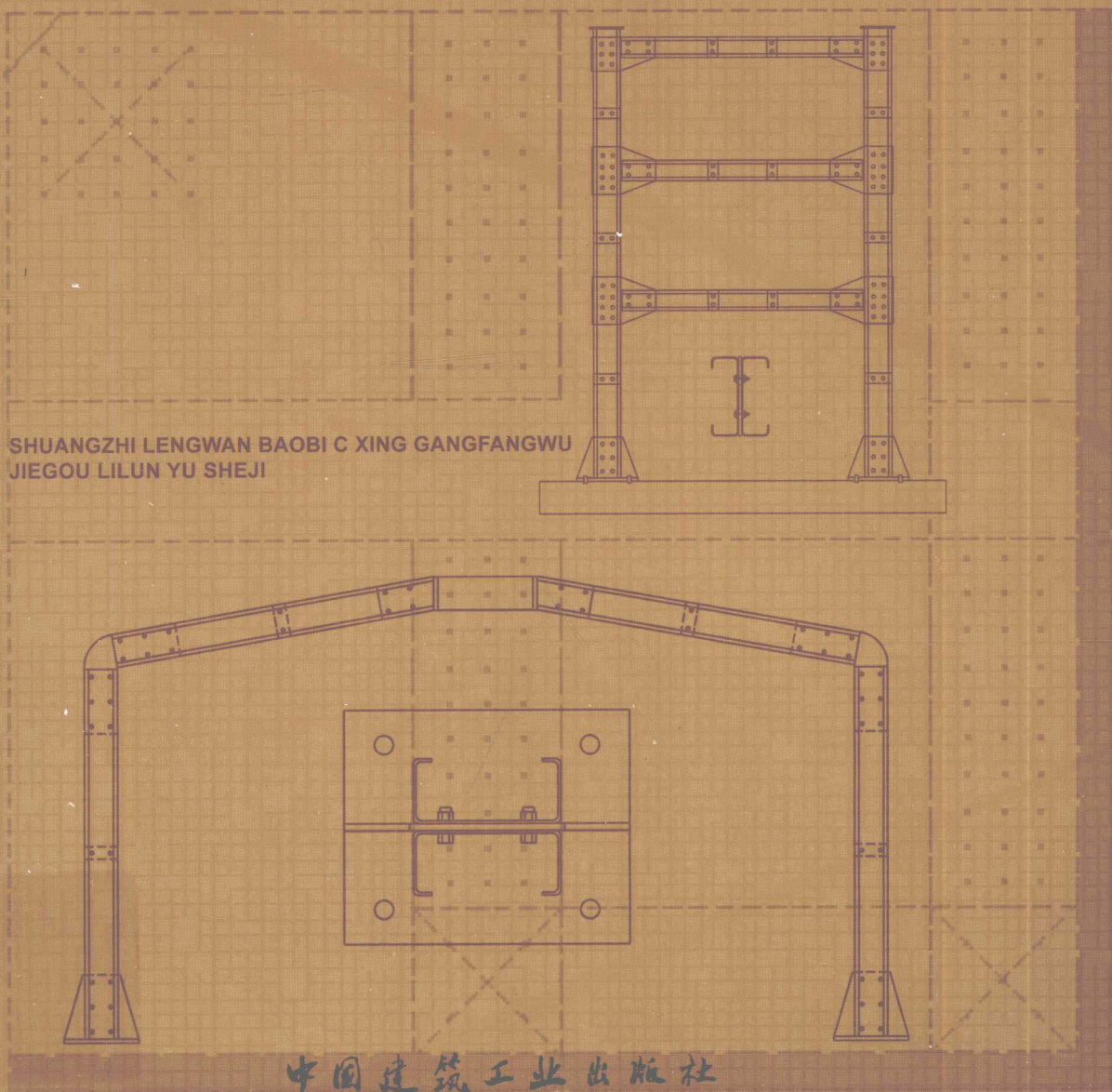


双肢冷弯薄壁C型钢房屋 结构理论与设计

陈明 赵根田 著



双肢冷弯薄壁 C 型钢房屋 结构理论与设计

陈 明 赵根田 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

双肢冷弯薄壁 C 型钢房屋结构理论与设计/陈明, 赵根田著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 4
ISBN 978-7-112-17755-4

I. ①双… II. ①陈…②赵… III. ①薄壁结构-钢结构-房屋结构-结构设计 IV. ①TU22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 027087 号

本书共 6 章, 主要包括绪论、双肢冷弯薄壁 C 型钢组合柱受力性能、双肢冷弯薄壁 C 型钢节点性能、双肢冷弯薄壁 C 型钢节点半刚性特征、双肢冷弯薄壁 C 型钢组合墙体受力性能、双肢冷弯薄壁 C 型钢框架抗震性能等内容。详细介绍了双肢冷弯薄壁 C 型钢房屋结构的构建, 进行了结构构件的受力分析, 通过大量试验与模型分析, 得到了该类结构构件的破坏机理和受力特性, 并利用所得公式进行了一定的设计计算。该书可供广大土木工程专业的师 (生) 阅读使用。

责任编辑: 张伯熙

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 关 健

双肢冷弯薄壁 C 型钢房屋结构理论与设计

陈 明 赵根田 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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14 字数: 346 千字

2015 年 3 月第一版 2015 年 3 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-17755-4

(27027)

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)



陈明 男, 1978 年 2 月生, 辽宁辽阳人, 中共党员, 工学博士, 副教授, 硕士生导师。现任内蒙古科技大学建筑与土木工程学院教授委员会委员 (学术副院长), 内蒙古科技大学钢结构与空间结构研究所所长, 内蒙古自治区节能协会专家会员、结构工程专业委员会秘书长; 中国钢结构协会房屋建筑钢结构分会会员; 中国钢结构协会结构稳定与疲劳分会会员; 包头市“5512”中青年骨干人才。内蒙古科技大学精品课程《钢结构设计》建设者以及负责人; 主持教学研究项目 3 项; 为内蒙古自治区精品课程《钢结构设计原理》主讲教师。获得内蒙古自治区优秀教学团队“建筑工程系列课程教学团队” (排名第三)、“钢结构

