

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.12.004

后置混凝土翼墙加固框架角柱抗震性能试验

杨帆,郑文忠,王英

(结构工程灾变与控制教育部重点实验室(哈尔滨工业大学),150090 哈尔滨)

摘要:为考察后置混凝土翼墙加固框架角柱的抗震性能,设计制作了6个在相邻两侧面后置混凝土翼墙的试件.这6个在役框架角柱加固前试验轴压比分为0.31、0.36、0.40三档,纵筋采用HRB400钢筋,纵筋配筋率分为1.23%、1.05%、0.82%三档;箍筋采用HPB300钢筋,箍筋配箍率为0.6%.对这6个试件进行低周反复荷载试验,发现加固后的试件平行于受力方向翼墙在远离角柱一侧损伤严重,而角柱和垂直于受力方向翼墙损伤较轻,达到了加固后原柱同时承受竖向荷载和水平地震作用,翼墙以抵御水平地震作用为主并作为耗能元件有效耗能的目的.

关键词:混凝土框架角柱;轴压比;后置翼墙;抗震加固;耗能

中图分类号: TU317.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2015)12-0021-05

Post-build concrete wing wall reinforce frame corner column seismic performance experimental

YANG Fan, ZHENG Wenzhong, WANG Ying

(Key Lab of Structures Dynamic Behavior and Control (Harbin Institute of Technology), Ministry of Education, 150090 Harbin, China)

Abstract: 6 specimens of post-build concrete wing wall located two neighboring faces of corner columns were designed and conducted to study the seismic performance of the post-build concrete wing wall reinforce frame corner column. Three test axial compression ratio including 0.31, 0.36, 0.40 was designated for exiting frame corner columns. HRB400 was used as longitudinal steel bar. The ratio of longitudinal reinforcement was 1.23%, 1.05%, 0.82% and stirrup with HPB300 ratio 0.6%. The results of six specimens under cyclic reversing load show that damage degree of the parallel wing wall away from the corner column was significant, while the corner column and the perpendicular wing wall were damaged lighter. Existing column could resist vertical loads and horizontal seismic actions. The wing walls could bear horizontal seismic action and as an effective dissipation energy component.

Keywords: concrete frame corner column; axial compression ratio; post-build wing wall; anti-seismic reinforce; energy consumption

国内外大地震的震害表明,混凝土框架结构的角柱易发生震损或破坏.在角柱的两相邻侧面后置翼墙,使角柱加固后成为带翼墙的L形混凝土柱,用后置混凝土翼墙置换局部起围护作用的填充墙或围护墙基本不影响建筑使用功能.汶川地震后,对某片区框架结构混凝土柱或底部框架砖房的混凝土柱采用了后置翼墙的加固方法,保证了生产、生活秩序

的尽快恢复^[1].

一般截面长宽比不大于4时为普通柱,4~6时为异形柱,6~8时为短肢剪力墙,大于8时为普通剪力墙.国内外学者对L形截面的异形柱或短肢剪力墙抗震性能,已开展了研究.文献[2]进行了6个L形截面短肢剪力墙的抗震性能试验,获得了短肢剪力墙的承载力、延性、滞回曲线等特性;文献[3]对墙肢高厚比为4~6的L形截面异形柱进行了低周反复荷载试验研究,发现L形截面柱的极限破坏形态与配箍率、混凝土强度、纵筋配筋率、轴压比等因素有较大关系;文献[4]研究了不同方向低周反复荷载作用下的L形柱,提出了为考虑扭转效应应将L形柱的角部纵筋应适当加密,箍筋宜通高加密,混凝土强度应适当提高;文献[5]分别开展了等肢和不

收稿日期: 2015-01-26.

基金项目: 国家教育部长江学者奖励计划(2009-37);哈尔滨工业大学“985工程”优秀科技创新团队建设项目(2011);黑龙江省科技推广项目(TC10A0101);黑龙江省教育厅项目(12535047).

作者简介: 杨帆(1977—),女,博士研究生,讲师;
郑文忠(1965—),男,博士生导师,长江学者特聘教授.

