

五年制專科學校適用

# 工程材料試驗

雷萬清編著

臺灣開明書店印行

# 工程材料試驗

雷萬清編著

臺灣開明書店印行

民國六十二年八月初版發行

每冊新臺幣二十八元

工 程 材 料 試 驗

\*

有 著 作 權 • 不 准 翻 印

|         |               |
|---------|---------------|
| 主 編 者   | 國 立 編 譯 館     |
| 編 著 者   | 雷 萬 清         |
| 補 助 機 關 | 國 家 科 學 委 員 會 |
| 發 行 人   | 劉 甫 琴         |
| 印 刷 者   | 臺 灣 開 明 書 店   |

總發行所

臺北市中山北路一段七七號  
電話 二五三六 二五三八 號  
郵局劃撥賬號第一二五七號

臺灣開明書店

(永裕—86J.)

基價 1.40

## 編 者 的 話

在恩師 陸故教授筱海先生四年教誨，四年助教嚴格訓練之下，才能寫出這本材料試驗的小冊子。記得是個颱風天，我們要趕做輕質混凝土試驗，他老人家冒著風雨撐著一把傘來了。暑假裏不管天氣多熱，他老人家總是先到，那時沒有冷氣設備。謝謝 恩師嚴格的管教，否則那段當學徒的日子將是空白。

也謝謝好友張順太副教授，用全付精神來撰寫第七章金屬材料試驗，圖、文、表並茂，諒能滿足青年學子求學的欲望，再一次謝謝張副教授的大力支援及爲了造就下一代所付出的苦心。

本材料試驗僅供五年制專科學校土木科一學期使用，每週需三小時。

對五專用書編輯主持人業師 趙旭旦教授所賜的機會，衷心感激。對黃振賢教授及高健章副教授的熱心供給資料及指正，致以深切的謝意。對國立編譯館及開明書局的贊助，使本書早日問世，也一併致以衷心謝意。

中華民國六十二年六月廿九日

編者識

於國立臺灣大學土木系

# 工 程 材 料 試 驗

## 目 錄

### 編者的話

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 第一章 概 論 .....           | 1~5   |
| 1-1 工程材料試驗的意義 .....     | 1     |
| 1-2 工程材料試驗之方法 .....     | 2     |
| 1-3 工程材料試驗之分類 .....     | 3     |
| 1-4 材料的性質 .....         | 4     |
| 1-5 試驗須知 .....          | 4     |
| 第二章 試驗機及測定變形儀器 .....    | 6~19  |
| 2-1 概說 .....            | 6     |
| 2-2 汎能試驗機 .....         | 6     |
| 2-3 其他試驗機 .....         | 11    |
| 2-4 變形測定計 .....         | 15    |
| 第三章 水泥試驗 .....          | 20~49 |
| 3-1 概說 .....            | 20    |
| 3-2 水泥比重試驗 .....        | 20    |
| 3-3 水泥粉細度試驗 .....       | 23    |
| 3-4 標準稠度試驗及凝結時間試驗 ..... | 30    |
| 3-5 健性試驗 .....          | 36    |

---

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| 3-6 波德蘭水泥標準砂漿強度試驗 .....         | 38            |
| <b>第四章 混凝土及粒料試驗 .....</b>       | <b>50~80</b>  |
| 4-1 粒料試驗 .....                  | 50            |
| 4-1-1 粗細粒料細度係數試驗 .....          | 50            |
| 4-1-2 細粒料有機物含量試驗 .....          | 54            |
| 4-1-3 細粒料含泥量試驗 .....            | 56            |
| 4-1-4 粒料之含水量試驗 .....            | 57            |
| 4-1-5 粒料之表面水、吸水量及比重試驗 .....     | 59            |
| 4-1-6 粗細粒料單位體積重試驗 .....         | 65            |
| 4-2 混凝土坍度試驗 .....               | 68            |
| 4-3 混凝土試混試驗 .....               | 70            |
| 4-4 混凝土七天及廿八天抗壓、抗彎及抗拉強度試驗 ..... | 71            |
| 4-5 無破壞性混凝土強度試驗 .....           | 76            |
| <b>第五章 木材試驗 .....</b>           | <b>81~91</b>  |
| 5-1 木材彎撓試驗 .....                | 81            |
| 5-2 木材抗壓試驗 .....                | 83            |
| 5-3 木材拉伸試驗 .....                | 86            |
| 5-4 木材縱理抗剪試驗 .....              | 88            |
| 5-5 木材割裂試驗 .....                | 89            |
| <b>第六章 黏土製品及瀝青質材料試驗 .....</b>   | <b>92~101</b> |
| 6-1 磚之抗彎抗壓試驗 .....              | 92            |
| 6-2 磚之吸水率試驗 .....               | 94            |
| 6-3 瀝青質材料的軟化點試驗 .....           | 96            |

