

空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺 在王家岭煤矿紧急避险孔中的应用

赵福森, 谭家政, 杨 晨, 张 凯

(中国煤炭地质总局第一水文地质队, 河北 邯郸 056000)

摘要:空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺在王家岭煤矿紧急避险孔钻进中,有效解决了钻孔垂直度要求高、地层漏失等施工难点,实现了高质量快速成孔。该工艺平均机械钻速高达 7.99 m/h,终孔水平位移仅为 0.48 m,二开孔段每米综合成本 504.8 元。邻孔 SW1 水文补勘孔以泥浆作为循环介质,采用牙轮回转正循环钻进工艺,平均机械钻速为 0.86 m/h,二开孔段每米综合成本为 820.5 元。前者平均机械钻速约是后者的 9 倍,较后者节约成本 38.5%。与邻孔泥浆正循环牙轮回转钻进工艺相比,该工艺不仅解决了紧急避险孔施工难点,还提高了孔身质量、节约了工期、降低了成本,达到降本增效的目的,值得类似工程借鉴。

关键词:空气泡沫潜孔锤;紧急避险孔;钻进工艺;王家岭煤矿

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2015)08-0025-05

Application of Air Foam DTH Hammer Drilling Technology during the Emergency Refuge Hole Drilling in Wangjialing Coal Mine/ZHAO Fu-sen, TAN Jia-zheng, YANG Chen, ZHANG Kai (The First Hydrogeology Team of China National Administration of Coal Geology, Handan Hebei 056000, China)

Abstract: Air foam DTH hammer drilling technology was used in the emergency refuge hole drilling in Wangjialing coal mine, by which the high verticality requirement of the borehole was met and formation leakage was effectively controlled to realize quick drilling. The achieved average penetration rate was as high as 7.99 m/h and the final hole horizontal displacement was only 0.48m with the second stage comprehensive cost 504.8RMB per meter. The mud was used as circulation medium with cone rotary positive circulation drilling technology in the adjacent SW1 additional hydrological exploration hole, the average ROP was 0.86 m/h with the second stage comprehensive cost 820.5RMB per meter. The average mechanical drilling rate of the former is about 9 times of the latter and is more economical than the latter by 38.5%. Compared with the cone rotary positive circulation drilling used in the adjacent well, by the use of air foam DTH hammer drilling technology, the difficulties in the emergency refuge hole drilling were solved with higher borehole quality, shorter construction period and lower cost to increase efficiency by reducing cost.

Key words: air foam DTH hammer drilling; emergency refuge hole; drilling technology; Wangjialing coal mine

0 引言

2012 年初我队受王家岭煤矿委托,负责设计施工王家岭煤矿某盘区紧急避险孔,用于连通地面和井下避难硐室,为发生矿难时井下避难人员持续地输送氧气、实现通讯,争取宝贵的救援时间。钻孔设计孔深 322 m,工期 40 d,孔底水平位移 < 0.5 m,终孔口径 300 mm。该工程钻孔垂直度要求高、工期紧,常规泥浆回转钻进工艺机械钻速低、地层漏失、堵漏时间长、工期长、井斜不易控制;空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺可有效预防钻孔偏斜,且具有较高的机械钻速。我队采用空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺施工,提前向矿方交付了优良工程。

1 地层概况

第四系(Q)地层上部为黄土,下部为亚粘土、粘土、亚砂土,局部夹钙质结核层及砾石层。基岩地层由二叠系(P)上石盒子组(P_{2s})、下石盒子组(P_{1x}),山西组(P_{1s})组成。上石盒子组岩性主要为砂岩、粉砂岩、泥岩及砂质泥岩,下石盒子组岩性主要以砂岩、泥岩、砂质泥岩为主,含中—细粒石英砂岩。山西组岩性主要由粉砂岩、泥岩、砂质泥岩及煤层组成。

2 钻孔结构设计

设计孔深 322 m,一开 $\varnothing 444.5$ mm 口径揭穿基岩 2 m,下入 $\varnothing 340$ mm \times 8 mm 无缝钢管。二开

