



面向 21 世纪课程教材



普通高等教育“十五”国家级规划教材

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

钢结构基本原理

(第二版)

同济大学 沈祖炎 陈扬骥 陈以一 编著



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

面向 21 世纪 课程教材
普通高等教育“十五”国家级规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

钢结构基本原理

(第二版)

世界银行贷款资助项目
上海市教育委员会组编

同济大学 沈祖炎 陈扬骥 陈以一 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构基本原理/沈祖炎等编著. —2 版. —北京:

中国建筑工业出版社, 2005

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 7-112-07188-7

I. 钢... II. 沈... III. 钢结构—高等学校—教材

IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 137368 号

**面向 21 世纪 课程教材
普通高等教育“十五”国家级规划教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
钢结构基本原理**

(第二版)

世界银行贷款资助项目

上海市教育委员会组编

同济大学 沈祖炎 陈扬骥 陈以一 编著

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 24½ 字数: 377 千字

2005 年 2 月第二版 2005 年 2 月第七次印刷

印数: 19,501—23,500 册 定价: 33.00 元

ISBN 7-112-07188-7

TU·6423(13142)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

第一版前言

1998年,教育部颁布了新的普通高等学校本科专业目录,将原建筑工程、交通土建工程等8个专业合并为土木工程专业,其专业范围覆盖房屋建筑、地下建筑、隧道、道路、桥梁、矿井等工程。由于土木工程专业覆盖面广,在课程设置上,土木工程专业教学指导委员会采纳了教育部“面向21世纪土建类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”课题组的建议,将原来的钢结构课程分为原理和设计两大部分,原理部分作为专业基础教学内容,设计部分作为专业教学内容。本教材即为原理部分的教学内容。

本教材的编写宗旨以建立基本概念、阐述基本理论为重点,使学生学完后能够在钢结构设计专业课学习中主动深入地掌握各种工程结构的钢结构设计规范、设计原理和方法。因此本教材的内容将不涉及设计规范的各种具体规定,讲述的对象将是房屋建筑、地下建筑、桥梁和矿井工程中经常遇到的钢结构的材料、连接和受拉构件、轴心受压构件、受弯构件、压弯构件、索、组合构件、桁架、刚架和拱等基本构件以及构件与节点的抗震性能等。有关各种工程结构的形式、体系、构造及其分析计算和设计等则不在本教材的内容中,将由钢结构设计专业课讲述。

本书可作为土木工程专业本科的专业基础课教材和函授学生的教材,也可作为从事钢结构设计、制作和施工工程技术人员学习的参考书籍。

本书由沈祖炎教授主编,第1、3、5章由沈祖炎教授编写,第2、4、8章由陈扬骥教授编写,第6、7、9、10、11章由陈以一教授编写。全书由主编修改定稿。

在编写过程中,引用了有关单位的资料,谨致谢意。

本书难免会有不足之处,敬请读者批评指正。

同济大学土木工程学院
2000年2月

第二版前言

2000年以来,本教材已用于同济大学和一些兄弟院校的宽口径土木工程专业本科教学中。《钢结构基本原理》作为一本专业基础课程教材,为使土木工程师的培养能够满足从事多种工程领域中结构设计的普遍要求,改变了拘泥于某一特定技术规范的编写方法;具备这一特点的教材,对讲授钢结构课程的教师也是一种挑战。经过这几年的教学实践,本教材的编写思路已逐渐被接受,为宽口径土木工程专业专业课程学习提供了一个比较合适的平台。

本版修订主要基于如下考虑:依据四年多来教学实践的反馈,对相关内容进行局部增删或调整;依据近年来国内钢结构理论和技术的研究成果和工程实践进展积累的新知识,作若干补充。期待使用本教材的师生将发现的问题和不足及时告知作者,以使这部教材能更加完善。

