

同濟大學

建築結構

(鋼結構部分)

同濟大學教材科印

1956. 7.

目 錄

第一章 概 述

§ 1.	鋼結構發展簡史	1
§ 2.	鋼結構的优缺点	6
§ 3.	現代鋼結構的應用範圍	7
§ 4.	對鋼結構的基本要求及其發展方向	12
§ 5.	建築鋼的成份、種類和規格	12
§ 6.	鋼的物理——力學性能	13
§ 7.	鋼結構的計算方法，容許應力與安全係數	18
§ 8.	鋼結構的型鋼	19

第二章 構件的接合

§ 9.	焊接	30
§ 10.	鉚接	48
§ 11.	螺栓連接	58

第三章 鋼梁樓蓋

§ 12.	樓蓋佈置	59
§ 13.	樓版	61
§ 14.	型鋼梁	62
§ 15.	焊成鉸梁	66
§ 16.	鉚成鉸梁	84
§ 17.	梁的聯接	93

第四章 柱

§ 18.	柱的	96
§ 19.	柱的	96
§ 20.	柱的	98
§ 21.	柱身	103
§ 22.	綴條	105
§ 23.	柱腳	107
§ 24.	梁柱連接	116

第五章 輕型屋蓋

§ 25.	屋蓋的佈置	121
§ 26.	屋面	123
§ 27.	檁條	125
§ 28.	屋架	129
§ 29.	撐架	141
§ 30.	屋架（或梁）的支座	143

例 題	145
附 錄	154

建 筑 結 構

鋼 結 構 部 份

第 一 章 概 述

§ 1. 鋼結構發展簡史

在現代的建筑結構中，鋼結構的使用極為廣泛。這是由於較諸其他材料的結構，鋼結構工業化的程度最高、自重最輕。因此需要快速完成及尺寸（跨度、高度）較大的結構，常用鋼來做成。

鋼結構的發展已經歷了相當長的時期。

金屬材料最先用作為結構（木、磚石結構）的個別構件。中國可能是世界上最早使用金屬構件的國家。我國祖先結束穴居生活約在殷代中葉（公元前 14 至 12 世紀左右）。根據考古學報，發掘殷墟發現銅鑕（即柱下墩）。隋大業元年（公元 605 年）建造天津橋，用鐵鏈繫舟造成浮橋。宋（公元 1000 年前後）減洪在江西浮梁鑄鐵柱十二，架木為橋，稱為鐵柱橋，至宋末燬於兵燹。早在公元七世紀時，中國人已開始採用金屬的承重結構——在世界上首先發明鐵懸索橋。最簡單的懸索橋僅將鐵鏈懸於兩岸石柱上，鏈上鋪板成橋，橋上並無欄杆，略如現漢中留壩棧道鐵索橋（圖 1）。明清以來（1368 年以後），中國人造了好幾座有名的懸索橋如貴州盤江橋、雲南元江橋（圖 2）（皆建在 15 世紀左右）、西康瀘定橋（圖 3，1696 年建，長 311 尺）等，在當時世界上都是空前的。

在歐洲，最早的金屬承重結構約出現於 17 世紀。第一座跨徑 30 M 的生鐵梁橋於 1776—1779 年建于英國。與中國瀘定定橋相比，晚了 80 年，跨徑亦短得多。

