

土工试验在边坡稳定性评估中的应用与创新方法

孙庭宫

南京建力测绘勘察院有限公司, 江苏 南京 211500

[摘要] 边坡稳定性是地质工程中至关重要的研究课题, 特别是在软土和复杂地质环境中。土工试验作为评估边坡稳定性的重要手段, 通过获取土体的物理力学性质, 能够为边坡的设计与加固提供科学依据。文章结合最新的土工试验技术, 探讨其在边坡稳定性评估中的应用及创新方法。首先介绍了常规土工试验(如无侧限抗压试验、三轴剪切试验等)在边坡分析中的应用, 再进一步分析了新型土工试验方法(如自应力监测法、土体变形监测法等)对边坡稳定性评估的优势。最后, 针对当前边坡稳定性评估中的问题, 提出了创新性研究方向和实际应用, 为边坡安全性评估提供理论依据与技术支持。

[关键词] 土工试验; 边坡稳定性; 评估方法; 创新技术; 地质工程

DOI: 10.33142/sca.v8i2.15446

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

Application and Innovative Methods of Geotechnical Testing in Slope Stability Assessment

SUN Tinggong

Nanjing Jianli Surveying and Mapping Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211500, China

Abstract: Slope stability is a crucial research topic in geological engineering, especially in soft soil and complex geological environments. Geotechnical testing, as an important means of evaluating slope stability, can provide scientific basis for slope design and reinforcement by obtaining the physical and mechanical properties of the soil. The article combines the latest geotechnical testing techniques to explore their application and innovative methods in slope stability assessment. Firstly, the application of conventional geotechnical tests (such as unconfined compressive tests, triaxial shear tests, etc.) in slope analysis was introduced, and then the advantages of new geotechnical test methods (such as self stress monitoring method, soil deformation monitoring method, etc.) in slope stability evaluation were further analyzed. Finally, innovative research directions and practical applications were proposed to address the problems in current slope stability assessment, providing theoretical basis and technical support for slope safety assessment.

Keywords: geotechnical testing; slope stability; evaluation methods; innovative technology; geological engineering

引言

边坡稳定性问题是建筑与土木工程领域中长期关注的重点, 尤其是在山区、丘陵及软土地区。随着城市化进程的加速, 大量的边坡工程得到了广泛应用, 如何准确评估边坡的稳定性、预防滑坡和坍塌事件成为迫切需求。土工试验作为边坡稳定性分析的基础工具, 在边坡设计、加固方案优化及灾害预测中发挥着重要作用。传统的土工试验虽然具有较高的应用价值, 但仍存在一定的局限性。本文将探讨在现代工程实践中, 如何结合创新的土工试验方法来提升边坡稳定性评估的精确性与科学性。

1 土工试验在边坡稳定性评估中的基础应用

1.1 常规土工试验方法

无侧限抗压试验主要用于评估土体的抗压强度, 尤其在边坡土体的承载能力和稳定性评估中具有重要作用。该试验通过施加垂直压力, 直至土体发生破坏, 进而测得土体的抗压强度。在边坡工程中, 无侧限抗压试验能够帮助工程师判断土体是否能承受外部荷载, 预测可能出现的破坏形式^[1]。

三轴剪切试验是评估土体剪切强度的常用方法, 通过模拟实际边坡土体在不同应力条件下的受力情况, 测定土

体的剪切强度参数(如内摩擦角和黏聚力)。这些参数在边坡稳定性分析中起到关键作用, 特别是在水土相互作用较强的环境下, 对边坡抗剪强度的影响尤为显著。渗透试验用于评估土体的渗透性。土体的渗透性直接影响边坡的稳定性, 尤其是在水流对土体稳定性产生重要影响时。渗透试验通过测定水在土体中的渗透速度, 帮助判断水对土体的侵蚀作用及其在边坡中的积水情况, 从而预测边坡失稳的风险。扭转试验通过施加扭转力来评估土体在非轴向应力作用下的强度和变形特性。尽管扭转试验在边坡稳定性评估中的应用相对较少, 但在特殊土体(如软土或不均匀土体)中, 它可以揭示土体的非线性响应, 为边坡稳定性提供补充数据。

1.2 土工试验数据在边坡稳定性分析中的作用

土工试验通过测定土体的物理力学参数, 如密度、摩擦角、黏聚力、弹性模量等, 为边坡稳定性评估提供了关键数据。这些参数有助于工程师分析边坡土体在不同应力状态下的反应, 判断土体是否具备足够的稳定性。

通过三轴剪切试验和无侧限抗压试验得到的抗剪强度参数, 是边坡稳定性分析的核心。边坡的抗剪强度决定了其在外力作用下的稳定性, 试验结果帮助确定边坡是否

处于危险状态，并为加固设计提供依据。土工试验还可以为土体的变形和沉降分析提供数据支持。例如，渗透试验和三轴剪切试验可揭示土体在水流或外力作用下的变形特性。通过分析土体的沉降和变形行为，工程师能够预测边坡的可能失稳风险，采取相应的加固措施或设计优化方案。

