

程类专业规划教材

Principles of Steel Structure Design

钢结构设计原理

任青阳 严仁章 刘小渝 主 编
陈志华 周建庭 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

钢结构设计原理

任青阳 严仁章 刘小渝 主编
陈志华 周建庭 主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为高等院校土木工程类专业的本科教材,主要讲述了钢材的特性、钢结构连接以及钢结构构件的基本理论和计算方法等基础知识,是根据国家住房和城乡建设部现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和交通运输部最新颁布的《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)而编写的。

本书共分为6章:绪论,钢结构的材料,钢结构的连接,受弯构件,轴心受力构件,拉弯和压弯构件。

本书可作为高等院校大类招生土木工程专业的本科教材,也可以供从事土木工程的建筑工程和交通工程领域的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计原理 / 任青阳, 严仁章, 刘小渝主编

— 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.8

ISBN 978-7-114-13960-4

I. ①钢… II. ①任… ②严… ③刘… 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(2017)第 151102 号

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

书 名: 钢结构设计原理

著 作 者: 任青阳 严仁章 刘小渝

责任编辑: 卢俊丽

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 22.25

字 数: 550 千

版 次: 2017 年 8 月 第 1 版

印 次: 2018 年 2 月 第 1 版 第 2 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13960-4

定 价: 48.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校交通运输与工程(道路、桥梁、隧道 与交通工程)教材建设委员会

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:梁乃兴 (重庆交通大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐岳 (长安大学)

黄晓明 (东南大学)

韩敏 (人民交通出版社股份有限公司)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王云鹏 (北京航空航天大学)

石京 (清华大学)

申爱琴 (长安大学)

朱合华 (同济大学)

任伟新 (合肥工业大学)

向中富 (重庆交通大学)

刘扬 (长沙理工大学)

刘朝晖 (长沙理工大学)

刘寒冰 (吉林大学)

关宏志 (北京工业大学)

李亚东 (西南交通大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

何民 (昆明理工大学)

何东坡 (东北林业大学)

张顶立 (北京交通大学)

张金喜 (北京工业大学)

陈红 (长安大学)

陈峻 (东南大学)

陈宝春 (福州大学)

陈静云 (大连理工大学)

邵旭东 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

胡志坚 (武汉理工大学)

郭忠印 (同济大学)

黄侨 (东南大学)

黄立葵 (湖南大学)

黄亚新 (解放军理工大学)

符铎砂 (华南理工大学)

葛耀君 (同济大学)

裴玉龙 (东北林业大学)

戴公连 (中南大学)

秘书长:孙玺 (人民交通出版社股份有限公司)

序

沿着考古和历史学家用材料划分时代的轨迹,人类经历了石器、青铜和生铁时代,走进了我们熟悉而陌生的钢铁时代。如果用专业的比强度概念(材料强度 f /材料密度 γ)来评价结构材料的优劣时,结构钢当显优秀。简单的钢构件采用可靠的连接组合成不同形式的钢结构,覆盖了交通、工业、民用、军事等几乎所有的结构领域。进入21世纪,随着我国冶金技术的快速发展,具有高强度($f_y > 460\text{MPa}$)、高韧性和良好焊接性能的高性能钢已成功应用在超高层建筑、奥运场馆和长江上跨度超千米的公铁两用悬索桥上,为世界所瞩目。

钢结构设计原理是钢结构设计的入门教材,国外类似的教材日本称“钢构造学”,美国称“应用钢结构设计”(Applied Structural Steel Design),本质上都是讲结构原理,重点在应用。掌握应用力学是学习钢结构的基础。达芬奇曾说过“数学是力学的天堂”,借用推之可以体会“应用力学是钢结构学的一片蓝天”。现代钢结构离不开焊接,焊接是发生在接头区域的再冶金过程,不但有材料微观组织的变化,而且会有缺陷和损伤发生,传统力学的完美无缺在这个区域内是苍白的,学好钢结构应该具备损伤与断裂力学的基本知识。传统的钢结构教材多以专业划分,建筑钢结构与桥梁钢结构因规范背景所异很少交叉,本书作者在教材编写中作了跨专业的有益尝试,虽涉及不同规范,但重在原理,有利于人才的全面培养。正如著名国际结构大师林同炎所说的“工程师需用规范但非墨守陈规”。

