

大牛地气田 DP3 水平井大井眼定向工艺

吴荣战, 张晓文

(中石化华北石油局第五普查勘探大队, 河南 新乡 453700)

摘要:介绍了大牛地气田 DP3 水平井的定向设计与施工情况, 分析了该井轨迹控制的特点、钻具组合特征等问题。

关键词:水平井; 钻井; 井眼轨迹控制; 钻具组合; 侧钻

中图分类号: TE243 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2008)02-0015-04

1 工程概况

大牛地气田位于内蒙古乌审旗呼吉尔特乡、乌兰什巴台乡、伊旗台格苏木和陕西毗邻地区, 储层分石盒子组和山西组 2 个层位。2001 年以来该气田布置了一大批探井、开发准备井和生产井, 取得较为详实的实钻资料。2004~2006 年, 先后布了 3 口水平井, 主要开发层位为山西组。2007 年布置的 DP3 井开发层位为石盒子组, 是为了评价水平井开发石盒子组气藏的可行性及水平井提高气层产能的效果。该井于 2007 年 5 月 8 日开钻, 6 月 30 日钻至井深 2308.45 m 开始定向施工, 9 月 30 日钻至井深 4086 m 完钻。该井实钻水平段长 1220.79 m, 总水平位移 1570.14 m, 钻穿气层的井段长为 1079.00 m, 气层穿透率达 88.4%, 平均增斜率 $4.87^\circ/(30\text{ m})$, 最大井斜角 92.6° 。

2 DP3 井设计概况

2.1 地质设计

DP3 井位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东北部, 目的层为二叠系石盒子组。设计靶点 A 垂深为 2661.15 m, B 垂深为 2673.24 m, 方位角 246.94° , 井斜角 89.50° , 水平位移 1695.44 m, 水平段长 1345.44 m。靶区要求: 靶半高不得超过 2.0 m, 半宽不得超过 10 m。

2.2 井身剖面设计

本井设计在 $\varnothing 331.15\text{ mm}$ 井眼内增斜钻进至 A 靶, 下入 $\varnothing 244.5\text{ mm}$ 套管后再用 $\varnothing 215.9\text{ mm}$ 钻头钻至 B 靶。考虑到大井眼增斜困难、井壁稳定等问题, 为简化钻具组合, 安全、高效施工, 井身剖面设计

为直—增—平三段制长半径剖面, 剖面数据见表 1。

表 1 DP3 井设计井身剖面数据

井段/m	钻达垂深/m	造斜率/ $[(^\circ) \cdot (30\text{ m})^{-1}]$	井斜角/ $(^\circ)$	位移/m
0~2308.45	2308.45	0.00	0.00	0.00
~2885.08	2661.51	4.87	89.50	350.00
~4201.16	2673.24	0.00	89.50	1695.44

3 井眼轨迹控制技术

有效控制好井眼轨迹, 使其按设计要求在目的层中延伸, 是水平井成败的关键。增斜段是水平井轨迹控制的重点, 只有把增斜段的轨迹控制好, 才能保证水平井的顺利完成。在本井施工过程中, 根据井眼轨迹的变化, 及时调整钻井参数, 采用滑动钻进和导向钻进相结合的控制方式, 使井眼轨迹得到了有效的控制。

3.1 直井段

为减小定向造斜施工难度, 有利于下部井眼的轨迹控制, 在直井段施工中, 采用塔式钻具组合(见表 2 序号 2), 每钻进 200~300 m 单点测斜, 每两趟钻测一次电子多点, 采用多点数据监控、间隔轻压吊打等防斜打直技术措施, 有效地控制了直井段井斜。造斜点井斜角 1.1° , 位移 18.19 m。直井段钻具组合见表 2。钻井参数为: $\varnothing 444.5\text{ mm}$ 井眼, 钻压 20~100 kN, 转速 90 r/min, 排量 60 L/s, 泵压 6.5 MPa; $\varnothing 311.15\text{ mm}$ 井眼, 钻压 100~240 kN, 转速 80~90 r/min, 排量 40~45 L/s, 泵压 14~15 MPa。

