

T型方钢管相贯节点轴压性能 有限元研究与试验验证

王江, 陈誉

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要:利用通用有限元软件 ABAQUS 对 T 型方钢管相贯节点进行了建模及非线性有限元计算. 将试件的破坏模式、变形过程、极限承载力与试验进行了校核. 研究表明:试件在轴向压力作用下,发生弦杆相贯面凹陷和侧壁鼓凸的现象;试件在加载全过程具有较强的变形能力; β 值越小,试件的应力强化越时显,延性也越小;试件极限承载力随着 β 值的增大而增大;有限元模拟与试验吻合度较高.

关键词:T 型方钢管相贯节点;有限元分析;轴压性能

中图分类号:TU392.3 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.03.022

Finite element analysis and experimental verification of axial properties of square hollow section T-joints

WANG Jiang, CHEN Yu

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

Abstract: A finite element model simulating the behavior of square hollow section (SHS) T-joints was established and nonlinear finite element was calculated by ABAQUS software. The failure mode, deformation process and ultimate capacity of SHS T-joints were validated by comparing with experimental results. The results showed that, under the effect of axial pressure, chord flange failure and web bulking failure occurred. The specimens have stronger deformation capacity during the whole loading process. As the value of β decreases, the stress strengthening and the ductility of specimens increase. As the value of β increases, the ultimate capacity increases. The finite element simulating is similar to the test result.

Key words: SHS T-joints; finite element analysis; axial property

0 引言

近年来,钢管结构在世界范围内的应用越来越广泛.方钢管相贯节点系统研究开始于1960年代的英国,随后欧洲开始进行大量试验研究,1980年代

以后中国、澳大利亚也开始出现相贯节点的研究成果^[1].

T型方钢管节点是一种常见的节点形式,随着 β 值的变化,可能发生弦管侧壁压跛、弦管表面冲剪、相贯处弦管表面变形过大以及焊缝破坏等现

收稿日期:2013-04-03

基金项目:福建省自然科学基金项目(2012J01219)

作者简介:王江(1989—),男,福建省厦门市人,华侨大学硕士研究生,主要研究方向为钢结构.

象. 国内外学者对钢管相贯节点的极限承载力做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^[4-6]. 以往的研究,对T型方钢管相贯节点的研究年代较早,对节点的应力分布及塑性拓展情况的分析较少. 鉴于此,本文拟从基本的平面节点入手,对T型方钢管相贯节点进行非线性有限元分析,对其承载力性能、破坏模式、应力分布等进行研究,将计算结果与试验结果进行比较,并且将极限承载力模拟值与现有规范的计算值进行比较,以校验该有限元分析方法的可行性以及规范公式的准确性.

1 有限元模型

1.1 节点几何尺寸

试件尺寸见图1,相应的尺寸见表1,其中两侧及上部的端板采用边长为200 mm,厚度为15 mm的Q235钢板. 试件支管与主管边长比值 $\beta = b_1/b_0$. 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.

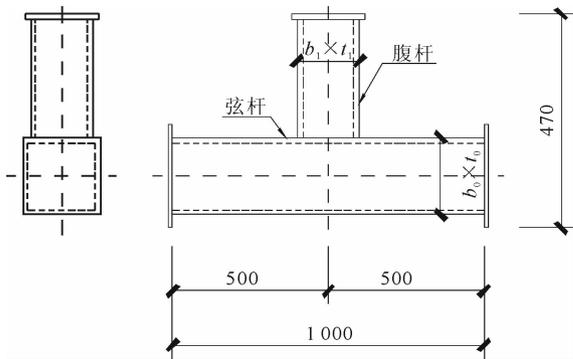


图1 试件尺寸示意图/mm

表1 试件尺寸

试件名称	b_0/mm	t_0/mm	b_1/mm	t_1/mm	β 值	τ 值
N08	150	6	80	5	0.53	0.83
N10	150	6	100	5	0.67	0.83
N12	150	6	120	5	0.80	0.83

1.2 材料特性

试件的材料特性由不同尺寸Q235钢管的材料试验得到^[5],详见表2. 材料服从Von-Mises屈服准则. 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.

