

某中承式拱桥维修加固设计方案研究

陆军

(湖南省怀化市通道侗族自治县公路管理局, 湖南 怀化 418500)

摘要: 某中承式拱桥于 1990 年 7 月建成通车, 2001 年由于吊杆突然断裂导致桥面坍塌, 2002 年维修加固后恢复使用。2010—2014 年检测发现该桥多处出现破坏, 降低了桥梁的安全可靠度, 需对其进行维修加固。文中以该桥历年检测结果作为加固设计的主要依据, 在参考国内桥梁维修加固技术的基础上, 提出将原桥面加宽并采用钢纵横梁+砼桥面板结构、更换全都吊杆的加固设计方案, 计算结果表明加固后桥梁结构应力状态有所改善。

关键词: 桥梁; 中承式拱桥; 维修加固

中图分类号: U446.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)06-0135-03

1 工程概况

四川省宜宾市某中承式拱桥于 1990 年 7 月通车, 为主城区跨越金沙江的一座特大桥, 距金沙江与岷江汇合处约 100 m, 是城区南北两岸进出的咽喉通道, 也是宜宾市城区标志性建筑之一。主桥为中承式劲性骨架钢筋砼肋拱桥, 主跨 243.367 m, 拱肋净矢高 48 m, 矢跨比为 1/5, 主拱拱轴线为悬链线,

拱轴系数为 1.756, 桥面总宽 19.5 m (含人行道), 全桥共设 17 对 34 根吊杆, 桥型立面布置见图 1。桥面布置为 3.25 m 人行道+13 m 机非混行道+3.25 m 人行道。主拱结构为 2 条分离式平行拱肋无铰拱, 两拱肋用 K 撑和 X 撑连接。设计荷载: 汽车—超 20 级, 挂车—120 级, 人群荷载 3.5 kN/m²。地震设防烈度为Ⅶ度。桥面纵板为预应力砼空心板, 吊杆横梁为预应力砼结构, 纵板与横梁固结。

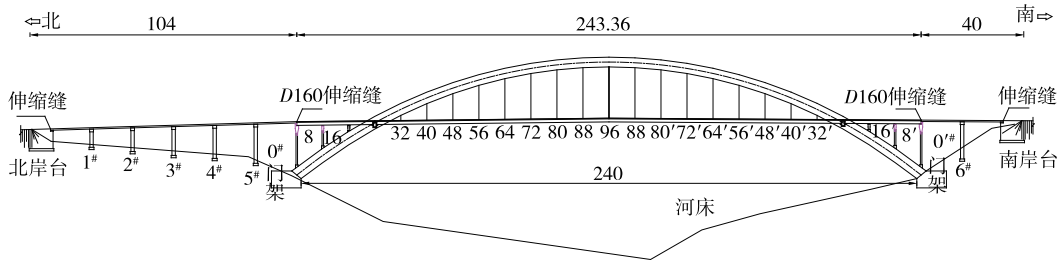


图 1 某中承式拱桥立面布置(单位:m)

2 历年检测加固处治

2001 年 11 月 7 日凌晨 5 点左右, 17 对吊杆中 4 对(北岸 1 对, 南岸 3 对)共 8 根突然断裂, 对应的北岸 1 根、南岸 3 根横梁掉入金沙江中, 使北岸两孔(20 m)、南岸 4 孔(40 m)桥面坍塌(见图 2)。事故发生后, 中间桥面部分基本完好, 但由于南北两侧受载不均, 导致拱肋南高北低。鉴定结果表明拱肋结构稳定, 主拱肋开裂对桥梁结构受力影响甚小, 可持续利用。为防止桥面系发生二次坍塌, 对拱肋配重, 桥面减载, 并对桥面系和横梁进行加固, 2002 年 7 月维修加固后再次通车。