3.2 增斜段

定向造斜段选用 1.5° 螺杆钻具组合(见表 2 序号 3), 增斜初期选用 H517 牙轮钻头, 配 MWD 无线

收稿日期: 2007-10-23

作者简介: 吴荣战(1974-), 男(汉族), 河南邓州人, 中石化华北石油局第五普查勘探大队工程师, 勘察工程专业, 从事定向井技术研究及现场技术服务工作, 河南省新乡市洪门镇五普钻井技术研发服务中心, wurongzhan_2008@163.com; 张晓文(1974-), 男(汉族), 甘肃白银人, 中石化华北石油局第五普查勘探大队工程师, 勘察工程专业, 从事钻井技术管理工作, zhangxiaowen.1021@163.com。

随钻测量系统进行增斜施工。由于直井段井底位移 18.19 m, 闭合方位 339.35°, 井斜 1.10°, 方位为 359.36°。方位和闭合方位与设计方位 246.94° 相差均较大, 特别是闭合方位。施工重点是在保证增斜率的同时, 调整方位, 使实钻轨迹逐渐靠近设计轨迹, 待实钻轨迹即将接近设计轨迹时, 再将方位调整到设计方位。

为了保证井眼轨迹平滑, 使方位变化不至于过快, 采取了边增斜边调整方位的技术措施, 定向初始磁性工具面角控制在 275.00°, 滑动钻进至 2341.41 m 时, 方位降至 263.09°, 井斜 6.48°。井斜超过 6°, 工具面转换为重力工具面。于是将工具面控制放在 340°, 滑动(根据增斜情况间断采用导向钻进)钻进至 2408.60 m 时, 井斜增至 16.15°, 方位 242.99°, 实钻轨迹已逐渐与设计轨迹靠近。对下部待钻井眼轨迹进行三维设计, 要求继续降低方位, 才能使实钻轨迹尽快靠近设计轨迹, 于是将工具面控制在 330°, 滑动(导向)钻进至井深 2475.84 m, 井斜增至 28.49°, 方位降至 231.98°, 根据待钻井眼设计, 需要稳方位 30 m 后, 再将方位调整至设计方位, 实钻轨

迹才能与设计轨迹符合。将工具面控制在 0° 左右, 滑动(导向)钻进至 2514.21 m, 井斜 31.99°, 方位 232.26°, 实钻轨迹已经即将接近设计轨迹, 此时需要将方位逐渐调整至设计方位。井斜达到 30° 以后, 选用 PDC 钻头, 采用倒装钻具组合, 将重力工具面控制在 40°, 滑动(导向)钻进至井深 2612.55 m, 井斜 49.66°, 方位 245.16°, 实钻轨迹与设计轨迹基本吻合, 方位也基本达到设计方位。

下部施工重点是作好待钻井眼设计, 控制好增斜率, 作好着陆控制工作。现场采用滑动钻进和导向钻进相结合的措施(滑动钻进时工具面控制在 0° 左右), 控制好增斜率。增斜钻进至井深 2774.37 m 时, 井斜 71.46°, 方位 247.76°, 起钻时在井深 2700 m 左右遇卡严重, 后经长时间处理, 判断该井段井壁坍塌, 决定注水泥至井深 2600 m, 从 2632 m 砂岩段开始侧钻, 同时对原设计靶点进行调整: A 靶垂深 2663.90 m, 位移 250.0 m; B 靶垂深 2670.48 m, 位移 1695.00 m; 方位均为 253.00°。根据靶点调整情况设计出侧钻井身三维剖面(剖面数据见表 3)。

