

综合调整措施及效果研究

张玲

(中油辽河油田公司曙光采油厂 辽宁 盘锦 124109)

DOI:10.12238/jpm.v3i3.4778

[摘要]曙光油田杜90区块是生产杜家台的薄互层稠油油藏,地质储量337万吨,从1986年投入蒸汽吞吐开发,平均吞吐周期12轮次,已进入吞吐开发后期,地层能量连年释放,并且纵向矛盾突出,产量呈现缓慢递减趋势,2016年底采油速度仅为0.13%,采出程度16.56%,具有采出程度低、采油速度低的开发矛盾。为改善区块开发效果,以油藏精细研究为基础,于2017年开始进行以完善注采井网、优化注采参数、完善配套措施为主的综合调整,2021年12月区块日产油67.8吨,采油速度0.48%,采出程度19.35%,对比2016年,区块日产油上升了56.8吨,采出程度上升了2.79%,在2021年因洪潮影响关井较多,导致采油速度偏低的情况下,仍比调整前上升了0.35%,综合调整效果显著,大大改善了杜90区块杜家台油层的开采现状。

[关键词]稠油、杜家台、完善注采井网、优化注采参数、完善配套措施

Study on comprehensive adjustment measures and effects

Zhang Ling

(Shuguang oil production plant of PetroChina Liaohe Oilfield Company, Liaoning Panjin 124109)

[Abstract] du90 block of Shuguang Oilfield is a thin interbedded heavy oil reservoir producing Dujiatai, with geological reserves of 3.37 million tons. It has been put into steam stimulation development since 1986, with an average huff and puff cycle of 12 rounds. It has entered the late stage of huff and puff development. The formation energy is released year after year, and the vertical contradiction is prominent, and the production shows a slow decreasing trend. At the end of 2016, the oil production rate was only 0.13%, and the recovery degree was 16.56%. It has the development contradiction of low recovery degree and low oil production rate. In order to improve the development effect of the block, based on the fine research of the reservoir, the comprehensive adjustment focusing on improving the injection production well pattern, optimizing the injection production parameters and improving the supporting measures was started in 2017. In December 2021, the daily oil production of the block was 67.8 tons, the oil production rate was 0.48%, and the recovery degree was 19.35%. Compared with 2016, the daily oil production of the block increased by 56.8 tons and the recovery degree increased by 2.79%. Many wells were shut in due to the impact of flood and tide in 2021, In the case of low oil production rate, it is still increased by 0.35% compared with that before adjustment, and the comprehensive adjustment effect is remarkable, which greatly improves the mining status of Dujiatai reservoir in du90 block.

[Key words] heavy oil, Dujiatai, improving injection production well pattern, optimizing injection production parameters and improving supporting measures

引言

曙光油田杜90区块位于曙光油田东部,开发目的层为沙四段杜家台油层,含油面积 0.7km^2 ,地质储量 337×10^4 吨,标定采收率12%,可采储量 $40\times 10^4\text{t}$ 。油藏纵向上具有含油井段长、油层层数多、单层厚度薄的特点,50℃地面脱气原油粘度 $363\text{mPa}\cdot\text{s}\sim 4353\text{mPa}\cdot\text{s}$,为薄互层稠油油藏。从1986年投入蒸汽吞吐开发,随着开发井网的完善产量达到高峰,此后逐步变为高周期缓慢递减,2016年底采油速度0.12%,采出程度5.5%,平均吞吐周期12轮次,已进入吞吐开发后期,具有采出程度低、采油速度低的开发矛盾^[1]。

1 油藏概况

杜90区块地处辽宁省盘锦市东郭苇场苇田大队西北约2km处。该工区内沟渠纵横,地势低洼,地面为苇塘所覆盖,海拔一般2~4m。区内油田专用公路纵横交错,交通十分便利。全年气温在-22~35℃,四季分明,属于半温暖~半湿润的季

风性气候;年平均降水量605mm,雨季集中在7~8月份,在降雨期易发生洪涝灾害;冰冻期自每年的11月份至次年3月份,天气寒冷。

杜90区块杜家台油层构造比较简单,东、南、西三面分别由杜89断层、杜88断层及杜32断层围限,平面上呈狭长的三角形。构造形态为由北西向南东倾伏的单斜构造,构造高点在断块北西部的曙1-9-7处,地层倾角约17~23°。

