

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.050

基于模糊层次分析法的混凝土梁桥拆除方案研究

潘涛¹, 宋梁², 徐佳盈²

(1.南京市市政工程质量安全监督站, 江苏 南京 210019; 2.南京林业大学土木工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 为保证桥梁的通行能力及耐久性要求,对不符合相关规定的桥梁,在无法加固维修或拓宽的基础上,拆除重建将是其唯一选择。为了从科学理性的角度给出明确的拆除方案选择思路,建立了基于模糊层次分析法的混凝土梁桥拆除方案选择模型;运用模糊层次分析法,以工程实例进行分析,对各种拆除方案进行综合评价,从而选择最优的拆除方案。

关键词: 桥梁拆除;模糊层次分析法;方案研究

中图分类号: TU375.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)05-0214-04

0 引言

由于城市发展的需要,越来越多的专家学者开始研究各种拆除技术以及拆除方法。经过多年的发展与积累,人们已经探索了许多桥梁拆除的方法,在桥梁拆除领域里取得了很多的成就。每种方法都有其优点与适用的范围,目前桥梁拆除爆破方法有以下4种:(1)爆破拆除方法,缺点是办理相关手续困难、水下切割工程对周边影响较大,具有一定的局限性。(2)静态爆破拆除方法,缺点是施工速度较慢、需大量施工人员施工。(3)切割拆除方法,缺点是对场地要求较高(需有摆放吊机的位置)、运输困难费用高(如不能现场堆放及破碎)。(4)腰梁拆除方法,缺点是施工费用很高。因此在选择拆除方法时,应该充分考虑各种因素(老桥结构形式、老桥病害情况、拆除费用、老桥周边环境等等)的影响综合考虑。

在对某混凝土箱梁桥进行拆除方法的考虑时,为了解决在设备选择问题中的定性与定量的抽象问题,本文提出结合模糊层次分析法(FAHP)建立混凝土箱梁桥拆除方案选择模型,运用该模型,对各种拆除方案进行综合评价,科学全面考虑多种因素,从而选择最优的拆除方案。

1 模糊层次分析法模型的建立

1.1 模糊层次分析法

模糊层次分析法(Fuzzy Analytic Hierachy Pro-

ces 简称 FAHP)是层次分析法(Alytic Hierachy Proces 简称 AHP)的基础上引入模糊理论,是一种定量与定性相结合的多层次评价指标体系^[1-10]。

模糊层次分析法(FAHP)对事物的各项评价指标全面综合考虑与估测,构建了完善的隶属度函数模型,从而能够对各项事物进行科学合理的衡量与评价。具体的分析步骤如下^[11-15]。

(1)确定评价目标、因素集和评语集。对于本文来说,评价目标就是选择最优的桥梁拆除方案,因素集和评语集如下式所示:

$$U=(u_1, u_2, \dots, u_n)^T \quad (1)$$

$$V=(v_1, v_2, \dots, v_m)^T \quad (2)$$

式中: u_i 代表方案选择的指标因素; v_j 代表方案选择的评价等级,在本文中评语集确定为{差、较差、中、良、优},利用这种比较模糊的语言来阐述评价等级。

(2)确定各个方案中每个因素指标特征值 X ,将其转化为隶属度值,以此获得评判矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{n \times n} \quad (3)$$

其中 r_{ij} 表示指标因素 u_i 对评价等级 v_j 的隶属度。

(3)建立评价指标因素的权重向量 W 。在对评价指标的权重进行计算的过程中,可以通过多元化的手段来实现计算目标,比如层次分析法、专家咨询法等,选择合适的方法确定权重向量:

$$W=[w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (4)$$

收稿日期: 2023-04-03

作者简介: 潘涛(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事市政
工程管理工作。

计算得到的权重需要满足: $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

(4)模糊评结果

$$B = W \cdot R \quad (5)$$

得到综合评定结果 B 进行分析,挑选最优方案。

1.2 指标体系的建立

本文建立的混凝土箱梁桥拆除施工技术方案选择的指标体系主要对安全性指标、经济性指标和技术性指标这三大指标进行考虑。其中安全性指标具体包括拆除设备 u_1 和组织机构 u_2 这两个因素;经济性指标具体包括拆除费用 u_3 、施工工期 u_4 以及环境影响 u_5 这三个因素;技术性指标具体包括拆除形式 u_6 以及工法成熟情况 u_7 这两个因素。本文通过上述的三大指标以及七个因素共同构成了一个二级三层的混凝土箱梁桥拆除方案评估指标体系,根据混凝土箱梁桥拆除方案评估指标体系建立了混凝土箱梁桥拆除方案总体评价指标层次结构图,见图 1。

