

文章编号:1673-2049(2012)01-0015-06

钢-竹组合结构体系设计方法

单 炜¹, 李玉顺², 蒋天元²

(1. 东北林业大学 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;

2. 宁波大学 土木工程系, 浙江 宁波 315211)

摘要:为了充分利用中国的竹资源优势,促进绿色建筑结构体系的建立和推广,提出了一种全新的轻型、低排、节能建筑组合结构体系——钢-竹组合结构体系,包括压型钢板-竹胶板组合墙承重的箱式结构受力体系和钢-竹组合梁柱结构构件受力体系;给出了钢-竹组合结构体系各个构件的制作方法和截面构造要求,指出了在钢-竹组合结构体系设计时应注意的各构件连接部位的构造要求及其现场施工安装方法。所得结论可为钢-竹组合结构体系在设计 and 安装过程中提供技术借鉴和参考。

关键词:钢-竹组合结构;组合墙;压型钢板;竹胶板;承载力

中图分类号:TU398.6 **文献标志码:**A

Design Method of Steel-bamboo Composite Structure System

SHAN Wei¹, LI Yu-shun², JIANG Tian-yuan²

(1. School of Civil Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China;

2. Department of Civil Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China)

Abstract: In order to make good use of bamboo resource in China and to promote the establishment and promotion of green building structure systems, which was light, low row and energy saving, authors presented two kinds of structure forms for the systems: the profiled steel sheet-bamboo plywood composite walls bearing box structure system and the steel-bamboo composite beam-column bearing frame structure system. Meanwhile, the production method and section form requirements of various components for steel-bamboo composite structure system were presented, and the design methods of joints and installation methods of steel-bamboo composite structure system were pointed out. The conclusions can provide technical references in the process of design and installation of steel-bamboo composite structure system.

Key words: steel-bamboo composite structure; composite wall; profiled steel sheet; bamboo plywood; bearing capacity

0 引言

随着国家禁用实心粘土砖政策的推出和人们环保意识的日益增强,各种轻质、低碳、高强的新型建筑材料层出不穷。材料的不断更新进步,势必会带

来建筑结构体系的重大变革。现代钢-竹建筑结构体系就在这特定的时代背景下应运而生。

竹子是一种快速可再生、清洁无污染的绿色建筑材料^[1],但天然的竹子由于其自身的缺陷,很难直接用作各种建筑结构材料,只有对它进行一系列的

收稿日期:2011-11-27

基金项目:国家自然科学基金项目(50878106);浙江省新苗人才计划项目(011-A00163104200);宁波市科技计划项目(2010C50020)

作者简介:单 炜(1965-),男,内蒙古海拉尔人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:shanwei456@163.com。

机械和化学加工,形成具有一定强度和密实度的竹材人造胶合板,才能比较灵活地应用于承重体系或者充当各种建筑外围护和装饰材料^[2-4]。

钢-竹组合结构正是利用人造竹胶合板和各种冷弯薄壁型钢用结构胶粘剂粘结,使竹胶板和薄壁型钢共同抵抗外力作用。这种组合方式能够方便地获得箱型、空心型、工字型等形式的组合截面,克服薄壁型钢的过早屈曲,能较充分地发挥钢、竹这 2 种高强材料的强度。因此,钢-竹组合结构体系能很好地减轻结构的自重、节省钢材、降低造价。大力发展钢-竹组合结构体系,对节能减排、实现建筑业的可持续发展具有深远的意义。

1 钢-竹组合结构构件

近年来,宁波大学与东北林业大学科研人员一直致力于各种钢-竹组合结构构件的受力性能研究,先后进行了压型钢板-竹胶板组合墙抗震性能试验研究、薄壁型钢-竹胶板组合楼板的力学性能试验研究、冷弯薄壁型钢-竹胶板组合梁的受弯性能试验研究等。试验证明了钢-竹结构体系的可行性和独特的优越性。

1.1 压型钢板-竹胶板组合墙

压型钢板-竹胶板组合墙采用 YX35-125-750 型和 YX51-250-750 型 2 种强度均为 Q235 的压型钢板,分别和竹帘胶合板用结构胶粘剂粘结,形成 2 种钢-竹组合形式,其截面构造如图 1(a),(b)所示。预制组合墙具体做法:在压型钢板上、下面用胶粘剂和竹胶板粘结,墙体截面两侧采用较厚的竹胶板竖放,并用自攻螺钉与墙体上下面固定。图 1(c)为正在预制加工的组合墙实物^[5]。

