Ltd

50 Albemarle Street, London W1X 4BD

England

高級物理學（上冊）（中譯本）

© 導師出版社有限公司1993

ISBN 962-397-114-1

版權所有。本書任何部分之文字及圖片，如未獲本出版社的書面允許，不得作任何方式抄襲、節錄或翻印。

1993年第一版（中譯本）

1995年重印

出 版：導師出版社有限公司

香港九龍中央郵箱73810號

總發行：導師圖書發行有限公司

香港九龍土瓜灣道86號地下

印 刷：美雅印刷製本有限公司

封面照片由 Paul Brierley 提供。



高級物理學

＜上册＞：材料和力學

作者：Tom Duncan BSc

(Formerly Senior Lecturer in Education
University of Liverpool)

譯者：劉一貫

(華南師範大學物理系副教授)

周顯光

(華南師範大學物理系講師)

審訂：熊鈺慶

(華南師範大學物理系教授)

李永寧

(華南師範大學物理系副教授)



前言

從1992年起，在高級程度會考中考生可選用中文作答，本出版社為配合此一新措施，以及進一步推動母語教學，特選取Tom Duncan, *Advanced Physics for Hong Kong* (Hong Kong edition 1992, John Murray (Publishers) Ltd) 一書翻譯為中文版，供教師講課及學生學習之用。

本書分為兩冊共二十五章。上冊包括「材料」和「力學」兩部分；下冊則分「場」、「波」和「原子」三方面論述。在每一篇章的結尾部分，作者都安排了一些習題，同學可利用這些習題來測試自己對課文的理解程度。在每一部分之後，更附有測驗複習題，務求進一步加深學生對課文的認識。

由於考慮到本書內容可供選擇性的使用，某些課題（例如幾何光學和表面張力）雖然沒有被大多數考試機構列入高級程度課程考試範圍，但我們仍為某些需要這些材料的學生而加以保留，以供他們參考。

至於本書的翻譯工作，我們邀請了華南師範大學物理系副教授劉一貫先生和講師周顯光先生擔任。本書的翻譯手法以直譯為主，以求達致忠於原文的本意、文字淺顯易懂為目的。我們亦邀得了華南師範大學物理系教授熊鈺慶先生和副教授李永寧先生為本書進行審訂工作，務求使本書精益求精。此外，我們亦得到香港數理教育學會協助，代為邀請了資深的物理科老師——陳允武先生及鄭自良先生為本書作最後的評閱工作，進一步提高本書的翻譯質素。

關於書中詞彙的翻譯，主要是依據香港教育署印製的《中學物理科常用英漢辭彙》（1991年版）。由於製作時間急促，本書雖已力求準確，惟疏漏及不當之處恐難避免，歡迎教師及讀者來信指正，以便在再版時加以修訂。



Acknowledgements

I am much indebted to Dr J.W. Warren and to Mr J. Dawber, both of whom read the original manuscript and made many helpful comments and suggestions. I must also thank Professor J. Stringer and Dr J.C. Gibbings. The former very kindly commented on chapters 2 and 3, and useful discussions were held with the latter on chapter 12. My sincere thanks are also due to Mr B. Baker, who constructed and tested the objective-type questions, and to my son-in-law and daughter Drs B. L. N. and H. M. Kennett, who checked the answers to the numerical problems. Thanks are also due to my wife for preparing the typescript.

For permission to use questions from their examinations, grateful acknowledgement is made to the various examining Boards, indicated by the following abbreviations: A. E. B. (Associated Examining Board); C. (Cambridge Local Examination Syndicate); H. K. A. L. E. (Hong Kong Advanced Level Examinations, by permission of the Hong Kong Examinations Authority); J. M. B. (Joint Matriculation Board); L. (University of London); O. L. E. (Oxford Local Examinations); O. and C. (Oxford and Cambridge Schools Examination Board); S. (Southern Universities Joint Board); W. (Welsh Joint Education Committee).

