

基于病害发展状况的桥梁检查评估模型应用

黄贤智

(广西交通职业技术学院, 广西 南宁 530023)

摘要:桥梁检查是桥梁养护工作中通过调查桥梁结构病害情况,分析当前桥梁技术状况的一项内容,但目前桥梁检查存在工作效率低、工作量大、评估分析繁琐、存档记录缺失等突出问题,影响了项目评估结果的及时性和可靠性。该文以桥梁病害发展情况,作评价指标的扣分值修正,建立基于病害状况修正的桥梁技术状况的评估模型,从桥梁技术状况评分变化得到桥梁病害的变化规律,突出了桥梁病症所在,有利于检查数据在桥梁技术状况评定中的高效应用。

关键词:桥梁检查;病害发展状况;智能评估

1 概述

桥梁检查评估是对桥梁的技术状况进行评定,从局部到整体对桥梁各个组成部分进行检查,通过相关技术和试验手段分析得到评定结论,为桥梁的维修与加固提供依据。

在传统的桥梁检查中,由于前后检查人员或委托第三方机构的变动,增加了前期工作的准备期,降低了检测数据有效应用的价值。因此,该文从桥梁病害发展角度,利用桥梁前后定期检查的数据,发挥检查数据的关联性作用,判断桥梁的病害变化状况,以便找出每座桥梁的“关键性”病害,更加高效准确地得出整桥的技术状况,这种有的放矢的方法对桥梁已有病害的调查分析将起到事半功倍的作用,同时也有利于建立桥梁技术状况的健康档案,将桥梁检查评估进一步推向信息化和智能化。

2 桥梁技术状况评定流程

2.1 原理

JTG/T H21-2011《公路桥梁技术状况评定标准》将桥梁分成构件、部件、桥面系、上部结构、下部结构和全桥5个部分,从桥梁各构件、各部件、上下部结

构及桥面系依次进行评定,最终分析计算得到桥梁的总体技术状况。

根据收集的现场桥梁资料,对桥梁的构件进行编号,按计划进行桥梁现场检查。桥梁检查中对各构件检测指标分1~5类评定,计算桥梁从构件到部件再到结构组的技术状况,该方法采用AHP与单项控制指标(5类桥梁)相结合的桥梁评定模型,全面系统地评估全桥技术状况,其评定流程如图1所示。

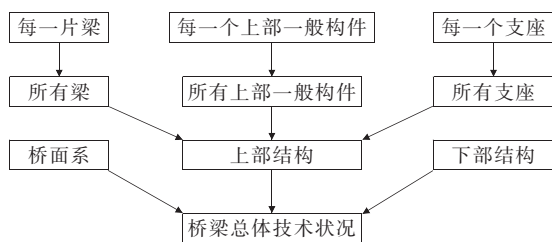


图1 桥梁技术状况评定流程

2.2 计算过程

根据JTG/HT 21-2011《公路桥梁技术状况评定标准》规定,对桥梁技术状况的主要计算过程如下。

(1) 对桥梁构件技术状况评分,按照式(1)计算:

$$PMCI_i (BMCI_i \text{ 或 } DMCI_i) = 100 - \sum_{x=1}^k U_x \quad (1)$$

式中: $PMCI_i$ 、 $BMCI_i$ 、 $DMCI_i$ 分别为上部结构、下部结构、桥面系第 i 类部件 1 构件的得分; U_x 、 y 为引

收稿日期:2020-07-16

基金项目:广西职业教育道路桥梁工程技术专业群发展研究基地项目(编号:桂教职成[2018]65号);2020年度第二批广西交通运输行业重点科技清单项目(编号:JZY2020KZD02)

作者简介:黄贤智,男,硕士,讲师/工程师, E-mail:515625382@qq.com

入的中间变量。

当 $x=1$ 时: $U_1 = DP_{i1}$ 。

当 $x \geq 2$ 时: $U_x = \frac{DP_{ij}}{100 \times \sqrt{x}} \times (100 - \sum_{y=1}^{x-1} U_y)$ (其

中 $j=x$, x 取 $2, 3, 4, \dots, k$)。当 $k \geq 2$ 时, U_1, \dots, U_x 计算公式中的扣分值 DP_{ij} 按照从大到小的顺序排列, 其中 DP_{ij} 为第 i 类部件 l 构件的第 j 类检测指标的扣分值, 按表 1 取值。