通信作者: 郑文忠, hitwz Zheng@163.com.

等肢 L 形截面双向偏压柱理论和试验研究;文献 [6]开展了 L 形双向偏压柱的全过程分析,提出双向偏压柱极限承载力计算公式.

由于在役角柱完全卸载十分困难,混凝土结构加固时这类柱是持荷工作的,其受力性能和破坏机理与 L 形短肢剪力墙或 L 形异形柱相比,有其自身特点.

本文设计制作了 6 个加固后截面形式为 L 形的混凝土框架角柱试件,并完成这 6 个试件的低周反复荷载试验,考察了后置翼墙加固混凝土框架角柱的抗震性能,包括其抗震承载力、滞回性能、位移延性和极限位移角等,为通过后置翼墙对在役混凝土框架结构房屋角柱进行抗震加固提供一定的试验基础.

1 试 验

1.1 试件设计和制作

设计制作了 6 个试件,先按不同的抗震等级,由 JGJ3—2010《高层建筑混凝土结构技术规程》给出的原框架角柱轴压比限值确定试验轴压比,再根据抗震等级,确定原框架角柱的纵筋配置和箍筋配置;翼墙的竖向钢筋确定依据 JGJ149—2006《混凝土异形柱结构技术规程》规定,翼墙的水平钢筋不仅起到抗剪的

作用,还起到与竖向钢筋形成骨架和连接框架角柱的作用,水平钢筋由后置翼墙与原柱整体工作所需抗剪销筋计算确定.试验轴压比为 0.31、0.36、0.40,对应的纵筋配筋率为 1.23%、1.05%、0.82%,箍筋配箍率取 0.6%,试验基本参数见图 1 和表 1.

设计制作的 6 个混凝土后置翼墙加固框架角柱试件中,混凝土框架角柱的截面尺寸均为 250 mm×250 mm,柱净高为 1 200 mm.后置翼墙的截面面积以等于加固前框架角柱的截面面积为原则,由此可得相邻两侧面的各翼墙长度均为 350 mm,厚度均为 100 mm.试件设置顶梁和底梁,顶梁高度为 400 mm,底梁高度为 600 mm,顶梁与底梁宽度均为 800 mm.其中,YQKZ1~YQKZ4 中柱的角筋为 4Φ12;YQKZ5 和 YQKZ6 中柱的角筋为 4Φ10.试件混凝土设计强度等级均为 C30,混凝土标准立方体抗压强度实测值为 38.48 MPa.纵筋采用 HRB400,箍筋采用 HPB300,试件原角柱箍筋的混凝土保护层厚度均为 20 mm.钢筋力学性能指标见表 2.试件分两次制作完成,首先进行混凝土角柱及其顶梁和底梁的制作,待其混凝土达到设计强度等级后,对持荷的混凝土柱后置混凝土翼墙,两次制作的试件均采用卧式浇筑混凝土.

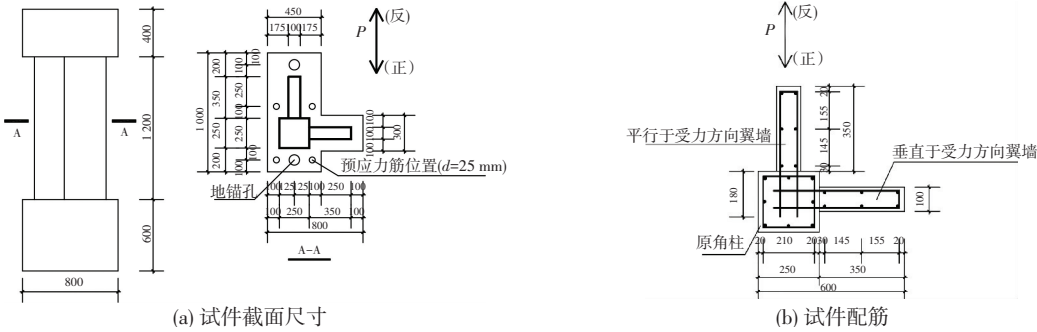


图 1 试件的截面尺寸与配筋 (mm)

