

水文地质勘查对地质灾害防治的作用分析

刘 博

河北省地矿局第七地质大队（河北省地质矿产勘查开发局雄安地质调查监测中心） 河北 廊坊 065201

摘要：地质灾害频发威胁人民生命财产与基建安全，其与地下水动力条件变动紧密相关。水文地质勘查是揭示地下水规律及与岩土体作用的关键手段，能精准识别地质灾害诱发机制与演化过程。本文阐述其在崩塌等典型地质灾害防治中的核心作用，分析关键参数对岩土体稳定性的控制机理，探讨监测预警与治理策略。精细化勘查可提升隐患识别精度等，是构建地质灾害防治体系的基础支撑。

关键词：水文地质勘查；地质灾害；灾害防治；地下水；岩土体稳定性

引言：地质灾害频发，严重威胁人民生命财产安全与社会稳定。在众多影响因素中，地下水作用不可忽视，其通过力学、化学等机制影响岩土体稳定性，诱发滑坡、崩塌等多种灾害。水文地质勘查作为了解地下水与地质环境关系的重要手段，能获取关键信息，为灾害防治提供科学依据。深入研究其在地质灾害防治中的作用，对提升防治效果、降低灾害损失具有重要意义。

1 水文地质勘查的核心内容与关键技术

1.1 水文地质条件调查与识别

水文地质勘查的首要任务是查明勘查区的基本水文地质条件，这一环节是后续分析与评价的基础。调查工作通常从区域地质背景入手，结合遥感解译、地面调查等手段，系统掌握地形地貌、地层岩性、地质构造、气象水文等基础信息。在此基础上，重点查明含水层的分布范围、厚度、埋深及富水性，划分含水层组与隔水层组，分析地下水的类型（孔隙水、裂隙水、岩溶水）及其空间分布特征。对于地质灾害易发区，还需特别关注地下水补给、径流、排泄的总体规律，识别可能形成高水头压力或异常孔隙水压力的水文地质结构，如阻水断层、岩性突变带、古河道砂层等。

1.2 地下水动力场与渗流特征分析

地下水动力条件是评价岩土体稳定性的核心要素。通过布置水文地质钻孔、设置长期观测孔、开展抽水试验与压水试验，勘查工作能够获取地下水位、水力梯度、渗透系数、导水系数等关键参数。在此基础上，可构建勘查区地下水渗流模型，模拟不同工况下（如降雨入渗、库水位变动、人工抽排）地下水动力场的动态变化。对于滑坡灾害，重点分析滑带附近地下水位的季节性波动特征及孔隙水压力的分布规律；对于地面塌陷，则需查明岩溶管道系统或采空区的水动力条件，识别地下水位下降速率与土体潜蚀作用的关系。

1.3 岩土体水文地质参数测定

岩土体的水文地质参数是量化地下水与岩土体相互作用的基础指标。勘查工作中，采用室内试验与现场试验相结合的方式，测定岩土体的渗透系数、给水度、持水度、饱和含水率、抗剪强度参数（尤其是饱和状态下）等。对于滑坡体，需通过原位剪切试验或室内重塑样试验，获取滑带土在不同含水率条件下的黏聚力与内摩擦角变化规律；对于泥石流物源区，则需测定松散堆积物的渗透性及临界启动含水率。值得注意的是，由于地质灾害涉及的地质体往往具有高度非均质性，参数测定需充分考虑代表性样品的选取与试验条件的适宜性^[1]。

1.4 地球物理探测与动态监测技术

近年来，地球物理探测技术与动态监测技术的快速发展显著提升了水文地质勘查的精度与效率。高密度电阻率法、探地雷达、瞬变电磁法等物探手段能够快速圈定地下含水构造、识别隐伏断层和岩溶发育带，为钻孔布置提供靶区。同时，分布式光纤传感技术、自动化水位监测仪、时域反射技术等动态监测手段实现了地下水位、温度、含水量等参数的实时连续采集，为揭示地下水动态变化与地质灾害演化的响应关系提供了数据保障。上述技术的综合运用，使水文地质勘查从传统的“静态描述”逐步走向“动态感知”。

2 地下水对地质灾害的诱发机制

2.1 地下水动力作用的力学机理

地下水对岩土体稳定性的影响主要通过力学效应实现。一方面，地下水赋存于岩土体孔隙或裂隙中，产生孔隙水压力或裂隙水压力，该压力可有效降低岩土体内部的有效应力。根据太沙基有效应力原理，岩土体的抗剪强度主要由有效应力决定，孔隙水压力的升高意味着有效应力的降低，进而削弱了岩土体的抗滑能力。另一方面，地下水在渗流过程中产生动水压力，即渗透力，其

