

文章编号: 1001-4888(2007)01-0013-07

钢框架边节点抗火性能的试验研究^{*}

李晓东¹, 董毓利², 高立堂¹, 王卫永¹, 靳 乐¹

(1. 青岛理工大学 土木工程学院, 山东青岛 266033; 2. 哈尔滨工业大学 土木工程学院, 黑龙江哈尔滨 150090)

摘要: 对 8 个 H 型截面钢框架边节点进行了抗火性能的试验研究。全部火灾试验在自行研制的火灾试验炉内进行, 试验过程表明炉子性能稳定, 使用方便。试验采用足尺试验形式, 钢柱长 3000mm, 钢梁长 1350mm, 钢柱两端铰接, 梁柱节点分为栓焊连接、全焊连接和端板连接。考虑节点形式、是否带加劲肋和端板连接节点的端板厚度三个影响因素。通过试验, 得出了节点的破坏形式和节点转角随温度变化的规律。试验结果表明: 火灾下, 节点破坏的形式和节点的连接方式、是否带加劲肋有关; 加劲肋的存在提高了端板连接节点的极限温度。

关键词: 火灾; 边节点; 转角; 足尺试验

中图分类号: TU391 **文献标识码:** A

0 引言

钢结构具有自重轻、施工快、构件截面积小从而可获得更大的使用面积等优点, 因而在工业与民用建筑中得到了广泛应用。然而, 钢结构抗火性能差早已为人们所熟知, 其强度、弹性模量等力学性能指标在高温下急剧下降, 承载力也随之下降^[1-6]。特别自从美国“9.11”事件以后, 人们对钢结构的抗火性能产生了不少疑问, 以致因过多地使用防火涂料而导致建设费用大大增加, 与使用此种结构的初衷和发挥其优点背道而驰, 因此研究钢结构在火灾下的抗火行为和力学性能变化就显得尤为重要和势在必行。

多年来, 我国所用的防火设计规范基本上是用指令性条文和形式给出的, 这种规范对建筑物的耐火等级和使用性质、内部消防设施的要求逐条做出规定, 而对其火灾时的结构行为等则未予关注。建筑构件的耐火等级主要是根据标准的耐火试验测得, 与其在实际结构中的受力情况、边界条件完全不同, 特别是整体结构对各构件的约束作用, 而构件间的相互作用可以改变结构构件的受力状态, 标准耐火试验难以模拟这些情况。

连接梁柱的钢节点是钢结构中主要组成部分, 节点的好坏直接影响梁柱的受力情况和结构的整体性, 所以研究钢节点的抗火能力、火灾中的行为及破坏形式很有必要。国外曾进行过钢节点火灾反应方面的一些研究^[7-11]。本文以足尺试验形式, 研究了 H 型截面钢框架边节点的抗火性能。

1 试验概况

1.1 加温装置

室内火灾发展一般分为三个阶段: 初期增长阶段, 充分发展阶段, 衰减阶段。其中第二阶段释放热

^{*} 收稿日期: 2006-02-27; 修订日期: 2007-01-08

基金项目: 国家重点基础研究专项经费(973 项目)(2001CB409603); 国家自然科学基金重大国际合作研究项目(50320120156); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金

通讯作者: 李晓东, (1976—), 男, 博士, 副教授, 主要从事建筑结构火灾行为及灾后处理研究, 现在青岛理工大学土木工程学院工作。E-mail: lixiaodong@qtech.edu.cn

量速率很快增大到相当大的值。这一阶段对建筑结构及构件有很大的影响,为此我们自行研制了燃油火灾试验炉模拟火灾充分发展阶段。通过喷嘴将轻柴油雾化,点燃后在炉体内产生高温。炉内温度采用铠装 K 型热电偶测量,图 1 为炉温和时间关系曲线。钢节点试件温度采用自制的 K 型热电偶进行测量,图 2 为钢节点试件温度和时间关系曲线。

