

大 專 用 書

工程材料試驗

劉 祥 鈞 編 著
趙 國 華 校 訂

國家科學委員會補助
國立編譯館出版
大聖書局印行

大 專 用 書

工 程 材 料 試 驗

劉 祥 鈞 編 著
趙 國 華 校 訂

國家科學委員會補助

國立編譯館出版

大 聖 書 局 印 行



版權所有

不准翻印

大專用書

中華民國六十一年四月初版

工程材料試驗

全一册 精裝基本定價 肆元伍角
平裝 叁元伍角

(外埠郵運費另加)

編著者	劉祥鈞
校訂者	趙國華
出版者	國立編譯館
補助機關	國家科學委員會
印行者	大聖書局
發行人	胡經齋

內政部登記證內版臺業字第九九〇號

序 言

一般工科學生在正常的訓練過程中，在其學習基本科學學科及數學課程之後，便要學習一些有關機械或結構上的力學，這門課程通常稱為材料力學。材料力學主要是在研習計算結構或機件端面的應力；然而材料本身的強度很少被提及。事實上，它是一門分析應力的基本課程，涉及使用各式荷重施加於結構或機件的應力分析。

研習工程材料，可以分為三種方法：第一、學習測定各種材料的物理性質，通常是在試驗室裏進行。第二、有關材料之製造及處理，使之改變材料的性質，平常是列入“材料學”的課程。第三、有關材料特性的應用知識以及結構或機械的構件設計，往往被單獨分開而列於設計課程。

本書僅包括第一部分，乃在研習工程材料物理性質的測定方法。此試驗課程可以與材料力學課並行，由試驗所得的數據供作理論的依據，計算各式荷重的應力。

材料試驗之重要性是在提供一個可見的觀念。沒有這一可見的觀念很難取信於學生，相信與了解這些不同的物理性質如何獲得。從這研習當中學生將熟悉測定材料性質的各種方法，並認識所取得數據的限界。

編者學識淺薄，匆促付印，書中誤謬疏漏在所難免，尚祈專家學者惠予指正。

工程材料試驗

目 次

第一章 緒 論	1
1-1 材料試驗之意義	1
1-2 材料試驗之重要性	1
1-3 材料試驗與其他工程之關係	2
1-4 規範	3
第二章 材料試驗之步驟	4
2-1 試驗之分工合作	4
2-2 試驗儀器之使用	5
2-3 試驗數據	5
2-4 試驗報告	6
第三章 萬能試驗機	8
3-1 概論	8
3-2 荷重系統	8
3-3 秤量系統	11
3-4 指示系統	13
3-5 附屬裝置	20
試驗 3-1 螺旋式萬能試驗機之研究	24
試驗 3-2 油壓式萬能試驗機之研究	29

第四章 拉伸試驗	34
4-1 應 力	34
4-2 應 變	37
4-3 彈性強度	38
4-4 破 斷	44
4-5 延展性	45
4-6 彈性係數	46
4-7 應力應變圖	47
4-8 自動記錄	53
4-9 注意事項	54
試驗 4-1 板片拉伸試驗	57
試驗 4-2 伸長計拉伸試驗(一)	64
試驗 4-3 伸長計拉伸試驗(二)	70
試驗 4-4 高放大倍率記錄器之研究	76
試驗 4-5 混凝土之抗拉強度間接試驗	81
第五章 壓縮試驗	86
5-1 概 論	86
5-2 金屬材料	87
5-3 木 材	89
5-4 混凝土、磚、及類似材料	90
試驗 5-1 金屬材料之壓縮試驗	94
試驗 5-2 木材之壓縮試驗—平行木理	99
試驗 5-3 木材之壓縮試驗—垂直木理	105

