

# 轻钢住宅新结构体系的研究与应用

陈 庄<sup>1</sup>, 韩基平<sup>2</sup>, 余 俊<sup>3</sup>

(1. 东南大学 土木学院, 江苏 南京 210096; 2. 南京华东钢管制造有限公司, 江苏 南京 211100;  
南京江宁市政建设房地产开发有限公司, 江苏 南京 211100)

[摘要] 介绍一种新型的适用于低、多层轻钢住宅的轻钢结构体系—3L 体系, 利用 Sap2000 有限元分析软件对轻质剪力墙进行有限元分析, 利用 Ansys 有限元分析软件对插销节点进行有限元分析, 研究它们的强度与刚度特性, 并应用到设计中, 使 3L 结构体系具有节省钢材、施工方便的优点。

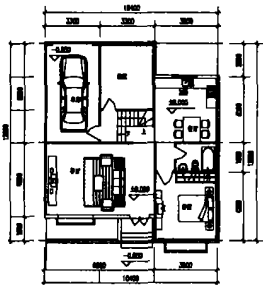
[关键词] 冷成型, 钢结构, 住宅, 插销节点, 轻质剪力墙

[中图分类号] TU392. 5, [文献标识码] B, [文章编号] 1672-1292-(2004) 04-0071-05

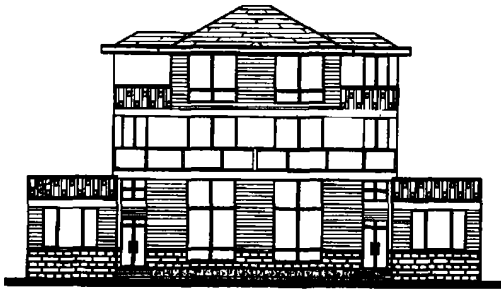
## 0 引言

目前国内轻钢住宅正在兴起, 北京、上海、杭州等地的试点工程已经将轻钢住宅的优势展示在国内业界的面前。作为起步较早的轻钢住宅的结构体系, B. U. B 体系和 H 型钢体系是目前国内常用的两种体系。B. U. B 体系为矩形管柱+ H 型钢梁+ 支撑体系, H 型钢体系构件都为 H 型钢。这两种体系

都具有抗震性能好和施工装配化的优点, 但也都具有造价较贵的缺点。本文介绍了一种新型的适用于轻钢住宅的结构体系—3L 体系, 3L 体系由薄壁矩形管柱、薄壁 H 型钢梁和轻质剪力墙组成, 具有构件小、全装配、无焊接、造价省的特点。本文以某轻钢别墅工程为试点工程, 对 3L 体系做技术分析。试点工程平面布置图如图 1 所示。



一层平面



入口立面图

图 1 建筑平、立面布置图

## 1 结构布置

在该型轻钢别墅中, 柱采用薄壁矩形钢管(300×300×3、200×200×2), 主梁采用薄壁 H 型钢梁(H250×150×4×3、H250×100×3×2), 次梁采用冷弯薄壁卷边 C 型钢(C200×70×20×2)。基础采用外圈条基, 内部独基, 柱底直接埋入基础, 可视为固支, 主梁与柱采用刚接, 次梁与主梁采用铰接, 屋面梁与主梁采用铰接。其结构布置图如图 2 所示, 轻质剪力墙平面布置如图 3 所示。

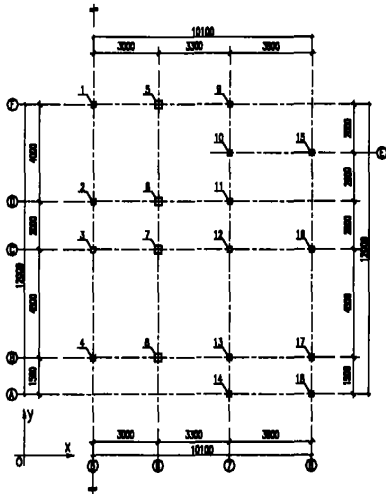


图 2 底层柱平面布置图

收稿日期: 2004-06-05.  
作者简介: 陈 庄(1979- ), 硕士研究生, 主要从事轻钢住宅应用的学习与研究. E-mail: coffeepod@tom.com

