

织建议值(1×10^{-5})的安全范围上限,长期接触需引起重视。整体上,水源地在当前状态下总体健康风险处于可控范围,但对特定人群及长期暴露条件需开展动态跟踪与分群评估。

4.3 敏感因子识别

为了进一步明确影响健康风险的主导因素,本文对已建立的风险评估模型进行了敏感性分析。通过逐一改变模型输入参数(如摄入量、体重、污染物浓度、暴露时间等)并观察其对HQ与CR值的变化幅度,识别出影响程度较大的变量。分析结果显示,污染物浓度和暴露时间对风险值变动最为显著,尤其是农业投入物密集区域中TN和铅浓度上升与HQ值呈高度正相关性。此外,儿童因单位体重摄入量,成为风险暴露的敏感人群,强化其防护尤为重要。

施肥强度、灌溉频率和土地利用结构也被识别为影响污染物来源与浓度变化的重要外部变量。模型模拟表明,如将区域年施肥总量减少25%,则TN与TP浓度可下降12%以上,相应HQ值下降幅度可达15%。因此,控制农业面源污染是降低健康风险的关键路径,同时表明实施综合性农业管理措施将显著提升水源地的安全水平。

5 风险控制与管理建议

5.1 农业面源污染控制

面源污染是引黄灌区水源污染的主要来源,尤其在施肥季节更为明显。为有效控制非点源污染,应加强农业面源治理的针对性与可操作性。首先,推广“测土配方施肥”技术,依据土壤性质、作物需求等因素精准调配施肥量,避免过量使用造成营养盐流失。其次,引导农户采用控释肥、滴灌、喷灌等节水控肥手段,减少化肥随地表径流进入水体的风险。同时,应提高绿色农业比例,鼓励使用有机肥、生物农药替代传统高污染物产品,从源头减少化学负荷。

针对渠道沿线高风险区域,可设置生态缓冲带与人工湿地系统,有效拦截和净化农业排水。研究表明,宽度在15米以上的缓冲带对氮磷去除率可达60%以上。此外,通过灌区轮作、休耕等手段减少土壤富营养化过程,也是面源治理的长期之计。管理层面,应加强对农事行为的监管,明确取水点500米范围内禁止施肥或喷药的生态红线,设立面源污染预警平台,定期通报关键区域水质波动,为控制措施及时调整提供支持。

5.2 水源地保护区划与监测机制

当前水源地保护机制尚存在区划模糊、监管主体多头等问题,亟须在法治化与制度化层面加以完善。建议依据《饮用水水源保护区划分技术规范》,明确饮用水源分为一级保护区、二级保护区及准保护区三个层次。一级保护区应实行

严格的农业和建设活动禁限政策,禁止任何形式的农事排污行为;二级保护区则采取控制性开发措施,加强水土保持与生态修复,防止潜在污染物侵入水源区。

在此基础上,构建实时监测与应急响应机制。通过布设在线监测点,对TP、TN、铅、砷、氨氮等敏感因子进行24小时动态监控,结合气象、水文及农业活动数据建立风险预警模型,实现水质异常预判与快速干预。此外,鼓励地方政府引入第三方环保机构参与水源地监测,提高数据透明度与公众信任度。建议在政策支持下建设多层次监测平台,实现“点面结合、线上线下协同”管理格局,从而构建起覆盖广泛、响应及时的饮水安全保障体系。

6 结语

通过对引黄灌区典型饮用水水源地的实地采样与多指标评估,本文较为系统地揭示了该区域水质的基本状况及潜在健康风险。从检测结果来看,水体总体处于良好状态,但营养盐超标现象依旧存在,尤其在渠道中下游区域较为突出。尽管重金属污染未超出标准限值,但部分点位的铅、砷接近阈值,需加强动态监测与累积风险评估。基于WQI和健康风险模型的综合判断,居民饮水风险整体可控,但儿童等敏感人群仍需特别关注。

研究指出,农业面源污染与水质风险密切相关,控制施肥总量、优化农事安排、构建生态阻隔系统是降低风险的有效措施。建议从制度上健全水源地分级保护机制,完善实时监控系统与应急响应机制,实现由被动治理向主动预警转型。

未来工作应进一步拓展数据采样范围,提升模型精度,结合水文动力学模型与遥感技术,动态模拟污染迁移路径与水质变化趋势。同时,建议开展多学科交叉研究,将环境科学与社会经济行为联动分析,推动形成区域可持续水资源管理的新范式。

参考文献

- [1] 陈锦标. 晋江流域水资源的可持续利用和管理机制的研究[D]. 华侨大学, 2000.
- [2] 王海成. 西安市水资源开发利用潜力分析[D]. 西安理工大学, 2002.
- [3] 齐学斌, 刘景祥. 国外水资源可持续利用发展动态浅析[J]. 西北水资源与水工程, 2001, (04): 40-43.
- [4] 罗辉. 山东省水资源优化配置与南水北调东线工程研究[D]. 合肥工业大学, 2003.
- [5] 王菊翠. 关中地区水资源对可持续发展的支持能力研究[D]. 西北大学, 2003.

