

# 滑坡综合治理方案比选评价模型

王念秦, 姚勇, 罗东海

(西安科技大学 地质与环境工程学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 为了更好地比选滑坡综合治理方案, 针对影响治理方案因素的复杂性和不确定性, 以安全可靠、环境协调性、经济合理性、技术可行性、施工难易、施工工期等做为评价因子, 建立了基于熵权决策法的滑坡综合治理方案比选评价模型。根据专家意见建立判断矩阵, 利用熵权决策法的原理确定“理想点”; 通过计算 4 个设计方案与“理想点”的贴适度与距离来确定方案的排序。结果表明, 方案二(锚索抗滑桩与截排水相结合)为最优方案。熵权决策法克服了传统评估方法中主观确定权数的缺陷, 保证计算过程和结果的客观性, 是一种可行的、定量的滑坡治理方案比选方法。

**关键词:** 滑坡; 综合治理方案; 熵权决策法

**文献标识码:** B      **文章编号:** 1000-288X(2009)01-0111-04      **中图分类号:** P642.22, TU458+.4

## Comparison and Choice of Integrated Control Schemes for Landslide

WANG Nian-qin, YAO Yong, LUO Dong-hai

(Department of Geology and Environment Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** In order to compare various landslide control schemes and find an integrated control scheme, an optimization approach is established based on entropy weight. Such factors as geological information, practical condition, engineering economy and environmental influence are incorporated. According to the opinion of experts, a comparison matrix is set up. Entropy of decision-making is used to determine the “ideal point”. The order of schemes is determined by calculating the close-degree and the distance between the four schemes and “ideal point”. Results show that the second scheme is the best one. Entropy of decision-making is a feasible and quantitative selection method, which ensures the objectivity of calculation process and results.

**Keywords:** landslide; integrated control scheme; entropy of decision-making

当前各类滑坡的防治技术已经比较成熟, 但又各有优劣, 必须结合使用, 才能合理、有效、经济的综合治理<sup>[1-2]</sup>。综合治理方案的确定直接关系到治理效果, 即使对同一灾害, 不同工程技术人员所提出的综合治理方案亦有所不同, 其根本原因在于对灾害本质的认知水平。如何进行滑坡综合治理方案比选, 目前尚缺乏统一的认识和标准, 基本停留在经验阶段, 主要以定性评价为主。因此, 本研究以鲁班崖滑坡为例建立基于熵权决策法的滑坡综合治理方案比选模型。

熵权决策法是对综合评估法的一种改进, 旨在克服凭经验确定指标权重的主观随意性<sup>[3-5]</sup>。熵权决策法是在没有专家权重的情况下, 根据评价对象的指标值构成的判断矩阵来确定指标权重的一种方法, 根据评价方案与“理想点”的贴适度或距离(当贴适度相

同时)来确定方案优劣, 其在工程评价方面有着广泛的应用<sup>[5-10]</sup>。熵权决策法中原始判断矩阵直接关系到评价结果, 在当前条件下一般由有经验的专业人员给出, 带有较强主观性, 因此在构成矩阵时一般应考虑多名专家意见。熵权决策法则可以在判断矩阵合理的情况下, 确保计算过程和结果的客观性, 同时避免了主观确定权重的过程。

## 1 熵权决策法原理

设有  $n$  个评价对象(滑坡治理方案),  $m$  个评价指标(影响因素), 则每个方案的各指标值构成判断矩阵  $A = (a_{ij})_{m \times n}$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ )。式中  $a_{ij}$  为第  $j$  方案第  $i$  因子的评分值, 其值是综合考虑多名专家意见后的均值。

$$\text{令 } a_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_j a_{ij}}{\max_j a_{ij} - \min_j a_{ij}} \quad (1)$$

则标准化 A 矩阵后的矩阵 A 为

$$A = (a_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

其中  $a_{ij} \in [0, 1]$ 。

由此,按传统的熵概念可定义指标的熵为

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

其中  $f_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}$ ,  $k = \frac{1}{\ln n}$ 。

为使  $\ln f_{ij}$  有意义,假定:当  $f_{ij} = 0$  时,  $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$  进而定义熵权为

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (4)$$

$$W = (w_i)_{m \times 1} \quad (5)$$

由上述定义以及熵函数的性质可以得到熵权的性质:指标的熵越大,其熵权越小,该指标越不重要,而且满足  $0 \leq w_i \leq 1$  和  $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。熵权反映的是指标在评估中的相对重要性,它反映的是当给定被评价对象集后在各种评价指标值确定情况下,各指标在竞争意义上的相对激烈程度。

