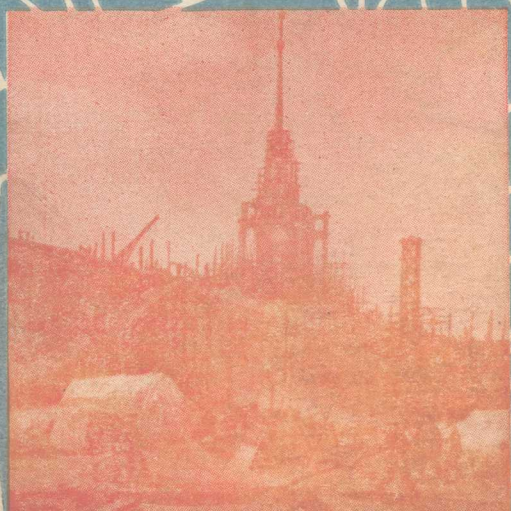




超靜定結構力學

上冊

徐次達編譯

大東書局出版

TU322
3

超靜定結構力學

(上 冊)

徐 次 達 編 譯

大 東 書 局 出 版

本書係根據 А. В. Дарков и В. И. Кузнецов: Статик Сооружений、И. П. Прокофьев: Теория Сооружений часть II、А. Р. Ржаницын: Расчет Сооружений с Учетом Пластических Свойств Материалов 等編寫而成。書中清楚明瞭地介紹了蘇聯分析超靜定結構的方法——力法、變形法、混合法、焦點法及按照極限荷重的分析法等。爲了結合我國實際的情況，書中又扼要地介紹了彎矩分配法。

本書可以供高等工業學校土木及建築有關專業採用作爲教本或參考書；又可供從事實際的土木工程或建築工程的工作同志作爲參考之用。

徐次達編譯

*

1954 年 10 月發排(務本排) · 1955 年 1 月上海第一版

1955 年 2 月上海第一版第一次印刷(0001—2000 冊)

書號: 5181 · 762 × 1066 耗¹/₂₅ · 157 千字 · 8²²/₂₅ 印張 · 定價 13,000 元

*

大東書局(上海山東中路 201 號)出版

上海市書刊出版業營業許可證出〇四三號

上海圖書發行公司(上海山東中路 128 號)總經售

導文印刷所印刷

序

凡是接觸到蘇聯教材的，必然都會感覺到它們有許多特出的優點。這些優點歸納起來，主要的有下列幾方面：(1)目的性非常明確；(2)內容非常豐富；(3)系統性非常強；(4)重點顯明突出；(5)理論和實際能夠結合；(6)適合於學習認識的心理過程；(7)具有啓發思考的力量；(8)結合愛國主義教育精神。蘇聯教材的這些優點，就是蘇聯社會主義社會制度的優越性在文化教育事業方面的一種優秀的表現；這是我國教育工作者急待學習效仿的藍本，以作為今後為培養祖國建設人才編寫教材的正確的指標。

但是根據我個人的教學經驗和我所知道的若干教研室教學工作的經驗總結，認為把全套的蘇聯教材原封不動地去授給學生，往往不可能達到十分的成功，這是由於我國國內的一般情況和蘇聯國內的情況不是完全相同的。兩個國家彼此在建設需要方面、在科學技術水平方面、在教育制度上、在教學條件上以及在學生的學習基礎方面都有一些距離和差別。這些距離和差別也就決定了一般學生對於整套的蘇聯教材的接受和消化的能力。因此，針對着這樣的現實，在我國高等教育工作方面，便存在着極需編撰一套，一方面既要能切實貫徹蘇聯先進科學技術的理論經驗的精神實質；另一方面又要能考慮到我國建設需要和照顧到我國學生學習現況的教材的問題。

再說，蘇聯對於超靜定結構物的分析法大大勝過於英、美資本主義國家的超靜定結構物分析法。據我個人膚淺的體會，蘇聯對於分析超

靜定結構所持的主要精神是：(1)理論嚴密但並不複雜；(2)分析崇尚準確，但計算力求簡單；(3)分析步驟條理清楚容易記憶；(4)控制計算極其嚴格，保證計算結果正確無誤；(5)分析方法種類較多，可供適當的選擇。而且，蘇聯在利用材料塑性性質分析超靜定結構方面的優秀的成就，更非英、美資本主義國家所能望其脊背。所以對於從事實際土木工程工程師和工作同志來講，蘇聯超靜定結構物的分析法是非常理想和實用的。

