DOI:10.11918/202008004

钢管混凝土框架－整体装配式填充墙抗震性能

周中一[1],徐智凌[1],田立柱[2],王 涛[1],李 勇[2],冯艾东[2]

(1. 地震工程与工程振动重点实验室(中国地震局工程力学研究所),哈尔滨 150080;
2. 唐山冀东发展燕东建设有限公司,河北 唐山 064000)

摘 要: 为消除填充墙对框架的不利影响,充分发挥钢管混凝土框架变形能力强、延性好的优势,采用在钢管混凝土框架柱与填充墙间预留缝隙,填充墙与型钢梁间柔性连接的构造措施。为验证该种连接的可靠性,研究钢管混凝土柱框架－整体装配式填充墙的抗震性能及相互作用机理,进行了1个足尺单榀两跨两层框架填充墙模型的低周反复荷载试验。基于试验,分析了填充墙的损伤演化过程、钢管混凝土柱框架和连接件的变形及结构整体的抗震性能。研究表明:钢管混凝土柱框架－整体装配式填充墙滞回曲线饱满,耗能能力强;加载点极限移位角达1/41时,整体结构仍具有稳定的承载力,延性较好;装配式填充墙板－框架间的柔性连接,削弱了框架传递给填充墙板的荷载,延缓和减轻了整体装配式填充墙板损伤;填充墙板与装配式钢框架整体连接可靠,发挥了框架变形能力强、延性好的优势;整体结构后期承载能力稳定,具有良好的抗震性能和安全储备。

关键词: 钢管混凝土柱框架;整体装配式填充墙;柔性连接;相互作用;抗震性能
中图分类号: TU398+.9 **文献标志码**: A **文章编号**: 0367－6234(2021)04－0089－07

Seismic performance of concrete filled steel tubular frame with integral assembled infilled wall

ZHOU Zhongyi[1], XU Zhiling[1], TIAN Lizhu[2], WANG Tao[1], LI Yong[2], FENG Aidong[2]

(1. Key Lab of Earthquake Engineering and Engineering Vibration (Institute of Engineering Mechanics, CEA), Harbin 150080, China; 2. Tangshan Jidong Development Yandong Construction Co. Ltd., Tangshan 064000, Hebei, China)

Abstract: To eliminate the adverse effect of the additional rigidity of infilled wall on its frame and make full use of the strong deformation capacity and good ductility of concrete filled steel tubular (CFST) frame, the structural measures of reserving the gaps between CFST column frame and infilled wall as well as the flexible connection between infilled wall and steel beam were adopted. A full-scale two-story two-span frame infilled wall specimen was tested under low frequency repeated loads to verify the reliability of the flexible connection and investigate the seismic performance and interaction mechanism of CFST column frame-integral assembled infilled wall. Based on the test, the damage evolution process of infilled wall, the deformation performance of CFST column frame and connection, and the seismic performance of the structure were analyzed. Results show that the hysteretic curve of the overall structure was full, and the energy dissipation capacity of the structure was strong. When the ultimate displacement angle reached 1/41, the structure still had stable bearing capacity and good ductility. The flexible connection between the assembled infilled wall panel and the frame weakened the load transferred from the frame to the infilled wall panel, and delayed and reduced the damage of the integral assembled infilled wall. The integral assembled infilled wall and fabricated steel frame were connected reliably as a whole by the flexible connection, exerting the advantages of strong deformation capacity and good ductility of the CFST frame. In the later stage, the overall structure exhibited stable bearing capacity, good seismic performance, and safety reserve under earthquake load.

Keywords: concrete filled steel tubular column frame; integral assembled infilled wall; flexible connection; interaction performance; seismic performance

钢管混凝土框架结构具有承载力高、抗震性能好、施工简便等优点,适于在装配式建筑中应用,相关设计方法和理论已日臻完善。填充墙作为围护结构,通常被视为非结构构件。在工程设计中填充墙对整体结构抗震性能的影响很少被考虑。相关研究和震害表明,地震作用下填充墙与框架共同工作,填充墙为框架提供了较大的侧向刚度,在地震中承担了部分剪力,耗散了地震能量,对抗震是有利的。另一方面,填充墙自身的重量和承担的剪力增加了整体结构吸收的能量,在填充墙发生破坏后,它所吸收的地震能量对结构是不利的[1]。填充墙的存在不

收稿日期: 2020－08－02
基金项目: 中国地震局工程力学研究所基本科研业务费(2019EEEVL0104, 2020B05, CEA201919)
作者简介: 周中一(1980—),男,博士,副研究员
通信作者: 周中一,zhouzy@iem.ac.cn

