

半刚性端板螺栓连接节点的性能研究

叶嘉俊

浙江工业大学土木工程学院 杭州 310023

摘要: 为了研究半刚性端板螺栓连接节点的性能, 本文在已有的研究基础上对工程中常见的刚性、半刚性和铰接三种类型的节点做了低周往复荷载试验模拟, 通过对比滞回曲线详细分析了三组节点的滞回性能; 其次, 对不同端板厚度、螺栓直径、放大孔径的半刚性端板螺栓连接节点构件进行了详细的参数分析, 总结了在各参数下节点的失效模式和构件的破坏顺序。

关键词: 半刚性; 端板螺栓节点; 节点性能; 有限元分析

Research on the performance of semi-rigid end plate bolted joint

Jiajun Ye

(College of Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to study the performance of bolted joints with semi-rigid end plates in steel frames, this paper first makes a low cycle reciprocating load test simulation on three types of joints commonly used in engineering, such as rigid, semi-rigid and hinged joints, and analyzes the hysteretic properties of the three groups of joints in detail by comparing hysteretic curves. Secondly, the finite element parameters of the semi-rigid end plate bolted joint members with different end plate thickness, bolt diameter and enlarged aperture are analyzed in detail, and the failure mode and failure sequence of each member in the joint are summarized under each parameter.

Key words: semi-rigid; End plate bolt joint; Node performance; Finite element analysis

中图分类号: TU392

文献标识码: A

引言

工程上, 半刚性梁柱节点连接是钢框架节点连接的主要形式。传统认为连接刚度足够, 相邻杆件基本不发生相对转动时, 可假定为刚性连接; 相反连接刚度很小, 基本不能传递弯矩时可认为是铰接^[1]。但工程中不存在完全的刚性节点和铰接节点, 因此对于半刚性节点的模拟就很重要。我国现行《钢结构设计标准 GB50017-2017》^[2]规定, 半刚性连接节点在承受弯矩的同时会产生相应的角度改变, 在内力分析中必须确定节点的弯矩-转角曲线。因此针对节点的性能研究尤为重要。

1 有限元模拟及验证

文献^[3]对用节点板连接的背靠背槽钢梁与柱腹板的节点进行滞回性能试验, 本文各节点模型的边界条件参考此文。图 1 为试验和有限元的节点滞回曲线对比。

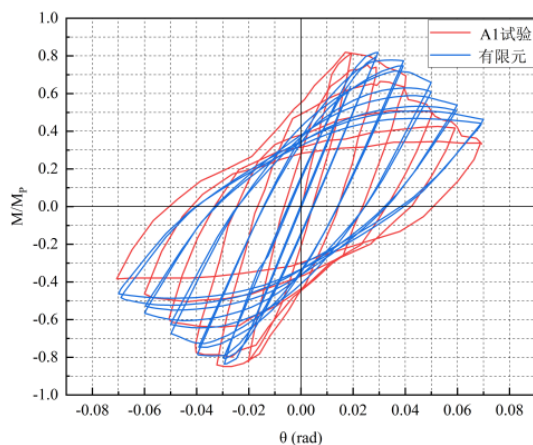


图 1 试验和有限元滞回曲线对比

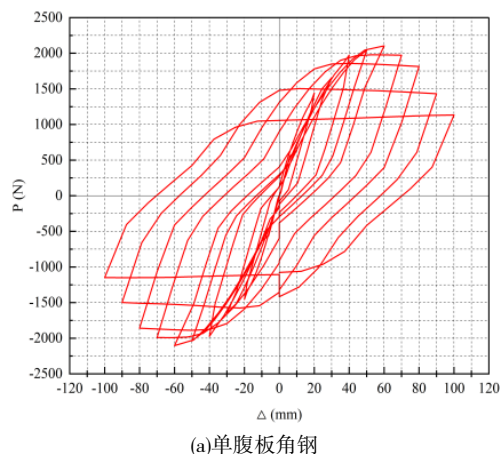
从图 1 可以看出有限元与试验结果的滞回曲线基本一致, 试验和有限元的节点极限抗弯承载力分别为 54.3kn.m 和 51.6kn.m, 误差为 4.9%。表明有限元可以较好模拟节点的性能。

