

FangJian CaiLiao
Yu
LüSe
JianZhu

房建材料 与绿色建筑

中国硅酸盐学会房屋建筑材料分会◎编



中国建材工业出版社

房建材料与绿色建筑

中国硅酸盐学会房屋建筑材料分会 编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

房建材料与绿色建筑 / 中国硅酸盐学会房建材料分会主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2009.8
ISBN 978-7-80227-596-6

I. 房… II. 中… III. 建筑材料—无污染技术—文集 IV. TU5-53
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 138291 号

内容简介

本书收集的论文涉及保温、节能、隔声、固体废弃物资源化综合利用等, 对房建材料遵循绿色建材的要求进行了深入的研究和探讨, 将对绿色建筑选材发挥较为重要的作用。

房建材料与绿色建筑

中国硅酸盐学会房屋建筑材料分会编

出版发行: **中国建材工业出版社**

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

开 本: 850mm×1168mm 1/16

印 张: 34.25

字 数: 1000 千字

版 次: 2009 年 8 月第 1 版

印 次: 2009 年 8 月第 1 次

(ISBN 978-7-80227-596-6)

定 价: 98.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

《房建材料与绿色建筑》编委会

主 编：崔 琪

副主编：谢尧生 王洪琳

编 委：（按姓氏笔画为序）

丁建彤 王洪琳 王培铭 王肇嘉 刘光华

吴少鹏 肖 慧 沈春林 张仁瑜 奚飞达

袁运法 崔 琪 崔素萍 谢尧生 薛滔菁

前 言

中国科协 2009 年 9 月在重庆市召开第十一届年会，主题为“自主创新与持续发展”。其中，中国硅酸盐学会房屋建筑材料分会承办了题为“地震灾区固体废弃物资源化与节能抗震房屋建设研讨会”分会场，为此，编辑出版了本论文集：《房建材料与绿色建筑》。

当前，绿色建筑评价标识是：节地与室外环境、节能与能源利用、节水与水资源利用、节材与材料资源利用，室内外环境质量以及运营管理。发展绿色建筑需要绿色房建材料，绿色房建材料包含了建筑所用的材料不会对环境产生有害影响，而且是环境舒适，建筑结构材料和维护材料能保证建筑物的使用安全和预期寿命等。房建材料量大面广，是资源消耗较多、能耗较高、环境影响比较敏感的行业，因此鼓励使用固体废弃物、可再生的材料、不可再生资源消耗少的材料来制造。为实现绿色建筑提出的要建造高效率地利用资源、低的环境负荷和安全、健康、舒适的建筑，房建材料有待全面优化，把发展与绿色建筑要求相适应的材料作为发展方向、重点和目标，推动绿色建筑的实施和发展。

房建材料包括墙体、屋面、地面材料，保温隔热隔声材料，防水材料，装饰装修材料，结构与构件材料等方面。论文集汇集了房建材料与固体废弃物资源化与节能抗震房屋建设等方面的论文 90 余篇。其中大部分为今年新征集的论文，另一部分是房建材料分会 2008 年学术年会中相关的论文。出版此论文集旨在促进房建材料向资源节约型、环境友好型方向发展，为绿色建筑提供重要的物质保障。

中国硅酸盐学会房屋建筑材料分会

2009 年 8 月

目 录

1 地震灾区重建用板-柱-轻钢结构体系房屋的研究	李清海 孙 蓓 崔 琪 翁端衡 吴雨红 (1)
2 四川安县灾后重建中建筑废物资源化的实现	肖建庄 李 刚 谢 贺 (11)
3 传统生土民居——土楼生态建筑的传承与保护	霍俊芳 崔 琪 (17)
4 北京地区新农村抗震节能建筑结构需求分析	王肇嘉 段鹏选 夏祖宏 屈希强 罗淑湘 (22)
5 工业固体废弃物在干混砂浆的应用研究进展	王培铭 张国防 (28)
6 基于 SAP2000 分析板-柱-轻钢结构房屋的抗震性能	李 悦 周孝军 李清海 鲍俊玲 谢 冰 (34)
7 橡胶-木材增强水泥基功能性复合材料结构和性能的表征	赵 君 姚 燕 崔 琪 (39)
8 地震后建筑垃圾资源化技术及其在重建中的应用探讨	权宗刚 (50)
9 依靠科技进步推动我国烧结墙体材料快速发展	肖 慧 (55)
10 外墙挂板及其应用技术研究	翁端衡 崔 琪 崔玉忠 吴俊禧 王亦德 刘京元 吴转琴 刘 刚 (60)
11 乡村住宅建筑能耗现状与节能技术	霍俊芳 崔 琪 潘 华 (69)
12 中国防水材料现状与发展建议	沈春林 (73)
13 宁夏整体现浇石膏抗震房的研究	段庆奎 王翠萍 (78)
14 流动性秸秆水泥复合材料的研究	崔玉忠 (82)
15 建筑垃圾自保温混凝土砌块的热工性能研究	王武祥 (88)
16 抗震、节能、框架轻板装配式住宅楼 20 年回顾	朱家振 朱玲英 (95)
17 C_3S 含量对水泥-煤矸石混合体系水化进程的影响	丰曙霞 王培铭 刘贤萍 (99)
18 不同温度下活化煤矸石-氢氧化钙-石膏体系的火山灰反应	刘贤萍 王培铭 (104)
19 掺合料用量对混凝土高性能化的技术经济效果影响研究	郝挺宇 吴志刚 (111)
20 城市垃圾焚烧飞灰资源化利用现状	李 巍 (115)
21 商品砂浆的研究开发与固体废弃物高效利用	王新民 孙振平 (120)
22 废胶粉对抗裂砂浆性能影响的研究	胡 亮 余剑英 (128)
23 废胶粉在沥青行业的应用	孔宪明 刘国祥 (134)
24 粉煤灰、矿渣的化学组分对水泥砂浆强度的影响	孙 杰 王培铭 刘贤萍 庞 敏 (142)
25 铁尾矿隔热保温材料制备工艺及结构研究	刘媛媛 李寿德 (149)
26 高性能混合水泥研究报告	江丽珍 刘 晨 (154)
27 水泥基渗透结晶防水材料在哈尔滨工程大学水下智能机器人试验水池防水工程中的应用	樊细杨 周志超 (161)

