

岩土工程地质灾害防治技术及预控分析

李凯文

武汉科铁人才发展有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要] 地灾在我国时常发生, 滑坡、崩塌、泥石流以及地面塌陷等会给人身安全及建筑带来巨大危害。岩土工程是进行岩土体力学研究的基础性学科, 在防灾减灾方面做出了很大贡献。文章系统总结了滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷四种常见的地质灾害的发生机理及其类型特点, 详细介绍了削方反压、锚固、抗滑桩、强夯灌浆以及生物防护五种防治手段的工作原理及其实施要求, 同时针对动态监测和避让措施提出了预防措施, 希望能够对岩土工程地质灾害防治工作有所帮助。

[关键词] 地质灾害; 防治技术; 锚固; 抗滑桩; 生物防治; 动态监测

DOI: 10.33142/ec.v9i6.19840

中图分类号: P642.4

文献标识码: A

Geotechnical Engineering Geological Disaster Prevention and Control Technology and Pre-control Analysis

LI Kaiwen

Wuhan Kettle Talent Development Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: Geological disasters often occur in China, such as landslides, collapses, mudslides, and ground collapses, which can pose significant risks to personal safety and buildings. Geotechnical engineering is a fundamental discipline in the study of rock and soil mechanics, and has made significant contributions to disaster prevention and mitigation. The article systematically summarizes the occurrence mechanisms and types of four common geological disasters, namely landslides, collapses, debris flows, and ground collapses. It provides a detailed introduction to the working principles and implementation requirements of five prevention and control methods, including cutting back pressure, anchoring, anti slip piles, dynamic compaction grouting, and biological protection. At the same time, preventive measures are proposed for dynamic monitoring and avoidance measures, hoping to be helpful for the prevention and control of geological disasters in geotechnical engineering.

Keywords: geological hazards; prevention and control technology; anchoring; anti slip pile; biological control; dynamic monitoring

引言

近年来, 在经济发展的同时科技含量在不断提高, 针对地质灾害的预防措施以及方法也越来越成熟, 在此基础上岩土工程也逐渐应用于地质灾害的预防工作之中。随着城市化进程发展过程中的人为活动对地质灾害所起的作用越来越大, 借助遥感技术、数字仿真模拟及人工智能算法分析出工程扰动、地下水开采、填海造陆、荷载叠加四种人为行为可以引起地质灾害的发生, 人为干扰使得地质灾害的风险性增加 2.6~4.1 倍。滑坡、泥石流、崩塌和地面塌陷等常见地质灾害给群众生命财产安全及重点工程建设带来巨大危害, 在山地地区公路铁路、城市扩张、水库大坝等工程项目中, 由于岩土体不稳定诱发的地质灾害极为普遍, 有必要进行系统的防治技术和预防体系的研究。文章从岩土工程角度出发, 剖析了这些常见地质灾害的

生机理, 全面介绍了各种防治技术的基本原理及注意事项, 提出了动态监测与躲避相结合的预防方法, 以提高防治地质灾害的效果, 降低地质灾害所造成的破坏程度及经济损失。

1 地质灾害的常见类型

我国地质灾害种类繁多, 遍布全国各地, 以滑坡、崩塌、泥石流及地面塌陷最为常见, 滑坡是由于斜坡上的堆积体在一定的滑动条件下, 在重力的作用下发生的整体下滑的地质作用; 滑坡的发生常常与降雨渗入、地下水流、坡脚开挖等因素的人为干扰有关。崩塌则是在陡峻的斜坡上岩体或者土体突发性的崩落、倒塌或滚动造成的; 崩塌的速度快, 破坏性强, 极易给下方的道路以及房屋建筑带来灭顶之灾。泥石流是在山地沟谷中, 由于暴雨或者冰雪融化而引发的一种挟带大量固体物质如泥沙石块等组成的浆状流动体; 泥石流来势汹汹、冲击力极大、突发性强。

地面塌陷主要发生在岩溶地区及地下采空区,在地面的岩土层里下陷形成塌陷洼地,危及建筑物的安全以及地下管线使用情况。通过对数据进行分析可以得出:把滑坡体上部体积减轻 4%,再等量反压回填到坡脚,可以使滑坡体稳定性提高 10%。不同的地质灾害其成因、发展过程、危害都有所不同,因此,采取针对性的防灾措施就尤为重要了:滑坡防治的重点是控制滑动面和减少下滑力;崩塌的防治在于主动加固与被动拦截;泥石流防治要注重物源控制、沟道疏导、拦挡消能三者结合;而地面塌陷的防治主要是地基加固、地下空间处理。

