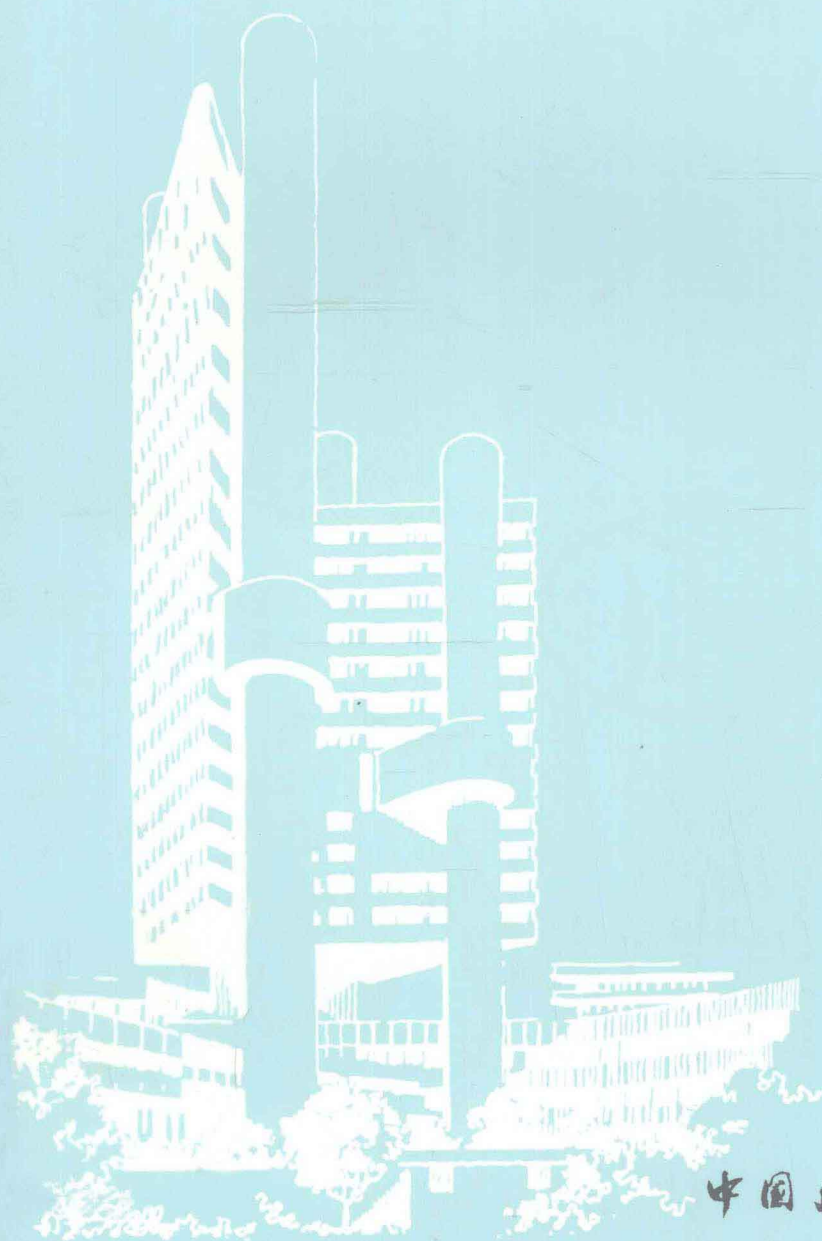


高职高专建筑工程专业系列教材

钢结构

(第四版)

刘声扬 主编



中国建筑工业出版社

高职高专建筑工程专业系列教材

钢 结 构

(第 四 版)

刘声扬 主编

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构/刘声扬主编. —4 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004

(高职高专建筑工程专业系列教材)

ISBN 7-112-06589-5

I. 钢… II. 刘… III. 钢结构-高等学校: 技术学校-教材 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 048694 号

高职高专建筑工程专业系列教材

钢 结 构

(第四版)

刘声扬 主编

*

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

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21³/₄ 插页: 1 字数: 528 千字

2004 年 8 月第四版 2006 年 6 月第十二次印刷

印数: 45201—51200 册 定价: 28.00 元

ISBN 7-112-06589-5

TU·5760 (12543)

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>

本书系根据高等专科及高等职业技术学院房屋建筑工程专业《钢结构》课程要求编写的教材，按我国现行的《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和《钢结构施工质量验收规范》(GB 50205—2001)编写。全书内容包括绪论，钢结构的材料，钢结构的设计方法，钢结构的连接，受弯构件，轴心受力构件和拉弯、压弯构件，屋盖结构，(轻钢)门式刚架和平板网架以及钢结构的制造、安装和质量控制等。

本书除作为高等专科及高等职业技术学院房屋建筑工程专业教材外，还可作为土建类非房屋建筑工程专业的本、专科教材，以及土建工程技术人员参考书。

* * *

责任编辑：朱首明 刘平平

责任设计：崔兰萍

责任校对：王金珠

前 言

本书自 1988 年在武汉工业大学（现武汉理工大学）出版社初版以来，本版已是第四版，总印数也逾 20 万册。

与时俱进，与钢结构的发展同步，将钢结构的最新内容纳入教材，是本书一再修订的宗旨。进入新世纪以来，国内外在钢结构的理论和实践上又有了长足的进步，尤其是我国，许多有关钢结构的设计、施工规范和规程的修订，材料标准的更新，高强度钢材和高效钢材的应用，新结构的采用，施工技术的革新，…，凡此等等，都促使本书有必要再次修订，以飨读者。

本版仍贯彻本书初版“少而精”的原则，立足于学以致用，但对必要的基本理论、设计方法和核心内容作一定深度的阐述，以使读者通过对本书的学习，在使用国家规范、标准和今后的实际工作中能掌握要领，心中有数。