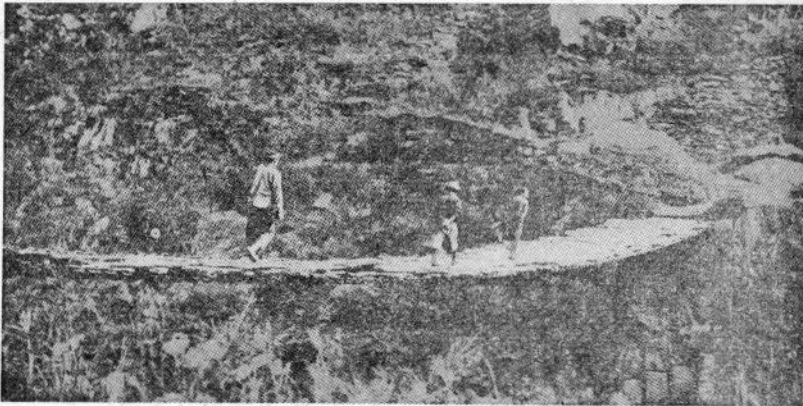


圖 1 漢中留壩棧道鐵索橋

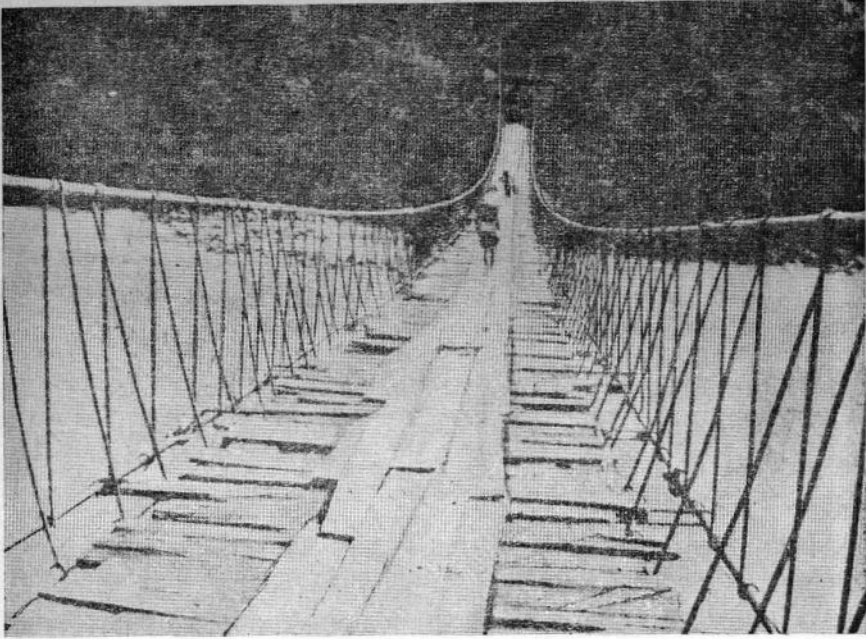


圖 2 雲南元江橋

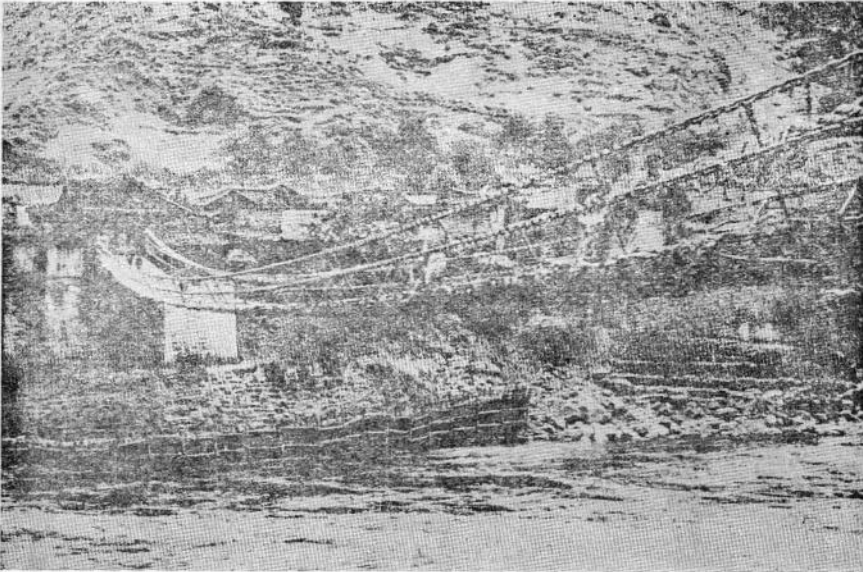


圖 3 西康瀘定橋

在封建時代，民用（包括宗教用）的結構中，亦間或有使用生鐵來鑄造屋頂的。中國在北魏（第5世紀）永寧寺胡太后塔，即出現有鑄鐵造成的塔頂，頂的本身（称为“塔刹”）即鑄成小塔形。其后發展而有鐵塔的建筑，至今尚遺存的有湖北金山玉泉寺的



圖 4 玉泉寺铁塔



圖 5 濟寧縣铁塔



圖 6 甘露寺铁塔

铁塔(圖4,1061年建)、山东濟寧縣铁塔寺铁塔(圖5,1105年建)及江苏鎮江甘露寺的铁塔(圖6,宋代建)等。明代在湖北武当山主峯所建的金殿,其屋頂、梁、柱、門窗等均用銅制成,外鍍以金,此建筑至今猶完整*。其餘有乾隆年(1741—1795年)所建的熱河行宮銅殿(圖7)。此等基本上都是木結構的變相,對國計民生固無甚影响,不过足以表徵祖國勞動人民的智慧。

歐洲民用(包括宗教用)的金屬結構,大約都出現在17、18世紀以後。

在封建社會的制度下,工業特別是冶金工業不發展,結構的要求簡單,都限制了金屬結構的



圖 7 熱河行宮銅殿

*錄自華北設計公司所編“鋼結構”,待証。

發展和推廣。直到鋼鐵工業興起，才提供了金屬結構特別是鋼鐵結構發展的可能。資本主義時代工業的發展提高了对建築結構的要求，才刺激了鋼結構的發展。

18世紀末始有以冶煉的方法制熟鐵，但工業化冶煉是到了19世紀末才發展起來的。熟鐵的性能比生鐵好得多，更適宜于用作為金屬結構。然而在開始的時候，沒有研究出打錙和軋壓型鋼的方法，阻礙了熟鐵結構的發展。直至19世紀初世界上出現了軋壓型鋼和機械沖孔的方法，便利了結構的結合，才逐漸成近代形式的金屬結構。

中國開始建造現代形式的鋼結構是在外國資本主義侵入以後；主要在鐵路橋梁上。其中較大的有鄭州黃河鐵橋（建于1903—1950年，法國法比公司承建，解放後經大大加固）、津浦路的黃河鐵橋（1907—1912年由德國公司承建，為一懸臂式桁架橋）等。中國最早的鋼結構制造工廠為1915年創辦的山海關橋梁廠。

中國自1920年以後，才開始有自行設計及制造的鋼梁橋，其中最著名的有錢塘江公路鐵路兩用橋（1934年11月—1937年9月）（圖8）然鋼梁的制造仍為丹麥、英國、德國等的幾個資本主義外國洋行所承包。在半殖民地時代的中國，鋼結構是限于作為資本主義國家掠奪中國的工具，其發展是有限的。

中華人民共和國成立標誌着帝國主義、封建主義和官僚資本主義在中國統治的結束。解放後各種建設事業都獲得了划時代的飛躍發展，在鋼結構方面亦非例外。首先是鋼鐵工業獲得了迅速的發展，許多鋼鐵聯合公司的建立並逐個投入生產，使過去依賴國外進口的多種鋼材現在都由國

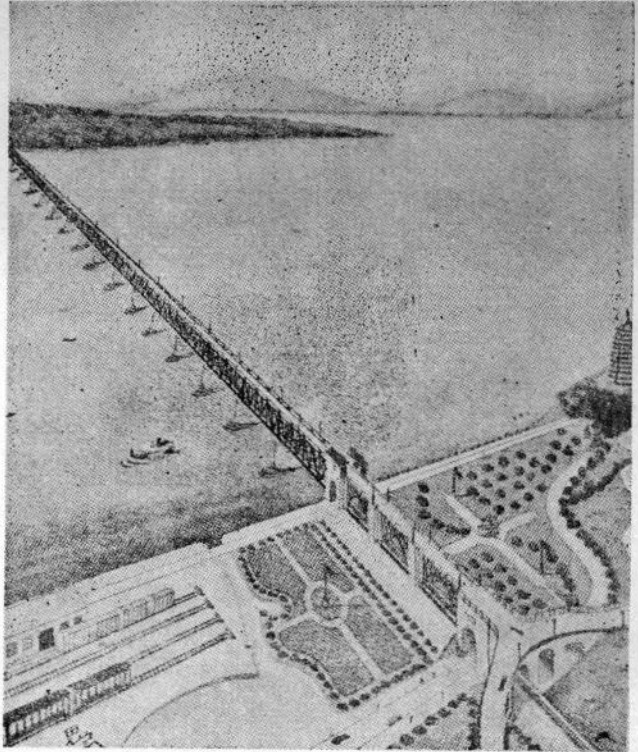


圖 8 錢塘江大橋

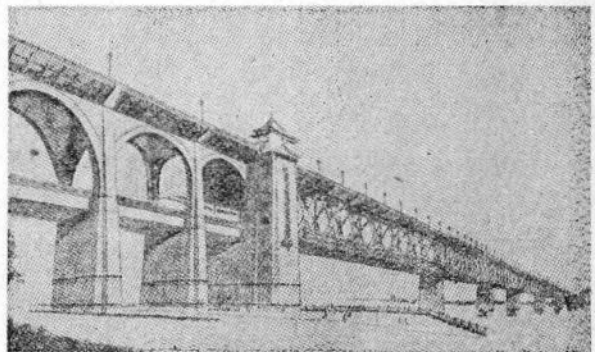


圖 9 計劃中的武漢大橋

內自制。新規格的鋼材與新品質的鋼料在質量與數量上都不斷在增加。與鋼鐵工業相應，我國鋼結構建築也在飛迅發展。中國現在已能用最先進的技術建造各種最複雜的鋼結構。例如鞍山鋼鐵公司的廠房鋼結構中，就有百分之九十以上採用了焊接。即將興建的長江大橋的橋孔結構，每孔跨度達128M(圖9)已由我們自己的工程師完成設計並將大部以我國自己生產的橋梁鋼來制成。解放以來國家建立了好幾個鋼結構公司，鐵路系統的橋梁公司亦都進行了技術革新和擴建，使鋼結構的製造更進一步工業化。

