

文章编号:1673-2049(2016)05-0007-07

混凝土横孔空心砌块填充墙-RC 框架 抗震性能试验

吴方伯¹,朱惠芳¹,欧阳靖¹,蒋 文¹,周绪红^{1,2}

(1. 湖南大学 土木工程学院,湖南 长沙 410082; 2. 重庆大学 土木工程学院,重庆 400044)

摘要:通过对3榀单层单跨RC(钢筋混凝土)框架足尺模型进行低周反复荷载作用下的抗震性能试验,着重探讨混凝土横孔空心砌块填充墙对RC框架抗震性能的影响。对试件的试验破坏特征、滞回曲线、骨架曲线、刚度退化、耗能性能等抗震性能指标进行对比分析,并对混凝土横孔空心砌块填充墙-RC框架的抗震性能进行评估。结果表明:混凝土横孔空心砌块填充墙-RC框架属于强框架、弱填充墙类型,最终破坏形态与空框架破坏形态接近;混凝土横孔空心砌块填充墙对RC框架具有刚度效应,较大程度提高了框架的水平承载力和抗侧刚度;混凝土横孔空心砌块填充墙与框架结构共同参与滞回耗能,混凝土横孔空心砌块填充墙-RC框架表现出良好的抗震性能。

关键词:RC框架;混凝土横孔空心砌块;抗震性能;试验研究

中图分类号:TU375.4 **文献标志码:**A

Experiment on Seismic Behavior of Concrete Horizontal-hole Hollow Blocks Infilled Wall-RC Frames

WU Fang-bo¹, ZHU Hui-fang¹, OUYANG Jing¹, JIANG Wen¹, ZHOU Xu-hong^{1,2}

(1. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China;

2. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Three full-scale models of one-story-one-bay reinforced concrete (RC) frames were tested to mainly investigate the effects of concrete horizontal-hole hollow blocks infilled wall on the seismic behavior of RC frames under low cyclic loading. The test failure modes, hysteresis curves, skeleton curves, stiffness degradation, energy dissipation capacity and other seismic performance indexes were compared and analyzed. The seismic behavior of concrete horizontal-hole hollow blocks infilled wall-RC frames was evaluated. The results show that concrete horizontal-hole hollow blocks infilled wall-RC frames meet the principle of strong frames and weak infilled wall, and the final failure mode is close to that of space frame. The concrete horizontal-hole hollow blocks filled wall has stiffness effect to RC frame, and the horizontal bearing capacity and lateral stiffness of frame were improved greatly. The concrete horizontal-hole hollow blocks infilled wall and frame structure are both involved in the hysteretic energy dissipation. The concrete horizontal-hole hollow blocks infilled wall-RC frame shows good seismic behavior.

Key words: reinforced concrete frame; concrete horizontal-hole hollow block; seismic behavior; experimental study

收稿日期:2016-03-15

基金项目:国家自然科学基金项目(51278179)

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

0 引言

在当前建筑结构所使用的填充墙材料中,混凝土小型空心砌块有着自重轻、墙面平整度好等特点,是一种应用非常广泛的墙体建筑材料。目前使用较多的混凝土竖孔空心砌块存在热工性能和防渗性能较差等不足,为此本文介绍一种混凝土横孔空心砌块,该砌块为带水平肋横向开孔砌块,它兼具连锁砌块和混凝土空心砌块的优点,即轻质高强,饰面效果好,施工方便快捷,力学性能优良。混凝土横孔空心砌块由顶板、两支撑腿、加强肋组成,形成砌块空间,顶板上设有 2 条凸肋。吴方伯等^[1-3]通过对混凝土横孔空心砌块进行一系列试验和理论探究得到了许多宝贵的研究成果,目前混凝土横孔空心砌块已对外进行推广并编制了相关构造图集和技术规程,为混凝土横孔空心砌块在建筑行业的应用提供技术指导。

中国现行《建筑抗震设计规范》^[4]中将填充墙归为非结构构件范畴,在抗震计算时并未考虑在内。在实际工程设计中,仅考虑填充墙产生的竖向荷载,填充墙的刚度贡献则按周期进行折减。近几年的地震震害调查^[5-8]表明,地震中填充墙和框架共同承担地震作用,仅粗略考虑填充墙对框架刚度和结构自重的影响显然不够。