同济大学土木工程学院

2005年1月

目 录

第1章 绪论	1
§ 1.1 钢结构的特点及应用	1
§ 1.2 我国钢结构发展现状及趋势	2
§ 1.3 钢结构的主要结构形式及组成杆件的分类	7
§ 1.4 钢结构的连接方法及分类	13
第2章 钢结构材料	15
§ 2.1 钢材在单向均匀受拉时的工作性能	16
§ 2.2 钢材在单轴反复应力作用下的工作性能	21
§ 2.3 钢材在复杂应力作用下的工作性能	21
§ 2.4 钢材抗冲击的性能及冷弯性能	23
§ 2.5 钢材的可焊性	25
§ 2.6 钢材的抗腐蚀性能	26
§ 2.7 钢材的延性破坏、损伤累积破坏、脆性破坏和疲劳破坏	26
§ 2.8 影响钢材性能的一般因素	35
§ 2.9 钢结构用钢材的分类	43
§ 2.10 钢材的规格	50
第3章 钢结构的可能破坏形式	56
§ 3.1 结构的整体失稳破坏	56
§ 3.2 结构和构件的局部失稳、截面的分类	61
§ 3.3 结构的塑性破坏、应（内）力塑性重分布	63
§ 3.4 结构的疲劳破坏	66
§ 3.5 结构的损伤累积破坏	72
§ 3.6 结构的脆性断裂破坏	73
§ 3.7 防止钢结构各种破坏的总体思路	76
第4章 受拉构件及索	77
§ 4.1 轴心受拉构件	77
§ 4.2 拉弯构件	82
§ 4.3 索的力学特性和分析方法	88
第5章 轴心受压构件	96
§ 5.1 轴心受压构件的可能破坏形式	96

§ 5.2 轴心受压构件的强度	97
§ 5.3 轴心受压实腹构件的整体稳定	98
§ 5.4 轴心受压格构式构件的整体稳定	109
§ 5.5 轴心受压构件的整体稳定计算	112
§ 5.6 轴心受压实腹构件的局部稳定	118
§ 5.7 轴心受压格构式构件的局部稳定	129
§ 5.8 轴心受压构件的刚度	135
第 6 章 受弯构件	138
§ 6.1 受弯构件的类型与截面	138
§ 6.2 受弯构件的主要破坏形式	139
§ 6.3 构件受弯时的截面强度	142
§ 6.4 构件扭转	156
§ 6.5 受弯构件整体失稳的弯扭平衡方程及其临界弯矩	161
§ 6.6 受弯构件中板件的局部稳定	167
§ 6.7 受弯构件的变形和变形能力	181
第 7 章 压弯构件	184
§ 7.1 压弯构件的类型与截面形式	184
§ 7.2 压弯构件的破坏形式	185
§ 7.3 压弯构件的截面强度	187
§ 7.4 压弯构件的整体稳定	189
§ 7.5 格构式压弯构件	202
§ 7.6 压弯构件的局部稳定	206
第 8 章 钢结构的连接	212
§ 8.1 钢结构的连接方式	212
§ 8.2 焊接连接的特性	213
§ 8.3 对接焊缝的构造和计算	217
§ 8.4 角焊缝的构造和计算	224
§ 8.5 焊接应力和焊接变形	241
§ 8.6 普通螺栓连接的构造和计算	245
§ 8.7 高强度螺栓连接的构造和计算	258
第 9 章 桁架、单层刚架与拱	272
§ 9.1 桁架	272
§ 9.2 单层刚架	280
§ 9.3 拱	288
第 10 章 组合构件	293
§ 10.1 组合构件的分类	293

§ 10.2 组合板的强度	295
§ 10.3 组合梁的强度	298
§ 10.4 钢管混凝土柱的强度和稳定性	303
第 11 章 钢结构构件及节点的抗震性能	308
§ 11.1 荷载性质与构件性能	308
§ 11.2 轴心受力构件的滞回性能	308
§ 11.3 受弯构件的滞回性能	311
§ 11.4 压弯构件的滞回性能	313
§ 11.5 节点的滞回性能	314
附录 1 钢结构用主要钢材牌号的化学成分和机械性能	316
附录 2 钢结构连接强度的确定及焊接材料特性	319
附录 3 常用钢材及型钢截面特性表	326
附录 4 轴心受压构件的稳定系数	370
附录 5 柱的计算长度系数	375
附录 6 计算图表	377
参考文献	381

第1章 绪 论

§ 1.1 钢结构的特点及应用

钢结构是土木工程的主要结构种类之一，它在房屋建筑、地下建筑、桥梁、塔桅、海洋平台、港口建筑、矿山建筑、水工建筑、囤仓囤斗、气柜油罐和容器管道中都得到广泛采用；这是由于钢结构与用其他材料建造的结构相比，具有许多优点：

(1) 强度高，重量轻。钢与混凝土、木材相比，虽然密度较大，但其强度较混凝土和木材要高得多，其密度与强度的比值一般比混凝土和木材小，因此在同样受力的情况下，钢结构与钢筋混凝土结构和木结构相比，构件截面面积较小，重量较轻。

