

XIGAN GONGQIAO JIAGU
CHENGTAO JISHU YANJIU

混凝土系杆拱桥加固 成套技术研究

刘 英 唐国斌 著



黄河水利出版社

混凝土系杆拱桥加固成套 技术研究

刘 英 唐国斌 著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书系统研究了中承式混凝土系杆拱桥成套加固技术,主要包括加固前系杆拱桥的承载力评定方法、加固设计方案、加固施工监控及加固项目施工后评价等内容,为项目工程的实施提供技术支撑,同时为类似工程提供参考和借鉴。

本书适合桥梁检测、加固、设计和养护领域工程技术人员和科研人员使用,也可供高等学校桥梁专业研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土系杆拱桥加固成套技术研究/刘英,唐国斌著. —
郑州:黄河水利出版社,2018.6

ISBN 978 - 7 - 5509 - 2065 - 1

I. ①混… II. ①刘… ②唐… III. ①混凝土建筑
物 - 系杆拱桥 - 加固 - 研究 IV. ①U448.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 141993 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371 - 66026352 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:虎彩印艺股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:7.5

字数:175 千字

印数:1—1 000

版次:2018 年 6 月第 1 版

印次:2018 年 6 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

公路桥梁安全检测与加固技术交通运输行业研发中心
桥梁养护系列丛书编著委员会

主 任	胡霞光				
副主任	王统宁	唐国斌			
委 员	张永强	梁全富	孙红玉	程 坤	

前 言

1991年,四川省苍溪县建成了我国第一座钢管混凝土系杆拱桥旺苍大桥。自此,在我国各地建设了大量的系杆拱桥。2013年,四川省泸州市建成了合江长江一桥,主跨径达530 m,是世界上跨径最大的钢管混凝土系杆拱桥。系杆拱桥不但造型优美,而且跨越能力很强,在经济性和艺术性方面具有较强的竞争优势。

但同时,系杆拱桥的安全事故也经常出现。四川宜宾南门大桥、福建武夷山公馆大桥、新疆库尔勒孔雀河大桥等系杆拱桥在运营十余年后出现局部坍塌,造成严重的安全事故。因此,检测系杆拱桥存在的病害,及时采取维修加固措施进行处置,就显得十分必要。

本书以中承式混凝土系杆拱桥为例,研究提出有效的加固技术、方法,恢复或提高其承载能力和通行能力,保证桥梁的正常运营,尽量保持和延长桥梁的使用寿命,通过加固提高既有桥梁的经济效益和社会效益,促进我国系杆拱桥的大力发展,支持国民经济建设,并为该类桥梁的加固理论和分析方法提供参考。

本书共分6章,第2章为中承式混凝土系杆拱桥承载能力评定方法,由刘英和唐国斌共同撰写;第3章为中承式混凝土系杆拱桥的加固方法,在拱肋、吊杆及横梁等构件现状分析的基础上,制订整套的维修加固方案,由刘英撰写;第4章为中承式混凝土系杆拱桥的加固施工的控制方法,由唐国斌撰写;第5章为加固项目后评价方法,由刘英撰写。全书由刘英审定统稿。

本书出版受河南省交通科技计划项目资助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中不当之处,请各位专家和读者批评指正。

作 者
2018年2月

目 录

前 言

1 绪 论	(1)
1.1 系杆拱桥的发展历程	(1)
1.2 混凝土系杆拱桥的受力特点和常见病害	(3)
1.3 中承式混凝土系杆拱桥加固技术研究现状	(5)
1.4 主要研究内容	(9)
2 混凝土系杆拱桥承载能力评定方法	(11)
2.1 混凝土桥梁承载力评定方法	(11)
2.2 桥梁概况	(12)
2.3 基于荷载试验的系杆拱桥承载力评定	(13)
2.4 小 结	(34)
3 中承式混凝土系杆拱桥的加固方法研究	(35)
3.1 中承式混凝土系杆拱桥力学性能分析	(35)
3.2 加固方案研究	(39)
3.3 横向联系的加固设计	(42)
3.4 冷轧粗钢筋吊杆的更换设计	(43)
3.5 销接式吊杆的设计	(47)
3.6 小 结	(50)
4 混凝土系杆拱桥加固的施工监控	(51)
4.1 施工监控的关键点及实施原则	(51)
4.2 施工控制的计算模型	(52)
4.3 实时监测体系	(55)
4.4 数据分析、反馈控制及预测	(58)
4.5 主要监控结果	(60)
4.6 小 结	(82)
5 混凝土系杆拱桥加固后评价	(83)
5.1 加固后评价的基本方法	(83)
5.2 桥梁加固效果技术性评价	(86)
5.3 系杆拱桥加固效果技术性评价	(87)
5.4 基于 AHP 法的系杆拱桥加固项目成功度综合后评价	(100)
5.5 小 结	(106)

