

# 轻型钢结构住宅

王明贵 储德文 著



JGJ 209-2010 JGJ 209-2010 JGJ 209-2010  
JGJ 209-2010 JGJ 209-2010 JGJ 209-2010  
JGJ 209-2010 JGJ 209-2010 JGJ 209-2010  
JGJ 209-2010 JGJ 209-2010 JGJ 209-2010

中国建筑工业出版社

# 轻型钢结构住宅

王明贵 储德文 著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

轻型钢结构住宅/王明贵, 储德文著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011.8

ISBN 978-7-112-13186-0

I. ①轻… II. ①王… ②储… III. ①轻型钢结构-住宅-建筑设计  
IV. ①TU241

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 070066 号

本书较全面地讲解了轻型钢结构住宅的特点、围护材料性能以及设计施工和使用维护等内容, 并详细介绍了轻型钢结构住宅的几个专项研究成果和工程设计实例。全书共分 7 章, 第 1 章概述了钢结构住宅的特点和发展研究; 钢结构住宅的材料为重要内容, 本书单列于第 2 章专门讲述; 第 3、4、5 章分别为建筑设计、结构设计和施工验收, 其中将围护体系的内容贯穿始终, 按专业在各章分别讲述墙体、楼面和屋面的建筑设计、结构安装、施工措施、工程验收及使用维护等具体要求, 力求保障建筑功能性和结构安全性的实现; 第 6 章为轻型钢结构住宅的几个专项研究, 较详细地介绍了轻型钢结构住宅的新技术研究成果; 第 7 章为工程实例, 给出了 3 个新农村建设的工程设计实例。本书前 5 章为轻型钢结构住宅的基本概念和基本理论, 第 6 章的研究内容和第 7 章的设计计算举例是对前 5 章的充实和完善。

本书呈献给从事钢结构住宅实践的工程技术人员, 旨在交流和推动我国钢结构住宅及其产业化事业, 对从事研究开发钢结构住宅新技术或新材料的科研人员、高校研究生可供参考。

责任编辑: 何玮珂

责任设计: 赵明霞

责任校对: 陈晶晶 刘 钰

## 轻型钢结构住宅

王明贵 储德文 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

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18½ 字数: 446 千字

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月第一次印刷

定价: 45.00 元

ISBN 978-7-112-13186-0  
(20608)

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)

## 序

钢材的容重虽然高于其他建筑结构材料,但是它的强度比其他材料高出更多,因而实质上是一种轻质材料。钢材因其这种特性,成为大跨度结构、高耸结构和重型结构的唯一选项。然而,在轻型结构领域,钢材同样具有优越性。20世纪80年代以前,钢结构之所以只用于钢筋混凝土不能替代的场合,是受到钢产量很低的制约。改革开放后,钢产量飞跃发展,轻型钢结构必然迅速兴起。轻型门式刚架结构在工业建筑和商业建筑中大放异彩,就是明证。在居住建筑领域,钢结构同样具有很好的前景。问题是需要采用合理的方案来降低造价。有效的途径有以下几个方面。

1. 选定合理的结构体系,设计出标准化的构件系列并建立生产线,运到工地快速安装。
2. 选定配套的楼板和维护结构材料,质轻而隔热性能好。总体质量轻,施加于地基的荷载轻,又减轻地震效应。
3. 墙板和屋面板具有一定的强度,可以兼充主体结构的支撑,从而减少部件总量,减少工地的装配工作量。

2010年住房和城乡建设部颁布的《轻型钢结构住宅技术规程》JGJ 209就是针对以上各点进行广泛调查和细致的科学研究的基础上完成的。《轻型钢结构住宅技术规程》JGJ 209密切结合我国当前的实际,为轻型钢结构住宅指出方向 and 规定相应措施,必将对城乡住房建设起巨大的促进作用。《轻型钢结构住宅技术规程》JGJ 209在工程实践中是否能够运用得当,取决于有关人员对它的理解和掌握的深度。这里涉及结构材料和非结构材料的性能、新型结构方案的特点、异形钢柱的计算原理和保证施工质量的要领等。本书的撰写和出版,就是为工程技术人员提供一本有益的参考资料。书的内容不仅覆盖材料、建筑设计、结构设计和施工验收的各个方面,还给出设计实例,包括图纸和计算书。

另一方面,书中又着重阐述了有关钢结构研究的三项专题。其一是L形截面钢柱的强度和稳定计算的理论依据、计算公式的简化过程和试验揭示出的柱实际表现。此异形柱截面没有对称轴,因而计算复杂。

其二是填充墙的性能试验和等效支撑的计算公式。《轻型钢结构住宅技术规程》JGJ 209要求对填充的轻质墙体进行抗侧力试验,并提供等效支撑截面尺寸的计算公式。但是,规程对此没有进一步指示。本书的这部分内容起了对规程的补充作用。

其三是和H型钢梁连接的套筒式节点的有限元分析和试验研究。钢管用作柱子具有十分优良的性能,但它和梁连接需要较为复杂的构造才能保证必要的刚度。套筒式节点是新开发的构造方案。

深入了解新型构件、节点和板材的性能及计算依据,无疑有助于工程技术人员轻而易举地完成有我国特色的轻钢住宅的设计和施工工作。

陈绍蕃

2011年4月

# 前 言

本书介绍的轻型钢结构住宅是以轻型钢框架为结构体系，配套有满足建筑功能要求的轻质墙板、轻质楼板和轻质屋面板建筑系统，并具有水、电、暖、厨、卫等设备的节能住宅建筑。这些轻质材料在书中都有具体要求和应用范例。它是我国自主研发的一种符合中国国情的、与我国现行标准规范基本保持一致的新的建筑体系。

