

鋼結構講義

第一冊

清华大学工程結構教研組編

高等教育出版社



鋼 結 構 講 義

第 一 冊

清华大学工程結構教研組編

編

高 等 教 育 出 版 社



本書系根据苏联專家捷烈文斯柯夫 (А. Н. Деревенсков) 在清华大学講授鋼結構課程时 (1953—1955 年) 所編写的講义由該校土木系工程結構教研組翻譯和整理而成。全書按高等工業学校工業与民用建筑結構專業的鋼結構教学大綱編写, 并加入水工鋼閘門一篇。

本書分四册出版。第一册內容包括鋼材的工作性能, 鋼結構計算原理, 焊接和鉚接結合, 以及梁、柱和桁架等基本構件的計算及構造。第二册專門講述工業建筑鋼結構的設計, 从結構布置原理以至厂房橫向和縱向結構計算及構造, 都有比較詳細的敘述。第三册講述几个特殊鋼結構——高層建筑鋼結構, 大跨房屋鋼結構, 鋼板結構, 以及塔形和桅形鋼結構。第四册包括鋼結構制造, 水工結構物用鋼閘門和鋼橋。

本書在講述方法上有一些特点, 对各类鋼結構多按实际設計順序具体敘述, 易于掌握; 在每一課題的引論和結束語中, 常提出存在的問題和应进行研究的方嚮, 具有科学啓發性。

本書可作为土建高等工業学校的教学参考書, 亦可供鋼結構設計和制造的工作人員以及科学研究人員参考。

鋼 結 構 講 义

第一册

清华大学工程結構教研組編

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京華印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 15010·294 開本 870×1168 1/32 印張 10 2/16 字數 28,000

一九五七年六月北京第一版

一九五七年六月北京第一次印刷

印數 0001—6,000 定價 (10) 1.60

序 言

鋼結構由下列个别構件組成：梁、桁架、柱、壳体等，即由杆件及薄板所組成。这些杆件及薄板由最坚固最均匀的建筑材料——鋼——所制成，而用焊缝、螺栓或铆钉彼此連接成結構的总體（骨架、房屋及建筑物的樓層及頂盖、塔架及桥梁等），以适应建筑物的用途。

鋼結構在各种房屋及建筑物的建造中有着非常巨大的作用。因此土木工程师有很多的机会遇到鋼結構設計、制造及架設方面的問題。由解决鋼結構方面的問題是否正确，就可以看出工程师的技术水平、鋼結構設計的成熟程度以及鋼結構制造及架設的技术水平。

在講授本課程时，將利用鋼結構（設計及制造）及焊工的一些先修課程中的某些材料。这些課程包括：建筑材料（金屬部分）、理論力學、尤其是广义的建築力學（即直接或間接研究建築物計算方法的課程的合称，其中有材料力學、彈性力學及狹义的、通常所了解的建築力學）。

在講課时假定学生已經熟悉上面所提到的各种先修課程中的材料，因此这里所引用的材料及公式只給出其最后的結果，而不再重复講述、推演公式、方程式等。

第一册 目录

序言.....	vi
緒論	1
§ 1. 鋼結構發展历史的簡述	1
§ 2. 鋼結構的应用范围.....	13
§ 3. 对于鋼結構的主要要求.....	17
§ 4. 鋼結構的优点及缺点.....	17

第一篇 鋼結構構件

第一章 鋼結構的材料及其作用情况、計算标准.....	20
§ 1. 用于建筑中的鋼材及生鉄的标号.....	20
§ 2. 鋼一次受拉时的作用情况.....	27
§ 3. 鋼的时效硬化.....	29
§ 4. 应力非均匀分布时鋼的作用情况.....	30
§ 5. 在重复荷载下鋼的作用情况.....	32
§ 6. 鋼受弯时的極限应力.....	35
§ 7. 柔性鋼杆件受压时的極限应力(縱向弯曲現象).....	40
§ 8. 鋼杆件偏心受压时的工作情况.....	44
§ 9. 鋼結構按照極限状态的計算方法.....	47
§ 10. 在結構中所發生的应力.....	50
§ 11. 計算荷载及其分类.....	50
§ 12. 安全系数与容許应力.....	50
§ 13. 建筑型鋼.....	52
第二章 焊接技术与焊接連接	55

