

钢框架梁柱扩翼型节点的抗震性能分析*

陈晓旭¹, 何华拓², 陈兆荣³

(1 广东白云学院, 广州 510000; 2 苏交科集团股份有限公司, 南京 210000;

3 深圳市力鹏工程结构技术有限公司, 深圳 518034)

[摘要] 针对传统钢结构梁柱钢节点截面突变处较易出现应力集中现象展开,选取2个扩翼型节点和1个传统节点,通过ABAQUS有限元软件,采用低周循环位移荷载模拟地震作用,分析了普通节点和扩翼型节点的抗震性能。分析结果表明:扩翼型节点的抗震性能比传统节点较为优越,随着扩翼尺寸的增大其抗震性能呈更好的趋势;建议在强震地区的钢框架结构中优先选用扩翼型节点。

[关键词] 扩翼型; 抗震性能; 刚性连接; 低周循环位移荷载

中图分类号: TU352, TU391 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2015)S2-0441-05

Analysis of the seismic performance on widened beam-column connection in the steel frame

Chen Xiaoxu¹, He Huatuo², Chen Zhaorong³

(1 Guangdong Baiyun University, Guangzhou 510000, China; 2 JSTI, Nanjing 210000, China;

3 Shenzhen Lipeng Structural Engineering Technology Co., Ltd., Shenzhen 518034, China)

Abstract: The severe stress concentrating is obvious in sharp section change of traditional steel frame beam column connections. Two widened beam flange connections and one traditional connections were selected. Anti-seismic property of widened beam flange connections and traditional joints was analyzed by finite element software ABAQUS, at the same time, seismic excitation can be modeled by low cycle displacement loading. The analytical results show that the anti-seismic properties of widened beam flange connections are superior to traditional joints. Meanwhile, anti-seismic properties improve as its size grows. As a result, it is suggested that widened beam flange connections should be adopted preferentially in the region of strong earthquakes.

Keywords: widened beam flange connection; anti-seismic property; rigid coupling; low cycle displacement loading

0 引言

钢结构具有施工速度快、抗震性能优越、节点可再生等优势,已经成为大型公共建筑、高层建筑、工业建筑的主要结构形式^[1]。传统钢框架梁柱节点的连接处焊缝由于受到三向应力的作用,容易发生脆性开裂的情况,为避免该类脆性破坏的发生,提出一种将塑性铰外移的方法,它是提高钢框架梁柱节点抗震性能的方法之一,包括“梁端削弱型”和“梁端加强型”两大类。

据统计,目前国内大部分钢结构梁柱节点仍然以传统节点为主,即没有考虑将塑性铰外移的传统抗震方法。当在强烈地震作用下,传统钢结构梁柱节点易遭受不同程度的破坏。另外,关于梁柱钢节点的抗震性能相关研究,目前大多数集中在传统节点上,对于塑性铰外移的相关研究还不完善,亟待解决。本文针对塑性铰外移方法中的梁端加强型进行了研究,结果表明扩翼型梁柱节点较传统节点在抗震性能上具有明显的优越性。

1 梁柱扩翼型节点弯曲应力分析

在钢框架中,普遍认为节点设计能够保证并发挥

材料的延性。梁端形成塑性铰,通过实现必要的转动来耗散地震能量,以满足强节点弱构件的设计思想^[2,3]。在结构中,梁柱节点主要承担弯矩和剪力,主要应力破坏形式为弯曲应力和剪应力。在此剪应力受剪切刚度和剪切面积影响,由于梁截面尺寸不变引起钢梁上的剪应力恒定。此时钢梁抵抗弯曲应力破坏的能力显得尤为重要。对于传统钢框架中的梁柱节点而言,其平面图见图1,在梁柱交点处由于柱截面比梁截面大,在截面突变处为关键分析对象。

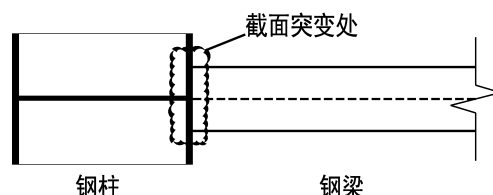


图1 钢框架梁柱节点

在钢框架节点处,为分析弯曲应力对截面突变处

* 广东省教育厅14年质量工程培育项目:建筑专业集群人才培养模式与课程体系改革探索与实践。

作者简介:陈晓旭,硕士研究生,Email:719879187@qq.com。

的影响。假定钢梁为矩形截面,其尺寸如图 2 所示,其抗弯截面系数可以用式(1)表示。

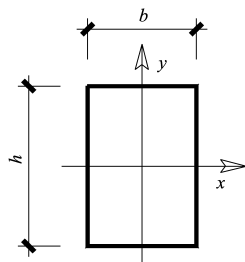


图 2 矩形截面尺寸示意图

$$W_b = \frac{I_x}{h/2} = \frac{bh^3/12}{h/2} = \frac{bh^2}{6} \quad (1)$$

弯曲应力为:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{6M_x}{bh^2} \quad (2)$$