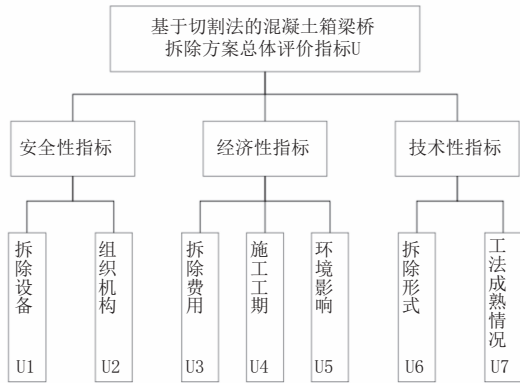


图 1 混凝土箱梁桥拆除方案总体评价指标层次结构图

1.3 建立评判矩阵

(1)建立目标特征值矩阵

设目标有 m 个方案选择,共有 n 个评价指标,那么就可以建立式(6),即目标特征值矩阵 X :

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix} = (X_{ij}) \quad (6)$$

式中: x_{ij} 为第 j 个方案的第 i 个指标的特征值, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。

对于定性指标可以采用语言赋值和模糊数的方法进行评价。规定定性指标的论与为 $[0, 1]$, 本文的评语集定为 {差、较差、中、良、优}, 本文选用线性隶属函数, 其隶属值为 $E=\{0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1\}$ 。对于定量指标特征值采用其实际值。

(2)建立评判矩阵

通过对目标特征值矩阵 X 归一化处理等到评判矩阵 R 。

1.4 确定权重

(1)造两两比较矩阵

两两比较是 FAHP 的基石。在给 3 个标准建立优先级时, FAHP 需要进行两两比较, 判断矩阵内元素的具体取值。FAHP 采用 1~9 的比较尺度进行判断。判断尺度见表 1。

表 1 FAHP 判断尺度表

数值等级	定义
1	两个元素同等重要
3	两个元素比较、一个元素比另一个元素稍微重要
5	两个元素比较、一个元素比另一个元素明显重要
7	两个元素比较、一个元素比另一个元素重要得多
9	两个元素比较、一个元素比另一个元素极为重要
2、4、6、8	介于双数两个相邻判读尺度之间
倒数	元素 u_i 和元素 u_j 相比较得到判断为 a_{ij} , 元素 u_j 和元素 u_i 相比较得到判断为 $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$

根据表 1 可得两两比较矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

(2)两两比较矩阵综合处理

对两两矩阵进行归一化处理, 计算每一列元素之和:

$$S_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (8)$$

计算各个元素与当列的 S_j 的比值, 得到归一化后的新元素:

$$S'_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_j} \quad (9)$$

最后可得归一处理的判断矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} \end{pmatrix} \quad (10)$$

由此计算每一行元素的和:

$$S'_j = \sum_{i=1}^n a'_{ij} \quad (11)$$

从而得到每一个因素的权重:

$$W_i = S'_j / \sum_{j=1}^n S'_j \quad (12)$$

(3)对判断矩阵进行一致性检验

求出矩阵 A 的最大特征根 λ_{max} , 计算一致性指标 CI , 即:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (13)$$

由此可得 RI 系数见表 2。

表 2 RI 系数表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

进一步可计算一致性比例 CR , 即:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (14)$$

当 $CR < 0.1$ 时, 认为判断矩阵的一致性是可以接受的, 否则应该对判断矩阵做出适当修正。

由各权重数 $W_i (i=1, 2, \dots, m)$ 组成的因素权重集 W 是因素集 U 上的模糊子集, 可用模糊向量表示为 $W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$ 。