本書是編者根據了個人在教學上的一些經驗，參照了幾本蘇聯有關超靜定結構力學的著作，結合了一些我國實際的情況編寫而成的。在編寫的時候，竭力想做到能够保留原著作的系統性和原著作的細緻週詳切實淳樸的風格；同時，也考慮到我國學生的接受消化的能力和國家建設的需要。

在內容方面本書介紹了蘇聯對超靜定結構的主要的分析法——力法、變形法、混合法、焦點法和考慮材料塑性性質的分析法。
Chapter 7 P.132 Chapter 3, 6

因為在我國彎矩分配法還是應用得相當普遍，所以在本書中專開一章敘述彎矩分配法的理論和它的應用。在這一章裏面編者曾力求其精簡扼要，但又不放棄幾個重要的題材——連續梁、無節點移動剛架、有節點移動剛架、具有斜桿的剛架和變截面桿件剛架的敘述。

書中文字力求淺近明晰，使讀者能够易於深入瞭解並掌握內容。

書中每逢有新的題材的論述，必伴有比較典型的例題，作為充分瞭解的幫助和作為應用時的參考。

在習題方面，編者都選擇那些不太複雜、演算化時不多而富有代表性的題目適當地照顧到學習的時間，但又不妨礙理論的運用。讀者如果需要比較廣泛地接觸習題，請參考有關的結構力學習題集。書中的習題大部份都已經做就答數。

本書的大部份內容，曾經作為浙江大學工業與民用建築工程專業本科結構(二)的教材。根據同學普遍反映，認為所講授的教材，是易於瞭解和吸收的。如果講授時間較少(約少於65小時)，本書中的材料應該根據需要酌量加以減少。為了使學生在學習中不致超過學時起見，書中的習題應該酌量減少。

本書可以作為高等工業學校土木工程及建築工程教學或參考之用，也可以作為實際從事土木建築工程的工程師和工作同志參考之用。

本書的主要參考書如下：

- ✓ А. В. Дарков и В. И. Кузнецов: Статика Сооружений;
- ✓ И. П. Прокофьев: Теория Сооружений;
- Б. Н. Жемочкин и Д. П. Пащевский: Статика Сооружений;
- А. Р. Ржаницын; Расчет Сооружений с Учетом Пластических Свойств Материалов;
- И. Л. Кузьмин: Сборник Задач по Теория Сооружений;
- ✓ L. C. Maugh: Statically Indeterminate Structures.

編者個人能力有限，所以這本書的缺點是難免的。我誠懇地請求專家們及讀者們提出寶貴的意見和嚴格的批評。

本書承李恩良教授擔任校閱，謹在此誌謝。

徐 次 達

一九五四年六月於杭州浙江大學

目 錄

上 冊

第一章 緒 論	1
(1.1) 結構力學	1
(1.2) 結構計算圖的分類	3
(1.3) 平面結構的支承	5
(1.4) 超靜定結構的型式	8
(1.5) 超靜定結構的特性	10
(1.6) 超靜定結構分析方法的概要	13
第二章 結構的變形	16
(2.1) 概言	16
(2.2) 外力功	16
(2.3) 內力功(勢能)	19
(2.4) 虛功	26
(2.5) 變位的表示法	28
(2.6) 功的互等定理	29
(2.7) 變位的互等定理	31
(2.8) 變位的公式	33
(2.9) 溫度變位	38
(2.10) 定變位的簡便法	41
(2.11) 求結構變位舉例	46

