



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材  
高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材

# 轻型钢结构

## Civil Engineering

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 夏军武 | 范圣刚 | 赵宝成 | 主 编 |
|     |     | 胡白香 | 副主编 |
|     |     | 舒赣平 | 主 审 |

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材  
高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材

# 轻型钢结构

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
|     | 赵宝成 | 主 编 |
| 夏军武 | 范圣刚 | 副主编 |
|     | 胡白香 |     |
|     | 舒赣平 | 主 审 |

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

轻型钢结构/赵宝成主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 3

高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材

ISBN 978-7-112-21888-2

I. ①轻… II. ①赵… III. ①轻型钢结构-高等学校-教材 IV. ①TU392.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 039938 号

本书为住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材,同时也是高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材。本书参考轻型钢结构相关教材和文献,并结合最新标准、规范和规程(《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),介绍了轻型钢结构建筑的概念、分类、特点,主体结构、连接及围护结构的材料,设计原则、设计指标、构造要求及荷载取值与变形要求。重点阐述了轻型门式刚架结构、轻型钢框架结构、交错桁架结构及低层龙骨体系结构等常用轻型钢结构体系的设计,主要包括这些轻型钢结构体系的基本形式、结构布置、结构的荷载和荷载效应组合、结构分析、构件及节点连接的设计方法等内容。每种结构体系均给出了相应的工程算例,介绍了设计的基本过程,以便读者更好地掌握每一种结构体系。为了更深入地理解所学的内容,每一章后均附有思考与练习题。

本书可作为高校土木工程专业高年级本科生及研究生教材,也可供从事结构设计、科研和施工的工程技术人员参考使用。

为了更好地支持本课程的教学,本书作者制作了多媒体教学课件,有需要的读者可以发送邮件至 [jiangongkejian@163.com](mailto:jiangongkejian@163.com) 索取。

责任编辑: 仕 帅 吉万旺 王 跃

责任设计: 韩蒙恩

责任校对: 刘梦然

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材  
高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材

## 轻型钢结构

赵宝成 主 编

夏军武 范圣刚 胡白香 副主编

舒赣平 主 审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

大厂回族自治县正兴印务有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21 字数: 521 千字

2018 年 5 月第一版 2018 年 5 月第一次印刷

定价: 46.00 元(赠课件)

ISBN 978-7-112-21888-2

(31687)

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)

高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材  
编委会成员名单  
(按姓氏笔画排序)

顾 问：王 超 王景全 吕志涛 刘德源 孙 伟  
吴中如 顾金才 钱七虎 唐明述 缪昌文  
主 任 委 员：刘伟庆 沈元勤  
副主任委员：吕恒林 吴 刚 金丰年 高玉峰 高延伟  
委 员：王 跃 王文顺 王德荣 毛小勇 叶继红  
吉万旺 刘 雁 杨 平 肖 岩 吴 瑾  
沈 扬 张 华 陆春华 陈志龙 周继凯  
胡夏闽 夏军武 童小东

# 出版说明

近年来,我国高等教育教学改革不断深入,高校招生人数逐年增加,相应对教材质量和数量的需求也在不断提高和扩大。随着我国建设行业的大发展、大繁荣,高等学校土木工程专业教育也得到迅猛发展。江苏省作为我国土木建筑大省、教育大省,无论是开设土木工程专业的高校数量还是人才培养质量,均走在了全国前列。江苏省各高校土木工程专业教育蓬勃发展,涌现出了许多具有鲜明特色的创新型人才培养模式,为培养适应社会需求的合格土木工程专业人才发挥了引领作用。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会(以下简称江苏分会)是经中国土木工程学会教育工作委员会批准成立的,其宗旨是为了加强江苏省具有土木工程专业的高等院校之间的交流与合作,提高土木工程专业人才培养质量,促进江苏省建设事业的发展。中国建筑工业出版社是住房和城乡建设部直属出版单位,是专门从事住房城乡建设领域的科技专著、教材、技术规范、职业资格考试用书等的专业科技出版社。作为本套教材出版的组织单位,在教材编审委员会人员组成、教材主参编确定、编写大纲审定、编写要求拟定、计划交稿时间以及教材编写的特色和出版后的营销宣传等方面都做了精心组织和专门协调,目的是出精品,体现特色,为全国土木工程专业师生提供一个全新的选择。

经过反复研讨,《高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材》定位为高年级本科生选修课程或研究生通用课程教材。本套教材主要体现创新,充分考虑诸如装配式建筑、新型建筑材料、绿色节能建筑、新型施工工艺、新施工方法、安全管理、BIM技术等,选择18种专业课组织编写相应教材。本套教材主要特点为:在考虑学生前面已学知识的基础上,不对必修课要求掌握的内容过多重复;介绍创新知识时不要求过多、过深、过全;结合案例介绍现代技术;体现建筑行业发展的新要求、新方向和新趋势。为满足多媒体教学需要,我们要求所有教材在出版时均配有多媒体教学课件。

本套《高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材》是中国建筑工业出版社成套出版体现区域特色教材的首次尝试,对行业人才培养具有非常重要的意义。今年正值我国“十三五”规划的开局之年,本套教材有幸入选《住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》。我们也期待能够利用本套教材策划出版的成功经验,在其他专业、在其他地区组织出版体现区域特色的土建类教材。

希望各学校积极选用本套教材,也欢迎广大读者在使用本套教材过程中提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版时得以改进和完善。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会

中国建筑工业出版社

2016年12月

# 前 言

随着我国钢材产量的飞速增长,轻型钢结构得到了迅速发展。轻型钢结构自重轻、抗震性能良好,钢构件工厂加工,简单方便,施工现场安装,装配率高,工业化程度好,施工周期短,综合经济效益显著。同时轻型钢结构节能环保,符合现代建筑发展趋势,目前在工业建筑、民用建筑及商业建筑中得到了广泛应用。

