

# 老油田二次开发技术策略及实践

王 萍, 邵先杰, 马平华, 胡景双, 康园园, 李武广

(燕山大学石油工程系)

王 萍等. 老油田二次开发技术策略及实践. 钻采工艺, 2010, 33(2): 48-51

**摘 要:** 油田二次开发的本质就是老油田在传统的开采技术(包括三次采油)方式下, 已经达到极限采收率、已无开采效益时, 再次采用新技术、新方法以及新理念, 建立油田新的开发体系和模式, 实现老油田经济有效地大幅度提高采收率的目的。在广泛调研国内外相关资料基础上, 提出了二次开发技术的策略。分别以大庆萨北注水开发油田、河南古城超稠油注蒸汽开发油田为例, 分析了不同类型油田二次开发的成功做法以及取得的效果, 为不同类型油田开展二次开发提供了技术依据和可借鉴的经验。

**关键词:** 二次开发; 采收率; 剩余油; 蒸汽驱; 老油田

**中图分类号:** TE 313 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-768X.2010.02.015

目前, 我国东部老油田大部分已处于开发中后期, 产量处于递减阶段, 开采效益日益降低。虽然西部以及海上新发现油田在一定程度上可以接替部分原油产量, 但是在短期内完全取代老油田是不现实的。据统计, 现在全球 70% 的石油产量仍由老油田提供<sup>[1]</sup>, 所以老油田在满足和维护全国原油产量稳定方面占有不可动摇的重要地位。

按照传统观点, 当油田达到极限采收率或经过三次采油后就已报废, 但此时采收率仅有 30% ~ 60%, 少数油田可达到 70%, 仍有 40% ~ 60%, 甚至更多的资源被遗留在地下得不到动用。为了保证石油行业的可持续发展, 缓解能源日益短缺的严峻形势, 当务之急就是如何能够经济有效地、最大限度地挖掘出老油田遗留在地下的这部分资源。近几年为探索进一步提高老油田采收率的新途径, 国内外各大油田相继开展了一系列老油田实施二次开发技术的研究<sup>[1~6]</sup>, 并取得了一些成果, 为老油田的再次开发提供了一些方向。

## 一、油田二次开发的涵义及其本质

严格意义上的二次开发追求的是在满足经济指标的基础上侧重有利区块、兼顾全区的多元开采方式, 它不同于简单的四次采油<sup>[7]</sup>或调整措施, 就是当老油田在传统的开采技术(包括三次采油)方式

下已经达到极限采收率、已无开采效益时, 再次采用新技术、新方法以及新理念, 建立油田的开发体系和模式, 实现老油田经济有效地大幅度提高采收率的目的<sup>[8]</sup>。二次开发首先要在认识上有所突破, 要打破传统观念中的禁区, 突破开发中的认识误区和盲区, 形成新的开发理念; 其次要开展精细油藏描述, 查明地下潜力分布状况, 确保二次开发基础资料的可靠性和挖掘目标的准确性; 最后要在技术、方法上有所创新, 应以多种手段联合攻关, 增强技术优势为理念, 力争达到最优开采。

## 二、老油田二次开发技术策略

二次开发是一项系统工程, 是对老油田进行整体重建, 相对于一般的井网加密或调整措施而言, 需要投入更多的资本。为降低投资资金的风险系数, 建立一套合理的二次开发技术策略是非常重要的。通过研究国内外相关文献<sup>[9]</sup>以及应用实例, 初步提出了二次开发的技术策略, 从重查明剩余油分布情况入手, 以新技术、新方法为实施手段, 制定出具体的开发方案, 最终落实于矿场实践, 并需要跟踪分析, 及时调整, 建立最优化开发模式和程序, 建立油藏筛选标准。

### 1. 查明剩余油分布潜力为二次开发奠定基础

老油田二次开发的首要任务就是准确确定剩余

收稿日期: 2009-10-16; 修回日期: 2010-02-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40272069)资助。