28	活化粉煤灰对高 C_3S 含量水泥熟料水化过程的影响	王培铭	吴丹琳	刘贤萍	(164)
29	建筑废弃物在轻质隔声墙板中的应用	陈庆帅	冀志江	王 静	(172)
30	建筑废弃物再生利用研究	赵之杰	吴少鹏	刘杰胜	(176)
31	提钛型氯化残渣制造烧结空心砖的试验研究	刘 蓉	高 隽	李寿德	(179)
32	煤矸石-污泥陶粒的制备及其性能的研究	严建华	崔素萍	王 峰	李智丰
		张志龄	容构华	王 涛	(186)
33	农作物秸秆建材作为抗震房屋用材的分析	侯国艳	冀志江	李海建	(191)
34	欧 K 轻质砂浆的制备及性能			刘伟华	(194)
35	攀钢提钛高炉矿渣的水化特性研究	朱洪波	王培铭	张继东	(199)
36	浅谈我国砖瓦行业现状和产业政策			张忠伦	(206)
37	乳胶粉改性碱激发粉煤灰-偏高岭土砂浆的综合性能	刘斯凤	王培铭		(211)
38	烧结复合保温砌块的生产与应用			郭永亮	(216)
39	陶粒混凝土砌块填充墙裂缝状况和控制措施			贾兴文	(223)
40	铁尾矿砂石混凝土的抗冻性能研究	封孝信	柴红俊	蔡基伟	宋裕增
					(226)
41	尾矿轻集料混凝土小型空心砌块配比试验	钱惠生	白士龙	张春植	钱红宇
				王玉萍	(230)
42	我国建筑垃圾资源化现状及处理对策研究	刘添俊	安关峰		(234)
43	以粉煤灰为主要掺合料制备泡沫混凝土砌块	顾 军	杨飞华	王铁柱	吴学谦
					(239)
44	再生混凝土粗骨料强化试验研究	朱从香	杨鼎宜	王 虹	盛爱华
					(244)
45	再生粗骨料砂浆含量测定方法及分级研究	张 雄	刘 昕		(249)
46	再生骨料吸水率的研究	陈美祝	林俊涛	吴少鹏	张 涛
					(255)
47	再生混凝土骨料在沥青混合料中的应用研究	吴少鹏	张 涛	陈美祝	(258)
48	再生塑料颗粒改性混凝土力学性能试验研究	李丽娟	黄海滨	刘 锋	(263)
49	国内外建筑垃圾相关法规标准概述	何更新	田 欣		(267)
50	火山灰材料对硅酸盐水泥基体 GRC 耐久性的影响	崔艳玲	崔 琪	崔玉忠	(272)
51	原料组分变化对 GRC 耐久性的影响	崔艳玲	崔 琪	崔玉忠	(282)
52	砖渣自保温夹心节能砌块及应用	郑 敏	郑 勇		(290)
53	漫谈装饰混凝土的创新与发展			张宝贵	(294)
54	不同来源再生粗集料对再生混凝土性能的影响	黄 滔	彭小芹	王开宇	胡 灿
				李 昶	(298)
55	拜耳法赤泥干混砂浆外加剂优选试验及性能影响因素研究	许国伟	彭小芹	漆贵海	王玉麟
					(304)
56	磷石膏制砖工艺研究		邓竹林	刘 芳	(311)
57	烟气脱硫石膏资源化利用技术发展综述	王肇嘉	段鹏选	张 晔	(316)
58	国内外建筑垃圾资源化现状及发展趋势	冷发光	何更新	张仁瑜	丁 威
				周永祥	(324)
59	生态水泥混凝土技术进展	王子明	崔素萍	兰明章	(330)

