

基于价值工程的桥梁伸缩装置选型研究

李亮, 黄民水*

(武汉工程大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:为了合理选择桥梁伸缩装置的类型,减少维修次数,该文基于价值工程研究桥梁伸缩装置设计方案,从而选取最优设计方案。首先通过对桥梁伸缩装置选型影响因素进行分析,确定方案评价指标;随后通过层次分析法建立层次结构模型、构造判断矩阵,确定各个评价指标的权重值并进行一致性检验;基于灰色模糊理论,建立隶属度判断矩阵,计算方案的功能系数;最后根据全寿命周期成本确定项目方案的成本系数,并根据价值工程的计算公式,确定方案的价值系数,从而得到伸缩装置选型最优方案。

关键词:桥梁伸缩装置; 价值工程; 层次分析法; 灰色模糊理论

桥梁伸缩装置的合理选型是保证桥梁结构稳定、减少维修与更换的重要措施。桥梁伸缩装置的施工、设计、养护管理和适用范围等环节选择不合理,都会造成伸缩装置的破坏。因此,对桥梁伸缩装置施工、设计、养护管理和适用范围提出了相应要求。

价值工程的核心是设计方案的功能分析。它将方案项目功能和经济有机结合起来,克服方案设计中功能和经济相互脱节的现象,确定不同方案的价值高低,选择合理的方案。

该文从桥梁伸缩装置的设计要求、施工要求、养护管理要求和适用范围等方面出发,通过价值工程对桥梁伸缩装置优选,确定桥梁伸缩装置的类型。将伸缩装置功能和经济有机结合,在设计选型阶段,提高方案的性能价格比,创造出更好的经济价值和社会价值。

1 基于层次分析法的方案评价指标权重确定

层次分析法(Antalytic Hierarchy Process, AHP)是美国 T. L. Saaty 于 1986 年提出的一种实用的多方案或多目标决策方法。该方法的主要思路是对需要进行决策的内容按照项目类别进行分类,形成了包含目标层、准则层、指标层在内的从高到低的树状层次结构,并根据层次结构对该层次内的元素进行排序,最终

确定指标权重。

1.1 构建层次结构模型

AHP 的递阶层次结构(图 1)由最高层(管理目标)、中间层(准则、指标)和最底层(方案)所组成,如图 1 所示。

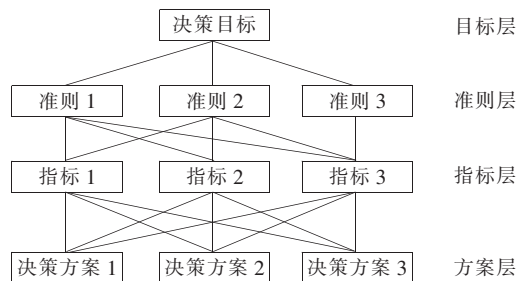


图 1 评价指标层次结构

1.2 构造判断矩阵

结构模型建立之后,确定了上下层因素间的从属关系,则需要决策者对同阶次因素存在从属关系的因素,进行相对重要性比较,建立判断矩阵,如表 1 所示。

表 1 A—B 判断矩阵

A_i	B_1	B_2	...	B_n
B_1	B_{11}	B_{21}	...	B_{n1}
B_2	B_{12}	B_{22}	...	B_{n2}
...
B_n	B_{n1}	B_{n2}	...	B_{nn}

收稿日期:2021-06-10(修改稿)

基金项目:安徽省 2017 年度交通运输科技进步计划项目(编号:皖交科技函[2017]574 号)

作者简介:李亮,男,硕士研究生。E-mail: 623925288@qq.com

* 通信作者:黄民水,男,博士,教授。E-mail:huangminshui@tsinghua.org.cn

按照 1~9 标度对矩阵内指标根据其重要程度予以赋值,指标间重要程度标准见表 2。

表 2 判断矩阵的比例标度	
标度	定义
1	两因素重要性一致
3	一个因素比另外一个因素稍重要
5	一个因素比另外一个因素明显重要
7	一个因素比另外一个因素强烈重要
9	一个因素比另外一个因素特别重要
2,4,6,8	上述相邻两因素的中值
倒数	若一个指标相对于另外一个指标是上面的数字,则第二个指标相对于第一个就是倒数

