

渤海三维双靶高难度定向井钻井工艺

姜 伟*
(中国海洋石油渤海公司)

姜伟. 渤海三维双靶高难度定向井钻井工艺. 天然气工业, 1998; 18(3): 48~ 51

摘 要 文章总结了渤海首次钻成的三维双靶大斜度定向井 QK18—1—P4 井钻井工艺。该井测深 4 735 m, 垂深 3 381. 7 m, 水平位移 2 540 m, 最大井斜 62. 97°, 最大狗腿 9. 4°/30 m。QK18—1—P4 井采用了顶部驱动技术、MWD 测量技术、大功率可控马达技术、PDC 钻头技术、大斜度井液压分接箍固井技术、油层及环境双保护钻井液技术、整体式组装井口技术、大斜度及水平井测井技术, 为渤海开发复杂地质条件下的油气藏, 提高渤海钻井工艺技术, 积累了成功的经验, 并奠定了坚实的基础。

主题词 渤海湾 三维 定向井 钻井设计 钻井

渤海石油公司 1996 年 2 月在渤西开始了渤海第一口三维双靶的定向井(QK18—1—P4 井) 钻井施工作业。根据地质上开发油层的要求, 该井需要钻穿两个不同深度且方位相差 49°的靶点, 因此作业难度很大。针对这种情况, 我们采用了顶部驱动钻井技术、水平井测井技术等八项主要技术措施, 克服了重重困难, 终于钻成了该井。该井分别以 48. 58 m 和 11. 68 m 的靶心半径, 准确命中两个靶区, 满足了地质开发的要求。为渤海开发复杂地质条件下的油气资源, 摸索出了一些成功的经验。

基 本 概 况

QK18—1—P4 井的井身剖面为“直—增—稳”三段制剖面, 其水平投影为转向 49°的三维井眼轨迹。该井的主要定向井数据见表 1。QK18—1—P4 井井身剖面及井身结构见图 1。

钻井工艺及主要特点

1. 直井段(f660 mm 井眼)
- 该井是海上导管架上钻的生产井, 与邻井中心距仅为 2 m, 因此采用小钟摆钻具组合, 以保证井眼垂直。
2. 第一次造斜及稳斜(f444. 5 mm 井眼)
- 根据以前在渤海地区 f444. 5 mm 井眼造斜的经验^[1], 所使用的 1 2°弯接头, 其造斜率仅为 1. 5°/30m, 为此, 该井主要采用了以下两条措施,

表 1 定向井基本数据表				
序号	项 目	设 计	实 际	备 注
1	造斜点 1 号/2 号(m)	1 410/4 115	1 378/3 895	两次造斜
2	造斜率 1 号/2 号(°/30m)	2. 4/4. 5	2. 16/1. 5	两次造斜
3	造斜终了点(m)	2 200/4 050	1 926/4 000	
4	弯接头角度(°)	2°/0. 75	2°/0. 75	第一次造斜用弯接头 第二次造斜用 AKO
5	最大井斜(°)	59. 9	62. 9	全井段
6	最大狗腿(°/30 m)	4. 38	9. 4	全井段
7	靶点 1 号/2 号测深(m)	4 115. 16/4 701	4 060. 4/4 619. 02	两个靶点
8	靶点 1 号/2 号垂深(m)	3 011/3 305	3 011/3 305. 19	两个靶点
9	靶点 1 号/2 号水平位移(m)	2 050/2 444. 2	2 041/2 443. 76	两个靶点 闭合位移
10	靶点 1 号/2 号井斜(°)	59. 9/59. 9	57. 8/54	两个靶点 闭合位移
11	靶点 1 号/2 号方位(°)	232/281	251/265. 4	两个靶点, 方位
12	半径 1 号/2 号(m)	50/50	48. 58/11. 6	两个靶点, 方位
13	完钻测深(m)	4 820. 85	4 735. 0	
14	完钻垂深(m)	3 365. 1	3 381. 7	
15	井底位移(m)	2 538. 03	2 540. 37	
16	井底闭合方位(°)	240. 26	239. 74	