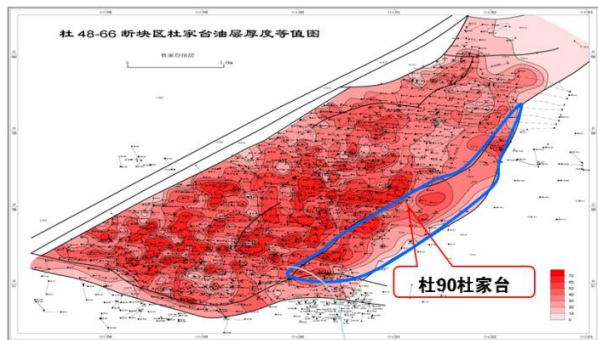


图 1 杜 90 区块杜家台油层厚度等值图

杜 90 区块为属扇三角洲前缘相沉积, 沉积微相类型主要有水下分流河道、河道间、河口砂坝、前缘薄层砂等微相, 物源主要来自西北部。该区块杜家台油层储层砂体较发育, 总体呈北部薄、南部厚的特征展布。平面上砂体连片分布, 厚度大于 80m 的砂体零星分布。储层岩性以含砾不等粒砂岩、中细砂岩和含泥细砂岩为主, 胶结物主要为泥质胶结, 泥质含量 8.6%, 其次为钙质胶结。储层岩性下部岩性细, 泥质含量高; 中上部岩性粗, 泥质含量低。油层物性由西向东逐渐变差, 属中孔、高渗储层。油藏埋深 800~1300m, 纵向上具有含油井段长、油层层数多、单层厚度薄的特点。含油井段平均 100~150m, 平均单井解释层数 25 层, 平均单层厚度 1.5~8.3m。区块中部油层较发育, 厚度较大, 向北部和东部厚度逐渐减薄。

杜 90 区块杜家台油层为边水油藏, 主体区域具有统一的油水界面, 但边部油水关系复杂, 没有统一的油水界面。原油物性属中一重稠油, 原油密度 0.9106g/cm³, 粘度 (50℃时) 363 mPa·s~4353 mPa·s, 凝固点 22~-20℃, 沥青质+胶质 35.2~54.12%, 杜 I、II 组原油物性差, 杜 III 组物性好于上部。原始地层温度为 45.0℃, 地温梯度为 3.5℃/100m。原始压力为 12.5MPa, 压力系数为 0.98。目前实测地层压力系数平均为 0.23, 推算油层中部压力为 2.9MPa。

2 开发历程及特点

2.1 开发历程

从 1986 年投入蒸汽吞吐开发, 随着开发井网的完善, 杜 90 区块杜家台油层产量达到高峰, 此后逐步递减, 至 2016 年, 该区块大致经历了三个阶段。

1. 上产阶段 (1986~1994 年)

1982 年曙 1-41-28 井开始进行蒸汽吞吐试采, 采用 100m 基础井网获得了较好的效果, 证实采用蒸汽吞吐方式开发超稠油有较好的前景。1986 年编制完成蒸汽吞吐开发方案, 拉开了杜 90 区块杜家台油层规模化蒸汽吞吐的序幕。该阶段投产 24 口井, 阶段末采油速度 0.35%, 采出程度 2.36%

2. 稳产阶段 (1995~2001 年)

该阶段投产 32 口井, 年产量保持在 3.5 万吨左右, 阶段末采油速度 0.9%, 采出程度 9.77%。

3. 递减阶段 (2002~2016 年)

随着原油的不断采出, 呈现高周期缓慢递减的特点, 阶段末杜 90 区块仅开井 26 口, 日产油仅 11t, 阶段末采油速度 0.13%, 采出程度 16.56%。

2.2 开发特点

1. 主体区域开采程度高, 地层压力呈下降趋势, 目前地层压力系数基本处于 0.1 以下。低动用区域采出程度低, 目前地

层压力系数在 0.6 以上, 其中靠近主体区域部位的压力系数下降较快, 最低降到 0.22。

2. 开采年限长, 地层情况复杂, 纵向矛盾突出, 根据吸汽剖面结果, 纵向动用程度仅为 63%, 强吸汽比例仅 26%。

3. 受前期油藏认识不清楚、配套技术不完善等因素影响, 油井注汽压力高, 其中大于 16MPa 占比 30%, 导致注汽干度不达标, 杜 90 区块采出程度低, 与杜 66 断块主体区域对比差异较大。

