

# 充气钻井技术在大庆油田的应用

周英操<sup>1</sup>, 王广新<sup>2</sup>, 赵德云<sup>2</sup>, 刘永贵<sup>2</sup>, 陆凤德<sup>2</sup>

(1. 大庆石油管理局钻探集团, 黑龙江 大庆 163411; 2. 大庆石油管理局钻探集团钻井工程技术研究院, 黑龙江 大庆 163413)

**摘要:**升深 2-17 井是大庆油田第一口充气钻井。该井采用立管充氮气的钻井技术, 在钻探过程中, 通过对充气钻井工艺技术、配套设备的优选等进行研究, 应用井底压力温度测试技术, 在国内第一次实测出充气钻井井底压力温度变化情况, 保证充气钻井的成功, 有效地解决了该区块地层可钻性差、岩石硬度高以及低压低渗火山岩储层易受污染等问题, 大幅度提高了深井钻井速度, 保护了储层。该井钻进营城组火山岩储层 2914 m 时点火成功, 火焰高达 10 m, 取得了较好的效果。介绍了充气钻井工艺技术和设备配套, 以及升深 2-17 井的充气钻井实验过程和取得的效果。

**关键词:**大庆油田; 升深 2-17 井; 充气钻井; 欠平衡; 氮气

**中图分类号:** TE242.9    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1672-7428(2008)09-0051-04

目前, 大庆外围勘探的重点之一是长垣东部深层气, 由于火山岩储层岩性与孔隙结构比较复杂, 在常规钻探过程中易受污染, 导致产能较低, 近几年来, 通过欠平衡钻井技术的应用, 取得了一定效果。但是由于地层可钻性较差, 岩石硬度高, 因此机械钻速仍然很低, 另外, 由于低压高渗地层比较多, 采用常规的流钻欠平衡钻井技术, 钻井过程中仍然出现井底过平衡的情况, 储层仍然受到一定的污染。而充气钻井技术, 能够有效地降低钻井液密度, 及时发现和保护油气层, 对于坚硬的地层, 可大大提高机械钻速, 缩短钻井周期、降低综合成本。在国外, 美国和加拿大是最早进行充气钻井实践的国家; 在国内, 充气钻井在辽河、新疆、胜利、中原等油田都应用过。辽河油田从 1986 年开始到 1996 年, 先后在 48 口井上应用了充气钻井液技术, 钻井液充气后最低密度可达到  $0.60 \text{ g/cm}^3$ , 应用的井深一般都小于 3000 m。新疆油田从 1988 年到 1996 年完成了 5 口充气钻井, 但充气段最大的井深也只有 1705 m。胜利油田 1999 年在埕 741-平 1 井上开展了充气钻井试验, 在低固相基浆中充氮气, 基浆密度为  $1.05 \text{ g/cm}^3$ , 充气的气液比为 4:1, 井深 3400 m, 静态下井底当量密度为  $0.87 \text{ g/cm}^3$ , 动态井底当量密度为  $0.90 \text{ g/cm}^3$ ; 2001 年胜利油田在云参 1 井上应用了充气钻井技术并获得成功。中原油田在毛 8 井上应用了充气钻井液技术, 在清水中以  $600 \text{ m}^3/\text{h}$  的充气体量充气, 在 2000 m 的井底, 钻井液的当量密度为

$0.95 \sim 0.96 \text{ g/cm}^3$ 。他们都取得了很显著的成果。在大庆外围深层升深 2-17 井实施充气钻现场试验, 取得了很大成功, 该井是国内首次采用井底压力测试技术, 第一次实测出充气钻井的井底压力温度变化情况。该技术能大幅度的提高机械钻速, 缩短钻井周期, 及时发现和保护油气层。

## 1 充气钻井技术

### 1.1 充气钻井

充气钻井就是指钻井时将一定量的可压缩气体通过充气设备注入到液相钻井液中作为循环介质的钻井工艺。常用注入气体主要是空气和氮气, 此外还有二氧化碳、天然气和柴油机尾气, 但这些使用得较少。

