

# 煤炭井工开采过程中的水害防治技术研究

张海龙

准格尔旗神陶煤炭运销有限责任公司营沙壕煤矿 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要：**采用物探（瞬变电磁法、无线电透视）、钻探及化探技术，查明含水层、断层、陷落柱等隐蔽致灾因素。建立采空区积水范围、积水量动态数据库，实行“三线”（积水线、警戒线、探水线）管理。实时监测预警，部署矿井涌水量、钻孔水位、雨量自动监测系统，联动气象数据实现风险超前预警。核心技术原则为“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”，需结合矿井实际构建“探测-预防-治理-应急”闭环体系。

**关键词：**煤炭井工开采；水害防治；技术

水害防治贯穿煤炭开采全周期，需践行“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”方针，实现安全、资源、生态与经济的协同发展。

## 1 煤炭井工开采水害防治的重要性

1.1 保障生命安全的核心屏障。遏制重大伤亡事故，水害（如老空突水、岩溶透水）具有突发性和强破坏性，采掘面一旦突水可瞬间淹没设备、造成群死群伤。严格执行探放水措施（如超前钻探验证积水边界）是避免透水事故的直接手段。降低作业环境风险，未控涌水导致巷道泥化、顶板失稳，增加冒顶及机电事故风险。强化水文监测与疏排水管理可维持井下安全作业条件。

1.2 保护水资源与生态环境的关键举措。减少地下水系统破坏，开采扰动使含水层水位下降，平均每采1吨煤流失地下水约2立方米，导致区域地下水资源枯竭与地表植被退化。主动保水开采（如注浆封堵导水裂隙）可控制含水层损伤。防控水污染扩散，矿井酸性废水、高悬浮物涌水直接排放会污染地表水体，造成土壤板结与生态退化。闭环水处理与资源化利用是实现“煤水共赢”的必经之路。

1.3 维系煤矿经济效益的基础保障。避免生产中断损失，突水淹井事故可导致矿井停产数月，修复成本高昂（如设备更换、巷道重建），直接冲击企业运营稳定性。降低长期排水成本，西部干旱区矿井涌水量持续增加（如鄂尔多斯盆地部分矿井），高效疏排水系统与水资源循环利用可显著降低吨煤生产成本。减少环境治理支出，采后生态修复成本远高于开采期主动防护投入。实施“源头减损开采”模式可节约后期塌陷区治理、含水层修复费用。

1.4 履行法规与社会责任的强制性要求。法定责任主体明确，《煤矿防治水细则》规定企业法定代表人为水害防治第一责任人，总工程师负技术责任，未落实探放

水措施属重大违法违规行。事故追责严厉化，近年水害事故均存在物探造假、疏于监管等问题，涉事企业面临停产整顿、刑事责任追究及社会信任危机。

## 2 煤炭井工开采物探钻探技术在水害防治中的应用

2.1 智能探测与预警技术革新。三维地质透明化，融合AI算法与GIS平台，动态构建采掘区域三维地质模型，精准标注富水区、断层及陷落柱位置（精度达亚米级）。研究院“涅石透明地质系统”实现工作面模型精度 $\leq 15\text{cm}$ ，地质异常预测准确率超85%。钻物探一体化探测，钻孔雷达+瞬变电磁组合：利用钻孔通道部署电磁传感器，实现掘进面前方360°水体扫描（探测距离 $> 100\text{m}$ ）。随钻随探技术：定向钻机集成物探模块，实时分析岩性及含水特性，动态优化钻孔轨迹。

2.2 精准治理工程技术应用。智能定向钻探，ZDY系列全液压钻机支持自动装卸钻杆、自适应钻进参数调整，定向钻孔深度突破3353m（创世界纪录）。钻孔群注浆封堵导水通道（如断层、裂隙带），注浆材料智能化配比提升封堵效率30%。靶向疏放水技术，基于物探数据定位积水区，施工精准疏放孔（误差 $< 0.5\text{m}$ ），实现老空水可控排放。高位钻孔一次扩孔深度达701m，高效释放顶板含水层压力。

2.3 未来技术趋势。全流程无人化作业，钻探机器人集群协同施工，地面远程操控井下定向钻探全程。超深孔+大孔径突破， $\Phi 300\text{mm}$ 顶板高位钻孔深度向1000m级迈进，岩层一次成孔率达90%。量子传感技术探索，高精度量子磁力仪研发中，目标探测分辨率提升至厘米级。

## 3 煤炭井工开采动态监测系统在水害防治中的应用

3.1 实时风险预警与应急响应。多参数动态监测网络，在巷道、采空区等关键点位部署水位、水压、水温传感器，毫秒级采集水文数据并生成动态热力图，水位异常上升时自动触发四级预警（蓝→黄→橙→红）。某