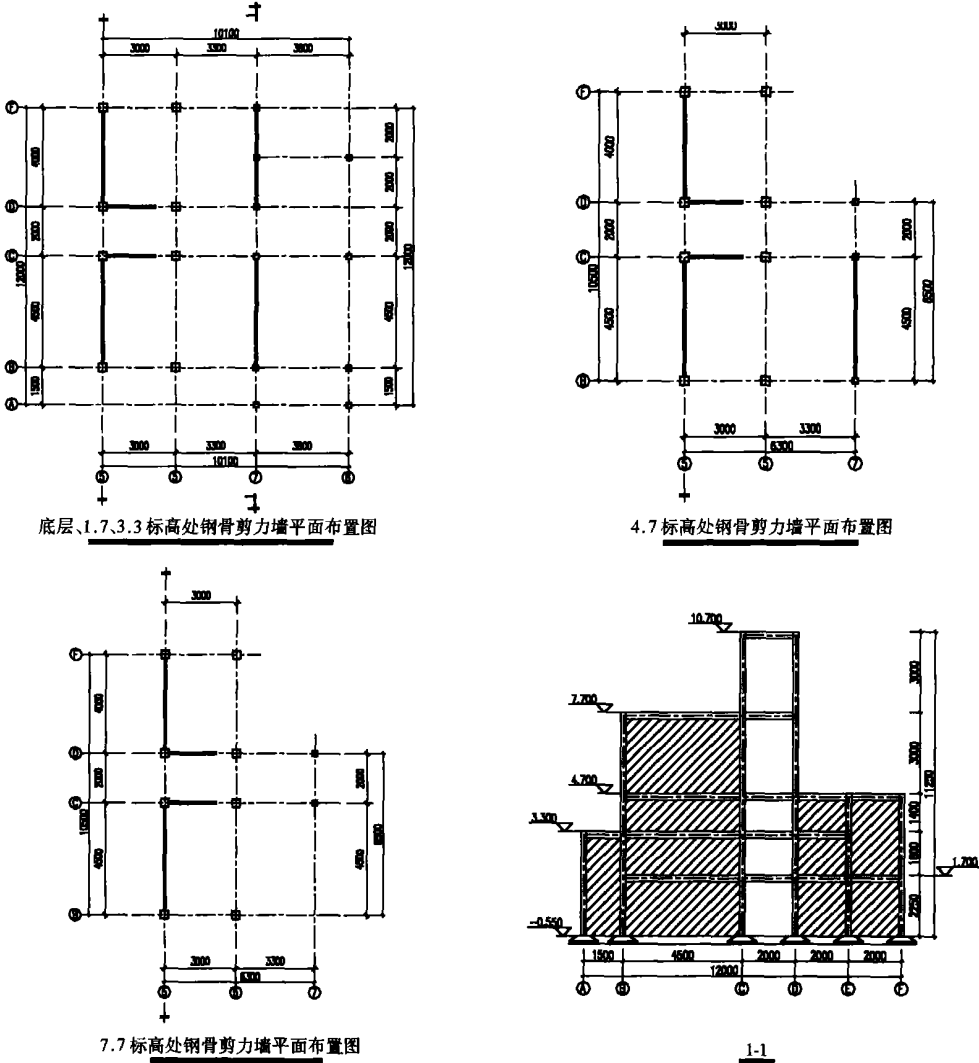


图 3 轻质剪力墙平、立面布置图

2 3L 体系及其配套技术

2.1 3L 体系

本试点工程结构体系为薄壁矩形管柱(Light gauge rectangular tubelike column) + 薄壁 H 型钢梁(Light gauge H sections steel beam) + 轻质剪力墙(Lightweight shear wall) 体系, 简称 3L 体系. 其中, 轻质剪力墙为以石膏板为面, 冷弯薄壁 C 型钢为龙骨的剪力墙. 这种体系既不同于加、美、澳和国内的轻钢龙骨体系, 也不同于国内的 B. U. B 体系和 H 型钢体系. 3L 体系既具有轻钢龙骨体系装配化施工方便快捷的优点, 又具有 B. U. B 和 H 型钢体系受力性能好、抗震性能好的优点.

在 3L 体系中, 竖向荷载主要由梁、柱承担, 在有轻质剪力墙的地方, 轻质剪力墙也承担一部分竖向荷载. 水平荷载主要由轻质剪力墙承担, 轻质剪力墙与梁、柱可靠连接, 其平面内的刚度远远大于

柱的抗侧刚度. 因此, 在水平荷载作用下, 轻质剪力墙与柱产生相同的侧移, 轻质剪力墙承担的水平荷载比柱大得多. 在这样的情况下, 轻质剪力墙对结构贡献了较大的水平刚度. 同时, 轻质剪力墙与柱可靠连接, 对柱起约束作用, 减小了柱的计算长度, 提高了柱的承载能力, 因此减小了柱的钢材用量, 具有省钢的效果.

