

第十五届五省（市、区）
稠油开采技术
论文集

陈 壁 夏庆龙 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

第十五届五省（市、区） 稠油开采技术论文集

陈 壁 夏庆龙 主编

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

第十五届五省(市、区)稠油开采技术论文集 / 陈壁, 夏庆龙主编.
—北京: 中国石化出版社, 2010. 10
ISBN 978-7-5114-0597-5

I. ①第… II. ①陈… III. ①稠油开采 - 文集
IV. ①TE355.9-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 187452 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010)84271850

读者服务部电话: (010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京金明盛印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 35 印张 860 千字

2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

定价: 138.00 元

《第十五届五省（市、区） 稠油开采技术论文集》 编 委 会

主 编：陈 壁 夏庆龙

副主编：魏洪涛 王中雪 杨学文 陈韶生

曾光明 张绍东 廖前进

编 委：苏彦春 刘义刚 熊明华 胡小房

王继耀 王 影 常 虹 姚 霞

杨立杰 秦宝艳 张菊英 沈 琴

前 言

我国稠油资源丰富，在松辽盆地、二连盆地、渤海湾盆地、南阳盆地、苏北盆地、江汉盆地、四川盆地、珠江口盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地、吐哈盆地等盆地中发现了数十个稠油油田，这些稠油油田主要集中在辽河油区、胜利油区、克拉玛依油区、河南油区及渤海湾油区。稠油油藏具有规模较大、陆相沉积的特点，油藏非均质严重，地质构造复杂，而且油藏类型多，油藏埋藏深，同时由于沥青胶质含量高，黏度高，流动困难，开采难度很大。

我国石油科技工作者通过不断努力，已经在稠油开采方面取得了令人瞩目的进步，形成了可观的稠油产量贡献。特别是近几年，过热蒸汽吞吐、水平井稠油热采、水平井重力辅助火烧油层、深层稠油开发等稠油开发新技术新领域不断取得进展。为了总结近几年稠油油田的研究成果和实践经验，进一步促进我国稠油油田开发技术发展，在中国石油学会的大力支持下，由天津、辽宁、河南、新疆、山东五省(市、区)石油学会共同主办，天津市石油学会承办，在天津滨海新区组织召开了第十五届“五省(市、区)稠油开采技术研讨会”。本次大会得到了中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司等相关单位的积极响应，专业技术人员踊跃投稿 186 篇，经专家审核筛选出 96 篇集结成册，公开出版，并从中优选 76 篇论文进行会议宣读和交流。这些论文涵盖机理研究、油藏工程设计、开发效果评价、热采工艺、钻完井工艺等，较全面地反映了我国目前稠油油田开发的技术水平和主要发展方向。

相信本次研讨会的召开和论文集的出版，将会有力地推动我国稠油开发技术进步，为中国石油工业作出更大的贡献。

目 录

油藏工程类

海上边底水稠油油藏水平井提液增油优化研究	范海燕(3)
渤海南堡 35 - 2 油田稠油热采研究	刘小鸿, 张凤义, 黄颖辉(9)
渤海稠油油田开发效果评价及分析	任晓宁, 牟春荣, 李其正, 刘英宪(13)
准确获取 CMG STARS 模拟器中油气组分摩尔分数场的新方法	李彦来, 康凯, 苏彦春, 李其正, 张彩旗, 刘玉娟(19)
常规稠油油藏初期产能分布规律的灰色关联分析	刘洪杰, 戴卫华, 邱婷(23)
稠油油藏储层动用半径计算方法研究	罗宪波, 赵春明, 刘英(29)
厚层稠油油藏水平井分层系开发探索	王月杰, 张迎春, 祝晓林, 李玉勇, 金宝强, 宋洪亮(32)
渤海已开发典型稠油油田蒸汽吞吐地质油藏工程及配套工艺技术研究	冯毅, 王志刚, 陈舟圣(37)
底水疏松稠油油藏水平井蒸汽吞吐研究试验	付学强, 孙连杰, 杨静, 曹小梅(48)
注水开发稠油藏大孔道发育特点及其治理	王占良, 于小玲, 宫志强(52)
海上强底水稠油油藏开发生产方式优化研究	余茂生, 赵连水, 杨莉, 汪芸, 黄国梁, 聂同建(58)
稠油油藏工业化转驱后地质研究	林中阔, 李艳玲, 韩淑兰, 方坤, 郑阳, 雷霄雨, 迟红霞(67)
海 31 块普通稠油油藏提高采收率技术研究及应用	肖传敏, 曲波(72)
厚层稠油油藏叠置水平井二次开发实践	龚姚进, 孙洪军, 户昶昊, 李培武(79)
曙光油田改善水平井开发效果对策研究及应用	向进(84)
杜 84 块薄互层油藏吞吐后期储层特征及剩余油分布研究	乔小平(90)
互层状超稠油开发对策研究与应用	龚玉虎(95)
曙光油田普通稠油改善开发效果对策初探	贾海舰(102)
辽河油田稠油油藏转换开发方式的研究	付玉红, 何定海(108)
薄层稠油水平井开发技术研究	赵辰军, 王平(114)
薄层稠油油藏开发中后期完善井网研究及实施效果	张文杰(119)
锦 45 块蒸汽吞吐中后期持续稳产配套技术	隋怡冰(125)
五十家子庙洼陷岩性油藏分布规律研究	朱世娇(129)
新疆油田稠油热采井固井完井技术	翟亚锋, 张新文, 郭建军, 郭新超, 牛建梅(134)

