

高等学校試用教科书

钢 结 构

“工程结构”教材选编小组选编



中国工业出版社

51
8-2

高等学校試用教科书



钢 結 构

“工程結構”教材选編小組选編

中国工业出版社

本教材系根据高等学校建筑学、给水及排水、供热供煤气与通风、建筑工业经济与组织等专业1959年指导性教学计划，参照国内各院校目前教学实际情况编写而成。

本书全一册，包括绪论、材料、计算原理、联结、梁及梁格、柱及压杆、屋架、工业厂房钢结构、大跨度房屋钢结构、钢板结构、管道钢支架等章。

本教材前六章适合于上述各专业教学共同需要；后四章，各专业可按照本专业的性质和要求，选择其中某些章节讲授。

钢 结 构

“工程结构”教材选编小组选编

*

建筑工程部编辑部编辑（北京西郊百万庄）
中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）
（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张15·插页1·字数315,000
1961年10月北京第一版·1964年4月北京第五次印刷
印数6,284—7,396·定价（科五）1.85元

*

统一书号：K15165·825（建工-83）

序

自从1958年贯彻党的“教育为无产阶级的政治服务，教育与生产劳动结合”的教育方针以来，我国教育事业的面貌发生了很大的变化。各高等院校在联系生产实际，提高教学质量方面做了很多工作，取得了很多宝贵的经验。深切感到编写一本理论联系实际，有较高质量的教科书，为教师、同学创造良好的教学条件是提高教学质量的重要问题之一。因此各院校都进行了很多编写教材工作，丰富了教学内容。为了进一步巩固和扩大几年来各院校在教材工作方面所取得的成果，在教育部和建筑工程部的直接领导下，于1961年4月在北京召开了工程结构教材选编会议，根据全国各院校现有教材选编出一种教材推荐为全国通用的试用教科书。会议由建筑工程部教育局决定邀请清华大学、同济大学、天津大学、西安冶金学院、南京工学院、重庆建筑工程学院等六个高等院校参加，并指定清华大学负责主持会议的工作。

在会议期间先后收到了参加会议的各院校及哈尔滨建筑工程学院等七校送来各专业用的钢结构教材共十种。

由于目前全国各院校工程结构课程所采用的教学系统不尽相同，选编小组在经过慎重的讨论和研究以后，根据教育部选编教材的原则，考虑到面向全国和使教材具有较大的适应性，决定钢结构单独出版二种类型的教材：一种适用于建筑结构与施工专业；一种适用于建筑学、给水及排水、供热供煤气及通风以及建筑工业经济与组织等专业。

本教材根据教育部选编教材的几个原则，考虑到已收到各院校教材的内容和出版条件，经小组反复讨论评选，推荐同济大学及西安冶金学院二校教材为基础进行编辑修改，作为建筑学等专业的钢结构试用教科书。书的前一部分，包括绪论、材料、计算原理、联结、梁及梁格、柱及压杆、屋架等章，由同济大学负责根据小组意见主编定稿。书的后一部分，工业厂房钢结构，大跨度房屋钢结构等章，由西安冶金学院负责根据小组意见主编定稿；钢板结构，管道钢支架二章由清华大学补写。

本教材根据高等学校建筑学、给水及排水、供热供煤气与通风、建筑工业经济与组织等专业1959年指导性教学计划编定，同时参照各院校目前实际教学情况，讲授时数定为40左右。

本教材的绪论、材料、计算原理、联结、梁及梁格、柱及压杆，屋架等前六章适用于上述各专业。后四章可视各专业的性质和要求选授其中的有关章节。例如，对于建筑学、建筑工业经济与组织等专业可只讲授工业厂房钢结构、大跨度房屋钢结构二章；对于给水及排水专业可选授钢板结构及管道钢支架二章中的部分内容；对于供热供煤气与通风专业可选授管道钢支架一章及钢板结构一章中的部分内容。

考虑到全书内容的完整性，安排钢结构计算原理一章是必要的。如果其他工程结构课程里，如钢筋混凝土结构，已在钢结构课程之前讲授过结构计算的基本理论，在本课程里可以简略讲述。

铆接联结及铆接结构虽然在一般建筑工程中很少使用，但为教材的完整性，并给同学

以全面的鋼結構基本知識，因而教材里予以适当反映。但在具体教学中某些內容（如鉚接梁等）可以不予讲授。

书中例題可不在理論教学的課堂上讲授。

这次选編工作由于時間短促，同时很多学校教材未能寄来，有些学校教材寄达較迟，另外参加會議的院校不多，加上选編小組成員政治水平和业务水平有限，本教材可能存在着不少缺点和問題，所以我們热烈地期待着全国各有关院校的广大师生以及其他方面的讀者，結合使用的具体情况，給这教材提出宝貴的意見，以便再版时进行修改，进一步提高质量。

“工程結構”教材选編小組鋼結構分組

1961年4月

目 录

緒論	6	第五章 柱及压杆	87
一、鋼結構发展簡述	6	第一节 概述	87
二、鋼結構的合理应用范围及節約鋼材的主要措施	11	第二节 中心受压构件的承載能力	87
第一章 鋼結構的材料	16	第三节 中心受压柱的截面型式	90
第一节 概說	16	第四节 中心受压实腹柱的計算与构造	91
第二节 鋼在单向均匀受拉下的工作性能、时效及溫度影响	16	第五节 中心受压格子柱的計算与构造	94
第三节 鋼在复杂应力下的工作性能	19	第六节 偏心受压构件的承載能力	97
第四节 鋼的硬化及疲劳現象	20	第七节 偏心受压柱的計算与构造	100
第五节 建筑鋼的标号及鋼材的选择	21	第八节 柱脚	102
第六节 型钢	23	第九节 柱头及梁与柱的連接	108
第二章 鋼結構的計算原理	26	例題	110
第一节 基本論点	26	第六章 屋架	113
第二节 标准荷載和計算荷載荷載的組合	27	第一节 屋頂結構的組成	113
第三节 鋼的标准强度和計算强度	29	第二节 屋架的外形、尺寸和腹杆布置	114
第四节 工作条件系数	30	第三节 屋架的計算与构造	117
第五节 鋼結構按計算极限状态的計算方法	30	例題	132
第三章 鋼結構的联結	32	第七章 工业厂房鋼結構	144
第一节 鋼結構的联結方法	32	第一节 厂房鋼結構的规划和布置	144
第二节 焊接种类和焊接工艺	32	第二节 厂房鋼骨架的計算原則	155
第三节 焊缝及焊接联結的型式焊缝的强度	35	第三节 托架及天窗架的型式和构造	161
第四节 焊接联結的計算	38	第四节 厂房柱的类型及其設計	164
第五节 焊接应力和焊接变形	41	第五节 吊車梁	172
第六节 鉚釘联結的一般特性	43	第八章 大跨度房屋鋼結構	178
第七节 鉚釘联結的构造	44	第一节 大跨鋼結構的应用范围及基本特点	178
第八节 鉚釘联結的强度及計算	46	第二节 梁式与框架式大跨結構	179
第九节 螺栓联結	50	第三节 拱式大跨結構	184
例題	52	第四节 空間大跨結構	188
第四章 梁及梁格	56	第五节 悬式大跨結構	191
第一节 梁的型式	56	第九章 鋼板結構	195
第二节 梁格的布置	56	第一节 鋼板結構的一般性质	195
第三节 梁的承載能力	59	第二节 貯液庫	195
第四节 型钢梁的截面选择	65	第三节 貯气庫	202
第五节 焊接梁的計算和构造	66	第四节 輸送管道	204
第六节 鉚接梁的計算和构造	75	第十章 管道鋼支架	212
第七节 梁的支座	80	第一节 概述	212
第八节 梁的連接	83	第二节 管道悬臂架	212
例題	84	第三节 管路支架	213
		附录	222

緒 論

鋼結構是主要的建築結構之一。隨着我國社會主義建設事業的飛躍前進，鋼結構亦獲得很大的發展。鋼結構的工業化程度較其他結構為高，比較輕便，而它本身的工作也最為肯定，因此，在重型廠房、跨度或高度很大的建築物以及要求重量輕和可動的結構中，應用十分廣泛。

一、鋼結構發展簡述

中國是最早用鐵建造承重結構的國家之一。在公元前二百多年（秦始皇時代）就已經用鐵建造橋墩，到公元二百年前後（漢朝），為了與西方各國進行宗教和文化上的往來，開始在交通道路上建造鐵鏈懸橋。鐵鏈懸橋的結構是鍛鐵為環，相扣成鏈，以鏈作成懸式承重結構。根據記載，最早的鐵鏈懸橋有公元58—75年（漢明帝時代）建造的蘭津橋等。此後陸續建造的鐵鏈橋為數甚多，並日趨完美。圖1是四川瀘定大渡河橋的概貌。該橋建成於公元1705年（清康熙四十四年），橋有鐵鏈十三根，橋寬2.8m，淨長100m，橋台由條石砌成，鐵鏈系于由生鐵鑄成、直徑20cm、長4m的錨樁上^①。

歐美等其他國家在十七世紀才開始用鐵建造承重結構。1686—1696年俄國在扎高爾斯克市建造了脫勞依齊-塞爾基也夫僧院食堂上的屋頂。1776—1779年英國建成第一座30m跨度的生鐵橋梁。由於生鐵的抗拉性能較差，以及聯結上的困難，當時的生鐵橋梁都採用