60	上海某酒店公寓外墙渗漏水治理方案	沈春林	杨炳元	(336)
61	建筑节能新时期混凝土砌块的发展	田斌守		(344)
62	解决建筑砂浆胶凝材料目前存在问题的技术途径	鄢朝勇	叶建军	(349)
62	青砖生产工艺探讨与开发	许拥胜		(352)
63	废旧橡胶微粒对混凝土力学性能的影响研究	李清海	孙 蓓	(358)
64	炉渣灰淤泥平瓦干燥裂纹的成因及防治	伍贤益		(363)
65	水淬高炉矿渣在断热节能复合砌块中的应用研究	曹万智	王洪镇	杨永恒 (367)
66	混凝土透水材料研究开发现状与应用前景	杨飞华		(376)
67	硅酸盐熟料-煤矸石 / 粉煤灰混合水泥水化过程			
		王培铭	刘贤萍	胡曙光 吕林女 马保国 (380)
68	废旧轮胎橡胶粉改性水泥砂浆的研究进展	孙振平	陈柯柯	(389)
69	粉煤灰抑制脱硫石膏制品泛碱的研究	郑云生	惠 博	盛满计 (398)
70	半干半湿法烟气脱硫灰综合利用研究	张 凡	王 凡	刘 宇 田 刚 王红梅 (403)
71	干法钙基脱硫灰用于生产蒸养砖的研究	杨新亚	张丽英	(409)
72	氟石膏废渣改性生产粉刷石膏	李汝奕	王佩建	成晓光 刘春英 (415)
73	煅烧煤矸石制备矿物掺合料的研究进展与思考	王栋民	范德科	(420)
74	干混砂浆行业资源综合利用	王亚丽	兰明章	(426)
75	混凝土材料完全循环利用的探讨	王子明	黄显智	裴学东 (430)
76	国内建筑垃圾处理现状存在问题及对新处理模式的探索	叶旅平	黎 雯	(436)
77	深圳市建筑垃圾现状及循环利用研究			
		许 颖	杨始强	李存才 罗 刚 赵 华 (438)
78	区分三种粉煤灰, 促进 CFB 脱硫灰的资源化	陈孟伯	陈 舸	(447)
79	烟气脱硫石膏作水泥缓凝剂的应用研究	袁运法	郑建国	刘永川 (453)
80	再生骨料改性及机理研究	崔素萍	王亚丽	涂玉波 刘 红 (461)
81	工业废弃物制备可控低强度材料研究进展	王栋民	罗小红	(466)
82	脱硫石膏的性能研究及其应用	路国忠		(472)
83	磷石膏原料特性对熟石膏粉产品强度的影响研究	王惠琴等磷石膏课题组全体成员		(478)
84	木纤维石膏板隔墙的隔声性能	谭 华		(481)
85	污泥制砖发展浅谈	周 炫	蔡小兵	(484)
86	镁渣资源化研究及现状分析	肖力光	王思宇	雒 锋 (495)
87	烟气脱硫石膏的基本性能研究	段鹏选	张 晔	苗元超 (502)
88	我国电气石资源分布及应用进展	王晓燕	冀志江	王 静 丁 楠 (509)
89	我国矿山尾矿二次资源的开发利用与生产新型房建材料系列产品	张金青		(515)
90	粉煤灰资源科学利用问题探讨	张承志	王爱勤	(522)
91	我国自保温混凝土砌块的发展现状及研究方向	张磊蕾		(528)

地震灾区重建用板-柱-轻钢结构体系房屋的研究

李清海 孙 蓓 崔 琪 翁端衡 吴雨红

(中国建筑材料科学研究总院 绿色建筑材料国家重点实验室 北京 100024)

摘 要 本文针对四川地震灾区房屋重建的需求,提出了一种适用于灾区建设用板-柱-轻钢结构房屋体系,重点对板-柱-轻钢结构房屋体系的结构及建造技术、抗震技术、节能技术三方面的研究内容进行了介绍。以期推进该体系房屋的建设,为地震灾区重建家园起到科技示范作用。

关键词 板-柱-轻钢结构房屋 房屋体系 抗震 节能 应用

1 前 言

四川汶川大地震中由于大量房屋倒塌和危房拆除,百余万人失去了原有的住所,灾后重建初步估算需要 1000 万平方米以上住宅,而且需要短时间内建设完成。地震灾区处在强地震带,新住宅建设既要抗震、造价经济,又要符合当地新的建筑节能及规划要求。且目前灾区重建用建筑材料的生产和供应均面临困难。针对这些实际情况,本文提出了地震灾区重建用板-柱-轻钢结构体系房屋的研究,目的在于研究一种适用于灾区建设用新型房屋结构体系,为地震灾区重建家园起到科技示范作用。本文就地震灾区重建用板-柱-轻钢结构体系房屋的研究,主要从三个方面进行介绍:①板-柱-轻钢结构房屋体系的研究;②抗震技术的研究;③节能技术的研究。

