

岩土体稳定性评价方法及其在水工环地质工程中的应用研究

陈静娴

江苏南京地质工程勘察院

DOI:10.12238/gmsm.v7i11.2034

[摘要] 随着我国基础设施建设的飞速发展,水工环地质工程在国民经济中的地位日益凸显。岩土体稳定性问题是水利水电工程、交通基础设施建设以及城市地下空间开发等领域的关键环节,直接关系到工程的安全性、可靠性和经济性。本文探讨了岩土体稳定性评价方法,并将其应用于水工环地质工程中,以提高工程的安全性和经济效益。通过系统研究和创新,提出了一套适用于水工环地质工程的岩土体稳定性评价体系。研究成果有助于优化工程设计,降低工程风险,保障工程安全,同时为相关领域的研究提供参考和借鉴。

[关键词] 岩土体稳定性; 极限平衡法; 数值分析法; 支持向量机; 水工环地质工程; 工程应用

中图分类号: P5 文献标识码: A

Research on the Evaluation Method of Rock and Soil Stability and Its Application in Hydraulic and Environmental Geological Engineering

Jingxian Chen

Jiangsu Nanjing Geological Engineering Survey Institute

[Abstract] With the rapid development of infrastructure construction in China, the position of hydraulic, environmental and geological engineering in the national economy is increasingly prominent. The stability of rock and soil mass is a key link in the fields of water conservancy and hydropower engineering, transportation infrastructure construction, and urban underground space development, which directly affects the safety, reliability, and economy of the project. This article explores the evaluation method of rock and soil stability and applies it to hydraulic and environmental geological engineering to improve the safety and economic benefits of the project. Through systematic research and innovation, a set of rock and soil stability evaluation system suitable for hydraulic and environmental geological engineering has been proposed. The research results contribute to optimizing engineering design, reducing engineering risks, ensuring engineering safety, and providing reference and inspiration for research in related fields.

[Key words] stability of rock and soil mass; Limit equilibrium method; Numerical analysis method; Support Vector Machine; Hydraulic, environmental and geological engineering; Engineering Application

引言

随着我国基础设施建设的加速,水工环地质工程在水利水电、交通基础设施和城市地下空间开发等领域的重要性日益凸显。岩土体稳定性作为工程安全、可靠和经济的关键,其评价方法的研究具有重要意义。目前,岩土体稳定性评价方法主要包括定性分析和定量分析^[1]。针对特殊工况,如地震作用下的边坡稳定性,还有基于小波变换和拟动力法的评价方法。这些方法各有优势,但需结合具体工程条件灵活应用。本文旨在探讨并创新一套适用于水工环地质工程的岩土体稳定性评价体系。该体系将综合考虑岩土体的力学特性、水文地质条件以及工程实际需求,为我国水工环地质工程提供理论支持和实践指导。研究成果将

有助于优化工程设计,降低工程风险,保障工程安全,同时为相关领域的研究提供参考和借鉴,推动水工环地质工程的高质量发展。

1 岩土体稳定性评价方法

1.1 传统评价方法

1.1.1 极限平衡法

极限平衡法是一种经典的岩土体稳定性评价方法,通过计算岩土体的极限平衡状态来判断其稳定性^[2]。该方法的核心是基于静力平衡条件,假设岩土体在极限状态下处于平衡状态,从而推导出安全系数。常见的极限平衡法包括瑞典圆弧法、毕肖普法等。以毕肖普法为例,其计算公式如下:

$$F_s = \frac{\sum\{c_i l_i + [(W_i + H_i - H_{i+1})\cos\alpha_i - (P_{i+1} - P_i)\sin\alpha_i]\tan\phi_i\}}{\sum W_i \sin\alpha_i}$$

其中, F_s 为安全系数; c_i 为第 i 土条的黏聚力; l_i 为第 i 土条的滑动面长度; W_i 为第 i 土条的重量; H_i 为第 i 土条的孔隙水压力; α_i 为第 i 土条的滑动面倾角; ϕ_i 为第 i 土条的内摩擦角。

极限平衡法的优点是计算简单、易于理解和应用,适合于初步设计和快速评估。然而,该方法假设条件较为理想化,可能无法准确反映实际工程中的复杂情况,如非均质性、非线性变形等。