大尺寸套管段铣及扩孔技术在 SAGD 井的应用

..... 王虎, 臧传贞, 程剑峰, 周攀, 白新军(141)

SAGD 水平井均匀注汽工艺及现场应用分析 陈森, 窦升军, 游红娟(146)

准东深层稠油开采工艺研究与试验 石彦, 刘卫东, 陈新志, 王惠清(151)

反渗透水处理工艺在新疆油田 SAGD 稠油热采实验项目中的应用分析

..... 吴丽萍, 姜传方, 朱汉青(155)

吐哈深井稠油油藏压裂改造技术研究 刘建伟, 隋阳, 刘海廷, 张斌(163)

新疆稠油火驱技术发展展望 顾鸿君, 程宏杰(168)

某稠油井 88.9mm 油管挤毁原因分析及试验研究

..... 吕拴录, 骆发前, 苑胜利, 楼文钦, 何君, 李元斌, 杨成新, 聂采军, 杨相同(172)

稠油净化水集中软化站污水回收技术的研究与应用 杨旭东, 戴玉良, 王思玉(181)

超深特稠油开采技术 王刚, 赵普春, 陈华强(184)

风城超稠油双水平井 SAGD 循环预热阶段调控及初步认识 刘名, 马哲斌, 杨果(191)

高干度和过热锅炉在稠油热采当中的应用及注汽锅炉的发展方向

..... 王玉新, 吴丽萍, 陈波, 李明(196)

浅薄层特稠油过热蒸汽驱开发研究与试验

..... 关群丽, 高孝田, 费永涛, 黄磊, 李星, 胡德鹏(200)

特超稠油过热蒸汽开采机理及现场试验 高孝田, 孙鹏, 李星, 胡德鹏(206)

特浅层超稠油油藏直井和水平井组合驱技术研究 李晓娜, 费永涛, 陈清湘(211)

稠油油藏注蒸汽开采后期转热水驱可行性研究 石晓渠, 贾胜彬, 马道祥(216)

单家寺稠油油藏水平井开发提高储量动用率研究与应用 ... 孙洪卫, 朱孟高, 刘龙军(223)

精细储层格架研究, 利用水平井开发薄层稠油油藏——以王家岗油田王 140 区块为例

..... 黎莉(229)

乐安油田草 27 馆陶超稠油油藏水平井开发方案优化研究 赵凯(234)

长堤油田常规底水稠油油藏水平井开发实践与认识

..... 王家在, 冯斌, 马永达, 晋晚会, 何富强(240)

桩斜 139 深层稠油油藏特高含水期剩余油分布研究

..... 何富强, 张伟涛, 马永达, 肖玮, 王家在(246)

蒸汽吞吐后期汽窜抑制技术探讨 刘延坡, 秦世群, 刘晓军(253)

水平井技术在金家油田敏感性稠油油藏的应用 朱建军, 唐述凯, 李凤艳(256)

东胜公司稠油油藏热采工艺现状及对策 王伟琳, 张洪生(260)

采油工艺类

多元热流体热采技术在渤海南堡油田的应用研究 ... 刘义刚, 邹剑, 孙永涛, 唐晓旭(269)

渤海稠油油田提高水驱效率技术研究与应 刘义刚, 张岑, 邹剑, 卢祥国(276)

埕北油田热采井(A32h 井)注采一体化工艺技术探索

..... 邹剑, 刘义刚, 阮新芳, 刘志龙(286)

NB35 -2 油田稠油热采防砂管适应性评价实验研究

..... 朱春明, 张海龙, 刘新锋, 高彦才, 王圣虹(292)