Study on the management of water disasters in coal seam fire areas and old voids

Dianqing Li

Kexin Coal Industry Co., LTD., Kuqa City, Aksu Region, Kuqa, Xinjiang, 842000, China

Abstract

In multi-coal seam mining areas, the development of high-temperature fractures in fire zones and the dynamic replenishment of water accumulation in old workings overlap, leading to a composite water hazard threat characterized by hydraulic connectivity between layers. This paper reveals that the mechanical properties of rock layers in fire zones deteriorate and interact with the static and dynamic reserves in old workings, which are the primary causes of water hazards. Based on this, a coordinated governance system of 'exploration-monitoring-source control-blocking channels-drainage and reduction' is proposed. This system uses a three-dimensional monitoring network to identify risk zones and combines curtain interception with high-temperature grouting to provide a solution with dynamic early warning capabilities and engineering features for mining areas facing composite water hazards.

Keywords

multiple coal seams; fire zone; old empty area; compound water hazard; water hazard control

多煤层火烧区及老空区复合水患治理研究

李电卿

库车市科兴煤炭实业有限责任公司, 中国·新疆 库车 842000

摘要

多煤层矿区存在火烧区高温裂隙发育与老空区积水动态补给相互叠加的情况, 由此便形成了层间有着水力联通特点的复合水患威胁。本文揭示出火烧区岩层力学性质出现劣化, 并且和老空区静储量产生交互作用, 这一系列情况正是水害形成的主要原因所在。基于此提出了一套“探查-监测-控源-堵通道-疏降”协同治理体系, 在这套体系下凭借构建起来的立体化监测网络来对风险分区加以识别, 同时将帷幕截流与高温注浆的方式相结合, 为面临复合水患的矿区提供了具备动态预警功能以及工程化特点的解决方案。

关键词

多煤层; 火烧区; 老空区; 复合水患; 水害治理

1 引言

新疆多煤层矿区普遍存在大面积煤田火烧区, 其下部因长期开采而形成老空区积水区, 再加上高温作用造就的发达裂隙网络, 二者通过垂向或者侧向的裂隙有了水力联系, 于是独特的火烧区-老空区复合水患便形成了。这种复合水患具体表现为: 火烧区自身出现积水或者水气共存的情况, 高温和地层运动产生的裂隙成了采掘工作面突水的天然通道, 同时还会通过裂隙网络对老空区的积水进行动态补给, 进而形成导水通道激活与水压传递叠加的复杂态势, 给矿山的安全生产带来严重威胁。本文以构建一个技术体系为目标, 此技术体系要能覆盖水患形成机理的探查、多源协同的防控以及风险的动态管理等方面, 从而为那些存在火烧区与

老空区共存隐患的矿区提供系统性的治理路径, 进而保障资源能够安全且高效地开采

2 多煤层火烧区及老空区复合水患形成机理

2.1 火烧区形成特征及水文地质特性

植物遗体经复杂的生物化学作用、地质作用转变而成的层状固体可燃矿产, 它赋存于含煤岩系之中, 位于顶底板岩石之间。火烧区形成于煤层自燃引发的强烈高温环境, 温度持续升高促进岩石结构内部的广泛裂隙发育, 裂隙在深度和方向上呈现出不规则的扩展特性, 显著改变了区域水文地质行为。高温作用下岩石经历物理力学性质转变, 包括强度弱化和结构疏松化, 该过程导致岩层渗透性增强并伴随着孔隙率的微妙调整, 为水循环机制引入新的变量。同时导水储水空间趋于复杂, 裂隙网络的连通性差异和孔隙结构的多样性共同构成了非均质的水迁移路径, 空间布局呈现出多尺度特征使得水流动态充满不确定性, 岩石在高温后遗留的变形

【作者简介】李电卿(1981-), 男, 中国河南登封人, 本科, 工程师, 从事煤矿水患治理研究。

痕迹进一步加剧了储水能力的波动。新疆煤田火烧区往往规模大、埋藏相对较浅，在强烈蒸发作用与不规则裂隙网络共同作用下，其水文行为呈现出复杂的气-水两相流特征。对于火烧区而言，高温裂隙不但是良好的导水通道，而且有可能成为储水空间，也就是火烧区积水所在之处，它和下部老空区的水力联系堪称复合水害的核心所在。

2.2 老空区积水特征与动态补给规律

老空区积水的形成与赋存状态展现出复杂且极具区域特色的水文地质特征，其积水量估算往往依赖对采掘空间三维几何形态的精细复原以及岩层垮落带与裂隙带导水性能的实地探查。隐藏在煤层下方的水体体积庞大，这些水的物理化学性质通常表现出明显的差异性和空间分异。静储量表征采空空间内长期稳定储存、基本不受外部动态水文条件直接干扰的那部分地下水体，它们长期滞留于封闭或半封闭的腔室单元。动储量则揭示了积水的活动属性，对应着受外围含水层周期性越流补给或季节性强降水通过地表裂缝、塌陷坑、封闭不良钻孔等隐蔽通道缓慢下渗形成的水量，这部分水流路径曲折、补给速率呈现出显著的随机性与滞后性。水源补给主要受控于上覆含水岩组的越流、侧向相邻富水地质