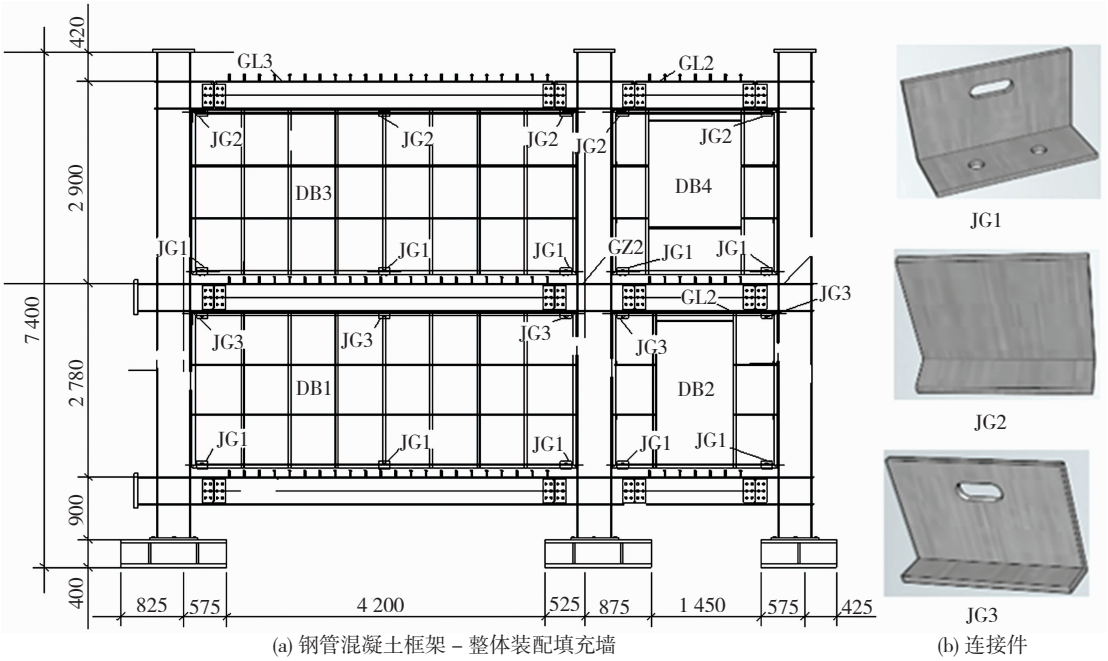
仅改变了结构体系的刚度、强度及其分布，还会对主体结构构件的局部约束产生不利影响[2]，带洞口填充墙对框架柱的局部约束易造成“短柱效应”，整体填充墙与框架的“相互刚化效应”会减小结构的基本周期，放大结构所承受的地震力，加剧整体结构的破坏程度[3-4]。填充墙框架结构的侧向总承载能力大于框架和填充墙体单独的抗侧力之和[5]。随着装配式建筑和墙改政策的推进，传统实心黏土砖类填充墙正在被轻质砌块填充墙或装配式轻质填充墙所取代[6-7]，钢(钢管混凝土)框架在工程中所占的比例也在逐渐增加。王波等[8]进行了内嵌或外挂蒸压轻质加气混凝土(ALC)板钢管混凝土框架结构的低周反复荷载试验；曹正罡等[9]进行了 3 榀1/2缩尺的 2 层 1 跨装配式钢框架的低周往复加载试验研究；李国强等[10]进行了 6 榀钢框架 ALC 填充墙板模型的静力及拟静力试验；郝贠洪等[11]进行了发泡混凝土墙体压剪复合作用下的力学性能试验研究；闻洋等[12]的研究表明，对于有、无填充墙的矩形钢管混凝土框架结构体系，前者的承载能力和延性明显优于后者，而带填充墙的框架结构变形能力稍弱，破坏过程总体比较缓和，但满足延性框架的要求。随着建筑工业化程度的提高，可提高建造效率、节省人力成本的整体装配式填充墙的应用逐渐增多，但目前对框架 - 整体装配式填充墙的研究尚少；文献[13 - 15]主要研究了不同连接构造的填充墙对框架 - 填充墙承载力、刚度、填充墙损伤开裂过程及其平面外抗震性能的影响。目前关于框架 - 填充墙的研究以缩尺模型试验居多，与实际结构的受力性能和抗震机理也有一定的差异。

本文进行了 1 个单榀两跨两层足尺钢管混凝土框架 - 柔性连接整体装配式填充墙模型的低周反复荷载试验，分析了整体装配式填充墙的损伤演化过程、钢管混凝土柱框架 - 填充墙间的柔性连接构造及其相互作用，研究了钢管混凝土框架 - 柔性连接填充墙的共同受力性能。