T. D.

Photo credits

The publishers are grateful to the following, who have kindly permitted the reproduction of copyright photographs:

Figs. 1.7, Autocar/QPL; 1.16, Shell Chemicals UK Ltd; 2.1a, b, Cambridge Instruments Ltd; 2.1c, The Plessey Co. plc; 2.1d, Josiah Wedgwood & Sons Ltd; 2.7, Dr R. T. Southin*; 2.9, Professor Brian Ralph, Institute of Materials, University College, Cardiff; 2.10, J. W. Martin; 2.16b, c, d, e, 3.13, The Royal Society (Proceedings, 1947, A, 190); 2.19a, Bell & Hyman Ltd (from *An Approach to Modern Physics* by E. Andrade); 2.19b, Dr C. Henderson; 2.20d, 4.18, Unilab Ltd; 3.1, 3.2, Avery-Denison Ltd, courtesy of Messrs Seamless Tubes, Corby; 3.12, V. A. Phillips and J. A. Hugo*; 3.14, Joseph V. Laukonis, General Motors Research Laboratories; 3.16b, 6.37a, b, 6.76a, Penguin Books Ltd (from *Revolution in Optics* by S. Tolansky); 3.21, British Engine, The Technical Services Division of Royal Insurance; 3.23, Vosper Thornycroft (UK) Ltd; 3.24a, A. E. R. E. Harwell; 3.24c, Fulmer Research Institute Ltd; 3.27a, b, Professor E. H. Andrews, Queen Mary College; 3.28, Eidenbenz and Eglin, used in *Science*, ed. J. Bronowski (Aldus Books); 4.20, THORN EMI Instruments Ltd; 4.22, 10.7, Central Electricity Generating Board; 4.24, 9.25, British Crown Copyright/RAE photograph; 4.25, Mullard Ltd; 4.30, LLOYD INSTRUMENTS-Education Division; 5.4, British Steel; 6.88, Palomar Observatory; 6.99, Times Newspapers Ltd*; 7.16, PSSC PHYSICS, 2nd edn., 1965; D. C. Heath & Company with Education Development Center, Inc., Newton, Ma.; 7.24a, b, 7.33a, b, Jim Jardine, Moray House College of Education, Edinburgh; 7.34b, Lady Blackett; 8.9, Popperfoto; 8.29, C. E. F., Bernard PARIS; 9.1a, b, Special Collections,

University of Washington Libraries, photos by F. B. Farquharson; 10.8a, Pilkington Solarproducts Ltd*; 10.9, Service Scientifique, French Embassy*; 10.11a, b, Daily Telegraph Colour Library/Julian Wasser; 10.12, Wind Energy Group; 10.16, Hamworthy Engineering Ltd; 10.19, J. Watton, Camborne School of Mines Geothermal Project; 11.1, Water Authorities Association; 11.3b, Austin Rover Group Ltd; 11.4, Pressure Dynamics Ltd*; 11.12, L. H. Newman (photo by W. J. C. Murray)*; 11.13, Photography by Oskar Kreisel from Focal Encyclopedia of Photography, Focal Press, London and Boston; 12.9, Dr J. C. Gibbings, Department of Mechanical Engineering, University of Liverpool, and the Editor Physics Bulletin - © J. C. Gibbings.

Page 1, Department of Physics, Royal Holloway and Bedford New College, University of London; page 141, British Aerospace.

*Every effort has been made to contact these copyright holders, who have given their permission for reproduction in previous editions; we apologise for any breach and will be pleased to rectify this in future impressions.

The copyright holders of the following photographs we have been unable to trace; we will be pleased to rectify these omissions in future impressions: Figs. 2.20b, 3.19.