試驗 5-4 混凝土之抗壓強度(一).....	111
試驗 5-5 混凝土之抗壓強度(二).....	115
第六章 剪斷試驗	119
6-1 概論.....	119
6-2 直接剪斷試驗.....	120
6-3 扭轉試驗.....	121
試驗 6-1 扭轉試驗.....	126
試驗 6-2 木材之剪斷試驗.....	134
試驗 6-3 金屬之剪斷試驗.....	139
第七章 撓曲試驗	143
7-1 撓曲試驗之應用與範圍.....	147
7-2 設備.....	151
試驗 7-1 木材之撓曲試驗.....	152
試驗 7-2 鑄鐵之撓曲試驗.....	158
試驗 7-3 樑撓度之研究.....	164
試驗 7-4 混凝土之抗撓強度.....	170
試驗 7-5 利用電阻計測定應力分佈.....	176
第八章 硬度試驗	182
8-1 意義與應用.....	182
8-2 勃氏硬度試驗.....	184
8-3 洛氏硬度試驗.....	191
8-4 洛氏表面硬度試驗.....	194

4 目次

8-5 維氏硬度試驗.....	195
8-6 蕭氏反跳硬度試驗.....	196
試驗 8-1 勃氏硬度試驗.....	199
試驗 8-2 洛氏硬度試驗.....	203
試驗 8-3 蕭氏反跳硬度試驗.....	207

第九章 衝擊及疲勞試驗..... 211

9-1 衝擊試驗.....	211
9-2 疲勞試驗.....	215
試驗 9-1 衝擊試驗.....	219
試驗 9-2 疲勞試驗.....	225

第一章 緒 論

1-1 材料試驗之意義

爲要了解工程材料之物理特性與一般性質，所做的各種試驗和檢查，稱之爲材料試驗 (Materials Testing)。它不僅指各式各樣工程材料的物理性質之測定，且對建築結構和機器構件的強度或應力分析，以及檢驗某種材料是否符合標準，均包括於材料試驗之範圍。

爲使學生體會材料試驗的領域，盡可能地充實各項試驗，其試驗步驟均依據標準規範而行之。這些試驗方法既可以測定材料之物理性質，又可以研判試驗方法之適應性。

1-2 材料試驗之重要性

用感官 (Feel) 去了解並決定工程材料之性質，是件不可能的事，除非實際地去做試驗，並比較各材料間的不同。譬如，拉力試驗可以證實受試材料之強度 (Strength) 是否合格，同時也可以決定其彈性強度 (Elastic Strength) 和極限強度 (Ultimate Strength)，並了解其二種強度迥然不同之處。最後還可以決定該材料是否合乎設計所允許的強度。

一箇材料受靜負荷 (Static Loading) 試驗所得的強度與覆變負荷 (Repeated Loading) 和衝擊 (Impact) 所得的強度是完全的不同。因此顯然而知不同的材料，不同的需求，須採用不同的試驗方法。

一箇新材料是否適於機械或建築上之使用，唯視其材料本身之性質而決定。當它的性質確定之後，方被考慮是否使用。例如，發現一箇

很大的岩石產地，擬作建築用之混凝土骨料 (Aggregates)，在未經確認該岩石是否適合使用之前，決不可加以開採利用，經過取樣試驗認可之後，方可大量開採、壓碎、過篩作為混凝土之骨料。同理，一位工程師在使用某種材料之前，也必須知道該材料之特性，如在常溫或高溫時之強度，或在覆變負荷下之強度。該材料在不同條件中，其性質是完全不同的。因之材料試驗可決定某種材料是否適合工程上的需求，其重要由此而知。

1-3 材料試驗與其他工程之關係

工程師設計一結構物 (Structure) 時，必須先知所用之材料強度，才能計算出構材之大小。當然，這些材料強度可以從各種建築法規，材料規格，及有關資料中獲得。這些數字乃是經過多年，無數的試驗和經驗所得的。致於各種工程材料的製造生產者，均致力於使用新方法和品質管制，以增進材料之強度。材料工程師們對於各種新材料經過適當之試驗所得的成果，設計工程師們當可利用之。

