

結構系統

Structural Systems

原著者：Henry J. Cowan

Forrest Wilson

譯述者：劉 柏 宏

科技圖書股份有限公司

加承載量。但也使地下室的牆壁要阻擋水平力，因此就要設置更多的鋼筋。

最後，尚需考慮高層建築物與長跨度建築物間的某些特殊問題。

第十章 曲線結構與長跨度建築

本章將檢討適用於曲線型屋頂與長跨度屋頂各種類型結構。

因此項工作在求抵抗力矩最大可能槓桿臂時，已接近可能的界限。故長跨度屋頂通常均為曲線；但曲線結構會產生推力，而推力也需傳送到地面。穹窿解決此兩項問題，這是為何過去與現在，長跨度結構多係穹窿的原因。

較新結構，諸如懸吊屋頂、立體構架以及由氣壓支承膜等，乃為對長跨度具有霸權的穹窿的一項新挑戰。

第十一章 結構與環境

本章以附帶說明方式，檢查結構與環境系統間的相互作用。本章不能算是一篇對環境問題的濃縮論文，僅能對利用結構的潛在能力作若干陳述。

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：結構系統

原著者：H. J. Cowan and F. Wilson

譯述者：劉柏宏

發行人：趙國華

發行者：科技圖書股份有限公司

台北市重慶南路一段49號四樓之一

電話：3118308・3118794

郵政劃撥帳號 0015697-3

七十二年四月初版

七十四年十一月三版

特價新台幣160元

原 序

房屋建築跨度較橋樑要小得多，因此，房屋建築中有少數結構系統，實際上是不可能興建的；有些也不必過於複雜而昂貴。本書提供結構初步設計用的指針，與“採擇”用的標準解答“清單”。本書盡力描述結構的各種形狀，並說明其力學作用。其中只採用極少量的數學；讀者只需瞭解基本數學，與三角學常識即可。

用電算機作基礎的方法，諸如矩陣 - 位移法與有限元素等，使結構設計範疇大為增加。本書亦對其基本認識加以解釋，但未作詳盡說明；雖然，此種設計較為困難，但結構性質並未改變，不過分析得更為透徹而已。仍然是將作用在結構上的載重傳送到地面，同時在其過程中不能使結構材料受到過份的應力而已。

本書包括若干例題，使讀者可獲得，如何求得主要結構材料概略尺寸的技巧，以保證所擬的結構系統，既合實用而且成本亦能合理。這一部份，係作為本書說明本文的補充若刪除或略去該部份，亦不會損及本書的完整性，也不會導致前後不連貫等情形。但作者仍舊希望讀者能閱讀此一部份，因其可得更實用的知識。

所有尺寸與應力均採用 SI 單位，以及慣常採用的英制（美國）單位。讀者可閱讀公制部份，或閱讀英制部份，均無不可。

在本書各章節中，均扼要提到房屋建築的歷史。傳統方法中諸如承重牆、丐拱，以及磚石穹窿等，均列入討論。因為現今世界上至少尚有若干地區仍然繼續在採用。

對混凝土與鋼穹窿的說明較為詳盡；因為現今三個跨度最長的房屋建築結構均為穹窿。其他類型的薄殼，自 1960 年代以後，流行趨勢逐漸衰退，故所提到的細節亦比較少。新的結構類型，諸如懸吊屋頂與空氣承膜，亦佔相當份量。

矩形構架，仍是最普遍的房屋建築結構。因之，本書作充分講解，不但讀到上部結構，更講述其基礎情形。高樓建築物自 1930 年代以後，雖未建得更高，但其設計則變得更為熟練而且經濟。有關新的方法，以及對

較小建築物，仍能保持真確的簡單方法，均一併予以說明。

本書特別強調插圖效果，將有助於多數讀者感到抽象或困難部份的領悟。

余等對於Hilda夫人不辭辛勞的爲本書的手稿打字；國家標準局的H. Milton先生，美國鋼構造學會的R. O. Disque先生，加拿大鋼構造學會的H. A. Krentz先生，與加拿大木材商會的R. F. Degrace先生等對採用公制方面所提供的新資料；以及R. M. Aynsley博士，K. Dunstan博士，D. Epstein先生，J. S. Gero教授，H. Harrison教授，Varerie Havyatt博士，P. Healy先生，W. Julian先生，A. Milston先生，O. P. Phillips先生，P. R. Smith教授，E. R. Taylor先生，P. Towson博士，與A. Wargon先生等曾分別閱讀本書全文，就其中的某章節，並予指正，均分別致感激之忱。

