

Simulating Double-Arched Bridge by ANSYS and Calculating Internal Forces and Displacement

SHAO Jia-bang

Sichuan College of Architectural Technology, Deyang, China

shaojiabang@163.com

Abstract: Many double-arched bridges have been varying degrees of disease after decades of use, as a result of a direct threat to the safe use of bridges. Therefore there is a need that assesses reasonably load-carrying capacity of double-arched bridges in service and puts forward safe, reliable as well as economical, practical methods of reinforcement. A strengthened method for a double arch bridge in name of TULITU is bolt-shotcrete floors to link arch ribs together and become double curved arches into closed box arches. Simulating and calculating internal forces and displacement of the double-arched bridge before and after the reinforcement by large-scale finite element software in name of ANSYS is reflecting its rules on displacement and internal forces.

Keywords: double-arched bridge; internal force analysis; displacement; load-carrying capacity; finite element method; nonlinearity

基于 ANSYS 模拟双曲拱桥主拱圈并计算其内力和位移

邵家邦

四川建筑职业技术学院, 四川德阳, 中国, 618000

shaojiabang@163.com

【摘要】经过几十年的使用,许多双曲拱桥出现不同程度的病害,直接威胁桥梁的安全使用。因此,需要合理评估在役双曲拱桥的承载力,提出既安全可靠又经济实用的加固方案。针对某双曲拱桥,采用锚喷钢筋混凝土底板,将拱肋俩俩相连,使双曲拱变封闭箱拱的加固方法。并且,利用大型有限元软件 ANSYS,对某双曲拱桥主拱圈进行非线性主拱圈加固前后的荷载响应模拟,反映其内力和位移变化规律。

【关键词】双曲拱桥;内力计算;位移;承载力;有限元;非线性

1 引言

作为我国独有的双曲拱桥,经过几十年的使用,已经证明其组合截面整体性差,拱肋和拱波易开裂等缺点,以及交通量连年增加和重载不断出现,许多双曲拱桥出现不同程度的病害,直接威胁着桥梁的安全使用。因此,如何合理的评估这些在役双曲拱桥的承载力,提出既安全可靠又经济实用的加固方案,对于在役双曲拱桥的维修、加固和改造具有理论和现实意义^[1]。

由于 ANSYS 平面杆系数值求解的线弹性以及空间结构简化为平面杆系结构的近似性等不符合实际的特点,本文采用三维实体有限元进行吐力土桥主拱圈

的有限元仿真,对比加固前和加固后的应力、挠度和水平位移的数据。同时利用材料非线性理论,真实模拟混凝土结构的变形、开裂和破坏以及钢筋的应力状况,并给出结构内力和变形发展过程,揭示出结构的薄弱部位和环节,进而对结构的承载能力进行评估。对于三维实体结构,所求的影响面为应力影响面。从空间上说比较符合实际结构,从计算上看概念清晰^[2]。

2 加固方法

主拱圈加固采用锚喷混凝土施工工艺,在原拱肋马蹄处增设 14cm 厚 C30 混凝土底板,并且沿桥宽和桥长做整体混凝土底板,把原主拱圈的“拱型”结构改变为“箱型”结构。加固后的主拱圈截面如图 1 所示。

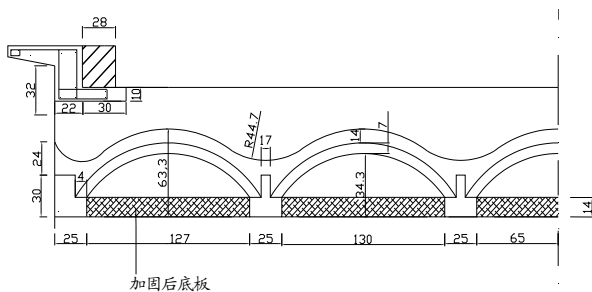


Fig.1 The main arch ring cross-section after the reinforcement (units: cm)

图 1 加固后的主拱圈截面 (单位: cm)

