

Investigation and discussion on hidden water disaster caused by coal mine in Northeast Yunnan Province

Quan Qian

Yunnan 143 Coalfield Geological Exploration Team, Qujing, Yunnan, 655000, China

Abstract

Northeastern Yunnan, a coal-rich region in Yunnan Province, encompasses areas including Zhaotong and northern Qujing. With substantial coal reserves and a long mining history, it serves as the core energy supply pillar of the province. However, the area's complex geological structures and variable hydrogeological conditions have made hidden disaster-causing water hazards (such as old mine water accumulation, water-conducting faults, and concealed karst caves) the primary risk constraining coal mine safety. Historical incidents of old mine water outbursts and roof water overflow have caused casualties and property losses. Therefore, conducting systematic investigation of these hidden hazards and establishing targeted prevention systems holds significant practical importance for ensuring safe and efficient coal mining in Northeastern Yunnan.

Keywords

Northeast Yunnan; Coal mines; Hidden disasters; Water hazard prevention and control; measure

云南省滇东北煤矿隐蔽致灾水害调查及防治探讨

钱权

云南省一四三煤田地质勘探队, 中国·云南 曲靖 655000

摘要

滇东北是云南省重要的煤炭资源富集区, 涵盖昭通、曲靖北部等区域, 煤炭储量大、开采历史长, 是云南省能源供应的核心支撑。但该区域地质构造复杂、水文地质条件多变, 隐蔽致灾水害(指赋存于地下、难以通过常规手段直接识别的水害隐患, 如老空积水、导水断层、隐蔽溶洞等)已成为制约煤矿安全生产的首要风险——历史上多次发生老空水突水、顶板水溃涌等事故, 造成人员伤亡和财产损失。因此, 系统开展隐蔽致灾水害调查、构建针对性防治体系, 对滇东北煤矿安全高效开采具有重要现实意义。

关键词

滇东北; 煤矿; 隐蔽致灾; 水害防治; 措施

1 引言

云南省滇东北地区煤炭资源富集区, 区域地质受多期构造运动影响, 褶皱、断层发育、喀斯特地貌显著, 构造复杂, 碳酸盐岩广泛分布, 岩溶作用强烈, 岩溶水的赋存与运移对煤矿开采影响深远, 水害致灾因素难以通过常规手段直接识别, 深入研究其区域煤矿水害特征, 探寻有效的调查方法和防治手段对保障煤矿安全生产具有重要意义。

2 区域地质与水文地质背景

2.1 区域地质构造特征

滇东北地处扬子准地台西缘与横断山脉东段过渡带, 地质构造强烈, 主要特征如下:

【作者简介】钱权(1984-), 男, 中国云南曲靖人, 本科, 工程师, 从事煤田地质、水文地质、工程地质和环境地质研究。

褶皱发育: 以昭通-鲁甸向斜、宣威-富源背斜为核心构造, 煤层赋存于二叠系龙潭组、宣威组, 受褶皱影响, 煤层埋深差异大(从几十米到上千米), 局部煤层倾角陡(30° - 60°), 增加水害隐患识别难度。

断层密集: 区域内发育多条活动性断层(如小江断裂带分支、昭通断裂), 断层性质以正断层为主, 部分为导水断层——断层破碎带不仅是地下水运移的主要通道, 还可能沟通煤层顶板砂岩含水层与底板茅口组灰岩含水层, 形成跨含水层充水隐患。

喀斯特地貌显著: 滇东北部分区域(如镇雄、威信)属于喀斯特山区, 二叠系茅口组灰岩、三叠系飞仙关组砂岩中溶洞、溶隙发育, 且多呈“隐蔽性”分布(无地表径流关联), 易成为突发水害源。

2.2 水文地质条件

地表水: 滇东北地区整体地形切割较深, 有利于地表水及地下水排泄。各含水层均接受大气降水入渗补给, 地层岩性及地貌控制着地下水的埋藏、运移、富集及排泄条件。

在以碎屑岩及玄武岩为主的分布区，地表浅部以裂隙潜水为主，地下水埋藏浅且随地形起伏而变化，区内含水层多为含、隔水层相间的裂隙弱含水层组，富水性弱。向深部地下水径流交替循环逐渐减弱，过渡为弱承压含水层，富水性较浅部弱。区内受大气降水入渗补给，大多沿就近沟谷低洼处以泉水形式排泄，地下水径流交替距离较短，形成了既是补给区，又是排泄区，即排泄条件好，水文地质条件相对较简单。

