



国家高校网络教育系列教材

(土木工程专业)

钢结构设计原理

沈之容 何敏娟 罗 烈 刘沈如 陈俊岭 编著

中国建筑工业出版社

2008 年同济大学继续与网络教育研究基金资助项目
国家高校网络教育系列教材（土木工程专业）

钢结构设计原理

沈之容 何敏娟 罗 烈 刘沈如 陈俊岭 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构设计原理/沈之容等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010. 8

国家高校网络教育系列教材. 土木工程专业
ISBN 978-7-112-12343-8

I. ①钢… II. ①沈… III. ①钢结构-结构设计-
高等学校: 远距离教育-教材 IV. ①TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 162312 号

本书根据《钢结构设计规范》(GB 50017—2003) 以及其他相关的技术规范和规程编写而成。作为高校网络教育教材, 它将钢结构设计原理及其应用紧密结合在一起, 全面系统地介绍了钢结构常用的设计原理, 重点对钢结构的应用进行了分析和探索。本书共分为八章, 主要包括钢结构特点与设计要求、钢结构的材料、钢结构构件、平台钢结构、轻型门式刚架、重型单层厂房钢结构、钢结构防护等。

本书可作为高校网络教育土木工程专业和其他相近专业的钢结构设计课程教材, 还可以作为广大建筑工程技术人员和工程管理人员的自学参考书。

责任编辑: 王 梅 杨 允

责任设计: 李志立

责任校对: 王金珠 陈晶晶

2008 年同济大学继续与网络教育研究基金资助项目

国家高校网络教育系列教材 (土木工程专业)

钢结构设计原理

沈之容 何敏娟 罗 烈 刘沈如 陈俊岭 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 28 $\frac{1}{4}$ 字数: 705 千字

2010 年 8 月第一版 2010 年 8 月第一次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-12343-8

(19616)

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)

前 言

1998年,教育部颁布了新的普通高等学校本科专业目录,将原来建筑工程、桥梁工程、地下建筑工程等8个专业合并为土木工程专业。为了适应专业整合后的培养目标,土木工程专业的钢结构课程分为基本原理和设计两大部分,教材也做了相应的调整。目前较难找到近年编写的整合基本原理和设计两部分内容的钢结构教材。

编写本教材的目的,是为了适合希望全面了解结构工程领域钢结构基本概念的读者群的学习需求,使读者通过本教材的学习能够比较完整地掌握一般钢结构工程的设计方法,而无需将钢结构原理和设计分成两部分来学习。

全书共八章,包括了钢结构材料、各种受力情况下的构件设计、连接、平台钢结构、厂房钢结构和钢结构防护等各方面的知识。内容编写原则是:阐明基本概念、重在知识的实践应用,主要章节后面均配备了思考题、习题,使学生通过举一反三,切实掌握计算、设计要领。此外,每章前面都概括说明了该章主要内容和学习重点,并可配合使用同济大学“钢结构”国家精品课程(网络)网站“<http://218.1.69.116:8087/>”或<http://www.tjee.cn/index.portal>进行课程学习,进一步增加学习的自主性、趣味性。

本教材可作为土木工程专业网络、夜大或函授学生的教材,也可作为全日制非土木工程专业学生的教材,还可作为从事钢结构设计、制作和施工技术人员自主学习的参考书籍。

本书由同济大学沈之容副教授主编,各章编写人员为:第一、二、八章由何敏娟教授编写;第三章由刘沈如讲师编写;第四章由罗烈副教授编写;第五、七章由沈之容副教授编写;第六章由陈俊岭讲师编写。全书由沈之容统一修订定稿。

在本书编写过程中受到多方面的帮助,成书过程中多位同济大学研究生先后参与了部分例题计算、图形绘制等工作,文中引用了有关资料,在此一并表示感谢。

限于作者水平,书中谬误之处在所难免,敬请读者指正。

编 者
2010年7月

目 录

第一章 钢结构特点与设计要求	1
学习指导	1
第一节 钢结构的应用	1
第二节 钢结构的特点	6
第三节 钢结构主要结构形式	8
第四节 钢结构可能的破坏形式	9
第五节 钢结构的设计要求	11
第二章 钢结构的材料	12
学习指导	12
第一节 钢结构对钢材基本性能的要求	12
第二节 影响钢材力学性能的因素	16
第三节 复杂应力状态	21
第四节 钢材的疲劳破坏	22
第五节 钢材的品种、规格和选用	24
思考题	27
习题	27
第三章 钢结构构件	28
第一节 轴心受拉构件	28
第二节 轴心受压构件	33
第三节 受弯构件	68
第四节 拉弯与压弯构件	102
习题	129
第四章 钢结构的连接	135
学习指导	135
第一节 钢结构的连接方法	135
第二节 焊接连接的特性	138
第三节 对接焊缝的构造和计算	149
第四节 角焊缝连接的构造和计算	156
第五节 普通螺栓连接的构造和计算	169
第六节 高强螺栓连接的构造和计算	184