表 1 构件各检测指标扣分值

检测指标所能达到的最高等级类别	各指标类别扣分值				
	1 类	2 类	3 类	4 类	5 类
3 类	0	20	35	—	—
4 类	0	25	40	50	—
5 类	0	35	45	60	100

(2) 桥梁部件技术状况评分, 按照式(2)计算:

$$PCCI_i = \overline{PMCI} - (100 - PMCI_{\min})/t \quad (2)$$

或: $BCCI_i = \overline{BMCI} - (100 - BMCI_{\min})/t$

或: $DCCI_i = \overline{DMCI} - (100 - DMCI_{\min})/t$

式中: $PCCI_i$ 、 $BCCI_i$ 、 $DCCI_i$ 分别为上部结构、下部结构、桥面系第 i 类部件的得分; \overline{PMCI} 、 \overline{BMCI} 、 \overline{DMCI} 分别为上部结构、下部结构、桥面系第 i 类部件各构件的得分平均值; $PMCI_{\min}$ 、 $BMCI_{\min}$ 、 $DMCI_{\min}$ 分别为上部结构、下部结构、桥面系第 i 类部件中分值最低的构件得分值; t 为随构件的数量而变的系数。

(3) 桥梁的上部结构、下部结构、桥面系的技术状况评分, 按式(3)计算:

$$SPCI(SBCI \text{ 或 } BDCI) = \sum_{i=1}^m PCCI_i(BCCI_i \text{ 或 } DCCI_i) \times W_i \quad (3)$$

式中: $SPCI$ 、 $SBCI$ 、 $BDCI$ 分别为上部结构、下部结构、桥面系的技术状况评分; W 为第 i 类部件的权重。

(4) 桥梁总体的技术状况评分, 按式(4)计算:

$$D_r = SPCI \times W_{SP} + SBCI \times W_{SB} + BDCI \times W_D \quad (4)$$

桥梁技术状况分类界限按表 2 规定执行。

表 2 桥梁技术状况分类界限

技术状况评分	各技术状况等级 D_j 对应评分区间				
	1 类	2 类	3 类	4 类	5 类
D_r ($SPCI$ 、 $SBCI$ 、 $BDCI$) ($PCCI_i$ 、 $BCCI_i$ 、 $DCCI_i$)	[95, 100]	[80, 95]	[60, 80]	[40, 60]	[0, 40]

3 桥梁病害发展评估模型

根据桥梁技术状况评定流程, 该文提出一种结合桥梁病害发展状况及病害评定标度修正的评估模型, 以便快速研判桥梁外观检查中的工作重点。评估模型根据桥梁前后两次相关部件检查情况, 参考 JTJ H11—2004《公路桥涵养护规范》对桥梁病害的相关描述, 把桥梁部件病害发展状况分为趋向稳定、发展缓慢、发展较快 3 个类别。当部件发展状况评定为趋向稳定和发展较快两个状态时需进行基于桥梁病害发展状况修正, 并把发展较快的部件列入维修养护检查重点。评估模型的流程图见图 2。

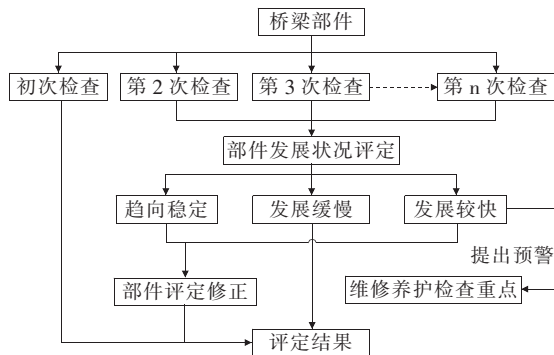


图 2 基于病害状况修正的桥梁部件评估模型的评估流程

在桥梁病害实际评估过程中, JTJ H11—2004《公路桥涵养护规范》中病害发展变化状况主要通过技术人员的经验做出判断, 由于不同技术人员的主观差异, 造成评定结果的较大误差。因此, 结合实际工程, 对病害发展变化状况的判断进行量化, 明确桥梁部件病害发展趋势评定标准, 将为桥梁检查信息化、智能化发展奠定一定的基础。桥梁病害发展趋势量化评定标准引用斯新华研究成果, 如表 3 所示。表 3 依据 JTJ/T H21—2011《公路桥梁技术状况评定标准》中桥梁技术状况分类界限表作为基础数值, 以桥梁部件前后两次评分的相对变化值, 并结合部件的技术状况等级, 得到合理分界值和判断区间。该量化标准具有一定的科学性和严谨性。

