



中国石油勘探开发研究院出版物

重油和油砂开发技术 新进展

——中加重油和油砂技术交流会论文集

穆龙新 主编



石油工业出版社

重油和油砂开发技术新进展

——中加重油和油砂技术交流会论文集

穆龙新 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收录了参加“2012年中加重油与油砂技术交流会”的46篇优秀论文,包括综合篇、实验和方法篇、地质和油藏篇、钻采工艺篇、地面集输和污水处理篇、重油改质篇等六个部分,系统总结和荟萃了中国石油在稠油(重油)开发方面的最新技术成果,代表了我国目前稠油开发技术方面研究的最高水平。

本书可供从事重油和油砂开发研究工作的科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

重油和油砂开发技术新进展:中加重油和油砂技术交流会论文集/穆龙新主编.
北京:石油工业出版社,2012.9

ISBN 978-7-5021-9227-3

I. 重…

II. 穆…

III. ① 重油-产品开发-国际学术会议-文集

② 油砂-油田开发-国际学术会议-文集

IV. ① TE626.25-53 ② TE343-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第191642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)64523543 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

2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:26.5

字数:680千字

定价:160.00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

《重油和油砂开发技术新进展》

编 委 会

主 任：薄启亮

副主任：王道富 刘振武

委 员：卞德智 穆龙新 李智明 陈曙东 刁 顺

《重油和油砂开发技术新进展》

编写和编审组

主 编：穆龙新

副主编：李智明

成 员：陈蟒蛟 刘 合 王瑞河 郭呈柱 王武和
董本京 刘尚奇 薛立林 武兆俊 龚亮华

前 言

我国稠油(重油)资源丰富。经过多年的攻关研究、试验、应用和发展,稠油开发技术已得到了大规模工业化应用。近年来,随着不断的科技进步和技术创新,在完善配套稠油吞吐成熟热采技术的基础上,针对不同类型稠油油藏的高效开发和提高原油采收率技术难题,在蒸汽吞吐接替技术,特别是蒸汽驱、SAGD 及火烧油层方面进行了大量的基础理论研究、现场试验与应用工作,在室内实验模拟手段与方法、开采新工艺新技术、浅层水平井钻井、高温大排量举升与动态监测、产出液处理、超稠油集输与改质等方面取得了一系列成果和重大进展。

中国石油在海外也管理和运作着多个重油和油砂项目,拥有大量的地质资源。针对海外复杂合同模式下低成本高效开发战略,根据不同储层特征和原油性质,研究和应用了包括稠油携砂冷采(CHOPS)、过热蒸汽吞吐、超重油水平井泡沫油开采等多种配套技术,解决了诸多关键瓶颈技术问题。在这些项目得到高效开发的同时,也实现了科技创新与集成。

在 2012 年中加重油与油砂技术交流会召开之际,我们组织国内在重油和油砂研究方面的专家将最新研究成果撰写成论文,并编辑出版了《重油和油砂开发技术新进展》一书。该书系统总结和荟萃了中国石油在稠油(重油)开发方面的最新技术成果,其特点:一是新颖性,集中反映了近年来中国石油在稠油(重油)开发方面取得的理论研究和现场实践的最新成果,重点是蒸汽驱、SAGD、火烧油层、泡沫油冷采等技术的模拟研究方法、关键瓶颈问题的解决以及生产应用效果分析评价;二是系统性,涉及了稠油(重油)开发的上、中、下一体化技术,既包括上游工程技术,也包括原油集输、重油改质及环保工程技术等;三是全面性,不仅有国内稠油与超稠油的技术研发与应用成果,也有海外重油与油砂方面的资源现状与技术应用新进展。

本书收录的 46 篇论文是在征集的众多中方论文的基础上经过技术委员会认真审查和严格筛选出来的优秀论文,代表了我国目前稠油开发技术方面研究的最高水平。这些论文包括将在 2012 年 9 月份在加拿大卡尔加里举办的“中加重油和油砂技术交流会”的主旨报告、大会技术交流论文等,分为综合篇、实验和方法

篇、地质和油藏篇、钻采工艺篇、地面集输和污水处理篇、重油改质篇等 6 个部分。内容涉及中国石油国内与海外稠油开发技术与应用现状综述、重油加工技术及面临的技术挑战,稠油热采新工艺、新技术室内实验研究与现场应用效果,重油油藏与油砂储层表征与建模技术,热采数值模拟与跟踪调整技术,水平井磁导向钻井技术,注蒸汽井筒隔热技术,蒸汽驱与 SAGD 开采集输与处理关键技术,重油开发产出水处理与循环利用技术,重油与油砂降黏、延迟焦化加工与改质技术等。

