

基于模糊层次分析法的服役桥梁维修方案评价

刘锐生

(广东能达高等级公路维护有限公司, 广东 广州 510030)

摘要: 结合佛开(佛山—开平)高速公路服役桥梁耐久性维修工程的实际状况,从施工期间的经济性、施工难易程度、交通影响、环境影响和运营期间的安全适应性、养护工程量、耐久性、结构美观性方面构建评价体系,运用层次分析法计算指标权重,在此基础上建立模糊综合评价模型,通过定量与定性分析,对该高速公路既有桥梁维修方案进行比较,优选出最佳加固方案。

关键词: 桥梁;加固维修;模糊层次分析法

中图分类号:U445.7

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2021)01-0133-04

随着公路桥梁服役年限的延长,桥梁不可避免地出现各种病害,需采取必要的维修加固措施。对公路桥梁加固维修方案进行评价,有利于决策者选择合理的加固方案,消减人为主观评价带来的误差。而影响桥梁加固方案选择的因素很多,以往研究采用层次分析法、模糊综合评判法等对加固方案进行评价,以不同方式构建桥梁加固方案决策模型。但 these 方法存在决策方法单一且非一致性问题,同时部分加固决策理论与实际加固应用存在脱节的情况,尽管研究人员给出了评判方法与计算步骤,但部分模型仍存在计算复杂的情况。为解决上述问题,该文基于模糊数学理论,建立专家调查十层次分析法的服役桥梁维修加固方案模糊综合评价体系,从初步考虑经济性与安全性可行方案中优选最佳加固方案,达到加固服役桥梁技术可行、安全可靠、经济

合理、施工便捷的目标。

1 既有桥梁维修备选方案确定

如图 1 所示,先根据服役桥梁的功能性要求(主要包括桥梁净空是否满足车辆通行、航道要求,桥面净空及高程是否满足断面设计及路线纵断面要求)进行评判,对于不满足功能性要求的服役桥梁,进行拆除重建或改造利用。对于功能性满足要求的服役桥梁,对其安全性和技术状况进行评定,两者均较好者直接利用;安全性不满足或技术状况较差者,对其进行二次评估,确定服役桥梁加固维修方案。最后从施工期的经济性、施工难易程度、交通影响、环境影响和运营期的安全适应性、养护工程量、耐久性、美观性等方面对桥梁加固方案进行综合比选,确定最优桥梁加固方案。

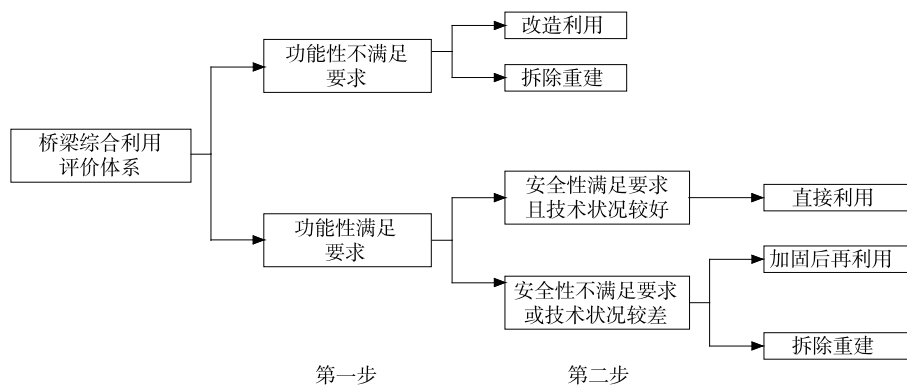


图 1 公路服役桥梁综合利用方案的初步拟定流程

现阶段桥梁加固方案较多,基本可分为加强薄弱环节、增加或更换桥梁构件、改变桥梁结构受力体系 3 种。桥梁常用加固方法有粘贴碳纤维、粘贴钢板、预应力钢丝绳+聚合物砂浆加固、体外预应力加

固、桥面补强层加固、改变结构体系等。佛开(佛山—开平)高速公路车流量大,交通繁忙,对其加固方式的选取应考虑对现有交通的影响。在常用加固方式中,改变结构体系、桥面补强加固等均需封闭交

通,对正常交通出行影响较大。同时加固方案还需结合服役桥梁实际抗弯、抗剪和技术状况等综合考虑确定。综合考虑,佛开高速公路桥梁加固主要考虑粘贴碳纤维、粘贴钢板、桥面补强层3种方案(见图2)。

