

邱慧玲, 龙文华, 卿展晖. 模糊数学在滑坡治理工程后评价中的应用[J]. 华南地震, 2023, 43(4): 75-79. [QIU Huiling, LONG Wenhua, QING Zhanhui. Application of Fuzzy Mathematics in Post-evaluation of Landslide Treatment Project[J]. South China journal of seismology, 2023, 43(4): 75-79]

模糊数学在滑坡治理工程后评价中的应用

邱慧玲, 龙文华, 卿展晖

(广东省地质环境监测总站, 广州 510510)

摘要: 在分析滑坡治理工程效果影响因子的基础上, 利用模糊数学近似推理和最大隶属度原则对滑坡治理工程进行后评价, 评价结果与实际治理效果相符, 可为政府及决策管理部门管理地质灾害防治工作提供参考, 对地质灾害治理效果评估具有重要的现实意义。

关键词: 滑坡; 地质灾害治理; 后评价; 模糊数学

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2023)04-0075-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2023.04.10

Application of Fuzzy Mathematics in Post-evaluation of Landslide Treatment Project

QIU Huiling, LONG Wenhua, QING Zhanhui

(Guangdong Geological Environment Monitoring Station, Guangzhou 510510, China)

Abstract: On the basis of analyzing the influencing factors of landslide treatment project, the post-evaluation of landslide treatment project is carried out by using fuzzy mathematics approximate reasoning and maximum membership principle. The evaluation results are consistent with the actual treatment effect, which can provide reference for the government and decision-making management departments to manage geological disaster prevention and control work, and has important practical significance to evaluate the effect of geological disaster treatment.

Keywords: Landslide; Geological disaster management; Post-evaluation; Fuzzy mathematics

0 引言

项目后评价是指对已经完成的项目或规划的目的、执行过程、效益、作用和影响所进行的系统的客观分析和总结的一种技术经济活动。它能够重新审视和评价项目前评估和项目决策的实际结果, 并且为修订未来的项目前评估和项目决策

提供参考和支持。也是项目周期中的一个重要环节和投资管理的一种重要手段^[1]。我国已在水利、交通、石油钻探工程等领域中已经开展了项目后评价制度, 但地质灾害治理工程后评价起步较迟, 其评价理论和方法体系还处于探索阶段^[2]。由于影响滑坡治理工程效果的因素较多, 又具有很强的模糊性, 故采用模糊数学方法对滑坡治理工程效果进行后评价具有明显的优势。

收稿日期: 2023-09-10

基金项目: 广东省自然资源厅科研专项“广东省重大地质灾害治理工程后评价体系研究”(GDGTKJ2016004)

作者简介: 邱慧玲(1992-), 女, 助理工程师, 主要从事水工环、地质灾害防治等研究工作。

E-mail: 407962688@qq.com

通信作者: 龙文华(1970-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水工环、地质灾害防治等研究工作。

E-mail: nmlwh@163.com

1 模糊数学理论方法

1.1 数学公式

模糊近似推论是进行大系统, 不确定性系统和各种复杂系统模糊分析的主要环节^[3]。其数学公式可表达为:

$$B = A \circ R \quad (1)$$

式(1)中: A 为因素论域 U 。 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_i\}$ 的模糊子集, B 为结论域 V 。 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_i\}$ 的模糊子集, R 为模糊关系矩阵, 它反映依据信息而获得的知识经验, 符号 “ \circ ” 为运算规则或合成方法。

1.2 评判方法

考虑影响滑坡治理工程效果的因素较多, 为了提高其评价分析的准确, 采用综合评判模型。

(1) 假设滑坡地质灾害治理后评价因子中可以用来量化的指标因子有 m 个, 将各个指标标准化处理后形成论域 U 上的模糊向量 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i\}$ 。

(2) 对某一具体滑坡治理工程, 求出各影响因素对每一种评价结果的隶属度, 得出模糊矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

(3) 根据 $B = A \circ R$ 计算出某一滑坡后评价项目 m 个数据构成的隶属度集合 ($B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$)。按最大隶属度原则, 便可判定该滑坡工点防治效果的优劣程度。