为显示轻质剪力墙对结构水平刚度的贡献作用, 本文采用 SAP2000 对案例进行分析. 经过对比计算, 没有轻质剪力墙的体系位移要比有轻质剪力墙的体系大得多. 图 2 中 12 号柱在没有与有轻质剪力墙的体系下 x 向侧移见图 4 所示; 7 号柱在没有与有轻质剪力墙的体系下 y 向侧移见图 5 所示. 由图中数据可见, 在有轻质剪力墙的情况下的柱侧移比没有轻质剪力墙情况下小很多, 因此轻质剪力墙的平面内刚度很大, 对结构的水平刚度的贡献是很大的.

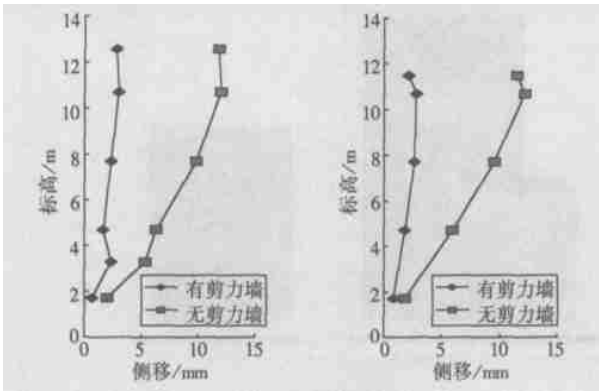


图 4 12号柱 x 向侧移

图 5 7号柱 y 向侧移

2.2 墙体

3L 体系外墙采用以双面石膏板龙骨墙为骨架的复合墙体, 具有防火、防水、保温、经济的优点. 内墙局部采用轻质剪力墙, 其平面内刚度大, 对结构水平刚度具有较大的贡献作用, 具有防火、构造、经济的特点. 双面石膏板龙骨墙与轻质剪力墙的区别在于轻质剪力墙可作为受力构件考虑在整体结构体系中, 而双面石膏板龙骨墙只能作为装饰的骨架, 而不能作为受力构件考虑. 作为轻质剪力墙必须满足以下条件: 龙骨截面高度  $d \leq 150\text{ mm}$ , 截面厚度  $t \leq 2\text{ mm}$ , 总长度  $L \leq 5\text{ m}$ , 龙骨最小间距  $s'_{\min}$  为  $300\text{ mm}$ , 最大间距  $s'_{\max}$  为  $610\text{ mm}$ .

