

文章编号: 1009-6825(2014)25-0202-02

# 基于纤维模型方法的某钢管混凝土拱桥稳定性分析

颜炳玲 朱小辉 张东华 东梅

(内蒙古交通职业技术学院, 内蒙古 赤峰 024005)

**摘要:** 以支井河特大桥为例, 采用划分纤维模型的方法对钢管混凝土拱桥的稳定性进行了分析计算, 并对分析所得控制数据与 Ansys 有限元法作了比较, 结果表明纤维模型方法可有效的用于工程结构计算, 为纤维模型法及 Opensees 计算平台用于桥梁结构计算奠定了理论基础。

**关键词:** 纤维模型方法 地震工程模拟开放体系 拱桥稳定性

中图分类号: U441

DOI: 10.13719/j.cnki.cn14-1279/tu.2014.25.106

文献标识码: A

## 1 纤维模型方法

纤维模型方法将结构中的梁柱构件视为一个单元, 单元的每一截面为纤维截面即积分点处的截面, 此截面被分成很多小纤维, 每根纤维可单独定义材料性质, 可分别定义不同的本构以模拟混凝土材料或钢材材料, 积分点的个数可通过定义确定, 以得到不同的计算精度。通过积分点的截面柔度阵高斯数值积分得到单元的柔度阵, 纤维被认为只有纵向变形而忽略其剪切变形, 能很好的模拟构件的弯曲变形和轴向变形, 在理论上适用于钢管混凝土结构的计算。本文采用 Opensees 中的 Nonlinear Beam-Column 模型进行计算。

## 2 工程概况

支井河特大桥全长 545.54 m, 主桥为 1-430 m 上承式钢管混凝土拱桥, 主拱圈断面采用钢管混凝土与钢管组成的桁架式断面, 每道肋由上、下各两根钢管弦杆组成, 并通过上、下横联、腹杆及横向斜杆组成空间稳定体系。在两片拱肋横向间设 20 道米撑横联, 均为钢管桁架。拱肋宽度为 4.0 m, 下弦拱脚至 1/8 跨管壁厚度为 35 mm, 1/8 ~ 2/8 跨管壁厚度为 30 mm, 其余下弦及上弦管均为 24 mm。

## 3 基于 Opensees 计算平台的建模及计算结果分析

利用 Opensees 命令流建模, 总计划分 2 184 个单元, 本文在建立计算模型时未考虑桥面系具体结构, 而是将桥面系考虑为荷载作用于吊杆与拱肋连接处。

混凝土与钢管分别划分纤维, 以应用不同材料的本构关系。

对于拱肋: 钢管  $n_1 = 2$   $n_2 = 20$ ; 核心混凝土:  $n_1 = 5$   $n_2 = 20$ ; 主拱肋内外斜撑和横撑横联的钢管:  $n_1 = 2$   $n_2 = 20$ ; 箱形截面的腹杆分割了 40 根纤维。为了验证纤维模型方法的可行性, 将纤维模型方法计算的控制点结果与已经较为成熟的 Ansys 计算结果进行对比, 关键控制点位移结果如表 1 所示。

表 1 关键控制点竖向位移结果对比表 m

位置		Ansys	Opensees
外侧上弦	L/2	-0.117 35	-0.085 9
	拱顶	-0.307 61	-0.276 5
外侧下弦	L/2	-0.115 33	-0.085 66
	拱顶	-0.312 52	-0.276 58
内侧上弦	L/2	-0.118 39	-0.086 22
	拱顶	-0.312 13	-0.276 87
内侧下弦	L/2	-0.116 7	-0.085 96
	拱顶	-0.312 13	-0.276 80

由表 1 分析比较, 以内外侧上弦拱中及拱顶数据可知, 位移平均相差值为 3.27 mm, 最大值为 3.6 mm, 可见用 Opensees 计算平台的纤维模型法进行钢管混凝土拱的非线性数值模拟方法可行, 且相比传统的有限元方法, 纤维模型法计算速度更快, 并且可以采用命令流输入, 调整简单易行。

## 4 纤维模型计算风荷载对稳定性的影响

大跨径拱桥在施工过程中及成桥后的稳定性是关系到桥梁安全的重要因素, 研究的也比较多, 但对于施工过程中静风荷载对钢管混凝土拱桥整体稳定性的影响研究还不多。风的静力作用除引起结构变位外, 严重时会导致整个结构失稳。而拱桥结构,

道建设 2004 24(5): 16-20.

[4] 利奕年, 王国斌. TRT 隧道地质超前预报系统的改进与优化 [A]. 自主创新与持续增长第十一届中国科协年会论文集 [C]. 重庆: 中国科学技术协会, 2009.

[5] 范占锋, 李天斌, 孟陆波. 探地雷达在公路隧道超前地质预报中的应用 [J]. 物探与化探 2010 34(1): 119-122.

