轻钢住宅结构体系及其应用*

舒赣平 孟宪德

王培

(东南大学 土木工程学院 南京 210096)

(江苏省建筑设计研究院 南京 210029)

摘 要: 对我国发展轻钢住宅结构体系的条件、基础和该体系的特点进行了分析,综述了轻钢住宅结构体系和围护结构体系,通过对轻钢住宅试点工程的介绍,表明优先发展轻钢住宅这种环保型建筑的必要性和其良好的应用前景。

关键词: 住宅 轻钢结构 轻质材料 二阶分析

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF LIGHT STEEL STRUCTURE FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

Shu Ganping Meng Xiande (College of Civil Engineering, Southeast University Nanjing 210096)

Wang Pei

(Jiangsu Institute of Architectural Design and Research Nanjing 210029)

Abstract: The advantages and characteristics of light steel structures for residential buildings were set forth. The reasonable light steel structures and enclosing system were summarized. By the introduction of several experimental building, the necessity and the bright future of the development and application of this clean building were manifested.

Keywords: residential building light steel structure light weight material second-order analysis

0 引 言

随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,住宅建设持续空前发展。1996年以来,我国每年城市住宅竣工面积约9~11亿 m², 乡镇住宅几十亿 m²。住宅建设是人民生活的迫切需要,也是中国人奔小康的重要标志之一。然而,传统的小开间砖混住宅结构体系因材料和使用功能单一、能耗高、资源浪费大、抗震性能差、建设速度慢, 越来越不适应现代社会的发展和人们生活质量日益提高的要求。因此,研究和推广造型优美、结构性能优良、使用方便舒适、施工快速便利、造价合理的住宅建筑体系,提高住宅建筑的科技水平,满足人民安居乐业的要求,具有重要的现实意义和应用价值。轻型钢结构在住宅建设中具有独特的优势。

建设部在《中国建筑技术政策》(1996年~2010年)中提出了"积极、合理、较快地发展钢结构"的任务,强调加速推广定型化的轻型房屋钢结构体系。建设部等8部门共同拟订的《关于推进住宅产业现代化,提高住宅质量的若干意见》(国办发[1999]72号文)提出了要加强新型结构技术的开发研究,积极开发和推广使用轻钢框架结构。要求到2005年初初,

步建立住宅的工业化和标准化生产体系,到 2010 年初步形成系列的住宅建筑体系。这些政策的颁布和实施为轻钢结构的推广应用提供了政策保证^[1]。

目前, 欧美各国采用轻钢结构体系建造的单层和多层建筑物占 50% 以上; 日本新建的 1~4 层建筑大都采用轻钢结构; 而以色列居民定居点的住宅也是以轻钢结构为主^[2-5]。 我国自 1979 年从澳大利亚引进轻型刚架结构以来, 轻钢结构有了长足的发展, 现在已经将其用于工业厂房、仓库、多层旅馆、大型商场及体育场馆等, 每年竣工面积达 250~300万㎡。最近在北京、上海、天津、湖南、安徽马鞍山钢铁公司、江阴及南京等地区也开始进行住宅试点工程的应用和探索。

1 轻钢住宅的优点

轻钢结构一般指承受相对较小的外加荷载,采用较小的构件截面尺寸,结构自重较轻的钢结构。 轻钢住宅结构是以经济型材构件,包括冷弯型钢、热 轧或焊接 H 型钢、T 型钢、焊接或无缝钢管及其组合

^{*} 江苏省建委科研基金资助项目(352)。

第一作者: 舒赣平 男 1964年1月出生 教授 博士

收制期2001-商10月涂

构件作为住宅承重骨架,以轻型墙体材料作为围护结构所构成。轻型墙体材料有压型钢板及其组合板材、PC 板、蒸压轻质加气混凝土板(ALC 板)及稻草板等重量轻、保温防火隔热性能好、防水效果佳的轻质材料。与传统的住宅结构相比,轻钢结构住宅具有许多优点:

