

# 圆支管-H型钢主管T型节点 轴压承载力的有限元分析

魏琳, 陈誉

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:**以圆支管-H型钢主管T型受压节点的试验数据为基础,运用有限元软件 Abaqus 对节点进行建模和计算,从节点极限承载力、变形过程和破坏模式等方面对节点的非线性有限元建模方法进行了校验. 研究表明:节点在轴向压力作用下,支管根部发生象足式屈曲与局部屈曲,同时主管鼓曲;相对主管,支管壁厚较小,工程中应避免或采取加强措施;节点从开始屈服到最后破坏,具有较强的塑性变形能力.

**关键词:**圆支管-H型钢主管T型节点;有限元分析;极限承载力

**中图分类号:**TU392.3 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.01.019

## Finite element analysis of axial capacity of CHS brace-H-section steel chord T-joints

WEI Lin, CHEN Yu

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** A finite element model on CHS brace-H-section steel chord T-joints was generated by Abaqus and validated by comparing the ultimate capacity, deformation process and failure mode with experimental results. The result showed that under the effect of axial pressure, elephant-foot buckling and local buckling occur at the root of brace, and flange buckling occurs at chord; in engineering it should be avoided that the thickness of brace is relatively smaller than chord, or joints should be strengthened; CHS brace-H-section steel chord T-joints has strong plastic deformation capacity from being yield.

**Key words:** CHS brace-H-section steel chord T-joint; finite element analysis; ultimate capacity

## 0 引言

钢管作为支管,可与工字形截面或其他开口截面的主管构成空间桁架或空间网格结构<sup>[1]</sup>.以H型钢为主管、以钢管为支管的结构是一种新颖的钢管结构,与圆钢、方钢管结构相比,其相贯线形态简单,可简化复杂相贯线剖切问题<sup>[2]</sup>.从工程应用的角度来看,钢管与H型钢主管相交的相贯线均为平

面曲线,比与圆钢管相贯的空间曲线更易于设计和施工,可以大大减少制造工作量,加快施工进度.由于具有上述优点,目前采用这种节点连接的空间桁架、空间网格结构愈来愈多(如厦门高崎机场).

近年来,国内外学者对钢管相贯节点的极限承载力进行了大量的试验和分析,建立了关于节点极限承载力系统的计算公式<sup>[3-5]</sup>.但对于这种圆支管-H型钢主管节点的承载性能,国内外研究甚少,王元

收稿日期:2012-09-23

基金项目:福建省自然科学基金计划项目(2012J01219)

作者简介:魏琳(1987—),女,福建省三明市人,华侨大学硕士研究生,主要研究方向为钢结构.

清等<sup>[6]</sup>研究了T-T型圆管与工字钢混合空间管节点分别在轴力和平面外弯矩作用下的承载性能. 本文拟从基本的平面节点入手,对圆支管-H型钢主管T型节点进行非线性有限元分析,对其承载力性能、破坏模式等进行研究,并将计算结果与试验结果进行比较,以校验该有限元分析方法的可行性.

## 1 有限元分析模型

有限元分析采用Abaqus软件中的二十节点六面体二次减缩积分单元(C3D20R)进行建模和计算.

### 1.1 边界条件和加载方式

圆支管-H型钢主管T型节点见图1,各节点尺寸如下:节点①为HW 200 mm × 200 mm × 8 mm × 12 mm,节点②为140 mm × 140 mm × 3.0 mm,节点a为550 mm,节点b为350 mm.

结构的边界条件和加载方式见图2,H型钢的下翼缘采用面约束,按固定支座考虑.加载方式为位移加载,其中位移的取值为试验中所得到的最大位移值( $U$ ).在试验过程中,荷载是以面载的形式作用在圆管的端部,使用耦合约束将荷载作用面与加载板中心建立刚性连接,使加载面共同承担点位移.

