4. 适合地震灾区快速重建的冷弯薄壁型钢结构住宅体系

周绪红[1,2]　石　宇[2]　王瑞成[2]　李　颖[2]

（1 兰州大学，兰州　730000；2 长安大学，西安　710061）

摘　要：本文简单介绍了冷弯薄壁型钢结构住宅体系的组成及特点，并采用有限元分析软件建立空间整体模型对四层冷弯薄壁型钢结构住宅进行时程分析，研究其抗震性能。分析结果表明：冷弯薄壁型钢结构住宅体系节能、节地、节材、环保、施工周期短、有利于住宅产业化，综合经济效应好；结构自重轻，整体性能好，可在抗震设防烈度为 7 度、8 度的地区建造。

关键词：冷弯薄壁型钢；住宅结构体系；组成；构造；时程分析

1　引言

2008 年 5 月 12 日 14 点 28 分，四川省发生里氏 8.0 级强烈地震，震中位于阿坝州汶川县，地震波及甘肃、陕西、重庆、河南、云南、山西、贵州、湖北等省市。震区的居民住宅、写字楼、办公楼、工业厂房、桥梁、道路交通设施等建筑物和构筑物毁损严重，安全、快速、高效、经济地重建灾区人民美好家园不仅是土木工程建设者亟待解决的技术问题，也是一种政治责任。

冷弯薄壁型钢结构住宅是由木结构演变而来的一种轻型钢结构体系，可适用于低层及多层房屋结构，目前已经在北京、上海等地推广应用。它具有自重轻、外形美观、节能环保等特点，有利于发展循环经济、建设节约型社会和实现可持续发展。本文在介绍冷弯薄壁型钢结构住宅的组成及特点的基础上，利用 ANSYS 通用程序对四层冷弯薄壁型钢结构住宅进行时程分析，并结合相关试验研究对其抗震性能进行考察，以促进该结构体系在地震灾区快速重建家园中的应用。

2　冷弯薄壁型钢结构住宅体系的组成及特点

2.1　结构的组成

冷弯薄壁型钢结构住宅基本构件主要有 U 形（普通槽形）和 C 形（卷边槽形）两种截面形式的冷弯薄壁型钢构件，如图 1、图 2 所示，U 形截面一般套在 C 形截面的端头，用作顶梁、底梁或边梁等非承重构件，C 形截面一般用作梁柱承重构件，也采用 L 形截面作为角钢连接件或过梁。基本构件的钢材采用 Q235 钢或 Q345 钢，厚度一般在 0.45～2.5mm 范围内，过梁和承重构件的厚度一般不应小于 0.85mm，只有非承重构件可采用 0.45mm 厚度的钢材。受力构件和板材连接常采用自钻自攻螺钉或自攻螺钉连接（图 3）。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

构件采用镀锌或镀铝锌进行了防护，使住宅寿命可达到 75 年以上。

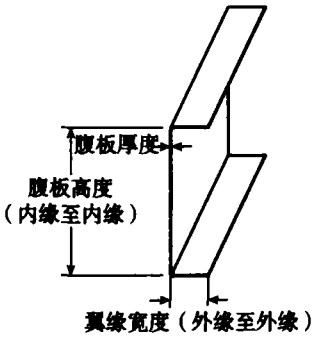


图 1　U形截面

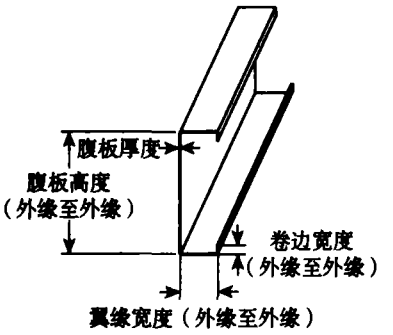


图 2　C形截面

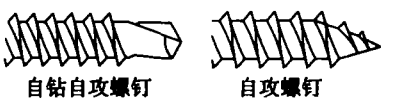


图 3　螺钉形式

冷弯薄壁型钢结构住宅主要由墙体、楼盖、屋盖及围护结构组成（图 4），其中楼盖结构由间距 400mm 或 600mm 的楼盖梁、楼面板和吊顶组成；墙体结构由间距 400mm 或 600mm 的墙架柱、双面结构板材或装饰石膏板、拉条等组成；屋盖结构由屋架、屋面板、吊顶组成。外墙墙板和楼面板通常采用防水和防腐处理过的定向刨花板或胶合板，也可以采用水泥纤维板等结构板材。外墙内侧墙板、内墙墙板和吊顶通常采用防火石膏板。墙体和楼面板材厚度通常为 9～18mm，楼面板上有时也铺一层轻质混凝土。在墙架柱和楼盖与屋盖隔栅的空腔内填充玻璃纤维保温棉、喷射液体发泡材料或在外墙贴外保温隔热板材（如聚氨酯板、岩棉板、挤塑板），保温隔热隔声效果好。由此可见，冷弯薄壁型钢结构住宅实际上是一种板肋结构体系，结构面内刚度较大，能很好地承受竖向荷载和地震、风等水平荷载的作用。