本文通过对 3 榀足尺单层单跨填充墙-RC(钢筋混凝土)框架试件进行低周反复荷载试验,对比各试件的破坏特征、滞回曲线、骨架曲线、刚度退化和耗能性能等指标,重点研究混凝土横孔空心砌块填充墙对 RC 框架抗震性能的影响,为混凝土横孔空心砌块的抗震设计提供依据。

1 试验概况

1.1 试验砌块

试验所用混凝土横孔空心砌块厚度均为 190 mm,砌块强度等级为 MU3.5,砌筑砂浆强度等级为 M5,主规格砌块尺寸为 290 mm×190 mm×200 mm,辅规格砌块尺寸为 145 mm×190 mm×200 mm,砌块结构形式如图 1 所示。按照《混凝土小型空心砌块试验方法》(GB/T 4111—1997)进行砌块抗压试验,测得试验用混凝土横孔空心砌块抗压强度平均值为 3.6 MPa,砌筑砂浆立方体抗压强度平均值为 5.5 MPa。

1.2 试件设计与制作

试验模型为足尺单层单跨填充墙-RC 框架结

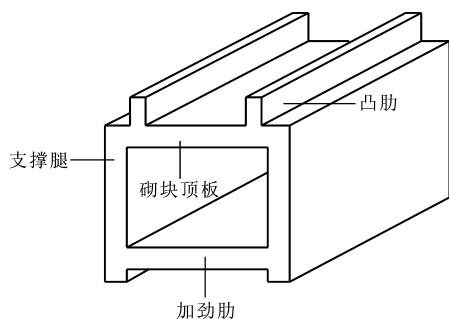


图 1 混凝土横孔空心砌块结构示意图

Fig. 1 Structure Schematic of Concrete Horizontal-hole Hollow Blocks

构,本文试验共设计了 3 个试件,其中试件 KKJ 为空腹 RC 框架,试件 BKJ 为半高填充墙-RC 框架,填充墙高度为 1 200 mm,试件 QKJ 为全高填充墙-RC 框架,填充墙高度为 2 760 mm。各试件的截面尺寸及配筋见图 2。

试件框架柱截面尺寸均为 300 mm×300 mm,框架梁截面尺寸均为 240 mm×240 mm,框架柱水平力作用合力点距柱底 2 880 mm。试件 BKJ 在半高填充墙顶部即填充墙高度 1 200 mm 处设置一水平钢筋混凝土带,试件 QKJ 分别在填充墙高度为 1 200,2 600 mm 处设置水平钢筋混凝土带。

试件混凝土设计强度等级均为 C30,框架柱设计轴压比为 0.23。框架梁、柱纵筋均采用 HRB400 级钢筋,箍筋采用 HPB300 级钢筋。填充墙和框架采用钢筋拉结,即前文提到的水平钢筋混凝土带,其混凝土采用 C20 级细石混凝土,钢筋采用 HPB300 级钢筋,配筋为 2 ϕ 6。实测钢筋力学性能见表 1。浇筑每榀 RC 框架试件混凝土的同时按有关规定留置 1 组标准试块,与 RC 框架试件养护条件相同,测得框架梁、柱混凝土立方体抗压强度平均值为 34.30 MPa,水平钢筋混凝土带的混凝土立方体抗压强度平均值为 21.88 MPa。

1.3 试验加载装置和测量方案

试验加载装置如图 3 所示。试验过程中,通过 2 台竖向液压千斤顶在柱顶施加恒定不变的竖向压力,大小为 300 kN。试验采用 MTS 加载系统施加水平反复荷载,采用 MTS-GT 控制系统控制加载过程。采用拉杆将 MTS 作动头和另一端的钢垫板连接,MTS 作动头往返运动带动试件以施加水平反复荷载。