2 创新土工试验方法的应用

2.1 自应力监测法

自应力监测法是一种通过监测土体内部应力变化评估边坡稳定性的创新技术。该方法通过布设应力传感器实时监测土体的应力分布，反映边坡在外力作用下的变化。与传统外部加载试验不同，自应力监测法侧重于实时跟踪土体内部应力，能够及时识别应力集中区域和变形，从而预测滑坡和坍塌风险。特别适用于长期监测的大型边坡、高填方土体及受复杂气候和水文影响的区域^[2]。

在某些山区高速公路建设项目中，采用自应力监测法对边坡进行动态监测，实时捕捉应力变化，特别是在降雨或震动荷载下。该方法能精准评估边坡稳定性，及时预测应力是否超出安全阈值，指导防护措施，避免滑坡事故发生，展现了显著的应用价值。自应力监测法的优势在于其高精度、实时性和无需破坏性取样，减少了施工干扰。但挑战在于对设备稳定性和数据可靠性的高要求，尤其是土体非均质性导致的监测数据解读困难，需要与其他测试方法结合验证。

2.2 土体变形监测法

土体变形监测法通过监测土体表面和深层位移，评估土体在荷载作用下的变形过程，进而分析边坡稳定性。常用的设备包括测斜仪、位移传感器、GPS 监测系统和倾斜仪等。测斜仪用于监测土体深层位移，尤其适用于滑动或沉降引起的变形；位移传感器（如激光位移传感器、光纤位移传感器）用于检测表面或浅层土体的位移；GPS 监测系统通过卫星定位实现大范围动态监测，适合长期监控；倾斜仪则用于监测边坡整体倾斜度，及时发现微小变化。

变形监测法对边坡稳定性评估的贡献主要体现在：实时预警、准确评估和长期监控。通过实时监测，能在土体变形初期提供预警，防止灾害发生；变形数据为评估土体安全性提供精确支持；长期监控使得稳定性分析更加全面。尽管该方法面临数据采集与处理的复杂性、设备高成本以及不同土壤响应差异等挑战，但随着技术进步，变形监测法在边坡稳定性评估中的应用前景广阔。

3 土工试验与边坡稳定性分析相结合的创新技术

3.1 土工试验与地质模型相结合

土工试验为边坡稳定性分析提供了基础的力学参数，如土体的剪切强度、抗压强度和渗透性等。而地质模型则反映了土层的分布、土体特性以及水文条件等地质背景信息。在边坡稳定性分析中，土工试验数据与地质模型相结合是实现精确评估的重要途径。通过将试验数据输入到地质模型中，可以对边坡的土体结构和水力学条件进行精确模拟，从而更好地预测边坡在不同环境和荷载条件下的稳

定性^[3]。

例如，在复杂地质条件下，土体的物理力学特性往往随着深度和水文环境的变化而变化。通过将土工试验数据与地质模型结合，可以精准地模拟不同土层的强度和变形行为。这样的结合为边坡的稳定性分析提供了全面的参数支持，能够更科学地判断边坡的滑动风险，并为设计优化提供有力的依据。数值模拟是边坡稳定性分析中常用的技术，通过建立边坡的力学模型和边界条件，进行稳定性分析。数值模拟不仅可以模拟边坡的应力、应变和变形过程，还能够考虑不同的环境变化（如水流、降雨等）对边坡稳定性的影响。将土工试验数据与数值模拟结合，能够提高模拟结果的准确性和可预测性。通过使用试验获得的土体力学参数，如剪切强度、弹性模量和渗透系数等，可以校准数值模型，使其更加贴合实际工程情况。

3.2 复合加固方案与土工试验评估

边坡加固方案的选择和设计是确保边坡长期稳定性的重要措施。复合加固方案往往结合了多种技术手段，如植被加固、喷射混凝土加固、锚固技术等。在复合加固方案的设计中，土工试验数据起着至关重要的作用。通过分析土工试验结果，如土体的抗剪强度、渗透性、弹性模量等，可以为加固材料的选择提供科学依据。例如，土体的抗剪强度较低时，可以选择更为高效的锚杆加固方案，而在高渗透性区域，则可能需要使用排水材料或其他渗透控制技术来减少水压力的影响。

不同的土工试验数据对应不同的土体特性，准确选择与之匹配的加固材料，不仅能提高边坡的稳定性，还能降低工程成本和施工难度。因此，土工试验与加固方案设计之间的紧密结合，是实现边坡稳定性提升的关键因素。复合加固方案的优化通常依赖于对土体特性和边坡稳定性的综合分析。土工试验为边坡加固方案提供了必要的参数支持，而数值模拟和实际工程经验则为优化提供了方法论。通过结合试验数据与工程模型，优化后的加固方案可以实现以下目标：提高加固效果、减少不必要的施工干预、降低施工成本。例如，在某些边坡工程中，通过对不同加固方案的数值模拟和试验评估，发现采用复合材料加固时，结合土工试验数据可以精准评估加固后的稳定性，提高了边坡抗滑移能力。而在其他情况下，通过不同类型的排水系统与加固技术组合使用，可以有效控制水压力，减少滑坡发生的概率。通过反复调整加固方案并结合土工试验结果，可以实现边坡的最佳稳定性状态，从而为边坡工程提供更为科学、经济的解决方案。土工试验与边坡稳定性分析的结合，不仅提升了加固方案的科学性和有效性，也为边坡工程的长期稳定性提供了重要的技术支撑。