在弯矩恒定的条件下,从式(2)中节点处的最大抵抗弯曲应力与截面宽度反比。故在截面突变处适当加大宽度是解决应力集中的较为适合方法之一。

2 节点概况

本文选取 2 个扩翼型梁柱节点(KY-1、KY-2)和 1 个传统梁柱节点(CT-1)进行分析,其中梁采用窄翼缘 H 型钢 HN200 × 100 × 5.5 × 8,梁的长度为 900mm,柱采用宽翼缘 H 型钢 HW200 × 200 × 8 × 12,柱支撑间距长度为 1200mm,柱上节点域设置水平加劲肋,长 × 宽 × 厚为 176 × 96 × 8。节点的尺寸与路径示意图见图 3,节点各项参数见表 1。

扩翼型节点的扩翼设计参数包括:扩翼宽度、扩翼长度、扩翼圆弧段长度。参考文献[4],[5],对以上参数的取值范围作如下设定,见表 1。

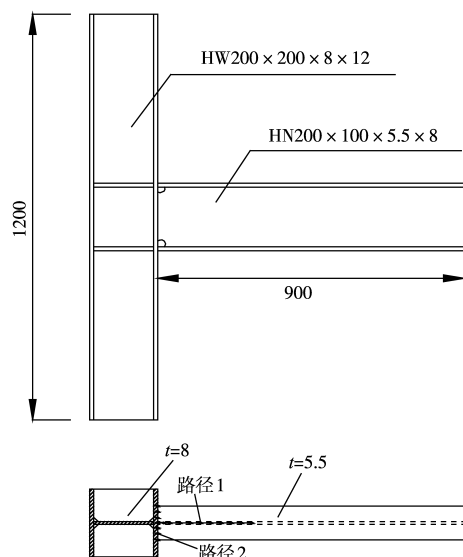
节点截面尺寸及扩翼参数

表 1

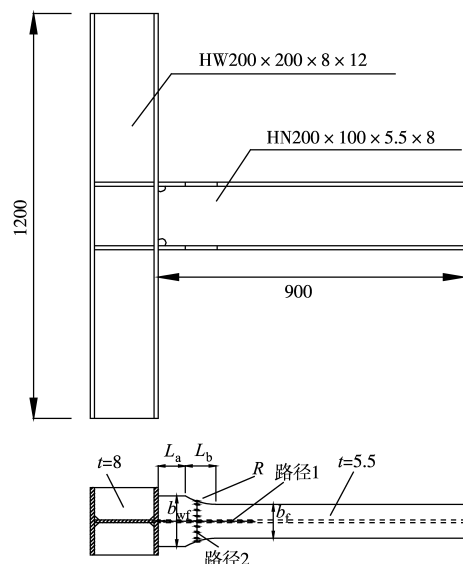
节点	梁截面/mm	柱截面/mm	扩翼参数			
			L_a/mm	L_b/mm	b_{wt}/mm	R/mm
CT-1	HN200 × 100 × 5.5 × 8	HW200 × 200 × 8 × 12	—	—	—	—
KY-1	HN200 × 100 × 5.5 × 8	HW200 × 200 × 8 × 12	80	90	150	174.5
KY-2	HN200 × 100 × 5.5 × 8	HW200 × 200 × 8 × 12	60	60	130	127.5

3 有限元模型

本文采用 ABAQUS 有限元软件,对 2 个扩翼型节点和 1 个传统节点进行模拟地震作用下的有限元分析。为考虑有限元模型与实际模型的真实吻合度,有限元模型的单元类型采用 8 节点实体单元^[6],即 C3D8R,为六面体缩减积分单元。



(a) 扩翼型节点(KY)尺寸示意图



(b) 传统节点(CT)尺寸示意图

图 3 节点尺寸示意图

3.1 模型的材料属性

节点的梁柱的材料均采用 Q235 钢,且为各向同性,弹性模量 E 取 2.06×10^5 MPa,泊松比取 0.3,屈服强度取 235MPa,材料的应力-应变关系曲线如图 4 所示。计算采用 von Mises 屈服准则及相关的流动准则和多线性随动强化准则。为考虑塑性铰的发展情况,在弹性和弹塑性加载阶段均考虑几何非线性。

