

底板梳状钻孔在碎软煤层瓦斯治理中的应用

徐书荣¹, 刘 飞², 梁道富¹, 代 茂¹, 曹建明²

(1. 贵州黔西能源开发有限公司, 贵州 毕节 551507; 2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要:针对碎软煤层顺层钻孔成孔深度浅、成孔率低、存在抽采盲区等突出问题,基于贵州省青龙煤矿煤层及顶底板岩层赋存特征,提出利用底板梳状钻孔进行碎软煤层长距离、区域瓦斯抽采与治理。首先分析了底板梳状钻孔的施工工艺原理及技术优势所在,从布孔层位、分支点位和钻孔间距的选择等方面总结了底板梳状钻孔的设计原则。通过钻进装备的优选、钻进工艺参数和钻具组合的优化,成功穿越破碎煤层岩层孔段,并实现了 $\text{O}127\text{ mm}$ 套管全程护孔下放,在 21605 底抽巷施工完成了多组底板梳状定向钻孔。瓦斯抽采效果表明:底板梳状定向钻孔瓦斯抽采流量大、浓度高、衰减速度慢,单孔瓦斯抽采浓度 $60\% \sim 85\%$ 、抽采纯量 $0.8 \sim 2.5\text{ m}^3/\text{min}$,实现了碎软煤层瓦斯高效抽采。为碎软煤层矿井区域瓦斯抽采与治理提供了重要的借鉴。

关键词:底板梳状钻孔;碎软煤层;瓦斯抽采;瓦斯治理;钻进装备;钻具组合

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2019)07-0045-06

Application of comb type directional drilling in broken-soft coal seam floor for gas control

XU Shurong¹, LIU Fei², LIANG Daofu¹, DAI Mao¹, CAO Jianming²

(1. Guizhou Qianxi Energy Development Co., Ltd., Bijie Guizhou 551507, China;

2. Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: In view of the problems such as shallow borehole depth, low rates in borehole completion, presence of blind drainage areas in the broken-soft coal seam, it was proposed to use the comb type directional boreholes in the floor for long-distance and regional gas drainage and control in light of the occurrence characteristics of the coal seam, its roof and floor strata in Qinglong Coal Mine, Guizhou Province. Firstly, the construction principle and technical advantages of the comb directional boreholes on the floor were analyzed, and the design principles of the comb directional borehole on the floor were summarized from the selection of borehole target layers, kick-off point and borehole spacing. Through the optimization of drilling equipment, drilling technical parameters and drilling tool combinations, the fractured coal seam and rock along the borehole were drilled through successfully, and the $\text{O}127\text{mm}$ casing protection boreholes were run in the hole. Several comb directional boreholes were completed in the floor at No. 21605 bottom drainage roadway. The gas drainage effect shows that the gas drainage flow rate is large, the concentration is high, the attenuation rate is slow, the single borehole drainage concentration is $60\% \sim 85\%$, the drainage purity is 0.8 to $1.5\text{ m}^3/\text{min}$, achieving high-efficiency gas drainage. The study provides an important reference for regional gas drainage and control in the broken-soft coal seam.

Key words: floor comb borehole; broken-soft coal seam; gas extraction; gas control; drilling equipment; drilling tool combination

收稿日期: 2019-04-19 DOI: 10.12143/j.tkgc.2019.07.008

作者简介: 徐书荣,男,汉族,1981年生,通防副总工程师,工程师,从事煤矿技术工作,贵州省毕节市黔西县谷里镇青龙煤矿, xsr1658@163.com。

通信作者: 曹建明,男,汉族,1989年生,项目经理,助理研究员,勘查技术与工程专业,从事煤矿井下钻探工艺技术与推广工作,陕西省西安市高新区锦业一路 82 号, caojianming@cctegxian.com。

引用格式: 徐书荣,刘飞,梁道富,等.底板梳状钻孔在碎软煤层瓦斯治理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):45-50.

XU Shurong, LIU Fei, LIANG Daofu, et al. Application of comb type directional drilling in broken-soft coal seam floor for gas control[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(7):45-50.