鳴謝

本書除獲得英國出版社——John Murray授予翻譯版權外，更獲得該出版社大力協助，謹此致謝。

負責本書翻譯工作的劉一貫先生、周顯光先生以及進行審訂工作的熊鈺慶先生、李永寧先生，以專業的精神在極短時間內為我們提供一份高質素的翻譯稿件，我們謹致誠摯的謝意。

本書籌備過程中，亦蒙香港數理教育學會、陳允武先生、鄭自良先生及楊位平先生鼎力協助，謹此申謝。

導師出版社

目錄

前言

鳴謝

材料

第一章	材料及其應用	3
第二章	材料結構	17
第三章	機械性能	41
第四章	電性質	67
第五章	熱性質	117
第六章	光學性質	153
	測驗複習題	229

力學

第七章	靜力學和動力學	245
第八章	圓周運動和引力	289
第九章	機械振動	325
第十章	能量及其應用	349
第十一章	靜止流體	379
第十二章	運動流體	405
	測驗複習題	427
	附錄	437
	答案	451
	索引	461

材料

- | | |
|----------|--------|
| 1 材料及其應用 | 4 電性質 |
| 2 材料結構 | 5 熱性質 |
| 3 機械性能 | 6 光學性質 |



▲ 鑽石表面的薄膜干涉

材料應用的歷史

聚合物

材料的拉伸和壓縮

其它材料

金屬和合金

樑

木材

橋

石、磚和混凝土

其它建築結構

材料應用的歷史

有人認為，在科技專家得知某一科學發現的實際用途並藉以改善人類命運以前，這個科學發現還是未成熟完整的。任何科技發展其基本要求之一就是要有**適當的材料**。這點可從人類文化發展各個歷史時代的命名看出，例如石器時代、銅器時代、鐵器時代等。

(1) 石器時代

這時代從有文字記載以來至公元前2500年左右。在這期間，工具和武器都是石造的。陶器是用黏土鍛燒而成；衣服、魚網和籃子等則是編織植物纖維和獸毛而來。

隨著農業發展，人們需要有固定的居所，讓他們可以長年累月地看管農作物和牲畜，於是便促使人們用木材和石料築起永久性的房屋。村莊、城鎮逐漸形成，這就需要道路、排水溝、橋樑、輸水管等。某些鄉鎮漸漸富庶，這就招致其它村落的嫉妒，也促使鄉鎮居民加強防禦工事和發展武器工業。

(2) 銅器時代

這時代大約開始於公元前2500年。在東歐，人們發現銅加入錫形成青銅合金後，會變得更堅韌。然而，隨之而來的科技發展，較之於鐵器時代，還是不大。

(3) 鐵器時代

雖然中國很早就使用鐵造的農具，但是直到公元前1000年左右，其它國家才開始廣泛使用鐵器。鐵是地殼中蘊藏最豐富的金屬之一，通過冶煉鐵礦砂便可提取鐵。

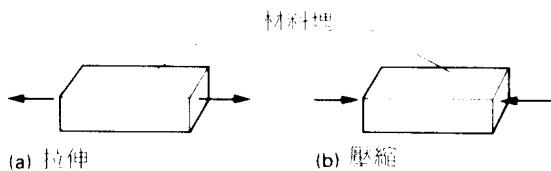
到了十九世紀，鋼（即鐵的合金）成為最主要的金屬材料，用於製造工具、器皿、機械、橋樑、船舶、武器、汽車等等。

(4) 現代

二十世紀，出現了塑料和複合材料（見頁8和頁55），這使材料的應用範疇變得更廣闊。

材料的拉伸(tension)和壓縮(compression)

不同的材料有不同的用途，選擇時要以其「性質」為依歸。我們用混凝土建造大廈，用木材造傢具，用玻璃造窗戶，用鋁製鍋，用塑料造洗滌盆，用棉花和尼龍製衣，用橡膠造橡筋等等，都是不無道理的。



▲ 圖 1.1

以下我們將集中討論有關大廈和橋樑等構造物所使用的材料，主要著眼於這些材料的「機械性能」上，例如最基本的便是要知道材料在**拉伸**和**壓縮**這兩種情況下的行為表現。材料在受到拉力時會「伸長」，如圖1.1a所示；遇到壓力時則會「收縮」，如圖1.1b。

抗拉性能強的材料，其抗壓性能可能很弱，反過來也是一樣。

現在讓我們來討論一些常用材料的性質。至於材料的機械性能，則會在第三章作詳細討論。

金屬和合金(alloy)

