

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.01.041

采用外套钢管保护的系杆拱桥吊杆更换技术研究

朱军¹,曹文斌¹,朱利明²,易晨阳²

(1.无锡市市政设施建设工程有限公司,江苏无锡 214000; 2.南京工业大学交通运输工程学院,江苏南京 210009)

摘要:依托某系杆拱桥吊杆更换项目,对比分析几种吊杆更换施工方法,在充分考虑安全性、经济性,以及本工程吊杆有外套钢管的特殊性,选定合适的吊杆更换方法。为保证吊杆更换施工全过程结构变形、受力合理,建立全桥有限元模型对吊杆更换施工过程进行计算,并确定外套钢管切割及焊接的合理工序,从而制定详细的更换施工步骤。现场施工过程中,对吊杆内力、钢管内力、拱肋和系梁应力及变形进行施工监控。监控结果表明,直接更换法适用于本工程,可为此类工程提供参考。

关键词:系杆拱桥;吊杆更换;外套钢管;施工监控;直接更换法

中图分类号: U448.22+5; U449.7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0162-04

0 引言

下承式混凝土系杆拱桥不但拥有一般拱桥刚度大、造型优美的优点,相较于上承式拱桥,还拥有建筑高度低、矢跨比调整空间大的优点,在中等跨径的市政桥梁中有较多应用。吊杆作为拱肋与系杆之间的传力构件,是系杆拱桥的重要组成部分。然而,根据资料显示,早期建造的一些系杆拱桥吊杆存在不同程度的病害^[1,2]。其中,最为常见的是吊杆两端密封装置失效、锚固端混凝土出现裂缝、防护套管破损及吊杆内部钢丝疲劳破坏。若对上述病害进行维修,需要解除吊杆锚固,对吊杆进行更换。目前主要的换索方法有临时吊杆法、临时兜吊法、临时支撑法和直接更换法等^[3-5]。

关于系杆拱桥吊杆更换施工技术方面的研究较多。张武等^[6]通过模拟试验的方法对新吊杆结构型式、临时吊杆体系对比等方面进行了研究。康孝先等^[7]依托某系杆拱桥换索施工研究了系杆更换过程中的保护性混凝土切除、拔索和清孔等关键技术。李正嘉等^[8]采用数值模拟的手段研究了系杆拱桥吊杆更换过程中吊杆张拉步长。丁毅等^[9]从吊杆更换设计、施工和监控等方面对三拱肋无风撑系杆拱桥吊杆更换技术进行了系统研究。上述研究大多集中于采用临时支承的施工方法,而直接更换法研究较少。

本文在对比多种更换吊杆施工方法的基础上,同时考虑本工程桥梁吊杆外套钢管的情况,制定该

桥的吊杆更换方案,并利用有限元进行计算验证;建立施工监控体系,对施工过程中桥梁的应力变化、变形进行监控,并对数据进行分析,以验证理论控制安全。

1 工程概况

本文研究对象为某一跨80 m下承式系杆拱桥。该桥采用左右幅分离式布置,桥梁结构立面如图1所示。每幅桥每侧设置16根吊杆,全桥共64根吊杆,吊杆间距均为4.0 m,吊杆采用外径219 mm、壁厚14 mm的无缝钢管作为外套管,内穿成品索,索体抗拉极限强度1 670 MPa,拉索断面图如图2所示。根据定期检测报告,锚头的主要病害为上锚头封锚混凝土开裂、下锚头积水和锈蚀。其中,下锚头积水现象严重,填充黄油严重变质。为进一步查明吊杆内部锈蚀状况,决定更换一根典型吊杆(四分跨处)。

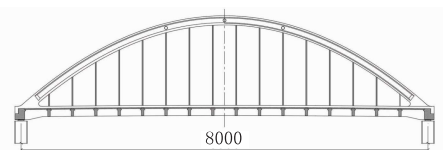


图1 结构立面图(单位:cm)

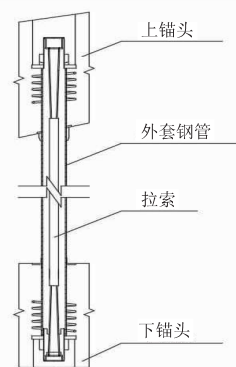


图2 拉索断面图

收稿日期: 2022-02-17

作者简介: 朱军(1978—),男,本科,高级工程师,从事桥梁维修加固工作。

2 吊杆更换设计原则

本次吊杆更换设计遵循以下原则进行。

(1)吊杆更换施工前后及施工过程中,应保证桥梁整体和局部受力安全。

(2)吊杆更换施工后,桥梁受力、线形与原桥状态一致。

(3)在保障结构安全的前提下,应充分考虑现场施工条件,施工方案应具有良好的经济性,且施工工艺易于操作、施工质量易于控制^[4-5]。

3 吊杆更换施工方案

3.1 吊杆更换施工方法

吊杆更换施工的重点与难点是,放张旧吊杆后如何将该吊杆拉力重新传递给新吊杆,且保障施工过程中的结构安全。目前主流的施工方法有临时吊杆法、临时支架法、临时兜吊法和直接更换法等。由于本工程桥梁下方为河流航道,不具备临时支架法的施工条件,故不进行比选。