表 1 基本参数与试件配筋

试件编号	原柱轴压比	原柱纵筋	原柱配筋率/%	原柱箍筋	翼墙竖向钢筋	翼墙竖向钢筋配筋率/%	翼墙水平钢筋
YQKZ1	0.31	4Φ12+4Φ10	1.23	Φ10@100	6Φ8	0.86	Φ12@100
YQKZ2	0.31	4Φ12+4Φ10	1.23	Φ10@100	6Φ8	0.86	Φ12@100
YQKZ3	0.36	4Φ12+4Φ8	1.05	Φ10@100	6Φ8	0.86	Φ12@100
YQKZ4	0.36	4Φ12+4Φ8	1.05	Φ10@100	6Φ8	0.86	Φ12@100
YQKZ5	0.40	4Φ12+4Φ8	0.82	Φ10@100	6Φ8	0.86	Φ12@100
YQKZ6	0.40	4Φ12+4Φ8	0.82	Φ10@100	6Φ8	0.86	Φ12@100

注:试验轴压比 0.31、0.36、0.40 对应的设计轴压比分别为 0.65、0.75、0.85;根据文献 [10] 表 11.4.12,确定角柱纵筋配置.

表 2 钢筋力学性能

钢筋种类	屈服强度	极限强度	弹性模量
Φ12	493.3	630.0	216.0
Φ10	436.5	538.5	214.0
Φ8	423.8	512.9	210.0
Φ10	342.6	428.3	221.0

为实现混凝土角柱持荷加固,通过 4 根 (图 1(a))锚固于顶梁和底梁的钢筋对柱施加预定轴向力.持荷稳定后,在角柱两相邻侧面后置翼墙.首先将

翼墙水平钢筋植入柱内,竖向钢筋分别植入顶梁和底梁中,形成翼墙钢筋骨架,再浇筑混凝土,使后置翼墙与柱连为一体.植筋的长度为 15d (d 为植入钢筋直径).

1.2 试验装置及加载制度

水平反复荷载由固定于反力墙上的 MTS 水平液压伺服作动器施加,加载点位于顶梁中心;竖向荷载由安装在分配梁上的油压千斤顶施加,在试验中始终保持轴力不变,加载点通过原柱竖向形心线,竖

向千斤顶与试件间设置橡胶铰支座. 试件底部为固定端, 通过槽道两侧的地锚和水平向的反力架实现. 加载装置见图 2, 受力简图见图 3. 为避免施加原柱预定轴力用的 4 根钢筋对试验结果的影响, 需用试件顶部油压千斤顶替换掉每个试件的 4 根体外预应力钢筋. 在置换过程中同时经历了千斤顶施加轴力由零至预定轴力和 4 根钢筋合力由预定轴力至零的过程. 水平荷载按现行试验标准^[7]规定的加载制度进行, 见图 4. 通过所布置的 LVDT 量测加载过程中相关部位的侧移, LVDT 布置见图 2. 试件开始出现裂缝时的荷载为开裂荷载, 如图 5 所示, 按能量法确

图 3 试件受力简图

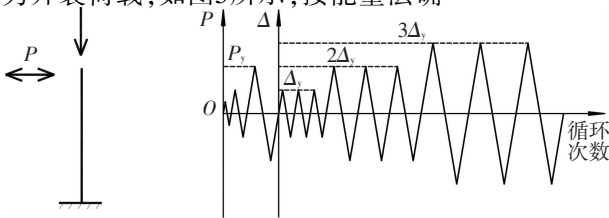


图 4 水平荷载加载制度

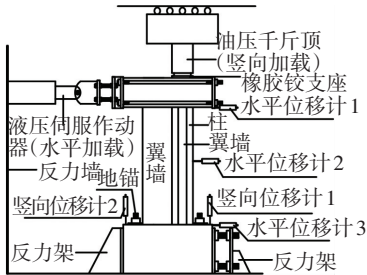
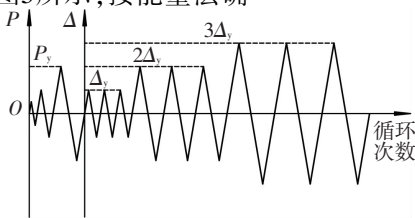