钢结构设计安全的前提是对其丧失承载力行为的充分认识,除强度破坏外,钢结构整体与局部丧失稳定、疲劳与脆断(含应力腐蚀断裂)往往是在低应力状态下发生的,不可轻视。

感谢教材的编写者,因为一本好的教材不但能够引领初学者走上了专业道路,还可以伴随着他的成长,成为终生的良师益友。巴黎埃菲尔铁塔的设计者同时是一位出色的桥梁钢结构设计师,用工程师命名钢结构,“古斯塔夫·埃菲尔”创下了奇迹。愿更多的年轻学子超过他。

范文理
2017年12月

前言

钢结构具有轻质高强、计算可靠、绿色环保等众多其他工程结构不可替代的优点,因此发展钢结构是在践行绿色发展的基本理念。我国钢产量已连续近 20 年稳居世界第一,钢材质量逐步提升,完全具备应用于土木工程结构的条件。目前在钢材产能过剩的社会背景下,发展钢结构也是钢铁行业去库存、去产能的重要抓手,是建筑供给侧改革的重要举措。第十二届全国人民代表大会第四次会议上,李克强总理指出要大力发展钢结构和装配式建筑,钢结构的发展正形成以政府为引导、市场为主导的新型推广应用机制。国家明确提出未来政府投资、主导的公共或公益性建筑全面采用钢结构,社会投资的工业厂房和公共建筑优先采用钢结构。此外,交通运输部于 2016 年 7 月也发布了《关于推进公路钢结构桥梁建设的指导意见》(交公路发〔2016〕115 号),决定推进公路钢结构桥梁建设,新建大跨、特大跨径桥梁将以钢结构为主,新改建其他桥梁钢结构比例将明显提高。因此,土木工程钢结构的发展正面临前所未有的重大机遇。

在人才培养方面,为响应“加强基础,淡化专业,因材施教,分流培养”的 16 字教学改革方针,培养“厚基础,宽口径”的复合型人才,大学教育应注重专业基础的教育教学。《钢结构设计原理》正好是土木工程专业的一门非常重要的专业基础课程,本书即为培养大类招生的土木工程专业而编写。

本书主要按照住房和城乡建设部颁布的《钢结构设计规范》(GB 50017—

2003)和交通运输部最新颁布的《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)编写,旨在介绍钢结构连接及基本构件的设计计算原理,同时介绍了不同工程领域的具体计算公式,可作为高等院校大类招生土木工程专业本科教材,也可以供从事土木工程中建筑工程和交通工程领域的技术人员参考使用。

本书正文分为6章,包括:绪论、钢结构的材料、钢结构的连接、受弯构件、轴心受力构件、拉弯和压弯构件。

本书主要由任青阳、严仁章、刘小渝等共同编写完成。在本书的编写过程中引用了同行专家论著中的成果,在此表示感谢。特别感谢天津大学陈志华教授、重庆交通大学周建庭教授为本书的编写提供了诸多有益建议,并分别从建筑工程和桥梁工程两个专业角度共同审阅了全书。感谢姚茜、李学文、唐银等对书稿的整理工作。

由于编者水平有限,书中难免存在谬误之处,恳请读者批评指正,将有关意见及建议告知我们。

主 编

2017年7月

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 钢结构的特点及应用	1
1.2 钢结构设计的基本要求和方法	12
1.3 钢结构的发展	19
思考题	23
第 2 章 钢结构的材料	24
2.1 钢材的主要性能	24
2.2 影响钢材力学性能的因素	30
2.3 钢材的疲劳	34
2.4 钢材的类别及钢材的选用	42
2.5 钢结构的防腐和防火	48
思考题	53
第 3 章 钢结构的连接	54
3.1 连接的类型	54
3.2 焊缝连接	55
3.3 对接焊缝的构造与计算	62
3.4 角焊缝的构造与计算	71
3.5 焊接残余应力和焊接残余变形	87
3.6 螺栓连接	92
3.7 普通螺栓连接的性能和计算	96
3.8 高强度螺栓连接的构造和计算	111
思考题	120
第 4 章 受弯构件	123
4.1 受弯构件的形式和应用	123
4.2 受弯构件的强度及刚度	125