试验测量内容包括:①通过 MTS-GT 控制系统采集柱顶部水平荷载大小;②采用位移计测量框架柱变形,在框架柱的顶部、中部、柱脚位置以及底梁

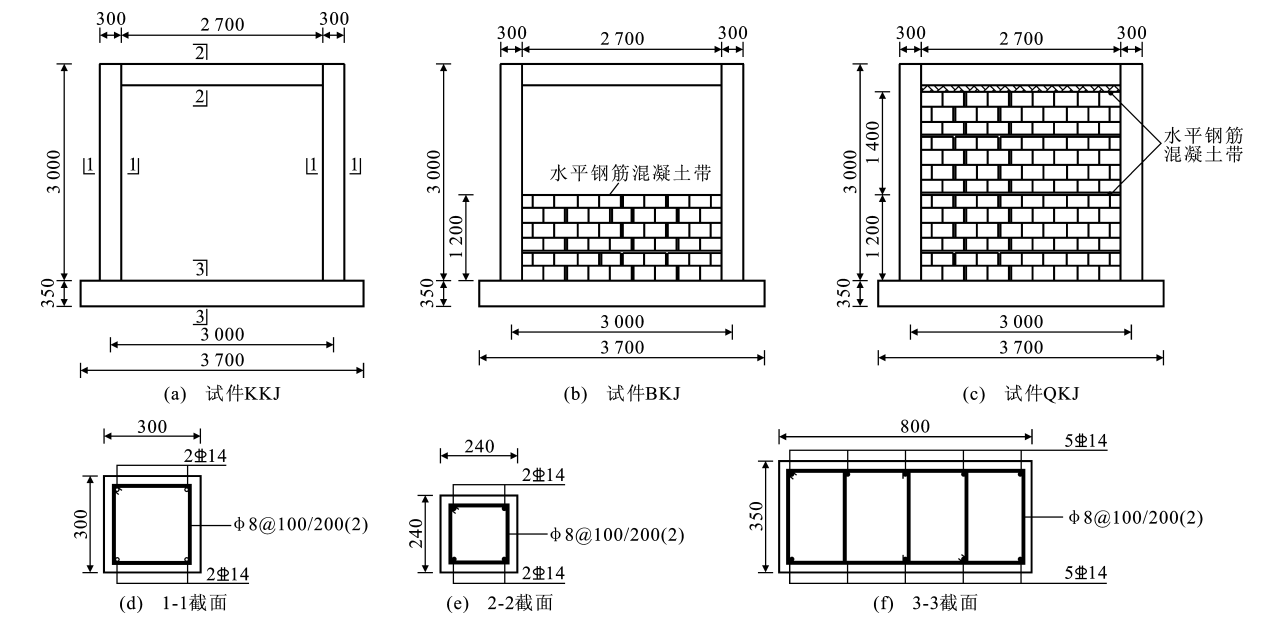


图 2 各试件几何尺寸及配筋(单位:mm)

Fig. 2 Dimension and Reinforcement of All Specimens (Unit:mm)

表 1 钢筋力学性能

Tab. 1 Mechanical Properties of Steel Bars

钢筋型号	f_y /MPa	f_u /MPa	E_s /MPa	$\epsilon_y/10^{-6}$
Φ8	356	512	1.99×10^5	178.8
Φ14	485	649	2.02×10^5	240.1