系列课程团队” (排名第二) 的称号; 获得内蒙古科技大学教学优秀奖、内蒙古科技大学教学成果奖 5 项。

其主要研究方向为钢结构、空间结构理论与设计。主持国家自然科学基金项目 1 项, 内蒙古自治区自然科学基金项目 1 项, 参与省部级项目 1 项, 主持校级创新基金项目 2 项, 参与多项科技服务工作。自 2010 年以来发表学术论文 30 余篇, 其中发表在核心期刊 12 篇, 被 EI、ISTP 收录 10 篇。参编规划教材 3 部, 近 20 万字。



赵根田 男, 1962 年 12 月生, 中共党员, 工学博士, 教授, 硕士生导师。现任内蒙古科技大学建筑与土木工程学院党总支书记兼行政院长。内蒙古自治区精品课程《钢结构设计原理》负责人, “土木工程”内蒙古自治区实验教学示范中心负责人, 内蒙古自治区土木工程安全与耐久重点实验室负责人, 内蒙古自治区优秀教学团队钢结构系列课程团队带头人, 校级重点学科“防灾减灾工程及防护工程”学科带头人, 内蒙古自治区教学名师。

其主要研究方向为钢结构、钢-混凝土组合结构理论与设计, 结构损伤检测与加固技术。主持国家自然科学基金项目和省部级项目 8 项, 主编教材 3 部, 其中一部被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。自 2000 年以来发表科研论文 60 余篇, 被 SCI、EI 收录 28 篇, ISTP 收录 10 篇。获得内蒙古自治区科技进步奖一项, 青年知识分子科技创新奖及包头市科技进步奖四项, 被包头市和内蒙古自治区授予优秀共产党员称号。

前 言

冷弯薄壁型钢截面开展,材料利用率高,属于绿色、节能、环保的建筑材料。它继承了钢结构的优点,又拥有自身的特色,在国外多层、低层和别墅建筑中已经广泛使用,形成了环保的装配式房屋建筑。在国内,冷弯薄壁型钢目前主要应用在机械、汽车制造和一些建筑的附属结构上,在房屋建筑领域中并没有得到充分的利用。近年来,在国家建筑产业化、房屋预制装配化的政策环境下,强调了新型建筑结构体系的研发,建筑材料资源的再生利用,推广应用高效经济的冷弯薄壁型钢以及定型化轻钢房屋结构体系。因此,冷弯薄壁型钢房屋得到了众多专家学者和国内钢结构企业的推崇,并进行了相应的研究,国家也相应出版了《低层冷弯薄壁型钢房屋建筑技术规程》JGJ 227-2011,推动了冷弯薄壁型钢房屋的应用和发展。

作者所在的内蒙古科技大学钢结构团队针对“双肢冷弯薄壁 C 型钢中间夹热轧钢板用高强螺栓连接”这样一种冷弯薄壁型钢组合截面,通过加入热轧钢板作为节点板来方便梁柱的连接,组成框架体系,改变了冷弯薄壁型钢单一的“盒子式”建筑结构体系。针对这一组合截面,作者通过十余年的研究,取得了一些实质性的进展,初步得到双肢冷弯薄壁 C 型钢房屋结构体系中关键构件及节点的抗震性能分析与设计方法,并正在开展框架结构体系抗震性能的研究工作。

本书共分 6 章:第 1 章绪论,概要介绍了我国轻型钢结构房屋的种类与特点,重点介绍了冷弯薄壁型钢结构在房屋建筑中的应用,并提出双肢冷弯薄壁 C 型钢房屋结构体系以及编写本书的宗旨;第 2 章双肢冷弯薄壁 C 型钢组合柱受力性能,针对轴心受压柱和偏心受压柱的受力性能及稳定承载力计算方法进行分析,并参照规范提出了承载力计算修正方法;第 3 章双肢冷弯薄壁 C 型钢节点性能,针对结构体系中常用的 T 形节点、梁柱斜节点和梁梁斜节点的破坏形态分类、节点初始刚度及其退化、节点延性、节点耗能和节点弯矩承载力等进行分析,得到了符合抗震设计要求的节点构造参数,证明了该类节点良好的抗震性能;第 4 章双肢冷弯薄壁 C 型钢节点半刚性特征,分析节点半刚性特征的影响因素,参考经典的节点弯矩-转角关系,建立该类节点的弯矩—转角模型,并给出模型中极限弯矩承载力、初始刚度及其退化等变量指标的计算方法,提出该类节点的设计建议;第 5 章双肢冷弯薄壁 C 型钢组合墙体受力性能,构建组合墙体模型,分析了组合墙体的承载力及抗侧刚度的影响因素,得到了该类墙体的破坏机理。第 6 章双肢冷弯薄壁 C 型钢框架抗震性能,通过多组模型分析,了解该类组合截面形式框架结构的破坏形态和受力性能。

本书大纲的拟定和全书的统稿由陈明负责,其中第 1~4 章由陈明撰写,第 3 章中梁柱斜节点加载分析部分由高鹏撰写,第 5、6 章由赵根田撰写,本书的编排由赵根田负责。本书的研究内容得到了国家自然科学基金项目(51368043)、内蒙古自治区自然科学基金项目(2010MS0723)、内蒙古自治区高等学校科学技术研究项目(NJzy08074)和内蒙古

科技大学创新基金项目（2009NC038）的资助。感谢国家基金委、内蒙古自治区科技厅、内蒙古自治区教育厅和内蒙古科技大学对本书研究内容的支持。本书的研究工作也得到了内蒙古科技大学钢结构团队研究生的帮助，他们是张健、续磊、皮冰倩、赵雅丽、张晓禹、孙阳、刘凯、鉴钟、程昆、李倩、孙芳芳、邓渤凡、马晓飞、李梦祺、郑波，我们对他们为编写本书所做的贡献表示衷心感谢。