2 房屋体系的结构及建造技术研究

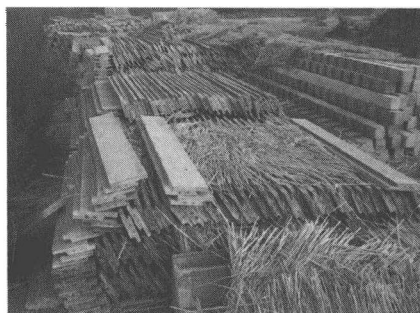
板-柱-轻钢结构体系抗震节能房屋主要采用板、柱与轻钢结构相结合的房屋住宅体系——在钢筋混凝土地梁的基础上,使用 H 型钢及矩形钢管组合成钢结构骨架,在钢立柱旁辅以混凝土挂柱,将混凝土外墙挂板、隔墙板、屋面板及保温材料分别安装于钢结构骨架上,形成板-柱-轻钢结构建筑主体。

在该体系中结构承重、抗震均以钢结构为主(用钢量为 $40\sim 60\text{kg/m}^2$)。作为围护结构的墙体用活装配混凝土挂板,混凝土挂板处于允许变形状态,热胀冷缩、湿胀干缩、碳化收缩在墙面上形成不了破坏应力,以此解决传统建筑外墙易开裂的难题。

该体系房屋用混凝土挂柱、混凝土外墙挂板、隔墙板、屋面板等均为工厂预制,在施工现场装配。工厂预制时可以使用大量的建筑垃圾、工业废弃物等材料。图 1 所示为混凝土挂柱、混凝土外墙挂板、隔墙板、屋面板产品实物,其物理性能指标如表 1~表 4 所示。

作者简介:李清海(1967—),男,内蒙古商都人,博士,教授级高工。通讯地址:北京市朝阳区管庄(100024),
E-mail: liqinghai@cbmamail.com.cn。

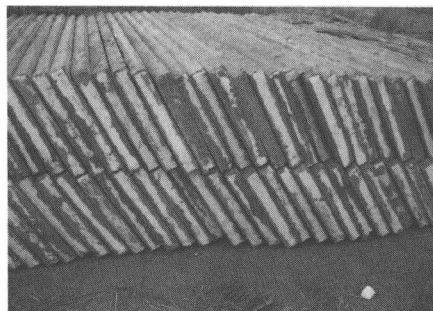
国家科技支撑计划项目:地震灾区建筑垃圾资源化与抗震节能房屋建设科技示范(2008BAK48B00)。



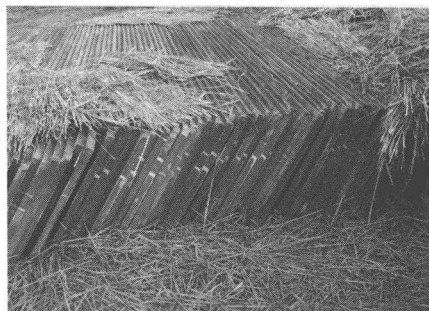
混凝土外墙挂板



混凝土挂柱



GRC 保温屋面板



隔墙板

图 1 主要建筑材料

表 1 外墙挂板性能指标

序号	检测项目		单位	标准要求	检验结果	单项结论
1	外观质量		—	表面平整, 边角整齐, 色泽一致, 不应有裂纹、分层、孔洞、鼓泡、毛边等缺陷	符合要求	合格
2	尺寸允许偏差	长度	mm	± 2	$0 \sim +1$	合格
		宽度		± 1	$-1 \sim +1$	合格
		厚度		± 1	$0 \sim +0.5$	合格
3	容重		kg/m^3	2200~2300	2264	合格
4	抗折力		N	≥ 600	880	合格
5	抗冲击力		—	5kg 砂袋距板面 1m 处, 自由向下冲击 3 次, 板正面无裂纹	符合要求	合格
6	不透水性		—	24h 后, 板背面无水滴出现	24h 板体背面无水滴现象	合格
7	吸水率		%	≤ 15	8.1	合格
8	燃烧性能		—	天然气蓝色火焰, 距试件 30~50mm, 灼烧 5min, 试件无裂纹等破坏现象	符合要求	合格
9	抗冻性	外观质量	—	不应有裂纹、分层、孔洞、鼓泡、毛边等缺陷	符合要求	合格
		重量损失	%	≤ 10	0	合格

表 2 外墙挂柱性能指标

序号	检验项目		单位	标准要求	检验结果	单项结论
1	外观		—	表面平直, 边角整齐, 色泽一致, 不应有裂纹、分层、孔洞、鼓泡、毛边等缺陷	符合要求	合格
2	尺寸允许偏差	长度	mm	± 5.0	$0 \sim +3.0$	合格
		宽度		± 1.0	$-0.5 \sim +1.0$	合格
		厚度		± 1.0	$-0.5 \sim +1.0$	合格
		挂距		± 2.0	$-1.0 \sim +1.0$	合格
3	容重		kg/m ³	2200~2300	2231	合格
4	挂柱吊挂力		—	$\geq 600\text{N}$, 无破损	加载 600N, 静置 24h, 吊挂区无损坏	合格
5	抗压强度		MPa	≥ 20	30.5	合格

表 3 复合屋面保温板性能指标

样品名称	复合屋面保温板	检验类别	委托检验
序号	检测项目	单位	检验结果
1	容重	kg/m ³	325
2	传热系数	W/(m ² ·K)	0.38
3	均匀荷载承载力	N	3020

