

C HOUYOU RECAI JISHU LUNWEN HUIBIAN

克拉玛依油田九₁—九₅区稠油热采 技术论文汇编 (1996—2006)

■ 孙晓岗 主编



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

克拉玛依油田九₁—九₅区稠油热采 技术论文汇编 (1996—2006)

孙晓岗 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书汇集了克拉玛依油田九₁—九₅区对外合作开发 10 年来,在油田开发、安全生产、经营管理、企业文化等方面取得的成果和经验。本书的编辑出版是献给 HAFNIUM (新港)石油开发公司克拉玛依油田九₁—九₅区合作开发 10 周年的一份厚重的纪念礼物。

本书可供稠油油田开发工作者在工作中参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

克拉玛依油田九₁—九₅区稠油热采技术论文汇编 (1996—2006)/孙晓岗主编.
北京:石油工业出版社,2006.12

ISBN 7-5021-5833-2

I. 克…

II. 孙…

III. 稠油开采-热力采油-克拉玛依市-文集

IV. TE355.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 140800 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.cn

发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:河北省欣航测绘院印刷厂

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:21.5

字数:541 千字 印数:1—1000 册

定价:88.00 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

《克拉玛依油田九₁—九₅区稠油热采技术论文汇编（1996—2006）》
编 委 会

主 任：孙晓岗

副主任：杜大鸣 赵场贵

编 委：王固生 任国利 刘永学 汪力生 陈嘉升

杨旭东 段雪晴 任 标 周建平 赵里水

王 群 顿海保 梁 军 黄国鹰 张 展

编 辑：晏 晨 解利军 谢世康

序

新疆克拉玛依油田九₁—九₅区块自1996年9月1日起实行对外合作开发以来,几经冬夏,成效显著。当书案上《克拉玛依油田九₁—九₅区稠油热采技术论文汇编(1996—2006)》的初稿映入眼帘,看着一篇篇凝结着新港公司广大科技工作者心血和汗水的成果报告时,不禁回顾起了合作开发10年来所取得的每一项科技进步……

九区稠油,合作开发,历经十载,累累硕果。
吸收外资,加速开采,引进技术,创新管理。
两个市场,共谋发展,两种资金,互投双赢。

加密技术,前承试采,后启拓展,功成名垂。
汽驱为主,吞吐为辅,驱油后期,复合开采。
方案先行,综合治理,优化注汽,巩固提高。
油藏精描,动态分析,封窜调堵,隔水抽稠。
酸化压裂,上返补层,地震采油,降黏防砂。
滚动扩边,增储上产,加深开发,寻找接替。

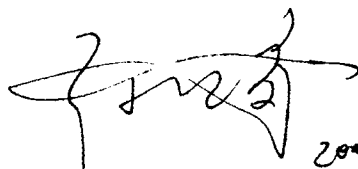
出砂冷采,重力泄油,自动打油,远程监控。
地面工程,优化简化,改进保温,节约蒸汽。
红外喷涂,含氧控制,井筒隔热,干度自控。
蒸汽输送,T型分配,高压管道,在线检测。
电网优化,功率补偿,原油计量,质量流量。
污水处理,集中软化,节水减污,油田回注。

以人为本,安全先行,企业文化,开拓创新。
资金成本,内控主导,人力资源,竞争核心。
三个代表,宗旨牢记,为求进步,再创佳绩。

值此克拉玛依油田九₁—九₅区对外合作开发10周年之际,新港公司编辑出版了《克拉玛依油田九₁—九₅区稠油热采技术论文汇编(1996—2006)》一书。该书总结了10年来新港公司在油田开发、安全生产、经营管理、企业文化等方面取得的成果和经验。这本书的编辑出版是献给九₁—九₅区合作开发10周年的一份厚重的纪念礼物。

