

# 松软突出煤层复合排渣钻进技术试验研究

郝永进, 李乔乔, 王 毅, 赵江鹏, 董昌乐

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

**摘要:**为提高煤矿松软煤层瓦斯抽采钻孔施工深度和抽采效果,以中风压(0.7~1.2 MPa)复合排渣钻进技术为基础,采用不同规格的螺旋钻具组合配合相应的工艺参数进行现场试验,比较不同钻具组合的应用情况,选择适应松软突出煤层的最优钻具组合与配套工艺,达到高效施工全煤长钻孔的目的。

**关键词:**松软突出煤层;中风压;螺旋钻进;复合排渣;瓦斯抽采钻孔

**中图分类号:** P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)06-0022-04

**Composite Slag Discharging Drilling Technology in Soft and Outburst Coal Seam/HAO Yong-jin, LI Qiao-qiao, WANG Yi, ZHAO Jiang-peng, DONG Chang-le** (Xi'an Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group, Xi'an Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** In order to improve the gas drainage hole drilling depth and the extracting effect, based on composite slag discharging technology with medium air pressure (0.7~1.2 MPa), the field test was carried out by using screw drilling tool assembly with different specifications matched with corresponding process parameters. Comparing the different application conditions, the best bottom hole assembly and the matching technologies were selected to achieve high-efficient long bore-hole construction in whole coal seam.

**Key words:** soft outburst coal seam; medium air pressure; screw drilling; composite slag discharging; gas drainage hole

## 0 引言

由于松软突出煤层的强度低、瓦斯含量高、瓦斯压力大,在钻孔施工中采用常规钻进方法常出现喷孔、塌孔和卡钻等现象,导致成孔率低、煤层钻遇率低、钻进效率较低等问题。为解决上述松软突出煤层钻孔施工难题,可采用中风压宽叶片复合排渣钻进技术。然而该技术对压缩空气的压力要求较高,很多矿井的系统压风难以满足其施工要求;另一方面该技术主要应用于煤层体坚固性系数 $f > 0.3$ 的松软突出煤层,对于 $f < 0.3$ 的煤层,由于压缩空气对钻孔孔壁冲刷作用较大,钻孔的稳定性差,存在着钻遇率低、成孔率低等问题。

针对这一现状,在义安煤矿煤层 $f$ 值约为0.2,主要采用中风压宽叶片复合排渣钻进技术,通过选配不同规格的钻具组合配合相应的工艺参数,从钻孔稳定性、钻进效率、钻孔轨迹3个方面对比分析了螺旋排渣和空气排渣的优劣性。

## 1 试验区地质概况

义安煤矿11采区100下巷11100工作面为二、

煤层,二<sub>1</sub>煤为粉末状、鳞片状、局部见块状以亮煤为主含暗煤条带,弱玻璃光泽属半亮型煤,煤层结构较复杂,不稳定煤层中含FeS结核,硬度大、密度高,平均煤厚3.2 m。煤层赋存结构为“三软”煤层结构,构造软煤整层发育,煤层体坚固性系数 $f$ 值为0.14~0.26,煤层透气系数为差,属于较难抽放煤层。

## 2 试验设备

### 2.1 钻机

试验采用我公司研发生产的ZDY4300LF(A)型全液压分体履带式钻机,该钻机主要由钻车和泵车2部分组成,见图1。该钻机具有移动方便、机身尺寸小、钻孔倾角与方位角调节范围大、结构紧凑、开孔高度自动调节的优点,适用于狭窄巷道施工本煤层钻孔和大角度穿层钻孔,钻机主要技术参数见表1。

