

# 中美桥梁总体技术状况评价指标计算方法对比

张立奎<sup>1</sup>, 孙莉<sup>2</sup>

(1. 安徽省交通控股集团有限公司, 安徽 合肥 230000;

2. 安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司, 安徽 合肥 230088)

**摘要:**为借鉴学习国外在桥梁技术状况评定方面的新做法,该文基于一个桥梁示例,就中美相关养护规程中桥梁总体技术状况评价指标的计算方法进行详细的对比,并从基础病害数据、指标的计算公式和计算结果等方面分析其异同点,可为桥梁的技术状况评定提供一些新思路。

**关键词:**桥梁养护管理; 技术状况评定; 评价指标; 计算方法

桥梁技术状况评定是桥梁养护管理中的重要一环。只有了解桥梁的实际状况,才能及时采取合理有效的养护维修措施,从而提高桥梁服务水平,延长桥梁使用寿命,并节约养护费用。JTG/T H21—2011《公路桥梁技术状况评定标准》<sup>[1]</sup>(以下简称“评定标准”)的总则第一条即指出:桥梁技术状况评定的目的是通过全面描述桥梁各部件的缺陷,评价桥梁技术状况,记录桥梁基本特征,建立健全桥梁技术档案,提供进行桥梁养护、维修和加固的决策支持,使桥梁长期处于良好的工作状态,最终体现在对运营的桥梁进行有效管理和状况监控。

桥梁技术状况评定是一个复杂的综合评价问题,涉及的因素较多。该文参照中美标准或规范建立一个表征桥梁总体技术状况的指标,从结构性能或功能上评价其桥梁的健康程度,如“评定标准”中的桥梁总体技术状况评分 $D_r$ 。这些总体评价指标进一步帮助桥梁管理者决策在所辖桥梁中,哪些桥梁劣化严重并急需维修。

## 1 桥梁总体技术状况评价指标的计算方法

一般来说,单座桥梁的总体技术状况评价指标主要基于该桥各结构构件的技术状况数据来进行计算<sup>[2]</sup>。就其计算方法来说,各国采用的具体方法不尽相同。文献[2]、[3]分别调研了英美等发达国家或地区采用的桥梁总体技术状况评价指标,根据其计算方

法将它们分为以下4类:

(1) 比例法。该方法根据桥梁构件现有的技术状况数据与新桥的相应数据的比例来进行计算,其代表有表1中美国加州采用的BHI(Bridge Health Index)、加拿大安大略省采用的BCI(Bridge Condition Index),下文将做更具体的解释。

(2) 加权平均法。该方法综合考虑桥梁所有构件的技术状况评分,以及它们对桥梁结构完整性影响程度的不同(即不同的权重),其代表有表1中英国采用的 $PI_{Av}$ (Performance Indicator)、澳大利亚维多利亚州采用的BCN(Bridge Condition Number)、“评定标准”中的 $D_r$ 也属于该类。

(3) 技术状况最差构件法。该方法采用技术状况最差的桥梁构件的评分,来评估桥梁的总体技术状况,其代表有表1中英国采用的 $PI_{Crit}$ 、“评定标准”中的单项控制指标也属于该类。

(4) 定性描述。该方法不采用得分数据来报告桥梁的总体技术状况,而用描述性的词如“差”、“较好”、“完好”等来说明;代表有表1中澳大利亚新南威尔士州采用的BHI。

根据上述分类可以看出:“评定标准”采用了定量方法中加权平均法和技术状况最差构件法的组合评定方法,它们与另一种定量方法,即比例法具体有哪些不同,比例法有哪些是可以学习和借鉴的地方则值得探讨。该文从这个思路出发,基于一个计算示例,讨论“评定标准”中的 $D_r$ 和美国加州桥梁健康指数BHI在计算方法上的异同点。

