




普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高等院校土建类专业新编系列教材

# 钢结构原理 与设计

(新1版)

西安建筑科技大学 王先铁 主 编

 武汉理工大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高等院校土建类专业新编系列教材

# 钢结构原理与设计

(新1版)

王先铁 主编

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

## 内容提要

本书共分为7章。第1章阐述了钢结构的类型、特点、应用范围和发展;着重讲解了钢结构的设计原理和方法,以及钢结构常用的规范、标准。第2章主要讲解钢结构对材料性能的要求,包括钢材的物理性能和加工性能;同时论述了化学成分、冶金缺陷、温度、疲劳以及应力集中等各种因素对钢材性能的影响;给出了钢结构用钢材的种类、常用规格及选用方法。第3章介绍了焊缝、普通螺栓、高强度螺栓连接的工作性能和计算方法。第4章介绍了轴心受力构件的强度、刚度;轴心受压构件的整体稳定、局部稳定及截面设计;同时讲解了梁柱铰接连接形式及柱脚设计。第5章介绍了受弯构件的强度、刚度、稳定计算及截面设计。第6章介绍了拉弯压弯构件的强度、刚度、整体稳定及局部稳定计算;给出了受弯构件和框架柱的计算长度。第7章介绍了典型的钢结构——门式刚架轻型结构的特点、应用情况、结构形式及门式刚架结构、构件、节点设计方法。

本书既可作为土木工程专业本科教材,也可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

钢结构原理与设计/王先铁主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2018.8  
ISBN 978-7-5629-5738-6

I. ① 钢… II. ① 王… III. ① 钢结构-理论 ② 钢结构-结构设计 IV. ① TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 181950 号

项目负责人:汪浪涛 高英

责任编辑:王一维

责任校对:刘凯

封面设计:林田

出版发行:武汉理工大学出版社

社址:武汉市洪山区珞狮路122号

邮编:430070

网址:<http://www.wutp.com.cn>

经销:各地新华书店

印刷:湖北丰盈印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:20.25

字数:426千字

版次:2018年8月第1版

印次:2018年8月第1次印刷

印数:1—3000册

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

## 新 1 版前言

鉴于近年来钢结构的迅速发展和《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB 51022—2015)等的修订颁布,本书 2009 年第 3 版已经不能适应当前的需要,为此,在已有钢结构教材的基础上编写了本书。

“钢结构原理与设计:是土木工程专业的主要专业基础课之一,是研究建筑钢结构基本工作性能的一门工程技术型课程。本课程是土木工程专业方向的必修课,课程教学的目的是使学生系统地学习钢结构的基本原理、基本知识、计算方法、结构特点、钢构件的稳定及典型钢结构形式的特点和设计方法。本书在阐述钢结构基本原理的同时,还注重了学生应用能力的培养。

本书共分为 7 章。第 1 章阐述了钢结构的类型、特点、应用范围和发展;着重讲解了钢结构的设计原理和方法,以及钢结构常用的规范、标准。第 2 章主要讲解钢结构对材料性能的要求,包括钢材的物理性能和加工性能;同时论述了化学成分、冶金缺陷、温度、疲劳以及应力集中等各种因素对钢材性能的影响;给出了钢结构用钢材的种类、常用规格及选用方法。第 3 章介绍了焊缝、普通螺栓、高强度螺栓连接的工作性能和计算方法。第 4 章介绍了轴心受力构件的强度、刚度;轴心受压构件的整体稳定、局部稳定及截面设计;同时讲解了梁柱铰连接形式及柱脚设计。第 5 章介绍了受弯构件的强度、刚度、稳定计算及截面设计。第 6 章介绍了拉弯压弯构件的强度、刚度、整体稳定及局部稳定计算;给出了受弯构件和框架柱的计算长度。第 7 章介绍了典型的钢结构——门式刚架轻型结构的特点、应用情况、结构形式及门式刚架结构、构件、节点设计方法。

本书第 1、2、5 章(第 1 版)由周绥平编写,第 3 章(第 1 版)由魏瑞演编写,第 4、6 章(第 1 版)由窦立军编写,第 7 章(第 2 版)由舒兴平编写。第 2 版的修订工作及主编由周绥平担任。第 3 版中,第 1~5 章由周绥平进行修订,第 6、7 章由窦立军进行修订。周绥平、窦立军任第 3 版主编。此次修订,第 1、2 章由王先铁负责,第 3 章由马尤苏夫负责,第 4、5 章由田黎敏负责,第 6、7 章由郑江负责。全书由王先铁负责统稿。

本书新 1 版的修订得到了西安建筑科技大学苏明周教授的帮助和指导,编者对此表示衷心感谢!

本书既可作为土木工程专业本科教材,也可供有关工程技术人员参考。

对于书中存在的不足之处,敬请读者批评指正!