表 2 DP3 井钻具组合及性能效果

序号	井段/m	性能	造斜率/[(°) · (100m) ⁻¹]	钻具组合
1	0 ~ 506	垂直	-	Ø444.5 mm 牙轮钻头 + Ø244.5 mm 钻铤 5 根 + Ø203 mm 无磁钻铤 1 根 + Ø203 mm 钻铤 10 根 + Ø165 mm 钻铤 12 根 + Ø127 mm 加重钻杆 15 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆
2	506 ~ 2308.45	垂直	-	Ø311.15 mm 钻头 + Ø203 mm 无磁钻铤 1 根 + Ø203 mm 钻铤 10 根 + Ø165 mm 钻铤 12 根 + Ø127 mm 加重钻杆 24 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆
3	2308.35 ~ 2774.37	调整方位增斜	4.95	Ø311.15 mm 钻头 + Ø203 mm 中空螺杆(1.50°) + Ø203 mm 无磁配合接头 + Ø165 mm 无磁 MWD 短节 + Ø127 mm 无磁承压钻杆 1 根(内置测斜托盘) + Ø127 mm 无磁承压钻杆 1 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆 30 根 + Ø127 mm 加重钻杆 48 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆
4	2632 ~ 2671.55	增方位侧钻	5.32	Ø311.15 mm 钻头 + Ø197 mm 中空螺杆(1.75°) + Ø203 mm 无磁配合接头 + Ø165 mm 无磁 MWD 短节 + Ø127 mm 无磁承压钻杆 1 根(内置测斜托盘) + Ø127 mm 无磁承压钻杆 1 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆 30 根 + Ø127 mm 加重钻杆 48 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆
5	2671.55 ~ 2885	调整方位增斜	5.23	Ø311.15 mm 钻头 + Ø203 mm 中空螺杆(1.50°) + Ø203 mm 无磁配合接头 + Ø165 mm 无磁 MWD 短节 + Ø127 mm 无磁承压钻杆 1 根(内置测斜托盘) + Ø127 mm 无磁承压钻杆 1 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆 45 根 + Ø127 mm 加重钻杆 48 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆
6	2885 ~ 2955.02	水平段	3.45	Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø172 mm 单弯螺杆(1.25°) + Ø165 mm 配合接头 + 回压凡尔 + Ø165 mm 无磁短节 + Ø178 mm LWD + Ø165 mm 无磁短节 2 根 + Ø127 mm 无磁承压钻杆 + Ø165 mm MWD 短节 + Ø127 mm 斜坡钻杆 60 根 + 投入式止回阀 + Ø127 mm 加重钻杆 48 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆
7	2955.02 ~ 3229.98	水平段	1.04	Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø172 mm 单弯螺杆(1°) + Ø208 mm 扶正器 + Ø165 mm 无磁短节 + Ø178 mm LWD + Ø165 mm 无磁短节 2 根 + Ø127 mm 无磁承压钻杆 + Ø165 mm MWD 短节 + 回压凡尔 + Ø127 mm 斜坡钻杆 60 根 + 投入式止回阀 + Ø127 mm 加重钻杆 48 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆
8	3229.98 ~ 3329.12	水平段	1.67	Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø172 mm 单弯螺杆(1°) + Ø208 mm 稳定器 + Ø165 mm MWD 短节 + Ø127 mm 无磁承压钻杆 + 回压凡尔 + Ø127 mm 18° 斜坡钻杆 × 120 根 + 投入式止回阀 + Ø127 mm 加重钻杆 × 48 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆
9	3229.98 ~ 4086	水平段	1.45	Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø172 mm 单弯螺杆(1°) + Ø208 mm 扶正器 + Ø165 mm 无磁短节 + Ø178 mm LWD + Ø165 mm 无磁短节 2 根 + Ø127 mm 无磁承压钻杆 + Ø165 mm MWD 短节 + 回压凡尔 + Ø127 mm 斜坡钻杆 180 根 + 投入式止回阀 + Ø127 mm 加重钻杆 48 根 + Ø127 mm 斜坡钻杆

