

矿山水工环地质灾害综合防治措施

唐 真

四川省第九地质大队 四川 德阳 618000

摘 要：矿山开采过程中极易诱发水文、工程、环境等多类型水工环地质灾害，具有突发性、扩散性及链式破坏特征，严重威胁矿山生产安全与区域生态稳定。本文系统总结各类地质灾害的发育特征，从自然条件与人为开采角度深入剖析灾害成因机理，整合专项治理、生态修复、智能监测等核心技术，构建全方位、全周期的综合防治管控体系，为矿山灾害防控与绿色安全开采提供理论与实践支撑。

关键词：矿山水工环；地质灾害；综合防治措施

引言：随着矿产资源开发力度持续加大，矿区原始地质结构与水生态环境遭到严重扰动，矿井突水、边坡滑坡、地面塌陷、水土污染等水工环地质灾害频发。多数矿山存在防治体系不完善、监测预警滞后、生态治理不到位、管控机制不健全等问题。为有效规避地质灾害风险、保障矿山安全生产、修复矿区生态环境，本文针对性开展灾害成因分析与综合防治技术研究，搭建系统化灾害防治管控体系。

1 矿山水工环地质灾害类型及成因机理分析

1.1 矿山水工环主要地质灾害类型及特征

(1) 水文地质灾害：主要表现为矿井突水、地下水渗漏及地下水位异常升降。矿井突水常瞬间涌出大量水源，淹没巷道与采掘设备，破坏力强；地下水渗漏导致区域水资源流失，水位异常升降则打破原有水动力平衡，诱发次生灾害。此类灾害具有突发性强、破坏范围广的特征，对矿山安全生产构成直接威胁。(2) 工程地质灾害：集中于开采工作面及边坡区域，以边坡滑坡、崩塌、地面塌陷和地裂缝为主。滑坡、崩塌多发生于高陡边坡，岩土体失稳后快速下滑，掩埋设施；地面塌陷与地裂缝则是采空区顶板变形破坏的直观表现，导致地表建筑物损毁、道路中断^[1]。此类灾害具有局部高发、链式反应显著的特征。(3) 环境地质灾害：涵盖水土污染、植被破坏与岩土体退化。矿坑排水及废石淋滤液渗入土壤与水体，造成重金属超标、水质酸化；大面积开挖剥离表土，破坏原有植被群落，加剧水土流失；岩土体因长期受扰动而强度衰减，稳定性持续下降。此类灾害表现为持续性、扩散性，治理难度大且生态恢复周期漫长。

1.2 自然成因因素分析

(1) 水文条件：大气降水集中入渗，短期内急剧增加地下水补给量，抬高水位并增大孔隙水压力；岩溶裂隙发育区为水体运移提供优势通道，加剧渗透软化作用，降低岩土体抗剪强度，为突水与滑坡创造水动力条件。(2) 地质条件：矿区岩土体结构松散，胶结程度低，自身承载力不足；断层破碎带纵横交错，破坏了地层连续性与整体性，弱化了围岩稳定性，为地质灾害发育提供了先天不利地质背景。(3) 地形地貌：矿山多位于山区，地形高差大、坡面陡峭，地表径流冲刷强烈，松散堆积物源丰富，在重力与水力耦合作用下，极易诱发滑坡、泥石流等次生灾害。

1.3 人为成因因素分析

(1) 开采作业扰动：过度开挖与违规采掘行为大量剥离围岩，形成大面积采空区，打破原始地应力平衡，导致应力集中与重新分布，诱发岩体变形、破裂乃至失稳破坏。(2) 水工设施不完善：矿山排水系统、防渗帷幕及挡护构筑物建设滞后，疏干排水能力不足，抗渗性能差，难以有效控制地下水位与地表径流，致使水体无序运移，加剧灾害风险。(3) 防治管理缺失：灾害监测网络覆盖面窄、预警响应迟缓，开采规划缺乏科学性与前瞻性，生态修复与水土保持措施落实不到位，长期累积的隐患未得到及时消除，人为放大灾害发生概率。

2 矿山水工环地质灾害综合防治关键技术

2.1 水文地质灾害专项防治技术

(1) 超前探放水技术：采用钻孔探测与三维地质建模相融合的方法，精确查明地下水源赋存状态及导水通道空间展布，在采掘扰动前实施定向钻孔，对高压水体进行有控疏导和有序释放，消除突水能量基础，实现由被动治水向主动防御的策略性转变。(2) 防渗封堵技

术：针对断层破碎带、岩溶裂隙等优势导水通道，采用水泥-化学复合注浆工艺实施高压灌注，使浆液充分充填裂隙并胶结固化成一体；在关键边界地段构筑地下连续防渗墙，阻断外围水源补给路径，构建多层次、立体化的隔水阻渗系统。（3）智能排水调控技术：在井下关键部位布设水位、流量、水压传感器，接入自动化排水管控平台，实时采集水文参数并远程精准调节排水强度，实现按需疏排、采排动态平衡；同时设置水位超限分级报警功能，确保排水系统反应迅捷、运行安全可靠。

