

主 编 刘喜林

副主编 陈韶生 牛文金 王 影 张春山

辽河油田公司优秀科技成果汇编

(2007年度)

石油工业出版社

辽河油田公司优秀科技成果汇编

(2007 年度)

主 编 刘喜林

副主编 陈韶生 牛文金 王 影 张春山

石油工业出版社

内 容 提 要

本书汇集了辽河油田公司 2007 年度获奖优秀科技成果共 85 项, 内容涉及地质勘探、油田开发、钻采工艺、油气集输、科技信息管理等方面。

本书具有很强的实用性和借鉴意义, 可供从事石油地质、油藏工程、钻采工艺的科技人员和石油院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

辽河油田公司优秀科技成果汇编·2007 年度/刘喜林主编.
北京: 石油工业出版社, 2008. 12

ISBN 978-7-5021-6866-7

I. 辽…

II. 刘…

III. 石油工程-科技成果-汇编-辽宁省-2007

IV. TE-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 207559 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) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 51.75

字数: 1325 千字 印数: 1—1000 册

定价: 180.00 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

《辽河油田公司优秀科技成果汇编（2007 年度）》

编 委 会

主 编 刘喜林

副主编 陈韶生 牛文金 王 影 张春山

编 委 周发平 刘 利 刘 丽 潘恩林 卞家忠

杨春喜 孙大树 茅惠忠 李福山 李 辉

林 军 李文军 周长城 胡庆明 孙福群

梁华林 李 栋 陈本文 杨宗霖 时冀淮

王建平 陆福刚

前 言

2008 年，世界经济动荡，能源市场跌宕起伏。面对如此复杂的形势和挑战，石油企业要实现增储增产、降本创效，就必须大力推进科技进步，寻求高效开发的技术手段和有效途径，以确保企业稳定发展。

辽河油田公司十分重视科技创新工作，大力实施科技兴油战略。2007 年，辽河油田公司取得了丰硕的科技成果：获中国石油天然气集团公司技术创新特等奖一项；获中国石油天然气股份有限公司技术创新特等奖一项、二等奖一项、三等奖三项；获辽宁省科学技术进步一等奖一项、二等奖三项、三等奖四项；获辽宁省技术发明二等奖一项。此外，还有 70 项成果分别获辽河油田公司一等奖、二等奖和三等奖。这些获奖成果凝聚了辽河油田广大科研人员的智慧和汗水，并且创造了显著的经济效益和社会效益，是辽河油田持续稳定发展的基础和动力。

本书汇集了辽河油田公司 2007 年度获奖优秀科技成果 85 项。我们希望本书的出版，不仅对这些优秀成果的保存、交流具有重要的作用，也为今后辽河油田及其他相关单位的油气田勘探开发及经营管理提供有价值的参考。

由于水平所限，书中难免有疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 12 月

目 录

辽河油田中深层稠油大幅度提高采收率技术研究与应用·····	谢文彦, 任芳祥, 刘喜林, 赵政超, 张方礼, 杨立强, 赵洪岩, 蒋生健, 余五星, 刘德铸, 尹万泉, 祁晓明, 陈韶生, 孙守国, 赵忠彦, 赵 伟, 安久泉, 檀德库, 郑南方, 张丽萍, 关 仲, 李 博, 王配虎, 丁亚军, 彭松良, 李艳玲 (1)
中国含油气盆地黏土矿物研究 ·····	关玉田, 黄 毅 (15)
变质岩潜山内幕油气成藏机理及勘探实践 ·····	李晓光, 余 成, 单俊峰, 刘宝鸿, 钱宝娟 (25)
抗高温陶瓷泵的研究与推广 ·····	王 潜, 祁晓明, 曲明艺, 褚贵良, 赵 洲 (35)
辽河油田水力压裂配套工艺技术 ·····	张洪君, 吕 俊, 刘 伟, 王志明, 吴志俊 (47)
高含水油田深部调堵配套技术研究与应用 ·····	朱富林, 刘建山, 马昌明, 郝英敏, 王太玉, 李德胜 (62)
稠油污水循环利用系统研究与推广应用 ·····	谢文彦, 刘喜林, 谢加才, 张恩臣, 武俊宪, 吴德兴, 张义祥, 蒋生健, 张春山, 张 英, 张庆昌 (68)
稠油热采井高温测试技术研究与应用 ·····	刘德铸, 孙守国, 赵业卫, 赵 鹏, 崔士斌, 杨志祥, 邓中先, 陈大众, 步新兵 (69)
中深层稠油油藏蒸汽驱技术研究与工业化试验 ·····	龚姚进, 马宏斌, 李忠林, 牛文金, 魏顶民, 陈 延, 赵春梅, 李树全, 周 捷 (90)
大民屯凹陷元古界潜山储层测井评价方法研究及应用 ·····	孔令福, 李铁军, 胡英杰, 张福功, 史际忠, 练加贵, 王 艳, 赵志彬, 刘曙光 (107)
中深层超稠油蒸汽辅助重力泄油 (SAGD) 技术研究与应用 ·····	谢文彦, 任芳祥, 刘喜林, 杨立强, 陈韶生, 王海生, 林 军 (120)
辽河拗陷陆上及滩海重点预探目标石油地质综合评价及区带优选 ·····	孟卫工, 李晓光, 陈振岩, 单俊峰, 雷安贵, 王延山, 赵都菁 (130)
套损井综合治理技术 ·····	杨平阁, 朱富林, 付玉红, 张建华, 李卫忠, 郭维义, 王同立 (139)
海外河油田工业废水调剂技术研究与应用 ·····	张庆昌, 韩树柏, 蔡世龙, 陈志会, 刘 霞, 冯翠华, 唐纪云 (147)
滩海东部燕南断裂带油气成藏条件及勘探目标评价 ·····	孟卫工, 张占文, 蔡 银, 张巨星, 吴冬梅, 吴兴录, 崔玉哲, 陈鸿雁, 邹丙方, 郑云生, 邹文海, 王树昆, 刘金英 (162)
辽河滩海西部三维地震资料连片叠前时间偏移处理技术研究 ·····	孟卫工, 陈韶生, 张文坡, 郭 平, 高树生, 高 源, 刘文霞, 陈怀莉, 韩 敏, 王艳华, 陈兆塾, 郑利和, 薛春玲, 徐 苏 (175)
辽河油区老油田二次开发研究 ·····	谢文彦, 任芳祥, 司 勇, 刘 兵, 郭志伟, 陈 忠, 赵立文, 刘忠民, 王建文, 罗玉庆, 狄富春, 盛 聪, 张钦花, 阎军生, 吕建云 (181)
辽河油田曙一区杜 84 块超稠油蒸汽辅助重力泄油 (SAGD) 室内研究及先导试验 ·····	张方礼, 周大胜, 杨立强, 李雅芹, 刘其成, 王 强, 赵庆辉, 孟 强, 张鹰, 马 红, 张丽萍, 王中元, 石利华, 赵秋生 (188)
SAGD 多点温度压力动态监测技术 ·····	孙守国, 余五星, 赵 鹏, 孙建平, 杨志祥, 张福兴, 林 军, 洪 梅, 宋志军, 李 强, 郑 起, 张洪驰, 孙秉琳 (199)
新型网状胶结复合防砂技术 ·····	刘德铸, 孙厚利, 高养军, 朴弼善, 张 璞, 陈 俊, 孙大树, 周 华, 陶惠明, 刘英华, 傅维武, 王亚金, 张建军 (207)
海外河油田注调堵一体化技术研究与应用	

