

文章编号:1674-2869(2019)04-0375-05

施工监控状态下病害闸拱桥的拆除

陈旭勇,周 扬,杨宏印*

武汉工程大学土木工程与建筑学院,湖北 武汉 430074

摘 要: 闸桥作为一种具有特定功能的桥梁,兼备交通通行与蓄水泄洪功能。某23孔实腹式圬工闸拱桥通过桥梁检测及专家评审,确定利用桥墩、桥台、基础等下部结构,拆除主拱圈、填料、桥面系等上部结构。为保证桥梁安全,提出2种拱上填料挖除方案进行比选,通过计算分析,确定扰动较小的方案。采用建桥逆工序拆除法逐步卸除上部结构,并结合施工监控,形成拆除过程预警机制。最后,施工监控结果符合预期理论分析,整个拆除过程安全有序。

关键词: 连拱拱桥; 闸桥; 拆除; 施工监控

中图分类号: U44 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1674-2869.2019.04.014

Demolition of Diseased Gate Arch Bridge Under Construction Monitoring

CHEN Xuyong, ZHOU Yang, YANG Hongyin*

School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: The gate bridge has functions of both traffic and water storage. According to bridge inspection and expert evaluation, it was determined to continuously use the substructures, such as piers, abutments and foundations, and to demolish the superstructure such as main arch rings, fillers and bridge deck system in a solid-web masonry gate arch bridge with 23 spans. By theoretical analysis and comparing two kinds of fillers excavation schemes, the one with less disturbance was chosen to ensure the safety of the substructure in the demolition process, and then the superstructure was gradually demolished by the reverse process demolition method. During the demolition process, an early warning mechanism was formed. Finally, the results of construction monitoring were consistent with the expected calculations and analysis, and the whole demolition process were finished safely.

Keywords: multiple arch bridge; gate arch bridge; demolition; construction monitoring

拱桥是一种古老的桥梁建筑形式,在我国公路、铁路桥梁上有广泛应用^[1-2]。近年来,由于运营年限的增加,之前修建的桥梁会逐渐出现不同程度的病害,导致承载能力下降,严重影响桥梁的安全性。因此,旧桥的拆除改造将是未来桥梁工程师研究的热门课题之一^[3-6]。拆桥是建桥顺序的逆向实施,存在诸多不确定安全风险和非常规的操作,技术难度较大。拆除桥梁的方法主要包括爆

破法^[7-8]和非爆破法^[9-11],非爆破法包括机械移除法^[9]、切割法^[10]、建桥逆工序拆除法^[11]等。

经过多年的运营,桥梁的某个构件或连接件可能存在局部损伤、疲劳损伤等病害,并且有些病害不易发现,不易检测,而这些病害会导致结构的整体刚度、强度和稳定性有不同程度的下降,影响结构安全^[12-13]。各种病害累积到一定程度,需要对其拆除。桥梁的拆除存在一定的技术难度,且计算

收稿日期:2019-03-13

基金项目: 国家自然科学基金(51708429);武汉工程大学科学研究基金(K201734);桥梁结构健康与安全国家重点实验室开放课题(2017-04-GF)

作者简介: 陈旭勇,博士,教授。E-mail:cyx1314kl@126.com

***通讯作者:** 杨宏印,博士,讲师,硕士研究生导师。E-mail:yanghongyin@hust.edu.cn

引文格式: 陈旭勇,周扬,杨宏印. 施工监控状态下病害闸拱桥的拆除[J]. 武汉工程大学学报,2019,41(4):375-379.

分析结果精度也较难确定,特别是特殊桥梁,应谨慎拆除^[14-15]。在旧桥的拆除过程中,施工监测是对施工安全和工程质量进行定量控制的有效手段。工程中,常用的监测方法为在关键位置和断面埋设测点,进行结构变形和应力、内力监测,以实时指导施工,必要时采取相关措施,保障施工安全。以某连拱闸桥为例,对其上部结构提出拆除施工方案,开展闸拱桥拆除施工方法和安全监控关键技术研究。

