

# 松软低透性薄煤层中水平对穿连通井钻井技术

高启瑜, 周贵宗, 周光, 张铁军, 金万海  
(神华宁煤集团环境安全工程有限公司, 宁夏石嘴山 753000)

**摘要:** 乌兰煤矿煤储层具有煤质软、散, 钻遇地层倾角大, 目的层埋深浅等特点, 造成钻井施工过程中存在井眼轨迹控制难度大、漏失严重、固井困难等问题。针对所遇到的问题, 在井身结构设计、设备选择及钻具组合、钻进参数、井眼轨迹控制、钻井液、套管以及固井技术方面采取了有效的技术措施, 在松软低透性薄煤层中实现了水平长距离成孔(煤层段中最长穿行距离达到 223.73 m), 与直井成功对穿连通。通过对乌兰矿煤层气水平对穿井施工工艺的分析, 总结了在松软低透性薄煤层中实现水平对穿连通井钻井、成井的施工经验。

**关键词:** 松软; 低透性薄煤层; 水平对穿连通井; 钻井; PE 套管

**中图分类号:** P634.7   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-7428(2010)01-0020-04

**Drilling Technology of Horizontal-opposing Communicated Well in Soft and Low Permeability Thin Coal Seam/**  
GAO Qi-yu, ZHOU Gui-zong, ZHOU Guang, ZHANG Tie-jun, JIN Wan-hai (Environment and Safety Engineering Co., Ltd. of Shenhua Ningxia Coal Group, Shizuishan Ningxia 753000, China)

**Abstract:** Coal reservoir of Wulan mine has the characteristics of soft & loose property, large inclined angle in drilled formation and shallow target bed, well trajectory control is difficult with serious leakage and cementing problem. Effective technical measures were adopted in well structure design, equipment selection, drill assembly, drilling parameter, well trajectory control, drilling fluid, casing and cementing; long-distance horizontal well in thin and soft-low permeability coal seam was realized (with the longest distance of 223.73m), which was successfully connected to the vertical well. Based on the analysis on the construction technology of coal bed methane horizontal opposing well in Wulan mine, the paper summed up the construction experience of horizontal opposing well in thin and soft-low permeability coal seam.

**Key words:** soft; thin and soft-low permeability coal seam; horizontal opposing well; well drilling; PE case

地面水平定向钻井技术是一项具有广阔发展前景的新兴开发技术, 现已成为提高油田勘探开发和煤田煤层气开发利用综合效益的重要途径。

在国内, 从 1991 年到 1995 年, 水平井钻井技术被列入“八五”国家重点科技攻关项目以来, 在油田引进推广应用并已取得重大成绩。21 世纪初, 地面定向水平钻井施工技术开始在煤层气中应用。采用地面水平定向钻井抽采工艺对井下未采动煤层进行预抽采, 可有效降低煤层吨煤瓦斯含量, 延长煤层瓦斯预抽时间, 降低矿井风排瓦斯压力, 缓解矿井抽、掘、采比例失调局面, 真正实现未采先抽或先抽后采, 创造优越的瓦斯地质条件, 是从根本上解决煤矿瓦斯灾害的前提, 同时也为矿井实现高产高效奠定了基础。

地面水平定向钻井技术具有钻深钻距大、钻进速度快、能够最大限度的沟通煤层割理和裂缝系统、增加井眼在煤层中的波及面积和泄气面积、降低煤层内气液两相流的流动阻力、大幅度提高单井产量、

减少钻井数量的特点, 与常规直井相比, 具有单井产量高、采出程度高、经济效益高的优势。

本次施工的乌兰煤矿煤储层具有煤质软、散(二、三煤层为糜棱煤)的特点, 国内常规的水力携砂压裂、洞穴、水平分支井等完井工艺措施在工程的实施和瓦斯抽放效率方面均有一定的困难, 采用水平对穿井施工工艺, 利用水平井产气, 直井抽气的方法, 有利于乌兰煤矿瓦斯预抽放。

## 1 地质概况

乌兰煤矿井田范围内除呼鲁斯太向斜西北翼煤层倾角达到  $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$  外, 一般倾角为  $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ , 平均  $20^{\circ}$ , 井田总体为走向 NW、NNW 的单斜构造, 岩层倾向 SW。井田范围内的主要地质构造为呼鲁斯太向斜、呼鲁斯太逆断层(落差为 1000 ~ 2000 m)和 F73 正断层(落差为 13 ~ 240 m), 并伴有次一级的褶曲和断裂, 断裂大多为近向正断层和斜交正、逆断层, 局部有褶皱起伏现象, 矿井地质条件类型为二类