2.2 工程地质灾害专项防治技术

（1）边坡加固治理技术：针对不稳定边坡采取削坡减载措施降低下滑推力，配套预应力锚杆锚索将浅层松动岩体锚固于深层稳定基岩，坡面布设格构梁与抗滑挡墙，形成刚柔相济的立体支护体系，有效约束边坡侧向位移，保障采场及运输干线安全畅通。（2）塌陷隐患治理技术：针对采空区上方地面塌陷及地裂缝，采用废石回填分层压实恢复地基承载力，配合深层注浆加固使松散充填物胶结为整体稳定结构；对重要建（构）筑物基础实施桩基托换或微型桩群加固，阻断塌陷变形向上传递，消除地表沉陷隐患^[2]。（3）岩土体改良技术：针对软弱松散岩土体，掺入水泥、石灰等固化材料，通过强制搅拌混合发生物理化学反应，提高土体密实度与内摩擦角；联合排水固结工艺加速孔隙水排出，促使土体前期固结，整体提升抗剪强度与承载性能。

2.3 环境地质灾害生态修复技术

（1）水土污染治理技术：针对酸性矿坑水及重金属污染土壤，采用生物-化学联合修复工艺，利用硫酸盐还原菌等特种微生物降解有机污染物，配合固化稳定剂将重金属离子转化为难溶矿物形态，结合人工湿地过滤系统实现水体净化达标与土壤功能重建。（2）植被生态修复技术：筛选本土耐旱、耐贫瘠优势植物品种，在边坡及废弃地采用植生袋、三维植被网柔性护坡结构，内置营养基材与保水剂，为植物根系提供良好附着生长环境，迅速恢复矿区植被覆盖，有效遏制水土流失与地表退化。（3）生态景观协同治理：将工程治理与景观重塑统一规划，把整治后的平台、坡面改造为梯田式生态绿地或小型湿地景观系统，兼顾地质隐患消除、生态服务功能恢复与土地利用价值提升，实现矿区环境与周边自然生态协调统一。

2.4 灾害智能化监测预警技术

（1）多维度监测体系搭建：在采空区、高陡边坡、断层带及关键构筑物布设位移计、水位计、应力计及裂

缝监测仪等多元传感器，形成点-线-面结合、空天地一体化的立体监测网络，实现地表变形、地下水位、岩体应力等多参数同步协同采集。（2）信息化数据处理：依托物联网平台实现监测数据无线自动传输与云端汇聚存储，利用大数据分析算法进行趋势拟合、突变识别与异常自动判别，有效滤除干扰信号，精准提取灾害前兆特征信息，为科学研判和精准决策提供可靠数据支撑。（3）分级预警机制：依据灾害风险等级建立蓝、黄、橙、红四级预警响应标准，明确各级阈值区间、触发条件和应对措施，通过监测预警平台自动判定风险等级并实时推送预警信息至管理终端，确保灾害早发现、早预警、早处置，最大限度降低人员伤亡与财产损失。

3 矿山水工环地质灾害防治保障体系与管控措施

3.1 健全防治管理制度体系

（1）完善开采管控规范：制定并推行矿山标准化开采流程管理制度，将水工环地质灾害防控要求全面嵌入采掘作业规程，明确采掘强度上限、开采边界红线、顶板管理参数及矿柱留设标准，严控违规超采、越界开挖、无序堆载等风险行为，从制度层面约束不合理开采活动，从源头上降低人为因素诱发地质灾害的概率。（2）建立隐患排查制度：构建网格化、常态化的隐患排查工作机制，按照周巡查、月详查、季综合的频次要求，对采空区、露天边坡、排水系统、防渗设施及地表变形区域实施全覆盖动态巡查，发现隐患即时建档立账，明确整改责任人、技术措施和完成时限，实行发现、登记、整改、验收、销号全过程闭环管理，确保隐患治理不遗漏、不拖延、不反弹，实现灾害风险早发现、早控制^[3]。（3）落实责任分工机制：厘清矿山企业主体责任、部门监管责任与属地管理责任边界，建立防治责任清单与考核量化标准，逐级签订年度防治目标责任书，将防治成效纳入企业安全生产信用评价和绩效考核体系，构建权责明晰、奖惩分明、层层传导压力的责任落实格局，确保各项防治措施有人抓、有人管、有人督，形成齐抓共管的防治合力。

3.2 强化技术与人才保障

（1）先进技术推广应用：积极引进智能传感监测设备、高精度三维地质探测仪、绿色注浆治理材料及生态修复新技术，推动物联网感知、卫星遥感、无人机巡查与数据分析平台深度融合，逐步构建空天地一体化的矿山灾害防治技术体系，实现灾害风险从被动应对向主动预控、从经验决策向数据驱动的转型升级，全面提升防治工作的科技含量与精准水平^[4]。（2）专业人才培养：联合高校及专业培训机构制定年度专项培训计划，

