

鋼結構設計



# 鋼結構設計

李國豪編著

江苏工业学院图书馆  
藏书章

龍門聯合書局印行



## 緒 言

本書是編者在同濟大學所用的講義。自 1949 年秋開始編寫以來，中間曾用以講授二次，並修改了二次。雖然著者覺得它還不夠完善，但因國內亟需這種中文教材，故決定把它付印，以期拋磚引玉。

全書分十二章。第一章略述建築鋼的種類和性質，對於鋼結構性能的瞭解至為重要。第二章則介紹單層廠房、樓房及簡單橋梁的構造大概，使學者易於瞭解以後關於各結構部份的講述。雖然書中以這幾種建築物為討論的對象，但是所述的設計原理和方法却是各種鋼結構共同的，一般適用的。第三章討論准許應力和安全度。這是鋼結構設計中的基本問題。除掉一般性的討論之外，並將實際情況扼要地加以分析。第四章至第十章包括鉚接結構以及它的支承。其中第六章關於壓桿的敘述佔的篇幅稍為多些，原因在鋼結構的歷史上有不少的不幸事故是由壓桿的破壞所致，所以它的設計值得特別注意。最後兩章敘述焊接的方法和性質，並擇要介紹焊接結構，以示焊接用途的一斑。

理論是設計的基本和指南。必須透澈瞭解理論，然後才能夠正確運用設計方法。如果墨守成規，拘泥規範條文，則一遇疑難情形，便束手無策或即犯錯誤。因此書中敘述設計方法時，特別着重於原理的闡明，務使初學者不但知其然，而且知其所以然。

本書的缺點尚多，一方面因為著者的能力有限，另一方面則因為受着客觀條件的限制。我國過去在帝國主義的長期控制下沒有建設可言，即令有一二鋼鐵結構也為帝國主義者所包辦代造。因此我們在這方面未能積累經驗，還沒有一套完整的工程標準。中央人民政府成立以來，有關部門已着手製訂各種工程標準，但是新訂的標準勢難十分週全，而且也不可能包含一切。因此著者在書中若干地方不得不暫時引



用一些國外的資料。其次，由於形鋼標準未定，各地所用的形鋼因來源不同而極不一致。因此，示範性的數字例題難適合各方參考之用，故書中暫且從略。再者，中文的專門名稱目前尙未統一規定，書中若干名稱是著者所試擬，不恰當的地方在所難免。上述的種種缺點都有待於將來逐步的改進。如蒙各方指正，將不勝感謝。

本書的初稿承黃明煦君抄寫，及廖順江先生繪圖。付印時的圖表則承胡匡璋先生悉心繪製，承顧善德先生註寫。胡先生並且幫忙校對。本書能夠完成，實有賴於這幾位同仁的熱心幫忙，特在此誌謝。

李國豪

一九五二年一月於上海同濟大學



# 目 錄

第一章 鋼鐵材料	1
A. 鋼鐵材料的種類	2
1. 鋼鐵的成份	2
2. 鋼鐵的種類	4
B. 形鋼和鋼板	7
C. 鋼的性質	10
1. 受拉力或壓力時鋼的性質	10
2. 受剪力時鋼的性質	13
3. 受混合應力時鋼的性質	14
4. 鋼的硬度	16
5. 受衝擊力時鋼的性質	16
6. 反復荷重下鋼的性質	17
第二章 結構種類和式樣	21
A. 單層廠房	21
B. 樓房結構	24
C. 橋梁	25
第三章 荷重、准許應力及安全度	29
A. 荷重	29
B. 准許應力及安全度	29
第四章 鉚釘、螺栓和梢	35
A. 鉚釘材料、製法及種類	35
B. 鉚釘的內結應力、應力及鉚接強度	38
1. 鉚釘的內結應力	38



2. 鉚釘的應力 .....	38
3. 鉚接強度 .....	41
C. 鉚接的計算及設計 .....	42
1. 剪力鉚接 .....	42
a. 承受軸心力的鉚接 .....	43
b. 承受力矩的鉚接 .....	44
c. 彎應力的副作用 .....	46
2. 拉力鉚接 .....	46
3. 鉚釘大小的選擇及它的排列 .....	48
D. 螺栓及梢 .....	51
1. 螺栓 .....	51
2. 梢 .....	53
第五章 拉桿 .....	56
A. 拉桿強度 .....	56
B. 拉桿設計 .....	57
第六章 柱及壓桿 .....	60
A. 壓桿強度 .....	60
1. 受軸心壓力的桿 .....	60
2. 受偏心壓力的桿 .....	63
B. 壓桿設計 .....	64
1. 准許壓應力的規定 .....	64
2. 屈折長度的規定 .....	66
3. 切面變化的壓桿 .....	67
4. 壓桿設計 .....	68
5. 受壓力及彎矩的桿 .....	71
C. 複式壓桿或格子壓桿 .....	74
1. 格子壓桿的強度及實際計算 .....	74



