

拆与不拆拱上建筑下增大截面法加固 双曲拱桥模拟分析

谢俊武¹, 彭辉²

(1.湖南省公路设计有限公司, 湖南 长沙 410114; 2.湖南城交设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410114)

摘要: 在评估某双曲拱桥结构承载性能的基础上, 利用 MIDAS 建立有限元加固模型, 采取分阶段施工方法分别进行拆与不拆拱上建筑下增大截面法加固双曲拱桥模拟, 对比分析两种方式下结构关键截面受力及承载性能。结果表明, 采用先拆除拱上建筑再进行加固的方法, 主拱圈关键截面的轴力和弯矩减小, 主拱圈抗力增大, 荷载效应和抗力的比值降低, 整桥的安全储备显著提高, 该桥采用先拆除拱上建筑再进行增大截面法加固的方法可行, 该方式可作为同类桥型加固的优选方案。

关键词: 桥梁; 双曲拱桥; 增大截面法; 拆除拱上结构

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

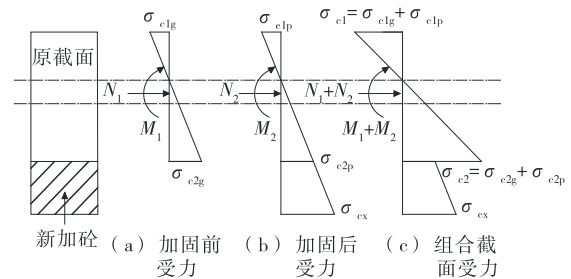
文章编号: 1671-2668(2019)03-0144-04

在长期超载和复杂环境因素影响下, 服役双曲拱桥性能老化严重, 承载力难以满足日常行车需求, 加固维修迫在眉睫。增大截面法因其工法成熟、加固效果良好等被广泛用于拱桥加固维修。狄生奎等采用 ANSYS 软件对某危旧双曲拱桥进行加固分析, 结果表明增大截面法能有效降低双曲拱桥受荷后的挠度和应变、改善结构的受力性能、增加结构的整体刚度, 但易增加跨中加固层砼拉应力, 增大结构产生新裂缝的风险; 唐登波建立双曲拱桥加固工程 MIDAS/Civil 有限元模型进行 4 个外包砼浇筑方案的力学性能分析, 结果表明在拱脚向拱顶浇筑顺序中, 减少浇筑阶段能降低拱顶下挠值, 结构下缘砼厚度增加可降低拱顶压应力, 但会增加拱脚及其附近区域的受力, 采用增大截面法进行加固时需综合考虑拱顶及拱脚两部分的极限状态。以上分析揭示了增大截面法的优势和缺陷, 但很少考虑加固方式对加固效果的影响。对于某些旧桥, 当需要重建拱上结构时, 拆除拱上结构后进行增大截面法加固, 再恢复拱上建筑的方法可能对结构受力更为有利。该文针对某双曲拱桥, 采用 MIDAS 进行拆与不拆拱上建筑进行增大截面法加固两种方式的模拟分析, 对比两种方式的加固效果, 确定合理的加固方式。

1 加固理论分析

双曲拱桥采用增大截面法加固后变为二次组合结构, 加固截面处的砼成为受力薄弱环节, 易产生加

固后次生病害。增大截面法加固后新旧砼的组合截面受力见 1。



(a) 加固前受力 (b) 加固后受力 (c) 组合截面受力

σ_{c1g} 为原截面顶端应力; σ_{c2g} 为原截面底端应力; N_1 为原截面轴力; M_1 为原截面弯矩; σ_{c1p} 为加固后截面顶端应力; σ_{c2p} 为加固后原截面底端应力; σ_{cx} 为加固后截面底端应力; N_2 为加固后截面轴力; M_2 为加固后截面弯矩; σ_{c1} 为组合截面顶端应力; σ_{c2} 为组合截面在原未加固截面底端应力。

图 1 增大截面法加固后新旧砼组合截面各阶段应力

双曲拱桥加固前后结构受力如下:

(1) 活荷载作用在新砼前, 竖向荷载作用在主拱圈, 主拱圈截面以受压为主, 同时承受弯矩及剪力作用。此时主拱圈截面的应力、应变分别为:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{N}{EA} \pm \frac{My}{EI} \quad (2)$$

式中: σ 为主拱圈截面拉(压)应力; N 为主拱圈截面轴力; A 为主拱圈截面面积; M 为主拱圈截面弯矩; W 为主拱圈截面抵抗矩; ϵ 为截面应变; y 为节点离

中性轴的距离; I 为截面惯性矩。

(2) 活荷载作用在新旧砼复合截面时, 新旧砼共同参与受力, 应力、应变采用叠加法计算:

$$\sigma = \frac{N}{\sum_{i=1}^n A_i} \pm \frac{My}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{N}{\sum_{i=1}^n E_i A_i} \pm \frac{My}{\sum_{i=1}^n E_i I_i} \quad (4)$$

式中: $\sum_{i=1}^n A_i$ 、 $\sum_{i=1}^n I_i$ 分别为新旧砼融合成整体后复合截面的面积和惯性矩; $\sum_{i=1}^n E_i A_i$ 、 $\sum_{i=1}^n E_i I_i$ 分别为新旧砼融合成整体后复合截面的轴向抗拉刚度和抗弯刚度。

2 工程概况及加固前计算分析

2.1 工程概况

某双曲拱桥全长 230.6 m, 主跨为 4×50 m, 桥面宽 10.6 m, 主拱圈矢高 6.2 m, 矢跨比 1/8; 引桥部分主拱圈及主跨腹拱为跨径 4.0 m、矢高 0.8 m 的等截面圆弧拱; 下部结构为重力式桥台和桥墩, 扩大基础。桥梁单跨立面布置见图 2。

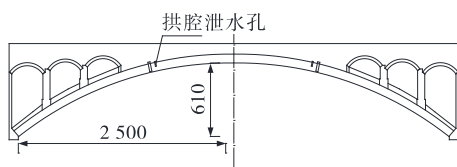


图 2 某双曲拱桥单跨立面布置(单位:cm)

其主要病害如下: 主拱圈、拱波、腹拱出现微小裂缝; 桥面系局部破损; 部分桥面泄水孔堵塞, 腹拱多处渗水严重。

2.2 加固前计算分析

计算基本假定: 1) 截面应变符合平截面假定, 为线性分布; 2) 根据规范要求, 拱上建筑的联合作用对结构有利, 故不考虑拱上建筑联合作用; 3) 考虑几何非线性, 采用多项式拟合拱下边缘线, 同时考虑桥台水平位移引起的拱轴线变化, 以其一半形成的拱轴线作为计算拱轴线; 4) 不考虑力的叠加原理, 即各种荷载一次性作用于结构上, 不考虑力的作用时程。

采用 MIDAS 进行模拟, 上部结构采用 C40 砼, 桥墩采用 C20 砼, 上部结构及桥墩均采用空间梁单元, 支撑采用节点弹性支撑。模型划分为 198 个单

元, 191 个节点, 其中立柱、侧墙、拱上填料、桥面铺装、护栏等均以等效荷载施加。拆除拱上建筑再加固的有限元计算模型见图 3。

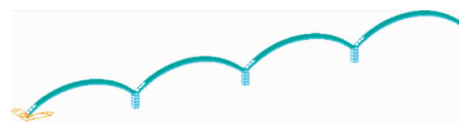


图 3 全桥有限元计算模型

根据规范要求, 选取立柱下截面、拱顶、拱脚截面进行承载能力复核。该桥为四跨正对称结构, 选取第一跨和第二跨右边部分的关键截面进行计算分析。加固前第一跨主拱圈轴力和弯矩分别见图 4、图 5, 承载能力计算结果见表 1。

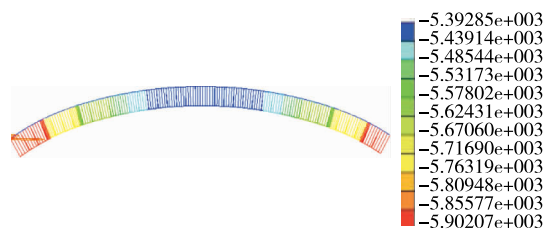


图 4 加固前第一跨主拱圈轴力图(单位:kN)

