

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.02.041

轨道交通桥梁技术状况评定体系及方法研究

付俊俊^{1,2}, 周子杰^{1,2}, 李博^{1,2}

(1.上海市建筑科学研究院有限公司,上海市 200032; 2.上海市工程结构安全重点实验室,上海市 200032)

摘要: 建立轨道交通桥梁技术状况评定体系及检测指标,为轨道交通桥梁检测评定工作提供依据,在公路、市政、铁路桥梁检测规范的基础上,研究轨道交通桥梁的结构特点、荷载特点,提出了针对轨道交通桥梁的技术状况评估方法,明确了基于公路桥梁的轨道交通桥梁检测指标,形成一套完整可行的检测评定技术。选取典型的梁式轨道交通桥梁项目,采用研究建立的评定方法对工程结构进行技术状况评价。结果显示该方法和原有方法评定结果基本一致,前者更能反映轨道交通桥梁管理中重点关注的问题,验证了该方法的适用性和针对性。

关键词: 轨道交通桥梁;技术状况评定;检测指标

中图分类号: U24

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)02-0181-04

0 引言

目前因缺乏轨道交通桥梁检测的规范文件,城市轨道交通桥梁的日常检测主要是依据铁路桥隧评定标准^[1],直接套用公路桥梁评定标准^[2]进行检测的案例也存在。因为轨道交通桥梁与公路桥梁、铁路桥梁在结构刚度、荷载布置、运营需求等方面存在的现实差异^[3-4],所以采用上述检测方法得出的检测结论和桥梁实际状况存在一定的差异,无法准确的评定轨道交通桥梁的技术等级。

为此,在公路、市政桥梁检测评定标准的基础上,结合铁路桥隧评定标准,明确了基于公路桥梁的轨道交通桥梁检测指标,提出了针对轨道交通桥梁的技术状况评估方法。选取典型的梁式轨道交通桥梁项目,结果显示该方法和原有方法评定结果基本一致,前者更能反映轨道交通桥梁管理中重点关注的问题,验证了该方法的适用性。

1 桥梁技术状况评定体系

对比公路桥梁和铁路桥隧评定标准,铁路桥梁是以桥梁部件为最高评定对象,而公路桥梁是采用分层综合评定法、单项控制指标结合的方式,基于构件病害,自下而上逐级评分、最终形成一座桥梁的总体评价,体现了对大规模、综合性养护管理需求的适应性。所以在建立轨道交通桥梁技术状况评定体系

时,主要是在公路桥梁技术状况评定标准的基础上,结合铁路桥梁评定标准的相关要求,形成一套适用轨道交通桥梁技术状况的技术状况评定体系。

在公路桥梁技术状况评定流程的基础上,轨道交通桥梁技术状况评定体系做了三方面的调整:一是在现有评价体系的基础上,结合轨道交通桥梁特点和管养需求,引入轨道交通桥梁检测指标,并对5类桥梁单项控制指标进行调整;二是考虑到轨道交通桥梁与公路桥梁的构件差异性,对相应评定指标的构件权重值进行调整;三是进行桥梁总体技术状况评定时,同步进行桥梁最劣部件技术状况评定。具体流程见图1。

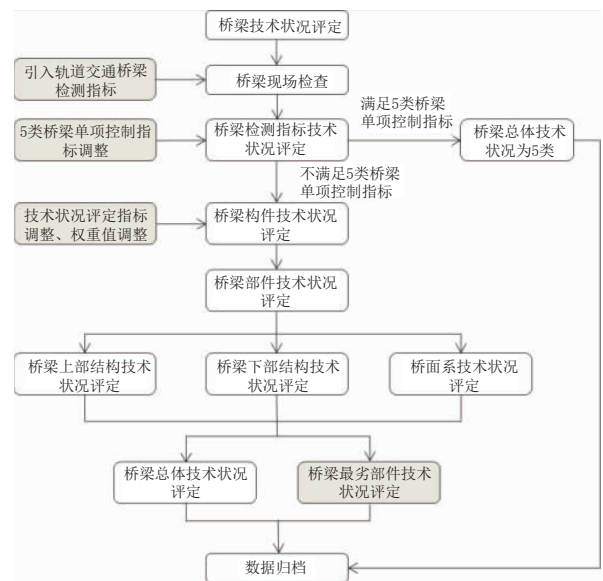


图1 轨道交通桥梁技术状况评定流程

2 桥梁技术状况评定体系优化

2.1 引入轨道交通桥梁检测指标

考虑到轨道交通桥梁在结构刚度、桥面布置、荷

收稿日期: 2023-02-27

基金项目: 上海市科学技术委员会科研计划项目(18DZ1201200)

