

大跨度桁式组合拱桥拆除施工可行性分析

李琦¹, 杜斌^{1,2*}, 刘奇², 朱华栋², 麻拯佳³, 刘磊¹, 岑光锋¹

(1. 贵州大学 土木工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州顺康检测股份有限公司, 贵州 贵阳 550000;

3. 贵州桥梁建设集团有限责任公司, 贵州 贵阳 550001)

摘要:以某大跨度预应力混凝土桁式组合拱桥待拆工程为例,按照先建后拆的思路,构思利用新建钢管混凝土拱桥拱肋辅助扣挂旧桥拱圈的倒退拆除施工方案,结合此类桥型的受力特点和施工工艺,详细讨论该桥型的拆除技术及施工要点,并借助有限元分析软件 Midas/Civil 模拟其拆除施工过程,分析各个拆除阶段的结构受力和变形情况,计算结果表明该方案安全、快速、经济,可为后续类似桥梁的拆除工程提供宝贵的经验。

关键词:预应力混凝土桁式组合拱桥; 先建后拆; 钢管混凝土拱桥; 倒退拆除; 可行性分析

中图分类号: U445.6

文献标志码: A

预应力混凝土桁式组合拱桥,因其自身体系的缺点以及设计标准过低、过分追求经济、重载交通等因素,使得该桥型存在较为严重的病害,虽然经过一系列加固措施,但收效甚微,其使用性能难以满足当前通行设计荷载的要求,越来越多的预应力混凝土桁式组合拱桥已走向危桥的行列,等待被拆除重建。而预应力混凝土桁式组合拱桥在拆除过程中结构体系会不断地变化,目前又缺乏拆除施工方面指导性规范文件以及工程实践经验,故研究逆序拆除法及其施工控制是十分必要的。包立新^[1]以沿溪大桥为背景,阐述了整个拆桥过程,进行了受力分析,结果表明该拆桥方案安全、可行;赵涵^[2]简要概括了被拆桁式组合拱结构的分析理论与方法,并对两种拆除方法进行对比,就其较优的一种拆除方法进行计算分析,从而确保桥梁拆除的安全控制;陈敏^[3]以某桁式组合拱桥拆桥施工为例介绍了整个吊索索力优化流程,并就实际建模时参数取值(预应力损失、截面刚度退化等)加以说明,优化结果表明双影响矩阵法索力优化更易迭代计算出合理的优化索力结果。可见国内外对于桁式组合拱桥机械拆除方案及拆除顺序所做的研究相对较少,研究桁式组合拱桥在安全、经济的条件下进行拆除很有必要。该文以中国某预应力混凝土桁式组合拱桥待拆工程为例,对其拆除施工方案及注意事项进行详细分析研究,可为后续类似桥梁拆除工程提供宝贵的经验。

1 工程概况

待拆桥梁全长 290 m,孔跨布置为(5×15+150+4×15) m,主跨为 150 m 预应力混凝土桁式组合拱桥。主拱计算矢跨比为 1/8,桥面净宽为 9.0 m(行车道)+2×1.5 m(人行道),设计荷载等级为汽车-20 级,挂车-100,人群荷载为 3.5 kN/m²。

该桥竣工于 1990 年 2 月,在封闭交通前,已运营了 28 年。2006 年,原设计单位根据该桥的病害特点并结合检测报告,对该桥进行了加固维修,采用了增大截面、增设钢筋、粘贴钢板、粘贴碳纤维等方法进行补强。但由于运营过程中出现了一定的病害,同年采取了限载管理措施,禁止 7 座以上客车和货车通行。加固后运营至 2016 年,在大桥定检中评定为 5 类,主要构件存在严重病害,危及桥梁安全,桥梁处于危险状态,不能正常使用,需进行拆除重建^[4]。由于该桥地处某重点风景区、一级饮用水源保护区,无法采用爆破拆除,因此只能选择以机械吊拆的方式进行拆除。