本书一方面展示了国内在稠油(重油)开发方面的研究水平和创新能力,对于增进中国石油与加拿大石油工业界的技术交流、增强在非常规油气领域开展国际化经营的竞争力具有重要意义;另一方面对于解决国内和海外重油项目开发中的关键技术问题具有参考价值,特别是对于即将投入开发的加拿大油砂项目,更具有指导作用。该项目地质资源量大,具有建成年产 2000 万吨重油的生产能力,是中国石油“十二五”及以后更长时间上产的重要资源,是将美洲地区建成海外最大的非常规油生产与供应合作区的重要保障。

本书的出版得到了各级领导、专家的热情帮助与悉心指导,得到了论文作者的大力支持。技术委员会进行了严谨认真的审查和甄选,中国石油勘探开发研究院龚亮华同志完成了卓有成效的组织和联系工作。在这里,谨向所有为本书出版提供帮助和支持的单位与个人表示衷心的感谢!

由于时间仓促,书中难免存在缺陷,敬请专家和读者批评指正。

目 录

综 合 篇

中国石油海外重油油田开发技术现状与挑战

..... 穆龙新 刘尚奇 韩 彬 沈 杨 刘 洋 许安著 (3)

中国稠油开发技术 蒋有伟 (12)

中国重油加工技术面临的挑战与机遇 付兴国 赵广辉 (24)

全球重油与油砂资源潜力与勘探方向

..... 张光亚 王红军 马 锋 刘祚冬 蒋凌志 李 飞 琚 亮 (35)

中国、加拿大油砂资源特征对比 梁 峰 拜文华 法贵方 张 琴 (48)

实验和方法篇

重油驱替新技术室内探索 朱怀江 穆龙新 罗健辉 丁 彬 (59)

火驱辅助重力泄油实验研究 梁金中 马德胜 王伯军 (70)

气体辅助 SAGD 开采超稠油技术——气体选择

..... 张运军 赵 晖 聂凌云 李晓玲 (80)

GAS-SAGD 开采超稠油技术研究 高永荣 郭二鹏 聂凌云 (87)

SAGD 生产规律理论预测模型新探索

..... 咎 成 郭 嘉 马德胜 王红庄 李秀峦 罗 健 江 航 (93)

双水平井蒸汽辅助重力泄油注汽井筒关键参数预测方法及应用

..... 吴永彬 李秀峦 孙新革 (105)

SAGD 过热蒸汽输送系统热力分析及优化技术研究 杨建平 (117)

采注比对边底水稠油蒸汽驱效果的影响研究 ... 沈德煌 张 霞 李晓玲 聂凌云 (122)

低渗透稠油油藏实施超临界注汽探讨 冷仁春 李昌绵 侯成贵 黄友明 (129)

毛管压力-测井综合评价原始含油饱和度方法在 GB 稠油油田中的应用

..... 岳海玲 王中兴 曾番惠 (139)

地质和油藏篇

委内瑞拉 M 区块和加拿大麦凯河区块油藏储层特征与评价技术

..... 黄继新 穆龙新 陈和平 刘尚奇 黄文松 孟 征 郭松伟 (149)

委内瑞拉重油带 M 区块超重油油藏整体水平井冷采开发优化

..... 陈和平 李星民 韩 彬 陈长春 (159)

奥里诺科重油带 M 区块油藏地质特征及开发效果分析

..... 刘成彬 吕斌昌 徐宝军 张善成 许卫华 刘大平	(168)
直井和水平井约束地震反演隔夹层预测技术及其应用	
..... 周玉冰 王丹丹 林金逞 马中振 刘亚明	(178)
夹层对 SAGD 开发效果的影响	周 游 吴 键 (184)
非均质超稠油油藏双水平井 SAGD 油藏工程优化设计 ...	李秀峦 吴永彬 席长丰 (194)
天然气气水交替驱提高深层稠油油藏采收率研究	李松林 赵 健 (208)
稠油油藏注蒸汽开发后期转火驱技术研究与应用	关文龙 梁金中 陈亚平 (214)
直井水平井侧向组合火驱技术研究 ...	孙洪军 高 飞 宋 杨 李培武 孙福群 (223)
注蒸汽后期稠油油藏转火驱先导试验	张学鲁 陈 龙 潘竞军 蔡 罡 (229)
跟踪数值模拟技术在火驱动态管理中的应用	
..... 席长丰 梁金中 吴 键 程宏杰 黄继红 王波生	(237)