图 2 试验加载装置

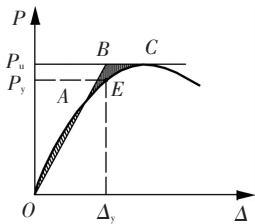


图 5 能量等效法

2 结果与分析

2.1 试验现象

6 个试件的破坏现象见图 6、7. 试验结果表明, 在低周反复荷载作用下, 平行于受力方向翼墙经历了开裂、裂缝发展、靠近边缘受力纵筋屈服和受压边缘混凝土被压碎的过程. 平行于受力方向翼墙远离在役角

柱一侧, 损伤较为严重, 而原角柱和垂直于受力方向翼墙则损伤相对较轻. 达到了后置翼墙加固后原柱同时承受竖向荷载和水平地震作用, 后置翼墙以抵御水平地震作用为主并作为耗能元件有效耗能的目的. 这里需要特别强调指出, 翼墙第一条水平裂缝之所以出现在距底梁顶面上方一定距离处, 或许是由于该处混凝土收缩引起的拉应力相对较大所致.

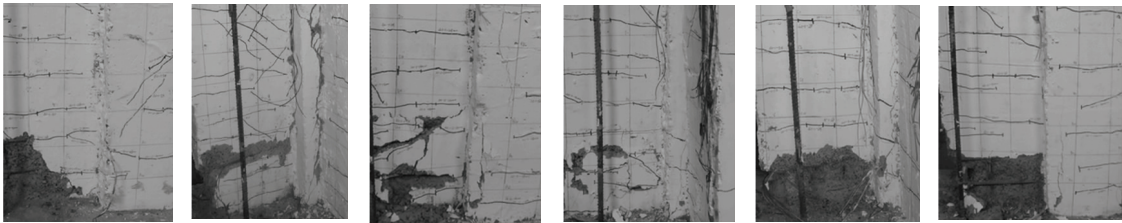


图 6 平行于受力方向翼墙与柱的破坏形态

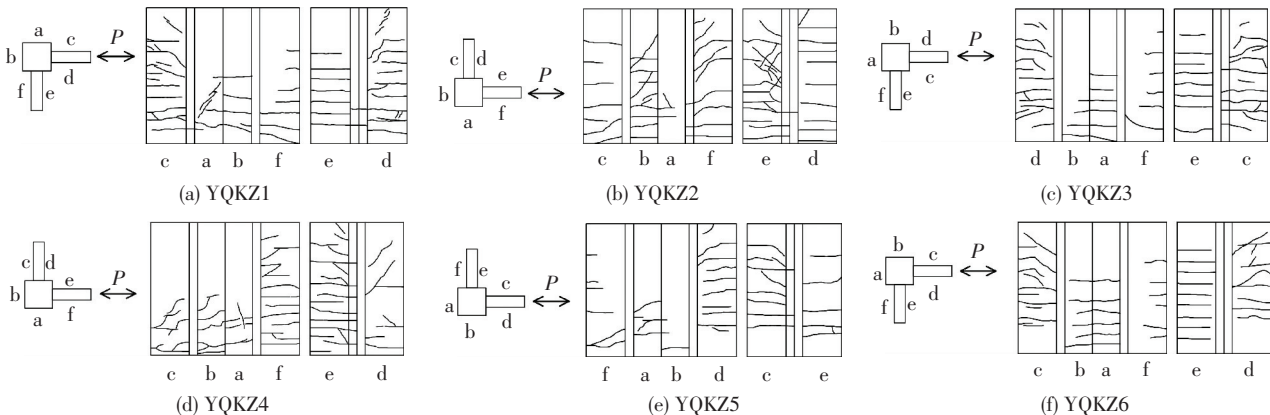


图 7 试件裂缝展开分布图

2.2 滞回曲线及骨架曲线

各试件的滞回曲线和骨架曲线见图 8、9, 其主要特点为:

1) 滞回曲线的两侧不对称: 正向加载时滞回曲线所包围的面积小, 反向加载时滞回曲线所包围的面积大, 正反两方向的极限荷载差异大.

