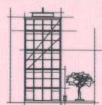
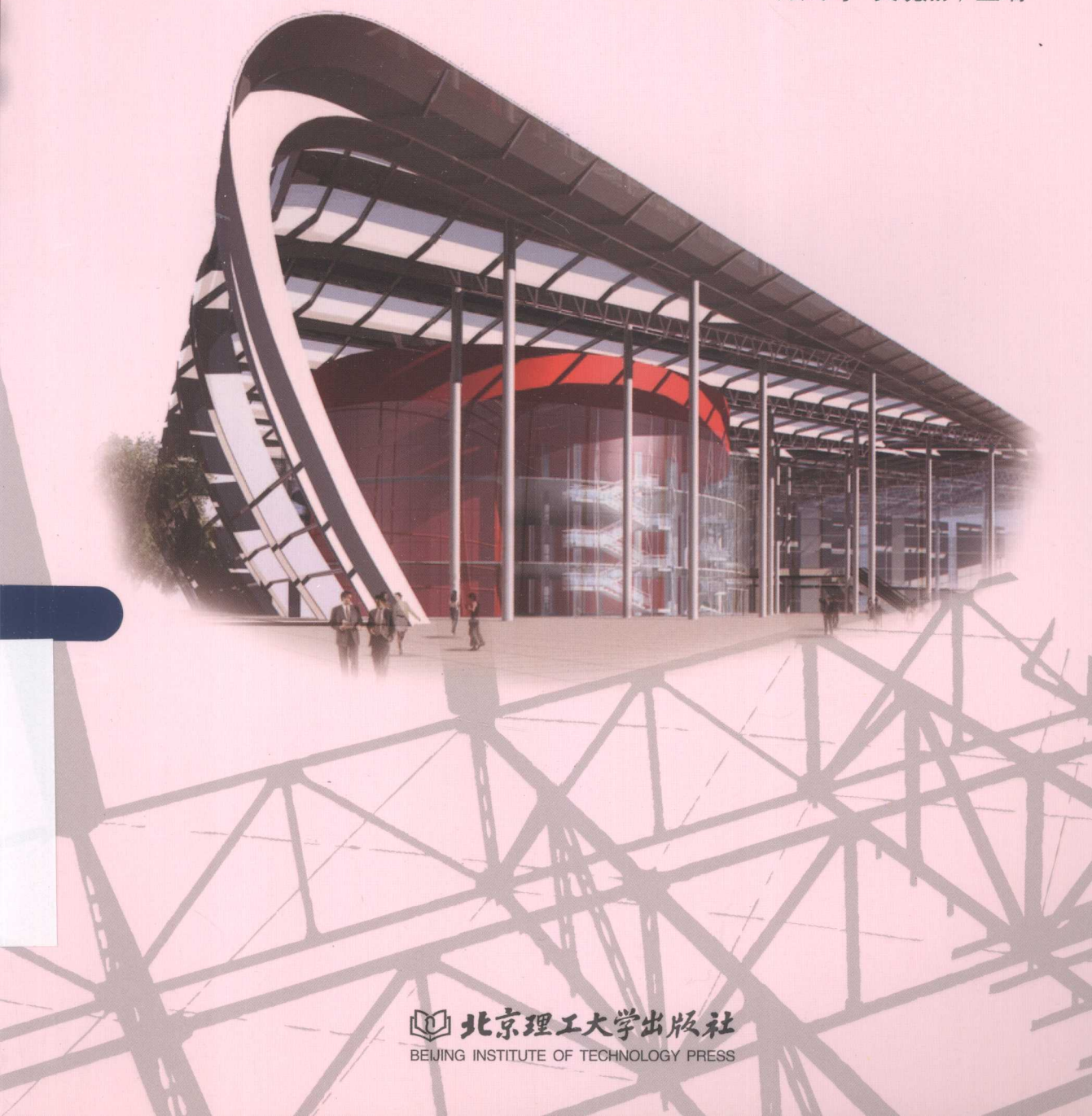


钢结构设计原理

DESIGN PRINCIPLES OF STEEL STRUCTURE



万凤鸣 吴晓杰 / 主编



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

014005252

TU370.4

51

钢结构设计原理

主 编 万凤鸣 吴晓杰
副主编 张 悦 王 鑫



TU370.4

北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



北航

C1692560

内 容 提 要

本书共分7章,系统地讲述了钢结构设计的基本理论和方法,内容包括绪论、钢结构的材料、钢结构的连接、轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件、屋盖结构等。本书内容简明扼要、重点突出。书末附有附录,列出了可供设计查用的各种数据。各章还列举了必要的设计例题,以利于有关基本理论和学习方法的学习和掌握。