TCP、PCP 电加热与 APR 三联作工艺在渤海稠油测试中的应用

..... 卢中原, 赵启彬, 施洋(300)

高温稠油降黏剂技术研究 林文兴, 任奕, 郑文博(304)

渤海油田稠油催化降黏技术研究 孟科全, 史斌, 黄波, 陈维余, 乔砚佳(308)

稠油开采中材质的热膨胀对紧密配合影响的研究

..... 马认琦, 孔学云, 杨志国, 包陈义(312)

稠油热采井防砂绕丝筛管热应力分析 刘正伟, 解广娟, 张明(317)

侧钻水平井配套中心管采油技术开发底水稠油油藏 姚玉华, 张栋, 尹有雨(322)

大港高凝稠油油田地面建设模式优化研究 邹晓燕, 项勇, 王建伟, 高维刚(334)

曙光油田稠油水平井解堵技术研究应用 沈文敏, 黄慧, 刘宇书(339)

大排量注汽锅炉在 SAGD 注汽中的应用 马佐儒, 安若华, 马立平(344)

蒸汽驱注汽井口配套堵塞装置的研制 陈鹏, 刘佳欣(350)

杜 84 块 SAGD 双水平井循环预热工艺技术研究 刘欢(353)

应用氮气助排工艺提高稠油井开采效果 韩松(357)

化学辅助稠油开采技术的研究与应用 刘广友(362)

水平井氮气化学驱油技术研究与应 魏波, 郭丽娜(368)

稠油水平井点滴降黏技术 文健(372)

波纹管防砂筛管的研究与应用 吴洪举(377)

深层变质岩储层压裂改造技术 张军(383)

火驱采油技术在杜 66 北块的应用 陈和平(388)

新防偏磨优化设计软件的研制与应用 王君(395)

百重 7 井区克上组油藏水平井与直井组合断续汽驱试验研究与实施

..... 郭新华, 徐雄, 席长丰(398)

九₆ 区齐古组特稠油油藏注蒸汽开发前后储层物性变化规律研究

..... 陈珂, 黄伟强, 黄嵩, 吕道平, 陈宏飞, 凌云(403)

克拉玛依油田Ⅲ类砾岩稠油油藏吞吐中后期剩余油分布规律及加密调整研究

..... 涂超, 朱增强, 梁向进, 张国军(410)

克拉玛依油田浅层稠油油藏整体高温封堵、调剖技术适应性及改进方法探析

..... 彭通曙, 郑爱萍, 王利华(415)

水平井在六、九区地面占用稠油储量中的研究与应用

——以克拉玛依油田六东区克下组油藏为例 ... 张卫国, 李小华, 陈宏飞, 朱增强(422)

稠油开发合理井距与吞吐有效加热半径的对应关系 马鸿, 董宏, 高亮(428)

稠油油藏蒸汽驱中后期储层变化规律及剩余油富集规律研究 ... 戴翔, 廖静, 高祥录(434)

网格尺寸对数模结果影响的探讨 任香, 高祥录, 刘莉, 杨柳(439)

过热蒸汽在风城浅层超稠油吞吐开发中的应用 肖见, 赵长虹, 张建兵, 李建新(442)

稠油常采区块低成本调剖技术研究 王雷绪, 余倩, 燕收广, 吕兆雷(448)

隔热套管完井及注采工艺研究 岳慧, 查旋, 刘花军(460)

- 河南油田稠油井整体固化固井技术研究与应用 … 张鹏伟, 薛松雨, 蔺红军, 邹玉兰(465)
- 稠油开发水平井生产测井技术应用 …………… 李志远, 贾胜彬, 郑书东(472)
- 氮气泡沫抑制稠油油藏边水技术现场应用研究
…………… 王书林, 李晶, 翁春艺, 党兴军, 谢滔(477)
- 纳米多功能调剖驱油体系研究 …………… 张清军, 罗全民, 郝立军, 马道祥, 谢滔(481)
- 稠联污水回用锅炉技术研究与应用 …………… 张燚(486)
- 特超稠油过热蒸汽热采新技术研究与应用 …………… 吕燕芳(490)
- 新疆排 601 区块浅薄层超稠油油藏水平井开发工艺技术
…………… 尚跃强, 王志敏, 栾智勇, 沈静, 张紫军(496)
- 稠油油藏蒸汽化学驱三维物理模拟实验研究 …… 刘冬青, 曹嫣嫔, 王善堂, 蔡文斌(504)
- CO₂ 与胜利稠油相互作用微观机理研究 …………… 曹嫣嫔, 唐培忠, 王善堂, 林吉生(509)
- 稠油油藏吞吐中后期改善开发效果技术研究
…………… 马爱青, 曲丽, 屈人伟, 陈景军, 唐培忠, 王善堂, 刘艳平(513)
- 稠油热采水平井注蒸汽四参数测试技术研究
…………… 吴国伟, 刘明, 李友平, 姜泽菊, 王来胜(519)
- 热采水平井均匀注汽工艺技术推广应用
…………… 逯国成, 戴宇婷, 李彦尊, 李淑兰, 李啸南, 张鹏(524)
- 胜利单 56 超稠油油藏蒸汽驱先导试验 …………… 盖平原, 宋文芳, 邹斌(528)
- 胜利胜坨油田氮气伴注蒸汽吞吐工艺技术
…………… 尹凤利, 于同印, 许建华, 吴东磊, 王波(538)
- 孤岛油田东区 Ng6 特稠油油藏油水分布控制因素研究 …………… 崔卫东(545)

