

文章编号: 1006-4710(2013)03-0362-05

型钢混凝土 T 形短肢剪力墙非线性分析

尚军, 李自林, 张聪, 朱少辉

(天津城建大学 土木工程学院, 天津 300384)

摘要: 为了研究型钢短肢剪力墙的承载力性能, 运用大型有限元软件 ANSYS 设计了 1:1 的型钢短肢墙试件。通过有限元软件的模拟试验, 运用有限元软件的后处理功能处理的试验结果分析研究短肢剪力墙的承载力性能。分析了短肢剪力墙的破坏过程及破坏特征, 对试件的极限承载力, 屈服承载力, 开裂荷载进行了深入的研究。定量地分析了短肢剪力墙的墙肢长宽比和型钢配钢量对其承载力的影响。在此基础上得到结论为: 短肢剪力墙配置型钢后承载力提高较大, 适当的型钢短肢墙的墙肢长宽比和型钢配钢量对其承载力有明显影响。

关键词: 大型有限元软件 ANSYS; 安全可靠; 型钢短肢剪力墙; 设计建议

中图分类号: TU375.4 **文献标志码:** A

Nonlinear Analysis of T-Shaped RC Steel Reinforced Concrete Short-Pier Shell Wall

SHANG Jun, LI Zilin, ZHANG Cong, ZHU Shaohui

(School of Civil Engineering and Architecture, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to investigate the bearing capacity of the RC Steel Reinforced Concrete Short-Pier Shell Wall, the large-scale finite element software ANSYS is used to design 1:1 steel short pier wall specimen. The performance of the bearing capacity of short shear wall is analyzed and studied through the finite element software simulation test and the results treated by the post-function of the finite element software. Short shear wall failure process and failure to yield bearing capacity, cracking load, ultimate bearing capacity of the specimen, are studied and analyzed in depth. The ratio between the length and width of wall pier of short shear wall and the effect of quantity of reinforced steel upon the carrying capacity are analyzed quantitatively. On the basis of which the conclusions are obtained: the bearing capacity of steel reinforced short shear wall is greatly improved, the ratio between the length and width of wall pier of the appropriate steel reinforced short-pier wall and the quantity of reinforced steel will have the apparent effect upon their carrying capacity.

Key words: finite element software ANSYS; safety and reliability; short shear wall section steel; design recommendations

随着经济的迅速发展, 人们生活质量逐渐提高, 对房屋室内空间的要求也越来越多样化, 短肢剪力墙结构在我国高层建筑中的应用越来越广泛。该结构是在剪力墙的基础上吸收了框架结构的优点形成的新型高层建筑结构。该结构形式上以短肢异性柱代替原有的承重墙体或柱承受上部结构的荷载, 既满足了人们对平面及空间的更高要求, 也保证了结

构应有的安全可靠度, 同时实践表明该结构还具有明显的经济效益。随着建筑领域科技的发展, 专家学者通过研究分析^[1-16], 得出了一些关于该结构的理论及成果, 提出关于短肢剪力墙结构需要满足的条件, 即短肢墙截面的厚度不能大于 300 mm, 墙肢高厚比取 4~8 之间, 短肢剪力墙底部的倾覆力矩一般不能小于结构总地震倾覆力矩的 30%。

收稿日期: 2013-03-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划基金资助项目(2011CB013603); 天津市自然科学基金资助项目(13JCYBJC19600); 住建部研究开发基金资助项目(2012-K4-2B)。

作者简介: 尚军, 男, 副教授, 研究方向为结构抗震性能。E-mail: shangjun@pcu.edu.cn。

在我国该结构类型的研究理论还不够成熟,现行的规范也没有明确的条文规定,这在一定程度上阻碍了这种新型结构的推广与使用。为了丰富该结构类型的研究理论,促进该结构类型的推广和应用,本研究通过对短肢剪力墙的腹板加入型钢的模型进行有限元模拟试验,分析了短肢剪力墙的型钢配钢量、墙肢长宽比等因素对短肢剪力墙承载力的影响。