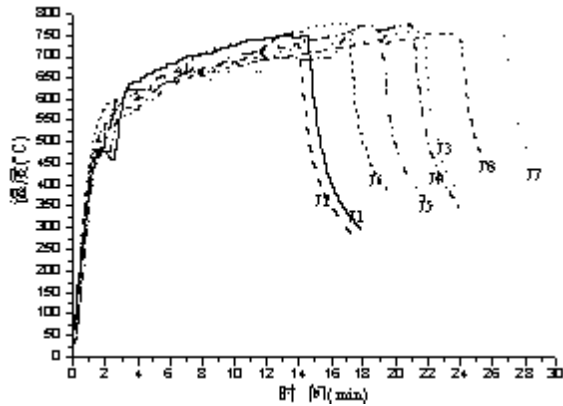


图 1 炉温曲线

Fig. 1 Atmosphere temperature-time curves

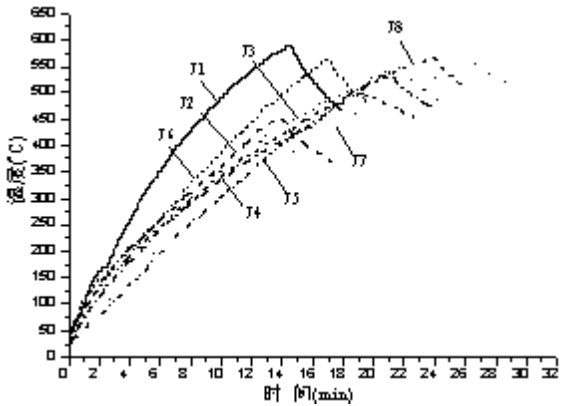


图 2 钢节点试件温度曲线

Fig. 2 Specimen temperature-time curves

1.2 试件情况和试验装置

钢节点试件共计 8 个。采用莱芜钢铁股份有限公司生产的 H 型钢。钢柱采用 H244×175×7×11 规格(钢材的屈服强度为 285MPa,抗拉强度为 420MPa),两端铰支,柱长 3000mm;钢梁采用 H250×125×6×9 规格(钢材的屈服强度为 330MPa,抗拉强度为 415MPa),一端和钢柱连接,一端悬臂,梁长 1350mm。钢节点试件中所用螺栓采用 10.9 级 M22 高强螺栓。钢节点试件具体情况见图 3。

图 4a 是整个试验装置照片。整个钢节点试件除节点部分受火外,其余部分用硅酸铝纤维毡保护而不受火(图 4b)。钢节点在常温下先加载到试验要求荷载,稳定 15 分钟后点火开始试验。由于钢柱、钢梁在火灾下不断变形,所以采用油压千斤顶,通过油泵控制千斤顶加力以满足试验要求。钢节点所受外加荷载见表 1。试验过程中主要测量以下内容:(1)钢节点温度。通过自制的 K 型热电偶进行测量,热电偶分布在节点四周(图 5)。(2)钢节点变形。由于温度很高,差动式位移传感器不能放置在火灾试验炉内,通过和钢柱、钢梁连接的高温瓷管引出测量,并由相邻差动式位移传感器测出的位移差和差动式位移传感器之间距离的比值,计算出相应温度下的转角变化。差动式位移传感器分布位置示意图见图 5。测量所有数据均由惠普数据采集仪 Agilent34970A 采集并通过 RS-232 接口接入计算机中存储。

表 1 试件编号及其基本数据

Tab. 1 Numbering schedule and details of specimens

名 称	编 号	柱施加轴 心荷载(kN)	梁施加荷载 (kN)×力臂(m)	节点处弯距 (kN·m)	说 明
边节点 1	J1	125	30×1.2	36	不带加劲肋的全焊连接
边节点 2	J2	125	30×1.2	36	不带加劲肋的栓焊连接,螺栓采用 10.9 级 高强螺栓
边节点 3	J3	125	30×1.2	36	不带加劲肋的端板连接,端板厚度 16mm, 螺栓采用 10.9 级高强螺栓
边节点 4	J4	125	30×1.2	36	不带加劲肋的端板连接,端板厚度 12mm, 螺栓采用 10.9 级高强螺栓

续表 1

名 称	编 号	柱施加轴心荷载(kN)	梁施加荷载(kN)×力臂(m)	节点处弯距(kN·m)	说 明
边节点 5	J5	125	30×1.2	36	带加劲肋的全焊连接
边节点 6	J6	125	30×1.2	36	带加劲肋的栓焊连接,螺栓采用 10.9 级高强螺栓
边节点 7	J7	125	30×1.2	36	带加劲肋的端板连接,端板厚度 16mm,螺栓采用 10.9 级高强螺栓
边节点 8	J8	125	30×1.2	36	带加劲肋的端板连接,端板厚度 12mm,螺栓采用 10.9 级高强螺栓

