

# 基于AHP-DEMATEL的公路养护决策与 计划实施后评估方法

喻伟<sup>1</sup>, 杨娜<sup>1\*</sup>, 李珏<sup>2</sup>

(1.长沙理工检测咨询有限责任公司, 湖南 长沙 410114; 2.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:**针对当前中国在公路领域,尤其是公路养护领域后评价管理制度的缺失,该文提出一种基于层次分析法(AHP)与决策实验室分析法(DEMATEL)相结合的公路养护决策与计划实施后评估评价方法,建立公路养护决策与计划实施后评估模型,设计公路养护决策与计划实施后评估评价流程,计算出影响公路养护决策与计划实施后评估评价的关键因素和它们各自的综合权重。研究表明:结合公路养护决策与计划实施后的评估标准计算得到各级评估指标的综合权重,能够提高决策的精准性和效率,为项目计划的制定提供决策依据。

**关键词:**公路养护;后评估;层次分析法;决策实验室分析法

中图分类号:U418

文献标志码:A

## Post-Evaluation Method for Decision-Making and Implementation of Highway Maintenance Projects Based on AHP-DEMATEL

YU Wei<sup>1</sup>, YANG Na<sup>1\*</sup>, LI Jue<sup>2</sup>

(1.Changsha Science and Technology Testing Consulting Co., Ltd., Changsha, Hunan 410114, China; 2.School of Traffic & Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

**Abstract:** Addressing the current lack of post-evaluation management systems related to highways, particularly highway maintenance, this paper proposed a post-evaluation method for the decision-making and implementation of highway maintenance projects based on the combination of analytic hierarchy process (AHP) and decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL). After building a post-evaluation model for the decision-making and implementation of highway maintenance projects and designing the evaluation process, this paper calculated key factors influencing the post-evaluation of the decision-making and implementation of highway maintenance projects and their respective comprehensive weights. The research results indicate that decision-making can possess higher accuracy and efficiency under the above calculation method, providing a reference for project planning.

**Keywords:** highway maintenance; post-evaluation; analytic hierarchy process (AHP); decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL)

## 0 引言

在当前国家高速公路网络布局日趋完善,建设规划接近饱和的背景下,公路的后续养护与管理工

作对于政府而言,既蕴含着巨大的发展机遇,也伴随着不容忽视的挑战。资源减少、资金短缺、技能短缺等问题增加了政府的财政压力<sup>[1]</sup>。在后评价工作中,核心关注点聚焦于评价对象的选定、评价内容的界

收稿日期:2024-08-14(修改稿)

基金项目:湖南省交通科技计划项目(编号:202318,202216)

作者简介:喻伟,男,博士,高级工程师.E-mail:820276413@qq.com

\*通信作者:杨娜,女,硕士,工程师.E-mail:1025879301@qq.com

定、评价步骤的规划以及评价指标的构建和评价标准的确立。这些要素共同构成了中国开展后评价工作的基础性框架,为评价工作的系统性和规范性提供了明确的思路。刘明歆等<sup>[2]</sup>在评估已建成的海上风电场时,采用了一种基于对比的方法,该方法侧重于设计阶段的预测估算与实际运行中收集到的数据之间的对比分析。他们指出,在风电场运行期间存在大小风年的差异,导致设计阶段的折减系数可能存在偏差。此外,他们还发现模型对尾流评估的准确性不足,这也是导致设计阶段发电量估算误差的主要原因之一;张研等<sup>[3]</sup>在研究中聚焦于公路养护管理工作的效益评估,重点关注养护项目的组织方案和评估方法,为评估工作提供了理论支持;武阳阳等<sup>[4]</sup>基于体育场馆的特征,在构建体育场馆绿色建筑的后评估体系时,纳入了室内环境质量、运营维护管理效能以及能耗效率等多个评价指标;李彩<sup>[5]</sup>在研究中深入剖析了农田水利项目后评估的重要性,定义了后评估的基本概念,详细探讨了其方法论。通过对定量评估和定性评估两种方法的比较分析,进一步明确了各自的优势与局限。在此基础上,详尽地介绍了高标准农田水利工程项目后评估的具体操作流程和有效的管理策略,为相关领域的研究和实践提供了有价值的参考;郭旺达等<sup>[6]</sup>在预防性养护投资效益的分级评价研究中,选定了投资额度与路面技术状态变化作为核心评价指标,以全面评估其效益水平,提出了一种结合主客观因素赋权的投资效益评价模型,该模型基于直觉模糊集(IFS)和逼近理想解排序(TOPSIS),并分析不同养护时机下效益差异。鉴于目前政府投资项目后评价管理办法主要注重总则性和程序性规定,而且部门后评价指标存在平面性和单一性问题,主要聚焦在能源和水利领域,缺乏针对公路养护,特别是公路养护类的后评价管理办法和规定。因此,当前迫切需要构建一套实用且有效的评价指标体系,并辅以相应的方法,支持公路养护与计划实施后的全面评估,以便为项目计划的制定提供决策依据。本文通过追踪整个公路养护的实施过程,从决策评估、过程评估和成果评估3个方面构建了公路养护决策与计划实施后评估模型,提出了一种公路养护决策与计划实施后评估方法,该方法结合了层次分析法(Aalytic Hierarchy Process, AHP)和决策实验室分析法(Decision Making

Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)。首先,通过AHP计算出各个指标的初始权重;然后,运用DEMATEL对这些初始权重进行优化,计算得到影响公路养护决策与计划实施后评估评价的各因素综合权重。

## 1 公路养护决策与计划实施后评估指标体系

公路养护决策与计划实施后评估评价体系涉及复杂的多因素和多层次结构,其中评价指标繁多且彼此相互关联<sup>[7-8]</sup>。因此,构建评价指标体系时需要充分考虑影响公路养护决策与计划实施后评估的各个因素,参照公路养护实施过程的历史数据、中国部分省市政府投资基本建设项目后评价的相关规定、标准规范,结合预设数据库中的专家数据,从决策、过程和成果3方面建立公路养护决策与计划实施后评估评价体系。该评价体系涵盖了3个一级指标,9个二级指标,13个三级指标,具体内容如表1所示。

## 2 公路养护决策与计划实施后评估评价方法

在公路养护决策与计划实施后的评估过程中,面对涉及众多因素和专家主观评价等不确定性因素的挑战,本文提出了一种以AHP-DEMATEL方法为基础的指标综合权重确定方式。该方法能够全面考虑各评价指标之间的相互影响,从而实现对公路养护决策与计划实施后评估的科学合理的量化评价。这一方法已成功应用于多个领域,包括但不限于应急能力评价<sup>[9-11]</sup>、风险评价<sup>[12-14]</sup>和安全性评估<sup>[15-16]</sup>。具体评估流程见图1。

### 2.1 基于AHP的权重计算

通过采用1~9的标度来构建AHP的递阶层次结构<sup>[17-18]</sup>。首先,将总目标细分为多个子目标或准则,然后进一步细分为相关的多个指标,形成一个全面的层次模型。在评估过程中,首先对比不同指标之间的相对重要性,并基于这些对比结果,为每个指标赋予相应的矩阵标度值。通过这些值,构建判断矩阵 $A=(a_{ij})_{nm}$ ,其中 $a_{ij}$ 是在某一特定指标下,具体反映了元素 $i$ 相对于元素 $j$ 的重要程度。随后,对矩阵进行一致性测试,利用式(1)、(2)确定一致性测试的指标;按照式(3)对判断矩阵的每列向量进行归一化

表1 公路养护决策与计划实施后评估评价体系

Table 1 Post-evaluation system of decision-making and implementation of highway maintenance projects

一级指标层	二级指标层	三级指标层
决策评估	项目实施时间一致性(A)	系统推荐实施期与项目计划一致性(A1)
	项目规模一致性(B)	系统计算工程量与项目计划一致性(B1)
		系统计算投资额与项目计划一致性(B2)
	项目实施方案一致性(C)	系统推荐方案与项目计划一致性(C1)
过程评估	执行情况核查(D)	投资执行情况核查(D1)
	计划与项目一致性(E)	进度执行情况核查(D2)
		计划投资与项目一致性(E1)
		计划工程量与项目一致性(E2)
成果评估	项目管理情况(F)	档案资料管理(F1)
		质量与综合管理(F2)
	决策目标实现程度(G)	等级评定对比(G1)
	项目技术状况对比(H)	技术状况评分对比(H1)
	项目交通流量对比(I)	路段日平均交通流量对比(I1)