0 引言

贵州省煤炭资源丰富,属于我国重要的煤炭基地,但其煤层赋存条件复杂,煤体结构破碎,瓦斯压力大、含量高。长期以来,受复杂地质条件、煤层开采技术条件和瓦斯治理措施不到位等影响,导致煤与瓦斯突出灾害事故频发,造成严重的人员与财产损失。随着贵州省煤炭开采的深入,其开采范围、深度及地质复杂程度的进一步加大,煤炭行业所面临的安全形势也越来越严峻^[1-2]。

目前,贵州省大多数矿井采用常规钻进装备进行瓦斯抽采与治理,先后尝试采用“边抽边掘”、“底抽巷+穿层钻孔+顺层钻孔”等瓦斯治理措施,但底抽巷掘进周期长、成本高;底板穿层钻孔覆盖范围小,主要用于掩护巷道掘进;顺层钻孔需要在工作面圈闭后施工,且易因自然造斜进入顶底板,存在钻孔深度浅、轨迹不可控制、钻孔利用率低及单孔瓦斯抽采量小等缺点,难以满足碎软煤矿矿井区域瓦斯抽采需要,严重制约着煤矿的安全高效生产^[3]。

碎软煤层顺层钻孔施工难题长期以来未得到有效解决。姚宁平等^[4-6]在国家科技重大专项“井下小曲率梳状钻孔钻进技术与装备”的支持下,提出采用梳状钻孔的方式在煤层顶底板钻进成孔,然后通过开分支进入煤层进行远距离区域瓦斯抽采。王飞等^[7]介绍了梳状钻孔轨迹的设计方法,降低梳状钻孔施工风险,进行远距离瓦斯预抽掩护预巷道掘进。王建强等^[8]介绍了底板梳状钻孔在赵庄矿的应用,通过对钻孔布置层位和施工工艺优化,使得梳状定向钻孔深度普遍达到300 m以上。李泉新等^[9]介绍了梳状钻孔在九里山煤矿和朱仙庄煤矿的应用,均取得了较好的应用效果。林伯泉等^[10]结合煤矿地质特点,提出了基于千米长钻孔技术的“三位立体”瓦斯综合治理技术措施。王沉、朱弘杰等^[11-12]均进行了瓦斯运移规律的模拟研究。王耀锋等^[13]采用关键层理论薄板理论和数值模拟相结合的方法,对煤层顶板裂隙带的分布和演化特征进行了研究。闫保永^[14]介绍了定向钻进技术在煤矿高位定向钻孔成孔中的应用实例。

基于此,本文以贵州省青龙煤矿为例,针对青龙煤矿碎软煤层及顶底板岩层赋存特征开展底板梳状定向钻孔钻进技术研究,进行区域瓦斯抽采与治理,通过钻孔结构设计及钻具组合优化,成功实施了多组底板梳状钻孔,成为贵州省首个采用底板梳状钻

孔进行远距离瓦斯抽采的矿井,并取得了良好的瓦斯抽采效果,研究可为贵州省类似矿井区域瓦斯治理提供重要借鉴。

1 青龙煤矿概况

1.1 地质概况

青龙煤矿位于贵州省西北部,属于我国西南地区典型的煤与瓦斯突出矿井。青龙煤矿主要开采16号和18号煤层,17号煤层局部可采。其中16号煤层厚度2.3~3.4 m,平均厚2.6 m,煤层稳定,结构相对简单,呈亮一半亮型,硬度系数0.37,瓦斯含量19.88 m³/t,瓦斯压力1.73 MPa;18号煤层厚3.2~4.0 m,平均3.6 m,煤层倾角10°~14°,平均12°,最大瓦斯含量为24.37 m³/t,硬度系数为0.20~0.43,最大煤层瓦斯压力1.20 MPa。18号煤层与16号煤层平均间距约24 m,其顶底板岩层以泥岩、砂岩为主,岩体结构破碎。

1.2 瓦斯治理情况

针对青龙煤矿煤层群特点,采用保护层下行开采的方式,即先开采上层16号煤层,对17号煤层和18号煤层进行卸压,确保下部煤层安全回采。将底抽巷布置在18号煤层的底板岩层中,向上施工穿层钻孔覆盖16号煤层、17号煤层、18号煤层,可同时掩护16号煤层、18号煤层巷道掘进,实现“一孔多用”,有效减少穿层钻孔施工数量,然后采用工作面顺层钻孔进行工作面条带抽采。由于青龙煤矿地质构造复杂,局部煤层倾角起伏变化大,采用顺层钻孔进行瓦斯抽采易出现空白带,难以实现瓦斯精准区域抽采。因此,采用底板梳状定向钻孔进行16号煤层区域瓦斯抽采与治理。