### 1.2 充气钻井技术的特点

#### 1.2.1 优点

- (1) 可以满足地层压力系数  $< 1$  的低压目的层的欠平衡钻井;
- (2) 充气钻井液密度调节范围较大, 适应性强, 当量密度在  $0.5 \sim 0.9 \text{ g/cm}^3$  之间;
- (3) 能够有效解决低层出水问题, 最大程度地降低井底压差, 减少对地层损害;
- (4) 充气钻井的钻井液可以利用常规钻井液充气, 成本较低;
- (5) 充气钻井液携屑性能更好;
- (6) 可以减少钻具磨损和井下钻具着火的危

收稿日期: 2006-02-08

作者简介: 周英操(1962-), 男(汉族), 黑龙江佳木斯人, 大庆石油管理局钻探集团副总经理兼总工程师、教授级高级工程师, 大庆石油学院博士后, 油气井工程专业, 工学博士, 从事钻井科研与管理工, 黑龙江省大庆市乘风庄, (0459)5686039, zhouyingcao@zys.dq.cnpc.com.cn。

险;

(7)能够提高机械钻速,提高钻头进尺,大幅度提高钻机作业效率;

(8)可采用常规测井和常规固井;

(9)基液可采用水基钻井液,地面脱气效果好,环境污染小。

### 1.2.2 缺点

(1)如果充空气需要进行更广泛的腐蚀控制;

(2)不适于高压高产储层;

(3)存在井筒稳定问题(包括化学和物理作用),因此存在井塌的危险;

(4)遇到高压水层会产生技术上的困难;

(5)钻杆内为多相流动,如果环空有地层流体进入,其控制更加困难。

### 1.2.3 充气钻井适用地层

(1)坚硬的地层;

(2)溶洞、裂缝地层;

(3)低压产层。

### 1.2.4 充气钻井的气体注入方式

从流体性质看,充气钻井属于不稳定气液两相流体。按充气方式分为地面注入法(立管注入法)和强化充气法(寄生管、同心管法、连续油管注入法等)。

(1)立管(钻杆)注入法:直接通过钻杆将气体注入井下。

(2)寄生管注入法:将一根下端接有注气短节的油管下在套管外面,并在固井时将其封固在环空中。钻进时,钻井液通过钻杆流到井底,同时通过寄生管将气体泵到井下的环空中与钻井液混合,以达到欠平衡钻井条件。

(3)同心管注入法:事先将一根直径小于表层套管的管柱下到表层套管内,钻进时,通过两层套管间的环空将气体注入到井下以降低钻井液液柱对地层的压力。

(4)连续油管注入法:通过连续油管将气体注入到井下,使之穿过钻头从连续油管与井壁之间的环空返出。

强化充气法主要是解决立管法注入井内的两相流的不稳定、流态变化大、脱气严重,特别是在井深比较深时,往往不能通过加大气量的方法降低钻井液当量密度等问题,从而改善流态,减少段塞流和环雾流。

立管注入法的优点是简单,不影响井身结构设计,能降低整个循环系统密度。缺点是不能使用

MWD和LWD随钻测量系统;由于排量的限制,井下马达参数优选受限。寄生管法和同心管法由于成本较高、工艺复杂(专用井口装置)、缩小井眼(同心管法)等缺点,应用得很少。

