

大 學 用 書 選 譯

學 構 結

張 兆 明 譯

教 育 部 出 版
正 中 書 局 印 行

大 學 用 書 選 譯

正 中 書 局 印 行
教 育 部 出 版

結 構 學

張 兆 明 譯

Harry Lake Bowman
Hale Sutherland 著



版權所有

翻印必究

中華民國六十年六月臺初版

中華民國六十三年四月臺二版

大學用 結 構 學
書選譯

(Structural Theory)

全一冊 基本定價 貳元肆角

(外埠酌加運費滙費)

著 者 Hale Sutherland
Harry Lake Bowman

譯 者 張 兆 明

出 版 者 教 育 部

印 刷 發 行 正 中 書 局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

暫遷臺北市南昌路一段十二號

發 行 人 李 潔

海外總經銷 集 成 圖 書 公 司

(香港九龍旺角洗衣街一五三號地下)

海 風 書 店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

內政部登記證 內版事業字第〇六七八號(5049)大興
(1000)

譯 序

翻譯專門技術書籍時，最易引起爭執者爲名詞。蓋同一名詞，在原來文字中，倘偶因作者不同，而賦予不同之意義。譯成另一種文字，更難一致。本書中盡量以中國土木工程師學會之譯名爲準。主要例外有二，一因 Analogous Column 宜譯爲擬柱，故 Method of Column Analogy 以譯成擬柱法爲宜。一爲 Pitch，若譯爲斜度，將與坡度一詞相混。但 Pitch 等於 Slope 之一半，故博取建議譯爲斜勢。

另一爭論之焦點 Kip。爲經中國土木工程師學會名詞擬訂委員會開會辯論，決定以千磅爲較妥。書中行文時，對於能改用磅爲單位者已盡量更改。但因 0.1 千磅，在意義上爲 50 磅至 149 磅，並不等於 100 磅。故不能改時，不得不仍用千磅。

結構學之發展，爲各國人士，點滴心血，凝集而成。書中每夾敘結構學之歷史。因體此意，故儘量將人名譯出，使各同學得有機會，接觸結構學者之姓氏。

本書翻譯時，承魏傳基兄手抄中國土木工程學會土木工程譯名草案全份，慨供參考，及各工程先進賜教，敬致謝忱。惟因時間限制，過於匆促。如有疵誤，尙祈先進不吝指正，以期於再版時修正，實爲至禱。

張 兆 明

五十三年二月十二日

第四版 原 序

如書名所示，本書乃對桁架，剛性構架及空間構架之結構理論，就其基本概念及原理，作一介紹。美國大學工學院中，所開應力分析一學科，普通多為二個或三個學期。本書範圍，較之稍廣。第四版中，不僅增加若干新材料，且重寫甚多部份，使其更為簡單明瞭。中以坡度及撓度、剛性構架及靜不定桁架諸章，修改極多。習題方面則無甚變動。蓋吾人深知，新版本中之新習題，對講授者為一不愉快之額外負擔，若擬防止學生前後抄襲，除更換習題外，固尚有更有效之方法在也。（一）

原註（一）：例如：普通雖認為學生應該解答習題，做習題為學業之一部份。但如不在先生監視下計算，應不計分數。

今日之工程教育，顯然逐漸注重計算工作，應有系統，及保持整潔。故在第一章中，對基本力學，作一相當之檢討，並增加計算工作之規則，及習題解答之式樣。另增，用虛功原理，求反力及支桿應力之簡述，此種必要乃由現代技術論著所促成者。

圖解力學一章，本身已完整無缺。包含之材料，就該科目而言，普通已經够用。如與下面屋架一章聯成一氣，更覺充分。此章各圖，多經修正。主旨在使每圖祇表明一種功能，而非一圖二用。更非以前之一圖多用焉。

由於影響線在應力分析中之重要性，且能有助於桁架詳細作用之瞭解。故在討論桁架及大梁橋與長跨度橋梁等章中，充分利用影響線。長跨度橋一章中，新增關於威邱德桁架之簡單論述。

