

## 机电与自动化

## 碎软煤层复合定向钻进技术研究与应用

李 泉 新

(中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710077)



扫码移动阅读

**摘要:**针对碎软煤层瓦斯抽采钻孔成孔深度浅、轨迹无法测控、定向钻进困难等问题,提出了采用复合定向与排渣技术施工碎软煤层定向钻孔的技术方案,介绍了其技术原理,开发了泥浆脉冲无线传输技术、复合定向钻进技术、水力正循环与异性钻杆复合排渣技术等关键钻进技术,研制选配了定向钻机、矿用泥浆脉冲随钻测量系统、泥浆泵、螺旋螺杆马达、异形钻杆、过滤钻杆、螺旋无磁钻杆和定向钻头等关键钻进设备,形成了成套技术与装备,并在晋城寺河矿和成庄矿进行了现场试验,在碎软煤层区域内完成定向钻孔4个,最大孔深402 m,总进尺4 808 m,成孔率达到75%,成功覆盖工作面和待掘巷道设计区域,为碎软煤层区域递进式瓦斯抽采治理和一孔两消提供了一种新的技术手段。

**关键词:**碎软煤层;瓦斯抽采;泥浆脉冲随钻测量;复合定向钻进;复合排渣技术

**中图分类号:**TD41      **文献标志码:**A      **文章编号:**0253-2336(2018)11-0101-06

## Research and application of drilling technology combined rotary with direction in soft-fragmentized coal seam

LI Quanxin

(Xi'an Research Institute, China Coal Technology &amp; Engineering Group, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** According to the shallow hole depth, track without measured and controlled, directional drilling difficult and other disadvantages existed in the available gas extraction borehole drilling technology applied in soft-fragmentized coal seam, directional drilling with mud pulse MWD was put forward. The technical principle was introduced and a complete set of technology and equipment was formed, with the key drilling technologies had been developed, such as mud pulse wireless transmission technology, drilling technology combined rotary with direction, hydraulic positive cycle and heterogeneous drill rod compound slag discharge technology, directional drilling rig, mud pulse MWD system, mud pump, helical screw motor, special drill rod, filter drill rod, spiral non-magnetic drill rod and directional drill were developed and selected. The field test was carried out in Sihe Mine and Chengzhuang Mine, the results show that four directional drilling were successfully completed with the maximum hole depth reached 402 m, total length was 4 808 m, hole forming rate was 75%, predetermined area of work surface and roadway was successfully covered, which will provides a new technical means for progressive gas extraction in soft-fragmentized coal seam and had important significance for safety and high efficiency mining in coal mine.

**Key words:** soft-fragmentized coal seam; gas extraction; mud pulse MWD; drilling combined rotary with direction; compound slag discharge

## 0 引言

碎软煤层在我国分布广泛,其煤体破碎、透气性低、瓦斯压力大,在可采煤层中占有相当大的比例,

其瓦斯抽采治理一直是高瓦斯矿井和煤与瓦斯突出矿井的技术难点<sup>[1-2]</sup>。钻孔预抽是碎软煤层瓦斯治理的重要手段,针对碎软煤层钻进时极易发生埋钻、喷孔、卡钻现象,导致钻进成孔困难的问题,国内外

收稿日期:2018-05-22;责任编辑:赵 瑞 DOI:10.13199/j.cnki.est.2018.11.016

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-003,2016ZX05067-001-003);陕西省重点研发计划资助项目(2017GY-152)

作者简介:李泉新(1980—),男,黑龙江齐齐哈尔人,副研究员,博士研究生。E-mail:liquanxin@ctegxian.com

引用格式: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.

