

# Research on mechanical properties and stability analysis methods of rock mass in geological engineering

Zhenglong Jian

The Third Geological Group of Jiangxi Provincial Geological Bureau Nuclear Geological Survey and Design Co., Ltd., Jiujiang, Jiangxi, 332000, China

## Abstract

The mechanical properties and stability analysis of rock mass is an important part of geological engineering, which directly affects the safety and feasibility of engineering. In this paper, the basic theory of rock mass mechanical properties, including the mechanical parameters of rock mass, the stress-strain relationship and its influencing factors are summarized. Then, the importance of rock mass stability is analyzed, and the common methods of rock mass stability analysis are discussed, such as limit equilibrium method, numerical simulation method and mechanism analysis method. By comparing and studying the existing methods of rock stability analysis, the problems and limitations of its application in practical engineering are put forward. Finally, combined with practical cases, the practical application of rock mass mechanical properties and stability analysis in geological engineering is analyzed, and the optimization analysis method and future research direction are put forward. The research shows that with the development of computer technology and numerical simulation technology, the method of rock stability analysis has been improved constantly, especially in complex geological conditions.

## Keywords

rock mass mechanical properties; Stability analysis; Limit equilibrium method; Numerical simulation; Geological engineering

## 地质工程中的岩体力学特性与稳定性分析方法研究

简正隆

江西省地质局第三地质大队核地勘测设计有限公司, 中国·江西九江 332000

## 摘要

岩体的力学特性和稳定性分析是地质工程中的重要组成部分, 直接影响工程的安全性与可行性。本文首先概述了岩体力学特性的基本理论, 包括岩体的力学参数、应力应变关系及其影响因素; 接着, 分析了岩体稳定性的重要性, 探讨了常用的岩体稳定性分析方法, 如极限平衡法、数值模拟法以及机理分析法等。通过对现有岩体稳定性分析方法的比较与研究, 提出了其在实际工程中的应用问题与局限性。最后, 结合实际案例, 分析了岩体力学特性与稳定性分析在地质工程中的实际应用, 并提出了优化分析方法和未来研究的方向。研究表明, 随着计算机技术与数值模拟技术的发展, 岩体稳定性分析方法不断进步, 尤其是在复杂地质条件下的应用前景广阔。

## 关键词

岩体力学特性; 稳定性分析; 极限平衡法; 数值模拟; 地质工程

## 1 引言

随着城市化进程的推进以及基础设施建设的不断扩展, 地质工程中的岩体稳定性问题逐渐显现。特别是在隧道、地下工程以及大坝建设等项目中, 岩体的力学特性与稳定性成为决定工程安全与可行性的关键因素。岩体作为一种复杂的非均质材料, 其力学特性受多种因素的影响, 如孔隙度、裂隙、湿度等, 这使得岩体力学特性与稳定性的研究变得尤为重要。

近年来, 随着计算机技术、数值模拟技术和实验分析方法的不断发展, 岩体力学特性与稳定性分析逐渐向更加精

细化、智能化的方向发展。传统的力学分析方法虽然在一定程度上取得了成功, 但面对复杂地质条件和大规模工程建设时, 仍存在很多不足之处。因此, 如何选择合适的岩体力学模型、如何有效地进行稳定性分析, 成为岩体工程研究中的重要课题。

本文旨在研究岩体的力学特性及其稳定性分析方法, 重点分析几种常用的稳定性分析方法及其应用, 探讨其在地质工程中的实际问题和发展趋势, 期望能够为岩体力学与稳定性分析提供新的思路和方向。

## 2 岩体力学特性基础

### 2.1 岩体的力学参数

岩体力学特性是指岩体在外力作用下的变形、破坏及

【作者简介】简正隆(1996-), 男, 中国江西九江人, 本科, 助理工程师, 从事地质研究。

其抗力性能。在地质工程中，了解岩体的力学特性对于设计与施工至关重要。岩体的力学参数主要包括抗压强度、抗拉强度、剪切强度、弹性模量、泊松比等。这些参数是描述岩体受力与变形能力的基础，也是岩体稳定性分析的核心数据。

**抗压强度：**岩体的抗压强度是指岩石在压缩荷载作用下所能承受的最大应力，通常用于表征岩体的整体强度。

**抗拉强度：**由于岩体在拉伸状态下容易出现裂纹，因此抗拉强度通常低于抗压强度，在岩体裂隙发育或应力集中情况下尤为重要。

**剪切强度：**剪切强度是岩体抵抗剪切破坏的能力，通常由岩体的内摩擦角和凝聚力来表征，直接影响岩体的滑坡、塌方等稳定性问题。

**弹性模量与泊松比：**弹性模量反映了岩体在应力作用下的刚度，泊松比则反映岩体在受力时形变的特征。二者共同决定了岩体的应力应变关系，是岩体力学特性分析的重要指标。

## 2.2 岩体力学模型

为了对岩体进行力学分析，通常需要根据岩体的实际特征选择适用的模型。常见的岩体力学模型包括弹性模型、塑性模型以及复合模型等。在实际工程中，常常根据岩体的实际特征选择适用的模型。