…… 张庆昌, 韩树柏, 唐纪云, 汪小平, 普富亮, 陈志会, 李铁栓, 白文海, 乐庸军, 李 剑 (213)

辽河油田采油工艺技术综合管理系统…………… 刘喜林, 赵政超, 檀德库, 陈韶生,
梁书娟, 肖丽宇, 吴 卓, 杨丽霞, 申 颖, 郑成立, 王吉平, 周百鸣, 陆福刚, 张 琳 (226)

辽河油田公司成本评价…………… 谢文彦, 刘振军, 李 晶, 刘喜林, 李孟洲, 赵政超, 范国权, 袁广平,
苏 超, 李 博, 郭俊鹏, 李永鹤, 李洪海, 张延军, 胡智峰, 杨金胜, 李 凯, 周海宁 (233)

辽河凹陷太古宇潜山成藏条件研究…………… 李晓光, 单俊峰, 刘宝鸿, 徐晓光, 刘兴周, 刘 敏, 胡振华 (261)

西部凹陷北部油气成藏主控因素分析及勘探目标优选
…………… 蔡国刚, 林洪利, 刘宝鸿, 回雪峰, 冉 波, 王光明, 潘日芳 (271)

兴隆台潜山油藏评价及开发对策研究
…………… 李鲁斌, 丁翠萍, 宋柏荣, 宝金平, 柳锦云, 吕建云, 汪淑娟, 刘曙光, 郭志伟 (283)

齐 40 块驱替规律及技术对策研究
…………… 王中元, 马宏斌, 赵春梅, 周 旭, 李艳玲, 户昶昊, 官宇宁, 付崇清, 林中阔 (292)

天然气综合挖潜技术研究与应用
…………… 闵志顺, 许 宁, 潘洪灏, 马全华, 汪 利, 赵振尧, 赵爱婷, 尹长海, 谢锦男 (305)

大民屯凹陷沈 257 块复式油气藏开发研究
…………… 李清春, 刘纯高, 徐明旺, 李 敏, 张华昌, 曾宪红, 张新培 (316)

超稠油水平井蒸汽吞吐注采参数优化研究
…………… 杨德卿, 王丽洁, 马 红, 支印民, 林 静, 陈 刚, 孙旭东 (330)

沈阳油田注水改善开发效果技术研究
…………… 张吉昌, 赵志彬, 王志勇, 王 强, 梁武全, 韩小峰, 关 亮 (337)

欢 127 块兴隆台油层组合吞吐技术研究及应用
…………… 全宝东, 周 旭, 孙宪利, 袁 亮, 吴 媚, 李福才, 陈加华 (350)

多分支井技术在辽河油田的实验和应用
…………… 曹传文, 陈 勋, 高富成, 陈福军, 王 宇, 周强智, 巩永丰, 薛瑞新, 宋 岩 (358)

SAGD 间歇注汽工艺技术
…………… 刘德铸, 孙守国, 陈永恒, 李树全, 何传兴, 陈红梅, 牛文金, 回连军, 苗立珍 (368)

稠油高含水区螺杆泵冷采技术…………… 卢时林, 岳玉全, 彭美华, 向延安, 曹继红, 杨宝春, 张 雷 (372)

湿蒸汽计量分配技术研究与应用
…………… 武俊宪, 郇 斌, 朱承纲, 宋兴旭, 薛成钢, 郭丽辉, 付崇清, 赵继强, 邢立梅 (381)

牛 74 块深层低渗储层压裂改造技术
…………… 张子明, 刘建权, 李 军, 金勇军, 宋祥虎, 李 超, 包 放, 何妮娟, 杨生文 (389)

水平井随油管全井段温度压力监测技术
…………… 王 潜, 赵业卫, 宋志军, 崔士斌, 徐英莉, 马丽勤, 孟 强 (400)

沈阳油田沈三区综合清防蜡技术研究与应用
…………… 王立军, 黄世秋, 任凤泽, 郭道宏, 宋 威, 项卫东, 曾丽平 (405)

曙光采油厂数字化油田建设及应用
…………… 陈铁铮, 许国民, 张守军, 张 勇, 孙亚利, 仲伟仁, 毕明超, 张洪江, 冯 伟 (415)

辽河油田公司电子公文系统
…… 田 英, 孟 平, 梁永宏, 周家鸿, 黄兰英, 朱金波, 王 宇, 张居库, 边芳霞, 张军峰 (426)

辽河油田公司工程造价信息传输系统
…………… 王吉平, 李振远, 唐纯武, 吴 巍, 王 婷, 王 涛, 史洪卫, 刘润广, 王 莎 (432)

辽河油田公司燃料结构调整规划研究…………… 张恩臣, 刘喜林, 潘良革, 刘洪涛, 孙东明, 刘建军,
檀德库, 李 博, 卢诗诰, 赵福庆, 周 海 (448)