2 各类型节点滞回性能对比

本节选取了工程中常见的刚性、半刚性和铰接 3 种类型节点, 依据《GB51022-2015 门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》等规范对各类型节点的要求设计了全焊节点、端板螺栓节点、单腹板角钢节点 3 组模型进行对比。各组节点梁柱尺寸均为 250 × 255 × 14 × 14 和 350 × 350 × 10 × 20 的 Q345 钢, 弹性模量为 206GPa, 屈服强度为 345MPa, 泊松比为 0.3, 长度分别为 2000mm, 900mm; 螺栓均采用 M16 高强摩擦型螺栓。其余节点构件尺寸铰接类型节点腹板角钢尺寸为 120 × 120 × 8 × 210; 端板尺寸为 350 × 250 × 20。

2.1 滞回性能对比

图 2 为各类型节点的滞回曲线对比。



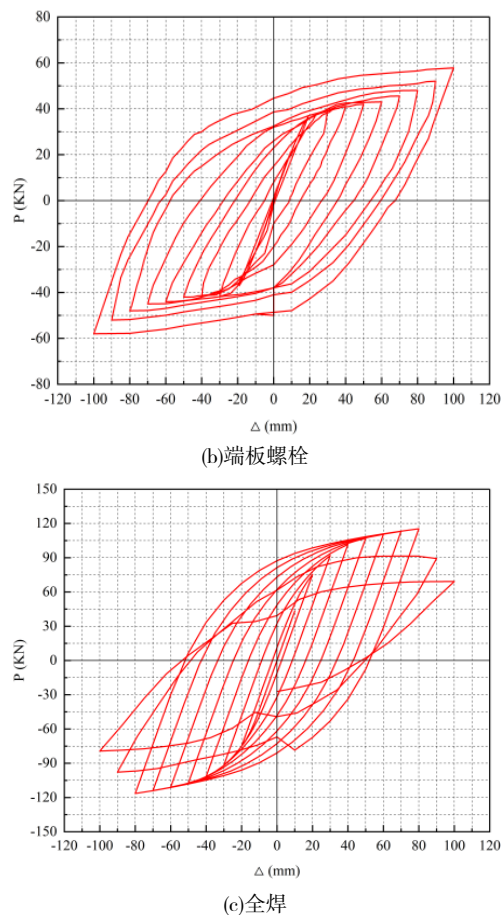


图2 各类型节点滞回曲线

在三组类型节点中, 铰接类型的单腹板角钢连接节点在位移荷载为 60mm 时达到塑性弯矩 4kN.m, 约为刚接节点的 1/60, 虽然其滞回曲线较为饱满, 但由于其几乎不能传递弯矩的特性, 节点受弯和耗能能力明显不足。其余两组类型节点的滞回曲线均较为饱满; 但随位移幅值的增大, 全焊节点在位移荷载为 80mm 时达到最大弯曲承载力 230.76kN.m, 而后续加载中曲线出现明显捏缩现象呈现出“弓形”, 柱腹板局部出现明显翘曲变形。铰接节点和刚接节点的滞回曲线的切线斜率分别出现不同程度减小, 而半刚性端板螺栓连接节点切线斜率并未出现明显减小现象, 表明在该段荷载区间内半刚性节点未达到最大弯曲承载力, 与刚性节点和铰接节点相比, 具有更好的延性和更稳定的耗能能力。

3 参数分析

参数分析各构件弹性模量为 206GPa, 泊松比为 0.3, 屈服强度为 345MPa。构件的命名以 T_n 为例, 其中 T 为研究的参数端板厚度, 12 为参数取值。参数分析共涉及端板厚度 T, 螺栓直径 M 和放大孔 D。

