

文章编号: 1000 0747(2006) 06 0722 07

塔里木油田水平井高效开发技术

相建民

(中国石油塔里木油田分公司)

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目(0201013)

摘要: 水平井是实现塔里木复杂油气藏高效开发的关键技术, 应用于不同类型油气藏。在新油田高效开发、老油田剩余油挖潜调整、气藏及凝析气藏开发、注水等领域都取得了良好的应用效果。通过 10 年的开发实践, 逐步形成了适合塔里木油田水平井高效开发的配套技术: 油藏精细描述技术、水平井网优化部署技术、水平井优化设计技术、随钻轨迹跟踪优化调整技术、水平井产能评价技术、超深水平井酸化技术、水平井水淹动态监测技术等。随着油田开发难度加大, 应加强研究适合塔里木油田的水平井稳油控水技术、特殊油气藏水平井开发机理、水平井注水技术及水平井测井技术等。图 6 表 8 参 13

关键词: 塔里木油田; 水平井; 优化设计; 地质导向; 产能评价; 注水; 产液剖面

中图分类号: TE355.6

文献标识码: A

Development technique for horizontal wells in Tarim Oilfield

XIANG Jian min

(PetroChina Tarim Oilfield Company, Xinjiang 841000, China)

Abstract: Horizontal drilling is applied widely to different oil/gas reservoirs in Tarim Oilfield. Good effects have been gained in developing new oil reservoirs, readjusting old oil reservoirs, developing gas/condensate reservoirs, and flooding. Over the past decade, a complete set of horizontal drilling technologies have been developed in Tarim Oilfield, including fine reservoir description, well pattern allocation optimization, horizontal well optimization design, control while drilling, production evaluation, acid treatment, waterflooding mechanism and dynamical monitoring and so on. The successful experience and future development of horizontal drilling technology in Tarim Oilfield are pointed out, and it will be a guide to developing horizontal drilling technology.

Key words: Tarim Oilfield; horizontal well; optimization design; geosteering; production evaluation; water injection; production fluid profile

1 水平井技术应用现状

塔里木油田油藏类型多, 油藏超深(大于 3800m)、部分油藏超薄(小于 1.5m)。在特殊的地理及地质条件下, “稀井高产”是塔里木油田必须遵循的开发原则。为此, 塔里木油田以水平井技术为主实现了油田开发的高水平和高效益。截至 2005 年 10 月, 塔里木油田共有水平井 190 口, 其中采油井 179 口(双台阶水平井 21 口), 注水井 11 口(双台阶水平井 7 口)。目前, 水平井井数占塔里木油田全部井数的 26%, 水平井日产水平占整个油田日产水平的 53%; 水平井单井平均日产为 46t/d, 是直井单井平均日产的 2.9 倍(见图 1)。

2 水平井应用范围及效果

水平井在塔里木油田得到了广泛应用, 不仅以水平井为主高效开发了塔中 4、塔中 16、哈得 4 等新油田, 在轮南、东河等老油田综合调整中也取得了巨大成效; 水平井不仅用于采油采气, 还用于油田注水。

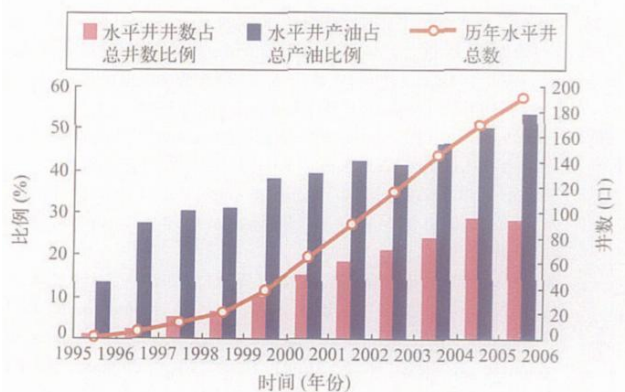


图 1 塔里木油田水平井应用现状

2.1 实现新油田整体高效开发

以塔中 4 油田和哈得 4 油田为例。TZ402 高点主力油藏 C_m油层组采用 5 口水平井和 17 口直井开发。与直井相比, 水平井单井产能高、无水采油期长、无水采油期累计产油高。截至 2005 年 10 月, 5 口水平井的累计产油量远高于 17 口直井(见表 1)。TZ402 高点

C_{III}油层组采油井 22 口(其中水平井 5 口),含水率 64.7%,可采储量采出程度 82%,利用水平井技术实现了稀井网条件下油藏高效开发。

表 1 TZ402 高点 C_{III}油层组开发井生产情况

井型	井数	单井 产能(t/d)	无水采油 期(d)	无水采油期 产油(万 t)	综合含水 率(%)	累计产油 (万 t)
水平井	5	715	1760	91.7	75.3	617.4
直井	17	103	681	9.09	48.2	246.1

