

文章编号:1673-2049(2015)04-0009-06

链接键间距对保温复合剪力墙轴心受压 承载力的影响

吴方伯¹, 楚春阳¹, 李 钧², 周绪红^{1,3}

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 中航建筑工程有限公司, 湖南 长沙 410004;
3. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400044)

摘要:为研究链接键间距对保温复合剪力墙整体性能的影响,设计并制作了链接键间距分别为 300, 400, 500 mm 的 3 组试件,通过对比试验得到其破坏机理及荷载-竖向位移曲线,并针对传统剪力墙存在的问题,提出了一种新型保温复合剪力墙。研究表明:试件的破坏形式为脆性破坏;链接键间距对构件轴心受压承载力影响很小,对平面外砂浆的稳定性和结构的破坏位置有一定影响;采用混凝土规范中钢筋混凝土柱轴心受压承载力计算公式计算保温复合剪力墙承载力时需要乘以折减系数。

关键词:保温复合剪力墙;链接键间距;轴心受压承载力;折减系数;破坏机理

中图分类号: TU375 **文献标志码:** A

Impact of Key Link Space on Axial Compressive Capacity of Insulation Composite Shear Wall

WU Fang-bo¹, CHU Chun-yang¹, LI Jun², ZHOU Xu-hong^{1,3}

(1. School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China;
2. CITIC Construction Co., Ltd., Changsha 410004, Hunan, China;
3. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To investigate the influence of key link space on whole performance of insulation composite shear wall, three groups of specimens were designed and made base on three forms of key link spaces of 300, 400, 500 mm, respectively. Through comparative experiments, the failure mechanism and load-vertical displacement curves of specimen were obtained. According to existing problems of the traditional shear wall, a new insulation composite shear wall was put forward. The study results show that the failure pattern of specimen is a kind of brittle fracture. The key link space has little influence on axial compressive capacity of specimen, and has some influence on the stability of mortar out of plane and failure location of structure. The formula used to calculate the axial compressive capacity of reinforced concrete columns in concrete code should be multiplied by reduction factor when used to calculate the bearing capacity of insulation composite shear wall.

Key words: insulation composite shear wall; key link space; axial compressive capacity; reduction factor; failure mechanism

收稿日期:2015-01-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51278179);长沙市科技计划重点项目(K1205229-11)

作者简介:吴方伯(1954-),男,湖南长沙人,教授,博士研究生导师,工学硕士,E-mail:wfbprof@163.com。

0 引言

能源是人类社会生存发展的基础,现代社会能源的消耗速度不断加快,其中建筑耗能约占社会总耗能的 30% 以上^[1],因此,建筑节能是实现可持续发展战略思想的重要方式之一。

由于能源危机,国外发达国家首先致力于建筑节能方面的改革。文献[2]最早提出了夹心保温墙板——焊接钢丝网架夹心墙板,该墙体由内外 2 层钢丝网构成框架,在空隙中填入保温层,现场拼装,最后涂抹砂浆成为墙体。文献[3],[4]研究了墙体保温材料的选取和厚度取值问题,通过对不同的材料特性进行对比,认为聚苯乙烯为最佳保温材料,并得出结论:当保温材料厚度取 60,65,75 mm 时,相对应的节能可以达到 74.9%,76.3%,78.8%。Bo-jic 等^[5]研究了当墙体厚度和传热系数相同的情况下,保温设置部位以及保温层与结构层的相对厚度对建筑热工性能的影响,结果表明:在间歇供热时,应采用保温层+砖+保温层或内保温形式最好;在间歇制冷时,应采用外保温或夹心保温。

在中国,随着国家大力倡导建立资源节约型社会,保温墙体的研究也随之迅速发展^[6]。文献[7]研究的密肋复合墙体是一种集抗震、节能于一体的墙体,用较小的梁、柱形成网格结构,嵌入工业废料为主料的轻质砌块形成复合结构。这种结构保温效果显著,有良好的环境和社会效益。李珠等^[8]提出的“城市窑洞”概念非常新颖,研制出了高效节能的波化微珠保温砂浆,并进行了一系列结构基本性能的研究,取得了良好的节能效果。邱玉东等^[9]提出的“蜂巢轻质墙结构体系”主要材料是植物纤维的水泥蒸压板,这种结构体系不仅自重轻,墙体导热系数也非常小。

