



中等專業學校教學用書

結構靜力學

Л. Д. 李夫施茨 著
Е. П. 魏里仁 科

高等教育出版社



中等專業學校教學用書



結 構 靜 力 學

Я. К. 李夫施茨, E. И. 魏里仁科著
中華人民共和國建築工程學校教育局譯

高等教育出版社

本書係根據烏克蘭國立技術書籍出版社 (Государственное издательство технической литературы Украины) 出版的李大施茨 (Н. Д. Лившиц) 和魏里仁科 (Е. П. Вериженко) 合著的“結構靜力學” (Статика сооружений) 一九五一年基輔版譯出的。原書經烏克蘭蘇維埃社會主義共和國部長會議高等學校管理局審定為建築中等技術學校教科書。

本書符合民用與工業建築中等技術學校及運輸建築中等技術學校的結構靜力學教學大綱。

在民用與工業建築中等技術學校中，凡僅與運輸建築專業的教學大綱有關的各篇，不妨略去。

在本書中編有建築力學發展簡史；在簡史以及全書中，着重指出了俄國及蘇聯科學的先進地位和蘇聯建築力學學派的主導作用。本書扼要地敘述了許多由蘇聯學者所研究出來的最新方法。

本書各章採用了許多有詳細解答的數字例題來加以說明。

本書由徐炎和顧啟浩兩同志譯出，並由徐炎同志校訂。

結 構 靜 力 學

Н. Д. 李大施茨, Е. П. 魏里仁科著

中華人民共和國建築工程部分學校教育局譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四號)

京華印書局印刷 新華書店總經售

書號 495(總 436) 開本 850×1168 1/32 印張 11 7/8 字數 282,000

一九五五年十二月北京第一版

一九五六年三月北京第二次印刷

印數 4,001—6,000 定價 (55) 1.40

目 錄

原序	7
緒論(課程的內容、體系的基本類型和計算前提、 建築力學發展簡史)	9
第一章 多跨梁	26
§ 1. 靜定多跨梁	26
1. 多跨梁的類型與特性	26
2. 靜定多跨梁的受力狀況	28
3. 靜定多跨梁的計算例題	30
4. 等彎矩的多跨梁	34
§ 2. 梁的變形的計算	38
1. 問題的內容	38
2. 簡支梁的變形的計算	40
3. 求一端是剛性裝固的梁的變形	49
4. 彈性曲線方程式	58
§ 3. 最簡單的超靜定梁	73
1. 超靜定梁的特性和它的应用範圍	73
2. 超靜定的次數	74
3. 單跨的超靜定梁	75
§ 4. 連續梁	90
1. 計算前提及符號	90
2. 位移方程式	91
3. 三彎矩方程式	98
4. 用三彎矩方程式計算連續梁的方法	106
5. 連續梁支點反力的求法	107
6. 連續梁之計算步驟	109
7. 有剛性裝固端之連續梁	114
8. 有懸臂之連續梁	123
9. 求連續梁任意截面內的彎矩和切力	125
10. 用表計算連續梁的方法	127

第二章 動荷重作用下的梁的計算.....	132
§ 5. 影响線的一般特性.....	132
1. 動荷重作用下的計算法.....	132
2. 動荷重的類型.....	133
3. 影响線的概念.....	134
4. 利用影响線計算各种內力.....	136
5. 影响線直線線段的一種特性.....	137
6. 荷重的節點傳遞.....	138
7. 把集中力系放在危險位置上.....	138
8. 列車表.....	146
9. 当影响線为曲線形時荷重的安排和內力的計算.....	152
§ 6. 簡支梁的影响線.....	153
1. 繪作影响線的方法.....	153
2. 支座反力的影响線.....	153
3. 弯矩的影响線.....	154
4. 切力的影响線.....	156
§ 7. 懸臂梁的影响線.....	156
1. 有懸臂之單跨梁.....	156
2. 靜定多跨梁.....	158
§ 8. 連續梁的影响線.....	159
1. 繪作方法.....	159
2. 虛反力公式.....	160
3. 繪作連續梁支座力矩影响線的例題.....	162
4. 影响線的豎标距表.....	164
第三章 靜荷重作用下靜定桁架的計标.....	167
§ 9. 一般概念.....	167
1. 計算前提.....	167
2. 桁架的实际使用範圍及其分類.....	170
§ 10. 桁架的幾何不变性.....	174
1. 最簡單的幾何不变体系.....	174
2. 複雜体系的構成.....	176
3. 幾何不变性的研討.....	177
§ 11. 支座反力的計算.....	179
1. 桁架的固定.....	179
2. 計算反力時的數解法.....	181