哈得 4 油田有东河砂岩油藏和薄砂层油藏两套开发层系,其中东河砂岩油藏属于超深(埋深超过 5000m)、低幅度、低丰度砂岩油藏;薄砂层油藏埋深超过 5000m,油层厚度仅 0.6~2.1m,储量丰度 18 万 t/km²,属超深低幅度、特低丰度、超薄砂岩油藏。哈得 4 油田发现之初被评价为边际效益油田。为有效开发该油田,大胆采用水平井技术。其中,东河砂岩油藏采用 61 口水平井,薄砂层油藏水平采油井 17 口,双台阶水平注水井 7 口。截至 2005 年底,哈得 4 油田建成产能 195 万 t,年产油量从 1998 年的 1.5 万 t 上升到 2005 年的 193 万 t。

2.2 老油田综合调整和低渗层动用

在老油田综合调整过程中,塔里木油田以水平井为主进行综合调整和低渗透难采储量的动用。

轮南油田于 1992 年 5 月投入开发,开发方式上采用“稀井高产”的原则,井距 700~900m,井间未控制区的局部高点油层难以动用,采用直井开发效果不好。为此,采用水平井进行井间剩余油挖潜调整。此外,轮南 2 井区 T_I 油层组随采出程度增加,层间矛盾逐渐显现:T_I³ 为中高渗层, T_I² 为低渗层, T_I² 储量动用程度低,直井开发效果差(见表 2),为此采用水平井挖潜 T_I² 低渗层。水平井技术综合调整的实施效果显著,实现了剩余油挖潜和低渗透储集层难采储量的有效动用。

表 2 轮南油田挖潜低渗层水平井生产情况

井型	井号	投产 时间 (年.月)	投产初期		至 2005 年 10 月		累计产油 (万 t)
			产油 (t/d)	含水率 (%)	产油 (t/d)	含水率 (%)	
水平井	LN2 1 17H	2002.07	53	0.1	16	59.7	3.768
水平井	LN2 3 H1	2002.11	62	27.3	11	86.5	3.062
水平井	LN2 23 H1	2000.04	122	0	10	92.5	8.58
水平井	LN2 24 H1	2000.09	74	3.7	42	17	9.98
水平井	LN2 25 H1	2001.05	149	0.3	25	66.9	6.12
直井	LN2 3 15	2001.08	6	0	5	89.7	1.05
直井	LN2 22 3	1993.06	不出液,酸化,2001.05 改层				3.19

通过以水平井为主的综合治理,目前,轮南油田动态可采储量比标定可采储量高 65 万 t,采收率提高 1.6%。截至 2005 年 10 月,日产油 1293t,含水率 77%,累计产油 1302 万 t,可采储量采出程度 74%。

东河油田 1993 年 10 月投入开发,纵向分为 C_{III}⁰ 至 C_{III}⁹ 共 10 个岩性段,剩余油主要分布在 C_{III}¹⁺² 段。与其他岩性段相比, C_{III}¹⁺² 岩性段渗透率低(平均 18mD)。2000 年以来,先后在顶部低渗层新钻 3 口直井,虽然剩余油分布落实,但由于物性较差,直井生产不理想,其中 DH1 4 5 井 2002 年 3 月电泵投产 C_{III}¹ 岩性段不出液,同年 12 月改为 C_{III}¹ 岩性段注水,注水泵压 29.8MPa,日注水量仅 39m³/d。由表 3 可见,利用水平井技术有效动用了低渗岩性段的难采储量。

表 3 东河油田低渗岩性段调整水平井与直井生产情况

井型	井号	投产 时间 (年.月)	投产初期		至 2005 年 10 月		累计产 油(万 t)
			产油 (t/d)	含水率 (%)	产油 (t/d)	含水率 (%)	
水平井	DH1 H1	1999.11	164	13.7	173	34.4	19.4
水平井	DH1 H2	2003.03	58	3.5	35	17.4	3.31
水平井	DH1 H3	2004.06	79	1.1	114	0.4	4.77
水平井	DH1 H4	2005.04	60	0.5	44	0	1.09
直井	DH1 4 5	2002.05	15	33.8	0		0.25

2.3 水平井在凝析气藏开发中的应用

塔里木油田发现大量的带底油的凝析气田,油环厚度小(2~10m),原始地层压力高,气藏类型复杂,国内外没有可借鉴的开发经验。水平井开发凝析气藏除了具有泄油面积大、单井产能高、生产压差小、延缓气水锥进等特点外,还具有生产压差小可延缓注入气突破、降低地层反凝析对产能的影响等优点^[1,2]。目前水平井技术已应用在塔里木牙哈 23、英买 7 区块、柯克亚等复杂凝析气藏^[3,4]。

