

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2019.01-13

基于组合赋权-TOPSIS 土石坝渗流安全等级评价

黄镇中

(江西省吉安市水利水电规划设计院,江西 吉安 343000)

摘要:根据资料收集选取土石坝渗流量、渗透坡降等8个定量因素作为土石坝渗流风险评价的指标,使用粗糙集改进层次分析法组合赋权的方法获取各评价指标客观权重.建立组合赋权-TOPSIS评价方法,对6个土石坝进行渗流风险评价预测,获取土石坝渗流安全风险等级.与现场调查情况相比结果一致.研究表明:该方法对土石坝渗流风险评价准确便捷,可用于快速评价土石坝渗流风险等级.

关键词:组合赋权;TOPSIS;土石坝渗流;风险等级评价

中图分类号:TV641 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2019)01-0068-04

0 引言

水利水电行业的快速发展促进了国家经济的迅猛发展,也对造福人民生活有重要意义.土石坝施工方便、材料价格较低,是水利工程中一种重要的建筑物.但是,土石坝渗流是该工程常见的一种现象.一旦发生大规模渗流,将对人民的生命财产安全和水库的正常使用产生极为严重的影响.对于土石坝渗流风险预测难度较大,其主要原因是:土石坝渗流风险等级影响因素较多,难以全面客观的选取评价因素和各因素权重.

有较多的专家学者对土石坝渗流问题进行了较为深入的研究.刘豪杰等^[1]使用三维数值模拟的方法研究了土石坝坝基防渗墙厚度、地基地层深度、渗透比降、渗流量等因素间的关系,认为仅改变防渗墙厚度不能有效降低土石坝渗流风险.雷朋、李宗坤等^[2-3]分别使用模糊理论和LHS-MC方法预测土石坝渗流风险.魏晶晶等^[4]使用格子玻尔兹曼方法研究了坝体形状对土石坝渗流的影响,其结果与有限元法模拟结果较为一致.倪沙沙^[5]以非饱和渗流理论为基础,采用数值模拟的方法分析降雨雨强和降雨时长对土石坝渗流风险的影响.结果表明雨强和时长两个因素对土石坝渗流影响

效果明显.廖井霞^[6]采用事件树法对土石坝渗水风险进行评价.目前各专家学者对土石坝渗流影响因素研究和风险评价较多.但是对风险等级影响因素评价较少.因此本文采用组合赋权-TOPSIS的方法对土石坝渗流风险等级进行快速评价.

1 确定评价指标和土石坝渗流安全等级

在现场实地调查和收集前人研究资料的基础上发现影响土石坝渗流的因素多种多样,其中最为重要的是其所处的地质工程条件.除此之外,人类工程活动、大气降水等因素也是影响其渗流的主要因素.结合已有现场资料和前人研究成果^[7-8],选取了坝体因素(Z1渗透坡降、Z2渗流量、Z3浸润线位置),坝基因素(Z4渗透坡降、Z5渗流量),坝肩因素(Z6渗透坡降、Z7渗流量、Z8地下水位)这8个指标作为土石坝渗流风险评价指标.建立评价指标体系如图1所示.各指标含义如下:渗透坡降是指渗流场的水力坡降;渗流量是指单位时间内通过土中与渗透水流方向垂直的横断面的水量,渗透坡降反映了渗流场的水力坡降,其值可由观测资料分析获取,该值越小说明坝体土防渗性能越好,从而渗流安全等级越高;浸润线为

收稿日期:2018-09-21

作者简介:黄镇中(1991-),男,大学本科,助理工程师.

渗透水流表面与土坝横断面的交线；地下水位是指地下水相对于基准面的高程。依据《水库大坝安全评价导则》(SL258-2017) 中对土石坝渗流安全等级进行划分，将土石坝渗流安全等级分为 3 级，I-III 级代表渗流安全等级由高到低，评估区间为 (0, 3.3) (3.3, 6.7) (6.7, 10.0)。各个指标的评分区间也按此取值，具体得分可根据专家现场取值。

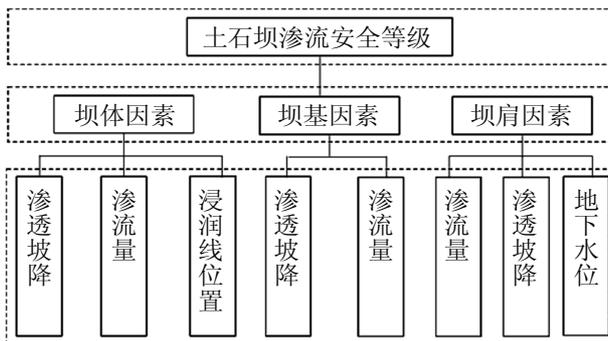


图 1 评价指标体系

2 TOPSIS—组合赋权评价模型

2.1 组合赋权

(1) 粗糙集 (Roughset) 理论优化层次分析法

Satty^[9]于 19 世纪 70 年代提出层次分析法 (AHP)，目前广泛应用于确定不同层次的指标权重。该方法简便快捷，但由于受人为影响较大存在一些误差。因此，使用粗糙集 (Roughset) 理论^[10]对层次分析法进行改进，使得选取的权重结果更加客观。

