

异形拱桥病害分析及吊杆更换方法研究*

程晓东

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 某异形拱桥在服役期间拱肋、吊杆、桥台及桥墩等部位出现不同程度病害, 对结构安全造成一定影响。文中对这些病害进行分析说明, 同时借助空间有限元软件建模分析评价其承载能力, 证明该桥在该阶段达到公路Ⅱ级荷载的要求, 但安全储备不足; 通过对比分析多种吊杆更换方法选出最合适的方法, 并阐述吊杆更换方案和监控方案。

关键词: 桥梁; 异形拱桥; 桥梁病害; 承载力评定; 吊杆更换

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)05-0128-05

异形拱桥由于其造型较特别, 受力不易计算, 相对于普通拱桥, 异形拱桥的规律更难以掌握。该文以湖南浏阳市黄柏大桥为工程背景, 分析异形拱桥病害, 评定其承载能力, 并研究吊杆更换方法。

1 工程背景

黄柏大桥于 2003 年通车运营, 是中国中南地区首座异形拱桥, 其桥型见图 1。

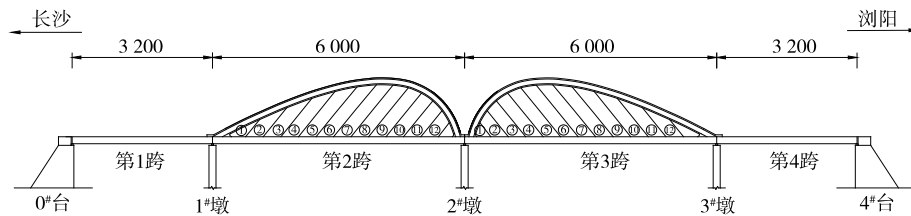


图 1 黄柏大桥桥型图(单位: cm)

黄柏大桥长 198.16 m, 宽 20.5 m, 其中行车道宽 14 m。上部结构是整体现浇空心板梁和下承式钢筋砼异形系杆拱桥, 桥跨组合为 32 m+2×60 m+32 m。两边跨为整体现浇空心板梁桥, 中跨主桥为下承式系杆拱桥, 主拱圈的计算跨径 57 m, 计算矢高 14.25 m, 矢跨比 1/4。主拱圈截面为工字形, 高 1.6 m, 顶板宽 1.2 m, 腹板厚 0.6 m, 单跨每 2 条拱之间设 3 道横撑连接。每主跨设置 12 对吊杆, 纵向间距 4 m, 斜率为 1.25:1。系杆为梯形截面, 高度 1.6 m, 底板和顶板宽度分别为 1.2、1.9 m。单跨共有 29 道横梁, 平均间隔 2 m, 为矩形截面, 高度和宽度分别为 1.4、0.25 m。下部结构采用重力式桥台、双柱式桥墩。

主桥主拱圈、系杆主梁采用 C50 砼, 桥墩立柱、盖梁、桥台等使用 C30 砼, 主桥和边跨的支座分别采用盆式和板式橡胶支座。两岸桥台位置、异形拱

和空心板连接处均设置 SQ-60 Ⅲ型钢伸缩缝, 桥面铺装采用水泥砼。

2 主要病害及成因

黄柏大桥于 2003 年建成通车, 2017 年对其进行检测, 发现其服役不足 15 年便出现多种病害, 下面对检测到的病害进行列举说明并作简要分析。

2.1 拱肋

黄柏大桥的拱肋表面都出现不同程度砼锈胀露筋, 病害面积为 0.1~0.6 m²。全桥主桥拱肋表面油漆涂层均出现大面积网裂脱落现象, 多处脱落严重的已造成拱肋锈胀(见图 2)。

砼锈胀露筋、油漆涂层脱落属于表层缺陷, 造成这些现象的因素有施工因素、环境因素及砼自身老化剥落等。施工因素主要是施工过程中砼振捣不实及保护层厚度不够等, 环境因素主要是空气中水的

* 基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2015CB057706); 国家自然科学基金项目(51678068); 湖南省教育厅科学研究项目(18B140); 湖南省交通科技项目(201932)