2 滑坡治理工程评价等级与评价因子的选取

2.1 滑坡治理工程评价等级

本方结合滑坡治理后的稳定性、各种位移是否在容许范围、各抗滑结构受力合理性、滑带土强度提高程度及治理效益5个方面, 将滑坡治理工程评价等级分为4级: 很好、良好、一般、过于保守或失败, 分别用符号表示为 I, II, III, IV。

2.2 评价因子

与地质灾害治理工程有关的技术因素很多^[4-6], 大体上可分为滑坡体的内在因素和滑坡体治理工程外在因素两大类11个因子。

内在因素有滑坡复杂程度、滑坡规模、对滑坡认识程度、 c 和 ϕ 取值合理性; 外在因素有工程规模、工期与难度、结构受力合理性、抗滑结构位置

选择的合理性、排水效果、结构受力与设计值之比、滑坡及抗滑结构位移状况^[7-10]。

3 权重 A 的确定

本文中模糊向量 A 即各评价因子权重的向量集, 采用改进后的“功能重要度系数”确定。将重要度系数改进为“0-0.5-1”评分法来计算, 避免人为夸大因子权重而造成评价失误。

(1) 即在评分时, 用功能与其他各功能依次比较, 若相对某功能明显重要便得1分;

(2) 相对某功能重要性不明显则得0.5分(模糊性);

(3) 相对某功能不重要便得0分;

(4) 相同因子之间不比较, 以“空白”划去。

累计各评价因子功能得分并归一化处理后得到各个因子权重 A (表1)。

4 后评价应用案例

4.1 工程概况

韶关市武江区蕉冲山特大型滑坡群地质灾害防治工程项目地处低山丘陵地貌区, 位于韶关市武江区检察院正后方西联隧道口旁, 包括2个滑坡以(HP1和HP2), 威胁50余人, 潜在经济损失1.3亿元。该工程治理面积约12 263.8 m², 滑坡区所处的蕉冲山最高点标高约140 m, 最低点标高约77 m, 高差63 m。

HP1滑坡位于蕉冲山南侧的山坡地带, 主滑方向约为158°, 滑坡体长约125 m, 均宽约60 m, 滑坡体约101 250 m³, 属中型土质滑坡。HP2滑坡位于HP1的西侧, 主滑方向约为155°, 滑坡体长约50 m, 均宽约40 m, 滑坡体约8 000 m³, 属小型土质滑坡(表2)。

该治理工程防治工程等级为一级, 采用削坡减载+格构锚索锚固+截排水沟+坡面绿化治理方案, 设计时参数选取: 后缘滑面(已产生拉裂面) $c=0$, $\varphi=31.4^\circ$, $\gamma=19.8$ KN/m³, 主滑段 $c=10$ kPa, $\varphi=16.2^\circ$, $\gamma=21.2$ KN/m³。项目总投资为625.49万元。2013年8月开工, 2016年9月通过终验。

