

第十六届五省(市、区) 稠油开采技术论文集

(上册)

霍进 主编

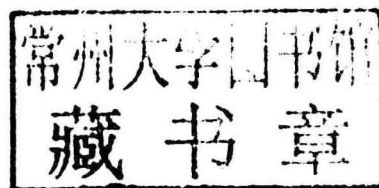


16

石油工业出版社

第十六届五省（市、区） 稠油开采技术论文集 （上册）

霍 进 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

此论文集总结了近几年国内稠油开采的技术成果和实践经验,主要文章来自新疆、辽河、山东、河南、天津五省(市、区),内容涵盖油藏工程、钻完井工艺、采油工艺技术、地面工程技术、信息及其他技术等内容。

此书可供国内油田、石油院所和院校相关人士参阅。

图书在版编目(CIP)数据

第十六届五省(市、区)稠油开采技术论文集(上册)/霍进主编.
北京:石油工业出版社,2013.7
ISBN 978-7-5021-9620-2

I. 第…

II. 霍…

III. 稠油开采-中国-文集

IV. TE355.9-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第120678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) 64523589 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2013年7月第1版 2013年7月第1次印刷

880×1230毫米 开本:1/16 印张:28.75

字数:845千字

定价:196.00元(上、下册)

(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

《第十六届五省（市、区）稠油开采 技术论文集》编委会

主 编：霍 进

副主编：徐洪德 陈韶生 魏洪涛 陈业泉

李军营 樊玉新 何 周 孙新革

魏新春

编 委：胡小房 杨宗霖 王继耀 常 虹

姚 霞 周 江 张利明 桑林翔

杨兆臣 刘 勇 蒋能记 陈 超

白鹤仙 陈迪芳 袁 笠 黄国营

前 言

我国稠油资源开发始于 20 世纪 80 年代，随着国家对油气需求的增长，石油工业发展快速、稠油油藏开发水平不断提高、工艺技术取得了长足进步，稠油开发领域向更稠、更深、更难的方向发展。尤其是“十一五”以来，稠油开发技术攻关成效显著，在水平井开采技术、SAGD 技术、超稠油集输技术、注汽工艺、热能综合利用等方面取得了突破性进展，形成了特色开发配套系列技术，使稠油开采技术迈上了新台阶。

五省（市区）稠油开采技术研讨会作为总结交流稠油开发先进技术和经验、研讨解决制约稠油开发的瓶颈技术、共商稠油开采技术发展方向的重要平台，在油田开发技术领域展现出了强大的影响力和生命力，并发挥着越来越重要的作用。

为总结近几年国内稠油开采的技术成果和实践经验，促进我国稠油开发技术发展，在新疆油田分公司的大力支持下，由新疆、辽河、山东、河南、天津五省（市、区）石油学会共同主办，新疆维吾尔自治区石油学会承办，新疆油田分公司风城油田作业区协办了第十六届“五省（市、区）稠油开采技术研讨会”。本次会议在中国石油启动“新疆大庆”建设、中国石油新疆油田分公司打造现代化大油气田和风城油田建设 400 万吨超稠油生产基地的关键时期召开，得到了各相关单位专业人员的积极响应。中国石油、中国石化、中国海油和中国地质大学等 20 多个兄弟油田单位的领导及专家共计 228 人次参加了本次研讨会，汇集了我国稠油开采方向的技术精英和骨干，是有史以来参会人数最多、规模最大的一届盛会。

本次会议共收到论文 239 篇（其中会议发言论文 71 篇），经专家审核筛选出 182 篇论文，集结成上、下两册（上册 81 篇、下册 101 篇）。该论文集内容涵盖油藏工程、钻完井工艺、采油工艺技术、地面工程技术、信息及其他技术等，较全面地反映了目前我国稠油开发技术的水平和主要发展方向，对增强国内稠油开发技术交流、加速我国稠油资源有效开发具有重要意义。



2013. 2.