学者开展大量研究,开发了清水回转钻进、空气钻进、螺旋钻杆干式钻进、中风压钻进、泡沫钻进、空气反循环钻进、空气套管钻进等多种常规钻进方法,一定程度上提高了钻孔成孔效果,但存在以下共同问题:①钻孔轨迹不可控,无法沿设计轨迹延伸,容易出现抽采盲区;②钻孔易偏斜进入煤层顶底板,钻孔深度有限,长钻孔成孔率低;③覆盖面积小,钻孔数量较多,钻进和辅助工程量大,成本高<sup>[3-9]</sup>。

有线随钻测量滑动定向钻进技术可以精确控制钻孔轨迹,实现瓦斯抽采定向钻孔长距离钻进,但其适用于普氏系数  $f \geq 1$  的中硬煤层,在碎软煤层中开展了大量试验研究,均未成功,主要原因如下:①采用高压清水作为冲洗介质,影响孔壁稳定性;②采用有线随钻测量系统进行信号传输,需要特制中心通缆式钻杆,钻具强度受限,适用于滑动定向钻进工艺,不能满足碎软煤层钻进排渣需要;③采用的中心通缆式钻杆、螺杆马达和无磁钻杆等钻具均为外平结构,排渣能力差<sup>[10-14]</sup>。

2008 年提出了梳状钻孔定向钻进技术,即先在煤层顶板或底板稳定地层中施工主孔,然后开梳状分支进入煤层,实现碎软煤层瓦斯远距离高效抽采。该技术在国内淮北矿业、淮南矿业、焦煤集团、晋煤集团等多个矿业集团进行了推广应用,提高了我国碎软煤层瓦斯治理效果,但是梳状钻孔定向钻进技术仍存在以下不足:①煤层内有效延伸距离较短,瓦斯抽采效果需进一步提高;②分支孔数量少,间距较远,覆盖面积小<sup>[15-17]</sup>。

目前碎软煤层仍然主要采用穿层孔和对穿孔相结合的瓦斯预抽方式,需要掘进底抽巷和施工大量钻孔,瓦斯治理时间长、成本高、效率低。针对碎软煤层区域递进式抽采和一孔两消需要,以及当前钻进技术与装备存在的不足,提出采用复合定向与排渣钻进技术进行碎软煤层瓦斯抽采钻孔施工的方法,介绍了其技术原理、关键钻进技术、配套钻进装备和现场试验情况,现场试验证明该技术可提高碎软煤层瓦斯抽采钻孔施工能力,对碎软煤层瓦斯高效抽采具有重要意义。

## 1 钻进技术原理

碎软煤层复合定向与排渣钻进技术原理如图 1 所示,即利用泥浆脉冲随钻测量系统实时监测钻孔轨迹参数和螺杆马达姿态参数,得到钻孔实钻轨迹,确定螺杆马达的造斜方向;利用螺杆马达进行轨迹

控制,当钻孔轨迹与设计轨迹偏差较小时采用复合钻进,偏差较大需要进行轨迹调整时采用滑动定向钻进,使钻孔轨迹按设计要求延伸钻进至预定区域;利用三棱钻杆、三棱螺旋钻杆或宽翼片螺旋钻杆等异形钻杆进行复合排渣,确保钻进安全。

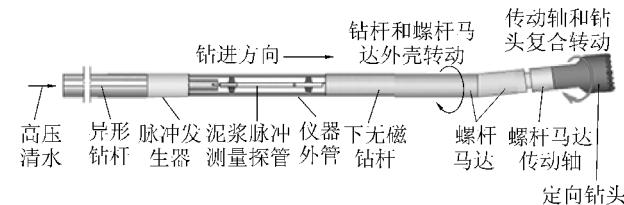


图 1 碎软煤层泥浆脉冲随钻测量定向钻进技术原理

Fig. 1 Technology principle of directional drilling with mud pulse MWD in soft-fragmentized coal seam

碎软煤层复合定向与排渣钻进技术具有以下优点:

- 1) 信号传输受钻杆影响小,对钻杆无特殊结构要求,可选用外平钻杆和异形钻杆等普通钻杆,钻具成本低、强度高、地层适应性强。
- 2) 复合定向钻进既有滑动定向钻进轨迹精确调控的优点,又有复合钻进高效快速、轨迹平滑、排渣通畅的优点,适用于远距离长钻孔施工。
- 3) 使用水力正循环和异形钻杆进行复合排渣,提高孔底清洁效果,确保钻进安全。