本版除对原绪论、钢结构的材料、钢结构的设计方法、钢结构的连接、受弯构件、轴心受力构件和拉弯、压弯构件及屋盖结构等章内容作了不同程度的修改外，另外还新增了（轻钢）门式刚架和平板网架以及钢结构的制作、安装和质量控制两章，俾使读者对我国目前大量建造的（轻钢）门式刚架和平板网架这两种形式的钢结构有所了解。学习钢结构的制作、安装工艺和质量控制等内容，则可从理论到实践，全面掌握钢结构这门专业知识。

本版参照引用的有关设计和施工的规范、规程、标准等均截至 2003 年底以前出版的最新版。钢结构工程的施工质量控制则参照 ISO 9000—2000 质量管理体系内容。

本版仍保持例题较多和每章均附有小结、思考题和习题的特点，以利于读者归纳复习和组织课堂讨论。书中编印的计算图表和附录，可满足一般设计和应用的需要。

为了更好地配合本书学习，对书中某些理论和设计方法加深理解，掌握设计规范条文的背景，读者宜参阅《钢结构疑难释义——附解题指导》第三版（刘声扬编著，中国建筑工业出版社，2004）一书。该书对本书各章节的重点、难点、思考题和易忽略处及学习方法均结合教学、设计和施工作了进一步的阐述（本书在有关内容处作了页末注），对习题则采用边解边议形式指出解题思路和每一步骤须注意问题。另外，作为补充内容，该书还可和本书一起作为本科教材。

参加本书编写的人员有：武汉理工大学刘声扬（第一、六、七章），武汉科技大学田野（第二章），文征靖（第三、五章），睢杰（第四章），刘红（第八、九章）。全书由刘声扬主编。

西安建筑科技大学陈绍蕃教授和湖南大学王世纪教授曾对本书提了大量建设性意见，对本书的奠基作了很大的贡献，在此谨致谢忱。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 我国钢结构概况	1
第二节 钢结构的特点和应用范围	4
第三节 钢结构的发展	5
第四节 《钢结构》课程的主要内容、特点和学习方法	9
小 结	9
思考题	9
第二章 钢结构的材料	10
第一节 钢材的塑性破坏和脆性破坏	10
第二节 钢材的机械性能	10
第三节 影响钢材机械性能的因素	13
第四节 钢和钢材的种类及选用	19
小 结	25
思考题	26
第三章 钢结构的设计方法	27
第一节 概述	27
第二节 概率极限状态设计法	28
第三节 钢材的疲劳	33
小 结	37
思考题	38
第四章 钢结构的连接	39
第一节 钢结构的连接方法及其应用	39
第二节 焊接方法、焊缝形式和质量等级	41
第三节 对接焊缝的构造和计算	47
第四节 角焊缝的构造和计算	52
第五节 焊接残余应力和残余变形	64
第六节 普通螺栓连接的构造和计算	68
第七节 高强度螺栓连接的构造和计算	82
小 结	90
思考题	91
习 题	92
第五章 受弯构件	95
第一节 受弯构件的类型和应用	95
第二节 梁的强度	96
第三节 梁的刚度	99
第四节 梁的整体稳定	101

第五节	型钢梁设计	109
第六节	组合梁设计	114
第七节	梁的局部稳定和腹板加劲肋设计	122
第八节	考虑腹板屈曲后强度时梁的设计	140
第九节	梁的拼接	148
第十节	主次梁的连接	149
第十一节	吊车梁	151
小 结	.....	156
思考题	.....	157
习 题	.....	158
第六章	轴心受力构件和拉弯、压弯构件	159
第一节	轴心受力构件和拉弯、压弯构件的类型	159
第二节	轴心受拉构件和轴心受压构件的强度和刚度	161
第三节	轴心受压构件的整体稳定	162
第四节	实腹式轴心受压构件的局部稳定	178
第五节	实腹式轴心受压构件的截面设计	181
第六节	格构式轴心受压构件的设计	186
第七节	拉弯、压弯构件的强度和刚度	194
第八节	实腹式压弯构件的整体稳定	199
第九节	实腹式压弯构件的局部稳定	204
第十节	压弯构件的计算长度	206
第十一节	实腹式压弯构件的截面设计	210
第十二节	格构式压弯构件的截面设计	214
第十三节	梁与柱的连接	218
第十四节	柱脚	221
小 结	.....	227
思考题	.....	229
习 题	.....	229
第七章	屋盖结构	232
第一节	屋盖结构的组成和形式	232
第二节	檩条、拉条和撑杆	233
第三节	屋盖支撑	235
第四节	屋架	240
第五节	普通钢屋架设计实例	258
小 结	.....	272
思考题	.....	272
课程设计任务书	.....	272
第八章	(轻钢) 门式刚架和平板网架	274
第一节	概述	274
第二节	(轻钢) 门式刚架设计	276
第三节	平板网架设计	288
小 结	.....	300

思考题	300
第九章 钢结构的制作、安装和质量控制	301
第一节 钢结构的制作	301
第二节 钢结构的安装	308
第三节 钢结构工程的施工质量控制	314
小 结	317
思考题	318
附录	319
附表 1 轴心受压构件的稳定系数	319
附表 2 柱的计算长度系数	321
附表 3 疲劳计算的构件和连接分类	322
附表 4 热轧 H 型钢规格及截面特性	325
附表 5 剖分 T 型钢规格及截面特性	328
附表 6 热轧普通工字钢截面特性	330
附表 7 热轧普通槽钢截面特性	331
附表 8 热轧等边角钢截面特性	332
附表 9 热轧不等边角钢截面特性	335
附表 10 各种截面回转半径的近似值	338
附表 11 锚栓规格	339
附表 12 螺栓的有效截面面积	339
参考文献	340