(2) 材性好，可靠性高。钢材由钢厂生产，质量控制严格，材质均匀性好，且有良好的塑性和韧性，比较符合理想的各向同性弹塑性材料，因此目前采用的计算理论能够较好地反映钢结构的实际工作性能，可靠性高。

(3) 工业化程度高，工期短。钢结构都为工厂制作，具备成批大件生产和成品精度高等特点；采用工厂制造、工地安装的施工方法，有效地缩短工期，为降低造价、发挥投资的经济效益创造条件。

(4) 密封性好。钢结构采用焊接连接后可以做到安全密封，能够满足一些要求气密性和水密性好的高压容器、大型油库、气柜油罐和管道等的要求。

(5) 抗震性能好。钢结构由于自重轻和结构体系相对较柔，受到的地震作用较小，钢材又具有较高的抗拉和抗压强度以及较好的塑性和韧性，因此在国内外的历次地震中，钢结构是损坏最轻的结构，已公认为是抗震设防地区特别是强震区的最合适结构。

(6) 耐热性较好。温度在 250°C 以内，钢材性质变化很小，钢结构可用于温度不高于 250°C 的场合。当温度达到 300°C 以上时，强度逐渐下降， 600°C 时，强度降至不到三分之一，在这种场合，对钢结构必须采取防护措施。

钢结构的下列缺点有时会影响钢结构的应用：

(1) 钢材价格相对较贵。采用钢结构后结构造价会略有增加，往往影响业主的选择。其实上部结构造价占工程总投资的比例是很小的，采用钢结构与采用钢筋混凝土结构间的结构费用差价占工程总投资的比例就更小。以高层建筑为例，前者约为 10%，后者则不到 2%。显然，结构造价单一因素不应作为决定采用何

种材料的主要依据。如果综合考虑各种因素,尤其是工期优势,则钢结构将日益受到重视。

(2) 耐锈蚀性差。新建造的钢结构一般隔一定时间都要重新刷涂料,维护费用较高。目前国内外正在发展各种高性能的涂料和不易锈蚀的耐候钢,钢结构耐锈蚀性差的问题有望得到解决。

(3) 耐火性差。钢结构耐火性较差,在火灾中,未加防护的钢结构一般只能维持 20 分钟左右。因此需要防火时,应采取防火措施,如在钢结构外面包混凝土或其他防火材料,或在构件表面喷涂防火涂料等。目前国内外正在研制耐火性能好的耐火钢,以降低防火措施的费用。

现在钢材已经被认为是可以持续发展的材料,因此从长远发展的观点,钢结构将有很好的应用发展前景。

§ 1.2 我国钢结构发展现状及趋势

我国自 1949 年新中国成立以后,随着经济建设的发展,钢结构得到一定程度的发展。由于受到钢产量的制约,钢结构仅在重型厂房、大跨度公共建筑、铁路桥梁以及塔桅结构中采用。几个大型钢铁联合企业如鞍山、武汉、包头等钢厂的炼钢、轧钢、连铸车间等都采用钢结构。在公共建筑中以平板型网架用得最多,1975 年建成的上海体育馆采用三向网架,跨度已达 110m。此外,北京工人体育馆采用圆形双层辐射式悬索结构,建成于 1962 年,直径为 94m。1967 年建成的浙江体育馆采用双曲抛物面正交索网的悬索结构,椭圆平面,80m × 60m。武汉和南京长江大桥都采用了铁路公路两用双层钢桁架桥。在塔桅结构方面,广州、上海等地都建造了高度超过 200m 的多边形空间桁架钢电视塔。1977 年北京建成的环境气象塔是一高达 325m 的 5 层纤绳三角形杆身的钢桅杆结构。

1987 年以后,我国实行改革开放政策,经济建设有了突飞猛进的发展,钢结构也有了前所未有的发展,应用的领域有了较大的扩展。高层和超高层房屋、多层房屋、单层轻型房屋、体育场馆、大跨度会展中心、大型客机检修库、自动化高架仓库、城市桥梁和大跨度公路桥梁、粮仓以及海上采油平台等都已采用钢结构。目前已建和在建的高层和超高层钢结构已有 30 余幢,其中地上 88 层、地下 3 层、高 365m 的上海金茂大厦(图 1-1)的建成,标志着我国的超高层钢结构已进入世界前列。在大跨度建筑和单层工业厂房中,网架、网壳等结构的广泛应用,已受到世界各国的瞩目。1994 年建成的天津新体育馆(图 1-2)采用圆形平面球面双层网壳,直径已达 108m。1996 年建成的嘉兴电厂干燥棚(图 1-3)采用矩形平面三心圆柱面网壳,跨度为 103.5m。1998 年建成的长春体育馆(图 1-4)采用错边蚌型网壳结构,平面为 120m × 160m。这些网壳结构的建成,使我国长期以来网壳结构跨度未突破 100m 大关的历史已成过去。在大跨空间结构中,上海

