

水文地质和工程地质在地质灾害防治工程中的应用

陈子辰

江苏省地矿局第一地质大队，江苏 南京 210041

DOI:10.61369/ETQM.2025070010

摘要： 本文深入探讨水文地质和工程地质在地质灾害防治工程中的关键应用。通过阐述两者的基本原理，分析其在滑坡、泥石流、地面塌陷等常见地质灾害形成中的作用机制，详细介绍相关的勘查技术和防治措施。旨在揭示水文地质和工程地质对地质灾害防治的重要性，为提高地质灾害防治水平提供理论支撑，促进地质灾害防治工程的科学开展。

关键词： 水文地质；工程地质；地质灾害防治；勘查技术；防治措施

Application of Hydrogeology and Engineering Geology in Geological Hazard Prevention and Control Engineering

Chen Zichen

First Geological Brigade of Jiangsu Provincial Geology and Mineral Resources Bureau, Nanjing, Jiangsu 210041

Abstract： This article deeply explores the critical applications of hydrogeology and engineering geology in geological hazard prevention and control engineering. By elucidating the basic principles of both fields, it analyzes their mechanisms of action in the formation of common geological hazards such as landslides, debris flows, and ground collapses, and provides detailed introductions to related exploration techniques and prevention measures. The aim is to reveal the importance of hydrogeology and engineering geology in the prevention and control of geological hazards, provide theoretical support for improving the level of geological hazard prevention and control, and promote the scientific implementation of geological hazard prevention and control engineering.

Keywords： hydrogeology; engineering geology; geological hazard prevention and control; exploration technology; prevention measures

引言

地质灾害对人类生命财产安全和生态环境构成严重威胁。据相关统计，全球每年因地质灾害造成的经济损失高达数十亿美元，伤亡人数众多。在众多影响地质灾害发生发展的因素中，水文地质和工程地质条件起着至关重要的作用。了解和掌握水文地质与工程地质在地质灾害防治工程中的应用，对于有效预防和治理地质灾害、减少灾害损失具有重要意义。

一、水文地质与工程地质概述

（一）水文地质基本概念

水文地质学是研究地下水的形成、分布、运动规律以及与环境相互作用的学科。其主要研究内容包括地下水的补给、径流、排泄条件，地下水位和水量的动态变化，以及地下水的水质特征等。地下水作为一种重要的地质营力，对地质环境有着深刻影响。在岩溶地区，地下水的溶蚀作用可形成地下溶洞、暗河等岩溶地貌，而溶洞顶部的塌陷则可能引发地面塌陷灾害。近年来，随着同位素技术在水文地质学中的应用，能够更精准地追踪地下水的来源和运移路径，为研究地下水的循环规律提供了新的手段。^[1]

（二）工程地质基本概念

工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的学科，主要关注岩土体的工程性质、地质构造、地形地貌等因素对工程建设的影响。岩土体的物理力学性质，如岩石的硬度、抗压强度，土体的抗剪强度、压缩性等，直接关系到工程建筑的稳定性。例如，在修建大型水利工程时，坝址处岩土体的工程地质条件决定了大坝基础的稳定性和防渗性能。随着数值模拟技术的发展，如有限元法、离散元法等，可对复杂地质条件下工程建设过程中的岩土体力学行为进行模拟分析，为工程设计和施工提供更科学的依据。

二、水文地质与工程地质在地质灾害形成中的作用机制

（一）滑坡灾害

1. 水文地质作用

地下水对滑坡的影响主要体现在以下几个方面。首先，地下水位上升会增加岩土体的重度，从而增大下滑力。其次，地下水在岩土体孔隙中产生孔隙水压力，降低了岩土体的有效应力，削弱了抗滑力。再者，地下水的长期浸泡会使岩土体软化，强度降低，如黏土在饱水状态下抗剪强度会大幅下降。据研究，约 70% 的滑坡发生与地下水的活动密切相关。^[2]

2. 工程地质作用

滑坡的发生与斜坡的岩土体结构和地质构造密切相关。岩土体的结构类型，如块状结构、层状结构、碎裂结构等，决定了其稳定性。例如，层状结构的岩土体在层面倾向与斜坡倾向一致时，容易发生顺层滑坡。地质构造中的断层、节理等结构面，为地下水的运移提供了通道，同时也降低了岩土体的整体性和强度，增加了滑坡的可能性。

（二）泥石流灾害

1. 水文地质作用

泥石流的形成需要大量的水源，降水、地表水和地下水都可能成为泥石流的水源。暴雨形成的地表径流迅速汇聚，可激发泥石流的发生。地下水的补给也能增加松散岩土体的含水量，使其处于饱和或过饱和状态，降低颗粒间的摩擦力，从而促使泥石流的形成。在一些山区，由于地下水的长期作用，岩土体变得松散，为泥石流的发生提供了丰富的物质来源。^[3]

