

恒源煤矿II638工作面区域治理注浆效果分析

陈增宝¹, 梁展¹, 孙亮¹, 黄河², 邹鸣宇²

¹安徽恒源煤电股份有限公司, 安徽 淮北

²安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2026年1月5日; 录用日期: 2026年2月7日; 发布日期: 2026年2月14日

摘要

本文基于资料分析、工程实践、物探探查、钻探验证等方法, 对恒源煤矿II638工作面区域治理注浆效果进行分析。结果表明: 1) 底板太灰水因其富水强、水头高, 是II638工作面6煤开采的主要水害威胁; 2) II638工作面区域治理注浆改造层位为三灰, 由Z7和Z8两个注浆单元、17个分支孔覆盖, 累计注水泥27,730 t, 平均顺层率90%以上; 3) 井下钻孔验证表明, 工作面风巷单孔最大出水1 m³/h(一灰), 三灰无出水, 机巷单孔最大出水量5 m³/h(三灰); 4) 瞬变电磁超前探查机巷底板60 m范围内岩层赋水性较弱, 网络并行电法探查发现工作面底板5处异常区均受II637工作面机巷底板岩层破坏影响, 异常区井下钻探验证仅1个孔在二灰出水0.2 m³/h, 其余均未出现灰岩层涌水现象, 表明II638工作面区域治理注浆改造效果良好。

关键词

恒源煤矿, 区域治理, 注浆效果, 物探探查, 钻探验证

Analysis of the Grouting Effect on Regional Government of Hengyuan Coal Mine's II638 Working Face

Zengbao Chen¹, Zhan Liang¹, Liang Sun¹, He Huang², Mingyu Zou²

¹Anhui Hengyuan Coal and Electricity Co., Ltd., Huabei Anhui

²School of Earth and Environmental Sciences of Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: January 5, 2026; accepted: February 7, 2026; published: February 14, 2026

Abstract

Based on data analysis, engineering practice, geophysical exploration, and drilling verification, the

文章引用: 陈增宝, 梁展, 孙亮, 黄河, 邹鸣宇. 恒源煤矿 II638 工作面区域治理注浆效果分析[J]. 矿山工程, 2026, 14(2): 223-229. DOI: [10.12677/me.2026.142024](https://doi.org/10.12677/me.2026.142024)

grouting effect of regional treatment in the II638 working face of Hengyuan Coal Mine was analyzed in this paper. The analysis results show that: 1) The Taihui water in the floor is the primary water hazard threat to the mining of Coal Seam 6 in the II638 working face due to its high water content and elevated water head. 2) The grouting treatment for regional control in the II638 working face targets the Sanhui layer, covering two grouting units (Z7 and Z8) and 17 branch boreholes, with a cumulative cement injection of 27,730 tons and an average bedding plane filling rate exceeding 90%. 3) Underground drilling verification shows the maximum water output of 1 m³/h (from the Yihui layer) in the airway borehole, while the Sanhui layer remains dry. The maximum water output in the machine roadway borehole reaches 5 m³/h (from the Sanhui layer). 4) Transient electromagnetic advanced exploration reveals weak water-bearing properties within 60 meters of the floor in the machine roadway, while network parallel electrical method exploration identifies five abnormal zones in the working face floor, all affected by floor rock layer damage from the II637 working face machine roadway. Underground drilling verification confirms that only one borehole (in the Erhui layer) exhibits water output of 0.2 m³/h, with no limestone layer water inflow observed in the other boreholes, indicating effective grouting treatment in the II638 working face regional control.