2 底板梳状定向钻孔施工技术

2.1 施工工艺技术原理

煤矿井下定向钻孔施工常采用清水作为动力介质和排渣介质,主要适用于中硬煤岩层钻孔施工。难以满足碎软煤层顺层钻孔长距离成孔需要。采用底板梳状钻孔进行碎软煤层长距离瓦斯抽采,即首先在煤层底板特定层位施工近水平定向钻孔,然后通过“前进式”或“后退式”开分支工艺技术已在已施工的主孔中钻进分支孔进入煤层中,分支孔进入煤层后通过对钻孔轨迹的精确控制使其尽可能在煤层中延伸,提高煤层孔段钻遇率,依次钻进多组分支孔延

伸,直到达到设计孔深^[15](参见图 1)。此外,对于煤层群开采的矿井,在煤层回采阶段,煤层顶底板产生卸压增透效应,造成煤层群瓦斯涌出,底板梳状钻孔也能作为抽采临近层采动卸压瓦斯或采空区瓦斯之用。底板梳状钻孔具有施工深度大、轨迹控制精度高、覆盖范围广等优点。

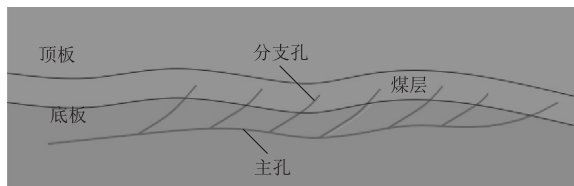


图 1 底板梳状钻孔示意图

Fig.1 Floor comb type directional boreholes

2.2 钻孔设计原则

底板梳状定向钻孔设计要遵循以下原则。

(1)层位的选择:首先底板梳状钻孔要布置在底板强度相对较高、结构相对完整的地层,避免在水敏或膨胀程度较高的地层中布孔,以利于钻孔成孔。一般情况下将底板梳状钻孔层位布置在目标煤层底板以下 2~4 m。对于保护层开采的矿井,为了减少底抽巷的布置,降低施工成本,可以将钻场布置在保护层底板的岩层中,通过施工大角度上仰钻孔进入到被保护层中。

(2)分支点的选择:首先分支点应选择在钻孔轨迹爬升阶段,以便于能快速开出分支孔;其次,根据螺杆马达的造斜规律和钻孔瓦斯抽采需要,分支点间距宜选择 40~60 m。

(3)钻孔间距的选择:为满足区域瓦斯治理需要,钻孔间距的选择应根据煤层的透气性系数、瓦斯含量、瓦斯压力等参数确定,应根据矿井的实际情况选择合理的钻孔间距,确保不出现瓦斯抽采空白带。对于采用水力压裂的底板梳状钻孔,可根据压裂影响半径适当的增大钻孔间距。

3 工程实践

3.1 钻场与钻孔设计

根据青龙煤矿示范工程要求,通过施工长距离定向煤层钻孔抽采二采区右翼 16 号煤层瓦斯,实现大面积区域消突。钻场布置在 21605 底抽巷,位于 18 号煤层底板,开孔位置在 18 号煤层底板下方 7 m 泥岩层中,目标煤层为 16 号煤层。在 21605 底抽巷共设计 3 个钻场,每个钻场 7 个钻孔,钻孔间距 10

m,钻孔长度 500 m,每隔 50 m 开一个分支孔,主孔沿 16 号煤层底板以下 2 m 左右延伸,钻孔设计平面布置如图 2 所示。

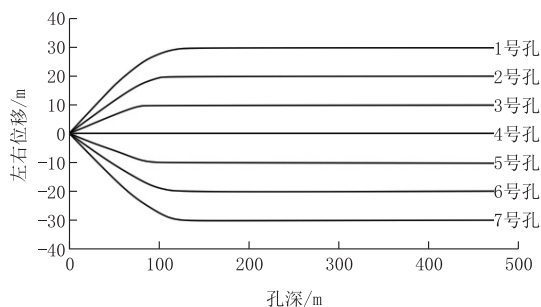


图 2 钻孔平面布置图

Fig.2 Plan view of drilling holes

3.2 施工难点

3.2.1 穿越 18 号煤层成孔困难

钻孔开孔点与 16 号煤层垂直距离约 30 m,施工钻孔轨迹必须穿越 18 号煤层,而 18 号煤层结构碎软、机械强度低、瓦斯含量高,且其顶底板岩层胶结程度差、结构破碎,含多层炭质泥岩和铝质泥岩,因此穿越 18 号煤层及顶底板岩层过程中钻进成孔困难。当钻孔轨迹穿越 18 号煤层后还要继续在 16 号煤层及底板中钻进,由于钻孔走向方向上穿越长度为 90~120 m,所以 18 号煤层及其顶底板岩层孔段是否稳定是 16 号煤层底板梳状定向钻进成孔的关键。

