

哈爾濱工業大學講義

結構試驗

工程結構教研室編譯



1954

結 構 試 驗

工 程 結 構 教 研 室 編 譯

哈 爾 濱 工 業 大 學

1954

編者：工程結構教研室
出版者：哈爾濱工業大學
印刷者：哈爾濱工業大學印刷廠

1954年12月

前 言

1953年秋季學期蘇聯顧問鋼結構專家、副教授、科學技術碩士 Г. С. 維金尼科夫同志為我校教師、研究生及工業與民用建築專業五年級學生講授本門課程，本講義主要是根據專家講稿，並在專家指導下參考近年來蘇聯關於結構試驗方面的書籍（В. И. 克拉西科夫：工程結構試驗；И. Л. 卡爾欽斯基：工程結構真形試驗；П. Е. 勃古斯拉夫斯基——А. И. 杜那葉夫：吊車金屬結構的試驗方法）編譯而成。

本講義的內容包括試驗前對建築物的現場考察和檢驗，靜荷重試驗及動荷重試驗等三部份，介紹了結構試驗中常用儀器的構造、性能、功用、操作原理和使用方法，扼要地闡述了結構試驗工作整個過程中的指導原則、具體步驟與措施，並介紹了蘇聯本門科學範疇內的先進理論和實地經驗。

本講義為我校工業與民用建築專業及工業與民用建築結構專業課本，也可供土木工程師及從事試驗研究工作者作參考。

本講義由翁兆祥同志編譯，由路湛沁同志校對。倉促寫成，錯誤難免，望讀者指正。

哈爾濱工業大學工程結構教研室

1954年11月

目 錄

前 言

第一章 緒 論	1
A 簡 史.....	1
B 爲什麼要進行試驗.....	2
第二章 試驗對象的考察，試驗的種類和任務	4
I 建築物的總（先行）觀察.....	4
II 研究試驗對象的文件.....	4
III 結構檢驗.....	6
IV 結構試驗的形式.....	14
V 結構物在試驗時的任務.....	14
第三章 靜荷重試驗	15
I 準備和進行試驗的計劃.....	15
II 試驗的載荷.....	15
III 靜力試驗用的儀器.....	23
IV 靜力試驗時儀器的佈置.....	62
V 靜力試驗結果的分析和結論.....	68
第四章 動力試驗	73
I 建築物內動力現象的實質.....	73
II 動力試驗用儀器.....	89
III 結構動力考察和動力試驗的辦法.....	104
IV 減小動力不良作用的措施.....	114

第一章 緒 論

A. 簡 史

很早以前，在俄國就開始採用試加荷重的實驗方法，去檢驗建築物的工作情況了，但那時候，這一類的實驗只解決一些範圍狹小的問題，所以還不能認為是目前這樣一門獨立的科學的開端。那時僅近似地用實驗檢查建築物的可靠性，試驗工作一般只限於證實結構在經受某已定載荷時不發現破壞的形跡。

例如：在1772年，俄國的學者 И. П. 庫利賓設計了一座非常複雜的建築物——涅瓦河上的木拱橋，跨長300公尺，考慮到其規模的巨大和重要性，故決定檢查一下它的可靠程度。用相當於原尺寸 $\frac{1}{10}$ 的模型進行試驗，當時許多有名的俄國學者都參與了這次試驗。模型載重達預定的臨界值 3000 普特（每普特合 16,38公斤），並沒有損壞。再加 500 普特還沒壞，而荷重物已用盡了。庫利賓就提議讓所有的學者都走上橋去，結果依然沒有損壞。於是，在試驗的記錄上就寫下了設計準確，涅瓦河上（跨長 300 公尺）的拱橋絕對可以建造的結論。

要知道，在上世紀中葉以前，橋梁工程還沒有堅固的科學理論基礎，全憑經驗摸索着進行設計。偉大的俄國工程師們，在研究一種斜撐式體系的木橋時，他們和一個美國工程師對橋上各桿件受力情況的意見有了分歧。美國工程師認為這種桁架的鐵拉桿在跨中間的應該粗大些。俄國工程師儒拉夫斯基就進行實地試驗。用弦線繃在各鐵拉桿上加荷重後，發現越近支座處的弦線音調越高，可見被張得越緊，拉桿所受的力越近支座的顯然越大。

結構試驗開始像一門獨立的工程科學那樣發展起來，主要是由於交通運輸業的發展所致。許多大跨度的建築物已不僅是簡單地要求知道在某一已定荷重下可不發生破壞，而進一步地要求弄清楚某一建築物究竟能夠擔負多少載荷，可絕對安全而絲毫沒有局部的損壞，使能適於長期地使用。此外，還要求從一個試驗中，將它所得的結論推廣到其它類似的結構（未被試驗過的結構）上去。這就要求較嚴格的試驗工作和利用一些測量的儀器。這利用實驗研究工程結構的時期，大約就在今世紀的初葉，而應該認為是結構試驗這門科學的開端了。但有系統地和大規模地發展，還在蘇聯社會主義革命成功之後，偉大的經濟建設高潮開始之時。