3.1.1 临时吊杆法

临时吊杆法是在原吊杆处搭建临时吊杆体系,临时吊杆体系上下固定于拱肋与系梁,临时吊杆贯穿其中。施工时通过逐级张拉临时吊杆和逐级放张原吊杆,将原吊杆所提供的支承力逐步转移至临时吊杆上。更换新吊杆后,再重复前文操作,逐级将支承力传递给新吊杆。临时吊杆法是目前应用最多的方法,此方法安全、可靠,且可以同时更换多根吊杆,也可不封闭交通施工。但此类方法需要制作辅助结构,且临时体系在拱肋上固定时需要制作不同角度的找平装置,施工较为烦琐。

临时吊杆法施工流程如下:

(1)搭设临时吊杆体系等准备工作,完成桥梁结构几何形状初始数据采集工作。

(2)逐级张拉临时吊杆,逐级放张旧吊杆,与此同时注意观察结构变形。

(3)旧吊杆放张后,解除旧吊杆锚固并拆除旧吊杆,安装新吊杆并进行锚固。

(4)分级张拉新吊杆,分级卸载临时吊杆。

3.1.2 临时兜吊法

与临时吊杆法类似,临时兜吊法也是通过临时支撑体系来承担旧吊杆所提供的支承力,且施工步骤类似。临时兜吊法与临时吊杆法的区别主要在结构不同,临时兜吊法是通过柔性体系实现与拱肋的

固定,因此可以不用制作多个角度的找平装置,并且可以通过合理设置柔性钢丝绳的长度,避免高空操作临时吊杆张拉。缺点是柔性钢丝绳索力不易控制^[3]。

3.1.3 钢导梁法

在桥面更换吊杆处架设钢导梁,将更换目标吊杆的拉力传递给相邻两吊杆。该方法施工操作方便,高空作业少,但导梁自重大,对空间要求大,边吊杆不适用。

3.1.4 直接更换法

直接更换法是直接将原吊杆进行逐级放张后更换新吊杆再逐级张拉,一般应用于刚性系梁结构。此方法施工简便,不需制作辅助结构,工程造价低。但此类方法需要对施工全过程中施工步骤和施工工艺进行严格验算和控制^[9]。

由于本桥吊杆外套钢管,若采用钢导梁法难以将力直接传递给吊杆,故不适用于本工程。此外,为探究吊杆内部病害情况,需对钢管进行切割。钢管在桥梁运营期间承受一定的压力,若采用临时吊杆法、临时兜吊法,切割钢管后钢管压力被释放,重新焊接难以准确恢复原有压力。此外,上述方法需要制作整套临时支撑体系,且需要对体系各构件进行设计、计算,准备工作较为复杂,且本次吊杆更换施工只更换一根吊杆,制作辅助结构经济性较差。本工程桥体结构为刚性系梁,适用直接更换法,但施工过程会引起桥体较大的变形与内力变化,需对施工过程进行模拟计算。

综上所述,充分考虑安全性与经济性,结合本桥吊杆采用外套钢管的特殊情况,拟采用直接更换法。为保障施工过程安全、可靠,下面对直接更换法进行模拟试算。

3.2 有限元模型

采用 Midas Civil 有限元计算程序,对吊杆更换施工全过程进行仿真分析,拱肋、系梁、横梁、风撑采用梁单元模拟。由于该桥主跨跨径不大,非线性效应影响较小,吊杆拉索采用桁架单元模拟,外套钢管采用梁单元模拟,外套钢管与拉索采用共节点双单元模拟,在节点处变形协调相互作用。全桥共划分 440 个节点、610 个单元,截面参数及材料参数按竣工图纸取值。按实际施工步骤计算各施工阶段结构变形和内力,结构计算分析模型如图 3 所示。