3.2.2 垂直落差大

钻孔轨迹穿过 18 号煤层后沿 16 号煤层倾向延伸,属于大倾角上仰钻孔,终孔点与孔口最大落差 180 m 左右,因此在钻孔施工过程中,存在给进压力大、钻孔轨迹控制难度大等问题,增加了施工风险和难度。此外,大角度上仰钻孔施工过程中,加接钻杆时冲洗液容易流出钻孔,继续钻进时泥浆泵给孔底送水时间增长,影响综合钻进效率。

3.2.3 孔内事故预防与高效钻进存在矛盾

16 号煤层底板以泥岩、砂泥岩为主,尤其在煤岩交接处,其岩层物质结构复杂、水理性质差,遇水后更容易软化、崩解;其次,当钻孔轨迹向上进入到 16 号煤层时,可能会发生憋泵、喷孔、塌孔。但为提升瓦斯抽采效果,在保证孔内钻具安全的前提下,应尽量增大钻孔在 16 号煤层中的延伸长度,进一步提高煤层钻遇率。如何协调高效钻进成孔和孔内事故预防之间的矛盾至关重要。

3.3 钻进装备

根据底板梳状钻孔特征及钻遇地层特点,选择的定向钻进装备见表1。

表1 定向钻进装备
Table 1 Directional drilling equipment

名称	型号/参数
定向钻机	ZDY6000LD(F)
随钻测量系统	YHD2-1000(A)
泥浆泵	FMC/260
钻杆	Ø73 mm 通缆钻杆/外平钻杆
钻头	Ø98 mm PDC
扩孔钻头	Ø133/153/193/215 mm
螺杆马达	Ø73 mm

3.4 钻孔结构设计

针对钻孔施工过程中可能出现的问题,优化钻孔结构设计、制定合理的工艺措施。钻孔穿越18号煤层过程中,采用多次扩孔钻进的方式,降低高压水对孔壁的冲刷,使得孔内钻渣能迅速排出孔外,同时也方便套管下入。首先通过大角度上仰定向钻孔的方式穿过18号煤层及顶底板不稳定岩层,缩短穿越孔段长度,然后在18号煤层及顶底板不稳定岩层孔段全程下入Ø127 mm 套管护孔,并注浆候凝;最后下入定向钻具串沿16号煤层进行梳状定向钻孔施工。

钻孔孔身结构如图3所示,分为孔口套管段、18号煤层护孔段和16号煤层定向钻进孔段,各孔段结构为:

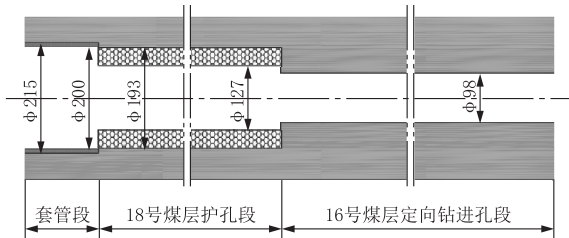


图3 钻孔结构设计示意图

Fig.3 Design of the bore hole structure

(1)孔口套管段:采用“Ø98 mm 钻头+Ø73 mm 外平钻杆”开孔,钻至15 m 退钻,然后依次用Ø133、153、193 mm 扩孔至15 m,最后采用Ø215 mm 扩孔钻头扩孔钻进3 m,下入Ø200 mm 套管封孔。

(2)18号煤层护孔段:采用“Ø98 mm 定向钻头+Ø73 mm 螺杆钻具+Ø73 mm 下无磁+Ø73 mm 探管+Ø73 mm 上无磁+Ø73 mm 通缆钻杆串+

