

海上稠油高效开发 NEW 新技术 TECHNOLOGIES (2012)

海洋石油高效开发国家重点实验室 编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书精选海上稠油高效开发技术优秀论文 45 篇, 内容包括加密调整技术、多枝导流适度出砂技术、化学驱油技术及海上稠油热采技术等, 对稠油油藏开发具有一定参考价值。

本书可供油田开发技术人员、管理人员及相关院校师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

海上稠油高效开发新技术. 2012 / 海洋石油高效
开发国家重点实验室编. —北京: 石油工业出版社,
2013. 1

ISBN 978 - 7 - 5021 - 9413 - 0

I. 海…

II. 海…

III. 海上开采 - 稠油开发 - 文集

IV. TE534.5 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 198743 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64523620

编辑部: (010) 64523544

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 21.5

字数: 544 千字

定价: 140.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前 言

2010 年，中国海洋石油总公司（简称中国海油）国内海上油气产量突破 5000 万吨，成功建成“海上大庆油田”，已形成渤海以油为主，南海、东海油气并举的开发格局。中国海油历经 30 年的发展，成为主业突出、产业链完整的综合型能源集团。进入“十二五”，新一届党组提出了“二次跨越”的发展战略，为中国海油的长远发展描绘了宏伟蓝图，即到 2020 年国内海上油气产量达到 7000 万吨；到 2030 年，国内海上油气产量达到 1 亿吨。新形势下，如何进一步提高储量动用程度、不断提高油田采收率，不断拓宽与延伸海上油田的开发之路，是海洋石油开发者必须思考的问题和追求的目标。

中国海油稠油资源量十分丰富，稠油油田主要分布在渤海海域，随着勘探技术的不断发展，渤海油区将发现更多的稠油储量。因此，海上稠油油田高效开发将是实现“二次跨越”产量目标的重要阵地之一。中国海油已经开展了一系列稠油开发技术攻关与示范工作，在海上稠油油田丛式井网整体加密调整技术、多支导流适度出砂技术、化学驱油技术等方面形成了特色技术，并在现场成功实施；在海上稠油热采方面进行了探索性研究，开辟了热采试验区，目前已取得了积极进展。特别是由于海洋石油特殊的地理环境和平台空间与设施限制以及平台寿命有限等特点，海油人在海上稠油高效开发领域遇到了诸多挑战，甚至一些稠油油田使用现有技术根本不能经济有效开发，为此，仍需在开发技术与政策、工程技术和生产管理等各方面深入研讨和学习借鉴，以促进我国海上稠油的高效开发，推动海洋石油工业的可持续发展。

为了集中研讨交流稠油开发的先进技术和经验、探索先进的稠油油田开发技术与工艺，海洋石油高效开发国家重点实验室联合中国石油学会海洋石油分会和中海油研究总院共同主办了稠油高效开发技术研讨会。该次会议得到了中国石油、中国石化和中国海油三大石油公司及科研院所、高等院校共计 20 余家单位 110 余位专家与学者的积极参与。会议共收到论文 72 篇，涵盖了研究成果、应用实例和国内外技术调研等方面的内容。为进一步促进交流，推进海上稠油高效开发技术不断发展，大会组委会决定组织出版《海上稠油高效开发新技术（2012）》。书中共精选论文 45 篇，希望对油田技术人员和科研院校师生有参考价值，对海上稠油高效开发新技术的应用和发展可以起到指导和借鉴作用。

目 录

丛式井网整体加密技术

渤海 S 油田加密调整实践与思考	马奎前 苏彦春 赵春明 刘英宪 (3)
基于净现值法确定海上油田合理井网密度	安桂荣 耿站立 周文胜 潘彩霞 许家峰 沙雁红 (12)
稠油油藏一次综合调整后潜力分析	屈亚光 安桂荣 周文胜 耿艳宏 (21)
稠油非线性渗流测定方法研究	汪伟英 柯文丽 喻高明 李庆会 戈 月 王 雨 (28)
海上稠油油藏 RPM 校正方法研究	汪忠浩 吴进波 李敬功 (34)

多枝导流适度出砂技术

多枝导流适度出砂井分支段优化模拟	陈朝晖 曾祥林 房茂军 梁 丹 (45)
渤海稠油非线性渗流规律研究	梁 丹 曾祥林 房茂军 (54)
海上稠油常规注水开发界限研究	房茂军 曾祥林 梁 丹 (61)
疏松砂岩油藏特殊渗流机理的实验研究	陈朝晖 曾祥林 房茂军 梁 丹 (66)
储层粒度纵向剖面神经网络预测模型研究及应用	王利华 邓金根 (76)
分支井眼夹壁墙固砂液体系室内研究	林科雄 舒福昌 向兴金 李玉光 王 珊 罗 刚 姚俊波 (85)
高频振动信号采集系统用于稠油出砂监测的有效性分析	刘 刚 韩金良 陈 超 刘澎涛 杨全枝 (91)
大排量螺杆泵技术在海上稠油油田的应用	管虹翔 吴怀志 何保生 武广瓊 于继飞 (99)
海上疏松砂岩稠油油藏防砂方式优选及应用	武广瓊 曹砚峰 何保生 管虹翔 张 磊 彭成勇 (105)
腐蚀油套管剩余寿命可靠性预测	翟晓鹏 楼一珊 何保生 管虹翔 (115)