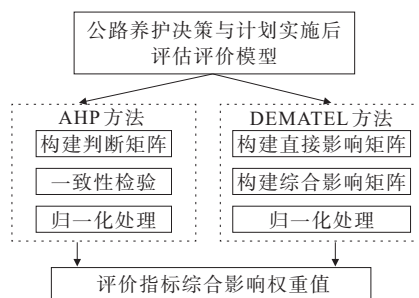


图1 公路养护决策与计划实施后评估评价流程

Figure 1 Post-evaluation procedure of decision-making and implementation of highway maintenance projects

处理,并将各行的值相加,最后利用式(4)计算基于AHP的风险权重 $W_1$ 。

$$I_{CI} = [\lambda_{\max} - n / (n - 1)] \quad (1)$$

$$R_{CR} = I_{CI} / I_{RI} \quad (2)$$

$$W_1 = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (3)$$

$$W_1 = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \quad (4)$$

式中: $I_{CI}$ 为一致性系数; $R_{CR}$ 为一致性比率; $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵最大特征值; $I_{RI}$ 为常数,可查相关资料得到。

## 2.2 基于DEMATEL的中心度计算

1971年,Bottelle研究所的专家们提出了一种决策实验室分析法,该方法通过图论和矩阵工具来研究系统因素<sup>[19-20]</sup>。DEMATEL方法采用的是0~4标度法,在评估过程中,专家们系统考虑了各因素之间的相互影响程度,并据此进行评分,从而构建了一个直接影响矩阵 $B$ ,用于量化这些影响关系。影响程度分别用0、1、2、3代表无影响、弱影响、一般影响和强影响。接下来,对矩阵 $B$ 进行规范化,得到直接影响矩阵 $G$ 。基于 $G$ ,计算出综合影响矩阵 $T$ ,其中元素 $t_{ij}$ 代表 $i$ 元素对 $j$ 元素的影响程度。最终,依据式(7)~(10),计算每个影响因素的影响程度 $f_i$ 、受影响程度 $e_i$ 、中心度 $M_i$ 以及原因度 $N_i$ 。

$$G = B / \max_{1 \leq i < j \leq n} \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (5)$$

$$T = G(I - G)^{-1} \quad (6)$$

$$f_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (7)$$

$$e_i = \sum_{j=1}^n t_{ji} \quad (8)$$

$$M_i = f_i + e_i \quad (9)$$

$$N_i = f_i - e_i \quad (10)$$

式中: $I$ 为单位矩阵; $(I - G)^{-1}$ 为 $(I - G)$ 的逆矩阵。

## 2.3 基于DEMATEL的综合权重计算

在评估的过程中,运用式(11),结合AHP计算得出的风险权重 $W_1$ 与DEMATEL计算得到的风险因素中心度 $M_i$ ,得出基于AHP-DEMATEL的综合权重 $W$ 。

$$W = W_1 M_i / \sum_{i=1}^n W_1 M_i \quad (11)$$

## 3 公路养护决策与计划实施后评估模型

### 3.1 基于AHP的初始权重计算

在审视中国公路养护决策与计划实施后评估的现状背景下,邀请了行业内的专家对后评估工作进行了全面的分析。这一分析聚焦于3个核心维度:决策评估、过程评估和成果评估。专家们对各项评价指标的相对重要程度进行了细致的评判和打分,构建了一个模糊综合评估矩阵集。基于这一矩阵集合,明确了二级指标在一级指标中的权重分配,并进

一步确定了三级指标相对于其所属二级指标的权重。以决策评估中的A~C评价指标为例,详细阐述计算过程,具体专家的判断结果见表2。

表2 决策评估二级评价指标判断矩阵

Table 2 Judgement matrix of secondary evaluation indicators for decision-making

二级指标	A	B	C
A	1	1/2	1/2
B	2	1	2
C	2	1/2	1

经过严格的随机一致性检验,得出了一致性值为0.051。考虑到随机一致性比率低于0.10的阈值(即 $0.051 < 0.10$ ),表明权重分配是合理的。随后,计算了A对应的特征向量,并经过标准的归一化处理,得出了A因素的精确权重。采用相同的方法,计算二级指标B和C的权重比。表3详细列出了各评价指标对应的权重。