关山重重路正遥,相信在未来的合作开发期内,克拉玛依油田九₁—九₅区合作开发项目还会创造出更好的业绩,取得更多的成功经验,我们翘首以盼。

写于克拉玛依油田九₁—九₅区合作开发项目成立10周年之际。



2006.9.13

目 录

油 藏 类

克拉玛依油田九 ₅ 区齐古组油藏精细描述及改善开发效果研究	董培基	杨生榛等(3)
克拉玛依油田浅层稠油油藏加密开发示范工程	赵场贵	王固生等(11)
九区浅层稠油油藏注蒸汽开发后期提高采收率技术研究	杜大鸣	赵场贵等(33)
全油藏调堵研究	王 婷	侯东波等(39)
稠油油田开发信息管理系统	赵场贵	刘永学等(46)
九 ₁ —九 ₅ 区稠油蒸汽驱技术	赵场贵	刘永学等(61)
克拉玛依油田九 ₁ —九 ₅ 区滚动勘探开发研究	任 标	杜大鸣等(72)
利用示踪剂技术提高蒸汽驱开发效果研究	王 婷	赵场贵等(82)
动态监测成果在稠油油藏开发中的应用	张 锐	梁 军等(104)
CMAS 防砂技术在浅层稠油井中的应用	杜大鸣	侯东波等(116)
高温化学复合蒸汽驱提高稠油油藏开发效果研究	赵场贵	马国政等(123)
克拉玛依油田九 ₁ —九 ₅ 区齐古组稠油油藏经济汽驱研究	赵场贵	梁 军等(131)
九区南浅层稠油井管外窜封堵工艺技术研究	任 标	侯东波等(163)
克拉玛依油田九 ₄ 区齐古组油藏精细描述及改善开发效果研究	赵场贵	周 林等(172)

工 程 类

九 ₁ —九 ₅ 区低压电网设施优化配置	杨现立	王 群等(189)
油田注汽锅炉蒸汽干度自动控制技术研究	杜大鸣	刘永学等(192)
供热站水处理软化装置运行方式的研究	刘永学	杨旭东等(198)
油田注汽锅炉节能技术的研究与应用	冯军伟	杜大鸣等(203)
稠油净化水集中软化综合技术	杜大鸣	刘永学等(214)
计量站油井采出液保温的研究与应用	杜大鸣	刘永学等(223)
油田注汽锅炉烟气含氧量自动控制系统的推广应用	杨现立	(230)
克拉玛依油田九 ₅ 区南 J391 井区稠油油藏出砂冷采试验研究	杜大鸣	任 标等(233)

安 全 类

供热站储油罐溢油事故分析与预防	任国利	王固生等(251)
锅炉噪声的测量评价与防治对策	王固生	陈 鹏等(255)
稠油开发中固体废物对环境的影响及处置措施	陈 鹏	(260)
稠油开采用高压注蒸汽管道在线检测技术应用研究	王固生	陈 鹏等(263)
浅析基层如何打造安全平台	周建平	范新霞(275)

其 他 类

加强九 ₁ —九 ₅ 区电耗管理 提高企业经济效益	杜大鸣 王 群等(283)
推行内部责任成本 合理降低生产费用	王振明 王 群(290)
加强内控管理 提高资金安全防范意识	陈嘉升 段雪晴(295)
浅议实行内部责任成本考核在企业成本管理中的作用	段雪晴 戴 辉(298)
工程项目成本管理初探	师为民(301)
论企业文化与思想政治工作的适度融合	任国利(306)
中外合作经营企业中党组织组建的理论初探	李春兰(311)
实践“三个代表”重要思想 探索对外合作企业党建工作新思路	任国利(315)
平凡岗位写人生——记油田公司级优秀共产党员石涛	范新霞(318)
新港公司单亲女职工现状的调查及帮扶工作调研报告	李春兰(320)
对岗位描述工作过程中的几点思考	陶永红(323)
新港公司西南财大 MBA 研修班培训评估	王璐媛(326)
浅论办公室工作中的辩证法	赵里水(330)
浅谈细节管理在办公室工作中的重要作用	彭雁玲(333)
企业人力资源管理杂谈	赵场贵(335)

油 藏 类

克拉玛依油田九₅区齐古组油藏精细描述 及改善开发效果研究

董培基 杨生榛 周 林 喻克全 梁 军 石国新
侯东波 王 婷 任 标

摘要: 本文在充分利用钻井、测井、录井、取心、分析化验、生产动态及测试等资料的基础上,系统地进行了油藏构造特征、沉积特征、储层特征、油水分布特征和剩余油分布的研究,建立了三维地质模型,进行了全油藏数值模拟,同时结合水淹层测井解释技术对油藏类型、砂体和隔层几何形态、储层参数、孔隙结构、流体空间分布及剩余油分布状况进行了三维分析研究。通过对油藏进行的精细刻画,使我们对九₅区的认识有了质的提高,并在此研究成果的基础上结合油藏动态特征制定出合理的技术措施,提出补层、上返、完善汽驱井网、改善汽驱方式、引效扩边等具有很强的针对性和可操作性的改善开发效果的具体措施。措施后可提高最终采收率18% (最终采收率可达51.7%),具有很好的经济效益。对今后其他类似油藏进行此类研究具有重要的参考价值和指导意义。

