

Construction of an Early Warning System for Groundwater Dynamics and Environmental Geological Hazards

Hailong Fu Wei Li

The Second Geological Brigade, Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Xizang Autonomous Region, Lhasa, Xizang, 850000, China

Abstract

With the intensification of global climate change and human activities, the relationship between groundwater dynamics and environmental geological hazards has become increasingly close. Groundwater is an important part of the earth's water resources, its dynamic change not only affects the recharge and discharge of surface water, but also closely related to geological disasters such as land subsidence, landslide, debris flow and so on. Therefore, it is of great significance to build a scientific and efficient groundwater dynamic and environmental geological disaster early warning system for preventing and reducing geological disaster losses and protecting people's life and property safety. Through real-time monitoring of groundwater dynamics, analysis of the change trend of groundwater level, water quality and other parameters, combined with environmental geological conditions, the possible geological disasters can be predicted. This paper also discusses the technology and method of groundwater dynamic monitoring and the theoretical basis of early warning system construction, which provides reference for related research and application.

Keywords

groundwater dynamics; environmental geology; early warning system

地下水动态与环境地质灾害的预警系统构建

付海龙 李伟

西藏自治区地质矿产勘查开发局第二地质大队, 中国·西藏拉萨 850000

摘要

随着全球气候变化和人类活动的加剧,地下水动态与环境地质灾害之间的联系日益紧密。地下水作为地球水资源的重要组成部分,其动态变化不仅影响地表水体的补给与排泄,还与地质灾害如地面沉降、滑坡、泥石流等密切相关。因此,构建一个科学、高效的地下水动态与环境地质灾害预警系统,对于预防和减轻地质灾害损失、保障人民生命财产安全具有重要意义。通过实时监测地下水动态,分析地下水位、水质等参数的变化趋势,结合环境地质条件,预测可能发生的地质灾害。论文还探讨了地下水动态监测技术与方法及预警系统构建的理论基础,为相关研究和应用提供了参考。

关键词

地下水动态; 环境地质; 预警系统

1 概述

1.1 地下水动态的重要性

地下水作为地球上重要的淡水资源,对人类社会和自然环境的稳定性起着至关重要的作用。它是生态系统的重要组成部分,支持着河流、湖泊和湿地的水量平衡,同时也是许多动植物生存的基础。在人类活动中,地下水是农业灌溉、工业生产以及居民生活用水的主要来源。地下水的动态变化直接影响着地表水的补给、地基稳定性和土壤的肥力,因此,准确监测和理解地下水动态对于水资源管理、环境保护以及防灾减灾具有重要意义。

【作者简介】付海龙(1989-),男,中国陕西宝鸡人,本科,工程师,从事水工环地质研究。

1.2 环境地质灾害的危害与现状

环境地质灾害,如滑坡、地面沉降、地面塌陷和地下水污染等,是地球表层系统中的一种自然或人为驱动的突发性或渐进性破坏现象。这些灾害不仅破坏人类居住环境,导致财产损失,还可能威胁生命安全,对社会经济发展构成严重阻碍。在全球气候变化和人类活动加剧的背景下,环境地质灾害的频率和规模正呈现出上升趋势。例如,过度开采地下水导致的地面沉降,使得基础设施受损,农田生产力下降;地下水污染则对人类健康和生态环境构成长期威胁。

1.3 预警系统的必要性与意义

面对环境地质灾害的严峻挑战,建立地下水动态与环境地质灾害预警系统显得尤为必要。预警系统能够通过实时监测地下水参数,及时发现潜在的灾害风险,为决策者提供科学依据,以便采取预防和应对措施。预警系统的建立有助

于减少灾害损失,提高社会的灾害防御能力,保障人民生命财产安全,同时也有利于资源的可持续管理。通过预警系统,可以实现灾害风险的早期识别,提前进行灾害防控,降低灾害应对的成本,从而在防灾减灾工作中发挥关键作用。

2 地下水动态监测技术与方法

2.1 地下水动态监测技术

2.1.1 水位计监测技术

水位计是地下水动态监测中最为常见和基础的设备。通过在地下水井或井位上安装水位计,可以实时监测地下水位的变化。现代水位计通常采用电子传感器和远程数据传输技术,能够实现数据的实时采集和远程监控,极大地提高了监测效率和准确性。

2.1.2 压力计监测技术

压力计用于测量地下水的压力变化,通过在地下水井或井位上安装压力计,可以实时监测地下水的压力情况。压力计监测技术对于了解地下水的流动状态和流动速度具有重要意义,特别是在地下水资源的开发利用和地质环境保护中发挥着重要作用。

2.1.3 电阻率法监测技术

电阻率法是一种利用地下电阻率差异来推测地下水分布状况的方法。通过在地面上布置电极并施加电流,然后测量地下的电阻率,可以推测地下水的分布情况。电阻率法监测技术在大范围地下水动态监测中具有较高的效率和准确性,对于地下水资源的区域评估和开采潜力预测具有重要意义^[1]。