西部凹陷欢喜岭—西八千地区岩性油气藏勘探实践

.....	孙洪斌, 鞠俊成, 张菊香, 王拓夫, 康武江, 李春峰	(460)
大民屯前进—平安堡油气勘探与方向选择	陈振岩, 赵立旻, 韩彦军, 张和金, 潘 克	(469)
奈曼凹陷油藏形成条件分析	雷安贵, 方炳钟, 王世亮, 殷敬红, 苍瑞波	(480)
华光凹陷勘探部署研究	李金有, 江建虹, 邹荷丽, 吴炳伟, 李晓晨	(492)
辽河油田油气勘探业务发展计划研究	李云松, 王祁军, 李玉金, 陈仁军, 郑见中, 杨罗万	(506)
西部凹陷兴隆台潜山微观储层特征研究	王仁厚, 宋柏荣, 边少之, 温国强, 耿会勇	(515)
低渗砂岩油藏改善开发效果综合调整	赵志彬, 王庆文, 杨 杰, 韩小峰, 李彩虹	(530)
高 246 块改善开发效果研究	王伟林, 陈 洪, 李兴博, 曹敬涛, 江 琴	(543)
特超稠油油藏边际储量水平井开发技术研究与应用	张建英, 章 跃, 孙秀菊, 石玉发, 刘高华	(551)
牛居油田深层油气滚动勘探实践	张吉昌, 王玉娟, 王奎斌, 刘宏合, 程建平	(558)
锦 16 块于楼油层薄层稠油水平井实施效果评价	李 明, 巨孝文, 廖家彬, 徐宝森, 刘 博	(568)
曙光油田稠油老区水平井技术研究与应用	王卫东, 刘永华, 高忠敏, 王玉玲, 王振伟	(574)
曙 13832 块滚动开发部署研究	王卫东, 刘昌龙, 董旭昊, 宋必轩, 鲁 光	(580)
应用水平井提高老油田采收率技术研究	蔡世龙, 赵立文, 常 斌, 景 峰, 狄富春	(591)
奈曼地区中生界砂岩储层综合评价	康志勇, 闫家宁, 张爱华, 蒋 平, 丁朝辉	(595)
辽河油田油气探明储量评价及 2006 年油田开发部署	于 军, 史际忠, 崔晓娟, 许仁义, 董 良, 石利华	(607)
欢 2-16-304 块深度开发技术研究	韩俊丽, 周 旭, 危宇宁, 符永江, 王 文	(619)
海 1 块“2+3”调驱技术研究与应用	周雅萍, 张庆昌, 肖传敏, 王希芹, 张 莺, 汪小平	(623)
综合应用多种技术措施提高气藏开发管理水平	高养军, 石忠仁, 李 玮, 屈丰君, 沈玉艳	(632)
改性石蜡选择性堵水技术与试验	张淑华, 阮宏伟, 向延安, 高玉军, 齐献宝	(641)
新型长柱塞携砂采油与抽油泵功能升级技术	徐兆强, 刘秀兰, 唐晓波, 李鸿程, 王明军, 罗恩勇, 郭洪军, 王志坚	(647)
沈阳油田难采储量开发试验研究	王立军, 康铭辉, 袁 武, 戴本亮, 孟 强	(650)
笔架岭油田精细地质解释评价及井位部署	宋雅娟, 张崇刚, 王万军, 黄红兵	(660)
辽河浅海葵太油区气井开采技术研究	刘占广, 吕福荣, 杜月明, 赵 峰, 张崇刚	(680)
高温调剖助排一体化工艺技术研究与应用	孙福群, 龙 华, 王 炜, 崔高旭, 白云渡, 白新节, 平会改, 吴洪举	(689)
油井产层和地面保护配套技术在生产和修井中的应用	张华春, 范玉平, 魏秉奎, 王同立, 肖玉文	(694)
稠油低温破乳技术的研制与应用	于桂林, 魏久民, 李显峰, 罗 乐, 陈 福	(702)
双级流道泵采油增效技术	李景波, 付光勇, 杨淑芹, 王德伟, 李新海, 钟新兰	(709)
自动化控制技术在金马油田的应用	杨靖华, 赵滨海, 普富亮, 梁华林, 武斌安	(720)
新型大通径无接箍尾管加固完井技术	杨平阁, 王元成, 郭维义, 欧阳涛, 林丽娜, 张春堂	(732)
多轮吞吐并化学复合增产技术	周运恒, 王 英, 肖立新, 秦 琴, 徐西宝	(736)
超稠油水平井增产技术	马达波, 刘忠祥, 陈 刚, 郭金鹏, 张春茹	(745)
稠油精细注汽配套技术研究及应用	张守军, 管九洲, 宋福军, 吴 非, 刘 恒	(753)
低温自生气增能复产技术	卢 凯, 张玉涛, 陆 鉴, 周长城, 郭明刚, 王盛求, 于燮佳	(758)
油井免热洗生产技术的研发与应用	黄军彦, 刘 涛, 吴庆莉, 杨淑芹, 夏墨菊	(773)
天然气压缩机站控制系统设计与实现	胡桂林, 马英利, 张学军, 张 静, 侯铁锋	(784)
辽河油田防汛三维监视系统开发研究	荆永强, 王立忠, 孟春利, 宁宗民, 金铁文	(793)
超稠油管道集输运行技术要求	唐清山, 余五星, 陈永恒, 左万戟, 文国鹏	(797)
执行注水工艺管理规定 提升油田注水管理水平	许 媛, 乔伟雄, 于 萍, 杨长欣, 陈玉林	(807)
《注水井调剖工艺及效果评价实施细则》制定与应用	陈怀满, 肖立平, 岳大伟, 臧树军, 鲁红光	(810)
《油水井捞砂操作规程》制定与应用	王亚金, 魏秉奎, 王同立, 王锦生, 秦福运	(817)

辽河油田中深层稠油大幅度提高采收率技术研究与应用

项目编号 J2007101

完成单位 中国石油辽河油田公司

完成人 谢文彦, 任芳祥, 刘喜林, 赵政超, 张方礼, 杨立强, 赵洪岩, 蒋生健, 余五星, 刘德铸, 尹万泉, 祁晓明, 陈韶生, 孙守国, 赵忠彦, 赵伟, 安久泉, 檀德库, 郑南方, 张丽萍, 关仲, 李博, 王配虎, 丁亚军, 彭松良, 李艳玲

获奖情况 中国石油天然气集团公司 2007 年度技术创新特等奖

成果简介 辽河油田是全国最大的稠油生产基地, 也是辽河油田的半壁江山, 探明地质储量和稠油年产量分别占股份公司^①稠油的 60% 和 68%, 年产量占辽河油田年产量的 2/3, 对辽河油田的可持续发展具有重要的稳定作用。自“六五”以来, 一直采用蒸汽吞吐方式开采, 目前已处于吞吐后期。由于吞吐方式只动用井筒附近的油层, 井间大量的剩余油则无法得到有效动用, 造成吞吐采收率低, 仅 20%~30%。而蒸汽驱方式则可有效动用井间剩余油, 同时可获得较高采收率 (50% 左右), 比吞吐方式提高二十几个百分点。

国外蒸汽驱已开展多年, 是项成熟技术, 但其油藏埋藏深度都在 500m 以内, 属于浅层。辽河稠油油藏的埋藏深度都在 1000m 以上, 属于中深层, 地质条件复杂, 且 85% 以上的油藏埋深大于 900m, 属于中深层稠油油藏。因此, 国外的蒸汽驱技术无法直接应用于辽河稠油。中深层稠油油藏蒸汽驱能否成功, 需要开展攻关研究。