思考题	191
习题	191
第五章 平台钢结构	198
学习指导	198
第一节 平台钢结构的形式与布置	198
第二节 平台铺板	199
第三节 平台梁	202
第四节 平台柱和柱间支撑	225
思考题	243
习题	243
第六章 轻型门式刚架钢结构	246
学习指导	246
第一节 门式刚架的组成与形式	246
第二节 围护结构设计	252
第三节 刚架设计	262
第四节 设计实例	271
思考题	280
习题	280
第七章 重型单层厂房钢结构	281
学习指导	281
第一节 结构体系和组成	281
第二节 柱网布置	285
第三节 厂房结构的横向框架	287
第四节 纵向框架	293
第五节 支撑体系	294
第六节 墙架体系	301
第七节 普通钢屋架设计	303
第八节 吊车梁	324
思考题	346
习题	346
第八章 钢结构防护	354
第一节 钢结构的防腐	354
第二节 钢结构的防火	355
附录 I 钢结构材料	357
附录 I-1 钢材的强度设计值	357
附录 I-2 钢铸件的强度设计值	357

附录 I-3	焊缝的强度设计值	358
附录 I-4	螺栓连接的强度设计值	358
附录 I-5	构件和连接分类	359
附录 II	板材、型钢、管材规格及截面特性	362
附录 II-1	钢板的规格及尺寸	362
附录 II-2	热轧扁钢的规格、重量	363
附录 II-3	热轧圆钢、方钢的规格及截面特性	364
附录 II-4	热轧无缝钢管的规格及截面特性	366
附录 II-5	电焊钢管的规格及截面特性	370
附录 II-6	热轧等边角钢的规格及截面特性	372
附录 II-7	热轧不等边角钢的规格及截面特性	375
附录 II-8	热轧普通工字钢的规格及截面特性	378
附录 II-9	热轧轻型工字钢的规格及截面特性	379
附录 II-10	热轧普通槽钢的规格及截面特性	380
附录 II-11	热轧轻型槽钢的规格及截面特性	381
附录 II-12	冷弯薄壁型钢的规格、尺寸及截面特性	382
附录 II-13	热轧 H 型钢的规格及截面特性	399
附录 II-14	热轧等边角钢的组合截面特性	402
附录 II-15	热轧不等边角钢（两短边相连）的组合截面特性	406
附录 II-16	热轧不等边角钢（两长边相连）的组合截面特性	410
附录 II-17	建筑用压型钢板型号及截面特性	414
附录 III	构件强度和稳定计算的相关参数或规范要求	420
附录 III-1	受拉构件的容许长细比	420
附录 III-2	受压构件的容许长细比	420
附录 III-3	轴心受压构件的截面分类	420
附录 III-4	轴心受压构件的稳定系数	422
附录 III-5	各种截面回转半径的近似值	425
附录 III-6	格构式压杆的换算长细比	427
附录 III-7	柱的计算长度系数	427
附录 III-8	单层厂房阶形柱计算长度系数及其折减系数	429
附录 III-9	截面塑性发展系数	435
附录 III-10	梁的整体稳定系数	436
附录 IV	Q235 钢、Q345 钢锚栓选用表	440
附录 V	构件及结构变形	442
附录 V-1	受弯构件的挠度容许值	442
附录 V-2	框架结构的水平位移容许值	443
参考文献		444

第一章 钢结构特点与设计要求

学习指导

钢结构因具有材料均质性好、各向同性、结构总重量轻、塑性韧性好等众多优点而大量应用于大跨度建筑、高层建筑和高耸构筑物中。尤其近 20 年来,随着我国钢材产量的不断增加、文化娱乐体育等公共设施的大量建设、钢结构设计建造能力的不断提升,钢结构建筑数量迅猛增长,结构形式更是变化多样。钢结构设计、施工和验收规范内容的不断丰富和完善,网架结构、高耸结构、冷弯薄壁型钢结构、高层钢结构、钢结构制作工艺、钢结构防火技术等各类钢结构相关技术规范规程的建立,使各种钢结构设计施工和验收有法可依、有据可查,钢结构建设更是如虎添翼、蓬勃发展。

本章主要内容和学习目标:

1. 钢结构的应用——了解目前钢结构的应用领域。
2. 钢结构的特点——了解钢结构的优缺点,以利于在应用钢结构时发挥其有利的特点,采取措施克服不利之处。
3. 钢结构主要结构形式——了解钢结构的结构形式,以利分析结构传力路径,判断结构安全性能。
4. 钢结构可能的破坏形式——了解钢结构主要破坏形式,尽最大可能避免脆性破坏。
5. 钢结构的设计要求——以灵活进行钢结构设计。

