

鋼結構講義

第 二 冊

清华大学工程結構教研組編

高等教育出版社

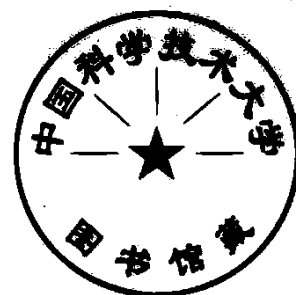
86.251



鋼 結 構 講 義

第 二 冊

清华大学工程結構教研組編



高 錕 教 授 著 出版 社



本書系根据苏联專家捷烈文斯柯夫 (А. Н. Деревенков) 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桥。

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

第二册

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)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号15010·475 開本 850×1168 $1/32$ 印張 7 $12/16$ 字數 157,000

一九五七年九月北京第一版

• 一九五七年九月北京第一次印刷

印數 0001—2,300 定價 (10) 1.20

第二册 目录

第二篇 厂房鋼結構

第八章 厂房鋼結構的發展	303
第九章 厂房鋼結構設計原則	314
§ 1. 厂房結構鋼骨架布置的一般原則	314
§ 2. 柱網的布置	321
§ 3. 伸縮縫的布置	327
§ 4. 厂房的主要承重結構	329
§ 5. 車間的橫向剛架體系	331
§ 6. 多跨剛架的布置	338
§ 7. 車間橫向剛架主要尺寸的確定	341
§ 8. 屋蓋結構體系	343
第十章 天窗	354
§ 1. 概述	354
§ 2. 天窗的構造	360
§ 3. 天窗的計算	363
第十一章 支撐	368
§ 1. 支撐的作用	368
§ 2. 屋蓋支撐	369
§ 3. 柱間支撐	379
§ 4. 屋蓋支撐的構造和計算原理	384
§ 5. 柱間支撐的構造和計算原理	387
第十二章 牆架	390
§ 1. 牆架的作用和布置	390
§ 2. 牆架構件的構造及計算	394
§ 3. 牆架支柱与厂房骨架的连接構造	399
第十三章 厂房鋼骨架的計算特点	401
§ 1. 總則	401
§ 2. 作用在車間橫向剛架的荷載	402
§ 3. 剛架構件截面初步尺寸或剛度比值的確定	413

1465825

§ 4. 刚架的总尺寸	415
§ 5. 刚架静力计算的特点和方法	417
§ 6. 温度作用的考虑	431
§ 7. 厂房钢骨架的空间受力	434
第十四章 柱	439
§ 1. 总则	439
§ 2. 柱的截面	441
§ 3. 柱的截面选择及验算	445
§ 4. 吊车台的构造及计算	455
§ 5. 柱脚的构造及计算	467
第十五章 厂房屋盖构件的计算与构造特点	482
§ 1. 刚架横梁支座弯矩的影响	482
§ 2. 格构横梁与柱的连接	483
§ 3. 实腹横梁与柱的连接	488
§ 4. 屋架梁	490
§ 5. 厂房钢骨架刚性的验算	497
第十六章 吊车梁	501
§ 1. 概述	501
§ 2. 上行式实腹吊车梁	504
§ 3. 上行式格构吊车梁	520
§ 4. 制动梁及制动桁架	522
§ 5. 吊车梁在柱上的支承构造	527
附录 6. 用曲线图求 II 型刚架的内力 (M, Q, N)	527
附录 7. 具有水平横梁 II 型刚架的弯矩及反力公式	527

第二篇 厂房鋼結構

第八章 厂房鋼結構的發展

十九世紀單層厂房結構主要是由磚牆及金屬屋頂構成的，直到十九世紀末叶这种厂房的跨度还是不大，大約只有 10—20 公尺，当时在俄国几乎沒有骨架厂房。

在十九世紀末叶，出現了电动桥式吊車，但最初它們並沒有影响車間的結構形式，因为吊車是支承在特殊的内部磚砌支架上，而磚牆又用后扶梁加固（圖 8-1）。

二十世紀初叶，随着桥式吊車起重量的增加，吊車梁开始支承在金屬柱上，于是出現了車間的橫向剛架（圖 8-2）。

厂房金屬結構从其他建筑物的結構中划分出来是在本世紀初叶。这种划分是由車間結構整体的構造特点、吊車梁在鋼柱上的支承，以及由此而来的車間橫向剛架、金屬牆架及重型柱（变截面柱及分立式柱）的出現，由于在建筑上应用天窗及支撐系統等条件所决定的。