收稿日期:2014-11-06; 修回日期:2015-07-07

作者简介:赵福森,男,汉族,1969 年生,书记、高级工程师,探矿工程专业,硕士,从事水文水井钻探、煤田地质钻探、地热井及深井钻探工程技术研究与管理工作,河北省邯郸市联纺东路 142 号,18630092765@163.com。

Ø300 mm 口径钻至终孔层位,距 2 号煤层底板 1.80 ~2.00 m,下入 Ø244.5 mm×8.94 mm J55 石油套管固井。钻孔结构见图 1。

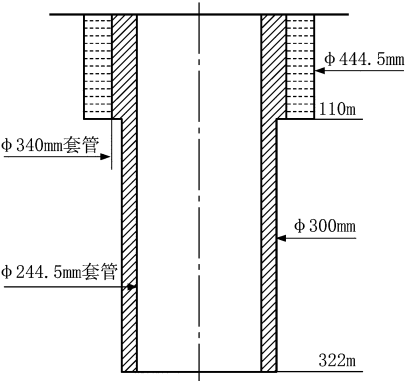


图 1 钻孔结构图

3 空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺原理

空气潜孔锤钻进工艺是以压缩空气为动力,通过地面管汇和钻柱,驱动潜孔锤以冲击方式碎岩,同时钻机转盘低速回转,带动钻头以剪切方式碎岩,并利用压缩空气经环状空间将孔底岩屑携带地表的钻进方法。空气泡沫潜孔锤钻进工艺是将大量的气体分散在少量含起泡剂的液体中作为循环介质,介质的循环与空气潜孔锤钻进相同。该工艺利用气泡间的相互作用,提高了悬浮、携带、捕尘能力和稳定地层的能力。

4 设备与钻具选择

设备与钻具根据工程要求和现有设备进行选择,主要设备与钻具有:GZ-2000 型钻机,ZT-22m 型钻塔,DLQ1250XHH/1525XH 型空压机,SSC-35、SDC-45 型测斜仪,6135-190HP 型柴油机,TH220 型潜孔锤,泡沫泵,搅拌机,Ø203 mm 钻铤,Ø121 mm 无磁钻铤,Ø127 mm 钻杆,Ø300 mm 钻头。

4.1 空压机

本工程钻孔设计孔深 322 m,终孔口径 300 mm,选用 DLQ1250XHH/1525XH 型空压机,空气上返速度达到 12.42 m/s,风速、风量、风压基本满足空气(泡沫)潜孔锤钻进施工要求。主要技术参数见表 1。

空压机的“低压”、“高压”工况可根据孔内背压情况自动转换,“低压”负载运行工况时全风量为 43.2 m³/min,“高压”负载运行工况全风量时为 35.4 m³/min。

表 1 空压机主要技术参数

工 况	1250XHH	1525XH
公称容积流量/(m³·min ⁻¹)	35.4	43.2
额定排气压力/bar	34.5	24.1
工作压力范围/bar	13.8~34.5	13.8~24.1
满负荷燃油消耗/(L·h ⁻¹)	130.5	134.4
满载/空载转速/(r·min ⁻¹)	1850/1400	
额定功率/HP(kW)	700(522)	
机组总质量/kg	9000	
外形尺寸/mm	5500×2180×2230	
最大工作海拔高度/m	3048	

4.2 潜孔锤

TH220 型潜孔锤是以高压空气为动力的新型无阀冲击器,具有冲击能大、穿孔速度快、使用寿命长等优点,可在干式捕尘条件下作业,也可用于风水混合条件下的湿式作业。主要技术参数见表 2。

表 2 潜孔锤技术参数

冲击器	TH220		
钻孔范围/mm	240~311		
工作风压/bar	17~24		
冲击频率/Hz	27(17bar 时)		
额定轴压力/kN	21		
推荐转速/(r·min ⁻¹)	35		
耗风量/(m³·min ⁻¹)	17 bar	21 bar	24 bar
	40.3	48.5	56.6