1.3 评价权重确定

对建立的判断矩阵进行层次排序,步骤方法如下:
(1) 将判断矩阵的列向量归一化:

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}$$

(1)

(2) 列标准化后相加:

$$\bar{w}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}$$

(2)

(3) 再标准化求特征向量:

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{k=1}^n \bar{w}_k}$$

(3)

(4) 求最大特征根:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i}$$

(4)

(5) 检验可靠性

计算出评判值后,对矩阵进行可靠性检验,符合检验标准,说明评判值是合理的,检验步骤如下:

① 检验指标 C.I. 的计算

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

(5)

② 确定一致性修正指标 R.I.,其结果见表 3。

表 3 一致性修正系数 R.I. 值			
n	R.I.	n	R.I.
1	0	6	1.24
2	0	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.94	9	1.45
5	1.12		

③ 可靠性检验指标 C.R. 的计算

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

(6)

当 C.R. < 0.1 时,判断矩阵具有满意的一致性,相反,则需要修正。

2 基于灰色模糊理论的方案功能系数确定

灰色模糊理论是将某些定性的模糊性问题转换成数学工具进行定量解释,通过对现有的信息数据进行汇总识别,按照模糊数学的方法进行计算,得出比较客观的结果。相比仅由专家经验判断给出的定性评价,灰色模糊评价得出的结论更加使人信服。

2.1 确定专家评分标准

选择采用专家调查问卷的方式对桥梁伸缩装置选型的功能性指标进行打分,打分标准为 1~9 标度法。该标度分为 5 个等级,依次为 I (非常相符)、II (一般相符)、III (相符)、IV (不相符)和 V (非常不相符),每个等级分别赋值 s = 9, 7, 5, 3, 1。若属于两评价等级之间,可选择偶数评分,如式(7)所示:

$$c = (I, II, III, IV, V) = (9, 7, 5, 3, 1)$$

(7)

2.2 确定白化权函数

对专家调查表进行归纳,计算各个方案白化权函数。对于不同等级的评价标准,建立不同形态的白化权函数。因此,属于 I 等级的,建立下类形态白化权函数,中类形态白化权函数包含 II、III 和 IV 3 个等级,对于 V 的评价建立上类形态函数。

2.3 构造项目模糊隶属度矩阵

将指标评价结果矩阵 A 的每个元素,分别代入不同等级的白化权函数,计算该评价指标不同等级的隶属度。计算某一评价等级的评价值 n_{ik} :

$$n_{ik} = \sum_{i=1}^m f_k(a_{ij})$$

(8)

得到行向量 $r_i = (n_{i1}, n_{i2}, n_{i3}, n_{i4}, n_{i5})$ 再进行归一化处理:

$$r_{ik} = \frac{n_{ik}}{\sum_{k=1}^5 n_{ik}}$$

(9)

得到行向量 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4}, r_{i5})$,同理得出评价指标体系的模糊隶属度矩阵:

$$R_s = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{i5} \end{pmatrix} \quad (10)$$

2.4 确定方案功能系数

- (1) 计算准则层各因素的模糊评价向量 s_i 。
 $s_i = B_i \cdot R_i = (s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, s_{i4}, s_{i5})$ (11)
- (2) 计算方案整体模糊评价向量 E 。
 $E = W \cdot T = W \cdot (s_1, s_2, s_3, s_4)$ (12)
- (3) 计算方案的功能指标评价得分 FS_i 。
 $FS_i = E \cdot V$ (13)
- (4) 计算方案的功能系数 FI_i 。

