

矿井工作面底板水害综合防治技术

李 兵

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2025年6月2日; 录用日期: 2025年6月29日; 发布日期: 2025年7月17日

摘 要

唐家会煤矿主采6煤层工作面底板存在导水断层数量多、隐伏导水构造发育显著以及奥陶系灰岩含水层水害防治难度大等问题。为消除61305工作面底板奥灰水威胁, 依据实际地质与水文地质条件, 制定了“井下物探超前探查、井下钻孔综合注浆治理、底板注浆效果音频电透视二次检测”的综合技术路线。通过整合多源静态、动态及实时数据, 实现地质要素与钻探物探数据的可视化、透明化。建立了煤层底板水害全时空防治体系, 在带压开采条件下实现了水害的精细探查、靶向治理、效果验证, 实际应用成效显著。

关键词

煤层底板水害, 物探超前探查, 综合注浆治理, 全时空防治, 注浆效果检测

Comprehensive Prevention and Control Technology of Floor Water Disaster in Mine Working Face

Bing Li

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Jun. 2nd, 2025; accepted: Jun. 29th, 2025; published: Jul. 17th, 2025

Abstract

There are many problems in the floor of the working face of the main mining 6 coal seam in Tangjiahui Coal Mine, such as the large number of water-conducting faults, the significant development of hidden water-conducting structures and the difficulty in preventing and controlling water disasters in the Ordovician limestone aquifer. In order to eliminate the threat of Ordovician limestone water in the floor of 61305 working face, according to the actual geological and hydrogeological conditions,

a comprehensive technical route of “advanced exploration of underground geophysical prospecting, comprehensive grouting treatment of underground boreholes, and secondary detection of audio electric perspective of floor grouting effect” was formulated. By integrating multi-source static, dynamic and real-time data, the visualization and transparency of geological elements and drilling geophysical data are realized. A full-time and space-time prevention and control system for water damage on the coal seam floor has been established. Under the condition of mining under pressure, the fine exploration, targeted treatment and effect verification of water damage are realized, and the practical application effect is remarkable.

Keywords

Coal Seam Floor Water Disaster, Geophysical Advanced Exploration, Comprehensive Grouting Treatment, Full Time and Space Prevention and Control, Grouting Effect Detection

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

华北型煤田主要为石炭 - 二叠纪煤系地层, 煤层深部开采普遍受到底板承压含水层突水的威胁[1]。近年来, 随着开采规模与深度的逐渐增加, 许多煤矿正在向深部煤层开采阶段, 面临着复杂的地质与水文地质条件, 导致底板突水问题日益严重, 其中以奥灰水害最为复杂、威胁最大[2][3]。围绕煤层底板水害的防治, 国内专家学者开展了大量研究与实践, 积累了丰富的学术成果。董书宁等[4]-[6]针对华北型煤田深部煤层开采, 提出了奥灰岩溶水害超前主动、区域治理、全面改造的区域超前治理理念。刘再斌等[7]提出基于时空信息融合的矿井底板水害“透明化防治体系”, 以动态更新的透明地质模型为核心载体, 实现煤层底板水害防治全流程(超前预测、隐患探查、灾害治理、实时监测)的智能化闭环治理模式。蒋向明等[8]根据研究区地质、水文地质条件, 提出了探、注、验一体化的底板水害的综合治理思路, 通过迭代指数法进行评价。与此同时, 微震监测[9][10]通过监测底板岩石破裂及扰动情况, 为矿井突水提供了潜在的预警可能性, 保证了工作面的安全开采。

唐家会煤矿位于准格尔煤田, 是该煤田范围内开采深度最深、承受水压最大的矿井。该矿重点开采的 6 号煤层底板正遭受奥灰岩溶水害的威胁, 并且矿区地质与水文地质状况极为复杂。目前, 针对该矿区奥灰水害的有效防治体系仍未健全。同时, 常规的井下排水疏干法等被动治理方法, 在深部高水压条件下, 面临技术难度大、成本高昂且难以有效降低奥灰水水压、无法解决垂向导水通道等挑战, 已无法满足矿井安全高效回采的需求。鉴于此, 矿方规划了“物探超前探查、采前钻孔综合探查治理、治后效果音频电透视检测”的综合性技术方案, 给矿井奥灰水害防治工作提供科学依据。

