

山区复杂条件下桥梁重建项目 ——花鱼洞大桥设计关键技术

吴骏¹, 杨健², 刘彬³

(1. 贵州理工学院, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550001;
3. 贵州桥梁建设集团有限责任公司, 贵州 贵阳 550001)

摘要:花鱼洞大桥在原桥址处拆除重建,受到红枫湖风景区和饮用水源保护区等因素的影响,拆除难度较大。该文充分考虑拆除旧桥的各种严苛要求后,改变以往先拆再建的传统思路,创新性地提出了将新建桥梁设计成提篮拱,利用钢管混凝土拱所具有的强度和刚度,设置扣索拉住旧桥,再采用倒装法实现旧桥的拆除。该方法为同类型桁式组合拱桥的拆除提供了新思路。

关键词:拆除重建; 钢管混凝土拱; 桁式组合拱桥; 花鱼洞大桥

1 概述

花鱼洞大桥位于贵(阳)黄(果树)高等级公路清镇市内,跨越红枫湖,起讫桩号为 K2 133+002.165~K2 133+292.165,桥梁全长 290 m。桥梁孔跨布置为

(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。花鱼洞大桥立面布置如图 1 所示。

大桥于 1991 年 3 月建成通车,2010 年至 2011 年

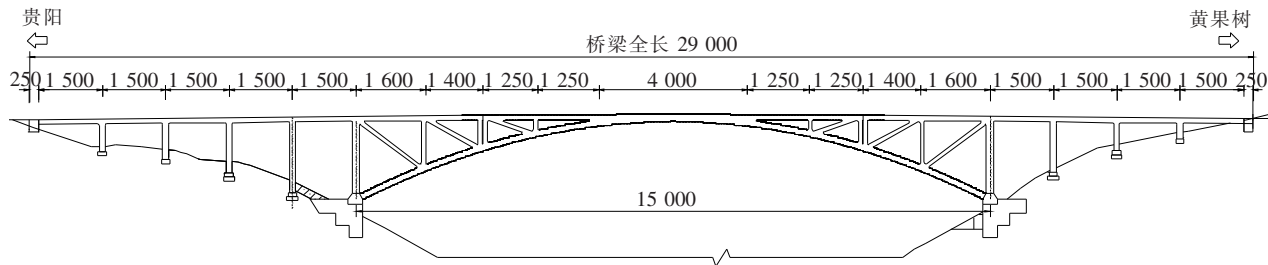


图1 花鱼洞大桥立面布置图(单位:cm)

进行过加固维修^[1-2]。2014 年国家道路及桥梁质量监督检验中心对该桥进行检测,检测结果评定为四类危桥。2015 年 6 月国家道路及桥梁质量监督检验中心对该桥进行荷载试验及特殊检查,发现中间箱底纵横交错粘贴碳纤维布又出现了严重病害,桥墩混凝土出现大面积脱落等现象,桥梁的整体结构强度和耐久性都明显下降。检测报告总体结论:花鱼洞大桥主要控制截面的承载能力、结构强度及刚度已不能满足原设计规范的要求。报告建议:① 加强车辆管理、限制

超载车辆的通行;② 限速,最高车速不超过 20 km/h;③ 建议该桥限载单车总重不超过 30 t。贵州省公路局〔2016〕188 文的批复中同意该桥拆除重建的方案。

2 桁式组合拱桥

花鱼洞大桥为主跨 150 m 预应力混凝土桁式组合拱桥。桁式组合拱桥 20 世纪 80 年代起源于贵州,采用了“化整为零”的桥梁结构,桥梁施工可采用简易的人字桅杆起吊系统,不需要大型机械设备便可以完

成大跨径桥梁的建设。中国共修建有 40 多座桁式组合拱桥^[3],跨径为 75~330 m,是一种适用性很强的桥梁结构形式。历经 20 年左右的时间后,桥梁自身体系的缺点、汽车荷载增加等因素的影响使得该类桥梁普遍出现了严重的病害,先后有多座桥梁拆除重建^[4]。

3 设计方案

3.1 桥位方案

花鱼洞大桥位于红枫湖景区和二级饮用水源保护区,新建花鱼洞大桥桥位的选择除了要考虑工程建设的经济性同样也需要考虑桥梁建设及运营期间对景区和饮用水源的影响。

贵黄公路花鱼洞大桥桥址处跨径最小,工程经济性最好,并且桥梁施工期间和运营期间对红枫湖景区和饮用水源的影响最小。若采用其他桥位方案,除了经济性较差、施工期间和运营期间对红枫湖景区和饮用水源的影响较大外,新路线与已有的黄果树岸的隧道相接十分困难。因此大桥采用原桥址拆除重建。

