



LIYAN YOUKANG ERCI KAIFA  
LILUN YU SHIJIAN

# 砾岩油藏二次开发 理论与实践

——以准噶尔盆地西北缘砾岩油藏的二次开发为例

杨生榛 胡新平 秦启荣 肖春林 等著



石油工业出版社

# 砾岩油藏二次开发理论与实践

——以准噶尔盆地西北缘砾岩油藏的二次开发为例

杨生榛 胡新平 秦启荣 肖春林 等著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书是对准噶尔盆地西北缘砾岩油藏二次开发理论与实践探索成果的总结,主要介绍砂体构型描述技术、水淹层测井解释技术、剩余油评价技术、数值模拟技术、立体井网重组技术在砾岩油藏中的应用以及典型区块的实例分析。

本书可供从事油气开发的工程技术人员、研究人员和石油院校相关专业师生学习参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

砾岩油藏二次开发理论与实践:以准噶尔盆地西北缘砾岩油藏的二次开发为例/杨生榛,胡新平,秦启荣,肖春林等著. —北京:石油工业出版社,2014.1  
ISBN 978-7-5021-9948-7

I. 砾…

II. ①杨…②胡…③秦…④肖…

III. 砾岩-岩性油气藏-油田开发-新疆

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 313407 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)64251362 发行部:(010)64523620

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

2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14.5

字数:365 千字

---

定价:80.00 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

# 《砾岩油藏二次开发理论与实践》

## 编 委 会

组 长：杨生榛

副组长：胡新平 秦启荣 肖春林

成 员：林 军 袁述武 王志萍 金 萍

范存辉 王 辉 李 想 周 庆

# 前 言

中国绝大多数油田为陆相油田,储层非均质性非常明显,其开发的主体技术是注水开发,从已开发陆相油田的开采情况看,总体上已经进入到“双高”(高采出程度、高含水)开发阶段。随着地下油气的不断采出和油田日益老化的趋势加剧,老油田数目越来越多,主力老油田大多数已经进入或者接近特高含水的开发后期。近几年的统计资料表明:一方面,全国的陆相油田还在进一步老化,高含水、老油田的稳产难度越来越大,产量递减越来越快;另一方面,全国已开发油田现有技术标定的采收率为31.2%(2007年的统计资料),还有较大的提高空间。

老油田提高采收率主要有两个途径:一是三次采油;二是继续提高水驱采收率。两者互为补充。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,但是只有大庆等大型整装油田才能够有效推广,对地层温度高、地层矿化度高的油藏还难以适用,其适用范围受到极大限制。另外,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然是提高采收率的主攻方向之一,虽然难度很大,但适应性广泛。因此,按照新的理念深化认识,仍有增加可采储量的潜力,对高含水老油田全面重新认识、重建开发系统,大幅度提高已开发油田的原油最终采收率,让老油田焕发青春。这是油田开发到一定阶段的必然需求,也是顺应油田开发的客观规律。

中国石油天然气股份有限公司(以下称股份公司)立足于高含水油田开发的客观现实,于2007年夏适时提出并实施“二次开发”战略性系统工程,重点从重构地下认识体系、重建井网结构和重组地面工艺流程3个方面入手,转变开发理念、观念,发展适应性配套技术,实现安全、环保、节能、高效地开发老油田,大幅度提高原油采收率。目前该系统工程已实施5年,5年的研究和实践表明,该工程对于老油田的稳产和提高原油采收率起到了重大作用,无论是对“二次开发”的总体认识,还是现场实施效果都取得了丰硕的成果。

在我国,砾岩油藏除了渤海湾盆地的刘李庄砾岩油田、河南双河油田砂砾岩油藏以及二连盆地的蒙古林和夫特砾岩油藏外,主要产地在新疆准噶尔盆地西北缘的一区一九区采油区,其总产量占全国砾岩油藏一半以上,是我国主要的砾岩油藏产油区。

中国石油新疆油田公司积极响应股份公司关于老油田二次开发工作的指示精神,结合新疆油田油藏特点和开发实际,在西北缘砾岩油藏大幅度提高水驱采收率重大试验和多年老区调整实践的基础上,以西北缘砾岩油藏为目标,努力推动二次开发理论与实践的探索。自2006年开始技术准备和部分区块的现场试验工作以来,以二次开发试点工程为主体,各项技术攻关和实践工作有序展开,到目前为止,西北缘砾岩油藏已实现采收率提高10%,新增可采储量 $5000 \times 10^4 \text{t}$ ,取得了显著效果;为在我国砾岩油藏的二次开发理论的建立和实践探索积累

了一定的经验。

本书为新疆油田公司采油二厂参与“砾岩油藏二次开发工程”的主要技术工作者对准噶尔盆地西北缘砾岩油藏二次开发理论与实践探索成果的总结,主要介绍已取得重大成效的砾岩油藏二次开发的理论、思路、技术措施和方法,以及典型区块的实践结果;林军、袁述武、金萍、王辉、李想、周庆等参与了项目的具体工作和书稿的编撰,中海油天津公司王志萍博士、西南石油大学范存辉老师参与了后期工作的总结和书稿的整理。

新疆油田分公司钱根宝副总地质师、开发处刘顺生处长、勘探开发研究院开发所许长福所长等专家参与并指导了整个项目工程的工作,为新疆油田砾岩油藏二次开发工程做出了很大贡献,在此表示诚挚的敬意和衷心的感谢!

