

大庆油田超短半径水平井钻井技术

官 华¹, 郑瑞强¹, 范 存¹, 徐月庆¹, 耿晓光¹, 张朝纯²

(1. 中国石油大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院, 黑龙江大庆 163413; 2. 顺通井下技术服务公司, 辽宁盘锦 124010)

摘 要: 针对超短半径水平井钻井存在的造斜段井眼曲率大于 $10^\circ/\text{m}$ 、常规钻具无法顺利通过大曲率造斜段、筛管完井困难等技术难题, 大庆油田成功研制了旋转自封器、 $\phi 139.7 \text{ mm}$ 导向锚定系统、多功能导向管、高强度柔性钻杆、特制 $\phi 117.5 \text{ mm}$ 三牙轮钻头等工具, 形成了一套较为完善的超短半径水平井钻井技术。该技术采用纯机械造斜原理, 不需弯螺杆等动力钻具即可完成 3.2 m 曲率半径的造斜段施工, 造斜能力达到 $(15^\circ \sim 20^\circ)/\text{m}$; 高强度柔性钻杆的应用确保了井下钻具组合顺利通过大曲率造斜段及水平段的稳斜钻进; 并实现 $\phi 117.5 \text{ mm}$ 井眼防砂筛管完井, 满足后续修井作业要求。自 2009 年以来, 大庆油田已完成 16 口超短半径水平井施工, 平均钻井周期 12.14 d, 平均井眼曲率 $15.21^\circ/\text{m}$, 中靶率 100%。介绍了大庆油田超短半径水平井钻井技术的关键技术研究与应用情况。

关键词: 超短半径 水平井 柔性钻杆 套管开窗 杏-平 G2 井 大庆油田

中图分类号: TE243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2011)05-0019-04

Ultra-Short Radius Horizontal Well Drilling Technology in Daqing Oilfield

Gong Hua¹, Zheng Ruiqiang¹, Fan Cun¹, Xu Yueqing¹, Geng Xiaoguang¹, Zhang Zhaochun²

(1. Drilling Engineering Technology Research Institute of Daqing Drilling & Exploration Engineering Corporation, Daqing, Heilongjiang, 163413, China; 2. Shuntong Downhole Operation Technology Services Company, Panjin, Liaoning, 124010, China)

Abstract: The ultra-short radius horizontal well technology can effectively develop thin, vertical fracture, heavy crude and low permeability reservoirs. The technical principles of this technology and the specially designed drilling tools for Daqing Oilfield were introduced. The fast milling in $\phi 139.7 \text{ mm}$ casing, the short radius build-up/holding and the whole well reverse circulation in $\phi 117.5 \text{ mm}$ borehole were introduced. The advantages of this technology were analyzed. Using Well Xing-Ping G2 as an example, the field application of this technology was introduced in detail. The results show that the liner completion operation in this well was achieved successfully which lays a foundation for continuous production and the necessary workovers. Since 2009, this technology has been used in 16 ultra-short radius horizontal wells in Daqing Oilfield with the maximum curvature of $16.93^\circ/\text{m}$ and targeting rate of 100%.

Key words: ultra-short radius; horizontal well; flexible drill pipe; casing window; Well Xing-Ping G2 Daqing Oilfield

20 世纪 80 年代初, 美国 Petrolphysics 公司和 Bechtel 公司开发出一种新的特殊钻井技术——超短半径水平井技术^[1-3]。该技术能使死井复活, 大幅度提高油井产量和原油采收率, 且能降低钻井成本, 是油田老井改造、油藏挖潜和稳产增产的有效手段, 尤其适合于薄油层、垂直裂缝、稠油、低渗透等油藏的开发^[4-6]。但该技术是当前的高难度钻井技术之

一, 其技术难点主要有: 1) 如何实现井眼曲率大于 $10^\circ/\text{m}$ 的造斜段的施工; 2) 常规钻具无法通过井眼

收稿日期: 2011-04-19; 改回日期: 2011-08-12。

作者简介: 官华(1981—), 男, 黑龙江兰西人, 2003 年毕业于石油大学(华东)勘查技术与工程专业, 工程师, 主要从事水平井钻井工艺技术研究。

联系方式: (0459)4893151, gh_dq@126.com。

曲率 $10^{\circ}/\text{m}$ 的高曲率造斜段,水平段如何进行后续施工;3)如何实现筛管完井,防止井壁坍塌,并为后续的冲砂等修井作业提供便利。

大庆油田针对该技术难点,研制了专用的井下工具,解决了施工难题,逐渐形成了超短半径水平井钻井配套技术。该技术在大庆油田16口井进行了成功应用,对该油田老区块套损井、报废井、低产井等的二次开发起到了很好的效果。

