

复杂断块油气藏优快钻井技术研究

夏文安, 李文飞, 徐云龙

(中国石化胜利石油管理局钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘要: Y3 复杂断块油藏具有构造系统复杂、断块多、断层多、断块小、含油层位多、油藏类型多等特点, 利用常规钻井技术开发难以有效提高经济效益。通过 Y3 区块已钻井实际资料的统计分析, 针对井身结构、井眼轨道、钻头类型提出了适用于本区块钻井的钻井优化方案。现场应用结果表明, 实钻轨迹与设计方案符合率达到 90%, 且无井下复杂情况发生, 进一步说明了设计的钻井优化方案的技术可行性, 也为后续井的跨断块开发及优快钻井施工提供了重要技术支撑。

关键词: 断块油气藏; 复杂结构井; 钻井; 绕锥; 水平井

中图分类号: P634; TE249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)01-0009-05

Study on Optimized and Fast Drilling Techniques in Complex Fault Block Reservoir/XIA Wen-an, LI Wen-fei, XU Yun-long (Drilling Technology Research Institute of Sinopec Shengli Oilfield, Dongying Shandong 257017, China)

Abstract: Y3 complex fault block reservoir is with characteristics of complicated tectonic system, many small fault-blocks, faults, many oil bearing formations and different oil reservoir types; it is difficult to improve economic benefit by traditional drilling techniques. Based on the statistical analysis on real drilling data of Y3 block, and according to the casing program, well trajectory and the bit type, the optimized drilling plan suitable to this block was put forward. The application shows that the coincidence rate between drilling trajectory and design plan is 90%, which further indicates the technical feasibility of optimized drilling plan, and provides the important technical support to subsequent well in the cross fault-block development and optimized & fast drilling construction.

Key words: fault block reservoir; complicated structure well; drilling; surrounding water cone; horizontal well

1 地质概况

Y3 断块位于济阳坳陷东营凹陷北部盐家陡坡带东段砂砾岩体部位。盐家陡坡带位于东营凹陷与陈家庄凸起相联的地带, 基本呈东西向延伸, 区域形态向南倾没。其沙三、沙四沉积时期, 由陈家庄古高地风化剥蚀的大量碎屑物质, 沿陈南大断层下降盘堆积形成了各种扇体, 这些砂砾岩体夹持在厚层的生油岩中, 非常有利于油气的聚集。Y3 区块地层情况见表 1。

2 已钻井分析

通过 Y3 区块已钻井资料的统计分析可知(见表 2), 钻井过程中发生的复杂情况主要以井漏为主, 主要原因是地层存在断层及裂缝, 当井眼穿过时造成裂缝性漏失。已钻井资料分析对于该区块优快钻井技术方案的制定提供了重要参考。

3 钻井方案优化

3.1 井身结构优化

收稿日期: 2012-07-27

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05022-001); 中石化重点科研攻关项目“胜利油田复杂断块油藏立体开发技术研究”(P09037)

作者简介: 夏文安(1977-), 男(汉族), 陕西扶风人, 中国石化胜利石油管理局钻井工艺研究院工程师, 油气井工程专业, 主要从事钻井工程相关技术研究工作, 山东省东营市东营区北一路 827 号胜利钻井院钻井所, xwaupc@163.com。

表 1 Y3 区块地质分层

界	地层名称				地层		
	系	统	组	段	底深/m	厚度/m	
新 生 界	第四系	更新统	平原组		320	320	
			上新统	明化镇组		1035	715
		上	中新统	馆陶组		1480	445
				沙二段		1520	40
	第	三	系	沙三上		1760	240
				沙三中		2233	473
				沙三下		2953	720
				纯上亚段		3641	688
	系	系	系	纯下亚段		3905	264
				沙四下		4102	197
太古界	前震旦系				未穿		

