

城市中承式钢管混凝土拱桥技术状况评估方法研究

秦艳辉

(苏交科集团检测认证有限公司, 江苏 南京 211112)

摘要: 城市中承式钢管混凝土拱桥属于I类养护桥梁, 养护规范中根据结构构件损伤评判此类桥梁的结构安全, 桥梁完好状态分为合格级和不合格级。但区分技术状况结果缺少具体的评估标准, 也无部位及构件的评估等级, 不利于管养单位根据评估结果对桥梁结构开展针对性养护。提出了一种分层综合评估方法, 可便捷、定量地开展技术状况评估, 解决了此类桥梁目前在技术状况评估存在的问题, 可指导管养单位制定针对性养护对策, 维持桥梁运营安全。

关键词: 钢管混凝土拱桥; 技术状况; 分层综合评估

中图分类号: U447

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(XXXX)XX-0001-04

Study on Technical Condition Evaluation Method of Urban Half-through Concrete-filled Steel-tube Arch Bridge

QIN Yanhui

(Jiangsu Communications Technology Group Testing and Certification Co., Ltd., Nanjing 211112, China)

Abstract: The urban half-through concrete-filled steel-tube arch bridges belong to Class I maintained bridges. In the maintenance specifications, such bridges are classified into the qualified grade and unqualified grade based on the impact of structural component damage on the safety of bridge structure and the serviceable condition of bridge. But there is no specific evaluation standard for classifying the technical conditions, and no evaluation grade for the positions and components, which is not convenient for the management units to carry out targeted maintenance of the bridge structures according to the evaluation results. A hierarchical comprehensive assessment method is proposed to easily and quantitatively carry out the technical condition assessment, solve the existing problems in the current technical condition assessment of such bridges, and guide the formulation of targeted maintenance countermeasures to maintain the safety of bridges.

Keywords: concrete-filled steel-tube arch bridge; technical condition; hierarchical comprehensive assessment

0 引言

桥梁建成投入使用后持续受到汽车、环境、偶然荷载作用, 随着时间的推移, 会不可避免地出现材料老化和技术状况劣化问题, 影响桥梁运营安全。桥梁作为公共基础设施的重要节点工程, 其运营安全对路网的连接和贯通具有十分重要的意义, 也是服务人民群众安全便捷出行的内在需要。因此, 必须对桥梁适时开展养护工作, 确保桥梁始终处于正常工作和安全运营状态。

技术状况评估是开展桥梁养护决策和保持桥梁正常服役性能的基础, 评估的准确性和细致程度决

定了养护工作开展的全面性、针对性和精细度, 进而影响养护工作的实施效果和桥梁运营状态。故高效、准确的技术状况评估方法是开展桥梁养护工作的核心内容之一。

按管理范畴我国桥梁分为公路桥梁和城市桥梁, 有各自独立的技术状况评价体系和方法。截至2022年末, 全国共有公路桥梁103.32万座、8 576.5万延米^[1], 随着我国城镇化水平不断提升, 不断有公路桥梁变更为城市桥梁, 检查、评定的体系和方法也随之改变。本文以某中承式钢管混凝土拱桥为例, 分析该类城市桥梁技术状况评估存在的问题, 探讨提出解决此类桥梁评估问题的方法。

1 工程概况

G205 YZ桥建于2010年, 全长1 315 m。主桥为

收稿日期: 2024-04-30

作者简介: 秦艳辉(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁检测、监测工作。

带副拱的中承式钢管混凝土结构,跨径布置为40 m+135 m+40 m。边跨设置钢筋混凝土飞燕以提供系杆的张拉构造。主拱圈采用钢管混凝土结构,人字形风撑,平行钢丝吊杆,加劲梁采用钢-混凝土叠合梁,系杆采用可更换式钢绞线成品索,立柱采用钢管混凝土结构,行车道板采用钢纤维混凝土结构;主墩采用钢筋混凝土结构,主拱圈通过高强螺栓及封锚混凝土与墩身固结,群桩基础。过渡墩采用三柱式墩身,预应力混凝土盖梁,群桩基础。飞燕、飞燕上叠合梁及肋间支撑均采用盆式橡胶支座。桥面系采用沥青混凝土铺装层,钢筋混凝土防撞墙,D160型伸缩缝。设计荷载:公路—I级,人群荷载3.5 kN/m²。主桥构造如图1所示。