---

|                         |         |
|-------------------------|---------|
| 6-4 瀝青質材料穿入度試驗 .....    | 98      |
| 第七章 金屬材料試驗 .....        | 102~155 |
| 7-1 機械性質 .....          | 102     |
| 7-2 金屬材料試驗之意義及其目的 ..... | 103     |
| 7-3 抗拉試驗 .....          | 103     |
| 7-4 壓縮試驗 .....          | 118     |
| 7-5 彎曲試驗 .....          | 121     |
| 7-6 剪斷試驗 .....          | 124     |
| 7-7 硬度試驗 .....          | 125     |
| 7-8 衝擊試驗 .....          | 134     |
| 7-9 疲勞試驗 .....          | 144     |
| 7-10 潛度試驗 .....         | 150     |
| 7-11 金屬顯微鏡組織試驗 .....    | 152     |

# 工 程 材 料 試 驗

## 第一章 概 論

### 1-1 工程材料試驗的意義：

舉凡歐美工業國家，其工業愈發達者，材料試驗規範亦必嚴格而周密，因為工程材料試驗為發展工程事業之基本要項。不知試驗，即無法探索材料之特性，換句話說就無法利用本國的材料。例如歐洲某些國家以產鋼鐵著名，故其國內學術機構對該等項材料的試驗方法的研究非常注重，尤其是金相學，以顯微鏡觀察鋼鐵製品的組織，更是他國無法望其項背。我國欲發達工程事業，欲盡量利用自己國產的工程材料，就必須提倡材料試驗不可。目前我國各大學的工程學院及工程專門學校都有材料試驗這門課，也有材料試驗室，真是一件可喜的事，但是關於談到工程材料試驗的書，遍尋各大書局，所見不多，尤其是供五年工程專科學校偏重試驗方法及步驟的書則更是鳳毛麟角。供大專用書在坊間有吳柳生先生編著，由正中書局出版的工程材料試驗一書，內容非常充實完備，可惜是民國卅年的舊版。另外有臺灣大學機械系教授陸志鴻先生所著金屬材料試驗法一書，為不可多得的一本實用及理論兼備的大專工程材料試驗用書，而非金屬工程材料的試驗無專書論及，祇散見於陸志鴻先生所著工程材料學第二卷中。

工程材料試驗進入廿世紀七十年代的太空時期，更有其重要性，在土木工程方面諸如輕金屬的特性，其耐熱耐磨的高度要求，及塑膠

新材料的特性探討，在在都需要工程材料試驗。故我們可將材料試驗的意義歸納為下列五點：

一、以試驗的方法驗證材料力學之理論，使學生對材料力學的原理有更明確的了解。

二、取材料試驗的結果作工程設計的依據。

三、購買建築及土木用材料時，為求合乎設計，應採取樣品，作材料試驗，以檢定其是否合格。

四、以材料試驗方法研究材料之特性，新材料之應用，及供材料製造方法上的改進。

五、借材料試驗以釐定工程材料的規範，使工程的安全得以保障。

## 1-2 工程材料試驗之方法：

材料試驗之方法大概可分直接方法及間接方法兩類：

一、直接法：是直接測定某種材料或其試樣之性質。例如：混凝土的抗壓試驗，由表上的讀數即可得知混凝土的抗壓強度；又如拉斷鑄鐵金屬材料之試樣，由測定所加之外力，即可決定此種材料之抗拉強度。