竹帘胶合板厚度为 8~15 mm,视工程实际所需墙厚确定。钢板厚度大于等于 0.5 mm,试验证明,钢板厚度对组合墙的受力性能起决定性作用,而竹胶板由于在钢板屈曲时还没达到其极限应力,其厚度变化对墙体的各项性能影响不大。

1.2 薄壁型钢-竹胶板组合楼板

薄壁型钢-竹胶板组合楼板的截面构造形式有 2 种,如图 2 所示。一种是在 2 张竹胶板之间立放冷弯薄壁 C 型钢,在型钢上、下翼缘处与竹胶板用结构胶粘剂粘结,并用自攻螺钉固定。在组合楼板两侧立放 2 块较厚的竹胶板,用自攻螺钉固定。为增加楼板的整体刚度,在薄壁 C 型钢两侧腹板处用胶粘剂固定 2 块较厚的竹胶板^[6]。另一种组合楼板截面构造形式是采用压型钢板与竹胶板用胶粘剂粘

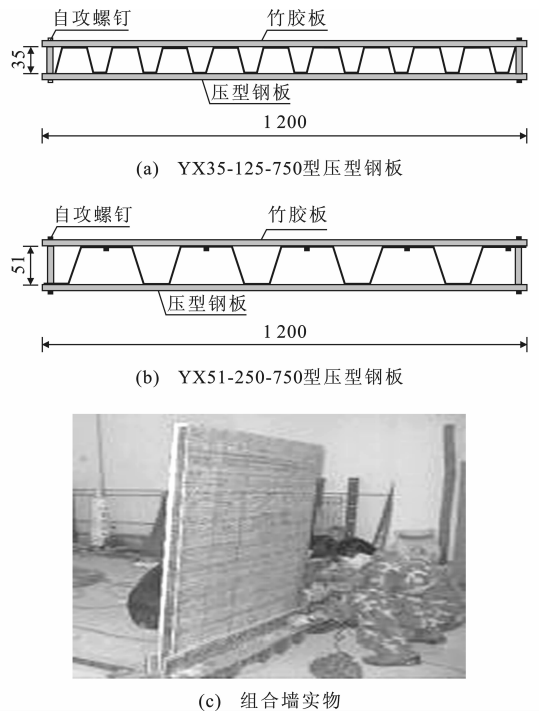


图 1 压型钢板-竹胶板组合墙(单位:mm)

Fig. 1 Profiled Steel Sheet-bamboo Plywood Composite Walls (Unit:mm)

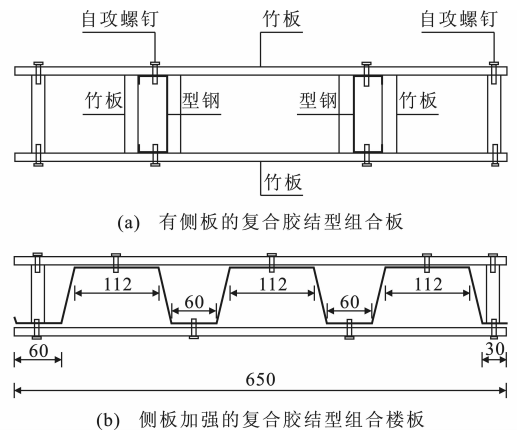


图 2 薄壁型钢-竹胶板组合楼板(单位:mm)

Fig. 2 Thin-walled Steel-bamboo Plywood Composite Slabs (Unit:mm)

结组合,自攻螺钉固定。与组合墙类似,在截面两侧用自攻螺钉固定 2 块竹胶板以增加板的抗弯刚度^[7-8]。

薄壁 C 型钢的厚度可定为 1.0~1.5 mm,加大 C 型钢的厚度,对提高组合板的抗弯刚度和正常使用极限状态承载力无明显效果,但却能大幅提高组合板的极限承载力。压型钢板的厚度大于等于 1.0 mm,波高按等应变原则由受力计算确定,具体计算过程参见文献^[6]。竹胶板的厚度不宜小于 8.0 mm。组合楼板上表面受压区的自攻螺钉间距对组合楼板的极限

承载力影响较大,在受压区其间距不宜大于 200 mm,受拉区间距可根据实际需要适当加大。

1.3 冷弯薄壁型钢-竹胶板组合梁

冷弯薄壁型钢-竹胶板组合梁采用 2 根冷弯薄壁槽钢和 3 块预先切割的竹胶板通过结构胶粘剂粘结,即在 2 根薄壁槽钢腹板之间用胶粘剂与竹胶板粘结,在槽钢上下翼缘处再用结构胶粘结固定,制作过程见图 3(a),加工完成的组合梁实物见图 3(b)^[9]。

