

文章编号:1673-9469(2012)03-0015-03

隔板贯通式节点抗震性能试验研究

李自林,朱少辉

(天津城市建设学院 土木工程系,天津 300384)

摘要:为了研究方钢管混凝土柱与钢梁连接的隔板贯通式节点的抗震性能,设计了一个低周反复荷载作用下的T字形足尺隔板贯通式梁柱节点试件的拟静力试验。通过研究拟静力试验的滞回曲线来分析研究它的耗能能力。并分析了试件的破坏过程及破坏特征,对节点的延性、能量耗散等抗震性能指标进行了深入的研究,采用ANSYS程序对它进行了有限元分析,探讨了试件的隔板厚度,核心混凝土强度等参数对节点抗震性能的影响。通过研究得出隔板贯通式节点有较高的承载力和较好的延性,较强的耗能能力和抗震性能。

关键词:方钢管混凝土柱;隔板贯通式节点;拟静力试验;滞回曲线;抗震性能

中图分类号:TU375.4

文献标识码:A

Study on the seismic performance of the connections with trough diaphragms

LI Zi-lin, ZHU Shao-hui

(School of Civil Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to investigate the seismic performance of diaphragm-through joint between concrete-filled square steel tubular column and steel beam, a quasi-static experiment under low reversed cyclic load of one full-size T-shaped specimen of diaphragm through style beam-column joints was designed. With the hysteretic hoops acquired from the experiment, the skeleton curves of specimen and the equivalent viscosity coefficient, with which the energy dissipation of the joint may be weighted, were calculated. The failure process and feature of the specimen were described and ductility, energy dissipation were analyzed. By using ANSYS software, this paper discussed the influence of the seismic performance by the thickness of protrusion of the diaphragm and the strength of the concrete core. Based on above all, we can get a conclusion that the diaphragm-through style beam-column joint have a higher bearing capacity and good ductility, energy dissipation capacity and has a strong seismic performance.

Key words: filled square steel tubular stub columns; diaphragm-through style beam-column joint; quasi-static experiment; hysteretic hoops; seismic capability

钢框架结构体系中,方钢管混凝土柱被运用的越来越广泛,在钢管柱中填入混凝土,可以有效的利用两种材料各自的特性,使结构的承载力和延性都得到较大的提高。钢管混凝土柱和钢梁的连接有柱贯通式、梁贯通式和隔板贯通式三种形式。由于隔板贯通的连接方式节点形式简单,施工方便,非常适用于多层轻钢结构的方管柱与钢

梁的刚性连接节点上。但该节点设计并不能完全符合我国现行的有关规范要求,为了保证结构设计上的安全可靠,有必要对其抗震性能进行试验研究和理论分析。目前隔板贯通节点的试验研究主要集中在日本^[1-3],国内学者虽然对隔板贯通节点也进行了一些研究^[4-8],但对隔板贯通式连接抗震性能的认识还不是很清楚,有待进一步研

收稿日期:2012-03-13

基金项目:天津市自然科学基金重点资助项目(08JCZDJC18300)

作者简介:李自林(1953-)男,河北成安人,教授,从事结构振动与稳定的研究。

究。本文设计了一个方钢管混凝土柱-H型钢梁隔板贯通节点试件进行了低周反复荷载试验,重点研究方钢管柱钢梁隔板贯通式节点在低周反复荷载作用下的抗震性能。

1 节点拟静力试验方案

为了更好地模拟工程中此隔板贯通节点的受力情况,本试验采用足尺模型进行拟静力试验,对隔板贯通式节点的破坏过程及破坏形式和滞回性能等进行了分析。

1.1 试验构件

进行试验的节点试件为钢管混凝土柱与H型钢梁相连。钢材均为Q345B,钢管采用箱形截面:500×500×36×36 mm,管内混凝土设计标号C60,H型钢梁截面:500×350×18×36 mm。模拟施工现场灌注振捣,节点试件见图1。

JD-1采用隔板贯通节点。其中:JD-1的隔板厚40mm,与H型钢梁翼缘的连接采用坡口对接焊缝连接,腹板与焊于柱上的竖向钢板通过两侧连接板,采用M22高强螺栓连接,在实验室模拟施工现场条件完成全部连接,材料特性见表1。

