

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2021.03.016

某大跨度系杆拱桥的参数分析

于训涛

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:以某大跨度系杆拱桥为背景,对系杆拱桥的内倾角、拱轴线和矢跨比进行参数分析。重点讨论了不同拱肋内倾角下拱桥受力、合理拱轴线的选择和不同矢跨比对结构受力的影响,分析结果表明拱肋内倾角对拱肋的面外稳定影响较大;拱肋内倾角度加大,横撑线刚度增强,可以增大拱肋面外稳定安全系数;1/4L拱肋截面为拱肋控制截面,悬链线方案拱肋截面受力最好;随着矢跨比的降低,拱肋面外稳定安全系数下降。

关键词:大跨度系杆拱桥;拱轴线;矢跨比

中图分类号: U448.22+5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)03-0052-03

0 引言

系杆拱桥起源于19世纪末的欧洲,由拱肋、系杆、吊杆和桥面系等协同工作,拱的推力由系杆或系梁承受,不传递给墩台,适用于地质条件较差的情况。与其他桥型相比,系杆拱桥跨越能力较大,建筑高度小,美观经济,在城市中有广泛的应用。特别是当跨越河道等需要桥梁跨度较大、梁部结构建筑高度要求较小时,采用该桥型具有独特的优势^[1]。

本文针对某大跨度系杆拱桥,对系杆拱桥的内倾角、拱轴线和矢跨比进行参数分析,得出相应的结论,为后续相似工程桥梁选型与结构设计提供参考。

1 算例分析

桥梁采用钢拱钢梁简支系杆拱桥,跨径布置为 1×336 m,桥梁全长353.3 m。桥面宽度为40~47 m。拱矢跨比为1/5.5,矢高61 m,内倾角度 12° ;拱肋采用六边形钢箱断面,拱肋横撑结构采用一字撑。吊索采用平行吊索,主梁上标准间距为12 m。主梁采用双边箱钢结构箱梁,梁高3.2 m。下部结构桥台采用埋置式,台帽厚度3.5 m,钻孔灌注桩基础。桥梁总体布置和横断面见图1、图2。

2 系杆拱桥参数分析和比较

在进行桥梁选型与结构设计时,综合考虑多种影响因素,做出合理的选择。主桥总体设计过程中,

对以下总体布置参数进行了分析和比较。

(1) 拱肋布置

系杆拱桥最常用的是横向双片拱肋布置。本工程桥梁宽度较宽,承担公路交通、非机动车道及人行道,结合道路路幅布置,采用双片拱,拱肋布置在非机动车道和人行道之间。

从桥梁横断面上看,拱肋形态可以分为外倾拱、平行拱和内倾拱(提篮拱)。外倾拱常用于中小跨径桥梁,其造型新颖,景观效果较好,但本工程桥梁跨径336 m,为特大型桥梁,采用外倾拱会导致拱肋间横撑跨度变大、尺寸变粗,反而不利于桥梁景观。平行拱最为常见,但桥梁景观效果一般。特大型桥梁拱肋稳定问题突出,平行拱方案不利于拱肋面外稳定。拱肋内倾可大幅提高拱肋面外稳定,而且内倾后整个拱肋线形更为灵动,景观效果也较好。因此,本工程拱肋推荐采用内倾的提篮拱。

本工程桥梁宽度为40~47 m,拱肋位于非机动车道和人行道之间,拱肋间机动车道和非机动车道宽度之和为30.5 m,考虑非机动车道和机动车道通行界限要求后,拱肋内倾角度取 8° 、 10° 、 12° 三种情况进行对比分析。

表1是不同拱肋内倾角下,桥梁结构的受力特性比较表,从表中可以看出,拱肋内倾角对结构静力和动力特性影响不大,对拱肋的稳定(尤其是面外稳定)影响较大,主要原因是内倾角度加大,拱肋横撑长度变短,横撑线刚度增强,导致拱肋面外稳定系数上升。