目 录

油 藏 工 程

风城浅层超稠油蒸汽吞吐开发规律研究	赵长虹 赖 年 方雪莲 (3)
灰色关联度分析在超稠油油藏效果评价方面的应用	何 强 吕柏林 姜 涛 等 (11)
井间电位监测技术在重 32 井区超稠油油藏地表汽窜治理中的应用	李建新 赵慧龙 张 宇 (15)
氮气辅助蒸汽吞吐在重 32 井区超稠油水平井开发中的应用	赵慧龙 李建新 熊 伟 (18)
风城油田重检 3 井区齐古组低阻超稠油油藏稳产方案研究	张 宇 何 强 龙 东 等 (22)
浅层超稠油油藏地表汽窜地下高温封堵治理研究及应用	李建新 赵长虹 何 强 (26)
浅层超稠油油藏小井距蒸汽驱开发效果	李建新 赵长虹 赵慧龙 (32)
直井吞吐产能经验公式推导及应用	吕柏林 余奕青 乔书红 等 (36)
风城超稠油双水平井 SAGD 启动阶段控制技术研究与实践	刘 名 苏长强 邵一臻 等 (41)
风城超稠油油藏双水平井 SAGD 开发技术研究	霍 进 樊玉新 魏新春 等 (45)
精细地质建模技术在双水平井 SAGD 开发中应用——以重 37 井区 SAGD 试验区为例	杨 果 吕柏林 李 婷 等 (52)
浅层超稠油双水平井 SAGD 注采调控技术跟踪研究	邱 敏 马 鑫 成永强 等 (57)
稠油火驱产出气分析方法建立及优化	牛 丽 韩晓强 吴维彬 等 (62)
准噶尔盆地浅层稠油的细化分类与地质意义	喻克全 马 鸿 张家浩 (68)
水平井分层系开发厚层稠油油藏实践	张迎春 汪 超 祝晓林 等 (73)
火山岩裂缝性稠油油藏合理开发方式研究——以枣 35 断块为例	胡廷惠 王庆魁 季 岭 (77)
蒸汽吞吐中热干扰的认识与控制	沈 晶 张卫东 张学斌 (83)
乐安稠油水平井蒸汽吞吐高温高压剖面在线测试研究	赵 凯 肖淑明 张丁涌 (89)
河南稠油蒸汽驱氮气泡沫调驱技术应用研究	毕长会 郝立军 罗全民 等 (94)
河南稠油油藏吞吐开发后期提高采收率技术对策	费永涛 关群丽 李 讴 (100)
浅薄层稠油油藏热采井下返封堵开采技术	陈俊国 杨 冰 程连文 (104)
浅薄层稠油油藏储层非均质性对蒸汽驱效果的影响	石晓渠 崔连训 贾胜彬 等 (110)
赵凹油田泌 304 区浅层砾岩稠油储量分类评价及应用	胡书奎 杨永利 姜建伟 (117)
泌浅 10 断块 IV9 层热化学驱注采参数优化研究	孙 鹏 关群丽 李 讴 (122)
锦 607 块综合治理工艺技术的研究与应用	陈文明 (126)
薄互层稠油油藏吞吐后期精细注汽研究与应用	王 杰 雒红梅 (130)
稠油藏蒸汽吞吐开发中后期高效开发技术	乌丽娟 韩 松 (133)
氮气泡沫调剖改善蒸汽驱开发效果技术研究	包虹玲 (137)
改善超稠油水平井开发效果技术对策研究	孙旭东 孟 强 (140)
厚层块状稠油油藏面积井网火驱试验效果跟踪研究	高 飞 (144)
辽河油田 SAGD 生产过程中储层变化及影响	于兰兄 荐 鹏 刘雨欣 (150)

钻完井工艺

水平井火驱辅助重力泄油钻井技术	路宗羽 张文波 刘颖彪 等 (159)
综合完井防砂配套技术在稠油油藏中的应用	林丽娜 (163)

采油工艺技术

风城浅层超稠油水平井开发实践与认识	赵长虹 赵慧龙 马哲斌 等 (171)
SAGD 高温光杆密封装置研制与应用	杨宇尧 童玉宝 王 宏 等 (178)
浅层超稠油双水平井 SAGD 开采配套技术研究	魏新春 杨宇尧 童玉宝 等 (182)
浅层超稠油水平井氮气泡沫冲砂工艺应用研究	张金钟 杨宇尧 李庭强 (187)
浅层超稠油水平井分段完井采油工艺技术应用与效果分析	张金钟 王建国 李新强 (191)
SAGD 高温修井作业探讨	朱 峰 王建国 王奎举 等 (197)
新疆油田 SAGD 井区高温大排量有杆泵举升工艺技术研究与应用	黄晓东 袁新生 张 辉 (201)
重 32 井区超稠油水平井优化设计及注汽参数优化探讨	木合塔尔 段 畅 杨 柳 等 (206)
浅层稠油高温金属叶片泵应用研究	马天伟 王 进 杨 洪 (210)
浅层稠油抽油机井举升增效系统研究与应用	梁疆岭 江 莉 马天伟 等 (215)
浅层超稠油油藏注汽吞吐出砂规律及防砂方法研究	李 刚 张承春 苏宏益 (222)
鲁克沁东区深层超稠油超临界蒸汽吞吐工艺技术研究及矿场试验	王 柳 陆俭 贺永殿 (228)
玉东超深层稠油气水交替驱参数优化研究	孙欣华 王斌文 王伟胜 等 (233)
海上薄层稠油水平井多元热流体热采技术研究与应用	林 涛 孙永涛 孙玉豹 (239)
多元热流体提高采收率机理及其影响因素	许万坤 刘小鸿 戴卫华 (242)
海上稠油多元热流体吞吐注入参数多因素优化研究	姜 杰 李敬松 祁成祥 (251)
渤海稠油油田氮气泡沫调驱技术研究	贾晓飞 马奎前 刘建中 等 (256)
渤海稠油油田提高采收率技术应用探讨	王成胜 易 飞 翁大丽 等 (262)
化学蒸汽驱提高采收率机理研究	吴光焕 孙建芳 唐 亮 等 (268)
T82 稠油区块注汽高压低效热采井治理及效果评价	于同印 张 韬 岳行行 (274)
蒸汽吞吐油藏氮气泡沫调剖技术适应性研究	张仲平 郝婷婷 (278)
排 601 区块浅层超稠油水平井蒸汽驱配套工艺	翟 勇 赵晓红 梁智勇 等 (283)
薄互层稠油油藏压裂防砂工艺的优化应用	王言涛 李夏赞 张 斌 (287)
河南浅层稠油油藏氮气辅助热处理技术研究及应用	陈彩云 勒青青 (293)
小断块普通稠油高效聚合物驱跟踪调整技术及应用——以河南古城油田泌 124 断块下层系为例	李 星 费永涛 关群丽 (300)
河南油田浅层稠油水平井技术应用	张庆良 魏柏林 张 娜 等 (304)
浅薄层特稠油过热蒸汽驱生产特征及跟踪调整技术研究	石晓渠 崔连训 张红霞 (311)
稠油强启闭抽油泵的研制	侯双亮 (317)
杜 229 块水平井循环预热技术研究与应用	张国禄 (320)
深层稠油热采井筒隔热技术研究与应用	张新委 (325)
SAGD 有杆泵举升杆柱专用脱接技术	王文钢 (330)