通过本章学习,了解钢结构的特点,熟悉钢结构可能发生的破坏形式,建立起既保证结构安全可靠,又节约材料、方便施工,且符合美观要求的钢结构设计思想。

第一节 钢结构的应用

20 年前钢结构还主要应用于数量不多的大跨度厂房、体育场馆和机场等的屋盖中,现在则已遍及建筑物的各类用途,厂房、仓库、体育场馆、会展中心、剧院、候机楼、电视塔、通信塔、输电塔等等,上述方面无一不是钢结构占主导地位,超高层的办公楼等也以钢结构为多。

一、厂房、仓库

以往钢结构厂房建筑一般只用于重型车间的承重构架,例如冶金工厂的平炉车间、重型机器厂的铸钢车间和锻压车间、造船厂的船台车间以及其他跨度较大车间的屋架、吊车梁等等,鞍钢、武钢、包钢和上海宝钢等几个著名的冶金联合企业的许多车间都采用了各种规模的钢结构厂房。而今,各种厂房、仓库绝大多数采用了钢结构,承重较大的梁柱尺寸较大,甚至采用格构柱、桁架梁;受力小些的则大量采用门式刚架、彩钢板围护结构体系,这种结

构材料用量少、建造速度快、造价低，广泛受到业主的青睐。屋面体系已普遍采用支撑、檩条、彩钢板结构体系。图 1-1 为承载较大的钢结构厂房和门式刚架钢结构的应用实例。



图 1-1 钢结构厂房或仓库结构
(a) 承载较大的钢结构；(b) 门式刚架钢结构

厂房、仓库的规模根据建筑用途确定。从结构上说，单跨跨度可达 30m 以上，规模较大时也可采用多跨门式刚架。有时厂房、仓库的高度达 10 多米，办公区域也可设置其中，往往在其端部建造。为充分利用空间，在端部的办公区域可建成 2 层或 3 层结构。

二、会议、会展场馆

会议、会展业也是近年来随着经济发展、文化生活水平提高而发展起来的一个产业。为了交流信息、成果，每年在各地召开许多确定主题的论坛、某一专业的研讨会等会议，如“可持续发展高峰论坛”、“结构抗震理论与技术研讨会”……；为推介产品、展示成果，还举办形式的展会，如“车展”、“房展”、“农产品展览会”、“纺织品展览会”……各种会议、展览的形式越来越多样，有实物展示、有图片展示、也有电子媒体展示等等，形式越来越新，对展示场馆的要求越来越高。为此，会展业迅速发展起来，各地都建起了建筑新颖、规模宏大的会展中心。因为场馆建筑外观的多样、复杂性，结构主体往往都是钢结构的。图 1-2、图 1-3 分别是上海国际会议中心和深圳会展中心。



图 1-2 上海国际会议中心

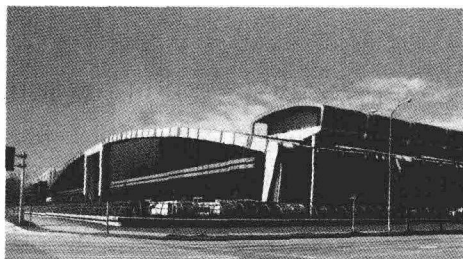


图 1-3 深圳会展中心

上海国际会议中心位于浦东，与著名的外滩建筑群隔江相望，并与东方明珠、金茂大厦等建筑一起组成陆家嘴地区一道著名的景观建筑群。总建筑面积达 11 万 m^2 ，北面的两个直径分别为 50m 和 37.5m 的球壳与三层高的建筑相衔接。两个球壳采用网壳结构，并在外表面饰以玻璃幕墙。

深圳会展中心地处城市中心区，占地 22 万 m^2 ，总建筑面积 28 万 m^2 ，东西长 540m，南北宽 282m。主体结构由钢格构柱和大悬挑桁架梁组成。

三、体育建筑

体育设施发展之初，一个市或县能建一个体育场或体育馆已是非常了不起的了。随着物质水平的提高、对体育运动的不断重视，体育场馆往往演绎为体育中心，除一般的体育场和体育馆外，还会有体操馆、游泳馆、篮球馆、乒乓球馆等特殊运动场馆。体育场馆建筑形式多样，结构形式丰富多彩。图 1-4 为国家体育场“鸟巢”结构。

