7. 现代竹结构在汶川地震灾后安置及重建中的应用

肖 岩 单 波 佘立永 周 泉 陈 国 杨瑞珍

（湖南大学建筑安全与节能教育部重点实验室、现代竹木及组合结构研究所）

摘 要：在四川汶川地震后，课题组在所拥有的专利技术基础上紧急研发出了竹结构抗震安置房，并通过了包括室内空气质量、主体屋架承载力等试验验证。竹结构安置房经济合理、安全舒适、符合环保要求。现代竹结构本身也是一种新型的绿色可持续建筑技术。采用竹结构抗震安置房可以利用包括四川灾区在内的丰富竹资源，因地制宜抗震救灾，恢复灾区的生活。由湖南大学师生捐资生产的20套竹结构安置教室已经在四川广元市北街小学安装，并被用于2008年7月初在该校举行的高考入学考试考场。课题组还提出了并正在试制经济、安全和实用的竹木住宅用于灾后重建家园。

关键词：汶川地震；抗震；安置房；灾后重建；竹结构

1 引言

2008年5月12日发生在四川汶川的里氏8.0级特大地震，大量农村砖混结构的墙体倒塌，造成预制楼板坍落，导致大量的人员伤亡，大量受灾群众无家可归，这突出暴露了农村住宅抗震性能较差，混凝土预制楼板坍塌造成的危害严重，灾后重建工作量巨大。因此，一方面在新农村建设中，迫切需要开发更为合理的住宅体系，提高农村住宅的抗震能力；另一方面，更为迫切的是开发出低成本的新型快速装配抗震房，供安置灾民用。

竹材是一种重要的森林资源，我国的竹林种植面积和竹材产量均居世界首位，中南地区竹材资源极为丰富。将竹材这一自然资源应用于土木工程，作为主要的结构材料使用，发展新型竹结构体系，符合建设“两型社会”和建筑可持续发展的要求，极有希望成为土木工程领域中变革的突破点。竹材与竹结构具有以下几点特性：第一，原材料来源广，可再生；第二，竹材具有良好的物理力学性能和加工性能；第三，外形美观，耐久性好。

2 现代竹结构抗震安置房的开发

2.1 背景

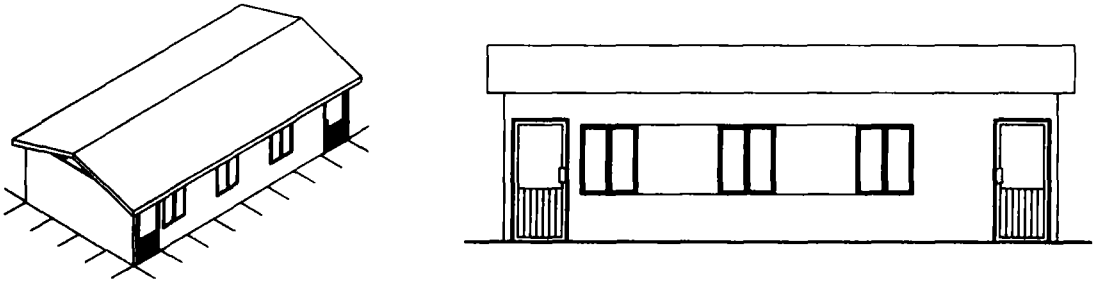
基于对竹材性能、竹材资源和建筑业发展趋势的认识，湖南大学现代竹木及组合结构研究所对竹结构技术进行了系统的研究，并率先提出了现代竹结构住宅的新型结构体

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

系[1][2]。基于现代力学、材料学、结构设计及试验学等理论，开发新型竹材结构及材料，建立工业化生产方法、结构设计、施工以及维护的综合技术，并建设了现代竹结构别墅、竹结构桥梁和竹结构活动房等示范工程，在国内外产生了重要影响。5.12 汶川大地震后，课题组考察了灾区，基于已有的专利技术，紧急开发出快速装配式现代竹结构抗震安置房，并建设了样板工程。这种住宅采用模块式设计和生产，主要特点是加工快、装配快、抗震性能好，可拆装重复使用，主要建筑材料环保，保温隔热效果好，且造价低廉。