4.2 治理工程后评价

4.2.1 隶属度 R 的计算

依据前述后评价因子及隶属度的确定方法, 结合滑坡本体特征及治理状况得到其隶属度(表3)。

表 1 专家“0-0.5-1”评分及各因子权重系数一览表

Table 1 List of expert “0-0.5-1” scores and weight coefficients of each factor

| 一级因子 | 滑坡体内在评价因素 | | | | | 滑坡体外在评价因素 | | | | | 权重 | | |
|--------------------|-----------|------|---------|-------------------|------|-----------|---------|--------|------|------------|-------------|------|-------|
| | 滑坡复杂程度 | 滑坡规模 | 对滑坡认识程度 | c 和 ϕ 值合理性 | 工程规模 | 工期与难度 | 结构受力合理性 | 抗滑结构位置 | 排水效果 | 实测结构受力/设计值 | 滑坡或抗滑结构位移状况 | 功能得分 | 归一化权重 |
| 滑坡复杂程度 | / | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0 | 1 | 0.5 | 0 | 5 | 0.091 |
| 滑坡规模 | 0.5 | / | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 2.5 | 0.045 |
| 对滑坡认识程度 | 0.5 | 1 | / | 0.5 | 0.5 | 1 | 1 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 7 | 0.127 |
| c 和 ϕ 取值合理性 | 0.5 | 1 | 0.5 | / | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0 | 6 | 0.109 |
| 工程规模 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | / | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0 | 5 | 0.091 |
| 工期与难度 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | / | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 1.5 | 0.027 |
| 结构受力合理性 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | / | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 3.5 | 0.064 |
| 抗滑结构位置 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 1 | / | 0.5 | 0.5 | 0 | 6.5 | 0.118 |
| 排水效果 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | / | 0 | 0 | 2.5 | 0.045 |
| 实测结构受力 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 1 | / | 0.5 | 6.5 | 0.118 |
| 滑坡或抗滑结构位移状况 | 1 | 1 | / | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.5 | / | 9 | 0.164 |

表 2 滑坡地质灾害点特征统计一览表

Table 2 Statistical list of characteristics of landslide geological disaster points

| 滑坡编号 | 位置 | 长/(m) | 宽/(m) | 厚/(m) | 边坡高度/(m) | 滑坡规模/(m ³) | 物质组成 | 危害特征 |
|------|----------------------|-------|-------|---------|----------|------------------------|------|---------------|
| HP1 | 蕉冲山南侧山坡地带,主滑方向约158° | 125 | 60 | 12~15.4 | 42 | 101 250 | 残坡积土 | 坡脚武江区检察院综合办公楼 |
| HP2 | 蕉冲山南西侧山坡地带,主滑方向约155° | 50 | 40 | 3.8~4.2 | 18 | 0.8 | 残坡积土 | 坡脚武江区检察院综合办公楼 |

表 3 各评价因子隶属度计算结果表

Table 3 Calculation results of membership degrees of each evaluation factor

| 评价因子 | 等级隶属度 | | | |
|--------------------|-------|------|------|------|
| | I | II | III | IV |
| 滑坡复杂程度 | 0.5 | 0.65 | 0.70 | 0.30 |
| 滑坡规模 | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.70 |
| 对滑坡认识程度 | 0.70 | 0.75 | 0.60 | 0.20 |
| c 和 ϕ 取值合理性 | 0.35 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |
| 工程规模 | 0.40 | 0.70 | 0.80 | 0.60 |

(转下表)

(接表3)

| 评价因子 | 等级隶属度 | | | |
|-------------|-------|------|------|------|
| | I | II | III | IV |
| 工期与难度 | 0.50 | 0.30 | 0.20 | 0.10 |
| 结构受力合理性 | 0.45 | 0.30 | 2.20 | 0.10 |
| 抗滑结构位置 | 0.75 | 0.80 | 0.60 | 0.20 |
| 排水效果 | 0.75 | 0.70 | 0.65 | 0.25 |
| 实测结构受力 | 0.50 | 0.60 | 0.80 | 0.60 |
| 滑坡或抗滑结构位移状况 | 0.65 | 0.80 | 0.50 | 0.40 |

形成 R' 后归一化形成矩阵 R 如下:

$$R' = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.65 & 0.70 & 0.30 \\ 0.60 & 0.65 & 0.70 & 0.70 \\ 0.70 & 0.75 & 0.60 & 0.20 \\ 0.40 & 0.70 & 0.80 & 0.60 \\ 0.50 & 0.60 & 0.80 & 0.50 \\ 0.45 & 0.30 & 0.20 & 0.10 \\ 0.35 & 0.30 & 0.25 & 0.20 \\ 0.75 & 0.80 & 0.60 & 0.20 \\ 0.75 & 0.70 & 0.65 & 0.25 \\ 0.50 & 0.60 & 0.80 & 0.60 \\ 0.65 & 0.80 & 0.50 & 0.40 \end{bmatrix} \rightarrow R = \begin{bmatrix} 0.2645 & 0.3124 & 0.2796 & 0.1824 \\ 0.2365 & 0.2563 & 0.2584 & 0.2462 \\ 0.3325 & 0.3096 & 0.2863 & 0.0425 \\ 0.2186 & 0.2463 & 0.3234 & 0.2163 \\ 0.2165 & 0.2463 & 0.3236 & 0.2461 \\ 0.3284 & 0.2627 & 0.2263 & 0.1924 \\ 0.3246 & 0.3069 & 0.2465 & 0.2265 \\ 0.3352 & 0.3234 & 0.2503 & 0.1125 \\ 0.3792 & 0.3026 & 0.2363 & 0.1965 \\ 0.2036 & 0.2234 & 0.3214 & 0.2476 \\ 0.3021 & 0.6532 & 0.2045 & 0.1354 \end{bmatrix} \quad (3)$$