H. J. Cowan 柯 璜

F. Wilson 威爾遜

致教師前言

如原序所述，本書可刪除例題部份作為專供講解的課程，亦可包含例題求得設計概略解答。或用建築結構方面的其他標準教科書作為補充教材，舉出更多更精確的例題。12.3 節建議的進修用參考圖書目錄中任何一種參考圖書，均可作為項用途，但以 Cowan 著：“建築結構”(Architectural Structures)(本公司有譯本)或 Salvadori 與 Levy 著：“建築學結構設計”(Structural design in architecture)兩書較佳。

正式建築結構課程，不論是用講解式，輔導式，或用研討式，如果輔以圖片，將大有助益。為要縮短篇幅，本書未插入任何照片，在講解時，應採用何種類型的圖片，視教師所能獲得的視覺器材而定。不過，參考圖書6.3“建築科學實驗室手冊”(Building science laboratory manual)(其中列有講解與研討用的各種示範)中，附有自製模型至精緻的示教，範圍廣闊的視覺教材。

本書係假設同學尚未具有力學知識前予講授，故在第三與第四章中，對力與力矩作扼要介紹。但用此法灌輸此項知識，會略感困難。若同學已懂得繪製力三角形，與求力矩法，即能由本書得到更多的效益。因此，希望同學在研讀本書前，應先行研讀若干有關靜力學或力學初階課程。若需將各例題均包含在課程內，更應如此。例題中僅包括簡單計算，但同學們要懂得如何求解力與力矩。

本書採用單位以SI為主，常用的英制附於括號內。因為本書出版後不久的將來，亦將實施公制。其他各方面，本書均用兩種單位平行處理，

有些例題需要採用鋼的標準斷面。本書中所有採用英制單位的例題，均採用英制標準斷面，採用公制例題中的公制當量，則係根據加拿大標準。此等標準鋼斷面用表亦附於書末。木材與鋼筋混凝土例題係採用美國與加拿大標準斷面。

很不幸，各國國家標準尚未能統一，成為一個統一國際通用度量衡單位，故必須對應力學單位在MPa與 N/mm^2 間作採擇。本書採用前者。

各章提要

第一章 緒 論 (略)

第二章 載重、力與平衡

建築物必需承受載重，同時由這些載重產生了力與反作用力。在正常情況下，力與反作用力間維持平衡。當建築物的某部分被破壞，平衡情形也就受到干擾。

第三章 結構材料與安全因數

本章中將檢討主要結構材料的物理特性，以及各種不同類型建築物材料作適當採擇的準則。最後，尚應考慮安全與服役性方面的準則。

第四章 跨度問題

本章將說明力如何相加與相減，以及如何將傾斜的力分解成水平與垂直力。然後說明如何求力矩，以及力矩如何相加相減。這些情形，最好的方法還是以舉例來說明。

大多數大型建築物中，跨度 (span) 是一項主要問題。跨度主宰了高層建築以及大跨度的禮堂、戲院等的設計。在第一種情形中，水平載重對建築物高度具有相互垂直作用 (見圖 4.0.1)。後兩者的情形，垂直載重對內跨度具有相互垂直作用。此兩種載重系統，均產生彎矩 (bending moment) (參考名詞)。採擇一個抵抗此等彎矩最具效率的結構系統，是身為設計者的任務。

第五章 結構構材

複雜的結構，是由較為單純的構材所組成。茲討論繫桿、柱與樑的設計，各構材對各種不同結構材料的採擇，以及相互連接

的方法。剪力與扭轉，將於第六章中討論。

第六章 樑設計次要問題

若讀者不擬對結構設計的次要情形多予瞭解，可將本章略過不讀。本章所考慮的是樑設計中的剪力、扭轉與應力集中等的影響。

第七章 結構組成

茲考慮機構與結構間的區別，以及具足夠構材的結構與較最低要求更具剛性結構間的區別。結構的剛性與接頭剛性、構材數量相關的接頭數等發生關係。

然後檢查有關屋頂桁架、平行弦 pratt 桁架、viereendeel 桁架、門形構架與拱等特殊問題。

第八章 多層建築物高聳建築物

雖然又恢復用承重牆興建高達二十層的高樓，但大部分三層以上的建築物多有一個用鋼或鋼筋混凝土的骨架構架。若對地震可以不必考慮時，則已有一個用於包含鋼或鋼筋混凝土骨架構架，高度不大的建築物以及包含承重牆的簡單的設計步驟。