3.1.1 探井方案

Y3 区块沙三上或沙三中以上地层承压能力低, 需技套封住, 所以采用三层套管井身结构, 一开采用 $\varnothing 339.7$ mm 套管下深 150 m; 二开采用 $\varnothing 244.5$ mm 套管封过沙三上或沙三中及以上承压能力低的地层, 三开采用 $\varnothing 215.9$ mm 钻头钻至井底, 下入 $\varnothing 139.7$ mm 套管或尾管。如果继续往下钻探太古

表2 已钻井复杂情况统计

井号	复杂情况	层位	原因分析
Y928	井漏(漏失 385.7 m ³) 卡钻	沙四下 前震旦系	裂缝性漏失 井壁坍塌
Y930	井漏(漏失 50.1 m ³)	沙四上纯下亚 段-沙四下	裂缝性漏失
YX934	含 H ₂ S	沙三中	
Y928-X1	含 H ₂ S	沙三中	
Y935	井漏(漏失 5.55 m ³)	沙四下	裂缝性漏失

界地层,三开采用 Ø177.8 mm 套管将高压层封住,四开采用 Ø152.4 mm 钻头打开低压层,下入 Ø114.3 mm 套管或裸眼完井。

3.1.2 开发方案

在地层特性较为清晰的区域,开发井井身结构方案相对简单,主要采用二开结构,能够在确保钻井施工安全的前提下,降低钻井开发综合成本,提高 Y3 断块油气藏整体开发的经济效益。表 3 为定向井井身结构方案,表 4 为水平井井身结构方案。

表3 开发井井身结构方案(定向井)

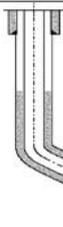
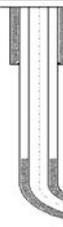
井号:Y ×	井型:定向井	钻机型号:大庆 II 型
水泥返至地面		一开 Ø346.1 mm × 351 m Ø273.1 mm × 350 m
井身结构	水泥返至油气顶 200 m 以上	二开 Ø215.9 mm 钻头 Ø139.7 mm 套管

表4 开发井井身结构方案(水平井)

井号:Y - P ×	井型:水平井	钻机型号:大庆 II 型
水泥返至地面		一开 Ø444.5 mm × 401 m Ø339.73 mm × 400 m
井身结构	水泥返至油气顶 200 m 以上	二开 Ø241.3 mm 钻头 Ø177.8 mm 套管

3.2 钻头优选

钻头类型的选择对于提高机械钻速具有重要意义。结合 Y3 断块已钻井钻头使用情况的统计分析(图 1~3),考虑钻头类型与地层岩石的匹配关系,同时兼顾钻头使用的综合经济成本与生产周期,针对不同地层推荐了钻头类型优选系列(表 5),为 Y3 断块后续井的钻进施工提供了帮助。

3.3 绕锥水平井井眼轨道优化设计

针对 Y3 复杂断块立体开发对钻井提出的挑战,进行了复杂结构井入靶前造斜率合理优化、跨断

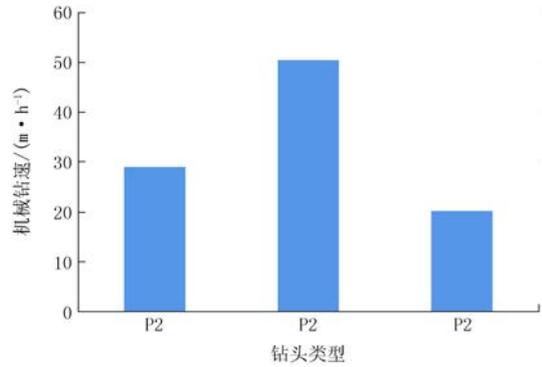


图1 Ø444.5 mm 钻头(平原组)