辽河油田先后开展过 5 个蒸汽驱先导试验, 但也一直未解决中深层稠油油藏蒸汽驱的油藏工程设计、井筒隔热、高温举升等关键性问题。本次针对中深层稠油的地质特点, 通过 8 年时间、10 个专业的联合攻关, 形成了一整套适合中深层稠油油藏特点的蒸汽驱开发技术, 丰富和发展了蒸汽驱开发技术的理论与实践; 成功地在齐 40 块进行了工业化推广, 汽驱井组达到 150 个。获得专利 22 项, 其中核心专利 2 项。

通过室内研究与试验、新技术开发、中试和工业化试验 4 个完整阶段的攻关, 形成了系列的配套技术, 应用后见到显著效果。

室内研究与试验阶段:

(1) 根据中深层稠油油藏的特点, 利用物理模拟、数值模拟等手段, 确定出适合中深层蒸汽驱的技术界限, 包括最低井底干度、注汽速率及汽驱过程中的采注比。

(2) 设计出能同时满足上述界限的井网井距。

(3) 研究实现这些技术界限的工艺可行性, 解决中深层注汽过程中井筒热损失大的隔热问题及高温产出液举升的泵效低的问题。

新技术开发阶段:

(1) 研制高效隔热管柱及其配套工具, 保证井底蒸汽干度达到界限值以上。

① 中国石油天然气股份有限公司, 简称股份公司。

(2) 研制高温泵, 保证在 $100\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的高温下正常举升。

(3) 研制蒸汽驱过程中的温度、压力监测工具, 实现高温下的有效监测。

中试阶段:

(1) 设计注汽流程, 实现从地面到井筒、油层全过程的优化注汽, 减少热损失。

(2) 试验高温条件下泵的工作状态, 优选泵的材质及加工工艺, 解决高温液体举升难的问题。

(3) 配套并研制新型的分层测试工艺技术, 来监测蒸汽驱过程中的油藏变化动态。

(4) 探索蒸汽驱实施过程的油藏管理技术, 包括跟踪数值模拟研究、生产动态调整方法、调整措施优化等技术。最终形成适合于中深层稠油的蒸汽驱开采系列配套技术。

工业化试验阶段: 运用上述配套技术, 选取典型区块进行推广应用, 验证技术的适应性。

经本项目研究, 已在齐 40 块开展了先导试验、扩大试验和工业化试验, 累计投入蒸汽驱井组 44 个, 还要在该块陆续投入 106 个, 使总井组数达到 150 个。其中, 先导试验超过方案设计指标, 最终采收率已达 52%。预计在全油田的 16 个区块加以应用, 蒸汽驱覆盖储量 $2.8\times 10^8\text{t}$, 增加可采储量 $2658\times 10^4\text{t}$ 。

辽河油田中深层稠油大幅度提高采收率技术与工业化应用项目, 主要针对辽河油田中深层油藏进行开发方式的转变及配套技术的攻关, 该项目对确保辽河油田产量稳定, 保持可持续发展有重要意义。辽河油田目前处于蒸汽吞吐后期, 主力区块可采储量采出程度达到 85%, 产量大幅度递减, 采收率仅 20%~30%, 经过 8 年时间, 10 个专业联合攻关, 形成了一整套适合中深层稠油油藏特点的蒸汽驱、SAGD 技术, 蒸汽驱技术可提高采收率 21.4%, SAGD 技术可提高采收率 30% 以上。经过筛选, 辽河油田适合蒸汽驱、SAGD 开采的地质储量 $3.8\times 10^8\text{t}$, 增加可采储量 $5582\times 10^4\text{t}$ 。

1 中深层稠油油藏蒸汽驱技术研究与应用

1.1 地质概况

齐 40 块构造上位于辽河断陷盆地西部凹陷西斜坡上台阶中段。主要发育沙河街组沙一段 + 沙二段的兴隆台油层和沙三段的莲花油层, 其开发目的层为莲花油层。油藏埋深 625~1050m。断块内地层总体上由北西向南东倾没。北部地层较陡, 地层倾角一般为 $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$; 南部逐渐趋缓, 地层倾角一般 $4^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 。

沉积环境为扇三角洲前缘相沉积, 主要发育有水下分流河道、河口沙坝、分流间及前缘薄层砂四种微相类型。

莲花油层岩心分析孔隙度平均 31.5%, 渗透率平均 $2.062\mu\text{m}^2$, 属于高孔、高渗储层, 含油井段平均 74.4m, 油层较发育, 单井有效厚度最大达 92.4m, 平均 37.7m; 单层有效厚度最大达 32.3m, 油藏为中厚互层状油藏, 净总厚度比为 51.1%。

原始地层压力 8~11MPa, 压力系数 0.996。折算油层中深 (850m) 地层压力 8.5MPa。莲花油层温度在 $36\sim 43.6^{\circ}\text{C}$ 之间, 温度梯度 $3.27^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 折算油层中深 (850m) 温度 36.8°C 。

莲花油层原油属高密度、高黏度、低凝固点稠油。原油密度为 $0.9686\text{g}/\text{cm}^3$ (20°C), 油层温度下脱气原油黏度为 $7140\text{mPa}\cdot\text{s}$, 凝固点 2.2°C , 含蜡量平均为 5.8%, 胶质 + 沥青质含量为 32.7%。

综上所述, 齐 40 块为中深层、中厚互层状普通稠油油藏。

截至 2005 年底, 探明含油面积 7.9km^2 , 探明石油地质储量 $3774 \times 10^4\text{t}$ 。

1.2 开发历程及现状

齐 40 块自 1987 年采用蒸汽吞吐方式开采至今, 其间经历了 3 次大的井网加密调整, 井距由开发初期的 200m 先后加密为 141m、100m、70m。开发历程分为 3 个阶段: 200m、141m 井网部署阶段 (1987—1993 年), 100m、70m 井距加密部署阶段 (1994—2007 年) 和蒸汽驱试验与工业化推广阶段 (1996—2007 年)。

截至 2006 年 12 月底, 断块投产总井数 816 口, 开井 611 口, 断块日产油 1329t, 平均单井日产油 2.18t, 累产油 $1192.6 \times 10^4\text{t}$, 采油速度 1.3%, 采出程度 31.60%。累计吞吐 8422 井次, 平均吞吐 11 个周期, 累计注汽量 $2046.1 \times 10^4\text{t}$, 累计油汽比 0.57, 当年吞吐注汽 $143.8 \times 10^4\text{t}$, 吞吐年产油 $43.3 \times 10^4\text{t}$, 年吞吐油汽比 0.30。

