

中硬煤层瓦斯抽采定向长钻孔高效钻进工艺

杨虎伟, 许超, 董萌萌, 赵建国, 牟培英, 康奇岳

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西西安710077)

摘要: 钻孔抽采瓦斯是治理瓦斯最直接有效的手段。根据煤矿井下本煤层定向钻进技术原理, 提出一种适用于中硬煤层定向长钻孔的高效钻进工艺, 该工艺是将复合钻进技术与煤矿井下定向钻进技术相结合实现定向长钻孔高效钻进的一种钻进方法。通过现场试验证明, 该方法能使钻孔孔壁平滑, 防止憋泵、卡钻, 减少事故处理时间, 提高钻孔成功率和钻进效率。经分析, 使用该技术后, 与常规定向钻进相比, 平均机械钻速提高了26.8%, 该技术为今后煤矿井下定向钻进技术的推广提供了新思路。

关键词: 中硬煤层; 瓦斯抽采; 定向长钻孔; 高效钻进; 定向钻进

中图分类号: P634.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2014)11-0020-04

Efficient Drilling Technology of Long Directional Borehole for Gas Drainage in the Medium Hard Coal Seam/ YANG Hu-wei, XU Chao, DONG Meng-meng, ZHAO Jian-guo, MOU Pei-ying, KANG Qi-yue (Xi'an Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group Corp, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: The gas drainage with boreholes is the most direct and effective means for gas control. According to the principle of directional drilling technology in coal mine underground, an effective drilling technology applicable to medium hard coal seam is put forward to realize effective long directional drilling by combining compound drilling technology and directional drilling technology in coal mine underground. The field test proves that this method can make the borehole wall smooth, prevent pump suffocation and sticking, reduce the accident processing time and improve the successful drilling rate and drilling efficiency. By the application of this technology, average ROP increases by 26.8% compared with the conventional directional drilling.

Key words: medium hard coal seam; gas drainage; long directional borehole; efficient drilling; directional drilling technology

0 引言

煤矿开采必须遵循“先抽后采”的原则。目前, 煤矿井下瓦斯抽采钻孔分为高位钻孔、沿煤层钻孔、穿层钻孔, 而沿煤层钻孔是一种普遍应用于中硬煤层钻进的钻孔^[1-3]。沿煤层长钻孔相对于其他钻孔而言, 具有瓦斯抽采效果好、成孔工艺方法简单等优点, 对于煤层条件较好的矿井, 具有巨大的推广空间和应用价值。

现有的沿煤层瓦斯抽放钻孔布孔大多为密集短距离钻孔, 有效抽采孔段减少; 采用常规定向钻进技术进行施工时, 存在比较突出的问题是系统给进压力大、钻进效率低、孔壁不平滑导致钻具与孔壁接触摩擦阻大, 且由于孔内钻渣堆积不能及时排出导致卡钻。为了解决施工中存在的难题, 利用近水平定向长钻孔高效钻进技术在寺河矿进行了现场施工试验, 并取得了良好的预期效果, 为今后定向钻进技术的发展提供新的技术思路。

1 沿煤层定向钻进技术

煤矿井下定向长钻孔钻进主要适用于较稳定的岩层(普氏系数 $f \leq 6$)以及较完整的煤层(普氏系数 $f \geq 1$)。在沿煤层钻进施工中, 定向长钻孔高效钻进工艺与常规定向钻进相比具有显著优势。煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术可以对钻孔轨迹精确控制, 保证钻孔轨迹在目的层中有效延伸, 并可进行多分支孔施工, 具有钻进效率高、一孔多用、集中抽采等优点, 增加了煤层瓦斯的有效抽采距离, 现已成为国内外瓦斯高效抽采的主要技术途径, 并逐渐开始应用于地质构造探测和探放水等领域^[4]。而定向长钻孔高效钻进技术是在定向长钻孔钻进过程中将复合钻进技术与常规定向钻进技术相结合的一种复合一定向钻进方法, 该技术可实现定向长钻孔高效钻进, 减小井壁摩擦, 降低钻进过程中系统压力, 有效地减少孔内事故。

收稿日期: 2014-04-17; 修回日期: 2014-08-04

基金项目: “十二五”国家科技重大专项“中硬煤层大功率定向钻进技术与装备”(20112X05041-001)