在現代，各式結構的設計和計算的理論基礎，全是依據各方面實驗研究的成果的。在試加荷重的作用下，整個建築物工作情況的試驗研究工作，是對以往研究所獲得成就的檢查和修正，顯然地已真正的形成了一個在建築科學中完全獨立的科學部門——結構試驗了。

過去許多獲得輝煌成就的試驗工作，不但解決了一些具體的個別問題，而且使結構的計算方法也推進了一步。舉幾個例子談談吧：

葛華士傑夫教授對鋼筋混凝土四邊支承版的試驗，查明了由於橫向張力的發生和圈梁對扭轉的抵抗而潛在的強度儲備。根據這些試驗的結果，現在設計規範中就規定這種版的計算彎矩值容許降低10—20%。

塔赫塔牟歇夫和吉里許葛維等對穀倉貯藏塔受力情形試驗的結果，獲悉了它們損壞的原因，並在理論計算的領域中（顆粒體內的壓力分佈規律，以及由於基礎版的彎曲而使支持貯藏塔的支柱和側壁承受不均勻的荷重）指出了新的研究方向。

許多蘇聯工程師和學者發明了各種各樣目前被廣泛地使用着的試驗儀器，使試驗工作日趨完善和精確。

由於這些偉大的蘇聯科學家的功績，在這門新興的科學領域上，給我們鋪下了繼續前進的路基。現在我們學這門課程的任務是來熟識一下蘇聯結構試驗的先進方法和各種儀器性能的使用方法。

在蘇聯，目前幾乎沒有一個比較大和比較複雜的建築物不經過試驗的，但是我們也不能過份地把試驗的作用誇大，而認為試驗是萬能的，通過它對任何疑問可獲得完美的答案。必須記住，在一定的理論基礎上纔能有效地進行試驗，否則盲目的試驗只會一無所得。試驗的結果是給理論計算提供寶貴的資料和依據，我們決不可憑藉一些初步的試驗結果，對建築物的工作情況妄下評語，一定要根據周詳的理論分析，才可對該建築物作出結論（例如，提高許可載荷量或加固、改建等等）。因之，不應該認為結構試驗是純係經驗式的實驗分析；相反的，它是一種根據試驗資料來對結構的工作情況更進一步的理論研究。

B. 爲什麼要進行試驗

I. 計算的假設性

a) 計算草圖與實際建築物不符合

1) 把整個建築物分成數個獨立的體系來進行計算。例如我們在計算時，把廠房的整個結構分成許多個各不相干的、獨立的平面構架（橫向剛架、水平支撐架和垂直支撐架等等），而實際上它們是一個整體的立體結構物。此外，如構件的尺寸和跨度等，也可能都有出入。

2) 在計算時常採取簡化的假定。例如：假定廠房屋架的節點全是鉸接的，實際上則不然，尤其在鉚結構中更是明顯。

6) 材料的理想化

1) 材料的勻質性。在計算時均根據規範中所規定的理想化了的劃一的材料，而與實際的材料可能相差很大，會有相當的距離。

2) 理想的彈性。我們在計算應力和應變時，通常總是根據以下這一關係：

$$\sigma = E\varepsilon$$

認為 E 是個不變的常數。對於鋼材，當受力情況在彈性限度以內且處於通常的溫度條件下時，它的性質幾乎和上式完全相吻合；但旁的建築材料則否。很多材料的應力和應

變之間並不存在直線性的關係；此外，在荷重持久作用之下，如木材、磚、石、混凝土等，它們的應變會很顯著地增大。對整個結構物來說，節點的順從性也常把整個結構物的彈性破壞掉（例如鉚釘、粗製螺栓及木結構的樁頭等等）。這一系列的因素，在靜不定結構中所起的影響更大。

3) 材料的機械物理性質不隨時間而變化。在事實上並不如此，例如：木材和混凝土等有徐變和乾縮等現象；在外界環境的影響下，材料的朽蝕以及其他許多物理、化學性質的變化（由於有害氣體、水蒸汽、化學藥品、風化、嚴寒和振動等等）。在建築物被使用的過程中，究竟會受到什麼樣的作用，預先斷難逆料，設計時也就無法加以考慮。各種使用條件對結構承載能力的影響，也僅能依靠試驗來確定。