1.3 蒸汽驱机理研究

蒸汽驱开发是一项极其复杂的系统工程, 已成为世界范围内的开采稠油的主要技术之一。在借鉴国外蒸汽驱研究成果基础上, 针对辽河齐 40 块的油藏条件, 对深层稠油油藏蒸汽驱的开采机理进行了深入的研究。

1.3.1 蒸汽驱开采机理

蒸汽驱方法是从注入井中连续注入蒸汽, 把油驱向生产井, 并在这一过程中将油加热, 降低其黏度。

当注入的蒸汽从注入井向生产井运动时, 形成如图 1 所示的几个不同温度 and 不同流体饱和度的区带。它们分别是蒸汽带 (A)、热凝析液带 (B、C)、冷凝析液带 (D) 和油藏流体带 (E)。热凝析液带还可细分为溶剂墙 (B) 和热水墙 (C)。虽然这些区带间的界线并不十分明确, 但这一划分却提供了描述蒸汽驱中的出现的各个过程的一种有效方法。

蒸汽驱的典型温度剖面 (图 1a) 表明, 从注汽井的蒸汽温度, 到生产井的油藏温度, 是一个渐变过程。蒸汽进入油藏, 井筒周围会形成一个蒸汽饱和带, 并随着蒸汽注入量的增加, 不断向外扩展。其温度大约为注入蒸汽的温度。在蒸汽饱和带 (A) 的前沿, 由于向地层传热, 蒸汽会凝析成热水并形成热凝析带 (B、C)。在随后注入蒸汽的推动下, 这些热凝析液携带一些热量进入蒸汽前沿前面的较冷地带, 并把所携带的热量传给地层, 最终自身的温度降到原始油藏温度。因为每个地带中有不同的驱油机理, 因此, 从注入井到生产井, 油的饱和度是不同的 (图 1b)。哪些机理在起作用以及由它所形成的饱和度, 主要取决于油的热力学性质。在蒸汽带 (A) 中, 由于油受到最高温度的作用, 其饱和度降到最低。

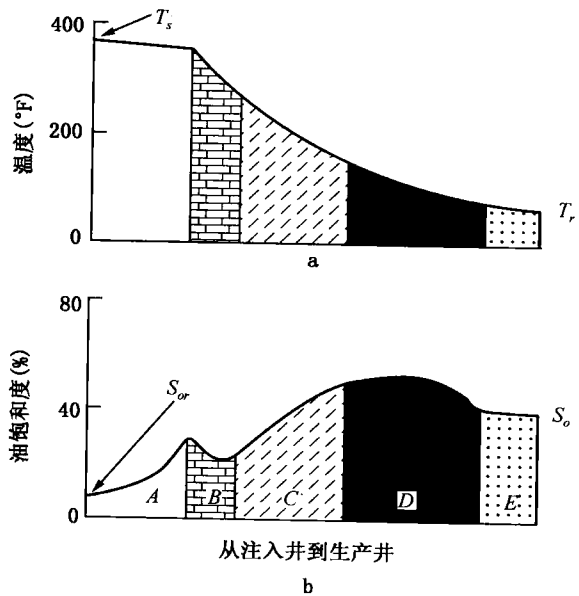


图 1 蒸汽驱过程中典型的温度和饱和度剖面

在蒸汽的蒸馏作用（即油的一部分发生汽化）下，油的蒸馏组分从蒸汽带运移到热凝析带（B、C），并在蒸汽前沿前面形成一个轻质馏分的溶剂墙（B）。再抽提地层中的一些油，形成油的混相驱。该带中的高温降低了油的黏度并使之膨胀，从而使该带中的残余油饱和度比常规水驱要低。可流动油被蒸汽（A）和热水（C）向前沿前推进。当注入的蒸汽被凝析并冷却到油藏温度（冷凝析液带）时，它的前面形成一个油墙。这样，使该带中的油饱和度比初始含油饱和度还高。这里的驱替是典型的水驱机理。最后一个带是油藏流体带（E）。该带中的温度和饱和度状况接近初始状况。

1.3.2 齐 40 块蒸汽驱过程中主要机理的物理模拟研究

利用齐 40 块实际岩心和油样进行了蒸汽驱主要机理的物理模拟研究。主要机理包括常规水驱、降黏 + 热膨胀作用、热膨胀 + 蒸馏作用等。

常规水驱是蒸汽驱原始带中的重要驱油机理。针对齐 40 块储层非均质、油品性质开展了 60℃ 常规水驱试验，试验结果表明：常规水驱作用的驱油效率普遍很低，仅为 41.60%~46.42%。

当温度由 60℃ 升高到 200℃ 时，原油的黏度变化最大，驱油效率的增加幅度也最大。与常规水驱相比，200℃ 热水驱、降黏 + 热膨胀作用驱油效率贡献值为 21.01%、15.14%、15.00%。随着温度的升高，热膨胀作用的采收率逐步增加。特别是在 200℃ 时增加的幅度最大。在 100~300℃ 范围内，热膨胀作用采收率为 3.30%~41.36%。

在温度相同的条件下，蒸汽驱的驱油效果稍好于热水驱的驱油效果。200℃ 条件下，热水驱的驱油效率为 67.54%，蒸汽驱的驱油效率为 76.22%。

1.3.3 油藏参数对蒸汽驱效果影响的数值模拟研究

根据齐 40 块不同韵律油层的特点进行蒸汽驱数值模拟的结果（表 1），对于蒸汽驱开发方式而言，由于存在蒸汽超覆，若沉积模式为正韵律，即下部储层物性好，上部储层物性差，注蒸汽时上、下吸汽相对均匀，汽驱采收率高。而其他 2 种沉积韵律，相对较差。

表 1 齐 40 块不同韵律油层蒸汽驱开发效果对比表（数值模拟结果）

韵律类型	生产时间 (d)	累产油 (10 ⁴ t)	累产水 (10 ⁴ t)	累注汽 (10 ⁴ t)	油汽比	采收率 (%)
正韵律	1328	3.81	15.36	15.94	0.239	40.0
反韵律	1196	3.46	14.01	14.36	0.241	36.6
复合韵律	1138	3.46	13.22	13.65	0.262	36.7