注:1 bar=10⁵ Pa=0.1 MPa。

4.3 潜孔钻头

该孔钻进地层为煤系地层,潜孔锤钻头优选凹面球齿型(见图 2)。该类型钻头有一个向内凹的锥形面,能减少地面设备震动和保持钻孔垂直度,适用于软和较硬岩层,并斜控制能力好。



图 2 凹面球齿型钻头

4.4 测斜设备

有线随钻测斜仪 SSC-35,电子单多点测斜仪

SDC-45, 仪器井斜角精度为 $\pm 0.2^\circ$, 方位角精度为 $\pm 5^\circ$, 配无磁钻铤使用。

5 施工工艺流程

根据紧急避险孔的设计要求, 采取泥浆钻进工艺与空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺相结合的方式, 并用 SDC-45 型电子单多点测斜仪测量井眼轨迹, 如有偏斜, 使用 SSC-35 型有线随钻测斜仪进行纠偏。施工工艺流程如图 3 所示。

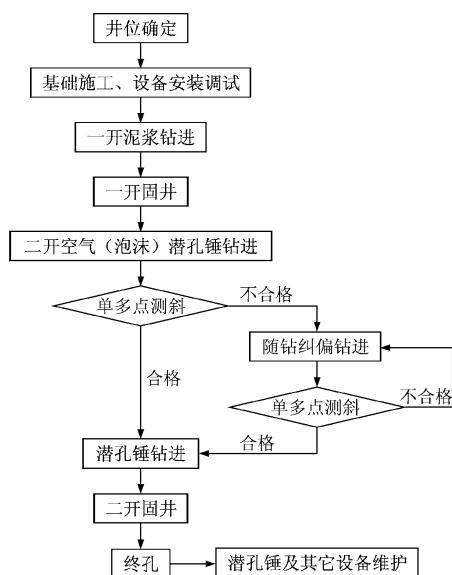


图 3 施工工艺流程

6 施工工艺

6.1 试压

设备安装和钻具连接完毕后应进行试压, 确保高压管汇及钻具连接处密封。

6.2 潜孔锤试运转

试压工作完毕后接上潜孔锤, 在孔口开机供风, 检查冲击器的工作状态, 正常工作方可下入孔内。操作时使用铁板盖住孔口, 水平放置一块厚木板, 将潜孔锤竖立放置在木板上供风进行试运转, 确保潜孔锤可正常工作。

6.3 钻具组合

一开: $\varnothing 444.5$ mm 牙轮钻头 + $\varnothing 203$ mm 钻铤 + $\varnothing 178$ mm 钻铤 + $\varnothing 159$ mm 钻铤 + $\varnothing 127$ mm 钻杆。

二开: $\varnothing 300$ mm 钻头 + TH220 型潜孔锤 + $\varnothing 203$ mm 钻铤 + $\varnothing 121$ mm 无磁钻铤 + $\varnothing 127$ mm 钻杆。

6.4 钻进参数

根据水文资料, 该区域地层涌水量较小, 因此施

工时选用“低压、高风量”工况。

钻进参数为: 风量 $43.2 \text{ m}^3/\text{min}$, 风压 $17 \sim 24 \text{ bar}$ ($1.7 \sim 2.4 \text{ MPa}$), 转速 45 r/min , 钻压 $15 \sim 20 \text{ kN}$ 。

泡沫灌注量 30 L/min ; ABS 泡沫剂浓度 $0.3\% \sim 0.5\%$ 。空气(泡沫)潜孔锤钻进上返风速可根据公式(1)计算, K 值取为 1。在风量为 $43.2 \text{ m}^3/\text{min}$ 时 $\varnothing 300$ mm 钻孔口径环空上返风速为 12.42 m/s , 虽未达到一般推荐 15 m/s 的最低上返风速, 但根据以往施工经验, 在地层涌水量较小, 背压不大的条件下, 孔深 350 m 以浅排渣效果亦能达到要求。

$$V = \frac{Q}{47.1K(D^2 - d^2)} \quad (1)$$

式中: V ——上返风速, m/s ; Q ——送风量, m^3/min ; K ——孔内涌水时风量修正系数, $K = 1 \sim 1.5$; D ——钻孔口径, m ; d ——钻杆外径, m 。