4.2.2 综合评价

模糊向量(权向量)已由前述确定:

$$A= \{0.091, 0.045, 0.127, 0.109, 0.091, 0.027, 0.064, 0.118, 0.045, 0.118, 0.164\} \quad (4)$$

从而可据 R 、 A 对滑坡防治效果进行评价, 评判结果为:

$$B = A^{\circ} R = \{0.7655, 0.2857, 0.2965, 0.1562\} \quad (5)$$

B 是由4个数据构成的集合, 按最大隶属度原则, 可判定该滑坡群的治理工程效果良好。

韶关市武江区蕉冲山特大型滑坡群地质灾害防治工程项目已基本消除危害, 抗滑结构受力基本合理; 防治后滑坡稳定性达到要求, 已经稳定; 整治后各种位移在容许范围之内; 各个抗滑结构受力合理, 实测推力与设计推力有一定出入; 整治后滑带土强度得到提高; 工程治理规模对滑坡规模而言偏重型, 治理效益一般。治理工程实际效果较好, 与综合评价结果相一致。

5 结论

从滑坡治理工程后评价角度出发, 对特大型

复杂滑坡整治工程抗滑结构的受力、位移等进行了技术分析, 筛选出防治工程效果的11项评价因子, 初次建立了滑坡防治工程效果的模糊综合评价模型, 为地质灾害治理工程后评价奠定了一定基础。

由于对滑坡防治工程效果的后评价研究仅仅是个开端, 滑坡治理工程后评价必须掌握大量的资料、尤其是其准确性需多方调研、核实。如: 对于抗滑结构实施后滑坡体位移、应力变化及达到稳定时间等等, 仍需进一步开展更深入、更微观的专题研究。

参考文献

[1] 杨燕雄, 谢亚琼. 地质灾害治理工程项目后评价体系[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(2): 106-109.

[2] 林华国, 卿展辉. 地质灾害治理工程后评价方法[J]. 华南地震, 2019, 29(03): 146-152.

[3] 黄泽军, 肖场燚. 模糊数学在某滑坡稳定性评价中的应用[J]. 山西建筑, 2009, 35(9): 133-135.

[4] 付强. 广东和平县粮溪崩塌、滑坡群特大型地质灾害稳定性分析及防治工程的选取[J]. 城市建筑, 2013(14): 280-287.

- [5] 吴常润,赵冬梅,刘澄静,等. 基于GIS和信息量模型的陇川县滑坡易发性评价[J]. 西北地质. 2020,53(02):308-320.
- [6] Hull T S, Poulous H G. Discussion: design method for stability of slopes with piles[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering, ASCE, 1999, 125(9): 991-913.
- [7] 汪美华,赵慧,倪天翔,等. 基于不连续布局优化法的那勒寺古滑坡稳定性分析[J]. 西北地质, 2020, 53(01): 234-242.
- [8] 唐亚明,张茂省,李政国,等. 国内外地质灾害风险管理对比及评述[J]. 西北地质. 2015,48(2):238-246.
- [9] 郭明珠,梁洲婕,王天成,等. 基于单纯形积分的滑坡堆积体体积计算方法[J]. 地震研究,2022,45(3):460-467.
- [10] 白仙富,戴雨芃,叶燎原,等. 基于GIS和专家知识的滇西南地区滑坡敏感性模糊逻辑推理方法[J]. 地震研究, 2022,45(1):118-131.