

超千米大直径煤矿降温井钻井技术

白领国¹, 袁志坚²

(1. 河南省煤田地质局四队, 河南 平顶山 467000; 2. 河南省煤田地质局, 河南 郑州 450018)

摘要:热害是深部煤矿开采中的一个灾害, 煤矿送冰降温井是地面至井下输送降温冷介质的通道, 是实现矿井井下降温的关键系统之一。结合沈煤集团红阳三矿一组超千米大直径降温井工程实例, 介绍了煤矿降温井的施工目的及钻井和完井工艺技术。

关键词:煤矿降温井; 防斜保直; 冲洗液; 钻具组合; 钻进参数; 下管技术; 固井

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2014)01-0037-03

Drilling Technology for Coalmine Cooling Well with Diameter over 1000m/BAI Ling-guo¹, YUAN Zhi-jian² (1. The 4th Team, Coalfield Geology Bureau of Henan Province, Pingdingshan Henan 467000, China; 2. Coalfield Geology Bureau of Henan Province, Zhengzhou Henan 450018, China)

Abstract: Heat harm is a disaster in deep coal mining; ice cooling well is the channel for cooling cold medium conveying to downhole from the ground and is one of the important systems for realizing downhole cooling. Base on the engineering case of a group of cooling wells with the diameter over 1000m by Hongyang 3th coalmine in Shenyang, the paper introduces the construction purpose of the coalmine cooling well, the drilling process and the well completion technology.

Key words: coalmine cooling well; deviation control; flushing fluid; bottom hole assembly; drilling parameter; tube lowering; cementing

0 引言

为了提高煤矿本质安全水平, 近几年我国矿山企业先后利用钻探技术手段钻凿地表至井下通道, 有效地解决了一些矿井瓦斯抽排、灌浆堵水、注氮防火等问题。“十一五”以来, 我国经济发展的主要能源——煤炭的需求越来越大, 目前我国矿井采掘已经由浅部向深部发展, 作为矿井自然灾害之一的“热害”显得尤为突出。沈煤集团红阳三矿是国内采煤较深矿井之一, 井下工作环境温度较高, 为了改善职工工作条件, 在南风井院内施工一组超千米大直径降温井。

1 工程概况

该孔作为输送冷介质通道, 设计深度 1050 m; 套管完井, 工作套管选用 $\varnothing 480$ mm 无缝钢管; 全井段固井; 钻孔靶区中心点距煤巷距离 ≤ 3 m, 入井套管理论计算坐标与实际位置误差 $\leq 0.15\%$ 。因此, 钻孔防斜保直是本工程施工的主要难点之一。同时, 该孔钻遇松散层含有大段不胶结砂层, 施工中的防塌护壁问题; 钻孔落底后泥浆压力压透煤层与煤巷贯通发生埋卡钻事故问题; 超千米套管重力远

远大于钻机提升力, 下管问题等均是本项目施工的难点。

针对上述施工难点, 我局工程技术人员分别从钻孔结构、冲洗液、防斜保直、下管技术等多方面采取相应的技术措施, 圆满完成项目施工, 取得显著社会效益和经济效益。

2 钻井和完井技术

2.1 钻孔结构

为了预防钻孔落底后压垮煤层发生埋卡钻事故, 我们设计了三级套管结构。一开用 $\varnothing 311$ mm 钻头进行导向孔的施工, 钻穿风化带进入完整基岩后, 用 $\varnothing 1000$ mm 钻头扩孔, 顺孔后下入 $\varnothing 720$ mm \times 16 mm 表层套管并固管。二开用 $\varnothing 311$ mm 钻头施工导向孔至煤层顶板完整基岩 1016 m, 用 $\varnothing 660$ mm 钻头一径扩孔后, 下入 $\varnothing 480$ mm \times (20 ~ 32) mm 井管并固井。三开用 $\varnothing 245$ mm 钻穿可钻式阻流环至设计层位, 用钻杆将 $\varnothing 245$ mm \times 9.17 mm 尾管准确无误能下到设计位置后提钻, 然后注浆、下入尾管。一开表层护壁套管的下入保证了基岩段施工安全, 二开套管的下入避免了钻穿煤层后泥浆压力压垮钻孔与