3.2 桥型方案

花鱼洞大桥桥位处地势平缓,大桥两岸拱座均位于红枫湖水域边缘,新建桥梁跨径至少要大于旧桥

150 m 的跨径才能保证桥梁在施工及运营后对红枫湖景区及二级饮用水源保护区无影响。此外,大桥在贵阳岸有溶洞发育,终点岸桥梁紧接隧道,这些因素将影响桥型方案的孔跨布置。

新建花鱼洞大桥孔跨布置主要考虑因素:① 桥型方案必须满足景区、饮用水源的环保需求,景观效果要求高;② 拆除方案不能采用爆破和支架方案,桥型方案的布设必须同时考虑拆除方案;③ 地形、地质条件较为复杂。

根据该项目的地形、地貌特点,可选用的桥型方案有斜拉桥、悬索桥、拱桥、梁桥等。项目若布置主跨 200 m 左右的斜拉桥方案,一方面距离桥位约 250 m 处耸立着沪昆高速公路红枫湖大桥,该桥为独塔斜拉桥,若该项目再采用斜拉桥方案则景观效果较差;另一方面,斜拉桥方案造价偏高,经济性较低。此外,悬索桥、连续梁桥方案明显不适合该桥位。

经比较,最终采用主跨 180 m 中承式提篮钢管混凝土变截面拱桥,孔跨布置为 2×20 m 箱梁+180 m 中承式提篮钢管混凝土变截面桁架拱+1×20 m 箱梁。桥梁全长 269.6 m。其中两侧人行道宽 1.75 m,车行道 9 m,总宽度 12.5 m。图 2、3 分别为新建花鱼洞大桥立面、平面图。

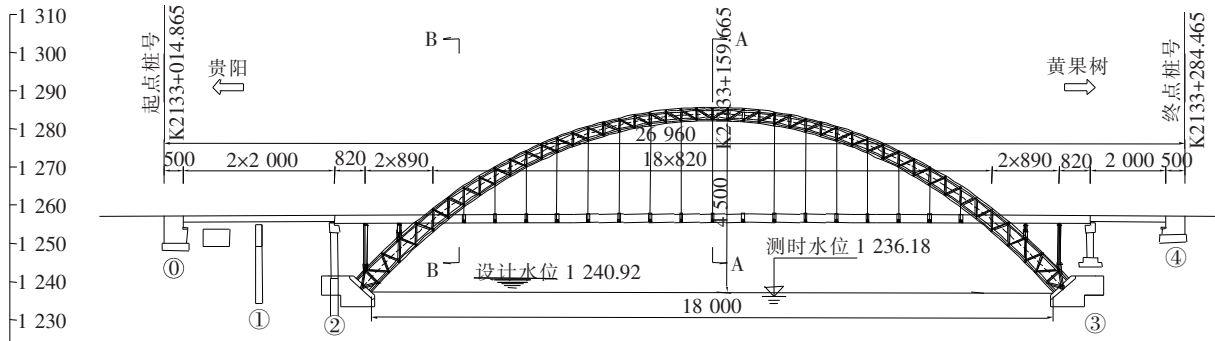


图 2 新建花鱼洞大桥立面图(标高、起止桩号、水位单位:m,其余:cm)

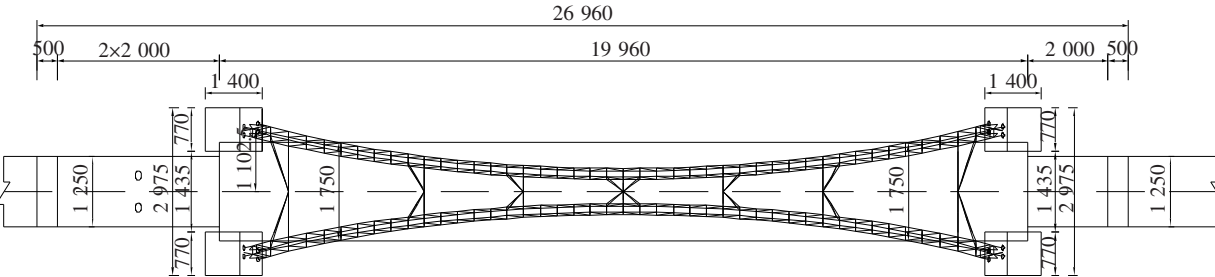


图 3 新建花鱼洞大桥平面图(单位:cm)