油藏工程类

海上边底水稠油油藏 水平井提液增油优化研究

范海燕

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津塘沽 300452)

摘 要 曹妃甸 11-1 油田位于渤海西部海域, 油田主力产层之一的明化镇组油藏为边底水稠油油藏, 以水平井开发为主。油井投产后, 含水上升快, 产量递减大。为保持油田稳产, 提液是一种既经济又易操作的增油措施。从设备条件、油藏条件以及对采收率的影响三个方面研究水平井提液的可行性。优化提液时机、确定合理生产压差、优选提液措施井。研究结果显示, 边底水油藏水平井的提液时机以及幅度不影响最终采收率; 含水较低的时候提液, 增油效果较好; 增加稠油油藏水平井的生产压差, 在一定程度上可以提高单井产能。低含水时, 产能较高的井的提液增油效果大大好于产能较低的井, 在高含水时提液, 不同产能的水平井提液增油效果差别不大。综合考虑海上设备处理能力、增油效果等, 对海上边底水稠油油藏水平井提液增油进行优化, 为油田生产提供指导。

关键词 水平井; 提液; 边底水油藏; 海上油田; 稠油

引言

曹妃甸 11-1 油田位于渤海西部海域, 油田产层为明化镇组和馆陶组油藏, 其中, 明化镇组油藏为稠油边底水油藏。油田以水平井开发为主, 油井投产后, 含水上升快, 产量递减大。为了保持油田稳产, 提液是一种经济且易操作的增油措施。为了达到油田的最好开发效果, 同时使提液能取得最佳的增油效果。需对提液的可行性、提液时机、幅度、提液措施选井进行研究。在边底水油藏水平井不同产液量对采收率的影响方面, 国内外研究人员运用数值模拟以及推导理论公式等方法进行了大量的研究。关于边底水油藏水平井的提液时机、幅度、提液措施选井, 研究人员针对具体的油藏提出了不同的见解。针对曹妃甸 11-1 油田明化镇组油藏的特点, 考虑海上油田的特殊性, 利用国内外的研究成果, 结合油田实际生产数据, 对提液的可行性进行研究, 优化提液时机、提液幅度, 综合考虑增油效果以及设备处理能力, 优选提液措施井。曹妃甸 11-1 油田为渤海湾第一个以水平井开发为主的油田, 海上边底水稠油油藏水平井提液增油优化研究, 不仅对曹妃甸 11-1 油田的明化镇组油藏的生产具有指导意义, 而且对其他类似油田的开发生产也具有重要的借鉴意义。

1 提液可行性研究

为了提高油井的产量, 同时也要达到油田的最佳开发效果。从设备条件、油藏条件以及

作者简介: 范海燕(1975—), 女, 2004 年毕业于中国石油大学(北京)油气田开发工程专业, 硕士研究生, 现从事油田开发生产研究工作。E-mail: haiyan.fan@anadarko.com 或者 fanhy2@cnooc.com.cn

对采收率的影响等三个方面对曹妃甸 11-1 油田边底水稠油油藏提液的可行性进行了研究。

1.1 设备条件

曹妃甸 11-1 油田的生产井投产初期就下入大排量的泵生产, 泵的排量范围为 220 ~ 1600 m³/d。每口井均配备了变频器和永久式井下测量装置, 使电潜泵在宽幅排量下能够正常运行, 同时能够对井下压力、温度进行实时监测。可以对产液量进行实时调整。