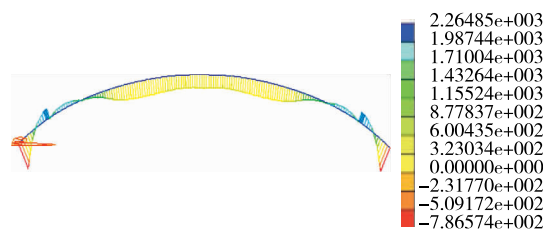


图 5 加固前第一跨主拱圈弯矩云图(单位:kN·m)

表 1 加固前关键截面承载力计算结果

截面位置	轴向力荷载组		偏心距/m	抗力效应/kN	效应抗力比
	载组合效	弯矩荷载组			
	应值/kN	合效应值/ (kN·m)			
1-拱顶	-5 393.4	761.3	0.14	13 639.9	0.40
1-4# 立柱	-5 439.6	1 033.8	0.19	12 471.2	0.44
1-3# 立柱	-5 578.1	387.1	0.07	11 446.4	0.49
1-2# 立柱	-5 764.5	-885.6	-0.15	8 937.9	0.64
1-拱脚	-5 903.7	2 363.9	0.40	5 530.6	1.07
2-拱顶	-5 234.6	677.9	0.13	11 639.9	0.45
2-4# 立柱	-5 340.4	742.1	0.14	10 471.2	0.51
2-3# 立柱	-5 443.2	374.3	0.07	9 446.4	0.58
2-2# 立柱	-5 597.5	-394.3	-0.07	8 764.4	0.62
2-拱脚	-5 803.3	1 039.5	0.18	7 865.3	0.74

由表 1 可知: 该桥在长期超负荷运营下, 第一跨右幅拱脚位置荷载效应与抗力的比值达到 1.07, 承

载能力不足,需进行维修加固。

3 加固计算

加固措施为主拱圈拱肋外包 15 cm 厚 C40 自流密实砼,主拱圈采用联合截面形式。新浇拱肋断面见图 6。

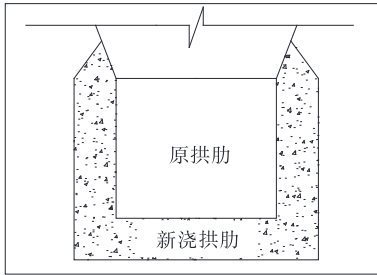


图 6 新浇拱肋断面示意图

对拆除拱上建筑后采用增大截面法加固及不拆除拱上建筑直接采用增大截面法加固两种方式进行对比分析。拆除拱上建筑后加固的流程为拆除原拱上建筑→加固材料、机具准备→结合面清理→浇筑砼→砼养护→恢复拱上建筑→荷载试验确定加固效果。不拆除拱上建筑直接加固的流程为加固材料、机具准备→结合面清理→浇筑砼→砼养护→荷载试验确定加固效果。

为模拟两种加固方式对结构的影响,在 MIDAS 中采取分阶段施工的方法进行模拟。拆除拱上建筑再进行增大截面法加固的模拟过程为建立全桥有限元模型→上部拱上建筑钝化→浇筑砼→激活主拱圈拱上结构。拆除及不拆除拱上建筑加固第一跨受力分别见图7、图8,两种加固方式下的有限元计算结果分别见表 2、表 3。

由图 7、图 8 和表 2、表 3 可知:相比于不拆除拱上建筑直接进行加固,先拆除拱上建筑再进行加固时,主拱圈关键截面轴力和弯矩降低,最高降幅达 7.27% ;

