

文章编号: 1000-5013(2007) 04 0422-04

弦杆弯折 T 型圆钢管相贯节点抗弯性能分析

陈 誉

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 以重庆江北国际机场新航站楼钢屋盖为例, 对弦杆为直杆和折杆两种类型的 T 型圆钢管相贯节点试验数据进行有限元分析. 通过有限元计算校验表明, 试件板壳有限元分析结果与实测值基本符合; 参数分析表明, 在一定几何参数条件下, T 型节点的腹杆与弦杆倾角在 40° 时, 达到平面内抗弯刚度的最大值; 而倾角在 20° 时, 达到平面内抗弯刚度的最小值, 且小于弦杆为水平 T 型节点的平面内抗弯刚度. 在平面内弯矩作用下, 弦杆为折杆的 T 型圆钢管节点计算可以简化为刚接节点模型.

关键词: T 型圆钢管; 相贯节点; 直杆; 折杆; 抗弯刚度; 有限元分析

中图分类号: TU 392.302 **文献标识码:** A

出于实际工程设计简化考虑, 大多圆钢管相贯节点都被作为铰接体系, 现行钢结构规范也仅给出考虑受杆件轴力作用的节点强度问题^[1]. 然而, 在实际结构中, 相贯节点是具有一定抗弯刚度的^[2]. 对于 T 型圆钢管相贯节点抗弯性能的研究, 目前也只有弦杆为直杆 T 型相贯节点的平面内和平面外抗弯刚度的计算公式. 在实际工程中, 经常会遇到弦杆为折杆的 T 型相贯节点, 可以把这种节点看作一个搭接 K 型节点, 弦杆被假想延长, 转折的弦杆被看作被搭接的腹杆来进行仅承受杆件轴力作用的强度计算^[3]. 这种节点形式的抗弯刚度还有待深入研究.

1 有限元计算校验

重庆江北国际机场新航站楼钢屋盖中次桁架形式为空腹桁架, 上弦采用方管, 弦杆和竖直腹杆采用圆管, 下弦节点为弦杆, 是直杆和折杆两种类型 T 型圆钢管相贯节点, 如图 1 所示^[4]. 本文结合重庆江北机场新航站楼钢屋盖中次桁架, 运用有限元软件 ANSYS, 对节点试件进行抗弯性能分析. 节点建模采用 8 结点弹塑性壳单元 Shell 93, 节点材料采用具有刚度强化的弹塑性模型, 泊松比 ν 为 0.3, 切线模量 G 为 $E/100$, 弹性模量和屈服强度取相应的材性试验数据. 有限元模型中的荷载取法同试验模型, 在加载杆件上施加水平力. 有限元模型的约束条件: 在弦杆两端拉耳的孔内施加径向约束和轴向约束.

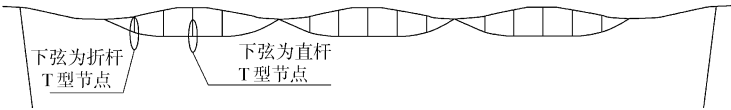


图 1 鱼腹式钢屋盖次桁架轴线图

Fig. 1 Axes of secondary truss in fish-bellied steel roof

有限元校准的 T 型节点试验试件 TA 和 TB, 其弦杆和腹杆的截面分别为 $\Phi 402\text{ mm} \times 14\text{ mm}$ 和 $\Phi 323\text{ mm} \times 12\text{ mm}$. 对试件 TA 施加一种荷载工况, 即由左向右施加水平荷载, 记为工况 TA-1; 试件 TB 因弦杆在节点两侧几何不对称, 故分别采用荷载由右向左施加和由左向右施加两种工况, 分别记为工况 TB-1, TB-2, 如图 2 所示. 由于对试件 TB 首先施加工况 TB-1, 考虑还需进行工况 TB-2 的试验. 所以, 工况 TB-1 作用时, 荷载加得比较小, 使其工作在弹性范围不破坏, 以便进行工况 TB-2 的试验.

