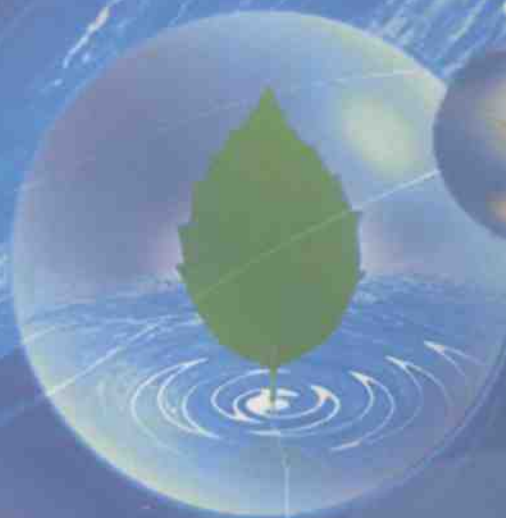
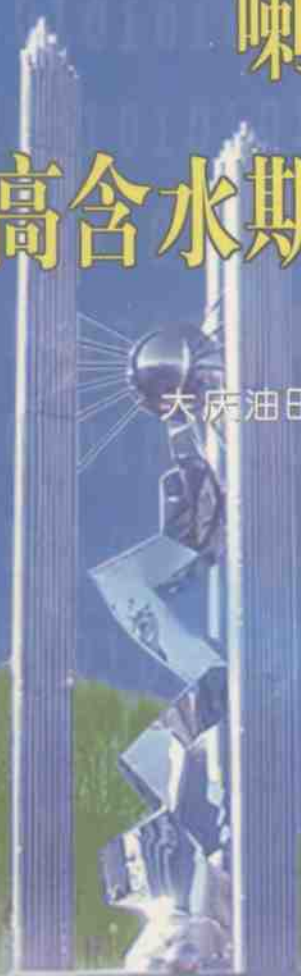


喇嘛甸油田开发建设三十周年纪念



喇嘛甸油田 特高含水期油田开发理论与实践

大庆油田有限责任公司第六采油厂 编



石油工业出版社

喇嘛甸油田特高含水期 油田开发理论与实践

大庆油田有限责任公司第六采油厂 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本文集是大庆喇嘛甸油田开发 30 年来,广大干部、技术人员和现场操作人员在油气田开发及其配套工艺的深入实践中不断创新总结出来的,尤其是把具有代表性、适用性、前瞻性的优秀科技论文优选汇集而成。本文集由油藏工程、采油工程和地面工程三部分组成,具有专题性强和适用性好的特点。

本书适合从事油气田开发尤其是老油田高含水后期开发的工程技术人员、管理决策人员和现场操作人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

喇嘛甸油田特高含水期油田开发理论与实践/大庆油田有限责任公司第六采油厂编. —北京:石油工业出版社, 2003.5
ISBN 7-5021-4264-9

I. 喇…

II. 大…

III. 油田开发 —大庆市 —文集

IV. TE34-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 036085 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)

北京华正印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 17.75 印张 450 千字 印 1—1000

2003 年 5 月北京第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4264-9/TE·2993

定价: 50.00 元

编委会名单

主 编 王宏伟 李景禄

副主编 王德喜 黄伏生

成 员 桑广森 王渝明 张晓波 张平路 闫树军

王学跃 赵明泉 周 群 卢东风 姜喜庆

孟令尊

前 言

时光如梭，岁月流转，喇嘛甸油田迎来了 30 周岁华诞。

1973 年 6 月，位于大庆油田最北端的喇嘛甸油田揭开了开发的序幕。30 年来，参加油田会战和建设的干部、技术人员和广大工人，坚持以“两论”为指导，发扬大庆精神和铁人精神，尊重科学，尊重实践，不畏困难，团结拼搏，无私奉献，谱写了一曲曲挑战自然的壮丽凯歌，攀登了一座座科技创新的傲人高峰，结出了一串串高产稳产的累累硕果。

喇嘛甸油田的开发史就是一部油田科技发展史。

在 30 年的开发历程中，无论是油田开发建设、层系调整、全面转抽、注采系统调整、二次加密调整以及目前的聚合物驱采油的各个阶段，全厂广大干部工人特别是科技人员始终坚持依靠技术进步，大力加强科学管理，努力开展科学试验，全面推广应用新技术新工艺，积极进行群众性技术革新。30 年来，全厂共获得国家级科技进步奖 5 项，省部级科技进步奖 16 项，公司级技术进步奖 213 项，厂级科技奖励 2579 项，撰写论文 1465 篇。这些研究成果，为油田开发提供了强有力的技术支撑和保障，确保了油田的高水平、高效益开发，奠定了可持续发展的坚实基础。