图2 拱肋破损

侵蚀及砼表层水冻结膨胀导致砼松弛剥落。

2.2 横向联结系

每跨横桥向都设置有3道横撑支撑的2条拱肋,检查发现,横撑钢管表面油漆发生大面积脱落,并伴随一定程度锈蚀(见图3)。由于钢管表面起防锈作用的油漆脱落,钢管缺乏保护,同时在空气中水、氧气甚至是盐雾、二氧化硫及粉尘作用下,钢管的锈蚀作用加速进行。



图3 横撑钢管锈蚀

2.3 吊杆

第2跨及第3跨系杆拱部分吊杆上锚头出现锈蚀和渗水现象(见图4)。主要原因是吊杆的上锚头未进行防锈处理,且由于封锚砼的质量较差,有裂缝产生、雨水进入,加速发生腐蚀和渗水。



图4 吊杆上锚头腐蚀渗水

2.4 桥面系

在行车道上个别位置发现坑槽现象,大部分伸缩缝出现轻微堵塞、橡胶止水条局部破损。全桥范围内两侧护栏涂料均存在起皮脱落现象,且内外侧栏杆基座及立柱砼均存在锈胀露筋及锈胀开裂现象。对于坑槽、伸缩缝堵塞及砼锈胀露筋这些通病,

需及时采取有效措施进行维修加固,防止情况继续恶化导致产生更严重的问题。

2.5 桥台

0#桥台的右侧墙表面发生斜向开裂、外鼓,裂缝长度达7.5 m,最宽3 cm,同时外鼓处错台13 mm。此外,0#台右侧墙上部砌石与砌石间存在1条水平裂缝,长2 m,且上部砌石外鼓,外移约2.5 cm(见图5)。



图5 0#桥台右侧

4#桥台的右侧墙顶部表面距前墙2.0、3.5 m处各出现1条斜向裂缝,表面局部有明显渗水析白痕迹,裂缝长均为1 m,最大宽度分别为0.6、1.1 mm。其中桥台尾部存在斜向缝隙,长2 m,最宽30 mm(见图6)。



图6 4#桥台右侧

4#桥台左侧墙顶部表面距桥台前墙1.0、3.5 m处各出现1条斜向裂缝,表面局部有明显渗水析白痕迹,裂缝长度分别为1.2、1 m,最大宽度分别为1.1、0.5 mm(见图7)。



图7 4#桥台左侧

综上,桥台出现了不同程度的开裂,主要原因是桥台基础发生了不均匀沉降,同时台内填土未压实

且排水不良,造成内部压力过大。

2.6 桥墩

各桥墩表面均有渗水痕迹,并且1#、2#桥墩立柱大桩号侧面右侧边缘多处砼锈胀露筋,累计面积为0.2 m²。主要是由于施工阶段砼施工质量不高,加上长期受到空气中水汽和河水的腐蚀,导致个别区域出现砼锈胀露筋及渗水现象,一旦发生露筋,锈蚀的发展便会加速进行。

3 承载力评定

3.1 建立有限元模型

根据现场实测数据,利用MIDAS/Civil 2019软件建立桥梁模型(见图8),吊杆与拱肋及系梁间为铰结连接。

3.2 计算参数选取

拱肋、系梁和横梁砼采用C50砼,汽车荷载按

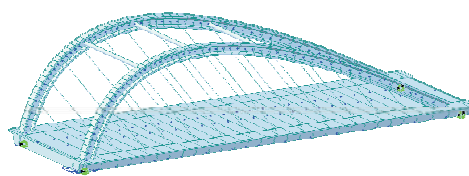


图8 黄柏大桥有限元模型

公路—II级荷载标准进行加载,人群荷载为3.5 kN/m²,考虑整体升、降温各15℃。

3.3 计算结果分析

考虑恒载、汽车及收缩徐变效应,按规范规定的最不利组合进行计算。荷载组合I=1.2恒载+1.4汽车荷载+1.05人群荷载+0.735降温+1.0收缩、徐变,荷载组合II=1.2恒载+1.4汽车荷载+1.05人群荷载+0.735升温+1.0收缩、徐变。2种荷载组合作用下,修正后系梁和拱肋的作用效应和设计抗力计算结果见表1~3。