2 岩土工程地质灾害的防治技术

2.1 削方反压技术

削方反压法是通过调整滑坡体上的荷载分布达到提高稳定性的传统而又实用的技术,它包括削方减载和填土反压两方面。其中削方减载即在滑坡后缘铲除一定数量的滑动块体,减轻下滑推力;填土反压是指在滑坡前缘填筑土石以增大抗滑力。滑坡整治中的“削坡减载、反压固脚”的做法就是充分发挥滑坡自身的重量以及垂直外载有利的一面,并规避不利因素。削方减载手段适合运用到上部较陡、下部较平缓的推动性滑坡中,同时还需要满足滑坡后缘及其两侧界限清晰或者岩体裸露不易被拉伸变形的要求,对于提升滑坡稳定性,增强安全性有着良好的作用。在工程的实际运用当中削方反压常常和其他的一些支护方式比如微型桩、地面加固或者是抗滑挡墙等相结合,从而组成一个综合治理的方法,已经在大量隧道洞口滑坡以及公路路基边坡治理工程中得到了运用^[1],但是它的最大的缺陷就是对周围环境造成了一定的影响,因为这个方法是在开挖的过程中把大量的土石方进行清理,所以在开挖过程中应力的释放以及地下水的涌出都会导致周边的岩土受到影响,所以需要配合一些相应的排险措施来共同完成整体的施工。

2.2 锚固技术

锚固技术是岩土工程使用最多的并且也是最好的一种边坡主动加固的方法,在岩土工程中,锚固技术就是用锚杆或者锚索把岩土体加固起来,并以钻孔注浆为主,以主动改变边坡应力状态为主要特征,最大程度上利用了岩土体本身的自稳能力,它是对原岩破坏较小、速度快、安全性较高、价格合理的一种加固方式。锚杆或锚索通过钻孔穿过了潜在失稳面,在稳定岩土层内固定住了锚固端,并施加一定的预应力拉紧后锁定在坡面上,使滑体推力转移到深层稳定岩层处。预应力锚索加框架梁联合支护系统是近几年来发展较快的锚固方式之一,采用这种方式对边

坡进行加固也有利于生态环境的保护以及环境景观美化;对于高边坡及深基坑的工程而言,预应力钢管锚支护方式作为一种新型锚固形式,它的设计方案、加固机制、施工流程越来越完善,在高速公路边坡加固应用方面取得了很大的成效,锚固技术可以用于各种类型的岩体和土壤边坡,尤其是针对滑坡推力较大、开挖场地较小等情况时更能发挥出其独特的作用。

2.3 抗滑桩技术

抗滑桩是大型的支挡工程,通过桩身嵌入相对较硬较稳固的岩层里,把滑坡推力转移到相对稳定好的岩层上,利用稳定层的拉结力和反作用力达到抵消滑坡推力的目的,抗滑桩的优点是:抗滑能力强,桩位布置方便,不易对滑坡体造成破坏等,适用于公路铁路路堑边坡及水利水电工程岸坡以及露天矿山边坡的滑坡防治,特别是在滑坡推力较大,桩体要穿过深沟或复杂地形的地方使用较多。在利咸高速公路纳水溪滑坡治理工程施工时,项目部大胆尝试“先支挡后开挖”的设计理念,在国内首次提出了“滑坡体抗滑桩支护体系机械成孔施工方法”,即先布置好护壁桩,采取跳孔开挖,高性能泥浆护壁形成一个安全可靠的临时支护结构,在此基础上利用旋挖钻机机械化施工代替人工下孔,有效避免塌孔事故的发生,单桩工期节约 34 天。抗滑桩根据其施工工艺有手工挖孔桩和机械钻孔桩两种,根据抗滑桩的受力形式分为普通抗滑桩以及预应力锚索抗滑桩两类。近年来出现了多种新式排水抗滑桩、微型桩及组合式抗滑桩等方法,在复杂的地质环境中又有了更多的应对措施。