本书可作为高等院校土木工程专业本科教材,也可作为高等专科院校相关专业教材,另外还可作为相关工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计原理/万凤鸣,吴晓杰主编. —北京:北京理工大学出版社,2013.8

ISBN 978-7-5640-8274-1

杰 晓 吴 凤 万 主 编

I. ①钢… II. ①万… ②吴… III. ①钢结构—结构设计—高等学校—教材
IV. ①TU391.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第200271号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 14

字 数 / 323千字

版 次 / 2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

定 价 / 42.00元

责任编辑 / 郭锦程

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言 PREFACE

根据高等院校土木工程专业的培养标准要求，钢结构设计原理被确定为土木工程专业的专业基础课程。本书是按照《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）等现行国家标准，专为培养工程应用型和技术管理型人才的高等院校土木工程专业编写的教材。

本书共分7章。第1章绪论，主要介绍了钢结构的类型、特点及其基本设计原理；第2章钢结构的材料，介绍了钢材的性能、影响钢材性能的主要因素、钢材的种类和规格；第3章钢结构的连接，介绍了钢结构的连接方法、焊缝连接的构造和计算、焊接残余应力与变形、普通螺栓和高强度螺栓的连接与构造；第4章至第6章分别介绍了轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件的工作原理和设计方法；第7章屋盖结构，主要介绍了单层厂房屋盖结构的组成和设计方法。

为便于高等院校学生和广大工程技术人员学习，本书编写时力求内容充实、概念清楚、层次分明、覆盖面广、重点突出，每章均有例题，章末附有习题，以便学生通过这些题目进一步消化、理解所学内容，检查学习效果。

本书编写分工如下：第1章、第4章由吴晓杰（武汉科技大学城市学院）编写；第2章、第6章由张悦（湖北工业大学商贸

学院)编写;第3章由王鑫(华中科技大学武昌分校)编写;
第5章、第7章由万凤鸣(湖北工业大学商贸学院)编写。

由于编者经验和水平有限,书中定有不当之处,恳请广大读者批评指正,以便修订时完善。

编者

目 录 CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 钢结构的类型和组成	1
1.2 钢结构的特点和应用范围	10
1.3 钢结构的基本设计原理	13
1.4 本课程的主要内容、特点和学习方法	16
第2章 钢结构的材料	18
2.1 钢结构对材料的要求	18
2.2 钢材的主要性能	18
2.3 各种因素对钢材主要性能的影响	21
2.4 钢材的种类和规格	25
第3章 钢结构的连接	28
3.1 钢结构的连接方法和特点	28
3.2 对接焊缝的构造和计算	35
3.3 角焊缝的构造和计算	39
3.4 焊接应力和焊接变形	50
3.5 普通螺栓连接	54
3.6 高强度螺栓连接	64
第4章 轴心受力构件	74
4.1 轴心受力构件的特点和截面形式	74
4.2 轴心受力构件的强度、刚度及稳定性	76
4.3 实腹式轴心受压构件设计	87
4.4 格构式轴心受压构件设计	92
4.5 柱头和柱脚	102

第5章 受弯构件	109
5.1 受弯构件的类型和应用	109
5.2 梁的强度	110
5.3 梁的刚度	113
5.4 梁的整体稳定	114
5.5 梁的局部稳定和腹板加劲肋设计	117
5.6 型钢梁设计	123
5.7 组合梁设计	127
5.8 梁的拼接、连接和支座	134
第6章 拉弯和压弯构件	138
6.1 概述	138
6.2 拉弯和压弯构件的强度和刚度	139
6.3 实腹式压弯构件的整体稳定	141
6.4 实腹式压弯构件的局部稳定	147
6.5 实腹式压弯构件的设计	149
第7章 屋盖结构	154
7.1 屋盖结构的组成	154
7.2 屋盖支撑	155
7.3 屋架	158
7.4 普通钢屋架设计实例	171
附录	186
附录1 钢材的强度设计值	186
附录2 结构或构件的变形容许值	188
附录3 截面塑性发展系数	189
附录4 各种截面回转半径	190
附录5 轴心受压构件的稳定系数	191
附录6 柱的计算长度系数	195
附录7 疲劳计算的构件和连接分类	196
附录8 螺栓和锚栓规格	199
附录9 热轧型钢常用参数表	200
参考文献	218