表 1 英美等国采用的桥梁总体技术状况评价指标

指标名称	计算方法	备注
美国加州 <i>BHI</i>	比例法	美国桥梁管理软件 BrM、AASH-TOWARE™ 等采用 <sup>[3]</sup>
加拿大安大略省 <i>BCI</i>	比例法	加拿大安大略省桥梁管理软件 OBMS 采用,与加州 <i>BHI</i> 类似 <sup>[2]</sup>
澳大利亚维多利亚州 <i>BCN</i>	加权平均法	基本公式 $BCN = \sum (AGR \times W_b)$ , $AGR$ 、 $W_b$ 分别为各类构件的技术状况数据和重要性权重系数 <sup>[2]</sup>
英国 $PI_{Av}$	加权平均法	评估每一类桥梁构件的技术状况, $PI_{Av}$ 根据各类构件的技术状况数据及其重要性系数计算
英国 $PI_{Crit}$	技术状况最差构件法	$PI_{Crit}$ 根据最差一类构件的技术状况数据计算 <sup>[4]</sup>
澳大利亚新州 <i>BHI</i>	定性描述	四级:差 (Poor)、良好 (Fair)、好 (Good)、竣工合格 (As-built) <sup>[2]</sup>

2 中美桥梁总体技术状况评价指标的示例计算

2.1 计算示例

假设一跨径 25 m 的简支梁桥,桥宽 12 m,采用钢混组合梁,I 形钢梁共 4 片。根据 AASHTO Manual for Bridge Element Inspection<sup>[5]</sup> (基于构件的桥梁检查手册 2019 年第二版,以下简称“AASHTO MBEI—2”)记录的桥梁构件及病害数据如表 2 所示。

而按照“评定标准”,桥梁构件和病害数据则记录如表 3 所示。由于“评定标准”与“AASHTO MBEI—2”记录桥梁构件病害情况的方法不同,且实际中还涉及检查人员的主观判断,这两种记录方法分别对该示例桥梁的病害情况都进行了相对准确的表达。由于该组数据未完全覆盖一座桥梁上的所有构件,但在各部位中给出了代表性的构件,根据“评定标准”,调整了部件的权重。

表 2 基于 AASHTO MBEI—2 的病害统计数据

桥梁构件与病害类型	合计	技术状况标度				单位失效成本
		1 好	2 较好	3 差	4 严重	
12—钢筋混凝土桥面板	300 m <sup>2</sup>			300		600 \$
1 090—空洞与孔洞				300		
107—钢梁	100 m	61	34	5		3 500 \$
1 000—锈蚀			34			
1 010—裂缝				5		
215—钢筋混凝土桥台	24 m	24				7 700 \$
205—钢筋混凝土柱	4 个	4				9 000 \$
300—伸缩缝	24 m			24		550 \$
2 310—漏水				12		
2 330—橡胶条损坏				12		

注:构件与病害名称前的数字分别为其分类编码,具体参考“AASHTO MBEI—2”;\$ 为美元。

表 3 基于“评定标准”的病害统计数据

部位	部件	权重	构件	病害情况
上部结构	上部承重构件	1.0	桥面板划分为 5 个构件,钢梁 4 片,共 9 个构件	桥面板 5 个构件均发生空洞孔洞(最高标度 4),评定标度均为 3;3 片钢梁发生锈蚀(最高标度 4),评定标度均为 2,1 片钢梁发生构件裂缝(最高标度 5),评定标度为 2
下部结构	桥台	0.6	划分为 2 个构件	无
	墩台基础	0.4	划分为 4 个构件	无
桥面系	伸缩缝装置	1.0	伸缩缝划分为 2 个构件	两个构件均发生“评定标准”中的破损(最高标度 4),评定标度均为 3

2.2 加州桥梁健康指数  $BHI$  的计算

加州桥梁健康指数  $BHI$  因最早由美国加州交通部发展和提出而得名,其发展的背景是加州交通部认为,美国联邦政府所推荐的桥梁总体技术状况评价指标“充分度  $SR$ ”(Sufficiency Rating,在美国已不再使用<sup>[3]</sup>)在桥梁结构技术状况数据的基础上,还综合了桥梁使用和对公共安全的影响数据,因此它不是桥梁技术状况的纯粹指标;此外其中的技术状况数据较粗略,仅按桥面板、上部结构和下部结构对桥梁进行评估,评定分级仅描述了病害的严重性,而未对严重程度进行量化。