围绕水文地质分析、监测数据处理、治理工程设计、应急处置指挥等核心能力,开展分层分类岗位培训与技能考核,着力培育一批既精通水工环专业技术又熟悉矿山生产管理的复合型人才,切实补齐基层技术力量薄弱的短板,为防治工作提供可持续的人才智力支撑。(3) 校企科研协同合作:与科研院所建立稳定的产学研用合作关系,围绕矿区深部开采突水致灾机理、复杂地质条件下边坡失稳规律、采空区塌陷预测模型等关键技术难题设立联合攻关课题,推动科研成果在矿区就地转化应用,定期组织学术交流与技术研讨,有效破解工程实践中面临的治理技术瓶颈,促进防治技术持续迭代升级。

3.3 完善应急处置机制

(1) 编制专项应急预案:针对矿井突水、边坡滑坡、地面塌陷等主要灾害类型,逐一编制要素完整、流程清晰的专项应急预案,明确预警启动条件、应急组织架构及职责分工、处置技术措施、人员紧急撤离路线、避难硐室位置及信息报告程序等内容,并根据矿区地质条件变化和设备更新情况每年修订完善,确保预案始终具备科学性、针对性与可操作性。(2) 配齐应急物资设备:按照定点储备、专人管理、定期维护的原则,在井口、采区及关键运输通道设置应急物资储备点,足量配备大功率排水泵、注浆设备、支护材料、破拆工具、照明灯具及通讯器材等抢险装备,建立物资台账并每月清点检查,对损耗和过期物资及时补充更换,确保灾害突发时物资调拨迅速、装备运转正常,为快速高效处置提供坚实物质保障^[5]。(3) 常态化应急演练:每半年至少组织一次全要素综合应急演练,模拟极端灾害场景下的预警信息发布、应急响应启动、人员紧急疏散、抢险救援实施及医疗救护保障全流程,检验预案可操作性与队伍协同作战能力,演练后及时组织复盘评估,针对暴露问题制定改进措施,不断优化应急响应效率与实战水平,确保关键时刻拉得出、冲得上、打得赢。

3.4 建立长效动态管控机制

(1) 全周期管控:将地质灾害防治贯穿矿山勘探设计、基建施工、生产开采及闭坑治理全生命周期,各阶段分别编制配套的专项防治方案与技术措施,明确阶段目标与管控重点,做到建设期超前预判、生产期动态跟

进、闭坑期系统收尾,实现各环节紧密衔接、全过程闭环管控,有效避免因阶段脱节造成的防治盲区与管理真空。(2) 动态评估优化:每年开展防治效果系统性评估,对照监测数据、隐患治理台账和生态修复指标进行量化分析与综合评价,结合矿区水文地质条件变化、采掘计划调整及设备更新等实际情况,及时修订防治参数、技术方案与管控措施,做到以监测数据驱动决策、以条件变化引导调整,确保管控策略始终保持针对性、精准性与先进性,实现防治工作的持续改进与螺旋上升。(3) 生态长效管护:闭坑后设立不少于五年的生态管护期,建立涵盖植被成活率、水土质量、岩土体变形及生物多样性等指标的长期监测体系,定期开展补植复绿、灌溉养护与设施维修,落实专项管护资金与责任人,实行定期巡查与年度评估制度,杜绝修复成果反弹退化,确保矿区生态环境稳中向好、持续恢复,实现灾害防治与生态建设协同推进的长远目标,为矿区可持续发展奠定坚实基础。

结束语

矿山水工环地质灾害诱因复杂、危害范围广、治理周期长,单一治理手段难以实现长效防控。本文结合矿山灾害发育规律,梳理各类灾害专项防治技术,搭建了集制度管理、技术保障、应急处置、长效管控于一体的综合防治体系。未来需持续创新智能化防治技术,动态优化管控方案,强化生态长效管护,切实筑牢矿山安全生产底线,推动矿区生态与开采产业协同可持续发展。

参考文献

- [1] 王磊,李刚,张宇轩.矿山水工环地质灾害成因机制与综合防控技术研究[J].中国矿业,2024,33(S1):120-123.
- [2] 陈晓宇,卢贺.水工环地质及岩土工程技术在矿山灾害治理中的应用研究[J].中国矿业,2025,34(2):89-94.
- [3] 刘鑫,王洪涛,孙博文.复杂矿区水工环地质灾害风险评价与综合治理对策[J].金属矿山,2023,24(9):186-192.
- [4] 靳嘉雯.生态文明视角下矿山水工环地质灾害治理与生态修复一体化技术[J].世界有色金属,2022,29(23):217-219.
- [5] 张建军,赵阳.深部开采矿山水工环地质隐患识别及精准防控措施[J].矿业安全与环保,2023,50(4):112-117.