

[引著格式] 罗启源, 张伟, 代玲, 等. 稠油底水油藏夹层展布研究新方法及其开发布井策略研究 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (11+12): 49~53.

稠油底水油藏夹层展布研究新方法及其开发布井策略研究

罗启源, 张伟, 代玲, 陈维华
郑洁, 朱迎辉, 谢明英

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司研究院, 广东 广州 510240)

[摘要] 稠油底水油藏在南海东部海域占有很大的比例, 产量贡献逐年增加, 但稠油底水油藏的开发和管理经验相对薄弱; 在相同的开发条件下, 不同稠油底水油藏的开发效果差异很大, 即使同一油藏的开发井开发效果也明显不同, 这一问题长期困扰着南海东部稠油底水油藏的开发。采用动静结合的方式对隔夹层展布进行描述, 并将生产动态与隔夹层进行综合研究, 认为隔夹层是造成上述差异的主控因素, 在上述研究的基础上, 提出平面和纵向布井优化策略, 数值模拟研究和实际的开发案例分析均表明, 优化后的布井策略可以从根本上改善稠油底水油藏的开发效果, 可对该类油藏后期调整以及前期布井策略提供较好的指导。

[关键词] 稠油油藏; 底水油藏; 隔夹层; 生产动态; 井位优化

[中图分类号] TE349 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1000-9752 (2015) 11+12-0049-05

珠江口盆地 P 油田群储集层为一套三角洲体系碎屑岩沉积, 储集层岩性为中、粗粒长石石英砂岩, 局部含钙质。油田储集层物性好, 纵向上层系多、单层薄、边底水发育, 稠油油藏分布在油田上部。F1 油田的稠油储量占油田储量的 59.4%, F2 油田的稠油储量占油田储量的 34.9%, 埋深在 -1438 ~ -1822m, 地层压力在 14.7 ~ 18.1MPa, 地层温度在 74 ~ 82°C, 地层原油黏度在 37.71 ~ 137.98mPa·s。

P 油田群目前共有 47 口稠油油藏生产井, 平均单井日产油 70m³, 含水率 81%, 累计产油 402 × 10⁴m³, 采出程度 7%。搞清楚稠油底水油藏的开发特征, 分析影响稠油底水油藏开发动态的主控因素对油田后期调整布井具有重要的指导意义。

