

CFST 柱 -RC 环梁节点试验研究

杨芳^{1,2}, 季韬², 戴益华³

(1 福建工程学院土木工程系 福州 350108 2 福州大学土木工程学院 福州 350108 3 福建建工集团总公司 福州 350003)

摘要: 文章对钢管混凝土 (CFST) 柱 - 钢筋混凝土 (RC) 环梁中节点 (JN-1, JN-2) 这 2 个节点在静载和低周反复荷载作用下的试验结果从承载力和变形能力两方面进行分析, 并对环梁节点在破坏形态、延性、耗能能力等方面进行研究。试验研究表明, 静载试验中, 环梁节点在交界处形成塑性铰, 向框架梁延伸; 低周反复荷载试验中, 环梁节点在环梁与框架梁交界处形成塑性铰。环梁节点满足传递梁端剪力和弯矩的要求, 塑性铰在框架梁端, 节点表现出良好的延性, 容易达到“强柱弱梁”的抗震设计目的。

关键词: 环梁节点; 静载; 低周反复荷载; 破坏形态; 延性

中图分类号: TU 375

文献标识码: A

引言

在高层建筑结构中, 采用钢管高强混凝土柱具有满足柱轴压比限值, 减少柱截面尺寸、增大建筑使用面积, 提高结构延性能等优点^[1]。在钢管混凝土柱高层建筑中采用钢筋混凝土楼盖具有很好的经济效益。解决好钢筋混凝土梁与钢管混凝土柱的连接是这种结构体系的关键技术之一^[2]。可采用的连接形式有双梁 - 抗剪环连接、环梁 - 抗剪环连接、双梁 - 环形牛腿连接和环梁 - 环形牛腿连接等^[3-4]。其中, 钢筋混凝土环梁节点是近几年发展起来的一种钢筋混凝土梁和钢管混凝土柱的连接方式。环梁节点是对传统节点的创新, 它具有不影响钢管内混凝土浇注、焊接工作少、操作简单、施工方便, 工期短等优点。文献 [5] 设计制作了两个钢管混凝土 (CFST) 柱 - 钢筋混凝土 (RC) 环梁中节点 (简称环梁节点, 节点试件编号为 JN-1, JN-2) (JN-1 和 JN-2 是相同配筋、截面尺寸和材料强度的节点试件), 对环梁节点分别进行了静载试验和低周反复荷载试验, 其中 JN-1 进行静载试验, JN-2 进行低周反复荷载试验。本文将对环梁节点在静载试验和低周反复荷载作用下的试验结果从承载力和变形能力两方面进行分析, 并对环梁节点在破坏形态、延性、耗能能力等方面进行研究, 为这

种结构体系在今后的工程应用奠定一些基础。

1 静载试验和低周反复荷载试验结果比较

静载试验柱顶用加载能力为 600kN 的液压千斤顶; 框架梁自由端用加载能力为 1000kN、1000kN 的液压千斤顶并联安装以保证同步加载, 用液压千斤顶在每一框架梁自由端加荷, 同时在柱顶施加竖向荷载起稳定作用。试验过程中, 柱顶保持 550kN 的竖向荷载 (轴压比 0.091), 梁端荷载从 0 开始分级加载, 全部过程由荷载控制, 每级加荷步长为 5kN。在每一荷载等级时, 持荷 2 到 10 分钟, 观察试件裂缝开展。在某一梁肢达到破坏荷载后, 将油压减为零, 切断该梁肢上千斤顶油路继续进行另一梁肢的试验, 油压从该梁肢破坏前的等级开始逐级增加^[6]。试验过程中, 位移计和应变片的数据采集方案为手动采集。

