

萨中油田 “九五”注采工艺技术

孙 智 主编

王 研 徐国兴 任 刚 副主编

石油工业出版社

《萨中油田“九五”注采工艺技术》

编 委 会

主 编 孙 智

副主编 王 研 徐国兴 任 刚

委 员 雷 萍 何光中 李德胜 王长生 钟 平 王忠信

何贯中 周万平 万亚辉 杨现岭 耿秀岩 俞 昆

陈庭军 刘俊德 刘云斌 董增友 何光中 李德胜

前 言

萨中开发区是大庆油田的重要组成部分，在油田中占有相当显著的地位。1961 年投入开发，到目前已经有 40 年的开发历史。自 1976 年以来，年产油量在 $1500 \times 10^4 \text{t}$ 以上稳产了 25a。目前，油田综合含水已达 87.95%，采油速度为 1.14%，采出程度为 35.81%，可采储量采出程度为 74.17%，剩余可采储量采油速度为 9.14%。由此可见，油田稳产难度逐渐加大。

本书重点介绍“九五”以来为保持油田稳产而采取的各项技术与科研成果，分为五大部分：注水技术、举升工艺、三次采油、套管保护与大修、网络技术。这些内容集中反映了我厂科技人员的集体智慧与聪明才智，在油田的稳产中发挥了重要作用，部分技术内容在国内外处于领先地位。我们相信，通过本书的出版，将极大提高我厂科研人员的理论水平，加速科技成果转化为生产力的步伐；同时，对指导同类油田的开发与稳产措施的选择具有重要的意义。

在编写过程中得到大庆油田有限责任公司有关领导和采油一厂各位领导及同志们的鼎力相助，在此，表示深深的谢意！

由于时间仓促，书中难免存在不妥之处，敬请读者指正。

编著者

2002 年 6 月

目 录

第一部分 注水技术

厚油层深度调剖机理探讨及实践	孙 智	何光中	赵 嵩	张新民 (3)
KPX 系列管柱分层测压工艺	王 研	韩振国	任 龙	武秀娟 (10)
射流洗井器现场应用及分层流量测试分析	朱 丹	李志军	唐庆春	梁淑琴 (15)
测试资料综合分析应用	李俊峰	翟会波	魏建民	肖 玲 (21)
验封方法定量解释探讨	李俊峰	魏建民	王永利	翟会波 (27)
精细储层性质分析 提高三次加密井解堵效果 ...	赵 嵩	陈 宏	高立新	徐东方 (31)
含聚污水对中七联常规重力式滤罐的影响	崔万军	赵 嵩	董世宏	周万平 (40)

第二部分 举升工艺

偏磨原因分析及防治措施探讨	李德胜	王 波	高宇虹	宋旭东 (47)
高含水后期深井泵合理沉没度的确定	关 宁	王 刚	韩仁辉	徐文芹 (54)
防偏磨抽油泵的研制及应用效果分析	张淑敏	何贯中	宋旭东	赵锦庆 (59)
喷射泵的参数优选及现场应用	唐庆春	朱 丹	朱雪芹	李志军 (63)
变频调速技术在聚驱抽油机井上的应用	胥宏峰	王长生	杨现岭	王刚军 (71)
聚合物驱抽油机井热洗指标的制定	张淑敏	陈晓昕	俞 坤	杨俐慧 (75)
油井出砂、防砂现状及下步措施意见	孟祥鹏	田锦秀	何光中	任 龙 (82)
双平衡不压井器研制及性能分析	崔万军	洪 岩	毕雪松	贾明慧 (87)

第三部分 三次采油

三次加密井聚合物驱分层注水管柱适应性评价	曾红梅	刘俊德	时立祥	康少东 (93)
深入分析注聚井堵塞原因 提高解堵增注措施效果	赵 嵩	苗新蕾	高立新	赵 进 (100)
聚驱上下返工艺的理论与实践	任 龙	孟祥鹏	康少冬	李丽娟 (108)
大排量螺杆泵在聚合物驱的适应性研究	张天利	陈晓昕	王丽娟	胥洪峰 (116)
三元复合驱采出井结垢趋势分析及其对策	刘 玉	何光中	曹锡秋	关 宁 (121)
聚驱采出井油管锚定工艺分析与应用	王丽娟	李德胜	武云石	于晓明 (126)

第四部分 套管保护与大修

大修、报废工艺技术的应用、发展与评价	陈 民	罗 蕊	杨庆芬	相丽华 (131)
深部取套技术的应用与发展	罗 蕊	杨庆芬	张树人	梁跃东 (139)

应用侧钻扩孔钻具和尾管扶正器提高侧钻固井质量

..... 张树人 罗 蕊 梁跃东 杨庆芬 (143)