2. 格子壓桿的剪力 .....	77
D. 格條、連鈑及橫隔鈑 .....	79
1. 格條 .....	79
2. 連鈑 .....	81
3. 橫隔鈑 .....	83
第七章 桁架桿的設計、接頭及節點連接 .....	84
A. 桁架桿的設計 .....	84
B. 桿的接頭 .....	90
C. 節點連接 .....	90
第八章 形鋼梁 .....	105
A. 梁的計算 .....	105
1. 普通荷重情形 .....	105
2. 雙向彎矩作用 .....	107
3. 梁的准許撓度 .....	108
4. 切面不對稱的梁 .....	109
5. 壓翼緣的屈折安全度 .....	110
B. 形鋼梁的接頭 .....	111
C. 形鋼梁的支承和連接 .....	112
1. 下承法 .....	112
2. 簡單梁的連接 .....	115
3. 連續梁的連接 .....	116
第九章 鈑梁 .....	122
A. 設計要點 .....	122
B. 切面計算 .....	125
C. 翼緣鉚釘 .....	129
D. 梁的接頭 .....	131
E. 腹鈑的翹曲計算及加勁設計 .....	136



1. 鋼板翹曲理論簡要 .....	137
2. 腹板的翹曲計算 .....	140
3. 腹板的加勁 .....	147
a. 間隔加勁 .....	147
b. 支承加勁 .....	150
<b>第十章 支座 .....</b>	<b>153</b>
A. 形鋼梁、屋架及柱的支承方法 .....	153
1. 形鋼梁在牆上的支承方法 .....	153
2. 屋架在牆上的支承方法 .....	154
3. 柱腳構造 .....	145
4. 橋梁的支座 .....	158
5. 支座接觸面上的壓力 .....	159
<b>第十一章 焊接 .....</b>	<b>161</b>
A. 焊接的方法與檢查 .....	161
B. 焊縫種類 .....	164
C. 焊接引起的變形、內結應力及硬化 .....	165
1. 冷縮變形 .....	165
2. 內結應力 .....	167
3. 硬化現象 .....	168
4. 限制或消除冷縮變形等的方法 .....	168
D. 焊接強度 .....	170
E. 焊接計算 .....	173
<b>第十二章 焊成結構 .....</b>	<b>176</b>
A. 形鋼梁的焊接結構 .....	176
B. 焊成鈹梁 .....	178
1. 焊成鈹梁的式樣 .....	178
2. 翼緣和它的接頭 .....	179



3. 腹板的接頭 .....	181
4. 加勁 .....	181
C. 焊成桁架 .....	183
D. 焊成的柱 .....	184
E. 焊接與鉚接混合使用的問題 .....	185

附錄 形鋼表



## 第一章 鋼鐵材料

**引言** 鋼料與其他建築材料比較起來有幾種好處：第一，鋼的化學和物理的品質比較均勻。第二，它能夠承受極大的拉應力、壓應力和剪應力。第三，應用之前它易於準確試驗。第四，構件可以在工廠裏用機器準確製造。第五，在工地安裝迅速而且不受天氣的限制，因而可以在短期內完工。例如上海廿四層樓的國際飯店，它的鋼架結構的裝接工作，雖然工地狹隘施工不便，只化了八個月的時間，即1932年八月至1933年四月。

鋼鐵建築的歷史主要是鋼鐵橋梁的發展史。由於鐵道和公路的發達以及車輛載重的不斷增加，一方面需要大量造橋，另一方面要求造橋所用的鋼鐵的品質不斷地提高。十八世紀後半期開始建築鐵橋時用的材料是鑄鐵。因為鑄鐵太脆，到十九世紀的中期改用熟鐵(註1)。後來新的煉鋼方法——酸性風煉鋼法(Bessemer, 1855)，平爐煉鋼法(Siemens-Martin, 1865)碱性風煉鋼法(Thomas, 1878)——相繼發明，於是逐漸採用這樣煉製的鋼(註2)。到十九世紀的末年它便完全代替了熟鐵。第一次世界大戰以後，高強度的輕合金鋼，即高級建築鋼應用漸廣。今天普通建築鋼和高級建築鋼都成了鋼結構的主要材料。

