



刘东,辛新平,马耕.定向多分支长钻孔治理瓦斯技术体系研究及应用[J].矿业安全与环保,2021,48(5):108-112.
Research and application of the technical system for gas drainage by means of directional multi-branch drilling[J].Mining
Safety & Environmental Protection,2021,48(5):108-112.
DOI: 10.19835/j.issn.1008-4495.2021.05.021

扫码阅读下载

定向多分支长钻孔治理瓦斯技术体系研究及应用

刘东^{1,2,3},辛新平¹,马耕¹

(1.河南能源化工集团研究总院有限公司,河南 郑州 450046; 2.永城煤电控股集团有限公司,河南 永城 470031;
3.贵州豫能投资有限公司,贵州 贵阳 550000)

摘要:为实现煤层瓦斯的高效率、低成本治理,对定向长钻孔“两堵一注”定点定长带压封孔测瓦斯压力技术方法进行了改进,研制了深孔定点密闭取样装置,优化了定向长钻孔强化抽采增产技术,进而形成了定向多分支长钻孔治理瓦斯技术体系。开展了现场工程试验,结果表明:在永夏矿区地质条件下定向多分支长钻孔成功施工深度达630 m以上,所研制的深孔定点密闭取样装置能够完成632 m钻孔的密封取样,密闭取样装置结构合理;实测试验区域煤层瓦斯含量、瓦斯涌出初速度、钻屑量结果一致性较好,测试结果可靠性满足要求;掘进过程中瓦斯涌出量与掘进速度呈明显的正相关关系,且瓦斯涌出量最大值位置与瓦斯含量、区域验证指标最大值区域位置一致,证明了定向多分支长钻孔治理瓦斯技术体系的可靠性。

关键词:定向多分支钻孔;密闭取样;抽采评价技术;区域验证指标;瓦斯涌出量

中图分类号:TD712⁺.6

文献标志码:B

文章编号:1008-4495(2021)05-0108-05

Research and application of the technical system for gas drainage by means of directional multi-branch drilling

LIU Dong^{1,2,3}, XIN Xinping¹, MA Geng¹

(1. Research Institute of Henan Energy and Chemical Industry Group Co., Ltd., Zhengzhou 450046, China;

2. Yongcheng Coal & Electricity Holding Group Co., Ltd., Yongcheng 470031, China;

3. Guizhou Yuneng Investment Co., Ltd., Guiyang 550000, China)

Abstract: In order to realize high efficiency and low cost control of coal seam gas drainage, this paper proposes the technical system for gas drainage by means of directional multi-branch drilling. The fixed-point and fixed-size drilling sealing technology with pressure named “double sealing and one grouting” is improved to determinate coal seam gas pressure, and the airtight sampling device for fixed-point coal in the deep drilling is developed. In addition, the intensified techniques of gas drainage are optimized according to directional multi-branch drilling, then the technical system for gas drainage by means of directional multi-branch drilling is formed. The field engineering test results show that, the directional multi-branch drilling is successfully constructed with a depth of more than 630 m in Yongxia mining area, coal sample in the max depth of 632 m is fetched hermetically by the airtight sampling device, the structure of hermetically sampling device is reasonable; the results of the coal seam gas content, the initial emission rate and the drilling cutting agrees well with each other in position, the reliability of the test results meets the requirements; the gas emission rate is positively correlated with the tunneling speed, and the position of maximum gas emission rate is consistent with that of maximum gas content and regional verification indexes, which proves the reliability of the proposed technical system.

Keywords: directional multi-branch drilling; hermetically sampling; evaluation technique for drainage; regional verification indicator; gas emission rate

收稿日期:2020-10-20;2021-04-06 修订

作者简介:刘东(1986—),男,河南永城人,博士,高级工程师,主要从事煤层瓦斯治理方面的研究工作。E-mail: liudong860614@126.com。

随着煤炭开采深度的不断增加,煤层瓦斯含量越来越高,而煤层透气性越来越差,矿井瓦斯治理难度越来越大^[1-2]。采用常规的岩石抽采巷穿层钻孔区域瓦斯治理技术^[3-7]存在巷道和钻孔工程量、抽