表1 第3跨跨中截面系杆最大正弯矩承载能力验算结果

单元	截面位置	最大/最小	荷载组合	荷载效应/(kN·m)	修正后抗力效应/(kN·m)	是否满足
17	I[17]	最大	荷载组合I	8 692.39	9 648.553	是
17	I[17]	最小	荷载组合I	8 519.75	9 298.455	是
17	I[17]	最大	荷载组合II	6 095.08	6 508.326	是
17	I[17]	最小	荷载组合II	5 922.45	6 488.044	是

表2 荷载组合I作用下第3跨拱肋各关键截面承载能力验算结果

截面	内力属性	受力类型	极限轴力/kN	极限弯矩/(kN·m)	极限抗力/kN	修正后抗力/kN	是否满足
拱脚	最大轴力	下拉偏压	7 488.81	-87.94	10 242.05	10 446.89	是
	最小轴力	上拉偏压	4 196.12	-364.86	5 969.19	6 088.57	是
	最大弯矩	下拉偏压	4 682.10	-72.93	7 183.81	7 327.49	是
	最小弯矩	上拉偏压	5 089.68	-368.93	7 195.41	7 339.32	是
跨中	最大轴力	下拉偏压	-6 815.81	10 539.35	11 072.35	11 293.80	是
	最小轴力	下拉偏压	-7 646.09	11 976.61	12 271.22	12 516.65	是
	最大弯矩	下拉偏压	-7 503.17	12 319.95	10 850.17	11 067.18	是
	最小弯矩	上拉偏压	-6 819.01	10 428.27	9 974.47	10 173.96	是

表3 荷载组合II作用下第3跨拱肋各关键截面承载能力验算结果

截面	内力属性	受力类型	极限轴力/kN	极限弯矩/(kN·m)	极限抗力/kN	修正后抗力/kN	是否满足
拱脚	最大轴力	下拉偏压	7 499.98	-88.80	12 882.32	13 139.96	是
	最小轴力	下拉偏压	4 207.29	-365.72	6 508.93	6 639.10	是
	最大弯矩	下拉偏压	4 693.27	-73.79	7 472.42	7 621.87	是
	最小弯矩	上拉偏压	5 100.85	-369.79	8 316.39	8 482.71	是
跨中	最大轴力	下拉偏压	-6 782.12	10 728.59	10 971.08	11 190.50	是
	最小轴力	下拉偏压	-7 612.40	12 165.86	10 866.33	11 083.65	是
	最大弯矩	下拉偏压	-7 469.48	12 509.19	11 460.53	11 689.74	是
	最小弯矩	上拉偏压	-6 785.32	10 617.51	10 570.46	10 781.87	是

从表1~3可以看出:在荷载组合作用下,黄柏大桥系梁、拱肋各关键截面的抗力值均大于荷载效

应值,可达到公路—II级荷载的要求,但安全储备有所不足。

4 吊杆更换方法

由于早期建造的拱桥通车年份较长,且技术水平较低,施工质量无法得到保障,加上服役期间大部分吊杆的锚具部位会存在一定程度因腐蚀和疲劳引起的病害,如果对这些病害不及时加以处理,可能会造成严重事故。对这些吊杆有病害的拱桥进行维护的最优方式就是更换吊杆。

4.1 吊杆更换原理

更换吊杆的实质是改变系统的受力体系,就是设置一个临时受力体系来接收旧吊杆传递出来的力,再把接收的力传回新安装的杆件上,保证整个过程对桥梁稳定性的扰动最小,从而安全地完成更换。其最大难点是对桥面标高及索力张拉的控制。

4.2 吊杆更换的基本方法

(1) 无替代法。无替代法是不设置临时支撑,将原吊杆切断更换新吊杆的更换方法。这种方法不设置临时转化体系,对桥梁整体刚度要求较高,因为需要依靠整体刚度效应将旧吊杆的力传递到其他吊杆。从过程来看,无替代法可能更节省成本,操作简单,但实际工程一般不采用,因为拱桥一般跨径较大,桥梁的整体刚度不支持使用无替代法。