### 2.2 钻杆

试验采用的3种不同规格的螺旋钻杆均为我公司自主研发生产,具有以下特点。

(1) 钻杆均采用锥扣螺纹连接,密封性好,在钻进过程中螺旋叶片提供排渣通道的同时对钻孔内

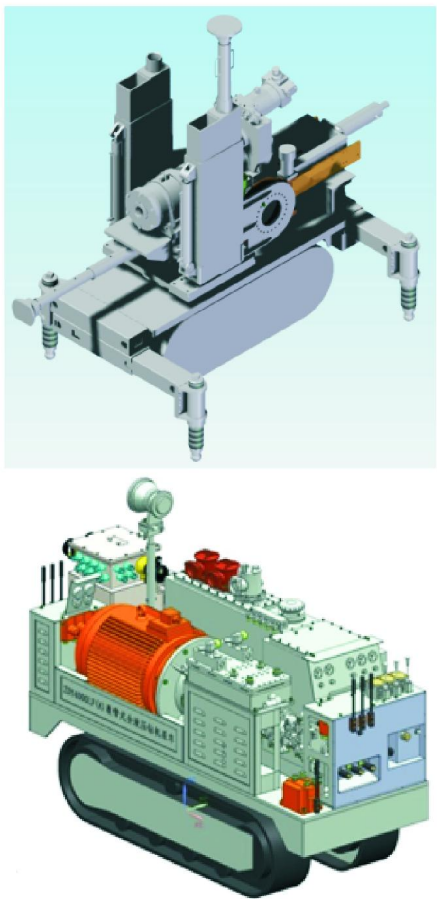


图 1 ZDY4300LF(A)型全液压分体履带式钻机

表 1 ZDY4300LF(A)型全液压分体履带式钻机主要技术参数

| 参数名称                        | 参数值                |
|-----------------------------|--------------------|
| 主轴通孔直径/mm                   | 98                 |
| 额定扭矩/(N·m)                  | 4300~1050          |
| 额定转速/(r·min <sup>-1</sup> ) | 200~60             |
| 最大给进/起拔力/kN                 | 90/250             |
| 主轴倾角/(°)                    | ±90                |
| 给进行程/mm                     | 600                |
| 功率/kW                       | 55                 |
| 主机外形尺寸/m                    | 钻车:2.865×0.85×2.09 |
|                             | 泵车:2.625×0.85×1.82 |

钻渣起到搅拌、翻滚使其分布均匀,便于压缩空气排出的作用。

(2)3种钻杆螺旋叶片厚度较常规螺旋钻杆厚,可直接穿过动力头与夹持器,减少了主动钻杆等辅助设备,同时机械拧卸钻杆丝扣提高了钻进效率。

这3种钻杆主要区别在于外径、螺距、螺旋头数、叶片高度、叶片宽度等参数方面,见表2。试验表明,以上几个技术参数对排粉效果、钻孔稳定性、钻孔轨迹均有重要影响。

表 2 试验用 3 种螺旋钻杆主要技术参数

| 外径/mm | 内径/mm | 螺距/mm | 叶片宽度/mm | 螺旋头数 |
|-------|-------|-------|---------|------|
| 73    | 60    | 100   | 35      | 3    |
| 95    | 73    | 100   | 20      | 2    |
| 95    | 60    | 100   | 20      | 1    |

2.3 钻头

试验采用了我公司生产的 Ø103、120 mm 一字铰接可开闭式 PDC 钻头(见图2)与 Ø113 mm 三翼弧角抛物线 PDC 钻头(见图3)。



图 2 一字铰接式可开闭式 PDC 钻头



图 3 三翼弧角 PDC 钻头

其中一字铰接可开闭式 PDC 钻头为快速全程护孔筛管瓦斯抽采技术专用钻头,该钻头全面钻进时内芯翼片关闭,钻进结束下筛管时用筛管将内芯翼片顶开,内芯不留孔内,钻头可重复利用,专有定位技术保证内芯翼片开闭灵活。

三翼弧角抛物线 PDC 钻头是针对目前常规 PDC 钻头施工硬岩层时存在钻进效率低、使用寿命短的问题而专门研制的用于硬岩高效钻进的钻头。该钻头采用分层错峰布齿技术,实现了多轨道、分层等体积切削岩石,钻进阻力小,重复破碎少,从而明