地下水：滇东北地区煤矿地下水系统可分为 3 类关键含水层（见表 1-1），均与隐蔽水害直接相关，地下水以岩溶管道及脉状形式径流于灰岩熔蚀裂隙中，该区地下水除接受大气降水补给外，尚接受地表径流及非可溶岩接触带地下水入渗补给。该区内地下水以岩溶的形式在沟谷低洼处或与非可溶岩接触带有利地段排出地表。含水层富水性及导水性极不均匀，水文地质条件相对较复杂。

表 1-1 滇东北地区煤矿地下水含水层类型

含水层类型	赋存层位	富水性特征	与水害的关联
顶板砂岩含水层	龙潭组上段	中等 - 强富水，裂隙发育	开采后导水裂隙沟通，引发顶板水溃涌
底板灰岩含水层	茅口组	强富水，溶洞 - 溶隙发育	水压高（埋深 500m 时水压达 5MPa），易突破底板隔水层引发突水
老空区积水层	历史开采巷道 / 采空区	富水性不均，水量波动大	隐蔽性最强，无固定边界，突水时瞬时流量大（可达 1000m³/h）

2.3 开采特征与水害风险叠加

滇东北地区煤矿开采历史久远，存在“小煤矿多、开采不规范”的历史遗留问题：

老空区分布混乱：小煤矿无正规开采台账，老空区边界、积水深度无法精准定位，形成“隐蔽积水库”；

煤层开采强度提升：近年来大型煤矿（如昭通煤矿、宣威煤矿）采用综合机械化开采，采高增加（3-5m），导致顶板导水裂隙发育高度扩大（可达 20-30m），易沟通上部砂岩含水层；

深部开采趋势：部分矿井开采深度超过 800m，底板灰岩含水层水压显著升高，底板隔水层（龙潭组下段泥岩）厚度不足 10m 时，突水风险剧增。

3 煤矿隐蔽致灾水害类型及特征

3.1 老空水害（主要类型）

成因：历史小煤矿无序开采遗留采空区，大气降水、地表水或含水层水渗入后形成积水，且因开采台账缺失，积水区边界、水量、水压无法通过常规手段预判。

隐蔽性特征：无地表标识，且老空区多位于现有开采煤层上方或侧方，与现有巷道仅隔数米煤柱，突水前无明显水压显现（如煤壁潮湿、裂隙渗水），突发风险高。

3.2 底板灰岩水害

成因：深部开采时，底板茅口组灰岩含水层水压超过底板隔水层“临界抗水压强度”，隔水层发生“塑性破坏”或被原有裂隙贯通，形成突水通道。

隐蔽性特征：底板隔水层内部裂隙（微裂隙）无法通过常规钻探识别，且灰岩含水层溶洞多呈“孤立状”分布，钻探命中率低（仅 10%-20%），难以提前探明。

3.3 断层 / 裂隙水害

成因：区域内导水断层（如落差大于 10m 的正断层）破碎带宽度可达 5-15m，破碎带内充填物（泥质、砂质）渗

透性强，可沟通顶板砂岩含水层与底板灰岩含水层，形成“跨层供水通道”。

隐蔽性特征：部分断层为“隐伏断层”（地表无出露），物探手段（如地震勘探）难以精准识别其走向与导水性，易被忽视。

3.4 喀斯特溶洞水害

成因：喀斯特山区灰岩溶洞内积水，若溶洞顶部距离煤层顶板 / 底板小于 10m，开采扰动（如爆破、顶板垮落）会导致溶洞顶板坍塌，积水瞬间涌入井下。

隐蔽性特征：溶洞多与地表无直接水力联系，且分布随机（无规律可循），常规物探（如高密度电法）对溶洞的分辨率仅能达到 5m 以上，小尺寸溶洞（直径 1-3m）易漏判。

4 隐蔽致灾水害调查技术

针对滇东北煤矿水害隐蔽性强、地质条件复杂的特点，需采用“基础资料整合 + 多技术物探 + 钻探验证 + 动态监测”的综合调查体系，具体如下：

4.1 基础资料收集与精细化分析（前置工作）

核心资料：历史煤矿开采台账（如井上下对照图、采掘工程平面图）、地质勘探报告（钻孔柱状图、含水层参数）、老窑调查记录（走访当地老矿工，标注废弃井口位置）；

分析方法：采用 ArcGIS 构建“煤矿空间信息数据库”，叠加煤层埋深、断层分布、含水层厚度等图层，初步圈定“隐蔽水害高风险区”（如断层与煤层交叉处、老空区集中区）。

