



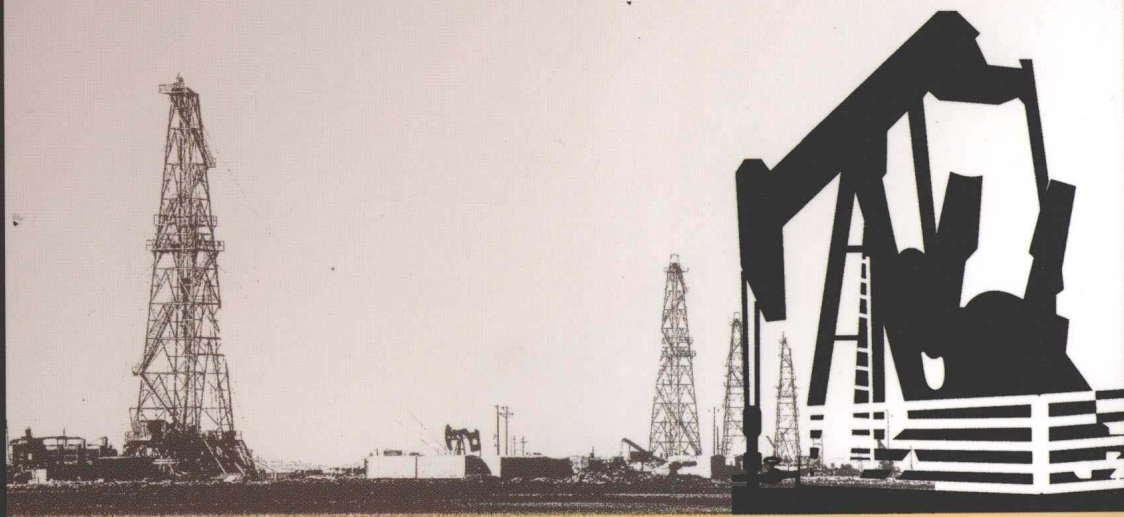
中国石油 二次开发

技术与实践

(2008—2010 年)

中国石油勘探与生产分公司 编

石油工业出版社



内 容 提 要

本书收集整理的 57 篇论文涵盖了中国石油二次开发工程在二次开发理念和重构地下认识体系、重建井网结构、重组地面工艺流程“三重”技术路线指导下取得的多方面研究成果及实践应用,可为老油气田开展二次开发提供有益的借鉴。

本书可供石油勘探开发科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国石油二次开发技术与实践(2008—2010 年)/
中国石油勘探与生产分公司编. —北京:石油工业出版社,2012. 2
ISBN 978 - 7 - 5021 - 8939 - 6

I. 中…

II. 中…

III. 二次开发 - 中国 - 文集

IV. TE357 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 022883 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

编辑部:(010)64523533 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:31. 25

字数:810 千字

定价:98. 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

《中国石油二次开发技术与实践(2008—2010 年)》

编 委 会

主 任：何江川

副主任：宋新民 李松泉

编 委：胡海燕 王连刚 秦 强 蒋有伟 熊春明

王国辉 孙景民 李彦兰 邓宝荣 李 军

李顺明 王友净 杨兆平 许晓明 何 辉

韩 洁 吴行才 舒 勇

前 言

中国石油二次开发工程是一项对潜力较大但处于低效低速开发阶段的老油气田,在探索全新开发理念和“三重”技术路线基础上,通过构建新的开发体系,在大幅度提高油气田采收率的同时,实现安全、环保、节能、高效开发的战略性系统工程。

中国石油二次开发工程自 2007 年提出以来,得到了中国石油天然气集团公司及其股份公司●管理层的高度重视。股份公司原副总裁胡文瑞对二次开发理念和“三重”技术路线做了系统的简述。蒋洁敏董事长多次对二次开发工程做出重要批示,指出其为油田开发史上的一次革命,是一项战略性的系统工程。2008 年,中国石油天然气集团公司工作会议将二次开发工程确定为上游业务两大工程之一。周吉平总经理在 2009 年油气田开发工作会议上指出,二次开发是一项贯穿于开发工作各个环节的复杂系统工程,也是夯实老油田稳产的基础性工程。中国石油天然气股份有限公司副总裁赵政璋对二次开发十分重视,指出要在经济有效条件下稳步推进,并提出了具体的工作要求。

为落实有关领导的指示,中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司多次组织中国石油勘探开发研究院、中国石油规划总院、相关油田及专家编制了《中国石油“二次开发”规划大纲》和《二次开发管理办法》、《二次开发方案编制规范》、《二次开发经济评价方法及技术规范》等管理和技术文件,从制度上规范了中国石油二次开发工程的工作范围、标准、技术规范等。在确定重构地下认识体系、重建井网结构和重组地面工艺流程“三重”技术路线的基础上,先后制定了“整体部署、分步实施、试点先行”的二次开发工程实施原则和“整体控制、层系(内)细分、平面重组、立体优化、深部调驱、二三结合”的二次开发工作思路,为系统、稳妥、高效推进二次开发工程奠定了坚实的管理、技术基础。

