

危旧双曲拱桥技术状况及承载能力评定方法研究

林杰, 王晨*

(湖北省高速公路实业开发有限公司, 湖北 武汉 430051)

摘要: 自1964年双曲拱桥在我国首创并建成以来, 因其结构新颖、外形美观等优点, 得到广泛应用。但由于该类桥梁结构的缺陷性, 在运营一段时间后易出现不同程度的损伤, 故急需对其实际承载力进行评定, 确保营运安全。本文系统地阐述了对某双曲拱桥的外观检查、特殊检查、及内力计算过程, 在依托各种先进检测手段和有限元分析软件的基础上, 研究双曲拱桥技术状况及承载能力评定方法。

关键词: 双曲拱桥; 技术状况评定; 承载力能力评定; 有限元

中图分类号: U448.22

文献标识码: A

文章编号: 2095-414X(2014)06-0090-05

自上世纪60年代以来, 双曲拱桥在我国公路桥梁行业得到广泛的推广及应用, 但随着交通事业的迅猛发展, 该类桥梁因原设计荷载标准低大多不能满足现有车辆的通行要求^[1]。并且, 由于双曲拱桥自身结构的缺陷性, 导致拱圈整体性较差, 诸多病害随着桥梁使用年限的增加逐渐恶化, 给桥梁结构的耐久性及使用安全带来极大的隐患。

本文以某双曲拱桥为研究背景, 依据相关规范对该桥进行外观检查及特殊检查的基础上, 采用有限元理论进行空间仿真计算和分析, 研究危旧双曲拱桥技术状况与承载能力的评定方法, 为同类工程提供借鉴与参考。

1 危旧双曲拱桥技术状况评定及承载能力评定思路

1.1 危旧双曲拱桥技术状况评定思路

通过对桥梁桥面系、上部结构、下部结构的外观检查, 描述桥梁各部件的缺陷, 采用先分部再综合的办法, 依次计算构件、部件、上部结构(下部结构、桥面系)的技术状况得分, 最后根据桥面系、上部结构、下部结构的技术状况对全桥进行技术状况评定^[2]。

1.2 危旧双曲拱桥承载能力评定思路

若桥梁的技术状况评定等级为4、5类, 则应进行特殊检查, 对其实际承载能力进行评定^[3]。

依据《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J11-2011), 对于钢筋混凝土结构, 需通过测定桥梁承载力能力检算系数 Z_1 、承载能力恶化系数 ξ_e 、配筋混凝土结构得截面折减系数 ξ_c 、钢筋的截面折减系数 ξ_s 等参数对结构的抗力值进行修正。评定双曲拱桥的承载能力的步骤如下:

首先对桥梁材质状况与状态参数进行检测评定, 以获取上述各项参数, 具体包括拱轴线测量、混凝土强度测试、钢筋保护层厚度测试、钢筋锈蚀电位测试, 其中, 对于钢筋锈蚀电位的评定标度值为3、4、5的主要构件或主要受力部位还应进行混凝土氯离子含量测试、混凝土电阻率测试、以及混凝土碳化状况检测。

其次, 对双曲拱桥进行内力分析, 双曲拱桥为超静定空间结构, 受力形式复杂, 当荷载作用于桥面系时, 通过拱顶填料将荷载传给腹拱与拱波, 腹拱与拱波再将荷载传递给拱肋, 最后传递至桥墩和桥台。为准确模拟上述受力过程, 运用有限元软件建立空间梁格模型, 采用弹性理论, 对双曲拱桥进行受力分析。

最后, 根据上述检测结果与内力分析结果对桥梁进行承载能力评定。

2 工程实例分析

某双曲拱桥桥长约102m, 宽9m, 上部结构为3跨30m钢筋混凝土双曲拱桥, 下部结构为重力式墩台, 扩大基础。该桥修建于1974年, 并于2010年底进行了局部加固, 由于图纸遗失, 设计通行荷载等级不详,

*通讯作者: 王晨(1989-), 男, 硕士, 研究方向: 桥梁检测及加固设计。

目前实际按公路-II 级通行。桥梁正、立面图如下图 1、2 所示。



图 1 正面图



图 2 立面图

2.1 桥梁技术状况评定

2.1.1 外观检查结果

经现场详细外观检测, 全桥主要病害为: 桥面铺装部分伸缩缝钢梁断裂, 锚固区砼大面积破损; 拱肋被喷射混凝土包裹, 多处出现径向裂缝和拱脚开裂渗水, 拱波顶部纵桥向裂缝和局部横缝较为密集, 腹拱圈拱脚与立柱结合处水泥砂浆脱落现象普遍, 且大部分腹拱圈顶部横桥向开裂, 部分立柱及立柱间系梁也存在开裂现象; 桥台侧墙局部出现水平、斜向开裂病害。典型图片如图 3~图 8 所示。