显提高了钻进效率。

3 钻进工艺参数

复合排渣钻进技术主要工艺参数包括钻压、转速、风量,这 3 个参数一定程度上决定成孔质量和效率。

3.1 钻压

近水平钻进时钻压不仅直接决定了钻头切削齿压入地层的深度(即钻进速度),而且钻压的大小影响钻具在孔内弯曲程度的大小。

(1)松软煤层钻进时,塌孔时有发生,钻孔上部形成较大空间。煤层越松软,塌孔越严重,钻压越大,钻具向偏斜的程度越大。

(2)在其他工艺参数不变时,钻压越大,钻头切削的钻渣越大、不易排出孔外,造成钻渣在孔底堆积越严重,对钻具的向上抬升作用越大,钻孔偏斜程度增加。

(3)复合排渣钻进技术中螺旋钻具的机械排渣起辅助作用,松软煤层时常发生“吸钻”现象,所以有时需要减压钻进。钻进过程中要合理控制钻压,保证钻渣顺利排出,试验过程中钻压控制在 0~7 MPa。

3.2 转速

近水平钻进过程中,钻渣在自重作用下处于钻孔底部,压风无法直接排除,钻具回转将位于底部的钻渣搅动至跳跃翻滚状态,使用压风排出。螺旋钻具起到机械排渣和搅动作用,钻压不变时,转速的大小决定了搅动作用和机械排渣效果的强弱,因此转速不容忽视。

松软煤层钻进时,转速过小,切削的钻渣颗粒较大,同时搅动作用和机械排渣减弱,不能将钻渣及时排出;转速过大,钻具对孔壁的扰动增大,易诱发塌孔等事故。因此需要根据不同的钻具及实际情况采取合理的转速,试验过程中采用转速范围是 70~190 r/min。

3.3 风量

复合排渣钻进技术采用压缩空气作为冲洗介质进行排粉钻进,压缩空气的作用是将钻具搅动的钻渣及时排出孔外,生产实践和理论计算表明,该返风速度最小应达到 15.2 m/s 以上,最佳速为 23 m/s 左右。采用 Ø73/95 mm 外径的钻杆,钻进 120 mm 直径以内钻孔,当风速达到 23 m/s 时,则需要风量  $Q = VA_{环}t = 23(\pi/4) \times (0.12^2 - 0.073^2) \times 60 \approx 2.2$

$m^3/min, Q = VA_{环}t = 23(\pi/4) \times (0.12^2 - 0.095^2) \times 60 \approx 5.7 m^3/min$ 。实际试验过程中考虑到管路泄漏等因素,要达到较好的钻进效果,120 mm 直径以内的瓦斯抽采钻孔,单孔的实际供风量应该在 8~10  $m^3/min$ ,钻进效果较好,具体可根据不同钻具规格及排粉效果进行适当调整。

4 试验情况与分析

4.1 试验情况

现场试验顺序为:先采用 Ø103 mm 一字铰接可开闭式 PDC 钻头 + Ø73/63.5 mm 整体式大通孔宽叶片螺旋钻杆,孔深满足要求但钻遇率偏低;分析原因后决定加大钻杆螺旋叶片高度,采用 Ø120 mm 可开闭 PDC 钻头 + Ø95/73 mm 焊接式螺旋钻杆的钻具组合进行试验,孔深满足要求但钻遇率与钻进效率仍偏低;继续加大钻杆螺旋叶片高度,同时为解决之前 2 种钻具试验时钻头无法破碎坚硬结核的问题,改用 Ø113 mm 三翼弧角抛物线 PDC 钻头 + Ø95/60 mm 焊接式螺旋钻杆的钻具组合进一步试验。