6.5 施工情况

该孔一开 $\varnothing 444.5$ mm 牙轮钻头钻进, 以泥浆作为循环介质, 钻入基岩 2 m (孔深 110 m) 后下入 $\varnothing 340 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 无缝钢管, 固井候凝 72.0 h 。二开钻进使用 $\varnothing 300$ mm 潜孔钻头钻进; 在 $110.00 \sim 220.90 \text{ m}$ 井段地层基本不含水, 以空气作为循环介质钻进 (见图 4), 纯钻进时间 7 h ; 孔深 220.90 m 处地层涌水量约 $5 \text{ m}^3/\text{h}$, 向供风管汇中灌注 ABS 泡沫剂, 灌注量为 30 L/min , 以空气泡沫作为循环介质, 钻进方式转换为空气泡沫潜孔锤钻进 (见图 5)。空气泡沫潜孔锤纯钻进时间 19.0 h , 终孔孔深 317.79 m 。



图 4 空气潜孔锤钻进

钻进过程中每 50 m 使用单多点测斜仪投测一次, 最终测斜结果见表 3。

7 应用效果与注意事项

7.1 应用效果



图 5 空气泡沫潜孔锤钻进

表 3 王家岭紧急避险孔电子多点测斜数据

序 号	测深/ m	段长/ m	井斜 角/(°)	方位 角/(°)	水平位 移/m	闭合方位 角/(°)	全角/[(°)· (30 m) ⁻¹]
1	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	117.80	17.80	0.15	44.07	0.02	44.07	0.271
3	127.16	9.36	0.18	33.90	0.05	41.10	0.134
4	136.66	9.50	0.18	35.99	0.08	38.80	0.021
5	145.94	9.28	0.18	224.70	0.08	37.22	1.740
6	155.44	9.50	0.25	76.33	0.08	45.02	1.772
7	164.89	9.45	0.23	200.59	0.08	57.73	1.654
8	174.39	9.50	0.23	171.68	0.07	82.95	0.366
9	183.96	9.57	0.19	57.53	0.08	91.48	1.318
10	193.46	9.50	0.21	121.37	0.11	91.42	0.707
11	202.30	8.84	0.21	81.53	0.14	93.56	0.496
12	211.80	9.50	0.21	120.96	0.17	95.00	0.456
13	221.00	9.20	0.23	112.74	0.21	98.59	0.122
14	230.50	9.50	0.21	106.52	0.24	100.26	0.098
15	239.96	9.46	0.21	173.42	0.27	104.24	0.778
16	249.46	9.50	0.21	139.44	0.29	109.48	0.393
17	258.54	9.08	0.21	194.97	0.30	114.17	0.672
18	268.41	9.87	0.23	162.12	0.32	119.97	0.388
19	277.91	9.50	0.25	169.12	0.35	124.62	0.112
20	286.54	8.63	0.21	120.92	0.38	126.45	0.687
21	296.19	9.65	0.20	94.65	0.41	124.98	0.294
22	305.59	9.40	0.23	160.60	0.44	125.33	0.796
23	316.40	10.81	0.20	158.70	0.48	128.09	0.086

该孔应用空气(泡沫)潜孔锤钻进终孔深度 317.79 m,总进尺 207.79 m,纯钻进时间总计 26.0 h,平均机械钻速 7.99 m/h,终孔井斜角 0.20°,水平位移 0.48 m,闭合方位角 128.09°。其中空气潜孔锤钻进进尺 110.90 m,纯钻进时间 7.0 h,机械钻速高达 15.84 m/h;空气泡沫潜孔锤钻进进尺 96.89 m,纯钻进时间 19.0 h,机械钻速 5.10 m/h。