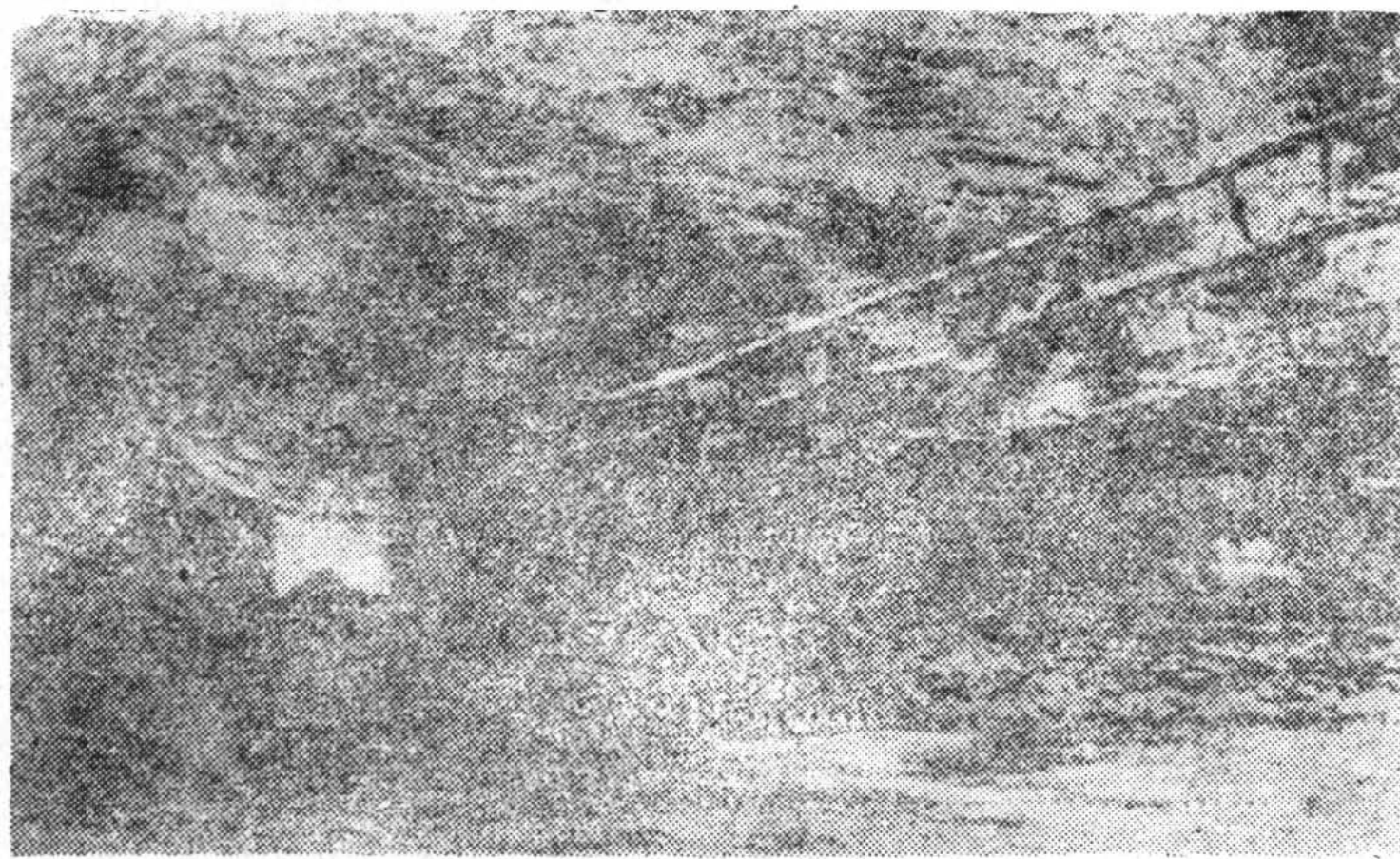


圖 1 四川瀘定大渡河橋

拱橋的形式。到十八世紀末掀起了工業革命後，由於工業生產、鐵路運輸和對外貿易航海等方面的要求，促進了冶金技術和建築事業的發展，冶煉出抗拉性能良好的熟鐵，出現了生熟鐵組合結構（圖2）。到十九世紀初，鉚釘聯結的發明，煉鐵和軋鋼技術的改進，以及結構理論方面的不斷進步，大大擴大了鋼鐵結構的應用範圍，出現了新的結構體系。

^① 美洲在1801年才建造第一座跨長23m的鐵索橋，比我國最早的鐵鏈懸橋遲一千多年。

生熟鉄組合桁架逐漸被多腹杆的鋼桁架所代替，并發展成為更簡單合理的近代桁架體系，出現了許多新型的跨度很大的鋼鉄橋梁。

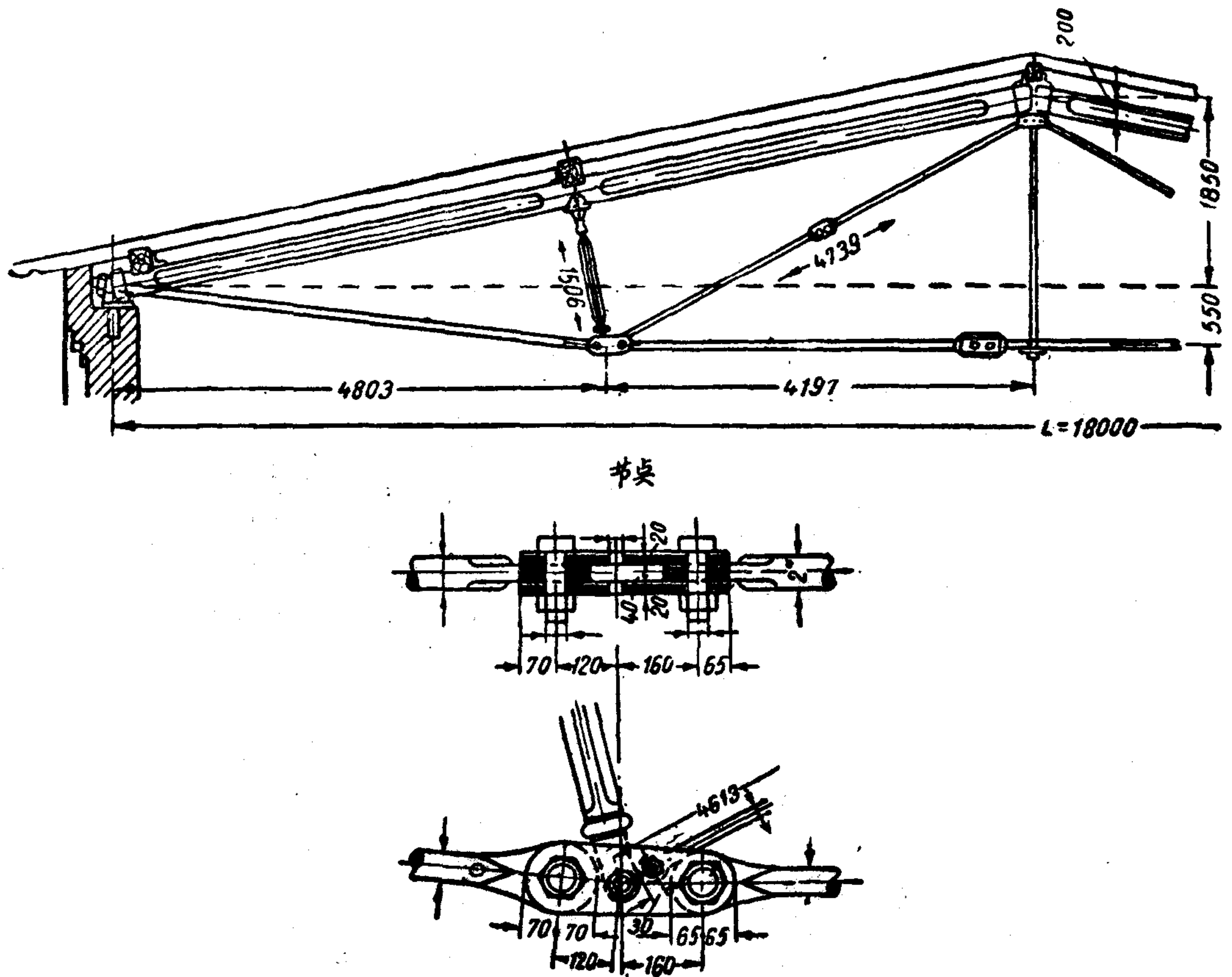


图 2 生熟鉄組合桁架示意图

在房屋建筑方面，鋼結構的發展比較迟，直到十九世紀末因工業需要出現橋式吊車后，才于20世紀初有了較大發展，在厂房中開始採用近代框架結構。俄國茹霍夫（В. Г. Шуков）于1893—1896年間發展了空間結構，創造了一系列網狀建築，例如雙曲薄壳（图3）及懸式網狀等屋蓋結構（图4）。在這期間，還由于各種工業生產、航空事業和文化生活方面的發展，先後建造過不少新穎和大型的儲油庫、大型厂房、飛機庫、劇場和展覽館等。

資本主義發展到后期，由于其反動和腐朽的本質，阻礙了技術的進一步發展。在資本主義國家，為了資本家追求最大利潤和炫耀資本主義社會的虛假繁榮，出現了各式各樣奇形怪狀的建築物，這些都說明資本主義的腐朽沒落，日趨滅亡。

蘇聯在1917年十月革命后，對鋼結構給予了很大的重視，自1918年起，先後成立了科學實驗研究院（НКПС）和中央工業建築科學研究院（ЦНИПС，現稱 ЦНИИСК）等從事鋼結構研究和設計的機構，建成了各種鋼結構制造工廠；并自1955年起開始實施按極限狀態計算的設計規範。在鋼結構的定型化及標準化，制定統一模數制等方面，蘇聯也做了不少工作。