由于我们水平和知识范围有限，书中不当与错误之处，敬请读者批评指正。

陈 明 赵根田

2014 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 轻型钢结构房屋的特点和种类	1
1.2 冷弯薄壁型钢在轻型钢结构房屋中的应用	7
1.3 双肢冷弯薄壁 C 型钢房屋结构体系	18
参考文献	19
第 2 章 双肢冷弯薄壁 C 型钢组合柱受力性能	25
2.1 轴心受压组合柱受力性能	25
2.2 偏心受压组合柱受力性能	44
2.3 小结	63
2.4 算例	63
参考文献	65
第 3 章 双肢冷弯薄壁 C 型钢节点性能	67
3.1 双肢冷弯薄壁 C 型钢 T 形节点性能	67
3.2 双肢冷弯薄壁 C 型钢斜节点性能	110
3.3 小结	140
参考文献	141
第 4 章 双肢冷弯薄壁 C 型钢节点半刚性特征	143
4.1 钢结构节点半刚性特征数学模型	143
4.2 节点半刚性特征影响参数	145
4.3 双肢冷弯薄壁 C 型钢节点半刚性特征模型	151
4.4 小结	157
4.5 算例	158
参考文献	158
第 5 章 双肢冷弯薄壁 C 型钢组合墙体受力性能	160
5.1 非开洞组合墙体受力性能	160
5.2 开洞组合墙体受力性能	175
5.3 小结	196
参考文献	197

第 6 章 双臂冷弯薄壁 C 型钢框架抗震性能	198
6.1 框架抗震试验	198
6.2 框架破坏形态	202
6.3 框架抗震性能	210
6.4 小结	214
参考文献	215

第 1 章 绪 论

在经济飞速发展的今天，我国的城镇化建设已经达到了一个高潮，但带来的建筑垃圾量也非常可观，达到了垃圾总量的 30%~40%，多达 4 亿吨，位居世界第一。每年的建筑垃圾填埋面积达到 10 万亩，相当于 11 个杭州西湖的面积。因此，发展可循环的钢结构建筑是缓解生态环境压力的必然选择。冷弯薄壁型钢结构体系是钢结构建筑的重要组成部分，已经广泛应用于建筑业、制造业等，具有良好的应用前景。本章以轻型钢结构房屋为出发点，详细介绍冷弯薄壁型钢的特点及其在房屋建筑中的使用情况，阐述目前国内外冷弯薄壁型钢住宅的发展状况，提出并分析双肢冷弯薄壁 C 型钢房屋的结构体系构成。

1.1 轻型钢结构房屋的特点和种类

1.1.1 轻型钢结构房屋的组成

轻型钢结构房屋主要是指使用轻质屋面和墙体，结构单位面积用钢量与其他普通钢结构相比比较轻，采用薄壁型钢、薄壁钢管或小角钢、圆钢等高效钢材，施工建设周期短的钢结构房屋建筑。常见的有实腹变截面门式刚架（图 1-1）、冷弯薄壁钢结构以及钢管结构等^[1.1、1.2]。

现代轻钢结构除具有传统钢结构的所有优点外，更加突出了“轻”的特质，主要体现

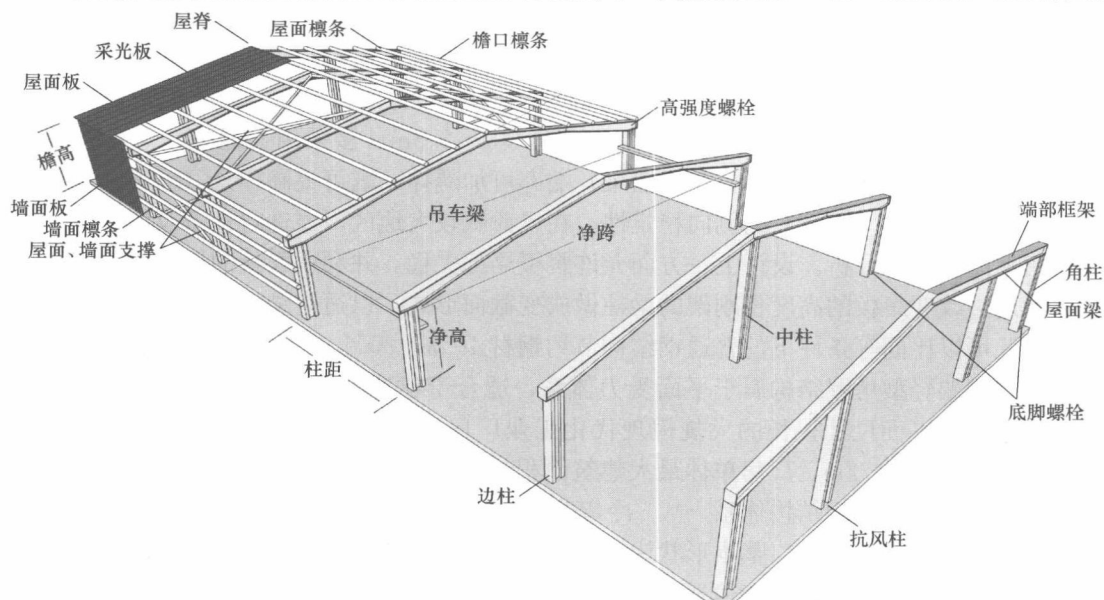


图 1-1 常见轻型门式刚架钢结构房屋

在：采用轻质围护结构、恒荷载及地震作用大幅度减小，基础也因此得以轻量化；采用先进设计理念、高强度钢材、新型结构体系，因而优化了承重构件的截面，使得结构用钢量更轻；采用标准化、工厂化制作、小型机具吊装，因而劳动强度低，施工速度快，综合施工费用低，建筑造型轻巧美观，建筑表现能力更强^[1.3]。

随着社会经济的不断发展，随着人们对建筑美观的不断追求，随着整个社会可持续发展的进程，钢结构被越来越多地应用于建筑领域中。在国家建筑工业化和住宅产业化发展的背景下，轻型钢结构建筑体系被大力推广并采用，尤其是采用冷弯薄壁型钢建造的多层住宅进入了迅猛的发展阶段。冷弯薄壁型钢比传统的热轧型钢具有更多的优点，良好的截面性能使其在未来的建筑结构体系中具有更广阔的发展前景，国家也相应出版了《低层冷弯薄壁型钢房屋建筑技术规程》JGJ 227—2011^[1.4]（后简称《规程》），使得该类房屋结构的发展得到了技术支撑。住房和城乡建设部在《中国建筑技术政策》（1996年～2010年）中提出了积极发展各种新型建筑结构体系，重视建筑材料资源再生利用的研究，推广应用高效经济的冷弯薄壁型钢以及定型化轻钢房屋体系的新的房屋建筑发展思路^[1.5]。