6 结 论	(107)
6.1 主要结论	(107)
6.2 技术关键与创新点	(108)
6.3 技术要点与适用范围、实用意义	(108)
6.4 相关建议	(109)
参考文献	(110)

1 绪 论

1.1 系杆拱桥的发展历程

拱桥诞生于我国,是我国广大劳动人民智慧的结晶。拱桥的适用范围非常广泛,它不但造型优美,具有民族特色,而且跨越能力很强,在城市道路桥梁和公路桥梁中均占有特殊的地位。因此,在我国公路与城市桥梁中,拱桥作为一种古老的桥梁形式,以其跨越能力强、承载能力高、造价经济、养护维修费用少、造型美观等特有的优势而成为建筑历史最悠久、竞争力较强,并且常盛不衰、不断发展的桥梁形式。

20 世纪五六十年代之前的拱桥多数是中小跨径石拱桥,经过国内外工程技术人员不断学习和总结经验并实践创新,至今已发展成多种形式,如大跨径石拱桥、钢筋混凝土拱桥、钢拱桥、钢管混凝土拱桥等。近年来,系杆拱桥在跨越能力的提高、结构形式的组合化趋势以及各种新型材料的应用和合理组合配置等多方面都有了充分的发展。国外典型的系杆拱桥有美国的 Bridge of the Americas(344 m,见图 1-1)及 Fremont bridge(382.5 m,见图 1-2)等;在国内,已建成多座百米以上跨径的系杆拱桥,如天津开发区彩虹大桥(3×168 m)、广州丫髻沙大桥(360 m)、菜园坝长江大桥(420 m)、钱塘江四桥(190 m)、茅草街大桥(365 m)等,都是采用竖直吊杆布置形式的系杆拱桥。上海卢浦大桥(主跨 550 m,见图 1-3)则为采用网状斜吊杆布置形式的系杆拱桥,是这一桥型的世界跨径之最。2009 年 4 月建成通车的重庆朝天门长江大桥(552 m,见图 1-4),为三跨连续中承式钢桁系杆拱桥,比世界著名拱桥悉尼大桥主跨还长而成为“世界第一拱桥”。

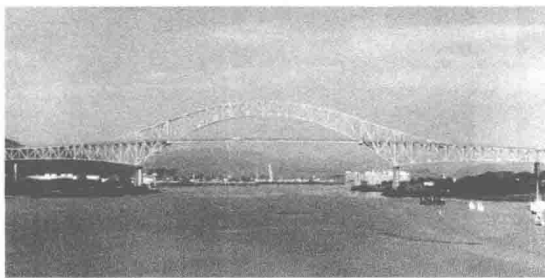


图 1-1 Bridge of the Americas

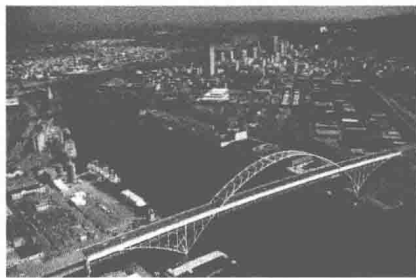


图 1-2 Fremont bridge

系杆拱桥与斜拉桥、悬索桥一样都是典型的三元结构,即由活载分布构件、传递构件及承重构件组成,较之一般类型的拱桥在结构上更为复杂。在系杆拱桥中,拱肋是主要承重构件,且主要承受压力;系杆(梁)是承重构件,也是活载分布构件,其内力的水平分力可以部分或完全平衡拱肋产生的水平推力;吊杆则是前两者相联系的传递构件,主要是将桥面荷载传递给拱肋。吊杆、系杆作为系杆拱桥的预应力承力结构,其可靠性、耐久性、适应性直接关系到桥梁的安全和使用寿命。在实际工程应用中,由于施工、运营及养护等多