长井段水泥带压候凝封窜技术研究

..... 何光中 王 研 张兴福 王长生 张新民 赵 进 (151)

对页岩浸水及套管防护的几点认识 刘丽牧 李庆龙 马会宁 李文江 (158)

对新型磨铣工具设计与应用的认识 张淑敏 许英周 何贯中 邓来检 周贵军 (164)

第五部分 网络技术

利用网络技术编制水井方案方法研究 梁士波 朱雪芹 贾明慧 武秀娟 (171)

采油工程生产管理平台软件系统研制与应用 王 彤 朱荣杰 王晶华 (176)

第一部分 注水技术

原书空白页

厚油层深度调剖机理探讨及实践

孙 智 何光中 赵 嵩 张新民

(大庆油田有限责任公司第一采油厂)

摘 要 本文从探讨厚油层剩余油分布规律入手,提出实施深度调剖的目的就是对渗透率差异较大的厚油层挖潜。根据实验资料分析认为,合理的调剖设计可以显著地提高深度调剖的经济效益,介绍了深度调剖在萨中油田的应用实例。

主题词 厚油层 深度调剖 挖潜

近年来,厚油层深度调剖技术得到了很大的发展,应用范围越来越广泛,越来越受到广泛的重视。它被认为不是单纯的降低含水率的增产措施,更重要的是一种提高石油采收率的进攻性措施。厚油层深度调剖的现场实践也证明它是一种有效的挖潜手段。因此,我们下功夫把厚油层深度调剖的机理从理论和实践上搞明白,对指导厚油层深度调剖的实践和提高实施的成功率很有必要,大有益处。

一、厚油层内的剩余油在哪里

萨中油田是大庆开发最早的油田。作为主力油层的萨尔图、葡萄花油层,虽经三十多年的开发,但由于沉积特点和渗透率的差异,层内,特别是厚油层层内仍有较大幅度的油层未动用或动用不好。中区西部密井网试验区 45 口新系列测井水淹层资料统计,有效厚度等于或大于 2.0m 以上的 416 个厚油层,有 414 个油层不同程度水淹,密闭取心结果也表明,这些厚油层已全部见水,这说明,厚油层水淹程度已经很高。但由于油层纵向非均质的影响,使厚油层的水淹状况很不均匀。对水淹的 414 个厚油层进一步细解释表明,其水淹厚度占钻遇砂岩厚度的 77.5%,占有效厚度的 80.3%,说明厚油层内部还有 22.5% 的砂岩厚度和 19.7% 的有效厚度仍未水淹。通过对厚油层未水淹厚度的进一步分析,上部未淹厚度占未淹砂岩厚度的 22.5%,占有效厚度的 24.0%,这说明厚油层内部仍有潜力可挖。

即使已水淹的油层,由于渗透率的差异和油层构造的特点决定,仍有很大差异。如高 122-检 45 井密闭取心结果显示,砂岩厚度 7.8m,有效厚度 6.7m 的葡 I2 层,上部有 1m 未水洗和 1.8m 弱水洗,中部 3m 为中水洗,只有下部 2m 为强水洗。高 117-检 23 井取心资料和岩心分析结果显示,萨 II 8+9 和葡 I2-3 为厚油层,其中萨 II 8+9 层砂岩厚度 9.2m,有效厚度 8.8m,水洗厚度为 3.09m,仅占全部厚度的 35.1%;葡 I2-3 层砂岩厚度 6.2m,有效厚度 5.9m,水洗厚度 3.39m,仅占全部厚度的 57.5%。

以上所举例子是水驱阶段的情况。水驱开采虽然已进入了高含水开采阶段,但地下油的采出程度仍没有超过 30%。在此基础上,进行聚合物驱,水淹状况应有所改善,采收率在此基础上又提高了 10%,那么水淹状况如何呢?

中区西部是大庆油田最早进行聚合物驱现场试验的一个区块。该区块注聚合物前、后相距 30m 的两口密闭取心井, PT5 井为聚驱前取心, 中丁 5-检 7 井于聚驱后取心, 岩心分析结果表明, 聚驱提高了水洗程度 (表 1)。

表 1 中区西部聚驱前后两口井取心结果对比表

井号	层号	有效厚度 (m)	强 洗		中 洗		弱 洗		水洗合计	
			厚度 (m)	占百分比 (%)	厚度 (m)	占百分比 (%)	厚度 (m)	占百分比 (%)	厚度 (m)	占百分比 (%)
PT5	萨 II 1-3	4.1	0	0	0	0	0	0	0	0
中丁 5-检 7	萨 II 1-3	6.8	0.76	11.1	2.65	39.0	0	0	3.41	50.1
PT5	葡 II 1-4	13.8	3.5	25.4	0.4	2.9	0.8	5.8	4.7	34.1
中丁 5-检 7	葡 II 1-4	18.0	7.05	39.2	6.68	37.1	1.04	5.8	14.77	82.1