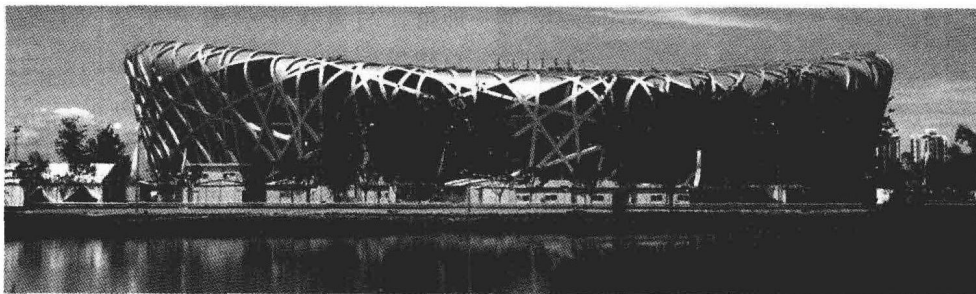


图 1-4 国家体育场“鸟巢”结构

国家体育场为 2008 年第 29 届奥林匹克运动会的主体育场。工程总占地面积 21hm^2 ，建筑面积 258000m^2 。工程主体建筑呈空间马鞍椭圆形，南北长 333m，东西宽 294m，高 69m。主体钢结构形成整体的巨型空间马鞍形钢桁架编织成“鸟巢”结构，钢结构总用钢量为 4.2 万 t。

四、机场

伴随着空中交通的发展，机场建筑的建设此起彼伏，同一地区的机场也不断扩建。如上海从开始的虹桥机场，增建到浦东机场，并从第一航站楼扩建到第二航站楼；快速发展的航空业又逼使虹桥机场再度扩建，如今建成了规模宏大的虹桥机场第二航站楼。图 1-5 为浦东国际机场第二航站楼结构。

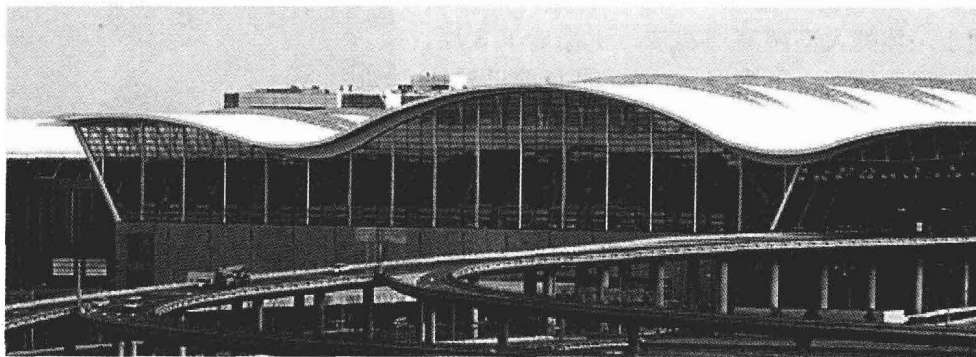


图 1-5 浦东国际机场第二航站楼结构

浦东机场第二航站楼由主楼、连廊、候机长廊组成。主楼长 414m，宽 138m，地下 1 层，地上 3 层；连廊长 306m，宽 60m，地上 7 层；候机廊长 1404m，宽 41m，地下 1 层，

地上 4 层。工程结构体量超大，上部钢结构约为 3 万 t。

五、剧院

近年来，剧院随着人民文化生活需求的提高而建设起来，有的更是成为城市标志性的大型公共文化设施。剧院建筑造型新颖、设备先进，是城市文化娱乐活动的中心。因剧院结构空间大、不能有视线遮拦的特点，主体结构一般都采用钢结构。

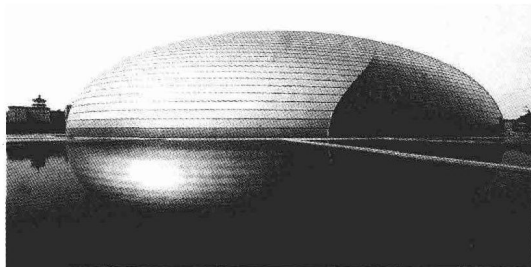


图 1-6 国家大剧院

国家大剧院（图 1-6）位于北京市心脏地带，与人民大会堂和天安门广场相邻，总建筑面积 21.75 万 m^2 。包括歌剧院、音乐厅、戏剧场三大专业剧场和一个试验小剧场，还设有水下长廊、展厅、图书资料中心、新闻发布厅等为丰富大众文化生活而创造的活动区域。大剧院中心建筑为半

椭球形钢结构壳体，长轴 212.2m，高 46.68m，地下最深处 32.50m，周长达 600 余米，整个壳体钢结构重量达 6475t。

六、高层建筑

钢结构应用于高层建筑在世界上已有百余年历史。首先采用钢结构建造高层的是美国，1885 年芝加哥建造了一幢 10 层、55m 高的保险公司大厦，1931 年高 381m、108 层位于美国纽约的帝国大厦的落成，使钢结构开始应用于超高层建筑领域。加拿大和日本也建造了大量的高层钢结构。我国随着钢产量的增加和建造技术的提高，也越来越多地建设高层钢结构。1996 年建成的 325m 高深圳地王大厦，是国内第一幢超高层钢结构大厦，之后在北京、上海等各大城市建成了大量的钢结构高层或超高层建筑。图 1-7 为建成的上海环球金融中心大厦、金茂大厦和在建的上海中心。