第 1 章 绪 论

钢结构是将钢板、各种热轧型钢、冷弯薄壁型钢和钢管等构件通过焊接、铆接或者螺栓连接等方式组成基本构件，再根据使用要求按照一定的规律制造而成的工程结构。钢结构具有强度高、自重轻、施工速度快、抗震性能好等优点，在工程建设中得到广泛应用。20 世纪 90 年代，随着我国钢材的产量、品种、规格大幅度提升，以及在“积极、合理、快速地发展钢结构”的政策指导下，不仅大量的工业厂房开始普遍采用钢结构，而且一大批有影响力的公共建筑，如首都机场航站楼、体育文化中心场馆、大剧院、会展中心、鸟巢、水立方、上海世博会场馆等，也都选择了钢结构。国内钢结构学科的发展得到了强有力的推动，并成为结构工程最具活力的研究方向，具有极其广阔的发展前景。

1.1 钢结构的类型和组成

钢结构在土木工程中的应用极其广泛。由于使用功能和结构组成方式的不同，同时也为了更好地发挥钢材的性能，有效地承担外荷载，钢结构类型很多，形式也各异。本节将对钢结构在应用中的几种主要结构形式进行阐述和分析，简要说明钢结构的类型及其组成。

1.1.1 用于单层房屋建筑的主要结构形式

1. 平面承重结构

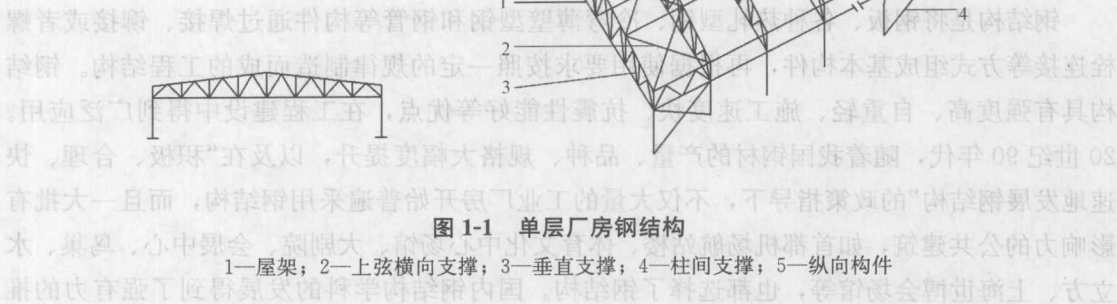
平面承重结构有多种形式，常见的是由一系列以横梁与柱刚接的门式刚架或横梁(桁架)与柱铰接的排架等平面承重结构用支撑构件连成空间整体。在这种结构形式中，外荷载主要由平面承重结构承担；纵向水平荷载由支撑构件承受和传递。

图 1-1 所示为单层厂房钢结构，由屋盖桁架与柱组成一系列平面承重结构，主要承受重力荷载和横向水平荷载；再由纵向构件和各种支撑构件连成一个在各个方向都是几何不变体的空间整体厂房结构。

图 1-2 所示也为典型的单层厂房钢结构，与图 1-1 的区别在于其平面承重结构是由横梁与柱组成的一系列门式刚架。

2. 大跨度网架结构

大跨度网架结构是近年来迅速发展起来的，它是由许多杆件按照一定的规律组成的空



1—屋架；2—上弦横向支撑；3—垂直支撑；4—柱间支撑；5—纵向构件

间结构。结构处于三维空间受力状态,能承受来自不同方向的荷载,由于杆件互相支撑、互相制约,空间刚度大且整体性好,广泛用于大跨度的公共建筑,如体育馆、展览馆、影剧院、大会堂、车站候车大厅、机场航站楼等。其主要结构形式可分为平板网架和曲面网壳两类,能适应圆形、方形、多边形等多种形状。



图 1-2 门式刚架单层厂房结构

(1)平板网架。图 1-3 和图 1-4 所示分别为平板网架结构的组成和实际应用。图 1-3(a)为由杆件构成的倒置四角锥单元；由各四角锥单元组成的网架平面图，即为图 1-3(b)，锥底的四边为网架的上弦杆，锥棱为腹杆，连接各锥顶的杆件为下弦杆。这种结构形式目前常见于各种加油站及单层工业房屋中。

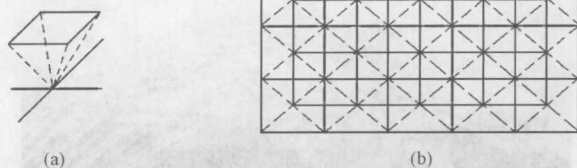


图 1-3 平板网架屋盖构成图

(a)倒置四角锥单元；(b)网架平面图



图 1-4 加油站平板网架结构

(2)网壳、球壳。2008 年北京奥运会场地自行车比赛场馆——老山自行车馆，就采用了网壳结构，如图 1-5 所示。屋顶设计为直径 150 m 的双层网壳钢结构，网壳由各个结构杆件连成空间几何不变体。各个结构杆件之间的相互作用使其整体性好、空间刚度大、结构非常稳定。网架荷载靠杆件的轴力传递，材料强度得到充分利用，既节约了钢材又减轻了自重。