二、間接法：是根據試驗的結果而推定其有關之材料性質。例如：求混凝土的抗拉強度由壓破混凝土圓柱試體的壓力而導出，借公式  $\sigma_t = \frac{2p}{\pi dl}$  求得。式中  $\sigma_t$  是抗拉強度， $p$  是試驗機上最大荷重， $d$  是樣品的直徑， $l$  是樣品的長度。又如根據已往試驗的結果或經驗，推定適當試樣之比重，而不出於某種限度方為合格；意即欲決定某種材料的性質，須先測定其比重。

不論試驗方法用的是直接法或間接法，其試樣的製作及材料的處

置都須嚴守一定的規定。因試樣製作不標準，會影響試驗的結果的精確。故各種試驗皆須循規定的方法進行。在歐美各國都有材料試驗的規範，都定有嚴密的標準。目前我國中央標準局正著手這方面的工作，參照英、美、德、日諸國之方法，編撰中國標準材料試驗法，散見於“標準”雜誌中。後來邀請各專門工程學者共同釐定“中國國家標準”，是我國試驗法的依據。

### 1-3 工程材料試驗之分類：

根據目的之不同可分為二類：

一、研究試驗。

二、標準試驗。

根據方法之不同可分為三類：

一、顯微鏡檢驗：

材料之組織及瑕疵等，非目力所能見者，用顯微鏡觀測檢驗之，如鋼之組織。

二、化學檢驗：

化學檢驗，用以分析材料所含之各種成分，或求材料內之有害成分，或各成分之分布情況是否適當。例如：混凝土成分分析。

三、機械試驗：

為本工程材料試驗法所主要說明的一類試驗。其目的在發見工程材料在外力作用下之性質，細分之下有五種：

1. 依荷重加於試樣上所用方法可歸納下列三種：

(1) 靜重試驗或荷重逐漸增加之試驗，如抗拉、抗壓、抗彎等試驗，扭轉試驗及剪力試驗等。

(2) 動力試驗或突加荷重之試驗，如石材之碰擊試驗，鑄鐵之衝擊試驗等。

(3) 磨損試驗，如鋪磚之磨損試驗，石材之磨損試驗。

2. 依試樣所具性質之不同可分下列兩種：

(1) 試樣之試驗：將材料製成標準形式之樣品而試驗之。

(2) 構造物及機械之試驗：如構造物一部分及構造物全部的試驗。前者如導管、繩等，後者如汽鍋、引擎等。

#### 1-4 材料的性質：

材料的性質可分兩種：

一、物理性質：包括材料之比重、持久性及構造性等，如材料之纖維組織及金屬材料之結晶粒組織等性質亦屬之。

二、機械性質：為材料試驗之主要部分。需要檢驗之機械性質有強度、彈性、硬度、韌性、堅固度及疲勞性質等。

#### 1-5 試驗須知：

一、儀器使用須知：儀器使用時，切忌鐵質儀器與玻璃質混置，因這樣易損壞玻璃儀器。玻璃儀器如表面有水泥黏附，若未凝結，則用水洗去；若結成塊狀時，可用醋酸及鹽酸洗滌之。例如：天秤，尤其是精密天秤時，須特別留意，旋轉升降框，用力不能過猛，務須穩而緩；砝碼、騎碼等須用鑷子鉗取，不可任意放置以保持其清潔及準確。使用完畢時，記住鎖住，使刀口不致磨損，且需將玻璃罩罩上，以免灰塵侵入損及儀器。