为了纪念喇嘛甸油田开发 30 周年，完善特高含水期油田开发技术体系，我们对 30 年来油田开发的科研成果进行优选，将具有代表性、适用性、前瞻性的优秀科技论文结集出版，以期对今后油田开发提供借鉴和指导。同时，我们也深切地感到，文集的每一篇论文都凝聚了广大科技人员的辛勤劳动，体现了广大科技人员的聪明才智，倾注了广大科技人员的不倦真情。在这里，我们对全厂为油田开发做出贡献的广大员工尤其是科研人员表示崇高的敬意和衷心的感谢！

油田开发已经进入一个新的历史阶段，一座座技术“山峰”矗立在可持续发展的道路上，一道道开发“难题”摆在石油科技工作者面前。相信曾经铸就辉煌的喇嘛甸石油人一定会坚定不移地坚持“两高一发展”的开发方针，解放思想，与时俱进，开拓创新，勇于挑战极限，不断攻克技术难关，用持久的执着、辛勤的汗水、聪颖的智慧、坚实的脚步，在喇嘛甸油田这块沃土上再描绘出更新更美的画卷。

编委会

2003 年 5 月

目 录

第一篇 油 藏 工 程

喇嘛甸油田特高含水期水驱综合调整技术研究

..... 黄伏生 梁文福 余兴华 任海滨 高 松 (3)

完善聚驱综合配套调整技术 改善聚合物驱开发效果

..... 黄伏生 胡广斌 刘连福 杜晓明 韩伟东 (32)

利用周期注水方法改善喇嘛甸油田高含水后期开发效果

..... 姜喜庆 梁文福 余兴华 黄修平 徐晓华 (41)

喇嘛甸油田特高含水期井网综合利用完善单砂体注采关系方法

..... 周 群 梁文福 刘丽华 李卫彬 王润波 (45)

对喇嘛甸油田二类油层聚驱调整的几点认识

..... 姜喜庆 方 亮 王 伟 任海滨 沈中梅 (52)

喇嘛甸油田精细地质研究与应用

..... 黄伏生 赵 伟 王莉明 任海滨 艾 颖 赵海峰 (56)

喇嘛甸油田聚驱调剖实践与认识

..... 苏延昌 吴赞校 石志成 刘国红 程富莉 (67)

污水配制聚合物研究与实践

..... 郭明日 王宝江 舒方春 姚 兰 高 峰 (78)

积极开展化驱实验 提供三采储备技术

..... 王宝江 张义江 高 峰 张世东 李 红 (87)

喇嘛甸油田套管损坏原因及防治方法研究

..... 黄伏生 洪怀福 董清秋 张国庆 魏月芝 李绍文 (97)

喇嘛甸油田利用水平井挖潜剩余油可行性研究

..... 黄伏生 沙宗伦 孟庆吉 王 伟 于宏宇 (105)

喇嘛甸油田聚合物驱油经济效益分析

..... 闫树军 王 彬 高亚利 邹育辉 刘佰雄 (109)

第二篇 采 油 工 程

厚油层挖潜配套工艺技术研究

..... 高志刚 王德喜 孟令尊 任成锋 赵国忠 高恒达 (117)

降低油井综合返工率配套措施应用

..... 徐学军 孟令尊 张学斌 刁晶文 马英卓 乔 敏 (128)

聚驱抽油机井的偏磨治理

..... 孟令尊 张学斌 李建红 李 涛 刁晶文 周玉海 (139)

大排量螺杆泵的应用前景分析

..... 许 军 王德喜 孟令尊 乔 敏 尹敬山 许俊明 (146)

抽油机井节能技术应用试验 … 张建军 张宝忠 许 军 尹敬山 李文昌 何长柏 (153)
运用整体参数优化技术提高抽油机井系统效率 …………… 孟令尊 王德喜 许 军 尹敬山 张兴战 (161)
浅层套管牺牲阳极保护技术研究应用 …………… 张建军 孟令尊 任成锋 范国永 任立新 邓少松 (165)
含聚污水对注采工艺的影响及解决措施研究 …………… 张建军 王德喜 赵国忠 吴志春 高志刚 张学斌 (173)

