

科學圖書大庫

鋼結構設計

譯者 黃民仁 陳東華

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

鋼結構設計

譯者 黃民仁 陳東華

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十九年二月廿日三版

鋼結構設計

基本定價 4.20

譯者 黃民仁 國立台灣大學工學士
陳東華 國立中興大學工學士

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

譯 序

本書為美國奧克拉馬州立大學建築學教授 John E. Lothers 所著，歷經三版，有系統地介紹鋼結構設計的各種問題，含公式導演、原理分析、實例說明等等；全書十章，另三節附錄：一至九章為彈性分析、第十章則討論塑性分析。對房屋建築及橋梁等之各部份，如梁、桁、接頭、底版、基腳、屋頂桁架等分別詳細討論。第三版採用最近的 AISC、AREA 及 AASHTO 規範；同時增加高強度鋼之最近發展、高強度螺桿之應用、以及靜不定鋼結構之塑性分析等。全部採用 AISC 之符號及名詞。

就初學者言，本書提供良好的原理介紹；就實際從事的工程人員言，則可由本書得到滿意的參考資料及分析設計步驟。最重要的，本書提供最精簡的分析設計法，並符合最近的 AISC、AREA 及 AASHTO 規範之要求。

由於鐵路電化工程全面推展，筆者有幸參與工程行列，本身工作已相當忙；但念及徐氏基金會贊助工程書籍出版之熱忱；及忝為工程人員，理應引進工程方面的新知識、新經驗；因此不顧一切，著手逐譯；經四月有餘，草稿初成。承陳工程師東華先生精心校閱、徐氏基金會之排版印刷，使本書得與讀者見面，謹在此致最深的謝意，又本書初稿大部份在上下班火車上完成，參考資料或有欠缺，疏漏難免，尚祈學者專家不吝指正。

黃 民 仁 謹識
民國六十五年四月
於台灣鐵路局新竹工務段

原 序

此版主旨在說明美國鋼結構協會 (AISC)、美國鐵路工程協會 (AREA) 及美國各州公路員司協會 (AASHTO) 最近的規範。同時亦對高強度鋼最近的發展，及高強度螺栓比起鉚釘在接頭用途上的增加有所體認。此外，本版全部採用 AISC 的名詞及符號；但標示斷面、公式、問題及例題等仍沿用街廓法 (City-block method)。

規劃本書所根據的前提為：分析與設計，在教室內不能比在結構工程辦公室內做更多的分析。在大部份情形下，得到一個可以直接代用數據的方程式或公式，即算達到分析的最終目的。許多工程界學者却反對如此做，因為事實上，套用公式的方法與查手冊沒什麼分別。若用別種說明方法，極可能須佔用浩繁的篇幅。方程式或公式為表示工程原理最簡明可行的方法。捨此別無更好的途徑。指導老師的職責在使學生明瞭方程式之導演。

本書不但可作為學生數個月的教科書，亦可作為其日後工作上的參考。就實際從事的工程師言，公式為最省時省事的工具，缺少公式，則設計時，每一步皆須解釋清楚，不但費事，並且容易發生錯誤疏漏。而就學生言，每一公式皆須自基本原理導出，以供日後遭遇各種情況時的參考。

感謝前述三個機構，允許本書引用其標準規範。同時對 AISC、AREA、美國橋梁部、美國鋼鐵公司、Behtlehem 鋼鐵公司、Austin 公司、Lincoln 電力公司及 David Graham 等提供之精美結構圖片深致謝忱。最後感謝本書的打字小姐——我的女兒，Bobbie Jean

