

板—拱组合结构加固小跨径拱桥受力性能分析

杨彩红, 单成林

(华南理工大学, 广东 广州 510640)

摘 要: 在有病害的小跨径拱桥上架设钢筋混凝土板桥, 形成板—拱组合结构, 改善拱圈受力。通过空间有限元计算, 分析不同板高及不同板下支承条件对结构受力的影响。结果表明组合结构中板的受力特性与一般的板桥有较大的差异。

关键词: 桥梁工程; 拱桥加固; 3D 有限元; 组合结构; 受力特性

1 前言

小跨径拱桥具有因地制宜、就地取材、施工简单、外形美观、造价低、不需要大型吊装设备等优点而被广泛应用。近年来随着经济的发展, 交通量的增加, 车辆荷载已超过原来的设计荷载, 加上有些拱桥或多或少存在质量问题, 而出现不同程度的病害, 使行车不安全, 对尚能部分利用的拱桥拆除重建不仅影响交通的正常运行, 而且成本较高。若对其进行常规加固, 又难以保证正常使用及适当的使用寿命, 采用在原拱桥(图1)之上挖除拱顶填料, 新建一板桥, 支承于旧拱桥上, 两端支承于拱座后增设的桥台上, 形成板—拱组合结构共同受力具有较大优势, 如图2所示。

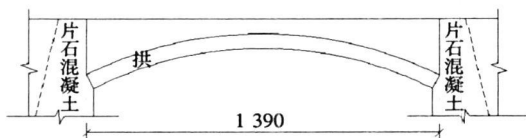


图1 原拱桥结构立面图(单位: cm)

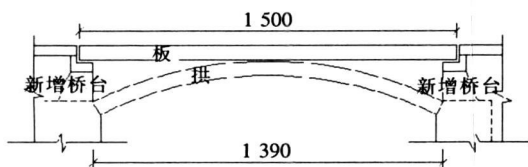


图2 板—拱组合结构立面图(单位: cm)

采用图2方法对有病害的小跨径拱桥进行加固, 其一, 不必使用较多的人力、物力进行旧拱桥的拆除工作, 减少费用; 其二, 物尽其用, 充分利用旧拱桥; 其三, 施工工期相对较短, 对交通影响较小; 其四, 板高比一般简支板小, 与新建板桥相比, 可节约投资, 又能使改造后的桥梁提高承载能力, 满足现行交通的要求。在交通量日益增大、通车条件要求不断提高的条件下, 可用较少的投资获得较大的社会效益和经济效益。

本文将在有限元分析的基础上, 通过改变板的高度和板下填料的支承性能, 分析板—拱组合结构的受力特性。

2 加固工程概况

某省道一小跨径石板拱桥如图1所示, 桥宽7 m, 拱圈厚度0.6 m, 拱上填料厚0.4 m。由于交通量大, 超重车多, 拱圈纵向出现了2条约0.6 mm宽的穿透性裂缝, 纵向全跨贯通, 整体性差。如果采用套箍或横向预应力筋对拱圈进行整体性加固, 费用较高, 对小跨径拱桥来说不经济; 若采用灌浆封缝, 在现行交通状况下仍会再开裂; 若拆除重建, 费用更高, 况且拱圈还能部分利用。经多方比较, 决定挖除拱顶上填料, 加建一钢筋混凝土空心板桥, 全板弹性支承于拱上, 形成板—拱组合结构共同承受车辆荷载。板高可大为减小, 但减小到什么程度合适, 这与拱桥本身及板下的支承状况有直接关系, 按常规的计算方法是无法算出该组合

结构中板与拱的内力是如何分配的。以下通过建立空间实体单元结构模型,对不同板高及板下支承状况进行计算分析,根据受力状况,选择最优的板高及配筋率。

3 有限元分析模型

板—拱组合结构的板长 15 m,板高分别取 0.3、0.4、0.5、0.6 m。

材料及其性质:板采用 C40 混凝土,弹性模量 $E=33\text{ GPa}$,泊松比 $\nu=0.166\text{ 7}$;拱圈为石砌体,根据其砂浆标号 10,石料标号 50,查得其弹性模量 $E=6\text{ 240 MPa}$,泊松比 $\nu=0.166\text{ 7}$ 。拱上填料改为浆砌片石后弹性模量和泊松比的取值与拱圈相同。跨中拱顶及拱上填料与板底之间采用 3 cm 的砂垫层垫实,以防止跨中板底与拱顶发生硬支承。砂垫层弹性模量 E 分别取 100、400、700、1 000 和 1 300 MPa 来模拟不同的板下支承条件,泊松比 ν 取 0.35。