第三篇 地面工程

对喇嘛甸油田地面工程系统优化调整的认识 …………… 王德喜 罗士平 杜祖荣 张 宏 李 巍 张奎文 刘道江 (181)
喇嘛甸油田电力系统优化运行研究 …………… 李 巍 王东旭 李 斌 张爱红 (186)
聚驱简化地面工艺技术的实践与认识 … 丁延国 杜祖荣 张 旭 王德喜 卢东风 (191)
污水曝氧流程简化工艺研究 …………… 丁延国 卢东风 张 旭 刘道江 (199)
深度污水站双向过滤存在的问题及技术对策 …………… 张明月 卢东风 张 宏 (207)
含油污水降低矿化度处理技术研究 …… 丁延国 王德喜 张 旭 王宝江 张义江 (212)
高分辨率油水分离装置现场试验 …………… 张 宏 卢东风 刘长福 张明月 (219)
联合站区域性阴极保护存在的问题及解决措施 …………… 解红军 王德喜 杨文升 王 伟 安程利 (226)
SL-2098 检测仪在埋地管道腐蚀检测中的应用 …………… 董立敬 王大志 李俊国 王明维 (235)
喇二注气站注采工艺技术特点及其运行效果分析 …………… 张奎文 辛礼印 张力春 (239)
喇九注水站余热锅炉渗漏故障分析及技改措施 … 肖湘俊 张连福 肖 红 阮文渊 (245)
非金属管道应用及维修技术研究 …………… 王德喜 解红军 张奎文 孙 彪 (250)
应用常温输送控制图 探索特高含水期油井常温输送新途径 …………… 乔晶鹏 王德喜 樊文杰 梁志武 (260)
优化综合节电措施 控制电力消耗增长 …………… 梁志武 樊文杰 乔晶鹏 (269)

第一篇 油 藏 工 程

喇嘛甸油田特高含水期水驱综合调整技术研究

黄伏生 梁文福 余兴华 任海滨 高 松

摘 要 针对喇嘛甸油田进入特高含水开发阶段后,液油比高、耗水量大,可采储量采出程度高、挖潜难度大,层系间含水差异小、结构调整难度大的特点,通过对密闭取心资料分析、精细地质解剖,以及进行精细数值模拟计算,研究了各类储层的动用状况及剩余油分布特征;结合室内岩心驱替实验结果,研究了喇嘛甸油田各类储层的无效注采问题。根据物质平衡原理,研究了合理压力保持水平。在此基础上,确定了特高含水期水驱开发的技术政策;研究了特高含水期不同类型储层剩余油的挖潜方法,以及寻找和控制无效注采循环的做法。

一、特高含水期剩余油分布特点

(一) 储层动用程度高

根据最新 3 口密闭取心井资料分析,未水洗层的砂岩厚度占 15.49%,有效厚度仅占 5.43%,未水洗层主要集中在有效厚度小于 0.5m 的薄差层和表外储层当中(表 1、表 2)。

表 1 喇嘛甸油田取心井未水洗厚度变化情况

项目 阶段	井数 (口)	平均单井钻遇			平均单井未水洗层					
		层数 (个)	砂岩 (m)	有效 (m)	层数 (个)	比例 (%)	砂岩 (m)	比例 (%)	有效 (m)	比例 (%)
高含水中后期	4	47.5	92.5	64.5	29.3	61.58	28.3	30.59	14.7	22.78
特高含水期	3	77.3	100.3	67.0	34.3	44.39	15.5	15.49	3.6	5.43

表 2 喇嘛甸油田不同时期未水洗层分布状况

项目 阶段	有效 $\geq 1\text{m}$		1m>有效 $\geq 0.5\text{m}$		有效<0.5m		表外 (%)
	砂岩 (%)	有效 (%)	砂岩 (%)	有效 (%)	砂岩 (%)	有效 (%)	
高含水中后期	30.85	23.25	28.80	15.72	27.92	24.83	12.47
特高含水期	5.80	23.31	11.64	36.52	15.97	40.17	66.58

喇嘛甸油田北西块三次加密试验井水淹层解释资料也说明,未水淹层有效厚度所占比例只有 5.72%,且主要是有效厚度小于 0.5m 的薄差油层(表 3)。

(二) 剩余油主要位于厚油层内部

从密闭取心资料看,尽管水洗层有效厚度占钻遇总厚度的 94.57%,但水洗层内剩余油

表 3 北西块三次加密试验井高台子油层水淹状况 (平均单井)

分类 \ 分级	高、中水淹		低水淹		未水淹	
	有效 (m)	比例 (%)	有效 (m)	比例 (%)	有效 (m)	比例 (%)
有效 $\geq 0.5\text{m}$	29.3	76.81	7.6	20.05	1.2	3.15
有效 $< 0.5\text{m}$	0.4	11.27	1.8	54.03	1.2	34.7
合计	29.7	71.45	9.5	22.82	2.4	5.72