Ø73 mm 通缆水便”组合钻具穿越18号煤层及顶底板不稳定岩层,然后采用Ø73 mm 外平钻杆配套Ø133、153、193 mm 扩孔钻头钻进至18号煤层顶板上方3 m 处退钻,然后全程下入Ø127 mm 套管护孔,并注浆候凝。

(3)16号煤层定向钻进孔段:采用“Ø98 mm 定向钻头+Ø73 mm 螺杆钻具+Ø73 mm 下无磁+Ø73 mm 探管+Ø73 mm 上无磁+Ø73 mm 通缆钻杆串+Ø73 mm 通缆水便”组合钻具进行底板梳状钻孔定向钻进。

根据钻孔结构设计,18号煤层护孔段要全程下入Ø127 mm 套管并注浆封孔,套管下入深度90~120 m,封孔质量尤为重要。当钻孔注浆凝固后,必须进行拉力试验和打压试验,拉拔应力 ≤ 9 MPa,并持续1 min;打压试验时,憋压 ≤ 1.0 MPa。钻进过程中采用“勤划眼、多冲孔、停钻连抽”等方式,降低发生塌孔、卡钻、喷孔等孔内事故的概率,观察钻进工艺参数变化及孔口返渣情况,出现异常情况立即停钻,并提钻至安全孔段,制定合理的处理方案。

3.5 钻孔施工情况

通过对钻进装备优选、钻具组合优化和钻进工艺参数优化,在青龙煤矿21605底抽巷完成3个钻场共计多组底板梳状钻孔施工,累计进尺1万余米,各分支孔在16号煤层延伸50 m 左右,最大穿煤长度138 m;煤层钻遇率在30%左右。以1号钻场2号钻孔为例,开孔倾角 19.7° ,开孔方位 128.6° ,成功穿越18号煤层及顶底板不稳定岩层段,并全程下入长度108 m、Ø127 mm 套管进行护孔。钻孔实际施工24 d,主孔深度519 m,累计总进尺至1059 m,开分支4次,最大穿煤长度87 m,煤层钻遇率24%,各分支孔施工情况见表2,钻孔剖面如图4所示。

表2 钻孔施工统计

Table 2 Summary of borehole construction

孔号	天数/d	进尺/m	煤层进尺/m	备注
2-1	8	57	无	塌孔严重
2-2	6	237	81	钻至设计孔深
2-3	3	138	87	钻至设计孔深
2-4	3	108	51	钻至设计孔深
主孔	4	519	39	钻至设计孔深

4 瓦斯抽采效果分析

目前,通过对21605底抽巷梳状定向钻孔瓦斯

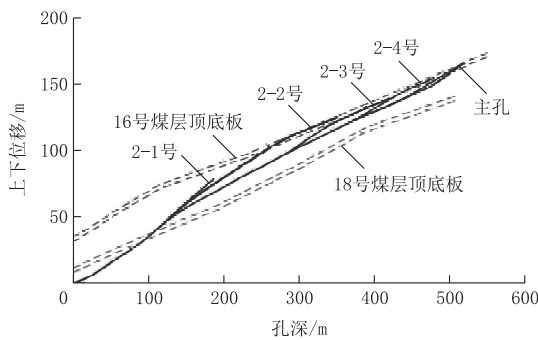


图 4 2号钻孔轨迹剖面图

Fig.4 Profile of No.2 drilling hole

抽采数据进行监测分析,在抽采初期,单孔瓦斯抽采浓度 60%~85%、抽采纯量 0.8~2.5 m³/min,钻孔瓦斯抽采浓度高、流量大、衰减速度慢。以 3 号钻场 2 号钻孔为例,其瓦斯抽采情况如图 5 所示,该钻孔从 2018 年 9 月 20 日开始连抽,最大瓦斯抽采浓度达 78%,最大瓦斯抽采纯量达 2.33 m³/min,截止 2019 年 3 月 21 日,已连续抽采 6 个月,瓦斯抽采浓度仍在 70%以上、抽采纯量仍在 0.8 m³/min 以上,单孔抽采纯量瓦斯已累计超过 34 万 m³。

