

Highway Dangerous Rock Stability Evaluation Based on Analytic Hierarchy Process

Can YANG

School of Civil Engineering of Chongqing Jiaotong University, Chongqing, China, 400047
Email: 1114068528@qq.com

Abstract: Based on the characteristics of highway dangerous rock and dangerous rock stability influence factors analysis, find out 8 classes of dangerous rock stability influence factors of the more important, the index and including three grade 1 eight grade 2 index of security evaluation system. Based on the fuzzy analytic hierarchy process, through the survey data, the reasonable index weight, and set up the simple model of highway dangerous rock stability evaluation, and with national highway willow bay a dangerous rock in fushui - hemp belt as an example, the stability evaluation.

Keywords: Dangerous rock; Level; Stabilization

基于层次分析法的公路危岩稳定性评价

杨灿

重庆交通大学土木工程学院, 重庆, 中国, 400047
1114068528@qq.com

摘要: 基于公路危岩的特征和危岩稳定性影响因素的分析, 找出 8 类对危岩稳定性影响比较重要的因素, 构建了包括 3 个 1 级指标及 8 个 2 级指标的安全评价体系。以模糊层次分析法为基础, 通过调查的数据, 确定了合理的指标权重, 建立了公路危岩稳定性评价的简单模型, 并以水富-麻柳湾国道某一危岩带为例, 进行了稳定性评价。

关键词: 危岩; 层次; 稳定

1 引言

危岩是多组岩体结构面组合而构成, 具有较好的临空条件, 在重力、卸荷作用、地震等诱发因素作用下与坡体逐渐分离, 处于不稳定、欠稳定或极限平衡状态的岩体。

在我国西南山区, 由于地形、地质条件的原因, 路线两侧往往存在较多的危岩体, 而由于处治费用高昂, 对这些危岩不可能进行全面的加固处治, 致使经常发生危岩崩塌落石灾害, 造成人员伤亡和财产损失^[1]。危岩崩塌具有分布广泛性、失稳突发性、致灾严重性。因此, 急迫需要对山区道路危岩稳定性进行定性及定量研究。

危岩体稳定性评价的方法虽然种类繁多, 但可操作性, 特别是现场调查的可快速判断危岩体稳定性的方法极少^[2]。

2 危岩评价模型

边坡稳定性宏观评价是一种包含统计、类比的分析方法, 以定性描述和分析为主, 因而运用起来或多或少存在随意性和不确定性, 难以建立合适的评价标准。目前用于边坡稳定性评价的数学模型有判别分析法、信息量法、逻辑信息法、模糊综合评价法、专家评分法、危险概率分析法、综合评价法等。通过对这些方法的可操作性、数据的可获取性和结果可靠性的比较, 选取层次模糊综合评价方法来作为稳定性评价的模型。

层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)是美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂于上世纪 70 年代初, 提出的一种层次权重决策分析方法。层次分析法是一种解决多目标的复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法。合理地给出每个决策方案的每个标准的权重, 利用权重求出各方案的优劣次序, 比较有效地应用于那些难以用定量方法解决的课题^[3]。

3 评价指标选取

根据公路危岩的特征，提出以下几个对危岩稳定性影响因素：

3.1 内在影响因素

1) 岩组类型

岩组类型是指在层状岩体组成的边坡中，由边坡坡面、岩层产状、公路走向三者之间特定的组合方式决定的边坡形态，对于均质坡或是土坡，则不存在边坡结构的概念。

2) 坡度

地形坡度是影响危岩稳定性的重要因素。应力分布会随着坡度的变化而发生变化，坡度大小直接就确定了危岩对构造物的破坏程度。随着边坡变陡，张应力值及其分布范围随之加大，坡脚最大剪应力值也随之加大。研究表明崩塌数与坡度呈泊松分布，一般崩塌坡度在 35°-55°，而最容易发生崩塌的坡度为 35°-50°。

