



贵州青龙煤矿碎软煤层区域瓦斯递进式抽采技术

梁道富, 曹建明, 代茂, 褚志伟, 张垒

引用本文:

梁道富, 曹建明, 代茂, 等. 贵州青龙煤矿碎软煤层区域瓦斯递进式抽采技术[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(5): 48–52.
LIANG Daofu, CAO Jianming, DAI Mao, et al. Progressive gas extraction technology in broken soft coal seam of Qinglong coal mine, Guizhou Province[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2020, 48(5): 48–52.

在线阅读 View online: <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2020.05.006>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

韩城矿区碎软煤层顶板梳状孔水力压裂瓦斯抽采工程实践

Practice of gas drainage by hydraulic fracturing of roof pectination boreholes in broken soft coal seam in Hancheng mining area
煤田地质与勘探. 2018, 46(4): 17–21 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2018.04.003>

软煤气动螺杆钻具定向钻进技术与装备

Directional drilling technology and equipment of pneumatic screw motor in soft seam
煤田地质与勘探. 2020, 48(2): 36–41 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2020.02.007>

芦岭煤矿碎软低渗煤层高效抽采技术

Technology of CBM extraction in the crushed and soft coal seam in Luling coal mine
煤田地质与勘探. 2017, 45(4): 81–84, 93 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2017.04.014>

我国煤矿井下复杂地质条件下钻探技术与装备进展

Progress of drilling technologies and equipments for complicated geological conditions in underground coal mines in China
煤田地质与勘探. 2020, 48(2): 1–7 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2020.02.001>

煤矿井下碎软煤层泡沫钻进技术及应用

Foam drilling technology and application for broken soft coal seam in underground coal mine
煤田地质与勘探. 2020, 48(2): 25–29 <https://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2020.02.005>

文章编号: 1001-1986(2020)05-0048-05

贵州青龙煤矿碎软煤层区域瓦斯递进式抽采技术

梁道富¹, 曹建明², 代茂¹, 褚志伟², 张垒¹

(1. 贵州黔西能源开发有限公司青龙煤矿, 贵州 毕节 551700;

2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 针对碎软煤层瓦斯抽采钻孔存在轨迹不可控、成孔深度浅和瓦斯抽采效果差的问题, 分析了现有瓦斯抽采钻孔回转钻进技术瓶颈, 集成了基于长距离顺层钻进技术和双动力复合排渣技术的压风定向钻进技术, 在此基础上提出了利用压风定向钻进技术, 开展碎软煤层区域递进式瓦斯抽采技术。选取黔北煤田中部青龙煤矿 21606 运输巷道进行现场试验, 在坚固性系数为 0.37 碎软煤层中, 施工完成 253 个顺煤层压风定向钻孔, 95% 钻孔达到设计孔深, 累计进尺超过 3 万 m, 单孔瓦斯抽采纯量是普通回转钻孔的 10 倍以上, 单孔瓦斯抽采甲烷体积分数提高约 50% 以上。试验表明, 采用压风定向钻进技术钻进碎软煤层钻孔轨迹可控, 成孔率在 95% 以上, 区域递进式瓦斯抽采技术具有无抽采盲区的显著优势, 有效缓解了采掘接替紧张局面, 提升了矿井瓦斯治理技术水平, 为碎软煤层瓦斯治理提供了新的技术途径。



移动阅读

关 键 词: 碎软煤层; 瓦斯抽采; 区域递进; 压风定向钻进; 复合排渣

中图分类号: TD712 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2020.05.006

Progressive gas extraction technology in broken soft coal seam of Qinglong coal mine, Guizhou Province

LIANG Daofu¹, CAO Jianming², DAI Mao¹, CHU Zhiwei², ZHANG Lei¹

(1. *Qinglong Coal Mine, Guizhou Qianxi Energy Development Company Limited, Bijie 551700, China*;

