

边坡稳定性分析及其在水工设计中的应用研究

文成丹 李 娟

四川省都江堰勘测设计院有限责任公司 四川 都江堰 611830

摘 要：本文探讨了边坡稳定性分析在水工设计中的应用，详细介绍了边坡稳定性分析的理论基础、影响因素、分析方法以及在水工渠道设计中的应用场景。通过综合运用极限平衡分析法、数值分析法等多种技术手段，结合地质勘察和现场试验数据，准确评估渠道边坡的稳定性状态。文章还讨论了边坡稳定性的防护措施和监测技术，为水利工程中渠道的安全运行提供科学依据。

关键词：边坡稳定性；水工设计；渠道；分析方法；应用研究

引言：边坡稳定性是水利工程建设中的关键问题，直接关系到工程的安全与稳定。在水工设计中，准确评估边坡的稳定性状态至关重要。本文旨在探讨边坡稳定性分析的理论基础、影响因素、分析方法以及在渠道设计中的应

用。通过深入分析边坡稳定性的各种影响因素，结合现代分析技术和监测手段，为水利工程中渠道边坡的设计和维

1 边坡不稳定类型

不稳定类型	成因	特征表现
滑动破坏	1.土体抗剪强度降低：因降雨入渗使土体饱和，内摩擦角和凝聚力减小；长期风化作用弱化土体结构。	1.地面出现明显的弧形滑裂面，滑体与未滑动土体分离。
	2.下滑力增加：坡顶堆载、地震力产生附加荷载；渠道水位骤降，动水压力增大下滑力。	2.滑体上建筑物出现倾斜、开裂，边坡坡面局部坍塌。
坍塌破坏	1.土体或岩体强度不足：本身材质差、风化严重，难以承受自身重力和外部荷载。	1.边坡表面土体或岩体突然垮落，形成坍塌坑。
	2.边坡结构松散：土体颗粒间黏结弱，岩体节理裂隙发育，完整性差。	2.坍塌区域上方可能出现拉裂缝，周边土体松动。
倾倒破坏	1.边坡高陡且岩体结构不利：存在垂直或近垂直节理面，岩体呈柱状或板状。	1.边坡岩体绕底部某点转动，发生倾倒，岩体倾斜角度明显变化。
	2.外力作用：重力、地震力、爆破震动等使岩体重心偏移，超过稳定极限。	2.倾倒岩体周围土体受挤压、破坏，周边出现裂缝。

2 边坡稳定性影响因素分析

2.1 自然因素

在渠道边坡稳定性方面，地质条件是基础。渠道沿线的岩层产状、岩石类型和性质等，直接影响边坡强度。如软弱岩层或易风化岩石，在渠道水流长期冲刷和渗透作用下，易发生风化剥落，降低边坡稳定性；地形条件对渠道边坡稳定性影响显著^[1]。边坡高度越高、坡度越陡，其稳定性越差。渠道在设计 and 施工过程中，若未能充分考虑地形因素，可能导致边坡先天存在不稳定隐患；水文条件是渠道边坡稳定性的关键影响因素。地下水位的升降也不容忽视，水位上升会增加边坡土体重量，同时降低土体抗剪强度，双重作用下加剧边坡失稳风险。

2.2 工程因素

渠道开挖过程中，开挖方式至关重要。若开挖过深、过陡，且未及时采取支护措施，极易引发边坡失

稳。例如，在一些小型渠道建设中，为节省成本和时间，违规采用大坡度开挖且未支护，导致后续边坡坍塌事故频发。施工过程中的排水措施直接关系到渠道边坡稳定性。排水不畅会使地下水位上升，增加边坡土体的饱和程度，降低土体力学性能。工程材料的选用和施工质量同样关键，质量不达标的材料或施工工艺，会降低边坡的承载能力，在渠道运行过程中可能引发边坡破坏。

3 边坡稳定性分析方法

3.1 极限平衡分析法

极限平衡分析法基于摩尔-库仑强度理论，广泛应用于渠道边坡稳定性分析。通过计算潜在滑动面上的力平衡关系，确定边坡的安全系数。安全系数大于1表示边坡稳定，反之则可能失稳。该方法虽简单直观，但准确性受滑裂面位置和形状预设限制，在复杂地质条件下适用性受限。因此，需结合地质勘察和现场试验数据，提高

分析精度^[2]。

3.2 数值分析法

随着计算机技术发展,数值分析法在边坡稳定性分析中愈发重要。有限元法将边坡划分为单元体,求解应力应变场,全面考虑复杂应力应变关系,适用性高。离散元法模拟颗粒间相互作用,分析颗粒材料力学行为;有限差分法离散化连续介质,建立差分方程求解。这些数值分析法能更准确地预测复杂地质条件下边坡的变形和破坏过程,为稳定性分析提供有力工具。