2)从骨架曲线可知,低轴压比试件相对于高轴压比试件的延性要好,峰值荷载后骨架曲线下降相对缓慢,变形能力相对较强.与滞回曲线的不对称相应,骨架曲线也不对称.

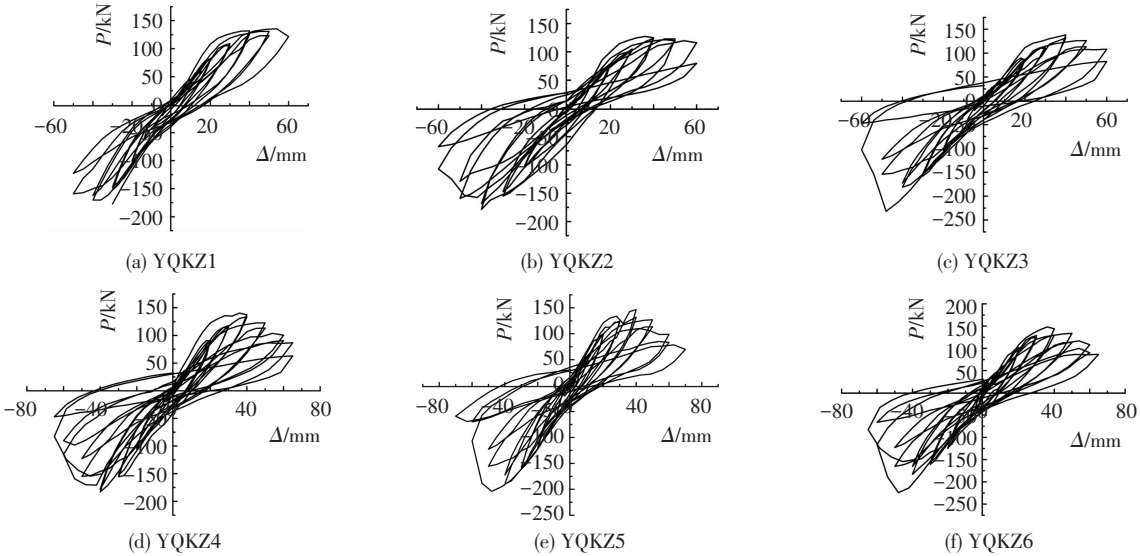


图 8 试件滞回曲线

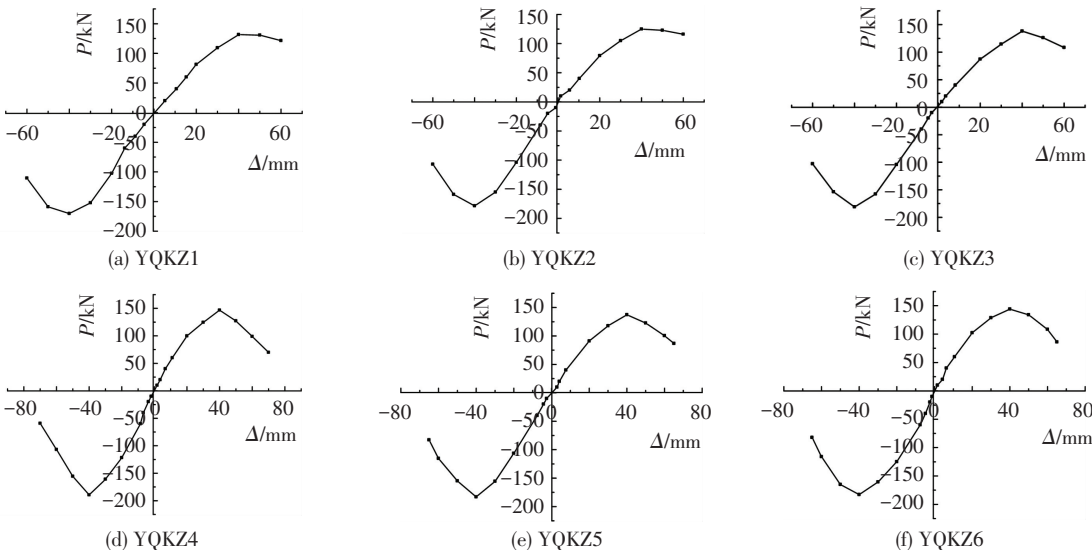


图 9 试件骨架曲线

2.3 延性分析

各试件开裂荷载 P_{cr} 和开裂位移 Δ_{cr} 、屈服荷载 P_y 和屈服位移 Δ_y 、峰值荷载 P_{max} 和与峰值荷载对应的位移 Δ_{max} 、极限位移 Δ_u 和与极限位移对应的荷载

P_u 及极限位移角 θ_p 试验值见表 3.中国现行规范规定:弹塑性位移角限值,框架结构为 0.02^[8];异形柱结构为 0.017^[9],本次试验值介于 0.04~0.05 之间,均大于二者限值要求.

表 3 试验结果

试件 编号	轴压比	加载方向	P_{cr}/kN	Δ_{cr}/mm	P_y/kN	Δ_y/mm	P_{max}/kN	Δ_{max}/mm	P_u/kN	Δ_u/mm	θ_p/rad
KZYQ1	0.31	正向	16.0	3.8	81.4	20.0	131.6	40.0	121.4	60.0	0.050
		反向	96.1	18.0	152.3	30.0	170.2	38.0	141.2	54.0	0.045
KZYQ2		正向	12.0	2.3	79.3	20.0	124.8	40.0	116.0	60.0	0.050
		反向	75.2	16.0	154.0	30.0	178.4	40.0	147.9	52.0	0.043
KZYQ3	0.36	正向	10.0	1.6	104.9	24.0	138.2	36.0	116.7	55.0	0.045
