

# Experimental Research on Load Bearing Capacity of Welded Joints for Composite Beam to Column

Yingchao Li, Shouchao Jiang

College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai  
Email: liyingchao2016@126.com

Received: May 5<sup>th</sup>, 2016; accepted: May 21<sup>st</sup>, 2016; published: May 25<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

An experimental research on load bearing capacity of joints for composite beam to column was carried out. Two specimens were tested under monotonic static loading and cyclic loading, and the load bearing capacity, cyclic performance and failure mode were derived from the test results. It can be concluded that the major failure mode of the joints is the local buckling of the lower steel beam flange and the crush of the compressed concrete. The experimental results can provide some reference for the following research and experiments.

## Keywords

Composite Beam-to-Column Joints, Load Bearing Capacity, Monotonic Static Loading Test, Cyclic Loading Test, Experimental Research

---

# 全焊接组合梁 - 柱节点承载力试验研究

李颖超, 蒋首超

同济大学土木工程学院, 上海  
Email: liyingchao2016@126.com

收稿日期: 2016年5月5日; 录用日期: 2016年5月21日; 发布日期: 2016年5月25日

文章引用: 李颖超, 蒋首超. 全焊接组合梁 - 柱节点承载力试验研究[J]. 土木工程, 2016, 5(3): 86-91.  
<http://dx.doi.org/10.12677/hjce.2016.53012>

## 摘要

为了研究全焊接组合梁-柱节点的承载力, 通过两个中跨全焊接组合梁-柱节点在单调静力作用下和低周往复荷载作用下的破坏试验, 获得了节点承载性能、滞回性能和破坏模式。由试验结果可看出: 节点主要的破坏模式为钢梁下翼缘及腹板局部屈曲和混凝土压溃。本文将介绍主要试验结果, 为后续试验研究提供依据。

## 关键词

组合梁-柱节点, 节点承载力, 单调静力试验, 低周往复荷载, 试验研究

## 1. 引言

钢-混凝土组合结构由于其使用功能好、施工快捷、造价低、性能好等优点, 在实际工程中得到了较为广泛的应用[1]。目前, 在组合梁柱节点中应用最广泛的钢梁与钢柱的连接方式是全焊接连接和栓焊连接, 这两种连接方式在施工安装、经济指标等方面具有很大的优越性。然而, 目前全焊接节点研究较少[2], 因此研究全焊接条件下的组合梁-柱节点的相关性能具有重要意义。

## 2. 试验概况

### 2.1. 试件设计

试验取典型组合框架结构中跨柱反弯点之间的组合体, 采用十字形足尺试件。试件均根据规范中相关规定, 并结合实际工程及试验条件进行设计。节点为全焊接节点, 每个试件由一根焊接 H 型钢柱(240 mm × 240 mm × 12 mm × 14 mm)、两根焊接 H 型钢梁(300 mm × 150 mm × 8 mm × 12 mm)、矩形混凝土板(楼板厚度为 100 mm, 宽 982 mm)组成。试件跨度为 5.63 m, 钢柱高 0.9m。钢筋混凝土板纵向受力钢筋的混凝土保护层厚度为 15 mm。混凝土楼板采用双层配筋, 上、下层纵向受力钢筋均为为  $\square 10@120$ , 横向分布钢筋为  $\phi 6@120$ 。试件中的混凝土板翼缘与钢梁通过栓钉进行连接, 为使组合梁交界面上的抗剪连接件的纵向水平抗剪能力能保证最大正弯矩截面上的抗弯承载力, 即为完全抗剪连接, 采用两排直径为 16mm 的圆柱头焊钉人工焊接于钢梁上翼缘。两个试件的尺寸参数均相同。试件设计及尺寸见图 1。

### 2.2. 试件加载和测量

限于试验加载条件, 采用电液伺服作动器进行加载, 试验的加载及装置如图 2 所示。试件两端简支, 于柱顶作用竖直方向的集中荷载给节点施加弯矩, 柱底为自由端。为了模拟实际使用时中跨节点在竖向荷载作用下处于负弯矩的状态, 加载方向竖直向上。单调静力试验采用荷载控制, 分级进行单调加载直至试件失去承载力。低周往复试验采用先荷载控制, 后位移控制的控制方式。由荷载控制单调加载到设定荷载后, 再由位移控制进行往复加载。位移控制加载方案依据 FEMA461, 2007 规范[3], 及单调静力试验所得到的开裂位移进行制定。设定往复加载的第三级达到静力试验所得到的开裂位移, 加载幅值为  $\Delta$ , 则第一级和第二级分别为  $0.51\Delta$  和  $0.714\Delta$ , 从第四级开始, 后面的每一级加载幅值均为前一级的 1.4 倍, 接近试件破坏时改为 1.3 倍。每级循环 2 圈。