但进一步分析, 由于油层严重的非均质性的影响, 未洗或弱水洗仍然占有较大的比例, 就层内来讲, 则更说明这一点。中丁 5-检 7 井取心资料说明, 萨 II 1-2 层砂岩厚度 6.2m, 有效厚度 5.3m, 水洗厚度 2.59m, 只占 48.9%; 而葡 II 2-4 层砂岩厚度 15.9m, 有效厚度 14.8m, 水洗厚度 12.75m, 占 86.1%。

中区西部密井网试验区精细研究资料表明, 按有效厚度划分, 剩余油分布中的 30% 是由于厚油层内的非均质性造成的。

根据以上资料分析我们不难看出, 无论是水驱后还是聚驱后, 厚油层内仍有相当多的原油, 这部分剩余油主要是由于油层的非均质性造成的, 对于层内渗透率差异较大的正韵律厚油层来说, 顶部挖潜是厚油层深度调剖要解决的主要目标。

二、深度调剖技术的适应性

利用深度调剖的方法对厚油层挖潜, 它的适应性如何呢? 一般认为, 当流度不利, 油层非均质不很严重时, 比较趋向于使用聚合物驱; 如果波及系数不高主要是由油层非均质造成的, 则最好使用调剖。对于地层原油粘度比较大, 油层非均质也比较严重的油藏, 应该在聚合物驱前首先调剖, 调剖与聚合物驱结合是当前一个趋势。

通过实验, 说明层内渗透率的差异对调剖效果影响很大。

表 2 正韵律三层模型水驱后调剖试验效果表

油层变 异系数	实验方案	孔隙度 (%)	气相渗 透率 (μm^2)	原始含油 饱和度 (%)	水 驱			调 剖		最终采 收率 (%)
					出口 含水 (%)	无水 采收 (%)	采收率 (%)	出口 含水 (%)	采收率 (%)	
0.72	水驱后调剖 1/3PV	25.4	0.3016	76.4	99.4	12.6	29.6	98.9	17.6	46.7
0.59	水驱后调剖 1/3PV	25.6	0.3228	77.0	99.0	20.2	37.0	98.1	12.9	49.9
0.72	水驱后调剖 1/4PV	24.5	0.3012	76.0	98.0	16.8	30.5	98.4	13.3	43.8
0.59	水驱后调剖 1/4PV	24.8	0.324	75.7	99.5	18.5	35.2	98.8	9.80	45.0

从表 2 可见, 当渗透率差异小时, 水驱效果好; 调剖措施提高采收率幅度较小; 当渗透率差异较大时, 水驱采收率低, 调剖提高采收率的幅度较大。这说明, 我们应优先选那些渗

透率差异较大的层调剖挖潜。

表 3 变异系数为 0.72 时不同韵律油层的试验结果

方案 模型	调 剖				聚合物整体段塞驱				调剖后聚驱				聚合物三阶段段塞驱			
	含油	水驱	提高	总采	含油	水驱	提高	总采	含油	水驱	提高	总采	含油	水驱	提高	总采
	饱和度 (%)	采收率 (%)	采收率 (%)	收率 (%)	饱和度 (%)	采收率 (%)	采收率 (%)	收率 (%)	饱和度 (%)	采收率 (%)	采收率 (%)	收率 (%)	饱和度 (%)	采收率 (%)	采收率 (%)	收率 (%)
正韵律									73.0	19.3	28.0	47.3	72.6	19.7	21.1	40.8
多段韵律	73.9	24.1	18.7	42.8	73.8	24.3	12.5	36.8	73.3	26.0	20.5	46.5	73.6	25.7	15.5	41.2
复合韵律	75.2	24.6	19.8	44.4	74.1	25.6	11.1	36.7	75.2	24.7	20.6	45.3	75.8	25.1	17.0	42.1

表 3 是不同韵律油层六层模型的试验结果。可以看出，无论何种韵律，在变异系数为 0.72 的情况下，单纯调剖效果优于聚驱，调剖与聚驱结合时，其驱油效果要优于聚合物三阶段段塞驱。

从以上的实验结果和分析我们可以看到，厚油层深度调剖技术在水驱阶段，可极大地改善正韵律油层、多韵律油层的水驱效果，特别是渗透率差异大的油层；在聚驱阶段，它能与之配合，极大地改善聚驱效果，极大地提高原油采收率。