注: f_y 为钢筋实测屈服强度; f_u 为钢筋实测极限抗拉强度; E_s 为钢筋实测弹性模量; ϵ_y 为钢筋实测屈服应变。

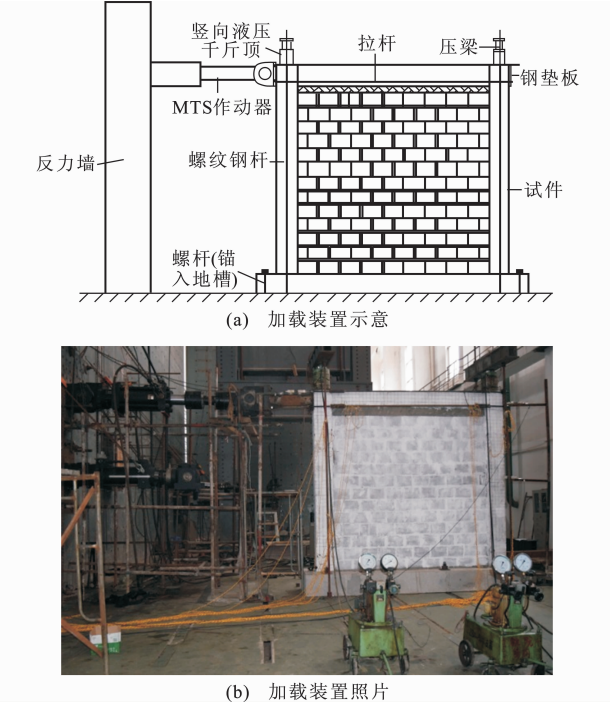


图 3 加载装置

Fig. 3 Loading Device

处设置位移计,位移数据由 RX-24A 数据采集仪采

集;③采用电阻应变片测量框架梁、柱的纵筋、箍筋关键受力区域的应变,应变值由 DH3818 数据采集仪自动采集。

1.4 加载方案

正式试验前,在柱顶施加预定竖向荷载,在试验过程中保持柱顶轴力不变,然后进行 2 次预加反复荷载试验并采集相关数据。

根据《建筑抗震试验方法规程》(JGJ 101—96),正式试验时采用荷载-变形双控制的加载程序,试件屈服前采用荷载控制分级加载,每级荷载进行 1 次循环加载,试件屈服后采用位移控制,以屈服时试件最大位移值的倍数为级差进行加载,每级位移幅值进行 3 次循环加载。当试件承载力下降至峰值荷载的 85%时结束试验。具体加载制度如图 4 所示。

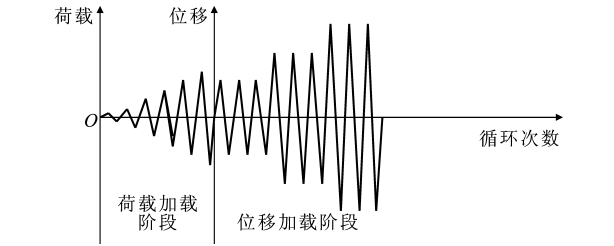


图 4 加载制度
Fig. 4 Loading System

2 试验现象分析

在下文试验现象分析中所述左柱为靠近作动头一端的框架柱,右柱为远离作动头一端的框架柱,外

侧指整个框架向外一侧,内侧指整个框架内侧。

2.1 空腹对比框架

在荷载幅值为 30 kN 的循环中,试件 KKJ 出现了可见裂缝。当加载至 40 kN 时,左柱外侧靠近柱底 300 mm 范围内开裂,其中 1 条为贯通的水平弯曲裂缝,其余裂缝开展长度较长但均没有贯通,裂缝形态近似水平,裂缝开展宽度均较小;当荷载加载至 -40 kN 时,右柱外侧靠近柱底 500 mm 范围内出现数条水平裂缝,裂缝开展宽度较小。此时,梁端未发现可见裂缝。梁底与柱交界处在荷载加载至 50 kN 时开裂,框架梁左侧受拉区出现可见裂缝,同时在柱顶靠近框架梁梁底的位置出现贯通水平裂缝。随着加载的继续,原有框架梁、柱出现的裂缝不断发展,裂缝长度和宽度持续增加,并伴随有新裂缝产生。在反复荷载作用下,裂缝也处于反复开展和闭合的状态。

在荷载幅值为 80 kN 的循环中,试件 KKJ 处于屈服状态,此循环中出现的最大位移值为 29.44 mm。当荷载加载至 80 kN 时,试件产生一定的塑性变形,框架梁纵向钢筋受拉屈服,继续加载至框架柱纵向钢筋屈服。加载过程中仍不断有新裂缝产生,原有裂缝不断发展,在框架梁、柱侧面相互贯通。此后采用位移控制进行加载,取屈服位移的整数倍进行 3 次循环加载。

在位移幅值为 90 mm 的第 3 次循环中,试件承载力下降到峰值荷载的 79.4%,试验结束。梁端和柱脚形成塑性铰,梁端混凝土被压酥、剥落,两柱柱脚位置混凝土出现不同程度的压碎、剥落,并露出纵筋,如图 5 所示。



图 5 试件 KKJ 柱脚破坏形态

Fig. 5 Failure Mode at Bottom of Specimen KKJ

2.2 半高填充墙框架

在荷载幅值为 30 kN 的循环中,柱和墙交接面出现裂缝,填充墙也出现裂缝,且在荷载的反复作用下裂缝交替开闭。在荷载幅值为 50 kN 的循环中,

当加载至 -50 kN (位移 $\Delta = -7.25$ mm) 时,右柱柱身与填充墙等高处出现第 1 条斜裂缝,裂缝宽度较小。继续加载,填充墙高度范围内柱身裂缝数量不断增加,裂缝开展位置逐渐向柱脚靠近,且裂缝多为弯剪斜裂缝,柱顶也开始出现裂缝。梁两端开始出现裂缝,数量逐渐增加,从两端向中间发展。填充墙裂缝沿着灰缝不断延伸,呈现阶梯状,且出现部分砌块开裂。在荷载幅值为 110 kN 的循环中,梁、柱纵筋屈服,但箍筋未屈服,同时填充墙裂缝继续延伸发展,裂缝宽度越来越大,并且相互贯通连成 1 条主裂缝。此后进入位移控制加载。

