



基于地面定向钻孔注浆的煤矿立井钻井法井壁渗漏水治理技术

王雪松 程桦 荣传新 姚直书 余大有

引用本文:

王雪松, 程桦, 荣传新, 等. 基于地面定向钻孔注浆的煤矿立井钻井法井壁渗漏水治理技术[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(7): 168–177.

WANG Xuesong, CHENG Hua, RONG Chuanxin. Well wall water leakage control technology of vertical well drilling method in coal mines based on grouting of ground directional drilling[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(7): 168–177.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12438/cst.2023-1261>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于等厚度水泥土帷幕的斜井井筒水治理技术研究

Research on water leakage control technology of inclined shaft of coal mine based on cement soil curtain of equal thickness
煤炭科学技术. 2023, 51(7): 224–233 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2023-0313>

爆破冲击下单层井壁接茬钢板参数优化数值模拟研究

Research on numerical simulation of jointed steel plates parameters optimization in single-walled wall under blasting impact
煤炭科学技术. 2019(12) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/7a1584ef-b343-44e1-9ec0-a23551e7be92>

地面定向孔超前预注浆掩护巷道穿断层破碎带关键技术

Key technology of advance pre-grouting of ground directional holes to shield roadway passing fault and broken zone
煤炭科学技术. 2022, 50(6): 196–203 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/533f9926-0386-4ba2-9f8c-f13550f95772>

邻近厚松散层既有立井井筒地面注浆地层加固技术

Ground grouting stratum reinforcement technology for thick loose layer adjacent to existing shaft
煤炭科学技术. 2022, 50(7): 127–134 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/eb8ca742-1ca3-46f9-ad54-ab618e39e7df>

煤层底板奥灰水害防治定向钻孔施工关键技术

Key techniques for directional drilling & construction for control of coal floor Ordovician limestone karst water disaster
煤炭科学技术. 2019(5) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/3d5c29ee-53c9-488a-8e62-74999d44edce>

“孔-井-地”一体化智能钻进系统及关键技术

“Hole-well-ground” integrated intelligent drilling system and key technologies
煤炭科学技术. 2020, 48(7) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/068a8ae0-bfa2-477b-887f-05a09bdd340c>



关注微信公众号，获得更多资讯信息



移动扫码阅读

王雪松,程桦,荣传新,等.基于地面定向钻孔注浆的煤矿立井钻井法井壁渗漏水治理技术[J].煤炭科学技术,2024,52(7):168-177.

WANG Xuesong, CHENG Hua, RONG Chuanxin, *et al.* Well wall water leakage control technology of vertical well drilling method in coal mines based on grouting of ground directional drilling[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(7): 168-177.

基于地面定向钻孔注浆的煤矿立井钻井法 井壁渗漏水治理技术

王雪松¹,程桦¹,荣传新¹,姚直书¹,余大有²

(1.安徽理工大学土木建筑学院,安徽淮南 232001;2.安徽省煤田地质局第一勘探队,安徽淮南 232035)

摘要:煤矿钻井井壁为单层结构,在深厚表土层段其渗漏水将严重威胁矿井安全生产,建井阶段井壁接茬部位若存在施工缺陷,则会导致地下水腐蚀锈穿接茬部位金属及焊缝,造成井壁渗漏水,若不及时治理,易引发突水溃砂而酿成淹井事故。为探寻一种行之有效的治理技术,以许疃煤矿副井井筒井壁渗漏水治理为工程背景,开展了煤矿钻井井壁渗漏水治理技术研究。首先,结合矿井水文地质特征等信息分析了钻井法单层井壁渗漏水致因,发现许疃煤矿副井井壁接茬处发生渗漏水的主要原因是地下水中的 HCO_3^- 、 Cl^- 共同作用腐蚀锈穿井壁接茬部位后,含水层之间越流补给的高压地下水通过孔隙连通性良好的壁后碎石充填层流入井筒内;然后,对比分析了许疃煤矿副井井筒井壁渗漏水治理采用壁后注浆和地面定向钻孔注浆的可行性与安全性,发现在流砂层中对采用钻井法施工的钢筋混凝土单层井壁进行壁后注浆,安全风险较大,影响井筒正常提升,且存在再次发生渗漏水的风险,而采用地面定向钻孔注浆技术的注浆量大,壁后充填层碎石间孔隙可被水泥浆充分填充,改善井筒防渗和承载能力,且施工人员全程在地面操作,安全性好,不影响井筒正常提升;最后,提出了针对深厚表土层煤矿钻井井壁渗漏水治理的地面定向钻孔注浆技术并进行工程示范,2个钻孔共注入 130.9 m^3 水泥浆,完全充填了 $94.00\sim 131.40\text{ m}$ 层段壁后充填层碎石间孔隙,顺利封堵了井下 94 m 处出水点,经现场长期观测,该段井壁未再渗漏水。研究结果表明,针对深厚表土层段煤矿钻井井壁渗漏水治理,采用地面定向钻孔注浆技术的治理效果良好,安全性高。研究成果可为深厚表土层煤矿钻井井壁渗漏水治理提供一定的参考。

关键词:钻井井壁;井壁接茬;渗漏水;地面定向钻孔;注浆

中图分类号:TD262

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2024)07-0168-10

Well wall water leakage control technology of vertical well drilling method in coal mines based on grouting of ground directional drilling

WANG Xuesong¹, CHENG Hua¹, RONG Chuanxin¹, YAO Zhishu¹, YU Dayou²

(1.School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2.First Exploration Team, Anhui Provincial Coalfield Geological, Huainan 232035, China)

Abstract: The coal mine drilling shaft wall is a single-layer structure, and water leakage in the deep alluvium will seriously threaten mine safety. If there are construction defects in the stubble part of the well wall at the construction stage, it will lead to groundwater corrosion and rust through the metal and the weld seam of the stubble part, resulting in water leakage from well wall, which, if not treated promptly, is prone to lead to a sudden water-sand inrush and flooding accidents. In order to explore an effective treatment technology, a research on the control technology of water leakage from the wall of coal mine drilling wells was carried out with the background of water leakage

收稿日期:2023-09-04

责任编辑:宫在芹

DOI: 10.12438/cst.2023-1261

基金项目:安徽理工大学高层次人才引进人才科研启动基金资助项目(2023yjrc15);国家自然科学基金资助项目(52174104);安徽省重点研发资助项目(202004a07020034)