坡度及撓度一章，除幾已整個重寫之外，值得一提者，為增加用維氏——摩爾圖，解答複式桁架（例如芬克桁架）。

各章中改變最多者為剛性構架，除對連續梁中之固定點，加以簡單說明，使能瞭解現代工程論著外，並對摩立斯法，增加相當篇幅之外，力矩分配法中，對於慣性力矩有變化之支桿，亦加廣泛之討論。

鑒於對角撓方程式中，所用符號之批評，茲已回復本書第一版所用之慣例。照現代習慣，節點上之力矩，以順時鐘方向爲正。

若干重要題目，本書略而未提，如此，可使本書之目的更爲明顯。雙鉸拱及吊橋，普通爲研究院之科目，無鉸拱，普通於鋼筋混凝土一科中研究之。本書之目的爲做大學教科書。對研究院而言，僅供補充參考之用。故以上各項，均在本書範圍以外，某一科目，如研究院中仍將詳細討論，有時宜自大學課本中刪除之。

本書之編著，多承友好協助。除以前各版所載者外，特對紐約學院(College of the City of New York)之賴士朋(John Charles Rathbun)教授及其他友人，與康州大學(University of Connecticut)教之凱士爾曼(Francis L. Castleman)院長，敬致感謝之忱。

海爾·蘇沙倫(Hale Sutherland)

哈萊·雷克·鮑曼(Harry Lake Bowman)

美國一九五〇年七月

致 讀 者

研讀本書時，你們無需另學新原理。你們在物理學（力學）中，早已學到結構設計之全部基本理論，讀應用力學（靜力學及材料力學）與工程材料後，使你們對於此種原理之本質及其應用，又有進一步之瞭解，現在即將各位已熟習之事實與原理，考慮如何用於分析結構應力。本書中所討論者，幾乎全為靜力學內，有關力系之問題。相關之原理並不多，在學習結構應力分析時，對於少數有關力系的簡單原理，必須澈底瞭解及完全純熟。故研讀本書時，不妨同時對靜力學加以溫習。對於基本原理，應有清晰及確實之瞭解，因無庸辭費也。

本書為本科目之入門課本。希能記憶此點，或許有些深奧的事實與理論為以前學習其他科目時未曾提及與此處稍有提示者本書續編結構計劃中，所論更為詳盡。但在研讀該編以前，應先溫習材料力學。

結構工程師心智上，與眾不同最為特出之一點，可能為想像力。對於所需之結構物，成何形狀之各種關係為何？在其心目中應構成圖景，並能將此圖景，畫在紙上。此一能力，學習者應努力養成之。研讀本書時，希手邊常留紙筆。本科目之每一部份，幾全可用圖樣表示。希常加練習。你們書本邊緣空白處，應畫滿整齊之簡圖，附以簡潔之註解、計算、及例證。於公式及算式之單位，特別應該加註說明。

千萬避免死記，希能瞭解每一步之理由。

對於公式除最低限度不能不記者外，應視若疾病，避之惟恐不及，改由方法及原理方面，設想解答。對於以數字方式表達之原理，例如公式，應在其所在之書在頁上，註明其功能及適用之範圍。記憶公式時，應連此等適用範圍，同時記憶之。

通常妨害初學者最麻煩的習慣之一為每一點、每一步、及每一方程式，希求證明，何以得此結果。但如題目複雜，常感力不從心。其實應對該節整個課文，快速閱讀一遍，得一鳥瞰。腦中既有一輪廓，則細節部份之問題，常可迎刃而解。每一教科書中，常有某一文句，

近似晦澀。但一讀下文，即清晰易懂。

學生最普通之病症爲難湊。面對習題，或遇一不易瞭解之處呆坐不動，僅對問題表示迷茫。此病之治法爲「動作」。解問題時，無論困難在此問題之本質，或因不瞭解某一語句而發生，應迅速採取行動。第一，將此問題作一準確陳述，在本科目中，常指應畫一自由體圖（見第1：5節），並畫出其力系。第二，溫習用於此問題之原理。第三，應用此等原理。

