

辽河油田开发技术座谈会文集

主 编 刘俊荣
副主编 张修文 刘喜林
任芳祥 程仲平

石油工业出版社

内 容 提 要

本书汇集了辽河油田开发技术座谈会交流的 54 篇优秀论文, 内容涉及稀油、高凝油、普通稠油注水开发, 普通稠油、特稠油、超稠油蒸汽吞吐开发, 热采稠油转换开发方式、三次采油和老油田滚动勘探等技术。作者都是长期从事油田勘探开发工作的技术骨干, 具有丰富的现场实践经验和较高的研究水平。

本书可供从事石油地质、油藏工程、采油工程专业的科技人员和石油院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

辽河油田开发技术座谈会文集/刘俊荣主编.

北京: 石油工业出版社, 2002.11

ISBN 7-5021-4029-8

I. 辽…

II. 刘…

III. 油田开发-辽宁省-文集

IV. TE3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 087856 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河北省徐水县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 32.5 印张 832 千字

2002 年 11 月北京第 1 版 2002 年 11 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4029-8/TE·2878

定价: 98.00 元

《辽河油田开发技术座谈会文集》

编 委 会

主 编：刘俊荣

副主编：张修文 刘喜林 任芳祥 程仲平

成 员：孙 岩 张国禄 王海生 朴永红 于天忠 项 忱

王佩虎 檀德库 余中红 韩树柏 武俊宪

前 言

中国石油天然气股份有限公司辽河油田分公司于2002年7月2日~4日召开了油田开发技术座谈会,主要目的是进一步落实2001年10月中国石油天然气股份有限公司召开的技术座谈会的工作部署,总结“九五”以来油田开发、管理、技术发展的成功做法和经验,分析油田面临的形势及存在的问题,进一步理清工作思路,明确工作方向,制定技术对策,确保全面完成“十五”中国石油天然气股份有限公司加快发展目标 and 辽河油田分公司工作目标。

辽河油田是一个地质条件十分复杂,具有多断裂、多断块、多套含油层系、多种储层岩性、多种油藏类型、多种油品性质的复式油气区。经过多年的探索和实践,逐步形成了一套复杂断块油田勘探开发的地质理论、研究方法和管理模式;完善配套了适应复杂断块油田稀油、高凝油注水开发和普通稠油、特稠油、超稠油热采吞吐开发工艺技术;建立了一支适应复杂断块油田勘探开发的科研、管理队伍。

“九五”以来,辽河油田注水开发主力油田和区块进入“双高”期,热采稠油进入高轮次蒸汽吞吐开采阶段,油田开发矛盾十分突出。面对严峻挑战,油田科技工作者知难而进,围绕改善注水和蒸汽吞吐开发效果,实现特稠油、超稠油蒸汽吞吐开采、热采稠油转换开发方式、三次采油和老油田滚动勘探等方面做了大量的工作,取得了明显的效果,为辽河油田超额完成“九五”开发规划指标和持续稳定发展做出了新的贡献。

本书汇集了辽河油田开发技术座谈会交流的54篇优秀论文,就是这一时期有代表性的成果。本书在向国内同行提供借鉴与交流的同时,诚望读者对所揭示的辽河油田勘探开发中的问题给予指导和帮助。

在文集的编写过程中,辽河油田分公司《特种油气藏》编辑部李军生、王威、刘兆芝、常汉章、姜岭、徐云杰、方赟等同志做了大量修改和编辑工作,使文集更加规范。

由于编者水平所限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2002年9月

目 录

上篇 油田开发及滚动勘探部分

·稀油、高凝油部分·

锦 16 块西部兴隆台油层特高含水阶段实现稳产的做法	潘 庆 赵辰军 师小敏 阴艳芳 (3)
欢北杜家台低渗透油层开发效果分析及对策	张 鑫 周 旭 张建领 孙际群 郭志伟 (12)
兴隆台油田开发潜力分析及挖潜对策	华子东 曹丽华 (19)
加强油藏认识,搞好大洼油田注水开发	耿筱梅 (30)
茨 601 断块区注水开发效果分析	邵建中 向 民 田 文 张雪梅 李 敏 (41)
静北层状灰岩潜山油藏开发规律认识及下步挖潜方向	姚为英 赵志彬 卢德平 郝春联 (49)
沈 84-安 12 块薄互层高凝油油藏注水开发经验教训及提高储量动用程度措施	李青春 赵志彬 朱宝龙 邢树坤 杨 杰 (58)
黄沙坨油田火山岩油藏产能建设初步认识	周 鹰 霍宇嘉 朱 威 (69)
深化油藏认识,应用综合技术,实现海外河油田高效开发	张淑坤 武 毅 刘 影 (75)
月海油田海南 3 块开发效果分析及改善开发效果工作安排	安丙学 刘文英 钱伟斌 黄宏兵 (83)
油藏精细描述在老油田开发调整中的应用	龚姚进 张吉昌 武 毅 (92)
辽河油区提高采收率潜力评价	赵起双 肖 迅 郑宏英 郭秀文 林玉军 (102)
辽河油区三次采油潜力分析	于 涛 武 毅 赵淑俊 (116)