编者

2018 年 7 月

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>1 绪论</b> .....             | 1  |
| 1.1 钢结构的特点及应用范围 .....         | 1  |
| 1.1.1 钢结构的特点 .....            | 1  |
| 1.1.2 钢结构的应用范围 .....          | 2  |
| 1.2 钢结构的类型及组成 .....           | 7  |
| 1.3 钢结构的设计原理及方法 .....         | 10 |
| 1.4 有关钢结构的规范、规程及标准简介 .....    | 15 |
| 1.5 钢结构的发展 .....              | 16 |
| 1.6 钢结构课程的任务、特点及学习方法 .....    | 18 |
| <b>2 建筑钢材</b> .....           | 21 |
| 2.1 建筑钢材的基本要求 .....           | 21 |
| 2.2 建筑钢材的主要机械性能 .....         | 21 |
| 2.2.1 强度和塑性 .....             | 21 |
| 2.2.2 冷弯试验 .....              | 24 |
| 2.2.3 韧性 .....                | 24 |
| 2.2.4 可焊性 .....               | 25 |
| 2.3 建筑钢材的两种破坏形式 .....         | 25 |
| 2.4 影响钢材性能的主要因素 .....         | 26 |
| 2.4.1 化学成分的影响 .....           | 26 |
| 2.4.2 冶炼、浇注、轧制过程及热处理的影响 ..... | 27 |
| 2.4.3 钢材的冷作硬化与时效硬化 .....      | 28 |
| 2.4.4 复杂应力和应力集中的影响 .....      | 29 |
| 2.4.5 残余应力的影响 .....           | 31 |
| 2.4.6 温度的影响 .....             | 32 |
| 2.4.7 钢材的疲劳 .....             | 32 |
| 2.5 建筑钢材的种类、规格及选择 .....       | 32 |
| 2.5.1 建筑钢材的种类 .....           | 32 |
| 2.5.2 建筑钢材的规格 .....           | 37 |
| 2.5.3 建筑钢材的选择 .....           | 39 |
| <b>3 钢结构的连接</b> .....         | 42 |
| 3.1 钢结构连接的种类及其特点 .....        | 42 |

|       |                     |     |
|-------|---------------------|-----|
| 3.2   | 焊缝连接                | 43  |
| 3.2.1 | 焊接方法                | 43  |
| 3.2.2 | 焊缝连接的形式             | 45  |
| 3.2.3 | 焊缝连接的缺陷、质量检验和焊缝质量级别 | 47  |
| 3.2.4 | 焊缝符号及标注方法           | 47  |
| 3.3   | 对接焊缝连接              | 50  |
| 3.3.1 | 对接焊缝的形式和构造          | 50  |
| 3.3.2 | 对接焊缝连接的计算           | 51  |
| 3.4   | 角焊缝连接               | 56  |
| 3.4.1 | 角焊缝的形式与构造           | 56  |
| 3.4.2 | 角焊缝的连接强度            | 59  |
| 3.4.3 | 角焊缝连接的计算            | 60  |
| 3.5   | 焊接残余变形和残余应力         | 71  |
| 3.5.1 | 焊接残余变形和残余应力及其产生的原因  | 71  |
| 3.5.2 | 焊接残余变形和残余应力的危害      | 72  |
| 3.5.3 | 消除和减少焊接残余变形及残余应力的措施 | 72  |
| 3.6   | 普通螺栓连接              | 73  |
| 3.6.1 | 普通螺栓连接的构造           | 73  |
| 3.6.2 | 普通螺栓连接的受力性能和计算      | 76  |
| 3.7   | 高强度螺栓连接             | 89  |
| 3.7.1 | 概述                  | 89  |
| 3.7.2 | 高强度螺栓摩擦型连接的计算       | 92  |
| 3.7.3 | 高强度螺栓承压型连接的计算要点     | 98  |
| 4     | 轴心受力构件              | 102 |
| 4.1   | 概述                  | 102 |
| 4.2   | 轴心受力构件的强度及刚度        | 103 |
| 4.2.1 | 轴心受力构件的强度           | 103 |
| 4.2.2 | 轴心受力构件的刚度           | 104 |
| 4.3   | 实腹式轴心受压构件的整体稳定      | 105 |
| 4.3.1 | 关于稳定问题的概述           | 105 |
| 4.3.2 | 失稳的类别               | 107 |
| 4.3.3 | 理想轴心受压构件的受力性能       | 107 |
| 4.3.4 | 实际轴心受压构件的计算方法       | 110 |
| 4.4   | 实腹式轴心受压构件的局部稳定      | 116 |
| 4.5   | 实腹式轴心受压构件的截面设计      | 117 |
| 4.5.1 | 选择轴心受压构件的截面形式       | 117 |
| 4.5.2 | 选择截面尺寸              | 118 |

|          |                     |            |
|----------|---------------------|------------|
| 4.5.3    | 截面验算                | 118        |
| 4.5.4    | 构造规定                | 119        |
| 4.6      | 格构式轴心受压构件           | 121        |
| 4.6.1    | 格构式轴心受压构件的组成        | 121        |
| 4.6.2    | 格构式轴心受压构件的整体稳定      | 122        |
| 4.6.3    | 单肢的稳定性              | 123        |
| 4.6.4    | 格构式轴心受压构件的缀材设计      | 123        |
| 4.6.5    | 格构式轴心受压柱的横隔         | 124        |
| 4.6.6    | 格构式轴心受压构件的设计        | 125        |
| 4.7      | 梁与柱的铰接连接形式和构造       | 129        |
| 4.7.1    | 柱顶支承梁的构造            | 129        |
| 4.7.2    | 柱侧支承梁的构造            | 130        |
| 4.8      | 柱脚设计                | 131        |
| 4.8.1    | 柱脚的形式和构造            | 131        |
| 4.8.2    | 轴心受压柱脚的计算           | 131        |
| <b>5</b> | <b>受弯构件</b>         | <b>138</b> |
| 5.1      | 概述                  | 138        |
| 5.2      | 梁的强度和刚度             | 139        |
| 5.2.1    | 梁的强度                | 139        |
| 5.2.2    | 梁的刚度                | 144        |
| 5.3      | 梁的整体稳定              | 146        |
| 5.3.1    | 梁整体稳定的临界弯矩 $M_{cr}$ | 146        |
| 5.3.2    | 受弯构件整体稳定计算          | 148        |
| 5.3.3    | 保证梁整体稳定性的措施         | 150        |
| 5.3.4    | 侧向支撑                | 151        |
| 5.4      | 型钢梁设计               | 151        |
| 5.5      | 钢板组合梁设计             | 154        |
| 5.5.1    | 截面设计                | 154        |
| 5.5.2    | 截面规格                | 156        |
| 5.5.3    | 梁截面沿长度的变化           | 156        |
| 5.5.4    | 翼缘焊缝计算              | 157        |
| 5.6      | 组合梁的局部稳定和腹板加劲肋设计    | 160        |
| 5.6.1    | 梁翼缘宽厚比的限值及腹板加劲肋的布置  | 160        |
| 5.6.2    | 组合梁腹板局部稳定验算         | 163        |
| 5.6.3    | 加劲肋截面选择及构造要求        | 166        |
| 5.6.4    | 支承加劲肋的构造和计算         | 167        |
| 5.7      | 组合梁的屈曲后强度           | 171        |

