

锚固结构面瞬时、长期剪切特性及力学模型研究

摘要: 岩质边坡与地下洞室变形与失稳是一项重大安全挑战。边坡与地下洞室的长期稳定性与岩体力学性能息息相关,而岩体结构面极大程度控制着岩体力学性质,岩体结构面剪切变形是边坡与地下洞室失稳的重要原因之一。锚固技术由于其优越的性能和适宜性,在边坡与地下洞室防治工程中得到了广泛应用,锚固结构植入直接影响岩体结构面剪切性质,可以很大程度限制岩体沿着不利结构面相互滑动的趋势,因此,开展锚固结构面剪切特性研究对工程边坡长期稳定,保障人民生命财产具有重大意义。针对以上关键科学问题,本文开展了一系列锚固结构面试样室内瞬时、长期的剪切试验,研究了锚固结构面剪切力学特性,开展锚杆对结构面加固机制的分析,基于弹塑性理论、双剪理论、流变理论建立了锚固结构面瞬时和长期的剪切力学模型。模型能够较好地预测锚固结构面瞬时和长期的剪切行为。主要研究内容和成果如下:

(1) 对 5 种不同材料的锚杆进行了拉伸和纯剪试验,测量了其拉伸和剪切参数。通过直剪试验,分析了抗拉和抗剪强度参数对锚固结构面抗剪性能的影响。试验结果表明,锚杆的抗拉强度和抗剪强度与锚固结构面的抗剪强度呈正相关。当锚杆垂直于节理面时,锚杆抗剪强度对锚杆贡献的影响大于锚杆抗拉强度。在 Pellet 提出的锚杆贡献方程的基础上进行了修正,利用修正方程可以计算出锚杆内力剪切力和轴力的占比。

(2) 将锚固结构面进行了水致劣化试验,然后开展了直剪试验,研究了其力学性能的退化情况。试验结果表明,两种水劣化处理均能显著降低锚固砂岩节理的峰值抗剪强度。锚杆的剪切变形特性也随岩体强度的减小而变化。基于干湿循环引起的岩石力学参数劣化,建立了描述岩石锚固节理全过程的剪切曲线模型。该模型考虑了节理面摩擦角随剪切位移的变化,通过引入动态演化摩擦角参数,将其应用于模型的推导。预测曲线与试验曲线吻合较好,表明该方法能有效预测干湿循环条件下含粗糙节理的锚固节理抗剪强度。

(3) 开展了锚固和非锚固岩体节理多级剪切蠕变试验。分析了锚杆通过节理蠕变的加固效果,并将蠕变过程中的应力演化分为应力协调阶段、应力补偿阶段和应力限制阶段。总结了锚杆是如何通过增加剪切力和轴向力来补偿节理表面恶化造成的应力损失的,从而降低了岩石节理的蠕变速率和蠕变变形。基于锚固节理剪切蠕变特性提出了改进的非线性 Burgers 蠕变模型,该模型可以较好地反映锚固节理蠕变的各个阶段。

(4) 设计和建立一个现场综合多场信息监测平台。多场信息监测平台由滑坡监测系统、锚杆结构监测系统和数据管理系统三部分组成。滑坡监测系统包括地表变形监测、地下变形监测和环境因素监测。锚杆结构监测系统包括预应力监测、锚索应变监测和钢筋腐蚀监测。初步建立了数据传输和管理系统。目前的监测结果表明,锚索的健康状况令人满意,锚索的应变和腐蚀状况受锚索结构设计的影响。该平台目前正在进行改进,整合了先进的锚固结构设计和监测设备。

关键词: 锚固结构面; 剪切特性; 蠕变; 本构模型; 原位监测