西北侏罗系中厚直罗组砂岩含水层治理工程在采煤工作面中的应用及分析

罗成云

中铝宁夏王洼煤业有限公司　宁夏　固原　756500

摘　要：本文聚焦于西北侏罗系中厚直罗组砂岩含水层治理工程在采煤工作面中的应用。深入阐述该含水层基本特征及其对采煤工作的影响，详细介绍注浆堵水、疏水降压等治理技术方法，结合大量精准数据与真实案例，细致分析这些技术在采煤工作面中的具体应用效果。探讨应用过程中的问题及针对性解决措施，总结治理工程在保障采煤安全、提高采煤效率、降低环境影响等方面的重要作用，为类似地质条件下的采煤工作提供全面且实用的参考和借鉴。

关键词：西北侏罗系；直罗组砂岩含水层；治理工程；采煤工作面；应用分析

1 引言

煤炭作为我国重要的能源资源，在我国能源结构中占据主导地位。西北地区是我国重要的煤炭产区，拥有丰富的煤炭储量。然而，在煤炭开采过程中，常常会遇到各种复杂的地质条件，其中含水层的存在给采煤工作带来了诸多挑战。侏罗系中厚直罗组砂岩含水层是西北地区常见的含水层之一，其具有含水丰富、水压较大等特点，在采煤过程中容易引发突水事故，不仅威胁到矿井的安全生产，还会造成水资源的浪费和环境的破坏。因此，开展对西北侏罗系中厚直罗组砂岩含水层治理工程在采煤工作面中的应用研究具有重要的现实意义。

2 西北侏罗系中厚直罗组砂岩含水层特征

2.1 地质构造与分布

西北地质构造复杂，侏罗系地层历经多次构造运动，形成丰富褶皱、断层[1]。直罗组砂岩含水层分布广泛，如西北地区鄂尔多斯盆地宁东煤田全区覆盖，更甚者宁夏南部王洼矿区煤系地层全区上覆直罗组砂岩含水层。其厚度和含水性因地区而异，王洼矿区近南北走向、落差近150-200米的F2断层附近，单位涌水量达8L/(s·m)，远离断层的非构造复杂区域，单位涌水量一般在0.01-1.2L/(s·m)。

2.2 岩性特征

直罗组砂岩以中粗粒砂岩为主，颗粒分选性好，磨圆度中等。宁夏宁东煤田某矿井检测显示，砂岩孔隙度18%-22%，渗透率300-800mD，利于地下水储存和运移。砂岩中含黏土矿物，如伊利石、蒙脱石等。王洼xx煤矿直罗组砂岩蒙脱石含量达6%，水位下降10米时，孔隙度从20%降至17%，渗透率从500mD降至350mD，影响地下水流动。

2.3 水文地质特征

直罗组砂岩含水层水位高、水压大。宁夏南部中铝宁夏能源集团所辖王洼xx矿实测，含水层水位标高约+1260m，110505采煤工作面标高在+1150m以下，水压达1.5MPa。其补给源为大气降水和地表水入渗，山区地下水通过基岩裂隙补给，平原地区河流与含水层有水力联系。排泄方式有人工开采、泉水溢出和向下游径流等。

2.4 对采煤工作的影响

采煤时，直罗组砂岩含水层带来诸多问题。突水事故威胁大，2018年陕西韩城某煤矿开采时突水，最大突水量3000m^3/h，淹没两个工作面，5人死亡，损失超8000万元。含水层增加矿井排水量及成本，该煤矿每立方米水排水成本约6元，日排水量10000m^3，年排水成本2190万元。大量排水还致地下水位下降，引发地面沉降、土地沙漠化等环境问题，破坏周边生态。

3 含水层治理工程技术方法

3.1 注浆堵水技术

3.1.1 原理

注浆堵水技术借助注浆设备将胶凝性浆液注入含水层裂隙或孔隙，浆液在压力下扩散、凝固成不透水帷幕，阻断地下水流动通道[2]。其作用机理有填充、渗透和劈裂作用：填充是浆液堵大裂隙；渗透是降低砂岩孔隙连通性；劈裂是在高压下使岩层生新裂隙并注入浆液形成加固带。

3.1.2 浆液材料选择

常用注浆浆液材料有水泥浆、化学浆。水泥浆来源广、价低、强度高，但凝固时间长、可注性差，普通硅酸盐水泥初凝不小于45min，终凝不大于600min，加适量减水剂和膨润土可提高可注性，如山西大同某煤矿加0.5%萘系减水剂和10%膨润土，降低水泥浆黏度，提高流动性。化学浆凝固时间可调、可注性好，但价高且部分有毒，常用有脲醛树脂、丙烯酰胺浆液等。脲醛树脂浆液凝固时间可调，适用于急需堵水；丙烯酰胺浆液黏度低、可注性强。甘肃华亭某煤矿对裂隙小、富水性弱区域用脲醛树脂浆液，调固化剂比例控制凝固时间约30min，堵水效果好。

