

402532

初等結構理論

Elementary Theory
of Structures

原著者：謝 元 裕

譯述者：趙 大 川

修 訂 版

科技圖書股份有限公司



402532

0098885

初等結構理論

Elementary Theory
of Structures

原著者

譯述者

修



科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：初等結構理論

原著者：謝元裕

評述者：趙大川

發行人：趙國華

發行者：科技圖書股份有限公司

台北市博愛路185號二樓

電話：3110953

郵政劃撥帳號15697

六十四年七月初版
七十年三月修訂十二版
特價新台幣110元

原 著 者 序

本書爲土木工程用之初等結構理論 (Elementary theory of structures)。在編寫時，假定讀者對此尙未研習過，首先的七章是講結構的基本觀念與靜力可定結構之分析。第八章講彈性變形，第九至第十五章則講靜力不可定結構，包括相合變形法、最小工作法、斜坡撓度法（偏角法）與力矩分配法。第十六章介紹矩陣代數概要，其內容以足夠研讀本書最後兩章之用。最後兩章統一討論依有限元件法用矩陣分析結構。由於本書是初級程度，只講由一般理論運用矩陣之法而不涉及計算機程式之詳細部分。

習初等結構學並不困難，所涉及之高等數學部分極少，書中大部分只用算術與高中代數知識。但吾們又可說，這些結構理論是不太容易懂，其中常有些需要細心研讀，才能徹底瞭解其基本哲理。作者竭盡所能就結構之基本理論作清晰而易懂的敘述。將基本理論安排成有系統的程序，附入例題以說明如何應用於普通常遇之結構如樑、桁架與剛架等。

本書之主要目的雖爲在教室作教本而寫；但亦可作爲結構及建築工程師們自習之用。

謝辭從略。

Y. Y. H.

謝元希

譯者序

本書在美洲行銷極廣，除英文本外已譯成西班牙文。余在加拿大工作得讀此書，知爲國人所著，經探詢得知爲謝師元裕之大著格外興奮。離國萬里得讀此書，如坐春風，快何如之。北地苦寒，冰雪連天，工程停滯四月始消，得有餘暇細讀，獲益良多。繼思國內尚乏善本，乃不顧力薄着手翻譯，兩閱隆冬而稿成。馳書家嚴請求修潤，蓋離國日久筆耕早荒，唯恐辭不達意耳。頃得家書已將譯稿校訂付梓，了此心願引以爲樂。

譯述者 趙大川

加拿大溫哥華，一九七五，六月

修訂版誌言

本書自去歲七月出版後，曾將拙譯呈請 謝師指正。半月得謝師親筆訂正稿，拜讀之下，深爲感激。使本書內容能完全符合原著精神，並承將原書誤植各處逐一見示，分別給予糾正。使拙譯脫胎換骨成爲更佳的版本。愛護後學，宅心仁厚、無微不至。譯者羈身海外，能得師長額外栽培，衷心至感。由於此書之創例，使後學者得一中文最佳譯本，則其拜受先輩之賜，實非譯者一人而已。敬誌經過如上。

譯述者 趙大川
時在一九七六，六月

目 錄

第一章 導論

1-1	工程結構	1
1-2	結構學內涵	2
1-3	結構分類	3
1-4	實際與理想之結構	4
1-5	本書範圍	4

第二章 結構之穩度與可定性

2-1	共面力系之平衡方程式	6
2-2	支承反力	9
2-3	結構斷面之內力	12
2-4	條件或構造方程式	14
2-5	結構被視為整個剛體，對支承的穩度與可定性	14
2-6	結構之一般穩度與可定性	18
	習題	28

第三章 靜定樑

3-1	概 論	31
3-2	靜定樑之分析	32
3-3	虛功原理與樑之分析	41
3-4	載重、剪力與彎矩間之關係	49
3-5	數值例題	53
	習題	57

第四章 靜定桁架

4-1	概 論	59
4-2	簡單桁架之分析：結點法與斷面法	63
4-3	組合桁架之分析：混合法	68
4-4	複式桁架之分析：置換構件法	73

4-5	橋樑與屋架之一般敘述	77
4-6	傳統式之橋架與屋架	79
	習題	81
第五章 靜定剛架與組合結構		
5-1	剛結點	86
5-2	靜定剛架之分析	86
5-3	靜定組合結構之分析	92
5-4	靜不定結構之近似分析	95
	習題	99
第六章 靜定結構之影響線		
6-1	影響線之概念	102
6-2	影響線之應用	105
6-3	靜定樑之影響線	107
6-4	用虛功法畫樑之影響線	113
6-5	縱樑與橋面樑系	119
6-6	具橋面樑系之鉸樑影響線	123
6-7	靜定橋桁架之影響線	124
	習題	131
第七章 移動集中載重：最大值準則		
7-1	概論	134
7-2	影響線呈  形函數之最大值準則	134
7-3	影響線呈  形函數之最大值準則	135
7-4	影響線呈  形函數之最大值準則	139
7-5	影響線呈  形函數之最大值準則	142
7-6	絕對最大彎矩	143
	習題	145
第八章 結構之彈性變形		
8-1	概論	147
8-2	彈性線之曲率	147
8-3	外功和內功	150
8-4	虛功法(單位載重法)	152