注: 不包含表外储层。

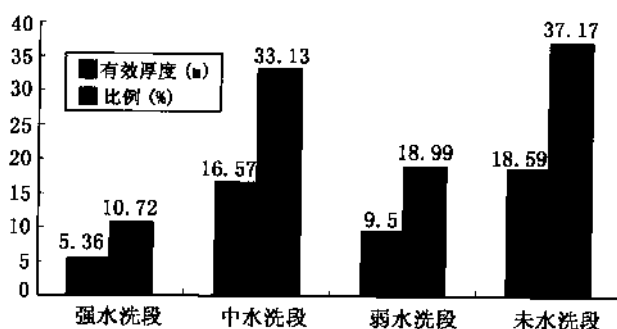


图 1 取心井水洗层内水洗状况

仍然较多, 平均单井未水洗段有效厚度占水洗层总厚度的 37.17% (图 1), 且主要分布在有效厚度大于 2m 的厚油层中 (图 2)。

从不同级别水洗段在层内的分布上看, 平均每个水洗层有强水洗段 0.59 个、中水洗段 1.29 个、弱水洗段 0.87 个、未水洗段 1.33 个, 平均每段有效厚度分别为 0.43m、0.51m、0.39m 和 0.47m (表 4)。弱、未水洗段 52.6% 的有效厚度位于

层内上部, 30.1% 位于中部, 17.3% 位于下部。

从数值模拟研究结果看, 解剖区 (喇嘛甸油田南块西部) 地质储量 $7980 \times 10^4\text{t}$, 到 2000 年底已采出 32.04%, 其中萨二组、萨三组、葡一组和高一组采出程度较高, 萨一组、高二组和高三组采出程度相对较低 (表 5)。主要原因是萨一组油层是套损易发生部位, 为控制套损一直采取控注措施, 而高二组和高三组油层主要以非主体薄层砂和表外储层为主, 油层物性较差, 吸水能力低。由于这三个油层组储量只占全区总储量的 11.08%, 对全区开发效果影响程度较小。

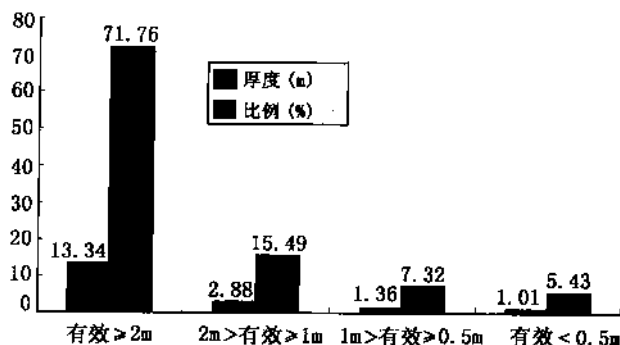


图 2 水洗层内未水洗厚度分布状况

表 4 特高含水期取心井水洗层层内水洗段分布状况

项目 \ 分类	平均一个水洗层内									
	强水洗段		中水洗段		弱水洗段		未水洗段		合计	
	段数 (个)	段厚 (m)	段数 (个)	段厚 (m)	段数 (个)	段厚 (m)	段数 (个)	段厚 (m)	段数 (个)	段厚 (m)
表内层	0.59	0.43	1.29	0.51	0.87	0.39	1.33	0.47	4.08	1.80
表内厚层	0.88	0.50	2.34	0.62	1.42	0.46	2.41	0.64	7.05	2.22

表 5 喇嘛甸油田南块西部不同微相储量动用程度 (截止 2000 年底)

分类 油层组		河道砂		主体河间砂		非主体河间砂		表外储层		全区	
		地质储量 ($\times 10^4$ t)	采出程度 (%)	地质储量 ($\times 10^4$ t)	采出程度 (%)	地质储量 ($\times 10^4$ t)	采出程度 (%)	地质储量 ($\times 10^4$ t)	采出程度 (%)	地质储量 ($\times 10^4$ t)	采出程度 (%)
萨尔图	萨一组	54.32	28.96	419.62	29.00	142.37	24.32	24.77	16.60	641.07	27.48
	萨二组	1312.64	35.06	1200.99	32.45	147.36	26.82	100.92	26.66	2761.91	33.18
	萨三组	918.21	34.28	738.17	31.50	82.73	24.57	65.18	23.47	1804.28	32.30
	小计	2285.17	34.60	2358.78	31.54	372.46	25.37	190.87	24.26	5207.26	32.17
葡萄花	葡一组	274.50	39.51	230.71	31.17	70.33	25.84	47.69	23.82	623.24	33.68
	葡二组	529.75	33.61	425.22	30.20	97.86	26.81	81.66	24.40	1134.49	31.08
	小计	804.25	35.63	655.93	30.54	168.19	26.40	129.35	24.18	1757.73	32.00
高台子	高一组	259.82	35.10	172.34	33.13	169.47	30.87	170.76	28.44	772.39	32.26
	高二组	55.66	31.93	67.88	30.07	81.27	27.78	38.02	24.30	242.83	28.83
	高三组	0.04	8.46	0.01	11.43	0.01	6.48	0.02	6.64	0.07	8.26
	小计	315.52	34.54	240.23	32.27	250.75	29.87	208.80	27.69	1015.29	31.44
合 计		3404.94	34.84	3254.94	31.39	791.40	27.01	529.02	25.60	7980.28	32.04