## 2 钻进关键技术

泥浆脉冲随钻测量定向钻进技术包括泥浆脉冲无线传输技术、复合定向钻进技术、水力正循环与异性钻杆复合排渣技术等。

### 2.1 泥浆脉冲无线传输技术

泥浆脉冲无线传输的原理是以钻进用泥浆为信号传输载体,以钻杆柱内水力通道为传输通道,以水力脉冲作为数据传输方式,利用泥浆的压力脉冲变化将孔内工程参数(主要包括倾角、方位角、工具面向角等)无线传输至孔口,即:相当于在作为泥浆流动通道的钻杆内设置一个可控阀门,当阀门打开时,泥浆流通顺畅,泵压正常;阀门关闭时,泥浆流通受阻,泵压变大。钻进过程中需要进行数据传输时,根据约定编码协议将测量数据进行编码,并按编码格式不停动态调整阀门的开闭状态,从而将测量数据转换为泥浆压力脉冲变化并传输至孔口;在孔口测试泥浆压力变化数据,再反向解码,即可得到正确孔内工程参数,实现了孔内工程参数的无线随钻传输。

## 2.2 复合定向钻进技术

复合定向钻进是包括滑动定向钻进和复合钻进2种形式<sup>[18]</sup>。其中滑动定向钻进过程中,定向钻机不回转异形钻杆而仅向孔内钻具施加钻压,孔底螺杆马达的工具面稳定至合适方向不变,泥浆泵提供高压水流驱动螺杆马达,带动螺杆马达传动轴和定向钻头回转碎岩。复合钻进过程中定向钻机回转异形钻杆并向孔内钻具施加钻压,孔底螺杆马达的工具面方向连续变化,同时泥浆泵提供高压水流驱动螺杆马达带动螺杆马达传动轴和定向钻头快速回转碎岩。

复合定向钻进工艺将滑动定向钻进与复合钻进相结合,借助滑动定向钻进钻孔轨迹控制功能和复合钻进高效、轨迹平滑和排渣通畅等特点,在钻孔轨迹人工控制的同时发挥复合钻进的技术优势,提高了碎软煤层定向钻孔成孔深度和成孔率。

## 2.3 复合排渣技术

目前煤矿井下定向钻进均采用高压清水作为冲洗介质,泵量较大、钻进产生的钻屑颗粒较小时,钻屑颗粒在钻孔环状间隙断面内的分布接近均匀,并在高压水流中呈悬浮状态前进;当泵量较小、钻屑颗粒较多或较大时,钻屑移动速度相应减慢并下沉,孔壁上侧悬浮钻屑快速流动,孔壁下侧钻屑分布变密且受摩擦力影响移动缓慢;尤其是当泥浆泵关闭、遇到钻孔轨迹下凹孔段或局部扩径孔段时,极易发生沉渣卡钻事故。

复合排渣技术原理如图2所示,在利用高压清水给钻屑施加一个轴向推力的同时,利用钻机回转异形钻杆,使钻屑受到切向力作用;在轴向力的作用下钻屑向孔口运动;在切向力的作用下钻屑有绕钻杆作圆周运动的趋势,并垂直于钻杆在孔内上下翻滚,减少了沉积在孔壁下侧的钻屑,使其在钻孔环状间歇的分布趋于均匀,有利于高压清水顺利将钻屑排出孔外;同时对钻屑具有磨削作用,可以磨碎大颗粒钻屑,降低钻屑颗粒粒径;当使用具有螺旋的异形钻杆时,还可增大轴向力,提高排渣效果;此外,通过钻杆的回转搅动,对孔壁进行了打磨,提高了孔壁光滑性,降低了钻屑运移阻力和钻进阻力。

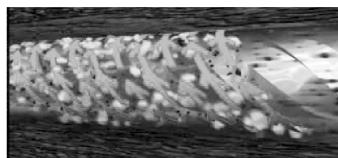


图2 复合排渣技术原理

Fig. 2 Principle of combined slag discharge

复合定向钻进过程中,当采用滑动定向钻进时,异形钻杆不回转,利用水力正循环进行排渣,回次钻进结束后,回转钻杆利用复合排渣技术清除孔内沉渣;采用复合钻进时,水力冲孔排渣的同时异形钻杆搅动,即可实现复合排渣,确保孔内清洁。

