

鋼結構設計

Steel Building
Analysis and Design
2nd Edition

原著者：S W. Crawley
R M. Dillon

譯述者：陳國慶 黃演文

科技圖書股份有限公司

鋼結構設計

Steel Building
Analysis and Design
2nd Edition

原著者：S W. Crawley
R M. Dillon

譯述者：陳國慶 黃演文

科技圖書股份有限公司

本書着重實際鋼房屋的設計與理論，與本公司出版的初等鋼結構一書相啣接，若將兩書前後研讀，對鋼結構即可融會貫通，了無困難。原書為美國猶塔大學教授 S W. Crawley 與華盛頓大學教授 R M. Dillon 合著的最新版本。凡在初等鋼結構中已有論述者不再重複譯出，以節省篇幅。譯述者陳國慶、黃演文，均為台灣大學土木工程研究所應屆碩士。

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第 1123 號

書名：鋼結構設計
原著者：Crawley and Dillon
譯述者：陳國慶 黃演文
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：3 1 1 0 9 5 3
郵政劃撥帳號：1 5 6 9 7

六十八年二月初版
六十九年三月二版

特價新台幣 80 元

編輯者言

本公司曾於六十六年三月出版初等鋼結構（台大謝元裕教授著，陳俊豪碩士譯）一書不及一年半已重印三次，足見鋼結構已受到普遍的重視與需要。現下大鋼廠已在大量生產，此後鋼結構用於房屋方面勢將突飛猛進。一本有關鋼結構（房屋）設計的新教本，勢所必需。茲按 J.Wiley 書局出版由猶塔大學 Stanley W. Crawley 教授，喬治華盛頓大學 Robert M. Dillon 教授合著的“Steel building” analysis and design 第二版（1977），將其中有關鋼房屋結構的基本理論部分，凡在謝著“初等鋼結構”書已有論述者不予重列外，對於鋼房屋結構設計的理論、方法與實例均予譯出，作為前書的續篇。計得五章共三百頁，可供大專土木建築科系學生研習一學期二小時之用。此書所用的設計規範為 1976 年的最新版，故能趕上時代。並可供從事鋼房屋設計工程師的參考。

科技圖書公司編輯部 謹識

六十八年一月

鋼結構設計

目 錄

第一章 概 論

1-1	前 言	1
1-2	設計步驟	2
1-3	設計荷重	3
1-4	工作應力	6
1-5	安全因數	7
1-6	結構鋼	7

第二章 低層房屋與工廠

2-1	簡 介	11
2-2	作用在建築物外表的力	12
2-3	雪荷重	12
2-4	風荷重	13
2-5	地震力	17
2-6	屋 架	19
2-7	屋架式樣	20
2-8	屋架的間距	22
2-9	一般用的荷重	22
2-10	節點荷重	23
2-11	屋架分析諸假設事項	27
2-12	蒲氏記法	28
2-13	向量分析圖解法	28

2 鋼結構設計

2-14	屋架的應力分析.....	31
2-15	屋頂系統的設計步驟.....	34
2-16	描繪屋架(步驟1).....	35
2-17	呆荷重計算(步驟2).....	36
2-18	雪荷重計算(步驟3).....	37
2-19	桁條計算(步驟4).....	37
2-20	由呆荷重及雪荷重所起的節點荷重(步驟5).....	38
2-21	因風力所產生的節點荷重(步驟6).....	38
2-22	呆荷重應力分析(步驟7).....	39
2-23	由風荷重所產生的應力分析(步驟8).....	40
2-24	應力分析表(步驟9).....	41
2-25	設計用表格(步驟10).....	41
2-26	壓力桿件的選擇(步驟11).....	43
2-27	拉力桿件的設計(步驟12).....	45
2-28	接點設計(步驟13).....	46
2-29	端支承與錨定設計(步驟14).....	50
2-30	側向支撐設計(步驟15).....	51
2-31	設計圖(步驟16).....	52
2-32	荷重作用在節點間的屋架.....	52
2-33	連續桿件的彎矩.....	54
2-34	彎矩與軸拉力共同作用.....	55
2-35	壓力與彎矩共同作用.....	57
2-36	上下弦平行的屋架.....	59
2-37	屋面構造.....	60
	問題.....	61
2-38	單層用側向支撐的建築物 - 通論.....	62
2-39	沒有支撐的屋架型式.....	64
2-40	聯撐構架 - 成分分析.....	66
2-41	橋門.....	67
2-42	多重橋門.....	73