4.3	受弯构件的整体稳定性	131
4.4	板件的局部稳定性和组合梁腹板加劲肋的设计	142
4.5	型钢梁的设计	161
4.6	焊接组合梁的截面选择和截面改变	164
4.7	焊接组合梁的翼缘焊缝和梁的拼接	175
4.8	梁的支承	181
	思考题	187
第5章	轴心受力构件	189
5.1	概述	189
5.2	轴心受力构件的强度和刚度	190
5.3	实腹式轴心受压构件的整体稳定	196
5.4	实腹式轴心受压构件的局部稳定	215
5.5	实腹式轴心受压构件的设计	219
5.6	格构式轴心受压构件设计	228
	思考题	243
第6章	拉弯和压弯构件	245
6.1	概述	245
6.2	拉弯和压弯构件的强度和刚度	246
6.3	实腹式压弯构件的整体稳定	249
6.4	实腹式压弯构件的局部稳定	257
6.5	实腹式压弯构件的设计	261
6.6	格构式压弯构件的设计	270
	思考题	275
附录		278
附录1	钢材和连接的强度设计值	278
附录2	受弯构件的容许挠度	283
附录3	截面塑性发展系数	284
附录4	轴心受压构件的稳定系数	286
附录5	柱的计算长度系数	292
附录6	疲劳计算的构件和连接分类	296
附录7	型钢表	313
附录8	螺栓和锚栓规格	330
附录9	各种截面回转半径近似值	331
附录10	梁的整体稳定系数	332
附录11	建筑钢结构常用底漆、面漆表	336
附录12	有效截面的计算	339
参考文献		343

绪论

1.1 钢结构的特点及应用

钢结构是指由钢材制成的工程结构,通常由型钢和钢板等制成的梁、桁架、柱、板等构件组成,各部分之间用焊缝、螺栓或铆钉连接,有些钢结构还部分采用钢丝绳、钢绞线、钢拉杆以及钢丝束等拉索构件。

钢结构与钢筋混凝土结构、木结构、砌体结构和钢-混凝土组合结构等都是工程结构的不同分支。它们之间有许多共性,例如在结构体系、内力分析和设计程序等方面大体是相同的,但由于材料性质的不同、原材料和构件截面形状的不同,也有其特殊性,例如在结构形式、构件计算方法、构件连接方法和构造处理方法等方面有着显著的差别。学习钢结构应注意它的特点。

1.1.1 钢结构的特点

钢结构和其他材料的结构相比具有下列特点:

1) 强度高,重量轻

钢材强度较高,弹性模量亦高,因而钢结构构件小而轻。当今有多种强度等级的钢材,即使强度较低的钢材,其密度与强度的比值一般也小于混凝土和木材,从而在同样受力情况下钢

结构自重小,可以做成跨度较大的结构。由于杆件小,所占空间少,亦便于运输和安装。但也正由于钢材强度高,钢结构构件截面较小,受压时易被稳定承载力和刚度要求所控制,使其强度难以得到充分的利用。

2) 材质均匀,可靠性高

钢材组织均匀,非常接近于各向同性匀质体。钢材由钢厂生产,控制严格,质量比较稳定。钢结构在使用阶段能处于理想弹性工作状态,且由于钢材的弹性模量较大,变形小,使得钢结构的实际工作性能比较符合目前采用的理论计算结果,计算的不确定性因素较少,所以钢结构的计算可靠性较高。

3) 塑性和韧性好

钢结构的抗拉和抗压强度相同,塑性好,结构在一般条件下不会因超载而突然破坏,只是变形增大,应力重分配,应力变化趋于平缓。钢材的韧性好,适于承受冲击和动力荷载,其良好的耗能能力和延性使钢结构具有较好的抗震性能,为钢结构的安全性和可靠性提供了充分的保证。

4) 便于机械化制造

钢结构由轧制型材和钢板在工厂制成,便于机械化制造,生产效率高,速度快,成品精确度较高,质量易于保证,是工程结构中工业化程度最高的一种结构。

5) 安装方便,施工期限短

钢结构构件在工厂批量生产后可运至现场拼装,采用螺栓连接、焊缝连接等方式连接成整体,实现工厂制造、现场拼装的施工方法。因结构较轻,故安装方便,施工期限短,降低造价,可尽快地发挥投资的经济效益。