内墙在不考虑剪力墙作用处采用双面石膏板龙骨墙, 在考虑剪力墙作用处采用轻质剪力墙. 这种轻质剪力墙质量轻、隔音、防火、防水, 而且壁厚较小, 能够提高建筑有效面积利用率, 作为内墙使用, 它比起其它材料的内墙具有更大的优势. 龙骨与石膏板采用螺钉连接, 具体做法见图 6.

为保证轻质剪力墙有效地参与整个体系的工作, 综合考虑了 3 个方面的因素: 墙平面内连接件间龙骨柱屈曲; 龙骨柱整体屈曲; 墙板剪切应变超过容许值 ( $0.008$ ). 当上述 3 种情况发生任何一种时, 即认为墙体不能继续参与工作, 剩余的荷载应由梁、柱承担. 为避免这种复杂情况出现, 设计时, 为保证墙体不退出工作, 就必须使墙体在整个受力过程中不出现上述任何一种情况.

为显示墙体上的应力分布情况、石膏板的应力以及龙骨的应力, 本文采用 SAP2000 对算例进行有限元分析. 计算模型见图 7 所示, 轻质剪力墙墙体石膏板被划分为  $\leq 300 \times 300\text{ mm}$  大小, 厚度  $10+10=20\text{ mm}$  的单元. 钢骨为间隔  $\leq 300\text{ mm}$  的 C 型钢构件, 规格为  $C80 \times 40 \times 15 \times 2$ , 它与石膏板有效联结, 与底部基础铰接. 石膏板弹性模量取  $40\,000\text{ N/mm}^2$ . 模型受水平风荷载作用和竖向次梁

集中荷载作用. 通过计算, 轻质剪力墙石膏板应力图如图 8 所示.

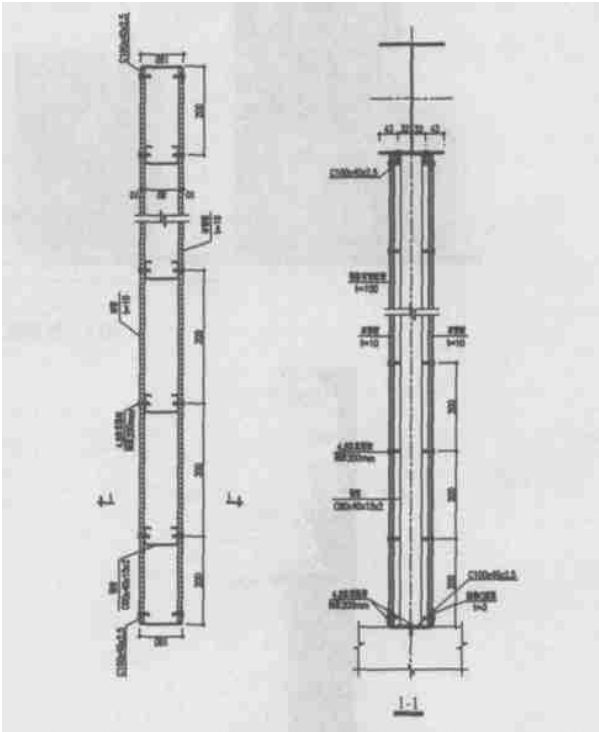


图 6 轻质剪力墙详图

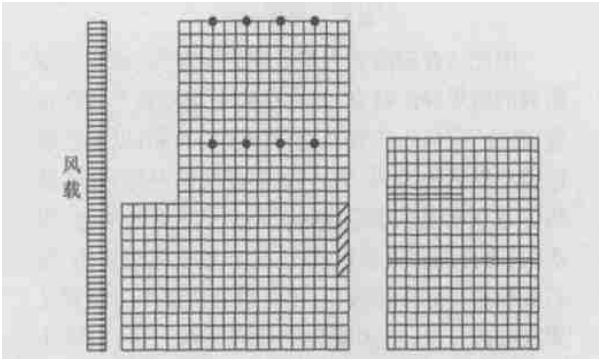


图 7 轻质剪力墙计算模型 (图中黑点 ● 处为有次梁集中荷载处)

图 3 中 ⑦ 轴线处轻质剪力墙石膏板在恒载、活载和风载设计值作用下应力图 ( $N - \text{mm}$ ) 见图 8. 图 7 中左起第二列有次梁集中荷载作用处龙骨的轴力 ( $N$ ) 见图 9.