二、機械使用須知：施用試驗機械時，須詳悉運用之方法及其構造原理。使用前須有校正的步驟，了解該機械有無偏差，以免記錄不

確。對機械的齒輪及推動皮帶應妥為檢查，不能有鬆動的情形。若用電動機為動力者，對電鍵的啟閉，尤須注意。機械加力的速度及荷重有限制者，應避免超過。

三、報告之撰寫須知：根據試驗所得之結果，須寫成報告，以備查核。報告之形式須合乎規定之標準，書寫必須簡潔，且須具有條理。因為試驗工作的好壞，固然試驗結果很重要，但是若報告表達不清晰明顯，也是美中不足。報告之內容大概可分下列數項：

1. 封面：

(1) 試驗名稱。

(2) 試驗者：

學號：

(3) 科系別：

年級：

(4) 組別：

試驗日期：

(5) 指導者：

(6) 同組組員。

2. 內容分下列數點：

(1) 目的。

(2) 原理。

(3) 使用的儀器與機械。

(4) 材料。

(5) 試驗方法：以分條敘述為佳。

(6) 計算。

(7) 試驗結果。

(8) 討論。

(9) 參考資料。

## 第二章 試驗機及測定變形儀器

### 2-1 概 說:

用於測定工程材料的各種機械性質時，所用之加力機械謂之材料試驗機。因構造及試驗目的不同，其種類繁多。通常要測定的材料機械性質有拉伸試驗，壓縮試驗，剪斷試驗，彎曲試驗，扭轉試驗等為主要者，常用一種試驗機擔任兩種以上試驗工作，故特稱其為汎能試驗機，為本章主要說明其構造及使用方法的試驗機。試驗機的構造大致可分為兩大部分，一為施力於試驗樣品的機構，一為指示施力大小的機構。加力的機構因動力使用的不同，如人力、油壓、電力及槓桿作用，故其構造也因之不同。

測定變形儀器主要為變形計，用以測定微量變形；有測定拉伸或壓縮時長度變化的伸長計，或壓縮計；還有測定試樣兩端扭轉的扭轉計及樑受彎矩作用所生撓曲的撓度計。以上各種測定變形儀器因使用原理不同又可細分很多種，本章為求簡潔及供起初學習工程學生實際了解起見，祇述其常用而構造不複雜者。

### 2-2 汎能試驗機:

一、試驗機應具備之條件有準確性、靈敏性、簡單性、應用性、鞏固性及效率高等。汎能試驗機皆具有以上的特性，尤其在應用性這方面有其獨到之處。

二、試驗機之準確性能靠對機械校正而得，故在運用汎能試驗機

時對其讀數有懷疑，就應時時加以校正，通常每年至少校正一次，其校正方法如下：

1. 直接荷重法：置標準重量的砝碼於試驗機之稱臺上，而將砝碼之重量逐次更換，每次記錄機械表中所示之重量指數，再將所讀之值與所加之砝碼重量，相互比較，即能測得機械之準確程度，並校正之。該法使用簡易，而所得的結果又甚精確。但其缺點為試驗機稱臺有限，往往不能放上其荷重的全部，故有時利用槓桿原理，將砝碼置於槓桿離支點較遠之一端，而以他端置於稱臺上，可使荷重大為增加，其詳細構造示如圖

2-1

2. 標準試桿試驗法：此法之原理係根據虎克氏的彈性定律。棒內所生之應力與應變之比謂之彈性係數。今有一已知其彈性係數之金屬棒，其強度足使所加荷重不超過其彈性限度；同時需有一精密之伸長計。將試品置於試驗機上，增加荷重，並用伸長計讀取變形，同時記取所加荷重。由已知的彈性係數與測得的變形記錄，可算出正確荷重。以此正確荷重與讀取荷重比較可得試驗機的誤差，然後改正之。