从不同微相储层动用状况上看,河道砂的采出程度为 34.84%,主体河间砂为 31.39%,非主体河间砂为 27.01%,表外储层为 25.60%。

从剩余储量分布上看,82.09%的剩余地质储量分布在河道砂和主体河间砂内(表 6),因此挖潜厚油层内的剩余潜力是改善喇嘛甸油田特高含水期开发效果的关键。

表 6 喇嘛甸油田南块西部剩余储量分布状况

分类 油层组		河道砂剩余储量		主体河间砂剩余储量		非主体河间砂剩余储量		表外储层剩余储量		全区剩 余储量 ($\times 10^4$ t)
		储量 ($\times 10^4$ t)	比例 (%)	储量 ($\times 10^4$ t)	比例 (%)	储量 ($\times 10^4$ t)	比例 (%)	储量 ($\times 10^4$ t)	比例 (%)	
萨尔图	萨一组	38.58	8.30	297.93	64.08	107.75	23.18	20.66	4.44	464.91
	萨二组	852.40	46.19	811.30	43.96	107.83	5.84	74.02	4.01	1845.55
	萨三组	603.45	49.41	505.68	41.40	62.40	5.11	49.89	4.08	1221.42
	小计	1494.43	42.31	1614.91	45.72	277.98	7.87	144.57	4.09	3531.88
葡萄花	葡一组	166.03	40.17	158.79	38.42	52.16	12.62	36.33	8.79	413.32
	葡二组	351.68	44.98	296.82	37.96	71.62	9.16	61.74	7.90	781.86
	小计	517.71	43.32	455.61	38.12	123.78	10.36	98.07	8.21	1195.18
高台子	高一组	168.62	32.23	115.24	22.03	117.15	22.39	122.19	23.35	523.20
	高二组	37.89	21.92	47.47	27.47	58.69	33.96	28.79	16.66	172.83
	高三组	0.03	50.00	0.01	16.67	0.00	0.00	0.01	16.67	0.06
	小计	206.54	29.67	162.72	23.37	175.84	25.26	150.99	21.69	696.09
合 计		2218.68	40.91	2233.24	41.18	577.60	10.65	393.63	7.26	5423.15

从剩余油平面分布上看,也主要位于河道砂和主体河间砂内(表7)。一是存在于断层两侧,由于井网不完善存在剩余油;二是存在于河道砂末端及河间砂的边部,由于相带突变造成几个方向或某一方有采无注或有注无采;三是两种相带相过渡部位,由于沉积成分和层内构造复杂,使其成为两个相带各自动力单元的边缘地带,受注水波及程度差,存在剩余油。

表7 喇嘛甸油田南块西部含油饱和度 $\geq 55\%$ 井区储量分布

油层组		河道砂剩余油		主体河间砂剩余油		非主体河间砂剩余油		全区剩余油 ($\times 10^4$ t)
		储量($\times 10^4$ t)	比例(%)	储量($\times 10^4$ t)	比例(%)	储量($\times 10^4$ t)	比例(%)	
萨 尔 图	萨一组	10.71	12.06	59.97	67.54	18.10	20.39	88.79
	萨二组	108.48	44.36	118.64	48.51	17.43	7.13	244.55
	萨三组	77.54	47.16	74.22	45.14	12.64	7.69	164.41
	小计	196.73	39.52	252.83	50.79	48.17	9.68	497.75
葡 萄 花	葡一组	16.68	26.54	33.94	53.99	12.25	19.49	62.86
	葡二组	62.23	48.29	54.04	41.93	12.61	9.78	128.88
	小计	78.91	41.15	87.98	45.88	24.86	12.96	191.74
高 台 子	高一组	26.78	39.56	18.42	27.21	22.50	33.23	67.70
	高二组	8.47	26.60	10.05	31.56	13.31	41.80	31.84
	高三组	0.02	66.67	0.01	33.33	0.00	0.00	0.03
	小计	35.27	35.44	28.48	28.60	35.81	35.97	99.57
合 计		310.91	39.40	369.29	46.80	108.84	13.80	789.06

(三) 在注采完善程度差的部位仍然存在一定的剩余油

目前喇嘛甸油田水驱控制程度达到了98.6%,但从取心井水洗资料和新钻井水淹层解释资料看,平均单井未(弱)水洗和未(低)水淹层(有效厚度 ≥ 0.5 m)的有效厚度仍有4m左右(表8)。造成油层动用差的主要原因是注采完善程度低。