作者简介:王雪松(1993—),男,安徽淮南人,讲师,博士。E-mail: xswang@aust.edu.cn

通讯作者:程桦(1956—),男,安徽巢湖人,教授,博士生导师,博士。E-mail: hcheng@aust.edu.cn

control of wall of sub-well of the Xutong Coal Mine. Firstly, the causes of water leakage from the single-layer well wall of the drilling method were analyzed with the information of hydrogeological characteristics of mine. It was found that the main reason of water leakage at the sub-well wall of Xutong Mine was that the high-pressure groundwater recharged from the aquifers flowed into the well through the gravel packing layer with great pore connectivity, after the corrosive effects of groundwater jointly penetrated the stubs of well walls. Then, the feasibility and safety of using post-wall grouting and ground drilling grouting for water leakage control in the wall of sub-well wall in Xutong Coal Mine were compared and analyzed. Post-wall grouting of reinforced concrete single-layer well walls constructed using the drilling method in fluvial sand layer was found to pose a high safety risk, affecting the normal lifting of wellbore and risking the reoccurrence of water leakage. Ground directional drilling grouting technology had a large grouting volume, and the pores in the gravel filling layer behind the wall can be fully filled by cement slurry, improving the leakage prevention and bearing capacity of the wellbore, and the construction personnel operated on the ground, which was safe and did not affect the normal lifting of the wellbore. Finally, the ground directional drilling grouting technology for water leakage control of coal mine wall in deep alluvium was proposed and demonstrated. A total of 130.9 m³ of cement slurry was injected into the two boreholes, which completely filled the pores space between the gravel of the filling layer behind the wall of the layer from 94.00-131.40 m, and successfully blocked the water outlet point at 94 m down-hole. No further water leakage from this section of the well wall had been observed on site over a long period of time. The research results shown that, the ground directional drilling grouting technology had good control effect and high safety for the water leakage of coal mine drilling well wall in deep alluvium. The research results can provide a certain reference for the water leakage control of coal mine drilling well wall in deep alluvium.

Key words: drilling wall; well wall stubble; water leakage; ground directional drilling; grouting

0 引言

煤矿井壁在高水压、地层高附加应力、侵蚀性离子等多因素耦合作用下发生的渗漏水问题长期威胁煤矿安全高效生产,若不及时治理或治理措施不当,不仅会导致提升系统运行环境恶化,而且极易诱发突水溃砂事故,造成巨大经济损失。国内外常采用疏水降压、壁后注浆、地面钻孔注浆等措施治理煤矿井壁渗漏水^[1-3],但由于不同工程在水文地质条件、井壁结构、施工场地条件等方面存在诸多差异,需综合比选后确定合适的治理方案。煤矿井壁渗漏水治理采用最多的方案为壁后注浆,在实践中形成了系列关键技术。比如,针对水头压力较高、涌水量较大条件下的井壁涌水治理,需要采用壁后中深孔泄水和钻孔引水注浆方法分步进行治理^[4-5];针对井壁长跨度渗漏水,一般在井壁淋水段采用均匀布孔,单孔少注、群孔多注,形成防水帷幕^[6-7];针对淹井事故,通常采用静水抛渣注浆封水,再壁后注浆充填截水进行治疗^[8]。但是针对钻井法施工的单层井壁及壁后具有较厚细砂层的井壁应尽量避免进行壁后注浆,若采用壁后注浆则必须在不钻穿井壁的情况下先安装孔口管和防喷阀门^[9-10],否则极易因为局部水砂突涌造成淹井。地面钻孔注浆技术在煤矿领域同样应用广泛,是治理煤矿井壁渗漏水的另一种常用方法,既不影响矿井正常生产,又能够快速施工^[11]。该技术伴随钻孔造斜技术与装备的不断进步而发展,芦岭煤矿南风井和鸣山矿主、副立井井筒涌水治理采

用地面钻孔注浆技术^[12-13],但受制于当时国内地面钻孔造斜精度与装备,均是在井口附近打竖直钻孔到注浆层位,该技术不适用于推广至井口附近地面空间拥挤的在役井筒,鲍店煤矿主、副井筒地面注浆工程中即使使用了定向造斜钻进,也存在靶域半径过大的问题^[14]。近年来,钻孔造斜精度迅速提升与钻探设备更新换代,使得地面钻孔注浆技术的应用场景愈加广泛,不仅可以在离井筒较远距离的空地上进行S孔造斜到达井筒周围特定地层进行帷幕注浆,还可以在地下改向为水平或斜孔,沿巷道轴线方向注浆加固破碎围岩^[15-17]。综上所述,煤矿井壁渗漏水治理在实践中形成了诸多宝贵经验,但针对钻井井壁渗漏水进行壁后碎石充填层地面定向钻孔注浆的技术鲜见报道。

笔者以许疃煤矿副井井壁接茬处局部渗漏水地面注浆治理工程为背景,分析了钻井法单层井壁渗漏水成因,开展了壁后注浆与地面钻孔注浆的可行性与安全性分析,通过汲取现有井筒渗漏水治理经验并依托定向造斜技术的进步,创新提出了针对深厚表土层钻井井壁局部渗漏水治理的地面定向钻孔注浆技术,顺利解决了许疃煤矿井壁渗漏水问题,研究成果可为井壁渗漏水治理提供一定的技术借鉴与指导。

1 工程概况

许疃煤矿位于安徽省蒙城县境内,于2004年11月正式投产,矿井设计服务年限为106.3 a。许疃

煤矿副井表土段采用钻井法施工,井筒净直径 6.5 m,最大井壁外直径 8.2 m,开钻荒径 9.2 m,井筒最大埋深 357 m。埋深 41.6~131.4 m 井壁外侧至开钻荒径的环形空间采用碎石(粒径 2~4 cm)充填,充填厚度为 500 mm。埋深 41.6 m 以上及埋深 131.4 m 以下 40 m 井壁外侧均采用 P.O32.5 水泥浆充填。

截至 2022 年 11 月,许疃煤矿副井井壁接茬部位出现渗漏水已接近 2 a,渗漏水处井壁埋深 94 m,出水量为 1.5~2.0 m³/h,水压 0.8 MPa,井壁渗漏水点照片如图 1 所示。该处井壁为 C40 钢筋混凝土井壁,厚度为 550 mm。出水处对应新生界第二隔水层(组)上部,直接对应地层为黏土,黏土埋深范围为 88.8~108.2 m,该地层上下均为细砂层,厚度 3 m 左右。碎石填充范围为第 9 节至第 27 节,出水点位于第 19 节和第 20 节井壁的接茬部位。2022 年秋季,井壁出水流量随降雨量增加有增大趋势,说明出水点以上表土层各含水水位已沟通,地下水于壁后充填层汇聚后流入井筒内部,已威胁到井壁安全服役,如不及时采取相应治理措施,极有可能会造成井壁突水溃砂等重大安全事故。