图 3 伸缩缝钢梁断裂、锚固区砼破损



图 4 拱肋多处径向裂缝伴渗水钙化



图 5 拱波顶部纵缝伴渗水钙化



图 6 腹拱圈拱顶横桥向贯穿纵缝



图 7 侧墙水平开裂



图 8 侧墙斜向开裂

2.1.2 桥梁技术状况评定结果

依据《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21-2011),对该桥进行桥梁技术状况等级评定,结果如下:上部结构评分为 51.1 分,评定为 4 类,下部结构评分为 88.0 分,评定为 2 类,桥面系评分为 54.7 分,评定为 4 类,综合以上评定结果,全桥技术状况得分 66.5 分,根据主要部件最差的缺损状况评定原则,桥梁主拱圈评定达到 4 类,故该桥评定为 4 类桥。

2.2 桥梁承载能力评定

钢筋混凝土桥梁承载能力极限状态,应根据桥梁检测结果式(1)进行计算:

$$\gamma_0 S \leq R(f_d, \xi_c, a_{dc}, \xi_s, a_{ds}) Z_1 (1 - \xi_c) \tag{1}$$

式中: γ_0 —结构的重要性系数; S —荷载效应函数; $R(\cdot)$ —抗力效应函数; f_d —材料强度设计值; a_{dc} —构件混凝土几何参数值; a_{ds} —构件钢筋几何参数值; Z_1 —承载力能力检算系数; ξ_c —承载能力恶化系数; ξ_c —钢筋混凝土结构得截面折减系数; ξ_s —钢筋的截面折减系数。

2.2.1 参数的确定

通过对该双曲拱桥进行特殊检查,评定各项检测内容的标度,从而确定承载能力检算系数、恶化系数等参数。

根据现场检测情况:桥梁材质强度状况处于较好状态,评定标度为 2;钢筋有锈蚀活动性,且发生概率大于 90%,钢筋锈蚀电位评定标度为 3;混凝土碳化诱发钢筋锈蚀的可能性很小,评定标度为 1^[4];钢筋保护层厚度对结构钢筋的耐久性影响不显著,评定标度为 1;个别拱肋钢筋锈蚀的速度较快,按照测区电阻率最小值评定混凝土电阻率标度原则,其评定标度为 4;混凝土中氯离子诱发钢筋锈蚀的可能性很小,按照测区最高氯离子含量值评定混凝土氯离子标度原则,其评定标度为 1;根据实测自振频率与理论自振频率的比值,桥梁上部结构自振频率标度为 3。

依据《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J11-2011)相关规定,可知:

主拱圈承载能力检算系数评定标度 $D=4*0.4+2*0.3+3*0.3=3.1$,采用线性内插法,求出该桥承载能力检算 Z_1 为 0.99。

主拱圈结构恶化状况评定标度: $E=4*0.32+3*0.11+4*0.05+1*0.20+1*0.12+1*0.15+2*0.05=2.46$,根据桥梁实际环境情况,取桥梁结构的承载能力恶化系数 ξ_c 为 0.08。

根据现场检测,本桥主拱圈截面材料风化程度为中度风化,评定标度 $R=3$;混凝土碳化深度评定标度为 1;构件表面剥落面积在 5%~10%以内,材料物理与化学损伤评定标度 $R=3$,所以主拱圈截面损伤的综合评定标度 $R=3*0.1+1*0.35+3*0.55=2.3$,取截面折减系数 ξ_c 为 0.97。

结合检测情况,混凝土表面沿钢筋方向出现裂缝,宽度小于限值,故取钢筋的截面折减系数 ξ_s 为 0.98。

结构的重要性系数 γ_0 取 1。

2.2.2 有限元模型建立

由于本桥修建年代久远,设计资料缺失,为精确模拟桥梁的真实状态,采用全站仪、反光片、钢尺等测量工具,对第一跨主拱圈线型进行测量,将所测主拱圈线形导入至有限元模型中。

本文采用 MIDAS CIVIL 2011 建立有限元模型计算结构的自振频率,在考虑自重、汽车活载、人群荷载、体系升降温差 15℃ 等荷载作用下,利用桥梁博士 3.1 建立有限元模型进行内力分析。

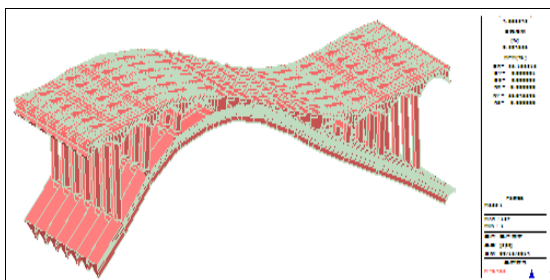


图9 midas civil 有限元模型

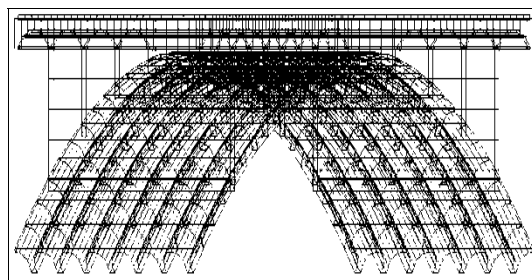


图10 桥梁博士有限元模型

2.2.3 承载能力极限和正常使用极限状态验算

由于缺少详细的施工资料,计算恒载内力时,未就主拱形成过程进行模拟,只计算成桥状态永久荷载的作用,汽车荷载按公路-II级、人群荷载按 3.5kN/m,温度荷载按体系升降温差 15℃进行计算。