以牙哈 23 凝析气田为例。该凝析气田于 2000 年 10 月投入开发,采用循环注气,部分保持压力开采。为了探索水平井在凝析气田开发中的可行性,2000 年 11 月投产了 YH23 1 26H 井,实施结果显示:水平井生产压差 0.58MPa,比直井生产压差低 1.02MPa;水平井气油比 1786m³/t,直井气油比为 2356m³/t;截至 2005 年 10 月,水平井日产气 55 万 m³,日产凝析油 313t,比直井平均日产油更高(见表 4)。2005 年 7 月投产一口新水平井 YH23 1 H1 井,日产凝析油 179t,气油比 1642m³/t。该井的成功实施为综合调整提供了新技术和新思路,目前已制定了以水平井为主的开发调整方案。

表 4 牙哈 23 凝析气田水平井与直井生产情况

井型	井号	产油 (t/d)	产气 (万 m ³ /d)	压差 (MPa)	累计产量		无阻 流量 (万 m ³)
					油 (万 t)	气 (亿 m ³)	
水平井	YH23 1 H26	313	55.9	0.58	46.5	7.84	1001.3
水平井	YH23 1 H1	179	29.39		1.39	0.23	
直井	YH23 1 18	66	15.55	1.6	21.71	4.12	233.69

2.4 超深超薄油藏注水高效开发

哈得 4 薄砂层油藏在国内首次采用水平井注采开发。根据直井和双台阶水平井试注资料^[5,6],直井注水启动压力 17MPa,正常试注日注水量 130m³时,井口压力 28MPa,井底压力已经接近地层破裂压力,直井注水难以实现薄砂层油藏有效开发;而水平井注水启动压力 0~3.6MPa,水平井吸水指数 22.03m³/(d·MPa),而直井吸水指数 2.5 m³/(d·MPa)。

自 2003 年 10 月全面注水以来,薄砂层油藏地层压力、原油日产量逐渐上升并稳定(见图 2),至 2005 年 6 月,日产液 1058t、日产油 899t,综合含水率 16.1%,日注水 1060m³,累计注采比 0.45,累计产油 129 万 t,采出程度 10.82%。说明水平井注水实现了超深超薄油藏高效开发。

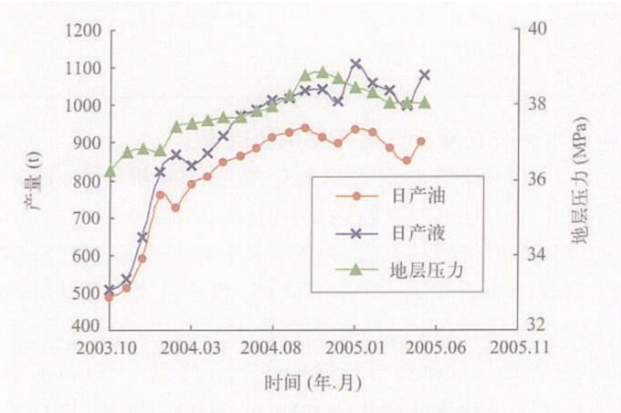


图 2 哈得 4 油田薄砂层油藏注水效果

3 水平井高效开发技术系列

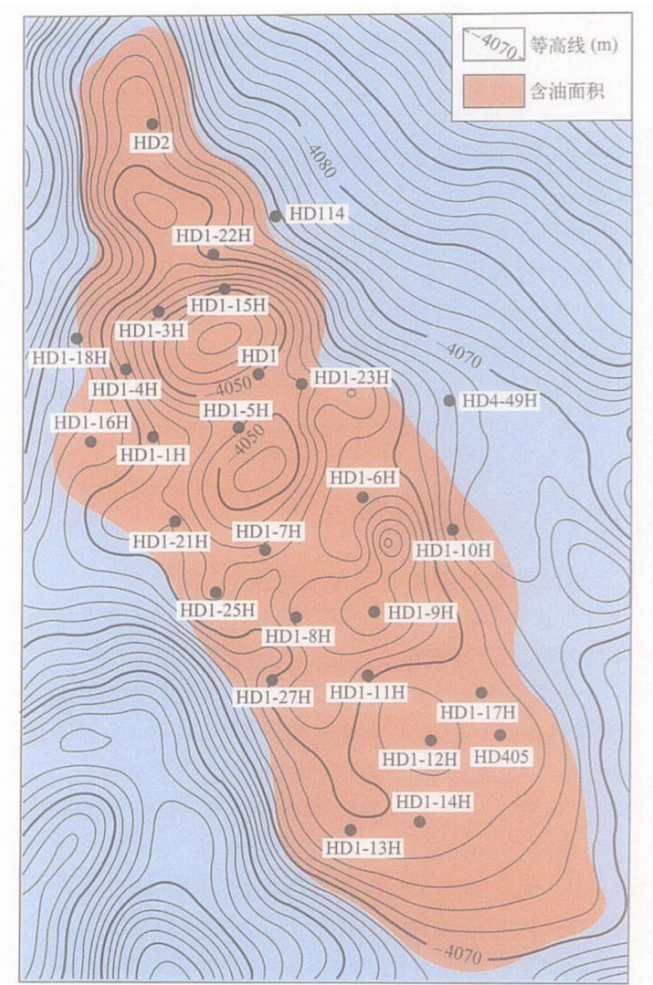
通过油气藏精细描述、地质模型、数值模拟模型和开发机理研究,形成了水平井高效开发技术,如油藏精细描述技术、井网优化部署和设计技术、随钻跟踪优化技术、产能评价技术、采油配套技术、动态监测技术等。