有限元模型的建立:采用三维实体单元建模,为了模拟板底及拱上填料(浆砌片石)与砂垫层间的位移不同,采用接触单元来模拟砂垫层与上下接触面之间的滑移,摩擦系数取 0.25。模型中实体单元共 5 076 个,接触单元共 2 808 个,节点共 7 638 个。有限元分析模型如图 3 所示。

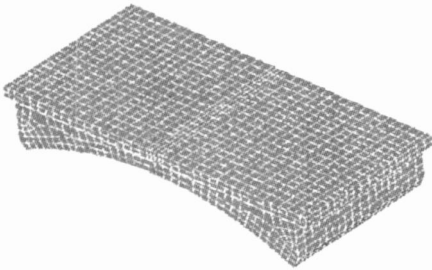


图 3 板—拱组合结构空间有限元分析模型

边界条件:板两端简支,拱脚固结,砂垫层及拱上填料的两端侧面均约束沿桥纵向的位移。

车辆按两车道的公路 I 级车辆荷载布载,沿横桥向中间对称加载,纵向按跨中产生最大弯矩时的最不利位置布载,将车轮集中荷载换算为局部均匀荷载施加于相应位置上的单元表面上。加固前后的布载情况相同。

4 有限元计算结果分析

如果加固后的拱上简支板高也取加固前的拱上填

料厚度 0.4 m,板下垫层弹性模量取 600 MPa,拱顶产生最大正弯矩布载时,加固前、后拱顶及相应拱脚的应力计算值如表 1 所示。

表 1 加固前后拱的应力值比较 MPa

项目	拱顶上缘	拱顶下缘	拱脚上缘	拱脚下缘
加固前	-3.881	1.888	-1.305	-1.027
加固后	-1.128	0.448	-0.436	-0.926

注:应力以压为负,拉为正,下同

从表 1 中可以看出:加固后,拱的受力明显改善,拱顶应力明显减少,上缘减少值约为 2.75 MPa,下缘减少值约为 1.44 MPa;拱脚应力上缘减少 0.88 MPa,下缘减少 0.10 MPa。由此可见,形成板—拱组合结构对拱圈控制断面的应力大为改善。

为了研究板—拱组合结构在不同板高和板下支承条件下对结构受力性能的影响,采用空间有限元分析模型进行分析,两车道跨中加载时应力与变形情况见图 4。板—拱组合结构在板下支承条件相同时不同板高的截面最大应力计算值见表 2,在板高相同时不同板下支承条件的应力计算值见表 3。

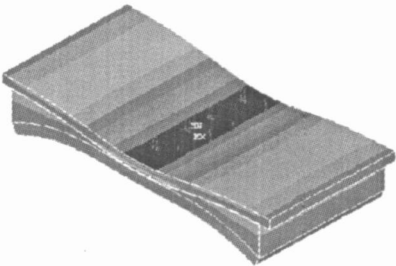


图 4 板—拱组合结构应力变形图

表 2 板下支承条件 $E=600\text{ MPa}$ 时不同板高截面应力比较

板高 / m	板跨中/MPa		1/5 跨处/MPa		拱顶/MPa	
	上缘	下缘	上缘	下缘	上缘	下缘
0.3	-2.966	2.765	0.924	-0.976	-1.319	0.594
0.4	-2.906	2.656	1.128	-1.180	-1.128	0.448
0.5	-2.845	2.613	1.273	-1.319	-0.950	0.340
0.6	-2.604	2.379	1.291	-1.344	-0.869	0.297

表 3 板高 0.5 m 板下支承条件改变时截面应力 MPa

垫层弹性模量	板跨中		1/5 跨处		拱顶	
	上缘	下缘	上缘	下缘	上缘	下缘
100	-2.897	2.685	1.290	-1.324	-0.945	0.335
400	-2.865	2.642	1.281	-1.321	-0.948	0.338
700	-2.835	2.597	1.269	-1.319	-0.952	0.342
1 000	-2.803	2.554	1.258	-1.315	-0.954	0.343
1 300	-2.775	2.511	1.249	-1.312	-0.958	0.347