2 拆除施工要点

整座大桥的拆除施工要按照安全、快速、经济的原则进行,因此结合实际工程,提出以下几点注意事项:

收稿日期:2020-08-27(修改稿)

作者简介:李琦,男,硕士研究生, E-mail:1350585332@qq.com

* 通信作者:杜斌,男,博士,副教授, E-mail:419901302@qq.com

- (1) 该项目环保要求极高,必须对旧桥结构进行精准划分、切割,并采取必要的保护措施,以免对当地环境造成破坏。
- (2) 选择适当的机具、设备,以求快速、经济地完成拆除施工。
- (3) 合理切割拱圈,尽量节约吊装设备,并保证一定的安全系数。
- (4) 操作简单,可行性强^[5]。

3 拆除施工方案

3.1 总体拆除方案

基于对旧桥(桁式组合拱)的结构特点及悬臂拼装工艺的分析,该桥的拆除方法总体思路为“拼装逆过程”,从拱顶向两拱脚对称、倒退拆除。具体方案为先采用无支架斜拉扣挂缆索吊装系统修建新桥(钢管混凝土拱),利用新建钢管混凝土拱拱肋的强度和刚度(即钢管管内混凝土灌注并达到设计强度后),借助于新建拱圈辅助扣挂旧桥拱圈,施加初张力临时支承旧桥,并辅以起重设备(缆索吊装系统和卷扬机)和调运

工具(平板车及浮船),分割拆除旧桥结构,重建新桥。整个拆除重建过程有效利用了新建结构,减少临时结构设施,节约工程造价,加快了施工进度。

3.2 桁架拱临时扣挂设计

该桥新建桥型为 180 m 中承式钢管混凝土拱桥,新桥桥面与旧桥基本等高,中心线与旧桥重合,跨中桩号与旧桥偏差 5 m,孔跨布置为 1×30 m 现浇箱梁+1×180 m 中承式钢管混凝土拱桥+1×30 m 现浇箱梁。桥梁全长 269.6 m,桥梁宽度 12.5 m,横向布置为 1.75 m 人行道+9 m 车行道+1.75 m 人行道,主桥拱轴线采用悬链线,拱轴系数 $m=1.8$,净矢高 $h=45$ m,净矢跨比 $f=1/4$ 。桥梁设计荷载采用公路—I级,其他指标按 JTG B01—2014《公路工程技术标准》执行。

图 1 为旧桥(桁式组合拱)拆除过程中的临时扣挂设计图,分别在旧桥(桁式组合拱)下弦各节点附近设置临时扣点,并用钢绞线作为临时吊索锚固于新桥(钢管混凝土拱)拱肋对应的节点处(基于拱结构的特点,临时吊索大致在新桥拱轴线的径向布置,同时临时吊索也处于旧桥桁式组合拱桥下弦拱轴线的径向方向),全跨共设 11 组临时扣索。