采用 Ø103 mm 一字铰接可开闭式 PDC 钻头 + Ø73/63.5 mm 整体式大通孔宽叶片螺旋钻具组合进行试验,共施工 8 个钻孔,累计进尺 762.5 m;最高时效 10 m,平均时效 6.6 m,具体参数见表 3。

| 表 3 Ø73/63.5 mm 钻具组合试验钻孔参数 |        |       |                                                |  |
|----------------------------|--------|-------|------------------------------------------------|--|
| 孔号                         | 倾角/(°) | 孔深/m  | 备 注                                            |  |
| ZK380                      | +0.5   | 83    | 83 m 见岩层,钻头磨损严重提钻                              |  |
| ZK383                      | 0      | 82.5  | 41 m 见岩层                                       |  |
| ZK450                      | +1.5   | 81    | 25 m 见岩层                                       |  |
| ZK447                      | +1.5   | 102   | 达到设计孔深终孔                                       |  |
| ZK445                      | 0.5    | 103.5 | 0~33 m 煤层,33~80 m 见岩层,80~86 m 煤层,86~103.5 m 岩层 |  |
| ZK443                      | 0      | 103.5 | 40 m 见岩层                                       |  |
| ZK438                      | -1     | 103.5 | 31.5 m 见岩层                                     |  |
| ZK436                      | -4     | 103.5 | 33 m 见岩层                                       |  |

Ø73/63.5 mm 钻具组合试验过程中考虑到钻杆螺旋叶片高度有限(5 mm),加之煤层松软、塌孔严重,孔内钻渣排出量大,试验过程中为解决排渣问题,转速相对较低,风量较高,分别为转速 90 r/min,风量 12 m<sup>3</sup> 左右。但由于压缩空气对孔壁冲刷作用较大,塌孔严重、钻孔偏斜严重、钻遇率低。鉴于此,决定采用加大螺旋叶片高度、降低风量的方式进一步试验。

采用 Ø120 mm 一字铰接可开闭式 PDC 钻头 +

Ø95/73 mm 焊接式螺旋钻具组合进行试验,共施工 6 个钻孔,累计进尺 503 m;最高时效 14.6 m,平均时效 6.3 m。钻孔参数见表 4。

表 4 Ø95/73mm 钻具组合试验钻孔参数

| 孔号    | 倾角/(°) | 孔深/m | 备 注                 |
|-------|--------|------|---------------------|
| ZK431 | 1      | 60   | 36 m 见岩层            |
| ZK430 | -2     | 90   | 全煤,达到设计孔深终孔         |
| ZK428 | -2     | 60   | 42 m 见岩层            |
| ZK423 | -4     | 44   | 全煤,结核卡钻             |
| ZK420 | -3     | 95   | 0~67 m 煤,67~95 m 矸石 |
| ZK418 | -3     | 64   | 全煤,不返风提钻            |

Ø95/73 mm 钻具组合试验过程中钻杆在 Ø73/63.5 mm 的基础上加大了螺旋叶片高度(11 mm),为了增加搅动作用和机械排渣,减少压缩空气对孔壁的冲刷,增加了转速,降低了风量,转速为 140 r/min,风量为 9 m<sup>3</sup>/min。试验表明:Ø95/73 mm 钻具组合相对于 Ø73/63.5 mm 钻具组合排渣效果有所好转,钻孔偏斜减轻、钻遇率提高,但仍未达到预期效果,还需进一步进行试验。

采用 Ø113 mm 三翼弧角抛物线 PDC 钻头 + Ø95/60 mm 焊接式螺旋钻具组合进行试验,共施工 6 个钻孔,累计进尺 538 m;最高时效 17.3 m,平均时效 8.9 m。具体参数见表 5。