8-5	卡氏第一定理.....	166
8-6	共軛樑法.....	174
	習題.....	180

第九章 用相合變形法分析靜不定結構

9-1	概論.....	183
9-2	用相合變形法分析靜不定樑.....	185
9-3	用相合變形法分析靜不定剛架.....	195
9-4	相合變形法分析靜不定桁架.....	197
	習題.....	203

第十章 用最小工作法分析靜不定結構

10-1	概論.....	205
10-2	用最小工作法分析靜不定樑.....	206
10-3	用最小工作法分析靜不定剛架.....	211
10-4	用最小工作法分析靜不定桁架.....	215
10-5	用最小工作法分析靜不定之組合結構.....	217
	習題.....	220

第十一章 靜不定樑之影響線

11-1	馬克斯威氏相反撓度定理.....	222
11-2	倍帝氏定理.....	223
11-3	用撓曲結構作影響線法—慕拉勃萊斯勞氏原理.....	224
11-4	影響線之描法.....	226
11-5	數值例題.....	230
11-6	用相合變形法求靜不定結構影響線之縱坐標.....	237
	習題.....	238

第十二章 用斜坡撓度法分析靜不定樑及剛架

12-1	概論.....	240
12-2	基本斜坡撓度方程式.....	240
12-3	斜坡撓度法之分析步驟.....	245
12-4	用斜坡撓度法分析靜不定樑.....	250
12-5	用斜坡撓度法分析結點不移動之靜不定剛架.....	253
12-6	用斜坡撓度法分析結點移動之一自由度靜不定剛架.....	255

12-7	用斜坡撓度法分析結點移動之二自由度靜不定剛架	260
12-8	用斜坡撓度法分析結點移動之多自由度靜不定剛架	266
	習題	267

第十三章 力矩分配法：結點不移動之力矩分配法

13-1	概論	270
13-2	固定端力矩	271
13-3	勁性、分配因數與結點受外力矩之分配	271
13-4	傳遞因數與傳遞力矩	274
13-5	鎖着與放鬆的步驟：單一結點	276
13-6	鎖着與放鬆的步驟：兩個或兩個以上結點	280
13-7	修改勁性	285
	習題	289

第十四章 結點移動之力矩分配法

14-1	概論	291
14-2	由結點移動所產生之端點力矩	294
14-3	用力矩分配法分析結點移動之一自由度靜不定剛架	295
14-4	用力矩分配法分析結點移動之二自由度靜不定剛架	303
14-5	用力矩分配法分析結點移動之多自由度靜不定剛架	310
14-6	用力矩分配法求影響線	312
14-7	用力矩分配法求桁架之次應力	314
	習題	316

第十五章 非稜體構件靜不定樑及剛架之分析

15-1	概論	318
15-2	固定端力矩、勁性與傳遞因數之積分式	319
15-3	用共軛樑法求固定端力矩、勁性與傳遞因數：數值解法	322
15-4	勁性與傳遞因數間之關係	326
15-5	圖與表	328
15-6	修改勁性	329
15-7	由結點移動所產生之固定端力矩	332
15-8	數值例題	333
15-9	斜坡撓度方程通式	338
	習題	340

第十六章 結構用矩陣代數

16-1	概 論	342
16-2	矩陣之定義與符號	342
16-3	相等、加法、減法與純量之乘法	345
16-4	矩陣乘法	347
16-5	矩陣之分隔	350
16-6	乘積之轉置	351
16-7	逆矩陣	352
16-8	用連續變換求倒置	356
16-9	解線性聯立方程式	357
	習 題	359

第十七章 結構之矩陣分析，用有限元素法： 第一部分：力法

17-1	概 論	360
17-2	結構之基本觀念	361
17-3	平衡力、力變換矩陣	363
17-4	相合性	365
17-5	力與位移關係，韌性係數與韌性矩陣	365
17-6	用力法分析靜定結構	370
17-7	用力法分析靜不定結構	375
17-8	分佈載重之處理	381
17-9	基元結構概念	385
	習 題	389