7.2 应用注意事项

- (1)施工现场相同型号的冲击器应配备 2 套,相同规格的钻头至少配备 2 个。
- (2)当空气(泡沫)潜孔锤钻进的机械钻速达到 30 m/h 时,应注意控制钻进速度,增加单回次内排除岩屑的时间和次数。
- (3)表层套管应在井口预留一定高度,防止经环空返出的岩屑直接回落孔内。
- (4)使用旋转防喷器,改善工作环境,并减少辅助工作时间。若不使用旋转防喷器时,自行研制井口防喷装置。
- (5)可在回次完进行有效排渣,必要时可加注一定量的清水或泡沫剂进行冲孔排渣。

8 技术经济分析

我队另外一台机组在王家岭矿区施工的 SW1 水文补勘孔,与该紧急避险孔相比,二开孔段的基岩地层岩性相近,钻孔口径相近(SW1 水文补勘孔口径 298.4 mm),可对两孔的机械钻速、每米综合成本进行对比分析。

8.1 SW1 孔施工情况

- (1)主要设备:GZ2000 型钻机,ZT22 型钻塔,TBW850/50 型泥浆泵,6135 型柴油机(190HP)等。
- (2)钻孔结构:一开口径 444.5 mm,下入 Ø340 mm×8 mm 螺纹管;二开口径 298.4 mm,下 Ø245 mm×7 mm 无缝钢管。
- (3)该孔全孔采用泥浆正循环牙轮回转钻进工艺,一开钻进至孔深 105.10 m 下表层套管,二开钻进至孔深 476.30 m 下二级套管。二开孔段钻进总进尺为 371.20 m,纯钻进时间 431.6 h,两次堵漏时间 214.0 h,施工共历时 42 d。二开孔段平均机械钻速为 0.86 m/h。

8.2 机械钻速对比(见表 4)

由表 4 可知,紧急避险孔二开孔段空气(泡沫)潜孔锤钻进平均机械钻速为 7.99 m/h,约是 SW1 水文补勘孔二开孔段泥浆钻进机械钻速(0.86 m/h)的 9 倍。

表 4 机械钻速对比

钻孔	地层岩性	钻进方法	循环介质	口径/mm	钻进孔段/m	进尺/m	纯钻进时间/h	平均机械钻速/(m·h ⁻¹)
紧急避险孔	砂岩粉砂岩	潜孔锤	空气	300	110.00~220.90	110.90	7.0	15.84
	砂岩泥岩	潜孔锤	空气泡沫	300	220.90~317.79	96.89	19.0	5.10
SW1	砂岩泥岩	牙轮回转	泥浆	298.4	105.10~476.30	371.20	431.6	0.86

8.3 钻孔质量对比

SW1 水文补勘孔二开孔段(0~476.30 m)采用 ANTS-2 型测井仪,测得孔深 320 m 处井斜角 1.3°、方位角 193°,测斜数据见表 5。而紧急避险孔孔深 316.40 m 处井斜角 0.20°、闭合方位 128.09°、水平位移 0.48 m。可见,空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺相比普通泥浆回转钻进工艺能够很好地控制钻孔偏斜,保证钻孔垂直度。

表 5 SW1 水文补勘孔测斜数据							
序 号	孔深/ m	孔斜角/ (°)	方位角/ (°)	序 号	孔深/ m	孔斜角/ (°)	方位角/ (°)
1	20	0.3	-	13	260	1.0	-
2	40	0.2	-	14	280	1.1	195
3	60	0.2	-	15	300	1.2	191
4	80	0.2	-	16	320	1.3	193
5	100	0.3	-	17	340	1.9	203
6	120	0.4	-	18	360	2.1	206
7	140	0.4	-	19	380	2.2	203
8	160	0.6	-	20	400	2.2	202
9	180	0.8	-	21	420	2.1	202
10	200	0.8	-	22	440	1.8	198
11	220	0.9	-	23	460	1.6	194
12	240	0.9	-	24	470	1.6	193

