

文章编号: 1001-1986(2017)03-0165-05

韩城桑树坪二号井松软煤层钻进技术研究与实践

刘新民¹, 王力², 王建利¹, 黄寒静², 宋朝晖¹, 王建强²

(1. 陕西陕煤韩城矿业有限公司, 陕西 韩城 715400;

2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 针对韩城桑树坪二号井煤层松软破碎, 现有设备能力小、自动化程度低、钻探工艺不合理导致瓦斯抽采钻孔钻进深度浅、钻进效率低等问题。对研究矿区 3 号煤层进行了大螺旋钻杆回转钻进、宽翼片螺旋钻杆空气钻进与宽翼片螺旋钻杆清水钻进工艺试验。试验表明: 宽翼片螺旋钻杆清水钻进工艺施工效率是原来的 1.5 倍, 钻孔深度由 80 m 左右提高到了 200 m 以上, 成孔率达 80% 以上, 满足了桑树坪二号井工作面瓦斯抽采钻孔施工要求。

关键词: 松软煤层; 瓦斯抽采; 钻进技术; 试验研究

中图分类号: TD166 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2017.03.031

Research and practices on drilling in soft coal seams in Hancheng Sangshuping coal mine

LIU Xinmin¹, WANG Li², WANG Jianli¹, HUANG Hanjing², SONG Chaohui¹, WANG Jianqiang²

(1. Hancheng Mining Co., Ltd., Hancheng 715400, China;

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

Abstract: Aiming at the problems such as shallow drilling depth of gas drainage holes and low drilling efficiency caused by soft and broken seams, small capacity and low degree of automation of existing equipment and unreasonable drilling technology, drilling technology test was carried out in seam 3 in the study mining area by using rotary drilling with large auger stem, air and clean water drilling with wide rib auger drill pipe. The results show that the water drilling with wide rib auger drill pipe was the suitable drilling method for gas drainage borehole, the drilling efficiency was 1.5 times higher than before, the borehole depth increased from 80 m to more than 200 m, the borehole-forming rate was up to 80%, meeting the needs of drilling gas drainage boreholes in working face in Sangshuping coal mine.

Keywords: soft coal seam; gas drainage; drilling technology; experimental study

韩城矿业公司桑树坪二号井属于高瓦斯矿井, 井下钻孔抽采是该矿瓦斯治理的主要途径。研究区 3 号煤层属于下二叠统山西组, 平均厚度 5.22 m, 裂隙发育, 煤层坚固性系数 $f=0.45$ 。由于煤层松软破碎、现有 ZYJ-820 钻机能力小、施工工艺不合理等原因导致瓦斯抽采钻孔施工存在钻进深度浅、钻进效率低等问题, 无法满足安全生产需要。为解决桑树坪二号井工作面瓦斯治理问题, 需要研究与优选一套工艺简单、钻进效率高、钻孔深度达到 170 m 以上能够覆盖整个工作面的松软煤层钻进技术与装备。

针对松软突出煤层瓦斯抽采钻孔施工, 进行了干式螺旋钻进^[1-2]、空气(中风压空气)钻进^[3-4]、异形钻杆(宽翼片螺旋钻杆、三棱钻杆、三棱螺旋钻杆等)空

气钻进^[5-9]、套管钻进^[10]及泡沫钻进^[11-12]等多种钻进技术的研究; 在钻孔护孔方面, 筛管完孔技术^[13]得到广泛应用。由于不同矿区松软煤层条件与工艺适应性不同, 因此, 松软煤层钻进工艺方法必须结合实际条件进行综合分析与研究。针对韩城桑树坪二号井 3 号煤层地质条件, 在中央辅运大巷开展了大螺旋钻杆高速回转钻进技术、宽翼片螺旋钻杆空气钻进技术以及宽翼片螺旋钻杆清水钻进技术试验研究。

1 技术方案

1.1 钻进工艺方法

a. 针对 3 号煤层钻探工程性质, 采用大螺旋钻杆钻进工艺。大螺旋钻杆钻进时, 螺旋钻杆和钻孔

收稿日期: 2016-08-07

第一作者简介: 刘新民(1966—), 男, 陕西洛南人, 教授级高级工程师, 从事地质及采矿安全方面的研究。E-mail: hckylz@163.com

引用格式: 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 Xinming, WANG Li, WANG Jianli, et al. Research and practices on drilling in soft coal seams in Hancheng Sangshuping coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(3): 165-169.

