

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221182

基于改进 TOPSIS 法与风险态度区间评价的土石坝防渗治理方案优选

张旭漫, 刘成栋, 王亚坤, 沈光泽

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 科学评价土石坝防渗治理方案, 对实现工程安全运行、加强大坝全生命周期安全监管体系建设, 具有重要意义。从工程除险效果、工程管理、工程经济和工程施工四个准则层出发, 构建土石坝防渗治理方案评价指标体系。针对防渗治理方案优选过程中决策者风险态度难以评估问题, 引入风险态度因子对指标进行区间评价赋值, 并基于博弈论优化主客观权重, 进而利用改进的 TOPSIS 模型对方案进行分析评价。以某水库防渗治理备选方案为例检验该优选体系的有效性, 结果表明该方法对防渗治理方案的优选有效可行。

关键词: 防渗治理方案; 评价指标; 风险态度因子; 博弈论; 改进的 TOPSIS 法

中图分类号: TV223.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)03-0083-04

1 引言

为解决水库大坝渗流病险突出的问题, 降低大坝失事概率, 在除险加固工程建设中, 克服传统优选过程的片面性和不确定性, 比选出科学合理的水利工程方案具有重要实际意义。近年来, 多防渗方案排序方法主要有模糊综合评价法、层次分析法、TOPSIS 算法和灰色系统理论等。其中, TOPSIS 法作为一种功能强大非线性排序方法^[1], 计算简单, 可充分利用原始数据, 减少信息丢失, 使评价结果更为合理^[2]。目前, 关于防渗治理方案优选的研究成果较丰富, 杨超^[3]使用熵理论和模糊评价法分析方案决策, 但未考虑决策者的工程风险态度; 韩晓育等^[4]将信息熵与 TOPSIS 耦合的评价模型应用于湖体防渗治理工程方案优选, 未结合专家主观工程经验, 评价结果不全面。鉴此, 本文考虑工程决策者对方案的风险态度, 兼顾方案主客观信息, 并结合改进的 TOPSIS 法, 提出了基于改进 TOPSIS 法与风险态度区间赋值的土石坝防渗治理方案优选方法, 并以实际工程为例, 验证了该方法的有效性。

2 研究方法

2.1 评价指标体系

参考《病险水库除险加固项目后评价规程》(DB 41/T 1390-2017)^[5]的土石坝除险加固效果综合评价指标体系, 结合我国水利高质量发展要求, 从工程除险效果、工程管理、工程经济和工程施工 4 个方面综合考虑, 选择 15 个影响因子构建方案评价指标体系(表 1)。该体系较为全面、科学地描述了影响大坝防渗治理的相关因素。

表 1 土石坝防渗治理方案评价指标体系
Tab. 1 Evaluation index system of seepage control scheme for earth-rock dam

目标层	准则层	指标层	性质
土石坝防渗治理方案评价 A	工程除险效果 B ₁	防渗性能 C ₁	效益型
		工程与方案间相容性 C ₂	效益型
		新增功能 C ₃	效益型
	工程管理 B ₂	加固后运行的稳定性 C ₄	效益型
		后期维修难度 C ₅	成本型
		后期维修成本 C ₆	成本型
		使用寿命 C ₇	效益型
		环境干扰 C ₈	成本型
	工程经济 B ₃	工程投资 C ₉ /万元	成本型
		除险加固后的工程效益 C ₁₀	效益型
	工程施工 B ₄	施工难度 C ₁₁	成本型
		技术成熟度 C ₁₂	效益型
		施工对大坝的干扰 C ₁₃	成本型
		施工工期 C ₁₄ /月	成本型
		施工安全性 C ₁₅	效益型

收稿日期: 2022-06-02, 修回日期: 2022-07-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51979176); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(Y721007, Y721006)

作者简介: 张旭漫(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向为水工结构工程, E-mail: zhangxuman188@163.com

通讯作者: 刘成栋(1979-), 男, 硕导、正高级工程师, 研究方向为大坝安全监控、安全评价和安全管理, E-mail: LCD_DAM@163.com

在所有评价指标中,工程投资和施工工期这两个指标可较为清晰地定量给出,而防渗性能、工程与方案间相容性、新增功能等指标具有模糊性和不确定性,暂无法直接给出具体数值,可依据相关工程资料和专家评价结果,用模糊语言加以转换,即将优秀、良好、一般、较差、差定量表示为 $[0.85, 1]$ 、 $[0.70, 0.85]$ 、 $[0.55, 0.70]$ 、 $[0.30, 0.55]$ 、 $[0, 0.30]$ 。