(1) 鐵和鋼

純鐵是很少使用的，我們通常都會在鐵中加入其它物質使之成為鋼，例如：

- (i) 加入小量碳而成為**軟鋼**（即低碳鋼）。軟鋼的抗拉性和抗壓性能都較強，而且價錢便宜，所以大量用於生產汽車、廚具、雪櫃等商品。建築業使用的棚架、大樑、橋、塔架以及混凝土中的鋼筋，也是用軟鋼造的。但軟鋼有兩個缺點，首先是重，其次是會生鏽。為防鏽起見，可以塗上油漆，或者鍍上一層抗腐蝕的金屬薄膜，例如鍍上錫箔使它成為馬口鐵；鍍鋅鋼則是鍍上一層薄鋅。波紋狀的

鍍鋅鋼板可以用來蓋小屋頂。鍍鉻鋼則是先鍍一層鎳，然後再電鍍上一層很薄的鉻（一種硬而光亮的金屬）。

(ii) **不銹鋼**(stainless steel)：不銹鋼含有較多鉻和鎳，它比軟鋼昂貴，且不容易加工，但卻更堅硬和耐腐蝕。

(iii) **鈦鋼**(titanium steel)：鈦鋼熔點很高，常用來製造太空穿梭機的機頭整流罩、超音速飛機、火箭以及噴射引擎的部件。

(2) 鋁和硬鋁(duralumin)

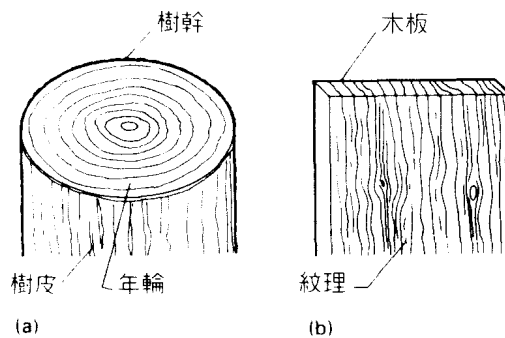
鋁是僅次於鐵的常用金屬，不過從鋁礦砂（鋁礬土）提煉鋁，費用卻貴得多。鋁的密度只有鐵的三分之一。當它暴露在空氣中，表面會形成一層薄而堅韌的氧化層，能夠很好地防止空氣的腐蝕。純鋁偏軟和脆。

硬鋁是含有少量銅、錳、鎂的鋁合金。它的抗拉強度不弱於軟鋼，加上密度低，所以非常適宜用於製造飛機的機體。

木材

木分兩大類：一類是**軟木**，例如松木。軟木不僅軟，而且體輕色淡。建築業常用它製造門、窗框、地板和屋頂的桁架。另一類是**硬木**，例如橡木、柚木。木質堅硬（見頁41），適用於製造傢具。

樹是從中央向外生長的，樹幹每年增加一個年輪，如圖1.2a所示。把樹幹鋸成長板，就能看見年輪所顯示的木材紋理，如圖1.2b。



▲ 圖1.2

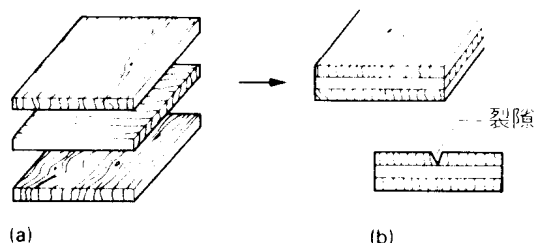
硬木的紋理比軟木密，正好說明前者較後者堅韌。木材的抗拉強度，順紋比橫紋大，因為木是由順著樹幹上下方向的管狀纖維構成的。木材的抗壓強度則稍弱。

新木含有大量水份，使用前必須**風乾**(seasoning)。通常是把新鋸好的木板略留間隙堆疊成垛，讓空氣流通，以便帶走木材中的水份。這種程序需

時多少不一，少則數星期，多則好幾年。如果一塊木板未經適度風乾，在非常潮濕或非常乾燥的日子裡，就會因吸濕不均或失水不均而產生不良後果。例如吸濕會引起「膨脹」，失水會導致「收縮」，這樣木材就會撓曲起來。