1.1.2 常用轻型钢结构房屋体系

国内常用的轻型钢结构承重体系包括以下几种^[1.3]：焊接变截面门式刚架结构体系、冷弯薄壁型钢结构体系、多层房屋钢结构体系、金属拱形波纹屋盖体系等。轻型钢结构生产工业化、无粉尘的干施工工艺以及可回收利用等优点十分显著，符合国家建筑业发展政策，适应建筑业环保、可持续发展的时代主题。另外，国家相关技术部门已在轻型钢结构的设计、制作和安装方面进行了大量的积极探索，积累了一定的经验，使轻型钢结构具有非常广阔的应用前景。

（1）焊接变截面门式刚架结构体系^[1.3]。典型的门式刚架轻型房屋结构体系由基础、主刚架、墙梁、檩条、屋面板、墙面板、抗风柱、屋面支撑和柱间支撑等组成。结构形式可以是单脊、多脊、单跨、多跨、高低跨，或单坡、双坡、陡坡、缓坡、平坡、曲面屋面，跨内也可设单个或多个摇摆柱。刚架构件多采用焊接工字形实腹截面，腹板高厚比较大，允许腹板局部失稳并按有效截面特性验算构件的强度和稳定性。檩条或墙梁采用C形或Z形冷弯薄壁型钢镀锌檩条，檩（梁）距1.5～2.5m，多采用普通螺栓与主刚架连接，可采用简支或连续体系，檩条（墙梁）端部可加隅撑，既可提高檩条（墙梁）的承载力，也可加强横梁（立柱）的侧向稳定性。在风荷载较大地区，要进行檩条及墙梁在风吸力作用下的稳定性分析。设计上一方面允许腹板局部失稳，并利用腹板的屈曲后强度，另一方面通过改变腹板的高度将刚架的梁柱做成变截面形式，以适应结构弯矩内力的分布规律，因此可以比同等条件下的普通钢结构节约钢材10%～20%。

门式刚架轻型房屋结构属于平面受力体系，适合于建造跨度在18～36m之间，柱距7～9m之间，平面尺寸狭长的大规模现代化工业厂房。目前，这种结构在我国的实际工程中最大跨度已达72m，厂房单体最大建筑面积超过了7.5万m²。

（2）冷弯薄壁型钢结构体系^[1.3]。冷弯薄壁型钢主要由0.5～3.5mm厚普通钢板或镀锌钢板经冷压或冷弯成型，基本形状为C形、Z形和方管，并可形成各种褶皱和卷边，以提高截面刚度和承载力。冷弯薄壁型钢结构体系、柱一般采用双C或四C型钢通过点焊组成的I形及T形截面，承重骨架为平面体系，需布置柱间支撑保证整体稳定性，楼板采

用主次梁体系及组合楼盖。不上人屋面则采用檩条和压型钢板。内墙为轻质隔断墙,外墙则用轻质保温板。

由于冷弯薄壁型钢结构体系构件较小,施工现场多为干作业,具有安装简便、搬运重量小、仅需小型起重设备、施工快捷等优势,在低层住宅方面具有很大的发展潜力。英国、德国等国家生产的镀锌冷弯薄壁型钢别墅,取代了常用木质结构和砖石结构,在完全手工安装的条件下施工仅需7天,并通过了保温、隔声、隔湿和耗能等建筑物理性能的长期观测检验。冷弯薄壁型钢住宅建设研究已经列入欧洲重点研究项目,并陆续开发了各种样品房,目前已经进入批量化商业生产阶段。冷弯薄壁型钢结构体系在我国的发展刚刚起步,现阶段的设计依据主要为国家规范《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018—2002^[1.6](后简称《规范》)和《规程》。目前我国有关单位采用镀锌C型钢,建造了一批冷弯薄壁型钢“盒子式”结构样品房,并进行了相当数量的荷载试验,相关学者还在不遗余力地进行着开发与研究。

(3) 多层房屋钢结构体系^[1.3]。多层房屋钢结构体系具有比钢筋混凝土结构施工劳动强度低、施工速度快的优越性,因此在一些发达国家,2~8层的公共建筑或居住建筑主要采用多层房屋钢结构,多层住宅钢结构体系的开发必将为多层轻型房屋钢结构的应用提供巨大的潜在市场。典型的多层房屋钢结构体系由基础、框架梁柱、墙梁、檩条、屋面板、墙面板、屋面支撑、柱间支撑、楼层次梁和压型楼盖等组成。承重结构一般柱距在6~12m之间,既可按平面框架也可按空间框架设计,必要时布置柱间支撑来保证整体稳定性、减小侧向位移。楼层采用主次梁体系及压型钢板组合楼盖或预制板加现浇板叠合楼盖。主梁和柱刚接或铰接,主次梁宜铰接。楼板与钢梁间通过抗剪栓钉连接,可提高梁的刚度和承载力。当楼层按组合梁设计时,栓钉等抗剪构件的数量和大小应按受力要求布置。新型压型钢板密肋组合楼盖支撑在梁的加宽下翼缘上,梁肋之间可布置设备管道,梁板总体高度仅300mm,但需要解决梁的抗扭设计问题。不上人屋面可采用檩条和压型钢板。内墙为轻质隔断,外墙采用压型钢板或其他轻质墙体结构。柱间支撑、墙面支撑和屋面支撑传递各类纵向荷载作用,应按抗风、抗震和构造要求设计。