1 工程概况

该桥为一座跨度 10.7 m+21×11.4 m+10.7 m 圪工连拱桥(见图 1),水闸与桥梁合为一体,同时具

有交通通行和蓄水泄洪功能。该桥设计荷载等级为汽车-13 级、挂车-100。桥梁全长 260.8 m,与河渠正交。全桥共 23 跨,拱肋为圆弧拱,每孔净跨径 10 m,矢高 3.9 m,矢跨比 1/2.564。下部结构为重力式墩台配扩大基础。

经过多年运营,桥梁部分结构出现了一定程度的病害。通过检测及专家评审确定利用下部结构,改造拆除上部结构。改建工程包括:拆除上部结构,保留原桥墩台和基础,并对原桥墩桥台及基础维修加固,最后将旧桥改造成多跨连续简支梁桥。桥梁改造成功与否,关键在于旧桥上部结构是否顺利拆除。

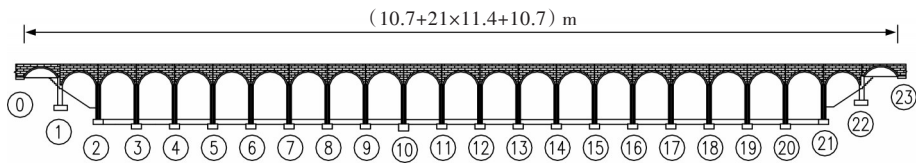
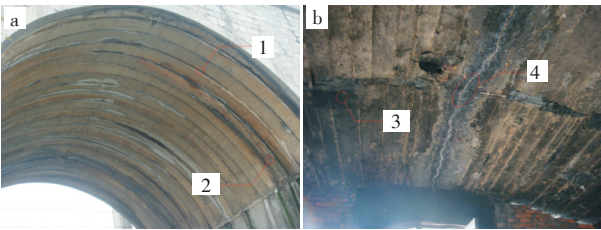


图 1 大桥立面图
Fig. 1 Elevation of the bridge

2 病害与控制

该桥共 23 跨,第 3~20 跨为预制主拱圈标准跨,第 1、2、22、23 跨主拱圈为现浇跨。标准跨由 21 片宽 0.5 m 的拱肋拼装而成,相邻拱肋由水泥砂浆进行黏合。目前部分拱肋间黏合砂浆出现纵向裂缝和脱落现象,导致拱肋渗水腐蚀、碳化加快的情况,其中第 6 拱跨损伤最为严重,如图 2(a)所示。现浇拱跨由 C20 混凝土浇筑而成,拱底面凹凸不平,施工质量较差。现浇拱中第 1 跨损伤最严重,如图 2(b)所示,跨中存在明显横向裂缝,拱圈碳化严重。桥梁墩、台及基础状况较好,无结构性损坏。标准跨中拱肋黏合物的脱落,减弱了拱肋间的横向联系,主拱圈整体刚度减小,变形增大。现浇拱中出现的横向裂缝若进一步发展,形成贯穿性裂缝,则可能发生塌孔事故。



注:①纵向裂缝,②拱肋渗水腐蚀,③拱肋严重碳化,④横向裂缝
图 2 拱圈病害:(a) 第 6 拱跨,(b) 第 1 拱跨
Fig. 2 Diseases of arch spans:
(a) 6 # arch span, (b) 1 # arch span

为防止病害孔跨在拆除过程中出现过度变形、超限裂缝、孔跨坍塌等情况,在前期需要对病害孔跨预先进行临时加固。存在病害的现浇孔跨都临近桥台,可预先搭设满堂支架,分担拱圈荷载;对于有病害的预制拱跨,可在跨中增设临时纵向支撑和墩顶设置纵向支撑,以增加病害拱跨承载能力。

3 闸拱桥拆除方案

3.1 方案原则

- 1) 维持主体结构的安全稳定。本桥为多跨连拱闸桥,安全风险较大,桥梁拆除不能影响闸门正常使用。
- 2) 减少对桥墩及基础的扰动。在满足主体结构安全的前提下,尽量减少对桥墩及基础的扰动。
- 3) 施工可行性。结合工程实际条件,制定合理施工方案,提高工程实施的可行性。

3.2 施工方案分析

本桥的拆除是一个拱跨不断卸载的过程,不同施工步骤对桥梁主体受力结构均有一定影响,拱上填料的挖除、侧墙的拆除和拱跨的拆卸,都会改变结构的刚度和孔跨的受力情况,单孔桥跨拆除还会引起桥梁结构体系的转变,这些工序对桥梁稳定性均有显著影响。另一方面,上部结构的卸除会不断削弱桥墩的重力锚固作用,不利于大闸的安全。