John E. Lothers

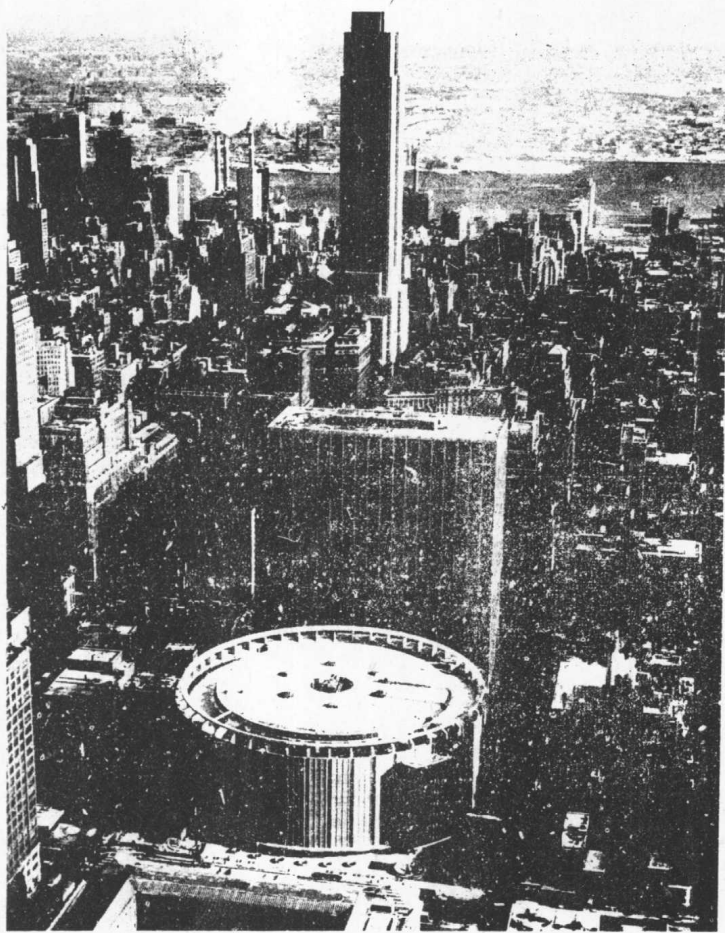


圖101 紐約市，賓夕凡尼亞廣場，美迪遜市區公園之鋼構建築。

目 錄

譯序 原序

第一章 緒論..... 7

101 鋼鐵設計..... 1

102 計算與校核..... 1

103 計算尺..... 1

104 結構鋼..... 2

參考書目..... 2

第二章 鋼梁或桁之彈性設計..... 4

201 定義..... 4

202 型鋼梁之設計步驟..... 5

203 彎矩..... 6

204 剪力..... 10

205 型鋼鋼梁及桁之設計..... 12

206 撓度..... 17

207 最經濟斷面..... 18

208 楣梁..... 20

209 承受巨大集中荷重之梁

..... 22

210 受巨大集中荷重短梁之

校核..... 26

211 格子梁..... 28

212 格子梁分析..... 29

213 不對稱彎矩..... 33

214 數學解法..... 33

215 圖解或稱 S-多邊形法..... 36

216 用S-多邊形設計的步驟..... 37

一般問題..... 39

參考書目..... 43

第三章 一型鋼張力及壓力

桿件..... 45

301 張力桿件..... 45

302 設計步驟..... 45

303 鋼棒及眼桿之淨斷面..... 46

304 鉚接桿件之淨斷面..... 47

305 壓力桿件..... 54

306 設計步驟..... 54

307 聯條及聯繫板..... 58

308 軸向應力及彎曲應力之

合力..... 63

309 直接求A..... 64

310 等似集中荷重..... 68

311 偏心接合..... 70

312 撓度之影響..... 71

一般問題..... 73

參考書目..... 78

第四章 簡單接合及其細節 80

401 接合..... 80

402 鉚接及一般螺栓接合..... 80

403 高強度螺栓接合..... 88

404 連續板..... 89

405 加接角鐵..... 91

IV

406 樞接·····	94	515 托架型接合·····	170
407 樞軸設計·····	96	516 熔接梁柱接合·····	176
408 樞板·····	97	517 柱翼緣加勁板·····	177
409 佈置·····	100	518 各種偏心接合·····	182
410 熔接·····	106	519 支承力矩的連續板·····	185
411 熔接之優點·····	106	一般問題·····	192
412 熔接分類·····	107	參考書目·····	196
413 熔接設計·····	112	第六章 彎矩支承底板及其	
414 結構細節·····	118	基脚····· 199	
415 構架梁接頭·····	121	601 底板·····	199
416 鉚接梁細部·····	122	602 第一類柱底板·····	199
417 簡支熔接梁接頭·····	127	603 第二類柱底板·····	200
418 熔接細部之標準符號·····	131	604 第三類柱底板·····	202
一般問題·····	134	605 梁底板·····	206
參考書目·····	137	606 設計底板厚度·····	210
第五章 偏心接合····· 139		607 底板分析之經驗方法·····	213