表 4 隔墙板性能指标

样品名称	隔墙板	检验类别	委托检验
序号	检测项目	单位	检验结果
1	容重	kg/m ³	842
2	隔声量	dB	46
3	吊挂力	N	吊挂 1500N, 吊挂区周围板面无裂缝
4	耐火极限	h	1.5h
5	抗冲击性能	次	冲击 6 次, 无贯通裂纹

板-柱-轻钢结构体系房屋具体实施过程与构造做法工艺流程为:土方工程(平整土地、开挖基础坑)→混凝土基础(浇筑混凝土、依据标高固定混凝土钢锚地脚板、浇筑钢筋混凝土梁)→钢结构(钢制:柱、圈梁、檐、檩并装配)→屋面(保温屋面板、屋面防水)→混凝土装配外墙(混凝土挂柱、混凝土挂板、保温材料、保温外墙内墙板)→隔墙板→屋面瓦→门窗→外装饰→内装饰。

其中关键性施工工序详述如下:

1. 轻钢结构施工。(1) 根据设计图纸, 选取一根立柱作为结构施工的基准, 在预埋混凝土支墩上就位安装并校正、紧固(图 2)。(2) 以基准柱为参照, 依次进行所有立柱的安装, 并随之安装连接系杆与拉撑杆件。(3) 吊装钢房架, 同时由脊檩向沿檩方向依次安装檩条与拉杆、撑杆(图

3)。(4) 两层示范房二层施工中按主次梁顺序依次安装。(5) 构件安装完成, 进行整体校核, 确认无误后对螺栓连接节点进行终拧、焊接点全部焊接, 并对焊接节点除锈、防腐。



图2 基准立柱

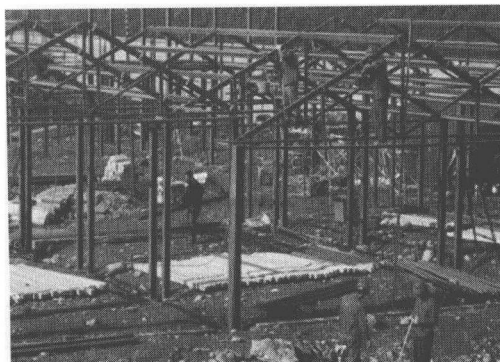


图3 钢房架的吊装

2. 挂柱安装。采用 3m 长靠尺用紧固扣固定到钢立柱翼板上, 作为挂柱安装的纵向坐标; 在基础轴线上按 600mm 间距做出刻度线, 并用线坠从上部槽钢系杆的紧固孔中进行复核, 无误后作为挂柱安装的横向坐标; 每根挂柱上标出标高控制线, 利用扯上的施工线控制标高, 进行挂柱的安装。挂柱安装由墙体的一端开始, 依次进行安装, 全部完成后经复核无误, 上部用植筋胶与筋固螺栓固定到槽钢系杆上, 下部用专用楔子背紧并浇筑到钢筋混凝土圈梁中。挂柱顶部加设防震橡胶条, 严格控制挂爪的水平度与挂柱的外平整度 (图 4)。

3. 屋面板安装。为利于阴雨天气能在室内进行其他作业, 结构安装完成随即进行屋面板的安装。屋面板的安装用 120mm 长的钻尾螺钉直接固定到 C 型钢檩条上, 板缝与搭接处用嵌填浆料或聚氨酯发泡胶进行嵌填 (图 5)。



图4 挂柱的安装



图5 屋面板安装

4. 挂板安装。施工前首先按设计图纸进行挂板的排版与分类堆放, 检查好挂柱的平整度、垂直度、水平度以及挂爪的牢固度, 按由下到上、由中间向两侧的顺序依次安装, 随时检查平整度与顺直度, 及时校正。挂板安装完成后用注射式粘固浆料在挂板内侧对横向、竖向以及接口处进行嵌填、嵌固 (图 6)。

5. 外墙内板安装。首先进行排版, 按照排版的尺寸进行外墙内板的裁切, 用胶粘与射钉固定相结合的方法安装外墙内板, 对板缝用抗裂乳液混合柔性腻子进行嵌实、抹平。外墙内板的安装中配合外墙保温浆料的灌注 (图 7)。