采周期长、成本高等方面的问题,造成瓦斯抽采效率低,“抽、掘、采”比例失衡,虽然国内研究人员开展了一系列研究工作以提升钻孔抽采能力^[8-13],但仍未能从根本上解决工程量大和周期长的难题,因此,急需探寻一种高效、低成本的区域瓦斯治理模式。在国内井下定向钻进技术发展及应用的基础上^[14-22],笔者所在团队研究了定向多分支长钻孔治理瓦斯技术体系,其融合了定向长钻孔施工保障技术,提出了包括定向长钻孔“两堵一注”定点定长带压封孔测瓦斯压力技术和深孔定点密闭取样技术的定向长钻孔区域瓦斯抽采评价技术,优化了定向长钻孔强化抽采增产技术。该技术体系的提出为矿井瓦斯安全高效、低成本治理提供了理论支撑,可为矿井安全生产和提质增效提供保障。

1 定向多分支长钻孔治理瓦斯技术体系

1.1 定向钻进保障技术原理

定向钻进技术主要依托包括主机、泵站、操作台、防爆计算机、定向钻进机具(螺杆马达)、随钻测量装置、定向钻机配套钻杆和钻头的千米定向钻机进行定向长钻孔钻进,近年来,随着技术和装备的不断发展,定向钻进施工日趋成熟和普遍使用,井下钻孔最长可达3 353 m^[23]。螺杆马达是实现定向钻进的基础,通过高压水动力作用下的螺杆马达转子的转动,带动弯接头尾部钻头的回转而破煤岩钻进,由于弯接头的作用,钻孔的轨迹将不再是传统钻机所形成的近直线轨迹,而成为一条固定曲率半径的空间曲线,通过调整螺杆马达工具面方向角实现不同方向的钻进作业。随钻测量装置主要用于定向钻孔施工过程中的随钻监测,可随钻测量钻孔倾角、方位、工具面等主要参数,便于随时了解钻孔施工情况,并及时调整工具面方向和工艺参数,使钻孔按照设计的轨迹延伸。

1.2 定向长钻孔区域瓦斯抽采评价技术

1.2.1 定向长钻孔封孔测压技术

包括长钻孔测压技术和深孔定点密闭取样技术的长钻孔评价技术是定向多分支长钻孔治理瓦斯技术体系的技术难点和核心问题。穿层长钻孔“两堵一注”定点定长带压封孔技术如图1所示。

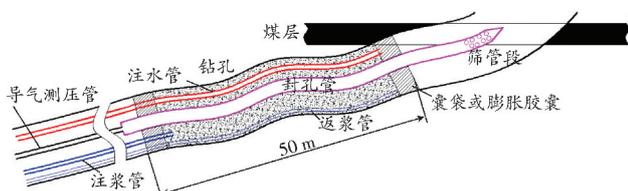
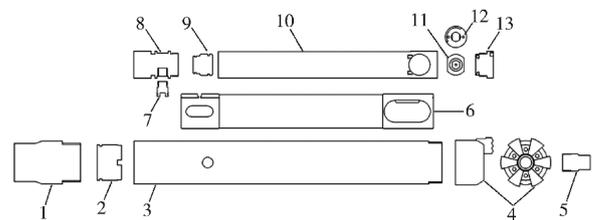


图1 长钻孔注浆封孔示意图

封孔管采用直径50 mm的金属管(每一段长度2~3 m),封孔管连接处为密封结构,其外部固定连接导气测压管,内部有硬质塑料管做成的筛管,筛管顶部设计为锥形以便于送入孔底;封孔管两端固定有膨胀胶囊,里段的膨胀胶囊位于塑料管以外,通过注水管注入液体使胶囊膨胀,实现两端封堵;封孔管配置有注浆管和返浆管,两端囊袋封堵后,通过注浆管进行封孔,封孔长度一般不小于50 m,封孔段静压力一般不低于2 MPa。采用主动测压法进行煤层瓦斯压力测定,补偿气体选用N₂。

1.2.2 深孔定点密闭取样技术

深孔定点密闭取样装置主要由取心钻头、薄壁钻头(取心)、取心外筒、取心中筒、取心内筒、球阀开关、截断销、截断阀、止回阀等结构件组成,如图2所示。



1—止回阀;2—截断销;3—取心外筒;4—取心钻头;5—薄壁钻头;
6—取心中筒;7—固定螺母;8—取心内筒底座;9—取心内筒下密封;
10—取心内筒;11—球阀;12—球阀开关;13—取心内筒上密封。