钻采工艺篇

分支水平井工艺在沈北潜山裂隙高凝油油藏中的应用

..... 余 雷 喻 晨 尚宪飞 邓 旭 李 敏 高 扬	(253)
SAGD 水平井磁导向钻井技术研究	申瑞臣 乔 磊 田中兰 路立君 张 玮 (261)
超稠油热采井套管损坏防治技术——以辽河油田曙一区杜 84 块为例	
..... 吴兴国 张振军 朱太辉 徐家年 薛志勇 武晓勇 钟 勇	(266)
稠油热采井套损原因分析及防治措施	
..... 王显荣 付玉红 何传兴 林丽娜 肖素梅	(272)
风化壳对油田套损的控制作用	刘建东 金 娟 沈露禾 张广明 (277)
地热自平衡井筒降黏技术探讨	张建军 师俊峰 童 征 赵瑞东 (282)

地面集输和污水处理篇

辽河油田稠油蒸汽驱和 SAGD 开采集输与处理关键工艺技术

..... 周立峰 李 刚 赵兴罡	(291)
电场分离技术在超稠油预处理工艺中的应用	郭 超 李西明 辛敏东 (299)
蒸汽驱真空隔热油管研究	陈继业 李建国 朱进礼 张永峰 (307)
稠油开发采出水处理与回用技术研究	
..... 孙静文 吴百春 刘光全 张 华 岳 勇	(317)
油田含油污泥的处理途径	刘偲伍 赵文学 (325)
高含硅稠油污水回用热采锅炉的实验研究	裴 红 谢加才 赵文学 (331)
采用二级气浮与活性污泥和固定化曝气生物滤池工艺处理稠油废水的中试研究	
..... 全 坤 宋启辉 谢加才	(339)

重油改质篇

委内瑞拉超重原油和加拿大油砂沥青加工利用现状

..... 杨延翔 李振宇 乔 明 任文坡 (353)

委内瑞拉超重油改质技术研究 侯经纬 付兴国 高 飞 邢定峰 李 军 (363)

超重油动态造粒降黏技术研究 罗健辉 穆龙新 丁 彬 王平美 朱怀江 陈和平 (372)

中国油砂分离工艺技术研究进展 方朝合 郑德温 葛稚新 李小龙 (381)

重油开发油(泥)砂分离处理技术研究与应用

..... 邓 皓 王占生 王万福 谢水详 岳 勇 (390)

加工劣质重油的减黏裂化技术设计与应用 谢国宏 韩 冰 刘晓燕 尹恩杰 (402)

加工稠油的延迟焦化技术开发与应用 谢崇亮 毕治国 颜 峰 李胜山 (407)

综 合 篇

中国石油海外重油油田开发技术现状与挑战

穆龙新 刘尚奇 韩 彬 沈 杨 刘 洋 许安著

(中国石油勘探开发研究院)

摘 要 中国石油在海外合作开发的重油油田类型多、储量大,既有常规稠油油田,也有超重油油田以及油砂。这些重油项目主要分布在苏丹、哈萨克斯坦、委内瑞拉及加拿大等国。这些油田已经或正准备投入开发,主要技术包括稠油携砂冷采、蒸汽吞吐、过热蒸汽吞吐、超重油水平井泡沫油开采以及蒸汽辅助重力泄油(SAGD)。

本文论述了这些重油油藏与油砂的地质特征与开发现状,分析和评价了油田开发技术应用效果以及存在的主要技术挑战,研究了进一步提高开发效果与原油采收率的接替技术。

关键词 重油油田 油砂 稠油冷采 蒸汽吞吐 SAGD 水平井

中国石油目前在 21 个国家参与管理和运作着 40 个油气开发项目,2011 年油气产量达到 $10298 \times 10^4 \text{t}$,权益产量 $5175 \times 10^4 \text{t}$,高效地建成了“海外大庆”。在这些油气田开发项目中,现已投入开发的项目 32 个,其中重油和油砂项目 8 个,已开发 6 个。重油和油砂的地质储量 $114.2 \times 10^8 \text{t}$,占总地质储量的 32.8%;2011 年产油 $1401.6 \times 10^4 \text{t}$ (图 1),占原油总产量的 16.0%。而在未开发储量中,重油与油砂所在比例更大,重油与油砂是中石油海外在“十二五”后期及未来更长时间建产和上产的重要资源。