3. 計算反力時的圖解法	188
§ 12. 桁架桿件中內力的計算	190
1. 概論、桁架的靜定性	190
2. 節點截取法	191
3. 計算內力時的個別情形	200
4. 用繪作馬克斯威爾—克列蒙圖的方法計算桁架桿件中的內力	206
5. 屋架的計算	220
6. 截面法	237
7. 平行弦桁架的各桿內力的求法	244
8. 在求桁架桿件內力時截面法和其他各法的聯合應用	250
第四章 動荷重作用下的梁式桁架的計算	255
§ 13. 總論·反力影響線	255
1. 動荷重的種類	255
2. 求計算內力的方法	255
3. 繪作梁式桁架的支座反力影響線	256
§ 14. 繪作桁架各桿的內力影響線	258
1. 內力影響線的繪作法	258
2. 繪作內力影響線的幾個例題	264
3. 繪作影響線的一種簡化方法	270
§ 15. 利用等效荷重求內力	273
1. 等效荷重的概念	273
2. 求內力的一個例題	275
第五章 拱的計算	279
§ 16. 概論	279
1. 橫推力體系的概念	279
2. 拱的分類	280
§ 17. 三鉸拱的計算	281
1. 反力的數解法	281
2. 繪作彎矩圖	284
3. 拋物線形拱的特點	287
4. 切力和軸向力的計算	288
5. 支座反力的圖解法	291
6. 壓力多邊形的繪作	293
§ 18. 石穹窿與混凝土穹窿的計算	296
1. 計算前提	296
2. 計算例題	297

第六章 簡單剛架的計算	306
§ 19. 概論	306
1. 剛架結構的特點	306
2. 剛架体系的应用範圍	308
3. 分析剛架体系的超靜定性	309
§ 20. 靜定剛架	313
1. 概論	313
2. 繪作 M 、 Q 和 N 圖的例題	314
§ 21. 超靜定剛架	319
1. 計算方法	319
2. 位移的計算	322
3. 維列沙金定則	329
4. 位移的互換性	330
5. 超靜定剛架之計算步驟	331
6. 超靜定剛架之計算例題	332
7. 剛架的近似計算法	340
8. 剛架計算用的表	345
第七章 擋土牆的計算	347
§ 22. 概論	347
1. 擋土牆的用途和它們的計算	347
2. 計算前提	348
§ 23. 用圖解法計算擋土牆	352
1. 用圖解法求牆面上的壓力	352
2. 位在土壤表面上的荷重的影响	358
3. 用圖解法計算牆的順序	359
§ 24. 用數解法計算擋土牆	368
1. 計算公式	368
2. 計算例題	370
參考書目	376

原 序

目前可供高等学校学生用的建筑力学方面的优良的教科书和教学参考书是很多的。其中有 И. М. 拉賓諾維奇 (Рабинович) 教授及 И. П. 普罗科弗耶夫 (Прокофьев) 教授所著的基本教程, 以及 В. Н. 日莫契金 (Жемочкин)、С. А. 伯恩施坦 (Бернштейн)、Н. И. 貝朱霍夫 (Безухов) 等教授所著的書籍。但是中等技术学校用的结构静力学教科书却几乎是沒有的。国立建筑書籍出版社 1940 年出版的 И. М. 福連凱利 (Френкель) 和 П. М. 福連凱利 (Френкель) 合著的中等技术学校结构静力学教科书, 在培养施工技術員方面虽曾起过很大的作用, 但是目前已經不符合教学大綱, 並且在書店中已經買不到了。

本書符合民用与工業建筑中等技术学校结构静力学課程的教学大綱, 並且也符合运输建筑中等技术学校的教学大綱。为运输建筑中等技术学校所需要的、用以闡明動荷重作用下的計算問題的那幾篇, 在民用建筑中等技术学校中, 完全可以省去, 並無妨害。