收稿日期: 2009-09-21

作者简介: 高启瑜(1967-), 男(汉族), 宁夏海原人, 神华宁煤集团环境安全工程有限公司副总工程师、工程师, 煤田地质钻探专业, 从事钻探钻井技术管理工作, 宁夏石嘴山市大武口贺兰山南路 331 号, gqy2427672@163.com。

二型。

乌兰煤矿井田外围出露的古老地层为寒武系及前震旦系地层,石炭二叠系含煤地层角度不整合于寒武系之上。井田内含煤总层数为 27 层,总厚度为 33.74 m,可采及局部可采煤层共 17 层,总厚度为 30.9 m,其中,山西组含煤 3 层,编号为 2、2 下、3 煤层,太原组含煤 14 层,编号为 4、5、6、7、8、10、11、12、13、14、15、16、21、22 煤层。主采煤层为 2、3、7、8 煤层,其中,井田范围内 2 煤层厚度为 2.24 ~ 4.14 m,平均厚度 3.14 m,为不稳定煤层;3 煤层厚度为 8.0 ~ 15.95 m,平均厚度 13.6 m,局部煤层变薄,为井田特厚煤层,储量占全矿井的 57%;7 煤层厚度为 1.79 ~ 2.24 m,平均厚度 2 m,为稳定煤层;8 煤层厚度为 0.58 ~ 4.8 m,平均厚度 2.77 m,煤厚度不稳定。煤层顶板以粉砂岩、泥质粉砂岩为主,局部为灰岩、泥岩、细砂及中粗粒砂岩;底板以细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩为主。

## 2 工程设计概况

本次设计钻孔布置,在井筒煤柱范围内地面开孔,沿煤层伪倾斜方向布置 2 口水平井:5867WD-1 号井,工程量为 785.46 m;5867WD-2 号井,工程量为 735.60 m。为了能够准确掌握 8 层煤在 5867 工作面的具体深度、厚度变化,同时在靠近 5867 工作面水平井轨迹旁 10 m 布置 2 口直井(CS-1 号井,工程量 385.7 m;CS-2 号井,工程量 418.5 m)做为参数井。其中 CS-2 参数井做为 WD-1 水平井的对穿井使用。另外布置 DC-2 直井(工程量 480 m)做为 WD-2 水平井的对穿井使用。水平井轨迹设计及控制沿着参数井的见煤深度点进行,最大程度实现 8 号煤层中水平井段长度并与直井对穿。

### 2.1 水平井井身结构设计

水平井井身结构见图 1,其设计见表 1。

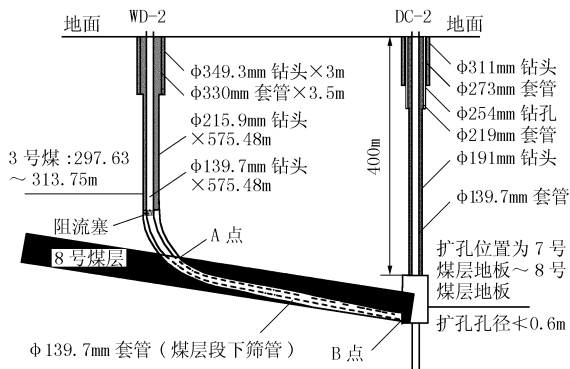


图 1 水平井井身结构示意图

表 1 水平井井身结构

开钻次序	钻头尺寸(mm) ×井深(m)	套管尺寸(mm) ×井深(m)	水泥返高	固井方式
一开	Ø349.3 × 3	Ø330 × 3.5	地面	环空灌注
二开	Ø215.9 × 575.48	Ø139.7 × 575.48(煤层段下入 PE 筛管)	地面	泥浆泵固井

### 2.2 水平井井眼轨迹设计数据

剖面设计考虑设计为三圆弧剖面。直井段由于地层的影响,加之是空气钻钻进,造成造斜点前产生了位移,实钻中为保证在煤层段的穿行长度,水平段的轨迹分别进行了调整。水平井各段实钻数据见表 2。