1.2 试验加载方案

本试验主要考察节点抗震性能以及节点的破

坏形式,采用柱端加载方式。根据构件尺寸和试验室条件,试件采用“立柱横梁”。即将矩形钢管柱立放,一端和底座用销轴相连,另一端为加载点,与千斤顶连接,以此铰接边界条件模拟柱中反弯点。此时构件成“卜”摆放形式,梁自由端与刚性杆连接。

根据JGJ101-96《建筑抗震试验方法规程》,采用位移控制加载方法。试验的加载程序分为预加载和正式加载两个阶段。正式加载前,对试件进行预加载,以检验全部试验加载装置的可靠性,检验全部测试仪器工作是否正常,检查现场组织工作及现场人员的工作情况。对每个试件预加低周循环荷载,荷载最大值控制在钢梁屈服荷载的20%,使构件处于弹性阶段,预加载分为0.00375rad和0.005rad两级层间位移角控制,每级循环一次。

预加载完成后,对节点进行正式加载。正式加载过程中,柱顶位移分级加载控制中选取柱层间位移转角为控制位移值。层间位移角为0.00375rad、0.005rad、0.0075rad时,每级循环往复加载6次;在第4级层间位移角为0.01rad时循环往复加载4次;在层间位移角为0.015rad、0.02rad、0.03rad、0.04rad时循环往复加载2次;此位移增量为0.01rad,且每级循环加载两次,直至试件破坏(如梁端翼缘出现破坏或焊缝发生破坏)停止加载。

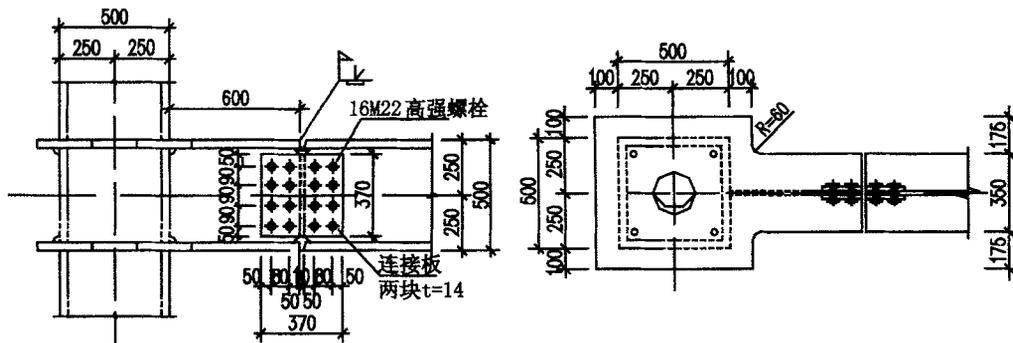


图1 试件节点图(mm)

Fig.1 Detail drawing of joint specimen

表1 试件材料特性试验结果

Tab.1 The results of testing of material

材料类型	屈服强度 f_y/MPa	屈服应变 $\delta_y/10^{-3}$	极限强度 $f_u/\text{N}/\text{mm}^2$	极限应变 δ_u	弹性模量 E/MPa
钢管(35mm)	397.3	2.03	548.9	0.118	1.96
隔板(40mm)	418.2	1.79	559.6	0.136	2.33
钢梁	398.9	1.95	542.6	0.163	2.05

2 节点试验现象及破坏过程

隔板贯通式节点的破坏通常有两种形式,一种是梁翼缘被拉断,一种是梁翼缘板与隔板连接处附件的隔板被拉断。当节点破坏发生在梁翼缘处时,随着荷载的不断增长,梁翼缘发生颈缩现象直至被拉断,而构件的其它位置变化甚微。当节点破坏发生在隔板时,隔板在与梁连接处附近首先出现裂缝,同时伴随柱壁的微微突起,随着荷载逐级增加,裂缝不断扩散,直至最终破坏。

节点试件在加载初期,位移和荷载呈线性关系。在层间位移角为2%的第2循环正向加载最大时,梁上翼缘受压,柱子略显弯曲。在层间位移角为3%的第1循环反向加载至最大位移时,下翼缘与隔板焊缝明显错开。此后,当加载至层间位移角为3%的第1循环反向最大位移时,梁下翼缘与隔板在焊缝处有明显错开,并伴随有响声。加载至层间位移角为3%的第2循环正向位移最大时,梁的上翼缘与腹板焊接处焊缝出现细微裂缝,有较大的响声。加载至层间位移角为4%的第1循环正向位移至最大过程中,梁的上翼缘与腹板焊接处裂缝越来越明显。