2. 研究区概况

2.1. 井田位置与构造背景

唐家会井田位于内蒙古自治区准格尔煤田东孔兑普查区的西南部, 行政区划隶属准格尔旗大路镇管辖。61305 工作面位于矿井一盘区南翼中部, 是继 61302、61303 和 61304 工作面之后的第四个回采工作面。区域构造形态整体为单斜构造, 地层走向近西北(NW), 倾向西南(SW), 倾角约 5° ~ 15° 。局部发育次级褶曲, 表现为宽缓的背斜和向斜。

2.2. 工作面地质条件

61305 工作面主采 6 号煤层,煤层平均厚度约 14.4 m,结构较简单。整体构造形态为走向近西北、倾向西南、倾角 $3^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 的单斜构造,局部发育宽缓褶曲,致使地层产状发生一定变化,增加了构造的复杂性。工作面内及邻近区域地质构造发育,以断层为主导,是底板水害的主要威胁。

根据巷道揭露、钻探资料及物探成果综合分析,工作面内断层发育较密集,构造特征明确,累计揭露断层 16 条,以正断层为主导(占比 87.5%,共 14 条),逆断层仅 2 条;断层落差介于 0.3~10 m,其中 3 条中型断层(DF23、DF30、DF31)落差大于 5 m,最大达 10 m。这些主控断层延伸长度约 360 m,断错层位自 4 煤层贯穿至奥陶系灰岩顶界,且与工作面推进方向呈斜交,空间分布具非均一性,在运输顺槽邻近切眼区段相对集中。现阶段探查表明,断层带钻探未发现涌水异常或导水迹象,判定为不导水断层。

2.3. 工作面水文地质条件

工作面回采期间主要充水水源为顶板砂岩裂隙水、底板砂岩裂隙水和底板奥灰水,其中顶板砂岩裂隙水、底板砂岩裂隙水为直接充水水源;奥灰水因其高水压,是潜在的、威胁最大的间接充水水源,构成底板突水的根本风险源。具体分述如下:

(1) 顶板(4~6 煤)砂岩水

主要由 4、6 煤层间中、细砂岩组成,厚度 3.65~70.01 m,厚度分布不均,钻孔单位涌水量 $q = 0.0023\sim 0.091\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,渗透系数 $K = 0.0014\sim 0.081\text{ m}/\text{d}$ 。富水性弱。砂岩裂隙发育不均一,富水性受砂岩厚度、裂隙发育程度及边界条件控制,局部岩层裂隙发育地段及断层影响带附近可能相对富水。

(2) 底板砂岩水

底板含水层细砂岩和粗砂岩为主,底板采动扰动范围内砂岩厚度 4.6~9.4 m,平均 7.1 m。根据水文地质补勘资料,底板砂岩含水层单位涌水量 $q = 0.006\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,渗透系数 $K = 0.0026\text{ m}/\text{d}$ (T18 孔),富水性弱。底板钻探发现,整体富水性弱,易于疏干,补给条件差。

(3) 底板奥灰水

底板奥陶系灰岩岩溶裂隙含水层是工作面水害的根本威胁源。该含水层富水性弱~中等(单位涌水量 $q = 0.007825\sim 0.6095\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,渗透系数 $K = 0.0464\sim 3.1327\text{ m}/\text{d}$),区域补给条件相对一般,且赋存于深部环境中。工作面底板距奥灰含水层顶界面的距离为 40.1~60.4 m (平均 49.8 m),其间主要由砂、泥岩构成(泥岩占比约 60%)的隔水层,并在奥陶系灰岩与太原组之间发育一层稳定的铝土质泥岩,整体隔水性能较好。结合现场勘探工作面附近断层整体落差较小且未发现导水性,正常情况下对回采无显著影响。