对该桥的拱脚、L/4 和拱顶截面在恒载和活载作用下进行内力验算,由模型计算得出的结构抗力值,采用第 2.2.1 节所得出的参数进行修正。通过比较,发现在承载能力极限状态组合 I 作用下,L/4 处、拱脚各截面组合效应值大于对应抗力值 $R(f_d, \xi_c, a_{dc}, \xi_s a_{ds})Z_1(1-\xi_c)$,表明该桥承载能力不满足公路-II级荷载下的最不利荷载组合要求。具体数值详见表 1。

表 1 主拱圈正截面强度验算表

控制截面	荷载组合	荷载组合内力		偏心距	截面抗力设计值	折减后截面抗力	验算是否通过
		M_j (kN·m)	N_j (kN)	e_s	R_d (kN)	$R_d Z_1$ (kN)	
拱顶	最大轴力	-44.4	13435.1	-0.0033	15001.8	13651.6	是
	最大弯矩	686.0	-439.6	-1.5605	-14453.1	-13152.3	是
	最小弯矩	-219.4	13177.3	-0.0166	14592.1	13278.8	是
L/4 截面 组合 I	最大轴力	-359.2	13357.8	-0.0269	14812.4	13479.3	是
	最大弯矩	1026.0	7811.0	0.1314	14241.7	12959.9	是
	最小弯矩	-468.2	13146.9	-0.0356	14206.5	12927.9	否
拱脚	最大轴力	578.5	15137.7	0.0382	16742.1	15235.3	是
	最大弯矩	-3097.4	12104.5	-0.2559	12562.3	11431.7	否
	最小弯矩	138.7	14519.4	0.0096	16961.7	15435.1	是
拱顶	最大轴力	-36.86	10593.1	-0.0035	15001.8	13651.6	是
	最大弯矩	498.49	-511.39	-0.9748	-14453.1	-13152.3	是
	最小弯矩	-108.44	10484	-0.0103	14592.1	13278.8	是
L/4 截面 短期效应组合	最大轴力	-236.04	10405.8	-0.0227	14812.4	13479.3	是
	最大弯矩	618.85	5865.8	0.1055	14241.7	12959.9	是
	最小弯矩	-286.44	10307.2	-0.0278	14206.5	12927.9	是
拱脚	最大轴力	573.3	11716	0.0489	16742.1	15235.3	是
	最大弯矩	-2421.7	9228.9	-0.2624	12562.3	11431.7	是
	最小弯矩	385.2	11438.2	0.0337	16961.7	15435.1	是

3 结论

本文采用理论计算与外观检查、特殊检查相结合的方法,对危旧双曲拱桥的技术状况及承载能力的评定方法进行了研究,现得到如下结论:

(1) 基于外观病害检测结果,依据《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21-2011)中的“桥梁主要部件最差的缺损状况评定原则”对桥梁进行技术状况评定。

(2) 根据实测资料拟算拱轴线,用此拱轴线进行拱桥内力分析,其结果符合该桥的实际情况,表明该方法确定拱轴线可行^[5]。

(3) 依托各种先进的检测手段,研究其对影响桥梁承载能力评定的各项技术参数的测试方法和评定方法。

(4) 借助于 Midas Civil 与桥梁博士有限元软件, 建立拱桥的空间模型进行模态分析和内力验算, 理论分析结果与现场检测评定结果基本一致, 说明特殊检查结果与有限元模型的合理性和准确性, 表明该方法评估桥梁承载能力是可靠的^[6]。

参考文献:

- [1] 李金枝. 既有双曲拱桥承载能力空间分析与评估[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013. 1.
- [2] JTG/T H21-2011. 公路桥梁技术状况评定标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [3] JTG/T J21-2011. 公路桥梁承载能力评定规程[S]. 北京: 交通运输部办公厅, 2011.
- [4] CECS 02: 2005. 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2005.
- [5] 旧双曲拱桥承载能力评定的研究[J]. 湖南交通科技, 2012, (38): 1.
- [6] 龚德智. 双曲拱桥的极限承载力分析[D]. 西安: 长安大学, 2005. 48.

Study on the Evaluation Method about Technical Condition and Bearing Capacity of the Old Double-curved Arch Bridge

LIN Jie, WANG Chen

(Hubei expressway business development Co.,Ltd.,Wuhan Hubei 430051,China)

Abstract: Double-curved arch bridge was firstly built since 1964 ,it had been widely used because of its novel structure and beautiful shape. However, as the defect of this type of bridge structure, it is easy to appear different degree of damage after using a period of time, so it is urgent to evaluate its actual bearing capacity, ensuring the operation safely. This paper systematically describes the visual inspection、special inspection and the internal force calculation process of a double-curved arch bridge, based on the advancing detection means and the finite element analysis software, studying on the evaluation method about technical condition and bearing capacity of double-curved arch bridge.

Key words: Double-curved Arch Bridge; Technical Condition Evaluation; Bearing Capacity Evaluation; The Finite Element