图1 YZ桥主桥侧面照

YZ桥原为公路桥梁,由于所在路段管理责任调整,自2023年起划归城市桥梁管养。

2 城市桥梁技术状况评估方法

2.1 养护类别

自2018年2月1日起,根据城市桥梁在道路系统中的地位,养护类别分为I~V类^[2],其中I类养护分类标准为单孔跨径大于100 m的桥梁及特殊结构桥梁。特殊结构桥梁是指钢-混凝土组合梁桥、系杆拱桥、悬索桥和斜拉桥。II~V类分别为城市快速路、主干路、次干路、支路和街坊路上的桥梁。

2.2 技术状况评估方法

II~V类养护的城市桥梁,采用先构件、后部位、再综合及与单项直接控制指标相结合的方法进行技术状况评估,内容包括桥面系、上部结构、下部结构和全桥。桥面系划分为桥面铺装、桥头平顺、伸缩装置、排水系统、人行道、护栏6个要素,上部结构逐跨评定,下部结构逐墩(台)评定。以桥梁状况指数BCI确定桥梁技术状况,以桥梁结构指数BSI确定桥梁不同组成部位的结构状况。评估方法明确了桥梁状况指数BCI和结构指数BSI的计算公式,并以定量和定性相结合的方式,给出了评分等级及扣分表。

I类养护的城市桥梁完好状态宜分为2个

等级^[2]:

(1)合格级:桥梁结构完好或结构构件有损伤,但不影响桥梁安全,应进行保养小修;

(2)不合格级:桥梁结构构件损伤,影响结构安全,应立即修复。

3 评估方法分析及问题提出

由章节2可知,II~V类养护的城市桥梁评定方法、评定过程详细、明确,管养人员或相关专业技术人员可根据评估方法方便、快捷地开展桥梁技术状况评定。评定结果分为技术状况和结构状况,可以根据评定等级,依据养护对策开展养护工作,并给出了各结构的评定等级,可指导开展精准养护。

I类养护桥梁技术状况评估结果分为合格级和不合格级,结果区分缺乏具体的评估标准。I类养护的特殊结构桥梁和大跨径桥梁往往结构复杂,组成构件多,构件类型多样,各构件设计使用年限不一,影响桥梁结构安全的因素和结构损伤类型多,对评估结果准确性的把握难度大,对开展评估的相关人员的专业技术能力要求较高。此外,评估只给出桥梁整体结果,无桥梁部位及构件的评定等级,不利于对桥梁结构开展针对性养护,更不利于对桥梁开展精细化、科学化养护。

城市桥梁根据养护类别、养护等级和技术状况级别,遵循“保证重点、养好一般”的原则实施养护。YZ桥主桥作为特殊结构桥梁,属于I类养护的重点桥梁,定期检测、评定应每年开展1次。按照目前《城市桥梁养护技术标准》(下文简称城市标准)中I类养护桥梁的技术状况评估结果,显然无法满足精细化、科学化、防治结合的现代化管养要求。《公路桥梁技术状况评定标准》(下文简称公路标准)虽然有钢-混凝土组合拱桥的技术状况评估方法,但由于管养评价体系不同,且构件划分不尽一致(如支座在公路桥梁中属于上部结构,在城市桥梁属于下部结构),不能直接套用其方法进行评估。因此,探索中承式钢管混凝土拱桥更为详细、适用的技术状况评估方法有其必要性和实际需求。

4 分层综合评估方法研究

参考II~V类养护的城市桥梁及公路桥梁评估方法,本文将采用层次分析法探讨研究中承式钢管混凝土拱桥的技术状况评估方法。

层次分析法(AHP)是美国运筹学家托马斯·塞

蒂(T.L. Saaty)提出的一种层次权重决策分析方法,该方法合理地将定性与定量决策结合起来,把决策过程层次化、数量化。层次分析法也是国内外桥梁技术状况评定大多采用的方法,作为经典的评价方法,其具有普遍适用性的特点^[3]。

4.1 结构和构件划分

合理的结构和构件划分及明确的评定指标分类是准确评定桥梁技术状况的基础,首先根据层次分析法把中承式钢管混凝土拱桥各结构细化,然后将桥梁划分为评定指标→构件→部件→全桥4个层级。

4.1.1 结构划分

《公路标准》《城市标准》均将桥梁的组成结构划分为桥面系、上部结构和下部结构,只是权重有所不同,本文也将中承式钢管混凝土拱桥组成结构划分为桥面系、上部结构和下部结构三部分,结构权重采用城市拱桥的权重值,分别为0.1、0.45、0.45。