尋求簡單的證明和直接的解答。本科目之文獻中，到處可見，繁複冗難之方法，一一爲簡易之優良方法所取代。

任何科目，並無一書能包羅無遺。故學習者最少應備二種結構學之教科書。養成習慣，精讀其一，餘供參考。

原註：本書中，因說明而任意採用之各種結構，常與實際上所用者，完全不同。確亦常有實際結構，或因支桿佈置特殊，或其他異常之處，因而分析爲難。一如本書中所述之難題。本書中所以用不合實情之結構，動機有二：第一，簡化計算工作，使學生注意力，能集中於所討論之原理。第二，強使學生於應用原理時，不得不加思考。以免單憑記誦例題之解法。

符 號

所有符號，除下列者外，其意義均於文中，隨時說明之。

M = 力矩或彎力矩

I = 慣性力矩

E = 彈性模數

V = 剪力

s = 垂直應力密集度

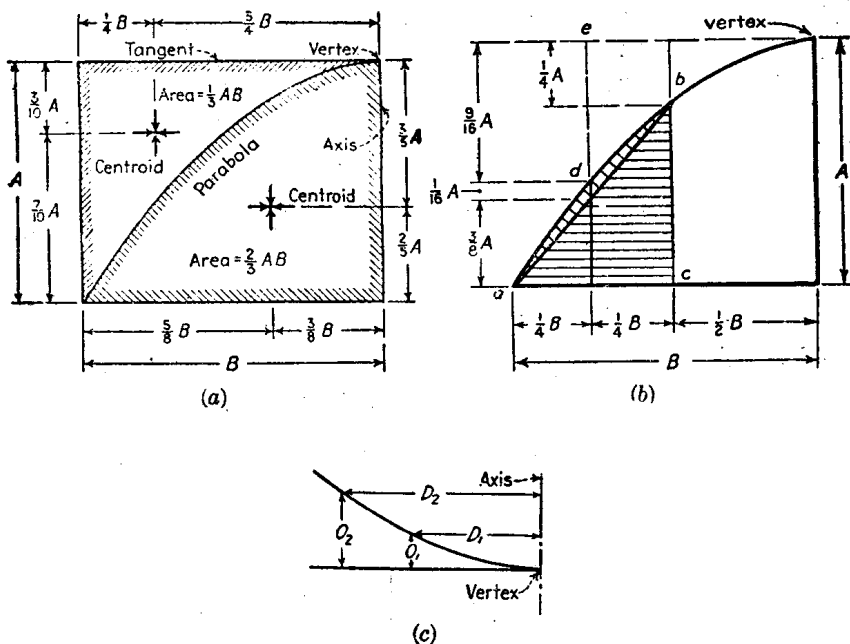
L = 跨度長度

r = 轉動半徑

w = 每單位長度之載重

拋物線

解答習題時，有時需用拋物線與其直徑間，或與其頂點之切線間之面積。下圖中備此類資料，以供計算之便。結構工作中，如需用坐標鉅離，則與其用二次拋物線之數字方程式，不如用測量時所用之比例：支距(Offset)與離頂點距離之平方，成正比。在圖c中：



$$O_1 : O_2 = D_1^2 : D_2^2$$

(原圖 a, b, c 在原書 p.xiv。Tangent = 切線。Vertex = 頂點。
Area = 面積。Centroid = 形心。Parabola = 拋物線。
Axis = 軸。

拋物線如對 Y 軸對稱，且以頂點為原點，則任何點處之坡度為 $2y/x$ 。照 c 圖所註之尺寸為 $2O_1/D_1$ 。記住此點，無論繪畫曲線或其

他用途，均甚有用。

習題中，如涉及拋物線與其直徑間之面積，或拋物線與其頂點之切線間之面積。用圖 a 及 b 之資料，普通均可順易處理之。圖 b 中，曲線下劃線部份之面積，等於三角形 abc 與弓形 abd 二者面積之和。三角形 abc 之面積爲了 $3AB/16$ 。弓形 abd ，等於一對稱之拋物線，其底長爲 ac ，心高爲 $A/16$ 。故面積爲 $\frac{2}{3} \times \frac{1}{16} A \times \frac{1}{2} B = \frac{AB}{48}$ 。二者共 $10AB/48$ 。