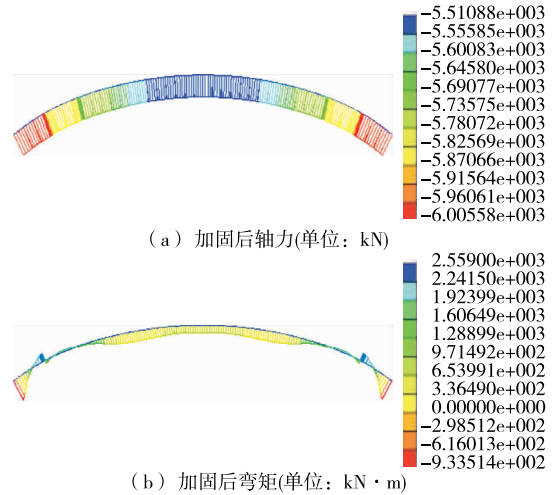


图 7 拆除拱上建筑加固第一跨受力云图

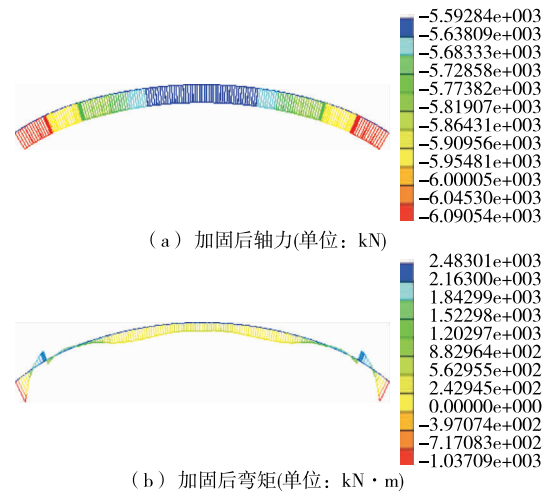


图 8 不拆除拱上建筑加固第一跨受力云图

表 2 两种加固方式下拱上结构关键截面受力对比

截面位置	轴力			弯矩		
	不拆除	拆除	降幅/%	不拆除	拆除	降幅/%
1—拱顶	-5 591.8	-5 221.3	-6.63	856.0	806.0	-5.84
1—4# 立柱	-5 735.8	-5 365.5	-6.46	1 132.1	1 074.0	-5.12
1—3# 立柱	-5 818.1	-5 589.6	-3.93	429.2	411.2	-4.19
1—2# 立柱	-5 983.8	-5 733.4	-4.18	-945.0	-915.0	-3.17
1—拱脚	-6 089.7	-5 961.7	-2.10	2 385.3	2 305.0	-3.35
2—拱顶	-5 408.3	-5 148.3	-4.81	719.8	674.1	-6.35
2—4# 立柱	-5 606.1	-5 256.6	-6.23	823.0	776.0	-5.71
2—3# 立柱	-5 704.9	-5 434.3	-4.74	407.6	387.6	-4.91
2—2# 立柱	-5 853.3	-5 683.4	-2.90	-412.4	-382.0	-7.27
2—拱脚	-5 972.2	-5 712.2	-4.35	1 006.5	966.5	-3.97

表3 两种加固方式下拱上结构关键截面加固效果对比

截面位置	抗力			效应抗力比		
	不拆除	拆除	增幅/%	不拆除	拆除	降幅/%
1-拱顶	15 539.5	16 289.5	4.83	0.36	0.32	-0.04
1-4#立柱	14 101.1	14 941.1	5.96	0.41	0.36	-0.05
1-3#立柱	13 448.7	13 798.7	2.60	0.43	0.41	-0.02
1-2#立柱	11 478.2	11 878.2	3.48	0.52	0.48	-0.04
1-拱脚	6 950.1	7 302.1	5.06	0.88	0.82	-0.06
2-拱顶	13 739.8	14 139.8	2.91	0.39	0.36	-0.03
2-4#立柱	13 185.4	13 885.4	5.31	0.43	0.38	-0.05
2-3#立柱	12 276.3	12 976.3	5.70	0.46	0.42	-0.04
2-2#立柱	10 476.3	11 176.3	6.68	0.56	0.51	-0.05
2-拱脚	9 465.0	10 065.0	6.34	0.63	0.57	-0.06