## 3 钻进装备

泥浆脉冲无线随钻测量定向钻进装备主要由定向钻机、泥浆脉冲无线随钻测量系统、泥浆泵、螺旋螺杆马达、异形钻杆、过滤钻杆、螺旋无磁钻杆和定向钻头等组成。

### 3.1 定向钻机

定向钻机是定向钻进的关键,主要用于提供给进、起拔和回转动力、夹持和拧卸孔内钻具、克服螺杆马达钻进反转矩等,目前已实现定向钻机系列化。与有线随钻测量定向钻进技术用定向钻机相比,存在以下特殊要求:①复合钻进时转速较低,定向钻机应能进行低速回转钻进且可准确控制回转速度;②异形钻杆的结构特殊,定向钻机应具有较强的夹持能力,且不损坏钻杆结构。

### 3.2 泥浆脉冲无线随钻测量系统

矿用泥浆脉冲无线随钻测量系统可实时测量孔内工程参数,并利用水力通道将数据传输至孔口,实物如图3所示,主要由脉冲发生器、驱动短节、电池筒、测量短节、压力传感器和防爆计算机等组成,其具体工作原理是:在脉冲发生器内设置一个可控制水力通道面积的可控阀门,定向钻进时测量短节完成孔内工程参数测量后,按约定传输协议由驱动短节控制脉冲发生器动态关闭或打开阀门,改变钻杆柱内水力通道面积,限制高压水通过,从而将测量数据转变为泥浆压力正脉冲变化并传输至孔口;安装在泥浆泵出水口的压力传感器检测来自钻杆柱内的压力正脉冲信号后,传输给孔口防爆计算机进行解码和显示;数据传输完成后,脉冲发生器恢复钻杆柱内水力通道面积,泥浆泵压力恢复为正常值,开始正常钻进<sup>[19]</sup>。

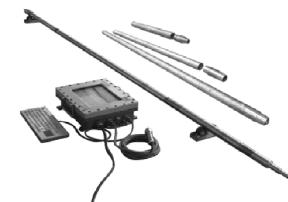


图3 矿用泥浆脉冲随钻测量系统

Fig. 3 Mine mud pulse MWD system

泥浆脉冲无线随钻测量系统创新主要体现在:①创新性地将脉冲发射器信号发生机构与外管设计成一体式结构,采用比例先导控制技术,完成小直径( $\phi 76$  mm)一体式泥浆脉冲发生器结构设计,最低启动泵量 90 L/min,可将孔内测量数据转换放大为 0.3~0.8 MPa 的稳定正压力脉冲信号,适用于煤矿井下钻进配套的主要泥浆泵。②采用流量开关控制孔内仪器间歇工作,开发低功耗驱动控制器,满足矿用仪器防爆要求和长时间工作需要;③研制了小型化防爆型数据采集装置,开发了数据解调和管理软件,实现测量数据的快速准确解码。

### 3.3 泥浆泵

泥浆泵用于向钻孔泵送高压冲洗液,具有驱动螺杆钻具,将高压水动力转换为回转动力进行孔底局部回转钻进施工、冷却孔底钻具、携带和清除孔内钻屑的作用,同时高压冲洗液可作为脉冲信号传输载体,实现随钻测量数据的实时传输。泥浆泵的性能既影响孔底螺杆马达的性能发挥,又直接影响泥浆脉冲随钻测量系统数据传输的可靠性和稳定性,应选择大流量、高压力泥浆泵,建议选择液驱泥浆泵,并设置合适的稳压用空压包,确保泥浆泵工作时泵压变化平稳<sup>[20]</sup>。

### 3.4 螺旋螺杆马达

螺杆马达可在泥浆泵提供的高压冲洗液作用下带动钻头进行孔底局部回转碎岩,是钻孔轨迹调控的关键。应根据钻孔孔径选择合适规格型号的螺杆马达;针对碎软煤层造斜困难问题,建议选用 1.25°~1.50°弯角的螺杆马达;同时为提高近钻头排渣能力,在螺杆马达定子外壁上铣洗螺旋槽,实物如图 4 所示。



图 4 螺旋螺杆马达

Fig. 4 Helix screw motor

### 3.5 异形钻杆

为提高碎软煤层复合定向钻进时钻孔排渣效果,可选择螺旋钻杆、三棱钻杆、三棱螺旋钻杆等异形钻杆作为钻具。异形钻杆设计和选型时应尽量采用整体式结构、摩擦焊接工艺,提高钻杆整体力学性能好,满足长钻孔钻进需要;尽量增加钻孔内径,降低对钻进冲洗液流动和泥浆脉冲信号传输的影响;接头可采用双顶结构设计,并进行特殊