对于 P 油田群的稠油底水油藏, 在相同的开发条件下, 不同油藏的开发效果差异很大 (图 1)。

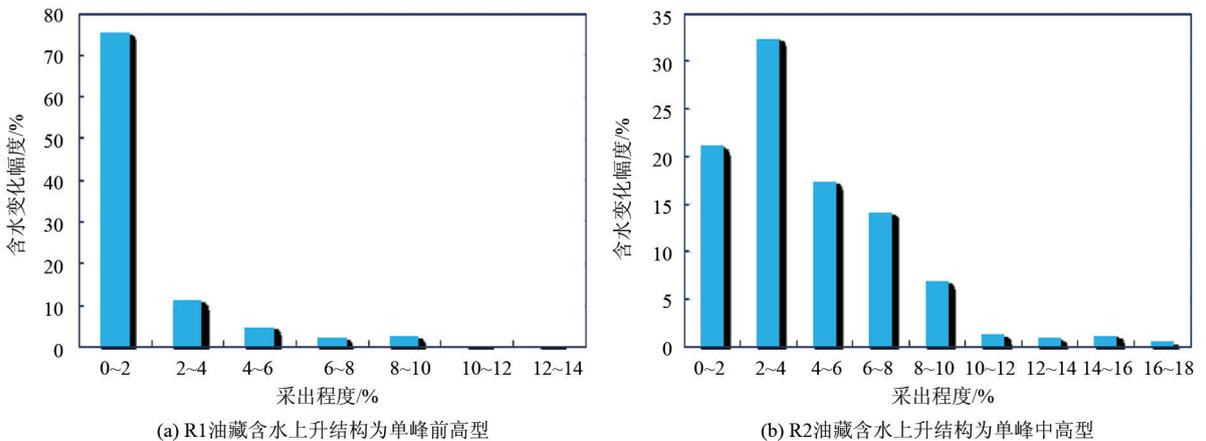


图 1 不同油藏投产后的含水上升结构

[收稿日期] 2015-01-10

[作者简介] 罗启源 (1984-), 男, 硕士, 工程师, 现主要从事油藏管理和数值模拟方面的研究工作, luoqy@cnooc.com.cn。

图1所示R1油藏和R2油藏均为F1油田的稠油底水油藏。从2个油藏的含水上升规律可以看出,不同油藏在相同的开发阶段含水上升速度不同。R1油藏的含水上升结构属于单峰前高型,含水上升速度的峰值出现在采出程度1%左右(图1(a));R2油藏的含水上升结构属于单峰中高型,含水上升速度的峰值出现在采出程度3%左右(图1(b))。此外,同一油藏的开发井开发效果也明显不同,如F1油田的R3油藏(图2)投产5口水平井,以W2井为代表的井没有无水采油期,投产后含水快速上升;以W5井为代表的井无水采油期短,底水突破后含水快速上升;以W1井为代表的井有较长的无水采油期,含水上升速度慢,生产效果好。

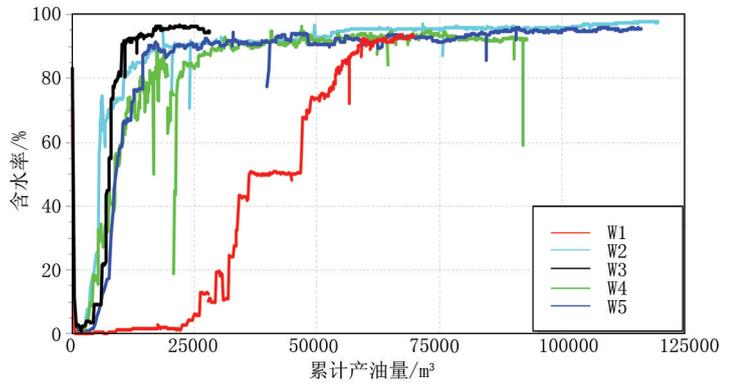
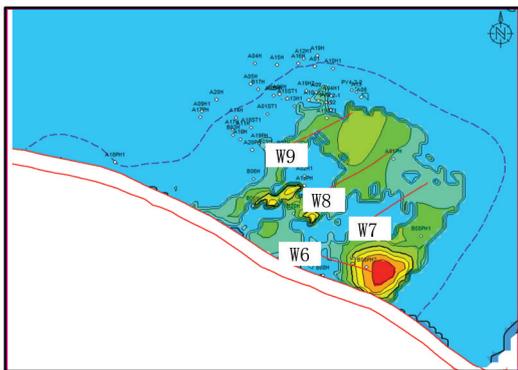


图2 同一油藏(R3油藏)不同开发井的生产动态曲线

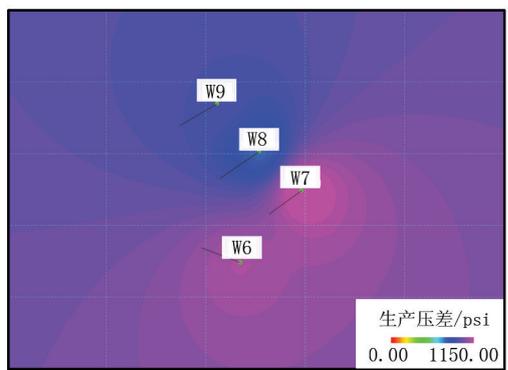
1 隔夹层平面展布研究新思路

隔夹层的分布控制着油水在油藏中的运动,特别是控制着底水垂向上的运动,影响稠油底水油藏开发井的生产动态。研究隔夹层在平面上的展布是油藏动态分析的重要内容,也是开发调整布井的重要地质依据。隔夹层平面展布研究的常规方法是通过过路井测井资料,结合岩心分析和水平井资料以及局部加密井网区夹层对比结果来确定其平面展布范围^[1]。该方法充分利用已有井的资料,可在井密度高的区域较准确地描述隔夹层的平面分布,但也具有一定的局限性,即在井密度低的区域井点资料少,尤其对于平面非均质性变化大的储集层难以准确描述隔夹层的平面分布,给后期开发调整布井带来一定的风险。笔者提出一种研究隔夹层平面展布的新思路,即利用油藏已有生产井的生产压差分布来研究附近区域隔夹层的平面展布规律,同时结合过路井测井资料和生产动态资料,动静结合可更准确定性判断无井控区域的隔夹层平面展布。