图2 密闭取样装置结构示意图

取心外筒前端与取心钻头连接,末端通过止回阀与钻杆连接,并通过固定螺母与取心内筒连为一体。取心中筒前端开圆弧齿槽,后端开椭圆槽,椭圆槽宽度允许固定螺母穿过、长度为一个球阀关闭行程,并留设6个截断销槽,通过截断销与取心内筒底座保持位置相对固定;取心中筒前端固定球阀开关,后端固定有截断阀,截断阀外径、厚度与取心中筒一致,中间开带螺纹的过水孔,通过增减螺母调节过水断面,截断阀在高压水流作用下产生推力,剪断截断销,进而带动球阀齿轮旋转,实现球阀闭合密封;取心中筒与外筒的间隙作为过水通道,过水量能够满足冷却钻头、排渣需要。取心内筒主要由内筒、底座、上密封、球阀等组成,其主要作用是收集煤心,取心内筒底座安装有解吸气嘴,煤样无需装罐即可与解吸仪直接相连完成井下解吸,前端球阀通过高强度尼龙垫挤压密封,可在1.5 MPa压力下持续密封24 h。一般情况下,将球阀闭合密封压力调为6 MPa,即供水压力增加至6 MPa时剪断截断销进行密封。

1.3 定向长钻孔强化抽采增产技术

1.3.1 气驱增产技术

通过向钻孔中注入气体,煤层注气端压力上升,气体向附近钻孔流动,将游离CH₄带出,从而打破

CH₄ 吸附平衡状态,促使 CH₄ 持续解吸;同时,煤层注气后,气体压力对煤层裂隙起到一定的膨胀支撑作用,缓解抽采时的收缩过程、维持渗流通道、增加煤层透气性。注入气体对 CH₄ 的“携带”“驱替”作用占主导地位,而气体之间的“竞争吸附”起次要作用。

一般情况下,注气气体可选择空气、N₂ 和 CO₂,但煤层对 CO₂ 的吸附性较强,注入后可能导致煤层具有更大的突出危险性,而且煤层可能存在自燃倾向性,所以选择 N₂ 作为常规驱替气体,注气压力根据实际煤层瓦斯压力情况调整,一般在 0.5 MPa 左右。

1.3.2 定向多分支长钻孔压裂封孔技术

定向钻孔一般采用前进式施工,即当主孔钻进至设计分支位置时先开分支钻孔,待分支钻孔完成后退钻至主孔继续施工。若多分支钻孔全部设计在煤层中,则考虑在孔口进行封孔、使用大排量压裂泵进行钻孔全段压裂的增透方式;若钻孔主孔在岩层中,则对设计压裂的分支钻孔进行局部封孔,封孔段为开分支位置以里 10 m 至煤岩层交界面,封孔段长度不小于 50 m,具体封孔方法可参照上述的测压封孔方式,将封孔管延伸至孔口,并能实现压裂后封孔管在封孔位置的断接,以便后续施工;压裂压力及排水量根据作业范围及煤岩层特性参数计算确定。