### 1.2.5 充气钻井的工艺流程

升深2-17充气钻井注入的气体为氮气,所用钻井液为水基泥浆,注入方式为立管注入。其工艺流程见图1。

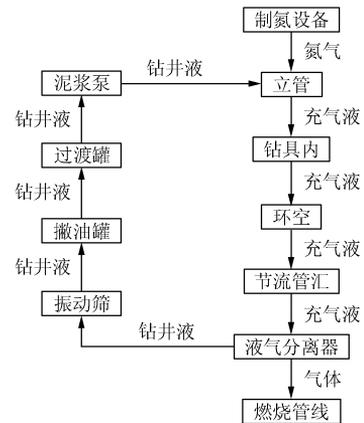


图1 升深2-17充气钻井工艺流程图

工艺流程分为体内循环和体外循环。

#### 1.2.5.1 体内循环系统流程

泥浆泵→钻具内→环空→Williams7100EP旋转控制头 $\varnothing 179$  mm旁侧出口→泥浆出口管线→振动筛→泥浆泵。

#### 1.2.5.2 体外循环系统流程

制氮设备分离出的氮气,带有一定的压力经过油管进入立管,与基液混合,一起进入钻杆内。由井眼→环空返到井口,经四通→节流管汇→液气分离器进行液、气分离。气体进入燃烧管线。如果地层没有气体进入,就不用点火,直接由燃烧管线把氮气排入大气中;如果有地层气体进入,就得点火烧掉。分离出的含有固相的液体,经震动筛,把固相分离出去,液体进入撇油罐,分离出来的油进入储油罐,钻井液经砂泵抽到常规固控系统进一步固控,然后重新进入井内,实现循环。

#### 1.2.6 充气钻井地面配套设备

充氮气钻井地面设备与常规欠平衡钻井相比,只需增加一套气体注入设备(空气压缩机、氮气分离装置、氮气增压机、注入管线)。

#### 1.2.7 环空气液混合流体特征分析

从井底环空到井口的上返过程中,混合物结构处于动态变化中,流态为非线性两相流。随着液柱压力降低、温度的下降,小气泡结为大泡,混合物中

气体体积增加,由泡状流变为段塞流,再进一步变为过渡流。井筒中上部为段塞流和过渡流段,该井段为流态不稳定区。混合物到达井筒上部井段,气泡体积更大,形成环状流,流速增加。

## 2 充气钻井在大庆油田的应用

### 2.1 基本情况

升深 2-17 井是大庆第一口充气钻井,位于黑龙江省安达市升平镇东约 2.0 km,属于松辽盆地北部东南断陷区徐家围子断陷带北翼斜坡带升平-兴城构造,该井三开井深为 2517 m,完钻井深 3150 m,目的层为登娄库组、营城组。完钻层位为营城组。该井地层压力系数:登娄库组为 0.92,营城组为 1.15。

该井井身结构采用 3 层套管结构,其钻具组合采用的仍然是常规欠平衡钻井的满眼钻具组合,但是在充气钻进前,需要在顶部第一根钻杆加一个箭形回压阀,以后每钻进 300 m 再增加一个箭形回压阀。具体组合是:Ø215.9 mm 钻头 + Ø214 mm 稳定器 + Ø165 mm 随钻测压工具 + Ø214 mm 稳定器 + Ø159 mm 钻铤 1 根 + Ø214 mm 稳定器 + Ø159 mm 减震器 + Ø159 mm 钻铤 2 根 + Ø214 mm 稳定器 + Ø159 mm 钻铤 3 根 + Ø214 mm 稳定器 + Ø159 mm 钻铤 18 根 + Ø127 mm 加重钻杆 9 根。

### 2.2 现场试验情况

2005 年 6 月 24 日~7 月 16 日在升深 2-17 井三开的 2517~3150 m 井段,进行了充气循环试验、充气钻井钻进速度试验、气层充气钻井试验和井底压力测量试验等。在登娄库组,主要开展不同气液比提高钻井速度试验,气液比为 12:1~20:1,在营城组开展充气钻井试验,充气钻井实现了钻进过程中点火成功,即实现了欠平衡钻井,地层出气量在 11000 m<sup>3</sup>/h,压力为 25~27 MPa。该井试验过程中利用了井底压力测试技术,在国内首次实测出井底压力温度数据,取得了较好的效果。

### 2.3 现场试验分析

#### 2.3.1 不同气体排量循环井底压力和当量密度情况

注气量分别为 500、900、1250 m<sup>3</sup>/h,各循环一周,基液排量选择 25 L/s,密度 1.07 g/cm<sup>3</sup>。其泵压、井底压力和当量密度的关系见表 1,井底压力值取自测压接头的实测数据。从表 1 可以看出,当氮气排量达到 1250 m<sup>3</sup>/h 时,井底压力当量密度降低到 0.87 g/cm<sup>3</sup>。