高層建築結構設計，均一成不變的採用電算機作業方式。採用新的結構系統，使用核心與層結構，便可在材料用量上大為節省。

當建築物造得更高，也許需要對能量分散系統，作更為擴大的應用。尤其在地震地帶更要如此。在高層建築物間設置天橋，可產生更進一步的經濟結構。

第九章 基礎

本章將檢查主要基礎土壤的特性。對大型建築物而言，現場勘查是一項頗為重要的工作。小型建築物的牆與柱多採用獨立基腳，但大型建築物會將其合併成組合基腳或筏式基礎。有些土層則有採用樁基礎的必要。

深地下室所採用的筏式基礎，可使建築物獲得浮力，因而增

目 錄

原 序

致教師前言

各章提要

第一章 緒 論

1.1 本書範圍.....	1
1.2 歷史紀要	1
1.3 爲何需要安全因數?	6
1.4 結構對房屋設計之影響	8
1.5 各章之概要	12
參考圖書	13

第二章 載重、力 與平衡

2.1 載重	14
2.2 靜態載重	14
2.3 動態載重	19
2.4 火災載重	25
2.5 溫度、濕度與基礎沉陷影響	27
2.6 由載重產生之力及平衡條件	30
2.7 傳統結構如何破壞，鋼與鋼筋混凝土結構如何破壞	34
參考圖書	34

第三章 結構材料與安全因數

3.1 彈性變形	35
3.2 延性	38
3.3 脆性	40
3.4 脆性的祛除	42
3.5 何者是正確結構材料?	44
3.6 住宅建築結構材料之採擇	47

2 結構系統

3.7 小型與中型，商業與工業建築結構材料之採擇.....	51
3.8 高層建築結構材料之採擇.....	52
3.9 長跨度建築結構材料之採擇.....	53
3.10 安全因數.....	54
3.11 使用效能.....	55

第四章 跨度問題

4.1 跨度歷史概要.....	59
4.2 力矩概念.....	62
4.3 力的合成與分解.....	69
4.4 平衡條件.....	71
4.5 彎矩與剪力 - 為何結構工程師經常談到此問題？.....	74
4.6 各型樑.....	76
4.7 曲線結構與桁架，對於水平跨度採用之材料較少.....	76
4.8 垂直跨度之闡釋.....	99

第五章 結構構材

5.1 結構材料與結構組成.....	102
5.2 拉力構材.....	105
5.3 壓力構材與挫曲.....	110
5.4 楣樑與樑 - 外觀簡單，理論複雜.....	114
5.5 鋼筋混凝土 - 具有彎曲強度之混凝土.....	120
5.6 預力混凝土 - 無裂縫混凝土.....	129
5.7 結構構材接頭.....	134
5.8 繫桿、柱、樑與版等結果之總結.....	138
5.9 對所有例題的註釋.....	139
5.10 本章例題.....	139
5.11 鋼樑與木樑例題.....	140
5.12 鋼筋混凝土版與樑問題.....	147
5.13 繫桿與柱問題.....	150
參考圖書.....	153

第六章 樑設計次要問題

6.1 剪力	155
6.2 扭轉	159
6.3 應力軌線	163
6.4 應力集中	164
6.5 應力分析實驗	166
6.6 本章例題	167
參考圖書	169

第七章 結構組成

7.1 樞接頭與剛性接頭	171
7.2 靜定與靜力不定結構	174
7.3 屋頂桁架：迄今仍被採用一種古老結構系統	179
7.4 樞接平行弦桁架：具有大孔之樑，或是一個用拉力與壓力構材所組成的樑	183
7.5 包含剛性接頭與剪力牆之平行弦桁架	184
7.6 門形構架 - 包含三個樞接頭之簡單構架，以及較複雜之剛構架	186
7.7 拱	197
7.8 本章例題	206
7.9 桁架問題	206
7.10 門形構架與拱之問題	209