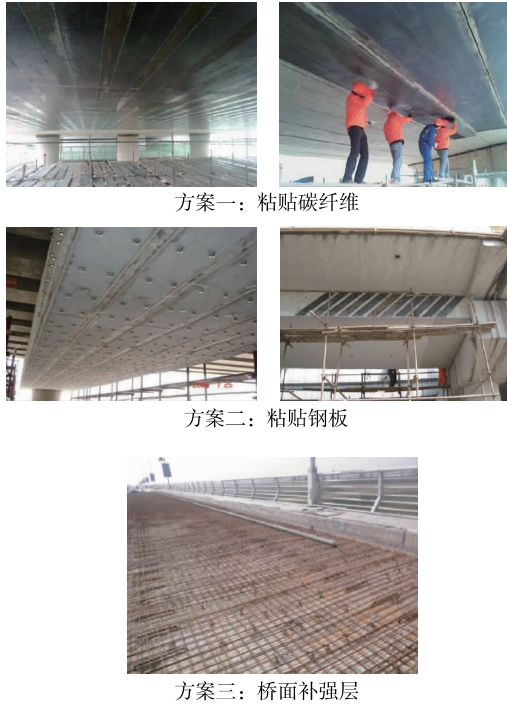


图2 佛开高速公路桥梁加固备选方案

2 评价指标体系构建

传统的层次分析方法具有简洁、实用、系统性和适用性强的优点,但对各指标赋权时存在诸多不足,受主观因素影响较大,评价结果的客观性和合理性尚待商榷。专家调查法具有主观、定性的特点,涉及评估指标过多时,专家对指标的认识程度、指标之间相互重要程度取值存在不确定性,且单一专家评判受主观因素的影响较大,如评判者背景、偏好或对评判对象的了解程度都可能影响评价结果的客观性。专家调查+层次分析法采用群组决策的方式代替单一专家评判,构造判断矩阵时邀请多位专家进行评判。各专家以上一层次指标为准则对下一层次各指标进行两两比较,获得以区间数构成的不确定性判断矩阵,采用最优传递矩阵的方法,在最优(最小二乘)的意义下调整人们认识中的不一致性,确定一个拟优一致矩阵,以此作为确定各指标权重的依据。佛开高速公路桥梁加固方案采用专家调查+层次分析法,结合模糊综合评判法进行模糊评价,评价体系

建立流程见图3。

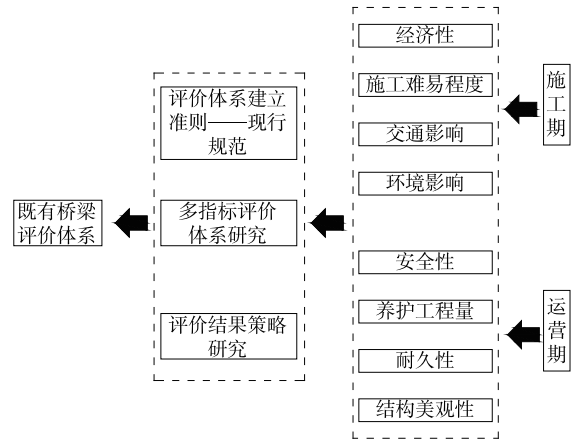


图3 桥梁加固方案评价体系建立流程

结合佛开高速公路既有桥梁的维修特点建立综合评价指标体系,其由方案层、准则层、目标层组成(见表1)。首先对模型中的目标层进行评估计算,最后对方案层进行综合评估。主要对指标进行定性、定量评估,其中定量指标是有具体数据的硬指标,主要以相关标准及法律要求为依托,以实地调研、综合评估等形式确定评价等级。对于定性指标,主要根据实际状况结合主观意识来评估,邀请20位相关领域专家,通过专家打分的形式确定评价等级。

表1 佛开高速公路既有桥梁维修方案综合评价指标

项目(方案层)	一级指标(准则层)	二级指标(目标层)
佛开高速公路既有桥梁维修方案综合评价指标 A	施工期 B ₁	经济性 C ₁
		施工难易程度 C ₂
		交通影响 C ₃
		环境影响 C ₄
	运营期 B ₂	安全适应性 C ₅
		养护工程量 C ₆
		耐久性 C ₇
		结构美观性 C ₈