按以上主要原理,滑坡综合治理方案比选的熵权系统评价过程为:

(1) 确定被评估的滑坡治理方案有  $n$  个,每个评估方案的评价指标有  $m$  个;

(2) 确定  $A = (a_{ij})_{m \times n}$  并按公式 2 对其标准化,得到  $A = (a_{ij})_{m \times n}$ ;

(3) 按公式 3 计算各指标的熵  $H_i$ ;

(4) 根据熵  $H_i$  以及  $A = (a_{ij})_{m \times n}$ ,计算属性矩阵 B,其具体过程见工程实例;

(5) 求理想点  $P^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_m^*)$ , 其中  $p_i^* = \max_j \{ |b_{ij} - p_i^*| \mid j=1, 1, \dots, n; i=1, 2, \dots, m \}$ 。理想点为属性矩阵 B 中每行的最大值,即最优值。

(6) 计算距离。距离是各滑坡治理方案的属性值  $b_{ij}$  与理想点  $p_i$  之间的几何距离,反映的是评价方案与理想方案之间的接近或相似程度,其表达式如下:

$$d_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^m (b_{ij} - p_i^*)^2} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

(7) 计算贴近度  $T_j$ 。贴近度直观反映了滑坡治理方案与理想点之间的贴近程度,工程评价中一般以贴近度来衡量方案的优劣,其值越小,方案与理想点越接近,方案越优。其与距离的意义基本相同,当贴近度相同时,工程上通过比较距离大小来决定方案优劣。贴近度表达式为:

$$T_j = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m b_{ij} p_i^*}{\sum_{i=1}^m (p_i^*)^2} \quad (7)$$

## 2 工程实例

### 2.1 工程简介

鲁班崖滑坡位于国道 G212 线 K365 + 832 m — K366 + 140 m 处,距宕昌县邓桥村北约 1 km。这里原为一条泥石流沟,沟谷上部经常发生坍塌、崩塌。多年以来,坡、崩积物及泥石流冲积物在沟中形成近 300 m 高的堆积层,由于堆积物岩石碎屑含量较高,山坡坡度较陡(平均 30°~35°),且新近崩积物多,厚度约 2 m。在地下水、大气降水等作用下,相对稳定的堆积层,开始变形。

鲁班崖属中大型堆积层,地理位置重要(其滑动直接危及 212 国道),同时,体垂向高度大,有明显的分级、分块现象,因此,本着“彻底根治,不留后患”的原则<sup>[11]</sup>,依据滑坡的性质、成因、体组成、规模以及所处位置的重要性、活动性等综合因素,设计了 4 类综合治理方案。

(1) 方案一:普通抗滑桩与截排水结合方案。

普通抗滑桩:上、下有两级出口。在上体前缘、下体后缘设置一排普通抗滑桩;在下体前部、公路西侧做一排普通抗滑桩。桩的截面尺寸、桩长及桩间距均由计算给出,具体为上普通抗滑桩截面为 2 m × 3 m,桩长为 19 m,桩间距为 6 m;下普通抗滑桩截面为 2.2 m × 3.4 m,桩长为 15 m,桩间距为 6 m。防冲挡墙:为了防止岷江对前部的侧蚀,削弱稳定性,在岷江左侧、公路东侧设置防冲挡墙。截、排水沟:为了有效控制大气降水对稳定性的影响,在后缘 5~10 m 处设置截水沟一条;在体上设置树枝状排水沟。仰斜排水孔:由于该区地下水发育丰富,对稳定性影响很大。在下前缘抗滑桩之间设置仰斜排水孔。

(2) 方案二:锚索抗滑桩与截排水结合方案。

锚索抗滑桩:上、下有两级出口,且无整体滑动可能。在上体前缘、下体后缘设置一排 MZH1 型锚索抗滑桩;在下体前部、公路西侧做一排 MZH2 型锚索抗滑桩。桩的截面尺寸、桩长及桩间距均由计算给出,具体为上 MZH1 型锚索抗滑桩截面为 1.8 m × 2.4 m,桩长为 17 m,桩间距为 6 m;下 MZH2 型锚索抗滑桩截面为 2 m × 2.8 m,桩长为 13 m,桩间距为 6 m。防冲挡墙:为了防止岷江对前部的侧蚀,削弱稳定性,在岷江左侧、公路东侧设置防冲挡墙。截、排水沟:为了有效控制大气降水对稳定性的影响,在后缘 5~10 m 处设置截水沟一条;在体上设置树枝状排水