图 2 某中承式拱桥桥面坍塌现场

2010 年 6 月, 根据检测结论更换了上下锚头内的防腐油脂; 7 月 9—26 日, 对该桥进行了一次针对性的特殊检测。2011 年, 对主拱肋、门架墩及横梁表面进行防腐涂装, 同时完成了砼缺陷修复与补强、横梁端部加固补强, 增设了吊杆索力监测系统和桥

梁限高设施,并更换了引桥支座。

2014年5月8—31日,再次对该桥进行特殊检测,主要检测结论如下:1)根据外观检测、无损检测结果,按JTG/T H21—2011《公路桥梁技术状况评定标准》,该桥总体技术状况评定等级为3类。2)根据荷载试验和检算结果,目前该桥承载能力满足规范要求。3)由于吊杆已持续使用12年,部分吊杆钢丝存在轻微腐蚀损伤,吊杆下锚头钢棒螺母、钢棒螺纹存在不同程度锈蚀,对结构使用存在较大安全隐患,且吊杆疲劳可靠度指标出现降低趋势,即使用寿命出现很大程度缩短。考虑到结构使用的安全性及耐久性,建议将桥梁吊杆体系及主梁结构形式更换为双吊杆体系及纵横梁结构形式,以增强在单根吊杆失效情况下的结构安全性。4)高峰期该桥交通流量为49 753辆/d,远超过原设计通行能力(约7 000辆/d),建议在该桥旁并行修建一座新桥,以缓解交通压力。

3 维修加固方案设计

3.1 加固设计原则

(1)维修加固主要解决该桥吊杆+横梁支撑简支桥面结构体系的安全可靠度问题,采用连续结构桥面体系提高其安全性能,并解决吊杆变形协调性、可检性,增强桥面系的连续性,防止吊杆失效的桥面系坠落或垮塌,并对其他部位进行耐久性维修。

(2)将原桥面加宽,将非机动车道与机动车道分离,增加机动车车道数,并对桥面车行道、非机动车道、人行道重新进行划分,提高其通行能力。

(3)采用钢纵横梁—砣组合桥面板,减轻恒载自重、主桥主梁重量,提高主桥承载能力。

3.2 维修加固设计

3.2.1 主拱肋及拱上立柱的整治

对于主拱及拱上立柱、系梁、横撑等处的裂缝,宽度小于0.15 mm时进行表面封闭,宽度大于等于0.15 mm时采用压力灌胶法处理。并修补空洞及蜂窝麻面,对锈蚀的钢筋除锈,修补其保护层。对于局部砣破损,采用环氧砣或环氧砂浆进行修补,消除拱箱内垃圾杂物,重新涂装拱肋外表面。

3.2.2 桥面系处治设计

该桥原桥面系采用以横梁受力为主的简支体系,整体性差,汽车荷载作用时单根吊杆的应力幅较大,长期反复作用下易出现疲劳损伤,严重时会造成桥梁垮塌。国内相同桥梁体系在吊杆失效的情况下

发生桥面系坠落或垮塌的案例较多,四川省近年类似案例也较多,同时桥面系病害也较多。

参考类似桥梁加固设计经验,采用纵横梁+组合桥面板桥面系,从根本上解决桥面系的安全问题。全部更换主桥桥面系,将简支结构改成连续结构,形成纵横梁的整体结构,防止在吊杆失效的情况下发生桥面系坠落或垮塌。改造后结构体系的优势主要在于:1)原桥为桥面连续的多跨静定体系,受原设计构造空间的局限无法采用加吊杆的方式进行加强,一根吊杆的损坏即会造成相邻两跨塌孔。改为纵横梁连续超静定体系能防止桥面系塌孔。2)改为结构连续超静定体系后,组合结构桥面系能有效解决桥面板受局部冲击荷载大、开裂严重、支座脱空变形移位及桥面振动大等问题,消除在横梁上设置小牛腿的设计缺陷。