由图 8、9 可见, 轻质剪力墙的内力没有达到其设计最大值, 因此, 轻质剪力墙是安全的, 与梁柱共同工作是有用的. 从图中可以看出: 轻质剪力墙石膏板在次梁处局部应力比较大, 而其余部分则比较小, 因此可见局部集中荷载对轻质剪力墙的影响较大, 应尽量避免之. 石膏板在水平方向上没有较大的应力, 因此风荷载对轻质剪力墙影响比较小, 因为轻质剪力墙是嵌于柱之间, 柱身对其作用的是均布力, 故轻质剪力墙承受均布荷载的效果比较好.

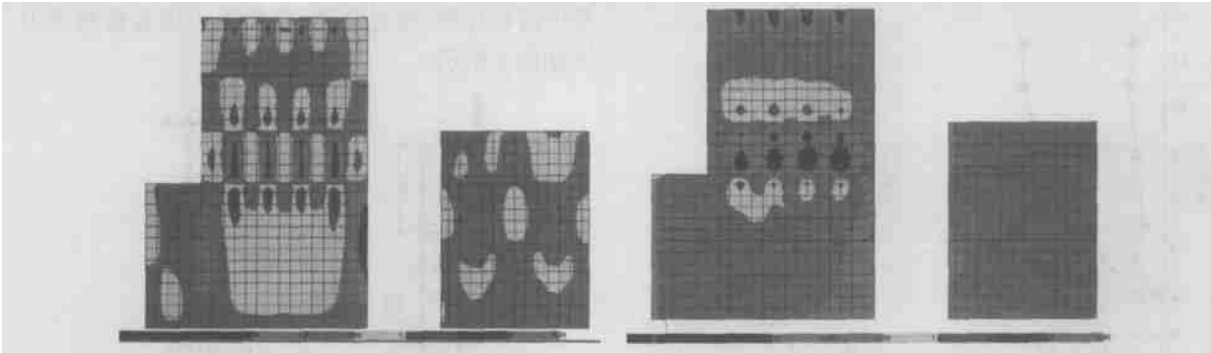


图 8 轻质剪力墙石膏板应力图

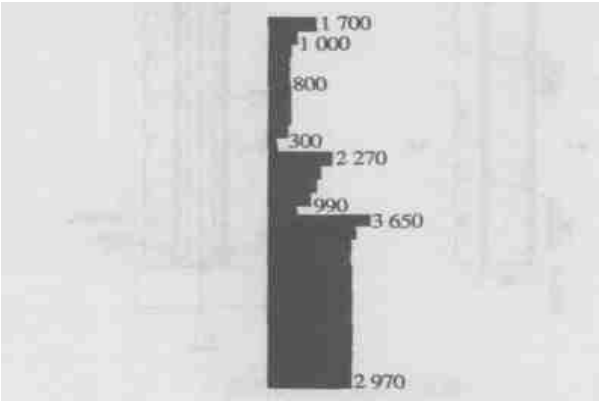


图 9 龙骨轴力图

因此结合轻质剪力墙平面内刚度大、承受均布荷载的效果好的特点, 其在结构中应按如下原则布置: 首先, 它应该布置在墙体门窗的柱间, 以不影响建筑功能为前提; 其次, 它的布置应该对称, 这样结构体系在承受水平荷载时就不会产生扭转问题; 再次, 它上方的次梁要比较密, 这样集中荷载较小, 对石膏板的不利影响较小, 也可以在次梁下方设置托梁或收边龙骨, 将次梁集中荷载分散, 也可以减小它的不利影响。

在美国双面石膏板龙骨轻质剪力墙早已被作为受力构件, 应用到结构体系中, 并且已经有了统一的计算公式. 采用 AISI 规范 1996 版中墙龙骨承载力计算公式, 计算本工程案例得: 龙骨轴向力承载力设计值为 22.8 kN, 比图 9 中龙骨轴力大, 因此龙骨是有效工作的.

