

# Study on Water Driving Laws of Low Permeability Reservoir Based on Reservoir Evaluation

Jian Duan

Nanpu Oilfield Operation District of Petro China Jidong Oil Field Company, Tangshan Hebei  
Email: duandzyjs@163.com

Received: Jan. 8<sup>th</sup>, 2019; accepted: Mar. 18<sup>th</sup>, 2019; published: Jun. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In low permeability reservoirs, there existed great difference in reservoir property, and complex water flooding laws, by taking low permeability block in Nanpu 4-1 Area as an example and combined with dynamic and static evaluations of reservoir parameters; a study was carried out on the water flooding laws based on different types of reservoirs. In the process, a two-step reservoir evaluation method was established; three types of water flooding were divided on the plane. The characteristics and differences of water flooding between Type I and Type II reservoirs were contrasted, and their formation mechanism was expounded. The method proposed in the study is more targeted and accurate for studying the water flooding laws in low permeability reservoirs, and better field application results are achieved in the study area; it provides an important guidance for the development and treatment of similar reservoirs.

## Keywords

Low Permeability Reservoirs, Reservoir Evaluation, Two-step Method, Water Driving Laws

---

# 基于储层评价的低渗透油藏水驱规律研究

段 健

中石油冀东油田分公司南堡油田作业区, 河北 唐山

作者简介: 段健(1983-), 男, 工程师, 现主要从事油气田开发方面的研究工作。

Email: duandzyjs@163.com

收稿日期: 2019年1月8日; 录用日期: 2019年3月18日; 发布日期: 2019年6月15日

## 摘 要

低渗透油藏储层性质差异大, 水驱规律复杂。以南堡4-1区低渗透区块为例, 结合动态和静态参数综合评价储层, 开展了基于不同类型储层的水驱规律研究。建立两步法储层评价方法, 划分了平面上3种水驱类型, 对比有效储层中I类和II类储层的水驱特征差异, 并阐述其成因机理。提出的研究方法使低渗透油藏水驱规律研究更加具有针对性和准确性, 该方法在研究区取得了较好的矿场应用效果, 对同类型油藏的开发治理具有重要的指导意义。

## 关键词

低渗透油藏, 储层评价, 两步法, 水驱规律

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

油田开发过程中, 水驱规律研究是特低渗油藏研究的难点。近年来, 国内外众多学者在特低渗透油藏剩余油和水驱规律等领域取得了大量科研成果[1] [2] [3] [4]。整体上针对储层物性及非均质特征开展的水驱规律研究较多, 基于储层评价的不同类型储层水驱规律研究较少。开发过程中, 受多种因素影响, 低渗透油藏不同类型的储层渗流规律和开发模式不同, 水驱规律存在差异, 剩余油分布极为复杂。以储层评价为切入点, 早期介入, 对储层进行分类, 根据不同的储层类型分析低渗透油藏的水驱规律, 为油田的开发方案提供更准确的指导意见。

## 2. 基于动态和静态参数结合的储层评价方法

### 2.1. 方法的建立

低渗透油藏水驱特征影响因素众多, 不仅与非均质性、应力场、断层、孔喉结构、原油性质、水体大小等静态参数有关, 更与开发方式、井网、人工裂缝形态、开发历程、井况等动态参数有着重要关系[5] [6] [7] [8]。因此将动态和静态参数结合起来开展储层评价, 能更准确地指导水驱规律研究。

研究区南堡 4-1 区沙一段隶属南堡油田, 位于南堡油田西部 4 号构造主断层东北侧, 沉积环境为三角洲前缘亚相, 内部断层少, 天然裂缝不发育, 属于具有一定边水能量的单斜岩性油藏。该油藏平均孔隙度 17.3%, 平均渗透率 5.8 mD。综合分析认为, 研究区储层评价需要反映储层 4 个方面的参数: ① 反映储层宏观物性的特征参数(储层的渗透率和有效孔隙度) [9]; ② 反映储层微观渗流特征的特征参数(孔隙结构、毛细管力、流体黏度、主流喉道半径等) [10] [11] [12]; ③ 反映采收率的特征参数(退汞效率、可动流体百分数、排驱压力); ④ 反映开发特征的特征参数(自然产能和开发方式)。可根据储层实际情况从以上 4 个方面每个方面优选 1~2 个主要参数。研究区筛选出渗透率、有效孔隙度、排驱压力、主流喉道半径、退汞效率、自然产能和开发方式 7 个参数。