* 姜伟, 作者简介见本刊 1995 年第 4 期。地址: (300452) 天津塘沽。电话: (022) 25807310。

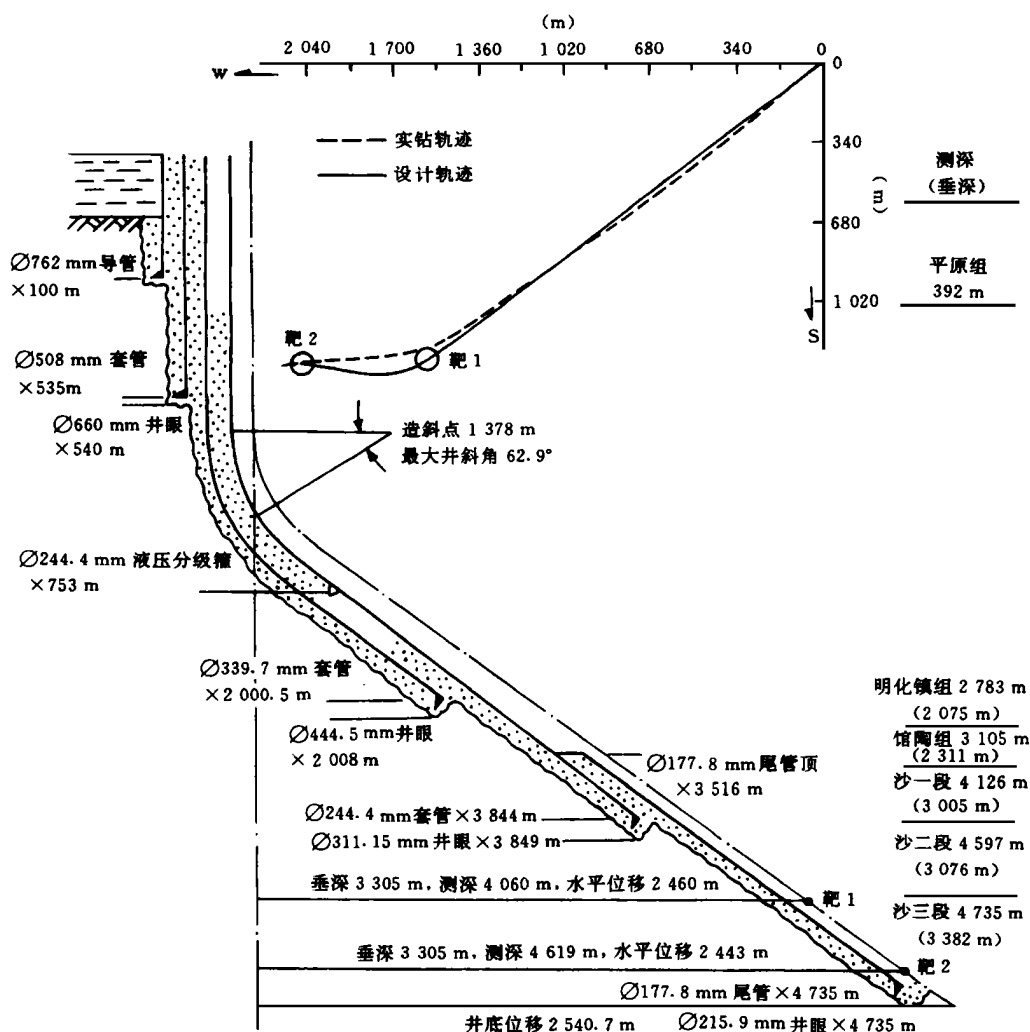


图 1 QK18-1-P4 井井身结构图

以保证井眼得到足够的造斜率。

(1) 下入 2° 弯接头, 并配以 $\phi 19\text{ mm} \times 1$ 和 $\phi 16\text{ mm} \times 2$ 的水眼, 排量限制在 $3\ 000\text{ L/min}$, 由于采取了这些措施取得了较好的效果, 钻至 $1\ 751\text{ m}$, 井斜达 38.8° 平均造斜率为 $3.12^\circ/30\text{ m}$, 达到了设计要求。