图 1-5 空间网壳结构——老山自行车馆

图 1-6 为南通市会展中心体育场。其结构采用了空间球壳式钢屋盖构造,分为固定屋盖和活动屋盖两部分。固定屋盖采用拱支单层网壳结构,主拱桁架最大跨度 262 m,矢高 55.4 m。活动屋盖为由固定于屋盖主拱上弦的移动台车多点支撑的多跨单层网壳。

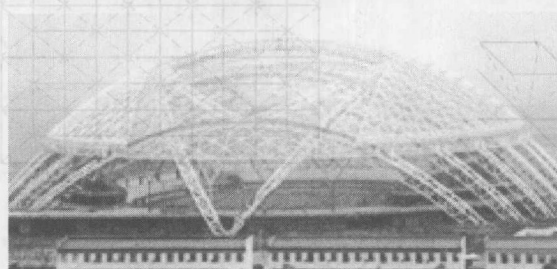


图 1-6 南通市会展中心体育场

3. 空间桁架结构

空间桁架结构是由张力杆和压力杆组成的空间结构体系,结构处于三维空间受力状态,能承受来自各个方向的荷载,结构重量轻、抗震性能好,特别适用于大跨度建筑物。如图 1-7 所示,上海浦东国际机场航站楼的屋盖采用了这种结构。

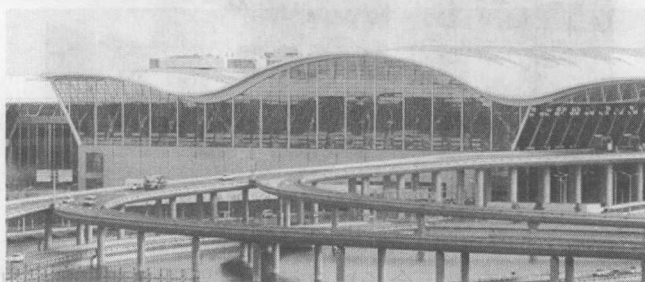


图 1-7 上海浦东国际机场航站楼

4. 悬索屋顶结构

悬索屋顶结构是由钢索网、边缘构件和下部支撑构件三部分组成的大跨度屋顶结构。结构形式多种多样,可以形成各种造型优美的曲线构型,极具空间感和艺术感。

如图 1-8 所示,华盛顿杜勒斯国际机场候机楼就是典型的悬索结构建筑。大楼为悬索屋顶,跨度 45.6 m,长度 182.5 m。跨中屋顶低矮,跨端空间高敞,结构形式与功能结合恰当,轻巧的悬索屋顶象征飞翔,与结构本身的特点相符,显得十分自然。



图 1-8 华盛顿杜勒斯国际机场候机楼

北京南站的两侧雨篷也为悬索结构,最高点 31.5 m,檐口高度 16.5 m,如图 1-9 所示。雨篷钢结构采用了 A 形塔架支撑体系、悬垂梁结构等多项技术。



图 1-9 北京南站

5. 张拉集成结构

张拉集成结构是一种主要用少量间断受压杆件与连续的拉索,通过张拉预应力提供刚度并自支撑、自平衡的空间结构体系。这种结构体系可以跨越较大空间,是目前空间结构中跨度最大的结构,具有极佳的经济指标。图 1-10 所示的美国亚特兰大乔治亚穹顶即为椭圆形平面的张拉集成结构,是一种支撑于周边受压环梁上的索杆预应力张拉整体穹顶体系,即索穹顶。

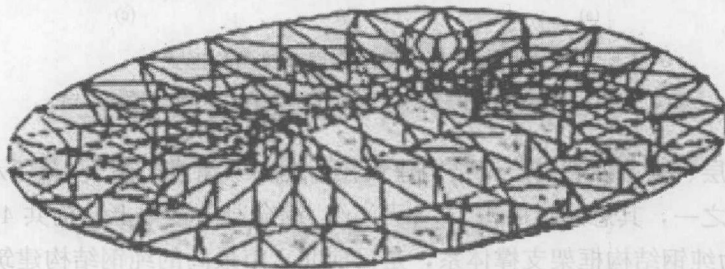


图 1-10 美国亚特兰大乔治亚穹顶

6. 索膜结构

索膜结构由索和膜组成,具有自重轻、体形灵活多样的优点,适用于大跨度公共建筑。上海世博会四大永久性建筑之一的世博轴就是典型的索膜结构,如图 1-11 所示。世博轴全长 1 045 m、宽约 100 m,由 13 根大型桅杆、数十根斜拉索和巨大的幕布巧妙地组成了中国第一、世界罕见的索膜结构建筑。六个形似喇叭的巨型圆锥状“阳光谷”嵌在其中,构成了世博园一道亮丽的风景线。