**弹性模型：**弹性模型适用于描述应力小且岩体未出现显著破裂的情况，常用于简单的应力分析。

**塑性模型：**塑性模型考虑了岩体在破裂前的屈服行为，适用于高应力条件下的岩体分析。

**复合模型：**复合模型结合了弹性和塑性模型，能够更全面地模拟岩体的非线性力学特性，适用于复杂的地质条件。

## 2.3 岩体裂隙与非均质性

岩体的裂隙性和非均质性是影响岩体力学特性的重要因素。岩体裂隙的存在会显著降低岩体的强度和刚度，使得岩体的力学性能表现出很大的不均匀性。裂隙的几何形态、分布特征以及相互作用，都需要在稳定性分析中予以考虑。随着岩体裂隙性与非均质性研究的深入，新的力学模型和分析方法不断提出，力学参数的描述更加细化和精准。

# 3 岩体稳定性分析方法

## 3.1 极限平衡法

极限平衡法是最常见的岩体稳定性分析方法之一。该方法通过求解岩体在外力作用下发生破坏时的平衡状态，计算岩体的稳定系数，以判断岩体的稳定性。极限平衡法适用于简单的岩体结构，尤其是在边坡、坝体等工程中得到了广泛应用。

极限平衡法的优点在于计算简单、应用广泛，适用于一般性工程项目。其缺点在于无法精确考虑岩体的非均质性和裂隙性，且对于复杂结构的分析较为困难。因此，极限平衡法通常需要与其他方法结合使用，以提高分析结果的准确性。

和裂隙性，且对于复杂结构的分析较为困难。因此，极限平衡法通常需要与其他方法结合使用，以提高分析结果的准确性。

## 3.2 数值模拟法

数值模拟法通过计算机模拟岩体的力学行为，能够更全面地考虑岩体的非线性特性和复杂结构。常用的数值模拟方法包括有限元法、离散元法和有限差分法等。

**有限元法（FEM）：**有限元法是一种基于数值分析的工程计算方法，能够模拟岩体在各种力学条件下的应力应变响应。有限元法能够精确考虑岩体的非均质性、裂隙及复杂的边界条件，适用于复杂的地质环境。

**离散元法（DEM）：**离散元法用于模拟岩体的颗粒和裂隙的相互作用，能够模拟岩体的破裂、滑动等复杂过程，特别适合模拟大规模破坏性事件。

**有限差分法（FDM）：**有限差分法通常用于求解岩体的流体—固体耦合问题，如地下水与岩体的相互作用问题。

数值模拟法的优势在于其能够全面、精确地模拟复杂岩体的力学行为，但其计算量较大，需要较为先进的计算平台和软件支持。

## 3.3 机理分析法

机理分析法通过分析岩体稳定性的基本力学原理，建立岩体的数学模型，研究岩体破坏的机制和条件。这种方法能够深入探讨岩体破坏的内在原因，特别是在复杂和极端的地质环境下，能够为岩体的稳定性分析提供更加精确的理论依据。例如，在面对大地震、极端气候条件或特殊载荷条件下，岩体的破坏模式可能与常规情况有所不同，机理分析法能够识别这些特殊情况下岩体破坏的潜在机制，从而提出更为精准的防控措施。

机理分析法的优势在于它能够揭示岩体破坏的根本原因，帮助工程师理解岩体行为的深层次规律，因此在某些极端地质条件下具有较大的应用潜力。然而，这种方法的挑战也十分明显。首先，机理分析法通常需要建立较为复杂的物理模型，这要求对岩体的微观结构、物理化学性质以及外部条件有详细的了解。其次，机理分析法的计算精度要求较高，尤其是在涉及非线性力学行为、岩体破坏前后的应力应变分析时，模型的求解过程非常复杂，需要强大的计算能力和高精度的数值模拟技术。因此，在实际应用中，机理分析法常常面临较高的计算成本和技术门槛，需要结合现代计算机模拟技术和实验数据进行优化。

# 4 岩体力学与稳定性分析的应用案例

## 4.1 隧道工程中的应用

在隧道工程中，岩体的稳定性分析是工程设计和施工中不可忽视的重要环节。隧道施工通常需要穿越复杂的岩体条件，包括松软的土壤、高应力岩体、含水层等，这些因素都会影响到隧道的施工安全和后期使用。在隧道开挖过程

中,岩体可能出现坍塌、滑移、裂缝扩展等风险,造成工程停滞、工期延误,甚至更严重的安全事故。因此,岩体稳定性分析对于隧道工程的成功至关重要。

通过对岩体力学特性和稳定性进行精确分析,可以有效预测潜在的风险,并为施工方案的优化提供科学依据。通常,工程师会结合极限平衡法和数值模拟法对隧道的稳定性进行评估。极限平衡法主要用于计算岩体的临界破坏状态,评估隧道开挖过程中可能发生的滑坡和坍塌风险。数值模拟法则能够考虑岩体的非线性力学行为,并且通过有限元分析等技术手段,精确模拟岩体在不同加载条件下的应力分布和变形过程。