关键词: 精细描述 建模 剩余油分布 挖潜

一、概述

克拉玛依油田九₅区是九区齐古组稠油开发区的一个分区。区内地势平坦,平均地面海拔约270m。1990年9月采用140m×100m井距反五点法井网进行注蒸汽开发(投入开发前区内有探井、评价井5口:九浅18、九浅6、九浅40、古45、古124),完钻开发井233口。根据完钻开发井的投产效果和油藏砂体的分布特点,1992年7月又在九₅区东部以140m×100m井距反五点法井网完钻扩边井32口。

随着生产时间的延长,该区开采效果逐渐变差,暴露出井距偏大,动用程度低和汽驱注采热连通性差等问题,为改善其开发效果,1997年根据《九₂—九₅区齐古组稠油油藏加密开发调整方案》对该区进行了加密调整实施,共钻加密井190口,将原井网加密成70m×100m井距反九点法井网,井网动用地质储量为 $702 \times 10^4 \text{t}$,含油面积 3.1km^2 。实施后改善了油藏开发形势,提高了油藏的开发效果。

目前该区共有各类井460口,其中普通取心井6口(九浅18、九浅6、九浅40、检271、95041、95159井),密闭取心井1口(95523井),取心进尺375.73m,取心实长326.09m,平均收获率86.8%,含油岩心长194.74m,各类岩心化验分析资料17项,1533块。

截止到2000年6月该区已累积注汽 $562.1 \times 10^4 \text{t}$,累积产油 $235.7 \times 10^4 \text{t}$,累积产水 $662.9 \times 10^4 \text{m}^3$,综合含水73.8%,累积油汽比0.42,采注比1.6,采出程度33.6%,采油速度为3.7%。油藏基本情况见表1。

表 1 九₅区齐古组油藏基本情况表

动用含油面积 (km ²)	3.1	区块总井数 (口)	460
动用地质储量 (10 ⁴ t)	702	探井、评价井数 (口)	5
有效厚度 (m)	12.3	老井数 (口)	265
有效孔隙度 (%)	29	加密井数 (口)	190
原始含油饱和度 (%)	70	取心井数 (口)	7
渗透率 (mD)	695.7	累积采油量 (10 ⁴ t)	235.7
原始地层压力 (MPa)	2.95	综合含水 (%)	73.8
20℃脱气油黏度 (mPa·s)	11000	累积油汽比	0.42
油藏埋深 (m)	260	采出程度 (%)	33.6

二、油藏描述

1. 构造特征

九区齐古组油藏区域构造上位于克—乌断裂二级构造上盘超覆尖灭带上,构造形态为一由西北向东南缓倾的单斜,地层倾角 4°~6°,平均埋深 220m,相对高差 100m。区内齐古组地层无断裂存在,但在下伏地层中发现存有九浅 18 井逆掩断裂,对齐古组的沉积和油气分布影响不大。

九区在石炭系 (C) 基底上依次沉积的地层为三叠系克拉玛依组 (T₂k)、白碱滩组 (T₃b),侏罗系八道湾组 (J₁b)、三工河组 (J₁s)、齐古组 (J₃q),白垩系吐谷鲁组 (K₁t)。目的层齐古组超覆沉积在八道湾组和三工河组之上,与白垩系吐谷鲁组之间呈不整合接触。

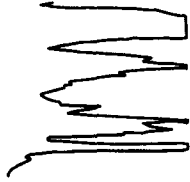
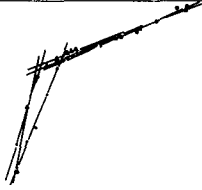
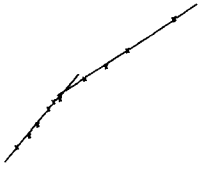
2. 沉积特征

九区齐古组是在九区大的沉积背景下形成的一套正旋回陆源碎屑沉积。为一套弱还原环境、较强水动力条件下的辫状河流相沉积,进一步可划分为河床、心滩和河漫滩三种微相,见表 2。

