

# 张集煤矿地面区域治理水平分支孔钻效分析及提速对策

张 凯, 李七明, 王永全

(中煤水文局集团有限公司, 河北 邯郸 056004)

**摘要:**地面区域治理技术在淮南矿区水害治理上效果显著,对目的层进行水害治理是矿井采掘工作面生产推进的前提。水平分支孔快速施工是区域治理技术实施的关键,本文通过对张集煤矿区域治理水平分支孔综合钻效、生产钻效、纯钻进效率、剔除低效钻进效率4种钻效指标进行统计分析,得出工艺技术水平、生产管理、组织管理水平对钻效的影响,并提出提高钻效的对策。

**关键词:**地面区域治理;水平分支孔;钻效;提速

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0181-06

## Drilling efficiency analysis and drilling speed-up measures for surface lateral drilling for regional treatment of water hazards in Zhangji Coalmine

ZHANG Kai, LI Qiming, WANG Yongquan

(China Coal hydrographic Bureau Group Co., Ltd., Handan Hebei 056004, China)

**Abstract:** The surface regional treatment technology has a remarkable effect on the water disaster control in Huainan mining area. The water disaster control of the target layer is the premise of pushing forward the mining face, in addition, the fast construction of horizontal branch hole is the key to the implementation of regional governance. This article statistically analyzed four kinds of drilling efficiency index of comprehensive regional governance in Zhangji coal mine including drilling efficiency of horizontal branch hole, production drilling efficiency, pure drilling efficiency and elimination of drilling inefficiency. As a result, the drilling efficiency is affected by technology, production management, organization management levels, and some countermeasures to improve drilling efficiency are put forward.

**Key words:** surface regional treatment; horizontal branch hole; drilling efficiency; accelerate drilling efficiency

### 1 治理区地质概况

#### 1.1 地层及岩性

区内地层自上而下分别为第四系、二叠系、三叠系、石炭系。第四系厚度400 m左右,为河流相沉积,主要由砂层、砂质粘土和砂砾组成。

二叠系厚度720 m,包括山西组、上石盒子组、下石盒子组,为陆相沉积,是当地主要含煤地层。岩性主要为砂岩、砂质泥岩、泥岩及煤层。1煤位于

山西组下部,是淮南地区最深的可采煤层,也是目前准备开采的煤层。

石炭系厚度102 m,太原组外其他地层缺失。为海陆交互相沉积,主要由薄层灰岩与泥岩、砂岩、薄煤层组成。薄层灰岩12~13层,总厚度约39 m。

#### 1.2 地质构造特征

治理区为一单斜构造,地层总体走向为东西向,向南略倾。地层倾向 $190^{\circ}\sim 210^{\circ}$ ,倾角 $8^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ,

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.029

作者简介:张凯,男,汉族,1985年生,业务主管,工程师,钻探工程专业,从事水文水井、地热井等深井钻井技术研究与管理,河北省邯郸市丛台区滏河北大街154号,597389740@qq.com。

引用格式:张凯,李七明,王永全.张集煤矿地面区域治理水平分支孔钻效分析及提速对策[J].钻探工程,2021,48(S1):181-186.

ZHANG Kai, LI Qiming, WANG Yongquan. Drilling efficiency analysis and drilling speed-up measures for surface lateral drilling for regional treatment of water hazards in Zhangji Coalmine[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1):181-186.

平均 $11.5^{\circ}$ 。区内断层较发育,全部为正断层,走向以北东向为主。无火成岩侵入体。地质构造发育程度中等。如图1所示。

## 2 钻孔布置

### 2.1 钻孔类型

区域治理是在煤层一定深度的弱—中等含水层中按一定间距施工水平分支孔,通过注浆封闭煤层顶底板突涌水的煤矿防治水技术。首先在地表垂直钻进至基岩,然后造斜进入目的层施工水平分支孔<sup>[1-2]</sup>。主孔呈“L”型,如图2所示。水平分支孔按其形态可分为羽状、帚状、带状及其组合类型等。本工程为羽状布置,各孔组水平投影如图3所示。

### 2.2 钻探工程量

钻探工程量共计51746 m,共4个主孔、86个分支孔,其中分支孔工程量44326 m,扫孔钻进进尺不计入工程量。区域治理W1、W2、W3孔组目的层为石炭系5灰,W4孔组目的层为9灰。9灰深度比5灰深30 m左右。各孔组实际工程量如表1。