### A. 鋼鐵材料的種類

#### 1. 鋼鐵的成份。

鋼的煉製過程分為兩步：首先把鐵礦在高爐(註3)中加焦炭和石灰石燃燒到 $1700^{\circ}$ — $1800^{\circ}\text{C}$ 。鐵熔化後吸收了炭與爐渣分離而成生鐵。

(註1) 熟鐵, Schweißstahl, Wrought Iron, 是從生鐵熔化以後在半凝結狀態煉成的, 比鋼含的爐渣多些。

(註2) 鋼, Flußstahl, Steel, 是從生鐵在熔化成流體的狀態煉成的。

(註3) 高爐, Hochofen, Blast Furnace.



因爲生鐵含炭太多，化學成份不合宜，所以須把它放在前述的煉鋼爐中，必要時加入廢鐵及所需的化學元素，再燻化燃燒(把炭氧化)才煉成爲鋼。鋼煉好之後或澆入模型鑄成鋼錠，然後送到軋鋼廠軋成各種形鋼及鋼板，或鑄成構件經過熱處理及鞣煉成爲鑄鋼或煨鋼。

工程材料中的所謂鋼鐵，是純鐵與少量的炭及其他元素的混合物。凡是可煨的鐵叫做鋼。它的含炭量少於 1,7%，主要成份是純鐵和炭化鐵(註1)  $Fe_3C$ 。建築鋼的含炭量普通少於 0,3%。鑄鐵的含炭量則大於 1,7%，普通爲 3,2—3,5%。鋼的硬度和強度跟含炭量而增加，但是它的韌性却相反的隨之而降低。建築鋼的硬度不宜太高，它必須有相當的韌性才能夠安全承受結構上不能避免的衝擊力和局部的應力高峯。因此煉製高強度的高級建築鋼不靠增加含炭量，而是利用矽、鉻、銅、錳、鉬等和鐵相混合成爲輕合金鋼。其中銅還有防銹的作用。

此外鋼還含有一些有害的雜質，如磷、硫和氮等。磷會使鋼在低溫下的性質變脆，硫則會使它在高溫時變脆。氮也會使鋼變硬和變脆，而且這種現象在相當長的時間內還會繼續增加，這就是所謂老(註2)的現象。因此這些雜質在建築鋼裏只許有極少量存在。

表 1-1 摘錄中央人民政府鐵道部的橋梁鋼料規範草案中三級構造鋼(即普通建築鋼)的化學成份之規定，以示一般情況。

表 1-1. 普通建築鋼的化學成份(百分比)。

炭	硫	磷	錳	矽
0,14—0,21	<0,055	<0,06	0,55—0,60	0,12—0,35

化學成份的多少還不能完全決定鋼的性質。特別重要的是這些元素在鋼裏面的分佈情形以及它的結晶形狀，即鋼的內部構造(註3)。鋼的硬度、強度和韌性等都與它有密切的關係。對於鋼的內部結構有決

(註1) 炭化鐵, Zementit, Cementite.

(註2) 老, Alterung, Aging.

(註3) 構造, Gefüge, Structure.



定性影響的是熱處理，即鋼加熱的溫度和冷卻的速度。

## 2. 鋼鐵的種類。

鋼結構中所用的材料有構件本身用的建築鋼或構造鋼，連接原件用的鉚釘鋼和螺栓鋼，支座部份用的煨鋼、鑄鋼及鑄鐵等。各種材料都須有一定的強度和韌性。普通以拉力試驗中的流限(註1)  $\sigma_F$  和拉力強度(註2)  $\sigma_B$  表示強度，以伸長限度(註3)  $\delta$  表示韌性。表 1-2 摘錄中央鐵道部橋梁鋼料規範草案中規定的各種鋼料，並在表 1-3 附錄德國建築鋼鐵材料的規定，以供參考。表中 St 是德文鋼字“Stahl”的縮寫，它後面的數字則表示拉力強度  $\text{kg/mm}^2$ 。