为了全面总结中国石油二次开发工程实施三年来在“三重”技术体系探索与创新方面取得的成果,中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司以“中国石油 2010 年度二次开发年会”技术交流论文为基础,从二次开发理念探索、共性技术研究、配套工艺措施研发等方面,遴选具有代表性的论文形成《中国石油二次开发技术与实践(2008—2010 年)》,以系统总结和展示二次开发工程在“三重”技术体系研发方面取得的成果,也为其他老油气田开展二次开发提供有益借鉴。

本论文集收集的 57 篇论文涵盖了中国石油二次开发工程在“三重”技术路线指导下取得的多方面研究成果。在重构地下认识体系方面,重点介绍了不同沉积类型单砂体及内部构型

● 中国石油天然气股份有限公司简称股份公司。

刻画技术、单砂体内部剩余油描述技术及基于二次开发的精细地震处理与解释成果。在重建井网结构方面,重点介绍了不同类型试点油藏基于扩大水驱波及体积的层系细分和井网重组理论研究与实践探索成果和注采井组优化调整技术方法。在重组地面工艺流程方面,重点介绍老油田优(简)化地面集输系统的成功做法和新型油水井配套措施工艺技术。为进一步扩大二次开发油藏水驱波及体积,提高注入水利用率,实现水驱采收率大幅度提高,在二次开发深部调驱研究方面,重点介绍了不同类型调驱体系的优选与机理研究、调驱剂化学体系的质量检测方法标准,以及水流优势通道描述方法等。在二次开发经济评价方面,重点介绍了评价方法及应用实例。

论文集涉及的“三重”系列技术方法在大庆、辽河、新疆、吉林、大港、冀东、塔里木、吐哈、玉门、西南等二次开发试点油气藏方案编制、专项研究及跟踪调整等方面发挥了重要作用,有效降低了技术经济风险,试点油田采收率得到不断提高,初步实现了剩余油气资源的高效开发和优化利用。

作为传统油气田开发理念的升级换代产业技术,中国石油二次开发工程才刚刚起步。这就需要广大开发工作者以“认识储层非均质并解决储层非均质”为切入点,在单砂体及内部构型与剩余油分布、基于单砂体的层系井网优化、深部调驱等方面做出艰苦卓绝的探索与实践。因此,可以说,作为新生事物的二次开发工程,任重而道远。

目 录

综 合

二次开发理论和技术实践	宋新民(3)
对二次开发的研究工作和若干问题的进一步探讨	韩大匡(8)

重构地下认识体系

曲流河点沙坝储层水流优势通道及其对剩余油分布的控制	陈 程 宋新民 李 军(35)
地下储层内部构型预测的思路与方法	吴胜和 岳大力(47)
扶余油田渐弃型曲流河砂体构型刻画技术方法	李 军 蒋有伟 马立文 潘兆光 孙景民(60)
吐哈高含水轻质油藏二次开发技术对策	李顺明 蒋有伟 李正科 孙景民 袁 昭(69)
吐哈盆地浅水辫状河三角洲单砂体识别描述	李顺明 宋新民 刘曰强 李艳明 唐后军(78)
扶余油田水淹规律研究与技术对策	杨兆平 李 军 蒋有伟 孙景民 韩 洁 郑长龙(89)
高尚堡深层北区沙河街组 $E_{s_3}^{2+3}$ 亚段扇三角洲沉积模式	王友净 宋新民 李彦兰 蒋有伟 孙景民(106)
砾岩油藏非均质性定量表征在剩余油预测中的应用	何 辉 秦 强 蒋有伟 孙景民(115)
二次开发阶段河流相储层单砂体精细表征与应用	高兴军 宋新民 周新茂 田昌炳 陈建阳 和丽娜(122)
二次开发单砂体储量快速计算软件及应用	常军华 邓宝荣 张吉群 李 华 李巧云 许晓明(132)
萨尔图北部过渡带二次开发蒸汽驱注汽参数优化研究	刘晓光(138)
南海 27 块厚层底水油藏二次开发效果评价及调整部署研究	武 毅 司 勇 盛 聪 潘 庆(144)
中深层超稠油油藏 SAGD 跟踪调控技术研究	龚姚进 孙洪军 户昶昊 韩 冰 张丽萍(149)
扶余油田二次开发工程配套技术研究	马立文 付 平 吴 伟 华树常(159)

辫状河储层单砂体精细地质建模与剩余油分布研究

..... 崔 健 陈能学 李本维 刘阳平(166)