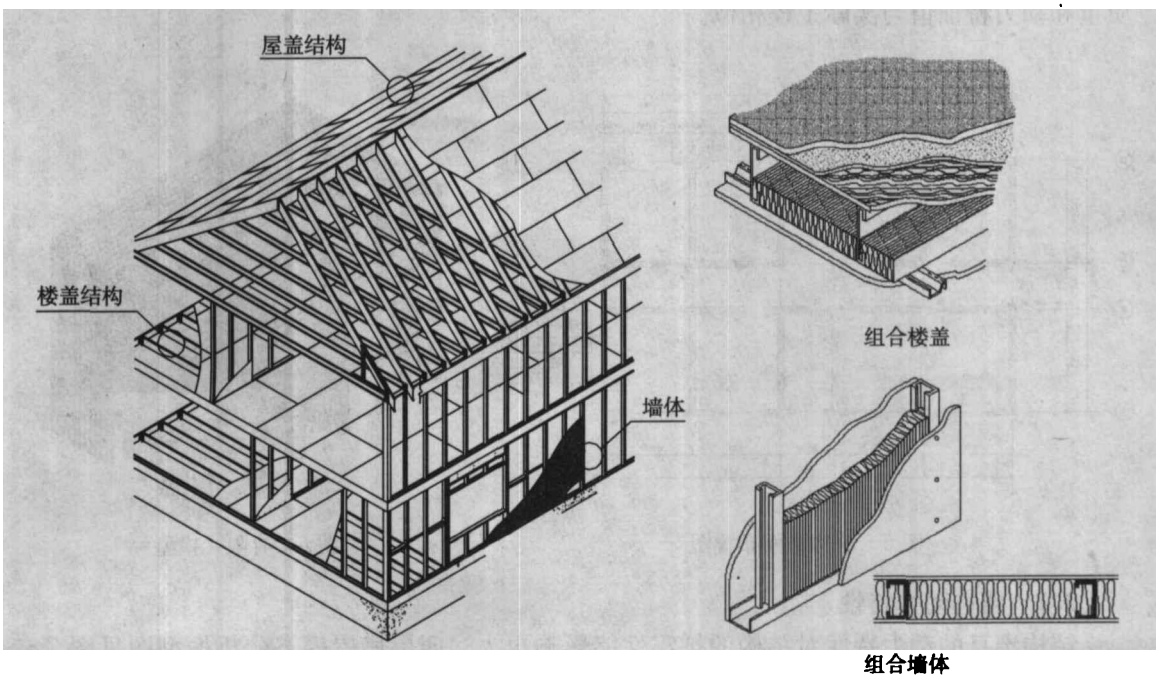


图 4　冷弯薄壁型钢结构住宅结构图

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 结构的特点

从冷弯薄壁型钢结构住宅体系的组成可以得到该结构的以下特点：①结构自重轻，因而地震反应小，基础处理及抗震措施简单，可大辐减少基础造价和结构抗震措施费用，且能适用于地质条件较差的地区。②节能、节地、节材：结构内外敷设保温材料，保温隔热性能和隔声效果良好，符合国家建筑节能标准；不使用黏土砖等不可再生资源，减少能源消耗；墙体的厚度较小且四壁规整，便于建筑布置，增加了住宅有效使用面积；钢材强度高、构件截面形式优化，用钢量小，且可回收再利用。③环保：结构采用新型建筑材料，居住环境卫生健康；施工简单，施工时噪声、粉尘、垃圾和湿作业少；大部分材料可回收再利用，减少了结构拆除后的环境污染。④冷弯薄壁型钢结构可在工厂进行标准化、定型化、社会化生产，质量易保证；同时，施工周期短，制作、运输、安装和维护方便，可降低人工和机械费用，投资效益高。综上所述，可以认为冷弯薄壁型钢结构住宅具有良好的综合经济效益和社会效益。