海上稠油化学驱油技术

新型表面活性剂合成及其对驱油聚合物溶液黏度稳定性和驱油性能影响

..... 谭业邦 张 磊 吕 鑫 张 健 赵 娟 (125)

稠油开采用缔合聚合物—混合表面活性剂二元复合驱体系研究

..... 郭拥军 张新民 胡 俊 冯茹森 傅春燕 (132)

渤海 LD10-1 稠油含聚污水斜管除油器分离效率优化研究

..... 尹先清 靖 波 肖清燕 张 健 付家新 孟凡雪 陈 武 孙培京 (138)

海上稠油油田聚驱后二元复合驱注入方式优选实验研究

..... 宋考平 杨二龙 唐恩高 黄 斌 曲文驰 (143)

两亲高分子稠油降黏剂的乳化、降黏性质研究

..... 杨 惠 史学峰 徐晓慧 于怀清 王金本 杨 光 张 健 (148)

渤海油田聚合物驱特征及效果评价 杨俊茹 蒋珊珊 冯国智 康晓东 (155)

海上稠油油田活化聚合物驱油体系研究 吕 鑫 张 健 (162)

交联聚合物微球/AP-P4 复合体系性能研究

..... 李先杰 张 健 薛新生 房茂军 郑晓宇 陈海玲 (167)

海上油田聚合物驱综合调整技术及应用 康晓东 蒋珊珊 李 军 (174)

SZ36-1 稠油油田聚驱扩大试验动态分析及评价

..... 王锦林 王宏申 易 飞 刘全刚 翁大丽 沈 思 李 芳 吴慎渠 魏 俊 (179)

氮气泡沫体系改善稠油水驱室内实验研究

..... 孙艳萍 王成胜 沈德煌 张海峰 孙 君 张军辉 任树亮 (189)

海上普通稠油二元复合驱技术前期研究

..... 张润芳 易 飞 翁大丽 吴晓燕 陈士佳 陈 斌 吴雅莉 (196)

海上油田聚合物驱参数对后续水驱的影响规律研究

..... 何春百 冯国智 张贤松 康晓东 唐恩高 蒋珊珊 (203)

化学驱油技术在稠油开采中的研究进展

..... 吴晓燕 易 飞 翁大丽 张润芳 陈士佳 陈 斌 史锋刚 吴雅丽 田津杰 (211)

渤海油田驱油用聚合物在多孔介质中分配特性研究 姜维东 张 健 李 强 (219)

驱油用聚合物快速溶解方法研究 刘立伟 张 健 (227)

适用于海上聚合物驱油田的冻胶调剖体系研制及应用

..... 赵文森 杨 光 王业飞 崔盈贤 高建崇 刘长龙 (236)

中高含水油田大孔道封窜及逐级深部调剖体系室内研究

..... 杨 帅 戴彩丽 姜维东 张 健 魏子扬 (243)

溶剂气浮法在稠油油田采出污水处理中的应用潜力 李如茵 檀国荣 张 健 (251)

聚驱油田产出聚合物浓度检测方法的分析与改进——针对淀粉—碘化镉法
..... 靖 波 张 健 朱玥珩 姜维东 李如茵 (255)

超声技术处理含聚污水应用分析 孟凡雪 靖 波 檀国荣 (259)

海上稠油热采技术

稠油注空气辅助热采增效采油技术研究
..... 唐晓东 李晶晶 崔盈贤 何 柏 卿大咏 (267)

高黏度薄层超稠油蒸汽吞吐开采技术研究
..... 翁大丽 高孝田 周金兰 王成胜 王中华 (275)

海上稠油高效开发蒸汽吞吐先导性实验研究 ... 刘志龙 陈舟圣 刘 敏 高孝田 (281)

渤海某稠油油田主力砂体热采开发方案研究 ... 王小林 朱国金 袁忠超 林从龙 (288)

特稠油油藏吞吐后转蒸汽驱方案研究及矿场应用 喻高明 韩 鑫 袁小平 (294)

影响油砂 SAGD 开发效果的地质因素及对策研究 皮 建 武 静 (304)

蒸汽吞吐热采在海上油田的先导性实践
..... 冯 硕 司念亭 龙江桥 徐振东 刘玉龙 (311)

注空气低温氧化提高稠油采收率技术安全性分析
..... 崔盈贤 唐晓东 张 健 崔亚军 李晶晶 赵文森 (318)