	問 題.....	80
2-43	橫向排架.....	80
	問 題.....	86
2-44	橋門法：多層、多跨度構造.....	87
2-45	長跨度屋架的構造.....	90

第三章 連續梁與構架

3-1	引 言.....	92
3-2	一致變位法.....	95
3-3	固端彎矩.....	97
	問 題.....	104
3-4	符號規約.....	105
3-5	彎矩分配法 - 數學過程.....	105
	問 題.....	112
3-6	勁度與傳遞因數.....	113
3-7	彎矩分配法的理論.....	115
3-8	鉸支端的簡化處理.....	120
3-9	支承移動.....	123
	問 題.....	128
3-10	房屋構架.....	129
	問 題.....	137
3-11	剛構架分析.....	139
3-12	單層構架的分析與設計.....	144
3-13	剛構架側傾的設計.....	148
3-14	山形構架.....	155
3-15	鋼構架 - 結論.....	164
	問 題.....	165

第四章 極限強度與塑性設計

4-1	前 言.....	167
-----	----------	-----

4 鋼結構設計

4-2	塑性理論.....	169
	問 題.....	174
4-3	塑性理論的應用.....	174
4-4	固定端梁.....	177
	問 題.....	180
4-5	有支點懸臂梁.....	180
	問 題.....	186
4-6	連續梁.....	187
	問 題.....	194
4-7	構 架.....	195
	問 題.....	209

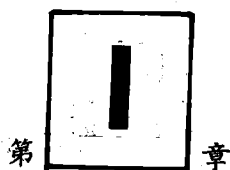
第五章 鋼建築構造設計例

5-1	前 言.....	210
5-2	設計例題.....	214
5-3	樓版荷重.....	222
5-4	牆壁重.....	223
5-5	樓版構架的重量.....	224
5-6	斷面的選擇.....	226
5-7	構架系統 - 通論.....	226
5-8	結構平面.....	227
5-9	風載重設計 - 通論.....	230
5-10	節點風荷重.....	230
5-11	柱剪力.....	233
5-12	梁及大梁的直接應力.....	233
5-13	柱彎矩.....	234
5-14	梁及大梁彎矩.....	235
5-15	梁及大梁剪力.....	235
5-16	柱的連接應力.....	236
5-17	典型的桿件 - 一樓 (底層).....	236

5-18	典型的中間梁 - 二樓及三樓	239
5-19	典型的中間梁 - 屋頂層	241
5-20	樓梯構架	241
5-21	典型的交叉梁與大梁 - 二、三樓及屋頂	243
5-22	二樓、三樓及屋頂大梁、交叉梁的設計 - 僅考慮垂直荷重	247
5-23	二樓、三樓、屋頂托梁與大梁的設計	254
5-24	典型的內柱⑩ - 垂直荷重	257
5-25	典型的外柱⑨ - 垂直力作用	263
5-26	典型水平桿件加入風力的驗證	271
5-27	用風力檢驗典型柱	273
5-28	假設斷面與最後選擇斷面間的關係	282
5-29	構架平面與柱一覽表	285
5-30	典型接頭	285
5-31	結 論	288

附 錄

附錄 補充梁用圖示



概 論

1.1 前 言

現代的建築物，可由許多不同方法建造。若從結構上來區別，主要為承重牆（wall bearing）式、構架（skeleton-frame）式，或以上兩式的組合式。承重牆式的建築物，樓板及屋頂均由承重牆支承，牆的厚度主要由層數及其所負的載重來決定。構架式的建築物、牆壁、樓板及屋頂均由梁、樑柱等構件（member）所組成的構架支承。

直到過去幾年，設計者發現除低層建築物（low-rise building）外，承重牆式的結構並不經濟實用。事實上，就是因為將承重牆式結構應用到中、高層建築物的不經濟實用，導致構架式結構的發展。但，由於高強度磚塊及高強度灰泥的生產，使承重牆經格版化（pane-lized）與容積模度化（volumetric module solution）以應用在高層建築物，再度引人注意。其他尚有許多構造觀念與構架式結構完全不同，或僅有小部份相似。除此以外，我們可預期在最近的幾年內，須特別注意尺寸及機能的調和“副系統（subsystems）”，亦即將外