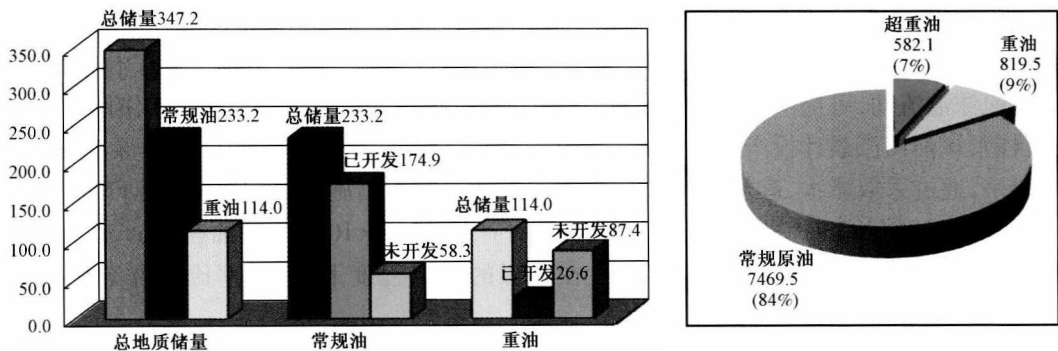


图 1 中国石油海外原油地质储量与原油产量比例图(单位: 10^4t)

重油项目主要包括苏丹 6 区 Fula 北油田的携砂冷采和 FNE 油田的蒸汽吞吐,哈萨克斯坦肯基亚克盐上油田的过热蒸汽吞吐,委内瑞拉 MPE3 区块和胡宁 4 区块的超重油油藏水平井泡沫油冷采,以及加拿大油砂项目的蒸汽驱辅助重力泄油(SAGD)开采等。本文将论述这些重油油藏和油砂的地质特征与开发现状,评价油田开发技术的应用效果,分析存在的主要技术挑战,提出提高开发效果与原油采收率的主要接替技术。

1 重油油藏与油砂的地质特征与开发现状

1.1 苏丹6区 Fula 北油田稠油携砂冷采技术

1.1.1 油藏地质特征

苏丹6区 Fula 北(FN)油田位于苏丹中南部达尔富尔省境内的 Fula 凹陷的北部,是一个呈 NW—SE 延伸的地垒。构造圈闭面积为 7.1km^2 ,原始地质储量为 $5316 \times 10^4\text{t}$ 。该油田含油层系有 Aradeiba、Bentiu 两套油层,主力油层 Bentiu 组是一个块状强底水重油油藏(图2)。

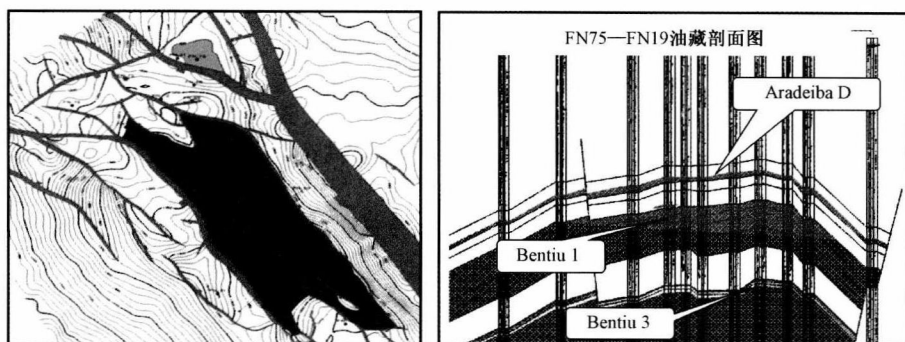


图2 Fula 北油藏构造与剖面图

该油组可进一步细分为5个小层,小层之间有不连续隔层分隔,埋深1250m,初始油层温度为 60.1°C ,地层压力为 11.1MPa ,具有倾斜的油水界面。储层平均孔隙度28%,平均渗透率 1150mD ,平均含油饱和度60%,地下原油黏度 $150 \sim 1000\text{mPa}\cdot\text{s}$,重度 $18 \sim 22^{\circ}\text{API}$,原油具有高密度和高黏度等特点。

1.1.2 油田开发现状

Fula 油田2003年试投产,采用携砂冷采技术,2004年3月全面投入开发。这种技术不注热、不防砂,利用螺杆泵将原油和砂一起采出。通过形成蚯蚓洞网络,可提高油层渗透率;形成的稳定泡沫油流动,可提供内部驱动能量;兼有上覆地层的压实驱动和边底水的作用。