图 1-3 上海卢浦大桥



图 1-4 重庆朝天门长江大桥

方面的原因,系杆拱桥的安全问题尤为突出,我国已有多座系杆拱桥坍塌,如图 1-5 ~ 图 1-8 所示。



图 1-5 綦江(垮塌前)彩虹桥照片

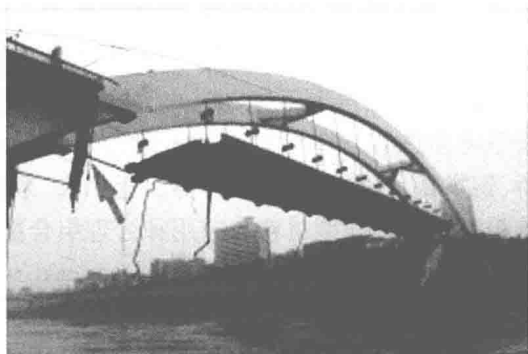


图 1-6 四川宜宾南门大桥主梁断裂现场照片

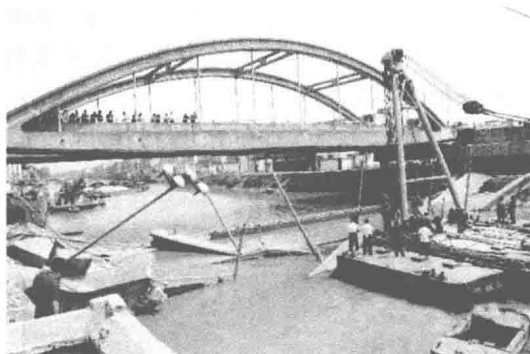


图 1-7 江苏常州运河大桥倒塌现场照片

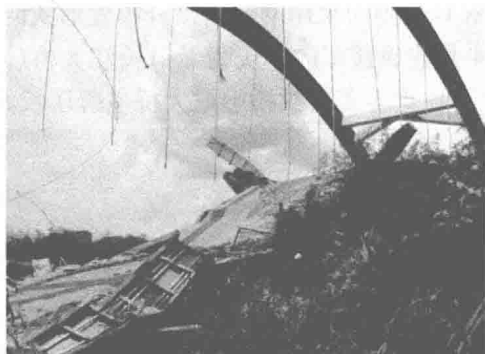


图 1-8 福建武夷山公馆大桥垮塌现场

由于传统吊杆在锚固体系、索体结构、防腐方案等方面的缺陷,致使其过早产生破坏,不得不提前进行更换。据不完全统计(见表 1-1),我国近年来投入了大量的人力、物力、财力针对系杆拱桥吊杆腐蚀、系杆断裂、拱肋承载能力不足等问题,进行检测、监测以及维修加固。同时发现我国系杆拱桥吊杆的寿命基本不超过 10 年,基于“破损安全”原则,考察系杆拱桥体系存在的缺陷,即一根失效,殃及全桥,拆换不易,费用很高。因此,如何对已建的系杆拱桥进行承载能力评估、鉴定,并进行合理的维修加固等已成为急需研究和探讨的课题。

表 1-1 近几年我国系杆拱桥的加固情况

桥名	建成年份(年)	加固年份(年)	加固原因	说明
安徽合肥寿春路桥	1988	2002	吊杆年久老化,腐蚀严重	28 根吊杆全部更换
湖北武汉彩虹桥	2000	2003	两根系杆断裂,承载力不足	更换系杆,安装系杆监测系统
浙江武义温泉大桥	1998	2004	主拱肋存在微小裂缝、吊杆锈蚀	投资 230 多万元,进行吊杆更换及桥梁加固
四川峨边大渡河大桥	1995	2004	吊杆疲劳锈蚀	更换 50 根吊杆及 8 根系杆,安装吊杆监测系统
浙江杭州叶青兜桥	1993	2006	吊杆锈蚀、桥面系结构裂缝	更换及加固 34 根吊杆,安装了监测系统
广西柳州文惠桥	1994	2007	吊杆及锚头锈蚀	54 根吊杆全部更换,安装吊杆 GPS 监测系统
四川成都南河桥	1995	2007	城市交通量增大,承载力不足	更换、加固 12 根吊杆
广东佛山三山西大桥	1994	2008	系杆安全系数未达常规值	更换 66 根吊杆和增设部分系杆,预计整个工程造价 2 600 万元
四川成都青龙场立交桥	1997	2008	交通量大、锈蚀	投资 1 600 多万元,更换 126 根吊杆及安装 18 束体外系杆,恢复吊杆监测系统
福建福州解放大桥	1995	2009	腐蚀、疲劳等问题	全部更换 104 根吊杆,耗资 780 多万元

基于上述考虑,本书结合工程实例,主要对中承式混凝土系杆拱桥的承载力评定技术及维修加固技术进行研究。

1.2 混凝土系杆拱桥的受力特点和常见病害

1.2.1 中承式混凝土系杆拱桥的受力特征

中承式混凝土系杆拱桥属于拱梁组合体系,在荷载作用下拱肋主要承受轴向压力,系梁主要承受自重及活载作用下的弯矩,水平系杆承受轴向拉力。从结构内部的受力情况来看,拱肋的轴向压力与水平系杆的拉力形成一组相互作用的平衡力系,抵消了大部分拱肋与主梁截面的弯矩。从外部结构看,中承式系杆拱桥在恒载作用下拱脚的水平推力主要由水平系杆来承受,而活荷载、温度荷载等作用产生的拱脚水平推力由基础来承受。

1.2.2 中承式混凝土系杆拱桥的常见病害

在国内,经过多年的发展,拱桥的结构形式由一般的板拱桥发展到肋拱桥、薄壁箱形拱桥、钢筋混凝土桁架拱桥、双曲拱桥、刚架拱桥、预应力混凝土桁式组合拱桥、预应力混

混凝土系杆拱桥等。在长期运营过程中有相当一部分拱桥存在着严重的问题,主要表现在以下几方面:

- (1) 混凝土老化、碱—骨料反应、酸侵蚀、氯离子侵入、冻融等。
- (2) 拱座处地基沉降,拱座产生水平位移和竖向位移及倾斜转动,甚至开裂。
- (3) 拱脚混凝土压溃开裂,钢筋局部失稳屈曲崩裂,拱圈拱轴变形,拱圈出现受拉裂缝以及拱上建筑开裂。
- (4) 拱桥吊杆锈蚀、疲劳损伤。
- (5) 支座破损、老化生锈,桥面破裂漏筋,伸缩缝堵塞破损。
- (6) 整体性差,稳定性差,振动厉害,强度不足,桥面宽度不够等。这些病害导致混凝土剥落、主拱变形大、桥面开裂、整体刚度减小等各种结构缺陷。

对中承式混凝土系杆拱桥而言,除上述病害外,突出的病害包括以下几个方面:

- (1) 拱肋病害。拱肋为系杆拱桥的主要受力构件,属受压结构,常见的病害有拱肋轴线变形,拱顶和拱脚混凝土出现裂缝,混凝土剥落、碳化严重,钢筋锈蚀等(见图 1-9 ~ 图 1-11)。



图 1-9 拱肋混凝土开裂



图 1-10 防锈钢管锈蚀开裂渗水

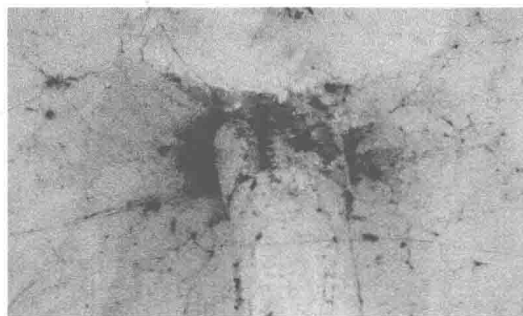


图 1-11 防锈钢管与拱肋结合端开裂

- (2) 吊杆病害。吊杆将纵梁和横梁系统悬挂在拱肋之下,桥面荷载通过吊杆和桥面系将作用力传递至拱肋上,是主要的受拉构件。吊杆的主要病害有防护结构失效,钢丝或钢绞线锈蚀,上下锚具不能发挥作用,吊杆断裂等。

- (3) 横梁病害。系杆拱桥中的横梁产生裂缝、露筋或钢筋锈蚀(见图 1-12),预应力横梁的钢绞线锈蚀或预应力损失严重。

(4)系梁病害。系梁产生裂缝,混凝土碳化严重,露筋或钢筋锈蚀(见图 1-13),预应力系梁中钢绞线锈蚀或预应力损失严重。

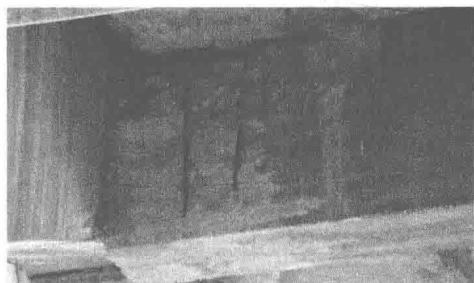


图 1-12 横梁露筋锈蚀



图 1-13 系梁混凝土剥落,露筋锈蚀

(5)立柱病害。是中承式系杆拱桥中常见病害之一,主要表现为立柱混凝土开裂、柱顶倾斜等(见图 1-14、图 1-15)。

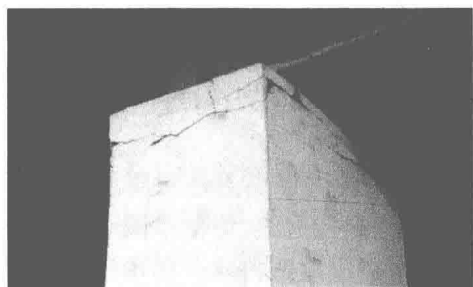


图 1-14 立柱混凝土开裂

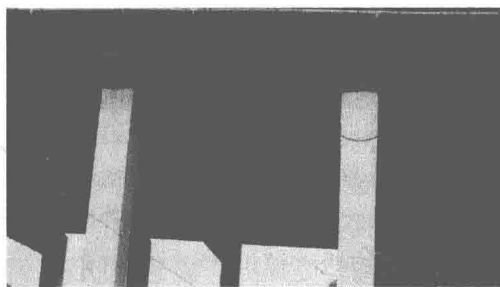


图 1-15 柱顶倾斜

1.3 中承式混凝土系杆拱桥加固技术研究现状

1.3.1 拱圈加固方法

拱圈的加固方法大致可以分为以下几种类型:增大截面加固法、锚喷混凝土加固法、粘贴钢板(筋)法、粘贴 FRP 片材法、增设套拱加固法、拱上建筑卸载法等,这些方法主要是针对拱圈结构采用的加固方法。