本书涉及轻型门式刚架结构、轻型钢框架结构、交错桁架结构及低层龙骨体系结构等常用轻型钢结构体系。着重介绍了这些轻型钢结构体系的基本形式、结构布置、结构的荷载和荷载效应组合、结构分析、构件及节点连接的设计方法。为了便于读者更好地掌握每一种结构体系,每种结构体系均给出了相应的工程实例,介绍了设计的基本过程。每一章后面均附有思考与练习题,可以更深入地理解所学的内容。

本书共分为8章。前3章分别介绍了轻型钢结构建筑的概念、分类、特点及应用,主体结构、连接及围护结构的材料,设计原则、设计指标、构造要求及荷载取值与变形规定。第4章阐述了门式刚架结构的组成、形式和结构布置,刚架梁、柱及连接节点的设计和构造,支撑体系、围护结构设计。第5章讲述了轻型钢框架结构的类型及布置,内力分析方法,压型钢板-混凝土组合楼板的特点和计算,钢梁、组合梁、钢柱及连接节点的计算方法,支撑和剪力墙的类型及设计方法。第6章介绍了交错桁架结构的组成、桁架形式及结构布置,荷载及内力分析方法,构件及桁架连接节点的设计,交错桁架楼板的设计方法。第7章着重介绍了低层龙骨结构的组成及结构布置,结构分析方法,考虑畸变屈曲的构件设计方法,楼面、屋面及墙面的构造要求。第8章简要介绍了轻型钢结构的防腐与防火。

参加本书各章编写工作的有:苏州科技大学赵宝成教授(第1章1.1~1.2节、第6章),中国矿业大学夏军武教授、常鸿飞副教授(第2章、第4章),江苏大学胡白香教授(第3章),东南大学范圣刚教授(第5章),南京工业大学彭洋老师(第7章),扬州大学张建新副教授(第1章1.3节、第8章)。本书由赵宝成主编,夏军武、范圣刚、胡白香副主编。东南大学舒赣平教授对全书进行了细致地审阅。相关院校的研究生对工程算例进行了校对和试算,并绘制了部分插图。在本书的编写过程中,参考了相关教材、规范、规程及参考文献,一并致谢。