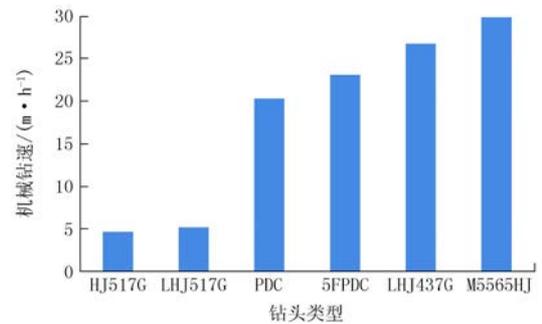


图2 Ø311.2 mm 钻头(明化镇组,沙三段)

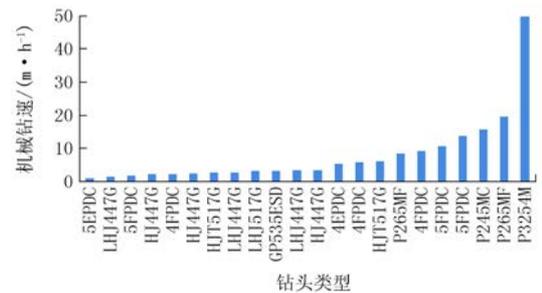


图3 Ø215.9 mm 钻头(沙三段,沙四段)

表5 Y3 断块钻头优选系列

地层	钻头直径/mm	钻头型号
平原组	444.5, 346.1	P2
平原组~馆陶组	311.2, 241.3, 215.9	HAT127
东营组~沙三段	311.2, 241.3, 215.9	PDC, HAT127, H517
沙三段~沙四段	241.3, 215.9	PDC, HJT517GK
沙四段~太古界	215.9	HJ447G, HJT517G, LHJ517G

层、绕锥水平井法向落差与调整段长度合理匹配的研究。

3.3.1 绕锥水平井

绕锥水平井目的开发沙二 6⁻¹ 小层,可以串联控制水锥两侧剩余油富集区,提高储量控制程度,避开水锥,减低固井风险,同时节约钻井投资和地面建设投资,但同时也给钻井带来一定的风险,井眼轨迹波动较大绕锥后端携砂困难,后期井段摩阻及扭矩较大,绕 1 m 高度水锥需 30~50 m 的调整段,绕 3

m 高度水锥需绕 130 ~ 150 m 调整段,地质特点满足钻井施工技术条件。绕锥水平井井眼轨迹见表 6、图 4。

表 6 绕锥水平井井眼轨迹

井深 /m	井斜角 /($^{\circ}$)	方位角 /($^{\circ}$)	垂深 /m	投影位 移/m	造斜率/[($^{\circ}$)·(100 m) $^{-1}$]	靶点
1700.00	0	0	1700.00	0	0	
1845.19	36.3	89.77	1835.67	44.47	25	
1946.41	36.3	89.77	1917.25	104.39	0	
2172.12	92.73	89.77	2010.5	300	25	P15-A
2277.24	92.73	89.77	2005.5	405	0	P15-B
2323.29	83.65	89.76	2006.95	450.97	15	
2346.34	83.65	89.76	2009.5	473.89	0	
2354.51	82.35	89.77	2010.5	482	15	P15-C
2368.06	80.32	89.77	2012.54	495.39	15	
2392.35	80.32	89.77	2016.63	519.33	0	
2422.27	84.81	89.77	2020.5	549	15	P15-D
2488.55	84.81	89.77	2026.5	615	0	P15-E