Б) 其他

1) 對動力荷重的計算方法的研究和發展尚嫌不足，某些動力作用中的特性數，常需要由試驗來確定，因為在計算中有不少的假定故也。

2) 一般對受力情況和構造方面很複雜的靜不定結構或是極重要的建築物和新型的建築物等的理論計算，也不敢絕對信任。此外，理論的深入發展和合理的簡化假定，也均須靠實驗來證實。

II. 建築物的個別特性

а) 材料的質量問題。

例如：混凝土和木材等在實際的工程中質量很可能有偏差。此外，如個別構件的材料，由於銲接時過火等原因，而品質降低；在其它方面也可能與設計有所違背。

б) 整個建築物的施工質量問題。

施工質量所造成的影響，只能靠試驗才可判定。對某一建築物的現狀的認識，即使使用理論分析也是無法確定的（例如舊建築和受災後的建築物的利用，必須先用試驗確定一下它現有的承載能力）。

III. 建築物工作條件的變化

例如：廠房中吊車噸位的加重和橋梁上行車噸位的增大，均應預先對原有建築物的潛在能力獲得確切的認識，僅僅憑理論的計算也是不可靠的。

由於上述一系列的原因（當然是不完全的），常迫使我們進行結構試驗。結構試驗分真形試驗和模型試驗兩種，但模型試驗的問題複雜，這關聯到模型相似律的理論，這兒講的全是真形試驗，對土木工程師來講，在這一方面也是最主要的。

第二章 試驗對象的考察·試驗的種類和任務

當某一對象的結構被指定進行試驗，或是要求查明它們是否必需試驗時，對這對象就要進行考察。經過考察之後，纔能確定試驗的必要與否，以及試驗的零件。

考察的內容一般是包括：

1. 對象的總觀察；
2. 研究屬於這一對象的文件；
3. 檢驗結構。

考察必須要按照預先周密地考慮後製定的計劃進行。考察結果的記錄，最好都製成圖表，一些最典型性的缺陷處，更以攝取照片為宜。

I. 建築物的總（先行）觀察

總的觀察必須要提供出關於這一對象、以及關於試驗佈置條件的初步概念。

假如在使用中的或是剛造成的建築物，由於情況可疑而進行試驗的話，那末觀察的第一個任務就是確定建築物繼續工作的可靠程度，這可以憑藉一些外部的特徵來確定。例如：結構過量的撓度、構件的鼓凸、連接處的鬆散（節點、接頭、支點），材料內部的裂縫連接器（木結構上的釘子、梢子；鋼結構上螺栓、螺釘等等）的過量變形；這些現象都標誌着建築物的不可靠性。在觀察中建築物（或是它的一部份）繼續使用的可靠性假如發生了疑問時，在結束研究之前必須採取臨時的措施，預防發生意外的事件。例如：加支撐和其他類似的臨時性加固等。而且對結構的變形和裂縫的開展等現象，應該進行觀測。

例如：鋼筋混凝土構件發現裂縫時，在裂縫處可按上一條石膏搭頭（圖一1），以觀察這裂縫是否還在發展。

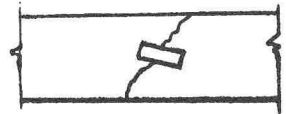


圖 1.

假如是新建的建築物，則應該在粉刷和油漆工作開始以前進行觀察，因為祇有在這時候，表面的毛病纔容易發現。

II. 研究試驗對象的文件

文件的研究不但是對象的初步總觀察的補充，而且也是作下一步更詳細地檢驗結構的準備。

文件的研究可以分為三方面：技術方面、施工製造方面和操作使用方面。

a) 技術文件應包括這些資料：

- 1) 建築物的技術設計；

- 2) 地質資料、土壤試驗資料和地下水的分析;
- 3) 施工圖, 其上畫有在建築物建造時對設計書的改變和違背之處;
- 4) 建築物基本軸線的測量放線記錄。

6) 施工文件要求這些資料:

- 1) 工作日誌(一般的和特殊的);
- 2) 建築材料、半製成品、工廠產品、結構成品等的試驗記錄;
- 3) 隱蔽工程的驗收記錄;
- 4) 建築物在開始使用前測定的沈陷記錄。

б) 操作使用文件

- 1) 可能影響到結構承載能力的某些事件的記錄。

2) 查明建築物的使用情況, 這一般都依靠詢問服務於該生產工作中的人員。例如: 房屋中的木桁架, 由於在原先的生產工作期間蒙受了大量的蒸汽, 以後此房屋改供他種用途時, 桁架的強度可能大為減弱。故以往的使用情況必須探悉, 藉以幫助對結構物現狀(或發生的問題)的分析。

文件的研究可以幫助查明在設計、製造、施工和使用時所造成的一些能影響建築物正常工作的錯誤。

在研究文件時所涉及的問題的範圍, 隨結構的種類而異, 今試分述如下:

鋼結構

а) 在設計中常易於產生錯誤的地方, 是構件的穩定計算、構件接頭的不正確的佈置和構造;

б) 因為工廠中的成品都經過檢驗和剔選廢品的工序, 所以其製造上的缺點較少;

в) 應注意的是工地中的現場製造、拼裝、裝配工作等。這些一般都易於產生錯誤, 因為限於現場的工作條件以及快速的施工日期等使然。

鋼筋混凝土結構

а) 在設計中最常遇見的錯誤是: 結構構件強度安全係數的確定、斷面的有效高度和鋼筋面積的錯誤計算、彎筋的不正確的佈置、在支座處縱向鋼筋的彎鉤沒有足夠的錨固等等。

б) 混凝土的工作日誌是施工文件中最重要的一部份。其中應注意所採用的搗灌方法, 在建築物各不同部份內混凝土的組成和密實度, 在混凝土澆灌和硬結時期的氣候條件, 混凝土立方塊的試驗成果, 在模板中的保持日期等。同時, 也應該檢查所用材料的試驗記錄和水泥的證書。

в) 對於多跨的連續性結構和剛架, 應該根據支座沉陷測定的記錄查明有否產生支座的不均勻沉陷。

木結構

а) 設計中常遇的錯誤是: 受壓構件穩定度的錯誤計算, 結構受拉弦桿接頭的錯誤

構造，按置梢釘和螺栓的切口與洞孔把受拉桿件斷面的過度削弱，結構構件在節點上不正確的集中和受切構件的不正確的構造等等。

6) 在研究文件時，應特別注意在建造過程中有關濕度情況的資料，以及隱蔽工程和木材防腐工作方面的記錄。

文件的研究常不能反映出使用期間在建築物中所發生的變化。此外，製造和使用的一部份毛病也可能未被記載在文件內。

III. 結構檢驗

檢驗結構的狀況主要是檢查它同設計和技術規範之間的符合程度。對於結構的考察應該深入而完全，這纔可能對結構的情況作出可靠的結論，並正確地解決有關以後試驗的性質和合理化的問題。

檢驗的內容有下列幾方面：

a) 結構幾何尺寸對設計的符合程度

1) 主要尺寸，建築物的跨度、高度等；

2) 建築物平面的測量，檢查建築物軸線同設計的符合程度，以及構件在平面圖內佈置的正確性。普通常用經緯儀進行工作，小建築物則可用鋼絲代經緯儀定向。

例：吊車梁和柱子的不正確的佈置，會使結構產生很大的水平附加力（內拉或外撐的）或是在構件的內部造成過度的應力。如圖 2 所示，當吊車梁位置不正時，在外突處

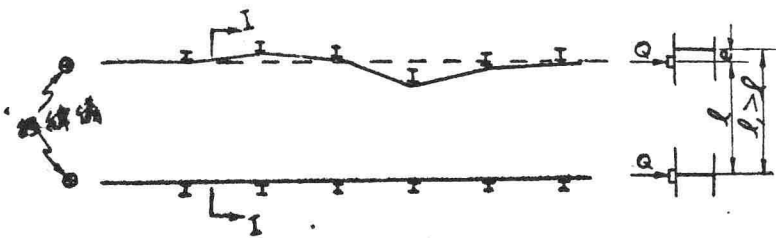


圖 二 吊車梁平面圖

產生附加的水平拉力；在內凹處產生水平的附加推力，均作用於柱頭和梁側。車軌在梁上的偏心使梁產生扭轉現象。

在桁架中，由於上下弦桿的相對偏移（圖 3）使桁架遭受扭力。



圖 三

桁架的頂視圖

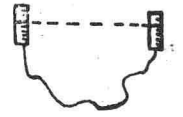
3) 建築物垂直縱斷面的測量——在鉛直面內的水準測量。

一般都用水準儀進行工作，因為它最為方便。通常用水準儀測定桁架弦桿的縱斷面時，應將儀器按置在不同的高程上測讀二次，而前後二次的相差不得大於 5 公厘，否則就要重測，最後的縱斷面圖應為前後二次所測的平均結果。讀數的精度為 1 公厘。