由于编者水平有限,在内容取舍及衔接方面难免存在不妥之处,敬请同行和读者对所发现的错误、疏漏及需要完善之处予以指正。

编 者

2017年12月

# 目 录

## 第 1 章 绪论 ..... 1

本章要点及学习目标 ..... 1

1.1 轻型钢结构的分类 ..... 1

1.2 轻型钢结构的特点 ..... 5

1.3 轻型钢结构的应用 ..... 6

本章小结 ..... 8

思考与练习题 ..... 8

## 第 2 章 轻型钢结构材料 ..... 10

本章要点及学习目标 ..... 10

2.1 主体结构材料 ..... 10

2.1.1 材料类型 ..... 10

2.1.2 钢材规格 ..... 11

2.1.3 钢材设计指标 ..... 11

2.1.4 钢材选用 ..... 12

2.2 连接材料 ..... 12

2.2.1 焊接连接 ..... 13

2.2.2 铆钉和螺栓连接 ..... 14

2.2.3 紧固件连接 ..... 16

2.3 围护结构材料 ..... 16

2.3.1 屋面围护材料 ..... 16

2.3.2 墙面围护材料 ..... 19

本章小结 ..... 22

思考与练习题 ..... 22

## 第 3 章 设计的基本规定 ..... 23

本章要点及学习目标 ..... 23

3.1 设计原则 ..... 23

3.1.1 承载能力极限状态 ..... 23

3.1.2 正常使用极限状态设计 ..... 25

3.1.3 抗震验算 ..... 26

3.1.4 注意事项 ..... 27

3.2 设计指标 ..... 27

3.2.1 钢材的物理性能 ..... 27

3.2.2 强度设计指标 ..... 27

3.2.3 铸钢件的设计指标 ..... 28

3.2.4 焊缝强度设计值 ..... 29

3.2.5 螺栓连接的强度设计值 ..... 30

3.2.6 铆钉连接的强度设计值 ..... 30

3.2.7 电阻点焊 ..... 31

3.2.8 强度设计值折减 ..... 31

3.2.9 冷弯效应强度设计值 ..... 32

3.3 构造要求 ..... 32

3.3.1 钢材厚度 ..... 32

3.3.2 宽厚比 ..... 32

3.3.3 长细比 ..... 33

3.4 荷载与变形 ..... 35

3.4.1 荷载 ..... 35

3.4.2 变形规定 ..... 37

本章小结 ..... 38

思考与练习题 ..... 39

## 第 4 章 门式刚架结构 ..... 40

本章要点及学习目标 ..... 40

4.1 门式刚架轻型房屋钢结构  
体系 ..... 40

4.2 门式刚架结构形式及布置 ..... 43

4.2.1 结构布置 ..... 43

4.2.2 结构形式 ..... 44

4.2.3 温度伸缩缝布置 ..... 44

4.2.4 檩条和墙梁的布置 ..... 45

4.2.5 支撑布置 ..... 45

4.3 门式刚架设计 ..... 46

4.3.1 荷载及荷载组合 ..... 46

4.3.2 刚架内力计算 ..... 49

4.3.3 刚架侧移计算 ..... 50

4.3.4 门式刚架构件设计 ..... 53

4.3.5 刚架节点设计 ..... 61

|                          |     |                        |     |
|--------------------------|-----|------------------------|-----|
| 4.4 支撑和隅撑设计 .....        | 73  | 5.3.1 概述 .....         | 124 |
| 4.4.1 支撑设计 .....         | 73  | 5.3.2 组合楼板施工阶段计算 ..... | 125 |
| 4.4.2 隅撑设计 .....         | 73  | 5.3.3 组合楼板使用阶段计算 ..... | 127 |
| 4.5 檩条设计 .....           | 74  | 5.4 楼面梁设计 .....        | 132 |
| 4.5.1 檩条的截面形式 .....      | 74  | 5.4.1 钢梁设计 .....       | 133 |
| 4.5.2 檩条的荷载和荷载组合 .....   | 75  | 5.4.2 钢与混凝土组合梁设计 ..... | 136 |
| 4.5.3 檩条内力分析 .....       | 75  | 5.5 框架柱设计 .....        | 147 |
| 4.5.4 檩条截面设计 .....       | 76  | 5.5.1 钢框架柱计算长度 .....   | 148 |
| 4.5.5 构造要求 .....         | 78  | 5.5.2 轴心受压钢柱 .....     | 150 |
| 4.6 墙梁设计 .....           | 80  | 5.5.3 偏心受压钢柱 .....     | 150 |
| 4.6.1 墙梁的结构布置 .....      | 80  | 5.5.4 钢框架柱的抗震承载力 ..... | 152 |
| 4.6.2 墙梁设计 .....         | 80  | 5.6 支撑和剪力墙设计 .....     | 153 |
| 4.7 压型钢板设计 .....         | 81  | 5.6.1 支撑和剪力墙的类型 .....  | 153 |
| 4.7.1 压型钢板的截面形式 .....    | 81  | 5.6.2 中心支撑设计 .....     | 153 |
| 4.7.2 压型钢板的几何特征 .....    | 83  | 5.6.3 偏心支撑设计 .....     | 155 |
| 4.7.3 压型钢板有效宽度 .....     | 84  | 5.6.4 钢板剪力墙设计 .....    | 160 |
| 4.7.4 压型钢板的荷载和荷载组合 ..... | 84  | 5.7 连接节点设计 .....       | 166 |
| 4.7.5 压型钢板的截面验算 .....    | 85  | 5.7.1 连接节点的设计原则 .....  | 166 |
| 4.7.6 压型钢板的构造要求 .....    | 87  | 5.7.2 钢框架梁与柱的连接 .....  | 167 |
| 4.8 设计实例 .....           | 89  | 5.7.3 构件拼接节点 .....     | 177 |
| 4.8.1 设计资料 .....         | 89  | 5.7.4 钢梁连接节点 .....     | 180 |
| 4.8.2 结构布置及构件截面初选 .....  | 89  | 5.7.5 钢柱脚节点 .....      | 183 |
| 4.8.3 荷载及内力计算 .....      | 89  | 5.8 设计实例 .....         | 190 |
| 4.8.4 刚架梁柱截面验算 .....     | 91  | 5.8.1 设计资料 .....       | 190 |
| 4.8.5 柱脚设计 .....         | 99  | 5.8.2 荷载标准值 .....      | 191 |
| 4.8.6 檩条设计 .....         | 100 | 5.8.3 结构方案设计 .....     | 192 |
| 4.8.7 墙架设计 .....         | 105 | 5.8.4 组合楼板设计 .....     | 192 |
| 本章小结 .....               | 107 | 5.8.5 组合梁设计 .....      | 194 |
| 思考与练习题 .....             | 108 | 5.8.6 框架梁设计 .....      | 199 |
| 第5章 轻型钢框架结构 .....        | 110 | 5.8.7 框架边柱设计 .....     | 200 |
| 本章要点及学习目标 .....          | 110 | 5.8.8 框架中柱设计 .....     | 201 |
| 5.1 结构体系及布置 .....        | 110 | 5.8.9 节点设计 .....       | 203 |
| 5.1.1 结构体系 .....         | 110 | 本章小结 .....             | 206 |
| 5.1.2 结构布置 .....         | 111 | 思考与练习题 .....           | 207 |
| 5.2 结构分析 .....           | 114 | 第6章 交错桁架结构 .....       | 212 |
| 5.2.1 基本原则 .....         | 114 | 本章要点及学习目标 .....        | 212 |
| 5.2.2 有限元分析方法 .....      | 115 | 6.1 结构形式及布置 .....      | 212 |
| 5.2.3 近似分析方法 .....       | 117 | 6.1.1 交错桁架结构的组成 .....  | 212 |
| 5.2.4 地震作用下钢框架结构分析 ..... | 120 | 6.1.2 桁架的形式 .....      | 213 |
| 5.2.5 钢框架结构塑性分析 .....    | 123 | 6.1.3 结构布置 .....       | 214 |
| 5.3 楼板设计 .....           | 124 | 6.2 结构分析 .....         | 216 |