## 3 钻探设备及工艺

### 3.1 钻探设备

该工程单孔最大深度2500 m,考虑水平井磨阻因素,选用ZJ30型石油钻机。在提升能力方面各钻机均满足施工要求,各钻机均采用电动机作动力,柴油机作为应急动力设备。各钻机机组主要钻探设备型号见表2。

### 3.2 钻探工艺

各个钻机均采用转盘驱动的钻井液正循环回转钻进,定向段、水平段采用螺杆钻具驱动的滑动或复

合钻进形式<sup>[3-4]</sup>。钻井液类型为无固相钻井液、低固相钻井液。钻具为 $\varnothing 89$  mm或 $\varnothing 102$  mm钻杆柱及对应规格钻铤组合的塔式钻具,部分钻机加装了水力振荡器。钻头使用三牙轮钻头或复合片钻头。

## 4 钻效统计与分析

钻效是钻井工程量与时间的比值,它是衡量钻井速度的指标。区域治理水平分支孔主要作业内容是复合钻进、定向滑动钻进、注浆、扫孔等,对钻效的统计分析有其特殊性。本工程钻效统计按照综合钻效、生产钻效、纯钻进效率、剔除低效钻进效率4个类别进行,在考虑工艺技术、管理水平方面的各种影响钻效因素的基础上对钻效进行分析。综合钻效是各钻机实际运行中完成的钻探工程量与所用的全部时间之比,全部时间中包含了许多非正常钻进的时间,比如更换设备、探讨施工方案、停电等;生产钻效是在剔除因机械设备非正常损坏、施工方案改进、进入下一施工工序停等等非生产时间,包括钻进工序必要停等时间、钻进定向、钻机维护保养等必要时间下的钻效;纯钻进效率是指一切设备均正常时,施工正常进行条件下的钻进效率。剔除低效钻进效率是在剔除影响正常钻进时间的基础上,去除低于30 m/d钻进工程量的钻进效率,该计算方法剔除了因定向钻进、钻遇破碎地层、钻具加尺困难等因素,其中包括钻进必要的辅助时间。按单个孔组为单位,各孔组水平分支孔钻进效率统计如表3。

### 4.1 管理水平对钻效的影响

综合钻效主要反映了工程生产管理、组织管理水平等方面。1号机组生产效率与综合钻效之差为6.0 m,2号机组生产效率与综合钻效之差为

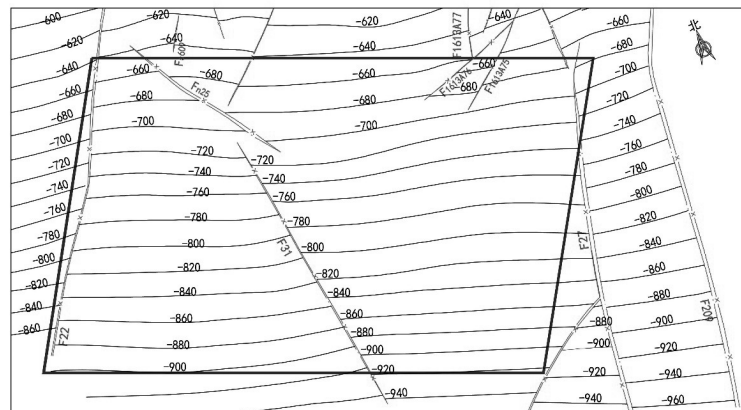


图1 工作区地质构造纲要

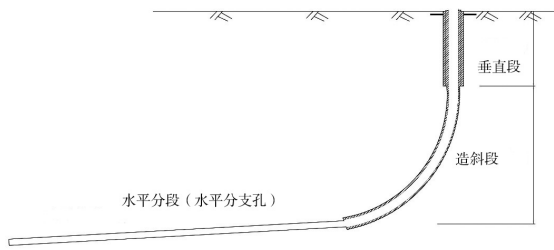


图2 区域治理主孔钻孔结构示意图

7.8 m,3号机组生产效率与综合钻效之差为8.74 m。对同层钻进时(5灰),1号机组综合钻效更接近生产钻效,说明生产管理、组织管理水平较好。随着钻孔加深(目的层为9灰),施工难度增大,管理难度