收稿日期: 2013-08-15; 修回日期: 2013-10-30

作者简介: 白领国(1972-), 男(汉族), 河南浚县人, 河南省煤田地质局四队副队长、工程师, 探矿工程专业, 从事钻探技术及管理工作, 河南省平顶山市矿工路, blg7210@163.com; 袁志坚(1965-), 男(汉族), 山西怀仁人, 河南省煤田地质局勘查技术处副处长、高级工程师, 探矿工程专业, 从事煤田、石油、煤层气钻探工作, 河南省郑州市郑东新区正光北街 19 号, yzj371@163.com。

煤巷之间的煤层而引发埋卡钻事故的发生。钻孔结构如图1所示。

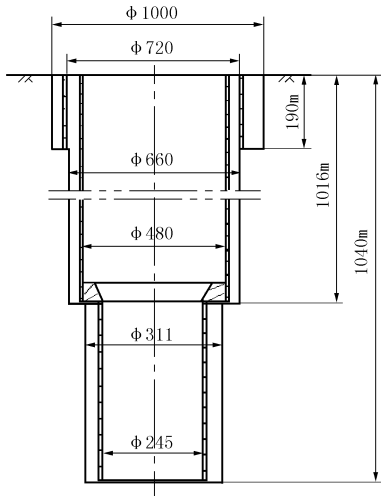


图1 钻孔结构示意图

2.2 防斜保直技术

根据钻孔质量要求,钻孔的防斜保直最为关键,导向孔施工必须坚持防斜保直第一,效率第二原则。

2.2.1 把好安装、开孔关

设备安装时,确保天车、大钩、转盘中心三点在同一条垂线上,开孔钻具连接后同心度要好,开孔时合理控制钻压,采取轻压吊打方法,待入井钻具长度压力中和点处于钻链长度2/3后方可使用正常设计压力钻进,钻进中三班压力要一致,送钻要均匀,在地层软硬互层应减压钻进,确保钻井的垂直度,尽量把孔斜控制在最小范围内。同时要求每30 m测斜一次,随时掌握钻孔的偏移量,一旦发现钻孔偏离设计轴线,积极采用定向纠斜工艺实现靶点定向钻进,确保了该孔落底以后水平位移满足设计要求。

2.2.2 合理使用钻具组合

(1)一开导向孔钻具组合。 $\varnothing 311$ mm 钻头 + $\varnothing 203$ mm 钻铤 $\times (6 \sim 10)$ 根 + $\varnothing 178$ mm 钻铤 $\times 4$ 根 + $\varnothing 127$ mm 钻杆 + 方钻杆。

(2)扩孔钻具组合。扩孔钻具组合与一开钻具组合相同均,为塔式结构,根据扩孔钻柱的稳定性和钻效适时增减钻铤。

2.2.3 正确选择钻进参数

为了保证钻进安全,提高钻进效率和防止孔斜,根据地层情况、孔深、孔径等综合因素选择钻进参数(见表1)。

2.3 冲洗液的应用

该项目上部松散层砂层较厚,砂粒粒径较大,含水性好,保持孔壁稳定,防止坍塌是难点之一,另外,

表1 钻进参数选择

地层	钻进参数			
	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·s ⁻¹)	
导向孔	松散层	30	73 ~ 135	46.6
	基岩	30 ~ 60	73 ~ 135	24 ~ 46.6
扩孔	松散层	30 ~ 100	36	46.6
	基岩	80 ~ 160	36	46.6

钻孔直径大,深度超千米,携带岩粉也是难点之一。因此,我们以低固相泥浆作原浆,在松散层钻进和扩孔时,原浆中加入 K31 钾盐作防塌剂,维护孔壁稳定。基岩段使用高粘度泥浆,选择高分子 CMC 作提粘剂,提高泥浆粘度,同时加入水解聚丙烯酰胺作为选择性絮凝剂提高净化岩粉能力,控制泥浆中的固相含量。泥浆配方为:膨润土 50 ~ 80 kg, CMC 2.5 kg, PHP 300 ~ 500 ppm, Na₂CO₃ 2 ~ 3 kg。松散层加 3% K31 防塌剂;基岩段加 1200 mPa·s,高粘 CMC 0.5%。泥浆性能见表2。