2 鋼結構設計

牆、樓板、天花板、隔間與類似的建築物單件加以組合，以製造各種型式與尺寸的建築物。結構的組合，將愈趨重要，而構架亦將佔着一重要的地位。

構架式結構，在將來亦會像現在一樣，佔有相當的重要性。構架式結構的外牆，不需有承重的功能。因此，它主要在於控制室內與周圍環境間的差異，亦即控制光線、溫度、聲音、濕度等。因外牆無承重的功能，在材料的選擇及建造方法上更具彈性。內牆及隔間牆亦無結構作用，因此，在隔間的安排上亦具彈性。構架結構，容易建造與輸送。建造的時間與建築物的調和上，亦屬有利。所有這些特點均能滿足今日複雜建築物的要求。

任何建築物的構架，均以結構的安全、經濟為基準點而安排。至於柱子的位置與空間，則由建築上要求而考慮。就如同對同一空間要求有多套的計畫可以滿足，亦有多套的結構形態可滿足要求。但建築及結構計畫須能互相配合，亦即不能有過份複雜與太浪費的安排，將房屋蓋成。

構架式的多層建築物，在一般荷重下，柱子中心到中心的最經濟跨度為 22~26 ft (7 m~7.8 m)。短於 20 ft (6 m) 的跨度，很少是經濟的。超過 28 ft (7.8 m) 以上的跨度，只有在建築上需要時才如此做。但這些資料並不適用於高樓建築 (high-rise buildings)，因為這種建築物，通常會遭遇到特殊的問題。

上述原則，對所有型式的鋼構架建築均能適用。但結構設計的重點在幾種較普通的型式，如商業建築、公寓、學校、醫院等。

1.2 設計步驟

房屋結構設計，最重要的是與建築計畫與機電設備的配合。在作建築設計時，須將樓地板系統與柱子的安排牢記在心。在正式設計未提出以前，須先作構架平面及柱子尺寸之類的初步設計。因柱子的尺寸與淨空間，均能影響到建築設計。此在每層高度較低的房屋尤其明顯。在樓地板構架安排妥當後，再作梁 (beam) 與樑 (girder) 的設

計。然後作柱 (column) 及基礎 (foundation) 的最後設計。在作結構設計的過程中，須隨時核對建築結構、水電設計，使建築物在設計及建造上達到最佳狀態。

有些小房屋，將結構構架直接表示在建築平面圖上，這種辦法並不適當。若要使構架構件的位置、尺寸，及接合法能清楚的看出，不管是多小的房屋，均須將結構圖與其他種類的圖分開繪出。構架平面所顯示的，及構架與建築圖間的區別，只要在施工圖上略予研究就可看出。

1.3 設計荷重

建築物的荷重，分爲呆荷重 (dead loads)、活荷重 (live loads) 及側向荷重 (lateral loads)。側向荷重是指風力、地震力及土壓力或水壓力。以前大部份將側向荷重考慮成爲活荷重的一部份，但最近均將側向荷重從活荷重中分開。

1.3.1 呆荷重

此爲建築物隨時都在負荷的荷重。例如樓板、梁、樑、牆、屋頂、柱子、隔間牆等，並包括服務設備如機械、電器、水箱及其他固定在結構體上的設備。各種材料的設計荷重在當地的建築法規上均有規定。若當地沒有建築法規或法規的資料不完備時，讀者可參考——American National Standard Building Code. Requirements for Minimum Design Loads in Buildings and Other Structures., 即 ANSI A58.1-1972。表 1.1 所示者，爲該書的一部份資料。(註：我國建築技術規則建築構造編第一章、第三節有此類規定。)

表 1.1 典型建築材料的重量

材 料	pcf (lb/ft ³)	材 料	pcf (lb/ft ³)
圬工		磚工	
(水泥、石、沙)	144	硬	130
煤渣墊實	57	中度	115

4 鋼結構設計

純混凝土		軟	100
煤碴	108	石積工	
有孔溶碴骨材	100	花崗岩	153
膨脹粘土骨材	90	晶質石灰岩	147
熔碴	132	魚卵石石灰岩	138
碎石	144	大理石	156
蛭石骨材，非承重	25-50	砂岩	137
其它輕質骨材	70-105	建築用陶工	
鋼筋混凝土		填滿孔處	120
煤碴	111	沒填滿孔處	72
熔碴	138	木材	
碎石	150	白楊	41
方石工		柏木	32
花崗岩	165	樅木、洋松	34
晶質石灰岩	165	橡樹，紅色及白色	45
魚卵石石灰岩	135	松木	39
大理石	173	紅木	28
沙岩	144	針樅，紅色及白色	28