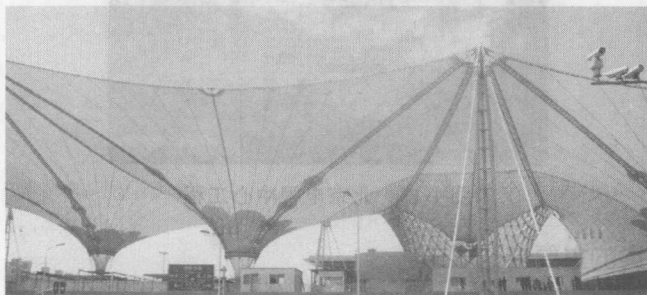


图 1-11 上海世博会——世博轴索膜顶盖

1.1.2 用于多层、高层及超高层建筑的主要结构形式

多层、高层及超高层建筑所承受的风荷载或地震作用随着房屋高度的增加而迅速增加,如何有效地承受水平力是考虑结构形式的一个重要问题。根据高度的不同,多层、高层及超高层建筑可采用以下合适的结构形式(图 1-12):

(1) 框架结构: 由梁和柱的刚性连接形成多层多跨刚架承受水平荷载, 如图 1-12(a)所示。

(2) 刚架-支撑结构: 即由刚架和支撑体系(抗剪桁架、剪力墙和核心筒)组成的结构, 图 1-12(b)即为刚架-抗剪桁架结构。

(3) 框筒、筒中筒、束筒等筒结构: 图 1-12(c)为一钢支撑筒结构。

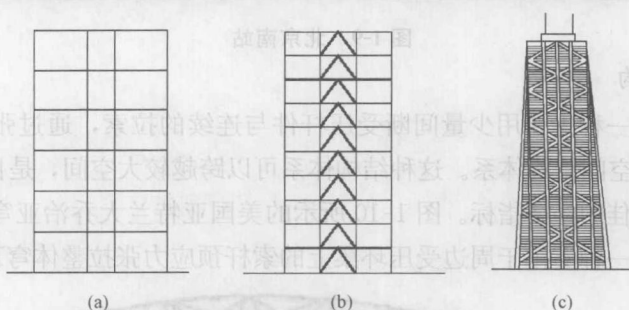


图 1-12 几种常见的高层建筑结构形式

(a) 多层多跨框架结构; (b) 刚架-抗剪桁架结构; (c) 钢支撑筒结构

近年来, 多层、高层及超高层钢结构建筑在各地相继建成, 图 1-13 所示的北京电视中心工程就是其中之一, 其总建筑面积 13.8 万 m^2 , 综合业务楼地上结构共 48 层, 最大结构高 236.40 m, 为纯钢结构框架支撑体系, 是目前北京市最高的纯钢结构建筑物。

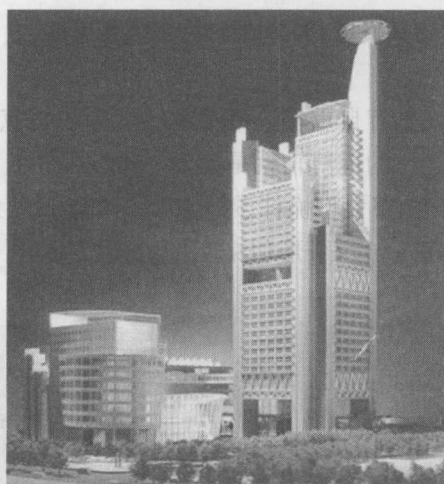


图 1-13 北京电视中心工程

1.1.3 用于桥梁的主要结构形式

用于桥梁的主要结构形式有以下几种:

图 1-14 (1)实腹板梁式结构。可以采用 I 形截面或箱形截面[图 1-14(a)], 郑州京广黄河大桥就属于此种结构。

(2)桁架式结构。桁架可以是简支的, 也可以是连续的[图 1-14(b)], 有着“万里长江第一桥”之称的武汉长江大桥就是此类结构的典型代表, 如图 1-15 所示。该桥全桥总长 1 670 m, 其中正桥 1 156 m, 西北岸引桥 303 m, 东南岸引桥 211 m。桥身为三联连续钢桁架梁, 每联 3 孔, 共 8 墩 9 孔。每孔跨度为 128 m, 为保证终年巨轮航行无阻起了很大的作用。