3.1 油藏精细描述技术

准确的地质预测是水平井尤其是超深超薄油藏双台阶水平井优化设计和成功实施的前提^[7]。

以哈得 4 油田为例。哈得 4 薄砂层油藏勘探开发的主要技术困难表现为:埋藏深,构造难以准确描述;油层超薄,准确预测难;储量丰度特低,有效开发难。因此,解决这些困难的关键在于构造精细描述。采用精细层位标定技术和精细速度建场技术,利用 8 口井的 VSP 资料对主要标志层(二叠系火成岩和石炭系的标准灰岩)进行精细标定;在原始速度资料处理过程中,采用中值滤波法对速度异常点进行校正,利用测井约束反演、地震属性提取,结合钻井、测井资料,对火成

岩的分布和速度变化规律进行了研究,利用层位控制法建立精细的速度场。在此基础上,利用新钻井资料,不断对三维地震解释进行校正,精细刻画薄砂层的构造形态(见图 3)。



署方式: ①水平段平行于构造走向; ②水平井排交错平行(水平井平行构造走向, 但每排水平井的水平段相互交错排列); ③水平段垂直于构造走向。结果表明, 第②种部署方式的开发效果明显优于其他方案, 且水平井水平段之间垂直距离 1300m、端点之间距离 650 ~ 1000m 的开发效果最好。

在井网部署基础上, 进一步优化注采方式。通过多种方式进行机理评价, 对单纯的边缘环状注水和边缘环状+适时中间点状注水等 2 种注采方式进行全油田方案对比。结果表明, 边缘环状+适时中间点状注水开发方式在产油、含水、压力保持水平等方面指标都比单纯的边缘环状注水开发方式要好。

3.3 水平井优化设计技术

水平井地质优化设计需要考虑的因素很多^[8]。根据塔里木油田的经验, 新区开发应在构造和储集层精细描述、数值模拟基础上, 优化设计水平井。而对老油田调整^[9], 由于原始油水界面已经变化, 应在储集层精细描述和精细数值模拟基础上, 精细刻画剩余油分布规律, 优化设计水平井。

3.3.1 水平井垂向位置优化

水平井垂向位置是影响水平井开发效果的一个非常关键的因素。新区水平井布井原则: 水驱控制储量最大, 远离边底水。调整水平井布井原则: 剩余油储量, 剩余油分布状况清楚。水平井垂向位置设计原则是位于储集层顶部、夹层以上、物性好的储集层, 尽量远离边底水, 提高挖潜效果。

HD4 31H 井实钻轨迹显示大部分水平段位于差油层(见图 4), 导致该井控制储量低、产能低。该井 2004 年 12 月抽油机投产, 日产油仅 15t, 远低于邻井产能, 目前累计产油仅 0.7 万 t。

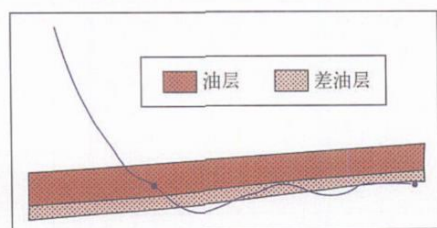


图 4 HD4 31H 井实钻水平段轨迹示意图

油藏工程理论认为^[10], 最佳避水厚度为 0.8 ~ 0.9 倍油层厚度。数值模拟表明, 水平段避水厚度越大, 水平井开发效果越好。但是考虑到钻井风险(如钻入泥岩, 降低油层钻遇率等), 水平段距油水界面距离 0.7 ~ 0.9 倍油层厚度较合适。

3.3.2 水平段长度优化

研究表明, 水平段越长, 开发效果越好, 最终采出程度越高; 但随水平段长度增加, 产能贡献增加程度和最终采出程度增加幅度越来越小。考虑钻井成本、摩擦阻力等因素, 水平段不宜太长。

