

复合钻进技术在红柳煤矿冻结孔施工中的应用

张 凯

(中国煤炭地质总局水文地质局,河北 邯郸 056000)

摘要:神华宁煤集团红柳煤矿地质构造发育、地层倾角大、软硬互层多,冻结孔钻进施工中钻孔易偏斜,使用陀螺测斜仪配合螺杆钻具纠斜作业次数多、易复偏,影响工程进度。针对这些问题,现场研究采用 PDC 或牙轮钻头配合 1°单弯螺杆复合钻进技术,取得了很好的防斜打快效果,值得类似工程借鉴。

关键词:冻结孔;大倾角地层;复合钻进;防斜打快

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)02-0054-05

Application of combined drilling technique in the freezing well in Hongliu Coalmine

ZHANG Kai

(Hydrogeological Exploration Bureau, CNACG, Handan Hebei 056000, China)

Abstract: Because of geological structure development, large dip angle formation, and inter-bedded soft and hard formation at Hongliu Coalmine of Shenhua Ningxia Coal Industry Group, freezing wells were easy to deviate, and gyro and mud motors were needed to make correction drilling for a few times, delaying the project progress. To solve these problems, compound drilling was performed with combination of the PDC or cone bit and the 1° single bent motor, achieving good results in anti-deflection, and improving ROP. It may provide some reference for other similar projects.

Key words: freezing well; large dip angle formation; combined drilling; anti-deflection and improving ROP

目前使用陀螺测斜仪配合螺杆钻具控制钻孔轨迹已成为一套成熟的工艺技术,在冻结孔、注浆孔等施工中应用也很普遍^[1-4]。但在红柳煤矿冻结孔钻进施工中,钻遇直罗组和延安组地层,软硬互层多,井壁围岩不稳定,孔位处于地质构造发育带,地层倾角大,应用陀螺测斜仪配合螺杆钻具施工技术纠斜后存在复偏的情况,纠斜作业次数多,钻孔测斜、纠斜时间严重影响钻井周期,预防钻孔偏斜和提高纠斜效果成为提高施工质量和工程进度的关键。采用复合钻进技术后,既保证了钻孔的垂直度,又提高了钻速,提前交付了优良工程。

1 工程概况

1.1 工程布置

冻结孔按双圈布置,主圈孔圈径 13.2 m,孔深 587 m,共 30 个;防片孔圈径 10.7 m,孔深 30 m,共 16 个。设计 3 个测温孔孔深分别为 587、567、400 m,2 个水文孔孔深分别为 189、16 m。钻孔口径均为 190.5 mm,总工程量 19849 m,总工期 90 d。

1.2 偏斜技术要求

钻孔 0~300 m 范围内偏斜率 $\leq 2.5\%$,内偏值 ≤ 300 mm;超过 300 m 靶域半径控制在 800 mm。相邻主圈孔最大孔间距 ≤ 2.5 m。该偏斜要求远远高于现行国家或行业标准、规范,煤矿井巷施工规范^[5]中规定:冲积层段钻孔偏斜不宜大于 3%;风化带及含水基岩层段钻孔偏斜不宜大于 5%,邻孔终孔间距不应大于 5 m。

1.3 管材规格及连接方式要求

收稿日期:2019-04-13;修回日期:2020-01-22 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.02.008

作者简介:张凯,男,回族,1987 年生,工程师,石油工程专业,主要从事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.复合钻进技术在红柳煤矿冻结孔施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):54-58.

ZHANG Kai. Application of combined drilling technique in the freezing well in Hongliu Coalmine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):54-58.

