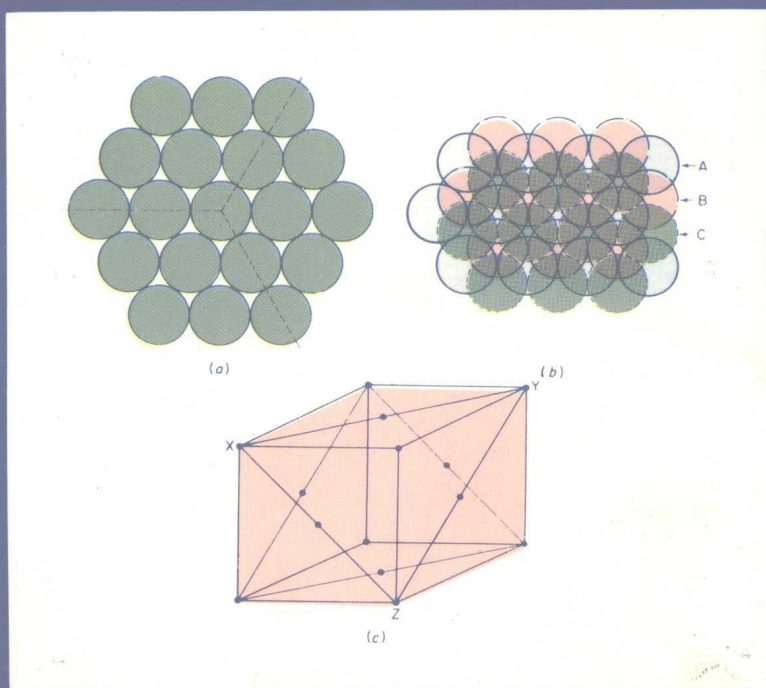


# 土 木 材 料

## Civil Engineering Materials

原著者：N Jackson

譯述者：劉 惠 德



乾泰圖書有限公司

# 土 木 材 料

Civil Engineering Materials

原著者：N Jackson

譯述者：劉 惠 德

江苏工业学院图书馆  
藏书章

乾泰圖書有限公司

行政院新聞局登記證 局版台業字第 1123 號

---

版權所有 • 翻印必究

# 土 木 材 料

原著者：N Jackson

譯述者：劉 惠 德

發行人：趙 國 華

發行者：科技圖書股份有限公司

台北市重慶南路一段 49 號四樓之 1

電 話：3118308 · 3118794

郵政劃撥帳號 0015697-3

---

80年10月6版

特價新台幣 170 元

ISBN : 957-655-075-0

# 原 序

土木工程用材料的認識，其重要性久受重視，但在最近十多年來才在大專程度的課程中開始着重講解其基本性質。本書為一導引性教科書，但其內涵要比一般性的工程材料教科書要豐富些，除可供大專學生修習外，尚可供其它有關從業人員的參考。鑑於土壤性質在土木工程所具的重要性，經將其視作土木工程材料的一部分，而與習用的金屬、木材、混凝土與瀝青等分列專篇，並各就其較深入部分寫成一本略具權威性的教科書。

在本書中所討論的材料性質內容，是供大專程度土木、營造、建築等科系學生研讀之用，依各類科系所開課程結構的安排，在第二、三年級時開授。至其進階課程，可在讀完本書後再行進修其高級部分，亦可在各種結構分析與設計課程或公路工程學中，各別提出特殊相關的材料特性與應用的資料。有關土壤的進修課程，另有必修的如土壤力學或地工技術等課程分在土木、營建科系中開設。

綜合全書着重在說明策定工程的諸因素。希望由本書可學到有關工程設計施工方面的重要材料性能，不論是屬於構造或純裝飾用的，均可適合所要求的目的。

本書由七人分別各就專長擔任編寫，再由本人綜合成書，各位所擔任的篇目列下：

1. 金屬篇由 R. J. Hey 與 A. V. Pagan 執筆
2. 木材篇由 T. Gibson 執筆
3. 混凝土篇由 R. K. Dhir 與 N. Jackson 執筆
4. 瀝青篇由 D. H. J. Armour 執筆
5. 土壤篇由 D. G. Mckinlay 執筆