3.1.3 注浆工艺

注浆工艺含钻孔布置、注浆压力控制、注浆量计算等。钻孔布置依含水层分布和裂隙发育情况定，常用扇形或网格状，如宁夏灵武某煤矿在采煤工作面前方35m处，以10m间距布置钻孔，孔深入含水层底板以下4m。注浆压力依含水层水压和岩层力学性质定，要比含水层水压高0.5-1MPa，该工程含水层水压2.8MPa，注浆压力控制在3.3-3.8MPa。注浆量依含水层体积和裂隙率计算，考虑浆液损失率，公式为Q = A・V・n・β，陕西彬长某煤矿依公式算出注浆量975m^3，实际依吸浆情况调整为1000m^3。

3.2 疏水降压技术

3.2.1 原理

疏水降压技术是通过钻孔将含水层中的地下水抽出，降低含水层的水位和水压，从而减少采煤工作面突水的危险性。同时，疏出的地下水还可以进行综合利用，如用于矿井生产用水、绿化灌溉等。根据达西定律，地下水的流量与水力梯度成正比，通过增加排水量，可以降低地下水位，从而减小水压。

3.2.2 疏水钻孔布置

疏水钻孔的布置应根据含水层的分布和采煤工作面的推进方向确定。一般来说，在采煤工作面前方一定距离布置疏水钻孔，形成疏水降压带[3]。在内蒙古鄂尔多斯某煤矿的治理工程中，在采煤工作面前方60m处布置疏水钻孔，钻孔间距为20m，孔深进入含水层中部。钻孔的直径一般为108-159mm，以保证足够的排水能力。该工程中采用直径为150mm的无缝钢管作为钻孔套管，其耐压强度高，不易损坏。

3.2.3 排水系统建设

为了及时将疏出的地下水排出矿井，需要建设完善的排水系统。排水系统包括排水管道、水泵、水仓等设施。排水管道应选择合适的管径和材质，以保证排水畅通。在该工程中，采用直径为250mm的玻璃钢管作为排水管道，其耐腐蚀性强，使用寿命长。水泵应根据排水量和扬程选择合适的型号和数量。根据计算，该煤矿的最大涌水量为4000m^3/d，扬程为250m，因此选用了2台流量为1000m^3/d、扬程为300m的离心式水泵，一用一备。水仓应具有足够的容积，以储存疏出的地下水。水仓的容积应根据矿井的最大涌水量和排水系统的排水能力确定，在该工程中，水仓的容积设计为3000m^3。

3.3 联合治理技术

在实际工程中，单一的治理技术往往难以达到理想的治理效果，因此常采用注浆堵水与疏水降压相结合的联合治理技术。联合治理技术可以充分发挥两种技术的优势，先通过疏水降压降低含水层的水压，减少注浆时的压力，提高注浆效果；然后再通过注浆堵水封堵含水层的裂隙，进一步降低突水的危险性。

4 治理工程在采煤工作面中的应用案例分析

4.1 矿井概况

王洼煤矿位于彭阳县东部，采用斜井多水平开拓方式，目前开采5号煤层。110504工作面采用综放开采工艺，受顶板砂岩水害影响严重，需在采前进行综合治理。王洼煤矿地下水流系统受“平凉—彭阳岩溶水流系统”和“六盘山—马石头山碎屑岩水流系统”双重影响，位于两系统交界处，水文地质条件复杂。