3 冷弯薄壁型钢结构住宅的时程分析

为考察冷弯薄壁型钢住宅体系在地震区的适用性，本节采用 ANSYS 有限元分析软件，选用 SHELL63 壳单元和 BEAM188 梁单元，建立了 4 层冷弯薄壁型钢结构住宅的三维空间模型，进行时程分析，研究其抗震性能。结构平面布置见图 5，结构长 18m，宽 11m，层高 3m。梁柱间距 400mm，楼面梁选用 C305×40×14×1.73，边梁选用 C305×35×1.73，过梁等采用组合梁；楼面板选用 18mmOSB 板；墙架柱及墙支撑选用 C140×40×12×1.73，角柱和墙体交错处的墙架柱采用组合柱；内墙选用 12mmOSB 板，分户墙采用 1.0mm 钢板＋12mmOSB 板作剪力墙，结构整体有限元模型见图 6。有限元分析时对壳单元 SHELL63 添加 ADMSAU 实参数，把重力荷载等效为楼板自重，保证分析模型的质量和动力特征值与实际工程相似。

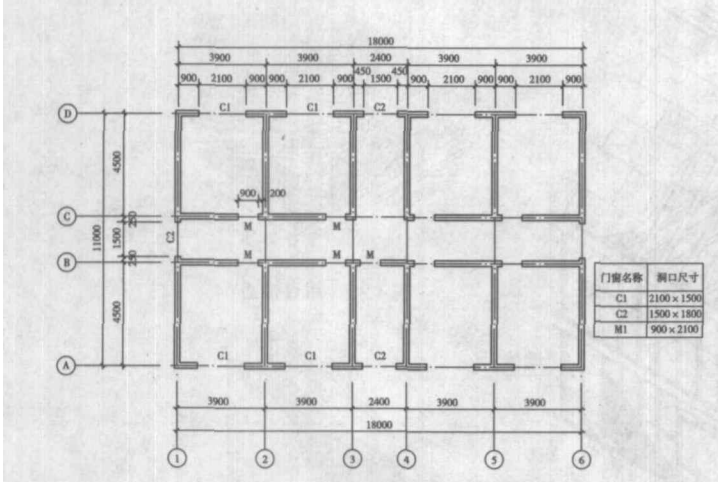


图 5 结构平面布置图

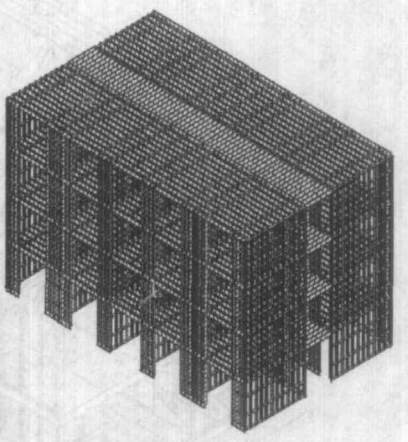
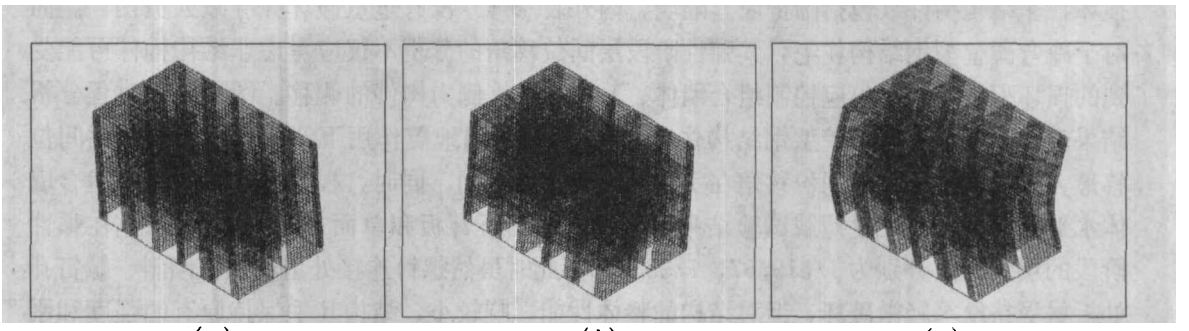


图 6 有限元模型

3.1 结构动力特性

结构本身的动力特性对结构的抗震性能影响很大。四层房屋模态分析振型图见图 7，自振周期见表 1。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a) (b) (c)

图 7 四层房屋模态分析变形

(a) 横向变形；(b) 纵向变形；(c) 扭转变形

模态分析参数 表 1

层数	模态 1		模态 2		模态 3	
	T_1 (s)	类型	T_2 (s)	类型	T_3 (s)	类型
4	0.392	横向	0.317	纵向	0.119	扭转