(2) 造斜以后, 立即下入增斜钻具组合, 为保证造斜率, 将水眼放大成 $\phi 19 \text{ mm} \times 3$, 该组合挠性大, 并加以 150~220 kN 的钻压增加并斜, 在 1 884 m 处井斜已达 62.9° , 这段井斜变化率为 $5.2^\circ/30 \text{ m}$ 。至此顺利的解决了 $\phi 444.5 \text{ mm}$ 井眼造斜及增斜的问题。而在稳斜井段, 由于采用了钢性满眼组合取得了很好的效果, 其井斜变化为 $0.18^\circ/30 \text{ m}$ 。

3. 稳斜井段(f 311.5 mm 井眼)

(1) 采用 $\varnothing 244$ mm 的美国 Anadrill 的 A962M Power Paker 导向马达, 该马达的最大特点是可以定

向造斜或扭方位,也可以起到稳斜而不需起下钻改变钻具组合,全部裸眼井段 1 841 m 仅用同一套钻具组合。

(2) 由于在整个井段中, 都是穿越馆陶组地层, 使用 AR526 PDC 钻头钻至 2 915 m, 平均机械钻速为 26.16 m/h, 总进尺 941.86 m, 纯钻 36 h。

(3) 旋转钻时由于马达转速为 90 r/mm , 再加上钻柱的转速 $60 \sim 110 \text{ r/min}$, 故有较高的机械钻速。该井段旋转钻总进尺 $1\,794 \text{ m}$, 纯钻 107.85 h , 平均钻速为 16.6 m/h 。滑动钻进时, 由于锁定工具面, 钻柱不转动, 故钻速较低。该井段滑动钻进 47 m , 纯钻 23 h , 平均钻速 2.04 m/h , 仅为旋转钻时钻速的 $1/8$ 。

(4) 在馆陶组底选用 F1 的三牙轮钻头旋转钻进, 机械钻速仅为 5.3 m/h。

(5) 由于该井段井斜角为 $60^{\circ} \sim 56^{\circ}$, 为防止粘卡

钻具, 采用了滑动钻进和旋转钻相结合的措施, 每滑动钻进 2 h 左右, 然后旋转钻进 2~ 3 h。这样, 有效地防止了粘卡钻具, 保证了井下钻具的安全。

4. $\varphi 215.9$ mm 井眼, 扭方位井段

(1) 按照钻井设计, 第 2 次造斜扭方位点是在 4 115 m 处开始, 滑动钻进 320 m, 方位要求由 232° 扭至 281° , 并且此时井斜已达 60° , 可见作业难度较大。

(2) 该井段选用 Power Paker A675 导向马达, 纯钻 143.7 h, 工作时间 212 h, 总进尺 605.5 m, 为该井在 60° 井斜条件下扭方位作出了强有力的保证。

(3) 由于井斜大, 还要扭转方位 49° , 故钻具结构要尽量的简化。该井段所用钻具组合共计 3 套, MWD 加钻铤不超过 3 根, 其目的是为了减少钻具在下井壁产生摩擦。

(4) 为达到扭方位的目的, 该井段滑动钻进 19 次, 累计进尺 219 m, 占全井段进尺的 25%。纯钻 120.25 h, 占全井段纯钻时间的 61%, 滑动钻进机械钻速平均为 1.83 m/h。而旋转钻 15 次, 累计进尺 666.3 m, 纯钻 7.75 h, 平均机械钻速为 8.64 m/h。

电 测 作 业

(1) 该井由于井斜 62.5° , 因此采用电缆测井的常规方法, 仪器难以下入井内, 故采用钻杆送入的方法测井并获得成功。

(2) 该井在 $\varphi 311.5$ mm 井眼, 用钻杆送入的方法, 耗时 31.5 h; 而在 $\varphi 215.9$ mm 井眼里, 由于该井段最大狗腿达 $9.41^\circ/30$ m, 最大井斜 60.9° , 方位扭转 14° , 用钻杆送入下井顺利, 但是由于仪器太长不能顺利通过狗腿大的井段而耗时 115 h, 占该井段钻进作业时间的 40%, 可见测井作业困难之大。