考虑变注入条件时井筒蒸汽热利用率评价新方法
..... 李 秋 程林松 黄世军 陈冠中 李达泽 (327)

◎ 丛式井网整体加密技术

CONGSHI JINGWANG ZHENGTI JIAMI JISHU



渤海 S 油田加密调整实践与思考

马奎前 苏彦春 赵春明 刘英宪

(中海石油(中国)有限公司天津分公司)

【摘要】 针对海上油田首次进行的综合调整工作的特点以及难点,总结了在海上油田综合调整研究以及实施过程中所发展并实践的一些认识和做法,实际投产数据表明了这些技术的正确性和科学性。该油田调整过程中的一系列做法对相似油田的调整具有很强的指导和借鉴意义。

【关键词】 海上油田 综合调整 稠油 剩余油

Some Methods and Practices for Comprehensive Adjustments on an Offshore Heavy Reservoir

Ma Kuiqian Su Yanchun Zhao Chunming Liu Yingxian

(Tianjin Branch company of CNOOC)

Abstract For the comprehensive adjustment which was conducted first time on an offshore heavy reservoir, we summarized some methods and practices which development during the process of studying. The production data of the wells which designed by the adjustment program shows that the techniques we used are reasonable. All the practices and the methods we adopted can be a good reference for the similar reservoir.

Keywords offshore reservoir comprehensive adjustment heavy oil remaining oil

综合调整工作是多层砂岩整装油田缓解油田注采矛盾、提高油田开发水平的有效手段之一,陆地油田自开发初期到油田开发末期都经历不止一次的综合调整工作,而且每次的调整侧重点均因油田所处的开发阶段不同而不同(刘丁曾等,1997;巢华庆,2006)。相比于陆地油田,由于海上油田的开发不可避免的受到投资以及工程方面的制约,国内外投入开发的海上整装油田均未实施过全面调整,因此,以海上油田为研究对象的综合调整工作尚处于空白阶段,没有成熟的经验可供借鉴。渤海 S 油田自 2006 年开始逐步开展了综合调整的地质油藏研究,调整方案于 2009 年逐步实施,方案实施一年以来的生产实践证明调整方案地质油藏研究工作的科学性和可靠性。本文总结了渤海 S 油田的综合调整阶段油藏工程的研究成果,对类似海上油田具有很强的指导意义。

1 基础井网开发中存在的问题

S 油田是渤海典型的重质稠油油田,油田属于受构造控制的多层砂岩油藏,油田储层发

育,物性较好,孔隙度平均为 32%,渗透率平均为 2000mD,属于高孔高渗油田。地面原油密度为 $0.966\text{g}/\text{cm}^3$,地下原油黏度为 $37 \sim 300\text{mPa} \cdot \text{s}$,油田构造低部位黏度较大,属重质稠油油藏。

油田采用反九点面积注水开发,由于受到开发初期经济条件以及海上油田工程特点的限制,采用多层合注合采的开发方式,油田 I 期已投入开发近 18 年,已经进入高含水开发阶段,截至 2009 年底,油田 I 期综合含水 72%,采出程度 18.5%。

随着注水开发的不断深入,基础井网暴露出很多矛盾,影响到了油田的开发水平。

1.1 层间、平面以及层内矛盾大

由于 S 油田具有较强的非均质性加之油田采用合注合采的生产管理方式,因此,随着注水开发的不断进行,层间、平面以及层内的矛盾不断暴露出来,图 1 为油田 I 期 A30 和 A32 井的比累计吸水量的对比图,从图中可以看出,同为 I 期典型井组注水井的 A30 和 A31 井比累计吸水量相差较大(两口井同时于 1996 年转注),反映平面上两口井注入不均,而无论是从 A30 井还是 A31 井的纵向吸水状况来看均存在严重的层间矛盾,主要表现为纵向吸水不均,而严重的层间、平面矛盾势必引起储量动用的不均而导致开发效果变差。

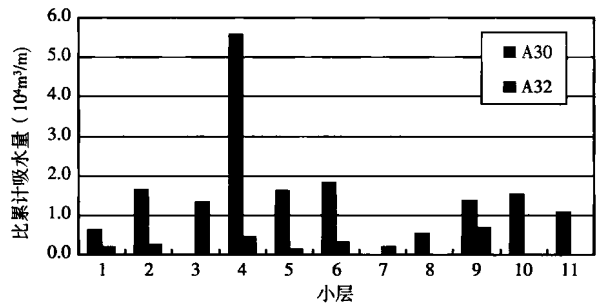


图 1 A30 及 A31 井比累计吸水量对比

综合分析油田 B19 井密闭取心资料的镜下观察试验、滴水试验、沉降试验以及驱油效率所得到的水淹评价结果来看,小层内部存在明显的不同程度的水淹条带,即砂体内部存在明显的层内矛盾而导致注入水纵向波及不均,如图 2 所示,此种层内矛盾势必加剧层间以及平面矛盾从而影响到油田的整体注水开发效果(束青林等,2009)。