根据数值模拟和塔里木油田水平井开发实践, 新区水平段合理长度 300m 左右, 物性较差的储集层水平段长度适当增加到 400m。利用水平井调整挖潜老油田剩余油时^[9], 根据剩余油分布规律、储集层物性等, 水平段合理长度为剩余油分布区域长轴长度的 1/2 ~ 1/3, 尽量降低钻遇边底水的风险。气藏或凝析气藏^[3]中, 由于气井产量高, 在凝析气藏水平段存在摩擦阻力和非达西流情况下, 最佳长度为 400 ~ 600m。

3.4 随钻轨迹跟踪优化调整技术

塔里木油田水平井钻井过程中, 强调钻井和地质密切配合, 钻井服从地质, 地质服务于钻井。工程与地质相结合管理模式是水平井随钻轨迹跟踪优化的关键。必须充分利用地质资料和导眼井资料, 分析预测储集层走向, 及时优化调整水平井段的位置, 从而保证水平井高产高效。

塔里木油田采用 FEWD(随钻地层评价)和随钻测井地质导向(Geosteering)技术^[11]完成水平段随钻轨迹跟踪优化并实时调整。综合利用 FEWD 实测数据和精细录井, 根据上部井眼实钻曲线及井眼轨迹情况, 分析判断实钻轨迹, 明确实钻井眼的实际位置, 分析油层位置变化趋势, 及时采取措施, 准确控制井眼轨迹穿行于储集层中有利于产油的佳位置。对于复杂油藏, 采用随钻测井地质导向技术。塔里木油田采用该技术, TZ40 H7 井在 0.8 ~ 1.2m 的薄油层中钻水平段 545m, 油层钻遇率高达 87.5%; HD10H 井多次调整水平段轨迹, 在 0.4m、0.6m 厚的两个超薄砂层中完钻高难度双台阶水平井(见图 5)。

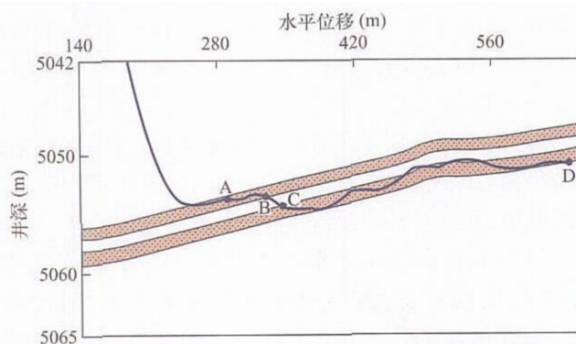


图 5 HD10H 井实钻水平段轨迹图

由于采用上述跟踪技术, 哈得 4 油田东河砂岩已完钻常规水平井 61 口, 成功率 100%, 油层钻遇率 95%; 已完钻的薄砂层油藏阶梯水平井 21 口, 成功率

100%, 油层钻遇率超过 80%。

3.5 水平井产能评价技术

3.5.1 初期产能评价

国内外学者曾推导出许多水平井产能预测公式, 但是误差太大。塔里木油田根据开发区水平井采油指数、有效渗透率、油层有效厚度、水平段有效长度的统计资料, 回归并建立水平井初期产能关系, 是一种计算油藏平均产能及预测新井产能的简单适用的方法。哈得 4 油田东河砂岩油藏采用一套井网以水平井为主开发。根据哈得 4 油田水平井资料整理分析, 建立了该油田水平井初期产能评价公式。

$$J_o = 0.0001 K_e h_e L_e \quad (r = 0.9614)$$

式中 J_o ——采油指数, $t/(d \cdot MPa)$; K_e ——有效渗透率, mD ; h_e ——油层有效厚度, m ; L_e ——水平段有效长度, m 。

3.5.2 无水采油期合理产能评价

根据表 1 和文献[12], 塔里木油田水平井无水采油期开发效果很好, 水平井见水后含水上升快, 限于目前的工艺技术条件, 水平井后期稳油控水措施余地小, 因此水平井投产后工作制度是否合理将直接影响水平井无水采油期及整体开发效果。为此, 有必要深入研究水平井无水采油期合理产能^[12], 以防止水平井过早见水见气, 使无水采油期开发效果最好。

塔里木油田根据水平井经济高效开发原则, 提出综合评价水平井无水采油期开发效果的目标函数 NPP (Net Present Production, 即净现产油量)。目标函数 NPP 值越大, 无水采油期开发效果越好, 从而确定水平井无水采油期合理产能, 其结果见文献[12]。