(2.12) 定變位的彈性荷重法	50
(2.13) 剛架的彈性荷重公式	54
(2.14) 桁架的彈性荷重公式	59
(2.15) 由支座沉陷引起的靜定結構的變位	62
第三章 力法用於簡單超靜定結構	64
(3.1) 超靜定	64
(3.2) 力法的典型方程式	69
(3.3) 基架的選擇	71
(3.4) 簡單超靜定結構計算	73
(3.5) 彎矩圖、切力圖和軸力圖的作法、圖的校核	82
(3.6) 結構的彈性重心	85
(3.7) 溫度變化所產生的結構的力	90
(3.8) 支座沉陷所產生的結構的力	92
(3.9) 簡單超靜定結構的感應線	98
(3.10) 感應線的描繪	104
第四章 連續梁的計算	108
(4.1) 三力矩定理	108
(4.2) 固定端的處理	115
(4.3) 連續梁的彎矩、切力和支點反力的一般公式	116
(4.4) 熱與支座沉陷對於連續梁的影響	121
(4.5) 變截面梁的處理	124
(4.6) 力法分析變截面連續梁	126
(4.7) 焦點法	132
(4.8) 彎矩範圍圖	142
(4.9) 連續梁的感應線	144

第五章 超靜定拱和拱版·····	154
(5.1) 拱和拱版的特性、軸線·····	154
(5.2) 拱的截面的變化·····	155
(5.3) 無鉸拱的基架·····	157
(5.4) 數字積分法分析無鉸拱·····	158
(5.5) 溫度變化和混凝土收縮對於無鉸拱的影響·····	190
(5.6) 計算拋物線無鉸拱版的解析法·····	193
(5.7) 雙鉸拱·····	200
(5.8) 解析法分析拋物線雙鉸拱·····	202
(5.9) 數字積分法分析雙鉸拱·····	207
(5.10) 具有拉桿的雙鉸拱·····	209

第一章 緒 論

(1.1) 結構力學

什麼叫做結構？

從廣義方面來說，人爲了要克服自然和利用自然，依靠勞動所創造的一切物體，統可以稱爲結構。但是從近代的工程觀點來講，結構並不是那樣包羅萬象的一個籠統的名詞。這是以一種或多種的工程材料，考慮了它的性質，按照合理的方式，通過了適當的勞動，組成一個既是穩固耐久能夠達到預定的目的，且又合乎經濟原則，費用很爲節省的一個整體性的物體。

這樣所稱的結構範圍還是很廣泛的，舉凡一切工程建築構造莫不羅列在內，如房屋、橋樑、堤壩、塔架、舟車、飛機、機器……等結構都可包括在內。但尋常所稱的結構，除非已另冠以頭銜，主要地乃是指固定於地面的建築物的抗力組織，如房屋結構、橋樑結構等。這些結構物的特點是體積和重量都非常龐大、用材浩多、組織一般地較爲複雜、所化的勞動力數量可觀，所需費用甚爲鉅大。從事於這些建築物規劃及施工的工作人員，於是不得不竭精殫慮精打細算，一方面務使結構物能夠穩固耐久，當建築物即使處於最危險的情形下亦能安全存在，並能產生預期的作用；另一方面又須經濟節約，務使以最低的費用，造成最穩固、最耐久和最合乎理想的建築物。

結構力學是這樣的一門科學：主要地從事於研討、計算各種結構物

在危害結構的因素作用下所呈現的穩定性、強度和剛度的原理及方法。

所謂危害結構的因素，乃指作用於結構的一切力量——重力、水力、風力、慣性力等；以及致使改變結構形狀的因素——溫度、支座沉陷、材料收縮等。

當結構的全部以及其任何一個部份，除了在相當因素作用之下發生微小的變形之外並無任何機動自由的可能時，則這樣結構可稱爲是具有穩定性的。結構的強度乃指結構各部份相應於相當因素作用下所發生的應力。結構的剛度則指結構的整體以及其各個部份相應於相當因素作用下所發生的變形。

設計新的結構的時候，爲了要保證結構在致使結構發生危害的最嚴重的情況之下，能够安全存在起見，應該預先計算結構的強度和穩定性。計算結構剛度的目的，是爲了使結構在危害因素作用之下，並無大量變形、沉陷及發生振動的可能。有了這些現象，會使得結構發生破壞，並且從結構的運用方面來着想，也是不適宜的。