501 托架·····	139	608 柱底板接合·····	215
502 鉚接托架—間接方法		609 基脚·····	222
(情況 I)·····	139	610 高而獨立商業標示之基	
503 鉚接托架—情況 II·····	141	脚·····	228
504 鉚接托架—情況 III·····	142	一般問題·····	234
505 鉚接托架—情況 IV·····	143	參考書目·····	236
506 托架腹板設計·····	144	第七章 組合梁與板桁····· 238	
507 熔接托架—情況 V·····	152	701 緒論·····	238
508 熔接托架—情況 VI·····	157	702 組合梁·····	238
509 熔接托架—情況 VII·····	157	703 蓋板設計·····	238
510 托架分析之直接方法·····	162	704 蓋板之鉚釘間距·····	239
511 情況 II 及 III 之直接方法		705 蓋板熔接·····	240
·····	162	706 鉚釘板桁·····	242
512 情況 IV 之直接方法·····	163	707 慣性矩法·····	247
513 直接分析法用於熔接托		708 板桁之設計步驟·····	248
架·····	165	709 蓋板長度·····	249
514 鉚接梁—柱接合·····	167	710 腹板加勁條·····	252

711 鉚接翼緣接合	257	816 廠房設計步驟	302
712 端點接合	260	817 桁條	303
713 鉚接桁之腹板連接板	262	818 防彎桿	305
714 填角熔接單板腹板接合	268	819 臨時廠房排架分析	309
715 腹板內之合應力	269	820 桁架桿件之設計	317
716 無側向支撐板桁	270	821 起重機行車大梁	321
717 重型桁	271	822 臨時廠房之柱	327
718 熔接板桁	272	823 節點設計	331
719 熔接板桁斷面	273	824 縱撐構	335
720 熔接翼緣接合	274	一般問題	339
721 熔接加勁條	276	參考書目	341
722 熔接桁之腹板續接	278	第九章 鋼橋	343
723 熔接端點接合	280	901 橋梁設計	343
一般問題	281	902 橋梁之應力分析	343
參考書目	283	903 指數法	343
第八章 屋頂桁架及廠房排架	285	904 公路橋梁活荷重	347
801 屋頂桁架	285	905 鐵路橋梁活荷重	348
802 屋頂桁架之高跨比	287	906 橋梁上之衝擊應力	349
803 重力荷重	287	907 橋梁呆荷重	350
804 呆荷重	287	908 活動荷重下之應力分析	351
805 雪荷重	288	909 風應力	360
806 風荷重	288	910 公路橋梁之橋面	362
807 Duchemin's 公式	289	911 鋼筋混凝土橋面版	363
808 ASCE 31 第分會之決定報告	289	912 膠合木橋面版	369
809 應力分析	291	913 鋼甲板橋面	373
810 節點算術法	292	914 橋梁桿件之設計	378
811 節點圖解法	293	915 半穿式桁架垂直桿之設計	378
812 斷面法	294	916 半穿式桁架之上弦	379
813 風荷重之反力	295	917 橋梁桁架設計步驟	379
814 廠房	300	918 撓度與反撓度	385
815 橫撐構	301	919 輔助桿件	389