2.2 房屋类型与功能设计

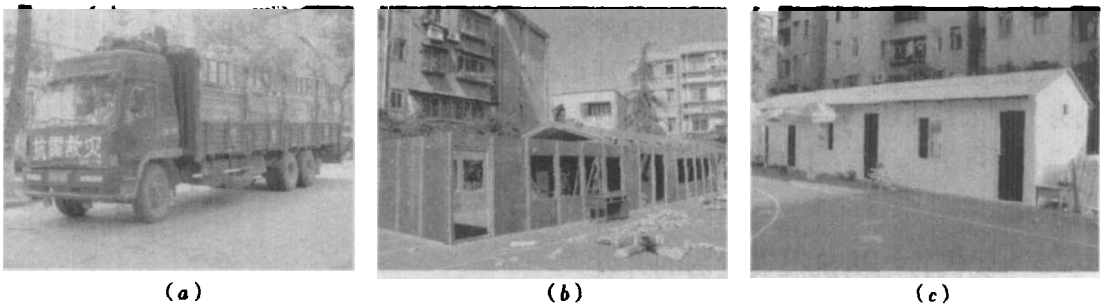
快速装配式现代竹结构抗震安置房属于预制装配式房屋，建筑方式和功能与常用的轻钢结构活动板房基本相同。快速装配式现代竹结构抗震安置房以普通的胶合竹板为基本材料，所用规格板材均为现在大量生产和销售的常规板材，故建筑材料来源广泛，价格合理。由于胶合竹板的宽度为 1220mm，为了提高材料的利用率，故安置房的基本建筑模数为 1.22m，安置房标准平面为 5×2 型，可供十户居住，每户面积约为 17.8m^2 到 22.3m^2，并可视实际情况增加每户面积或增减户数。每户立面上设置一个门、两个窗，每个窗户的自然采光面积为 1.5m^2，每户的自然采光面积为 3m^2。竹结构临时安置教室的平面面积每间约为 48m^2，如图 1 所示。其他设计与安置房大致一样。图 2 为安置房在四川广元市安装和使用的情况。第一批安置房被作为四川广元北街小学的医院办公室和诊室。第二批 17 套安置教室在 6 月底安装完毕并作为当地高考考场。



(a) (b)

图 1 抗震安置临时教室体系示意图

(a) 轴测图；(b) 立面图



(a) (b) (c)

图 2 投入抗震救灾的竹结构安置房

(a) 安置房运输；(b) 建造中；(c) 建成后

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

2.3 抗震设计

抗震设计中，单层安置房可以简化为单自由度体系，在轻型竹结构中，侧向力抵抗系统（LFRS）包括剪力墙、横隔层（即屋盖）以及它们的互相结合，基本抗侧向力机构如图 3 所示。

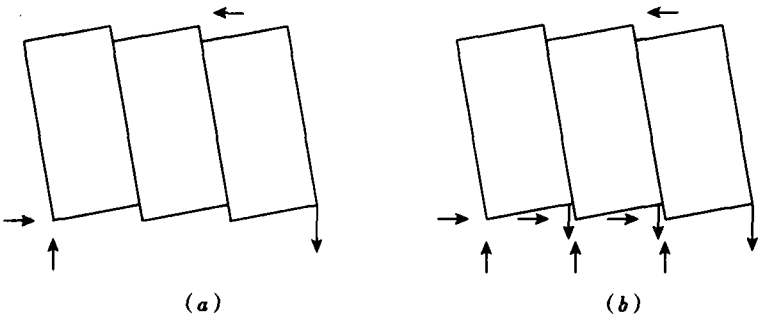


图 3 不同锚固条件下墙体抗侧力示意图

(a) 仅墙角两端布置锚栓；(b) 所有墙体均布置锚栓

可将剪力墙墙肢假定为悬臂的工字形梁，其中墙面板可作为工字形梁的腹板抵抗剪力，墙端骨架可作为工字形梁的翼缘抵抗弯矩[3]。剪力墙的设计应包括：

(1) 墙面板抗剪；

(2) 连接件与墙端构件抗倾覆；

(3) 连接件传递剪力墙的剪力。

本文采用容许应力设计方法（allowable stress design），假定安置房位于美国规范的 3 度区（seismic zone 3），相当于中国的 9 度设防（表 1）。

TABLE 16－I——seismic zone actor Z　　表 1

Zone	0	1	2A	2B	3	4
Z	0	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

地震作用下的基底剪力

$$V=\frac{C_v I}{RT}W\leq\frac{2.5C_a I}{R}W$$

式中　T——建筑物的自振周期；

W——建筑物的自重；

I——结构重要性系数；

C_v、C_a 和 R——地震响应系数。

建筑物的基本自振周期 T 为：

$$\begin{aligned}T&=C_t(h_n)^{0.75}\\&=0.02\ (11)^{0.75}\\&=0.12\text{s}\end{aligned}$$

式中　h_n——建筑高度，单位：英尺。

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

竹木结构建筑物的基本自振周期的范围：$0.12s \leq T \leq 0.56s$

从 UBC 规范 table 16－Q 和 table 16－R 查得，$C_v=0.54$，$C_a=0.36$

$$V=\frac{C_v I}{RT}W=\frac{0.54\times 1.0}{4.5\times 0.12}\times W=1W$$

$$\frac{2.5C_a I}{R}W=\frac{2.5\times 0.36\times 1.0}{4.5}W=0.2W$$

因此，地震作用下的基底剪力 $V=0.2W=0.2\times 24060=4812N$。单片剪力墙的承受的剪力为 2406N。

2.4 屋架设计

屋盖中横隔的作用和工字形梁类似，其面板可作为工字形梁的腹板抵抗剪力，边界杆件可作为工字形梁的翼缘抵抗弯矩。横隔的设计应包括：

(1) 面板抵抗侧向剪力；

(2) 周边骨架抵抗横隔边界杆件的力；

(3) 连接件传递屋盖的侧向力。



(a) (b) (c)

