

大跨度刚架拱桥裂缝病害机理研究

王志鹏

(广州市交通设计研究院有限公司, 广东 广州 511430)

摘要: 刚架拱桥主要建成于上世纪八九十年代,具有受力合理、施工方便、节省材料和简洁美观的特点。进入本世纪后,该类桥型在重载交通下开始出现较严重的病害,需要经常性的维修加固来维持使用性能,甚至于历经多次加固后,结构病害发展仍然得不到控制,需通过限高限载措施维持运营或者不得不拆除重建。以某80 m跨刚架拱为工程实例,通过检测结果对其进行病害分析及结构建模计算来研究其裂缝病害发生机理。

关键词: 大跨;刚架拱;裂缝;机理

中图分类号: U443

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)09-0108-03

0 引言

刚架拱桥最早建成于上世纪七十年代的无锡县。该桥型借鉴了双曲拱桥、桁架拱、肋拱和斜腿刚构等桥型,具有受力合理、施工方便、节省材料和简洁美观的特点。1984年原交通部公路科学研究所和湖南省交通规划勘测设计院联合编制了《钢筋混凝土刚架拱桥定型设计图》,适用跨径范围为25~60 m,从而推广了刚架拱桥在全国范围内的应用,各地陆续建造了多座刚架拱桥^[1]。

刚架拱主体结构由多片刚架拱片通过横向连系连接成整体,然后在其上部铺设预制桥面板,而预制桥面板又通过桥面整体化层连接。单片刚架拱包括主拱腿、斜撑、竖杆、上弦杆和实腹段等构件,其中,各构件节点处多采用刚接形式的现浇接头。

当时结构计算分析水平受限、规范中的汽车荷载标准较低以及过于追求经济性,使得结构细部构造上的尺寸选择及配筋率偏小,加之主体结构采用“集零为整”的预制拼装施工方法,使得兴建于上世纪八九十年代的刚架拱桥在进入本世纪后,重载交通下开始出现较严重的病害,需要经常性的维修加固来维持使用性能,甚至于历经多次加固后,结构病害发展仍然得不到控制,需通过限高限载措施维持运营或者对其进行拆除重建。

近些年来,针对刚架拱桥病害原因,学者们通过检测、观察和实验等手段进行了归纳总结。刘洪瑞等通过对两座刚架拱桥的病害分析,认为是整体刚

度弱、桥面板强度低和节点连接弱造成刚架拱桥的病害^[2]。陈宇新等对跨度50 m刚架拱桥的桥面板和拱肋节点病害进行了三维实体元分析,发现拱肋节点处在恒载、活载和温度荷载下出现较大拉应力而出现裂缝,桥面板出现混凝土压碎病害是因为设计的边界条件为固结与实际的铰接不符导致桥面板设计不安全,提出了加强节点构造的加固方法^[3]。刘云川等针对山东省的刚架拱桥病害进行了系统总结,发现对结构影响较大病害主要是节点裂缝、弦杆裂缝、桥面板穿孔开裂和横系梁破坏,进一步分析发现病害原因是汽车超载和结构整体性差,并提出了粘贴钢板是比较可靠的加固方法^[4]。钟军等对跨度25 m的刚架拱桥病害进行了检测,发现主要病害是桥面板断裂和次拱腿节点裂缝,认为是设计不足造成了此类病害发生^[5]。史强等从结构局部构件和结构整体分析了刚架拱桥病害原因,认为设计、施工上的不足和节约材料造成了刚架拱桥的病害较多,并提出整体现浇的施工方法来解决此类桥型的病害^[6]。李漪等针对60 m跨刚架拱桥实腹段拱顶竖向裂缝进行了杆系元分析,认为是振动导致裂缝恶性循环不断增大,使得结构整体性不断变差^[7]。闵凡华等针对35 m跨刚架拱桥的弦杆斜向裂缝、节点U形裂缝和实腹段斜向裂缝进行了分析,认为是横系梁连接薄弱导致结构整体性差、单片刚架拱承担的荷载较大^[8]。

