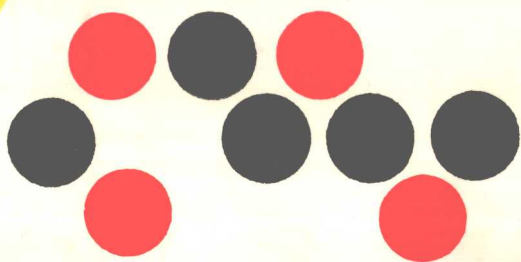


結構學

左利時著

科學技術叢書 / 三民書局印行



學 構 結

(上 册)

左 利 時 著

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

民 書 局 印 行

TU32
2990.02

行政院新聞局登記證 臺版業字第〇二〇號

中華民國六十二年八月初版
中華民國七十一年五月三版

結構學(上)

基本定價伍元

版權所有
翻印必究

著者 左 利 時

繪圖者 林 暢 茂

發行人 劉 振 强

出版者 三民書局股份有限公司

印刷所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵撥：〇〇〇九九九八十五號

自序

本書分上下兩冊，上册以靜定結構為主，注重於一般靜定結構分析原理之介紹，共計八章，第一章為一般性靜定學基本理論之介紹與複習，此為學結構之預備工作，二三兩章為靜定反力及靜定桁架數解法與圖解法之介紹，第四章為梁彎矩及剪力二圖之作法，因此二圖為結構學之基本工夫，異常重要，於複雜之問題，學者每感茫然於畫法之技巧，本章於此方面，特別詳盡，期能予學者一明確之觀念，第五章介紹屋架及排架一般設計應力之計算方法，第六七八三章，則全部屬於橋梁方面，自感應線之畫法至側桁架之應力計算，篇幅較大，然亦僅及於橋梁之主要部份，第七章內因篇幅關係，只詳細介紹一般性常用之 *Pratt*, *Warren* 及 *Parker* 等桁架之應力計算法，期能予學者一橋梁桁架如何分析之觀念，其他較複雜之再分式桁架及長跨橋梁，讀者如有需要，可參看其他橋梁專書，本書則將其略去。

是書之編纂，作者本其擔任是科教學十餘年之經驗，對學者之要求為何？學者感覺困難之處為何？自認尚有所了解，爰不揣冒陋，編成是書，作者之目標，希望能幫助讀者，一卷在手，無師而能自通，故細微末節之處，雖一點一滴，亦儘量求其詳盡，搜羅之材料，則以精簡為主，務期讀者讀完是書，能對結構一般性問題，獲一全貌，並能精通一般性之分析方法，熟能生巧，則觸類自能旁通，作者才能有限，謬陋謬誤，或所難免，尚希海內賢達，有以教之，本書承交通部王次長章清兄賜予作序，逢甲助教翁正夫君及同學劉邦輝、陳銘顯二君協助，謹此一併致謝。

左利時

民 61 年冬識於成功大學土木系

王 序

結構學這門科學，西文著作，真是汗牛充棟，中文著作爲數有限，而國內教學與應用，又大都以中文爲主，因此在校學生及工程師都感不便。老朋友左利時教授爲國內有數的結構學權威之一，以其從事研究及執教國立成功大學二十多年的經驗，深切了解學子與工程界參考的需要，特綜合西書各家之所長，摘精取華，融合自己多年研究所得，編著本書，取材豐富，細大不捐。其深入淺出處，利於初學者一篇在手，觸類旁通；其言簡意賅處，利於工程師之實際作業參考，誠爲結構學之鉅著，故樂爲之序。

王章清 于台北

索引

a

- arch 拱 p. 60
- algebraic method 代數法 p. 88, 109
- approximation 簡約方法 p. 245
- AASHO 規範 p. 352
- absolute max, moment 絕對最大彎矩 p. 367

b

- Bow's notation Bow 氏符號 p. 101
- bending moment 彎矩 p. 175
- bent 排架 p. 222, 240
- Baltimore truss p. 311
- buckling 潰曲 p. 331
- built-up section 拼裝型鋼 p. 333

c

- Compatibility equation 適合方程式 p. 24
- Compound truss 複合桁架 p. 106
- Complex truss 複雜桁架 p. 129
- Counter member 反桿 p. 299, 399
- Closed spandrel 實橋面 p. 325
- Cooper's E-loading system p. 340
- Criterion p. 360, 377, 382, 386, 418, 448
- Centrifugal force 離心力 p. 474
- Cross frame 橫向支架 p. 486

d

- determinate structure 靜定結構 p. 9, 27, 106
- determinate 行列式判別法 p. 132
- deck bridge 上承式橋 p. 331
- double pratt system p. 488
- double warran system p. 488

