

# 空气钻井技术在柳林煤层气井的应用

莫日和, 郭本广, 孟尚志, 姚勇, 林亮

(中联煤层气有限责任公司, 北京 100011)

**摘要:**空气钻井技术是煤层气高效开发的重要钻井技术,具有循环压耗低、携砂能力强、井眼净化好的特点,同时能有效防止井漏、保护储层、提高机械钻速等,但面临着井壁稳定、水动力条件等复杂的工程和地质难题,在柳林煤层气井施工中,开展了岩层特征、水文地质条件、煤层含水特性、泡沫钻井液设计等研究,针对地层特点,设计了适合空气钻井的配套工艺技术。通过柳林地区7口井的施工,钻井周期缩短50%,储层得到有效保护,直井产气量达到1000 m<sup>3</sup>/d,水平井产气量达15000 m<sup>3</sup>/d,初步取得了良好的示范效果,推广应用前景广阔。

**关键词:**空气钻井;水文地质;煤层气;钻井技术;柳林地区

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2012)02-0035-04

**Application of Air Drilling Technology in CBM Well of Liulin Area/MO Ri-he, GUO Ben-guang, MENG Shang-zhi, YAO Yong, LIN Liang** (China United Coalbed Methane Corporation, Ltd., Beijing 100011, China)

**Abstract:** Air drilling is an important drilling technology to effectively develop coalbed methane with the characteristics of low circulating pressure loss, strong carrying capacity, better hole cleaning and advantages of preventing wellbore leakage and protecting reservoir. But it also faces complicated engineering and geological problems such as wellbore stabilization and hydrodynamic condition. Research was conducted on rock strata features, hydrogeology condition, water saturation character and foam drilling mud design; and according to the formation characteristics, the matching technology suitable for air drilling was designed in Liulin district. During the construction of 7 coalbed methane wells in Liulin district, drilling period was shortened by 50%, reservoir was protected effectively, and the production of vertical wells and horizontal well reached 1000 cubic meters and 15000 cubic meters with great application prospect.

**Key words:** air drilling; hydrogeology; coalbed methane; drilling technology; Liulin district

## 0 引言

空气钻井作为一种新型钻井方法,是一种以空气、氮气为循环介质,用气体压缩机等设备作为增压装置,用旋转防喷器作为井口控制设备的一种欠平衡钻井工艺。空气钻进的工作原理是:以压缩空气为动力,驱动冲击器内的活塞进行高频往复运动,并使产生的功能不断传递到钻头上,使钻头获得一定的冲击力。同时,在动力头的带动下,使钻头在井底不停地改变冲击位置形成园状井筒。在潜孔锤钻进的同时,一部分破碎下来的岩屑被具有一定压力及速度的空气吹离井外,减少了重复破碎,从而提高了钻井效率。我们在柳林煤层气井施工中设计采用了空气钻井技术,并开展了岩层特征、水文地质条件、煤层含水特性、泡沫钻井液设计等研究,实践证明,取得了良好的效果。

## 1 地质概述

### 1.1 区块岩层特征

石盒子组、太原组地层节理发育,遭受过风化,较疏松,容易发生井漏;岩性以砂质泥岩、泥岩、粉砂岩、细砂岩为主,岩层粘土矿物含量高,以清水为循环介质钻进时造浆严重,会在井壁形成泥饼,影响机械钻速,严重时会造成缩径引起卡钻等复杂事故,另外在井壁上形成泥饼会影响煤层气产能,因此采用空气钻是从根本上解决该问题的好办法。

### 1.2 区块煤储层特性

柳林地区以石炭—二叠系中变质程度的烟煤为主,煤层有效厚度大,含气量高,煤层气资源条件优越。该地区具有复杂的演化史和变形史,煤储层构造改造相对强烈,导致该区煤储层普遍存在低孔、低渗、低压和高非均质性的特点。该区块煤层含气饱和度和变化范围较大,为27.40%~99.60%,平均为55.53%。含气饱和度总体偏低,处于欠饱和状态,山西组4(3+4)号煤层的渗透率在0.011~2.80 md之间,5号煤层的渗透率在0.06~2.26 md之间;太原组8+9+10号煤层的渗透率在0.005~24.80