上海环球金融中心大厦（图 1-7 左）是一幢以办公为主，集商贸、宾馆、观光、展览及其他公共设施于一体的大型超高层建筑。主楼地下 3 层，地上 101 层，地面以上高度 492m，是目前已建成的世界上结构主体最高的建筑物。建筑平面为 $57.95\text{m} \times 57.95\text{m}$ 的正方形，大楼建筑面积为 252935m^2 ，裙房为 33370m^2 ，地下室为 63751m^2 ，合计约 35 万 m^2 。

上海中心（图 1-7 右）由地上 121 层主楼、5 层裙房和 5 层地下室组成，总高度达 632m，主楼高度达 580m，建筑面积约 57.6 万 m^2 。建筑外形呈螺旋式上升，建筑表面的开口由底部旋转贯穿至顶部，与金茂大厦（图 1-7 中）经典隽永的塔形和环球金融中心简洁明快的立体造型形成鲜明的



图 1-7 上海环球金融中心大厦、金茂大厦和上海中心

对比。

七、住宅

钢结构住宅在欧美已有几十年的历史,其抗震性能好、空间灵活可变、环保等优点得到充分认识。随着我国人民整体生活水平的提高,对住宅质量、品质的要求也不断提高;住宅产业化、绿色建筑、低碳建设等新概念,给钢结构住宅建设注入了新的活力。钢结构的工厂化生产减少了工地的湿作业,钢材可回收重复利用、施工速度快、噪声小、扬尘污染少,且户内有效使用面积大等优点,为砌体和混凝土等结构形式的住宅所无法比拟。图 1-8 为武汉世纪家园住宅小区高层钢结构住宅示范建筑。该小区建造了 11 栋 22~24 层的钢结构住宅。轻钢结构低密度住宅也在各地已有大量应用。

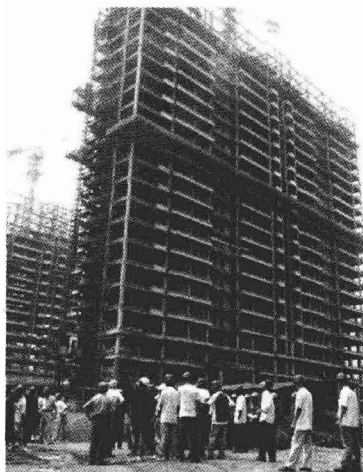


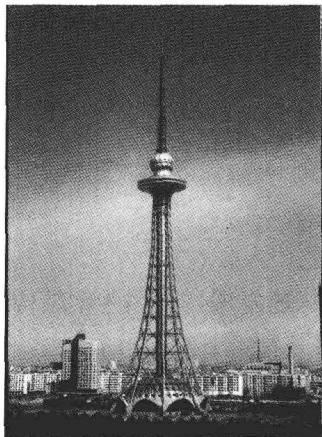
图 1-8 高层钢结构住宅

八、塔桅钢结构

塔桅结构是一种高宽比大、风荷载起控制作用的结构,因此往往用钢结构更为合适。塔桅结构包括广播电视塔、通信塔、微波塔、输电线路塔、环境监测塔、气象塔等等,有结构简单的构筑物,也有集广播电视、通信、观光旅游等于一体的多功能建筑,如黑龙江广播电视塔、河南省广播电视塔,均为高度超过 300m 的多功能广播电视塔。

图 1-9 (a) 所示黑龙江广播电视塔坐落在哈尔滨高新技术开发区,塔高 336m,2000 年建成时为亚洲第一高的钢塔。该塔集广播电视发射、旅游观光、广告传播、餐饮娱乐、科技乐园、无线通信、环境气象监测等多种综合性功能于一身,成为北国名城哈尔滨市乃至黑龙江省新的标志性景观建筑。

图 1-9 (b) 所示河南省广播电视塔总高 388m,结构体系由塔楼、天线、塔座和塔身



(a)



(b)

图 1-9 多功能广播电视塔
(a) 黑龙江塔; (b) 河南塔

四个部分组成。塔楼分 12 层、位于约 230m 标高处；塔顶部 125m 长构架用于挂置天线。位于塔底的塔座为 6 层钢框架结构。塔身内筒为正十边形的筒状空间桁架结构，外筒由 10 根按叶糖形异形钢管塔柱构成，5 根顺时针、5 根逆时针方向围绕内筒盘旋而上。

九、桥梁

随着城市建设的飞速发展以及钢结构桥梁在设计、施工等方面技术的日益进步，钢结构桥梁广泛用于铁路、公路及城市人行天桥等的建设中。城市高架桥中跨越交通要道处，钢结构桥梁不仅跨距大，且在施工中容易保证交通运行；桥梁需跨越较大的河道处，当跨度过大时，钢结构桥梁比混凝土结构更易实现；跨越已建高速公路、高架道路等时，为保障施工时的安全高效，采用钢结构可大大减少对已有道路交通的影响。