e

- equilibrium equation 平衡方程式 p. 24
end conditions 支端情形 p. 25
eye bar 眼桿 p. 331
equivalent uniform load 相當均佈荷重 p. 350, 351

f

- force diagram 力圖 p. 41
funicular polygon 索線多邊形 p. 44
floor system 橋面系 p. 264
flange 翼部 p. 331
flexible member 柔桿 p. 331

g

- graphic method 圖解法 p. 101, 113
girder 鈹梁 p. 325

h

- half through bridge 半穿越式橋梁 p. 326

i

- indeterminate structure 超靜定結構 p. 9, 24, 27, 106
ideal truss 理想桁架 p. 80
influence line 感應線 p. 259
impact load 衝擊荷重 p. 351

j

- joint method 節點法 p. 84, 95

k

- K truss p. 310

l

- locomotive excess 機車超重 p. 350
lateral truss 側桁架 p. 485

lateral truss effect 側桁架效應 p. 488

m

multiple force member 多力肢 p. 5

Maxwell diagram p. 102

Mohr circle p. 189

max. panel load 最大節點荷重 p. 357

o

open spandrel 空橋面 p. 325

overturning effect 傾覆效應 p. 488

p

Pratt truss p. 297, 444

Parker truss p. 297

pin-connected joint 樞接 p. 331

Pennsylvania truss p. 335

panel load method 節點荷重法 p. 350, 389

portal frame 橋門架 p. 485, p. 503

portal effect 橋門效應 p. 488

r

rigid joint 剛接頭 p. 7

reaction 反力 p. 21

resultant polygon 合力多邊形 p. 58

roof truss 屋架 p. 215

riveted joint 鉚接 p. 331

rolled section 軋型鋼 p. 333

rigid member 剛桿 p. 333

s

superstructure 上部結構 p. 9

substructure 下部結構 p. 9

stable 穩定 p. 26, 106, 120, 132

space diagram 空間圖 p. 41

simple truss 簡單桁架 p. 82

section method 斷面法 p. 88
substitute member method 代替桿法 p. 119, 141
shear 切力 p. 175
secondary member 副桿 p. 311
Steinman p. 341
substitute uniform load 代替均佈荷重 p. 350, 351

t

two force member 二力肢 p. 3
truss 桁架 p. 79
three hinge arch 三鉸拱桁架 p. 150
three hinged stiffening suspension bridge 三鉸加勁吊橋 p. 200
through bridge 穿越式橋梁 p. 326

u

unstable 不穩定 p. 26, 106, 120, 132

w

Warran truss p. 292, 436
web 腹部 p. 331

z

zero load test 空載試驗法 p. 136

結構學(上)目錄

第一章 緒 論

§ 1-1 結構定義	1
§ 1-2 結構之分類及其構成單元肢桿	2
§ 1-3 靜力學複習	10
(A) 平面交會力系	10
(B) 平面平行力系	12
(C) 平面非交會非平行力系	13
(D) 空間交會力系	14
(E) 空間平行力系	16
(F) 空間非交會非平行力系	17

第二章 反 力

§ 2-1 反力之一般觀念及其三要素之轉換	21
§ 2-2 支端情形	25
§ 2-3 反力之靜定與超靜定穩定與不穩定問題	26
§ 2-4 反力之代數計算法	34
§ 2-5 反力之圖解計算法	39
(2-5-1) 力之分解及合成	39
(1) 平行四邊形定律	40
(2) 三角形定律	40
(3) 求多力之合力	42

(2-5-2) 平衡問題	45
(1) 平行力系平衡圖解法	46
(2) 非平行力系平衡圖解法	48
(a) 穿過一定點之索線多邊形	48
(b) 穿過二定點之索線多邊形	50
(c) 穿過三定點之索線多邊形	52
(d) 穿過三定點索線多邊形之應用問題	54

第三章 桁 架

§ 3-1 桁架之介紹—理想與實際情形	79
§ 3-2 簡單桁架	82
(3-2-1) 代數法	88
(1) 斷面法	88
(2) 節點法	95
(3-2-2) 圖解法	101
(1) Bow 氏符號	101
(2) Maxwell diagram 法	102
§ 3-3 複合桁架	106
(3-3-1) 代數法	109
(3-3-2) 圖解法	113
(a) 用代數斷面法配合 Maxwell diagram	115
(b) 用 three force principle 配合 Maxwell diagram	116
(c) 用索線多邊形求反力之方法以求 S	116
(d) 代替桿法	119
§ 3-4 複雜桁架	129
(3-4-1) 穩定或不穩定之判斷方法	132