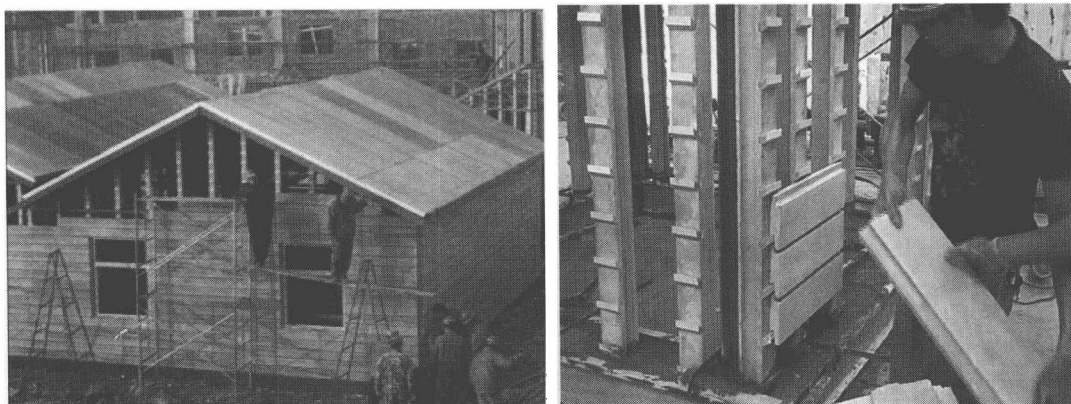


图 6 安装好的挂板及安装过程

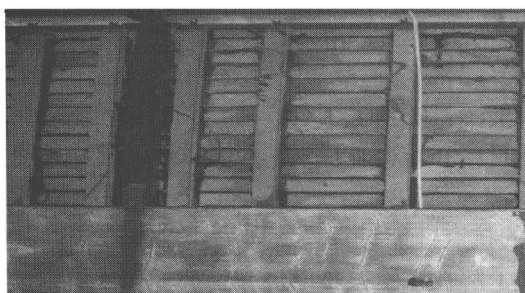


图 7 安装好的外墙内板

6. 内隔墙施工。水泥基轻质颗粒复合龙骨-水泥基轻质颗粒复合板内隔墙施工：按设计图纸放线，用铁钉组装水泥基轻质颗粒复合龙骨（龙骨规格为 $100\text{mm}\times 30\text{mm}$ ），两面用射钉安装水泥基轻质颗粒复合板（规格为 $3000\text{mm}\times 1200\text{mm}\times 16\text{mm}$ ），组装完成后嵌填板缝，最后刮抗裂乳胶柔性腻子找平（图 8）。

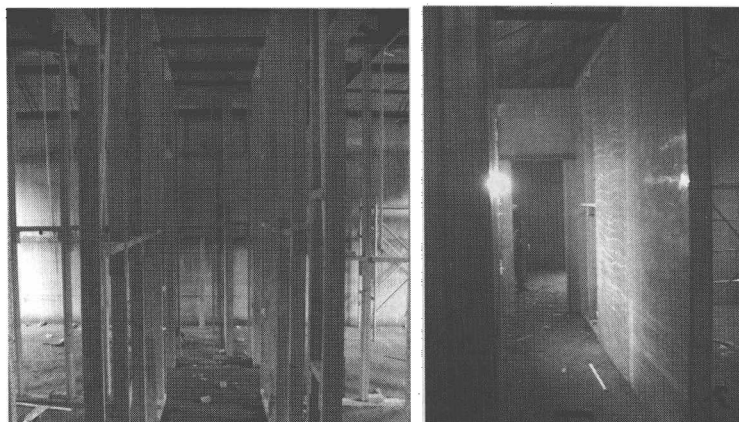


图 8 内隔墙的施工

7. 竣工后房屋外形图。各施工工序完成后，板-柱-轻钢结构体系房屋即可交付使用。图 9 为本项目在都江堰完成的板-柱-轻钢结构体系示范房屋实物图。

为使板-柱-轻钢结构体系抗震节能房屋在地震灾区推广，我们制定了《板-柱-轻钢结构体系示范房屋施工技术规程》。主要包括：地基基础工程、钢结构工程、屋面工程、主控项目、装配

外墙、内隔墙工程、门窗工程、吊顶工程和涂饰工程等的相关规定。

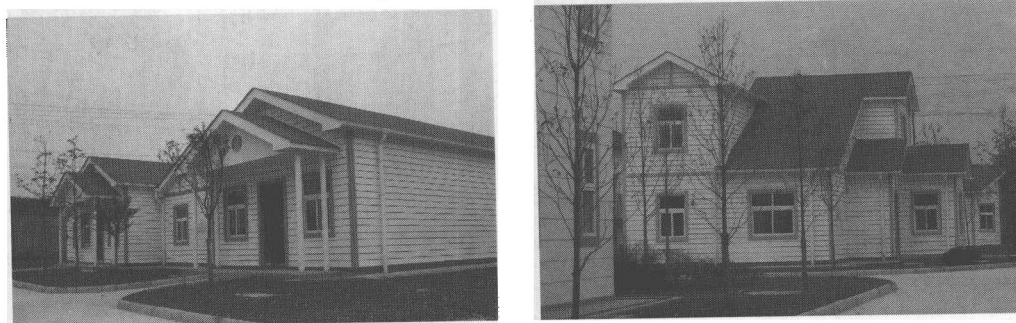


图9 竣工后房屋外形图

3 抗震技术的研究

作为灾后重建的抗震节能示范性住宅工程，将这种轻钢结构住宅形式应用在高烈度地震区，其配套维护外墙体也采用新材料和新构造形式，对其抗震性能必须有严格的要求。针对四川地震灾区的房屋震害调查实际情况和新的抗震设防要求，本文采用模拟地震振动台实验来对灾区板-柱-轻钢结构体系示范房屋的抗震性能进行系统研究，这种方法可以再现各种形式的地震波形，在实验室条件下直接观测和了解被试验模型的震害情况和破坏现象。