地面工程技术

风城超稠油集输处理技术攻关研究	刘俊德 孙 森 胡新玉 (335)
-----------------------	-------------------

风城超稠油破乳脱水技术研究及应用 刘东明 胡新玉 刘俊德 (344)

膜过滤装置在稠油污水处理中的效果分析 郑小林 陈兆录 王 浩 (350)

超稠油掺柴油降黏脱水技术研究及应用 孙晓冬 刘东明 欧阳建利 (357)

高含油污水旋流除油技术研究及应用 欧阳建利 窦玉明 马占江 (365)

SAGD 采出液含水率误差分析及测定技术研究 王 亮 李 婷 肖 见 (372)

新疆油田风城超稠油污油热化学处理技术研究 孙 森 王 亮 孙晓冬等 (380)

油田注汽锅炉燃烧器对比及研究 李 明 吴丽萍 张江斌等 (386)

风城稠油高温净化污水回用注汽锅炉效果分析与应用 吴丽萍 朱汉青 刘贤平等 (392)

风城油田过热注汽锅炉规模化应用研究 吴丽萍 赵建华 洪立江等 (397)

稠油采出水回用锅炉配套技术研究与应用 丁万成 王卓飞 雷兴中等 (404)

反渗透水处理技术在稠油热采项目中的应用 刘永学 戴玉良 张洧国 (410)

稠油超声波破乳技术研究在现场试验 雷齐玲 葛红江 卢向萍等 (415)

超稠油污水处理及综合利用技术 田鹏超 马达波 (420)

信息及其他技术

SAGD 试验区配套自动化研究与应用 蒋能记 蒋其斌 陆 兴等 (429)

红浅火驱产出气中有毒有害气体综合防治研究 孙 磊 黄继红 种新明等 (435)

风城油田 SAGD 先导试验区生产水平井压井时机 周 华 谢成洪 陈 森 (447)

油 藏 工 程

风城浅层超稠油蒸汽吞吐开发规律研究

赵长虹 赖 年 方雪莲

(新疆油田分公司风城油田作业区)

摘 要：风城超稠油油藏继 2007 年蒸汽吞吐开发试验后，2008 年在重 32 井区开展了工业性开发，随着新区不断投入，产能规模迅速扩大，至 2011 年风城超稠油总计投产油井 1430 口，产能规模 $146 \times 10^4 \text{t}$ ，其中蒸汽吞吐产能规模达 $136 \times 10^4 \text{t}$ 。随着蒸汽吞吐开发的深入，风城浅层超稠油显现出独特的开发规律及特征，相对于普通稠油周期生产时间短，平均只有 60 ~ 100 天左右，周期内生产变化呈现四段式，周期间生产效果先升后降等等。通过对该区浅层超稠油蒸汽吞吐开发规律的研究，进一步认识浅层超稠油开发规律及特征，为今后提高开发效果奠定基础，也为同类油藏的开发提供借鉴经验。

关键词：风城油田 浅层超稠油 蒸汽吞吐 开发规律

风城油田浅层超稠油油藏经过近 4 年的蒸汽吞吐规模开发，产能规模逐步扩大，后续仍将有几百万吨的产能投入。通过分析近几年吞吐开发中油井的开发规律，明确开发过程中的注汽特征，生产特征，变化规律，有助于进一步指导后续产能建设及改善吞吐开发效果，并为同类油藏的开发提供借鉴经验。

1 基本情况

风城油田位于准噶尔盆地西北缘北端，距克拉玛依区东北约为 130km，构造位于乌夏断褶带的夏红北断裂上盘中生界超覆尖灭带上，依次沉积了石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和局部古近系—新近系、第四系。超稠油油藏主要分布在下侏罗统八道湾组 and 上侏罗统齐古组。截至 2011 年底累计探明含油面积 56.98km^2 、地质储量 $13771.6 \times 10^4 \text{t}$ ，属于储层埋藏浅、孔渗性好、原油黏度高、地层能量低的超稠油油藏（表 1）。