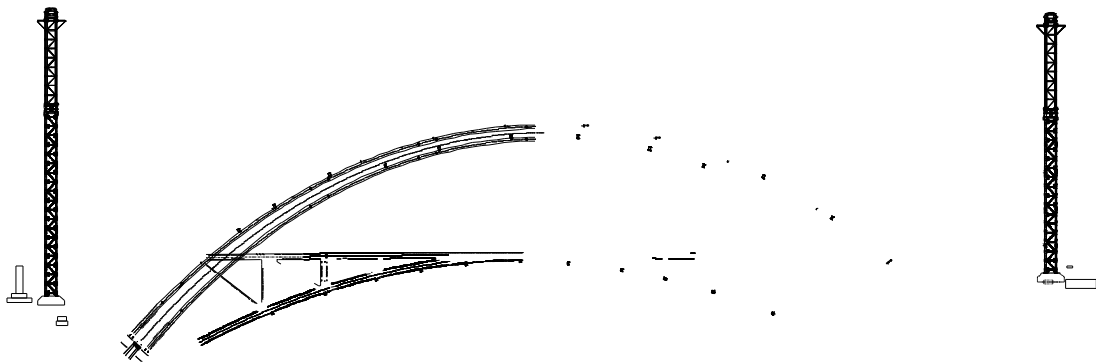


图 1 临时扣挂布置图

3.3 桁架拱半跨拱上建筑编号

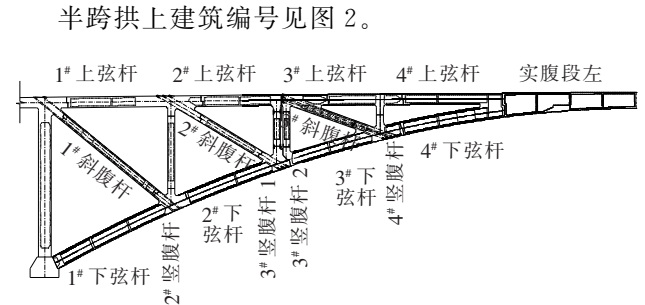


图 2 半跨拱上建筑编号

3.4 拆除顺序

- 拆除施工步骤分为 3 个部分:
- (1) 拆除桥面系,包括桥面铺装、栏杆、人行道、牛腿等部分。选择镐头机进行桥面面层破碎工作,配合空压机、切割机对铺装层内的钢筋网片及接缝内的细小混凝土块进行破碎。随后采用人工将接缝清理出来,对局部存有钢筋连接的部位采取切割处理,采用汽车吊完成构件的移运。
 - (2) 桥面系拆除后,按照图 1 布置临时扣挂,并进行预张拉,同时在上弦边箱上设置平板车轨道,主要用于切割上弦杆、竖腹杆及斜腹杆的转移、调离现场,待

4[#]上弦杆、3[#]上弦杆和 4[#]竖腹杆拆除后,吊索二张调索,准备开拱工作。

(3) 拱顶打开后,先进行拱圈实腹段的切割拆除,然后依次从拱顶向拱脚对称拆除。实腹段及下弦杆等重量大的切割段主要由缆索吊装系统直接下放至桥下浮船(载重 50 t)完成移运,具体调运工具视现场实际情况而定。详细拆除步骤如下。

步骤 1:拆除桥面系→桥面铺装、栏杆、人行道板及牛腿。

步骤 2:依次对称安装临时吊索①~⑥(按吊索①到吊索⑥的顺序依次张拉),按监控计算数据进行第一次预张拉。

步骤 3:依次对称拆除 4 节段、3 节段的上中箱、上边箱,然后拆除 4[#]竖腹杆。

步骤 4:依次对称对临时吊索①~⑥按监控计算数据进行第二次张拉(按吊索①~⑥的顺序依次张拉)。

步骤 5:开设拱顶人孔,切割实腹段边箱顶底板千斤顶基座槽口,按照图纸尺寸埋置千斤顶基座构造。

步骤 6:安装千斤顶,并按监控计算数据进行预顶;安装竖向限位支架;实腹段边箱顶底板间填塞钢板。

步骤 7:按设计图纸所示“第一次切割线”进行首次切割。切割顺序为:先切割预制箱间的顶底板,再切割预制箱体的腹板。

步骤 8:观察无异常情况,按第 5 步顺序进行第二次切割,切割完成后,拱顶的 8 台千斤顶同步回油,逐步释放拱结构轴力。回油过程分级控制,每次回缩 2 mm、持荷 2 min,无异常后再次回油(为确保回油过程中的结构安全,通过不断跟进抽、换实腹段边箱顶底板间填塞的钢板以匹配千斤顶的回缩,当千斤顶回缩 45~48 mm 时,不再抽取填塞钢板,千斤顶继续回油,将拱顶轴力转换为实腹段边箱顶底板间填塞的钢板承担)。