3. 煤层底板水害防治路线

为有效探查并治理 61305 工作面底板水害隐患,唐家会煤矿系统开展了底板超前钻探探查工程、井下综合物探、物探异常区探查治理及底板注浆效果检测等防治水工程。

3.1. 水害超前钻探探查工程

为探查工作面范围内 6 煤底板下 35~45 m 段构造发育及水文情况,封堵导水通道,达到工作面安全回采的目的。在工作面掘进前进行了工作面底板定向顺层钻孔探查治理,孔间距 20~40 m,共设计施工底板定向顺层钻孔 8 组/51 个。注浆工艺采用“先稀后浓、逐级调浆”的动态控制策略,终压阶段水灰比控制在 0.75:1,以水泥-粉煤灰浆液为主,实施地面中压大流量灌注(终压 6 MPa,流量 5~20 m^3/h)封堵主通道,辅以井下水泥浆高压劈裂(终压 9 MPa)加固微裂隙。针对施工中单孔涌水量 $> 20\text{ m}^3/\text{h}$ 的异常孔段,执行“即钻即注”原则,起钻后立即注浆封堵,最终实现对 6 煤层底板的探查治理全覆盖。61305 工作面

煤底板含水层整体富水性较小,个别钻孔涌水量较大,富水性不均一。表现为工作面辅运顺槽靠近切眼区域底板砂岩含水层富水性较强,局部岩层裂隙较发育。 Cl^- 含量除接近奥灰的钻孔含量高外,其他钻孔 Cl^- 含量与奥灰水有明显区别。通过底板顺层定向钻孔对工作面底板隐伏的垂直导水通道进行探查与注浆封堵加固,增强了 6 煤底板隔水层隔绝奥灰水的作用,且形成有效隔水层。钻孔布置和施工情况如图 1 所示。

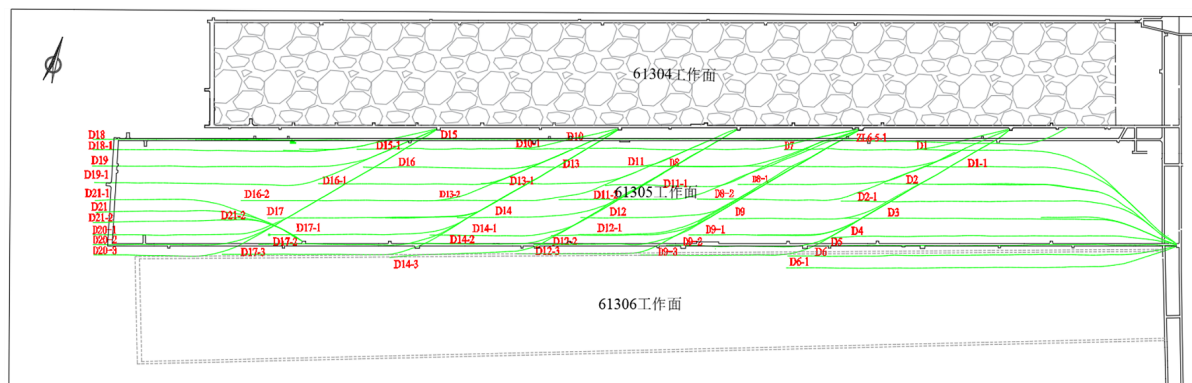


Figure 1. Working face floor bedding drilling construction plan

图 1. 工作面底板顺层钻孔施工平面图

3.2. 井下综合物探

本次综合物探利用槽波共解释了 2 处煤层构造异常区, 利用滑行波解释了 4 处底板构造异常区, 利用音频电透视解释了底板 1 处富水异常区(YPYC1), 未发现工作面内落差大于 1/2 煤厚的断层, 底板构造异常区 DBYC1 与底板富水异常区 YPYC1 在平面及深度位置上基本一致, 煤层构造异常区 MCYC2 与底板构造异常区 DBYC4 在平面位置上基本一致。物探异常区如图 2 所示。