对蒸汽驱来说，存在一个最佳油层厚度。随着偏离最佳厚度程度的增加，蒸汽驱效果迅速下降，其原因在于：当油层变薄时，由于向盖底层热损失比例的增大，热利用率变差；而油层过厚时，由于井筒中蒸汽一水的重力分离以及油层中的蒸汽超覆现象，也会使蒸汽的热利用率变差。研究表明：蒸汽驱的有效油层厚度范围大约为 10~50m。油层厚度在 20~45m 之间时能取得较好效果，最佳油层厚度为 30m。

原油黏度对蒸汽驱效果的影响幅度并不太大，当地层油黏度从 50mPa·s 增高到 5000mPa·s 时，采收率只降低了 15%。但原油黏度过大，所需驱动力很高。从开采效果和操作因素考虑，常规蒸汽驱的地层油黏度最好小于 5000mPa·s，最大不能超过 10000mPa·s。

通过研究，齐 40 块油藏条件适合转蒸汽驱开发。

1.4 蒸汽驱油藏工程优化设计

1.4.1 开发层系确定

经研究论证, 齐 40 块蒸汽驱设计在主体部位分莲 I、莲 II 油层两套层系开发, 而边部仍采用莲花油层一套层系合采。依据是:

(1) 各开发层系的油层厚度较为适合。莲 I 油层一般有效厚度 15~23m, 平均 18.5m, 莲 II 油层一般有效厚度 25~45m, 平均 36.3m, 合采区莲花油层一般有效厚度 20~40m, 平均 28.0m。

(2) 各开发层系内的油层发育且集中, 油层连通性较好 (莲 I 油层连通系数 0.8, 莲 II 油层 0.88, 合采区 0.7), 能保证蒸汽驱达到较高波及体积。

(3) 层系间具有较好的隔层条件, 能有效减少蒸汽驱时各开发层系间的热量损失。

1.4.2 井网井距确定

利用蒸汽驱优化设计方法和数值模拟、经济效益对比法对蒸汽驱井网井距进行了确定。蒸汽驱优化设计方法是以同时满足 4 个汽驱操作界限值为前提而提出的: 注汽速率不小于 $1.6\text{t}/(\text{d} \cdot \text{m} \cdot \text{ha})$; 采注比不小于 1.2; 井底蒸汽干度大于 40%; 油藏压力小于 5MPa。

公式如下:

$$\text{五点井网} \quad d = 100 \left[\frac{q_1}{Q_s \cdot h_o \cdot R_{PI}} \right]^{0.5} \quad (1)$$

$$q_s = 10^{-4} Q_s \cdot h_o \cdot d^2 \quad (2)$$

$$\text{反七点井网} \quad d = 87.7 \left[\frac{q_1}{Q_s \cdot h_o \cdot R_{PI}} \right]^{0.5} \quad (3)$$

$$q_s = 2.6 \times 10^{-4} Q_s \cdot h_o \cdot d^2 \quad (4)$$

$$\text{反九点井网} \quad d = 86.6 \left[\frac{q_1}{Q_s \cdot h_o \cdot R_{PI}} \right]^{0.5} \quad (5)$$

$$q_s = 4 \times 10^{-4} Q_s \cdot h_o \cdot d^2 \quad (6)$$

式中: d 为相邻生产井井距, m; h_o 为油层有效厚度, m; q_1 为平均单井最大产液能力, m^3/d ; q_s 为单井注汽速度, m^3 ; R_{PI} 为采注比 (其值范围在 1.2~1.3。对油层较浅、净总厚度比较大的油藏可取 1.3, 对油层较深、净总厚度比较小的油藏可取 1.2); Q_s 为井组的单位油藏体积的注入速率 (其值范围在 1.6~1.8。对油层较浅、净总厚度比较大的油藏可取 1.6~1.7, 对油层较深、净总厚度比较小的油藏可取 1.7~1.8), $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{ha} \cdot \text{m})$ 。

根据油藏条件, 按照上述方法并结合数值模拟、经济评价结果, 确定莲 I 油层采用 100m 井距反九点注采井网进行蒸汽驱, 莲 II 油层和合采区莲花油层有效厚度大于 25m 的区域, 采用 70m 井距反九点注采井网进行蒸汽驱。

1.4.3 注采参数确定

根据国内外成功蒸汽驱的经验、蒸汽驱操作参数界限值以及先导试验的实际情况, 推荐汽驱时注汽强度为 $1.6 \sim 1.8\text{t}/(\text{d} \cdot \text{ha} \cdot \text{m})$ 。对于齐 40 块 100m 井距反九点井网的合理注汽速度为 $100 \sim 140\text{t}/\text{d}$; 70m 井距反九点井网的合理注汽速度为 $90 \sim 130\text{t}/\text{d}$, 平均为 $110\text{t}/\text{d}$ 。

考虑到从锅炉到井底的热量损失以及目前工艺水平, 确定井底的蒸汽干度应大于 50%。

采注比则根据蒸汽驱的不同阶段生产动态来分别确定。在热连通阶段, 加强汽驱初期排液及吞吐引效, 争取半年时间采注比达到 0.8; 在汽驱驱替阶段采注比要提高并控制在 1.1~1.2。齐 40 块蒸汽驱替阶段与注汽速度对应的平均单井产液量为 $35\text{t}/\text{d}$ 。

1.5 钻采工艺技术研究

1.5.1 钻完井技术

针对齐 40 块油层比较疏松的特点,同时为了保证井眼轨迹的规则,钻井设计把表层套管深下到 250m,油层套管采用高强度的 TP120TH,同时采取预应力完井。

同时考虑到转驱时油层压力已由原始压力 8.5MPa 下降到 2~3MPa 的实际情况,为防止油层污染,使用优质钻井液,钻井液侵入深度由 40mm 降至 15mm,大大减轻了钻井液对油层的污染。

1.5.2 注汽工艺设计

地面注汽管线保温材料采用微孔硅酸钙,并考虑到保温层捆扎后厚度减少,设计保温层厚度为 50mm。注汽管柱主要由真空隔热管、隔热型接箍、压力补偿式隔热型蒸汽驱伸缩管、Y441 强制解封蒸汽驱封隔器、高温单流阀、多级长效汽驱密封器等工具组成。注汽管柱的隔热方式,经过数值模拟软件计算,设计采用:真空隔热管+封隔器隔热或环空注氮隔热的方式。管柱耐温 360℃,耐压 17MPa,使用寿命达到 3 年。

针对多层稠油油藏,为避免由于地层的非均质性而导致的各层动用程度不均衡性,设计了分层汽驱工艺。通过地面模拟实验和软件计算,确定所分各层段的配汽量及相应层段的配汽孔径,优化设计配汽阀的投捞以实现配汽量的调整,确保了分层汽驱实施的有效性。