3.1 端板厚度的影响

本文选取了 4、8、12、16、20、24、28、32 共 8 组端板厚度。结果发现, 随端板厚度增加, 节点初始刚度和弯矩承载力有了大幅度提高, 但随端板厚度继续增加, 节点性能提升趋势变缓。当端板越薄时, 节点区受弯薄端板尾部发生明显屈曲变形而螺栓几乎无变形, 此时增加端板厚度对节点力学性能有显著提升; 当端板厚

度增加, 抗弯刚度性能也随之增加, 端板和螺栓均发生明显变形, 端板和梁翼缘焊接处容易出现断裂; 当端板厚度在增加, 由于端板抗弯刚度太大柱翼缘厚度相对于端板很小, 节点初始转动刚度主要由柱翼缘决定, 端板无明显变形, 节点破坏模式由螺栓承载力不足变为螺栓受拉破坏, 此时端板性能并未充分发挥。

3.2 螺栓直径的影响

本文选取了 12、16、20、22、24、27 共 6 组螺栓直径。

结果发现, 各组节点初始转动刚度的变化总体呈上升趋势。当直径增至 M_{27} 时, 受弯承载力与 M_{24} 相比降低近一半。可见, 随螺栓直径增加, 节点初始转动刚度有提升, 受弯承载力有显著增加, 但直径过大不利于节点弯矩承载力的发展。当连接螺栓直径增加高强螺栓的预拉力也会随之增加, 预紧后每个螺栓的预紧区域约为螺栓直径的两倍, 端板与柱翼缘的接触就会更加紧密, 节点抗滑移能力得到加强, 从而增加了节点初始转动刚度。其次, 随螺栓直径增加, 螺栓相对于端板和柱翼缘的刚度增大, 此时节点的转动由端板和柱翼缘的变形引起。柱翼缘下侧受压区出现明显塑性变形, 腹板处出现翘曲, 端板变形逐渐增大, 而螺栓因直径增大相对刚度增加, 变形减小。

3.3 放大孔的影响

本文选择了 17.5、18.0、18.5、19.0 和 19.5 共 5 组螺栓孔径。

结果发现随孔径增加, 端板螺栓节点初始转动刚度基本未发生变化, 而节点极限承载力除孔径为 19.5mm 的节点发生骤减外, 其余各组变化波动较小。端板和螺栓的变形随孔径的增大先增后减。因此孔径对节点性能的影响较小, 一般为方便施工可取略大螺栓孔径 1.5-2mm, 而大孔径的节点则会使节点承载力不足。

4 结论

用有限元对半刚性端板螺栓节点的性能进行研究, 考虑了端板厚度、螺栓直径和放大孔对节点性能的影响, 得到以下结论:

- (1) 抗震性能方面: 与刚性节点和铰接节点相比, 半刚性节点的延性和耗能能力更好, 表现出更好的抗震性能;
- (2) 节点破坏方面: 随着端板厚度的增加, 端板螺栓连接节点的破坏模式由端板屈曲破坏向螺栓受拉破坏发展; 而随着螺栓杆径的增加, 节点的破坏主要由端板和柱翼缘的变形引起。
- (3) 节点性能方面: 端板螺栓连接节点随端板厚度和螺栓杆径的增加, 其初始转动刚度和极限弯矩承载力都会有明显提高; 而孔径对于端板螺栓节点的初始转动刚度和极限弯矩承载力的影响较小, 一般为方便施工可取略大螺栓杆径 1.5-2mm, 而大孔径的节点则会使节点承载力不足。

参考文献:

- [1] 黄炳生. 多层轻钢框架结构抗震性能和设计方法研究[D]. 江苏: 东南大学, 2005.
- [2] 钢结构设计标准: GB 50017-2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [3] Papargyriou I, Mojtabaie S M, Hajirasouliha I, et al. Cold-formed steel beam-to-column bolted connections for seismic applications[J]. Thin-Walled Structures, 2022, 172: 108876.