连拱桥在荷载作用下存在连拱效应,通过王国鼎^[16]的研究,当桥墩的抗推刚度大于38倍的主拱圈抗推刚度时,活载计算误差不超过5%,可近似按固定拱计算,忽略连拱效应。本桥计算显示,当孔跨逐步增加时,外荷载的影响效果逐孔递减,传递至第2孔时,传递的水平推力降至17.5%左右,到第5孔时,小于1%。因此,本桥主拱和桥墩刚度关系不能达到按固定拱计算的要求,连孔效应不可忽略。

由于该桥需要保护下部结构及大闸蟹安全,不能进行整体爆破,拆除施工安全风险较大,若某一孔出现塌孔,则可能发生多米诺效应,从而造成连续塌孔的严重后果。综合考虑,可采用非爆破的建桥逆工序拆除法拆除该桥上部结构,总体分为挖除拱上填料及拆除拱圈2个步骤。该桥较长,纵向拆除采用从跨中向两侧对称作业的方式进行。

3.2.1 挖除拱上填料 拱上填料的挖除是整个过程最为关键的步骤。本桥桥跨较多,拱上填料卸除工程量较大,若对其中一孔直接挖除,根据有限元软件Midas计算,拱脚会发生最大位移6.05 mm,桥墩产生最大弯矩15 309 kN·m,截面最大应力3.55 MPa,此时桥墩已经破坏,不满足方案原则,故拱上填料必须逐层挖除。逐层挖除的关键是挖除厚度的控制。若一次挖除层厚太大,产生较大的不平衡推力,可能对下部结构产生较大的影响;若挖除层厚太小,则不易施工,也会增加工作量,延长工期。因此需要确定合理的挖除层厚,现拟定以下2个实施方案:

方案1:拱圈顶部以上1.9 m层厚填料按2层(1.0 m+0.9 m)进行挖除,剩余部分(0~3.5 m厚)一次性逐孔挖除,工序见图3(a)。

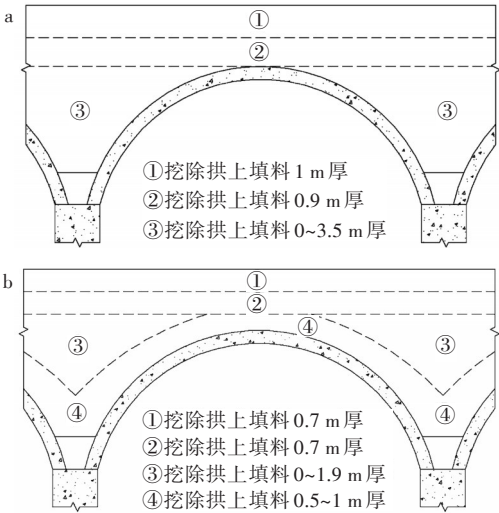


图3 方案比较:(a) 方案1,(b) 方案2

Fig. 3 Comparison of schemes: (a) Scheme 1, (b) Scheme 2

方案2:拱圈顶部以上按3层进行挖除,首先挖除拱顶上填料1.4 m(0.7 m+0.7 m)厚,再挖除桥墩顶部填料0~1.9 m厚,最后挖除剩余部分0.5~1 m厚,工序见图3(b)。

通过有限元MIDAS/Civil软件建模分析,各方案计算结果如表1所示。

表1 拱上填料挖除方案计算结果		
Tab. 1 Calculation results of packing excavation scheme		
项目	方案1	方案2
填料挖除步骤	3	4
墩顶最大位移/mm	2.5	1.8
单墩最大水平力/kN	1 185	527
桥墩截面最大应力/MPa	0.93	0.40
最大反拱值/mm	0.6	0.3

方案1的优点在于少一个施工步骤,但增加了每次的挖除厚度,导致桥墩受到的水平推力和变形较大。方案2虽然施工步骤复杂一些,但桥墩受力和变形有明显改善,应力峰值下降约55%,整体处于安全稳定状态,且不会破坏闸门的使用性能。综合考虑,最终采用方案2。

