

地震作用下中小跨径空腹式拱桥腹拱病害 评价方法改进

陶庆东^{1,2}, 肖伦斌¹

(1. 绵阳职业技术学院建筑工程系, 四川 绵阳 621000; 2. 重庆交通大学土木建筑学院, 重庆 400074)

摘要:现有的公路桥梁技术状况评定标准对空腹式拱桥的病害评价不够具体,对腹拱、立柱出现的病害未进行评价,提高了空腹式拱桥的总体技术状况评定分数及技术状况等级,导致在桥梁维修加固时忽略对腹拱病害进行处理,达不到对桥梁维修加固的预期。为得到更为合理的总体技术状况评定分数及确定技术状况等级,从地震荷载(横向与纵向)方面对比腹拱与主拱的应力计算结果及其比值,得到拱桥腹拱、立柱病害应扣除的更为合理的分数,为空腹式拱桥维修加固提供理论指导。

关键词:空腹式拱桥;腹拱;检测病害;拱圈

中图分类号:U448.25

文献标志码:A

引言

空腹式拱桥是一种外形美观的桥梁形式,其具有施工时不需要大型的吊装设备、跨径可以根据跨越的沟渠、中小河流进行调整的特点。经过多年使用,并随着交通的迅猛发展,超重车的增加,这些拱桥损坏严重,需要对其病害进行检测,以制定合理的维修加固方案。通过对重庆市大量的拱桥病害检测发现,中小跨径空腹式拱桥主拱圈、腹拱和腹拱立柱等出现风化、渗水和泛碱的病害较为常见,主要是由于早期拱桥未设排水系统及设置的排水系统损坏所致,这些病害在很大程度上影响了空腹式拱桥的耐久性、使用寿命及结构受力性能等。但现有的《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGT H21 - 2011)^[1]并未对空腹式拱桥腹拱、腹拱立柱出现的病害进行评价,从而在一定程度上提高了空腹式拱桥的总体技术状况评定分数,提高了空腹式拱桥的技术状况等级,导致在桥梁维修加固时忽略对腹拱的病害进行处理,达不到对桥梁维修加固的预期。

国内有关桥梁病害检测与加固的研究较多^[2-7],其

中,陈宝春等^[8]根据桥梁技术状况评定的相关规范,对比分析了公路与城市桥梁在评定过程中的相同点与不同点,得出公路与城市桥梁可以在以后的评定中更多的修改不同部位的权重值。冯德飞等^[9]对箱型拱桥病害进行了分析,并提出拱桥的加固设计方案。

但以上研究都未涉及探讨空腹式拱桥腹拱圈的病害评定方法是否准确。

以重庆某空腹式板拱桥为工程实例,从地震荷载等方面研究腹拱对空腹式拱桥的贡献,并将腹拱所受的应力与主拱进行比较,提出腹拱在拱桥病害检测中应该扣除的分值,得到更为合理的空腹式拱桥的总体技术状况评定分数^[10-11],进而确定技术状况等级,为空腹式拱桥维修加固提供理论指导。

1 现行公路桥梁技术状况评定标准

现行的公路桥梁技术状况评定采用的是分层综合评定与桥梁单项控制指标相结合的方法,即先对桥梁各构件进行评定,然后对桥梁各部分进行评定,再对桥面系、上部结构和下部结构分别进行评定,最后进行桥梁

收稿日期:2015-07-17

基金项目:四川省教育厅项目(15ZB0409)

作者简介:陶庆东(1987-),男,辽宁锦州人,助教,博士生,主要从事道路与桥梁抗震减灾方面的研究,(E-mail)290242665@qq.com

总体技术状况的评定。不同层次的评定主要是依据结构状况、功能状况、结构重要性和安全性(包括承载能力)4个方面。

对于中小跨径的空腹式拱桥而言,结构状况和功能状况都是相对于拱桥的整体所做的评价,结构重要性和安全性即可相对于整体进行评价,也可以相对于分部件进行评估。取结构重要性和安全性对空腹式拱桥腹拱进行评价,认为空腹式拱桥腹拱与主拱圈一样重要,在运营期腹拱与主拱圈的破坏均会造成运营中断,而对于结构构件主拱圈渗水、泛白等病害,扣除的分数为 20 分,而腹拱的渗水、泛白等病害并不扣除分数,相对不合理;对于安全性(包括承载能力),认为通过腹拱与主拱圈应力比例水平进行评估相对合理,以便要求病害检测人员提高对腹拱病害的重视。因而仅取应力水平对比指标对腹拱病害评价方法进行改进。