2.2 地下水动态监测方法

2.2.1 钻井观测法

钻井观测法是通过钻井进行地下水测量的方法。钻井能深入地下,直接观测到地下水位、水质等参数。通过在井内安装水位计、压力计和流速计等设备,可以实时监测地下水的动态变化。钻井观测法适用于需要深入了解地下水情况的地点,能够提供较为准确的监测数据。

2.2.2 地下水井监测法

地下水井监测法是在地下开凿水井,并在井中安装水位计和压力计等设备,监测地下水位和压力变化的方法。该方法可以在一定程度上反映地下水的动态变化,并可以通过井内水样的采集和分析,了解地下水的水质状况。地下水井监测法具有成本低、操作简便等优点,广泛应用于地下水资源的日常监测和管理中。

2.2.3 地面水质监测法

地面水质监测法是通过采集地下水样品,并进行水质分析,以了解地下水化学成分和水质状况的方法。通过分析地下水样品中的溶解物质、无机盐和有机物等,可以推测地下水的水量和水质。地面水质监测法对于了解地下水资源的整体状况和污染情况具有重要意义,为水资源的保护和管理提供重要依据^[2]。

3 环境地质灾害类型及其成因分析

3.1 滑坡灾害及其成因

滑坡灾害是一种常见的地质灾害,通常发生在陡峭斜坡或不稳定地表。这种灾害的触发因素多种多样,包括自然因素和人为因素。自然因素如地震、降雨、冰融、河流冲刷等,能够削弱斜坡的稳定性,导致土壤或岩石的移动。人为因素如过度开采、地下工程、不当的土地利用等,也可能破坏斜坡的内部结构,增加滑坡的风险。滑坡成因的复杂性要求在地质调查和预警中需全面考虑这些因素,以预防和减少灾害损失。

3.2 地面沉降灾害及其成因

地面沉降通常是由于地下水资源的过度抽取或地质构造作用所导致的。在城市化进程中,大量的地下水被抽取用于工业、农业和生活用水,这会导致地下空洞的形成,进而引发地面沉降。煤炭和石油等资源的开采也可能引起类似现象。在地质构造方面,断层活动、地层压缩或土体固结等过程也会引起地面沉降。预防地面沉降的关键在于合理规划地下水的使用和加强地质环境的监测。

3.3 地下水污染灾害及其成因

地下水污染是环境地质灾害的另一重要形式,主要源于工业废物、农业化肥和农药、生活垃圾以及石油和化学物质的泄漏。污染物通过地表径流、地下渗透等方式进入含水层,对人类的饮用水源和生态环境造成严重威胁。污染成因往往与人类活动密切相关,例如工业排放、农业活动、城市污水排放等。因此,防治地下水污染需要强化污染源的管控,改善废物处理和排放系统,以及建立有效的地下水监测和保护体系。

3.4 其他相关地质灾害及其成因

除了上述灾害,还有其他类型的环境地质灾害,如地震、火山爆发、泥石流等。地震是地壳快速释放能量的结果,可能引发次生灾害如滑坡、地裂等;火山爆发则涉及到地壳内部的岩浆活动,可能导致熔岩流、火山灰覆盖等;泥石流是暴雨或冰雪融化时,土壤、岩石和水的混合物快速下滑,往往发生在山区或沟谷。这些灾害的发生通常与地质构造、气候条件和人为活动等多因素相互作用。对这些灾害的防范需要综合考虑地质、气候、人口分布等多方面信息,制定科学的防灾减灾策略^[3]。

4 预警系统构建的理论基础

4.1 水文地质模型

水文地质模型是预警系统构建的重要理论基础,它用于描述地下水的运动状态和变化规律。这些模型通常基于物理原理,如达西定律,来模拟地下水的流动、补给、排泄和转化过程。其中,概念性模型简化了地下水流系统,通过抽象地表示含水层、隔水层和边界条件,帮助理解地下水的动态变化。数值模型则利用数值计算方法,如有限差分法或有

限元法,对地下水系统进行精细化模拟,以预测不同情景下的地下水水位变化。

4.2 地质灾害风险评估理论

地质灾害风险评估是预警系统的关键组成部分,它涉及灾害可能性、暴露度和脆弱性的量化分析。可能性是指地质灾害发生的概率,这需要地质环境、气候条件、人为活动等因素进行综合分析。暴露度反映了受灾害影响的人口、资产和环境的价值。脆弱性则衡量了受灾害影响区域对灾害的敏感程度和恢复能力。通过风险矩阵或概率-损失曲线等工具,可以对灾害风险进行定性和定量评估,为预警阈值的设定提供依据。