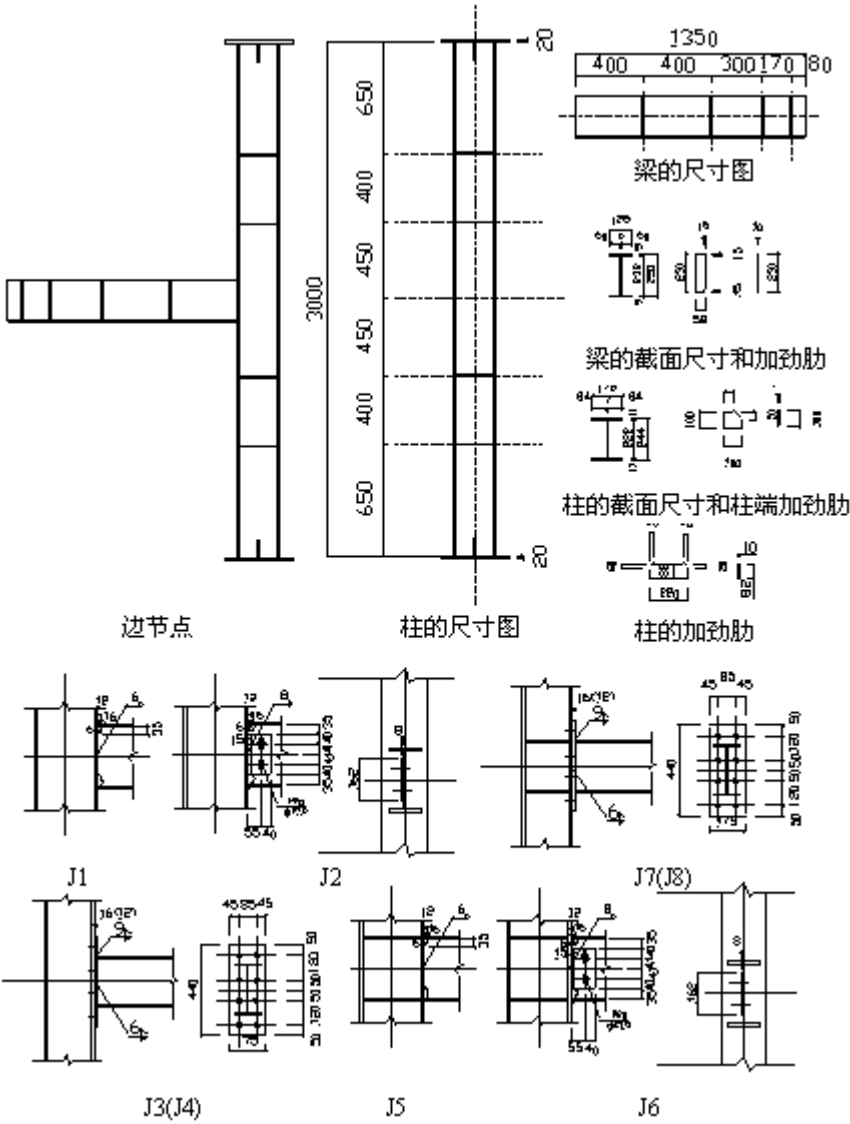


图 3 边节点试件尺寸示意图

Fig. 3 Details of specimens



图 4 试验装置照片

Fig. 4 Test set-up photo

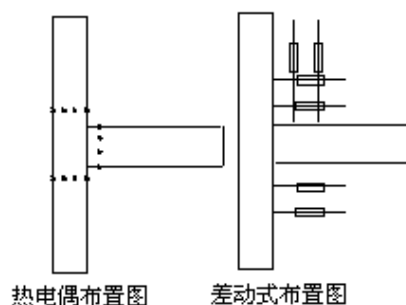


图 5 测点布置示意图

Fig. 5 Measure layout of the specimens

2 试验结果与分析

2.1 试验宏观现象

从图 6 可以看出,边节点试件在火灾试验后,钢柱都有明显的“错位”现象,节点区域为过渡区。



图 6 部分边节点试验后整体照片

Fig. 6 Photos of some exterior joints after fire

从图 7 可以看出,火灾试验后,不同连接方式的边节点局部试验现象有所不同,主要试验现象如下:

- (1) J1 在钢梁下翼缘靠近钢柱翼缘部位有轻微局部屈曲现象;
- (2) J2 钢梁上翼缘和钢柱翼缘之间的对接焊缝拉开;
- (3) J3 在钢梁下翼缘靠近钢梁端板部位有轻微局部屈曲现象,钢梁端板和钢柱翼缘在钢梁上翼缘位置有轻微的分离现象;
- (4) J4 在钢梁下翼缘靠近钢梁端板部位有轻微局部屈曲现象,钢梁端板和钢柱翼缘在钢梁上翼缘位置有轻微的分离现象;
- (5) J5 在钢梁下翼缘靠近钢柱翼缘部位有轻微局部屈曲现象,钢梁上翼缘和钢柱翼缘之间的对接焊缝有一小段裂缝;
- (6) J6 在钢梁下翼缘靠近钢柱翼缘部位有轻微局部屈曲现象;
- (7) J7 在钢梁下翼缘靠近钢梁端板部位有局部屈曲现象,钢梁端板和钢柱翼缘在钢梁上翼缘位置有分离现象;
- (8) J8 在钢梁下翼缘靠近钢梁端板部位有局部屈曲现象,钢梁端板和钢柱翼缘在钢梁上翼缘部位

有明显的分离现象。



图7 边节点试验后局部照片

Fig. 7 Local photos of exterior joints after fire

2.2 加劲肋对边节点抗火性能的影响

从图 8a 可以看出,钢节点 J3 和 J7 随温度增加转角逐渐增大而且变化基本一致。J3 在 470℃ 转角产生明显变化,而 J7 直到 485℃ 转角产生明显变化。

从图 8b 可以看出,钢节点 J4 和 J8 随温度增加转角逐渐增大而且变化相似。J4 在 465℃ 转角产生明显变化,而 J8 直到 515℃ 转角产生明显变化。

所以,加劲肋对端板连接边节点的抗火性能有一定影响。加劲肋的存在提高了端板连接边节点的极限温度。

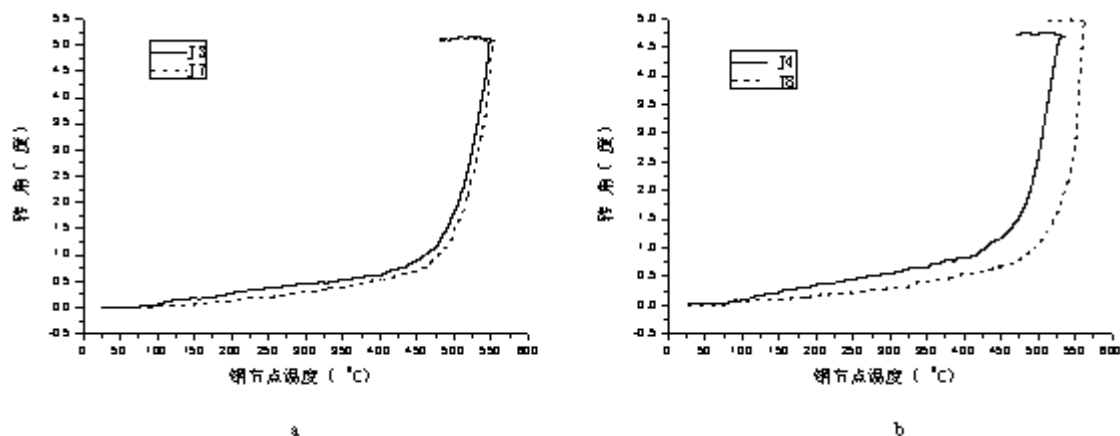


图8 节点转角和温度关系曲线—加劲肋影响

Fig. 8 Temperature-rotation curves for effect of stiffening rib of web

2.3 连接方式对边节点抗火性能的影响

从图 9a、b 可以看出,在火灾作用下,栓焊、全焊连接(刚性连接)和端板连接(半刚性连接)转角随温度的变化过程基本一致(除 J2、J5,原因钢梁上翼缘和钢柱翼缘连接的对接焊缝拉开)。所以,连接方式(栓焊、全焊、端板连接)对边节点抗火性能没有明显影响。