收稿日期:2011-06-30;修回日期:2011-07-12

作者简介:莫日和(1969-),男(汉族),广东高州人,中联煤层气有限责任公司工程师,油气井工程专业,硕士,从事煤层气勘探、排采技术及管理工作,北京市安外大街甲88号,moh998@163.com。

md 之间。平均渗透率为 3.93 md。可见该区块煤层的渗透率相对较高,且变化范围较大,随煤变质程度及埋深的变化关系不明显,各向异性及非均质性显著,该区块 4(3+4)号煤层的储层压力为 2.58 ~ 8.33 MPa,平均为 5.79 MPa,压力梯度为 0.46 ~ 1.12 MPa/100 m,平均为 0.84 MPa/100 m;5号煤层的储层压力为 2.92 ~ 8.41 MPa,平均为 6.01 MPa,压力梯度为 0.60 ~ 1.11 MPa/100 m,平均为 0.83 MPa/100 m;8+9(8+9+10)号煤层的储层压力为 3.31 ~ 7.46 MPa,平均为 6.47 MPa,压力梯度为 0.53 ~ 1.174 MPa/100 m,平均为 0.85 MPa/100 m。可见该区块内储层压力较大,压力梯度一般小于静水压力梯度(0.98 MPa/100 m),为低压异常状态。因此,想在该区获得高产,储层保护尤为重要。采用空气钻井将大大有利于保护储层,从而获得高产。

### 1.3 区域水文地质条件

区域主要含水层有奥陶系及石炭系灰岩岩溶、裂缝含水层;二叠、三叠系砂岩裂缝含水层;第三、第四系砂砾石(岩)孔隙含水层。

石炭系上统太原组灰岩岩溶、裂隙含水层由 5 层灰岩组成,总厚度约 20 m 左右,出露范围小,岩溶、裂隙一般不太发育,岩溶以溶隙、小溶孔为主,且多被方解石充填,富水性较弱;区块东缘浅埋区一带,岩溶发育,呈蜂窝状,连通性好,接受补给容易,富水性较强。由于岩溶裂隙发育的不均一性,富水性在不同地点差别较大。水位标高在 789.31 ~ 814.74 m 之间,水型多为  $\text{Na}_2\text{HCO}_3$  和  $\text{NaCl}$  型,矿化度为 1190 ~ 3210 mg/L。

二叠系砂岩裂缝含水层,由透镜状或席状砂岩组成,水型以  $\text{Na}_2\text{HCO}_3$  为主,矿化度 370 ~ 770 mg/L,水位标高 789.31 m,含水性弱。

三叠系砂岩裂隙含水层,富水性较差,地表有季节泉出露,水量一般在 1.0 L/s 左右。

第三系、第四系砂砾石(岩)孔隙含水层地层中孔隙发育,接受大气降水补给,形成孔隙潜水,受地形、补给条件及其分布面积的限制,富水性一般不强。

地层含水性分析表明,该区适合采用空气钻井。

### 1.4 煤层含水性

柳林试验区煤层水来源受区域水文地质条件制约,主要有地表水和含水层水,断层水不发育。地表水源主要是三川河流水,在试验区东部上游区域,河水向煤系注入或渗透,对煤层水起到一定补给作用。区域含水层是试验区煤层水的主要来源,它的强弱

决定了煤层水的大小。柳林地区生产井产水量变化很大,北部区块产水量很大,而南部区块产水量很小,大体上是北高南低,东高西低,与构造走向基本一致。南部地区煤层顶、底板皆为泥质岩,供水性差,渗透到煤层中的水极少,因此适合空气钻井。

## 2 钻井设备选择

与常规煤层气清水钻井工程类似,煤层气空气钻井装备的选择既要安全地实现钻探目的,又要最大限度地降低成本,通过对比分析,我们选用美国雪姆 T685WS 或 T130XD 型钻机(图 1),其主要配套设备及其性能指标如下。