·稠油部分·

锦 45 块蒸汽吞吐开发效果及稳产形势分析	刘贵满 廖家彬 唐 忠 张雁 (127)
杜 66 块蒸汽吞吐开采效果评价及转换开采方式探讨	王卫东 王 静 宋福军 (142)
曙 1-7-5 块大凌河油层块状稠油油藏蒸汽驱开发效果评价	李可宁 董旭昊 (155)
高 3 块蒸汽吞吐开采后期暴露的主要矛盾及下步工作思路	王伟林 宋世文 王 雁 计 秋 (163)
牛心坨低渗高凝稠油砂岩油藏注水开发基本做法	李雅芹 李晓林 曹敬涛 周兴武 (171)
冷 43 块 s_3^2 油层开发规律认识及提高采收率方向	张 俊 许家新 初振森 (178)

杜 229 块兴隆台油层超稠油蒸汽吞吐开发规律及对策

..... 包连纯 杨立强 周大胜 由世江 耿立峰 (186)	
监测资料在超稠油蒸汽吞吐开采中的应用	杨立强 周大胜 王飞宇 李成芹 (199)
稠油蒸汽吞吐潜力分析及接替技术评价	

..... 马德胜 赵春梅 张 鹰 胡士清 王中元 (209)	
---------------------------------	--

·滚动勘探部分·

深化“三老”资料复查,老区增储效果显著	高荣杰 尹万泉 郭金瑞 (224)
深化“三老”资料复查,采取综合性措施,实现浅层气增储上产	
..... 李庆章 王国勇 宋国徽 吴玉滨 何 凯 (233)	
加强地质综合研究,应用配套技术,开创滚动勘探新局面	
..... 孙红军 任作伟 郭 东 (239)	

下篇 采油工程部分

锦 90 块非混相驱扩大试验效果初步评价

..... 张世民 刘贵满 岳玉权 崔洪志 余中红 (253)	
蒸汽驱采油工艺技术在高升油田试验区的应用 ...	杨乃群 高本成 周运恒 张 琳 (269)
曙一区馆陶超稠油开采工艺技术研究	张喜瑞 南晓敏 张长胜 郎宝山 (276)
CO ₂ 吞吐采油技术在深层稠油油藏的成功应用	
..... 杨乃群 彭松良 张红梅 安九泉 林 平 (283)	
提高抽油机井系统效率技术的试验与应用	蒋生健 李 勇 (291)
辽河油田低渗透油藏高效压裂技术研究	
..... 刘德铸 刘 伟 吴志俊 张 宁 李 军 金立华 (300)	
水力压裂工艺技术在黄沙坨(粗面岩)油田中的应用	孙古华 曾显林 (309)
冷家油田防砂技术与效果评价	杨双虎 徐凤廷 李宝玉 廖周川 张晓芳 (320)
复合射孔防砂技术	孙厚利 张建军 赵 平 吴智勇 吕 民 (335)
油井射孔状况检测技术	赵 鹏 孙青松 张福兴 (345)
曙三区气举携砂采油先导试验	张喜瑞 钟喜东 曲淑贞 罗恩勇 董武旭 (349)
含油污泥深度调剖技术在兴隆台采油厂的应用	范玉平 (352)
大剂量深度调剖技术在沈阳油田的应用	卢 凯 毕海昌 谢艳艳 (363)
分层注水及机械找堵水工艺技术	张建华 张静波 裴 红 刘玉文 (375)
高凝油化学采油工艺技术研究与应用	赵 哲 袁 武 毕海昌 吴小艳 (381)
牛心坨油田转变举升工艺试验	杨乃群 高本成 耿修库 佟国辉 虎振峰 (394)
套管修复技术在欢喜岭油田的应用	于国文 刘建明 刘继海 郎成山 (405)
衬管补接工艺技术研究与应用	杨平阁 卜震山 韩树柏 (415)
预防油层二次污染配套技术应用研究 ...	邱衍辉 吴安东 高养军 刘 威 黄军彦 (421)
大斜度井多功能管柱的研制与应用	杜月明 钱 伟 翟丽影 王水生 王全文 (427)
内涂层防蜡油管在海南 3 井区的应用 ...	杜月明 钱 伟 翟丽影 王水生 王全文 (434)
实施热能优化工程,提高注汽系统热效率	张恩臣 卢时林 解 永 李 博 (438)

油田热注锅炉 MFA 自动控制系统	肖更新	刘卫国	吕志刚	黄久高	高 波	(446)
提高稠油注蒸汽井吞吐效果新技术研究	宋英男	关 仲				(453)
井间示踪监测系列技术	王 潜	曹亚平	于燮佳	陈 威	邱婷婷	王运萍 (458)
污水深度处理技术	刘喜林	武俊宪				王宝峰 (468)
超稠油集输技术与试验	余五星	郑南方	丁亚军	林 军		(481)
输油管道泄漏实时监测系统	高延宁	张 静				王凤军 (495)
OWG-1000 型原油、天然气、水三相流全自动分析计量仪现场应用	徐成合	蒋生健				(505)