为更加全面地评估桥梁技术状况, 引入桥梁病害发展状况, 在桥梁部件病害发展趋势研判后, 再进行病害评定标度修正。即当桥梁病害发展状况为趋向稳定, 则病害评定标度在现阶段调查(构件病害最大扣分项)评定标度上升半级(即病害最大扣分项类别升 0.5 类, 扣分值按升 0.5 类计算, 见表 1), 如最高等级 3 类

表 3 桥梁病害发展变化状况判别分类

部件类别	评价等级(技术状况)变化情况	评分相对值 划分区间	病害发 展状况
主要 部件	同一等级	[0,15.8%)	趋向稳定
		[15.8%,25%)	发展缓慢
		[25%,100%]	发展较快
	从 1 类变到 其他等级	[0,20%]	趋向稳定
		(20%,40%]	发展缓慢
		(40%,100%]	发展较快
	从 2 类变到 其他等级	(0,36.8%)	发展缓慢
		[36.8%,100%]	发展较快
	从 3 类变到 4 类或 5 类,从 4 类变到 5 类	(0,100%]	发展较快
次要 部件	同一等级	[0,27.27%)	趋向稳定
		[27.27%,50%)	发展缓慢
		[50%,100%]	发展较快
	从 1 类变到 其他等级	[0,33.34%]	趋向稳定
		(33.34%,66.66%]	发展缓慢
		(66.66%,100%]	发展较快
	从 2 类变到 3 类或 4 类,从 3 类变到 4 类	(0,100%]	发展较快

正;发展较快时,病害评定标度在现阶段病害调查(构件病害最大扣分项)评定标度上降半级,如最高等级 4 类别检测评定标度为 2 类,原扣 25 分,标度降半级后为 2.5 类,扣 32.5 分。

基于桥梁病害发展状况的桥梁技术状况评定研究,增加了对桥梁构件缺损较严重和发展趋势较快的构件的识别作用,可对相关构件进行快速定位并提出预警,更好地了解和掌握桥梁部件的健康状况和后期运营状况,经修正后的桥梁技术状况使评估结果更全面、更准确,该评估模型可明显缩短桥梁检查准备时间,提高了工作效率,为桥梁养护、维修、加固等工作节约时间和费用,同时为桥梁外观检查的信息化、智能化发展提供了一种解决方案。

4 案例分析

案例 1:某一连续梁桥全长 67.04 m,桥面宽为 16.05 m。上部结构为 3×20 m 预应力钢筋混凝土先简支后连续箱梁,每跨各布置 5 片箱梁,共计 15 片;铰缝 12 条;支座为板式橡胶支座,共计 60 个。

经 2014 年、2017 年和 2020 年定期检查该桥上部结构技术状况分别如表 4 所示。基于桥梁病害发展状况及病害评定标度修正的桥梁技术状况评估模型进行评估,其桥梁部件病害状况趋势及技术状况修正见表 5、6。

表 4 上部结构技术状况检查结果

检查年份/年	评价部件	构件名称	评价指标	扣分值/分	构件得分 $PMCI_i$	构件得分最小 值 $PMCI_{min}$	构件平均 得分 \overline{PMCI}	构件数 n 及 t 值	部件得分 $PCCI_i$
2014	上部承重部件	2—2 [#] 箱梁	剥落、掉角	25	75.0	75.0	98.3	$n=15$ $t=7.2$	94.8
		其余箱梁	未发现病害	0	100.0				
	上部一般部件	1—3 [#] 铰缝	蜂窝、麻面	20	80.0	80.0	98.3	$n=12$ $t=7.7$	95.7
		其余铰缝	未发现病害	0	100.0				
	支座	2—1—1 [#] 墩支座	剪切变形	35	65.0	65.0	99.4	$n=60$ $t=4.0$	90.6
		其余支座	未发现病害	0	100.0				
	上部承重部件	1—5 [#] 箱梁	剥落、掉角	25	53.5	53.5	—	$n=15$ $t=7.2$	53.5 ($PMCI_{min}$ <60 ,取原 值,下同)
			竖向裂缝	35					
		2—5 [#] 箱梁	剥落、掉角	25	75.0				
		其余箱梁	未发现病害	0	100.0				
2017	上部一般部件	1—3 [#] 铰缝	蜂窝、麻面	20	80.0	80.0	98.3	$n=12$ $t=7.7$	95.7
		其余铰缝	未发现病害	0	100.0				
	支座	0—5—2 [#] 台支座	外鼓现象	25	75.0	75.0	99.6	$n=60$ $t=4.0$	93.4
		其余支座	未发现病害	0	100.0				