|          |                     |            |
|----------|---------------------|------------|
| 5.8      | 梁的拼接和连接             | 172        |
| 5.8.1    | 梁的拼接                | 172        |
| 5.8.2    | 次梁与主梁连接             | 174        |
| <b>6</b> | <b>拉弯构件和压弯构件</b>    | <b>180</b> |
| 6.1      | 概述                  | 180        |
| 6.2      | 拉弯构件和压弯构件的强度和刚度     | 181        |
| 6.2.1    | 拉弯构件和压弯构件的强度        | 181        |
| 6.2.2    | 拉弯构件和压弯构件的刚度        | 184        |
| 6.3      | 实腹式压弯构件的整体稳定        | 185        |
| 6.3.1    | 实腹式压弯构件在弯矩作用平面内的稳定性 | 185        |
| 6.3.2    | 实腹式压弯构件在弯矩作用平面外的稳定性 | 190        |
| 6.4      | 实腹式压弯构件的局部稳定        | 191        |
| 6.4.1    | 腹板的局部稳定             | 191        |
| 6.4.2    | 翼缘的局部稳定             | 192        |
| 6.5      | 压弯构件及框架柱的计算长度       | 193        |
| 6.5.1    | 框架柱在框架平面内的计算长度      | 194        |
| 6.5.2    | 框架柱在框架平面外的计算长度      | 196        |
| 6.6      | 实腹式压弯构件的截面设计        | 198        |
| 6.7      | 格构式压弯构件             | 200        |
| 6.7.1    | 格构式压弯构件的整体稳定        | 200        |
| 6.7.2    | 分肢的稳定性              | 201        |
| 6.7.3    | 缀材计算                | 201        |
| 6.7.4    | 格构式压弯构件的强度计算        | 201        |
| 6.8      | 框架中梁与柱的连接           | 203        |
| 6.9      | 框架柱的柱脚              | 204        |
| <b>7</b> | <b>门式刚架轻型钢结构</b>    | <b>209</b> |
| 7.1      | 概述                  | 209        |
| 7.1.1    | 单层门式刚架结构的组成         | 209        |
| 7.1.2    | 单层门式刚架结构的特点         | 210        |
| 7.1.3    | 门式刚架结构的应用情况         | 211        |
| 7.2      | 结构形式和布置             | 211        |
| 7.2.1    | 结构形式                | 211        |
| 7.2.2    | 建筑尺寸                | 212        |
| 7.2.3    | 结构平面布置              | 213        |
| 7.2.4    | 支撑布置                | 213        |
| 7.3      | 作用效应计算              | 214        |
| 7.3.1    | 门式刚架荷载              | 214        |

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 7.3.2 | 荷载组合 .....                 | 215 |
| 7.3.3 | 分析方法 .....                 | 216 |
| 7.4   | 刚架柱和梁的设计 .....             | 217 |
| 7.4.1 | 梁柱板件的宽厚比限值和腹板屈曲后强度利用 ..... | 217 |
| 7.4.2 | 刚架梁、柱构件的强度计算 .....         | 218 |
| 7.4.3 | 梁腹板加劲肋的配置 .....            | 220 |
| 7.4.4 | 变截面柱在刚架平面内的整体稳定计算 .....    | 220 |
| 7.4.5 | 变截面柱在刚架平面内的计算长度 .....      | 221 |
| 7.4.6 | 变截面柱在刚架平面外的整体稳定计算 .....    | 228 |
| 7.4.7 | 斜梁的设计 .....                | 228 |
| 7.4.8 | 隅撑设计 .....                 | 230 |
| 7.5   | 变形规定 .....                 | 234 |
| 7.6   | 节点设计 .....                 | 235 |
| 7.6.1 | 门式刚架斜梁与柱的连接 .....          | 235 |
| 7.6.2 | 门式刚架柱脚 .....               | 238 |
| 7.6.3 | 牛腿 .....                   | 239 |
| 7.6.4 | 摇摆柱与斜梁的连接构造 .....          | 239 |
| 7.7   | 檩条设计 .....                 | 240 |
| 7.7.1 | 檩条的截面形式 .....              | 240 |
| 7.7.2 | 檩条的荷载和荷载组合 .....           | 240 |
| 7.7.3 | 檩条的内力分析 .....              | 241 |
| 7.7.4 | 檩条的截面选择 .....              | 242 |
| 7.7.5 | 构造要求 .....                 | 245 |
| 附录    | .....                      | 251 |
| 附录 1  | 钢材和连接的强度设计值 .....          | 251 |
| 附录 2  | 轴心受压构件的稳定系数 .....          | 254 |
| 附录 3  | 柱的计算长度系数 .....             | 258 |
| 附录 4  | 各种截面回转半径的近似值 .....         | 270 |
| 附录 5  | 热轧等边角钢 .....               | 271 |
| 附录 6  | 热轧不等边角钢 .....              | 278 |
| 附录 7  | 热轧普通工字钢 .....              | 287 |
| 附录 8  | 热轧普通槽钢 .....               | 290 |
| 附录 9  | 热轧 H 型钢和部分 T 型钢 .....      | 293 |
| 附录 10 | 锚栓规格 .....                 | 306 |
| 附录 11 | 螺栓的有效直径和有效截面面积 .....       | 306 |
| 附录 12 | 梁的整体稳定系数 .....             | 307 |
| 参考文献  | .....                      | 311 |