4.2 多技术物探（隐蔽隐患识别核心手段）

根据不同水害类型的物性差异，选择针对性物探技术，实现“互补验证”：

技术组合策略：先通过三维地震普查井田隐伏断层，再用瞬变电磁法圈定高风险区，最后用高密度电法 + 地质雷达对工作面进行精细化探测，形成“从宏观到微观”的探测链条。

物探技术优势局限对比表 3-1

物探技术	探测目标	优势	局限性	滇东北应用场景
瞬变电磁法（TEM）	老空区、含水层、导水断层	探测深度大（可达 500m）、对低阻体（水）敏感	受电磁干扰（如高压电缆）影响大	深部开采工作面超前探测（80-100m）
高密度电法	浅部老空区、顶板裂隙水	分辨率高（1-3m）、成本低	探测深度浅（≤100m）	掘进工作面迎头超前探测（30-50m）
地震勘探（三维地震）	隐伏断层、大型溶洞	可圈定断层走向、溶洞规模	对小尺寸隐患（<5m）识别差	井田尺度隐蔽构造普查
地质雷达	巷道顶板/底板浅部裂隙	分辨率极高（0.1-0.5m）	探测距离短（≤10m）	现有巷道帮部、顶板隐患排查

4.3 钻探验证与水文地质试验(确认隐患关键步骤)

物探结果需通过钻探验证，避免“误判”或“漏判”，核心工作包括：

超前探水钻孔：严格执行《煤矿防治水细则》要求，掘进工作面超前探水钻孔不少于 3 个（呈扇形布置），探水距离不小于 30m（老空区风险区不小于 50m），通过钻孔涌水量、水压监测，确认是否存在隐蔽积水；

抽水试验：对底板灰岩含水层、顶板砂岩含水层施工抽水试验孔，测定渗透系数（k）、单位涌水量（q）等参数，计算“突水系数”（ $T=P/M$ ，P 为水压，M 为隔水层厚度）——当 $T>0.06\text{MPa/m}$ 时，判定为突水高风险；

钻孔成像：采用钻孔全景成像系统（BHTV），观察钻孔壁裂隙发育情况、溶洞位置，直观验证物探圈定的隐患区。

4.4 新技术应用（提升调查精度）

无人机航测+InSAR 技术：对煤矿地表进行高精度航测，结合 InSAR（合成孔径雷达干涉测量）监测地表沉降，间接推断地下老空区分布（地表沉降区多对应老空区垮落区）；

三维地质建模：基于钻探、物探数据，构建“煤层-含水层-断层-老空区”一体化三维模型，动态更新老空区积水范围、含水层富水性分区，实现隐患可视化管理；

数值模拟：采用 FLAC3D、TOUGH2 等软件，模拟开采过程中顶板导水裂隙发育高度、底板隔水层应力变化，预判水害发生的临界开采条件。

5 针对性防治措施体系

基于调查结果，滇东北煤矿隐蔽致灾水害防治需遵循“预防为主、综合治理、应急兜底”的原则，构建“超前预防-精准治理-应急响应”三级体系：

5.1 一级措施：超前预防（从源头控制风险）

严格执行“预测预报、有疑必探”制度：

新采区、新工作面设计前，必须完成三维地震+瞬变电磁普查，未探明隐蔽水害的区域不得开采；

掘进工作面每次推进前，必须施工超前探水钻孔，确认前方无老空水、断层水隐患后，方可继续掘进。

建立水文动态监测系统：

对顶板砂岩含水层、底板灰岩含水层布设水位监测孔（每 500m² 至少 1 个），实时监测水压变化，当水压骤升/骤降时，立即启动预警；

在井下主要巷道安装流量传感器，监测涌水量变化，当涌水量超过正常数值 10% 时，停止作业并排查隐患。

优化开采工艺：

对底板隔水层厚度小于 15m 的区域，采用“条带开采”（采宽 ≤5m），减少底板扰动，降低突水风险；

对顶板含水层富水性强的区域，采用“充填开采”，控制顶板导水裂隙发育高度，避免沟通含水层。

5.2 二级措施：精准治理（消除已探明隐患）

老空水疏放：

对已探明的老空区，施工疏放水钻孔（孔径 ≥110mm），采用“先降压、后疏放”的方式，将老空区水位降至开采煤层下方 5m 以下；

疏放过程中，实时监测涌水量、水质（如含泥量、pH 值），避免疏放引发泥沙溃涌。

底板注浆加固：

对底板突水系数 $T>0.06\text{MPa/m}$ 的区域，采用“高压注浆”（注浆压力 ≥1.5 倍水压），注入水泥-水玻璃双液浆，封堵底板裂隙，提高隔水层抗水压能力；