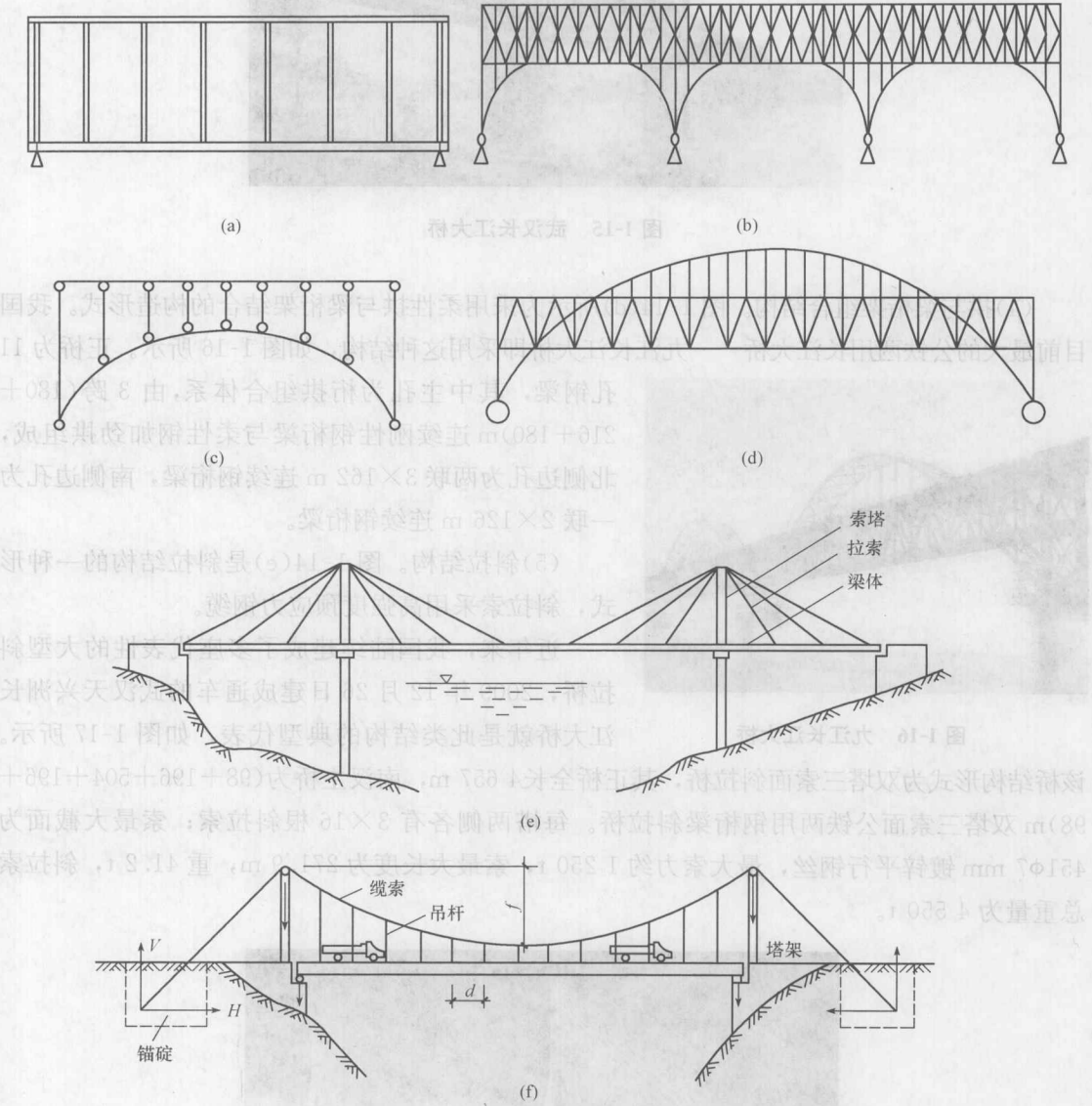


图 1-14 桥梁的主要结构形式

(a)实腹板梁式结构; (b)桁架式结构; (c)拱式结构; (d)拱与梁桁架组合结构;
(e)斜拉结构; (f)悬索结构

特大(3)拱或刚架式结构。拱和刚架可以做成实腹的,也可以做成格构式的,图 1-14(c)即为拱式结构的常见形式。

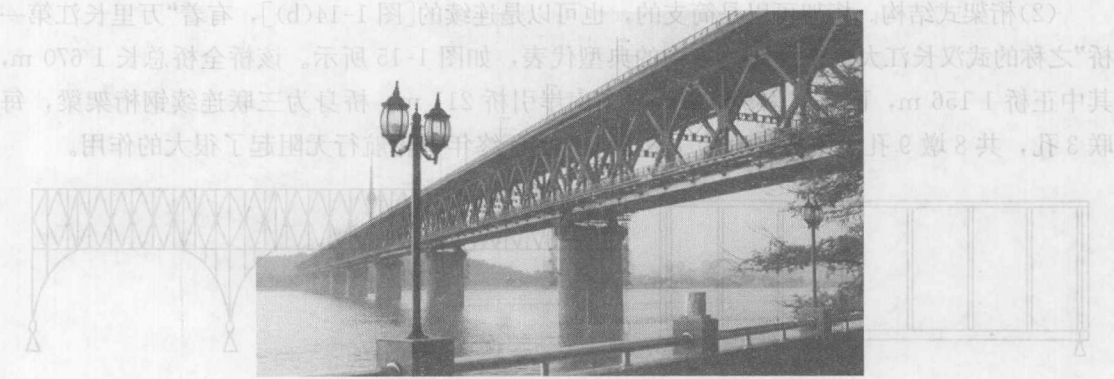


图 1-15 武汉长江大桥

(4)拱与梁桁架组合结构。图 1-14(d)所示为采用柔性拱与梁桁架结合的构造形式。我国目前最大的公铁两用长江大桥——九江长江大桥即采用这种结构,如图 1-16 所示。正桥为 11 孔钢梁,其中主孔为桁拱组合体系,由 3 跨(180+216+180)m 连续刚性钢桁梁与柔性钢加劲拱组成,北侧边孔为两联 3×162 m 连续钢桁梁,南侧边孔为一联 2×126 m 连续钢桁梁。

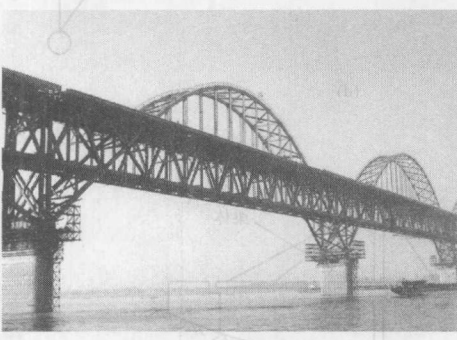


图 1-16 九江长江大桥

(5)斜拉结构。图 1-14(e)是斜拉结构的一种形式,斜拉索采用高强度预应力钢缆。