3) 坡高

研究边坡稳定性时，坡高也是重点考虑的因素之一。尽管变应力等值线的图像（对均匀、弹性介质）不随边坡高度的变化而变化，但其数值均随坡高增加而呈线性增大；同时，坡面因垂直冲蚀或挖方而增加坡高，将增强侧方应力的解压而导致坡面岩石的松动与平行于坡面裂隙的形成，增加径流水的穿透机会，不利于坡面之稳定^[4]。

3.2 外在环境因素

1) 历史灾害发育程度

历史灾害主要是指崩塌、滑坡等已经发生了的地质灾害。地质灾害往往具有群发性、灾害链等特点，在已经发生过灾害的局部区域及其附近往往就很可能产生新的灾害或转化为其它类型的地质灾害。所以在进行边坡稳定性评价时，历史灾害发育程度是重要的考虑因素。

2) 岩石风化程度

自然的风化作用会加速岩石裂隙的发育扩展，降低裂隙结构面的强度，导致岩石破碎。大气中的氧和水溶液还会使岩石的矿物成分和化学成分发生变化，岩石在地表条件下由稳定的原生矿物变为不稳定的次生矿物，并随着裂隙水逐渐流失，形成岩腔。

边坡岩体在温度场、水、日照、风等因素的长期作用下发生风化，使岩体更加破碎。风化越厉害，岩

体越破碎，岩体越易失稳；边坡不同岩层的差异风化，也会导致危岩不稳定。

3) 裂隙水发育程度

裂隙水是岩石裂隙中的地下水，分布不均匀，水力联系不好，介质的渗透性具有不均一性与各向异性。边坡内部的结构面在特定的组合方式下给地下水的活动提供了通道，间接削弱边坡的稳定性。

3.3 激发因素

1) 人类工程活动

随着人类机械化程度的提高和开发范围的增加，人类工程活动开始频繁地大规模改造自然，有时甚至在局部范围内，人类工程活动对自然的影响远远超过了自然力的影响。这些工程活动往往是导致边坡失稳的最直接、最重要的诱发因素之一。

2) 自然灾害

地震对危岩主要有 2 种影响，一种是震中区危岩受到的垂直地震力使危岩更加破碎或坠落，另一种是指向坡外的水平地震力易使危岩失稳，地震力属于危岩失稳的诱发动力^[5]。产生垂直和水平向的地震作用力，强烈的震动可使边坡岩体中各种结构面的强度降低，促使岩体内应力释放，产生新的结构面，并使已存在的结构面更加发育。对于破碎岩体，尤其是产生的水平地震力更易使其失去稳定性。

4 评价指标体系的建立

4.1 评价指标体系构建

本文在分析公路危岩影响因素的基础上，参考相关研究论文并咨询有关专家，建立了公路危岩稳定性评价指标体系，如图 1 所示：

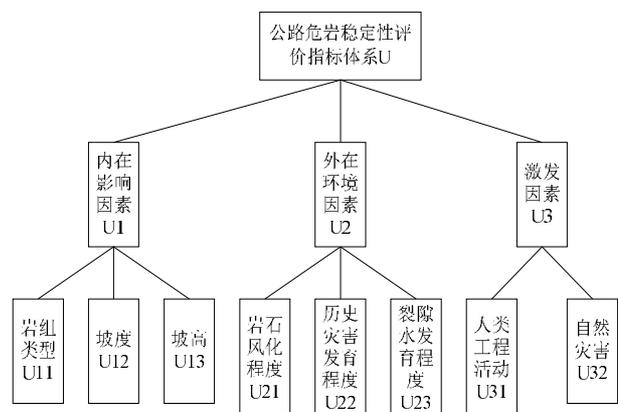


图 1 公路危岩稳定性评价指标体系

4.2 评价指标权重确定

首先把问题条理化、层次化，构造出一个层次清晰的结构模型，同一层元素对下一层的某些元素起支配作用，同时它又受上一层元素的支配^[2]（基于层次分析法的道路交通安全综合评价研究）。其次，在采用 1-9 标度法将同一层次的 2 个指标对上一层次指标的重要程度进行两两比较时，给出一定的附加条件，不但可以减少主观因素的影响，而且还可以构建 1 级指标相对于目标层和 2 级指标相对于 1 级指标的比较矩阵，并计算出评价指标相对于上一层次的权重^[6]，如表 1 所示