试验主要观测试件的变形能力和承载能力, 量测项目有: 千斤顶施加的荷载, 加载点竖向位移, 节点相对转角及钢梁应变分布等。位移、应变等均为自动采集系统, 每隔 1 秒采集一次。位移布置见图 3。

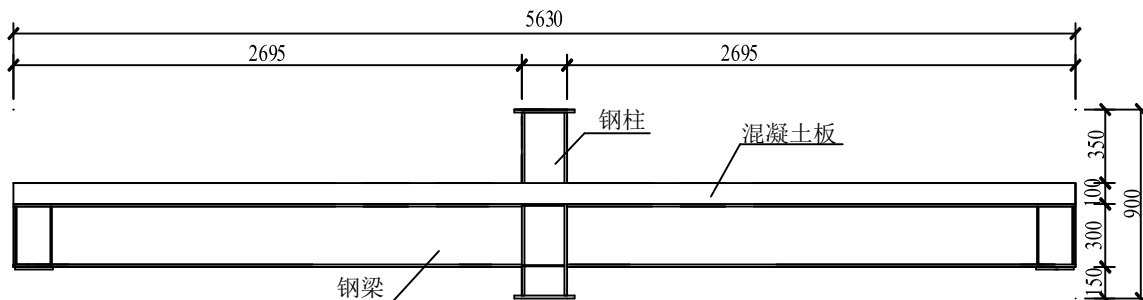


Figure 1. Specimen of composite joint  
图 1. 组合节点试件



Figure 2. Test setup  
图 2. 试验装置图

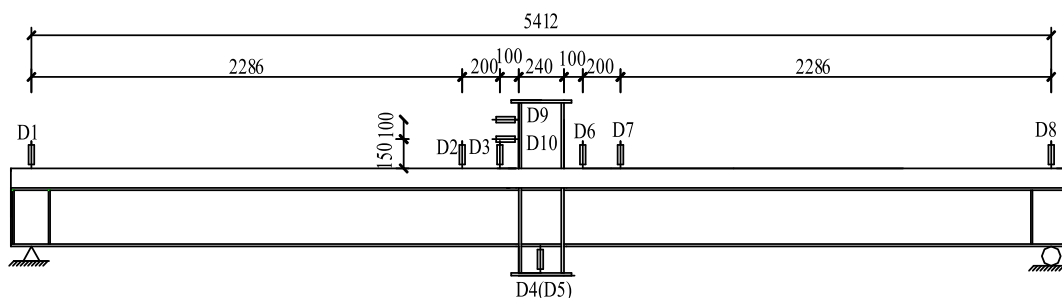


Figure 3. Arrangement of displacement transducers  
图 3. 位移计布置图

### 3. 试验现象与破坏特征

两个试验的主要试验现象如下:

单调静力试验加载方向为单调向上。开始加载后,初期的试验现象主要是混凝土板面裂缝的产生及其扩展,荷载加载到 74 kN 时开始产生裂缝;试件在加载到 300 kN 之前除了裂缝及挠度外,无明显其他现象,在达到 300 kN 时,钢梁下翼缘开始屈曲,之后试件挠度增加迅速,试件很快失去承载能力。试件的主要破坏形态为钢梁下翼缘迅速屈曲,混凝土表面在跨中柱翼缘处形成贯穿大裂缝,挠度增加速度很快,试件失去