2 定向多分支长钻孔工程应用及效果分析

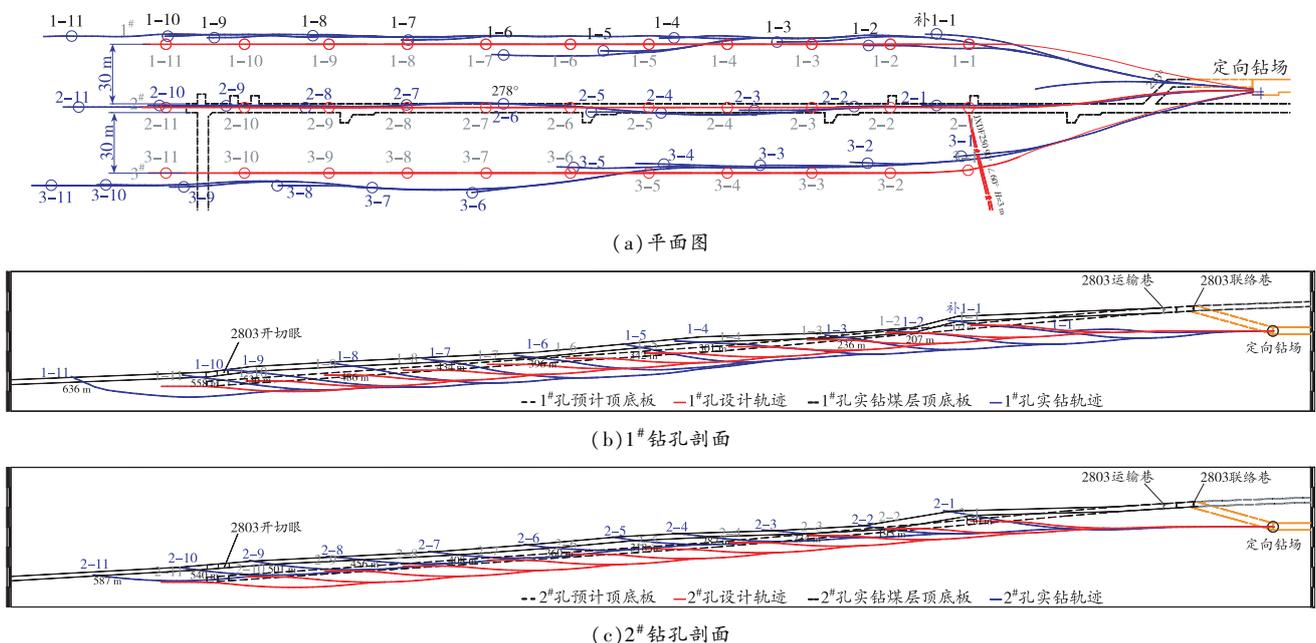
2.1 试验区地质条件

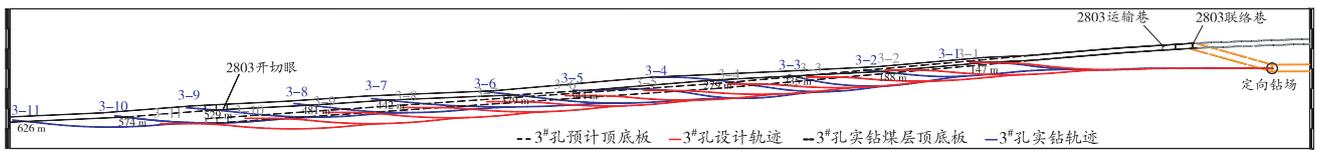
试验地点在永夏矿区陈四楼煤矿 2803 工作面,该工作面地质构造总体为一个宽缓的单斜构造,工作面里部发育一向斜构造,地层倾角 1°~22°,平均倾角 7°;运输巷和回风巷掘进方向煤层倾角 1°~16°,

平均倾角 5°,整体坡度较缓;二₂ 煤层赋存稳定、结构简单,煤层厚度最大为 3.7 m,最小为 1.1 m,平均 2.55 m。工作面煤层顶底板一般由坚固性系数为 3~5 的层状细砂岩、泥岩组成;直接顶为泥岩,厚度 0.43~9.58 m,平均厚度 3.84 m;直接底为泥岩,厚度 1.58~6.79 m,平均厚度 4.67 m。根据区域瓦斯地质特征及附近地质钻孔中抽检瓦斯含量资料,预计 2803 工作面整体上原始瓦斯含量在 2.5~5.8 m³/t 内,存在局部瓦斯赋存异常区域。

