

桁式组合拱桥存在的问题及加固新思路的探讨

严云 徐海燕 上官兴

(华东交通大学 土木建筑学院 江西 南昌 330013)

摘要: 从结构整体性、强度计算方法、内力调整方面查找桁式组合拱桥存在问题的根源,指出危旧桁式组合拱应采用按施工阶段来划分不同工况的应力叠加计算方法来评估其承载力。建立了一个工程实例的有限元模型,进行了分析验证。对比桁和拱在不同阶段的受力特性,依据斜杆在不同阶段内力的变化,然后提出一个由可调内力的柔性拉索来置换不可调内力的刚性斜杆的加固新思路。用实例验证了理论上的可行性。

关键词: 桁式组合拱; 问题; 加固; 方案

中图分类号: U445.7

文献标识码: A

1 问题的提出

1.1 病害描述

预应力混凝土桁式组合拱桥是贵州省于20世纪80年代初创新提出的一种新桥型,目前已建成40余座^[1]。该桥型特点是结构和施工完美统一,施工简便、设备少、造价低廉和工期短。由于时代和材料的限制所造成的先天不足,加上施工工艺和运营维护不当,以及当前交通荷载增大等原因,该类桥梁开始出现了不同程度的病害。几座桥梁用常规补强方法加固后,成效不大。已有数座桥梁被拆除。因此对桥梁界提出一个迫切需要解决的问题:这类桥梁能否继续修建?目前大多数病害桥梁如何处理?

在研究桁式组合拱桥调查资料的基础上^[2,3],结合重庆石柱县沿溪大桥检测评估报告^[4],可以看出其病害有明显的规律性,其主要表现为结构开裂。裂缝主要部位及特征是:集中在桁架拱跨中实腹段底部纵、横、斜向裂缝;上弦大跨中部底板纵横向裂缝;竖杆和立柱上下端湿接缝的横向裂缝;斜杆的横向裂缝。从缝宽、缝长、缝深来看,大多因剪切、弯拉强度不够而破坏。裂缝普遍和大量存在及其不断发

展的事实已经不能用施工质量不良和超载运营等简单原因来解释,必定触及深层的原因是设计的缺陷和计算理论不当所致。回顾历史,这种情况与当年双曲拱桥情况如同一辙。

1.2 结构整体性

混凝土桁式组合拱桥在设计上是化整为零,分次施工的。从横向上来说,施工时先吊装双肋,再现浇大箱间顶底板。上下弦箱形顶底板太薄且单层配筋,中间跨度大,不能保证箱形截面整体性,双肋作为顶底板的弹性支承,在横向分布作用下会产生沉降,因此在车辆荷载作用下必然会造成顶板中部的纵向裂缝。从纵向上来说,在跨中实腹段存在着截面突变。刚度的变大引起承担弯矩变大,因此,容易应力集中而导致开裂,截面整体性削弱。另外,各种预制件在成桥的过程中存在大量的湿接缝,半干半湿接缝,施工方式和施工质量决定了无法保证接缝刚性连接的可靠性。

综上所述,在结构整体性得不到保证情况下,如果将分次施工组桥的各种构件按一次成型的整体截面来计算是不符合实际的。当年双曲拱桥也就是由于竖向分次施工(拱肋、拱波、拱板),全截面整体性得不到保证而导致后期结构大量开裂,从而不得不

退出历史舞台。

1.3 强度计算方法

众所周知,由于施工方法不同导致结构的应力状态不同,因此也就有不同的计算方法。一般有两种理论。

(1) 内力一次总算。一般适用于有支架施工桥梁,主拱砼结构硬化过程中由于支架约束,沉降变形很小,所以各个不同施工阶段所产生的不同应力在考虑砼塑性后的应力重分布特性,可以近似按内力叠加一次加载的内力(M, N)来总算成桥应力。在双曲拱桥无支架施工桥梁初期采用“内力一次总算”就发现不少问题,为安全计,以后湖南吊装的双曲拱桥均改用各阶段“应力叠加”法来验算强度。所以目前还有不少无支架施工双曲拱桥仍在安全运营,例如:长沙湘江一桥。