表 1 公路危岩稳定性评价指标权重值

1 级指标	2 级指标	权重	
		1 级指标	2 级指标
内在影响因素 U1	岩组类型 U11	0.48	0.481
	坡度 U12		0.267
	坡高 U13		0.252
外在环境因素 U2	历史灾害发育程度 U21	0.481	0.096
	岩石风化程度 U22		0.759
	裂隙水发育程度 U23		0.145
激发因素 U3	人类工程活动 U31	0.039	0.485
	自然灾害 U32		0.515

5.1 评价模型

影响公路危岩的因素较多，为了避免单级评价的不足且不过于复杂，将各因素分成 2 个层次并进行 2 级模糊综合评价。为表示方便将目标层记为 U，1 级指标记为 U₁、U₂、U₃，2 级指标记为 U_{ij}，U_{ij} 表示第 i 个 1 级指标下的 j 因素。U、U₁、U₂、U₃ 对应的权向量分别为：

$$W = \{w_1, w_2, w_3\}; W_1 = \{w_{11}, w_{12}, w_{13}\}$$

$$W_2 = \{w_{21}, w_{22}, w_{23}\}; W_3 = \{w_{31}, w_{32}\}$$

评语集 V 用 V = {危险性较低 (V₁), 危险性中等 (V₂), 危险性较高 (V₃), 危险性高 (V₄)} 4 个评价等级来表示。1 级指标下 U_i 对评价体系安全性的影响用评价矩阵 R_i 来表示，即：

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & r_{i13} & r_{i14} \\ r_{i21} & r_{i22} & r_{i23} & r_{i24} \\ r_{i31} & r_{i32} & r_{i33} & r_{i34} \end{bmatrix}$$

式中 r_{ijk} 表示 1 级指标第 i 个因素下第 j 个子因素对第 k 个评语集的取值。评价模型为 B = (W, R)，其中 B 为判断向量，W 为权重向量。

5.2 1 级模糊综合评价

结合定性与定量的方法，用调查方式请老师按调查表对每个因素应获得的安全评价等级进行评分，调查表^[7]如表 2 所示。从而得到各因素对各个评语集的隶属度，得出评价矩阵 R_i (i=1, 2, 3)，从而得到相应的判断向量 B_i = W_i · R_i (i=1, 2, 3)。

5 评价模型的建立

危岩评价因素等级划分标准如表 2 所示。

表 2 危岩评价因素等级划分标准

指标评价	等级划分标准			
	危险性较低 I	危险性中等 II	危险性较高 III	危险性高 IV
岩组类型	由坚硬岩体整块组成，无裂隙	中等坚硬岩石组成岩体，期间有少量节理裂隙发育	坚硬岩体夹软弱岩体，且有较多节理裂隙发育，有少量突出的孤石	坚硬岩体与软弱岩体互层，有大量突出的孤石，常有少量碎裂小石坠落，大量节理裂隙发育
坡度/(°)	≤45	45-65	65-80	>80
坡高/m	≤30	30-60	60-120	>120
历史灾害发育程度	无	较少次数发生	较多次数发生，且有正在发生的趋势	频繁发生，或发生有周期性
岩石风化程度	弱	较弱	较强	强
裂隙水发育程度	无	较弱	较强	强
人类活动程度	无	较弱	较强	强