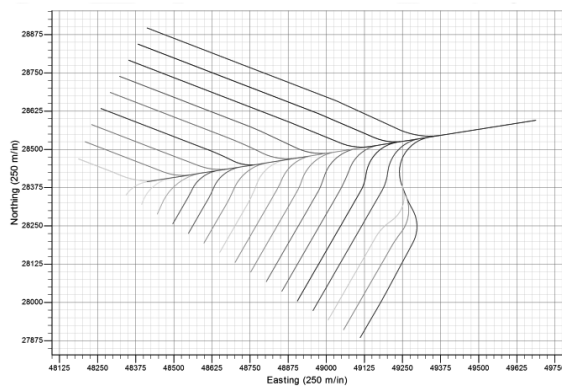
增加,3号机组生产效率及综合钻效均有所降低。

总体上看,3个机组平均综合钻效117.15 m/d,平均生产钻效为126.19 m/d,二者数值差较小。说明因生产工艺原因,非生产时间占比较小,该区域治理水平段施工生产管理、组织管理水平较高。

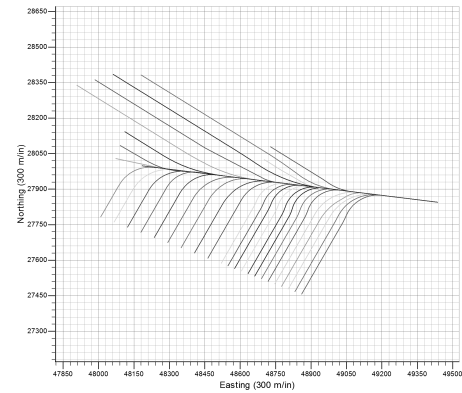
#### 4.2 钻进方式对钻效的影响

水平分支孔钻进方式分为复合钻进与定向滑动钻进,滑动钻进孔段占总孔长的20%左右。各机组主分支孔为顺直孔,复合钻进时钻孔偏移设计轨迹,需间歇定向滑动钻进调整轨迹。各机组主分支孔各钻进方式钻速统计见表4。

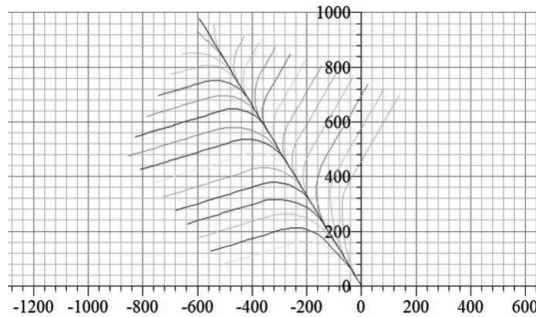
复合钻进时钻头压力较大,转速高,钻进快。滑



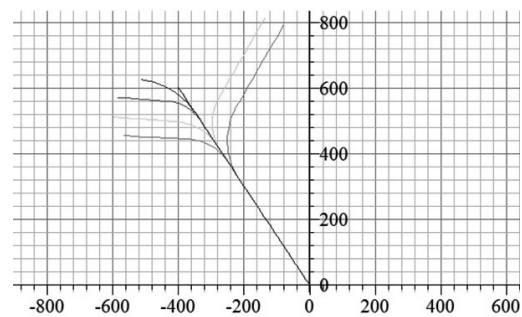
(a)W1孔组水平投影图



(b)W2孔组水平投影图



(c)W3孔组水平投影图



(d)W4孔组水平投影图

图3 张集煤矿区域治理羽状钻孔类型示意

表1 钻探工程量统计

孔组编号	主孔工程量/m	分支孔工程量/m	孔数	总工程量/m
W1	2000	16555	26	18555
W2	2177	14526	29	16703
W3	1890	8906	22	10796
W4	1371	4339	9	5710
合计	7438	44326	86	51764

动钻进用以调整方位或孔斜,靠钻具自重给压,孔越深托压越严重,钻头转速较低,钻进慢。复合钻进是滑动钻进的2.6~3.3倍。

分支孔对钻效的影响在于造斜段与顺直段比例,一般情况下,带状分支孔造斜段>羽状分支孔>帚状分支孔。另外钻孔越深一般顺直段越长,综合钻效越高。

表2 主要钻探设备型号

机组编号	钻机型号	动力配置	泥浆泵型号
1	ZJ-30	800 kW 电机、 12 V190 B 柴油机	3NB-1300
2	大庆130-I型	500 kW 电机、G12V 190 PZL1 柴油机	F-800
3	ZJ-30	800 kW 电机、 12 V190 B 柴油机	3NB-1300

### 4.3 孔深对钻时的影响

选取3号机组施工的W3、W4主分支孔钻时进行统计,见图4、图5所示。W3、W4主分支孔目的层

从图中可以看出,同一机组在5灰、9灰不同深度主分支孔进行施工时,在孔深1000~2000 m范围内钻时均在10 min/m左右,但5灰的钻时略高。显而易见,在其他条件一致情况下,钻孔越深钻时越慢。本文分析的W3、W4主分支孔孔深对钻时影响整体变化不大,这应与孔深相差较小有关。孔深相差较大时,在其他条件一致情况下,特别是相同钻进参数时,磨阻相对增加,钻孔越深钻时越低。