作者简介: 杨虎伟(1987-), 男(汉族), 陕西榆林人, 中煤科工集团西安研究院有限公司助理工程师, 地质工程专业, 硕士, 从事钻探机具的研发及推广工作, 陕西省西安市高新区锦业一路82号, yanghuwei@cctegxian.com。

2 矿井概况

寺河矿属于高瓦斯矿井,煤层瓦斯含量 8 ~ 14 m³/t。试验煤层为 3 号煤层,煤层厚 6.02 ~ 6.98 m,煤层结构简单, $f=1 \sim 2$,顶板为砂岩,直接顶为砂质泥岩,底板为泥质砂岩,煤层顶板以下 1.0 m,底板以上 2.0 m 的煤层松软,裂隙发育,中间煤层较完整,所以为了保证施工的顺利进行,抽采效果较好,尽量控制钻孔轨迹沿着稳定煤层延伸。

3 钻孔施工过程

该钻孔布置于东五盘区 53014 巷 12 号横川,钻孔开孔倾角为 $-3^\circ \sim 0^\circ$;钻孔设计方位角为 94.3° ,钻孔开孔方位与主设计方位夹角为 14° ,位置距顶板高度 4.5 m。

3.1 施工设备及配套钻具

(1) 选用 ZDY6000LD(B) 型煤矿用全液压坑道

钻机。主要技术参数:钻孔直径 96/153 mm,额定扭矩 3000/6000 N·m,最大给进/起拔力 230 kN。

(2) 选用具有自主行走功能的 BLY260 型全液压履带泵车,该泵额定压力 13.8 MPa,额定流量 260 L/min。

(3) 施工选用 $\varnothing 96$ mm PDC 复合片定向钻头、 $\varnothing 153$ mm 扩孔钻头、 $\varnothing 73$ mm 孔底马达(结构弯角 1.25°)、 $\varnothing 73$ mm 下无磁钻杆、随钻测量探管、 $\varnothing 73$ mm 上无磁钻杆、 $\varnothing 73$ mm 随钻测量钻杆及 $\varnothing 73$ mm 直通式通缆送水器。

(4) 随钻测量系统。采用的 YHD2-1000(A) 随钻测量系统由防爆计算机、键盘、存储器和探管等 4 部分组成,该系统采用孔口计算机为孔底测量探管供电。施工钻场内定向钻进系统布置如图 1 所示。

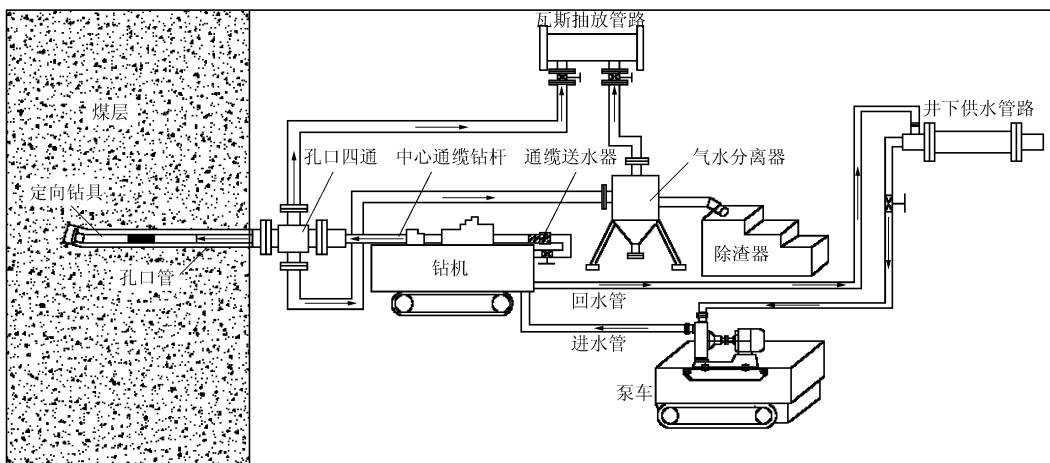


图 1 定向钻进系统现场布置图

3.2 钻进工艺

与传统定向钻进相比,该钻孔施工采用定向滑动钻进与复合钻进相结合的钻进方法,采用螺杆钻具组合、高强度高抗扭随钻测量钻杆及改进的孔口供电有线随钻测量系统进行信号的测量与传输。