冀东南堡陆地中深层多层砂岩油藏井网层系重组研究

..... 乔石石 陈能学 岳文珍 李业会(176)

复杂断块油藏高含水期水驱油规律研究与应用

孟立新(186)

港西复杂断块油田二次开发油藏工程深化研究与实践

..... 陶自强 王丽荣 张 津 谭 幸(194)

河流相储层单砂体精细刻画及内部构型研究

..... 谭 幸 董传杰 周淑慧 韩冠楠 王 瑜(199)

老油田二次开发调整合理井网密度计算方法

陶自强(206)

冲积扇砾岩储层构型分析与水驱油规律

许长福 刘红现 王晓光 彭寿昌(210)

砾岩油藏水淹层测井解释方法

许长福 彭寿昌 王晓光 李洪奇 谭锋奇(220)

克拉玛依油田高精度三维地震单砂体精细预测

..... 吴小军 伍顺伟 刘念周 谢 丹 张玉亮 苏 航 李晓梅(226)

克拉玛依油田六、七区克下组油藏精细注采技术研究.....

..... 杨生榛 胡新平 郝卫国 吴让彬 武 鑫(235)

轮南油田二次开发三维采集、处理、解释技术

凌东明 刘 勇 杨小川 张 涛(243)

轮南油田基于夹层描述的动态分析及剩余油刻画技术

..... 刘 勇 朱忠谦 黄时桢 张 涛 岳思明(265)

老君庙油田二次开发试验区剩余油分布规律研究及挖潜对策

..... 袁广旭 卢望红 克里木江 杨宝平 党瑞明(275)

二次开发高含水期密闭取心储层及剩余油分布 ...

杨玉祥 邓小红 于仁江 魏仁忠(286)

鄂尔多斯盆地西部侏罗系老油田二次开发技术研究

朱广社(293)

重建井网结构

老油田二次开发层系及注采井网重组意见

王家宏(301)

老油田二次开发关键共性技术研究及应用进展

..... 舒 勇 刘玉章 熊春明 张建军 王洪关 李益良 刘建东 李宜坤(308)

高含水油田二次开发层系重组方案快速优选法

..... 李巧云 张吉群 邓宝荣 常军华 李 华 刘双双 许晓明(319)

套管损坏机理及预防对策研究流程与方法

..... 金 娟 刘建东 熊春明 沈露禾 卓胜广(328)

水平井化学控水技术研究及在二次开发中的应用

..... 李宜坤 魏发林 姜增所 熊春明 李良川 刘玉章 陈仁宝(339)

膨胀管技术在老油田二次开发中的研究与应用

李益良 陈 强 李 涛 韩伟业(353)

港西油田二次开发砂害治理技术优化研究与应用

..... 梁瑞丽 宋友贵 李海燕 黄 桦(359)

港西油田套管损坏原因分析及治理对策探讨

..... 林莉莉 王凤祥 刘建东 任丽华 胡石锋(364)

油水井封堵弃置配套药剂与工艺研究试验

..... 葛红江 雷齐玲 刘希君 杨卫华 程 静(371)

吐哈盆地温米油田二次开发钻完井配套技术研究与应用 ... 雍富华 石丽娟 李玉泉(379)

蜀南地区碳酸盐岩有水气藏治水采气技术

..... 王国森 乐 宏 葛有琰 唐建荣 何激扬(387)

二次开发斜井降斜钻井方法研究 隋新光 刘 冰 王禄春 王永福(392)

尕斯库勒油田 E₃¹ 油藏井网结构重建方式探讨 赵国梅 龙安林(397)

水平井技术在复杂断块稠油油藏二次开发重建井网结构中的应用

..... 许国民 刘奇鹿 高忠敏 刘永华 王玉玲(403)

重组地面工艺流程

二次开发油田地面低成本技术及措施研究 秦 强 白晓东 王常莲(411)

扶余油田二次开发地面配套技术 石少敏(418)

新疆油田二次开发地面集输注水工艺技术研究 崔鸿涛 沈晓燕 李本双(423)

二次开发深部调驱

二次开发调驱注水无效循环识别技术

..... 张吉群 邓宝荣 李 华 常军华 李巧云 许晓明(435)

关于深部液流转向与调驱工作的思考

..... 熊春明 刘玉章 魏发林 李宜坤 唐孝芬 王洪关 张 松(442)

深部调驱方案设计及现场实施中几个关键问题的探讨

..... 才 程 张 松 王洪关 熊春明 王国辉(449)

深部调驱采出液中 SMG 浓度的检测方法研究 马自俊 陈健斌 赵振兴 王临红(455)

扶余油田西 17-19 井区水驱优势通道识别技术研究与应用 王百坤(459)

柳中油藏复合段塞深部调驱技术研究与应用

..... 郑家朋 孙 蓉 伍学伟 王振远 李晨毓(464)