1 技术原理

超短半径水平井工艺首先利用特制开(修)窗一体化高效铣锥进行大角度套管开窗,下入特制的造斜钻具组合,通过转盘带动造斜钻具驱动 $\phi 117.5\text{ mm}$ 造斜钻头,采用纯机械造斜原理,利用特制造斜工具,不需弯螺杆等动力钻具即可完成 3.2 m 曲率半径的造斜段施工,造斜能力达到 $(15^{\circ}\sim 20^{\circ})/\text{m}$,造斜段长度仅为 5 m 。水平段采用 $\phi 117.5\text{ mm}$ 水平钻头总成与水平钻具组合实现稳斜钻进,水平段钻进达到设计要求后,根据不同储层特点可以采用裸眼、多功能导向管、筛管等三种方式完井,满足了不同油层的完井需求。

2 特制工具的研制及主要施工工艺

2.1 特制工具

旋转自封器 地面井口密封装置可以在反循环旋转钻进过程中密封井口。动态旋转密封 9 MPa ,静态密封 15 MPa ,满足了反循环钻井施工条件。

$\phi 139.7\text{ mm}$ 导向锚定系统 该系统共计6个定位键,分两层,每层3个,可实现轴向和径向双重锚定。与常规导向系统相比较,该系统缩短了导斜面长度、增大了导斜面角度。

多功能导向管 该导向管是实现 $\phi 117.5\text{ mm}$ 井眼机械造斜的特制工具,为柔性单弯结构,通过特有的机械造斜原理完成造斜段施工,是国内特有的非动力造斜工具。

高强度柔性钻杆 该柔性钻杆为特制工具,与普通标准钻杆相比,它能自由通过井眼曲率高达 $(15^{\circ}\sim 20^{\circ})/\text{m}$ 的造斜段,并将转盘扭矩及钻压有效传递至钻头,从而驱动前端钻头,实现旋转破岩。

特制 $\phi 117.5\text{ mm}$ 三牙轮钻头 根据现场施工需要与特制造斜钻头体及水平钻头体配合使用,实

现造斜段的高曲率增斜和水平段的稳斜施工。

2.2 主要施工工艺

1) $\phi 139.7\text{ mm}$ 套管内大角度快速开窗。利用特制的大角度 $\phi 139.7\text{ mm}$ 导向锚定系统和特制开修(窗)一体化复式铣锥,优选套管开窗钻井参数, $\phi 139.7\text{ mm}$ 钢级J55壁厚 7.72 mm 套管,开窗时间仅为 $1.5\sim 2.0\text{ h}$,且不需重新下钻修窗,实现了开窗一体化施工,缩短了钻井周期。

2) $\phi 117.5\text{ mm}$ 井眼超短半径造斜。采用高强度柔性钻杆、多功能导向管、造斜钻头体和特制牙轮钻头,形成高效机械造斜系统,根据不同的地质条件,相应地调整多功能导向管的参数配置,结合反循环钻井工艺技术,完成井眼曲率 $(15^{\circ}\sim 20^{\circ})/\text{m}$ 的造斜段,造斜段长度仅 5 m 。

3) $\phi 117.5\text{ mm}$ 井眼超短半径稳斜。采用高强度柔性钻杆、多功能导向管、水平钻头体和特制牙轮钻头,形成稳斜钻井系统,水平钻头体与多功能导向管轴线重合,同时利用多功能导向管与柔性钻杆的自重,合理控制水平段钻进参数,实现水平段稳斜钻进。

4) $\phi 117.5\text{ mm}$ 井眼全井反循环钻进。施工过程中全程采用清水加防膨剂反循环方式钻井,由于反循环对井底产生抽汲作用,岩屑和铁屑上返速度快,钻井效率高;清水加防膨剂形成的体系密度低、成本低;反循环避免了岩屑和铁屑进入储层,减小对油层的污染及损害,可以最大程度地保护储层。

2.3 技术优点

1) 曲率半径小,造斜段长 5 m 即可钻入储层,缩短了施工周期;同时,可有效避免穿透水层,不用固井堵水,避免了井下故障的发生。

2) 可在油层内钻出一个长约 15 m 的 $\phi 117.5\text{ mm}$ 井眼,增加油层泄油面积,揭露产层的水平发育状况,提高老井产量,大幅度提高采收率。