1.5 综合评价计算

综合评价计算用以上得出的指标权重向量 W 与评判矩阵 R 进行计算, 即代表了评价对象的评价值。即, 将式(3)、式(4)代入式(5)得到 B 。

$$B = W \cdot R = [b_1, b_2, \dots, b_n] \quad (15)$$

式中: b_j 是通过 W 与 R 计算得到的, 即为各方案相对应的评价值, 按照选取原则对方案进行选择即可。

2 模糊层次分析法模型的应用

2.1 工程概况

某城市高架桥为 $5 \times 34.4 \text{ m}$ 的五跨七联以及 $34.4 \text{ m} + 46.4 \text{ m} + 34.4 \text{ m}$ 三跨一联的等截面混凝土连续梁, 老桥为双向四车道, 由于城市发展需要, 改扩建为双向六车道, 需要将原有桥梁结构拆除, 截面形式见图 2。根据几种常见的拆除方案进行比选: 爆破拆除法进行拆除; 直接破除法进行拆除; 切割拆除法进行拆除; 整垮切割法进行拆除; 顶推位移分段切割法进行拆除; 模块车整体拆除法进行拆除。

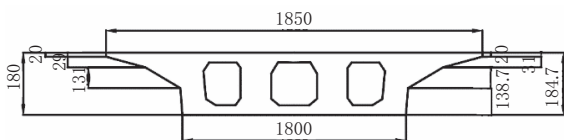


图 2 箱梁标准横断面图(单位: cm)

2.2 指标体系建立

根据本文 1.1 节所述, 建立一个二级三层的指标体系, 见表 3。

表 3 拆除方案总体评价指标层次体系表

目标层 U	系统层 C	指标层 u
混凝土箱梁桥拆除方案 U	安全性指标 C_1	拆除设备 u_1
		组织机构 u_2
		拆除费用 u_3
	经济性指标 C_2	施工工期 u_4
		环境影响 u_5
		拆除形式 u_6
	技术性指标 C_2	工法成熟情况 u_7

2.3 建立评判矩阵

本文的几种拆除方案, 参考专家评价意见, 根据式(6)及采用线性隶属度函数的隶属值 $E = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1\}$ 进行归一化处理, 则评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.75 & 0.8 & 0.5 & 0.5 & 0.6 \\ 1 & 0.8 & 1 & 0.75 & 0.7 & 0.65 \\ 0 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.25 & 0.2 \\ 0.8 & 0.6 & 0.5 & 0.7 & 0.65 & 0.75 \\ 0.3 & 0.35 & 0.75 & 0.7 & 0.7 & 0.75 \\ 0.5 & 0.6 & 0.75 & 0.7 & 0.5 & 0.65 \\ 0.5 & 0.8 & 0.8 & 0.5 & 0.4 & 0.3 \end{bmatrix} \quad (16)$$

2.4 确定指标权重以及分析评价

参考专家意见及本工程实际情况以及各个指标重要性得出, 见表 4~表 7。

表 4 方案评价总指标重要度表

方案评价总指标 U	安全性指标	经济性指标	技术性指标
安全性指标	同等重要	明显重要	稍微重要
经济性指标	明显不重要	同等重要	稍微不重要
技术性指标	稍微不重要	稍微重要	同等重要

表 5 安全性指标重要度表

安全性指标	拆除设备	组织机构
拆除设备	同等重要	明显不重要
组织机构	明显重要	同等重要

表 6 经济性指标重要度表

经济性指标	拆除费用	施工工期	环境影响
拆除费用	同等重要	明显不重要	稍微不重要
施工工期	明显重要	同等重要	稍微重要
环境影响	稍微重要	稍微不重要	同等重要

表 7 技术性指标重要度表

技术性指标	拆除形式	工法成熟情况
拆除形式	同等重要	稍微重要
工法成熟情况	稍微不重要	同等重要

通过参照前述 FAHP 判断尺度表对各个指标进行赋值,按照式(8)~式(10)得到归一处理的判断矩阵,见表 8 至表 11。

表 8 U-C 判断矩阵

U	C ₁	C ₂	C ₃	权重
C ₁	0.652	0.556	0.692	0.633
C ₂	0.130	0.111	0.077	0.106
C ₃	0.217	0.333	0.231	0.260

表 9 C_{1-u} 判断矩阵

C ₁	u ₁	u ₂	权重
u ₁	0.167	0.167	0.167
u ₂	0.833	0.833	0.833

表 10 C_{2-u} 判断矩阵

C ₂	u ₃	u ₄	u ₅	权重
u ₃	0.111	0.130	0.077	0.106
u ₄	0.556	0.652	0.692	0.633
u ₅	0.333	0.217	0.231	0.260