2 工程实例

2.1 工程概况

土桥,位于重庆市省道 S104 南川区,建于 1995 年,是一座单跨空腹式石板拱桥。桥梁全长 52 m,净跨 40 m,桥宽 13.7 m,车行道宽 11.7 m,拱圈跨径 40 m。本桥上部结构由拱圈、拱上结构和钢筋混凝土梁板组成,拱圈和拱上侧墙均由砌体(条石)浆砌而成,净跨 40 m。下部结构由桥台、基础组成;桥墩台由砌体(条石)浆砌而成,桥台为重力式 U 形桥台,墩台基础均为扩大基础,未设置墩台防护设施、锥坡、翼墙及调治构造物,图 1 为土桥的南立面图。

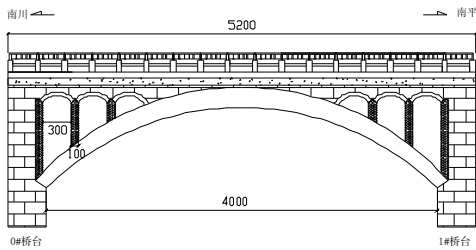


图 1 土桥南立面图

2.2 模型概况

运用 ABAQUS(6.12) 软件对拱桥进行有限元模拟,空腹式拱桥的结构特性按照钢筋混凝土材料取值,拱桥的密度取 2400 kg/m^3 ,弹性模量 E 为 29.5 GPa , ν 为 0.2 ,考虑 X 向(纵向)、 Z 向(横向)地震作用各工况下腹拱、主拱所受的应力及其比值,探讨腹拱在拱桥病害检测中应该扣除的分值。空腹式拱桥有限元模型如图 2 所示。

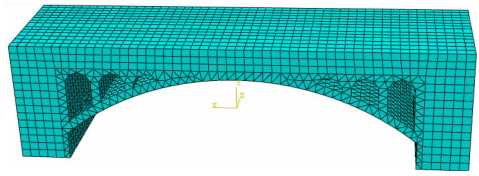


图 2 空腹式拱桥有限元模型

2.3 分析过程荷载的施加

有限元模型的分析计算主要通过不同方向地震波作用下空腹式拱桥的状态模拟完成,根据《公路桥梁荷载规范》分别考虑纵向、横向以及纵向、横向地震共同作用下的腹拱及主拱的响应。图 3 为空腹式拱桥结构响应重点分析断面图。

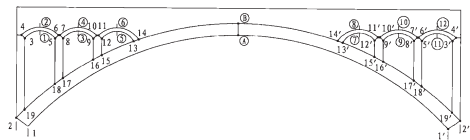


图 3 结构响应重点分析断面图

3 地震作用响应分析

采用时程分析方法^[12]对空腹式拱桥各典型部位进行研究,大多数情况下,采取的地震波对结果影响较大,采用比较有代表性的人工合成的天津地震波,整个地震波的历时时程为 19.2 s,最大的加速度为横向 1.03 m/s^2 ,纵向 1.458 m/s^2 ,采用的时间间隔为 0.01 s ,图 4 为所选用的地震波加速度波动图。

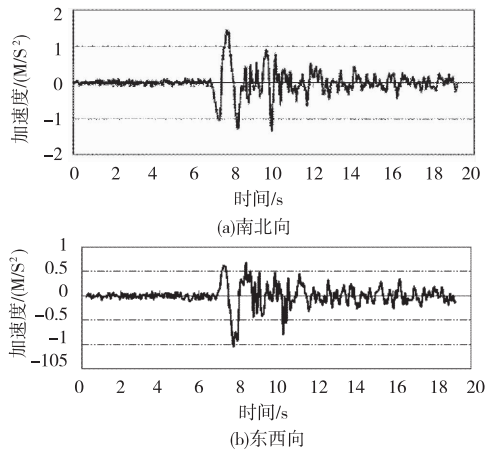


图 4 地震加速度波动图

3.1 横向地震作用下的响应分析

运用 ABAQUS 软件对空腹式拱桥进行横向地震作用下的响应研究,横向地震作用下空腹式拱桥各典型部位的曲线图如图 5 所示。表 1 为空腹式拱桥各典型部位的最大值结果计算表。