计算方法如下：

$$\sigma_{CB}(A) = R_C(B) - R_{C-A}(B) \quad (1)$$

$$\Delta\sigma_{ij} = \frac{\sigma_{CB}(A_i)}{\sigma_{CB}(A_j)} \quad (i, j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中： $\sigma_{CB}(A)$ 为属性集 C 中去掉 A 后对 B 的影响程度； $\gamma_C(B)$ 为属性 B 对属性集 C 的关联度； $\gamma_{C-A}(B)$ 为属性 B 对去掉了属性 A 后的属性集的关联度。

(2) 熵值法

熵可以用定量的方法表达一个系统的无序性。土石坝渗流风险等级具有多变性，时间、地点不同渗流风险等级也可能不同。一般的传统方法较难客观赋权各个评价指标。使用熵值法，建立权重评价矩阵，降低了

赋权过程中人为因素的主观影响，获取指标客观权重。

权重为每个指标的重要程度，表示为 w_j 。 w_j 满足

$$0 \leq w_j \leq 1, \text{ 并且 } \sum_{j=1}^m w_j = 1$$

$$v_j = 1 + \frac{1}{\lg p} \sum_{i=1}^p u_{ji} \lg u_{ji}, \quad u_{ji} = y_{ji} / \sum_{i=1}^p y_{ji} \quad (3)$$

$$w_j = v_j / \sum_{i=1}^n v_i \quad (4)$$

式中： y_{ji} 为各指标值， p 为指标个数， u_{ji} 、 v_j 为计算的中间值。综上所述，可采用 (3) (4) 求出各指标权重。

(3) 评价方法

采用组合赋权的方法，对选取的定性定量指标赋予权重。设粗糙集 (Roughset) 理论改进层次分析法 (AHP) 得到权重为 w_i' ，熵值法计算得到的权重为 w_i'' ，设层次分析法和熵值法权重的距离函数为 $d(w_i', w_i'')$ ，其表达式为：

$$d(w_i', w_i'') = \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (w_i', w_i'')^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

因此，获得的组合权重为 w_i ：

$$w_i = \alpha w_i' + \beta w_i'' \quad (6)$$

式中 α 、 β 为分配系数，满足以下条件：

$$d(w_i', w_i'')^2 = (\alpha - \beta)^2 \quad (7)$$

$$\alpha + \beta = 1 \quad (8)$$

各指标权重如表 1 所示。

表 1 评价指标权重

Z_i	w_i'	w_i''	α	β	w_i
Z1	0.171	0.177	0.443	0.557	0.174 3
Z2	0.183	0.142	0.443	0.557	0.160 2
Z3	0.108	0.128	0.443	0.557	0.119 1
Z4	0.151	0.142	0.443	0.557	0.146 0
Z5	0.155	0.165	0.443	0.557	0.160 6
Z6	0.084	0.081	0.443	0.557	0.082 3
Z7	0.068	0.089	0.443	0.557	0.079 7
Z8	0.067	0.077	0.443	0.557	0.072 6

2.2 TOPSIS 综合评判模型

(1) 初始评判矩阵

$$P = (r_{ij})_{mn} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中： r_{ij} 为第 i 个方案的第 j 个评价指标

(2) 决策矩阵标准化

收益性指标为：

$$b_{ij} = \frac{r_{ij} - \min_j(r_{ij})}{\max_j(r_{ij}) - \min_j(r_{ij})} \quad (10)$$

消耗性指标：

$$b_{ij} = \frac{\max_j(r_{ij}) - r_{ij}}{\max_j(r_{ij}) - \min_j(r_{ij})} \quad (11)$$

式中： $\max_j(r_{ij})$ 、 $\min_j(r_{ij})$ 分别为该类指标的最大值和最小值。

(3) 加权标准化决策矩阵

将矩阵 $B = (b_{ij})_{mn}$ 的列向量与组合赋权法得到的最终的客观权重相乘。

(4) 计算结果分析

R_i^+ 、 R_i^- 代表正负理想解，评判对象与正负理想解的距离为：

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - R_j^+)^2} \quad (12)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - R_j^-)^2} \quad (13)$$

贴近度(贴近正理想解)计算公式

$$C_i^+ = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (14)$$

式中： R_j^+ 、 R_j^- 代表正负理想解； r_{ij} 为第 i 个方案的第 j 个评价指标， D_i^+ 为第 i 个指标与正理想解的距离， D_i^- 为第 i 个指标与负理想解的距离。

3 工程应用

为了对模型适用性进行验证，选取了某水库工程的土石坝渗流(B1 为例)，该坝坝顶长为 75.00m，宽为 4.80m。最大坝高 22.00m。在坝体各部位布置有测压孔，