(4) 金属拱形波纹屋盖结构体系^[1.3,1.7]。金属拱形波纹屋盖结构体系是一种用彩色钢板现场辊压成型的屋盖结构体系。将成卷的彩色钢板压制成圆弧拱形槽板,需经过两道成型工艺:第一步将钢板轧成U形或梯形波纹直槽板,第二步通过在直槽板下部轧出横向小波纹而将直槽板轧成拱形槽板。拱形槽板的曲率大小就是靠板上横向小波纹的深浅来调整的。这样的拱形槽板经过锁边连接并吊装就位后便形成整个屋盖。屋盖的保温功能靠槽板内部喷覆的保温材料来实现。金属拱形波纹屋盖结构集承重与围护功能于一体,具有无梁无檩、板件之间锁边连接不需栓焊、防水性能好、施工速度快、用钢量省等优点,可广泛用于厂房、仓库、商场、机库和军营建设。金属拱形波纹屋盖结构主要采用圆弧拱体系,有落地和非落地两种形式,且多为无窗封闭式屋盖。这种结构所要研究的主要问题是拱壳的整体稳定性和局部稳定性分析。由于这是一种薄壁拱壳结构,其内力分布状态和变形特征对缺陷极为敏感,工程实践表明,截面褶皱虽然加强了局部稳定性,但对整体失稳影响很大,特别是受半跨雪荷载作用下的整体稳定问题更为突出。此外,拱脚推力对下部结构也提出了更高的要求,拱形屋盖与下部结构的相互作用也对拱的稳定性有很大影响。这种结构的设计和分析计算理论还有待进一步研究和完善。

轻钢结构在我国已经进入快速发展时期,门式刚架、金属拱形波纹屋盖结构已成为国内工业厂房、仓库首选的结构形式,多层轻钢住宅、冷弯薄壁型钢低层住宅必将成为我国轻钢结构应用的新领域和增长点。这就要求钢结构从业人员加强专业技术培训,及时了解钢结构市场的变化,唯有如此才能使我国的轻型钢结构产业真正成为综合经济效益高、具有国际竞争力的新兴产业。

1.1.3 轻型钢结构房屋的特点

轻型钢结构房屋与钢筋混凝土结构、砌体结构等其他结构房屋相比,具有与普通钢结构房屋相同的优点,但又有自身更为独特的优势^[1.3,1.8]。

(1) 重量轻。重量轻是轻型钢结构房屋最大的优点,其承重结构采用轻型焊接 H 型钢或冷弯薄壁型钢,比普通的工字钢、槽钢、角钢截面更为合理,可以按照实际受力情况和使用特点进行设计,截面利用率高,单位建筑面积重量轻,可节省钢材约 20%~50%,屋面、墙面围护结构常用彩色压型钢板,每平方米也仅 8~15kg,接近在相同条件下钢筋混凝土结构中钢筋的用钢量,能节约大量木材、水泥及其他建筑材料,比普通钢结构减轻自重 20%~30%,不仅造价较低,而且极大降低了基础工程的材料用量和工作量。

(2) 供货迅速、安装方便,施工周期短。轻型钢结构房屋的基础构件的材料可以实现工业化生产,而且重量轻又方便运输等特点决定了其供货迅速这一优点。由于房屋安装施工基本上采用螺栓、自攻螺丝等连接方式,现场焊接工作量小,无湿作业、不需支模,无需养护,冬期施工不受影响,根据以往的工程经验,可以比钢筋混凝土结构至少缩短一半以上的工期。对一般规模小的工业厂房仅需 1~2 个月,而若采用钢筋混凝土结构则需要 10~12 个月。

(3) 抗震性能好。轻型钢结构房屋自重轻,结构比较柔,能有效地降低地震效应,耗散地震能量,降低灾害影响程度,极有利于抗震。轻型钢结构房屋采用龙骨式墙体,墙体板材、石膏板在完全封闭后形成了非常坚固的板肋结构体系,从而提供了更强的抵抗水平荷载能力,可以有效抵抗水平地震力的作用,轻型钢结构房屋可以抵抗 8 度的地震烈度。

(4) 钢材强度高、塑性和韧性好。轻型钢结构房屋所采用的钢材强度高、塑性和韧性好,可以有效降低结构自重,能够保证结构在使用期间不会发生突然破坏,受冲击作用时不容易发生脆性破坏,具有较好的承受动力荷载的性能,可靠性好,抗震性能好,最适宜于建造处在地震区的房屋。

(5) 造型美观、节奏明快、内部空间大。轻型钢结构房屋非常容易实现建筑表达,可以实现建筑造型,也可以采用新颖的围护体系,整体造型美观大方。与一般的房屋结构相比,轻型钢结构房屋具有更大的跨度,可以减少结构柱的数量,有效提高空间的利用率,更加容易实现空间分隔,可以方便地进行扩建和改建,可灵活布设各种工业管线。

(6) 经济效果好。轻型钢结构房屋的基本结构构件均可以采用工业化的大批量生产,质量容易控制,集约化生产可以降低生产成本,比钢筋混凝土结构造价低,经济效果要好得多。

(7) 采光好。工业厂房一般需要更好地利用自然光线,轻型钢结构房屋大量使用采光带,既满足了生产上对光线的要求,又降低了造价。新型膜结构与轻型钢结构房屋屋盖相结合,实现了结构与采光的融合。

(8) 安装方便, 拆除也容易。轻型钢结构房屋安装基本采用螺栓连接, 在使用后可以方便地拆除, 便于结构的重复利用, 符合建筑可持续发展战略。上海世博会的很多展馆在建设时都采用了轻型钢结构, 在世博会结束后都进行了拆除或改址重建, 像非洲联合馆就是用旧钢结构厂房改造, 而天津馆则迁建到天津汉沽。

轻型钢结构房屋也有一些自身的不足之处, 如耐火性差、耐腐蚀性差等, 需要对结构构件进行防火防腐处理, 同时要求在使用阶段定期进行维护, 增加了房屋建筑的成本。轻型钢结构截面小、壁薄, 缺陷影响十分显著, 需要提高加工生产安装质量。

1.1.4 轻型钢结构房屋的应用

轻型钢结构房屋的应用与国家经济的不断发展和政策的推进有着密不可分的关系。欧美日等发达国家轻型钢结构发展较早, 最初用于建造私人汽车库等简易房屋。二次世界大战时期, 由于战争的需要, 一些拆装方便的轻钢结构建筑用于营房和库房。随后国外建筑钢材的发展有了很大的突破, 色彩丰富的压型钢板的出现, 以及 H 型钢和冷弯薄壁型钢的问世, 极大地推动了轻型钢结构的发展, 至今已成为一种特殊的商品。业主不是带着图纸委托加工, 而是向承包商定购某种轻型钢结构房屋, 承包商在短时间内按业主要求按质完成, 并交付使用。这种高质量的快速供货方式, 使业主感到十分满意, 轻钢结构因而得以迅速发展。目前, 欧美各国由轻钢结构体系建造的非居住单层建筑物占 50% 以上, 日本新建的 1~4 层建筑大多采用轻钢结构。外国轻钢公司大部分都具有自己的轻钢结构体系, 并形成了大同小异的产品系列^[1,9]。