表2 钢材材料特性

钢管尺寸/mm	屈服强度 σ_y/MPa	弹性模量 E/MPa	泊松比
150 × 150 × 6	327	2.06 × 10 ⁵	0.3
120 × 120 × 5	334		
100 × 100 × 5	350		
80 × 80 × 5	402		

1.3 边界条件及加载方式

边界条件及加载方式如图2所示,弦管两侧的端板下部采用面约束,按铰接支座考虑,左侧约束 U_1, U_2, U_3 自由度,右侧约束 U_1, U_2 自由度. 加载方式为位移加载,其中位移的取值为 U . 在加载过程中荷载是以面荷载的形式作用在腹杆上部的端板,使用耦合约束将上部端板与端板的中心点建立刚性连接,使上部端板共同承担点位移.

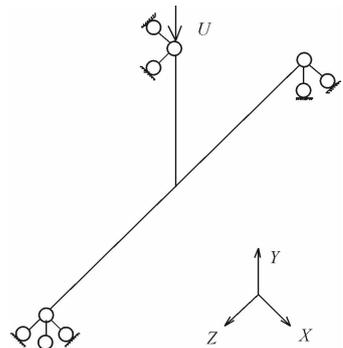


图2 试件边界条件及加载方式

1.4 网格划分

网格划分采用结构化网格,控制单元边长,在相贯区域将网格加密. 选择采用C3D20R单元,其位移求解的结果较为精确,并能有效地防止剪力自锁现象. 网格划分详见图3.

2 有限元结果及验证

2.1 破坏模式分析

通过ABAQUS模拟得出的3个试件破坏现象均相同,如图4a)所示. T型方钢管相贯节点在轴压作用下,主要发生弦杆相贯面凹陷以及弦杆侧壁鼓凸,腹杆无明显破坏现象. 通过与文献[6]中的试验现象作对比,可以发现有限元模拟与试件实际破坏现象较为吻合. 弦杆相贯面凹陷,属于板件面外受力,可以采取在弦杆相贯处焊接加强板的方式减缓弦杆相贯面的凹陷;弦杆侧部鼓凸,属于板件面内失稳,可以在弦杆侧壁产生鼓凸位置焊接内衬板或内加劲肋,增加侧壁的刚度,从而减缓侧壁的鼓凸. 在

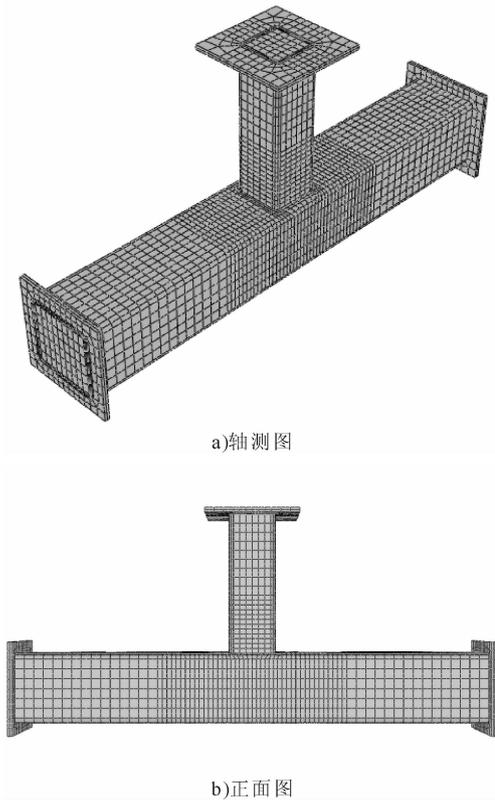


图3 试件网格划分

弦杆灌入混凝土,可以很好地克服弦杆相贯面凹陷以及侧壁鼓凸。

2.2 试件塑性扩展及应力分布

图5为试件塑性区域发展的示意图。由图6可知,在加载初期,弦杆应力较大,并且相贯面首先进入塑性;当荷载达到一定程度时,腹杆的根部也开始进入塑性;随着荷载的加大,弦杆进入塑性的区域不断扩大,由相贯处向2个端部及侧壁扩散,而腹杆的应力分布基本保持一致。