三、如何提高厚油层深度调剖的经济效益

厚油层深度调剖是一种大投入的措施，怎样做才能取得最大的经济效益，才能增产更多的原油，为了解决这个问题，我们开展了一系列的模拟试验。

模拟试验模型由石英砂压制而成。由上至下渗透率分别为 $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $600 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $900 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。无不渗透性夹层，五点法布井。模型先后饱和水、饱和油，建立束缚水饱和度。先水驱至含水 93%，计算水驱采收率。然后调剖，再水驱至含水 98% 止，对比不同调剖深度时的采收率提高幅度（表 4）。

表 4 调剖深度对采收率的影响

模型号	调剖深度	水驱采收率 (%)	调剖提高采收率 (%)	总采收率 (%)	单位体积调剖剂换油量 (m^3/m^3)
2	1/20 井距	33.8	1.5	35.3	7.7
4	1/10 井距	32.6	7.4	40.0	10.1
3	1/5 井距	32.6	10.6	43.2	3.5
5	1/2 井距	33.0	14.9	47.9	0.79

随着调剖深度增加，采收率提高值依次增加，降低含水的有效期延长，但当调剖深度大到一定程度时，采收率的提高幅度变小。可以看出，1/10 井距的调剖深度其采收率增幅较 1/20 井距明显提高，差值 5.9%，非常可观，而调剖剂用量也较低。当调剖深度再增大时，则单位体积换油量下降，从经济角度讲，不合算，这说明深度调剖有一个最佳经济效益深度。但决定调剖深度的另一个重要因素是技术上的可能性。因此在实施深度调剖时，必须结合经济条件、技术条件来综合考虑，综合论证，以取得最大的经济效益。

在达到尽可能多地增油和取得最大效益情况下，如何尽可能减少投入，这是我们关心的

另一个问题。室内物理模拟实验资料表明，在调剖深度相同情况下，调剖剂提高采收率的幅度与选择的调剖方式密切相关。模型实验说明，用多层次封堵高渗透层不但可以节省调剖剂用量，而且可以达到很好的调剖效果。模型 6、7、8 调剖剂用量基本相同，但由于段塞组合形式不同，调剖深度不同，采收率的提高幅度也不同，三个模型结果相比，模型 7 调剖深度较深，采收率的提高幅度也较大，因而经济效益最好（表 5）。

表 5 不同段塞形式对采收率的影响

模型号	多段塞形式	调剖半径	调剖剂量 (mL)	水驱采收率 (%)	调剖提高 采收率 (%)	总采收率 (%)	单位体积调 剖剂换油量 (m ³ /m ³)
6	1/3 剂、1/3 水、 1/3 剂	1/2.45 井距	43.3	38.5	7.2	45.7	0.86
7	1/4 剂、1/2 水、 1/4 剂	1/2.12 井距	44.9	36.7	12.0	48.7	1.40
8	1/5 剂、1/5 水、 1/5 剂、1/5 水、1/5 剂	1/2.33 井距	45.1	39.7	10.9	50.6	1.31

在调剖深度一定的情况下，由于段塞模型的组合形式不同，调剖提高采收率的幅度也不同。模型 9、10、11 的试验就是不同段塞组合形式的比较。在这三个当中，模型 11 的段塞组合形式采收率幅度较高（表 6）。

表 6 相同深度不同段塞组合调剖对采收率的影响

模型号	多段塞形式	调剖半径	调剖剂量 (mL)	水驱采收率 (%)	调剖提高 采收率 (%)	总采收率 (%)	单位体积调 剖剂换油量 (m ³ /m ²)
9	1/3 剂、1/3 水、 1/3 剂	1/3 井距	8.81	41.8	2.8	44.6	0.26
10	1/4 剂、1/2 水、 1/4 剂	1/3 井距	6.6	43.6	1.4	45.0	0.18
11	1/5 剂、1/5 水、 1/5 剂、1/5 水、1/5 剂	1/3 井距	7.92	41.6	3.8	45.4	0.42

注：该试验采用二维模型。

这个实验表明，在现场调剖施工设计中，调剖剂的注入形式大有文章可做。如采用段塞处理，则有可能节约调剖剂用量。但在现场实施中，如何应用段塞技术，需要在今后的实践中进一步探讨。

四、厚油层深度调剖的实践

最近几年，在通过室内实验对深度调剖机理进行研究的基础上，我们针对萨中油田的实际，研制和筛选了适合深度调剖的 CY 型延缓交联调剖剂，研制了配套的深度调剖施工设备。在此基础上，现场分别在水驱和聚驱的注入井上实施深度调剖，见到了明显的提高采收率的效果，具有良好的经济效益和社会效益，现举几例。