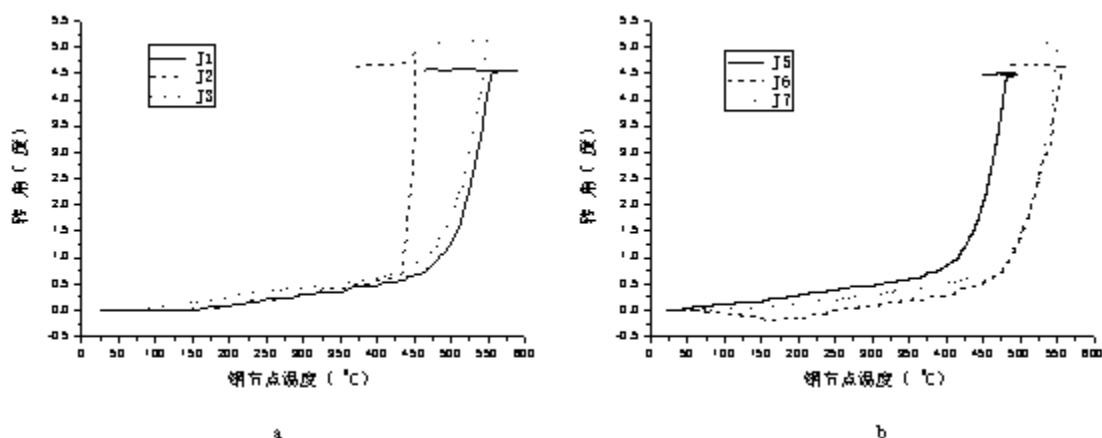


图 9 节点转角和温度关系曲线—连接方式影响

Fig. 9 Temperature-rotation curves for different connection method

2.4 端板厚度对端板连接边节点抗火性能的影响

从图 7 可以看出, J3、J4、J7、J8 试验现象基本一致, 只是 J4、J8 由于端板厚度较薄, 节点转动刚度较小, 所以试验现象比 J3、J7 更明显。

从图 10 可以看出, J3 和 J4, J7 和 J8 转角随温度变化一致。所以, 对于端板连接边节点, 端板厚度对边节点的抗火性能没有明显影响。

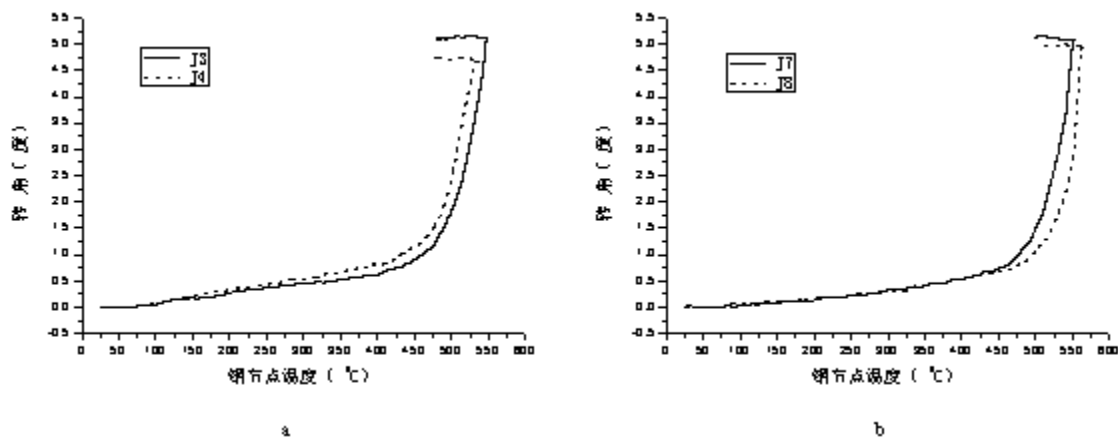


图 10 节点转角和温度关系曲线—端板厚度影响

Fig. 10 Temperature-rotation curves for different thickness of end-plate

3 结论

本文对 8 个边节点进行了抗火性能的足尺试验研究, 通过分析得到以下结论:

(1) 火灾下, 边节点破坏的宏观现象和边节点的连接方式、是否带加劲肋有关。加筋肋的存在使得端板连接边节点在火灾后出现以下现象: 钢梁下翼缘靠近钢梁端板部位有局部屈曲现象, 钢梁端板和钢柱翼缘在钢梁上翼缘部位有明显的分离现象。

(2) 加劲肋对端板连接边节点的抗火性能有一定影响。加劲肋的存在提高了边节点的极限温度。

(3) 端板厚度对端板连接边节点的抗火性能没有明显影响。

(4) 连接方式(栓焊、全焊、端板连接)对边节点抗火性能没有明显影响。

参考文献:

- [1] 陈绍藩. 钢结构设计原理(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2001 (Chen Shaofan. Principles of Steel Structure

- Design(2nd Edition). Beijing: Science Press, 2001(in Chinese))
- [2] 陈骥. 钢结构稳定理论与设计(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2003(Chen Ji. Stability of Steel Structures Theory and Design(2nd Edition). Beijing: Science Press, 2003(in Chinese))
- [3] 沈祖炎, 陈扬骥, 陈以一. 钢结构基本原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000(Shen Zuyan, Chen Yangyi, Chen Yiyi. Elementary Principles of Steel Structure. Beijing: China Construction Industry Press, 2000(in Chinese))
- [4] 魏明钟. 钢结构(第二版)[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2002(Wei Mingzhong. Steel Structure(2nd Edition). Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2002(in Chinese))
- [5] 李晓东, 董毓利, 吕俊利. 轴心受压 H 型截面钢柱火灾行为的试验研究[J]. 实验力学, 2005, 20(3): 328~334(Li Xiao-dong, Dong Yu-li, Lv Jun-li. Experimental Investigation of the Behaviors of Axially loaded H-section Steel Column under fire. Journal of Experimental Mechanics, 2005, 20(3): 328~334(in Chinese))
- [6] 李晓东, 董毓利, 丛术平. 柔性连接钢梁火灾行为的试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报, 2005, 37(2): 169~173 (Li Xiao-dong, Dong Yu-li, CONG Shu-ping. Experimental investigation of the behaviours of H-section beam (flexible connection) under fire. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, 2005, 37(2): 169~173 (in Chinese))
- [7] Liu T C H. Fire resistance of unprotected steel beams with moment connections[J]. Journal of Constructional Steel Research, 1999, 51: 61~77.
- [8] Al-Jabri K S, Burgess I W, Plank R J. The influence of connection characteristics on the behaviour of beams in fire [J]. Structural Engineering, Mechanics and Computation, 2001(2): 1087~1094.
- [9] Spyrou S, Davison J B. Displacement measurement in studies of steel T-stub connections [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2001, 57: 647~659.
- [10] Liu T C H. Finite element modeling of behaviours of steel beams and connections in fire [J]. Journal of Constructional Steel Research, 1996, 36: 181~199.
- [11] Elghazouli AY, Izzuddin BA. Response of idealized composite beam-slab systems under fire conditions. Journal of Constructional Steel Research [J], 2000, 56: 199~224.

Experimental Investigation of the Performance of Exterior Joints for Steel Frames under Fire Circumstance

LI Xiao-dong¹, DONG Yu-li², GAO Li-tang¹, WANG wei-yong¹, JIN le¹

(1. School of Civil Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China;

2. School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: In this paper, the performance of eight exterior joints for steel frames under fire circumstance was investigated. The tests were implemented with the self-developed fire-test furnace which is reliable and convenient. All exterior joints were in full scale. 3000mm-long steel column and 1350mm-long steel beams were used in the experiments. Steel columns were supported with two pinned ends. The connection method of beam and column include bolt-weld connection, full-weld connection and end-plate connection respectively in the experiments. The main factors including connection method, stiffening rib and end-plate thickness which may have influence on the performance of exterior joints under fire circumstance were examined. From the test results, the failure models of exterior joints and the regularities of rotation-temperature are obtained. The test results show that the failure models of exterior joints under fire circumstance are influenced by different connection methods and stiffening rib. Stiffening rib of web can enhance limit temperature of end-plate connections.

Keywords: fire; exterior joint; rotation; full-scale test