1.3.2 活荷重

此為建築物在使用時，可能加上的重量。一般假設此重量均佈在樓地板面。以 psf (lb/ft^2) 表示的均佈荷重，已足代表一般集中荷重的效應。換句話說，活荷重為呆荷重以外的所有垂直荷重。例如：人的重量、家俱、設備、儲藏物等的重量。屋頂則需考慮雪、冰、雨水等重量。有特重機械或其它類似集中荷重的房屋，須對該集中荷重特別設計。

表 1.2 為各種比較著名的規範，對各種使用條件的活載重規定。

有些法規規定，辦公室及閣樓，需預估活動隔間或未固定隔間的活載重。當有這類規定時，一般均用 20 psf 。對於電梯等類的衝擊荷重，亦需預估荷重。例如，在設計與電梯有關的梁、樑、柱等，均需

加 100% 的荷重。在許多地區雪荷重是必須的。一般假設最低值為 20 psf。更詳細的資料詳閱 ANSI A58.1-1972，或本書第二章。

表 1.2 最低活荷重規定

使用分類	單位面積內的最低活荷重				
	Natl. Bldg. Code 1967 ^a	South. Std. Bldg. Code 1973 ^b	Basic Bldg. Code 1973 ^c	Uniform Bldg. Code 1973 ^d	Amer. Natl. Std. Bldg. Code Req's. 1972 ^e
集會所在					
固定座位	60	50	60	50	60
未固定座位	100	100	100	100	100
住宅					
一樓	40		40		40
二樓	30		30		30
汽車間					
客車	50	120 ^a	75	50	50
其它	150-200		175	100	— ^b
醫院					
套房	40	40	40	40	40
操作室	60	—	60	—	60
X光室	100	—	—	—	—
旅館					
客房	40	40	40	40	40
工廠					
輕型	125	100	75	75	125
重型	125	150	— ^k	125	250
辦公室					
典型房間	80	50	50	50	50
學校					
教室	40	40	40	40	40
人行道	— ^h	200 ^b	250	250 ^b	250
商店					
零售店	100	75	75-100	75	75-100
批發店	125	100	125	100	125
倉庫	125-250	125-250 ⁱ	125-250	125-250	125-250

1. national building Code. 1967.
2. southern standard building Code. 1972.
3. Basic building Code. 1973.
4. uniform building Code. 1973.
5. American national standard building Code requirements. 1973.

1.3.3 側向荷重

建築法規通常都有規定，風壓力的最低設計值。所有的高層建築物，均需對風壓力加以考慮。平頂或傾斜的屋頂，必須能安全的承受正及／或負壓力。第二章將討論到，風力對建築物所發生的效應，與其應力分析。第五章將討論到抗風接頭的設計。在某些地區，地震力視為側向力評鑑的因素。因此有些法規對地震力的分析及細節有特別規定。（註：我國建築技術規則建築構造編第一章第四節為關於風力設計的規定，第五節為關於地震力設計的規定）在第二章中對於耐震設計提出了原則性的考慮。

1.4 工作應力

建築法規對於結構鋼的工作應力（working stresses）均有明文規定。所謂工作應力被定義為，鋼在實際使用時所承受的單位應力。鋼的容許工作應力，比其破壞應力為低。此容許值為職業或技術性機構經過多年研究的結果。AISC 規範上所推薦的容許工作應力，在美國被廣泛的接受。這些值列於 AISC 上“Specification for the design, fabrication, and erection of structural steel for buildings.”²

1974 AISC 規範，容許工作應力以屈服應力（yield stress）的百分比表示；其比值依鋼的型號及等級（grade）而異。鋼的屈服應力與其永久性變形有密切關係。因此，在設計時須特別注意。鋼的容許應力，亦與應力發生的種類有關係。軸拉力（axial tension）、壓力或彎應力（bending）及剪力（shear）等。例如，A36 鋼的屈服應力為 36 ksi。在某些特殊情況下，其容許彎應力為屈服應力 36 ksi 的 60% 或 21.6 ksi。但鋼的拉斷應力高達 58 ksi 至 85 ksi。

本書不詳細討論輕型鋼的設計。讀者可參閱下列諸規範：

AISC : Specification for the design, fabrication, and erection of structural steel for buildings.