第八章 多層建築物高聳建築物

8.1 歷史沿革概述	217
8.2 中高度鋼構架承受垂直載重之設計	218
8.3 低高度鋼筋混凝土構架承受垂直載重之設計	219
8.4 水平載重對簡單構架之影響	220
8.5 高聳與低高度建築物之垂直載重	225
8.6 樓版結構	234
8.7 剛構架理論	235
8.8 高聳建築物採用的能量驅散系統	238
8.9 承重牆的復興	239

8.10 建築物高度之限制因素.....	244
8.11 本章例題.....	247
參考圖書.....	261

第九章 基礎

9.1 基層土壤	262
9.2 土壤壓力	264
9.3 牆與單柱用基脚.....	266
9.4 組合基脚、筏式基礎與牆基礎.....	270
9.5 擋土牆與地下室牆.....	276
9.6 高聳建築物之穩定.....	278
9.7 長跨度建築物的基礎.....	281
9.8 本章例題.....	283
參考圖書.....	289

第十章 曲線結構與長跨度建築

10.1 穹窿與圓頂之簡單理論.....	290
10.2 圬土穹窿與拱券之施工問題.....	292
10.3 鋼筋混凝土殼穹窿與圓拱券.....	299
10.4 Schwedler穹窿、球面穹窿、格子拱券與薄層屋頂.....	309
10.5 曲線幾何圖形，與殼一般理論.....	317
10.6 雙曲拋物面及其他非傳統曲面.....	320
10.7 摺疊版屋頂.....	326
10.8 側邊開窗與頂面開窗之屋頂結構.....	332
10.9 預力殼.....	335
10.10 懸吊結構 - 為何可能經常利用.....	339
10.11 充氣結構 - 無限制的跨度.....	345
10.12 平面立體構架 - 三維桁架.....	349
10.13 附帶說明.....	353
10.14 本章例題.....	353
參考圖書.....	369

第十一章 結構與環境

11.1 十九世紀前，結構系統成本及其與環境系統間之相互作用	370
11.2 結構成本已不再佔建築成本之大部分	372
11.3 能源危機	374
11.4 太陽能	375
11.5 熱惰性	377
11.6 隔熱	380
11.7 遮陰庇與天然光線	381
11.8 結構與隔音	382
11.9 結構與建築物的服役	383
11.10 結構與環境設計之配合	384
參考圖書	384

附 錄

名詞彙編	386
------	-----

第一章 緒 論

1.1 本書範圍

結構系統 (structural system) 可不用數值計算加以解釋。此為本書的目的之一。因之，若你不擬學計算，則各章末所附的例題可省去不讀。

但對許多建築而言，用十分初步而作扼要的計算，便可概略決定結構的大小尺寸，亦可指出各種問題如何求得其解答。對於結構正確的大小尺寸，則需更精確的計算，其應如何計算，有許多其他參考圖書均有介紹（例如，參考圖書 1.1，1.2，與 1.3）。

首先需要考慮的為載重；其中包括建築物必需承載的載重，建築物本身的重量，同時，建築物的條件必需能保證在這些力的作用下，不致坍塌，或過份變形。其次，要審查結構物所用的材料及其性質。然後審核由於跨度與高度所導致的問題，以及如何用個別結構構材，與結構組成，以解決其問題。最後，討論結構與環境設計間的相互作用。

1.2 歷史紀要

十九世紀以前，結構構材的大小尺寸係按經驗法則決定。例如，其中的一種法則是：對某種目的與材料而言，樑高最少為其跨度 (span) 的十分之一。此等法則，係根據長期經驗而來，（現在仍然如此）對小跨度與小高度的建築物十分適合。對高度頗高，跨度頗長的建築物欲求其結構的大小尺寸，唯有在結構力學上經過完整的分析，才有可能定得。

如此，十九世紀中葉以前，跨度最長的建築物為羅馬萬神殿 (Pantheon)（見圖 1.2.1），早在公元 123 年即告完成；跨度為 44 m (143 ft)。十九世紀中葉以前，最高的建築物為建於埃及 Gizeh 的大金字塔（見圖 1.2.2），約完成於紀元前 2580 年，高達 147 m (481 ft)。中古時代的少數尖塔較此略高，但早已坍塌，不復存在*。