刚架拱桥的病害主要包括桥面板损坏、弦杆裂缝、节点处裂缝和实腹段裂缝。桥面板穿孔破坏是结构构造尺寸不足引起的,不是仅靠增加配筋率能解决的;弦杆裂缝是因为竖杆、斜撑与弦杆固结,属于超静定结构受弯构件,在未设置预应力情况下,温度等作

收稿日期: 2021-11-06

作者简介: 王志鹏(1992—),男,硕士,助理工程师,从事桥梁设计工作。

用引起的次内力使得弦杆开裂;大小节点裂缝是因装配的节点强度未能达到设想的要求,在复杂应力状态下开裂;实腹段斜裂缝是因为结构整体性差,在活载作用下单片拱片受力较大,使得截面抗剪不足。

本文以广州市增城区 S256 线江龙大桥 80 m 跨刚架拱为工程实例,通过对其进行病害分析及结构建模计算来研究大跨度刚架拱桥的主要裂缝病害。

1 工程概况

江龙大桥位于广东省道 S256 线上,跨越东江北干流河道,北接增城市经济技术开发区,南接东莞市石碣镇,中心桩号为 K69+432,小里程为三江方向,大里程为石碣方向。全桥由左、右双幅桥并列组成双向 4 车道,左幅为旧桥,1989 年建成通车;右幅为新桥,1994 年建成通车,两座桥桥型相同;全桥长 676 m,跨径组合为 1×15 m(浆砌实腹拱)+ 4×45 m(刚架拱)+ 4×80 m(刚架拱)+ 2×45 m(刚架拱)+ 1×15 m(浆砌实腹拱)。单幅刚架拱桥每孔由 4 片刚架拱片通过横向联系构成,桥面板由肋板板和悬臂板组成,桥面采用钢纤维混凝土铺装。45 m 跨与 80 m 跨的过渡衔接墩采用沉井基础,其余均采用钻孔灌注桩基础,桥墩为钢筋混凝土空心墩。设计荷载等级:汽车 -20 级,挂车 -100。

该桥进行过 3 次维修加固。2006 年针对旧桥和新桥的病害,旧桥评为 2 类桥,对其上部和下部结构进行了大规模的维修加固,内容包括裂缝修补、粘贴钢板、粘贴碳纤维、更换构件、增大构件截面、桩基补强和更换桥面铺装等。2018 年,对该桥桥面肋板板进行了局部更换、粘贴碳纤维和砂浆修补加固。2019 年,对桥面铺装损坏严重的桥跨进行了重做桥面铺装的维修。

2020 年检测发现,左幅和右幅桥梁的桥面板、横向联系和刚架拱片都存在结构性病害。刚架拱片的病害包括主节点处裂缝、实腹段斜裂缝、次节点裂缝和上弦杆跨中裂缝;桥面板病害为跨中裂缝和端部穿孔破损;横向联系病害为跨中裂缝和露筋破损。根据最新检测报告,80 m 跨刚架拱的主要病害为结构性裂缝,裂缝分布见图 1。

2 有限元模型

2.1 杆系单元模型

采用桥博 4.3 建立江龙大桥 80 m 跨单个刚架拱片杆系单元模型,节点总计 79 个,单元总计 78 个。

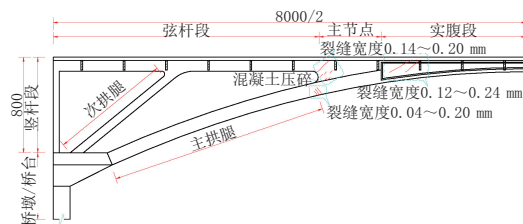


图 1 80 m 跨刚架拱片裂缝分布示意图(单位:cm)