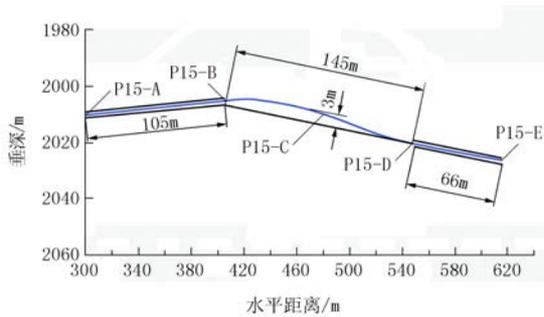


图 4 绕锥水平井剖面图

3.3.2 跨断层水平井

跨断层多靶点水平井目的是开发沙二₃₋₂小层,可串联控制块间剩余油富集区,提高储量控制程度,节约钻井和地面配套投资。但该类型水平井在穿越断层时造斜率不稳,轨迹控制难度大,钻遇复杂地层多,井下复杂情况发生几率大,处理困难,固井难度也相应增大,跨越 5 m 垂深落差需 70 m 的调整段,地质特点满足钻井施工技术条件。跨断层绕锥水平井井眼轨迹见表 7、图 5。

表 7 跨断层绕锥水平井井眼轨迹

井深 /m	井斜角 /($^{\circ}$)	方位角 /($^{\circ}$)	垂深 /m	投影位 移/m	造斜率/[($^{\circ}$)·(100 m) $^{-1}$]	靶点
1630	0	0	1630	0	0	
1826.45	49.11	327.27	1803.26	79.16	25	
1920.12	49.11	327.27	1864.58	149.98	0	
2083.67	90	327.27	1920.5	300	25	A
2108.67	90	327.27	1920.5	325	0	
2148.67	84	327.27	1922.59	364.93	15	
2156.67	84	327.27	1923.43	372.88	0	
2196.67	90	327.27	1925.5	412.81	15	
2263.86	90	327.27	1925.5	480	0	D

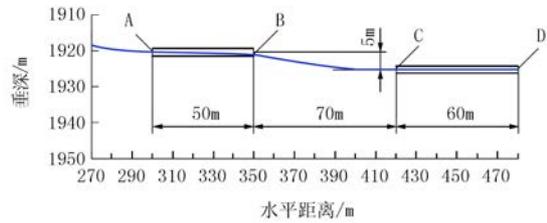


图 5 跨断层水平井剖面图

4 实例分析

4.1 Y3-X177 井

Y3-X177 井是一口三维跨断层定向井(见图 6),断块构造极其复杂,受北界南倾近东西向的 Y3 二级大断层控制,断层落差在 150 ~ 450 m,断块内部又发育二条规模较大的近东西走向的断层,将断块切割为 4 个台阶,内部由 15 条小断层切割成 16 个含油断块。

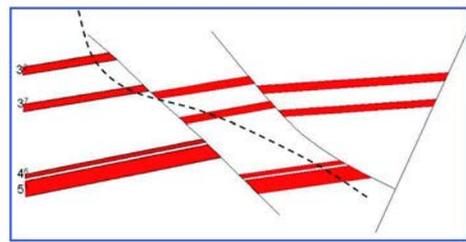


图 6 Y3-X177 跨断层

该井设计井深 2618.88 m,水平位移 569.50 m,A 靶井斜角 55.6 $^{\circ}$ 、方位角 104.66 $^{\circ}$,垂深 1951 m;B 靶井斜角 55.6 $^{\circ}$ 、方位角 104.66 $^{\circ}$,垂深 1997 m;C 靶井斜角 62.57 $^{\circ}$ 、方位角 53.06 $^{\circ}$,垂深 2095 m。本井三靶设计靶半径均为 15 m,井斜增至 39.25 $^{\circ}$ 后,需要将方位从 154.88 $^{\circ}$ 以 25 $^{\circ}$ /100 m“狗腿”度扭到 104.66 $^{\circ}$ 中 A 靶,再稳斜稳方位中 B 靶,之后又以 30 $^{\circ}$ /100 m 的“狗腿”度扭方位至 53.06 $^{\circ}$ 中 C 靶。在整个定向施工过程中,方位变化 101.82 $^{\circ}$ 。本井结构比较复杂,钻具组合强度是施工的关键因素,因此必须首先校核钻具组合的力学强度,确保钻井施工安全。定向段钻具组合:Ø215.9 mm 钻头 + Ø171.5 mm 1.5 $^{\circ}$ 单弯动力钻具 + Ø158.8 mm 无磁钻铤 9 m + MWD + Ø158.8 mm 钻铤 27 m + Ø127 mm 加重钻杆 270 m + Ø127 mm 钻杆。钻具组合强度分析见表 8。