3.3 抗滑稳定计算与抗剪计算

抗滑稳定计算主要关注边坡在滑动方向上的受力平衡;它通过分析边坡在潜在滑动面上的抗滑力与下滑力之间的关系,来判断边坡是否会发生滑动。当抗滑力大于下滑力时,边坡处于抗滑稳定状态;反之,则可能发生滑动失稳。这种方法在评估边坡的整体稳定性方面具有重要意义;抗剪计算则侧重于边坡在剪切方向上的受力分析。它通过分析边坡内部材料的抗剪强度与剪切应力之间的关系,来判断边坡是否会发生剪切破坏。当剪切应力超过材料的抗剪强度时,边坡将发生剪切破坏。这种方法在评估边坡的局部稳定性方面尤为重要。通过综合考虑多种因素和方法,可以更准确地评估边坡的稳定性,为边坡的设计、施工和维护提供科学依据^[3]。

3.4 其他分析方法

除极限平衡与数值分析法外,物理模型试验法对渠道边坡稳定性分析也很关键。它通过制作类似实际边坡的物理模型,模拟受力与变形,直观呈现边坡的变形和破坏。但因模型尺寸、材料性质等,其应用受限;地质雷达探测法利用地质雷达设备,分析反射波信号,能快速获取边坡内部地质结构信息,助力稳定性分析。不过,探测深度与分辨率的局限,使其在某些场景难以满足需求;卫星遥感监测法借助卫星遥感技术,长期连续监测边坡,通过对比不同时段卫星影像,及时察觉边坡稳定性变化。

4 边坡稳定性分析在水工设计中的应用场景

4.1 渠道边坡稳定性分析的关键环节

渠道边坡稳定性分析是一个综合过程,核心在于水流冲刷分析、地下水影响评估及边坡土体参数了解。水流冲刷分析需研究水流参数对边坡的冲刷影响;地下水评估需了解渗透路径等对边坡土体力学性能的影响;边坡土体参数的了解则通过实验室测试和现场试验获取,为稳定性评估和防护提供基础。这些要素共同确保了分析的准确性和全面性。

4.2 分析方法在渠道边坡中的应用

在渠道边坡稳定性分析中,极限平衡法、数值分析法及地球物理勘探等方法得到广泛应用。极限平衡法通过计算潜在滑面抗滑与下滑力之比,直观判断边坡稳定状态,适用于各规模渠道边坡。数值分析法利用计算机模拟,全面考量边坡内部应力应变关系,预测变形趋势与破坏模式,为防治提供依据。地球物理勘探如地质雷达,快速获取边坡内部地质信息,助力稳定性判断与防治措施制定^[4]。

4.3 渠道边坡稳定性的具体防护措施细化

4.3.1 设计参数优化

优化边坡设计参数对维护稳定性至关重要。需根据地质勘察结果,合理规划边坡坡度、高度及断面形式,选用高强度、耐久性好的建材。同时,考虑边坡与周边建筑的关系,确保设计不影响建筑安全,纳入建筑荷载和基础形式等因素。

4.3.2 构建高效排水系统以保障边坡安全

排水系统对于维护渠道边坡的稳定性具有不可或缺的作用。地表排水措施主要包括在边坡顶部及两侧精心设置截水沟,旨在引导地表水流远离边坡,有效减少雨水对边坡的直接冲刷,保护边坡不受侵蚀。与此同时,地下排水系统同样至关重要。通过在边坡内部合理布置排水盲沟、渗水管等排水设施,可以迅速排出积聚的地下水,显著降低孔隙水压力,保持土体处于适宜的干燥状态,进而增强土体的抗剪强度,提升边坡的整体稳定性。

4.3.3 加固与防护结构提升边坡稳定性

锚杆与锚索加固技术通过在边坡内部埋设锚杆或锚索,并利用预应力作用,能够显著提升边坡土体的整体稳定性。网格梁与喷射混凝土技术也在边坡防护中发挥着重要作用。通过在边坡表面设置网格梁,并喷射混凝土形成保护层,可以显著提高边坡的抗冲刷和抗风化能力。另外,生态袋与植被网等生态防护措施也是值得推广的,它们利用植被根系的固土作用来增强边坡稳定性,同时美化环境,实现生态与防护的双赢。

4.3.4 植被覆盖与生态恢复促进边坡稳定

在选择植被种类时,应充分考虑当地的气候条件和土壤特性,选择适宜的植被进行种植。通过乔灌木相结合的植被配置方式,可以形成多层次生态防护体系,提高边坡的生态稳定性和景观效果。定期对植被进行浇水、施肥、修剪等养护管理也是至关重要的,这可以确保植被健康生长,持续发挥固土保水作用,为边坡的稳定提供有力保障^[5]。