目前,该油田已累计投产油井160口,平均井距200m,以机械采油为主,螺杆泵井占75%。投产以来,通过采取堵水、避射、加密等一系列稳油控水技术措施,到2012年6月FN油田日产油 11511bbl/d ,含水53%,平均动液面358m,累计产油 $5790 \times 10^4\text{bbl}$,采油速度1.3%,采出程度15.4%。目前各项开发指标保持良好,在同样的采出程度下,含水率比原方案预测值低30%左右(图3)。

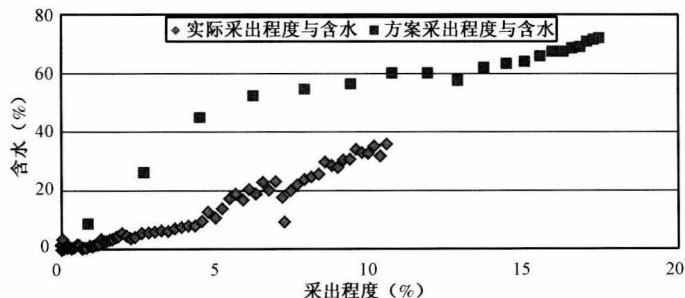


图3 Fula 北油田采出程度与含水关系曲线

1.2 苏丹6区 FNE 油田蒸汽吞吐技术

1.2.1 油藏地质特征

苏丹6区 Fula 北东(FNE)油田位于苏丹中南部达尔富尔省境内的 Fula 凹陷的北东部,重油地质储量 $3306 \times 10^4 \text{t}$,占 FNE 总储量的 87.3%。主力油藏 Bentiu 是构造强底水重油油藏,其油水界面大约在 575m,初步估计边底水体积为 Fula 油层的 30~50 倍。油藏埋深约为 534m,原始油藏压力 4.0MPa,压力系数 0.75,属于低压油藏。原始油层温度 43.5°C 。油层平均孔隙度 32%,平均渗透率 4000mD。油藏条件下脱气原油黏度约为 $2160 \text{mPa}\cdot\text{s}$,重度 $15 \sim 18^\circ\text{API}$ 。

1.2.2 油田开发现状

苏丹6区 FNE 油田 2010 年 7 月正式投产,采用天然能力冷采与蒸汽吞吐相结合的开采方式。蒸汽吞吐技术就是先向油井注入一定量的蒸汽,关井一段时间,待蒸汽的热能向油层扩散后,再开井生产的一种开采重油的增产方法。

这种技术在该油田已取得了良好效果。目前共投产 36 口井,其中蒸汽吞吐井 20 口,平均井距 400m。单井平均注汽速度 164.6t/d ,注汽时间 10d,注汽压力 14.3MPa,蒸汽温度 285.5°C ,蒸汽干度 74%。蒸汽吞吐井平均初产 457bbl/d ,是冷采产量的 2.0~3.7 倍。图 4 是一口典型井的蒸汽吞吐生产曲线。

目前已有 4 口井完成第一周期吞吐,周期产量均达到 10 万桶以上,周期平均油气比达到 11.4,与国内同类油田相比要高。2011 年 FNE 油田日产油水平 5100bbl/d (蒸汽吞吐占 50% 左右),含水 15%,累计产油 $44 \times 10^4 \text{t}$,采油速度 0.7%,采出程度 1.1%,蒸汽吞吐取得了明显的应用效果与经济效益。