图 7 ~ 11 是钻具组合力学强度的校核曲线,从图中可以看出,钻具组合在满足定向段钻井施工的同时,力学强度满足要求,能够保证钻井的顺利进行。图 12 ~ 13 是本井实钻轨迹与设计轨迹的投影对比图,其中蓝线为设计线,红线为实钻线,从图中

表8 钻具组合强度分析

钻柱名称	外径/mm	内径/mm	钢级	质量/(kg·m ⁻¹)	长度/m	屈服强度/MPa	抗拉系数	抗内压数	抗扭系数	MISES系数
钻铤	158.8	71.4		123.7	36			15.76	85.20	15.58
加重钻杆	127	76.2		83.67	270			15.66	29.98	15.64
钻杆	127	108.6	G-105	29.1	2305.77	724	8.71	5.3	7.93	5

注:中和点深度为2380.61 m,中和点位置是外径127 mm、内径76.2 mm加重钻杆。

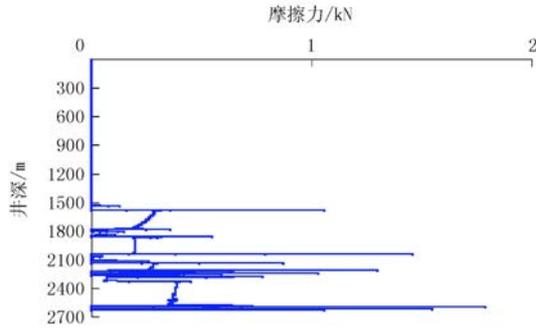


图7 钻柱摩擦力

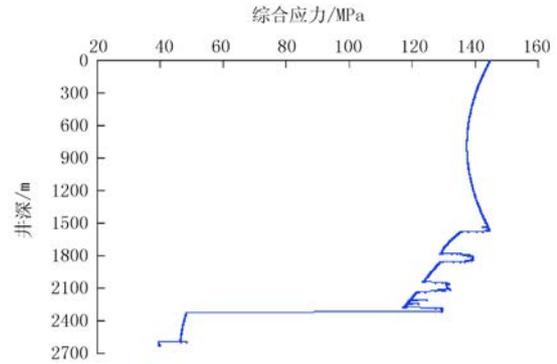


图11 钻柱综合应力

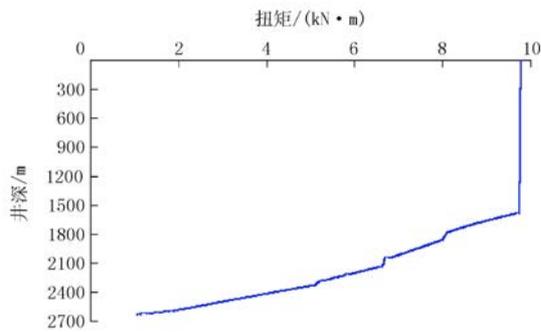


图8 钻柱扭矩

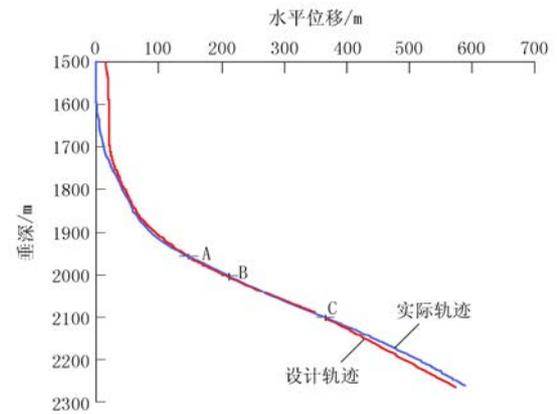


图12 Y3-X177井垂直投影