沟。 仰斜排水孔:由于该区地下水发育,对稳定性影响很大,应进行地下排水。故在下前缘抗滑桩之间设置仰斜排水孔。

(3) 方案三:普通抗滑桩、锚索抗滑桩与截排水相结合。 普通抗滑桩:上规模稍小,且出口处见明显稳定地层,推力不太大,普通抗滑桩可满足稳定要求,因此,在上体前缘、下体后缘设置一排 ZH1 型普通抗滑桩。桩的截面尺寸、桩长及桩间距均由计算给出,具体桩截面为 2 m ×3 m,桩长为 19 m,桩间距为 6 m。 锚索抗滑桩:下体规模较大,且已多次滑动危害 G212 路线畅通,为了更有效的利用抗滑桩的抑制作用,同时考虑锚索抗滑桩结构的合理性,选择在下体前缘、公路东侧坡脚设置一排 MZH2 型锚索抗滑桩。桩的截面尺寸、桩长、桩间距、锚索长度等参数均由计算给出,具体桩截面为 2.0 m ×2.8 m,桩长为 13 m,桩间距为 6 m。 防冲挡墙:为了防止岷江对前部的侧蚀,削弱稳定性,在岷江左侧、公路东侧设置防冲挡墙。 截、排水沟:为了有效控制大气降水对稳定性的影响,在后缘 5 ~ 10 m 处设置截水沟一条;在体上设置树枝状排水沟。 仰斜排水孔:由于该区地下水发育,对稳定性影响很大,应进行地下排水。故在下前缘锚索抗滑桩之间设置仰斜排水孔。

(4) 方案四:普通抗滑桩、锚索地梁与截排水相结合。 普通抗滑桩:上体规模较小,且出口处见明显稳定地层,推力小,普通抗滑桩可满足稳定要求,因此,在上体前缘、下体后缘设置一排 ZH1 型普通抗滑桩。桩的截面尺寸、桩长及桩间距均由计算给出,具体桩截面为 2 m ×3 m,桩长为 19 m,桩间距为 6 m。

锚索地梁:在下前缘,公路内侧坡脚设置两级锚索地梁。地梁间距依据滑体密实程度、含水状态等确定,具体为 2.5 m;锚索长度、锚索间距、地梁尺寸等由设计计算给出,具体锚索长为 25 m,间距高度为 3.2 m(倾角依地形取 1 0.5 ~ 1 0.75),地梁截面为 0.6 m ×0.6 m。 截、排水沟:为了有效控制大气降水对稳定性的影响,在后缘 5 ~ 10 m 处设置截水沟一条;在体上设置树枝状排水沟。 仰斜排水孔:由于该区地下水发育,对稳定性影响很大,应进行地下排水。故在下前缘锚索地梁之间设置仰斜排水孔。 防冲挡墙:为了防止岷江对前部的侧蚀,削弱稳定性,在岷江左侧、公路东侧设置防冲挡墙。

针对上面提出的 4 种方案,对其措施进行工程设计,综合治理方案估算投资额为方案一 1 159.4 万元;方案二 795.72 万元;方案三为 968.70 万元;方案四为 1 063.04 万元。

### 2.2 方案比选

在方案设计和投资估算的基础上,对综合治理方案的适宜性进行比较,以便选取最有效、最经济、最方便可行的综合治理方案。每种方案需要考虑 6 种因素:安全可靠、环境协调性、经济合理性、技术可行性、施工难易、施工工期。故可以认为本问题是一个由 6 个评价指标,4 个评价对象构成的熵权决策问题。根据专家意见,综合考虑各案的优劣,确定方案对比评价表(表 1)。

表 1 方案对比评价

因素 <i>i</i>	方案一	方案二	方案三	方案四
安全可靠	85	90	100	95
环境协调性	70	85	80	70
经济合理性	60	90	80	75
技术可行性	95	90	70	80
施工难易	90	85	70	75
施工工期	85	80	60	70

### 2.3 比选结果

根据表 1,可得非模糊评价矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 85 & 90 & 100 & 95 \\ 70 & 85 & 80 & 75 \\ 60 & 90 & 80 & 70 \\ 95 & 90 & 70 & 80 \\ 90 & 85 & 70 & 75 \\ 85 & 80 & 60 & 70 \end{bmatrix}$$

标准化后的规格化矩阵 A 为

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0.33 & 1 & 0.67 \\ 0 & 1 & 0.67 & 0.33 \\ 0 & 1 & 0.67 & 0.33 \\ 1 & 0.8 & 0 & 0.4 \\ 1 & 0.75 & 0 & 0.25 \\ 1 & 0.8 & 0 & 0.4 \end{bmatrix}$$