表 2 水平井各段实钻数据

水平井	靶点	垂深 /m	井斜 /( $^{\circ}$ )	方位 /( $^{\circ}$ )	靶点位移/m	靶窗尺寸/m		
						高度	宽度	靶体长度
WD-1	KOP	116.32	1.67	31.51	1.84	0	0	0
	A	368.71	79.54	171.40	183.35	1.5	10	/
	B	422.19	76.00	175.34	421.50	1.5	10	/
WD-2	KOP	68.41	1.89	25.52	-2.60	0	0	0
	A	386.07	76.83	174.46	217.77	1.5	10	/
	B	406.29	77.80	174.35	310.01	1.5	10	/

## 3 技术难点

(1) 目的层埋深浅(8 号煤层垂深 380 m),造斜点在垂深 60 m 处,造斜段较短,造成定向时不易起井斜,给定向工作增加了难度。

(2) 钻遇的地层交互频繁,胶结松散、裂隙发育易漏;在 60、180、249.12、268.73 m 等处漏失严重。

(3) 由于该地区地层硬,倾角较大,易产生井斜且难以形成润滑性能好的滤饼;造斜段井眼曲率大,采用滑动方式钻进,钻柱与井壁之间摩阻大,易发生钻柱“自锁”现象,施加钻压困难,钻柱无法有效传递钻压。

(4) 造斜井段短、造斜率偏高,加之测斜零长(仪器测斜的盲区长度)长(13 m),测点滞后问题显得尤为突出,造斜率预测不准,便很难调整,增加了井眼轨迹控制的难度,并且使得 A 点中靶难度增加。

(5) 在水平井与直井对穿时,只有测试仪器(直井)与强磁接头(水平井)在距离 50 m 左右时,才能接收到信号、解读数据。这就要求在水平段施工时,成井轨迹必须与设计精确符合,才能保证对穿的顺利实施。

(6) 由于常规成井时一般所下的套管均为钢管,而在预抽瓦斯的水平井内下入长距离钢管,则会导致采煤时采煤机无法割断钢管。因此,我们采用

HDPE管(高密度聚乙烯)做套管。而PE套管柔韧性强,易变形、易断等给下套管带来困难。

(7)由于此地层岩层含水大,为了提高产气量,在目的层(7、8号煤)以上要进行固井,如果采用常规固井法固井,会造成在2、3号厚煤层中扩孔时找不着原井眼。因此,给固井带来了困难。

## 4 钻井主要设备及工艺技术

### 4.1 施工设备

钻机:美国钻科SS-185K型全液压车载钻机,动力头提升能力为840 kN,塔架高17.9 m;

空压机:SULIAIR 1150HH/1350XHADLOF型;  
泥浆泵:3NB1300C型泥浆泵及配套的固控设备;

定向仪器:MWD定向测井仪器一套。

### 4.2 钻井工艺技术

#### 4.2.1 轨迹控制技术

中半径水平井轨迹控制技术是水平对穿井施工的核心,影响井眼轨迹的主要因素是下部钻具组合(BHA)、钻井参数以及已钻井眼几何形状和待钻地层特性等因素。而井眼轨迹的控制主要依靠钻具组合和钻井参数的调控来实现,同时利用轨迹控制软件实时掌握实钻井眼轨迹情况,并随时调整使实钻井眼轨迹接近设计井眼轨迹。

##### 4.2.1.1 造斜段

造斜段钻具组合:Ø215.9 mm PDC钻头 + Ø172 mm 导向马达(1.75°) + Ø165 mm 循环短节 + Ø127 mm 抗压缩无磁钻杆 + Ø127 mm 加重钻杆 + Ø127 mm 钻杆 + Ø89 mm 加重钻杆(15根) + Ø89 mm 钻杆。

钻进参数:钻压20~30 kN,泵压3~4 MPa,排量24~30 L/s。

造斜段的轨迹控制技术是水平井施工中关键技术。由于水平井的造斜段较短,施工中,井斜和方位调整余量很小,一旦出现失误,整体钻井将前功尽弃。因此造斜钻具组合和造斜率必须科学合理的选择,对井眼轨迹的预测预判应做到及时、准确,严格控制垂深及实钻曲线超前或滞后,不得盲目钻进。