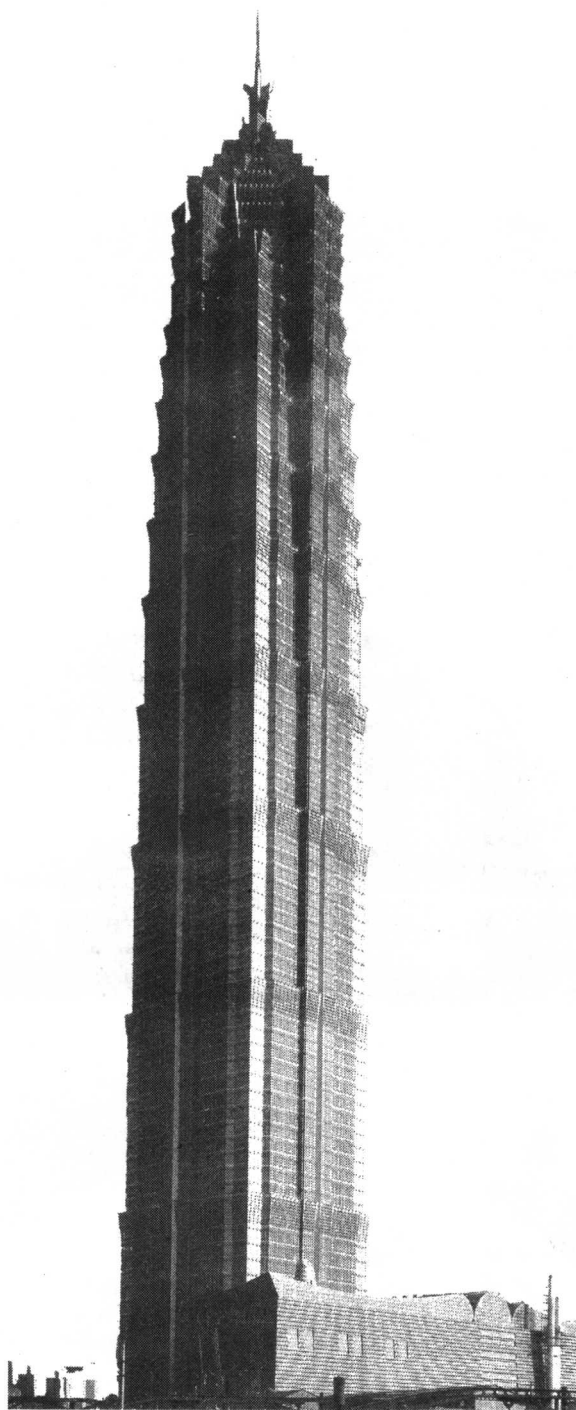


图 1-1 上海金茂大厦

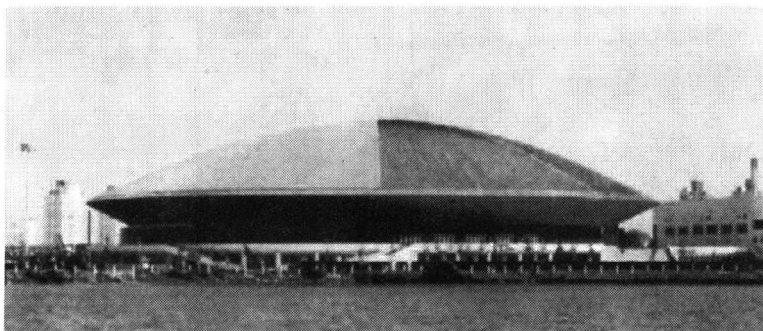


图 1-2 天津新体育馆

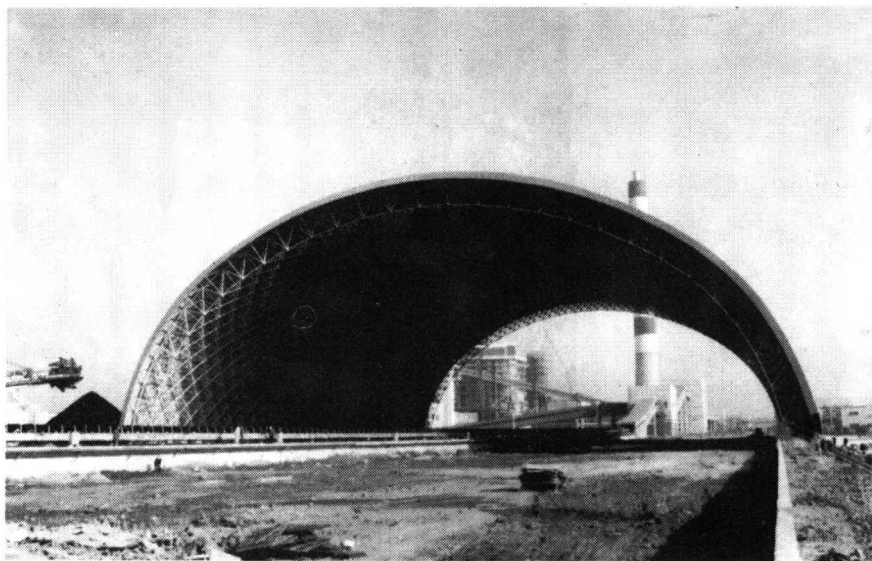


图 1-3 嘉兴电厂干煤棚

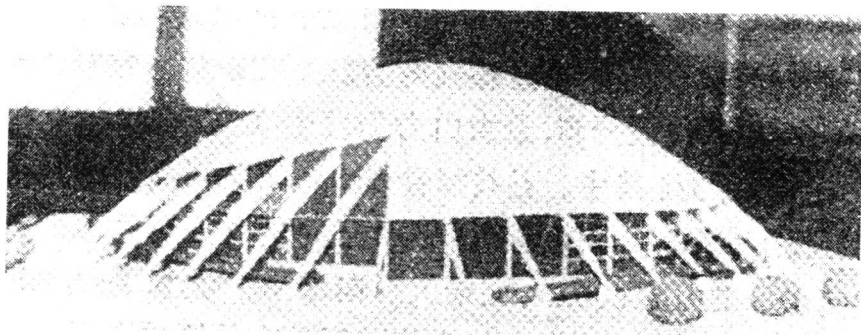


图 1-4 长春体育馆



图 1-5 上海体育场