3.6 超深水平井酸化技术

由于水平井井身结构特点和不同于直井的地层渗流规律, 决定了水平井水平段易受到钻井液固相及滤液的伤害, 加上水平段钻井时间长, 外来流体与地层原油在一定地层条件下形成乳状液, 产生乳液堵塞。其次, 井底附近储集层黏土膨胀及颗粒运移, 对储集层造成新的伤害, 如轮南油田三叠系、哈德油田石炭系均存在一定的碱敏、酸敏特性, 导致储集层水锁及乳化堵塞。

塔里木油田超深水平井酸化存在如下技术难点: ①井深、地层温度高, 对酸化工作液配方的性能要求高。②酸化施工时间长, 给施工设备及施工后残酸返排都带来许多难题。③水平井段均匀布酸困难。为此, 优选确定了泡沫酸和深穿透缓速酸体系, 优化施工工艺参数。目前, 塔里木油田水平井酸化超过 30 井次, 累计增油超过 30 万 t。已形成了超深水平井酸化

配套技术, 在水平井增产增注方面作用巨大(见表 6)。

表 6 部分水平井酸化效果统计表

井号	措施时间 (年、月)	酸化前产量(m^3)			酸化后产量(m^3)		
		日产油	日产气	日产水	日产油	日产气	日产水
DH1 H1	2002.05	19	841	62	176	1594	151
TZ113H	2003.04	0	0	0	98	4632	7
TZ40 9H	2003.07	0	0	0	49	0	0

注: DH1 27H 井措施时间 2002 年 9 月, 措施前日注水 $171m^3$, 措施后日注水 $450m^3$; LN2 115H 井措施时间 2004 年 2 月, 措施前注不进, 措施后日注水 $150m^3$

3.7 水平井水淹动态监测技术

3.7.1 水平井水淹机理与水淹模式

通过水平井水淹动态的三维物理模拟、数值模拟跟踪和水平井精细动态分析, 深入研究了水平井动态和水淹机理, 归纳提出了塔里木油田水平井 3 种水淹模式: 线状见水整体水淹、点状见水逐步水淹和点状见水局部水淹。不同水淹模式从机理上解释了水平井无水采油期及含水期的含水变化特征, 水平井水淹模式不同, 后期开发潜力也不同, 其中点状见水局部水淹模式水平井后期潜力大, 是措施选井的重点对象。

3.7.2 水平井产液剖面测试技术

塔里木油田采用 Flagship 产液剖面测试技术, 监测水平段产液、注入情况, 为水平井生产管理和措施调整提供依据。

从 2002 年至今共测试 8 口水平井生产剖面, 成功获取了测试资料, 经过数值模拟和动态分析, 较符合的有 7 口, 说明水平井生产测井技术在塔里木油田基本达到可应用阶段。2004 年 9 月对哈得 4 油田双台阶注水井(HD1 11H 井)测试了吸水剖面, 结果显示, AB、CD 段吸水不均匀, 反映了油藏的真实情况(见表 7)。

表 7 HD1 11H 井水平段吸水剖面测试结果

井段	吸水层段 (m)	水平段长度 (m)	吸水量 (m^3/d)	占吸水量比例 (%)
AB	5055.54 ~ 5093.72	38.18	9.26	7.5
	5115.62 ~ 5193.84	78.22	10.48	8.5
	5215.89 ~ 5313.92	98.03	20.83	14.7
CD	5355.84 ~ 5454.02	98.18	50.55	41.08
	5455.59 ~ 5530.00	74.41	34.31	27.89

3.7.3 水平井注水水驱前缘监测技术

为了获取准确的监测资料, 把握油藏注水开发动态, 利用注水井水驱前缘监测技术可监测到注水井的水驱前缘、注入水波及范围、优势注水方向、区块水波及区, 为合理部署注采井网、挖掘剩余油、提高最终采收率, 提供了可靠的技术依据。