高級建築鋼或一級構造鋼的強度比普通建築鋼或三級構造鋼的高，價錢也比較貴。但是採用這種鋼料可以減少建築物本身的重量，同時也減輕基礎的荷重。所以在高樓及大橋建築中，採用高級建築鋼的全部造價(包括基礎)常常比用普通建築鋼便宜些。表 1-2 中一級鋼與三級鋼的拉力強度的比例約為 1,2，而流限却規定得幾乎相等。如果

表 1-2. 我國鐵路橋梁鋼料規定(草案)。

材料名稱		流限 $\sigma_F \text{ kg/mm}^2$	拉力強度 $\sigma_B \text{ kg/mm}^2$	伸長限度 $\delta\%$	
				標距 200mm	標距 50mm
構造鋼	三級	>22	33—42	$\frac{1050}{\sigma_B}$	24
	二級	>23	43—46	„	23
	一級	>23	46—52	„	22
鉚釘鋼	二級	>20	34—38	„	26
	一級	>21	38—44	„	25
煨鋼		>27	>50		21
鑄鋼		>23	>49		24

(註1) 流限, Fließgrenze, Yield Point.

(註2) 拉力強度, Bruchfestigkeit, Ultimate Strength.

(註3) 伸長限度, Bruchdehnung, Elongation.



表 1-3. 德國建築鋼鐵材料.

材料名稱	符號	流限 $\sigma_F$ kg/mm <sup>2</sup>	壓力強度 $\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	伸長限度 $\delta\%$	
				標距 200mm	標距 100mm
普通級	市售鋼	24—28	34—50	18	
	標準鋼	St 57	24—28	20	25
	鉚釘鋼	St 34	22—27	25	30
	螺栓鋼	St 38	22—27	20	25
高級	建築鋼	St 52	34—36	16—20	
	鉚釘鋼	St 44		23	
支座零件用之鋼		St C 35	$\geq 28$	19	23
支座用之鑄鋼		Stg 52	$\geq 5$		16
支座用之鑄鐵		Ge 14	拉力強度 80—100	$\geq 14$	直徑 30mm 的桿在 100mm 的支承距離及中點荷重的撓曲試驗中須有彎力強度 28 kg/mm <sup>2</sup> 及桿中撓度 7mm.

兩種鋼所製的構件之斷裂安全度相等，則它們的流限安全度不同；或者相反，流限安全度相等而斷裂安全度不同（詳見第四章）。這樣不是這個的流限安全度太小，便是那個的拉力強度不能充分利用。這一點似有商榷之餘地。

✓ 鉚釘鋼是比較軟和韌的及易於煨打（鉚）的鋼。它的拉力強度比構件鋼料的低些，見表 1-3。

煨鋼是一種鑄好了而又經過煨煉的鋼，它的強度和韌性都很高，適於製造承受很高的局部應力的結構零件，譬如梢及支座輾軸等。

鑄鋼是用鋼鑄成的結構零件，譬如支座的上下部份。鑄件一般須於鑄好後均勻加熱至適當溫度（約 900°C），然後在爐中慢慢均勻冷卻，以消除在鑄模內不均勻的冷卻所引起的硬度、脆性及內結應力。

鑄鐵是從生鐵製成，不能夠煨，不容易焊，性質很脆，不能承受衝擊力。它的壓力強度很高，但是拉力強度小。只在房屋結構中有時用作支座板，在橋梁結構中已極少用。

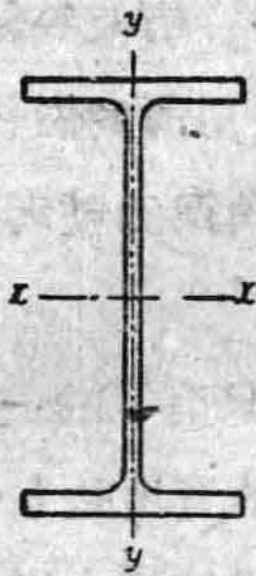


近年來採用輕金屬——鋁的合金——作建築材料，逐漸普遍。它的好處是輕，但是用這種材料造成的結構的變形比較大，因為它的彈性模(註1)只合鋼的三分之一左右。

B. 形鋼和鋼板

在軋鋼廠的出品中，建築上常用的形鋼和鋼板等有下列的種類。

a. I 字鋼。它有普通的和寬翼緣(註2)的兩種，見圖 1-1 和 1-2。前



一種的高度  $h = 3 - 60\text{cm}$ ，後一種的高度  $h = 10 - 100\text{cm}$ 。號碼用高度去表示，例如 I 20。寬翼緣的加用符號 P，例如 IP 20。長度普通達 14m。I 字鋼的用途很廣，譬如桁條、樓板梁、橋道梁、柱及桁架桿等。普通 I 字鋼用作梁比