在加载过程中,腹杆远离相贯处的区域,应力较小且分布均匀,腹杆根部应力较大;弦杆靠近相贯处及支座部位,应力较大。弦杆的应力比腹杆大,应力最大值也发生在弦杆,故试件的破坏模式以弦杆破坏为主。

2.3 荷载-位移曲线

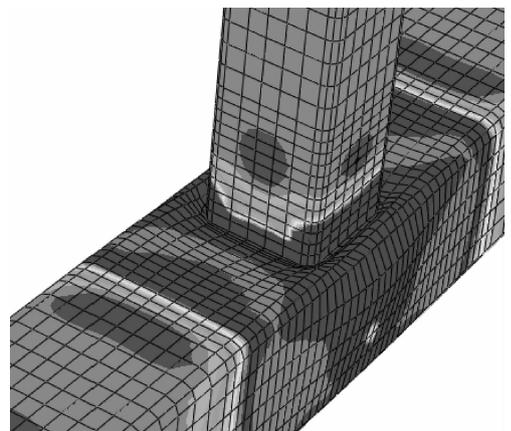
图6给出了3个试件的荷载-位移曲线模拟值与试验值的对比图,纵坐标 N 为腹杆的轴力,横坐标 Δ 为试件的整体位移,位移规定向下为正,向上为负。

对比曲线模拟值与试验值的结果,可以看出:节点由屈服至破坏,具有较好的塑性;模拟曲线初始刚度大于试验值;有限元能良好地计算试件的轴压极限承载力,试件N08与N10模拟值略大于试验

值,N12模拟值略小于试验值;不同 β 值,试件的模拟曲线也不相同,N08试件在塑性阶段表现出明显应力强化,N10应力强化不明显,而N12在塑性阶段出现了下降段。 β 值越小,试件应力强化的能力越强,延性也越好。可以看出,试件N10与N12有荷载的极值,并可以作为该试件的极限承载力;N08由于应力强化的影响,在塑性阶段荷载有略微的提升,最后趋于平稳,故将最后的稳定数值作为该试件的极限承载力。

2.4 承载力比较

表3为我国《钢结构设计规范》GB 50017—2003^[7]、Eurocode3^[8]以及IIW Static Draft Nov07^[9]对方钢管T型相贯节点进行轴压极限承载力的计算。通过对试件极限承载力模拟值与表3承载力规范计算值的对比,可以看出模拟值与IIW规范的计算结果最为接近;Eurocode3规范与《钢结构设计规范》计算值较为保守,并且与模拟值相差较大。由表3可知,随着 β 值的增大,试件的极限承载力增大。