$$FI_i = \frac{FS_i}{\sum FS_i} \quad (14)$$

3 基于全寿命周期成本的价值工程

伸缩装置的全寿命周期成本包含建设成本和运营阶段成本两个部分。其中,项目运营成本不仅包含检测、监测、养护成本,还包含车辆运营成本,交通耽搁成本和事故成本等。

伸缩装置的全寿命周期成本 LC_i 计算公式如下。

$$LC_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (15)$$

式中: C_1 为伸缩装置的建设成本; C_2 为检测、监测、养护成本; C_3 为车辆运营成本; C_4 为交通耽搁成本; C_5 为事故成本。

计算方案 i 的成本系数:

$$CI_i = \frac{LC_i}{\sum LC_i} \quad (16)$$

根据价值工程公式,计算出各方案的价值系数,最大价值系数者为最优方案。

$$VI_i = \frac{FI_i}{CI_i} \quad (17)$$

4 案例分析

济河桥位于安徽省阜阳市颍东区北京东路,大桥全长 13 m,双向六车道,桥面宽 24 m,桥梁伸缩装置严重损坏,现对其更换。采用方案 1 为模数式 MA 型伸缩装置,方案 2 为梳齿板 SC 型伸缩装置两种。研究确定桥梁伸缩装置的影响因素,按照层次分析法的步骤计算,确定各个因素的权重,然后按照价值工程的

步骤计算出各个方案的价值系数,比较各个方案的价值系数。

4.1 建立层次结构模型

运用层次分析法时,确定决策目标层为“伸缩装置功能评价指标层次结构”。为实现这一目标,需要考虑伸缩装置设计要求、施工要求、养护管理要求和适用范围 4 种因素,将这 4 种因素作为准则层。然后把适应桥梁温度变化引起伸缩,适应桥梁挠度变化引起伸缩,选用行驶性能良好的构造,整体性,耐久性,高刚度,防、排水性,施工难度,施工工期,检查管理,养护管理和修补方案共 10 种影响因素作为指标层。建立的层次分析结构见图 2。

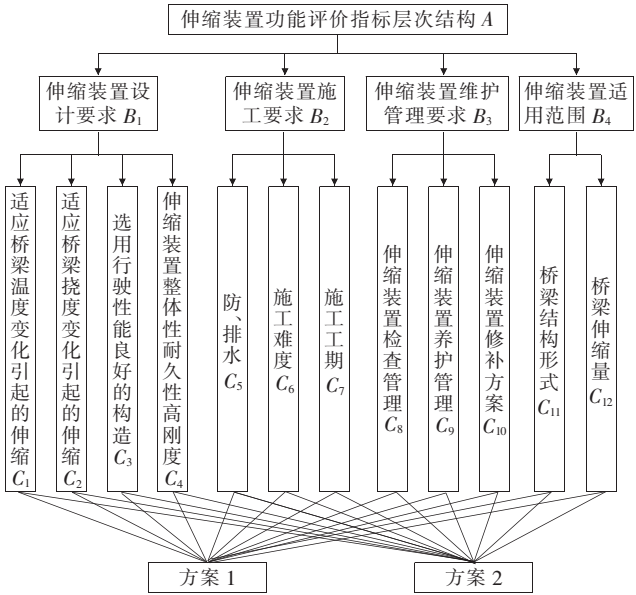


图 2 层次分析结构

4.2 评价权重确定

(1) 构造判断矩阵

对准则层和指标层相对关系进行两两比较,最终形成各层次判断矩阵。

(2) 层次计算权重向量及检验

按层次分析法的计算步骤,计算出各层次的权重向量,并进行一致性检验。结果见表 4~9。

表 4 准则层判断矩阵及计算

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	W _i
B ₁	1	1/3	5	2	0.248
B ₂	3	1	7	4	0.550
B ₃	1/5	1/7	1	1/3	0.058
B ₄	1/2	1/4	3	1	0.144

其中: $\lambda_{\max}=4.066, C.I.=0.022, C.R.=0.024$

表 5 设计要求指标权重计算结构表

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	W_i
C_1	1	3	5	1/3	0.310
C_2	1/3	1	2	1/3	0.139
C_3	1/5	1/2	1	1/3	0.092
C_4	3	3	3	1	0.458