2.3 梁柱插销式节点

3L 体系的连接形式为插销式连接, 即梁、柱通过一个插销节点进行连接. 插销节点既把梁与柱牢固连接, 又把上下柱可靠连接, 而且由于体系构件的标准化, 插销节点也是标准化的. 插销节点三维图如图 10 所示, 构造图如图 11 所示.

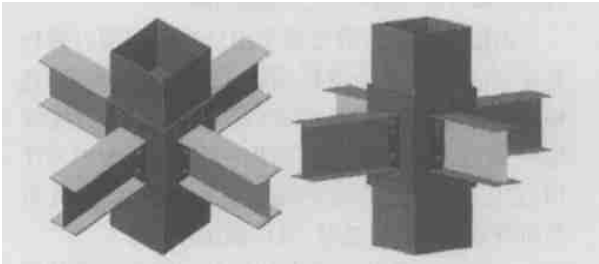


图 10 插销节点三维示意图

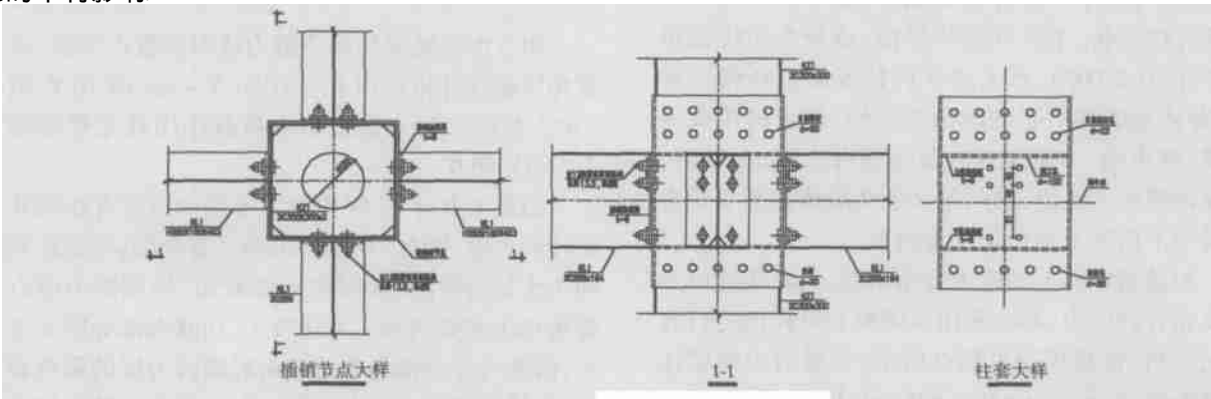


图 11 插销节点构造图

节点传力通过柱套完成. 主梁通过梁端高强螺栓与柱套连接, 主梁弯矩、剪力和轴力通过高强螺栓传于柱套上. 上柱通过自紧螺钉与柱套连接, 上

柱轴力和弯矩通过自紧螺钉传于柱套上. 下柱通过焊钉与柱套连接, 柱套通过焊钉将上部轴力、弯矩与剪力传递到下柱. 上柱限位板开有直径 150 mm

施工孔, 施工员可通过此孔连接高强螺栓. 自紧螺栓是新型的连接件, 它进入螺栓孔后螺栓头部可以涨大, 将所连接的构件紧紧夹住, 这样安装时只需要从被连接件的一面进行, 不需要开施工孔, 施工高效快捷, 节点传力可靠.