# 1 绪 论

**提要:**本章讲述钢结构的特点、应用范围及结构组成;简要介绍我国有关钢结构的规范体系及现行《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)的计算方法,当前钢结构的发展方向;讨论了钢结构课程的学习方法。

## 1.1 钢结构的特点及应用范围

### 1.1.1 钢结构的特点

钢结构是以钢板、热轧型钢或冷弯薄壁型钢等为主要承重结构材料,通过焊接或螺栓连接组成的承重构件或承重结构。在土木建筑工程中,除钢结构外,还有钢筋混凝土结构、砖石结构、木结构等。作工程规划时,要根据各类结构的特点,结合工程的具体情况来确定选用结构的类型,以便使工程设计经济合理。

与其他结构相比,钢结构有如下特点:

#### (1) 强度高、自重小

与混凝土、砖石、木材及铝合金材料等相比,钢材强度要高得多,因此,虽然钢材的容重比钢筋混凝土、砖石及木材大,但在承载力相同的条件下,钢结构的自重比其他结构要小。如使用H型钢制作的钢结构与混凝土结构比较,自重可减轻20%~30%。在跨度和承载力相同的条件下,钢屋架的重量仅是钢筋混凝土屋架的1/4~1/3,冷弯薄壁型钢屋架甚至接近1/10。另一方面,由于结构自重小,就可以承担更多的外加荷载,或具有更大的跨度;自重小也便于运输和吊装,例如,交通不便、取材困难的边远山区修建公路或输电工程时,常常考虑运输方便而选用钢桥或钢制输电线塔架。但由于强度高,一般所需要的构件截面小而壁薄,受压时容易发生失稳破坏,或受刚度控制强度有时不能充分发挥。

#### (2) 塑性、韧性好

钢材破坏前要经受很大的塑性变形,能吸收和消耗很大的能量。因此,一般情况下不会因偶然局部超载而突然发生脆性破坏,对动力荷载的适应性强,抗震性能好。国内外大量的调查表明,地震后,各类结构中钢结构所受的损害最小。

#### (3) 材质均匀,工作可靠性高

钢材在冶炼和轧制过程中,质量受到严格的检验控制,因而材质比较均匀,质量比较稳定。钢材各向同性,弹性工作范围大,因此它的实际工作情况与一般结构力学计算中采用的材料为均质各向同性体的假定较为符合,工作可靠性高。

#### (4) 工业化程度高、施工周期短

组成钢结构的各个部件一般是在专业化的金属结构加工厂制造,然后运至现场,用焊接或螺栓进行拼接和吊装,因此加工精细,质量易于控制,生产效率高,是工业化生产程度最高

的一种结构。施工采用机械化,可以大大缩短现场的施工周期。同时,采用螺栓连接的钢结构,在结构加固、改建和可拆卸结构中,具有其他结构不可替代的优势。此外,钢结构工程主要是干作业,能改善施工环境,有利于文明施工。

(5) 对生态环境的影响小

采用钢结构可大大减少沙、石、灰的用量,减轻对不可再生资源的破坏。钢结构拆除后可回炉再生循环利用,有的还可以搬迁复用,可大大减少灰色建筑垃圾。因此,采用钢结构有利于保护环境、节约资源,被认为是环保产品。

(6) 综合经济指标较好

综合上述特点,与混凝土结构相比,钢结构是环保型、可再次利用的,也是易于产业化的结构,同时还有较好的综合经济指标。例如,因自重小,其地基基础费用相对较省;因构件截面相对较小,可增加有效使用面积;与混凝土结构相比,采用热轧 H 型钢的钢结构有效使用面积可增加 4%~6%;因施工快、工期短,可节省贷款利息并提前发挥使用效益;工程资料表明,1t 钢结构可减少 7t 混凝土用量,这样又可以节约能源。

(7) 密闭性好

钢结构钢材的水密性和气密性好,不易渗漏,适用于制作各种压力容器、油罐、气柜、管道等对水密性、气密性要求较高的密闭结构。

(8) 耐热性能好,但耐火性能差

钢材在常温至 200℃ 以内性能变化不大,但超过 200℃,钢材的强度和弹性模量将随温度升高而大大降低,到 600℃ 时就完全失去承载能力。另外,钢材导热性很好,局部受热(如发生火灾)也会迅速引起整个结构升温,危及结构安全。一般认为,当钢结构表面长期受 150℃ 以上的高温辐射,或短时间内可能受到火焰作用,或可能受到炽热熔化金属喷溅,以及可能遭受火灾袭击时,就应采取有效的防护措施,如用耐火材料做成隔热层等。

(9) 易锈蚀

这是钢材的最大弱点。据有关资料估算,有 10%~12% 的钢材损耗属于锈蚀损耗。低合金钢的抗锈能力比低碳钢好,其锈蚀速度比低碳钢慢。耐候钢(见第 2 章)抗锈最好,其抗锈能力高出一般钢材 2~4 倍。