3.2.1 钻具组合

开孔: $\varnothing 96$ mm PDC 复合片定向钻头 + $\varnothing 73$ mm 随钻测量钻杆钻进 12 m 后停钻。在距孔口 0.5 m 以内的孔段,以低转速、低钻压缓慢钻进,0.5 m 后转速调整至 20 ~ 30 r/min,避免钻速过快导致钻孔严重弯曲。

开孔完成后提钻,更换 $\varnothing 153$ mm 扩孔钻头,扩孔至 9 m。提钻下入 $\varnothing 127$ mm 孔口管,并注浆封口,候凝 8 h 后连接瓦斯抽放管及排渣管路,随后下入 $\varnothing 73$ mm 螺杆马达钻具组合进行定向钻进。

定向钻进: $\varnothing 73$ mm 通缆钻杆 + $\varnothing 73$ mm 上无磁钻杆 + $\varnothing 73$ mm 测量探管 + $\varnothing 73$ mm 下无磁钻杆 + $\varnothing 73$ mm 螺杆马达 + $\varnothing 96$ mm PDC 复合片钻头。

3.2.2 钻进工艺参数

钻进工艺参数主要由钻进工艺决定。根据煤层条件、钻孔直径、钻机及钻具性能等影响因素,并结合实际钻进效果,选择钻进参数见表 1。

表 1 钻孔施工工艺参数

钻进工艺	泵压 /MPa	泵量/(L·min ⁻¹)	回转压 力/MPa	给进压 力/MPa	转速/(r·min ⁻¹)
定向滑动	3.0 ~ 7.0	190 ~ 200	-	0.5 ~ 3.5	-
复合钻进	3.5 ~ 7.5	190 ~ 220	5.5 ~ 9.0	0.3 ~ 0.5	40 ~ 60

3.3 施工概况

本试验孔属于本煤层定向长钻孔,为了避免钻孔过程中盲目的钻进,此次试验采用“探顶—开分

支—再探顶”的开分支技术^[5]。

实钻开孔倾角 -0.1° , 方位角 80.3° , 钻孔施工累计进尺 1839 m, 主孔深度 804 m, 成功探顶 6 次, 其中探顶分支孔 18 个, 最大分支孔 127 m。但正常钻进至 786 m 处出现卡钻、憋泵, 为了绕过此段提钻开分支继续沿煤层钻进。之后分别在 741、768、713、684、666、747 m 处均出现憋泵、卡钻, 泵压高达 8 MPa。出现卡钻事故后, 采用反复提拉并回转孔内钻具进行扫孔, 然后提钻至分支点处开分支孔, 并继续向前钻进。

经过分析, 650 ~ 750 m 处煤层裂隙发育, 煤层破碎。钻孔延伸至该区域时, 受孔底钻头及孔内钻具回转作用的扰动, 钻孔上侧孔壁失稳, 发生坍塌掉块, 造成孔内卡钻憋泵。后经过讨论, 决定提钻至 390 m 处分支孔后, 继续向前边打边探。整个施工过程中, 使用了高强度的随钻测量钻杆及孔口供电随钻测量系统, 实现了测量数据的快速传输, 保证信号传输稳定可靠。图 2 为钻孔实钻轨迹平面图及剖面图。

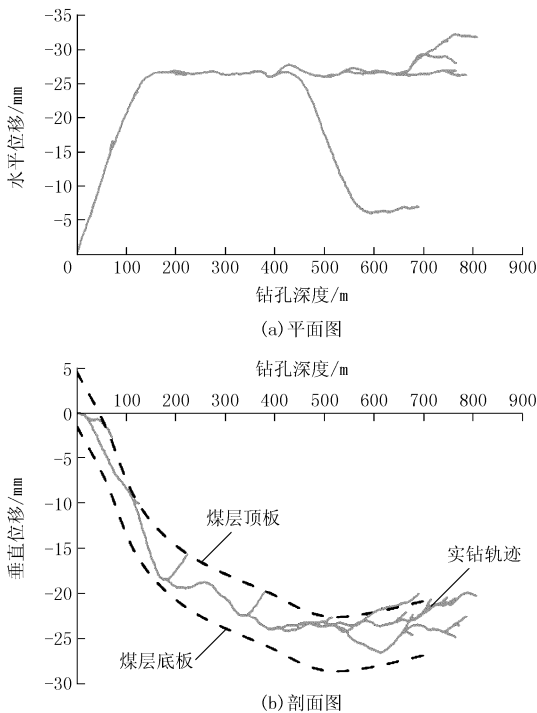


图 2 钻孔实钻轨迹

4 施工关键技术

针对现场施工所钻煤层条件及瓦斯特性, 选择合理的钻进方法对本煤层定向长钻孔进行高效钻进是施工的关键。为了使钻进过程中钻孔不偏离设计轨迹沿着煤层延伸, 提高钻进速度, 同时保证钻孔轨