由于随着内倾角度越大,结构稳定系数逐渐减小;且从景观角度看,拱肋内倾角度越大,提篮拱造型

收稿日期:2020-07-30

作者简介:于训涛(1987—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

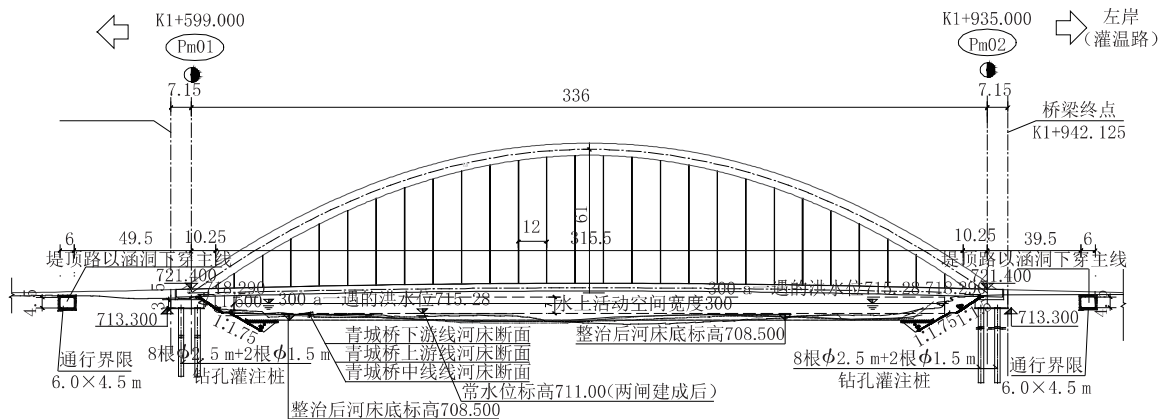


图1 桥梁立面图(单位:m)

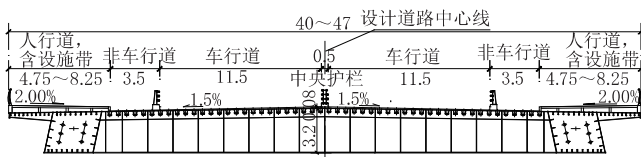


图2 桥梁横断面图(单位:m)

表1 不同拱肋内倾角下拱桥受力特性对比表

拱肋内倾角	8°	10°	12°
标准组合应力			
1/4L 拱截面上缘	-149.0 MPa	-150.1 MPa	-151.2 MPa
1/4L 梁截面下缘	167.7 MPa	167.6 MPa	167.4 MPa
刚度			
拱	0.515 m (L/652)	0.517 m (L/650)	0.521 m (L/645)
梁	0.535 m (L/628)	0.539 m (L/623)	0.543 m (L/618)
欧拉稳定	6.0	6.9	8.5
自振频率	0.315 Hz	0.315 Hz	0.313 Hz
钢拱指标 / (kg·m ⁻²)	415	412	410

越显著、优美。综合考虑交通限界、拱肋布置等因素,本工程系杆拱桥拱肋内倾角度取为 12.0°。

(2) 拱轴线

拱轴线是拱桥总体设计中的重要参数,直接关系到拱肋截面的内力分布和大小。在钢拱桥中,常用的拱轴线线形包括:二次抛物线、悬链线、多段曲线和多次抛物线等。

设计时对比分析了多种拱轴线线形,图3、图4是拱肋矢跨比为 1:5.5 时,拱轴线型为二次抛物线、悬链线(m=1.167)和多段曲线三种情况下的弯矩图(拱轴线为多次抛物线与二次抛物线计算结果相近,这里不予讨论)。从图中可以看出,活载作用下,三种拱轴线拱肋截面弯矩相差不大,均呈现 1/4L 处拱肋截面弯矩大、拱脚和拱顶处截面弯矩较小的分