1.1.2 数值分析法

数值分析法利用计算机模拟岩土体的力学行为,能够更全面地考虑各种因素的影响,如岩土体的非线性特性、边界条件、加载历史等^[3]。常见的数值分析方法包括有限元法、有限差分法等。以有限元法为例,其基本原理是将岩土体划分为若干个小单元,通过求解控制方程来模拟岩土体的变形和应力分布。控制方程通常为:

$$Ku = F$$

其中, K 为刚度矩阵; u 为节点位移向量; F 为节点荷载向量。

数值分析法的优点是能够处理复杂的几何形状、边界条件和材料特性,计算结果较为精确。然而,该方法计算过程复杂,对计算条件和参数要求较高,需要专业的软件和经验丰富的工程师进行操作。

1.2 新型评价方法

1.2.1 支持向量机(SVM)

支持向量机是一种基于统计学习理论的智能评价方法,具有良好的泛化能力和抗过拟合能力,适用于复杂非线性问题的分类和回归分析。SVM的基本原理是通过寻找一个最优超平面,将数据分为不同的类别。其优化问题可以表示为:

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} \|w\|^2$$

满足约束条件:

$$y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1, i = 1, 2, \dots, N$$

其中, w 为权重向量; b 为偏置项; x_i 为输入数据; y_i 为对应的标签。通过拉格朗日乘子法,可以将上述问题转化为对偶问题:

$$\max_a \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j y_i y_j (x_i \cdot x_j)$$

满足约束条件 $\alpha_i \geq 0, \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0$

最终,分类决策函数可以表示为:

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i^* y_i (x \cdot x_i) + b^* \right)$$

其中 α_i^* 和 b^* 为优化问题的解。SVM在岩土体稳定性评价中可以用于分类滑坡风险等级、预测边坡稳定性等,具有较高的精度和可靠性。

1.2.2 人工神经网络(ANN)

人工神经网络通过模拟人脑神经元的连接方式,能够自动学习和识别数据中的模式和规律,适用于大规模复杂数据的处理和分析^[4]。ANN的基本结构包括输入层、隐藏层和输出层。每个神经元通过激活函数对输入信号进行处理,常见的激活函数包括Sigmoid函数、ReLU函数等。训练过程中,ANN通过反向传播算法调整权重,以最小化损失函数。例如,均方误差损失函数可以表示为:

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$$

其中, y_i 为真实值; \hat{y}_i 为预测值。ANN在岩土体稳定性评价中可以用于预测滑坡发生概率、评估边坡稳定性等,具有很强的适应性和灵活性。

1.3 方法创新

针对现有方法的不足,本文提出了一种基于多源信息融合的岩土体稳定性评价方法。该方法结合了地质力学参数、地形地貌特征、监测数据等多源信息,通过数据融合技术将不同来源的数据进行整合和分析,提高了评价的准确性和可靠性。多源信息融合的具体实现方式包括数据预处理、特征提取、数据融合等步骤。例如,可以利用主成分分析(PCA)对地质力学参数进行降维处理,提取关键特征;利用地理信息系统(GIS)对地形地貌特征进行分析,提取地形坡度、坡向等信息;结合实时监测数据,如位移、应力等,对岩土体的稳定性进行动态评估。与传统方法相比,基于多源信息融合的方法能够更全面地反映岩土体的稳定性状态,为工程决策提供更科学的依据。

2 水工环地质工程中的应用研究

2.1 工程概况

本研究以一个典型的水工环地质工程为案例,深入探讨了该工程的地质条件、岩土体特征以及稳定性问题。该工程地处一个地质条件极为复杂的区域,岩土体类型丰富多样,涵盖了多种不同的地质单元,其稳定性问题尤为突出,这使得该工程在水工环地质领域具有较高的研究价值和代表性,为相关理论和技术方法的应用提供了理想的实践场景。

2.2 数据收集与处理

为了全面了解工程区域的地质状况,研究团队系统地收集

了该区域的地质、地形以及监测等多方面的数据,在数据收集完成后,研究团队对这些数据进行了科学的预处理。预处理过程包括数据的筛选、校验、标准化以及异常值处理等多个步骤,以确保数据的完整性和准确性。经过这一系列严谨的处理步骤,研究团队得到了一份经过整理后的工程区域岩土体参数数据表(表1),以下是数据表的具体内容:

表1 工程区域岩土体参数数据表

参数名称	值(单位)	参数名称	值(单位)
粘聚力(c)	10(kPa)	内摩擦角(f)	30°
有效粘聚力(c')	8(kPa)	有效应力(s')	150(kPa)
岩土体密度(?)	2.5(g/cm ³)	渗透系数(k)	1×10 ⁻⁷ (cm/s)