對於已經築就的結構，有時必須估計它在新的不利因素作用之下的工作狀態，以便限制外界力量的作用，或者加以適當的增強。

總之，結構力學主要在於研究結構物在危害因素作用之下的安全性及其內部的應力和變形的情况。

廣義的結構力學應該包括材料力學、彈性理論、塑性理論和狹義的結構力學在內。狹義的結構力學主要從事於研討桿件組成的結構的計算理論。材料力學則爲一般從事於研究簡單桿件的受力的理論。在材料力學與狹義的結構力學中都設法利用比較簡單的數學工具來解決問題。相反地，在彈性理論中分析同樣的問題時則力求精密和準確，因此不得不應用較爲高深的數學來解決問題。

晚近，研究塑性物體及彈塑性物體的應力和變形的塑性理論，已自

臻於完善，這就替結構分析提供了一種異於彈性分析的新穎的計算方法——求結構的極限荷重。於是結構力學在這一方面便須借重於塑性理論。

我們現在所稱的結構力學乃指狹義的結構力學。

無疑地由於不斷的發展，結構力學的領域日益擴大。近代的結構力學，不僅需要解決結構中的靜力學問題，並且關於結構的機動學及動力學的問題，也漸漸地被注意起來。

必須明瞭，結構力學決不是一種純粹數學性的課程。既然，結構力學乃是來研究由實際工程材料所組成的結構物的強度和剛度的，所以從理論中所得到的結論，必須依靠模型實驗或是依靠已經存在的結構的實際觀察和研究的結果來加以證實。

沒有經過試驗階段加以證實的理論是可疑的，不能貿然加以採納，祇有經過試驗證明與實際相符合的理論才是可靠的。

(1.2) 結構計算圖的分類

一個真實的結構物是相當複雜的。如果要求嚴格地精確地去考慮結構各部份的真實情況及其間的相互作用而加以計算，那會使計算工作達到非常複雜的程度，以致無法進行，或竟完全不可能進行。

為了簡化計算工作，我們不得不放棄結構中的次要但實際的因素，而祇考慮結構中最重要的情況和必要的條件。這些情況和條件，如果通過了計算簡圖來表示，也就代替了原有的結構。利用計算簡圖來表示原有結構時，必須略去那些次要的因素；但對於必須解決問題的重大的因素和條件，卻必須明確地表示出來，不得遺漏。

結構力學中的計算，實際上就是借助於結構計算簡圖的計算，此後我們將稱呼計算簡圖所表示的結構為“結構”而不加以區別。

按照計算方法上的特點，結構可從下列幾方面加以分類。

按照幾何觀點，結構可分為三個類型：

(1) 桿件結構 結構由桿件組接而成。所謂桿件乃指長度較大，寬度和高度都比較小的物體。

(2) 薄版結構、殼體結構 結構由長度和寬度都比較大，而厚度比較小的構件所組成的。

(3) 實體結構 結構中所有長、寬、高三個尺度都是同一級量的，如基礎、堤壩之類。

桿件結構又可以分為兩類，平面結構及空間結構。組成結構的桿件的軸線和外力作用線都處在同一個平面上的結構稱為平面結構。如果軸線和外力作用線，都不處在同一平面上時，則稱為空間結構。實際的結構多屬於空間結構，在計算的時候，可以將空間結構拆開成為幾個平面結構再分別加以考慮，但也不是每一種空間結構都可被拆成為平面結構再加以分析的。

在桿件結構中尚可按照各桿件聯接的方式分為：(1)剛接的；(2)鉸接的；(3)混合的三種。在剛接的結構中桿件相互聯接之處，假定是非常之堅固的，這就是說，在任何情形之下，聯接處的桿件的軸線不能作相對的轉動。桿件剛接的結構稱為剛架。圖 1.1 示剛架的一個例子。在鉸接的結構中，假定桿件彼此都用並無摩擦力的鉸聯接起來，因此在聯接處鉸的桿件的軸線，可以自由地作相對的轉動。這種結構我們稱它