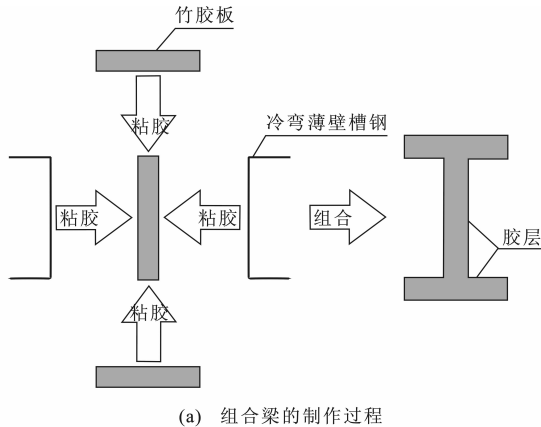


图 3 冷弯薄壁型钢-竹胶板组合梁

Fig. 3 Cold-formed Thin-walled Steel-bamboo Plywood Composite Beams

槽钢截面高度根据所需的组合梁截面高度确定(组合梁的截面高度等于槽钢截面高度加上上下翼缘处竹胶板厚度之和),组合梁截面高度由受荷计算决定,可按等应变原理将竹材统一换算成钢材后根据《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)^[10]中规定的受弯构件强度计算方法进行简化计算(不考虑截面塑性发展系数)。槽钢厚度对组合梁的弯曲性能影响较大,应大于 1.5 mm。竹胶板厚度对组合梁的弯曲性能影响不明显,由实际工程计算确定,且不宜小于 15 mm。

1.4 冷弯薄壁 C 型钢-竹胶板组合柱

冷弯薄壁 C 型钢-竹胶板组合柱加工方法如下:先在 2 根 C 型钢腹板处分别用胶粘剂与竹胶板粘结,然后把粘上竹胶板的 2 根 C 型钢口对口拼接,

再在 2 根 C 型钢两翼缘处粘上竹胶板,其截面形式见图 4(a),组合柱实物见图 4(b)。

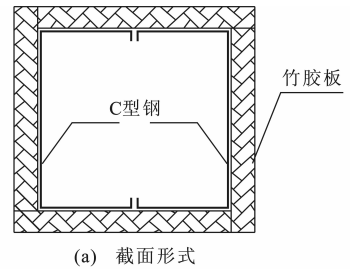


图 4 冷弯薄壁 C 型钢-竹胶板组合柱

Fig. 4 Cold-formed Thin-walled C Steel-bamboo Plywood Composite Columns

冷弯薄壁 C 型钢厚度不宜小于 1.5 mm,竹胶板厚度不宜小于 15 mm,组合柱的截面尺寸按组合结构等应变原则计算确定。在加工制作组合预制柱过程中,要确保竹胶板和钢板的可靠粘结,必要时可在柱四周打自攻螺钉,螺钉间距不宜大于 200 mm。

2 钢-竹组合结构体系

钢-竹组合结构体系均采用轻型结构构件,这对减轻结构的自重,提高结构的抗震性能是极其重要的^[11]。同时,在钢-竹组合墙和组合楼板等构件中,内部都具有很大的空腔,在空腔中可填充苯板颗粒等保温隔声材料,也可方便地铺设电线等管线。因此,单从节能减排来说,钢-竹组合结构体系是具有天然优势的,结构中有钢材的组合共同受力,在一定程度上解决了目前全竹结构在建筑层数上的限制。

2.1 钢-竹组合墙承重的箱式结构体系

钢-竹组合箱式结构体系采用组合墙来承受竖向荷载和水平荷载,并将荷载传至基础的一种受力形式。作为结构受力构件的组合墙、组合板等均可统一在工厂预制、现场安装,施工方便快捷。

2.1.1 基础

钢-竹组合墙承重的箱式结构体系中,基础部分采用墙下钢筋混凝土条形基础,基底面积根据地基

承载力计算。组合墙先与条形钢连接件用螺栓对拉连接,螺栓间距不应大于 300 mm,且不宜小于 100 mm,再把钢连接件与预埋在混凝土中的钢板焊接。墙体伸入支座的高度要大于等于墙厚^[12],其连接截面构造见图 5。