热处理,提高钻杆的耐压密封性能、抗扭和抗黏扣性能。

### 3.6 无磁钻杆

无磁钻杆主要用作测量探管的仪器外管,用于为测量仪器提供一个无磁干扰的环境,以避免普通钢性钻杆对测量方位角造成的干扰,保证测量数据准确。无磁钻杆主要包括下无磁钻杆、仪器外管和各种无磁接手,宜选用优质无磁钢作为原材料,提高无磁钻杆力学性能;并通过外壁铣洗螺旋槽,提高近钻头无磁钻杆的排渣能力。

### 3.7 过滤钻杆

过滤钻杆安装在泥浆脉冲无线随钻测量装置之后,用于将钻进用内泥浆中的固体颗粒过滤掉,避免固体颗粒进入泥浆脉冲无线随钻测量装置和螺杆马达,从而降低泥浆脉冲信号发射故障概率,保护螺杆马达免受损害。过滤钻杆由钻杆体和滤芯组成,长度为 1 m,其中钻杆体采用大通孔结构;滤芯采用锥形结构,外表面加工有  $\phi 2.5$  mm 的网孔。

### 3.8 定向钻头

定向钻头用于钻进碎岩,可选用 PDC 定向钻头,钻头体采用胎体式结构,利用粉末冶金原理烧结加工,提高整体抗磨性能;切削片优选高耐磨性、高冲击韧性复合片,采用高性能钎焊料镶嵌于钻头底唇面,减少钻头崩齿、掉齿;保径采用硬质合金或聚晶金刚石,并设计为窄翼结构,提高钻头的侧向切削能力和整体排渣效果。

## 4 现场试验及结果分析

### 4.1 寺河矿现场试验

寺河矿主采煤层为 3 号煤,位于山西组下部,上距 K8 砂岩平均 30.35 m,距 K7 砂岩平均 6.05 m,煤层平均厚度 6.50 m;黑色,条带状结构,似金属光泽,半亮型,以亮煤为主;含夹矸一般为 2 层,煤层结构简单,变异指数为 0.09,赋存稳定;瓦斯含量为 15.04~19.52 m<sup>3</sup>/t,平均为 16.6 m<sup>3</sup>/t。

现场试验位于寺河矿西区 2302 工作面,该工作面整体煤层情况良好,但在 17 号联络巷至 23 号联络巷之间存在较大的碎软煤层区域,裂隙发育,完整性差,矿方采用有线随钻测量钻进技术与装备进行了 5 个定向钻孔钻进试验,塌孔、卡钻、埋钻事故频繁,均未能成功成孔。

选择 W23014 巷 17 号联络巷绕道作为试验钻场,共设计本煤层瓦斯抽采定向钻孔 3 个,对碎软煤

层空白带进行覆盖和瓦斯抽采,确保工作面安全回采。施工时选用螺旋钻杆进行钻进,采用泥浆脉冲随钻测量定向钻进技术与装备完成试验钻孔3个,施工主孔和分支孔63个,最大钻孔深度270 m,总进尺3 945 m,钻孔参数见表1。

表1 寺河矿试验钻孔参数

Table 1 Test hole parameters of Sihe Mine

钻孔 编号	主孔 深度/ m	分支孔		孔径/ mm	进尺/ m	终孔 原因
		总数	探顶 次数			
6	135	9	2	96	435	串孔
7	249	30	6	96	1 521	达到设计深度
8	270	24	5	96	1 989	达到设计深度
合计	—	63	13	—	3 945	—

实钻轨迹平面如图5所示。钻进过程中,排渣顺利,排渣量达到正常定向钻进的5倍以上,孔内塌孔卡钻现象减少,且均顺利处理,成功覆盖设计区域。

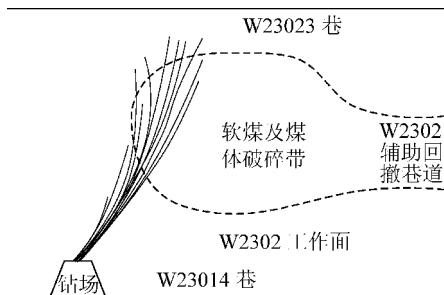


图5 寺河矿试验钻孔实钻轨迹平面

Fig. 5 Drilling trajectory plan of directional hole in Sihe Mine

#### 4.2 成庄矿现场试验

成庄矿主采煤层为3号煤,位于山西组下段上部,结构简单、沉积稳定,平均厚度6.44 m;黑色,具金属光泽、整体较硬;瓦斯相对涌出量11~13 m<sup>3</sup>/t,瓦斯压力0.95 MPa。