现有的墙体保温形式优点很多,但也存在诸如稳定性差^[10]、易形成冷桥等缺点^[11-12]。笔者在前人的研究基础之上,提出一种节能、造价低廉和有市场前景的新型保温剪力墙,即现浇保温复合剪力墙,以期推动建筑保温结构的进一步研究和应用。

1 现浇保温复合剪力墙

本文所提出的新型现浇混凝土保温剪力墙由砂浆层、保温层及现浇混凝土结构层构成,各层之间由链接键联系。施工步骤如下:绑扎钢筋笼,安装保温隔热板,在保温隔热板上的孔洞穿插套筒,再在套筒中穿插螺栓,支模板,拧紧螺栓,如图 1(a)所示;

浇筑内侧混凝土,待内侧现浇混凝土达到一定强度后,依次拆除螺栓、模板、外侧模板,在套筒中插入堵头件,如图 1(b)所示;在保温隔热板的外侧固定钢丝网,再在套筒中硬质棒所在的空间中和保温隔热板的外侧涂抹砂浆层,最后在砂浆层和混凝土外侧抹灰,最终形成整体现浇保温剪力墙,如图 1(c)所示。

堵头件由钢筋和导热系数小的橡胶堵头制作而成,钢筋的一端伸出保温隔热板外侧边缘一定的长度,伸入外侧砂浆层中,并与外侧钢丝网连接,有锚固作用。橡胶堵头截面略小于套筒,便于安装。堵头件的设置有效地隔断了冷桥,使建筑保温效果达到最佳水平,同时也使保温隔热板与外侧的砂浆层得到可靠、高强度的连接。

砂浆层外侧可做外墙装饰;保温板通常采用的保温材料有聚苯乙烯泡沫塑料、岩棉、玻璃棉、矿棉等,有良好保温作用;内侧混凝土作为结构的主要受力构件,承受结构荷载作用。

2 试验概况

2.1 试件设计与制作

鉴于本文试验是轴心受压,为保证轴心受压效果,所设计试件的结构与本文第 1 节中的典型保温复合剪力墙有所不同,而是将试件设计为对称结构。本文试验设计 3 片保温剪力墙,墙高均为 1 800 mm,宽度均为 800 mm,两端分别浇筑混凝土顶梁和底梁。试件尺寸和构造如图 2 所示。同时,为了比较链接键间距对剪力墙承载力的影响,将链接键间距 L 分别设为 300,400,500 mm,试件编号为 BWQ-1,BWQ-2,BWQ-3,如图 3 所示。

2.2 材料力学性能试验

试件在湖南大学结构实验室内制作,每个试件在浇筑时现场制作 3 个标准混凝土立方体试块,在室内自然条件下养护,混凝土立方体试块的强度试验结果及相关强度换算见表 1,对试件中采用的钢筋进行材性试验,结果见表 2。砂浆立方体试块抗压强度为 31.2 MPa。

2.3 试验装置与加载方案

试验加载按《混凝土结构试验方法标准》(GB 50152—2012)^[13]的规定进行。本文试验采用 5 000 kN 液压千斤顶进行保温墙轴心受压试验。为最大程度上保证不产生侧向位移,在试件顶部加侧向支撑,同时在千斤顶顶部加球铰以保证试验过程中轴心受压。正式加载前,首先进行预加载,以检查