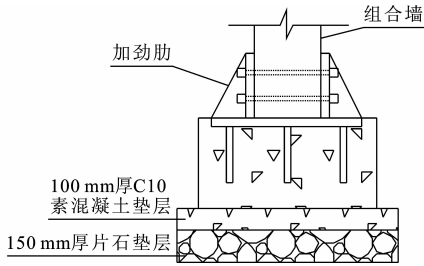


图 5 组合墙与基础的连接截面构造

Fig. 5 Connections of Section Form Between Composite Walls and Foundations

2.1.2 组合墙之间的连接构造

考虑到钢-竹组合承重墙是由厂家统一预制生产的,加上加工工艺的限制,单片组合墙不可能完全满足房间开间和进深的使用要求,这就涉及到墙体与墙体之间的连接构造问题。

在同一轴线上的组合墙之间可用拼接钢板依靠螺栓连接[图 6(a)],单侧螺栓不应少于 2 排,螺栓间距不宜大于 300 mm,且不宜小于 100 mm。拼接钢板厚度宜大于 10 mm。在墙体转角和纵横墙交接处均可采用此方法连接[图 6(b),(c)]。

2.1.3 组合墙与组合楼板之间的连接构造

在钢-竹组合墙承重的箱式结构体系中,组合墙和组合楼板之间的连接尤为重要。组合楼板伸入支座组合墙内的支承长度不应小于 $2/3$ 的组合墙厚,且尽可能等于墙厚。楼板与墙体设计为铰接,只传递剪力,不传递弯矩。图 7 为组合墙与组合楼板之间的铰接连接:采用 1 块拼接钢板和 2 块转动刚度为 0 的角钢通过螺栓进行连接,其中,拼接钢板和角钢的厚度不应小于 10 mm,螺栓间距不应大于 300 mm,且不宜小于 100 mm,同时,螺栓直径不宜小于 16 mm。

2.2 钢-竹组合梁柱结构构件受力体系

钢-竹组合梁柱结构体系类似于一般的框架结构体系,组合柱全部承受竖向荷载及水平荷载,荷载依次从组合板传到组合梁,再由组合梁传到柱,最后由柱传到基础。起围护及分隔房间作用的墙体统一采用钢-竹组合墙,此时墙体的截面厚度和钢板厚度可适当减少,墙体及楼板仍然可以填充各种保温隔热和防水、防潮材料。这种结构体系建筑平面布置