根据抗震设计标准设计了专门的板-柱-轻钢结构体系房屋抗震实验模型，建模比例足尺1:1，模拟单元为2.4m×2.4m，两层，层高为2.65m，抗震实验如图10所示。试验加载工况如表5所示。



图10 抗震性能试验

表 5 试验加载工况

工况	加载波型	加速度峰值	测试内容	相应烈度
1	白噪声	0.05g	振型、频率、阻尼	7 度中震
2	KOBE	0.1g	加速度、位移	
3	呼家楼波	0.1g	加速度、位移	
4	EL-CENTRO	0.1g	加速度、位移	
5	人工波	0.1g	加速度、位移	
试验现象观察、记录				
6	白噪声	0.05g	振型、频率、阻尼	7 度大震 (8 度中震)
7	KOBE	0.2g	加速度、位移	
8	呼家楼波	0.2g	加速度、位移	
9	EL-CENTRO	0.2g	加速度、位移	
10	人工波	0.2g	加速度、位移	
试验现象观察、记录				
11	白噪声	0.05g	振型、频率、阻尼	7.5 度大震 (8.5 度中震)
12	KOBE	0.3g	加速度、位移	
13	呼家楼波	0.3g	加速度、位移	
14	EL-CENTRO	0.3g	加速度、位移	
15	人工波	0.3g	加速度、位移	
试验现象观察、记录				
16	白噪声	0.05g	振型、频率、阻尼	8 度大震 (9 度中震)
17	KOBE	0.4g	加速度、位移	
18	呼家楼波	0.4g	加速度、位移	
19	EL-CENTRO	0.4g	加速度、位移	
20	人工波	0.4g	加速度、位移	
试验现象观察、记录				
21	白噪声	0.05g	振型、频率、阻尼	8.5 度大震
22	EL-CENTRO	0.5 g	加速度、位移	
试验现象观察、记录				
23	白噪声	0.05g	振型、频率、阻尼	9 度大震
24	EL-CENTRO	0.6g	加速度、位移	

试验中在模型钢框架安装新型外墙体前后均采用白噪声扫频,两次扫频结果有很大的差异。说明这种外墙体对结构模型的频率影响很大,这主要是这种新型外墙体墙面有很好的整体性能,同时由于自身组成和内部构造等特点使得墙体刚度较大,所以对结构模型的整体刚度贡献也很大。因此,外墙体对结构模型的地震作用及其抗震性能有较大的影响。

采用模拟地震振动台试验系统研究结构模型在不同地震水准作用前后的动力特性的变化,检验结构模型的整体、墙体的抗震设防效果,研究结构模型在不同地震设防烈度(多遇、基本及罕遇)下的破坏程度和形态,得出结构模型在各种破坏程度下的相应的地震烈度(加速度)。当台面输入加速度峰值为 0.2g 时(8 度设计基本地震加速度),经计算结构模型钢框架的应力很小,钢框架基本处在弹性工作阶段。台面输入加速度峰值为 0.4g 时(模型结构 8 度罕遇地震),结构

模型钢框架的应力仍不大，钢框架基本处在弹性工作阶段，说明了该示范房屋具有良好的抗震性能。输入地震波加速度峰值为 0.6g 时（9 度大震设防）顶层处的外挂板也只出现局部滑移、一层外挂板有局部的错缝，而在整个试验过程中没有出现外挂板有大的滑移、甩脱现象，墙内壁的贴板也没有甩塌，墙体与钢框架主体连接完好。表明房屋模型基本完好，有较好的抗震性能。

本试验研究的建模方法采用 SAP2000 建模，对板-柱-轻钢结构房屋足尺模型建立整体有限元模型分析。将试验结果与 SAP2000 计算值列入表 6：

表 6 试验结果与 SAP2000 对比值

	加速度反应 (g)	
	8 度多遇	8 度罕遇
SAP2000	0.2051	1.2320
试验值	0.2548	1.2064

从表 6 对比分析可知：结构模型在 8 度多遇和 8 度罕遇地震作用下的反应加速度试验值与用 SAP2000 计算值比较接近，误差分别为 19.6%和 2.5%。说明按前述方法建立有限元模型比较合理。

4 节能技术的研究

首先对示范房屋节能进行设计研究，本工程外墙拟采用挂板节能环保体系，从外向内由外挂板、挂板柱、外墙内板组成，中空部分用 EPS 保温浆料现场浇灌，外墙设计结构如图 11 所示。屋面采用 80mm 的专用屋面复合板与防水卷材、砂浆找平层、彩色沥青装饰瓦组成，设计结构图如图 12 所示。