迹更加平滑, 钻具给进时阻力小, 避免钻具断落造成孔内事故, 钻孔施工采用了定向滑动钻进与复合钻进相结合的钻进技术及分支孔高效成孔工艺。

4.1 复合钻进技术

复合钻进技术原理是利用高压水驱动螺杆马达产生自转运动并与钻机回转钻具产生公转运动相结合共同带动钻头钻进^[6]。该技术将常规回转钻进与定向滑动钻进相结合, 不仅实现了钻孔施工中对非造斜孔段的高效钻进, 而且保证了定向长钻孔轨迹平滑。

在复合钻进过程中, 以螺杆马达为例^[7], 螺杆马达与动力头回转钻杆的转速分别为 n_1 和 n_2 , 且均为顺时针旋转, 钻头与马达转子相对于定子以均匀角速度 ω_1 旋转, 钻杆与马达定子以加速度 $\omega_2 = \pi n_2 / 30$ 绕钻孔中心旋转, 如图 3 所示。设钻头边缘处某切削点 A 速度为 v , 该点至中心距离为 r , 在任意时刻, A 点绝对速度为相对速度与牵引速度矢量之和, 即 $v = (\omega_1 + \omega_2)r$, 故 A 点转速 $n = n_1 + n_2$ 。

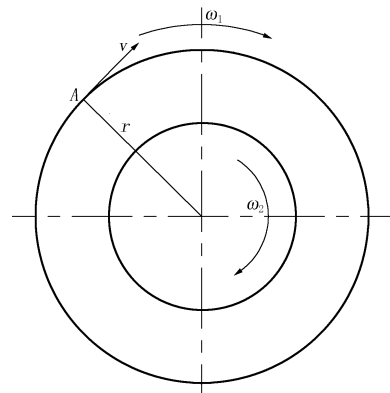


图 3 复合钻进示意图

复合钻进时 PDC 钻头转速是由 n_1 和 n_2 两种转速叠加而成。实际钻进过程中, 控制泥浆泵量保持在 190 ~ 200 L/min 为宜, 马达驱动钻头转速 150 ~ 200 r/min。为了达到碎岩与排渣的双重作用, 调整动力头回转转速为 50 r/min, 因此, 复合钻进时钻头转速可达到 200 ~ 250 r/min。复合钻进将钻头剪切碎岩机理与螺杆马达转速特性相结合, 充分发挥了 PDC 钻头高效碎岩的特性, 极大地提高了 PDC 钻头切削煤体的效率, 同时也提高了机械钻速。

因此, 复合钻进技术与常规定向钻进相比具有以下优势。

(1) 孔口回转钻具与高压水驱动孔底马达共同作用带动 PDC 钻头获得较高的转速, 适于 PDC 钻头高效碎岩(煤), 提高了钻进速度;

(2)复合钻进时,由于钻具在孔内转动,与孔壁的摩擦阻力较小,使得钻机给进压力较低,减少了卡钻、埋钻事故的发生;

(3)在定向长钻孔施工时,可保证钻孔轨迹平滑,避免钻进过程中因造斜段与稳斜段过渡时,曲率变化较大形成阶梯状的钻孔轨迹,导致钻具断落;

(4)钻具在孔内回转易于将孔内煤渣返出,避免因钻渣滞留造成卡钻事故,从现场施工的反渣情况来看,钻渣颗粒细小,孔内排渣顺畅;