感謝辭略

N. Jackson 傑克遜  
於 Dundee 大學

# 土木材料

## 目 錄

### 原 序

### 目 錄

## 第一篇 金屬材料

### 第一章 金屬的構造

|     |                |   |
|-----|----------------|---|
| 1.1 | 原子結合·····      | 2 |
| 1.2 | 金屬的晶體結構·····   | 4 |
| 1.3 | 純金屬的晶粒構造·····  | 6 |
| 1.4 | 固溶體與化合物·····   | 7 |
| 1.5 | 平衡圖·····       | 7 |
| 1.6 | 顯微組織與肉眼組織····· | 9 |

### 第二章 金屬的變形

|     |              |    |
|-----|--------------|----|
| 2.1 | 材料的拉力性質····· | 10 |
| 2.2 | 彈性變形·····    | 11 |
| 2.3 | 塑性變形·····    | 12 |

## 第三章 金屬內的強度構制

|     |           |    |
|-----|-----------|----|
| 3.1 | 加工硬化與退火   | 17 |
| 3.2 | 合金強化      | 20 |
| 3.3 | 鋼的結構      | 23 |
| 3.4 | 鑄 鐵       | 27 |
| 3.5 | 時效硬化或析出硬化 | 28 |

## 第四章 使用狀況

|     |         |    |
|-----|---------|----|
| 4.1 | 腐蝕與表面防蝕 | 30 |
| 4.2 | 脆裂與延裂   | 34 |
| 4.3 | 潛 變     | 36 |
| 4.4 | 疲 勞     | 38 |

## 第五章 金屬在土木工程的使用

|     |         |    |
|-----|---------|----|
| 5.1 | 熟 鋼     | 41 |
| 5.2 | 鑄鋼與鑄鐵   | 53 |
| 5.3 | 非鐵金屬    | 54 |
| 5.4 | 銲 接     | 63 |
|     | 本篇之參考資料 | 68 |
|     | 本篇進修讀物  | 69 |

## 第二篇 木 材

## 第六章 木材的來源

|     |       |    |
|-----|-------|----|
| 6.1 | 構造成長  | 72 |
| 6.2 | 木材的分類 | 76 |

|                |    |
|----------------|----|
| 6.3 木材的轉換····· | 77 |
|----------------|----|

## 第七章 木材的性質

|                |    |
|----------------|----|
| 7.1 強 度·····   | 79 |
| 7.2 含水量·····   | 81 |
| 7.3 木材的損害····· | 82 |

## 第八章 木材的缺陷

|               |    |
|---------------|----|
| 8.1 自然瑕疵····· | 85 |
| 8.2 化學瑕疵····· | 89 |
| 8.3 轉變瑕疵····· | 89 |
| 8.4 風乾瑕疵····· | 91 |

## 第九章 木材防腐

|                |    |
|----------------|----|
| 9.1 防腐的種類····· | 93 |
| 9.2 防腐法·····   | 94 |

## 第十章 木材的用途

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 10.1 海中工程·····    | 97  |
| 10.2 重型構造工程·····  | 99  |
| 10.3 中型或輕型木作····· | 100 |
| 10.4 鷹架木作·····    | 101 |
| 10.5 飾面細木作·····   | 102 |

## 第十一章 木材種類

#### 4 土木材料

|               |     |
|---------------|-----|
| 本篇之參考資料 ..... | 106 |
| 本篇進修讀物 .....  | 107 |

### 第三篇 混凝土

#### 第十二章 組成材料

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 12.1 水 泥 .....       | 111 |
| 12.2 普通水泥的基本性質 ..... | 113 |
| 12.3 骨 材 .....       | 122 |
| 12.4 水 .....         | 130 |
| 12.5 添加劑 .....       | 131 |

#### 第十三章 新澆混凝土的性質

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 13.1 工作度 .....      | 136 |
| 13.2 工作度的量度 .....   | 137 |
| 13.3 影響工作度諸因素 ..... | 141 |
| 13.4 穩定度 .....      | 147 |