表3 公路养护决策与计划实施后评估评价指标对应权重

Table 3 Corresponding weights of post-evaluation indicators of decision-making and implementation of highway maintenance projects

一级指标层	二级指标层	三级指标层
0.250 0 (决策评估)	0.250 0(A)	1.000 0(A1)
	0.500 0(B)	0.333 3(B1)
		0.666 7(B2)
	0.250 0(C)	1.000 0(C1)
	0.333 3(D)	0.666 7(D1)
		0.333 3(D2)
0.250 0 (过程评估)	0.333 3(E)	0.666 7(E1)
	0.333 3(E2)	0.333 3(E2)
		0.250 0(F1)
	0.333 4(F)	0.750 0(F2)
0.500 0 (成果评估)	0.400 0(G)	1.000 0(G1)
	0.400 0(H)	1.000 0(H1)
	0.200 0(I)	1.000 0(I1)

### 3.2 基于DEMATEL的中心度计算

邀请专家对各级指标相互影响程度进行判定,判定结果见表4、5。

应用式(5)计算专家意见下的初始直接影响矩阵,随后进行规范化处理以获取准确的直接影响矩阵。进一步采用DEMATEL方法,详细计算各因素的影响度、被影响度、原因度以及中心度。具体的计

算结果见表6。

表4 二级指标间相互影响判断矩阵

Table 4 Judgement matrix of interactions between secondary indicators

二级指标	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0	3	3	3	3	2	3	1	0
B	3	0	3	2	3	3	3	2	0
C	2	3	0	3	3	3	3	3	0
D	3	3	3	0	3	3	3	1	0
E	2	2	3	3	0	3	3	2	0
F	3	3	3	2	3	0	3	2	0
G	1	1	3	3	2	3	0	2	0
H	1	1	3	3	3	2	3	0	0
I	0	1	0	1	0	1	0	0	0

表5 三级指标间相互影响判断矩阵

Table 5 Judgement matrix of interactions between tertiary indicators

三级指标	A1	B1	B2	C1	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	H1	I1
A1	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
B1	2	0	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1
B2	2	2	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
C1	2	1	1	0	1	2	1	2	1	1	1	2	1
D1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1
D2	1	2	2	2	2	0	2	2	1	1	1	1	1
E1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1
E2	1	1	1	1	2	2	2	0	1	1	1	1	1
F1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
F2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	0	2	2	1
G1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	2	1
H1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	0	1
I1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

表6 各评价指标的影响度、被影响度、中心度及原因度

Table 6 Influence, affectedness, centrality and causality of each evaluation indicator

评价指标	影响度	被影响度	中心度	原因度
A	9.254	8.007	17.261	1.247
B	9.653	8.560	18.214	1.093
C	10.075	10.730	20.805	-0.655
D	9.717	9.878	19.595	-0.161
E	9.210	10.220	19.430	-1.010
F	9.653	10.029	19.682	-0.376
G	7.857	10.730	18.587	-2.873
H	8.240	7.108	15.347	1.132
I	1.601	0.000	1.601	1.601



续表 6

评价指标	影响度	被影响度	中心度	原因度
A1	4.695	4.353	9.049	0.342
B1	4.482	4.141	8.623	0.340
B2	4.412	3.884	8.297	0.528
C1	4.752	3.884	8.636	0.868
D1	3.897	4.497	8.394	-0.599
D2	5.243	4.998	10.241	0.245
E1	3.853	5.023	8.877	-1.170
E2	4.410	5.280	9.691	-0.870
F1	3.569	3.569	7.137	0.000
F2	4.650	4.121	8.770	0.529
G1	4.136	4.121	8.257	0.016
H1	4.136	4.365	8.501	-0.228
I1	3.569	3.569	7.137	0.000