2.4 强夯和灌浆技术

强夯以及灌浆技术是整治松软土层及采空塌陷区地质灾害的主要方法。强夯是以重锤从一定高度自由下落产生一个巨大的瞬时动能来对土壤进行夯实,从而消除空隙,提高压实程度及承载力。而灌浆则是通过向岩土体裂隙或者空洞内灌入水泥浆或者是化学浆来进行填充空隙,胶凝松散颗粒,加固整体结构。在煤矿采空塌陷区的地质灾害防治过程中,采用了深部高压固结注浆,浅部强夯及表面置换碾压等基础加固措施,在详细介绍各个工序原理的基础上提出相关参数及设计方案并加以实施,有效的保证了塌陷区地基的稳定性。强夯法适用于大范围的碎石土、砂土和低饱和度粉土地基处理,但是对含水量较高的土质无效会产生“橡皮土”,此时需要采用注浆的方法来解决,在已有较厚回填土边坡上采用强夯加注浆的方式,不仅解决了工程完工后的沉降问题,保证了工程质量而且做到了绿色环保^[2]。两种方法可以独立实施也可以结合在一起

——先强夯再注浆，强夯对深层土体起到压实作用，而注浆则可以对浅层裂隙和孔洞起到填补的作用，从而达到相互补充的效果。

2.5 生物防治技术

生物防治技术通过植物根系的固土功能以及植被的生态水文功效提高边坡的抗滑能力，是绿色环保型的防治地质灾害的方式。相比于传统的工程性护坡方式，植物护坡具有很大的优越性，价格便宜又可再生，在防止水土流失的同时还美化了周围的自然环境。植株的根部可以深深扎根在土地下面，形成自然的加固纤维状结构，大大提高了土体的整体强度以及抵抗侵蚀的能力，茂盛的枝叶还可以减弱雨水对坡面的直接冲击以及流水的冲刷力度。喀斯特地貌核心区域的登云山风电场生态环境治理，在坡度较大陡峭地段采用微生物生态修复法，利用当地培养的特制菌剂恢复底层土壤中的微生物群落，这些“小建筑工”可以产生有机酸及酶类物质，溶解岩石表面同时固持养分，为地衣、苔藓、草本植物生长创造条件，短短 85 天就建成了“微生物-苔藓-草本”的立体生态系统，植被覆盖率达到 65%以上；而对土质边坡葛根、香根草等深根性多年生植物具有很好的固定土壤防止水蚀的效果。表格整理出不同边坡类型下的生物防护措施。

3 岩土工程地质灾害的防治措施

3.1 加强对地质灾害的动态监测

实时监测是地质灾害防控体系的重要组成部分，主要是为了能够在灾害发生之前，及时发现岩石土体发生形变的征兆，从而及时发出警报、做好应对措施，为地质灾害预警预报、抢险救灾提供参考依据。从 2020 年地质灾害监测预警试验开始至今，全国各地的研发机构对大数据、人工智能、物联网等新技术应用于地质灾害监测预警领域进行了交叉融合研究，在“感-传-智-用”等各个步骤上进行关键技术攻坚克难，使科技防范水平持续提升。截至 2024 年 11 月底，我国已建成 6.6 万处地质灾害自动监测点，有效预警预报地质灾害险情超过 700 次，地质灾害防治取得明显效果。目前的地灾监测技术系统也形成了“空天地一体化”态势：利用卫星干涉雷达（InSAR）开展大

规模地面形变普查；采用无人机探测针对重点地段实施精准监测；设立地面智能监控站点全天候不间断获取观测点的数据变动情况，如位移、倾斜、裂缝、降水、地下水位等信息。全国地质灾害智能监测预警服务平台已经集成三维模型数量达 2135 个，并依靠 AI 算法完成了智能化巡查、快速采集、自动化生成地质灾害实景三维图、多时相差异性比较等功能，可应用于滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的准确监测、研判预报等工作之中。监测指标的选择应当结合不同的地质情况以及灾害种类以及危险性，对于滑坡来说主要进行位移监测与裂缝监测，而针对泥石流主要是监测降雨量及洪水水位等监测，崩塌方面则是要对倾斜度以及地震波的监测^[3]。群测群防是对专业监测的一种很好的补充，在一些较为偏僻或者农村的地质灾害防治工作中有着重要作用。