曹妃甸 11-1 油田明化镇组油藏水平井采用砾石充填防砂。水平生产井生产压差最高的达到 6 MPa, 未发生出砂现象。

电泵设备以及完井方式为水平井提液提供了良好基础。

1.2 油藏条件

曹妃甸 11-1 油田明化镇组砂体具有较强的边底水能量, 油田投产后, 地层压力基本稳定在原始地层压力附近, 具有提液的物质基础。

明化镇组油藏的地饱压差大, 地饱压差在 3.5 ~ 4.6 MPa 之间, 具有较大的提液空间。

1.3 提液对采收率的影响

国际上很多学者做了边底水油藏水平井不同产液量对采收率的影响的研究。Zailai 和 Murphy^[1]通过数值模拟研究发现在相同的累产液条件下, 高液量生产比低液量生产会导致较低的采收率, 但是在相同的生产时间条件下, 高液量生产比低液量生产可以获得较高的采收率。Wang^[2]的研究结果显示, 对强水驱油藏, 产液量的高低不是影响采收率的主要因素, 但对于低黏度(0.95 mPa·s)、弱水驱油藏, 高液量会导致较低的采收率。Bakes^[3]等人的数值模拟研究结果显示, 最终采收率与产液量的高低无关。P. Permadi^{[4][5]}推导出底水油藏水平井见水后的累计产油量公式, 并在此基础上研究了底水油藏水平井不同产液量对采收率的影响。图 1 和图 2 分别为 P. Permadi 计算的不同产液量与累计产油量、采收率的关系图, 研究结果显示, 在相同的生产时间条件下, 高液量生产可以提高采油速度, 而最终采收率与产液量的大小无关。

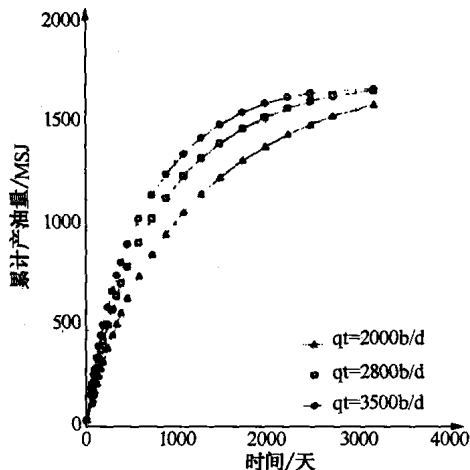


图 1 不同产液量下累产油与时间关系曲线

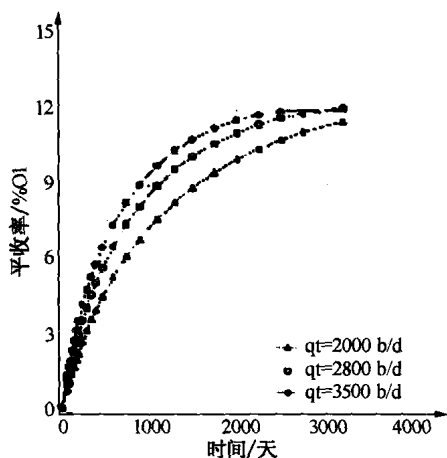


图 2 不同产液量下采收率与时间关系曲线

分析曹妃甸 11-1 油田明化镇组油藏水平井的实际生产数据, 图 3 为曹妃甸 11-1 油田明化镇组某砂体含水与采出程度的关系曲线, 图 4 为曹妃甸 11-1 油田产层为明化镇组油藏的某水平井的含水与累产油的关系曲线, 从图 3 和图 4 可以看出, 大部分油都是在含水较高

的阶段产出。边底水油藏水平井提液可能会导致油井含水上升快,但是由于绝大部分油是在高含水阶段产出,所以提液不影响最终的采收率。根据理论研究以及曹妃甸 11-1 油田的实际生产动态,从对最终采收率的影响方面考虑,边底水稠油油藏水平井提液是可行的。