(1) 膠合板(plywood)

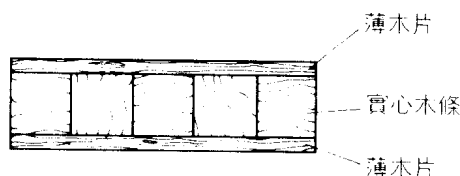
上面說過，木材要風乾後才可使用。風乾薄木片比風乾厚木板要省時間。膠合板就是用風乾好的薄木片黏合而成的。通常讓各層紋理互相正交，如圖1.3a所示，並用「奇數」塊木板（例如三合板、五合板）。這樣做的好處是，當一個缺口順著紋理裂透一層板，碰上另一層正交紋理，裂隙就不致繼續擴展，見圖1.3b。因此，膠合板比同等厚度的實心木強度大。由於它是由多層薄片構成的，所以也稱為層壓板(laminate)。



▲ 圖 1.3

(2) 寬條芯膠合板

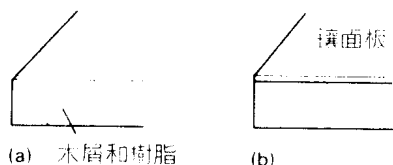
這是用兩塊薄木片夾著若干條實心木而造成像「三文治」般的構件，如圖1.4所示。外面的木紋紋理方向一致。正如膠合板一樣，寬條芯膠合板不會撓曲，而且能夠牢牢地固定起來（例如工作台的台面），不怕「走位」。



▲ 圖 1.4

(3) 木屑板(chipboard)

這是由木屑和樹脂混合壓成塊狀的木材，如圖1.5a。它可以像木一樣用鋸來加工。雖然木屑板比實心木重，但強度卻比木材大，可以用於天花板或其它不太注重外觀的場合。



▲ 圖 1.5

製造傢具或架子等物，通常會在表面貼上一層較為美觀的鑲面板，見圖1.5b。這種鑲面可以是白色、彩色或木紋的塑料板，也可以使用木板本身。

石、磚和混凝土

建造房屋、大廈、橋樑、道路、水壩，要採用各種各樣的材料。在決定採用甚麼材料時，必須考慮到費用、社會潮流和供應是否充足等因素。

(1) 石

世界上到處都蘊藏著石料。花崗岩堅硬耐久；大理石硬而美觀，但不甚耐用；砂岩則比較軟，容易加工，尚屬耐久。

石料抗壓性能強，但抗拉性能弱。城市裡如果有大氣污染，用石建造的建築物便要定期清洗以保持它的外觀。

(2) 磚

磚是除石之外另一種便宜而又有標準尺寸的建築材料。將黏土和水混合成型後放在高溫窯裡熔烘，便成為磚。磚的顏色和硬度取決於所用的黏土和熔烘溫度。像石一樣，磚也是抗壓性能強而抗拉性能弱。

(3) 水泥和灰漿(mortar)

水泥是一種灰色粉末，用黏土和石灰混合，再經高溫燒成。用水把砂和水泥混合攪勻，就成為黏稠的糊狀物，稱為灰漿。灰漿通常用來砌磚或砌石料。在灰漿乾涸之後，砌成物就堅固得像石一樣。

(4) 混凝土

混凝土現時比任何材料都更常用於建築工程。它是水泥、砂、碎石（俗稱「骨料」）和水的混合物。典型的配方是一份水泥、兩份砂以及四份碎石。當然，用途不同，成分也就相應不同。把混凝土置於模子中晾乾成型，就可以將它當作堅固的白石塊來使用。

混凝土經得起風雨和冷熱變化，而且抗壓強，但抗拉弱，這是由於混凝土本身有無數的裂隙存在，所以它易碎。如果某一結構是要求經受較大拉力的話，則不宜採用混凝土。



在**鋼筋混凝土**(reinforced concrete)中，混凝土的抗拉強度通過在混凝土中趁濕插入鋼線或鋼條而得到加強，如圖1.6。混凝土乾了後就緊貼在鋼筋上凝成一體，既強於抗拉又強於抗壓。