表2 泥浆性能

项目	密度 / (g·cm ⁻³)	粘度 / s	失水量 / [mL·(30 min) ⁻¹]	pH 值
冲积层	1.1 ~ 1.2	24 ~ 28	10 ~ 15	9 ~ 10
基岩	1.15 ~ 1.3	32 ~ 38	15	8 ~ 9

2.4 下管技术

表层套管 $\varnothing 720$ mm \times 16 mm 下深 190 m,质量约 53 t。工作套管 $\varnothing 480$ mm \times (20 ~ 32) mm 下深 1016 m,其中壁厚 20 mm、长 872 m,壁厚 32 mm、长度 144 m,套管采用 $\varnothing 520$ mm \times 20 mm \times 300 mm 接箍连接,接箍头 115 个,入井工作套管管柱总质量约 260 t。钻机最大提升能力 170 t,显然表层套管可以采用常规提吊法进行下管,但工作套管须采用提吊加浮力的方法完成下管作业。

2.4.1 浮力塞制作

该项目套管设计套管壁较厚,通过计算,套管三轴挤毁强度为 17 MPa(见图2)。



图2 大口径工程井套管计算界面

该强度远远大于管外液柱挤毁强度,不需要考

考虑浮力塞安装位置对套管柱整体强度的影响。为了满足下管、固井和下尾管的多种需要,我们设计了加强型多用途组合浮力塞(见图 3)。加强型多用途组合浮力塞是利用同径套管和 13% in 石油可钻式阻流环利用环形钢板进行固定连接,然后用内径 70 mm PVC 管与阻流环中孔对中后,在套管与 PVC 管环孔注入水泥浆,水泥凝固后与阻流环形成整体,提高了阻流环的强度,保证了下管过程中最大空管时阻流环的安全。设计选择可钻式阻流环一是固井作业时防止水泥浆的倒流,二是三开时便于钻穿浮塞进行下步施工。环形钢板除了固定和连接套管与阻流环的作用外,还用于悬挂尾管时的台阶。

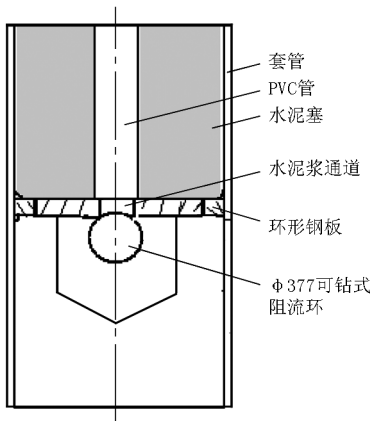


图 3 加强型多用途组合浮力塞示意图

2.4.2 套管连接方式

表层套管采用直接焊接方式;工作套管采用管箍连接焊接方式,工作套管管箍连接,首先在地面把加工有导角的管箍插入到套管头上找正后焊接,然后进行套管的丈量、排管和编号。按照编号顺序依次下入井内;尾管选用 API 套管丝扣连接。

2.4.3 下管方法

表层套管下管采用直接提吊方法。工作套管总质量达 260 t,选择了提吊加浮力法下管,套管提吊使用与套管相配套的吊卡。表 3 是不同深度设计回灌泥浆时套管总质量、浮力、大钩载荷数据,从表 3 数据不难看出,提吊加浮力法下管技术完全能满足大直径超深孔下管需要。

下管过程中,每个套管头对接后必须用两台经纬仪进行校直,确保套管连接后的垂直度。焊接时焊缝要密实、牢固,不能出现漏气、漏水现象保证焊接质量。根据设计要求,该项目需要下入尾管,下尾管时,加工 2 个接头,一个是悬挂接头(见图 4),悬挂接头下端是尾管公丝扣,与尾管连接,上端是矩形母反扣。另一个是送管接头(见图 5),一端是钻杆母扣,一端为矩形公丝反扣。尾管、悬挂接头、送管接头、钻杆依次连接后下钻,把尾管送到设计位置后顺时针方向回转,钻杆从送管接头和悬挂接头反丝处倒开,完成下尾管作业。