2.2 基于博弈论融合权重

分别采用基于指数标度 $9^{0/9} \sim 9^{8/9}$ 的 AHP 法和熵权法,度量指标的工程经验和客观信息所反映的权值,利用博弈论集结主客观权重,该法通过使不同权值的差异最小化来尽可能地保留各权重值的原始信息。为使通过博弈论融合的指标权重 ω^* 真实有效,用距离函数 $d(\omega^{(1)} \omega^{(2)})$ 检验 $\omega^{(1)}$ 和 $\omega^{(2)}$ 的分歧度。

(1)一致性检验。检验公式为:

$$d(\omega^{(1)} \omega^{(2)}) = \left[\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (\omega_j^{(1)} - \omega_j^{(2)})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中, $\omega_j^{(1)}$ 、 $\omega_j^{(2)}$ 分别为第 j 项指标的特征值权重和熵权法权值,当 $d(\omega^{(1)} \omega^{(2)}) \in [0, 1]$ 时,认为 $\omega^{(1)}$ 和 $\omega^{(2)}$ 通过一致性检验。

(2)博弈论融合权重。基于 R 种方法对指标耦合赋权, R 个单一赋权法确定的任一组合权重 w 可表示为:

$$w = \sum_{k=1}^R \gamma_k \omega_k^T \quad \gamma_k > 0 \quad (2)$$

式中, γ_k 为线性耦合系数; ω_k^T 为由单一赋权法得出的权值向量的转置。

依据博弈论思想,需优化 γ_k , 建立 ω^* 与 ω_k 间差异极小化的目标优化模型,确定最优权值 ω^* , 计算公式为:

$$\min \left\| \sum_{k=1}^R \gamma_k \omega_k^T - \omega_g \right\|_2 \quad g = 1, 2, \dots, R \quad (3)$$

式中, ω_g 为通过第 g 种方法确定的权重向量。

归一化式(3)的解 $(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_R)$ 后,代入式(2)确定最优权值向量 ω^* 。

2.3 决策模型

2.3.1 考虑风险态度因子的区间评价

土石坝除险加固防渗治理方案指标的评价具有复杂性、不确定性,并受专家主观经验影响,通常以区间数形式对指标进行评估。本文引入风险态度因子概念,以充分考虑工程风险对决策的影响。取实数有界闭区间 $D = [d_1, d_2]$, 表示决策者承担工程风险程度的区间映射函数 $\varphi_\epsilon(D)$ 为:

$$\varphi_\epsilon(D) = n(D) + \epsilon e(D) \quad (4)$$

其中 $n(D) = (d_1 + d_2)/2$; $e(D) = d_2 - d_1$ 式中, $n(D)$ 为区间 D 的中点; ϵ 为风险态度因子,通常分为保守型, $\epsilon \in [-0.5, 0)$ 、中立型, $\epsilon = 0$ 、风险型, $\epsilon \in (0, 0.5)$; $e(D)$ 为区间 D 的宽度。

2.3.2 改进的 TOPSIS 决策模型

TOPSIS 法是一种以评价系统中的正负理想解为基准点,依据待评价方案在系统中距离正负理想解的贴近程度,对评价对象排序的方法。但传统的 TOPSIS 法基于熵值求解,易使指标均衡化,基于博弈论融合权重的 TOPSIS 法,可效避免传统 TOPSIS 法致使指标间层次模糊的问题。此外,改进 TOPSIS 法通过构建虚拟负理想解,进一步加大评价结果区分度。计算步骤如下。

步骤 1 比重变换法规范化处理数据。其中效益型指标的处理方法为:

$$\begin{cases} p_{ij}^L = x_{ij}^L / \sum_{i=1}^n x_{ij}^U \\ p_{ij}^U = x_{ij}^U / \sum_{i=1}^n x_{ij}^L \end{cases} \quad (5)$$

成本型指标的处理方法为:

$$\begin{cases} p_{ij}^L = (1/x_{ij}^U) / \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_{ij}^L} \\ p_{ij}^U = (1/x_{ij}^L) / \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_{ij}^U} \end{cases} \quad (6)$$