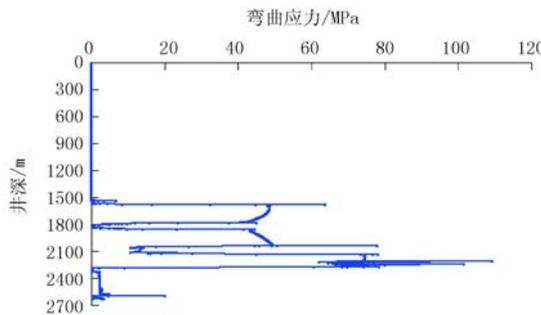


图9 钻柱弯曲应力

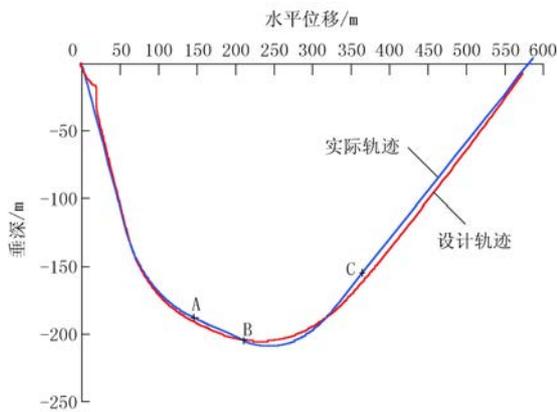


图13 Y3-X177井水平投影

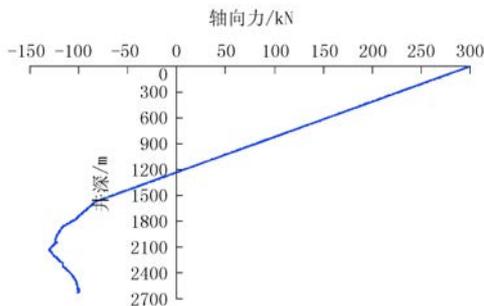


图10 钻柱轴向力

可以看出,实钻轨迹与设计轨迹基本吻合,符合率90%,并且实钻资料表明,钻井过程中未发生钻具失效的复杂情况,证实了本井工艺技术的可行性。

4.2 Y3-P9井

Y3-P9井钻探目的层为Y3断块区西部复杂断块沙二下段5⁻¹小层Y3斜107断块和5⁻²小层Y3侧94断块,为一口四靶点阶梯水平井(见图14)。在方案实施的基础上,根据邻井钻遇5砂层组油层情况,结合断块区内老井生产动态及水淹规律情况,分析剩余油主要分布在构造高部位断层夹角处及沿断层一线腰部及构造高部,西部复杂断块剩余油分布相对比较零散,单井控制储量低,钻井目的利用一口跨断块阶梯水平井控制多个断块剩余油富集区,控制边底水舌进和锥进,最大程度接触油层,提高储量控制及动用程度。

Y3-P9井设计垂深2001 m,A靶垂深1986 m,

B靶垂深1988 m,A~B靶间水平距离99.81 m,C靶垂深1998.5 m,B~C靶间水平距离102.65 m,D靶垂深2001 m,C~D靶间水平距离116.52 m。该井轨迹参数见表9。