第一章 绪 论

第一节 我国钢结构概况

钢结构的应用在我国已有悠久的历史。据历史记载，远在汉明帝（公元 60 年前后）时，为了和西域通商和进行宗教、文化交流，在我国西南地区交通要道的深山峡谷上建造了铁链桥。兰津桥是铁链桥中最早的一座，它约建于公元 58 ~ 75 年，比欧洲最早的铁链桥早 70 余年。其后以明代建造的云南沅江桥、清代建造的贵州盘江桥和四川泸定大渡河桥最著名。大渡河桥建于清康熙四十四年（1705 年），全桥由 9 根桥面铁链（上铺木板）和 4 根扶手铁链组成，净长 100m，宽 2.8m，可通行两辆马车。铁链锚固在直径 20cm、长 4m 的铸铁锚桩上。

铁塔是我国古代的一种宗教建筑。如现存的建于宋代的湖北荆州玉泉寺 13 层铁塔，以及山东济宁铁塔寺铁塔和江苏镇江甘露寺铁塔等，都以其建筑造型和冶金技术的高超水平，表明了我国古代在金属结构方面的卓越成就。

近百余年来，随着欧洲产业革命的兴起，钢结构在欧美各国的工业与民用建筑中得到广泛应用，其规模和数量已远超过人类数千年的历史记载。但我国在解放前却发展很缓慢，其间虽也建造了为数不多的高层建筑（上海的国际饭店、永安公司、上海大厦等）以及铁路桥和公路桥，然而主要是由外商承包设计和施工。同一时期，我国钢结构工作者也建造了一些建筑物，其中有代表性的如 1931 年建成的广州中山纪念堂、1934 年建成的上海体育馆（三铰拱，跨度 42.6m）和 1937 年建成的杭州钱塘江大桥等。

解放后，我国的冶金工业和钢结构的设计、制造及安装水平有了很大提高，发展十分迅速。1957 年建成的武汉长江大桥，正桥三联九孔，每孔跨度 128m，全长 1155.5m。同时我国还扩建了鞍山钢铁公司，新建了武汉钢铁公司和包头钢铁公司以及其他重工业厂房，如长春第一汽车制造厂、富拉尔基重型机器制造厂、洛阳拖拉机厂等，都大量应用了钢结构。在公用建筑中，有北京的人民大会堂钢屋架（跨度 60.9m、高 7m）、工人体育馆的车辐式悬索屋顶结构（直径 94m）等。所有这些，都标志着我国钢结构迈入到一个新的发展阶段。在 20 世纪 70 年代后期至 80 年代，随着我国经济建设形势的好转，钢产量逐年稳步增长，钢结构也得到了广泛应用。在此期间先后建成的武汉钢铁公司一米七热轧薄板和冷轧薄板厂及上海宝山钢铁总厂第一、二期工程，其钢结构用量都以 10 万 t 计。另外还有铁路及公路两用的九江长江大桥（最大跨度 216m）。其他还有石油化工厂、发电厂、造船厂和塔桅结构等，都大量应用了钢结构。

自 20 世纪 90 年代以来，我国钢结构更是进入了一个蓬勃发展时期，不但在几个特大型钢铁联合企业（如鞍山、武汉、包头、宝山、攀枝花等钢铁公司）得到上百万吨的应用，而且又相继新建了一批特大跨度的桥梁，如西陵长江大桥（单跨跨度 900m）、江阴长江大桥（单跨跨度 1385m）、芜湖公铁两用长江大桥（中跨跨度 312m）等，而更大跨度的

公铁两用桥——武汉天兴洲长江大桥（主跨为 480m 双塔钢桁梁斜拉桥）也已动工兴建。在超高层建筑领域，继首批建成的深圳发展中心（地上 48 层，地下 2 层，高 153.98m）和北京京广中心（地上 57 层，地下 3 层，高 208m）后，又相继建成了 10 余幢，其中尤以 1996 年建成的深圳地王商业中心（地上 78 层，地下 3 层，高 342.95m，加桅杆总高 383.95m，钢结构重 24500t，高强度螺栓 50 万个，焊缝长 60 万 m）和 1999 年建成的上海金茂大厦（88 层，高 420.5m），规模宏大，而且矗立其旁更高的上海环球金融中心（101 层，高 492m）也已动工，近年即将建成。另外在大跨度建筑方面也取得了很大成绩，如天津体育馆网架（跨度 108m，挑檐 13.5m），长春体育馆网架（120m × 166m）。在轻型结构方面，如彩色拱形波纹屋面也得到很大应用，最大跨度达到 36m。

图 1-1 ~ 图 1-5 所示为我国近年来新建的几个有代表性的钢结构建筑。图 1-1 为武钢第三炼钢厂房。图 1-2 国家大剧院网壳（212.24m × 143.64m，重 6750t）。图 1-3 为上海金茂大厦和上海环球金融中心。图 1-4 为酒泉神州飞船发射塔。图 1-5 为武昌客车技术整备所彩色拱形波纹屋面（跨度 27m，长 516m）。

我国在 1996 年钢产量就已超过 1 亿吨，进入新世纪后又超过了 2 亿吨，一直居世界首位。随着我国改革开放，经济建设形势蒸蒸日上，钢结构的发展前景必将是进一步得到广泛应用。同时，我国钢结构的科学技术也必将达到世界先进水平。*