及时修整井壁,保证造斜、钻进和孔内预控预防。由于地层硬,倾角较大,定向钻头选用PDC钻头,采用滑动钻进方式钻进,定向时容易在井壁形成小台阶,造成托压,严重影响后续钻井作业及孔内事故预防。为此,每定向钻进100 m,实行短起下划眼修拉井壁,确保井壁光滑无台阶,在钻具组合上采用

18°斜坡钻杆以减小钻具摩阻。

为了达到高造斜率,达到井眼轨迹有效控制,钻进时以滑动钻进为主、导向钻进为辅的方式进行,导向钻进多为有效传递钻压、消除摩阻、通井划眼,提高钻进速度。

#### 4.2.1.2 水平段(含对穿段)

水平段钻具组合:Ø215.9 mm PDC钻头 + Ø190 mm 强磁接头 + Ø172 mm 导向马达(1.75°) + Ø165 mm 循环短节 + Ø127 mm 抗压缩无磁钻杆 + Ø127 mm 加重钻杆 + Ø127 mm 钻杆 + Ø89 mm 加重钻杆(15根) + Ø89 mm 钻杆。

水平对穿井水平段(即煤层段)采用导向钻进方式为主,定向钻进对井眼轨迹进行微调,以满足精确中靶的要求。导向转速控制在20~35 r/min之内,钻压控制在30~45 kN;排量采用小排量,因煤层属于松软煤层,排量过大致使井眼扩大率变大,而发生煤层坍塌,造成井内埋钻事故。

水平对穿段钻进的重点是钻具组合要有稳斜和调整井斜及方位的能力。同时,为提高轨迹控制精度,将常规水平井采用的每钻进一个单根测量一次静态值,缩短为每钻进2~3 m测一次静态值,并根据实钻需要随时加密测量并计算、预测实钻井眼轨迹,确保实钻轨迹和设计轨迹相吻合而顺利中靶。

水平井对穿是整个施工的关键。首先要将所对穿的直井的各项参数确定好,并将对穿的目标点部位(8号煤层)进行扩孔( $\phi > 0.6$  m),保证其畅通。其次,在水平井施工至距离目标点50 m时,必须把垂深、位移、井斜、方位调整到位,特别是要保证方位已经对准设计目标点,为对穿做好准备。通过仪器测量、调整井眼井斜、方位(这些调整量是由各种综合误差造成的),以达到对穿目的。

### 4.3 钻井液技术

根据钻遇地层特点,钻井液必须解决好优良的造壁性和润滑性,以及对储层(8号煤层)段的保护。针对以上问题,研究应用了具有较强抑制性、低固相、低滤失的钻井液。其性能参数为:密度( $\rho$ )1.04~1.18 g/cm<sup>3</sup>,粘度(FV)28~40 s,失水量(FL)≤5 mL/30 min,含砂量(k)≤1%,pH值9~10,流变性能(PV)15~25 mPa·s、(YP)8~15 mPa。

在孔内漏失量≤20 m<sup>3</sup>/h时,采用基浆+5% 802堵漏剂+5%综合堵漏剂,小排量泵入便可有效地进行堵漏。在孔内漏失量>20 m<sup>3</sup>/h时,采用100%水泥+4%氯化钙+0.15%聚丙烯酰胺+0.04%纯碱+2%膨润土,用泵离漏失部位20 m以

上泵入孔内,凝固48 h后便可有效堵漏。

在井斜 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 井段,由于大斜度段以下岩屑携带主要靠紊流冲刷,井径扩大将导致局部井段不能达到紊流,造成岩屑床过厚,这将导致井下阻卡频繁。因此,进入斜井段后,特别注意钻井完井液流变性能的控制,增强钻井完井液的携带能力和悬浮能力,有效消除岩屑床,防止阻卡。

在水平段重点落实好防塌和储层保护措施,使钻井液既有良好的造壁性和防塌性,又有泥皮被洗井液浸泡后易破坏的性能。因此,进入水平段后,严格控制钻井液当量循环密度 $\geq 1.18 \text{ g/cm}^3$ ,并保证流变性能的控制,增强钻井完井液的携带能力和悬浮能力,有效消除岩屑床。强化钻井完井液的热稳定性,改善泥饼质量,增强润滑性,同时严格控制起下钻速度,减小压力激动和抽吸现象,避免因压力激动造成井下漏失及垮塌,保证井下安全。