在位移幅值为 30 mm 的循环中,左柱底部斜裂缝宽度增大,基本贯通,左柱柱脚混凝土出现竖向裂缝,有混凝土剥落现象。在位移幅值为 60 mm 的第 3 次循环中,左柱柱脚处裂缝宽度继续扩大,在位移幅值为 90 mm 的第 3 次循环反向加载至最大位移幅值时,试件承载力急速下降至峰值荷载的 62.5%,试验结束。由于填充墙的约束作用,框架柱在填充墙高度范围内产生裂缝,且破坏时左侧柱脚位置混凝土保护层剥落,右侧柱脚位置斜向裂缝宽度较大,混凝土剥落,但柱顶端没有发生剪切破坏,裂缝较少,开展宽度较小,对比其他类型砌块填充墙^[8],该试件的短柱破坏并不明显。梁底两端混凝土剥落,露出纵筋,破坏形态近似弯曲破坏,最终破坏形态如图 6 所示。



图 6 试件 BKJ 柱脚破坏形态

Fig. 6 Failure Mode at Bottom of Specimen BKJ

2.3 全高填充墙框架

在荷载幅值为 30 kN 的循环中,左柱柱脚出现水平贯通裂缝,右柱没有发现可见裂缝,填充墙沿灰缝开裂。随着加载的继续,填充墙的裂缝不断开展,并且相互贯通形成阶梯裂缝,而框架柱上几乎没有新的裂缝出现。当加载至荷载幅值为 80 kN 的循环时,框架梁的受力纵筋屈服,右柱柱身突然出现多条水平裂缝,由此转入位移控制加载。

在位移幅值为 20 mm 的循环中,框架梁、柱原有裂缝继续延伸发展,同时新的贯通水平裂缝也在持续出现,但数量不多。在位移幅值为 60 mm 的第 3 次循环中,试件承载力下降至峰值荷载的 85% 以下,试验结束。此时,填充墙破坏严重,框架柱柱脚处裂缝贯通,裂缝开展宽度较大,柱脚和梁端出现较多弯剪裂缝,但并未出现混凝土压溃现象,未形成明显的塑性铰,破坏形态如图 7 所示。



图 7 试件 QKJ 柱脚破坏形态

Fig. 7 Failure Mode at Bottom of Specimen QKJ

2.4 试验破坏现象分析

由上述试验现象可以看出:填充墙对主体框架裂缝开展情况有减缓作用,试件 KKJ, BKJ 的开裂荷载分别为 30, 50 kN, 而试件 QKJ 虽然开裂较早,但在开裂至屈服的过程中框架梁、柱上的裂缝数量比试件 KKJ 要少,裂缝发展情况不如试件 KKJ 严重,这表明填充墙抵抗了部分水平荷载,框架内力减小,开裂得以减缓。对于半高填充墙框架,由于半高填充墙的约束作用,框架柱的下部约束大于上部,框架柱自由段计算高度发生变化,框架柱的内力进行重分配,导致框架容易发生短柱破坏。试件 BKJ 在填充墙布置高度范围内,框架柱出现了多条弯剪斜裂缝,表现出了一定的短柱效应,但最终破坏时在框架柱顶部没有产生贯通的剪切裂缝,这说明混凝土横孔空心砌块填充墙对框架柱的约束作用不大,不足以导致框架结构产生明显的短柱破坏。2 榀填充墙框架的破坏形态未表现出明显的脆性破坏特征,填充墙对框架的约束效应较弱,因此混凝土横孔空心砌块填充墙框架属于强框架、弱填充墙类型。该填充墙框架在填充墙开裂后,其刚度和水平承载力下降较快,对主体框架的约束效应相应减弱,最终主体框架会发生与空框架接近的破坏形态。在实际应

