

文章编号: 1000-5013(2009)02-0211-04

搭接节点圆钢管桁架结构轴力计算模型

陈 誉

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 以平面 K 型圆钢管搭接节点的试验数据为基础, 通过对试验桁架建立铰接、半铰接和刚接杆系有限元模型, 计算受外荷载作用下试验桁架各杆件的轴力. 有限元计算结果和试验数据对比分析可知, 节点试件腹杆和弦杆轴力的试验平均值更接近半铰接模型的计算结果. 进一步弹塑性分析表明, 在一定的几何参数条件下, 搭接节点腹杆轴力可以根据半铰接模型得到的腹杆内力比例和实际加载量确定. 建议在后续的搭接节点试验中, 可将非节点区域的腹杆壁厚加大, 以便通过弹性方法直接反算杆件轴力.

关键词: 圆钢管搭接节点; 轴力分布; 有限元分析; 计算模型

中图分类号: TU 392.301

文献标识码: A

近年来, 国内外许多重大钢管结构工程均采用相贯节点形式, 特别常见的是两腹杆相互搭接的相贯节点. 由圆钢管搭接节点试验^[1,2]和有限元分析可知^[3,4], 在加载达到节点极限承载力时, 腹杆杆件和腹杆根部节点区域均进入塑性. 因此, 依据在腹杆上粘贴的单向应变片反算轴力和弯矩的弹性计算方法不再适用. 而通过材性试验的应力-应变曲线获取轴力的方法又过于繁琐. 因此, 需要建立比较简单的力学模型, 而后确定杆件内力, 对杆件和节点承载性能作出合理判断^[5-7]. 文[8]对两种几何特征的圆钢管空间相贯节点, 进行了静力单调和反复加载的实验研究. 选取桁架完全处于弹性范围时, 对腹杆杆件内力测试值与 3 种理想模型计算值进行比较, 表明试件更接近刚性节点模型. 以上研究成果仅局限于间隙节点刚度性能, 而针对圆钢管搭接节点刚度性能的研究还未充分展开. 以节点刚度性能为基础的圆钢管搭接节点中轴力分配模型的研究成果, 则很少见到报道. 本文通过对试验桁架建立有限元模型, 计算受外荷载作用下试验桁架各杆件的轴力.

1 理论计算模型

要正确分析 K 型圆钢管搭接节点的极限承载性能, 确定节点区域各杆件的真实内力是非常重要的. 以相贯节点连接的钢管桁架, 一般在工程结构静力分析时是作为全铰接的桁架^[9]. 考虑到弦杆的连续性, 则半铰结构也是可行的. 但在一定的几何参数条件下, 相贯节点也可作为刚性节点^[10-11].

利用简单的杆系有限元建立模型(本文使用有限元程序 SAP 2000), 对试验桁架建立的 3 种计算模型进行内力分析, 计算受外荷载作用时试验桁架各杆件的轴力大小, 以便与试验测读数据对照分析^[1]. 有限元模型如图 1 所示, 节点计算模型如图 2 所示. 图 2 中, 模型 1 弦杆和腹杆都按照杆单元计算, 称为铰接模型(图 2a); 模型 2 弦杆按照梁单元、腹杆按照杆单元计算, 称为半铰接模型(图 2b); 模型 3 弦杆和腹杆都按

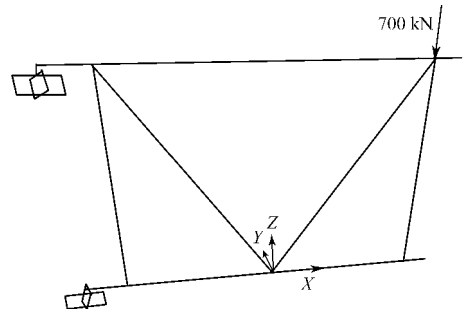


图 1 杆系有限元分析模型

Fig. 1 FEA model composed of bar element

收稿日期: 2008-01-14

作者简介: 陈 誉(1978-), 男, 副教授, 工学博士, 主要从事结构工程的研究. E-mail: chenyuelite@sina.com.

基金项目: 福建省科技重大专项(2005YZ1016); 福建省青年科技人才创新项目(2007F3065); 华侨大学科研基金资助项目(07BS201); 重庆交通大学结构工程(桥梁) 重点实验室开放基金资助项目(CQSLBF-Z07-1); 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室基金资助项目(LP0705)

照梁单元计算, 称为刚接模型(图 2c)^[1].

试验过程中, 荷载控制值为加载点上的油压千斤顶的加载值, 而相贯节点的承载力定义为腹杆的最大轴力. 为了校核试验加载的准确性及确定最终荷载的取值, 应当按千斤顶荷载, 计算出的杆件内力理论值和实际试验中节点杆件内力的反算值.

