

岩土体稳定性分析在边坡工程设计中的应用

窦雨霏

成都市交通规划勘察设计院有限公司 四川 成都 610000

摘要：本文探讨了岩土体稳定性分析在边坡工程设计中的应用，文章介绍了岩土体稳定性的基本理论，包括相关概念、原理及主要分析方法。分析了影响岩土体稳定性的地质、水文、气候及人为因素。在边坡工程设计流程中，重点阐述了稳定性分析的应用，文章还展望了岩土体稳定性分析的未来方向，包括智能分析与预警、绿色边坡技术创新应用以及极端工况模拟与防护策略。这些内容为边坡工程的稳定性设计与安全管理提供理论依据与实践指导。

关键词：岩土体稳定性；边坡工程；应用流程

引言：边坡工程的稳定性设计是岩土工程领域的重要课题。岩土体稳定性分析是评估边坡安全性的关键手段，它涉及复杂的力学平衡原理与多种影响因素的综合考量，随着工程技术的进步与可持续发展理念的普及，边坡工程的设计要求日益提高。本文旨在深入探讨岩土体稳定性分析在边坡工程设计中的应用，通过理论与实践的结合，为边坡工程的稳定性设计与安全管理提供新的思路与方法，以期提高工程的安全性及经济性。

1 岩土体稳定性分析的基本理论

1.1 相关概念与原理

岩土体稳定性，即在特定时间与空间范畴内，地表及地下岩土体维持相对平衡，不出现显著变形或破坏的状态，这一概念是评估地质环境、建筑物基础安全以及进行工程设计的关键指标之一。其核心原理基于力学平衡，涉及岩土体所受各类作用力，如重力、孔隙水压力、地震力等，以及岩土体自身具备的抗剪强度、抗拉强度等力学属性。当岩土体所受合力处于平衡状态，且应力未超出其强度极限时，岩土体便处于稳定状态；反之，若合力失衡或应力超越强度极限，岩土体将趋向失稳。

1.2 主要分析方法

1.2.1 定性分析方法

定性分析主要依靠工程地质测绘、现场调查以及专家经验判断。通过对边坡区域的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件等进行详细勘察与分析，判断边坡可能的变形破坏模式。例如，观察到边坡岩体节理裂隙发育，且存在倾向临空面的软弱结构面，可初步判断该边坡有沿此结构面发生滑动破坏的可能性。该方法虽无法给出精确量化的稳定性指标，但在工程前期，能快速对边坡稳定性状况进行宏观把握，为后续分析提供基础方向^[1]。

1.2.2 定量分析方法

定量分析借助数学力学模型与数值计算，对边坡稳定性进行量化评估。常见方法包括极限平衡法、数值模拟法等。极限平衡法假定边坡处于极限平衡状态，通过求解力和力矩的平衡方程，计算边坡的安全系数，如瑞典条分法、Bishop法等。以瑞典条分法为例，将滑动土体划分为若干土条，忽略土条间的作用力，仅考虑土条自身重力、滑动面上的抗滑力等，计算得出安全系数，判断边坡稳定性。数值模拟法则利用有限元法（FEM）、有限差分法（FDM）等，将边坡岩土体离散为有限个单元，模拟岩土体在各种荷载作用下的应力、应变及位移分布，如采用有限元软件对边坡进行建模，分析其在自重、降雨等工况下的稳定性。定量分析能够提供较为精确的稳定性量化结果，为工程设计提供具体的数据支撑。

1.2.3 综合分析方法

综合分析方法融合定性分析与定量分析的优势。先通过定性分析对边坡稳定性有初步认识，确定可能的破坏模式与关键影响因素，再针对性地选择合适的定量分析方法进行精确计算。在复杂边坡工程中，先利用地质勘察与经验判断确定潜在滑动面的大致位置与方向，再运用数值模拟方法详细分析不同工况下该潜在滑动面的稳定性变化，结合两者结果对边坡稳定性进行全面、准确评估，为工程设计提供可靠依据。

2 影响岩土体稳定性的因素分析

2.1 地质条件

地质条件对岩土体稳定性起着决定性作用。地层岩性方面，坚硬岩石如花岗岩、玄武岩等，因其强度高、抗风化能力强，构成的边坡稳定性相对较好；而软弱岩石如页岩、泥岩，强度低、遇水易软化，易引发边坡失稳。地质构造上，断层、褶皱、节理等构造的存在，破坏了岩土体的完整性，增加了滑动面形成的可能性。例如，断层附近岩土体破碎，在重力及其他外力作用下，