上 篇

油田开发及滚动勘探部分

稀油、高凝油部分

锦 16 块西部兴隆台油层特高含水阶段实现稳产的做法

潘 庆 赵辰军 师小敏 阴艳芳

(中油辽河油田分公司锦州采油厂)

摘要 锦 16 块西部兴隆台油层为欢喜岭油田最大的稀油主力区块,在高效开发 20 年后,于 1998 年末进入特高含水开发期。面对断块特高含水阶段出现的产量下降、递减加大、措施有效率降低等问题,通过加强动态分析、开展油藏精细描述、进行剩余油分布规律研究,及时采取周期注水、部署“聪明井”、应用新工艺技术等一系列配套措施进行断块综合治理,实现了断块特高含水期的稳产,进一步提高了断块的开发水平。

断块基本情况

一、地质概况

锦 16 块西部构造位于欢喜岭油田中部,开发目的层为兴隆台油层,是一个层状砂岩边底水稀油油藏。断块含油面积 3.92km^2 ,有效厚度 36.2m ,地质储量 $2523 \times 10^4\text{t}$,可采储量 $1292 \times 10^4\text{t}$ 。

1. 构造相对简单

断块为 2 条近东西向三级断层所夹持的一个南倾断鼻形态构造,东西长 8.0km ,南北宽 1.2km ,地层倾角 $5^\circ \sim 7^\circ$,圈闭面积 8.4km^2 ,闭合高度 200m 。

2. 油层厚度较大、层数多

断块含油井段 $1255 \sim 1460\text{m}$,具有 2 套油水组合,共分 3 个油层组,17 个砂组,33 个小层。油层有效厚度 36.2m ,单层最大厚度 20.8m ,一般为 5.0m 左右。

3. 储层物性较好

断块有效孔隙度 29.1% ,空气渗透率 $2201 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,有效渗透率为 $750 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,泥质含量 12.4% ,碳酸盐含量 4.5% ,粒度中值 0.218 ,分选系数 1.76 。

4. 原油物性较差

地面原油密度 (20°C) 为 $0.9317\text{g}/\text{cm}^3$,粘度 (50°C) 为 $72.78\text{mPa}\cdot\text{s}$,凝固点为 -21°C ,含蜡量为 3.48% ,胶质加沥青质含量为 $18\% \sim 21\%$;地层原油密度 $0.8425 \sim 0.8785\text{g}/\text{cm}^3$,粘度 $14.3\text{mPa}\cdot\text{s}$,油水粘度比 24.6 ,体积系数 1.1037 ,原始气油比 $42\text{m}^3/\text{t}$ 。

5. 天然能量小

原始地层压力 13.98MPa ,饱和压力 12.71MPa ,地饱压差 1.27MPa 。断块边底水分布范围小,据 5 口井试水资料分析,压力系数 1.0 ,水层不能自溢。

二、开发简况

断块于 1979 年 1 月全面投入开发,方案要求在有效厚度大于 50m 、面积在 1.3km^2 的范

围内分2套层系开发,其他地区为1套层系开发,采用400m井距,反九点法面积注水。同年4月实施注水开发,6月分注,当年生产原油 40.21×10^4 t,采油速度1.59%。

目前断块已经历了3次重大综合调整。1983年进行了扩大分采区调整,分采区的面积由原来的 1.3km^2 扩大到 3.1km^2 。1986年产油 57.8×10^4 t,综合含水57.7%,采油速度2.3%,采出程度14.1%,采收率由调整前的36.6%提高到40%。

1987年进行了细分开发层系的调整,把原来厚度较大的下层系中的三油组细分为第3套开发层系,完善了注采系统,断块实施3套层系开发,1990年产油 55.9×10^4 t,综合含水73.2%,采出程度20.6%,采油速度2.2%,采收率由调整前的40%提高到46%。

1991年开始实施完善中的部分采区和西部合采区注采井网的调整,通过加密和完善注采井网及稳油控水综合治理,使断块在高含水后期保持中速开采。

截至2002年4月,断块油井总数为130口,开井109口,日产液8232t,日产油742t,综合含水91.0%,平均动液面282m,折算采油速度1.07%,采出程度40.75%,采出可采储量的79.6%。注水井总数为57口,开井53口,日注水量 8537m^3 ,月注采比0.97,累计注采比1.05。

断块特高含水开发阶段的主要做法及效果

一、存在的主要开发问题

断块于1998年末综合含水达到91.0%,进入特高含水开发期,出现了产量递减加大、措施有效率降低的严峻形势。

1. 平面上油井水淹严重,剩余油呈零星分布

断块目前含水大于90%的油井78口,占开井数的74.6%;而含水小于60%的油井仅10口,占开井数的9.4%。

2. 注、采井生产层位对应关系较差

因油井的补层、堵水等各种措施影响,造成有注无采,影响水驱效果,统计断块目前油井平均单井生产16.26m/6.0层,水井注水厚度31.4m/11.2层,注采厚度相差1倍。