钢材锈蚀严重时会影响结构的使用寿命,因此钢结构必须采用防锈措施,彻底除锈并涂以油漆和镀锌等。此外,还应注意使结构经常处于清洁和干燥的环境中,保持通风良好,及时排除侵蚀性气体和湿气;选用的结构构件截面的形式及构造方式应有利于防锈;尽量避免出现难以检查、清洗和油漆之处,以及能积留湿气和大量灰尘的死角和凹槽,闭口截面应沿全长和端部焊接封闭;平时应加强维护,及时进行清灰、清污工作,视涂装情况,每隔数年应重新油漆一次;必要时可采用耐候钢,如桥梁等露天结构。

(10) 对缺陷较为敏感

钢材出厂时就有内在缺陷,构件在制作和安装过程中还会出现新的缺陷,如初始几何缺陷、残余应力等。钢结构对缺陷较为敏感,设计时需考虑其影响。

1.1.2 钢结构的应用范围

钢结构的应用范围和特点与钢材供应情况密切相关。从新中国成立到 20 世纪 90 年代中

期,我国钢材供应短缺,节约钢材、少用钢材成为当时的重要任务,致使钢结构的应用范围受到很大限制。直至 1996 年钢产量达到 1 亿吨,局面才得到根本改变。近年来我国钢产量有了很大发展,2017 年钢产量达到 8.3173 亿吨,约占世界总钢产量的一半,再次成为世界第一粗钢生产国。随着我国钢产量逐年提高,钢材品种不断丰富,钢结构应用范围不断扩大。

目前,钢结构在我国建筑工程中的应用范围大致如下:

#### (1) 承受荷载大的结构

工业建筑中的重型厂房,吊车起重量大且操作频繁,动载影响大。如冶金工厂(图 1.1)的炼钢、轧钢车间,重型机器制造厂(图 1.2)的铸钢、锻压、水压机、总装配车间均属重型厂房。这类厂房的主要承重骨架及吊车梁大多采用钢结构。



图 1.1 冶金工厂

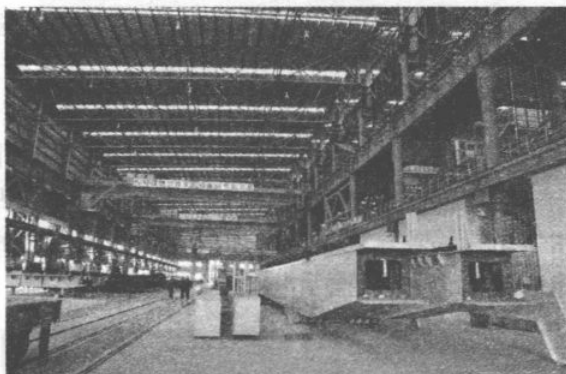


图 1.2 重型机器制造厂

#### (2) 大跨度结构

结构跨度越大,自重在全荷载中所占比例就越大,减轻自重、提高经济效益就愈显重要,因此,大跨度的结构如大型公共建筑物(体育馆、影剧院、大会堂等)、大型工业厂房、飞机维修库以及大跨度桥梁等常采用钢结构。很多大型体育馆屋盖结构的跨度都已超过 100m。如国家体育场“鸟巢”(图 1.3,最大跨度约 333m)、国家游泳中心“水立方”(图 1.4,最大跨度 125m)、南京奥林匹克体育中心(图 1.5,最大跨度约 360m)就是大跨度钢结构的代表。2012 年建成的矮寨特大悬索桥(图 1.6),是世界峡谷跨径最大的钢桁梁悬索桥,悬索桥的主跨为 1176m,桥面到峡谷底高差达 355m。

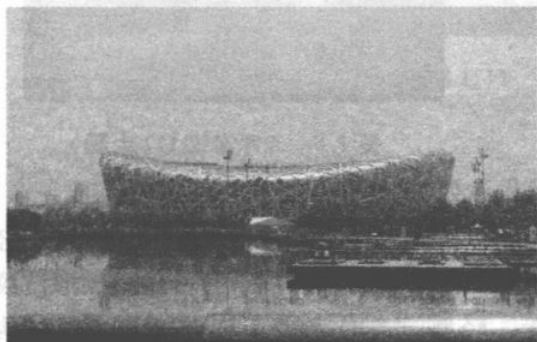


图 1.3 国家体育场“鸟巢”

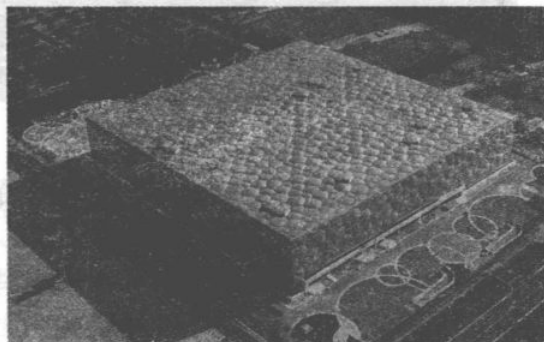


图 1.4 国家游泳中心“水立方”



图 1.5 南京奥林匹克体育中心



图 1.6 矮寨特大悬索桥

### (3) 高层建筑

高层建筑采用钢结构,由于结构自重轻、强度高,结构构件截面积小,可以获得较大的建筑空间。采用钢结构承重骨架,相比钢筋混凝土结构可减轻自重约 1/3 以上。结构自重轻,可以减少运输和吊装费用,基础的负载也相应减少,从而降低基础造价。此外,钢结构自重轻也可显著减少地震作用,一般情况下,地震作用可减少 40% 左右。同时抗震性能好、工期短、施工方便,对高层建筑的修建极为有利。因此,高层建筑尤其是超高层建筑的骨架多采用钢结构。较具代表性的如 118 层、632m 高的上海中心大厦(图 1.7),117 层、621m 高的天津高银 117 大厦(图 1.8)等。