V

920	反撓度.....	391	1010	方形無鉸支、剛性排架.....	427
	一般問題.....	391	1011	屋脊排架.....	429
	參考書目.....	393	1012	均佈荷重.....	430
第十章	塑性分析及設計	395	1013	Estes 公式.....	436
1001	塑性理論.....	395	1014	次要考慮.....	441
1002	塑性理論基礎.....	395	1015	接頭.....	442
1003	贅餘梁之塑性分析.....	399		參考書目.....	444
1004	平衡分析法.....	401		附錄 A 公式導演	447
1005	虛功法.....	406		附錄 B 工程數據表	450
1006	均佈荷重.....	407		附錄 C 公式	459
1007	連續梁.....	410		中英名詞對照	463
1008	無側向支撐梁.....	417			
1009	單層單架間排架.....	419			

第一章 緒論

101 鋼鐵設計

一般而言，鋼結構設計為材料力學之應用，而以規範控制，計算尺及鋼結構手冊為主要工具；材料力學為主要課程。對材料力學有充分根基，對計算尺之應用亦稍有認識後，則研究鋼結構設計之重要課題，便是對鋼鐵手冊之完全瞭解，及對公認標準規範之精通。

型鋼之唯一手冊為美為鋼鐵結構協會所出版的鋼結構手冊及鋼之塑性設計。該協會住址為紐約公園大道 101 號。每個學習鋼結構設計的學生都要有一本抄本。

本書於各例題之解答時，引用標準規範中之相關部分；而對建築之完整規範，請參考上述鋼鐵手冊。

102 計算與校核

重要的計算，需考慮其作為爾後參考的可能性，因此必須精闢、清晰、完整可供校對，完善的草稿，不但使校核容易，且使計算者有條不紊。在設計上，干犯大錯誤最為嚴重，每一個計算及校核者，皆需努力訓練培養正確的觀察能力，用觀察法較易找出大的錯誤；而且在整個設計過程中，亦需經常使用概念來校核——看似正確嗎？

103 計算尺

雖然一些計算者喜歡用 20 吋計算尺；假若刻劃能對準，讀數很正確，則精良的 10 吋計算尺，已足敷用於所有結構設計工作。10 吋計算尺的精度，和三位對數表相當。20 吋計算尺相當於四位對數表。

計算應力不需採用比求荷重更大的精度。雖然三位對數表可能得到十分概略的結果，但須知荷重很少準確到 100 磅之內，重型結構荷重精度在千磅以內已足夠，此乃因為我們計算所採用之活荷重數據，常根據規範或規格，

2 鋼結構設計

故其只近似實際情況而已。

小數點：對一般計算者來說，以觀察或概略計算定小數點位置並不可靠，尤其對多個純小數連乘及連除的方程式為然。十的冪次法（power-of-ten method）常需重寫方程式。計算尺計算時，較簡易的小數點定位法見 L. W. Rosenthal 所著的 *The Mannheim Slide Rule*，該書由 Eugene Dietzgen 公司出版。

104 結構鋼

近年來高强度鋼已漸被採用，故說到結構鋼時，必先瞭解美國材料協會（ASTM）所用之名詞。

最常用之鋼為 A36，為一種結構碳鋼，其最小屈伏點 36ksi（每平方吋千磅）。常用的高强度鋼之標稱最小屈伏點（designation minimum yield point），自 42ksi 至 50ksi；然而超過 36ksi 之最小屈伏點應力，依所設計構件厚度而定；厚度等於或小於 $\frac{3}{4}$ 吋者，額定最小屈伏點（Specified minimum yield point）為 50ksi；厚度 $\frac{3}{4}$ 至 $1\frac{1}{2}$ 吋者為 46ksi；厚度超過 $1\frac{1}{2}$ 吋者為 42ksi。

對於每一高强度鋼，ASTM 亦指定一識別顏色，好比彩券或試樣在發行前塗以識別顏色一樣。上述額定最小屈伏點適用於下列高强度鋼：A 242，高强度，低合金結構鋼，識別顏色為藍色；A 440，高强度結構鋼，識別顏色為棕色；A 441，高强度，低合金結構錳鈮鋼，識別顏色為白色。

另外一種重要高强度鋼為 A 514，為高屈伏强度，淬火鍛鍊，合金鋼板，適於鉚接；其額定最小屈伏點如下： $\frac{3}{4}$ ~ $2\frac{1}{2}$ 吋（含 $2\frac{1}{2}$ 吋），100ksi； $2\frac{1}{4}$ ~4 吋（含 4 吋），90ksi，其識別顏色為紅色。他種高强度鋼，見鋼結構之 AISC 規範^{1*} 或 ASTM 規範²。

參考書目

1. American Institute of Steel Construction, Inc., *Manual of Steel Construction*, 1970.
2. *ASTM Specifications for Structural Steel*, 1969.