作者简介: 付俊俊(1987—),男,硕士,工程师,从事桥梁隧道检测评估工作。

载形式等方面的差异性,进行轨道交通桥梁检测时在公路桥梁的基础上进行检测指标调整,主要包括特殊性检测指标和普遍性检测指标,见表1。

表1 新增检测指标明细表

检测指标	构件	新增检测指标
特殊性检测指标	—	梁端转角、梁端空隙、关键构件震动、边界条件变化、关键构件损伤、基础沉降、主梁竖向(横向)自振频率、竖向(横向)加速度、墩顶横向振幅、墩顶横向震动频率、钢梁疲劳损伤、抗震及限位设施
	主梁	混凝土梁:梁体损伤、钢筋锈蚀、混凝土劣化、横隔板断裂、裂缝 钢梁:道砟厚度、涂层劣化、锈蚀、孔洞、焊缝开裂、铆钉(螺栓)损失
	支座	板式支座:缺陷、位置串动、脱空、剪切超限 盆式支座:组件损坏、铸钢支座劣化
普遍性检测指标	桥墩	混凝土碳化、腐蚀、圯工砌体缺陷、位移、裂缝
	河床及调治构造物	河床冲刷、河床变迁、调治构造物损坏
	轨枕	腐蚀、劈裂、压溃
	钢轨	螺栓、联结件、护轨、钢轨伸缩调节器
	检修设施	破损、缺损

特殊性检测指标主要是在现有公路、市政、铁路桥梁评定体系的基础上,结合轨道交通桥梁特点和管养需求,在轨道交通桥梁检测中重点关注的指标,主要包括上部结构姿态变化、关键构件震动、边界条件变化、关键构件损伤等关键指标^[5]。普遍性检测指标共包括两部分,第一部分主要是轨道交通桥梁特有构件对应的检测指标,如轨枕、钢轨;第二部分是参考铁路桥隧评定标准,对公路桥梁部分检测指标在同一评级标度下,新增的定性描述指标或定量描述指标。

2.2 5类桥梁单项控制指标调整

单项控制指标方面,在公路桥梁评定标准4.3.1条所列现有的5类桥单项控制指标的基础上,结合铁路桥梁和轨道交通桥梁相关设计规范、管养要求^[6],增加以下5类桥单项控制指标:

(1)一孔梁的桥枕发生A1级劣化根数总和达25%及以上;(2)钢结构受力构件出现截面贯通裂缝;(3)钢结构受压板件断面削弱大于20%;(4)钢结构铆、栓失效数量达节点铆、栓总数的20%及以上;(5)预应力混凝土梁纵向裂缝不小于0.3mm并持续发展;(6)混凝土梁体局部溃碎及主筋变形、断裂;(7)混凝土梁体隔板连接断裂达总量1/2及以上,已危及行车安全;(8)梁端顶紧已造成梁体变形或墩台

混凝土溃碎或严重裂缝;(9)板式橡胶支座 $\tan\alpha > 0.45$;(10)盆式橡胶支座锚栓剪断数量达50%;(11)墩台身断裂;(12)洪水水位在梁底以上;(13)桥墩台冲至基底;(14)防护体冲毁,出现明显潜流。

2.3 补充最劣部件评定法

为表示桥梁不同组成部分的最不利的单个要素或单跨(墩)的结构状况,更注重掌握桥梁结构的损坏状况,以便引起桥梁管养部门的关注,采取更加有针对性的养护手段予以专项维修。参照铁路桥梁对评定指标、评定标度进行调整后,以公路桥梁评定标准为基础,对轨道交通桥梁各构件、部件进行技术状况评定。同时,参照市政桥梁养护标准^[7],对各部位进行最劣构件技术状况评定。

2.4 技术状况评定指标调整

对比公路桥梁评定标准和铁路桥隧评定标准发现,某些评定指标在同一评定标度下,铁路桥梁与公路桥梁涉及定性描述、定量描述的评定准则不尽一致,主要区别为铁路桥梁相比公路桥梁评定标准趋于严格,对这部分指标,轨道交通桥梁技术状况评定时选用铁路桥隧评定标准,具体调整的指标及评定准则见表2。

表2 调整指标及评定准则表

构件	病害类别	标度	公路桥梁评定标准	铁路桥隧评定标准
混凝土梁	混凝土裂缝	5	裂缝宽度大于1.0mm	裂缝宽度不小于0.5mm
	涂层劣化	4	累计面积大于构件面积50%	累计面积大于构件面积33%
钢梁	锈蚀	4	累计锈蚀面积大于构件面积15%	累计锈蚀面积不小于构件面积5%,或锈蚀孔洞大于3个
	铆钉(螺栓)损失	5	损坏、失效数量大于总量的30%	损坏、失效数量大于总量20%
支座	板式支座位移串动、脱空或剪切超限	5	剪切角度大于60°	剪切角度大于45°
	盆式支座位移、转交超限	4	设计≤值转角≤20%	设计值10%≤转角≤20%