大港港西油田二次开发调驱技术优化研究与应用

..... 王啊丽 黄金富 李之燕 陈美华(471)

二次开发经济评价

对二次开发经济评价方法的认识和建议 孙春芬 赵连增(481)

二次开发项目经济评价模型在吉林油田的应用 ... 项 东 马立文 宋国光 刘丽岩(487)

综合

二次开发理论和技术实践

宋新民

(中国石油勘探开发研究院)

摘 要 中国石油提出并实施“二次开发”战略性的系统工程,是油田开发到一定阶段的必然需求,顺应油田开发的客观规律。通过几年的探索与实践,已初步形成了二次开发的基本理论:认识储层的非均质性并解决储层的非均质性是二次开发的切入点、单砂体及构型控制油水运动规律和剩余油分布,作为二次开发井网控制的基本开发单元、陆相油藏的水驱规律支持进一步提高水驱采收率、层系井网优化重组是水驱优化调整的核心、“二三结合”的开发模式确保二次开发工程能够大幅度提高采收率。在理论探索和实践总结基础上创建了二次开发具体可操作的技术思路:总体控制、层系细分、平面重组、立体优化、深部调驱、二三结合。

关键词 二次开发 理论基础 技术思路 关键技术

1 引言

中国石油立足于高含水老油田开发的客观现实,于2007年夏适时提出并实施“二次开发”战略性的系统工程,在中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司何江川副总经理和李松泉副总地质师的强力组织推动下,中国石油勘探开发研究院组织科研力量全力做好技术支撑,各油田分公司积极响应、密切配合,启动了二次开发工程的理论技术体系研发与现场实施。历时四年,无论对二次开发工程的总体认识,还是现场实施都取得了丰硕的成果。

2 二次开发工程提出的背景及战略意义

中国石油上市十余年来,随着低迷的油价逐步回升,加强对资源发现并突破,使公司每年的产能建设得到适度缓解,但是资源的品质日趋变差,使得投资和工作量大幅度增加。相比之下,老油田的资源品质都是过去发现的优质资源,只是历经数十年的开发,在采出一定资源后,系统设施的老化,受成本压力的限制,很多油田都处在非正常生产状态,但剩余资源仍然是优质资源,提高采收率尚有相当大的潜力。

2.1 二次开发是油田开发到一定阶段的必然需求,顺应油田开发的客观规律

我国陆相油田开发的显著特点是多采用注水补充地层能量,精细分层注水减缓层间矛盾,开采强度比较大;纵向上油层多,分层系开发,层系间注入压力差异比较大。长期以来强化开采,目前的井筒井况不容乐观,套损、套变、管外窜槽已成为普遍现象,平面上难以构成完善的注采井网;地面设施系统的老化影响到有效注水和安全环保,针对开发早期的地面集输和处理系统已不适应现阶段开发,造成能耗高、效率低。按照新的理念深化认识,仍有增加可采储量的潜力,迫切需要对高含水老油田全面重新认识、重建开发系统,让老油田焕发青春。这是油田开发到一定阶段的必然需求,更是顺应油田开发的客观规律。

2.2 二次开发工程的长远战略意义

近年来,国民经济的快速发展对能源迫切需求日益旺盛,加强已开发油藏大幅度提高采收率战略性工程的实施是最现实的考虑。老油田开发一定阶段后,地下情况变得更加复杂,但是仍有较大的剩余资源潜力。转变开发理念、观念,创新发展适应的配套技术,具有大幅度提高采收率的增长空间。这是与国际保持同步的方兴未艾的重大开发战略举措,美国已开发的老油田历经了六七十年开发历程,甚至已有百年油田的经历,最近提出新一代 CO_2 驱油接替技术,对全美老油田筛选评价,具有提高采收率 20% 以上的潜力,增加可采资源量 $100 \times 10^8 \text{t}$ 以上的潜力空间。近些年来,世界范围能源领域的发展动向,突出表现在老油田提高采收率和非常规资源的开发。可以说当前油气开发已经迈入非常规时代,特别是老油田的开发,过去是常规的优质资源,但是现在的开采对象已经变成了非常规资源。因此,需要采用非常规的理念、观念、技术、手段,甚至管理方式、政策相应地发生转变,才能适应非常规时代对我们的要求。总的来说,二次开发工程作为非常规时代的重要组成部分,不仅具有满足当前开发生产的现实意义,而且更具有打造百年油田并持续有效开发的长远战略意义。

3 二次开发工程的理论基础

二次开发的对象主要是指经历多年开发的高含水老油田,无论储层表征、油藏描述,还是水驱特征、加密调整等方面,都已形成相对成熟的基本认识和集成配套的技术,实现了水驱采收率不断提高。但是,二次开发的根本目的是为了大幅度提高采收率,有其独特的基本认识和理论基础。