材料强度按照无损检测报告强度取值,边界条件按照原设计假定的拱片在弦杆、竖杆和主、次拱腿处支座均为固结;根据检测报告结论,刚架拱片的横向联系较弱,汽车活载横向分布系数采用杠杆法计算,1# 和 4# 拱片车道荷载横向分布系数为 0.6,2# 和 3# 拱片横向分布系数为 1.2;考虑实际重载交通量情况,按公路 -I 级车道荷载加载;由于拱脚位移和温度对该结构形式的影响较复杂,并且根据检测报告判断结构病害主要是重载引起的,本次计算暂不考虑拱脚位移和温度。刚架拱的竖向剪力 Q 和竖向弯矩 M 包络图,见图 2 和图 3。

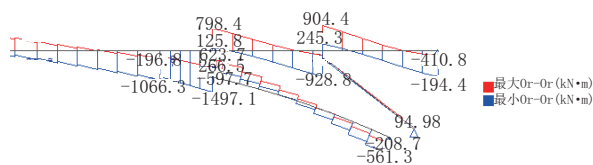


图 2 竖向剪力 Q (单位:kN)

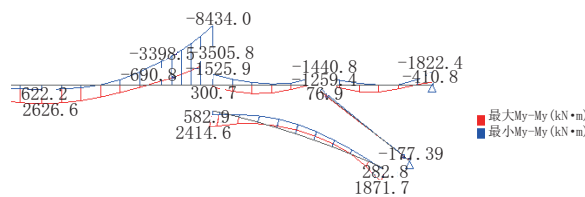


图 3 竖向弯矩 M (单位:kN·m)

刚架拱竖向剪力 Q 和竖向弯矩 M 包络图中,主节点处的弯矩和剪力均较大,受力复杂。根据刚架拱的施工图,进一步按照截面实际配筋进行截面承载力计算,见图 4 和图 5。

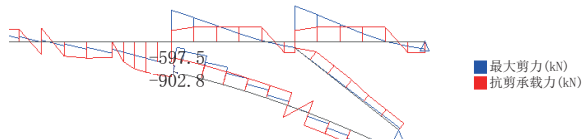


图 4 斜截面强度验算(单位:kN)

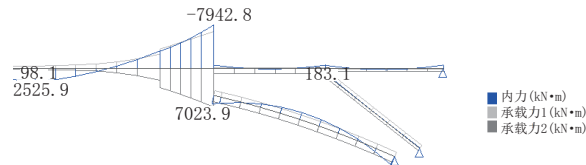


图 5 正截面强度验算(单位:kN·m)

刚架拱主节点处的斜截面和正截面强度验算均超限,主节点处出现贯穿到顶部的弯剪斜裂缝;主拱

腿与主节点相交位置处的底面正截面抗弯强度超限,底面出现受弯裂缝。

2.2 实体单元模型

综合杆系模型分析结果,为进一步分析主节点附近的应力场,采用 Midas Fea 建立江龙大桥 80 m 跨单个刚架拱片实体单元模型,网格划分采用结构网格和自由网格混合方式。约束条件:拱脚处均采用固结。2 个加载工况:自重荷载+二期恒载;车道荷载。

各个荷载工况下实腹段处的最大主拉应力云图,见图 6、图 7。

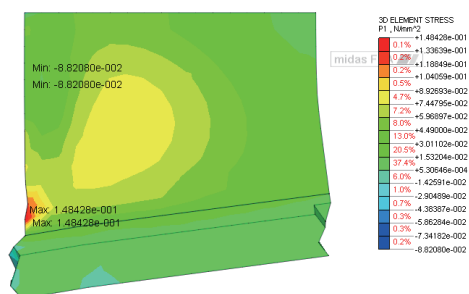


图 6 工况 1:P1 主拉应力云图(单位:MPa)