3) 利用老井开窗侧钻,不需重新钻井,减小上部无效进尺;保持原井开采方式,不需再增加额外设备及地面管网建设费用,降低了油田开发成本。

4) 施工工艺简单、快捷方便、投资少,作业施工周期 $7\sim 10\text{ d}$,大修设备即可满足施工需要。

5) 整个钻井过程全部利用清水反循环洗井,成本较低,且可以最大限度地保护储层。

6) 可根据地层特性实现裸眼、多功能导向管、防

砂筛管 3 种完井方式, 满足了多种地质条件的需求。

因此, 从钻井角度来看, 超短半径水平井可以有效利用现有低产井、停产井来进行剩余油挖潜, 节约钻井与开发成本, 具有投资少、见效快等特点。

3 现场应用实例

自 2009 年以来, 大庆油田先后进行了 16 口超短半径水平井现场施工, 平均钻井周期 12.14 d, 目标中靶率 100%, 造斜段曲率半径 3.37~4.39 m, 平均井眼曲率 15.21°/m, 平均水平位移 23.01 m, 平均进尺 25.58 m。其中最大井眼曲率 16.93°/m, 最大水平位移 30.06 m, 最长总进尺 32.40 m, 最短钻井周期 7 d。现以杏-平 G2 井为例介绍现场施工情况。

杏-平 G2 井设计在老井杏-G2 井 $\phi 139.7$ mm 套管内开窗侧钻。杏-G2 井地处杏树岗背斜构造南部, 位于断层上升盘, 属于构造高部位, 单斜构造, 其完钻井深 1 130 m, $\phi 139.7$ mm 油层套管(钢级 J55)下深 1 125.80 m, 固井质量良好, 1990 年 4 月完井。

3.1 工程设计

杏-平 G2 井钻探目的层是葡 I₃₁ 油层, 为油井。工程设计参数: 完钻垂深 1 029.97 m, 完钻井深 1 053.11 m, 造斜点井深 1 027.97 m, 方位角 48.37°(真), 水平位移 23.33 m, 造斜段长 5.08 m, 水平段长 20.06 m。井眼轨道设计垂直剖面如图 1 所示。

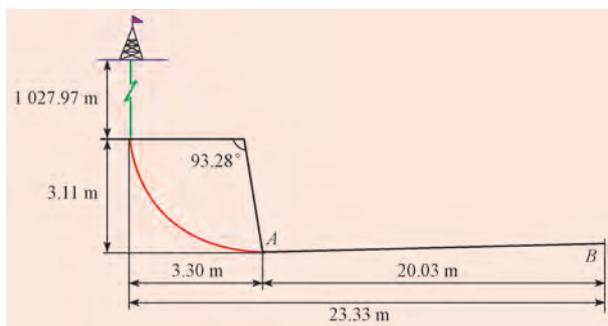


图 1 设计井眼轨道垂直剖面示意

Fig. 1 Vertical profile of Well Xing-Ping G2 trajectory

3.2 施工概况

完成作业前期准备工作后, 首先下入 $\phi 139.7$ mm 导向锚定系统, 通过陀螺定位仪和电测仪器测试方位和深度后, 将 $\phi 139.7$ mm 导向锚定系统锚定在井深 1 027.97 m 处, 方位为真方位 48.70°。然后, 起

出送斜钻具, 下入特制开修(窗)一体化复式铣锥, 先正循环冲洗, 后反循环开窗, 铣至井深 1 028.97 m, 完成开窗施工, 起出钻具。

下入特制造斜钻具组合, 采用反循环钻进方式。钻至井深 1 035.00 m, 造斜施工结束。下入特制微型测斜仪器, 测得井底井斜角为 93.5°。造斜段长仅 5.70 m(1 028.00~1 033.70 m), 就实现了井斜角从 1.2°到 90.8°的变化, 曲率半径为 3.60 m, 井眼曲率高达 15.7°/m, 实现了大曲率超短半径造斜段的施工(见表 1)。

表 1 杏-平 G2 井多点测斜数据

Table 1 Multiple trajectory survey data for Well Xing-Ping G2

序号	时间	测深/m	井斜角/(°)
1	20:55:10	1 028.00	1.2
2	20:56:00	1 028.30	5.6
3	20:56:40	1 028.60	10.2
4	20:57:10	1 028.90	14.6
5	20:58:00	1 029.20	18.9
6	20:58:40	1 029.50	23.8
7	20:59:40	1 029.80	27.7
8	21:00:30	1 030.10	31.5
9	21:01:30	1 030.40	35.5
10	21:02:30	1 030.70	40.6
11	21:03:00	1 031.00	45.5
12	21:03:50	1 031.30	51.2
13	21:04:50	1 031.60	55.9
14	21:05:50	1 031.90	61.5
15	21:06:40	1 032.20	66.8
16	21:07:50	1 032.50	72.4
17	21:08:50	1 032.80	77.1
18	21:09:50	1 033.10	82.6
19	21:10:40	1 033.40	87.4
20	21:11:30	1 033.70	90.8

起出测斜钻具后, 下入特制的水平段钻具组合, 开始水平段钻进。钻至井深 1 035.50 m 返出砂岩岩屑, 荧光反应为油岩, 进入油层后砂岩岩屑油气显示越来越好; 钻至井深 1 039.00 m 处, 返出基本为含油砂岩岩屑。完钻井深 1 050.30 m, 井眼轨迹基本控制在油层内, 达到设计指标。