8.4 二开孔段综合成本分析

Ø300 mm 钻头单价 18000 元,目前累计钻进 727.79 m 后钻头完好仍可继续使用,每米钻头成本暂定为 24.73 元。TH220 型潜孔锤单价 27000 元,累计钻进 1035.83 m,目前仍完好可用。表 6 为 SW1 水文补勘孔、紧急避险孔二开孔段钻进过程的直接成本费用对比情况。

表 6 SW1 水文补勘孔、避险孔直接成本费用对比			
SW1 水文补勘孔		紧急避险孔	
费用项目	金额/元	费用项目	金额/元
钻头费	75000.0	钻头费	5139.0
泥浆材料费	10377.0	泡沫剂	1650.0
柴油费	106400.0	柴油费	47915.0
人工费	87780.0	人工费	25080.0
水费	10754.0	水费	3712.0
设备折旧费	14088.0	设备折旧费	9401.0
		空压机运装费	12000.0
总计	304399.0	总计	104897.0
综合成本/ (元·m ⁻¹)	820.5	综合成本/ (元·m ⁻¹)	504.8

SW1 水文补勘孔每米综合成本为 820.5 元,紧急避险孔二开孔段空气(泡沫)潜孔锤钻进每米综合成本 504.8 元,比泥浆钻进工艺少了 315.7 元/m,节

约成本 38.5%。

9 结语

- 空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺具有以下特点:
- (1)确保钻孔垂直度。王家岭煤矿紧急避险孔终孔孔深 317.79 m,终孔位移仅 0.48 m。
 - (2)提高钻进效率、节约工期。空气(泡沫)潜孔锤钻进在砂岩、泥砂岩等中硬地层有很高的机械钻速,Ø300 mm 口径的机械钻速达到 7.99 m/h,实现了快速钻进。
 - (3)降低施工成本。空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺省去了泥浆钻进需要的材料费,节约了水费、钻头费、人工费等。王家岭煤矿紧急避险孔空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺比 SW1 水文补勘孔泥浆钻进工艺二开孔段每米综合成本节约 38.5%。
 - (4)适应漏失地层中钻进,节省堵漏时间和材料,如 SW1 水文补勘孔施工过程中 2 次堵漏额外消耗时间 214.0 h。
 - (5)钻进所需钻铤少,通常使用 2 根钻铤,在小钻压下实现高效钻进。
 - (6)单机组 DLQ1250XHH/1525XH 型空压机能力有限,王家岭煤矿紧急避险孔施工时 Ø300 mm 钻头环空上返风速为 12.42 m/s,未达到 15 m/s 最低推荐上返速度,施工中虽然也取得了很好的效果,但未能充分发挥空气(泡沫)潜孔锤钻进工艺的优势。下一步研究应用 2 台以上空压机并联、并配置增压机,开展中深井空气潜孔锤钻进工艺研究。

参考文献:

[1] 耿瑞伦,陈星庆.多工艺空气钻探[M].北京:地质出版社,1995.

[2] 王达,何远信,等.地质钻探手册[M].湖南长沙:中南大学出版社,2014.

[3] 杜祥麟,等.潜孔锤钻进技术[M].北京:地质出版社,1998.

[4] 石永泉.潜孔锤钻进技术[M].四川成都:西南交通大学出版社,2013.

[5] 王玉春.钻探技术应用研究与实践[M].江苏徐州:中国矿业大学出版社,2013.

[6] 卢予北,王建华,陈莹,等.空气潜孔锤在松散地层中的钻进试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):9-11,27.

[7] 韩尚孝,杨晓奇.基岩水井采用泡沫潜孔锤钻进实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):19-22.

[8] 黄邦忠.空气泡沫潜孔锤在水井施工中的应用[J].中国科技博览,2012,(26):288-288.