(2) 施工阶段应力叠加。一般适用于无支架拼装的桥梁。预应力桁式组合拱桥主拱圈也是多次施工而成。第一次为小箱形肋拱,在吊装中已承受和很大的应力 σ_1 ,而后浇的两肋间的大箱拱顶底板应力为零。要待后续荷载使其产生变形后才能与两箱肋共同作用,产生的新应力 σ_2 ,因此在两边箱拱上的应力为 $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$,如此反复,当全部 n 个施工工序完成后,边肋的应力为 $\sigma = \sum_{i=1}^n \sigma_i$ 。此种计算方法称为应力叠加。

桁式组合拱桥的应力分析不能不考虑其施工过程,其应力状态在成桥初期是接近按应力叠加的计算结果。长期荷载作用下,混凝土收缩徐变发生,截面应力是会有一个重新分配的过程,应力状态是趋向于一次加载的内力总算。最终结构的应力状态处于应力叠加和内力总算之间。但是在初期施工过程中因未考虑应力叠加因素所得应力实际大于计算,而已使结构产生了裂缝,削弱了截面刚度后,那么必然会使病害得到进一步发展。所以为安全计,要保证按最不利的应力叠加法计算得到的应力都被包络在规范允许的安全范围内。但是绝大多数桁式组合拱桥都做不到。这就是它计算方法在基本理论方面的重大失误!

1.4 桁和拱的不同

在文献[5][6]中论证在悬臂拼装桁式组合拱的施工过程中,斜拉索作为拉杆所产生的索力较大。但当钢管混凝土主拱圈形成后,以无铰拱为主要的受力体系所需要的拉索索力较小,这两者是相反和互相矛盾的。而在桁式索拱桥中,只要适当放松拉索

索力,可以调整主拱圈各截面应力至均衡。而在桁式组合拱中拉杆是刚性和不可调整的。这样两者之间的矛盾就不能解决,这就是预应力砼桁式组合拱加固的给定困难所在。由于拉杆不能及时调整和放松,相当于在拱趾附近有一反向力拉拱背的同时,使桁式组合拱拱顶存在较大的下挠(正弯矩),如图1所示。应当指出:桁式拱所发生的拱顶下挠和正弯矩开裂的根本原因在于斜拉杆不能放松这个道理是鲜为人知。

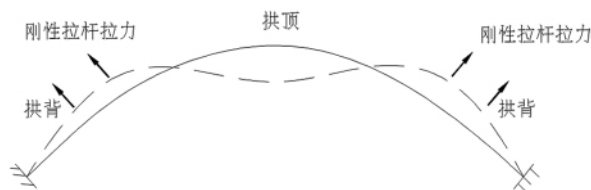


图1 桁式组合拱挠曲示意图

2 实例分析

2.1 工程概况^[4]

沿溪大桥位于重庆市石柱县,全桥孔跨布置为 $18+180+18+14+13=251$ m 预应力桁式组合拱桥及刚构桥,于2003年3月竣工通车,设计荷载汽—20,挂—100,人群荷载 3 kN/m^2 ,桥面净宽9 m,人行道 $2 \times 1.5 = 3$ m,桥面全宽12.5 m。随着三峡蓄水标高到175.0 m后,该桥部分构件将淹没,运营同时发现部分构件出现裂缝等病害,拱顶下挠2 cm。桥型图如图2所示。

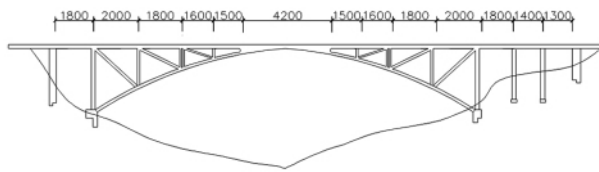


图2 沿溪大桥桥型示意图

2.2 计算模型

根据原设计^[4]用ANSYS程序建立平面有限元模型,进行恒载作用下分析。考虑全截面工作,施工阶段考虑二个阶段:第一阶段为双肋和部分翼缘承担桁式拱吊装部分自重及上下弦现浇顶底板重量;第二阶段为全截面承担桥面系的重量。