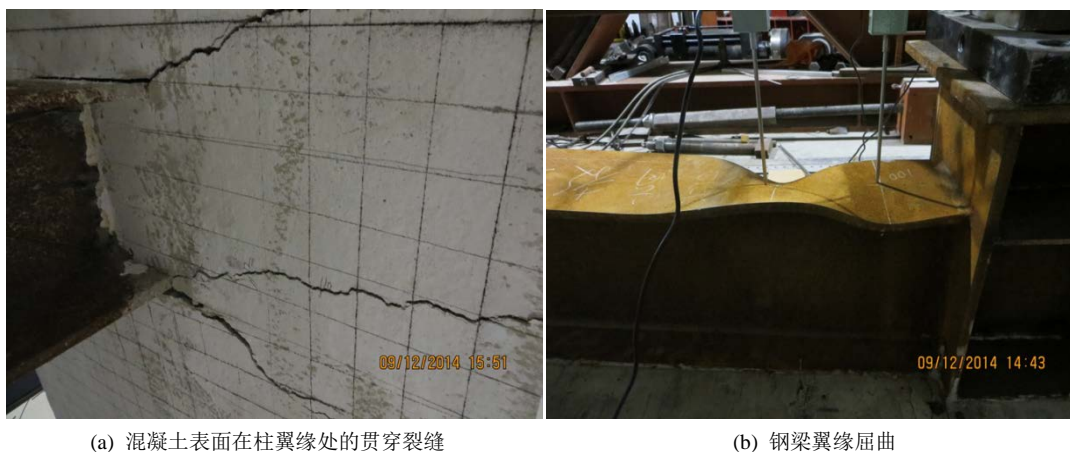
承载力。破坏模式见图 4。

低周往复加载试验的加载方向为先向上, 再向下, 荷载值以向上拉为负, 向下压为正。试件在加载的第 1 圈(-54 kN)开始出现裂缝; 第 23 圈混凝土板裂缝加宽, 形成贯穿大裂缝, 试件出现大挠度大变形; 第 25 圈时钢梁的下翼缘开始屈服, 第 26 圈时混凝土表面大跨中大裂缝处混凝土压碎、剥落, 钢梁腹板、翼缘屈曲, 试件出现刚度退化现象, 施加在试件上的拉力减小; 第 27 圈(-234 kN)时, 试件以跨中的混凝土压溃并大面积剥落, 钢梁腹板、翼缘屈曲的状态破坏。破坏模式见图 5。

## 4. 试验结果分析

### 4.1. 荷载-位移曲线

图 6 给出了试件的跨中荷载 - 位移曲线。可得到试件的单调静力承载力为 316 kN, 这一试验结果与根据材性试验得到的材料强度所计算得到的理论承载力值 304 kN 比较符合, 很好的验证了试验的合理性。低周往复加载试验的极限拉力为 309 kN, 最后一圈的拉力为 240 kN, 最后一圈破坏时的拉力降到极限拉力的 77%, 根据《建筑抗震试验方法规程》[4], 加载至试件极限荷载下降段部分, 并达到最大荷载的 85% 即可判断试件破坏。



(a) 混凝土表面在柱翼缘处的贯穿裂缝

(b) 钢梁翼缘屈曲

Figure 4. Failure modes of the monotonic loading test

图 4. 单调静力试验节点破坏模式



(a) 混凝土压溃, 试件破坏

(b) 钢梁腹板及下翼缘屈曲

Figure 5. Failure modes of the cyclic loading test

图 5. 低周往复加载试验节点破坏模式

## 4.2. 骨架曲线

将节点荷载-位移滞回曲线上同向加载(拉或者压)每一圈的荷载峰值点依次连接后形成包络线,即得到节点往复加载的骨架曲线,见图7。从骨架曲线可说明试件在低周往复荷载作用下经历了弹性、塑性和极限破坏三个阶段,节点承受正弯矩作用时,由于混凝土板的抗压作用,极限承载力和刚度都较承受负弯矩作用时有提高。将低周往复加载试验的骨架曲线中向上施加荷载时的部分与静力试验的节点荷载-位移曲线进行了对比,见图8。从图中可见,往复试验与静力试验的极限拉力值比较接近,试验结果较为吻合。

## 4.3. 弯矩-转角曲线

图9给出了单调静力试验和低周往复试验的节点弯矩-转角曲线。从低周往复试验的滞回曲线可以看出,试件的滞回曲线比较稳定、饱满,说明其耗能能力良好。但是正、负极限弯矩都与其最大转角不对应,且滞回曲线有捏拢现象,即发生了刚度退化,造成此现象的原因是组合节点试件楼板裂缝的开展与闭合[5]和钢梁的疲劳损伤累积等。

单调静力试验与往复加载试验的主要数据结果对比见表1。

## 5. 结论

本文从2个全焊接组合梁柱节点的试验入手,从节点破坏形式、承载能力、滞回性能等方面研究了组合梁-柱节点的承载力及变形性能。试验结论如下:

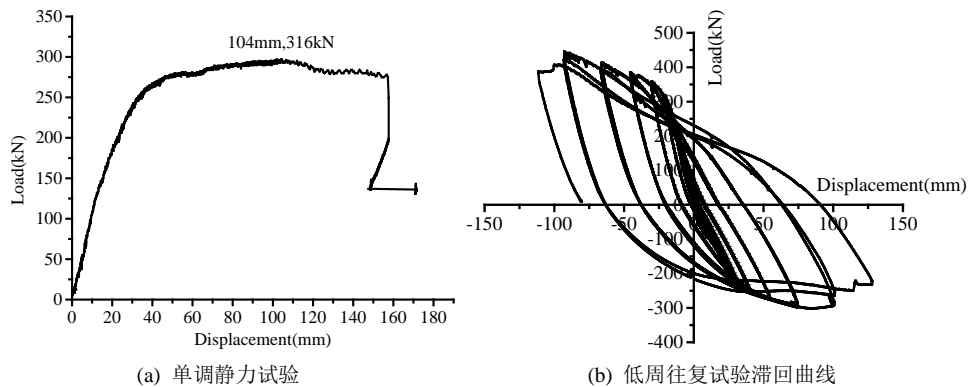


Figure 6. Load-displacement relationship

图6. 荷载-位移曲线

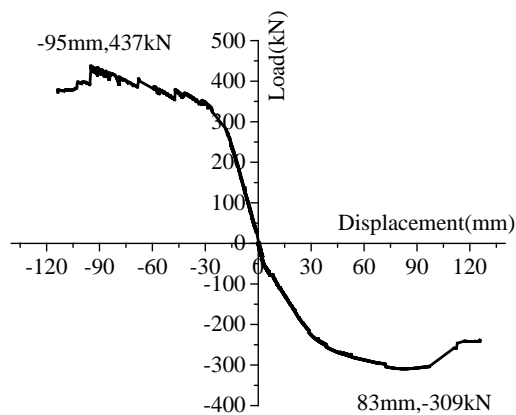


Figure 7. Skeleton curve

图7. 骨架曲线



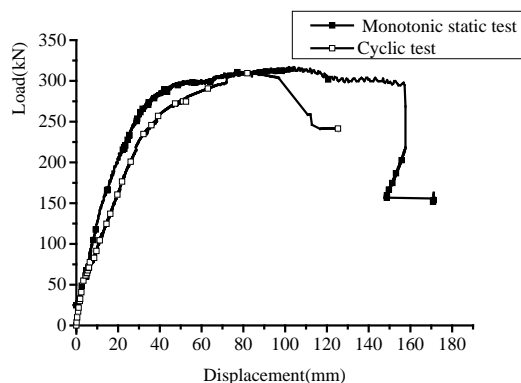


Figure 8. Comparison of load-displacement relationships between the monotonic and cyclic tests

图 8. 单调静力试验与骨架曲线对比

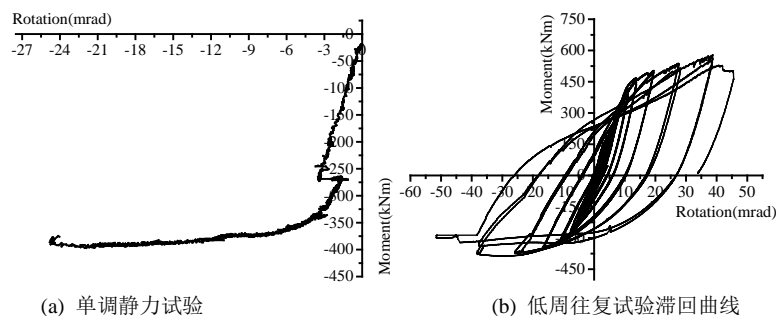


Figure 9. Moment-rotation relationship

图 9. 弯矩 - 转角曲线

Table 1. Main experimental results

表 1. 主要试验结果

	极限荷载(kN)	极限荷载对应位移(mm)	极限负弯矩(kN·m)	极限弯矩对应转角(mrad)
单调静力试验	316	104	397	29.66
低周往复试验	309	83	387	22

(1) 组合节点试件的破坏形态: 跨中有贯穿板面的大裂缝、钢梁下翼缘及腹板有屈曲现象、跨中混凝土压溃等;

(2) 试件在低周往复荷载作用下的弯矩 - 转角滞回曲线比较饱满、稳定, 说明其耗能能力良好;

(3) 由于低周往复荷载作用使试件产生的疲劳损伤累积造成了低周往复作用下的试件承载力及变形能力低于单调静力加载试验的承载力及变形能力。

## 参考文献 (References)

- [1] 胡夏闵, 高华杰. 组合结构在欧洲的新进展[J]. 工业建筑, 2002, 32(6): 72-82.
- [2] 王汉杰, 姚斌, 李娟, 胡军. 梁柱全焊接节点火灾响应特性分析[J]. 火灾科学, 2010, 19(2): 74-81.
- [3] FEMA 461 Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Non-structural Components. Applied Technology Council, Redwood City, 2007.
- [4] JGJ 101-96 建筑抗震试验方法规程[S]. Specification of Testing Methods for Earthquake Resistant Building [S]. 1997.
- [5] 石文龙, 李国强, 肖勇, 叶志明. 半刚性连接梁柱组合节点低周反复荷载试验研究[J]. 建筑结构学报, 2008, 29(5): 57-66.