其中: $\lambda_{\max}=4.279,C.I.=0.093,C.R.=0.099$

表 6 施工要求指标权重计算结构表

B_2	C_5	C_6	C_7	W_i
C_5	1	1/3	1/3	0.142
C_6	3	1	2	0.525
C_7	3	1/2	1	0.333

其中: $\lambda_{\max}=4.279,C.I.=0.027,C.R.=0.047$

表 7 养护管理要求指标权重计算结构表

B_3	C_8	C_9	C_{10}	W_i
C_8	1	1/2	1/5	0.122
C_9	2	1	1/3	0.230
C_{10}	5	3	1	0.648

其中: $\lambda_{\max}=4.279,C.I.=0.03,C.R.=0.04$

表 8 适用范围指标权重计算结构表

B_3	C_{11}	C_{12}	W_i
C_{11}	1	3	0.75
C_{12}	1/3	1	0.25

表 9 准则层与指标层权重向量表

内容	权重向量
A	$W_I=(0.248,0.55,0.058,0.144)$
B_1	$B_1=(0.31,0.139,0.092,0.458)$
B_2	$B_2=(0.142,0.525,0.333)$
B_3	$B_3=(0.122,0.23,0.648)$
B_4	$B_4=(0.75,0.25)$

4.3 确定方案功能系数

按照项目评价指标流程,计算出各个方案的灰色模糊评价矩阵,结果如表 10、11 所示。

根据目标灰色模糊判断矩阵的计算,得到项目整体综合评价矩阵为:

表 10 方案 1 整体灰色模糊评价矩阵 R_1

因素	不同评价等级 R_1				
	I	II	III	IV	V
C_1	0.424	0.397	0.179	0.000	0.000
C_2	0.405	0.402	0.193	0.000	0.000
C_3	0.418	0.403	0.179	0.000	0.000
C_4	0.414	0.399	0.187	0.000	0.000
C_5	0.364	0.394	0.242	0.000	0.000
C_6	0.444	0.392	0.164	0.000	0.000
C_7	0.414	0.399	0.187	0.000	0.000
C_8	0.327	0.396	0.277	0.000	0.000
C_9	0.367	0.388	0.245	0.000	0.000
C_{10}	0.307	0.395	0.298	0.000	0.000
C_{11}	0.434	0.395	0.171	0.000	0.000
C_{12}	0.414	0.399	0.187	0.000	0.000

表 11 方案 2 整体灰色模糊评价矩阵 R_2

因素	不同评价等级 R_2				
	I	II	III	IV	V
C_1	0.368	0.411	0.221	0.000	0.000
C_2	0.335	0.406	0.259	0.000	0.000
C_3	0.344	0.404	0.252	0.000	0.000
C_4	0.368	0.411	0.221	0.000	0.000
C_5	0.339	0.411	0.250	0.000	0.000
C_6	0.368	0.411	0.221	0.000	0.000
C_7	0.359	0.413	0.228	0.000	0.000
C_8	0.279	0.359	0.335	0.027	0.000
C_9	0.315	0.393	0.292	0.000	0.000
C_{10}	0.275	0.353	0.344	0.028	0.000
C_{11}	0.434	0.395	0.171	0.000	0.000
C_{12}	0.405	0.402	0.193	0.000	0.000

$E=(0.416,0.396,0.188,0)$

根据项目整体评价公式,计算得方案 1 项目整体性评价值为: $FS_1=E \cdot V^T=7.456$ 。同理,计算方案 2 的整体性评价值 $FS_2=7.274$ 。

由计算功能系数公式计算可得:

$FI_1=0.506,FI_2=0.494$ 。

4.4 各方案成本系数的确定

方案 1:项目全寿命周期总投资为 25.2 万元,其中建设投资为 8 万元,检查和养护投资为 1.36 万元,

车辆运营投资为 6.5 万元,交通耽搁投资为 5.2 万元,事故投资为 0.64 万元,维修投资为 3.5 万元。

方案 2:项目全寿命周期总投资为 33.96 万元,其中建设投资为 10.4 万元,检查和养护投资为 1.36 万元,车辆运营投资为 10.2 万元,交通耽搁投资为 5.2 万元,事故投资为 1.8 万元,维修投资为 5.0 万元。