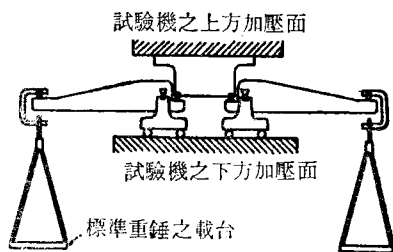


圖 2-1 直接荷重法

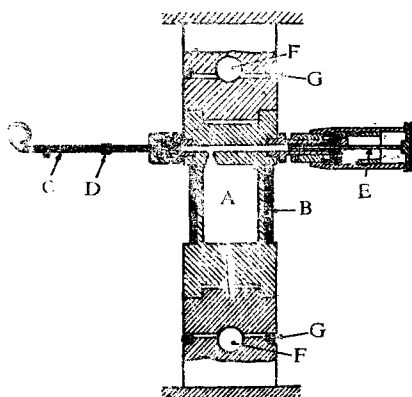


圖 2-2 標準匣試驗法

3. 標準匣或標準圈試驗

法：匣用合金鋼製成。 $A$ 為中空圓筒，內盛滿水銀，其一側插入玻璃毛細管 $C$ ，他側附有螺旋測微計，用手轉動測微計螺旋時可使活塞 $E$ 前後移動，變更匣內容積，即毛細管內水銀柱端可前後移動，其詳圖示如圖 2-2，其試驗步驟為：

(1) 先將標準匣置於所欲檢定之試驗機臺上約半小時以上，使匣之溫度與試驗機近旁溫度相同。

(2) 於無荷重時，用螺旋測微計調整毛細管內水銀柱端與基準點 $D$ 相合，並同時讀取測微計上之讀數。

(3) 加預定荷重（試驗機可指示出該荷重）於標準匣上。此時水銀柱被擠出（若為拉伸荷重則被吸入）。再旋轉螺旋測微計。使水銀柱復與基準點相合，而後再讀取測微計的讀數。

(4) 前後二次讀數之差與標準匣上正確荷重之常數相比較，即可求得該試驗機之誤差。

加於匣上的荷重須避免其偏離中心，故匣之上下有球座 $F$ ，使壓力可自動一致於匣中心線上。所加荷重不可超過該匣所規定之最大荷重，否則超過匣之彈性限，匣之體積生永留變形，而被損壞。

### 三、汎能試驗機之種類：

汎能試驗機因傳達能源不同，可分為兩種：

1. 液壓式：用油壓或水壓力為荷重。著名的機械有 Amsler 式及 Emery 式。圖 2-3 示 Amsler 式液壓試驗機之構造圖。放油門 29 緊閉時，加力活塞下方之壓力油由 1 管進入 3 管內，作用於測力活塞 5，將橫柄 8 及兩桿 7 壓向下方。更作用於擺錘 6 之短臂 9，將擺錘舉高。其運動由臂 16 傳於水平齒桿 14，轉動齒輪 15 及指針，在刻度盤上指示荷重。又 14 桿之鉛筆可在圓筒 13 表面之紙上繪出荷重變形曲線。齒桿 14 之水平移動與擺錘傾斜角度之正弦