表8 喇嘛甸油田取心、更新井未(弱)水洗、未(低)水淹层分析
(砂岩厚度 ≥ 1 m,有效厚度 ≥ 0.5 m)

项目	统计 井数 (口)	未(弱)水洗 未(低)水淹			动用差原因								
		平均 层数	平均 砂岩 (m)	平均 有效 (m)	局部发育原井网未控制住			原井网无注、无采或断层遮挡			分流线处或局部变差		
		(个)	(m)	(m)	层数比例 (%)	砂岩比例 (%)	有效比例 (%)	层数比例 (%)	砂岩比例 (%)	有效比例 (%)	层数比例 (%)	砂岩比例 (%)	有效比例 (%)
取心井	3	3.3	5.7	4.0	20.0	18.8	21.8	50.0	56.5	60.5	30.0	24.7	17.7
更新井	7	2.7	3.9	3.6	8.3	12.2	11.9	41.7	37.1	36.2	50.0	50.7	51.9

此外,从近几年新投产的306口聚合物驱加密井生产情况看,初期含水低于70%的井有50口,占聚合物驱加密井总数的16.3%(表9)。初期平均单井日产油32.1t,含水52.0%。

对这50口低含水井注采关系进行分析,注采不完善是造成油层动用差的主要原因(表10)。说明喇嘛甸油田即使是葡I1-2油层这样大型砂质辫状河沉积的砂体,在原井网条件下仍然存在一些井网控制程度差的部位。

表 9 喇嘛甸油田聚合物驱加密井初期生产情况

分类 \ 项目	井数 (口)	初期生产情况		
		平均单井日产液 (t)	平均单井日产油 (t)	综合含水 (%)
聚驱加密井	306	105.2	7.9	92.5
其中低含水井含水 < 70%	50	66.8	32.1	52.0

表 10 喇嘛甸油田聚合物驱低含水加密井分类

分类 \ 项目	断层和尖灭线附近	无井控制动用差	注入井位于变差部位	注水二线受效位置	非主流线区	选射上部变差部位
井数 (口)	10	8	4	3	8	17
所占比例 (%)	20	16	8	6	16	34

从北东块纯油区精细解剖结果看,解剖区还有 2.64% 的地质储量因注采不完善或完善程度低动用较差 (表 11), 主要分布在注采井网难以控制的分流河道边部、决口河道 (扇)、主体席状砂等部位。平面上呈边角型、坨状、条带状和局部片状分布。在横排和纵排井距为 $150\text{m} \times 150\text{m}$ 的井网下, 控制面积在 4 个井点以下的比例高达 79.3% (表 12), 说明特高含水期虽然平面上存在一定的剩余油, 但分布零散, 控制面积较小。

表 11 解剖区不同沉积模式储层注采完善程度

项目 \ 相模式	单元数 (个)	完善程度差油层			不同类型储量比例 (%)					
		块数 (个)	储量 ($\times 10^4\text{t}$)	储量比例 (%)	分流河道边部	决口河道、扇	主体席状砂	非主体席状砂	废弃河道	坨状砂体
高弯曲分流河	8	2	15.1	1.10	—	—	—	—	100	—
低弯曲分流河	20	65	69.8	3.12	8.12	69.12	12.26	10.07	—	—
枝状三角洲内前缘	4	25	16.9	6.68	15.30	35.20	21.38	16.18	—	11.96
坨状三角洲内前缘	5	2	8.3	3.65	75.09	—	—	—	—	25.03
三角洲外前缘	29	46	14.58	2.33	0	15.03	23.16	22.85	—	38.96
合计	66	140	124.68	2.64	11.62	45.22	12.47	10.50	12.11	7.84

表 12 解剖区注采不完善砂体控制面积分类

分类 \ 项目	注采不完善砂体控制面积 (井点数)						合计
	1 个	2 个	3 个	4 个	5 个	6 个以上	
块数 (块)	31	32	32	16	6	23	140
比例 (%)	22.1	22.9	22.9	11.4	4.3	16.4	100

二、特高含水期注采循环特点

2000 年喇嘛甸油田水驱综合含水 92.55%, 产出液油比为 13.42, 是含水 80% 时的 2.68 倍。与 1990 年相比, 2000 年水驱含水大于 95% 的井数从 79 口增加到 404 口, 所占比例从 5.60% 增加到 20.82%; 产油量从 $13.3 \times 10^4\text{t}$ 增加到 $77.85 \times 10^4\text{t}$, 所占比例从 1.85%