# 目 录

第一章 概论 .....	(1)
第一节 砾岩油藏二次开发研究现状 .....	(2)
第二节 砾岩油藏二次开发理论及关键技术 .....	(5)
第三节 西北缘砾岩油藏二次开发背景 .....	(7)
第二章 砾岩油藏二次开发基础 .....	(13)
第一节 砾岩油藏二次开发地质基础 .....	(15)
第二节 二次开发实验基础 .....	(39)
第三节 砾岩油藏不同注采井网开发效果分析 .....	(74)
第三章 砾岩油藏二次开发关键技术表征 .....	(81)
第一节 砾岩油藏砂体构型描述技术 .....	(81)
第二节 砾岩油藏水淹层测井解释技术 .....	(93)
第三节 单砂体剩余油评价技术 .....	(124)
第四节 油藏数值模拟技术 .....	(139)
第五节 立体井网重组技术 .....	(155)
第六节 二次开发后油藏稳产技术 .....	(173)
第七节 二次开发技术发展 .....	(190)
第四章 典型实例分析 .....	(192)
第一节 西北缘砾岩Ⅲ类油藏二次开发实践案例——六中区克下组砾岩油藏 .....	(192)
第二节 西北缘砾岩Ⅰ类油藏二次开发实践案例——七中东区克下组砾岩油藏 .....	(202)
第三节 西北缘砾岩Ⅱ类油藏二次开发实践案例——八区克上组砾岩油藏 .....	(207)
第四节 西北缘砾岩Ⅳ类油藏二次开发实践案例——八区下乌尔禾组砾岩油藏 .....	(213)
砾岩油藏二次开发启示 .....	(220)
参考文献 .....	(222)

# 第一章 概 论

油田“二次开发”,是指当油田按照传统的一次开发方式基本达到极限状态或已接近弃置条件时,采用全新的概念,采用新的“三重”技术路线,对老油田实施二次开发,重新构建油田新的开发体系实施再开发,大幅度提高油田最终采收率,最大限度地获取地下油气资源,实现安全、环保、节能、高效开发(胡文瑞,2007,2008,2009)。

二次开发的对象是“老油田”,条件是“传统的方式开发基本达到极限状态或已接近弃置的油田”。观念是“全新的”,并有区别于传统开发观念,中心工作是“重新构建油田新的开发体系”,目的是“大幅度提高油田最终采收率”,最大限度地获取地下油气资源,其效果体现在“安全、环保、节能、高效开发”上。其思路也可以扩展到老气田上。老油田二次开发的根本性宗旨是“科技油田、绿色油田、和谐油田”。

二次开发项目筛选的基本原则:油(气)田应具备较大的剩余资源开采潜力,现有开发方式、层系、井网、地面配套设施等适应性差,通过二次开发预计可提高采收率5个百分点以上,并能取得较好的经济效益;二次开发的对象要具有以下三个基本条件:一是油田服役年限大于20年(稠油油田服役年限要在12年以上);二是可采储量采出程度大于70%;三是油田综合含水率大于85%。在确保提高采收率5个百分点以上的原则下,具备下列条件之一者可优先选择实施二次开发:采出程度低于15%左右;含水大于80%左右;采油速度低于0.5%;井点损失30%以上处于开发后期接近废弃条件;开发效益评价为低效或无效;对油田公司可持续发展有重大影响的项目。

这些油田剩余油高度分散,油水关系极其复杂,总体上表现出“两低”、“双高”和“多井低产”的特点。要采用不同于传统的开发理念,才能走出油田开发的新路。

“两低”是指“新增储量的低渗透、品位的低丰度”。中国石油新增的石油探明储量中,渗透率小于5mD的低渗透储量,比例由2001年的27.1%增至2006年的70.5%,储量丰度低于 $100 \times 10^4 \text{t/km}^2$ 的比例达67%,岩性油气藏、火成岩等非常规储层储量比例也不断增加。

“双高”是指“高含水、高采出程度”。2006年底,中国石油综合含水已达84.9%,可采储量采出程度为73.9%。而且主力油田的综合含水、可采储量采出程度更高,有些高达85%甚至90%以上。

“多井低产”是指“油井总数逐年大幅度增加,单井平均日产逐年下降”。中国石油油井井数年均增长20%,从1985年的23180口增加到2006年的114290口,21年增加了9.11万口油井,增长了近4倍,而相应的单井日产却由1985年的12.2t降到了2007年的2.7t。

二次开发的根本目的是提高原油采收率。要实现二次开发工作目标,首先要取得技术上的突破。二次开发的技术路线是新二次采油技术,是传统二次采油技术的集成和发展,是介于传统二次采油与三次采油之间的技术。其核心内容是“三重”,即“重构地下新的认识体系,重建井网结构,重组地面工艺流程”:

(1) 重构地下新的认识体系。主要包括采用精细三维地震技术、高精度动态监测技术(过



套管电阻率测井、C/O 测井、PND 测井等)、精细油藏描述技术、储层精细刻画技术等,并淘汰一批老资料。深化油藏认识,搞清剩余油分布,采用网络化、信息化技术,自动录入资料数据,方案自动生成,建成数字化油田。

(2) 重建井网结构。主要内容是改变传统的直井井网结构,以丛式井、水平井、侧钻水平井、平台式水平井等为主要开发井型,对具备条件的油藏纵向上层系细分重组,平面上井网加密,完善注采系统,改善水驱效果。要坚定不移地淘汰一批维护成本高的老井,原则上整体实施,能利用的井则利用、不能利用的则弃置。

(3) 重组地面工艺流程。根据高含水油田开发特点,以丛式钻井和平台式、集约式布井为基础,扩大水平井的规模应用,优化简化地面工艺流程。坚定不移地推行一级或一级半布站,短流程,常温输送,扩大冷输半径,泵对泵工艺流程。坚决淘汰能耗高、效率低的地面设施,达到“四新、三高、三全、一循环”。即“四新”是指新工艺、新技术、新设备、新材料;“三高”是高效加热炉、高效注水泵、高效输油泵;“三全”是全密闭、全处理、全利用;“一循环”是指循环利用。真正实现油田地面设施高度自动化。

老油田二次开发是一个重大命题,不论从油田开发的认识、观念、技术、管理,还是油田服役年限、开发指标极限设置及产生的巨大经济效益等,都是真正意义上的油田深度开发和资源的充分利用,是一项前瞻性、战略性的老油田系统改造工程,也是转变经济增长方式、落实科学发展观的具体行动。

中国石油二次开发是一项战略性的系统工程,是“油田开发史上的一场革命”,是近期老油田开发的主要任务之一。其意义在于它既具有历史性、战略性、成长性,同时也具有很强的现实性和可操作性。它的成功将是一个“改变游戏规则”的“全新”局面,这一千秋事业也将是上游开发业务发展的永恒主题和现实性难题。

## 第一节 砾岩油藏二次开发研究现状

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,并取得了一些成果,为老油田的再次开发提供了一些方向。

国外没有明确的“二次开发”一词的提法,相近的为 Redevelopment 一词,有时也使用 Rehabilitation、Rejuvenation、Reactivation 等词(Mareus L. 等,2002;Douglas S. 等,2002),虽然其开展的工作一定程度上也具有中国石油提出的“二次开发”的特征,但没有对二次开发这一名词进行系统的定义或总结。

俄罗斯罗马什金油田,自 20 世纪 90 年代开始在三次采油技术应用的基础上,进行井网结构调整和对油层实施动态水驱。钻新井以细分混合层段使井网密度最佳化,并增加注入井数提高注采比;实施动态水驱(非稳定水驱)周期性地改变流体的流动方向降低综合含水量,进而降低油井含水量,并钻水平侧向井和斜钻新孔。

1999 年 8 月,墨西哥湾 Vermilion39 油田开始实施二次开发,采用 3D 地震和其他资料开发出黑油油藏模拟模型,并采用该模型评价各种开发思路,结合地面采油设备模型进行分析,以获取一种最优开发方案。Spirit 公司钻新井 6 口,修井 13 口,措施井 7 口,同时进行了多口老井侧钻,并将一台空气压缩机升级,增加两台新的空气压缩机和两段管线。1999 年末,天然

气产量增加  $59 \times 10^6 \text{ft}^3/\text{d}$ , 原油产量增加  $256 \text{bbl}/\text{d}$ 。二次开发新增储量  $7 \times 10^6 \text{bbl}$  油当量, 包括天然气  $42.2 \times 10^9 \text{ft}^3$ 。

1995 年, 英国北海的马格尤斯油田开始二次开发, 其目的是降低油田产量递减速度, 开发方案主要采取了安装气举完井装置、水处理设备的更新、增加生产井、将多层生产井改成单层生产井、优化注水等措施。

尼日尔三角洲东部 Ebughu 油田自 1988 年第一次产油以来, 一直在其薄油环中以很低的速率开采。1999 年成功地进行了二次开发。三维地震和水平井技术改变了薄稠油环的开发状况, 使产量和储量潜力提高 10 倍。

进入 21 世纪, 欧洲和美国的一些老油田相继实施二次开发计划, 但大多还处于实施或计划阶段。国外的二次开发大多指对开发到一定阶段或处于开发边际后对油田地质情况的重新认识, 采用三维地震、建模和数值模拟等手段重新对油田构造和生产历史进行分析后, 采用钻加密井或水平井等方式大幅度提高油田产量的一个阶段 (Kharak Singh 等, 2004; Robert Cook 等, 2005; Roderick J. 等, 2002; P. Craig Smalley 等, 2008), 或者是对处于弃置条件下天然开采的油田采用二次采油的方式提高采收率的阶段 (宋秋生等, 2001)。美国实施“二次开发”使许多油田的采收率将从 33% 左右提高到 60% 以上, 在一些地质条件适宜的油藏中, 采收率甚至可达到 80% 以上。仅美国加利福尼亚州、俄克拉何马州、伊利诺斯州等 6 大地区的评价结果表明, 新一代技术将使这 6 个地区的技术可采储量增加  $404 \times 10^8 \text{bbl}$ 。如果将其推广到美国所有的油田, 有望使美国的技术可采储量增加  $1600 \times 10^8 \text{bbl}$ 。