下套管作业

(1) 套管允许最小曲率半径的校核^[3]

$$R_1 = \frac{E \cdot D \cdot K_1 \cdot K_2}{2 \sigma_s} \tag{1}$$

$$R_2 = 57.3 \times 30 / DLS \tag{2}$$

式中: R_1 为套管允许的最小曲率半径, cm; R_2 为井眼曲率半径, cm; E 为钢体的弹性模量, $E = 2.058 \times 105$ MPa; K_1 为安全系数, $K_1 = 1.25$; K_2 为丝扣应力集中系数, $K_2 = 1.75$; σ_s 为钢材的屈服强度, MPa。

1) $\varphi 339.7$ mm 套管 $R_1 = 130$ m, 该井段最大狗腿为 $5.8^\circ/30$ m, 故可求得 $R_2 = 295.8$ m。

2) $\varphi 177.8$ mm 套管 $R_1 = 72.6$ m, 该井段最大狗腿为 $9.4^\circ/30$ m, 故可求得 $R_2 = 182.8$ m。

因为 $R_1 < R_2$, 所以满足下套管井眼曲率条件。

(2) 由于 $\varphi 244.4$ mm 套管封固井段长, 井斜最大 62.2° , 故采用双级固井, 并且为井下安全起见, 采用美国 Weatherford 公司的液压分级注水泥接箍, 在斜井中固井获得成功。顺利地解决了斜井开孔塞难以准确到位开孔的问题。

(3) 套管扶正器的安放方法。

1) $\varphi 339.7$ mm 套管, 前 4 根是每根套管加一个弹性扶正器, 以后是每 2 根加一个, 一直加到造斜点进入直井段, 共使用 22 个弹性扶正器。

2) $\varphi 244.4$ mm 套管, 为保证固井质量, 前 6 根套管, 每根加一个弹性扶正器, 以后每 2 根加一个, 直至 2 369 m, 共使用 64 个弹性扶正器。

3) $\varphi 177.8$ mm 套管在下井以前, 由于电测作业历时 6.5 d, 钻进 13.6 d, 因此在通井准备下套管时, 发生井下复杂情况。在 4 600~ 4 635 m 井段遇阻遇卡严重, 最大时遇卡 650 kN, 最严重时开泵憋泵, 钻具卡死, 上提至 2 200 kN, 下放悬重至 0。根据这种情况, 在下套管时, 管串以柔性为主, 保证套管能顺利入井, 加扶正器特别谨慎, 在油层部位, 每 2~ 4 根套管加一个刚性扶正器, 以后是狗腿严重井段加一个刚性扶正器, 共计加入 14 个刚性扶正器, 保证了套管顺利通过 $9.4^\circ/30$ m 的井段, 也保证了固井质量合格。

钻井液工艺

该井全井各主要井段钻井液性能, 见表 2。

(1) $\varphi 444.5$ mm 井眼造斜井段。在直井段采用预水化膨润土/海水稀泥浆、性能简单, 满足快速钻井的需求, 最大机械钻速 26.25 m/h, 在造斜点以上 150 m, 泥浆转化为低固相/聚合物钻井液体系, 加入 PF-TEX(无荧光泥饼改善剂) 和 PF-LUBE(润滑剂), 改善了泥饼的润滑性能, 保证了井斜 62° 条件下起下钻及下套管的安全顺利。

(2) 在 $\varphi 311.15$ mm 井眼里, 其主要特点是增强抑制性和润滑性, 在 2 600 m 以后, 泥浆转化成 PF-PLUS-KCl 体系, 使用 PF-WLD 作抑制剂, PF-JLX 作润滑剂, KCl 加量 6%~ 9%, 使其具有良好的抑制剂和润滑性。