解放以來我國各方面的成就，都與蘇聯無私的援助分不開的。我們不僅在政治上應一面倒向蘇聯，在技術上也應全面學習蘇聯最先進的經驗，了解蘇聯鋼結構學派的特點及其設計精神，對中國鋼結構從業人員提高技術上是首等重要的。

在十月革命以前，俄國學者在鋼結構方面已有卓越的成就。培列柳勃斯基(1848—1922年)是現代形式的鋼桁架的創始人。雅辛斯基(1856—1899年)以研究縱向彎曲著名，他並是大跨度廠房覆蓋鋼結構體系的奠基者。茹霍夫(1853—1939年)超時代地發展了空間覆蓋的構想，他的各種聯方網格結構肯定了蘇聯此領域內在世界上的居先地位。

但革命前俄國鋼結構領域中的成就只賴於少數學者自發性的創造研究。只有在偉大的十月革命後第一個斯大林五年計劃的偉大建設才能將俄羅斯的學者們團結成龐大的生產集團，因而根本地改變了建築物的設計及建造方法。在蘇聯鋼結構學派形成的過程中，首先應提到工業建築設計局和鋼結構工程局以及全蘇土建學院等團體。設計實際工作與科學研究工作的密切連繫是蘇聯結構學派發展過程中的特點。

適應着新的任務，蘇聯科學者及技術工作者們逐漸研究出了鋼結構新的結構形式。在本世紀二十年代還祇能看到用經典方法去設計——把結構分解成各部件再用簡單的方法來計算(例如在圖10a中，屋架作為簡支在柱頂的梁式結構來計算)。以後主要的注意轉向結構的剛度和整體性及使用中的可靠工作，工業結構的基本形式變為有支撐嵌固的框架體系(圖10b)。

設計日益精明，結構的重量不斷在減輕。在各部門儘可能節約用鋼，是蘇聯結構學派

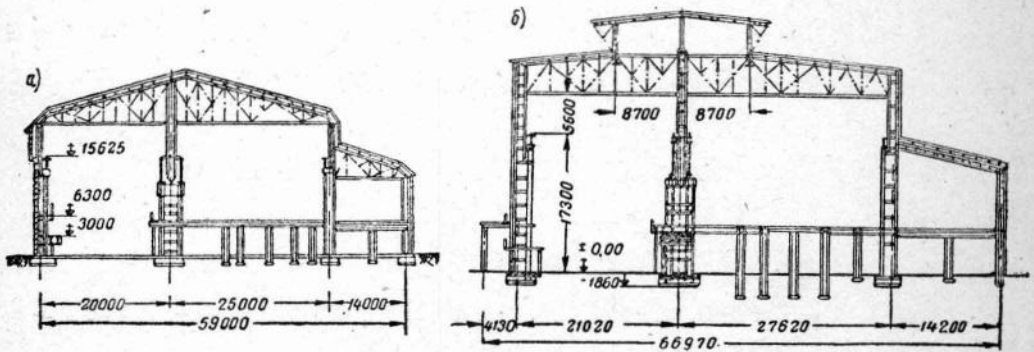


圖 10 馬丁車間框架的變遷

(a) 1930年建造的；(b) 1943年建造的

全面掌握的指導原則。近 15 年來，蘇聯鋼結構的單位使用重量降低了 30—50%。

設計和制造金屬結構的機構合併成一個托拉斯，使得鋼結構的設計或制造問題整體地來解決，這是蘇聯鋼結構學派的另一特色，在蘇聯鋼結構的設計及制造中，特別注意了單位產量勞動力的降低。自 1923 年至 1946 年，生產每噸鋼結構所需的勞動日已降低了約 40%（自約 100 工日降為 60 工日）。標準化和模數化的考慮，在蘇聯的鋼結構學派中表現得特別顯著。蘇聯是採用鋼結構標準化的先進國家。

焊接的應用，大大地簡化了結構的形式並減少了鋼結構制造的勞動量。蘇聯鋼結構學派會勇敢地堅決地面向採用焊接。目前蘇聯是在結構中採用焊接最先進的國家，85% 以上的工業建築鋼結構已採用焊接。在橋梁結構中，焊接使用亦不斷的擴大。

蘇聯鋼結構學派並正確地十分注意鋼結構架設的問題。蘇聯設計的鋼結構中具有一切快速安裝所需的細節（螺栓架設連結、架設承托、直接連接等）。蘇聯鋼結構的架設工作集中在擁有大量專門的架設機械的架設部門中，此促使機械化的迅速發展與改進，並大大加速了施工。

蘇聯鋼結構學派的特徵是：把節約鋼料、降低勞動力、加速架設同等地看待，用它們作為結構形式是否完善的基本指標。

在世界上所有的國家中，鋼結構的計算尚按照“容許應力”的方法。容許應力是由材料的極限應力被除於完全係數而得，而所謂安全係數的數值是由傳統習慣或推測決定的，祇是一個假想的折算值。蘇聯學派對“按極限狀態計算理論”的創造和建立，有首等的供獻。並且，蘇聯是第一個國家將這種計算方法吸收入規範中的，這大大提高了計算的質量，使設計出的結構按照其使用的目的而獲得應有可靠性。

蘇聯學派的設計思想正是新中國鋼結構建築者努力學習和體現的。

§ 2. 鋼結構的優缺點

鋼結構有下列的優點：

1. 鋼料有最完善的機械性、高度各向同性和材料均一性，很高的彈性模數和彈性限，所以鋼結構是最可靠的。最重要的結構常常是用鋼制成的。

2. 鋼結構的自重常數小。如以指數 $C = \frac{\gamma}{[\sigma]}$ 來衡量各種建築材料的工作——稱為材料的工作衡量指標，為單位體積重量 γ 與容許應力的比值——則：