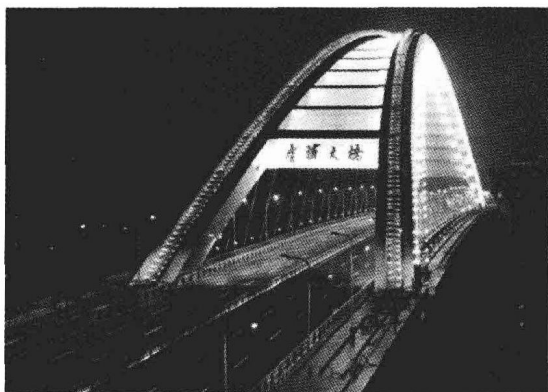


图 1-10 卢浦大桥

钢结构桥梁不仅跨距大，且在施工中容易保证交通运行；桥梁需跨越较大的河道处，当跨度过大时，钢结构桥梁比混凝土结构更易实现；跨越已建高速公路、高架道路等时，为保障施工时的安全高效，采用钢结构可大大减少对已有道路交通的影响。

图 1-10 所示上海卢浦大桥，主桥系超大跨度钢箱形梁拱桥，两边跨 100m，中间通航的主拱跨径为 550m、拱高 100m，是目前世界上最大跨径的钢箱拱桥。

十、储罐

焊接钢结构因密闭性能好而可用于要求密闭的容器、储罐，如大型储液库、煤气库、能承受很大内力并有温度急剧变化的高炉结构、大直径高压输油管和煤气管道等。上海在 1958 年就建成容积为 54000m^3 的湿式储气柜。

十一、其他构筑物

工厂设备支架、摩天轮、可拆卸的临时看台和活动房屋、各种起重机等，往往因结构规模大、高度高、要求拆卸等而采用钢结构。因此钢结构在其他构筑物中的应用极其广泛。

第二节 钢结构的特点

一、钢结构的优点

钢结构在工程中得到广泛应用，特别是近年来快速发展，是因为钢结构与其他结构相比有许多优点，主要表现在如下方面。

1. 材料强度高、结构重量轻

钢的密度虽然比较大，但是其强度却比其他材料高得多。钢材密度为 $7850\text{kg}/\text{m}^3$ ，最小抗拉强度设计值约为 $200\text{N}/\text{mm}^2$ ，因此密度/强度 ≈ 40 ；混凝土密度为 $2500\text{kg}/\text{m}^3$ ，可用的抗压设计强度约为 $10\text{N}/\text{mm}^2$ ，密度/强度 $=250$ ；木材密度近似为 $500\text{kg}/\text{m}^3$ ，顺纹抗压强度约 $10\text{N}/\text{mm}^2$ ，其密度/强度 $=50$ 。相比之下，钢材的密度与强度的比值较小。

在相同的荷载条件下,采用钢结构时,结构的自重常常较轻。如当跨度和荷载相同时,钢屋架的重量只有钢筋混凝土屋架重量的 $1/4 \sim 1/3$ 。有些大型结构中,采用钢结构时其主体结构的重量几乎与采用钢筋混凝土结构时其钢筋的重量相同,若采用薄壁型钢结构则结构重量更轻。

2. 塑性、韧性好

钢材塑性好,使得结构一般不会因为偶然超载或局部超载而突然断裂破坏。材料韧性好,则使钢结构对动力荷载的适应性较强。钢材的这些塑性、韧性性能,为钢结构的安全使用提供了充分的保证。

3. 材性均匀、近于各向同性

钢材材质均匀,近于各向同性,钢材拉伸试验体现出为较理想的弹性-塑性性质,符合作为计算基础的各向同性体、理想弹塑性的概念。因此,钢结构设计理论能较好地反映钢结构的实际工作性能,计算准确度高,结构可靠性强。

4. 工业化生产程度高,工期短

钢结构的制造虽然复杂,且生产工艺要求高,但制作时大量应用机械设备完成剪、冲、压、折、钻、刨、铲等加工过程,因此工业化生产程度很高,能批量生产,从而施工速度快且制造精度高。采用工厂制造、工地安装的钢结构施工方法,增加了工程施工的作业面,所以可缩短施工周期,降低造价,提高经济效益。

5. 有效使用空间大

同样规模的建筑,采用钢结构时的柱子截面可能要比钢筋混凝土结构小 50%,因此提高了建筑物的有效使用面积。据统计分析,一般钢结构建筑比钢筋混凝土建筑的有效使用面积大 5% 左右。

6. 运输安装方便

钢结构构件重量相对较轻,且相同构件可成捆包扎,因此运输比较方便。大构件在工厂制作时可拆分,到现场用螺栓连成整体。

7. 可拆卸、改造,建筑垃圾少,材料可重复利用

钢构件往往通过螺栓连接组成结构,因此可拆卸、易就地重装,如塔吊结构随着工程地点变化而反复使用。也有结构拆掉后,构件经重新设计加工用于其他结构,甚至构件无重新使用价值时还可重新熔化、再冶炼成钢,因此钢材具有重复使用、重新使用的特点,是一种绿色材料。由于钢材具有可融化、再冶炼的性能,钢结构拆除后建筑垃圾最少。