根据各方案的成本系数计算公式,可得:

$CI_1=0.426,CI_2=0.574$ 。

经过计算,得两个方案的价值系数如表 12 所示。

表 12 各方案价值评价表

项目	方案 1	方案 2
功能系数	0.506	0.494
成本系数	0.426	0.574
价值系数	1.188	0.861

由表 12 可知:方案 1 的价值系数高于方案 2,且方案 1 的价值系数大于 1,因此推荐方案 2。

5 结 论

基于价值工程和灰色模糊理论对桥梁伸缩装置的设计方案进行比选,得出如下结论:

(1) 桥梁伸缩装置的合理选型是后期保证桥梁结构稳定、减少维修与更换的重要措施。通过分析确定了温度,挠度,行驶性,整体性,耐久性,高刚度,防排水,施工难度,施工工期,管理养护修补,结构形式和伸缩量等 12 种影响选型的指标。

(2) 建立层次结构模型,再对准则层和指标层相对关系进行两两比较,构造出判断矩阵,根据层次分析法的计算步骤计算准则层和指标层的权重,并进行一致性检验,通过检验得到每个方案的 $C.R.$ 都小于 0.1。专家对方案每个指标进行 1~9 打分,再根据白化权函数构建方案 5 个等级的灰色模糊评价矩阵,通过计算得到方案 1、2 的功能系数分别为 0.506、0.494。最后通过对各方案全寿命周期成本的分析计算,得出方案 1、2 两方案的成本系数分别为 0.426、0.574。

(3) 通过价值系数的计算公式,计算得到方案 1、2 的价值系数分别为 1.188、0.861。通过比较得方案 1 更加合理且价值系数大于 1。

(4) 基于价值工程和灰色模糊理论能够准确有效地确定优选方案,可在实际工程中予以推广。

参考文献:

[1] 王晓明. 桥梁伸缩装置设计选型与安装[J]. 重庆建筑, 2003(4).

[2] 张传吉. 建筑业价值工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.

[3] Harding A, Lowe D. J., Emsley W. et al. Implementation of Annual Network Model for the Comparison of the Cost of Different Procurement Routes[J]. In: Proceeding of the 15th ARCOM Annual Conference. Liverpool John Moore's University, 1999:219-230.

[4] Lin Christopher, Bill. Formcost Management to Profit Management[J]. Research Institute of America, 2002.

[5] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津出版社,1998.

[6] 邓雪,李家铭,曾浩健,等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012(7).

[7] 曹茂林. 层次分析法确定评价指标权重及 Excel 计算[J]. 江苏科技信息, 2012(2).

[8] 杜宇兵,邹晓翎,阮鹿鸣,等. 基于灰色关联理论的沥青薄层罩面层间剪应力影响因素研究[J]. 中外公路, 2018(3).

[9] 张宇. 基于价值工程的工业建筑设计方案评价比选研究[D]. 沈阳建筑大学硕士学位论文, 2018.

[10] 徐东强,李永亮,王可意. 基于 AHP-DEA 的公路隧道大变形风险评估[J]. 中外公路, 2018(4).

[11] 朱加永,苏航. 基于层次分析法的港口建设模式探讨[J]. 水运工程, 2019(4).

[12] 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(1).

[13] 万文,于军琪,赵江平,等. 高速公路施工安全管理模糊评价研究[J]. 中外公路, 2016(1).

[14] 郭小东,徐师,宋晓胜,等. 基于灰色模糊分析法的古建筑木结构安全性评估[J]. 北京工业大学学报, 2016(3).

[15] 吴栋,田小革,董凡荣. 基于灰色理论的沥青路面使用性能预测模型[J]. 中外公路, 2017(5).