根据式 3,可得各评价指标熵值如表 2 所示。

表 2 各评价指标熵值

评价指标	安全可靠	环境协调	经济合理	技术可行	施工难易	施工工期
熵 $H_i$	0.729 0	0.729 0	0.729 0	0.745 4	0.701 4	0.745 4

则可得属性矩阵为

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0.2406 & 0.7290 & 0.4884 \\ 0 & 0.7290 & 0.4884 & 0.2406 \\ 0 & 0.7290 & 0.4884 & 0.2406 \\ 0.7454 & 0.5963 & 0 & 0.2982 \\ 0.7014 & 0.5261 & 0 & 0.1754 \\ 0.7454 & 0.5963 & 0 & 0.2982 \end{bmatrix}$$

故理想点  $P^* = (0.7290, 0.7290, 0.7290, 0.7454, 0.7014, 0.7454)^T$ 。

分别根据公式(6) —(7), 各方案优选顺序总结如表 3 所示。

表 3 各方案优选顺序

方案	方案一	方案二	方案三	方案四
距离	1.2627	0.5600	1.3111	1.1007
按距离的优序	3	1	4	2
贴适度	0.4986	0.2193	0.6166	0.6014
按贴适度的优序	2	1	4	3

从表中可以看出, 不论是根据根据贴适度还是距离, 方案二为最优方案, 方案三为最差方案。一般根据  $T_i$  值即可对各方案进行排序, 优先考虑低值者; 如果  $T_i$  相等, 则比较距离  $d_i^*$  值, 优先考虑低值者。所以最终的综合治理方案比较结果为方案二 > 方案一 > 方案四 > 方案三。

针对鲁班崖地处国道主干线的重要位置, 属牵引性质, 规模较大, 并结合当地经济欠发达的现状, 方案二为鲁班崖综合治理的首选方案是比较合理的。

### 3 结论

熵权决策法能够将具有不同量纲, 代表不同类型和物理含义的分指标进行标准化处理, 得出的熵权最大程度地反映了指标的真实水平, 同时结合专家评判, 充分发挥了客观评价和主观评价的优势。该方法充分考虑专家主观性, 即各指标的评分值, 这也是其它方法不可回避的问题, 只能通过有经验的专业人员来确定指标评分值。同时, 熵法克服了传统评估方法

中主观确定权数的缺陷, 保证计算过程和结果的客观性, 具有较强的识别评判能力和简便、定量严密的特点。鲁班崖滑坡在定性评价中综合各位专家意见, 确定方案二为最佳方案, 该滑坡已经按方案二进行了治理, 治理效果明显。证明熵权决策法是一种可行的、定量的滑坡综合治理方案比选方法。

通过方案比选, 最终确定方案二为最佳治理方案, 该方案具有两方面优点。(1) 可有效控制鲁班崖的复活滑动, 即使后部老壁上有少量崩塌物堆置于前部体上, 亦可保证整体的稳定; (2) 可有效控制大气降水入渗对滑坡体稳定性造成的不利作用。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张绍波. 滑坡加固方案优化选择的灰色系统方法[J]. 灾害学, 1999, 14(4): 36-39.
- [2] 夏元友, 朱瑞赓. 病害边坡治理方案选择的智能辅助决策系统[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(4): 453-458.
- [3] 邱苑华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [4] Bablu S, Tapan K R. Multiobjective entropy transportation model with trapezoidal fuzzy number penalties, sources and destinations[J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(6): 419-428.
- [5] Wei Jun. Entropy weight coefficient method's application in software industry development strategy choice[J]. Journal of Hebei University of Economics and Trade, 2002, 23(2): 82-87.
- [6] 卞金露, 黎放, 胡涛. 基于熵权多目标决策的战时物资运输方案优选研究[J]. 海军工程大学学报, 2004, 16(1): 74-78.
- [7] 闫文周, 顾连胜. 熵权决策法在工程评标中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报, 2004, 36(1): 98-100.
- [8] 罗君君. 熵权决策法在公路工程评标中的应用[J]. 佳木斯大学学报, 2007, 25(1): 28-30.
- [9] 宋喜民, 周书敬. 建设项目投资方案优选的熵权系数法[J]. 建筑技术开发, 2004, 31(7): 113-114.
- [10] 王江晴, 江迎春. 基于熵权的软件质量模糊评价模型设计与实现[J]. 计算机与数字工程, 2008(2): 29-30.
- [11] 王念秦, 张倬元. 黄土滑坡灾害研究[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2005.