现场试验位于4312工作面,其开切眼巷道区域煤层内包砾严重,局部层理或节理裂隙发育,矿方采用有线随钻测量钻进技术与装备无法成孔,采用常规钻进技术成孔深度小于150 m,无法超前掩护巷道掘进。

选择4312巷道反掘掘进工作面作为试验钻场,共设计定向钻孔1个,钻孔主设计方位角192.3°,开孔倾角-3°,设计孔深402 m,对开切眼巷道影响区进行覆盖和瓦斯抽采,确保开切眼巷道安全掘进。施工时选用三棱螺旋钻杆进行钻进,钻孔

深度达到402 m,总进尺863 m,如图6所示;钻进过程中正常钻进最大单班进尺81 m,平均单班进尺61.5 m,钻孔排渣通畅,钻孔轨迹控制良好,成功覆盖设计区域。

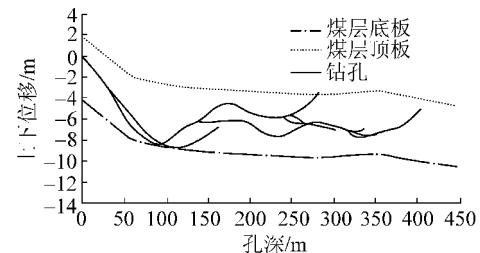


图6 成庄矿试验钻孔实钻轨迹剖面

Fig. 6 Drilling trajectory profile of directional hole in Chengzhuang Mine

## 5 结 论

1)复合定向与排渣钻进技术利用无线传输解决了钻孔轨迹随钻测量问题,利用复合定向钻进技术和复合排渣技术,提高了孔壁排渣效果和钻进安全性,结合研制选配的钻进装备,成功在2个矿井进行了钻进试验,实现了碎软煤层安全高效定向钻进成孔,为碎软煤层区域递进式瓦斯抽采提供了一种新的技术手段。

2)由于泥浆脉冲信号传输需要采用液体作为介质,对碎软煤层孔壁具有不利影响,因此主要适用于普氏系数 $f \geq 0.8$ 的碎软煤层顺层钻孔施工。

3)为提高碎软煤层瓦斯抽采效果,可以开展电磁波随钻测量空气定向钻进技术和大直径筛管下放技术研究,提高钻孔成孔深度和孔壁稳定性;并可将定向钻孔与增透改造技术结合,提高钻孔的覆盖面积和瓦斯抽采效果。

## 参考文献(References) :

- [1] 朱传奇,谢广祥,王磊,等.含水率及孔隙率对松软煤体强度特征影响的试验研究[J].采矿与安全工程学报,2017,34 (3): 601-607.  
ZHU Chuanqi, XIE Guangxiang, WANG Lei, et al. Experimental study on the influence of moisture content and porosity on soft coal strength characteristics [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2017,34 (3):601-607.
- [2] 王永龙,孙玉宁,王振锋,等.松软突出煤层钻进钻孔堵塞力学特征[J].煤炭学报,2015,40(S1):119-125.  
WANG Yonglong, SUN Yunling, WANG Zhenfeng, et al. Mechanical characteristic of borehole clogging drilling in soft and outburst coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2015,40 (S1):119-125.
- [3] 董昌乐,董萌萌,赵建国,等.整体式螺旋钻杆的研制及应用