主圈孔和防片孔冻结管采用 $\text{O}159 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 无缝钢管,内接箍焊接,管材性能执行《输送流体用无缝钢管》(GB/T 8163—2008)标准要求;水文孔管材采用 $\text{O}127 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 无缝钢管,对接焊连接;测温孔管材采用 $\text{O}127 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 无缝钢管,外接箍焊接。

2 地质情况及施工存在的问题

根据邻近地质资料^[6-7]和井筒检查孔报告^[8]可知,该井筒揭露地层依次为第四系、古近系、侏罗系。钻孔揭露第四系黄土层厚 16 m,古近系砾岩层厚约 6 m,侏罗系直罗组层厚约 536 m、延安组厚约 30 m。直罗组和延安组的岩性主要由粉砂岩、细粒砂岩、中粒砂岩、粗粒砂岩、泥岩组成,软硬互层多,岩石抗水浸能力较差,易软化,为不稳定岩层,工程地质性质较差。该区位于鄂尔多斯盆地西缘褶皱冲断带南北向逆冲构造带,地质构造发育,孔深 70~440 m 井段地层倾角在 $20^\circ \sim 25^\circ$ 、440~587 m 井段地层倾角在 $15^\circ \sim 19^\circ$ 。

地层倾角大、软硬互层多,导致全井段钻孔轨迹极易产生偏斜;主圈孔孔间距仅 1.379 m,且偏斜技术要求高。施工中 50 m 以浅井段可采取移塔架、垫塔架的方法控制井斜,50 m 以深采用“陀螺仪+螺杆”纠斜。但在 120~280、220~280、360~460 m 井段出现偏斜后,应用“陀螺仪+螺杆”纠斜后钻孔轨迹易复偏,造成纠斜无效果或效果不佳、纠斜作业次数多,工程质量、工期无法保证,成本增加等问题。

3 钻前施工准备

3.1 基础施工

针对本工程特征及工程技术要求等,提高了井盘^[9]基础制作标准:要求直径为 30 m,底部铺垫 300 mm 厚三七灰土层,上部浇筑 600 mm 厚 C30 混凝土层。井盘基础制作步骤:首先铲去地表风积沙层,并回填黄土至地面标高、压实;其次再铺 300 mm 厚三七灰土,边洒水边压实,分层作业并做好养护;最后在三七灰土上部浇筑 600 mm 厚 C30 混凝土,使用震动泵震动密实、找平,使用模具预留出钻孔孔位和泥浆循环槽。

3.2 钻孔孔位布放

各钻孔孔位的布放,均采用全站仪极坐标法放样,孔位误差 $\geq 20 \text{ mm}$ 。标定方法:将木楔打入三七

灰土内固定牢靠,然后使用经纬仪确定极角、钢尺确定极径,并把钢钉钉在木楔上平面上,钢钉位置即为钻孔孔位。

4 施工工艺

4.1 配套设备及钻具

(1)设备配置:AS27-50 型钻塔,TSJ2000/435 型钻机,TBW-850/50 型泥浆泵,110 kW、90 kW 电动机,泥浆清洁器,DSB 系列试压泵等 4 台套。

(2)测斜仪器:JDT-6A 陀螺测斜仪、电子经纬仪等配套设备。

(3)钻头钻具: $\text{O}190.5 \text{ mm}$ PDC 钻头或牙轮钻头; $\text{O}89 \text{ mm}$ 钻杆、 $\text{O}159 \text{ mm}$ 钻铤、5LZ146 \times 7.0 单弯螺杆(1° 、 1.5°)。

4.2 钻具组合

(1)常规钻进: $\text{O}190.5 \text{ mm}$ PDC 或牙轮钻头+ $\text{O}159 \text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89 \text{ mm}$ 钻杆。

(2)纠斜钻进: $\text{O}190.5 \text{ mm}$ PDC 或牙轮钻头+5LZ146 \times 7.0 螺杆(1.5° 单弯)+ $\text{O}159 \text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89 \text{ mm}$ 钻杆。

(3)复合钻进: $\text{O}190.5 \text{ mm}$ PDC 或牙轮钻头+5LZ146 \times 7.0 螺杆(1° 单弯)+ $\text{O}159 \text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}159 \text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}121 \text{ mm}$ 钻铤+ $\text{O}89 \text{ mm}$ 钻杆。