作者简介: 王萍(1984-), 2007年毕业于燕山大学石油工程专业, 现为燕山大学硕士研究生在读, 主要从事油藏描述及油藏工程研究。  
地址: (066004) 河北省秦皇岛市燕山大学 520 信箱, 电话: 13483395791, E-mail: wang1ping2@163.com

油的规模和分布。老油田开采历史较长,一般都超过了25年,甚至时间更长,经过了多次调整,有些已经开展了三次采油,地下情况变得非常复杂,再加上早期的静态资料和动态资料不全,给剩余油潜力研究带来很多困难。但是为了降低二次开发的风险,合理选择二次开发技术,有针对性的编制开发方案,查明剩余油潜力、分布位置、分布层位以及附存形式是至关重要的。

随着层序地层学理论与地质统计学理论的日臻完善与成熟,高分辨三维地震技术的推广,油藏描述的手段越来越丰富,定量化程度、准确程度越来越高,研究尺度越来越细且分辨率越来越高<sup>[10]</sup>。可以充分利用老油田密井网资料,详细落实研究区的微构造形态、微相分布、储层详细的内部结构等特征,再利用先进的油藏表征和随机建模技术建立油藏准确的三维地质模型。随着四维建模技术、仿真建模技术等技术的发展,为剩余油的准确模拟奠定了基础。

采用多种剩余油研究方法,比如物质平衡法、测井解释法、动态分析法、矿场测试法、数值模拟法、地质综合分析等方法,分析剩余油在平面上、纵向上的分布规律。确定出剩余油富集区域和层位,为二次开发方案的设计提供可靠的依据。

### 2. 优化方案设计确保经济效益最佳

二次开发是在新理念指导下,重建开发井网和开发体系,需要针对不同的油藏类型优化出最合理的方案。目前国内外实施二次开发技术主要有水平井技术、SAGD、蒸汽驱技术、侧钻水平井技术、小井眼水平井技术和水平井与直井组合开采技术等。

不同技术适合于不同的油藏类型,在开发过程中,驱替方式、井型设计以及井网部署等因素都会影响油田最终采收率。费用合理的二次开发做法就是通过重新改变驱替方式、重新部署井网结构来最大限度地改善水驱油效率和波及方向。

现场大规模实施二次开发之前,需要开展室内实验,确定合理的驱替剂和驱替方式,查明提高采收率机理,利用数值模拟技术,优化合理的注采参数,通过开展先导试验建立符合油田实际的二次开发程序和模式,建立油藏筛选标准,为优化方案设计提供理论依据。

开发方案要统盘考虑,“地下-井筒-地面”三位一体,保证整个系统能够高效运行,精心设计、优化部署是实现二次开发的保障。

### 3. 矿场跟踪分析及及时调整方案

二次开发的对象是已经濒临废弃的油田,地下情况十分复杂,再加上二次开发技术又是处于摸索

阶段,没有现成的理论和模式借鉴,编制的开发方案不一定完全适应地下情况,所以在进入矿场实施阶段就要跟踪分析,甚至在钻井实施过程中就要随钻分析,根据钻井情况及时调整井位。在矿场试验阶段,应不断的跟踪生产动态,及时获取最新的数据资料,跟踪数值模拟,针对开发过程中存在的问题及时调整、补充完善,达到有效的油藏管理与开发。

## 三、老油田二次开发实践

### 1. 大庆注水开发油田三元复合驱后二次开发试验

大庆萨北油田北二区小井距南井组Ⅱ12小层属三角洲水下分流河道微相砂体,构造平缓,砂体平均厚度2.6 m。油层埋藏深度919.8~923.3 m之间,平均渗透率 $0.365 \mu\text{m}^2$ ,平均孔隙度26.8%,属于中高孔隙度、中低渗透油层。