1 非线性有限元分析

短肢剪力墙结构的力学性能复杂,影响因素多,本研究选择了两个主要的因素作为研究参数,对短肢剪力墙进行了非线性有限元分析。

1.1 有限元模型设计

结合问题研究的内容,本研究在建模时采用足尺型钢混凝土 T 形短肢剪力墙模型,尽可能地模拟了现实状态下短肢剪力墙的力学性能。结合以往的研究理论采用了映射网格划分法,考虑到不同材料及不同界面的受力特点,本模型采用不同的单元类型进行模拟。其中混凝土采用 solid65,钢梁采用 shell43,型钢与混凝土之间的滑移选用 combin39 进行模拟。对于型钢和混凝土分别进行单元的材料属性定义,单位均采用国际单位制,几何模型见图 1。

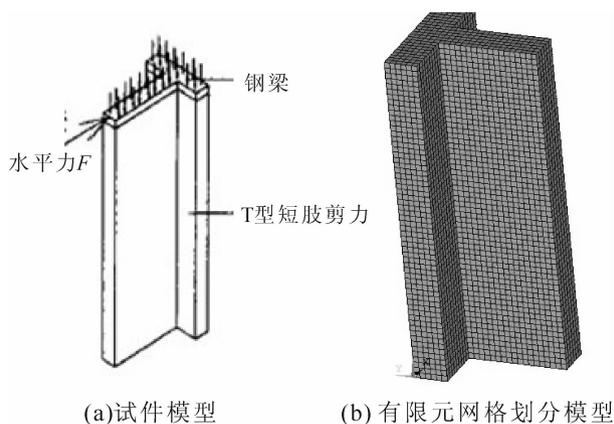


图 1 T 形短肢剪力墙试件及有限元模型
Fig. 1 T-shaped short pier shear wall specimens and finite element model

根据上述方法,本研究建立了不同参数下的 16 个有限元模型,研究不同墙肢长宽比和型钢配钢量影响下该构件的力学性能,通过单一变量法得出了各参数影响下构件的承载能力。结合以往的研究成果,有限元建模时取短肢剪力墙的轴压比为 0.3。型钢的配钢量分别设计为 $4\,000\text{ mm}^2$ 、 $5\,000\text{ mm}^2$ 、 $6\,000\text{ mm}^2$ 。型钢短肢剪力墙的墙肢长宽比分别设计为 5、6、7、8,试件的截面肢宽取为 200 mm^2 ,截面肢长相应取为 $1\,000\text{ mm}^2$ 、 $1\,200\text{ mm}^2$ 、 $1\,400\text{ mm}^2$ 、

$1\,600\text{ mm}^2$,试件的纵向配筋率取为 1.2%,试件的高度取为 $2\,800\text{ mm}^2$,为了对比各因素影响能力的大小,将短肢剪力墙试件分组进行计算分析。

1.2 试验加载方案

考虑到模型的特点与研究内容,本研究采用推覆分析法的加载方式进行加载^[17]。推覆分析法主要用于对结构进行静力线性或非非线性分析。在本研究的试件进行加载时按照事先设计好的轴压比,在短肢剪力墙的端截面施加均布荷载,加载过程中保持该均布荷载为定值即轴向力恒定,在型钢短肢剪力墙的端截面中心施加水平集中荷载(见图 1),逐步增加荷载值,直到试件破坏。

1.3 型钢短肢剪力墙试验的破坏过程

通过有限元模拟分析,发现各试件的破坏过程及破坏特征大致相同,以墙肢长宽比为 5,型钢配钢量为 $6\,000\text{ mm}^2$ 的试件为例,在整个分析过程中,保持竖向均布荷载不变,随着水平荷载逐步加大,构件的 Y 向变形不断增大, X 向也产生变形,但变形不大,轴向即 Z 向变形稳定且值较小。同时随着水平荷载的不断加大,墙体的裂缝不断增大,直至裂缝达到最大值,承载力下降试件发生破坏。试件变形见图 2。