方向与渗流方向一致。当渗透力指向临空面时,会直接增加岩土体的下滑力或倾覆力矩。在边坡、滑坡等地质灾害中,这两种力学效应的叠加往往是导致突发性失稳的直接原因。

2.2 地下水化学作用的岩土体劣化效应

除直接的力学作用外,地下水还通过复杂的物理化学过程改变岩土体的工程性质。对于含黏土矿物的岩土体,地下水浸润会引发矿物膨胀、分散,降低颗粒间的胶结强度,使土体结构趋于松散。对于可溶性岩层(如石灰岩、白云岩),地下水的溶蚀作用持续扩大裂隙与孔隙,形成岩溶通道,为地面塌陷和岩溶塌陷创造条件^[2]。另外,地下水中携带的侵蚀性离子(如硫酸根、氯离子)可与岩土体或结构材料发生化学反应,导致混凝土腐蚀、钢筋锈蚀,间接降低防治工程的安全裕度。因此,水文地质勘查中需同步开展地下水化学分析,评估其对岩土体和工程结构的长周期影响。

2.3 不同类型地质灾害中的地下水主控因素

不同类型地质灾害对地下水响应差异明显。滑坡中,地下水位抬升使滑带饱水、抗剪强度下降,浮托力减小滑体正压力,是复活或加速变形关键诱因;崩塌里,地下水作用于后缘裂隙,产生水压力增大倾覆力矩,冬季冰劈加剧裂隙扩展;泥石流形成与物源区土体含水量相关,达临界值土体转液态后启动;地面塌陷多因地下水位急剧下降,增加土体有效应力致失稳。故水文地质勘查对不同灾害侧重点与关键参数各异。

3 水文地质勘查在典型地质灾害防治中的应用

3.1 滑坡灾害防治中的勘查重点与作用

滑坡防治,先要准确识别潜在滑动面位置与滑带水文地质特征。借助钻探取芯、孔内电视等手段,水文地质勘查能精确判定滑带深度、厚度、岩性,获取原位含水率与渗透系数。通过设置分层水位观测孔,可查明滑坡体不同部位地下水位动态变化,识别特殊水层。勘查成果为滑坡稳定性计算提供关键参数,确定不利工况下地下水位线。治理工程设计中,依据这些信息科学布设地下排水工程,如截水盲沟等。实践表明,排水与支挡结构结合,能显著提升滑坡治理成功率。

3.2 崩塌灾害防治中的裂隙水探测与处理

崩塌多发育于陡峭边坡,其稳定性受后缘裂隙水压力影响大。水文地质勘查重点聚焦裂隙系统特征、充填及连通性,查明裂隙水补给与径流路径。采用多种方法,可定量评价裂隙水对崩塌体的作用强度。对于高陡岩质边坡,还要查明岩层相关产状与组合关系,识别不稳定块体边界。基于勘查成果,崩塌防治常采用“截、排、堵”

综合措施,在上游设截水沟,在裂隙发育带布排水孔,对关键结构面注浆封堵渗流通道。

3.3 泥石流灾害防治中的水源条件与物源稳定性评价

泥石流形成需物源、水源和地形条件。水文地质勘查在泥石流防治中,核心是查明水源补给机制与物源区土体特性。通过分析流域内降雨、地表径流及地下水关系,识别形成泥石流的临界降雨量与水动力阈值。针对物源区,要查明松散堆积物相关参数,评价其在不同含水条件下的稳定性。在治理中,勘查成果指导拦砂坝等工程措施优化布局,合理确定排导工程尺寸与坡度,确保泥石流顺畅通过,避免漫溢或堵塞。

3.4 地面塌陷灾害防治中的岩溶水文地质勘查

地面塌陷分岩溶和采空区两类,与地下水动力条件变化相关。岩溶塌陷防治中,水文地质勘查要查明覆盖层结构、岩溶发育程度等,用多种方法圈定岩溶发育带和隐伏洞穴,分析地下水位下降产生的作用^[3]。防治时,对高风险区可采用注浆充填等方式。对于采空区塌陷,勘查要查明采空区积水、覆岩破坏带特征,评价积水变化对覆岩稳定性的影响,据此提出监测预警与工程处置方案。

4 基于水文地质勘查的地质灾害监测预警

4.1 地下水动态监测与灾害前兆识别

地质灾害的发生往往伴随着地下水动力场的异常变化,这些变化可成为灾害预警的重要前兆信息。建立覆盖地质灾害隐患点的地下水动态监测网络,实时采集水位、水温、浊度、电导率等参数,能够捕捉到地下水系统的响应信号。例如,滑坡进入加速变形阶段前,通常会出现地下水位异常上升、孔隙水压力激增、泉点流量突然变化等现象。通过分析监测数据的时间序列特征,结合降雨、库水位等外部因素,可建立多参数预警模型,识别灾害临界状态。与传统形变监测相比,地下水动态监测具有提前响应、前兆信息明确的优势,能够为人员避险争取宝贵时间。