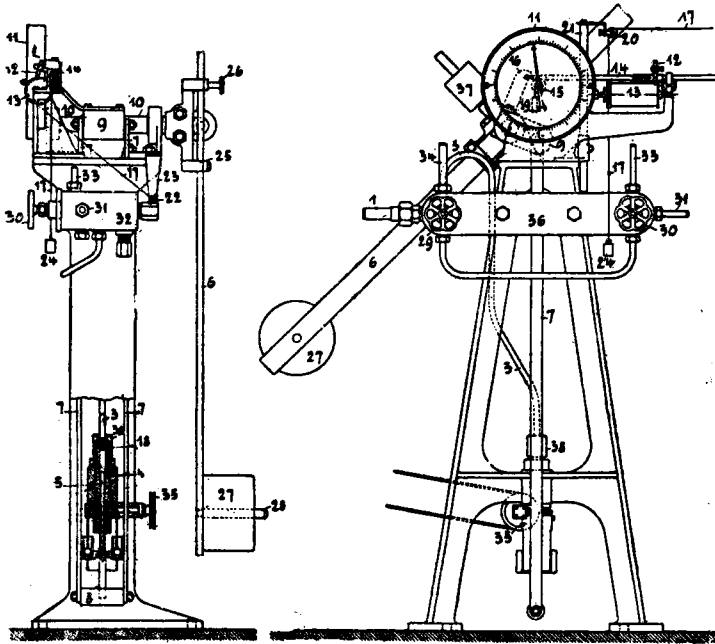


圖 2-3 Amsler 式液壓汎能試驗機擺錘部

成比例。測力活塞 5 由滑輪 35 迴轉之，以消除其與圓筒間之磨擦阻力。測力活塞之面積較加力活塞面積為甚小，故作用於擺錘液壓計之總油壓力亦頗小。因之擺錘軸承上所受之力亦小。Amsler 式液壓汎能試驗機之全部構造圖及試件之安裝位置示如圖 2-4。

Emery 式液壓試驗機示如圖 2-5。油由唧筒輸送到油缸  $C$  推動活塞  $R$ ，活塞的壓力傳到機架  $U$ ，再由機架  $U$  傳到拉力試件  $S_t$  或壓力試件  $S_c$ 。（圖內虛線所示），試件之抗力經十字頭  $D$  傳到拉柱  $K$  到下十字頭  $L$ ；再由下十字頭傳到測力膜箱，測力膜箱有一短筒，活塞及金屬薄膜，借油壓將抗力傳至壓力表  $H$  指示之。

二、螺旋槓桿式：是利用螺旋及槓桿之作用以傳達能量。使用最

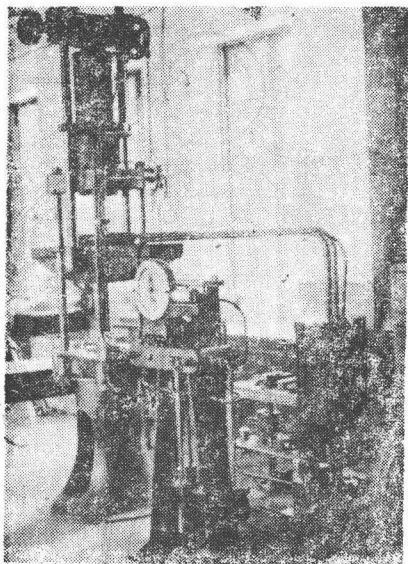


圖 2-4 Amsler 汎能試驗機全部

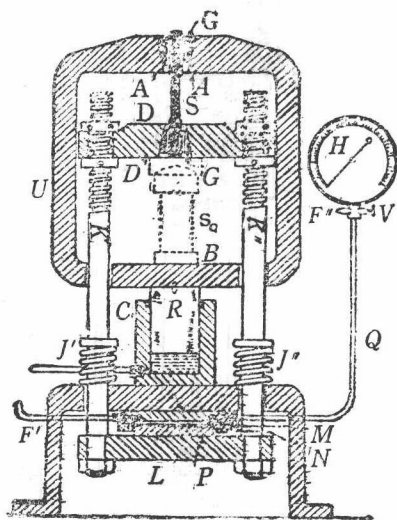


圖 2-5 Emery 汎能試驗機

廣的有 Olsen 式，Olsen 式示如圖 2-6 其動力來源係由一電動機直接供給，復由一組齒輪之作用使能力擴大而傳至一垂直螺桿，使可動橫頭向下運動，加荷重於拉伸試件或壓縮試件。此荷重傳至固定橫頭而作用於座盤，經座盤下方之四個刃口而傳至下方二種槓桿，再傳至上方二槓桿，最後以小銜錘平衡之。由最上方槓桿上之刻度可讀取其加於試件上之荷重。

此種試驗機之螺桿有二個或三個或四個。拉伸及彎繞試驗者可用二個螺桿，惟壓縮試驗機須用三個或四個螺桿，以使試驗機不致因偏心荷重而損壞。此種試驗機刃口很重要，故其槓桿刃口常須檢查清掃。若刃口萬一有磨損，或碎裂，或附著塵砂時，則試驗機之靈敏度大減。