进入 21 世纪以来，随着国民经济的快速发展，建筑行业提出了住宅建筑产业化的要求，随即我国开始广泛地研究开发钢结构住宅建筑技术，有从国外直接引进的冷弯薄壁型钢龙骨体系，也有国产框架体系，做了许多科学研究和工程实践工作。经过一段时间的探索，人们开始反思什么是钢结构住宅？钢结构住宅技术的难点和重点是什么？在我国应该如何发展钢结构住宅等一系列问题。从事和关心钢结构住宅技术开发的广大工程技术人员逐渐认识到，钢结构住宅不仅仅是用钢材来建造房屋，重要的是围护系统（指墙板、楼板和屋面板等）的材料开发和应用技术成熟与否，是一个新的建筑节能材料和新型建筑节能体系的庞大的技术系统问题，是一个工厂化建造房屋的转变建筑生产方式的社会经济发展问题。经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，我国第一部关于钢结构住宅的规范——《轻型钢结构住宅技术规程》JGJ 209-2010（以下简称“规程”）于 2010 年 4 月 17 日由住房和城乡建设部颁布了，该“规程”提出了一种符合中国国情的、与国家现行标准基本保持一致的“轻型钢结构住宅”新体系，规定了轻型钢结构住宅建筑的功能和性能，给出了轻型钢结构住宅的材料标准、设计施工和验收技术要求以及使用和维护的规范管理原则。该“规程”的颁布，不仅用以规范和指导我国轻型钢结构住宅的工程实践，而且对企业开发新型墙体材料和建筑节能新体系具有指导作用。本书的作者是该“规程”的主编，为了全面准确地理解“规程”内容，作者总结了自己多年的亲身研究成果和工程实践，较全面地介绍了轻型钢结构住宅的特点、材料和建造技术，旨在与从事钢结构住宅技术工作者之间的学习和交流，抛砖引玉，共同推动我国钢结构住宅乃至住宅建筑产业化进程。

全书共分 7 章，各章的内容梗概如下：

**第 1 章 概论** 力争阐明钢结构住宅的特点、难点和发展方向，强调轻型钢结构住宅是房屋型企业开发的专用建筑体系，是集建筑材料和建筑技术为一体的、设计和施工一体化的综合技术，与现行的设计、施工体制完全不同，不能把材料、设计与施工割裂开来，要求设计师了解这种装配式体系，既懂所用材料的各种性能，又知道如何设计和安装，应将墙体材料及围护系统的技术要领落实到建筑、结构和施工各个环节，确保建筑功能的实现。

**第 2 章 材料** 钢结构住宅的配套材料是关键，尤其是围护系统的材料，为此第 2 章专门讲材料，该章不仅介绍了钢结构住宅所用主要材料的性能要求，还对我国当前常见的一些轻质材料性能作了评述，为钢结构住宅的材料选用或是材料开发提供参考。

**第3章 建筑设计** 轻型钢结构住宅最终是居住建筑，应该达到住宅建筑的共性要求。该章没有罗列住宅建筑共性的问题，而是着重介绍钢结构住宅特有的建筑设计内容，强调装配式建筑的核心是模数和模数协调，讲述了建筑模数在钢结构住宅产业化技术开发中的意义和应用，使抽象的模数在装配式住宅建筑设计中有具体的物理意义，进而延伸到建筑的可换性、通用设计概念，还讲述了轻质围护材料的建筑性能要求以及建筑设计技术。

**第4章 结构设计** 结构如何设计得既轻巧又符合现行规范的要求，本章对此有许多研究成果技术介绍，如墙体侧向刚度的利用、钢异形柱、板组件的耦合宽厚比、柱长细比、标准化的节点构造技术、轻质围护墙体的安装以及楼板、屋面板的安装结构设计等。

**第5章 施工和验收** 不仅讲了钢结构的内容，而且着重讲了围护系统的施工安装要点、节能专项验收等，还讲了钢结构住宅的使用与维护要求。

**第6章 专题研究** 介绍了我们在近几年所做的钢异形柱、墙体侧向刚度和套筒式梁柱节点的研究工作，该章不仅提供了结构设计应用新技术的背景研究资料，而且给出了大量翔实的薄壁构件理论与试验研究内容，可作为大专院校轻钢结构研究生的参考教材。

**第7章 工程实例** 本章选了两个单层建筑、一个两层建筑的实际工程设计实例供参考。设计因人而异，会有争议，希求同存异，尤其是对于两层的建筑，我们还给出了计算书，旨在说明本书介绍的轻型钢结构住宅体系“符合我国国情、与国家现行标准基本保持一致”的例证，对于刚涉足轻钢结构设计的工作者也有一定的帮助作用。

我们的同事张莉若研究员、汤荣伟博士、赵爽工程师、阳升工程师、佟道林工程师等为本书做了大量的工作，在此深表感谢。另外，研究生谭世友、王晓喻、许刚、汤中发等为本书也做了许多研究工作，在此表示感谢。