4.3 钻进参数

本工程钻孔垂直度要求高,保证开孔垂直度最为关键。各种钻进方式下钻进参数详见表 1。

表 1 基岩钻进参数

Table 1 Bedrock drilling parameters

钻进方式	钻压/ kN	转盘转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	泵量/ ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$)	泵压/ MPa
牙轮回转钻进	15~50	69~110	12~14	3~5
PDC 回转钻进	10~40	69~110	12~14	3~5
纠斜钻进	8~12	0	14	4~5
牙轮复合钻进	15~40	48	14	4~5
PDC 复合钻进	10~30	48~69	14	4.5~5.5

开孔钻进时须采取轻压、慢转、大泵量的钻进方法,钻进参数控制为:钻压 0.4 kN 左右、转速 48 r/min、泵量 14 L/s。复合钻进时参数采用轻压、低转盘转速,在易井斜层段可获得较好的防斜和纠斜效果及较高的机械钻速^[10-11]。

4.4 泥浆应用及维护

4.4.1 泥浆配方与性能

根据地层情况优选了双聚泥浆体系,该体系具

有低固相、不分散、良好的絮凝作用等应用特征。其配方为:4%~6%膨润土+0.15%~0.25%纯碱+0.2%~0.5%羧钾基纤维素钠+0.01%~0.03%水解聚丙烯酰胺+0.2%~0.4%水解聚丙烯腈铵盐+0.1%~0.3%腐植酸钾以及适量随钻堵漏剂、润滑剂、氢氧化钠等。性能指标:密度1.05~1.10 g/cm³,粘度18~23 s,API失水量控制在15 mL/30 min以内,泥饼厚<1 mm,含砂量控制在1%以内,pH值8~9。纠斜钻进、复合钻进时含砂量控制在0.5%以内。

4.4.2 泥浆的维护

泥浆的维护过程中主要调节其密度、粘度、切力,密度必须严格控制在设计范围内。在含水层等渗透性大的地层需要提前降低泥浆API失水量。聚合物、氢氧化钠等添加剂的使用必须以胶液形式滴流。要求每个小班必须测试一次泥浆性能,泥浆清洁器等固控设备使用率不少于85%。

4.5 测斜纠斜

(1)使用JDT-6A型陀螺测斜仪,正常钻进时每隔20~30 m测斜1次,根据实际情况可加密或减少测量次数。

(2)50 m以浅井段采取移塔架、垫塔架的方法控制井斜。

(3)50 m以深纠斜作业使用JDT-6A型陀螺定向仪配合1.5°单弯螺杆钻具进行,复合钻进中直接使用JDT-6A型陀螺定向仪配合1°单弯螺杆钻具直接进行纠斜作业。

(4)纠斜前、后必须进行测斜,分析钻孔轨迹变化趋势,指导纠斜作业及下一步施工。

(5)应用不同弯度螺杆钻具在不同地层倾角井段的纠斜段长度不同,纠斜段长度还应考虑钻孔轨迹变化趋势及最大井斜角^[12],井斜角度较大时应先降斜、后扭方位降斜^[13]。本工程施工中井斜角一般控制在0.5°,最大不超过0.8°,一般采取扭方位降斜法,当井斜>0.8°时先采取直接降斜法,纠斜长度一般选取3~5 m。纠斜段长度的选取详见表2。

表2 纠斜长度的选取

Table 2 Selection of the correction drilling length

井段/m	地层倾角/ (°)	纠斜长度/m	
		螺杆弯度1°	螺杆弯度1.5°
70~440	20~25	3.5~6.5	3.5~5.8
440~587	15~19	3.0~5.5	3.0~5.0