表 3 套管不同深度重力、浮力、大钩载荷数据

入井顺序	套管长度 /m	套管总长/m	壁厚 /mm	套管总质量/t	套管自身浮力/t	套管本体总浮力/t	套管入井后质量/t	浮力塞上泥浆总体积/m ³	泥浆总质量/t	注浆后空管段长度/m	注浆后大钩称重含接箍
1	6.48	6.48	32	2.29	0.39	0.39	1.9	0	0	6.48	0.784
22	8.71	222.09	20	68.6	0.33	11.6	57	0	0	222	16.34
23	8.77	230.86	20	70.6	0.34	12	58.7	30	39.9	33.5	56.17
52	8.91	482.41	20	128	0.34	21.6	106	50	66.5	153	80.82
81	8.87	734.79	20	185	0.34	31.3	154	65	86.5	307	98.81
103	12.71	946.71	20	233	0.49	39.5	194	72.5	96.4	470	107
114	8.9	1053.89	20	257	0.34	43.6	214	72.5	96.4	577	106.1

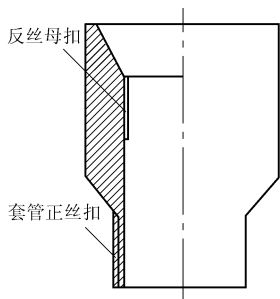


图 4 悬挂接头示意图

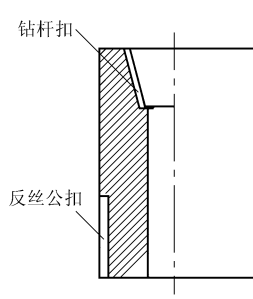


图 5 送管接头示意图

孔底井口密闭的方式进行灌注固井。采用 425 水泥,设计密度 1.65 ~ 1.70 kg/m³。灌注水泥浆前均先注入 2 m³ 潜置液,隔离水泥浆与泥浆,避免混浆后发生固井事故。尾管固井,因尾管段较短,钻孔深度大,采用常规方法注浆固井替浆量难控制,易发生替空事故,因此,我们采用了先注浆后下管方法一次性完成固井作业,效果良好。

3 结语

通过本工程成功实施,笔者有以下体会。

(下转第 62 页)

2.5 固井

本项目表层套管、工作套管均采用了钻杆下入

钻具的工作稳定性要优于 5LZ73 无磁螺杆钻具,且发热量较小。但在实际钻孔钻进过程中,Accu 无磁螺杆钻具的转速随负载的增大下降较快,从而影响切削效率。此外,从本次的试验数据统计来看,2 种无磁螺杆钻具在快 II 挡时的钻进效率最高。这是因为在快 II 挡时泥浆泵的输出流量达到 194 L/min,而根据螺杆钻具的工作特性可知,螺杆钻具的输出转速由输入流量决定,所以在钻压适当的情况下,钻头回转速度越快其钻进效率越高。但在实际钻进过程中,为了达到较高的钻进效率,不能只依靠调高泥浆泵的挡位来实现,原因是钻头切削的快慢不仅与转速有关还与施加在钻头的钻压有关,当钻压太大时就有可能发生憋钻,钻头的转速瞬时降为零。而且随着泥浆泵输出流量的增大,其输出泵压必然降低,当钻进深度加深以后如果螺杆钻具压降太大,就会出现螺杆钻具无法启动的现象。

4 结论及建议

(1) 无磁螺杆钻具与普通螺杆钻具相比,通过给测量探管创造一个无磁环境,可以提高测量参数方位、倾角的精确性,在钻进施工时可以保证在设计轨迹偏差范围内,准确施工至目标靶区范围内。

(2) 5LZ73 无磁螺杆钻具、进口 Accu 无磁螺杆钻具通过扭矩-泵压变化、转速-扭矩变化的试验分析,在施工中钻遇不同地层,通过选择合适的泥浆泵挡位,可以延长无磁螺杆钻具的使用寿命并且提高钻进工效,从而将无磁钻具性能的理想效果得到