原註：*數字相當於章末參考書目之項號。

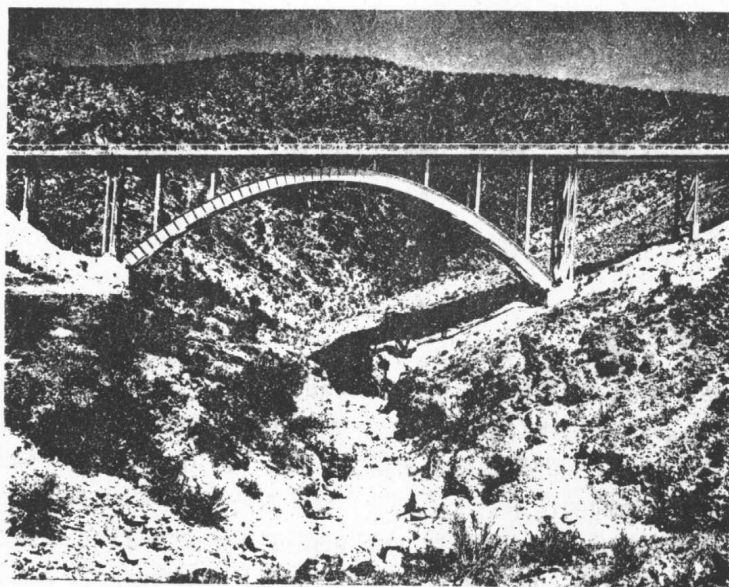


圖 201 亞利桑納的 Kaiser Spring 橋。

第二章 鋼梁或桁之彈性設計

201 定 義

梁 (beam) 爲受橫向荷重 (Load) 之桿件，因此必須設計以支承剪力 (Shear) 及力矩 (Moment)。梁有多種名稱及外形。就其功用說：可爲桁架 (Truss) 間傳遞屋頂荷重之桁條 (Purlin)；或爲桁條間傳遞屋頂荷重之傾斜方向的椽子 (Rafter)；也可能是門窗開口上方支承磚或他種圬工之楣梁 (Lintel)；欄柵爲一種小間距的梁，支承樓板；縱梁 (Stringer) 平行於橋梁桁架，傳遞橋板荷重至橫梁 (Floor beam)；而橫梁更爲傳遞橋板荷重至桁架之大梁。軸桿 (Shaft) 爲圓筒型梁傳遞動力至機械，故除了受一般的剪力及力矩外更受扭矩 (Torsion)。大尺寸的梁特別稱爲桁 (Girder)，桁內通常架設有較小的梁，而受樓版荷重。側拱 (Spandrel) 及平梁 (Grade beam) 由他們在建築物之位置而得名。側拱橫跨外柱承受樓版及外牆載重，平梁則爲無地下室建築物的最下面的側拱。

就外形言，梁可分爲 I - 梁，型鋼斷面 (或稱 S - 梁) 及 T - 與 L - 梁。後者常配合鋼筋混凝土做成。樞軸 (Pin) 爲短截，圓筒形梁，常用爲大桁架及某種型式的吊橋之連結裝置，見圖 410。

數種較常見形式之桁爲：箱形桁 (Box-girder) 爲具有兩個或多個腹板 (Web) 之組合桁；板桁 (Plate girder) 爲由鋼板或由鋼板及角鋼組成的桁；T - 翼桁 (T - flange girder)；爲一種特殊型式的板桁由 T 形鋼、鋼板、角鋼及多個腹板組成。混成桁 (Hybrid girder) 爲高强度鋼出現後之產物；由高强度鋼之翼緣與 A 36 腹板組成。由於腹板常不是臨界考慮位置，故此種混成桁常可以最小之成本，增強甚多之強度。另外，混成桁受彎矩後之情形非常近似於均質者。