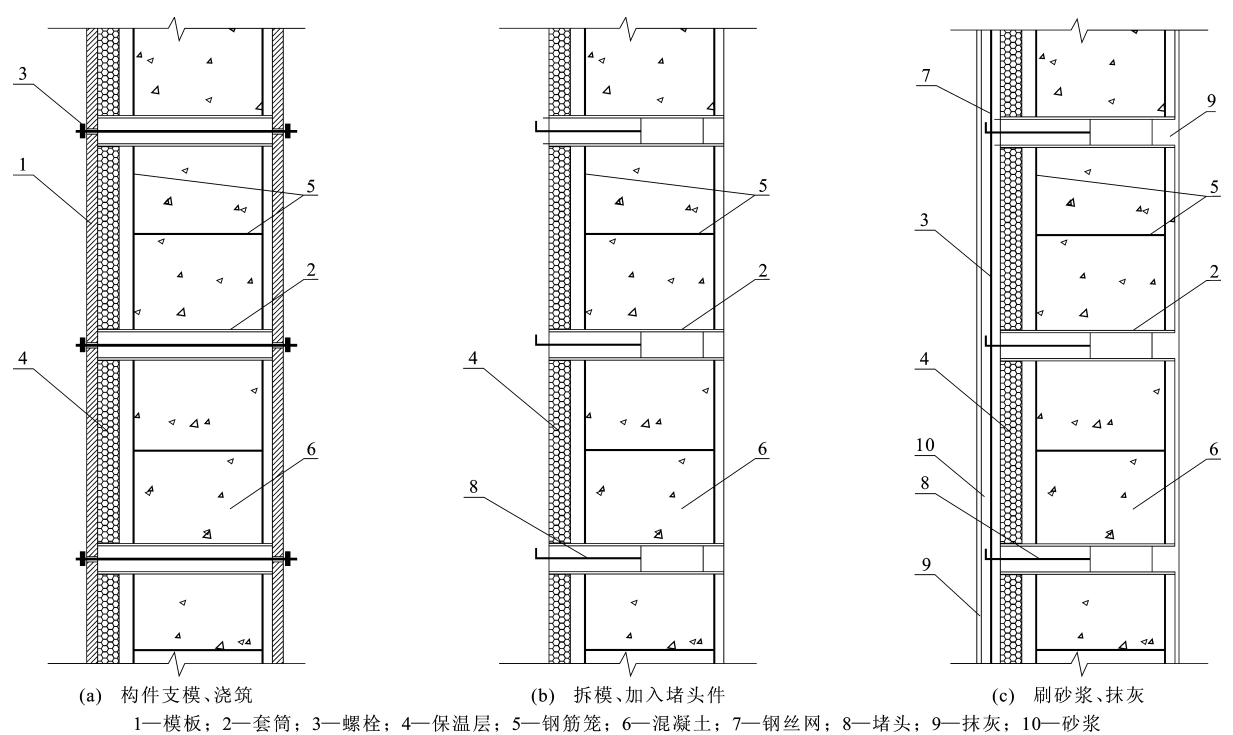


图 1 保温复合剪力墙制作流程

Fig. 1 Production Process of Insulation Composite Shear Wall

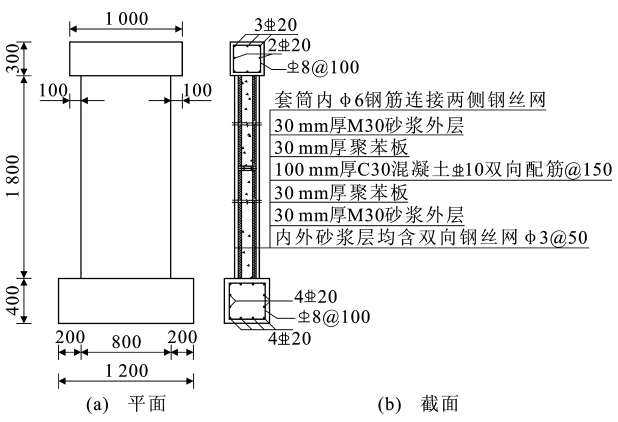


图 2 轴心受压试件构造(单位:mm)

Fig. 2 Configurations of Axial Compression Specimens (Unit:mm)

仪器及加载设备的工作状态,消除加载设备与试件之间的缝隙对试验产生的不利影响。正式加载时,从 0 开始逐级施加竖向荷载,在每级荷载加载结束后等待 10~15 min,待试件的变形发展基本稳定后,采集钢筋、混凝土应变及挠度数据。单调连续加载,直至试件破坏。试验加载装置示意及现场装置照片分别如图 4,5 所示。

2.4 测点布置

为测量竖向变形和侧向位移,在试件侧面布置百分表,测点布置如图 6 所示。

3 试验结果

3.1 试件变形情况

3 片墙体在加载过程中的表现基本一致,在荷载加载到 1 000 kN 之前,试件从表面来看无任何变化,但有一定的竖向位移。随着荷载的继续增加,顶部侧向百分表显示有微小位移发生,说明墙体在轴向力的作用下产生了微小偏心。当荷载达到 1 500 kN 时,外侧砂浆层出现不明显的横向裂缝,混凝土层中底部出现一些细小竖向裂缝,但砂浆层、保温层和混凝土层的接触处表现良好,无裂缝产生。