#### 第十四章 硬化混凝土的性質

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 14.1 強 度 .....            | 150 |
| 14.2 影響強度諸因素 .....        | 152 |
| 14.3 變 形 .....            | 164 |
| 14.4 耐久性 .....            | 171 |
| 14.5 收 縮 .....            | 177 |
| 14.6 用非破壞性試驗評估混凝土品質 ..... | 181 |

## 第十五章 混凝土的配合設計與品質控制

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 15.1 混凝土所需的品質 ..... | 187 |
| 15.2 混凝土的配合設計 ..... | 193 |
| 15.3 統計法的品質控制 ..... | 199 |
| 本篇之參考資料 .....       | 205 |
| 本篇進修讀物 .....        | 207 |

## 第四篇 瀝青材料

### 第十六章 瀝青質結合料

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 16.1 基本的化學性質 .....  | 210 |
| 16.2 結合料的物理性質 ..... | 212 |
| 16.3 粘度計 .....      | 216 |
| 16.4 其他物理性質 .....   | 221 |
| 16.5 拌合用結合料 .....   | 225 |

### 第十七章 瀝青拌合料

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 17.1 性 質 .....      | 229 |
| 17.2 瀝青拌合料的設計 ..... | 232 |

### 第十八章 瀝青材料的用途

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 18.1 瀝青路面用材料 .....      | 236 |
| 18.2 用於水工工程上的瀝青材料 ..... | 246 |
| 本篇之參考資料 .....           | 252 |
| 本篇進修讀物 .....            | 253 |

## 第五篇 土 壤

### 第十九章 土壤的形成、調查與取樣

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 19.1 殘積土·····   | 258 |
| 19.2 移積土壤·····  | 258 |
| 19.3 探查與取樣····· | 265 |

### 第二十章 容積性質

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 20.1 比 重·····     | 268 |
| 20.2 含水量·····     | 268 |
| 20.3 空隙比與孔隙率····· | 269 |
| 20.4 飽和度·····     | 269 |
| 20.5 空氣含量·····    | 270 |
| 20.6 密 度·····     | 270 |
| 20.7 容積性質的導引····· | 272 |

### 第二十一章 粗粒與細粒土壤

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 21.1 顆粒尺寸分佈·····       | 274 |
| 21.2 顆粒形狀與表面構造·····    | 276 |
| 21.3 Atterberg 限度····· | 276 |

### 第二十二章 土壤分類

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 22.1 土壤統一分類法·····  | 279 |
| 22.2 工地分類法·····    | 283 |
| 22.3 土壤的進一步解說····· | 285 |
| 22.4 化學成分·····     | 288 |

## 第二十三章 土中的水流

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 23.1 土中應力的傳遞·····       | 289 |
| 23.2 粗粒土壤 - 靜地下水·····   | 290 |
| 23.3 細粒土壤 - 含水量的均衡····· | 294 |
| 23.4 土壤對冰凍的感受性·····     | 296 |
| 23.5 地下水的流動·····        | 299 |
| 23.6 土壤作為排水濾層·····      | 309 |

## 第二十四章 土壤的壓縮性

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 24.1 砂的壓縮·····    | 314 |
| 24.2 粘土的短期壓縮····· | 317 |
| 24.3 粘土的長期壓縮····· | 319 |

## 第二十五章 土壤的剪力強度

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 25.1 應力的圖示法·····     | 327 |
| 25.2 試驗室的剪力強度試驗····· | 328 |
| 25.3 工地的剪力強度試驗·····  | 340 |

## 第二十六章 壓實土壤穩定法

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 26.1 機械壓實法·····   | 341 |
| 26.2 土壤的壓實性質····· | 342 |
| 本篇之參考資料·····      | 344 |

# 第一篇 金屬材料

## 緒 言

適用於土木工程的金屬材料，是多而具變化的。自作為主要結構材料，以至用作連繫與支承的材料，其範圍很廣。用作主要結構材料，軋鋼（rolled steel），早已取代鑄鐵與熟鐵，部分的用途，也有改用鍛造的鋁合金（wrought aluminium alloys）。