图 4 屋架试验

(a) 均布荷载试验中；(b) 8 人承载试验中；(c) 静力试验中

竹屋架是轻型竹结构安置房中的主要受力构件，它的承载能力关系着整个结构的安全性能。为了验证安置房的安全性能，课题组进行了一系列的静力试验，如图 4 所示。

模拟雪荷载的均布荷载试验表明，在均布荷载为 $500N/m^2$ 的情况下，屋架及其屋面板的变形很小，能够满足规范要求，在 2 倍的雪荷载 $1000N/m^2$ 的情况下，屋架及其屋面板还能保持很好的工作性能。

屋架静力试验结果表明，轻型竹屋架在设计荷载下有很好的工作性能，试验得到的平均极限承载力约为设计荷载的 1.7 倍，竹屋架具有较大的强度储备。轻质高强的竹屋架是一种经济、可靠、环保的结构体系。

2.5 其他试验

针对竹结构安置房，课题组邀请有资质的测试机构进行了室内空气质量的测定，结果完全满足国家相关标准。安置房的防火设计采用内贴石膏板，按照计算满足 30min 的耐火极限，近期将进行实测。

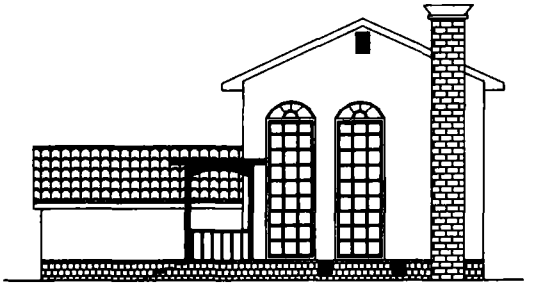
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 现代竹结构永久住宅的开发

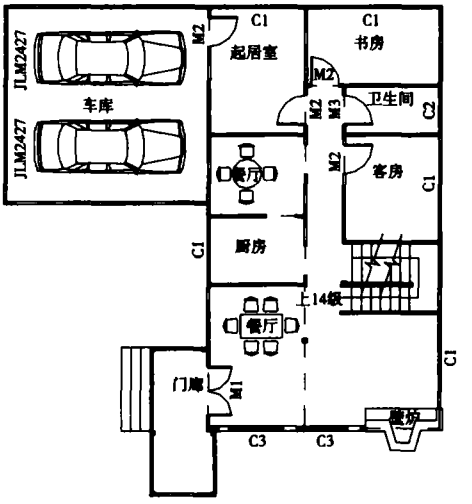
课题组现已开发出现代竹结构单体住宅，其设计和效果图如图 5 所示。现代竹结构住宅轻质高强，抗震性能好，符合环保和可持续发展的要求，是汶川地震灾后重建的一个良好选择。



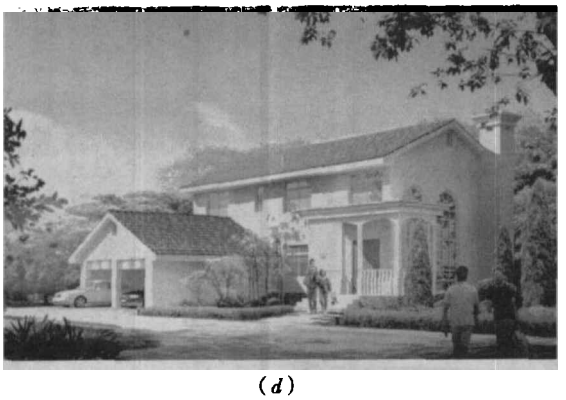
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

图 5 现代竹结构单体住宅

(a) 东立面图；(b) 南立面图；(c) 平面图；(d) 效果图；(e) 施工现状

4 结论

利用中南地区和四川当地的丰富竹资源，课题组开发出现代竹结构抗震安置房并在四川灾区安装，使用效果良好。此外，课题组还开发了竹结构永久住房，抗震性能好并符合

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

环保和可持续发展的要求，是灾后重建的一个良好选择。发展现代竹结构技术，一方面，可以发展“绿色建筑”体系，促进“两型社会”建设；另一方面，可以发展中南和四川地区的自然资源的合理利用，提升竹产业的层次，提高丰富竹材的利用率、利用水平和经济价值，开拓竹材利用的新空间和新市场，增加农民收入，促进和谐社会和新农村建设。

参 考 文 献

[1] G. Chen; Y. Xiao.; B. Shan and She, L. Y. Design and construction of a two-story modern bamboo house. 现代竹结构国际研讨会，ICBS—2007. 长沙. 2007.

[2] Xiao, Y.; Shan, B.; Chen, G.; Zhou, Q.; and She, L. Y. Development of A New Type of Glulam. 现代竹结构国际研讨会，ICBS—2007. 长沙. 2007.

[3]《木结构设计手册》编辑委员会. 木结构设计手册. 北京：中国建筑工业出版社，2005.

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