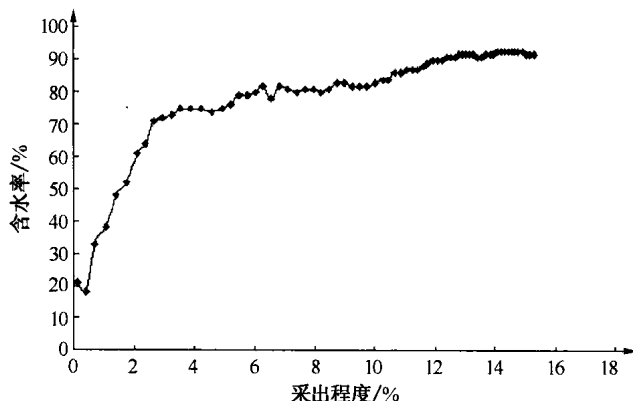


图3 曹妃甸 11-1 油田某砂体含水率与采出程度的关系曲线

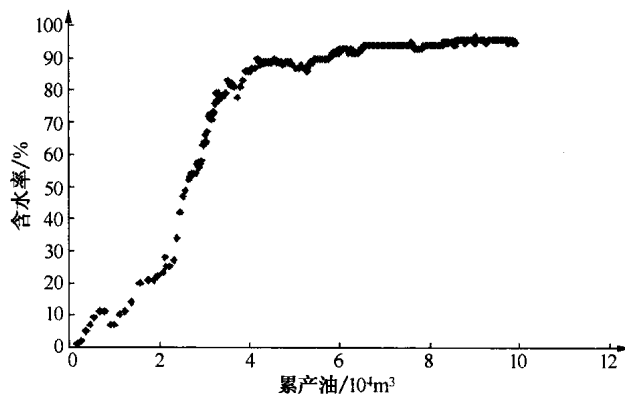


图4 曹妃甸 11-1 油田某水平井含水与累产油关系曲线

曹妃甸 11-1 油田的设备状况及地质油藏条件均满足提液要求,而且提液不仅可以保证油田稳产或者减缓递减,提高采油速度,而且不影响油藏的最终采收率。所以在曹妃甸 11-1 油田对边底水油藏水平井提液是经济可行的。

2 提液增油优化研究

曹妃甸 11-1 油田的提液增油优化主要包括三个方面:提液时机的优化、提液幅度的优化、措施选井的优化。

2.1 提液时机的优化

根据曹妃甸 11-1 油田单井实际监测的压力数据以及生产资料,计算单井无因次采油采液指数。图 5 为 A27H 井的实际生产的无因次采油采液指数,从图 5 可以看出当含水达到 55% 左右的时候,无因次采油指数有明显的降低,为保持稳产,须加大生产压差,提高产液量。根据无因次采油采液指数计算不同含水条件下提液的增油量及增水量,图 6 为在油井不同含水条件下增加相同的生产压差的初期增油量和增水量。从图 6 可以看出,当含水较低时,增油效果较好,当油井含水较高时,初期增油效果较差,产水量大量增加,增加了设备

处理的压力。在油井含水较低时提液,由于含水上升较快,增油有效期短,而在高含水时提液增油有效期较长。

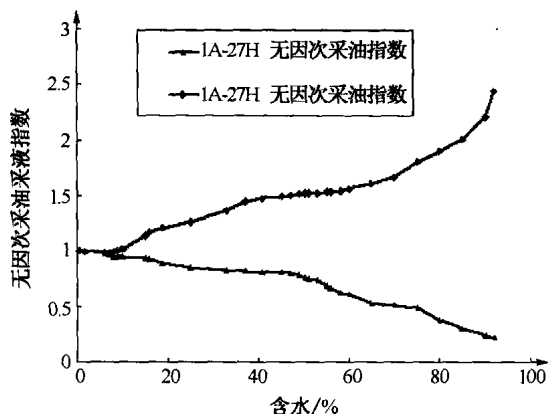


图5 A27H井无因次采油采液指数

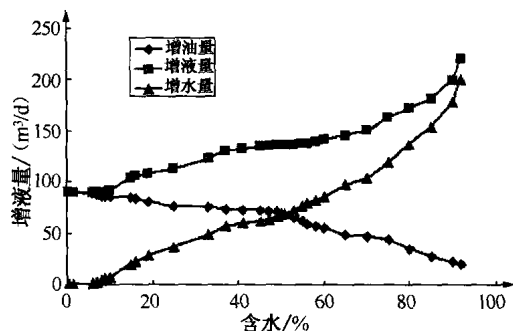


图6 A27H井不同含水条件下的增油量

Tingli Li^[6]等人通过数值模拟研究和分析油田的实际生产资料后发现,当油层厚度小于12m时,采用控制生产压差的方法来延缓底水突破是无效的。曹妃甸11-1油田明化镇组油藏水平井生产层平均厚度为11m,根据Tingli Li^[6]等人的研究结果,投产初期,控制生产压差并不能延缓底水突破时间。同时,曹妃甸11-1油田生产井的生产动态也显示,低压差生产并不能控制含水上升速度。油井投产后含水上升较快,产量递减大,需要放大生产压差提高产液量,以提高产油量。

