

文章编号: 1005-0523(2007)02-0021-05

大管径加肋钢管构件稳定性研究

赖颖¹, 金国芳¹, 张安哥²

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海, 200092; 2. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌, 330013)

摘要:通过运用有限元软件 ANSYS 对大管径加肋钢管拱肋节段的受力作稳定性计算分析, 最终提出了拱肋最优化截面布置形式, 可供工程实践参考。

关键词:钢管混凝土; 稳定性; 加肋钢管; 最优化

中图分类号: TU311

文献标识码: A

1 工程背景

北盘江大桥是沪瑞国道贵州省镇宁至胜境关公路上跨越北盘江大峡谷的一座特大型桥梁。贵州省交通规划勘察设计研究院提出了多种设计方案进行研究对比。其中提出了一种主桥为上承式钢管混凝土桁式组合拱桥, 引桥为先简支后连续 T 梁的设计方案。主孔计算跨径 $L=420\text{ m}$, 计算矢高 $f=105\text{ m}$, 下弦拱轴线为悬链线。下弦主孔采用钢管混凝土结构, 在施工中仅吊装空钢管, 合拢后灌注混凝土, 形成全拱、全断面的钢管混凝土结构。拱肋直径为 4 m , 钢管

壁厚 14 cm , 在钢管内壁沿纵向布置加劲肋以提高钢管纵向稳定性, 并在节段内每隔一定的距离布置一道环向加劲肋。

2 ANSYS 有限元分析

首先对拱肋进行静力计算。本文只取主孔下弦单根钢管拱肋在自重作用下进行静力计算。拱肋以上的所有构件对拱肋施加的荷载以及施工荷载等的作用, 可以按 0.5 倍的拱肋自重荷载施加在拱肋上, 由此得到的内力是偏安全的。将钢管拱沿拱肋轴线

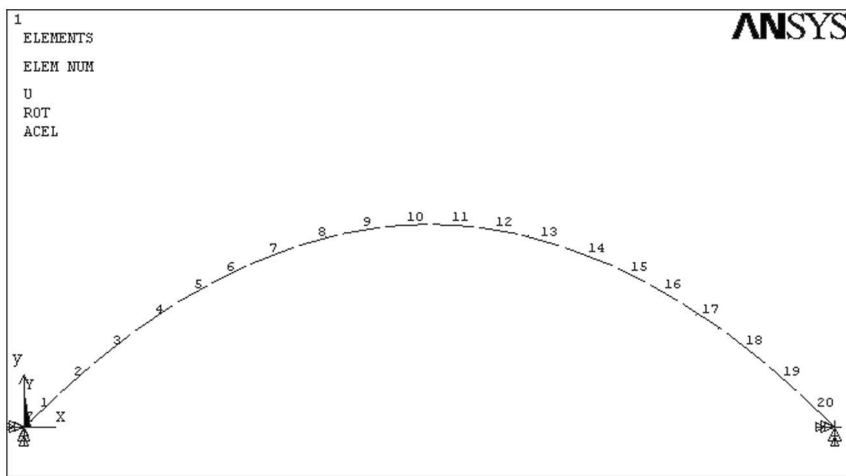


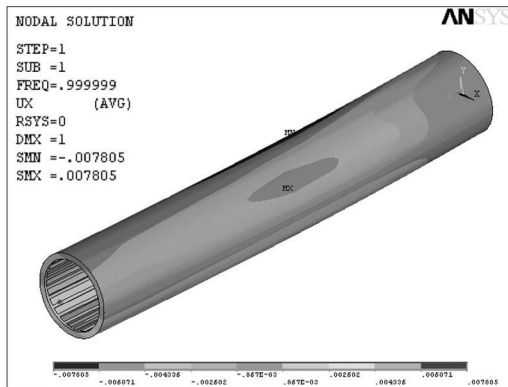
图1 拱肋梁单元划分

收稿日期: 2007-01-02

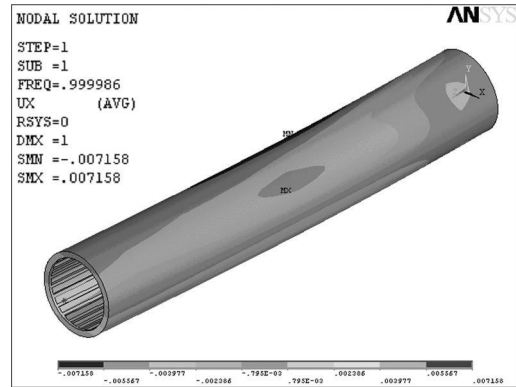
作者介绍: 赖颖(1981-)女, 江西泰新人, 同济大学在读博士生。
(Copyright © 2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net)