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

Abstract: Aiming at the problems of uncontrollable trajectory, shallow borehole depth and poor gas extraction effect in gas treatment drilling of broken soft coal seam in Qinglong coal mine, the regional progressive gas extraction technology in broken soft coal seam based on compressed-air directional drilling was proposed, on the basis of analyzing the technical bottleneck of existing gas extraction borehole with rotary drilling. The principle and advantage of the technology was expounded, the technology of directional drilling by compressed-air, the technology of long distance in-seam drilling, and the technology of composite slag discharge by double power were integrated. The field test was carried out in roadway 21606 of Qinglong coal mine, 253 boreholes were drilled in the broken soft coal seam with a protodyaknoe's number of 0.37. 95% of the boreholes, reached the design depth, and the cumulative footage was more than 30 000 m. The single-hole gas extraction purity is 10 times of that of the ordinary rotary boreholes, and the single-hole gas extraction concentration increased by about 50%. The application test shows that the regional progressive gas extraction technology has the advantages of great hole depth, high drilling efficiency and no blind extraction zone, which can effectively relieve the tension situation of mining replacement, improve the level of mine gas treatment technology, and provide a new technical way for the gas treatment of broken soft coal seam.

Keywords: broken soft seam; gas extraction; region progressive; compressed-air directional drilling; composite slag discharge

收稿日期: 2020-07-01; 修回日期: 2020-09-08

基金项目: 充矿集团重大科技项目(YK2017B61)

Foundation item: Yancon Group Company Limited Major Science and Technology Projects(YK2017B61)

第一作者简介: 梁道富, 1970 年生, 男, 贵州毕节人, 硕士, 工程师, 从事煤层气开发及瓦斯灾害治理方面的管理研究工作. E-mail: ldf7012017@yeah.com

引用格式: 梁道富, 曹建明, 代茂, 等. 贵州青龙煤矿碎软煤层区域瓦斯递进式抽采技术[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(5): 48-52.

LIANG Daofu, CAO Jianming, DAI Mao, et al. Progressive gas extraction technology in broken soft coal seam of Qinglong coal mine, Guizhou Province[J]. Coal Geology & Exploration, 2020, 48(5): 48-52.

我国煤层赋存地质条件复杂,煤层瓦斯含量高、瓦斯压力大,瓦斯灾害事故频发,尤其碎软煤层广泛分布于我国贵州、两淮、阳泉等煤矿区,高瓦斯和煤与瓦斯突出问题一直严重困扰着矿井的安全高效生产^[1-3]。生产实践表明,利用钻孔抽采瓦斯是防治瓦斯灾害事故、实现瓦斯综合利用的有效技术手段。然而,现有钻进技术进行碎软煤层瓦斯抽采钻孔施工过程中,容易出现喷孔、塌孔和卡钻等复杂情况,存在成孔效率低,瓦斯抽采效果差的问题。碎软煤层瓦斯抽采技术一直是我国坑道钻探技术发展的难题^[4-6]。

青龙煤矿位于黔北煤田中部,区域内地质构造复杂,为煤与瓦斯突出矿井^[7-8]。目前,青龙煤矿采用回转钻进技术在待回采工作面运输巷道和回风巷道对向施工普通钻孔,进行碎软煤层采前瓦斯预抽。钻孔设计间距3 m,设计孔深80 m,以覆盖150 m倾向长度待采工作面,存在成孔效率低、施工工程量大和瓦斯抽采效果差等问题,严重影响矿井安全高效生产^[9-10]。

因此,急需研究适用于青龙煤矿碎软煤层瓦斯高效抽采的区域递进式瓦斯抽采技术,以解决现有瓦斯抽采技术存在的问题。

1 区域递进式瓦斯抽采技术

1.1 技术原理

针对现有碎软煤层瓦斯治理技术进行待回采工作面瓦斯抽采存在的钻孔轨迹不可控、成孔深度浅和瓦斯抽采效果差等问题,提出采用基于压风定向钻进的区域递进式瓦斯抽采技术,抽采待回采工作面碎软煤层瓦斯,如图1所示,其技术原理为:在待回采工作面已掘进一侧运输巷道中应用压风定向钻进技术施工顺煤层的定向长钻孔,采用双动力复合排渣技术高效排渣,钻孔间隔2倍有效瓦斯抽采半径,终孔位置穿过待掘回风巷道,覆盖待采煤层和待掘回风巷道瓦斯抽采区域,可以在开拓待采工作面一侧巷道情况下,超前进行待采煤层和待掘巷道区域瓦斯预抽,大幅缩短瓦斯治理时间,有效缓解采掘接续紧张问题,提高煤层回采效率^[11-12]。