表 2 九₅区齐古组油藏沉积微相标志特征表

微 相	河 床	心 滩	河漫滩
砂体平面形态	长条一片状	透镜体	层状
砂砾岩岩比 (%)	100~80	80~50	小于 50
主要岩性	中—细砂岩	中—细砂岩、粉砂岩	粉砂岩、泥岩
分选性	中—好	中	无
典型层理	中、小型交错层理	小型交错层理 波状层理	波状层理 水平层理
韵律性	正韵律	正韵律	正韵律
含油性	好	较好	差
渗透性	高	较高—中等	差
古生物	枝杆—碎屑	碎屑	碎屑

续表

微 相	河 床	心 滩	河漫滩
典型电性特征 (2米底部梯度)			
典型粒度 概率曲线			

九区齐古组沉积厚度 33 ~ 130m, 平均 98m, 总体上西部沉积较厚, 向东部逐渐减薄。剖面上的岩性组合及沉积旋回可划分出三个正韵律层, 自上而下分为 J_3q^1 、 J_3q^2 、和 J_3q^3 三个砂层组。

J_3q^3 砂层组是齐古组内第一个次一级沉积旋回的沉积物, 位于齐古组底部, 以角度不整合沉积于三工河或八道湾地层之上, 岩性以浅灰色砂砾岩、中细砂岩及泥质粉砂岩为主。可分为 J_3q^{3-1} 、 J_3q^{3-2} 两个砂层, J_3q^{3-2} 砂层心滩、河漫滩较发育。 J_3q^{3-1} 砂层是 J_3q^3 砂层组的晚期沉积物。

J_3q^2 砂层组为齐古组内第二个次一级旋回, 连续沉积在 J_3q^3 层之上。以灰褐色砂砾岩及油染褐色、灰绿色中细砂岩为主, 是齐古组的主力油层。 J_3q^2 砂层组可分为 J_3q^{2-1} 、 J_3q^{2-2} 两个砂层, J_3q^{2-2} 砂层又可细分为 J_3q^{2-2-1} 、 J_3q^{2-2-2} 、 J_3q^{2-2-3} 三个单砂层。其中 J_3q^{2-2-2} 砂层主要为中细砂岩, 是典型的辫状河流相沉积。 J_3q^{2-1} 砂层以泥质粉砂岩、泥岩及细粉砂岩为主, 后遭受强烈剥蚀, 在本区南部该层大片缺失。

J_3q^1 砂层组在本区缺失。

沉积相控制着储层的发育和油水的分布, 同时与油藏的开采效果也密切相关。河流相中河床微相的储层物性最好, 同时受古水流系统影响, 其渗流系统发育较好, 产量较高。心滩微相稍次于河床微相, 但渗流的均匀程度却好于河床, 开采中不易发生水窜、汽窜, 开采效果较好。通过对九区齐古组油藏生产井进行产量分布统计: 平均日产油量在 4.0t 以上的井有 85% 分布在河床微相中, 10% 的井分布在河床微相与心滩微相叠加的区域中, 5% 的井分布于心滩微相。

3. 储层特征

齐古组储层岩性以灰绿—浅灰色细粉砂岩、中细砂岩、粗砂岩、含砾砂岩为主, 夹少量小砾岩和灰绿色、浅灰色泥岩互层。油藏有效厚度变化在 4 ~ 25m, 平均 12.2m, 油层系数 0.7。储层主要含油岩性为中细砂岩, 胶结程度疏松—中等。胶结类型大多属孔隙—接触式。孔隙类型主要为粒间孔。岩石颗粒磨圆度、分选较好。

根据取心井岩心样品孔隙度、渗透率资料统计分析, 油层分析孔隙度主要分布在 28% ~ 34% 之间, 分析渗透率 100 ~ 1600mD。原始含油饱和度平均 70%, 属大容量、高渗透储集层。但渗透率级差平面上为 5.6 倍, 纵向上渗透率达 14.7 倍, 渗透率变异系数 0.56 ~ 0.72, 突进系数为 1.5 ~ 26.1, 非均质程度较高。利用该结果所建立的三维地质模型中, 平面和剖面的变化与沉积相的分布和油水运动规律吻合性较好。

通过对九₅区齐古组油藏的隔夹层进行综合研究,确定有效隔夹层渗透率小于100mD,起阻流作用且连片分布的有效隔层主要为 J_3q^{2-1} 层与 J_3q^{2-2-1} 层、 J_3q^{2-2-3} 层与 J_3q^3 层之间的泥岩隔层,而主力油层 J_3q^{2-2} 层和 J_3q^3 层内部单层之间的多数非油层由于渗透率、厚度及分布范围等因素影响,对注蒸汽热采难以起到显著的阻流作用,但对注入蒸汽的热效率有一定影响。