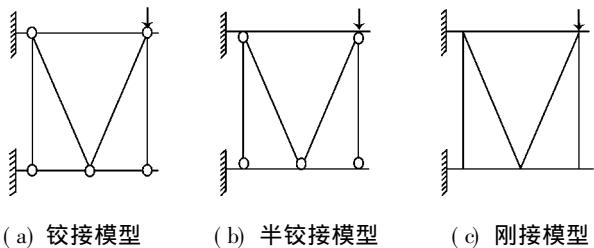


图 2 节点计算模型
Fig. 2 Joint analysis model

2 杆件轴力理论值与试验值比较

桁架中节点区域杆件轴力理论值(F_{th})与实测值(F_{exp})的比较, 如表 1 所示. 数值对应的千斤顶荷载为腹杆壁上测点进入塑性的前一级荷载等级. 试验设计 12 个搭接节点试件, 编号为 SJ1~ SJ12. 其中,

表 1 杆件内力测值与计算模型的比较

Tab. 1 Comparison between the experimental results of internal force and calculation results

试件编号	杆件	F_{exp}/kN	F_{th}/kN			F_{th}/F_{exp}		
			模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3
SJ1	贯通腹杆	884	810	805	750	0.916	0.911	0.848
	搭接腹杆	736	811	734	691	1.102	0.997	0.939
	弦杆	751	811	770	764	1.080	1.025	1.017
SJ2	贯通腹杆	807	810	799	742	1.004	0.990	0.919
	搭接腹杆	852	811	744	703	0.952	0.873	0.825
	弦杆	781	811	772	767	1.038	0.988	0.982
SJ4	贯通腹杆	386	463	456	416	1.199	1.181	1.078
	搭接腹杆	454	463	409	380	1.021	0.901	0.837
	弦杆	445	463	432	429	1.041	0.971	0.964
SJ5	贯通腹杆	453	463	454	414	1.022	1.002	0.914
	搭接腹杆	405	463	410	381	1.144	1.012	0.941
	弦杆	427	463	432	429	1.085	1.012	1.005
SJ6	贯通腹杆	459	463	453	412	1.008	0.987	0.898
	搭接腹杆	373	463	409	380	1.242	1.097	1.019
	弦杆	457	463	431	428	1.014	0.943	0.937
SJ7	贯通腹杆	430	463	454	413	1.076	1.056	0.960
	搭接腹杆	406	463	411	382	1.141	1.012	0.941
	弦杆	421	463	432	329	1.101	1.026	0.781
SJ9	贯通腹杆	426	463	454	414	1.087	1.066	0.972
	搭接腹杆	321	463	410	381	1.444	1.277	1.187
	弦杆	412	463	432	429	1.125	1.049	1.041
SJ10	贯通腹杆	440	463	454	413	1.052	1.032	0.939
	搭接腹杆	379	463	409	380	1.223	1.079	1.003
	弦杆	444	463	432	428	1.044	0.973	0.964
SJ11	贯通腹杆	524	524	516	489	1.000	0.985	0.933
	搭接腹杆	487	525	487	470	1.078	1.000	0.965
	弦杆	672	674	645	639	1.003	0.960	0.951
SJ12	搭接腹杆	584	463	465	430	0.793	0.796	0.736
	贯通腹杆	310	463	404	377	1.495	1.303	1.216
	弦杆	428	463	435	431	1.083	1.016	1.007

SJ1~ SJ2 对应的千斤顶荷载为 700 kN, SJ4~ SJ7, SJ9~ SJ12 对应的千斤顶荷载为 400 kN. 表 1 中的杆件轴力对比均为杆件完全处于弹性范围时的测试值, 以及其与 3 种模型计算值的对比. 表 2 是对比量为 36 的不同模型计算值的统计分析. 试件 SJ1~ SJ12 构件详细参数见文[1]. 试验加载装置如图 3 所示.

理论值按照 3 种不同计算模型由弹性分析得到, 试验值为腹杆上 3 个单向应变片反算值计算得到.

应变片在腹杆上分布情况如图 4 所示. 由表 1, 2 中数据对比可知, 试验试件整体而言, 腹杆和弦杆轴力的试验平均值更接近半铰接模型的计算结果. 其中 SJ9 和 SJ12 轴力试验值与半铰接模型差别较大, 主要原因可能是试验测试误差导致.

从传力路径上讲, 试件节点更接近于弦杆贯通的半铰接模型的有如下两个原因. (1) 搭接节点中两腹杆的内力部分抵消, 传力主要通过搭接部位.



图 3 试验加载装置图
Fig. 3 Test setup



图 4 应变片分布图
Fig. 4 Arrangement of strain gauges

(2) 试验桁架杆件长度与管径之比较小.

试验值和理论值存在一定偏差, 杆件轴力实测平均值小于理论值, 这可能也有如下 3 个原因. (1) 理论分析模型不完善. (2) 应变片与弦杆轴线不完全平行, 或者管壁上 3 个应变片位置不完全在杆件同一截面内而造成应变读数误差. (3) 杆件截面实际存在的偏差, 以及试件轴线的局部偏差.