3.1 认识储层的非均质性并解决储层的非均质性是二次开发工程的指导思想

实践证明,油田开发工作一直是围绕着储层非均质而展开的。我国多发育陆相油藏,非均质性很强,长期以来储层表征和油藏描述工作都是不断认识非均质性,精细分层注水和加密调整工作更是有效地解决非均质性。因此,由于对非均质性认识不断深入,现井网控制的开发单元不断精细,使得采收率不断提高。也就是说,一个油田开发水平的高低取决于对非均质单元控制的精细程度。二次开发控制的基本单元比过去的小层还要精细,一方面是油田开发达到这一阶段,更加精细的非均质控制着地下水运动规律和剩余油的分布,另一方面只有在二次开发阶段,比较高的井控程度下,才具备对非均质单元深入认识的深入程度。无论怎样,认识并解决储层的非均质是二次开发的指导思想,也是最基本的出发点。

3.2 单砂体及构型控制油水运动规律和剩余油分布,是二次开发控制的基本开发单元

过去开发控制的基本单元是小层,一个小层通常由两个或更多的单期河道砂体复合而成,即使是由一个单期河道砂体组成,正韵律顶部与以下的韵律段存在着强非均质性,每个单期河道砂体对油水运动规律和剩余油的分布有着明显的控制作用。所以,二次开发阶段井网控制的基本单元是单砂体及其内部构型。显然,二次开发阶段控制的开发单元与常规的小层作为开发单元有着显著区别。这就是说,二次开发的切入点或者说二次开发的基础是立足于单砂体及构型,与常规的水驱加密调整对小层的控制更加精细和深入。既然明确的把二次开发阶段井网控制的基本单元定为单砂体及其构型,也就是说,在单砂体内的注采有敏感的动态反应,这在开发领域来说,是很高境界、更深层次的开发。

3.3 陆相油藏的水驱规律支持进一步提高水驱采收率

我国陆相油藏的原油特性属于石蜡基原油,具有粘度高的特征。在注水开发过程中,中低含水阶段含水上升快,进入高含水开发阶段后,含水上升减缓,进入特高含水阶段,含水上升变得更加缓慢。高含水阶段后可采出相当多的可采储量,这样的水驱特征与一般的轻质油藏的水驱特征完全不一样。正是由于多数陆相油藏进入高含水阶段,理论上讲,采取精细的动态调控,含水上升率在不断减小,仍然可以增加可采储量,这充分支持了二次开发阶段的水驱有进一步提高采收率的理论基础。

3.4 层系井网优化重组是水驱优化调整的核心

我国陆相油藏的主要特点是常常发育多层砂岩油藏。无论层间还是层内非均质性都特别强,从开发初期就考虑多套层系开发,的确也取得很好效果。但是进入高含水阶段后,长期的注水开发更加剧了层间和层内的非均质性,尤其是在特高含水阶段单砂体及其构型控制着水流优势通道和剩余油的分布。这时一方面需要用井网对单砂体及其构型引起的非均质性进行总体控制;另一方面,也需要对纵向上多油层进行细分,然后在综合新的层系井网对纵横向非均质总体控制的基础上,很有必要优化重组,实现对更加精细开发单元的优化控制并动用。

3.5 “二三结合”的开发模式确保二次开发工程能够大幅度提高采收率

二次开发的对象毕竟是针对特高含水期开发的油田,通过二次开发实施进一步提高水驱采收率的空间有限,一般来说可以提高5%~10%,视油田开采状况而定。但是为了确保二次开发总体采收率达到较高水平,把水驱的层系井网优化重组与后续的三次采油的层系井网统筹兼顾,既能保证水驱阶段的层系井网对地下非均质最大限度地控制和动用,又能满足三次采油阶段通过化学驱、气驱等开发方式的转换,最终大幅度提高采收率,这将会成为今后老油田最佳的开发模式。

上述五个方面的基本认识已经构成二次开发的理论基础,从二次开发的出发点或者切入点、地下控制的基本单元,到井网结构和水驱规律及“二三结合”开发模式,构成了二次开发的基本理论点。

4 二次开发技术思路 and 关键技术

基于二次开发工程提出的背景、客观现实和主要的理论认识,早期提出的二次开发工程的总体技术路线,即“三重”的技术路线:重构地下认识体系、重建井网结构和重组地面流程,是对高含水老油田二次开发的宏观指导。重构地下认识体系是二次开发的基础,二次开发阶段井控程度高,有条件对非均质单元进行精细刻画;另外长期水驱开发,某种程度上加剧了储层非均质性,非常有必要对地下重新认识。数十年开发,井筒和地面系统设施老化,导致井网不完善、地面集输系统已不适应,制约了进一步提高采收率的需求,迫切需要重建井网结构,重组地面流程。因此,在“三重”技术路线指导下,明确了二次开发更加具体的技术思路:总体控制、层系细分、平面重组、立体优化、深部调驱、二三结合。