增加到 20.83%；产液量从 $233.9 \times 10^4 \text{t}$ 增加到 $1597.0 \times 10^4 \text{t}$ ，所占比例从 4.63% 增加到 32.57%（表 13）。

表 13 喇嘛甸油田水驱区块高含水井状况统计

项目 年份	油井总数 (口)	综合含水 (%)	含水 > 95% 井						高关井		
			井数 (口)	占水驱 (%)	年产量 ($\times 10^4 \text{t}$)	占水驱 (%)	年产量 ($\times 10^4 \text{t}$)	占水驱 (%)	井数 (口)	日产液 (t)	含水 (%)
1990	1410	86.26	79	5.60	233.9	4.63	13.3	1.85	—	—	—
1995	1943	87.98	96	4.94	516.9	9.81	30.5	4.69	22	3080	98.3
2000	1940	92.55	404	20.82	1597.0	32.57	77.85	20.83	96	11451	97.6

从取心资料看，特高含水期与高含水期相比，水洗层波及系数没有明显提高，层内强水洗厚度只提高了一个百分点，未水洗厚度基本不变，注入水除了提高中水洗和弱水洗段的驱油效率外，大部分沿强水洗段无效循环（表 14、表 15）。

表 14 取心井厚油层层内水洗状况（有效厚度 $\geq 2\text{m}$ ）

项目 阶段	井数 (口)	平均单井钻遇			平均单井水洗层			水洗层层内水洗段有效厚度比例			
		层数 (个)	砂岩 (m)	有效 (m)	层数 (个)	砂岩 (m)	有效 (m)	强洗 (%)	中洗 (%)	弱洗 (%)	未洗 (%)
高含水中后期	4	9.5	54.9	45.0	8.5	51.7	42.0	9.6	30.0	23.0	37.4
特高含水期	3	9.0	43.5	36.4	8.7	42.6	35.6	10.7	35.7	16.1	37.5

表 15 不同时期取心井水洗层驱油效率

项目 阶段	井数 (口)	分类	水洗层采出程度 (%)	水洗段驱油效率 (%)				水洗层内波及系数
				强水洗段	中水洗段	弱水洗段	水洗段平均	
高含水中后期	4	表内层	25.12	67.72	41.23	26.00	40.18	0.6252
		表内厚层	25.50	68.52	41.02	25.69	39.90	0.6391
特高含水期	3	表内层	27.12	64.76	43.52	30.36	43.17	0.6282
		表内厚层	27.05	64.84	43.36	28.49	43.26	0.6253

从注水井同位素吸水剖面资料看，随着注水开发时间的延长，层内吸水段厚度比例由开发初期的 99.93% 减少到目前的 87.79%，其中主要吸水段厚度比例由开发初期的 75.63% 减少到目前的 33.08%，也说明目前厚油层内注水量主要沿大孔道、高渗透部位突进（表 16）。

以上数据说明，喇嘛甸油田特高含水期无效、低效注采循环比较严重。因此，研究注采循环特点，搞清无效、低效生产层，对搞好特高含水期综合调整，减少油田注采水量具有重要意义。

（一）实验概况

喇嘛甸油田有效厚度大于 2m 的厚油层的地质储量占全油田总储量的 67.5%。按油层性质和发育状况可划分为一类油层、二类油层、三类油层和下水分流河道砂体四类。

表 16 基础井网厚油层层内吸水状况变化 (有效厚度 $\geq 2\text{m}$)

项目 时间	基础井网 综合含水 (%)	统计		吸水量占 全井比例 (%)	吸水段占 吸水层厚度比例		主要吸水段 占吸水层厚度比例		主要吸水段吸水量 占吸水层吸水量比例 (%)
		井数 (口)	层数 (个)		砂岩 (%)	有效 (%)	砂岩 (%)	有效 (%)	
1983 年前	75.12	15	67	13.57	99.69	99.93	70.97	75.63	82.39
1985 年	82.00	50	210	14.97	96.02	96.87	63.72	68.94	80.63
1990 年	90.63	77	340	15.75	91.42	93.15	47.09	51.69	68.88
1995 年	91.84	82	252	20.60	86.53	88.71	33.30	36.03	69.42
2000 年	94.15	74	162	25.43	86.99	87.79	31.92	33.08	78.76

一类油层是指葡 I 1-2 油层, 该油层目前以聚合物驱为主; 二类油层是指萨 II 1-3、萨 III 1-3 和萨 III 4-7 三个砂岩组的厚油层; 三类油层是指除一、二类油层以外河流相沉积的厚油层; 水下分流河道砂体是指三角洲相沉积的河道砂。