Keywords

Hengyuan Coal Mine, Regional Governance, Grouting Effect, Geophysical Exploration, Drilling Verification

Copyright © 2026 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

两淮矿区因其丰富的煤炭资源、优越的区位条件成为我国重要的煤炭生产基地。两淮矿区属华北型煤田，主采石炭-二叠系煤层，煤系地层底部普遍发育巨厚的石炭系太原组灰岩，因其高承压、强富水、岩溶较发育等特点，对上部煤层开采构成极大的威胁[1]-[3]。近年来，随着浅部煤炭资源日趋枯竭，两淮矿区采煤活动逐步转入深部开采，受到底部灰岩水害的威胁越来越大[4][5]。

利用近水平定向顺层钻探技术和注浆工艺对煤层底板灰岩进行注浆改造是当前灰岩水害防治的主要技术[6][7]。恒源煤矿II638工作面为-600 m水平以下第一个采区准备的第七个工作面，6煤底板承受太灰水压较大，为保障工作面安全回采、杜绝底板突水威胁，恒源煤矿对其开展了地面区域治理。本文基于钻探、物探等方法对II638工作面底板注浆改造效果进行研究，为II638工作面安全回采提供参考。

2. II638 工作面基本情况

2.1. 采区概况

恒源煤矿位于安徽省淮北市濉溪县刘桥镇，地层区划属于华北地层区鲁西地层分区徐宿小区。矿井主采4煤、6煤，年生产能力200万吨，采用分水平上下山开拓方式，一水平标高-400 m、二水平标高-600 m。矿井为新生界松散层覆盖下的裂隙充水矿床，根据含水层赋存介质特征自上而下划分为第三、四系松散层孔隙含水层、二叠系煤系砂岩裂隙含水层、太原组石灰岩岩溶裂隙含水层、奥陶系石灰岩岩溶裂隙含水层。

II63采区为矿井-600 m水平以下的第一个采区，采区走向长2540~2700 m，平均2600 m，平均宽1351.1 m，面积约3,512,776 m²，采区范围及工作面布置参见图1。