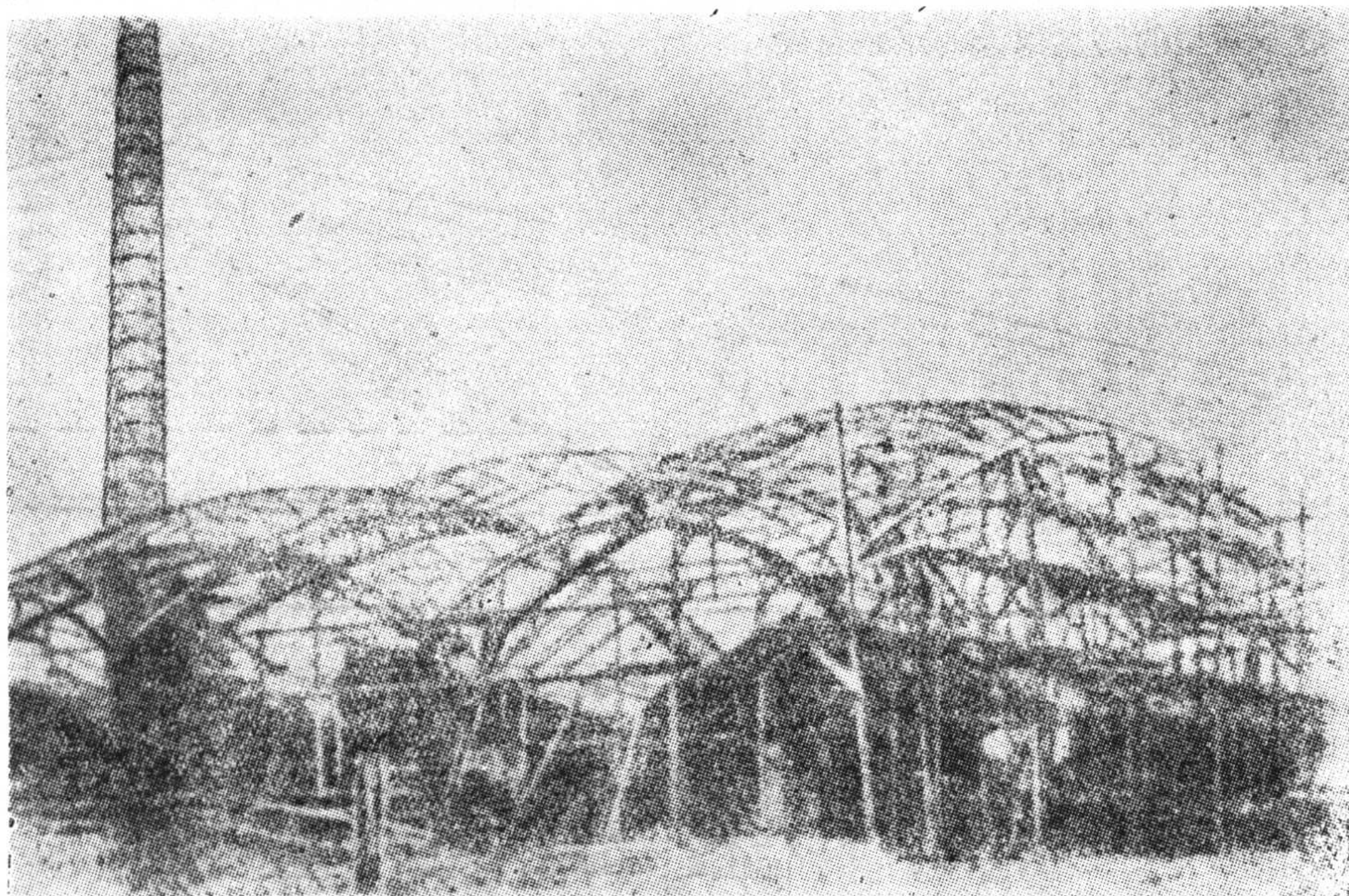


图 3 双曲薄壳屋盖

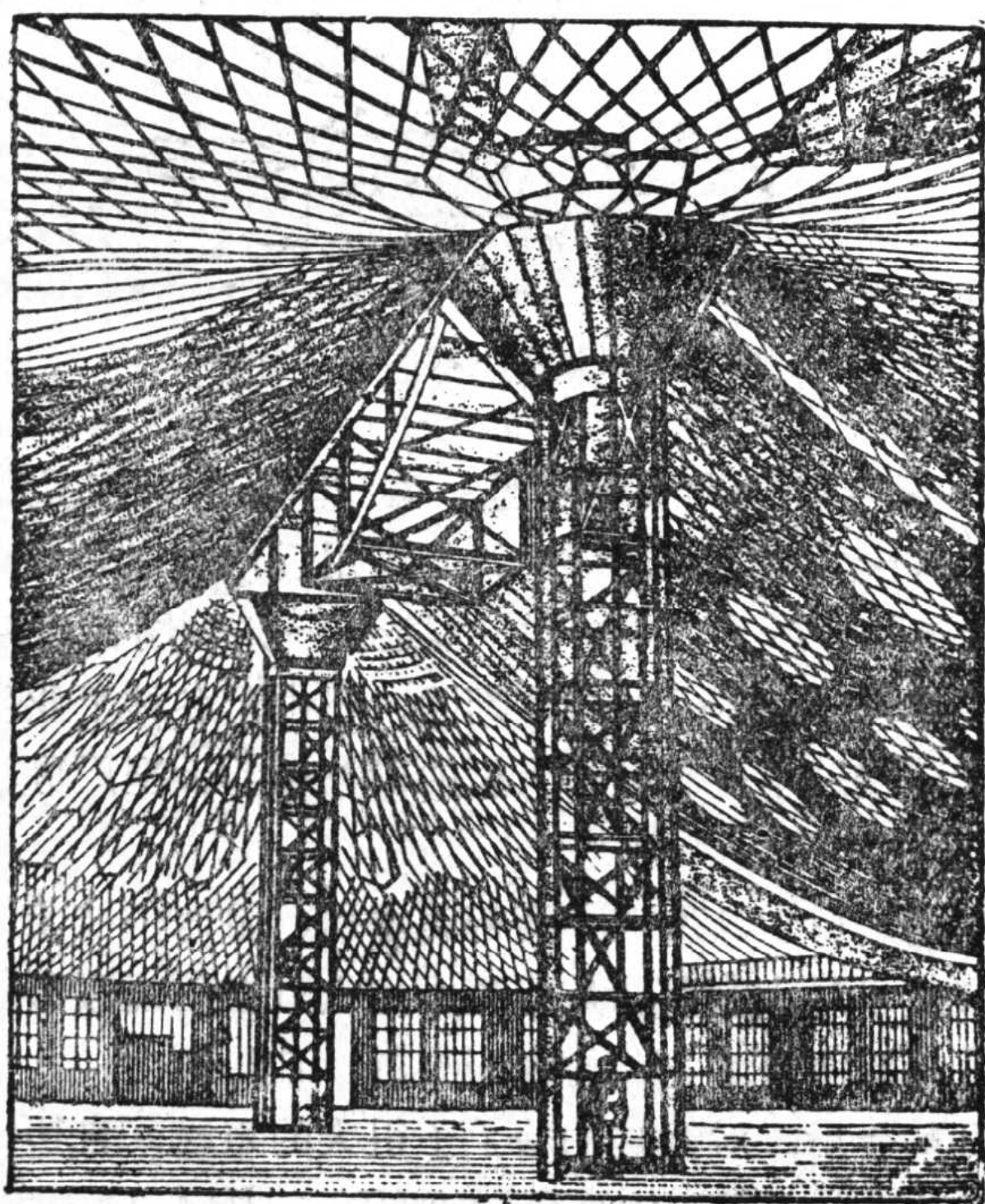


图 4 悬式网状屋盖

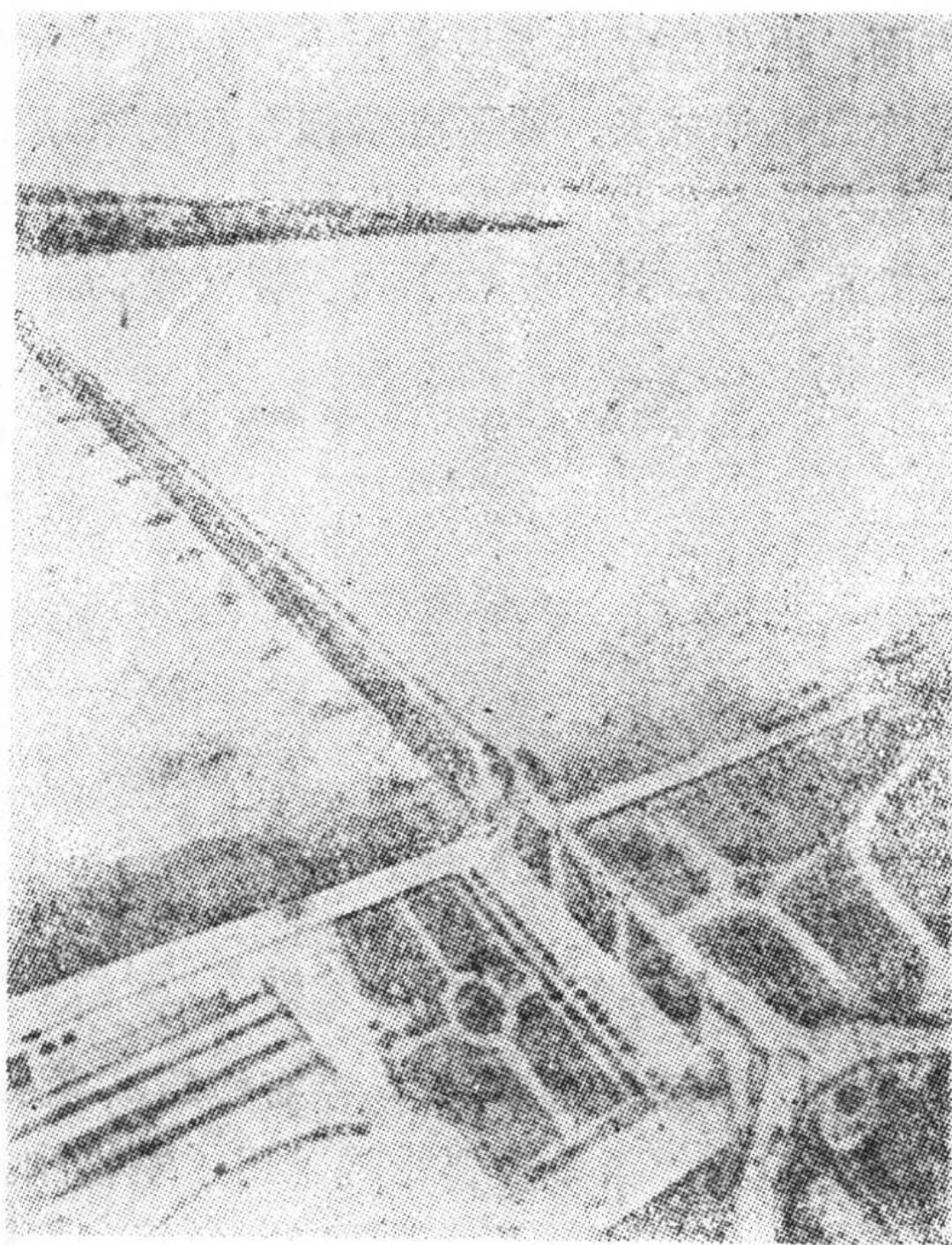


图 5 錢塘江大桥

我国虽是最早創造和使用鉄結構的国家，但由于长时期受着封建制度的束縛，近百余年来复备受各帝国主义的侵略，使我国社会淪为半封建、半殖民地的社会，益以解放前蔣介石匪帮几十年間极其反动、腐朽、黑暗的統治，使这一門科学技术，和其他科学技术一样，得不到进一步的发展。解放前，我国沒有自己的大規模的建筑营造企业和設計单位；仅有的一些鋼鉄建筑，如鉄路桥梁、公路桥梁和高层建筑等，几乎全由外商設計和承攬。但是，即使在这种情况下，我国工程技术人員和工人仍有不少优秀的創造和設計。例如，1934—1937年自行設計和建造的錢塘江大桥（图 5），1927年建成的皇姑屯机車厂鋼結構厂房等。

自1949年中华人民共和国成立以来，全国人民在中国共产党的正确领导下，本着自力更生、奋发图强的传统的革命精神，于1953年开始了規模巨大、速度惊人的社会主义建設，并已胜利地超额完成了发展国民經济的第一个五年計劃，第二个五年計劃的主要指标亦提前三年完成。由于党制定了“鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社会主义”的总路綫，工农业生产以及基本建設等各方面均出現了大跃进的局面，因而也带动了鋼鉄結構科学技术和鋼鉄建筑事业的空前发展。

目前，我国已有了大量的新建的鋼結構工程；鋼結構的設計、制造和架設水平也有了很大的提高。例如在鋼桥方面，1957年建成的武汉长江大桥（图 6），其結構的設計、制造和架設都充分运用了現代科学的最新成就。正桥鋼桁架系三联九孔，每孔跨度 $128m$ ，正桥全长 $1155.5m$ ，上承公路，下承鉄路。公路桥面部分采用了車道鋼梁与鋼筋混凝土板共同工作的联合梁体系，正桥桁架則采取了調整应力的方法，节约了鋼材。桁架的設計还充分考虑了所供应鋼材的規格、鋼梁制造的便利和安装的方法等种种方面的有关因素。