3.3 基于AHP-DEMATEL的综合权重计算

根据式(11),将风险因素的初始权重与其中心度进行综合考虑,通过排序操作,最终得出每个风险因素的综合权重值。具体结果列于表7。

表7 各评价指标的综合权重

Table 7 Comprehensive weights of each evaluation indicator

评价指标	综合权重	评价指标	综合权重
A	0.232	B2	0.320
B	0.489	C1	0.250
C	0.279	D1	0.210
D	0.333	D2	0.129
E	0.331	E1	0.224
F	0.336	E2	0.122
G	0.534	F1	0.067
H	0.443	F2	0.249
I	0.024	G1	0.407
A1	0.263	H1	0.418
B1	0.167	I1	0.176

3.4 综合分析

(1) 基于AHP计算的结果显示,成果评估、项目规模一致性、决策目标实现程度和项目技术状况对比的初始权重相对较大,表明这些指标在公路养护决策与计划实施后评估评价中具有较大的影响力。

(2) 根据DEMATEL计算结果,项目实施时间一致性、项目规模一致性、项目技术状况对比以及系统推荐方案与项目计划一致性的影响度较大,对其他指标来说,具有较强的影响力,却难以被其他指标

所影响。相反,项目实施方案一致性、计划与项目一致性和决策目标实现程度不仅具有较大的被影响度,还具有较高的影响度,这些指标在系统中占据显著地位,显示出了其重要性,并且与其他因素之间存在着紧密的关联,对于整个指标体系而言具有不可忽视的作用。

(3) 基于AHP-DEMATEL计算的结果显示,在二级指标中,项目规模一致性综合指标权重在决策评估中占比最大,权重值为0.489;项目管理情况综合指标权重在过程评估中占比最大,权重值为0.336;决策目标实现程度综合指标权重在成果评估中占比最大,权重值为0.534。在三级指标中,系统计算投资额与项目计划一致性综合指标权重在决策评估中占比最大,权重值为0.320;质量与综合管理综合指标权重在过程评估中占比最大,权重值为0.249;技术状况评分对比综合指标权重在成果评估中占比最大,权重值为0.418。

4 实例分析

4.1 项目情况

选取H省2022年下达养护计划的10个项目进行综合评价,相关情况见表8。

表8 项目基本情况

Table 8 Basic project information

项目编号	养护类型	主要工程内容	计划投资/万元
1	危旧桥梁改造	拆除重建(上部结构)	101.05
2	路面中修	路面多锤头碎石化后加铺	402.50
3	路面中修	路面铣刨沥青混凝土	306.25
4	危旧桥梁改造	加固改造	360.29
5	危旧桥梁改造	拆除重建(全桥)	253.12
6	路面大修	路面修复	1 150.00
7	路面中修	路面改性沥青混凝土	408.75
8	危旧桥梁改造	加固改造	61.44
9	路面大修	路面旧路病害处治	845.00
10	路面中修	路面铣刨沥青混凝土	37.50

4.2 综合评价

依据相关法规标准以及与专家进行沟通后,建立公路养护决策与计划实施后评估指数( $I_{PAI}$ )。综合后评估结果分级如表9所示。通过从H省养护科学决策系统、项目计划与管理系统、养护管理系统、交

通情况调查系统等数据库中提取各项目数据,经整理后得到各指标的得分,按表7中的权重进行加权评分,项目最终的评价结果见表10。由表10可知:项目4、5、7、8、10评价为“优”,项目1、3、6、9评价为“良”,项目2评价为“中”,10个项目的整体优良率为90%。

表9 后评估结果分级

Table 9 Grading of post-evaluation results

评价指标	$I_{PAI}$	评价指标	$I_{PAI}$
优	$\geq 90$	中	[60,80)
良	[80,90)	差	$< 60$

表10 项目后评估结果

Table 10 Post-evaluation results of projects

项目编号	$I_{PAI}$	项目编号	$I_{PAI}$
1	88.67	6	82.59
2	71.85	7	97.77
3	87.09	8	98.05
4	98.87	9	87.13
5	96.55	10	94.26

## 5 结论

(1) 在决策评估、过程评估和成果评估3方面建立了公路养护决策与计划实施后评估评价模型,构建了9个二级评价指标和13个三级评价指标,可为公路养护决策与计划实施后评估中的参数选择提供指导。

(2) 通过AHP-DEMATEL方法的分析,确定了项目规模一致性、项目管理情况、决策目标实现程度、系统计算投资额与项目计划一致性、质量与综合管理以及技术状况评分对比等关键评价指标,这些指标在公路养护决策与计划实施后评估中需要重点关注和建设。