1 试验概况

1.1 试验设计

本试验以唐山在建 18 层高层住宅结构为工程背景，研究钢管混凝土框架 - 整体装配式填充间的相互作用和抗震性能。试验模型为足尺单榀两跨两层框架 - 填充墙，框架柱为矩形钢管混凝土柱，钢管截面尺寸为 200 mm × 450 mm × 12 mm，钢管内灌注 C40 混凝土；框架梁为 H 型钢梁，规格为 400 mm × 150 mm × 8 mm × 12 mm；填充墙为钢骨架轻型复合板材，见图 1(a)，墙厚 180 mm，墙体表面为抗裂纤维网水泥基聚合物面层，芯层为钢丝网轻骨料混凝土，共 4 片整体装配式填充墙，其中 2 片不带洞口(DB1，DB2)，1 片带门洞(DB3)，1 片带窗洞(DB4)；型钢梁通过栓钉与楼板连接，楼板宽度 1 200 mm，厚 120 mm，楼板配筋为双层双向 Φ8@200，混凝土强度等级为 C40，试验模型示意见图 1。框架梁和框架柱采用螺栓和焊接混合连接，填充墙与框架柱间预留 10 mm 缝隙，与框架梁间采用柔性连接件连接。试件几何尺寸、柔性连接件和墙体内部构造见图 1。



(a) 钢管混凝土框架 - 整体装配填充墙　　(b) 连接件

图 1 试验模型示意(mm)

Fig. 1 Schematic diagram of specimens (mm)

1.2　试验加载

试验在中国地震局工程力学研究所恢先地震工程与工程振动台重点实验室进行。试验时,首先用竖向千斤顶在钢管混凝柱顶部施加竖向荷载,3 个柱顶竖向荷载比例为 1∶2.83∶1.83,分别为 2 400、1 890和1 520 kN,通过水平千斤顶在二层型钢梁中心点处施加低周反复荷载,采用荷载 – 位移混合控制方法,试件屈服前采用荷载控制,初始荷载50 kN,以后每级荷载增量 50 kN,试件屈服后采用位移控制,每级增量为 1 倍的屈服位移,每级荷载循环两次,加载装置见图 2,图中水平加载梁翼缘与钢管混凝土柱间用钢铰连接,另一侧翼缘上焊接辊轮与反力架立柱接触,并能自由滑动,加载梁同时可防止试验模型平面外失稳。

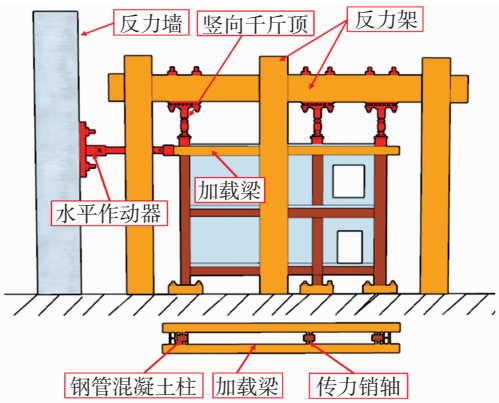


图 2　加载装置

Fig. 2　Test setup

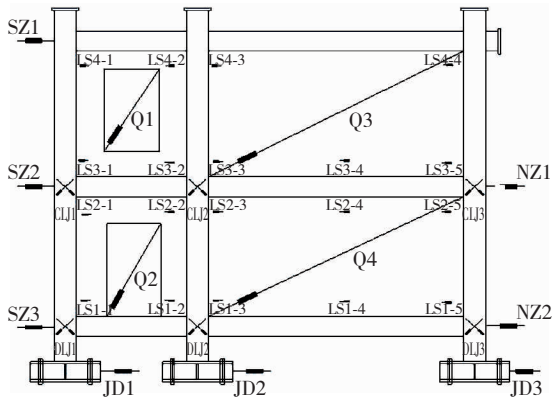
1.3　测点布置

框架梁端部、框架柱端部布置应变片,测量相应位置应变变化情况,评价损伤演化过程;在每层框架梁中心点处布置位移计,测量框架变形情况;沿墙体对角线布置位移计,测量墙体变形情况;在框架梁柱节点区域布置斜向位移计,测量节点区变形情况;见图 3(a)。在每根钢管凝土柱,距离梁底及梁顶 1 000 mm处沿周边布设应变片,测量柱相应截面及位置的应变值;在型钢梁上距柱边 1 000 mm 处,在型钢梁的翼缘和腹板布设应变片,测量型钢翼缘和腹板的应变;见图 3(b)。