3. 油水井井况变差,管外窜槽井多,影响找水、分注等措施的实施

由于断块开发时间长,高强度的产液和注水,造成油水井管外窜槽严重,根据注水井吸水剖面和油井验窜数据统计,有18口井具有管外窜槽现象,占总井数的9.6%。

4. 油井因高含水、出砂、套管损坏等原因造成油水井停产停注

目前因高含水、出砂、套管损害等原因造成停产停注井23口,占总井数的12.3%;带病生产井26口,出砂严重的锦22井区已基本停产。

5. 由于受隔层条件的限制,高含水油井无法采取有效的机械堵水措施

目前,在断块的130口油井中,有30口油井没有堵水位置,占油井总数的23.1%。

由于存在以上诸多问题,直接影响了开发措施的实施,使产量递减加大。针对这些问题,科研人员加强了以剩余油分布规律为主的综合地质研究,实施了一系列以稳油控水为目的的断块综合治理工作:部署局部挖潜调整井,即“聪明井”;开展周期注水和细分注水;实施层间挖潜;应用新工艺技术,保证了断块在特高含水期稳产开发,取得了较好的效果。

二、开展油藏精细描述,搞清剩余油分布规律

断块进入特高含水期开发阶段,剩余油呈零星分布,搞清水淹规律和剩余油分布是油藏

综合治理及措施上产的关键。科研人员及时开展了油藏精细描述工作,充分利用动态监测、密闭取心和室内试验等资料,运用油藏工程、数值模拟和地质综合解释等方法和技术,对锦16块平面、纵向及层内剩余油分布的地质规律和控制因素进行了深入研究。

1. 平面上水淹规律和剩余油分布特征

1) 构造及微构造高部位剩余油相对富集

在断块的构造高点部位,油层发育厚,含油井段长。在长期的注水开发中,由于油水的重力分异作用和剩余油的重新分异,而形成剩余油富集区。断块主体为一断鼻构造,沿北部边界断层向西依次发育3个局部高点,分别为丙6-135、欢气5、9-117构造高点。通过油藏精细描述,用1~5m等高线绘制出各小层微构造分布图:从各小层的平面形态上看,具有继承性;同时,受沉积影响,在3个大的构造高点控制下,每个小层都发育有一些微高点,对剩余油分布起到一定的控制作用。通过对 $II_1 \sim II_8$ 及 III_{1-2} 10个小层为单元进行的微构造研究,发现最小闭合面积 0.03km^2 ,平均每个小层平面上分布7.2个微构造高点。

欢气5井区是一个典型微构造,从油层纵向含油情况就可以明显看出。高部位的欢气5井 III_{10} 以下油层组(表外层)油水分布是以砂岩组为单元,在每个砂岩组的顶部含油,电测解释为油层或油水同层,下部电测解释结果为水层。纵向上油、气、水为互层状,从微构造高点向低部位全部渐变为水层,含油气幅度5~10m,是一个典型的受微构造控制的低幅度油藏。1982年以来欢气5井区共有7口井开采过 III_{10} 以下油层组(表外层),已累计产油 $10.2 \times 10^4\text{t}$ 。目前,有油井1口,日产油13t,含水80%,说明微构造对油气起控制作用。

2) 断层边角及井网不完善的部位,剩余油相对富集

由于断层的封闭遮挡,在断层的边角部位,注入水难以波及而形成滞油区。断块目前井网的适应性及完善性总体是好的,但在长期的开发中不可避免地在局部存在不完善现象,由于井网的不完善性和平面的非均质性,造成注入水沿高渗透方向推进,局部形成滞油区。如断块的第3套开发层系,因构造起伏和沉积相变及边底水的存在,油层厚度变化大,分布不均,造成井网的不完善和剩余油的相对富集,如2001年新井6-2306和丙5-236井及2002年更新井丙5-更055井3口井就处于不完善部位,注水难以波及,油井投产时单井日产油30t以上,含水50%以下。

2. 纵向上水淹程度与剩余油分布

1) 层间非均质性影响水淹与剩余油分布

断块划分为4种沉积微相,各微相间孔、渗差别较大,使纵向上各层间产生干扰:高孔、高渗层的导压能力强,吸水性好;而低孔、低渗的薄层导压能力弱,吸水差或不吸水。注入水以单层突进方式到达井底,引起油井高含水;同时抑制了其他层的生产。统计近年48口水井的吸水剖面,不吸水层约占30.4%;同时从近年调整井的电测解释成果显示,水淹厚度占解释总厚度的92.4%,但河道间、河口坝间微相薄层砂水淹程度低,为油层或弱淹层,是剩余油相对富集区。