1.2 井控储量大而采油速度偏低

油田初期采用 350m 井距的反九点面积均匀井网,I 期平均单井井控储量达到 $179 \times 10^4\text{m}^3$,依靠基础井网在油田开发初期获得了较高的采油速度,但随着油田开发的不断进行,采油速度大幅下降,如图 3 所示,较大的井控储量对应较低的采油速度表明油田的加密调整势在必行。

1.3 基础井网采收率低

运用数值模拟方法预测目前井网开采至 2035 年(经济开采年限),油田 I 期采收率为 24.2%,而与油田原油及地质情况相类似的孤岛油田,到 2008 年 12 月整体采收率已达到了 37.5%(束青林等,2009),而孤岛油田大幅度提高油田水驱采收率的重要手段之一即为加密调整策略,因此,作为同孤岛油田类似的大型整装油田来讲,加密调整将是提高 S 油田的水驱采收率的重要手段。

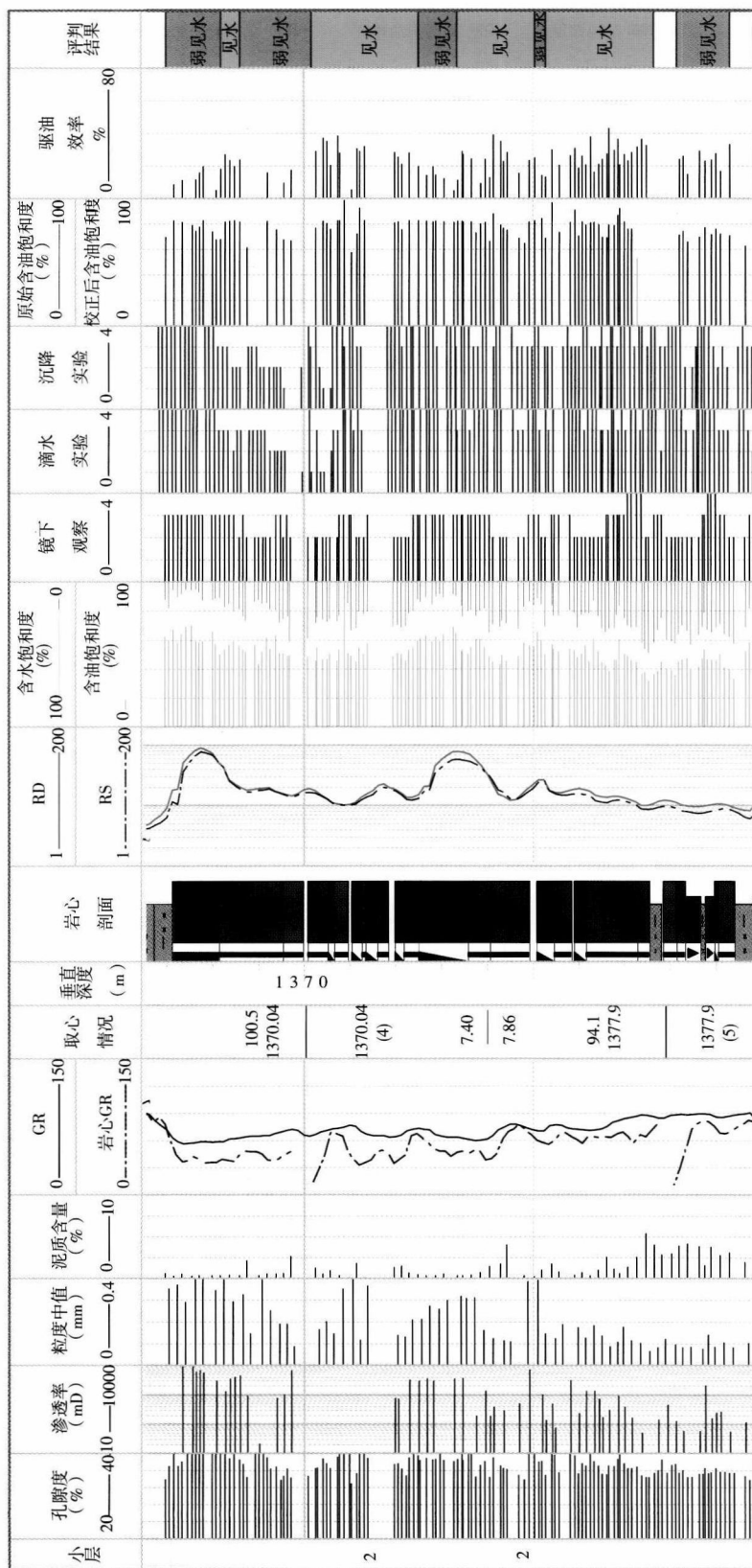


图2 B19井2小层岩心分析结果

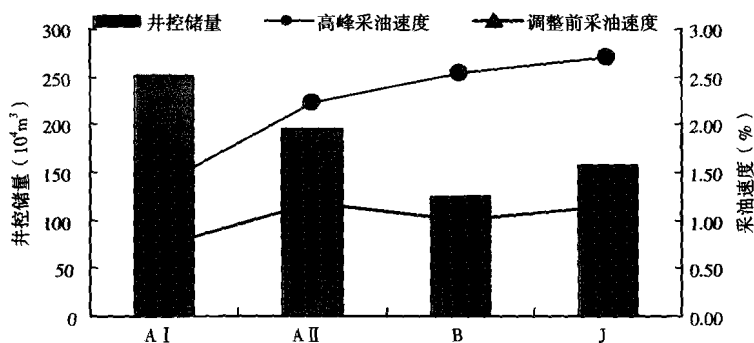


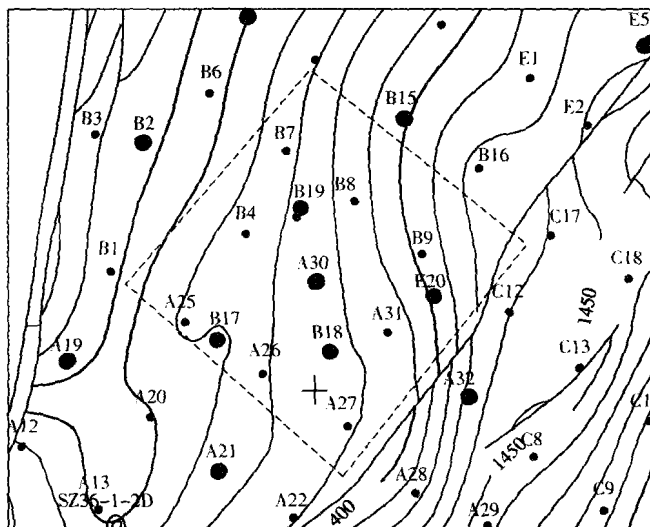