§ 1. 焊接發展簡史.....	55
§ 2. 焊接对铆接的比較.....	69
§ 3. 焊接的种类.....	70
§ 4. 手工电焊.....	71
§ 5. 自动电焊.....	80
§ 6. 电阻焊接(接触焊接).....	82
§ 7. 气焊.....	84
§ 8. 高強度建筑鋼的焊接.....	87

§ 9. 焊接質量的檢查.....	88
§ 10. 对焊接的要求.....	94
§ 11. 焊接应力和变形.....	94
§ 12. 焊接連接的型式、靜力強度及計算.....	104
§ 13. 焊接連接的振動強度.....	116
第三章 鉚釘連接	119
§ 1. 鉚釘連接的一般特性.....	119
§ 2. 制造工艺对鉚釘連接受力情况的影响.....	122
§ 3. 鉚釘連接在靜載时的作用.....	124
§ 4. 重复荷載时的鉚釘連接受力情况.....	130
§ 5. 鉚釘的排列.....	131
§ 6. 鉚釘連接的計算.....	133
第四章 螺栓連接	139
§ 1. 螺栓連接的一般特性.....	139
§ 2. 精制螺栓的連接.....	140
§ 3. 粗制螺栓的連接.....	141
§ 4. 槽紋螺栓的連接.....	142
第五章 梁及梁格	143
§ 1. 概論.....	143
§ 2. 型钢梁的計算与構造.....	148
§ 3. 組合梁的計算与構造.....	159
§ 4. 梁的支座部分.....	214
§ 5. 梁的連接.....	217
§ 6. 梁的繪圖.....	220
§ 7. 梁的受力試驗研究.....	221
第六章 中心受压柱	228
§ 1. 柱的一般性質.....	228
§ 2. 柱的計算長度.....	231
§ 3. 实腹柱柱身的截面选择.....	232
§ 4. 格構柱柱身的截面选择.....	235
§ 5. 綴条綴板的計算.....	237
§ 6. 柱脚.....	242
§ 7. 柱头.....	250
§ 8. 中心受压柱受力的試驗研究.....	251
第七章 桁架	255
§ 1. 桁架体系及其在建筑中的应用.....	255

§ 2. 桁架的外形	256
§ 3. 桁架总尺寸的确定	259
§ 4. 桁架腹杆体系的选择	263
§ 5. 计算荷载	266
§ 6. 桁架杆件内力的决定	268
§ 7. 桁架間的支撐	270
§ 8. 桁架杆件的自由長度	272
§ 9. 桁架杆件的極限長細比	273
§ 10. 桁架杆件截面的类型	274
§ 11. 桁架杆件截面的選擇	277
§ 12. 桁架結点的構造与計算	284
§ 13. 桁架的繪圖	295
§ 14. 桁架受力試驗研究	297
附录	1
附录 1	1
附录 2	5
附录 3	10
附录 4	11
附录 5	22