之间组成一个“螺旋运输机”，随着钻杆回转前进，钻屑由螺旋翼片推动排出孔外。该钻进工艺简单，不需要冲洗介质，辅助设备少，重复破碎少，钻孔孔壁扰动较小，适合较软煤层钻进。

b. 针对 3 号煤层中松软、易喷孔煤层段或层位研究采用宽翼片螺旋钻杆空气钻进工艺。钻进时将压缩空气经过送风器、钻杆内孔、钻头进入孔底，在孔内形成高速气流携带钻屑，气体膨胀时吸收热量冷却钻具，钻进时螺旋翼片搅动钻屑，并在风力的作用下把钻屑排出孔外，具备空气和螺旋复合排渣的钻进工艺，排渣效率高，对孔壁扰动小。

c. 针对 3 号煤层破碎段以及空气钻进时粉尘污染、井下用风点多，风压风量不稳定等问题，研究采用宽翼片螺旋钻杆清水钻进工艺。钻进过程中，钻头回转切削破碎岩石，清水作为冲洗介质通过钻杆进入孔底，冷却钻头，并携带钻渣顺着孔壁与钻杆间环空间隙返出孔外；宽翼片螺旋钻杆在回转过程中将钻屑向孔口输送，并不断搅动钻屑，使钻渣悬浮起来，配合冲洗液排出孔外，该工艺具备复合排渣效率高的优势且污染小，但需要针对煤层性质，对钻进工艺参数进行优化研究。

1.2 设备选型

a. 钻机

结合矿井实际条件，钻机选用中煤科工集团西安研究院有限公司最新研制的 ZDY6500LF 分体式履带钻机，钻机由钻车(图 1a)和泵车(图 1b)两部分组成，分体部分单独行走，钻车通过车体转盘可调整钻孔方位，该钻机井下运输方便，便于角度调整；最大回转矩 6 500 N·m，转速 200 r/min，能满足试验研究的多种钻进工艺要求；钻机给进行程长，达到 1.75 m，能实现中间快速加杆，提高施工效率；同时，钻机



图 1 ZDY6500LF 履带钻机
Fig.1 ZDY6500LF crawler drill rig

起拔力达到 165 kN，具有较强的事故处理能力。

b. 钻杆

选用的钻杆为 $\Phi 73/100$ mm 插接式螺旋钻杆和 $\Phi 73$ mm 整体式宽翼片螺旋钻杆(图 2)。

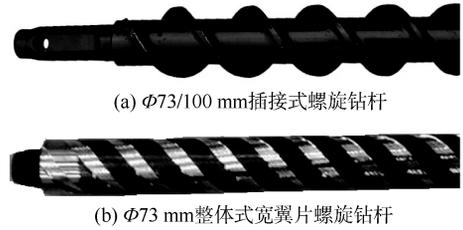


图 2 钻杆实物
Fig.2 Drill pipes

大螺旋钻进选用 $\Phi 73/100$ mm 插接式螺旋钻杆。为实现深孔施工，大螺旋钻杆选择 $\Phi 73$ mm 芯杆，满足强度要求；而螺旋叶片外径选择 100 mm，满足排渣要求同时适当减小孔径大小，有利于保持钻孔稳定性，也减少切削量和回转阻力。由于松软煤层容易卡钻，选择插接式连接，遇卡钻事故时能够实现反转，增加了处理事故的成功率。