图 1 施工现场雪姆空气钻井配套设备

### 2.1 动力系统

康明斯 QSK19-C 型发动机,转速 1800 r/min,功率 563 kW。从曲轴前法兰盘向液压泵提供动力,从飞轮一端驱动空压机。

### 2.2 回转及提升系统

由全自动液压系统高性能动力头驱动,提升能力 450 kN,扭矩 12045 N·m,回转能力 0 ~ 143 r/min 可调,体积小、效率高、性能可靠。

### 2.3 井架结构

井架全部采用焊接的 ASTM A500B 级矩形钢管结构,总长 15 m,总宽 1.073 m,能够满足提升 11.58 m 长度的钻具和套管。井架底部的滑块箱内有用于  $\varnothing 114$ 、203 和 368 mm 标准钻杆和套管的滑块套子。所有滑块打开时,井架底部的开口直径为 711 mm。

### 2.4 空压机系统

两段螺杆式油冷却压缩机,配有空气释放控制,ASME 认证的空气/油箱、安全阀、油冷却剂、恒温计和高排放温度安全停机。1950 r/min 下排量 35.7  $\text{m}^3/\text{min}$ ,排放压力 2.41 MPa。

为保证钻深压力的需要,外配美国产英格索兰 1070 型空气增压机,或者寿力 900XHH/1150XH 型空气增压机,排气量 31 ~ 38  $\text{m}^3/\text{min}$ ,增压达 10 MPa。

### 3 空气钻井技术

#### 3.1 液压顶驱动力头钻进工艺

它既可以回转钻进又可以冲击钻进。钻机的液压顶驱回转动力头可以直接加压,使一开钻就可将钻压增至 100 kN,提高了钻进速度。

#### 3.2 空气潜孔锤冲击钻井技术

空气潜孔锤冲击钻进以冲击为主要破岩方式,高压空气既作为冲击的动力,又作为循环介质,清理冷却钻头、排出井筒岩屑和克服井内水压。

#### 3.3 空气泡沫潜孔锤钻井技术

在选择潜孔锤冲击钻进时,可以用空气并加注泡沫剂作为循环介质,在孔径较大、地层不稳定或孔内涌水较多时,通过泡沫泵将水和泡沫剂的混合物喷入高压空气中来提高钻进效率。

## 4 现场实施

### 4.1 钻具组合

一开钻具组合为:Ø311 mm 潜孔锤钻头 + Ø159 mm 钻铤 × 3 根 + Ø159 mm 接头 + Ø114 mm 钻杆。

二开组合为:Ø215.9 mm 潜孔锤钻头 + Ø159 mm 钻铤 × 9 根 + Ø159 mm 接头 + Ø114 mm 钻杆。

### 4.2 钻进参数

一开:钻压 10 ~ 30 kN;转数 40 ~ 60 r/min;气体排量 20 L/s;气压 0.1 ~ 0.5 MPa。

二开:钻压 10 ~ 50 kN;转数 20 ~ 60 r/min;气体排量 20 ~ 30 L/s;气压 1.5 ~ 2.5 MPa。

### 4.3 循环介质

上部井段出水量很小,可以忽略,适合采用干气体钻井,下部石灰岩含水,钻进过程中会遇到地层出水,需要采取雾化和泡沫携水措施来应对。根据柳林示范点目标区块的综合地质、煤储层特性,为满足安全钻井作业的需要,要求煤层气微泡钻井液体系密度 0.80 ~ 1.0 g/cm<sup>3</sup>;微泡钻井液抗温 100 ℃;钻井液体系使用后煤储层的渗透率恢复值 85% 以上;体系承压 ≥ 15 MPa;体系稳泡时间 12 ~ 72 h;破胶 24 h 体系粘度 < 5 mPa·s;渗透率恢复值 85% 以上;消泡后,油水表面张力 < 35 mN/m。维护措施:

(1) 实时监测钻井液性能,根据现场情况及时预判并调整钻井液性能;

(2) 配制固体处理剂胶液,若需调整性能时,根据情况加入胶液,防止钻井液性能有较大波动;