3.3 直接更换法施工步骤的确定及验算

按照直接更换法,结合现场实际情况,初拟施工步骤为:施工前准备→分级放张→切割无缝钢管→



图3 结构计算分析模型

抽出吊杆,安装新吊杆→分级张拉,焊接无缝钢管→分级张拉至原拉力。考虑到本工程外套钢管在使用状态参与承受一部分压力,若在更换完新吊杆后直接按原长焊接无缝钢管,会导致钢管应力难以控制,经计算,当新吊杆张拉至目标拉力60%时,无缝钢管应力为0 MPa,故选取此工况下焊接钢管。

综上所述,参考相关工程案例,分5级卸载与张拉吊杆,具体施工步骤见表1。

表1 施工工况及编号

编号	工况	编号	工况
1	原桥状态	8	分级张拉 20%
2	分级卸载 20%	9	分级张拉 40%
3	分级卸载 40%	10	分级张拉 60%
4	分级卸载 60%	11	焊接无缝钢管
5	分级卸载 80%	12	分级张拉 80%
6	分级卸载 100%	13	分级张拉 100%
7	切割无缝钢管	14	吊杆更换完成后

将表1工况代入有限元模型计算,提取更换目标吊杆处的系梁、拱肋应变与变形数据,结果如图4所示。从图中可知,吊杆更换过程中,系梁、拱肋各项指标在工况7出现极值,但均未超限。与此同时,相邻吊杆的拉力重新分配,吊杆拉力有所增加,最大吊杆拉力增量为46 kN,最大吊杆拉应力增量为37.5 MPa,增量比例为7.3%,满足2.5倍的强度储备要求。上述各项指标变化与设计体系温度、温度梯度变化工况引起的变化近似(系梁上移1.9 mm,拱肋上移2.7 mm,邻近吊杆分别索力增加31.3 kN与26.5 kN)。由此可见,本工程采用直接更换法对桥梁影响较小。

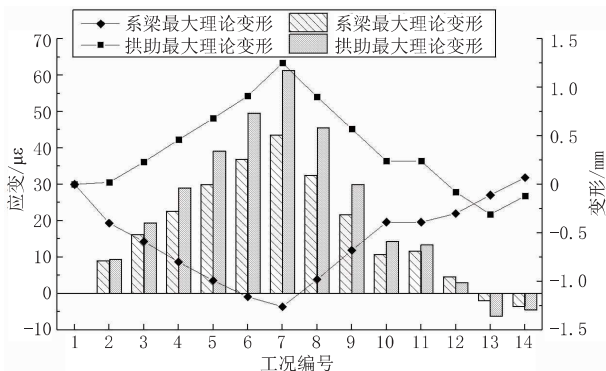


图4 系梁、拱肋应变与变形理论计算结果

结合上述计算结果,得到以下结论:采用直接更换法,桥体强度储备充足、安全可行。

4 吊杆更换施工监控

4.1 施工监控的内容和目标

由于采用直接更换法会引起桥梁变形与内力的变化,所以施工过程中不仅需要对施工前后桥梁状态进行监控,还需要对每一步工况进行监控。结合有限元计算结果和现场实际情况,对拱肋和系梁的变形及应力、吊杆拉力、钢管应力、温度进行监测。系梁变形监测采用电子水准仪,拱肋变形监测采用全站仪。拱肋、系梁和钢管应力监测均采用表面外贴式钢弦应变计。吊杆拉力主要采用油压千斤顶读数测定法进行测定。

吊杆更换施工具体控制目标设置如下:

(1)施工前后。更换吊杆后,全桥的线形、内力均符合该桥现状的要求。吊杆更换前后,拉力偏差不得超过5%,钢管内力偏差不得超过10%,系梁及拱肋各测点处变形值控制在2 mm以内,吊杆拉力和桥面线形与原桥状态基本保持一致。

(2)施工过程中。参考有限元理论计算值,取理论应力1.02、1.05、1.1倍作为应力三级预警值,取超过理论计算值1 mm、1.5 mm、2 mm作为三级变形预警值,对比实测数据与预警值,从而实现对施工过程的控制。

4.2 施工监控结果及分析

整理各工况监测数据如图5所示。从图中可知,在工况7下,系梁在更换吊杆截面出现最大下挠,为-0.70 mm;拱肋出现最大上挠,为0.60 mm。系梁在施工过程中出现的最大拉、压应变分别是10.3 με、-44.1 με,拱肋最大拉压应变分别为55.6 με、-50.9 με。更换吊杆处外套钢管在工况6时达到最大正应变,为173.3 με。上述控制目标均小于理论计算值。由于施工当日在吊杆更换时间较短,气温变化不明显,因此可以忽略温度影响。综上所述,此次施工过程安全、可控。