鋼 料 $C = 0.0005 (\text{M}^{-1})$ ；

木 料 $C = 0.0006$ ；

混凝土 $C = 0.004$ 。

3. 鋼結構是工業化最高的結構。

4. 鋼結構是最便於裝配的結構，施工容易以機械化，可以大塊制成單元運達工地用鉚合、焊合、螺栓等來拼合。

5. 鋼結構整個或其個別構件最便於抽換。

6. 鋼結構最便於架設。

7. 鋼結構構件截面較小，故能最有效地利用建筑的容積及空間。

8. 鋼可以制成密不透水和漏气的結構如油庫、气箱等。

鋼結構也有下列的缺点：

1. 鋼結構可能銹蝕，需要适当的塗料保護，並需經常清扫和檢查。鋼結構不宜用于水中或接觸土壤。

2. 鋼結構在發生火災時不能耐火，需要專門的保護。

3. 鋼料是各种建設中都需要的，因此相对上是比较缺少的，应尽可能地節約或用其他材料代替。

§ 3. 現代鋼結構的应用範圍

已如上節所述，鋼料的建筑物理性最佳，鋼結構制造時工業化的程度高，架設時可大量机械化，因此相对地，鋼結構是最輕的並且施工最迅速的。因此凡要求快速完成的及大跨度、高的結構，鋼結構常是在考慮比較中的方案。

現代鋼結構的施用是多方面的。主要可分成下列用途：

1. 用于厂房骨架中（圖11）特别是承重大荷重並跨度相当大的煉鋼鐵工厂的重型骨架中，由于鋼結構的建造迅速，在相当高度及跨度的輕型車間的骨架中，也常常採用鋼結構，特别是標準化的結構；

2. 用作房屋的屋盖或樓盖中的承重結構，以梁格系或桁架的形式出現（圖12）；

3. 用作特殊結構（飛機庫、展覽館等）的骨架，主要是梁式、拱式或穹頂式的屋盖（圖13）；

4. 用作多層民用房屋的柱——梁系骨架（圖14）；

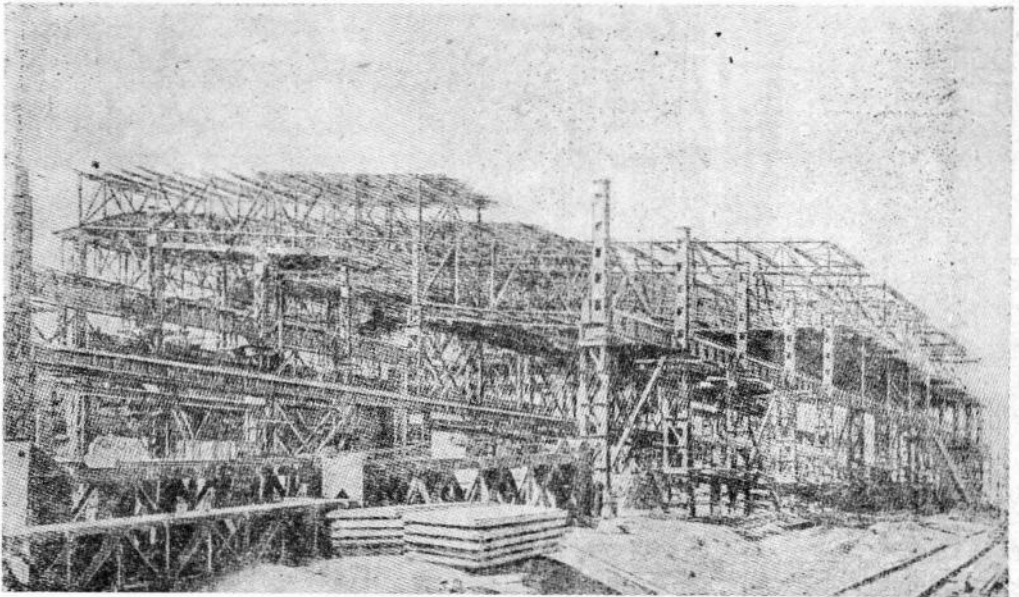


圖 11a 厂房鋼骨架

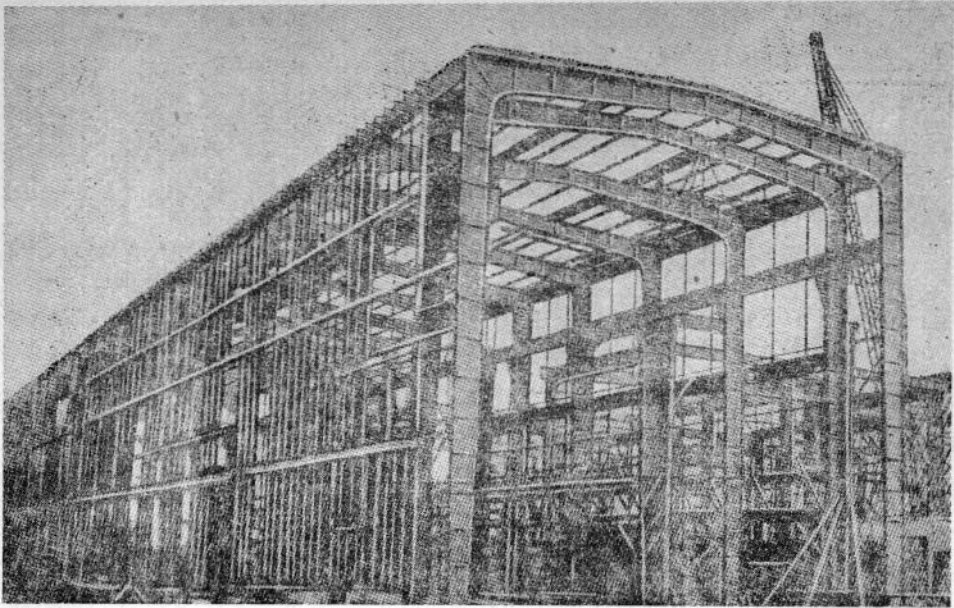


圖 116 厂房的骨架

5. 做成薄板結構·用作为囤倉(儲穀粒、煤塊、礦石等)或箱庫(儲水、油、煤氣等)(圖 15);
6. 做成塔桅結構(無線電塔、高壓電線桿等)(圖 16);
7. 用作为桥梁(圖 17)——主要是桥孔結構——及起重結構(圖 18);
8. 用于水工結構中如閘門等(圖 19)。