較經濟，寬翼緣的 I 字鋼則比較適於作柱子或壓桿，因為它的切面惰矩(註3)  $I_x$  和  $I_y$  相差比較小。此外有專為房屋建築中做牆筋用的 I 字鋼 IF14。它比 I14 輕，比較經濟。

b. U 字鋼或槽鋼。見圖 1-3，高度 8—40cm。槽鋼的用途也很廣，譬如做柱、桁架桿和桁條等。因為切面對 y 一軸不對稱，用作柱子

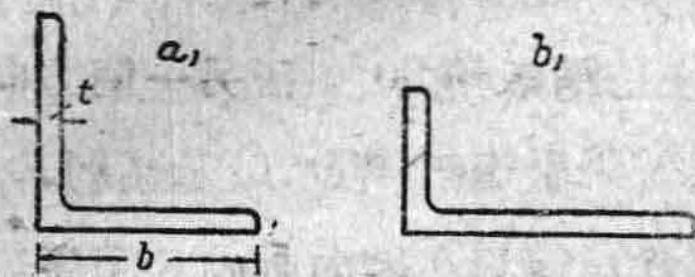


圖 1-3 U 字鋼或槽鋼。

圖 1-4 a) 等邊角鋼，b) 不等邊角鋼。

(註1) 彈性模，Elastizitätsmodul, Modulus of Elasticity.  
 (註2) 翼緣，Flansch, Flange.  
 (註3) 惰矩，Trägheitsmoment, Moment of Inertia.



或梁的時候，應儘可能用二個併成一對。如果用一個槽鋼做梁，譬如做桁條，那麼彎應力應該酌量減低。這點待將來再討論。

槽鋼中也有專為某種用途而特別製造的，譬如專為牆筋用的 CF14，它比 L 14 輕很多 (7,8 kg/m 比 16,0 kg/m)，經濟得多。

c. 角鋼。有等邊的和不等邊的兩種，見圖 1-4 a 和 b。兩邊成  $90^\circ$  角，邊長  $b$  最大至 200mm。

角鋼是鋼結構中非常重要的基本原件。用鉚釘連接互相垂直的鋼板或結構部份非有它不可。鉚梁、(註1) 桁架等結構中也不能缺少它。同一邊長的角鋼有幾種不同的厚度  $t$ 。用薄的做柱子或壓桿比較經濟，因為它的切面惰矩半徑(註2)比較大。角鋼的號碼普通以邊長和厚度去表示；譬如 L 100·100·10。

d. T 形鋼。有高和寬相等的及高只有寬的一半的兩種，見圖 1-5。前一種的寬度是  $b = 2-14\text{cm}$ ，後一種的寬度是  $b = 6-10\text{cm}$ 。T 形鋼

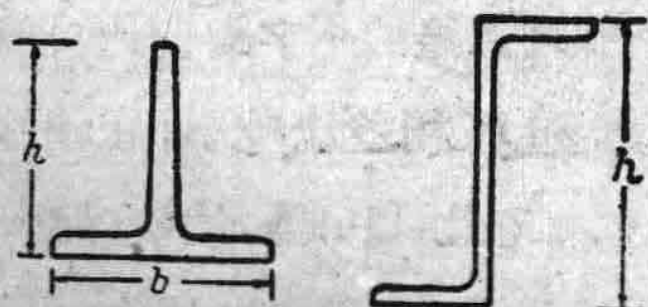


圖 1-5 T 字鋼。 圖 1-6 Z 字鋼。

在橋梁結構中極少用，偶爾用作抗風梁的斜桿。在房屋結構中比較常用，譬如做天窗上支承玻璃的架子(註3)。

e. Z 形鋼，見圖 1-6。它的高度是  $h = 3-20\text{cm}$ 。在鋼結構中用途不大，有時用作桁條。

f. 扁鋼和鋼板。平板的軋法有兩種。第一種方法用四個軋子在鋼板的上下左右朝縱向軋。第二種方法用上下兩個軋子先在一個方向軋，然後把鋼板轉  $90^\circ$ ，在另一個方向軋。第一種鋼板叫做扁鋼(註4)，第二種就叫做鋼板(註5)，以示區別。

因為扁鋼只在縱向軋成的關係，它的橫向的拉力強度不及縱向的

(註1) 鉚梁，Blechtraeger, Plate Girder.