在桥梁管理信息化和基于构件的桥梁检查等理念兴起和发展的背景下,加州交通部提出了  $BHI$  评价指标。它用 0~100 的数字评分,来反映桥梁的剩余价值,计算公式如下:

$$BHI=(\sum CEV_i/\sum TEV_i)\times 100$$
$$TEV_i=TEQ_i\times FC_i$$
$$CEV_i=\sum(QCS_{ij}\times WF_{ij})\times FC_i$$
$$WF_{ij}=1-(\text{标度}-1)/(\text{最高标度}-1)$$

式中: $TEV_i$  为桥梁构件的原始价值; $TEQ_i$  为桥梁构件按统计标准的工程量; $FC_i$  为桥梁构件单位失效成本; $CEV_i$  为桥梁构件的现有价值; $QCS_{ij}$  为桥梁构件某种技术状况标度下的统计工程量; $WF_{ij}$  为某种技术状况标度的权重系数。

根据上述公式,得到 2.1 节计算示例的  $BHI$  结果如表 4 所示,因“AASHTO MBEI-2”已将所有构件技术状况的最高标度统一为 4,则对应技术状况标度为 1~4, $WF$  数值分别为 1.0、0.67、0.33 和 0。

表 4 计算示例的  $BHI$  计算结果

桥梁构件	$CEV_i$	$TEV_i$	$TEV_i/\sum TEV_i$	$(CEV_i/TEV_i)\times 100$	$(CEV_i/\sum TEV_i)\times 100$
12—RC 桥面板	$300\times 0.33\times 600=59\,400$	$300\times 600=180\,000$	0.236	33.0	7.80
107—钢梁	$(61\times 1.0+34\times 0.67+5\times 0.33)\times 3\,500=299\,005$	$100\times 3\,500=350\,000$	0.458	85.4	39.10
215—RC 桥台	$24\times 1.0\times 7\,700=184\,800$	$24\times 7\,700=184\,800$	0.242	100.0	24.20
205—RC 柱	$4\times 1.0\times 9\,000=36\,000$	$4\times 9\,000=36\,000$	0.047	100.0	4.70
300—伸缩缝	$24\times 0.33\times 550=4\,356$	$24\times 550=13\,200$	0.017	33.0	0.57
合计	$\sum CEV_i=583\,561$	$\sum TEV_i=764\,000$	1.0	桥梁	$BHI=76.4$

2.3 “评定标准”中的桥梁总体技术状况评分  $D_r$  的计算

“评定标准”中  $D_r$  的计算为一种分层综合评定

法,具体公式参考文献[1]的“4.1 节桥梁技术状况评定计算”。得到 2.1 节计算示例的  $D_r$  结果如表 5 所示。

表 5 计算示例的  $D_r$  计算结果

部位	部件	构件得分	部件得分	部位得分	桥梁得分
上部结构	上部承重构件	桥面板 5 个构件得分均为 60,发生锈蚀的 3 片钢梁得分均为 75,发生构件裂缝的 1 片钢梁得分为 65	60.7	60.7	$D_r=60.7\times 0.4+100\times 0.4+56\times 0.2=75.5$
下部结构	桥台	2 个构件得分均为 100	100	100	
	墩台基础	4 个构件得分均为 100	100		
桥面系	伸缩缝装置	2 个构件得分均为 60	56.0	56.0	

### 3 对比与分析

通过前述示例说明和桥梁总体技术状况评价指标的分别计算,可以看出:

(1) 从用于计算的技术状况数据来说, $BHI$  主要基于两类数据计算:桥梁构件的病害技术状况数据与构件的失效成本。其技术状况数据通过引入构件的统计工程量,不仅记录了病害的严重性,还对严重程度进行了量化。而桥梁构件的失效成本,一般可根据构件的维护成本或更换成本来预估。