在“材料力学”課程的教学大綱中, 梁的变形的求法是沒有的, 而当計算超静定体系時, 却必須求出变形, 因此本書著者便不得不把这些求法編寫在書內。編寫時, 著者深入淺出地敘述了一个最完善的变形求法——最初參數法, 此法是苏联学者創造出來的。在本書中自始至終都能够看到苏联建筑力学學派的主導作用。

在本書的所有証法中都沒有使用高等數學。本書各篇內容都是用許多作有詳細解答的數字例題來加以說明的。本書因受篇幅

所限，未能在書中列入使學生用以自修的演算習題。

緒論、第一章、第二章、第三章的第十節和第六章是由 Я. Д. 李夫施茨 (Лившиц) 寫的，第三章、第四章、第五章和第七章是由 Е. П. 魏里仁科 (Веригенк) 寫的。全書是由 Я. Д. 李夫施茨校訂的。

技術科學博士 П. М. 華爾瓦克 (Варвак) 教授和基輔採礦中等技術學校教師 И. А. 庫亮 (Курян) 工程師在審閱本書時曾提供很多寶貴的意見，著者謹在這裏深誌謝意。

著 者

緒 論

本課程的內容 桥梁、道路、工業房屋与民用房屋的建造，机器的設計，以及所有一般工程技術活動，首先是以所謂强度計算來作为基礎的。

任何結構在使用过程中都要承受外力——荷重——的作用。例如，桥梁承受过桥車輛的重量和結構的自重，工業房屋樓盖承受放在它上面的設備(机床、發動机等)的重量和樓盖自重；屋架則除了承受自重而外，还承受屋面的重量、雪荷重和風荷重。

荷重分佈在整个結構的構件中間，会使構件發生变形，当情况最坏時，荷重会使个别構件破坏，或使構件与構件之間的連繫受到破坏。無論發生的是哪一种情形，終歸会使整个結構破坏。

選擇各个構件的尺寸，確定構件的必需數量並且把它們牢固地連接起來，使整个結構能安全地承受一切可能產生的荷重，这就是工程計算的任务。驟然看來，解決這一問題的最簡單的办法，是把各个構件的截面尺寸加大和把整个結構中的構件數量增多。截面尺寸較大的構件確實能承受較大的內力。顯然，如果構件的數量增多了，整个結構所能承受的總荷重也就会加大的(整个結構的承重能力增大)。但是，从一方面講，構件尺寸的加大和數量的增多，給結構本身增添了自重，也就是加大了作用荷重。結構的自重往往是相当可觀的，並且又是永久的作用荷重；例如，公路桥梁的

自重一般都佔總荷重的一半以上，而鐵路桥梁的自重一般要佔總荷重的二分之一左右。在另一方面，構件尺寸的加大和件數的增多会造成材料的浪費，因而是**不經濟的**。

因此，當設計任何構築物時，就產生了一個互相矛盾的**問題**：要設法提高構築物的**承重能力**（載重量）便需要加大構件的截面尺寸和增多構件的件數；而加大尺寸和增多件數又會使重量增加，也就是使**呆荷重**增加，从而使許可的**有效荷重**減少，增加了結構的**造價**。

要正確地解決這一問題，合理地統一所產生出來的矛盾，就必須以工程計算來作為依據，結構設計師根據工程計算結果可以決定如何佈置結構構件，用何種材料來製成構件，如何連接構件，才能使所有構件儘可能均勻地承受荷重，而使整個結構的總重量最輕。不僅在設計新結構時需要計算。在使用過程中，有時還不得不解決可否不按原設計用途利用結構的問題，不得不解決結構是否能承受與設計時曾計算過的荷重在性質上根本不同的荷重這類問題。這些問題都祇有通過工程計算才能獲得解決。

當進行各種修理工作時，常須用新構件來代替結構中的某些構件，有時，換上去的新構件的截面和原設計的是不同的；在某些情況下，不得不將結構的基本圖樣改變。至於這些改變是否許可，則這個問題也要由結構的驗算來解決。

研究各種結構計算方法的科學，通稱為建築力學。

建築力學通常分成三部分。第一部分稱為材料力學，它是研究個別桿件的強度、剛度和穩定性的。第二部分即建築力學本身或結構理論，它是研究各種桿件體系的強度、剛度和穩定性問題的。把這兩部分截然分開是困難的，有些問題有時是屬於材料力學的，有時又是屬於結構理論的。例如，圖 1 所示的多支承連續梁是一根桿件，通常是在材料力學中研究的。但是在計算時，連續梁



圖 1.