易发生滑坡等失稳现象。另外,岩土体的结构特征,如孔隙率、颗粒大小及排列方式等,影响其力学性能与稳定性,高孔隙率岩土体强度较低,稳定性较差。

2.2 水文条件

水对岩土体稳定性影响显著。地下水水位变化会改变岩土体的有效应力,水位上升使孔隙水压力增大,有效应力减小,降低岩土体抗剪强度。例如,在河岸边坡,丰水期地下水位上升,边坡稳定性降低,易发生滑坡^[2]。同时,水流的侵蚀与冲刷作用,会淘空坡脚岩土体,削弱边坡支撑力,引发失稳。此外,降雨入渗会增加岩土体含水量,使其重度增大,下滑力增加,且可能导致岩土体软化,进一步降低抗剪强度,尤其在暴雨情况下,常引发大量边坡滑坡灾害。

2.3 气候条件

气候因素通过多种方式影响岩土体稳定性。温度变化导致岩土体热胀冷缩,长期作用下使岩土体内部产生微裂隙,降低强度。在寒冷地区,冻融循环使岩土体中的水分反复冻结、融化,造成岩土体结构破坏、强度降低。风的作用对松散岩土体边坡影响较大,强风可吹蚀坡面岩土体,形成冲沟,降低边坡稳定性。此外,气候变化引发的极端天气事件,如暴雨、飓风等,加剧了水文条件对边坡稳定性的不利影响。

2.4 人为因素

人类工程活动对岩土体稳定性影响日益突出。边坡开挖改变了原有的岩土体应力状态,形成新的临空面,若开挖坡度过大、坡高过高,易导致边坡失衡。填方工程中,若填方材料选择不当、压实度不足,会使填方土体稳定性差,在自重及其他外力作用下发生沉降、滑移。工程爆破产生的震动,可能使岩土体内部结构松动,降低其稳定性。不合理的灌溉导致地下水位上升,也会对边坡稳定性造成不利影响。

3 岩土体稳定性分析在边坡工程设计中的应用流程

3.1 工程勘察与数据收集

在边坡工程设计前期,全面、详细的工程勘察是基础。通过地质测绘,对边坡区域的地形地貌、地层岩性、地质构造等进行宏观调查,绘制地质图件。采用钻探、物探等手段,获取岩土体的深部信息,包括岩土体分层、厚度、物理力学性质等。进行现场原位测试,如标准贯入试验、静力触探试验等,获取岩土体原位力学参数。同时,收集区域水文地质资料,包括地下水位、含水层分布、水流方向及水力参数等,以及气象资料,如降雨量、气温变化、风况等。此外,还需了解周边已有工程情况及人类活动对边坡的潜在影响。这些丰富、

准确的数据为后续的岩土体稳定性分析提供了坚实的数据基础。

3.2 分析方法的选择与模型建立

根据工程勘察结果,结合边坡工程的规模、重要性及复杂程度,选择合适的岩土体稳定性分析方法。对于简单均质边坡,可优先采用极限平衡法中的瑞典条分法或Bishop法进行初步稳定性评估。对于复杂地质条件、存在明显非线性特性或需详细了解岩土体内部应力应变分布的边坡,选用有限元法、有限差分法等数值模拟方法。确定分析方法后,构建合理的分析模型。以有限元模型为例,根据地质勘察资料确定模型的几何形状、边界条件,赋予岩土体相应的材料参数,包括弹性模量、泊松比、粘聚力、内摩擦角等^[3]。同时,考虑不同工况,如自重、降雨、地震等,对模型进行加载设置,确保模型能真实反映边坡实际受力与工作状态。

3.3 稳定性计算与结果分析

运用选定的分析方法与建立的模型,进行边坡稳定性计算。在极限平衡法计算中,通过迭代求解力和力矩平衡方程,得出边坡在不同工况下的安全系数。数值模拟计算则得到岩土体的应力、应变、位移分布云图及随时间的变化曲线。对计算结果进行深入分析,当安全系数小于1时,表明边坡处于不稳定状态,需进一步分析潜在滑动面位置、范围及失稳模式。依据数值模拟结果,判断岩土体的薄弱部位,如应力集中区域、大变形区域等。对比不同工况下的计算结果,明确对边坡稳定性影响最大的因素,为后续设计优化提供方向。例如,若计算发现降雨工况下边坡安全系数大幅降低,且坡脚处出现明显应力集中与较大位移,说明降雨对该边坡稳定性影响显著,坡脚是薄弱部位。