收稿日期: 2006-11-24

作者简介: 陈 誉 (1978-), 男, 博士, 主要从事钢结构的研究. E-mail: chen-yuelite@sina.com.

基金项目: 福建省科技重大专项项目 (2005YZ1016); 福建省自然科学基金资助项目 (E0510022); 华侨大学科研基金资助项目 (07BS201)

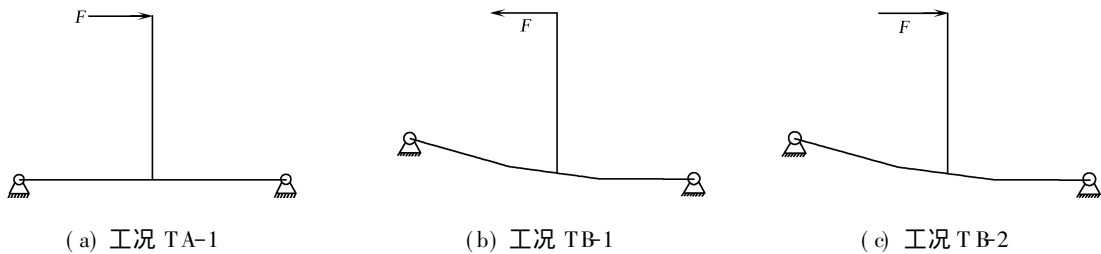


图 2 T 型节点试验试件工况

Fig. 2 Loads on experimental T-joints

试件 TA 在工况 TA-1 作用下和 TB 在工况 TB-2 作用下, 其有限元和试验值的对比如图 3 所示. 图 3 中, 试验测得的腹杆悬臂端水平位移是扣除刚体整体位移后的值^[4]. 从图 3 中可以看出, 就弹性阶

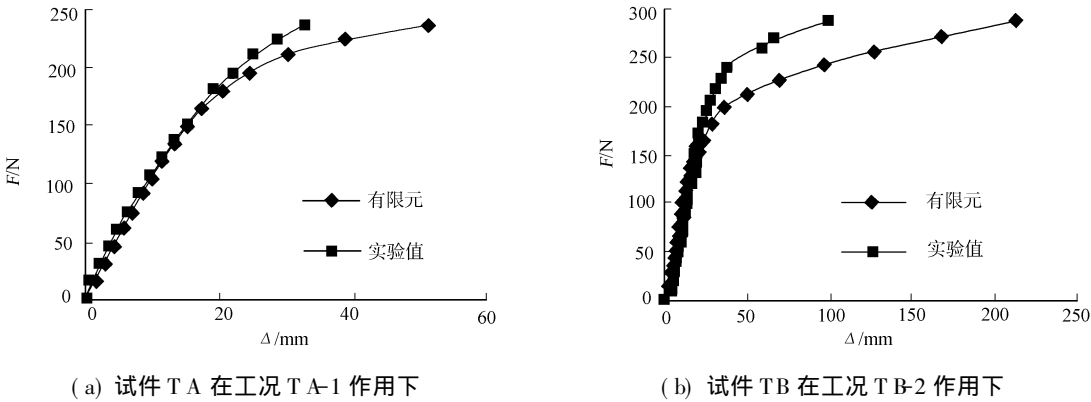


图 3 水平荷载-腹杆悬臂端水平位移曲线

Fig. 3 Horizontal load versus horizontal displacement of cantilever brace

段两组试件的试验曲线与有限元曲线基本吻合. 试件进入屈服后, 有限元计算的腹杆悬臂端水平位移值 Δ 大于试验值. 这可能是, 实际结构中弦杆和腹杆是通过焊缝连接, 有限元模型没有完全模拟, 导致节点区抗弯刚度比实际情况小. 此外, 分析表明在不考虑焊缝影响的情况下, TB 试件在节点区域受顺时针和逆时针弯矩作用, 其抗弯刚度完全相同.