体育场马鞍形环形大悬挑空间钢结构屋盖（图 1-5）和上海浦东国际机场航站楼张弦梁屋盖钢结构（图 1-6）的建成，更标志着我国的大跨度空间钢结构已进入世界先进行列。在桥梁方面，钢结构的应用更是举世瞩目。1994年建成的铁路、

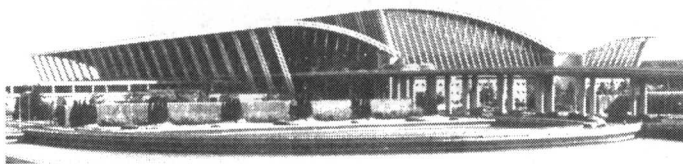


图 1-6 上海浦东国际机场航站楼

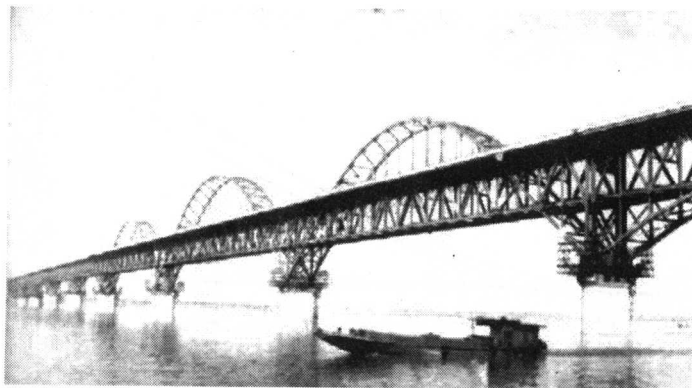


图 1-7 九江长江大桥

公路两用的双层九江长江大桥（图 1-7），其中主联跨长 $(180 + 216 + 180)$ m，并用柔性拱加劲。1995年建成的上海市杨浦大桥（图 1-8），采用双塔双索面斜拉