- (1)建筑空间布置灵活,能满足不同住户对住宅的多种功能要求。传统的住宅由于所用材料的限制,住宅开间小,居民入住装修时经常随意增减墙体(尤其是承重墙体),既造成了浪费,又增加了房屋安全隐患。若采用钢筋混凝土框架结构,造价较高,施工周期较长,较大的柱子断面影响了住宅的室内布置。而轻钢结构住宅柱距、开间大,所有墙体均为非承重墙,可根据用户要求随意分隔和布置,保温、隔热性能好;在垂直方向可方便地布置跃层和错层体系,建筑造型可丰富多彩,也可简洁明快,深受住户欢迎。
- (2) 轻钢住宅轻质高强, 抗震性能好, 安全性高。 轻钢结构采用轻质墙体和楼面材料, 建筑自重轻, 因此所受的地震作用小, 结构构件断面尺寸小, 既提高了住宅的使用面积率, 又大大减小了地基、基础的受力。目前, 建造 18 层以下的轻钢建筑, 可以不打桩或少打桩, 节约地基处理费用占建筑总费用的 20%~30%。轻钢结构可以充分发挥钢材强度高、延性好、塑性变形能力强的特点, 具有优良的抗震性能, 提高了住宅的安全可靠性。近年来的日本神户、阪神和台湾南投大地震的调查结果表明, 钢结构具有良好的抗震性能。
- (3) 可以实现住宅建设的工业化和产业化。轻钢结构在工厂制作,现场安装,易于工厂规模生产和标准化、系列化,降低建设成本。利用先进的计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)技术,能及时、全面满足用户对住宅的设计要求,效率高,报价快,造价低,供货迅速。
- (4)施工方便快捷,建设工期短。轻钢结构住宅施工时基本为干法施工,装配化程度高,质量有保证。由于不需要支模,受气候影响小,安装也无需大型机械设备,建设快速、高效、简便。与传统住宅体系相比,轻钢住宅至少可缩短 1/3 的工期,从而大大加快资金周转,提高投资效益。建造一个几万 m²的小区,周期一般为 2~3年,而采用轻钢建筑一般为 6~12 个月,节约投资利息非常可观,可达到总投资的 20% 左右。上海现代房产实业有限公司建造的 500m²的二层别墅仅用了 45 个工日(包括内外装修);湖南远大集团 7 层 5 300m² 轻钢住下土的 000 以为,

上仅 20d 就安装完成。

- (5)符合国家环保和可持续发展的要求。轻钢结构住宅所用的建筑材料都是节约土地、能源和资源的永久性材料,需要时大部分材料可回收和再生,利国利民:施工现场湿作业少,对周围环境污染小。
- (6)综合经济效益好。轻钢结构构件断面小,增加了住宅的使用面积,降低了房屋高度(增加了净高);房屋保温隔热性能好,使用能耗低;基础处理难度和费用大大降低;投资周期短,收效快。根据试设计的结果,在地震区、软土地基建造住宅,采用轻钢结构体系可比钢筋混凝土结构体系造价略低或持平,具有较强的竞争力。考虑到长远的使用、发展趋势和环保要求,轻钢住宅发展前景好,市场需求量大,将逐渐成为房屋市场新的"卖点"。

一般认为, 钢结构的防火和防锈功能相对较弱。 但随着高科技的发展, 先进的防火材料及防锈涂料进入市场, 相应的施工技术和设备也开发出来, 钢结构的上述不足都能较好地解决。例如, 经过精心施工的防锈层可保证钢结构在正常情况下 50 年不锈蚀; 钢结构外包防火石膏板价格已经大大降低, 其它物美价廉的防火材料相继问世, 将在实际工程中推广应用。新的耐火、耐候钢近期也将投产。各种新型的轻质、高强、性能优越的围护材料相继推向市场。推广轻钢结构目前已经具备了良好的物质条件。