塔里木油田对哈得 4 薄砂层油藏双台阶注水水平井开展了水驱前缘监测, 监控水线推进状况, 为合理调

整注水量提供依据(见图 6、表 8)。

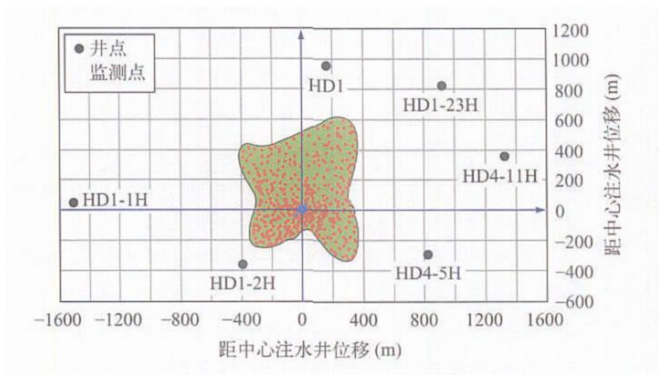


图 6 HD1-5H 井 AB 段水驱前缘图

表 8 水平井注水水驱前缘监测结果

井号	井段	方位 (°)	波及范围		
			长度(m)	宽度(m)	面积(万 m ²)
HD1-5H	AB	39.8	1129.3	1100.9	51.4
	CD	44.55	1130.8	601.2	41.3
HD1-11H	AB	67.78	1060.3	840.7	44.9
	CD	44.6	742.1	723.6	27.6
HD1-16H	AB	838.2	372.8	27.8	2.25
	CD	34.5	737.9	520.1	23.5
HD1-22H	AB	98.7	640.3	331.8	13.8
	CD	98.7	640.3	331.8	13.8
HD1-25H	AB	42.53	698	417.6	13.9
	CD	56.7	597.2	361.5	10.8
HD1-27H	AB	47.6	751.1	570.3	18.8
	CD	44.6	615.9	372.4	13.7

4 水平井高效开发的成功经验

生产实践证明,水平井高效开发应遵循“地质是基础、设计是关键、随钻要跟踪、管理要精细”的原则,具体如下。

多学科协同的管理模式和管理技术是实现水平井高效开发的基础。对新油气田开发,应在构造和储集层精细描述、精细数值模拟基础上,优化设计新油田水平井;对老区综合调整,在精细跟踪数模和精细动态分析基础上,量化剩余油分布,找准措施潜力,以水平井为主进行综合调整^[9]。

地质优化设计^[8]和轨迹跟踪调整^[11]是水平井高效开发的关键。水平井在油藏中的合理位置对水平井高效开发影响很大,因此必须在前期的地质设计中进行优化,在钻进过程中需要根据随钻情况进行适时调整,确保水平段在油藏中的位置最佳。

合理工作制度^[12]和控水稳油措施^[13]是实现水平井高效开发的保障。不同油藏水平井的水淹动态和开发效果存在很大差异,影响因素也不同,生产管理重点和措施也不同,需要针对不同阶段的主要影响因素

制定稳产技术对策。

5 塔里木油田水平井发展趋势和方向

塔里木油田水平井开发效果好,但是目前已进入中含水期。随综合含水率上升,产量递减严重,高含水后期剩余油分布复杂,水平井稳油控水和调整挖潜难度增大,对措施工艺技术要求更高。同时,其他特殊油气藏相继开发,特殊油气藏水平井开发机理研究也迫在眉睫。因此,水平井技术发展趋势和攻关方向为:①水平井堵水技术,堵水技术涉及的出水规律、找堵水工艺、耐高温堵剂等研究都不成熟,而塔里木油田水平井埋藏深、高温高矿化度等不利因素使堵水难度更大;②超长水平段测井、找水技术、产液剖面测试和综合解释技术;③超深水平井、大斜度井改造技术;④低渗透油气田和凝析气田水平井开发机理及注采气工艺技术;⑤水平井高含水期控水稳油配套技术;⑥水平井注水开发机理及注采系统优化;⑦水平井智能完井技术。

6 结语

水平井技术是实现塔里木油田高效开发的关键技术,已成功地应用于厚油层、薄油层、边底水油藏的整体开发和老油田挖潜调整,成功进行了气藏、凝析气藏和水平井的注水开发。

同时,水平井高效开发技术是一项系统工程,涉及地质、油藏、钻井、采油工艺等各个领域,需要多学科协同管理。应加强研究适合塔里木油田水平井稳油控水技术、特殊油气藏水平井开发机理、水平井注水技术及水平井测井技术等。

参考文献:

- [1] 李保柱,朱玉新,宋文杰,等.水平井技术在牙哈凝析气田开发中的应用[J].油气地质与采收率,2003,10(1):35-36.(LI Baozhu, ZHU Yuxin, SONG Wenjie, et al. Application of horizontal well in the development of Yaha condensate gas field [J]. Oil & Gas Recovery Technology, 2003, 10(1): 35-36.)
- [2] 陈文龙,吴迪,尹显林,等.水平井在凝析气田开发中的应用及效果评价[J].天然气地球科学,2004,15(3):290-293.(CHEN Wenlong, WU Di, YIN Xianlin, et al. The application and effectiveness evaluation of the horizontal wells in the development of gas condensate reservoir [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(3): 290-293.)
- [3] 尹显林,焦文东,张永灵,等.牙哈凝析气藏水平井优化设计及开发跟踪研究[J].天然气勘探与开发,2004,27(3):31-34.(YIN Xianlin, JIAO Wendong, ZHANG Yongling, et al. Horizontal well optimization design and development tracing research of Yaha gas condensate reservoir [J]. Natural Gas Exploration &