对吊杆悬吊区及立柱支承区桥面系进行处治时,将桥面每侧加宽2 m,将非机动车道与车行道分开,布设在吊杆外侧,拆除现有桥面板及吊杆横梁。采用纵横梁+组合桥面板构造,制作并安装钢纵横梁,形成纵横钢格子梁体系,预制砣桥面板,现浇湿接缝,最后浇筑沥青砣桥面铺装。

3.2.3 吊杆的处治

原桥主桥中部180 m共设置17对吊杆,2002年恢复工程中将全桥原有吊杆全部更换为柳州建筑机械总厂生产的PES7成品索,加长横梁的吊杆采用109 ϕ 7、抗拉强度为1 670 MPa的高强平行镀锌钢丝束,总破断力为7 005 kN,普通横梁的吊杆采用91根 ϕ 7、极限强度为1 670 MPa的平行钢丝束,总破断力为5 848 kN,外套PE防护材料及镀锌铁皮、钛合金不锈钢管装饰。采用镦头锚于拱肋上端和横梁的下缘,吊杆横梁采用预应力砣结构。吊杆钢丝均采用现场镦头。该吊杆体系存在以下问题:1)普通镦头锚抗动荷载及耐疲劳性差,且下吊点镦头无法检查;2)横梁内吊索及连接件无法检查;3)国内相同吊索的病害发生案例较多。

据统计,目前国内拱桥吊杆的破断寿命约10年。该桥通车已10多年,部分吊杆钢丝存在轻微腐蚀损伤,吊杆下锚头钢棒螺母、钢棒螺纹存在不同程度锈蚀,对结构使用存在较大安全隐患,且吊杆疲劳可靠度指标呈现降低趋势。考虑到结构使用的安全性及耐久性,拟全部更换吊杆,新的吊杆结构下端采用外露的销接式构造便于检查。

原位更换新吊杆采用单吊杆体系,除32 $\#$ 、32' $\#$

短吊杆外,其余均采用钢绞线整束挤压吊杆,吊杆索体采 1 860 MPa、 $\phi 15.2$ 环氧喷涂无粘结钢绞线缠包后外挤 HDPE,破断索力为 4 940 kN;吊杆上端采用挤压锚,下端采用挤压锚与叉耳板螺纹连接的销接式构造。 $32^\#$ 、 $32'^\#$ 短吊杆采用钢拉杆,材质为 40CrNiMoA(抗拉强度 $\sigma_b=980$ MPa,屈服强度 $\sigma_s=835$ MPa,伸长率 $\delta_s \geq 12\%$,断面收缩率 $\psi \geq 55\%$),破断索力为 4 940 kN;上下端均采用挤压锚具,上端锚在拱肋顶面锚座上,下端锚在主横梁底部,上端为张拉端。上锚点在锚垫板下根据现场拱肋顶面锚座砟表面平整情况设置楔形调平钢板调平,保证锚垫板水平放置。钢绞线整束挤压吊杆采用挤压方式锚固钢绞线,具有锚固可靠、张拉调索方便的优点,尤其是锚头结构尺寸小,疲劳性能和索体防腐性能优异,适合用作拱桥吊杆用成品索。

4 加固方案分析

为评估加固方案的可行性,对加固前后桥梁结构受力状态进行分析。采用 MIDAS/Civil 分别建立加固前后三维有限元模型(见图 3),采用桁架单元模拟吊杆、板单元模拟桥面板、弹簧单元模拟支座、梁单元模拟其余构件。在分阶段对该桥从现状到逐步改造完成并通车运营的整个过程进行模拟的同时,对各施工阶段关键截面进行受力分析。