		反向	68.0	12.0	146.3	28.0	181.1	38.0	153.8	50.0	0.042
KZYQ4		正向	12.0	2.1	86.0	18.0	137.3	38.0	113.3	50.0	0.042
		反向	69.6	14.0	155.5	30.0	182.9	40.0	154.8	50.0	0.042
KZYQ5	0.40	正向	12.0	1.5	112.4	21.0	146.6	36.0	121.7	50.0	0.042
		反向	88.1	14.0	151.5	27.0	189.6	35.0	155.5	48.0	0.040
KZYQ6		正向	14.0	1.5	128.8	20.0	143.9	35.0	121.0	50.0	0.042
		反向	67.9	18.0	134.2	30.0	182.8	40.0	155.4	52.0	0.043

注:极限位移 Δ_u 是指正向加载时与下降段 0.85 P_u 相对应的位移或反向加载时受压边缘混凝土被压碎时对应的位移.

2.4 刚度退化

试件在低周反复荷载作用下时,随着荷载和位移的增大,试件的变形不断发展,裂缝宽度逐渐增大,强度逐渐降低,刚度逐渐退化.采用式(1)割线刚度 K_i 来表示试件在低周反复荷载作用下的刚度:

$$K_i = \frac{|+P_i| + |-P_i|}{|+\Delta_i| + |-\Delta_i|} \quad (1)$$

式中: P_i 表示第 i 个控制位移下的荷载; Δ_i 表示与 P_i 相对应的位移值.图 10 为不同轴压比试件割线刚度随位移变化曲线,随位移增大,试件割线刚度逐步减小.

2.5 加固前后承载力对比

加固前各柱的水平峰值荷载预估值按现行规

范^[10]计算,采用钢筋和混凝土强度实测值,加固后试件水平峰值荷载试验值取正向、反向加载时骨架曲线峰值荷载值,加固前后承载力对比见表 4.