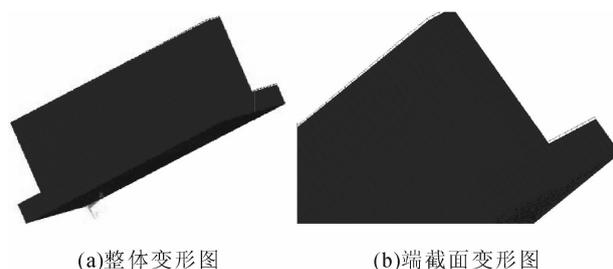


图 2 试件变形图

Fig. 2 Specimen deformation maps

2 结果分析

利用 ANSYS 软件对构件分别进行非线性模拟,参考文献[18]的试验及分析结果可以验证模型分析的可靠性。

2.1 不同墙肢长宽比对承载力的影响

分析时不考虑其他非试验设计参数的影响,分别取型钢配钢量为 $4\,000\text{ mm}^2$ 、 $5\,000\text{ mm}^2$ 、 $6\,000\text{ mm}^2$ 、 $7\,000\text{ mm}^2$,相应地短肢剪力墙试件的墙肢长宽比分别为 5、6、7、8,得到相同轴压比下,型钢配钢量对试件承载能力的影响。依照 ANSYS 软件计算结果,分别将开裂荷载,屈服荷载和极限荷载的数据绘制成曲线,如图 3 所示。

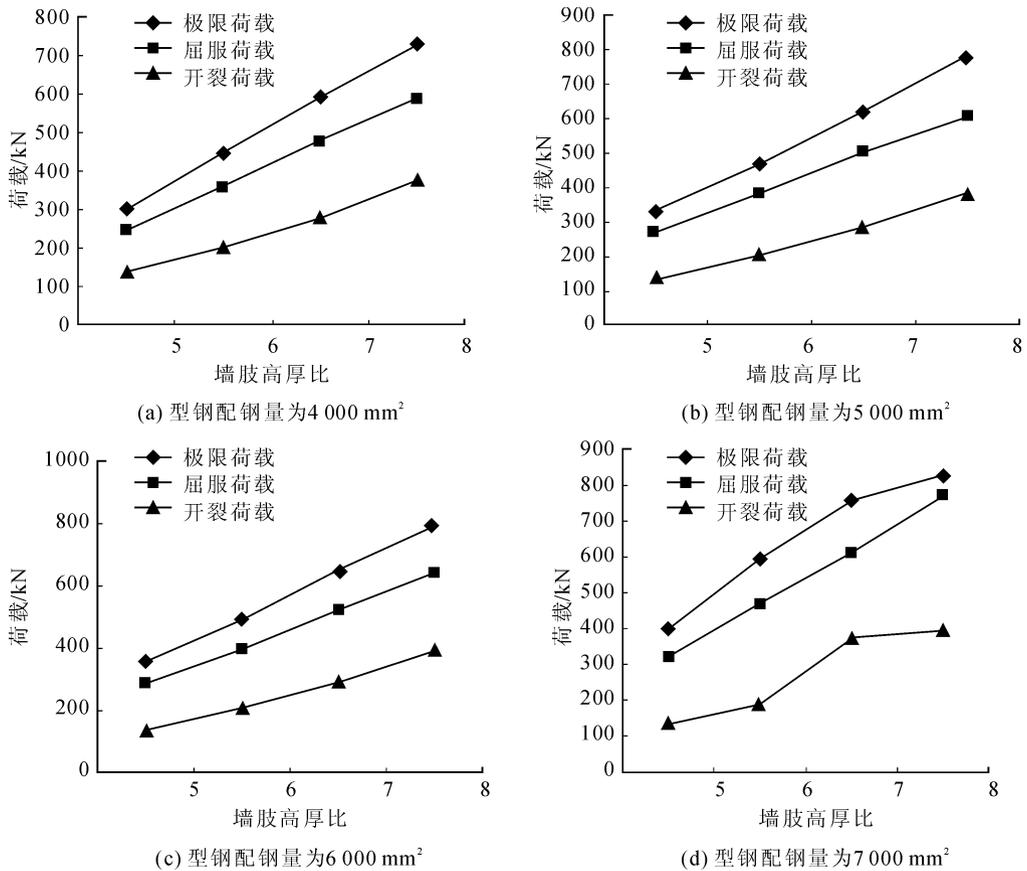


图3 型钢配钢量为 $4\ 000\ \text{mm}^2$ 、 $5\ 000\ \text{mm}^2$ 、 $6\ 000\ \text{mm}^2$ 、 $7\ 000\ \text{mm}^2$ 的试件不同墙肢高厚比下的承载力变化
 Fig.3 The amount of steel reinforced with steel $4\ 000\ \text{mm}^2$, $5\ 000\ \text{mm}^2$, $6\ 000\ \text{mm}^2$ or $7\ 000\ \text{mm}^2$ the different specimens pier height to thickness ratio of the carrying capacity change