1. 水驱井 9-33 井深度调剖

位于 SZNYQ 丙块的 9-33 井和与其相近连通的 5 口采油井主要射开葡 I 组油层，6 口

井平均射开葡 I 组油层砂岩厚度 16.7m, 射开有效厚度 10.7m, 平均地层系数 $5.82\mu\text{m}^2\cdot\text{m}$ 。9-33 井与采油井的井距均大于 500m。调剖前的 1997 年 9 月, 开井生产的 4 口井合计日产液 592t, 日产油 25t, 综合含水 95.8%。

注水井 9-33 井射开葡 I 组油层, 射开厚度 16.8m, 有效厚度 9.7m。调剖前该井分两层注水, 根据吸水指示曲线、吸水剖面等资料, 决定对葡 I1-4 层调剖。

该井调剖前后均为水驱。1997 年 9 月, 对该井共注 CY 延缓交联型调剖剂 3700m^3 。调剖剂采用矿化度为 4491mg/L 的含油污水配制, 采用不同浓度配方的 4 个段塞, 其中第二和第三个段塞之间加了 1 个水段塞。调剖后 9-33 井的启动压力由调剖前的 6.2MPa 上升到 8.1MPa, 在日注水 200m^3 的情况下, 注水压力由 7.0MPa 上升到 8.9MPa, 压降曲线变缓。调剖前后吸水剖面资料显示, 层内吸水状况有较大改善 (表 7)。原来不吸水的 PI3 层调剖后吸水了, 原来吸水量高的现在吸水量下降了。在葡 I 2 层层内, 原来吸水量高的上部吸水量下降了, 而下部吸水量则提高了。

表 7 9-33 井吸水剖面测试成果

射孔层位		射开砂岩厚度 (m)	射开有效厚度 (m)	有效渗透率 (μm^2)	吸水百分数 (%)		
					1997.9.3 调剖前	1998.4.14 调剖后	变化值 (%)
PI	1+2	6.0	4.0	>1.22	30.8	27.3	-3.5
	2	3.6	1.0	0.242	49.4	21.0	-28.4
			0.9	0.27	8.3	20.7	+12.4
			0.8	0.275	6.0	21.9	+15.9
	3	1.4	(0.5)	0.036		3.0	+3.0
	4	1.4	1.2	0.270	5.5	6.2	+0.7

调剖后, 连通的 4 口可对比采油井见到了明显的降水增油效果。在产液量基本稳定或略有下降的情况下, 全井组日产油由调剖前的 25t 上升到最高时 60t, 日增油 35t, 平均单井日增油最高达到 8.75t; 至 2000 年 3 月底, 已累计增油 16477t, 提高采收率为 1.3059 个百分点。综合含水由调前的 95.8% 逐月有所下降, 下降最多时综合含水为 88.8%, 下降 7.0 个百分点, 至 2000 年 3 月底, 累计少产水 20294m^3 。如 8-丙 19 井为一口电泵采油井, 调剖前的 1.5 年中, 日产油由 30t 下降到 12t, 综合含水由 79.0% 上升到 90.8%。9-33 井调剖后, 该井日产油逐渐上升, 综合含水逐渐下降, 至 1998 年 10 月, 日产油升至 36t, 日增油达 24t, 综合含水降至 79.2%, 下降 11.6 个百分点。至 2000 年 3 月底止, 该井组调剖的增油有效期达到 2.5 年以上。

2. 聚驱注入井北丁 2-P66 井深度调剖

位于 BYQDD 东块的北丁 2-P66 井射开葡 I 组油层, 射开厚度 8.6m, 射开有效厚度 4.4m。调剖前为注水井, 在即将由水驱转为聚驱前调剖, 以改善注聚效果。

与北丁 2-P66 井相邻连通的采油井有 4 口井, 为五点法布井, 注采井距 250m。该井组五口井葡 I 组油层平均射开砂岩厚度 10.3m, 射开有效砂岩厚度 6.44m。

根据吸水指示曲线、吸水剖面 and 压降曲线资料分析, 该井可能存在高渗透条带。1998 年 9 月至 10 月施工调剖。共注 CY 延缓交联型调剖剂 6068m^3 。共用聚合物和交联剂干粉料 39.44t, 调剖剂采用矿化度为 1109mg/L 的清水配制。调剖剂采用不同浓度配方的 4 个段

塞。

调剖后该井于1998年10月转注聚合物。与调剖前相比,注入压力上升5.0MPa,启动压力由5.4MPa上升到10.7MPa。从调剖前后所测吸水剖面资料对比可以看出,渗透率大于 $1.2\mu\text{m}^2$ 的高渗透层的吸水量都比调剖前下降了,层内吸水状况得到调整(表8)。调剖前后所测的压降曲线对比,调剖后压降曲线形态发生了明显变化。调剖后的压降曲线表现为随关井时间的延长,压力降落的速度明显变缓。PI值增大,这表明高渗透条带的渗透率明显降低。与条件相似的注聚井对比,PI值上升幅度高于未调剖的注聚对比井。