1.2 压风定向钻进技术

回转钻进工艺无法随钻测控钻孔轨迹,对孔壁扰动较大,钻进成孔深度浅,施工安全性差,钻进效率低,无法满足碎软煤层区域递进式瓦斯抽采需要。

针对碎软煤层区域递进式瓦斯抽采对钻进工艺的要求,提出了压风定向钻进技术。以井下移动式空压机输出压风为动力,驱动空气螺杆马达回转碎

岩,同时作为排渣介质,循环排出孔内钻渣;利用有线随钻测量系统实时监测钻孔轨迹,并通过中心通缆钻杆形成的有线传输通道向孔口传输钻孔倾角、方位角和螺杆马达工具面向角等参数,保证钻孔轨迹沿煤层长距离延伸;利用压风除尘装置主动负压抽吸孔口返渣,实现孔口高效降尘处理,保障施工人员身体健康;利用压风监控装置实时监测供气压力、流量和温度等参数,为孔内工况判断提供依据,保障钻进安全性^[13]。



图1 区域递进式瓦斯抽采设计

Fig.1 Regional progressive gas drainage plan

1.3 长距离顺层钻进技术

碎软煤层走向和倾向起伏变化较大,造成压风定向钻孔轨迹难以保持在煤层中长距离延伸。因此,提出了碎软煤层顶板自主探查技术和后退分支钻进技术,通过主动探查碎软煤层顶板起伏和后退分支钻进,保障定向钻孔轨迹在煤层中长距离延伸。

顶板自主探查技术是指在压风定向钻进过程中,间隔一定孔深(30~60 m),自主增大钻孔倾角使钻孔轨迹钻遇煤层顶板,利用不同顶板钻遇点坐标参数,计算出煤层倾角。

后退分支钻进技术是指自主钻遇煤层顶板后,提钻适当距离至钻孔倾角连续增大位置,钻进分支孔,调整钻孔轨迹沿煤层延伸。碎软煤层中后退分支钻进宜采用低速磨削法开分支钻进,将孔内定向组合钻具下至预留分支点,将螺杆马达工具面向角调至130°~150°,开启空压机供风并缓慢钻进(机械钻速9~12 m/h),直到确认分支孔已开好。

1.4 双动力复合排渣技术

碎软煤层压风定向钻进成孔深度大,煤渣运移距离长,煤渣易沉积在孔底,使钻头重复破碎,降低钻进效率;同时,煤渣过多在孔底沉积易引发卡钻事故,影响安全钻进和工作效率。

双动力复合排渣技术结合了压风排渣和机械搅渣的技术优势,利用孔口钻机动力带动螺旋空气螺杆马达旋转,马达外螺旋结构回转搅动孔底沉渣,沉渣由高压大风量压风携带运移,减小沉渣堆积,

提高孔底煤渣清除能力；同时，钻杆部分不增加外螺旋结构，可以降低钻杆回转对孔壁的扰动，增强孔壁的稳定性，提高钻进安全性^[14-15]。

1.5 技术优势

碎软煤层区域递进式瓦斯抽采技术可以实现瓦斯区域超前预抽，提升矿井瓦斯治理水平，具有以下技术优势。

a. 定向钻进，轨迹可控 区域递进式瓦斯抽采基于随钻测量技术进行压风定向钻孔施工，随钻监控钻孔轨迹，可以保证钻孔沿煤层长度延伸，成孔深度大，无抽采盲区，有效抽采孔段长，瓦斯治理效果好。

b. 有效排渣，安全高效 区域递进式瓦斯抽采应用双动力复合排渣技术进行高效钻进排渣，有效降低孔底钻渣沉积量，提高钻孔清洁度，减小钻进阻力，增强压风定向钻进安全性。

c. 超前预抽，抽采效率高 有效半径大，区域递进式瓦斯抽采可在待采工作面一侧巷道开拓情况下，进行回采工作面和另一侧待掘巷道的瓦斯超前预抽，免去了现有技术等待两侧巷道开拓无效抽采时间，有效抽采半径大、抽采效率高、达标速度快，可有效缓解采掘接替紧张矛盾，提升矿井瓦斯治理水平。