宽翼片螺旋钻杆选用 $\Phi 73$ mm 整体式宽翼片螺旋钻杆，主要考虑钻具强度要求和深孔施工目的，整体式宽翼片螺旋钻杆与焊接式宽翼片螺旋钻杆相比，螺旋槽功能相同，但钻杆强度较高。

c. 钻头

试验选用 $\Phi 94$ mm 三翼内凹 PDC 钻头和 $\Phi 110$ mm 合金钻头两种配套钻头(图 3)。



图 3 钻头实物
Fig.3 Drill bits

1.3 钻进工艺参数

a. 大螺旋钻杆回转钻进

该工艺采用钻具组合为： $\Phi 73/100$ mm 插接式大螺旋钻杆+ $\Phi 110$ mm 合金钻头。

转速与回转压力 采用大螺旋回转钻进技术，应适当提高转速，以利于排渣，但不应超过临界转速 n_{max} 。当钻压一定时，转速过高，虽然产生的煤粉颗粒很细，排粉阻力减少，但此时煤颗粒就会产生垂直于输送方向的跳跃式翻滚，这时螺旋钻杆主要起

搅拌而不再起轴向推进作用;当转速过低,煤粉颗粒的水平运移速度也相应降低,这样就降低了螺旋钻杆的排粉效果,煤粉易在孔底堆积,形成卡钻、埋钻事故。因此,在 $n < n_{\max}$ 的范围内尽可能加大钻杆的转速,确保排粉量达最大,孔内沉渣小,孔内事故少,利于钻进成孔。极限转速 n_{\max} 可由下式确定:

$$n_{\max} = A/\sqrt{D_y} \quad (1)$$

式中 A 取50~70; D_y 为螺旋叶片的外径,m。

在现场施工时,转速范围选择120~150 r/min。根据现场实践经验,钻进过程中正常回转压力8~10 MPa(压力大小与回转速度有关),压力过大,表明孔内异常,容易卡钻。超过100 m钻孔施工时,应注意压力表变化情况,若压力摆动幅度大且超过2 MPa时,预示孔内有煤块或煤渣较多,须及时采取措施。

钻压与钻进速度 钻机的给进压力要适当,控制好螺旋钻杆的产粉量和排粉量的平衡。当转数一定时,给进压力过大,切下的煤屑颗粒就越大,单位时间里螺旋钻杆的排粉量就越大,当切削下的煤屑大于螺旋钻杆的排粉量时,煤屑易在孔底堆积形成煤屑楔,使钻孔轨迹有上仰的趋势,甚至造成抱钻等孔内事故;反之,如果给进压力太小,由于钻杆自重作用,螺旋钻杆刮削孔壁下部,造成钻孔轨迹向下倾斜,钻进效率低。另外,螺旋钻杆在旋转过程中,由于螺旋叶片排粉时与煤粉相互作用而使螺旋钻杆产生一个向孔底方向的反作用力,随着钻孔的深度的增加,螺旋钻杆承受的反作用力增加,此时钻机的给进压力应适当减小。

施工中钻进速度一般控制在0.5~1.0 m/min,以达到充分排渣,实现施工深孔的目的。

b. 宽翼片螺旋钻杆空气钻进

该工艺采用钻具组合为: $\Phi 94$ mm 三翼内凹PDC钻头+ $\Phi 73$ mm 宽翼片螺旋钻杆。

钻压与转速 松软煤层钻进时,对钻压要求并不高,除在钻进过程中克服钻杆和孔壁的摩擦阻力外,真正作用在钻头上破碎煤层的钻压一般不会超过500 kg;如遇到夹矸、顶底板岩石,钻压也不会超过1.5 t。转速要适中,不宜采用高转速,在风压、风量充足的前提下,可适当提高转速,以获得较高的钻速,提高施工效率,转速可选择80~120 r/min。