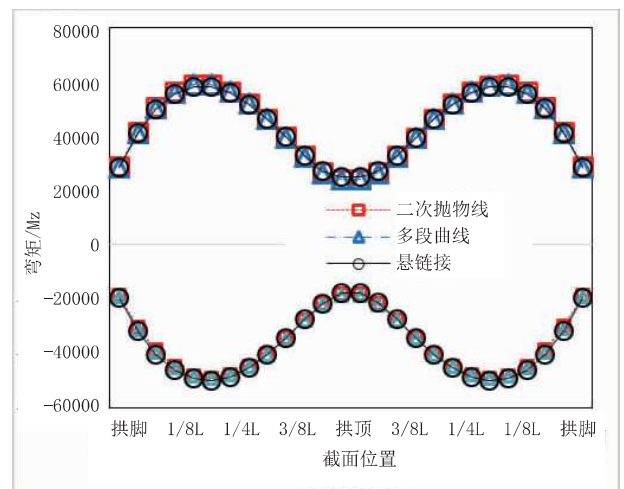


图3 活载作用下拱肋弯矩包络图(单位:kN·m)

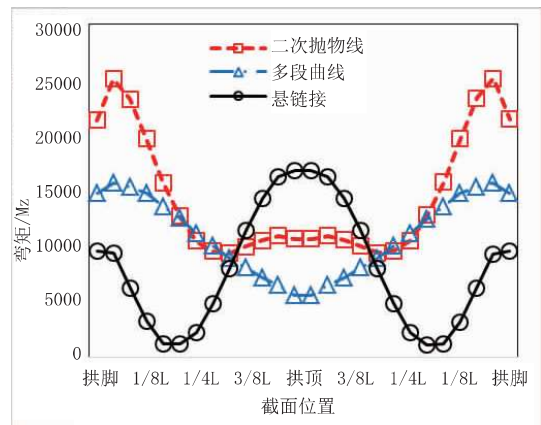


图4 恒载作用下拱肋弯矩图(单位:kN·m)

布规律;活载最不利正负弯矩相差分别约为 -50 000 和 59 000 kN·m,绝对值相差不大,最不利弯矩出现在主梁纵桥向半跨加载工况。

恒载作用下,三种拱轴线拱肋截面弯矩分布相差较大(见表2):二次抛物线拱轴线近 1/8L 处截面弯矩较大(25 130 kN·m),其余拱肋截面弯矩分布较为均匀;多段曲线拱轴线截面弯矩分布较为均匀(最大恒载弯矩为 15 700 kN·m);悬链线拱轴线截面近 1/4L 处截面弯矩较小,拱顶处截面弯矩较大(16 827 kN·m)。

表 2 不同拱轴线拱肋最不利断面应力对比表

拱轴线 线型	拱脚 /MPa	1/8L/MPa	1/4L/MPa	3/8L/MPa	拱顶 /MPa
二次抛 物线	-123.6	-151.9	-159.9	-137.4	-125.7
多段曲线	-128.0	-149.2	-158.5	-139.2	-123.7
悬链线 ($m=$ 1.167)	-126.8	-141.4	-151.2	-144.3	-133.3

多段曲线方案拱肋截面恒载弯矩分布相对较为均匀,且最大恒载弯矩最低。最不利断面应力对比对比发现,考虑活载作用后,1/4L 拱肋截面成为控制截面,悬链线方案拱肋截面在标准组合下的最不利应力反而比另外两种方案低 7~8 MPa。因此,本工程选用悬链线为推荐拱轴线形。

(3) 矢跨比

矢跨比是拱桥的一个特征数据,不但影响拱圈的内力,也关系到拱桥的外形能否与周围景物相协调。

对于系杆拱桥,拱肋矢跨比过小将导致系梁承受水平分力过大,系梁(主梁)较大的水平伸长变形将导致主拱产生较大的弯矩,因此矢跨比不宜过小;另一方面,拱肋矢跨比过大不利于安装施工,也影响桥梁的景观造型,受力上也无必要,因此矢跨比不宜过大。