(1)增大截面加固法,又称为外包混凝土加固法,通过增大构件的截面和配筋,用以提高构件的强度、刚度、稳定性和抗裂性,同时可以修补裂缝。这种方法多用于双曲拱桥的加固,也用于桁架拱桥的加固。

(2)锚喷技术起源于欧洲,20 世纪 80 年代中期国内科技人员将该技术应用于拱桥加固,至今已成功加固了几十座旧桥。其加固机制在于:利用锚入原主拱圈内的锚杆挂设钢筋网,再施喷加入适量速凝剂的混凝土至结构面层,直至形成复合主拱圈,并与原主拱圈共同协调变形,分担部分活荷载,从而达到提高桥梁承载力的目的。这种方法不但用于混凝土拱桥(如双曲拱桥)的加固,而且大量用于石拱桥的加固。马继义、田宏礼等进行了聚丙烯纤维喷射混凝土加固桥梁施工技术的研究,并在工程实践中得到了应用,进一步推

进了锚喷技术在桥梁加固中的应用。

(3) 粘贴钢板(筋)法,一般采用环氧树脂或建筑结构胶将钢板(筋)或玻璃钢等抗拉强度较大的材料粘贴在受弯构件的表面,以提高构件的抗弯能力,同时减少裂缝的开展。这种方法主要用于精式拱桥、系杆拱桥、刚架拱桥中的受弯构件或压弯构件。

(4) 粘贴 FRP 片材法,与钢板粘贴加强法基本原理是一致的,均是将其增强材料粘贴在混凝土结构的受拉缘或薄弱部位,使之与结构形成整体,用以代替需增设的补强钢筋,提高梁的承载能力,达到补强的目的。目前,应用于桥梁加固工程中的 FRP 片材主要有 3 种:玻璃钢、碳纤维布、芳纶纤维布。碳纤维在目前世界上已知的工程材料中具有极高的抗拉强度和弹性模量。由它和树脂结合成的复合材料质量轻,施工便捷,不需要大型施工机具,在加固维修中可以充分利用其高强度的特点来提高混凝土结构的承载能力和延性,在要求提高承载力而不允许增加过多桥梁恒载的工程中特别适用。对各拱桥采用 FRP 片材加固时,应根据桥梁的具体缺陷和病害,确定具体的加固部位,制订切实可行的加固方案。张凤岐用粘贴碳纤维的方法加固了桁架组合拱桥。

(5) 增设套拱加固法,即在原拱圈下增设一层新的拱圈共同受力。杨万里介绍了套拱加固法在旧拱桥维修加固中的应用。毛宏耐介绍的增设拱肋的方法也可以认为是套拱加固法的延伸。

(6) 拱上建筑卸载法常用于一些实腹式拱桥或拱式腹拱等拱上建筑质量较大的拱桥,利用改变拱上建筑形式或填料的类型,以达到改善恒载压力线、增加拱圈承载能力的目的。王鹏、周建庭提出了基于拱上恒载调整的石拱桥加固改造技术。杨华堡提出了拱背减载加固拱桥。魏建东在南部嘉陵江大桥的维修加固中利用配重进行拱轴线纠偏。

桥梁类型的多样性,病害类别和成因的复杂性,以及影响桥梁性态的多样性,决定了桥梁加固具有多样和灵活的特点。众多专家根据既有桥梁的实际病害情况,提出了相应的独特方法,如蒙云、梁传波等提出的利用复合加固法提高石拱桥承载力的方法,用钢丝网、钢纤维增强钢筋混凝土(简称三钢混凝土)与环氧砂浆粘贴钢板的复合加固措施,解决了大件运输中 244 t 重件通过的技术问题;庞国栋、周建廷等提出了复合主拱圈加固石拱桥的承载力计算模式,在分析复合主拱圈技术加固石拱桥后主拱圈极限状态的过程中,考虑了加固结构二次受力的特点和新旧结构不同材料的力学性能,按照承载力极限状态计算原则推导出了加固后石拱桥的承载力计算模式,以供加固设计时参考;王鹏、周建庭提出拱上恒载调整的石拱桥加固改造研究,综合利用高压灌浆加固技术、钢筋混凝土套箍加固技术、桥面系减载处理等方法进行拱桥的加固;周建庭提出钢筋混凝土套箍封闭主拱圈加固技术,是近几年国内研究并已应用于实践的成功桥梁加固技术,其加固机制在于,通过有效保障措施,在原主拱圈外层环状封闭钢筋混凝土层,利用新增设钢筋混凝土套箍层与原主拱圈的同步协调变形、承担活荷载,达到提高桥梁承载力、防水蚀、抗风化的目的;余天庆、蒋永红介绍了拱桥的顶推法加固技术和体外索预应力加固技术,通过对拱脚的顶推使拱脚产生相对位移,从而使拱圈内产生附加内力来减小拱圈中已存在的结构内力和变位,这两种方法在江苏省徐州万寨桥和广西钦州地区那利桥得到应用;周士浩、李清在汇龙桥维修方案中采用了螺栓钢围套的加固方法加固空腹混凝土刚架拱桥,由于其主要损坏集中于拱片拼接处以及拱片和系梁连接处,加之混凝土设计强度不高且表层