我国早在 20 世纪 60 年代初, 钢材十分匮乏, 为了满足三线建设的需要, 特别是 1964 年设计革命, 要解决在设计中长期存在的“深基、重盖、肥梁、胖柱”的问题, 当时以小角钢和小圆钢为主要材料组成的轻型钢结构应运而生。在旧版《钢结构设计规范》GBJ 17-88 中将圆钢、小角钢的轻型结构单独列为一章, 反映了当时这种结构的应用情况。这些结构在加快基本建设速度方面起到一定的作用, 但也曾出现过一些问题, 在我们已具备一定物质基础的今天, 并不推荐采用这种结构^[1,9]。在 1979 年, 中国旅行社从澳大利亚引进 8 套由轻型钢架组成的 2 层汽车旅馆, 施工速度快, 房价比较便宜, 受到当时旅客的欢迎。1983 年以后, 深圳蛇口等地引进了大量的轻型钢结构房屋, 其中除少量是澳大利亚、英国和中国香港地区的产品外, 大部分从美国引进, 主要用于车间和仓库, 跨度以 21~24m 居多, 这些房屋具有协调的色彩, 搭配上铝合金门窗使建筑物具有优雅的外观, 非常引人注目。20 世纪 80 年代以来从国外引进的轻钢结构, 还包括有冷藏库、果品库和样本房等, 为我国轻型钢结构的发展奠定了一定的基础。

(1) 单层工业厂房。由焊接的工字形截面组成的轻型钢结构门式刚架, 早在 20 世纪 60 年代初, 就对其进行了研究试验, 并在试点工程中采用。轻型钢结构门式刚架建造中型厂房可设置 1~3t 的悬挂吊车, 或起重量小于 20t 的中轻级工作制的单梁或桥式吊车。建成后的厂房结构轻巧、厂房明亮、造型美观大方, 一改过去工业厂房笨重、呆板的样式。

(2) 单层库房。轻型钢结构房屋外形美观、内部空间大, 非常适合于建造码头仓库和工业配套的各种库房, 甚至跨度更大的飞机库和飞艇库。面积接近 800m² 的棉花库房可以采用由轻型焊接 H 型钢组成的变截面门式刚架为主要受力结构, 压型钢板作围护结构,

3~5天可以安装建设完毕。在北京西郊机场建设的跨度72m的飞机库,安装工期为3个月,与采用3层焊接空心球网架结构相比,不仅造价低,安装方便,而且施工速度快。

(3) 现代商业、文化娱乐设施和体育馆。各种商业建筑如超级市场、贸易中心、农贸综合市场以及各种名义的商业城,要求建筑物跨度大,视野开阔。这些建筑最合理的结构形式就是轻型钢结构房屋,尤其是轻型门式刚架结构,具有建造营业速度快、改扩建或转向容易、造价低和适应性强等特点。

(4) 多层工业厂房。目前我国经济发达地区有很多通用租赁多层厂房,这类厂房可适应各种规模的工业生产,也可以分层租赁,适应性极强,深受中小型企业业主的欢迎。这类厂房建筑体型复杂不规则,活荷载大,并常伴有小规模的动力荷载,分布不均匀,层高变化大,楼板开洞率高。这些都给结构设计带来一定难度,轻型钢结构房屋抗震性能好,且设计自由度更大一些,是多层工业厂房在相当长时间内发展和应用的趋势。

(5) 轻型钢结构住宅。在住宅建设中采用钢结构承重,使住宅建设用材更加多样化。钢结构承重构件更适于系列化、标准化和工厂规模生产,产品成本低、建设周期短。钢结构住宅更能满足节能、节地、节材,提高住宅功能质量、优化居住环境的要求,促进我国住宅建设工业化水平的提高。

(6) 旧建筑的维修改造和加层。随着经济的发展,旧建筑的维修与改造的业务将不断增加,如轻质隔墙和高级装修的内外墙面,在原有建筑物上加层等都离不开轻型钢结构。

(7) 冷弯薄壁型钢低层住宅体系。冷弯薄壁型钢是一种公认的经济断面型材,建筑业是冷弯薄壁型钢应用潜力最大的行业。我国冷弯薄壁型钢的应用始于20世纪50年代,在20世纪60年代中期,部分地区兴建了10余万 m^2 冷弯薄壁型钢结构试点工程。1970年前后,在第二汽车制造厂的建设中,又集中采用了25万 m^2 冷弯薄壁型钢建筑,以方钢管屋架为主形成一定规模。冷弯薄壁型钢独有的截面特性更加优化了建筑结构的自重,在国内外有很多学者和公司冷弯薄壁型钢住宅体系进行了一定的研究,并得到了一些成果,如国外已经有了冷弯薄壁型钢住宅的定型产品,国内也颁布了《规程》,这些都大大促进了这一结构形式的住宅体系发展与应用。但这些目前还都在起步阶段,还需要更多的研究和应用,才能解决目前构件截面单一、抗震能力不足等问题。

1.1.5 我国轻型钢结构房屋的发展方向

轻型钢结构房屋拥有很好的发展势头,它以其自身的优越性,正在工程中得到越来越广泛的应用,经济的发展也为轻型钢结构房屋提供了发展机遇,但仍需科研和生产部门共同努力,不断提高科研、设计、制作和安装能力,使轻型钢结构房屋有更好更快的发展。

(1) 我国钢产量居世界首位,但钢结构在房屋建筑中的应用量却处于较后的位置。提高房屋建筑用钢量,研发耐候性好、防火性能强、强度高的新钢种,积极发展H型钢、薄壁型钢、闭型钢等经济断面型材,才能极大的促进轻型钢结构房屋产业的发展。