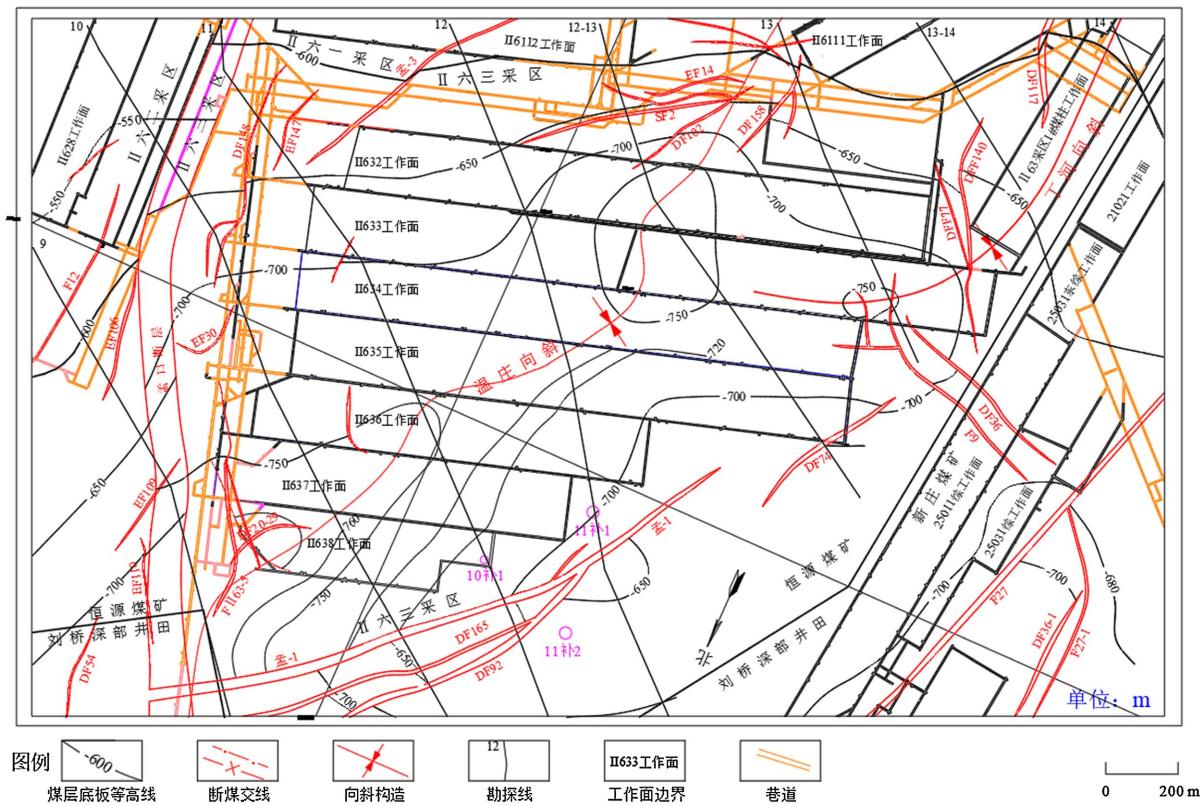


Figure 1. Schematic diagram of mining area II63
图 1. II63 采区示意图

恒源煤矿进入二水平以后,主采6煤层距离下伏太原组灰岩强含水层36~57 m,大部分工作面太灰水压在4 MPa以上,煤炭开采处于大采深、高承压状态,尤其是II638工作面6煤底板承受太灰水压最大为5.30 MPa。为保障工作面安全回采、杜绝底板突水威胁,恒源煤矿采用地面水平定向、多分支顺层钻孔注浆技术进行区域治理,以实现增强煤层底板阻隔水性能的目标。

2.2. II638 工作面特点

II638 工作面位于 II63 采区下部, 为采区内第七个工作面, 工作面为近倾向长壁式布置, 倾向长 650 m, 走向宽 99~185 m。II638 工作面主采 6 煤层, 厚度 2.0~3.5 m, 平均 2.89 m, 无夹矸, 煤层赋存稳定。工作面直接底为粉砂岩, 层厚 1.59~5.87 m, 平均厚度 3.27 m; 老底为粉砂岩, 层厚 5.73~9.21 m, 平均厚度 6.99 m。

II638 工作面周边无导水构造,也不受老空水影响。6 煤层顶底板砂岩裂隙水是 II638 工作面回采主要充水水源,该含水层岩性以中、细砂岩为主,平均厚度 21.46 m,裂隙发育不均,顶底板砂岩裂隙水以静储量为主,单位涌水量为 0.0097 L/s·m,富水性弱,对 II638 工作面回采影响较小。6 煤底板至太原组一灰顶板平均间距 46.35 m,太原组总厚 115.55 m,由石灰岩、泥岩、粉砂岩及薄煤层组成,以石灰岩为主,有 12~13 层石灰岩,厚 53.87 m,占全组总厚 46.6%,岩溶裂隙较发育,单位涌水量 0.09~0.30 L/s·m,富水性弱~中等,是 6 煤开采的主要威胁水源。据水文观测资料,II638 工作面范围内对应太灰水位约 -400~ -430 m 左右。II638 工作面太灰水位远低于奥灰水位,太灰水与奥灰水之间无明显水力联系。

3. II638 工作面底板灰岩注浆改造工程

为保障 II638 工作面安全回采，对其实施了地面顺层钻探、注浆改造工程，改造层位为三灰，目的是

改造后将其作为隔水层。地面顺层孔钻探注浆工程 Z7 和 Z8 单元、共施工 17 个分支孔(Z7-4~Z7-11、Z8-3~Z8-11)覆盖 II638 工作面, 具体布置详见图 2。