4.2 地下水渗流场模拟与灾害趋势预测

基于水文地质勘查获取的水文地质结构与参数,构建地下水渗流数值模型,是预测地质灾害发展趋势的有效手段。通过模拟不同降雨工况、库水位调度方案、人工排水强度条件下的地下水渗流场变化,可定量评价岩土体稳定性系数的动态演化过程。在滑坡防治中,渗流模拟能够指导排水工程的优化设计,预测排水措施实施后地下水位下降幅度及对稳定性的提升效果。对于岩溶塌陷高发区,渗流模拟可评估不同地下水开采方案下塌陷风险的变化趋势,为地下水资源管理和土地利用规划

提供科学依据。这种基于物理机制的预测方法,增强了地质灾害防治的前瞻性和针对性。

4.3 多源数据融合的预警指标体系构建

现代地质灾害预警正从单参数阈值预警向多源信息融合预警发展。水文地质勘查成果为预警指标体系构建提供了基础数据支撑。将地下水动态监测数据与气象降雨数据、地表变形监测数据、卫星遥感数据等进行融合分析,采用机器学习、神经网络等智能算法,可建立考虑水文地质背景的精细化预警模型。该模型能够根据不同水文地质单元的特征差异,动态调整预警阈值,降低漏报率与误报率。例如,在松散堆积层滑坡区,将前期降雨量、小时雨强、地下水位埋深、土体含水量等指标综合纳入预警模型,显著提升了滑坡预警的准确性。水文地质勘查所揭示的岩土体渗透性、持水性等参数,是构建此类预警模型不可或缺的本底信息。

5 水文地质勘查在地质灾害防治中的优化策略

5.1 勘查阶段与防治设计的一体化衔接

当前地质灾害防治中,水文地质勘查与工程设计脱节问题突出,表现为勘查成果针对性不足、关键参数缺失、精度难以匹配设计需求。解决这一问题的关键在于推动勘查与设计的一体化融合。在勘查方案编制阶段,应明确后续治理工程所需的水文地质参数,有针对性地布设工作量。同时建立勘查-设计协同机制,促进水文地质与岩土工程人员充分沟通,确保勘查成果有效转化为设计输入参数。对于重大治理项目,可采用动态勘查模式:先开展初步勘查支撑初步设计,后在施工详图阶段根据工程需要补充专项勘查,实现勘查深度与设计阶段的精准匹配。

5.2 新技术新方法在勘查中的应用拓展

先进勘查技术的应用显著提升了水文地质勘查的精度与效率。无人机载热红外遥感可快速识别地下水渗漏带与泉水出露点,支撑滑坡、崩塌早期识别。同位素水文地质技术(氢氧稳定同位素、氡等)能够精准判别地下水补给来源与混合比例,适用于复杂水文地质条件下

的灾害成因分析。孔内物探技术如流量测井、热脉冲流速仪实现了钻孔内垂向渗流场的精细刻画。地质云计算与大数据平台则集成多源数据,支持勘查成果三维可视化与智能分析。今后应结合具体灾害类型与水文地质条件,因地制宜推广应用这些新技术,提升勘查工作的科技含量^[4]。

5.3 勘查成果的信息化与动态更新

水文地质条件具有动态变化特性,一次性勘查难以全面揭示其长期演化规律,因此建立信息化平台并实现动态更新至关重要。通过构建地质灾害水文地质信息数据库,将地质结构、水文参数、监测数据等统一入库,形成三维水文地质模型。在此基础上,结合长期监测数据持续修正水文地质参数与模型边界条件,使勘查成果能够反映水文地质条件的动态演变。信息化平台还应具备数据共享与协同分析功能,为不同部门、不同专业的技术人员提供统一的信息支撑,从而提升地质灾害防治工作的整体效能。

结束语

水文地质勘查在地质灾害防治中扮演着关键角色,从灾害成因分析到防治措施制定,再到监测预警和优化策略实施,贯穿灾害防治全过程。随着勘查技术不断进步,其在精度、效率等方面持续提升。未来,应进一步加强勘查与防治各环节的深度融合,拓展新技术应用,完善信息化平台,以更精准、高效地应对地质灾害挑战,保障人民群众生命财产安全和区域可持续发展。

参考文献

- [1]张娟娟.水文地质勘查对地质灾害防治的作用分析[J].西部探矿工程,2025,37(4):122-124,127.
- [2]张保财,张泽元.水文地质勘查对地质灾害防治的作用分析[J].中国科技纵横,2025(18):30-32.
- [3]高紫惠.水文地质勘查对地质灾害防治的重要性[J].建材与装饰,2025,21(2):100-102.
- [4]高波.水文地质勘查在矿山地质勘查中的重要性[J].能源与节能,2023(10):219-221.