这样，仅在本世紀的第一个十年內，有承重金屬骨架的厂房就已經显著地出現了，它們主要建于冶金及机器制造工業。

这个时期，最先进的工業結構有莫斯科“鑷刀与錘子”工厂、斯

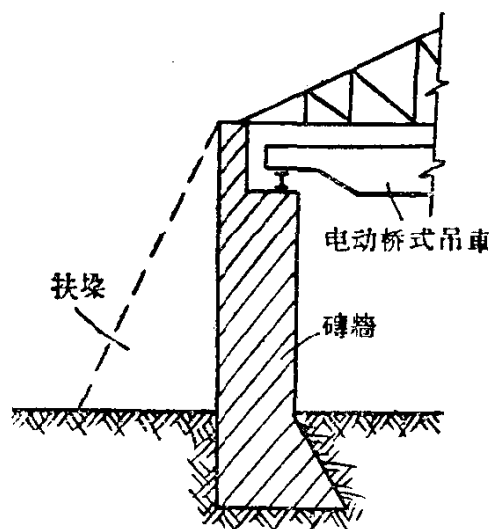


圖 8-1. 19 世紀末叶的厂房結構形式。

大林格勒“紅十月”工厂及其他工厂的車間鋼結構。这些工厂的鋼結構是由格構体系構成的，它們完全适合于在当时很發達的桥梁建筑中所培养出来的俄国結構工程师学派的观点。

十九世紀末年和本世紀初年，向新型屋頂結構的过渡是和雅辛斯基 (Ф. С. Ясинский)、舒霍夫 (В. Г. Шухов) 及勃罗考費也夫 (И. П. Прокофьев) 的名字相連系的。

雅辛斯基教授 (1856—1899 年) 在上世紀九十年代中，对厂房屋頂的結構形式作了極重要的貢獻，他第一个采用了有兩排鋼柱的三跨車間，厂房外部还是保留了磚牆，屋頂是由兩個單悬臂桁架合成的，在其端部 (跨中) 設置縱向天窗。重量輕，空間大，并对牆的压力小，是这种結構不容置辯的优点。

名誉院士舒霍夫 (1853—1939 年) 对一般鋼結構特別是工業結構作了極其巨大的貢獻。他的研究活动的特点是多样化和新奇独特的，他应用了双曲壳体作工業建筑 (1893 年威克松斯基工厂的高尔科夫区)，从而奠定了俄国在这一方面的优势。

舒霍夫院士对于改进一般的厂房結構进行了很多工作，如增大了柱的間距并应用了屋架梁。

勃罗考費也夫在莫斯科——嘉桑鉄路的姆隆及彼洛夫工厂等建筑中，發展了雅辛斯基教授在大跨工業屋頂方面的思想。

厂房鋼結構的最大發展，是在偉大的十月社会主义革命后获得的。

史無前例的最初几个五年計劃的大規模建設，向苏联的土木工程师們提出了在工業鋼結構方面極為艰巨的任务，而在解决这些任务的基础上，也就成長了苏联的結構設計学派。

在苏联結構設計学派建立的过程中，首先应当指出的，是工業建筑設計院和鋼結構公司的結構工程师集体以及工業建筑中央科学研究院 (ЦНИИС) 的科学工作者集体。

設計工作,制造架設工作和科学研究工作的密切連系,是苏联結構設計学派突出的特点。

在本世紀三十年代以前,作为計算圖的是橫梁与柱鉸接的工業車間橫向剛架,有时还有中間柱,沿屋面方向的縱向支撐很少采用或根本不用;厂房承重結構的这种布置方法,是由取得一个明确的結構靜力計算圖的要求产生的。当吊車荷載增加了,就要求一个剛性較大的橫向結構,这时,認為鉸接是取得一个明确靜力計算圖所必須的看法被抛弃了;上弦結点剛性連接及兩端埋固于基础的橫向結構,代替了上弦結点鉸接的橫向結構;沿屋面及柱的支撐数量增加了,因而滿足了增加車間空間剛度的要求。改用新的結構形式,促进了剛架計算理論及極限狀態計算理論的發展;推进了一系列試驗研究的进行和对生产車間結構使用經驗的研究。此外,由旧的鉸接結構改用新的剛接体系,特別在重型車間上由于焊接的应用而大为簡便,对于現代化的結構形式的發展,起了很大推动作用。