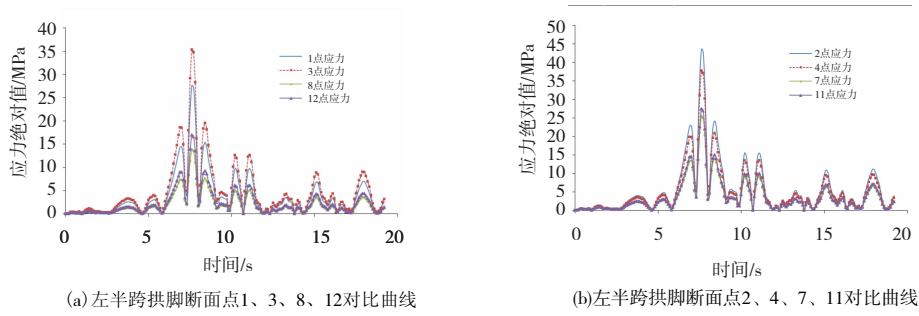


图 5 横向地震作用下各典型部位曲线图

表 1 横向地震作用下各典型部位的最大值结果计算表

| 主拱圈 | | 腹拱拱圈 | | | | |
|------|--------|-------|--------|-------------|---------|--------------|
| 断面位置 | 应力/MPa | 断面位置 | 应力/MPa | 断面位置 | 应力/MPa | |
| 拱脚 | 1 | 20.76 | 3/4 | 35.36/37.69 | 3'/4' | 37.24/41.08 |
| | 2 | 43.58 | 8/7 | 13.79/25.41 | 8'/7' | 13.28/23.65 |
| | 1' | 26.85 | 12/11 | 16.93/27.42 | 12'/11' | 13.63/21.17 |
| | 2' | 43.65 | 总和 | 66.08/90.52 | 总和 | 64.15/85.82 |
| 拱顶 | A | 75.83 | 1/7 | 83.83/82.3 | 2/8 | 71.25/67.49 |
| | | | 3/9 | 70.04/73.09 | 4/10 | 64.3/63.28 |
| | B | 69.11 | 5/11 | 63.05/62.55 | 6/12 | 63/63.17 |
| | | | 总和 | 216.9/217.9 | 总和 | 198.55/193.9 |

由图 5 和表 1 可以清晰的得出,在横向地震作用下,仅考虑拱脚的应力时,腹拱的左拱脚断面 3、8 和 12 与左主拱断面 1 的应力比分别为 0.535、0.664 和 0.816;腹拱的左拱脚断面 4、7 和 11 与左主拱断面 2 的应力比分别为 0.865、0.583 和 0.629;腹拱的右拱脚断面 3'、8'和 12'与右主拱断面 1'的应力比分别为 1.387、0.494 和 0.51;腹拱的右拱脚断面 4'、7'和 11'与右主拱断面 2'的应力比为 0.94、0.542 和 0.485,可以得出,仅考虑拱脚的应力时,空腹式拱桥的腹拱应力与主拱脚应力比值为 0.494 ~ 1.0,因此,对于腹拱出现的渗水、风化等病害建议扣除 10 ~ 20 分;仅考虑拱顶的应力时,腹拱的拱顶断面 7、9 和 11 与主拱圈拱顶断面 A 的应力比分别为 1.09、0.964 和 0.825;腹拱的拱顶断面 8、10 和 12 与主拱圈拱顶断面 B 的应力比分别为 0.977、0.916 和

0.914;腹拱的拱顶断面 1、3 和 5 与主拱圈拱顶断面 13 的应力比分别为 1.94、1.185 和 1.59;腹拱的拱顶断面 2、4 和 6 与主拱圈拱顶断面 14 的应力比分别为 2.23、1.209 和 1.37,由此可以得出,仅考虑拱顶的应力时,空腹式拱桥的腹拱应力已与主拱脚的应力在一个量级上,不可忽略,比值取 1.11 ~ 1.99,考虑到腹拱的重要性不如主拱,比值取 1.0。因此,对于腹拱出现的渗水、风化等病害建议扣除 20 分。

3.2 纵向地震作用下的响应分析

运用 ABAQUS 软件对空腹式拱桥进行纵向地震作用下的响应研究,纵向地震作用下空腹式拱桥各典型部位的曲线图如图 6 所示,表 2 为空腹式拱桥各典型部位的最大值结果计算表。