(3) 在采用AHP-DEMATEL方法时,全面审视了下级指标对上级指标的直接和间接影响,同时深入剖析了同级指标间的相互作用。这一科学且系统的分析方法增强了各指标权重分配的精确度和可靠性,为全面评估指标的综合影响力提供了更为深入的视角和分析。

(4) 为了验证方法的有效性,选择了H省10个项目为案例进行分析。通过计算评估指数( $I_{PAI}$ )确定

评价等级,10个项目中5个为“优”,4个为“良”,1个为“中”,整体优良率为90%。

## 参考文献:

## References:

- [1] 李玉环,史小丽,高楠.基于DEA的高速公路小修保养绩效改进分析[J].中外公路,2023,43(2):253-258.  
LI Yuhuan,SHI Xiaoli,GAO Nan. Analysis of expressway routine maintenance performance management based on DEA[J].Journal of China & Foreign Highway,2023,43(2): 253-258.
- [2] 刘明歆,陈彬,刘军涛,等.海上风电场发电能力后评估及影响因素分析[J].西北水电,2023(2):91-95.  
LIU Mingxin,CHEN Bin,LIU Juntao,et al.Post-evaluation of power generation capacity of offshore wind farm and analysis of its influencing factors[J]. Northwest Hydropower,2023(2):91-95.
- [3] 张妍,李露,马壮林,等.公路养护组织方案优化与效益评估[J].中外公路,2021,41(增刊2):227-239.  
ZHANG Yan,LI Lu,MA Zhuanglin,et al.Optimization and benefit evaluation of highway maintenance organization scheme[J].Journal of China & Foreign Highway,2021,41 (sup 2):227-239.
- [4] 武阳阳,李宝鑫.基于运行实效的体育场馆类绿色建筑后评估研究[J].建设科技,2021(20):53-57.  
WU Yangyang,LI Baixin. Research on post-evaluation of stadium green buildings based on operational effectiveness [J].Construction Science and Technology,2021(20):53-57.
- [5] 李彩.项目后评估体系在高标准农田水利工程的应用[J].农业工程与装备,2022,49(5):14-16.  
LI Cai. Application of post project evaluation system in high-standard farmland water conservancy projects[J]. Agricultural Engineering and Equipment, 2022, 49(5): 14-16.
- [6] 郭旺达,张金喜,张阳光,等.基于IFS-TOPSIS的预防性养护投资效益评价研究[J].中外公路,2022,42(5):246-251.  
GUO Wangda,ZHANG Jinxi,ZHANG Yangguang, et al. Study on benefit evaluation of preventive maintenance investment based on IFS-TOPSIS[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(5):246-251.
- [7] 《中国公路学报》编辑部.中国交通工程学术研究综述·2016[J].中国公路学报,2016,29(6):1-161.  
Editorial Department of China Journal of Highways. Review on China's traffic engineering research progress:

- 2016[J]. China Journal of Highway and Transport, 2016, 29(6): 1-161.
- [8] 李秀君, 李春龙, 李梦晨, 等. 基于多层次模糊灰色耦合理论的高等级公路养护机械配置方案评价[J]. 上海理工大学学报, 2014, 36(1): 86-90, 96.
- LI XiuJun, LI Chunlong, LI Mengchen, et al. Evaluation of highway maintenance machinery configuration planning based on multi-level fuzzy gray coupling theory[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2014, 36(1): 86-90, 96.
- [9] 黄仕鑫, 陶小飞, 方少林, 等. 基于AHP-DEMATEL云模型的应急能力评估[J]. 电力安全技术, 2021, 23(8): 27-31.
- HUANG Shixin, TAO Xiaofei, FANG Shaolin, et al. Evaluation of emergency response capability based on AHP-DEMATEL cloud model[J]. Electric Safety Technology, 2021, 23(8): 27-31.
- [10] 刘学强, 李翼. 基于AHP-DEMATEL的海上溢油应急能力评价[J]. 广州航海学院学报, 2023, 31(3): 34-37, 43.
- LIU Xueqiang, LI Yi. Marine oil spill emergency capability assessment based on AHP-DEMATEL method[J]. Journal of Guangzhou Maritime University, 2023, 31(3): 34-37, 43.
- [11] 范玉峰, 张天航. 基于AHP-DEMATEL综合权重与灰色关联分析法的石化厂区消防应急救援能力评估研究[J]. 山东化工, 2024, 53(3): 224-228.
- FAN Yufeng, ZHANG Tianhang. Evaluation of fire emergency rescue capability in petrochemical plant based on AHP-DEMATEL comprehensive weight and grey relational analysis[J]. Shandong Chemical Industry, 2024, 53(3): 224-228.
- [12] 杨林, 高文学, 李颜强, 等. 基于AHP-DEMATEL法综合管廊天然气管道风险评估[J]. 煤气与热力, 2022, 42(11): 1-8.
- YANG Lin, GAO Wenxue, LI Yanqiang, et al. Risk assessment of natural gas pipeline in utility tunnel based on AHP-DEMATEL method[J]. Gas & Heat, 2022, 42(11): 1-8.
- [13] 薛彦卓, 周莹, 鲁阳, 等. 基于模糊AHP-DEMATEL的北极冰区船舶冰困风险评价[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2022, 43(7): 944-949, 992.
- XUE Yanzhuo, ZHOU Ying, LU Yang, et al. Risk assessment of ships stuck in ice in Arctic ice area based on fuzzy AHP-DEMATEL[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2022, 43(7): 944-949, 992.
- [14] 武晓炜. 基于AHP-DEMATEL城市轨道交通运营安全风险评价研究[J]. 技术与市场, 2021, 28(12): 149-152, 154.
- WU Xiaowei. Study on safety risk assessment of urban rail transit operation based on AHP-DEMATEL[J]. Technology and Market, 2021, 28(12): 149-152, 154.
- [15] 谢军梅, 甘旭升, 王明华, 等. 基于模糊AHP-DEMATEL-VIKOR的战术训练空域规划方案安全性评估[J]. 火力与指挥控制, 2023, 48(9): 26-35.
- XIE Junmei, GAN Xusheng, WANG Minghua, et al. Safety evaluation for tactical training airspace planning scheme based on fuzzy AHP-DEMATEL-VIKOR method[J]. Fire Control & Command Control, 2023, 48(9): 26-35.
- [16] 吴昊, 赖宇阳, 熊智辉, 等. 基于模糊AHP-DEMATEL-VIKOR的电力终端安全性评估方法[J]. 信息安全研究, 2023, 9(4): 382-389.
- WU Hao, LAI Yuyang, XIONG Zhihui, et al. Evaluation method of power terminal security based on fuzzy AHP-DEMATEL-VIKOR[J]. Journal of Information Security Research, 2023, 9(4): 382-389.
- [17] 梁润娥, 邱云海. 基于层次分析法的某中层滑坡危险性分析[J]. 南方国土资源, 2018(6): 29-31.
- LIANG Run'e, QIU Yunhai. Risk analysis of a middle-level landslide based on analytic hierarchy process[J]. Land and Resources of Southern China, 2018(6): 29-31.
- [18] 许嘉慧, 孙德亮, 王月, 等. 基于GIS与改进层次分析法的奉节县滑坡易发性区划[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2020, 37(2): 36-44, 2, 142.
- XU Jiahui, SUN Deliang, WANG Yue, et al. Landslide susceptibility mapping of Fengjie County based on GIS and improved analytic hierarchy process[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2020, 37(2): 36-44, 2, 142.
- [19] 刘超群, 武忠. 基于AHP和DEMATEL的可再生能源技术商业化影响因素研究[J]. 科技管理研究, 2015, 35(1): 107-112, 116.
- LIU Chaoqun, WU Zhong. Research on the factors of renewable energy technology commercialization based on AHP and DEMATEL method[J]. Science and Technology Management Research, 2015, 35(1): 107-112, 116.
- [20] 刘宏, 孙浩. 基于DEMATEL-ANP的PPP项目融资风险分析[J]. 系统科学学报, 2018, 26(1): 131-135.
- LIU Hong, SUN Hao. Based on DEMATEL-ANP of PPP project financing risk analysis[J]. Chinese Journal of Systems Science, 2018, 26(1): 131-135.