表 1 风城油田侏罗系超稠油油藏投入开发区块油藏参数表

区块名称	重 32 井区				重 43 井区	重检 3 井区	重 18 井区	
层位	J ₃ q ₁	J ₃ q ₂	J ₃ q ₃	J ₃ q 平均	J ₁ b	J ₃ q	J ₁ b	J ₃ q
油藏埋深（m）	190	215	235	213.3	430	480	440	390
有效厚度（m）	18.8	12	8	12.9	9.8	9.1	10.2	8.7
孔隙度（%）	30.8	31.6	30.0	30.8	26.5	27.2	26.2	29.9
渗透率（mD）	4650	4173	1786	3536	421.07	1605	568	1605
含油饱和度（%）	68.9	69.0	67.0	68.3	73.19	57	65.2	65.6
50℃原油黏度（mPa·s）	22563	13741	12896	16400	19394	5300	11362	13650
原油密度（g/cm ³ ）	0.965	0.959	0.955	0.9597	0.9614	0.953	0.961	0.962
原始地层压力（MPa）	1.89	2.13	2.32	2.11	4.07	5.146	4.45	3.85
原始地层温度（℃）	16.37	16.92	17.36	16.88	21.01	22.78	22.4	21.3

风城超稠油 2007 年开始蒸汽吞吐热采试验, 2008 年正式投入开发, 截至目前已投入开发的有 4 个稠油区块, 全部采用蒸汽吞吐开发, 井型包括了直井和水平井, 且水平井实现了规模应用, 动用含油面积 14. 17km²、地质储量 3953. 8 × 10⁴t、可采储量 950. 4 × 10⁴t。

2 蒸汽吞吐开发规律分析

2.1 油井注汽特征

由于油藏埋深和储层物性的不同, 井口注汽压力表现也不同 (图 1), 埋深最浅、孔渗性最好的重 32 井区井口注汽压力最低, 平均在 5MPa 左右; 埋深最深、孔渗性也相对较差的重 3 井区井口注汽压力最高, 平均在 9.3MPa 左右。从注汽压力变化趋势来看, 都是先升高, 后平稳, 至末期略有下降。对于注汽平稳前的拐点压力称之为注汽启动压力, 随着埋深的增加, 注汽启动压力逐渐升高, 且所需时间也逐渐增加。

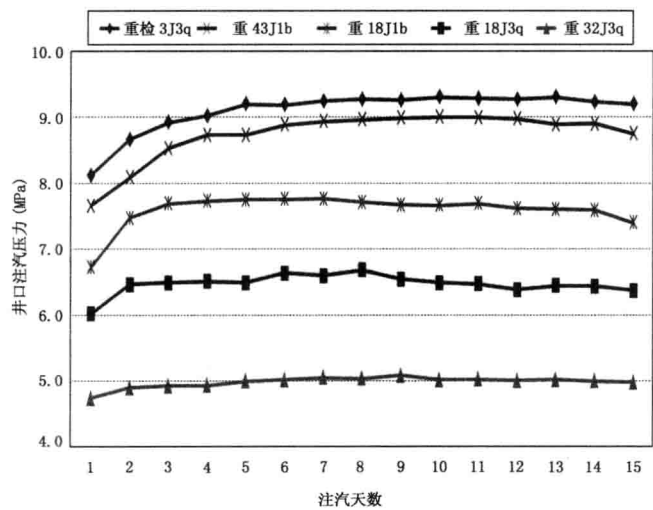


图 1 风城超稠油井口注汽压力变化曲线图

为温度和产液继续下降, 但下降幅度减缓, 含水开始升高, 产油水平开始下降, 是周期阶段主力产油期, 一般为挂抽初期, 时间一般为 20 ~ 50 天。第三阶段为平稳产油期, 该阶段生产相对稳定, 含水缓慢升高, 产液下降, 井口稳定逐步下降到产油临界温度左右, 是周期阶段第二个主力产油期; 该阶段因油井地质条件不同, 可能出现部分油井含水忽高忽低, 显示间歇性出油状态, 也是油井最主要排水期, 时间一般为 30 ~ 50 天。第四阶段为生产末期, 随着该轮注入蒸汽能量的减弱, 温度进一步下降, 原油流动性降低, 随着注入水逐步排空, 含水有所降低, 产量进一步下降, 基本处于油井待转轮时期, 时间一般为 10 ~ 25 天。投入开发各区块周期内生产随着油藏特性的不同也有所不同, 主要受储层物性和原油黏度影响较大 (表 2)。

2.2 周期内生产变化规律

从风城浅层超稠油蒸汽吞吐周期内生产规律及特征分析, 可将周期内生产划分为四段式 (图 2): 第一段高温排液期, 表现为高温、高含水、高产液, 且迅速下降, 产油水平高, 但时间短, 一般都为自喷期, 时间在 3 ~ 10 天左右。第二段快速递减期, 表现