## 5 成井工艺技术

### 5.1 PE套管的下入

针对在煤层水平段中不能下入钢管,采用下入PE管(高密度聚乙烯),而PE套管柔韧性大且有质量轻,浮力大,易变形弯曲、易断等不易下入的技术难题,我们采取如下技术措施:

(1)在水平段即8号煤层顶板以上下入 $\text{O}139.7 \text{ mm}$ 钢管,用来增加重力及刚性。在8号煤顶板至井底即水平段下入 $\text{O}139.7 \text{ mm}$  PE筛管。

(2)下套管前循环调整钻井液性能,做到低粘低切低失水,降低滤饼磨阻系数,在保证井下不漏不喷情况下尽可能地减少浮力。

(3)下PE管时,使用套管引鞋,并且在引鞋上要留3个 $\text{O}25 \text{ mm}$ 进浆孔;

(4)在下PE管时,下部采用定心盘( $\text{O}150 \text{ mm}$ )进行扶正,焊接时保证管口对直并做好预热保温措施,套管之间焊接要牢靠,且不能在焊接处形成台阶,严禁出现错位和对接不牢现象。

(5)由于PE管质量较轻,在下套管不顺利时,则用动力头作为助力,轻压(压力不能超过 $10 \text{ kN}$ )慢转(转圈不能超过15圈),以防破坏PE管。

### 5.2 固井

针对地层岩层含水大,在目的层(7、8号煤)以上要进行固井,而固井不能采用常规固井法,我们采取如下技术措施:

(1)自制一个阻流塞安放在钢套管内,位置在3号煤底板以下 $20 \text{ m}$ 处(3号煤层以下含水量极少)。

(2)下管前进行井径测井,计算准确固井水泥用量并对水泥做 $72 \text{ h}$ 的抗压强度试验,要求大于 $14 \text{ MPa}$ 。

(3)套管下完后,采用带 $4 \text{ in}$ 由壬的进水管头(自制)拧接在 $\text{O}139.7 \text{ mm}$ 生产套管上,将 $8 \text{ m}^3$ 稀泥浆(密度 $1.04 \text{ g/cm}^3$ )泵入替换阻流塞以上的原钻井泥浆,然后将稀泥浆全部用清水替换。再将配好 $7 \text{ m}^3$ (密度 $1.8 \text{ g/cm}^3$ )的油井水泥泵入,最后将塞子(木制,外径 $128 \text{ mm}$ )装入套管内水泥浆上面,装上泵进水管头;打入清水 $4 \text{ m}^3$ ,水泥浆返出地面,关闭阀门,固井候凝 $48 \text{ h}$ ,下 $\text{O}100 \text{ mm}$ 环状钻头钻开塞子和阻流塞。

### 5.3 洗井

针对保护煤层、提高产气量,特别是煤层中将钻井液在井壁形成的泥皮要溶解洗干净,我们采取如下技术措施:

(1)根据在煤层钻进的钻井液成分,配置清洗液在地面做小型实验,浸泡 $8 \text{ h}$ 后泥皮完全溶解。

(2)钻开固井时技术套管内的塞子和阻流塞后,采用带 $4 \text{ in}$ 由壬的进水管头(自制)拧接在 $\text{O}139.7 \text{ mm}$ 生产套管上,首先从水平井中注入稀泥浆(粘度 $20 \text{ s}$ ),从对穿直井中置换出井内泥浆。然后用清水将稀泥浆再替出。然后将用 $8 \text{ m}^3$ 清洗液注入8号煤即水平段,浸泡 $8 \text{ h}$ 后再用泥浆泵注入清水反复进行清洗钻孔,直到水清沙净。

(3)清洗液配方为:3%快T+3%柴油+4% D-SXP1+6% ABSN+水。

## 6 结语

两对水平连通井成功对穿,充分说明在松软、低透性煤层中实施地面水平连通井成井是完全可以实现的。该方法可推广应用于煤层瓦斯进行预抽放,可以降低矿井风排瓦斯成本,保证矿井安全生产。

### 参考文献:

- [1] 向军文. 定向钻进技术及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(9): 28-32, 36.
- [2] 王强, 柴宿县, 董梅. 盐井定向对接连通施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(11): 13-16.
- [3] 向军文, 陈晓琳. 定向对接连通井技术的发展及其展望[J]. 探矿工程, 2003, (1): 20-22.