(2) 当前钢结构行业的发展既面临机遇,又有严峻的挑战,面对我国经济建设的迅速发展和巨大的钢结构市场,美国、日本、澳大利亚和英国等从事钢结构生产的公司都开始了对我国钢结构建筑市场的开发和占领。我国钢结构企业应通过实践和努力,不断提高产品开发能力,掌握国外先进技术,积极参与国内外市场竞争,开拓钢结构建筑市场,尤其是轻型装配式钢结构房屋建筑市场,在竞争中求发展,才能使我国钢结构行业得到全面

发展。

(3) 与国外相比,我国在轻型钢结构房屋设计上存在一定的差距,发布实施的《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102:98 和《规程》缩短了与当前国际先进水平的距离,为我国企业参与市场竞争提供了基础条件,将推动我国轻型钢结构房屋的发展。根据国外的经验,轻型钢结构公司应实行销售、设计、制作、安装一体化服务,提高钢结构加工的生产效率,降低成本,保证产品的可靠性,增强市场的竞争力。

(4) 积极发展轻型钢结构抗震房屋的研究与应用,研发出适合于地震区快速重建和新农村建设的工业化轻型钢结构房屋,尤其是积极发展冷弯薄壁型钢住宅体系,与国际接轨,建造出“盒子式”和“非盒子式”的集约化、工业化,符合我国建筑住宅产业化要求的轻型钢结构房屋体系。

(5) 实施钢结构教育计划,提高从业人员自身的素质。钢结构人才缺乏,人员素质偏低,是当前发展中的一个普遍性问题。对在校土建专业的学生应适当增加钢结构方向的课程及课时,使其具有钢结构设计、制作和安装的系统基本知识。本书的编写也有为大家提供交流学习材料的目的。

1.2 冷弯薄壁型钢在轻型钢结构房屋中的应用

在钢结构中,主要有两类结构构件:一类是人们熟知的热轧钢板及型钢组合构件;另一类不为人熟悉,但发展迅速,由钢片、钢带、钢板或扁钢条冷加工成型,可采用辊式冷成型钢机组生产,也可以采用压力机模压成型或弯板机弯曲成型^[1.10]。

冷弯薄壁型钢指用钢板或带钢在冷状态下弯曲成的各种断面形状的成品钢材,是一种经济的轻型薄壁钢材,也称为钢质冷弯型材或冷弯型材。冷弯薄壁型钢始源于欧洲,1838 年俄国成为世界上第一个利用压力机生产出冷弯薄壁型钢的国家,其后几年美、英、德、法等国相继建成专业化生产的冷弯机组,使冷弯薄壁型钢的生产和应用发展到了一个新的阶段。当时由于薄板和钢带的生产不能满足冷弯薄壁型钢业的需要,加之用户对冷弯薄壁型钢的特点和效益认识不足,故冷弯薄壁型钢未得到广泛的应用,影响了冷弯薄壁型钢业的进一步发展。1946 年美国 AISI 公布了第一部冷弯薄壁型钢结构设计规范。随后,各国在 20 世纪 60 年代后期,相继建设了大量的宽带冷、热轧机,使钢材的品种结构有了较大的变化,薄板和钢带的产量不断增加,为冷弯薄壁型钢业提供了充足的原材料。此外,随着科技的进步和生产的发展,以及使用配套材料的涌现、有关标准规范的问世、实践经验的积累,加上其优越性广为人知,国民经济部门需求量的日增,促进了冷弯薄壁型钢的生产、应用和研究的迅猛发展,使得这种高效经济型材的开发和利用日趋成熟。

我国冷弯薄壁型钢的生产和应用始于 20 世纪 50 年代后期,1958 年中国制造了第一台冷弯轧机并建造了冷弯结构厂房,我国近几年投产建成的几千家钢结构公司基本都装备有冷轧机,目前中国的冷弯薄壁型钢生产能力为 200 万~300 万 t/年,冷弯薄壁型钢在我国轻钢结构建筑中起到了十分重要的作用,现行《规范》和《规程》也促使了冷弯薄壁型钢结构住宅体系(以冷弯薄壁型钢结构为主要承重结构)的飞速发展^[1.11]。

1.2.1 冷弯薄壁型钢结构的特点

冷弯薄壁型钢是一种公认的经济断面型材,基本截面形状为C形、Z形和矩形方管,并可形成各种折皱和卷边、拼成I形或T形,以提高截面刚度和承载力。与普通热轧型钢相比,冷弯薄壁型钢在性能上还有如下特点^[1,12]:

(1) 冷弯薄壁型钢的材料性质在冷弯后发生变化,弯角处出现冷弯效应,强度提高,而塑性降低,平板部分强度亦有提高。在设计时可以利用冷弯后强度提高值,文献[1.6]中已经给出了计算方法。

(2) 冷弯薄壁型钢截面板件宽厚比大,设计中不限制板件宽厚比,允许局部屈曲并利用板件屈曲后强度,而热轧型钢结构需要限制截面板件宽厚比。

(3) 冷弯薄壁型钢单轴对称开口截面较多,截面抗扭性能弱。由于单轴对称截面一般形心与剪心不重合,若荷载不通过剪心,受压杆件常出现弯扭屈曲,受弯构件也出现扭转,产生双力矩。

(4) 冷弯薄壁型钢受压杆件通常出现两种局部屈曲模式,即局部屈曲和畸变屈曲。局部屈曲指截面板件交角仍然保持不变,截面形状不变,板件交线挺直;畸变屈曲是冷弯薄壁型钢特有局部失稳模式,截面除发生局部变形外,还发生形状改变,截面板件交角仍然保持不变,而现行《规范》对畸变屈曲尚无计算方法。