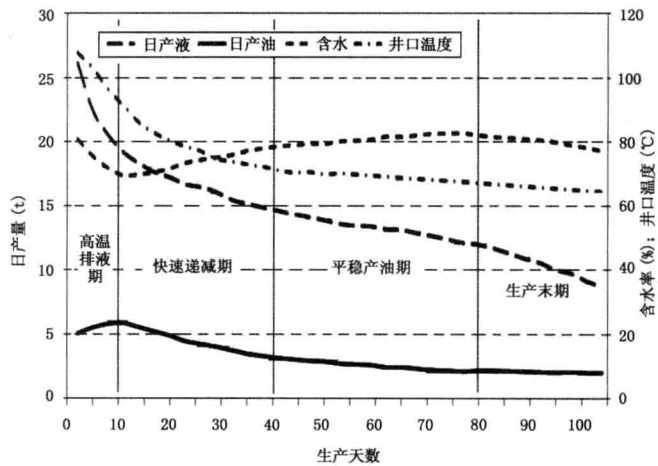


图 2 风城超稠油蒸汽吞吐周期内生产模式图

表 2 风城油田侏罗系超稠油油藏投入开发各区块周期内生产统计表

区块名称	层位	井型	高温排液期			快速递减期			平稳产油期			生产末期		
			时间(d)	日产油(t)	含水率(%)	时间(d)	日产油(t)	含水率(%)	时间(d)	日产油(t)	含水率(%)	时间(d)	日产油(t)	含水率(%)
重 32 井区	J ₃ q	直井	9	4.4	69.8	30	3.58	68.2	49	2.65	71	13	2.27	73.5
		水平井	14	10.0	70	50	8.3	62	43	5.8	66	10	4.8	69
重检 3 井区	J ₃ q	直井	11	3.4	80.6	45	2.3	74.1	56	1.51	75.3	14	1.27	76.8
重 43 井区	J ₁ b	直井	5	3.6	78.4	50	2.73	71.5	27	2.27	71.8	9	1.9	71.5
重 18 井区	J ₃ q	直井	6	8.4	61	32	3.5	71	54	1.6	83	9	1.1	87
		水平井	4	13.5	59	25	7.8	57	41	4.1	71	6	2.3	75
	J ₁ b	直井	5	9.5	63	34	3.9	65	49	2.2	76	8	2	79
		水平井	4	12.4	70	35	8.7	64	49	4.5	76	13	4.4	75

2.3 油井排液能力差，采注比低

风城地区原油具有黏度高，地层埋深浅，原始地层能量低的特点，使得油井在吞吐过程中排液能力差，采注比低于最佳值 1.0~1.2，地层大量存水必然会影影响后续注入蒸汽的加热半径，从而进一步影响采收率。目前整个油藏的累计采注比只有 0.85（表 3）。

表 3 风城油田侏罗系超稠油油藏不同井型采注比周期统计表

轮次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
直井	0.82	0.93	0.90	0.91	0.93	0.89	0.93	0.89	0.84	0.77	0.65
水平井	0.67	0.81	0.88	0.97	0.93	0.95	0.76	0.54	0.57	0.61	0.54

2.4 周期产量和生产时间变化规律

周期产液量和生产天数呈现很好的对应关系：直井表现为周期产液量和生产天数在 1~7 轮呈升高趋势，8 轮之后开始呈线性下降；水平井表现为 1~6 轮线性递增，7 轮之后快速递减（图 3）。直井周期产油量在第 2 轮最高，第 2 轮之后随着轮次增加呈现指数递减趋势；水平井在 1~6 轮逐轮递增，第 6 轮之后快速下降。直井和水平井表现出不同井型的各自吞吐生产特点，对于超稠油而言，第 1 轮注汽只能起到预热地层作用，直井在第 2 轮时一般会达到最好的生产效果，而水平井随轮次增加水平段逐