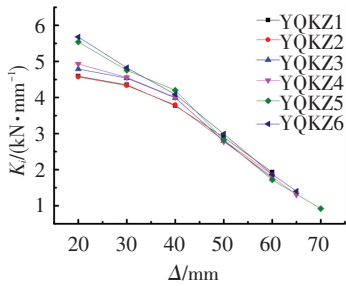


图 10 试件割线刚度与位移的关系

表 4 加固前后试件承载力对比

试件 编号	所受轴 力/kN	原柱水平峰值 荷载预估值/kN	正向水平峰值 荷载试验值/kN	反向水平峰值 荷载试验值/kN	正向水平 荷载增幅/%	反向水平 荷载增幅/%
YQKZ1	573.5	55.6	131.6	170.2	136.7	206.2
YQKZ2	573.5	55.6	124.8	178.4	124.6	220.9
YQKZ3	666.0	57.3	138.2	181.9	141.3	217.5
YQKZ4	666.0	57.3	146.6	189.6	156.0	230.9
YQKZ5	740.0	59.9	137.3	182.9	129.3	205.4
YQKZ6	740.0	59.9	143.9	182.8	140.2	205.3

3 结 论

1)6 个后置混凝土翼墙加固框架角柱正向水平荷载增幅为 124.6%~156.0%,反向水平荷载增幅为 205.3%~230.9%,说明后置翼墙后框架结构房屋角柱在轴力不变情况下,其抵御水平地震作用的能力可显著增强.

2)在低周反复荷载作用下,平行于受力方向翼墙经历了开裂、裂缝发展、靠近边缘受力纵筋屈服和受压边缘混凝土被压碎的过程,而原柱和垂直于受力方向翼墙则损伤相对较轻.达到了后置翼墙加固后原柱同时承受竖向荷载和水平地震作用,后置翼墙以抵御水平地震作用为主并作为耗能元件有效耗能的目的.

参考文献

[1] 周威,郑文忠,佟佳颖,等.汶川地震中房屋震害分析与震损房屋抗震加固[J].哈尔滨工业大学学报,2013,45(12):12-20.

[2] 张品乐,李青宁,李晓蕾.L 形截面短肢剪力墙抗震性能的模式试验研究[J].地震工程与工程振动,2010,30(4):51-56.

[3] 李杰,吴建营,周德源,等.L 形和 Z 形宽肢异形柱低周反复荷载试验研究[J].建筑结构学报,2002,23(1):9-15.

[4] 曹万林,王光远,吴建有,等.不同方向周期反复荷载作用下 L 形柱的性能[J].地震工程与工程振动,1995,15(1):67-72.

[5] RAMAMURTHY L N, HAFEEZKHAM T A. L-shaped

column design for biaxial eccentricity [J]. Journal of the Structural Engineering,1983,109(8):1903-1917.

[6] Cheng-Tzu Thomas Hsu. Biaxially loaded L-shaped reinforced concrete columns [J]. Journal of Structural Engineering ASCE,1985,111(12):2576-2595.

[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB/T50152—2012 混凝土结构试验方法标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部.JGJ 3—2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.JGJ149—2006 混凝土异形柱结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

[11] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50011—2010 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

[12] 张令心,王财权,刘洁平.翼墙加固方法对框架结构抗震性能的影响分析[J].土木工程学报,2012,45(2):16-21.

[13] 中华人民共和国住房和城乡建设部.JGJ 116—2009 建筑抗震加固技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.

[14] 魏闯.增设翼墙加固钢筋混凝土柱受力性能研究[D].辽宁:沈阳建筑大学,2012.

[15] 范超.增设翼墙加固框架柱正截面研究与抗震性能分析[D].四川:西南科技大学,2011.

[16] 杨伟松,郭迅,许卫晓,等.翼墙—框架结构振动台试验研究及有限元分析[J].建筑结构学报,2015,36(2):96-103.

(编辑 赵丽莹)