图 1 副井井壁渗漏水点照片

Fig.1 Photo of leakage point of auxiliary shaft lining

2016 年副井井筒同样发生了渗漏水,出水点埋深 118 m,位于第三含水层,出水点含水层范围为 108~133 m,共 25 m,出水点对应井壁第 24 节,出水量 4 m³/h。当时采用壁后注浆方式,注浆段高 36 m,共计 32 个孔,孔深 2 m,共注入 50 t 水泥和 5 t 水玻璃。治理结束后 4 a,井壁又出现渗漏水,说明壁后注浆未彻底解决井壁渗漏水问题,再次选择治理方案时需慎重考虑。

2 钻井井壁渗漏水机理分析

2.1 矿井水文地质特征

分析井壁渗漏水致因,首先要明晰井筒周围水文地质特征。许疃矿井内新生界松散层包括第四系、

新近系,厚度为 230.60~378.80 m,平均 337.30 m,其厚度变化受下伏古地貌形态控制,自西北向东南逐渐增厚。按其岩性组合特征及区域水文地质剖面对比,自上而下可划分为 4 个含水层(组)和 3 个隔水层(组)。副井井筒周围第三隔水层(组)以上地层的地质柱状图如图 2 所示。

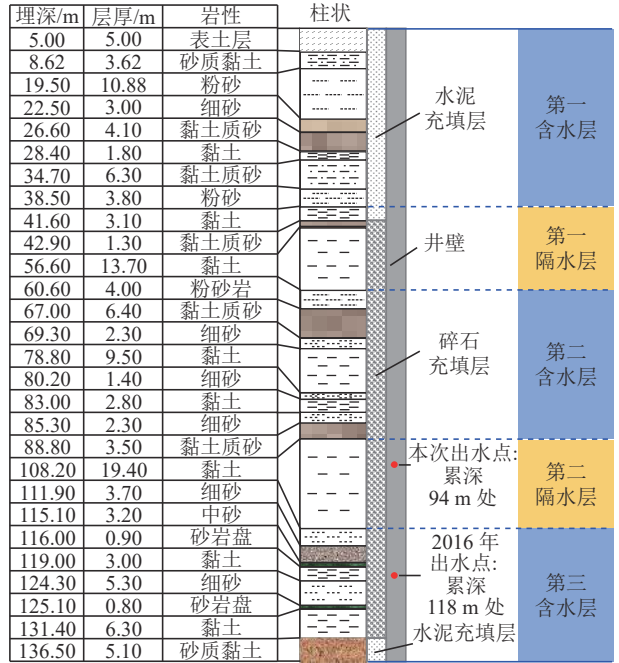


图 2 井筒周围地质柱状

Fig.2 Geological histogram around shaft lining

1)第一含水层(组):自地表垂深 5.00 m 起,底板埋深 38.50 m;含水砂层共 5 层,总厚 28.08 m,分布较稳定。该层(组)属平原河流相及河漫滩相沉积物,上部为潜水,下部为弱承压水。地下水补给以大气降水为主,地表水垂直渗透和区域层间径流次之,水量丰富,主要排泄途径为蒸发和人工开采。

2)第一隔水层(组):底板埋深为 56.60 m,隔水层有效厚度 18.10 m,以黏土和砂质黏土为主,夹有 3 层透镜状薄层黏土质砂。该层分布稳定,黏土塑性指数为 16~29,可塑性强,隔水性能大部分较好,局部地带由于隔水层较薄,黏土厚度小于 10 m 时具有弱透水性。

3)第二含水层(组):底板埋深 88.80 m,含水砂层厚度 19.90 m。岩性以细砂和黏土质砂为主,呈互层状结构。第二含水层(组)岩性厚度变化大,分布不稳定,富水性差异较大。该含水层属弱承压水,地下水以区域层间径流、补给、排泄为主,局部第一隔水层(组)薄弱地段接受第一含水层(组)的越流补给,目前也有部分人工开采排泄。

4)第二隔水层(组):底板埋深 108.20 m,隔水层有效厚度 19.40 m。岩性以黏土为主,夹有 2~3 层透镜状砂。第二隔水层(组)分布较稳定,隔水性能较好,但局部隔水层厚度小于 10 m 时具有弱透水性,可能构成第二、三含水层(组)之间的越流补给条件。

5)第三含水层(组):底板埋深 177.70 m,含水砂层厚度为 40.00 m。岩性以细砂、中细砂、中砂为主,其间夹有 4~5 层黏土和砂质黏土,该含水层(组)厚

度较大,中部有一厚层黏土,将其分为上、下段。第三含水层(组)厚度变化较大,富水性不均一,上段比下段砂层厚度大,富水性也相对比下段强。

2.2 井壁渗漏水致因

许疃煤矿副井井筒采用钻井法施工,井壁节间采用法兰连接,接茬部位通过注浆、高强螺栓连接和焊接等措施防止井壁漏水。本次渗漏水处井壁埋深 94 m,位于新生界第二隔水层(组)上部层位。井壁渗漏水致因示意如图 3 所示。

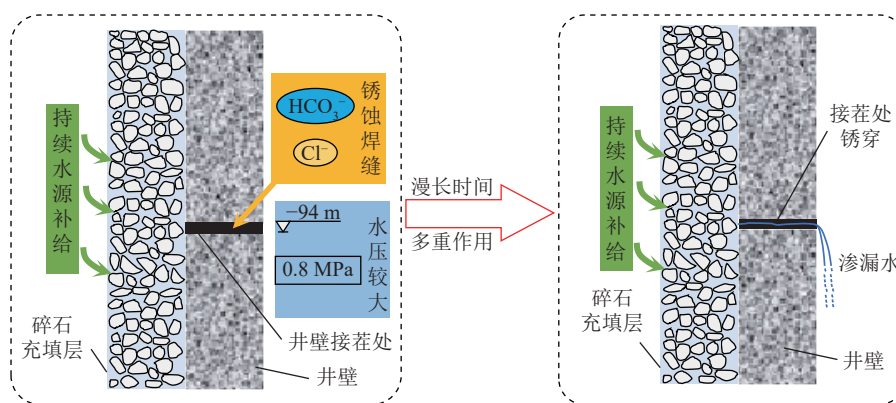


图3 井壁渗漏水致因

Fig.3 Causes of water leakage on shaft lining

1)井壁接茬处金属及焊缝被腐蚀:建井阶段,井壁接茬处注浆不密实会导致壁后地下水与螺栓孔附近的金属及焊缝直接接触。水化学组分测试结果^[18-19]表明,许疃煤矿浅层地下水阴离子以 HCO_3^- 、 Cl^- 为主,而这2种离子与接茬处金属及焊缝发生复杂的化学反应会造成接茬处金属及焊缝的点蚀和应力腐蚀^[20-22]。其中 HCO_3^- 对接茬处金属及焊缝产生钝化效应,形成钝化膜, Cl^- 对接茬处金属及焊缝产生侵蚀效应,会使钝化膜变薄或离子电导增大,增加接茬处金属及焊缝钝化膜局部破裂和腐蚀萌生的潜在位置,从而降低井壁接茬处耐腐蚀性能。井壁接茬处金属及焊缝长年锈蚀导致该部位逐渐产生缺陷和裂纹直至锈穿井壁而发生渗漏水。