表 2 主要井段钻井液性能

井径 (mm)	井深 (m)	密度 (g/cm ³)	漏斗粘 度(s)	塑性 粘度	屈服值	切力	API 失水 (mL)	pH	含油 (%)	膨润土 含量	排量 (L/min)	K ⁺ (mg/L)	备 注
f 444.5	1 380	1.15	42	18	14	2/8	7.2	8		42	2 800		钻进
	1 881	1.19	48	26	18	3/15	6.8	8.5	1.5	52	3 300		造斜、增斜
	2 080	1.16	40	17	14	2/14	7.0	10.5	1.5	47	3 150		到 62°
f 311.15	2 380	1.21	44	22	20	4/13	5.0	9	0.5	54	2 700		下套管
	2 900	1.25	42	18	15	4/9	4.8	9	0.5	44	2 700	20	稳斜钻进
	3 292	1.30	46	24	23	3/10	4.0	9	2	48	2 700	25	钻进
f 215.9	3 839	1.32	48	24	22	4/12	3.8	9	2.5	48	2 550	28	钻进
	3 848	1.32	47	25	21	3/11	3.8	9	3.0	48	2 550	28	钻进
	3 901	1.31	44	22	16	3/8	3.6	9.5	3.5	48	2 550	33	电测
	4 017	1.26	44	21	14	2/8	3.6	9	3.0	48	2 550	36	钻进
	4 500	1.27	44	22	14	3/8	3.2	9	3	48	2 550	34	钻进
	4 735	1.27	44	22	13	3/8	3.2	9	3.5	48	2 550	34	电测
	4 735	1.32	47	30	19	3/12	3.5	9	3.5	48	2 550	35	通井、下套管

良好的抑制性和润滑性。

(3) f 215.9 mm 井眼是最难的井段,其主要矛盾是井眼要调整三维井眼方位,井深摩擦扭矩太大,为此主要采用在钻进时加入玻璃珠和塑料小球的办法,保证正常钻进,否则钻具在井下难以转动。

(4) 从 f 444.5 mm 井眼开始,凡是下套管、电测作业以前都要坚持在钻井液中加入玻璃珠和塑料小球,以保证作业顺利和安全,其加量为 2%~5% 不等,具体视井下情况而定。另外,在 f 215.9 mm 井段,为解决扭矩大的问题,还加黄白油 3%~3.5%,以保证钻具能旋转钻进。

结 束 语

(1) 该井是渤海首次在井深超过 4 000 m 的条件下,钻成的三维双靶井,通过克服重重困难使渤海的钻定向井、钻井液、固井工艺水平上了一个新的台阶。为今后开发渤海复杂地质条件下的油气资源,积累了宝贵的经验。

(2) 该井首次采用美国 Weatherford 公司的液压分接箍获得成功,为今后大斜度井双级注水泥,奠定了基础。

(3) 钻三维多靶井,必须具备良好的 PDC 钻头以及大功率的导向马达,否则井眼轨迹难以控制,该井使用 Power Paker 导向马达,井下工作时间 200 h 以上,保证了作业的顺利进行。

(4) 钻三维深井,目前渤海的钻井平台钻机暴露出来的问题,主要是钻机负荷不足,4 500 kN 的钻台负荷,扣除顶驱负荷只剩 3 900 kN^[3],难以将 f 244.4 mm 套管下到 3 800 m 的深度;另外泥浆泵排量有限,上部井段双泵最大排量也不能达到环空返速 1 m/s 的要求。

(5) 三维多靶井,要配备相应的泥浆脉冲测井工具,如 LWD 等。而采用钻杆送入井下对接的工具,耗时耗力,f 215.9 mm 井眼电测 6.5 d,仅日操作费用就达 100 多万元,成本和费用不如租用 LWD 合算。

(6) 三维多靶井,这是今后开发渤海的方向,还有许多问题和方法需要研究和解决。今后应加强从设计开始到作业施工以及各专业之间结合的工作,为开发渤海的边际油田服务。

参 考 文 献

1 姜伟.大井眼造斜及井身轨迹的控制.天然气工业,1988;
(1)

2 刘希圣等编.钻井工艺原理(下册).北京:石油工业出版社,1985

3 姜伟.悬臂式钻井装置载荷特性对钻井设计和施工的影响.中国海上油气(工程),1994;(6)

in d

{

审稿人 高级工程师 石仲华

收稿日期 1997-12-26 编辑 钟水清

.....