4.1.2 构件划分

(1)桥面系构件划分

与Ⅱ~Ⅴ类养护的城市桥梁相同,将桥面系构件划分为桥面铺装、桥头平顺、伸缩装置、排水系统、人行道、护栏6个要素。

(2)上、下部结构构件划分

根据中承式钢管混凝土拱桥的结构组成及受力特点,将上部结构构件划分为拱肋(含飞燕)、吊杆系统、系杆(含锚具)、纵横梁、桥面板、立柱和横向连接

系7类。将过渡墩构件划分为盖梁、墩身、基础、支座4类,将主墩构件划分为墩身、基础2类。

4.2 构件缺损类型及评价指标确定

为便于评估操作及保持城市桥梁评估方法的一致性,桥面系、下部结构沿用《城市标准》的评定标准;由于《城市标准》无钢-混凝土组合拱桥的评定标准,上部结构参考《公路标准》建立评定指标。

4.2.1 桥面系

桥面系6个要素的损坏类型和评价标准采用《城市标准》表D-1的内容。

4.2.2 下部结构

过渡墩、主墩的损坏类型和评价标准采用《城市标准》表D-3除耳背翼墙及拱脚外的内容。

4.2.3 上部结构

拱肋、横向联系、吊杆、系杆、立柱、桥面板的损坏类型和评定标准采用《公路标准》6.3.1~6.3.5条内容,纵横梁钢结构及混凝土梁分别采用5.2.1条钢梁桥和5.1.1条混凝土梁桥的内容。需要指出,公路和城市桥梁构件的评定标准均采用百分制,上部结构仅依据《公路标准》确定构件各类损坏的扣分值,构件得分仍采用《城市标准》的计算公式。

4.3 技术状况评估体系

中承式钢管混凝土拱桥根据构件划分、构件缺损类型及评定指标可建立如图2所示的技术状况评估体系。

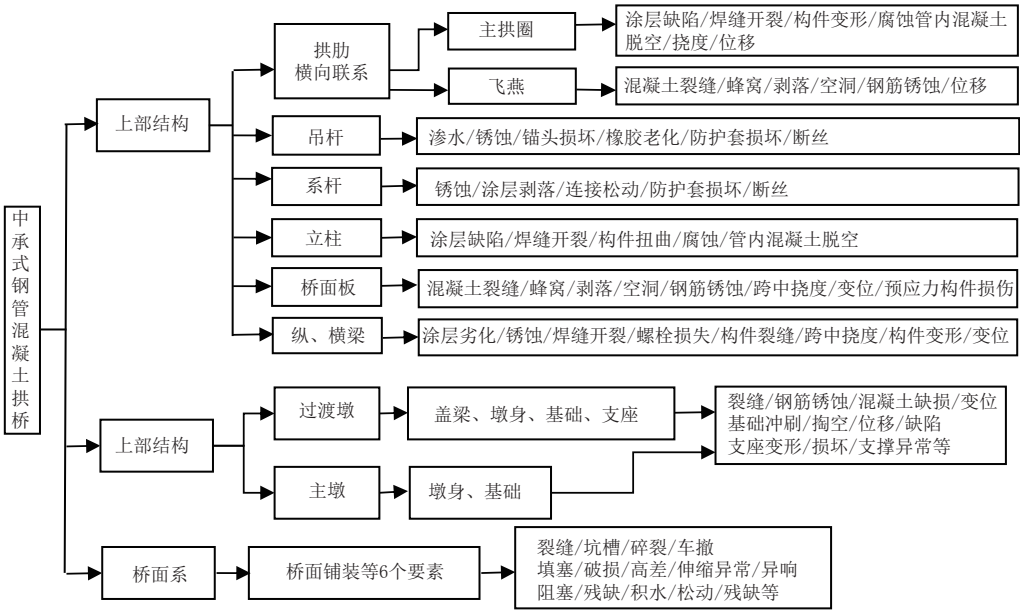


图2 技术状况评估体系

4.4 构件权重值确定

桥面系6要素的权重值取Ⅱ~Ⅴ类养护的城市桥梁的对应权重;过渡墩构造与梁式桥桥墩构造相同,

其4类构件的权重值取城市桥梁梁式桥的权重;主墩参考拱桥桥墩构造,墩身、基础的权重值取0.55和0.45。

上部结构构件采用 AHP 的最优传递矩阵法计算判断矩阵,确定权重值。该方法能充分利用判断矩阵的全部信息,计算准确率较高,对构造判断矩阵的一致性依赖相对较小^[4]。