表 2 纵向地震作用下各典型部位的最大值结果表

| 主拱圈 | | 腹拱拱圈 | | | | |
|------|--------|-------|--------|-------------|---------|-------------|
| 断面位置 | 应力/MPa | 断面位置 | 应力/MPa | 断面位置 | 应力/MPa | |
| 拱脚 | 1 | 0.761 | 3/4 | 0.227/0.184 | 3'/4' | 0.235/0.192 |
| | 2 | 0.558 | 8/7 | 0.256/0.208 | 8'/7' | 0.284/0.199 |
| | 1' | 0.827 | 12/11 | 0.21/0.245 | 12'/11' | 0.216/0.182 |
| | 2' | 0.554 | 总和 | 0.693/0.637 | 总和 | 0.735/0.573 |
| 拱顶 | A | 0.35 | ① | 0.411 | ② | 0.276 |
| | | | ③ | 0.546 | ④ | 0.373 |
| | B | 0.329 | ⑤ | 0.523 | ⑥ | 0.298 |
| | | | 总和 | 1.48 | 总和 | 0.947 |

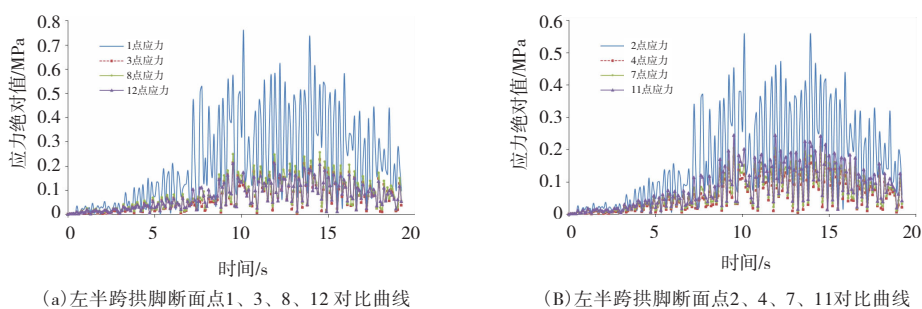


图6 纵向地震作用下各典型部位曲线图

由图6和表2可以清晰的得出,在纵向地震作用下,仅考虑拱脚的应力时,腹拱的左拱脚断面3、8和12与左主拱断面1的应力比分别为0.298、0.459和0.276;腹拱的左拱脚断面4、7和11与左主拱断面2的应力比分别为0.33、0.373和0.44;腹拱的右拱脚断面3'、8'和12'与右主拱断面1'的应力比分别为0.411、0.471和0.472;腹拱的右拱脚断面4'、7'和11'与右主拱断面2'的应力比分别为0.507、0.555和0.675,由此可以得出,仅考虑拱脚的应力时,空腹式拱桥的腹拱应力与主拱脚的应力比值取0.411~0.675,对于腹拱出现的渗水、风化等病害建议扣除10~15分;仅考虑拱顶的应力时,腹拱的拱顶断面7、9和11与主拱圈拱顶断面A的应力比分别为2.06、1.11和1.44;腹拱的拱顶断面8、10和12与主拱圈拱顶断面B的应力比分别为1.99、1.235和1.35;腹拱的拱顶断面1、3和5与主拱圈拱顶断面A的应力比分别为1.17、1.56和1.49;腹拱的拱顶断面2、4和6与主拱圈拱顶断面B的应力比分别为0.84、1.13和0.91,由此可以得出,仅考虑拱顶的应力时,比值取0.84~1.0。因此,对于腹拱出现的渗水、风化等病害建议扣除15~20分。

3.3 腹拱渗水、风化病害扣分判定标准

根据各工况的计算结果,建议对空腹式拱桥腹拱渗水、风化病害进行扣分,具体的建议扣分标准^[13]见表3。

表3 腹拱渗水、风化病害扣分判定标准

| 应力状态 | 仅考虑拱脚典型部位 | 仅考虑拱顶典型部位 | 应力状态总体评价(上限值) | 综合评价 |
|--------|-----------|-----------|---------------|------|
| 横向地震作用 | 10~20 | 20 | 20 | 20 |
| 纵向地震作用 | 10~15 | 15~20 | 15~20 | |

3.4 算例

2013年土桥的下部结构、桥面系的技术状况评定分数为88.39和62.4;未考虑腹拱病害扣除的分数时,上部结构的技术状况评定分数为75.58,其中主拱圈分数为68.69,腹拱、立柱等拱上结构分数100,占上部结构比