主拱圈抗力增大,最大增幅达6.68%;荷载效应和抗力的比值降低,整个桥的安全储备得到显著提升。拆除拱上建筑后进行加固时主拱圈第一跨上下缘应力分别见图9、图10。

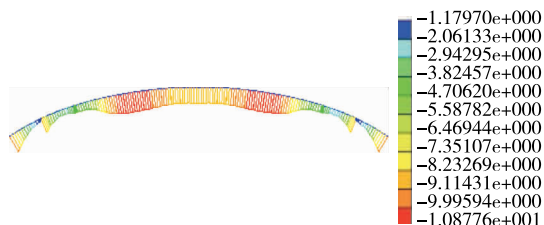


图9 拆除拱上建筑加固时第一跨上缘应力(单位:MPa)

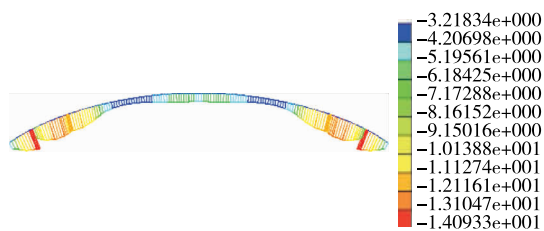


图10 拆除拱上建筑加固时第一跨下缘应力(单位:MPa)

由图9和图10可知:先拆除拱上建筑再进行加固时,主拱圈关键截面上下缘应力均为压应力,全截面受压,第一跨压应力为1.18~14.1 MPa,满足规

范要求。先拆除拱上建筑再采用增大截面法进行加固可行。

4 结论

相比于传统的不拆除拱上建筑直接采用增大截面法进行加固,先拆除拱上建筑再采用增大截面法进行加固,主拱圈关键截面轴力和弯矩降低,主拱圈抗力增大,荷载效应和抗力的比值进一步降低,整桥的安全储备提高;主拱圈关键截面全截面受压,第一跨压应力为1.18~14.1 MPa,其余桥跨应力也均满足规范要求。根据静载试验结果,拆除拱上建筑进行加固后,该桥挠度和应力均得到较大改善,承载力得到较大提高,满足现行荷载要求,达到了预期加固效果。该方法的加固效果优于不拆除拱上建筑直接进行加固的方法,可作为双曲拱桥加固的优选方案。

参考文献:

- [1] 高勇,魏景和,阳浩,等.增大截面法在既有双曲拱桥加固中的应用[J].公路与汽运,2017(2).
- [2] 吴涛,林君武.增大截面法加固拱桥承载力计算[J].山西建筑,2010,36(31).
- [3] 赵川,王起才,王艳艳.增大截面法进行双曲拱桥加固的研究[J].水利与建筑工程学报,2009,7(3).
- [4] 狄生奎,李吉勇,项长生,等.增大截面法加固双曲拱桥的仿真分析[J].中外公路,2013,33(6).
- [5] 唐登波.增大截面法加固双曲拱桥主拱肋浇筑顺序分析[J].中外公路,2015,35(4).
- [6] 赵磊.运用增设横梁法和增大截面法加固双曲拱桥效应分析[D].西安:长安大学,2017.
- [7] 李吉勇.增大截面法加固双曲拱桥的仿真分析[D].兰州:兰州理工大学,2013.
- [8] 黄灿,刘思孟,周建庭,等.基于组合截面分析的拱桥加固效果评价[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2012,31(3).

收稿日期:2018-11-13

(上接第113页)

- [7] 王志英,张常勇.大跨度连续钢桁梁桥摩擦摆支座减隔震设计分析[J].桥梁建设,2015(2).
- [8] 顾正伟,钟铁毅.双曲面球型减隔震支座曲线连续梁桥的减隔震[J].中国铁道科学,2011,32(3).
- [9] 范立础,卓卫东.桥梁延性抗震设计[M].北京:人民交通出版社,2001.

- [10] 范立础,王志强.桥梁减隔震设计[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [11] 赵伟,薛素铎,李雄彦,等.摩擦摆支座的摩擦系数对结构隔震性能影响分析[A].第16届全国结构工程学术会议论文集(第Ⅲ册)[C].2007.

收稿日期:2018-09-05