用于对渗透坡降的监测，并布置有渗流量监测仪，监测资料完备。本次监测考虑为正常运行的监测。

使用 TOPSIS 式(9~14)计算该土石坝渗流安全等级隶属于各级别的正负理想解。

由表 3 可知，B1~B6 的渗流安全等级依次为，Ⅲ、Ⅲ、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅲ；本文方法分析结果与工程地质评价结果相吻合，表明运用本文方法对土石坝渗流安全等级进行评价是可靠的。

表 3 评价结果对比

编号	正理想解	负理想解	预测等级	实际等级
B1	0.678 9	0.321 1	Ⅲ	Ⅲ
B2	0.620 8	0.379 2	Ⅲ	Ⅲ
B3	0.315 6	0.684 4	Ⅰ	Ⅰ
B4	0.502 4	0.497 6	Ⅱ	Ⅱ
B5	0.755 9	0.244 1	Ⅲ	Ⅲ
B6	0.721 3	0.278 7	Ⅲ	Ⅲ

正理想解确定土石坝渗流等级：Ⅰ级：(0~0.33)；Ⅱ级：(0.33~0.67)；Ⅲ级：(0.67~1.0)。

4 结 论

(1) 通过对 87 个土石坝的资料的对计算土石坝工程地质条件调查的基础上，选取了 8 个评价指标。使用粗糙集 (Roughset) 理论改进层次分析法 (AHP) 和熵值法组合得到每个指标较为客观的权重。并使用 TOPSIS 的方法对土石坝渗流等级进行评价。

(2) 通过组合赋权的方法获得的权重可以发现：渗流坡降和渗流量为土石坝渗流安全等级敏感的敏感因素。土石坝 B1~B6 的渗流安全等级情况依次为：Ⅲ、Ⅲ、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅲ，与实际工程情况相符合。工程实例的运用表明本文中提出的计算方法对土石坝渗流安全等级预测评价方便简单、快捷有效，为土石坝渗流安全等级评价提供了一种新的方法。

(3) 该方法可以有效获取土石坝渗流安全等级。虽然取得了较好的效果，但仍有一些问题需要解决：更加客观、全面的选取评价因素以及评价因素的易得性；如何消除不同因素间的相互影响作用。

参考文献:

- [1] 刘豪杰,任杰,杨杰,等. 深厚覆盖层土石坝渗流控制及三维数值分析[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(02):219~224+228.
- [2] 雷鹏,陈晓伟,张贵金,等. 基于 LHS-MC 的堤防渗透破坏风险分析[J]. 人民黄河,2014,36(10):45~47.
- [3] 李宗坤,韩瑞芳,刘文立. 土石坝渗透破坏模糊风险分析[J]. 大坝与安全,2007(01):17~20.
- [4] 魏晶晶,李连侠,廖华胜,等. 格子玻尔兹曼方法在土石坝渗流计算中的应用[J]. 中国农村水利水电,2017(10):98~103.
- [5] 倪沙沙. 降雨入渗对土石坝渗流场及坝坡稳定性的影响[J]. 水电能源科学,2016,34(02):49~52+40.
- [6] 廖井霞. 基于事件树和贝叶斯网络法的土石坝风险评价研究[D]. 中国水利水电科学研究院,2013.
- [7] 何亚辉,赵明阶,汪魁,等. 基于云模型的土石坝渗流安全风险模糊综合评价[J]. 水电能源科学,2018,36(03):83~86.
- [8] 何金平,高全,施玉群. 基于云模型的大坝安全多层次综合评价方法 [J]. 系统工程理论与实践,2016,36(11):2977~2983.
- [9] SAATY T L. Applications of analytical hierarchies [J]. Mathematics and Computers in Simulation,1979,21(1):1~20.
- [10] PAWLAK Z. Rough classification [J]. International Journal of Man-machine Studies,1984,20(5):469~483.

编辑:张绍付

Assessment of seepage safety grade of earth-rock dams based on combination weighting-TOPSIS

HUANG Zhenzhong

(Water Resources and Hydropower Planning and Design Institute of Jian City of Jiangxi Province, Jian 343000, China)

Abstract: According to the data collection, 8 quantitative factors, such as seepage flow and seepage slope gradient, are selected as the indexes of seepage risk assessment of earth-rock dam, and the objective weights of each index are obtained by the combination of rough set and improved analytic hierarchy process. Combination weighting-TOPSIS evaluation method is established to evaluate and predict seepage risk of six earth-rock dams and obtain seepage safety risk grade of earth-rock dams. The result is consistent with the field investigation. The results show that the method is accurate and convenient for the risk assessment of earth-rock dam seepage, and can be used to evaluate quickly the seepage stability of earth-rock dam.

Keywords: Combined weighting; Cloud model; Seepage of earth rock dam; Risk grade evaluation

翻译:黄镇中