1.5.3 举升工艺技术

针对蒸汽驱过程中热连通、驱替、突破阶段特点,研发了非金属、金属、陶瓷三大类蒸汽驱系列举升技术,包括耐高温浮环泵、柔性金属泵、汽驱井高温陶瓷泵,满足了蒸汽驱提液需要,适应蒸汽驱井高温、出砂、腐蚀、高含气等复杂井况(表 2)。

表 2 汽驱系列抽油泵统计

类 型	名 称	针对井况	工作温度(℃)	应用阶段	备 注
非金属	耐高温浮环泵	重度出砂井	不大于 120	初期	零间隙
金属	柔性金属泵	高温出砂井	不大于 220	中期	高泵效
	多功能抽油泵	高温出砂井	不大于 220	中期	沉砂泵
陶瓷	抗高温陶瓷泵	高温井	不大于 300	后期	耐高温

1.5.4 蒸汽驱高温不压井作业技术

蒸汽驱高温不压井作业工艺技术研究,能够解决井内介质为高温蒸汽的条件下,不采取任何压井措施的高温作业问题。作业系统通径 0~180mm,耐温 260℃,耐压 21MPa,适应环境温度 -40~50℃;整个系统配备自动、手动控制,配合现场操作,满足作业施工及系统对各种管柱强行起下的控制要求。

1.6 齐 40 块蒸汽驱试验跟踪研究与效果评价

1.6.1 先导试验

试验区由 4 个 70m 井距反九点井组构成,位于齐 40 块中部 8-c261 井区。试验目的层为莲 II 油层组。试验区含油面积 0.129km²,原始地质储量 86×10⁴t。转驱前(1997 年底),试验区共有 9 口生产井,采用 141 井距正方形井网、蒸汽吞吐方式开采,平均吞吐 7.7 轮次,采出程度 24%,油层压力下降到 3~4MPa。

1997 年底钻加密井 18 口(包括 2 口观察井),1998 年元月至 10 月吞吐降压预热油层,

10月21日4个井组同时转入蒸汽驱。

(1) 跟踪调整研究。在热连通阶段，注汽井井筒热损失大，井底干度初期未达到方案要求。为了减少热损失，对环空进行定期补氮，减少热损提高井底蒸汽干度。先导试验注汽井在1998年12月连续进行3次补氮，井底蒸汽干度从33.0%提高到50%以上。针对该阶段油藏热连通程度低、油层供液不足的问题，开展了6口井吞吐引效。吞吐引效后，井组产液量继续上升，油量回升（由转驱初期29t/d，上升至70t/d）。

在驱替阶段，围绕提高产液量采取了各种调整措施，加深泵挂、调参、检泵、补孔深穿透、注解堵剂、助排剂、换大泵，使生产井具有较大的生产压差，提高油井液量，井组采注比由初期的0.8提高到1.1左右。

在突破阶段，针对蒸汽驱后期井口温度急剧上升、产液量和产油量锐减的问题，主要开展了生产井高温调剖封窜技术、大通径封堵技术，从一定程度上缓解了汽窜问题。同时通过数值模拟优化分析，降低注汽量，抑制蒸汽窜进，提高井组油汽比。2001年12月、2002年5月，对井组注汽速度进行了2次调整，井组油汽比保持在0.14。2003年11月，对试验井组进行了第3次调整，8-25井、7-26井停注，9-X26井、8-X27井继续连续注汽，井组日注汽260t，目前先导试验日产油52.6t，油汽比0.21。

(2) 生产特点分析。齐40蒸汽驱基本上经历了启动、受效、突破3个阶段。其动态生产特点（图2）表现为，启动阶段至转驱后的前半年，产液量上升，产油量下降。受效阶段至转驱后的前3年，产液量和产油量持续上升（分别由受效前的210m³/d和30t/d上升到590m³/d和154t/d），并保持基本稳定，瞬时油汽比在0.22左右。突破阶段至转驱后的第4年，产液量和产油量开始下降。符合国外成功蒸汽驱的生产特征。

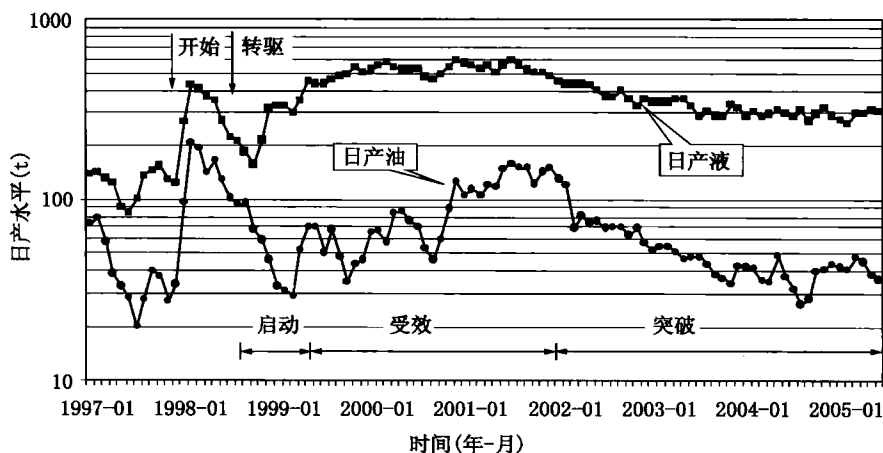


图2 齐40块蒸汽驱先导试验开采曲线

油藏温度和压力的变化也符合蒸汽驱规律。距注汽井9-x26井27.5m的温度观察井测试结果，转驱后油层温度不断上升。转驱5个月后观察井油层段温度上升到132℃，100℃以上的油层厚度占总厚度的51%，且集中于油层中部。到2001年，油层段温度已经达到220℃，100℃以上油层厚度占总厚的67%，即中上部油层均被加热，且加热厚度增大。井口产液温度普遍呈上升趋势，由转驱时的30℃左右上升到2001年的65~100℃，估算井底温度应在140~180℃左右。测压资料表明，转驱前测压4.1MPa，之后逐渐降至3.5MPa。

处于蒸汽驱较理想的压力范围。

(3) 效果评价。先导试验取得了较好的开发效果(表3)。从1998年1月至2006年12月试验累注汽 $140.81 \times 10^4 \text{ t}$, 累产油量 $24.66 \times 10^4 \text{ t}$, 阶段油气比0.18, 阶段采出程度28.67%, 吞吐+汽驱采收率52.67%, 超过方案设计采收率(48.5%)。试验仍在进行中, 预计最终采收率可达到63%。