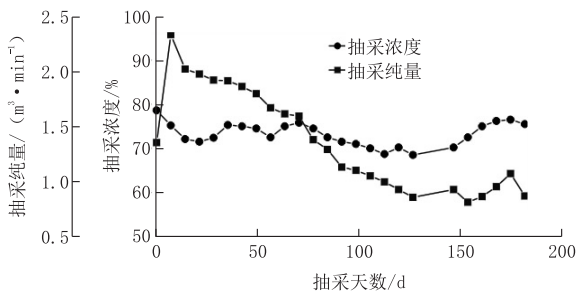


图 5 1号钻场 2号钻孔瓦斯抽采数据

Fig.5 Data of gas extraction from No.2 drilling hole in No.1 drilling field

5 结论

(1)底板梳状钻孔通过在煤层底板稳定岩层钻进,再向上开分支进入煤层成孔抽采瓦斯,具有施工深度大、轨迹控制精度高、覆盖范围广等优点,能够有效提高瓦斯抽采效果,实现大面积区域瓦斯超前治理。

(2)针对青龙煤矿煤层群开采,在 18 号煤层底板布置钻场,通过钻进装备的优选、钻进工艺参数和钻具组合的优化,采用大角度上仰钻孔的方式穿过破碎煤岩层段,并全程下入 $\varnothing 127$ mm 套管护孔,实现了复杂地质条件下底板梳状钻孔高效成孔。

(3)瓦斯抽采效果表明,底板梳状钻孔瓦斯抽采

浓度高、纯量大、衰减速度慢,单孔抽采浓度 60%~85%,单孔抽采纯量 0.8~2.5 m³/min;单孔已连续抽采 6 个月以上,瓦斯抽采纯量已累计超过 34 万 m³,实现了碎软煤层瓦斯高效抽采。

(4)为提高瓦斯抽采效果,当分支孔进入到煤层中后,可通过高压水力冲孔或者水力压裂的措施,增大煤层透气性系数,实现瓦斯高效抽采。

参考文献 (References):

- [1] 衡献伟,李绍泉,李青松.贵州煤与瓦斯突出特征及影响因素研究[J].煤矿安全,2013,44(10):7-10.
HENG Xianwei, LI Shaoquan, LI Qingsong. Study on the characteristics and influence factors of coal and gas outburst in Guizhou[J]. Safety in Coal Mines, 2013,44(10):7-10.
- [2] 韩真理,张书金,衡献伟,等.贵州煤矿煤与瓦斯突出防治技术体系研究[J].煤矿安全,2017,48(11):9-12,16.
HAN Zhenli, ZHANG Shujin, HENG Xianwei, et al. Study on technical system of coal and gas outburst prevention and control in Guizhou Coal Mines[J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(11): 9-12,16.
- [3] 方俊,李泉新,许超,等.松软突出煤层瓦斯抽采钻孔施工技术及发展趋势[J].煤炭科学技术,2018,46(5):130-137,172.
FANG Jun, LI Quanxin, XU Chao, et al. Construction technology and development tendency of gas drainage borehole in soft and outburst seam[J]. Coal Science and Technology, 2018,46(5):130-137,172.
- [4] 姚宁平,张杰,李泉新,等.煤矿井下梳状定向孔钻进技术研究与实践[J].煤炭科学技术,2012,40(5):30-34.
YAO Ningping, ZHANG Jie, LI Quanxin, et al. Research and application of comb type directional borehole drilling technology in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2012,40(5):30-34.
- [5] 姚宁平,姚亚峰,张杰,等.煤矿井下梳状孔定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2012,40(10):12.
YAO Ningping, YAO Yafeng, ZHANG Jie, et al. Technology and equipment of pectination directional drilling in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2012,40(10):12.
- [6] 姚宁平,张杰,张国亮,等.晋城矿区井下梳状钻孔瓦斯抽采技术体系[J].煤炭科学技术,2015,43(2):88-91,95.
YAO Ningping, ZHANG Jie, ZHANG Guoliang, et al. System of gas drainage technology of comb-like directional drilling in Jincheng Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2015,43(2):88-91,95.
- [7] 王飞,吴世跃,李艳奎,等.煤矿井下巷道梳状定向钻孔轨迹设计方法[J].煤矿安全,2017,48(1):153-156.
WANG Fei, WU Shiyue, LI Yankui, et al. Tracing design method of pectinate directional borehole of tunnels in underground mine[J]. Safety in Coal Mines, 2017,48(1):153-156.
- [8] 王建强,张杰,杜利猛,赵庄矿松软煤层梳状钻孔瓦斯抽采应用研究[J].煤矿安全,2016,47(10):133-136.
WANG Jianqiang, ZHANG Jie, DU Limeng. Application re-

search of gas drainage by comb-like drilling in soft coal seam of Zhaozhuang Coal Mine[J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(10): 133-136.

