

錢令希編

# 靜定結構學

科學技術出版社

# 静 定 結 構 学

錢 令 希 編

科 学 技 術 出 版 社

## 內 容 提 要

本書系編者參考了多種蘇聯出版的結構學教本后，結合我國目前若干成就，並將連年所用的教材徹底改寫而成。

全書共分六章，除第一章為總論外，其餘各章分述結構穩定性的研究，靜定樑結構，靜定桁架結構，靜定拱型結構，及靜定立體桁架結構，內容比較洗鍊而具有系統性，與一般靜定結構學書籍稍有不同之處。

本書可供大學土木工程系科及專修科作為教本及參考之用。

## 靜 定 結 構 學

編 者 錢 令 希

\*

科學技術出版社出版

(上海錢園西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可証出079號

啓智印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

\*

統一書號：15119·449

(原中科院版印13,000冊)

開本 787×1092 紙 1/27 · 印張 8 12/27 · 字數 172,000

1957年1月新1版

1957年1月第1次印刷 印數1—2,400

定價 (10) 1.30 元

## 序 言

這書的編寫，主要是參考下列幾本蘇聯教材的靜定結構學部份：

Б.Н. Жемочкин и Д.П. Пашевский: Статика

сооружений;

И.П. Прокофев: Теория сооружений;

А.И. Дыховичный: Строительная механика;

И.М. Рабинович и Н.Л. Кузьмин: Сборник задач

по теорий сооружений

編寫的輪廓和方式，主要是按照上列的第一本。習題大都是取材於上列的第四本。內容結合了一些目前祖國的成就，如鐵道部根據實際情況和將來發展而制定中華人民鐵道標準載重制，又如胡海昌同志（科學院數學研究所）提出的通路法，經過改進，已完全可以作為獨立的和一般性的方法，用來分析或鑑定複雜的桁架結構。

靜定結構學是土木水利各種專業知識的基本課程，又是理論力學同材料力學的延續，這是理論和實際結合的重要環節。以往常採用的英美教材是有很多缺點的。它們不是和力學課程有太多不必要的重複，以致內容龐雜，缺乏重點，便是系統零亂，流於教條式的實用主義。這是由於資本主義制度所決定的教學方式是個人主義的，因之教材的選擇就一定是憑主觀，憑個人興趣，或是東拼西湊的盲目抄襲，最“好”的態度亦不能越出“為科學而科學”的錯誤觀點。多年來雖然對這樣的教材很是不滿，但是由於自己受它們

的影響相當深，主觀的努力又不夠，所以在教材改革上是很少成績的。

自從接觸了蘇聯高等學校的教材後，感到它們有許多特出的優點。每種教材的目的性非常明確，由於集體主義教學制度的計劃性保證了各項課程間不致重複或脫節。社會制度的優越性，為蘇聯高等學校的教材不論在理論和實際結合方面，或在科學和政治結合方面都打下了鞏固的基礎。它們的內容配合着國家建設的需要，它們的系統照顧學生認識發展的過程，它們的觀點符合着愛國主義教育的精神。蘇聯高等學校的教科書都是經過嚴格的審閱，由高等教育部批准後出版，並指定它們在教學中的對象。例如本書主要參考的 Б.Н. Жсмочкин 所主編的那本結構學，是被批准作為建築學院的教本。筆者十分喜愛它簡潔洗鍊的風格。因為它既是為建築學院用的，內容比較是簡略一些，所以筆者根據他在教學中的一些經驗和對祖國建設需要的認識，作了些擴充，寫成此書，貢獻給祖國高等學校作參考。

這書是去年在浙江大學工作時候寫的。今年來到東北，短短的半年，接觸了偉大蓬勃的祖國建設事業，和參加一些富有教育意義的會議，使我深切認識到向蘇聯學習是祖國建設最正確的方向。教育工作者在這方面的具體行動是學習蘇聯的經驗，和掌握蘇聯教材的真實精神。什麼社會制度就產生什麼社會活動，蘇聯的教育建築在社會主義制度的基礎上，因此它的優越性決不是資本主義教育制度可以比擬的。