1.2.2 冷弯薄壁型钢房屋建筑的应用与特点

1. 冷弯薄壁型钢在房屋建筑中的应用

冷弯薄壁型钢由于具有断面形状任意多变、力学性能良好、钢材利用率高及绿色环保等优点,在建筑行业中得到了广泛的应用。在国外尤其是欧美发达国家,早在20世纪30年代就对冷弯薄壁型钢的力学性能开始了研究。1946年第一部轻型钢结构构件设计规范的颁布,极大地促进了冷弯薄壁型钢在美国建筑业中的推广和使用,冷弯薄壁型钢在美国建筑钢结构中已经占有45%以上的用量。随后冷弯薄壁型钢的设计应用不断趋于成熟,在美国、澳大利亚、加拿大、日本、英国等国家已经开始大量应用冷弯薄壁型钢。我国冷弯薄壁型钢的生产已有50余年的历史,并应用于建筑行业,在20世纪60年代末颁布了冷弯薄壁钢结构的设计、施工规范,一度具有相当规模,但由于种种原因,期间几经起落,始终没形成大“气候”,未能像美国那样有很大的发展。20世纪80年代以来随着改革开放,我国冷弯薄壁型钢产量稳步增长,设备生产能力不断扩大,品种日益增多,按照国外冷弯薄壁型钢建筑占产量的比例30%来算,我国将有80万吨冷弯薄壁型钢被用于建筑行业,势必将促使我国冷弯薄壁型钢生产应用有一个新的发展,使得冷弯薄壁钢结构体系蓬勃发展,前景广阔。

冷弯薄壁型钢在房屋建筑中既可用于框架、刚架、桁架、网架、梁、柱等主要承重构件,也可用于檩条、墙梁、柱、屋面板、墙板、龙骨等次要受力构件和围护结构。全部构件采用冷弯薄壁型钢建成的建筑一般在4层以下,在美国常见的为1~2层的民用建筑,主要用作别墅、住宅、学校、医院及商业建筑等,这类建筑由于承重体系壁厚很薄,所以其使用寿命一般为20年;轻型门式刚架房屋体系是国内近几年发展较快、应用较多的一

类建筑,主要用于无吊车和有吊车(起重量不大于30t)的工业厂房、仓储建筑、商业超市等工业及民用配套设施中作屋面梁、墙梁。此外,由普通钢结构建成的高层、超高层建筑中,也大量采用冷弯薄壁型钢作次要构件,如压型钢板组合楼板等。

作为建筑结构体系,冷弯薄壁型钢住宅体系已成为发达国家的主要住宅建筑结构形式。20世纪80、90年代,国外生产的成套的冷弯薄壁型钢住宅结构体系充斥着我国的建筑市场,随着人们认识的提升和钢产量的提高,在我国迅速发展起来。冷弯薄壁型钢住宅在建筑市场的份额日益提高,被国内很多厂家看好,投资建厂、扩充生产流水线、不断研发创新成为趋势。从发达国家冷弯薄壁型钢住宅结构体系的发展历程和我国的研究发展现状来看,冷弯薄壁型钢住宅结构体系符合我国住宅产业化、新农村建设和抗震要求高等发展需求,具有巨大的发展潜力和广阔的应用前景^[1.13,1.14]。

2. 冷弯薄壁型钢房屋建筑的组成

在房屋建筑中冷弯薄壁型钢可以用作主要的承重构件,如刚架、框架和梁柱等,但用于受力较小构件及围护体系更为常见,如墙梁、檩条、龙骨等。一般来说,4层以下的房屋建筑可全部采用冷弯薄壁型钢,美国的别墅、学校、住宅等常用1~2层的冷弯薄壁型钢骨架装配式房屋,其结构体系如图1-2所示。英国生产的Maryland环保样板冷弯薄壁型钢别墅在一周的时间内就可以安装完工,加拿大Ontario别墅用冷弯薄壁型钢代替了惯用的木材,德国Koblenz太阳能生态别墅采用了Balloon式冷弯薄壁型钢结构,中国香港地区已经建成了多栋4到6层的冷弯薄壁型钢住宅。从上述地区所建成或使用的冷弯薄壁型钢低层住宅体系来看,主要结构类型为龙骨结构体系和龙骨墙板体系等结构形式^[1.15]。

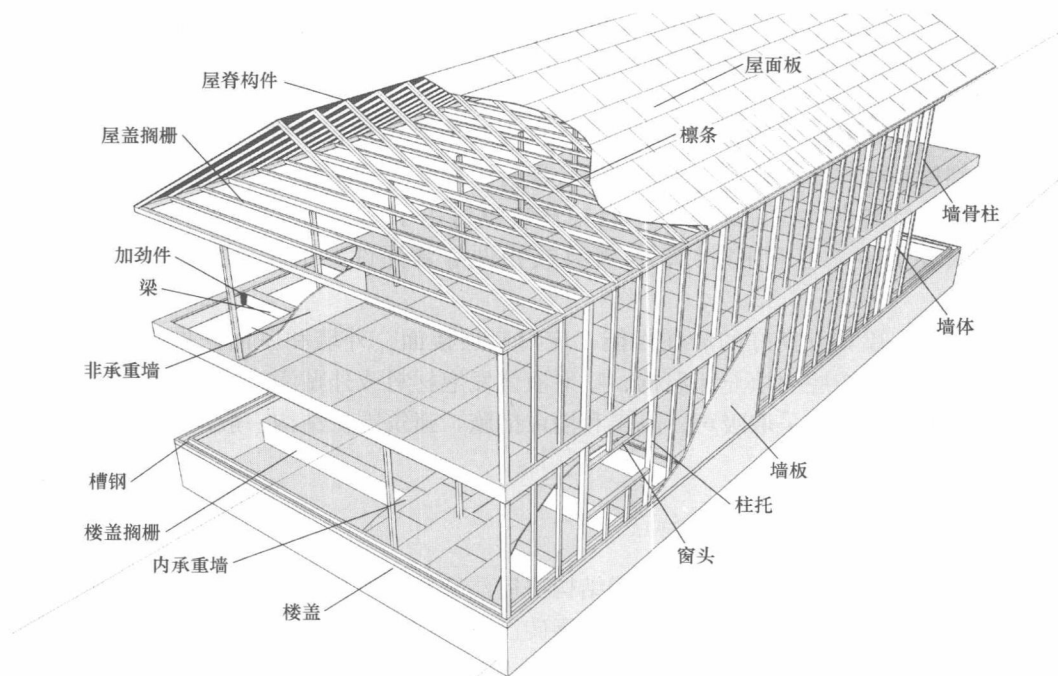


图 1-2 冷弯薄壁型钢住宅承重与围护体系