对比更换吊杆施工前后数据:吊杆更换完成后,系梁、拱肋各监控截面的应变和变形均与原桥状态接近。结果表明,施工前后系梁达到恢复原桥状态的基本目标。现场实测得到吊杆拉索拉力为902 kN,钢管的压力为156 kN;吊杆更换完成后,吊杆拉索拉力为905 kN,钢管的压力为142 kN。吊杆更换前后钢管内压力变化了8.8%,符合监控控制目标。

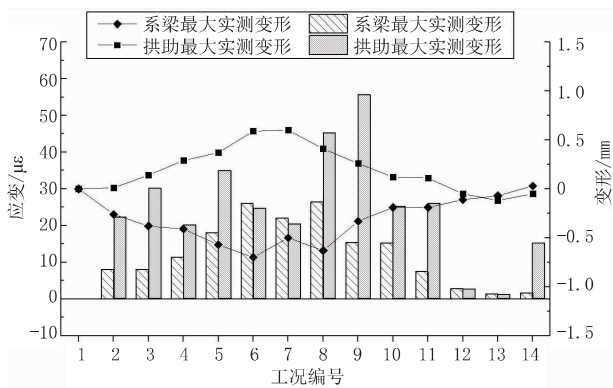


图 5 系梁、拱肋应变与变形实测计算结果

综上所述,在本次吊杆更换施工过程中桥梁结构变形、应变均小于理论值,说明结构处于安全状态。吊杆更换完成后,系梁和拱肋各监控截面的应变和变形均与原桥状态接近,且新吊杆拉力及钢管内力与原桥基本一致,说明桥梁在更换吊杆施工后达到了恢复原桥状态的基本目标。

5 结论

本文通过分析对比多个系杆拱桥吊杆更换施工工艺,结合更换设计原则,以及本桥吊杆外套钢管的情况,拟选直接更换法,并结合有限元计算,论证了直接更换法的可行性。现场施工时,采用施工监控的方法监控施工过程中该桥的受力、变形,并对结果进

行分析。结果表明:采用直接更换法进行吊杆更换对刚性系杆的系杆拱桥影响较小。综上所述,在对施工过程中进行计算分析、论证桥梁安全后,采用直接更换法进行系杆拱桥吊杆更换施工是一种经济、高效的施工方法。

参考文献:

[1] 高欣,欧进萍.钢管混凝土拱桥索类构件的常见病害与检测方法[J],公路,2012(3):10-16.

[2] 荆秀芬.钢管混凝土系杆拱桥养护技术研究[J].桥梁建设,2002(6):1-5.

[3] 马志华,温天宇,杨辉.系杆拱桥吊杆更换方案与施工控制[J].中外公路,2015,35(2):161-164.

[4] 赵洋,焦洪波.混凝土系杆拱桥吊杆更换施工[J].施工技术,2011,40(17):33-36.

[5] 王解元,潘德鹏.某拱桥系杆换索设计与施工[J].世界桥梁,2010(2):66-69.

[6] 张武.济南市顺河高架系杆拱桥吊杆更换设计[J].铁道标准设计,2017,61(8):74-78,83.

[7] 康孝先,刘路,丁洪华.系杆拱桥系杆更换关键技术研究[J].公路,2015,60(8):110-114.

[8] 李正嘉,孙广俊,李鸿晶,等.系杆拱桥吊杆更换数值模拟与方案优化[J].公路工程,2017,42(6):48-53,63.

[9] 丁毅,王东阳.三拱肋无风撑系杆拱桥吊杆更换技术研究[J].公路,2014,59(1):22-26.

(上接第 161 页)

上滑动,放松吊带后底模下放,在该情况下挂篮的反压轮则扣压在轨道上便于吊篮移动。首先,应严格控制轨道的平整度和平直度,避免行走过程中产生较大晃动,保证挂篮施工作业人员安全。其次,为防止连接桁架的平联产生较大的内力,严格控制挂篮两榀桁架行走时产生的位移差。

(5)当挂篮移动至合适位置后,需要及时调整吊带装置至合适状态。

(6)挂篮行走时,风荷载会给挂篮侧向的作用力,

如冬季施工需要对挂篮进行保温覆盖,则在挂篮稳定性计算需提前考虑保温材料荷载。

参考文献:

[1] 庄晓.大型菱形挂篮在高墩大悬臂条件下的安拆技术[J].工程建设与设计,2020(15):196-198.

[2] 李扬奇.桥梁工程中大跨度箱形连续梁菱形挂篮悬灌施工技术[J].低碳世界,2021,11(4):244-245.

[3] 何泉.桥梁工程中的挂篮施工技术要点探究[J].工程建设与设计,2020(17):166-167,173.