a)模拟



b)试验

图4 破坏现象

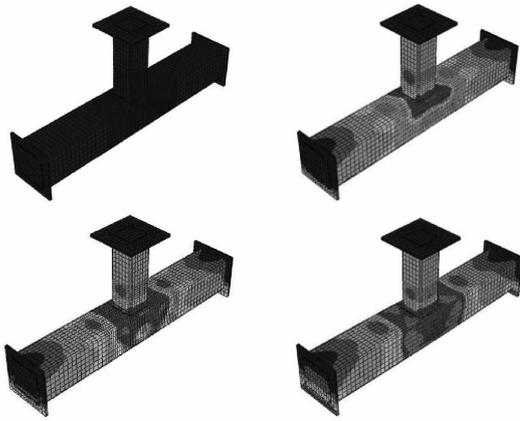


图5 试件塑性发展示意图

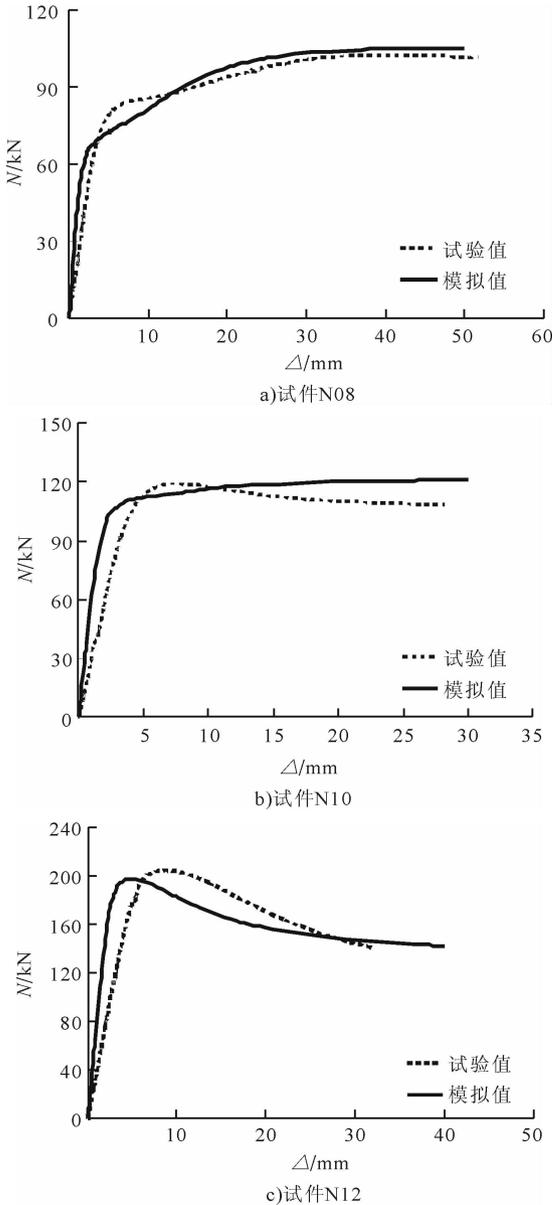


图6 荷载-位移曲线

表3 试件极限承载力计算值与模拟值对比表

试件名称	《钢结构设计规范》计算值	Eurocode3 计算值	IIW Static Draft Nov07 计算值	极限承载力模拟值 / kN
N08	45.82	52.71	95.84	105.14
N10	72.36	90.05	128.65	120.79
N12	123.42	159.57	199.47	197.68

3 结论

本文运用有限元软件 ABAQUS 对 T 型方钢管相贯节点轴压进行建模和计算,并与相应的试验结果进行对比,得出以下结论:

1) 试件在轴向压力作用下,破坏模式为弦杆相贯处凹陷,弦杆侧壁发生鼓凸.破坏发生在弦杆相贯部位,腹杆无明显破坏现象,工程中应对弦杆采取加固措施.

2) 试件从屈服到破坏的全过程,具有较强的塑性变形能力, β 值越小,试件在塑性阶段的应力强化现象越明显,试件的延性也越好.

3) 试件极限承载力随着 β 值的增大而增大,极限承载力的模拟结果与 IIW 规范最为接近.

4) 通过与试验结果对比可知,该试件在极限承载力、破坏模式等方面与试验值均吻合良好,可以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,2002,32(7):52.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] GB/T 228—2002,金属材料室温拉伸试验方法[S].
- [6] 王江.T 型轴压试验报告[D]. 厦门:华侨大学,2012.
- [7] GB 50017—2003,钢结构设计规范及条文说明[S].
- [8] Eurocode 3, Design of Steel Structures, Part 1—8: Design of Joint[S].
- [9] IIW Static Draft Nov07, IIW Static Design Procedure for Welded Hollow Section Joints-Recommendations[S].