就支承狀況言；可分爲簡支梁 (Simple beam)，兩端都不受固定支承者；外伸梁 (Overhanging beam)，自由支承且一端或兩端伸出於支承之外者；連續梁 (Continuous beam)，自由支承但支承數目等於或多於三；固

端梁 (Fixed-end beam)，其兩端皆固定不能轉動。鉗制梁 (Restrained beam)，一端或兩端部份固定；懸臂梁 (Cantilever beam) 一端固定，他端無支承。實際上最普遍者為鉗制梁，而固端梁在建築中極少見。

202 型鋼梁之設計步驟

型鋼梁之設計一般極簡單，但在某些情況下可能包括許多不同的考慮；其中包括彎矩 (bending)，剪力，腹板摺曲 (Web crippling)，垂直屈曲 (Vertical buckling)，側向屈曲 (Lateral buckling)，聯合應力 (Combined stress)，撓度 (Deflection)，及偶而發生扭矩及疲勞 (fatigue)。大部份情形下彎矩較具決定性，故梁之設計先由彎矩決定梁之尺寸，然後依情形校核上述某項或各項應力之考慮斷面。經驗豐富的設計者，可以觀察指出除了彎矩外尚得考慮那些因素。

設計步驟如下：

1. 繪梁及其荷重之草圖，計算最大剪力及最大力矩。荷重狀況複雜時，也可能須要繪剪力圖以確定最大彎矩斷面之位置。

2. 解式 201a 求得斷面模數 (Section modulus)，用額定值 F_b (式 202)。

3. 由鋼鐵手冊選擇最適當之斷面，須記住所選梁之斷面模數，應包括梁本身自重之影響。由於呆重 (Dead load) 無法預先知道，須先略作概算 (無須記載)。除非他種顧慮控制，不然須採用滿足該斷面模數之諸斷面中最輕者。

4. 用式 203，計算剪力最大處梁腹之單位剪應力。

5. 比較端點及大集中荷重處之實際應力與容許應力，以決定選用腹板加勁，見 209 節。

6. 必要時檢討聯合應力，見 209 節。

7. 在限制撓度處，檢討其撓度，見 206 節。

8. 在有扭矩情形下，計算由扭矩產生之附加剪力。扭矩詳另章。^{6,7}

9. 若限制最大應力之發生次數，則另須考慮疲勞。見後面之 AISC 規範²。

上述步驟中，計算者須採用統一的單位，吋不能和呎混淆，磅也不能與千磅相雜，若用適當的單位，則可得統一的結果，如式 201 中，

$$in^3 = \frac{lb \times in.}{lb/in^2}$$

203 彎矩

由材料力學知，梁之彎矩方程式為：

$$S = \frac{M}{F_b} \quad (201a)$$

其中 S 為所需之斷面模數， M 為所加之最大力矩，而 F_b 為無軸向力時允許之最大拉或壓纖維應力。

式 201 之右邊皆為已知或可即刻求得者， M 由已知數據計算得， F_b 固定或可由規範計算得。該式左邊，斷面模數可由型鋼之鋼鐵手冊查表得到。

容許值 F_b 依斷面之是否密實及側向支撐之間距而定。所謂密實，其斷面須滿足下面 2、3 及 4 項之要求。實際上所有 A36 之 S 型鋼及 W 型鋼以及大部份屈伏應力到達 50ksi 之型鋼皆滿足該等要求而稱為「密實斷面」。所謂有側向支撐，其受壓翼緣之側向支撐間距，須滿足下面等 5 項之要求。

適用於彎矩之 AISC 規範 晚近的 AISC 規範受數值計算機之影響，其設計取電子計算準確之所有優點，此可由 AISC *Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings* 及 *Manual of Steel Construction*² 發現。