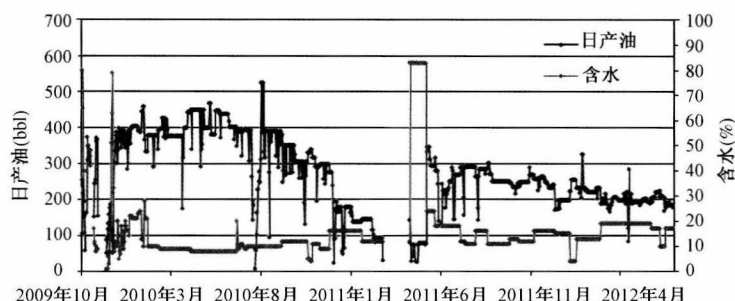


图4 FNE 油田典型蒸汽吞吐井生产曲线

1.3 哈萨克斯坦肯基亚克盐上油田过热蒸汽吞吐开采技术

1.3.1 油藏地质特征

肯基亚克盐上油田位于哈萨克斯坦滨里海盆地东缘隆起带乌拉尔—恩巴盐丘构造带上,为一以孔谷阶($P_1\text{kg}$)盐丘为核心的近东西向短轴背斜。油水界面主体上受构造控制,呈现边水分布特征,油水分布复杂。以河流相沉积为主,主要含油相带为河道相和心滩相。主要含油层系为中侏罗统,是一套胶结疏松的中细砂岩与粉砂岩、泥岩组合,油藏底部埋深 290~380m,沉积厚度 100~130m,平均油层有效厚度 17m。储层物性好,平均孔隙度 36.6%,平均渗透率 1875mD,属高孔高渗储层,但储层非均质程度较强。原始地层温度 19°C ,原始地层压力 2.44~3.17MPa。中侏罗统 20°C 地面脱气油黏度为 $144 \sim 690 \text{mPa}\cdot\text{s}$,为普通稠油油藏。

1.3.2 油田开发现状

盐上油藏开发已有近 50 年的历史,自 1966 年以来先后经历了天然能量开发、注蒸汽开发试验、注蒸汽开发、开发调整和开发方式优化与试验 5 个阶段。2001 年以来,开展了聚合物驱、热水驱、蒸汽吞吐、蒸汽驱和过热蒸汽吞吐等试验。由于地层原油黏度高,聚合物驱没有见到明显增油降水效果,注热水仅恢复了地层能量,未呈现增油降水的生产特征^[1]。

图 5 是一口典型井(61039 井)蒸汽吞吐开采曲线。该井射开厚度 19m,中间有夹层,进行了常规开采、湿蒸汽与过热蒸汽吞吐开采。2002 年 2 月开始第一周期注湿蒸汽吞吐,注汽量 1941t,转抽后平均日产油 2.1t,日产液 8.5t,含水 74%。2006 年 7 月进行过热蒸汽吞吐,注汽温度为 300℃,过热度 57℃,注汽压力 3.44MPa,周期注汽量 2676t。转抽后初期最高产量达到 21.6t,到 2008 年底平均日产油 4.6t,日产液 11.2t,含水 60%。与湿蒸汽吞吐对比,过热蒸汽吞吐取得了较好效果。主要原因是过热蒸汽携带更高的热焓,具有更大的比热容,在周期注汽量相同时,其井底干度和加热半径加大,使开采效果变好。另一方面,由于储层水敏较强,在热水驱及常规蒸汽吞吐中,注入地层的水及蒸汽冷凝水易引起黏土矿物膨胀,降低储层渗透率,也会导致注水及常规注蒸汽开采效果不理想。

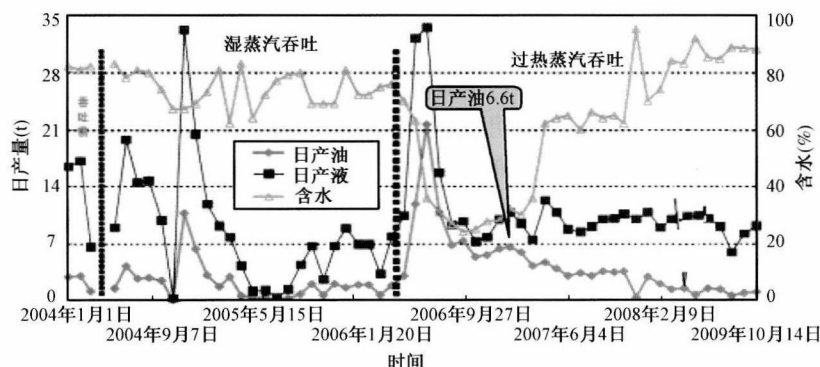


图 5 典型井 61039 蒸汽吞吐生产曲线

试验表明,过热蒸汽吞吐是盐上稠油油藏的有效开采方式。在地质和油藏综合研究的基础上,逐步完善了注汽工艺技术,加大了过热蒸汽吞吐的应用。目前共有 100 多口井进行了过热蒸汽吞吐。截至 2010 年 12 月,过热蒸汽吞吐试验 I 区已累计注汽 26.5×10^4 t,累计产油 20.4×10^4 t,累计油汽比达到 0.77。对比表明(图 6),过热蒸汽吞吐的单井产量明显提高。