4.4.1 构造判断矩阵

根据上部结构各构件的重要性,构造两两比较判断矩阵见表 1。其中 1 代表具有相同的重要性,3 代表前者稍微重要,5 代表明显重要,7 代表强烈重要,9 代表极端重要,2、4、6、8 代表两个数的折中值。

表 1 上部结构判断矩阵							
构件	拱肋(含飞燕)	吊杆	系杆(含锚具)	纵、横梁	桥面板	立柱	横向联结系
拱肋(含飞燕)	(1,1)	(2,4)	(3,5)	(3,5)	(5,6)	(6,7)	(6,7)
吊杆	(1/4,1/2)	(1,1)	(1,2)	(2,4)	(3,5)	(3,5)	(5,6)
系杆(含锚具)	(1/5,1/3)	(1/2,1)	(1,1)	(2,3)	(3,4)	(3,4)	(4,5)
纵、横梁	(1/5,1/3)	(1/4,1/2)	(1/3,1/2)	(1,1)	(3,4)	(2,3)	(2,3)
桥面板	(1/6,1/5)	(1/5,1/3)	(1/4,1/3)	(1/4,1/3)	(1,1)	(1,2)	(1,2)
立柱	(1/7,1/6)	(1/5,1/3)	(1/4,1/3)	(1/3,1/2)	(1/2,1)	(1,1)	(1,1)
横向联结系	(1/7,1/6)	(1/6,1/5)	(1/5,1/4)	(1/3,1/2)	(1/2,1)	(1,1)	(1,1)

表 2 上部结构计算权重值							
计算结果	拱肋	吊杆	系杆	纵、横梁	桥面板	立柱	横向联结系
ω_1	0.40	0.19	0.17	0.10	0.05	0.05	0.05
ω_2	0.38	0.22	0.16	0.10	0.05	0.04	0.04
均值 ω	0.39	0.21	0.16	0.10	0.05	0.05	0.04

表 3 各构件权重值								
部位	构件类型	权重	部位	构件类型	权重	下部结构	构件类型	权重
桥面系	桥面铺装	0.30	上部结构	拱肋	0.39	桥墩	盖梁	0.15
	桥头平顺	0.15		吊杆	0.21		墩身	0.30
	伸缩装置	0.25		系杆	0.16		基础	0.40
	排水系统	0.10		纵、横梁	0.10	桥台	支座	0.15
	人行道	0.10		桥面板	0.05		墩身	0.55
	护栏	0.10		立柱	0.05		基础	0.45
	—	—		横向联结系	0.04		—	—

4.5 分层综合评定计算

结合桥梁实际检测 results 和上面确定的各构件评定标准,依据《城市标准》4.5.3~4.5.5 条的计算方法先进行各要素或构件综合扣分值(MDP 和 SDP)计算,再根据构件权重计算各部位得分(BCI 和 BSI),最后计算全桥得分。部位得分依据《城市标准》4.5.7~4.5.8 条评估等级分为 A~E 级,全桥得分不小于 66 分为合格,小于 66 分为不合格。同时,《城市标准》4.5.9 条的单项直接控制指标仍适用。

桥梁管养单位可依据部位评级和全桥评估结果制定对应的养护策略。

4.4.2 计算构件权重

- (1)将判断矩阵拆分为两个矩阵 A1 和 A2;
- (2)令 $B=\ln A$,求最优传递矩阵 C,

$$C_{ij}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^n(b_{ik}-b_{jk})$$

- (3)求一致性区间矩阵 A*, $A^*=\exp C$,将 A*归一化,用求和平均法得到各构件的权重 ω_1 和 ω_2 ,即取平均值 ω 为上部结构构件的权重值,计算结果见表 2。

最终确定的中承式钢管混凝土拱桥各构件权重值见表 3。

5 评估计算示例

应用本文提出的评估方法,根据 YZ 桥外观检查结果进行技术状况评估。

5.1 评估结果

如表 4 所列,运用分层综合评估计算,YZ 桥上部结构得分 67.0 分,下部结构得分 93.1 分,桥面系得分 91.3 分,全桥综合得分 81.2 分。基于相同的检查结果,采用《公路标准》评定全桥得分 84.6 分,上部结构、下部结构、桥面系技术状况等级分别为 3 类、2 类和 2 类。两种方法评估结果基本一致,说明本文提出的分层综合评估方法是可靠的。