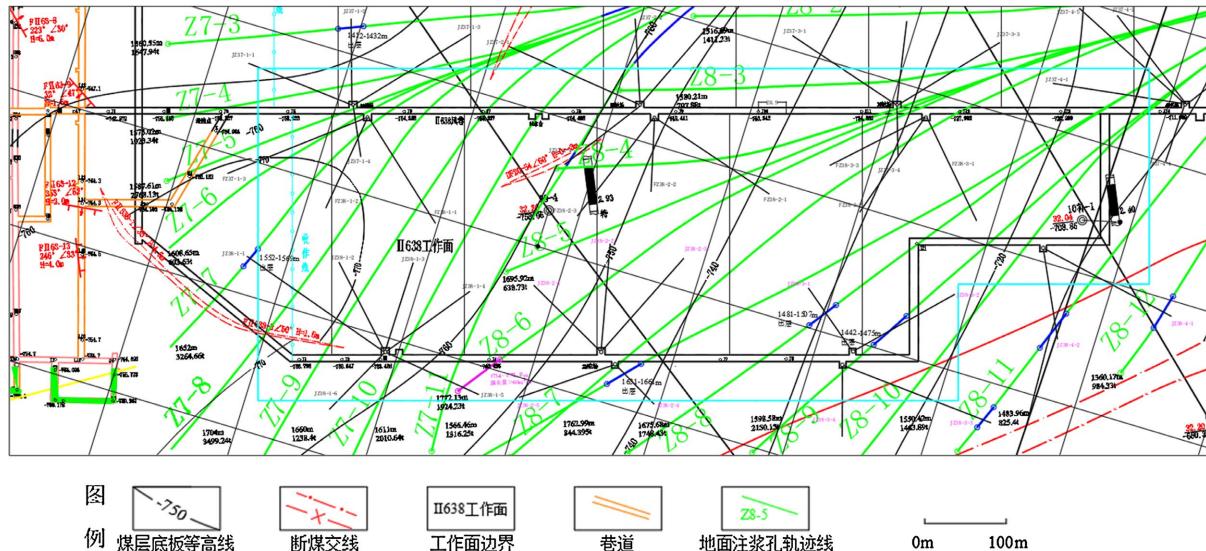


Figure 2. Schematic diagram of the layout of directional boreholes for ground surface treatment in the II638 working face
图 2. II638 工作面地面区域治理顺层孔布置示意图

本次 II638 工作面注浆改造工程累计注水泥 27,730 t, 单位注浆量 0.192 t/m²。平均顺层率在 90% 以上, 单孔顺层率和注浆技术标准符合设计要求; II638 工作面回采范围外 30 m 范围内均被地面顺层孔注浆改造工程覆盖, 满足工作面回采要求。顺层施工过程中有 6 个孔出现出层现象, 结合地质条件分析主要原因为揭露断层或地层倾角变化造成。施工中大部分钻孔漏失量在正常范围内, 仅 Z8-6 孔出现漏失, 最大漏失量大于 60 m³/h, 失返段为 1734~1772.13 m, 起钻后观测水位埋深大于 400 m。根据失返段平面位置, 位于 II638 工作面机巷附近, 据附近长观孔观测资料, 孔内水位埋深远大于奥灰水位埋深, 推测为裂隙发育段, 且最后注浆终压满足要求, 对工作面回采无影响。

4. 注浆改造效果探查与评价

4.1. II638 工作面底板注浆效果钻探验证

为了验证区域治理注浆效果, 在 II638 工作面风、机巷共施工井下验证孔 26 个, 钻探总进尺 2800.5 m, 其中风巷总进尺 998 m, 机巷总进尺 1802.5 m, 分别对地面顺层钻孔漏失段、出层段、两孔中间进行钻探验证, 工作面风巷单孔最大出水 1 m³/h (一灰), 揭露三灰无出水; 工作面机巷 JZ38-3-3 验证孔单孔最大出水量 5 m³/h (三灰)。II638 工作面机巷验证孔出水情况如表 1 所示。

4.2. 掘进工作面超前物探探查

为了查明 II638 工作面机联巷、机巷和机巷里段掘进过程中迎头前方赋水情况, 采用瞬变电磁法探测巷道前方顶底板及周边赋水情况, 对巷道前方 120 m、顶底板 60 m、巷道两侧 30 m 范围进行探测, 并综合地质资料分析其富水、导水性。

机巷探测采用 YCS360A 矿用多通道瞬变电磁仪, 按照 U 形观测系统布置, 以巷道迎头立面中心为原点, 沿巷道左帮、迎头和右帮实施 Mtem 数据采集, 每个观测点采集 5 个方向数据, 分别为顶板 30° 方向、顶板 15° 方向、迎头掘进方向、底板 15° 方向和底板 30° 方向, 现场观测系统布置如图 3 所示。

Table 1. Water inflow conditions from the verification boreholes in the II638 working face roadway
表 1. II638 工作面机巷验证孔出水情况