4. 区块主要为泥质胶结, 岩性松散易碎, 泥质含量高, 导致油井普遍出砂, 出砂油井占比 90%。

5. 油藏油水关系复杂, 边水发育, 局部发育夹层水, 出水井分布范围广泛。

6. 区块动用状况不均衡, 其中南部区域开采程度高, 地层压力低; 北部区域注汽压力高, 基本未动用; 且靠近断层区域出砂出水等问题凸显, 严重影响着油藏开发效果的改善。

3 2017~2021 年二次开发综合调整做法

区块主体部位采出程度较高, 下步具备方式转换潜力; 边部区域受储层发育、早期开发条件限制, 储量基本未动用, 下步具备挖潜潜力。为改善区块开发效果, 以油藏研究为基础, 开展完善注采井网、完善配套措施、优化注汽参数、防砂堵水等方面研究工作, 实现杜 90 区块稳产, 提高油藏开发效果, 自 2017 年以来共投产新井 39 口, 实施各类措施 50 井次, 实施区块二次上产。

3.1 精细油藏研究

3.1.1 油层厚度精细研究

杜 90 区域位于油藏边部, 油层厚度整体变薄, 平均厚度仅为 27m, 平均单层厚度 2.4m, 与主体对比变差。

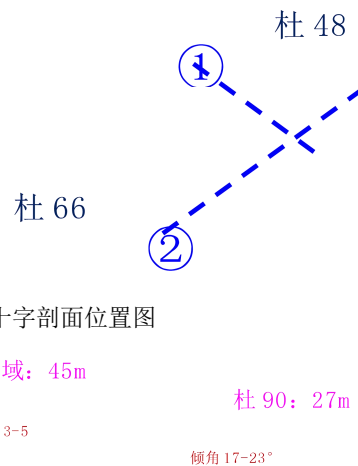


图 2 杜 90 区块十字剖面位置图



图 3 杜 90 区块油藏剖面图

3.1.2 储层物性精细研究

储层物性与主体对比差, 油藏埋深比主体区域深 320m, 孔隙度只有 18.1%、渗透率仅 569mD、含油饱和度仅为 41%, 泥质含量高达 13.9%, 由于杜 90 区块储层物性差, 流体渗流能力差, 导致注汽压力高、注汽干度不达标。

表 1 杜 90 区块与主体区域储层物性对比表

区域	总厚度, m	单层厚度, m	油藏埋深, m	孔隙度, %	渗透率, mD	含油饱和度, %	泥质含量, %
主体	33.8	3.2	930	22.3	1024	47.8	11.7
杜 90	21.1	2.9	1250	18.1	569	41	13.9
对比	12.7	0.3	-320	4.2	455	6.8	-2.2

3.2 完善注采井网

从 2017 年以来, 杜 90 区块杜家台开始实施更新井及部署井, 共实施新井 55 口, 目前投产 39 口, 累产油 6.2 万吨, 带动区块产量持续上升。

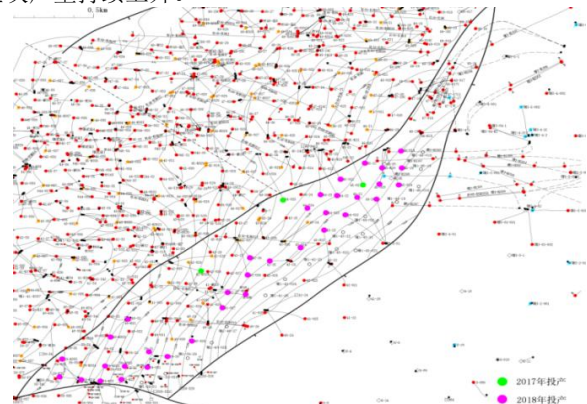


图 4 杜 90 区块更新井及部署井井位图

3.2.1 更新井

自 2017 年以来, 共部署实施更新井 13 口, 开井率 100%, 累产油 2.7 万吨, 累注汽 10.4 万吨, 单井产油 2100t, 油气比 0.26。