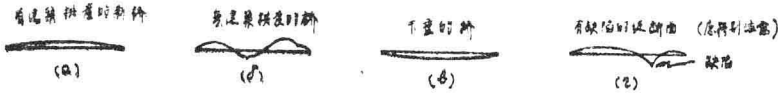
當在室內水準儀工作不便時，也可利用聯通器（圖 4）來進行水平測量。

鉛直縱斷面圖對於橋梁和吊車梁等極為重要，縱斷面的錯誤會造成嚴重的撞擊荷重。應該特別注意結構的垂度。

縱斷面的一些典型見圖 5。



圖四。



圖五。

若能獲得結構縱斷面隨時間而產生變化的圖線（假如以前已測得的話），則極為有用，可以很方便地判斷在結構內部所產生的變化。

4) 測量構件的斷面尺寸和檢查它和設計的符合程度。

6) 檢查建築物建造的質量和建築物的狀況——檢查時對建築物要很精細地觀察。

1) 查看建築物的節點和接頭（製造質量和狀況）、鉚釘、鉚縫、螺栓、梢釘、板栓、節點上桿力的集中等等。

關於鉚縫的檢查另有專書詳論，它是一個獨立複雜的、而又重要的研究題目，這兒僅簡單地介紹一下：

- i. 利用各種各樣的樣板和其他的工具，檢查鉚縫的形狀和尺寸；
- ii. 檢查鉚縫內部的缺陷，可利用 x 光線、超聲波、放射性物質（ α 線）的透視檢查法和電磁檢查法等；
- iii. 用磨片照相或是用顯微鏡觀察鉚接金屬和母材的結晶狀態；
- iv. 其他。

2) 查看局部性缺陷——裂縫、運輸時的損傷及其他。

鋼結構 裂縫（是由於局部的或總體的不適當的工作所致）、精細地測定碰撞傷痕、銹蝕情況及其產生的原因等。

木結構 木節、腐朽、寄生菌的破壞及斜木紋等。

鋼筋混凝土結構 裂縫（和中和軸相垂直而產生在拉力區的明顯裂縫是由於縱向鋼筋的過度受力所致；和中和軸近乎受 45° 的斜裂縫，其寬度也較明顯，是由於斜筋和鋼箍佈置的錯誤所致；在受壓區的水平細裂縫是由於混凝土的受壓過度所致；很細的裂縫外形不規則，且每條裂縫的寬差不多處處相等 這是由於所用水泥的品質的低劣，或是混凝土在凝固期間的濕度不合適，因而產生了過量的乾縮所致）、混凝土的剝落（由於保護

層太薄，或是受壓區的過度受力）、“蜂窩”及“狗洞”等。

磚石結構 時乾時濕地帶砌體的風化，個別磚石內的裂縫，以及砌體內的裂縫等。

в) 建築物中材料質量的鑑定

這是一個極重要的問題，特別是當建築物在建造時沒有進行必要的材料檢驗和質量控制時，則更應注意其材料的品質問題了（通常在施工時應該很仔細地研究材料的證書，檢查水泥及鋼料的號碼，根據規範挑選和保存混凝土立方試塊）。

通常對於材料機械性質的檢驗均採用標準試件來作試驗，這些試件在先前用和結構相同的材料製成。但是，還不能常常獲得有效的正確的結果，因為建築物中各部份材料的實際性質不可能與這些試件完全相符，所以在實用上常在結構的本身各部份上直接進行質量的檢驗。這方法當在工地現場難於進行實驗室內的試驗時，尤為重要。但假如在建築物施工過程中需要對材料質量進行應有的控制時，或是在建築物建造期間所獲標誌材料性質的資料已顯得不足以代表建築物的現狀時（由於建築物長期使用後，材料的性質可能已起變化），實驗室的試驗就必須舉行。若材料內有了顯著的缺陷存在時，有時就要求作完全的物理機械性和化學性的研究。

1) 從建築物上選取試件——此法已陳舊，僅不得已而用之。

假如沒有預留的標準試件（如混凝土的立方塊等），或是用其他的辦法不可能確切地檢定結構上材料的特性時，就要求在結構本身適當的部位切取必要的試件，以供實驗室中試驗之需。

從結構上取下的試件，其試驗的方法和規程與普通的建築材料試驗完全相同，把這些取下的試件視作標準的新試件（參閱建築材料試驗的參考書）。

在切取試件時，應儘量使結構少受損傷，必要時還需妥為加固。切取的方法應以不變化原有材料的性質為原則。為了避免損傷取下的試件，故割取材料的尺寸應較標準試件要大些，取下後再經過精細地加工，使合於標準試件的尺寸。

缺點: j. 損傷結構 無論怎樣對結構總有一定程度的損傷。為了減少這損傷的程度，常割切結構較不重要的部份的材料（如支撐桿，以及鋼筋混凝土構件的中和軸部份等），但這樣所得的試件就缺乏有用的典型性了。

ii. 在製備試件時對材料的損傷 因為在割切時不可能切得太大。這缺點在混凝土試件上尤甚。

iii. 少量的試件僅能獲得局部的性質 因為在結構上不允許處處切割，故試件不可能代表結構上大部份的材料。

2) 鑑定材料質量的間接方法（不利用實驗室的試驗）。

這是一種近似的方法，試驗一般僅及於材料的表層。在許多情形下，從結構上切取試件以鑑定材料的物理機械性質是非常困難的，甚至於完全不可能，所以常常就不得不利用不需要割取試件的現場方法來鑑定材料的品質。

