

加劲肋宽厚比对钢管-板节点承载力的影响

崔进波, 苏明周, 杨俊芬, 向 洋

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 以实际工程中设有 1/4 环加劲肋的钢管-板节点进行足尺模型试验和有限元分析, 通过改变加劲肋的宽度或厚度, 得到增加加劲肋的厚度或宽度均可提高节点的极限承载力, 且增加厚度比增加宽度更为有效。研究结果不仅为实际工程的建设提供了参考依据, 还丰富了此类节点研究的数据库。

关键词: 钢管-板节点; 1/4 环加劲肋; 厚度或宽度; 极限承载力

中图分类号: TM753

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)05—0082—03

Influence of Width-to-thickness Ratio of Stiffening Rib on Bearing Capacity of Tube-gusset Joint

CUI Jin-bo, SU Ming-zhou, YANG Jun-fen, XIANG Yang

(College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract: The full scale model experiment and finite element analysis are made for the tube-gusset joint with 1/4 circle stiffening rib in practical projects. The results indicate that the joint's ultimate bearing capacity would be increased with the increase of the thickness or width of stiffening rib, and the increase of thickness is more efficient than the increase of width. The study result would not only provide bases for practical engineering construction, but also improve the database of the joint research.

Keywords: tube-gusset joint; 1/4 circle stiffening rib; thickness or width; ultimate bearing capacity

随着我国经济的快速发展, 社会对用电的数量和质量要求越来越高, 也给输变电工程的发展带来了挑战和机遇^[1]。输变电塔架中常用的节点形式主要有相贯节点和钢管-板节点两种, 目前国内外对相贯节点的研究比较成熟, 而对钢管-板节点的研究还很少^[2-5], 且现有规范中承载力的计算公式没有考虑加劲肋的影响。本文以某 1000 kV 特高压交流变电站实际工程为背景, 对设置了 1/4 环加劲肋板的钢管-板节点承载力进行足尺试验研究和有限元分析, 分析加劲肋板厚度和宽度对承载力的影响, 对指导设计此类节点有重要意义。

1 试验研究

1.1 试验构件、安装及加载

参照 1 000 kV 示范站的钢管-板节点, 制作了二个相同的足尺标准试件 S1 和 S2, 主管为 $\Phi 480 \times 12$

mm, 1/4 环加劲肋宽度 h 和厚度 t 分别为 60 mm 和 5 mm。各构件之间均采用焊接连接, 材质均为 Q345B。管底部与底座刚接, 主管轴向压力 N 通过两个量程为 1 000 kN 液压千斤顶对称的施加于主管顶部, 作用于节点板圆孔处的竖向拉力 T 通过量程为 500 kN 液压千斤顶施加在销铰上, 圆孔形心距管壁 400 mm, 拉力 T 对主管管壁产生弯矩使其受弯, 以 T 来等效的研究节点的极限承载力。主管压力按轴压比为 0.3 施加, 单独将 $N = 1\ 800$ kN 施加于主管顶部, 停歇 10 min, 保持此力大小不变。待 N 稳定后再逐步施加拉力 T , 直至试件破坏, 利用传感器来控制荷载的大小。卸载时先逐步卸掉拉力 T , 然后再卸掉轴压力 N 。在 A 点布置 1 号位移计, 监测主管管壁的内凹变形; 在 B 点布置 2 号位移计, 监测主管管壁的外凸变形, 以方便绘制荷载位移曲线。试件加载简图如图 1 所示。

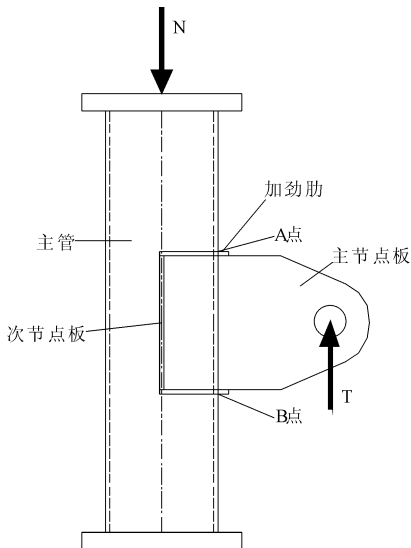


图 1 试件加载简图

1.2 材性试验

依据国家标准^[6-7]的有关规定,共进行 4 组单向拉伸试验,每组 3 个试件,材性试件尺寸如图 2 所示,试件颈缩如图 3 所示。

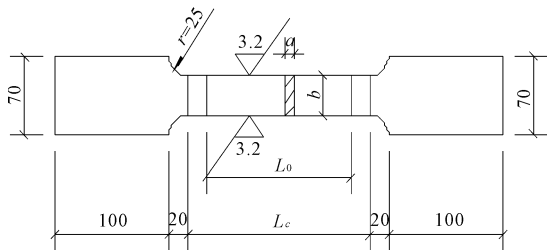


图 2 材性试验试件加工图(mm)