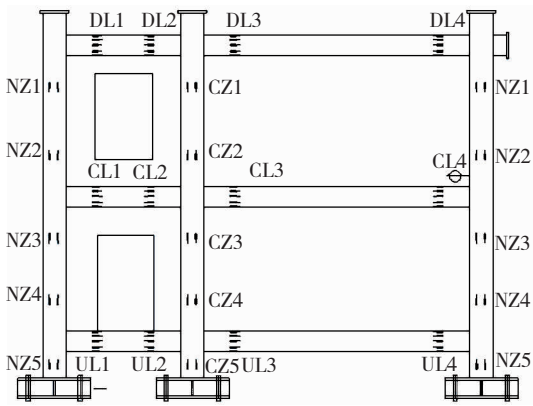
2　试验分析

2.1　试验现象分析

荷载控制阶段,水平荷载达到 300 kN 以前,钢管混凝土框架整体处于弹性阶段,框架变形较小,装配式填充墙板与框架间的柔性连接和框架填充墙间预留缝隙,容许两者之间有一定的相对位移,在此容许位移范围内,框架传递给填充墙的荷载较小,避免了填充墙过早开裂,填充墙裂缝发展缓慢。



(a) 位移计布置

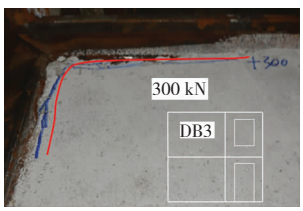


(b) 应变布置

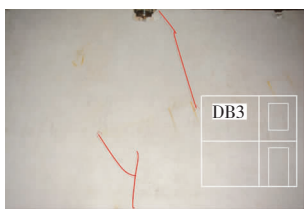
图 3　测点布置

Fig. 3　Arrangement of measurement system

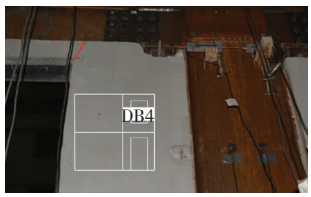
加载至 300 kN 时,二层无洞口填充墙(DB3)左上角因框架梁柱挤压,产生初试裂缝(见图 4(a))。此时二层框架梁中心点处水平位移约 10 mm,荷载位移滞回曲线出现明显拐点,将此时的位移看作明显屈服点位移;后续试验进行位移控制加载,每级荷载以 10 mm为增量。当加载点水平位移达到 20 mm,二层顶部位移角 1/319 时,填充墙板(DB3)与框架梁连接螺栓周围出现斜向下的裂缝,见图 4(b)。带窗洞口填充墙板(DB4)右上角部出现斜向裂缝,见图 4(c)。



(a) DB3 (1/638)



(b) DB3 (1/319)

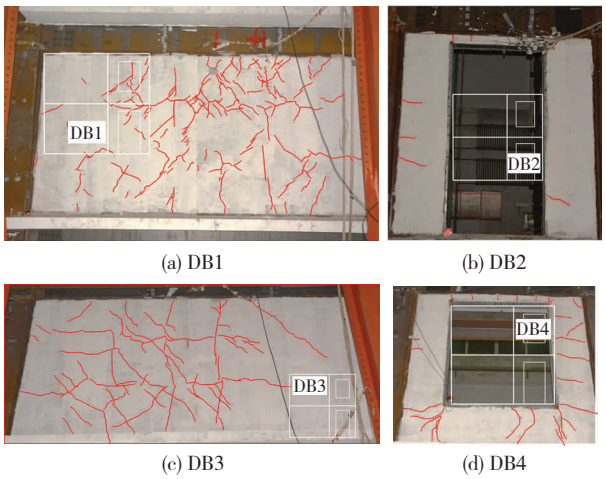


(c) DB4(1/319)

图 4　填充墙裂缝

Fig. 4　Infilled wall crack pattern

当加载点水平位移达到 70 mm，位移角约 1/91 时，无洞口填充墙板（DB1，DB3）抗裂纤维网水泥基聚合物面层布满细而密的裂缝，裂缝发展方向大致沿着填充墙与上下框架梁连接件的连线方向，这是由于水平荷载通过框架梁传递给填充墙连接件，沿连接件连线形成拉力带，墙体裂缝垂直拉力带分布；带洞口填充墙板（DB2，DB4）的裂缝主要分布在填充墙与框架梁柱接触处，和门窗洞口角部，这主要是由钢管混凝土框架挤压填充墙和洞口角部应力集中造成的。填充墙板裂缝分布见图 5。



(a) DB1 (b) DB2

(c) DB3 (d) DB4

图 5 填充墙裂缝（1/91）

Fig. 5 Infilled wall crack pattern (1/91)