### 4.4 钻具组合对钻效的影响

#### 4.4.1 钻杆规格

在水平分支孔段钻进,1号机组与2号机组采用了 $\varnothing 152.4$  mm复合片(或牙轮)钻头+ $\varnothing 127$  mm螺杆钻具+ $\varnothing 121$  mm无磁钻铤+ $\varnothing 89$  mm钻杆柱+四方立轴的钻具组合,3#机组则采用了 $\varnothing 152.4$  mmP-DC(或牙轮)钻头+ $\varnothing 127$  mm螺杆钻具+ $\varnothing 121$  mm无磁钻铤+ $\varnothing 102$  mm钻杆柱+四方立轴的钻具组合,区别在于钻杆柱尺寸不同。表5为不同钻杆对应深度的生产钻效统计表。

由于 $\varnothing 102$  mm钻杆与 $\varnothing 89$  mm钻杆相比较,钻具重量较高、外径较大,复合钻进时钻杆柱摆动小,回转动力能够高效地传递到钻头。因此,3#机组的生产效率(无论是纯钻进效率还是剔除低效钻进后的钻效)要高于1号机组和2号机组,且这种差别在水平段孔深较大时尤其明显。

从表7数据可以看出,牙轮钻头与五翼复合片钻头的透孔生产钻效相差较小,导向复合片钻头较五翼复合片钻头或牙轮钻头的透孔生产钻效提高100%左右。

表3 钻进效率统计

机组	孔组	综合	生产	纯钻进	剔除低效
		钻效/ (m·d <sup>-1</sup> )	钻效/ (m·d <sup>-1</sup> )	效率/ (m·d <sup>-1</sup> )	钻进效率/ (m·d <sup>-1</sup> )
1	W1	98.90	104.91	106.70	109.00
2	W2	99.65	107.45	112.69	145.54
3	W3	139.13	147.87	167.35	187.30
3	W4	130.90	144.54	171.63	187.26
平均值		117.15	126.19	139.57	157.28

分别为石炭系5灰、9灰,二者深度相差30 m左右,地层岩性均为灰岩,岩石力学参数基本一致。

表4 各机组主分支孔钻速统计

机组	复合钻进 段长/m	复合钻进钻 速/(m·h <sup>-1</sup> )	滑动钻进 段长/m	滑动钻进	备注
				钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )	
1	984	10.5	207	3.23	W1
2	692	6.61	183	2.52	W2
3	704	9.78	259	3.71	W3

#### 4.4.2 水力振荡器

钻孔孔壁对钻具的磨阻对钻效影响较大,在水平孔段的影响更加明显。表6为1号机组和2号机组施工在水平孔段>2000 m的加设水力振荡器前后的纯钻效对比。

可以看出,在钻具上加设水力振荡器后,1号机组钻效提高了约33%,2号机组钻效提高了约40%。可见在水平段施工,特别是2000 m以上较长水平段施工中,加设水力振荡器可有效提高钻效。

### 4.5 钻头

在水平段目的层施工中,在钻穿原地层进行注浆封堵裂隙后,常会在钻孔内形成较长孔段的水泥塞,透扫水泥塞工作量较大,有时甚至大于原目的层钻进的工作量,且极易钻出新的孔眼。本文主要分析透孔纯钻效,施工中选择了三牙轮钻头、复合片钻头和导向复合片钻头进行对比试验,见图6。表7为不同钻头生产效率对比。