方向划分为有限近似直梁单元,以分段折线代替拱的曲线,梁单元两端之间的截面内力近似为线性变化.如图1所示,整个模型取 BEAM4 梁单元,计算得到拱肋单元内力后,即可对各拱肋节段单元的的稳定承载力进行计算.钢管直径 $D=4\text{ m}$,壁厚 $t=0.14\text{ m}$,纵向加劲肋尺寸为 $0.14\text{ m}\times 0.15\text{ m}$,环向加劲肋厚 0.14 m .考虑到钢管节段内布置了纵向和环向加劲肋,采用壳体等单元类型不利于钢管整体单元建模,并且不能很好地模拟加劲肋的力学性能,所以对于单个节段,采用 SOLID45 单元建模.计算时不考虑几何缺陷对结构屈曲载荷的影响,整个屈曲过程的分析将仅限于线弹性屈曲范围内.

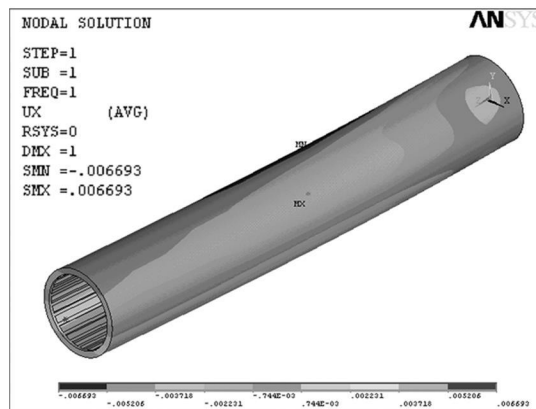
3 计算结果分析



(a) 布置 3 根环肋



(b) 布置 5 根环肋



(c) 布置 7 根环肋

图2 节段1(24根纵肋)在X轴方向位移云图(1阶屈曲模态)

3.2 影响因素分析

下面以节段1、7、9为主要研究对象,对影响节段的屈曲承载力的因素进行分析.图4至图6分别列出了节段1、7、9在布置24根纵肋7根环肋情况下的荷载一位移曲线.非线性屈曲时节段7的荷载

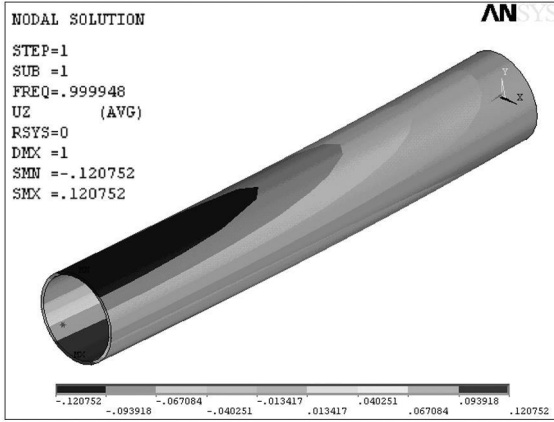
3.1 屈曲模态对比

下面以节段1为主要研究对象,对不同截面布置下节段的屈曲形态、变形云图等进行对比分析.图2为节段1(24根纵肋)在布置3、5、7根环向肋情况下1阶屈曲模态的X轴方向位移云图,可以看到节段均发生整体失稳,未见有钢管局部鼓(凹)曲,随着布置环肋数的增加,X轴方向最大位移逐渐减小,但减小得并不明显.图3把节段1在相同环肋布置,不同纵肋布置情况下的轴向压缩变形云图和空钢管进行了对比.截面布置节段7根环肋8根纵肋时,特征值屈曲荷载值比空钢管提高了12%.当纵肋数从8逐步增加时,节段的屈曲荷载值按7%左右递增,同时节段的压缩变形也逐步减小,以布置24根纵肋的压缩变形为最小(11.89 cm),但由于发生整体失稳的缘故,压缩变形的变化并不明显.