此后，随着水平荷载增大，框架与填充墙间相对位移增大，连接螺栓被柔性连接件卡住（见图 6（a）），框架传递给填充墙的荷载增大，填充墙裂缝宽度增大，局部与框架接触处填充墙角部混凝土开裂，见图 6（b）。



(a) 柔性连接件与螺栓

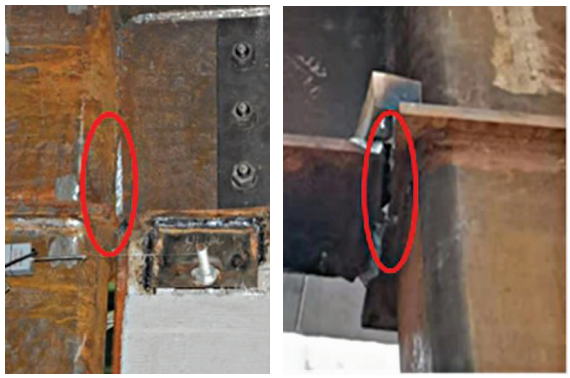


(b) 填充墙角部损伤

图 6 填充墙损伤

Fig. 6 Damage state of infilled wall

水平加载点位移达 152 mm，位移角 1/41 时，首层门洞口上部框架梁腹板和下翼缘与框架柱连接处焊缝撕裂（见图 7（a）、图 7（b）），钢管混凝土柱根部周围楼板混凝土压裂（见图 7（c））试验终止，填充墙板损伤整体较轻，墙体角部混凝土有少部分压碎，钢管混凝土底部未见明显屈曲。



(a) 框架梁损伤 (b) 焊缝撕裂



(c) 楼板损伤

图 7 框架梁损伤

Fig. 7 Damage state of steel frame beam

综上所述：1）整体装配式填充墙与钢管混凝土柱框架间采用柔性连接，延缓并减小了框架传递给填充墙的荷载，避免了装配式填充墙过早开裂，钢管混凝土柱框架变形达到规范[16-17]限定的弹塑性位移角限值 1/50 时，整体装配式填充墙的损伤轻微，可修复性较强；2）钢管混凝土柱框架的抗侧刚度大，抵抗变形能力强，框架整体变形达 1/41 时，钢管混凝土柱损伤轻微；3）钢管混凝土柱框架的损伤主要集中于型钢梁下翼缘和腹板与钢管混凝土柱连接处，其余部位损伤较轻，仍具有稳定的后期承载能力。

2.2 试验结果及分析

2.2.1 滞回曲线

1）整体变形。实测二层框架梁中心点处荷载 - 位移滞回曲线和骨架曲线，见图 8，其中骨架曲线取荷载 - 变形滞回曲线中每一级荷载第一次循环的峰值点所连成的包络曲线，图中 F 为二层加载点处水平荷载，U 为二层框架梁中心点处位移。

由图 8 可见：1）钢管混凝土框架滞回曲线平滑、饱满，捏拢不明显，表明其具有较强的耗能能力；

2)骨架曲线正向峰值荷载为 1 553.12 kN,位移为 82.43 mm,位移角约为 1/77;负向峰值荷载为 1 389.13 kN,对应峰值位移为 119.62 mm,位移角约为 1/53;位移角达 1/41 时,正向承载力为 1 484.32 kN,负向承载力为 1 340.62 kN,正负两向荷载分别仅下降了 4.44% 和 3.48%。表明钢管混凝土框架整体装配式填充墙结构在达到规范要求的弹塑性位移角限值时,仍具有较高的承载力和变形能力,整体的抗震性能良好。