1. 驱油模型

驱油模型选取喇嘛甸油田实际地层中的岩心, 采用环氧树脂胶结 (表 17)。选用 B1-1 号岩心模拟均质油层; 选取 B2-1、B2-2、B2-3 三块岩心将其并联, 模拟二类油层; 选取 B3-1、B3-2、B3-3 三块岩心将其并联, 模拟三类油层; 选取 B4-1、B4-2、B4-3 三块岩心将其并联模拟分流河道油层。

表 17 岩心物性参数表

序号	油层类型	岩心号	气测渗透率 (μm^2)	孔隙度 ϕ (%)	含油饱和度 (%)
1	均质油层	B1-1	0.255	24.6	67.3
2	二类油层	B2-1	0.383	26.5	64.3
		B2-2	0.934	26.0	67.8
		B2-3	1.688	26.3	78.4
3	三类油层	B3-1	0.153	21.1	65.5
		B3-2	0.332	23.8	68.7
		B3-3	0.836	25.0	71.4
4	分流河道	B4-1	0.081	23.0	56.6
		B4-2	0.223	23.0	54.0
		B4-3	0.387	24.2	68.5

2. 实验条件

饱和岩心用水为模拟地层水, 其矿化度为 7156mg/L; 水驱油用水取自实际注入水, 其矿化度为 3800mg/L, 其离子含量见表 18。

实验用油是模拟油。采用喇嘛甸油田脱气原油加煤油、真空泵油配制而成, 在 45℃ 条

件下, 粘度为 $10.3\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

除恒流泵外, 实验装置放在 45°C 的恒温箱中。

表 18 喇嘛甸油田地层水水质分析表

项目 水型	离子含量 (mg/L)							pH 值	总矿化度 (mg/L)
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-		
地层水	2428.0	14.85	7.48	54.1	2160.1	197.66	2266.8	8.0	7156.5
注入水	1194.8	12.6	36.1	41.9	1121.2	—	1275.5	7.5	3700

3. 实验程序

首先进行岩心处理、岩心抽空、饱和水, 测量孔隙体积, 计算孔隙度, 水测渗透率; 然后油驱水, 测含油饱和度, 计算束缚水饱和度。

将组合的四种类型岩心分别进行合注分采水驱油实验, 计量高、中、低渗透三块岩心出口的油、水产量及含水率; 计算总采收率、综合含水率。当综合含水率达到 100% 时, 关闭高渗透层段, 继续水驱, 当含水再达 100% 时, 关闭中渗透层, 继续水驱, 当含水达 100% 时, 水驱结束。

通过实验, 初步搞清了特高含水期的注采循环特点。

(二) “均质油层” 注采循环特点

严格意义上讲, 喇嘛甸油田不存在均质油层, 但我们可以把湖相沉积的层内非均质性不十分严重的席状砂体近似看作“均质油层”。

图 3 为“均质油层”岩心的采出程度与注入水占油层孔隙体积倍数变化关系曲线。从中可以看出, 当注入 0.3PV 见水后, 随着注水倍数的增加, 含水快速上升, 当注入水占油层孔隙体积 0.5 倍左右时, 出口总含水率达到 80%, 采出程度是 51.4%。含水率 80% 以后, 随着注水倍数的增加含水上升速度明显减缓。当注入孔隙体积倍数达 0.57PV 时综合含水达到 90%, 进入了特高含水期, 这时的采出程度是 52.0%。当累计注水量达到孔隙体积的 1.3 倍时, 含水率达到了 100%, 油层最终采收率为 54.9% (表 19)。

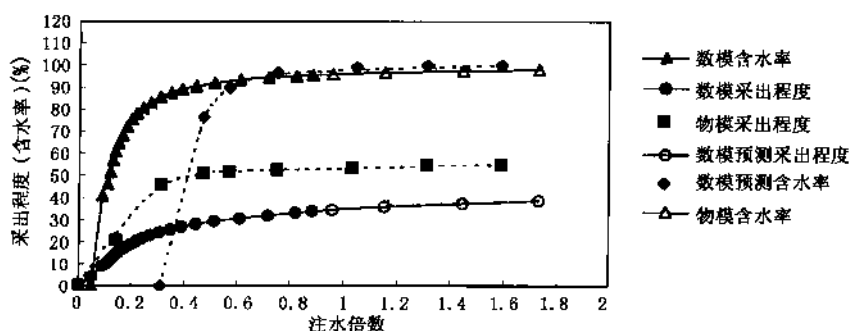


图 3 “均质”油层采出程度与注水倍数关系

以上数据说明, 均质油层采收率较高, 用较少的注水倍数即可达到较高的采出程度, 但含水达到 90% 以后, 继续增加注水, 采收率提高的幅度很小, 注水增加 0.7 倍, 采出程度