4.6 应用效果

该工程主圈孔圈径为13.2 m,最多可布置4台套钻机平行施工。采用PDC钻头或牙轮钻头配合1°单弯螺杆钻具复合钻进技术,具有良好的防斜打直效果^[14]。第一批施工钻孔为4个主圈孔,其中Z-30、Z-23孔采用牙轮钻头回转钻进工艺,Z-15、Z-8孔采用PDC钻头回转钻进工艺;第二批施工的4个主圈孔采用牙轮回转钻进工艺钻至基岩地层后更换螺杆钻具进行复合钻进,其中Z-29、Z-22孔采用牙轮钻头复合钻进;Z-15、Z-8孔采用PDC钻头复合钻进;其余主圈孔及测温孔均采用PDC钻头复合钻进技术。复合钻进一趟钻可以完成钻进、纠斜、稳斜、扭方位等多种作业,不同钻进方式效果对比见表3。由表3可知:采用复合钻进后钻孔纠斜次数明显减少,测斜和纠斜时间大幅减少,机械钻速提高,钻井周期缩短。

表3 不同钻进方式效果对比

Table 3 Effect comparison between different drilling methods

钻进方式	孔号	孔段/m	平均机械钻速/(m·h ⁻¹)	纠斜次数/次	测斜纠斜时间/h	钻井周期/d	备注	
牙轮回转	Z-30	0~587.5	2.64	9	83.8	12.10	主圈孔	
	Z-23	0~587.2	3.06	10	101.6	11.62		
PDC回转	Z-15	0~587.4	3.19	8	84.4	10.60		
	Z-8	0~587.4	2.92	11	100.0	11.88		
牙轮复合	Z-29	70~587.2	4.77	2	44.3	6.37		
	Z-22	72~587.2	4.85	2	43.9	6.28		
PDC复合	Z-14	71~587.5	5.31	1	35.2	5.53		
	Z-7	71~587.4	5.66	1	35.6	5.29		
		70~587.5	4.50~5.66	0~2	26.5~47.0	5.23~6.40		其余主圈孔
	C1	70~587.5	4.20	1	32.8	6.50		测温孔
	C2	70~567.5	4.89	1	30.4	5.50	测温孔	
	C3	70~400.5	5.64	0	34.1	4.60	测温孔	

5 技术经济效果分析

5.1 钻孔质量

根据测斜数据分析结果,所有钻孔偏斜、孔间距满足偏斜技术要求,井身质量合格率^[15]100%。回转钻进与复合钻进相比,回转钻进的钻孔因为纠斜作业次数多、轨迹平滑度较差;复合钻进钻孔垂直度高、轨迹更加平滑。钻孔轨迹平面投影图如图 1 所示,其中图 1(a)为 PDC 钻头复合钻进,图 1(b)为 PDC 钻头回转钻进。轨迹平滑的钻孔下冻结管时摩擦阻力小、无阻卡现象,可保证冻结管顺利下放至孔底。此外,采用内接箍对焊连接套管,提高了管串连接强度和密封性^[16],为后续液氮循环系统密闭高效运行提供必要条件,冻结壁交圈质量达到预期目标。

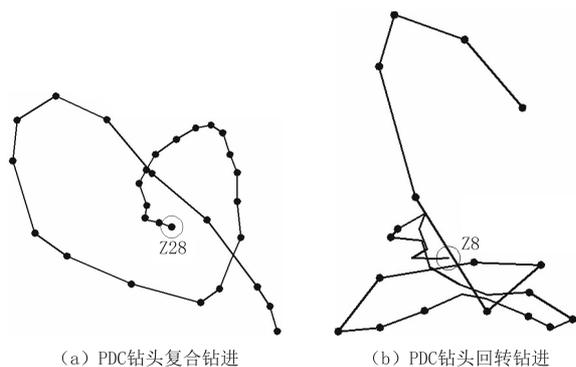


图 1 钻孔轨迹平面投影图

Fig.1 Plane projection of the borehole trajectory

5.2 机械钻速

回转钻进平均机械钻速 2.95 m/h,牙轮复合钻进平均机械钻速 4.81 m/h,PDC 钻头复合钻进平均机械钻速在 4.92 m/h。复合钻进采用轻压吊打法,在保证钻孔质量的情况下相比回转钻进机械钻速提高约 1.7 倍。