3.2 边界条件和网格划分

有限元节点模型中,将柱子上下端设为铰接约束,只约束 X 、 Y 、 Z 三个方向位移,即 $U_x = U_y = U_z = 0$ 。单元网格划分过程中,为更准确的考虑节点区域内的破坏情况,梁柱连接区域划分为 10mm,其余部分为 20mm,着重突出构造形式对节点抗震性能的影响,如图 5 所示。

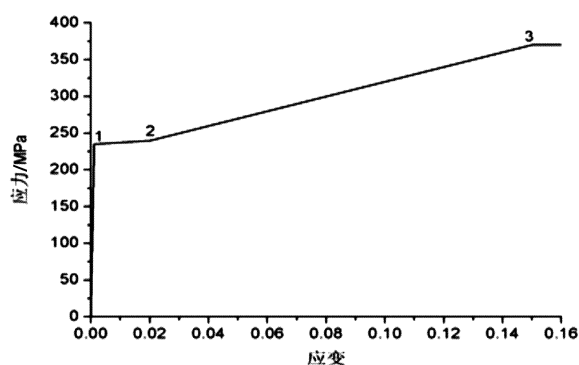
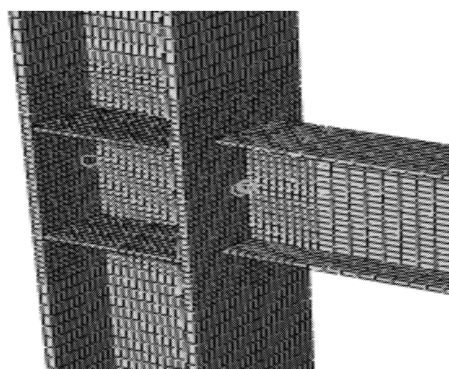
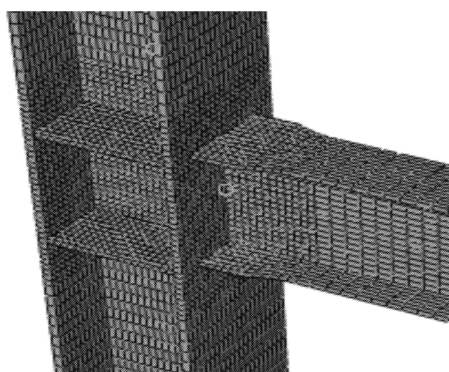


图 4 钢材的应力-应变关系图



(a) 传统节点



(b) 扩翼型节点

图 5 梁柱节点网格划分图

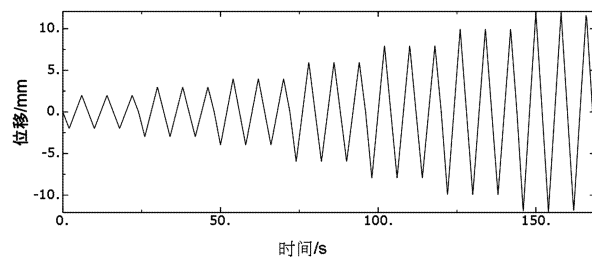
3.3 模型的加载方式

该有限元模型加载方式采用低周循环位移荷载进行加载,加载位置为梁的自由端截面上,两组荷载分别为 A 组和 B 组。其中循环荷载的初始位移设为 M (A 组 $M=2\text{mm}$, B 组 $M=4\text{mm}$),每荷载级依次加载 M 的倍数,且每级循环 3 次,如图 6 所示。

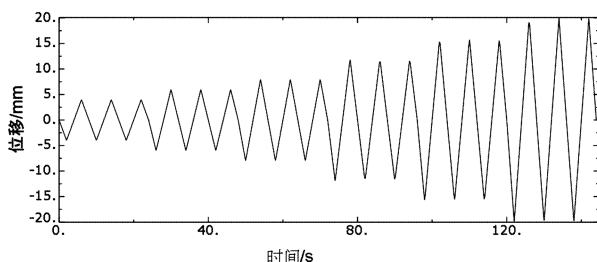
4 有限元结果分析

4.1 应力分布与塑性铰形成位置

通过图 3 中的应力路径 1 和路径 2 的研究,比较各节点在荷载达到最大峰值时的 von Mises 应力分布情况。其中图 7(a)所示为梁翼缘上表面中线方向(即路径 1 方向)的应力分布;从图中可以看出,传统节点(CT-1)的最大应力分布在梁端根部处,而扩翼型节点(KY-1、KY-2)的最大应力不在梁端根部处,而是