3 内力分布系数

选取腹杆杆件明显进入塑性的桁架节点 SJ6, 分别考察节点在半铰接模型和刚接模型下, 采用弹塑性和弹性方法对杆件轴向力分布系数的变化, 如表 3 所示. 在右端部最大荷载作用下, SJ6 搭接腹杆割线模量降为 0.9E, 贯通腹杆割线模量降为 0.5E, 其中 E 为弹性模量. 从表 3 可知, 在半铰接模型下, 采用弹塑性方法与弹性计算方法相比轴向力分布差别较小; 而在刚接模型下, 采用不同的计算方法轴向力分布差别较大.

表 3 杆件轴向力的分布比较
Tab. 3 Comparson of axial force in joints
单位: kN
unit: kN

杆件	F_{exp}	半铰接模型			刚接模型		
		弹性	弹塑性	弹性/弹塑性	弹性	弹塑性	弹性/弹塑性
贯通腹杆	430	453	427	1.06	412	369	1.12
搭接腹杆	406	409	425	0.96	380	389	0.98
弦杆	421	431	426	1.01	428	423	1.01

由于最大加载荷载作用下两腹杆均进入塑性, 通过腹杆上的单向片读数很难得到准确的轴力值. 经过不同杆端约束和弹塑性全程分析可知, 试件节点腹杆轴力可以依半铰接模型得到的腹杆内力比例和实际加载量确定.

4 结束语

建立圆钢管搭接节点的 3 种计算模型, 并进行内力分析. 由有限元计算结果和试验数据对比可知, 整体而言, 腹杆和弦杆轴力的试验平均值更接近半铰接模型的计算结果. 在后续腹杆杆件可能进入塑性

的节点试验中, 建议将非节点区域的腹杆壁厚加大, 可以仅让腹杆根部进入塑性, 而腹杆杆件本身处于弹性阶段, 以便应用单向片直接通过弹性计算得到轴力. 本文仅得到搭接节点轴力分布计算模型, 后续研究可以分离出弯矩成分并与有限元计算结果比较, 得出该类节点弯矩分布规律.

参考文献:

- [1] 陈 誉. 平面 K 型圆钢管搭接节点静力性能研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [2] 陈 誉, 赵宪忠, 陈以一, 等. 平面 K 型圆钢管相贯搭接节点静力性能的试验研究[J]. 建筑结构学报, 2006, 27(4): 23- 29.
- [3] 赵宪忠, 陈 誉, 陈以一, 等. 平面 K 型圆钢管搭接节点有限元参数分析与极限承载力计算公式[J]. 建筑结构学报, 2006, 27(4): 30- 36.
- [4] 陈 誉, 彭兴黔. 空间 KK 型双弦杆圆钢管搭接节点有限元参数分析与极限承载力计算公式[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(3): 37- 45.
- [5] DEXTER E, LEE M. Static strength of axially loaded tubular K joints (I): Behaviour[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1999, 125(2): 194- 201.
- [6] DEXTER E, LEE M. Static strength of axially loaded tubular K joints (II): Ultimate capacity[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1999, 125(2): 202- 210.
- [7] GAZZOLA F, LEE M, DEXTER E. Design equations for overlap tubular K joints under axial loading[J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 2000, 126(7): 798- 808.
- [8] 陈以一, 沈祖炎, 翟 红, 等. 圆钢管相贯节点滞回性能的实验研究[J]. 建筑结构学报, 2003, 24(6): 57- 62.
- [9] PACKER J A, HENDERSON J E, CAO J J. 空心管结构连接设计指南[M]. 曹俊杰, 译. 北京: 科学出版社, 1997: 122- 123.
- [10] WARDENIER J, KUROBANE Y, PACKER J A. Design guide for circular hollow section joints under predominantly static loading[M]. Netherland: [s. n.], 1991: 33.
- [11] 陈 誉. 弦杆弯折 T 型圆钢管相贯节点抗弯性能分析[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2007, 28(4): 422- 425.

Axial Force Calculation Model of Circular Hollow Steel Member in Truss with Overlapped Unstiffened Joints

CHEN Yu

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

Abstract: Based on experimental results of unstiffened overlapped circular hollow section (CHS) joints, the axial forces of experimental truss members connected with hinge joints, semi hinge joints or rigid joints, are calculated by the finite element analysis (FEA) model. Comparing the FEA results with experimental results, the experimental value of axial force in brace members of test joints is closer to calculation result with semi hinge model. Under certain geometrical parameters, axial force of members can be determined by the ratio of force in brace members and actual load according to elastic plastic analysis method. In the unstiffened overlapped CHS joints experiment, the wall thickness of brace member in non joint zone would be increased so as to calculate axial forces directly by the way of elastic method.

Keywords: unstiffened overlapped circular hollow section joints; axial force distribution; finite element analysis; calculation model

(责任编辑: 黄仲一 英文审校: 方德平)