- [9] 李泉新, 石智军, 史海岐. 煤矿井下定向钻进工艺技术的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(2): 85-88, 92.
LI Quanxin, SHI Zhijun, SHI Haiqi. The application of directional drilling technology in coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(2): 85-88, 92.
- [10] 林柏泉, 李庆钊, 杨威, 等. 基于千米钻机的“三软”煤层瓦斯治理技术及应用[J]. 煤炭学报, 2011, 36(12): 1968-1973.
LIN Baiquan, LI Qingzhao, YANG Wei, et al. Gas control technology and applications for the three-soft coal seam based on VLD-1000 drilling systems[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(12): 1968-1973.
- [11] 王沉, 杨帅, 江成玉, 等. 高瓦斯突出煤层工作面采空区瓦斯防治技术研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2019, 36(1): 42-47.
WANG Chen, YANG Shuai, JIANG Chengyu, et al. Research on gas prevention and control technology in gob of high gas outburst coal seam[J]. Journal of Guizhou University (Natural Sciences), 2019, 36(1): 42-47.
- [12] 朱弘杰. 高位钻孔与采空区埋管联合抽放技术的数值模拟[J]. 山西焦煤科技, 2019, 43(1): 11-13.

ZHU Hongjie. Numerical simulation of combined drainage technology with high level borehole and gob pipe laying[J]. Shanxi Coking Coal Science & Technology, 2019, 43(1): 11-13.

- [13] 王耀锋, 聂荣山. 基于采动裂隙演化特征的高位钻孔优化研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(6): 86-91.
WANG Yaofeng, NIE Rongshan. Study on high level borehole optimization based on evolving characteristics of mining induced fracture[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 86-91.
- [14] 闫保永. 高位定向长钻孔钻进工艺研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(4): 55-58.
YAN Baoyong. Study on drilling technique of high level directional long borehole[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(4): 55-58.
- [15] 石智军, 胡少韵, 姚宁平, 等. 煤矿井下瓦斯抽采(放)钻孔施工新技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.
SHI Zhijun, HU Shaoyun, YAO Ningping et al. New drilling technique for underground gas extraction (drainage) in coal mines[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2008.

(编辑 韩丽丽)

(上接第 44 页)

- [8] 秦国宏, 覃毅, 尤凤堂, 等. 水泥浆失重对高压油气井固井质量的影响分析及工艺对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(3): 33-36.
QIN Guohong, QIN Yi, YOU Fengtang, et al. Analysis on the impact of weight loss of cement slurry on cementing quality for high-pressure oil and gas well and the technical countermeasures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(3): 33-36.
- [9] 左文贵, 朱林, 吴兵良, 等. 聚合物凝胶堵漏剂在大裂隙溶洞地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(9): 19-24.
ZUO Wengui, ZHU Lin, WU Bingliang, et al. Polymer gel plugging agent used in formation with large size caverns and fractures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(9): 19-24.
- [10] 张晓广. 米桑油田高压盐膏层固井问题分析和优化[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(9): 37-41.
ZHANG Xiaoguang. Analysis and optimization of cementing in high pressure salt-gypsum layer of Missan Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(9): 37-41.
- [11] 徐同台, 刘玉杰, 申威. 钻井工程防漏堵漏技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.

XU Tongtai, LIU Yujie, SHEN Wei. Leakage prevention and plugging technology in drilling engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.

- [12] 张向前, 高成军, 周东寿. 钻井司钻[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
ZHANG Xiangqian, GAO Chengjun, ZHOU Dongshou. Drilling drill[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [13] 赵金洲, 张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2005.
ZHAO Jinzhou, ZHANG Guilin. Drilling engineering technical manual[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2005.
- [14] 王涛, 贾博超. 地层承压能力固井前动态测试方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(2): 40-43.
WANG Tao, JIA Bochao. Dynamic testing of formation pressure bearing capacity before cementation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(2): 40-43.
- [15] 王志伟, 刘庆来, 郭新建, 等. 塔河油田防漏堵漏技术综述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(3): 42-46, 50.
WANG Zhiwei, LIU Qinglai, GUO Xinjian, et al. Review of lost circulation prevention and plugging techniques in Tahe Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(3): 42-46, 50.

(编辑 韩丽丽)