緒 論

§ 1. 鋼結構發展历史的簡述

鋼結構若与磚石結構及木結構比較，是比較晚近才出現的結構，虽然如此，但是鋼結構在結構上得到了非常广泛的、各种各样的应用。

近来，鋼材非常广泛地用于各种房屋及工程建筑物中。鋼結構所以得到如此广泛的应用，主要是由于鋼結構与其他的建筑結構(磚石結構、鋼筋混凝土結構以及木結構)比較起来是最工業化的結構，而且相对來說，鋼結構是最輕的，而其中所受的力也是最确定的。因此，凡要求很快建造的建筑物或是尺度(跨度及高度)很大的建筑物，通常都用鋼作成。金屬材料用于建筑中的数量不断的增加，可由下列的数据中看出。在革命以前的俄国鋼結構主要用于桥梁及为数不多的工業建筑中。專門的金屬結構工厂当时是沒有的。鋼結構每年的产量还不到八万吨。苏联在几个五年計劃中，建立了强大的、設備优良的、高度机械化的鋼結構制造厂，在偉大的衛国战争的前夕，金屬在建筑方面每年的用量已达九十万吨。在偉大衛国战争的年代里，尤其是在战后的近几年中，金屬在建筑中的用量是大大增加了。苏联共产党第十九次代表大会的指令中規定在 1951 年至 1955 年的第五个五年計劃中，金屬結構工厂的制造量应增加一倍以上。金屬結構的發展是与冶金工業的發展密切相关的。起初冶金工業出产生鉄，以后出产熟鉄，最后才出产鋼。与此相适应，最初制造生鉄結構，以后制造熟鉄結構，最后才制造鋼結構。

有資料指出最古老的金屬桥梁是中国的原始式的鏈条悬索桥，而在印度大概也有同样的桥梁。在印度有的金屬結構保存了兩千年以上。

在欧洲、在十七世紀开始使用了承重的金屬建筑結構。俄国的第一批的金屬建筑結構之一就是克林姆宮中紅庭的屋頂（1640年）。

十八世紀中，在俄国曾不止一次地应用过金屬結構。在1725年，倪克特节米多夫曾在烏拉尔(Урал, 在当时是有世界意义的冶金基地)建造一座生鉄屋頂：在涅夫揚罗夫斯基工厂(Невьянский завод)建造了一些鉄塔。然而不論在俄国，或者在其他国家，在十八世紀中金屬結構用于建筑中是非常有限的。冶金工業的發展不足，黑色金屬的缺乏，制造連接的困难以及在建筑方面的要求比較簡陋，都限制了金屬結構的推广。

当时金屬結構的主要材料是生鉄，这种生鉄主要地是大量用于桥梁建筑中。生鉄桥梁以梁或拱跨越河流。然而梁式的生鉄桥梁沒有能够推广，因为生鉄承受弯曲的能力很差。而在拱式結構中，材料主要是受压力，最合于生鉄的机械性質，即适于抵抗压力而不适于抵抗拉力，因此拱式結構得以大量推广。

在第一批生鉄結構中，很显然地受到了木拱桥的影响，这种桥梁在当时已經是能运用自如的。

第一个生鉄桥于1776年至1779年建于英国，其跨度为30公尺。五年以后(1784年)，在俄国普希金公园(从前的沙皇村)建造了一些生鉄桥。到了十九世紀五十年代，生鉄桥已达到了非常完善的地步，其中一个例子就是工程师克尔別澤(С. В. Кербедз)所設計的在彼得堡建造的尼古拉也夫桥(Николаевский мост, 圖 0-1)，在当时这个桥是最大的生鉄桥。