本工程对拱肋矢跨比分别取 1/5(矢高为 67 m)、1/5.5(矢高为 61 m)、1/6(矢高为 56 m)三种情况进行比较分析。

从图 5 可以看出,矢跨比从 1/6 增加到 1/5,主梁截面应力的变化相对较大,其中控制截面(1/4L 截面)的恒载应力减小 15.0 MPa,拱肋控制截面(1/4L 截面)恒载应力减小 12.9 MPa;矢跨比的改变对主梁和拱肋的活载效应影响不大,应力改善幅度在 2 MPa 以内。

表 3 是不同矢跨比下,桥梁的刚度、稳定、动力特性及拱肋用钢量,从表 3 中可以看出:拱肋矢跨比越小,拱肋结构的线抗弯刚度越大,桥梁结构活载挠度越低(活载最不利位移工况为半跨加载,拱肋的抗弯刚度影响较大);拱肋第一阶失稳模态为面外失稳,随着矢跨比的降低,拱肋面外稳定安全系数下降。原因有两方面:一是矢跨比降低导致拱肋轴压力加大,另一方面由于拱肋内倾角度不变,矢跨比降低导致拱肋横撑加长,横撑线刚度降低,进而导致拱肋面外稳定安全系数下降;矢跨比的改变对桥梁结构的动力特性影响有限。

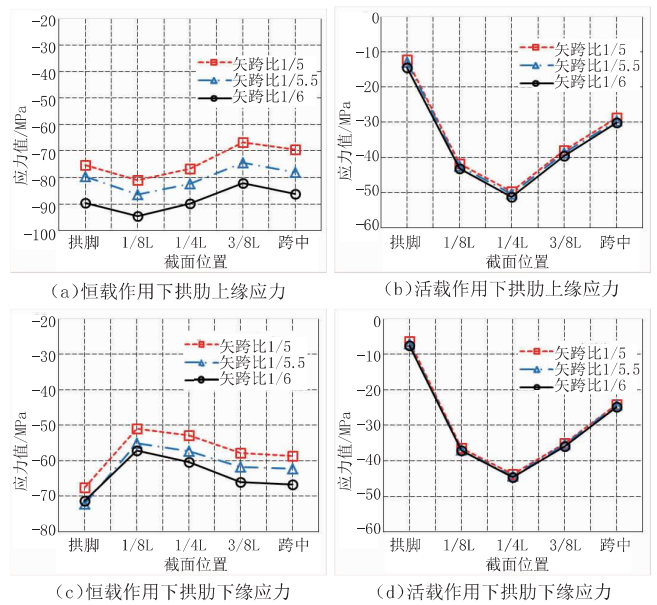


图 5 不同矢跨比下拱肋关键截面上、下缘应力图

表 3 不同矢跨比下拱桥受力特性对比表

矢跨比	1/5	1/5.5	1/6	
标准组合应力	1/4L 拱截面上缘	-144.9 MPa	-151.2 MPa	-158.3 MPa
	1/4L 梁截面下缘	160.6 MPa	167.4 MPa	174.5 MPa
	拱	0.526 m (L/639)	0.521 m (L/645)	0.517 m (L/650)
刚度	梁	0.551 m (L/610)	0.543 m (L/618)	0.537 m (L/626)
	欧拉稳定	10.0	8.5	7.3
自振频率	0.306 Hz	0.313 Hz	0.319 Hz	
钢拱指标 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	414	410	406	

综合考虑结构受力、桥梁景观和拱肋施工难度等因素,本工程推荐拱肋矢跨比 $f/L=1/5.5$ 。

3 结论

本文以某大跨度系杆拱桥为研究对象,对内倾角、拱轴线和矢跨比进行参数分析,选取合适的拱轴线布置和矢跨比,满足了结构安全可靠、受力合理的设计原则。

(1) 拱肋内倾角对结构静力和动力特性影响不大,对拱肋的面外稳定影响较大,拱肋内倾角度加大,拱肋横撑长度变短,横撑线刚度增强,可以增大拱肋面外稳定安全系数。

(下转第 71 页)