- [J].煤田地质与勘探,2016,44(5):164-167.
- DONG Changle, DONG Mengmeng, ZHAO Jianguo, et al. Development and application of integral spiral drilling pipe [J]. Coal Geology & Exploration, 2016, 44(5):164-167.
- [4] 刘新民,王力,王建利,等.韩城桑树坪二号井松软煤层钻进技术研究与实践[J].煤田地质与勘探,2017,45(3):165-169.
- LIU Xinmin, WANG Li, WANG Jianli, et al. Research and practices on drilling in soft seams of Hancheng Sangshuping Coal Mine [J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(3):165-169.
- [5] 李强,叶嗣煊,金新.松软煤层顺层孔筛管护孔工艺及装备应用[J].煤炭科学技术,2017,45(6):147-151.
- LI Qiang, YE Sixuan, JIN Xin. Application of borehole protection technique and equipment for screen pipe borehole in soft and weak seam [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(6):147-151.
- [6] 雷丰励.松软突出煤层长钻孔装备及钻进工艺研究[J].煤炭科学技术,2017,45(4):93-97.
- LEI Fengli. Study on long borehole drilling equipment and drilling technique of soft outburst seam [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(4):93-97.
- [7] 殷新胜,刘建林,冀前辉.松软煤层中风压空气钻进技术与装备[J].煤矿安全,2012,43(7):63-65.
- YIN Xinsheng, LIU Jianlin, JI Qianhui. Medium wind pressure air drilling technique and equipments in soft coal seam [J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(7):63-65.
- [8] 殷新胜,刘建林,刘勇.松软煤层瓦斯抽采长钻孔泡沫钻进工艺[J].煤矿安全,2014,45(11):5-8.
- YIN Xinsheng, LIU Jianlin, LIU Yong. Foam drilling technique by gas extraction drilling long borehole in soft coal seam [J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(11):5-8.
- [9] 李辉,李超.基于松软煤层无尘钻进系统的研究及应用[J].煤炭技术,2015,34(1):198-200.
- LI Hui, LI Chao. Research and application of clean drilling system based on soft coal [J]. Coal Technology, 2015, 34(1):198-200.
- [10] 方俊,石智军,李泉新,等.新型煤矿井下定向钻进用有线随钻测量装置[J].工矿自动化,2015,41(8):1-5.
- FANG Jun, SHI Zhijun, LI Quanxin, et al. Novel cable measurement while drilling device used for directional drilling in coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(8):1-5.
- [11] 高珺.矿用随钻测量系统中数据传输技术研究[J].中州煤炭,2016(4):115-117,121.
- GAO Jun. Research of data transmission technology in mine MWD systems [J]. Zhongzhou Coal, 2016(4):115-117,121.
- [12] 石智军,刘建林,李泉新.我国煤矿区钻进技术装备发展与应用[J].煤炭科学技术,2018, 46(4):1-6.
- SHI Zhijun, LIU Jianlin, LI Quanxin. Development and application of drilling technique and equipment in coal mining area of China [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4):1-6.
- [13] 石智军,李泉新.煤矿区钻探技术装备新进展与展望[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2016,43(10):150-153,169.
- SHI Zhijun, LI Quanxin. New progress and prospect of drilling technology and equipment in coal mine area [J]. Exploration Engineering: Rock & Soil Drilling and Tunneling, 2016, 43(10):150-153,169.
- [14] 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.
- [15] 童碧,许超,刘飞,等.淮南矿区瓦斯抽采中以孔代巷技术研究与工程实践[J].煤炭科学技术,2018, 46(4):33-39.
- TONG Bi, XU Chao, LIU Fei, et al. Technology research on borehole in place of roadway and its engineering practice in gas drainage of Huainan Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4):33-39.
- [16] 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.
- [17] 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 research 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.
- [18] 许超.基于复合钻进技术的煤层瓦斯抽采定向钻孔施工[J].煤矿安全,2015,46(4):130-133.
- XU Chao. Directional drilling construction of coal seam gas drainage based on compound drilling technology [J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(4):130-133.
- [19] 石智军,薛维,李泉新,等.煤矿井下防爆型泥浆脉冲无线随钻测量系统及其使用方法:中国,CN102606145B[P].2013-10-16.
- [20] 李栋,姚克,张占强,等.煤矿坑道钻机用履带式泥浆泵车及其应用[J].煤田地质与勘探,2016,44(1):128-131.
- LI Dong, YAO Ke, ZHANG Zhanqiang, et al. Crawler type mud pump truck used in coal mine tunnel drilling rig and its application [J]. Coal Geology & Exploration, 2016, 44(1):128-131.