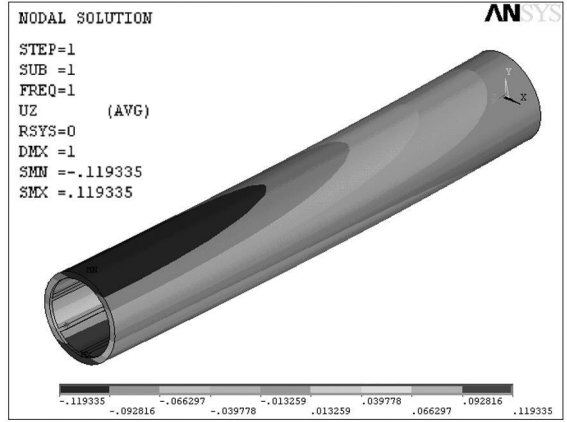
值只有相同截面布置下节段1的28.5%,同时也只有自身特征值屈曲荷载的36%.产生该现象的原因是节段长度对屈曲荷载的影响.从图6中节段9的 F_H-u_x 曲线可以看到:当 F_x 未达到1.648 105 kN之前,曲线较陡,随着曲线的上升,荷载增加很大,当

荷载超过 1.684 810 5 kN 后,曲线逐渐变得平缓,这时荷载增幅的速度很小,而位移却迅速增加,曲线达到临界点后,突然上升成为一条折线,此时 ANSYS 求解发散.根据曲线在这一点上的斜率可以判断这是由物理不稳定性引起的,也就是说节段此时发生了

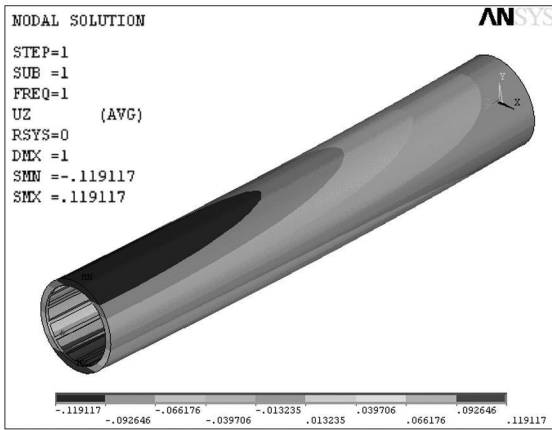
屈曲,该点所对应的荷载值即为屈曲荷载.和长度相近的节段 1 比较,发现两者在特征值屈曲时的轴力和弯矩只相差 10%左右,而节段 9 在非线性屈曲时的轴力和弯矩却比节段 1 大很多,这是自重对节段稳定承载力的影响造成的.



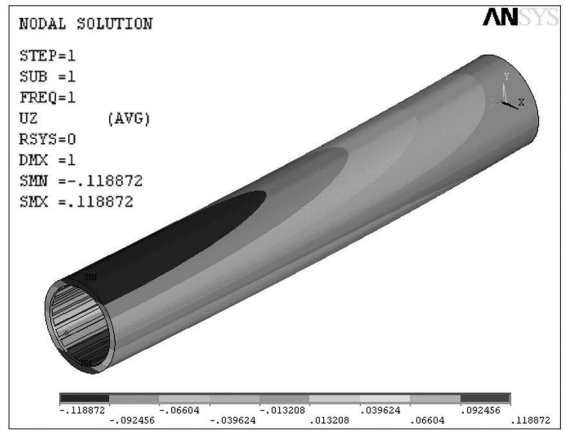
(a)未布置加劲肋



(b)布置 7 根环肋 8 根纵肋



(c)布置 7 根环肋 16 根纵肋



(d)布置 7 根环肋 24 根纵肋

图 3 节段 1 压缩变形云图(1 阶屈曲模式)

通过以上对几个节段的对比分析,可以得出以下结论:(1)节段长度对节段的稳定承载力有影响,在截面布置相同的情况下,节段长度越长,其稳定承载力就越小,更易于发生失稳.(2)重力对节段的稳定承载力也有影响,节段与水平方向所成的夹角越大,重力对稳定承载力的影响程度也越大,从而使节段的非线性屈曲荷载与理论值(特征值屈曲荷载)相比迅速下降,使得节段较早地发生了失稳.(3)在节段中布置纵向加劲肋可以有效提高节段的稳定承载力.环肋对节段承载力的提高所起的作用很小,它只能延缓节段过早地发生局部屈曲,环肋布置越多,节段的局部屈曲程度就越小.