鋼，在鋼筋混凝土與預力混凝土中極為重要。較小尺寸的金屬材料廣泛使用作連繫件，如螺栓與鉚釘，或橋樑伸縮縫的蓋面板或裝飾面板等。

使金屬能在營造材料中佔特殊地位的性質，為其具有高抗拉強度，能製成板片、線條或其他斷面形狀的性能，以及施工上的可銲性等。金屬材料的其他標準性質，計有導電性（electrical conductivity）、導熱性（thermal conductivity）以及在某些情況下，極為重要的金屬光澤（metallic lustre）等。雖然現已發展具有耐大氣銹蝕的耐銹鋼（weathering steel），但一般金屬的最大缺點（特別是鋼類），是在潮濕與大氣環境下，需要設法防止其銹蝕。

在應用時，金屬不僅需要高抗拉力、壓力與腐蝕，而且能耐衝擊、低溫、荷重的持續變化，或數種因素同時發生的不良情況。除使用於需高導電性或耐蝕性的情況下，純金屬相當軟弱不能符合上述的嚴格要求，故常加入一種以上的合金元素以增加其強度，或改良其性質。金屬與合金，在性質上均為晶體。為求提高其應用程度，就需瞭解其原子構造、所形成晶體的種類、顯微組織（microstructure）（即顯微鏡下觀測的構造），較粗的肉眼組織（macrostructure）以及受到熱處理（heat treatment）的作用應力、變形與環境因素等影響的情形。

# 第一章 金屬的構造

## 1.1 原子結合

化學元素的原子，包括一個帶正電荷的原子核，繞以許多成層移動而帶負電荷的電子。其中第一層僅含兩個電子，但外層需要填滿八個電子。當原子結合成分子或晶體，雖有多種變化，但只要外層電子數充填完成，就形成一個穩定的單位，依該原子以及與其結合的原子的電子數，可能會失去（donating）獲取（gaining）或共有（sharing）電子。通常，外層電子數越少的原子會失去電子，外層電子數越多的將會得到，或共有電子。原子中總電子數增加時，可能失去的電子數也會增加。失去電子的原子，通常具金屬（metallic）性質而得到或共有電子者，則為非金屬（nonmetallic）性質。在化合物中，原子間為離子與共價（ionic and covalent）結合，而在金屬時，則依金屬鍵（metallic bond）而定。

由離子結合時，價電子（valency electrons）係由一種原子的外層傳遞到另外一種元素原子的外層，而後各原子均得完整的外層。氯化鈉（普通食鹽）即為這種結合的典型例，可用圖 1-1 表示。鈉原子失去的一個價電子，跑到氯原子使氯原子外層的電

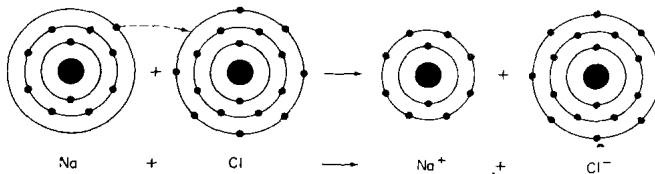


圖 1-1 氯與鈉的結合與由鈉傳遞一個電子到氯原子形成帶一個正電荷的鈉離子與帶一個負電荷的氯離子

子數達到 8，這是外層電子的穩定數。這種形式的移轉，使原子因失去電子而帶正電，或得到電子而帶負電，並利用帶電的原子，或離子間的靜電吸引力，結合在一起。這種結合可使原子連貫密集在一起，形成一個大的分子（large molecule）或晶體（crystal）。離子的結合力很強，但任何帶電原子彼此間的相對移動，會使帶電情況相似的原子連在一起。此種位移所需的力，通常等於原子結合的破壞強度。因此，可能尚未變形就發生破裂，而離子結合的化合物也就顯得硬而脆。

共價結合（covalent bonding）依欲達穩定情況的原子間（每個原子的外層均達完全穩定狀態）電子的共用情形而定。用鑽石中碳原子的結合情形來說明：碳原子的外層計有四個電子，在鑽石中，每個碳原子與鄰近原子互相共用電子如圖 1-2 所示。