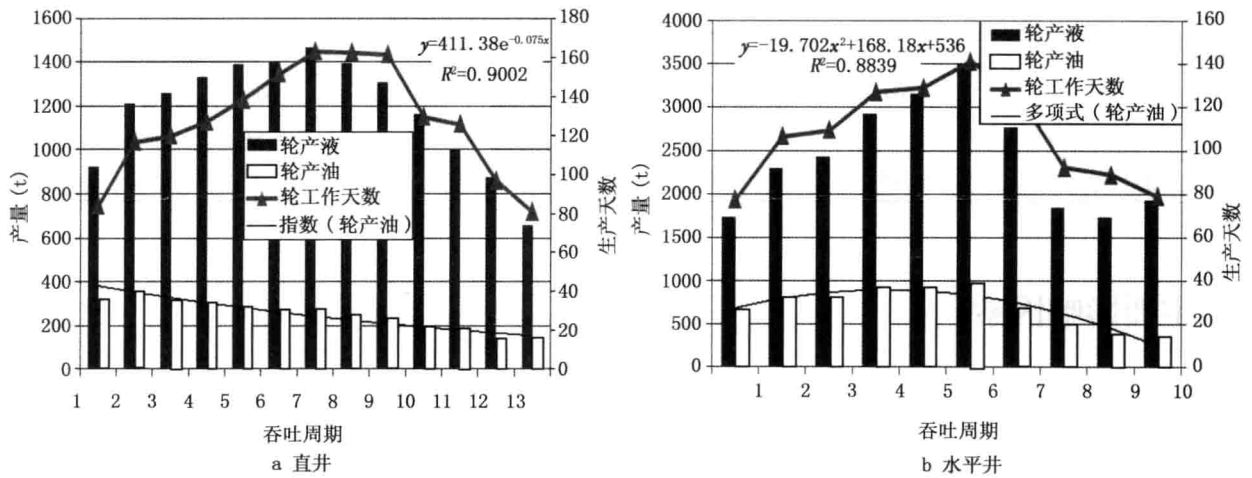


图 3 周期间产量及生产天数变化图

轮有所动用，低轮次时轮产油逐轮增加，而水平段动用到一定程度时，轮产油开始逐轮下降。

2.5 周期日产油和油气比变化规律

浅层超稠油周期日产油和油气比随着轮次变化呈现出指数递减趋势（图4），其中直井的日产油指数递减率为7.8%，油气比的指数递减率为9.1%，水平井的日产油递减率相对偏小为7.5%，但油气比在第4轮后递减率较大为17.6%。分析认为：直井在吞吐过程中随着轮次增加，加热半径逐渐扩大；但受采注比的影响，扩增比例有限，且逐轮下降，递减较大。水平井长水平段在低轮次（1~4轮）时逐渐得到动用，表现出油气比缓慢增加，进入高轮次，水平段动用一定程度后，后续蒸汽波及面积有限，效果较难改变，油气比下降幅度较大；因此在高轮次时，针对水平井需要采取措施，以改变剖面动用程度，提高开发效果。

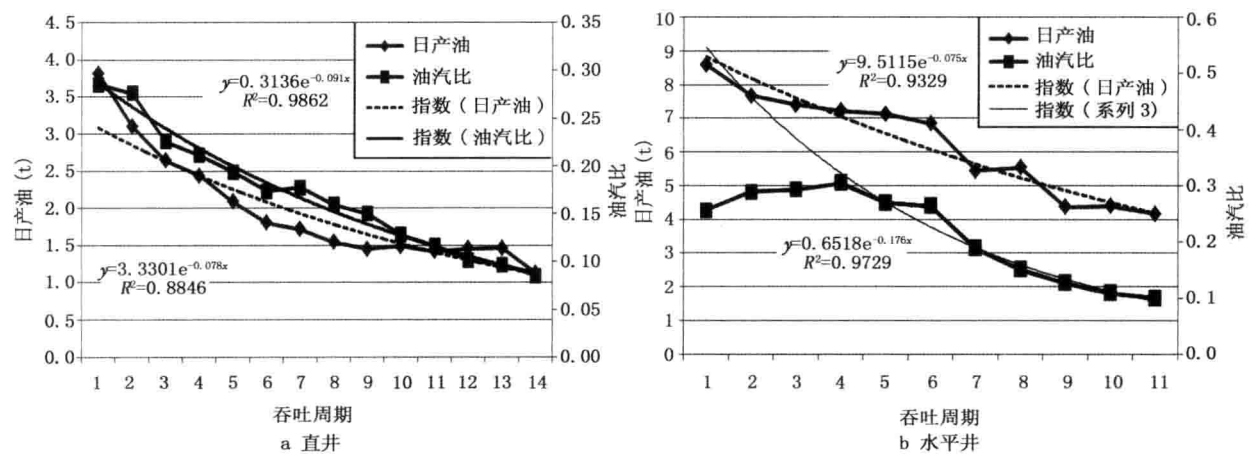


图4 直井和水平井周期间日产油及油气比变化图

2.6 绝对油量递减率变化规律

通过近3年油藏绝对油量递减率指标统计显示（表4），主要区块的递减率在10%~30%之间，递减率和采油速度间有较好的对应关系，采油速度高则递减率较大。超稠油油井蒸汽吞吐周期生产时间短，1年内油井转轮平均为2~3轮，转轮较快油井采油速度高，相应递减率也较大。重检3井区受低阻油层影响，采油速度较低，递减率也较低。

表4 风城油田侏罗系超稠油油藏绝对油量递减率统计表

区块名称	重32井区			重检3井区			重43井区		
年度	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
采油速度（%）	2.20	2.42	2.58	1.83	1.80	2.29	5.53	4.66	3.52
递减率（%）	16.85	10.39	10.98	0.60	1.83	0.80	31.43	25.76	26.32

3 主要影响因素

3.1 原油黏度

相同物性条件下，原油黏度低，生产效果较好。重32井区J₃q₁层虽然油层厚度大，储层物性较好，但原油黏度高，生产效果比J₃q₂层、J₃q₃层差。同层内随着黏度的升高，周期产油、油气比逐渐

下降，含水逐渐上升。如重 32 井区水平井，在 50℃原油黏度小于 8000mPa·s 时，油气比为 0.30，轮产油 901t，含水率为 69%；原油黏度大于 20000mPa·s 时，油气比为 0.22，轮产油 625t，含水率为 80%。整体表现出原油黏度对生产效果影响最大。

3.2 有效厚度

表 5 的对比分析显示，有效厚度较大的油井一般可取得较好的日产油水平，但经济油气比却有所下降，主要原因为受蒸汽超覆影响厚度较大油层动用程度有限，不同的油藏表现出不同的蒸汽吞吐最佳有效厚度，说明针对不同的储层物性和原油黏度，蒸汽加热的剖面厚度也有所不同。整体上看，均质性越好，孔渗性越好，原油黏度越低的储层蒸汽加热的厚度越大。