图 1.7 上海中心大厦



图 1.8 天津高银 117 大厦

### (4) 轻型钢结构

轻型钢结构通常指由薄壁型钢、薄钢板、小角钢或圆钢等焊接而成的结构。它多用于轻型工业厂房,一般设置起重量较小的吊车。其类型有轻型门式刚架结构(图 1.9)、拱形波纹钢屋盖(图 1.10)、冷弯薄壁型钢结构(图 1.11)等。轻型门式刚架的特点是:主要承重结构为单跨或多跨单层门式钢架,刚架由实腹工字形变截面的横梁和立柱组成,其余支撑、檩条、墙架梁等均采用冷弯薄壁型钢,并采用轻型屋面和轻型墙体(一般用彩色压型钢板制成)。它

的跨度一般不大于 40m,用钢量大约为  $30\text{kg}/\text{m}^2$ 。拱形波纹钢屋盖结构跨度一般不超过 30m,用钢量大约为  $20\text{kg}/\text{m}^2$ 。冷弯薄壁型钢结构的典型应用是轻型钢结构住宅,该结构体系适用于不超过 6 层的建筑,抗震设防烈度为 8 度及其以下的地区。轻型钢结构住宅自 20 世纪 90 年代中期在我国开始应用,近年来得到了迅速发展。目前跨度最大的轻型钢结构是大连某国家粮仓储备库,其跨度已达到 72m,用钢量大约为  $49.7\text{kg}/\text{m}^2$ 。轻型钢结构的优点是自重轻、造价低、生产制作工厂化程度高、现场安装工作量大、建设速度快,同时外形美观、内部空旷、建筑面积及空间利用率高,因此在建筑市场上极具竞争力。近二十年来,轻型钢结构在我国发展很快,其应用范围已从工业厂房、仓库、体育场馆等向住宅、别墅发展。



图 1.9 轻型门式刚架结构



图 1.10 拱形波纹钢屋盖

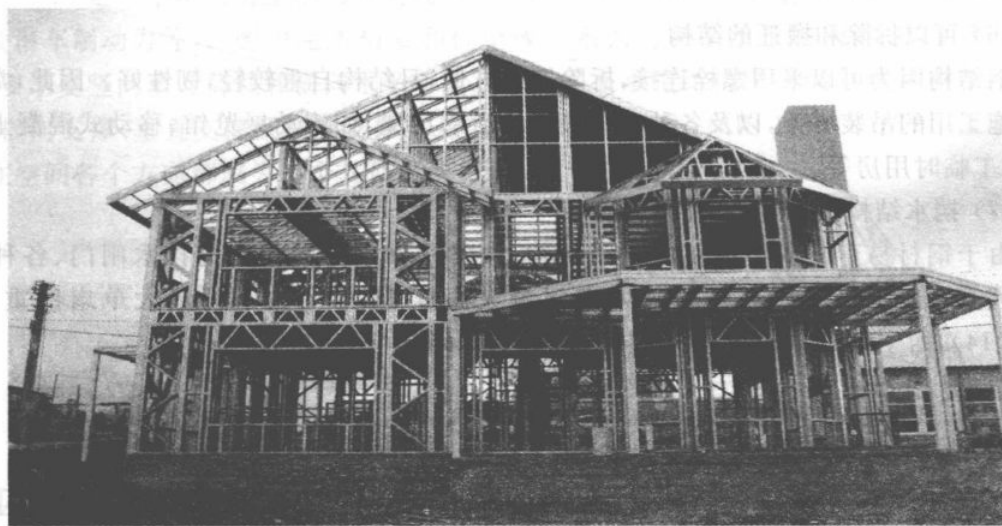


图 1.11 冷弯薄壁型钢结构

#### (5) 高耸结构

这类结构的特点是高度大,主要承受侧向荷载作用,要求具备较强的抗风及抗震能力。采用钢结构自重轻的优点,对运输及安装有利。同时还因材料强度高,所需构件截面小,可以减小风荷载,能取得较好的经济效益。高耸结构包括塔架和桅杆结构,如电视塔、微波塔、输电铁塔、钻井塔、环境大气监测塔、无线电天线桅杆、广播电视发射塔等,如高达 450m 的广州新电视塔(图 1.12)、高 325m 的北京气象铁塔。高耸结构也可用于城市巨型雕塑及纪念性建筑,如美国纽约的自由女神像、法国巴黎的埃菲尔铁塔(图 1.13)等。