[6] 窦顺, 韩成海, 赵常要. 瓦窑坡隧道岩溶地质超前预报综合技术 [J]. 地下空间与工程学报 2011 7(2): 366-370.

## The application of tunnel seismic exploration( TSP) in tunnel water bearing structure prediction

LI Li-yan WANG Gang

( Geophysical Survey Department , Anhui Coal Geology Bureau , Suzhou 234000 , China)

**Abstract:** This paper expounds the basic engineering principle of tunnel seismic prospecting and TSP203 advance geological forecast equipment application in advance of a tunnel water inrush forecast. Through a tunnel entrance pile number ZK64 + 918 advance geological forecast result and the actual engineering constraints excavation revealed contrast, forward to prove the TSP of water inrush forecast is accurate, is worth popularization in the tunnel under complicated geological conditions of engineering practice.

**Key words:** tunnel engineering, the TSP advance geological forecast, the tunnel water inrush

收稿日期: 2014-06-20

作者简介: 颜炳玲(1983-) 女, 硕士, 讲师; 朱小辉(1975-) 男, 高级讲师; 张东华(1983-) 女, 讲师; 东梅(1972-) 女, 讲师

在静风荷载等作用下,以承受压力为主,拱肋还承受一定的弯矩、扭矩和剪力。在施工和运营阶段拱结构可能由于本身刚度或者支撑不足而丧失稳定,这使得对于大跨径钢管混凝土拱桥的静风稳定性问题应引起足够的重视,因此在这方面进行研究有很重要的实践意义。本文将考虑横向风荷载和不考虑横向风荷载进行比较。桥梁在施工过程中,最危险状态为钢管合龙,扣索逐级松扣将扣索的拉力转换为拱的推力,且未建桥上立柱和桥面系时,本文就此阶段的受力状态进行分析。桁架桥弯曲刚度和扭转刚度都比较大,可以合理认为在新架桥中几乎不存在风的动力恶劣影响,只考虑静风压的作用。

桁架桥的主桁,因为通常设计成平行的两片,所以不仅单片主桁的充实率及杆件截面形状、尺寸,而且两片主桁的间距也对桥梁的总体抗力系数有很大的影响。也就是说,在桁架桥中由于迎风一侧的桁架的遮蔽作用,使得作用于背风一侧桁架上的风力有所减轻。按照 JTG D60-2004 公路桥涵设计通用规范的规定,横桥向风荷载假定水平的垂直作用于桥梁各部分迎风面积的形心上,其标准值按下式计算:

$$F_{wh} = k_0 k_1 k_3 W_d A_{wh}$$

根据《钢桥(第四分册)》及 JTG D60-2004 公路桥涵设计通用规范的有关公式及规定进行验算。假设受风荷载作用的只有主弦管和腹杆,其方向与风向垂直,其他构件如斜撑、横撑横连、米撑等的方向基本与风荷载平行可忽略不计。在主拱圈吊装过程中,取 1/10 频率的基本风压  $w_0 = 150 \text{ N/m}^2$ 。

1) 主弦管构件。

取阻力系数  $C_D = 1.2$ ,由于遮挡,作用在背风面的阻力系数为  $C_{WD} = 0.28$ 。

迎风面:  $F_{wh} = 0.75 \times 1.2 \times 1.7^2 \times 1.4 \times 1.38^2 \times 150 \times 1.2 = 1\,248.2 \text{ N/m}$ 。

背风面:  $F_{wh} = 1\,248.2 \times 0.28/1.2 = 291.2 \text{ N/m}$ 。

2) 腹杆构件。

取阻力系数  $C_D = 2.0$ ,由于遮挡,作用在背风面的阻力系数为  $C_{WD} = 0.7$ 。

迎风面:  $F_{wh} = 0.75 \times 2.0 \times 1.7^2 \times 1.4 \times 1.38^2 \times 150 \times 0.4 = 693.5 \text{ N/m}$ 。

背风面:  $F_{wh} = 693.5 \times 0.7/2.0 = 242.7 \text{ N/m}$ 。

表2 横向力作用下支并河大桥的控制点横向/竖向位移响应

位置	未考虑风荷载 (竖向位移)	考虑风荷载 (竖向位移)	未考虑风荷载 (横向位移)	考虑风荷载 (横向位移)	
外侧上弦	L/2	-0.035 9	-0.053 5	-0.001 44	0.142
	拱顶	-0.112 3	-0.178	-0.003 13	0.197
外侧下弦	L/2	-0.035 8	-0.053 4	-0.002 04	0.137
	拱顶	-0.112 3	-0.178	-0.002 37	0.193
内侧上弦	L/2	-0.036 0	-0.056	-0.001 07	0.142
	拱顶	0.112 5	0.180	-0.003 42	0.197
内侧下弦	L/2	-0.035 9	-0.056	-0.001 54	0.137
	拱顶	-0.112 4	-0.180	-0.002 51	0.194