2 现场应用

2.1 青龙煤矿煤层气抽采现存问题

a. 钻孔轨迹不可控 在钻进过程中回转钻进依靠钻具重力、调整给进力和匹配钻进速度等方式进行“自然造斜”，无法随钻测控钻孔轨迹，如图 2 所示，钻孔易提前进入顶底板岩层而被迫提钻终孔，无法达到设计孔深，在煤层段有效延伸距离短，严重影响碎软煤层瓦斯抽采效果^[16]。

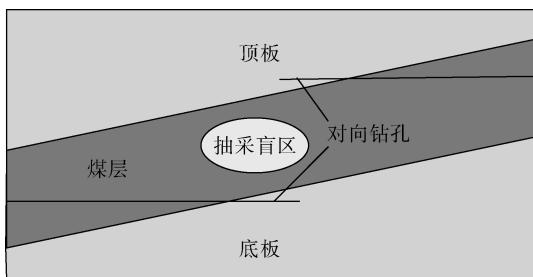


图 2 回转钻进钻孔剖面原理

Fig.2 Schematic diagram of rotary drilling section

b. 钻进成孔深度浅 回转钻进工艺以矿井管道静压风为排渣动力，风压一般在 0.6 MPa 左右，且风量较小，深孔钻进中排渣动力不足，成孔深度浅，孔深一般不超过 120 m；同时，回转钻进方式

对碎软煤层孔壁的扰动较大，易引起局部孔壁坍塌，受排渣能力限制，孔内沉渣量大幅增加，增加钻进阻力的同时易造成卡钻事故，降低了钻进的安全性，限制了成孔深度^[17]。

c. 瓦斯抽采效果差 回转钻进工艺其钻孔轨迹不可控，对向施工钻孔中间瓦斯抽采区域无法有效覆盖，存在瓦斯治理盲区，回采过程中易出现瓦斯超限；普通回转钻孔瓦斯抽采半径小，钻孔间距设计为 3 m，钻孔数量多，施工成本大，瓦斯抽采达标时间长；单孔瓦斯抽采纯量一般小于 0.03 m³/min，抽采瓦斯体积分数一般低于 60%，瓦斯抽采效果差；对向钻孔需要在待采工作面两侧巷道掘进完成后才可进行施工，无法实现瓦斯区域超前治理，瓦斯抽采进度滞后，采掘接续紧张，影响矿井安全、高效生产^[18]。

针对以上问题，在青龙煤矿提出区域递进式瓦斯抽采技术，并检验其抽采效果。

2.2 试验区概况

青龙煤矿位于贵州省西北部的黔西县，隶属于毕节地区，位于黔北煤田中部，区域内地质构造复杂，整体上处于北东向的格老寨背斜的北西翼，发育多组逆断层，含煤岩系为二叠系上统龙潭组。矿井开拓方式为斜井开拓，设计生产能力 120 万 t/a，主采煤层为 16、18 煤层，其中 16 煤层平均可采厚度为 2.88 m，18 煤层平均可采厚度为 3.18 m，16、18 煤层瓦斯平均含量均超过了 15 m³/t(不含残存瓦斯含量)，为煤与瓦斯突出煤层，故青龙煤矿属煤与瓦斯突出矿井^[7-8]。

试验区域为青龙煤矿 21606 运输巷道工作面，位于二采区的西南翼，瓦斯含量高、压力大，工作面区域内地质构造复杂，前期运输巷道已经掘进，揭露 10 余条断层。试验煤层为二采区 16 煤层，最大瓦斯压力达到 1.73 MPa、瓦斯放散初速度 38、坚固性系数 0.37、平均透气性系数 7.61 m²/(MPa·d)。16 煤层结构简单，一般不含或含 1~2 层夹矸，多数夹矸厚度在 0.40 m 以下，夹矸厚度变化规律不明显。