桥，主跨跨长为 602m。1999 年建成的江阴长江大桥（图 1-9），主跨采用悬索桥，跨长 1385m。这些桥梁的建成标志着我国已有能力建造任何现代化的桥梁。

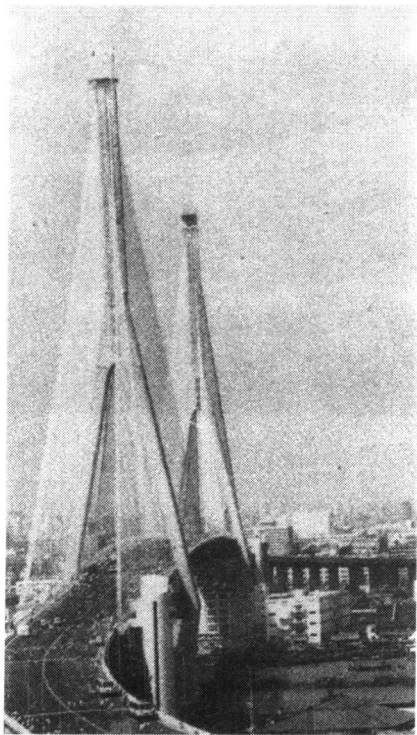


图 1-8 上海市杨浦大桥

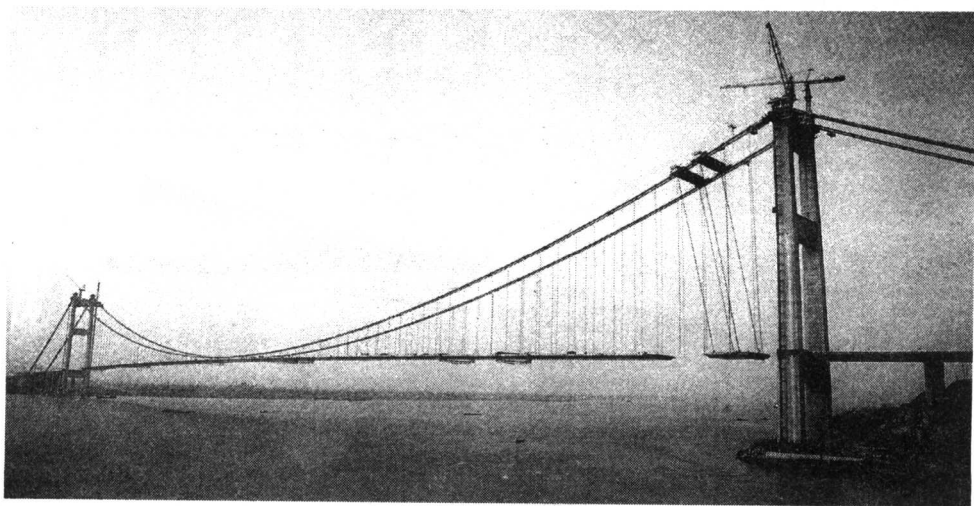


图 1-9 江阴长江大桥（施工中图片）

1996 年我国钢产量已是世界第一，年产量超过 1 亿吨，到 2004 年将接近 3 亿吨。钢材质量及钢材规格也已能满足建筑钢结构的要求。1997 年由建设部颁发的《中国建筑技术政策》（1996~2010 年）中也明确提出了发展钢结构的要求。市场经济的发展与不断成熟更为钢结构的发展创造了条件。因此，我国钢结构正处于迅速发展的前期。可以预期，我国钢结构发展的主要方向为：单层轻、中型厂房及仓库、单层重型厂房、大跨度公共建筑、高层及超高层建筑、多层工业厂房、办公楼及住宅、铁路桥梁、大跨度公路及城市桥梁、城市高架路、塔桅结构、海洋平台、矿井、各种容器及管道、移动式结构、需拆卸及搬移的结构等等。

§ 1.3 钢结构的主要结构形式及组成杆件的分类

钢结构的应用范围极其广泛。为了能更好发挥钢材的性能，有效地承担外荷载，不同的工程结构采用的结构形式也将有所不同。因此，钢结构的主要结构形式比较多。

1.3.1 用于房屋建筑的主要结构形式

(1) 单层工业厂房常用的结构形式是由一系列的平面承重结构用支撑构件联成空间整体（图 1-10）。在这种结构形式中，外荷载主要由平面承重结构承担，纵向水平荷载由支撑承受和传递。平面承重结构又可有多种形式。最常见的为横梁与柱刚接的门式刚架和横梁（桁架）与柱铰接的排架。