6) 密封性好

钢材本身因组织非常致密,当采用焊接连接,甚至铆钉或螺栓连接时,都容易达到紧密不渗漏的效果。因此,钢结构的密封性较好,容易做成密不漏水 and 密不漏气的常压和高压容器结构和大直径管道,常用于工业构筑物中。

7) 绿色环保

由于废旧钢材可以回收冶炼而重复利用,所以钢结构是一种节能环保并能循环使用的建筑结构,相比于钢筋混凝土结构,可减少大量的建筑垃圾,符合可持续发展的战略。

8) 耐热性较好

结构表面温度在 200°C 以内时,钢材强度变化很小,因而钢结构适用于热车间。但结构表面长期受辐射热达 150°C 时,应采用隔热板加以防护。

9) 防火性差

钢结构防火性较差,钢材表面温度达 $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 以后,其强度和弹性模量显著下降, 600°C 时几乎降到零。当防火要求较高时,需要采取保护措施,如在钢结构外面包混凝土或其他防火板材,或在构件表面喷涂一层含隔热材料和化学助剂等的防火涂料,以提高耐火等级。

10) 耐锈蚀性差

钢结构耐锈蚀性较差,特别是在潮湿、有腐蚀性介质的环境中,容易锈蚀,需要定期维护,增加了维护费用。在工业发达的国家,腐蚀造成的直接经济损失占国民经济总产值的 $1\% \sim 4\%$,每年腐蚀生锈的钢铁约占产量的 20% ,约有 30% 的设备因腐蚀而报废。因此,处于较强腐蚀性介质内的建筑物不宜采用钢结构。

11) 钢结构的低温冷脆趋势

钢材在低温下塑性和韧性都有所降低,可能发生脆性断裂,出现结构的突然性破坏。

1.1.2 钢结构的应用范围

由于钢材和钢结构有上述特点,钢结构常用于各种工程结构中。钢结构的合理应用范围大体如下:

1) 民用建筑钢结构

民用建筑钢结构以房屋钢结构为主要对象,按耗钢量大小大致分为普通钢结构、重型钢结构和轻型钢结构。其中,重型钢结构是指采用大截面和厚度的钢结构,如高层钢结构、重型厂房和某些公共建筑等;轻型钢结构是指采用轻型屋面和墙面的门式刚架房屋、某些多层建筑、薄壁压型钢板拱壳屋盖等,网架、网壳等空间结构也可属于轻型钢结构范畴。按照中国钢结构协会的分类标准,民用建筑钢结构主要包括大跨度空间钢结构(图 1-1)、高层钢结构(图 1-2)、钢-混凝土组合结构(图 1-3)、索膜钢结构(图 1-4)、钢结构住宅(图 1-5)、幕墙钢结构(图 1-6)等。

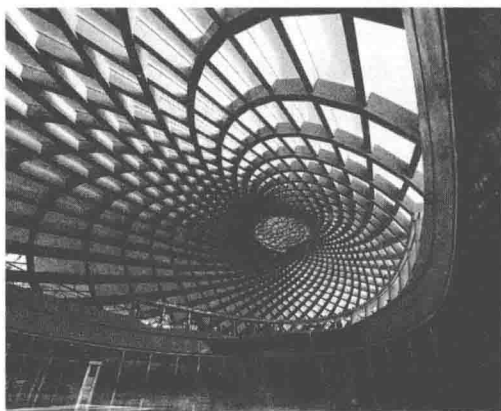


图 1-1 大跨度空间结构(国内最大跨度双螺旋单层网壳——于家堡综合交通枢纽站)