2.3 钻孔设计方案

在 21606 运输巷道施工钻孔，钻孔由套管孔段和定向孔段组成，套管孔段分三开施工，一开先导孔施工至 Φ108 mm，二开扩孔至 Φ153 mm，三开扩孔至 Φ193 mm，开孔深度 12 m，开孔全孔段下入 Φ120 mm PVC 套管固孔；定向孔段采用压风随钻测量定向钻具组合施工，设计钻孔轨迹沿煤层延伸，孔径 Φ108 mm。试验钻孔设计倾角 12.5°，方位 138°；设计孔深 150 m，Φ108 mm，间距 5 m，钻孔全部孔段下筛管护孔，防止孔壁坍塌堵塞钻孔，保证瓦斯抽采效果。

2.4 钻孔施工情况

钻进装备主要包括孔口装备和孔内装备。孔口装备主要由 4000LD(C)紧凑型定向钻机、MLG17/12.5-132G 井下移动式防爆空压机、RDJK17/1.6 供风参数监控装置、RDJK17 负压抽吸除尘装置组成;孔内装备主要由 $\varnothing 108$ mm 定向钻头、 $\varnothing 73$ mm 气动螺杆马达、YHD2-1000(A)矿用有线随钻测量装置、 $\varnothing 73$ mm 无磁钻杆和 $\varnothing 73$ mm 中心通缆钻杆组成。

2019 年 1 月 8 日开始钻孔施工试验,至 2020 年 4 月 7 日施工结束,共完成钻孔 253 个,累计进尺超过 3 万 m,其中 95% 钻孔达到 150 m 设计孔深,极少数钻孔受断层破碎带影响未达到设计孔深,其中 180—230 号钻孔平面轨迹如图 3 所示,达到设计孔深,钻孔剖面轨迹示例如图 4 所示。

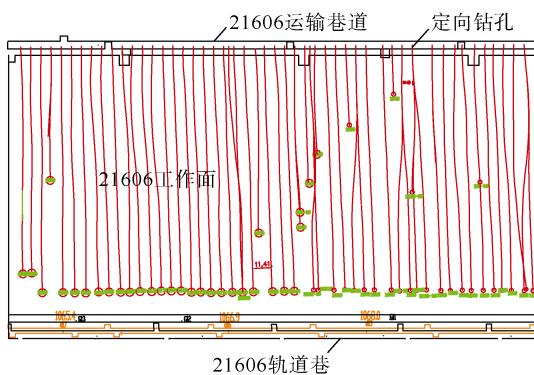


图 3 试验钻孔轨迹平面

Fig.3 Test borehole track plan

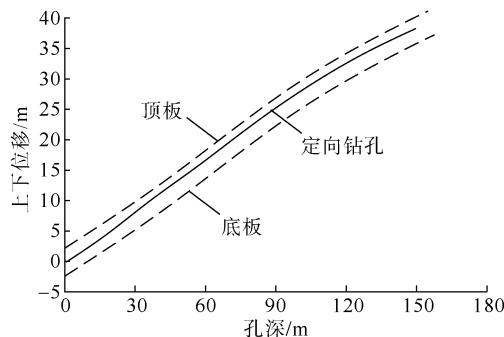


图 4 21606 工作面 226 号试验钻孔轨迹剖面

Fig.4 Cross section of the trajectory of No.226 test borehole in working face 21606

2.5 瓦斯抽采效果

21606 运输巷道试验钻场于 2019 年 2 月 24 日接入瓦斯抽采管路进行连抽,抽采初期,平均抽采瓦斯体积分数均保持 90% 左右,纯量约为 $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$,且衰减速度慢,单孔瓦斯抽采纯量是普通回转钻孔(同区域甲烷抽采纯量约为 $0.03 \text{ m}^3/\text{min}$)的 10 倍以上,单孔瓦斯抽采甲烷体积分数提高了 50% 以上,瓦