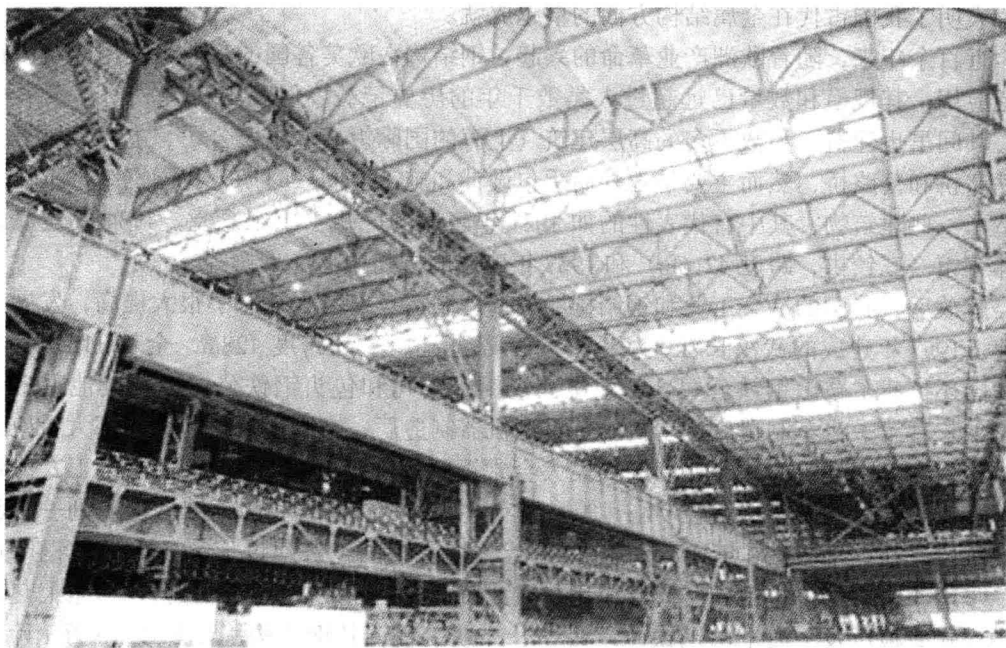


图 1-1 武钢三炼钢厂房

* 钢结构的应用状况和发展还可参阅《钢结构疑难释义——附解题指导》（刘声扬编著。中国建筑工业出版社出版，2004）节 1.1。本书以下对该书简称《疑难释义》。

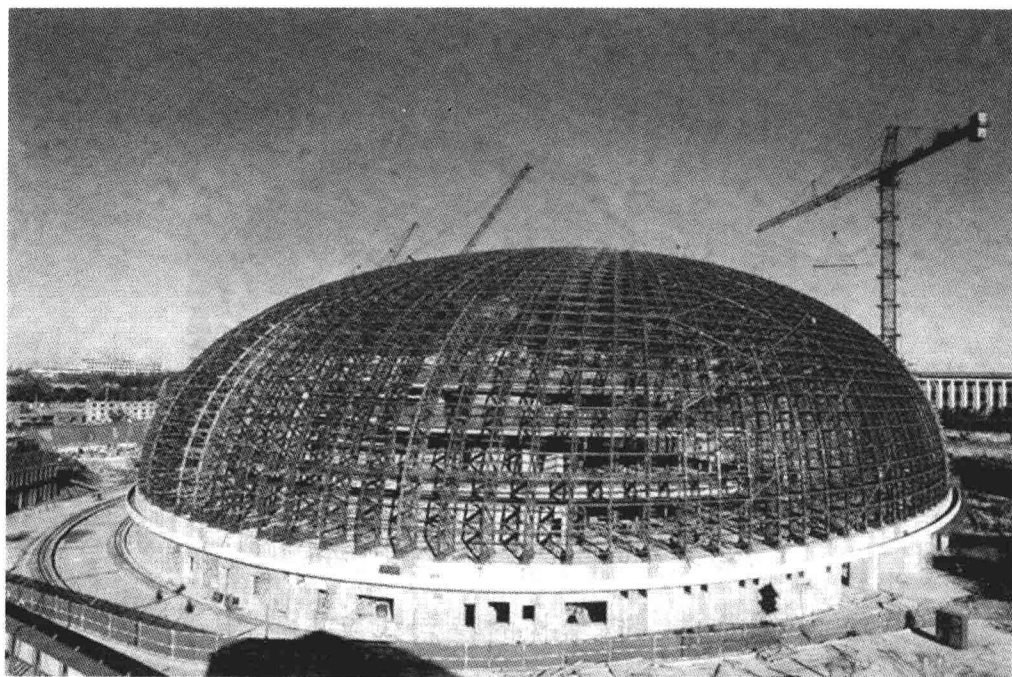


图 1-2 国家大剧院网壳

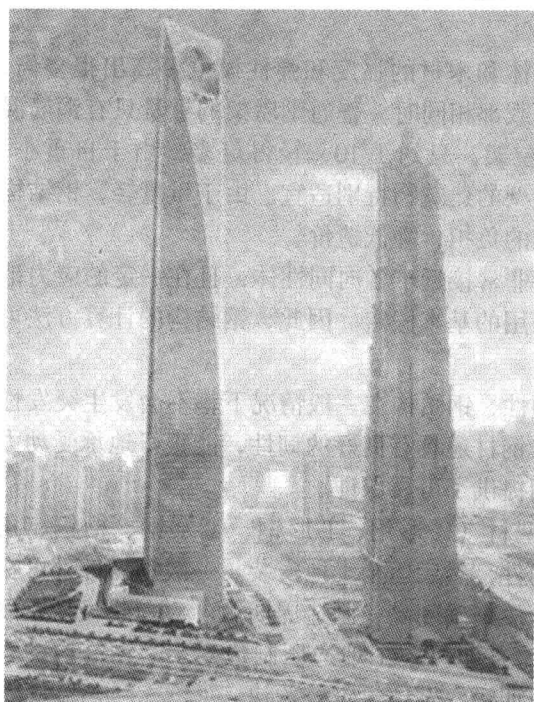


图 1-3 上海金茂大厦（右）和
上海环球金融中心（左）

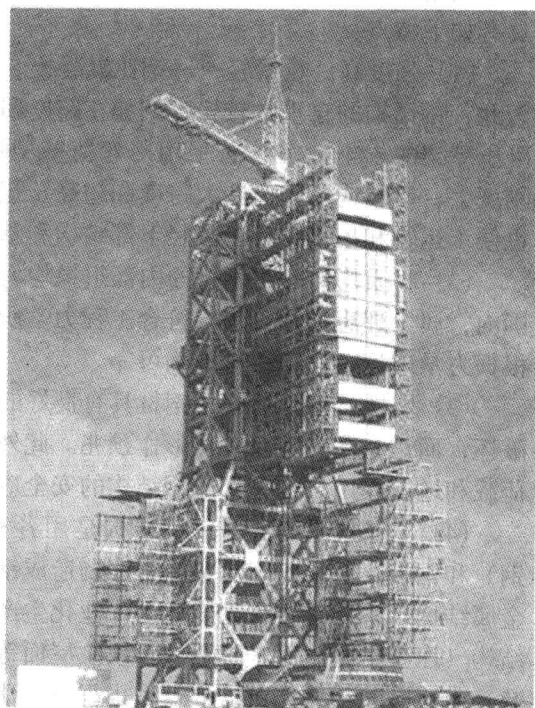


图 1-4 酒泉神州飞船发射塔

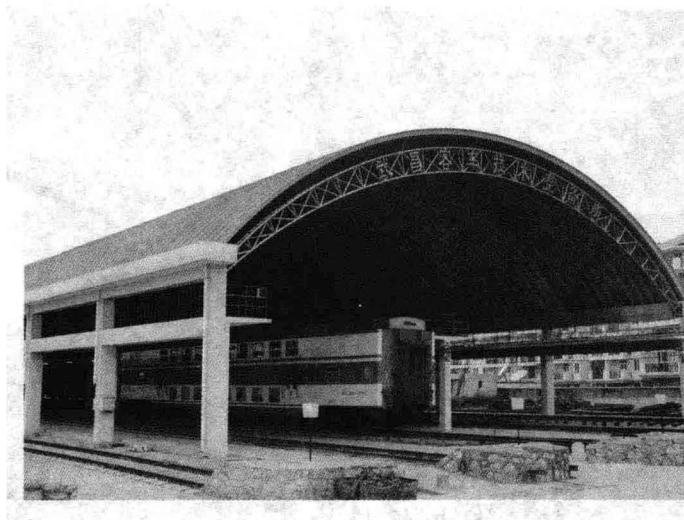


图 1-5 武昌客车技术整备所彩色拱形波纹屋面

第二节 钢结构的特点和应用范围

一、钢结构的特点

钢结构是以钢材（钢板和型钢等）为主制作的结构，和其他材料的结构相比，钢结构具有如下特点：

（1）强度高、重量轻——钢比混凝土、砌体和木材的强度和弹性模量要高出很多倍，因此，钢结构的自重常较轻。例如在跨度和荷载都相同时，普通钢屋架的重量只有钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$ ，若采用冷弯薄壁型钢屋架，只约 $1/10$ ，轻得更多。由于自重小、刚度大，钢结构用于建造大跨度和超高、超重型的建筑物特别适宜。由于重量轻，钢结构也便于运输和吊装，且可减轻下部结构和基础的负担，降低造价。