I. 金屬

根據白利涅爾氏（Бринель）儀器的原理，決定金屬的性質。將鋼珠壓入金屬表面，測量所留凹痕的直徑，藉以決定材料的強度。這當然只能獲得近似的結果。

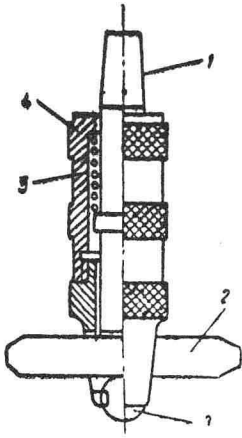


圖 6

用鋼珠壓入法決定鋼材強度極限的儀器構造概圖

1—軸； 2—標準樣塊； 3—鋼珠； 4—外殼； 5—彈簧。

在工地現場常用保利傑氏 (Польдь) 袖珍儀器 (圖6)。

使用方法。先在儀器內插入一塊已知其機械性質 (強度, 硬度等) 的金屬標準塊。然後將鋼珠按在結構的潔淨表面, 在儀器的另一端的外伸部份上用小鎚猛擊一下。根據標準塊和結構上所留凹痕的直徑, 比較兩者之間的硬度和強度。

試驗前先備一套已知性能的標準試件, 然後依次試行敲擊, 直到兩者的凹痕直徑大約相等為止。結構上材料的性能就認為和最後這塊標準試件相同。

II. 混凝土和鋼筋混凝土

混凝土強度粗略的檢驗方法也可根據在表面上衝擊後所留下的痕跡來估計強度值。常用的近似法有下列數種:

1. 用小鎚或鑿子敲擊的鑑定方法:

先在試驗構件的表面上清除和剷平出一塊約10×10公分面積的地方, 把一支普通鉗工車間用的鑿子垂直地按置在這混凝土面上, 必須要避開粗粒料。用一支重約0,3~0,4公斤的小鎚以中等的力量敲擊鑿子。假如沒有鑿子時, 也可用小鎚直接敲擊混凝土的表面。同樣的試擊必須要擊十處, 以其平均的結果作為品評的根據。不可用混凝土構件的頂面選作試驗的地方, 因為該處材料的性質和其它部份一般均相差甚大。此法雖粗略, 但極簡單而易做。

如根據錘擊的聲音判斷時: 清晰響亮的聲音表示質量好; 瘡啞的聲音表示質量壞。

如根據錘擊後所留的痕跡判斷時, 可參考下表:

以中等力量用小鎚 (重0,3—0,4公斤) 敲擊一下的結果		混凝土大約的強度 (公斤/公分 ²)
直接敲擊混凝土的表面	敲擊刃口支於混凝土表面的鑿子上	大於 200
在混凝土表面上留下不很明顯的痕跡。 當錘擊梁肋時有薄片脫落。	不深的痕跡, 無片子脫裂。	
在混凝土表面上留下明顯的痕跡, 環繞着它的周圍可能有些薄片脫落。	有尖而薄的片子自混凝土的表面脫裂。	200—100
混凝土被擊碎而散撒。 當錘擊梁肋時, 混凝土成大塊地脫落。	鑿子沒入混凝土深約5公厘。 混凝土被擊碎。	100—70
留下深的痕跡。	鑿子被釘入混凝土內。	低於70

2. 鎗擊法——用步鎗或手鎗（斯科拉姆他葉夫教授建議用轉輪鎗）向混凝土射擊，憑所留彈坑的容積判定混凝土的強度。

用左輪鎗射擊時，應該利用保護器（避免子彈的反躍）在距離混凝土表面 40 公分處射擊。射擊的處所斯科拉姆他葉夫教授建議為 12 處，選其中 6 處較大彈坑的平均容積作為判別強度的依據（查現成的表格）。射擊後將彈坑刷清塵屑，然後將已知重率的油泥填入彈坑，以該油泥所耗的重量定彈坑的容積。

方法完全因人而異，其結果亦隨着極多的因素（武器的類型、子彈的重量、火藥量、射擊距離等等）而變化，需要有豐富的經驗。

更精確和合用的方法是：在完全相同的條件下射擊試件和強度已知的標準樣塊，進行比較（相似於用保列傑氏儀器的試驗），以定混凝土試件的強度。當試件上和樣塊上所留彈坑的容積相等時，則認為它們的強度亦彼此相等。用以判定混凝土強度的射擊次數應不少於 10 次。