4 土工试验在边坡稳定性评估中的未来发展方向

4.1 土工试验方法的自动化与智能化

随着科技的进步，土工试验方法的自动化与智能化正在逐步替代传统手动操作，大大提高了试验效率和准确性。

自动化试验设备能够在土工试验中实现对土体力学性能的自动化测量和数据记录,例如通过自动化的三轴剪切试验设备、无侧限抗压试验仪等,可以在无需人工干预的情况下进行数据采集和分析。这些设备通常具备实时监控、自动调节和故障诊断等功能,能减少人为误差,提高试验的可靠性^[4]。

例如,在边坡稳定性评估中,通过引入自动化的试验设备,不仅可以提高土工试验的执行速度,还能在大规模土样测试中保持一致性,节省大量人力和物力资源。此外,自动化设备可以实现对土体在不同加载条件下的连续测试和实时反馈,为边坡稳定性评估提供更为精准和全面的数据支持。数据采集与分析的智能化是未来土工试验发展的重要方向。利用大数据技术和人工智能(AI),土工试验数据能够在实时采集的基础上进行智能分析,自动识别异常数据、优化数据处理过程,并通过机器学习算法预测边坡的潜在风险。智能化的数据分析不仅提高了分析速度,还能够对土体的应力-应变关系、抗压强度等力学特性进行多维度分析,形成全面的土体性能评估。通过智能化的数据处理,土工试验结果能够与历史数据、气象数据、地下水位等多维信息结合,建立边坡稳定性预测模型,实现自动预警和决策支持。这种智能化分析能够为边坡工程提供更加科学和高效的风险管理方案,提升边坡稳定性评估的准确性和可靠性。

4.2 多源数据集成与边坡稳定性综合评估

未来边坡稳定性评估将逐渐向多源数据集成和精细化分析方向发展。除了传统的土工试验数据,遥感技术、无人机航拍、气象监测、地下水监测等信息来源也将被纳入边坡稳定性评估体系。通过多种数据源的结合,可以更全面地了解边坡的动态变化和影响因素,从而提高评估的精度^[5]。

遥感技术可以通过卫星影像和航空摄影,实时监测大范围边坡的形变、裂缝和植被变化,为边坡稳定性提供长期的空间监测数据。而土工试验数据则提供了具体土体的力学性质信息。通过将来自不同来源的数据进行集成与精细化分析,可以有效地对边坡的稳定性进行多维度评估,从而为边坡设计和加固提供更加全面的依据。为了实现更

加全面的边坡稳定性评估,未来需要将土工试验数据、遥感监测数据和地质勘探数据进行融合。土工试验提供了具体的土体力学特性,遥感监测能够获得实时的边坡形变信息,而地质勘探数据则可以揭示土层结构和水文条件等基础地质背景。将这些数据融合在一起,可以建立一个更为全面和动态的边坡稳定性评估模型。在实际工程中,结合土工试验得到的剪切强度参数,遥感监测获得的形变数据和地质勘探分析得到的地下水流动情况,可以共同输入到数值模拟模型中,模拟边坡在不同荷载和水文条件下的稳定性变化。这样的数据融合不仅能够提高边坡稳定性评估的准确性,还能够为边坡加固设计提供更科学的依据,进一步减少灾害发生的风险。

5 结束语

土工试验在边坡稳定性评估中具有重要作用,传统的试验方法为边坡安全性提供了可靠的基础数据支持。然而,随着科技的进步,新型土工试验方法为边坡稳定性分析带来了更高的精度与实用性。创新性的自应力监测法与土体变形监测法在实际工程中得到了广泛应用,并对边坡稳定性评估提出了新的视角与思路。未来,结合现代化的自动化、智能化技术,土工试验将在边坡安全评估中发挥更大潜力,推动边坡工程设计与加固方案的优化与升级。

[参考文献]

- [1]丁泽远. 土工试验在岩土工程勘察中的应用研究[J]. 产品可靠性报告, 2023(11): 146-147.
 - [2]谢照俊. 基于土工试验的滑坡特征参数求取分析及稳定性计算[J]. 福建建材, 2024(11): 70-73.
 - [3]白冰. 矿山岩土工程勘察中土工试验的要点研究[J]. 世界有色金属, 2022(18): 211-213.
 - [4]丁泽远. 土工试验在岩土工程勘察中的应用研究[J]. 产品可靠性报告, 2023(11): 146-147.
 - [5]郭春犁. 土工试验在矿山岩土工程勘察中的应用[J]. 世界有色金属, 2022(14): 217-219.
- 作者简介: 孙庭官(1988.3—), 男, 江苏南京人, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 就职于南京建力测绘勘察院有限公司, 从事勘察设计相关工作。