4 最优化截面形式的提出

为了得出最优化的加劲肋布置形式,可先引入一个“安全系数” φ ,令 φ =节段非线性屈曲荷载/节段内力, φ 实际上表示节段非线性屈曲荷载是节段内力的 φ 倍.通过计算,节段 7 的“安全系数”最小,都在 2—3 之间,和其他几个节段相比,该节段“安全储备”小,更易于发生失稳,因此可以把节段 7 的最优化截面布置形式作为整个拱肋的最优化截面形式,这种统一的截面形式既偏于安全,又方便了钢管拱肋节段的制作.节段 7 在布置 24 根纵肋 7 根环肋(环肋间距 4.811 m,可四舍五入取整)时的 φ 值最大

($\varphi=2.57$), 因此可以把这种截面布置作为拱肋的最优化截面布置形式. 由此整个拱肋的最优化截面布置形式是: 沿拱肋纵向布置 24 根加劲肋, 环向加劲

肋每隔 5 m 布置一道. 这种最优化的截面布置形式是在理论计算结果的基础上进行对比分析提出来

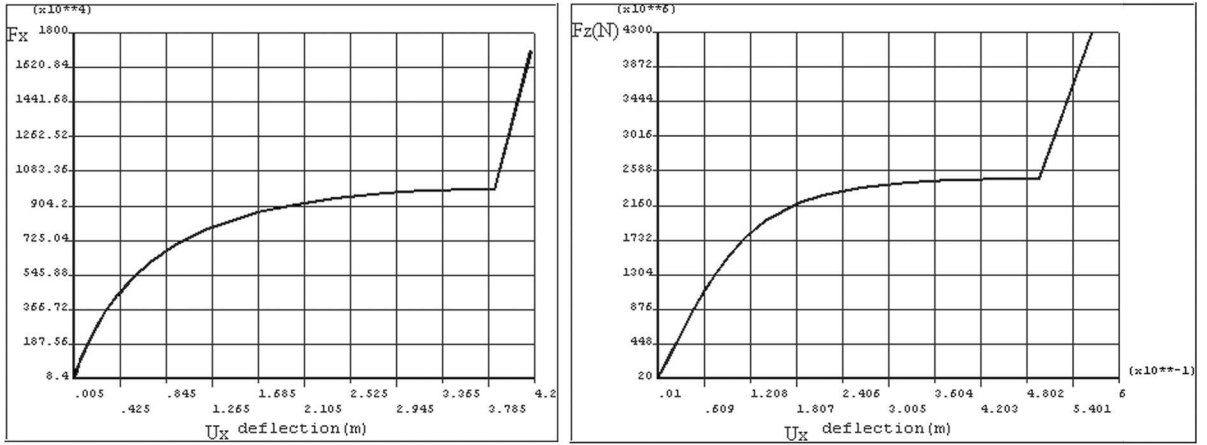


图 4 节段 1 荷载—位移曲线(布置 24 根纵肋 7 根环肋)

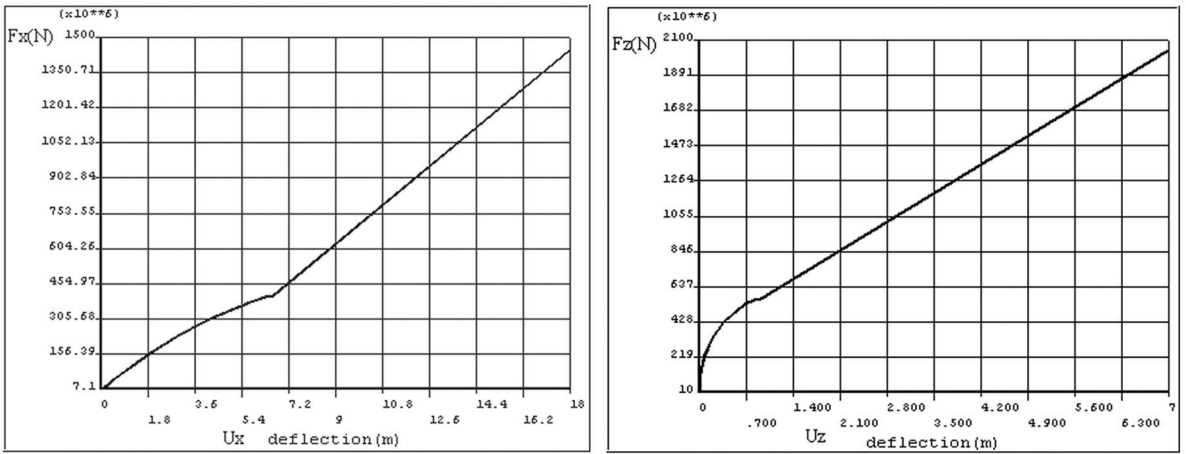


图 5 节段 7 荷载—位移曲线(布置 24 根纵肋 7 根环肋)