该方案的优点:桥梁造型美观、跨越感强、和周围环境协调,设计施工经验成熟。湖面不设置桥墩,对通

航及泄洪有利,对红枫湖生态环境和饮用水源保护区影响小。

4 桥梁主体结构

4.1 拱肋结构

新建花鱼洞大桥主拱圈由4根弦管组成,拱脚弦管高5.5 m,拱顶弦管高3.5 m。主拱肋采用钢管混凝土,管内填充C50自密实微膨胀混凝土。拱圈向内倾斜 10° 。拱肋计算跨径180 m,拱轴线系数 $m=1.8$,净矢高 $h=45.0$ m,净矢跨比 $f=1/4$ 。

拱肋上、下弦管规格: $\phi 850$ mm \times 25 mm、 $\phi 850$ mm \times 20 mm,平联管规格: $\phi 550$ mm \times 12 mm,拱铰处斜腹杆规格: $\phi 550$ mm \times 28 mm,立柱以下直腹杆规格: $\phi 500$ mm \times 12 mm,其余腹杆规格: $\phi 450$ mm \times 12 mm。

4.2 桥面系结构

桥面系采用纵横梁结构体系,其中纵梁分为主纵梁3道,次纵梁2道。横梁除在交界墩位置采用混凝土结构外其余均为钢结构,横梁共计25道。纵横梁通过栓焊进行连接。

钢结构横梁共计4种类型,其中标准横梁(吊杆处)长17.5 m,其余位置因拱肋倾斜考虑支撑的需要横梁适当加长。横梁最小高度1.8 m,其余位置高度因横坡而相应变化。

主纵梁共计3种类型,其中标准主纵梁(吊索间)长6.5 m,其余主纵梁长度因横梁间距的不同而变化。

次纵梁共计3种类型,其中标准次纵梁(吊索间)长6.7 m,其余次纵梁长度因横梁间距的不同而变化。次纵梁高度均为0.8 m。

全桥共计17对吊索,吊索均采用GJ15-15型。吊索张拉端设置在拱顶,固定端设置在横梁顶部。

5 拆除方案

新建花鱼洞大桥桥型方案为主跨180 m中承式提篮钢管混凝土变截面桁架拱,边跨为20 m混凝土箱梁。主跨采用缆索吊装施工,边跨采用支架现浇施工,均为常规施工方案。

花鱼洞大桥旧桥为桁式组合拱桥,位于景区及二级饮用水源保护区,无法采用爆破拆除;同时旧桥拱座临近水面,设计水位高于拱座底面,湖水深50 m以上,无法在拱圈下缘搭设支架。因此旧桥的拆除方案是该项目的难点。

在方案设计阶段,充分考虑拆除旧桥的各种严苛

要求后,设计人员改变以往先拆再建的思路^[5],创新性地提出了将新建桥梁主拱设计成提篮拱,“包住”旧桥,如图4所示,施工时先用缆索吊装新桥主拱,并灌注管内混凝土,利用钢管混凝土拱所具有的强度和刚度,设置扣索拉住旧桥,再采用倒装法实现旧桥的拆除。

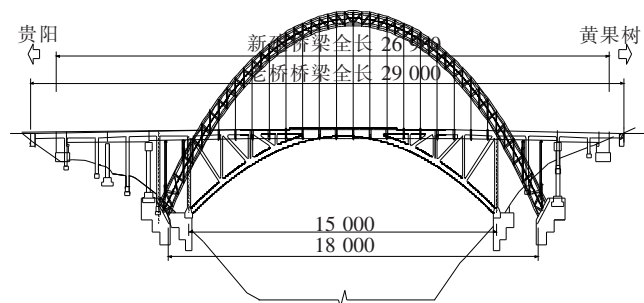


图4 新旧花鱼洞大桥叠合立面图(单位:cm)

花鱼洞大桥贵阳岸溶洞发育,新建大桥拱座位于旧桥拱座两侧,勘察成果显示新建桥梁的拱座避开了溶洞位置,地基承载力满足设计需求。

6 施工方案

6.1 钢管拱桥施工

新建钢管混凝土拱桥采用无支架斜拉扣挂缆索吊装系统施工^[6-7]。缆索吊装系统由承重索、承重索支撑塔架及索鞍、承重索锚碇、起重跑车运行系统等组成;拱肋悬拼扣挂系统由扣塔、钢绞线扣索及扣索锚碇等部分组成。缆吊系统及扣挂系统布置如图5所示。

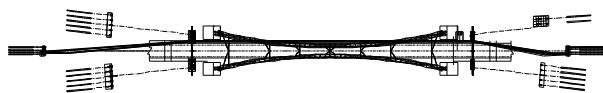


图5 缆吊系统及扣挂系统布置示意图(单位:m)