当荷载达到 2 000 kN 时,可以听到结构内部混凝土崩裂的声音。从竖向分布钢筋的应变数据来看,此时竖向钢筋已接近屈服。随着荷载的进一步增加,待达到最大轴向压力时,试件出现明显的脆性破坏,且伴有清晰的爆裂声。

3.2 试验结果分析

由上述试验过程可知,试件只有在墙体即将破坏时,钢筋才接近屈服。3 个试件的轴向压力-竖向位移曲线见图 7。

从图 7 可以看出,3 片墙体在整个加载过程中轴向压力-竖向位移曲线呈线性增长,3 片墙体的抗压刚度基本一致,墙体在受压过程中始终处于弹性

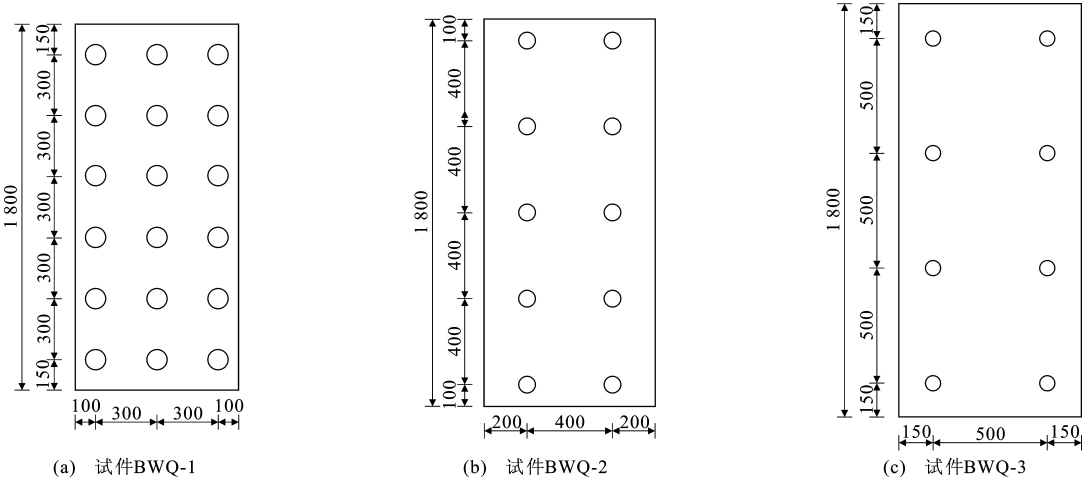


图 3 墙体内部链接键间距示意(单位:mm)

Fig. 3 Schematics of Key Link Space of Inner Walls (Unit:mm)

表 1 混凝土材性试验结果

Tab. 1 Experiment Results of Mechanical Property of Concrete

试件编号	设计混凝土强度等级	立方体抗压强度/MPa	轴心抗压强度/MPa
BWQ-1	C30	29.62	19.80
BWQ-2	C30	31.75	21.23
BWQ-3	C30	30.67	20.51

表 2 钢筋材性试验结果

Tab. 2 Experiment Results of Mechanical Property of Steel Bars

钢筋位置	钢筋类型	直径/mm	屈服强度/MPa	极限强度/MPa	弹性模量/GPa
混凝土中钢筋	HRB400	10	439.5	648.7	200
套筒中钢筋	HRB300	6	289.9	467.1	200
外侧砂浆层中钢丝	低碳冷拔钢丝	3	663.8	855.6	200

注:钢筋强度均为 3 个试件的平均值。



图 5 试验加载装置照片

Fig. 5 Photo of Test Loading Setup

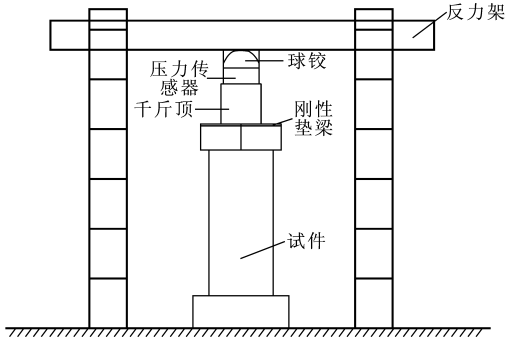


图 4 试验加载装置示意

Fig. 4 Schematic of Test Loading Setup

阶段。各试件的最大轴压力及对应的竖向位移如表 3 所示。

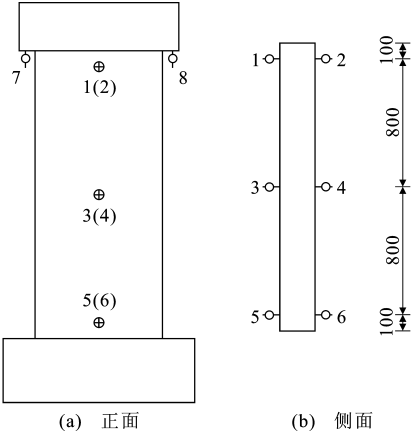


图 6 测点布置(单位:mm)