试验区采用3注4采的面积法井网,注采井距75 m。自1963年投入开发后,经历了多次井网加密及调整,又先后开展了PI8203调剖试验和弱碱化三元复合驱试验,采出程度超过70%,含水率超过98%,油田濒临废弃。蒸汽驱二次开发矿场试验就是在这样基础上进行的。

#### 1.1 蒸汽驱技术策略

室内实验表明,蒸汽驱比水驱的最终驱油效率高34.56个百分点。另外,根据检测资料和剩余油研究结果,水驱过程中,重力作用使水质点总是沿油层下部走,下部水洗程度一般比上部水洗程度高,特别是像萨Ⅱ12油层为正韵律的分流河道砂体,剩余油主要是富集在油层上部。而蒸汽的超覆特性主要波及正韵律油层顶部物性相对较差层段,正好弥补水驱过程的不足,提高了纵向波及系数,这些是开展此次先导试验的依据。

蒸汽驱是一种强化开采方式,合理的注采参数和较高的井底蒸汽干度是保证良好驱替效果的前提。考虑到试验区油层埋藏深度大、有效厚度薄,采用常规光油管低强度注汽会使驱替效果大打折扣,在实验过程中采用了以下措施:

(1)采用高强度注汽,平均单井注汽量 $69.3 \text{ t/d}$ ,注汽强度 $28.9 \text{ t/m}\cdot\text{d}$ ,使热损失限定在15%以下。

(2)采用隔热油管、环空注氮等技术,保证井底蒸汽干度在50%以上。

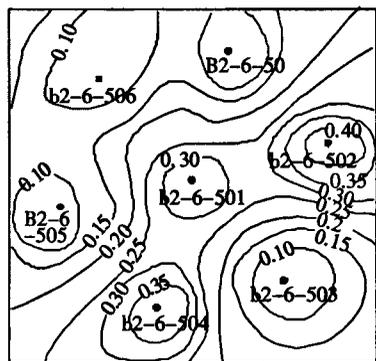
(3)利用57 mm的大泵强排,加快了蒸汽驱前期的排液速度,缩短排水期,提高了热利用率,达到高速采油的目的。

(4)在实施过程中采取了跟踪分析、及时调整

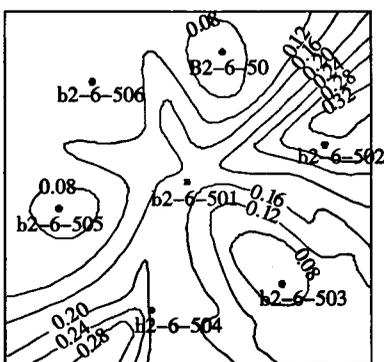
参数的方法。第一轮次注汽到31 d时,中心采油井北2-6-501井井口出油温度上升至76℃,此时注采井间基本形成热连通,停止注汽;间歇26 d后,井口出油温度降低到20℃,产液量低于30 m<sup>3</sup>,采注比达到了0.7,开始转入第二轮次注汽。

### 1.2 蒸汽驱试验效果

三元复合驱后的剩余油分布研究结果表明,井组内大部分地段已中强水淹,沿北2-6-504井、北2-6-501井、北2-6-502井一线显示为弱水淹(图1),蒸汽驱动用储量主要是通过三口注汽井把这一部分剩余油驱赶到北2-6-501井和2-6-504井,极大地提高了剩余油平面上的动用程度。蒸汽驱83 d后,封闭井区内80%以上的区块含油饱和度低于22%,只在北2-6-502井附近零星存在含油饱和度较高区。



a. 蒸汽驱前含油饱和度分布图



b. 蒸汽驱后含油饱和度分布图

图1 蒸汽驱前后含油饱和度分布图

蒸汽驱总体动用程度比较高。经过两轮次的蒸汽驱,总产出油量685.6t,阶段采收率达到了10.7%,最终采收率达到了81.6%,取得了良好的开发效果。

### 2. 河南浅薄层稠油油藏二次开发实验

河南稠油油田属于浅薄层稠油资源,具有“浅、薄、稠、散”的特点,经过蒸汽吞吐、蒸汽驱后,老井综合递减达20%左右,平均单井日产油量降到了

1.5 t以下,油汽比降到了0.15以下,综合含水超过85%,继续采用老井网开发已无经济效益,而此时的采出程度只有15%~18%,大量的剩余油资源得不到动用。针对这一现状,开展技术攻关,实施二次开发技术,取得了比较好的效果。