在此特别感谢我们所在的工作部门、实验室和中国建筑科学研究院给予的大力支持和帮助。

在此还要感谢北京华丽联合高科技有限公司、北京大诚太和钢结构科技有限公司为本书提供的工程资料。

作者水平有限，难免在书中出现不妥之处或是错误，敬请广大读者提出批评指正，我们在此表示诚挚的谢意，并努力在今后的工作中加以改进和完善。

**王明贵**

2011年3月 北京

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第 1 章 概论               | 1  |
| § 1.1 轻型钢结构住宅的特点       | 1  |
| § 1.2 国内外发展现状          | 2  |
| § 1.3 轻型钢结构住宅的发展方向     | 6  |
| 本章参考文献                 | 7  |
| 第 2 章 材料               | 8  |
| § 2.1 结构材料             | 8  |
| 2.1.1 钢材               | 8  |
| 2.1.2 连接材料             | 12 |
| 2.1.3 钢筋混凝土            | 15 |
| 2.1.4 轻质楼板材料           | 16 |
| § 2.2 围护材料             | 19 |
| 2.2.1 一般要求             | 19 |
| 2.2.2 水泥基板材            | 20 |
| 2.2.3 轻钢龙骨复合墙板         | 21 |
| § 2.3 保温材料             | 23 |
| 本章参考文献                 | 24 |
| 第 3 章 建筑设计             | 26 |
| § 3.1 建筑模数             | 26 |
| 3.1.1 建筑模数概念           | 26 |
| 3.1.2 模数协调及其发展状况       | 27 |
| § 3.2 轻型钢结构住宅建筑设计的基本原则 | 29 |
| 3.2.1 集成化              | 29 |
| 3.2.2 一体化              | 31 |
| 3.2.3 建筑节能             | 31 |
| § 3.3 建筑平面设计           | 32 |
| 3.3.1 平面布置             | 32 |
| 3.3.2 轻质楼面建筑做法         | 34 |
| § 3.4 轻质墙体与屋面设计        | 36 |
| 3.4.1 设计原则             | 36 |
| 3.4.2 水泥基轻质墙体和屋面       | 37 |
| 3.4.3 轻钢龙骨复合墙体         | 40 |
| 3.4.4 轻质砌块墙体           | 40 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 本章参考文献 .....             | 44        |
| <b>第 4 章 结构设计 .....</b>  | <b>45</b> |
| § 4.1 一般规定 .....         | 45        |
| 4.1.1 结构体系 .....         | 45        |
| 4.1.2 荷载与作用 .....        | 46        |
| 4.1.3 计算分析 .....         | 47        |
| § 4.2 构造要求 .....         | 48        |
| 4.2.1 构件长细比 .....        | 48        |
| 4.2.2 板件宽厚比 .....        | 48        |
| § 4.3 结构构件设计 .....       | 49        |
| 4.3.1 钢异形柱设计 .....       | 50        |
| 4.3.2 轻质楼板结构设计 .....     | 54        |
| § 4.4 节点设计 .....         | 55        |
| 4.4.1 连接计算 .....         | 55        |
| 4.4.2 梁柱端板连接 .....       | 62        |
| 4.4.3 梁柱套筒式连接 .....      | 63        |
| 4.4.4 柱脚和基础设计 .....      | 64        |
| § 4.5 非结构构件设计 .....      | 65        |
| 4.5.1 荷载 .....           | 65        |
| 4.5.2 构造 .....           | 66        |
| § 4.6 钢结构的防护 .....       | 66        |
| 4.6.1 钢结构的防腐与涂装 .....    | 66        |
| 4.6.2 钢结构防火 .....        | 70        |
| 本章参考文献 .....             | 73        |
| <b>第 5 章 施工和验收 .....</b> | <b>74</b> |
| § 5.1 施工准备 .....         | 74        |
| 5.1.1 施工组织设计 .....       | 74        |
| 5.1.2 工程划分 .....         | 75        |
| § 5.2 钢结构的制作和安装 .....    | 76        |
| 5.2.1 钢结构的制作与安装 .....    | 76        |
| 5.2.2 钢结构的验收 .....       | 77        |
| § 5.3 轻质楼板的安装 .....      | 77        |
| § 5.4 轻质墙体施工 .....       | 77        |
| 5.4.1 基本要求 .....         | 77        |
| 5.4.2 墙板式墙体施工 .....      | 79        |
| 5.4.3 砌块式墙体施工 .....      | 79        |
| 5.4.4 轻钢龙骨复合墙体施工 .....   | 81        |
| 5.4.5 轻质保温屋面施工 .....     | 82        |
| § 5.5 竣工验收 .....         | 82        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| § 5.6 使用与维护                       | 84         |
| <b>第 6 章 专题研究</b>                 | <b>86</b>  |
| § 6.1 钢异形柱                        | 86         |
| 6.1.1 引言                          | 86         |
| 6.1.2 L 形截面的几何特性                  | 87         |
| 6.1.3 任意开口薄壁截面柱的强度计算              | 102        |
| 6.1.4 任意开口薄壁截面柱压弯构件弹性弯扭屈曲一般方程     | 103        |
| 6.1.5 任意截面开口薄壁柱轴心受压稳定计算           | 106        |
| 6.1.6 L 形截面柱轴心受压试验研究              | 117        |
| 6.1.7 L 形截面柱压弯稳定计算                | 120        |
| 6.1.8 L 形截面柱偏心受压试验研究              | 125        |
| § 6.2 框架填充墙侧向刚度                   | 130        |
| 6.2.1 概述                          | 130        |
| 6.2.2 钢框架镶嵌填充墙板抗侧力试验              | 132        |
| 6.2.3 冷弯薄壁钢管桁架龙骨复合墙体侧向刚度试验        | 147        |
| § 6.3 套筒式梁柱节点                     | 155        |
| 6.3.1 概述                          | 155        |
| 6.3.2 圆钢管柱与 H 型钢梁套筒式连接节点试验研究      | 155        |
| 6.3.3 方钢管柱与 H 型钢梁套筒式连接节点试验研究      | 165        |
| 本章参考文献                            | 172        |
| <b>第 7 章 工程实例</b>                 | <b>174</b> |
| § 7.1 60m <sup>2</sup> 单层轻钢结构示范农宅 | 174        |
| § 7.2 90m <sup>2</sup> 单层轻钢结构示范农宅 | 186        |
| § 7.3 两层轻钢结构新农村住宅                 | 198        |
| 附：两层轻钢结构新农村住宅计算书                  | 220        |