日本和美国在多次实测的基础上得到低层冷弯薄壁型钢结构住宅体系的自振周期计算公式见式（1）和式（2）[3]。4 层房屋有限元模型高 12m，按两式计算特征周期分别为 0.36s、0.32s，本文进行模态分析得到其特征周期为 0.392s，且振型正确，从而验证了本文有限元分析模型的正确性。

$$\text{日本} \quad T=0.03H \tag{1}$$

$$\text{美国} \quad T=0.05H^{3/4} \tag{2}$$

式中 H——建筑物的高度，单位为米（m）。

3.2 地震波选取

地震波选取较有代表性的 1940 年 El-Centro 波和 1952 年 TAFT 波，表 2 给出了所选地震波的主要参数。为了研究冷弯薄壁型钢结构住宅在抗震设防烈度为 7 度、8 度地区的适用性，考虑多遇、罕遇两类地震作用水准，根据《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）[4] 中地震加速度时程曲线最大值的规定，将两条地震加速度时程曲线的加速度峰值分别调整为：35cm/s^2（7 度多遇）、220cm/s^2（7 度罕遇）、70cm/s^2（8 度多遇）、400cm/s^2（8 度罕遇）进行计算。

所选地震波的主要参数 表 2

	波名	峰值加速度（gal）	场地类型	持续时间（s）
1	El-Centro	341.7	Ⅲ	5
2	TAFT	152.7	Ⅲ	5

3.3 时程分析结果

根据我国现行《建筑抗震设计规范》[4]（GB 50011—2001）“两阶段三水准”的抗震设防要求，首先，在多遇地震作用下，应保证建筑的正常使用功能，使得建筑主体结构不受

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

损坏，非结构构件（包括围护墙、隔墙、内外装修等）没有过重破坏并导致人员伤亡。而对于冷弯薄壁型钢结构住宅，其弹性阶段层间位移角的分析不仅应考虑非结构构件可能受到的损坏程度，同时也应控制组合墙体、X支撑等抗侧力构件的侧移。图8所示时程分析结果表明，四层冷弯薄壁型钢结构住宅在7、8度多遇地震作用下，结构薄弱层（层间位移最大楼层）的弹性层间位移角在1/1265～1/780之间。同时，根据冷弯薄壁型钢组合墙体水平方向的低周反复荷载试验结果可知[5]，单面石膏板和单面OSB板组合墙体在弹性阶段的层间转角分别为1/819.67、1/833.33，此时虽然螺钉连接处出现螺钉倾斜、螺钉孔处板材受挤压等轻微破坏，但对结构的整体性能影响较小，结构几乎保持原有的强度和刚度，可以保证正常使用功能。