### 2.1 剩余油分布规律

虽然经过了蒸汽吞吐和蒸汽驱,但由于浅薄层稠油油藏非均质性严重,蒸汽驱极易发生汽窜,一般注汽2~5 d,邻井就发生汽窜,纵向、平面波及系数低。根据矿场检测资料,厚层块状均匀型油层,蒸汽驱后只上部1/3厚度的油层被蒸汽波及,下部大部分层段仍处于原始状态(图2)。薄互层油层一般只有高渗透层段蒸汽被蒸汽波及,其它层段的动用半径一般小于30 m。

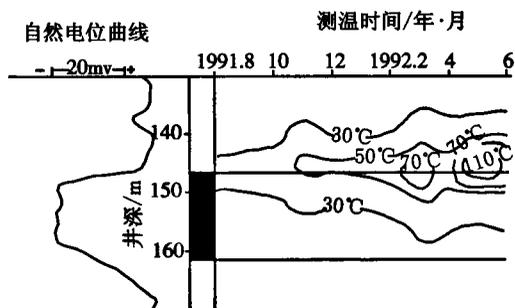


图2 观察井测温剖面

河南油田注蒸汽热采井网大部分注采井距为100 m五点法井网,根据矿场监测资料,采用动态分析和数值模拟等方法计算,蒸汽驱后,汽窜通道的宽度一般10~20 m,大部分井组内剩余油连片分布,剩余油饱和度大于60%的死油区面积一般大于井组面积的1/5,剩余油饱和度大于40%的面积一般大于井组面积的1/3,剩余油潜力仍比较大,为二次开发提供了物质保障。

### 2.2 技术策略

河南稠油油田埋藏深度一般只有200~400 m,钻井费用低,因此采取了重建井网系统,以成熟的蒸汽吞吐+间歇汽驱技术为基本的二次开发技术。

在长期的生产实践中,针对浅、薄层特超稠油二次开发形成了比较完善的开发程序:

(1)井网转换时机。根据矿场实验,井网转换时间不能过早,如果提前打转换井,井距过小,新老井之间相互干扰,影响开发效果。如果太晚,拖长了老井的低效生产时间,增加成本,井间剩余油分布面积减少,转换后的井网开发效果变差。

(2)射孔方式。初期投产射孔时,中、强水淹层段避射,当转换井生产含水率达到70%后,补射中

淹层段。

(3)注汽方式。转换井和老井各自独立注汽,因为老井地层压力低,吸气能力强,如果组合注汽,影响转换井的吸气能力。

(4)对吸气能力强,汽窜严重的井,利用苛化泥进行调剖堵窜,改善汽驱效果。对见效慢或不见效的井,采取吞吐引效措施,改善平面动用效果。

(5)配套防砂技术,延长检泵周期。

### 2.3 应用效果

河南古城油田于1996年后,开始对进入开发后期的区块进行有计划的井网转换,由原来的注采井距100 m五点法井网转换为71 m的五点法井网。转换后首先进行二次蒸汽吞吐,3~5周期后,采出程度提高5~8个百分点后,转为间歇汽驱。这一过程一般历时3~4年,已经完成间歇汽驱试验的井区共三个井组,3口注汽井,18口采油井,面积0.06 km<sup>2</sup>。平均单井进行了4轮次的蒸汽吞吐,4轮次间歇汽驱,累积注汽11.284 0 × 10<sup>4</sup> t,累积产油4.2992 × 10<sup>4</sup> t,油气比0.381,综合含水78.7%,阶段采出程度19.1%,最终采收率38.8%,再原基础上提高了一倍。