8. 密闭性好

由于焊接结构可做到完全密封,一些要求气密性和水密性好的高压容器、大型油库、煤气罐、管道等板壳结构都适宜采用钢结构。

9. 抗震性好

钢结构重量轻,地震作用小,具有很好的塑性、韧性,抗变形性能强、承受动力荷载的能力强,所以具有较好的抗震性能。

10. 具有一定的耐热性

温度在 250°C 以内,钢的性质变化很小,温度达到 300°C 以后,强度逐渐下降,达到 $450 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 时,强度为零。因此,钢结构有一定耐热性,但防火性能相对较差。

二、钢结构的缺点

钢结构虽然有以上优点且在建筑结构中大量使用,但也存在一些缺点,作为工程师应尽可能避免缺点,或采取措施克服缺点,从而使钢结构健康发展。钢结构的缺点主要体现在耐锈蚀性差和耐火性差两个方面。

1. 耐锈蚀性差,可通过采取防腐蚀方法解决

钢材在潮湿环境中,特别是处于有腐蚀介质的环境中容易锈蚀。可采取涂刷涂料、喷锌铝或热浸镀锌等进行防锈蚀,在使用期间应定期加强检修维护,避免因锈蚀而影响结构的安全使用。钢结构防腐方法较多,应根据工程功能、使用环境等选择合适的方法。

2. 耐火性差,可通过消防报警、喷淋、涂敷等办法解决

钢材耐热但不耐高温。随着温度的升高,强度有所降低,一般用于温度不高于 250°C 的场合。有特殊防火要求的建筑中,钢结构必须用耐火材料予以围护。特别对于高层钢结构,应根据建筑物重要性等级和防火规范加以特别处理。一旦发生火灾,结构温度达到 500°C 以上时,就可能全部瞬时崩溃。为了提高钢结构的耐火极限,通常可用混凝土或防火涂料把结构包裹起来。钢结构也可通过减小防火分区,设置消防报警、喷淋设备等来提高其防火性能。

随着我国钢铁产业的不断发展,钢材产量和质量持续提高,价格逐步稳定,钢结构的造价也逐渐与其他形式的结构持平,因此其优越性不断显现,在现代建筑结构设计中得到越来越多的应用。

第三节 钢结构主要结构形式

钢结构应用范围广泛。为了更好地发挥钢材的有利性能,有效承担外部荷载,不同的工程结构采用不同的结构形式。不同的分类方法,钢结构可分为不同的结构形式。在此按构件单元尺度和受力特点两种方法进行分类。

一、按构件单元尺度进行分类

按构件单元尺度,总体上说钢结构可分为杆系和板壳两种不同的类型。

1. 杆系

杆系是以长度显著大于横向尺寸的构件为基本单元的结构体系,如网架、门式刚架、多层框架等。

杆系中,按几何形体可分为平面杆系和空间杆系,如单层厂房中的一列柱子及其柱间支撑体系,抗侧力分析时即按平面杆系确定;而网架结构一般都是空间杆系。按受力性能可分为刚性杆系(既可受拉、也可受压)、柔性杆系(仅可受拉)和刚柔结合杆系(部分为刚性杆系、部分为柔性杆系)。按杆端连接形式可分为刚接杆系和铰接杆系。

2. 板壳类

板壳类是厚度显著小于其他两个方向尺度的结构体系,又可细分为板、壳、索膜。板:以受弯为主,为平面构件。壳:以切向受压为主,为空间构件;壳常常又分单层或双层筒壳,单层或双层球壳。索膜:仅切向受拉,亦为空间构件。

杆系与板系既相互联系又相互渗透。如：平面杆系、空间壳形成了单层网壳；空间杆系、平板形成了平板网架；空间杆系、空间壳形成了双层网壳，如图 1-11 所示的双层筒壳。