在民用及公共建筑中，生鉄亦曾被采用。在工程結構上以大

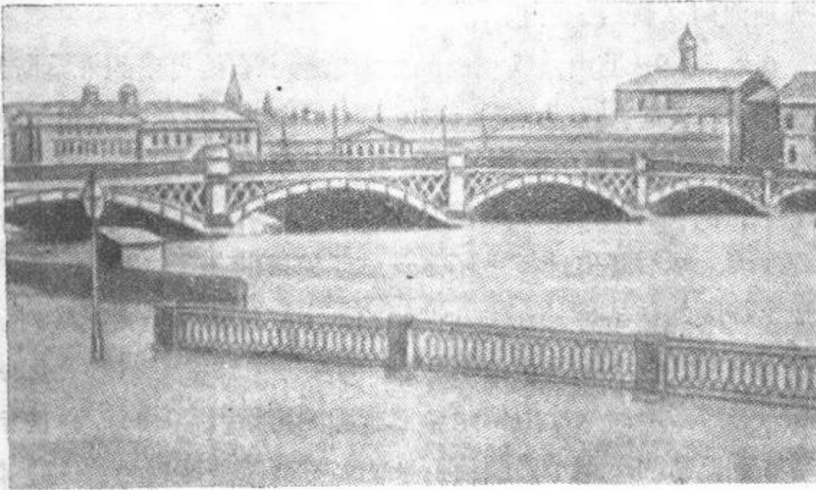


圖 0-1. 彼得堡的尼古拉也夫橋。

胆著称的有列宁格勒的依沙基也夫斯基(Исаакневский 圖 0-2)教堂內部巨大的圓錐形壳体穹頂，这一穹頂建造于十九世紀的四十年代。

在工業建筑中，生鉄广泛用作多層厂房的骨架。在十九世紀五十年代，在莫斯科市及其附近建造了为数頗多的生鉄骨架房屋以作为紡織工厂，这些工厂一直到现在还在繼續使用。

除了用生鉄外，也采用熟鉄。以冶煉的方法作成熟鉄是在十八世紀末，而以工業的方法进行冶煉是十九世紀才發展起来的。

資本主义及工業建筑的兴起以及鉄路的發展刺激了熟鉄的应用，因为熟鉄用于金屬結構要比生鉄适合得多。然而在开始由于沒有鉚接的方法及軋成的型钢，因此

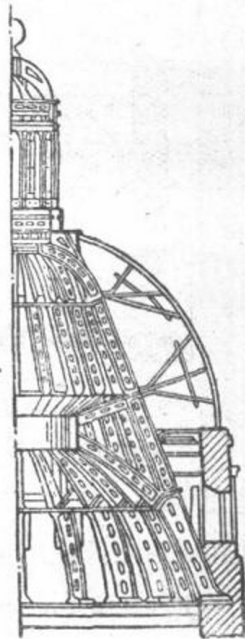


圖 0-2. 依沙基也夫斯基教堂穹頂。

大大地阻碍了鉄結構的推广。

在俄国第一批由熟鉄制成的巨大結構中有彼得堡的卡桑斯基宮杆件系統的穹頂。此穹頂为建造师 A. H. 沃諾尼享在 1801 年至 1811 年所建造。在 1819 年出現軋軋的成型金屬，而从 1820 年起有了冲孔机(在杜那城)，以后在鉄結構上才开始应用現代形式的鉚釘連接。以后鉚釘連接差不多就成了連接的獨一無二的方法。第一个鉚接的鉄結構是在十九世紀的三十年代用于彼得堡格列尔里島 (Галерный остров) 上的造船厂的屋頂。1837 年在彼得堡所建造的冬宮多节間双片桁架是非常有趣的桁架(圖 0-3)，这种桁架以后不正确的得到了普蘭柯桁架的名称 (按普蘭柯为法国建筑师，在冬宮的屋頂作好后的 1839 年—1840 年才作出这种桁架)。

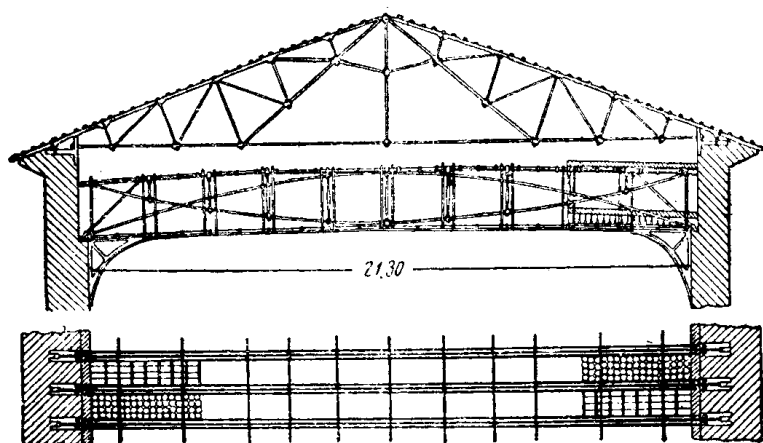


圖 0-3. 彼得堡冬宮大厅的房盖(1837 年)。

在相当長的时期內，鉄結構用于民用建筑的为数不多，主要地是用于建筑桁架。在这一时期內，也制造一种桁架，其中压杆用生鉄作成，而拉杆則用熟鉄作成眼杆以安置螺栓。这种構造形式在整个十九世紀期間滿足了民用建筑的要求。