3 佛开高速公路桥梁维修方案综合评价

3.1 计算隶属度矩阵

依据高速公路服役桥梁维修方案评价内容,将维修方案分为5个评价等级(见表2)。

20位相关领域专家对佛开高速公路服役桥梁加固方案评价指标体系中的二级指标(目标层)进行打分,得出评价指标不同等级的比例分布,继而得到隶属度矩阵。以加固方案一为例,其单因素指标隶属度见表3。

表 2 高速公路服役桥梁维修方案评价标准

评价等级	打分区间	维修方案对应原则
一级	[90,100]	优级。维修方案实施后桥梁能很好地满足设计要求,获得很好的社会、经济效益
		良好级。维修方案实施后桥梁结构功能可靠性明显提高,满足设计要求;其他方面较好地满足要求
二级	[80,90)	合格级。维修方案实施后桥梁结构功能可靠性有较大提高,不需再加固,但需小修;其他方面基本满足要求
三级	[60,80)	不合格级。维修方案实施后桥梁不需再加固,但需中修;其他方面不满足要求
四级	[50,60)	劣级。维修方案实施后桥梁结构功能可靠性基本无改善,需再进行加固;其他方面不满足要求
五级	<50	

由表 3 得评价指标的隶属矩阵如下:

表 3 加固方案一不同评价指标的单因素指标隶属度

评价指标等级	经济性	施工难易程度	交通影响	环境影响	安全适应性	养护工程量	耐久性	结构美观性
一级	0.60	0.45	0.40	0.60	0.50	0.30	0.40	0.45
二级	0.35	0.40	0.45	0.30	0.35	0.45	0.35	0.40
三级	0.05	0.20	0.10	0.05	0.10	0.15	0.15	0.15
四级	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10	0.00
五级	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 4 A—B 层次判断矩阵

A	B ₁	B ₂
B ₁	1	2
B ₂	1/2	1

表 5 A—B 层次判断矩阵归一化结果及指标权重

指标	归一化结果		求和	权重
	B ₁	B ₂		
B ₁	0.666 7	0.666 7	1.333 3	0.667
B ₂	0.333 3	0.333 3	0.666 7	0.333

表 7 B₂—C 层次判断矩阵归一化结果及指标权重

指标	归一化结果				求和	权重
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄		
C ₁	0.428 6	0.363 6	0.500 0	0.375 0	1.67	0.417
C ₂	0.214 3	0.181 8	0.125 0	0.250 0	0.77	0.193
C ₃	0.214 3	0.363 6	0.250 0	0.250 0	1.08	0.269
C ₄	0.142 9	0.090 9	0.125 0	0.125 0	0.48	0.121

(3) B₂—C 层次判断矩阵计算。在 B₂ 准则下,

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.60 & 0.35 & 0.05 & 0.00 & 0 \\ 0.45 & 0.40 & 0.20 & 0.05 & 0 \\ 0.40 & 0.45 & 0.10 & 0.05 & 0 \\ 0.60 & 0.30 & 0.05 & 0.05 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.35 & 0.10 & 0.05 & 0 \\ 0.30 & 0.45 & 0.15 & 0.10 & 0 \\ 0.40 & 0.35 & 0.15 & 0.10 & 0 \\ 0.45 & 0.40 & 0.15 & 0.00 & 0 \end{bmatrix}$$

3.2 计算指标权重

对项目的一级和二级风险因素进行两两比较评分,将各自打分结果进行整理,采用加权平均的方法得出各指标的权重。

(1) A—B 层次判断矩阵计算。在 A 准则下,两两判断确定第一层判断矩阵(见表 4)。对该矩阵进行归一化,结果见表 5。计算得:矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}=2$,一致性检验指标 $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=0$ (n 为阶数),随机一致性比率 $CR=CI/RI=0$ (RI 为随机一致性指标), $CR<0.1$,判断矩阵具有一致性。

(2) B₁—C 层次判断矩阵计算。在 B₁ 准则下,两两判断确定第二层判断矩阵(见表 6)。对该矩阵进行归一化,结果见表 7。计算得: $\lambda_{\max}=4.071$, $CI=0.023\ 7$, $CR=0.026<0.1$,判断矩阵具有一致性。

表 6 B₁—C 层次判断矩阵

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	1	2	2	3
C ₂	1/2	1	1/2	2
C ₃	1/2	2	1	2
C ₄	1/3	1/2	1/2	1

两两判断确定第二层判断矩阵(见表 8)。对该矩阵

进行归一化,结果见表9。计算得: $\lambda_{\max}=4.031$, $CI=0.010\ 3$, $CR=0.011\ 5<0.1$,判断矩阵具有一致性。