在水平段施工过程中, 克服了大曲率造斜段带来的高摩阻等施工困难, 顺利完成了 16.60 m(1 033.70~1 050.30 m)长水平段施工, 在油层内穿行 15.30 m(1 035.00~1 050.30 m), 提高了该油层的泄油面积。

该井采取“防砂筛管+铅封”的完井方式,封隔器坐封于井深 1 025.50 m 处,防砂筛管下深 1 026.50~1 049.62 m。

杏-平 G2 井实现了超短半径水平井的防砂筛管完井施工,为超短半径水平井的可持续开采以及后期的冲砂等修井作业奠定了良好的完井基础。

4 结 论

1) 大庆油田共完钻 16 口超短半径水平井,逐渐形成了一套较为完善的超短半径水平井钻井技术,达到了国内相关技术领域的领先水平。

2) 大庆油田超短半径水平井钻井技术利用转盘钻进即可实现大曲率造斜段的增斜钻进,打破了利用弯螺杆等动力钻具造斜的传统方式。

3) 大庆油田超短半径水平井钻井技术实现了(15°~20°)/m 大曲率井眼中井下管柱的顺利下入及水平段的稳斜钻进,实现了 $\phi 117.5$ mm 井眼防砂筛管完井,为后期作业及长期有效开采提供了有利条件。

4) 超短半径水平井施工周期短、投资少,可以充分利用已有井段开采遗漏产层,大幅度降低了钻井成本。该技术可应用于开采厚油层顶部剩余油和表外储层剩余油,提高了老井利用效率。

5) 超短半径水平井技术适用于低孔、低渗和低产的老井或停产井,通过在油层内水平钻进,增加油层泄油面积,形成井眼孔道,增加原井产量,让老井复活、死井重生,对大庆油田的剩余油挖潜具有重要的意义。

参 考 文 献

- [1] Wade D, Herman D, Nees J M, et al. The ultrashort radius radial system applied to thermal recovery of heavy oil[R]. SPE 24087, 1992.
- [2] 李介士. 水平井钻井完井及增产技术[M]. 北京:石油工业出版社, 1992:272-294.
Li Jieshi. Horizontal well drilling and completion technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992:272-294.
- [3] 屠由义, 陈传搏, 易松林. 超短半径水平井钻井系统的现状与发展[R]//石油工业机械科技情报协作组. 石油机械技术水平调研报告集:1990. 北京:机械工业出版社, 1992:47-55.
Tu Youyi, Chen Chuanbo, Yi Songlin. The reality and development of ultra-short radius horizontal well drilling[R]//Petroleum industry machinery science and technology information cooperation group. The column of oil mechanic technology research:1990. Beijing: China Machine Press, 1992:47-55.
- [4] 倪益民, 袁永嵩, 赵金海, 等. 胜利油田两口超短半径侧钻水平井的设计与施工[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(6):57-59.
Ni Yimin, Yuan Yongsong, Zhao Jinhai, et al. Design and implementation of two ultra-short radius side-tracking horizontal wells in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(6):57-59.
- [5] 席长丰, 江山, 马卫国, 等. 超短半径水力水平井产能计算方法及影响因素分析[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(1):48-50.
Xi Changfeng, Jiang Shan, Ma Weiguo, et al. A computation method for productivity of super-radius hydraulic wells and analysis of factors on it[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004, 32(1):48-50.
- [6] 赵峰. 超短半径侧钻分支水平井曙 1-23-0370CH 井设计与施工[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(6):37-39.
Zhao Feng. Design and application of super-short radius side-tracking. technology in Shu 1-23-0370CH multilateral horizontal well [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(6):37-39.

中原油田自主研发成功空气锤钻井技术

川东北地区地质构造复杂,岩石硬度大、研磨性强、可钻性差,常规钻井由于钻井液携岩能力差、机械钻速低,大大制约了勘探开发进度。因此,中国石化在川东北地区开发初期就引进并应用了空气锤钻井技术,并取得了较好的应用效果。

但是,国外的空气锤和钻头最大应用井深约 3 000 m,随着川东北地区勘探开发的不断深入,引进的空气锤钻井技术已经无法满足该地区钻井提速的要求。因此,急需研发适用于川东北深部地层钻进的空气锤钻井技术。为此,2008 年底,中原油田承担了中石化重点科研项目——“空气锤及配套钻头研制”。2011 年 6 月,中原油田成功完成了空气锤及其配套钻头的研制,顺利通过中国石化的验收,同时取得 5 项专利成果,且整体技术水平达到国际领先水平,填补了中国石化空气锤钻井技术的空白。

目前,中原油田研发的空气锤钻井技术在普光气田应用了 21 井次,累计进尺超过 13 800 m,与该地区常规钻井液钻井相比,平均机械钻速提高了 20 多倍。