续表 4

检查年份/年	评价部件	构件名称	评价指标	扣分值/分	构件得分 $PMCI_i$	构件得分最小值 $PMCI_{\min}$	构件平均得分 \overline{PMCI}	构件数 n 及 t 值	部件得分 $PCCI_i$
2020	上部承重部件	1—5 [#] 箱梁	多道裂缝	45	55.0	55.0	—	$n=15$ $t=7.2$	55.0
		其余箱梁	未发现病害	0	100.0				
	上部一般部件	1—4 [#] 铰缝	裂缝	45	55.0	55.0	96.2	$n=12$ $t=7.7$	90.4
		其余铰缝	未发现病害	0	100.0				
	支座	0—5—2 [#] 台支座	外鼓较严重	40	39.4	39.4	99.0	$n=60$ $t=4.0$	83.8
			剪切变形	45					
		其余支座	未发现病害	0					

表 5 连续梁桥部件病害发展状况评定

评价部件	2014 年部件得分 $PCCI_i$	2017 年			2020 年		
		部件得分 $PCCI_i$	相对变化量/%	病害发展状况	部件得分 $PCCI_i$	相对变化量/%	病害发展状况
上部承重部件	94.8(2 类)	53.5(4 类)	43.6	发展较快	55.0(4 类)	2.8	发展较快
上部一般部件	95.7(1 类)	95.7(1 类)	0	趋向稳定	90.4(2 类)	5.5	趋向稳定
支座	90.6(2 类)	93.4(2 类)	3.1	趋向稳定	83.8(2 类)	10.3	趋向稳定

表 6 基于病害状况的部件技术状况修正

评价部件	2017 年部件技术状况修正			2020 年部件技术状况修正		
	病害标度变更	最大扣分变更	部件得分值 $PCCI_i$	病害标度变更	最大扣分变更	部件得分值 $PCCI_i$
上部承重部件	+0.5 级	40.0	49.4(4 类)	+0.5 级	52.5	47.5(4 类)
上部一般部件	-0.5 级	10.0	97.9(1 类)	-0.5 级	40.0	91.5(2 类)
支座	-0.5 级	12.5	96.7(1 类)	-0.5 级	12.5	84.8(2 类)

从表 4 可知:2017 年连续梁桥上部承重结构病害发展趋势结论为发展较快,主要原因在于上部承重部件中 1—5[#] 箱梁的病害较严重且较快发展。经维修养护后,2020 年定期检查该桥主要问题是 1—5[#] 箱梁产生了多道受力裂缝,并影响了相邻构件的受力状况,造成相邻铰缝和支座出现结构性病害。上部一般部件和支座在两次检查过程中病害发展均为趋向稳定。

案例 2:某一刚架拱桥全长 57 m,桥面宽为 9.5 m。主拱圈为 1×48 m 钢筋混凝土刚架拱,共 3 片;拱上结构为横系梁 18 根;桥面板为微弯板和悬挑板,共计 10 块。

经 2016 年和 2019 年定期检查拱桥上部结构技术状况如表 7 所示。基于桥梁病害发展状况及病害评定标度修正的桥梁技术状况评估模型进行评估,拱桥部件病害状况趋势及技术状况修正见表 8、9。

从表 7 可知:2019 年刚架拱桥主拱圈病害发展趋势结论为发展较快,主要原因在于主拱圈部件中 1[#] 拱片的病害较严重且较快发展。拱上结构和桥面板病害发展分别为趋向稳定和发展缓慢。

综上,在日常桥梁管养中,可建立桥梁重点检查部件数据库,把案例 1 中上部结构 1—5[#] 箱梁和案例 2 中 1[#] 拱片列入桥梁下一步养护和维修重点。若经维修和加固后,在下一次的检查中病害发展状况转为稳定或缓慢,则移出重点检查数据库。由表 6 和表 9 可知:根据部件的病害发展状况,对相应部件病害评定标度进行修正,将得到更为合理的评分和技术状况等级。