一级指标及二级指标风险因素的权重值见表10。对应权重集为:

$$W=(0.667\ 0.333)$$

$$w_1=(0.417\ 0.193\ 0.269\ 0.121)$$

$$w_2=(0.466\ 0.277\ 0.161\ 0.096)$$

表9 B_2-C 层次判断矩阵归一化结果及指标权重

指标	归一化结果				求和	权重
	C_5	C_6	C_7	C_8		
C_5	0.480 0	0.521 7	0.461 5	0.400 0	1.86	0.466
C_6	0.240 0	0.260 9	0.307 7	0.300 0	1.11	0.277
C_7	0.160 0	0.130 4	0.153 8	0.200 0	0.64	0.161
C_8	0.120 0	0.087 0	0.076 9	0.100 0	0.38	0.096

表10 佛开高速公路既有桥梁维修方案

综合评价指标的权重

目标层	一级指标 (准则层)	权重	二级指标 (目标层)	权重
佛开高速公路既有桥梁维修方案综合评价指标A	施工期 B_1	0.667	经济性 C_1	0.417
			施工难易程度 C_2	0.193
			交通影响 C_3	0.269
			环境影响 C_4	0.121
	运营期 B_2	0.333	安全适应性 C_5	0.466
			养护工程量 C_6	0.277
			耐久性 C_7	0.161
			结构美观性 C_8	0.096

3.3 模糊综合计算

对方案一进行模糊综合评价,设评价向量为 μ_i ($i=1,2,3,4,5$),得:

$$\mu_1=w_1 \times R_1=(0.52,0.38,0.09,0.03,0)$$

$$\mu_2=w_2 \times R_2=(0.42,0.38,0.13,0.07,0)$$

佛开高速公路既有桥梁维修方案综合评价指标 μ 为:

$$\mu=WR=W(\mu_1\ \mu_2)^T=$$

$$(0.49\ 0.38\ 0.10\ 0.04\ 0)$$

评语集为: $V=(\text{一级}, \text{二级}, \text{三级}, \text{四级}, \text{五级})$

根据最大隶属度原则, $A=\max(\mu)=0.49$,对应评价等级为一级,即方案一的综合评价结果为优。

同理得方案二、方案三的综合评价结果分别为:

$$\mu=WR=(0.44\ 0.42\ 0.09\ 0.05\ 0)$$

$$\mu=WR=(0.4\ 0.45\ 0.11\ 0.04\ 0)$$

对应评价等级分别为一级、二级。从最终隶属度值可得方案一为最佳加固方案,方案二次之。

表8 B_2-C 层次判断矩阵

B_2	C_5	C_6	C_7	C_8
C_5	1	2	3	4
C_6	1/2	1	2	3
C_7	1/3	1/2	1	2
C_8	1/4	1/3	1/2	1

4 结语

影响服役桥梁维修加固方案评价的因素主要有施工期间的经济性、施工难易程度、交通影响、环境影响和运营期间的安全适应性、养护工程量、耐久性、结构美观性。以佛开高速公路桥梁加固方案为例,对粘贴碳纤维、粘贴钢板、桥面补强层3种桥梁加固方案采用模糊层次分析法进行识别及评估,得粘贴碳纤维为最佳加固方案,粘贴钢板方案次之。结合该项目桥梁病害及特点,最终对“佛开高速公路部分桥梁耐久性维修工程及涵洞病害维修整治工程TJ1标段”中的桥梁采用粘贴纤维增强复合材料加固、粘贴钢板加固这两种方案。

参考文献:

- [1] 边晶梅,朱浮声,康玉梅.基于可靠性的服役桥梁维修加固决策研究综述[J].中外公路,2008,28(1):133-138.
- [2] 刘建英,刘小粉.基于层次分析法的政府投资高速公路项目绩效评价探讨[J].长沙理工大学学报(社会科学版),2011,26(6):34-40.
- [3] 冯忠居,邵平,付长凯,等.基于模糊层次法跨黄河桥梁桩基础损伤评价与分析[J].中外公路,2017,37(1):129-134.
- [4] 毛铮.悬臂浇筑连续箱梁病害分析及加固对策研究[J].公路与汽运,2018(4):130-133.
- [5] 何弘,周建庭,程鸿章.基于模糊层次分析法的梁桥加固方案优选[J].北方交通,2012(12):57-60.