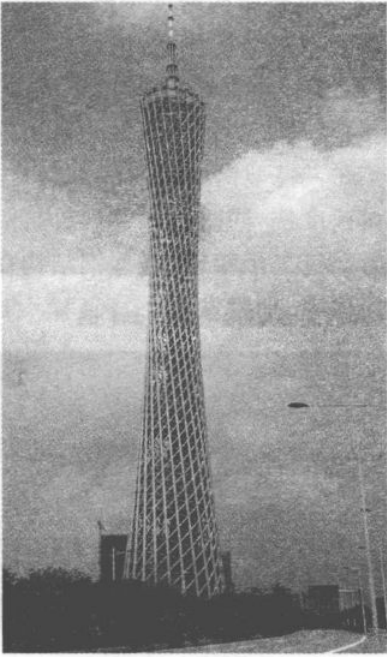


图 1.12 广州新电视塔

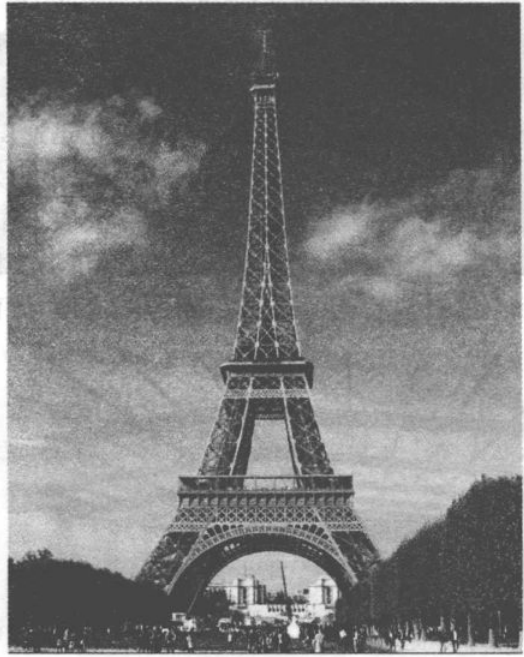


图 1.13 埃菲尔铁塔

(6) 可以拆除和搬迁的结构

钢结构因为可以采用螺栓连接,拆除搬迁方便,且结构自重较轻,韧性好。因此,常用作建筑施工用的吊装塔架,以及各种需要搬迁的活动房屋,如流动展览馆、移动式混凝土搅拌站、施工临时用房等。

(7) 挡水结构、容器及大直径管道

由于钢材易于制成不渗漏的密闭结构,故常用作水工结构中的挡水闸门、各种容器以及大直径管道等。如三峡船闸人字门最大高度 38.5m,人字门最大单扇门重 850t(图 1.14),西宁特钢 20 万立方米煤气柜(图 1.15)等。

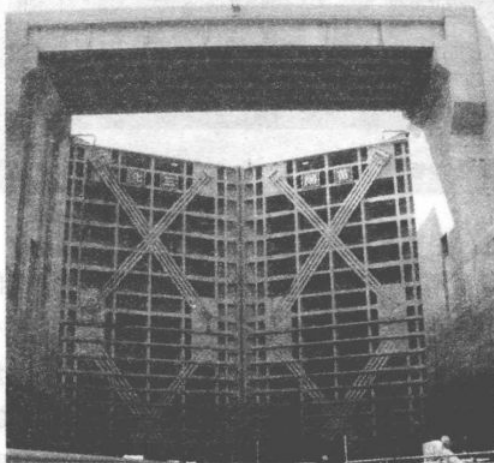


图 1.14 三峡船闸人字门

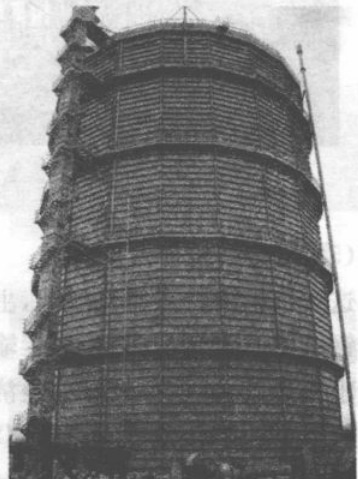


图 1.15 西宁特钢煤气柜

## (8) 钢与混凝土组合结构

充分利用钢与混凝土各自材料性能的优势,将它们组合成各种构件,可以取得较好的技术经济效益。如钢与混凝土组合梁、钢管混凝土柱等,这类结构在房屋及桥梁建筑中应用很广。

## 1.2 钢结构的类型及组成

由于使用功能及结构组成方式不同,钢结构种类繁多,形式各异。如 1.1 节所述,在房屋建筑中有大量的钢结构厂房、高层钢结构建筑、大跨度钢网架建筑、悬索结构建筑等。在公路及铁路上有各种形式的钢桥,如板梁桥、桁架桥、拱桥、悬索桥、斜张桥等。钢塔及钢桅杆则广泛用作输电线塔、电视广播发射塔。此外,还有海上采油平台钢结构、卫星发射钢塔架等。

所有这些钢结构尽管用途、形式各不相同,但他们都是由钢板和型钢经过加工,制成各种基本构件,如拉杆(有时还包括钢索)、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和螺栓连接组成结构。

下面通过一些示例对如何按一定方式将基本构件组成能满足各种使用功能要求的钢结构作简要说明。

### (1) 单层房屋钢结构

图 1.16 是一个单层房屋钢结构组成的示意图。单层房屋承受重力荷载、水平荷载(风荷载及吊车制动力等)。图中屋盖桁架和柱组成一系列的平面承重结构,如图 1.16(a)所示,主要承受竖向重力荷载和横向水平荷载。这些平面承重结构又用纵向构件和各种支撑(上弦横向支撑、垂直支撑及柱间支撑等)连成一个空间整体,如图 1.16(b)所示,保证整个结构在空间各个方向都成为一个几何不变体系。