(3) 严格控制钻井液中固相含量,要求现场配备振动筛,若有固相进入钻井液,可通过振动筛予以清除,控制钻井液密度;

(4) 若钻井液在井下停留时间较长,应在钻井液中加入适量除氧剂,防止处理剂变质及对井下金属的腐蚀;

(5) 严格控制钻井液 pH 值,pH 值达不到要求,应加入 NaOH 调节;

(6) 作业完成,可根据要求加入破胶剂加速破胶返排投产。

### 4.4 防斜措施

传统的钻探工艺为了使钻孔垂直,一般采用轻压吊打的办法,精确度低,钻进速度慢。我们在 T685WS 型钻机上配置了直孔纠斜的定向钻井工艺技术,使之能有效防斜和纠斜,井斜及全角变化率全部满足技术要求。

### 4.5 施工要点及注意事项

(1) 下钻前应对冲击器进行地面试验,确认冲击器工作正常后方可下钻。

(2) 下钻时速度不能过快,如果遇阻可人力转动钻具,不能猛蹾钻头和冲击器。

(3) 钻进正常后,应及时开启机油滴注器为冲击器加注润滑油,以防冲击器干磨卡死。

(4) 严禁钻具在不回转时进行钻进,否则容易使井眼形成键槽,造成回转阻力增大,扭断钻具或造成井斜。

(5) 随着井深的增加,井内压力逐渐增大,若在冲击器进行工作时井口出现不返渣的情况,应及时上下活动钻具,有条件的可向井内加注一些泡沫液进行排渣,直到岩屑排净才能继续钻进。

(6) 钻进时严密监视空气和岩屑上返情况,遇有坍塌和漏失地层,要及时加注泡沫剂,确保岩屑正常上返,以防埋钻事故。如遇严重坍塌,则应及时采取措施或更换为常规泥浆钻进工艺。

(7) 由于空气不可能悬浮岩屑,空气钻井时,起钻或接单根前必须进行充分循环,将井下钻屑或其他沉积物带到地面。循环时间长短取决于井下情况,具体应观察排岩管线出口,确认钻屑含量明显降低了,才能开始起钻或接单根作业。

(8) 观察分析取出岩屑的粒度、湿度和返量,判断井下出水量大小及井壁稳定性,根据不同情况分别采取循环、增大注气量、雾化钻进等措施。

## 5 实际效果

### 5.1 钻井效果

利用欠平衡技术在柳林区块钻直井 6 口,平均钻井周期 12 天,平均井深 767 m,而在同一地区,采

用常规清水钻井,平均钻井周期23天,平均井深780 m,该技术的应用大大提高了钻井速度,取得了显著的经济效益。

其中CLY-27井自二开起完全采用空气钻进技术,迅速穿过4层煤层,自702 m处完钻,空气钻进突破700 m大关,同时也创造了空气钻煤层气井最深记录,创造了84 h完钻的新纪录。