3 试验结果分析

3.1 滞回曲线

滞回曲线是指在反复作用下结构的荷载-变形曲线,它能够反映结构或构件在反复受力过程中的变形特征、刚度退化及能量消耗。滞回曲线是结构抗震性能的综合体现,也是进行结构抗震弹塑性动力分析的主要依据。该试件柱端荷载-位移滞回曲线(如图2)所示,由图可见:在加载初期变形与荷载呈线性关系,随着荷载的不断增长,滞回曲线渐渐由线性趋向于饱满,在每一次的加载过程中,曲线的斜率变化不是很明显,曲线的斜率随反复荷载加卸载次数而略有减小,总的来说试件有较为饱满的滞回性能,刚度退化不是很明显,也满足抗震性能的要求。该节点试件的滞回曲线比较的饱满,表明其有良好的耗能能力。

结构在强烈地震作用下,仅仅依靠强度、延性来衡量构件抵抗地震的能力是不够的,关键是要看结构是否有大量地吸收地震时释放的能量的能力,反映在结构的滞回曲线上,主要是滞回环的饱满程度。该试件在断裂发生前滞回曲线均很饱

满,就耗能能力而言,试件抗震性能表现良好。

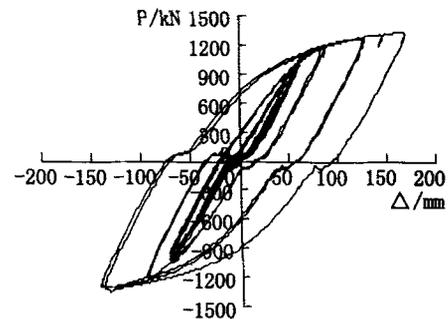


图2 荷载-位移滞回曲线

Fig. 2 Hysteretic hoops of specimens

3.2 延性指标

结构延性是指整个结构体系承受变形的能力,多用位移表示。对一个结构而言,弹性状态是指外荷载与结构位移成线性关系的状态,即去除荷载后,位移能够恢复到原来的状态,当结构中某一截面屈服后,即存在着不可消失的塑性变形。荷载与位移将呈现非线性关系,荷载增加很少而位移迅速增加,可认为结构屈服,结构的延性常常用顶点位移延性比表示,即 $\mu = \Delta u / \Delta y$ 。

式中 Δu - 极限位移, Δy - 屈服位移。

对于该节点 $\mu = \Delta u / \Delta y = 169.2 \text{ mm} / 62.4 \text{ mm} = 2.71$ 。由此结果可见,相对于混凝土结构,钢管混凝土具有更好的延性,表现出了更好的抗震性能。

4 影响节点承载力的参数分析

为了深入了解隔板贯通式节点的动力特性和抗震性能,选取隔板厚度和核心混凝土强度两个参数,运用有限元软件建立模型进行分析,以节点试件为基本模型,在保持其他条件不变的前提下,依次选取不同的隔板厚度和核心混凝土强度。经ANSYS有限元软件分析,分别得到两种不同参数下的试件的滞回曲线和米塞斯屈服应力图,经对比分析可知:不同的隔板厚度对节点的滞回曲线形状影响较小,说明其对节点耗能能力无显著影响,由米塞斯屈服应力云图可以看出随着隔板厚度的增加,隔板上的应力逐步扩散且向梁发展,使得隔板应力集中的情况得到缓解,避免了隔板先于钢梁翼缘破坏,因此在实际工程的设计时宜使隔板厚度不小于梁翼缘的厚度。混凝土强度对节点的滞回曲线和米塞斯应力云图的影响较小,说明核心混凝土强度对节点耗能能力、动力特性和抗震性能影响较小。(下转第22页)

变形的节点为 582, 应力发生方向在 135° 左右, 发生最大应力时刻为 7.61 s, 和发生水平最大位移时间相同; 竖直地震波作用下接头各节点的竖直位移基本相同, 数值均为为 0.0145 m 左右, 发生最大应力时刻为 8.71 s; 通过对比可以得到, 竖直地震作用下洞口节点的竖直位移远远大于水平地震产生的位移, 水平作用可以忽略不计。

5 结论

1) 水平方向和竖直方向地震波的输入对地铁车站接头结构产生的最大主应力不同, 水平地震作用下洞口单元的最大主应力略大于竖直地震作用下的主应力, 两个方向的地震波都会控制接头截面的主应力大小, 但是产生的最大数值和节点位置相差不多。