|                               |     |                        |     |
|-------------------------------|-----|------------------------|-----|
| 6.2.1 荷载及效应组合·····            | 216 | 验算·····                | 266 |
| 6.2.2 一般规定·····               | 218 | 7.3.4 水平荷载作用下变形验算····· | 266 |
| 6.2.3 内力和位移计算模型·····          | 219 | 7.4 构件设计·····          | 267 |
| 6.2.4 结构变形要求·····             | 224 | 7.4.1 畸变屈曲·····        | 267 |
| 6.3 构件设计·····                 | 225 | 7.4.2 轴心受力构件·····      | 268 |
| 6.3.1 一般规定·····               | 225 | 7.4.3 受弯构件·····        | 269 |
| 6.3.2 交错桁架柱设计·····            | 226 | 7.4.4 压弯和拉弯构件·····     | 270 |
| 6.3.3 桁架设计·····               | 231 | 7.4.5 其他要求·····        | 270 |
| 6.3.4 框架梁设计·····              | 232 | 7.5 楼面结构设计·····        | 271 |
| 6.3.5 支撑设计·····               | 232 | 7.5.1 楼面梁设计·····       | 272 |
| 6.4 楼面及屋面板设计·····             | 233 | 7.5.2 构造要求·····        | 272 |
| 6.4.1 交错桁架的楼板及屋面板·····        | 233 | 7.6 屋面结构设计·····        | 273 |
| 6.4.2 楼板及屋面板承担的水平<br>剪力·····  | 233 | 7.6.1 屋架构件设计·····      | 275 |
| 6.4.3 抗剪连接件设计·····            | 237 | 7.6.2 构造要求·····        | 275 |
| 6.4.4 水平力作用下楼板抗剪强度<br>计算····· | 238 | 7.7 墙面结构设计·····        | 277 |
| 6.5 连接节点设计·····               | 238 | 7.7.1 墙体立柱设计·····      | 278 |
| 6.5.1 腹杆与弦杆连接节点·····          | 239 | 7.7.2 构造要求·····        | 279 |
| 6.5.2 弦杆与柱连接节点·····           | 242 | 7.8 连接节点设计·····        | 281 |
| 6.6 设计实例·····                 | 245 | 7.8.1 螺钉连接抗拉承载力·····   | 281 |
| 6.6.1 工程概述·····               | 245 | 7.8.2 螺钉连接抗剪切承载力·····  | 282 |
| 6.6.2 设计标准·····               | 245 | 7.8.3 螺钉连接长连接承载力·····  | 282 |
| 6.6.3 结构布置·····               | 245 | 7.8.4 螺钉连接拉剪承载力·····   | 283 |
| 6.6.4 荷载及荷载组合·····            | 246 | 7.9 设计实例·····          | 283 |
| 6.6.5 材料选择·····               | 248 | 7.9.1 工程概况·····        | 283 |
| 6.6.6 结构计算·····               | 248 | 7.9.2 荷载取值·····        | 283 |
| 6.6.7 构件验算·····               | 249 | 7.9.3 竖向荷载组合·····      | 284 |
| 6.6.8 节点设计·····               | 253 | 7.9.4 计算模型·····        | 285 |
| 本章小结·····                     | 256 | 7.9.5 构件验算·····        | 285 |
| 思考与练习题·····                   | 257 | 7.9.6 墙体抗震验算·····      | 302 |
| 第7章 低层龙骨体系结构·····             | 260 | 7.9.7 墙体抗风验算·····      | 308 |
| 本章要点及学习目标·····                | 260 | 本章小结·····              | 310 |
| 7.1 结构体系及布置·····              | 261 | 思考与练习题·····            | 310 |
| 7.1.1 结构体系·····               | 261 | 第8章 轻钢结构防火与防腐·····     | 312 |
| 7.1.2 结构布置·····               | 262 | 本章要点及学习目标·····         | 312 |
| 7.2 构件截面形式·····               | 263 | 8.1 轻钢结构防火·····        | 312 |
| 7.3 结构分析·····                 | 264 | 8.2 轻钢结构防腐·····        | 318 |
| 7.3.1 水平剪力分配方法·····           | 264 | 本章小结·····              | 321 |
| 7.3.2 地震作用·····               | 265 | 思考与练习题·····            | 322 |
| 7.3.3 水平荷载作用下抗剪承载力            |     | 附录 构件畸变屈曲应力计算·····     | 323 |
|                               |     | 参考文献·····              | 325 |

# 第 1 章 绪 论

## 本章要点及学习目标

本章要点:

- (1) 轻型钢结构建筑的概念;
- (2) 轻型钢结构体系的分类;
- (3) 轻型钢结构的特点;
- (4) 轻型钢结构的应用。

学习目标:

- (1) 理解轻型钢结构建筑的概念;
- (2) 熟悉轻型钢结构体系的分类;
- (3) 熟悉轻型钢结构的特点;
- (4) 了解轻型钢结构的应用。

## 1.1 轻型钢结构的分类

一般来讲,轻型钢结构建筑是指以轻型冷弯薄壁型钢、轻型焊接型钢、高频焊接型钢、轻型热轧型钢、薄壁钢管及以上构件拼接而成的组合构件为主要承重构件,轻型金属压型板(保温或不保温)或各种轻质高性能保温隔热板(墙)材为围护结构组成的建筑结构,其用钢量指标相对较低(一般单层房屋结构用钢量不大于  $50\text{kg}/\text{m}^2$ ,多层房屋结构用钢量不大于  $60\text{kg}/\text{m}^2$ )。

现代轻型钢结构体系出现在 20 世纪初,第二次世界大战后得到迅速发展,当时主要用于对施工速度要求很高的战地军营、机库和仓库等。在 20 世纪 40 年代,由于钢产量有限,遂从节约建筑用钢的角度,提出采用轻型钢结构,这时出现了门式刚架结构。20 世纪 60 年代开始采用彩色压型钢板和冷弯薄壁型钢组成的轻质围护体系。目前轻型门式刚架结构体系在我国已得到了广泛的应用,以低层和多层轻型框架结构房屋、交错桁架结构房屋、低层龙骨体系房屋为代表的轻型钢结构发展迅速,呈现出了非常广阔的应用前景。这些结构体系的构配件均可采用工厂化生产,具有建筑材料回收率高、自重轻、抗震性能好、安装速度快、施工周期短、工业化程度高、节约资源、外形美观等特点,钢结构的防腐防火性能和使用舒适度均能满足要求,且节省用钢量。