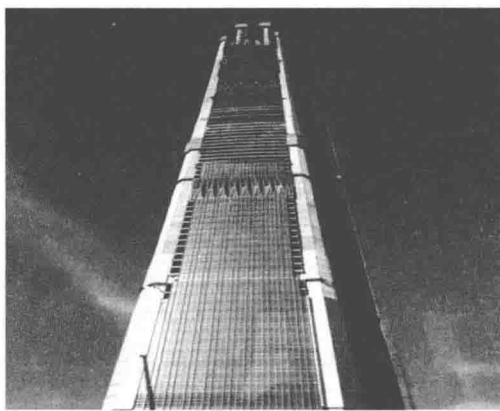


图 1-2 高层钢结构(天津 117 大厦)

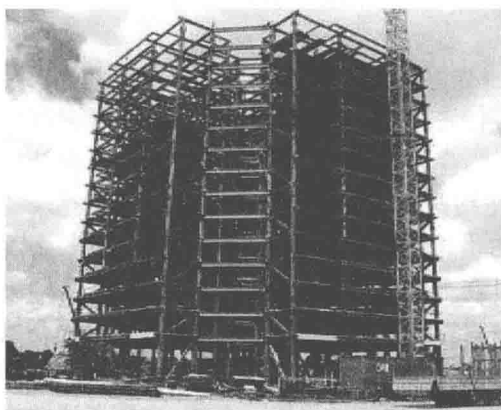


图 1-3 钢-混凝土组合结构



图 1-4 索膜钢结构(伦敦千年穹顶)

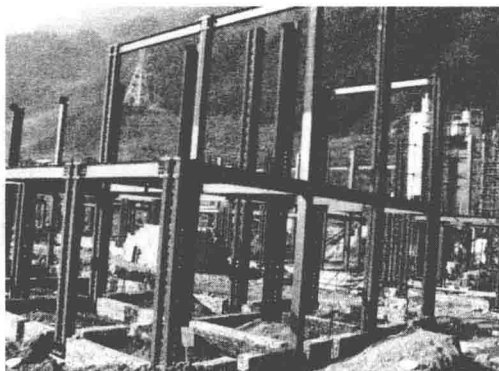


图 1-5 钢结构住宅

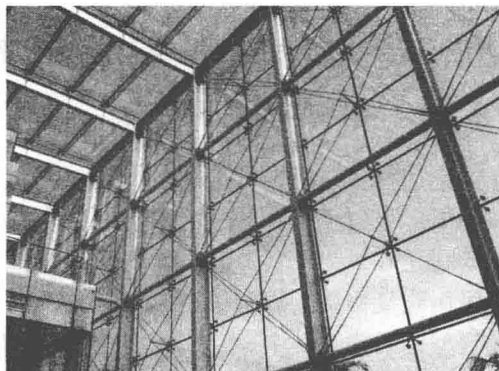


图 1-6 幕墙钢结构

我国是钢材产量大国,国家鼓励建筑结构积极用钢的形势促进了建筑钢结构的蓬勃发展,近年来各地政府更是争相出台关于“加快推进钢结构建筑发展”的方针政策,这意味着建筑钢结构的应用前景将更加广泛。为实现钢结构的产业创新发展,化解我国目前产能严重过剩的矛盾,在推广和扩大钢结构在民用建筑中的应用过程中,应加强科技导向的规划和指导作用,促进钢结构的可持续发展。如高层和超高层建筑宜优先采用合理的钢结构或钢-混凝土组合结构体系,大跨度建筑积极采用空间网格结构、索膜结构等预应力钢结构体系,结合市场需求,积极开发钢结构的住宅建筑体系,并实现产业化,加快推进以标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修、信息化管理为核心的钢结构产业“五化一体”建设,推进形成建筑钢结构产业系统化标准体系。

(1) 大跨度空间钢结构

随着结构跨度增大,结构自重在全荷载中所占的比重也就越大,结构本身之效能将主要用于抵抗自身之荷载,如能减轻自重可获得明显的经济效益。对于大跨度空间钢结构,一方面结构呈现空间三维受力特性,所有构件均能较大程度发挥作用;另一方面钢结构轻质高强,可有效减轻结构自重,使得大跨度空间结构的跨越能力不断提高。大跨度空间结构主要应用于体育场馆、展览馆、会展中心、航站楼、火车站房等,常用的结构体系有空间网格结构(网架结构和网壳结构)、拱架结构、索网结构、张弦结构等,如 2008 北京奥运会羽毛球馆的椭球形钢结构屋盖采用了新型弦支穹顶结构(图 1-7),长轴方向最大尺寸为 141m,短轴方向最大尺寸为 105m。