## 5.2 防斜效果

采用空气钻井施工的6口直井,在大幅提高机械钻速的情况下,井斜及全井全角变化率均满足设计要求,井身质量好,测井作业顺利。

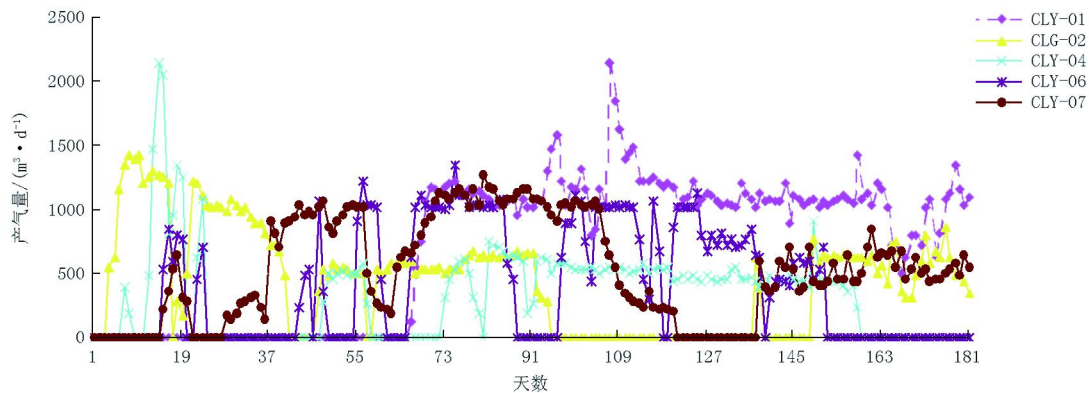


图2 柳林地区直井排采曲线图

采用空气钻进的CLH-04v水平井,产气量突破了15000 m<sup>3</sup>/d,创造了该区水平井最高纪录。而没有采用空气钻的CLH-03v水平井,由于井漏等原因污染了煤储层,产气量较低(图3)。

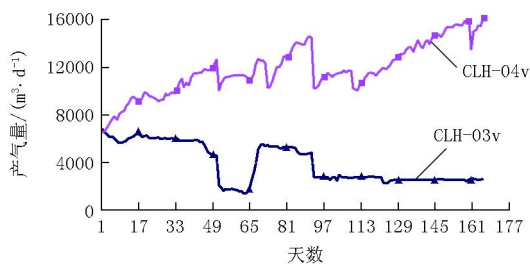


图3 柳林地区水平井排采曲线图

## 6 结论

(1)美国雪姆T130XD及T685WS型钻机体现了其“机动灵活、安全可靠、实用高效”的优越性能。

(2)在选择潜孔锤冲击钻进时,可以用空气并加注泡沫剂作为循环介质,在孔径较大、地层不稳定或孔内涌水较多时,通过泡沫泵将水和泡沫剂的混合物喷入高压空气中来提高钻进效率。

(3)这种施工工艺对环境影响很小,工人的劳动强度也大大降低,所产生的整体经济效益也非常

## 5.3 防井漏效果

在该区所钻的6口直井中,均没有发生井漏事故;在该区所钻的2口水平井中,其中CLH-04v是采用空气及泡沫钻井,没有或者井漏轻微,而CLH-03v井采用清水钻进,钻井过程中发生多次井漏事故。

## 5.4 储层保护效果

储层保护效果显著,在已进行压裂和排采的12口井中(采用的压裂和排采工艺和方式完全相同),作为该批唯一使用空气钻的CLY-01井排采效果最好,产气量稳定在1000 m<sup>3</sup>/d以上,而其余井产气量不稳定,基本维持在500~800 m<sup>3</sup>/d(图2)。

显著,更为重要的是用欠平衡方式钻进,对储层污染少、伤害小,对提高单井产量起到了重要作用。

(4)在易斜的井,采用空气锤钻进可有效控制井斜,并大幅提高机械钻速。

(5)形成了柳林地区烟煤储层采用气体钻井的示范技术,该技术是鄂尔多斯盆地的首次规模化应用,并创下了在国内煤层气钻井中最深记录,为钻井提速、避免漏失、节约开发成本及储层保护提供了有效技术示范作用。值得在该区推广使用。

## 参考文献:

- [1] 胡辰光,等. 钻探工程技术及标准规范实务全书[M]. 安徽合肥:安徽文化音像出版社,2003.
- [2] 王兴隆. 煤层气开发钻井技术[C]. 2008年煤层气学术研讨会论文集[C]. 北京:地质出版社,2008.
- [3] 许刘万,刘智荣,赵明杰,等. 多工艺空气钻进技术及其新进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10).
- [4] 黄洪春,卢红. 用空气钻井开发晋城煤层气技术研究[J]. 煤田地质与勘探,2003,(4).
- [5] 徐泓. 空气钻井技术在普光4-2井中的应用[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2010,32(2).
- [6] 朱玉新,房雪峰,曹可以. 两种工艺钻进技术在煤层气生产开发井中应用[J]. 能源技术与管理,2010,(4).
- [7] 张冠军. 煤层气井快速钻进和气层保护技术[J]. 山西科技,2010,25(2).