(2) 临时支架法。临时支架法是将临时支架搭设在横梁下作为临时受力体系,让旧吊杆的力转移到支架上从而完成体系转换,要求支架是刚性的。这种方法对桥下环境条件要求较苛刻,对于跨越河流、山谷及桥下交通频繁的拱桥,这种方法无法实施。并且理论上需要在更换前对刚性支架采取预压措施来消除塑性变形,但实际工程中很多情况会由于场地限制预压无法开展,进而影响桥面标高控制。因此,临时支架法可以使用的空间很小。

(3) 临时兜吊法。该方法是在施工过程中将原吊杆的力临时转移到连接在拱肋与横梁之间的钢丝绳上,在安装新吊杆时将钢丝绳的力转移到新吊杆,完成之后不需对钢丝绳进行卸载操作,操作相对更简单。但由于无法准确测得钢丝绳的内力,不利于控制桥面标高,故其不被频繁采用。

(4) 临时吊杆法。该方法是在施工中把临时吊杆用作临时受力体系,原理与临时兜吊法相似,只是把钢丝绳换成吊杆。先通过张拉临时安装的吊杆把待更换吊杆的力转移到临时吊杆上,逐节段把原吊杆切除及安装新吊杆,然后再次通过张拉新吊杆释放临时体系的受力,从而使力转移到新吊杆上,最后

拆卸临时吊杆。该方法是目前常用的方法之一。

(5) 桥面支撑法。该方法的原理是把释放出的力转移到邻杆上,与无替代法相比,其优点是在这个过程中利用贝雷梁作为传力体系实现体系转换,对桥梁整体刚度要求不高。该方法操作方便、快捷,但要求桥梁的旧吊杆损伤不严重,且贝雷梁的位置会经常更换,较繁琐。

4.3 施工流程

采用临时吊杆法,其更换施工步骤见图9。

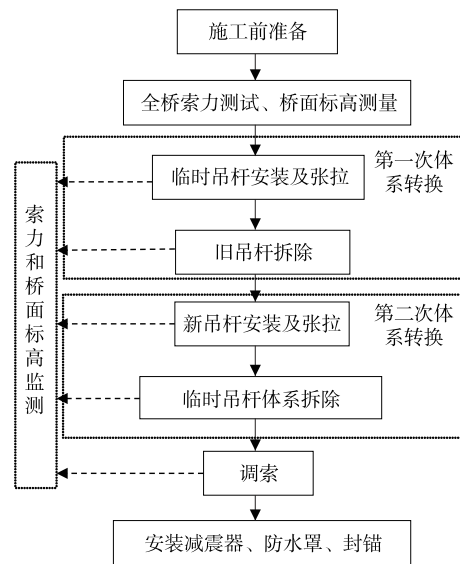


图9 吊杆更换施工流程

4.4 吊杆更换监控

(1) 吊杆更换施工中需控制桥面标高和吊杆内力,保证挠度和索力值满足设计要求。

(2) 更换施工前采集每个吊杆的索力及桥面标高的初值。利用振动频率法进行吊杆索力采集;提前规划布置好测点及仪器架设点,采用高精度水准仪采集高程,并于设计位置贴好应变片方便后续应变采集。

(3) 施工中及时记录桥面标高、吊杆伸长量、拱脚应变及加载油压等,保证每次关键工况都有测量记录数据,为下一步工况提供参考。

(4) 更换施工完成后,再次采集关键数据,将标高数据对比初值数据,同时观察吊杆下吊点挠度变化,综合判断是否需对索力进行补充调整。如需要,则继续修正索力,直到符合要求为止。

5 结语

该文说明了黄柏大桥服役过程中在拱肋、横向联结系、吊杆、桥面系及桥墩桥台等部位出现的不同

程度病害,分析了在特定环境下这些病害的形成原因,同时借助有限元软件分析评价其承载能力,结果表明该桥能满足公路Ⅱ级荷载的要求,但安全储备有所不足。通过对常用吊杆更换方法的对比分析,选择临时吊杆法进行吊杆更换,说明了其施工流程及监控要点,确保吊杆更换的顺利进行。