从图3可以看出承载力在墙肢长宽比影响下的变化规律为:

1) 在相同轴压比和型钢配钢量的条件下,增大短肢剪力墙长宽比,试件的极限承载力迅速增大,变化过程基本呈线性;试件的屈服荷载逐渐增大且呈线性,但上升幅度不如极限承载力大;开裂荷载的变化幅度最小,在配钢量少的情况下呈线性上升,但配钢量达到 $7\ 000\ \text{mm}^2$ 时,开裂荷载不再呈非线性增加。

2) 极限承载力提高幅度最大的是型钢配钢量 $4\ 000\ \text{mm}^2$ 的试件,提高幅度最小的是型钢配钢量为 $7\ 000\ \text{mm}^2$ 的试件。短肢剪力墙的长宽比增大到一定限值后,增大型钢配钢量,试件的承载力反而逐渐降低。由此得出:当短肢剪力墙的型钢配钢量较少时墙肢长宽比对短肢剪力墙的承载力影响更大。

3) 短肢剪力墙的墙肢高度不变,腹板的厚度增加,即增大短肢剪力墙的长宽比,将引起墙肢截面面积变大。在相同竖向荷载作用下,短肢剪力墙截面

的应力值将减小,随着墙肢长宽比的增加,开裂荷载和极限荷载增大。

2.2 不同型钢配钢量对构件承载力的影响

在不考虑非设计参数变化且轴压比设计为 0.3 的前提下,研究不同墙肢长宽比对短肢剪力墙力学性能的影响。将墙肢长宽比为 5、6、7、8 的短肢剪力墙试件的配钢量分别从 $4\ 000\ \text{mm}^2$ 、 $5\ 000\ \text{mm}^2$, 增加到 $7\ 000\ \text{mm}^2$, 得到该构件的力学性能变化趋势。依照 ANSYS 软件的分析结果将数据绘成曲线,见图 4。

由图 4 可知当轴压比保持不变,墙肢长宽比相同时试件的开裂荷载,屈服荷载以及极限荷载都会随着型钢配钢量的增大而增大。其原因在于型钢短肢剪力墙处于大偏心受压状态,此时短肢剪力墙的受力性能只与钢筋和型钢的材料性能有关。随着型钢配钢量的增加,极限荷载的变化呈现为曲线形式,但是混凝土的开裂与型钢配钢量的增加没有直接的关系,所以开裂荷载基本上是一条直线,变化很小。