通过对这些数据的系统整理和分析,研究团队为后续的岩土体稳定性评价工作提供了坚实可靠的数据支持,确保了评价结果的科学性和准确性。

2.3 评价方法应用

在本研究中,将本文提出的岩土体稳定性评价方法成功应用于实际工程。以下是岩土体稳定性评价结果示意图(图1):

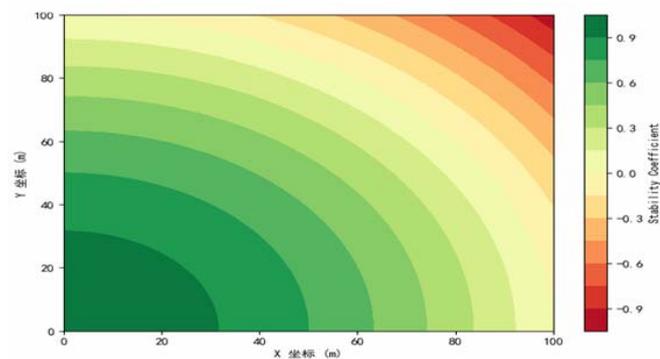


图1 岩土体稳定性评价结果示意图

通过采用多源信息融合的评价方法,研究团队对工程区域的岩土体稳定性进行了全面、系统的评估。评价结果显示,该区域岩土体整体稳定性较好,能够满足工程的基本要求。然而,局部区域仍存在一定的稳定性风险,这些风险区域可能受到地质结构、地下水活动或其他外部因素的影响。因此,针对这些局部风险区域,需要采取相应的加固措施,以确保整个工程的安全性和稳定性。

2.4 计算与分析

为了进一步验证评价结果的科学性和可靠性,研究团队结合专业的计算公式,对岩土体稳定性进行了详细分析。以下是某计算公式示例:

$$F = Nc' \cdot A + \sigma' \cdot B$$

式中, F 为稳定性系数,是衡量岩土体稳定性的重要指标; c' 为有效粘聚力,反映了岩土体内部颗粒之间的粘结力; σ' 为有效应力,表示岩土体在实际受力条件下的有效承载能力; A 、 B 为系数,根据具体的工程条件和地质参数进行确定; N 为作用力,包括自重、外力等多种因素对岩土体的作用。

通过精确的计算和深入的分析,研究团队得出该区域岩土体的稳定性系数 F 为1.25。根据相关标准,当稳定性系数大于1时,表明岩土体在当前条件下处于稳定状态。然而,考虑到局部区域的稳定性风险,仍需持续关注这些区域的稳定性变化,以便及时采取有效的加固措施,确保整个工程的长期稳定性和安全性。

3 结论

本文通过对岩土体稳定性评价方法的研究,提出了一种适用于水工环地质工程的新型评价方法。该方法基于多源信息融合技术,综合考虑地质力学参数、地形地貌特征和监测数据等多方面因素,显著提高了岩土体稳定性评价的准确性和可靠性^[5]。实例应用结果表明,该方法能够有效评估岩土体的稳定性,为工程设计和施工提供了有力的科学依据。未来,研究可进一步聚焦于岩土体稳定性评价方法的优化与拓展,以更好地适应不同类型的工程需求。例如,结合大数据分析和机器学习等先进技术,进一步提升评价方法的智能化水平;同时,针对特殊地质条件和复杂工程环境开展针对性研究,为水工环地质工程的安全性提供更全面的保障。

[参考文献]

- [1]张志辉,康景宇,庞鑫.露天矿高陡边坡岩体参数获取与稳定性评价方法研究[J].科学技术与工程,2024,24(12):4916-4924.
- [2]冉晋文.岩溶地区岩土体特征及场地稳定性分析[J].华北自然资源,2024(5):35-38.
- [3]胡聪伟.爆破作用下考虑岩土体空间变异性的深基坑稳定性分析[D].山东:青岛理工大学,2024.
- [4]王帅武.水工环地质勘察技术与应用研究[J].工程研究与实用,2023,4(11):11.
- [5]刘忠海,陈洪伟,刘操.水工环地质及岩土工程技术在矿山工程施工中的应用[J].中国矿业,2024,33(z2):336-339.

作者简介:

陈静娴(1995--),女,汉族,江苏泰州人,本科,研究方向:岩土体工程性质研究。