序号	孔号	终孔(m)	出水量(m^3/h)			水质
			L ₁	L ₂	L ₃	
1	JZ38-1-1	152	0	0	0	
2	JZ38-1-2	109	0	0.5	0	灰岩水
3	JZ38-1-3	101.5	0	0.3	0	灰岩水
4	JZ38-1-4	104	0	0	0	
5	JZ38-1-5	98	0	0	0	
6	JZ38-1-6	92	0	0	0.2	灰岩水
7	JZ38-2-1	109	0.5	0	1	灰岩水
8	JZ38-2-2	111	0.5	0	0	灰岩水
9	JZ38-2-3	114	0.5	0	1	灰岩水
10	JZ38-2-4	79	0	1	0	灰岩水
11	JZ38-2-5	108	0.5	0	0	灰岩水
12	JZ38-3-1	95	0	0	0	
13	JZ38-3-2	108	0	0	0	
14	JZ38-3-3	132	0	0	5	灰岩水
15	JZ38-3-4	73	0	0	0	
16	JZ38-4-1	123	0	2	0	灰岩水
17	JZ38-4-2	94	0	0.5	0	灰岩水

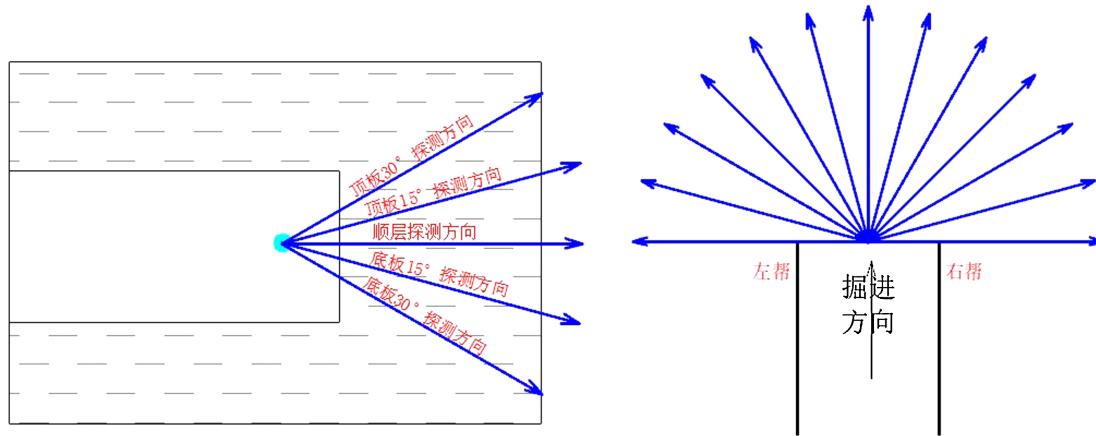


Figure 3. Schematic diagram of the field observation system layout
图 3. 现场观测系统布置示意图

瞬变电磁剖面视电阻率成果参见图 4。经过多次探测及掘进验证, 瞬变电磁法探测结果与实际揭露情况基本一致, 探测结果较可靠。从探测结果分析, 机巷底板 60 m 范围内岩层赋水性较弱, 表明区域治理注浆改造效果较好。