在改用新的工業車間結構体系时,焊接的利用对柱脚、柱身、桁架和吊車梁等都提供了合理的結構方法。

近数年来,对工業車間鋼骨架的空間作用給予很大注意,利用了一些剛性塊——屋面、掣动台、作为橫撐的吊車桥及工作台等,使几个平面剛架都参加受力,所有这些都减少了車間承重結構鋼的消耗。对于車間鋼骨架实际空間作用的研究工作,是在斯特萊列茨基教授的领导下,由格尼也夫(А. Н. Генцев)教授、別林略(Е. И. Беленя)副教授及夏比罗(Г. А. Шапиро)等人进行的。

結構形式趋于完善的过程中,結構重量及制造的劳动量也随着減輕。

最近 15 年至 20 年,工業鋼結構的重量減輕了 30%,而馬丁爐車間結構減輕了 50% 以上。

現在鋼結構的制造，是在裝備優良的工廠中在現代化的工業技術基礎上進行的，關於創造能滿足高度工業化生產方法的最完善最方便的結構的問題，已被解決了。所有這些工廠的裝備，結構形式的改變等等，都使得鋼結構制造的勞動量大為減少。

最近 15 年，蘇聯結構工程師們大大地改善了工業車間鋼結構的技術經濟指標：

1. 對輕型車間(吊車起重量為 5—10 噸)
 - 金屬消耗降低了……………26%
 - 結構制造勞動量降低了……………43%
 - 結構橫向剛度增加了……………2 倍
2. 對中型車間(吊車起重量大於 10 噸)
 - 金屬消耗降低了……………35%
 - 結構制造勞動量降低了……………35%
 - 結構架設勞動量降低了……………30%
3. 對重型車間(吊車起重量大於 100 噸)
 - 金屬消耗降低了……………20—40%
 - 結構制造勞動量降低了……………40%
 - 結構架設勞動量降低了……………10—15%

在結合主要優點——重量減輕、制造勞動量減少、架設迅速及保證結構物有長久使用期——的條件下，結構的形式改變了。實際結構有了很大的發展，特別是在柱子方面；支撐布置在車間的縱向及橫向構成一個有很大剛度的空間結構體系，結構空間縮小了，外形也簡化了，因而非常便于運輸與拼接；杆件及結構的連接等等也簡化了。

為了保證鋼結構的快速架設，採用了一系列的辦法——架設螺栓連接、架設支托等。

1938 年工業建築設計院技術管理局（現在的 КТИС—контора

типового проектирования и технических исследований 标准設計及技术研究管理局) 制訂了單層厂房标准区間設計, 其后規格化、标准化及統一化的問題逐步深入, 目前苏联在鋼結構标准化方面已經是一个首导的国家了。

滿足苏联結構設計学派要求的車間骨架結構及其構件标准形式的設計, 目前已被广泛采用。在大規模建設中, 結構構件形式的規格化, 对我們建筑工業的工業化造成了極為有利的基础。設計中标准單位長度的应用, 标准設計的統一, 以及各种建筑構件及整个結構的标准化更大大地促进了建筑的工業化。

建筑工業化要求对現在应用的結構簡圖作进一步的研究, 因为結構形式不可能在一个長的期間內毫無变化, 而应当处于不斷發展不斷改进的狀態中。

現在鋼結構的規格化、标准化和統一化还在不斷地深入, 鋼結構是在不斷变化和發展的。

累积起来的經驗和研究結果, 使得在 1947 年采用了有鋼骨架厂房的新标准設計, 在 1950 年开始采用了混合骨架厂房的标准設計, 而且在最近的 (1950 年的) 标准設計中, 桁架支座处的高度比 1947 年的标准設計有了更进一步的統一化。

由主导設計機構(工業建筑設計院, 标准設計及技术研究管理局) 制定的“單層厂房标准区格”, 确定了厂房的淨空簡圖及相应的吊車設備。

这种标准区格很大限度地适合了机器制造及金屬加工工業的技术条件。

标准区格所采用的尺寸, 在平面及高度方面都能滿足統一的标准單位長度体制。

标准区格是各設計机关(工業建筑設計院、鋼結構設計院、标准設計及技术研究管理局等等) 研究目前在建筑中被广泛应用的

單層厂房屋蓋鋼結構标准圖形时的基础。

但是厂房屋蓋結構圖形的規格化，由于只是該种結構構件統一化的基础，因而并没有解决鋼結構制造的工業化問題。

結構構件的統一化，是由構件各种尺寸的可能縮減、它們最大的可換性，構件連接的統一化（桁架与柱、吊車梁与柱等等）等办法来实现的。

1943 年以来，工程界的創造思想正在研究灵活（柔性）車間，这种車間从技术操作方面看是沒有問題的，它能滿足很多种生产的使用要求，并能保証技术操作过程的自由發展和种类的增加。