较好地体现。

(3) 目前,无磁螺杆钻具的外壳材料大部分是铍铜,该合金具有良好的无磁性,但该合金时效后强度高,延伸率却很低,韧性很差,易造成无磁螺杆钻具外壳断裂。建议加强对无磁材料的研究,并可考虑选用具有较高断裂延伸率及冲击韧性的钛合金作为无磁螺杆钻具的外壳材料。

(4) 无磁螺杆钻具的轴承为滑动轴承设计,该结构的轴承具有结构简单、易操作等特点,不需经常维修保养,适应性强,使无磁螺杆钻具在煤矿井下定向钻进中取得了较好的应用效果。建议改变普通螺杆钻具的轴承设计,选用滑动轴承替代滚珠轴承,降低维护保养费用。

参考文献:

- [1] 苏义脑. 螺杆钻具研究及应用[M]. 北京:石油工业出版社, 2001.
- [2] 李云勇, 罗绪良, 胡友生, 等. 无磁螺杆钻具: 中国, 201010259402.5[P]. 2012-08-23.
- [3] 汪芸, 姚宁平, 王敬国. 煤矿用螺杆钻具性能测试及应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(2): 60-62.
- [4] 孟庆瑜. 无磁钻具磨损机理及防护措施研究[D]. 北京:中国石油大学, 2011.
- [5] 李萌, 于兴胜, 罗西超, 等. 螺杆钻具的前沿技术[J]. 石油机械, 2011, 39(9): 19-22.
- [6] 杨森, 赵映辉. 螺杆钻具失效情况统计分析[J]. 钻采工艺, 2010, 33(3): 81-82.
- [7] 李明谦, 黄继庆. 螺杆钻具的应用现状及未来发展建议[J]. 石油机械, 2006, 35(5): 73-76.
- [8] 王荣教, 李日光, 何刚, 等. 螺杆钻具马达砂卡原因分析及预防措施[J]. 石油矿场机械, 2003, 32(2): 46-47.

(上接第 39 页)

(1) 超千米大直径降温孔, 防斜保直最为关键。施工中要以防为主, 钻具的同心率要好, 准备足够的粗径钻具, 不能以“牺牲”钻孔质量追求效率。一旦发现井斜迹象, 及时采取纠斜措施, 纠斜时选用小度数弯接头, 必须控制狗腿度, 为安全顺利下管作业奠定基础。

(2) 扩孔时, 由于孔径大, 泥浆上返速度一般小于 0.5 m/s, 岩粉不能及时排出, 大颗粒岩屑在孔内重复破碎降低钻效, 同时存在埋卡钻事故隐患。因此, 除使用震动筛及时清除泥浆中的岩粉外, 泥浆中必须添加高分子 CMC 提高泥浆粘度, 一般粘度 32~38 s 为宜。有条件建议采用气举反循环工艺。

(3) 采用提吊加浮力塞下管时, 钻机提升力只能按 80% 设计, 以防下管过程中出现意外, 便于处理。空管段的长度要根据套管的三轴挤毁强度进行

设计, 以防套管受压变形发生事故。

(4) 采用井口密封固井时, 套管内外泥浆必须循环好, 密度保持一致, 固井注浆前建立循环后, 打开套管与钻杆环空阀门, 阀门有泥浆溢出, 关闭阀门可注浆固井, 防止把钻杆固到井内。

参考文献:

- [1] 耿建国, 彭桂湘, 袁志坚, 等. 煤矿瓦斯抽排井套管强度校核计算方法探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(1): 78-81.
- [2] 彭桂湘. 大口径工程井套管事故及预防技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(8): 47-50, 53.
- [3] 袁志坚. 提吊加浮力塞下管法在大口径瓦斯抽排孔的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(1): 27-29.
- [4] 袁志坚. 大口径特殊工程钻孔套管事故原因及对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3): 46-48.
- [5] 蔡延民. 煤矿大口径输冰井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 69-71, 84.