图3 S油田I期各区井控储量及采油速度对比

2 调整的做法及效果

作为海上油田,由于受到海上油田开发方式的不同,无法全面照搬陆地油田多次加密并细分开发层系的传统做法,海上油田的综合调整思路以及实施过程中都必须考虑到海上油田的实际情况,才能够确保调整方案的科学性以及合理性。

2.1 实施先导性试验,以落实加密调整的宏观调整思路

作为海上油田的首次调整,为了验证油田宏观的剩余油分布规律并为油田调整方案实施积累相关经验,2007年在油田A30井组实施了四口先导试验井,井位如图4所示。其中B17井位于油井间,B18、B19井位于基础井网的主流线位置,B20井位于断层附近。



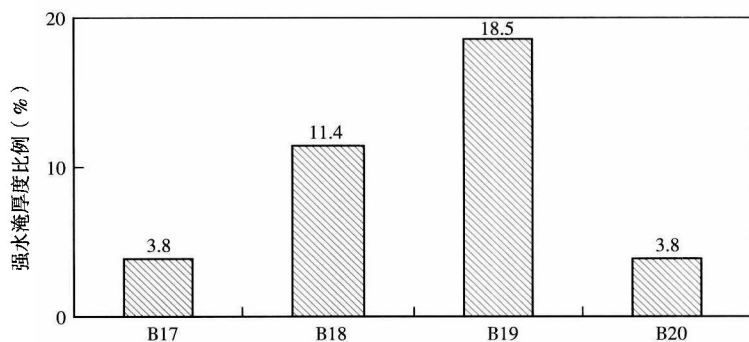


图5 先导试验井强水淹层厚度比例对比

2.2 精细刻画剩余油,定量描述油田平面以及纵向潜力

由于采用大井距井网部署思路且海上油田测试资料相对较少,对于注水开发多年的多层砂岩油田而言,定量表征剩余油在平面以及纵向的分布难度很大,在对海上油田首次进行综合调整过程中,结合海上油田的具体实际情况,总结了一整套剩余油研究系列技术,研究流程如图6所示。

