

块状底水油藏提液技术研究

唐作峰 (中国石油辽河油田公司, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 采用水平井开发的块状底水油藏, 在特高含水期没有有效的增产、稳产措施, 采油井提液是一种操作性强、见效快的挖潜手段。本文通过对 H 油田 D 油藏历史 109 井次提液措施效果评价, 开展提液技术研究, 分析提液后影响采收率的主控因素, 制定出提液井筛选原则, 优选提液井并预测采收率, 指导油藏后期开发。

关键词: 提液; 高含水; 底水油藏; 提高采收率; 水平井

1 基本情况

H 油田 D 油藏为一块状底水中孔、中高渗油藏, 隔夹层对底水有一定遮挡作用, 但不连续, 不能完全遮挡底水。油藏目前处于特高含水前期, 低速开发阶段。由于油藏埋深超过 5000m, 井网加密调整经济上不可行, 油井采用水平井开发, 大部分为筛管完井, 高含水后无法进行堵水措施。此时可采用油井提液来提高油田开发效果, 采油井提液通过提高生产压差, 扩大波及体积, 提高油井产能, 继续保持油田一定的稳产, 可采储量有所增长。统计 D 油藏历年提液井 109 井次, 提液有效率处于较高水平, 有效 102 井次, 有效率达 93.6%, 平均单井净增油 1.03×10^4 t。

2 提液开发效果及影响因素分析

2.1 不同含水阶段提液效果对比

D 油藏中、低含水期提液效果最好: 平均单井增油量最多, 有效期最长。总体趋势为含水越高提液效果越差。

统计低含水期 (含水率 $< 20\%$) 提液 25 井次, 有效 25 井次, 措施有效率 100%, 平均有效期 767 天, 平均单井累增油 3.07×10^4 t;

中含水期 (20%~60%) 提液 30 井次, 有效 30 井次, 措施有效率 100%, 平均有效期 468 天, 平均单井累增油 0.80×10^4 t;

高含水前期 (60%~80%) 提液 28 井次, 有效 24 井次, 措施有效率 85.7%, 平均有效期 289 天, 平均单井累增油 0.27×10^4 t;

高含水后期 (80%~90%) 提液 15 井次, 有效 13 井次, 措施有效率 86.7%, 平均有效期 248 天, 平均单井累增油 0.24×10^4 t;

特高含水前期 (90%~95%) 提液 9 井次, 有效 7 井次, 措施有效率 77.8%, 平均有效期 178 天, 平均单井累增油 0.09×10^4 t;

特高含水后期 ($> 95\%$) 提液 2 井次, 有效 1 井次, 措施有效率 50%, 平均有效期 58 天, 平均单井累增油 0.02×10^4 t;

2.2 提液对采收率的影响

油藏目前处于特高含水前期, 采油井大部分处于高含水及特高含水期, 中低含水期采油井极少, 研究中低采油期井提液对目前油田开发没有指导意义, 因此本次

主要分析高含水及特高含水期 (共 54 井次) 提液对采收率的影响。

分析方法: 取单井提液前稳定生产时日产油递减规律, 预测废弃产量时单井累产油, 计算单井采收率, 同样方法计算提液后单井采收率, 对比提液前后采收率结果判断提液对采收率影响。

例 1: XYX-57H 井根据提液前日产油递减规律计算单井最终累产油为 19.8×10^4 t, 单井控制地质储量为 46.2×10^4 t, 提液前单井采收率为 42.86%; 单井最终累产油为 18.6×10^4 t, 提液后单井采收率为 40.26%, 采收率下降 2.60%。

例 2: XYX-19H 根据提液前日产油递减规律计算单井最终累产油为 25.4×10^4 t, 单井控制地质储量为: 57.8×10^4 t, 提液前单井采收率为 43.94%; 最终累产油为 26.1×10^4 t, 提液后单井采收率为 45.16%, 采收率提高 1.22%。

高含水及特高含水期提液井 54 井次, 部分井存在含水上升规律异常或者提液后又因套漏或其他原因, 无法选取日产油递减规律, 因此制定对比井选取原则:

①含水上升规律稳定; ②提液前后生产规律未受其他措施或者泵效影响 (或者影响较小)。

依据上述原则共优选了 40 井次提液井, 其中提高采收率的井为 27 井次, 所占比例为 67.5%, 采收率持平井 10 井次, 所占比例为 25%, 采收率降低的井为 3 井次, 所占比例为 7.5%。

计算 40 井次提液井单井控制地质储量为 1207.2×10^4 t, 对比提液前后单井最终累产油共增加 23.1×10^4 t, 提高采收率 1.9%。D 油藏提液后整体上具有提高采收率的作用。

2.3 影响提液效果的主控因素分析

2.3.1 提液后采收率提高井分布规律及生产动态特征分析

采收率提高与构造关系: 将 27 口提液后采收率提高的井投放到油藏构造图上, 发现分布规律与构造无关, 27 口井均匀分布在油藏构造各部位。

采收率提高与剩余油分布关系: 将 27 口井投放到含油饱和度图上 (2019 年数模结果), 发现 27 口井分布规律与饱和度相关性较好, 27 口井基本都分布在饱和度相对较高区域。

采收率提高与注采井距或边水距离的关系：统计 27 口提液后采收率提高井与所对应注水井的注采井距，发现注采井距在油藏中处于中高水平，注采井距主要在 800m~1200m 之间，与边水距离 > 600m。