表8 北丁2-P66井吸水剖面测试结果

层位	砂岩厚度 (m)	有效厚度 (m)	有效渗透率 (μm^2)	1998.6.24 调剖前测	1999.4.28 调剖后测	差值
PI 1	1.7	1.2	0.81	18.7	30.4	+11.7
2	4.0	1.5	>1.2	7.7		-7.7
		1.7	>1.2	28.1	12.3	-15.8
3	0.5				1.2	+1.2
3	0.5			21.6	1.8	-19.8
4, *4	1.4			23.9	54.3	+30.4
4	0.5					

该井组的4口采出井,调剖前的1998年7月份合计日产液684t,日产油53t,综合含水92.3%,平均单井日产液171t,日产油13.3t。至1999年9月份,4口井合计日产液543t,日产油149t,综合含水72.6%,平均单井日产液135.8t,日产油37.3t。1999年9月与1998年7月对比,平均单井日增油24t,综合含水下降19.7个百分点。与注聚见效前对比,单井日降液67t,日增油27t,综合含水下降21.7个百分点。与同区块未调剖的井对比,平均多增油13.5t,含水多下降9.8个百分点。至2000年3月底,该井组与同区块未调剖的18口井对比,累计多增油19136t,少产水20283 m^3 。效益为1917.6566万元,调剖的投入产出比已达1:5.99。

3. 北5-P46井聚驱前深度调剖

北5-P46井位于BYQ中块,射开葡I组油层,射开砂岩厚度26.1m,射开有效砂岩厚度17.8m。与该井相近连通的采油井为北丁5-P33等4口井,平均射开砂岩厚度17.5m,射开有效砂岩厚度11.0m,调剖前平均单井日产液254t,日产油20t,综合含水92.1%。注采井距250m。

调剖前北5-P46井为注水井,根据测井解释和吸水剖面资料分析,厚层葡I1-2、I3-4层层内非均质较为严重。1996年8月至10月对该井进行注聚前调剖。共注聚丙烯酰胺-酚交联调剖剂6170 m^3 ,采用矿化度为1115mg/L的水配制,共分为不同浓度配方的五个段塞注入,候凝开井后该井转注聚合物。从以下三个方面说明,调剖见到了很好的改善注入状况的目的:

①注入压力明显上升,前后对比注入压力上升了3.9MPa,而该区块未调剖井由注水转为注聚时注入压力平均上升2.7MPa;

②吸水剖面明显改善。葡I3-4层上部吸水量由调剖前的不吸水,增加到调剖后的日注110 m^3 ,而下部则由日注114 m^3 下降到62 m^3 ,吸液厚度增加。吸水层数也由原来的3个小层增加到调剖后的6个小层;

③压力降落曲线斜率明显变化,压力降落速度明显变缓,关井时压降曲线起点抬高。

调剖后,由于调剖和聚合物驱相结合,连通的4口采油井见到了很好的增油效果。到1998年底,该井组聚驱阶段已累积产油 $20.7658 \times 10^4 \text{t}$,阶段采出程度 13.9%,与水驱相比,累积增油 $14.3914 \times 10^4 \text{t}$,提高采收率 9.6%,增产效果明显好于同区块中心井水平,调剖井组与同一注聚合物区块的25口中心井相比,每米有效厚度油层多增油 1744t。到1999年3月底对比,调剖井组比中心井组单井单位厚度累积增油高 1778t,提高采收率 4.4个百分点。对比下来,该井组比中心井多增原油 $9.3167 \times 10^4 \text{t}$ (表9)。

表9 北5-P46井调剖井组与该区中心井指标对比

井组	井数	单井有效厚度 (m)	注聚 350mg/PV 条件下		1998年12月		1999年3月	
			单位厚度累积增油 (t/m)	提高采收率 (%)	单位厚度累积增油 (t/m)	提高采收率 (%)	单位厚度累积增油 (t/m)	提高采收率 (%)
北5-P46调剖井组	4	13.1	2069	7.2	2746	9.6	2895	10.1
该区中心井组	25	17.8	1002	5.1	1002	5.1	1117	5.7

从以上这些实例不难看出,深度调剖技术是高含水后期和与三次采油相配合深入挖潜提高采收率的一个重要工艺手段。科学地、有条件地应用它,对于厚油层、特别是层内渗透率差异较大的油层挖潜,提高最终采收率具有十分重要的意义。但厚油层深度调剖技术,从应用工艺上来说,还有不少难题需要大力攻关,以便使该技术趋于完善成熟,发挥更大的作用。

KPX 系列管柱分层测压工艺

王 研 韩振国 任 龙 武秀娟

(大庆油田有限责任公司第一采油厂)