Fig. 6 Layouts of Measuring Points (Unit:mm)

3.2.1 破坏形态

图 8 为保温复合剪力墙在轴心荷载作用下的破坏形态。

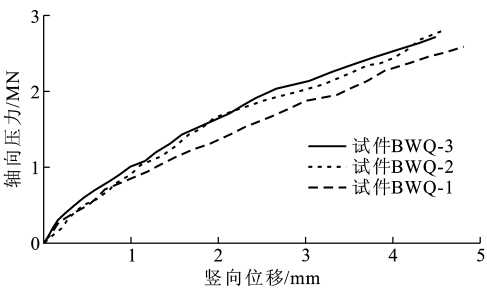


图 7 试件轴向压力-竖向位移曲线

Fig. 7 Axial Compression-vertical Displacement Curves of Specimens

表 3 试验结果

Tab. 3 Experiment Results

试件编号	N_{max}/kN	u_p/mm
BWQ-1	2 599.5	4.8
BWQ-2	2 830.2	4.6
BWQ-3	2 728.9	4.5

注: N_{max} 为极限承载力; u_p 为最大竖向位移。



图 8 试件破坏形态

Fig. 8 Failure Modes of Specimens

试件 BWQ-1(链接键间距 300 mm)的中部两侧砂浆层向外突出,中间部分混凝土掉落,从暴露处可清晰看出钢筋被压屈,上下两侧混凝土表现出相互错动的趋势,破坏形态如图 8(a)所示。

试件 BWQ-2(链接键间距 400 mm)的破坏位置在距墙体底部约 500 mm 处,破坏现象依然为两侧砂浆层向外突出,钢筋被压屈,破坏形态如图 8(b)所示。试件 BWQ-3(链接键间距 500 mm)的破坏现象较为严重,破坏位置出现在墙体顶部。试件达到破坏荷载时,一侧的砂浆层整片掉落,破坏形态如

图 8(c)所示。

从表 3 可以看出,3 片墙体尽管链接键间距不同,但压缩刚度基本一致,最大承载力和竖向位移也相差不大,这说明链接键间距对结构整体性能影响很小。从图 8 可以看出,链接键间距对平面外砂浆的破坏形态和试件的破坏影响较大。

3.2.2 承载力分析

按照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)^[14]钢筋混凝土柱轴心受压承载力计算公式,计算保温复合剪力墙的轴心受压承载力 N_u 为

$$N_u = 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s') \quad (1)$$

式中: φ 为试件的稳定系数,本文试件的长细比为 8.18,因而 φ 取 0.99; f_c 为混凝土立方体抗压强度; A 为混凝土面积; f_y' 为钢筋的抗压强度; A_s' 为纵向钢筋的截面面积。

将相应的数值代入到式(1)中,即可得到试件的轴心受压承载力。为了便于分析,将轴心受压承载力实测值与理论计算值统计于表 4 中。

表 4 轴心受压承载力理论值与实测值比较

Tab. 4 Comparison of Axial Compressive Capacity Between Theoretical Results and Measured Results

试件编号	N_t/kN	N_t'/kN	$N_t'N_t^{-1}$
BWQ-1	2 599.5	2 902.5	1.12
BWQ-2	2 830.2	3 075.6	1.09
BWQ-3	2 728.9	3 018.6	1.11

注: N_t , N_t' 分别为轴心受压承载力实测值和理论值。

由表 4 可以看出,轴心受压承载力试验值比理论值小,这在实际工程应用中是偏于不安全的。因此,本文考虑在公式中对砂浆予以承载力的折减,并考虑取折减系数 $\lambda = 0.6$,具体公式为

$$N_u = 0.9\varphi(f_c A + \lambda f_c' A' + f_y' A_s') \quad (2)$$

式中: f_c' 为砂浆抗压强度; A' 为砂浆面积。

将数据代入式(2)中,可知取折减系数之后结果是偏于安全的。

4 结 语

(1)试件在轴向压力下,破坏形态为压弯破坏,破坏形式为脆性破坏。

(2)保温复合剪力墙中链接键间距对剪力墙的轴心受压承载力、最大竖向位移、破坏形态的影响不大,对平面外砂浆层的稳定性和试件破坏位置有一定影响。从试验结果来看,链接键间距不应大于 500 mm,否则外层砂浆不能良好地与保温板连接,稳定性出现问题。