人为地被分成若干根独立的梁,即成为某一体系,因此也可以把它歸入到結構理論中去。材料力学也好,結構理論也好,都是藉一系列与实际情况多少接近的假定,並利用一些比較簡單的數學來求得一些比較簡單的解法和形式完整的計算公式。这門科学的第三部分是彈性理論,它所研究的問題大致与前兩部分相同,不过是更概括更嚴密地來研究这些問題,所用的數學也比較複雜。彈性理論中有好些解法是用以判断同样的問題用材料力学和結構理論中的解法解得後的精確程度。

結構理論又可分为結構靜力学和結構动力学。

本課程的內容就是結構靜力学,它研究靜荷重作用下的結構,这种荷重,作用在結構上時,它的增加是逐漸的、平緩的,一直增加到它的極限值为止,並且这極限值在長時期內保持不变。

結構动力学是計算承受動力荷重(其大小和方向是週期变化的)、衝擊等作用的結構。

我們現在再來更詳細地談一下“結構靜力学”課程的學習目的。

結構靜力学的第一个目的是計算結構構件中的內力。知道了外力的大小和性質(外力的作用點、在結構表面上的分佈規律等),並且有了結構簡圖之後,便可計算这一体系中所有構件的內力大小,並选定它們的截面尺寸(或者,把根据由結構設計着眼而規定的尺寸加以驗算),以保證各構件的強度、穩定性和重量尽可能最輕。

个别構件截面尺寸的选择方法和驗算方法都已在“材料力学”課程中講過了。

結構靜力学的第二个目的是驗算体系的剛度，即求体系的变形。材料力学中所講的是个别構件在不同載重情况下的变形的求法；在結構靜力学中所講的是根据个别構件的变形來求体系的变形和把这种变形与許可变形相比較的各种方法。

結構靜力学的第三个目的是把連接个别構件成为一完整体系的一般規則擬定下來，这些連接規則的目的是要保證体系能抵抗外力的作用，使結構上的作用荷重得以分佈在所有構件之間，而不是單由体系中某一些薄弱環節來承受。

最後，在結構靜力学中还要研究体系的穩定性。正像一根單獨的桿件在縱向受弯的情况下，当压力達到了臨界值時會發生凸出現象那样，整个体系，或其个别環節，在荷重總量增至臨界值時也可能發生凸出現象（失去穩定）。求出臨界荷重的大小就是計算穩定性之目的。

所以，結構靜力学的內容是：

- 1) 分析各种構件体系的形成並研究其性能；
- 2) 計算不同類型的体系的構件內力；
- 3) 研究剛度，即計算不同類型的体系的節點和構件的位移；
- 4) 研究体系的穩定性。

本書根据教学大綱主要講第一和第二兩個問題。

体系的基本類型和計算前提 金屬結構構件相互之間是用螺栓、鉚釘或銲接連接起來的。木結構是用螺栓、合接、釘、木釘、膠料等拼成的。

所以，在構造上，連接的形式是多种多样的。在結構靜力学中研究兩類節點連接，即鉸接節點和剛性節點。

不阻碍相連構件發生相互的轉動的連接称为鉸接節點(圖2)。

保證相連構件間的角度不發生变化的連接称为剛性節點(圖

3)。

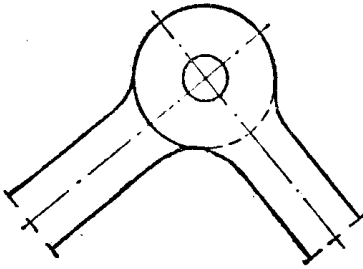


圖 2.

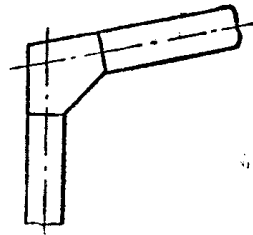


圖 3.