注浆后需施工验证孔，测定加固后隔水层的“有效厚度”，确保突水系数降至安全值以下。

断层/溶洞封堵：

对导水断层，在断层两侧施工注浆孔（孔距 ≤3m），注入高强度注浆材料（如超细水泥、环氧树脂），形成“隔水帷幕”，切断断层导水通道；

对已探明的溶洞，采用“充填注浆”，先填入碎石（粒径 5-10mm），再注入浆液，彻底封堵溶洞积水。

5.3 三级措施：应急处置（应对突发水害）

制定专项应急预案：

明确突水事故的应急组织机构、人员职责、撤离路线（需标注避灾硐室位置），并定期修订（每年至少 1 次）；

储备应急物资：在井下主要避灾硐室储备排水泵（流量 ≥200m³/h）、救生舱、应急食品（保质期 ≥72h）、通讯设备（如应急电话、对讲机）。

定期开展应急演练：

每季度至少开展 1 次突水应急演练，模拟“工作面突水-人员撤离-排水抢险”全流程，确保井下作业人员熟悉撤离路线和自救技能。

突水后抢险处置:

突水发生后,优先组织受威胁区域人员撤离至安全区域,切断灾区电源;

根据突水量大小,启动相应排水方案:小突水($<200\text{m}^3/\text{h}$)采用井下现有排水系统;大突水($>500\text{m}^3/\text{h}$)调用地面备用排水泵(流量 $\geq 1000\text{m}^3/\text{h}$),实施“地面-井下联合排水”。

6 存在问题与建议

6.1 当前存在的主要问题

历史资料缺失严重:部分小煤矿关闭后,开采台账、老空区图纸丢失,导致老空区调查难度大,隐蔽水害隐患无法全面探明;技术装备水平不均:中小型煤矿物探设备(如三维地震仪、瞬变电磁仪)配备不足,依赖传统钻探,调查精度低、效率差;人员专业能力不足:部分煤矿防治水人员缺乏专业知识,对物探数据解读、水文参数分析能力弱,易导致隐患误判。

6.2 改进建议

加强历史资料整合:由地方政府牵头,组织煤炭、地质部门开展“滇东北煤矿老空区专项普查”,通过走访老矿工、整理档案、物探验证,建立统一的“老空区数据库”,实现信息共享;加大技术投入:鼓励煤矿企业引进三维地质建模、智能化监测(如物联网水文监测系统)等新技术,对中小型煤矿给予技术补贴,提升整体调查装备水平;强化人员培训:定期组织煤矿防治水人员参加专业培训(每年不少于40学时),考核合格后方可上岗,同时邀请地质院校、科研院所专家开展现场指导,提升实操能力。

7 结语

滇东北煤矿隐蔽致灾水害的核心风险源于“地质构造复杂+历史开采遗留问题+深部开采水压升高”的叠加,其中老空水害、底板灰岩水害是最主要的隐患类型。通过“基

础资料整合+多技术物探+钻探验证”的综合调查体系,可实现隐蔽水害的精准识别;而构建“超前预防-精准治理-应急兜底”的防治体系,能有效控制水害风险。

参考文献

- [1] 巷道水害防治中瞬变电磁超前探测应用分析.冯浩.能源与节能,2019(12)
- [2] 探放水技术在掘进巷道中的应用.张良.内蒙古煤炭经济,2020(08)
- [3] 定向探放及局部疏放在水害防治中的应用研究.谷圆中.山西化工,2024(12)
- [4] 浅析我国煤矿水害防治研究现状及展望.高政;李波波.采矿技术,2021(02)
- [5] 开元矿井下探放水方案设计及应用.郑建龙.煤炭与化工,2022(09)
- [6] 福建煤矿水害防治面临的安全风险及应对建议.卓炳平.海峡科学,2022(07)
- [7] 程孝兵.瞬变电磁法在某矿井水文地质勘探中的应用[J].煤,2011(12):15—19.
- [8] 卢纪周.王河煤矿充水因素分析及防治水措施[J].中州煤炭,2006(04):256.
- [9] 超前探放水在加强煤矿防治水工作中的应用研究[J].黄冲.能源与节能,2021(12)
- [10] 老空水超前钻探技术方案分析[J].王江平.内蒙古煤炭经济,2020(10)
- [11] 煤矿工作面水害防治技术及安全性评价.祝建东.山西化工,2024(06)
- [12] 煤矿涌水危险性分析及水害防治研究.田鹏飞.能源与节能,2024(11)
- [13] 煤矿水害防治技术的现状与发展探讨.李艳龙;孙建军;王亮;邢佳佳.矿业装备,2023(11)
- [14] 物探技术在煤矿水害防治中的应用.聂朋启.矿业装备,2022(04)