(3)采用《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)钢筋混凝土柱轴心受压承载力公式时,外层砂浆承载力应乘以折减系数。

参考文献:

References:

- [1] 王卫卫. 既有居住建筑节能改造的技术经济研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
WANG Wei-wei. Techno-economic Study on the Energy Efficiency Transformation of the Extant Residence Buildings [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [2] PICKARD S S. Welded Wire Sandwich Panels: An Alternative to Wood-frame Construction[J]. Concrete Construction, 1990, 35(4): 365-367.
- [3] ARSLAN O, KOSE R. Thermoeconomic Optimization of Insulation Thickness Considering Condensed Vapor in Buildings[J]. Energy and Buildings, 2006, 38(12): 1400-1408.
- [4] DOMBAYCI O A, GOLCU M, PANCAR Y. Optimization of Insulation Thickness for External Walls Using Different Energy-sources[J]. Applied Energy, 2006, 83(9): 921-928.
- [5] BOJIC M L, LOVEDAY D L. The Influence on Building Thermal Behavior of the Insulation/Masonry Distribution in a Three-layered Construction[J]. Energy and Buildings, 1997, 26(2): 153-157.
- [6] 顾天舒, 谢连玉, 陈 革. 建筑节能与墙体保温[J]. 工程力学, 2006, 23(增 2): 167-184.
GU Tian-shu, XIE Lian-yu, CHEN Ge. Building Energy Conservation and Wall Thermal Insulation[J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(S2): 167-184.
- [7] 黄 炜. 密肋复合墙体抗震性能及设计理论研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2004.
HUANG Wei. Research of Seismic Performance and Design Theory of Multi-ribbed Slab Wall[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2004.
- [8] 李 珠, 刘元珍, 代学灵, 等. “城市窑洞”式绿色建筑研究[J]. 工程力学, 2010, 27(增 2): 88-95.

LI Zhu, LIU Yuan-zhen, DAI Xue-ling, et al. Study on Green Building of “City Cave Dwelling” [J]. Engineering Mechanics, 2010, 27(S2), 88-95.

- [9] 邱玉东, 戴开法. 海尔斯蜂巢轻质墙体在高烈度区框架及框架-核心筒结构设计中的应用[J]. 21 世纪建筑材料, 2010, 2(1): 20-23.
QIU Yu-dong, DAI Kai-fa. Application of Hales Honeycomb Light Wall in Design of Framework and Framework-core Tube Structure in the High-seismic Region[J]. 21st Century Building Materials, 2010, 2(1): 20-23.
- [10] 段要举, 孙宝灵. 浅谈建筑外墙外保温的缺点及应对措施[J]. 福建建材, 2010(3): 105-106.
DUAN Yao-ju, SUN Bao-ling. Discussion on the Disadvantages of Architecture Exterior Wall External Insulation and Countermeasures [J]. Fujian Building Materials, 2010(3): 105-106.
- [11] 张 君, 高 原, 黄振利. 内外保温墙体温度应力对比分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32(7): 895-905.
ZHANG Jun, GAO Yuan, HUANG Zhen-li. Comparative Studies on the Temperature Stresses in External Walls with Different Thermal Insulation Models [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2011, 32(7): 895-905.
- [12] 杨佳林, 薛伟辰, 栗 新. 预制夹芯保温墙体 FRP 连接件的力学性能试验[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2013, 34(6): 723-729.
YANG Jia-lin, XUE Wei-chen, LI Xin. Mechanical Properties Test of FRP Connectors in Precast Sandwich Insulation Wall Panels [J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2013, 34(6): 723-729.
- [13] GB/T 50152—2012, 混凝土结构试验方法标准[S].
GB/T 50152—2012, Standard for Test Methods of Concrete Structures[S].
- [14] GB 50010—2010, 混凝土结构设计规范[S].
GB 50010—2010, Code for Design of Concrete Structures[S].