# 第 1 章 概 论

## § 1.1 轻型钢结构住宅的特点

轻型钢结构住宅适用于低层或多层建筑，它是由轻质材料组成的、可工厂化生产的、现场组装的轻型房屋建筑，并具有设计施工一体化的特点。轻质材料包括承重结构体系所需要的轻型钢结构和建筑围护体系所需要的轻型板材。所谓轻型钢结构是指在低层或多层建筑中可采用冷弯薄壁型钢构件，再结合其他措施，能使结构用钢量较少；而轻型板材是指与传统的钢筋混凝土相比干密度小一半以上的板材。轻型钢结构住宅是一种新的建筑体系，涉及的材料是新型建筑材料，设计方法是“建筑、结构、设备与装修一体化”的新方法，是住宅建筑产业化的一种形式。

轻型钢结构房屋有以下优点：

(1) 抗震性能优于钢筋混凝土结构。混凝土属脆性材料，延性差，而钢材具有良好的延性，在地震作用下钢结构的延性不仅能减弱地震反应，而且属于较理想的弹塑性材料，具有抵抗强烈地震的变形能力。

(2) 自重轻，能降低基础工程造价。与钢筋混凝土结构相比，两类结构的自重比例为 3 : 1，全部重力荷载的比例约为 2 : 1。荷载值的很大差异，相应的地震作用数值也大为减少，基础荷载大为减轻，基础技术处理的难度以及基础工程造价等均可得到很大地减少。

(3) 可增加使用面积。与钢筋混凝土结构相比，钢结构的柱截面小，新型墙体的厚度也较小，可增加使用面积 3%~5%，这对投资方来说将产生不小的经济效益。

(4) 施工周期短。钢结构的施工特点是钢构件在工厂制作，然后在现场安装，不需要大量支模、绑扎钢筋，钢结构的施工速度比钢筋混凝土结构快 30%~50%，施工周期短，投资回报早，资金利用率高。

(5) 是环保型建筑，可再生利用。钢结构可回收再生利用，且施工现场湿作业少，噪声小，有利于城市的环境治理和环保。

轻型钢结构住宅的工厂化生产方式转变，标志着住宅建造由工地走向工厂、由粗放型走向集约型的产业化发展道路，标志着建筑行业整体技术进步。住宅产业现代化是生产力发展和科技进步的必然趋势，我国是钢产量大国，推广建筑用钢意义重大。我国住宅建设量大面广，建设持续时间长，是国民经济的增长点。随着黏土砖被禁用，建筑资源可持续发展和建筑节能等问题被提上议事日程。若能促进住宅建筑用钢，对建筑行业新技术、新材料、新体系的开发以及建筑行业整体水平提高能起到重要推动作用，同时对冶金行业的发展也能起到促进作用。因此，开发和应用轻型钢结构住宅技术具有重要的现实意义。

## § 1.2 国内外发展现状

国外利用镀锌轻钢龙骨作为承重结构建造住宅已有近 30 年的历史, 由于这种结构自重轻, 抗震、保温、隔热性能好, 建造速度快, 在美国、日本、加拿大、澳大利亚等国得到广泛利用。

### (1) 北美轻钢结构住宅

北美轻钢结构住宅是在木结构住宅的基础上派生出来的, 在北美住宅市场上约占 20% 的份额。房屋骨架用镀锌轻钢龙骨制成, 一般为二层左右的独户或联排式住宅 (图 1.2-1)。其中, 美国部分地区已建成的住宅、旅馆、公寓约 300 万平方米, 建在俄亥俄、印地安纳、伊利诺伊等非地震区, 也有建在加利福尼亚、佛罗里达等地震区。既有镀锌轻钢龙骨的, 也有部分采用热轧型钢加强的, 还有混凝土结构作为地下车库的混合结构体系。北京居其美业西式房屋技术开发有限公司引进该项技术, 在北京市昌平区小汤山镇建成了 20 多万平方米 17 个户型的低层独立住宅建筑, 并为其制定了技术标准和施工验收规程。现在, 美国也用于建造四层甚至六层的公寓, 如 1999 年建成的位于华盛顿州 8 层轻钢结构的假日酒店, 在西雅图和加拿大不列颠哥伦比亚省的多层轻钢结构公寓。美国有专门的生产镀锌轻钢龙骨房屋体系的企业百余家, 其中较著名的是华新顿 (Worthington) 工业公司下属的迪特瑞驰 (Dietrich) 公司, 他们年生产镀锌轻钢构件 450 万 t, 并开发了迪特瑞驰建筑体系 (Dietrich Building System), 简称 DBS 体系。DBS 技术体系可以建造多层轻钢结构住宅, 墙体采用 C 形轻钢龙骨两面夹纸面石膏板, 楼板采用 C 形轻钢龙骨铺 20mm 厚纤维水泥板, 都用玻璃棉填充起到保温隔声的作用。