F1油田的R4油藏目前有在生产井4口,过路井52口,其中大部分过路井在油藏构造的西北边,而在生产井周围的过路井较少,难以描述无井控区域的隔夹层平面展布(如图3(a)),从生产井的生产压差平面分布图(图3(b))和生产井动态(图4)可以看出,W6井、W7井生产压差大,含水上升慢,判断水平段下部隔夹层发育稳定;W9井生产压差相对高,有一定的无水采油期,判断水平段下部隔夹层局部发育;W8井生产压差相对较小,低含水生产时间短,底水突破较快,判断该井水平段下部隔夹层发育不稳定。



(a) 油水界面以上隔夹层平面分布



(b) 在生产井生产压差平面分布

图3 R4油藏隔夹层平面分布

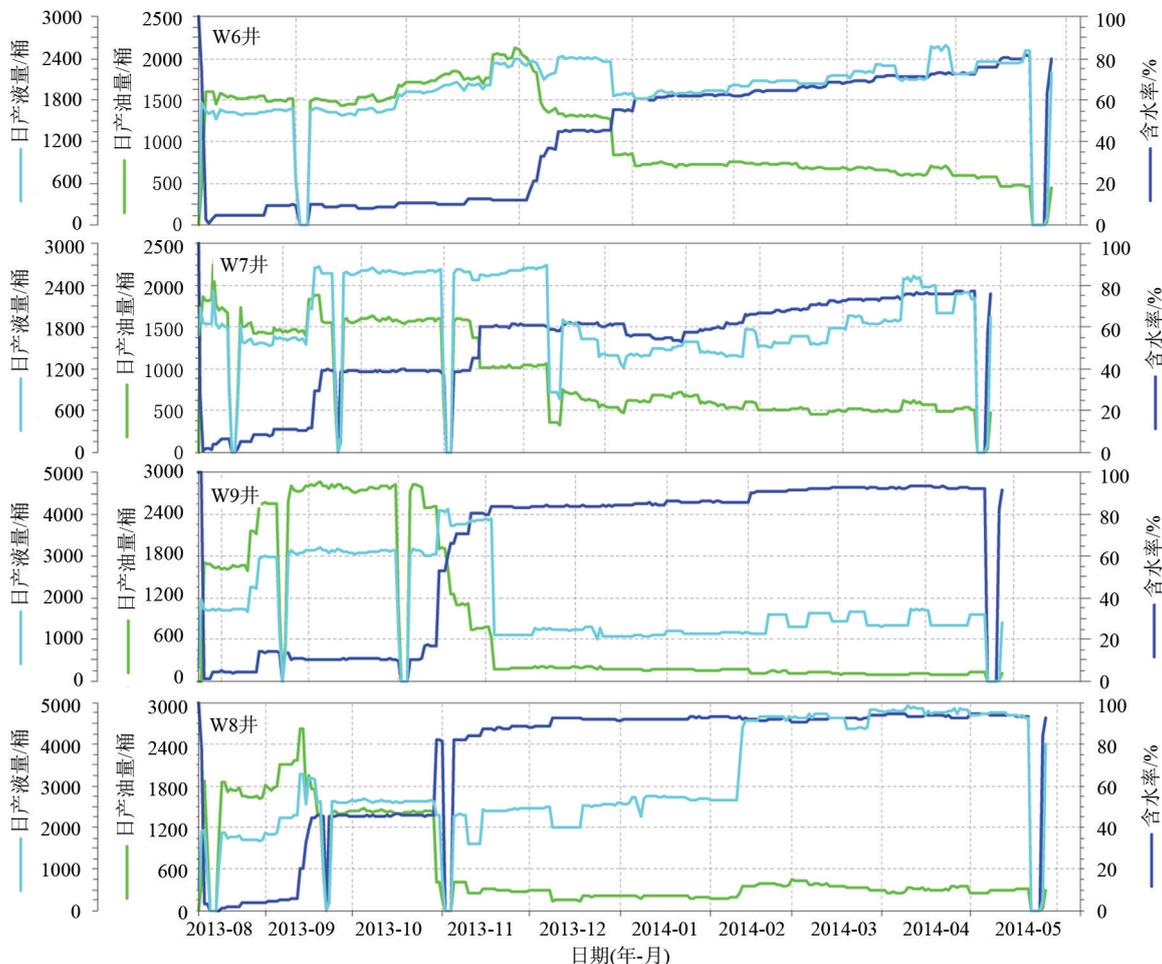


图 4 R4 油藏 4 口水平井生产动态

生产井的生产压差是地层信息在动态上的反映。在相同液量条件下，生产压差越大，累计产油量越高，开发效果越好，表明储集层内隔夹层发育；反之，在相同液量条件下，生产压差越低，累计产油量越低，开发效果越差，表明储集层内隔夹层不发育。以上分析表明，相同液量条件下的生产压差分布能够反映储集层内隔夹层的分布情况，充分应用这一动态资料，同时结合过路井测井等静态资料可以更准确刻画储集层内隔夹层平面展布。

2 稠油底水油藏布井策略研究