式中, x_{ij} 、 p_{ij} 分别为第 i 个评价方案的第 j 项指标的原始值和规范化后的值;上标 U、L 分别为区间值上、下限符号。

步骤 2 构建权化的决策矩阵 v_{ij} :

$$v_{ij} = \omega_j^* p_{ij} \quad (7)$$

式中, ω_j^* 为各评价指标的耦合权重; p_{ij} 为规范化后的矩阵。

步骤 3 确定正负理想解。根据指标规范值 p_{ij} 、权化值 v_{ij} 分别确定相对应的正理想解 p_j^+ 、 v_j^+ , 负理想解 p_j^- 、 v_j^- 。计算公式为:

$$\begin{cases} p_j^+ = \max \{ p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{nj} \} \\ p_j^- = \min \{ p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{nj} \} \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} v_j^+ = \max \{ v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{nj} \} \\ v_j^- = \min \{ v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{nj} \} \end{cases} \quad (9)$$

步骤 4 确定权化距离。计算各权化值与相应的正负理想解间的权化距离 D_i^+ 、 D_i^- 。计算式为:

$$\begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (p_{ij} - p_j^+)^2} \\ D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (p_{ij} - p_j^-)^2} \end{cases} \quad (10)$$

步骤 5 确定虚拟负理想解 v_j^* 和距离 V_i^+ 、

V_i^* 。计算式分别为:

$$v_j^* = 2v_j^- - v_j^+ \quad (11)$$

$$\begin{cases} V_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2} \\ V_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^*)^2} \end{cases} \quad (12)$$

步骤 6 确定合成距离 S_i^+, S_i^- 。计算式为:

$$\begin{cases} S_i^+ = \alpha D_i^+ + \beta V_i^+ \\ S_i^- = \alpha D_i^- + \beta V_i^* \end{cases} \quad (13)$$

式中, α, β 均为系数, 取为 0.5。

步骤 7 计算各方案贴近度 T_i 。计算式为:

$$T_i = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-) \quad (14)$$

根据相关研究, 水库防渗加固效果各评价等级划分定量表述为好、较好、一般、较差、很差, 定量表示为 $[0.90, 1], [0.80, 0.90), [0.70, 0.80), [0.60, 0.70), [0, 0.60)$ 。

3 实例应用

以文献[6]中的算例开展应用研究。某水库位于秦皇岛市抚宁县境内的饮马河上游。坝址以上控制流域面积为 2 km^2 , 水库总库容为 $100.3 \times 10^4 \text{ m}^3$, 大坝为均质土坝, 最大坝高 17.5 m, 坝顶长 450.0 m。工程以防洪、灌溉为主, 兼顾养殖等综合利用。在实际运行过程中, 发现拦河坝坝体和坝基存在严重渗漏、上游干砌石护坡破坏严重和下游排水系统不完善等问题, 为保证工程自身防洪及库区人民生命、财产和环境安全, 需对大坝除险加固。地勘勘测结果表明, 坝址区地质为土岩双层结构。坝体主要为壤土, 含少量砂粒和砾石, 局部含碎石和砂砾透镜体; 坝轴线右侧砾石层上部主要为砂砾, 局部含有 40%~45% 的壤土, 砾砂层厚 4.6 m; 坝基由上而下为砾石层和千枚岩, 砾石层厚 3.9 m, 强风化千枚岩厚 2.4~8.3 m, 勘探深度内未揭穿的弱风化岩厚度高于 9.2 m。研究发现, 坝体、坝基渗漏的主要原因为坝基岩体为微透水—弱透水的弱风化、强风化千枚岩; 工程建设中, 坝基清基不彻底, 右侧基岩顶存在厚 3.9~8.5 m 的中等透水砂砾和岩石层; 坝体局部填筑质量存在缺陷, 通过钻孔压水试验发现坝体中部回填有透水性较大的砂砾层, 砂砾层厚 2.1 m, 存在渗漏可能。根据渗漏情况和地勘结果, 拟定 5 种防渗治理方案, 见表 2。

参考相关工程资料^[6], 并基于专家区间评分的模糊集值统计法^[7], 由 5 位专家依次给出指标

表 2 防渗治理方案

Tab. 2 Anti-seepage treatment schemes

方案	方案内容
1	坝顶布设混凝土防渗墙
2	坝顶布设高压摆喷灌浆
3	沿上游马道和右侧坝脚布设混凝土防渗墙
4	沿上游马道和右侧坝脚布设高压摆喷灌浆
5	上游坝脚开挖截渗墙+坝坡铺设复合土工膜防渗