图 1 为 JN-1 静载试验加载装置图及尺寸。

低周反复荷载试验采取柱端施加水平低周反复荷载方案。试验装置在柱底模拟固定铰支座, 柱顶采用可水平移动的 60 吨油压千斤顶施加轴向压力。梁反弯点处用上下两个可滚动的钢轮夹住, 使梁端在反弯点处只承受剪力, 梁在柱顶水平位移作用下可左右移动, 不能上下移动。柱顶水平低周反复荷载由美国 MTS 电液伺服系统作动器施加, 作动器额定加载能力为 ± 500 kN,

收稿日期: 2010-02-04

基金项目: 福建省自然科学基金计划项目资助 (2006J0156)

作者简介: 杨芳 (1972-), 女, 福建福州人, 讲师, 博士生, 主要从事建筑工程减隔震方面的研究。http://www.cnki.net

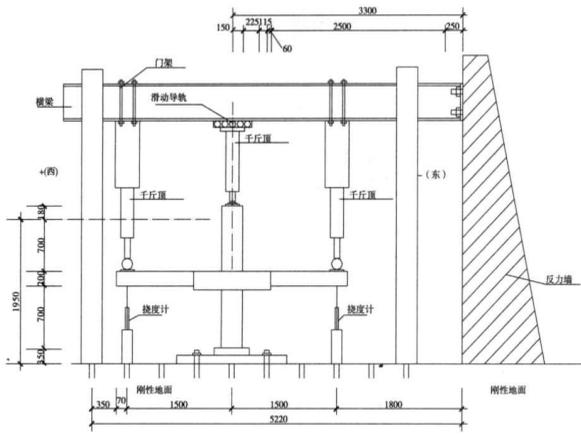
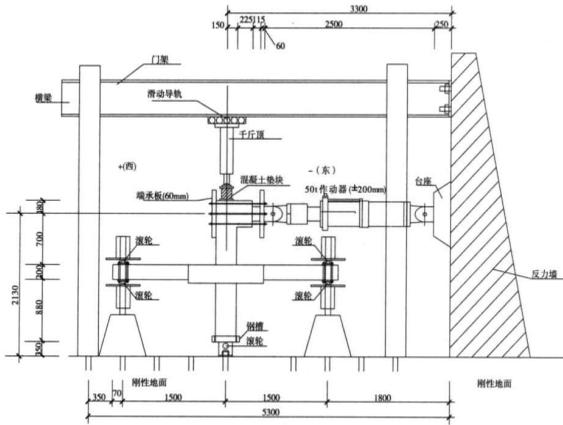


图 1 静载试验加载装置图及尺寸

最大行程为 ±250mm。作动器往西移动为正向加载,往东移动为负向加载。钢筋应变采用 MP 应变采集系统采集。图 2为低周反复荷载试验加载装置图及尺寸。



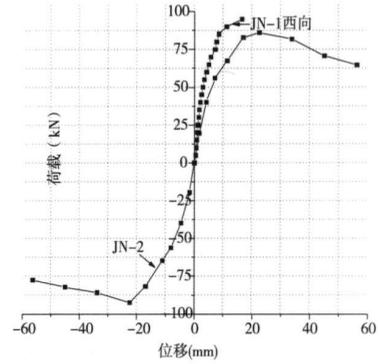
注: 左为东向, 右为西向

图 2 低周反复荷载试验加载装置图及尺寸 (mm)

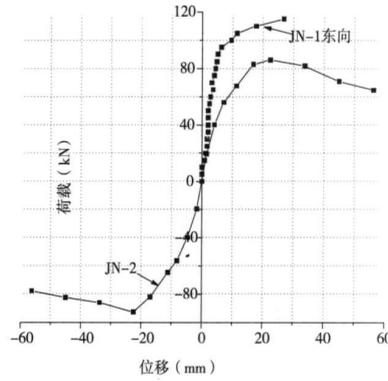
图 3为 JN-1和 JN-2静载试验和低周反复荷载试验下荷载-位移曲线比较图, JN-2柱端施加的水平荷载换算成框架梁自由端施加的荷载。从图 3中可以看出, 静载试验的承载力高于低周反复荷载试验的承载力。