2) 层内矛盾影响剩余油分布

层内矛盾主要表现在大于5m的油层内。由于锦16块厚油层大多分布在河口坝和辫状河道微相中,层内非均质性不强。在注水过程中,由于油水的重力分异作用,使厚层的顶部注水难以波及而使剩余油相对富集。如密闭取心井锦检1井的岩心显示,主力层以反韵律为主,水平渗透率与垂直渗透率比值一般在1.2~6.4之间,属中一强非均质性。通过对大于5m的厚油层不同沉积韵律的不同部位的水淹级别进行的二次解释认为:剩余油主要分布在

厚油层的上部，特别是反韵律的上部和粒序较均一的其他层的上部（图 1）。

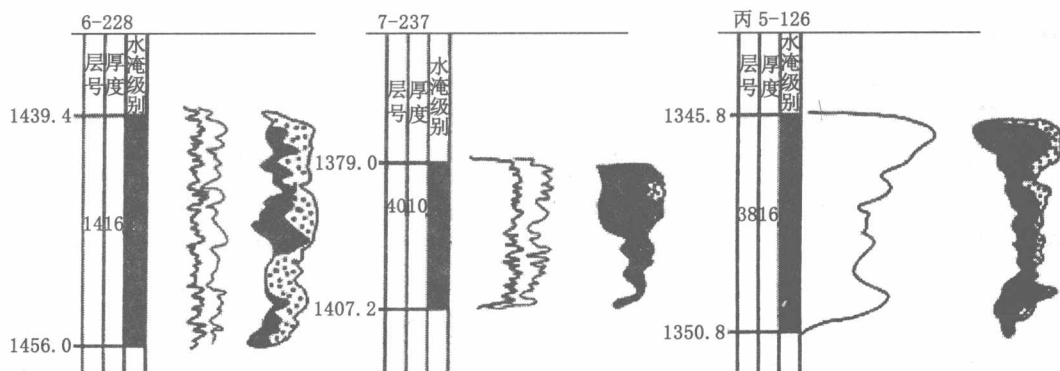


图 1 厚层顶部剩余油分布特征

作为挖潜的主要目标，应该避开下部强水淹层的干扰。锦检 1 井投产时射开 8.4m/3 层，避射厚层下部，初期日产油 35t，含水 27.1%，累计产油 2.188×10^4 t。7-007 井单采厚层顶部，2002 年 1 月射开厚度 2.4m/1 层，初期日产油 70t 以上，不含水。后期虽然含水上升较快，达到 80.1%，但目前仍有 20t/d 的产量。

三、强化动态监测资料的录取，为地质研究和开发措施提供科学依据

1. 建立完善的适合断块特高含水期的监测系统

根据断块开发阶段的要求，为了提高断块储量动用程度和开发水平，按照油公司“油藏动态监测管理条例”，结合特高含水开发期的油藏特点，科学编制动态监测方案，强化动态监测资料的录取，为地质研究和开发调整提供依据。常规监测系统主要有油水井测压、产液和吸水剖面、油气水分析、含砂分析及井下测井。

通过压力监测，了解地层压力变化，根据压力变化，确定断块合理的注采比，保证地层压力在合理范围内，断块平均每年测压 51 井次，油井测压 16 井次，水井测压 35 井次，同时有 12 口井每年测压 2 井次以上，求取连续的压力变化值。

吸水剖面反映水井每个小层在注水过程中吸水量的多少；同时也反映油井对应油层的产液能力，根据吸水剖面进行注水调整，通过分注、重组、细分进行分层定量配水，提高注水利用率。断块目前共有注水井 57 口，每年测吸水剖面 28 井次，占水井总数的 50%。

油井水分析可以根据矿化度的变化，判断油井见水原因，采取相应降水措施；含砂分析可以了解油井出砂状况，根据含砂量、砂的粒度等采取冲砂、防砂、排砂等方法，延长油井检泵周期，提高油井生产时率。锦 16 块每年油分析 14 井次，水分析 18 井次，含砂分析 63 井次。

磁性定位用于检验封隔器位置的准确性，锦 16 块因隔层发育较差，封隔器预留位置小，要求作业的准确性高，通过磁性定位的检查来提高油井卡堵水和水井分注层段的准确性。2001 年测放磁 58 井次，发现并重新校正 21 井次，保证了断块注水及措施效果。变密度测井用来检查油水井因长期高强度的产液和注水造成的管外窜槽，2001 年变密度测井 4 井次，发现 3 口井存在窜槽问题，采取了相应措施。如 8-08 因窜槽造成油井水淹，2001 年 6 月实施注灰二次射孔，初期日产油 18t，含水 52%，目前已累计产油 1593t、气 $50.027 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

2. 不断应用新的监测方法, 及时提供准确的油藏动态信息

在常规方法进行油藏监测的同时, 近年来科研人员运用玻套感应、地化录井、中子寿命测井、找水技术、电位法等新的工艺技术加强动态监测, 研究水淹规律、剩余油分布、注入产出剖面, 进行注采结构调整, 保证了措施上产效果, 提高了断块的开发水平。