這兩種節點都是假定為理想節點，即在鉸接節點中，假定沒有任何阻碍構件相互轉動的力（例如，摩擦力），在剛性節點中，則假定構件之間連最小的轉動角都不會有（假定為絕對的剛性節點）。實際上，如此理想的節點是不存在的。鋼筋混凝土整體結構中的接點和剛性節點十分相近，不拉緊的螺栓接點和鉸接節點十分相近。下面還要提到的是，鉚接和鐸接，以及木構件的各种連接，在許多情況下可以把它們都認為是鉸接節點，而不致影响工程上的精確度。

在一方面，結構中的節點的構造形式決定了在設計時應採用何種計算簡圖（剛性節點体系的簡圖或鉸接節點体系的簡圖），但是在另一方面，所選定的計算簡圖^①也會反過來影响節點的構造。如果採用了剛性節點的計算簡圖，那末由於計算的結果，所求出的節點中的力將不得不使節點做成為不起轉動的強固連接。如果採用鉸接節點的計算簡圖來計算，那末便會發現可以把節點做得比較弱一點。

目前，蘇聯正在研究彈性節點的計算方法，即研究一種其節點類型介乎剛性節點與鉸接節點之間的体系的計算方法。

^① 結構計算簡圖就是結構的理想化示意圖，凡不受力的構件（不參加受力作用及為保證剛度所不需的構件）都不包括在示意圖內，圖內所採用的節點是某種理想節點。計算簡圖愈與實際結構相近則愈好。

由剛性節點連成的體系稱為剛架體系或剛架。由鉸接構件組成的體系稱為鉸接桿件體系或桁架。

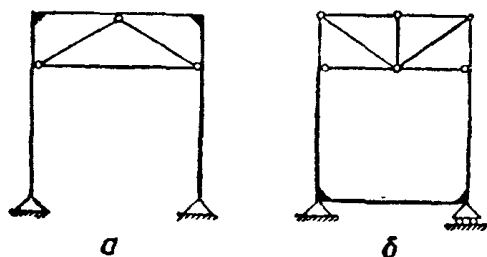


圖 4.

經常遇到一些體系，其中又有剛性節點，又有鉸接節點。這種體系稱為聯合體系（圖 4, a 和 b）。

無論在何種體系中，內力的大小是與體系的幾何尺寸、構件的相互位置

和體系的圖形有關的。所有這些都是在荷重的作用下在體系的變形過程中變化着的。但是真正的變形是非常小的，所以變形對於內力大小的影響是很小的。因此，一般是按照不變形的簡圖來計算的。

當結構的跨度愈大，材料的質量愈高時，則變形更大、更顯著，計算變形對於內力大小所起的变化時應更接近於實際情況^①。按變形的簡圖來計算遠較普通的按照不變形的簡圖來計算為複雜。

事實上，要知道體系的變形，非得知道該體系各構件中的內力不可，而要求出內力，又必須事先有一個變形的簡圖。

蘇維埃研究思想為這個複雜問題的解決也奠定了道路。

建築力學發展簡史 第一個以科學的態度來對待建築物的設計工作的應推俄羅斯力學專家伊凡·彼得羅維契·庫立賓（Иван Петрович Кулибин）（1735—1818）。

И. П. 庫立賓是彼得堡科學研究院的力學專家組長，是當時最有名望的力學專家，在十八世紀的七十年代，他曾為涅瓦河設計了

^① 高質量材料的許可應力較高，採用這種材料便可減小構件的截面面積，但各個構件和整個結構的變形卻增加了。

一座永久性的桥梁(圖5)。在那時以前,彼得堡從來也沒有過一座這樣的桥梁。連接涅瓦河兩岸的一些浮橋,在春天流冰時和秋天洪水時不得不將它們拆開,所以城市的兩部分之間交通有很長的時期隔斷不通。