## 四、结束语

二次开发是近几年才提出的概念,不同专家有不同的认识。笔者认为二次开发为老油田最大限度提高开发采收率提供了一种新的理念,但并没有形成一整套完善的技术方法和开发程序。通过近几年

的实践,国内很多油田针对自己的实际情况进行了大量的探索和试验,并取得了不少的经验,这些工作对老油田大规模二次开发都具有借鉴意义。

### 参考文献

- [1] 胡文瑞. 论老油田实施二次开发工程的必要性与可行性[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(1): 1~5.
- [2] Cuauro A, Ali M I, Jadid M B, et al. An approach for production enhancement opportunities in a Brownfield redevelopment plan[J]. SPE 101491, 2006.
- [3] Babadagli T. Mature Field Development - A Review[J]. SPE 93884, 2005.
- [4] 王家宏. 中国水平井应用实例分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 1-140.
- [5] 王顺云, 韩红, 王文升, 等. 进一步提高河南油田采收率的途径探讨[J]. 河南石油, 2004, 18: 23-25.
- [6] 任芳祥. 辽河油区老油田二次开发探索与实践[J]. 特种油气藏, 2007, 14(6): 5-10.
- [7] 郭尚平, 田根林, 王芳, 等. 聚合物驱后进一步提高采收率的四次采油技术[J]. 石油学报, 1997, 18(4): 49-55.
- [8] 袁昭, 邵明记, 阳兴华, 等. 吐哈低渗低粘油田二次开发框架方案研究[J]. 吐哈油气, 2008, 13(1): 9-15, 27.
- [9] 胡文瑞. 中国石油二次开发技术综述[J]. 特种油气藏, 2007, 14(6): 1-6.
- [10] 徐守余. 油藏描述方法原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 1-90.

(编辑: 黄晓川)

(上接第39页)影响勘探开发进程的问题,建议开展相关的提速技术研究。

(6)深入开展MPD技术应用于水合物钻井方面的研究,如何使MPD技术在开发甲烷水合物方面得到商业规模的应用。

(7)如何在MPD技术实施过程中更好的开展储层评价,如何更加准确地确定储层产能。

### 参考文献

- [1] 平立秋, 汪志明, 魏建光, 等. 欠平衡钻井井底压力预测与控制技术[J]. 石油钻采工艺, 2005(12): 16-20.
- [2] 周英操, 刘永贵, 鹿志文, 等. 欠平衡钻井井底压力控制技术[J]. 2007(4): 13-17.
- [3] Don Hannega, Richard J1 Todd, David M1 Pritchard, et al. fMPD—Uniquely App licable to Methane Hydrate Drilling[C]. SPE/ IADC 91560, 2004.
- [4] Ali G1 Kadaster, Keith K1 Millheim, Tommy W1 Thomp2

- son1. The Planning and Drilling of Hot Ice #1 - Gas Hydrate Exp loration Well in the Alaskan[C]. SPE / IADC 92764, 2005.

- [5] C. P rez - T llez, Smith J R, Edwards J K. A New Comprehensive, Mechanistic Model for Underbalanced Drilling Improves Wellbore Pressure Predictions [ C ]. 2002, SPE74426.
- [6] 严新新, 陈永明, 燕修良, 等. MPD技术及其在钻井中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2007(6): 62-66.
- [7] 辜志宏, 王庆群, 刘峰, 等. 控制压力钻井新技术及其应用[J]. 石油机械, 2007: 68-72.
- [8] Don M1 Hannegan. Managed Pressure Drilling in Marine-Environments—Case Studies [ C ]. SPE / IADC 92600, 2005.
- [9] Reitsma D, van Riet1 E1. Utilizing an Automated Annular Pressure Control System for Managed Pressure Drilling in Mature Offshore Oilfields [ C ]. SPE 96646, 2005.

(编辑: 黄晓川)