1) 应用玻套感应技术进行水淹规律研究

为了准确掌握不同时期油层中油水分布状况, 1997 年在断块中部注采完善的井区部署 1 口观察井——锦观 1 井。该井油层段采用玻璃钢套管完井, 定期测感应曲线和碳氧比, 通过对比小层水淹程度随时间的变化规律, 分析地层中油水的重新分布及水淹规律, 为区块综合调整提供依据。

2) 地化录井提高小层解释精度

2001 年, 断块 7 口新井通过地化录井与电测解释结果进行对比, 发现有 72 个小层与电测解释结果差异较大, 进一步提高了小层水淹级别解释精度, 保证了新井投产效果, 使新井单井年产量 5520t。

3) 硼—中子寿命测井技术, 分析小层水淹规律

通过对高含水井进行硼—中子寿命测井, 研究小层含油饱和度, 揭示水淹规律, 从而提高油井堵水效果。近年来测硼—中子寿命测试 6 井次, 实施堵水措施 3 井次, 日增油 15t, 累计增油 1743t。

4) 智能、机械找堵水获取产液剖面

该技术对生产多个层的油井进行分段测试产油能力和含水; 同时对油水关系复杂、常规的一次性卡水措施不能保证措施效果的高含水井, 先通过地质分析, 再使用该技术进行分段求产, 达到降水增油的目的, 断块实施 12 井次, 日增油 61t, 累计增油 8051t。

5) 电位法井间监测技术研究注水推进方向

电位法井间监测技术是一种新型的注水井注水推进方位监测技术, 它针对注水油田由于平面纵向上存在的非均质性以及注采不平衡所造成的油藏纵向上的单层突进和平面上的舌进现象, 通过测量注入到注水层位内的高电离能量的工作液所造成的地面电场形态的变化, 来达到解释水驱方向和油藏参数的目的。目前对断块 7-238、8-236、10-9 等 3 个井组进行了监测, 取得了注水推进方向、水洗层厚度、孔隙度、渗透率、含油饱和度等详细资料, 为注水调整提供了依据。

几年来, 通过常规监测方法与上述各项新技术的有机结合, 使断块的监测资料更加完善、可靠, 对水淹规律及剩余油有了更加直观的认识, 为断块综合调整提供了依据; 同时, 综合运用监测成果, 对油水井实施卡堵水、对高渗层限注或停注、对中低渗层进行增注, 见到了明显效果。如丙 5-226 井, 1997 年投产时射开 16.8m/6 层, 上部解释为油层及弱淹层, 下部为巨厚状油层 (31.1m/2 层, 射开厚度为 7m/2 层), 电测解释为中淹及强淹层, 测井幅度值与上部油层相差 1 倍。油井高含水后, 一直认为下部的厚层为主要见水层位。通过对邻井该层段进行压力监测, 下部压力值比上部低 1.0~1.55MPa, 对应水井吸水剖面监测, 下部吸水中等。通过综合分析, 实施封上采下堵水措施, 生产下部厚层 7m/2 层, 产量由措施前的 4t/d 上升为 40t/d, 含水则由 95.6% 下降至 35.5%。

四、加强动态跟踪分析, 制定科学的开发对策, 实现挖潜增效

科研人员充分利用油藏动态监测资料及剩余油研究成果, 不断加强动态分析, 掌握油水运动规律, 适时进行注采结构的综合调整, 使油藏潜力得到充分发挥, 达到稳油控水的目

的。

1. 不断进行注水结构调整, 提高水驱效果

1) 不断完善注采系统, 保持 3 套开发层系注采井网的完整性

锦 16 块采用不规则面积注水, 主体部位采用 3 套层系开发。通过 3 次全面综合调整和局部油井转注、层系互换进行井网重组, 使断块的注采系统不断完善, 实施油井转注 10 口, 使 21 口油井直接见效, 日增油 162t, 累计增油 16817t, 提高了水驱效果。目前断块注采井数比为 1:2.14, 双向以上受效井占生产井数比为 84.5%, 水驱储量控制程度在 94.2%, 地下存水率 29.67%。

2) 加强动态配水, 不断调整周期注水参数

锦 16 块注水开发 23 年, 搞好注水调配工作一直是断块管理的重中之重, 特别是断块进入特高含水期, 科研人员进一步完善了周期注水技术, 不断进行注水结构的调整。