上、下限的评价区间, 依据极值统计理论对区间值进行处理, 以分歧度不大于 0.4 (经验值) 为评价区间可靠性界值, 得出各方案指标的评价值 (表 3)。

表 3 各指标评价值

Tab. 3 Evaluation value of each index

指标	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
C_1	[0.90, 0.95]	[0.50, 0.55]	[0.90, 0.95]	[0.48, 0.53]	[0.80, 0.85]
C_2	[0.83, 0.93]	[0.57, 0.67]	[0.85, 0.95]	[0.52, 0.62]	[0.75, 0.85]
C_3	[0.33, 0.38]	[0.32, 0.37]	[0.33, 0.38]	[0.31, 0.36]	[0.30, 0.35]
C_4	[0.85, 0.90]	[0.65, 0.70]	[0.83, 0.88]	[0.62, 0.67]	[0.45, 0.50]
C_5	[0.34, 0.39]	[0.43, 0.48]	[0.50, 0.55]	[0.53, 0.58]	[0.70, 0.75]
C_6	[0.33, 0.38]	[0.48, 0.53]	[0.55, 0.60]	[0.57, 0.62]	[0.73, 0.78]
C_7	[0.90, 0.95]	[0.60, 0.65]	[0.88, 0.93]	[0.57, 0.62]	[0.55, 0.60]
C_8	[0.60, 0.65]	[0.56, 0.61]	[0.61, 0.66]	[0.58, 0.63]	[0.40, 0.45]
C_9	[220, 0.230, 0]	[261, 0.271, 0]	[197, 0.207, 0]	[248, 5.258, 5]	[270, 0.280, 0]
C_{10}	[0.72, 0.77]	[0.68, 0.73]	[0.72, 0.77]	[0.71, 0.76]	[0.74, 0.79]
C_{11}	[0.35, 0.40]	[0.55, 0.60]	[0.50, 0.55]	[0.59, 0.64]	[0.85, 0.90]
C_{12}	[0.96, 0.98]	[0.71, 0.76]	[0.96, 0.98]	[0.70, 0.75]	[0.70, 0.75]
C_{13}	[0.30, 0.35]	[0.39, 0.44]	[0.55, 0.60]	[0.56, 0.61]	[0.80, 0.85]
C_{14}	[11, 13]	[11, 13]	[10, 12]	[11, 13]	[12, 14]
C_{15}	[0.89, 0.94]	[0.85, 0.90]	[0.73, 0.78]	[0.70, 0.75]	[0.85, 0.90]

3.1 风险中立型决策分析

根据式(5)、(6), 对评价值进行规范化处理, 计入风险态度因子后的防渗备选方案指标评价值见表 4。

取 $\epsilon=0$, 由表 4 得评价矩阵 $M^{\epsilon=0}$ 为:

$$(M^{\epsilon=0})^T = \begin{bmatrix} 0.250 & 0.142 & 0.250 & 0.136 & 0.223 & 0.237 \\ 0.235 & 0.166 & 0.240 & 0.152 & 0.214 & 0.210 \\ 0.209 & 0.203 & 0.209 & 0.197 & 0.191 & 0.196 \\ 0.248 & 0.192 & 0.243 & 0.183 & 0.135 & 0.215 \\ 0.275 & 0.220 & 0.190 & 0.180 & 0.138 & 0.210 \\ 0.297 & 0.208 & 0.183 & 0.176 & 0.139 & 0.212 \\ 0.255 & 0.172 & 0.250 & 0.164 & 0.159 & 0.210 \\ 0.180 & 0.193 & 0.177 & 0.186 & 0.266 & 0.213 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.221 & 0.211 & 0.182 & 0.175 & 0.211 & 0.215 \end{bmatrix}$$

根据式(1)对改进层次分析法、熵值法确定的权值进行一致性检验, 由 $\omega^{(1)} = (0.183, 0.088, 0.032, 0.096, 0.014, 0.030, 0.089, 0.034, 0.131, 0.099, 0.024, 0.017, 0.029, 0.079, 0.051, 0.061, 0.095, 0.130, 0.077, 0.038, 0.051, 0.127, 0.057, 0.044, 0.055)$ 计算距离函数 $d(\omega^{(1)}, \omega^{(2)}) =$

