

# 基于熵权法分析边坡稳定性影响因素

张丹, 张寅, 丁俊

(四川工业科技学院建筑工程学院, 四川 德阳 618000)

**摘要** 本文通过分析近年来边坡失稳情况, 整理出主要的边坡稳定影响因素, 各因素对边坡的稳定性影响程度不同, 结合专家对识别出的因素进行程度打分, 再利用熵权法分析, 进行数据的处理, 得出边坡稳定因素的影响程度排序, 结合排序情况采取边坡稳定措施, 旨在为以后类似工程提供经验积累。

**关键词** 边坡稳定影响因素; 熵权法; 边坡设计; 坡面工程防护; 边坡排水技术

中图分类号: TU7

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)06-0010-03

随着我国经济建设的发展, 在工民建、水利、道路桥梁等工程建设中出现了大量的边坡, 而边坡的稳定性直接影响着工程质量、生命安全、工程继续使用等问题, 如果边坡稳定处理不当, 很可能造成滑坡、崩塌等灾害, 甚至还会发生二次灾害, 影响甚大。目前, 专家学者在边坡稳定方面做了大量的研究, 极限平衡理论法、有限元分析法<sup>[1]</sup>、系统工程论、突变理论<sup>[2]</sup>、分析理论、灰色理论<sup>[3]</sup>等不断运用于边坡的稳定分析中, 给出了边坡稳定的相关措施。

## 1 边坡稳定的影响因素

边坡中土体内部某个面上的剪应力增加或滑动面上土体的抗剪强度减小, 使其滑动面上的剪应力超过土体的抗剪强度, 即丧失其原有的稳定性, 导致边坡失稳, 一部分土体相对于另一部分土体滑动, 一般形成滑坡<sup>[4]</sup>。土体滑坡前征兆一般有坡顶下沉、裂缝形成、坡脚隆起。

影响边坡稳定的因素有很多, 根据地质调查数据分析情况及大量的工程案例, 现整理收集两大方面, 包括内部因素及外部因素, 内部因素主要有土质情况、地质构造及边坡几何参数等; 外部因素主要有水的作用、振动作用及其他因素等。

### 1.1 影响边坡稳定的内部因素

#### 1.1.1 土质情况

不同地区土质情况各不相同。土颗粒组成不同、排列不同、粒径组配比不同、联结方式不同等, 其抗剪强度就不同, 土的抗剪强度由两部分组成, 土的黏聚力及摩阻力, 而边坡的稳定性主要受滑动面土的抗剪强度影响。若遇钙质或石膏质胶结的土, 或遇湿陷性黄土这类特殊土, 遇水后软化, 会使其土体强度降

低。岩质边坡和土质边坡特性差异特别大<sup>[5]</sup>, 岩质边坡稳定性受结构层面产状情况、节理情况等情况而定, 而土质边坡主要受抗剪强度指标值而定。

#### 1.1.2 地质构造

工程边坡一般都是露天的, 其周围的地质构造情况复杂, 若遇地层构造应力、断层、岩层面, 或存在裂隙发育地层构造, 又或遇软弱夹层等情况, 边坡的稳定性都会受影响。如在斜坡上堆有较厚土层, 特别是当下卧土层不透水时, 也容易发生滑动。岩层倾角处于 25 ~ 55 度时稳定性也较差<sup>[6]</sup>。

#### 1.1.3 边坡几何参数

边坡几何参数包括边坡高度、边坡倾角及边坡形状。一般情况下, 边坡越高, 稳定性越差; 边坡倾角越大, 边坡稳定性越差; 边坡形状上缓下陡的在重力作用下比上陡下缓的易于滑坡, 即使是黏性土有黏聚力, 当土坡高度不大时尚可直立, 但随时间和外界的变化, 也会逐渐塌落。