根据周期注水原理、方法、适用条件研究, 针对锦 16 块的地质特点进行分析论证, 认为断块完全适合周期注水。1995 年进行了 3 个井组的试验, 完成了 2 个周期, 对应 11 口油井见效, 含水从 93.1% 下降到 88.0%, 含水下降了 5.1%; 日产油从 166t 上升到 304t, 初期日增油 138t, 累计增油 9163t。在试验井组取得成功的基础上, 全区块于 1996 年对周期注水技术进行了推广实施。1997~1998 年, 因井网调整、钻井时水井停注等原因造成地层压力下降, 为弥补地层能量未实施周期注水; 1999~2001 年, 通过不断的探索和研究, 周期注水参数不断调整: 从最初的层系内砂岩组间交替注水调整为层系间交替注水, 后来又调整为各层系统一升降压注水; 周期注水时间由半年调整为 3mon, 后来调整为 1mon; 升降压周期注水量从 2:1 调整为降压期停注。通过不断的实践、探索, 周期注水参数已经趋于完善成熟。

几年来, 在未增加任何经济投入的情况下, 应用周期注水技术取得了增油 4.3×10^4 t, 相对减少产水 19.7×10^4 t, 少注水 68.8×10^4 t, 获经济效益 4191.7×10^4 元的效果。

3) 提高注水工艺技术, 细分层段注水

断块是多层系的层状油藏, 搞好分层注水是提高断块开发水平的重要技术手段。因受注水工艺技术限制, 至 1997 年以前, 断块注水井的分注工艺主要是二级三段以下, 占注水井的 92.3%, 分层工艺不能满足开发需要。为此科研人员加大了注水井分注工艺技术的研究与应用, 使分注工作走向精细化。

目前断块注水井开井 55 口, 按方案要求全部实施分注, 分注率 100%, 一级二段 4 口, 二级三段 23 口, 三级四段 17 口, 四级五段 10 口, 五级六段 1 口, 其中二级三段以上井占总井的 92.5%, 层段注水合格率 79%。断块细分注水 28 口, 对应 36 口油井见效, 直接增油 1.08×10^4 t。通过细分注水, 有效地缓解了开发矛盾, 提高了断块水驱效果。

2. 通过油藏精细描述, 科学部署“聪明井”

断块进入特高含水开发期, 剩余油呈零星状分布。科研人员通过进行油藏精细描述, 建立新的地质模型, 精确描述剩余油分布规律。针对微高、断边、分流、滞油等剩余油富集区, 进行局部挖潜调整, 即部署“聪明井”。1999~2002 年共部署“聪明井”11 口, 目前日产油 128t, 累计产油 9.2×10^4 t。特别是 2001 年部署的 7 口“聪明井”, 初期日产油 173t, 日产气 12587m^3 , 含水 51.1%, 年产油 3.8645×10^4 t, 平均单井年产油 5520t, 当年即收回钻井总投资, 并创效 1178.5×10^4 元。在此基础上, 2002 年对因套变而停产的丙 5-055 井(油井)、丙 6-06 井(停注的水井)2 口井进行了更新, 目前 2 口井已完钻井投产, 初期日

产油 61t, 含水 28.3%, 已累计产油 1872t。

3. 加强动态分析, 采取有效措施, 不断挖掘剩余油潜力

随着地质研究的不断深入, 作为挖潜依据的水淹及剩余油分布规律认识越来越清楚, 而先进的工艺技术是挖潜效果的保证, 通过二者的有机结合, 提高了各类措施的效果。

1) 优化射孔方案, 降水增油

针对剩余油富集部位, 采用选射、避射的方法, 减小层间干扰, 保证油井产能, 实现稳油控水。新井丙 6-更 06 井在原注水井丙 6-06 井原注水井段 1379.2~1468.8m 内, 解释厚度 63.8m/19 层, 全部水淹, 其中低产层 0.8m/1 层, 弱淹层 1.4m/1 层, 中淹层 11.8m/6 层, 强淹层 49.8m/11 层, 科研人员根据剩余油分布规律采用选射、避射的方法进行优化射孔, 射开 2.6m/3 层, 其中弱淹层 1m/1 层, 中淹层 1m/1 层, 强淹层 0.6m/1 层, 目前日产油 17t, 含水 58.8%, 累计产油 1787t, 取得了较为满意的效果。目前断块已形成一套完善的优选射孔方案, 广泛应用于新井及措施井, 极大地提高了生产效果。

2) 精细地质认识, “表外层”挖潜增效

断块储层物性好, 属高孔、高中渗透储层, 油层有效孔隙度 29.1%, 但纵向上层间也发育一些低孔、低渗的薄夹层, 同时在油层下部也有一部分电测解释的水层、油水同层, 为未计入储量计算的“表外层”, 目前已成为剩余油相对富集区, 但开采难度大, 风险大。近几年, 锦州采油厂依靠科技进步和先进的工艺技术, 重新进行油水层识别, 进行挖潜。如 7-更 7 井, 射开水层、油水同层的顶部, 10.2m/5 层, 日产油 18t, 含水 18.2%; 丙 5-215 井单采低渗层 3.4m/2 层, 日产油 14t, 含水 22.2%。