步骤 9:千斤顶再次顶紧,按照上述顺序进行第三次切割。同样地,按照上述顺序及要求进行拱结构的第二次轴力释放。如此类推,直至拱顶轴力完全释放,形成两个独立的多点悬挂的悬臂结构。

步骤 10:① 实腹段右侧设置临时吊杆,拆除左侧实腹段;② 拆除当前节段中箱顶、底板,再依次拆除两个边箱。

步骤 11:① 拆除右侧实腹段;② 拆除当前节段中箱顶、底板,再依次拆除两个边箱。

步骤 12:对称拆除 3[#]斜腹杆。

步骤 13:依次对称拆除 2 节段上中箱、上边箱。

步骤 14:依次对称拆除 4 节段下中箱、下边箱。

步骤 15:依次对称拆除 3 节段竖腹杆、下中箱、下边箱。

步骤 16:对称拆除 2 节段斜腹杆。

步骤 17:依次对称拆除 1 节段上中箱、上边箱。

步骤 18:依次对称拆除 2 节段竖腹杆、下中箱、下边箱。

步骤 19:依次对称拆除 1 节段斜腹杆、下中箱、下边箱。

4 拆除施工力学分析

4.1 有限元模型的建立

参考原设计图纸及相关资料,针对该桥的结构特点及施工顺序,拆除时按照施工的逆顺序进行,建立拆除过程的仿真计算模型,模拟拆除过程中各个工况的受力状况。整体结构分析采用空间三维有限元模型进行计算,钢管混凝土拱临时扣挂和旧桁式组合拱由 1 884 个节点和 2 774 个单元组成,其中钢管混凝土拱、旧桥采用梁单元模拟;扣索采用桁架单元模拟;缀板采用板单元模拟,建立有限元模型如图 3 所示。



图 3 有限元计算模型

4.2 扣索力的计算

开拱是旧桥拆除过程中最关键的环节,扣索力的大小直接决定旧桥的受力状态,扣索力需考虑以下几个因素:

(1) 旧桥由于运营多年,病害严重,其强度和刚度明显降低,导致旧桥结构受力比较复杂,不仅容易出现扣索力调整到计算值仍打不开拱顶,而且拱顶打开后易出现上下、横向错位问题^[6]。

(2) 旧桥拱顶打开后,其结构由原来的超静定结构转换为静定结构,扣索力必须能够承担半拱的重量。

(3) 考虑受拉开拱,通过张拉扣索使得拱顶附近

截面呈受拉状态,单边轴向拉力控制在 200 kN 以内。

(4) 考虑到每根扣索的索力大致相等。

综合考虑上述因素,通过计算分析,在桥面铺装(含牛腿、人行道等)拆除后每根扣索索力可按 300 kN 预张拉;待 4# 上弦杆、3# 上弦杆拆除后每根扣索索力可按 490 kN 进行二张调索作为开拱目标索力。

4.3 开拱前后对比

开拱前后旧桥实腹段轴力、应力、变形见表 1。

表 1 开拱前后旧桥实腹段轴力、应力、变形对比

施工阶段	轴力/ kN	应力/ MPa	变形(竖向 水平)/mm
开拱前	183.8	3.1	-26
开拱后	0	0.3	-40(水平偏位 2 mm)