从以上分析可知，对于稠油底水油藏，生产井的开发效果在一定程度上取决于水平段下部隔夹层的发育程度，水平段下部隔夹层发育的一般开发效果好，水平段下部隔夹层不发育的一般开发效果差。为进一步研究稠油底水油藏开发中的布井策略，提升稠油底水油藏开发效果，建立了有隔夹层和无隔夹层两类概念模型，从模拟结果来看（图 5、图 6），储集层内隔夹层发育，则单井控制范围大；储集层内隔夹层不发育，则单井控制范围小。

对于隔夹层发育的储集层，分别取井距 200、300、400m 进行布井策略研究。结果表明，井距取 400m 时开发效果最好，累计产油量最高（图 7）。

对于隔夹层不发育的储集层，在 F1 油田开发调整方案的井位优化中，对水平井纵向上的布井策略进行了优化研究。结果表明，水平段布在靠储集层顶部比布在储集层中部好砂岩中的累计产油量更高，开发效果更好（图 8）。

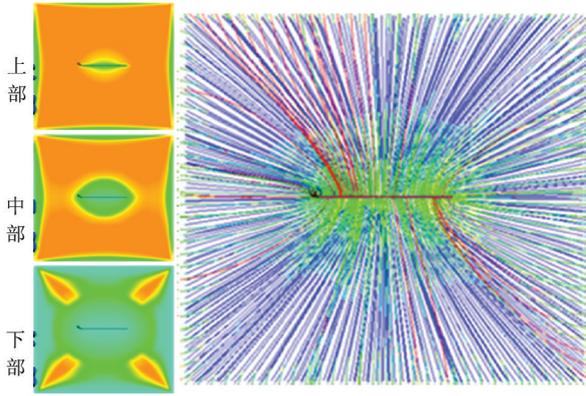


图5 隔夹层发育储集层单井控制范围大

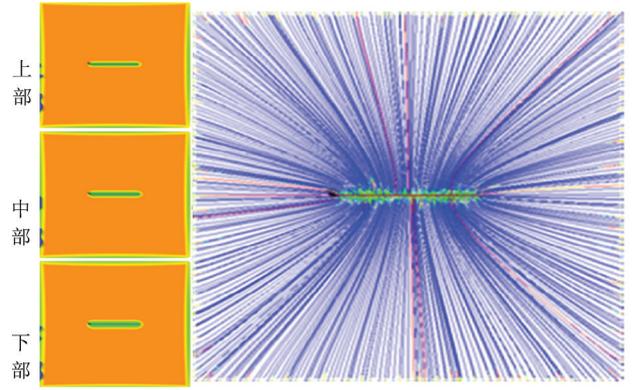
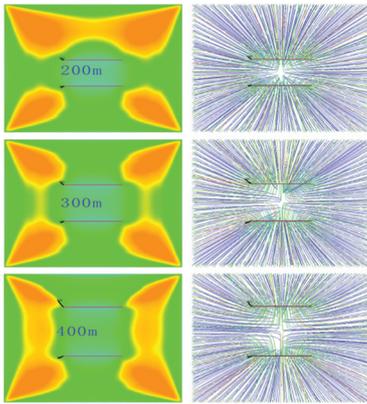
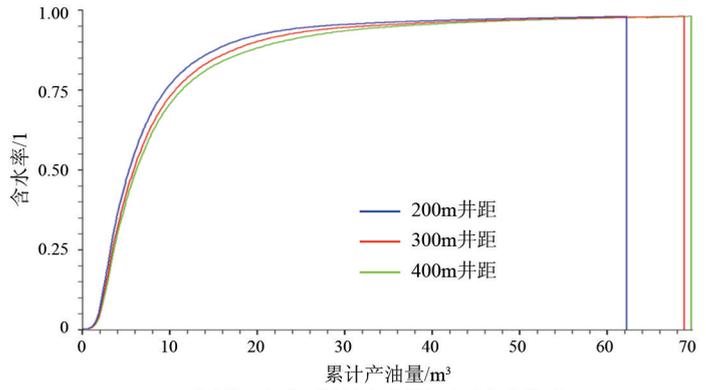