5.3 平均钻井周期

使用回转钻进工艺施工,单孔纠斜作业 8~11 次,纠斜、测斜作业耗时多,测斜和纠斜时间平均为 92.5 h;回转钻进平均钻井周期约为 11.55 d,其中钻孔测斜、纠斜时间约占钻井周期的 1/3,严重影响钻井周期。

复合钻进时各钻孔纠斜作业仅 0~2 次,单孔纠斜和测斜作业时间平均仅为 33.8 h。相比回转钻进纠斜和测斜作业时间减少 3/5,缩短了钻井周期。复合钻进的平均钻井周期仅为 5.81 d,相比回转钻进缩短约 1/2。

5.4 成本分析

该工程钻井施工过程中,钻井周期是影响钻井成本的主要因素,因此重点分析受时间影响的直接成本项,其它临建工程费、占地青赔费、运输费、排浆费等一次性投入费用未列入。表 4 为主圈孔及测温孔 2 种不同钻井方式直接成本对比,不含防片孔、水文孔施工成本。

表 4 直接成本对比

Table 4 Direct cost comparison

成本项	直接成本/元	
	回转钻进	复合钻进
钻头费	12500.0	85000.0
泥浆材料费	28176.0	201792.0
水电费	48435.0	174558.1
人工费	127050.0	462880.0
设备折旧费	20027.1	72656.8
材料费	28000.0	97830.0
螺杆租赁费		120000.0
总计	264188.1	1214716.9
单价/(元·m ⁻¹)	112.5	72.2

由表 4 可知:回转钻进钻孔直接成本单价为 112.5 元/m,复合钻进钻孔直接成本单价为 72.2 元/m;采用复合钻进技术后,节约了 35% 直接钻井成本,取得了良好的经济效益。

6 结论

采用 PDC 或牙轮钻头配合 1° 单弯螺杆钻具复合钻进技术,在大倾角、软硬互层地层钻进取得了较高的技术经济效果。

(1)采用复合钻进技术,相比回转钻进提高了井身质量,钻孔轨迹更加平滑,完全满足设计要求,保证冻结管顺利下放至孔底。

(2)该地层中复合钻进相比回转钻进,在保证钻孔质量的前提下,机械钻速提高约 1.7 倍。

(3)采用复合钻进技术后,测斜和纠斜时间大幅减少,平均钻井周期缩短约 1/2。

(4)采用复合钻进技术后,节约 35% 直接钻井成本。

(5)复合钻进技术的成功应用,确保了工程质量、缩短了工期,取得了良好的经济效益,为类似工程积累了施工经验。

参考文献(References):