3.2 加强避让措施的建设

避让措施是指地质灾害防治中的“以防为主”方针的重要内容，在工程治理以外最简单直接的一种减灾方法，针对地质灾害易发、治理费用大或者治理达不到预期效果的地方，采取避让措施是最彻底的一种方式摆脱灾害威胁。避让包括规划避让和应急避让两种类型，其中规划避让就是在城市建设、重要工程建设和农村居民区建设时通过地质灾害危险性评价将用地避开在地质灾害危险区内；对一些有重大地质灾害隐患需要紧急撤离避险的应该配合危房改造等工程一并尽快撤离；在地裂缝发育地区的储备地块出售之前进行地质灾害危险性评价，在研究规划条件、地质条件的前提下，考虑建筑物性质与基础形式等可以得出避让距离的计算方式，把避让距离范围内的部分划为风险区域。应急避让是在发布临近警报之后及时撤离危险区域人群到预先设定好的安全地点。避让工作的进行离不开完善机制的支持，制定地质灾害防御计划，确定逃生线路图，落实责任人制度，定期组织训练等^[4]。2023 年全国各地都实行加强“四重”网格化管理模式、及时跟踪群测群防智能监测预警装置报警信息等做法来强化技术防范水平等方面。针对已经排查发现的地灾隐患区应该进行台账管理，逐项落实避让措施，做到灾害发生之前要“跑

表 1 生物防治技术对比

边坡类型	推荐技术	主要植物/材料	适用条件	关键技术要点
高陡岩质边坡	微生物修复+挂网喷播	苔藓、草本、爬藤植物	坡度>60°，岩面裸露	先微生物重构生态系统，再挂网喷播
中缓岩质边坡	挂网喷播+植生袋	混合草籽、灌木、爬藤	坡度 40°~60°	锚网固定基材，保障根系锚固
土质边坡	植物直接种植	葛根、香根草、灌木	坡度<40°，土质较好	深栽压实，“品”字形种植
黄土边坡	植被混凝土+乡土草种	紫花苜蓿、冰草等	黄土高原区	配合坡面微地形改造

得快、跑得准、跑得安全”。避让不是被动等待，是对地质灾害防御的主动意识，需同工程建设、监测预警等多种方式综合施策，构建起以“防、治、避”为一体的全方位地灾防御体系。

4 结语

岩土工程地质灾害防治技术和控制分析是一项系统的工程，必须从成灾机理解析、防治技术实施以及防控体系建立三大角度着手。在防治技术上，削方反压借助的是荷载调控的方法，适合于对于推移式滑坡的处理方案；锚固方法就是通过预先施加的应力体系主动加固边坡，在高陡峭的边坡处被大量采用；抗滑桩是一种大断面支挡构造，在处理大规模推移力作用下的滑坡时有着无法替代的作用；强夯充填灌浆复合技术有效的克服了松软地基以及采空塌陷场地上的基础稳定难题；生物防治则以绿色环保可持续性为其特点，对于边坡的生态环境整治来说有着非常好的前途。各种方法都有其适用情况及优点与不足之处，在工程建设过程中要针对不同的自然灾害进行选择使用或是结合运用。预防措施上，建设动态监测预警系统已经初见成效，我国已建立了一大批自动监测站遍布重点地质灾

害隐患地段，“空-天-地”的立体化监测网络逐渐形成，智能化预警水平不断提高。规避方式作为一种从根本上避免风险的手段对城市建设和应急救援来说是必不可少的。在未来，利用先进的信息技术如 AI、IoT 技术应用于地质灾害防治工作，结合 NBS 理念，地质灾害防治技术会越来越智能化、精细化、绿色化。

[参考文献]

- [1]廖梁平.岩土工程地质灾害防治技术及预控分析[J].城市建设,2025(16):43-45.
- [2]董坤,陈东海.分析地质灾害防治技术在岩土工程中的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(12):166-168.
- [3]黄欣.岩土工程地质灾害防治技术及预控研究[J].四川建材,2023,49(1):68-70.
- [4]刘柏龄.岩土工程地质灾害防治技术及预控[J].粘接,2021,45(2):163-166.

作者简介：李凯文（1989—），男，汉族，湖北天门人，工程师，毕业于中国地质大学（武汉），环境工程（地学基础）专业，本科，现主要工作方向：地质灾害、路基勘察设计。