表 2 杜 90 区块 2017 年以来更新井效果统计表

投产井数, 口	开井数, 口	初期日产量, t	累产油, 10 ⁴ t
13	13	65	2.7
注汽量, 10 ⁴ t	单井产油, 10 ⁴ t	油气比	平均吞吐周期
10.4	0.21	0.26	3.9

典型井例: 曙 1-43-024 井 2018 年 4 月 4 日投产, 初期日产量 18.8 方, 日产量 5.6 方。与周边老井对比, 产量增长明显。

表 4 2017-2021 年杜 90 区块杜家台油层助排类措施效果统计表

措施名称	适合条件	总井次, 口	有效井次, 口	有效率, %	措施增油, 吨	单井增油, 吨
化学助排	低注采比	4	3	75	552	184
复合助排	中高周期	3	2	67	50	25
合计		7	5	71	602	209

3.4 提高纵向动用程度

通过吸汽剖面监测提高对油层纵向动用的认识, 有目的的实施选配注措施, 降低纵向动用差异, 改善油井吞吐开发效果, 自 2017 年以来共完成选注、配注措施 27 井次, 累计措施增油 3160 吨。

表 5 2017-2021 年杜 90 区块杜家台油层选配注措施效果统计表

措施年份	井次, 口	有效井次, 口	有效率, %	措施增油, 吨	单井增油, 吨
2017	3	2	67	257	129
2018	6	3	50	1565	528
2019	10	4	40	535	134
2020	6	5	83	751	150
2021	2	1	50	52	52
合计	27	15	56	3160	211

3.5 优化注汽参数设计

通过优化注汽参数, 达到最大供热半径, 提高周期吞吐效果^[4]。注汽强度是影响稠油开发效果的一个重要因素, 强度设计要综合考虑地层发育、油层动用、注汽压力等参数, 注汽强度值有最佳范围, 强度低, 周期累产油低, 强度高, 加热范围增加, 但太高会将稠油推向远离井筒的位置, 而且注汽成本也

3.2.2 部署井

自 2017 年以来, 共实施部署井 26 口, 累产油 3.38 万吨, 累注汽 17.4 万吨, 油气比 0.19。

表 3 杜 90 区块 2017 年以来部署井效果统计表

投产井数, 口	开井数, 口	初期日产量, t	累产油, 10 ⁴ t
26	19	80	3.38
注汽量, 10 ⁴ t	单井产油, 10 ⁴ t	油气比	平均吞吐周期
17.4	0.18	0.19	4.5

典型井例: 曙 1-45-021 井 2017 年 12 月 17 日投产, 区域未动用, 初期具有放喷能力, 下泵后最高日产量 6 吨, 随着注汽轮次增加, 生产效果逐渐改善。

3.2.3 新井认识

通过前期部署研究、效果总结及影响因素分析, 主要取得了以下几点新认识。

1. 通过对油藏参数和产能的关系研究认为, 一定的油层厚度是更新井取得较好效果的基础。当油层厚度低于 10m 时, 效果普遍较差^[2]。

2. 从采出程度与周期数据的关系对比中看出: 采出程度低于 10% 的剩余油富集区的井效果最好。

3. 配套实施了三大技术: 一是外加厚套管完井技术。采用外加厚套管, 提高套管强度; 二是复合射孔技术。改变过去以常规射孔为主的单一局面, 充分利用防砂射孔和复合射孔的技术优势, 减少油井出砂; 三是人工防砂技术。采取了 1-2 周期人工井壁防砂、有效控制生产参数的方法, 减少因采油强度过大, 导致油藏激动出砂的影响。

3.3 助排类措施提高产能

针对高采出区域低压力的问题, 选择剩余油相对富集区域, 优选注汽井实施气体辅助吞吐, 确保措施效果, 针对油藏发育变差而导致低动用区域, 采用化学助排改善油层^[3]。通过应用氮气助排、二氧化碳复合吞吐、化学助排等措施提高油井吞吐效果。自 2017 年以来, 共实施 7 井次, 累计措施增油 602 吨。