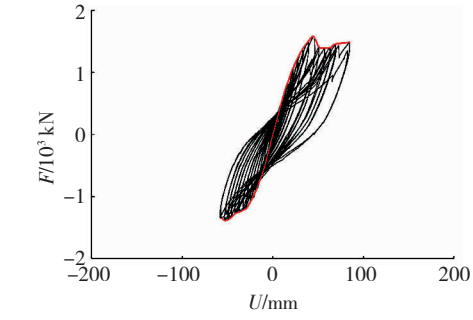


图 8　滞回曲线

Fig. 8　Hysteretic curve

2)节点变形。在首层顶部钢管混凝土柱节点区域布置了对角位移计,以测量节点区剪切变形,实测节点区荷载 – 剪切变形曲线见图 9。

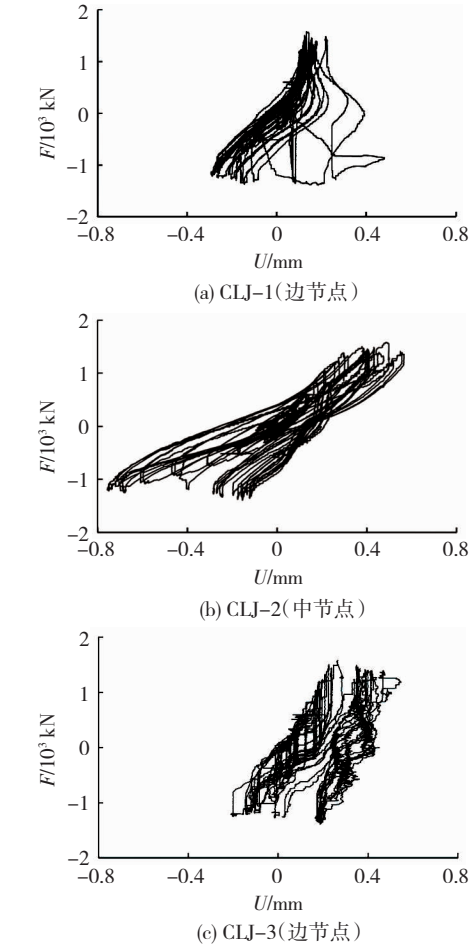


图 9　节点滞回曲线

Fig. 9　Hysteretic curves of column-beam joint

由图 9 可见:钢管混凝土框架左右边节点变形发展稳定,对角线方向变形分别为 0.4 mm 和 0.5 mm,中节点对角线方向变形最大值为 0.6 mm。表明填充混凝土后,混凝土为节点钢管壁变形提供了侧向约束,增强了钢管混凝土框架柱节点区的变形刚度,减小了节点对角线方向变形。

3)墙体变形。实测二层带窗洞口墙体 DB4 和二层无洞口墙体 DB3 对角线方向变形随加载时间的发展曲线见图 10。

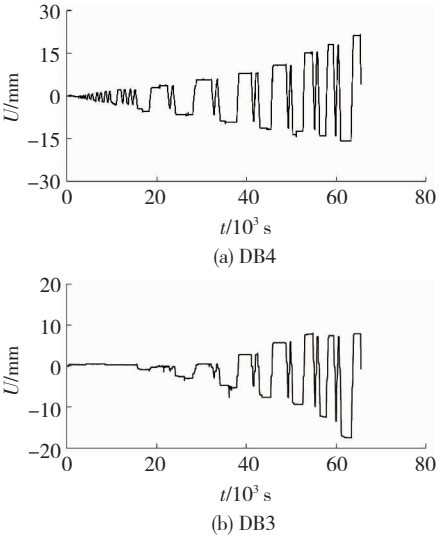


图 10　墙体变形

Fig. 10　Deformation of infilled wall

由图 10 可见:1)加载初期墙板对角线方向,变形增长缓慢且发展稳定,残余变形较小,正负向变形基本对称;随着加载点水平位移增大,墙体对角线方向变形快速增长,残余变形增大,表明墙体刚度退化严重,损伤加重;2)整体装配式填充墙刚度大,变形能力强,整体结构顶部变形达到 1/41 位移角时,墙体对角线方向变形最大值约 20 mm,墙体损伤较轻;表明整体装配式填充墙变形能力强,达到规范规定的弹塑性变形限值时,墙体损伤轻微,仍具有较好的可修复性。

2.2.2　刚度退化

实测整体结构刚度退化曲线见图 11(a),每级荷载循环两次的骨架曲线见图 11(b)。

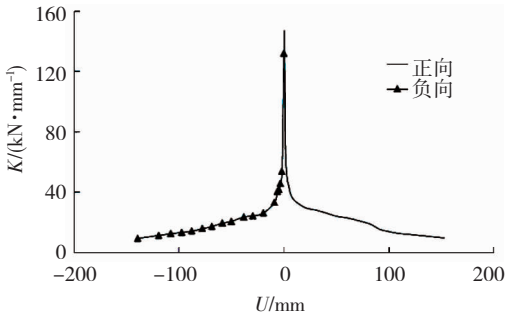
由图 11 可见:钢管混凝土框架 – 柔性连接整体装配式填充墙初试刚度大,刚度退化缓慢,加载点位移角达到 1/41 位移角时,整体结构仍具有较大的刚度和变形能力,骨架曲线基本处于水平段,表明该结构承载力高、延性好,且具有良好的抗震性能。