从十九世紀四十年代以来熟鉄开始有了相当广泛的应用，主要应用于建造鉄路桥梁；1853 年俄国工程师 C. B. 克尔別澤在彼

得堡—华沙鉄路上跨越魯加(Луга)河建造了第一个螺栓鉄桥。这座桥保存了九十年的时间,最后在偉大的衛国战争时被破坏。1861年,在可夫諾(Ковно)城跨越涅馬(Неман)河建造了高度为七公尺的鉚接实腹鉄梁,以及其他一些桥梁。

由于在俄国大的河流很多,跨渡这些河流的复杂性以及鉄路建筑的加强,都大大促进了鉄桥建筑的發展及深入。很多俄国工程师及学者研究了桥梁建筑的理論及实际应用。他們的著作使得在桥梁建筑方面有了輝煌的成就,并且促进了鋼結構在其他方面的發展。桥梁建筑的發展是与俄国著名工程师克尔別澤(С. В. Кербедз),貝力留布斯基(Н. А. Белелюбский),普罗斯庫利亞科夫(А. Д. Проскуряков)的名字分不开的。

工程师 С. В. 克尔別澤(1810—1899 年)应用了著名的發明家庫立賓(И. П. Кулибин)的概念于实际工程中,在俄国魯加河上建造了第一座具有花腹格構系統的主要桁架(庫立賓在 1813 年提出了跨越涅瓦(Нева)河是三跨拱式鉄桥的設計,該桥为跨度 80 公尺的花腹桁架)。在設計魯加河上桥梁的結構时,С. В. 克尔別澤工程师第一次正确地决定了压杆的形式,这种压杆具有剛性的截面,并用綴条連系起来。这样的構造在当时是大大向前跨进了一步。

貝力留布斯基(1848—1922 年)教授及其学派所創造的結構形式在实际中經過了多年的考驗,証明了他的学派是俄国桥梁建筑傳統的結構学派。由于采用了斜杆,貝力留布斯基教授大大改善了桥梁桁架的結構;他曾参加了五十座桥梁的設計工作,其中最大的是 1879 年所建的跨越伏尔加(Волга)河的西茲蘭斯基桥(Сызранский мост 圖 0-4)。他改善了桥梁桁架,使其圖形最能节省金屬;創造了桥面橫梁对主要桁架的新式的“俄国連接法”;深入地研究了建築材料的試驗方法,其中包括鋼的試驗方法;他也是在結構中以鑄成熟鉄代替熟鉄的創始人。