### 1.2 材料性能

节点材料的屈服强度和弹性模量由材性试验<sup>[7]</sup>得到,材料服从Von-Mises屈服准则.材料属性为:钢材类型Q345,屈服强度465 MPa,弹性模量

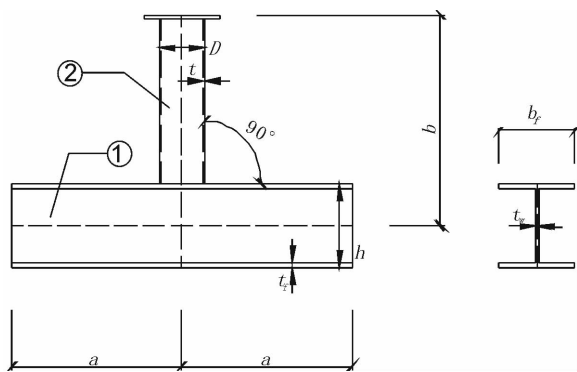


图1 圆支管-H型钢主管T型节点

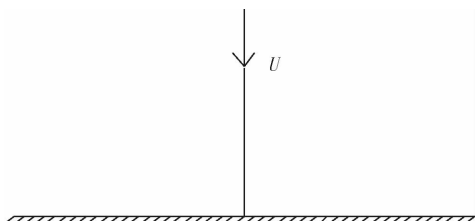


图2 节点的边界条件和加载方式

$2 \times 10^7$  MPa,强化模量 $2 \times 10^5$  MPa,泊松比0.3.分析时考虑几何非线性和材料非线性,用自动步长增量法计算节点的极限承载力,采用基于静力的完全牛顿方法求解,没有考虑焊缝和残余应力对节点极限承载力的影响.定义塑性材料参数时,采用等向硬化弹塑性模型,即保证应力-应变曲线始终是向上倾斜的,强化模量为弹性模量的1/100.

### 1.3 网格划分

网格划分时,采用结构化网格,控制单元边长,在主支管交汇区域将网格加密.为防止剪力自锁现象,选择采用二十节点六面体二次减缩积分单元,网格划分详见图3.

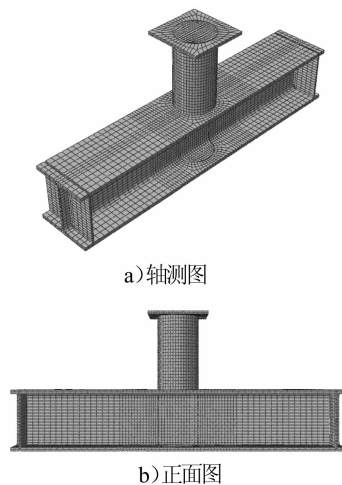


图3 节点有限元模型网格划分

## 2 分析结果和试验验证

### 2.1 节点破坏模式

图4给出了圆支管-H型钢主管T型节点在轴向极限荷载作用下的节点破坏模式图.节点在支管轴向压力的作用下,支管下端出现了“象足式”屈曲与内凹局部屈曲联合破坏,同时主管上翼缘出现明显的凹陷变形.由图4对比发现,有限元模拟结果与节点破坏模式大体吻合,但由于有限元模拟偏于理想化,而试验加载过程中不可避免地存在不对称以及钢材本身存在缺陷,导致节点破坏模式的不对称,使节点破坏模式与有限元模拟结果存在偏差.如果忽略对称因素的影响,有限元还是较真实地模拟了节点的破坏模式.

### 2.2 应力分布及塑性区扩展

图5给出了圆支管-H型钢主管T型节点在轴向极限荷载作用下的应力云图.在加载过程中,支管应力靠近节点处分布不均匀,而远离节点处分布

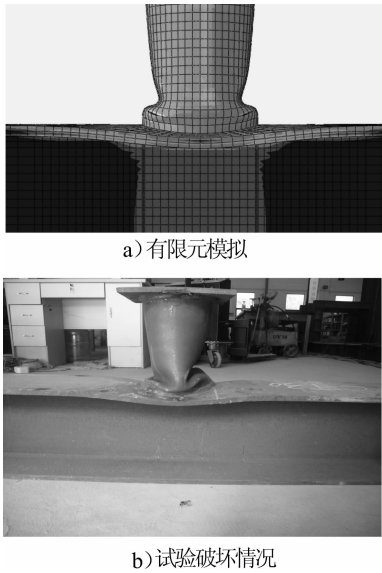


图 4 节点的破坏模式

比较均匀;主管应力靠近节点处较大,而远离节点处应力基本为零.支管应力远远大于主管应力,最大应力发生在支管根部,也就是节点破坏的部位.