目 錄

第一章 反力及應力	1—44
緒論	1
構架結構：定義	2
應力分析：反力	4
計算方法	9
虛功	12
剪力及彎力矩	13
剪力法	23
力矩法	24
節點法	27
剛性桁架：靜定與靜不定	31
載重構架之畸變	33
第二章 圖解靜力學	45—79
平衡力系	45
力之組成	46
力之分解	47
平衡多邊形	48
反力	49
麥氏圖：節點圖解法	51
柯氏法	54
剪力及力矩	56
以平衡多邊形為彎力矩曲線	58
經過二點及三點之平衡多邊形	61
三鉸拱	63
抵抗線：牆及壩	65
拱	69

第三章 屋架桁架	80—93
定義及資料	80
屋頂載重	83
屋架中之應力	86
第四章 桁架橋及大梁橋	94—166
定義	94
橋梁重量	99
靜載重應力	100
影響線	102
橋上之活載重	109
衝擊	116
因均佈及超載活載重而發生之最大應力	117
應力之反覆：交向斜桿	121
集中載重系統	125
力矩圖	129
絕對最大力矩	133
當量載重	136
長跨度簡單橋	137
節間再分格之桁架	138
第五章 長跨度橋梁	167—183
三鉸拱	167
懸臂橋	173
惠邱德桁架	177
靜定與靜不定結構	179
第六章 橫向撐構及橋門撐構	184—200
複式腹材之桁架	184
橫撐桁架	185
曲弦橋之橫應力	188
橋門及排架	191
廠房排架	193

橋門對弦材之影響·····	198
第七章 坡度及撓度·····	201—251
緒論·····	201
工作法·····	202
簡史·····	204
梁：彈性重量法·····	209
桁架之撓度·····	216
彈性重量法·····	216
彈性重量法·桿鏈法·····	221
維氏——摩爾圖·····	231
麥氏交互撓度定律·····	421
穹勢·····	242
第八章 剛性構架·····	252—316
緒論·····	252
三力矩定理·····	252
連續梁中之固定點·····	259
最少工作法·····	259
角撓法·····	262
力矩分配法·····	272
毛氏法·····	286
慣性力矩有變化之支桿·····	289
擬柱法·····	296
第九章 高建築物構架中之風應力·····	317—331
約計法·····	317
A 法：懸臂法·····	317
B 法：門式法·····	317
角撓法·····	320
C 法·····	321
所有方法之誤差·····	329
風撐報告書·····	328

風載重及容許單位應力·····	328
地震應力·····	329
第十章 靜不定桁架·····	332—372
最少工作法·····	332
撓度法·····	338
公式·····	342
影響線法·····	345
複合結構·····	361
機械分析·····	365
第十一章 副應力·····	373—393
緒論·····	373
摩爾法·····	374
克勞斯法·····	385
銷接節點·····	387
偏心率之影響·····	387
副應力之其他原因·····	389
第十二章 空間構架·····	394—419
空間之力系·····	394
反力·····	395
空間構架之靜定與靜不定·····	397
支桿應力·····	400
支點多於三個之結構物·····	412
塔架·····	413
中英文名詞對照表·····	420—434

第一章 反力及應力

1:1 主要結構物 (Structure) 有房屋、橋梁、塔架、牆垣及水壩等等，都和結構工程師發生關係。設計此類結構時，首應考慮其整體及其各部份，是否符合預期之目標。例如工廠房屋，其形狀大小，固受制於基地範圍及其他因素，但必需適合各該工業之操作方法。又如橋梁，其高低尺寸，必需使橋下航路或通道，能維持交通。故其路面高度，應高低適宜。房屋、紀念性橋梁、水壩，常以美觀為主要條件之一。應由建築師及工程師共同合作。為某一結構物做基本規劃時，唯有對各種結構物，具有長時期之經驗，受過設計工作基本理論之嚴格訓練，並有詳細經濟分析能力者，方能勝任愉快。