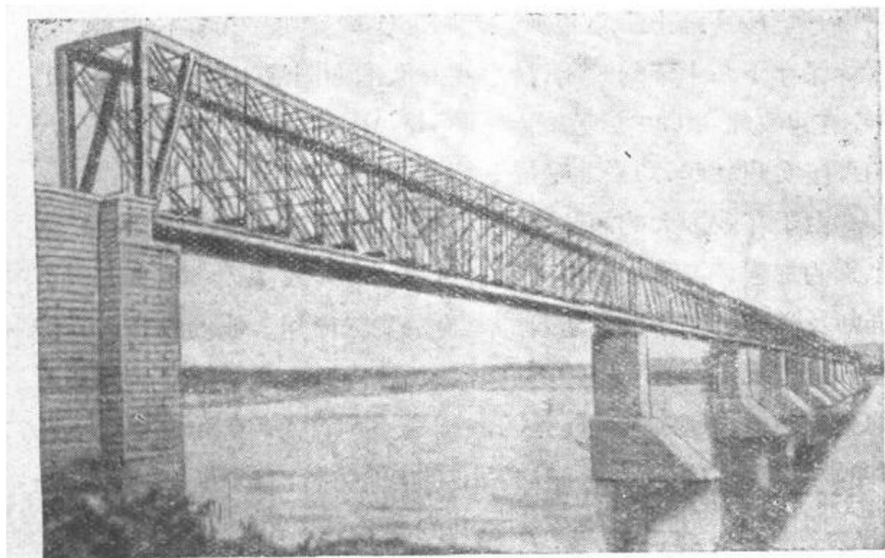


圖 0-4. 跨越伏尔加河的西茲蘭斯基橋。

Л. Л. 普羅斯庫利亞科夫教授發展了 Н. А. 貝力留布斯基教授關於花腹鋼桁架最有利圖形的理論，並且在許多橋梁中實現了他的概念。按照他的設計所建的克拉斯羅雅爾斯基 (Красноярский) 橋在 1900 年的巴黎世界博覽會上曾被認為是當代最杰出的橋梁建築，該設計的作者 Л. Л. 普羅斯庫利亞科夫教授曾得到了一枚金質獎章。Л. Л. 普羅斯庫利亞科夫教授在建築理論方面曾經作過許多工作。

在十九世紀八十年代中葉，俄國早於其他各國（在貝力留布斯基教授倡議下）首先在結構中以澆鑄熟鐵代替熟鐵，这样就大大地增加了結構的強度及安全性，并同时減低了造價。

民用的金屬結構在十九世紀及本世紀初葉發展非常遲緩，其基本形式為屋架。

當時工業車間金屬結構的特點是只有鐵結構的屋頂。在本世紀初出現了電動吊車時這些結構才與其他建築物結構分開，從那時起吊車梁開始安置於柱子上，形成了帶有桁架的橫向構架，因而

使得工業房屋与民用房屋的結構有了更大的差別。因此，工業建築結構与其他結構的分家是以整个車間結構的構造特点为前提的，也是以出現了下列結構部分为前提的，即：吊車梁，牆架，支撐系，大截面柱(变截面的及分立式的)，連續不断的建筑，因而又要求有天窗系統等等。当时最完善的工業房屋有莫斯科“鑢与錘”工厂，列宁格勒“紅十月”工厂等的車間結構。这些工厂的結構采用了花腹的系統，完全符合于俄国結構学派的方法。

屋頂轉換为新的形式是与雅辛斯基(Ф. С. Ясинский)，蕭霍夫(В. Г. Шухов)及普罗科費耶夫(И. П. Прокофьев)的名字相連的。

Ф. С. 雅辛斯基教授(1856—1899)为著名的縱向弯曲研究家。除此以外，他也是著名的土木工程师。他首先轉換到以兩行金屬柱分开的三跨車間(周圍用磚牆圍护起来)，是大跨度屋頂的首創人，他首先采用三角形褶式結構，这种結構支承于端桁架上。