供风参数 空气钻进时,正常排粉需要的风速以及保持该风速所需的供风压力,是空气钻进的重要参数。

在空气钻进中,当颗粒受到气流作用,且气流速度大于钻屑颗粒群的自由悬浮速度时,便可实现排渣;但实际钻进过程中,为了保证钻进中不断产生的钻屑能够顺利排出而不致堵塞,风速还应满足不堵塞条件^[14]。

确定供风流量的经验计算公式如下:

$$Q \geq 60VK(\lambda D^2 - d^2)\pi/4 \quad (2)$$

式中 Q 为供气流量, m^3/min ; D 为钻孔直径,m; d 为钻杆直径,m; V 为上返风速, m/s ; K 为系数,一般取1.3左右; λ 为钻孔扩径系数,根据所施工煤层的硬度系数 f 值来选定:当 $0.2 \leq f < 0.5$ 时, λ 取1.05~1.1;当 $0.5 \leq f < 0.8$ 时, λ 取1~1.05;当 $f \geq 0.8$ 时, λ 取1。

生产实践与理论计算表明,返风速度应达到15 m/s以上,最佳风速23 m/s左右^[15]。在此基础上,根据钻孔直径、扩径系数可计算出风量大小。风压应能克服风流的各种阻力损失,空气钻进中的压力损失主要包括加速压损、摩擦压损、钻屑悬浮提升压损和局部压力损失。

因此,要求空气钻进过程中风量不小于 $5.5 \text{ m}^3/\text{min}$,最佳风量 $8 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上,空气压力应不小于0.5 MPa,满足正常钻进需求。

c. 宽翼片螺旋钻杆清水钻进

该工艺采用钻具组合为: $\Phi 94$ mm 三翼内凹PDC钻头+ $\Phi 73$ mm 宽翼片螺旋钻杆。

钻压与转速 钻进压力要适中,满足切削要求情况下,不宜过大。转速方面,在满足排渣要求情况下,可适当提高转速,以获得较高的钻进速度,提高施工效率。

冲洗液流量 在冲洗液作用下,岩屑(煤粉)颗粒主要运移方式存在滑动、滚动、悬浮和跳跃等形式。流量过低,无法满足排渣要求;流量过高则对孔壁冲刷作用强,容易造成钻孔坍塌。因而冲洗液流量应适中,一般不小于100 L/min,不大于200 L/min。

2 试验情况

2.1 钻孔布置

试验地点位于桑树坪二号井中央辅运大巷,钻孔垂直于巷道布置,钻孔间距3 m,设计孔深不小于170 m。钻孔施工区域与钻孔布置如图4所示。

2.2 试验情况

先后采用大螺旋钻杆高速回转钻进技术、宽翼片螺旋钻杆空气钻进技术以及宽翼片螺旋钻杆清水钻进技术共试验30个钻孔,最大孔深244 m,最大单班进尺196 m,最高钻进效率31.2 m/h。三种钻进工艺施工情况分别如表1、表2和表3所示。

3 效果分析

a. 大螺旋钻杆回转钻进施工6个钻孔,最大孔深127 m,最大钻进效率24.6 m/h,钻孔因掉钻、卡钻、煤泥糊钻等原因导致终孔。大螺旋钻杆钻进受地层含水影响容易出现糊钻现象影响钻孔正常施工;选用插接式大螺旋钻杆能够反转,有利于进行事故处理,但