(註2) 惰矩半徑，Traegheitsradius, Radius of Gyration.

(註3) 天窗架子，Sprossen, Rundle.

(註4) 扁鋼，Flachstahl, Flat Steel.

(註5) 鋼板，Stahlblech, Steel Plate.



高，所以只適於做承受縱向應力的結構部份。通常用作鋼梁的翼緣板(註1)，桁架桿的一部份和填板等(註2)。扁鋼的寬度和厚度普通是  $b = 8 - 1000\text{mm}$ ， $t = 3 - 60\text{mm}$ 。通常用一個四方形加註寬度和厚度作為扁鋼的符號，例如  $\square 50 \cdot 12$ 。扁鋼的最小厚度是  $3\text{mm}$ ，所以結構中所用填板的厚度不宜小於  $3\text{mm}$ 。

結構中所用的鋼板普通是  $8 - 25\text{mm}$  厚、 $1.6 - 2.5\text{m}$  寬、 $5.0 - 8.0\text{m}$  長。主要用作鋼梁的腹板(註3)和桁架的節板(註4)。

g. 凹凸板。它的表面有凹凸不平的花紋，常用作樓梯板及其他蓋板等。厚度  $t = 3.5 - 20\text{mm}$ 、寬至  $1.5\text{m}$ 、長至  $6.0\text{m}$ ；有各種式樣，例如圖 1-7a 和 b 所示。