混凝土碳化深度较大,若采用粘贴高强纤维的方法加固,虽可以提高承载力,但对提高桥梁的整体刚度和变形性能贡献不大,因此可考虑多采用螺栓钢围套的加固方法,依靠钢围套的刚度来改善截面受力情况,以期达到更好的加固效果;陈向阳、汪劲丰提出一种拱索体系加固现有钢筋混凝土刚架拱桥的方法,并以一座典型桥梁为例,对其加固前后的力学性能进行了分析,结果表明这种加固方法使桥梁的跨中弯矩和挠度大为减小,承载能力明显提高,它是一种加固早期修建钢筋混凝土刚架拱桥的有效方法,具有一定的理论意义和工程实用价值。

通过以上拱桥加固研究的综述可以看出,大部分研究成果是面向某个典型工程,加固方法较多,但缺乏系统性和通用指导性。针对混凝土系杆拱桥的承载力评定方法、加固方案设计、加固工程的施工监控等成套的加固技术还有待于研究和探讨。

1.3.2 中承式系杆拱桥吊杆更换技术研究

1.3.2.1 吊杆类型

吊杆是中承式拱桥重要的传力构件,通过吊杆受拉,拱桥的桥面恒荷载和活荷载传递到拱肋,使拱肋发生作用。根据制作材料的不同,拱桥吊杆可以分为刚性吊杆和柔性吊杆两大类。

刚性吊杆采用钢筋混凝土或预应力混凝土制作。使用刚性吊杆可以增强拱肋的横向刚度,提高结构的整体工作性能,但施工程序多,工艺复杂,结构的变形能力较差。刚性吊杆一般设计为矩形,其两端的钢筋扣牢在拱肋横梁中,除承担轴向拉力外,还需抵抗上下节点处的局部弯曲。为了减小刚性吊杆承受的弯矩,其截面尺寸在顺桥向一般设计得小一些,而横桥向为了增强拱肋的横向稳定性,尺寸一般设计得大一些。

柔性吊杆一般用高强钢丝或冷轧粗圆钢制作,只承受轴向力。采用高强钢丝制作的吊杆通常采用墩头锚,而粗钢筋则采用轧丝锚与拱肋、横梁相连。使用柔性吊杆可以部分消除拱肋和桥面系之间的相互影响,且节省钢材。吊杆的间距一般根据结构受力和经济美观等因素确定。间距大时,吊杆数目减少,但纵横梁的用料增多;反之,吊杆数目增多,纵横梁的用料减少。一般吊杆的间距为4~10 m,通常取等间距。

1.3.2.2 吊杆更换的基本原理

在已进行的拱桥吊杆更换的工程实践中,吊杆更换的基本原理是:通过设置临时替代机构,将被换吊杆的索力先转移到临时替代机构上来,然后拆卸旧吊杆,安装新吊杆,再把临时替代机构上的力转移到新吊杆上来。更换过程经过两次体系转换,即索力由旧吊杆向临时替代机构上转移,再由临时替代机构向新吊杆转移,并最终完成吊杆的更换。

根据使用的临时替代机构不同,拱桥吊杆更换施工的方法也不相同,目前所使用的施工方法大致可以分为临时吊杆法、临时支架法和临时兜吊法三种。

1.3.2.3 吊杆更换的关键技术问题

系杆拱桥吊杆更换的设计和施工应达到以下目标:

- (1) 保证吊杆更换施工中桥面变形控制在合理的范围内,防止出现过大的局部变形。
- (2) 控制拱肋内力的变换,保证拱肋的安全。
- (3) 旧桥原有的内力状态和线形可能与设计状态存在较大的偏差,吊杆更换后应使

旧桥的受力状态得到改善,线形得到修正。

(4)应保证成桥后吊杆的耐久性,并考虑吊杆再次更换的可能性。

为了达到上述目标,确保换索施工的安全、经济,保证成桥后结构处于合理的受力状态,并满足相应的耐久性要求,在吊杆更换的设计和施工中需解决以下关键的技术问题。

(1)准确掌握桥梁的实际运营状况。

系杆拱桥吊杆的更换是一个系统工程,是在准确掌握桥梁的实际运营状态的前提下进行的。桥梁建成投入使用后,随着结构材料的自然老化,车辆荷载的不断增加,日益恶化的环境影响以及养护维修资金缺乏,多数桥梁不可避免地出现各种损伤和缺陷,这些都将导致结构承载能力下降、结构性能劣化、耐久性降低,因此人们往往通过桥梁检测了解和掌握结构实际的运营状态,判定桥梁的承载能力和使用条件。如果桥梁经过数年的运营后内力状态和线形与设计状态发生了较大的偏差,就有必要在吊杆更换过程中进行必要的调整,这也是拱桥吊杆更换的一个重要的目的和内容。