關於教學方法，蘇聯專家，科學碩士，副教授沙闊洛夫在哈爾濱工業大學第一屆科學技術及教學研究工作會議的報告中指出：

“講課是高等學校中教學的基本方式，因此我們對於講課應該有嚴格的要求，講授課程應按照一定的科學的和邏輯的系統，包括這門課程的基本原則和基本問題，而不應摻雜一些不必要的細節”。

“講課時應該把科學的理論和定理與社會主義建設連繫起來，同時應該是一個有機的連繫”。

“在上課時必須注意說明物理現象，不能被數學計算所蒙蔽而忽略了物理現象。數學這一工具祇應該用來證實過程中的物理方面，而不能成為教學目的”。

“我們常常碰到這種情形，學生非常精采地作出數學的答案，默寫出許多公式，但是完全不了解物理現象，這種知識我們不能認為滿意的”。

“講師應該善於培植學生的科學的思考能力”。

這些經驗指示真是十分可貴的。對於保證教學質量來說，不論是結構學或其他任何課程也好，都是最重要的關鍵。特地摘錄以供大家一起來思考。

由於編者的政治修養和俄文水準很低，對向蘇聯學習的體會是不夠深刻和全面的。本書的編寫僅是一個嘗試，應該提高和修正的處所一定很多，希望讀者們提出意見和批評。

本書承潘家鏐同志抽出公餘的時間，認真的代作校對，謹誌謝。

編者

一九五二年七月大連工學院

# 目 錄

|                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 第一章 總論                                                                                                                                                                                                                                   | 1  |
| 1-1 結構學的目的 1-2 結構的平衡條件 1-3 隔離體的基本技術 1-4 結構物的代表圖式 1-5 結構物的分類 1-6 梁—桁架—拱—懸跨 1-7 結構荷重的分類和組合 1-8 平面結構支承的種類和代表圖式                                                                                                                              |    |
| 第二章 結構穩定性的研究                                                                                                                                                                                                                             | 18 |
| 2-1 穩定和不穩定——自由度 2-2 危形結構 習題                                                                                                                                                                                                              |    |
| 第三章 靜定梁結構                                                                                                                                                                                                                                | 33 |
| 3-1 反力,彎矩,切力和軸向力 3-2 多孔靜定梁 3-3 多孔梁的數解法 3-4 荷重,切力和彎矩的相互關係 3-5 多孔靜定梁的圖解法 3-6 分成節間的梁 3-7 感應圖的定義 3-8 單孔梁的感應圖 3-9 懸臂梁的感應圖 3-10 多孔靜定梁的感應圖 3-11 有節間梁的感應圖 3-12 用虛功原理求感應圖的方法 3-13 用感應圖求最大應力 3-14 中華人民鐵道標準載重制 3-15 “中”載重的均勻換算載重 3-16 多孔靜定梁性能的討論 習題 |    |
| 第四章 靜定桁架結構                                                                                                                                                                                                                               | 86 |
| 4-1 桁架的理想情形 4-2 桁架穩定性的研究 4-3 桁架分析的節點數解法 4-4 桁架分析的節點圖解法 4-5 桁架分析的截面法 4-6 桁架的一般性分析法——通路法 4-7 用通路法鑑定桁架的穩定性 4-8 桁架應力感                                                                                                                        |    |

應圖 4-9 再分式桁架的應力感應圖 4-10 複式腹桿的桁架 4-11 用虛功原理求桁架應力感應圖 4-12 有反斜桿的桁架 4-13 簡支桁架性能的討論 習題

## 第五章 靜定拱型結構..... 155

5-1 前言 5-2 拱端反力數解法 5-3 拱骨彎矩,切力和軸向力的數解法 5-4 拱骨壓力線 5-5 有支承拉鏈桿的三鉸拱分析法 5-6 應力分析示例 5-7 三鉸拱分析的圖解法 5-8 拱的各種感應圖 5-9 桁式三鉸拱 5-10 混合式的靜定拱結構 5-11 靜定式懸跨結構 5-12 拱型結構的性能討論 習題