表 4 引入 ϵ 的各指标评价值

Tab. 4 The evaluation value of each index when ϵ is introduced

指标	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
C_1	[0.250 2+0.030 4 ϵ]	[0.142 1+0.023 1 ϵ]	[0.250 2+0.030 4 ϵ]	[0.136 7+0.022 7 ϵ]	[0.223 2+0.028 6 ϵ]
C_2	[0.235 3+0.057 7 ϵ]	[0.166 1+0.048 5 ϵ]	[0.240 7+0.058 4 ϵ]	[0.152 7+0.046 8 ϵ]	[0.214 0+0.054 9 ϵ]
C_3	[0.209 2+0.059 6 ϵ]	[0.203 3+0.058 8 ϵ]	[0.209 2+0.059 6 ϵ]	[0.197 4+0.057 9 ϵ]	[0.191 6+0.057 1 ϵ]
C_4	[0.248 8+0.031 8 ϵ]	[0.192 0+0.027 8 ϵ]	[0.243 1+0.031 4 ϵ]	[0.183 5+0.027 2 ϵ]	[0.135 2+0.023 8 ϵ]
C_5	[0.275 6+0.066 5 ϵ]	[0.220 5+0.047 3 ϵ]	[0.190 9+0.038 2 ϵ]	[0.180 5+0.035 2 ϵ]	[0.138 0+0.024 0 ϵ]
C_6	[0.297 7+0.072 0 ϵ]	[0.208 5+0.041 8 ϵ]	[0.183 0+0.034 5 ϵ]	[0.176 8+0.032 8 ϵ]	[0.139 2+0.023 4 ϵ]
C_7	[0.255 7+0.031 4 ϵ]	[0.172 9+0.025 7 ϵ]	[0.250 2+0.031 0 ϵ]	[0.164 6+0.025 1 ϵ]	[0.159 0+0.024 8 ϵ]
C_8	[0.180 6+0.030 9 ϵ]	[0.193 0+0.034 0 ϵ]	[0.177 7+0.030 2 ϵ]	[0.186 6+0.032 4 ϵ]	[0.266 3+0.055 5 ϵ]
C_9	[0.214 5+0.018 5 ϵ]	[0.181 4+0.014 4 ϵ]	[0.239 0+0.021 9 ϵ]	[0.190 4+0.015 5 ϵ]	[0.175 5+0.013 8 ϵ]
C_{10}	[0.202 1+0.027 2 ϵ]	[0.191 2+0.026 5 ϵ]	[0.202 1+0.027 2 ϵ]	[0.199 4+0.027 0 ϵ]	[0.207 5+0.027 6 ϵ]
C_{11}	[0.295 9+0.068 1 ϵ]	[0.192 3+0.035 4 ϵ]	[0.210 7+0.040 5 ϵ]	[0.179 7+0.032 1 ϵ]	[0.126 1+0.019 5 ϵ]
C_{12}	[0.235 3+0.015 7 ϵ]	[0.178 4+0.020 3 ϵ]	[0.235 3+0.015 7 ϵ]	[0.176 0+0.020 2 ϵ]	[0.176 0+0.020 2 ϵ]
C_{13}	[0.306 3+0.081 0 ϵ]	[0.239 1+0.055 4 ϵ]	[0.172 1+0.034 1 ϵ]	[0.169 1+0.033 3 ϵ]	[0.119 7+0.020 6 ϵ]
C_{14}	[0.202 2+0.067 1 ϵ]	[0.202 2+0.067 1 ϵ]	[0.221 1+0.076 7 ϵ]	[0.202 2+0.067 1 ϵ]	[0.186 4+0.059 5 ϵ]
C_{15}	[0.221 1+0.025 4 ϵ]	[0.211 5+0.024 8 ϵ]	[0.182 5+0.023 1 ϵ]	[0.175 3+0.022 6 ϵ]	[0.211 5+0.024 8 ϵ]

0.156 ∈ [0, 1], 认为基于改进层次分析法和熵值法确定的权值具有一致性。利用博弈论融合主、客观权值, 确定 $C_1 \sim C_{15}$ 的组合权重为 $\omega^* = (0.131\ 2, 0.073\ 9, 0.037\ 6, 0.073\ 0, 0.030\ 6, 0.044\ 4, 0.091\ 8, 0.078\ 1, 0.106\ 4, 0.071\ 5, 0.036\ 4, 0.067\ 3, 0.041\ 9, 0.063\ 1, 0.052\ 9)$ 。