此外,在吊杆的更换过程中,结构体系不断转换,拱肋、横梁、纵梁、桥面系等构件在体系转换过程中需保持其使用功能而不发生破坏。因此,需要准确地评估这些构件的工作状态。如果构件存在损伤,在吊杆更换施工前需做必要的维修和加固处理。尤其是吊杆,需较准确地掌握其损伤状况,这对吊杆更换顺序有重要的影响。

(2)确定安全、经济、可行的施工方案。

拱桥吊杆更换时必须保证桥梁的结构安全,不能因更换吊杆而损坏桥梁的其他部位,更换吊杆后桥梁的总体性能不能下降,应满足设计要求和今后的运营要求。所以,施工方案的选择十分重要。施工方案应该有较好的经济性且便于实施,应具有良好的可控性和可操作性。

拱桥吊杆更换施工的主要难点是如何在保证其他构件安全的前提下,临时卸除该吊杆的拉力。施工方案选定后,需对施工方案进行细化和设计。以临时吊杆法为例,方案设计时要给出临时吊杆的具体方案,考虑临时吊杆的验算,张拉步长、临时吊杆和新吊杆的张拉力大小、施工工艺的流程等问题。

(3)吊杆索力的测试。

作为拱桥吊杆更换的一个重要组成部分,正确测试吊杆的索力是吊杆顺利更换的保证。吊杆更换前需要测定旧吊杆的索力,并以此作为吊杆更换的依据之一;更换过程中还要对吊杆索力进行实时的监测,以判断桥梁是否处于安全状态,确定吊杆索力是否达到设计要求;吊杆更换后还要对吊杆索力进行复测,作为索力调整的依据。因此,精确测试吊杆的索力是吊杆成功的必要条件之一。

目前,在工程实践中,测定索力普遍采用的方法有油压表读数法、传感器标定法和频率法。前两种方法一般仅适用于正在张拉的吊杆的索力测定,当需要对已施工完毕的拉索进行索力复测时,频率法几乎是唯一的选择。在拱桥吊杆更换施工中,一般采用油压表读数法和频率法。目前,索结构通常使用液压千斤顶张拉,由于千斤顶的张拉油缸中的液压与张拉力有直接的关系,所以只要测定张拉缸的压力就可以求得索力,使用0.3~0.5级的紧密压力表,并事前通过标定,求得液压和千斤顶拉力之间的关系,利用压力表测定索力有较高的精度。由于这种方法简单可行,故成为施工控制中索力测量的实用方法。

但其不能用于已张拉好的吊杆的索力测量。由于受到锚具变形的影响,张拉索力不一定等于千斤顶回油后的索力,此外千斤顶摩阻力也会产生张拉误差。

频率法测定索力是建立在缆索的振动方程基础之上的,较为方便实用。这种方法是在吊杆上附着高灵敏度的传感器,利用环境随机振动或人工激振的方法使吊杆发生横向振动,传感器拾取振动信号,经过滤波、放大、谱分析,然后根据自振频率与索力的关系确定索力。对于成桥索力的测试,一般都采用振动频率法。这种方法需要确定吊杆的边界支承条件和吊杆的自由长度,这两个参数的取值对精确测定索力至关重要。

(4) 吊杆索力的优化及调整。

一般来讲,带吊杆的拱桥都是内部超静定结构,吊杆之间的索力存在相互影响的关系。在吊杆更换过程中,后张拉的吊杆会使已经张拉到位的其他吊杆索力发生变化,已张拉好的吊杆的索力在后续吊杆张拉过程中要多次发生变化,这使得所有吊杆更换完成后的成桥状态与设计状态往往不相符。由于成桥状态与设计状态有偏差,会对结构带来不利影响甚至可能危及结构的运营安全。因拱桥成桥状态要求实有索力与设计所制定的索力相等或接近,所以在吊杆更换施工结束后,对全桥的索力进行优化和调整是一道重要的工序。其要解决的问题包括:如何确定合理的成桥索力,即调索的目标值;提出简便可行的调索方案;确定合理的调索顺序。

(5) 提出可保证施工按质按量完成的施工控制方案。

在施工过程中,如何采取有效的技术措施和管理措施,及时对施工中所暴露出的问题进行分析 and 处理,保证成桥后的结构线形和应力与设计相符,是关系到工程质量和结构安全的至关重要的一环。这项工作就是桥梁的施工控制。桥梁的施工控制需要在控制断面布置应变或应力测试元件,实时监测结构应力变化,形成施工安全预警机制。这样,才能既保证结构的受力和变形始终处于安全的范围内,又能使成桥后的结构内力和线形符合设计要求。