- Development, 2004, 27(3): 31-34.)
- [4] 王新裕, 牟伟军, 丁国发, 等. 柯克亚凝析气田挥发性油藏开发实践[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(5): 93-95. (WANG Xin yu, MU Wei jun, DING Guo fa, et al. Development of volatile gas pool in the Kekeya condensate gas field [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(5): 93-95.)
- [5] 高运宗, 杨建文. 双台阶水平井注水工艺在薄砂层油藏的应用[J]. 油气田地面工程, 2005, 24(6): 7-9. (GAO Yun zong, YANG Jian wen. The application of double step horizontal injection wells in super thin reservoir [J]. Oil Gas Field Surface Engineering, 2005, 24(6): 7-9.)
- [6] 荣宁, 吴迪, 韩易龙, 等. 双台阶水平井在塔里木盆地超深超薄边际油藏开发中的应用及效果评价[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(2): 230-232. (RONG Ning, WU Di, HAN Yi long, et al. The application and effectiveness evaluation of double step horizontal wells in super deep and super thin margin reservoir of Tarim [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(2): 230-232.)
- [7] 宋文杰, 朱卫红. 超深超薄油藏水平井开采技术[A]. 中国石油学会. 复杂结构井开采技术文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 157-164. (SONG Wen jie, ZHU Wei hong. The application of horizontal wells technology in super deep and super thin reservoir [A]. The Chinese Petroleum Society. The symposium of complex structure wells development technology [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. 157-164.)
- [8] 王振彪. 水平井地质优化设计[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 78-80. (WANG Zhen biao. Geological design optimization of horizontal well [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(6): 78-80.)
- [9] 徐安娜, 江同文, 伍轶鸣, 等. 轮南油田中高含水期稳产技术研究与实践[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 112-114. (XU An na, JIANG Tong wen, WU Yi ming, et al. The study and practice of technology for maintaining production during mid high water cut period at Lunnan oil field in Tarim basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 112-114.)
- [10] 范子菲, 宋文杰. 确定水平井水平段、垂直井射孔段最优位置方法[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(3): 72-75. (FAN Zi fei, SONG Wen jie. A study of determining the optimal position of perforated interval in a vertical well and that of a horizontal well [J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(3): 72-75.)
- [11] 苏义脑. 地质导向钻井技术概况及其在我国的研究进展[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 92-95. (SU Yi nao. Geosteering drilling technology and its development in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(1): 92-95.)
- [12] 周代余, 江同文, 冯积累, 等. 确定底水油藏水平井无水期合理产能方法[J]. 石油学报, 2005, 26(6): 86-89. (ZHOU Dai yu, JIANG Tong wen, FENG Ji lei, et al. A simplified approach for determining the reasonable water free production of horizontal well with bottom water drive reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(6): 86-89.)
- [13] 王青, 吴晓东, 刘根新. 水平井开采底水油藏采水控锥方法研究[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 109-111. (WANG Qing, WU Xiao dong, LIU Gen xin. Water extraction and cone control of horizontal well in exploitation of bottom water reservoir [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(1): 109-111.)

第一作者简介: 相建民(1956), 男, 陕西彬县人, 中国石油塔里木油田分公司技术发展处高级工程师, 主要从事油田开发与科技管理工作。地址: 新疆库尔勒市, 塔里木油田分公司技术发展处, 邮政编码: 841000; 电话: (0996) 2172320. E-mail: xiangjm_tlm@petrochina.com.cn

收稿日期: 2006-06-28 修回日期: 2006-10-02

(编辑 郭海莉 绘图 李秀贤)

“钻井基础理论与前沿技术开发新进展学术研讨会”在北京召开

2006年10月26至29日, 由中国石油天然气集团公司钻井工程重点实验室、中国石油学会石油工程专业委员会钻井工作部基础理论学组、北京振动工程学会联合主办的“钻井基础理论与前沿技术开发新进展学术研讨会”在北京召开。新成立的中国石油集团钻井工程技术研究院承办了这次会议。

来自中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司和7所大专院校的39个单位的92名代表参加了会议。

会上由包括李鹤林院士、洪伯潜院士和苏义脑院士在内的9位专家和特邀嘉宾作了专题学术报告, 有32篇论文在大会上

进行了交流。

本届大会的宗旨是: 密切交流合作, 深化基础研究, 加速科技成果转化, 坚持自主创新, 加强前沿攻关, 推动钻井技术进步。

中国石油天然气集团公司科技发展部副主任、中国石油集团钻井工程技术研究院院长孙宁在会上作了热情洋溢的讲话, 中国石油集团钻井工程技术研究院副院长、中国石油天然气集团公司钻井工程重点实验室主任苏义脑院士作了大会总结。会议取得圆满成功。

(徐鸣雨 供稿)