近年来,我国陆续建成了多座代表性的大型斜拉桥,2009 年 12 月 26 日建成通车的武汉天兴洲长江大桥就是此类结构的典型代表,如图 1-17 所示。该桥结构形式为双塔三索面斜拉桥,其正桥全长 4 657 m,南汉主桥为(98+196+504+196+98)m 双塔三索面公铁两用钢桁梁斜拉桥。每塔两侧各有 3×16 根斜拉索;索最大截面为 451φ7 mm 镀锌平行钢丝,最大索力约 1 250 t,索最大长度为 271.9 m,重 41.2 t,斜拉索总重量为 4 550 t。

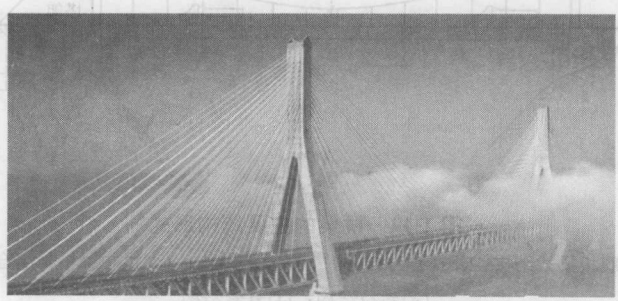


图 1-17 武汉天兴洲长江大桥

(6)悬索结构：悬索结构是指以悬索为主要承重的结构[图 1-14(f)]。其主要构造是：缆、塔、锚、吊索及桥面，一般还有加劲梁。悬索桥是大跨桥梁的主要形式，因其主要杆件受拉力，材料利用效率最高，能比其他形式的桥梁更经济、合理地修建大跨度桥。图 1-18 所示的湖南矮寨特大桥就采用了此种结构。桥型方案为钢桁加劲梁单跨悬索桥，悬索桥的主跨达 1 176 m，主跨位居世界第三、亚洲第一，是我国跨峡谷跨径最大的钢桁梁悬索桥，也是目前世界上跨峡谷最长的钢桁梁悬索桥。