4. 流体性质及其分布规律

1) 原油性质及其分布规律

九₅区齐古组油藏原油性质可集中概括为“三高四低”,即黏度高、酸值高、胶质含量高、含蜡量低、含硫量低、凝固点低、沥青质含量低。原油黏温反应敏感,温度每升高10℃,原油黏度降低50%左右。

纵向上齐古组原油性质差异较大, J_3q^2 层原油密度变化在0.925~0.947g/cm³之间,平均0.938g/cm³,20℃时地面脱气油黏度变化在2480~31285mPa·s,平均15970mPa·s; J_3q^3 层原油密度变化在0.908~0.937g/cm³之间,平均0.922g/cm³,原油黏度变化在550~20137mPa·s,平均6060mPa·s。

平面上原油性质也变化较大,总体呈现西北向东北方向密度增大、黏度升高的趋势。同时随着开采时间的延长,地层原油中部分溶解气及轻质组分首先被产出,地层原油的黏度、密度呈增高的变化趋势。从67口生产井不同开采阶段原油分析样品统计,黏度约增高2106mPa·s,原油密度增加了0.008g/cm³。

2) 地层水性质及其分布规律

九₅区齐古组地层水水型为NaHCO₃型, J_3q^2 层氯离子含量变化范围为600~2300mg/L,平均为1598mg/L,矿化度为1500~5100mg/L,平均为3740mg/L; J_3q^3 层氯离子含量变化范围为400~1370mg/L,平均为905mg/L,矿化度为1000~2400mg/L,平均为2033mg/L。

研究表明齐古组地层水主要分布在 J_3q^{2-2} 层。 J_3q^{2-2-2} 层具有边水,油水分布主体受构造控制,水体处于构造下倾部位,局部又受岩性控制,油水边界与构造线相交,边水并不活跃; J_3q^{2-2-3} 层为纯水层,因与上部 J_3q^{2-2-2} 油层之间无稳定的隔层屏障,造成 J_3q^{2-2-2} 油层射孔底界较低的井产地层水。构造上倾部位局部区域产水率高,即为 J_3q^{2-2-3} 层的地层水上窜所致; J_3q^3 层为岩性封存水。

5. 原始地层压力与温度

九₅区齐古组油藏原始地层压力3.49MPa,压力系数1.074。地层温度20.5℃,地温梯度为2℃/100m。

6. 地质储量

加密调整后,九₅区目前实际井网动用地质储量为 702×10^4 t,含油面积3.1km²,有效厚度12.3m,原始含油饱和度70%,有效孔隙度29%。整个剖面上, J_3q^{2-2-1} 和 J_3q^{2-2-2} 层为主要油层,原始地质储量为 451.6×10^4 t,占总储量的69.3%; J_3q^{3-1} 层次之,占总储量的15.5%; J_3q^{2-1} 和 J_3q^{3-1} 层为次要油层,仅占总储量的15.2%。

三、地质建模

克拉玛依油田九₅区齐古组油藏地质模型是结合460口井的资料,在对地层格架、构造特征、沉积特征、油藏类型、储层特征及储层参数的空间分布、储层非均质性特征、油藏流

体性质及分布规律等方面细致研究的基础上,利用数学地质统计方法与计算机手段的结合,建立的包括单井、平面、剖面的三维可视化模型。为下一步进行全油藏数值模拟、油藏工程研究及挖潜工作提供了地质依据。

1. 准备工作

围绕着建立三维地质模型,主要进行了以下几个方面的准备工作:

- (1) 建立每口井的井位坐标、海拔数据库。
- (2) 确定目的层地层对比标准,进行地层对比及划分,建立每口井的分层数据库。
- (3) 建立每口井的测井曲线数据库。
- (4) 用取心和试油资料与电性资料建立岩性解释图版、孔隙度与声波时差(密度)关系图版、孔隙度与渗透率关系图版及含油饱和度解释图版。
- (5) 用 FORWARD 测井处理软件包和上述建立的四个图版解释、处理了每口井目的层段的岩性、孔隙度、渗透率和饱和度,并建立每口井的岩性、孔隙度、渗透率和饱和度数据库。