斯抽采效果显著。截至 2020 年 5 月 30 日,21606 运输巷钻场主管路瓦斯抽采体积分数达到 62.4%,抽采瓦斯纯量 $7.5 \text{ m}^3/\text{min}$,累计抽采瓦斯超过 400 万 m^3 。

碎软煤层区域瓦斯递进式抽采技术已在贵州青龙煤矿、发耳煤矿、小屯煤矿和龙凤煤矿等矿井推广应用,在坚固性系数大于 0.3 煤层中瓦斯抽采效果显著,对于坚固性系数小于 0.3 极软难抽采煤层,可开发筛管护孔、控制钻进等技术,提高钻孔深度、成孔率和有效抽采时间,提升瓦斯治理效果。

3 结论

a. 碎软煤层区域递进式瓦斯抽采技术可在待采工作面一侧巷道开拓情况下,进行回采工作面和另一侧待掘巷道的瓦斯超前预抽,免去了现有技术等待两侧巷道开拓无效抽采时间,有效抽采半径大、抽采效率高、达标速度快,可有效缓解采掘接替紧张矛盾,提升矿井瓦斯治理水平。

b. 在青龙煤矿 21606 运输巷道开展了应用试验,95% 试验钻孔达到设计孔深,累计施工进尺超过 3 万 m,单孔瓦斯抽采纯量是普通回转钻孔的 10 倍以上,单孔瓦斯抽采甲烷体积分数提高了 50% 以上,瓦斯抽采效果显著。

c. 本次抽采技术中,压风定向钻进技术采用高压高温空气作为钻进动力和排渣介质,孔底钻具和孔壁长时间“干式”摩擦,易引起孔壁温度升高,可研发孔口压风降温装置,降低压风温度;同时,可研发孔内温度随钻监测装置,实时监测孔底钻柱内外环空温度,避免出现温度过高而引起煤体自燃情况,保障压风定向钻进的安全性。

d. 碎软煤层区域递进式瓦斯抽采技术已在贵州青龙煤矿、发耳煤矿、小屯煤矿和龙凤煤矿等矿井推广应用,在坚固性系数大于 0.3 煤层中应用效果显著,针对坚固性系数小于 0.3 极软煤层,可开发随钻筛管护孔、控压钻进等配套技术,以完善现有的基于压风定向钻进碎软煤层瓦斯抽采技术。

请听作者语音介绍创新技术成果
等信息,欢迎与作者进行交流



参考文献(References)

- [1] 徐晓乾, 孟应芳, 段正鹏, 等. 贵州省煤层气(瓦斯)开发利用技术分析[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(6): 8-13.
XU Xiaoqian, MENG Yingfang, DUAN Zhengpeng, et al. Analysis of suitable development technology of CBM(gas) in Guizhou[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(6): 8-13.