(5)复合钻进对钻杆的强度、刚度要求较高,施工必须配套高强度随钻测量钻杆。

但在实际施工中,复合钻进也存在一些局限性。

①由于随着钻孔深度的增加,孔内摩擦阻力增大,回转钻具时钻机回转压力增高,极易出现憋泵、卡钻,故不可盲目提高转速;②钻孔分支孔越多,轨迹将越不平滑,每一个分支孔都会增加其侧向的摩擦阻力,在采用复合钻进时对钻具的强度及抗扭能力要求较高,所以复合钻进一段后一定要及时调整钻孔倾角及方位角,避免实际轨迹与设计轨迹偏离过大造成事故。

结合现场试验情况,分别对1、2(分支)、3、4、5(分支)及6号孔段采用2种钻进工艺共同钻进时的应用效果进行对比,并分析施工造斜段及非造斜段的机械钻速情况。表2为不同孔段2种钻进工艺应用效果。

表2 不同孔段2种钻进工艺应用效果对比

编号	孔段/m	总进尺/m	钻进工艺	进尺/m	平均纯钻进时间/h	机械钻速/(m·h ⁻¹)
1号	420~495	75	复合钻进	48	2.56	18.8
			定向滑动	27	1.97	13.7
2号(分支)	519~597	78	复合钻进	42	1.42	29.6
			定向滑动	36	1.68	21.4
3号	498~603	105	复合钻进	78	2.32	33.6
			定向滑动	27	0.98	27.6
4号	606~690	84	复合钻进	60	2.15	27.9
			定向滑动	24	1.13	21.2
5号(分支)	696~765	69	复合钻进	45	1.50	30.0
			定向滑动	24	0.94	25.5
6号	744~810	66	复合钻进	30	0.98	30.6
			定向滑动	36	1.45	24.8

从表2可以计算出,在1、2(分支)、3、4、5(分支)及6号孔段施工时,总平均进尺量79.5 m,定向滑动钻进平均进尺量29 m,其平均纯钻进时间为1.82 h,平均机械钻速为22.4 m/h。而复合钻进孔段平均进尺量为50.5 m,其平均纯钻进时间为1.35 h,平均机械钻速为28.4 m/h,且最大机械钻速达33.6

m/h。与定向滑动钻进相比,采用复合钻进进尺量明显增大,平均机械钻速提高了26.8%。此外,使用复合钻进时,调整好工具面参数,在保证数据不发生太大的偏差的情况下,可继续钻进,这样减少了工具面参数重复测量的时间。

4.2 分支孔高效成孔工艺

开分支孔的方法分为前进式开分支和后退式开分支^[8-10]。钻孔施工中,由于无法预知煤层情况,所以采用前进式探顶开分支方式。在主孔钻进时若钻遇破碎带,必须绕过该段不稳定地层,故采用侧钻开分支技术,探顶过程如图4所示。

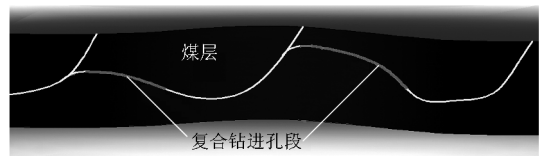


图4 探顶开分支示意图

在探顶开分支过程中总结出以下几点:(1)探顶间隔为50~80 m,每钻进3 m测量一次倾角、方位角;(2)按照设计轨迹钻进时尽量预留多个分支点,选择倾角变化较大的位置开分支,开分支成功后继续定向滑动钻进6~18 m,调整好钻孔方位角后改用复合钻进,转速调整为40~60 r/min;(3)开分支钻进过程中控制泥浆泵流量在200 L/min,同时控制给进速度,然后调整工具面角为180°反复倒杆低速磨削钻进,一般成功开分支时间为6~10 min。

滑动定向钻进时,根据实钻测量的倾角、方位角,边钻进边调整钻孔轨迹,直至钻孔倾角、方位角与设计方参数吻合后,方可继续钻进。钻进过程中开分支的成功与否决定了钻孔施工的进度及钻孔成孔的质量。开分支成功的判断依据有:

(1)与正常钻进状态相比,泥浆泵泵压增大;

(2)通过对比开分支前后随钻测量仪器采集的测斜数据(倾角、方位角),若同一深度测斜数据不同则开分支成功;

(3)孔口返水情况,一般开分支成功后,孔内返渣中煤渣颗粒逐渐增多,且返水颜色也加深。

5 结语

本次试验的主要目的是验证煤矿井下定向长钻孔高效钻进工艺及其配套钻探机具、工艺方法及随钻测量系统可靠性,并通过现场试验不断摸索并

(下转第27页)