参考文献:

[1] 陈宝春.拱桥技术的回顾与展望[J].福州大学学报(自然科学版),2009,37(1):94-106.
 [2] 《中国公路学报》编辑部.中国桥梁工程学术研究综述·2014[J].中国公路学报,2014,27(5):1-96.
 [3] 彭霞,王行耐.单孔斜跨曲梁异形拱桥空间数值分析[J].公路,2009(7):187-193.
 [4] 李生智,王玮瑶,邹妙年.异形拱桥[M].北京:人民交通出版社,1995.
 [5] 曾革助,李传习,刘扬.长沙黄柏浏阳河大桥异型系杆拱桥施工控制研究[J].湖南交通科技,2008,34(3):96-98.

[6] 刘耿,舒昌信.长沙市黄柏浏阳河大桥异型拱的施工控制[J].湖南交通科技,2007,33(3):84-85.
 [7] 单巍巍,高晨珂,徐岳.钢导梁兜吊法在拱桥吊杆更换中的应用[J].湖南交通科技,2013,39(3):113-116.
 [8] 李磊磊.大跨径中承式拱桥吊杆更换理论分析与设计方法研究[D].西安:长安大学,2012.
 [9] 熊学玉,汪继恕,汪克来.拱桥的吊杆更换设计中的索力调整与优化[J].建筑结构,2006,36(增刊1):296-298.
 [10] 陈双聪.拱桥吊杆更换若干关键问题研究[D].杭州:浙江大学,2014.
 [11] 冷冰峰.浙江某系杆拱桥吊杆更换的施工研究[D].上海:同济大学,2009.
 [12] 李磊磊.大跨径中承式拱桥吊杆更换理论分析与设计方法研究[D].西安:长安大学,2012.
 [13] 胡尚,杜召华,蒋鑫,等.某钢管混凝土拱桥吊杆更换设计与施工方法研究[J].公路工程,2018,43(3):119-124+189.

收稿日期:2020-11-16

(上接第124页)

术[J].公路与汽运,2011(3):168-170.
 [2] 严定坤,陈亿胜.桥梁整体同步抬升技术[J].山西建筑,2020,46(21):126-128.
 [3] 陶梁,季亚萍,吴建扬,等.钢板桩围堰在吴江城市干线太浦河大桥施工中的应用[J].西部探矿工程,2009(5):184-187.
 [4] 李伟彬.公路桥梁工程梁板整体同步顶升技术的探讨

[J].建材与装饰(下旬),2010(11):203-205.
 [5] 宋虎,张道彬,喻青儒.明挖地铁车站下穿高架桥桩基托换施工关键技术[J].公路与汽运,2018(2):137-140.
 [6] 张超.桥梁同步顶升技术在公路改建中的应用[J].工程机械与维修,2021(4):224-225.

收稿日期:2020-12-04

(上接第127页)

(2)对金利互通立交原位改造方案进行A形与Y形方案比选,从工程规模及造价等角度推荐采用A形单喇叭。

参考文献:

[1] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路工程技术标准:JTG B01-2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.
 [2] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路路线设计规范:JTG D20-2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
 [3] 广东省交通规划设计研究院股份有限公司.广昆高速公路粤境横江至马安段改扩建工程可行性研究报告[R].广州:广东省交通规划设计研究院股份有限公司,

2020.
 [4] 刘培俭.广州北环高速公路沙贝—广清西段扩建方案研究[J].公路与汽运,2019(2):93-96.
 [5] 陈清廉.广清高速改扩建方案选择及路面拼接研究[D].长沙:长沙理工大学,2015.
 [6] 黄治炉.互通式立交设置及出入口研究[D].西安:长安大学,2016.
 [7] 韦可,张艳,谭山川.喇叭形互通式立体交叉改扩建方案探讨[J].公路与汽运,2015(2):185-187.
 [8] 王顺.高速公路互通式立交改造方案研究[J].交通标准化,2013(4):90-92.
 [9] 王秋颖.陈村互通立交改扩建方案探讨[J].广东公路交通,2017(4):47-50.

收稿日期:2020-11-24