建立灵活車間的建議是夏拉莫夫(Н.П.Шаламов, 在 ЦНИПС)第一次提出来的。夏拉莫夫最灵活地解决了問題，提出建立有正方形(12×12 , 15×15 , 18×18 公尺)及長与寬为 2:1 的長方形(24×12 , 30×15 公尺)柱網的車間。

很多工程师現在正从事有許多無容置辯的优点的無天窗車間的研究。

在工業企業建筑中，特別在創造厂房鋼骨架結構形式的工作中，苏联許多設計、架設及科学研究机关的集体劳动得到了完备而鮮明的成果。

苏联战后史無前例的大規模建筑在苏联土木工程师面前提出了鋼結構方面巨大的結構問題，这些問題由苏联結構設計学派根据最省材料、制造最省工及快速架設的統一的原則正在加以解决。

苏联結構設計学派繼承了祖国結構理論方面研究工作者的全部成就及各种結構構造方法；理論和实际的配合，經常是設計工程結構物时的基本原則。

这几年在工程方面有过很深刻的探討，方向是正确的，方法是科学的，但还缺乏統一形成的学派，这是因为过去沒有一个統一的工作，我們的偉大先驅者們在某种程度上是独自創造的。

統一的結構观点只是在偉大十月社会主义革命后，当所有設計師都联合起来参加到解决工程問題的工作中去的时候才有可能。

苏联結構設計学派發展的几个阶段大家都还记得：20年代，是所有設計師联合到生产集体中的时候，当时組織了工業建筑中央科学研究所(ЦНИПС)和鋼桥局(Стальмост)現鋼結構工程局(Стальконструкция)，奠定了这个学派的基础；30年代，是在解决几个五年計劃大規模任务的基础上，我們的鋼結構工厂得到了新面貌和新機構的年代，而我們的結構思想也在三大集体——工業建筑中央科学研究所(ЦНИПС)、工業建筑設計局(Промстройпроект)和鋼桥局(Стальмост)中得到了統一。

根据苏联結構学派的原則，研究出了新的适合于这个学派的結構形式，这个結構形式首先是規格的(标准的)、模数化的、整体連續的、最簡單最輕便的，同时，它是經過比較合理地計算的。

苏联結構形式最鮮明的例証之一就是标准桥跨結構，桥跨結構非常准确地适合于我們学派的布置原則，工程师吉赫諾夫(Н. Н. Тихонов)、奥尔洛夫(В. В. Орлов)是这些思想的奠基者。但他們思想的實現和采用，应归功于構造方面真正的革新者波波夫(Г. Д. Попов)。这些思想在标准脚手架、桅杆及貯存庫結構中也已得到体现。甚至在特殊結構中，像高層建筑，也是以模数化、統一化等要求为基础的。如果注意的話，可以很有趣地看到：只有遵守这些要求，才能使上述結構真正最省工，安裝最快。

我們的研究人員所創造的新結構形式，是和适合于这种形式的現代制造与架設方法紧密連系的，它要求制造工厂与架設現場装备有能加速与簡化生产过程、消除手工劳动、减少工序次数的机械。

工業焊接及金屬的工業剪切，样板、轉胎及特殊設備的广泛应

用;向流水大量連續生产过渡的努力;完全做好的架設單元产品的生产——这就是我們鋼結構制造生产过程的基本特征。

模数化是标准化的前提,而标准化又是工業化的前提,模数化首先能保証提高产品的产量,因此,提高模数構件的种类(及种类本身的研究);增加構件的重复性;确定能互相配合的(扩大的)各模数的体制,是鋼結構發展模数化的主要問題。应当指出:重要的不只是提出尺寸的等級,而且还在于說明采用各种等級系数的理由及各种模数化标准尺寸的整个应用範圍。

若模数化及模数尺寸是一种几何的了解,則标准構件即是一种結構的了解。标准化使構件的制造和架設簡便及加速,确定了構件的通用性及增加了它們的重复性,使尽可能多的構件应用标准部件及使尽可能多的結構整体应用标准構件是标准化的主要方向。