顯然，宜乎採用鋼結構的場合，都是鋼結構的優點能夠得到發揮的場合。但這並不等於說：凡是採用鋼結構的地方就儘量採用鋼結構。

正如上節所指出，目前我國鋼的產量是遠趕不上建設中所需要的，因此相對上是比較缺少的，這樣在建設中節約鋼材就有非常重大的意義。

為此，在建築結構中可以不用鋼的地方就儘量不用；既然用了(必要用時)就要用得合理。后者是屬於充分利用材料強度的問題，留在下節(§4)中去討論它。

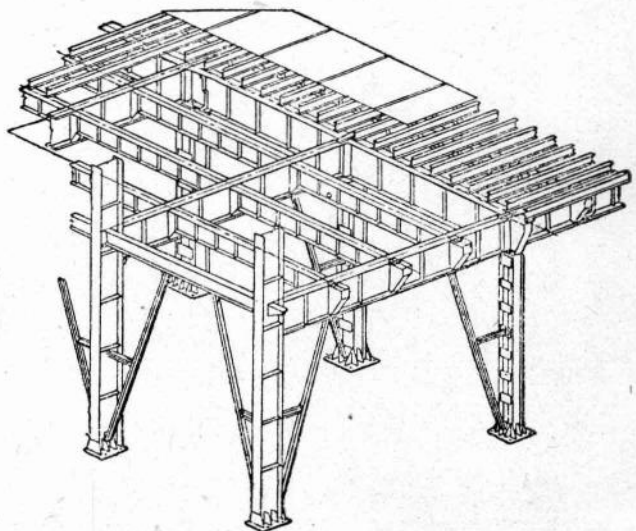


圖 12 樓蓋梁格系

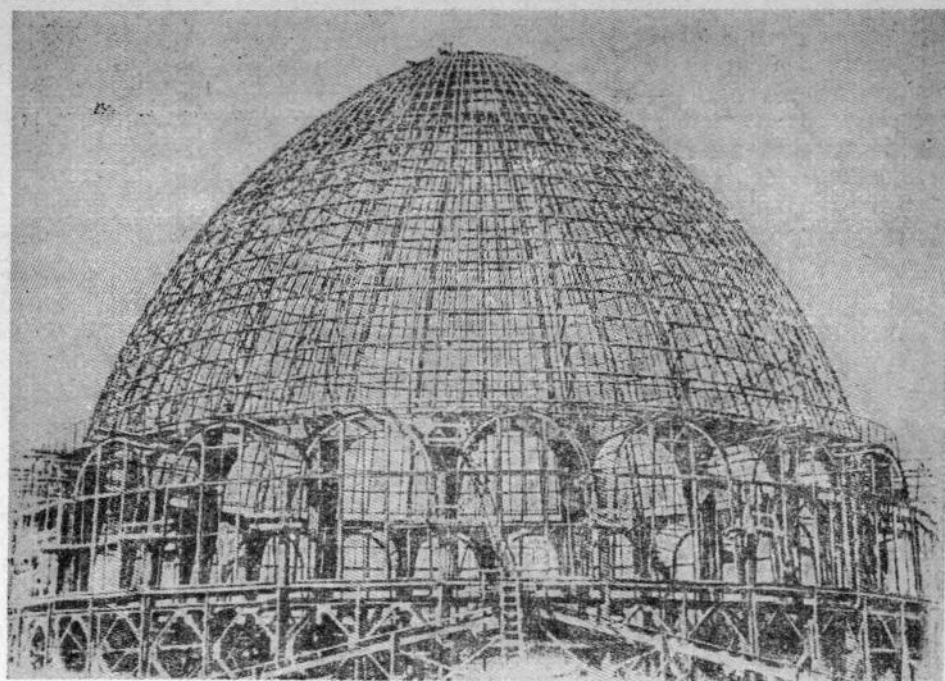


圖 13 展覽館的骨架

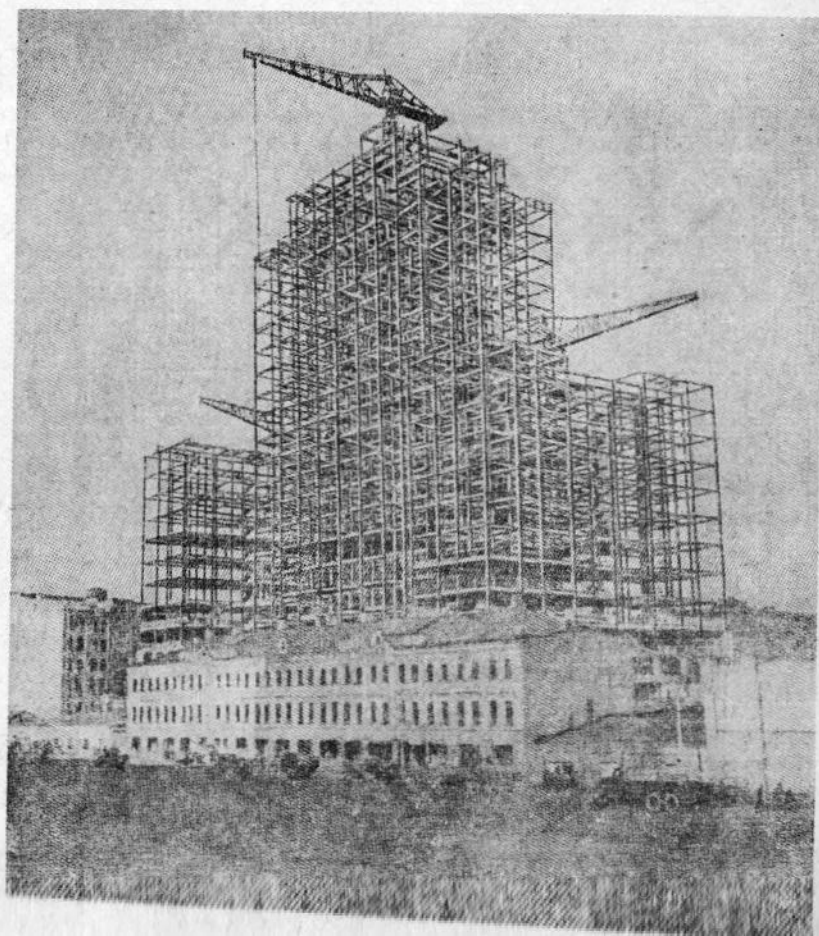


圖 14 多層高屋的骨架

对于前者，例如在苏联就明确规定：

(1) 在所有可能用钢筋混凝土，特别是用装配式钢筋混凝土代替钢结构的情况下，均不准採用鋼結構。

(2) 自 1955 年起，所開始設計和建造的居住及文化福利建筑禁止採用鋼骨架，跨度在 15 公尺或 15 公尺以下的屋盖也禁止採用鋼的承重結構。

(3) 跨度在 18 公尺以下的铁路和公路桥梁的桥孔結構禁止採用鋼結構。自 1956 年 1 月 1 日起跨度在 15 公尺以內以及自 1957 年 1 月 1 日起跨度在 23 公尺以下的铁路和公路桥梁（上承式）的桥孔結構，均应采用装配式钢筋混凝土。

(4) 跨度在 18 公尺以上柱子是钢筋混凝土的，屋盖承重結構准許採用鋼結構，当柱子是鋼結構時，則和跨度無關屋盖許可採用鋼結構。

可見鋼結構的使用範圍在苏联受到相當的限制。

.....