(1) 利用行列式之判別法	132
(2) 空載試驗法	136
(3-4-2) 複雜桁架應力計算法	142
(1) 代替桿法	142
§ 3-5 三鉸拱桁架圖解法之特種解法	150

第四章 彎矩圖及切力圖

§ 4-1 荷重 (q), 切力 (V), 彎矩 (M) 之基本微分關係 及正負號之規定	175
§ 4-2 切力圖, 彎矩圖及直接應力圖之畫法	177
§ 4-3 切力圖及彎矩圖之圖解作法	197
§ 4-4 圖解彎矩圖對三鉸加勁吊橋之應用	200

第五章 屋 架

§ 5-1 屋架之形式及屋面之構造	215
§ 5-2 屋頂之死荷重	225
§ 5-3 屋頂之活荷重	227
(1) 風荷重	227
(2) 冰雪荷重	229
(3) 地震荷重	230
§ 5-4 屋架應力	231
§ 5-5 排架應力之計算	240

第六章 感應線

§ 6-1 橋面系對主梁之影響	264
§ 6-2 簡支梁反力之感應線	267

§ 6-3 簡支梁剪力感應線·····	271
§ 6-4 簡支梁彎矩感應線·····	279
§ 6-5 普通簡支桁架支桿應力感應線·····	290
§ 6-6 具有反桿之 <i>Pratt</i> 桁架·····	299
§ 6-7 較長及較複雜桁架支桿應力感應線·····	307

第七章 橋梁（鈹梁及桁架）

§ 7-1 普通簡支橋梁之型式及構造·····	325
§ 7-2 橋梁之荷重·····	336
§ 7-3 橋梁之死荷重·····	336
(7-3-1) 死荷重應力·····	338
§ 7-4 鐵路橋梁之活荷重·····	340
§ 7-5 鐵路橋梁之衝擊荷重·····	351
§ 7-6 公路橋梁之活荷重·····	352
§ 7-7 橋梁反力剪力彎矩一般性質之概述·····	355
§ 7-8 圖表之運用·····	357
§ 7-9 無橋面系之簡支梁求某斷面產生最大彎矩之荷重位置 決定法·····	359
§ 7-10 簡支梁之絕對最大彎矩·····	367
§ 7-11 有橋面系之簡支梁求某斷面最大彎矩荷重位置決定法·····	373
§ 7-12 無橋面系之簡支梁求某斷面最大剪力荷重位置決定法·····	377
§ 7-13 有橋面系之簡支梁求某節間最大剪力荷重位置決定法·····	381
§ 7-14 節點集中荷重計算法——橫梁荷重及橋墩反力求法·····	383
§ 7-15 有關相當均佈荷重或代替均佈荷重之感應線法及節點 荷重法·····	388
§ 7-16 桁架活荷重應力·····	390

§ 7-17 相當或代替均佈荷重下之 <i>Pratt</i> 桁架應力	391
§ 7-18 集中活荷重之 <i>Pratt</i> 桁架應力	417
§ 7-19 集中活荷重之 <i>Warren</i> 桁架應力	436
§ 7-20 集中活荷重之 <i>Parker</i> 桁架應力	444
§ 7-21 彎道上之桁架橋梁一般問題	468
§ 7-22 彎道橋梁之應力	472
(7-22-1) 列車重力之影響	472
(7-22-2) 離心力之影響	474
(7-22-3) 最大應力	476

第八章 橋梁側桁架及橋門架

§ 8-1 側桁架之荷重	487
(a) 橋梁有活荷重時之風力	487
(b) 橋梁無活荷重時之風力	487
(c) 機車搖擺力	487
§ 8-2 側桁架型式	488
§ 8-3 側力之作用——側桁架效應、橋門效應及傾覆效應	488
§ 8-4 側力作用下之穿越式橋梁應力	492
§ 8-5 側力於非平行弦桁架應力之影響	501
§ 8-6 橋門架	503

第一章 緒 論

§1-1 結構定義

何謂結構？廣義言之，凡物體能承受其他物體所施之力，而能將之傳達於另一物體者，均可謂之結構。大者如橋梁、房屋、舟車、飛機、機械等等，莫不如是，小而至於一磚一石，一草一木，就力學眼光來看，皆可視為結構，有些結構所受之力為靜態力，屬於靜力學範圍，有些結構所受之力則為動態力，屬於動力學範圍，其分析則甚為麻煩，結構分析之難易，並不決定於體積之大小，橋梁、房屋，體積龐大，計算繁複，但理論有時甚為簡易，反之如分析一塔一架，或一薄殼一折板則困難殊多，尤以輓近結構理論趨於動力學之發展，研究動態力，使結構學之範圍更廣。