用工程中,应将填充墙框架设计成这种类型。

3 试验结果分析

3.1 滞回特性分析

为研究各试件的抗震性能,图 8 给出了各试件的荷载-位移($P-\Delta$)滞回曲线。

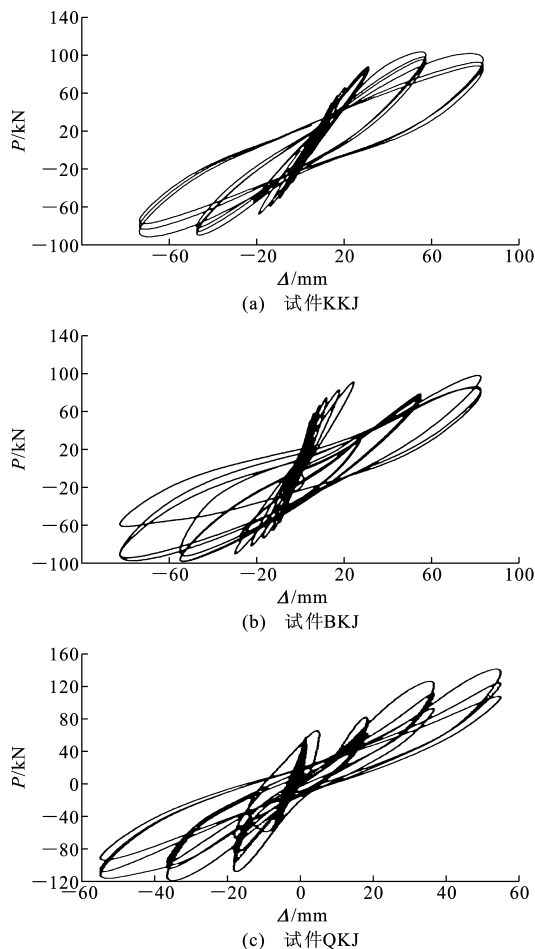


图 8 试件 $P-\Delta$ 滞回曲线

Fig. 8 $P-\Delta$ Hysteresis Loops of Specimens

由图 8 可以看出:

(1)试件 KKJ 破坏机制为梁、柱端出现塑性铰的弯曲破坏,开裂前试件处于弹性工作阶段,卸载后变形恢复,开裂后滞回曲线呈梭形,随着试件裂缝逐渐开展,钢筋出现了粘结滑移,滞回曲线出现了捏拢现象,后期滞回曲线下降段平缓。

(2)试件 BKJ 滞回曲线不如空框架饱满,加载初期其滞回曲线呈梭形,填充墙裂缝逐渐增多时滞回曲线开始捏拢,当填充墙裂缝相互贯通形成阶梯形主裂缝并在水平投影方向贯通时,沿裂缝出现了剪切滑移,滞回曲线由弓形逐渐转变为倒 S 形,随着荷载的增大,填充墙基本退出滞回耗能,约束效应丧失,滞回曲线又变回弓形,滞回曲线下降段较为

平缓。

(3)试件 QKJ 滞回曲线在加载初期表现与试件 BKJ 相似,后期填充墙破坏严重,裂缝增多,滞回曲线捏拢现象明显,呈倒 S 形。屈服后,顶部第 1 层混凝土横孔空心砌块两侧壁掉落,填充墙顶部与框架完全脱开,但由于填充墙仍受到框架柱和水平钢筋混凝土带的约束作用,没有完全退出工作,滞回曲线仍呈倒 S 形,滞回曲线下降段较试件 KKJ 要陡。

3.2 骨架曲线及特征分析

图 9 为各试件的骨架曲线。各试件的开裂荷载、屈服荷载、峰值荷载和破坏荷载等主要特征点的试验结果如表 2 所示。屈服荷载以框架梁、柱受拉区纵筋达到屈服应变时对应的荷载为依据,结合能量法进行取值。应当指出的是,试件 QKJ 在位移幅值为 60 mm 的第 3 次循环中最大承载力下降至峰值荷载的 70%以下,试验停止。对比各试件的骨架曲线和特征值可以看出,填充墙对框架的刚度效应较为明显,试件 BKJ, QKJ 的承载力均比空框架试件 KKJ 要高,其中试件 QKJ 的承载力是空框架试件 KKJ 的 1.49 倍,试件 BKJ 的承载力是空框架试