中国石油二次开发可以追溯到 1992 年。1992 年, 大庆油田实施的规模宏大的“稳油控水”工程, 接近二次开发的基本性质。1995 年, 大庆油田实施油田“三次加密”工程时曾提出过“二次开发”一词 (王乃举)。1996 年, 韩大匡院士在全国油田开发工作会议的发言中, 也曾阐述过“深度开发”这一概念, 而且比较有系统的论述。

辽河油田公司自 2005 年起, 在二次开发上做文章, 启动了再造一个“新辽河”的探索与实践。开辟了二次开发试验区和示范区, 共实施 18 个区块, 覆盖石油地质储量  $2.45 \times 10^8 \text{t}$ 。对濒临废弃的 9 个区块实施二次开发, 部署水平井 121 口, 完钻 73 口, 投产 66 口, 日产油由二次开发前的 870t 上升到 1697t。如新海 27 块, 直井开采 15 年, 到 2004 年, 日产油 37t, 采油速度 0.26%, 综合含水率 93.4%, 采出程度 12.2%, 濒临废弃, 在精细油藏描述和综合研究基础上, 认为水平井开发可以改变渗流方式, 能够很好地解决该类型油藏开发问题, 截至 2007 年, 共完钻水平井 32 口, 投产 32 口, 日产油 329t, 平均单井日产油 11t, 平均单井日产液 50t, 分别是直井的 7.9 倍和 2.3 倍; 综合含水率 76.4%, 低于老井 15.6 个百分点; 断块日产油达到 360t, 采油速度上升到 2.91%。辽河油田针对不同油藏类型采用了不同的开发措施。对注水开发的普通稠油油藏及特殊岩性油藏, 通过改变驱动方式, 二次开发见到初步效果; 对巨厚块状特稠油油藏部署叠置式水平井实现二次开发; 对中深层普通稠油和超稠油油藏, 通过改变驱动类型, 转换开发方式, 二次开发试验获得成功; 对近期不能实施开发方式转换的热采稠油油藏, 通过改变渗流方式, 实施水平井与直井组合蒸汽吞吐, 实现深度开发。应用二次开发的新理念大力推动滚动勘探和探明未开发储量动用。二次开发切实见到成效, 已实施的 18 个区块, 日产油从二次开发前的 3123t 上升到 4908t, 开发建设呈现良性循环态势。

吉林扶余油田已开发 40 多年, 拥有近  $2 \times 10^8 \text{t}$  级规模效益储量。油田“十五”初期暴露出

诸多开发矛盾,主要突出表现在4个方面:井况差、分注状况差、注采井网不适应、地面系统老化严重,致使储量动用程度低,开发效果变差,采出程度只有19.0%,采收率只有23.4%,储采失衡严重,产量呈加速递减趋势,年产油量从1984年的 $102.7 \times 10^4 \text{t}$ 下降到2003年的 $65 \times 10^4 \text{t}$ 。2003年以来,开始油田二次开发探索与实践,包括油藏地质开发特点再认识,重新建立新的井网结构,重新组建地面工艺流程,应用新技术,确定合理有效注水技术政策,优化配套钻采工艺。经调整后,使采收率由调前的27.0%提高到调后的33.7%,提高6.7个百分点。经过调整,综合含水明显下降,到2006年,含水降为84.85%,下降5.65%。油层平均地层压力开始保持平稳,到2007年地层压力达到3.1MPa,较调整前提高0.05MPa。预计在“十一五”至“十二五”期间,扶余油田年产油量保持在 $100 \times 10^4 \text{t}$ 以上,“十一五”末,采收率达到33%，“十二五”末达到38%。二次开发取得了显著成果。

大港港西油田经过40余年的开发,2008年底,港西油田标定采收率为34.59%,综合含水率为90.81%,可采储量采出程度为83.83%,已整体进入高采出、高含水的“双高”开采阶段。单井产量低,开发效益差。表现出的主要问题是:单层注采对应差的平面矛盾、层间动用差异大的层间矛盾、单砂体内部结构与注采关系不一致的认识矛盾以及复杂井况与细分层系要求之间的需求矛盾等。按照“三重”的技术路线,重新构建了新的地下认识体系;根据研究区剩余油分布特点,重新构建了新的注采井网,并重新完成了地面系统的优化和简化,先导试验取得了较好的效果。

2008年,大庆油田在中国石油开发例会上提出聚驱后实施二次开发,并认为是对油田开发认识论和方法论的创新。目前,大庆油田有14个聚驱区块进入后续水驱开发阶段,地质储量 $24800 \times 10^4 \text{t}$ ,油水井2361口,综合含水96.3%,采出程度52.8%,挖掘聚驱后潜力是大庆油田真正意义上的二次开发。其中大庆萨北油田北二区自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效果良好,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。

河南浅薄层稠油油藏经过蒸汽吞吐、蒸汽驱后,老井综合递减达20%左右,平均单井日产量降到了1.5t以下,油气比降到了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。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,取得了比较好的效果。阶段采出程度19.1%,最终采收率38.8%,在原基础上提高了一倍。