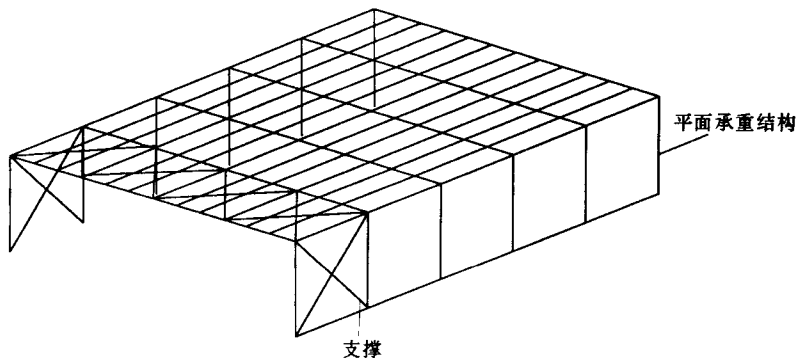


图 1-10 单层厂房常用结构形式

(2) 大跨度单层房屋的结构形式众多，常用的有以下几种：①平板网架。图 1-11 给出了两种双层平板网架，图 1-11 (a) 为由杆件形成的倒置四角锥组成，图 1-11 (b) 由三个方向交叉的桁架组成，这种结构形式目前也已在单层工业房屋中广泛应用；②网壳。网壳的形式比较多，图 1-12 给出了常用的几种。图 1-12

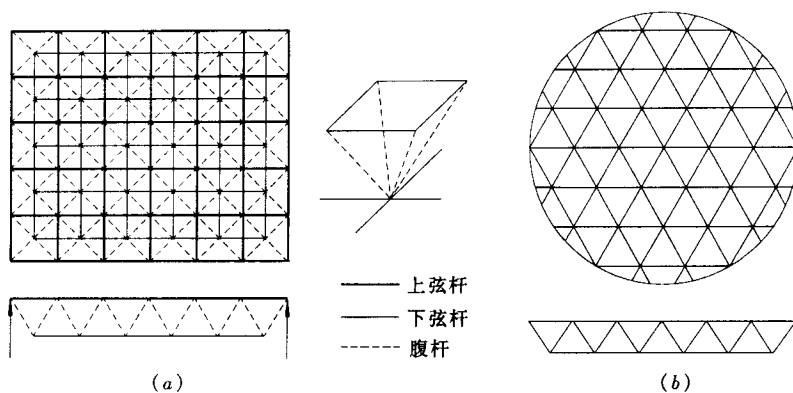


图 1-11 平板网架

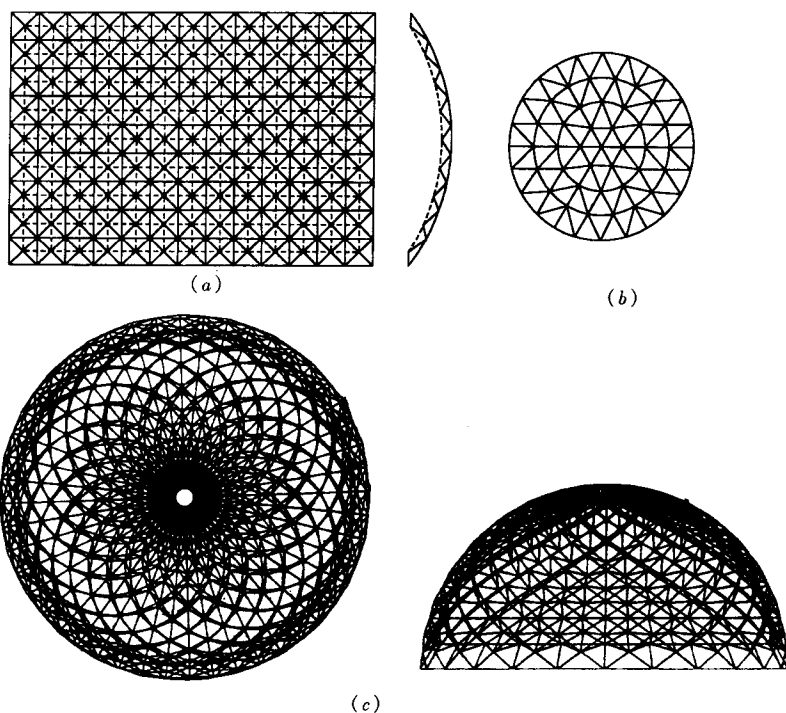


图 1-12 网壳

(a) 为筒状网壳，也称筒壳，可以是单层或双层的。双层时一般由倒置四角锥组成。图 1-12 (b)、(c) 为球状网壳，也称球壳，无论是单层 (图 1-12b) 或双层 (图 1-12c)，其网格都可以有多种分格方式；③空间桁架或空间刚架体系。上海浦东国际机场航站楼的屋盖采用了这种体系；④悬索。悬索结构是一种极为灵活的结构，其形式之多可谓不胜枚举，图 1-13 给出了少量的常用形式。图