2.2.3　耗能

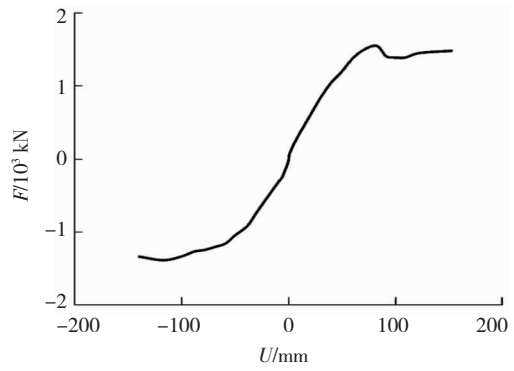
试件等效黏滞阻系数 ζ_{eq} 与加载级数的关系曲线见图 12。

由图 12 可见:等效黏滞阻尼系数随加载位移增

大呈先降后升趋势,由加载初期的 22.45%,下降至 5.24%,这是由于墙体与柔性连接件间的滑移摩擦耗能作用逐渐减小;之后增加到 16.5% 左右后保持稳定,直至加载点位移角达到 1/41。这是由于墙体框架相对变形超过了预留空隙,框架与填充墙接触,两者共同工作,提高了结构的整体耗能能力,并能使结构后期保持稳定的耗能能力,表明钢管混凝土框架 – 柔性连接整体装配式填充墙具有良好的抗震能力和较强的耗能能力。



(a) 刚度退化曲线



(b) 骨架曲线

图 11 刚度退化与骨架曲线

Fig. 11 Stiffness degration and skeleton curves of specimen

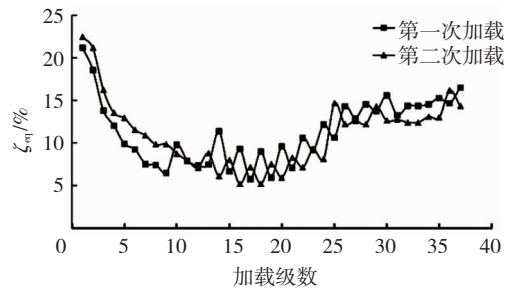


图 12 等效黏滞阻尼器系数

Fig. 12 Equivalent viscous damping coefficients of specimen

2.2.4 位移与延性

实测试件屈服位移 Δ_y、屈服荷载 F_y,极限位移 Δ_p、极限荷载 F_p,弹塑性最大位移 $\Delta_{1/41}$ 及其对应荷载 $F_{1/41}$ 及延性系数见表 1。

由表 1 可见:钢管混凝土框架 – 整体装配式填充墙的负向延性系数为 2.10,正向延性系数为 2.66,表明该结构延性好,变形能力强。

表 1 试件特征点位移

Tab. 1 Experimental results of characteristic point displacement

Δ_y/mm		Δ_p/mm		$\Delta_{1/41}$/mm		$\Delta_{1/41}/\Delta_y$	
−66.5	57.3	−119.6	82.43	−139.9	152.7	−2.10	2.66

3 结 论

1)框架 – 填充墙间采用柔性连接,可减小框架传递给填充墙的荷载,避免填充墙过早开裂,克服填充墙对框架的不利影响,充分发挥钢管混凝土框架延性好的优势,提高整体结构的延性,削弱填充墙对框架的不利影响。

2)试验所得试件的滞回曲线饱满、平滑,捏拢不明显,前后两次加载的骨架曲线基本重合,整体结构的刚度和强度退化不明显,整体损伤较轻。

3)钢管混凝土框架 – 整体装配式填充墙具有稳定的承载力和较强的变形能力,位移角达 1/41 时,与峰值荷载相比,结构整体的正负向承载力分别仅下降了 4.44% 和 3.48%。

4)钢管混凝土框架 – 整体装配式填充墙承载力高,延性好,刚度退化慢,耗能能力强,后期承载力稳定,可满足地震区相关规范的抗震设防要求。

参考文献

[1] 陈道政,陆宝金. 框架填充墙对结构抗震性能的影响[J]. 建筑结构, 2017,47(24):49
CHEN Daozheng, LU Baojin. Impact of frame infill wall on seismic performance of structure[J]. Building Structure, 2017, 47(24): 49. DOI:10.19701/j.jzjg.2017.24.010

[2] 李英民,韩军,田启祥, 等. 填充墙对框架结构抗震性能的影响[J]. 地震工程与工程振动,2009,29(3):51
LI Yingmin, HAN Jun, TIAN Qixiang, et al. Study on influence of infilled walls on seismic performance of RC frame structures[J]. Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2009,29(3):51. DOI:10.13197/j.eeev.2009.03.016

[3] 李斌,高春彦. 填充墙对矩形钢管混凝土框架结构抗震性能的影响研究[J]. 工程力学,2010,27(增刊1):127
LI Bin, GAO Chunyan. The research on influence of filler walls on the aseismic behavior of concrete-filled rectangular steel tubular frames[J]. Engineering Mechanics, 2010,27(S1):127