在卸载过程中会出现拱顶反拱的现象,其原因是在挖除过程中局部填料卸载过快导致的,为了减小反拱值,在挖除填料过程中要均匀对称卸载,尽量避免荷载集中,桥上施工机械设备等移动荷载控制在10 t以内。

3.2.2 拆除拱肋 在拆除拱肋时,若对某孔拱肋直接完全拆除,墩顶产生位移1.6 mm,最大水平推力341 kN,满足要求。由于本桥较宽,无法一次性吊卸,可先采用机械切割,再进行卸除。拆除时,从中跨向两侧推进,均衡对称施工,尽量减小对下部结构的扰动。

该桥作为闸桥,上部结构的拆除会导致整个坝体的重量减小,从而降低整体的抗滑稳定性,经过水力计算,在上部结构完全拆除、上游蓄水达到最高水位($H=22.12$ m)时,坝体抗滑稳定安全系数: $K_c=1.34>[K_c]=1.2$,满足要求。为增加施工的安全性和可操作性,施工作业应在枯水期进行。

3.3 施工步骤

根据以上计算分析和该桥的实际情况,使用建桥逆工序拆除法,采用人工及机械相互配合进行施工,实施步骤为:

第一阶段:施工前准备。①搭设支架及临时支撑;②拆除附属设施;③开闸泄水,将上游水位维持在一个较低水平($h<1$ m)。

第二阶段:拆除拱上结构。①安装监控设

施;②从中跨向两侧对称拆除桥面系;③再从中跨向两侧同步对称施工,逐层挖除拱上填料及侧墙,挖除工序见图 3(b)。

第三阶段:拆除主拱圈及护脚。拆除拱肋时以桥跨中心线为对称轴,从中间一孔向两侧桥头进行拆除,上部结构全部拆除完毕后再进行下一步的改造。

为确保下部结构的安全,拆除过程必须严格控制各桥墩承受的不平衡水平推力及墩身混凝土拉应力,对施工过程进行全程监控,保证工程安全。

4 施工监控

本桥拆除施工中监测的主要内容有:桥墩变形监测和桥墩应力监测。桥墩变形采用平面控制网法监测桥墩墩顶空间位移:在桥墩墩顶外侧贴反射贴片标记位移观测点(共 24 个),利用加密的平面工作基点,采用免棱镜测量技术,用极坐标法和角度交会法测量监测点的坐标,通过每次测量的坐标值计算变位量。桥墩应力监测采用表贴式应变计法,在桥墩底部两侧面各安装 1 个应变计,选取 8 个桥墩共计安装 16 个监测点。

4.1 拆除过程仿真分析

采用有限元软件 MIDAS/Civil 进行计算分析,结果表明:在拱上恒载的卸除及拱圈拆卸过程中,

桥墩及拱脚受不平衡水平力影响,会出现向已挖除侧偏移的趋势。当卸载作业面逐步靠近研究孔(第 4 孔)时,该孔墩顶及拱脚位移如图 4(a)所示,先逐步变大,当作业面到达拱脚处时,位移达到峰值,之后再逐渐减小,循环多次。整个过程中,最大位移为 1.8 mm,不超过 2 mm。拱顶挠度如图 4(b)所示,当卸载作业面经过研究孔时,受拱上荷载单侧卸载影响,拱顶会出现反拱现象,反拱幅度值约 2 mm,最大反拱值约为 0.5 mm。

在整个拆除过程中,桥墩所受的水平推力与拱脚位移变化一致,当作业面靠近研究孔时,桥墩不平衡水平推力增大,远离研究孔时则减小。如图 4(c)和图 4(d)所示,第 3 孔与第 4 孔之间的桥墩所受的不平衡推力最大值为 528 N,墩身产生的最大压应力为 1.64 MPa,最大拉应力为 0.40 MPa。根据计算,墩顶位移在-3~3 mm 范围内,桥墩截面应力变化在-2~2 MPa 之间,桥梁整体结构为安全状态。为尽量减少桥墩截面拉应力的出现,施工前可在桥墩墩顶架设纵向支撑,减小推力及弯矩,也可防范偶然事故的发生,减少人员和财产伤害。