表 3 DP3 井侧钻设计井身剖面数据

井深/m	井斜/(°)	方位/(°)	垂深/m	闭合距/m	南北/m	东西/m	“狗腿度”/[(°) · (30m) ⁻¹]	靶点
2632.00	54.45	244.17	2589.61	134.62	-51.36	-124.44	0.00	
2662.00	55.06	252.71	2606.92	159.10	-60.36	-147.21	7.00	
2685.00	55.53	259.21	2620.02	177.82	-64.94	-165.54	7.00	
2788.00	79.90	259.21	2658.78	271.35	-82.65	-258.46	7.10	
2818.00	85.05	256.09	2662.71	300.96	-89.00	-287.50	6.00	
2847.00	87.30	253.00	2663.91	329.91	96.72	315.41	6.22	
2867.00	87.30	253.00	2663.90	350.00	-102.33	-334.71	0.00	A
4212.67	87.30	253.00	2670.48	1695.00	495.57	1620.94	0.00	B

侧钻选用 1.75° 螺杆钻具组合(见表 2 序号 4), 使用 H517 金属密封牙轮钻头, 配 MWD 无线随钻测量系统进行侧钻。由于在 2632 m 井斜已达 54.45°, 同时又是 Ø311.15 mm 井眼, 全力增方位进行侧钻也比较困难。为了避免井斜下降, 给下步施工带来困难, 将工具面稳定在 75°~85° 之间, 采用控时钻进的侧钻技术措施(2~3 h/m)。由于所注水泥下沉, 侧钻过程均无水泥返出, 基本属于悬空侧钻, 侧钻难度比较大。侧钻至井深 2671.55 m 时, 井斜 59.20°, 方位 252.02°, 与老井眼轨迹进行对比, 判断侧钻成功, 起钻换 1.5° 螺杆钻具组合(见表 2 序号 5), 选用 PDC 钻头, 恢复正常增斜增方位钻进。由于水泥下沉, 侧钻困难, 侧钻井段长(2632~2671.55 m), 侧钻轨迹要完全符合设计轨迹, 施工起来非常困难, 而且需要的造斜率过高。为了保证井眼平滑、有利于下步施工, 甲方同意在保证顺利中靶的前提下, 对井眼轨迹符合情况不做太多的要求。

将工具面控制在 55°~65°, 滑动(导向)钻进至井深 2718.83 m, 井斜增至 66.69°, 方位增至 258.88°, 根据待钻井眼设计, 决定稳方位增斜钻进。随后将工具面稳定在 0° 左右, 滑动(导向)钻进至井深 2824.16 m, 井斜 83.85°, 方位 258.64°, 此时即将钻至 A 靶, 实钻轨迹在水平投影图上即将靠近设计轨迹, 需要将方位调整至设计方位 353°。由于当时井下情况复杂, 阻卡比较严重, 滑动钻进危险性比较大, 而导向钻进的增斜率基本上能满足顺利着陆中靶的需要。考虑井下安全, 决定在三开水平段再实施纠方位作业。导向钻进至井深 2865.30 m, 井斜增至 90.13°, 方位 258.66°, 顺利钻入 A 靶窗, 靶心距 0.14 m。

增斜段钻井参数为: 牙轮钻头钻压 130~140 kN, PDC 钻头钻压 80~100 kN; 导向钻进转盘转速 50~55 r/min, 排量 45~50 L/s, 泵压 16~18 MPa。