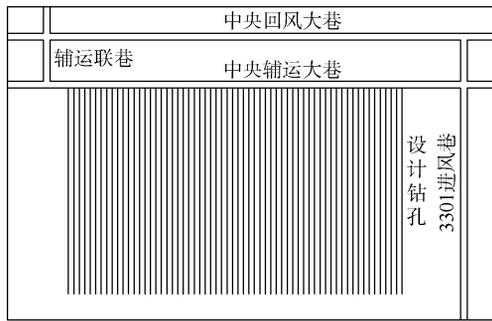


图 4 施工区域与钻孔布置

Fig.4 Layout of borehole and working area

表 1 大螺旋钻杆回转钻进施工情况

Table 1 Drilling results of using auger drill pipe

孔号	孔深/ m	钻进效率/ (m·h ⁻¹)	钻压/ MPa	转速/ (r·min ⁻¹)	终孔原因
1号	45	18.0	0.5	120~140	掉钻
2号	34.5	23.0	0.5	120~140	卡钻
3号	78	22.3	0.5	120~140	煤泥糊钻
4号	94.5	23.6	0.5	120~140	见岩
5号	127	24.4	1	120~140	煤泥糊钻
6号	123	24.6	1	120~140	煤泥糊钻

表 2 宽翼片螺旋钻杆空气钻进施工情况

Table 2 Air drilling results of using wide rib auger drill pipe

孔号	孔深/ m	钻进效率/ (m·h ⁻¹)	风压/ MPa	风量/ (m ³ ·min ⁻¹)	终孔原因
7号	103	25.7	0.5	6	钻头磨损
8号	165	27.5	0.5	6	钻头磨损
9号	156	31.2	0.5	6	钻头磨损
10号	94	24.7	0.5	6	钻头磨损
11号	150	30.0	0.5	6	钻头磨损
12号	108	27.0	0.5	6	钻头磨损
13号	196	30.1	0.5	6	钻杆打完
14号	142	28.4	0.5	6	钻头磨损
15号	150	28.8	0.5	6	钻头磨损

表 3 宽翼片螺旋钻杆清水钻进施工情况

Table 3 Water drilling results of using wide rib auger drill pipe

孔号	孔深/ m	钻进效率/ (m·h ⁻¹)	钻压/ MPa	转速/ (r·min ⁻¹)	终孔原因
16号	172	21.5	2~3	100~120	断电影响
17号	156	26.0	2~3	100~120	见岩
18号	147	24.5	2~3	100~120	见岩
19号	193	21.4	2~3	100~120	回转压力大
20号	186	20.6	2~3	100~120	回转压力大
21号	51	23.2	2~3	100~120	卡钻
22号	244	20.3	2~3	100~120	钻杆打完
23号	244	22.2	2~3	100~120	钻杆打完
24号	237	19.7	2~3	100~120	卡钻
25号	228	22.8	2~3	100~120	运输影响
26号	244	22.2	2~3	100~120	钻杆打完
27号	219	20.6	2~3	100~120	见岩
28号	223	20.2	2~3	100~120	运输影响
29号	186	18.6	2~3	100~120	运输影响
30号	244	22.2	2~3	100~120	钻杆打完

连接使用较丝扣连接型钻杆麻烦，影响钻进效率。

b. 宽翼片螺旋钻杆空气钻进沿煤层施工时，钻进效率高，最高达到 30.1 m/h，最大单班进尺达到 196 m；钻进深度大多在 100 m 以上，但煤层构造复杂，夹矸多，钻遇夹矸或岩层时，冷却效果差，钻头易磨损；另外井下系统风用风点多，风量风压不稳定，影响钻进排渣，导致钻进深度受限。

c. 采用宽翼片螺旋钻杆清水钻进方案施工 15 个钻孔，最高钻进效率 26 m/h，最大孔深 244 m；钻孔深度由原来 70~80 m 提高到 200 m 以上，其中 170 m 以上钻孔 12 个，成孔率达到 80%，钻进效率由原来不到 15 m/h 增加到 22 m/h 以上，是原来的 1.5 倍；该工艺方法满足桑树坪二号井煤层条件下，深度 170 m 以上瓦斯抽采钻孔施工要求。

d. 试验选用 ZDY6500LF 型钻机，设备选型合理，能力强，满足多种钻进工艺要求，适用于桑树坪二号井 170 m 以上深度要求的钻孔施工。钻机给进行程长，能够中间加杆，减少辅助作业时间，提高了施工效率；回转扭矩高，起拔能力大，对于钻孔施工中出现的卡、埋钻事故具有较强的处理能力，且成功率高。