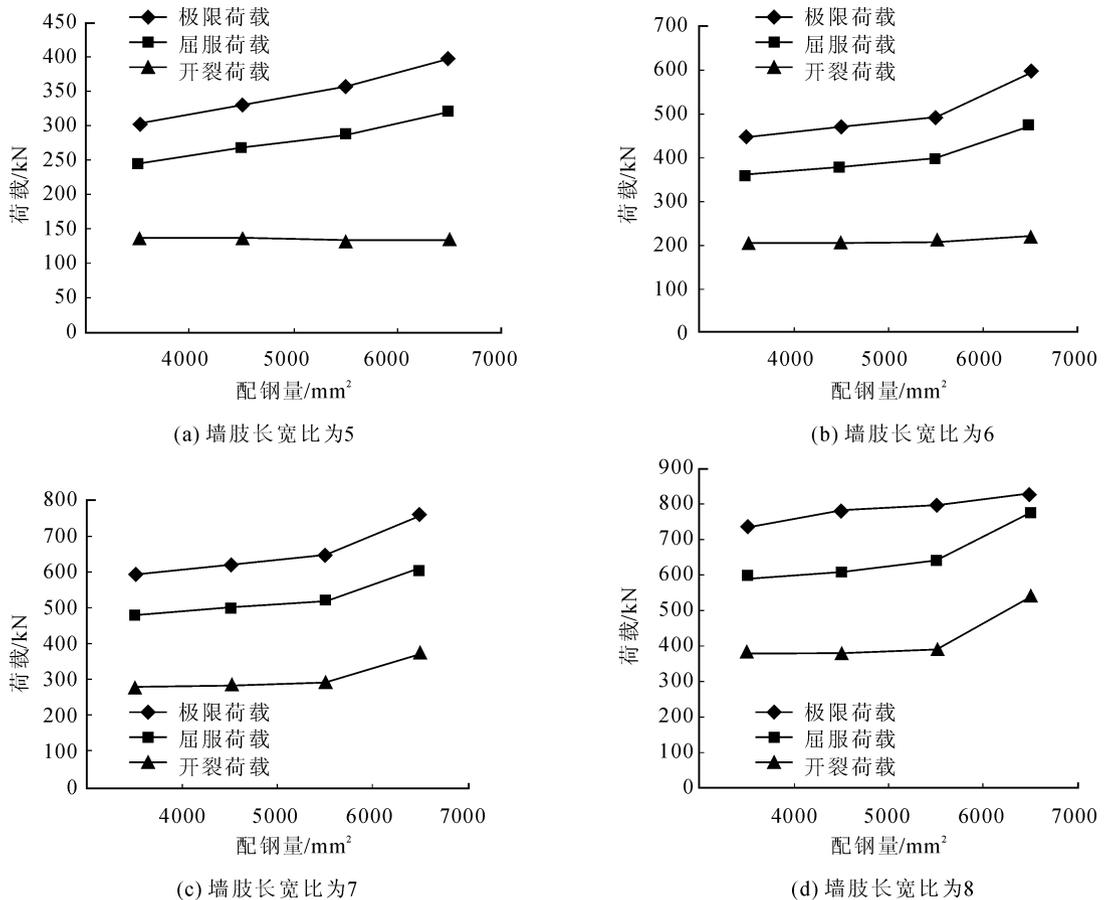


图4 墙肢长宽比不同的试件在不同型钢配钢量下的承载力变化

Fig. 4 Pier specimen with different ratio of carrying capacity change in the amount of different steel reinforced with steel

由此可知断肢剪力墙极限承载力在不同墙肢长宽比的条件下都得到了提高,其中极限承载力提高幅度最小的是墙肢长宽比为8的试件,其提高幅度为12.96%,极限承载力提高幅度最大的是墙肢长宽比为6的试件,极限承载力的提高幅度为33.39%,模型试验表明随着短肢剪力墙墙肢长宽比的增大,即使提高型钢的配钢量,承载力的提高幅度也不是很明显。结果表明,当墙肢长宽比在一定范围内时,增加型钢的配钢量对承载力的影响较大,当墙肢长宽比较大时,型钢的配钢量对极限承载力的影响不明显。

3 结论

通过理论分析和试验研究,得到结论为:

(1)随着型钢短肢剪力墙长宽比的增加,屈服荷载和极限荷载增大的速率较大,而开裂荷载的上升幅度最小,而且分析发现当型钢短肢剪力墙的型钢量较小时,该因素的变化对型钢短肢剪力墙的影响将会更大。

(2)型钢配钢量的增加对试件承载力的影响较

为明显,特别是在墙肢长宽比为6时,型钢短肢剪力墙随着配钢量增大而增加的速率最快。

(3)通过对型钢T型短肢剪力墙墙肢长宽比、型钢配钢量这两种影响因素的有限元模拟结果分析,发现这两种因素对型钢混凝土T形短肢剪力墙的开裂荷载,屈服荷载和极限承载力有不同程度的影响,其中对短肢剪力墙试件极限承载力影响最大的是墙肢长宽比。虽然在这两种因素适当的改变下,型钢T形短肢剪力墙的极限承载力得到提高,但过度的追求极限承载力的提高,将会降低构件或结构的延性,从而影响其抗震性能。

参考文献:

- [1] 陈云霞,高云海,张玉秋,等. T形截面钢筋混凝土土压弯构件正截面承载力及延性[J]. 天津大学学报,1998,31(1):1-10.
Chen Yunxia, Gao Yunhai, Zhang Yuqiu, et al. Strength and ductility of t-section R C members subjected to axial compression and biaxial bending[J]. Journal of Tianjin University, 1998, 31(1):1-10.
- [2] 李启华,刘世美,郭慧娟. 短肢剪力墙中相关参数对其弹塑性性能的影响[J]. 武汉理工大学学报,2008,30(