И. П. 普罗科費耶夫教授發展了 Ф. С. 雅辛斯基教授关于大跨

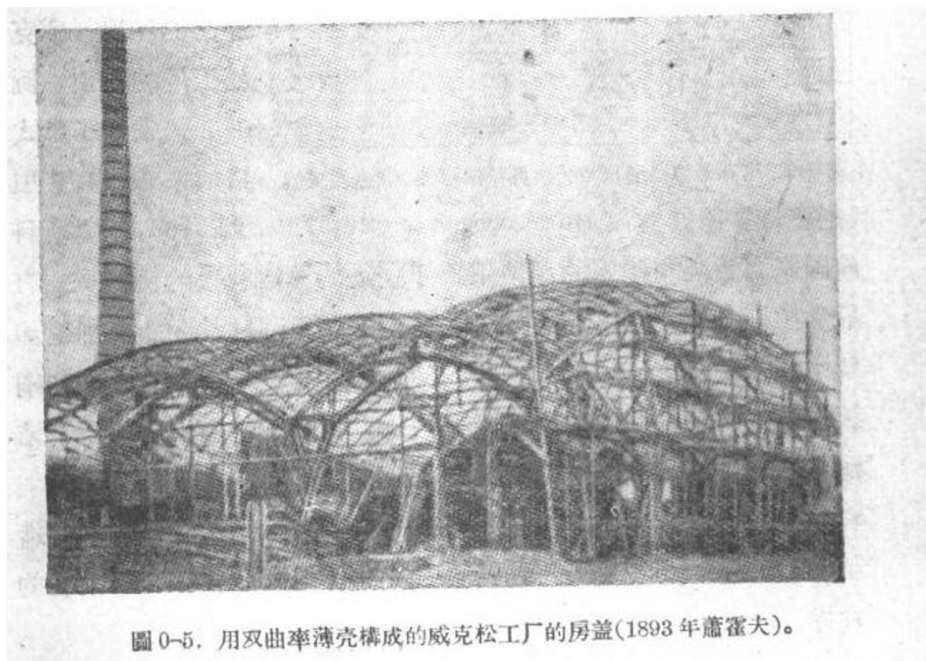


圖 0-5. 用双曲率薄壳構成的威克松工厂的房蓋(1893 年蕭霍夫)。

度屋頂的觀念，并在鋼結構的試驗、制造及架設的連系方面作了許多工作。他在建筑材料試驗及建築理論方面的研究工作，對於蘇

聯科學是一種寶貴的貢獻。

科學院名譽院士 B. Г. 蕭霍夫 (1852—1939) 在工程的活動上種類特別繁多。B. Г. 蕭霍夫發展了空間屋頂的思想，並因此而大大地超過了同時的其他學者，他應用了雙曲壳体做廠房的屋頂（威克松工廠的屋頂，圖 0-5），採用了懸式

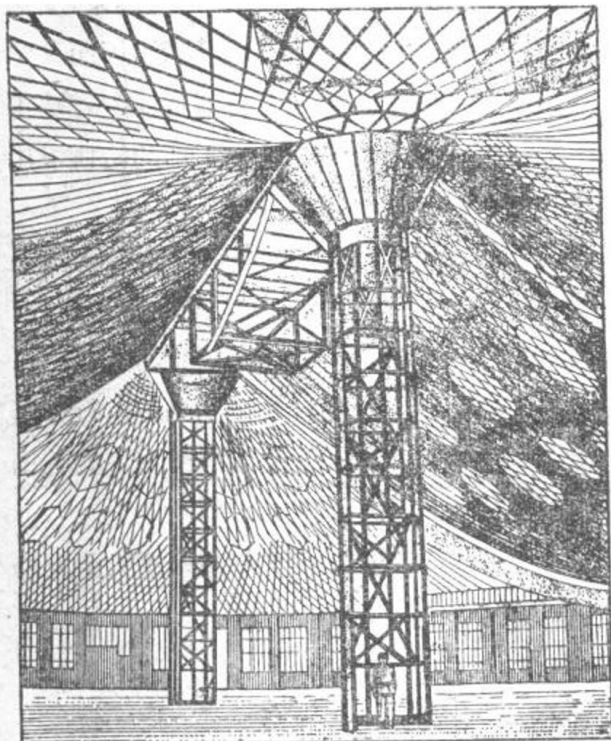


圖 0-6. 尼塞哥罗德展覽館的內部結構(1896 年蕭霍夫)。格構系統的屋頂(尼塞哥罗德展覽館 Нижегородская выставка, 圖 0-6), 在莫斯科前國家百貨公司建築的屋頂採用了獨創的異常有效的構造——有扇形拉杆的輕型拱式屋架。B. Г. 蕭霍夫用增加柱的間距及加建屋架梁的方法改善了廠房的結構，B. Г. 蕭霍夫院士在儲器及其他鋼板結構方面有特別多的貢獻。可以說，我們各種儲液庫的所有結構，它們的原理，計算方法及經濟都是以蕭霍夫的著作為基礎的。B. Г. 蕭霍夫院士還創造了雙曲綫形的格構式塔架(圖 0-7)，創造了無線電塔、燈塔及其他結構。所有他創造的結構都具有獨特的式樣。