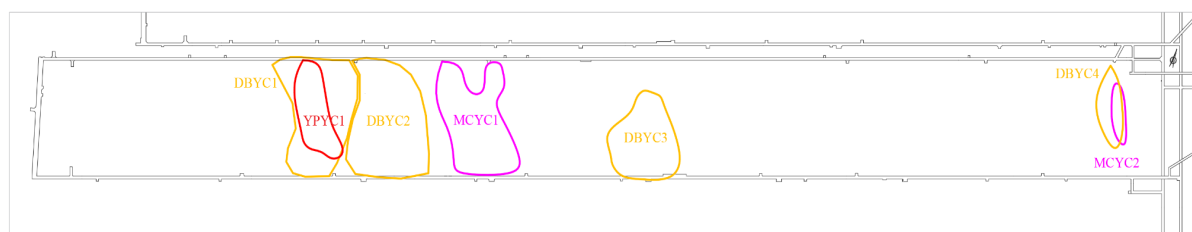


Figure 2. Comprehensive geophysical exploration results

图 2. 综合物探探测成果

3.3. 物探异常区探查与治理

对工作面物探圈定的异常区进行钻探探查并进行注浆加固。探查验证孔平孔终孔层位位于 6 煤内，下行孔终孔层位位于 6 煤底板 40 m 以下，个别钻孔进入奥灰层位。井下综合物探异常区探查治理钻孔共 76 个，其中，终孔涌水量大于 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 的钻孔 10 个。注浆工艺采用“先稀后浓、逐级调浆”动态控制策略，执行下行式孔口封闭静压注浆法。注浆材料为 P.O42.5 普通硅酸盐水泥，设计终压 6~8 MPa，通过高压预注浆技术加固目标层位。注浆效果控制执行严格标准：钻孔施工中若单孔涌水量 $>10 \text{ m}^3/\text{h}$ ，注浆后需扫孔复钻并重复注浆流程，直至涌水量稳定 $<1 \text{ m}^3/\text{h}$ ，方判定该孔注浆达标。

经过注浆封堵,涌水量小于 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 。部分钻孔注浆量较大,裂隙较发育,经透注治理后注浆量明显较

小。异常区施工钻孔的终孔水压、水温正常，Cl⁻含量与奥灰水水质有明显区别，其岩性及层位对比，层位稳定，没有发现垂向通道。虽然异常区局部富水性较强，裂隙较发育。但是，通过前期的井下底板顺层钻孔的治理与井下穿层钻孔的探查治理相结合，治理效果显著。

3.4. 注浆治理效果验证

上述异常区钻探探查治理完成后，开展了工作面底板音频电透视二次探查，结果表明：工作面底板0~75 m 范围内无相对低阻异常区存在，原煤层底板综合物探异常区消失。具体如图 3 所示。

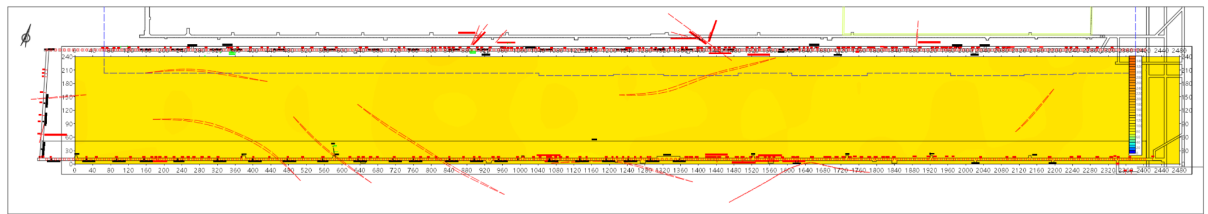


Figure 3. The floor abnormal area distribution diagram
图 3. 底板异常区分布示意图

3.5. 底板水害综合防治效果分析

通过物探探查、钻探探查加固治理等防治水措施，排除了工作面内有导水陷落柱发育的可能，对其它存在底板裂隙发育带及构造发育区等异常区进行了注浆治理，切断了底板奥灰水在工作面范围内回采阶段突(涌)水的通道。综合注浆后，音频电透视法探测显示，通过探查验证及注浆加固，61305 工作面底板岩层原物探异常区消失，综合治理效果良好。