玉门油田在近70年的开发历程中,经历了建产、高产、递减、稳产、后期开采5个阶段,采用常规油田开发技术和精细管理,实现了稳产。老君庙油田30年含水基本不升,保持了较高的采收率,达到了世界水平,体现了玉门精神。玉门油田以精细油藏描述和剩余油分布规律认识为基础,以水平井规模应用为主要手段,重新构建部署适合目前地下油水分布规律的注采井网,并以先进的配套技术带动地面工艺流程的重建和优化,最大限度地增加产量,挑战采收率极限。在二次开发一期工程实施后,预计玉门油田老君庙、鸭儿峡等老区块的产量,将从目前的 $18.8 \times 10^4 \text{t}$ 上升至 $30 \times 10^4 \text{t}$ ,水驱采收率将提高8.3个百分点。

上述各油田在提高采收率上的成功实践,为二次开发积累了经验,也为其他油田开发树立

了标杆。各油田面对的开发对象有所不同,必须根据自身特点,创造性地开展工作,才能达到二次开发的工作目标。

二次开发将使老油田的稳产形势得到明显改善。老区年增可采储量由降变为升,从2006年的 $2366 \times 10^4 \text{t}$ 上升到2010年的 $6600 \times 10^4 \text{t}$ ,整体拉动中国石油国内口径储量替换率提高0.22个百分点。根据对“十一五”期间二次开发的投入、新增可采储量、新增产量进行经济评价,结果表明二次开发效益明显,按中国石油的评价标准,油价按40美元/bbl计,其内部收益率可达到21%。

二次开发符合循环经济的要求,可使伴生气全部利用,污水全部处理利用,吨油能耗降低20%,原油损耗率降低20%。大庆油田依靠老油田精细开发和“三次采油”新技术,使采收率达到高水平。从1959年发现大庆油田,截至2005年底,累计探明石油地质储量 $57.75 \times 10^8 \text{t}$ ,累计生产原油 $18.66 \times 10^8 \text{t}$ ,分别占中国石油的36%和60%。

针对砾岩油藏的二次开发理论和技术尚不完善,主要的借鉴砂岩油藏的二次开发理论和技术,逐步摸索、尝试建立一套适合砾岩油藏的二次开发技术体系,本书即是该尝试结果的总结。

## 第二节 砾岩油藏二次开发理论及关键技术

### 一、二次开发理论基础

二次开发的主要对象是高含水老油田,这类油田开发时间长,地下情况复杂,剩余油整体分散、局部富集,油水关系复杂;钻井工艺复杂,井眼轨迹控制难度大;稳产和生产调控技术难度大。通过近几年的研究与实践,对该类油藏的储层表征、油藏精细描述、水驱特征以及加密调整等方面,都已形成比较成熟的基本认识和集成配套技术,实现了水驱采收率的不断提高。但是对于砾岩油藏的二次开发,基于大幅度提高原油采收率的目的,其二次开发工程有其特殊的基本认识和理论基础。

- (1) 认识储层的非均质性并刻画解决其非均质性,是二次开发的基本指导思想;
- (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;
- (3) 砾岩油藏的水驱油规律充分支持了“二次开发”水驱可进一步提高采收率,是水驱开发的理论支持;
- (4) 层系井网优化重组是水驱优化调整的核心;
- (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、二次开发的关键技术

#### (一) 砾岩油藏砂体构型描述技术

在地质背景研究、前人理论研究的基础上,结合岩心描述、测井解释和露头测量描述等手段,研究构型要素的空间几何学特征、叠置关系,空间分布等,建立冲积扇储层构型模式。通过对冲积扇内部不同级次构型界面所限定的构成单元的几何学特征、空间组合关系、渗流屏障和渗流差异特征及其对剩余油分布的控制作用等研究,深化储层内部结构和剩余油分布的认识,为开发动态分析、剩余油挖潜提供更准确的地质依据。

## （二）砾岩油藏水淹层解释技术

在水淹层岩石物理响应机理研究基础上,利用径向电阻率比值法、自然电位基线偏移法等常规测井和 C/O 方法、核磁共振法、过套管电阻率法等特殊测井方法定性识别水淹层,并针对砾岩储层岩性复杂的特点,在数据挖掘岩石敏感性参数建立细分岩性图版基础上,建立了不同岩性的含油饱和度、产水率、水洗指数等解释模型,辅以原始地层电阻率,形成“细分岩性、构建模型”的“两步三法”水淹层定量解释方法。

## （三）单砂体剩余油评价技术

综合地质、油藏工程、动态分析、油藏数值模拟等多种剩余油描述技术,结合示踪剂技术以及密闭取心技术,在剩余油控制因素指导下,形成一套“静动结合、井层量化、潜力明确”的剩余油有效评价技术和方法。

## （四）油藏数值模拟技术

在对油藏地质模型、岩石物理模型、流体模型、生产动态特征和模拟预测目标的研究基础上,将石油地质学、岩石物理学、油层物理学、渗流力学、应用数学和计算机技术等学科有机结合,通过油藏模拟模型,再现地下流体渗流状况随时空变化的全过程,为油藏工程师研究剩余油分布、制定油田开发方案及其优化提供有力依据。