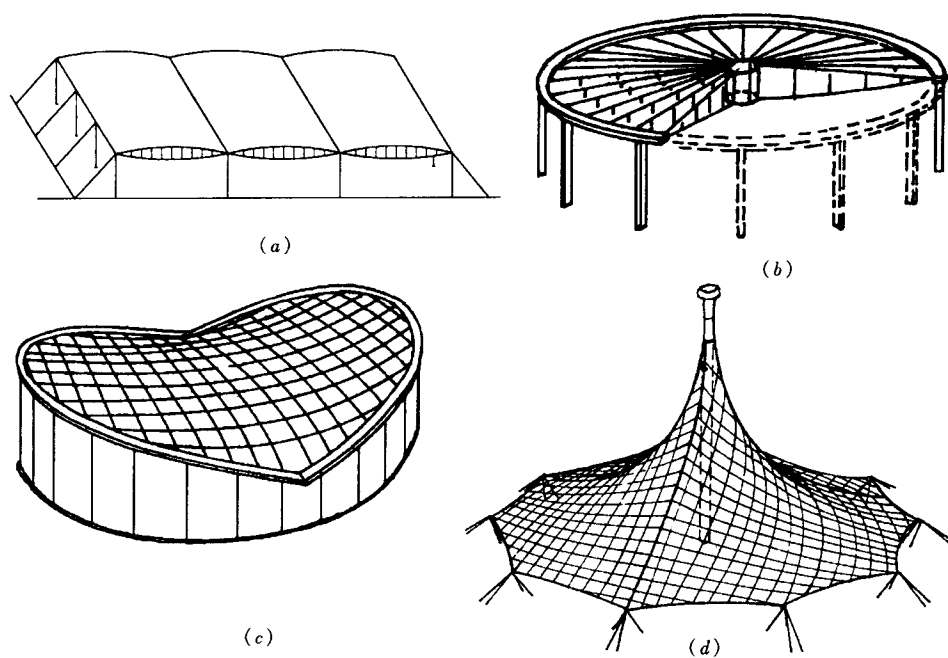


图 1-13 悬索结构

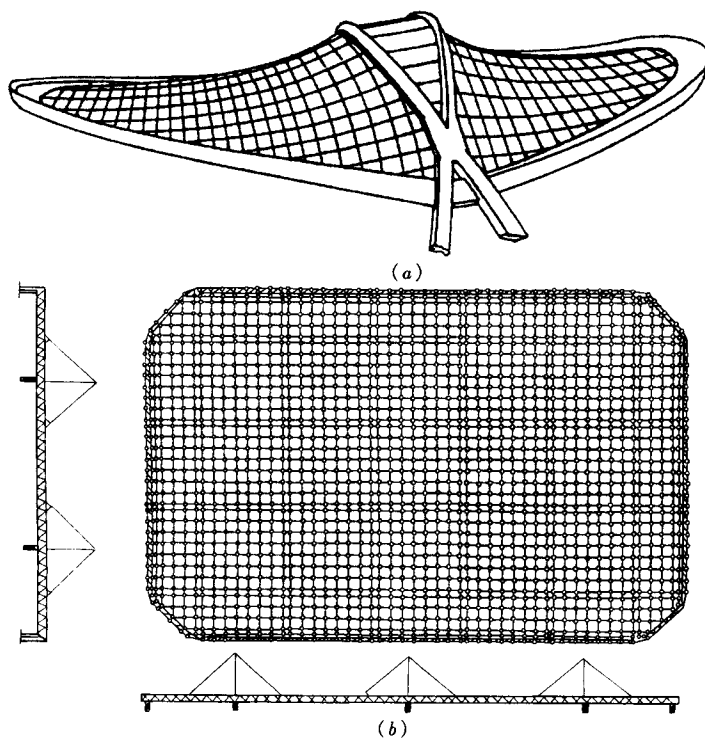


图 1-14 杂交结构