图6 隔夹层不发育储集层单井控制范围小



(a) 不同井距条件下的剩余油分布



(b) 不同井距条件下累计产油量与含水率的关系

图7 平面布井策略优化

经过以上的研究可知，稠油底水油藏的布井需遵循以下策略：对于隔夹层发育的稠油底水油藏，单井控制范围大，水平井应布在具有一定规模的隔夹层上部，并适当增大井距，利用夹层的阻挡作用阻隔底水上升或者改变底水上升的路径，达到延缓底水锥进的目的^[2~5]。对于隔夹层不发育的稠油底水油藏，单井控制范围小，应适当缩小井距，并布在油藏顶部。油藏顶部处于砂、泥交界处，储集层物性相对较差，在该位置布井一方面可以增加水平段距离油水界面的距离，增大波及范围；另一方面，油藏顶部物性较差的储集层，在一定程度上具有遮挡底水快速锥进的作用，实际上抑制了底水能量，间接增强了平面驱油效果，提升了稠油底水油藏的开发效果。

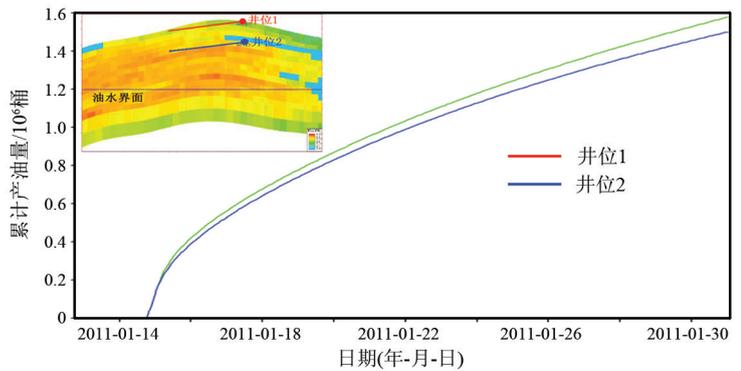


图8 纵向布井优化策略

3 应用实例

南海东部海域的F1油田R5稠油油藏共有9口开发井，46口过路井，目前有6口在生产井。仅从过路井的测井解释结果来看（图9），大部分开发井下部隔夹层较发育，但从生产压差分布以及各井的生产动态来看（图10），可以判定油藏西北部的4口井（W11、W12、W13、W17）下部隔夹层不发育，

而在油藏东南部的 3 口井 (W15、W16、W18) 下部隔夹层发育, 因此这 3 口井在实施过程中适当增大了水平井距至 300m, 并取得了较好的开发效果 (图 11)。