## 第六章 靜定立體桁架結構..... 189

6-1 前言 6-2 空間力系的平衡條件 6-3 立體結構的支承 6-4 靜定和穩定的條件 6-5 反力和應力的分析 6-6 通路分析法 6-7 塔架的分析 6-8 圓頂屋架的近似分析 習題

# 第 一 章

## 總 論

**1-1 結構學的目的** 在材料力學中，研究的問題是外力對於個別構件（梁、軸等）的影響。例如：拉長、壓縮、彎曲或扭轉和它們混合的作用。至於外力對於由各種構件組合成的結構物的影響，這便是結構學研究的主题。

結構學的目的，可以歸納起來說是：

- (1) 分析在外在原因下，結構物的各部應力和形變，
- (2) 研究結構物組織的規律和性能，
- (3) 就安全和經濟的觀點，研究結構物的合理化。

為達到這些目的，要依靠正確的理論和方法來作結構的分析。結構物的種類是不勝枚舉，結構學不可能敘述每一種類的分析方法，但是我們必須瞭解，所有的方法都出發於同一基礎。這基礎包含少數幾條原則：

- (1) 材料應力和應變的法則：例如彈性材料的彈性定律（虎克定律），
- (2) 力系的平衡，
- (3) 形變的幾何連續性。

對於個別種類的結構物，考慮它實際的情況，可以從這些原則裏，推演最為適當合理的分析方法來。所謂適當合理，那就是要能迅速精簡地解決問題，而答案的精確度是符合實際需要的。

這書的範圍，將討論所謂“靜定結構”物。分析這些結構物應力的方法，都出發於一個原則，這就是上述三個原則中的第二項：力系的平衡。

至於這些結構形變的分析，那就跟材料應力和應變間的法則有關。還有所謂“超靜定結構”分析的基礎，是建築在上述全部三個原則上的。這些都不在本書討論範圍之內，而將列為超靜定結構學的內容。（見拙著：超靜定結構學）

**1-2 結構的平衡條件** 上節既說明力的平衡是靜定結構學的最基本原則，雖然這問題在應用力學課程中已反覆詳盡的研究過，這裏仍有必要作一個極概括的敘述。

結構物在力系作用之下，必須能維持平衡，這是完成任務的最主要條件。這力系當然包括一切作用在結構上的荷載：外力、本身自重和支承的反力。按力學的方法，任何力系都可以合成一個單力和一個力矩，平衡條件即要求這單力和力矩等於零。用方程式來表示，這就是：

$$\left. \begin{array}{lll} \Sigma X = 0, & \Sigma Y = 0, & \Sigma Z = 0 \\ \Sigma M_x = 0, & \Sigma M_y = 0, & \Sigma M_z = 0 \end{array} \right\} \quad (1-1)$$

其中  $X, Y, Z$  是各力沿三個座標軸方向的分力， $M_x, M_y, M_z$  是各力對於三個座標軸的力矩。在平面力系中，平衡條件可簡化成下列三個方程式：

$$\Sigma X = 0; \quad \Sigma Y = 0; \quad \Sigma M = 0 \quad (1-2)$$

其中  $M$  是各力對於力系平面中任何某定點的力矩。

凡是祇由平衡條件即可分析結構的應力和形變的，叫作靜定結

構。倘還需其他條件(形變幾何條件)的屬於超靜定結構。

**1-3 隔離體的基本技術** 將上述平衡條件應用在結構力學的分析中,有一個根本的技術,就是利用隔離體的方法。這技術的基本概念如下:倘將結構物某部份和其他部份隔離,則在隔離的截面上,必然有其他部份給予的反力,此項反力,就是結構在這截面上的內應力或聯繫力,它和隔離體上其他外力必須能維持平衡,所以,將平衡條件應用在這隔離體上,就可能求出這內應力或聯繫力。

試舉一個最簡單的例子:一

根兩端支承着的梁,如圖 1-1

(a)倘將它和支承隔離起來,

而在隔離的處所放上三個相

當於支承控制情形的聯繫力,

像圖 1-1(b)。引用方程

(1-2) 就可以求出這三個力

的數值。這三個力既和外力

$P$  維持平衡,它們當然就等

於圖(a)梁的反力了。

又若要分析這梁在  $S$  截面

中的應力,那我們就在  $S$  作

一截面,將梁右部隔離起來

如圖 1-1(c)。要使這隔離體和沒有隔離前的情況相同的話,則  $S$  截面上一定有一聯繫力  $F$  作用着,這  $F$  力和隔離體上其他二個外力( $P$  和  $R_B$ )必須維持平衡,這就可以引用平衡條件來肯定  $F$  的性