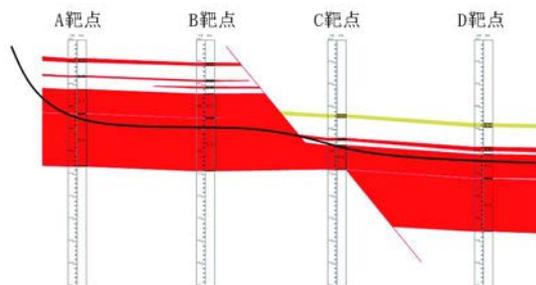


图14 Y3-P9井水平井区四靶点东西向油藏剖面

表9 轨迹参数

井深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	垂深/m	水平位移/m	南北/m	东西/m	“狗腿”度/[(°)·(100 m) ⁻¹]	工具面/(°)	靶点
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1741.13	0.00	285.00	1741.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1937.57	45.96	285.00	1917.18	74.63	19.32	-72.09	23.39	0.00	
2120.94	88.85	292.07	1986.00	239.81	71.85	-228.79	23.78	10.35	A
2220.77	88.85	292.07	1988.00	339.39	109.35	-321.29	0.00	0.00	B
2259.47	83.08	286.90	1990.72	377.96	122.22	-357.65	19.99	222.02	
2324.04	83.08	286.90	1998.50	442.03	140.85	-418.99	0.00	0.00	C
2329.04	83.08	286.90	1999.10	446.99	142.29	-423.74	0.00	0.00	
2371.80	90.43	282.51	2001.52	489.55	153.11	-464.99	19.99	329.34	
2440.74	90.43	282.51	2001.00	558.19	168.05	-532.29	0.00	0.00	D

图15是Y3-P9实钻轨迹投影图,从图中可以看出,本井实钻轨迹精确钻遇目的层,断块前钻遇油层180 m,断块后钻遇油层110 m,断块前后垂直落差9.17 m。施工过程采用常规手段,施工非常顺利,没有发生任何井下不安全的情况,并成功穿透2个跨断块油藏,说明优化方案得到了可靠验证。

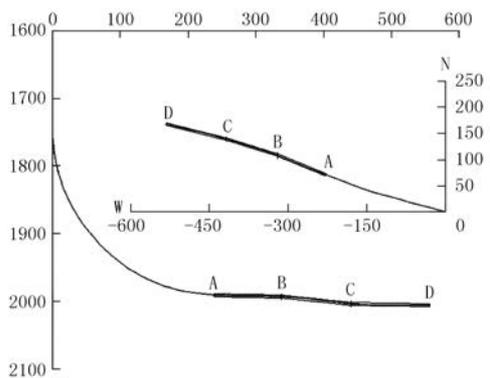


图15 Y3-P9实钻轨迹投影

5 结论与建议

(1)Y3断块由于地质情况复杂,井下复杂情况主要是裂缝性漏失;

(2)针对Y3断块的开发情况,针对井身结构、井眼轨道、钻头类型提出了钻井优化方案。现场应用结果表明,实钻轨迹与设计方案符合率达到90%,满足了油气藏高效开发的要求,并且无井下复杂情况发生,证实了钻井方案的技术可行性;

(3)进一步实施断块复杂结构井钻完井技术,在断块油气田开发中推广应用。

参考文献:

- [1] 李静,张金昌,陈晓琳.地质勘探钻孔轨迹计算新模型[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(1):22-24.
- [2] 董世明,施太和.构造应力场对井眼轨迹影响的实验研究[J].石油钻采工艺,1995,17(5):50-52.
- [3] 任岚,赵金洲,胡永全.断块油藏中阶梯水平井的渗流特性[J].石油学报,2011,32(1):107-112.
- [4] 贺其川,王德训.松滋油田复I断块水平井开发方案优化[J].石油天然气学报,2011,33(1):135-138.
- [5] 孙飞飞.大倾角地层水平井钻井轨道设计技术研究[J].内蒙古石油化工,2011,21(6):108-109.
- [6] 丁祖鹏,刘月田,罗艳艳.潜山油藏水平井立体注采开发优化设计[J].油气井测试,2011,20(2):49-51.
- [7] 蒋平屏.川西新场须四段气藏深井水平井钻井技术[J].钻采工艺,2011,34(2):93-95.
- [8] 朱卫红,牛玉杰,陈新林.复杂油气藏水平井钻井地质设计及跟踪方法[J].钻采工艺,2010,32(1):111-116.