摘 要 本文阐述了油田分层测压的重要意义,介绍了 KPX 系列分层测压管柱结构及原理;与普通偏心配水测试技术进行对比,评价了该工艺技术上的发展;分析应用了该工艺的测试资料;取得了一些初步认识,提出了几点建议。

主题词 KPX 分层测压管柱 分层测压

合理的地层压力是油田保持旺盛生产能力的基础,是油田各挖潜措施得以实施的重要条件。以往分层注水井和采出井的笼统压力监测在油田长期高产稳产中发挥了重要作用,但是由于不同油层地质条件的差异造成的层间矛盾和开采状况的不同,使得不同油层间压力差别很大。因此单纯测得注水井或采出井全井的笼统压力无法表述各生产层的实际压力水平。为了精确描述各油层的压力分布,为地质分析与综合措施挖潜提供可靠的资料,急需采用先进的分层压力测试工艺以满足油田高产稳产的需要,为正确评价各类油层生产潜力,制定合理的开发方案提供依据。

萨中油田目前主要应用了两种 KPX 系列分层测压管柱,一类是 KPX-114 注水井分层测压管柱;一类是产油井高含水长关井所用的 KPX-II 型分层测压管柱。

一、KPX-114 注水井分层测压管柱

1. 管柱结构

KPX-114 偏心配水管柱,主要由 KPX 偏心配水器、Y341-114 不可洗井封隔器及射流洗井器组成。

2. KPX-114 偏心桥式配水器结构及工作原理

KPX-114 偏心配水器,主要由偏心配水器工作筒、偏心配水堵塞器、偏心配水测试密封段(测试时用)组成。

工作筒主体上开有 $\Phi 20\text{mm}$ 偏孔,用于坐入配水堵塞器;偏孔外壁开有宽 12mm 的通液孔;偏孔的中上部内壁开有通液孔,与工作筒中心 $\Phi 46\text{mm}$ 主通道相通,主通道是投捞器及井下测试仪器的通道。中心孔周围分布 4 个旁通孔。偏心桥式配水器测试原理如图 1 所示。KPX-114 偏心桥式配水器与普通偏心配水器相比具有如下特点:工作筒主通道既是正常注水的通道,也是测试仪器密封部位。为防止测试时刮密封皮碗,皮碗通过部位加工成内凹曲面,大大减轻了起下测试仪器时对测试密封段橡胶皮碗的撞击和刮损,提高了皮碗的使用寿命和测试的准确性,测试成功率大为提高。

测试密封段部分相关尺寸进行了调整,保证其能在 20MPa 压差条件下能达到很好的密

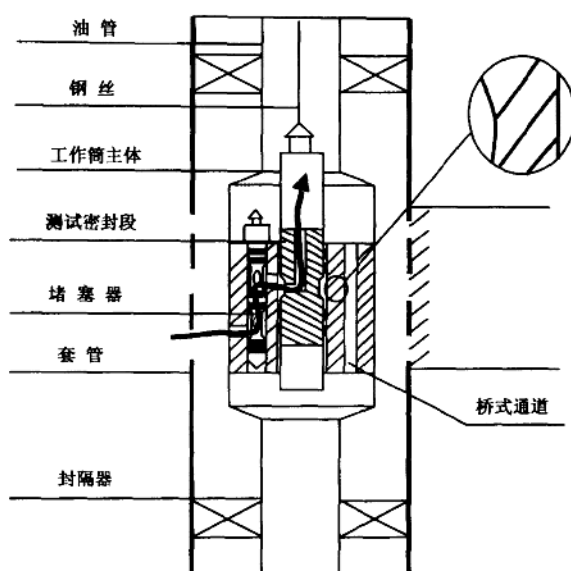


图1 KPX-114 偏心桥式配水器测试原理图

封效果。工作筒主体开有4个过流桥式旁通，测分层水量时单卡单测，没有递减便于调配，测试准确率高。测分层压力时，不需投捞堵塞器，减少测试工作量，避免了由于投捞堵塞器出现的注水波动和下堵塞式压力计投不进、坐不严而造成的测试误差大或测试失败。

3. 分层流量测试及测压、验封原理

测分层流量时不用投捞水嘴，测试密封段（带流量计）坐到位后，恰好对准测试密封段两组皮碗之间的中心管进液口，测得本层水量，在测本层水量的同时，注入水经桥式通道进入下级偏心配水器，不影响测试层段下部的层段注入。

与流量测试相似，测压时只需在测试密封段上将流量计换成压力计即可。测压时可用丢手方式逐层下入测试密封段，测全井各小层压力，也可将测试密封段丢手至某一层，测某一层的小层压力，注入水经测试层段所在的配水器桥式旁通注入下部地层，不影响其它层段注水。