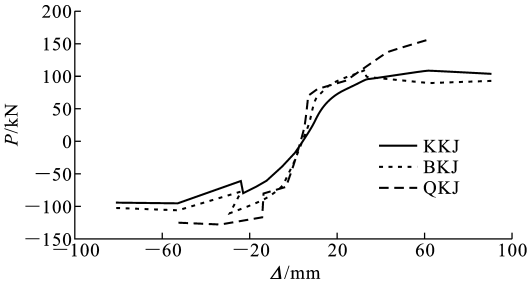


图 9 试件骨架曲线

Fig. 9 Skeleton Curves of Specimens

件 KKJ 的 1.13 倍。填充墙减小了框架的屈服位移,试件 KKJ 的正向、反向屈服位移均要大于试件 QKJ 相应的屈服位移,表明填充墙开裂后其承担的水平荷载转移到框架上,从而框架内力突增,使得框架纵筋屈服。试件 BKJ 的短柱破坏效应并不明显,但对试件仍然产生了不利影响,屈服后试件 BKJ 的正向承载力略低于试件 KKJ,表明在加载过程中前者的累积损伤要比后者大,填充墙退出工作后试件 BKJ 恢复到空框架工作状态时其承载力不如试件 KKJ,同时降低了试件的延性,表现为其延性系数最低,而试件 KKJ 和试件 QKJ 延性系数相当。

表 2 骨架曲线特征点试验结果

Tab. 2 Test Results of Characteristic Points of Skeleton Curves

试件编号	加载方向	P_{cr}	Δ_{cr}	P_y	Δ_y	P_{max}	Δ_{max}	P_u	Δ_u	Δ_u/Δ_y
KKJ	正向	30.00	5.29	89.78	24.50	108.90	60.00	96.50	90.00	3.45
	反向	30.00	7.72	79.76	27.63	95.20	60.00	83.80	90.00	
BKJ	正向	50.00	4.04	109.60	29.42	120.00	44.78	93.20	90.00	2.77
	反向	50.00	7.25	110.80	35.63	120.00	65.49	68.80	90.00	
QKJ	正向	30.00	1.19	118.25	15.54	156.70	60.00	133.10	60.00	3.27
	反向	30.00	4.31	106.90	21.12	125.00	60.00	102.80	60.00	

注: P_{cr} 、 Δ_{cr} 分别为试件开裂荷载及其对应的位移; P_y 、 Δ_y 分别为试件屈服荷载及其对应的位移; P_{max} 、 Δ_{max} 分别为试件峰值荷载及其对应的位移; P_u 、 Δ_u 分别为试件极限荷载及其对应的位移; Δ_u/Δ_y 为位移延性系数。

3.3 试件刚度退化性能

本文采用各级循环幅值下割线刚度 K 来表示试件的刚度,各试件的刚度退化曲线见图 10。由图 10 可以看出,半高填充墙框架试件 BKJ 的初始刚度是试件 KKJ 的 2.71 倍,其刚度退化速率较试件 KKJ 要快,后期割线刚度与试件 KKJ 相当,说明此时填充墙已完全退出工作。对于全高填充墙框架试件 QKJ,由于砌筑工艺原因导致填充墙与框架连接不紧密,在加载初期填充墙与框架相互约束作用很小,没有参与抵抗水平荷载,故其初始刚度和空框架试件 KKJ 相当,随着加载进行,填充墙和框架约束作用逐渐增加,两者共同工作抵抗水平荷载,其刚度反而逐渐增加,当填充墙增加的刚度不足以抵消刚度的退化且填充墙逐步退出工作时,刚度曲线呈下