表 11 C_{3-u} 判断矩阵

C ₃	u ₆	u ₇	权重
u ₆	0.750	0.750	0.750
u ₇	0.250	0.250	0.250

由此综合,可得模糊向量为 $W=[0.106, 0.527, 0.011, 0.067, 0.028, 0.195, 0.065]$ 。通过式(15)得到 $B=[0.740, 0.727, 0.870, 0.687, 0.611, 0.626]$ 。由此可知切割拆除法进行拆除的方案评价值为 0.870 比其他方案的评价值高,因此选用切割拆除法进行拆除方案比较合适。

3 结论

本文主要进行混凝土箱梁桥拆除施工技术方案综合比选研究,基于模糊层次分析法,建立了混凝土梁桥拆除方案选择模型。通过某城市高架桥拆除为例,从安全性指标、经济性指标和技术性指标这三大指标进行考虑,多角度、全方位的对桥梁拆除的方法进行选择,证明了此种方法在混凝土梁桥拆除方案的选取上的可行性。为混凝土梁桥拆除方案的选取提供了一个科学的理论依据。本文建立的模糊层次

模型可以在实际工程中应用,为后续各类桥梁拆除方案的选取提供了新的思路。

参考文献:

- [1] Zahedifar Maryam. Feasibility of fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and fuzzy TOPSIS methods to assess the most sensitive soil attributes against land use change[J]. Environmental Earth Sciences, 2023, 82(10): 25-46.
- [2] Lestari Yuliani Dwi, Sukmana Raditya, Beik Irfan Syauqi, Sholihin Mahfud. The development of national waqf index in Indonesia: A fuzzy AHP approach[J]. Heliyon, 2023, 9(5): 126-137.
- [3] Tennakoon Sarasie, Apan Armando, Maraseni Tek, et al. Decoding the impacts of space and time on honey bees: GIS based fuzzy AHP and fuzzy overlay to assess land suitability for apiary sites in Queensland, Australia[J]. Applied Geography, 2023, 155.
- [4] Laks Ireneusz, Walczak Zbigniew, Walczak Natalia. Fuzzy analytical hierarchy process methods in changing the damming level of a small hydropower plant: Case study of Rosko SHP in Poland[J]. Water Resources and Industry, 2023(29): 93-112.
- [5] James Ajith Tom, Asjad Mohammad, Panchal Rahul. Purchase decision making of garage equipment using an integrated fuzzy AHP and grey relation analysis method[J]. Grey Systems: Theory and Application, 2023, 13(2): 76-94.
- [6] Zhu Min, Zhou Wenbo, Hu Min, et al. Evaluating the Renewal Degree for Expressway Regeneration Projects Based on a Model Integrating the Fuzzy Delphi Method, the Fuzzy AHP Method, and the TOPSIS Method[J]. Sustainability, 2023, 15(4).
- [7] 朱广山, 徐启程, 朱晓, 等. 基于模糊层次分析法的加固 RC 梁抗弯性能评价[J]. 沈阳工业大学学报, 2023, 45(2): 235-240.
- [8] 贾文惠. 基于改进模糊层次分析法的水利工程项目风险评价研究[J]. 陕西水利, 2023(2): 160-163.
- [9] 吴颖宁. 基于模糊层次分析法和随机过程的盾构近距离下穿既有隧道风险概率分析[J]. 市政技术, 2023, 41(2): 78-83, 90.
- [10] 李鹏, 党伟, 李桃, 等. 基于模糊层次分析法的系统加速验证试验设计[J]. 中国科学院大学学报, 2021, 38(1): 121-129.
- [11] 周苏华, 邢静康, 张运强, 等. 基于模糊层次分析法的预应力锚索加固顺层边坡稳定性评价[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(5): 1695-1704.
- [12] 彭志光, 王刚毅. 基于模糊层次分析的公路工程咨询全过程服务模式选择[J]. 公路, 2020, 65(4): 261-264.
- [13] 苏映喜. 基于模糊层次分析法的水利工程建设项目风险管理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [14] 李军, 刘杰, 杨梓辉. 基于三角模糊层次分析法的高原库区施工船舶安全预警系统的设计[J]. 上海海事大学学报, 2021(1): 1-7.
- [15] 王青松, 刘凯. 基于 Delphi 法和模糊层次分析法的隧道突水风险评估[J]. 铁道建筑技术, 2023(2): 174-178.