5.3 2 级模糊综合评价

将 1 级综合评判结果 B₁、B₂、B₃ 作为元素，建立评价矩阵 R = (B₁, B₂, B₃)^T，进行 2 级综合评价，最终的

评价集 $B = W \cdot R$ 。

水富-麻柳湾国道 K0+220-420 危岩带进行稳定性评价，表 3 为危岩体的测量资料。

6 算例分析

由于没有实际的工程项目，查阅相关资料，现以

表 3 水富-麻柳湾国道 K0+220-420 危岩带测量资料

危岩带里程桩	岩组类型	坡度/°	坡高	历史灾害	岩石风化	裂隙水	人类活动	自然灾害
K0+220-420 左侧	厚层砂岩，岩体被切割	60	80	无	程度低	无	施工开挖边坡导致危岩坡脚破坏	自然灾害少
单因素危险等级	II	III	II	IV	III	IV	II	II

根据专家对安全评价调查表的打分得到每个因素相对于不同评语等级的隶属度，并得到对应评价矩阵 R_1, R_2, R_3 。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \end{bmatrix}$$

目标层和 1 级指标层对应的权向量为：

$$W = (0.48, 0.481, 0.039)$$

$$W_1 = (0.481, 0.267, 0.252)$$

$$W_2 = (0.096, 0.759, 0.145)$$

$$W_3 = (0.485, 0.515)$$

1 级模糊综合评价为：

$$B_1 = W_1 R_1 = (0.0786, 0.3267, 0.446, 0.1481)$$

$$B_2 = W_2 R_2 = (0.3431, 0.4518, 0.1855, 0.0241)$$

$$B_3 = W_3 R_3 = (0.203, 0.303, 0.300, 0.194)$$

2 级模糊综合评价为：

$$B = W \cdot R = (w_1, w_2, w_3)(B_1, B_2, B_3)^T \\ = (0.2107, 0.3859, 0.3150, 0.092)$$

根据最大隶属度原则，选取评价向量中最大值作为评价的结果，得出此危岩段稳定性评价等级为危险中等 II。经过分析后，其结果与其他方法评价的等级一样（模糊综合评价法），且略微保守，但考虑到对于危岩这样长期处于安全隐患之中的构造物，用此方法进行稳定性评价是可行的。

7 结语

1) 详细的介绍了影响公路危岩稳定性的评价指标，并建立包括 3 个 1 级指标及 8 个 2 级指标的安全评价指标体系。

2) 根据对安全评价调查表打分，利用层次分析法建立了评价危岩稳定性的评价模型，并以水富-麻柳湾国道 K0+220-420 危岩带进行稳定性评价，评价结果较为符合。

3) 评价指标选取和专家打分环节的主观性较强，不同的人会得出不同的结果，应进一步研究避免主观因素的影响。

4) 此模型是基于层次分析法的简单模型，操作性强，可快速判断岩体稳定性。但考虑影响因素较少，可进一步完善。

References (参考文献)

- [1] Xiaogang Huang. Off dangerous rock mass failure mechanism and prevention measures of reliability research [D]. Chongqing: chongqing jiaotong university, 2011.
- [2] Wutao Ou, Wei Wang. Analytic hierarchy process in the application of dangerous rock stability evaluation [J]. Chongqing: chongqing jiaotong university (natural science edition), 2011:650-653.
- [3] Huanchen Zhao, Shubai Xu. Analytic hierarchy process [M]. Beijing: science press, 1986:1-3.
- [4] Ying Xiao. Highway dangerous rock stability evaluation analysis [J]. Journal of chongqing: highway traffic technology, 2010:23-27.
- [5] ZhuangYun Yang, Hui Liu, SiQiao Ye, etc. Dangerous rock mass development analysis of the typical environmental conditions. Highway traffic technology, 2005 (12): 106-110.
- [6] Guangzhen Zhou, xiao-chun Jian, ming-ming Zhu. Based on improved analytic hierarchy process of highway traffic safety evaluation [J]. Highway traffic technology, 2010:120-123.
- [7] Hao Tang, Haifeng Wen. Based on the fuzzy evaluation method of water hemp road dangerous rock disaster risk evaluation [J]. Shanxi building, 2010:283-284.