目前国内轻型房屋钢结构的结构体系主要有以下 4 类:

### 1. 门式刚架结构

门式刚架结构是平面受力体系(图 1-1),主要由刚架、檩条、墙梁、抗风柱、屋面

支撑、柱间支撑、屋面板和墙面板及基础组成。门式刚架是结构的主要承重骨架，为节省钢材，刚架梁、刚架柱一般采用变截面构件。设有桥式吊车时，刚架柱则采用等截面构件。支撑主要由屋面横向水平支撑、柱间支撑、系杆等组成，是确保结构能够整体工作的重要构件，同时也是结构纵向传力的主要构件。此外，在山墙处，设有抗风柱。有桥式吊车时，还设有吊车梁。为保证刚架梁和柱的平面外稳定，还需设置隅撑。屋面和墙面是房屋的围护结构，一般由檩条、墙梁、拉条和面板组成。

门式刚架单跨跨度宜为  $18\sim 42\text{m}$ ，柱距宜为  $6\sim 12\text{m}$ ，是目前国内外轻型工业厂房的首选结构形式，同时适宜于超市、仓储、体育设施、候车室、展览大厅等大空间建筑，在我国应用广泛。其结构形式可以是单跨、多跨或高低跨。屋面可以是单坡、多坡或曲面。柱底与基础可以是铰接或刚接。刚架梁、柱可以是实腹式，也可以是格构式，以前者居多。结构纵向温度区段可达到  $300\text{m}$ ，横向温度区段可达到  $150\text{m}$ ，建筑功能布局灵活，使用空间大，结构简洁明快。门式刚架结构体系由刚架、支撑系统和围护结构形成共同工作的空间传力体系。

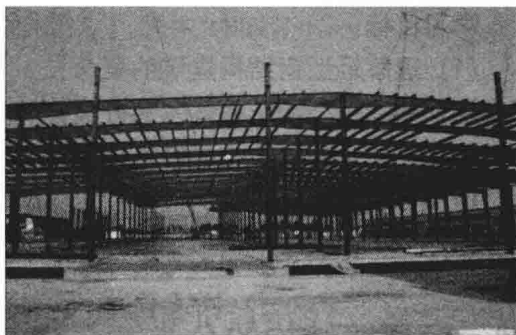


图 1-1 门式刚架结构

## 2. 轻型钢框架结构

轻型钢框架结构（图 1-2）一般指  $1\sim 3$  层的低层框架体系房屋和  $4\sim 9$  层多层框架体系房屋，或总高度小于  $24\text{m}$  的公共建筑，或总高度小于  $20\text{m}$  且楼面荷载小于  $8\text{kN/m}^2$  的



图 1-2 轻型钢框架结构

工业厂房。主要承重构件多采用轧制 H 型钢、高频焊接 H 型钢或轻型热轧型钢，也可采用薄钢板焊接组合截面或冷弯薄壁型钢。钢柱也可采用箱形截面或钢管柱，必要时可内灌混凝土，形成钢管混凝土柱，增加结构的强度、刚度和稳定性。整个结构的用钢量一般在  $40\sim 60\text{kg/m}^2$ ，与同类型的钢筋混凝土框架或框架—剪力墙相比，节约工程造价。轻型钢框架结构为三维空间框架结构，建筑分隔灵活多样，空间利用率高。

无支撑的轻型框架结构的侧向刚度较小，主要适用于 6 层及以下的低多层房屋，框架的梁柱连接可采用刚性连接和半刚性连

接,主梁和次梁之间多采用铰接。为了增加结构的侧向刚度,可增加抗侧力体系来抵抗水平荷载和地震作用,保证结构的整体稳定性。通常在建筑的横向和纵向设置支撑系统或钢板剪力墙,形成框架—支撑结构体系或框架—钢板剪力墙结构体系。框架—支撑结构适用于所有层数的低多层房屋,框架—钢板剪力墙结构主要适用于6层以上的房屋结构。当房屋有电梯时,可以结合电梯井或楼梯间布置支撑或钢板剪力墙。

轻型钢框架结构的柱网尺寸常采用6~9m,建筑的高宽比一般等于或小于6。结构布置应尽可能对称、规则,减小结构的扭转效应,避免在主体结构中设置沉降缝、防震缝和伸缩缝。楼面结构一般采用主次梁体系,宜采用压型钢板组合楼板、带预制板的叠合楼板、现浇混凝土楼板以及其他新型轻质楼面材料,楼板应与框架梁牢固连接。钢梁也可采用蜂窝梁,提高材料的利用率,为设备管道提供通行空间,增加室内净高。不上人屋面可以采用檩条和轻质保温板,如压型钢板保温板和其他轻质保温、防水材料。外墙采用轻质墙体材料,配以墙面保温和防水措施,包括自承重墙体(如空心砌块、加气混凝土板材或砌块、预制预应力多孔板等)和非自承重墙体(如压型钢板和轻质保温材料组成的复合墙板、玻璃纤维或水泥纤维增强板、玻璃幕墙等)。非自承重墙体的墙梁采用冷弯薄壁C型或Z型钢。轻型钢框架结构的内墙一般为轻质隔断墙。

### 3. 交错桁架结构

交错桁架结构体系(图1-3)是对钢框架结构形式的一种改进,在美国钢铁公司的赞助下,由美国麻省理工学院于20世纪60年代开发的一种结构体系,主要适用于平面为矩形、弧形等平面形状规则的多高层住宅、旅馆、医院和办公楼等建筑。这种结构体系中,整层高的桁架和两侧外柱直接相连,桁架交错布置于各楼层平面中,在纵向形成两倍柱距的开间,进深为房屋宽度,使室内布置更加灵活,具有大开间、大进深的优势,具有良好的适应性。