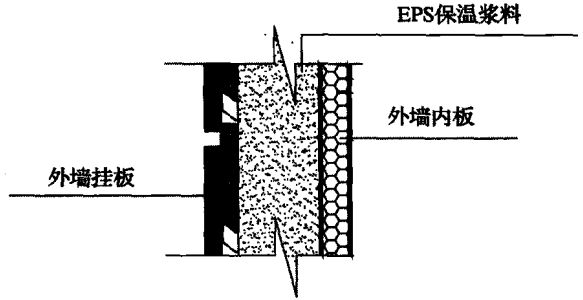


图 11 外墙体设计结构图

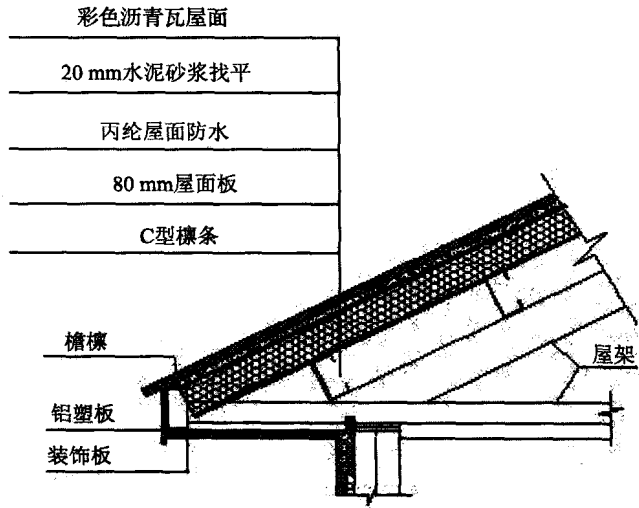


图 12 屋面设计结构图

在此基础上，进行了示范房屋节能技术评估研究。为取得外墙和屋面等节能环保体系的实际

热工性能参数,按都江堰示范房屋的构造成型与示范房屋同材料、同厚度、同尺寸(厚度方向)的试件,外墙体系试验试件如图 13、屋面体系试验试件如图 14 所示。委托国家建筑材料工业房建材料质量监督检验测试中心进行了热工性能试验。使用的试验设备是北京东方奥达仪器设备有限公司生产的 JW—I 型墙体保温性能检测装置,试件箱及记录仪设备如图 15、图 16 所示。实测得外墙结构体系传热系数为 $0.73\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [规范限值 $k \leq 1.0\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$],屋面结构体系传热系数为 $0.43\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [规范限值 $k \leq 0.7\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]。

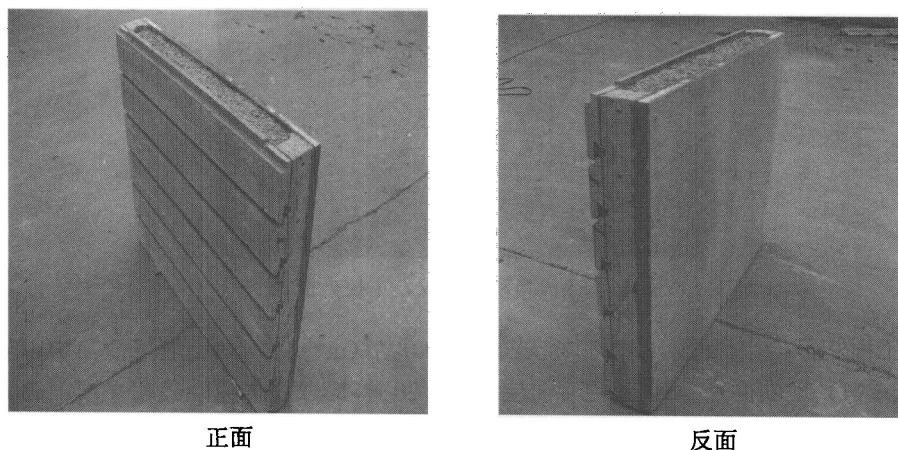


图 13 外墙热工性能试验试件

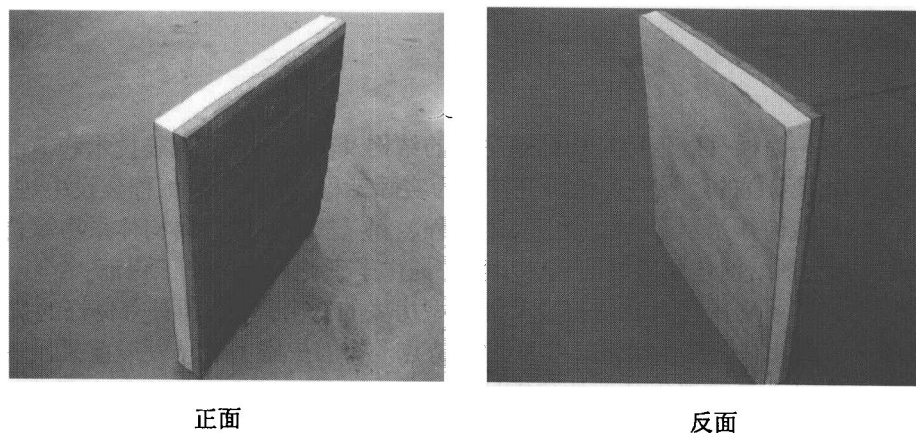


图 14 屋面热工性能试验试件



图 15 热箱、冷箱及试件箱