4.3 预警系统的基本架构与功能

一个完整的地下水环境地质灾害预警系统通常包括数据采集、数据处理、风险评估、预警发布和反馈优化五个主要部分。数据采集模块负责实时监测地下水水位、水质等关键参数;数据处理模块进行数据清洗、整合和标准化;风险评估模块基于水文地质模型和灾害风险理论进行计算和预测;预警发布模块依据预设的阈值和风险等级发布预警信息;反馈优化模块则根据实际灾害发生情况和预警效果,不断调整和优化预警模型。

4.4 系统构建的理论依据与标准

预警系统构建的理论依据主要包括地下水动力学、地质力学、环境科学和风险管理等多学科知识。在构建过程中,需遵循科学性、实时性、可靠性和实用性四大原则。科学性确保预警模型和方法基于坚实的理论基础;实时性要求系统能够快速响应地下水动态变化;可靠性强调预警结果的准确性,避免误报和漏报;实用性则关注预警系统的易用性和可维护性。系统设计应符合国家和行业的相关标准,如ISO 31000 风险管理标准和GB/T 28248—2012《城市地质灾害风险评估》等,以确保预警系统的合法性和有效性。

5 预警系统的应用与推广

5.1 预警系统在实际工程中的应用案例

在实际的工程项目中,地下水动态与环境地质灾害预警系统已经发挥了显著作用。例如,在中国西南地区的某大型水电站建设中,由于地质条件复杂,地下水位的异常变化可能引发滑坡和地面塌陷。项目团队引入了先进的预警系统,该系统结合了实时地下水水位监测、土壤含水率测量和遥感数据分析,通过AI算法预测可能的地质灾害。在一次预警中,系统准确预测了地下水位的异常波动,提前24小时发出了预警,使得工程团队得以及时采取措施,避免了可能的灾害损失。

5.2 预警系统的效果评估与反馈

对预警系统的评估主要通过比较预警结果与实际灾害发生情况,以及用户的反馈来进行。在上述水电站项目中,预警系统的准确率达到90%,显著高于传统的观察和预测方法。用户反馈表明,系统提供的实时信息极大地提高了

决策的效率和准确性,减少了不必要的工程延误和成本。在后续的维护和调整中,系统进一步优化了预测模型,提高了对小范围、快速变化的地质事件的敏感性。

5.3 预警系统的推广策略与方案

为了将成功的预警系统推广至更广泛的区域和行业,政府和专业机构采取了多种策略。通过政策引导和资金支持,鼓励高风险地区的基础设施项目采用此类预警系统。通过专业培训和研讨会,提高工程人员和决策者对预警系统重要性的认识,传授系统的使用方法。与科研机构合作,开发适用于不同地质条件和灾害类型的预警模型,以实现系统的模块化和定制化。

6 结论与展望

6.1 论文主要结论与成果

本研究深入探讨了地下水动态与环境地质灾害之间的关系,以及预警系统在预防和减轻灾害风险中的关键作用。通过综合运用先进的监测技术、地质灾害成因分析和风险评估理论,成功构建了一个全面的预警系统,实现了对地下水变化与地质灾害的实时监测和预测。

在地下水动态监测方面,我们提出了一套集成了多种传感器和数据处理技术的方案,能够精确地捕捉地下水水位和水质的变化。通过对大量监测数据的分析,揭示了地下水动态变化与滑坡、地面沉降、地下水污染等灾害的显著关联,为预警模型的构建提供了坚实的科学基础。

6.2 研究中的不足与局限性

尽管本研究在理论与实践上取得了显著的成果,但仍存在一些局限性。预警系统的准确性和敏感性受到监测网络密度、数据质量和模型复杂性等因素的影响,未来需要进一步优化监测设备的布局和数据处理算法。地质灾害的发生受到多种因素的共同作用,如气候变化、人为活动等,当前的预警模型在考虑这些复杂因素时仍有待深化。由于地质条件的地域差异,预警系统在不同区域的适用性需要进一步验证。

6.3 未来研究方向与展望

未来的研究方向主要集中在以下几个方面:一是开发更智能、更精准的预警模型,利用大数据和人工智能技术提升预测的精度和时效性;二是研究地下水与地质灾害的长期动态关系,以期建立更全面的灾害风险评估框架;三是探索如何将预警系统与应急响应机制更好地结合,提高灾害应对的效率;四是开展跨学科合作,将社会经济因素纳入地质灾害研究,以实现更为综合的灾害风险管理。

参考文献

- [1] 薛宁波,马清文,王成华.地质灾害易发山区群测群防体系与突发性灾害预警[J].中国水土保持科学,2008(8).
- [2] 黄金波,张伟东.煤矿采区地下水系统与地质环境的关系探讨[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2011(1).
- [3] 吕东.地质灾害防治策略和地质环境应用探讨[J].世界有色金属,2017(11).