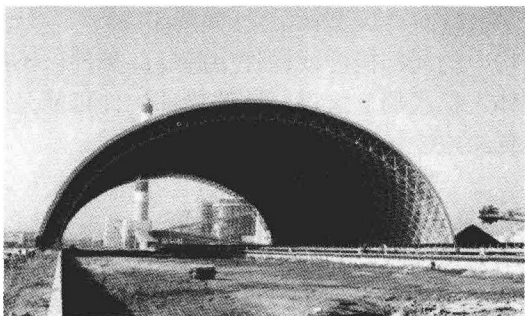


图 1-11 双层筒壳结构



图 1-12 索膜结构

二、按受力特点进行分类

按受力特点，钢结构可分为桁架、框架、悬索结构、杂交结构、张拉集成结构、索膜结构、拱或拱架。

桁架：有钢屋架、平板网架、网壳、空间桁架等。框架：有门式刚架、空间刚架、刚架-支撑结构、刚架-抗剪桁架、框筒、筒中筒、巨型框架等。悬索结构：一般分为马鞍形和圆形。杂交结构：指不同结构形式组合在一起的结构，如拱和索的组合，网架和索的组合。张拉集成结构：是一种主要用拉索通过预应力张拉与少量压杆组成的结构，这种结构可以跨越很大的空间，是目前空间结构中跨度最大的结构，具有极佳的经济指标。索膜结构：由索和膜组成的结构，具有自重轻、体形灵活多样的特点，适用于大跨度公共建筑，如图 1-12 所示。拱或拱架：平面或空间结构，呈拱形，切向承受压力。

钢结构也可根据用途进行分类：单层厂房、大跨度结构、多高层建筑，每一类又可按构件单元尺度或受力特点进行分类，等等，在此不再赘述。

第四节 钢结构可能的破坏形式

钢结构可能发生的破坏形式有结构的整体失稳、结构和构件的局部失稳、结构的塑性破坏和脆性断裂、结构的疲劳破坏和结构的累积损伤破坏。只有对钢结构可能发生的破坏形式有十分清楚的了解，才能采取合适有效的措施来防止任何一种破坏形式的发生。

一、结构的整体失稳

结构的整体失稳为结构所承受的外荷载尚未达到按强度计算得到的结构破坏荷载时，结构已不能承担荷载，并产生较大变形，整个结构偏离原来的平衡位置而倒塌。钢结构在失稳过程中，变形迅速持续增长，结构在很短时间内破坏甚至倒塌。失稳是钢结构的主要破坏形式，不容忽视。

钢构件因截面形式不同、受力状态不同有不同的整体失稳形式，具体在后面章节中详细叙述。

二、结构和构件的局部失稳

结构或构件在保持整体稳定的条件下，结构中的局部构件或构件中的局部板件已不能承受外荷载的作用而失去稳定，这为构件的整体失稳或局部失稳。这些局部构件可能是受压柱或受弯梁；构件中的局部板件可以是受压翼缘或受压腹板。

三、结构的塑性破坏和脆性断裂

结构在不发生整体失稳和局部失稳的条件下，内力将随荷载的增加而增加，当构件截面上的内力达到截面的承载力并使结构形成机构时，结构就丧失了承载力而破坏。这类破坏称为结构的强度破坏。在杆系结构中，结构的强度破坏都由受拉构件或受弯构件的强度破坏所引起。受压构件一般不会发生强度破坏，往往失稳起控制作用。强度破坏有塑性破坏和脆性断裂之分。

钢材一般情况下有较好的塑性，发生的强度破坏为塑性破坏。受拉构件强度破坏一般经历：截面中的拉应力达到材料的屈服点，受拉构件进入塑性变形、出现明显的伸长，材料进入强化阶段、构件截面上的拉应力继续增加，当拉应力达到材料的抗拉强度后受拉构件被拉断。受弯构件的强度破坏经历：截面边缘纤维应力达到材料的屈服点，截面进入弹塑性阶段、逐步形成塑性铰，塑性铰发生塑性转动、结构内力重分布、其他截面相继出现塑性铰，结构转变成机构、失去承载力而破坏。上述的受拉构件、受弯构件的强度破坏过程较长，出现明显的伸长、变形，即破坏前有预兆，因此很容易被察觉并采取措施加以避免。

如果某一种钢材的塑性性能很差，那么它破坏前没有明显的变形，是一种突然性的断裂，这种破坏体现为脆性特征，应严格限制。没有先兆的破坏，往往带来较大的损失。

四、结构的疲劳破坏

钢结构或钢构件在连续反复荷载作用下产生的破坏称为疲劳破坏。发生疲劳破坏的荷载值都低于屈服强度，但连续反复次数较多。钢结构和钢构件由于制造或构造上的原因总会存在缺陷，这些缺陷就成为疲劳断裂时裂缝的起源。钢结构或钢构件的疲劳破坏就是裂纹的扩展和最后断裂。裂纹的扩展是十分缓慢的，而断裂是在裂纹扩展到一定尺寸时的瞬间完成的。疲劳破坏是一种脆性破坏，破坏前没有明显的变形，没有预兆。

影响疲劳强度的因素很多，也很复杂，主要原因为应力集中。

五、结构的累积损伤破坏

累积损伤是结构受到强力作用（如冲击、地震、强风等）而损伤，在损伤条件下继续工作，随着时间增长，损伤不断累积而导致的结构破坏。钢结构或钢构件在反复荷载作用下，反复次数并不多的情况下发生的破坏是累积损伤破坏。不同于前述结构疲劳破坏的是，反复作用的荷载值较大，高于屈服强度；因为荷载值较大，因此反复作用次数不很多