依 AISC 規範：對稱密實側向支撐熱軋或組合桿件（混成桁及 A 514 鋼除外）外緣纖維之拉張及壓縮應力在受對稱於其較小軸之荷重時須符合下式要求： (202a)

$$F_b = 0.66 F_y$$

其中 F_y 為所用鋼之額定最小屈伏應力，其單位為每平方吋千磅； F_b 為無軸向力時之容許彎曲應力。

為達到上述容許應力桿件須符合下列要求：

- 1 翼緣與腹板須全部連結。
- 2 Compact 斷面受壓翼緣之未加勁突出部份之寬度一厚度比不得大於 $52.2 / \sqrt{F_y}$ 。
- 3 受壓翼緣之加勁部分之寬度一厚度比如同兩合軸向線間之蓋板不得大於 $190 / \sqrt{F_y}$ 。
- 4 腹板之深度一厚度比值不得大於

$$\frac{d}{t} = \frac{412}{\sqrt{F_y}} \left(1 - 2.33 \frac{f_a}{F_y} \right)$$

此外其值不須小於 $257 / \sqrt{F_y}$ 。

5. 受壓翼緣須加側向支撐，其間距不得大於 $76b_f/F_y$ 亦不得大於 $20,000 A_f/dF_y$ ，亦即

$$\frac{l}{b_f} \leq \frac{76}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{20,000 A_f}{dF_y}$$

其中 l = 壓力翼緣側向支撐間之距離。由於該式定 l/b_f 之值，也可以取 l/b_f 做校核；在此範圍外，梁當成無側向支撐，因此須由式 202e 至 202g 求 F_b 。

除混成桁及 A 514 鋼做成的桿件外，滿足上述 1 至 5 項要求，且與支承連成一體，或者以鉚釘、高强度螺栓或熔接剛性連結於柱子之梁及桁（包括根據混合作用力設計之桿件），可依在支承處產生最大彎矩時之荷重狀況下之負彎矩的十分之九設計；唯此等桿件其最大正彎矩須增大其平均負彎矩的十分之一；此種折減不能用於懸臂上之荷重產生之力矩。若此項負彎矩由剛性連結於梁或桁之柱子支承，且柱子同時受軸向及彎矩荷重，而軸向荷重產生之應力 F_a 不超過 $0.15 F_a$ 時，亦可由折減十分之一之彎矩求得柱子之尺寸。

除了 $b_f/2t_f$ 大於 $52.2/\sqrt{F_y}$ 而小於 $95.0/\sqrt{F_y}$ 之情形外，滿足上述 1 至 5 項要求之桿件可依下述容許彎曲應力設計：

$$F_b = F_y \left[0.733 - 0.0014 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right] \quad (202b)$$

其中 b_f 為翼緣寬， t_f 為翼緣厚度。

滿足上述 1 至 5 項要求，且撓其較小軸彎曲之雙向對稱 I - 及 H - 型桿件（A 514 鋼除外）；實心圓形或正方形棒；以及實心方形棒撓其較弱軸旋轉者，其最遠纖維之拉力及壓力依下式求得

$$F_b = 0.75 F_y \quad (202c)$$

此項對密實斷面及撓其較弱軸彎曲之實心方形桿件，其 F_a 值 25 % 之增加乃根據該等斷面撓其弱軸彎曲時佔著形狀因素（Shape factor）之利，並且在此位置時桿件不受側向扭屈（Lateral torsional buckling），箱型受撓曲桿件其受壓翼緣或腹板之寬度—厚度比無法滿足上述 1—5 項要求，且不大於 $95.0/\sqrt{F_y}$ ，以及所有他種受撓曲桿件其受壓翼相隔很短距離（ $l/b_f \leq 76.0/\sqrt{F_y}$ ）即有側向拉桿時，最遠纖維之拉力及壓力為：

$$F_b = 0.60 F_y \quad (202d)$$

無側向支撐梁 對荷重平面具有對稱軸之桿件，若其撓主軸彎曲且其最大彎曲應力減小至足夠小，不致在受壓翼緣發生屈曲時，側向拉條間距可以較大。確實估計此等桿件之屈曲強度所需之數學表示，就一般用言，超過複