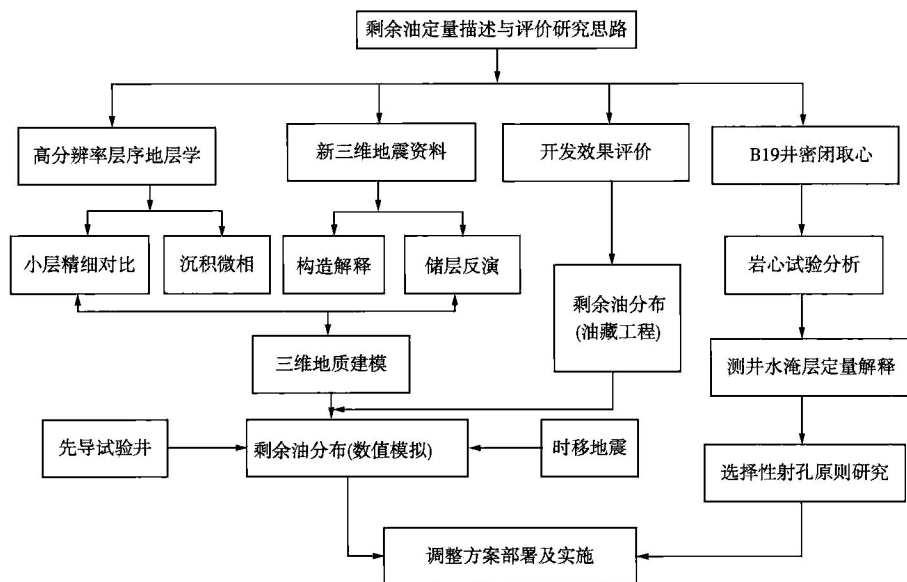


图6 剩余油定量描述研究流程图

利用测井方法、油藏工程方法以及数值模拟方法分别描述了层内、平面以及层间的剩余油分布状况,为后续加密调整井的部署及实施奠定了基础。

2.3 运用选择性射孔提高储量动用水平,减缓层间以及层内干扰

从 B17 井的产液剖面测试来看,虽然第一防砂段内强水淹射开厚度仅为 0.5m,但强水淹条带严重干扰了低水淹—未水淹的正常生产。该段测试综合含水仍然达到了 80% 以上,如表 1 所示,因此对处于高含水期的调整井而言,强水淹条带应不予射开,同时为避免强水淹条带所形成的次生底水(陈庆春,2007)突破,需要对强水淹的避射程度进行细致分析研究。

表 1 B17 井产液剖面测试结果

油层(组)	厚度(m)				含水率(%)
	未水淹	低水淹	中水淹	强水淹	
1+2	17	2.1	0.3	0.5	81.3
5+6	10	0.7	0	0	20.6
7+8	3.8	0.2	0	0	3.8

以正韵律砂体为例,正韵律储层顶部物性较差,底部物性偏好,如图 7 所示,该砂体具有典型正韵律特征,测井水淹层解释说明底部水淹较强,因此,对于正韵律,受到物性以及重力作用,注入水对砂体底部波及效果较好,砂体顶部仍存在大量剩余油。

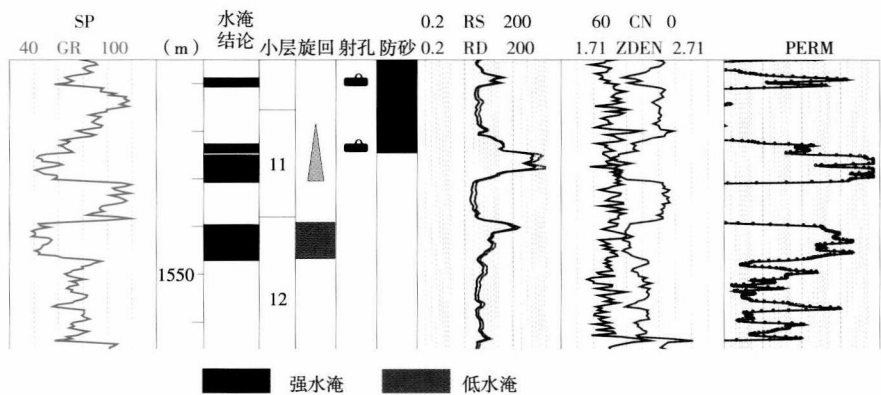


图 7 L2 井 11-12 层水淹状况分析

以 S 油田典型韵律物性参数为基础,建立机理模型,当模拟砂体底部出现强水淹条带后新钻调整井投产,从不同的避射程度对含水以及产能的影响来看,当避射程度为 1/3 时,单井所获得累计产量最高。以此为主要指导思想的选择性射孔原则经调整井实践证明,通过选择性射孔,调整井平均含水较周边老井有了明显下降且产能提升,如图 8 所示。