考虑提液的增油效果以及控制含水上升速度两方面,曹妃甸11-1油田明化镇组油藏水平井最佳的提液时机是生产早期。

2.2 提液幅度的优化

由于稠油属于非牛顿流体,不遵循达西定律,存在启动压力。刘高波^[7]等人考虑稠油油藏的非牛顿流动特性,从三维空间理论推导出稠油油藏水突破前的水平井产能预测公式,公式如式(1)所示:

$$Q = \frac{\frac{K}{\mu B}(P_e - P_w) + \frac{K}{18\mu}G_0(L^2 + Lr_w) + \frac{1}{9} \times \frac{KL^2}{\mu}G_0 - \frac{1}{6} \times \frac{KL}{\mu}G_0\sqrt{L^2 + h^2}}{3\ln F - \ln\left(\frac{r_w}{2L}\right) - 2\ln\left(\frac{r_w}{2L}\right)^2} \times 12\pi L \quad (1)$$

$$\text{式中, } F = \frac{\sqrt{L^2 + h^2} - L}{\sqrt{L^2 + h^2} + L}$$

$$\text{而采油指数 } J_o = \frac{Q}{\Delta P}$$

根据式(1)得:

$$J_o = \frac{\frac{K}{\mu B} \times 12\pi L + \frac{\frac{K}{18\mu}G_0(L^2 + Lr_w) + \frac{1}{9} \times \frac{KL^2}{\mu}G_0 - \frac{1}{6} \times \frac{KL}{\mu}G_0\sqrt{L^2 + h^2}}{\left(3\ln F - \ln\left(\frac{r_w}{2L}\right) - 2\ln\left(\frac{r_w}{2L}\right)^2\right) \times \Delta P} \times 12\pi L \quad (2)$$

式中: K 为渗透率, μm^2 ; μ 为黏度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$; L 为水平段长, m ; h 为油藏厚度, m ; P_e 为

油藏边界压力, MPa; P_w 为井底压力, MPa; r_e 为油藏半径, m; r_w 为井筒半径, m; B 为体积压缩系数; J_o 为采油指数, $\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{MPa}$; ΔP 为生产压差, MPa; Q 为日产油量, m^3/d 。

根据公式(2), 计算曹妃甸 11-1 油田明下段某一砂体水平井采油指数与生产压差的关系, 如图 7 所示。从图 7 可以看出, 在油井见水前, 稠油油藏水平井存在一个临界生产压差, 当生产压差小于临界生产压差时, 产能随着生产压差的增加而增加, 当生产压差超过临界的生产压差时, 产能几乎不再随生产压差的增加而增加。对于稠油油藏, 由于生产压差加大, 能够克服阻力参与流动的流体增加, 累产油量也会得到提高。Tingli Li^[6] 等人通过数值模拟研究发现, 稠油油藏适合采用大压差生产, 生产压差越大, 累产油量越高。所以, 油井见水前, 适当的增加稠油油藏水平井的生产压差不仅可以提高单井产油量, 而且可以释放油井产能, 增加累产油量。而当油井见水后, 综合考虑水平井的生产状况、产能需要以及设备处理能力优化提液幅度。

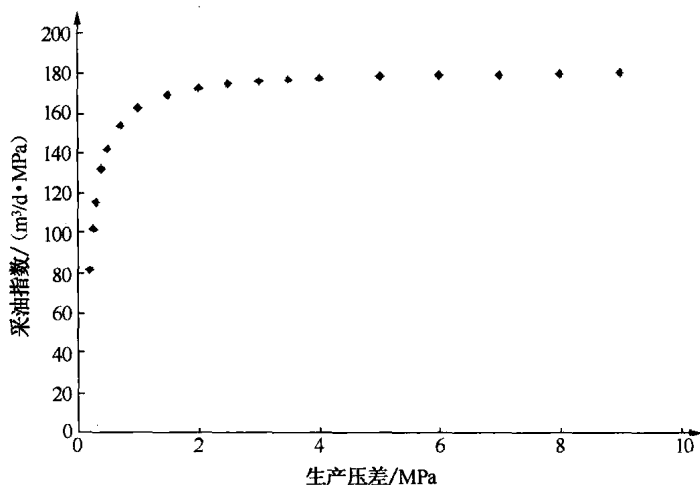


图 7 曹妃甸 11-1 油田稠油油藏水平井采油指数与生产压差关系曲线

2.3 提液措施选井的优化

分析曹妃甸 11-1 油田不同产能水平井在增加相同生产压差的情况下的提液效果, 图 8 为在同一含水条件下, 不同产能水平井的提液增油效果, 从图 8 可以看出, 在相同含水条件下, 产能高的井增油效果较好, 产能低的井增油效果较差, 但是产能高的井同时会增加更多的水量。图 9 为不同含水条件下, 不同产能水平井提液增油效果, 从图 9 可以看出, 在增加