3.4 基于分析结果的边坡工程设计优化

根据稳定性分析结果,对边坡工程设计进行针对性优化,若边坡稳定性不足,可采取多种措施。对于因坡度过陡导致稳定性差的边坡,可进行削坡减载,降低边坡高度、放缓坡度,减小下滑力。在坡脚设置抗滑桩、挡土墙等支挡结构,增加抗滑力。针对地下水影响稳定性的情况,设计排水系统,包括地表截水沟、地下排水廊道等,降低地下水位,减小孔隙水压力。对于岩土体强度较低的边坡,可采用注浆加固、土钉支护等方法,提高岩土体强度。在设计优化过程中,需综合考虑工程安全性、经济性与可行性,通过多方案比选,确定最优设计方案。例如,对比不同支挡结构的造价、施工难度及对周边环境的影响,选择既能满足边坡稳定性要求,又经济合理、便于施工的方案。

4 岩土体稳定性分析的未来方向

4.1 智能分析与预警

随着科技的飞速发展,岩土体稳定性智能分析与预警技术正逐步迈向成熟。未来,这一领域将更加注重技术的融合与创新。通过集成人工智能、大数据、物联网等前沿技术,可以实现对边坡岩土体的全方位、实时监测,传感器网络的铺设将更加密集,能够捕捉到更加细微的位移、应力、应变变化,以及地下水位和降雨量的波动。这些数据将被即时传输至高效的数据处理中心,为后续的分析与预测提供坚实的基础;在算法层面,机器学习、深度学习等先进技术将发挥更加关键的作用。通过对历史数据的深度挖掘与实时监测数据的实时分析,我们可以建立起更加精准的岩土体稳定性预测模型。这些模型将能够捕捉到岩土体变化的微妙趋势,从而在边坡出现失稳迹象时,及时发出预警信息。这不仅能够为工程管理部门提供宝贵的应急处理时间,还能有效避免潜在的安全隐患,实现边坡工程的智能化、动态化管理。随着技术的不断进步,预警信息的准确性和时效性也将得到显著提升,为边坡工程的安全管理提供更加有力的支持。

4.2 绿色边坡技术的创新应用

在可持续发展理念的引领下,绿色边坡技术将成为未来边坡工程设计与岩土体稳定性分析的重要趋势。这一技术不仅关注边坡的稳定性,更强调对生态环境的保护。通过采用植被护坡等生态友好型技术手段,我们可以利用植物根系的固土作用来增强边坡的稳定性,同时实现绿化、美化环境的目标,减少水土流失等环境问题。另外,绿色边坡技术还将致力于研发更加环保的岩土加固材料。这些材料将具有低能耗、低污染的特性,能够显著降低工程对环境的负面影响。在岩土体稳定性分析中,深入地考虑生态因素对边坡稳定性的影响,以实现边坡工程与生态环境的和谐共生^[4]。通过科学合理地选择植被种类和布局,以及优化加固材料的使用方式,可以进一步提升边坡的稳定性和生态效应,为社会的可持续发展贡献力量。

4.3 极端工况模拟与防护策略

在全球气候变化的大背景下,极端天气事件频发,对边坡稳定性构成了严峻挑战。未来,岩土体稳定性分析将更加注重对极端工况的模拟与防护策略研究。通过高精度的数值模拟技术,可以模拟超强降雨、特大洪水、强烈地震等极端条件下边坡岩土体的力学响应与稳定性变化。这将有助于更深入地了解边坡在极端工况下的失稳机制,从而为制定针对性的防护与加固措施提供科学依据。在模拟算法层面,将不断探索和改进数值计算方法,以提高模拟的准确性和可靠性。同时,还将完善模型参数,以更准确地反映边坡岩土体的实际性质和行为特征。基于模拟结果,可以制定出针对极端工况的边坡工程防护与加固措施,如增设排水系统、加固支挡结构等,这些措施将有效提升边坡在极端条件下的抗灾能力,保障工程设施与人民生命财产安全。同时加强对边坡工程长期稳定性的监测与评估,以确保其持续安全可靠地发挥作用。

结束语

综上所述,岩土体稳定性分析在边坡工程设计中的应用具有至关重要的意义。通过科学的分析与合理的设计优化,可以有效提升边坡工程的稳定性与安全性。未来,随着智能分析与预警技术、绿色边坡技术以及极端工况模拟技术的发展,岩土体稳定性分析将更加精准、高效,为边坡工程的长期稳定与安全提供有力保障。这为边坡工程领域的发展指明了方向,也为相关从业人员提供了新的研究与实践空间。

参考文献

- [1]王宇江.基于岩土工程勘察结果的边坡稳定性分析[J].石材,2024(06):147-149.
- [2]黎德波.岩土工程勘察中赤平投影判断边坡稳定性分析的应用[J].冶金与材料,2023,43(05):178-180.
- [3]胡海波.基于岩土工程勘察数据的基坑边坡稳定性分析[J].石材,2025,(04):31-33+147
- [4]姜涛.岩土工程中边坡稳定性分析与加固技术研究[J].新城建科技,2024,33(08):124-126.