* 若認為大金字塔不算是建築物，則最高建築物的記錄應屬於法國

Strasbourg 大教堂，其塔尖落成於 1439 年，高度為 142 m (465 ft)

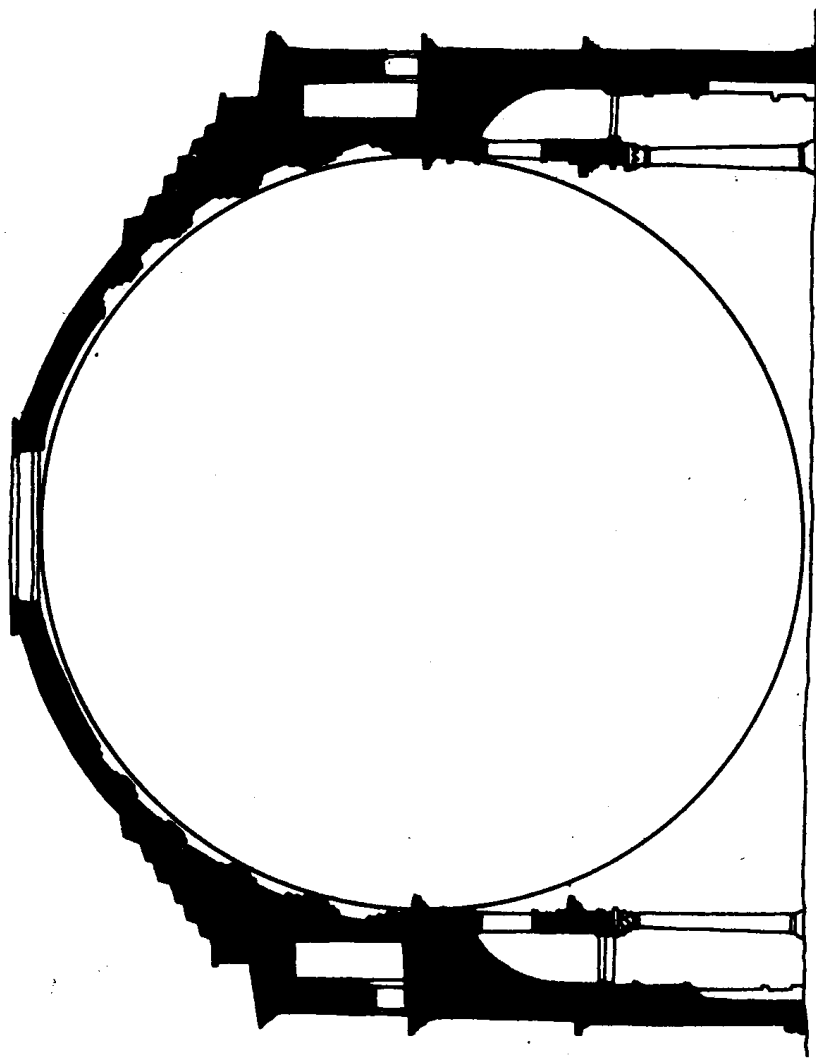


圖 1.2.1 公元 123 年建於羅馬的美神殿 (The Pantheon)，跨度為 44m(143 ft)，為十九世紀中葉以前跨度最長的建築物

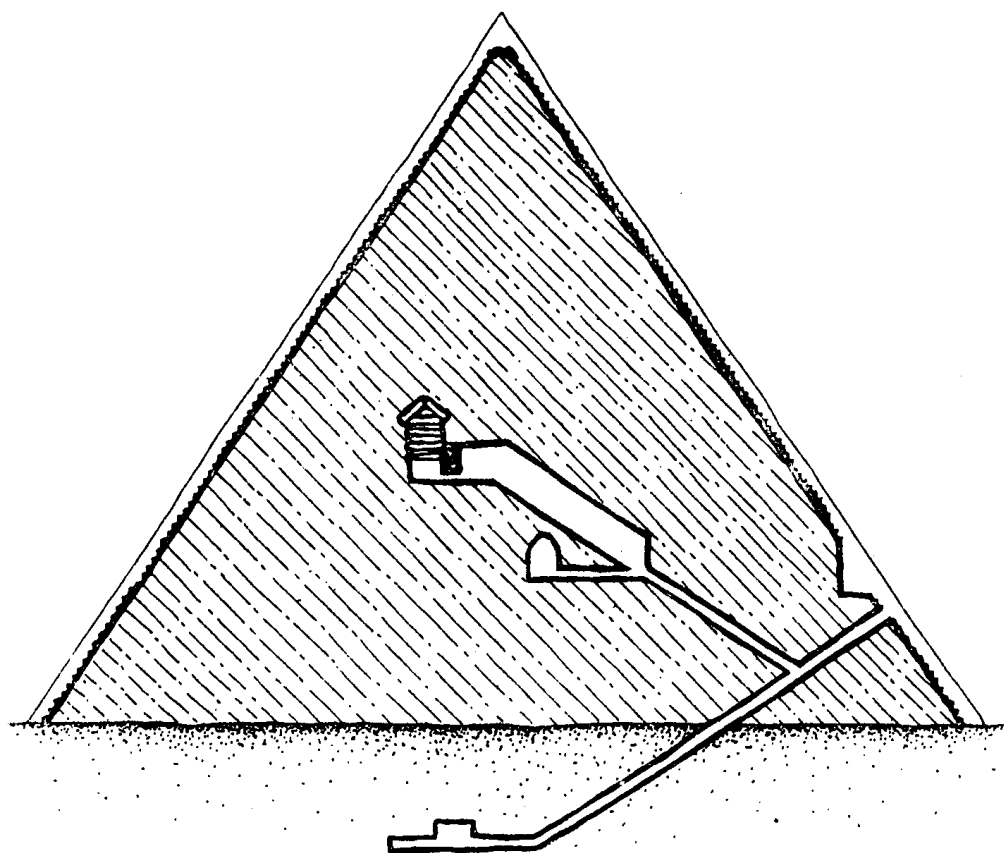


圖 1.2.2 約在公元前 2580 年建於埃及 Gizeh 的大金字塔，高 147 m (481 ft)，為十九世紀中葉以前的最高建築

截至本書定稿為止，最長跨度的建築物為 207 m (680 ft)，最高建築物為 442 m (1450 ft) (見圖 2.3.6)。

理論的重要性，不僅是能使造得更高，或是跨度更大的建築物。而且，按照結構理論設計的建築，遠較按照經驗法則，用同一材料設計的建築物所採用的材料為少；故其結果更為節省。

羅馬帝國時代興建的諸穹窿主要係用混凝土築成。中古時代與文藝復興時代的大多數長跨度結構，係用天然石材與磚築成。所有這些材料與現今採用的混凝土強度頗相類似。因之，可將以往二千年來所築成的圬工結構與混凝土結構加以比較，其情形詳見表 1.1。

