

水利工程中滑坡治理与边坡稳定性分析

侯金鹏¹ 冯文馨²

1. 山东黄河顺成水利水电工程有限公司济南维修养护分公司 山东 济南 250000
2. 德州黄河河务局齐河黄河河务局 山东 济南 250000

摘要：水利工程中滑坡治理与边坡稳定性分析是确保工程安全稳定运行的关键。本文旨在探讨水利工程中滑坡的形成机理、边坡稳定性分析方法以及滑坡治理措施，以期类似工程提供参考。通过对相关文献和案例的分析，本文总结了滑坡治理的有效策略，并强调了边坡稳定性分析的重要性。

关键词：水利工程；滑坡治理；边坡稳定性

引言

水利工程在国民经济中占有重要地位，但其建设过程中常面临滑坡等地质灾害的威胁。滑坡不仅会影响工程进度，还可能造成人员伤亡和财产损失。因此，对水利工程中的滑坡进行治理，并对边坡稳定性进行深入分析，具有十分重要的现实意义。

1 水利工程中滑坡成因与边坡稳定性影响因素

1.1 内在因素

地质构造方面，滑坡的形成往往与特定的地质条件密切相关。软弱土层、断层带以及风化岩层等，由于其自身结构松散、抗剪强度较低，容易形成潜在的滑动面。例如，河南长垣滑坡段，就是由于土体松散、未经充分压实，导致其在受到外力作用时抗剪强度不足，从而发生滑坡。地下水的作用也是影响边坡稳定性的重要因素。地下水可以通过化学作用软化岩体，降低其力学性质；同时，地下水的物理增重以及渗流产生的力也会降低岩体的稳定性。如山东历城县某堤段，在暴雨后，孔隙水压力急剧增加，导致岩体稳定性降低，最终诱发滑坡。地应力状态对边坡稳定性的影响也不容忽视。地应力的调整可能会引发节理裂隙的扩张，加剧岩体的破坏程度，从而为滑坡的发生提供有利条件。

1.2 外在因素

施工扰动是外在因素中较为常见的一种。在水利工程施工过程中，开挖卸荷、爆破振动等都会改变边坡的应力状态，从而可能引发滑坡。如渠道施工不当，就可能导致边坡失稳，发生滑坡。水文波动也是影响边坡稳定性的重要因素^[1]。水库蓄水位的变化、降雨入渗等都会增加边坡的下滑力，降低其稳定性。如江苏靖江段，在台风期间，风浪冲刷导致堤防失稳，就是水文波动对边坡稳定性影响的典型例子。地震荷载作为一种瞬时扰动，也会降低岩土体的抗剪强度，从而可能引发滑坡。

2 水利工程中边坡稳定性分析方法

2.1 定性分析法

定性分析法是一种基于经验和观察的分析方法，它主要通过对边坡的尺寸、坡形、地质结构、地质环境以及变形破坏形迹等的研究，来判断边坡的演变阶段和稳定状况。这种方法侧重于对边坡的整体特征和影响因素的综合分析，而不是通过精确的数学计算来得出结果。工程地质类比法是一种常用的定性分析方法，它通过比较当前边坡与已知稳定或不稳定边坡的相似性和差异性，来推断当前边坡的稳定性。图解法则是通过绘制边坡的剖面图、平面图等，直观地展示边坡的形态和特征，从而帮助工程师更好地理解和分析边坡的稳定性。历史成因分析法则通过追溯边坡的形成历史和演变过程，来分析其稳定性的成因和机制。

2.2 极限平衡分析法

极限平衡分析法是一种基于摩尔-库仑准则的分析方法，它通过计算滑动面抗滑力与滑动力的比值（即安全系数），来评估边坡的稳定性。这种方法将可能滑动的岩、土体假定为刚体，并通过分析可能滑动面，将滑动面上的应力简化为均匀分布，从而计算出边坡的稳定性系数。瑞典圆弧法是极限平衡分析法中的一种常用方法，它特别适用于均质土坡或简单岩层的稳定性分析。在实际应用中，工程师们会根据边坡的具体情况，选择合适的滑动面和分析参数，来进行计算和分析。

2.3 数值分析法

数值分析法是一种更为精确和全面的分析方法，它利用有限单元法（FEM）等数值分析方法，先计算出边坡的位移场和应力场，然后利用岩、土体的强度准则，计算出各单元与可能滑动面的稳定性系数。这种方法能够考虑边坡的复杂性和非线性特性，能够更准确地模拟边坡在实际工况下的受力和变形情况。因此，数值分析法在水

利工程边坡稳定性分析中得到了广泛的应用和发展。通过数值分析法,工程师们可以更加深入地了解边坡的稳定性机制,为工程的设计和施工提供更有力的支持。

3 水利工程中滑坡治理措施

水利工程中滑坡治理措施多种多样,应根据滑坡的具体情况 and 治理要求来选择合适的措施。在实际工程中,往往需要综合运用多种措施,形成综合治理方案。同时,还应注重工程措施和生物措施的结合,充分发挥各自的优势,提高治理效果和边坡的稳定性。