(a) A 组低周循环位移荷载加载曲线图

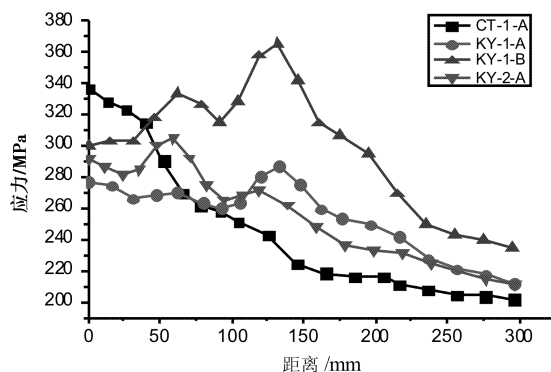


(b) B 组低周循环位移荷载加载曲线图

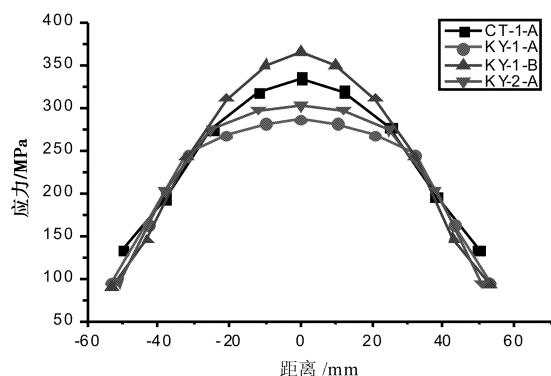
图 6 低周循环位移荷载加载曲线

偏移至对应的扩翼部分圆弧削弱处,且最大应力值比传统节点有所减小;另外,随着扩翼部分各参数的增大(KY-1 和 KY-2 比较),最大应力值和梁端根部处应力均有所减小,且最大应力位置相对外移。