九₅区齐古组油藏井网规则、建模所选用井点间距小(100m),控制数据点的密度高,因此,三维地质建模运用确定性建模的方法,并且遵循模型规模与开发层系单元相对应,使模型能真实反映储层形态及物性特征参数的空间连续性变化的建模原则。把每口井的井位坐标、海拔数据、分层数据及岩性、孔隙度、渗透率和饱和度数据以文本格式加载到 Petrol 三维地质建模软件包,即完成了单井模型的建立。

2. 九₅区齐古组油藏单井剖面模型主要特点

(1) 剖面上自上而下分为 J_3q^{2-1} 、 J_3q^{2-2-1} 、 J_3q^{2-2-2} 、 J_3q^{2-2-3} 、 J_3q^{3-1} 、 J_3q^{3-2} 6 个砂层和单层,与开发层系单元相对应。

(2) 砂层内部垂向上可分为两种沉积旋回类型:正旋回和复合旋回。 J_3q^{2-1} 、 J_3q^{2-2-1} 、 J_3q^{3-1} 、 J_3q^{3-2} 砂层以正旋回为主, J_3q^{2-2-2} 、 J_3q^{2-2-3} 砂层以复合旋回为主。

(3) 剖面上每点都给出岩性、孔隙度、渗透率和含油饱和度数值,并能够统计砂体及隔夹层厚度。

(4) 剖面上的岩性、孔隙度、渗透率和含油饱和度数据点是由测井曲线数据每 0.125m 一个数据点粗化为每 0.25m 一个数据点,为高精度的连续性剖面模型。

单井模型建成后,利用单井的井位坐标、海拔数据和分层数据,建立油藏的构造模型(层面模型)。将构造模型三维网格化,网块单元为 $15m \times 15m \times 0.25m$,计算网块数 2700×10^4 个,利用单井剖面的岩性、孔隙度、渗透率和含油饱和度数据,采用克里金插值方法对每个三维网块进行统计赋值,形成储层属性的三维数据体,建立油藏的属性模型。由油藏的构造模型和属性模型即组成了油藏的三维地质模型。该模型可直接应用于数值模拟研究和预测储层空间的砂体分布和物性特征研究。

在油藏精细描述基础上建立的油藏三维地质模型可以预测储层空间的砂体分布和物性特征,为油藏工程研究和挖潜提供地质依据,通过油藏工程的研究又可检验储层地质模型的可靠程度。九₅区齐古组油藏精细描述、全油藏数值模拟及生产特征的研究结果证明,所建立的地质模型是可靠的,且应用效果较好,主要表现在以下方面:

- (1) 孔隙度和渗透率平面和剖面的变化与砂体的连续性、沉积相分布特征吻合。
- (2) 各层油水分布与目前生产特征和产水率的变化趋势较一致。
- (3) 数值模拟过程中单井的储量拟合较好。

(4) 在生产历史拟合过程中, 产油量、产液量拟合较好, 综合含水率拟合绝对误差 3.8%, 综合含水率拟合符合率在 80% 以上。

四、剩余油分布研究

在九₅区上述系统的油藏描述基础上, 利用水淹层测井解释方法、动态法及全油藏数值模拟方法对平面和剖面上剩余油分布进行了研究, 为下一步改善油藏开发效果为目的的动态调整提供依据。

1. 水淹层测井解释剩余油分布

对九₅区加密井和邻近的老井进行电性对比, 根据电阻率下降幅度, 利用水淹层解释图版, 对加密井进行剩余油饱和度解释。通过研究表明九₅区齐古组油藏平面上除了东南部已转汽驱的五个井组外, 加密前主要以吞吐方式开采的老井剩余油富集区集中在井间 35 ~ 70m 的范围内, 剩余油饱和度多在 60% 以上。老井在平面上只是动用了井筒附近的油层, 纵向上主要动用的是 J_3q^2 油层的上部和 J_3q^3 油层的中、下部, J_3q^2 油层的中、下部和 J_3q^3 油层的上部, 动用程度较低, 剩余油饱和度仍较高。

2. 动态法研究剩余油分布

九₅区齐古组油藏地质储量 $702 \times 10^4 t$, 于 1991 年投入开发, 截止到 2000 年 6 月已累积产油 $235.7 \times 10^4 t$, 综合含水 73.8%, 采出程度 33.6%, 剩余地质储量 $466.3 \times 10^4 t$, 采油速度为 3.7%。目前该区刚转入大面积蒸汽驱生产阶段, 加密开发方案预测井网注蒸汽开发采收率为 49.3%, 可采地质储量为 $346 \times 10^4 t$, 剩余可采储量 $110.3 \times 10^4 t$, 占总可采储量的 31.8%, 说明该区目前仍有近三分之一的剩余油存留地下。