计算结果可知:对于大跨径钢管混凝土拱桥,自重作用下稳定

安全系数为 2.2,最大位移量发生在拱顶处,竖向位移量为 11 mm 左右,跨中即 L/2 处竖向位移量为 3.5 mm 左右,横向位移相对较小,最大值不过 0.3 mm 左右。考虑横向风荷载作用后,竖向最大位移量为 18 mm 左右,增大了 63.6%,稳定安全系数由 2.2 降为 1.6,降低量为 27.3%,考虑风荷载(横向力)作用下,横向位移的影响远明显于竖向荷载,由 0.3 mm 迅速增至 19.7 mm,实际工程的计算中要充分考虑横向力即风荷载的影响。关于位移响应如表 2 所示,内力响应见表 3,可知:在自重作用下(即未考虑风荷载),上下弦管内力分布规律略有不同,主要关注拱结构的主要受力轴力及弯矩,轴力最大值为  $1.03 \times 10^7 \text{ N}$  发生在外侧下弦拱脚处,下弦管较上弦管轴力大,内侧下弦管较外侧弦管轴力大。最大弯矩值  $5.7 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}$  发生在外侧下弦拱脚处,而拱顶附近的弯矩最小。考虑风荷载(横向力)作用后,轴力最大值为  $9.94 \times 10^6 \text{ N}$ ,基本没有发生消极影响,弯矩最大值为  $3.36 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,明显提高,在工程施工过程中要尤其加大对拱脚和拱顶的监控,支并河地处峡谷极易出现极端大风天气,要加大关键点的位移及内力监控。

表3 横向力作用下支并河大桥的控制点单元内力响应

位置	未考虑风荷载		考虑风荷载		
	轴力/N	弯矩/N·m	轴力/N	弯矩/N·m	
外侧上弦	拱脚	6.27e 6	5.28e 7	4.45e 6	3.36e 8
	L/2	5.79e 6	4.68e 5	5.62e 6	1.65e 7
外侧下弦	拱脚	8.88e 6	2.86e 5	9.42e 6	4.12e 5
	L/2	1.03e 7	5.7e 7	7.33e 6	3.52e 8
内侧上弦	拱脚	8.38e 6	4.09e 6	8.31e 6	6.43e 7
	L/2	4.17e 6	2.88e 5	4.86e 6	3.03e 5
内侧下弦	拱脚	6.35e 6	3.51e 7	3.16e 6	1.09e 8
	L/2	5.73e 6	3.42e 6	6.11e 6	4.45e 7
内侧下弦	拱脚	9.35e 6	2.85e 5	9.94e 6	6.00e 5
	L/2	1.09e 7	3.48e 7	6.48e 6	1.13e 8
内侧下弦	拱脚	8.28e 6	1.73e 7	8.73e 6	5.84e 6
	L/2	3.98e 6	2.88e 5	4.85e 6	5.79e 5

综上,本文对纤维模型方法的基本原理进行了介绍,并将其应用于支并河特大桥,并与成熟有限元法进行对比,结果显示纤维模型方法能有效应用于结构非线性计算,并对风荷载作用下的钢管混凝土拱桥结构实桥进行了计算,结果表明风荷载作用下,整桥结构的安全系数急剧下降,横向位移明显增大。

参考文献:

[1] 小西一郎. 钢桥(第四分册) [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.  
 [2] JTG D60-2004, 公路桥涵设计通用规范[S].  
 [3] 凌炯. 面向对象开放程序 OpenSees 在钢筋混凝土结构非线性分析中的应用与初步开发[D]. 重庆: 重庆大学硕士毕业论文, 2004.  
 [4] 盛可鉴, 王景波. 非线性分析在中承式钢管混凝土拱桥稳定性上的应用[J]. 黑龙江工程学院学报, 2003, 17(3): 15-16, 26.  
 [5] 陈宝春, 陈建省, 郑起铭. 某钢管混凝土拱桥静载测试分析[J]. 福州大学学报(自然科学版), 1996, 24(4): 78-81.

## On stability analysis of some steel tube concrete arch bridge based on fiber model method

YAN Bing-ling ZHU Xiao-hui ZHANG Dong-hua DONG Mei

(Inner Mongolia Communication Vocational Technical College, Chifeng 024005, China)

**Abstract:** Taking Zhijing River Super-large Bridge as the example, the paper adopts the classification fiber model to undertake the analysis and calculation of the stability of the steel tube concrete arch bridge, compares the achieved control data and Ansys finite element method, proves by the result that the fiber model method has the efficient engineering structural calculation, so as to lay the theoretic foundation for the fiber model method and openses uses the bridge structure calculation.

**Key words:** fiber model method, earthquake engineering simulation open system, stability of arch bridge