图 7(b)所示为沿梁翼宽度方向(即路径 2 方向)的应力分布;从图中可以看出,翼缘宽度方向应力分布不均匀,最大应力集中在梁翼缘中部处,而两端的应力均较小。



(a) 梁翼缘沿路径 1 的应力曲线图

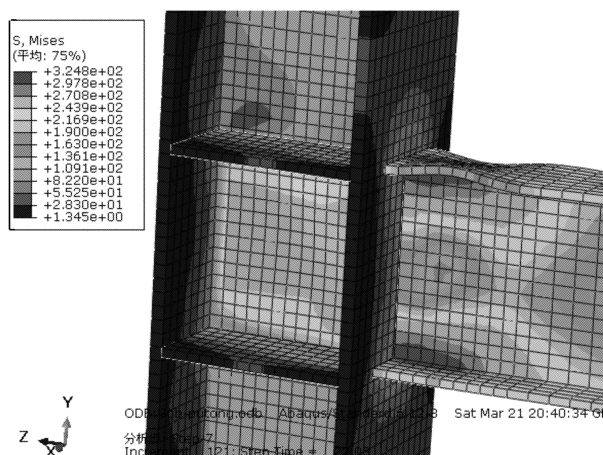


(b) 梁翼缘沿路径 2 的应力曲线图

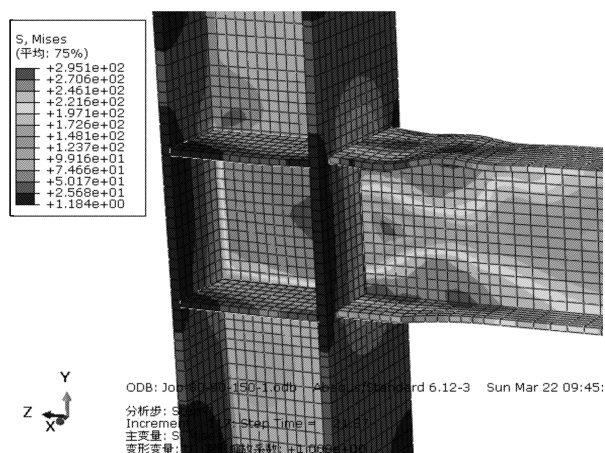
图 7 节点的路径应力曲线图

通过观察图 7 中两图可以发现,扩翼型节点(KY-1)在 A 和 B 两组荷载作用下的应力分布特点基本一致,这说明扩翼型节点在不同荷载作用下的普遍性。

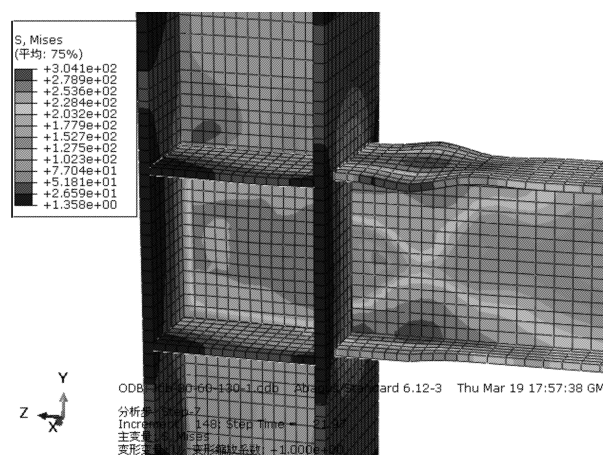
在循环位移荷载施加过程中当荷载达到最大峰值时,比较各节点的塑性铰形成位置,如图 8 所示。从图中可以看出,传统节点(CT-1)的塑性铰位于梁端根部处,而扩翼型节点(KY-1)的塑性铰不在梁端根部处,而是偏移至对应的扩翼部分圆弧削弱处,有效的远离了梁端根部的焊缝处,缓解了该处的应力集



(a) 传统节点(CT-1)的应力云图



(b) 扩翼型节点(KY-1)的应力云图



(c) 扩翼型节点(KY-2)的应力云图

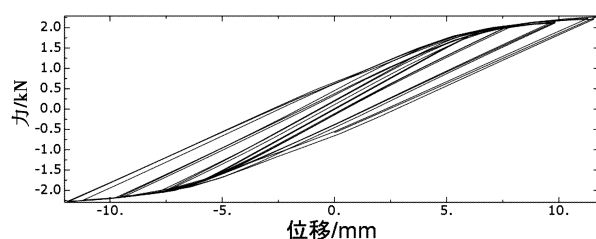
图 8 节点在循环荷载峰值时的应力云图/MPa

中。而观察扩翼型节点(KY-2)和(KY-1)可以发现,随着扩翼参数的增大,塑性铰距梁端根部处的距离逐渐增大。

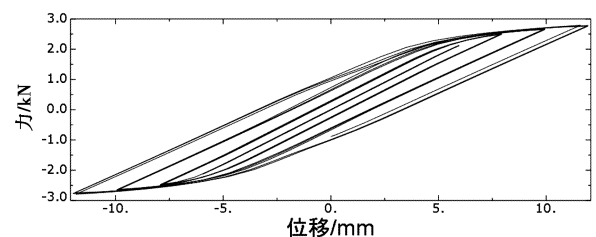
4.2 滞回曲线和骨架曲线结果分析

滞回曲线是衡量结构抗震性能好坏的一个重要依据,曲线的圆滑饱满程度和滞回环面积的大小客观的反映了抗震性能的好坏。图 9 中分别给出了传统节点(CT-1-A)和扩翼型节点(KY-1-A、KY-1-B、KY-2-A)的梁端加载点的力和位移的滞回曲线。从图中可以看出,扩翼型节点的滞回曲线比传统节点较饱满,且滞回环面积相对较大;另外,扩翼型节点随着扩翼参数的整体增大,滞回曲线越来越饱满,滞回环面积越来越大,但不太明显,原因可能是扩翼参数变化较小。这说明扩翼型节点耗能能力较传统节点更优越,且随着扩翼参数的增大越来越好。

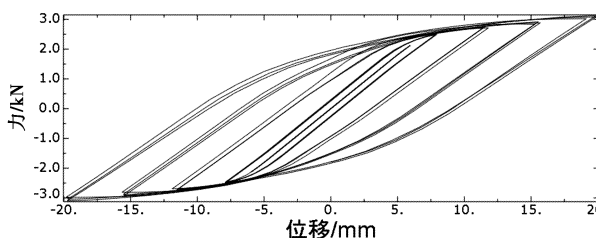
骨架曲线对研究非弹性阶段的地震反应非常重



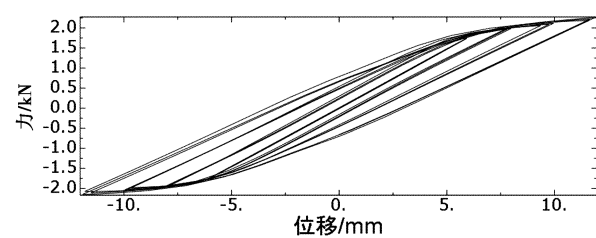
(a) 传统节点(CT-1-A)