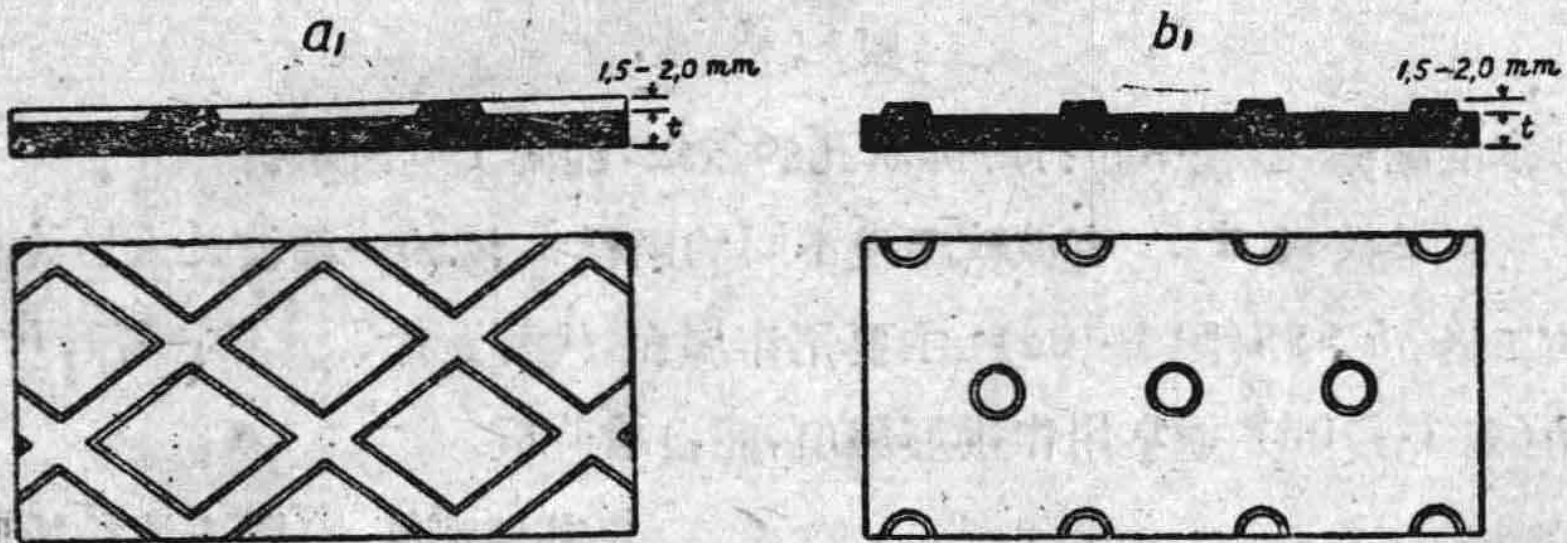


圖 1-7 凹凸板。

h. 穹板。它是由燒熱的平板壓成的，普通分兩種。第一種是朝二個方向彎的，像一個盆子，可以叫做盆板(註5)，有各種的形狀，如圖 1-8 所示。第二種是只在一個方向彎的，像水槽似的，可以叫做槽板(註6)，見圖 1-9。普通穹板的矢高(註7)  $h$  等於弦長  $l$  的  $1/8 - 1/15$ ，厚度  $t = 6 - 10\text{mm}$ ，長和寬  $1 - 2\text{m}$ 。它的主要用途是做橋道板。爲了

(註1) 翼緣板, Gurtplatte, Flange Plate.

(註2) 填板, Futterblech, Filler.

(註3) 腹板, Stegblech, Webplate.

(註4) 節板, Knotenblech, Gusset Plate.

(註5) 盆板, Buckelblech, Buckle Plate.

(註6) 槽板, Tonnenblech.

(註7) 矢高, Pfeilhöhe, Sag.