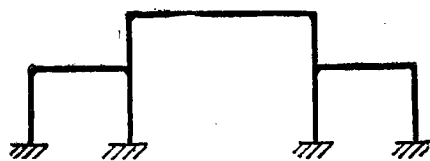


圖 1.1

為桁架。圖 1.2 示桁架的一個例子。若在一個結構上，桿件聯接的方式一部份是剛接而另一部份是鉸接，這樣的結構稱為混合結構。圖 1.3

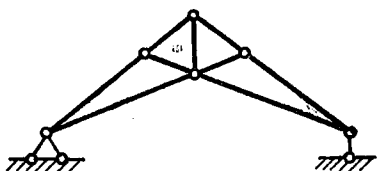


圖 1.2

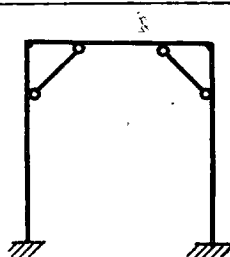


圖 1.3

示混合結構的一個例子。

按照支座反力的情況來分，結構可以分為有推力的結構和無推力的結構。如果一種結構在垂直方向的外力作用下會產生出水平方向的反力時，這種結構稱為有推力的結構，或可稱為拱式結構。反之，如果在垂直外力作用下，結構上祇有垂直方向的反力產生，則這種結構稱為無推力的結構，又可稱為梁式結構。

按結構計算所需應用條件來分，可分結構為靜定結構和超靜定結構。計算靜定結構的力，僅僅應用靜力平衡條件即可。分析超靜定結構的力和變形，卻不能僅僅應用靜力平衡條件而得到解決。分析超靜定結構，除了須應用靜力平衡條件之外，尚需應用與材料性質有關的結構的變形條件。在靜定結構中，維持結構成為穩定狀態的約束的數目，也就是限制結構機動自由的障礙的數目，乃是最少的和必需的。這也就是說，結構的約束的數目如果再較此為少，則結構便將變為機動的或不穩定的。在超靜定結構中，約束的數目多於維持結構穩定所必需的最少的約束數目。

(1.3) 平面結構的支承

使結構與地面或其他物體連接起來的介體稱為支承。

爲了要討論計算超靜定結構的力，我們必須明瞭各種支承的作用

及其代表圖式。

平面結構中所用的支承有下列幾種：

(1) 膨脹支承或鏈支承 這種支承容許連接於地面(或其他物體)的結構作轉動和作一個方向的移動。

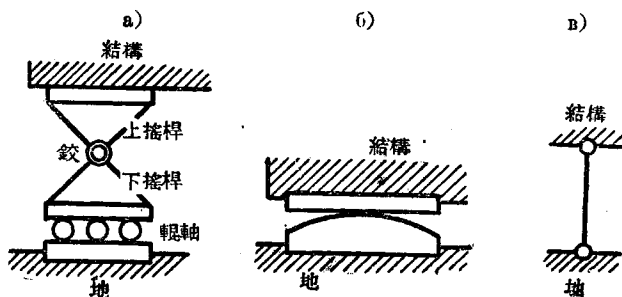
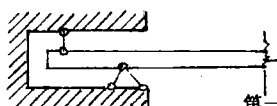


圖 1.4

圖 1.4 a 表示膨脹支座的一種型式。結構裝支承的部份與上搖桿固定在一起，上搖桿通過了一個沒有摩擦力的鉸與下搖桿連接起來。下搖桿的底平面擱在一羣可以滾動的軋軸上；這些軋軸又擱在與地固定的墊板的平面上。在這種裝置的情形下，與支承連結的結構可以自由轉動，也可以沿水平方向作移動。惟一受到約束的就是不能作垂直方向的移動(我們假定這些軋軸也可以阻止結構作向上移動)。圖 1.4 b 示膨脹支承的又一種型式。結構與地面通過兩塊鈹連在一起。因為一塊鈹的面是曲的，所以結構可以自由地作小角度的轉動。又因為與結構相連的平鈹可以在與地固定的曲鈹上自由滑動。所以結構可以在水平方向作移動，但結構在垂直方向不能移動。

因為膨脹支承使結構在垂直於地的方向受到了移動的約束，所以支承在垂直方向具有反力。膨脹支承的反力的方向永遠和結構的移動平面的方向垂直。

(續本頁注脚) 準此, 尚出也可以同這種全式表示



膨脹支承可用一根垂直於移動平面的鏈桿來表示(圖 1.4 B), 鏈桿的方向就是反力的方向。鏈桿的長度想像地等於無窮大。在這樣情形之下, 結構祇在一個方向有移動的可能。