本書中，僅研討各種結構物承受載重 (Load) 之功能。橋梁、房屋、水壩及塔架有一共同點：均承受某種載重之重量或壓力。而承荷載重，本為此類結構物之首要任務。

決定某一橋梁或房屋，應承荷多少載重？常為設計人最困難最重要之工作。全賴其經驗及精確之判斷力。普通結構物之載重力，已明確載定於縣市政府之建築法規與橋梁規範書。但性質特殊或大小異常者，常成為仔細研究之課題。普通教科書中，並無此類資料。僅能自專門性論文、各種記錄，或由直接觀察及過去經驗中收集之。橋梁或房屋上，來來去去之載重稱為活載重 (Live load)。以別於固定之靜載重 (Dead load)。靜載重即為建築物本身之重量。

設計人初步工作之第二項為選擇結構之式樣，使能最適於承荷指定之載重。某一房屋，應採用鋼架？抑鋼筋混凝土？對某一寬濶之河流，是懸臂橋 (Cantilever) 抑吊橋 (Suspension bridge) 最為經濟？某一綿長之旱橋 (Viaduct)，應採用多少孔數？每孔長多少？方最為經濟。惟有詳細比較各種設計方案，並應用過去從事多次同類研究工作所獲得之判斷力，方能回答此類問題。基本教科書中，僅能暗示各種主要理由，用以決定採用此種或他種構架 (Frame work) 型式。遇

此則非所及也。

已知活載重之大小，已選定結構物之種類，並照實地情形決定其尺寸後，次一步爲估計靜載重。必然地，靜載重爲該結構物所需承荷總載重之一部份。多種結構物之重量，吾人雖可利用公式及圖表（例如見4：2節），極精確地估計得之。但在照此估計數量設計完成後，仍應核算實際重量。如有相當差異，應根據第一次試算之結果，用改正之靜載重數字，做第二次（甚而第三次）設計。並則，可能造成之結構物，不克安全承荷選定之最大活載重。更普通之情形爲：結構之承載力，餘裕過少，不足以負擔他日活載重之增加。例如橋梁，常因火車及汽車之進步，而活載重加大。又如房屋，常因用途擴充，而活載重變更。

設計結構物之承荷指定載重時，實施步驟有三：

1. 分析各部份及每一部份所受之應力 (Stress)。
2. 決定各部份之斷面大小。
3. 繪製總圖，註明各項必需資料，以備繪製詳圖，用以施工。

本編之範圍，爲上述第一項之應力分析。其他二項，則於續編結構設計 (Structural design) 中論列之。

1：2 構架結構 (Framed structure) 結構之構材 (Member)，其基本種類有三：1. 拉桿 (Tie)，僅受軸向拉力 (Axial tension)。

2. 柱 (Column)，亦稱爲撐 (Strut)，僅受軸向壓力 (Axial compression)。

3. 梁 (Beam)，在橫向載重 (Transverse loading) 下，僅受剪力 (Shear) 及彎力矩 (Bending moment)。

至於僅受扭力 (Torsion) 之軸 (Shaft)，在普通結構中，甚少用到。因載重性質不同，任何構材，可能爲上述二種或多種基本種類之複合體。例如水平放置，二端支承之木材，承荷斜向載重時，視其水平分力之位置，此木材的梁與柱，或梁與拉桿之複合體。

本書中，如無特別說明，將嚴格依照上述定義，使用此拉桿、柱及梁三名詞。實際上，任何構材，如大部份載重垂直其軸，普通即稱此構材爲梁。構材承受縱向 (Longitudinal) 載重時，無論此載重是否作用於軸心，有無偏心距 (Eccentricity)，此構材均稱爲柱或拉桿。