3.1 排水措施

排水是滑坡治理中首要且至关重要的措施。通过合理设计和施工排水系统,可以有效降低坡体内的含水量,减少水对坡体的浸润和冲刷作用,从而提高边坡的稳定性。排水措施主要分为地表排水和地下排水两大类。

3.1.1 地表排水

地表排水的主要目标是防止地表水流入滑坡体内,避免水对坡体的进一步浸润和弱化。为了实现这一目标,工程师们通常会在滑坡体周围设置截水沟。截水沟的设计需要充分考虑汇水面积、降雨量、沟底坡度等因素,确保其能够有效拦截和排放地表水。截水沟的位置应选择在滑坡体的上坡方向,以拦截来自上坡的地表径流。同时,截水沟的断面尺寸和坡度也需要根据预计的流量来确定,以确保水流顺畅,不会因流量过大而导致沟道溢出或冲刷坡体。在滑坡体内,也需要设置排水沟来引导地表水流出滑坡体。这些排水沟应沿着滑坡体的自然坡度布置,沟底坡度要足够大,以确保水流能够迅速排出^[2]。排水沟的断面形状可以选择矩形、梯形或V形,具体形状应根据实际情况来确定。同时,为了防止排水沟在暴雨时因流量过大而溢出,还需要在排水沟的适当位置设置跌水或急流槽等消能设施。

3.1.2 地下排水

地下排水的主要目的是降低地下水位,减少地下水对边坡稳定性的影响。地下排水系统通常包括排水钻孔、排水盲洞、排水平洞等设施。排水钻孔是通过在滑体内部钻设孔洞,将地下水引导至地表或低洼处排放。钻孔的布置和深度应根据地下水的分布和流动情况来确定。一般来说,钻孔应布置在滑坡体的下坡方向或地下水流向的下游,以确保地下水能够顺利排出。同时,钻孔的深度应达到地下水位以下一定深度,以确保排水效果。排水盲洞和排水平洞则是在滑体内部开挖的隧道状设施,用于拦截和排放地下水。这些设施的设计和施工需要充分考虑地质条件、地下水的流动方向和水压等因素。排水盲洞通常布置在滑坡体的底部或侧部,以拦截

来自上坡或侧坡的地下水。排水平洞则通常布置在滑坡体的下坡方向,用于将拦截到的地下水引导至地表或低洼处排放。为了确保这些设施的结构安全和排水效果,还需要进行详细的地质勘察和设计计算。

3.2 抗滑挡墙与锚固支护

抗滑挡墙和锚固支护是增强边坡稳定性的重要工程措施。抗滑挡墙通过阻挡滑体下滑,提高边坡的抗滑能力。挡墙的设计应充分考虑滑体的推力、挡墙的材料和结构形式等因素。挡墙的材料可以选择混凝土、石砌或钢筋混凝土等,具体选择应根据实际情况来确定。挡墙的结构形式可以选择重力式、悬臂式、扶壁式等,不同形式各有其适用条件和优缺点。在设计时,还需要进行详细的力学计算和稳定性分析,确保挡墙能够承受滑体的压力并保持稳定。锚固支护则是通过锚杆、锚索等将滑体固定在稳定地层上,增强边坡的整体稳定性。锚杆和锚索的布置和长度应根据滑体的规模和滑动面的位置来确定^[3]。一般来说,锚杆应布置在滑坡体的关键部位,如滑动面附近或坡脚处,以提供足够的锚固力。锚索则可以用于连接滑坡体与稳定地层,形成整体的锚固体系。在施工时,还需要严格控制锚杆和锚索的施工质量,确保其与地层的粘结牢固可靠。在实际工程中,抗滑挡墙和锚固支护往往结合使用,形成复合支护体系。这种体系能够充分发挥各自的优势,提高边坡的稳定性 and 安全性。同时,还需要进行定期的监测和维护,确保支护体系的长期稳定运行。

3.3 削坡减载与减重压脚

削坡减载和减重压脚是通过改变滑体的体积和分布来提高边坡稳定性的措施。削坡减载是通过削减滑体的上部或侧部来减小其体积和下滑力。这种措施适用于滑体体积较大、下滑力较强的滑坡治理。在削坡时,应根据滑体的稳定性和安全要求来确定削减的程度和范围。一般来说,削减的程度应控制在一定范围内,避免过度削减导致边坡失稳或产生新的滑坡。减重压脚则是在滑坡前缘堆积砂石等材料,增加抗滑力,减缓滑坡滑动速度。这种措施适用于滑坡前缘抗滑力不足或滑动速度较快的滑坡治理。堆积材料的选择应充分考虑其密度、抗剪强度等因素。一般来说,应选择密度较大、抗剪强度较高的材料,如砂石、碎石等。同时,还需要根据滑坡的具体情况 and 治理要求来确定堆积材料的堆放方式和厚度。