2.5 技术状况评定权重值调整

参照公路桥梁评定标准,轨道交通桥梁常用的梁式桥结构上、下部结构及桥面系的权重分别取0.4、0.4和0.2^[2]。上部结构和下部各部件的权重参照公路桥梁评定标准。桥面系轨道交通桥梁相对公路桥梁新增了轨枕和钢轨,因为其直接影响着列车运营的安全性和舒适性,所以其权重相对较大^[8],其余部件权重重新分布,轨道交通桥梁桥面系部件权重见表3。

表3 梁式桥各部件权重值

部位	序号	评价部件	权重
桥面系	1	桥面铺装	0.15
	2	轨枕	0.20
	3	钢轨	0.20
	4	伸缩缝装置	0.15
	5	检修设施	0.10
	6	排水系统	0.10
	7	抗震构造	0.05
	8	通讯、照明系统	0.05

3 桥梁技术状况等级分类

对比公路、铁路桥梁主要部件技术状况评级发现,公路桥梁技术状况等级1级~5级和铁路桥梁D级、C级、B级、A级、AA级存在较好的一一对应关系,而且在同一技术状况等级下,对应的技术状况描述也高度吻合。为此,轨道交通桥梁主要部件技术状况评定可直接整合铁路桥梁和公路桥梁评定标准相应要求,整合后轨道交通桥梁总体、最劣构件技术状况等级见表4。

表4 轨道交通桥梁技术状况等级

技术状况评定等级	桥梁总体技术状况描述
1类 [95,100]	良好状态,功能完好
2类 [80,95]	较好状态,有轻微缺损,对桥梁使用功能无影响
3类 [60,80]	较差状态,有中等缺损,尚能维持正常使用功能
4类 [40,60]	差的状态,主要构件有大的缺损,严重影响桥梁使用功能;或影响承载能力,不能保证正常使用
5类 [0,40]	危险状态,主要构件存在严重缺损,主要构件不能正常使用,承载能力降低,危及桥梁安全

轨道交通桥梁主要、次要部件的技术状况评定标度参照公路桥梁评定标准表3.2.4和表3.2.5节,构件各检测指标对应不同标度时的扣分值见公路桥梁评定标准表4.1.1。

4 桥梁技术状况评定计算

桥梁技术状况的评定计算包括构件、部件等的技术状况评分,这类技术状况的评分计算均采用采用公路桥梁评定标准4.1.1节~4.1.4节所列公式进行计算。构件数量按照现场桥梁实际取值。桥梁最劣部件技术状况评定,是在桥梁各组成部位里评定出最不利的部件,具体计算参照式(1)、式(2)。

$$\begin{aligned}
 PSI &= PMCI_{i, \min} \\
 BSI &= BMCI_{i, \min} \\
 OSI &= OMCI_{i, \min}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\text{其中 } PMCI_i (\text{BMCI}_i \text{ 或 } OMCI_i) = 100 - \sum_{x=1}^k U_x \tag{2}$$

式中:PSI为上部结构最劣部件评分;BSI为下部结构最劣部件评分;OSI为桥面最劣部件评分。

其余公式含义参照公路桥梁评定标准4.1.1节。

5 应用示范项目

某2013年通车运营的三跨预应力混凝土变截面连续箱梁桥,见图2,上部结构采用转体施工,箱梁采用采用三向预应力体系的单箱单室直腹板形式,设计荷载为编组六辆车列,跨径组合为75.5 m+129 m+75.5 m,下部结构桥墩均为桩柱式,墩顶设有盆式橡胶支座,桥面为无碴轨道,两端桥头设有梳齿钢板型伸缩装置。



图2 轨道交通桥梁实景图

该桥的病害主要为箱梁顶板、腹板局部存在竖向裂缝,长期监测结果显示主梁中跨存在长期下挠、且逐年扩展的趋势,目前最大下挠值约70 mm,未超过规范限值215 mm的要求,见图3。