PRACTICE IN DRILLING LARGE- DIAMETER BOREHOLE IN WENDONG OIL AND GAS REGION OF ZHONGYUAN OIL FIELD

Zhang Donghai, Huang Haiqiang, Feng Xunying and Yan Jinli(No. 2 Drilling Company of Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau). *NATURAL GAS IND.* v. 18, no. 3, pp. 44~ 47, 5/25/98. (ISSN 1000-0976; **In Chinese**)

ABSTRACT:The oil and gas reservoirs in Wendong region of Zhongyuan oil field belong to typical high-pressure ones between salt beds, being of a large buried depth. Because the upper interval with large-diameter borehole is long, how to raise drilling speed is an important problem of drilling high-pressure oil and gas wells in Wendong region. Through a lot of practice, the way of solving such a problem is proposed. By use of many ways as optimizing nozzle assembly, nozzle pattern and hydraulic parameters, enlarging the diameter difference of dual-nozzle preparing heavy-duty mud pump and reducing drilling fluid viscosity, the pump pressure and bit hydraulic horsepower may be enhanced, thus raising the ability of hydraulically breaking rocks. Simultaneously, through optimizing bit type, three sets of bit series suitable for rapid drilling in Wendong high-pressure oil and gas region are summarized, thus giving full play to bit's work efficiency. And by use of a suitable drill string assembly and drilling parameters, under the prerequisite for meeting the needs of well quality, the drilling speed may be greatly raised and the drilling cost can be effectively reduced.

SUBJECT HEADINGS: Zhongyuan oil field, High pressure, Oil and gas reservoir, Hydraulics design, Bit, Nozzle

Zhang Donghai(*engineer*), born in 1967, graduated in the drilling engineering from the Department of Exploration Engineering of China University of Geosciences in 1988. He has been engaged in drilling work for a long time. Add: Puyang, Henan (457001), China Tel: (0393) 4827552

.....

DRILLING TECHNOLOGY OF HIGH DIFFICULTY THREE DIMENSIONAL DUAL-TARGET DIRECTIONAL WELL IN BOHAI GULF

Jiangwei(Bohai Company of China National Off-

shore Oil Corporation). *NATURAL GAS IND.* v. 18, no. 3, pp. 48~ 51, 5/25/98. (ISSN 1000-0976; **In Chinese**)

ABSTRACT:The drilling technology of the three dimensional dual-target high-angle directional well (well QK18- 1- P4) which was first successfully drilled in Bohai Gulf is summarized in this paper. The well's lateral depth is 4 735 m, vertical depth 3 381. 7 m, horizontal displacement 2 540 m, maximum deviation 62. 97° and maximum dog-leg 9. 4°/ 30 m. The following techniques were adopted for the well QK18- 1- P4; i. e. the top drive, measurement while drilling (MWD), large power controlled motor, polycrystalline diamond compact (PDC) bit, hydraulic divided coupling cementing, drilling fluid protecting both environment and reservoir, integral installation wellhead and high-angle and horizontal well logging techniques, etc. Through our drilling this well, some successful experiences have been accumulated and a solid foundation has been established for developing oil and gas reservoirs with complicated geological conditions and enhancing drilling technology in Bohai Gulf.

SUBJECT HEADINGS: Bohai Gulf, Three dimensional, Directional well, Drilling design, Drilling

Jiangwei's introduction: See v. 15, no. 4, 1995. Add: Bohai Company(300452), China Tel: (022) 25807310

.....

A RESEARCH ON UNIVERSAL FLUID CEMENTING TECHNIQUE

Jin Xuezhi and Lu Ning (Research Institute of Drilling and Production Technology, Changqing Petroleum Exploration Bureau). *NATURAL GAS IND.* v. 18, no. 3, pp. 52~ 54, 5/25/98. (ISSN 1000-0976; **In Chinese**)

ABSTRACT:Combined the cementing technique of changing drilling fluid into slurry by taking the blast-furnace slag as hydrated material with the universal fluid cementing technology, the solidified and hardened mud cake may be formed on the borehole wall, which contributes to sealing formation, reducing or preventing the loss of circulation and liquid column drop of slurry through lost circulation zones while cementing. The integrity and cementing quality of the borehole may be enhanced by use of the universal fluid. Through displacing the barite by blast-furnace slag, the universal fluid density of 1. 18 g/cm³ de-