4.1 二次开发的技术思路

二次开发具体更可操作的技术思路概括为:“总体控制、层系细分、平面重组、立体优化、深部调驱、二三结合”二十四字方针。总体控制的含义是指用井网整体控制地下储层的非均质性或者井网一定要控制住单砂体及构型所导致的非均质性和剩余油的分布,特别重要的是

在单砂体内部一定要建立起注采关系,通过注采调控使得以单砂体为单元的波及体积最大化;层系细分是指长期水驱开发导致层间和层内矛盾加剧,细分层系或层内,进一步提高层间的动用和层内的波及程度,细分后充分利用精细分注技术或长胶筒封堵技术真正实现特高含水阶段油层的有效动用和最大化波及程度;平面重组是在细分层系后,以地下单砂体为单元,重新组合注采关系,利用老井加上补充新井,也可以利用现有的井以单砂体及构型为单元重新调整注采关系。实际上做到这一步很难,需要有深厚的储层认识的功底,更需要有扎实的动态分析调整的阅历,但毕竟是开发后期进入更深层次开发和最理想的境界。立体优化指从油藏整体进行层系井网的优化,包括经济效益评价;深部调驱是针对层内韵律引起的非均质差异,特别是水流优势通道发育导致无效水循环严重,需要深部调整驱替方向,是层系细分、井网调整和精细分注等其他措施均无法解决的重大开发矛盾;二三结合主要是指持续有效水驱和后续三次采油的密切结合,突出三次采油中聚驱和复合驱之后的化学驱接替技术,热采特色技术和注气大幅度提高采收率技术。

4.2 二次开发的核心关键技术

二次开发的核心关键技术是伴随着二次开发基本认识的不断深入,技术思路日趋清晰,核心关键技术应运而生。主要包括单砂体及构型刻画技术、层系井网优化重组技术、深部调驱技术、二三结合大幅度提高采收率技术和配套的工程技术。

4.2.1 单砂体及构型刻画技术

以曲流带砂体为例,每一期河道废弃形成多个曲流河点坝砂体及其侧积体复合而成的曲流带,反映了一个小层由多期废弃河道遮挡而成的多个单砂体及其内部构型组成,的确对油水运动规律和剩余油的分布有着明显的控制作用。注入水沿着侧积体的走向和倾向分别驱扫,采收率差异明显,下部相对上部水洗严重些。可以看出,单砂体及内部构型对驱替效率,水洗程度,注采调控等方面均有重要的影响。以单砂体及内部构型为单元的注采调控为特点的特高含水期控水提供了现实可操作的技术措施。立足于密井网资料、原型模型和地质知识库,并辅之高精度地震资料控制砂体边界,可以对单砂体进行精细刻画,形成以单砂体为单元的工业化图件,指导开发生产。

4.2.2 层系井网优化重组技术

长时间水驱开发,纵向上层间矛盾日益突出,一直通过层系细分和精细分注来缓解层间矛盾。到一定程度层间矛盾难以通过分注来解决,需要进一步细分和重组来优化纵向上油层的动用。首先对纵向上的小层水洗程度和剩余潜力进行评价,特别是每个小层的动态表现行为更为重要,需要用层系和井网解决的问题,绝对不能靠工艺措施去解决。然后能细分的尽量去细分,细分是基础,重组是提升,可以把纵向上油层的各种特征,如含油井段、物性和流体性质及动态优势综合考虑细分重组。这应该是油田开发到一定阶段后进一步优化调整的需要,更是二次开发配套技术的关键。

4.2.3 深部调驱技术

主要是解决层内矛盾和平面矛盾,进入特高含水期开发,最大限度的发挥动态调控的潜力,控制含水上升,在效果变差的情况下,需要通过深部调驱,提高纵向上单层的动用程度,尽力扩大平面水驱波及范围。与常规的调剖相比,无论在深部转向的深度,还是调剖剂的用量方面及调整方式上,均有非常大的区别,深部调驱更侧重于采收率的提高。