（2）材质均匀——钢材的内部组织均匀，非常接近于各向同性体，且在一定的应力范围内，属于理想弹性工作，符合工程力学所采用的基本假定。因此，钢结构的计算方法可根据力学理论，计算结果准确可靠。

（3）塑性、韧性好——钢材具有良好的塑性，钢结构在一般情况下，不会发生突发性破坏，而是在事先有较大变形作预兆。此外，钢材还具有良好的韧性，能很好地承受动力荷载和地震作用。这些都为钢结构的安全应用提供了可靠保证。

（4）工业化程度高——钢结构是用各种型材（H 型钢、T 型钢、工字钢、槽钢、角钢）和钢板，经切割、焊接等工序制造成钢构件，然后运至工地安装。一般钢构件都可在金属结构厂采用机械化程度高的专业化生产，故精确度高，制造周期短。对一些轻型屋面结构（压型钢板屋面、彩板拱形波纹屋面等），甚至可在工地边压制边安装。钢结构的安装，由于是装配化作业，故效率也很高，建造期短，发挥投资效益快。

（5）拆迁方便——钢结构由于强度高，故适宜于建造重量轻、连接简便的可拆迁结构。对已经使用的钢结构，也便于加固、改建，甚至拆迁。

（6）密闭性好——焊接的钢结构可以做到完全密闭，因此适宜于建造要求气密性和水

密性好的气罐、油罐和高压容器。

(7) 耐腐蚀性差——一般钢材较易锈蚀、特别是在湿度大和有侵蚀性介质的环境中更甚，因此须采取除锈、刷油漆等防护措施，而且还须定期维修，需要一定的维护费用。在必要时，可采用具有防锈性能的耐候钢（见第二章）。

(8) 耐火性差——当辐射热温度低于 100°C 时，即使长期作用，钢材的主要性能变化很小，其屈服点和弹性模量均降低不多，因此其耐热性能较好。但当温度超过 250°C 时，其材质变化较大，故当结构表面长期受辐射热达 150°C 以上或在短时间内可能受到火焰作用时，须采取隔热和防火措施。