2)壁后存在丰富且持续水源:井壁外侧埋深 41.6~131.4 m 环形空间采用碎石(粒径 2~4 cm)充填,孔隙连通性好,且壁后具有多层地下水量丰富的砂质地层,持续补给壁后充填层流入井筒内的水,为井壁渗漏水提供了丰富的水源,使壁后充填层始终保持饱水状态,地下水长期与井壁混凝土直接接触。

3)壁后水压力较大:由矿井水文地质特征知,第二含水层(组)主要为弱承压水,且在第一隔水层(组)

局部薄弱地段接受第一含水层(组)的越流补给,第二含水层(组)内的高压水透过壁后充填层到达第二隔水层(组)上部的井壁接茬处,击穿锈蚀的焊缝进入井筒,造成井壁出水流量和水压均较大。

3 钻井井壁渗漏水治理技术

3.1 可行性与安全性分析

井壁渗漏水治理常用的方法主要有壁后注浆和地面钻孔注浆。壁后注浆是直接井壁上施工注浆孔,然后用高压注浆机把混合好的水泥浆或水泥水玻璃双液浆注入井壁背后,在井壁背后迅速凝固并形成帷幕,达到堵水的目的。地面钻孔注浆是依托定向钻孔技术,从地面利用钻机钻进注浆孔,钻至设计落点附近,然后利用注浆泵、输浆管路等将在地面配制好的浆液注入地层,达到封堵出水点、平衡地下水压、提高地层承载力的目的,主要分为地面定向钻孔注浆、地面钻孔帷幕注浆、L型钻孔地面预注浆等。下面结合许疃煤矿副井井筒井壁漏水施工条件,对比分析2种治理方案的可行性与安全性。

3.1.1 壁后注浆

壁后注浆具有钻孔工作量小、工期短、堵水效果好、施工工艺简单和工程造价低等优点。但其应用

于许疃煤矿副井井筒井壁渗漏水治理,存在以下缺点:①在流砂层中钻井井筒单层井壁壁后注浆安全风险大,不符合现行煤矿安全规程;②影响井筒正常提升;③无法对壁后碎石充填层和冲积层进行充分注浆,存在注浆后再次渗漏水的隐患。

壁后注浆后再次出水致因如图4所示,由于壁后注浆单孔加固范围有限,在同一方位的不同层位或同一层位的不同方位均可能存在相邻注浆结石体未交圈的情况,该处井壁仍然直接与地下水直接接触,无法长期确保井壁不漏水。若加密钻孔又会降低井壁结构的承载力,存在钻井法单层井壁破裂风险。

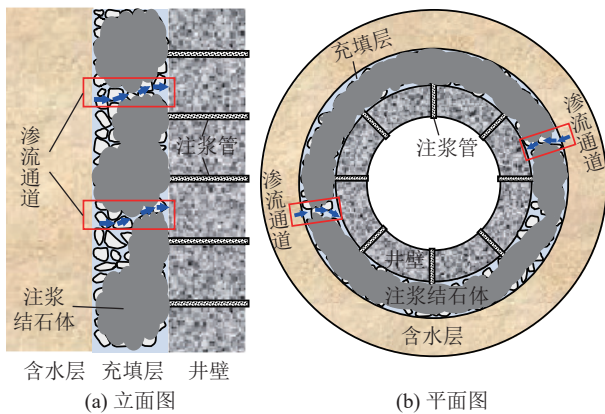


图4 壁后注浆后再次出水致因

Fig.4 Causes of water leakage after back-filled grouting

3.1.2 地面定向钻孔注浆

图5为地面定向钻孔注浆示意,包含造斜钻孔和地面注浆2个工序。造斜钻孔是采用定向钻进设备在地面空地上按设计的角度钻进,通过下套管、固管、透孔等工艺,施工完成由地面到壁后设计终孔落点的技术孔。地面注浆是指采用注浆泵将在地面拌制好的浆液注入到钻孔终孔落点附近。

许疃煤矿副井井筒井壁渗漏水治理采用地面定向钻孔注浆的优点为:①通过井筒周围的地面钻孔造斜,注浆封堵、加固注浆段钻井井壁壁后碎石充填层和冲积层,注浆量大,可充分充填碎石层,有效提高井筒防水性能和承载能力;②无需施工人员下井作业,安全性好,符合现行煤矿安全规程要求;③不影响井筒正常提升。但也存在对钻孔造斜精度、注浆压力控制要求高,工程造价相对较高等缺点。

综上所述,由于许疃煤矿副井井筒壁后注浆安全风险大,不符合现行煤矿安全规程,且会影响矿井正常生产,还存在治理不彻底的可能,因此,根据许疃煤矿副井井筒周边场地条件、地质与水文地质条

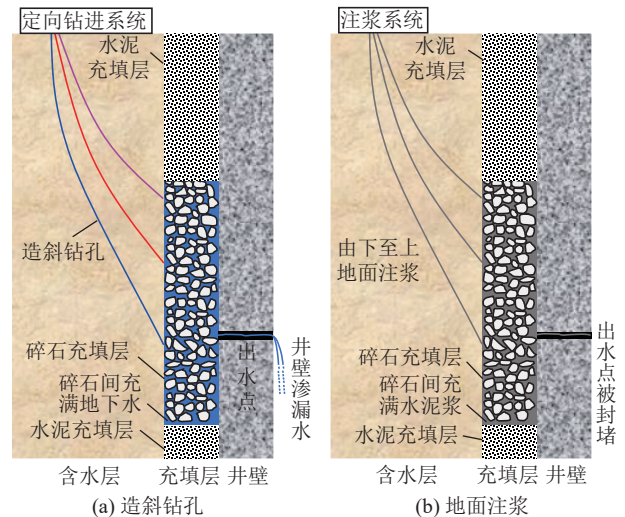


图5 地面定向钻孔注浆示意

Fig.5 Schematic diagram of ground directional drilling grouting

件、井壁漏水特点、井筒设计与施工资料,在不影响矿井生产的前提下,采用井筒周边地面定向钻孔注浆的方式进行井壁渗漏水治理。

3.2 钻孔布置方案

3.2.1 布孔原则

1)不破坏副井井筒地面周围建筑,尽量将钻机布置于井筒周围的空地上。

2)在井筒四周合适的场地设置3个孔组,3个孔组各钻孔终孔落点基本均布井筒四周,每组孔分上、中、下各1个钻孔。因出水点在井筒西方,故先施工东南方向注2孔组3个试验钻孔,对井壁外侧碎石充填层进行压水联通试验和注浆试验,为后期注浆取得注浆参数数据。