## （五）立体井网重组技术

油田进入开发后期,地下油、水分布出现重大变化,反映在油田开发动态上表现为含水量很高,单井产油量下降,调整井效果明显变差,井下作业措施效果降低,导致油田产量递减加快。油田进入后期,开发挖潜的主要研究对象是高度分散而又局部相对富集的、不再大片连续分布的剩余油,目的是增加可采储量、提高水驱采收率,这就需要更深入、更精细的地质和油藏工程研究。为了充分动用中、低渗透油层,减少层间干扰,必须进行层系的细分;为了调节平面差异性的影响,采出呈高度分散状态的剩余油,必须进行注采井网的调整完善。两者一般同时进行,相互结合。所以,立体井网重建分为开发层系的优化、注采井网的重建以致到最后提出一个最优化的开发模式。

## （六）精细注水技术

油田在二次开发井网重建工作后,受原高渗系统、原注入水体影响,含水上升快。如何精细注水、有效注水是油藏二次开发水驱阶段稳产的关键因素之一。利用小井距系统密闭取心研究储层构型,建立了砾岩油藏的砂体构型模式。结合注采反应,分析了油水运动规律,明确了剩余油的分布规律及控制因素。基于小井距开发试验的效果,运用生产实际资料、跟踪数模、油藏工程方法,拟定合理注水技术政策界限,优选合理注水方式。精细注采调整包括:平面上分相带、分区域调控;井组根据注采反应调控;层间分注提级;层内调剖、调驱,油井配套提液隔堵。这些技术方法实现了重建井网后连续两年稳产,地层压力逐步恢复,含水下降,进一步改善了二次开发效果。

## （七）深部调驱技术

深部调驱技术是以深部调剖为主,在“调”的基础上又结合了“驱”的效果并具有提高波及系数和驱油效率的双重作用。

向地层中注入具有相当封堵作用的可动的化学剂,对地层进行深部处理。一方面,封堵地层中注水窜流的高渗透条带和大孔道,实现注入水在油层深部转向,提高注入水波及体积;同时,注入的调驱剂在后续注水作用下,可向地层深部运移驱油,可以同时起到剖面调整和驱、替的双重作用。因此,调驱技术发挥了调、驱的协同作用,既能有效改善油层深部非均质性,扩大注水波及体积,又能提高驱油效果,从而达到提高采收率的目的。

### 第三节 西北缘砾岩油藏二次开发背景

#### 一、油藏开发现状

准噶尔盆地面积  $134870\text{km}^2$ ;有效矿业权面积  $84502.863\text{km}^2$ ,截止到 2007 年底,共发现 29 个油气田,累计探明石油地质储量  $19.83 \times 10^8\text{t}$ ,已开发油田 27 个,共动用石油地质储量  $14.66 \times 10^8\text{t}$ 。克拉玛依油田位于盆地西北缘(图 1-1),动用储量  $7.58 \times 10^8\text{t}$ ,占新疆油田的 51.7%,可采储量  $2.13 \times 10^8\text{t}$ ,占 55.0%,年产油  $534.98 \times 10^4\text{t}$ ,占 44.0%。其中,稀油动用储量  $6.18 \times 10^8\text{t}$ ,占新疆油田的 42.2%,可采储量  $1.65 \times 10^8\text{t}$ ,占 42.6%。自 1955 年克拉玛依油田发现以来,砾岩油藏动用地质储量  $6.84 \times 10^8\text{t}$ ,原油年产量 1978 年达到峰值  $302.9 \times 10^4\text{t}$ ,2001 年递减到  $159.1 \times 10^4\text{t}$ 。