因为静载试验给结构施加静力荷载, 测定结构的工作性能, 确定结构变形、内力、承载能力等变化规律, 施加在结构上的荷载不引起结构动力反应 (如惯性力、加速度等); 低周反复荷载试验给试件施加低周反复作用的力或位移, 来模拟地震时结构的作用, 并评定结构的抗震性能和能力^[7]。施加在结构上的反复荷载使结构不断劣化。静载试验条件较低周反复荷载试验对试件的破坏程度来得小, 所以静载试验的承载力高于低周反复荷载试验的承载力。

由图 3可知, 对于环梁节点, 达到峰值荷载时, JN-



(a) JN-1 (西向) 与 JN-2 的荷载-位移曲线比较图



(b) JN-1 (东向) 与 JN-2 的荷载-位移曲线比较

图 3 JN-1 与 JN-2 的荷载-位移曲线比较图

1 与 JN-2 两者的变形能力差不多。

2 环梁节点试验结果比较

2.1 破坏形态

2.1.1 静载下的破坏形态

静载试验条件下节点的抗弯能力和变形能力与环梁混凝土强度、截面尺寸、配筋量、节点形式、楼板、环梁宽度与外径比等因素有关; 环梁的环向钢筋和箍筋对传递框架梁端的弯矩及纵筋的锚固起重要作用, 配箍不足可能导致框架梁钢筋锚固失效; 环梁环筋对传递框架梁弯矩起重要作用, 配筋不足可能导致环梁截面开裂较大; 框架梁的分布位置对节点控制截面内力影响较小, 这有利于环梁节点与多根任意角度的框架梁连接^[8]。

静载试验条件下节点的破坏形态和框架梁纵筋与环梁环筋的配筋量比值有关, 环梁配筋量相对较大时, 节点破坏主要发生在框架梁端与环梁交接处, 以框架梁破坏为主, 环梁配筋量相对较小时, 节点破坏主要发生在框架梁端的环梁内, 在静载作用下可能形成两条主要裂缝; 合理的截面尺寸和配筋可以使破坏发生在环梁范围以外的框架梁端, 实现“强节点、弱构件”的抗震设计概念^[8]。

由图 3可知, 对于环梁节点, 达到峰值荷载时, JN-1 在交界处形成塑性铰, 向框架梁延伸; 从 JN-

-1 的钢筋应变^[5]分析可知, JN-1 框架梁纵筋先屈服, 这也说明了塑性铰的位置; 最后破坏形态的裂缝形态中, JN-1 以弯剪裂缝为主。

由图 3 可知, JN-1 西向极限荷载为 95 kN, 东向极限荷载为 115 kN。试件静载试验的荷载-位移曲线中, 最大荷载附近的平台段比较大, 试验中因框架梁自由端力加不上去而停止试验, 显示出较好的延性。根据压力机的表盘读出的荷载等级, 在达到极限荷载的三分之二时, 框架梁与环梁交界处已出现明显的裂缝, 破坏前预兆较为明显。节点破坏主要发生在框架梁与环梁交界处, 框架梁及环梁的纵筋在破坏前已部分屈服, 环梁及框架梁的破坏都为延性破坏。试件的极限承载力接近或超过设计荷载的 200% (设计荷载为 55 kN), 这说明试件承载力设计满足要求, 并具有较大的抗弯承载潜力。

从 JN-1 静载试验的荷载-位移曲线可以看出, JN-1 具有较好的变形能力。这是因为 JN-1 在交界处形成塑性铰。

2.1.2 低周反复荷载下的破坏形态

低周反复荷载试验条件下节点的破坏形态可以归结为两类: 框架梁端形成塑性铰和环梁形成塑性铰。试件发生哪种破坏类型与框架梁尺寸, 环梁尺寸, 环梁箍筋以及环梁环筋与框架梁纵筋的相对配筋量有关, 即与环梁和框架梁的相对承载力有关。