許用工作強度 (Allowable Working Strength) 對設計工程師們是極為重要，所設計的建築物或機器必須經得起預計的負荷，偶而意外的過量負荷 (Overloads) 亦須能抵抗。但是材料的強度 (Strength) 並不是唯一所要得知的，還有更多特性，是各行工程設計所需要的資料，例如，精密機械工具 (Precision Machine Tools) 之材料，首先要考慮的是材料的強度，然後就是該材料之變形，需在機械精度許可限度之內。又如，飛機之使用材料，重量的考慮與強度具同等的重要，這將刺激輕質材料 (Light-Weight Structural Materials) 的研究與發展。材料之熱特性 (Thermal Characteristics) 與加熱或冷凍工程，絕緣性與電機工程均具有重要之關係，因此可知辨識工程材料的物性，與各種工程有密切的關係，且具有致命的重要性。

1-4 規 範

規範 (Specification)，乃是說明使用材料需具備的條件。它主要係規定下列四項事宜：

- (1) 規範之擬定需要顧及工程材料的生產方法。
- (2) 規定構件之形狀、大小及修整。
- (3) 規定材料之化學組成和物理性質。
- (4) 規定取樣 (Sampling)、試驗 (Testing) 和檢驗 (Inspection)

等方法。

實際的材料是無法符合理論上所欲求的理想，但在擬定材料的規格時，須要考慮到是否可以生產製造。規範之修正是隨著工業生產方法的進步而改進。由此可以意會到，材料的需求越嚴格，其製造生產充作工程使用的材料越是進步。

為求使用方便，構件形狀、大小之標準化和統一化是必要的。現有很多機關團體已發起並促進材料之標準規範。其中提倡最有力者為美國材料試驗協會 (American Society for Testing Materials, ASTM)，他們確實負起籌畫擬定標準規範。其他如美國標準學會 (U.S.A. Standards Institute, USASI)，美國鐵路工程學會 (American Railway Engineering Association, AREA)，美國金屬學會 (American Society of Metals, ASM)，以及美國混凝土學會 (American Concrete Institute, ACI)，等亦致力於推廣各式材料的標準化運動。

最後兩項：材料特性之規範及取樣、試驗、檢驗等方法之規範，在本書均有詳細的敘述。我們主要是根據ASTM的試驗規範，給予講授和試驗。

第二章 材料試驗之步驟

2-1 試驗之分工合作

試驗之前須將學生分成小組；每小組若干學生，將視試驗設備之多寡和試驗室之大小而定，少至三人，多達六人，但以四人爲一組最合適。

在小組中，每一位學生須輪流操作，執行各項任務，如此才能熟習其試驗方法。例舉三人爲一組的工作分配如下：

1. 記錄員 (Recorder)：乃記錄所有試驗的數字並執行小組長的任務，指揮試驗的進行。

2. 操作員 (Operator)：負責操縱試驗機，練習操作步驟，聽從記錄員或觀察員的吩咐增減荷重。

3. 觀察員 (Observer)：他的任務乃是核對儀表，讀取儀表上所指示的數字，以供記錄員之記錄，並留心試驗機的荷重極限，防止過量荷重而至機器受損的責任。

三人一組的組織，如遇有其他任務時，三人必須全力負責。

如由四人組成的小組，其第四人爲計算員 (Computer)，負起全部試驗所需的計算。這包括預期的臨界數字和選擇適當的荷重增量。在試驗進行期間，他的任務由記錄員指使。

假如小組超過四人的組成，則其餘人員擔任助手，其任務由記錄員指派。記錄員即可在此助手中，指定一人擔任實際的記錄工作，而記錄員就可以專掌組長的任務，協調各組員間的工作。

2-2 試驗儀器之使用

各種試驗器材在價錢上都是非常昂貴，應加珍惜。例如，一架20萬磅（90公噸）能量的萬能試驗機，它的精確度在 $\pm 1\%$ ，這不難想像這樣一部機器中，有很多的零件必須製造精密，以達此精確度。雖然它的外表看起來是部麼粗野，但是它確是個精密而脆弱的儀器，故應小心使用。