▲ 圖1.6

預應力混凝土(prestressed concrete)具有更大的抗拉強度，這將在第三章（頁53）說明。至於**輕質混凝土**，則是使用煤渣作骨料的。

聚合物(polymers)

以下將扼要介紹一些常見的人造聚合物的特性。(1)至(6)是**熱塑性塑料**(thermoplastics)，(7)和(8)是**熱固性塑料**(thermosets)。(聚合物的分子結構將在第二章論及)天然聚合物——橡膠的機械性能詳見第三章(頁60)。

(1) 聚乙烯(polythene)

聚乙烯柔韌不易碎，難溶於水和大多數溶劑中。它可以滾壓成薄膜或模製成複雜的形狀，是上佳的電絕緣體。

(2) 聚苯乙烯(polystyrene)

比起其它塑料，**聚苯乙烯**稍脆一些。但它的優點是硬，適宜用於製造細小容器和玩具。**多孔聚苯乙烯**是一種含有大量小氣泡的泡沫塑料。它的密度很小，容易鑄成各種形狀，是理想的包裝用材料。聚苯乙烯同時也是一種良好的熱絕緣體。

(3) 聚氯乙烯(polyvinyl chloride, 即PVC)

聚氯乙烯堅韌防水，適宜用來製造防護膜或防護板、塑料地毯等。它也是一種良好的電絕緣體，可以用作電纜表皮。

(4) 有機玻璃(perspex)

這是一種透明堅硬但不及玻璃般硬和脆的材料，有時會用作玻璃的代替品。**有機玻璃**容易切割和鑽孔，但也容易磨損。

(5) 聚四氟乙烯(polytetrafluorethylene, 即PTFE)

聚四氟乙烯也稱**特氟隆**(teflon)。它的熔點比大部分塑料高得多，而且不具黏性，這就適宜用作平底鍋和其它廚具的內表層薄膜和製造無須加潤滑油的軸承。

(6) 尼龍纖維

尼龍纖維常用來製造粗繩和耐穿的衣料。它不吸水，所製衣物易乾免熨。然而在熱天穿尼龍恤衫或罩衣，會感到又潮又悶，原因是它不吸汗。**滌綸**(terylene)是紡織工業常用的另一種人造纖維。

(7) 電木(bakelite)

電木硬而脆，但若在製造時摻入些鋸屑，強度就會增加。電木輕巧，價格低廉，而且耐腐蝕，所以常被用來製電器配件。

(8) 福米卡(formica)和密胺樹脂(melamine)

這是兩種熱固塑料，表面硬而光滑，適宜用來造桌面或其它表面的鑲面板。

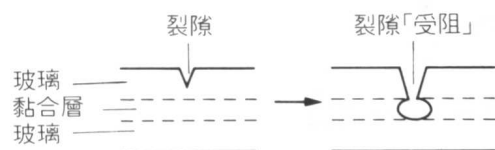
其它材料

(1) 纖維增強材料

這是用塑性樹脂（GRP和CFRP）和玻璃纖維或碳纖維造成的複合材料，其性質將在第三章討論。

(2) 多層玻璃(laminated glass)

多層玻璃一般稱為「防彈玻璃」。它甚至比鋼化玻璃（即預應力玻璃，頁53）還要堅韌，是用透明膠把鋼化玻璃牢固地黏合在一起而造成的。



(a)

層數越多，強度越大。它可用作汽車和飛機的擋風玻璃。當裂隙透過一層玻璃，卻因受阻於黏合層而不能貫穿下一層，如圖1.7a。這樣，在受到撞擊時，多層玻璃只會出現裂痕而不致破成碎片，見圖1.7b。



▲ 圖 1.7(b)

(3) 陶瓷

把黏土、幼砂和水調成糊狀，成型後再經高溫鍛燒，就成為陶瓷。如果把上好的黏土（例如中國黏土或高嶺土），用高溫鍛燒，就成為瓷器。普通黏土不耐高溫，就只能造陶器。瓷器的表面通常會「釉上」一層玻璃。