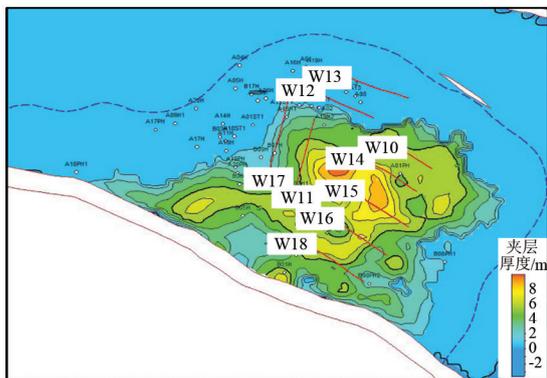


图 9 R5 油藏油水界面以上隔夹层分布

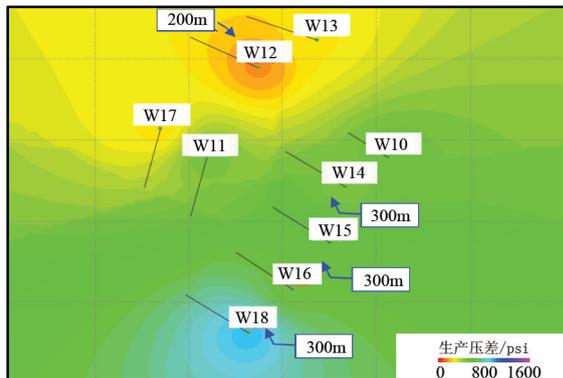


图 10 R5 油藏开发井生产压差分布

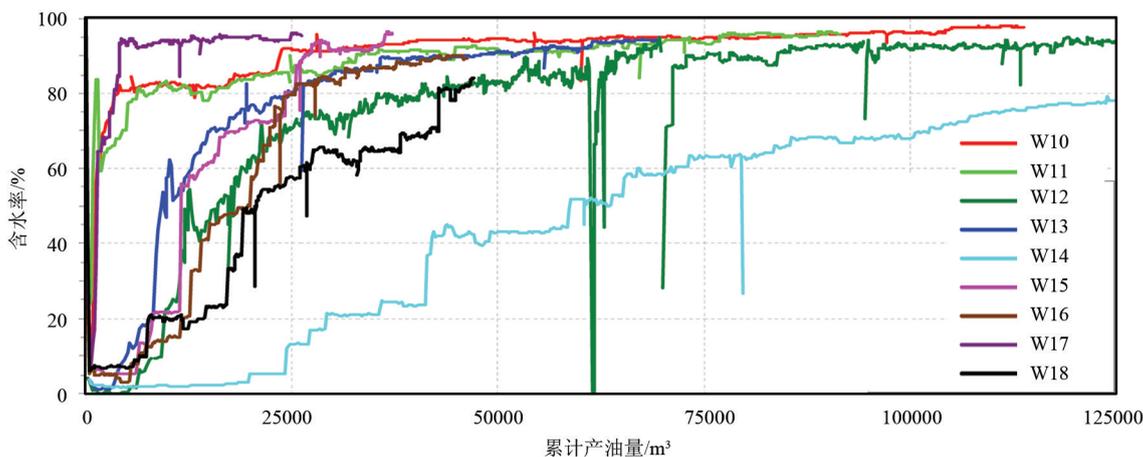


图 11 R5 油藏 9 口开发井生产效果对比

4 结论与认识

1) 对不同油藏含水上升结构分析表明, 隔夹层不发育的底水稠油油藏含水上升呈现单峰前高型, 含水上升速度峰值出现在采出程度 1% 左右; 隔夹层发育的底水稠油油藏含水上升呈现单峰中高型, 含水上升速度的峰值出现在采出程度 3% 左右。

2) 利用油藏已有生产井的生产压差分布来研究附近区域隔夹层的平面展布规律, 同时结合过路井测井资料和生产动态资料, 动静结合可更准确性判断无井控区域的隔夹层平面展布。

3) 稠油底水油藏的开发应根据隔夹层发育的发育情况采取不同的开发布井策略。隔夹层发育, 则单井控制范围大, 水平井应布在具有一定规模的隔夹层上部, 并适当增大井距, 利用夹层的阻挡作用阻隔底水上升或者改变底水上升的路径, 达到延缓底水锥进的目的。隔夹层不发育, 则单井控制范围小, 应适当缩小井距, 并布在油藏顶部, 提升稠油底水油藏的开发效果。

[参考文献]

- [1] 周学慧, 刘卫丽, 乔霞, 等. 某油田东河砂岩储集层夹层识别与分布规律研究 [J]. 长江大学学报 (自科版), 2013, 10 (10): 61~63.
- [2] 刘佳, 程林松. 底水油藏中隔夹层对水平井开发影响研究 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13 (32): 9662~9665.
- [3] 李传亮. 油藏工程原理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [4] Peng Zhang. Existence of flow barriers improves horizontal well production in bottom water reservoirs [J]. SPE115348, 2008.
- [5] 陈程, 孙义梅. 厚油层内部夹层分布模式及对开发效果的影响 [J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22 (2): 24~27.