在工业与民用建筑方面，也建造了许多规模巨大、结构复杂的鋼结构工业厂房和公共建筑。鋼结构的技术力量亦已迅速成长，除了已掌握各种复杂鋼结构的先进設計和施工方法外，在設計中还推行了结构模数化和标准化，实施了新的設計规范，在多数工程中已开始采用按計算极限状态的計算方法，并广泛地采用了焊接结构。

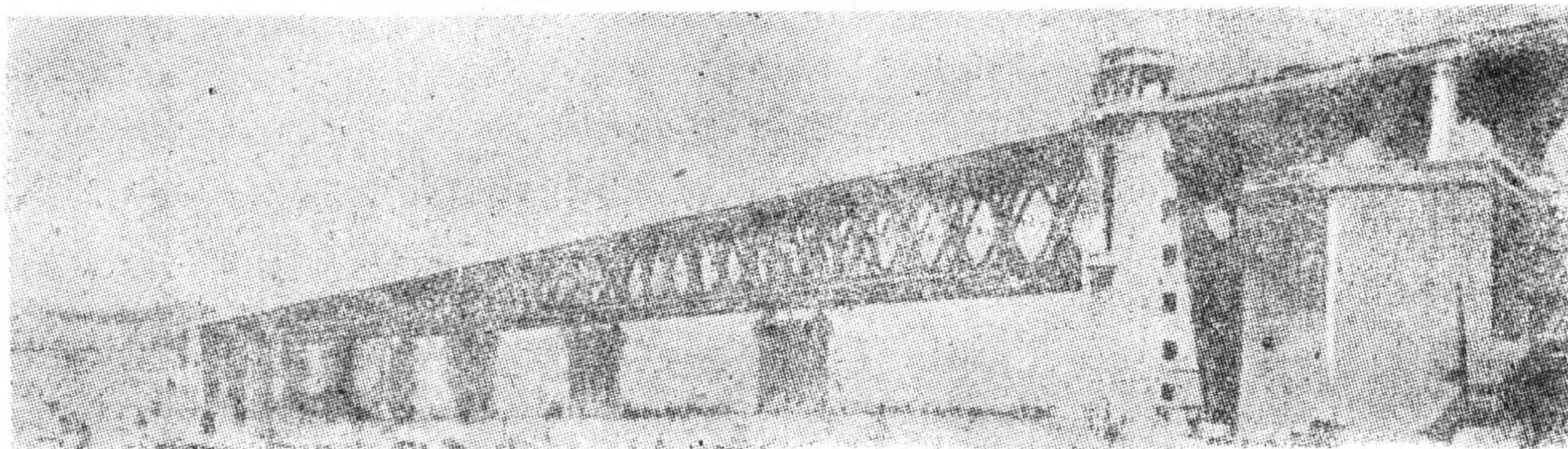


图 6 武汉长江大桥

在鋼结构的制造和施工技术方面，也积累了丰富經驗，例如人民大会堂工程规模巨大，其中的万人會議厅跨度达 61m ，很多重要结构采用了鋼结构。由于創造和运用了先进方法，仅用了二十六天即創造完成。整个工程从設計、制造到架設竣工历时仅五个月，其中架設工作只化了五十天的时间。

在特种鋼结构方面也有很大成就。例如，1958年建成的有效容积为 54000m^3 的湿式貯气柜（图 7），达到了高度的技术水平。在塔桅结构中，創造性地采用焊接圓鋼組合结构体系和交叉式受拉腹杆体系（图 8），使 $120\text{—}160\text{m}$ 的桅杆的用鋼量指标低达 $0.1\text{t}/\text{m}$ 。此外还設計和制造了較大型的平行移动式纜索起重机等。



图 7 容积为 54000m^3 的湿式貯气柜

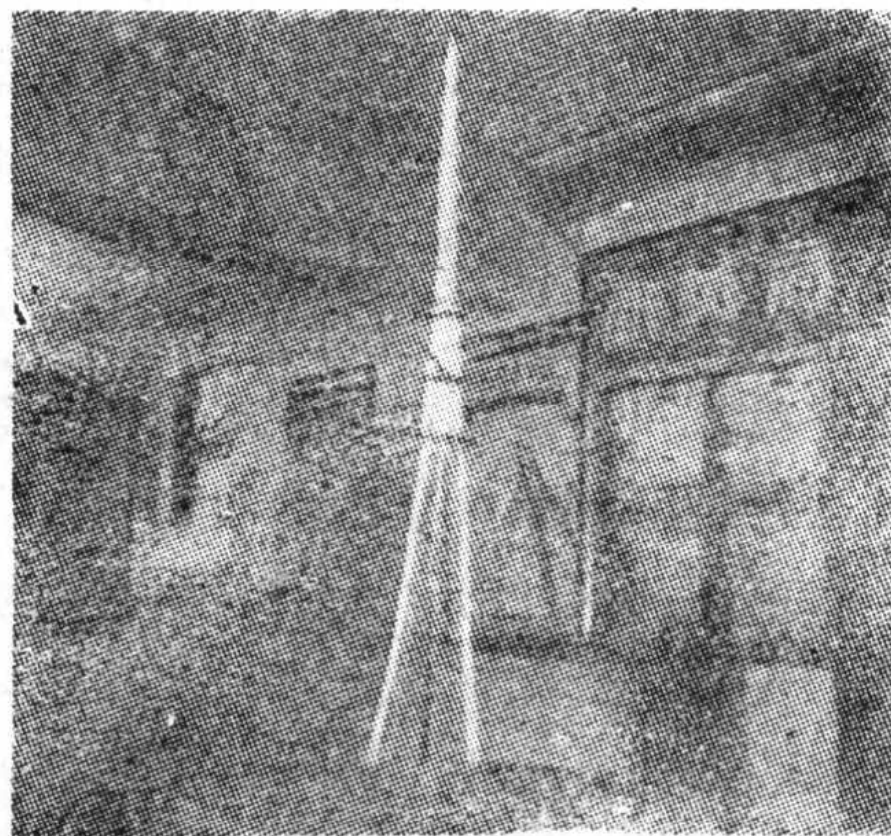


图 8 204m 高的电视塔模型

在今后的年代中，我国全体劳动人民，将在党的领导和“鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社会主义”的总路綫鼓舞下，繼續努力，使鋼结构获得更大和更迅速的发展。

二、鋼結構的合理应用範圍及節約鋼材的主要措施

我国在社会主义建設中，鋼产量虽然迅速增长，但由于鋼材的用途广闊，因此，如何節約鋼材，使它能应用到更迫切、更需要的地方去，是目前的首要任务之一。

随着鋼筋混凝土技术的不断发展，在建筑物中采用鋼筋混凝土結構的可能性亦愈来愈大。但由于鋼材具有它特有的优良性质，对某些有特殊要求的建筑物仍需要采用鋼結構；随着工业生产的不断发展，社会文化需要的不断增长，新型的有更高要求的建筑物亦必然会大量湧現，因此，鋼結構不論在应用範圍上或数量上今后都会得到巨大的发展。