JN-2 在环梁与框架梁交界处形成塑性铰。环梁截面宽度和高度 (主要是高度) 以及环筋和箍筋配筋均较大, 框架梁端出现竖向弯曲裂缝, 受拉钢筋屈服, 框架梁端形成塑性铰, 框架梁底部混凝土压碎, 而环梁裂缝很少;

表 1 分别从塑性铰形成位置、混凝土剥落情况、框架梁裂缝类型及环梁裂缝类型这四个方面对环梁节点在静载和低周反复荷载试验条件下的破坏形态进行了比较。

表 1 JN-1、JN-2 节点试件破坏形态比较

	静载试验	低周反复荷载试验
塑性铰形成位置	在环梁与框架梁交界处向框架梁延伸	环梁与框架梁交界处
混凝土剥落情况	环梁与框架梁底部交界处混凝土大片剥落	环梁底、环梁左侧与框架梁底部交界处混凝土部分剥落
框架梁裂缝类型	弯剪裂缝	交叉裂缝
环梁裂缝类型	侧面有少数斜裂缝	侧面有少数斜裂缝

从 JN 的静载试验和低周反复荷载试验的破坏形态可以得出以下两点结论:

(1) 静载试验和低周反复荷载试验中, 斜裂缝均从

交界处延伸到环梁中。

(2) JN-2 的塑性铰在环梁与框架梁交界处, 试件的主要耗能机制是框架梁端的塑性变形; 环梁底、环梁左侧与框架梁底部交界处混凝土部分剥落。

2.2 等效粘滞阻尼系数

试验结果^[5]表明, 环梁节点可以实现“强节点, 弱构件”的抗震设计概念, 塑性铰在环梁与框架梁交界处, 环梁节点有比较大的变形能力和良好的滞回特性; 由于破坏始于框架梁或环梁的纵向钢筋的屈服, 试件的耗能能力是比较好的。

JN-2 的等效粘滞阻尼系数^[5]随位移的增加而增加, 这是因为节点屈服后, 节点进入弹塑性状态, 因此所耗散的能量也越多, 此时滞回环随柱端水平位移的加大而更趋饱满。图 4 为 JN-2 节点试件的柱端荷载-位移滞回曲线。

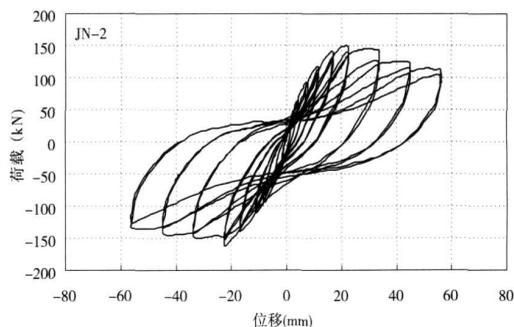


图 4 JN-2 节点试件的柱端荷载-位移滞回曲线

由图 4 可知, JN-2 的滞回曲线比较丰满且稳定, 这说明环梁节点的滞回曲线基本上不出现捏缩现象, 滞回环所包围的面积大, 抗震性能较好。

2.3 延性系数

反复荷载作用下钢筋混凝土结构或试件的延性, 反映了结构或试件进入破坏荷载阶段后, 在其承载力无显著降低的情况下的塑性变形能力。在抗震设计中, 延性和强度占有同等重要的地位, 它是评价结构或试件抗震性能优劣的一个重要指标。结构的延性越大, 表示其耗散地震能量和承受非弹性变形的能力越强, 即其抗震性能越好。

本文采用位移延性系数^[5]来反映试件的延性。试验结果^[5]表明, 环梁节点的延性良好, JN-2 的延性系数为 4 满足抗震要求。

3 结 论

(1) 静载试验的承载力高于低周反复荷载试验的承载力; 对于环梁节点, 达到峰值荷载时, JN-1 与 JN-2 两者的变形能力差不多。

(2)静载试验条件下, N-1在交界处形成塑性铰, 向框架梁延伸; 从 N-1的钢筋应变分析可知, N-1 框架梁纵筋先屈服, 这也说明了塑性铰的位置;