2.3 恒载作用下按内力叠加和应力叠加的对比

上下弦均按全截面共同受力,荷载只计入恒载,计算分析结果见图3和图4。

从图3可以看出:采用应力叠加和内力叠加两者内力值相差不大,但是拱顶正弯矩很大,弯矩不均

匀部分主要集中在体系转换后的中部桁架拱部分, 此处控制设计。

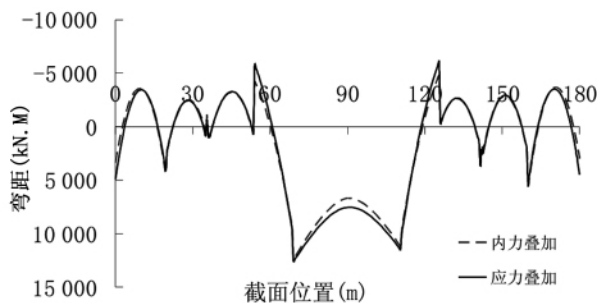


图3 恒载作用下下弦主拱圈弯矩图

从图4可以说明: 按内力叠加计算的下弦应力跨中下缘不出现拉应力, 截面的最大压应力少于材料的抗压强度, 结构不会开裂。按内力叠加分析结果表明, 结构不会发生强度不够的开裂。但结构检测报告表明: 拱顶段弦杆的底面为出现横向裂缝, 并贯通到侧面, 图4中实腹段变截面处按应力叠加出现拉应力, 若考虑活载和荷载分项系数, 则截面因抗拉而开裂, 可以说按应力叠加更符合实际工况。

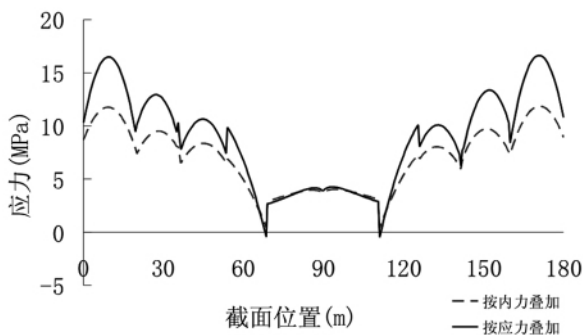


图4 恒载作用下下弦主拱圈下缘应力

3 加固新思路

将混凝土刚性斜杆置换为柔性索。因断点设置和悬拼施工工艺导致桁架墩斜杆拉应力过大和拱顶正弯矩过大。要改变这种受力工况可以改变斜杆的材料, 以斜拉索代替预应力混凝土斜杆。适当放松拉索拉力, 使拱顶正弯矩有所减少。但放松拱脚附近的拉杆可以改善拱顶实腹段正弯矩过大的受力工况。按照应力叠加的方法在成桥状态下放松左右两侧两根斜杆轴力1 200 kN、1 000 kN(斜杆初始为5 400 kN和4 600 kN), 所得结果如图5和图6。

如图5所示, 放松斜杆之后拱顶有一个负弯矩, 叠加之后, 可以使拱顶正弯矩减少, 提高活载通行能力。

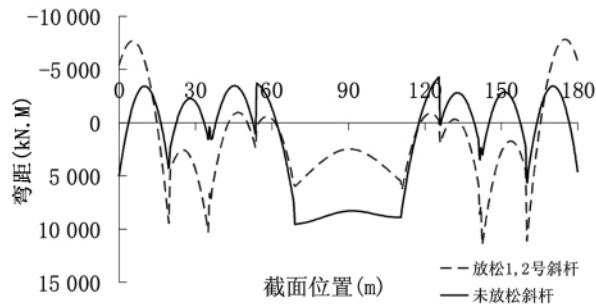


图5 下弦主拱圈弯矩图

从图6可以看出, 通过放松斜杆, 可以完全改善拱顶受力不利的截面, 但是桁架墩处相应的弯曲应力加大, 若桁架墩处下弦的压应力超限, 则可通过一定的方式来加强桁架墩处, 例如可以采用外包混凝土加强下弦箱形截面的整体性, 加大截面抗压刚度和抗弯刚度。