每年產鋼量達 4500 万噸（指 1955 年）而工業建設已有偉大成就的苏联尚且如此，对于鋼的年產量只有 412 万噸（指 1957 年第一个五年計劃完成時）而正以飛快的速度在進行大規模工業建設的我國，在建設中節約鋼材就更加迫切需要了。

只是在有足夠充分的理由需要採用鋼結構的情況下才採用它。

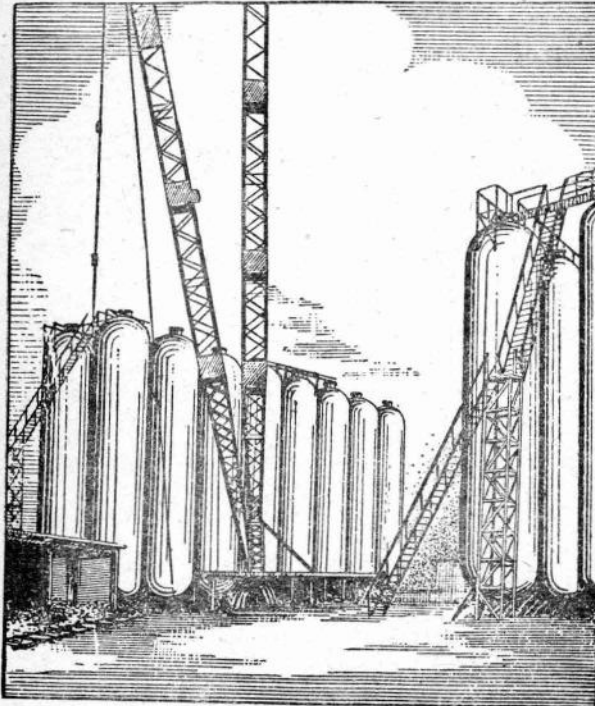


圖 15 煤 气 庫

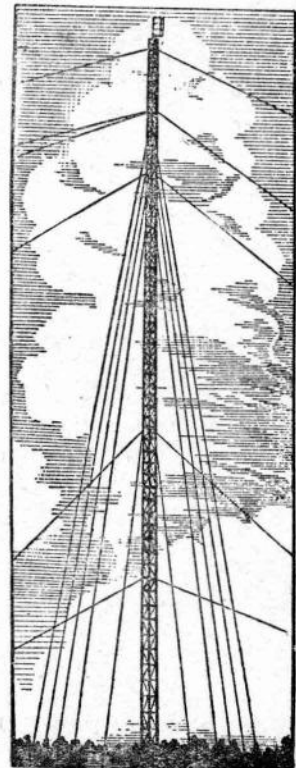


圖 16 桅塔結構

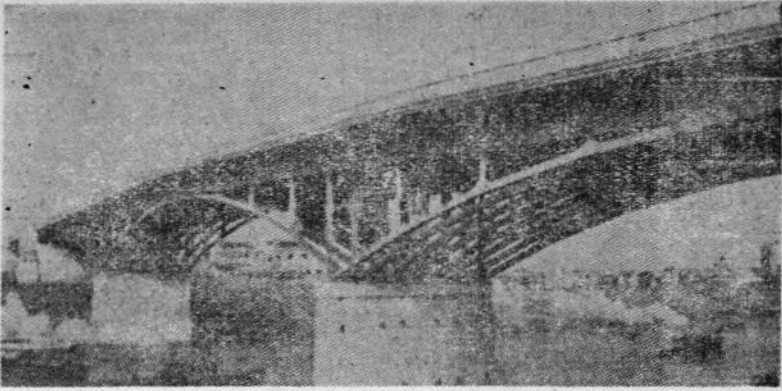


圖 17 漢水公路鋼橋

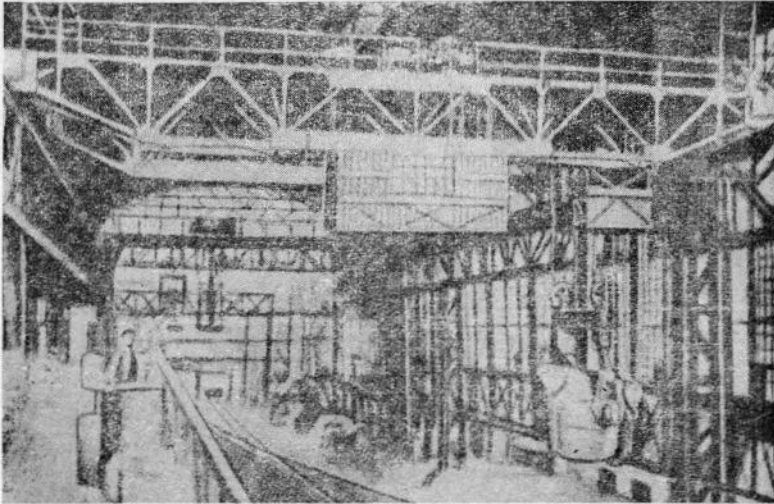


圖 18 橋式行車

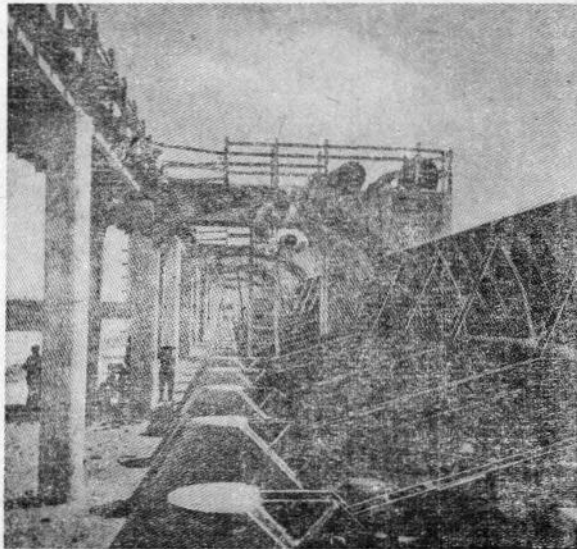


圖 19 荆江分洪太平口進洪閘門

§ 4. 对鋼結構的基本要求及其發展方向

对鋼結構的基本要求就是在保証和提高質量的前提下，降低結構的造价，並在符合实用的基礎上顧到美观。

对不同的結構和建筑物，應該按照它們的重要程度和使用性質給与不同的質量要求，並分別加以滿足。

必須在降低造价的同時提高質量，否則这个經濟是沒有意义的。在降低造价的問題上，对“經濟鋼材”、“降低勞動量”和“加速安裝”必須同等地看待。三者並不經常協調，有時則相互矛盾。按照苏联的經驗，結構的標準化能同時滿足这三个要求。