3.3 水平段

水平段主要采取顶驱驱动配小角度(1° 或 1.25°)单弯动力钻具加欠尺寸扶正器的组合为主要

钻进方式, 整个水平段实施负压钻进。由于实钻地层与地质设计在垂深上偏差比较大, 整个水平段轨迹控制都是按照现场地质组的要求进行。根据轨迹的变化和地质组的要求, 通过间断控制工具面滑动钻进、调整钻井参数、调整欠尺寸扶正器的外径等技术措施实现微增、微降、调整方位, 有效地使井眼轨迹按照地质上的要求在储层中穿行。通过大排量循环, 提高钻井液润滑性、携砂性, 以转盘钻、短程起下钻、划眼等方式清除岩屑床。整个水平段均使用 PDC 钻头, 采用倒装钻具组合(见表 2 序号 6~9)。钻进至 4086 m 时, 井斜 91°, 方位 251.36°, 垂深 2683.64 m, 水平段长 1220.79 m。由于摩阻大, 滑动钻进困难, 顶驱扭矩已超过钻具紧扣扭矩, 同时钻遇长段泥岩, 决定就此完钻。

水平段钻井参数: 钻压 30~50 kN, 导向钻进转盘转速 40~50 r/min, 排量 30~32 L/s, 泵压 18~20 MPa。

图 1、图 2 分别是 DP3 井实钻轨迹的垂直剖面图和水平投影图。

4 定向控制段钻进中出现的问题及处理

(1) 在增斜井段初期(井斜小于 20°), 下入一次 PDC 钻头(型号 M5355), 但由于摩阻小, 工具面很不稳定, 增斜效果差, 后更换为牙轮钻头, 工具面稳定, 增斜效果明显改善。

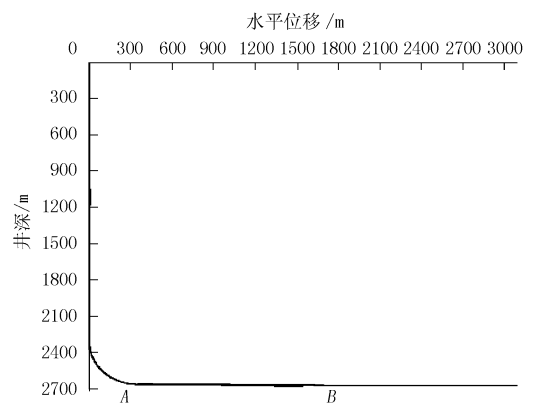


图 1 DP3 水平井实钻垂直剖面图

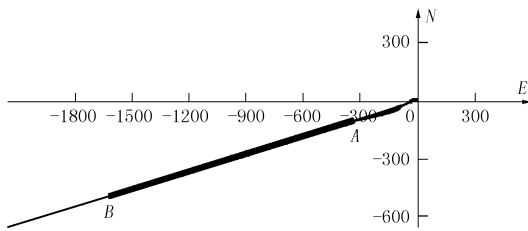


图 2 DP3 水平井实钻水平投影图

(2) 增斜施工中, 出现一次掉牙轮事故, 3 个牙轮全部落井。3 次下入强磁打捞器, 打捞出大部分落物; 又下入高效磨鞋, 对井底残留物进行磨铣后, 恢复正常增斜施工。在井斜大于 30° 后, 基本选用 PDC 钻头, 既防止了掉牙轮事故, 又减少了起下钻次数。

(3) 增斜钻进至井深 2774.37 m 起钻时, 在 2700 m 左右遇阻严重, 后经长时间处理, 根据扶正器带出的掉块判断, 该井段井壁坍塌, 原因是该井段地层破碎, 钻井液滤失量高。后经调整好钻井液性能, 填井侧钻, 顺利钻过该井段至 A 靶窗。

(4) 在水平段施工中, 由于地层研磨性强, 欠尺寸稳定器磨损严重, 影响了钻具组合的稳斜效果, 增加了滑动钻进井段。后经每趟钻更换新的欠尺寸扶正器, 稳斜效果明显改善, 提高了钻井速度。