1) 平面剩余油分布

根据九₅区齐古组油藏 J_3q^2 层和 J_3q^3 层分层开发的特点, 对齐古组单井控制储量、累积产油量进行综合分析, 做出该区单井剩余地质储量和采出程度分布图, 分别对 J_3q^2 层和 J_3q^3 层平面上的剩余油分布进行了研究。

J_3q^2 层剩余油主要分布区块的中西部、东北部和东南部的大部分区域。东北部区域由于 J_3q^2 层底部有边水, 大部分井射孔底界离水层太近, 造成生产效果差, 其采出程度大多在 20% 以下, 单井剩余储量在 8000 ~ 12000t, 剩余油相对较高; 东南部目前生产 J_3q^3 层, J_3q^2 层还没有动用, 虽然油层厚度较小, 但单井控制储量在 10000t 左右, 采出程度小于 20%, 也是剩余油富集区域; 中西部除 95118—95149—95169 井和 95120 井局部区域采出程度大于 40% 外, 大部分区域采出程度小于 40%, 单井剩余储量大于 15000t, 其中九₅区蒸发池一带采出程度不超过 20%, 该区域油层厚度大, 剩余储量大, 是九₅区剩余油的主要富集区域。

J_3q^3 层剩余油主要分布在区块的西部, 主要层位为 J_3q^{3-2} 层, 由于该区域大部分老井在 J_3q^3 层只吞吐生产三轮左右就上返 J_3q^2 层生产, 因此, 剩余油储量相对较高, 采出程度一般小于 20%, 单井剩余储量在 3000 ~ 12000t。区块东南部的 J_3q^{3-1} 层由于原油黏度低, 采出程度高达 50% 以上, 单井剩余储量在 3000 ~ 6000t, 剩余油相对较少。

2) 剖面剩余油分布

从 J_3q^2 层吸汽剖面资料统计结果看, 吞吐和汽驱阶段绝大部分油层均能吸汽, 纵向上各层动用较均衡, 井筒附近油层动用程度较高。转入汽驱之后, 尽管注汽井的各层也均在吸汽, 但由于受注采井间原油性质、蒸汽超覆作用及储层非均质性的影响, 纵向上油层动用的

主要是中上部的 J_3q^{2-1} 层和 J_3q^{2-2-1} 层。

J_3q^3 层无产、吸液测试资料，只对 J_3q^3 层进行了几口井的温度剖面测试， J_3q^3 层储层基本为单一砂体，中下部物性好于上部，因此， J_3q^3 油层动用程度主要是受储层物性条件决定，孔隙度高、渗透率值大的部位吸汽及产液效果好，油层动用程度高。

3. 数值模拟法研究剩余油分布

数值模拟方法给出的加密前剩余油饱和度和目前剩余油饱和度分布与水淹层测井解释剩余油和实际动态分析的剩余油分布基本相符。

五、改善开发效果研究

在对九₅区齐古组油藏系统描述和剩余油分布研究的基础上，提出以下具体的挖潜方向：

(1) 区块的西南边部与九₁和九₃区相接的空白带， J_3q^2 层油层仍较大（6m 以上），边缘井生产效果较好（单井累积产油 3000 ~ 9000t），可补钻开发井 32 口。

(2) 区块西南部待转汽驱的部分井组中，老井在 J_3q^2 层生产，而有 29 口加密井在 J_3q^2 层生产，建议对 29 口加密井及时上返 J_3q^2 层进行吞吐生产，以便这些井组能够整体转入蒸汽驱生产。

(3) 建议对产水率高、采出程度低和剩余储量大的东北部区域的部分井，采取封堵出水层、补孔等措施，可封堵 28 口井，补孔 13 口井。

(4) 对东南部采出程度高达 50% 以上的 J_3q^{3-1} 层生产井中目前产水量高、生产效果差的井，建议上返生产，可上返 36 口井；

(5) 区块的中西部采出程度低于 40% 的区域， J_3q^2 层油层大，为九₅区产量的主力区域，也是今后挖潜的主要区域。

六、实施效果及效益评价

1. 齐古组扩边效果

在九₅区西南边部与九₁和九₃区相接的空白带， J_3q^2 层油层仍较大（6m 以上）处，2001 年补钻开发井 33 口（其中 95410 井、95403 井加深到石炭系试采）。截止到 2001 年 12 月，32 口齐古组扩边新井生产累积注汽 53739t，累积产油 6229t，累积产水 20943t，综合含水 77%，油气比 0.116。