二、钢结构的应用范围

钢结构的应用须根据钢结构的特点作出合理选择，大致有如下几个范围：

(1) 重型厂房结构：设有起重量较大的吊车或吊车运转繁重的车间，如冶金工厂的炼钢车间、轧钢车间，重型机械厂的铸钢车间、水压机车间，造船厂的船体车间等。

(2) 受振动荷载作用的厂房结构：设有较大锻锤或其他动力设备的厂房，以及对抗震性能要求较高的结构。

(3) 大跨结构：飞机制造厂的装配车间、飞机库、体育馆、大会堂、剧场、展览馆等，宜采用网架、拱架、悬索以及框架等结构体系。

(4) 多层、高层和超高层建筑：工业建筑中的多层框架和商贸中心、饭店等高层或超高层建筑，宜采用框架结构体系、框架支撑体系、框架剪力墙体系。

(5) 塔桅结构：电视塔、卫星发射塔、环境气象监测塔、无线电天线桅杆、输电线塔、钻井塔等。

(6) 板壳结构：高炉、热风炉、大型油库、气罐、煤气柜、煤气管、输油管、烟囱等。

(7) 桥梁结构：大跨度桥梁，尤其是铁路桥和公路铁路两用桥。

(8) 可拆卸、装配式房屋：商业、旅游业和建筑工地用活动房屋，多采用轻型钢结构，并用螺栓或扣件连接。

(9) 特种结构：水工闸门、锅炉骨架、起重机（桥式吊、塔吊、龙门吊、汽车吊等）、栈桥、管道支架井架、海上石油平台等。

(10) 轻（型）钢结构：轻工业厂房、仓库、体育场雨篷、住宅等，多采用冷弯薄壁型钢结构、门式刚架结构、钢管结构、压型钢板和彩板拱形波纹屋面等。

第三节 钢 结 构 的 发 展

随着我国经济建设的蓬勃发展，国家已取消以前限制使用钢结构的政策，钢结构的应用必将快速地发展。但就我国目前状况以及与国际钢结构水平比较，不论在使用数量上（仅 100 万 t/年，约占钢材总量的 1%），还是在技术上均有很大差距。为了实现《国家建筑钢结构产业“十五”计划和 2015 年发展规划纲要》中提出的分别达到占钢材总量 3% 和 6% 的目标，在今后一段时期还须在生产高效钢材、改进设计方法、完善结构形式、提高制造和安装工艺等方面不断进行努力。

一、研制高强度钢材

应用高强度钢材，对大（跨度）、高（耸）、重（型）的结构非常有利，如对超高层建

筑可有效地减轻结构自重。我国新颁行的《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)继原《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)* 所采用的 Q235、Q345 和 Q390 钢的基础上,又将 Q420 (屈服点 420N/mm^2) 钢列为推荐钢种,这使我国在钢结构用材的强度级别又有了提高,它也标志着我国近年来在建筑用低合金高强度结构钢冶炼技术的提高。但是,为了适应发展的需要,还须努力研制适合于钢结构用的新钢种,如日本现已大量采用屈服点为 490N/mm^2 和 590N/mm^2 的高强度钢,且更高强度的钢种也在积极开发应用。

二、推广应用高效钢材

(1) H 型钢、T 型钢 我国钢结构在 20 世纪一贯采用的型钢品种是普通工字钢、槽钢和角钢。由于其截面形式和尺寸的限制,故在应用时材料很难充分合理地发挥作用。但国外自 1970 年以来,就大量采用了 H 型钢和 T 型钢(图 1-6a、b)。由于其截面开展,可直接用来做梁、柱或屋架杆件等,使制造工作量减低 $15\% \sim 20\%$,工期缩短,经济效果显著。我国近年来在引进的上海宝山钢铁总厂的部分厂房和许多高层建筑中,就主要采用了这类型钢。现在,我国马鞍山钢铁公司、鞍山第一轧钢厂等已能批量生产,且其他具有较大规模的 H 型钢轧钢厂也在修建中,可以保证市场需求,但剖分 T 型钢生产仍有欠缺。

(2) 彩(色)涂(层)钢板、热镀锌或镀铝锌钢板 镀锌或镀铝锌钢板是在薄钢板(厚度 $0.3 \sim 2\text{mm}$,屈服点 $\geq 280\text{N/mm}^2$ 或 $\geq 345\text{N/mm}^2$) 表面热浸镀锌或镀铝锌而成,具有很好的耐腐蚀性能,而后者更甚于前者。彩涂钢板则是以镀锌(或镀铝锌)钢板作基板,再在其表面辊涂 1~2 层彩色聚脂类涂料,故其抗大气腐蚀性能更佳。再者,由于其厚度小,易于冷压成形,色彩鲜艳,故可将其冷压(轧)成各种波形的压型钢板(图 1-6c 和图 2-13),直接用作屋面板、墙板。还可由两层压型钢板在其间填充聚氨酯或岩棉做成夹心保温板(图 1-6d),不但重量轻(自重仅 0.1kN/m^2),外形美观,且施工简便。另外,将 $0.6 \sim 1.5\text{mm}$ 厚彩涂钢板先压成单个梯形或 U 形直槽板,再沿其槽向弯成拱形,然后一一拼接做成彩板拱形波纹屋面,是近年来应用彩涂钢板异军突起的一种轻形结构,它不需屋架、檩条等承重构件,甚至不须柱子而做成落地拱。其跨度一般为 $6 \sim 36\text{m}$,用钢量仅 $10 \sim 20\text{kg/m}^2$ 。