采收率提高与含水等级关系：高含水前期（60%~80%）9 井次，高含水后期（80%~90%）6 井次，高含水前期（90%~95%）2 井次，高含水后期（> 95%）0 井次，总体上表现为含水越低效果越好，含水越高效果越差。

采收率提高与提液幅度关系：提高采收率井的提液幅度从 1.2~2.3 倍不等，未见明显集中区域。

采收率提高井生产动态特征，对比 27 口井提液后含水和动液面变化情况，采收率提高的井平均含水从 77% 上升到 79%，平均动液面下降 448m，生产压差提高幅度较大，扩大波及体积，因此能导致采收率提高。

2.3.2 提液后采收率未提高井分布规律及生产动态特征分析

与构造关系：将 13 口提液后采收率未提高的井投放到油藏构造图上，发现分布规律与构造无关，13 口井均匀分布在油藏构造各部位。

与剩余油分布关系：将 13 口井投放到含油饱和度图上（2019 年数模结果），发现 13 口井分布规律与饱和度相关性较好，13 口井基本都分布在饱和度相对较低区域。

采收率提高与注采井距或边水距离的关系：统计 13 口提液后采收率未提高井与所对应注水井的注采井距，发现注采井距在油藏中处于中低水平，注采井距主要在 500m~1000m 之间，或者与边水距离较小。

与含水等级关系：高含水前期（60%~80%）4 井次，高含水后期（80%~90%）3 井次，高含水前期（90%~95%）4 井次，高含水后期（> 95%）2 井次，未提高采收率井在各含水等级均有分布，未见明显规律。

与提液幅度关系：提高采收率井的提液幅度从 1.1~3.3 倍不等，未见明显集中区域。

生产动态特征，对比 13 口井提液后含水和动液面变化情况，采收率持平的 10 口井平均含水从 81% 上升到 86%，上升 5 个百分点，平均动液面下降 279m；采收率下降的 3 口井平均含水从 72% 上升到 89%，上升 17 个百分点，平均动液面下降 101m；含水提升过快，生产压差增加较小，未起到提高采收率的作用。

提液效果差的井主要集中在油层厚度薄、剩余储量低、靠近水源的区域。

物质基础、距水源距离是影响提液效果的主控因素。

3 提液时机的确定

为了有效提高油田采收率，控制含水上升，需要确定合理的提液时机和提液幅度，一般采用无因次采油、采液指数和相对渗透率曲线法确定单井“最佳”提液时机。依据井口含水与相对渗透率推导公式计算结果，在油水两相等渗点 $f_w=97%$ 之前，油相渗透率大于水相，

开发效果好。而无因次采液指数曲线表明 $f_w > 86%$ 以后，无因次采液指数随含水率增大而迅速增加。

综合分析 D 油藏提液“最佳时机”的 f_w 值为 86%~97%。“最佳时机”仅意味 $f_w > 86%$ 必须提液， $f_w > 97%$ 提液作用小，不代表含水低于 86% 提液效果差。从历年提液效果来看，不同含水时机均有提高采收率效果，含水 < 86% 均可考虑提液，而含水 86~97% 必须提液。

4 提液幅度的确定

数值模拟优化日产液达到 200 方 / 天以后，累增油幅度明显减小；统计实际效果，日产液在 180~200t 左右递减增油效果最佳。综合确定，提液后最大日产量 200t 较为合理。

5 提液井筛选

5.1 筛选原则

① 剩余油相对富集的区域；② 远离边、底水水源的区域；③ 距离最佳产液量有一定的提升空间油井；④ 井组动用不均衡，井距相对较大（> 800m），含水相对较低的油井；⑤ 含水在必须提液期且满足提液要求的井；⑥ 目前沉没度（或者加深泵挂后）满足提液要求。

5.2 筛选结果

摸排 D 油藏目前正常生产的 106 口采油井，其中 81 口不符合提液要求，主要原因：32 口井沉没度低，13 口井含水超出合理范围，24 口井距离水源近，5 口井剩余油少，8 口井已经处于高产液阶段。优选出 25 口满足提液要求井：11 口处于必须提液期，8 口处于剩余油富集区，剩余 6 口两者兼备。

25 口具备提液潜力井目前平均单井日产液 83t，平均含水 87%，合计控制地质储量 $1040.7 \times 10^4 t$ 。

25 口提液井整体上位于油层厚度大、剩余油富集区域，井组内含水相对较低的区域。

6 指标预测

6.1 预测依据

① 依据提液后生产压差提高幅度（或日产液提高幅度）确定提液后初期产油量；② 日产油按照 D 油藏年综合递减 14% 计算；③ 生产时率按照 300d/a；④ 有效率按照 85% 计算（历史提高采收率有效率为 68%，目前地质条件好）。

6.2 预测结果

预测 25 口提液井提液后平均单井日产液由 83t 提高至 147t，日产油由 10.5t 上升至 18.3t，累计增油 $22.9 \times 10^4 t$ ，阶段提高采收率 2.2%（控制地质储量 $1040.7 \times 10^4 t$ ）。

参考文献：

- [1] 王彦利, 等. 提液在隔夹层发育边底水油藏挖潜增效中的应用 [G]. 全国油气田开发技术大会, 2011.
- [2] 王佩文, 等. A 油田稠油油藏提液研究与实践 [J]. 中国石油地质与工程, 2016.
- [3] 兰丽凤. 特高含水期多层系砂岩油田提液潜力评价方法 [J]. 大庆石油地质与开发, 2013.