4.3.5 施工细节控制确保边坡防护效果

在施工过程中,细节控制同样不可忽视。为了减少

对边坡土体的扰动,应采用分层开挖、预留保护层等施工方式。同时,在开挖过程中应及时采取支护措施,如设置临时支撑、喷射混凝土等,以确保边坡的安全。另外,加强质量控制和实时监测也是施工过程中的重要环节。通过对边坡稳定性进行实时监测,可以及时发现并处理潜在问题,确保渠道边坡防护工程的质量和效果。

4.4 坡面防护

4.4.1 硬质材料防护

硬质材料防护主要包括使用块石、预制混凝土块、砖等材料对边坡进行铺砌或镶嵌。这种方法能够有效地防止水流对边坡的直接冲刷,减少风化作用对边坡的侵蚀。硬质材料防护还具有一定的景观美化效果,能够提升渠道的整体美观度。在设计时,需根据边坡的坡度、高度以及所在地区的气候条件等因素,选择合适的硬质材料及其铺设方式。

4.4.2 格构防护

格构防护是通过在边坡表面设置网格状结构(如钢筋混凝土格构、石笼网等),并在网格内填充土壤或植被来实现防护的一种方法。格构结构能够增加边坡表层的整体稳定性,防止土体松散和滑落。网格内的植被还能发挥固土保水作用,促进边坡的生态恢复。格构防护适用于各种地质条件和边坡形状,具有较好的适应性和灵活性。

4.4.3 土工合成材料防护

土工合成材料防护是利用土工布、土工网、土工格栅等合成材料对边坡进行覆盖或加固的一种方法。这些材料具有良好的透水性、抗拉强度和耐久性,能够有效地防止水流对边坡的冲刷和侵蚀。土工合成材料还能与植被相结合,形成复合防护层,提高边坡的生态稳定性和抗冲刷能力。在设计时,需根据边坡的实际情况选择合适的土工合成材料及其铺设方式。

5 边坡稳定性评估与监测技术

5.1 边坡稳定性评估指标体系

针对渠道边坡,完善的评估指标体系应涵盖多方面内容。几何特征方面,边坡的高度、坡度、形状以及滑动面的位置和形态等,直接反映边坡潜在滑动能力和稳定性状态。例如,渠道转弯处的边坡,其形状和坡度设计不合理,可能增加滑动风险。地质条件是评估关键因素,包括岩层产状、岩石力学性质、节理和断层发育程度以及可能存在的软弱夹层等。岩土体力学性质也很重要,如抗剪强度指标(内聚力、内摩擦角)、抗压强度、弹性模

量等,这些参数准确测定对评估渠道边坡稳定性至关重要。地下水位的高低、渗透系数大小以及地下水动态变化,都会影响边坡重量、抗剪强度和稳定性。

5.2 边坡稳定性监测技术与方法

随着技术发展,渠道边坡稳定性监测技术日益多样。地表位移监测通过设置测斜仪、水准仪等设备,对边坡表面位移进行实时监测,及时发现边坡的微小移动。地下位移监测利用测斜管、应变计等设备,监测边坡内部位移和变形,了解边坡内部结构变化;地下水监测通过观测井、水位计等设备,监测地下水位和水质变化,掌握地下水对边坡稳定性的影响。地球物理勘探利用地震波、电磁波等物理手段,探测边坡内部地质结构和异常情况。近年来,新的监测方法不断涌现。卫星遥感监测技术通过卫星影像数据对渠道边坡进行实时监测和预警,能实现大范围监测。无人机遥感技术利用无人机搭载高分辨率相机和传感器,对渠道边坡进行快速、高效监测,尤其适用于地形复杂区域。智能监测技术借助物联网、大数据等先进技术,对监测数据进行实时采集、传输和分析,实现渠道边坡稳定性的智能化监测和预警,提高监测效率和准确性。

结束语

综上所述,边坡稳定性分析及其在水工设计中的应用是一个复杂而重要的课题。通过系统的理论分析与实际案例研究,本文深入探讨了边坡稳定性的关键因素、分析方法和监测技术。随着科技的进步和工程实践的不断积累,边坡稳定性分析将更加精确和高效。未来的研究应继续关注边坡稳定性的新理论与新方法,为水利工程的安全运行提供更为可靠的保障。

参考文献

- [1]马志超.边坡理论及防治措施综述[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(35):33-35.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202335011.
- [2]谢雨霖.边坡稳定性的研究进展[J].黑龙江科学,2023,14(22):14-17.
- [3]张俊德,方梦明,杨华.复杂高边坡综合治理分析[J].低碳世界,2023,13(11):64-66.DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2023.11.033.
- [4]邹靖.某地区滑坡地质灾害危险性评估研究[J].福建建材,2022(1):68-70+86.
- [5]廖继彪,孙乐瑞,赵碧岑.边坡不稳定性因素及防护措施综述[J].砖瓦,2021(2):71+73.