## 1.2 影响边坡稳定的外部因素

### 1.2.1 水的作用

水的作用对边坡的影响主要表现在以下几个方面: 一是在持续的降雨或地下水渗入土层中, 会使得土中含水量增高, 水的润滑、软化、强结合水等物理作用使土的抗剪强度明显降低, 即使是强度较大的岩体在长期受水浸润作用下, 也会降低其强度, 影响边坡的稳定性; 二是土体在水的浸泡下会发生溶蚀、水解、氧化、离子交换等化学反应, 这一系列化学反应也会影响边坡的稳定性问题; 三是水体存在水力学作用, 静水压力、动水压力、孔隙水压力等, 使得水流具有冲刷能力, 让边坡变得不稳定。

1.2.2 振动作用

振动作用又分为天然的和人为的。地震作用会释放大量的能量，该能量会使边坡原有的结构受到破坏，从而降低土的抗剪强度，而砂土在地震作用下极易发生液化现象，若是岩石边坡在地震作用下也会出现破裂结构面、孔隙水压力上升、石块松动等不良现象，加剧滑坡的可能性。车辆撞击、施工爆破等人为振动，也可使邻近坡体变形甚至出现失稳。

1.2.3 其他因素

人为因素不合理地开挖，特别是开挖坡脚，或开挖基坑、沟渠、边坡时将弃土堆在坡顶附近，在斜坡上建房或堆放重物时，都可引起斜坡变形破坏。边坡截水构造的失效，长久作用可引起管涌，导致坡体失稳。边坡植被防护的失效，甚至可加剧边坡失稳。其他不良现象产生链式反应，加剧边坡失稳等。

2 熵权法分析理论

用熵权法确定各影响因素指标权重过程如下：

1. 原始矩阵构建<sup>[7]</sup>。假设选取 m 位相关领域的专家对各个因素的影响程度进行打分，n 为影响边坡稳定性的各个因素，形成矩阵 B。

$$B = (b_{ij})_{m \times n} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \vdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. 采用极差值法对矩阵 B 进行无量纲化处理，得到矩阵 C。负向标准化<sup>[8]</sup>：

$$c_{ij} = \frac{\max(b_{1j}, \dots, b_{mj}) - b_{ij}}{\max(b_{1j}, \dots, b_{mj}) - \min(b_{1j}, \dots, b_{mj})} + 1 \quad (2)$$

3. 计算第 i 位专家关于第 j 个边坡影响因素评分指标的权重，得到矩阵 D。

$$d_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^m c_{ij}} \quad (3)$$

4. 确定第 j 项指标的信息熵值。

$$e_j = -\frac{1}{\ln a} \sum_{i=1}^m d_{ij} \ln d_{ij} \quad (\ln a \text{ 为调节系数, 确保 } 0 < e_j < 1) \quad (4)$$

5. 计算第 j 个指标的效用值。

$$h_j = 1 - e_j \quad (5)$$

6. 计算第 j 个指标的权重。

$$w_j = \frac{h_j}{\sum_{j=1}^n h_j} \quad (6)$$

3 边坡稳定性影响因素的熵权法分析案例

3.1 边坡稳定性影响因素的熵权法分析

1. 原始矩阵构建。针对识别到的六种边坡稳定影响因素风险，邀请 10 位专家对四川省内边坡影响因素的不同程度进行打分，打分为 1-5 分范围，5 分代表该因素对边坡稳定性影响程度最大，4 分代表该因素对边坡稳定性影响程度较大，3 分代表该因素对其影响适中，2 分代表该因素对其影响较小，1 分代表该因素对边坡稳定性影响程度最小。从而得到打分原始矩阵如表 1 所示。

2. 采用极差值法进行无量纲化处理，由公式 (3) 计算第 i 位专家关于第 j 个边坡影响因素评分指标的权重，根据公式 (4) 计算第 j 项指标的信息熵值，根据公式 (5) 计算第 j 项指标的效用值，如表 2 所示。

3.2 分析结论

根据专家评分及熵权法分析可知，在专家的认知中，以往边坡失稳案例中，影响边坡稳定性的程度由大到小排序为：边坡几何参数 > 其他因素 > 土质情况 > 水的作用 > 地质构造 > 振动作用。