表 5 直井不同有效厚度下各区块生产指标对比表

区块名称	生产指标	有效厚度分区				
		<5m	5~8m	8~10m	10~15m	>15m
重 32 井区	单井日产油 (t)	2.54	2.33	2.84	2.74	2.73
	油气比	0.24	0.23	0.26	0.23	0.21
重 43 井区	单井日产油 (t)	1.53	2.40	2.41	2.21	2.52
	油气比	0.23	0.27	0.23	0.20	0.21
重检 3 井区	单井日产油 (t)	1.11	1.36	1.24	1.25	1.28
	油气比	0.29	0.21	0.18	0.16	0.15
重 18 井区	单井日产油 (t)	2.93	2.69	3.26	3.20	3.81
	油气比	0.25	0.17	0.21	0.21	0.22

统计不同水平井钻遇厚度生产效果发现：水平井水平段钻遇厚度为 10~12m 时，油井的生产效果最好，油气比达 0.32，轮产油 984t；厚度大于 12m 时随厚度增加，生产指标下降；厚度小于 8m 时，生产效果明显变差，油气比下降到 0.24，轮产油下降到 696t。

3.3 井型

从水平井规模应用区块重 32 井区的统计指标显示（表 6），水平井周期产油量为直井的 2.9 倍，日产油为直井的 3.13 倍，油气比为直井的 1.38 倍，具有明显的开发优势。

表 6 重 32 井区水平井和直井周期生产指标对比表

井型	轮次	射孔厚度 (m)	轮注汽 (t)	轮产液 (t)	轮产油 (t)	生产天数	平均日产液 (t)	平均日产油 (t)	油气比	采注比
直井	前 9 轮	10	1470	1293	298	125	10.3	2.4	0.203	0.879
水平井	前 9 轮	228	3074	2689	860	116	23.3	7.4	0.280	0.875
	对比系数		2.09	2.08	2.89	0.92	2.25	3.13	1.38	0.99

3.4 井距

对比重 32 井区大小井距两种井网条件下油井周期产油量和油气比指标的递变情况可以看出（图 5）：在前两个周期，小井距油井的周期产油量和油气比指标高于大井距的油井，但从第 3 个周期开始，大井距油井的周期产油量和油气比指标均高于小井距的油井，并且差距有逐渐增大的趋势。其主要原因是：大井距条件下的单井控制储量较大，地层热场的建立需要较多的热量和较长的时间，随着热场的建立，大井距油井的热采指标逐渐向好；而小井距油井的单控储量小，因此峰值出现的早，随着轮

次的升高，物质基础下降，相关指标开始递减。

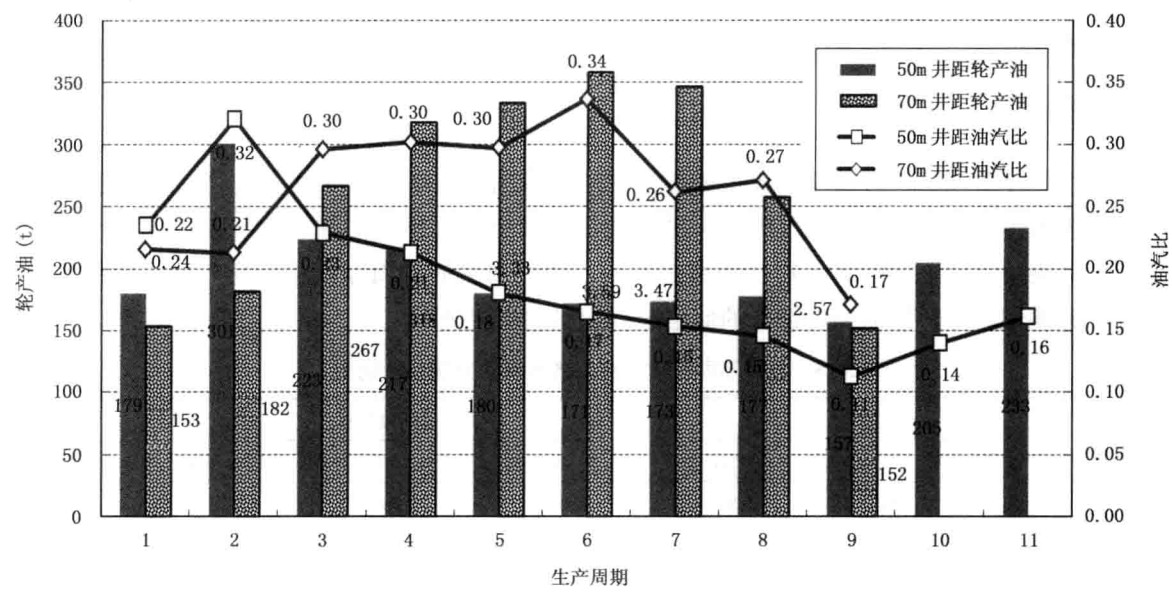


图 5 重 32 井区试验区 J₃q₃ 层大小井距油井周期指标递变对比图

对比大小井距两种井网条件下 J₃q₃ 层油井的综合热采指标（表 7）可以看出：小井距油井的平均单井日产油量和油气比指标略低于大井距的油井，但是小井距油井的采出程度指标明显高于大井距的油井。因此，从最终采收率的角度来看，井网井距与最终的开采效益密切相关。