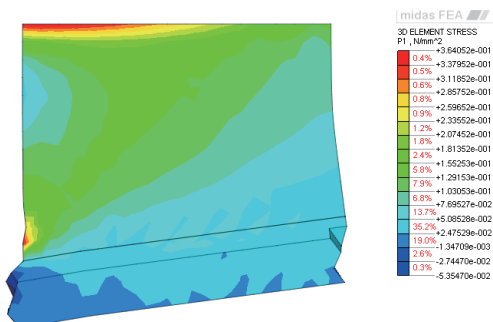


图 7 工况 2:P1 主拉应力云图(单位:MPa)

各个荷载工况下主节点倒角附近的最大主拉应力云图,见图 8、图 9。

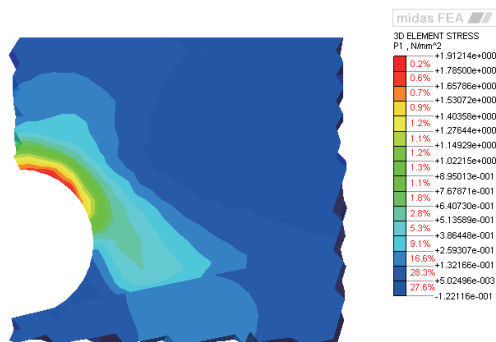


图 8 工况 1:P1 主拉应力云图(单位:MPa)

各个荷载工况下工况下主拱腿与主节点相交处的最大主拉应力云图,见图 10、图 11。

根据应力云图结果分析,实腹段根部节段处在自重、车道和二恒荷载作用下,45°斜截面上的拉应

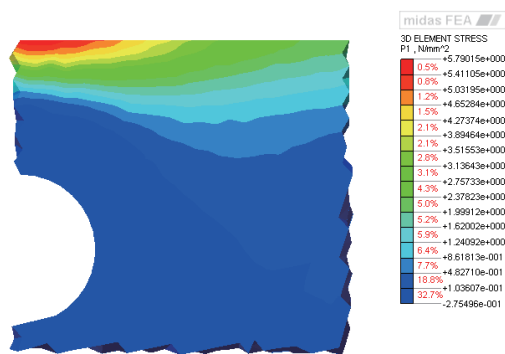


图 9 工况 2:P1 主拉应力云图(单位:MPa)

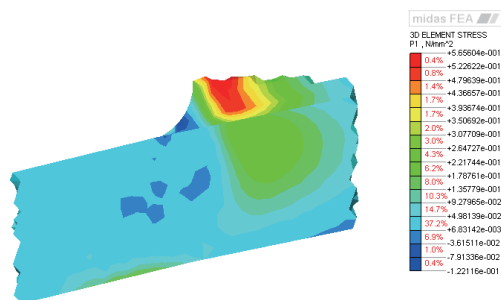


图 10 工况 1:P1 主拉应力云图(单位:MPa)

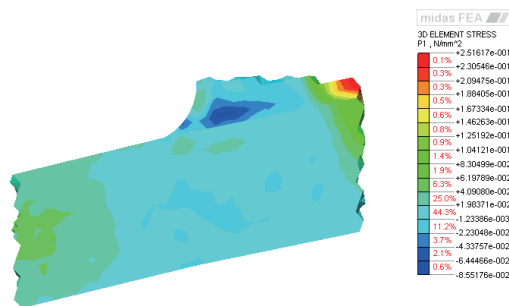


图 11 工况 2:P1 主拉应力云图(单位:MPa)

力较大;主节点圆角附近的截面变化复杂,拉应力较大,存在应力集中情况;在自重荷载下,主拱腿与主节点相交处底部存在拉应力。

实体单元分析结果验证了刚架拱实腹段靠近主节点处较大的弯矩和剪力导致了弯剪斜裂缝,以及主节点圆角截面突变使得局部应力超限出现开裂。

3 结 语

本文通过杆系单元的整体分析和实体单元的局部分析,根据计算结果和病害检测综合研究,主要结论如下:

- (1)在自重、车道和二恒荷载作用下 45° 斜截面上的拉应力较大,导致实腹段处的弯剪斜裂缝。
- (2)主节点圆角附近的截面变化复杂而应力集中,引起主节点的斜裂缝和局部压碎。
- (3)主拱腿与主节点相交处底面存在的裂缝主要是结构自重引起的拉应力超限引起的。

(下转第 118 页)

与实际模型更为贴合,所以本模型能够基本反应实际情况,由于本工程还未实施,但是通过数学模型模拟,得出方案设计图纸中折板间距合理,能够起到预期的消能作用。

(5)无论哪种流态,折板式竖井消能效果均较好。折板间隔对折板式竖井的消能效果影响较小。对于往复跌水流,折板间能量的消耗主要靠水垫层消能和紊动消能;对于S型贴壁流,水流主要依靠水舌与边壁及折板撞击消能和紊动消能。

文中数值计算得到在水舌与竖井边壁撞击点的下部和折板射流下边缘可能会出现负压,这对竖井安全不利,在之后需要进一步研究分析;本次研究的竖井条件特殊,有着专门用于通气的通道,以此能保证良好通气的假设条件,但在实际工程中,通气与很多因素有关,对竖井也会有一定的影响,故需要在往后的研究中考考虑通气问题。

参考文献:

- [1] ODGAARD A J, LYONS T C, CRAIG A J. Baffle Drop Structure Design Relationships[J]. Journal of Hydraulic Engineering Asce, 2013, 139(9): 995-1002.
- [2] 鲁朝阳, 车伍, 唐磊, 等. 隧道在城市洪涝及合流制溢流控制中的应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(24): 35-40.
- [3] 王斌, 邓家泉, 何贞俊, 等. 折板跌落式竖井设计约束条件研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2015, 13(5): 363-367.
- [4] 王志刚, 张东, 张宏伟, 等. 折板消能竖井中的折板功能分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2015, 13(4): 270-276.
- [5] MARGEVICIUS A, SCHREIBER A, SWITALSKI R, et al. A Baffling Solution to a Complex Problem Involving Sewage Drop Structures[J]. Proceedings of the Water Environment Federation, 2010, 2010(6): 1-9.
- [6] STIRRUP M, MARGEVICIUS T, HRKAC T, et al. A Baffling Solution to Sewage Conveyance In York Region, Ontario[J]. Proceedings of the Water Environment Federation, 2012, 15(1): 29-37.
- [7] 李璐, 梁舒豪, 杨墨, 等. 用于深隧工程的折板式竖井湿室部分数值模拟研究[J]. 中国给水排水, 2019, 489(13): 137-142.

~~~~~  
(上接第 110 页)

#### 参考文献:

- [1] 娄有原. 刚架拱桥的发展与推广[J]. 公路交通科技, 1989, 6(4): 33-38.
- [2] 刘洪瑞, 周俊峰. 超载作用下刚架拱桥的病害分析与防治[J]. 广东工业大学学报, 2003(2): 46-49.
- [3] 陈宇新, 王玉泉, 徐天予, 等. 浅析钢筋混凝土刚架拱桥病害分析及加固设计[J]. 东北公路, 2003(3): 90-93.
- [4] 刘云川, 刘建民, 王志辉. 刚架拱桥病害特点与防治对策[J]. 山东交

通学院学报, 2006, 14(2): 26-28.

- [5] 钟军. 刚架拱桥的检测和试验[J]. 山东交通科技, 2008(2): 16-17.
- [6] 史强, 宋运来. 刚架拱桥病害分析及设计施工改进措施[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2008(6): 141-146.
- [7] 李漪. 刚架拱桥裂缝成因分析[J]. 山西建筑, 2009, 35(17): 288-289.
- [8] 闵凡华. 刚架拱加固施工中拱顶受力分析[J]. 北方交通, 2010(10): 46-48.
- [9] 黄育江. 刚架拱桥拱架片的加固[J]. 公路与汽运, 2006(5): 94-96.