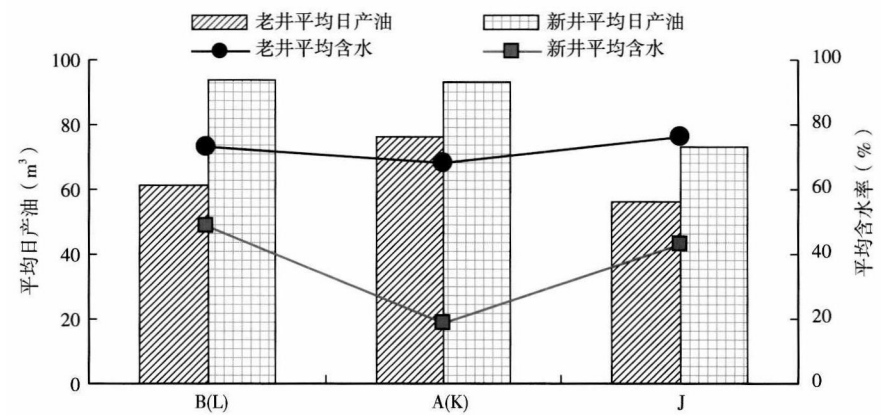


图 8 调整井与周边老井对比

2.4 提高部署井型的针对性,运用水平井加大局部区域挖潜力度

S 油田属于重质稠油油藏,油田边部原油黏度达到 200 ~ 300mPa · s,同时油田调整后仍

然维持合采的开发方式,对局部剩余油丰度较大区域挖潜效果有效,因此,在该油田综合调整过程中,对局部区域采用水平井进行局部挖潜,运用水平井挖潜的砂体主要是较厚的水淹程度不大或底部水淹砂体,如图 9 所示。

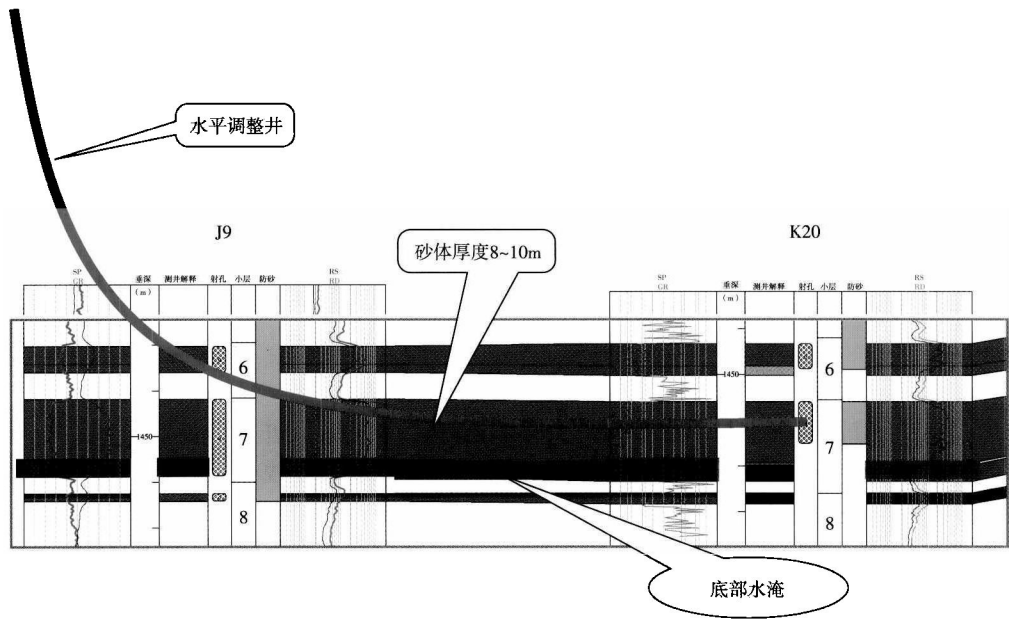


图 9 水平井设计轨迹图

在实施过程中,通过严格控制井轨迹(水平段距离砂体顶部 2~3m)以及生产压差,两种部署水平井的思路均获得成功,水平井投产产能远高于周边老井平均水平,如图 10 所示,表明运用水平井能够对稠油区进行有效挖潜(束青林,2004;何鲁平等,1996)。

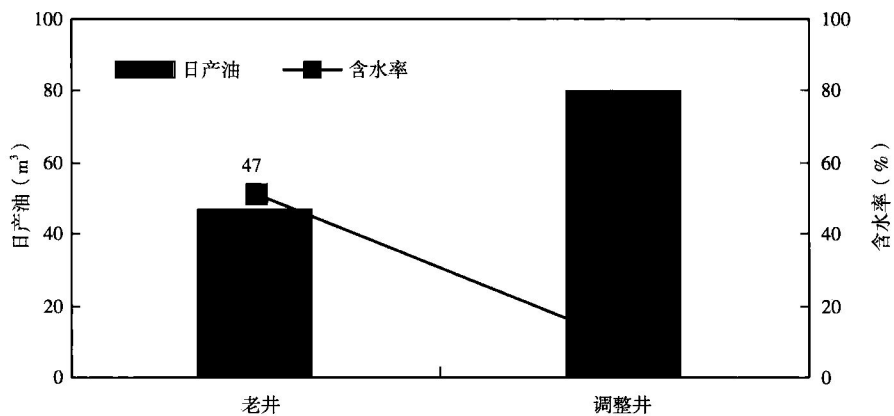


图 10 水平井与周边老井产能对比图

2.5 加密调整效果

加密调整井自 2009 年底开始实施,截至 2011 年底,油田 I 期已实施调整井 44 口,实施后对油田整体开发效果起到了显著的改善效果。首先,从 I 期整体的水驱曲线上来看,无论是老井构成的基础井网还是新井与老井构成的调整后井网的水驱曲线均发生了明显偏转,这表明调整方案取得了良好效果。