$D_r$  的计算则主要基于构件的技术状况数据,没有引入经济指标。相比来说,采用“评定标准”的方法记录的构件病害技术状况数据,首先构件划分显得粗略,如计算示例中的混凝土桥面板和钢梁,被放在一起进行评价;其次“评定标准”突出的是某一个构件上某种病害的严重程度,而“AASHTO MBEI-2”则为某一类构件上某种病害的不同严重程度情况的分布。在“评定标准”中,病害如果不和构件结合,则无法评定其标度;而“AASHTO MBEI-2”中,病害的技术状况标度则更强调病害本身的严重程度。

(2) 从计算方法上来说, $BHI$  的计算较为直接,即由桥梁构件的现有总价值与原始总价值的比值得出。如果对  $BHI$  的计算公式进行变换,可以得到:

$$BHI = \frac{\sum CEV_i}{\sum TEV_i} \times 100 = \sum \left( \frac{CEV_i}{TEV_i} \times \frac{TEV_i}{\sum TEV_i} \right) \times 100$$

$$100 = \sum \left[ \frac{\sum (QCS_{ij} \times WF_{ij})}{TEQ_i} \times \frac{TEV_i}{\sum TEV_i} \right] \times 100 \quad (5)$$

式中:  $TEV_i / \sum TEV_i$ , 类似于一个权重系数,由构件的工程量 and 失效成本计算得出,这样  $BHI$  也可以解释为构件的健康指数的加权平均。不论公式的变换如何, $BHI$  的计算均为构件数据的直接计算,不同于  $D_r$  计算的分层综合评定法。计算  $D_r$  时,在最底层计算中单个构件即需由其所有病害情况计算出一个技术状况评分,病害数据没有在同类构件中进行统计考虑。权重系数分别在部件和部位层级考虑,“评定标准”给出了不同类型桥梁各部件权重以及部位权重的推荐

值,可以认为它们均为经验值。

(3) 从计算结果来说,虽然从总分看, $BHI=76.4$  与  $D_r=75.5$  差别不大,但其分数组成则有很大的不同。 $BHI$  中得分最高的构件是“107—钢梁”,最低的则是“300—伸缩缝”,仅 0.57;但  $D_r$  中,钢梁和桥面板一起只有约 24 分,而伸缩缝则达到 11.2 分,综合此计算示例的情况分析,可以认为  $D_r$  中钢梁得分偏低,而伸缩缝得分则被大大高估。

### 4 结语

通过对比中美桥梁总体技术状况评价指标的计算方法,从基础病害数据、指标的计算公式和计算结果等方面分析了它们的异同点,可以为桥梁的技术状况评定提供一些新思路。同时可以看到:中国的“评定标准”所采用的分层综合评定法,更依赖于定性评价如构件检测指标的扣分制、经验参数如权重系数的经验值等,在定量分析和计算方面还有待进步。

### 参考文献:

- [1] JTG/T H21—2011 公路桥梁技术状况评定标准[S].
- [2] Austroads Ltd. Bridge Management Using Performance Models[R],2013.
- [3] Office of Infrastructure Research and Development, Federal Highway Administration. Synthesis of National and International Methodologies Used for Bridge Health Indices[R],2016.
- [4] Highways Agency CSS Bridges Group. Guidance Document for Performance Measurement of Highway Structures Part B1: Condition Performance Indicator [R], 2007.
- [5] MBEI-2—2019 AASHTO Manual for Bridge Element Inspection[S].
- [6] 申强. 对公路桥梁技术状况评定的思考[J]. 中国公路, 2017(10):31—33.
- [7] 李文琪,李毅谦,李连友. 桥梁健康管理 with 桥梁管理系统[C]. 第八届中国高速公路信息化管理及技术研讨会论文集,2006.
- [8] 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,2016,36(2):86—91.