(b) 扩翼型节点(KY-1-A)



(c) 扩翼型节点(KY-1-B)



(d) 扩翼型节点(KY-2-A)

图 9 各节点的滞回曲线图

要,图10给出了各节点的骨架曲线图。从图中可以看出,各节点在初始加载的弹性阶段,骨架曲线较接近,随着荷载的增大,骨架曲线逐渐分离,相同位移对应的承载力的差距逐渐增大。由于各节点没有达到破坏阶段,根据目前荷载下的塑性变形程度和位置的差异及前期骨架曲线走势,可以推测,当扩翼型节点和传统节点分别达到最大承载力时,前者比后者在图中所对应的位移值要大。这表明对于此类刚性扩翼型节点相比普通节点而言,其承载能力要强,且随着扩翼参数的增大,承载能力也在增强。

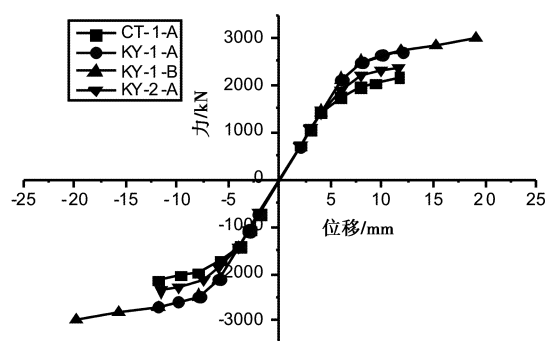


图10 各节点对应荷载的骨架曲线图

4.3 延性发展

延性对结构抗震性能的好坏起到了决定性作用,它是指结构在因为受力而产生破坏之前的塑性变形能力,即结构从屈服变形开始到达最大承载能力(或到达以后而承载能力还没有显著下降)期间的塑性变形能力。本文通过延性系数 μ 来客观反映扩翼型节点延性的好坏,即极限位移和屈服位移的比值,该值越大延性越好。通过近似的计算得到扩翼型节点(KY-1)的延性系数 $\mu=4.3$,该延性系数大于4,能够满足规范对钢框架梁柱节点延性的要求。

5 结论与建议

(1)将塑性铰外移是解决传统钢框架梁柱节点易发生脆性开裂有效措施,分为“梁端削弱型”和“梁端

加强型”两大类,扩翼型梁柱节点作为加强型梁柱节点,具有较优越的抗震性能。

(2)在低周循环位移荷载作用下,传统节点的应力最大值和塑性铰集中在梁端根部处,而扩翼型节点则集中在扩翼部分圆弧削弱处,且相比传统节点,应力值有所减小,位置有所外移,滞回曲线相对较饱满,滞回环面积相对较大,扩翼型节点对应的延性系数较好。这说明刚性扩翼型节点的抗震性能比传统节点优越。

(3)在整体增大循环荷载的情况下,扩翼型节点的变化趋势大体相同,这说明扩翼型节点针对不同强度地震具有普遍性。

(4)对于适当增大扩翼部分各参数,扩翼型节点的应力值、承载能力和耗能性能等均有所提高。这说明扩翼型节点随扩翼参数的增大,抗震性能越来越好。

(5)综合考虑扩翼型节点和普通节点抗震性能的优劣,建议在强震区的钢框架结构中优先选用扩翼型节点,以降低地震对其造成的破坏。

参 考 文 献

- [1] 顾强. 钢结构滞回性能及抗震设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 毛辉, 王燕. 钢框架扩翼型节点抗震性能研究[J]. 世界地震工程, 2011, 27(4): 102-108.
- [3] 王路遥. 钢框架梁柱改进型刚接节点抗震性能研究[D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2011.
- [4] W F H, Chen W-F. A design model for the semi-rigid connections[J]. Engineering Structures, 1990, 12(12): 88-97.
- [5] FEMA-350. Recommended seismic design criteria for the new steel moment-frame buildings[S]. 2000.
- [6] 王玉钊, 傅传国. ABAQUS 结构工程分析及实例详解[M]. 北京: 中国建筑出版社, 2010.