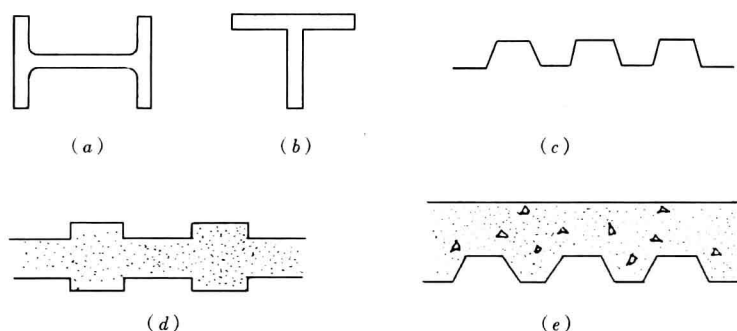


图 1-6 H 型钢、T 型钢和压型钢板

另外,用镀锌钢板压制的压型钢板还可用于高层建筑的组合楼盖,即在其上浇灌混凝土(图 1-6e),此时它既可以代替模板同时又可起抗拉筋作用承受拉力。

* 本书以下对《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)简称“设计规范”。对原《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)则简称“原《设计规范》”。

我国现在采用彩涂钢板建造的房屋已达 200 万 m^2 /年（其中拱彩波纹屋面约 80 万 m^2 /年）规模，且还在增长。然而相比之下，我国有关的设计规范、彩涂钢板的标准还相对滞后，须进行修订完善，以便于设计应用。另外，对镀锌钢板也还要抓紧研制。

(3) 冷弯（薄壁）型钢 系用 1.5 ~ 5mm 薄钢板（或镀锌钢板、镀铝锌钢板）经冷轧（弯）形成各种截面形式的型钢（见图 2-12）。由于壁薄，故相对而言，其材料离形心轴较普通型钢远，因此能有效地利用，从而达到节约钢材的目的。如用冷弯型钢制造的屋架，其用钢量仅 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 左右，约可比热轧型钢制造的省 40%。将冷弯型钢用于建造住宅，亦是当前有待开发的轻钢结构。若使其达到产业化，造价降低，将使我国住宅建筑出现一个新面貌。

冷弯型钢的生产，近年来在我国已形成一定规模，产量超过了 100 万 t/年，壁厚亦达到 14mm（美国可冷弯 25.4mm，已超出薄壁范围的概念），这也为其应用创造了良好条件。但目前市场仍存在品种规格不齐，高强度低合金钢材质的产品亦有待改善，以利于应用。

(4) 耐候钢、耐火钢、Z 向钢 耐候钢（包括耐盐腐蚀钢）具有良好的抗腐蚀性能，可节约钢结构大量的涂装和维护费用。耐火钢则可改善普通钢材不耐高温的特性，保证结构的安全使用。我国目前对这两种钢材的开发已取得可喜成果。如武钢生产的 WGJ510C2（屈服点 $\geq 325\text{N}/\text{mm}^2$ ）耐火耐候建筑用钢，其耐候性能为普通钢材的 2 ~ 8 倍，耐火性能则达到保证在 600℃ 高温下的屈服点不低于室温时的 2/3（普通钢材在 600℃ 时强度接近于零）的建筑防火安全指标。Z 向钢是保证厚钢板在厚度方向具有抗层状撕裂能力，高层钢结构和海上石油平台一般都需要此项保证。Z 向钢对冶炼和轧制的质量控制远比普通钢材严格，前述 WGJ510C2 钢轧制的厚板具有良好的抗层状撕裂能力。

综上所述，我国对耐候、耐火建筑结构用钢已具有一定的生产能力，为高层钢结构钢材的国产化打下了基础。然而还有不足之处，今后还应研制强度更高、厚度更厚的钢材，以适应钢结构的发展（日本 HT780 钢，屈服点 $\geq 685\text{N}/\text{mm}^2$ ，最大厚度达 210mm）。

三、改进设计方法

经过我国钢结构工程技术人员多年来勤奋工作，新颁行的《设计规范》在原《设计规范》的基础上又作了较多改进。在设计方法上仍采用当前国际上结构设计最先进方法——以概率理论为基础的极限状态设计方法，但对各部分内容均作了不同程度的修改。如对轴心受压构件的稳定计算增加一条柱子曲线；对单轴对称截面绕对称轴失稳时改用换算长细比 λ_{yz} 代替 λ_y 以考虑弯扭屈曲；对承受静荷载的工字形截面组合梁，按考虑腹板屈曲后强度来计算梁的抗剪和抗弯承载力，即不再计算梁腹板的局部稳定等等。新《设计规范》的颁行，表明我国已能较好地掌握运用现代科技的测试和计算技术，使钢结构的计算方法反映结构的实际工作情况，从而能更合理地使用材料。然而，在某些问题上仍有待于进一步的改进和提高，如对设计方法，虽然改变了过去长期凭经验或半概率法确定的定值安全系数法，使计算方法由定性分析前进到以概率论和数理统计为基础制定的按结构可靠度的定量分析方法，将所计算的结构构件的可靠度达到预期的一致性和可比性，但它还只是构件或某一截面的可靠度。若要对结构体系的性能研究采用概率方法，则需要进行的研究工作更多。另外，对疲劳计算虽然用应力幅，但采用的是按容许应力幅，而未采用按极限状态计算，这亦有待于进一步研究。