4.2 实时监控

根据计算及相关规范要求设置施工监控指标,监控控制指标为:墩顶位移的日变化预警值和累计变化预警值,以及桥墩应力的日变化预警值

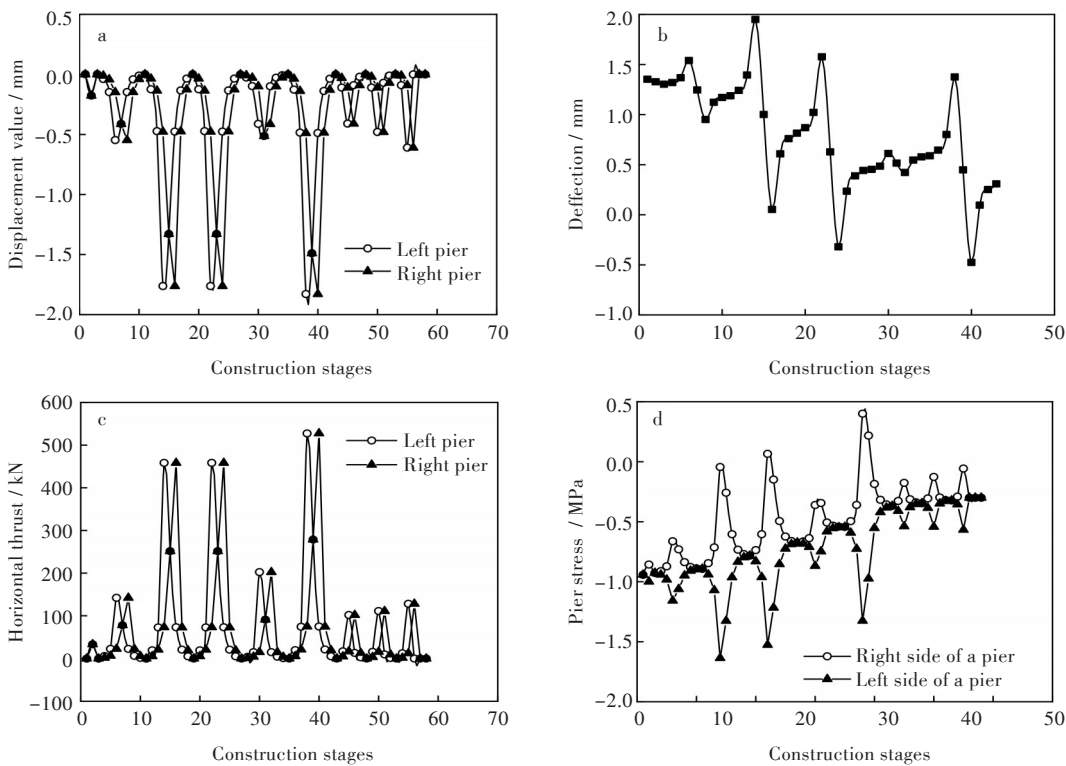


图 4 拱圈及桥墩应力应变:(a) 墩顶位移,(b) 拱顶挠度,(c) 墩顶水平推力,(d) 桥墩应力
Fig. 4 Stress and strain of arch and pier:(a) displacement of pier top,(b) deflection of arch bridge top,
(c) horizontal thrust of pier top,(d) pier stress

和累计变化预警值。墩顶位移日变化预警值为3 mm、累计变化预警值为4 mm,桥墩截面应力日变化预警值为1.0 MPa、累计变化预警值为1.5 MPa。在未进入拆除拱肋阶段前,主拱圈若出现新增裂缝或原裂缝扩大的情况,应立即停止施工,查明原因。

根据实际监控数据,墩身应力日变化值峰值为0.8 MPa,小于1.0 MPa,变化累计小于1.5 MPa;墩顶水平位移峰值为2 mm,小于3 mm,变化累计在4 mm之内。桥墩墩顶位移如图5所示。