3 空间模拟

3.1 横向分布系数

双曲拱桥的主拱圈的横向刚度可以作用于其上的车辆荷载的横向分布系数反映。为了考察主拱圈的横向分布系数,将单位荷载(1KN)分别作用在各片拱肋对应的拱顶、1/4 截面和拱脚,得到的数据在图 2 所示横向布载情况进行各肋在汽车和挂车作用下的横向分布系数计算^{[3][4]}。

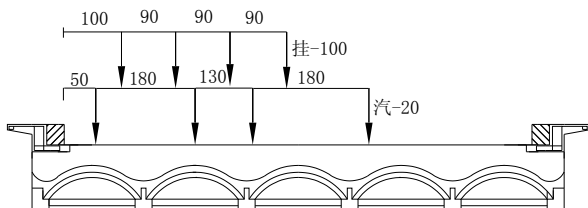


Fig.2 Transverse distribution

图 2 车辆在横向分布图

拱肋在不同位置的荷载作用下挠度见表 1 所示。

Tab.1 Transverse distributing coefficient in the cross-section of arch ring roof, 1/4 section, arch ring roof

表 1 跨中截面、1/4 截面以及拱脚横向分布系数

截面	1	2	3	4	5	6
拱顶	0.51	0.56	0.57	0.54	0.47	0.36
L/4	0.48	0.49	0.52	0.52	0.43	0.42
拱脚	0.54	0.56	0.54	0.51	0.4	0.38

3.2 主拱圈应力响应

加固前钢筋采用 Link8 单元进行模拟。加固后采用整体式模拟,因为这种方法对于双曲拱桥钢筋混凝

土中均匀分布的横向锚固钢筋的设置是比较适合。但是每个纵向钢筋的间距不等,为了更好的满足计算精度要求,钢筋建模时将纵向钢筋密集程度不同的区域采用带纵筋和无纵筋的 SOLID65 单元^[5]。

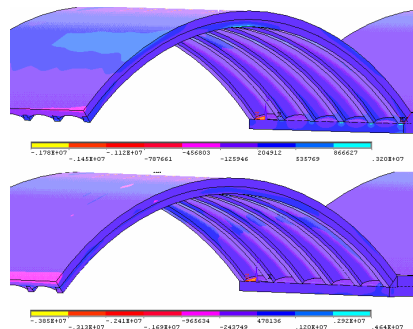


Fig.3 The stress nephogram of concrete under the action of car-20 and trailer-100 before the reinforcement

图 3 加固前汽-20 和挂-100 作用下混凝土应力云图

将拱上建筑与活载变换成等效荷载施加到主拱圈的相应位置上^[6]。加固前主拱圈在汽-20 和挂-100 荷载作用下,混凝土等效应力云图如图 3 所示。加固前控制截面的上下拉压应力如表 2 所示。

Tab.2 Tension and compression stress of control sections before the reinforcement (units: MPa)

表 2 加固前拱跨控制截面拉压应力(单位: MPa)

截面	左边点		中间点		右边点	
	上边	下边	上边	下边	上边	下边
拱脚	-2.01	8.1	-2.21	9.71	-2.14	8.7
1/4截面	2.32	0.45	2.43	0.43	2.32	0.32
跨中	2.73	0.23	2.65	0.21	2.54	0.11
3/4截面	1.54	1.34	1.82	1.76	1.34	1.34
拱脚	2.21	1.54	1.64	1.54	1.65	1.54

由表 2 可见,拱脚的负弯矩和拱顶的正弯矩产生的压应力与拉应力最大。拱脚位置的混凝土拉应力超出设计容许值^[7]。在理论上讲混凝土出现裂缝。加固后的主拱圈截面应力验算见表 3 所示。

Tab.3 Stress checking of the main arch ring after the reinforcement (units: MPa)

表 3 加固后主拱圈截面应力验算

	上边应力 (MPa)	下边应力 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)
拱脚 1	4.7668	-0.5788	-1.55	14
1/4 截面	3.5239	-0.5535	-1.55	14
跨中	3.269	-0.5301	-1.55	14
3/4 截面	0.3786	2.8984	-1.55	14
拱脚 2	0.4924	3.6568	-1.55	14