2. 工程地质作用

泥石流的形成与流域内的岩土体类型、地形地貌条件密切相关。松散的岩土体，如残积土、坡积土等，容易在水流作用下被冲刷带走，形成泥石流的固体物质。陡峭的地形坡度有利于水流的快速汇聚和势能的积累，为泥石流的启动提供了动力条件。例如，在高山峡谷地区，由于地形落差大，泥石流的发生频率和危害程度往往较高。

（三）地面塌陷灾害

1. 水文地质作用

在岩溶地区，地下水的溶蚀作用是形成地下溶洞的主要原因。随着溶洞的不断扩大，当溶洞顶部的岩土体无法承受上部荷载时，就会发生塌陷。此外，过量开采地下水导致地下水位下降，会引起岩土体的有效应力增加，造成地面沉降，进而引发地面塌陷。据统计，我国因地下水开采引发的地面塌陷问题在多个城市和地区频繁出现。^[4]

2. 工程地质作用

岩土体的结构和性质对地面塌陷的发生有重要影响。在覆盖型岩溶地区，上部的第四系松散土层与下部的岩溶基岩之间的结构关系决定了塌陷的可能性。当松散土层较薄且透水性较好时，在地下水动力条件变化的情况下，容易发生潜蚀作用，导致土洞的形成和发展，最终引发地面塌陷。

三、基于水文地质和工程地质的地质灾害勘查技术

（一）水文地质勘查技术

1. 水文地质测绘

水文地质测绘通过对地表地质现象的观察和分析，研究地下水的露头、泉点、井孔等，确定含水层和隔水层的分布、地下水的补给和排泄条件等。在测绘过程中，利用全球定位系统（GPS）精确确定观测点的位置，结合地质罗盘测量岩层产状，详细记录水文地质现象，为后续的分析提供基础资料。现代水文地质测绘还引入了无人机航测技术，能够快速获取大范围的地形地貌和地质信息，提高测绘效率和精度。^[5]

2. 水文地质物探

物探方法如电阻率法、电磁法等可用于探测地下水位的埋深、含水层的分布范围和厚度等。电阻率法利用岩土体导电性的差异，通过测量地下不同深度的电阻率值，推断含水层和隔水层的位置。电磁法则根据地下介质的电磁特性差异来探测地下地质结构，对于寻找隐伏的岩溶洞穴和富水区域具有较好的效果。近年来，微动勘探技术逐渐应用于水文地质勘查，该技术通过观测天然地面振动信号，反演地下介质的速度结构，可有效探测地下空洞和破碎带。

3. 水文地质钻探

钻探是获取地下岩土体实物样品的重要手段。通过钻探取出岩芯，可直接观察岩土体的结构、构造和含水性等特征。同时，在钻孔中进行抽水试验、注水试验等，能够准确测定含水层的渗透系数、导水系数等水文地质参数，为地下水资源评价和地质灾害分析提供关键数据。随着钻探技术的发展，定向钻探和随钻测井技术得到广泛应用，可在复杂地质条件下获取更准确的地下信息。

（二）工程地质勘查技术

1. 工程地质测绘与调查

工程地质测绘与调查主要针对工程建设区域的地形地貌、岩土体类型、地质构造等进行详细的实地观察和记录。通过对地形地貌的分析，判断斜坡的稳定性、冲沟的发育情况等。对岩土体类型的识别和地质构造的研究，有助于评估工程建设区域的地质稳定性，预测可能出现的地质灾害。现代工程地质测绘采用地理信息系统（GIS）技术，将各种地质信息进行数字化管理和分析，可直观展示地质条件的空间分布特征。^[6]

2. 原位测试技术

原位测试技术包括标准贯入试验、静力触探试验、旁压试验等。标准贯入试验通过将标准贯入器打入土中一定深度，记录锤击数，以此来评价土的工程性质和地基承载力。静力触探试验利用压力装置将探头匀速压入土中，测量探头所受的阻力，从而确定土层的性质和分布。旁压试验则通过对钻孔孔壁施加压力，测量土体的变形和压力关系，获取土体的力学参数。^[7]

3. 室内岩土试验

室内岩土试验对采集的岩土体样品进行物理力学性质测试，包括岩石的密度、含水量、孔隙比、抗剪强度、抗压强度等。通

过这些测试，可定量评价岩土体的工程性能，为工程设计提供准确的参数依据。随着试验设备的不断改进和测试方法的完善，微结构分析技术如扫描电子显微镜（SEM）、X 射线衍射（XRD）等被应用于岩土试验，可从微观层面研究岩土体的结构和成分对其工程性质的影响。

四、基于水文地质和工程地质的地质灾害防治措施

（一）滑坡防治措施

1. 排水工程

排水工程是滑坡防治的重要措施之一。通过地表排水系统，如截水沟、排水沟等，将地表水引离滑坡体，减少地表水的入渗。地下排水系统则包括排水孔、排水隧洞等，可降低地下水位，减小孔隙水压力，提高岩土体的抗滑力。在某滑坡治理工程中，通过设置排水孔，地下水位下降了 2 - 3 米，滑坡体的稳定性得到了显著提高。近年来，新型排水材料如塑料盲沟、土工复合排水网等在排水工程中得到广泛应用，这些材料具有排水性能好、耐久性强等优点。^[8]