4.2.4 二三结合提高采收率技术

着重考虑水驱与后续三次采油层系井网的衔接和大幅度提高采收率技术的结合。例如复合二元驱技术、纳米驱油技术、离子匹配精细水驱技术等化学驱油新思路；稠油由常规吞吐转向驱替后的地下原位改质技术；注气混相驱和稳定重力驱技术。这里特别强调顶部注气稳定重力驱技术，过去的重力驱油侧重于地层倾角大的油藏，靠重力驱替。这里所论述的顶部注气稳定重力驱立足点从整个油藏考虑，靠气油水的重力分异作用去实现原油的最大采出。基于两个方面考虑：原本整装的油藏，多年的面积井网注水开发，进入特高含水期，剩余油已相当分散，大量的次生水体弥漫在储集孔隙中，适量且分散的剩余油尚赋存在储集孔隙，只有靠大量的水驱冲刷这些剩余油来采出，而顶部注气靠稳定的重力能把分散的剩余油聚集。近年来开展的注气开发试验，发现注气首先波及的区域是局部的构造高点，比储层本身的非均质性更占优势，带给我的启发就是只要有构造落差，重力驱的优势就能表现出来。基于上述两方面的考虑，特别是最近大量的室内模拟实验研究，国外可类比的矿场实践，共同支持特高含水开发阶段的油田，顶部注气稳定重力驱可以实现持续有效开发并大幅度降低残余油饱和度。相信会给高含水老油田开发注入新的活力，可以作为打造百年油田的重要接替技术。

4.2.5 配套的工程技术

二次开发工程涉及的配套技术很多，但是，最为突出的是井况检测治理技术和高含水期油田常温集油技术。经历多年开发的油田，很多因素使井况变差：套变、套损、挫断、井下落物无法动管柱、管外窜槽、弃置、暂闭等。经过几年的现场攻关研究，不断完善井况检测和预防技术。针对北方地区地面集输三管伴热或掺输导致能耗高的问题，创造性实现了高含水油田单管常温集输的技术突破。

5 二次开发工程生产实践

股份公司管理层及勘探与生产分公司的强力推动，二次开发工程稳步推进，已经由原来的试点工程转向推广应用，不断取得满意的成果。

早期的试点工程主要针对井况差、井网不完善不能有效注水、地面系统老化、安全环保隐患多、能耗高、效率低的油田。已有的开发系统提高采收率的空间有限，可能还会损失一部分可采储量。例如已开发四十多年的吉林扶余油田和新疆克拉玛依西北缘砾岩油田六七区，按照“总体控制，完善井网，精细注水、地面整改”的技术思路，开展了二次开发工程整体部署和实施，取得很有意义的成果。扶余油田完钻 3000 多口新井，按照 $100\text{m} \times 150\text{m}$ 的小井距总体部署，六七区由过去的 260m 正方形井网缩小到 125m 小井距，突出的特点是不仅对储层砂体的控制程度有较大幅度提高，而且对剩余油和水淹层的控制也有明显的提高，这给二次开发的整体部署极大地增强了信心。在井网系统完善的基础上，合理细分层系，加强精细分注的有效注水工作，扶余油田由 $60 \times 10^4\text{t}$ 回升到 $100 \times 10^4\text{t}$ ，近于稳产 5 年，仍有精细调控进一步稳产的潜力。六七区一直保持稳定的生产形势，尚有层系接替和化学驱进一步大幅度提高采收率的潜力，特别是最近两年深部调驱的实施，取得更加振奋人心的成果，为西北缘砾岩油藏大幅度提高采收率工程的实施坚定了信心。大庆油田经过五十多年的开发，纵向上有多套层系，平面上具有完善的井网，在实施 $4000 \times 10^4\text{t}$ 稳产工程中，三次加密与层系井网重组和更加精细的分层注水有机结合，采收率水平不断提高。大港油田北大港地区和吐哈温米油田的二次开发在单砂体精细刻画、层系细分重组等方面富有特色，也取得喜人的成果。

对二次开发的研究工作和若干问题的进一步探讨

韩大匡

(中国石油勘探开发研究院)

摘 要 本文简要地概述了高含水老油田进行二次开发进一步较大幅度地提高水驱采收率的重大意义及其理念、对策和技术路线,从整体上初步构建了二次开发系统工程的理论体系。

本文还系统地阐述了笔者及其研究团队从 2002 年以来针对二次开发中的一些技术瓶颈问题创新性的研究成果,包括:(1)在深化油藏描述方面,通过井震联合攻关建立了地质小层的约束精细随机反演、井中断点引导的低级序小断层解释、地震约束分层插值构造成图识别微幅度构造、以地震资料为硬约束的建模、等时地层对比和水流优势通道位置的识别等技术;(2)在精细量化剩余油分布方面,形成了精细油藏模拟的特点和技术内涵、多尺度网络技术、吸水剖面预测、分层历史拟合辅助软件等;(3)在可动凝胶深部调驱方面,提出了关于优势通道的分类及其不同治理方式、搞清了新型耐温耐盐可动微凝胶 SMG 体系的性能、取得了同步调驱机理及现场应用效果等。

最后,文中还对二次开发今后应予以关注和重视的问题进行了探讨,提出了认识和建议,包括:二次开发的定位、对象、波及系数的内涵、井网重组的目标和做法、水平井的效益评价和做法,以及高含水阶段含水和水油比指标的对比等。