2. 边探井利用

通过全油藏精细描述发现在九₅区南部还有潜力可挖，2001 年 7 月份将 J272 井射开 6m 进行试采，第一轮生产 80.3d，产油 359t，周期油气比 0.349，平均日产油 4.5t/d，11 月由于油稠进入第二轮生产并实施降黏，当月产油 171 吨，含水 30%。J272 井再利用后取得了良好的开发效果，为九区南部的扩边提供了有利保障。但从现有井的生产情况看，九区南部处于油区边缘，油层薄，原油黏度高，应做好每米油层最佳注汽量的研究和先期油层降黏工作。

3. 堵水补孔开发利用

在九₅区东北部 G_2^{2-2} 层有边水， G_2^{2-3} 层为水层。由于受地层水的影响，该区域油井生产效果普遍较差。通过油藏精细描述研究发现该区域油层上部仍有潜力，优选出 29 口井采取补射油层上部，封堵油层下部或出水层段。但由于层间隔夹层较薄，封堵工艺达不到要

求, 2001 年实施的 5 口井, 其中 3 口井采取的是分注合采措施, 2 口井采取的是单注合采措施, 除 95261 井无效外, 4 口井取得增油 1160.8t 的好效果。

4. 层内挖潜

九₅区 G₃层汽驱区域内油层厚度小于 10m, 平均 6.5m, 汽驱生产时间长达 5 年以上, 采出程度高达 61.5%, 已处于高含水后期生产, 平均单井日产油 0.9t, 含水 91%, 数模研究表明继续生产下去已没有多大经济效益。通过全油藏精细描述研究表明, G₃层上部 G₂层还有潜力可挖, 有 39 口井 G₂层有油层, 平均油层厚度 7m, 蕴藏一定潜力。

研究项目实施后, 该区可再有效开发 6.5 年, 采油 127.26×10^4 t, 油汽比可达到 0.21, 采出程度在目前的基础上可提高 18.13%, 最终采收率可达 51.73%, 达到国内领先水平。截止到 2001 年 9 月, 扩边 30 口井已投产 21 口井, 产油 1391t, 平均原油销售价格 1116 元/t, 平均吨油成本 447 元, 新增产值 155.2 万元, 新增利税 93.06 万元; 上返补层 43 口井, 产油 9094t, 平均原油销售价格 1116 元/t, 创产值 1014.9 万元, 所需费用为单井射孔费 2.3 万元, 封隔器 0.5 万元/井, 修井费 0.3 万元/井, 注汽 11×10^4 t, 吨汽成本 65 元, 创利税 166.6 万元。

七、结论

(1) 通过油藏精细描述和生产动态分析, 该区齐古组存在的是边底水而不是封存水, J₃q²⁻²⁻³层主体上为具有较好孔渗条件的河道—心滩相而不是漫滩相。

(2) 齐古组 J₃q²与 J₃q³层之间泥岩隔层相对稳定, 而主力生产层 J₃q²层内部没有稳定的泥岩隔层, 尤其主力油层 J₃q²⁻²⁻²与水层 J₃q²⁻²⁻³之间的泥岩隔层不稳定, 致使 J₃q²⁻²⁻²层产水率高。

(3) 剩余油研究表明九₅区东北部、西南部及西部剩余油较富集, 是下一步挖潜的有利区域。

(4) 对东北部 J₃q²层产水率高、采出程度低的井, 封堵水层及补孔是降低含水、改善生产效果的有效措施, 预计采出程度可提高 8.3%, 油汽比达到 0.3。

(5) 西南边部油层厚度大、原油黏度较低、周边井生产效果较好的区域具有扩边潜力, 预计可钻井 30 口, 建产能 2.5×10^4 t。

(6) 全油藏数值模拟研究表明, 该区通过采取堵水、补孔、上返及完善井网等措施, 在目前基础上采出程度可提高 18.1% (最终采收率可达 51.7%), 具有很大潜力。

(7) 在精细油藏描述及三维地质建模的基础上进行全油藏数值模拟, 研究结果更加符合油藏实际, 对生产具有更强的指导性。