4 结语

韩城桑树坪二号井松软煤层钻进技术试验研究表明：宽翼片螺旋钻杆清水钻进工艺简单、钻进效率高、钻进深度大且成孔率高、粉尘污染小，施工环境好，适用于桑树坪二号井工作面瓦斯抽采长钻孔施工。采用该工艺与装备后，钻孔深度由 80 m 提高到 200 m 以上，钻进效率是原来的 1.5 倍，成孔率达 80% 以上。通过研究，总结出了一套适合该矿的钻进工艺方法与装备，提升了该矿钻探工艺水平与瓦斯治理能力，为煤矿安全生产提供了保障。

参考文献

- [1] 姚宁平, 孙荣军, 叶根飞. 我国煤矿井下瓦斯抽放钻孔施工装备与技术[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(3): 12-16.
YAO Ningping, SUN Rongjun, YE Genfei. Equipment and technology of borehole construction for gas drainage in China underground mines[J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(3): 12-16.
- [2] 聂百胜, 薛斐. 软煤钻杆研究进展及发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(1): 47-54.
NIE Baisheng, XUE Fei. Research progress and development tendency of borehole drilling rod for soft seam[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 47-54.
- [3] 殷新胜, 凡东, 姚克, 等. 松软突出煤层中风压空气钻进工艺及配套装备[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(9): 72-74.
YIN Xinsheng, FAN Dong, YAO Ke, et al. Medium pressure compressed air drilling technique and matched equipment in soft and outburst seam[J]. Coal Science and Technology, 2009,

- 37(9): 72-74.
- [4] 王庆永. 复杂松软煤层中风压钻进工艺技术[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(2): 39-42.
WANG Qingyong. Medium pneumatic pressure drilling technique in complicated soft seam[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(2): 39-42.
- [5] 张明杰, 杨硕. 松软煤层螺旋钻杆钻进中的吸钻卡钻力学机理[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(5): 121-124.
ZHANG Mingjie, YANG Shuo. Mechanical mechanism of auger drilling rod sticking in soft coal seam[J]. Coal Geology & Exploration, 2015, 43(5): 121-124.
- [6] 樊九林. 松软突出煤层打钻技术[J]. 煤矿安全, 2012, 43(8): 62-64.
FAN Jiulin. Drilling technology of soft outburst coal seam[J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(8): 62-64.
- [7] 肖丽辉, 王义红, 李彦明. 整体式三棱螺旋钻杆的研制及其应用[J]. 煤矿机械, 2013, 34(12): 126-128.
XIAO Lihui, WANG Yihong, LI Yanming. Development and application of integral triangular helix drilling rod[J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34(12): 126-128.
- [8] 侯红, 凌标灿, 罗维, 等. 松软突出煤层中三角型钻杆成孔技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(8): 67-70.
HOU Hong, LING Biaocan, LUO Wei, et al. Study on drilling technology with triangular drilling rod in soft and outburst seam[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(8): 67-70.
- [9] 李泉新, 石智军, 孙荣军, 等. 螺旋钻进技术在松软煤层瓦斯预抽钻孔施工中的应用[C]//安全高效煤矿地质保障技术及应用——中国地质学会、中国煤炭学会煤田地质专业委员会、中国煤炭工业劳动保护科学技术学会水害防治专业委员会学术年会文集. 北京: 煤炭工业出版社, 2007: 514-518.
- [10] 中煤科工集团西安研究院有限公司. 一种煤矿井下松软破碎地层套管护孔成孔方法: CN103452475A[P]. 2013-12-18.
- [11] 刘勇, 殷新胜, 刘建林. 松软煤层井下泡沫钻进工艺试验[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(6): 114-116.
LIU Yong, YIN Xinsheng, LIU Jianlin. Underground foam drilling tests in soft seam[J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(6): 114-116.
- [12] 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 for drilling long borehole of gas extraction in soft coal seam[J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(11): 5-8.
- [13] 孙新胜, 王力, 方有向, 等. 松软煤层筛管护孔瓦斯抽采技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(3): 74-76.
SUN Xinsheng, WANG Li, FANG Youxiang, et al. Technology and equipment of screen pipe-protected borehole of gas drainage in soft seam[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(3): 74-76.
- [14] 冀前辉, 殷新胜, 王毅. 松软煤层空气钻进工艺试验[J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(3): 78-80.
JI Qianhui, YIN Xinsheng, WANG Yi. Experiment on technical parameters of air drilling in soft coal seam[J]. Coal Geology & Exploration, 2009, 37(3): 78-80.
- [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: 149.