[1] 王兵,汪志祥,董梅,等.刘塘坊铁矿 1 号副井井筒冻结钻孔施

- 工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):53-57.
- WANG Bing, WANG Zhixiang, DONG Mei, et al. Construction practice of freezing borehole in an auxiliary shaft[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(4):53-57.
- [2] 乔凤标.大海则煤矿副立井冻结钻孔快速施工技术[J].建井技术,2013,34(5):13-15,47.
- QIAO Fengbiao. Rapid drilling technology of freezing boreholes for the auxiliary shaft at Dahaize Coalmine[J]. Mine Construction Technology, 2013,34(5):13-15,47.
- [3] 彭伟,高伟,孙右好,等.PDC钻头在西部软岩地层冻结造孔施工中的应用[J].中国煤炭,2014,40(7):58-60,94.
- PENG Wei, GAO Wei, SUN Youhao, et al. Application of PDC bit in freezing holedrilling construction in soft rock strata in western China[J]. China Coal, 2014,40(7):58-60,94.
- [4] 徐栓祥.龙固煤矿特厚表土层井筒冻结造孔技术[J].陕西煤炭,2012,31(5):79-81.
- XU Shuanxiang. Technology of freezing shaft sinking through extra thick overburden in Longgu Coal Mine[J]. Shaanxi Coal, 2012,31(5):79-81.
- [5] GB 50511-2010,煤矿井巷工程施工规范[S].
- GB 50511-2010, Code for construction of shaft and roadway of coal mine[S].
- [6] 晏嘉.宁夏红柳煤矿直组下段含水层富水性评价[J].中国煤炭地质,2016,28(3):45-49.
- YAN Jia. Water yield property assessment for Zhiluo Formation lower member aquifer in Hongliu Coalmine, Ningxia[J]. Coal Geology of China, 2016,28(3):45-49.
- [7] 郭天辉,樊雪莲.宁夏红柳煤矿水文地质特征及首采工作面涌水分析[J].中国煤炭地质,2012,24(5):30-34.
- GUO Tianhui, FAN Xuelian. Hydrogeological characteristics and first mining district working face water inflow analysis in Hongliu Coalmine, Ningxia[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(5):30-34.
- [8] 王信,等.神华宁夏煤业集团有限责任公司红柳煤矿二号副立井、二号回风立井井筒检查孔地质报告[R].银川:宁夏煤炭勘察工程公司,2012.
- WANG Xin, et al. Geological report of the inspection hole for No.2 auxiliary shaft and No.2 return shaft in Hongliu Coalmine of Shenhua Ningxia Coal Industry Group Co., Ltd. [R]. Yinchuan: Ningxia Coal Reconnaissance Engineering Company, 2012.
- [9] 孙玉超.立井井筒超深冻结钻孔施工工艺[J].建井技术,2007, 28(1):27-29,9.
- SUN Yuchao. Construction technology with ultra deep freezing borehole for mine shaft sinking[J]. Mine Construction Technology, 2007,28(1):27-29,9.
- [10] 肖云峰,周定照,杨世军.单弯螺杆钻具组合非线性瞬态动力学分析[J].石油机械,2011,39(3):39-42.
- XIAO Yunfeng, ZHOU Dingzhao, YANG Shijun. Nonlinear transient dynamic analysis of single bend PDM drill-assembly [J]. China Petroleum Machinery, 2011,39(3):39-42.
- [11] 罗恒荣.临盘油田PDC钻头防斜打快钻具组合优化及应用[J].石油钻探技术,2016,44(1):12-17.
- LUO Hengrong. Optimization and application of anti-deflect and fast drilling BHA with a PDC bit in the Linpan Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016,44(1):12-17.
- [12] 夏保海,孙建.螺杆定向纠偏技术在新庄矿超深冻结孔施工中的应用[J].煤炭工程,2013(1):32-34.
- XIA Baohai, SUN Jian. Application of PDM straightening drilling technology in the construction of ultra-deep freezing hole in Xin Zhuang Mine[J]. Coal Engineering, 2013(1):32-34.
- [13] 刘小刚,陶林,孙长利,等.新型防斜打快钻井技术在渤海油田的应用.钻采工艺,2010,33(2):120-122.
- LIU Xiaogang, TAO Lin, SUN Changli, et al. Application of new deviation control drilling technology in Bohai Oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2010,33(2):120-122.
- [14] 都成铭,胥志雄,张国良,等.古城2井复合钻井防斜打快技术[J].钻采工艺,2005,28(6):16-18,21.
- DU Chengming, XU Zhixiong, ZHANG Guoliang, et al. Slide and rotary drilling techniques with anti-deviation in well Gucheng2[J]. Drilling & Production Technology, 2005,28 (6):16-18,21.
- [15] SY/T 5841-2011,钻井技术经济指标及计算方法[S].
- SY/T 5841-2011, Drilling tech-economic indexes and calculation methods[S].
- [16] 黎明镜,荣传新.内衬管长度与冻结管的极限承载力关系研究[J].安徽理工大学学报(自然科学版),2010,30(1):30-34.
- LI Mingjing, RONG Chuanxin. Relationship between length of inner pipe and ultimate bearing capacity of freezing pipe [J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science), 2010,30(1):30-34.

(编辑 韩丽丽)