体的渗流、地表水系沿导水裂隙的渗透以及大气降水的垂直入渗共同作用，其补给强度、频率深受区域气候特征、地层结构完整性及人工扰动程度三重因素叠加影响，构成了一个耦合地质构造、自然气候及历史开采活动的动态系统。

2.3 多煤层开采扰动下复合水患形成机理

火烧区作为高温烘烤形成的强导水含水层，其裂隙网络在向斜轴部及冲沟地貌控制下构成区域性储水构造，赋存大量静储量地下水。煤层群开采过程中覆岩导水裂隙带的动态发育构成关键导水通道，当裂采比达到 16.7 倍时，采动裂隙可贯通火烧区含水层与下部采空区空间。值得注意的是，火烧区积水通过侧向裂隙或断层破碎带持续补给采空区积水，水化学特征分析明确显示矿井涌水中 $Cl^- \cdot SO_4^{2-} - Na$ 型离子组合与火烧区含水层高度一致，证实火烧区为老空区的主要补给源。开采扰动进一步活化隐伏断层，形成集中径流通道，加速火烧区水体向采空区转移，而向斜构造的储水特性使轴部区域水压持续维持高位，加剧了水体沿采动裂隙网络的渗流效应。这种地质-采动耦合机制导致火烧区静储量水体在开采扰动下转化为动态补给源，形成持续性的复合水患威胁。

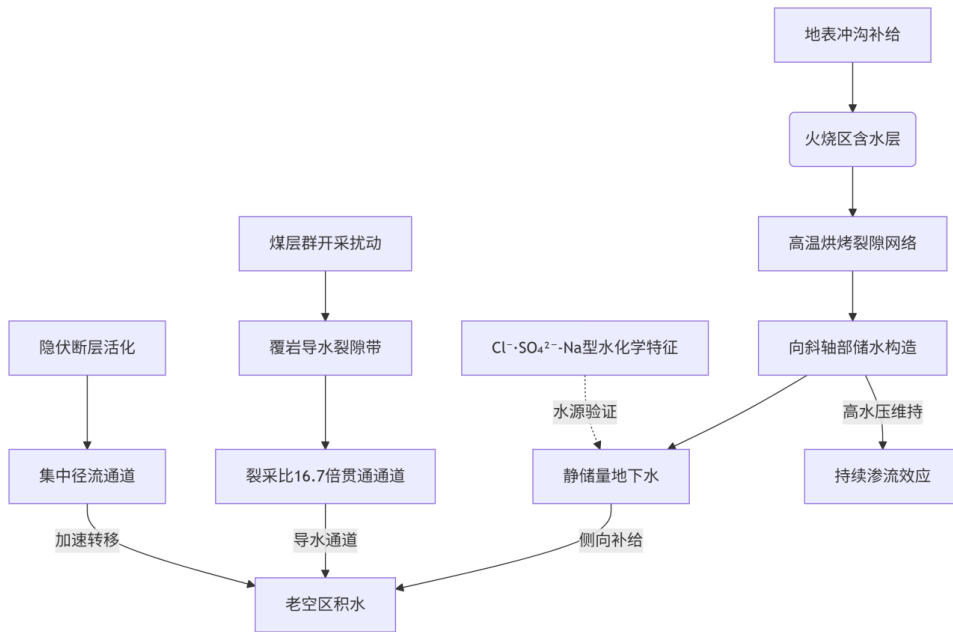


图1 多煤层开采扰动下火烧区-老空区水动力关系示意图

3 多煤层火烧区及老空区复合水患综合治理技术体系

3.1 精细探查与立体化监测技术

精细探查与立体化监测技术的应用始于高精度地球物理勘探手段，该技术运用地震波反射特性差异与电磁场响应规律精准圈定火烧区边界及老空区的隐蔽位置细节，揭示岩层中隐伏裂隙与富水异常的空间展布形态。地球物理勘探成果随后接受钻探工程的实地核实验证，岩芯样品直接呈现地层结构特征同时埋设水文监测设备构建孔内观察窗口，钻孔

过程中同步记录地层渗透性变化及水位动态数据，使得二维推测模型转化为具有深度坐标的实际地质信息。持续运行的水文长观测孔网络不间断采集水位埋深、孔隙水压力与水化学组分时序数据，这些细微变化忠实反映复合水害系统中补给排泄关系与水力联系的动态调整。微震监测阵列布置则灵敏捕捉岩层应力调整诱发的声发射信号，结合分布式光纤测温系统刻画的温度场演变特征以及地应力传感器捕捉的岩体变形前兆信息，三项参数在时间与空间维度形成互补验证关系，共同构筑对地质体稳定性变化的立体感知体系，其异