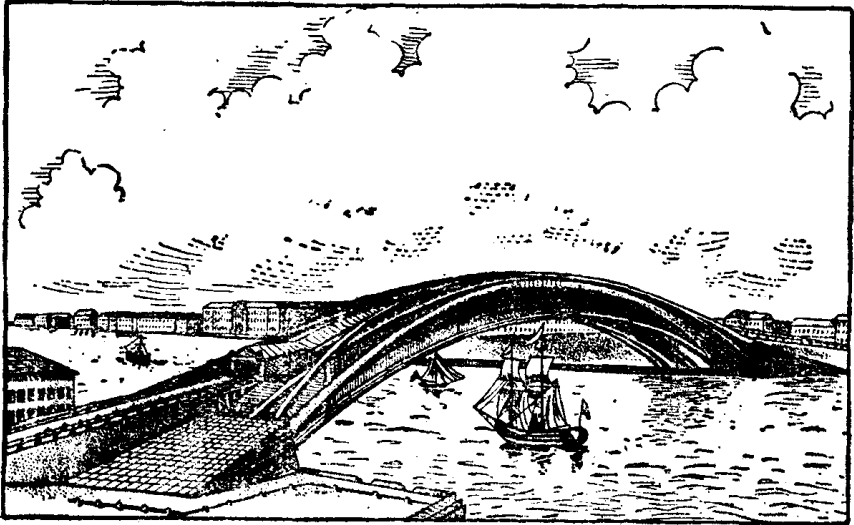


圖 5.

該橋設計成一單拱橋,跨長 140 俄丈(298 米)。庫立賓為了確定桥梁的形狀和結構尺寸特地做了許多次的模型實驗和試驗。

伽利略(Галилей)是第一個對單獨桿件做試驗的人,而庫立賓是第一個對整個結構做試驗的人。

庫立賓的第一次實驗的目的是為設計中的桥梁確定其拱軸形狀。他在一條細繩上每隔一相等的距離掛上一法碼,這些法碼的重量是隨橋跨結構的重量的變化而成正比例變化的,並使細繩中點的撓度跟橋拱矢高與跨長的比值相當,這樣庫立賓便確定所謂“索曲線”的形狀,這一名詞一直遺留至今日。然後庫立賓便下了一個結論,那就是最好的拱軸形狀是倒向的懸索曲線。庫立賓在自己的研究工作中第一個把支座反力分成豎向的和水平的兩分

力,當時他把水平分力称为“水平重力 (горизонтальная тяжесть)”。那時的建築技術水平是不可能把庫立賓所設計的橋造起來的,但是卻在丰湯卡河上造了一座相當於 $\frac{1}{10}$ 實際大小的模型橋,它的跨長是30米。該橋曾經科學研究院的一個委員會加以試驗,證明還能多承受20%的計算荷重(總共是三千五百普特),試驗後該橋便卸去荷重。俄羅斯院士歐勒(Эйлер)對庫立賓所設計的橋的評價是十分高的。他並且用數學的方式表達了庫立賓關於根據結構個別部分的試驗結果來確定結構的承重能力所作的論述。1776年,歐勒在彼得堡出版了他的著作“如何運用簡易的規則從木橋或其他相似的承重機械的模型上看出究竟是否能夠做出一比模型更大的同樣結構”。這是建築力學中有關相似定律的第一篇論文。

在1777年2月10日的“聖彼得堡時報”上寫道:“上述的庫立賓,在1773年自然而然地發現了許多規則,可以從模型看出一座橋是否能承受自己的重量和承受多少外來的荷重。這些規則和不久以後由本地的院士,有名望的歐勒先生在力學的基礎上得出來的規則是完全相似的”。

如果說И. П. 庫立賓是第一個以科學實驗的方法來設計結構的人,那麼,傑出的俄羅斯工程師Д. И. 茹拉夫斯基(Журавский)(1821年—1891年)便是第一個以數解的方法來設計桿件體系的人了。在十九世紀的九十年代中,他第一個擬定了斜桿桁架(раскосная ферма)的計算理論。根據下面的一段插話,我們便可以推測出來當時Д. И. 茹拉夫斯基究竟勝過外國的工程師們多少了。交通部為了審核Д. И. 茹拉夫斯基所編製的橋梁設計,特地聘請了一個名字叫做威斯特列爾的美國顧問來。茹拉夫斯基在設計時就斜桿桁架的受力情況作理論分析,以後曾把自支座到跨度中點的腹桿截面逐漸減小,但是這個顧問對這種做法表示反對,茹拉夫斯基為了使審核委員會相信他的做法起見,特做成了一具桁架模型,桁