2 刚度有限元分析及倾角影响

2.1 分析条件

通过两类 T 型节点试件的试验和有限元的对比分析, 证明了采用板壳有限元方法对这种节点形式的结构进行分析是可行的. 结构设计原型中的节点同试件在对应尺寸方面还存在一些差别, 因此有必要对实际节点进行有限元分析, 可以精确得到该类节点的抗弯刚度. 此外, 借助板壳有限元方法, 还可以考察弦杆倾角对节点弹性抗弯刚度的影响.

有限元模型材料均采用弹性模型, 泊松比 $\nu = 0.3$. 梁和壳的两种模型计算分别采用 ANSYS 提供的 Beam 188 单元和 Shell 93 单元. 网格划分时, 在远离相贯线区域单元尺寸采用全局控制. 由于在水平荷载作用下相贯线附近应力集中, 故在这个区域单元手工加密, 通过 ANSYS 的误差信息, 确定网格划分是否满足要求. 在梁单元模型中, 直接在腹杆顶端的节点上施加平面内的集中力; 而在壳单元模型中, 是在腹杆顶端的所有节点上施加平均集中力. 弦杆两端为完全固定支座, 腹杆端部为自由.

2.2 计算方法

模型的建立是依据以下 2 个基本假定. (1) 节点区域处于弹性阶段, 且处于小变形范围. (2) 弦杆与腹杆从节点域的悬挑长度足够长, 竖直腹杆的长度为外径的 5 倍, 弦杆单边长度为外径的 3 倍, 以消除端部条件对节点区域的影响. 弦杆为曲杆的 T 型节点的简化模型, 如图 4(a) 所示. 实际节点的制作中两弦杆之间是有一定倒角的, 模型应该修正为如图 4(b) 所示. 图 4(c) 中的板壳模型中, 在腹杆顶端的平面内荷载作用 P 下, 产生节点弯矩 M 为 $P \times L$. 腹杆顶端上每个节点均会产生相应的面内位移, 将这些节