鋼結構的生产現在極迅速地提高着,重工業企業建筑部鋼結構管理局的工厂在 1950 年生产的鋼結構比 1945 年多 2.6 倍。

由此直接提出了工厂專門化的問題,鋼結構工厂專門化不仅是一項組織問題,它是和改变結構形式使接近于这些工厂的技术操作过程相連系的,因而也就是和它們的进一步标准化和統一化相連系的。

如果沒有研究結構形式的分析方法,苏联学派的成就是不可能的,在这方面主要的成就是將試驗广泛应用于計算工作中。用整体实物結構作試驗研究是非常有趣非常重要的,例如車間空間作用、吊車影响等的研究,鐵路公路桥梁的研究和高爐貯存庫的研究,只是这些研究就可以說明:試驗在确定結構最适宜形式方面有独立的價值。当然这一点并不能减少實驗室試驗工作的意义,这种工作本質上是檢驗性質,是解决部分結構問題所必須的步驟,因而我們現在也是广泛应用的。

国民經濟計劃的要求，提出了節約材料包括節約金屬的問題，這一點在建築中節約金屬、水泥、木材的技術規程（ТН-101-51）中，已經有了說明，但是這個問題的巨大意義無論如何不能了解為可以降低對結構形式的其他兩項要求，即節省勞動量和時間。金屬的節約不能了解為可以壓倒其他幾項原則，而只應當了解能同時減少勞動量及提高製造與架設鋼結構速度的要求之一。

根據這一點也就決定着解決節約金屬問題的途徑，首先應當指出的，就是我們目前並不存在材料競爭，用金屬排擠鋼筋混凝土和木材的問題，根據国民經濟計劃明確各種材料的應用範圍是目前的迫切問題，而劃定上述範圍的界限是我們結構工程師的任務。

因此，確定鋼結構的應用範圍是十分重要的，毫無疑問，目前我們在這一方面已經有一些成就，現在誰也不會用鋼設計一個跨度小於 20 公尺的橋梁和跨度為 9—12 公尺的屋頂；在建築中節約金屬、水泥和木材的技術規程中，提出了關於鋼結構應用範圍的明確指示。