(2) 高层建筑钢结构

高层建筑已成为现代化城市的一个标志。钢材强度高和钢结构重量轻的特点对高层建筑具有重要意义。强度高则构件截面尺寸小,可提高有效使用面积。重量轻可大大减轻构件、基础和地基所承受的荷载,降低基础工程等的造价。当今世界上最高的 50 幢建筑中,钢结构和钢-混凝土组合结构占 80% 以上。1974 年建成的纽约西尔斯大厦,共 110 层,总高度达 443m,为全钢结构建筑。近年来,我国的高层建筑钢结构也建设了很多例,1997 建成的上海金茂大厦(图 1-8),为 88 层,总高度为 420.5m;同年 8 月在上海浦东开工兴建的上海环球金融中心(图 1-9),为 98 层,总高度为 460m。在建的苏州中南中心,建筑总高度达 729m,为目前在建全国第一高楼;武汉绿地中心建筑总高度 636m,为在建的华中第一高楼;天津 117 大厦于 2008 年开工建设,结构高 596.5m,成为当时仅次于迪拜哈利法塔的世界第二高楼、中国在建结构第一高楼,该结构采用了巨型框架-核心筒-巨型斜撑多重结构抗侧力体系,其中钢结构主要应用

在外框巨柱、核心筒内钢板剪力墙、四周巨型斜撑等,总用钢量约 15 万 t。这表明完全由我国自己来建造超高层钢结构是可以做到的。



a)效果图



b)内景图

图 1-7 2008 北京奥运会羽毛球馆



图 1-8 上海金茂大厦

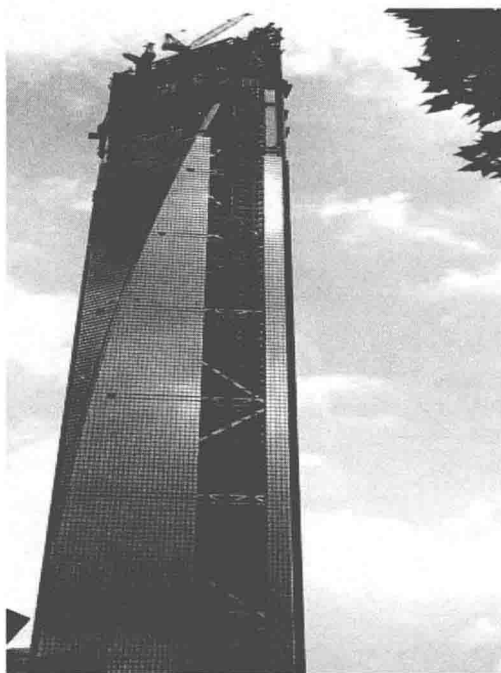


图 1-9 上海环球金融中心

(3) 钢-混凝土组合结构

钢材轻质高强使得钢结构构件的壁厚较小,导致结构的局部稳定性较差,而混凝土抗压能力强而抗拉效果差,将钢与混凝土两种材料组合起来形成的钢-混凝土组合结构,规避了两种材料的弱点,充分发挥各自的优点,从而可使得结构效能大为提高,如钢板混凝土组合楼板、钢-混凝土组合梁、型钢混凝土结构、钢管混凝土柱等。组合结构在我国许多高层建筑中已经得到了广泛应用,如深圳平安国际金融中心(图 1-10)、天津津塔(图 1-11)、北京国贸大厦(图 1-12)、广州周大福金融中心(图 1-13)等工程。



图 1-10 深圳平安国际金融中心(高 600m)



图 1-11 天津津塔(高 336.9m)