由表 1 可知:旧桥轴力在开拱后减少至 0,且开拱前后的轴力都在控制范围内;旧桥实腹段在开拱后变形幅度小,且变形平缓;实腹段在开拱后应力也在减小,满足开拱要求。

4.4 拆除施工阶段应力分析

拆除施工阶段新、旧桥应力变化如图 4 所示。

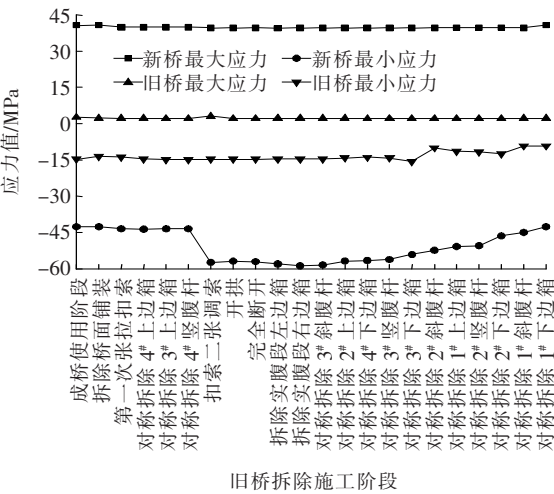


图 4 拆除施工阶段新、旧桥应力变化

由图 4 可知:新桥最大应力变化范围为 39.63~40.73 MPa(拉应力),最小应力变化范围为-58.81~-42.67 MPa(压应力),小于 Q345(壁厚≤16 mm)钢材容许应力(275 MPa),故新桥承载力满足要求。旧桥最大应力变化范围为 2.08~2.64 MPa(拉应力),小于 C50 混凝土抗拉强度标准值(2.65 MPa)(除扣索二张调索阶段,跨中实腹段微小段应力约 3.1 MPa,考虑到旧桥上弦边箱侧面粘贴钢板及腹板增大截面加固,截面刚度较原设计加强,满足受力要求);旧桥最小应

力变化范围为-15.67~-9.23 MPa(压应力),小于 C50 混凝土抗压强度设计值 22.4 MPa,故旧桥承载力满足要求。

4.5 拆除施工阶段变形分析

拆除施工阶段新、旧桥位移变化如图 5 所示。

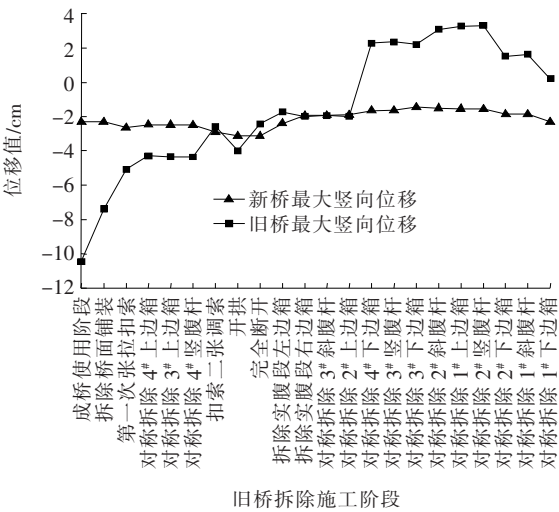


图 5 拆除施工阶段新旧桥位移变化

由图 16 可知:新桥最大竖向位移变化范围为-3.14~-1.45 cm,故对新桥造成的变形影响很小;旧桥最大竖向位移变化范围为-10.46~3.30 cm,拆除过程中变形比较均匀,故旧桥在悬臂状态下不会突然开裂,满足开拱要求。

4.6 拆除施工阶段稳定性分析

拆除施工阶段结构屈曲安全系数见表 2。

表 2 结构屈曲安全系数

稳定性状态	屈曲安全系数
开拱前	15.30
开拱后	15.66

由表 2 可知:旧桥开拱前后最小临界荷载系数为 15.30,大于工程上最小不低于 4.0 的要求,故旧桥拆除在最大悬臂状态下不会失稳,稳定性满足要求^[7-8]。

5 结论与建议

- (1) 该项目构思利用新建的钢管混凝土拱肋临时支承拆除旧桥,设计过程中打破常规,按照先建后拆的思路,采用倒装法拆除旧桥,该桥的拆除施工方案在工法上是一个创新点。
- (2) 提供了一个开拱思路,即通过张拉临时吊索,使得拱顶截面附近呈受拉状态,受拉更易打开拱顶,单