基于桥梁病害发展状况及病害评定标度修正的评估模型,突出了桥梁的病症所在,使现场检测技术人员在桥梁检查工作中明确工作重心,更加准确地掌握桥梁的健康状况。

表 7 上部结构技术状况检查结果

检查年份/年	评价部件	构件名称	评价指标	扣分值	构件得分 $PMCI_i$	构件得分最小值 $PMCI_{\min}$	构件平均得分 \overline{PMCI}	构件数 n 及 t 值	部件得分 $PCCI_i$
2016	主拱圈	1# 拱片	剥落、掉角	25	75.0	75.0	91.7	$n=3$	89.1
		其余拱片	未发现病害	0	100.0			$t=9.70$	
	拱上结构	15# 横系梁	变形错位	35	65.0	65.0	98.0	$n=18$	92.9
		其余横系梁	未发现病害	0	100.0			$t=6.84$	
	桥面板	1# 悬挑板	蜂窝、麻面	20	80.0	65.0	94.5	$n=10$	90.2
		2# 悬挑板	裂缝	35	65.0			$t=8.10$	
		其余板	未发现病害	0	100.0				
	主拱圈	1# 拱片	剥落、掉角	25	53.5	53.5	—	$n=3$	53.5
			竖向裂缝	35					
		2# 拱片	剥落、掉角	25	75.0			$t=9.70$	
		3# 拱片	未发现病害	0	100.0				
2019	拱上结构	3# 横系梁	裂缝	35	65.0	41.4	94.8	$n=18$	86.2
		15# 横系梁	变形错位	35	41.4				
			裂缝	45				$t=6.84$	
		其余横系梁	未发现病害	0	100.0				
	桥面板	1# 悬挑板	蜂窝、麻面	20	80.0	55.0	67.5	$n=10$	61.9
		2# 悬挑板	裂缝	35	65.0				
		2# ~ 7# 微弯板	多道裂缝	45	55.0			$t=8.10$	
		其余板	未发现病害	0	100.0				

表 8 刚架拱桥部件病害发展状况评定

评价部件	2016 年部	2019 年		
	件得分 $PCCI_i$	部件得分 $PCCI_i$	相对变 化量/%	病害发 展状况
主拱圈	89.1(2 类)	53.5(4 类)	40.0	发展较快
拱上结构	92.9(2 类)	86.2(2 类)	7.2	趋向稳定
桥面板	90.2(2 类)	61.9(3 类)	31.4	发展缓慢

表 9 基于病害状况的部件技术状况修正

评价部件	2019 年部件技术状况修正		
	病害标度 变更	最大扣分 变更	部件得分值 $PCCI_i$
主拱圈	+0.5 级	40	49.4(4 类)
拱上结构	-0.5 级	40	87.0(2 类)
桥面板	—	—	61.9(3 类)

工作有针对性地开展。

(2) 提高了桥梁档案数据库的利用率。通过桥梁检查数据的前后对比,做到了检查数据的溯源性和桥梁技术状况发展的可视性,让桥梁档案数据关联起来。

(3) 修正了桥梁技术状况。桥梁结构病害发展趋势严重影响结构性能,通过鉴定病害发展动态过程修正桥梁技术状况,可使桥梁评估结果可靠性更高。

(4) 提升桥梁检查工作的信息化水平。引入桥梁病害发展,进一步挖掘以往桥梁检查数据的价值,得到桥梁技术状况发展的动态情况,可为桥梁检查智能化发展提供参考。

参考文献:

[1] JTG/T H21—2011 公路桥梁技术状况评定标准[S].
[2] JTG H11—2004 公路桥涵养护规范[S].
[3] 周方,张明媛,袁永博.中美公路桥梁检测及评价方法对比研究[J].中外公路,2016(4).
[4] 斯新华.对公路桥梁部件缺损发展变化状况量化方法研究[J].公路,2019(2).
[5] 唐赓,毛建平,蒙方成,等.斜拉调载加固法在桥梁加固中的应用研究[J].中外公路,2020(2).

5 结论

(1) 评估模型突出了桥梁的重点病害。在桥梁检查时,给技术人员展示了桥梁以往的病症所在,以便于