3. 利用 ДОРНИИ 的儀器（圖 7）測定混凝土的強度。

這儀器的原理和保列傑氏儀器相似，而是把鋼珠換成了一個上圓下尖的錘形塊。敲擊樞桿的頂端使撞錘尖端深入混凝土表面 10 公厘，然後根據在金屬標準塊上所留痕跡的大小判斷混凝土的強度。

4. 依據把預埋在混凝土內的特製鋼桿或鋼圓筒體拔出的拉力，判斷混凝土的強度。

5. 根據彈性模數 E_s 和壓力強度 $R_{сж}$ 之間的關係（此關係曲線載於鋼筋混凝土設計技術規範中見圖 8），查圖表或利用下列的公式：

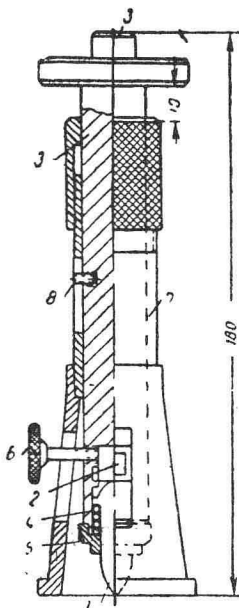


圖 7 ДОРНИИ 用以測定混凝土強度的儀器

- 1—撞錘；2—鋼樣塊；3—受敲擊的樞桿；4—將撞錘壓緊在樣塊上的彈簧；5—支持彈簧的環；6—壓緊樣塊的螺絲；7—外殼；8—阻制樞桿在錘擊時轉動的梢子。

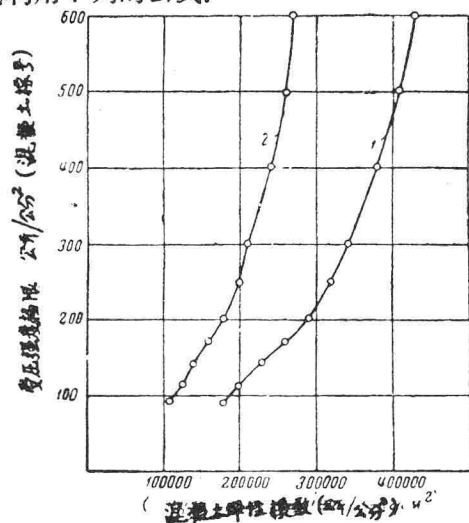


圖 8 普通混凝土的彈性模數與抗壓強度極限值之間的關係曲線（根據鋼筋混凝土結構設計的標準與技術規範 $H_{HTY}-3-49$ ）

- 1—受壓構件的；2—受彎構件的。

$$E_{\delta}(\text{受壓}) = \frac{1000000}{1.7 + \frac{360}{R}}$$

$$E_{\delta}(\text{受彎}) \approx 0.625 E_{\delta}(\text{受壓});$$

$$G_T = 0.425 E_{\delta}(\text{受壓}),$$

但這些公式僅在工作應力的界限內方為正確。

E_{δ} 值可根據超聲波通過混凝土的速度來決定；但假如沒有這種專門的儀器設備時，則可根據已知斷面的結構在已知荷重下的變形來決定。

例：試件為一矩形斷面（此種斷面的情況簡明、易於分析）的簡支鋼筋混凝土梁。荷重、斷面尺寸、鋼筋的數量和排列金屬已知。測得跨中撓度（見圖 9）：

$$Y = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{E_{\delta}J}, \text{ 由此得:}$$

$$E_{\delta}J = c \text{ (已知常數) } \dots\dots\dots (1)$$

$$J_{\text{全斷面}} = J_{\text{混凝土}} + J_{\text{鋼筋}} = J_{\text{混凝土}} + nF_{\text{鋼筋}} \Sigma a_i^2,$$

其中 $n = E_{\text{鋼筋}}/E_{\text{混凝土}}$;

a_i —— 見圖 10 所示。計算撓度時，認為混凝土的全部斷面均參加工作，各 a_i 之值根據由此假定求得之 x 值算出。

將上式和 $E_{\delta} = \frac{E_{\text{鋼筋}}}{n}$ 代入 (1) 式，得：

$$c = \frac{E_{\text{鋼筋}}}{n} (J_{\text{混凝土}} + nF_{\text{鋼筋}} \Sigma a_i^2) \dots\dots\dots (2)$$

又斷面的靜力矩為：

$$S = f(n, x) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

解 (2)，(3) 二聯立方程式即可求出 n ，從而獲得 E_{δ} 值。

已知 E_{δ} 後，即可自圖 10 的曲線查得強度值。但是依據 E_{δ} 決定 R 的可靠性並不大，因為甚至在實驗室中試驗時，決定 E_{δ} 也可能發生很大的誤差，在工地現場試驗時當然更難控制。