2) 水平地震作用下洞口节点的水平变形是竖直地震作用下变形的 10 倍, 所以水平地震波对接头处产生水平变形的影响起着主导作用, 洞口 - 45° 节点的水平位移变形最严重; 竖直地震作用下洞口节点的竖直位移远远大于水平地震产生的位移, 所以竖直地震波主要决定接头处竖直变形, 水平地震作用影响甚微, 洞口处各个节点都需要考虑竖直方向变形的影响。

3) 区间隧道的接头结构在地震作用下, 竖直

方向的位移变形大于水平方向的变形, 所以在地震过程中接头截面将会变形成为以水平方向为长轴, 竖直方向为短轴的椭圆形横断面。

参考文献:

- [1] 蒋英礼, 刘洋. 软土地铁车站接头结构在强地震作用下的响应研究[J]. 铁道建筑, 2010(8): 84-88.
- [2] 杨林德, 李文艺, 祝龙根, 等. 上海市地铁区间隧道和车站的地震灾害防治对策研究[R]. 上海: 同济大学上海防灾救灾研究所, 1999.
- [3] 孟文清, 秦志伟, 张亚鹏, 等. 基于 ANSYS 的地铁车站深基坑支护设计[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2010, 27(4): 5-8.
- [4] 刘洪海, 黄永红. 城市地铁施工沉降的数值模拟研究[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2012, 25(1): 80-82.
- [5] 杨林德, 王国波, 郑永来, 等. 地铁车站接头结构振动台试验及地震响应的三维数值模拟[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(12): 1892-1898.
- [6] 吕爱钟, 蒋斌松, 尤春安. 位移反分析有限元网格划分范围的研究[J]. 土木工程学报, 1999, 32(1): 26-30.
- [7] 楼梦麟, 王文剑, 朱彤, 等. 土-结构体系振动台模型试验中土层边界影响问题[J]. 地震工程与工程振动, 2000, 20(4): 30-36.

(责任编辑 马立)

(上接第 17 页)

5 结论

1) 该隔板贯通节点试验得到的滞回曲线较为饱满, 表明该构件有较强的耗能能力和抗震性能。此隔板贯通式节点与相同形式的钢筋混凝土结构相比具有更好的延性和耗能能力, 此节点在地震作用下表现出了更为良好的动力特性和抗震性能。

2) 经 ANSYS 有限元软件模拟分析可知, 隔板厚度及核心混凝土强度对此隔板贯通节点的承载力和抗震性能影响较小。

参考文献:

- [1] MORINO S, KAWAGUCHI J, YASUZAKI C, et al. Behavior of concrete filled steel tubular three-dimensional subassemblies[C]//Proceedings of Composite Construction in Steel and Concrete. Potosi, Mo, 1993: 726-741.
- [2] NAKASHIMA M, SUITA K, MORISAKO K. Test of wel-

ded beam-column subassemblies[J]. Journal of Structural Engineering, 1998, 124(11): 1236-1252.

- [3] NISHIYAMA I, FUJIMOTO T, FUKUMOTO T, et al. Inelastic force-deformation response of joint shear panels in beam column moment connections to concrete-filled tubes[J]. Journal of Structural Engineering, 2004, 130(2): 244-252.
- [4] 李黎明, 陈志华, 李宁. 隔板贯通式梁柱节点抗震性能试验研究[J]. 地震工程与工程振动, 2007, 27(1): 46-53.
- [5] 金刚, 丁洁民, 陈建斌. 矩形钢管混凝土柱-钢梁节点抗震性能试验研究与分析[J]. 建筑结构, 2007, 37(2): 88-93.
- [6] 宗周红, 林于东, 陈慧文, 等. 方钢管混凝土柱与钢梁连接节点的拟静力试验研究[J]. 建筑结构学报, 2005, 26(1): 77-84.
- [7] 陈以一, 李刚, 庄磊, 等. H 型钢梁与钢管柱隔板贯通式连接节点抗震性能试验[J]. 建筑钢结构进展, 2006, 8(1): 23-30.
- [8] 王恒华, 俞晓. H 型钢梁与钢管柱刚性连接节点抗震性能研究[J]. 建筑结构学报, 2010, (增 1): 72-78.

(责任编辑 刘存英)