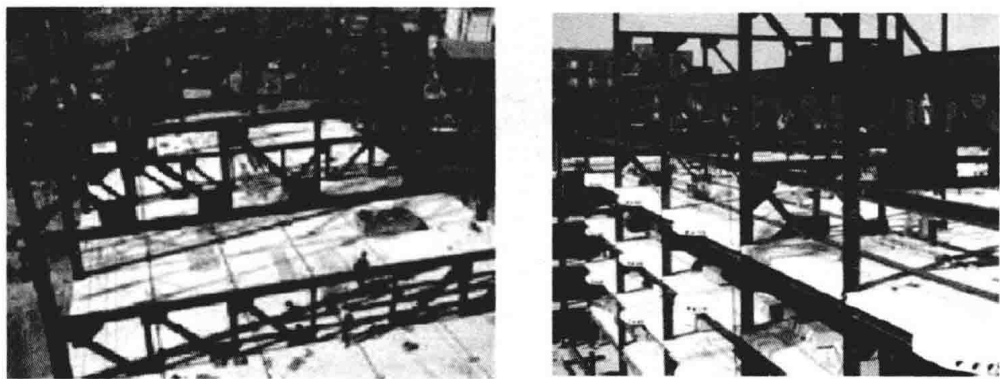


图 1-3 交错桁架结构

交错桁架的结构构件以承受轴向力为主,结构材料的强度能够得到较充分的利用,其经济效益较好,优于一般纯钢框架和钢筋混凝土结构,结构效率高。结构的主要承重骨架由房屋外侧的钢柱和跨度等于房屋跨度的桁架组成,柱子布置在房屋的外围,中间无柱。桁架的两端支承于外围柱子上,桁架沿房屋纵向隔榀布置,沿房屋高度在相邻的柱列为上、下层交错布置,由于钢桁架错层、隔榀交错布置,故称之为交错桁架结构。交错桁架

的楼面板一端搁置在桁架的上弦,另一端搁置在相邻桁架的下弦。楼板一般采用压型钢板组合楼板或现浇混凝土楼板,楼板与桁架弦杆或钢梁之间应可靠连接。桁架跨中可不设斜杆,设置走道或连通相邻的房间。交错桁架结构便于采用小柱距,缩短楼板跨度,使板厚减小,减轻结构自重。在顶层,可采用立柱支承屋面结构。在底层,若想获得无柱空间,可在二层设吊杆支承楼面,底层设横向支撑。交错桁架结构的纵向一般采用钢边梁与柱连接,结构的纵向刚度较小,为了提高结构的纵向刚度,可在结构的纵向设置支撑。交错桁架结构的内、外墙做法同轻钢框架结构。

#### 4. 低层龙骨体系结构

低层龙骨体系结构房屋(图1-4)由屋面系统、楼面系统及墙面系统组成。屋面系统由冷弯薄壁型钢桁架、冷弯薄壁型钢檩条、屋面水平支撑及屋面板等材料构成。楼面系统由冷弯薄壁型钢梁或桁架、上下结构面板及楼面混凝土等材料组成。墙面系统由冷弯薄壁型钢柱、内外层结构覆板组成。房屋的层数一般不宜大于3层,檐口高度一般不宜大于10m,建筑的宽度不宜大于12m,建筑的长度不宜大于18m。

冷弯薄壁型钢主要由1.5~3.5mm厚的普通钢板或镀锌钢板经冷弯或冷压而成。基本形状为C形或Z形、方管或矩形管。C形或Z形截面可形成各种折皱或卷边,并可拼接成矩形或工字形截面以提高截面的刚度和构件承载力。低层龙骨结构体系的框架梁、柱一般采用双C形冷弯薄壁型钢组成的工字形或矩形截面,柱有时也采用薄壁钢管或钢管混凝土。低层龙骨结构的承重结构为平面框架,通过设置柱间支撑来保证整个结构的整体稳定性。楼面采用主次梁体系和压型钢板组合楼盖,不上人屋面采用檩条和带保温层的轻质屋面。低层龙骨体系结构采用工厂制作、工地螺栓连接安装,施工现场多为干作业。其构件单体重量轻、构件小,仅需小型机械设备配合,具有安装简便、装配化程度高、施工快捷的优点,在低层住宅和别墅建筑中具有较大的发展潜力和应用空间。

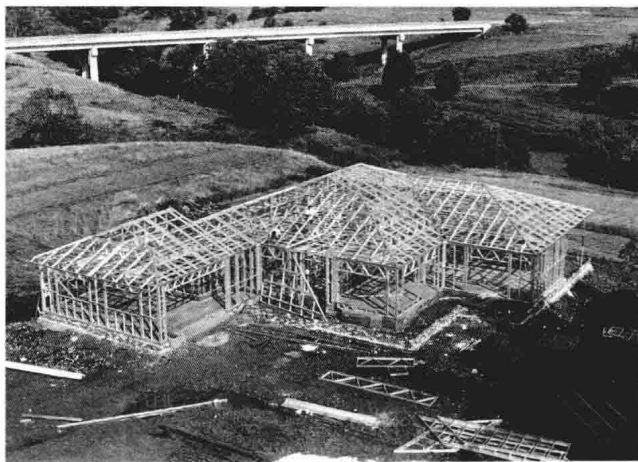


图1-4 低层龙骨体系结构

除了上述4类轻型钢结构体系的房屋结构外,也有一些结构体系属于轻钢结构的范畴,如金属拱形波纹屋盖结构等。本书重点对上述4类轻型钢结构的设计进行分析、阐述和讨论,对其他结构体系不作叙述,读者可参考相关文献资料进行设计。有关这4类轻型钢结构的具体设计,可参照本书相关章节。