2.2 钻孔施工及区域瓦斯预测情况

在底板巷中的定向钻场施工钻孔,定向钻场距离煤层 10 m 左右,本轮施工定向钻孔 3 个,钻孔布置于预掘煤巷两帮外 30 m 和巷道中线处,钻孔开孔高度 1.5 m,主孔在距离煤层 5~7 m 的底板岩层中,每隔 40 m 开分支进入煤层,合计长度 5 833 m,其中岩孔长度 3 854 m,煤孔长度 1 979 m。1#钻孔开分支 12 个,钻孔最大钻进长度 621 m,钻孔合计长度 2 212 m;2#钻孔共有 11 个分支钻孔,钻孔最大钻进长度 591 m,钻孔合计长度 1 719 m;3#钻孔共有 11 个分支钻孔,钻孔最大钻进长度 632 m,钻孔合计长度 1 902 m。定向多分支钻孔设计与实钻图如图 3 所示,图 3 中红色曲线为设计钻孔轨迹,蓝色曲线为实际钻孔轨迹,圆圈为各分支的见煤位置,黑色虚线为预计煤层顶底板,黑色实线为实际煤层顶底板,钻孔实际走向与设计走向基本一致,但分支孔实际位置与设计有一定的差异,这主要是受到底板岩性、煤层走向变化、构造发育情况的影响,钻孔实探煤层整体走向与预测结果一致,局部区域存在较小的起伏形态,实际煤层倾角比预测结果小。





(d) 3# 钻孔剖面

图3 定向多分支钻孔设计与实钻图

为了摸清试验区域瓦斯赋存情况,在施工定向钻孔时采用深孔定点密闭取样装置在每个分支孔取样,测试煤层原始瓦斯含量,为保证取样装置的密封性,将取样装置退至孔口后进行密封性测试。取样点间距 30 ~ 50 m,共计取得 33 份煤样,取样量在 100 ~ 600 g 内,最大深度 632 m。测试结果如图 4 所示。

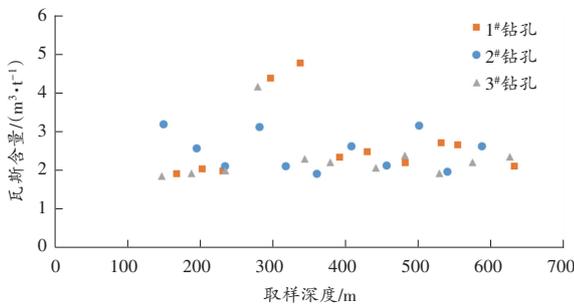


图4 深孔密闭取样预测煤层瓦斯含量

从图 4 中可以看出,煤层瓦斯含量在 1.87 ~ 4.76 m³/t 内,大部分测点的瓦斯含量在 4 m³/t 以下,有 3 个测点瓦斯含量在 4 ~ 5 m³/t 内,均低于《防治煤与瓦斯突出细则》规定瓦斯含量临界值 8 m³/t 及河南省规定瓦斯含量临界值 6 m³/t,因此该区域不需要采取强化抽采增产技术措施。瓦斯含量 4 m³/t 以上的测点集中在第 4、第 5 分支孔位置,表明钻场前方 300 m 附近区域的煤层瓦斯含量较高。另一方面,打钻及取样过程中,孔内瓦斯涌出量很少,孔内 1 m 处瓦斯浓度(CH₄ 体积分数,下同)一般接近 0,在钻进至瓦斯含量较大区域时也不超过 2%,可认为煤层瓦斯含量确实不高。

2.3 瓦斯抽采及效检结果分析

钻孔封孔连抽后抽采管内瓦斯浓度接近 0,只有极少量瓦斯从孔内抽出,分析认为存在该情况的原因有 3 种:一是煤层原始瓦斯含量并不高,实测在 1.87 ~ 4.76 m³/t 内,可解吸瓦斯量少,打钻过程中孔内瓦斯涌出情况亦可以佐证这一点;二是钻孔施工工期较长,施工过程中可解吸的瓦斯已经逐渐散逸,连抽后的可抽瓦斯有限;三是定向钻孔采用的是以高压水为动力的钻进工艺,导致钻孔附近煤层被水浸润而形成水锁效应,使煤层残存瓦斯难以从孔隙运移至裂隙中。

抽采结束后,对煤巷条带区域进行效果检验,施工定向多分支长钻孔作为效检钻孔,效检钻孔主孔布置在底板岩层中,每隔 40 m 开分支进入煤层,共计有 11 个分支钻孔。采用深孔定点密闭取样装置在分支孔内取样,测得煤层残存瓦斯含量在 1.93 ~ 3.06 m³/t 内,如图 5 所示。对比发现,煤层瓦斯含量整体有所降低,而残存瓦斯含量最大区域与原始瓦斯含量位置一致。