OSID 码

- [2] 姚克, 田宏亮, 姚宁平, 等. 煤矿井下钻探装备技术现状及展望[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(1): 1–5.
YAO Ke, TIAN Hongliang, YAO Ningping, et al. Present situation and prospect of drilling equipment technology in coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(1): 1–5.
- [3] 贾明魁, 李学臣, 郭艳飞, 等. 定向长钻孔超前预抽煤层瓦斯区域治理技术[J]. 煤矿安全, 2018, 49(12): 68–71.
JIA Mingkui, LI Xuechen, GUO Yanfei, et al. Regional control technology for gas pre-drainage in coal seam by directional long borehole[J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(12): 68–71.
- [4] 石智军, 董书宁, 姚宁平, 等. 煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(3): 1–6.
SHI Zhijun, DONG Shuning, YAO Ningping, et al. Technology and equipment of horizontal measuring directional drilling in underground coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(3): 1–6.
- [5] 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
LI Quanxin, SHI Zhijun, SHI Haiqi. The application of directional drilling technology in coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(2): 85–88.
- [6] 许超. 煤矿井下复合定向钻进技术优势探讨[J]. 金属矿山, 2014, 43(2): 112–116.
XU Chao. Discussion on superiority of compound directional drilling technology in underground coal mine[J]. Metal Mine, 2014, 43(2): 112–116.
- [7] 薛海腾, 李希建, 梁道富, 等. 长距离定向钻孔瓦斯抽采技术在青龙煤矿的应用[J]. 工矿自动化, 2020, 46(2): 34–38.
XUE Haiteng, LI Xijian, LIANG Daofu, et al. Application of long-distance directional drilling gas drainage technology in Qinglong coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(2): 34–38.
- [8] 褚志伟, 杨伟峰, 方俊, 等. 煤矿井下孔内事故可视处理技术在青龙煤矿的应用[J]. 煤矿安全, 2020, 51(2): 101–104.
CHU Zhiwei, YANG Weifeng, FANG Jun, et al. Application of visible treatment technology for underground borehole accident in Qinglong coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2020, 51(2): 101–104.
- [9] 黄军锋, 梁道富. 青龙煤矿首采工作面瓦斯的综合治理[J]. 矿业安全与环保, 2006, 33(增刊1): 75–76.
HUANG Junfeng, LIANG Daofu. Comprehensive control of gas in the first mining face of Qinglong coal mine[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2006, 33(Sup. 1): 75–76.
- [10] 陈功华, 张雷林, 石必明. 青龙煤矿回采工作面瓦斯综合治理技术研究[J]. 煤炭技术, 2017, 36(8): 146–148.
CHEN Gonghua, ZHANG Leilin, SHI Biming. Integrated control technology for methane at mining faces of Qinglong coal mine[J].
- Coal Technology, 2017, 36(8): 146–148.
- [11] 李泉新. 碎软煤层复合定向钻进技术研究与应用[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(11): 101–106.
LI Quanxin. Research and application of drilling technology combined rotary with direction in soft-fragmentized coal seam[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(11): 101–106.
- [12] 王永龙, 孙玉宁, 王振峰, 等. 瓦斯抽采钻孔受限空间内钻屑运移特征[J]. 科技导报, 2015, 33(1): 47–51.
WANG Yonglong, SUN Yuning, WANG Zhenfeng, et al. Transportation characteristics of drilling cuttings in gas drainage[J]. Science & Technology Review, 2015, 33(1): 47–51.
- [13] 张杰, 王毅, 黄寒静. 软煤气动螺杆钻具定向钻进技术与装备[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(2): 36–41.
ZHANG Jie, WANG Yi, HUANG Hanjing. Directional drilling technology and equipment of pneumatic screw motor in soft seam[J]. Coal Geology & Exploration, 2020, 48(2): 36–41.
- [14] 霍福星, 方俊, 李泉新, 等. 复杂破碎地层中定向孔复合排渣钻进技术[J]. 煤矿安全, 2019, 50(7): 112–115.
HUO Fuxing, FANG Jun, LI Quanxin, et al. Technology of composite slag discharge for directional drilling in complicated broken stratum[J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50(7): 112–115.
- [15] 杨虎伟, 范运林. 高转速复合排渣钻进技术在松软突出煤层中的应用[J]. 煤炭工程, 2019, 51(3): 50–53.
YANG Huwei, FAN Yunlin. Application of high rotation speed compound slag drilling technology in complex coal seam[J]. Coal Engineering, 2019, 51(3): 50–53.
- [16] 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.
- [17] 冯达晖. 碎软煤层多层深孔钻进技术与装备[J]. 煤矿安全, 2018, 49(6): 78–80.
FENG Dahui. Multi-layer deep hole drilling technology and equipment for broken soft coal seam[J]. Safety in Coal Mines, 2018, 49(6): 78–80.
- [18] 刘飞, 方俊, 褚志伟, 等. 空气螺杆钻具在碎软煤层定向钻进中的应用分析[J]. 矿业研究与开发, 2019, 39(8): 129–132.
LIU Fei, FANG Jun, CHU Zhiwei, et al. Application analysis on air screw drill in directional drilling of broken soft coal seam[J]. Mining Research and Development, 2019, 39(8): 129–132.

(责任编辑 范章群)