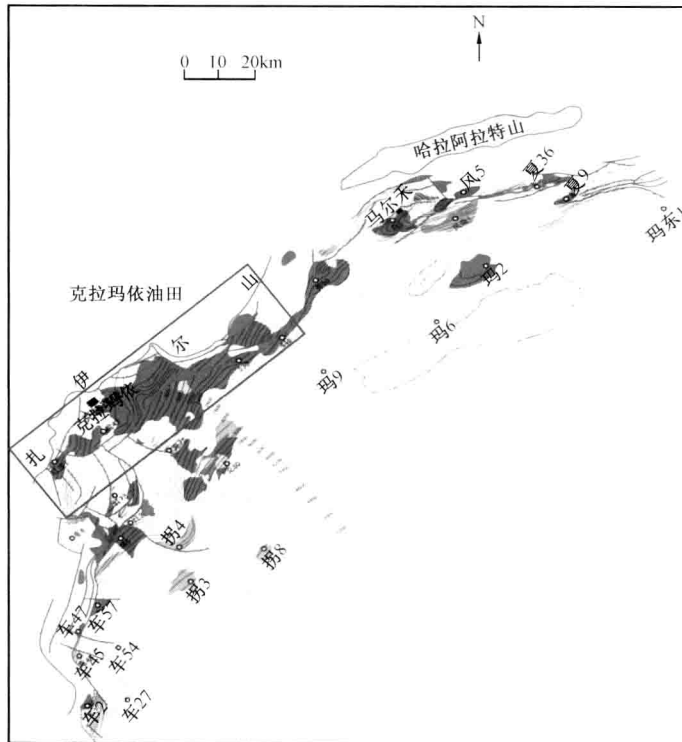


图 1-1 克拉玛依油田区域构造位置图

克拉玛依油田一区一九区的水驱开发砾岩油藏含油层系为侏罗系、三叠系、二叠系,包括侏罗系八道湾组、三叠系克拉玛依组和二叠系乌尔禾组油藏。已开发砾岩油藏含油面积 $435.9\text{km}^2$ ,地质储量 $5.02 \times 10^8\text{t}$ ,可采储量 $1.45 \times 10^8\text{t}$ 。其中侏罗系八道湾组地质储量为 $5556.03 \times 10^4\text{t}$ ,占总地质储量的11.1%,可采储量为 $2355.65 \times 10^4\text{t}$ ,占总可采储量的16.2%;三叠系克拉玛依组地质储量为 $32202.25 \times 10^4\text{t}$ ,占总地质储量的64.1%,可采储量为 $9111.58 \times 10^4\text{t}$ ,占总可采储量的62.8%;二叠系乌尔禾组地质储量为 $12459.13 \times 10^4\text{t}$ ,占总地质储量的24.8%,可采储量为 $3036.69 \times 10^4\text{t}$ ,占总可采储量的20.9%(图1-2)。

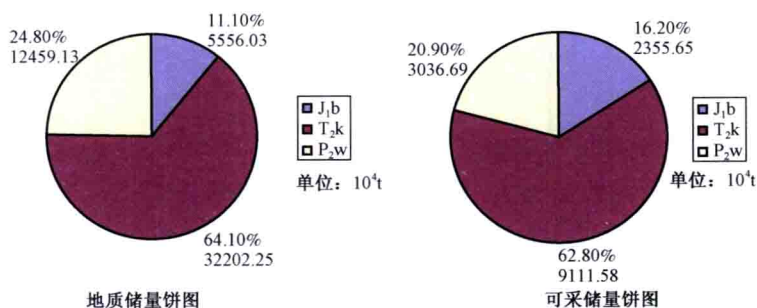


图1-2 克拉玛依油田各含油层系储量分布饼图

一区一九区年产油 $201.68 \times 10^4\text{t}$ ,综合含水68.1%,采出程度20.77%,剩余可采储量 $4071.56 \times 10^4\text{t}$ ,报废井数3160口,整体调整提高采收率潜力巨大(表1-1)。

表1-1 克拉玛依油田一区一九区砾岩油藏开发现状

开发单元	开发储量 $10^4\text{t}$	采收率 %	年产油 $10^4\text{t}$	剩余可采储量 $10^4\text{t}$	采油速度 %	采出程度 %	综合含水 %	压力保持 %	报废井数 口	损失可采储量 $10^4\text{t}$
一区	3703.5	31.69	7.75	190.17	0.21	26.55	67.37	73.8	585	131.89
二区	4671.6	29.78	12.13	62.96	0.26	28.43	81.28	66.1	440	73.88
三区	4050.77	22.01	6.86	166.53	0.17	17.9	63.17	90.4	958	107.43
四区	1125.36	15.71	1.89	56.14	0.17	10.72	50.95	78.9	168	12.01
五区	6436.46	21.35	13.63	636.72	0.21	11.45	77.5	77.1	177	290.52
六区	2330.66	32.6	9.95	138.63	0.43	26.65	68.61	63.4	418	129.58
七区	8153.24	40.39	30.28	766.63	0.37	30.98	76.37	76.3	175	239.73
八区	19183.1	27.56	116.52	1929.04	0.61	17.51	60.51	74.6	223	461.38
九区	562.72	27.83	2.67	124.73	0.47	5.66	48.92	53.6	16	7.21
合计	50217.4	28.88	201.68	4071.56	0.4	20.77	68.1	75.1	3160	1453.63

2006年,新疆油田设立“克拉玛依砾岩油藏提高水驱采收率工业化试验”项目,该项目成为油田公司实施二次开发的先导试验,2006年5月,由采油二厂实施。该试验的开展打响了老区二次开发的第一炮,也由此推动了六中区克下组油藏的规模开发调整。

2008年选取I类、III类砾岩油藏典型代表区块六区、七区克下组开展二次开发试点工程。目前,试点工程成效显著,已完钻调整井536口。其中水平井47口,建产能 $34.294 \times 10^4\text{t}$ ,区

块日产量由调整前的 260t 提高到调整后的 1000 多吨,采油速度由 0.3% 提高到 1.07%,含水率下降。

随着对二次开发认识上的深入,技术上的积累,采油二厂开始全面扩大二次开发的区域范围。2007—2010 年,经过实施二次开发的多个油藏均取得可喜效果。如一东区克上组油藏、八区 530 井区下乌尔禾组油藏、八区克上组油藏。

新疆油田二次开发在“重建地下认识体系、重构井网开发层系、重组地面工程系统”技术理念指导下,先后开展克拉玛依砾岩油藏提高水驱采收率工业化试验和二次开发试点工程试验,各项技术攻关和试验工作有序展开,配套技术不断成熟。