验封与测小层压力相似，将带有压力计的测试密封段下入井中，坐入偏心配水器的工作筒内，地面采用“开—关—开”方式，这时压力计测得偏心配水器所在层位压力。如封隔器密封，则压力计不受地面工作制度变化的影响。反之，如封隔器不封，则测试曲线随地面“开—关—开”工作制度的改变而改变。

4. KPX 偏心配水管柱同普通偏心配水管柱相比的工艺优势

(1) 分层测压优势

普通偏心配水管柱，分层测压时需拔出正常生产时的配水堵塞器（拔水嘴），再投小直径堵塞式压力计。拔嘴子的瞬间井口水量增大，造成注水波动，影响测压资料的准确性；在投小直径压力计时，存在投不进、坐不严问题，造成测压失败或测试误差大。

KPX 偏心配水管柱，测分层压力时无需拔水嘴，只下入带压力计的测试密封段。不改

变井下工况,保证了资料的准确性,又减小了测试工作量。

(2) 管柱验封优势

由于 KPX 偏心配水管柱验封某层不影响其它层段的压力传导,因此多层段注水井不需逐级验封,还可单层直接验封。而普通偏心配水管柱验封某级封隔器时其下部层段无压力传递,需自下而上逐级验封,不能一次下井单验证 2 级封隔器的密封情况。

(3) 分层流量测试优势

流量测试时各层段相对独立,单层独立测量,测某层水量时不影响其它层段注水,水量不用递减,消除了普通偏心管柱流量测试时采用的递减法带来的系统误差。

由于单层测试,流量相对全井要小,测试时可用量程较小的流量计,绝对误差较小。这不同于普通偏心配水管柱,在测试时流量计要用较大排量,即要满足测单层水量又要满足全井水量的测试。

由于该管柱流量测调时层间干扰小,测调低注入量层段 ($15 \text{ m}^3/\text{d}$ 以下) 相对简单,解决了普通偏心配水管柱小排量测调难的问题。

(4) 提高测试效率、降低劳动强度的优势

KPX-114 注水井分层测压管柱,最显著的优势在于成倍地提高了注水井的测试效率、降低了测试劳动强度。普通偏心配水管柱测分层压力,需依次捞出各层段生产用水嘴、投入小直径堵塞式压力计、测压完成后捞出各层段压力计、最后再投生产用水嘴。KPX-114 分层测压管柱在测压时不拔水嘴,只需逐级丢手下入测压密封段,测压结束后再捞出各级密封段即可,较普通偏心管柱减少一半投捞工作量,也减少了井口开关次数。该工艺测压时较偏心降低劳动强度 50% 以上,提高测试效率 100%。

普通偏心配水管柱流量测调时层间干扰大。通常某层段水嘴的缩放都会影响其它层段的水量,全井各层水量都调到配注要求难度较大,以 4 层段水井计,平均单井测调工期 4~5d。而 KPX-114 偏心配水管柱测调某层水量时不影响其它层段的注水,水量不用递减,做到了“单卡单测”,平均单井测调时间 2d 左右。较普通偏心管柱提高测试效率 1 倍以上。

二、KPX-II 采油井高含水长关井分层测压管柱

1. 先期的几种采油井长关井分层测压技术

由于油田长期水驱开发,部分采出井由于含水较高或其它原因长期关停。从油田开发角度了解这部分井的地质和动态资料(本井的地层压力变化、区块压力及与其相关水井的连通情况)是十分重要的。大庆油田自 1999 年开始这部分井的分层压力测试研究。最初采用常规的测试方法,测压管柱采用 Y341-114 封隔器和 635 配产器配套,完井时 635 配产器装死嘴子下入,测压时捞出死嘴子投堵塞式压力计测压。该工艺存在以下不足:一是测压时需反复投捞测试工作量大,地层压力高的井投捞困难;二是管柱内易出现死油、死蜡,使仪器遇阻无法测压;三是工艺成本高,处理死油、死蜡需油管内电缆加热解堵或下连续油管热洗解堵。针对配产器内装死嘴子,测试时投捞工作量大和投捞困难等问题,后来采用 $\Phi 0.8\text{mm}$ 嘴子代替死嘴子,在完井管柱中直接下入 $\Phi 0.8\text{mm}$ 嘴子,测压时免去了投捞。但 $\Phi 0.8\text{mm}$ 嘴子也使一部分地层液流入管柱内,长期积累油管内仍能出现死油、死蜡。为此后来又采用在堵塞器内装节流芯子的办法。节流芯子虽优于 $\Phi 0.8\text{mm}$ 嘴子,但也没有从根本上解决地层出液问题,长期关井油管内还会出现死油、死蜡段。