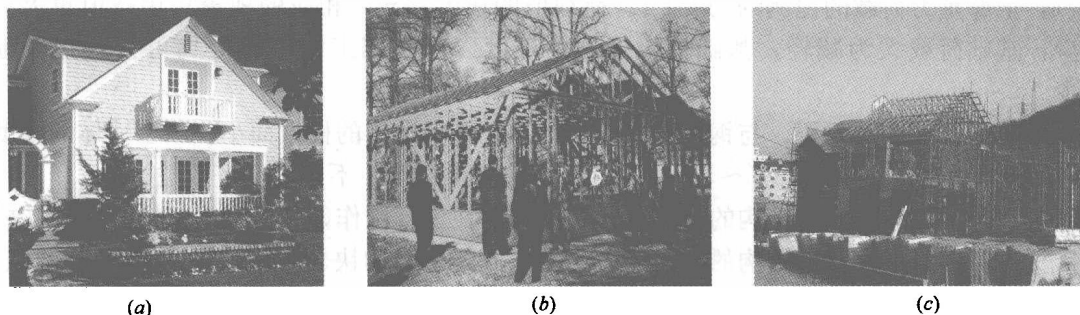


图 1.2-1 北美轻钢结构住宅  
(a) 外景; (b) 正在建造; (c) 引进北京

### (2) 日本的薄板钢骨住宅建筑

日本的薄板钢骨建筑是使用镀锌冷弯型钢的非焊接结合的新建筑工艺, 也被称作钢结构  $2\times 4$ , 是一种板肋结构的住宅工艺。 $2\times 4$  是北美的传统住宅工艺: 用  $2\times 4$  英寸为基本尺寸的木材 (lumber) 制作框架, 再用钉将胶合板等面材固定其上, 构成墙板、楼板, 进行箱形组装的工艺。而薄板钢骨建筑则是将框架材料由木材替换为钢材, 钢材厚度为 1.0mm 左右的镀锌冷弯型轻钢龙骨, 其墙体、楼板、屋架的型钢两侧安装胶合板、石膏板等各种轻质面板材料, 依此通过其复合截面结构的整体实现结构性能、耐火性能、耐久

性能、保温性能、隔声性能和其他各种性能。1994年11月,日本通商产业省制铁课主办的城市钢铁(Urban Steel)研究会上,薄板钢骨建筑成为主题之一,以社团法人钢材俱乐部为事务局,由6家钢铁生产商(新日铁、NKK、川崎制铁、住友金属工业、神户制铁所、日新制钢)参加着手研发。1996年1月,6家公司在钢铁俱乐部设置薄板钢骨建筑委员会,正式开展关于结构性能、耐火性能、耐久性能、保温性能、隔声性能等多方面的共同研究和开发活动,其研发的成果就是“KC型薄板钢骨建筑”。薄板钢骨建筑是将钢铁的优势和板肋工艺的优势组合起来的结构,通过对建筑物实体同尺寸大小的实验、剪力墙的抗剪耐力实验、地震模拟(振动实验),科学地证明了抗震性能、抗风性能以及抗雪载性能,并且实现了能够保证达到日本建筑基准法所定各基准值的1.5倍、1.2倍及1.2倍性能的设计方法。结果在2000年日本制定的《住宅品质确保促进法》性能评价制度评估中,抗震性能以及结构刚度、耐久性能、节能性能等所有项目上都获得了最高等级。日本的城镇住宅密集,建筑物间隔狭窄,这样各个建筑物都需要具有耐火性能。为此,进行主体结构主要材料薄板轻钢龙骨的火灾模拟高温失稳实验,明确了耐火特性,同时也明确了墙板、楼板、屋架的性能,并且实现了可保证60min准耐火性能(可耐受60min火热的性能)的规格配置。采用“通气层+外保温”的标准保温方法,将基础到屋面的外侧用足够厚度的保温材料严实地包裹起来,即使是冬季的早晨也会感觉温暖,而且北侧的储物间也无需担心结露。实际已证明还可比现在减少50%(东京地区可节能约40%)的采暖制冷能耗,实现健康舒适的生活空间。在此基础上,通过对镀锌钢板和自攻螺钉结合部的复合循环实验以及实际房屋中的腐蚀环境测定,证实了耐久性能,并且实现了可保证3代(约75~90年)的耐久性能(性能评价制度的最高等级)规格配置。2001年11月,日本国土交通省制定了关于薄板轻钢龙骨结构的技术标准通告第1641号,由此,包括薄板钢骨建筑的薄板轻钢龙骨结构建筑物作为一般工艺被“正式地”纳入到建筑基准法体系当中,可适用范围也随之得到迅速扩大。以此为契机,6家钢铁制造商结束了共同研发,从2002年开始,依据通告内容,各公司面向超越KC型的极限加快发展,分别致力于各自技术、工艺的开发。2003年度,实现开工1878栋约20000户,可以说进入了普及期。2003年度,薄板轻钢龙骨的需求量达到了2万t,此外还有大型预制住宅生产商推进由木质材料到薄板轻钢龙骨的转换,其量超过3万t。