用作測定應變及變形量的儀器，常是非常精緻，幾乎這些儀器的損壞都是由於不小心跌落所致，鬆卸握爪螺絲（Clamp Screws），或移去間隔桿（Space Bars）亦常引起損害。大部分儀器又因為超出它們當初設計的負荷量而受損壞。由此可知，試驗用的儀器必須小心使用，依據步驟操作，同時事前須徹底地瞭解與研究試驗機器的能量及使用範圍。只要使用得當，這些儀器能供長時間的圓滿服務。

適當的維護和正確的使用是極其重要，凡可修復的損害盡可能避免，全體使用人員應共同維護。如責任不能明白確定何人，則應歸全小組負責，組內人員須分擔賠償修理責任。因此，任何時候，儀器發生問題時，記錄員急須報告管理人員處理。

2-3 試驗數據

凡是全部觀察所得的，給予記錄下來，稱為數據（Data）。這就是說，必須留心去獲取全部所需要的數字。有關觀測所得的數字，必須知其由來，並給予登記下來，不必要的多餘資料可以放棄，但是要知道，如果某次試驗之數值遺落，而想要再得到其數值是件不可能的事；在一次試驗中所觀察記錄的不一定要靠儀器而獲得，如當試驗木材時首先聽到的裂聲是個最好的例子。任何試件或儀器的反常現象也應注意並記錄下來。換句話說，人員應守候於試驗儀器的旁邊觀察，任何試驗過程所發生之現象，均給予一一記錄下來。

2-4 試驗報告

一份完美的報告 (Report) 該是簡明的，而不是簡略的。其內容包括試驗名稱、目的、材料、器械、方法、結果、討論及結論等，要有辨別重要與不重要的細部之能力，而每一工作人員，必須盡力去學習此種能力。此外，報告之整齊也很重要。

本書的試驗報告格式業經標準化，以期節省時間，其主要的目的在於研究工程材料，而不專在報告的書寫。但是，在報告紙上有充分的空間，以供充分發揮其表達的能力。

曲線與圖表 (Curves and Diagrams) 乃是表示事實、關係、和特徵最有效的方法。應該將其慎為準備妥善，以便隨時不經參考書籍亦能輕易表達出來。每一曲線，或一群曲線，必須給予說明和標示。圖的比例尺必須明顯表示，並且選擇易於改正者。

圖上的點和線，應以黑墨水畫清。當開始書畫時，首先用鉛筆將點標出，如果有某標點特別脫離由各標點所構成之曲線，則可查明是否因標註點的錯誤或為試驗誤差之後，便於擦去與修正。應用不同的符號 (Symbols)，圖示 (Legend) 和曲線略號 (Curve Notation)，給予區別。同一圖上的不同曲線，也可選用不同顏色加以區分。如圖 2-1 所示。

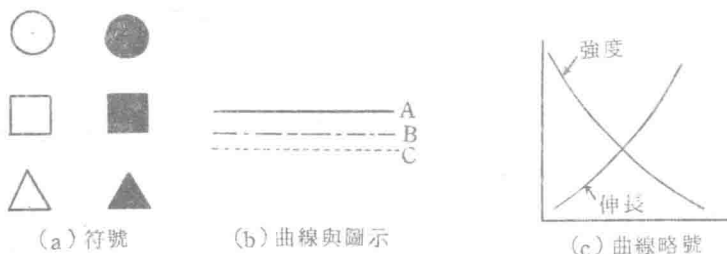


圖 2-1 曲線區別方法

曲線應圓滑經過各標點，因為各點卻是代表試驗的資料，而曲線所代表的是全部資料的總和。基此原因，有很多人，在畫任何曲線之前，核對其正確性之後，才用墨水描繪曲線。因此，我們最好將全部資料研判好之後，先用鉛筆輕輕描繪，最後再用墨水畫出。

使用方程式計算，也是報告的一部分。計算出來的結果應給予單位，如 kg/cm^2 , $\%$, cm/cm 等。討論問題均包括在試驗中，答案須要簡明，但不是簡略，基於這些問題的討論，才能對試驗有更深刻的瞭解。