从表 3 看出, 主拱圈截面上缘和下缘应力没有超过规定值^[7], 对比加固前的拉压应力, 该桥在加固后承载能力安全储备比较大, 各种荷载组合作用下产生的荷载效应都有较大幅度的改善。加固前、后换算截面重心至全截面顶边距离分别为 0.276m、0.368m, 新增底板使拱圈截面重心下移, 又因为截面的面积增大, 使得截面承受负弯矩能力增大。底板内的纵向钢筋也能提高截面的正弯矩能力。所以截面应力在重荷载的作用下仍然没有超过规定值, 并富裕较多。

3.3 挠度和水平位移

加固前主拱圈在汽-20 荷载作用下拱圈挠度和水平位移的云图见图 4 所示。

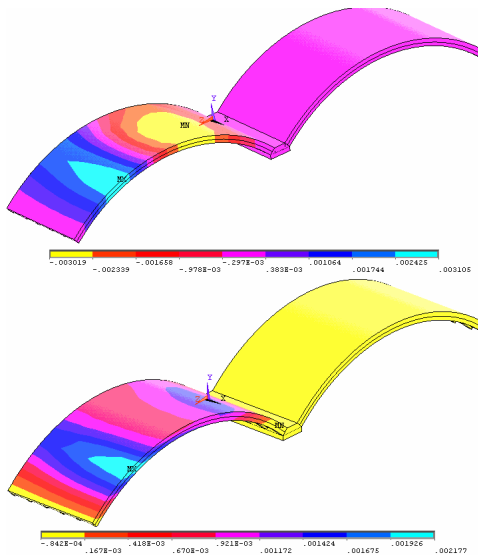


Fig.4 The nephogram of deflection and horizontal displacement under the action of car-20 before the reinforcement
图 4 加固前汽-20 应力作用下的挠度和水平位移云图

加固前和加固后控制截面挠度分别见表 4 和 5。

Tab.4 Deflection in control section before the reinforcement (units: mm)

表 4 加固前控制截面挠度 (单位: mm)

荷载	拱脚	1/4 跨	拱顶	3/4 跨	拱脚
汽-20 (第一跨)	0	0.81	1.65	-0.36	0
挂-100 (第一跨)	0	0.92	1.71	-0.53	0
汽-20 (第二跨)	0	0.03	-0.31	-0.36	0
挂-100 (第二跨)	0	0.67	-0.41	-0.38	0

Tab.5 Deflection in control section after the reinforcement (units: mm)

表 5 加固后控制截面挠度 (单位: mm)

荷载	拱脚	1/4 跨	拱顶	3/4 跨	拱脚
汽-20 (第一跨)	0	0.66	0.91	-0.17	0
挂-100 (第一跨)	0	0.41	1.37	-0.17	0
汽-20 (第二跨)	0	-0.05	-0.12	-0.18	0
挂-100 (第二跨)	0	0.4	-0.21	-0.22	0

加固前后荷载等级为汽-20 和挂-100 的主拱圈挠度变化见图 5 和 6 所示。

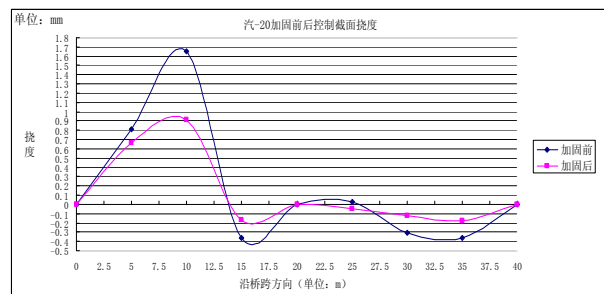


Fig.5 The deflection variation before and after the reinforcement under the action of car-20
图 5 汽-20 加固前后控制截面挠度