四、采用新型结构

(1) 大跨度建筑 网架（网壳）结构近年来在我国已得到广泛应用，它能有效地跨越

较大空间。悬索结构在大跨度建筑中是一种造型美观，对建筑平面图形适应性强的结构形式，由于主要承重构件受拉，因此可最大限度地利用材料，用钢量很低（约 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以下，比网架结构降低 $60\% \sim 70\%$ ），但我国应用还较少。预应力钢结构是在结构体系中增加少量高强度钢材（钢丝束、钢绞线、钢丝绳或圆钢），并对其施加适当的预应力，从而增加结构的承载能力，故是大跨度结构节约钢材的一种有效方法。用其加强悬索结构，更具有明显的经济效果，还须作进一步的推广。大跨度建筑的最大跨度在我国虽已超过 100m ，但还须研制 150m 甚至 200m 超大跨度，以适应市场发展。

(2) 组合结构 将钢和混凝土组合起来共同受力并发挥各自的长处，可有效地节约材料。除前述的压型钢板组合楼盖外，目前推广应用的还有组合梁（图 1-7a）和钢管混凝土柱（图 1-7b）等。组合梁是用圆柱头焊钉、槽钢或弯起钢筋作抗剪连接件将钢梁和混凝土板连成一体共同受力。由于组合梁一般均在混凝土板和钢梁的连接部位局部加厚做成板托，因而其塑性中和轴常可位于混凝土翼板内，这样将使钢梁只受拉而混凝土板只受压，以充分发挥各自的特性，从而达到节约材料的目的。钢管混凝土柱是在钢管内浇灌混凝土的组合柱，由于柱中混凝土被钢管约束，能很好地共同工作，故其整体强度可大幅度提高，且具有良好的塑性和韧性，经济效果显著。

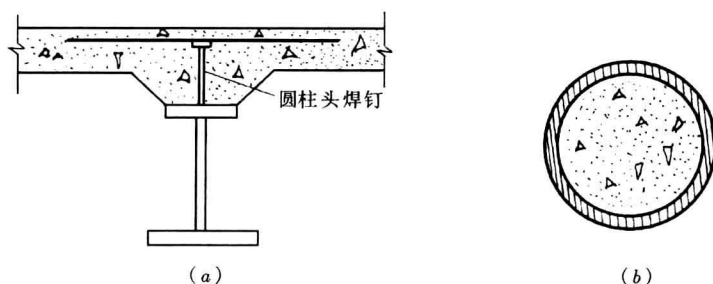


图 1-7 组合梁、钢管混凝土柱

(3) 轻钢结构 采用门式刚架形式的轻钢结构建造的轻工业厂房、超市等在我国已得到广泛应用，但仍待于定型化，并形成规模。轻钢结构住宅我国还处于起步阶段，应加大力度，尽快使其产业化，扩大规模。

五、应用优化原理

电子计算机的应用，已使确定优化的结构形式和优化的截面形式成为可能，从而取得极大的经济效果。例如用计算机解得吊车梁优化的截面尺寸可比过去的标准设计节省钢材 $5\% \sim 10\%$ 。对整体结构的优化设计今后还须作进一步研究。另外，计算机辅助设计和绘制钢结构施工详图（Auto CAD）亦应大力开发提高。

六、构件的定型化、系列化、产品化

从设计着手，结合制造工艺，将一些易于定型化、标准化的产品，如网架、平行弦人字形屋架等，使其杆件规格统一，便于互换和大量制造成系列化产品，以达到批量生产，降低造价。

第四节 《钢结构》课程的主要内容、特点和学习方法

一、《钢结构》课程的主要内容

《钢结构》课程的主要内容包括材料、连接（包括构件的连接）、基本构件（受弯构件、轴心受力构件和拉弯、压弯构件）和结构设计等部分。前面几部分内容是《钢结构》的基础，而结构设计部分则是它们的综合应用。

二、《钢结构》课程的特点

《钢结构》是一门理论性较强的课程，但其理论密切联系实践，须结合实验和工程检验才能完善和发展。《钢结构》还是一门很有生命力的课程，随着各种高效钢材和新型结构的开发，计算技术和试验手段的现代化，钢结构技术也在随着更新和发展，各种有关标准和规范也在不断修订改进，而《钢结构》课程的内容则相应不断更改完善，如本书已是第四版。

三、《钢结构》课程的学习方法

对《钢结构》课程的学习首先应将基本理论和基本概念放在重要位置，并要对材料、连接、基本构件和结构设计等内容，善于归纳、分析和比较，并不断加深理解。同时，还须联系工程实践，吸取感性知识。另外，在设计和做习题时，应条理清晰，步骤分明，计量单位采用得当，以避免计算中的遗漏和失误*。

小 结

(1) 钢结构具有强度高，自重轻，材质均匀，塑性、韧性好，施工速度快等优点。

(2) 钢结构最适合于大（跨度）、高（耸）、重（型）、动（力荷载）结构，但是随着我国工业生产和城市建设的高速发展，国民经济的不断提高，钢结构的应用范围也扩大到轻工业厂房和民用住宅等。

(3) 钢结构的发展关键是要节约钢材。要从生产高效钢材（高强度、新品种）、改进设计方法、完善结构形式、提高制造和安装工艺等方面不断进行研究。

(4) 钢结构是一门理论性较强但又密切联系实践的课程。学习时应掌握好基本理论，学好基本概念，并吸取感性知识，联系工程实践，总结经验。

思 考 题

1. 根据你所知道的钢结构工程，试述其特点。
2. 钢结构有哪些特点？结合这些特点，你认为应怎样选择其合理应用范围？
3. 高效钢材包括哪些种类？为什么钢结构的发展要对其进行研究？
4. 《钢结构》课程有哪些主要内容和特点？你准备怎样进行学习？

* 《钢结构》的主要内容、特点和学习方法还可参阅《疑难释义》节1.4。