表 5 Ø95/60 mm 钻具组合试验钻孔参数

| 孔号    | 倾角/(°) | 孔深/m | 备 注               |
|-------|--------|------|-------------------|
| ZK406 | -2     | 85   | 全煤,达到设计孔深终孔       |
| ZK404 | -2     | 83   | 全煤,达到设计孔深终孔       |
| ZK401 | -2     | 83   | 46 m 见矸石,达到设计孔深终孔 |
| ZK399 | -2     | 96   | 全煤,达到设计孔深终孔       |
| ZK395 | -2     | 90   | 全煤,达到设计孔深终孔       |
| ZK391 | -2     | 101  | 全煤,达到设计孔深终孔       |

Ø95/60 mm 钻具组合尝试进一步增加螺旋叶片高度(17.5 mm),转速为 190 r/min,风量 6 m<sup>3</sup>/min,增大机械排渣,减少压缩空气对钻孔的扰动;试验表明该种工艺参数配合机械排渣大于压风排渣,钻孔稳定性好、成孔率高、钻遇率高,达到了本次试验目的。

## 4.2 试验分析

(1)3 种螺旋钻具组合及其配套工艺均可满足矿方对本煤层瓦斯抽采钻孔深度的要求,区别在于不同的钻具参数对排渣效果、钻孔偏斜、钻遇率影响较大。

(2)通过对比分析,造成钻孔偏斜、钻遇率低的

原因主要有 2 方面:①煤层松软塌孔严重,在钻孔上方形成空洞导致钻孔上仰;②螺旋叶片高度决定排渣效果,影响孔内沉渣和钻孔偏斜程度。

(3)煤层特别松软时( $f$  值 0.1~0.15),对孔壁稳定性而言,压缩空气的冲刷作用大于螺旋钻具的搅动作用。

(4)造成卡钻、断钻等孔内事故频发的原因除了煤层松软易塌孔,煤层内结核也是重要原因之一。

(5)煤层特别松软时( $f$  值 0.1~0.3),螺旋钻具的头数越少、钻孔稳定性、排渣效果可能越好。

## 5 结论

(1)ZDY4300LF(A) 型全液压分体履带式钻机能够适应义安煤矿 11100 下巷巷道条件和地质条件,该钻机操作简单、搬迁方便、自动化程度高,降低了工人劳动强度,提高了施工效率。

(2)经过对比试验得出,Ø95/60 mm 螺旋钻具组合叶片高度高、单头缠绕简单,排渣效果好、钻孔稳定性强,能够实现高效施工全煤长钻孔的目的。

(3)三翼弧角抛物线 PDC 钻头能够有效破碎煤层中结核,解决结核卡钻问题。

(4)该试验采用的 Ø95/60 mm 钻具组合及工艺参数配合可有效解决该矿区本煤层钻孔瓦斯抽采钻孔在钻孔深度、钻遇率、钻进效率等方面的问题,可以作为类似工程的参考。

## 参考文献:

- [1] 贾明群,王毅,王力,等.复合排渣钻进技术在松软突出煤层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(4):23-26.
- [2] 沈永红,任梅清,陈克熙,等.中风压钻进技术在本煤层瓦斯抽排钻孔施工中的应用[J].煤矿安全,2015,46(5):84-87,90.
- [3] 王毅.中风压钻进在煤矿井下的应用[J].煤田地质与勘探,2009,37(3):69-73.
- [4] 郭涌.宽叶螺旋钻中风压钻进技术在晋城某矿的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(3):43-46.
- [5] 王永龙,孙玉宁,翟新献,等.松软突出煤层新型钻进技术研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(2):289-294.
- [6] 王建彬,金新,王力,等.中风压空气钻进技术在平煤某矿的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):35-37.
- [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.
- [8] 姚亚峰,彭涛,徐保龙,等.高转速钻机在松软煤层螺旋钻进中的应用研究[J].煤矿机械,2014,35(9):86-88.
- [9] 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.
- [10] 孙新胜.松软煤层穿层孔抽放瓦斯弯曲钻孔施工技术[J].煤矿安全,2014,45(7):45-47.