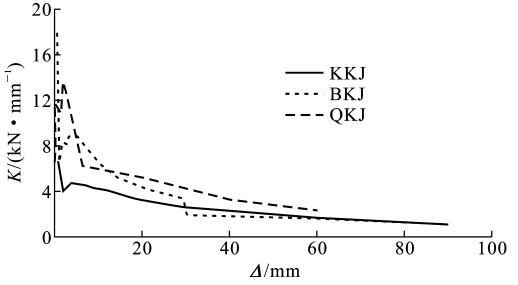


图 10 试件刚度退化曲线

Fig. 10 Stiffness Degradation Curves of Specimens

降趋势,到加载后期刚度退化较平缓,但各位移幅值下的割线刚度仍比试件 KKJ 要高。

3.4 试件耗能性能分析

将试件在各级循环中的耗能依次叠加,得到如图 11 所示的累积耗能曲线。由图 11 可以看出,在

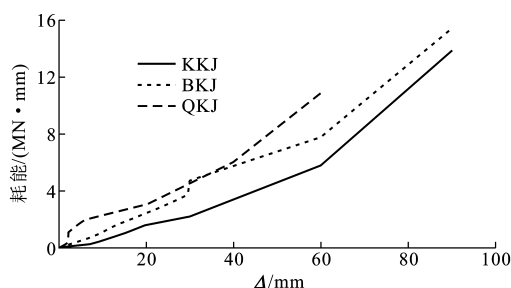


图 11 累积耗能曲线

Fig. 11 Cumulative Energy Dissipation Curves

各级循环中试件 QKJ 的耗能能力最好,试件 BKJ 次之,试件 KKJ 最差,在位移幅值为 60 mm 时三者的累积耗能为 1.89 : 1.35 : 1,说明横孔空心砌块填充墙框架参与了结构的滞回耗能,地震时耗能表现良好。

4 结 语

(1)试验结果表明,框架均没有发生明显的脆性破坏,填充墙对主体框架的破坏形态没有产生很大不利影响,混凝土横孔空心砌块填充墙框架属于强框架、弱填充墙类型,在实际工程设计中,混凝土横孔空心砌块填充墙有很广阔的应用前景。

(2)混凝土横孔空心砌块填充墙对 RC 框架具有明显的刚度效应,较大程度提高了框架的承载力和抗侧刚度,半高填充墙框架试件 BKJ 和全高填充墙框架试件 QKJ 的承载力分别是空框架试件 KKJ 的 1.13 倍和 1.49 倍。

(3)混凝土横孔空心砌块填充墙明显提高了框架的耗能性能,各级循环中带填充墙框架耗能性能均比空框架要好。

参考文献:

References:

[1] 吴方伯,陈 伟,黄海林,等. 新型混凝土横孔空心砌块砌体受压性能研究[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2010,37(11):1-5.
WU Fang-bo, CHEN Wei, HUANG Hai-lin, et al. Research on the Compression Behavior of a New Type of Concrete Horizontal-hole Hollow Block Masonry[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2010, 37(11):1-5.

[2] 吴方伯,傅辅林,黄海林,等. 混凝土框架约束横孔连锁砌块干砌墙体抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2011,32(1):37-42.
WU Fang-bo, FU Fu-lin, HUANG Hai-lin, et al. Seismic Behavior on Cross Bore Chain Block Dry Walls Confined Concrete Frame [J]. Journal of Building Structures, 2011, 32(1):37-42.
[3] WU F B, CHEN W, HUANG H L, et al. Behavior of Concrete Horizontal-hole Hollow Block Masonry[C]// Tokyo Institute of Technology. Proceedings of 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering. Tokyo: Tokyo Institute of Technology, 2010:1729-1731
[4] GB 50011—2010, 建筑抗震设计规范[S].
GB 50011—2010, Code for Seismic Design of Buildings [S].
[5] 清华大学、西南交通大学、北京交通大学土木工程结构专家组. 汶川地震建筑震害分析[J]. 建筑结构学报, 2008,29(4):1-9.
Civil and Structural Groups of Tsinghua University, Xinan Jiaotong University and Beijing Jiaotong University. Analysis on Seismic Damage of Buildings in Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Building Structures, 2008, 29(4):1-9.
[6] 尹保江,罗开海,薛彦涛,等. 玉树 4·14 地震钢筋混凝土框架震害调查与分析[J]. 土木建筑与环境工程, 2010,32(增 2):6-8.
YIN Bao-jiang, LUO Kai-hai, XUE Yan-tao, et al. Seismic Damage Investigation and Analysis of Reinforced Concrete Frame in Yushu 4·14 Earthquake[J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2010, 32(S2):6-8.
[7] 李碧雄. 地震中砌体填充墙和 RC 框架梁柱协同作用机理[J]. 建筑结构, 2015, 45(4):97-101, 96.
LI Bi-xiong. Interaction Mechanism Between Masonry Infilled Wall and Bounding RC Frame Under Earthquakes[J]. Building Structure, 2015, 45(4):97-101, 96.
[8] 黄 靓,施楚贤,熊 辉. 带砌体填充墙结构在地震作用下的安全性质疑[J]. 建筑结构, 2005, 35(3):57-60, 65.
HUANG Liang, SHI Chu-xian, XIONG Hui. Query on Safety of Structure with the Infill Panels in Earthquake [J]. Building Structure, 2005, 35(3):57-60, 65.