日本积水化学工业株式会社设在埼玉县的工厂拥有两条每48min即可制造出1幢住宅的生产线,运到现场后进行装配(图1.2-2)。北京北新建材集团与日方合作开发轻钢住宅体系,外墙板采用北新集团自产的15mm厚“金邦板”作为防护、装饰面层。

日本建筑防火设计规范把装修材料分为不燃性材料、准不燃材料和难燃材料三个级别。一般居室允许使用难燃材料,厨房、走廊、楼梯和地下部分则要求使用准不燃和不燃材料。但当建筑中设置了自动灭火和自动排烟系统后,可不对内装修材料提出防火要求。

### (3) 澳大利亚的博思格轻钢住宅技术

澳大利亚的博思格从1970年开始用薄壁型钢代替木结构建造住宅,到90年代就形成了“博思格建筑系统”。博思格的薄壁钢是1~2mm厚的高强镀锌钢板(屈服强度550MPa),外墙采用复合夹心墙:外侧为增强纤维水泥板或加气混凝土板(GRC或ALC)、内侧采用石膏板或埃特板、中间采用玻璃棉纤维保温,楼板采用定向刨花板

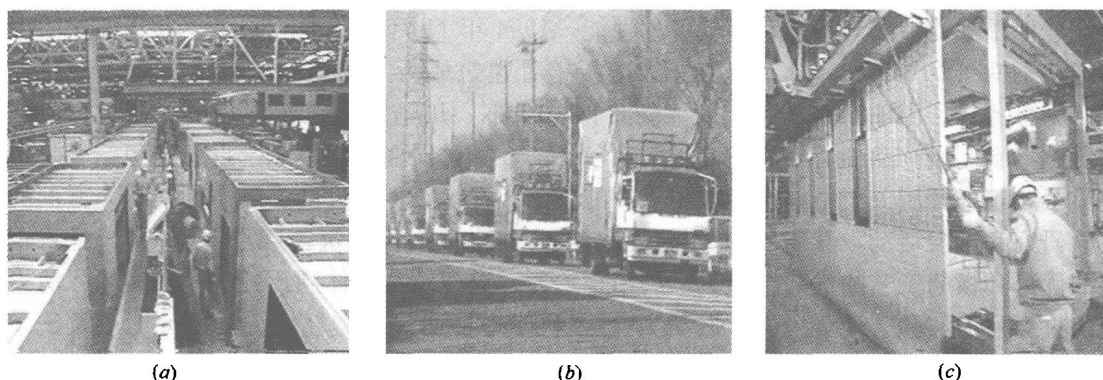


图 1.2-2 日本轻钢结构住宅生产  
(a) 工厂制造；(b) 运输到工地；(c) 现场装配

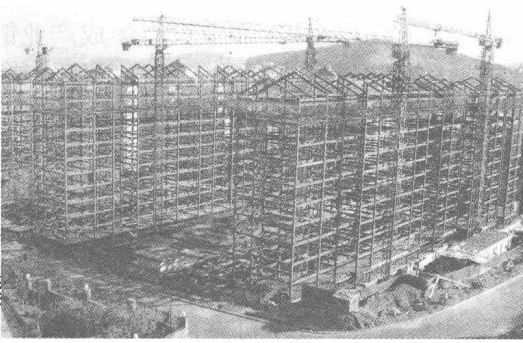
(OSB 板)，屋面采用彩瓦。还有钢桁架体系、封檐体系、天沟和落水管体系等。其住宅建筑技术于 2005 年初引入中国，由建筑系统生成软件完成构件和节点详图，可直接输送到加工设备进行自动加工，所有节点用螺钉连接，没有焊接。2005 年 9 月在北京第五届国际建筑钢结构展览会上，博思格展示了其轻钢住宅建筑技术，并在上海建造了一幢连体别墅建筑，据说其所有的产品和材料都是在中国生产的。博思格钢铁公司在澳大利亚坎布拉港拥有年产 510 万 t 的钢铁生产基地，在新西兰有 62.5 万 t 钢铁生产基地，在美国和亚太地区都有钢铁产品生产或加工厂。

#### (4) 欧洲的节能住宅建筑

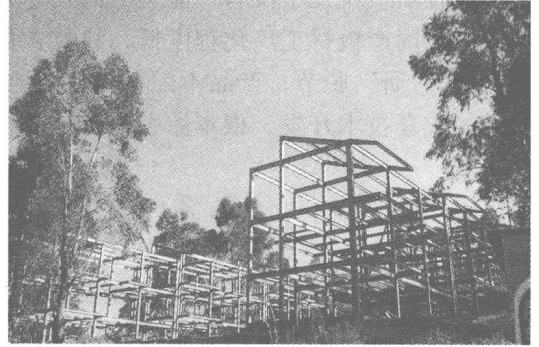
德国从 2002 年开始实行新的建筑节能规范 (EnEV2002)，其核心是从控制单项建筑维护结构 (如外墙、外窗、屋顶) 的最低保温隔热指标，转化为对建筑物真正的能量消耗量的控制。具体管理是：建筑能耗定量化，即新建住宅必须出具能耗证书，就像汽车百公里油耗是多少一样，这套房子每年的能耗是多少要定量化。建筑能耗计算书须提供给主管部门，并作为售房、出租过程的必要文件。这一规定对德国的住宅开发以及建筑材料市场产生了很大影响。