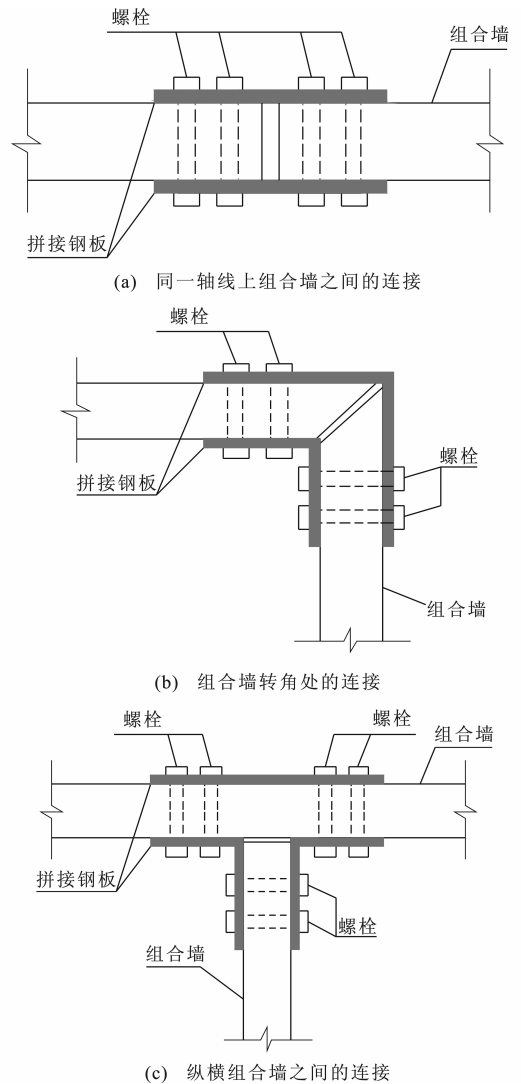


图 6 组合墙之间的连接截面构造

Fig. 6 Connections of Section Form Between Composite Walls

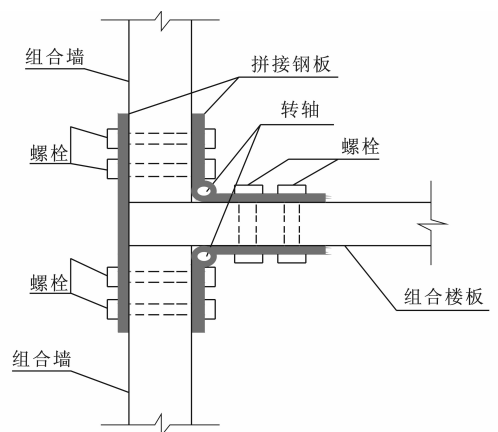


图 7 组合墙与组合楼板之间的连接截面构造

Fig. 7 Connection of Section Form Between Composite Walls and Composite Slabs

灵活,可以取得较大的使用空间,具有良好的延性。

2.2.1 基础

基础可采用钢筋混凝土柱下独立基础,基底面积和配筋按受力计算确定。组合柱和基础的节点可通过钢筒连接固定。钢筒与柱的连接靠纵横 2 个方向上的 4 根螺栓固定,钢筒再与预埋在基础中的钢板焊接^[13](图 8),其中,组合柱插入钢筒的深度应不小于组合柱截面的长边尺寸,钢筒厚度应大于 10 mm。

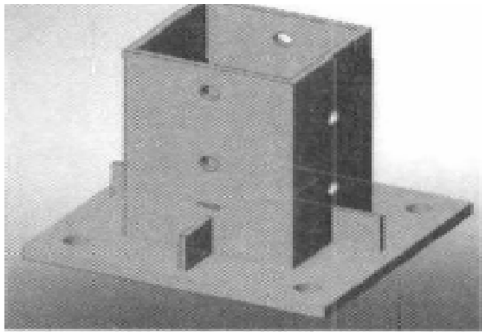


图 8 组合柱与基础连接

Fig. 8 Connections Between Composite Columns and Foundations

2.2.2 组合柱与组合梁的节点连接

梁柱节点的连接问题是框架结构体系要处理的一个核心问题。在钢-竹组合箱型柱和组合工字型梁之间的节点连接中,可采用 T 型钢连接件把套有钢筒的组合柱通过高强螺栓与组合梁连接起来^[14-16][图 9(a)];在组合箱型柱和组合箱型梁的节点连接中,依靠与钢筒焊接的 U 型钢托实现与组合箱型梁的连接,组合梁与钢托通过 1 根螺栓实现铰接[图 9(b)],其中,钢筒与 U 型钢托的钢板厚度应大于 10 mm,钢筒与组合柱通过螺栓连接,螺栓数量由实际受力计算确定。

3 结 语

与钢结构、砖混结构相比,钢-竹组合结构体系能节省很多钢材,减少粘土砖的用量,而且造价低廉,施工快捷方便,是中国广大农村居住用房的理想选择。况且中国竹林分布面积广,产量高,大力推广钢-竹组合结构体系势必会带动竹材加工业的蓬勃发展,这对增加当地农民收入、促进中国竹资源的合理开发利用、实现国民经济的可持续发展将具有深远的意义。

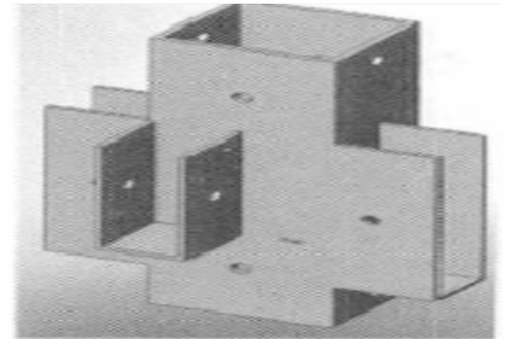
参考文献:

References:

[1] CAI L W, WILLIAMS JR J H. Full-scale Simulations



(a) 箱型柱和工字型梁连接



(b) 箱型柱和箱型梁连接

图 9 组合柱与组合梁的节点连接

Fig. 9 Connections of Joint Between Composite Columns and Composite Beams

of Elastic Wave Scattering in Fiber-reinforced Composites[J]. Ultrasonics, 1999, 37(7): 463-482.

[2] JIANG S X, ZHANG Q S, JIANG S H. On Structure, Production, and Market of Bamboo-based Panels in China[J]. Journal of Forestry Research, 2002, 13(2): 151-156.

[3] 张齐生, 孙丰文. 竹木复合结构是科学合理利用竹材资源的有效途径[J]. 林产工业, 1995, 22(6): 4-6.