III. 木材

木節、斜木紋、裂縫等等的數量、大小和位置對木材的強度有極大的影響，所以對於木結構構件承載能力的鑑定，外表的觀察最為重要。

當然，構件的強度也與純淨木材（無木節等缺陷的木材）的機械性質有關，所以在很多情況之下，必須檢驗純淨木材的強度。其常用的工地試驗方法如下：

1. 卡希卡洛夫氏槍擊法

此法運用簡單，並且可足夠精確地在結構的任何部份上決定木材的機械性質，而不損傷結構的構件（在實用上講），所得的結果較混凝土的槍擊法為恒定，上下的參差不大。

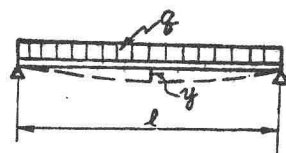


圖 9

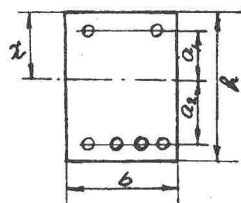


圖 10 試件斷面

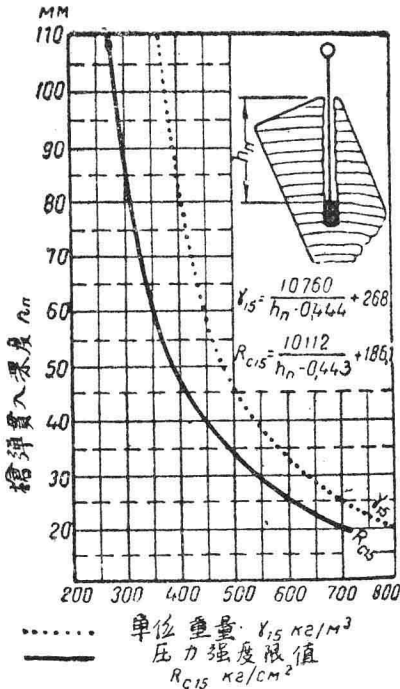


圖 11 按槍彈的射入深度決定木材強度和重率用的曲線

用小口徑步槍 TO 3-8 或 TO 3-9(口徑, 5.6公厘)在 100 公厘的距離處(自槍筒口至木材表面)向木材射擊, 木材的溫度應不小於 0°C, 濕度應在 10—100% 之間(濕度不起影響)。依據子彈的射入深度可獲悉濕度為 15% (標準濕度) 時的順木紋抗壓強度 R_{C15} 和重率 γ_{15} 。利用下列公式

$$R_{C15} = \frac{10112}{h_n - 0,443} + 186,1, (\text{公斤/公分}^2),$$

$$\gamma_{15} = \frac{10760}{h_n - 0,444} + 268, (\text{公斤/公分}^3),$$

也可查圖 11 的曲線。

此法的最大優點是不需要測定木材的濕度。

2. 彼夫佐夫氏撞擊法

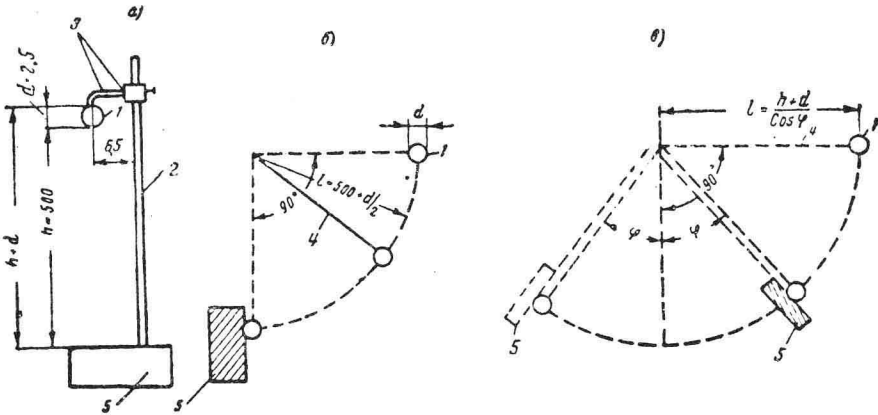


圖 12 表面撞擊試驗法的操作概圖

a—水平的; 6—垂直的; b—傾斜的; 1—小鋼球; 2—支柱; 3—可移動的夾子; 4—細鐵絲; 5—試件。

此法的裝置見圖 12 所示。利用重力使鋼球 ($d=2.5$ 公分, $g=63.8$ 克, $h=500$ 公厘) 墜擊於木材表面。面上鋪一張複寫紙, 依據所得凹痕的投影面積 $F = \frac{\pi d^2 \sin^2 \varphi}{4}$, 定出木材的撞擊硬度:

$$H = \frac{gh}{F} = \frac{31,906,5}{F},$$