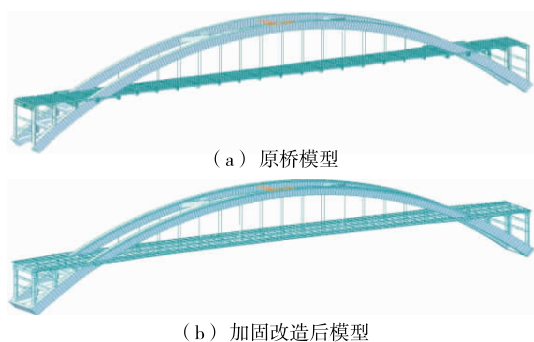


图 3 桥梁有限元计算模型

计算荷载包括恒载、活载、温度荷载等,其中二期恒载考虑桥面铺装、防撞护栏、人行道栏杆等附属设施,根据 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》进行荷载组合。对钢筋砟构件依据 JTG D62—2012《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》进行承载力极限状态和正常使用极限状态受力验算,钢纵—横梁桥面系等钢构件依据 JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》及《基于欧洲规范的钢—混凝土组合桥梁设计》进行容许应力验算。

选取拱脚截面、拱肋 1/4 截面及拱肋 1/2 截面,计算正常使用极限状态下各断面加固前后应力状态的变化,结果见表 1。

表 1 拱肋关键截面改造前后受力对比

验算工况	截面位置	轴力/ kN	剪力/ kN	弯矩/ (kN·m)
改造前	拱脚断面	-68 811	-1 373	-47 607
	拱肋 1/4 断面	-53 826	-1 087	-3 755
	拱肋 1/2 断面	-49 960	-697	15 908
改造后	拱脚断面	-55 648	-2 324	-52 928
	拱肋 1/4 断面	-42 933	-716	-1 834
	拱肋 1/2 断面	-39 892	-447	11 178

从表 1 可以看出:除拱脚外,改造后拱肋受力明显改善,其中拱顶 1/2 断面处轴力降低约 20.15%,弯矩降低约 29.73%;拱肋 1/4 断面处轴力降低约 20.24%,弯矩降低约 51.16%;拱脚断面处轴力降低约 19.13%,弯矩增大约 11.18%。说明上述维修加固方案可行。

在承载力极限状态作用下,钢格子梁应力分布较均匀,钢横梁与次纵梁应力水平较高,其余部分应力水平均较小,钢结构最大正应力为 135.5 MPa,最大剪应力为 73.1 MPa,纵横钢格子梁各钢构件最大应力均小于规范容许值。

最不利受力状态下,改造后 $32^\#$ 、 $32'^\#$ 吊杆最大吊杆力为 1 761.3 kN,远小于吊杆破断力 5 277 kN;其他吊杆最大吊杆力为 1 503.2 kN,出现在 96 $^\#$ 吊杆,小于相应的吊杆破断力 4 940 kN。

5 结语

针对中承式拱桥吊杆+横梁支撑简支桥面结构体系的安全可靠度问题,提出将原桥面加宽并采用钢纵横梁+砟桥面板结构,同时更换全部吊杆的维修加固设计方案。有限元计算结果表明:加固后桥梁结构受力状态得到显著改善;加固方案所采用的钢纵—横梁+砟桥面板结构减轻了桥面系自重;拱脚处承受的负弯矩比加固前有所增强,需进行局部补强设计。

参考文献:

- [1] 魏建东.宜宾小南门大桥的抢修加固与恢复工程[J].公路,2003(4).

(下转第 173 页)

施,具体到个人,提高人员的工作积极性。

(2) 用好人。用的人的管理水平高、经验丰富、能力较强、素质好、有责任心。任何管理关键在于对人的管理,因为任何事都靠人来做。对于高速公路项目群团队管理人员的选拔要坚持高标准、严要求,力求用好人、做好事。

(3) 放好权。高层管理者将权利合理地下放至管理人员,给予充分的信任,提高决策和解决问题的速度。明确划分管理成员的责、权、利,既要相互影响又不互相干涉,避免因不必要的交叉导致管理效率下降。

参考文献:

- [1] 于仲鸣,吴玲玲,段东东.公共工程项目群组织结构研究[J].项目管理技术,2012(2).
- [2] 闫绪娴,吴世斌.基于可持续发展战略的项目群管理组织[J].中国工程咨询,2009(4).
- [3] 陈玉婷,薛祥东.中国巨型工程项目管理组织成熟度集成模型构建[J].经济论坛,2010(10).