鋼結構与其他各种結構相比，具有下列一些特性：（1）鋼材的强度高，所以虽然容重大，但与其他結構相比，鋼結構的重量仍比較輕。因此，鋼結構的构件所占的面积比較小，运输和架設亦較方便。（2）鋼材最接近于各向同性体，质地均匀，彈性模量較大，又可认为是理想的彈塑性体材料。因此，鋼結構最符合目前所采用的計算方法，可靠性較高，最适宜于有特殊重要意义的建筑物。（3）鋼結構的制造虽然需要較复杂的机械設備，但工业化程度較高，具备成批大件生产和高度准确性的一切特点。（4）易于銹蝕，經常性的維護費用較高。（5）鋼結構的长期耐高溫性比其他結構为佳，但其耐火性則远較鋼筋混凝土和磚石結構为差。因此，在某些有特殊防火要求的鋼結構中，常用耐火性較好的材料予以圍护。

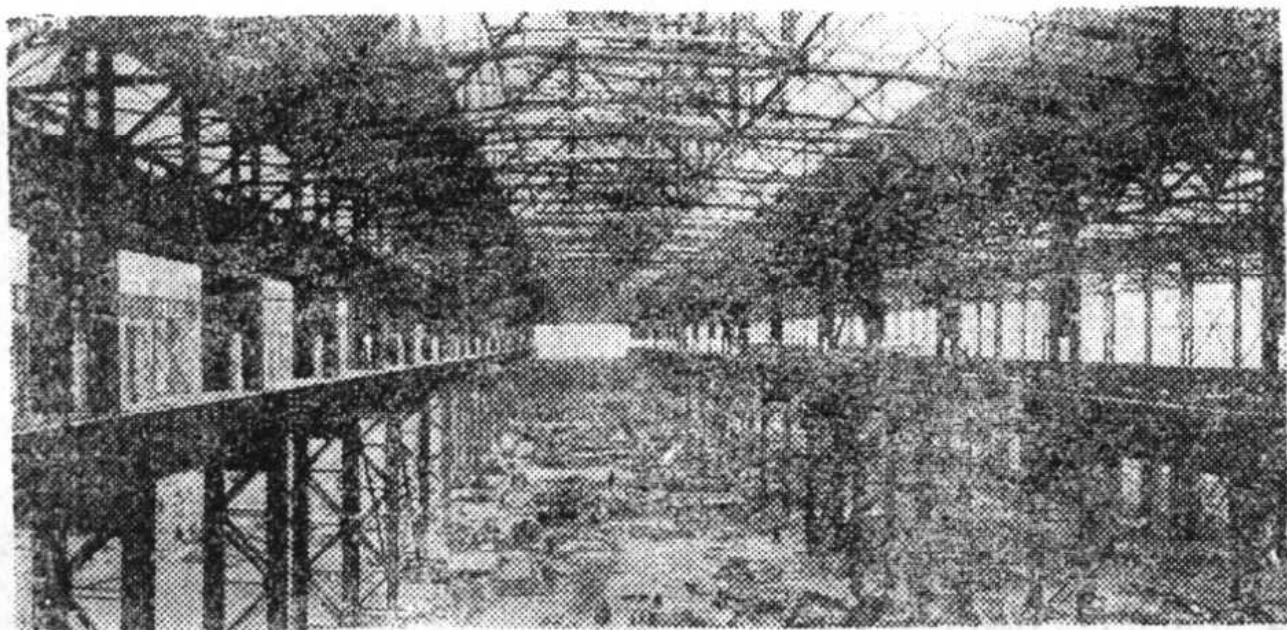


图 9 厂房鋼結構

鋼結構的合理应用範圍大体上可确定如下：

（1）在厂房方面可以用于重型車間的承重骨架（图 9），例如冶金工厂的平炉車間、初軋車間和混鉄炉車間；重型机器厂的鑄鋼車間、水压机車間、鍛压車間等；造船厂的船台車間；跨度較大的工业車間屋架；重型或跨度較大的吊車梁等。

（2）大跨度建筑的骨架，例如飞机庫、汽車庫、車站、大会堂、劇場、体育館和展覽館等。結構体系主要采用框架式、拱式（图 10）、空間网状（图 11）以及目前正在发展中的預应力鋼結構和悬索結構（图 12）等。