为了達到提高質量和降低造价的目的，我們应：

1. 改進設計計算的精確度，以積省不必要的用料。
2. 研究更完善的結構体系及構件截面、鋼材類型，以便更有效地發揮材料的作用。
3. 研究構造上和养護上的措施，以提高鋼結構的使用年限。例如在構造上，設計者应注意避免積水縫及凹穴及易于損傷的外伸薄板等。在养護上，不僅在結構完成后应有适当的保养，在設計時就应考虑为养護工作需要而做的必要細節。
4. 要力求制造工業化，即在工厂中大量生產。为此，結構標準化、塊件模數化、細節的典型化是对降低勞動量有决定性意义的。
5. 轉向節省勞動力的工序——例如用焊合代替鉚合，用多孔冲鑽等。
6. 电焊不但節省了制造勞動量，且由于免去了鑽孔，大大提高了構件有效的截面。是我們应坚决前進的方向。
7. 选用更大截面的鋼材、更大塊的構件是有利的。必須指出，構件的拼合和連接常常是最化勞動力的，並且常常大大地削弱了鋼材的有效截面；連接處常常需要增加許多加固構件，增高了結構的重量，並且最容易引起銹蝕。
8. 尽可能發揮結構構件的“兼任工作”，例如考慮結構的空間作用、整体作用等。

§ 5. 建築鋼的成份、種類和規格

(一) 建築鋼的成份

工程材料中所謂鋼主要是純鐵体与碳化鐵 (Fe_3C) 的固溶体。純鐵体的机械性能很低。普通建筑鋼的含炭量一般是少于 0.3% 的。鋼的硬度和強度隨含炭量的增加而增大，但是它的韌性却相反的隨之而降低。建筑鋼为便于加工制造硬度不宜太高，同時也必須有相当的韌性才能安全地承受結構上不能避免的衝擊力和局部应力高峯，因此煉制高強度的高級建筑鋼並不靠增加含炭量而加以矽、鉻、錳、鉬等金屬合成所謂低合金鋼。

在一般鋼中都帶有一些如磷、硫和氮等有害的雜質，磷会使鋼在低温下性質变脆，硫則会使它在高温時变脆，氮也会使鋼变硬和脆，因此在建筑鋼中对于这些雜質的最大含量都有規定（見表 1）。

(二) 建築鋼的種類

鋼按其生產方法及过程的不同，有平爐鋼及轉爐鋼、沸騰鋼及鎮靜鋼。

平爐沸騰鋼在焊接后受動力荷重作用時常常會生裂縫，不过由于价廉（鑛靜鋼較沸騰鋼約貴25%），在一般鉚接結構中採用最为广泛，在焊接結構中应採用平爐鑛靜鋼。

轉爐沸騰鋼由于含有多量的磷、硫、氮和气泡質量較差，因此只允許用于不受動力荷重及气温不低於-25°C的鉚接結中。轉爐鑛靜鋼的研究尚少，在建筑中用得不多。

(三) 建筑鋼的規格

一九五五年中華人民共和國建筑工程部頒佈的鋼結構設計規範試行草案中建筑鋼料的規格是以號碼標有尤0、尤2、尤3等，號碼愈高鋼的含炭量愈多、強度与脆性愈大（見表1）。

表 1 鋼 料 規 格

鋼 名	鋼 號	拉力極 限強度 kg/mm	延 伸 率 %		屈 伏 点 kg/mm ²	元 素 含 量 極 限 %			制 造 方 法
			長 試 樣 δ_{10}	短 試 樣 δ_5		炭	硫	磷	
			不 得 小 于		不 得 超 過				
普 通 熱 軋 炭 素 鋼	尤 0	32—47	18	22	19	0.23 以內 0.14 以內	0.060 0.070	0.070 0.090	平 爐 酸性轉爐
	尤 2	34—42	26	31	22	0.09—0.15	0.055	0.050	平 爐
	尤 3	38—47	23—21	27—25	24	0.14—0.22 0.12 以內	0.055 0.065	0.050 0.085	平 爐 酸性轉爐
鉚 熱 素 鋼 釘 用 炭	尤 2	34—42	26				0.050	0.050	平 爐
	尤 3	38—47	22				0.050	0.050	平 爐

在一般工業及民用建筑中主要是採用尤3因为它有高的流限及足夠的韌性。个别的另件如鉚釘則常用尤2它是比較軟和韌易于鉚打。支座由于受有很高的局部应力常用強度較高的尤5或鍛鋼。

在重型結構中常採用具有較高机械性能的低合金鋼（HJI1、HJI2）。低合金鋼的強度比尤3高50%（价格只比尤3高25%），因而可使結構物自重減輕達35—40%，不过目前國內因產量尚不多因此採用尚少。

§ 6. 鋼的物理——力学性能

(一) 材料的破坏理論

由于作用外力的大小、方向的不同，材料可能趨于兩種極限破坏狀態：

- (1) 由于作用面上所受到的拉应力首先超过了它的「分裂強度」而發生脆裂。
- (2) 由于作用面上所受到的剪应力首先超过了它的「滑動強度」而發生滑移。

在脆裂破坏前所產生的变形很小，似乎顯出材料很脆突然地断裂，在結構物中極宜消除这种脆裂破坏。

在滑移破坏前產生有很大的塑性变形，得緩和断面中的局部应力高峯，且在破坏前結構物的巨大变形使能夠及時去抽換或加固，設法防止破坏的來臨，对于保証結構物的安全來說这二点是具有很大的意义的。