(上接第121页)

与实际不符、模拟结构受力的理想状态与实际存在差别、现场静载试验实测值未考虑外界因素的影响。但总体来看,考虑整体化层叠合效应,通过有限元计算的应力和变形与现场静载试验结果基本相符。进行桥梁结构受力分析时,需考虑桥面整体化层参与结构受力,否则会导致计算结果不精准。

(2) 在装配式预应力砼箱梁顶板预设抗剪植筋,能增强整体化层与主梁之间的连接,共同参与结构受力,减少结构应力与变形,使结构具有较高的安全储备。

参考文献:

- [1] 魏亚雄,方志.预制装配式活性粉末混凝土箱梁桥的结构性能[J].公路工程,2016,41(5).

(上接第137页)

- [2] 孙彩菊,孙昌茂,刘惠林.中承式钢管混凝土拱桥维修加固工艺设计技术[J].钢结构,2006(1).
- [3] 苏庆田,杨国涛,吴冲.吊杆更换对九堡大桥主桥受力性能的影响分析[J].桥梁建设,2011(5).
- [4] 聂建国,陶慕轩,樊健生.钢-混凝土组合结构在桥梁加固改造中的应用研究[J].防灾减灾工程学报,2010,30(增刊).

- [4] 罗宜珑.大型建筑总承包企业项目群管理研究[D].南京:南京工业大学,2013.
- [5] 谢赣南.团队管理成熟度评价体系在土建工程项目中的应用研究[D].成都:西南交通大学,2012.
- [6] 王达,郭彦丽.公路施工企业项目管理团队绩效模糊综合评价研究[J].经济师,2010(2).
- [7] 韩伟威,张飞涟,陈赞.大型建设项目团队知识学习技术体系研究[J].科技进步与对策,2013(19).
- [8] 刘丽.工程项目群管理的动态绩效考核体系研究[D].济南:山东建筑大学,2011.
- [9] 杨明海,刘军.基于成熟度的项目团队效能研究[J].东岳论丛,2009(5).
- [10] 李一翔.项目管理组织与高效项目团队建设[J].商业文化,2011(4).
- [11] 马靖忠.基于熵权系数法的房地产市场比较估价模型研究[J].企业经济,2011(6).
- [12] 苏恒强,陈桂芬,朱春晓,等.熵权系数法在土壤环境质量评价中的应用[J].安徽农业科学,2010,38(25).

收稿日期:2018-09-08

- [2] 陈思文.整体化层合理厚度研究[J].公路交通科技:应用技术版,2016(6).
- [3] 赵兴中,马琳.预制装配式小箱梁桥横向分布计算方法的研究分析[J].湖南交通科技,2009,35(2).
- [4] 冯旭.装配式箱梁安装及桥面铺装施工实例探讨[J].交通建设与管理,2014(16).
- [5] 陆荣生.现浇变截面预应力混凝土连续箱梁施工技术[J].交通世界:建养.机械,2013(11).
- [6] 夏志强.装配式预应力混凝土连续箱梁施工体系转换研究[J].公路交通科技:应用技术版,2013(12).
- [7] 高源.装配式箱梁桥面整体化层合理厚度的研究[D].西安:长安大学,2013.
- [8] 李向阳.耦合作用下沥青混凝土桥面铺装有限元分析[D].大连:大连理工大学,2012.

收稿日期:2018-03-22

- [5] JTG D60-2015.公路桥涵设计通用规范[S].
- [6] JTG D62-2012.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [7] JTG D64-2015.公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [8] 葛胜锦.基于欧洲标准的钢-混凝土组合桥梁设计[M].北京:人民交通出版社,2010.

收稿日期:2018-06-12