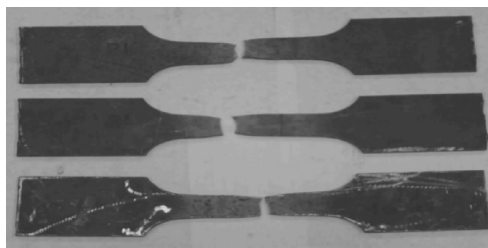


图 3 试件颈缩

材料试验结果为屈服强度为 410 MPa、抗拉强度为 520 MPa、弹性模量为 2.1×10^5 MPa,均满足规范要求。

1.3 试件破坏现象

试件 S1:当 T 为 200 kN 时,上加劲肋环板产生轻微的翘曲变形,同时主节点板与主管连接的焊缝出现数条受力斜纹; T 为 300 kN 时,A 点管壁有可视的凹陷变形,B 点管壁也略向外凸出变形,同时上加劲肋环板变形程度有所加大; T 达到 350 kN 时,主节点板上作用的荷载开始回落。上、下加劲肋环

板都有明显的翘曲变形,A 点管壁有明显的凹陷变形,B 点管壁有明显的外凸变形,主节点板与主管连接的焊缝突然断裂,下加劲肋环板被拉断,且发出声响。

试件 S2:当 T 为 200 kN 时,A 点的管壁出现微小的凹陷变形,上加劲肋环板产生轻微的屈曲变形;当 T 为 300 kN 时,A 点的管壁继续凹陷,上加劲肋环板产生翘曲变形程度加大同时 B 点管壁出现可视的外凸变形;当 T 为 370 kN 时,主节点板上作用的荷载开始回落。A 点管壁与 B 点管壁均有明显的变形,主节点板与主管连接的焊缝撕裂。

由试验可知,节点中主节点板与主管相接的上下两端部(A 点与 B 点)是构件破坏的薄弱位置,随着荷载 T 的逐步加大,两端部首先开始进入塑性状态而形成塑性区,但塑性区被周围弹性区所包围,暂时不影响节点整体刚度,继续加载直至两端部出现明显的塑性变形,节点达到承载力极限状态,节点随之破坏。采用极限变形准则^[8]来确定极限承载力:在 $3\% d_0$ 变形范围内出现极限荷载时,以该极限荷载作为节点极限承载力;否则以变形达 $3\% d_0$ 时的荷载作为节点极限承载力(d_0 为主管直径)。由试验数据所绘 A 点与 B 点的荷载位移曲线得到的极限荷载 T 见表 1。

表 1 试件极限荷载及对应变形

试件编号	A 点对应局部变形/mm	B 点对应局部变形/mm	极限承载力 T /kN
S1	7.12	4.28	348.4
S2	10.31	2.63	369.7

2 有限元分析

2.1 有限元模型的建立与验证

有限元分析程序为 ANSYS^[9],采用四节点六个自由度的 Shell181 单元来模拟节点,选用 Mises 屈服准则、双线性等向强化材料模型,泊松比 $\nu = 0.3$,弹性模量为 2.1×10^5 MPa。试件主管底部固结,主管顶部为仅可沿 Y 向自由移动的滑动铰支座,位移变形和等效应力分别如图 4、5 所示,根据有限元(FEM)和试验数据所绘 A、B 点的荷载位移曲线如图 6、7 所示。

由图 4 的位移变形可知主管管壁在 A 点凹陷,B 点凸起,且 A 点的凹陷比 B 点的凸起变形量要大很多;由图 5 的应力分布可知,节点板上部屈服范围比下部大,左右两侧的应力分布也不对称,有加劲肋一侧的屈服范围比另一侧小,这是因为加劲肋的设置减小了应力集中程度,使应力扩散出去。所以由