5 本井所用钻具组合及其使用效果

本井所用钻具组合及其使用效果见表 2。

6 认识与结论

(1) 直井段一定要钻直, 直井段位移尽量控制在 10 m 以内, 以减小增斜段井眼轨迹控制的难度。

(2) 增斜段上部造斜率尽量高些, 为下部井段减轻压力; 入窗时尽量实现软着陆, 即导向入窗, 为下部井段的轨迹控制和后期作业奠定良好的基础。

(3) 本井从增斜开始全部采用柔性、倒装钻具组合, 并根据斜井段的长度及时调整倒装钻具长度, 使钻具与井壁的接触面积减少, 减少了大斜度井极易出现的粘附卡钻及键槽卡钻等井下事故。

(4) 及时进行短程起下钻、通井划眼, 能有效清除岩屑床, 减小井下摩阻, 使井眼更加圆滑, 是水平井安全钻进的有效措施。

(5) 本井采用原钻具进行通井, 科学合理的通井钻具组合和通井措施是钻井成功的关键, 为完井作业的成功实施奠定了基础。

(6) 利用转盘钻对井壁划眼, 可改变已钻井眼的造斜率。刚钻完的单根, 对其上部进行划眼可提高造斜率, 对其下部进行划眼可降低造斜率。

(7) 滑动钻进时, 岩性未变而机械钻速迅速降低要及时活动钻具, 活动范围应不少于一单根长度。

(8) 水平段采用低密度无固相钻井液体系, 实施负压钻井。良好的泥浆体系对减小水平段磨阻、顺利滑动钻进起到了重要作用。

华北平原东部浅层地下水开发利用示范项目进展顺利

中国地质调查局网站消息 由中国地质科学院水文地质环境地质研究所承担的“华北平原东部浅层地下水开发利用示范项目”各项工作进展顺利, 圆满完成了 2007 年年度示范建井工作。在天津市北大港农场和静海县小河村成功完成了 3 眼直径 1.5 m 大口井的钻进工作, 并对示范井进行了抽水试验, 得到基层群众的拥护和好评。示范井的成功建成, 降低了用水成本, 在一定程度上解决农业用水问题, 对解决当地的工农业用水问题及缓解深层地下水的超采问题具有重要的意义。同时, 浅层地下水的开采, 可以改变地下水的补径排条件, 增加地下水的调蓄能力, 缓解地下水资源供需紧张问题。

“华北平原东部浅层地下水开发利用示范项目”是“全国地下水资源及其环境问题调查评价”所属计划项目, 工作起止年限为 2006 ~ 2008 年, 总体目标任务是在系统总结华北平原东部浅层水分布规律与赋存状况, 选择典型地区建立一批开发利用示范工程, 为有效开发利用华北平原东部地区浅层水提供技术支持和示范经验。

该项目意义在于华北平原东部的浅层地下水水质较差, 但在浅部的细粒土中仍赋存有上百亿立方米的微咸水和淡

水资源, 由于分布分散, 开采难度较大, 开采程度尚低, 因此, 充分挖掘平原区微咸水、半咸水及浅层淡水资源的开采潜力, 不仅可以改善浅层水环境, 改善生态环境, 而且可以大大缓解我国东部地区供水紧张和深层地下水的持续超采的局面。

目前, 该项目在天津市大港、北辰、静海和沧州地区开展了详细的野外调查工作全部完成, 完成了 2200 km² 的 1: 5 万水文地质补充调查工作, 300 m 的水文地质钻探、150 m 的洛阳铲, 同时采集了 200 组的水土样品, 26 组的地下水 and 地表水同位素样品。

在建井过程中, 项目组多次与天津市水文水资源局、天津市地质调查院、天津市静海县水资办、天津市北大港农场和天津静海县小河村村委联系协调, 确定了示范建井井位, 经过一个多月的紧张施工, 成功完成了 3 眼直径 1.5 m 大口井的钻进工作。为了保证示范效果, 多家咨询特制了特殊口径渗水管, 并克服了许多搬运过程中和下井技术上的困难。示范井的建设过程中, 还积累了大量的经验, 为下一步工作打下了基础。