4 边坡稳定措施

根据边坡稳定因素的不同影响程度，采取以下对应稳定措施<sup>[9]</sup>。

1. 做好边坡设计工作。在设计时应避让不利地段，针对实际工程项目情况，设计合理的边坡形式，确定合理的边坡高度、边坡倾角及边坡形状，预防出现边坡滑坡现象。

2. 边坡支挡结构防护。陡坡地段、岩石风化程度较大的路堑边坡地段、可能滑坡塌方的不良边坡地段等，可修建挡墙进行支护；土石质路堑当其滑坡推力小时、高路堤缺乏稳定的路段、路堑边坡坡体风化残积路段可采用土钉支护形式；高速公路边坡路段可采用抗滑桩支护等。

3. 坡面工程防护。利用土工格网、土工格栅、土工格室等土工合成材料进行生态边坡防护；高速公路边坡可采取柔性防护系统防治崩塌落石；坡面喷浆技术可一方面增强土体抗剪强度，另一方面可减小水压

表1 基于熵权法边坡稳定影响因素专家评分原始矩阵表

专家	因素					
	土质情况	地质构造	边坡几何参数	水的作用	振动作用	其他因素
评价1	4	5	5	4	4	3
评价2	5	4	5	4	3	3
评价3	4	4	4	5	3	2
评价4	3	5	4	5	4	4
评价5	4	4	5	4	3	3
评价6	5	4	4	4	3	3
评价7	4	5	5	4	3	4
评价8	3	4	5	3	3	3
评价9	4	4	5	4	3	4
评价10	5	5	5	4	3	4

表2 第j项指标的效用值及排序

指标	土质情况	地质构造	边坡几何参数	水的作用	振动作用	其他因素
信息熵值	0.6704	0.6396	0.7081	0.6687	0.5906	0.6929

力或水动力,起到边坡防护作用等。

4. 坡面植被防护。针对平原土质边坡地段,可采用铺草皮、植生带、液压喷播、挖沟植草、骨架格构式植物等措施进行护坡;针对丘陵区边坡地段,可采用挂网客土喷播技术、锚杆格构与骨架植草加固技术等进行防护;针对山岭重丘边坡地段,可采用骨架格构式植物并结合工程防护的综合防护。

5. 边坡排水技术。地表水的排除可利用排水设施实现,可设计合理的边沟、排水沟、跌水与急流槽等构造设施,拦截引流地表水于路基范围之外;地下水的排除可利用地下排水构造实现,可设计合理的暗沟、渗井与渗沟,疏干排引地下水,降低地下水位,起到稳定边坡作用。

## 5 结束语

通过整理边坡稳定影响各因素,结合专家打分情况,建立初始矩阵,利用熵权法进行影响程度的分析,得出影响程度的排序,并对边坡提出了相关的稳定措施,为类似工程提供了一定借鉴作用。

## 参考文献:

- [1] 胡兴光. 土钉支护边坡极限平衡法与有限元法对比分析[J]. 浙江水利水电学院学报,2023,35(03):65-69,85.
- [2] 于勉. 尖点突变理论在边坡抗震稳定分析中的应用[J]. 水利技术监督,2020(05):217-219,254.
- [3] 张国发,张玉广,邹启民,等. 基于灰色关联法的边坡稳定影响因素敏感度分析及应用[J]. 交通科技,2021(06):77-81.
- [4] 陆时万. 边坡稳定影响因素及稳定性分析方法[J]. 建材与装饰,2023,19(07):150-152.
- [5] 丁鑫品. 端帮采场边坡稳定影响因素及其作用规律研究[J]. 煤矿安全,2023,54(06):176-183.
- [6] 辛华伟. 影响水利工程边坡稳定的因素及处理措施[J]. 科技资讯,2022,20(16):65-67.
- [7] 林科,尹秀琴,左书畅. 基于熵权TOPSIS-RSR法的城市废气排放研究[J]. 绿色科技,2023,25(20):117-122.
- [8] 徐延利,林广维. 基于熵值法的三大城市群之间金融集聚测度横向比较研究[J]. 中国软科学,2021(A1):333-338.
- [9] 汪晗. 公路边坡工程防治技术[M]. 合肥:合肥工业大学出版社,2014.