[4] 郭子雄,黄群贤,魏荣丰,等. 填充墙不规则布置对 RC 框架抗震性能影响试验研究[J]. 土木工程学报,2010,43(11):46
GUO Zixiong, HUANG Qunxian, WEI Rongfeng, et al. Experimental study of the seismic behavior of irregularly brick infilled RC frames[J]. China Civil Engineering Journal, 2010,43(11):46. DOI:10.15951/j.tmgcxb.2010.11.011

[5] 袁昌鲁,郝际平,钟炜辉. 钢框架 – 填充墙结构的发展与研究现状[J]. 工业建筑,2013,43(增刊1):307
YUAN Changlu, HAO Jiping, ZHONG Weihui. Development and research status of infilled steel frame structure[J]. Industrial Construction,2013,43(S1):307. DOI:10.13204/j.gyjz2013.s1.180

[6] 黄思凝,郭迅,孙得璋,等. 轻质填充墙框架结构抗震性能的振动台试验研究[J]. 工程力学,2014,31(9):182
HUANG Sining, GUO Xun, SUN Dezhang, et al. Shaking table seismic test on performance of frame-structure with lightweight infilled walls[J]. Engineering Mechanics,2014,31(9):182

[7] 黄思凝,石宏彬,郭迅,等. 轻质填充墙对 RC 框架结构抗震性能影响研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2019,27(5):1062
HUANG Sining, SHI Hongbin, GUO Xun, et al. Influence of lightweight infill walls on seismic performance of RC frame structures[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2019,27(5):1062. DOI:10.16058/j.issn.1005 - 0930.2019.05.010

[8] 王波,王静峰,李响,等. 填充 ALC 墙板钢管混凝土框架抗震试验与数值模拟[J]. 土木工程学报,2014,47(增刊 2):57
WANG Bo, WANG Jingfeng, LI Xiang, et al. Experiments and analysis of CFST frames with ALC walls under seismic action[J]. China Civil Engineering Journal, 2014, 47(S2): 57. DOI: 10.15951/j.tmgcxb.2014.s2.009

[9] 曹正罡,杜鹏,房明,等. 轻质填充墙装配式钢框架抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2015,36(8):11
CAO Zhenggang, DU Peng, FANG Ming, et al. Experimental research on seismic performance of fabricated frames with lightweight infill walls[J]. Journal of Building Structures, 2015,36(8):11. DOI:10.14006/j.jzjgxb.2015.08.002

[10] 李国强,王城. 外挂式和内嵌式 ALC 墙板钢框架结构的滞回性能试验研究[J]. 钢结构,2005, 20(1):55
LI Guoqiang, WANG Cheng. The hysteretic behavior of steel frames with ALC out-hung and in-filled walls[J]. Steel Construction, 2005,20(1):55. DOI:10.3969/j.issn.1007 - 9963.2005.01.015

[11] 郝贠洪,李振业,王超,等. 压剪复合作用下镁基盐发泡混凝土墙体力学性能试验研究[J]. 土木工程学报,2018,51(S2):130
HAO Yunhong, LI Zhenye, WANG Chao, et al. Experimental study on mechanical properties of magnesium foamed concrete wall under shear-compression loading[J]. China Civil Engineering Journal, 2018,51(S2):130. DOI:10.15951/j.tmgcxb.2018.s2.020

[12] 闻洋,管丽佩,蔡美峰. 有无填充墙的矩形钢管混凝土框架结构抗震性能对比试验[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2014,30(1):34
WEN Yang, GUAN Lipei, CAI Meifeng. Contrast experiments of seismic behavior for concrete filled RHS frames with and without infilled wall[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2014,30(1):34

[13] HAMBURGER R O, MEYER J D. The performance of steel-frame buildings with infill masonry walls in the 1906 San Francisco earthquake[J]. Earthquake Spectra,2006,22(S2):43. DOI:10.1193/1.2185656

[14] STAVRIDIS A, SHING P B. Finite element modeling of nonlinear behavior of masonry in-filled RC frames[J]. Journal of Structural Engineering, 2010, 136(3):286. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943 - 541X.116

[15] DAFNIS A, KOLSCH H, REIMERDES H G. Arching in masonry walls subjected to earthquake motions[J]. Journal of Structural Engineering, 2002, 128(2):153. DOI:10.1061/(ASCE)0733 - 9445(2002)128:2(153)

[16] 建筑结构抗震试验规程: JGJ/T 101—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015
Specification for seismic test of buildings: JGJ/T 101—2015[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015

[17] 建筑抗震设计规范: GB 50011—2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010
Code for seismic design of buildings: GB 50011—2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010

(编辑　赵丽莹)