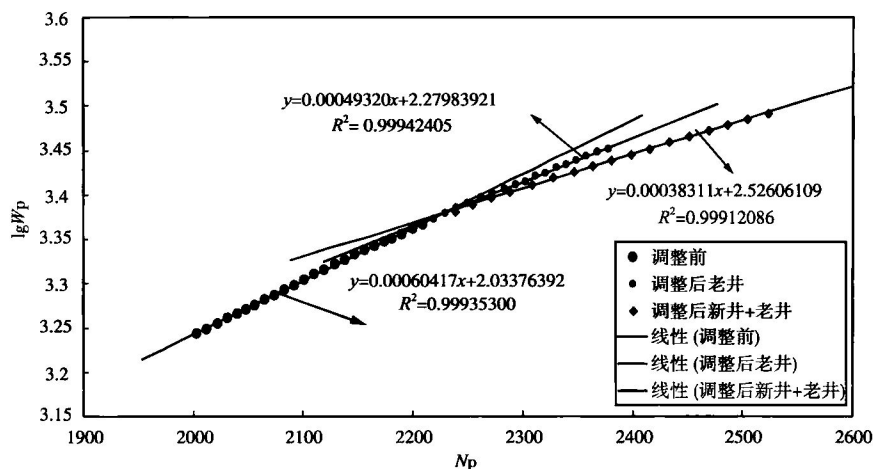


图 11 加密调整前后水驱曲线对比(甲型)

其次,从油田 I 期含水与采出程度的关系来看(图 12),油田进入调整期后,曲线一直处于下降或水平的状态,油田开发特征一直向更高采收率的理论曲线靠近,体现了加密调整对油田开发效果的持续改善作用。

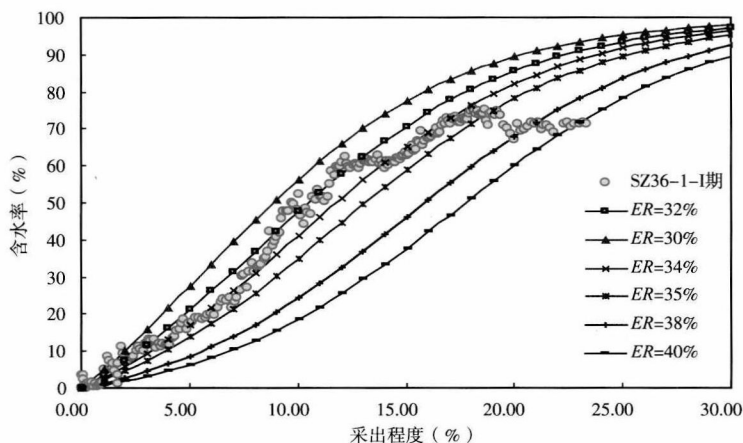


图 12 加密调整前后含水率与采出程度关系曲线

3 结论及思考

S 油田综合调整是海上油田的首次调整,在调整方案的研究过程中,根据海上油田开发的特点,对剩余油精细描述、加密方式的选择、油层打开原则的确定以及调整井型的优选都进行了系统而全面的研究,实际投产数据表明了上述技术的正确性和科学性,以此为基础完成的综合调整工作极大的缓解了油田开发的主要矛盾。经过综合调整,使 S 油田 I 期的采油速度从调整前的 0.9% (2009 年 11 月) 提高至 1.75% (2010 年 12 月),增加可采储量 $1224 \times 10^4 \text{ m}^3$,油田 I 期采收率提高 10.4%,极大的改善了油田开发效果。

经过本次的综合调整工作,预计 S 油田 I 期的采收率将达到 34.6%,但相对于陆地类似油田而言,油田仍有诸多潜力可供挖掘,相信随着开发的不断深入,油田将面临再次的调整

和挖潜以进一步改善油田开发效果,全面评价并总结本次调整的做法将为油田进一步的调整奠定重要基础。

参 考 文 献

刘丁曾,李伯虎等.1997.大庆萨葡油层多层砂岩油藏.北京:石油工业出版社,134-190.

巢华庆.2006.大庆油田提高采收率研究与实践.北京:石油工业出版社.

束青林,张本华,毛卫荣等.2009.孤岛油田特高含水期提高采收率技术措施及效果.油气地质与采收率,16(5):52-55.

陈庆春.2007.渗流域研究在临盘油田临2块馆三段次生底水油藏的应用.油气地质与采收率,14(6):82-85.

束青林.2004.正韵律厚油层剩余油分布模式及水平井挖潜.油气地质与采收率,11(6):34-38.

何鲁平,陈素珍,俞启泰.1996.注水正韵律油层水平井开采剩余油数值模拟研究.石油勘探与开发,23(1):47-50.

作者简介

马奎前,1971年生,男,硕士,渤海油田勘探开发研究院高级工程师,研究方向为油气田开发。Email:makq@cnooc.com.cn。