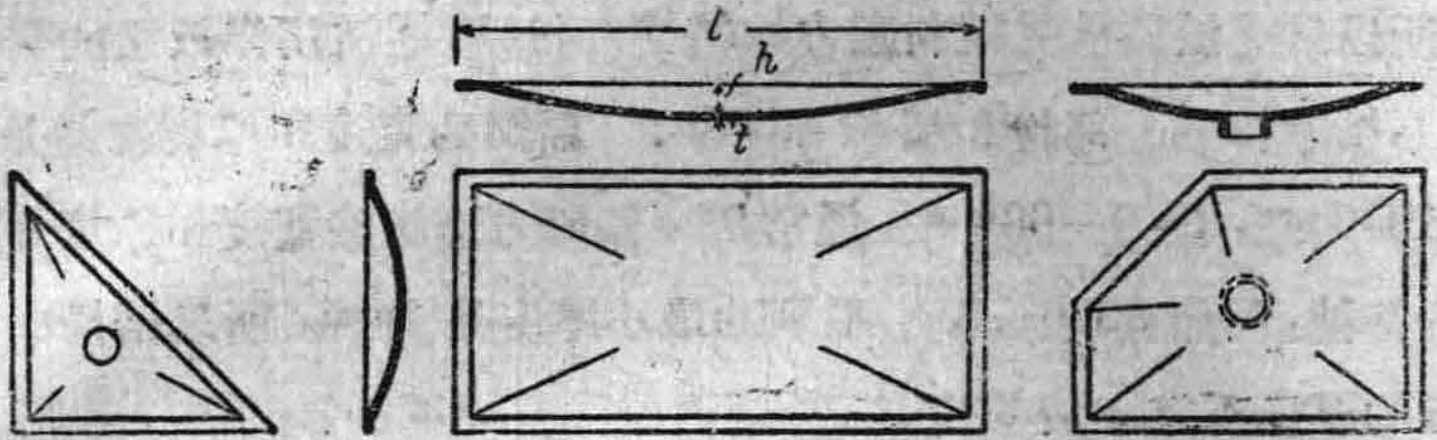


圖 1-8 盆 板。

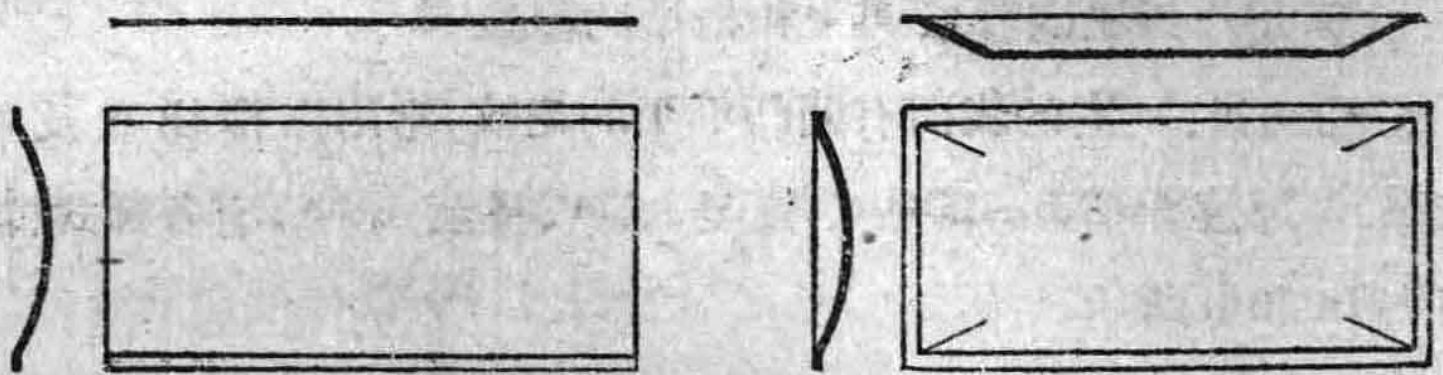


圖 1-9 槽 板。

排水的關係，有在中心打好排水孔的盆板，如圖 1-8 所示。

i. 波紋板(註)。有波紋深淺不同的兩種。淺的一種波長大於波高的二倍， $b > 2h$ (圖 1-10a)，主要用作屋面，代替瓦片。深的一種， $b \leq 2h$ (圖 1-10b)，通常用作拱形屋頂，能自承荷重。

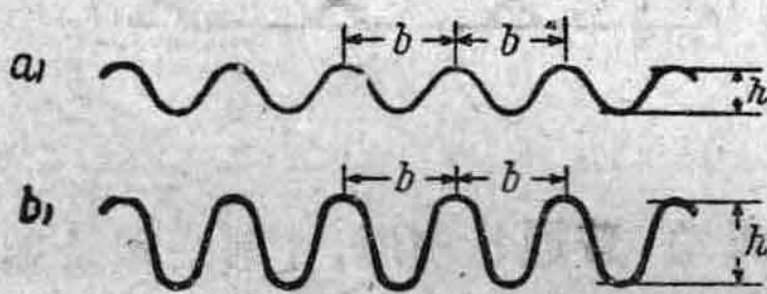


圖 1-10 a) 淺波紋板，b) 深波紋板。

j. 其他形鋼。除上述各種形鋼外，尚有其他形鋼，例如為焊製板梁用的翼緣板(圖 1-11)，做橋道用的帽形鋼板(圖 1-12)和做欄杆扶手用的形鋼(圖 1-13)等。

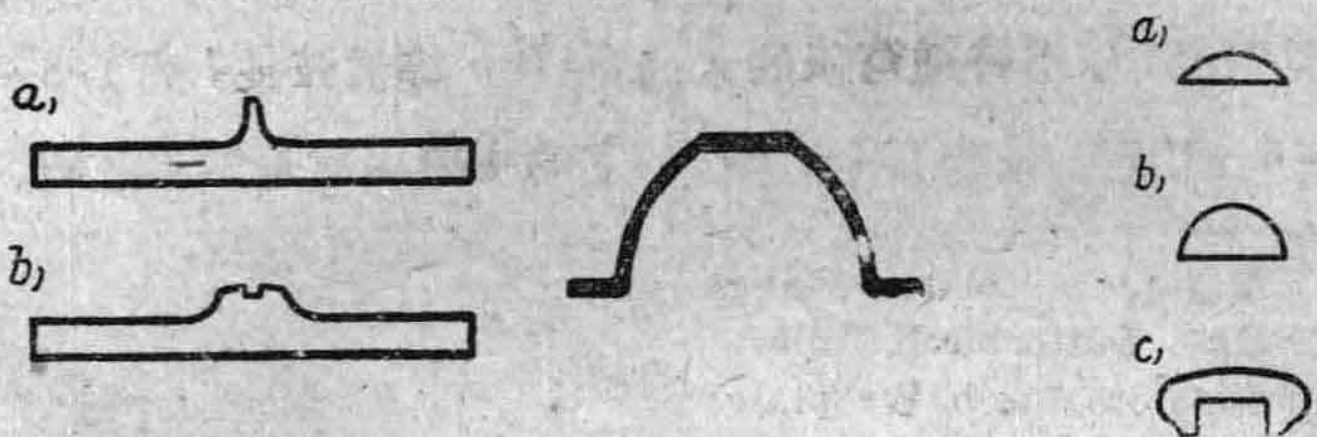


圖 1-11 焊製板梁用的特種翼緣。 圖 1-12 帽形鋼板。 圖 1-13 欄杆扶手形鋼。

(註) 波紋板，Wellblech, Corrugated Steel.