表 1 不同时间气体排量、泵压、井底压力、当量密度

氮气排量 /(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	液体排量 /(L·s <sup>-1</sup> )	泵压 /MPa	井底压力 /MPa	当量密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )
500		10	25	0.99
850	25	10	24	0.95
1250		10	22	0.87

#### 2.3.2 充气量对井底压力的当量密度降低值的影响

升深 2-17 井应用井底压力测试技术测量的实际井底压力数据,对比不同充气量及常规钻井的井底压力,得到不同充气量对井底压力的当量密度影响规律,随着井深增加井底压力当量密度降低值减少,随着充气量的增大,井底压力当量密度降低值增大(见图 2)。

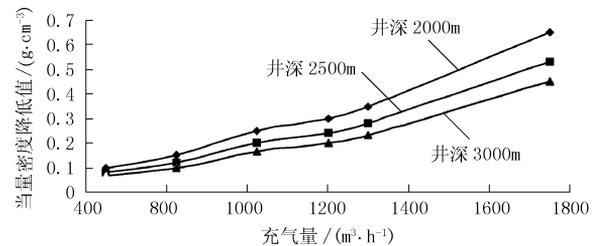


图 2 不同井深、不同充气量对井底压力当量密度降低的影响曲线图

#### 2.3.3 实测的井底压力为理论计算提供依据

该井从三开充气欠平衡井段下入测压接头,2005 年 6 月 25 日第一次下入井深 2517~2680 m,2005 年 6 月 30 日进行现场应用,下入井深从 2680~3150 m,实测出起下钻、正常钻进、接单根、充气钻进等不同钻井工况下的井底压力温度变化情况,应用效果较好,为理论计算提供依据。见图 3。

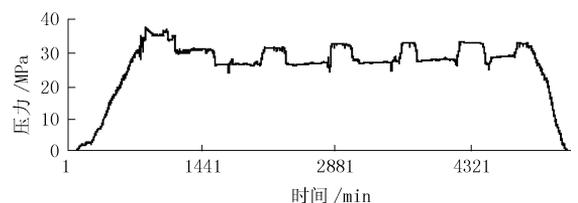


图 3 井深 2680~2869 m 不同工况井底压力变化图

#### 2.3.4 充气钻井能够大幅度提高钻进速度

为了对比充气钻井和常规钻井的钻速变化规律,我们从登四段到登二段,采取充气钻井和常规钻井交替进行的方式;为增加对比的科学性,我们采取同层位对比;为消除地层岩性偶然性引起的不正常数据,我们采取分段平均的方式。

在登四段,充气钻井进尺 71 m,充气量为 800~1200 m<sup>3</sup>/h,平均气液比为 12:1,充气钻井比常规钻井钻速提高 26.9%。在登三段,充气钻井进尺 47

m, 充气量为  $1600 \text{ m}^3/\text{h}$ , 平均气液比为 15:1, 充气钻井比常规钻井提高钻速 37.5%。在登二段, 充气钻井进尺 74 m, 充气量为  $1600 \sim 1800 \text{ m}^3/\text{h}$ , 平均气液比为 20:1, 充气钻井比常规钻井提高钻速 64.0%。

### 2.3.5 充气欠平衡钻井能够有利于储层的发现

升深 2-17 井井深 2864 m 进入营城组以后, 主要开展了充气欠平衡钻井试验。在 7 月 7 日和 7 月 9 日充气钻进中点火成功, 但由于地层出气量很大, 形成二次充气, 进一步降低了井底压力, 增加了欠压值, 导致更多的地层出气。套压很快达到 7 MPa, 地面流量也急剧增加到  $11000 \text{ m}^3/\text{h}$  的流量计最大量程。为了安全, 决定压井, 改为常规钻井。

根据分析得出地层压力系数为 1.15, 该井在没有充气过程中基本上属于过平衡钻进, 在充气量达到  $500 \text{ m}^3/\text{h}$  时, 井底开始出现负压钻进状态, 在充气量  $1600 \text{ m}^3/\text{h}$  时, 井底负压值在 4~4.5 MPa 之间。