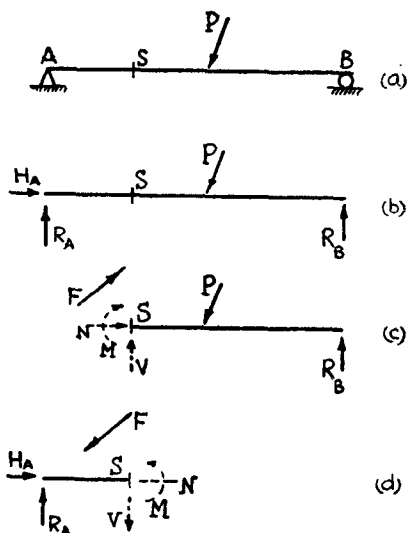


圖 1-1

質。試再將  $F$  力在  $S$  處分解成三個分力： $M$ ,  $V$ ,  $N$ ，這就是所謂  $S$  截面的應力：彎矩切力和軸向力。在這裏應該注意的，倘考慮這梁  $S$  截面左部隔離體的平衡，如圖 1-1(d) 所得的結果是完全一樣的。這理由不難想像，因為梁的整體既是平衡的，右部隔離體給左部的作用，當然就等於左部給右部的反作用。

關於隔離體方法的基本概念，必須能正確掌握，以後到處都將應用到它。

**1-4 結構物的代表圖式** 即使是最簡單的結構物，倘仔細研究起來，它的實際情形，常常是非常複雜。我們分析的對象，只能將它化成簡單的代表的圖式。

使這些圖式有很好的代表性，必須滿足二個條件：第一是由它分析所得的結果必須和實際情形越相符合越好，第二是它必須使分析能充分的簡化。

例如：一根橫梁〔圖 1-2(a)〕兩端擱置在牆上，中間掛着一個重

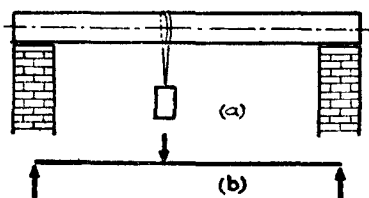


圖 1-2

物，這雖是一個最簡單而原始的結構物，但是倘一定要按照實際情形來分析它，那末首先遭遇的困難，就是兩端的反力，就無法肯定，因為反力必定分佈在牆的寬度上，而分佈的情

況是難以知道的。現在假定它的分佈是均勻的，這就是假定反力作用在牆寬的正中，同時倘用梁的軸線來代表梁的本身，我們可以得到圖(b)的代表圖式。這圖式的結構是很容易分析的，而所得的

結果是可以保證和實際情形相當符合。因為倘若上述反力均勻分佈的假定不太正確，使梁的計算跨度  $L$  和實際情形有些出入，但是在計算中，我們可以發覺只須這種差誤和  $L$  比較起來是很小的時候，它對於反力和應力分析的影響是微不足道的。

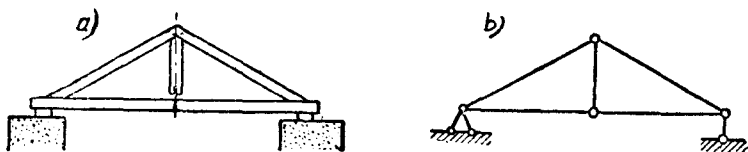


圖 1-3

又如圖 1-3(a) 的桁架，在計算中用的代表圖式是圖 1-3(b)。各個桿件啣接的地方都假定作為鉸接，而下面那根通長的橫梁，竟由二根鉸接的拉桿代替。所以這樣做，是因為它的代表性是可以滿足前述的二個條件的。