結構之定義如上所述，就土木工程範圍而言，則橋梁房屋之結構現象，至為顯著，橋梁承受外力，如地心所加之重量，如車輛行駛之荷重，如地震，如颶風，如水壓力等等，均須橋梁承受其力後，將之安全傳佈於基礎，房屋亦然。結構學之研究對象，乃為根據已知之外力，如何分析出結構各部份之作用情形，亦即根據已知之外力，如何求出未知之內力，工程師之責任為認識結構，了解結構，及運用結構，工程師對各種結構物必須充份了解，然後方能進一步運用，如何以適合經濟及安全兩條件之下，運用一適當之結構，達到某種預期之目的。

一般結構設計，可分四階段進行(1)規劃：(*planning*)，此階段中

工程師對於所進行之工作，必須有充份之經驗、學識為背景，輔以各項蒐集之資料，然後對於所欲設計之結構物，決定一最佳可行之形式，包括其建造之材料，其大概之尺寸，其將來之發展，與其預期之效果等等。此階段最為重要，如設計一橋梁，則橋梁可供選擇之型式甚多，鋼造、木造、混凝土造，用長跨中跨或短跨？如用桁架，則應採那一種桁架最好？其跨度，其高度，其節間長度，其位置，其地質情況，其下部結構，種種因素綜錯複雜，有時須作多種設計加以比較。(2) 結構分析 (*structural analysis*) 於第一步規劃中決定結構型式及其重要尺寸後，第二步即為結構應力之分析，根據結構所受之外力，計算其各部份內力。亦即研究結構在外力作用之下，其內部之活動情形，加以了解，此步為結構學之範圍，亦即本書以下所欲闡釋之工作，學者必須於各種結構加以了解，明瞭其基本計算方法，澈底清楚其應力分佈情形，方能從事此步之工作。(3) 結構設計 (*structural design*) 於第二步結構應力分析工作完成後。第三步即為結構細部設計，根據第二步結構分析之資料，針對各部產生應力之大小，作詳細設計，如決定其斷面大小，接頭型式，鉚釘安排，電銲種類等等問題，在此階段內，尤須參考法定規範 (*specifications*)，不得隕越，此步工作各有專書詳細討論其事，不在本書範圍。(4) 工程畫 (*engineering drawing*)，此為最後一步工作，將第三步結構設計之詳細算出資料，繪畫成詳細圖，以便於作為估價及施工之根據。

以上四步為一般工程設計之必須步驟，如前所述，吾人之結構學範圍，暫擬集中在第二步內，不及其他。

§1-2 結構之分類及其構成單元肢桿

結構之分類，可依各種之標準為之，如依其所用之材料而分，則結

構可分爲：(1) 木料結構 (2) 金屬結構 (鋼鐵或鋁) (3) 土石結構 (磚石及混凝土等) (4) 各種材料混合之結構，實際上除金屬結構一般只有一種材料外，其他結構，均不免於混合材料之運用，如磚石結構不能免於水泥沙漿之結合，混凝土結構，不能免於鋼筋之加強，木結構不能免於鋼拉桿之配合等等均是。

如依結構之形式，則可分爲：(1) 實體結構與 (2) 架成結構，如堤壩、橋臺、橋墩、牆柱等均爲實體結構，如以若干直桿，或梁柱依一定方法聯綴而成一體，是爲架成結構 (*framed structure*)，架成結構，依其所使用之支桿不同，其結合之方式不同，而又分爲桁架 (*truss*) 及剛架 (*rigid frame*)。本書以下百分之九十以上均爲討論桁架與剛架問題，故吾人對此兩結構必須充份了解其特性，桁架及剛架其主要不同，決定於其構成之支桿，結構支桿 (*member*)，依其受力之方式，一般可分爲三大類 (1) 二力肢 (*two force member*)，如圖 (1-1) 所示。

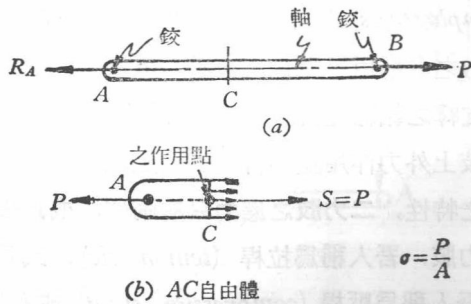


圖 1-1

支桿 AB 兩端各有一洞，備與其他支桿聯結之用，當聯結時，所有支桿端部之洞予以對正後，然後以釘 (*pin*) 插入，構成一接頭 (*joint*)，此釘吾人習稱之爲鉸 (*hinge*)，*hinge* 之聯接線即爲支桿之