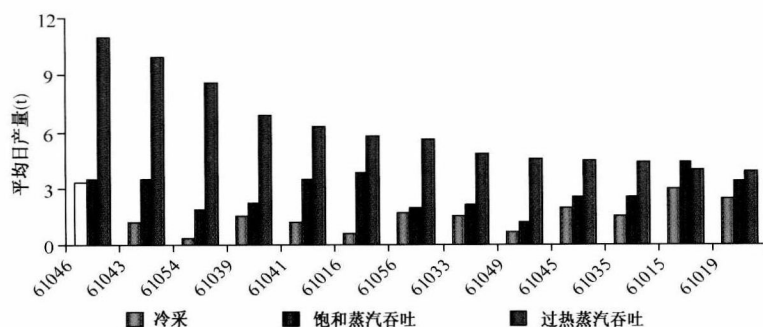


图 6 不同开采方式单井产量对比

1.4 委内瑞拉超重油水平井泡沫油冷采技术

委内瑞拉奥里诺科重油带是目前世界上已发现的、唯一尚未全面投入开发的大规模超重油富集带,资源丰富,开发潜力巨大。中国石油在重油带有 MPE3 和胡宁 4 两大项目,原油地质储量达 $98.7 \times 10^8 \text{t}$, 剩余可采储量 $11.8 \times 10^8 \text{t}$, 占南美地区总剩余可采储量的 90.8%。2011 年超重油产量 $581.2 \times 10^4 \text{t}$, 具有建成年产 $4000 \times 10^4 \text{t}$ 的规模, 是今后上产的主要资源。

1.4.1 油藏地质特征

MPE3 区块位于东委内瑞拉盆地南缘, 构造整体形态为北倾单斜构造, 地层倾角 $2^\circ \sim 3^\circ$, 主要含油层系为新近系下一中新统 Oficina 组(图 7)。主力油层包括 O-11b、O-12 和 O-13 三套油层, 以三角洲平原沉积为主, 属于未固结的砂岩构造岩性油藏, 主力油层合同区无边底水。岩性疏松, 储油物性好, 孔隙度 28%~36%, 渗透率 5~12D, 含油饱和度 86%。油藏中部深度 2910ft, 原始油藏压力为 1240Psi, 原始溶解气油比 $90 \text{ft}^3/\text{bbl}$, 泡点压力 823psi。地下原油黏度 $5516 \text{mPa}\cdot\text{s}$, 原油重度 $7 \sim 9^\circ \text{API}$, 超重油具有“四高一低”、可流动的特性, 即高密度、高含硫、高含重金属、高含沥青质、相对低黏度, 冷采开发过程中可形成泡沫油流动。

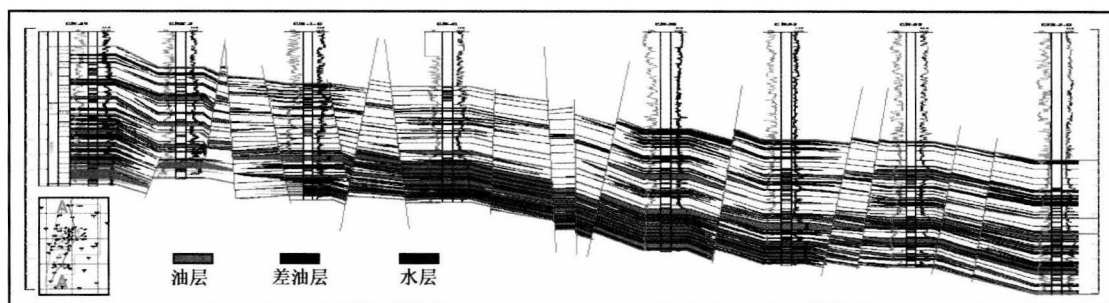


图 7 MPE3 区块油藏剖面图

1.4.2 水平井泡沫油冷采技术及其效果

针对 MPE3 区块超重油油藏原油黏度高、原油重度大、储层物性好, 溶解油气比较高、油层发育稳定的特点, 在开采方式优化与泡沫油驱油机理研究的基础上, 根据海外低成本高效开发战略, 采用整体丛式水平井泡沫油冷采开发方式、大排量电潜泵井底掺稀释剂与螺杆泵井口掺稀释剂降黏举升方式、掺稀降黏地面集输系统等配套技术^[2]。水平井平行布井, 分 O-11b、O-12 和 O-13 三套层系开发, 水平段长 800~1200m, 井距 600m(图 8)。

截至 2011 年 12 月底, 共完钻水平生产井 190 口, 投产 176 口, 分布在 16 个平台, 建成了年产 $600 \times 10^4 \text{t}$ 超重油生产能力的上、下游一体化工程, 地面设施主要包括转油站、脱盐脱水厂、稀释重油外输系统、稀释剂返输系统和 JOSE 厂。