2 发展轻钢结构住宅的基础

改革开放以来,通过上千万 m² 轻钢结构的建设,人们已经积累了大量成功的经验,值得借鉴。国家有关部门在总结经验、教训的基础上,颁布了《冷弯薄壁型钢技术规范》(GB50018)、《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》和《钢结构工程施工及验收规范》(GB50205-95)等技术文件,即将颁布的《轻型房屋钢结构技术规程》作为国家推荐性标准,这些为轻钢结构的进一步推广奠定了一定的技术基础。国内已经开发出多个钢结构的 CAD 专用软件,如 PKPM系列、3D3S 和 M&T Steel 软件;国外著名的软件公司都针对中国设计规范推出了功能完备的设计软件,如 STRAP、STAAD、SAP.x 和 ANSYS。

经过几年的锻炼, 国内较大的设计院已能胜任民用钢结构的设计, 一批年轻的工程师脱颖而出, 吸收和消化国外轻钢结构的先进经验并用于实际工程中, 创造了很好的社会和经济效益。高等院校的土木工程专业重新重视钢结构的科研和教学, 结合钢结构技术开发和应用中的大量课题进行了卓有成效的科研

工作, 取得了一批成果, 这有助于轻钢结构的发展。

在我国轻钢结构发展初期,由于经济高速增长,又急需轻钢结构,外国钢结构公司纷纷涌入中国抢占市场,如美国的巴特勒公司、ABC公司、澳大利亚的BHP公司、瑞士的ASTRON公司等。他们大量投资,目前占据了国内轻钢结构近一半市场。与此同时,国内的轻钢结构企业也在竞争中成长,仅江苏省颇具实力的轻钢房屋公司就有40~50家,其中有些是中外合资企业。他们不仅具备轻钢结构的制作和安装能力,还具备一定的设计和研究开发能力,施工质量与外国公司不相上下。轻钢建筑所需的各种连接件、零配件、轻质保温和防火材料等也有专门企业系列化生产,价格与进口材料相比有较大的竞争力。

3 轻钢住宅结构体系

多层轻钢住宅结构适宜采用空间框架(梁柱)结构,也可采用平面框架结构,但此时须加强各榀框架间的支撑和联系。框架体系的轻钢住宅自重轻,自振周期较长,对地震作用不敏感。由于其侧向刚度小,当结构高度或层高较大时,需设置侧向支撑形成支撑框架结构。侧向支撑可结合楼梯、电梯间布置,采用抗剪桁架或剪力墙,形成框架— 抗剪桁架或框架— 剪力墙结构,确保对结构水平位移的控制。

框架柱一般采用热轧或高频焊接 H 型钢, 双向受力框架柱或角柱也可用箱形截面; 当柱子受力较小时, 可采用轻型热轧型钢或冷弯薄壁型钢。

框架梁大都为轧制或焊接 H 型钢。当考虑混凝土楼板与钢梁共同工作时须按组合梁设计,可节约钢材,减小梁高,增大净空,降低造价。

轻钢结构的框架节点一般做成刚性连接; 在框架柱弱轴方向, 结合支撑布置, 可采用铰接。主、次梁连接一般采用铰接, 采用高强螺栓连接。半刚性连接实际较难控制, 可结合试验研究成果合理应用。近年来国外的轻钢住宅也有采用错列桁架结构体系, 利用柱子、平面桁架和楼面板组成的空间抗侧力体系, 具有住宅建筑布置灵活、楼板跨度小、结构自重轻和造价低的优点, 工程应用前景良好^[6,7]。

楼面结构必须具有足够的刚度、强度和保证梁的整体稳定性,对于住宅建筑还要有较好的隔声、防水和防火性能。应尽量减轻楼板自重,提高施工速度,减少现场湿作业量。目前推荐使用以下4种形式:

(1) 压型钢板 - 现浇钢筋混凝土组合楼板

通过栓钉将压型钢板固定在钢梁上,可作永久性模板,也可考虑参与楼板的受力。现浇混凝土板若采用轻骨料混凝土,可大大降低自重。正版刊物,

(2) 预制预应力薄板上叠合现浇层楼板

将工业化预制的预应力混凝土薄板与钢梁连接,上浇混凝土板组成叠合板。这种叠合楼板同样无需模板,施工方便,且省去了压型钢板,可降低造价。最近,南京大地建设集团从法国 PPB 公司引进了预制预应力混凝土叠合板(梁)生产线,可满足轻钢住宅工程建设的需要。