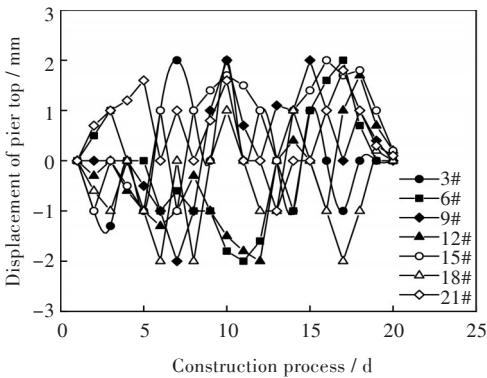


图5 墩顶位移监测图

Fig. 5 Monitoring charts of displacement of pier top

由图5可知,监测与建模分析基本符合,但存在一定偏差,但总体变化范围仍在监控控制范围内。产生偏差的因素可能有测量误差、施工作业、环境温度和天气等。

实际施工中每一步的具体实施与设计方案不可能完全一致,如拱上填料的不均衡卸载、支架的搭设及小型机械作业震动均会对桥梁结构产生影响,从而影响测量数据。因此,在施工过程中要尽量按照拟定方案进行作业,不可随意更改施工步骤。

环境温度也会对结果产生影响。通过计算分析,结果表明:采用单拱模型时,当温度上升10℃时,拱底标高均有所上升,拱顶处最大,为4.3 mm,水平推力增加92 kN,约为水平推力峰值的20%;当温度下降10℃时,拱底标高均下降,拱顶处最大,下降2.2 mm,水平推力增加46 kN,约为水平推力峰值的10%。因此,环境温度对结构也有一定的影响。

5 结 语

连拱闸拱桥拆除及改造工程国内外实例较少,经验不足。本方案研究在满足下部结构和大

闸不受损坏的前提下,结合施工监控,通过建桥逆工序拆除法,安全有序地拆除上部结构。在拆除过程中,墩顶最大位移为2 mm,变化累计在4 mm之内;墩身应力日变化值峰值为0.8 MPa,变化累计小于1.5 MPa,符合预期计算结果,满足要求。该桥上部结构的拆除研究可为今后类似工程提供参考和借鉴。

参考文献

[1] 《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.

[2] 赵人达, 张正阳. 我国钢管混凝土劲性骨架拱桥发展综述[J]. 桥梁建设, 2016, 46(6): 45-50.

[3] 乔文靖, 孙克东, 宋一凡, 等. 复合拱圈加固圯工拱桥节段模型试验[J]. 中国公路学报, 2016, 29(1): 89-95.

[4] 周磊, 周建庭. 圯工拱桥加固效果合理评价模式[J]. 公路, 2014(12): 81-85.

[5] 吴中鑫, 陈进, 龙安. 南京长江大桥双曲拱桥拱肋增大截面加固材料及施工关键技术[J]. 世界桥梁, 2019, 47(2): 83-87.

[6] 陈开利. 日本桥梁长寿命研究新进展[J]. 世界桥梁, 2019, 47(2): 50-54.

[7] 王守伟. 复杂环境下钢筋混凝土箱型拱桥的爆破拆除[J]. 爆破, 2018, 35(3): 98-102.

[8] 田永良, 邹志强, 谭雪刚, 等. 中承式悬索拱桥爆破拆除技术[J]. 爆破, 2012, 29(3): 78-81.

[9] 刘显晖, 谭柳芳, 杨帆, 等. 一种旧桥拆除的创新方法[J]. 施工技术, 2005, 34(9): 4-6.

[10] 钟纯耀. 连续刚构梁桥分段切割拆除施工监测方案研究[J]. 公路与汽运, 2014(4): 198-201, 216.

[11] 唐成斌. 大跨度钢拱桥的拆除施工与控制[J]. 公路交通科技, 2006(5): 130-133.

[12] 谢石龙, 马占飞. 大跨度连续梁桥临时固结体系施工与绳锯拆除技术[J]. 公路工程, 2018, 43(3): 131-135.

[13] 罗刚. 双曲拱桥加固设计与施工应用研究[J]. 公路与汽运, 2018(2): 152-157.

[14] 刘杰, 王解军. 圯工拱桥上部结构合理拆除方案研究[J]. 公路工程, 2013, 38(4): 254-256.

[15] 陈旭勇, 胡海棠, 高兵勇. 非概率可靠性在拱桥评估与加固中的应用[J]. 桥梁建设, 2016, 46(2): 60-64.

[16] 王国鼎. 拱桥连拱计算[M]. 2版. 北京: 人民交通出版社, 2000.

本文编辑: 苗 变