3.4 工程措施与生物措施结合

在滑坡治理过程中,仅仅依靠工程措施往往难以达到理想的效果。因此,工程师们开始尝试将工程措施与

生物措施相结合，以发挥各自的优势，提高治理效果和边坡的稳定性。生物措施主要是通过种植植被、恢复土壤等方式来改善坡体的生态环境，增强其抗冲刷和保持水土的能力。在滑坡体上种植适应性强、根系发达的植被，如草本、灌木等，可以有效固定土壤、减少水土流失，并提高坡体的抗冲刷能力。同时，植被的根系还能够增加土壤的黏聚力和摩擦力，提高边坡的稳定性。此外，还可以在边坡上设置护坡网、植生袋等生物工程措施，以进一步增强边坡的稳定性和生态功能^[4]。在实施生物措施时，需要充分考虑植被的种类、种植方式、养护管理等因素。选择适应性强、生长迅速的植被种类，可以确保植被在坡体上迅速生长并形成覆盖层。合理的种植方式和密度可以确保植被充分利用光能、水分和养分等资源，提高生长速度和覆盖率。同时，还需要进行定期的养护管理，如浇水、施肥、修剪等，以确保植被的健康生长和良好状态。

表1 滑坡情况记录表

滑坡次数	发生时间	滑坡位置	坝顶裂缝长度（米）	坝顶垂直位移（米）	上游水平位移（米）	治理措施
第一次	1968年	上游坡	85	3.98	13.5	放缓坝坡、加强排水
第二次	1975年	下游坡	70	0.5	-	放缓坝坡、加固坝体
第三次	1979年	上游坡	175	12.5	16.5	放缓坝坡、加强排水、加固坝体

4.3 滑坡原因分析

一是坝坡过陡：大坝设计未经充分论证，坝坡过陡，导致抗滑力不足。二是施工质量差：坝体填筑不密实，存在软弱夹层，降低了坝体的整体稳定性。三是筑坝土料不佳：土料颗粒过细，含水量高，渗透系数小，孔隙水压力不易消散。四是库水位骤降：水库水位骤降导致坝体内孔隙水压力增大，加剧了滑坡的发生。

4.4 治理措施及效果

针对滑坡原因，采取了以下治理措施：一是放缓坝坡：通过挖除部分坝体土料，放缓坝坡，提高坝体的抗滑力。二是加强排水：在坝体内外设置排水设施，降低坝体含水量，减小孔隙水压力。三是加固坝体：采用抛石固足、干砌卵石护坡等措施，增强坝体的整体稳定性。经过治理，流光岭水库土石坝的稳定性得到了显著提高，未再发生类似滑坡事故。

结语

水利工程中滑坡治理与边坡稳定性分析是确保工程

4 案例分析：湖南省流光岭水库土石坝滑坡治理案例

4.1 案例背景

流光岭水库位于湖南省邵东县涟水支流侧水上，总库容2260万立方米。大坝为均质土石坝，最大坝高42.5米。自1960年动工兴建以来，大坝先后经历了多次扩建和加固。然而，由于设计、施工及运营等多方面的原因，大坝多次发生滑坡事故。

4.2 滑坡情况

第一次滑坡：1968年，上游坡发生滑坡，坝顶出现平行坝轴纵向裂缝，滑坡体向上游水平位移13.5米，垂直位移3.98米。

第二次滑坡：1975年，下游坡发生滑坡，坝顶出现纵向裂缝，滑坡沿坝轴线长115米，坝顶垂直位移0.5米。

第三次滑坡：1979年，上游坡再次发生滑坡，坝顶裂缝长达175米，坝顶沿坝轴线滑落长达123米，垂直位移达12.5米，向上游水平位移达16.5米。

安全稳定运行的关键。通过深入分析滑坡形成机理、采用科学合理的边坡稳定性分析方法以及采取有效的滑坡治理措施，可以有效降低滑坡灾害的风险。未来，应进一步加强滑坡监测预警系统的建设和完善滑坡治理技术体系的研究与应用，为水利工程的安全运行提供更加坚实的保障。

参考文献

[1]张红静.水利工程项目渠道滑坡的原因与治理方法的探讨[J].科技创新导报,2020,17(14):40-41.
[2]赵毅.水库水利工程渠道滑坡成因与防治措施研究[J].水上安全,2023,(04):173-175.
[3]何翔.某水利工程岩质边坡稳定性分析与支护方案研究[D].西南交通大学,2021.
[4]唐兴平.水利工程中的岩质边坡稳定性分析——评《水利工程地质(第5版)》[J].人民黄河,2024,46(01):166.