(3) 密排托架- 现浇混凝土组合楼板

楼面次梁采用密排托架替代,与混凝土楼板组 合工作。各类设备管道可从托架空腹穿过,节约净 空。

(4) 轻骨料或加气混凝土楼板

采用现浇或预制轻骨料或者加气混凝土的楼板可以大大减轻结构的自重,同时具有较好的使用功能,有条件的地区可采用。例如,中日合资南京旭建轻体材料有限公司生产的蒸压轻质加气混凝土板(ALC 板)系列(也有预制楼板系列),使用方便,经济。

由于多层钢框架的侧向刚度较弱,为承受水平地震作用,减小层间位移,须设置垂直支撑体系。支撑的形式可灵活采用,如 X 形、单斜杆形、K 形、W 形和人字支撑。目前较多采用偏心支撑,因为其在强地震作用下有较好的延性和耗能特性。

剪力墙有薄壁钢板剪力墙、钢筋混凝土剪力墙和组合剪力墙。组合剪力墙是在薄壁钢板剪力墙两侧增加混凝土板,混凝土板防止钢板的平面外屈曲,提高剪力墙的强度和耗能能力。同时,由于初始刚度的增大,地震反应加大,为改善其工作性能,混凝土板和钢板间采用螺栓连接,混凝土板与框架梁柱留有缝隙,形成两阶段工作剪力墙。

轻钢建筑的自重较轻,基础可相应做得较小,以 柱下独立基础为主。当地基很软弱时,可采用条形 或十字形基础,尽量少打桩。柱脚采用刚性连接。 基础梁采用钢筋混凝土梁或外包混凝土的钢梁。

轻钢结构设计时,主体结构的分析宜采用空间有限元建模作线形分析,考虑结构(含支撑)在各种荷载作用下的强度、整体和局部稳定性。当结构侧向刚度较小或结构布置不规则时,应进行二阶分析,确保结构的安全。同时,对节点的强度和延性计算应特别关注,应有可靠的构造措施。当前,对钢结构的延性分析和设计是一热门研究领域,其成果对抗震区的轻钢结构设计具有重要意义。

4 围护结构体系

勿为发挥轻钢结构的优势, 围护墙体应采用轻质

轻钢住宅结构体系及其应用——舒赣平等 © 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net 材料,以形成轻型结构体系,如自承重式的空心砌块、加气混凝土块、非自承重的压型钢板夹芯板、蒸压轻质加气混凝土板(ALC)、稻草板、玻璃纤维加强水泥外墙板以及玻璃幕墙等。墙梁优先选用冷弯薄壁槽钢、卷边槽钢、卷边 Z 型钢,通过螺栓与主体框架连接。

对于轻钢住宅而言, 卧室和书房宜选用隔声效果好的轻质墙体材料, 做好转角和边沿缝隙的填充和密封。外墙板尤其应确保防水不出问题, 并满足户主和建筑师对住宅外墙面的色彩和质感要求, 上述轻质墙体材料经过精心施工, 都能较好地满足要求。屋盖尽量采用有檩体系, 用结构找坡。屋面材料可与楼面相同, 也可采用压型钢板。实践证明, 压型钢板防水屋面具备很好的防水效果且使用寿命较长, 在高温差地区具有较大的优势。