但只是在十月革命以後，鋼結構方面的著作和研究才得到廣泛的規模。蘇維埃政權存在的第一年就標志着鋼結構的巨大發展。在1918年根據列寧親自的指示建立了在研究建築結構方面的第一個機構——工業建設人民委員會的科學試驗學院，以後改為工業建設人民委員會最高科學技術委員會。這個學院當時對於結構，特別是鋼結構，進行了研究，不僅在理論上而且在試驗方面進行了研究。從這時起鋼結構的研究開始帶有真正的科學性質。

開始幾個五年計劃中的史無前例的大規模建設把我們的工程師聯合到巨大的生產及計劃機構中，從而根本改變了結構物設計及架設的方法。

在蘇聯鋼結構工程師前面提出了新的規模巨大的任務和問題，在解決這些任務和問題的基礎上產生了蘇聯結構設計的理論學派。

蘇聯結構設計學派成長的過程里首先應當指出的設計公司是工業建築設計院(Промстройпроект)，鋼結構設計院(Стальконструкция)及中央工業建築科學研究院(ЦНИИС)等。科學工作者的集體設計工作與科學研究工作的密切聯繫是蘇聯結構設計學派突出的特點。

將金屬結構的設計與製造聯合在鋼結構公司里就可以使得在擬定結構時同時解決設計與製造的問題，這一點也是蘇聯結構設計學派的一個特色。

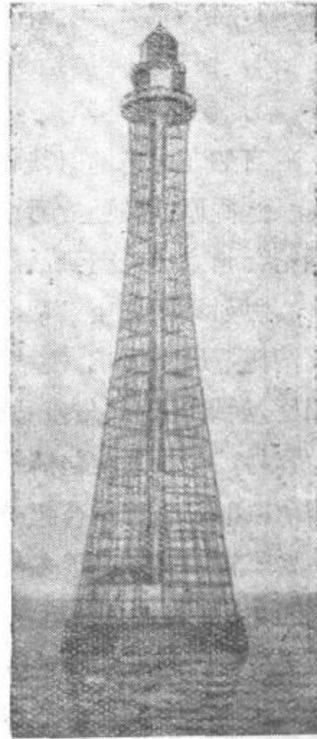


圖 0-7. 蕭霍夫的双曲綫塔架。

这个学派是以下列三原則为基础的:

1. 使結構的重量最小或使結構所用的鋼材最少;
2. 使結構的制造及架設最簡便或所費勞動力最少;
3. 使結構的建造最快。

当然在考虑的时候首先还应当滿足使用及耐久的要求。

这些原則在独立考虑时是互相抵触的, 因此只有把它們正确地結合起来才能得到最好的解决办法。

假如只根据使重量最小这一原則来考虑, 我們固然可以使金屬消耗量最小, 但会使結構异常复杂, 因而也会使制造更为費工。相反, 如果我們只想使結構式样尽量簡化以圖制造簡便, 运输及架設容易, 一般來說結構的重量方面就会引起不利。因此只有把这几个原則正确地結合起来, 才能得到最好的結構構件的形式。

节省国民經济很多部門都必需的鋼材是結構設計的三个指导原則之一。在最近十五年, 工業鋼結構的重量减少了 25—30%, 而馬丁爐車間的鋼結構重量减少了 50% 以上。除了节省鋼材以外, 鋼結構的制造劳动也节省与方便了很多(大約为 30—45%)。苏联設計家們証明了在减少結構制造与架設的繁重性同时完全可以减少鋼的耗費, 而在此同时还可以增加建筑物的剛度, 也就是改善建筑物的使用条件。

上述諸原則所以能很好地解决是由于制造与架設的工業化; 电焊, 特别是自动电焊的广泛采用; 实腹結構(最便于用自动电焊)的广泛应用(但不降低其良好的重量指标); 拼接与架設連接的簡化; 支撑系的發展; 增加結構空間剛度的勁性剛架系統; 建筑物、結構物及其構件、結点等的模数化、規格化、統一化与标准化。

在同时省工与加速建造的条件下, 节省鋼材的主要办法之一是鋼結構制造的工業化, 也就是在用現代化的生产力很高的机器装备起来的專門工厂里, 用最新的技术制造結構的各种構件。