## 1.2 轻钢结构的特点

轻钢结构具有良好的力学性能和综合经济效益,其特点主要表现在:

### 1. 自重轻

自重轻是轻钢结构最显著的特点。轻钢结构的承重构件主要采用轻型焊接 H 型钢、高频焊接型钢、轻型热轧型钢、冷弯薄壁型钢等截面形式,这些型钢截面比普通的工字型截面、槽钢受力合理,截面利用系数高,单位重量轻。在结构形式、跨度和荷载相同的情况下,轻钢结构比普通钢结构节约钢材 30% 以上。一般单层轻钢结构厂房用钢量为  $20\sim 40\text{kg}/\text{m}^2$ ,采用冷弯薄壁型钢的轻钢屋架用钢量为  $15\text{kg}/\text{m}^2$  以下。轻钢结构房屋的围护结构采用轻质材料,围护结构和主体承重结构自重均较轻,结构基础形式简单且费用低。

### 2. 抗震性能好

轻钢结构的钢材具有材质均匀、强度高、弹塑性性能好,承受动载能力强,可靠性高,构件破坏前有较大的塑性变形。此外,轻钢结构自重轻,结构的地震作用显著减小,结构整体抗震性能强。对于单层或低层轻钢结构,地震作用通常不起控制作用。比如单层门式刚架结构,一般情况下可以不做抗震验算。

### 3. 装配率高,施工周期短

轻钢结构的建筑构造简单,所用材料为常规材料,主要构件和配件均为工厂工业化制作,构件加工精度高。构件自重轻,运输安装便利,无须大型机械设备,工地现场安装方便。除基础施工外,基本没有湿作业,构件之间多采用螺栓连接,现场施工人员少,与同规模的钢筋混凝土结构相比,轻钢结构施工工期可缩短  $1/3$  左右。

### 4. 综合经济效益好

轻钢结构构件断面小,可减小结构本身在建筑面积上的占比。同时,也可在一定程度上降低结构层高,增加建筑有效使用面积。项目施工周期短,极大地减少投资成本,发挥提前使用的效益,投资回报率快。轻钢结构施工主要为干法作业,有利于文明施工,建筑废料少。

### 5. 节能环保

轻钢结构的墙体重量轻,保温、隔热、隔声性能方面优于传统墙体材料,符合建筑节能和环保的要求,可以达到节能 50% 的目标,节约了我国人均相对短缺的资源。轻质墙体材料属不燃、阻燃材料,本身耐火时限可达 1h 以上,结合建筑装修和围护采用防火措施后(防火板覆盖或防火涂料),耐火时限可达到 2.5h。建筑结构材料大多可回收再生利用,节约大量资源,有利于环境保护,属于“绿色建筑”,符合国家可持续发展政策和环保要求。

组成轻钢结构构件的板件较薄,对制作、涂装、运输、安装要求高,焊接构件中钢板的最小厚度为 3.0mm,冷弯薄壁型钢构件中钢板的最小厚度为 1.5mm,压型钢板的最小厚度为 0.4mm。板件的宽厚比大,使得构件在外力撞击下易发生局部变形。同时,锈蚀对构件截面削弱带来的后果更为严重。

此外,构件的抗弯刚度、抗扭刚度较小,结构整体较柔,要注意防止构件发生弯曲和



扭转变形。同时,要重视支撑体系的布置,重视屋面板、墙面板与构件的连接构造,使其能参与结构的整体工作。

当然,轻型钢结构的防火性能要明显低于钢筋混凝土结构。无任何防火保护措施的钢构件,其耐火极限约为 20min。因此,对于有防火要求的轻型钢结构,必须采用专门的防火涂料进行保护,以达到所需的耐火极限要求。

综上所述,轻型钢结构质量轻、抗震性能优越、设计及加工技术先进、施工周期短、节能环保,符合现代建筑发展趋势,综合经济效益显著,具有广阔的应用前景。

### 1.3 轻型钢结构的应用

钢结构作为一种结构形式,从 1889 年至今这一个多世纪的时间里,在世界各国的工业和民用建筑中得到广泛应用。钢结构的结构形式日趋广泛,其设计理论及制造工艺亦日趋完善。由于具体的结构体系不同,轻型钢结构一般可应用于轻型厂房、仓库、交易市场、大型超市、体育馆、展览厅及活动房屋、住宅、办公等建筑。

由于门式刚架轻钢结构体系具有重量轻、跨度大、工业化程度高、施工周期短、综合经济效益高和柱网布置比较灵活的特点,目前已广泛应用于各地工业园区、物流园区的现代轻型工业厂房和物流仓库等建筑中。

图 1-5 和图 1-6 分别是轻型变截面 H 型钢单跨门式刚架结构的单层厂房和仓库,这种建筑一般都是工厂化预制、现场安装,施工速度快、周期短,经济效益高。其单跨跨度一般最大可达 42m。如果连跨布置,空间更为宏大。此结构形式不但造价经济,而且容易满足现代化工业厂房的日益复杂的工艺要求和宏大的规模要求,因此,此结构体系推广应用最为普遍。



图 1-5 钢结构门式刚架厂房内景



图 1-6 钢结构门式刚架仓库内景

轻型钢框架结构,是一种最广泛为建筑师所理解和运用的轻钢结构形式。首先它的构件截面要小于混凝土结构,解决了钢筋混凝土结构肥梁胖柱的问题;二是可以实现建筑师需要的较大悬挑造型和结构错层,实现建筑师眼中的结构自由问题;三是钢结构外露构件表现力强,建筑外形的视觉冲击力大。因此,无论是早期的西方建筑大师、还是当今国内外的实验派建筑师们,他们的建筑创作活动都常常离不开轻型钢框架结构的运用。如