普通建筑鋼脆裂的強度大大的超过了滑移強度，在一般受力情况（單向受拉、單向受压、受弯、扭鉄）下常常是滑移破坏，因此对于鋼抵抗滑移破坏的性能可以从它的簡單的拉伸及剪切試驗中了解清楚。

在个别* 場合会脆裂破坏，最典型的是当三向受拉且 $\sigma_1 \approx \sigma_2 \approx \sigma_3$ 時。結構物形狀的突变以及由于加工不慎表面的伤痕、裂縫常也是三向受拉。焊接結構中焊縫的冷却也有三向受拉的趨勢。上面种种都是由設計或施工的不妥所致，在正常情况下对于可視為平面体系的結構物中是不会產生的，因此以下討論的也主要是滑移性能。

(二) 鋼在簡單受力時的性質

(1) 鋼在單向受拉力時的性質

鋼的簡單拉伸圖（圖20）基本上可分成三个階段：

I. 自 $\sigma=0 \rightarrow \sigma=\sigma_n$ 。其中材料符合虎克定律 ($\sigma=E\varepsilon$)，試件在整个長度上縱向、橫向的变形都均匀一致。通常結構物常处在这一階段工作中。

II. 自 $\sigma=\sigma_n \rightarrow \sigma=\sigma_T$ 。当 σ 達 σ_T 時， $\sigma-\varepsilon$ 曲線幾成水平，其水平溜滑一段 ε_T 称为流幅。

III. 自 $\sigma=\sigma_T \rightarrow$ 拉断。

于基 σ_T 的特性（此時即使应力不增加甚至減少，应变大大地增加）它对于結構物有很重要的意义，由此：

- 1) 以 σ_T 为材料的極限抗力。因为过大的变形將不再合乎使用条件（如結構物的过大振動、粉飾的開裂等）。
- 2) 緩和結構物中的局部应力高峯。
- 3) 將鋼料視作理想的彈塑性体，其 $\sigma-\varepsilon$ 曲線呈一簡單的折線（圖21）。

由于 ε_T 比彈性范围的变形大很多（10—20倍），因此一般很少有進入重振階段的。

(2) 受压力時鋼的性質

建筑鋼在压力試驗中 $\sigma-\varepsilon$ 曲線及 E 、 σ_T 的大小与在拉力試

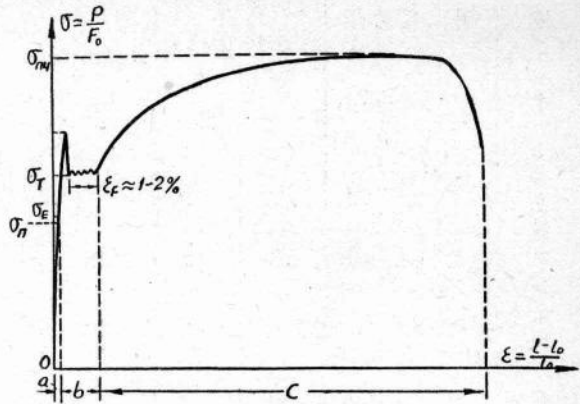


圖 20 尤3的拉伸圖

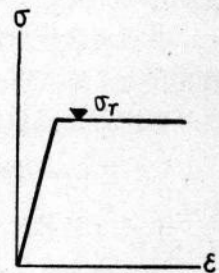


圖 21

尤3的假想拉伸圖

*由于目前試驗室中对于某些应力組合（最典型的三向受拉）尚無法做出，因此有很多塑性材料的脆裂強度迄今还未確定。

驗中相同 (样品的高度 1:2 至 2:1)，所不同的是在压力試驗中曲線沒有最后下降的部份，試件的破坏是因过分压扁，由于材料的横向拉力而破坏的。

(3) 受剪力時的鋼的性質

在拉力試驗的第三階段試件出現了頸縮，由于頸縮处应力和变形的分佈很不均匀，因此应力应变曲線已不能真正代表材料对塑性变形的特微了。最近拟用扭轉試驗來作出真正的塑性变形圖，因为在扭轉試驗中直到破坏为止沿整个長度上試件依舊相当均匀 (不存在頸縮)。

在扭轉 (純粹剪应力) 作用下，鋼表現得特別韌，在 $\tau-\gamma$ 曲線下所包圍的面積 (抵抗衝擊荷重的能力) 比拉力試驗者大很多。从圖 22 拉力試驗 $\sigma-\epsilon$ 曲線与扭轉試驗的 $\tau-\gamma$ 曲線的对照，可以看出 $\tau_T \approx 0.6 \sigma_T$ ， $\gamma_T \approx 1.75 \epsilon_T$ 。

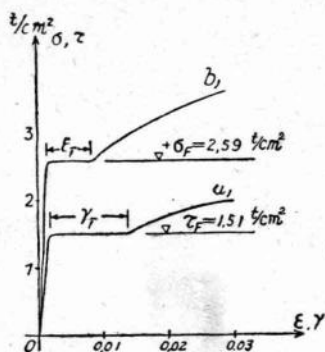


圖 22 尤 3 的剪力試驗与拉伸圖之对照

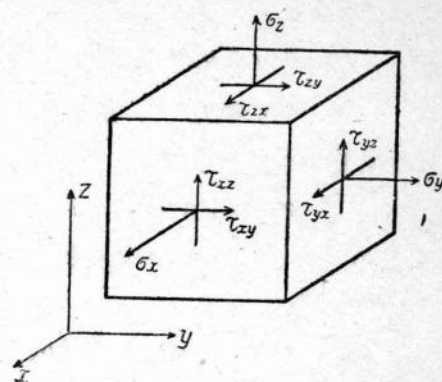


圖 23 一般混合应力的情况

(三) 受混合应力時鋼的強度校核

在实际結構中，鋼料常常同時受到各方向的法向应力和剪应力 (圖 23)，对于受有混合应力的鋼料，很难甚至不可能靠实验的方法來判知材料在什么情況下達到其界限状态。这里所指的界限状态主要是：

- 1) 鋼在什么時候由弹性工作轉入塑性工作？
- 2) 这种应力組合是否已超过容許应力值？

对于可以認為是理想的弹性塑性体且各向等性的建筑鋼來說，一般採用能量強度理論最为合适。此理論的基本假定是：在任何外力作用下，材料單位体積所能承受的形状变化能量是一定不变的。

这个假定使得我們有可能將受有混合应力的情况与單向拉伸的受力情况联系起來，而材料在單向拉伸時的界限条件却是最容易通过实验的方法來獲得。

材料單位体積形状变化所需的位能：

$$V = \frac{1+\mu}{3E} \left\{ \frac{1}{2} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \right] + 3 \left[\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 \right] \right\}$$