由表 2 可以看出: 跨中截面板上缘的压应力及下缘的拉应力随着板高的增大而减小, 且递减幅度越来越大; 跨中附近板下缘受拉区范围随着高度的增加而增大。板左右两边约 1/5 跨处附近上缘均出现了拉应力, 最大拉应力出现在距左支承约 2.5 m 处, 其值随着板高的增大而增大, 且其范围随着板高的增大而减小。跨中拱顶上缘压应力及下缘拉应力随着板高的增大而减小。

由表 3 可以看到: 随着砂垫层弹性模量的增大, 板跨中上缘的压应力及下缘的拉应力逐渐减小, 板两边的拉应力也是逐渐减小。跨中拱顶上缘的压应力和拱顶下缘的拉应力均随着垫层弹性模量的增大而增大。

下面对板跨中弯矩值进行比较, 设钢筋混凝土板为实心板, 砂垫层弹性模量取 600 MPa, 其上、下面的接触单元的摩擦系数取 0.25 时, 一般简支板与板—拱组合结构中的板跨中弯矩比较见表 4。

表 4 恒、活载作用下板跨中弯矩值比较

板高/ m	弯矩/ kN · m	
	一般简支板	板—拱组合结构中的板
0.3	3 351.03	300.88
0.4	3 833.38	519.12
0.5	4 315.72	795.96
0.6	4 798.06	1 046.43

在自重及车辆荷载作用下, 由板跨中弯矩值比较可以看出, 板—拱组合结构比简支板弯矩值明显减少, 且弯矩值减小幅度随着板高的逐渐增大而减小。说明该组合结构确实能减少材料的用量, 降低费用, 可获得较好的经济效益。

由此可见, 该组合结构与一般简支板受力最大的区别是两端 1/5 跨处附近的板上缘出现了拉应力, 下缘出现了压应力。这主要是跨中加载后受拱的变形所致。因此在设计时, 在该处附近要配置足够的抗拉钢筋, 以防止混凝土开裂, 布筋示意图见图 5。

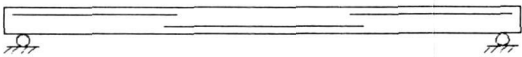


图 5 板—拱组合结构抗拉布筋示意图

另外还对拱脚产生最大正、负弯矩时, 在 1/4 跨附近施加车辆荷载, 计算组合结构的最大应力, 结果表明

板、拱结构上最大应力均比跨中加载时小, 不控制设计。这是由于实腹拱的各截面竖向刚度差异较大引起。因此, 对于此种板—拱组合结构, 要根据拱桥实际情况, 通过受力分析, 在拱顶底面拉应力不导致底面拉裂的前提下, 选择合适的板高和板下支承条件, 主要是板高选择。垫层弹性模量的影响较小, 可忽略。选择最优的方案, 在受拉区配置足够的钢筋, 使其在受力性能满足该种结构的同时, 费用最低, 达到经济、合理的目的。

5 结语

(1) 在原拱桥之上新建一板桥, 形成板—拱组合结构共同受力, 对拱圈的受力性能大为改善。

(2) 板—拱组合结构中, 靠两支承端 1/5 跨处附近的板上缘出现拉应力, 板的下缘出现压应力, 压应力不控制设计, 但在板的上缘受拉区应配置适当的受拉钢筋, 防止混凝土开裂。

(3) 板—拱组合结构在车辆荷载及自重作用下, 板的跨中弯矩值比一般简支板明显减少。用该方法加固小跨径拱桥可比拆除重建板桥明显节省投资。

(4) 计算结构还表明该种结构可提高桥梁的荷载等级。

(5) 采用板—拱组合结构加固方法简单实用, 板拱共同受力, 节省材料, 缩短了工期, 施工费用较小, 有较好的应用前景。

参考文献:

[1] 廖碧海, 王国鼎. 拱桥加固新方法的研究及应用[J]. 公路, 2006(10).
[2] 康 泰. 既有石拱桥承载力评估与加固[J]. 科技咨询导报, 2006(8).
[3] 孟 妍. 关于石拱桥承载力与加固技术的研究[J]. 科技经济市场, 2006(4).
[4] 王 技, 钟海辉. 石拱桥剩余承载能力的理论研究[J]. 公路交通技术, 2005(3).
[5] 顾安邦. 桥梁工程(下册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
[6] 王 鹏, 周建庭. 拱上恒载调整的石拱桥加固改造研究[J]. 重庆交通学院学报, 2006(增刊).