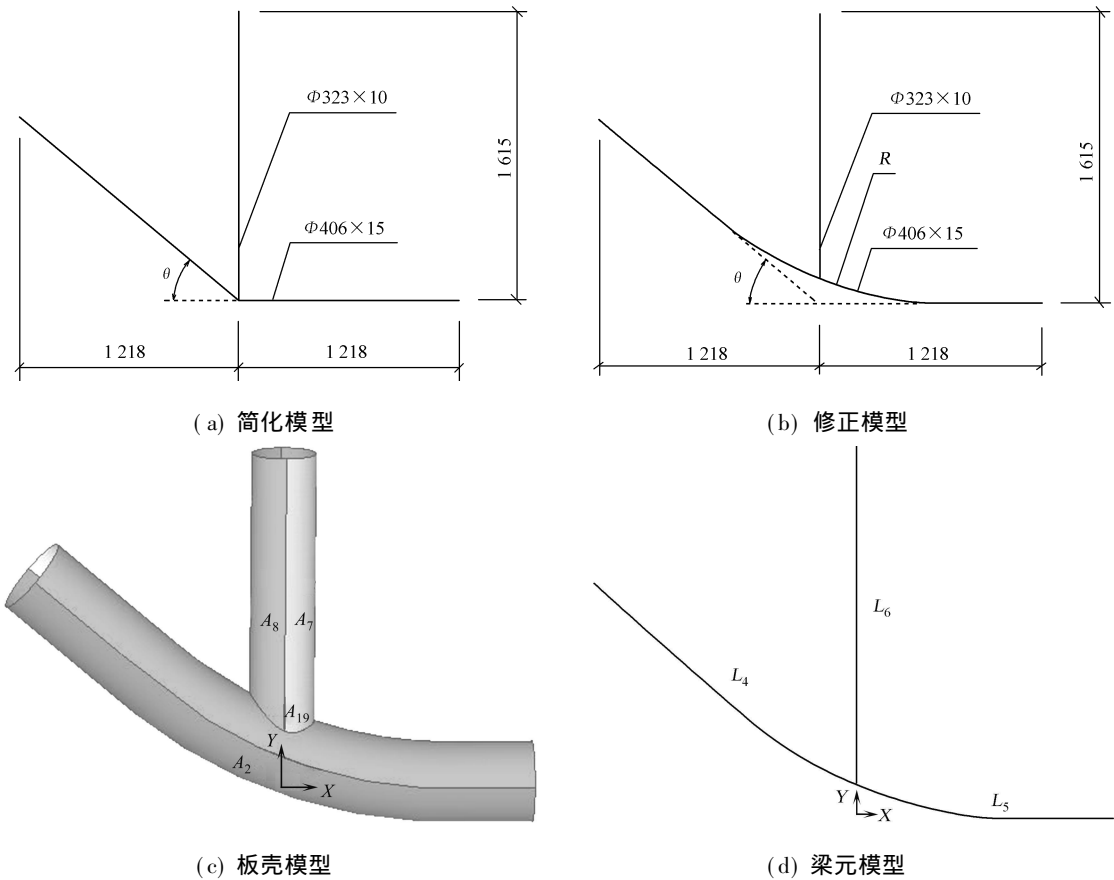


图 4 模型的建立 (mm)

Fig. 4 Establishment of models (mm)

点的位移平均得到 δ_i ; 图 4 (d) 的梁模型中, 在腹杆顶端的平面内荷载作用下, 腹杆顶端会产生相应的面内和面外位移 δ'_i . 主管相对变形引起的顶端位移为 $(\delta_i - \delta'_i)$, 主管相对变形引起的相对转角 θ 即可计算为 $(\delta_i - \delta'_i)/L$, 其中 L 为腹杆长度. 节点弹性抗弯刚度 K_e 为 M/θ .

2.3 参数分析结果

实际工程中, 弦杆倾角 θ 一般位于 $0 \sim 45^\circ$ 之间, 倒角半径 R 不小于弦杆直径的 3 倍, 且倒角部分的弦杆表面应大于腹杆与弦杆交汇区域. 本次参数分析也取这样一个范围进行分析. 参数分析表明, 弦杆为折杆 T 型节点, 受顺时针和逆时针弯矩作用下的平面内抗弯刚度完全相同, 如图 5 所示. 该类 T 型节点倾角在 400° 时达到平面内抗弯刚度的最大值, 这可能是由于在 $\theta = 0^\circ$ 情况下, 腹杆承受弯矩作用时导致水平弦杆面外变形, 随着倾角 θ 的增加, 倾斜的弦杆变形逐渐变为面内变形; 而弦杆壁的轴向刚度远远大于其径向刚度, 势必节点刚度有所增加. 倾角在 200° 左右达到平面内抗弯刚度的最小值, 且小于弦杆为水平 T 型节点的平面内抗弯刚度.

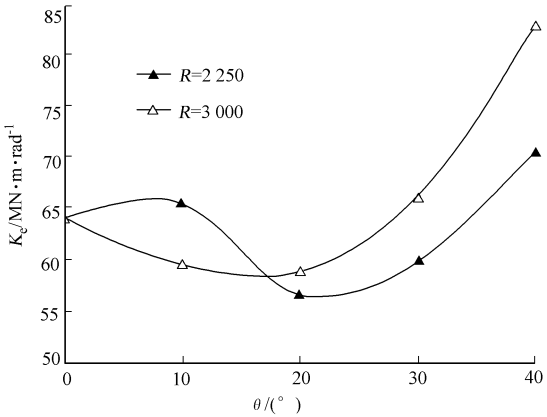


图 5 平面内抗弯刚度与倾角的关系曲线

Fig. 5 In plane flexural rigidity versus inclination angle

由图 6 可知, 从工程实践角度出发, 在平面内弯矩作用下弦杆为折杆的 T 型节点的 $\frac{M/M_p}{\theta/\theta_p}$ 值均大于 2.5^[5], 故节点在平面内弯矩作用下可以简化为刚接节点. 其中, M 为节点弯矩, θ 为节点区弦杆管壁局部变形造成的局部转动引起的腹杆根部转角, d 为腹杆直径, M_p 为腹杆全截面塑性时节点弯矩, θ_p 为