這樣一個膨脹支承容許所連接的結構有兩度運動的自由——一個方向的移動和轉動, 它具有一個反力——方向垂直於移動平面。膨脹支承也可稱為鏈支承。

(2) 鉸支承 這種支承祇容許所連接的結構作轉動, 不容許結構作任何方向的移動, 因此它具有兩度阻止結構作移動的約束, 也就是它具有二個反力。它的作用相當於兩根交叉成角的鏈桿, 所以它的代表圖式如圖 1.5 6 和 B 所示。

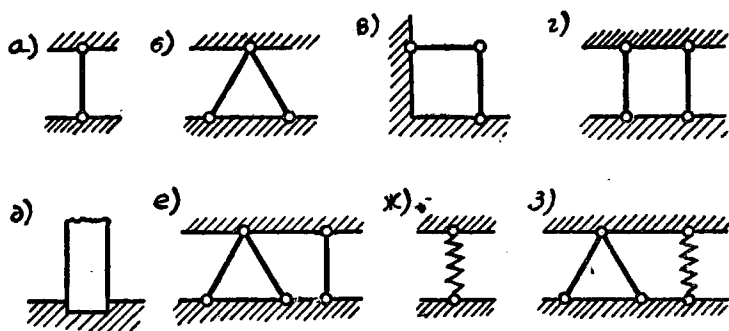


圖 1.5

(3) 定向支承 這種支承祇容許連接的結構部份作一個方向的移動, 不容許結構作轉動及作另外一個方向的移動, 所以它具有兩度約束, 也就是具有一個反力和一個反力矩。它的作用相當於兩根平行的鏈桿, 代表圖式見圖 1.5 r。

(4) 固定支承 使結構與地面(或其他物體)固接, 完全阻止移動和轉動的約束稱為固定支承(圖 1.5 д)。它同時具有一個鉸支承和一個鏈支承的作用, 所以它的代表圖式如圖 1.5 e 所示。也即是可用三根不互相平行也不同時交於一點的三根鏈桿來表示 [武漢水利電力學院《結構力學》P. 11 查 1-13 (b)]



(續見頂注)

(5) 彈性支承 彈性支承也容許結構作轉動或移動，但轉動角度的大小或移動距離的大小將與支承反力成正比；而與支座的剛性成反比。彈性支承的代表圖式見圖 1.5 和 3。

(1.4) 超靜定結構的型式

通常所遇到的超靜定結構，主要可分為下列六種：

(1) 超靜定梁 多跨連續梁和一端鉸支，一端固定或兩端都固定的單跨梁，都屬此(圖 1.6)。

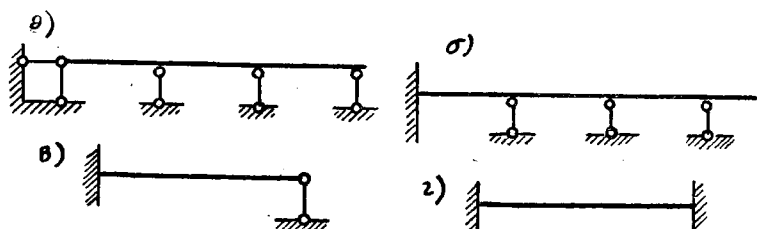


圖 1.6

(2) 超靜定剛架 由多數桿件剛接而成的超靜定結構(圖 1.7)。這類結構的特點是在桿件之內一般地有彎矩、切力和軸力三種內力存在^①。但是，往往切力和軸力僅占次要的地位；結構中主要的內力是彎矩，它使結構桿件發生彎曲的作用。

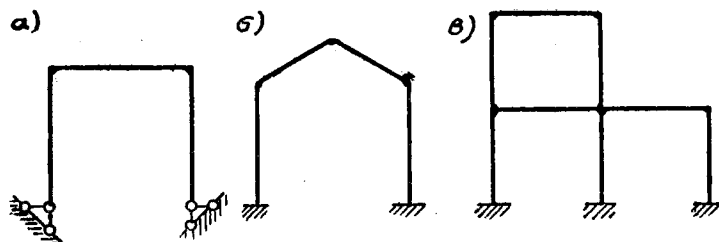


圖 1.7

① 如果考慮扭轉的問題，便有扭轉的力矩存在。