图 1-7 所示, 为 1950 年密斯设计的范斯沃斯钢结构别墅, 既准确反映了密斯的“少就是多”的建筑理念, 也充分阐述了密斯的“皮包骨”的现代建筑创作手法。

图 1-8 为当代实验派华人建筑师李晓东的代表作品“桥上书屋”, 该作品曾获得了亚洲建筑师协会建筑金奖。整个桥形建筑的独特空间处理和造型震撼力, 同其独特的 H 型钢结构框架的巧妙应用密不可分。

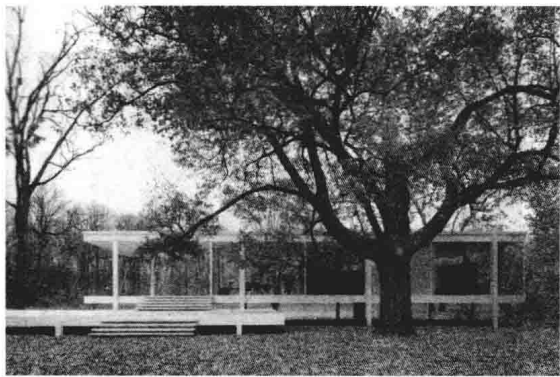


图 1-7 1950 年密斯设计的范斯沃斯钢结构别墅



图 1-8 桥上书屋

交错桁架结构, 一般适用于建筑平面长而狭的平面的多、高层公共建筑, 如公寓、学校、宾馆、医院等重复小空间建筑。国外对交错桁架结构体系的研究和应用已有一定的基础。图 1-9 为 2009 年建成的位于美国芝加哥市中心的斯桥公寓式酒店外观及桁架示意图, 该酒店为芝加哥市中心的第一个交错桁架结构建筑, 在建筑的经济性、空间的实用性和外观的独特性方面都取得了难得的成功。目前的国内外研究和实践都表明, 此种结构体系在节约建筑空间层高和提高空间使用灵活性方面具有独特优势。因此, 交错桁架体系确实是一种经济、适用、高效的新型结构体系。

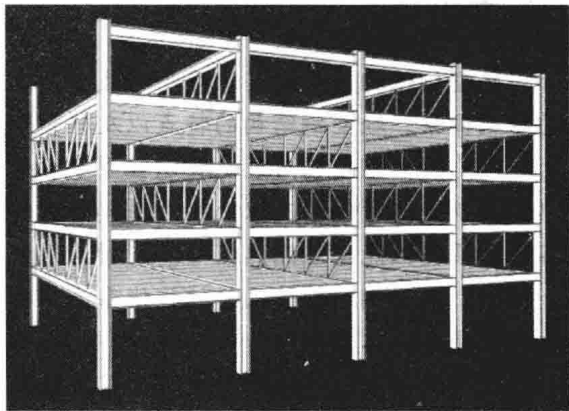


图 1-9 交错钢桁架结构的美国芝加哥斯桥公寓式酒店外观及桁架示意图

低层龙骨体系结构, 国外又称为隔扇式框架建筑体系, 力学原理同西方的传统木结构体系最接近。由于这种体系的主要支撑结构是由薄壁型钢龙骨组成的框架隔扇, 因此, 建筑空间的灵活性受到较大的限制, 未来建筑的可改性也较差。如图 1-10 所示, 目前一般大量应用于工业化水平较高的低层钢结构住宅和别墅项目。



最后,还有一种工业化程度更高的盒子组合式建筑体系。此种建筑体系一般是在工厂用薄壁型钢组装成一个房间大小的盒子骨架,然后运到施工现场,只要把各个盒子吊装就绪,作好节点的结构和防水处理,接上管线即可使用。有的盒子单元为了减小运输中的体量,做成可以折叠的盒式构件,运到现场,在吊装时打开构件,进行组装。有的还可做成拖车式或集装箱式活动房屋,便于搬运。这种建筑体系常常被用来作为临时建筑、边缘地区建筑、可移动的建筑。图 1-11 为国外街头的临时建筑——集装箱式店铺。



图 1-10 低层龙骨体系结构



图 1-11 集装箱式店铺

总之,轻钢结构的技术优势非常明显,同时它又具有建筑设计标准化、构配件生产工厂化、施工机械化和科学化管理等“新建筑工业化”的特点,因此,轻钢结构体系无疑属于当今可持续发展的绿色建筑技术体系之一。随着我国城市化进程的不断加快,绿色建筑国策的进一步贯彻执行,轻钢结构建筑体系必将在未来的现代化建设过程中得到进一步的推广和应用。

## 本章小结

轻钢结构质量轻、承受的荷载小,本章主要介绍了轻钢结构的概念、轻钢结构的结构体系、轻钢结构的特点以及轻钢结构的应用。

(1) 轻钢结构建筑是指以轻型冷弯薄壁型钢、轻型焊接型钢、高频焊接型钢、轻型热轧型钢、薄壁钢管及以上构件拼接而成的组合构件为主要承重构件,轻型金属压型板或各种轻质高性能保温隔热板(墙)材为围护结构组成的建筑结构。

(2) 轻钢结构的主要结构体系主要有门式刚架结构、轻钢框架结构、交错桁架结构及低层龙骨体系结构。

(3) 轻钢结构具有自重轻、抗震性能好、工业化程度高、施工周期短、综合经济效益好、节能环保、防腐和防火要求高等特点。

(4) 轻钢结构可应用于轻型厂房、仓库、交易市场、大型超市、体育馆、展览厅、活动房屋、住宅及办公等建筑。

## 思考与练习题

1-1 一般来讲,轻钢结构建筑是怎么组成的?