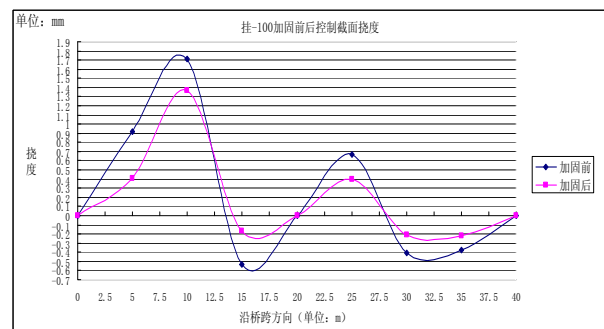


Fig.6 The deflection variation before and after the reinforcement under the action of trailer-100
图 6 挂-100 加固前后控制截面挠度

结论

(1)计算结果表明: 加固前主拱圈拱脚截面出现大偏心的情况, 拱脚出现受拉裂缝。除大偏心的影响外, 主拱圈在拱脚位置有应力集中现象。所以, 主拱圈加固时拱脚要进行加固处理。

(2) 利用三维实体有限元法进行主拱圈的荷载响应, 应科学的建立钢筋及混凝土的本构关系, 采用方便可行的非线性方程的求解方法和迭代收敛准则。本文应用的 SOLID65 混凝土单元, 可以方便有效的进行混凝土受力过程的模拟。并且根据实际情况, 选择不同的 ANSYS 有限元钢筋混凝土的建模方式。

(3) 采用钢筋混凝土底板将拱肋俩俩相连, 使双曲拱变封闭箱拱的加固方法效果明显。这一方法显著增大桥梁横向联系, 使横向刚度大增, 同时使拱肋承压面积增大, 也能从根本解决正截面面积不足和横向联系不足的问题, 也间接缓解拱脚应力过大带来的混凝土塑性变形。由于截面作用以具有“箱梁”的特征, 即抗拒刚度大, 使拱肋与拱波、拱板相对变形显著减小。

致谢

本次论文的完成感谢四川建筑职业技术学院基础教研室的老师们。

References (参考文献)

[1] Chen Kaili, Wang Bangwei, Lin Yachao. Bridge engineering

Appraisal and Strengthening manual[M]. Beijing: People traffic press, 2005.6:199-207.

陈开利,王邦楣,林亚超.桥梁工程鉴定与加固手册[M].北京:人民交通出版社,2005.6:199-207.

[2] Qiao Yongping. Calculation method analyzes for dangerous and old double-arched bridge[D].Guangxi university, 2004.4.

乔永平.危旧双曲拱桥的计算方法分析[D].广西大学.2004.4.

[3] Wang Jinqun, Xu Yue, Ye Jianshu. Check-calculation analysis guide and engineering example for highway old bridge[M]. Beijing: People traffic press, 2005.6:107-254.

张劲泉,徐岳,叶见曙等.公路旧桥检算分析指南及工程实例[M].北京:人民交通出版社,2007:107-254.

[4] Zhang Jinqun, Li Wanheng, Ren Hongwei. Bearing capacity evaluation method and engineering example for highway old bridge[M]. Beijing: People traffic press, 2007. (4):410-412.

张劲泉,李万恒,任红伟等.公路旧桥承载力评定方法及工程实例[M].北京:人民交通出版社,2007. (4):410-412.

[5] Sheng Taihe, Yu Hailiang, Fan Xunyi, ANSYS finite element theory and engineering application example guinness[M]. Beijing: Tsinghua university press, 2006.12:99-195.

盛太和,喻海良,范训益. ANSYS 有限元原理与工程应用实例大全[M].北京:清华大学出版社,2006.12:99-195.

[6] Meng Yun,Lu Bo. Strengthening and Reforming for bridge[M]. Beijing: People traffic press,2004.11:87-102.

蒙云,卢波.桥梁加固与改造[M].北京:人民交通出版社,2004.11:87-102.

[7] JTJ 021-85. The general code for design of highway bridges and culverts[S].

JTJ 021-85.公路桥涵设计通用规范[S].