拱桥吊杆更换的施工控制应确保施工过程中桥梁结构的内力和变形始终处于容许的安全范围内,确保成桥状态,使成桥线形与成桥结构内力符合设计要求。拱桥吊杆更换施工控制的一般内容包括:监控拱肋在更换吊杆各阶段拱圈各控制断面的受力状况及变化;对桥面、拱肋线形进行监测和控制;采用恰当的手段对吊杆的张拉力进行控制;通过吊杆索力的优化与调整改善吊杆更换后结构的线形和内力状态。

1.4 主要研究内容

本书以漯河沙河大桥为例,主要针对中承式混凝土系杆拱桥提出有效的加固技术、方法,恢复或提高其承载能力和通行能力,保证桥梁的正常运营,尽量保持和延长桥梁的使用寿命,通过加固提高既有桥梁的经济效益和社会效益,促进我国公路建设的大力发展、支持国民经济建设,并给该类桥梁的加固理论和分析方法提供参考。主要研究内容包括以下几点。

1.4.1 中承式混凝土系杆拱桥承载能力的评定方法

承载能力是反映桥梁使用现状的一个重要的技术指标,也是桥梁加固方案设计决策

的依据,荷载试验法是目前比较普遍采用的评定既有桥梁承载能力的方法。本书结合工程实例,探讨中承式混凝土系杆拱桥承载能力评定的具体方法和评价程序。

1.4.2 中承式混凝土系杆拱桥的加固方法

在承载力评定的基础上,根据现存的设计图纸对大桥主要受力结构(拱肋、吊杆及横梁)进行现状分析,并制订整套的维修加固方案,包括系杆、横向联系的加固以及吊杆的更换。

1.4.3 中承式混凝土系杆拱桥的加固施工控制方法

根据中承式系杆拱桥加固施工的特点,制订相应的施工控制方案,并采用空间有限元对加固施工过程进行仿真分析,采用自校正调节法最优控制技术对桥梁施工进行有效控制,保证施工过程结构性能参数满足规范要求,使桥梁最终成桥线形和内力符合设计要求。

1.4.4 中承式混凝土系杆拱桥的加固项目后评价方法

桥梁加固工程后评价类似公路建设项目后评价,但又有自身的特点。桥梁加固后评价,不仅要针对工程建设的经济效益、社会效益及其影响和作用进行评估,还应从工程技术角度评价桥梁的服务水平,如安全性、耐久性和适用性等,确定加固后结构是否满足设计要求,是否安全可靠,是否经久耐用等。通过本书的研究,提出适应于系杆拱桥加固后评价的方法,构建相应的评价指标体系。

根据上述研究内容,本书技术路线如图 1-16 所示。

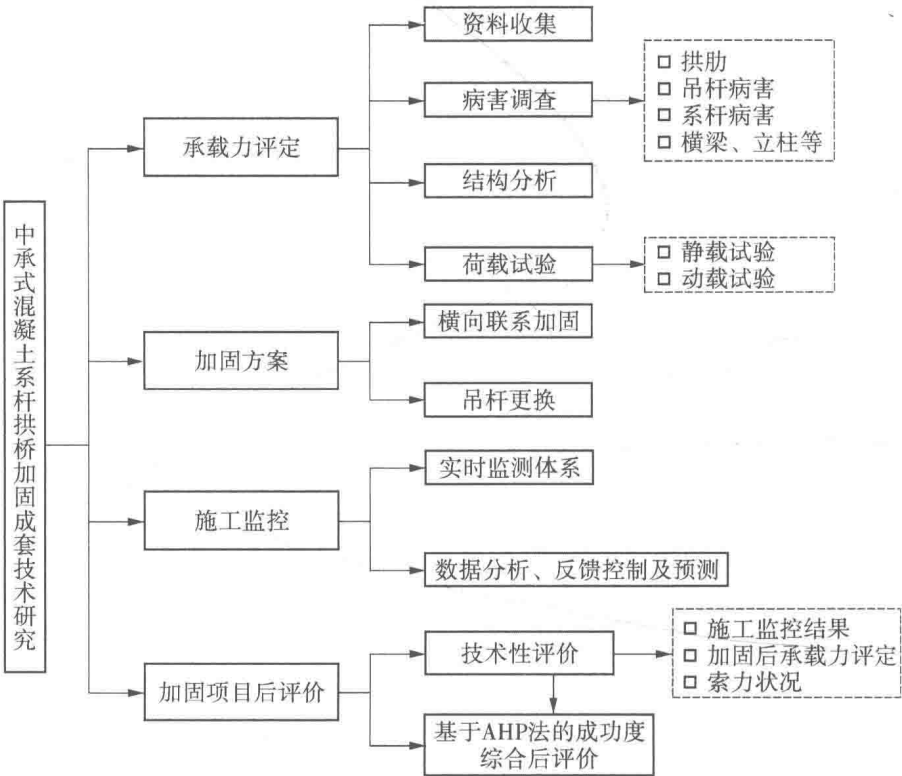


图 1-16 技术路线