5 几个试点工程

- (1)上海现代房产实业有限公司建造了几万 m² 低层和高层轻钢结构住宅试点工程,采用耐火、耐腐蚀、强度高的磷铜稀土钢。低层住宅采用冷弯矩形钢管柱和帽型冷弯型钢组成的框架体系;而高层住宅采用矩形钢管混凝土柱和帽型冷弯型钢组合梁组成的框架体系。楼板采用密布燕尾钢筋混凝土组合板。
- (2) 1999 年新疆库尔勒建造了一幢 8 层错列桁架体系钢框架住宅楼。
- (3) 马鞍山钢铁公司建成了 2 层的轻钢试点工程, 全部采用马钢生产的热轧 H 型钢。马钢光明新村也将兴建 2 幢 16 层支撑框架结构的住宅试点楼。
- (4) 北京西三旗水电工程宿舍为 6 层 H 型钢—剪力墙结构体系, 压型钢板组合楼面, 自承重砌体外墙, 钢筋混凝土独立基础加连系梁, 防火为防火涂料加砂浆覆面。总建筑面积 2 532 m², 有效工期 120 d, 其中钢框架为 10 d, 工程造价 1 000 元/m²。
- (5) 湖南长沙远大集团建造了一幢 7 层轻钢框架住宅样板楼, 柱网 $3.6 \,\mathrm{m} \times 6.0 \,\mathrm{m}$, $120 \,\mathrm{mm}$ 厚压型钢板混凝土组合楼面, 耗钢量 $46 \,\mathrm{kg}/\,\mathrm{m}^2$, 造价约 $650 \,\mathrm{\pi}/\,\mathrm{m}^2$ (不含地价和装潢费用)。
- (6) 北京某综合办公楼为 5 层, 局部 6 层, 为轻钢结构, 用钢量约 55kg/m², 按现行定额标准, 其造价

比钢筋混凝土结构方案略低。

- (7) 江苏江阴京江轻钢房屋公司试验楼, 5 层轻钢框架结构, ALC 板做外墙, 柱下独立基础, 结构用钢量约 50 kg/m²。
- (8) 山东莱芜钢铁股份公司正在莱芜钢城建造 H 型钢住宅样板小区。采用 6 层轻钢框架结构, 建筑面积 1 365m²。外墙和内墙均采用南京旭建新型建筑材料有限公司生产的 ALC 板。

6 结 语

通过对轻钢住宅结构系统地研究和工程试点表明,逐步开发和完善安全舒适、功能优越且成本低廉的轻钢住宅市场前景广阔,技术先进可行,将促进我国住宅建设的工业化、产业化和标准化,对降低成本、保护资源和耕地、加速轻质建材的推广运用和美化居住环境和城市人文景观有重大作用,值得大力推广应用。

毋须讳言, 轻钢住宅结构还有不少问题值得进一步研究和总结。该结构的抗震性能、施工技术、合理构造、经济技术分析和通用设计程序的开发等尚需完善; 轻钢结构的防锈、防火技术及新型防火材料的研制和相应设计规程的制订还不能满足市场要求; 提高轻钢住宅的性能价格比, 降低成本仍是推广轻钢住宅发展的关键; 轻钢结构设计、施工人员和制造安装单位技术力量的相对缺乏是制约其发展的重要因素。轻钢住宅体系是一个综合复杂的技术系统, 除结构本身外, 还涉及到墙体材料、屋面保温防水材料、橱卫设备和管线系统等其它配套体系。只有采用适合轻钢结构的配套体系, 才能最充分地发挥轻钢住宅的优势, 造福于民。

参考文献

- 1 戴复东,朱伯龙,李鑫全.轻钢轻板住宅建筑体系——中国住宅发展方向.建筑学报,1998(12)
- 2 李忠富. 国外住宅科技状况与发展趋势. 住宅科技, 2000(3)
- 3 王元清, 石永久. 多层轻钢房屋钢结构的设计与应用研究. 建筑结构. 1999(6)
- 4 黄仁尧. 美国轻型钢结构房屋的特点. 工业建筑,1991(6)
- 5 罗隽. 90年代钢结构在英国建筑中的应用. 世界建筑, 1997(11)
- 6 张跃峰. 轻钢结构住宅的结构体系初探. 结构工程师, 2000(增刊)
- 7 潘英, 周绪红. 交错桁架体系抗震性能的协同分析. 钢结构, 2000 (增刊)

凡愿意系统全面了解涉及最新建筑行业技术标准、标准图集颁布、修订、出版信息动态或按需收集者,请与北京建信源信息咨询有限公司联系。

电话/传真:(010)62262117 邮编:100035 地址:北京市西城区西内大街马相胡同五根檩11号