6.2 桁式组合拱桥拆除

拆除旧桥总体思路:利用新建钢管混凝土拱肋的强度和刚度(即钢管管内混凝土灌注并达到设计强度),在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钢管拱对应的节点处

(图 6)。基于拱结构特点,将临时吊索大致在钢管拱拱轴线径向布置,因此临时吊索也处于桁式组合拱桥下弦拱轴线的径向方向。张拉各临时扣索,将桁式组合拱桥的结构恒载均匀分配到钢管拱结构上后,解除桁式组合拱桥拱顶连接,即“开拱”,将桁架拱结构体系转化为节点有支承的悬臂桁架,按照旧桥悬臂架设的逆过程,逐段拆除桁式组合拱桥各构件。为确保施工安全,在对原桥桁式组合拱体系转化前,在不破坏原结构受力的情况下,须尽可能对旧桥进行减载,例如拆除桥面铺装、人行道牛腿等。

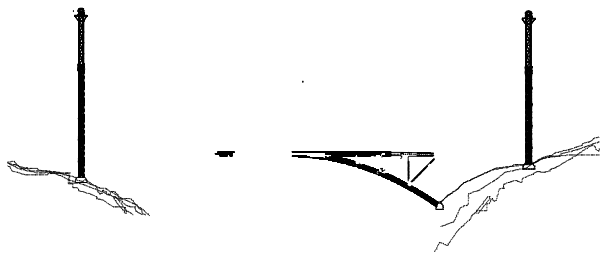


图 6 临时吊索布置示意图(单位:m)

6.3 开拱

桁式组合拱桥体系向多支点悬臂桁架体系转换,即开拱,是该桥拆除的重点环节,具体实施步骤为:

- (1) 安装临时吊索,并按监控数据进行预张拉。
- (2) 开设拱顶人孔,切割实腹段边箱顶底板千斤顶基座槽口,并埋置千斤顶基座。
- (3) 安装千斤顶,并按监控数据进行预顶;安装竖向限位支架,实腹段边箱顶底板填塞钢板。
- (4) 进行首次切割,切割顺序为:先切割箱的顶底板,再切割腹板。
- (5) 观察无异常情况后,进行第二次切割,切割完成后,千斤顶进行同步回油,逐步释放拱结构轴力。为确保回油过程中的结构安全,通过不断抽换边箱顶底板填塞的钢板以匹配千斤顶的回缩。
- (6) 千斤顶再次顶紧,按上述顺序进行第 3 次切割,同样地,按上述步骤进行拱结构的第二次轴力释

放。以此类推,直至拱顶轴力完全释放,形成两个独立的多支点悬臂桁架体系。

混凝土构件的切割拆除工具主要采用全液压绳锯、专用墙锯等专业设备。

7 结语

花鱼洞大桥在原桥址处拆除重建,由于受到红枫湖 5A 级风景区、二级饮用水源、地形、地质条件和前后接线的限制,考虑到景观效果,最终采用了主跨 180 m 的中承式钢管提篮拱。

该桥施工中的难点是旧桥的拆除,项目设计过程中按先建后拆的思路,采用先吊装完成新桥的拱肋,巧妙利用拱肋的刚度,架设扣索,倒装法拆除旧桥。该施工方案可以有效满足景区和饮用水源的环保要求,同时施工安全性显著提升,并节约了施工工期。

花鱼洞大桥景观、环保要求严苛,设计施工紧密结合,先建后拆,是山区桥梁精心设计、精细施工的经典案例。

参考文献:

- [1] 杨维. 花鱼洞大桥加固关键技术研究[D]. 重庆交通大学硕士学位论文,2014.
- [2] 吴云. 桥梁加固施工工艺应用研究——以花鱼洞大桥工程实践[D]. 贵州大学硕士学位论文,2009.
- [3] 杨利凯. 现役桁式组合拱桥受力性能及加固改造技术研究[D]. 广西大学硕士学位论文,2012.
- [4] 赵涵. 大跨度预应力混凝土桁式组合拱桥拆除技术研究[D]. 重庆交通大学硕士学位论文,2013.
- [5] 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]. 中国公路学会全国斜拉桥关键技术论文集,2012.
- [6] 蒋玮,李莘哲. 钢管拱桥缆索吊装施工中主索结构状态高精度计算[J]. 中外公路,2020,40(2):123-126.
- [7] 涂光亚,袁航. 大跨度钢管混凝土拱桥成桥状态钢管应力优化研究[J]. 中外公路,2020,40(2):140-143.