腹杆全截面塑性时节点腹杆根部转角, 利用公式

$$\frac{\theta_p}{M_p} = \frac{5d}{EI} \text{ 计算.}$$

3 结束语

(1) 依据弦杆为直杆和折杆的两种类型 T 型圆钢管相贯节点试验, 进行了有限元计算校验. 由计算可知, 试件板壳有限元分析结果与试验实测值基本符合, 证明板壳有限元方法计算钢管节点刚度是有效的、可靠的. (2) 依据有限元参数分析可知, 弦杆为折杆 T 型节点受顺时针和逆时针弯矩作用下的平面内抗弯刚度完全相同. (3) 在一定几何参数条件下, T 型节点腹杆与弦杆倾角在 40° 时达到平面内抗弯刚度的最大值; 倾角在 20° 左右达到平面内抗弯刚度的最小值, 且小于弦杆为水平 T 型节点的平面内抗弯刚度. 从整体看, 节点平面内抗弯刚度随倾角增大而增大, 但是针对特定几何尺寸的节点有限元分析结果显示, 可能会在 200° 的时候有所下降. 其他参数如弦杆半径与厚度比值 γ 、腹杆与弦杆直径比值 β 以及腹杆与弦杆壁厚比值 τ 的搭配有关. 如要全面了解此种类型节点抗弯刚度, 需要做进一步的变化参数 γ , β 和 τ 的有限元刚度分析. (4) 在平面内弯矩作用下, 弦杆为折杆的 T 型圆钢管节点计算可以简化为刚接节点模型.

参考文献:

[1] 《钢结构设计规范》编制组.《钢结构设计规范》专题指南[M]. 北京: 中国计划出版社, 2003: 140 141.
[2] 陈以一, 王 伟, 赵宪忠, 等. 圆钢管相贯节点抗弯刚度和承载力试验[J]. 建筑结构学报, 2001, 22(6) : 25 26.
[3] PACKER J A, HENDERSON J E, 曹俊杰. 空心管结构连接设计指南[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 122 123.
[4] 同济大学钢结构研究室. 重庆江北机场新航站楼主楼屋盖钢结构下弦 T 型节点试验报告[R]. 上海: 同济大学, 2003.
[5] BJORH ORDE R, COLSON A, BROZZETTI J. Classification system for beam to column connection[J]. Journal of Structural Engineering, 1990, 116(11) : 3059 3077.

Finite Element Analysis on Flexural Performance of
Unstiffened CHS T-Joints with Fold Chord

CHEN Yu

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Taking the steel roof of new station building at Chongqing Jiangbei international airport as example, it's presented the finite element analysis (FEA) on the experimental data of circular hollow section (CHS) unstiffened T-joints with straight or fold chord. FEA result basically conforms with experimental one. According to the T-joint calculation results for different angles between brace and chord, the in plane flexural rigidity reaches maximum at 40°; reaches minimum at 20°, which is even less than the rigidity of T-joints with straight chord. The connection of CHS T-joints with fold chord subjected to in plane bending moment can be simplified as rigid joint.

Keywords: CHS T-joints; unstiffened joints; straight chord; fold chord; flexural rigidity; FEA

(责任编辑: 黄仲一)

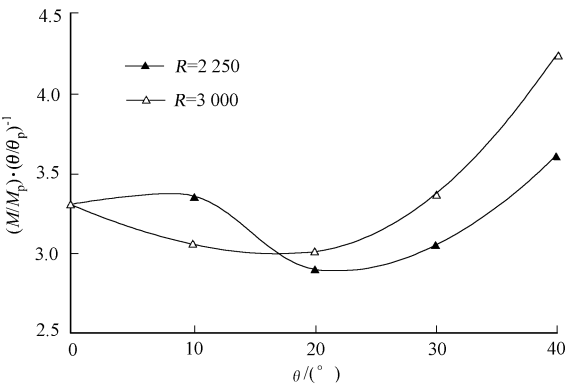


图 6 $\frac{M}{M_p} \cdot \frac{\theta}{\theta_p}$ 与倾角的关系曲线

Fig. 6 $\frac{M}{M_p} \cdot \frac{\theta}{\theta_p}$ versus inclination angle