(3)低周反复荷载试验条件下, N-2在环梁与框架梁交界处形成塑性铰, 由于环梁截面宽度和高度(主要是高度)以及环筋和箍筋配筋均较大, 框架梁端出现竖向弯曲裂缝, 受拉钢筋屈服, 框架梁端形成塑性铰, 框架梁底部混凝土压碎, 而环梁裂缝很少。

(4) N-2的滞回曲线比较丰满且稳定, 这说明环梁节点的滞回曲线基本上不出现捏缩现象, 滞回曲线饱满, 滞回环所包围的面积大, 抗震性能较好。

(5)环梁节点满足传递梁端剪力和弯矩的要求, 塑性铰在框架梁端, 节点表现出良好的延性, 容易达到“强柱弱梁”的抗震设计目的。

参 考 文 献:

- [1] 廖旺青. 钢管混凝土柱在民用建筑中的应用 [J]. 国外建材科技, 2006 26(4): 135-137.
- [2] 高力人, 方鄂华, 钱家茹. 高层建筑结构概念设计 [M]. 北京: 中国计划出版社, 2005
- [3] CECS28-90钢管混凝土结构设计与施工规程 [S].
- [4] DBJ13-51-2003 钢管混凝土结构技术规程 [S].
- [5] 杨芳. 钢管混凝土柱-钢筋混凝土环扁梁中节点抗震性能的研究 [D]. 福州大学土木工程学院, 2007.
- [6] 宋欣. 钢管混凝土柱环梁节点设计方法研究 [D]. 华南理工大学, 2000
- [7] 王天稳. 土木工程结构试验 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2002
- [8] 钱稼茹, 周栋梁, 方小丹. 钢管混凝土柱-RC环梁节点及其应用 [J]. 建筑结构, 2003 33(9): 60-62, 72

Experimental Research of Concrete Filled Steel Tubular Column-Reinforced Concrete Ring Beam Interior Joints

YANG Fang^{1,2}, JI Tao¹, DAI Yi-hua³

(1. Department of Civil Engineering Fujian University of Technology Fuzhou 350108, China 2. College of Civil Engineering Fuzhou University Fuzhou 350108, China 3. Fujian Construction Engineering Group Fuzhou 350003, China)

Abstract From the experimental results of the two concrete filled steel tubular column (CFST), which reinforced concrete (RC) ring beam interior joints (N-1 and N-2) under static loads and quasi-static cyclic lateral loads, two aspects of ring beam joints on loading capacity and deformation capacity were analysed, the other aspects of ring beam joints on destroyed form, ductility, and energy dissipation, etc were also investigated. The experimental research indicated that in static load tests, the plastic hinges of ring beam joints are formed at the interfaces of frame beams and ring beams, and extended into the frame beams; in quasi-static cyclic lateral load tests, the plastic hinges of ring beam joints are formed at the interfaces of frame beams and ring beams. Ring beam joints can meet the requirements of transferring the shears and moments of the frame beams to concrete filled steel tubular columns. The plastic hinges are formed at the ends of frame beams. The kind of joints has good ductility. The earthquake resistant design concept of “strong column and weak beam” can be achieved.

Key words ring beam joints; static loading; quasi-static cyclic lateral loading; destroyed form; ductility

(上接第 126 页)

Henan Expressway Quality and Safety Control

YANG Cheng-xue, YANG Wen-li

(Henan Expressway Development Co. Ltd. Zhengzhou 450000, China)

Abstract While great efforts to develop the highway in Henan Province, priority was given to quality control and safety assurance. We take various measures to continuously improve project quality, ensure safety in construction. As a result, a “zero accident” record in three consecutive years was achieved.

Key words highway; quality; safety; control