4.2 矿井充水水源及水害类型分析

4.2.1 充水水源分类

直接充水水源：煤层顶板含水层水。

间接充水水源：大气降水、地表水、老窑及采空区积水。

4.2.2 水害类型

大气降水：作为矿区地表水及地下水的直接补给来源，对存在地裂缝及井口标高低的矿井威胁较大。

老窑及采空区积水：隐蔽致灾因素，水量大、来势猛，常含有害气体，易造成群死群伤事故。

煤层顶板水：细分为地表水害、原生冲刷带水害、煤层顶板含水层水害及离层水害。

4.3 顶板弱胶结砂岩特征

4.3.1 分布情况

平面分布：弱胶结砂岩主要分布在110504工作面切眼及一分层切眼附近，流砂区和富水富砂区集中在一分层切眼。

纵向分布：流砂区和富水富砂区主要分布在延安组底部紧邻煤层顶板。

4.3.2 特征分析

弱胶结砂岩以粉细砂岩为主，胶结程度低，孔隙率高，含水量大，钻探揭露时易出现流砂现象。

4.4 顶板水害防治技术及应用

（1）物探：采用井下瞬变电磁和直流电法探测工作面内水文地质条件，评价岩层富水性，圈定相对富水区。

（2）放水试验：在110504工作面运输巷反掘处开展井下多孔联合放水试验，获取水文地质参数，为防治水工作提供基础数据。试验表明含水层由弱富水性提升至强富水性。

（3）探放水：针对延安组和直罗组含水层，设计探放水孔，主要布设在标高较低的运输顺槽一侧，以达到疏水降压效果。计划布置50个钻场，进行完全疏放。

（4）注浆：①切眼弱胶结流砂体注浆：采用水泥浆进行注浆加固，先施工高位钻孔，再施工低位钻孔，根据现场情况调整注浆压力。②工作面弱胶结流砂体注浆：通过试验性注浆孔分析可注性，采用劈裂-压密模式注浆，改善加固强度。③工作面淋水注浆：针对疏放水钻孔扰动地层产生的裂隙，采用深、浅钻孔并举对含水

层实施注浆，切断涌水通道。

5 应用过程中存在的问题及解决措施

5.1 注浆效果不理想

5.1.1 问题表现

在注浆过程中，部分钻孔出现吸浆量小、注浆压力上升快等现象，导致注浆效果不理想，无法形成有效的堵水帷幕。例如，在某钻孔注浆过程中，初始吸浆量较大，但注浆一段时间后，吸浆量迅速减小，注浆压力在短时间内上升至4MPa以上，超过了设计注浆压力。

5.1.2 原因分析

造成注浆效果不理想的原因主要有以下几个方面：一是含水层裂隙发育不均匀，部分区域裂隙较小，浆液难以注入；二是注浆浆液的配比不合理，流动性差，可注性不足；三是注浆压力控制不当，压力过大导致岩层破裂，浆液流失。

5.1.3 解决措施

针对以上问题，采取以下解决措施：一是对含水层进行详细的勘探，了解裂隙发育情况，根据裂隙的大小和分布调整钻孔布置和注浆参数。对于裂隙较小的区域，增加钻孔密度，减小钻孔间距；二是优化注浆浆液的配比，选择合适的添加剂，提高浆液的流动性和可注性。在水泥浆中加入适量的减水剂和膨润土，将水泥浆的黏度降低至20-30s（马氏漏斗黏度）；三是严格控制注浆压力，根据岩层的力学性质和水压情况，合理调整注浆压力，避免压力过大导致岩层破裂[4]。在注浆过程中，实时监测注浆压力和吸浆量的变化，当压力上升过快时，及时降低注浆压力或停止注浆。

5.2 疏水钻孔堵塞

5.2.1 问题表现

在疏水过程中，部分疏水钻孔出现堵塞现象，导致排水量减少，疏水效果下降。例如，某疏水钻孔在运行一段时间后，排水量从原来的100m^3/h降至20m^3/h，经检查发现钻孔内沉淀了大量的泥沙和杂质。

5.2.2 原因分析

疏水钻孔堵塞的原因主要有：一是钻孔内沉淀了大量的泥沙和杂质，堵塞了排水通道；二是钻孔周围的岩层在水流冲刷作用下发生坍塌，堵塞了钻孔；三是抽水设备的故障导致排水不畅，引起钻孔堵塞。

5.2.3 解决措施

为解决疏水钻孔堵塞问题，采取以下措施：一是定期对疏水钻孔进行清洗，采用高压水枪或空气压缩机清除钻孔内的泥沙和杂质。每周对疏水钻孔进行一次清洗，确保排水畅通；二是在钻孔内安装过滤装置，防止泥沙和杂质进入钻孔。过滤装置采用不锈钢网制作，网孔直径为5mm；三是加强对抽水设备的维护和管理，定期检查设备的运行情况，及时排除故障，确保排水畅通。每天对抽水设备进行一次检查，每月进行一次全面维护。

结语

本文聚焦西北侏罗系中厚直罗组砂岩含水层，分析其特征后介绍了注浆堵水、疏水降压等治理工程技术方法，结合案例表明联合治理技术可有效降低水压、减少突水危险，保障采煤安全高效且降低环境影响，效益显著，但应用中存在注浆效果不佳等问题，需优化方案、加强管理。展望未来，随着煤炭开采技术发展，应探索更高效环保经济的治理技术，加强含水层动态监测研究，建立精准预测模型，注重治理工程与其他采煤技术协同，推动煤炭行业可持续发展。

参考文献

[1]霍高普,薛喜成,武超,等.彬长矿区直罗组砂岩含水层孔隙结构及分形特征研究[J].煤矿安全,2023,54(02):189-194.

[2]高志虎.直罗组粗砂岩含水层下煤层开采的防治技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2021,(15):10-12.

[3]吕扬,秦天天,任帅峰,等.榆神矿区直罗组砂岩含水层保护与水害防治研究[J].陕西煤炭,2025,44(04):61-66.

[4]吕扬,秦天天,任帅峰,等.榆神矿区直罗组砂岩含水层保护与水害防治研究[J].陕西煤炭,2025,44(04):61-66.