计算得到的 A、B 两点的主管管壁凹凸变形形态与试验结果一致,且荷载位移曲线与试验拟合较好,可知有限元模型的建立是正确的,以此进行模拟分析是可行的。

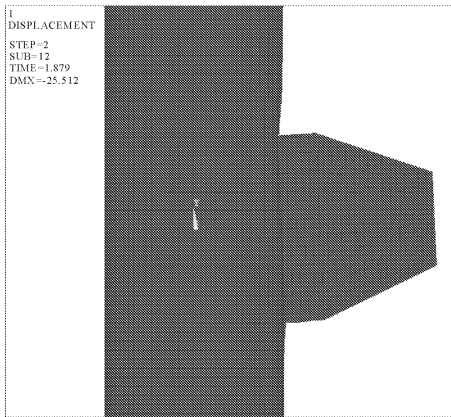


图 4 位移变形图

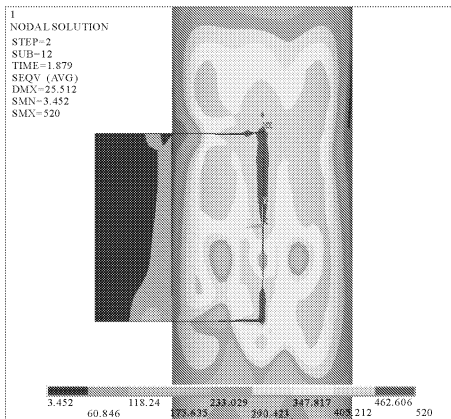


图 5 等效应力图

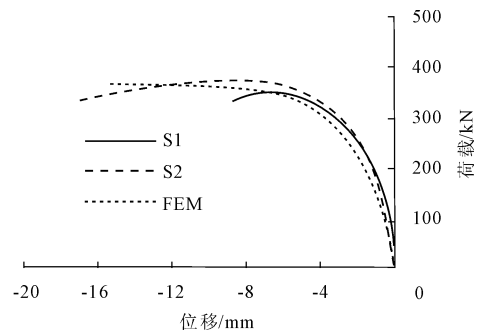


图 6 A 点荷载~位移曲线

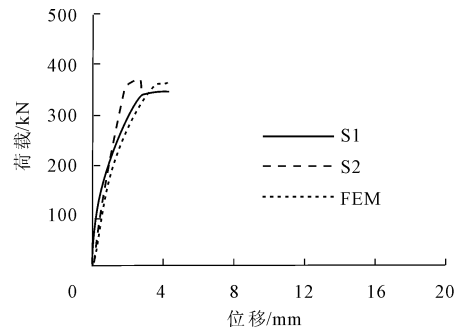


图 7 B 点荷载~位移曲线

2.2 加劲肋宽厚比对承载力的影响

当节点其他参数不变时,改变加劲肋的厚度和宽度对节点极限承载力进行有限元计算。第一组数据宽度 $h = 60$ mm,厚度 t 依次为 3 mm、4 mm、5 mm、6 mm、7.5 mm、10 mm、12 mm、15 mm、20 mm;第二组数据厚度 $t = 5$ mm,宽度 h 依次为 25 mm、35 mm、45 mm、55 mm、60 mm、65 mm、75 mm、85 mm、95 mm。计算结果见表 2、表 3。

表 2 厚度 t 改变时有限元计算结果

厚度 t /mm	3	4	5	6	7.5	10	12	15	20
宽厚比 h/t	20	15	12	10	8	6	5	4	3
承载力 T /kN	308.8	329.8	344.1	351.2	361.5	383.8	404.7	420	439.6

表 3 宽度 h 改变时有限元计算结果

宽度 h /mm	25	35	45	55	60	65	75	85	95
宽厚比 h/t	5	7	9	11	12	13	15	17	19
承载力 T /kN	291	305.6	314.7	333.8	344.1	353.2	365.3	382	398.3

由表 2 可知,当加劲肋宽度不变厚度增加时,极限承载力几近成线性增加,当厚度为 $t = 12$ mm 和 $t = 20$ mm 比 $t = 5$ mm 承载力分别提高 17.6% 和 27.8%;由表 3 可知,当加劲肋厚度不变宽度增加时,极限承载力也几近成线性增加,宽度为 $h = 75$ mm 和 $h = 95$ mm 比 $h = 60$ mm 承载力分别提高

6.2% 和 15.8%。虽然宽度和厚度的增加都可以提高节点极限承载力,但由节点应力云图可看出,环板与主管管壁接触处的应力较大,越往外应力越小,宽度增大没有厚度增大对管壁应力扩散的效果更明显,所以增加厚度比增加宽度更为有效。

(下转第 146 页)

3 结论及建议

以两个足尺试验的结果为基础,建立了合理的有限元模型,对设有 1/4 环加劲肋的钢管-板节点进行弹塑性分析,可得以下结论和建议:

(1) 节点板与主管管壁相接的上下两端部是节点设计的薄弱环节,此两处出现应力集中,主管管壁发生局部屈曲而使节点破坏。

(2) 加劲肋对提高节点极限承载力影响较大,它可以使两端点的集中应力向周边扩散,从而提高极限承载力。

(3) 设有加劲肋的节点,当增大其宽度或厚度时,均可提高节点极限承载力,增加厚度比增加宽度更为有效。

参考文献:

[1] 徐芸,郭耀杰,赵兵.大跨越输变电路高耸塔高强度 h 形节点研究[J].武汉理工大学学报,2010,32

(12):49-54.

- [2] Woo - Bum Kim. Ultimate strength of tube - gusset plate connections considering eccentricity[J]. Engineering Structures, 2001,23(11):1418-1426.
- [3] Architectural Institute of Japan. Recommendations for the design and fabrication of tubular structures in steel [S].1990.
- [4] 郭建,孙炳楠.钢管塔中管-板连接节点的破坏全过程分析[J].工业建筑,2006,36(12):83-85.
- [5] 余世策,孙炳楠,叶尹.高耸钢管塔结点极限承载力的试验研究与理论分析[J].工程力学,2004,21(3):155-161.
- [6] 国家标准局.GB6397-86.金属材料室温拉伸试验试样[S].北京:中国标准出版社,1986.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局.GB/T 228-2002.金属材料室温拉伸试验方法[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [8] 武振宇,张耀春.轴向力作用下 T 型方管节点的塑性铰线分析[J].土木工程学报,2002,35(4):20-24.
- [9] 王国强.实用工程数值模拟技术及其在 ANSYS 上的实践[M].西安:西北工业大学出版社,1998.