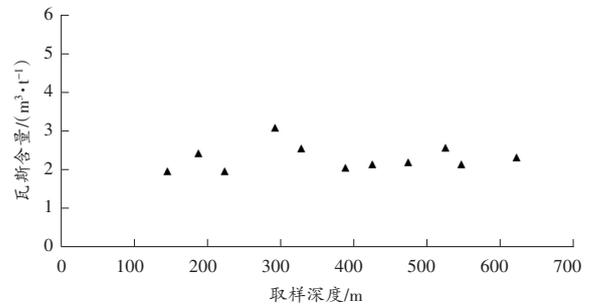


图5 煤层残存瓦斯含量测定结果

2.4 定向多分支长钻孔治理结果验证

采用瓦斯涌出初速度 q 和钻屑量 S 指标进行区域措施验证,统计了钻场前方 541.3 m 煤巷掘进过程中的区域验证数据,共计 149 组,如图 6 所示。

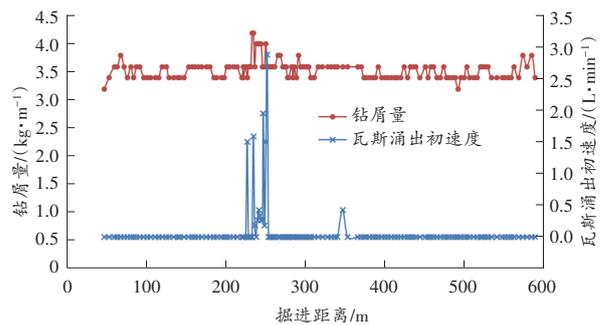


图6 钻屑量和瓦斯涌出初速度测试结果

由图 6 可见,瓦斯涌出初速度在 0 ~ 2.89 L/min 内,有 136 组结果为 0,有 13 组瓦斯涌出初速度 q 值在 0.18 ~ 2.89 L/min 内,均未达到或超过临界值,瓦斯涌出初速度较大的区域位于距钻场 220 ~ 251 m 内;钻屑量 S 值在 3.2 ~ 4.2 kg/m 内,平均 3.5 kg/m,不小于 4.0 kg/m 的取样点共有 8 组,位于距钻场 232 ~ 250 m 的区域内。2 种指标出现较大值的位置与瓦斯含量较大值的位置一致,证明了采用深孔定点密闭取样装置进行煤层瓦斯含量测试的可靠性。

煤巷掘进期间的回风流瓦斯浓度数据如图7所示。

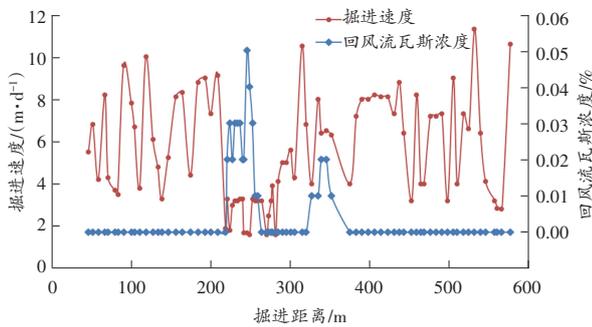


图7 煤巷掘进过程中回风流瓦斯浓度情况

由图7分析发现,煤巷掘进期间回风流瓦斯浓度整体较低,大部分区段煤巷掘进过程中回风流瓦斯浓度为0,最高瓦斯浓度为0.06%,处于距钻场221.4~259.7、327.9~365.4 m的区域,最大瓦斯涌出量为0.26 m³/min,与前述的瓦斯含量测试结果及区域验证结果较为一致。另一方面,在有明显瓦斯涌出的掘进区段,巷道瓦斯涌出量与掘进速度呈明显的正相关关系,即巷道瓦斯涌出量随每日掘进速度的增加而变大,停掘期间巷道瓦斯涌出量明显回落。

3 结语

1) 优化了“两堵一注”定点定长带压封孔测瓦斯压力技术,研制了深孔定点密闭取样装置,为定向多分支长钻孔抽采评价提供了技术和装备支撑;提出了包括定向长钻孔施工保障技术、区域瓦斯抽采评价技术和强化抽采增产技术的定向多分支长钻孔治理瓦斯技术体系。