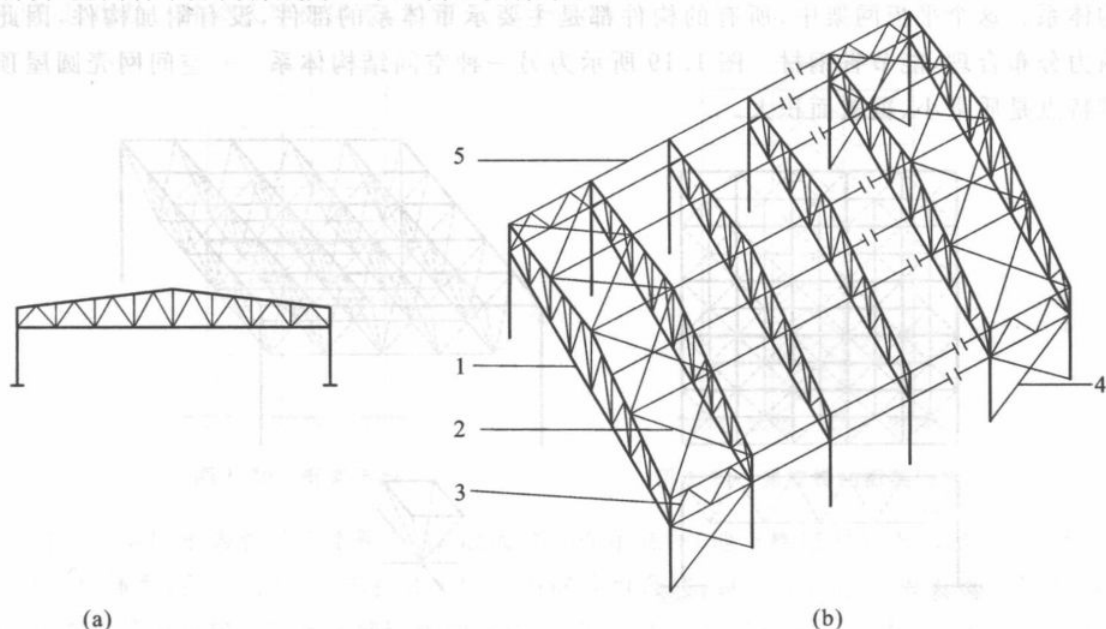


图 1.16 单层房屋钢结构组成示例

(a)平面结构;(b)空间结构

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

如图 1.16 所示,单层房屋的平面承重结构除由桁架和柱组成之外,还可以由实腹的梁和柱组成框架和拱。框架和拱可以做成三铰、二铰或无铰,跨度大的还可以用桁架拱,如图 1.17 所示。

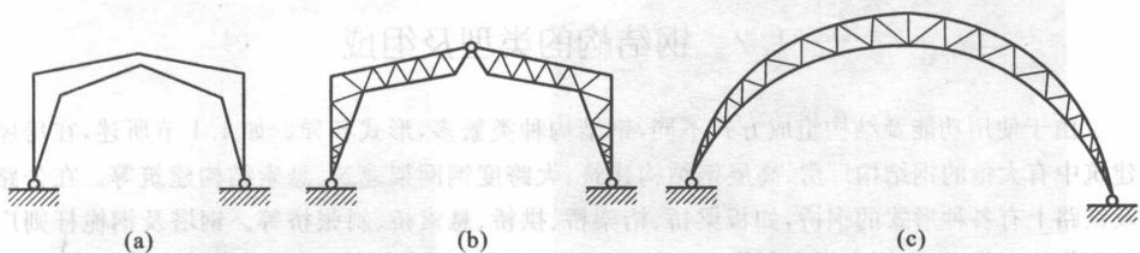


图 1.17 几种平面承重结构的形式

(a)二铰刚架;(b)三铰刚架;(c)二铰桁架拱

上述结构均属于平面结构体系。其特点是结构由承重体系及附加构件两部分组成,其中承重体系是一系列相互平行的平面结构,结构平面内的垂直和横向水平荷载由它承担,并在该结构平面内传递到基础。附加构件(纵向构件及支撑)的作用是将各个平面结构连成整体,同时也承受结构平面外的纵向水平力。当建筑物的长度和宽度尺寸接近,或平面呈圆形时,如果将各个承重构件自身组成为空间几何不变体系而省去附加构件,受力就更为合理。如图 1.18 所示平板网架屋盖结构,它由倒置的四角锥体组成,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。屋架的荷载沿两个方向传到四边的柱上,再传至基础,形成一种空间传力体系。因此这种结构也称为空间结构体系。这个平板网架中,所有的构件都是主要承重体系的部件,没有附加构件,因此,内力分布合理,能节省钢材。图 1.19 所示为另一种空间结构体系——空间网壳圆屋顶。其特点是质量小、覆盖面积大。

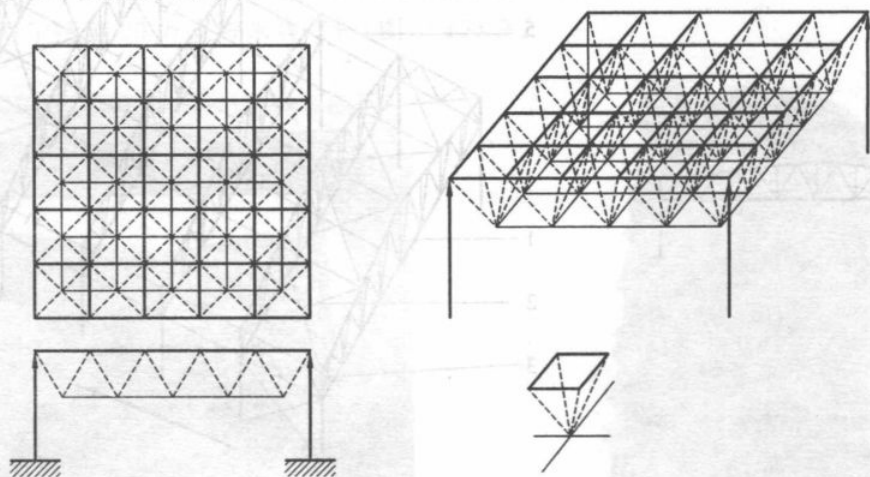


图 1.18 平板网架屋盖

—上弦杆;—下弦杆;—腹杆