（3）多层框架，例如高层楼房（图 13）和炼油工业中的設備构架等。

（4）板結構，例如大型貯液庫（图 14），高炉（图 15）和貯气庫等。

（5）塔桅結構，特別是高度較大的无綫电桅杆、电视塔（图 8）和高压輸电鉄塔。

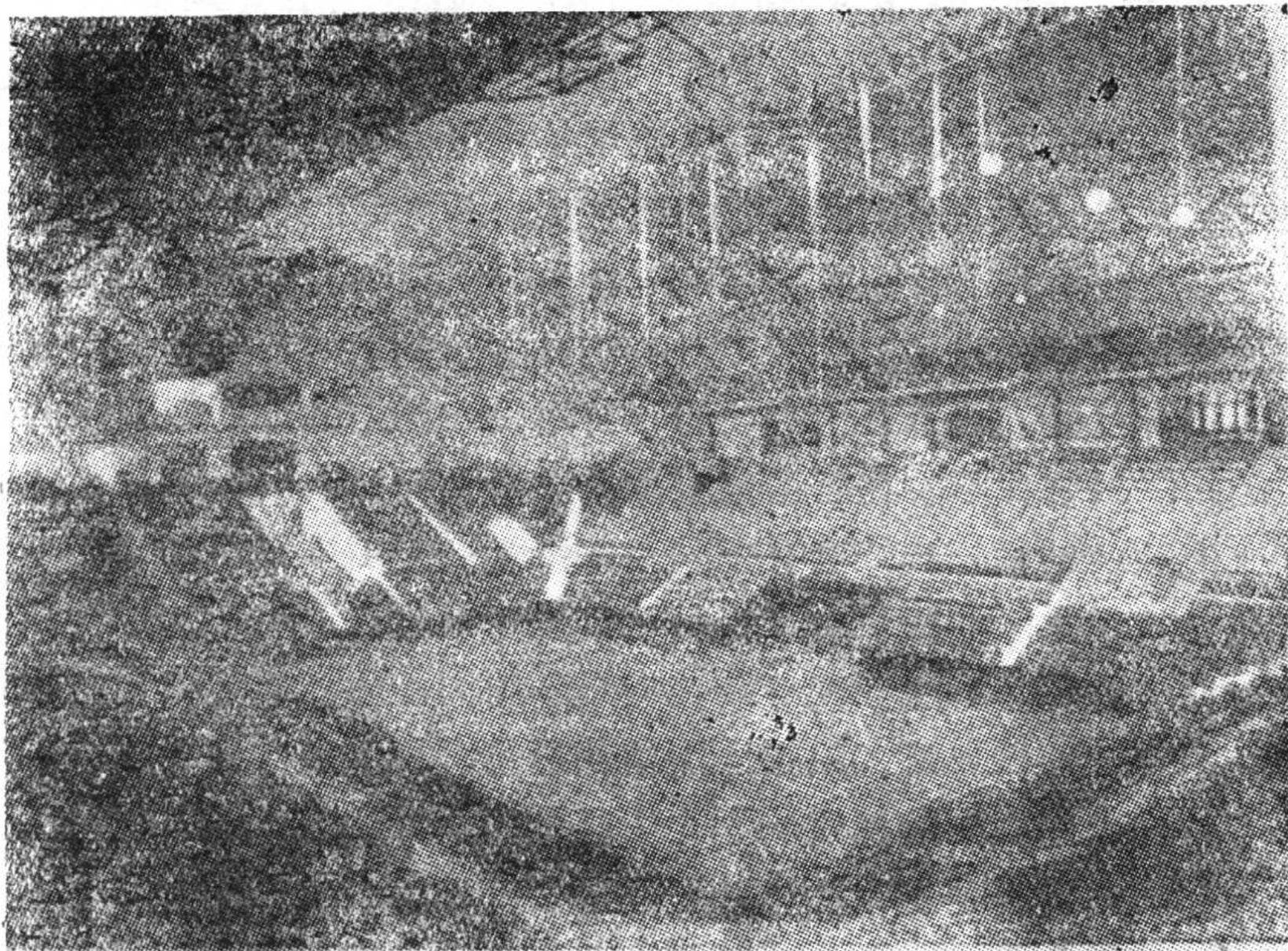


图 10 北京体育館的大跨拱式結構

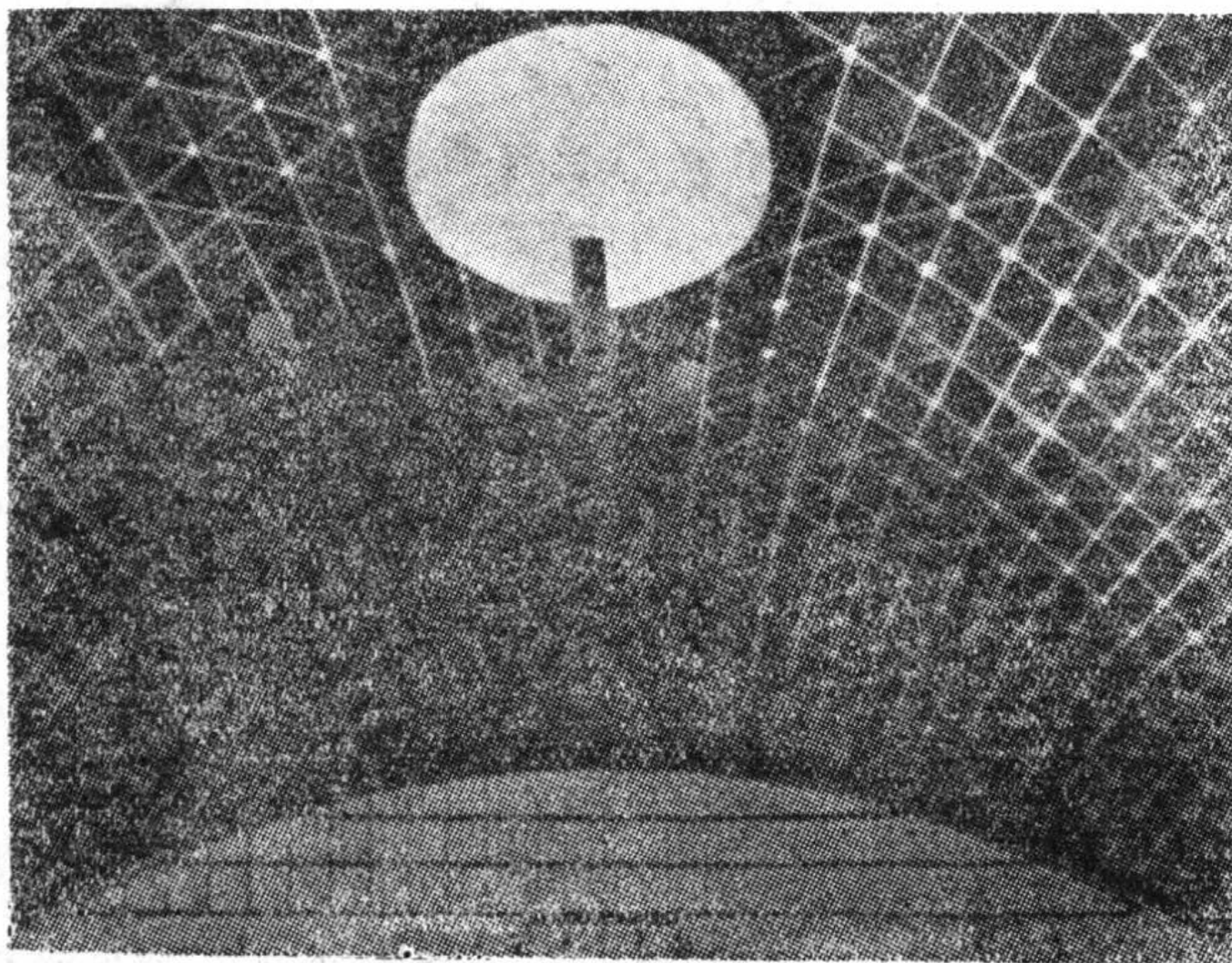
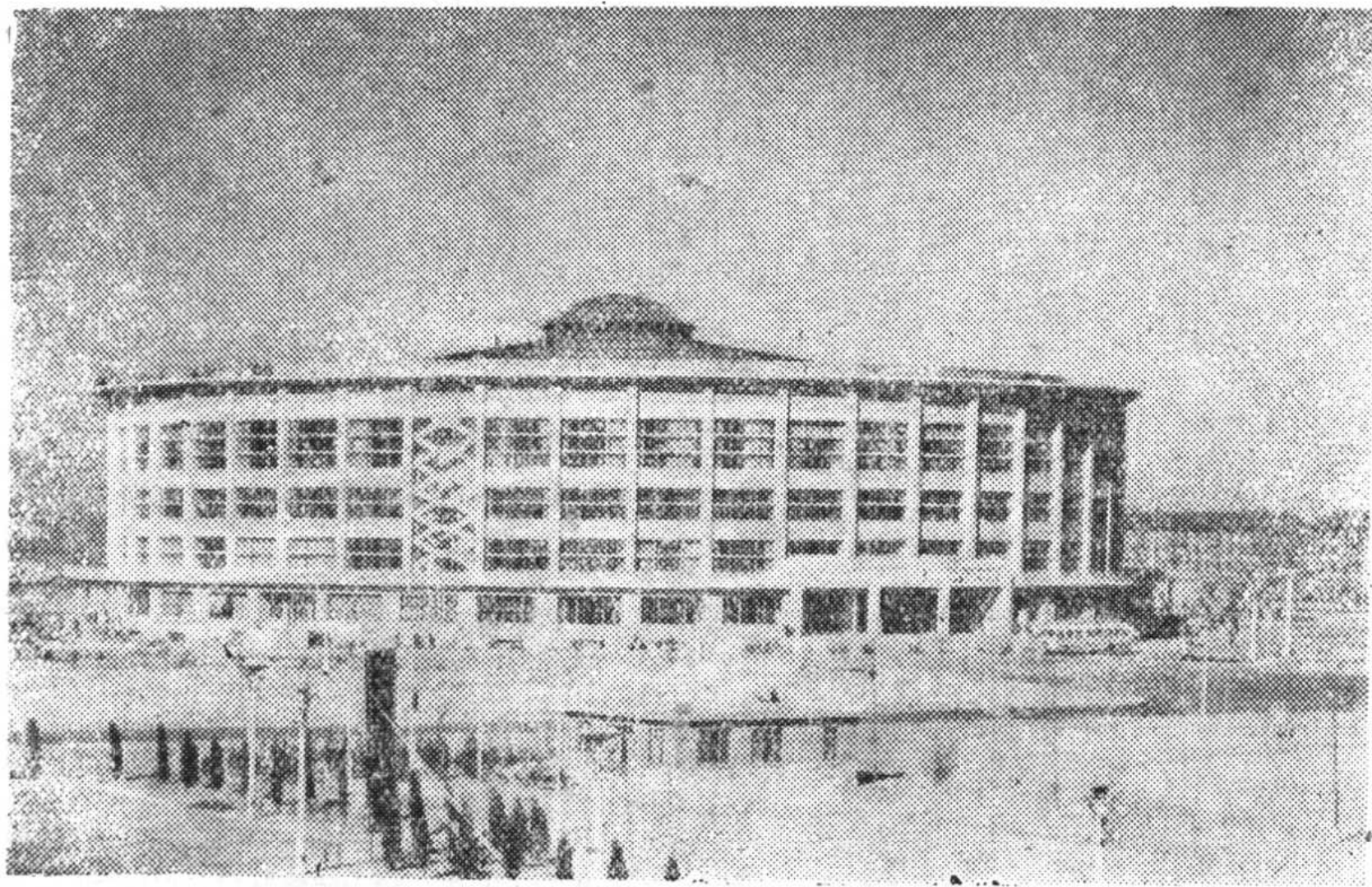


图 11 空間网状大跨結構

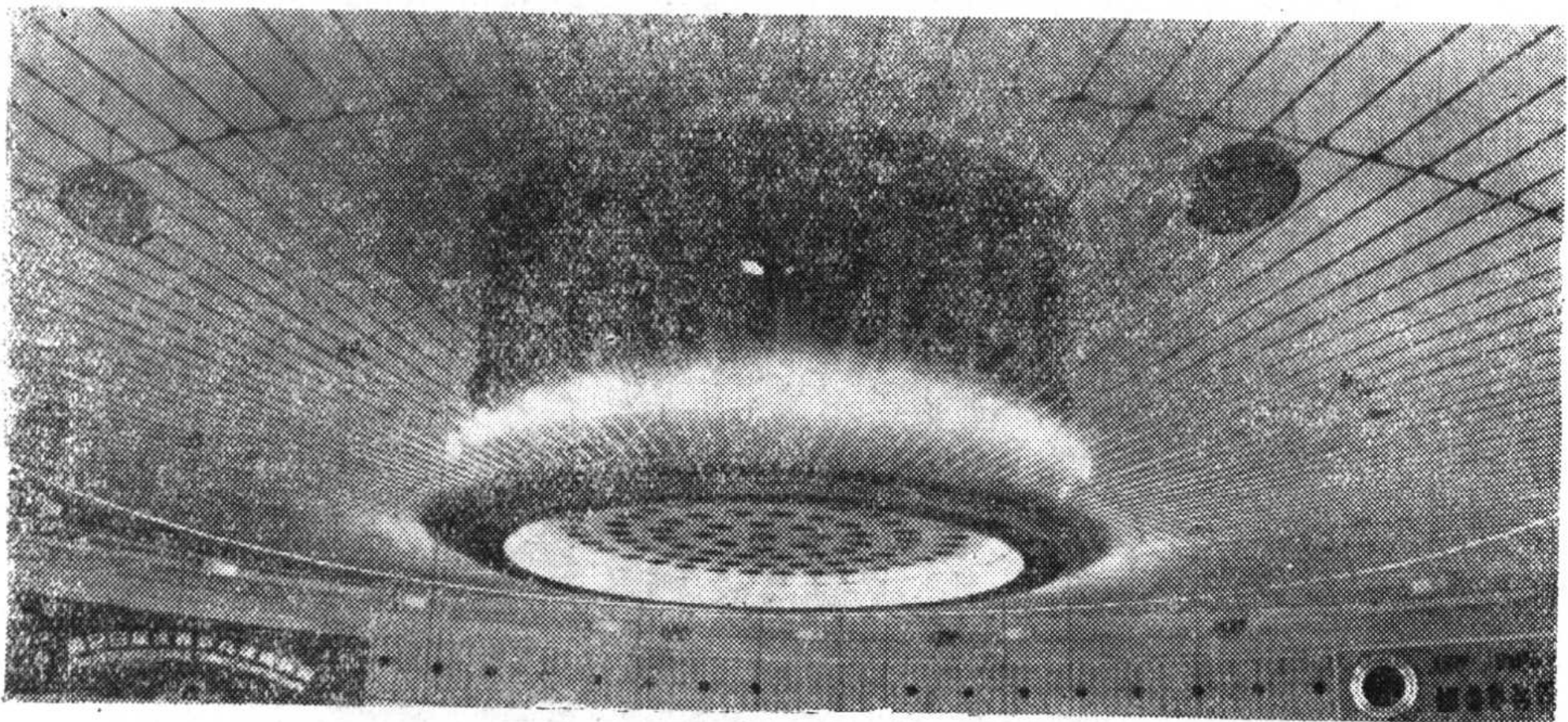
(6) 中等跨度和大跨度的桥梁建筑。

(7) 水工建筑中的閘門和升船机等結構。

(8) 起重运输机械及大型建筑机械的鋼骨架，例如双悬臂起重机(图16)、纜索起重機、塔式起重機、龍門式起重機和装卸桥等。由于起重运输机械等有移动和运转的特殊要求，鋼結構几乎独占了这一領域。



a. 結構外貌



b. 內部懸索構造

图 12 懸索結構

設計鋼結構時應滿足下列幾個要求：（1）結構必須安全可靠；（2）要符合建築物使用上的要求和有良好的耐久性；（3）尽可能節約鋼材；（4）尽可能縮短建造日期；（5）尽可能節約勞動力和勞動時間；（6）在可能條件下注意美觀。換言之，就是要做到堅固、可靠、經濟、合理。根據這個原則，設計工作者應該重視、貫徹和研究能夠節約鋼材、降低造價的各種措施。