2) 开展了定向多分支长钻孔区域瓦斯治理技术现场试验,实现了632 m长钻孔的密闭取样,分析了煤层瓦斯含量测试结果、区域验证数据、掘进过程中瓦斯涌出量等变化规律,验证了各项结果的一致性,证明了该项技术的可靠性。

参考文献:

[1] 辛新平. 煤层井下水力增透理论及应用研究[D]. 焦作:河南理工大学,2016.
[2] 薛斐. 水力冲孔煤层增透机理及应用研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2019.
[3] 袁亮,薛俊华,张农,等. 煤层气抽采和煤与瓦斯共采关键技术现状与展望[J]. 煤炭科学技术,2013,41(9):6-11.
[4] 周勇. 煤层群底板穿层钻孔瓦斯抽采半径考察研究[J]. 矿业安全与环保,2016,43(2):102-105.

[5] 章光,吴金刚,杨龙杰. 非等压应力场上向长距离穿层瓦斯抽采钻孔密封长度研究[J]. 岩石力学与工程学报,2018,37(增刊1):3422-3431.
[6] 豆旭谦. 煤矿井下穿层钻孔高效钻进方法[J]. 煤矿安全,2020,51(5):126-129.
[7] 吕有厂,朱传杰. 不同倾角底板穿层钻孔瓦斯抽采流量衰减规律研究[J]. 煤炭科学技术,2017,45(7):74-79.
[8] 刘东,刘文. 水力冲孔压裂卸压增透抽采瓦斯技术研究[J]. 煤炭科学技术,2019,47(3):136-141.
[9] 龚国民. 突出煤层穿层钻孔增透强化瓦斯抽采消突技术及效果考察[J]. 矿业安全与环保,2015,42(6):83-86.
[10] 李生舟,乔伟,王建. 深部突出煤层超高压水射流割缝工艺参数研究与应用[J]. 矿业安全与环保,2020,47(4):57-61.
[11] 王耀锋,何学秋,王恩元,等. 水力化煤层增透技术进展及发展趋势[J]. 煤炭学报,2014,39(10):1945-1955.
[12] 孙振敏. 穿层割缝钻孔对煤体卸压增透效应的研究与应用[J]. 矿业安全与环保,2019,46(5):75-79.
[13] 冯康武. 水力化卸压增透技术在石门快速揭煤中的应用研究[J]. 矿业安全与环保,2020,47(4):62-65.
[14] 王振. 千米定向钻进技术的应用现状及问题探讨[J]. 矿业安全与环保,2017,44(2):95-97.
[15] 方俊,刘飞,李泉新,等. 煤矿井下碎软煤层空气复合定向钻进技术与装备[J]. 煤炭科学技术,2019,47(2):224-229.
[16] 张迪,李泉新,方俊. 集束型枝状定向钻孔群一孔两消瓦斯抽采技术与应用[J]. 煤矿安全,2018,49(6):49-53.
[17] 许峰,杨茂林. 定向钻探技术在神东矿区防治水中的应用[J]. 矿业安全与环保,2017,44(1):70-73.
[18] 林海飞,杨二豪,夏保庆,等. 高瓦斯综采工作面定向钻孔代替尾巷抽采瓦斯技术[J]. 煤炭科学技术,2020,48(1):136-143.
[19] 陈功华,魏泽云,梁道富,等. 近距离煤层群高位定向长钻孔瓦斯抽采实践[J]. 矿业安全与环保,2019,46(5):66-69.
[20] 胡良平,孙海涛,杨慧明,等. 新集二矿顶板定向长钻孔瓦斯抽采效果试验研究[J]. 矿业安全与环保,2017,44(2):45-48.
[21] 侯国培,郭昆明,岳茂庄,等. 高位定向长钻孔瓦斯抽采技术应用[J]. 煤炭工程,2019,51(1):64-67.
[22] 王勇,马金魁. 顶板定向长钻孔“以孔代巷”抽采瓦斯技术研究[J]. 矿业安全与环保,2019,46(5):95-98.
[23] 石智军,董书宁,杨俊哲,等. 煤矿井下3000 m顺煤层定向钻孔钻进关键技术[J]. 煤田地质与勘探,2019,47(6):1-7.

(责任编辑:李 琴)