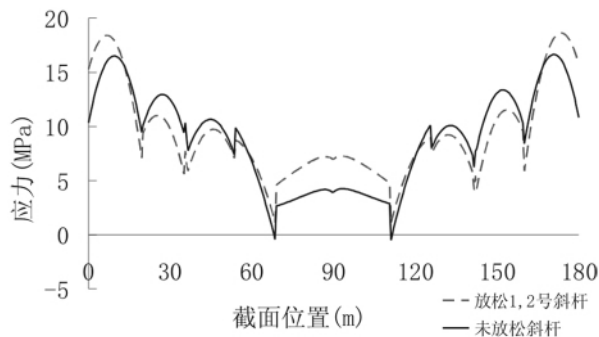


图6 下弦主拱圈缘应力图

4 结论

(1) 按全截面共同受力的计算, 按一次加载的计算方法, 所求承载能力偏大, 结果偏于不安全, 结构安全储备少, 对于危旧桁式组合拱应采用按施工阶段来划分不同工况的应力叠加计算方法来评估其承载力。

(2) 采用拉索置换斜杆的加固方法, 可以改善拱顶受力不利的状态, 作为一种新思路可以尝试用于桁式组合拱的加固。

参考文献:

- [1] 陈天本. 桁式组合拱桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 刘永会, 黄福伟, 唐钰升. 旧桁式组合拱桥的承载能力评价[J]. 公路交通技术, 2005(6): 70-73.
- [3] 黄小平, 韦忠胜. 盐津河大桥病害分析及加固[J]. 公路, 2006(2): 12-18.

(下转第44页)

Technological Design of Vertical Flow Constructed Wetland

LI Zhong - wei ,WANG Quan - jin ,LI Li

(School of Civil Engineering ,East China Jiaotong University ,Nanchang 330013 ,China)

Abstract: The paper briefly introduces the definition of constructed wetland types and the impact of operational factors. It also reveals the design of vertical flow constructed wetland system ,including the design of wetland bed ,selecting and paving the substrate ,building the vegetable communities and automated additional air system ,etc ,thus giving the engineer parameters.

Key words: constructed wetlands; vertical flow; technological design

(责任编辑: 李 萍)

(上接第 13 页)

[4] 西南交通大学结构工程试验中心. 重庆石柱县沿溪大桥
检测评估报告[R]. 成都: 西南交通大学 2006.

[5] 严 云 ,徐海燕 ,任 亮 ,等. 钢管混凝土拉索拱桥桥型

结构特性分析[J]. 世界桥梁 2007 (3) : 42 - 44.

[6] 胡常福 ,任 亮. 应力叠加法在钢管混凝土拉索拱桥中
的应用研究报告[R]. 南昌: 华东交通大学 2006.

Research on the Problems in Hybrid Truss Arch Bridge and Its Reinforcement Scheme

YAN Yun ,XU Hai - yan ,SHANG Guan - xing

(School of Civil Engineering and Architecture ,East China Jiaotong University Nanchang 330013 ,China)

Abstract: The sources of problems for the pre - stressed concrete hybrid truss arch bridge are discussed. The shortage of construction connection ,intensity analysis method and internal force adjusting are revealed. The stress superposition method is adapted to evaluate the bearing capacity of the old and dangerous hybrid truss arch that is divided into several construction stages. A finite element model is set up and verified by an example. The characters of the truss and arch are compared. According to variety of internal force of the inclined bar ,a reinforcement scheme that the inclined bar is replaced by the cable is also advanced. Its theoretic feasibility is verified.

Key words: hybrid truss arch; problem; reinforce; scheme

(责任编辑: 王建华)