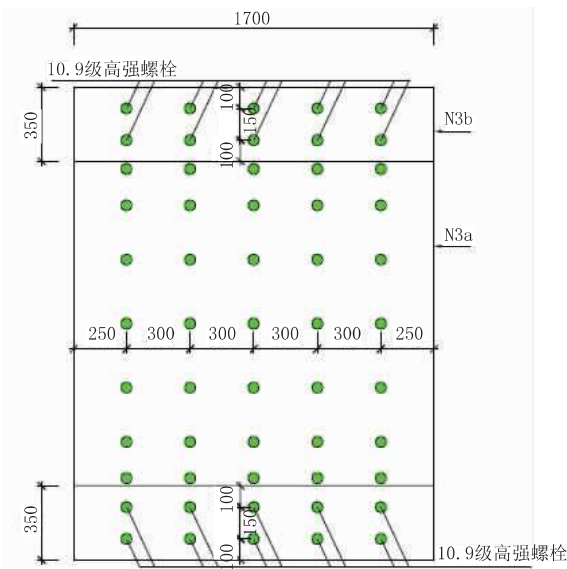


图6 螺栓展开布置设计图(单位:mm)

确定了合理的钢构件布设尺寸, 验算结果满足规范要求, 且可根据构件应力云图为独柱墩物联网监测系统提供技术指导和报警等级划分指标;

(3)采用抱箍和锚栓的方式将钢盖梁锚固于独柱墩上, 根据规范对锚栓钢材和墩柱混凝土承载力进行对比验算, 确定了合理的抱箍环形钢板宽度, 其验算结果满足规范要求;

(4)随着国内对于独柱墩桥梁抗倾覆性能的注重,

越来越多的独柱墩桥梁需要进行加固设计, 本工程案例可为独柱墩曲线桥梁采用钢盖梁加固方案提供技术参考和设计验算案例。

参考文献:

[1] 韩鹏.独柱墩桥梁抗倾覆加固与智慧化运维技术研究[J].城市道桥与防洪,2018(10):121-124.

[2] 王野.独柱墩曲线梁桥抗倾覆安全性评估验算及加固研究[D].广东广州:华南理工大学,2017.

[3] JTGD 60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].

[4] JTGD 62—2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

[5] 王铁.独柱墩梁桥的稳定性及加固方法探讨[D].湖南长沙:长沙理工大学,2016.

[6] 曾桑平.独柱墩箱梁桥抗倾覆影响因素分析及加固方法探讨[D].广东广州:华南理工大学,2018.

[7] 曾爱.高速公路匝道桥抗倾覆能力研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.

[8] 王志浩.独柱墩梁桥的抗倾覆分析及加固对策研究[D].陕西西安:长安大学,2014.

[9] 祁志伟.城市连续箱梁桥横向抗倾覆稳定性分析[D].湖南长沙:中南大学,2013.

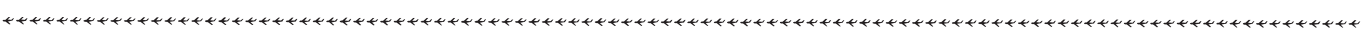
[10] 鲁昌河.独柱墩连续箱梁桥抗倾覆验算与加固分析[J].广东公路交通,2018,44(3):35-38.

[11] 李王辉.独柱墩连续箱梁增设钢盖梁加固设计[J].桥隧工程,2019(1):232-234.

[12] GB 50017—2017,钢结构设计标准[S].

[13] GB 50367—2013,混凝土结构加固设计规范[S].

[14] JGJ 145—2013,混凝土结构后锚固技术规程[S].



(上接第54页)

(2)考虑活载作用后,1/4L拱肋截面为拱肋控制截面,悬链线方案拱肋截面受力最好。

(3)随着矢跨比的降低,拱肋面外稳定安全系数下降;矢跨比的改变对主梁和拱肋的活载效应影响

不大。

参考文献:

[1] 顾安邦.桥梁工程(下)[M].北京:人民交通出版社,2000.