- 8): 122-125.
Li Qihua, Liu Shimei, Guo Huijuan. Influence of relevant parameters on the elasticity and plasticity in the shear wall structure with short leg[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 30(8): 122-125.
- [3] 容柏生. 高层住宅建筑中的短肢剪力墙结构体系[J]. 建筑结构学报, 1997, 18(6): 14-19.
Rong Baisheng. Short-leg shear wall structural system used in tall residential buildings[J]. Journal of Building Structures, 1997, 18(6): 14-19.
- [4] 黄东升, 程义镗, 彭飞. 对称双肢短肢剪力墙的低周反复荷载试验研究[J]. 建筑结构学报, 2005, 26(6): 51-56.
Huang Dongsheng, Cheng Yixiang, Peng Fei. Low-cycle loading experiment study on symmetric double short-pier shear walls[J]. Journal of Building Structures, 2005, 26(6): 51-56.
- [5] 郭棣, 吴敏析, 田伟. T形截面钢筋混凝土柱偏心受压分析[J]. 西安建筑科技大学学报, 2001, 33(2): 138-143.
Guo Di, Wu Minxi, Tian Wei. The analysis of T shaped column in eddentric compression[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, 2001, 33(2): 138-143.
- [6] 勾清媛. 框支短肢剪力墙结构抗震试验研究及有限元分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
Gou Qingyuan. Experimental research on the seismic behaviors and finite element analysis of frame-supported short-leg shear wall structure[D]. Chongqing: Chongqing University, 2005.
- [7] 李青宁, 王宁, 蔡卫宁. T形短肢剪力墙弹塑性模型及地震反应分析[J]. 地震工程与工程振动, 2004, 24(2): 69-74.
Li Qingning, Wang Ning, Cai Weining. Elastoplastic model and seismic analysis of T-shaped short-leg shear wall[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2004, 24(2): 69-74.
- [8] 戴绍斌, 黄俊, 肖良, 等. 钢筋混凝土短肢剪力墙抗震性能试验研究[J]. 世界地震工程, 2005, 21(2): 48-51.
Dai Shaobin, Huang Jun, Xiao Liang, et al. Experimental research on seismic performance of R C short-limb shear wall[J]. World Information on Earthquake Engineering, 2005, 21(2): 48-51.
- [9] 张彬彬. 高层建筑剪力墙连系梁抗震性能的试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2001.
Zhang Binbin. Experimental research of seismic behavior of coupling beams of high-rise shear walls[J]. Chongqing: Chongqing University, 2001.
- [10] 吴敏哲, 郭棣, 施永昌. 钢筋混凝土L形截面柱受力性能分析[J]. 世界地震工程, 2002, 18(1): 66-72.
Wu Minzhe, Guo Di, Shi Yongchang. Behavior analysis of reinforced concrete L shaped column[J]. World Information on Earthquake Engineering, 2002, 18(1): 66-72.
- [11] Thomas Tseng, Chuang Hsu. Unified theory of reinforced concrete[M]. Florida: CRC Press, 1993.
- [12] Hwang S J, Liu W Y, Lee H J. Shear strength prediction for reinforced concrete corbels[J]. ACI Structural Journal, 2000, 97(4): 543-552.
- [13] Kuang J S, Chau C K. Free vibrations of stiffened coupled shear walls[J]. The Structural Design of Tall Buildings, 1998, 7(2): 135-145.
- [14] Kincaid R K, Padula S L. Minimizing distortion and internal forces in truss structures by simulated annealing: proceedings of 31st AIAA/ASME/ASCE/ASHS structures, structural materials and dynamics conference [C]. Long Beach, CA, USA, 1990: 327-333.
- [15] Pandlaarjaiah S K, Ramaswamy A. A finite element assessment of flexural prestressed concrete beams with fiber reinforcement[J]. Cement And strength of Conerete Composites 2002, 24(2): 229-241.
- [16] 田洁, 田伟. 框架-剪力墙结构静动力弹塑性分析[J]. 西安理工大学学报, 2008, 24(3): 334-338.
Tian Jie, Tian Wei. Static and dynamic elastic-plastic analysis of frame-shear wall structure[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2008, 24(3): 334-338.
- [17] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 人民交通出版社, 北京, 2007.
- [18] 朱少辉. 型钢混凝土T形短肢剪力墙承载力性能分析研究[D]. 天津: 天津城市建设学院, 2012.
Zhu Shaohui. Analysis on bearing capacity of T-shaped RC steel reinforced concrete short-pier shell wall [D]. Tianjin: Journal of Tianjin Institute of Urban Construction, 2012.

(责任编辑 李虹燕)