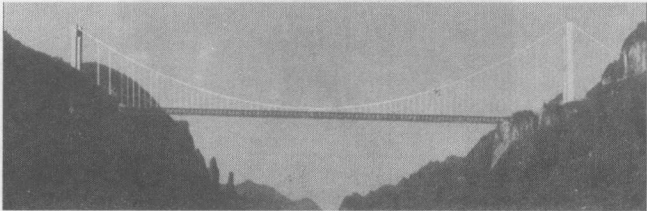


图 1-18 湖南矮寨特大桥

1.1.4 用于塔桅的主要结构形式

用于塔桅的主要结构形式常见的有以下两种：

(1)桅杆结构[图 1-19(a)]。杆身依靠纤绳的牵拉而站立，杆身可采用圆管或三角形、四边形等结构杆件。

(2)塔架结构[图 1-19(b)]。塔架立面轮廓线可采用直线形、单折线形、多折线形和带有拱形底座的多折线形等，平面可分为三角形、四边形、六边形和八边形等。著名的埃菲尔铁塔就是采用此种结构，如图 1-20 所示。

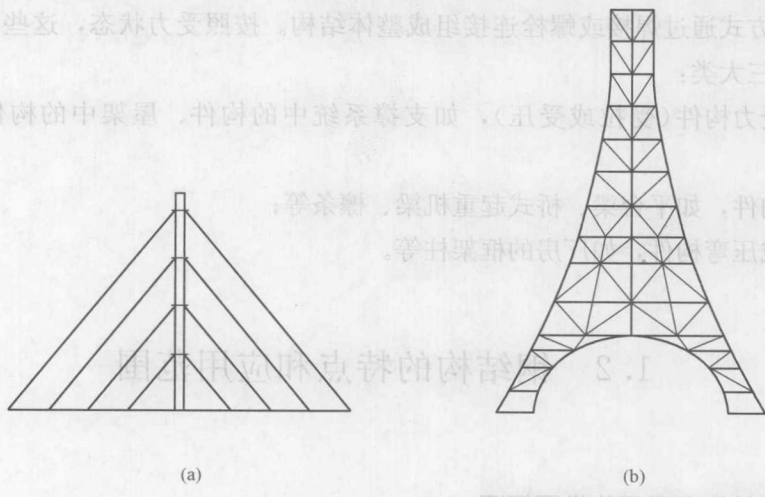


图 1-19 用于塔桅的主要结构形式

(a)桅杆结构；(b)塔架结构

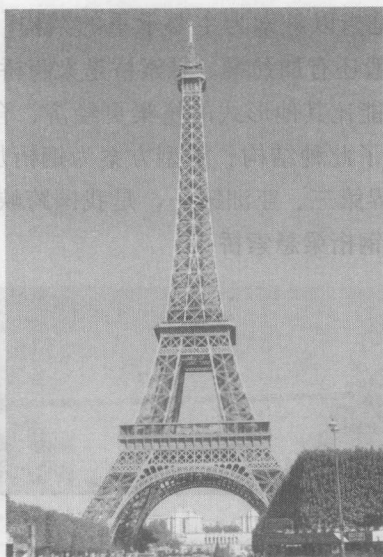


图 1-20 埃菲尔铁塔

1.1.5 其他结构形式的组成

从对上述钢结构常用形式的分析中可以看出,虽然各种钢结构的用途及形式差异较大,但是从房屋建筑、桥梁、塔桅及其他工程结构来看,除了容器(如储液罐、储气罐等)、管道(如输油管道、输气管道及压力水管等)和板壳结构以外,大部分钢结构均为杆系结构,即由一系列一维的杆件所组成的平面或空间结构。它们都是由钢板和型钢经过加工,制作而成的各种基本构件——拉杆(有时还包括拉索)、压杆、梁、柱及桁架等。然后,将这些基本构件按一定方式通过焊接或螺栓连接组成整体结构。按照受力状态,这些基本构件又可以概括为以下三大类:

- (1)轴心受力构件(受拉或受压),如支撑系统中的构件、屋架中的构件及轴心受压柱等;
- (2)受弯构件,如平台梁、桥式起重机梁、檩条等;
- (3)拉弯或压弯构件,如厂房的框架柱等。

1.2 钢结构的特点和应用范围

1.2.1 钢结构在我国的发展概况

我国钢结构有着悠久的历史,在古代时期处于领先地位,其应用的主要结构形式为铁链桥和铁塔。我国早在公元 65 年(汉代)就已经成功地用锻铁建成了世界上最早的铁链悬桥——兰津桥。此后,为了交通便利,跨越深谷,在各朝代都陆续有铁链桥建成。其中,