2. 支挡工程

支挡工程主要采用抗滑桩、挡土墙等结构来阻止滑坡体的滑动。抗滑桩通常设置在滑坡体的下部，通过桩身与岩土体的摩擦力和嵌固力来抵抗下滑力。挡土墙则可根据滑坡的具体情况，采用重力式、悬臂式、扶壁式等不同类型，依靠自身重力或结构的稳定性来支挡滑坡体。

（二）泥石流防治措施

1. 水土保持工程

水土保持工程包括植树造林、种草护坡等措施。植被的根系可以固持土壤，减少土壤侵蚀，降低泥石流的固体物质来源。同时，植被还能截留降水，减缓地表径流速度，减少泥石流的激动力。在一些泥石流多发地区，通过大规模的植树造林，泥石流的发生频率和规模明显降低。近年来，生态护坡技术不断发展，如植被混凝土护坡、土工格室植草护坡等，这些技术在提高边坡稳定性的同时，可有效改善生态环境。^[9]

2. 拦挡工程

拦挡工程如拦砂坝、格栅坝等可拦截泥石流中的固体物质，

降低泥石流的流速和规模。拦砂坝通过坝体的阻挡作用，使泥石流中的泥沙等固体物质沉积在坝前，减小下游泥石流的危害。格栅坝则利用格栅的孔隙，拦截较大的石块，同时让水流和较小颗粒的泥沙通过，起到调节泥石流的作用。现代拦挡工程设计中，引入了智能监测技术，可实时监测坝体的受力和变形情况，提高拦挡工程的安全性和可靠性。

（三）地面塌陷防治措施

1. 合理开采地下水

合理规划和控制地下水开采量，避免地下水位大幅度下降，是预防地面塌陷的关键措施。建立地下水动态监测系统，实时掌握地下水位的变化情况，根据监测结果调整开采方案。在一些地面塌陷隐患严重的地区，采取了限量开采、回灌等措施，有效地控制了地面塌陷的发展。近年来，地下水管理模型的应用，如数值模拟模型和决策支持模型，可更科学地制定地下水开采计划，优化地下水开采布局。^[10]

2. 充填加固工程

对于已形成的岩溶洞穴和土洞，可采用充填加固的方法进行处理。向洞穴内灌注水泥浆、混凝土等材料，填充洞穴空间，提高岩土体的承载能力。在进行充填加固时，需根据洞穴的大小、形状和地质条件选择合适的充填材料和工艺，确保加固效果。近年来，新型充填材料如高水速凝材料、泡沫混凝土等在地面塌陷治理中得到应用，这些材料具有流动性好、强度增长快等优点。

五、结束语

水文地质和工程地质在地质灾害防治工程中具有不可替代的重要作用。通过深入研究水文地质和工程地质条件在地质灾害形成中的作用机制，采用先进的勘查技术准确把握地质灾害隐患，实施针对性的防治措施，能够有效降低地质灾害的发生风险，减轻灾害损失。在未来的地质灾害防治工作中，应进一步加强水文地质和工程地质的研究与应用，不断完善勘查技术和防治措施，提高地质灾害防治的科学化、精准化水平，为保障人民生命财产安全和生态环境稳定做出更大贡献。同时，随着科技的不断进步，应加强多学科交叉融合，探索新的理论和技术方法，以应对日益复杂的地质灾害防治问题。

参考文献

[1] 王国栋. 水文地质和工程地质在地质灾害防治中的应用策略研究 [J]. 中国宽带, 2019(005):5-8.
[2] 李风增, 谢宜欣. 浅谈水文地质在工程地质勘察中的重要性 [J]. 居舍, 2020(1):1.09.
[3] 李志. 矿山地质施工中水文地质灾害防治技术研究 [J]. 工程建设 (2630-5283), 2022(06):05.
[4] 周治民. 水工环地质在地质灾害活动中的应用策略 [J]. 世界有色金属, 2022 (03) : 254, 258.
[5] 尚继龙. 论当前水工环地质勘察中的技术及应用范围 [J]. 黑龙江科技信息, 2023 (36) : 40.
[6] 宋宝业. 水工环地质勘察及遥感技术在地质工作中的实践 [J]. 世界有色金属, 2022 (04) : 194-195.
[7] 裴生祥. 水文地质在地质灾害防治中的应用研究 [J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(10):105-107.
[8] 于洋. 地质勘察中的水文地质危害分析及对策 [J]. 中国金属通报, 2024, (08):137-139.
[9] 薛灵. 工程地质勘察中水文地质问题的危害浅析 [J]. 西部探矿工程, 2024, 36(02):41-43+47.
[10] 马冰, 巴黎, 陈胜. 水文地质在矿山地质灾害防治方面的应用 [J]. 世界有色金属, 2023, (19):136-138.