表 1.1 混凝土与圬工穹窿中採用材料數量縮減比較表

大小尺寸的比較	完成年份 (公元)	穹窿名稱與構造	跨 公 尺 (呎)	穹窿平均 厚度或雙 層穹窿合 併厚度, 公尺(吋)	跨度對 厚度比
	123	羅馬萬神殿，實心混凝土穹窿，用圬工飾面（見 10.2 節）。	44 (143)	4 (156)	11
	1434	意大利佛羅倫斯的 S. Maria del Fiore 教堂穹窿磚與石造雙層穹窿（見 10.2 節）。	42 (138)	2 (80)	21
	1710	倫敦聖保羅大教堂。磚造穹窿，蓋在磚造圓錐體上方（見 7.7 節）。	33 (109)	0.9 (36)	36
	1927	位於東德 Jena 之天文館。第一座用原埋論設計而建造的鋼筋混凝土穹窿（見 10.9 節）。	25 (82)	0.060 (2 3/4)	420
	1953	西德 Karlsruhe-Schwarzwalddalle 第一座預力混凝土鞍形殼（見 10.9 節）。	73 (239)	0.058 (2 1/4)	1250
	1958	巴黎 CNIT 博覽會大廳。雙層鋼筋混凝土殼（見 10.3 節）	206 (676)	0.120 (4 3/4)	1700