例如,在某隧道建设项目中,使用数值模拟方法对隧道穿越的岩体进行了全面分析,结果显示,某些地段的岩体存在较大的应力集中,可能导致突发性塌方。通过这些分析,施工单位能够调整施工方案,在高风险区域采用支护结构进行加固,同时优化隧道开挖工序,从而提高施工的安全性和效率。

此外,岩体的稳定性分析还可以帮助设计人员对隧道内的支撑系统进行合理设计,包括钢筋混凝土支护、喷射混凝土衬砌等,为后续施工提供了安全保障。随着计算机技术和数值模拟方法的不断发展,隧道工程中的岩体稳定性分析逐渐向更高精度、更高效的方向发展,确保了隧道建设的安全性和可行性。

## 4.2 边坡稳定性分析

边坡稳定性分析是岩体力学应用中的另一个重要领域,尤其在公路、铁路建设、大坝修建等工程中,边坡稳定性直接影响到工程的安全和环境保护。边坡通常存在较大的坡度、复杂的岩土条件以及可能的地下水作用,因此,其稳定性分析面临着较大的挑战。对于不同类型的边坡,岩体稳定性分析方法的选择和应用也有所不同。

在边坡稳定性分析中,数值模拟法被广泛应用于模拟和预测不同条件下的边坡破坏模式。通过建立边坡的三维模型,模拟不同加载条件、降水情况、地震等因素的影响,能够深入研究边坡的潜在失稳机制。数值模拟法能够考虑到岩体的复杂性和非均质性,特别是在具有裂隙和孔隙的岩体中,模拟计算更加精确。

以某公路边坡稳定性分析为例,研究人员通过数值模拟法对边坡进行精细建模,考虑了坡面水文条件、降雨影响以及坡体材料的力学特性。在分析过程中,采用了有限元法对边坡的应力分布和变形进行计算。模拟结果表明,雨季时边坡的稳定性显著下降,尤其是在坡脚处的应力集中的部

位。通过这种分析,研究人员能够提出相应的加固措施,例如加强排水系统的建设和对坡体进行加固,从而提高边坡的稳定性,防止滑坡等灾害的发生。

在边坡稳定性分析中,除了数值模拟法外,极限平衡法和离散元法等方法也有一定的应用。极限平衡法通常用于计算边坡的临界安全系数,通过对边坡各个部分的滑动体进行分析,确定是否会发生破坏。离散元法则通过模拟颗粒的离散运动,更加精确地描述岩体的破坏过程,特别适用于分析边坡中存在较多裂隙和非均质性的情况。

通过以上分析,边坡的稳定性得到了有效评估,相关设计方案和加固措施也得到了及时调整。随着科技的进步,尤其是计算机模拟技术的不断发展,边坡稳定性分析的精度和效率不断提高,能够更好地应对复杂地质条件下的挑战。

## 5 结语

岩体力学与稳定性分析在地质工程中的应用至关重要,关系到工程项目的安全性和可行性。本文通过对隧道工程和边坡稳定性分析的应用案例研究,深入探讨了岩体力学特性与稳定性分析的常用方法,并分析了这些方法在实际工程中的应用效果。随着数值模拟技术、计算机技术及相关学科的发展,岩体稳定性分析的精度和效率得到了显著提升,特别是在复杂地质条件下,数值模拟法和机理分析法的应用为工程设计提供了更为准确的数据支持。

然而,尽管现有分析方法已经取得了显著的成果,但在复杂地质条件下,仍然存在一些挑战,如如何更好地处理岩体的非均质性、裂隙的影响等。因此,未来的研究应着重于优化岩体稳定性分析的精度,进一步发展适应复杂条件的数值模型和分析方法,尤其是在大规模工程项目和极端环境下的应用。

总之,岩体力学与稳定性分析在地质工程中的应用仍有广阔的发展前景,随着技术的不断进步,其在未来的工程测量、设计与施工中将发挥越来越重要的作用,为确保工程安全与可持续发展提供有力支持。

## 参考文献

- [1] 宋悦. 矿山地质工程中的边坡稳定性评估与加固技术研究[J]. 世界有色金属, 2024, (22): 213-215.
- [2] 梁潇, 吴俊, 齐文超, 等. 高温作用下页岩动态力学特性及微观损伤特征研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(04): 48-57.
- [3] 李向红. 地质资源勘查中地质工程的作用及其发展浅谈[J]. 新疆有色金属, 2024, 47(05): 32-33.
- [4] 任大财. 矿山开采与地质工程相结合的岩土控制技术探讨[J]. 冶金与材料, 2024, 44(06): 91-93.