瑞典在面向可持续发展的住宅建筑技术开发过程中，并不追求特别先进的技术和产品，而是把重点放在对成熟、实用的住宅技术与产品的集成。例如在节能方面尽量应用可再生能源，包括风能、太阳能、地热和生物能 (垃圾处理余热)，而且也只是对这些当地已经广泛应用的风能、太阳能、地热和生物能等成熟的技术加以集成。

我国的钢结构住宅建筑技术研发起步较晚，自从 2000 年我国首次召开钢结构住宅技术研讨会以来，全国积极开展有关钢结构住宅的科研和工程实践活动。不仅有许多高等院校和科研院所进行了大量的专项科学技术研究，取得了丰富的成果，而且有许多企业进行了各种形式的新型建筑材料开发和钢结构住宅工程试点，积累了丰富的工程经验。近几年来，在我国出现的钢结构住宅建筑形式有：以国产 H 型钢结构体系居多 (图 1.2-3)，墙体采用砌块填充，造价与钢筋混凝土结构基本持平，也有从国外引进的冷弯薄壁型钢低层住宅工程 (图 1.2-4)，还有自主研发的轻钢框架配套水泥基的复合保温墙板和屋面板，建造成低层和多层的钢结构住宅工程 (图 1.2-5)。目前，我国的钢构住宅在技术、质量以及建设数量上与国外发达国家相比存在差距较大，主要表现在建材业不发达，与钢结构



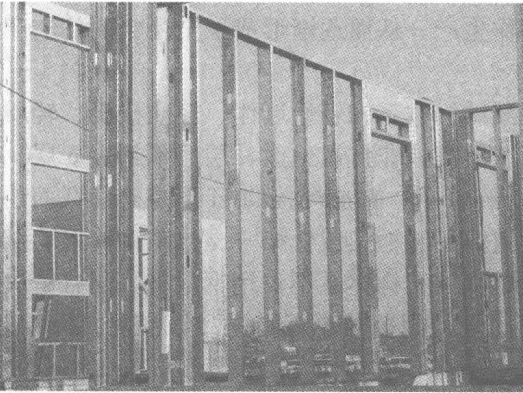
(a)



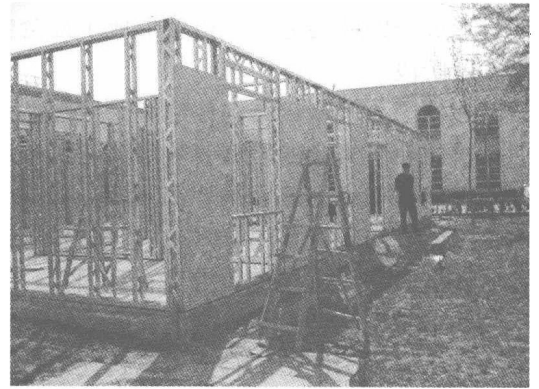
(b)

图 1.2-3 热轧 H 型钢结构住宅

(a) 多层或高层建筑；(b) 低层建筑



(a)



(b)

图 1.2-4 从国外引进的钢结构住宅

(a) 冷弯薄壁 C 型钢龙骨式建筑；(b) 冷弯薄壁钢管桁架龙骨式建筑



(a)



(b)

图 1.2-5 我国轻型钢结构住宅

(a) 轻钢框架结合轻质复合保温板；(b) 可再生能源与建筑一体化

配套的轻质板材几乎没有,能见到的几乎是国外的产品,如 OSB 板、硅钙板、纤维水泥压板等,国产板材工厂化程度低,科技含量不高,没有形成规模。企业没有形成产业链,“产、学、研”脱节;产品不配套,片面地理解钢结构住宅就是钢结构,忽视了住宅建筑功能的成套技术开发。根本原因是各地方经济发展不平衡,处于发展的初级阶段。

### § 1.3 轻型钢结构住宅的发展方向

轻型钢结构住宅是一种专业性很强的综合建筑体系,是房屋公司的专业技术和产品。轻型钢结构住宅的设计与建造必须要有材性稳定、耐候耐久、安全可靠、经济实用的轻质围护配套材料及其与钢结构连接的配套技术,尤其是轻质外围护墙体及其与钢结构的连接配套技术。现阶段要以企业为龙头,企业联合高校和科研单位搞住宅产业化成套技术和产品开发,再集成化住宅建筑,形成企业房屋品牌,以整体房屋走向市场。这样的企业多了,经过一定阶段的实践和提高,再把共性的构配件(部品)或产品留给其他专业企业生产,形成新的社会分工,也就形成了社会化协作生产,从而逐渐形成了全社会的住宅产业化发展阶段。

在我国,轻型钢结构住宅宜采用轻型钢框架结构体系和轻质墙体、轻质楼面、轻质屋面建筑体系所组成的轻型节能房屋建筑,适用于抗震或非抗震地区,层数不超过 6 层。轻型钢框架是指由小截面热轧 H 型钢、高频焊接 H 形钢、普通焊接的 H 形或异形截面的型钢、冷轧或热轧成型的方(或矩、圆)形钢管组成的纯框架或框架—支撑结构体系,结合轻质楼板和利用墙体抗侧力等有利因素,能使钢框架结构体系不仅用钢量省,而且解决了可以建造多层结构的技术问题,尤其是能与我国现行规范体系保持一致,满足抗震要求,是一种符合中国国情的轻型钢结构住宅体系。