表 4 YZ 桥分层综合评估结果

构件	权重	得分	部位	权重	得分	部位结果	全桥结果
拱肋	0.39	62.5	上部结构	0.45	67.0	BCI—C， BSI—C	合格级
吊杆	0.21	43.4					
系杆	0.16	75.0					
纵横梁	0.10	75.0					
立柱	0.05	100.0					
桥面板	0.05	100.0					
横向联系	0.04	100.0	下部结构— 过渡墩	0.45	91.75	BCI—A， BSI—A	
盖梁	0.15	85.0					
墩身	0.30	90.0					
基础	0.40	100.0					
支座	0.15	80.0	下部结构— 主墩		94.5		
墩身	0.55	90.0					
基础	0.45	100.0					
桥面铺装	0.30	95	桥面系	0.1	91.25	BCI—A， BSI—B	
桥头平顺	0.15	100					
伸缩装置	0.25	85					
排水系统	0.10	90					
人行道	0.10	85					
护栏	0.10	90					

5.2 结果应用

从YZ桥分层综合评估结果可知,全桥技术状况为合格级;结构构件有损伤,暂不影响桥梁安全。但

上部结构完好状况和结构状况均评估为C级:合格状态,从消除隐患和提高结构耐久性考虑,应针对吊杆、拱肋及时开展局部中修或大修工程,系杆、纵横梁评估为C级:合格状态,盖梁、墩身、支座和伸缩装置评估为B级:良好状态,可适时开展针对性小修或保养小修。

6 结 论

(1)基于《公路标准》《城市标准》的技术状况评估方法,本文提出了I类养护的城市中承式钢管混凝土拱桥分层综合评估方法,可便捷、定量地开展技术状况评估,解决了此类桥梁评估结果缺乏具体评估标准的问题。

(2)全桥评估结果分为合格级和不合格级,部位评估等级分为A~E级,可指导桥梁管理单位制定针对性养护对策,确保桥梁运营安全。

(3)其他特殊结构和异形结构的城市桥梁可借鉴本文方法开展技术状况评估。

参考文献:

[1] 交通运输部.2022年交通运输行业发展统计公报[Z].北京:交通运输部,2023.
[2] CJJ 99—2017,城市桥梁养护技术标准[S].
[3] 刘渊.基于改进技术状况评定的多目标桥梁养护决策方法研究[D].西安:长安大学,2022.
[4] 何天涛.非常规桥梁技术状况评定方法研究[J].桥梁工程,2020(7):238-244.

(上接第 251 页)

究[J].现代隧道技术,2014,51(5):23-32.
[3] 李翔,孙文昊,孙州,等.盾构法隧道穿越活动断裂带方案探讨[J].隧道建设(中英文),2022,42(增刊1):369-375.
[4] 余杰文,占贤钱,何松.大直径盾构施工工程预加固技术分析——以地层断裂带与江底浅覆土重合区工程为例[J].交通世界,2022(34):162-164.
[5] 刘凯.袖阀管注浆工艺在破碎带地层加固中的应用[J].科技信息,2012(20):412-413.
[6] 张崇峻.水泥-水玻璃双液浆材料的性能研究[J].工程机械与维修,2023(5):207-209.
[7] 连保康.盾构穿越上软下硬复合地层施工技术措施浅析[J].建筑安全,2023,38(3):56-58.
[8] 郭棋武,尹小波,陈沅江,等.外加剂对双液浆性能影响的实验研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2015,34(1):40-43;59.

[9] 周清福.断层破碎带及浅埋破碎地层TBM掘进施工技术研究[J].施工技术(中英文),2024,53(1):124-129;135.
[10] 王传俭.厦门跨海地铁隧道泥水平衡盾构泥浆配制探讨[J].建筑技术开发,2016,43(4):124-125.
[11] 霍永强.济南轨道交通2号线区间盾构带压开仓技术总结[J].科学技术创新,2021(10):142-143.
[12] 唐亚军.泥水平衡盾构机碎石机装置选型技术研究[J].建筑技术开发,2021,48(15):81-83.
[13] 杨帆.复杂工况下盾构隧道施工成本控制研究[J].铁路工程技术与经济,2024,39(4):52-56.
[14] 杨银伟.不利物质条件下的TBM施工索赔研究[J].铁道建筑技术,2023(3):165-169.
[15] 张朝晖.民法典时代情势变更在建设工程施工合同中的适用探索[J].法制博览,2024(16):61-63.