3.2 评价结果分析

利用改进 TOPSIS 法评价和分析水库的除险加固防渗治理方案, 结果见表 5, 备选方案贴近度排序为 $T_1 > T_3 > T_2 > T_5 > T_4$, 因此方案 1 为防渗治理最优方案。根据评价结果, $T_1 = 0.813\ 6$, 方案 1 在实际运用过程中较好, 评价结果满足工程实际需要, 但仍可以进一步优化。

表 5 风险态度因子 $\epsilon=0$ 的方案贴近度

Tab. 5 Approach degree of risk attitude factor $\epsilon=0$

计算结果	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
S_+^*	0.016 5	0.045 2	0.030 6	0.052 2	0.051 3
S_-^*	0.071 8	0.036 3	0.059 5	0.026 8	0.040 7
T_i	0.813 6	0.445 2	0.660 5	0.339 5	0.442 5
排名	1	3	2	5	4

3.3 不同风险态度因子下的防渗方案分析

为分析不同工程风险态度对防渗治理方案优选的影响, 取等间距步长 0.1, 表 6 为不同风险态度因子下的备选方案贴近度和排序结果。当风险态度因子 $\epsilon \in [-0.5, 0.5]$ 时, 方案 1 的贴近度均高于其他方案, 说明方案 1 在备选方案中具有一定优势。当风险态度因子 $\epsilon \in [-0.1, 0.5]$, 决策者总体上对治理方案持规避态度, 根据评价模型的贴近度值, 方案排序为方案 1 > 方案 3 > 方案 2 > 方案 5 > 方案 4, 与文献[3]的研究结果相同。

综合分析, 决策者对工程持不同的风险态度时, 方案 1 在备选方案中的贴近度最高, 因此推荐

表 6 不同 ϵ 下备选方案贴近度值及排序

Tab. 6 Proximity value and ranking of alternative schemes under different ϵ

风险态度因子 ϵ_i	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	方案排序
-0.5	0.820 2	0.440 8	0.677 3	0.498 1	0.449 6	$T_1 > T_3 > T_4 > T_5 > T_2$
-0.4	0.820 4	0.441 3	0.676 6	0.338 9	0.449 2	$T_1 > T_3 > T_5 > T_2 > T_4$
-0.3	0.818 5	0.442 3	0.672 3	0.339 0	0.447 5	$T_1 > T_3 > T_5 > T_2 > T_4$
-0.2	0.816 9	0.443 4	0.668 2	0.339 3	0.445 7	$T_1 > T_3 > T_5 > T_2 > T_4$
-0.1	0.815 2	0.444 3	0.664 4	0.339 4	0.444 2	$T_1 > T_3 > T_2 > T_5 > T_4$
0.0	0.813 6	0.445 2	0.660 5	0.339 5	0.442 5	$T_1 > T_3 > T_2 > T_5 > T_4$
0.1	0.812 2	0.446 5	0.656 2	0.339 5	0.440 7	$T_1 > T_3 > T_2 > T_5 > T_4$
0.2	0.810 8	0.447 5	0.652 6	0.339 6	0.439 4	$T_1 > T_3 > T_2 > T_5 > T_4$
0.3	0.809 4	0.448 2	0.649 3	0.339 7	0.438 1	$T_1 > T_3 > T_2 > T_5 > T_4$
0.4	0.808 1	0.448 9	0.646 2	0.339 7	0.436 9	$T_1 > T_3 > T_2 > T_5 > T_4$
0.5	0.806 3	0.449 6	0.642 8	0.339 7	0.435 9	$T_1 > T_3 > T_2 > T_5 > T_4$
评价测度等级	较好	很差	较差	很差	很差	

方案 1 为防渗治理方案。

4 结论

a. 改进 TOPSIS 法与风险态度区间赋值的优选方法量化了决策者承担风险的程度, 博弈论耦合的权重充分体现了指标的主客观信息, 具有可靠性。

b. 该方法可比选出综合效益最优的防渗治理方案, 且计算过程简便, 具备较好的应用前景。

参考文献:

[1] LI ZHENYA, YANG TAO, HUANG CHINGSHENG, et al. An improved approach for water quality evaluation: TOPSIS-based informative weighting and ranking (TIWR) approach[J]. Ecological indicators: Integrating, monitoring, assessment and management, 2018, 89: 356-364.

[2] 孙雅茹, 董增川, 刘森. 基于改进 TOPSIS 法的盐城市水资源承载力评价及障碍因子诊断[J]. 中国农村水利水电, 2018(12): 101-105.