表 7 重 32 井区 J₃q₃ 层大小井距油井周期指标对比表

井距 (m)	井数 (口)	平均 轮次	累计注汽 (× 10 ⁴ t)	累计产液 (× 10 ⁴ t)	累计产油 (× 10 ⁴ t)	储量 (× 10 ⁴ t)	单井生产时间 (d)	单井累计产油 (t)	单井日产油 (t)	油气比	采注比	采出程度 (%)
70	18	8	18.9	21.2	4.7	20.9	1162	2036	1.75	0.25	1.12	22.5
50	52	10	61.2	51.3	10.8	28.6	1188	1930	1.62	0.18	0.84	37.8

3.5 水平段长度

通过理论计算表明：随着水平段长度的延伸，蒸汽注入过程中沿程热损失，蒸汽压力和温度逐渐下降，干度降低，而蒸汽利用热效率和水平井周期产量随着水平段延长，先升高后降低，说明针对特定油藏，水平段长度须在合理的范围内。

通过风城浅层超稠油的实际开发效果反映，水平段长度为 180 ~ 250m 生产效果相对最好（表 8）。以此为依据，后期产能建设过程中，水平井的长度设计都控制在这个范围之内。

表 8 重 32 井区水平井不同水平段长度周期指标对比表

水平段 长度区间	轮注汽量 (t)	轮产液 (t)	轮产油 (t)	轮工作天数	日产油 (t)	油气比
< 180m	2893	2342	805	114	7.05	0.28
180 ~ 250m	2933	2451	814	108	7.52	0.28
> 250m	3363	2780	812	112	7.24	0.24

4 提高开发效果对策及建议

4.1 采注比对超稠油开发的指导意义

统计显示（表9），累计采注比大于1的井周期产油量和油气比都比采注比小于1的井高，其中采注比大于1的直井周期产油量高出112t，油气比高出0.1，采注比大于1的水平井周期产量高出322t，油气比高出0.17。同时，周期产油量因轮次增加造成的递减程度，采注比大于1的水平井比采注比小于1的水平井低。

表9 不同采注比下生产效果对比表

井斜	分类	轮次	轮注汽量 (t)	轮产液 (t)	轮产油 (t)	轮工作天数	日产油 (t)	油气比
直井	采注比 > 1	前 11 轮	1348	1727	350	166	2. 11	0. 26
	采注比 < 1	前 11 轮	1503	1066	239	123	1. 94	0. 16
水平井	采注比 > 1	前 5 轮	2482	3318	1040	117	8. 89	0. 42
	采注比 < 1	前 5 轮	2868	2172	728	102	7. 14	0. 25

由于超稠油油藏油井排液困难等原因，采注比普遍较低，采注比低对油藏开发的影响有以下几点：

- （1）采注比低，地层存水升高，影响注入蒸汽加热范围，降低热能利用率；
- （2）采注比低必然导致地层压力升高，后续轮次注汽压力逐渐升高，而在控压生产的政策下，必然会导致注汽井数的上升，注汽速度也会降低；
- （3）注汽压力逐渐升高，一旦高于地层破裂压力，势必发生蒸汽指进和汽窜。

对于超稠油油藏，经验认为，采注比在1.2附近生产效果最佳，而采注比大于1是超稠油开发基本要求，合理提高单井采注比是改善油藏后期开发效果的重要手段。

4.2 剖面调整技术提高油层动用程度

通过调整油井吸汽剖面，以改变油井剖面动用位置，提高剖面动用程度，可以明显改善油井生产效果（图6）。

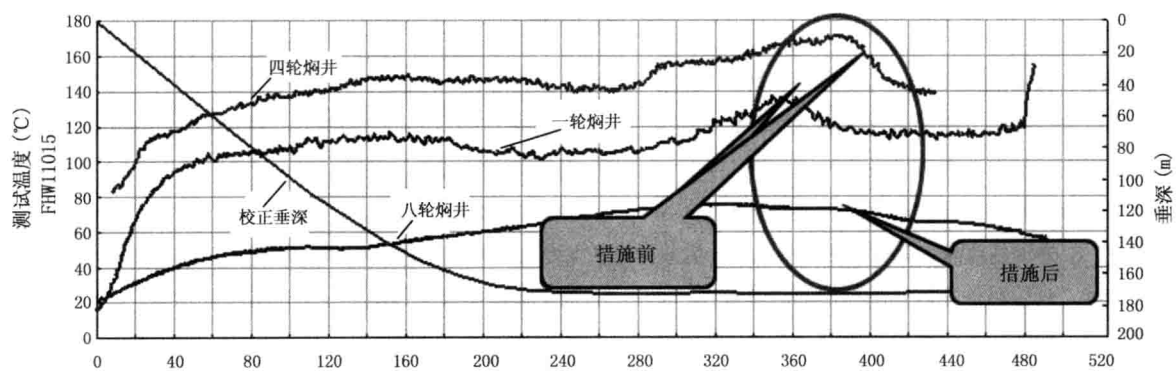


图6 措施前后井温曲线对比图

措施后水平井井温剖面明显有所改善（图7），对应生产效果也有所提高，说明高温调剖技术可有效提高油层的动用程度，但在风城浅层超稠油应用的油井中成功的比比较低，只有50%，尤其是针对水平井的剖面动用有待技术革新，提高适应性。