### 4.6 钻井液排量

$$Q = \frac{v}{1273} (D^2 - D_p^2) \quad (1)$$

式中:Q——最低排量,L/s;D——钻孔直径,mm;D<sub>p</sub>——钻具直径,mm;v——钻井液环空反速,m/s。



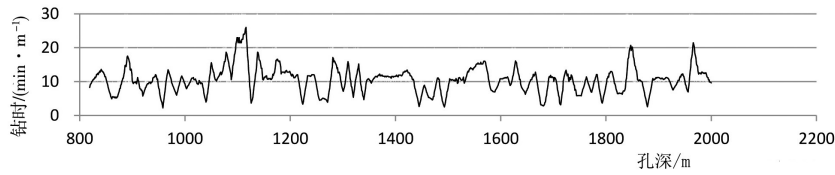


图4 W3主分支孔钻时曲线

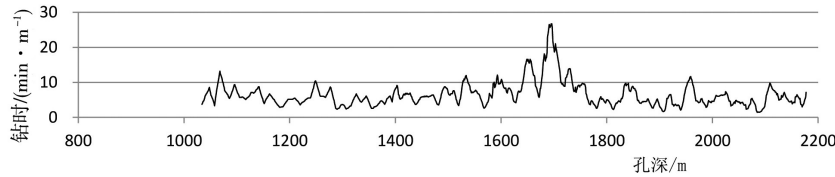


图5 W4主分支孔钻时曲线

表5 不同钻杆对应深度的生产钻效统计

机组	钻杆尺寸/mm	水平段长度/m		
		1000	1200	1400
		生产钻效/(m·d <sup>-1</sup> )		
1	Ø89	130	145	132
2	Ø89	128	140	125
3	Ø102	140	150	150

表6 大于2000 m水平钻孔钻探效率统计

机组	钻具组合	水平段纯钻进效率/(m·d <sup>-1</sup> )
1	Ø89 mm 钻杆	73.4
	Ø89 mm 钻杆+水力振荡器	97.8
2	Ø89 mm 钻杆	87.9
	Ø89 mm 钻杆+水力振荡器	122.7

区域治理工程水平段钻进钻孔直径 Ø152.4 mm, 钻具直径 Ø89 mm 或 Ø102 mm, 钻井工程对泥浆上返速度要求  $\leq 2$  m/s。通过计算, 使用 Ø89、Ø102 mm 钻杆泥浆钻进最低排量为 24、20 L/s。本工程施工中钻孔垂深在 700 m 以内, 单从排量考虑, 两

表7 不同钻头纯钻效对比

机组	孔组	钻头类型	透孔效率/(m·d <sup>-1</sup> )
1	W1-21	五翼复合片钻头	83.6
	W1-22	三牙轮钻头	85.8
3	W3-26	导向复合片钻头	169.9
	W3-27	导向复合片钻头	186.4

种泥浆泵泵压满足施工要求, 但水平段岩粉易沉积形成岩屑床, 则需要较大的排量方可满足施工要求。排量大小还要综合考虑螺杆马达参数、钻头水眼等因素。

#### 4.7 钻井液性能

本工程水平分支孔钻进均采用无固相钻井液, 钻进过程中钻井液循环周期为: 井口→振动筛→泥浆沉罐→除砂器组→除泥器→泥浆泵→地面管汇→钻具→井口。钻井液在地面须经三级固控, 以降低泥浆中岩屑, 降低泥浆密度, 达到净化泥浆的目的。在孔深超过 2000 m 时, 增加润滑剂可以有效地降低摩擦阻, 减少下钻时间, 提高钻柱压力传递。



(a)五翼复合片钻头 (b)三牙轮钻头 (c)导向复合片钻头

图6 三牙轮钻头、复合片钻头和导向复合片钻头

## 5 结论

(1)张集煤矿区域治理水平分支孔平均钻效:综合钻效 117.15 m/d,生产钻效为 126.19 m/d,纯钻进效率 139.57 m/d,剔除低效钻进效率 157.28 m/d。施工的3个机组生产管理水平、组织管理水平较高。

(2)水平分支孔复合钻进是滑动钻进的2.6~3.3倍,水平分支孔设计时要尽可能优化,以减少滑动钻进,有利于提高钻效。

(3)施工水平分支孔,使用 $\varnothing 102$  mm 钻具组合比使用 $\varnothing 89$  mm 钻具组合的钻效明显增加。

(4)在重复扫孔阶段,采用导向复合片钻头,可大幅缩短透孔施工时间,提高钻效100%左右。

(5)水平分支孔长度大于1500 m时,加设水力

振荡器可有效提高钻效33%~40%。

(6)地面振动筛+沉淀池+旋流器组的泥浆处理系统,可以有效降低泥浆中残余岩屑含量,减少钻孔复杂情况的发生。

## 参考文献:

- [1] 刘玉洲,陆庭侃,于海勇.地面钻孔抽放采空区瓦斯及其稳定性分析[C]//第九届全国岩石动力学学术会议论文集,2005:4982-4987.
- [2] 袁辉,邓昀,蒲朝阳,等.L型地面钻孔注浆技术在矿井水害防治中的应用[J].煤炭科学技术,2017,45(4):171-175.
- [3] 胡鹏飞.复杂地质条件下近水平钻孔孔内事故发生原因分析[J].煤炭与化工,2017(10):89-91.
- [4] 安许良.大水垂比地面向水平孔煤层底板注浆防治水技术[J].煤炭科学技术,2018,46(11):126-132.