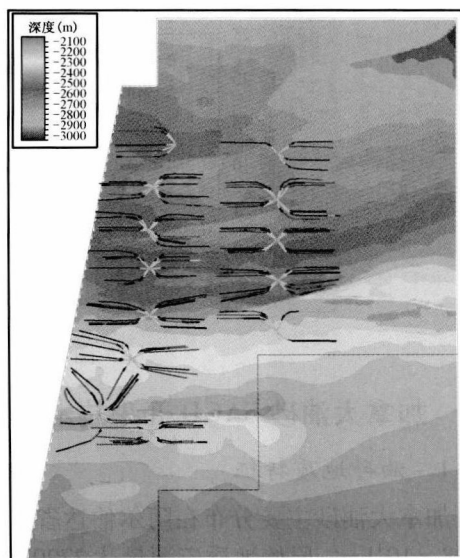


图 8 MPE3 区块整体水平井布井

水平井平均单井初产达到了 900 ~ 1200bbl/d。目前日产油水平在 11.5×10^4 bbl 以上(图 9), 平均单井日产油到 2016 年将建成 33×10^4 bbl/d 的日产能力, 后期通过转入热采开发方式稳产至合同期末(2032 年)。

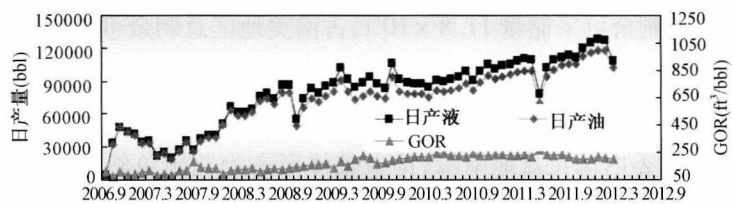


图 9 MPE3 区块历年生产曲线

超重油“泡沫油”开采机理主要有以下方面^[3]：

(1)大量的微小气泡附着在孔隙壁上,润滑了原油流动的通道,减少了原油流动的阻力,提高了重油的流动能力。

(2)随原油一起流动夹杂在原油中的大量微气泡可以起到膨胀降黏的作用,能够降低原油黏度,增加原油流动性。

(3)大量微气泡的存在能够显著地增加流体的压缩性,提高原油的弹性能量。

(4)溶解气在油相中以分散的气泡形式存在,只有在气泡聚合到一定程度,达到较高的含气饱和度时,才开始形成单独的气相流动,即泡沫油存在较高的临界含气饱和度;同时,气泡分散在原油中流动,油气两相中气相的相对渗透率极低,气体呈非连续相流动,导致地层压力下降缓慢,冷采开采时间延长。

超重油油藏水平井泡沫油冷采开发呈现“三段式”开发特征,即弹性开采阶段、泡沫油流阶段以及油气两相流阶段。泡沫油流阶段,地层压力处于拟泡点和泡点压力之间,由于泡沫油的形成,生产气油比较低;油气两相流动阶段,泡沫油中的分散气泡开始大量聚并,生产气油比快速上升,产量递减加大(图 10)。

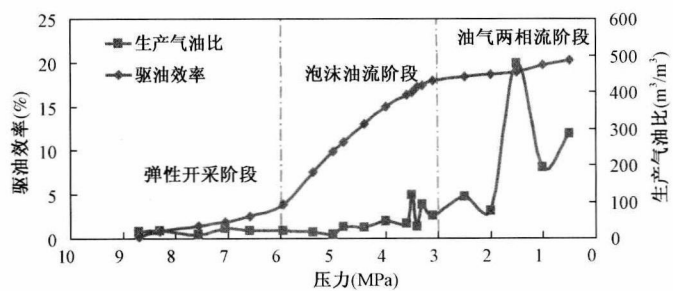


图 10 泡沫油驱替特征曲线

1.5 加拿大油砂 SAGD 开采技术

1.5.1 油砂地质特征

加拿大油砂主要分布在阿尔伯达省北部的阿萨巴斯卡、和平河与冷湖三个地区,含油面积 10.08×10^4 km²,原始地质资源量达 2720×10^8 t。中国石油目前在阿萨巴斯卡地区拥有麦凯河油砂区块 100% 的权益和道沃油砂区块 60% 的权益。两区块总面积约 1360km²,原始地质资源量约 117×10^8 bbl,可采资源量约 50×10^8 bbl。两个区块主要目的层均为白垩系 McMurray