山区公路变宽度连续箱梁设计特点 与支架法现浇施工技术

李友明¹, 白晓红¹, 王启富²

(1. 中铁二局集团有限公司, 四川 成都 610031; 2. 中铁二局集团第一工程有限公司, 贵州 贵阳 550000)

摘要:针对山区公路桥梁的工程环境及功能需求,分析变宽度连续箱梁桥的设计特点及支架法现浇施工的技术难点。结合工程环境及结构设计特点,分析满堂式支架、梁柱式及组合式支架、抱箍(钢棒)或牛腿附墩式支架、地模等各种支架系统的技术可行性、安全性、可操作性和经济性,科学合理选择满堂式与梁柱式组合式支架方案,并介绍其施工质量控制要点。从钢模、木模板系统的经济性差异角度,推荐采用木模系统,并分析内模拆除与否对桥梁结构的影响。结合箱梁混凝土一次、两次浇筑方案的优缺点分析,详细阐述了山区公路变宽度连续箱梁的钢筋、混凝土、预应力施工质量控制技术对策。

关键词:山区公路桥梁;变宽度箱梁;支架法现浇;组合式支架

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

随着中国公路建设的突飞猛进发展,经济不发达或欠发达区域的公路路网完善已成为当前公路建设的重要工作。公路新建的同时,必须科学合理地规划新建公路与既有公路的衔接工程,即需要增设互通立交工程;鉴于互通立交工程设置区域大都有交通不便、地形艰险的山区环境特点,工程设计者不得不采用桥梁结构方案,变宽度连续箱梁桥的应用成为必然选择。

在中国国内,针对山区及类似环境连续箱梁桥设计与施工技术研究已见报道。钟加峰、余定军、李燕、曹新龙等^[1-4]对互通立交匝道桥连续箱梁支架法现浇施工技术进行了论述,匝道桥均为等宽度箱梁,支架系统采用了梁柱式结构,其最大高度达76 m;曹建^[5]、吴肇宇^[6]对山区公路互通立交匝道桥或主线桥连续箱梁支架法现浇施工技术进行了介绍,上部结构均采用等

边轴向拉力控制在200 kN以内,但旧桥结构受力复杂,理论计算结果和实际受力情况存在一定的差距,开拱的瞬间轴力迅速释放,将会对新桥产生冲击,故为安全起见,还需借助千斤顶开拱。

(3) 按上述拆桥过程的计算分析可知,在拆桥施工的过程中,旧桥最大应力和最大竖向位移均满足开拱要求。

(4) 新桥的强度和刚度均满足结构的受力要求,从而可以保证整个拆桥过程的安全性。

(5) 旧桥开拱前后最小临界荷载系数为15.30,大于工程上最小不低于4.0的要求,故旧桥拆除在最大悬臂状态下不会失稳,稳定性满足要求。

综上所述,按照现有的拆桥方案施工,其结构强度、刚度和稳定性均满足要求,可以确保拆桥全过程的安全性,该拆桥方案可行。

参考文献:

- [1] 包立新,喻院平.大跨度预应力混凝土桁式组合拱的拆除技术[C].全国斜拉桥关键技术论文集,2012.
- [2] 赵涵.大跨度预应力混凝土桁式组合拱桥拆除技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.
- [3] 陈敏,赵阳阳.桁式组合拱桥拆桥施工双影响矩阵法索力优化研究[J].公路,2018,63(11):136-140.
- [4] 田春艳,葛惠娟,郭晗,等.混凝土旧桥检测评估[J].中外公路,2019,39(6):126-129.
- [5] 王技.大跨径钢筋混凝土拱桥拆除施工及力学分析[J].现代交通技术,2007,4(2):39-41.
- [6] 戴云峰,杨超.大跨径钢筋拱桥拆除施工关键工艺研究[J].公路交通科技(应用技术版),2011(3):183-187.
- [7] 解威威,杨绿峰,王建军,等.钢管混凝土桁式拱桥稳定承载力的参数分析[J].中外公路,2018,38(6):83-86.