### 2.3.6 充气钻井软件与实测井底压力对比

该井采用钻井工程技术研究院研制开发的充气欠平衡计算软件与实测的井底压力进行对比, 充气欠平衡计算软件计算最低当量密度  $0.91 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 实测的数据计算结果为  $0.89 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 软件误差大约 2.5%, 因此该充气欠平衡计算软件在计算理论和软件计算水平上都处于较高的水平。

## 2.4 充气钻井取得的效果

(1) 使用充气钻井液有效地增加了气液比, 大大提高了机械钻速, 试验表明在相同条件下随充气量的增加, 机械钻速相对提高。

(2) 由于充气提高了环空返速, 有利于携带岩屑, 即使在较低的泵排量和较低的钻井液切力的情况下, 仍具有良好的携带能力, 满足了深井钻井的要求。

(3) 由于充气有效地降低了钻井液的当量密度 (该井最小达  $0.87 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), 对于保护和发现油气层起到了重要的作用。

(4) 该井实现了欠平衡钻井, 共 6 次点火成功, 其中在 7 月 7 日 22 时 25 分充气钻进至 2914 m 时, 点火成功, 火焰高度在 10 m 左右, 总烃从 1.13% 持续上涨到 86%, 气体流量最大达到  $11000 \text{ m}^3/\text{h}$ , 因出气量太大无法正常钻进, 决定压井, 次日 2 时火焰熄灭, 压井成功。

## 3 结论与认识

(1) 使用充气钻井液有效地增加了气液比, 大大提高了机械钻速。试验表明, 在相同条件下随充气量的增加, 机械钻速相对提高, 缩短了钻井周期。

(2) 由于充气提高了环空返速, 有利于携带岩屑, 即使在较低的泵排量和较低的钻井液切力的情况下, 仍具有良好的携带能力, 满足了深井钻井的要求。

(3) 由于充气有效地降低了钻井液的当量密度 (该井最小达  $0.87 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), 对于保护和发现油气层起到了重要的作用。

(4) 需要严格监视钻时、地面气体流量、泥浆罐液面、立压、套压和烃值变化, 发现问题及早解决。

(5) 在井底出气量很大的情况下, 液气分离器难以分离干净气体, 一部分气体就和泥浆一起通过缓冲罐的旁通进入过渡罐, 假如气体在过渡罐中遇到一点火花, 都可以使过渡罐发生爆炸, 危及整个井场。

## 参考文献:

- [1] 周英操, 刘永贵, 王广新. 欠平衡井底压力采集系统的研制与应用[J]. 石油钻采工艺, 2004, 26(2): 28-31.
- [2] 刘永贵, 邵天波. 井下压力温度测试工具的开发应用[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(6): 27-31.
- [3] 周英操, 翟洪军. 欠平衡钻井技术与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 8-12.
- [4] 李相方, 庄湘琦, 隋秀香, 等. 气侵期间环空气液两相流动研究[J]. 工程与热物理学报, 2004, 25(1): 73-76.
- [5] 杨虎. 欠平衡压力钻井环空气量对井内各流动参数的影响[J]. 石油钻探技术, 2001, 29(1): 15-16.

(上接第 61 页)

(2) 新型齿形复合片结构在国内是首次研制和应用, 属于国内首创。

(3) 研制的钻头胎体端部三角形支撑, 复合片的光滑镜面, 加长保径规及水路设计是合理和科学的。

(4) 三高复合片在钻进过程中耐磨, 不碎不掉, 强度高。

(5) 新型齿形复合片钻头在硬致密泥岩中是常规复合片钻头钻速的 1.5 倍, 寿命的 4 倍。

## 参考文献:

- [1] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [2] 孙明光. 新型 PDC 钻头设计[J]. 石油钻采工艺, 2000, 22(2): 31-34.
- [3] 王克维. 混镶金刚石钻头研制及应用[J]. 石油钻采工艺, 2003, 25(5): 5-7.