第十八章 結構之矩陣分析，用有限元件法： 第二部份：位移法

18-1	概 論	392
18-2	相合性，位移變換矩陣	392
18-3	力與位移間之關係，勁性係數與韌性矩陣	394
18-4	平 衡	398
18-5	用位移法分析結構	398
18-6	修改構件勁性矩陣之應用	409
18-7	直接勁性法	414

18-8	力法與位移法比較.....	416
	習題.....	417
	參考書目.....	419
	習題答案.....	421

第一章

導 論

1-1 工程結構

“結構”(structure)一詞具有許多不同意義。“工程結構”(engineering structure)通常是指某種構造物、或營建物而言。與土木工程有關之主要結構物計有橋樑、房屋、牆、壩、塔以及殼結構等。此種結構物之組成，是由一個或更多的固體元件經適當安排而成。使全部或局部在加載與解載時仍能保持穩固，不起任何顯著的幾何變形。結構物之設計牽涉甚廣，其中有兩個主要目的必須滿足：

- (1) 結構物必須合乎實際的需要。
- (2) 結構物必須能安全的負荷載重。

今就圖 1-1 中所示置於柱頂之屋架為例。此屋架與柱之設置目的，一方面是保持自重並與屋面載重、風壓及積雪呈平衡狀態。另一方面可提供居住空間，或作其他用途。本書僅討論結構物負荷載重之功能。

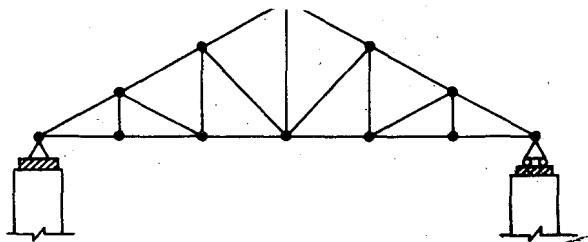


圖 1-1

1-2 結構學內涵

結構之完整設計計包括下列諸步驟：

1. 建立佈置概要：結構之佈置，係由許多可能的選擇中選出。最主要的事項是結構的任務要求，不論其作為居住、用以運輸，或在空間支承他物。其次，應加考慮的，乃經濟、美觀、法律以及財務上諸因素。
2. 載重的考慮：加於結構上載重之一般資料，通常可從規範書中得到。基本上指定載重條件與兼顧例外情形，乃為設計者之責任。就靜力（static）的考慮載重可分為：
 - (a) 呆重：呆重（dead load）為結構本身重量，並將其大小與方向視為固定。因載重在結構設計前須先假設，故最初之數據僅為假定。若與估計值不能相符，須加校正。
 - (b) 活重：活重（live load）分為可移載重與移動載重。可移載重（movable load）係指從結構上一處移到另一處之載重。例如人及樓板上的傢具。移動載重（moving load）係指在結構上連續移動的載重。如在橋樑通行之鐵道、列車或卡車等。
 - (c) 衝擊力：衝擊效應，經常與移動載重相關。在結構設計上，若活重作為逐漸加上的靜載重處理，則衝擊力（impact load）可視為活重的一種增加量。
3. 應力分析：外加载重一旦確定，則必須用應力分析（stress analysis）以計算各構件之內力，有時稱為應力（stresses）。當涉及活重時，須特別注重每一構件中之最大可能應力，為此，不但要知何種載重並應知道載重置在何處。
4. 構件選擇：材料之選擇與構件之尺寸，應根據第3步並由規格與規範所列諸規定定得。
5. 製圖與細節：在結構各部之構造決定後，最後一步為畫圖，並作細部說明以為營造之藍本。

結構學之主題在應力分析，間亦旁及載重問題。結構學所強調的，常是設計的基本法則而非設計細部。

1-3 結構分類

結構學，可由各種不同觀點予以分類，茲為方便起見，可用下列諸觀點區分之。

1. 靜力學與動力學：普通結構，通常用靜載重設計之。呆重及雪壓均為靜載重，因其對結構並不起動的效應。而活重如卡車及火車在橋樑上移動，亦均假設為集中靜載重系。彼等對結構實起衝擊，然此種動力效應，遂作移動載重的百分之幾以簡化設計。

研究結構的動力效應，諸如加速移動載重、地震力、暴風，或爆炸等這一門專科，稱謂結構動力學（structural dynamics）。

2. 平面與空間：實際上結構是非平面的。但在樑、桁架或剛架等結構分析時，雖其本身並不是二度空間，通常均視作平面問題來處理，此外某些結構，如塔、穹窿等其不同平面構件之應力互相關連，以至其分析無法根據平面結構分量為基礎而予簡化。此類結構必須用非平面力系而為空間構架。
3. 線性與非線性結構：線性結構係指外載重使結構產生位移間之關係呈線性的。此種假設係根據下列兩個條件：