3) 利用其他层系报废井加深侧钻, 提高储量动用程度

断块纵向上发育 2 套含油层系, 兴隆台油层上部发育于楼油层, 科研人员利用于楼油层的报废井, 进行加深侧钻开采兴隆台油层, 深挖剩余油潜力。1999 年侧钻 2 口, 初期日产油 44t, 含水 41.3%, 目前日产油 16t, 含水 79.4%, 已累计增油 2.6247×10^4 t, 节约钻井费用 100×10^4 元, 创效 1868.5×10^4 元。

4) 合理调整断块和单井产液水平, 减少无效产液量

通过分析研究油层水淹规律, 转变了开发思路, 不再追求断块的高产液速度, 而是使中高含水井仍保持较高的单井产液量。断块单井日产液量由 1998 年的 93.7m^3 下降至目前的 74.8m^3 。锦州采油厂主要采取油井电泵转抽、封堵高含水层和关停特高含水井等措施, 通过改变液流方向, 提高水驱效果。

1999~2001 年开展电泵转抽、高含水油井堵水挖潜 39 井次, 日产水下降 2850m^3 , 日增油 115t, 累计增油 1.5434×10^4 t; 含水大于 98%, 日产油低于 2t 的负效益井实施关井, 大大地改善了液流方向。目前共停关井 7 口, 日产液减少 458m^3 , 日产油减少 9t, 而 6 个井组的 14 口油井日产液保持在 860m^3 , 日产油由 54t 升到 61t, 含水下降 1.6%, 累计增油 1210t。

在注采完善、水驱较好的注水井区, 对于产液量相对较低而又未采取提液措施的油井, 实施交叉增排措施 42 井次, 日增液 2451m^3 , 日增油 169t, 累计增油 2.46×10^4 t。

4. 不断应用新工艺新技术, 实现降水增油

1) 小套管侧钻(扩孔)技术的应用

针对目前断块无法实施堵水措施的高含水井进行了小套管侧钻扩孔试验, 已实施 3 口井, 取得很好效果。如 13-219 井侧钻前日产油 1t, 日产液 98m^3 , 累计产油 4.3891×10^4 t,

累计产水 $29.4558 \times 10^4 \text{m}^3$ ，因高含水而停产。2001 年 11 月侧钻后，选层射孔，初期日产油 13t，含水 55.2%，已累计产油 1569t。

2) 找堵水技术规模化应用

硼一中子寿命测井具有纵向小层剩余油识别精度高，机械（智能）找水具有分层求产和封隔器坐封性好的特点，断块近 2 年已广泛应用这 3 种找堵水技术，已实施 19 井次，日增油 84t，累计增油 $1.0794 \times 10^4 \text{t}$ 。

3) 稠化油堵水技术的应用

对于不具备机械堵水的高含水井，则采用稠化油堵水技术。该技术具有投资小、见效快的特点，1999~2001 年共实施 46 井次，增油 $1.4990 \times 10^4 \text{t}$ 。

4) 油泥及深度化学调剖应用

通过注水井化学调剖降低了强吸水层的吸水能力，提高了中、低渗层的动用程度，扩大了注水波及体积。2001 年，断块实施 3 井次，对应 14 口油井见效，年增油 1805t。

5. 特高含水期开发效果评价

通过断块特高含水阶段实施的一系列以控水稳油为目的的断块综合治理工作，使断块在特高含水期稳产开发，取得了较好的效果。

1) 采油速度保持合理水平

断块投入注水开发 23 年，高效开发 20 年，在特高含水阶段平均年产油 35.3×10^4 ，采油速度保持在 1.4% 左右。

2) 含水上升率得到很好控制

阶段含水上升率仅为 0.20%，比理论值低 1.2%（图 2）。

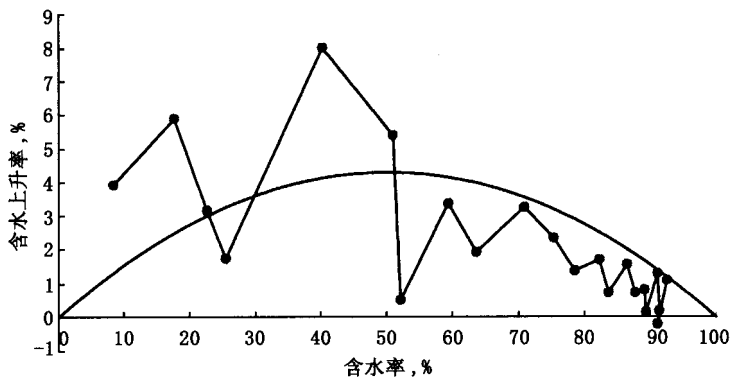


图 2 含水率与含水上升率关系曲线

3) 措施效果好，有效率高

断块阶段实施各类措施 192 井次，有效 158 井次，措施有效率 82.3%，措施增油 $12.9183 \times 10^4 \text{t}$ 。

4) 采收率不断提高

断块新增可采储量 $80.7 \times 10^4 \text{t}$ ，采收率从 48.0% 提高至 51.2%。

5) 经济效益好

断块阶段增油 $25.88 \times 10^4 \text{t}$ ，创效 19410×10^4 元。