亮点论文评论

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20250001

评论：耦合确定性与随机结构面的岩质边坡概率稳定性分析方法

朱鸿鹄

南京大学地球科学与工程学院，南京 210023

工程地质界面在地质灾害的孕育、发展和发生过程中发挥着至关重要的控制性作用[1]。以岩质边坡为例，其失稳常由结构面控制，而结构面可分为确定性与随机两类。确定性结构面（如：断层、软弱夹层等）可通过勘测明确其空间分布，而随机结构面（如：节理、层面等）因数量多、分布广、几何参数不确定，难以完全查明，却对边坡破坏路径和边坡稳定性具有显著影响[2]。然而，现有研究多聚焦于确定性结构面的作用机制，对随机结构面的系统性分析不足，尤其在概率稳定性领域存在技术空白。论文《耦合确定性与随机结构面的岩质边坡概率稳定性分析》针对这一难点，提出了一种结合确定性与随机结构面的耦合建模方法，以更全面地评估边坡稳定性，具有重要的理论价值和工程意义。

该文的核心贡献在于构建了确定性与随机结构面耦合的建模框架，并基于离散元方法（3DEC）和结构面网络模拟技术（DFN）实现了边坡稳定性概率分析。其技术路径可概括为以下 3 个亮点：

①*耦合建模流程*　通过 Rhino 软件建立了边坡三维模型，结合 3DEC 的 DFN 模块分别生成了确定性及随机结构面网络，利用 JSET 命令切割块体实现了模型耦合。这一流程整合了 Rhino 软件的建模优势与 3DEC 的模拟能力，提升了复杂结构面边坡模型的构建效率。

②*概率分析方法*　通过随机生成 100 组不同的结构面网络模型，计算了稳定系数的概率分布，突破了传统确定性分析的局限性。该方法不仅量化了随机结构面的影响，还为工程风险提供了统计学依据。

③*失稳判据与参数处理*　采用计算不收敛作为失稳判据，并设置虚拟节理参数以解决 DFN 模型中节理切割的尺寸问题，体现了方法细节的严谨性。

基于上述 3 个亮点，该文通过简化模型和锦屏一级水电站案例验证了所提出方法的有效性，并得出以下关键结论：

1. 随机结构面的显著性影响：在开挖工况下，随机结构面的存在显著降低边坡稳定系数，并主导潜在滑移路径的形成。这一发现警示工程实践中需重视开挖过程中随机裂隙的“隐性风险”。

2. 岩质边坡破坏机制的复杂性：随机结构面通过贯通岩桥改变失稳路径，例如在锦屏案例中，在煌斑岩脉与断层交汇的区域，随机发育的节理裂隙不断扩展，逐渐形成了新的潜在滑动面。这对支护设计提出了更高要求，需兼顾确定性结构面和随机裂隙的协同效应。

3. 边坡概率稳定性分析的优越性：稳定系数的概率分布图直观反映了边坡安全裕度的不确定性，为风险分级管理和加固方案优化提供了科学依据。

未来在这一研究领域还有一些问题亟待深入研究，例如：岩体结构面力学参数变异性对稳定性的敏感性分析；岩质边坡耦合建模与概率分析方法的工程普适性验证等。建议未来研究可进一步结合人工智能技术优化结构面网络生成算法，或开发多场耦合模型（如渗流−应力耦合）以更真实地模拟复杂地质条件。

参考文献：

[1] 朱鸿鹄. 工程地质界面：从多元表征到演化机理 [J]. 地质科技通报，2023，42(1)：1-19.
ZHU H H. Engineering geological interface: From multivariate characterization to evolution mechanism[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2023, 42(1): 1-19. (in Chinese with English abstract)

[2] 谷德振. 岩体工程地质力学基础 [M]. 北京：科学出版社，1979.
GU D Z. Foundation of rock mass engineering geomechanics[M]. Beijing: Science Press, 1979. (in Chinese)