ZHANG Qi-sheng, SUN Feng-wen. Bamboo-wood Composite Structure Can Be an Effective Way to Use Bamboo Resources in Structural Field Scientifically and Reasonably[J]. China Forest Products Industry, 1995, 22(6): 4-6.

[4] MASOV K, KINRA V K, HENDERSON B K. Elastodynamic Response of a Coplanar Periodic Layer of Elastic Spherical Inclusions[J]. Mechanics of Materials, 2000, 32(12): 785-795.

[5] 单 炜, 李玉顺, 李俊华, 等. 压型钢板-竹胶板组合墙体拟静力试验研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(增 2): 125-129.

SHAN Wei, LI Yu-shun, LI Jun-hua, et al. Quasi-static Test on Profiled Steel Sheet-bamboo Plywood Composite Walls[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(S2): 125-129.

- [6] 李玉顺,单 炜,黄祖波,等. 压型钢板-竹胶板组合楼板的力学性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2008,29(1):96-102,111.
LI Yu-shun, SHAN Wei, HUANG Zu-bo, et al. Experimental Study on Mechanical Behavior of Profiled Steel Sheet-bamboo Plywood Composite Slabs [J]. Journal of Building Structures, 2008, 29(1): 96-102, 111.
- [7] 李玉顺,单 炜,黄祖波,等. 钢竹组合空心楼板的抗弯性能试验[J]. 东北林业大学学报,2008,36(6):32-33.
LI Yu-shun, SHAN Wei, HUANG Zu-bo, et al. Flexural Behavior of Bamboo-steel Composite Hollow Floor Slab[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(6): 32-33.
- [8] 李玉顺,张王丽,沈煌莹,等. 复合胶结型压型钢板-竹胶板组合楼板受弯性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2009(增2):176-181.
LI Yu-shun, ZHANG Wang-li, SHEN Huang-ying, et al. Experimental Study on Flexural Behavior of Multiple-interlink Profiled Steel Sheet-bamboo Plywood Composite Slabs[J]. Journal of Building Structures, 2009(S2): 176-181.
- [9] 沈煌莹,李玉顺,张王丽,等. 冷弯薄壁型钢-竹胶板组合梁受弯性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2009(增2):171-175.
SHEN Huang-ying, LI Yu-shun, ZHANG Wang-li, et al. Experimental Study on Flexural Behavior of Cold-formed Thin-wall Steel-bamboo Plywood Composite Beams[J]. Journal of Building Structures, 2009(S2): 171-175.
- [10] GB 50017—2003, 钢结构设计规范[S].
GB 50017—2003, Code for Design of Steel Structures [S].
- [11] PAUDEL S K, LOBOVIKOV M. Bamboo Housing: Market Potential for Low-income Groups[J]. Journal of Bamboo and Rattan, 2003, 2(4): 381-396.
- [12] GB 50010—2010, 混凝土结构设计规范[S].
GB 50010—2010, Code for Design of Concrete Structures [S].
- [13] 吕清芳,魏 洋,张齐生,等. 新型抗震竹质工程材料安居示范房及关键技术[J]. 特种结构,2008,25(4):6-10.
LU Qing-fang, WEI Yang, ZHANG Qi-sheng, et al. Key Technologies of the New Bamboo Anti-seismic Model Living Room[J]. Special Structures, 2008, 25(4): 6-10.
- [14] AGERSKOV H. Analysis of Bolted Connection Subject to Prying[J]. Journal of the Structure Division, 1977, 103(11): 2145-2163.
- [15] MINAMI K. Beam to Column Stress Transfer in Composite Structures [C]//ROEDER C. Composite and Mixed Construction. New York: ASCE, 1985: 215-226.
- [16] KISHI N, GOTO Y, CHEN W F, et al. Sensitivity Analysis of Connection Stiffness in Orthogonal Frames with End-plate Connections [C]//ADELI H, SIERAKOWSKI. Computing in Civil Engineering. New York: ASCE, 1991: 866-870.

《建筑科学与工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》

2012年1月,《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会公布了中文核心期刊名单,《建筑科学与工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》2011年版之建筑科学类核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》2011年版系第六版,为了使期刊评价更加科学合理,《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会课题组在总结前五版研制经验的基础上,进一步改进评价方法,运用定量评价和定性评价相结合的方法,根据被引量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web下载量9个评价指标进行定量评价,经过筛选和专家定性评审,从14400多种期刊中评选出1982种中文核心期刊。《建筑科学与工程学报》系首次入选,标志着《建筑科学与工程学报》在稳步发展中迈上了一个新台阶。