矿应用研究院系统整合微震、电阻率等7类监测数据,实现突水风险提前15分钟预警。智能联动应急机制,红级预警自动启动排水系统并广播撤离指令,煤矿通过模拟90105工作面突水演练验证系统响应效能。

3.2 全域水文透明化管理。地质模型动态更新,融合物探数据与实时监测信息,构建亚米级精度三维地质模型,精准标注富水区与导水通道(如断层、陷落柱)。公司依托动态监测系统实现采空区积水边界智能分析,探放水误差降至0.5m内。“空天地”一体化监测,卫星遥感+无人机航拍月度覆盖矿区,识别地表渗漏与沉降隐患;井下光纤传感网络实时追踪含水层变化,形成立体防控体系。

3.3 监管合规与系统互联。全域数据联网管控,矿井涌水量、排水量等数据实时上传至企业及监管部门平台,安科高新院系统支持多级联网核查,杜绝探放水造假。数字孪生推演优化,构建“虚拟矿井”驾驶舱,模拟不同开采方案下的水害风险,辅助制定最优防治策略(如疏放孔布置方案)。技术演进方向:智能诊断升级→深度学习模型替代传统阈值报警,实现突水诱因自动溯源;“探-治-验”闭环→钻探机器人根据监测数据自动调整注浆参数,治理过程全程可追溯;区域协同防控→矿区群监测数据共享,构建跨矿含水层联动预警机制。

#### 4 煤炭井工开采排水设施完善措施

4.1 基础设施强化。排水系统扩容,水泵配置:矿井需配备工作、备用及检修三套水泵,工作水泵需在20小时内排完24小时正常涌水量,备用水泵能力 $\geq$ 工作水泵的70%。双管路冗余:敷设工作和备用两套排水管路,材质选用耐腐蚀球墨铸铁或不锈钢,总排水能力需匹配最大涌水量。水仓与沉淀池优化,主水仓容量需满足6-8小时正常涌水量存储需求,采区水仓容量 $\geq$ 4小时;增设井下沉淀池和清污分流系统,减少泥沙堵塞风险。

4.2 智能系统升级。实时监测与预警,部署水位、水压传感器生成动态热力图,水位异常触发“蓝→红”四级预警,联动应急排水;智能诊断平台分析设备电流、温度等参数,预测故障并自动调整运行策略。无人值守排水,应用远程控制系统,实现水泵启停、阀门切换自动化,减少人工干预;煤矿通过智能调度系统实现雨季涌水量预测精度超90%。

4.3 极端工况应对。防大汛设计,泵房选址需高于井底车场0.5m,采用钢筋混凝土结构抗渗抗震,并配备防水闸门;最大涌水量按正常值1.5-3倍设计排水能力。高可靠性保障,配电设备与水泵全负荷匹配,确保所有水泵可同步运行;关键设备(如泵房控制闸门)设置冗余

备份。

4.4 煤炭井工开采水害应急预案制定与演练。预案制定核心要素。风险精准识别,基于地质勘探与动态监测数据,标注富水区、导水断层及老空区范围,明确重点防控区域(如掘进面、采空区边界)。煤矿设定假想事故场景:掘进面遇断层裂隙出现“挂汗”“挂红”等透水预兆,针对性制定撤离路径。分级响应机制,四级预警体系:水位/涌水量异常时触发“蓝→黄→橙→红”预警(如红级自动启动排水系统+广播撤人)。煤矿暴雨预警后20分钟内完成井下全员撤离,联动地面防洪抢险。流程执行。分钟级响应:调度室接警→1分钟内启动语音广播+人员定位系统撤人;多组协同:技术组分析水源(如太平煤矿30秒判定“第四系含水层裂隙涌水”),抢险组安装排水设备(如王家岭煤业远程开启边界水仓排水);闭环验证:注浆后采用孔内雷达复测导水裂隙闭合度,合格率 $>95\%$ 。人员撤离规范,按避水灾路线标识撤退(榆树岭煤矿要求误差 $<0.5\text{m}$ );跟班队长清点人数,升井后比对定位系统防遗漏。合规与管理机制。