加载初期,节点相贯线附近以及加载端的应力较大;当荷载增加到一定值后,节点相贯线处开始相继进入屈服状态,但并不意味着节点将立即破坏;随着外荷载的逐渐增加,节点支管逐渐形成塑性区,应力重新分布,塑性区不断向四周扩散,直至出现显著的塑性变形,节点最后破坏.

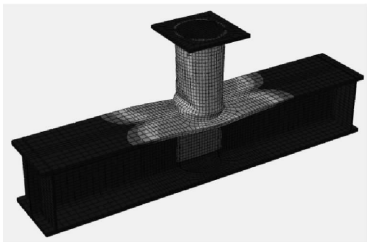


图 5 节点的应力云图

### 2.3 荷载 - 位移曲线

图 6 给出了节点的荷载 - 位移曲线.位移以向下为正,向上为负.由图 6 可见,节点从开始屈服到最后破坏,具有较强的塑性变形能力;有限元能良好地计算节点的极限承载力和模拟节点的变形;有限元分析结果略小于试验值.

对比模拟曲线和试验曲线,二者存在一定的偏差.这是由于:试验加载过程中节点是直接置于地面的,未施加其他任何约束,而模拟时将边界条件设置为固定支座,使模拟的边界条件强于试验中对节点的约束,导致模拟得到的弹性阶段的节点位移略小

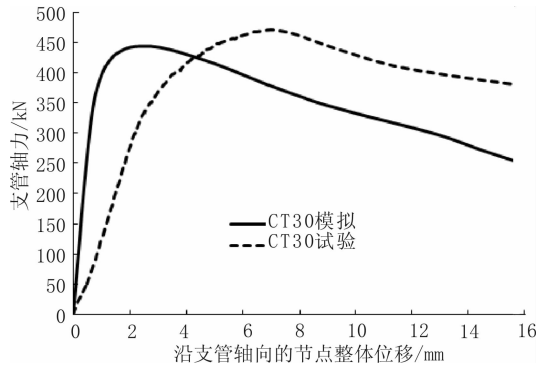


图 6 节点的荷载 - 位移曲线

于试验值.

### 3 结论

以圆支管 - H 型主管 T 型受压节点的试验数据为基础,运用有限元软件 Abaqus 对节点进行建模和计算,得出如下结论:

- 1) 节点在轴向压力作用下,支管根部出现现象足式屈曲与局部屈曲,同时主管鼓曲.
- 2) 节点破坏发生在支管根部;相对主管,支管壁厚较小,工程中应尽量避免或采取加强措施.
- 3) 节点从开始屈服到最后破坏,具有较强的塑性变形能力.
- 4) 通过与试验结果的对比可知,该模型在节点极限承载力、变形过程、破坏模式等方面与试验结果均吻合良好,可作为参数分析的基础.

### 参考文献:

- [1] 陈以一,陈扬骥. 钢管结构相贯节点的研究现状[J]. 建筑结构,2002(7):227.
- [2] 陈以一,陈扬骥,詹深. 圆钢管空间相贯节点的实验研究[J]. 土木工程学报,2003,36(8):24.
- [3] 陈誉,刘飞飞. 反对称 Pratt 桁架中斜腹杆受压大偏心 N 形圆钢管节点静力性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2012,33(3):30.
- [4] 陈誉,张钻湖. 平面 X 型圆钢管混凝土节点平面外受弯性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2012,33(3):39.
- [5] 陈誉,张钻湖. 主管灌混凝土平面 X 形圆钢管节点受压承载力试验研究[J]. 建筑结构学报,2012, 33(1):72.
- [6] 王元清,曾文平,贺东哲. 圆管与工字钢混合空间管节点非线性承载分析[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2002,42(S1):101.
- [7] GB/T 228—2002,金属材料室温拉伸试验方法[S].