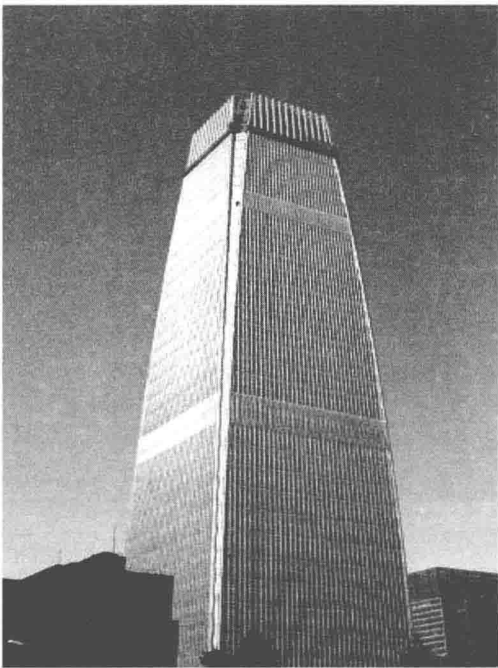


图 1-12 北京国贸大厦(高 330m)



图 1-13 广州周大福金融中心(广州东塔)(高 530m)

(4) 钢结构住宅

工业发达国家钢结构住宅所占建筑总面积的比例从 20 世纪 90 年代的 5% 发展到了现在的 25% 以上,日本等国家已达到 50% 以上。1996 年原建设部编制了《1996—2010 年建筑技术

政策》，提出合理使用钢材、发展钢结构制造和安装新技术等要求；2001 年年底发布了《钢结构住宅建筑产业化技术导则》，组织钢结构住宅建筑体系及关键技术研究课题，开展试点工程；2005 年颁布了《钢结构住宅国家标准图》；2009 年我国第一部《钢结构住宅设计与施工规程》颁布实施。系列政策、规范、指导文件的落地实施标志着我国的钢结构住宅将面临前所未有的发展新机遇。

钢结构住宅体系主要分为钢框架体系(图 1-14)、钢支撑框架体系、钢框架-混凝土剪力墙体系、错层桁架体系、巨型结构加子结构体系等。从构件的截面形式上可分为：热轧 H 形截面、焊接 H 形截面、焊接箱形截面、冷弯薄壁方钢管内灌混凝土、冷弯 C 形截面、圆钢管内灌混凝土等。我国在北京、天津、上海、山东莱芜、安徽马鞍山、广州、深圳等地开展中低层和高层钢结构试点工程，已经建成 300 万 ~ 500 万 m^2 住宅。如北京某青年公寓(图 1-15)建筑面积为 12 万 m^2 ，由 6 栋单身公寓和公共建筑组成，结构形式为混凝土核心筒加钢框架，梁柱构件采用热轧 H 型钢、楼板采用组合混凝土压型钢板、外墙采用粉煤灰砌块加气混凝土板、内墙采用防火石膏板加轻钢龙骨。此住宅楼的施工工期仅为 20d，为砖混结构的一半。

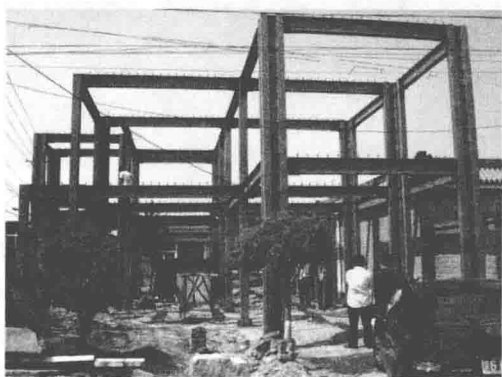


图 1-14 钢框架住宅体系



图 1-15 北京某青年公寓钢结构住宅

2) 工业建筑钢结构

当工业建筑的跨度和柱距较大，或者设有大吨位吊车，结构需承受大的动力荷载时，往往部分或全部采用钢结构(图 1-16)。为了缩短施工工期，尽快发挥投资效益，近年来我国的普通工业建筑也大量采用钢结构，一般工业建筑钢结构主要包括单层厂房、双层厂房、多层厂房等。对于起重量较大或工作较繁忙的重型生产车间一般采用承重钢骨架，如冶金工厂的平炉车间、初轧车间、混凝土炉车间，重型机械厂的铸钢车间、水压车间和锻压车间，造船厂的船体车间，电厂的锅炉框架，飞机制造厂的装配车间以及其他工厂跨度较大车间的屋架、吊车梁等。