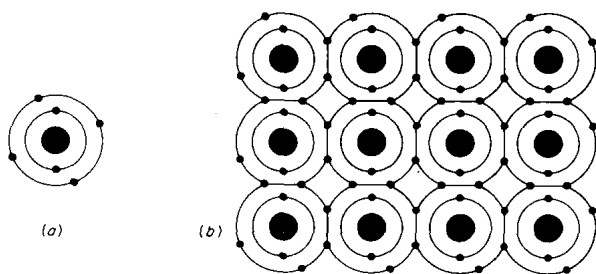


圖 1-2 (a)碳原子結構 (b)各碳原子以共用電子結合在一起

共價結合的強度很高，但可密集在一起的原子數有一限度，且具方向性。如此，原子不易在無破裂的情形下產生相對移動，因而使共價化合物顯得硬而脆。

雖然金屬間某些化合物可能用其他形式結合，或以一種以上的結合方式混合。但是仍以金屬結合為主。金屬結合時，在空氣中放出電子的帶正電金屬原子，與帶負電的氣體或煙霧結合在一起。此帶電氣體（electron gas）使金屬具導電性，因受電位的影響，電子可在其中流動而產生電流。金屬離子的結合是無方向性的。因此，不會干擾到原子堆積成高密度的結構，而且只要不達到某一應力水準，原子可在沒有發生破裂的情況下產生相對移

動。金屬的強度、延性與韌性即由於此結合性質所致。此點將在第二章中作進一步討論。

## 1.2 金屬的晶體結構

固體金屬係由晶體或晶粒 ( grain ) 的聚合而成。其中，原子排列成有規律的三維幾何模式者，稱為空間格子 ( space lattice )。通常可用單位細胞 ( unit cell ) 來描述。若單位細胞在任何方向重複很多次，即可產生空間格子。雖需用單位細胞觀念來形容不同種類的空間格子，但經常還是將晶體當作由連續平面的原子所組成較為方便。雖無法達到理論上最緊密的聚合，但大量高密度聚合的原子平面可形成晶體。

圖 1-3a, 表示球體或原子在一個平面的理想密集排列，其中原子在三組聚合線上作相似排列。當這種形式的平面以 ABCABC ABC 等堆積排列，就可產生如圖 1-3 b 所示的密集堆積格子稱為面

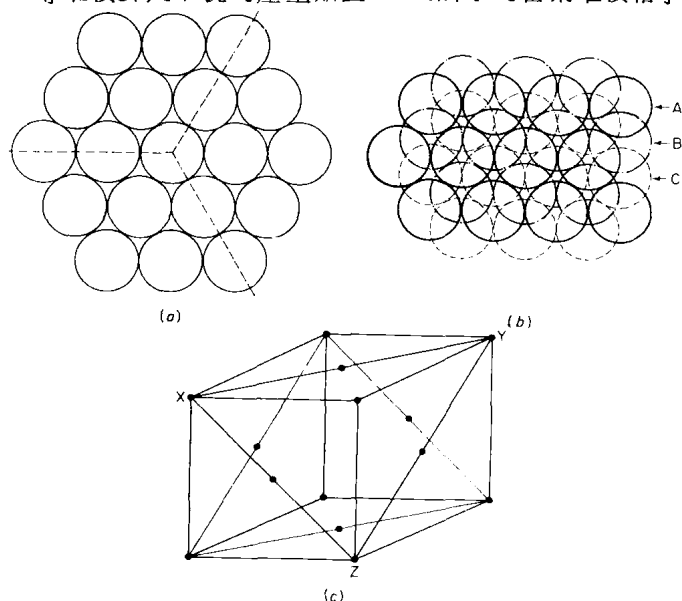


圖 1-3 (a)原子在一個平面中的密集排列  
(b)密集平面以ABC ABC的排列堆積  
(c)面心立方單位構造，X Y Z 為密集堆積平面

心立方格子 ( face-centred cubic lattice )。這堆積格子，由圖 1-3 c 可知，立方體每一隅角與每一面的中心均有原子。沿組成密集格子的任何三個相鄰平面的對角線切割，可得四組密集平面。圖 1-3 c 中的平面 XYZ，即為此種形式的一個平面。這種結構中每一個原子均有十二個等距離的密集相鄰原子。