3)注浆孔在注浆期间,需要有泄压孔进行注浆压力控制。

3.2.2 钻孔垂深

1)上部封固井筒的水泥垂深41.6 m,考虑到水泥浆液的下沉凝固,确定上部注浆孔(注1-1孔、注2-1孔、注3-1孔)垂深为50 m。

2)因原壁后注浆垂深为108~133 m,为避免终孔位于原注浆有效范围内,故确定本次下部注浆孔垂深为100 m(注1-3孔、注2-3孔、注3-3孔)。

3)为保证94 m处出水点封堵效果,中部注浆孔终孔位置尽量靠近出水点,故确定为77 m(注1-2孔、注2-2孔、注3-2孔)。

3.3 注浆技术方案

3.3.1 注浆压力确定原则

已建井筒周围注浆,不同于一般的立井地面预注浆,其注浆压力的取值和控制应确保井筒安全,注

浆压力设计值为控制压力最大值,依据研究和试验取得成果,注浆压力应服从以下原则:各注浆段受注点压力为静水压力的 1.5 ~ 2.0 倍;注浆时表头压力不大于 0.5 MPa。

3.3.2 注浆钻孔平面布置

根据许疃煤矿工业广场布置,并经现场勘察,在副井附近合适的场地设置 3 个孔组,各钻孔终孔落点基本均布井筒四周。每个孔组 3 个钻孔对应于碎石层上、中、下部,钻孔平面布置如图 6 所示,钻孔地面位置及落点位置坐标见表 1。

3.3.3 注浆参数设计

1)浆液类型及配比。本次注浆采用单液水泥浆,水灰质量比采用 1.5 : 1.0、1 : 1、0.8 : 1.0、0.6 : 1.0,以 1 : 1 为主进行注浆,根据注浆情况,浆液质量比适时调整。

2)注浆材料及用量。由 P.O42.5 普通硅酸盐水泥制成的单液水泥浆的流动性、可泵性良好,在地层中凝结硬化后强度较高,抗渗性能较好,且市场价格相对较低,能够满足本工程防渗堵漏目标,因此,主要注浆材料选用 P.O42.5 普通硅酸盐水泥。副井井筒水泥设计注入量约 150 t。

3)注浆设备。NBB-250/6A 注浆泵,5 档,功率 30 kW。泵体上安装一个泵压表,泵压表精度 0.05 MPa,并在达到设定压力 0.5 MPa 时自动跳电停注。

4)注浆结束标准。①当泄压孔表头压力大于 0.5 MPa 时立即停止注浆,是否继续加压注浆需根据井筒安全监测结果、实际注浆量、注浆压力等综合因素进行判定;②当泄压孔表头压力小于或等于 0.5 MPa 时,注浆孔注浆压力达到最大设计压力时停止注浆;③达到设计注浆量(设计注浆量为预计量)为

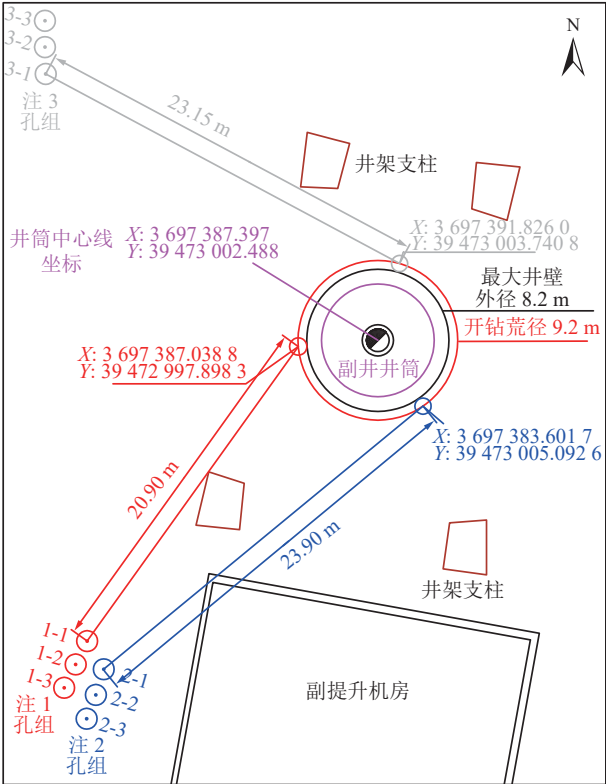


图 6 钻孔平面布置
Fig.6 Layout plan of drilling holes

结束标准。

4 工程示范及应用效果

4.1 施工流程

施工方 2022 年 11 月 11 日进场,11 月 18 日开始正常钻进,12 月 22 日完工,12 月 27 日完成撤场,共计 47 d。现场施工流程如图 7 所示,井筒渗漏水地面定向钻孔注浆治理工序依次为:①定向钻进:采用地面斜孔钻进方法,通过随钻定向设备跟踪定向

表 1 钻孔地面位置及落点位置坐标
Table 1 Coordinate of drilling ground position and landing point position

孔号	孔口位置		终孔落点			钻探工程量/m	孔口与终孔平面距离/m
	X/m	Y/m	X/m	Y/m	垂深/m		
注1-1	3 697 370.05	39 472 985.72	3 697 387.04	39 472 997.90	50.00	54.35	20.90
注1-2	3 697 368.71	39 472 985.06	3 697 387.04	39 472 997.90	77.00	81.27	22.38
注1-3	3 697 367.36	39 472 984.40	3 697 387.04	39 472 997.90	100.00	103.75	23.86
注2-1	3 697 368.43	39 472 986.68	3 697 383.60	39 473 005.09	50.00	55.71	23.90
注2-2	3 697 366.95	39 472 986.23	3 697 383.60	39 473 005.09	77.00	82.37	25.16
注2-3	3 697 365.58	39 472 985.69	3 697 383.60	39 473 005.09	100.00	104.61	26.48
注3-1	3 697 402.76	39 472 983.33	3 697 391.83	39 473 003.74	50.00	55.37	23.15
注3-2	3 697 404.31	39 472 983.29	3 697 391.83	39 473 003.74	77.00	81.88	23.96
注3-3	3 697 405.82	39 472 983.61	3 697 391.83	39 473 003.74	100.00	104.05	24.78