第三章 萬能試驗機

3-1 概 論

萬能試驗機 (Universal Testing Machine) 不但可以供做拉伸試驗 (Tension Tests)，也可以做壓縮試驗 (Compression Tests) 和撓曲試驗 (Flexure Tests)。有些新式的萬能試驗機，配上各式附件，又可增加剪斷試驗 (Shear Tests) 和硬度試驗 (Hardness Tests)，其使用範圍甚廣。萬能試驗機的能量，小至幾公斤，大至5,000,000公斤。於1910年，5,000,000公斤的萬能試驗機建造於美國華盛頓的國家標準局 (National Bureau of Standards in Washington)。此類試驗機可在一般的商業試驗室、大專學校的材料試驗室和工廠裡見到。它的使用壽命要看使用者的保養和維護是否妥當，一般供使用五十年是沒有問題的。

萬能試驗機主要在試件上加予拉伸或壓縮的力量，同時精確地秤量並指示其力量的大小。力量之運用和秤量指示均有多種方法，但是今天萬能試驗機在拉伸或壓縮試驗中，以試件豎立夾持者為最多，橫置者非常少，唯有試驗錨鏈 (Anchor Chains) 用之。

3-2 荷重系統 (Loading Systems)

在小型的試驗機中，荷重可以直接應用靜物的重量，或是採用簡單的槓桿力量，但在大部份的萬能試驗機，其荷重是使用機械運轉的力量或是油壓唧筒的力量。

圖 3-1，即是上述兩種荷重坐式的例子，如上昇的千斤頂 (Jack)

爲螺旋式千斤頂 (Screw Jack) 時，則其荷重是用機械方法；又如該千斤頂爲一油壓千斤頂 (Hydraulic Jack) 時，則其荷重是由油壓方式完成的。

當這兩種型式的機器實際用於試驗時，其荷重機構 (Loading Mechanism) 要比上述的機構更大且複雜。有許多傳動機構被拿來用於其上，如舊式的試驗機，均用開放式滑動齒輪 (Open Sliding Gears) 或定嚙合齒輪 (Constand Mesh Gear) 與爪牙離合器 (Dog Clutch)。此類機器通常至少有兩箇變速桿 (Gear Shifting Lever)，因此至少可供四種速度的荷重，圖3-2即爲此種機型。荷重頭 (Loading Head) 的運動方向是由兩個離合器 (Clutch) 或以電動正逆均可轉動的馬達控制。爲要發展較大能量的萬能試驗機，使用加倍速力及自動傳動系

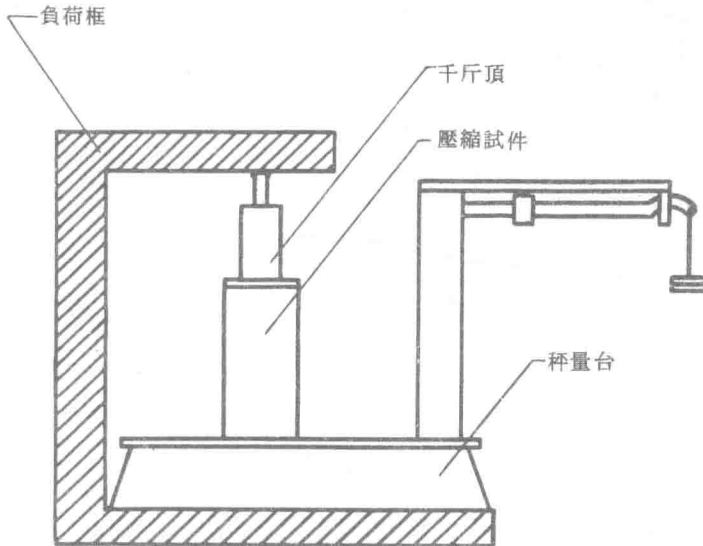


圖 3-1 荷重型式