雖然在很多情況下禁止應用鋼結構，但鋼結構製造廠的數量還是逐年增加，因此鋼結構在建築中的實際應用不僅沒有減少而且急劇地增加。

鋼材問題的根本解決辦法是在於恰當地考慮時間因素。

創造永久性的結構形式通常有下列兩項困難：

- 1) 由於外界因素的影響，材料及結構的磨損相當快。
- 2) 生產技術在迅速發展與改進，因而建築結構有“技術上的折舊”，使其有效使用期限縮短。

創造永久性的結構形式是我們結構工程師的任務，研究能抵抗結構腐蝕、填塞少，修理方便並對機械性能損害很少的油漆也是一項重要的科學研究及設計任務。

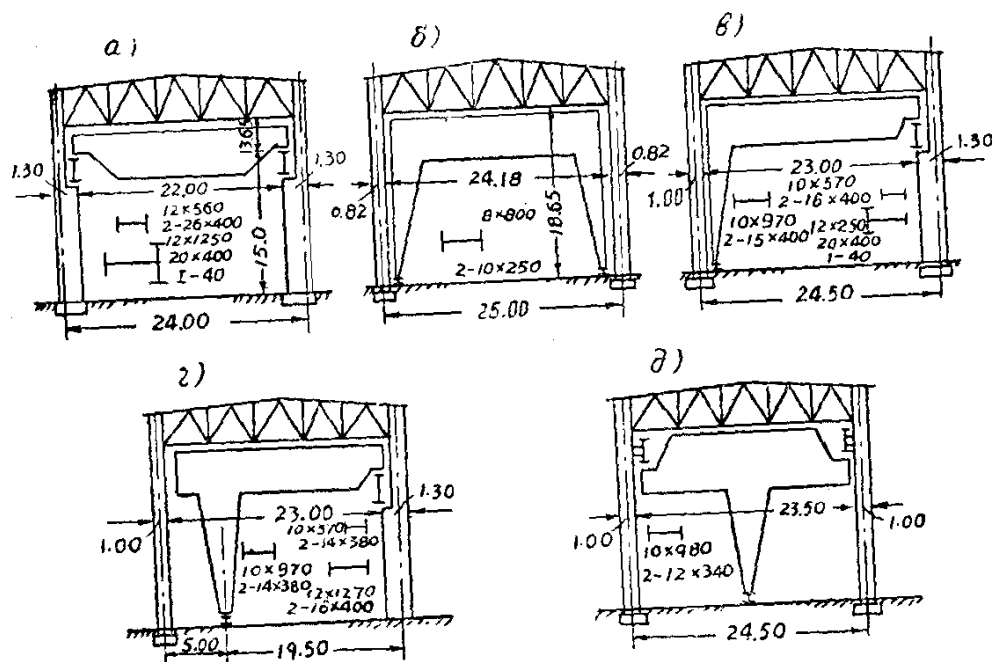


圖 8-2. 对可能的吊車圖形的分析。

虽然生产技术在迅速发展 and 改变,但是大家知道:延長結構的使用期还是可以用能适应結構使用条件改变的自由布置實現的。大家知道:这个思想被广泛地应用于桥梁,而目前正以所謂“柔性”及“灵活”車間的形式向工業建筑方向扩展。在工業建筑中央科学研究院 (ЦНИИС) 和其他机关的設計工作中,已經研究出了这种車間的最合理的結構形式。

節約金屬的問題还有一些其他的措施在实现,这里首先应当指出的是優質鋼的广泛应用。

節約鋼材还可以用結構合理布置的方法达到。

苏联鋼結構結構設計学派突出的特点就在于它是不断創造的;它的工作是施工工程师、結構工程师和科学研究人員的集体劳动。

在苏联鋼結構設計学派的創建工作中,該学派公認的領導者,苏联科学院通訊院士斯特萊列茨基教授有極大的貢獻。由于在鋼

結構，特別是在工業建築結構發展方面的杰出成果，許多學者、設計師和施工工程師(Хохлов, Мельников 等)，獲得了斯大林獎金得獎人的光榮稱號。

中國在解放以前，建設主要在輕工業方面，只在解放以後才開始大規模地建設，重工業企業的建設規模，一年年不斷地擴展。

目前建設的巨大重工業企業是中國歷史上從來沒有見過的。譬如像鞍鋼這樣的企業，現在不僅有許多蘇聯企業，而且有將近195個國內的企業在支援它。只在大型軋鋼廠、無縫鋼管廠及七號高爐三大工程中，就用了16,000噸鋼結構和18,000噸鋼。

這幾年中國正在蘇聯人民的兄弟般的幫助下建設156個企業，現在正建設着無數的工程結構物和民用與公共建築。

在工業企業的建設方面，每年將要用到若干萬噸的鋼結構，而且建設的規模要不斷地擴大，建築中鋼材的消費也要不斷增加。

偉大新中國的施工工程師、結構工程師和科學工作人員，在解決這個大規模建設中已經提出和將要不斷提出的許多任務方面負有巨大的責任。

毫無疑問，在中國共產黨及其領袖毛澤東同志的領導下，這些任務一定會被光輝地解決，而土木工程師，其中包括鋼結構方面的專家，也一定能順利地完成自己的歷史使命，解決他們前面提出的一切問題，從而保證在自己的工作範圍內五年計劃的完成。

第九章 厂房鋼結構設計原則

§ 1. 厂房結構鋼骨架布置的一般原則

厂房結構鋼骨架用于厂房的屋盖并为車間生产技術操作过程創造有利条件。

厂房結構或工業車間的鋼骨架,是各种構件的空間复杂組合。各种不同構件的組合,对于不同的技術操作过程可能是各式各样的。創造厂房最适宜的布置方案,是一种創造性的过程,它取决于許多条件。

尽管車間結構布置方案非常繁多,但是仍有許多原則上的共同之点。車間鋼骨架是結構構件的复杂配合,是空間結構,因而准确地計算是很复杂的。因而常常將厂房結構看作由各單独的平面構件所組成,并明确地确定其中每个構件在整个骨架工作中的作用,以便在計算时可以將車間鋼骨架分为各單独的平面構件計算。車間結構可分为下列由各單独平面構件組成的体系(圖 9-1):

1. 基本的平面橫向体系——車間的橫向剛架,它是由柱和格構或实腹截面的橫梁組成的;

2. 建筑物的屋盖構件,属于这类構件的有:屋面檩子、天窗、中間屋架、屋架梁、支撑(分布在屋盖內);属于屋盖的还有剛架橫梁(格構的或实腹的),就是第一点所談到的;

3. 支撑;

4. 牆架;

5. 有掣动工作台的吊車梁;

6. 工作台,它是由柱、主梁、次梁及面飯組成的;

7. 其他構件——楼梯、鑲玻璃的窗扇以及其他等等。