近几年,新疆油田完成密闭取心 39 口井,取心进尺 1527.67m,取心收获率 96.7%,含油岩心长 1036.62m,特殊测井 75 井次,井间监测 24 井组。

2010 年,新疆油田继续对砂体构型、水驱油、水淹层测井解释等进行深化研究,同时开展二次开发三维地震、深部调驱等研究工作,不断总结完善二次开发配套技术。配套的技术体系对稳定老区产量和提高砾岩油藏采收率起到了积极作用,形成二次开发的理论基础和配套特色技术,有效指导了油田开发,并取得了初步效果。

今后,新疆油田将继续跟踪二次开发试点工程,完善二次开发关键共性技术,逐步形成技术理论体系,探索建立二次开发效果和经济效益评价体系,确保后续二次开发取得实质性成效,提高砾岩油藏整体开发水平。

## 二、油藏开发存在问题

砾岩油藏经过 50 余年的开发,未经系统的开发调整,井况不断恶化、井网不完善,使砾岩油藏老区开发面临“五低”局面:(1)储量控制程度低(53.6%);(2)采油速度低(0.46%);(3)采出程度低(19.4%);(4)单井产量低(1.91t);(5)地面系统老化、效率低。砾岩油藏老区开发主要存在以下几方面问题。

### (一) 井点损失严重、原井网控制程度低

克拉玛依一区一九区砾岩油藏共报废油水井 3160 口,井点损失严重。不同层位井点损失不同。侏罗系八道湾组井点损失程度为 10.68%;三叠系克拉玛依组井点损失最为严重,高达 57.2%;二叠系乌尔禾组井点损失程度最小,为 7.26%(表 1-2)。井点的损失严重影响了井网对地质储量的控制。

表 1-2 克拉玛依油田井网完善程度统计表

区块	井点损失程度 %	地质储量 10 <sup>4</sup> t	年产油 10 <sup>4</sup> t	综合含水 %	采油速度 %	采出程度 %	可采储量采出程度 %	完善程度分级
J <sub>1</sub> b	10.68	5556.03	29.27	75.5	0.53	29.42	69.39	较完善
T <sub>2</sub> k	57.2	32202.25	81.05	75	0.25	22.3	78.8	严重不完善
P <sub>2</sub> w	7.26	12459.13	91.35	51.2	0.73	13	53.33	较完善
合计	46.43	50217.41	201.68	68.1	0.4	20.77	71.93	



造成油水井点损失的主要原因:(1)套管变形,占 19.83%;(2)套管破损,占 22.33%;(3)严重出砂,占 18.6%;(4)小井眼井,占 16.6%;(5)其他原因,占 22.62%(图 1-3)。

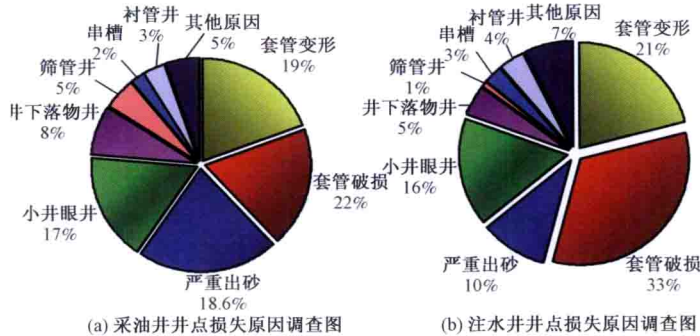


图 1-3 井点损失原因调查图

### (二) 井网井距不适应、注采矛盾突出

克拉玛依油田稀油油藏井网以不规则井网为主,井距普遍在 250~400m 以上。井网较完善区块中,井网井距严重不适应、不适应的区块 7 个,地质储量占 88.8%(表 1-3)。

表 1-3 克拉玛依油田井网适应程度情况表

井网适应程度分级	层块数	井点损失程度 %	压力保持程度 %	地质储量 10 <sup>4</sup> t	年产油 10 <sup>4</sup> t	综合含水 %	可采储量采出程度 %	采出程度 %
严重不适应	3	6.5	68	9511.3	91.1	47.1	57.5	15
不适应	4	0	81.8	517	7.5	45.9	32.5	7.3
较适应	2	7	87.1	1260.6	3.8	80.2	35.1	5.9
合计	9	5.9	69.8	11288.9	102.4	50.1	54.8	13.7

### (三) 开发层系跨度大、层数多

克拉玛依油田砾岩油藏开发层系跨度大(100~400m),层数多(2~5 个砂层组、7~14 个小层、数十个单层)(表 1-4)。

表 1-4 克拉玛依油田砾岩油藏开发层系跨度

层位	油层跨度, m	油层数
J <sub>1</sub> b	110	5
T <sub>3</sub> b	120	3
T <sub>2</sub> k <sub>2</sub>	100	5
T <sub>2</sub> k <sub>1</sub>	160	7
P <sub>2</sub> w <sub>1</sub>	300~400	20

### (四) 储量动用程度低、采出程度低

开发初期动用程度较好,一般为 70%~80%,随着开发时间、含水升高,动用程度明显下降,中高含水期一般只有 30%~55%左右(图 1-4)。