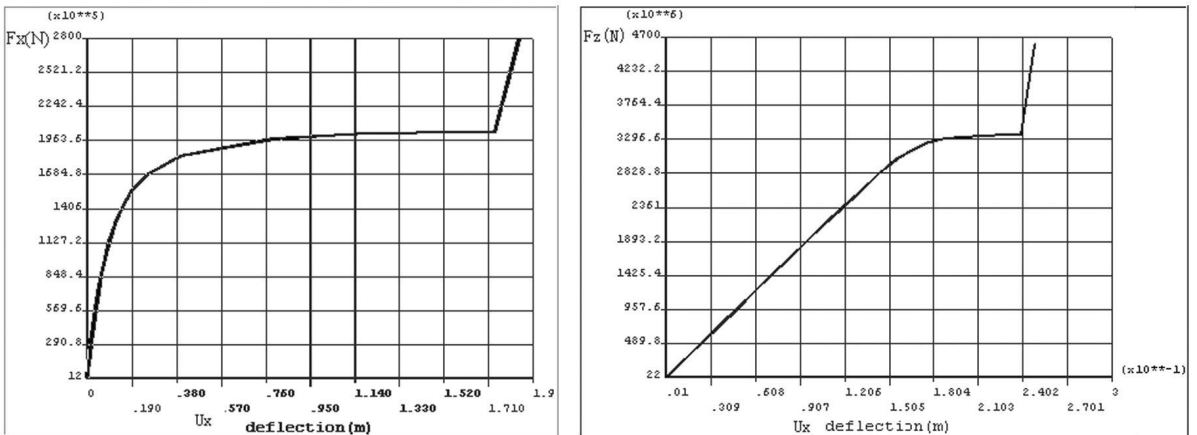


图 6 节段 9 荷载—位移曲线(布置 24 根纵肋 7 根环肋)

的,可以作为实际工程的参考依据.

5 结束语

本文结合大型工程有限元计算程序 ANSYS,采用单调加载,研究拱肋节段偏心受压时的稳定性能.通过对计算结果的分析,提出了影响节段稳定性能的几个因素:节段长度、自重、截面布置形式等.最后,在数值分析的基础上,为拱肋提出了一个最优化的截面布置形式,可作为工程实践的理论参考依据.

参考文献:

[1] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1999.

[2] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥实例集(1)[M]. 北京:人民交通出版社,2002.

[3] 沈岳明,王德禹. 网壳加筋圆柱壳的屈曲优化[J]. 工程力学(增刊),1999,2(2):507—524.

[4] 戴自旭. 环肋圆柱壳总稳定性探讨[J]. 舰船科学技术,2000,(2.):1—8.

[5] 王勖成,邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京:清华大学出版社,1997.

[6] 陈宇清,魏德敏. 薄壁构件稳定性的研究概况[J]. 科技情报开发与经济,2004,14(9):230—232.

[7] 沈祖炎,张其林. 薄壁钢构件非线性稳定问题的曲壳有限单元法[J]. 土木工程学报,1991,24(1):34—45.

[8] 陈绍蕃. 钢结构设计原理(第2版)[M]. 北京:科学出版社,1998.

[9] ANSYS 基本过程手册[M]. ANSYS 公司,2000.

Research on the Stability of Rib-reinforced Steel Tube with Large Diameter

LAI Ying¹, JING Guo-fang¹, ZHANG An-ge²

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092; 2. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Based on the finite element calculation procedure ANSYS, the main work is carried on the research of the stability of rib-reinforced steel tube with large diameter. An optimal layout of the section is brought forward for the segments of arch rib, and it can be used as reference section in construction.

Key words: concrete filled steel tubular; stability; rib-reinforced steel tube; optimization