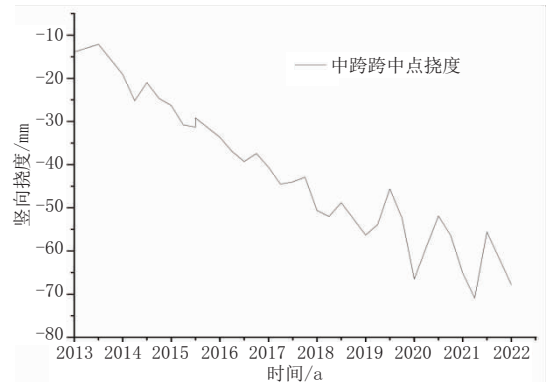


图3 中跨跨中点挠度监测图

5.1 铁路规范评估

根据铁路规范的标准对混凝土箱梁、支座、桥墩进行劣化等级评定,评定结果显示:(1)混凝土箱梁劣化评定等级为C级(中等);(2)支座劣化等级为D级(轻微);(3)桥墩劣化等级为D级(轻微)。

5.2 轨道交通桥梁评估

在前文所述评定流程的基础上对该桥进行技术状况评定。该桥上部结构、下部结构及桥面部件划分

及权重值按前文所述取值。桥梁构件数量根据实际情况统计,然后按照公路桥梁评定标准 4.1 节所示公式进行桥来个技术状况评定计算,同时,按照前文所述公式进行最劣构件技术状况评定计算。最终评定结果见表 5。

表 5 桥梁技术状况评定结果

部位 (权重)	部件名称	权重	部件 评分	部位 评分	最劣部 件评分	总体技 术状况
上部 结构 (0.4)	箱梁	0.80	76.67			
	横隔板	0.10	94.17	80.13 (2类)	76.67 (3类)	
	支座	0.10	93.75			
	翼墙、耳墙	0.00	/			
	锥坡、护坡	0.00	/			
下部 结构 (0.4)	桥墩	0.52	87.50			
	桥台	0.00	/	93.50 (2类)	87.50 (2类)	
	墩台基础	0.48	100.00			
	河床	0.00	/			87.70 (2类)
	调治构造物	0.00	/			
桥面系 (0.2)	桥面铺装	0.15	91.67			
	轨枕	0.20	100.00			
	钢轨	0.20	100.00			
	伸缩缝装置	0.15	75.00	91.25 (2类)	75.00 (3类)	
	防护装置	0.10	75.00			
	排水系统	0.10	100.00			
	声屏障	0.05	75.00			
	照明系统	0.05	100.00			

通过研究提出的基于轨道交通桥梁结构特点的具体评价指标,采用总体技术状况指标和最劣部件评分相结合,桥梁管理者既能了解桥梁整体的技术状况,又能直接掌握最差部件的状态,可以给管理者提供更全面和科学的评估结果。此外,如表 6 所示,该方法得到的轨道交通桥梁的技术状况和原有体系评估结果没有较大偏差,不会产生由于方法更新而带来的养护评估结果巨大差异、养护工作量激增等问题,具有实际实施的可行性。

6 结论

(1)针对轨道交通桥梁的特点,结合设计规范、

表 6 评定结果对比表

评价方法	评定结果		
	部件	分层综合法	最劣构件指标法
轨道交通桥梁 技术状况评定 体系	全桥	2类(轻微)	/
	上部结构	2类(轻微)	3(中等)
	下部结构	2类(轻微)	2(轻微)
	桥面	2类(轻微)	3(中等)
铁路系统方法	全桥		/
	箱梁		C(中等)
	支座		D(轻微)
	桥墩		D(轻微)

运营养护需求,形成了适配轨道交通桥梁评估的特殊检测参数及评定标准,可以为轨道交通桥梁技术状况评定工作提供支撑。

(2)在现有公路、市政、铁路桥梁评价体系的基础上,结合轨道交通桥梁特点和管养需求,建立针对轨道交通桥梁基于综合层次分析、单项控制指标法、最劣部件法相结合的轨道交通桥梁评价方法。

(3)该方法在对桥梁结构整体技术状况的评价结果和原有方法基本一致,评估结果更能反映轨道交通桥梁管理中重点关注的问题,验证了研究成果的适用性和针对性。

参考文献:

- [1] TB/T2820.1—2820.8.1997,铁路桥隧建筑物劣化评定标准[S].
- [2] JTG/T H21—2011,公路桥梁技术状况评定标准[S].
- [3] 应伯宣.城市轨道交通桥梁墩台纵向线刚度限值问题的研究[J].城市道桥与防洪,2022(4):173-177.
- [4] 张欣欣.基于能力保护原则的轨道交通桥梁下部结构设计[J].城市道桥与防洪,2016(4):77-79.
- [5] 付俊俊.基于德尔菲法的轨道交通桥梁关键检测指标研究[J].公路与汽运,2022(1):147-150.
- [6] 韩振.城市轨道交通桥梁工程设计的安全风险分析与对策[D].南京:东南大学,2020.
- [7] CJJ 99—2017,城市桥梁养护技术标准[S].
- [8] 张志川.轨道刚度对动态检测数据的影响[D].北京:中国铁道科学研究院,2021.