另外一種密集堆積平面為，將第三層原子放在第一層上形成 ABABAB 等排列，這種排列示如圖 1-4 a 而形成如圖 1-4 b 的六方密格子結構。在這種結構中邊，六方單元構造在每一隅角及頂

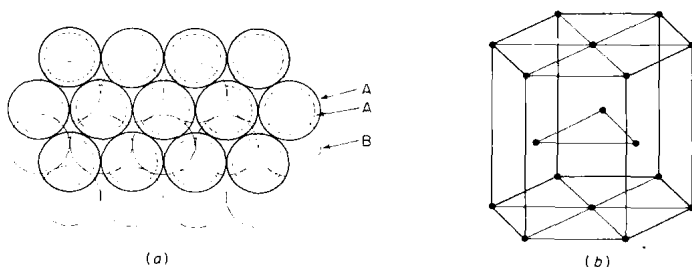


圖 1-4 (a)密集平面的ABAB排列，其中不同平面的原子正好重疊  
(b)六方密格子結構

與平面的中心均有原子，而且單元內還有 3 個原子。它屬於密集結構，而每個原子均有 12 個等距離相鄰原子却只有一組密集平面。在理論上，高度與底面邊的比值為 1.633 [理想六方密格子結構 ( ideal hexagonal close-packed structure )]。但在實際上，此值有些微差異。

較不密集的平面結構如圖 1-5 a 所示。其原子平面較密集平面更靠在一起。此體心立方結構 ( body centred cubic structure ) 的結果示於圖 1-5 b。雖然不如前述面心立方與六方密格子結構那麼理想的密集構造，仍具高的原子堆積密度。

體心立方單元結構在每一隅角與立方體的中心，均有一個原子。此結構的每一原子，均有 8 個等距離的相鄰原子，另有 6 個距離稍遠。

此三種格子結構，為一般金屬所見到的較主要格子形式。某些由兩種或兩種以上的金屬元素所合成的化合物以及若干較高價

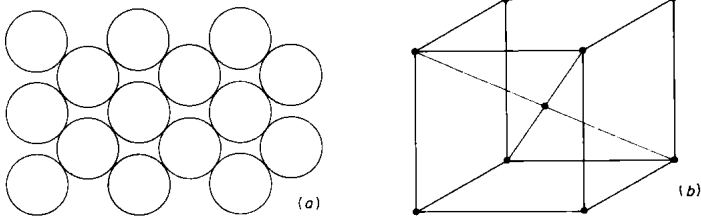


圖 1-5 (a)體心立方結構的斜面，表示較理論密集結構的原子數少，(b)體心立方單元結構

位的金屬中，如砷或銻等其密度較低，格子結構也較複雜。金屬的格子構造形狀，可影響其變形性質，這些關係將在第二章中討論。在此首先考慮金屬中結晶的排列。

### 1.3 純金屬的晶粒構造

在研究純金屬的結晶或晶粒排列時，以考慮由液體狀態固化過程中結構的發展較為方便。在液態時，原子幾乎處在一種完全雜亂情況下，任一有秩序地排列，僅為少數原子而且存在的時間很短。當冷却到凍結點時，秩序排列變成穩定狀態，有如原子核一樣，其上結合了更多原子而為成長晶粒。除了固態結晶間的液體繼續固化外，這些晶粒繼續成長直到彼此互相干擾與限制為止。這點決定了晶粒的外表形狀，而其內在構造都為相似，但因其自不同的原子核成長，故格子乃有不同的角度。晶粒境界面處僅有數個原子厚度。當晶粒自一個方向變成另一個方向時，格子構造就雜亂無章。

當一種純金屬的磨光平面用弱酸浸蝕時，晶粒結構就可由顯微鏡觀測清楚。晶粒大時，也可由肉眼見到。在晶粒境界面狹窄而排列不規則帶（disordered bands）中的原子，要比晶粒內的原子較不穩定牢固，而用試劑浸蝕，易在此處作用形成狹窄的蝕槽。在此處反射光線與晶粒內反射光線的角度不同，而可顯示出晶粒的結構。