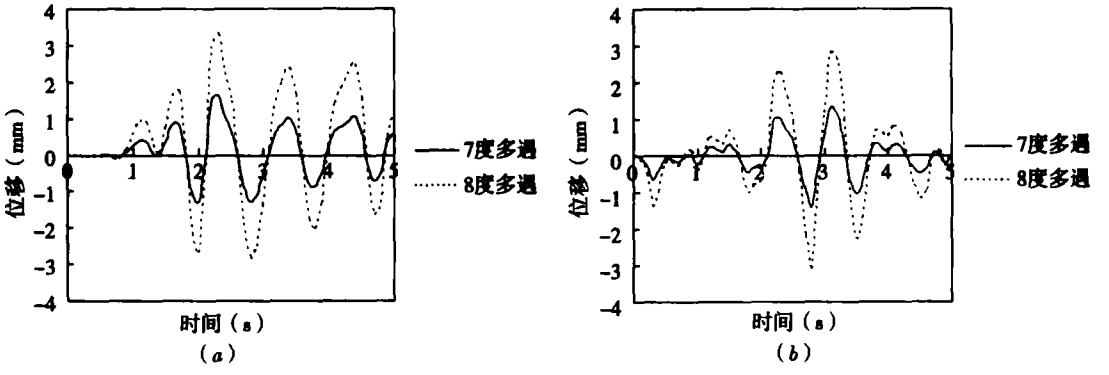


图8 7、8度多遇地震作用下的结构薄弱层层间位移时程反应曲线

(a) 输入EL-Centro波结构时程反应曲线；(b) 输入TAFT4波结构时程反应曲线

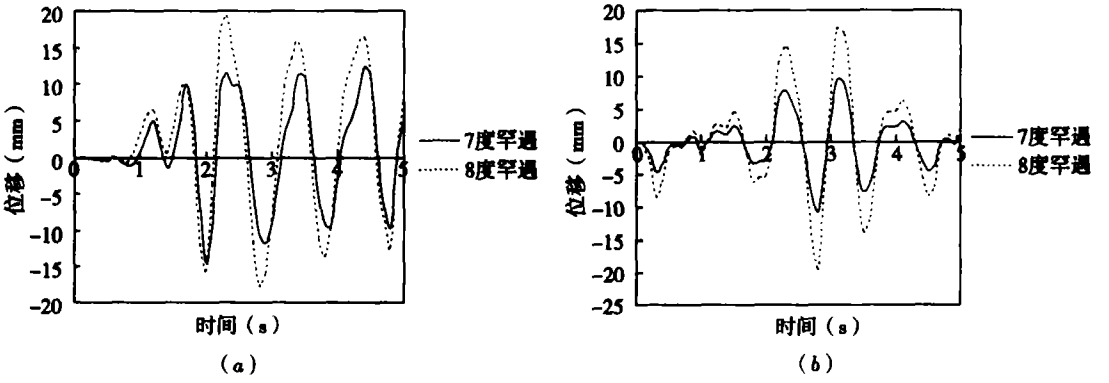


图9 7、8度罕遇地震作用下的结构薄弱层层间位移时程反应曲线

(a) 输入EL-Centro波结构时程反应曲线；(b) 输入TAFT4波结构时程反应曲线

其次，在罕遇地震作用下，允许结构有较重破坏但不影响承重，非结构构件可能坠落，结构的局部功能可能丧失，但不会倒塌。冷弯薄壁型钢结构组合墙体拟动力试验[6]和振动台试验[7]表明，罕遇地震作用下结构的水平刚度虽然有较大的削弱，但无倒塌危险，破坏主要发生在门窗洞口处。图9所示时程分析结果表明，四层冷弯薄壁型钢结构住宅在7、8度罕遇地震作用下，结构薄弱层的弹塑性层间位移角在1/714.28～1/153.85之间。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

而由文献［5］的试验结果可知，单面石膏板和单面 OSB 板组合墙体在弹塑性阶段的层间转角分别为 1/200、1/174.52，此时结构出现较大变形，边角部螺钉连接处严重破坏，自攻螺钉脱落、结构板材局部破裂、拼接处错位；洞口周围破坏严重，边角处构件严重损坏；但结构板材不出现整体脱落，钢骨架基本完好，结构的重力承载体系和抗侧力体系仍能发挥作用。结构的水平刚度虽然有较大的削弱，但结构无倒塌危险。

4 结语

通过对冷弯薄壁型钢结构住宅的体系组成和特点的介绍，以及对四层冷弯薄壁型钢结构住宅进行时程分析，可得出如下结论：

（1）冷弯薄壁型钢结构住宅体系节能、节地、节材、环保、施工周期短、可实现产业化，具有良好的综合经济效应和社会效益。

（2）冷弯薄壁型钢结构住宅自重轻，结构整体性能好，地震作用下的位移反应较小，能满足“小震不坏、大震不倒”的设防要求，可在抗震设防烈度为 7 度、8 度的地区建造。

（3）冷弯薄壁型钢结构住宅在我国具有广阔的应用前景，是地震灾区灾后快速重建家园可供选择的一种良好体系。

参 考 文 献

［1］低层轻型钢结构装配式住宅技术要求（JG/T 182—2005）［S］.

［2］周绪红，石宇等. 低层冷弯薄壁型钢结构住宅体系. 建筑科学与工程学报，2005，2（2）：1－14.

［3］殷惠光，张跃峰.《低层冷弯薄壁型钢建筑技术规程》编制背景［J］. 工程建设与设计，2004（7）：24－26.

［4］建筑抗震设计规范（GB 50011—2001）［S］. 北京：中国建筑工业出版社，2001.

［5］石宇. 低层冷弯薄壁型钢结构住宅组合墙体抗剪承载力研究［D］. 西安：长安大学，2005.

［6］Fülöp，L. A.，Dubina. D. Performance of Wall-Stud Cold-formed Shear Panels under Monotonic and Cyclic Loading Part I：Experimental Research［J］. Thin-Walled Structures，2004（42）：321－338.

［7］沈祖炎，李元齐，王彦敏. 屈服强度 550MPa 高强冷弯薄壁型钢结构设计理论系列研究［C］. 2007 全国轻型钢结构技术研讨会论文集，2007：4－10.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net