(责任编辑 聂爱兰)

(上接第 164 页)

- LIU Canming. Research status and prospect of the crushing complex formation drilling technology in China[J]. Gansu Science and Technology, 2010, 26(14): 78-80.
- [3] 汤凤林. 岩心钻探学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
- [4] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001.
- [5] 潘广灿, 张金来. 河南铝土矿勘探高肋骨 PDC 钻头双管钻探工艺探讨[J]. 地质与勘探, 2012, 47(5): 924-928.
PAN Guangcan, ZHANG Jinlai. On drilling technology using high-rib PDC bit and double-pipe in bauxite exploration of Henan Province[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(5): 924-928.
- [6] 苏宏岸, 张绍和, 吴晶晶. 超前侧喷绳索取心钻具的研制[J]. 地质与勘探, 2014, 50(1): 178-181.
SU Hongan, ZHANG Shaohe, WU Jingjing. Development of the advanced lateral jet wire-line coring tool[J]. Geology and Exploration, 2014, 50(1): 178-181.
- [7] 王晚中. 无泵孔底反循环钻进技术在潞安矿区取样工程中的应用[J]. 煤, 2010, 19(10): 35-36.
WANG Wanzhong. The application of no-pump reverse circulation in Lu'an mine[J]. Coal, 2010, 19(10): 35-36.
- [8] 胡振阳, 白鸿雁, 殷琨. 潜孔锤反循环钻进技术在复杂地层中的试验研究[J]. 地质与勘探, 2006, 42(4): 94-96.
HU Zhenyang, BAI Hongyan, YIN Kun. Experimental researches of the reverse circulation drilling technique in complex strata[J]. Geology and Exploration, 2006, 42(4): 94-96.
- [9] 卢春华, 鄢泰宁, H T 叶戈罗夫. 提高复杂地层取心质量的新型钻具[J]. 地质与勘探, 2009, 45(2): 112-114.
LU Chunhua, YAN Taining, Egorov. New drilling tools for improving core recovery in complex strata[J]. Geology and Exploration, 2006, 42(4): 94-97.
- [10] 施莉. 坑道钻探水力双循环双壁钻具设计[D]. 长沙: 中南大学地球科学与信息物理学院, 2012: 14-16.
- [11] 王政敏, 陈方. 绳索取心钻具的拓展钻具研发[J]. 矿床地质, 2008, 27(增刊 1): 139-141.
WANG Zhengming, CHEN Fang. The design and development of extended boring tools for wire ling coring instruments[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(S1): 139-141.
- [12] 吴晶晶. 超前侧喷取心钻具的研制[D]. 长沙: 中南大学, 2013: 13-37.
- [13] 燕建龙, 张绍和, 孙平贺, 等. 一种钻探用高采心率双管取心钻具: ZL20142 0171999.1[P]. 2014-08-06.
- [14] 杨昌杰, 张绍和, 苏宏岸, 等. 适用于破碎地层的新型单动双管钻具[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(1): 87-89.
YANG Changjie, ZHANG Shaohe, SU Hongan, et al. The application test of the new double-barreled and single-acting coring tool in fractured formation[J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(1): 87-89.

(责任编辑 聂爱兰)