钻进的优势便凸显出来。反循环钻进时钻井液上返携带岩粉的能力比正循环工艺钻进时强,正如表5中计算数据显示,反循环工艺比正循环钻进时效快0.132 m,效率提高幅度近1倍。

相对于正循环而言,反循环携带上来的岩屑颗粒明显较大,钻头磨损程度明显降低。另外从下套管前清孔的情况看,清孔效果良好,提钻后24 h内孔内基本无沉渣,保证了下管工作的顺利进行。

4 取得的成果

本次施工钻孔终孔口径大、孔深较深、垂直度要求高,加之钻孔所遇地层较为坚硬,给我方施工带来了不小的挑战。我方经过缜密的组织,在钻孔施工中运用了气动潜孔锤工艺、多级扩孔工艺技术、双壁钻杆气举反循环钻进工艺相结合的钻进施工形式,精心组织、科学施工,取得了良好的效果。

纵观本次施工过程,取得的主要成果有以下几个。

(1)气动潜孔锤施工先导孔,既保证了质量,又为后期成井创造了良好条件。

(2)多级组合牙轮钻头扩孔工艺,保证了施工过程中的设备安全,实现了“小马拉大车”,为使用水井钻机施工大口径瓦斯排放孔、逃生井进行了有益探索,积累了宝贵经验。

益探索,积累了宝贵经验。

(3)采用大口径气举反循环工艺为成井提供了工艺保证,成井质量、排渣效果良好,为顺利下套管、成井提供了可靠保障。

5 建议

(1)在本次钻孔施工中,采用了组合牙轮钻头钻进并取得了良好的效果。可进一步优化组合牙轮钻头上牙轮的排列布局,提高钻进效率。

(2)钻进参数的选择对本次大口径钻孔的施工质量影响很大,可进一步探索钻进参数的配置,保证钻孔施工质量。

参考文献:

- [1] 许刘万,王艳丽,刘江,等.影响水井钻探效率的因素及提高钻井速度的关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4).
- [2] 许刘万,刘智荣,赵明杰,等.多工艺空气钻进技术及其新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10).
- [3] 赵金洲,张桂林.钻井工程技术手册[M].北京:中国石化出版社,2004.
- [4] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5).
- [5] 王三牛,王聪,刘玮,等.科学深钻扩孔钻头及钻进技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(3).

(上接第23页)

总结了定向长钻孔施工的经验。寺河煤矿井下瓦斯抽采定向长钻孔成功应用,充分证明复合定向钻进技术不仅实现了钻孔的高效钻进,而且能使钻孔孔壁平滑,防止憋泵、卡钻,减少了事故处理时间,提高了钻孔成功率和钻进效率,采用复合钻进与常规定向钻进相比,平均机械钻速提高了26.8%。随着复合一定向钻进技术的不断发展和完善,将会在各种需求钻探技术的工程领域中发挥越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] 石智军,姚宁平,叶根飞.煤矿井下瓦斯抽采钻孔施工技术与装备[J].煤炭科学技术,2009,37(9):1-4.
- [2] 郝世俊.沿煤层定向长钻孔施工技术[A].中国煤炭学会煤炭建设与岩土工程专业委员会.矿山建设工程新进程—2006全

国矿山建设学术会议文集(下册)[C].江苏徐州:中国矿业大学出版社,2006.

- [3] 杨旭,黄寒静,李乔乔.定向长钻孔施工技术在急倾斜煤层中的应用[J].煤炭科学技术,2012,40(10):80-83.
- [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.
- [5] 许超.煤矿瓦斯抽采定向长钻孔高效成孔工艺研究[J].金属矿山,2011(6):490-492.
- [6] 祝靖.国内大位移井轨迹控制中降低摩阻技术现状及应用分析[J].西部探矿工程,2013(10):51-54.
- [7] 吴捷.钻井提速技术研究及其在淮东地区的应用[D].湖北荆州:长江大学,2013.
- [8] 石智军,李泉新,许超.煤矿井下随钻测量定向钻进技术及应用[J].地质装备,2013,14(6):32-36.
- [9] 何建华,张进军,管军才,等.水平定向钻孔在大佛寺煤矿瓦斯抽采中的优势探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):36-38,53.
- [10] 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,2013,03:1-6.