关键词 高含水油田提高水驱采收率 二次开发理论体系 深化油藏描述 量化剩余油分布 可动凝胶深部调驱 井网重组 水平井效益评价

1 引言

中国油田绝大部分为陆相油田,储层非均质性严重。油田开发的主体技术是注水开发。从中国当前开发油田的现状看,总体上已经进入了高含水、高采出程度阶段。经过几十年的开采,主力老油田大多数已经进入或是接近特高含水的开发后期。特别是近几年的统计资料表明,全国油田还在进一步老化,即使加上新投产的油田,平均综合含水也已达 86% 以上。在这种情况下,高含水老油田稳产的难度越来越大,产量发生递减的也越来越多。另一个方面,据 2007 年资料统计,全国已开发油田以现有技术标定的采收率为 31.2%,还有很大的提高采收率的空间。因此,提高高含水油田的原油采收率已成为当前老油田开发的中心任务。

提高采收率有两个主要途径,其一是三次采油,其二是继续提高水驱采收率,两者应互相补充。在三次采油方面,聚合物驱已大规模推广,化学复合驱技术也已有重大突破。这类方法提高采收率的幅度大,但只有大庆等大型整装油田才能够有效推广,对地层温度高、地层水矿化度高的油藏还难以适用,其应用范围受到很大限制。另一方面,由于注水是中国油田开发的主体技术,在高含水后期、特高含水期再继续提高水驱采收率仍是提高采收率的主攻方向之一,虽然难度很大,但适应性却非常广泛。因此,积极有序地推动二次开发,较大幅度地提高高含水老油田采收率,已成为应该加以特别关注的当务之急,这也是中

国石油天然气股份有限公司(简称股份公司)的一项重大战略决策。应该指出的是,二次开发理论和实践的发展具有十分重要且深远的历史意义,很有可能发展成为油田开发史上一项具有革命性的重大举措。

近 10 年来,笔者及其研究团队对二次开发的理念、对策和技术路线进行了比较系统的探讨,对实践这个技术路线的若干难度较大的技术做了研究,并对今后应该予以重视和关注的若干问题,提出了我们的看法和认识。这些研究成果和认识有的已发表在笔者及其研究团队的论文中,也有的还没有发表过。因限于篇幅,这里作一概括性的简要介绍。

2 二次开发理念、对策、技术路线概述

对二次开发理念、对策和技术路线所得到的系统研究成果已多次在报告和论文中做过详细阐述,可以说是已初步建立了高含水油田实施二次开发工程的理论基础,这里仅概要地归纳为以下几点:对非均质陆相储层高含水后期极为复杂的剩余油分布归纳为“总体高度分散,局部相对富集”的普适性格局;提出了八种剩余油具体分布的模式;提出了“分散中找富集,结合井网重组,对剩余油富集区与分散区分别治理”的二次开发理念;建立了三个“三结合”的具体对策;并建立了深化油藏描述、量化剩余油分布以重构地下认识体系的多学科技术路线;发展了可动凝胶深部调驱理论认识和方法,研制了新型 SMG 可动凝胶体系。这些观点、理念和对策相互联系,已为二次开发初步构成了一个整体的理论体系。现分述如下。

2.1 高含水后期的剩余油分布格局的认识是高含水油田二次开发工作中一切对策的基础和出发点

早在 20 世纪 90 年代,通过分析高含水后期极为复杂的地下剩余油分布状况,提出了当含水高于 80% 时,地下剩余油呈“总体上已高度分散,但在局部还存在着相对富集部位”的普适性格局。同时经过对油田开发状况的分析,得到一个重要认识:油田注水开发过程中的重要调整举措能否取得成效,除了决定于这些举措是否符合油田的静态地质条件以外,关键还在于它们能否适应于地下剩余油分布的格局。

因此,当含水高于 80% 以上时,“总体上已高度分散,局部还有相对富集部位”的剩余油分布格局的认识是高含水油田二次开发工作中一切对策的基础和出发点,所编制的二次开发方案设计和实施措施能否适应于油田地下剩余油分布的这种格局就成为二次开发能否取得良好技术经济效果的关键。

2.2 八种剩余油具体分布的模式

在高含水后期和特高含水期,地下剩余油“总体高度分散、局部相对富集”的分布格局下,其具体分布部位可大体归纳如下:

- (1) 不规则砂体的边角地区,或砂体被纵向或横向的各种泥质遮挡物形成的滞油区;
- (2) 岩性变化剧烈、主砂体边部变差部位,及其周围呈镶边或搭桥形态的差储层或表外层;
- (3) 现有井网控制不住的小砂体;
- (4) 断层附近井网难以控制的部位;
- (5) 断块的高部位、微构造起伏的高部位,以及切叠型油层中的上部砂体;
- (6) 优势通道造成的水驱不到的地方,层间干扰形成的剩余油,以及井间的分流线部位;
- (7) 正韵律厚层的上部;