按現代鋼結構的發展趨勢和國內外先進經驗，節約鋼材的措施主要有下列幾個方面：（1）在結構規劃、體系布置和節點設計時，應該貫徹和繼續擴大模數化、標準化和定型化。（2）執行“金屬消耗最少、結構制造最省和建造時間最短”的設計原則，創造和推廣新的結構體系。合理的結構體系，應該符合“材料集中原則”或稱“擴大構件原則”，“結構形式簡化原則”和“工作兼任原則”。在設計結構形式時還應著重於提高鋼結構的

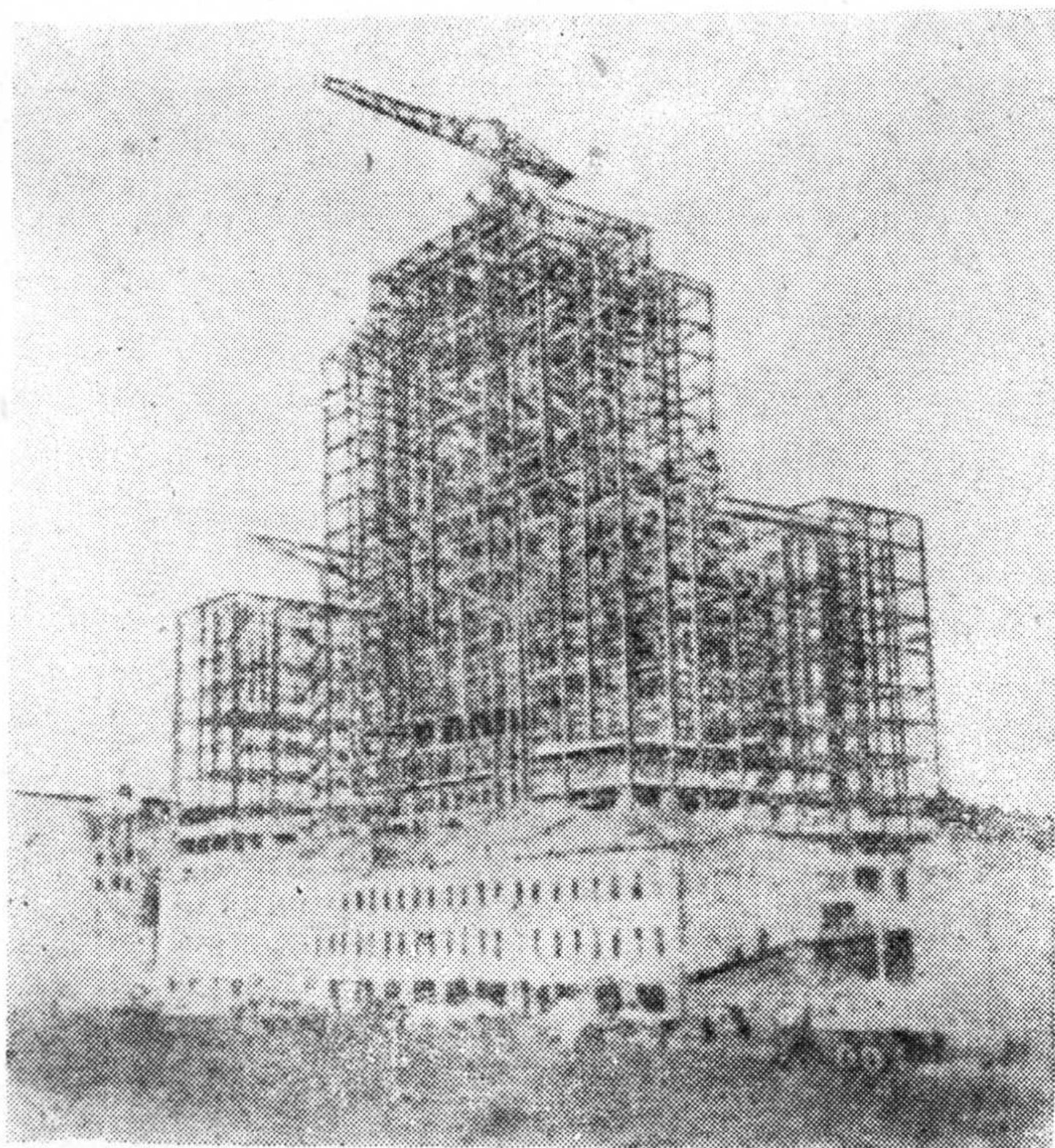


图 13 高层建筑

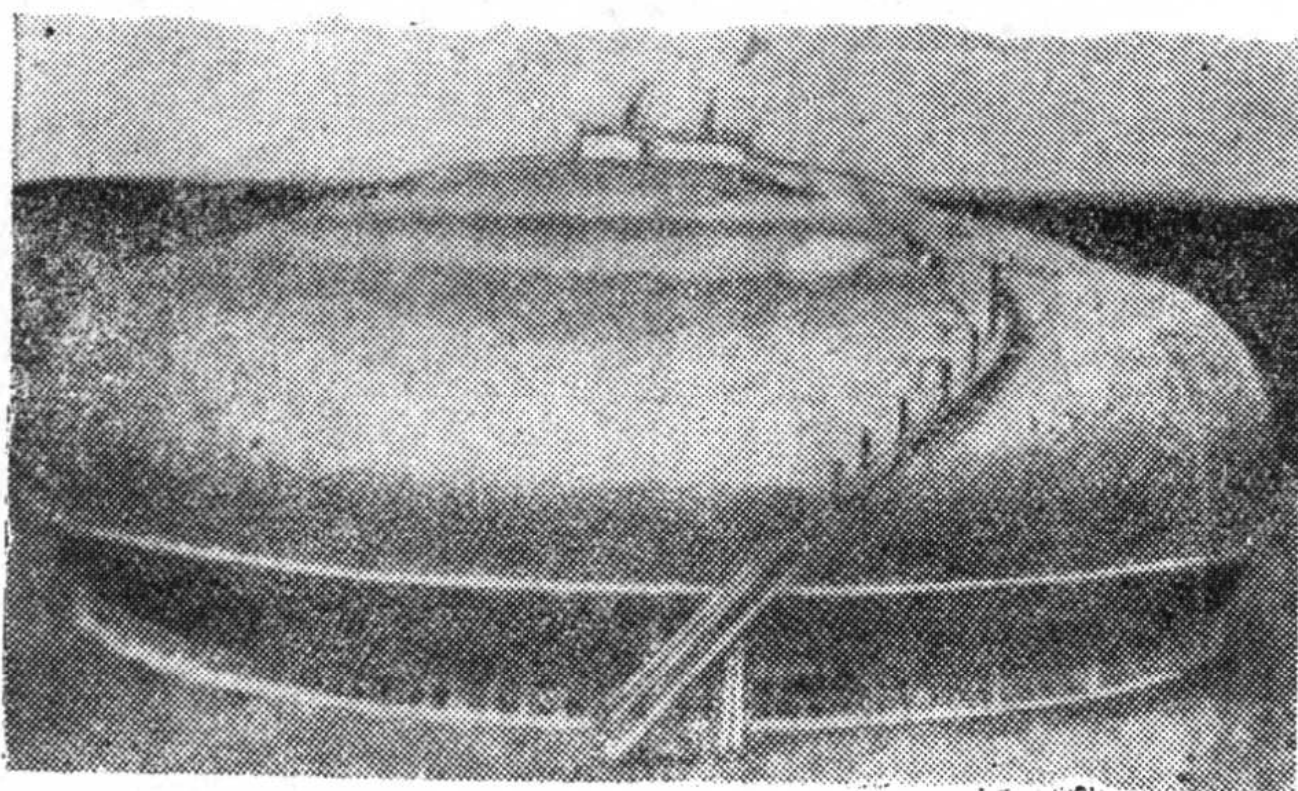


图 14 大型贮液库

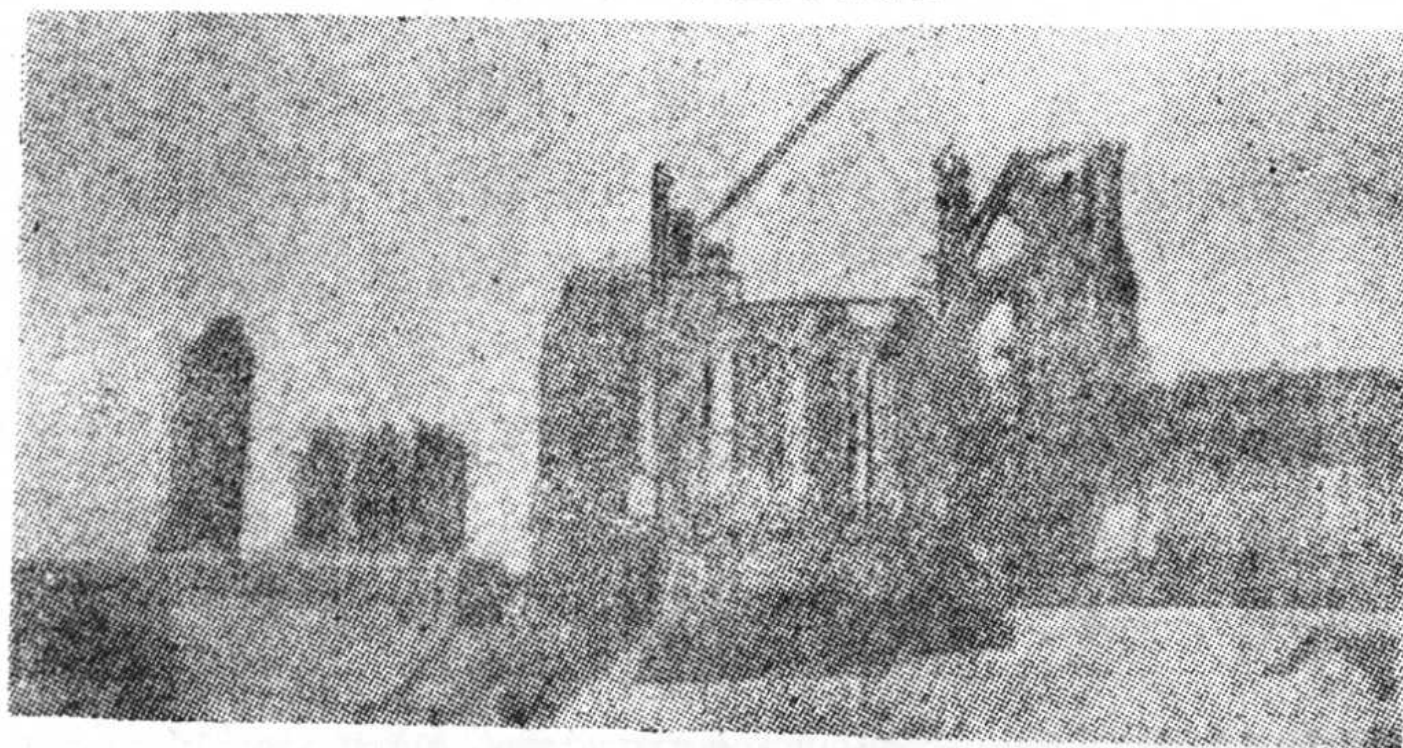


图 15 高炉

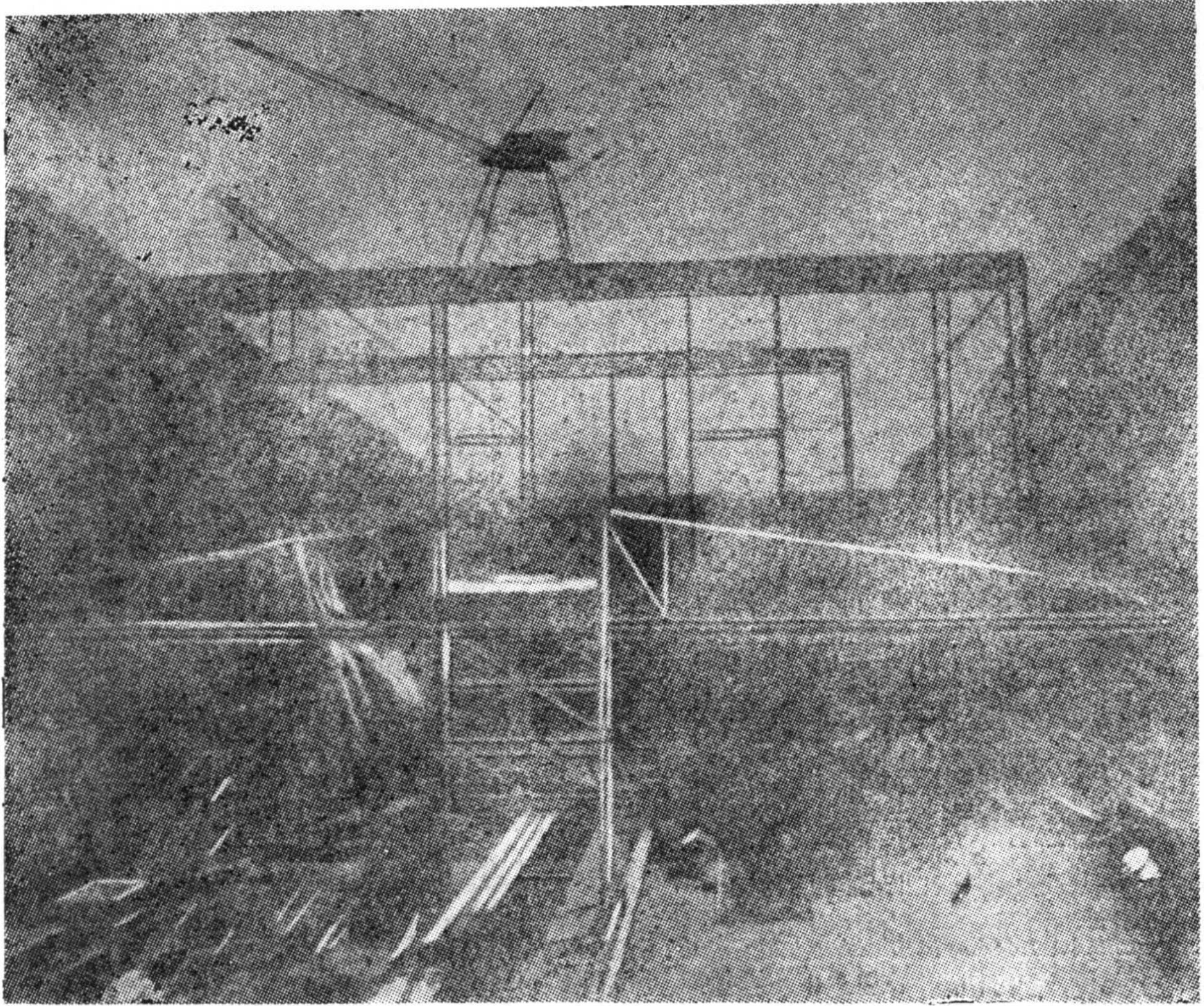


图 16 双悬臂起重机

耐久性，使结构能很好地抵抗侵蚀。（3）广泛采用、推广和研究新的计算和设计理论，其中包括：空间结构、薄壁结构的计算，房屋结构的空间工作计算，按极限状态的计算和设计理论等。（4）继续推广焊接结构，研究和试行新型良好的联结方式，例如高强度摩擦螺栓联结和胶合联结等。（5）大力发展新型的具有较高经济指标的低合金钢和其他轻金属。大力发展和生产各种新型的热轧薄壁型钢和冷弯、模压型材。（6）总结、创造和推广先进的制造工艺和架设技术。

每一个设计工作者必须时刻记住，在我国目前的情况下，正确地确定钢结构的应用范围和贯彻节约钢材、降低造价的措施，不单纯具有经济意义，而且是一项重大的政治任务。

第一章 鋼結構的材料

第一节 概 說

在金屬結構中所采用的材料有建筑鋼、鑄鐵及鋁合金等。鑄鐵过去常用于結構的支座部分，但由于它的性质坚而脆，抗拉强度很低，現在已很少采用。建筑鋼不論在强度、塑性及韌性等方面都远比鑄鐵为优，是现代金屬結構的主要材料。

鋁合金的强度与鋼差不多，有的甚至还高一些，而容重約为鋼的 $\frac{1}{3}$ 。目前在結構中的应用也开始有了发展。

鋼結構所用的材料，應該具有下列特点：（1）制成的結構能安全工作和有良好的承载能力；（2）适宜于加工制造；（3）抵抗腐蝕的性能要好；（4）价格便宜。就承载能力而言，衡量各种鋼材是否能很好符合結構要求的主要指标，是代表金屬强度的屈服点及极限强度，代表塑性的延伸率，以及代表韌性的冲击韌度等几种机械性能。此外，由于在鋼結構中普遍应用焊接的緣故，对材料的可焊性要求也提到了重要地位。