**1-5 結構物的分類** 結構分析的對象既是實際結構的代表圖式，這些圖式可以用不同的觀點作如下的分類：

(I) 從幾何的觀點作分類：

A. 實體結構——結構截面的尺度，較之結構的長度相仿，亦即結構三向的尺度都相等的重要，這類結構的穩定，大都依靠材料本身的重量和耐壓強度，例如磚石和混凝土等。圖 1-4 的擋土牆和橋台就屬這

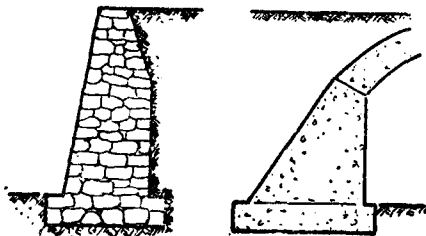


圖 1-4

一類的結構。

B. 薄壁結構——結構的厚度較之寬度和長度是遠為薄小，例如各種板形和殼形的結構如圖 1-5 所代表的。這類結構的材料大都由木料、鋼鐵或鋼筋混凝土構成。

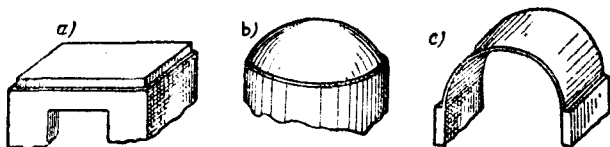


圖 1-5

C. 架成結構——結構係由一個或多數構件組成，而這些構件的截面尺寸，較之它的長度是遠為細小的。材料大都是鋼鐵、木料或鋼筋混凝土。本書處理的對象，主要屬於這一類型。

從架成結構組織的方式又可分作兩類：(a) 立體結構和(b) 平面結構。

當結構桿件和所作用的外力都可以視作在同一個平面內的，就是平面結構。反之即屬於立體結構，例如圖 1-6 所示的圓頂屋

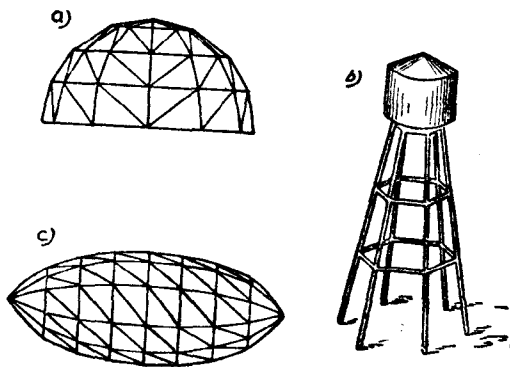


圖 1-6

架,水塔塔架和飛艇構架等都是立體結構。

事實上,大部結構物都是立體的,但是因為各部組織的相互關係,和荷重的傳達的途徑,常常可以使分析者將它們分解成幾個平面結構以使計算簡化,同時結果却適當的可靠。試將圖 1-7 的工廠房架為例,在計算時,可以將它分解成兩類平面構架: 檣架(1)和橫桁架(2)。後者是看作由檣架承托的平面構架。它將屋頂的荷重傳達到檣架上。

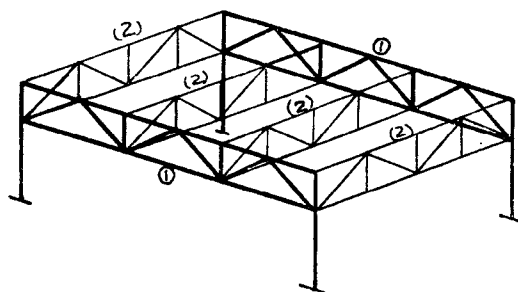


圖 1-7

(II) 從桿件啣接的方式上作分類:

A. 剛架——這類結構的組成桿件是相互剛接的,這就是啣接的方式是有完全連續性的。所謂接點有完全連續性,就是各桿件在啣接端是不可能有任何相對移動和轉動的意思。各桿件的主要性能是和梁相似,亦即主要的應力是彎曲應力,雖然也存在着軸向

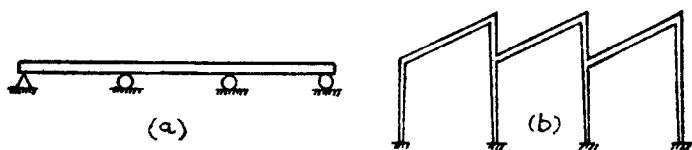


圖 1-8

應力和切應力，但往往它們是比較次要的。一般說來，剛架的分析是超靜定的，所以不在本書範圍內。圖 1-8 所示的連續梁和房架即是代表這類型的。

B. 桁架——這類結構的桿件是相互鉸接的。鉸接是指只有移動連續性的鉸接。各桿件的鉸接端不能有相對的移動，但是在受荷重後結構發生形變時，桿件間的角度可以自由變動。因此桿件的主要性能是抵抗拉力或壓力，理想桁架的桿件是沒有彎應力的。桁架分析可能是靜定或是超靜定，這隨桿件組成的佈置而定。圖 1-9 表示幾種常見的靜定桁架。

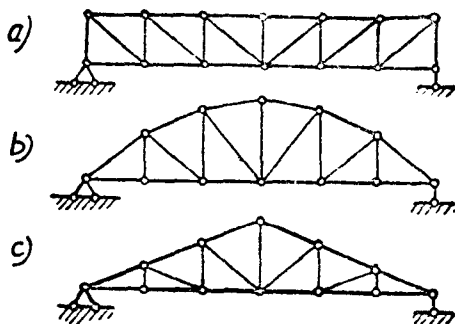


圖 1-9

C. 混合構架——桿件的鉸接是兼有剛接和鉸接時，叫做混合構架，圖 1-10。

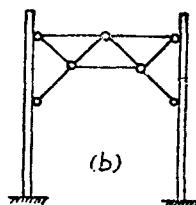
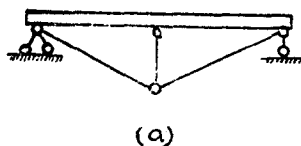


圖 1-10

## (III) 從支承反力的方向作分類：

A. 梁型結構<sup>(1)</sup>——凡各種梁或桁架，在豎向荷重作用下它的支承情況，使它們祇發生豎向反力的屬於梁型結構，如圖 1-11。

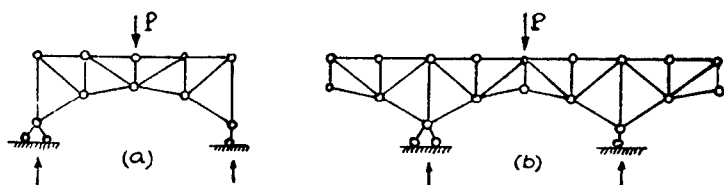


圖 1-11

B. 拱型結構——凡結構在豎向荷重下，支承的反力，將有水平向的分力發生的叫作拱型結構，例如圖 1-12 的各種拱型結構。

注意拱的水平反力在正常情形下(即豎向往下的荷載作用下)

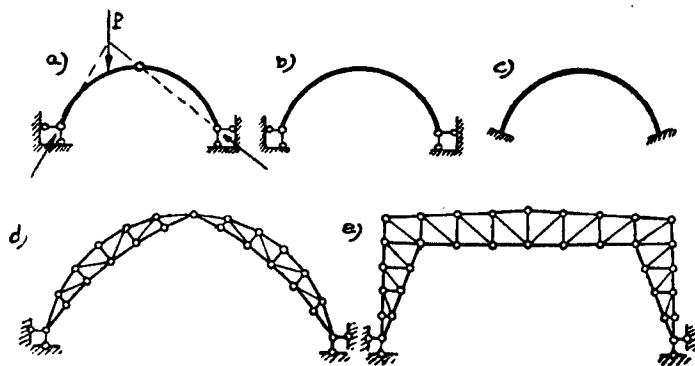


圖 1-12

(1) 這種分類觀點是蘇聯學者較為獨特的見解，它們將結構分為兩類。

(A) Безраспорные системы 和 (B) Распорные системы，在英、法、德文中均無恰當的譯名。倘直譯應作 (A) 無水平向反力的結構和 (B) 有水平向反力的結構，今姑意譯為梁型和拱型結構。