高, 影响开发效果^[5]。通过优化设计可知: 油井首轮注汽强度设计为 60-70t/m, 后续周期初期按 5%-10%来提高, 第 10 周期以后保持不变。

3.6 防砂技术

2017 年新投产出砂情况不容乐观, 其中曙 1-46-019 自 2018.2 投产至 2019.9 砂卡起杆, 共冲砂 7 次, 累计出砂 17

方。通过系统研究油井出砂规律，以单井每万方液量的出砂量为依据^[3]，将区域出砂井划分为3级，依据不同出砂等级，研究实施系列低成本防砂工艺，缓解出砂矛盾。力争形成“钻完表6 杜90区块杜家台油层油井出砂分级及配套防砂技术

井、射孔、排砂、防砂、生产管理”全过程综合防砂技术，采用高温固砂、压裂防砂等措施，提高油井防砂能力，2017年以来实施9井次，措施年增油762吨。

出砂分级	出砂等级 (万方液量出砂量, 方/万方)	井数 (口)	配套技术
严重出砂井	>2	5	地层深部防砂
轻微出砂井	0.5-2	13	新型树脂防砂
弱出砂井	<0.5	26	防砂泵/泵下砂锚

表7 杜90区块杜家台油层2017年以来防砂措施实施效果

年份	井号	措施名称	有效时间	单井年增油	措施年增油
2018	曙1-45-21	压裂防砂	0	0	639
2018	曙1-45-19	压裂防砂	150	218	
2018	曙1-46-019	压裂防砂	69	42	
2018	曙1-42-25	压裂防砂	130	182	
2018	曙1-45-021	压裂防砂	106	192	
2018	曙1-45-020	压裂防砂	10	5	
2019	曙1-44-023	压裂防砂	84	117	117
2019	曙1-46-019	压裂防砂	0	0	
2021	曙1-42-25	高温固砂	53	6	6
合计 9 口			602	762	762

3.7 堵水技术

针对杜90区块油水关系复杂、出水原因多样等问题，通过开展油水分布规律研究，改进工具结构，优化堵剂配方及施工工艺，形成适合于杜90区块的机械堵水、挤灰堵水等工艺技术，实现区域综合治理，提高油藏整体开发效果。2017年以来实施5井次，措施年增油220吨。

3.8 长停井复产取得明显效果

从2017年开始，杜90杜家台共实施大修4井次，有效3井次，增油1064t，取得较好的长停井复产效果。

表8 2017-2021年杜90区块杜家台油层复产类措施措施效果统计表

措施年份	总井次, 口	有效井次, 口	有效率, %	措施增油, 吨	单井增油, 吨
2017	3	2	67	753	377
2018	1	1	100	311	311
合计	4	3	75	1064	355

4 杜90区块综合调整效果

截至2021年12月，杜90区块杜家台油层共有油井91口，开井57口，日产油67.8吨，平均单井日产油1.2吨，累产油65.19万吨，累产水103.6万吨，采油速度0.48%（因2021年9-10月洪潮影响，关井较多，采油速度低于2020年），采出程度19.35%，累注汽172.6万方。对比综合调整前，区块日产油上升了56.8吨，采出程度上升了2.79%，在2021年采油速度偏低的情况下，仍比调整前上升了0.35%，综合调整效果显著，大大改善了杜90区块开采现状。

5 结论

(1) 完善的注采井网是杜90区块杜家台油层综合调整措施实施的基础。

(2) 合理的注采参数是杜90区块杜家台油层综合调整措施实施的保障。

(3) 完善的配套工艺是杜90区块杜家台油层综合调整措施实施的关键。

(4) 保证注汽干度是杜90区块下一步工作重点；针对杜90区块部分井注汽压力高、注汽干度不达标的特点，计划实施高干度注汽技术。

参考文献

- [1] 张厚福.石油地质学[M].北京:石油工业出版社,1989
- [2] 温静.“双高期”油藏剩余油分布规律及挖潜对策[J].特种油气藏,2004,11(4)
- [3] 许国民.曙光油田稠油开发技术与实践[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2010
- [4] 左向军.曙光油田杜家台油层稠油热采参数优选研究[J].石油勘探与开发.2006.8:79-84
- [5] 马翠玉,刘月田,王春红等.浅薄层稠油油藏水平井蒸汽吞吐注汽参数分析[J].科学技术与工程2013,13(8):2203-2206