3.6. 防治效果类比分析

传统的排水疏干法主要通过井下钻孔对威胁煤层开采的含水层(奥灰水)进行主动排水，其核心在于降低含水层水头压力，使残余水压低于底板隔水层的抗压能力，从而实现安全水头下的带压开采或消除突水威胁的目的，是一种降压开采的被动防御策略。与之相比，综合注浆改造技术则聚焦于对煤层底板隔水层及其中的导水通道进行主动改造与加固。从而提升隔水层的整体性、强度和阻水能力，从源头上阻断奥灰水的垂向补给路径。这种主动加固改造的技术路线，相较于传统的被动排水疏干法，展现出更优的综合性能和更强的适用性。

4. 结论

- 1、唐家会煤矿 61305 工作面面临深部高压、隐伏垂向导水构造发育的奥灰水害威胁，成功实践并验证了“物探超前探查 - 井下钻孔综合注浆治理 - 音频电透视效果检测”的综合技术路线，相较于传统的排水疏干方法，该路线通过主动改造隔水层、精准封堵导水通道，更具针对性。
- 2、构建煤层底板水害“探查 - 治理 - 验证”全时空防治体系，实现多源地质数据融合下的隐伏导水构造精准定位、钻孔全覆盖注浆加固及治理效果验证的动态闭环。
- 3、隔水层改造技术有效阻断奥灰水垂向补给通道，保障工作面回采期间零突水事故，为华北型煤田深部高压压矿区水害防治提供可靠技术范式。

参考文献

[1] 陈陆望, 胡永胜, 张杰, 等. 华北型煤田水文地球化学勘探关键技术研究进展[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(2):

- 207-219.
- [2] 曾一凡, 朱慧聪, 武强, 等. 我国不同类别煤层底板水害致灾机理与防控远景导向[J]. 煤炭学报, 2025, 50(2): 1073-1099.
 - [3] 董书宁, 王皓, 张文忠. 华北型煤田奥灰顶部利用与改造判别准则及底板破坏深度[J]. 煤炭学报, 2019, 44(7): 2216-2226.
 - [4] 郑士田. 两淮煤田煤层底板灰岩水害区域超前探查治理技术[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(4): 142-146, 153.
 - [5] 董书宁, 郭小铭, 刘其声, 等. 华北型煤田底板灰岩含水层超前区域治理模式与选择准则[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(4): 1-10.
 - [6] 董书宁, 刘其声, 王皓, 等. 煤层底板水害超前区域治理理论框架与关键技术[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(1): 185-195.
 - [7] 刘再斌, 晏俊生, 王江宏, 等. 时空信息融合赋能下矿井底板水害透明化防治体系[J]. 煤田地质与勘探, 2025, 53(5): 130-141.
 - [8] 蒋向明, 任虎俊, 陈亚洲. 区域超前探查治理技术在邯邢矿区深部采煤底板水害防治中的应用[J]. 煤炭工程, 2020, 52(3): 66-71.
 - [9] 黄刚, 韩云春, 余国锋, 等. 全光纤微震监测技术在底板突水监测中的应用研究[J]. 工矿自动化, 2024, 50(6): 36-45.
 - [10] Li, P., Jiang, X., Duan, J.H., *et al.* (2024) A Surface Extraction Method of Working Face Floor Damage Based on Microseismic Monitoring. *Coal Engineering*, **56**, 140-148.