图 1-16 轻钢结构厂房

3) 桥梁钢结构

桥梁是为道路跨越天然或人工障碍物而修建的建筑物。随着经济的快速发展，在市政建

设、过水桥、高速公路、高速铁路、跨海大桥等大型交通工程的桥梁建设中,采用钢结构作为建筑主体已日益普遍。钢结构桥梁一般由上部钢结构、下部钢结构和附属构造物组成。常见的钢结构桥梁包括钢梁桥、钢桁桥、钢拱桥、斜拉桥、悬索桥等。著名的杭州钱塘江大桥是我国最早自行设计的钢桥。此后的武汉长江大桥、南京长江大桥均为钢结构桥梁,其规模和难度都举世闻名。2009 年建成通车的朝天门长江大桥(图 1-17)主跨 552m,是世界上跨度最大的钢桁架拱桥。

近年来,伴随钢管混凝土组合结构的不断应用,受力形式以受压为主的钢管混凝土拱桥应用越来越广泛,世界第一座钢管混凝土拱桥是苏联跨越列宁格勒涅瓦河拱桥(跨度 101m),我国的第一座钢管混凝土拱桥是 1990 年建成的四川旺苍大桥(图 1-18),其后在不到 30 年的时间内陆续建成了 200 余座钢管混凝土拱桥。

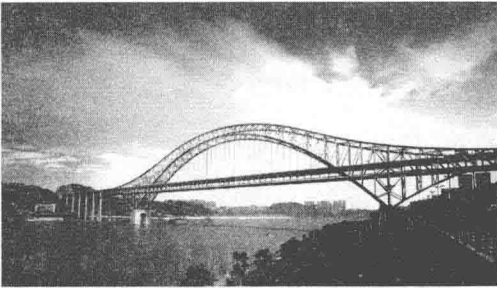


图 1-17 朝天门长江大桥(世界最大跨径钢桁架拱桥)



图 1-18 旺苍大桥(国内首座钢管混凝土拱桥)

此外,当陆地运输不甚繁忙,河流上有船舶航行而固定式桥梁不能建造在通航净空以上时,就需要建造开启桥,从而解决水陆交通。为了减轻开启结构的重量,开启桥大多采用钢结构,常用的开启桥有立转桥(图 1-19)、升降桥(图 1-20)和平转桥(图 1-21)三种。当桥梁位于繁华市区时,为了避免视觉上的单调性,桥梁除满足交通功能外还可挖掘其观光功能,如目前世界上唯一一座“功能和景观结合”的桥轮合一的天津慈海桥(图 1-22),集交通、商业、观光等功能于一体,为城市桥梁设计开辟了新的思路。该桥采用新型斜拉桥和摩天轮复合结构体系,主要由主桥、摩天轮和引桥等部分组成,摩天轮和主桥采用钢结构。

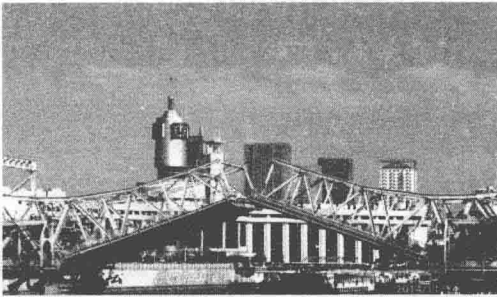


图 1-19 立转开启桥(天津解放桥)

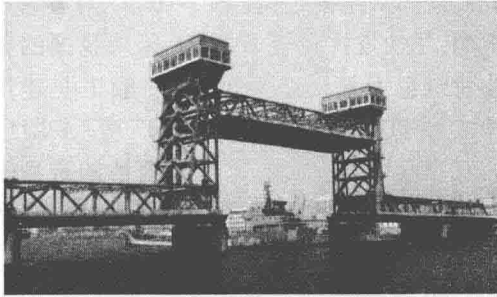


图 1-20 升降开启桥(天津海门大桥)

4) 高耸钢结构

高耸结构主要有塔架和桅杆等,它们的高度大,构件的横截面尺寸较小,风荷载和地震常常起主要作用,自重对结构的影响较大,常采用钢结构,如无线电桅杆、微波塔、广播和电视发射塔架、高压输电线路塔架、火箭发射塔等。典型高耸钢结构如图 1-23 ~ 图 1-25 所示。