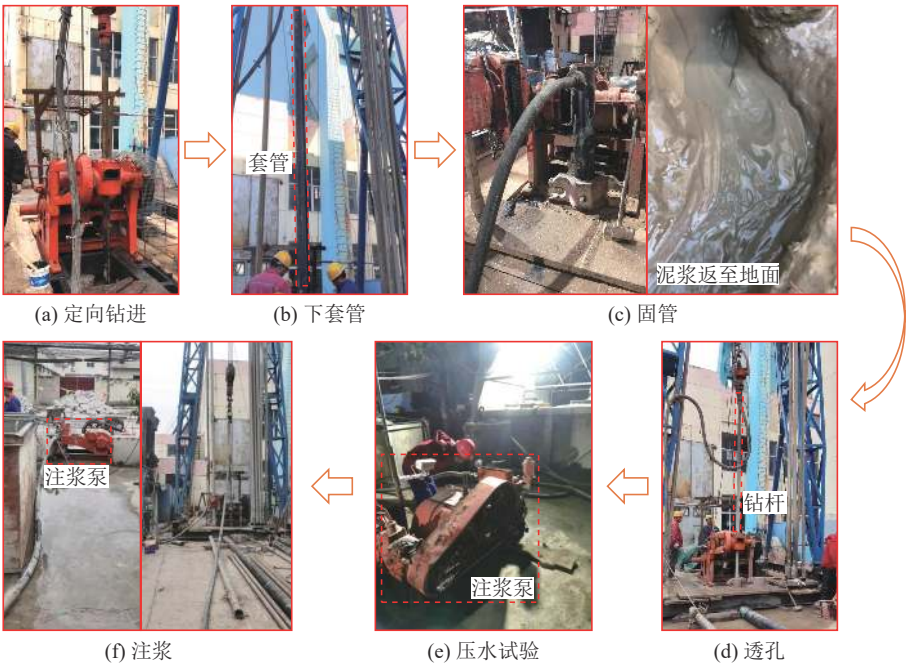


图 7 现场施工流程

Fig.7 On site construction process

测斜纠偏,见碎石停钻;②下套管:套管均采用丝扣连接方式,用自由钳和链鞭将丝扣上紧,依照下管作业流程,逐根检查套管,确保下管质量,按照顺序依次下入孔内;③固管:下套管完成后,套管与孔壁之间环状间隙用单液水泥浆进行封堵,用注浆泵向管内进行注浆,直至孔口返浆停泵,固管材料为 P.O42.5 普通硅酸盐水泥,水灰比为 1.0;④透孔:侯凝 48 h 后下 $\phi 91$ mm 钻头在原孔位上重新钻进;⑤压水试验:对钻孔进行压水,压力从小到大试验,孔口带压最大不超过 0.5 MPa,观测监测孔水位和井筒出水点情况、水量变化特征,判别井壁碎石的连通性;⑥注浆:本工程采用 NBB-250/6A 注浆泵,泵体上安装一个精度 0.05 MPa 的泵压表,并在设定压力 0.5 MPa 下自动跳电停注,采用单液水泥浆,水灰质量比为 1 : 1,水泥使用 P.O42.5 普通硅酸盐水泥。

4.2 现场示范应用

4.2.1 钻孔结构及参数

钻孔施工钻探工程量见表 2。本工程竣工时的钻孔结构为:

1)2-3 孔:现场实际施工的 2-3 孔相对于设计位置向东北方向移动约 0.5 m,采用有线随钻定向施工。0 ~ 44.50 m, $\phi 216$ mm 孔径,其中 0 ~ 38.75 m 下 $\phi 177.8 \times 8.05$ mm 套管并固井;38.75 ~ 94.92 m, $\phi 152$ mm 孔径,同时 0 ~ 94.92 m,下 $\phi 127 \times 6.5$ mm 套管并固井;94.92 ~ 101.00 m(遇碎石停钻), $\phi 91$ mm 孔径,裸眼注浆。

2) 1-3 孔: 0 ~ 50.00 m, $\phi 216$ mm 孔径,其中

0 ~ 43.45 m 下 $\phi 177.8 \times 8.05$ mm 套管并固井;43.45 ~ 85.91 m, $\phi 152$ mm 孔径,同时 0 ~ 85.91 m,下 $\phi 127 \times 6.5$ mm 套管并固井;85.91 ~ 94.30 m(遇碎石停钻), $\phi 50$ mm 孔径,裸眼注浆。

表 2 钻探工程量

Table 2 Drilling quantities

孔号	钻探深度/m			套管下入深度/m	
	一开 $\phi 216$ mm 孔径	二开 $\phi 152$ mm 孔径	终孔 孔深	一开套管 $\phi 177.8$ mm \times 8.05 mm	二开套管 $\phi 127$ mm \times 6.5 mm
2-3	44.50	94.92	101.00	38.75	94.92
1-3	50.00	85.91	94.30	43.45	85.91
合计	—	—	195.30	82.20	180.83

4.2.2 注浆参数及工程量

注浆详细情况如下:

1)注浆前先进行压水试验:因孔内泥浆漏失,每次注浆前先进行 10 ~ 20 min 压水试验。

2)2-3 孔注浆情况:2022 年 12 月 7 日钻至 97 m 附近漏浆,起钻后开始注浆,当注浆泵表头压力达 0.5 MPa 时停注,共注入水泥浆 14 m³,用水泥 10.5 t。2022 年 12 月 8 日钻至 101 m 遇碎石层,泥浆漏失,起钻后开始注浆,注浆泵表头压力达 0.5 MPa 时停注,共注入水泥浆 111.5 m³,用水泥 83.5 t。2-3 孔 2 次注浆共注水泥浆 125.5 m³,用水泥 94 t,第 2 次注浆后期,井筒停止渗漏水,如图 8 所示。

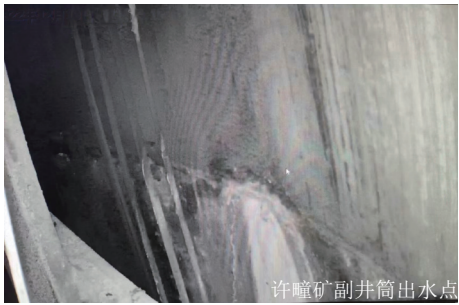


图 8 井筒停止渗漏水
Fig.8 Stop leaking water in the shaft

3) 1-3 孔注浆情况：2022 年 12 月 20 日钻至 94.30 m 遇碎石层，泥浆漏失，起钻后开始注浆，注浆泵表头压力达 0.5 MPa 时停注，共注水泥浆 2.7 m³，用水泥 2 t。12 月 21 日透孔至 94.30 m，起钻后复注，注浆表头压力达 0.5 MPa 时停注，共注水泥浆 2.7 m³，用水泥 2 t。1-3 孔 2 次注浆共注水泥浆 5.4 m³，用水泥 4 t，基本为管路内浆液损耗，浆液几乎未注入地层内。