(a) 該結構所用材料為彈性的，且在載重範圍內能符合虎克定律（Hooke's law）。

(b) 該結構之幾何圖形之改變極小，在應力計算時可以忽略。

注意：若用重疊原則（principle of superposition），一種線性關係（linear relationship）必須存在，或假設其存在於載重與位移之間。

外載重與所引起之位移間的非線性關係，於以下兩種情況下存在：

(a) 該結構用材料為非彈性的。

(b) 該材料在彈性範圍內，但當載重作用時，結構之幾何圖形發生顯著變化。對非線性結構之研究，包括結構之塑性分析（plastic analysis）與結構屈挫（buckling）。

4. 靜定與靜不定結構：靜定結構（statically determinate structure）乃指結構分析可由靜力學分析之。若不能辦到則為靜不定結構（statically indeterminate structure）。

靜不定結構可由靜力方程式與由線性分析中之彈性曲線的幾何圖形所得的方程式聯合解得。結構之彈性變形，不僅與加在結構上之載重有關，且受材料性質（彈性模數 E ）與構件斷面之幾何性質（即斷面積 A 或慣性矩 I ）之影響。因之，在解靜不定結構時，載重、材料性質與幾何性質均受牽涉，解靜定結構時，僅需考慮載重因素即可。

1-4 實際與理想之結構

所有結構分析，均根據幾個與事實不完全相符之假設。對實際結構而言，不可能完全與分析所根據的理想結構相符。結構用材料並不確實遵守所假設的性質，而實際結構之各種尺寸亦不與其理論值相同。

茲用一簡例作為說明，在設計一矩形斷面的鋼筋混凝土樑時， E 及 I 值通常假設為常數。但置於樑內之鋼筋用量隨應力而變，故於整個跨孔內之 E 及 I 並非常數。即在選擇 E 及 I 為常數時，亦難有把握。關閉其他因素，如支承 (support)、結點 (joint) 及結構之工作尺寸 (working dimensions) 等不談。吾人已發現實際結構之行態，與理想的結構發生相當程度之偏差。但並不因此而使分析結果失去其實用價值。吾人必須模擬一結構以供實行分析之用，由此分析使此理想得接近實際情況。

1-5 本書範圍

本書中所討論的三種結構計有：

1. 樑 (beam)
2. 桁架 (truss)
3. 剛架 (rigid frame)

狹義之樑，係指一僅受垂直載重作用之直線構件。當力矩（moment）與剪力（shear）求得時，樑之分析便告完成。

桁架，是指構件間用無摩擦之鉸（hinge）或樞釘（pin）所組成。並假設桁架上的載重集於結點（joint）上。桁架中每一構件均被視為僅受軸向力（axial forces）的兩力構件（two-force member）。

剛架，是指構件具有抵抗力矩的結點連結而成。剛架諸構件，通常受彎矩（bending moment）、剪力及軸向力。

本書將限於靜力的、平面的，與線性的結構。前七章係討論結構學之基本觀念，及靜定結構之分析。其餘諸章則以討論靜不定結構之分析為主。

第二章

結構之穩度與可定性

2-1 共面力系之平衡方程式

結構之首要功能為負荷載重。樑、桁架及剛架均具此通性：當負荷載重時不起顯著的畸變（distortions）。在結構力學中，所有力系均假設作用於剛體上。實際上，總有些微變形而造成結構尺寸之微小改變，與力之作用線的位置改變。但此種偏差對應力分析可以忽略不計。

結構之稱為平衡，乃指結構受外力作用對地球仍保持靜止；同時，結構之各部份，若從其整體分割而為隔離體（free body），受其切割處內力與其上之外力作用，對地球亦保持靜止。若然者則此力系（force system）乃達到平衡，意指作用於結構或其局部上之力系的合成力（合力或合偶力（resultant couple））必為零。

因本書所討論的範圍限於平面結構，所有力系均為共面（coplanar）。依一般平衡的共面力系，必須同時滿足下列三個聯立方程式：

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_a = 0 \quad (2-1)$$

其中 $\sum F_x$ = 力系中各力之 x 分量之和。

$\sum F_y$ = 力系中各力之 y 分量之和。

註腳字 x 與 y ，表示在笛卡爾座標系中兩個互相垂直的方向。

$\sum M_a$ = 對平面上任一點 a ，由力系中各力所起力矩之和。

注意， $\sum F_x$ 亦表示力系之合力之 x 分量； $\sum F_y$ 為力系之合力之 y 分量。而 $\sum M_a$