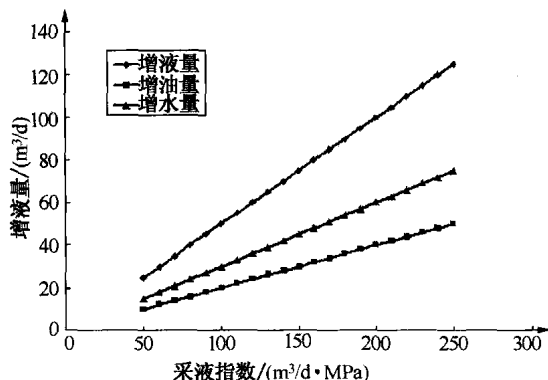


图 8 相同含水情况下采油指数与增油量关系曲线

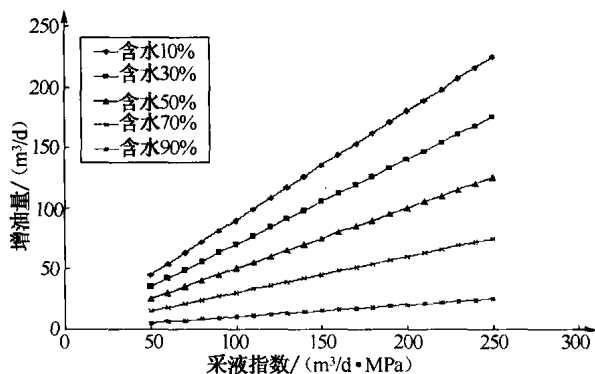


图 9 不同含水条件下采油指数与增油量关系曲线

相同生产压差的情况下,在低含水阶段,产能高的井的提液效果远远好于产能低的井,但是在特高含水阶段(含水大于90%),产能高的井的提液效果与产能低的井的提液效果差别不大,产能高的井反而会增加更多的水量。由于海上设备处理能力的限制,在低含水阶段优先选择高产能井进行提液,而在特高含水阶段,优选产能较低的井进行提液。

3 结论与建议

(1) 边底水油藏水平井产液量的高低不影响最终采收率,生产早期提液可以提高采油速度。

(2) 油井含水较低的时候,提液初期的增油效果较好。

(3) 适当提高稠油油藏水平井的生产压差,可以提高产能。

(4) 在低含水阶段,高产能井的提液增油效果要好于产能较低的井,但是在特高含水阶段,产能高的井提液增油效果与产能低的井提液增油效果差别不大,产能高的井会增加更多的水量。

(5) 曹妃甸11-1油田明化镇组油藏不仅具备提液的油藏条件,也具备提液的设备条件。建议油井投产初期即适当放大生产压差生产,以提高采油速度及满足产量的要求。考虑海上设备处理能力的限制,优先选择含水较低的井提液,尤其是含水低、产能高的井。由于曹妃甸11-1油田大部分井含水都大于90%,在特高含水井中,建议优先选择产能低的井进行提液。

参 考 文 献

- 1 Zagalai, B. M. and Murphy, P. J.: "Reservoir Simulation of Horizontal Wells in the Helder Field," JPT(August 1991), 906
- 2 Wang, B.: "A Parameter Study of Gas and Water Coning in Vertical and Horizontal Well," Paper IPA 91 - 21.02, Proceedings Indonesian Petroleum Association, 20th Annual Convention, Jakarta, Oct. 1991, 225
- 3 Bakes, P. A., Robb, D. W., Rasmunssen, C. J. and Tracy, K. F.: "Horizontal Wells in Yemen make a Marginal Field Economical," paper SPE 37058 presented at the 1996 SPE International Conference on Horizontal Well Technology, Calgary, Canada, Nov. 18 ~ 20
- 4 Permadi, P.: "Fast Horizontal - Well Coning Evaluation Method," paper SPE 37032 Presented at the 1996 SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference, Adelaide, Australia, Oct. 28 ~ 31
- 5 Permadi, P.: "Effect of Drainage Area and Production Rate on Horizontal - Well Oil Recovery in Bottom Water Drive Reservoirs," paper SPE 39557 Presented at the 1998 SPE India Oil and Gas Conference and Exhibition held in New Delhi, India, Feb. 17 ~ 19
- 6 Tingli Li, Lizheng Ge: "Research for Horizontal Well Reasonable Drawdown Pressure of Heavy Oil Reservoir with Bottom Water," paper SPE 136730 Presented at the CPS/SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition in China held in Beijing, China, 8 10 June 2010
- 7 刘高波,等. 宾汉流体型稠油油藏水平井产能预测新方法[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(6): 61 ~ 63