4.5 煤炭井工开采水害防治组织与管理措施。责任体系与机构建设,法定责任主体煤矿主要负责人为水害防治第一责任人,总工程师主管技术管理,需配备专业防治水机构及探放水队伍。水文地质复杂矿井必须设立专职防治水机构,定期修订5~10年中长期防治水规划及年度计划。专项管理组织,成立雨季“三防”(防洪、防排水、防雷电)领导小组,由矿长任组长,执行24小时值班及领导带班制(程庄煤矿模式)。隐患排查与闭环管理,分级排查机制,日常排查:执行“班前查设备、班中查运行、班后查隐患”三查制度(同发东周窑煤业实践);定期普查:每3年开展矿区及周边200m范围隐蔽致灾因素普查(老空水、断层等),复杂矿井每月、其他矿井每季度水害隐患排查。整改台账管理,建立隐患整改台账,限期闭环销号,重大隐患(A级)上报上级部门协同处置。预警响应与应急准备,四级预警联动,水位/涌水量异常触发“蓝→黄→橙→红”预警,红级自动启动排水系统并广播撤离指令;煤矿暴雨预警后20分钟内完成井下全员撤离。应急资源保障,专库储备防汛沙袋、潜水泵等抢险物资,定期强制检测确保可用;每年雨季前开展水害实战演练(如模拟工作面突水),验证预案可行性。培训与技术支撑,能力提升机制,常态化开展防治水理论培训与应急技能考核,推行“师徒传帮带”培养新人(同发东周窑模式);井下人员需熟悉避水灾路线(榆树岭煤矿要求路线标识误差 $<0.5\text{m}$ )。监管数据联网,涌水量、排水量等数据实时上传至企业及

政府监管平台，杜绝探放水造假；演练记录及整改清单联网备案，接受动态抽查。

### 5 煤炭井工开采水害防治实战演练与物资储备

5.1 实战演练关键环节。场景精准设计，极端天气响应：模拟暴雨致地表积水倒灌井口（如柴里煤矿演练47mm/h暴雨，井口挡水板截洪）；井下突水处置：演练掘进面遇断层涌水（水量 > 50m<sup>3</sup>/h），如矿业模拟-950轨道石门突水；多险情叠加：同步应对工作面突水+河道泄洪（煤矿处置70#架突水与泗河洪峰）。分钟级响应流程，调度室接警→1分钟内启动语音广播+人员定位系统撤人；多组协同作战：技术组30秒判定水源（如太平煤矿快速识别“第四系含水层裂隙涌水”）；抢险组15分钟完成伤员救援（煤矿实战演练）；远程操控边界水仓排水（煤业远程应急排水）。闭环演练验证，注浆后采用孔内雷达复测导水裂隙闭合度，合格率 > 95%；升井人员定位比对防遗漏，路线误差 < 0.5m。智能管理模式，物资二维码标签管理，扫码实时调取库存及位置（里彦煤矿“五到位”实践）；联合供应商建立“2小时应急配送圈”，保障物资补给时效。

5.2 演练成效优化。问题溯源改进，柴里煤矿演练后优化井口挡板安装流程，效率提升50%；煤业新增“闭墙涌水”处置模块，完善预案漏洞。技术赋能升级，AI预测涌水量精度超90%（程庄煤矿模型）；数字孪生平台推演透水路径（煤矿三维模拟）。

5.3 合规与监督机制。物资强制检测，雨季前完成水泵、开关等设备全负荷测试，淘汰不合格设备；演练数据联网，演练记录实时上传监管平台，整改台账闭环管理。

### 6 煤炭井工开采水害防治技术发展趋势

6.1 智能探测与预警技术升级。三维地质透明化，融

合GIS、物探数据与AI算法构建动态三维地质模型，精准标注富水区与导水通道（如断层、陷落柱）。某矿应用透明地质平台实现断层涌水量动态预测，指导工作面安全回采。多元感知网络与实时预警，部署5G+光纤传感网络，毫秒级采集水位、围岩应力等15类参数，生成水文动态热力图。安科高新院平台建立“蓝-黄-橙-红”四级智能预警，红级预警自动联动应急排水与人员撤离系统。

6.2 水害治理与资源化协同发展。矿井水“保-治-用-储”四位一体模式，研究院提出全生命周期管控：源头构建“地质盾牌”减少涌水，过程分质净化实现高盐回用，末端高盐尾水地质封存。目标从“减灾”转向“增益”，矿井水利用率需显著提升（国家八部门联合要求）。区域治理技术强化，顶板水推行“控制疏放+帷幕截流”，削减90%动态补给量；底板水采用地面/井下定向钻孔群注浆，消除导升异常带。

6.3 智能化装备与闭环管控。智能防治装备应用，注浆机器人自动匹配材料配比，定向钻机动态优化钻孔轨迹；ZDJ11多频电法仪实现电阻率三维实时成像，精度达微伏级。数字孪生与区块链赋能，构建矿井“数字孪生驾驶舱”，集成水文模型与应急预案三维推演；操作数据上链存证，自动生成合规报表（如《煤矿防治水细则》）。

总之，践行“煤水共赢”理念，通过智能探测→精准治理→资源化利用→数字闭环的技术迭代，实现安全、资源与生态的协同发展。

#### 参考文献

- [1]刘浩宇.煤炭井工开采过程中的水害防治技术分析.2022.
- [2]文慧园.关于煤炭井工开采过程中的水害防治技术探讨.2023.