4.2.3 钻探工程量

本次副井井筒地面注浆治理工程，共完成 2 个钻孔钻探施工，实际完成钻探工程量 195.30 m。钻孔深度、终孔层位、定向、下管、固井等工作，均符合设计要求，质量合格，尤其是 1-3 孔精准钻至井下 94 m 出水点壁后，确保了施工精度。终孔落点如图 9 所示。

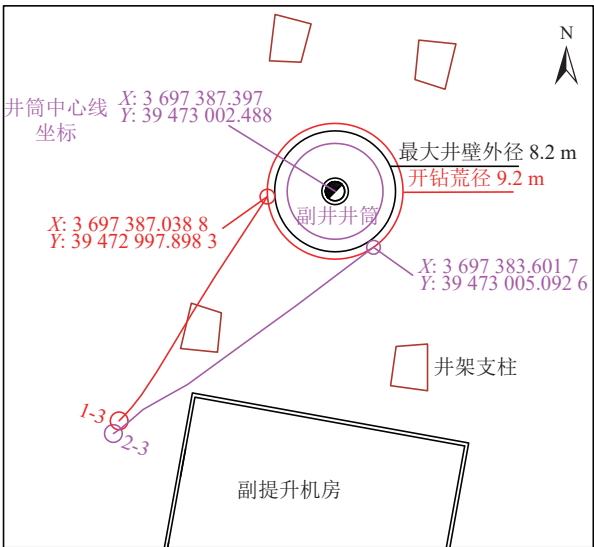


图 9 终孔落点
Fig.9 Landing point of final hole

4.2.4 注浆工程量

注浆工程量见表 3。注浆施工完成 2 个钻孔的注浆，共注 130.90 m³ 水泥浆，共用 98 t 水泥。注浆

压力、注浆量、水灰比等注浆参数符合设计要求，质量合格。

表 3 注浆工程量
Table 3 Grouting quantity

孔号	注浆量/ m ³	水泥用 量/t	水灰质 量比	相对密度/ (g·cm ⁻³)	停注原因
2-3	125.50	94	1.0	1.5	表头压力达0.5 MPa
1-3	5.40	4	1.0	1.5	表头压力达0.5 MPa
合计	130.90	98	—	—	—

4.3 工程应用效果

注浆量分析：94.00 ~ 131.40 m(厚度 37.40 m)范围内，井壁外直径与开钻荒径环状空间的碎石间孔隙体积约为 153.25 m³(碎石充填后孔隙率取 30%)。此次注浆共计 130.90 m³，2016 年矿方在 118 m 出水点采用壁后注浆方式，注入 50 t 水泥，按水灰质量比为 1 : 1 换算水泥浆约 66.67 m³，2 次注浆量合计 197.57 m³，大于 94.00 ~ 131.40 m 井壁外直径与开钻荒径环状空间的碎石间孔隙体积。

后期钻孔注浆情况分析：2-3 孔注浆结束时，井壁已不漏水，1-3 孔终孔落点位于 94 m 出水点正后方，注浆时，注浆压力上升较快，整体注浆量较少，2 次注浆仅注 5.40 m³，基本为管道内损耗，浆液几乎无法注入地层，因此水泥浆已封堵井筒埋深 94 m 处的出水点，为了防止过度注浆造成井筒偏斜或破裂，经矿方与专家综合研判后决定，结束地面钻孔注浆施工。

目前出水点渗漏水情况：通过本次地面钻孔注浆，埋深 94 m 出水点位置已被封堵，经长期观测，该段井壁未再渗漏水，封堵效果良好。

5 结 论

1) 壁后碎石充填层孔隙连通性好、壁后具有多层含水砂层和含水层(组)之间存在越流补给等因素造成压力较大且水量丰富的地下水长期作用于井壁外表面，地下水中的 HCO₃⁻、Cl⁻ 与井壁接茬处金属及焊缝发生复杂的化学反应造成井壁接茬处金属及焊缝发生点蚀和应力腐蚀，上述情况是导致许疃煤矿副井井壁接茬部位出现渗漏水的主要原因。

2) 在流砂层中钻井井筒单层井壁壁后注浆安全风险大，不符合现行煤矿安全规程，且会影响矿井正常生产，无法对壁后碎石充填层和冲积层进行充分注浆，存在注浆后再次渗漏水隐患；地面定向钻孔注浆注浆量大，可充分充填碎石层，有效提高井筒防

水性能和承载能力,且无需施工人员下井作业,安全性好,不影响井筒正常提升,深厚表土层钻井井壁渗漏水治理宜优先选用井筒周边地面定向钻孔注浆技术。

3)应用地面定向钻孔注浆技术对许疃煤矿副井井筒壁后充填层进行注浆,2个钻孔共注130.9 m³水泥浆,大于94.00~131.40 m井壁外直径与开钻荒径环状空间的碎石间孔隙体积,顺利封堵了井下94 m出水点,经长期观测,该段井壁未再渗漏水,堵水效果良好。

参考文献(References):