不論哪种金屬，在不同的情况下会表现出不同的工作性能。影响鋼材工作性能的因素很多，其中主要的是：鋼的組織构造，化学成分，应力的类型和状况及溫度变化等。

本章将先就鋼的机械性能以及影响鋼材性质的各种因素进行一些分析，然后討論建筑鋼的标号和选择。

第二节 鋼在单向均匀受拉下的工作性能、时效及溫度影响

1. 鋼在单向均匀受拉下的工作性能

鋼在单向均匀受拉下的工作性能，常以我們所熟知的拉伸試驗曲綫（图1-1）来表示。随着作用力的增加，鋼的工作表现为彈性、彈性-塑性、屈服、强化及破坏等各个阶段。在結構上最常用的低碳鋼中，各个阶段的应力与相应的应变大致为：比例极限 $\sigma_{nu} \geq 2000 \text{ kg/cm}^2$ ， $\epsilon_{nu} \approx 0.1\%$ ；屈服点 $\sigma_r \geq 2400 \text{ kg/cm}^2$ ； $\epsilon_r \approx 0.15\%$ ；流幅 $\epsilon \approx 0.15\%$ 至 $\epsilon \approx 2.5\%$ ；极限强度 $\sigma_{nu} \approx 3800 \sim 4700 \text{ kg/cm}^2$ ；破坏时的延伸率 $\epsilon \approx 21\%$ 。彈性模量 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 。

研究一下图1-1所示的曲綫，我們可以得出几点极为重要的鋼的工作特性：

（1）比例极限与屈服点如此接近，在屈服点之前的应变又这样小（ $\epsilon \approx 0.15\%$ ），以致在計算鋼結構时，可以将鋼的彈性工作阶段提高至屈服点为止。这样，屈服点的屈临一方面表示鋼材彈性工作阶段的結束，接着出現的流幅，又表示鋼材一时失去了承载能力，并将使結構产生很大的残余变形。因此，屈服点取为鋼結構可以达到的最大应力。

（2）鋼在屈服点之前的性质接近于理想的彈性体，屈服点之后的流幅現象又近乎理想的塑性体。并且流幅的范围（ $\epsilon = 0.15 \sim 2.5\%$ ）已足够来考虑結構塑性变形的发展。因此可以认为鋼是最符合理想的彈塑性物体（图1-2），这就为进一步发展鋼結構的計算理