表3 汽驱先导试验阶段开发指标

阶 段	累产油 (10 ⁴ t)	累产水 (10 ⁴ t)	累注汽 (10 ⁴ t)	油气比	采注比	采出程度 (%)
吞吐预热阶段	3.76	4.84	7.0	0.54	1.23	4.37
汽驱阶段	20.90	95.46	133.81	0.16	0.87	24.3
合计	24.66	100.30	140.81	0.18	0.89	28.67

1.6.2 扩大试验

扩大试验区与先导试验区相邻, 油藏条件总体上相近, 但油层厚度略小。试验区由7个70m井距反九点井组构成。试验目的层为莲Ⅱ油层组。试验区含油面积0.208km², 原始地质储量 $128.06 \times 10^4 \text{ t}$ 。

扩大试验于2003年7月开始。转驱前吞吐开采, 采出程度29%, 起始含油饱和度53%, 油层压力2MPa左右。

试验经历了热连通阶段, 目前处于蒸汽驱替阶段。

截至2006年12月底, 扩大试验已经进行了3年多, 汽驱采出程度8.39%。与方案指标对比, 方案实际注汽量和设计指标基本保持一致, 但产油量、产液量、油气比、采注比等指标与设计指标存在一定的差异, 这主要由先导试验外溢影响、长期吞吐开采、目前采注比、纵向汽驱控制油层厚度较低引起。

1.6.3 工业化推广

在先导试验和扩大试验取得预期效果的基础上, 开始了全块整体转蒸汽驱的方案编制。2006年投入实施。至此, 齐40块蒸汽驱进入到工业化试验阶段。

2006年主要是开展转驱遣的钻井、地面建设等准备工作。

2 中深层稠油油藏蒸汽辅助重力泄油(SAGD)技术研究与应用

2.1 地质概况

蒸汽辅助重力泄油(SAGD)技术主要应用于曙一区超稠油的杜84块馆陶油层和沙三上段兴Ⅵ组油层。

杜84块探明含油面积5.6km², 探明石油地质储量 $8309 \times 10^4 \text{ t}$ 。油藏埋深550~1150m, 目的层包括沙三上亚段、沙一段+沙二段和馆陶组3套地层。兴隆台油层构造为一向南东倾斜的单斜构造, 地层倾角一般为2°~4°; 馆陶底面为南东倾斜的单斜构造, 倾角2°~3°, 与下伏地层呈不整合接触。

兴Ⅵ组油层为湖底扇沉积, 馆陶组为冲积扇沉积。岩石类型以砂砾岩为主。两套含油层均为高孔、高渗储层, 兴Ⅵ组孔隙度为26.6%, 渗透率为 $1.062 \mu\text{m}^2$ 。馆陶油层平均孔隙度为36.3%, 平均渗透率为 $5.539 \mu\text{m}^2$ 。兴Ⅵ组油层单井厚度平均为33.7m, 以块状为主, 单层平均厚度10.4m, 单层厚度大于10m的占74.9%。馆陶油层平均油层有效厚度为78.6m,

内部没有纯的泥岩隔夹层，只存在物性夹层。兴Ⅵ组是底水油藏，油水界面一般为-790~-860m。馆陶油层的顶部和四周被水包围，底部在南部发育底水，是边顶底水油藏。

原油性质为超稠油。兴Ⅵ组油层 20℃ 时的密度平均为 1.005g/cm³；油层温度（41.3℃）时的黏度是 55×10⁴mPa·s；馆陶油层 20℃时的密度平均为 1.005g/cm³；油层温度（23℃）时的黏度是 91×10⁴mPa·s。

2.2 开发历程与现状

1993 年开展蒸汽吞吐试验。1999 年开始投入蒸汽吞吐开发，馆陶组和兴Ⅵ组各为一套开发层系，均为正方形 70m×70m 井网。

2005 年 2 月在馆陶组开展了 4 个井组的直井/水平井组合的 SAGD 试验，直井与水平井距离 35m，投影垂距 5m，试验成功后于 2007 年扩大到 8 个井组；2005 年 10 月在兴Ⅵ组以同样的组合方式开展了 5 个井组的 SAGD 试验。

目前试验正按预期效果运行。

2.3 SAGD 开采机理

2.3.1 国外研究成果

SAGD 理论首先是由罗杰·巴特勒博士于 1978 年提出的，最初的概念是基于注水采盐的原理，将这一原理用于注蒸汽热采过程中就产生了重力泄油的概念。

对于在地层原始条件下没有流动能力的高黏度原油，要实现注采井之间的热连通，需经历油层预热阶段。形成热连通后，注入的蒸汽向上超覆，在地层中形成蒸汽腔，蒸汽腔向上及侧面移动，与油层中的原油发生热交换，加热的原油和蒸汽冷凝水靠重力作用泄到下面的生产井中产出。

目前 SAGD 有 3 种布井方式：第 1 种是双水平井方式，即在靠近油藏的底部先钻下部水平采油井，再在其正上方钻平行的注汽水平井；第 2 种是直井与水平井组合方式，即在油藏底部钻 1 口水平井，在其正上方或侧上方钻 1 口或几口垂直井，垂直井注汽，水平井采油；第 3 种是单管水平井 SAGD，即在同一水平井井口下入注汽管柱，通过注汽管柱向水平井最顶端注汽，使蒸汽腔沿水平井逆向扩展。目前现场应用较多的是双水平井和直井与水平井组合方式。

2.3.2 国内研究成果

在充分的国内外调研和技术论证的基础上，针对多周期蒸汽吞吐后的油藏状况，从基本原理出发，依据相似理论用数学方程描述整个驱油的过程，建立了蒸汽吞吐、蒸汽驱、SAGD 联动相似理论（表 4）。并建成了高温、高压三维热采比例模型和二维可视化比例模型。

表 4 吞吐转 SAGD 物理模拟相似准则的选取

相似准则数	模化参量	相似准则数	模化参量
$\frac{L_m}{L_f} = R$	几何相似比	$\frac{q_m}{q_f} = R \frac{\alpha_{om} \phi_m}{\alpha_{of} \phi_f}$	注入率
$\frac{\Delta P_m}{\Delta P_f} = R \frac{\Delta \rho_m}{\Delta \rho_f}$	生产压差	$\left(\frac{K}{\mu_o}\right)_m = \frac{1}{R} \frac{\alpha_{om} \Delta \rho_f}{\alpha_{of} \Delta \rho_m}$	流度
$\frac{t_m}{t_f} = R^2 \frac{\alpha_{of}}{\alpha_{om}}$	时间	$\left(\frac{Kgh}{\alpha_o \phi \Delta S_o v_o}\right)_m = \left(\frac{Kgh}{\alpha_o \phi \Delta S_o v_o}\right)_f$	SAGD 准数