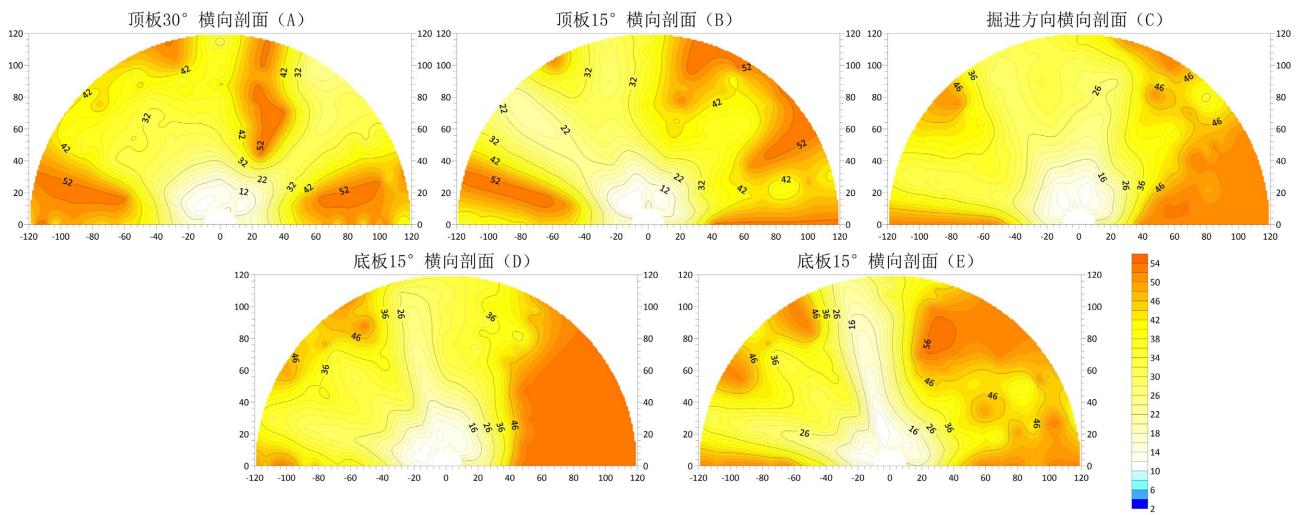


Figure 4. Transient electromagnetic sounding resistivity results at 27 m before point H5 in the connecting roadway of working face II638

图 4. II638 工作面机联巷 H5 点前 27 m 处瞬变电磁探测视电阻率成果图

4.3. 底板注浆改造效果物探验证

II638 工作面注浆改造工程结束后, 为了验证治理效果, 采用网络并行电法对工作面底板进行探查, 电法探测采用三维全空间电阻率反演技术来反映底板电性参数变化情况。对双巷采集的数据选取全空间层状模型, 采用全空间三维电阻率进行反演, 主要反映相对低阻区在工作面范围内底板连通情况。本次网络并行电法探查异常解释阈值为 $5 \Omega \cdot \text{m}$, 相对低阻区的圈定主要以底板下 20 m 切片 $5 \Omega \cdot \text{m}$ 等值线以下为主。本次电法探测低阻区域多分布于距风巷较近区域, 最低电阻率值为 $3 \Omega \cdot \text{m}$, 本次探测在工作面底板下 80 m 范围内存在五处相对低阻异常区, 即 DYC1~DYC5, 具体分布如图 5 所示。

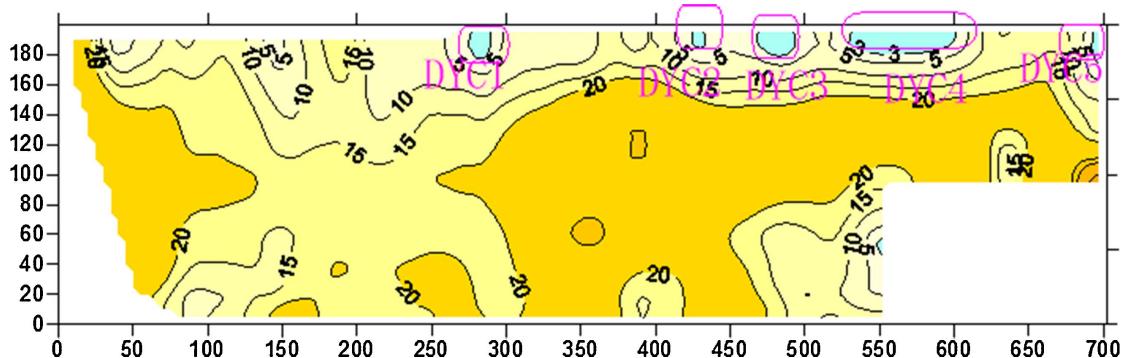


Figure 5. Horizontal cross-section of the floor of working face II638 at $Z = -20 \text{ m}$

图 5. II638 工作面底板 $Z = -20 \text{ m}$ 水平切片图

DYC1 低阻异常区位于风巷 J7 测点前 23~38 m 以浅, 发育深度为巷道底板下方 20~40 m, 根据探测环境可知, 该异常位置处为 1#水仓, 分析可能受水仓积渗水及 II637 工作面机巷(II638 风巷)底板岩层破坏影响所致。