不能片面地理解钢结构住宅就是钢结构,其实钢结构只占钢结构住宅的 20%~30% 的造价,而且技术相对成熟,钢结构住宅的关键技术是维护系统,主要是墙体材料及其建筑技术。不仅要求墙板材料性能好,而且把墙板拼装成墙体的建筑技术使其满足建筑功能是关键,要求墙板材料质量轻、强度高、保温隔热性能好、安装可靠、经久耐用、经济合理,再把墙板拼装成墙体,要求拼缝处理简便、耐候耐久,墙面防潮防水措施要有效,与钢结构的连接要安全可靠,还要防止热桥等,这是有一定难度的集“建材、生产、应用”于一体的综合技术。另外,开发钢结构住宅要以钢结构为载体,应用节能、节电、节水新技术充实,建造节能环保住宅建筑,尤其是要应用新型节能墙体和屋面的保温隔热技术和产品、节能门窗的保温隔热和密闭技术、热电联产联供技术、供热采暖系统温度调控和分户计量技术、太阳能或地热等可再生能源应用技术及设备。

企业是创新主体,科研单位搞技术开发一定要与企业结合,融入到企业中去,成为企业的技术支持,这样的技术开发才有应用价值。企业不一定有专业齐全的人才,与科研院所、高等学校结合是最现实的道路。搞钢结构住宅技术开发的企业一定要是房屋公司,其产品是房屋,具有企业品牌,要使技术研发、建材研制、房屋建设各环节不能间断,从而形成产业链。以企业(开发商)为龙头和主导,以项目为平台,把住宅相关企业(研发机构、建材、房地产)链接起来,产学研结合、技工贸一体,在项目平台上完成住宅产业化的配套集成,实现产业间、企业间的有序生产模式和多赢的利益共同体,在项目上发展、

完善和提高, 最终目标为房屋产品, 构建房屋企业品牌。

开发钢结构住宅建筑技术, 不要追求特别先进的技术和产品, 而应把重点放在对成熟、实用的住宅技术与产品的集成。在集成的过程中应注重细部构造和相互衔接, 细微之处见水平。也不要追求完全产业化, 要因地制宜、循序渐进。

### 本章参考文献

- [1] 王明贵, 张莉若. 住宅产业化与钢结构住宅[J]. 钢结构, 2001, (12).
- [2] 童悦仲, 娄乃林. 美国的多层轻钢结构住宅[J]. 住宅产业, 2004, (11).
- [3] 桥本伸一郎. 薄板钢骨建筑在日本的研发和普及[J]. 住宅产业, 2004, (11).
- [4] 王明贵. 钢结构住宅的发展研究[J]. 钢结构, 2007, (01).

## 第 2 章 材 料

轻型钢结构住宅采用的材料应是轻质材料,结构体系的钢材可采用冷弯薄壁型钢、高频焊接 H 型钢、截面尺寸在 200mm 左右的焊接或热轧 H 型钢等,楼板应采用密肋轻质面板组合结构体系,建筑维护体系的材料不仅是轻质的,而且应能满足建筑物理功能、安全和耐久功能。本章将根据我国《轻型钢结构住宅技术规程》JGJ 209 (以下简称《规程》)的规定,对轻型钢结构住宅所涉及的结构材料、围护材料和保温材料进行阐述和讲解。

### § 2.1 结 构 材 料

#### 2.1.1 钢材

轻型钢结构住宅承重结构采用的钢材宜为 Q235-B 钢或 Q345-B 钢,也可采用 Q345-A 钢,其质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。当采用其他牌号的钢材时,应符合相应的规定和要求。推荐轻型钢结构住宅宜采用 Q235-B 碳素结构钢以及 Q345-B 低合金高强度结构钢,主要是这两种牌号的钢材具有多年的生产与使用经验,材质稳定,性能可靠,经济指标较好。且 B 级钢材具有常温冲击韧性的合格保证,满足住宅环境的使用温度,没有必要使用更高级别或更高强度等级的钢材。当对冲击韧性不作交货保证时,也可以采用 Q345-A。轻钢结构采用的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度以及硫、磷含量的合格保证,对焊接承重结构的钢材尚应具有碳含量的合格保证和冷弯试验的合格保证,对有抗震设防要求的承重结构钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85,伸长率不应小于 20%。

轻型钢结构选用材料时,应优先选用 H 型钢(热轧或高频焊接)、热轧或冷加工成型的方(矩)形钢管,不宜选用热轧工字钢或热轧槽钢。选用冷弯成型的钢管时应符合《结构用冷弯空心型钢尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 6728 和《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178 的规定,冷弯焊接圆钢管应符合《直缝电焊钢管》GB/T 13793 的规定,方(矩)形管不宜采用圆变方轧制工艺。冷弯型钢不应采用强度超过 Q345 的钢材。冷弯型钢当计算全截面有效时,可采用考虑冷弯后的强度设计值,但经退火、焊接和热镀锌等处理的冷弯薄壁型钢构件不得采用冷弯效应的强度设计值。

Q235 钢和 Q345 钢的化学成分、力学性能见表 2.1-1~表 2.1-5。

钢材的强度设计值和物理性能指标应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定取值,对于冷加工成型的钢材,当壁厚不大于 6mm 的材料强度设计值按现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定取值。当壁厚大于 6mm 的材料设计