为更清楚地表示插销节点的传力途径, 以及应力在柱套上的分布情况, 本文采用 ANSYS 有限元分析软件对柱套进行有限元分析. 分析得 VonMises 应力如图 12 所示. 从图中可以看出, 在连接梁端的螺栓孔处应力最大. 由于此处梁端对其柱套钢板有平面外的拉力, 而钢板对平面外的力抵抗能力较弱, 所以此处为最危险区域. 而连接上下柱的螺钉、焊钉孔处由于是受平面内的作用力, 所以虽然轴力较大, 但还是属于较次级的危险区域. 因此节点可能的破坏形式为梁端螺栓处柱套钢板屈服, 螺栓孔变形扩大, 螺栓被拉脱. 所以可以在螺栓孔后设置较大的螺栓垫板, 减小螺栓传来力的集中程度, 减小螺孔附近的集中应力.

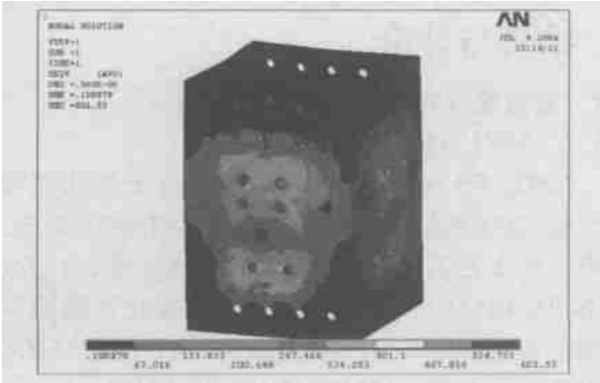


图 12 柱套 VonMises 应力图

3 结论

3L 体系的梁、柱等构件均采用薄壁型钢, 具有全装配、无焊接作业, 施工方便快捷; 材料、人工、机械均具有经济效益好的优点. 本试点工程案例考虑轻质剪力墙的用钢量为 14 965 kg, 平均 26.9 kg/m<sup>2</sup>; 不考虑轻质剪力墙的用钢量为 11 964 kg, 平均 21.5 kg/m<sup>2</sup>, 在国内采用 Q235 等级钢材的轻钢住宅体系中用钢量具有, 经济合理. 插销节点使 3L 体系做到了装配化施工, 安装方便, 施工速度快. 在即将来临的轻钢住宅潮流中, 3L 体系及其配套技术会有一定的技术借鉴作用和市场推广价值.

[参考文献]

[1] 于炜文. 冷成型钢结构设计[M]. 第 3 版. 董军, 夏冰清译. 北京: 中国水利出版社, 2002. 422 - 454.  
[2] 汪一骏, 熊家新, 张其林, 等. 轻钢结构设计指南(实例与图集). 北京: 中国建筑工业出版社, 2001. 459 - 530.  
[3] 舒赣平. 轻钢住宅结构体系及应用[J]. 工业建筑, 2001, 31(8): 1 - 4.  
[4] 丁成章. 低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 183 - 192.

Research and Design of Residential Buildings  
with Lightweight Steel Structure

CHEN Zhuang<sup>1</sup>, HAN JiPing<sup>2</sup>, YU Jun<sup>3</sup>

(1. College of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;  
2. Nanjing Huadong Steel Pipes Manufacturing Co. Ltd, Nanjing 211100, China;  
3. Nanjing Jiangning Shizheng Building Real Estate Development Co. Ltd, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** The paper introduces the 3L structure system, which is a new type of lightweight steel structure system. By using Sap2000 program and Ansys with finite element, the lightweight shear wall and bolt joints are analyzed, with the strength and rigidity studied.

**Key words:** cold-shaping, steel structure, residence, bolt joints, lightweight shear wall

[责任编辑: 刘健]