DYC2 位于风巷 J9 测点前 34~43 m 以浅, DYC3 位于风巷 J10 测点前 17~44 m 以浅, DYC4 位于风巷 J11 测点前 4.5~79 m 以浅, 发育深度均为巷道底板下方 20 m, 根据地质资料分析可能受 II637 工作面机巷(II638 风巷)底板岩层破坏影响所致。

DYC5 位于 II638 里段切眼上口, 发育深度为巷道底板下方 10~30 m, 根据现场探测环境可知, 切眼上口大型铁器较多, 底板积聚部分施工用水, 应为受现场积水环境影响所致。

为进一步验证电法探测低阻异常区富水性, 采用井下钻探对低阻异常区进行验证。根据 5 个验证钻孔揭露, 仅 1 个孔在二灰出水 $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$, 其余 4 个钻孔均未出现灰岩层涌水现象, 无破碎现象, 钻进过程中供水无异常消耗, 揭露的 6 煤底板层位排列有序, 与预想设计层位基本一致, 排除了低阻异常区富水的可能。

4.4. II638 工作面底板注浆改造效果评价

II638 工作面针对三灰层位注浆改造地面顺层钻孔出层段有多处, 出层原因主要为地层角度变化较大和断层影响, 经井下钻孔验证, 出层区域均无异常, 单孔(JZ38-3-3)最大出水 $5 \text{ m}^3/\text{h}$, 表明 II638 工作面底板注浆改造效果较好。

利用瞬变电磁法对 II638 工作面机联巷、机巷和机巷里段掘进开展超前探查, 由探测结果分析, 机巷底板 60 m 范围内岩层赋水性较弱。采用网络并行电法探查 II638 工作面底板发现 5 处低阻异常区, 结合探查环境分析, 5 处异常区可能受 II637 工作面机巷(II638 风巷)底板岩层破坏影响或施工积水所致, 通过井下钻探验证, 除 1 个孔在二灰出水 $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 外, 其余均未出现灰岩层涌水现象。

多种方法探查、验证结果表明, II638 工作面区域治理注浆改造效果良好。

5. 讨论

淮北矿区随着开采深度不断加深, 面临底板灰岩突水的威胁越来越大。地面区域治理作为当前降低灰岩突水危害的治理技术越来越受到重视。注浆改造效果是决定能否消除底板突水危害的关键, 因此开展多种型式的注浆改造效果验证, 科学合理地评价改造效果, 对于安全开采至关重要, 同时还要做好底板突水危险性评价工作。

6. 结论

恒源煤矿 II638 工作面作为二水平第一个采区最下部的工作面, 主采煤层 6 煤底板承受太灰水压最大为 5.30 MPa, 最大突水系数为 0.12 MPa/m, 远超过构造区域临界值 0.06 MPa/m, 为保障工作面安全回采, 对其实施了地面顺层钻探、注浆改造工程, 改造层位为三灰。地面钻探注浆工程 Z7 和 Z8 单元、17 个分支孔注浆改造 II638 工作面三灰层位, 累计注水泥 27,730 t, 平均顺层率在 90% 以上。通过井下钻探验证、物探探查, II638 工作面机巷底板 60 m 范围内岩层赋水性较弱; 工作面底板下 80 m 范围内发现 5 处异常区, 均受 II637 工作面机巷(II638 风巷)底板岩层破坏或人为积水影响, 对异常区井下验证孔也表明除 1 个孔在二灰出水 $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 外, 其余均未出现灰岩层涌水现象, 表明 II638 工作面区域治理注浆改造效果良好。

参考文献

- [1] 武强. 我国矿井水防控与资源化利用的研究进展、问题和展望[J]. 煤炭学报, 2014, 39(5): 795-805.
- [2] 董书宁. 对中国煤矿水害频发的几个关键科学问题的探讨[J]. 煤炭学报, 2010, 35(1): 66-71.
- [3] 尹尚先, 王屹, 尹慧超, 等. 深部底板奥灰薄灰突水机理及全时空防治技术[J]. 煤炭学报, 2020, 45(5): 1855-1864.
- [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.
- [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] 赵庆彪, 赵兵文, 付永刚, 等. 大采深矿井地面区域治理奥灰水害关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(8): 14-20.