AISC and The Steel Joist Institute : Standard specifications for open web steel joists.

American Iron and Steel Institute: Specification for the design of light gage cold-formed steel structural members and specification for the design of light gage cold-formed stainless steel.

1.5 安全因數

沒有任何建築構架的結構桿件 (structural member)，在正常荷重時，被設計成處於極限狀態，因結構體本身有許多不足因素。例如荷重、材料強度及建造時的準確度。因此，在設計時，需引入適當的安全因數 (factor of safety)，使桿件的應力低於極限應力的容許工作應力。安全因數，即為極限應力與工作應力的比值。但此定義並非完全適當。當應力超過屈服點時，結構體就開始發生破壞。當桿件的應力超過屈服應力時，結構型態便遭到破壞，產生永久變形。此永久變形並非意謂有危險性的崩潰。極限強度 (ultimate strength)、彈性限度 (elastic limit)、屈服點 (yield point) 間的關係，將在第四章內再度提到。

1.6 結構鋼

今日已有許多結構鋼可資應用。在過去並沒有這種現象。事實上，1973年製造的鋼，在1963年大部份都不能適用。近年來的鋼，最主要的改良在於強度 (strength)、展性 (ductility)、防腐性 (corrosive resistance) 等。如1.4節所述。鋼的屈服應力 (yield stress) 為其強度的指數。有許多年，鋼的屈服強度均在33 ksi以下；至今日，屈服強度均從36 ksi到100 ksi，在最近的將來，可能提高到160 ksi到200 ksi。

展性 (ductility)，為材料在某一定應力作用下，其本身強度保持不變的情況時，材料能延展的能力。展性愈好的材料，愈能調整應力，使保留更多的可用應力。此為塑性設計 (plastic design) 的基本特性，但在目前鋼結構並無最低展性的規定。

鋼材的防腐處理與防火的技術，使近幾年來鋼鐵房屋的外觀改變

8 鋼結構設計

。沒有防腐處理的鋼，若不加油漆或維護，暴露在大氣中，不僅會生銹且不美觀。在強度上也會損失；使用防腐處理的鋼材，其外表很快形成一層氧化層，此層作用與油漆類似。設計時需特別注意構造細節，注意完全排除鋼件表面的水分，使鋼件不致因生銹，而刮傷窗戶，或污染混凝土，或其它表面。

除此以外，必須記住，當鋼的溫度達到 600°F 時，其載重能力減弱。當溫度達到 1200°F 以上時，其承載力變為極小。因此，若鋼材被放置在上述溫度的地方，即需做適當的保護（隔離）。在過去這種保護層，均使用混凝土與石膏板類。我們須考慮生命的安全與適當的保護層，要達到這目的，需從下列各事項討論：火力大小、火源、火焰與煙的散發、蔓延方向、火的抑制、人類及結構物與設備的隔離等。房子的結構要達到完美無缺，必需做到無論人在室內或室外，都能得到安全的保障。因受火而損壞的桿件，其修理既困難且昂貴，故結構桿件需適當的加以保護，以避免此類損害發生。

鋼材的名稱，通常均依美國材料試驗協會（American society for testing and materials，ASTM）的命名。例如 A36 結構碳鋼，稱為 A36 鋼。目前用在結構方面的鋼，大部份均為 A36。於 1.4 節曾說明過 A36 鋼的屈服強度為 36 ksi。A36 鋼可製成各種形狀。平軋的厚度甚至可達 8 in。表 1.3 列出七種最可能用在結構方面的鋼，其屈服應力及其它有關數據。

由表 1.3 可知，A242 及 A588 具有抗蝕性（corrosion resistance）；A440 不能使用銲接接合；A514 強度最大，目前只用在軋鋼。抗蝕性亦可用等級（grade）來區分；除 A36 外，其餘鋼的等級愈大，厚度愈小。例如 A440，A441 及 A242 鋼，屈服強度 50 ksi 者，最大厚度為 $\frac{3}{4}$ in，屈服強度 42 ksi 者，厚度在 $1\frac{1}{2}$ in 與 4 in 之間。

強度較大的鋼當然較貴，但鋼價是以重量來計算。用高強度的鋼，其重量可以降低。因此，用高強度的鋼，結構的造價並不一定就高