重分别为78%和22%,根据文献[2]桥梁总体的技术状况评分为78.07;考虑腹拱病害扣除的分数时,考虑腹拱出现渗水、风化两项病害,并参照主拱圈病害类型总标度,得到腹拱、立柱等拱上结构分数为68.69,所以,桥梁总体的技术状况评分为75.31。桥梁技术状况等级仍为3类,但对于某些情况下桥梁可能会因为分数的较小差别而出现不同的技术状况等级,因此探讨空腹式拱桥腹拱的精确扣分标准仍然很关键。

4 结论及建议

通过研究空腹式拱桥在地震作用各工况下腹拱、主拱所受的应力及其比值,探讨得出空腹式拱桥腹拱出现的渗水、风化等病害应扣除一定的分值,否则会造成对拱桥的病害评估不足,影响空腹式拱桥维修加固质量,使空腹式拱桥维修加固后达不到预期的使用效果,得到的结论如下:

(1)对于横向地震作用下,仅考虑拱脚典型部位,腹拱病害建议扣除10~20分;仅考虑拱顶典型部位,腹拱病害建议扣除20分,总体评价时采用扣分上限,扣除20分。

(2)对于纵向地震作用下,仅考虑拱脚典型部位,腹拱病害建议扣除10~15分;仅考虑拱顶典型部位,腹拱病害建议扣除15~20分,总体评价时采用扣分上限,扣除15~20分。

(3)根据各工况时,拱脚、拱顶以及同时考虑拱脚、拱顶状况下,腹拱、主拱的应力、位移及其比值,总体建议,空腹式拱桥腹拱渗水、风化病害应扣分20分。

参考文献:

- [1] JTGT H21-2011,公路桥梁技术状况评定标准[S].
- [2] 李进洲,余志武,宋力,等.长益高速公路桥梁病害调查及加固措施[J].世界桥梁,2010(4):75-78.
- [3] 李治学,白先梅.某双曲拱桥病害检测及承载力评估[J].公路,2011(3):42-45.

- [4] 孔丽丽,刘山洪.空腹式块石拱桥的加固方法及效果评价[J].山东交通学院学报,2011,19(2):41-45.
- [5] 管品武,唐国斌,禹雷,等.双曲拱桥病害原因分析与加固技术研究[J].施工技术,2007,36(8):46-47.
- [6] 李涛.中、小跨径公路既有桥梁下部结构评估体系及方法的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.
- [7] 付文胜,田洪松,孙仲,等.基于钢管混凝土拱桥检测结果的主拱肋病害评估[J].桥梁建设,2013,43(1):47-51.
- [8] 陈宝春,余印根.公路与城市桥梁技术状况评估方法对比分析[J].中国公路学报,2013,26(3):94-100,109.
- [9] 冯德飞,陈军.箱型拱桥病害分析及加固设计研究[J].公路交通科技:应用技术版,2013,11:169-171.
- [10] 吴中文.桥梁病害分析与检测维护[J].科技创新导报,2010(22):32-33.
- [11] JTG D60-2004,公路桥涵设计通用规范[S].
- [12] Chopra A K.著.结构动力学理论及其在工程中的应用[M].谢礼立,吕大刚,译.北京:高等教育出版社,2009.
- [13] 张晓静.桥梁管理系统中的桥梁技术评价数学模型的建立[D].沈阳:东北大学,2009.

Improvement of Evaluation Method for Medium-small Span Hollow Type Arch Bridge Abdomen Arch Disease Under Earthquake Action

TAO Qingdong^{1,2}, XIAO Lunbin¹

(1. Department of Architectural Engineering, Mianyang Vocational and Technical College, Mianyang 621000, China;
2. School of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The existing Standards for Technical Condition Evaluation of Highway Bridges evaluate hollow type arch bridge disease not specifically enough. The disease of abdominal arch and column is not evaluated. In some extent, the general technical condition assessment scores and technical status level of hollow type arch bridge are improved, which resulted in neglecting of ventral arch disease treatment in the bridge maintenance and reinforcement. The expectations for bridge maintenance and reinforcement cannot be reached. In order to get more reasonable general technical condition evaluation scores and determine the technical statuses level, from the seismic load (transverse and longitudinal) aspects the stress calculated results and specific values of abdominal arch and main arch are contrasted, then it is obtained that the arch bridge abdominal arch and column disease should be deducted from the more reasonable fraction, finally the theoretical guidance is provided for the maintenance and reinforcement of open spandrel arch bridge.

Key words: hollow type arch bridge; abdomen arch; detection disease; arch ring