- [1] ZHAO X D, ZHOU G Q, ZHAO G S, *et al.* Fracture controlling of vertical shaft lining using grouting into neighboring soil deposits: a case study[J]. *Soils and Foundations*, 2017, 57(5): 882-891.
- [2] 岳宁,官云章,庞世界,等.副斜井出水涌砂原因分析及抢险治理技术研究[J].*煤炭工程*, 2018, 50(12): 73-75.
YUE Ning, GUAN Yunzhang, PANG Shijie, *et al.* Causes analysis of sand and water inrush in an auxiliary inclined shaft and study on the emergency management technology[J]. *Coal Engineering*, 2018, 50(12): 73-75.
- [3] YU Q, YIN K X, MA J R, *et al.* Vertical shaft support improvement studies by strata grouting at aquifer zone[J]. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 2018: 5365987.
- [4] 谢世平.壁后引水注浆在井筒大涌水治理中的应用[J].*采矿技术*, 2018, 18(6): 92-94.
XIE Shiping. Application of water diversion grouting behind the wall in the treatment of large water gushing in wellbore[J]. *Mining Technology*, 2018, 18(6): 92-94.
- [5] 全洪昌,李国栋,闫昕岭.立井井筒大段高、大涌水条件下的壁后注浆治水技术[J].*建井技术*, 2008, 29(3): 7-9.
TONG Hongchang, LI Guodong, YAN Xinling. Mine shaft back-grouting technology of water control in high sectional large water inrush in mine shaft[J]. *Mine Construction Technology*, 2008, 29(3): 7-9.
- [6] 张建,朱昌元.深厚表土层井壁出水注浆加固技术研究[J].*煤炭工程*, 2019, 51(1): 40-43.
ZHANG Jian, ZHU Changyuan. Study on grouting reinforcement technology of shaft lining water gushing in deep and thick overburden[J]. *Coal Engineering*, 2019, 51(1): 40-43.
- [7] 惠金卫,马小卫,王言龙,等.煤矿井筒井壁长跨度渗漏水壁后注浆治理措施[J].*能源技术与管理*, 2022, 47(5): 18-21.
HUI Jinwei, MA Xiaowei, WANG Yanlong, *et al.* Grouting treatment measures behind walls against long span leaching in coalmine shafts and walls[J]. *Energy Technology and Management*, 2022, 47(5): 18-21.
- [8] 张惠武,杨天亮,张建群.深立井大突水淹井静水抛碴注浆堵水施工实践[J].*中国矿山工程*, 2015, 44(1): 45-47.
ZHANG Huiwu, YANG Tianliang, ZHANG Jianqun. Practice of blocking up water by dumping waste rocks and grouting in deep and flooded shaft[J]. *China Mine Engineering*, 2015, 44(1): 45-47.
- [9] 庞世界,钱自卫,蔡逢华,等.井筒出水涌砂灾害机理及防治[J].*建井技术*, 2019, 40(3): 41-44.
PANG Shijie, QIAN Ziwei, CAI Fenghua, *et al.* Mechanism and prevention of water inflow and sand gushing in mine shaft[J]. *Mine Construction Technology*, 2019, 40(3): 41-44.
- [10] 姚直书,薛维培,陈廷学.深厚冲积层钻井井壁渗漏水机理和注浆技术探讨[J].*煤炭科学技术*, 2015, 43(S1): 1-4.
YAO Zhishu, XUE Weipei, CHEN Tingxue. Discussion on mechanism of water leakage and grouting technology of drilling shaft lining in deep alluvium[J]. *Coal Science and Technology*, 2015, 43(S1): 1-4.
- [11] 刘孝孔,绪瑞华,赵艳鹏,等.邻近厚松散层既有立井井筒地面注浆地层加固技术[J].*煤炭科学技术*, 2022, 50(7): 127-134.
LIU Xiaokong, XU Ruihua, ZHAO Yanpeng, *et al.* Ground grouting stratum reinforcement technology for thick loose layer adjacent to existing shaft[J]. *Coal Science and Technology*, 2022, 50(7): 127-134.
- [12] 吴昌文.地面注浆封堵松散层段井筒涌水[J].*煤田地质与勘探*, 1997, 25(1): 40-43.
WU Changwen. Controlling the water inrush from loose layers in shaft by grouting from land surface[J]. *Coal Geology & Exploration*, 1997, 25(1): 40-43.
- [13] 张小青,杨维山,何艳录.地面注浆堵水在鸣山矿井筒的应用[J].*江西煤炭科技*, 2004(3): 11-12.
ZHANG Xiaoqing, YANG Weishan, HE Yanlu. The application of face grouting to exclusion of water in MingShan Mine's shafts[J]. *Jiangxi Coal Science & Technology*, 2004(3): 11-12.
- [14] 田景对,李昌同.地面注浆技术在治理井筒破裂中的应用[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2003, 30(2): 29-31.
TIAN Jingdui, LI Changtong. Application of ground grouting technique in treatment of broken on shaft face[J]. *Exploration Engineering (Drilling & Tunneling)*, 2003, 30(2): 29-31.
- [15] 程桦,彭世龙,荣传新,等.千米深井L型钻孔预注浆加固嗣室围岩数值模拟及工程应用[J].*岩土力学*, 2018, 39(S2): 274-284.
CHENG Hua, PENG Shilong, RONG Chuanxin, *et al.* Numerical simulation and engineering application of grouting reinforcement for surrounding rocks of chamber in deep of 1 000 m by L-shaped boreholes[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2018, 39(S2): 274-284.
- [16] 荣传新,武汉,彭世龙,等.千米深井L型钻孔地面预注浆岩体可注性研究[J].*安徽理工大学学报(自然科学版)*, 2018, 38(1): 1-7.
RONG Chuanxin, WU Han, PENG Shilong, *et al.* Study on the grouting of rock mass in kilometer deep well by surface ground pre-grouting of L type drilling[J]. *Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science)*, 2018, 38(1): 1-7.
- [17] 袁辉,邓昀,蒲朝阳,等.深井巷道围岩L型钻孔地面预注浆加固技术[J].*煤炭科学技术*, 2014, 42(7): 10-13, 17.
YUAN Hui, DENG Jun, PU Chaoyang, *et al.* L type borehole ground grouting reinforcement technology of surrounding rock in deep mine roadway[J]. *Coal Science and Technology*, 2014,

- 42(7): 10–13, 17.
- [18] 孔令健, 姜春露, 郑刘根, 等. 淮北临涣矿采煤沉陷区不同水体水化学特征及其影响因素[J]. *湖泊科学*, 2017, 29(5): 1158–1167.
- KONG Lingjian, JIANG Chunlu, ZHENG Liugen, *et al.* Characters of hydrochemistry and their influenced factors of different waters in the Linhuan coal mining subsidence area of Huaibei City[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, 29(5): 1158–1167.
- [19] 罗通, 李俊, 赵成洲, 等. 许疃矿深层煤系水水化学成分演变规律与水环境质量评价[J]. *安徽农学通报*, 2022, 28(3): 140–143, 163.
- LUO Tong, LI Jun, ZHAO Chengzhou, *et al.* Chemical composition evolution and water environment quality evaluation of deep coal water in Xutuan mine[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2022, 28(3): 140–143, 163.
- [20] 许立铭, 董泽华, 范汉香. 油气田产出水中 CO_2 和 HCO_3 对碳钢腐蚀的影响[J]. *天然气工业*, 1996, 16(4): 57–60.
- XU Liming, DONG Zehua, FAN Hanxiang. Effects of CO_2 and HCO_3 in produced water of oil and gas fields on corrosion of carbon steel[J]. *Natural Gas Industry*, 1996, 16(4): 57–60.
- [21] 梁平, 李晓刚, 杜翠薇, 等. Cl^- 对 X80 管线钢在 NaHCO_3 溶液中腐蚀性能的影响[J]. *北京科技大学学报*, 2008, 30(7): 735–739.
- LIANG Ping, LI Xiaogang, DU Cuiwei, *et al.* Influence of chloride ions on the corrosion resistance of X80 pipeline steel in NaHCO_3 solution[J]. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 2008, 30(7): 735–739.
- [22] 周建龙, 李晓刚, 杜翠薇, 等. X80 管线钢在 NaHCO_3 溶液中的阳极电化学行为[J]. *金属学报*, 2010, 46(2): 251–256.
- ZHOU Jianlong, LI Xiaogang, DU Cuiwei, *et al.* Anodic electrochemical behavior of X80 pipeline steel in NaHCO_3 solution[J]. *Acta Metallurgica Sinica*, 2010, 46(2): 251–256.