## 2.2. 储层综合评价研究

为使研究区的储层评价工作更具层次性、综合性, 更好地体现动态资料在评价工作中检验校正的作用, 提出基于油藏地质特征的“多因素耦合分析”的储层评价两步法。

首先依据评价参数与储层质量的相关性, 建立关系式。由于各类参数取值区间存在差异, 需要进行归一化处理, 据此建立五元综合分类法的计算式:

$$C_q = \ln \frac{(K_i/K_{i\max})(\phi_i/\phi_{i\max})(r_m/r_{m\max})(\eta_{ei}/\eta_{ei\max})}{p/p_{\max}}$$

式中:  $C_q$  为储层综合分类因数, 1;  $K_i$  为每个样本渗透率, mD;  $K_{i\max}$  为每个样本最大渗透率, mD;  $\phi_i$  为每个样本有效孔隙度, %;  $\phi_{i\max}$  为每个样本最大有效孔隙度, %;  $r_m$  为主流喉道半径,  $\mu\text{m}$ ;  $r_{m\max}$  为最大主流喉道半径,  $\mu\text{m}$ ;  $p$  为排驱压力, MPa;  $p_{\max}$  为最大排驱压力, MPa;  $\eta_{ei}$  为每个样本退汞效率, %;  $\eta_{ei\max}$  为每个样本最大退汞效率, %。

通过对研究区 3 口井取心资料的 25 个数据样点统计分析, 初步将研究区储层划分为 3 类: ① I 类储层, 储层综合分类因数大于 5.2, 渗透率大于 15 mD, 孔隙度为 17.0%~20.4%, 退汞效率为 33.36%~51.95%, 排驱压力为 0.01~0.15 MPa, 主流喉道半径大于或等于 2.5  $\mu\text{m}$ , 孔喉类型为中孔较细喉不均匀型, 以河口坝主体和河道沉积微相为主; ② II 类储层综合分类因数为 1~5.2, 渗透率为 1~15 mD, 孔隙度为 15.6%~17.02%, 退汞效率为 30.51%~50.30%, 排驱压力为 0.05~0.31 MPa, 主流喉道半径为 2.5~1.0  $\mu\text{m}$ , 孔喉类型为中孔细喉不均匀型, 以坝外缘与席状砂为主; ③ III 类储层综合分类因数小于 1, 渗透率小于 1 mD, 孔隙度为 12.4%~17.9%, 退汞效率为 28.71%~48.41%, 排驱压力为 0.31~0.34 MPa, 主流喉道半径小于 1.0  $\mu\text{m}$ , 孔喉类型为小孔微细喉不均匀型, 以远砂坝、滩坝砂为主。数据点呈很好的分片性, 分区的渗透率界限值与特低渗、超低渗界限值具有较好的对应关系, 表明了初步分类方案的合理性。

储层评价第 2 步是将开发生产特征与初步分类结果耦合, 细化并校正初评标准。通过研究区 3 口井、25 个层的储层综合分类因数与自然产能关系图(图 1)可知, I 类储层, 自然产液能力强, 达到 8~10 t/d。II 类储层初期产能为 0~7 t/d, 递减快, 4 至 6 个月后不产液, 通过压裂能够持续稳产 1.5~9 t/d。依据产能进一步细分为 II-1 和 II-2 两个亚类, II-1 类储层水井人工裂缝半长为 30 m, 油井半缝长 80 m, 裂缝导流能力为 25  $\mu\text{m}^2\cdot\text{cm}$ , 产能为 6~8 t/d; II-2 类储层水井人工裂缝半长 40 m, 油井半缝长 90 m, 裂缝导流能力为 30  $\mu\text{m}^2\cdot\text{cm}$ , 产能为 1.5~4 t/d。III 类储层, 不产液, 压裂后仍然不具有经济产能价值。

终评分类标准体现了不同类型储层具有不同的岩性、物性、微观孔喉特征和开发模式, 生产动态与评价标准的一致性一定程度上说明了评价结果的可靠性。

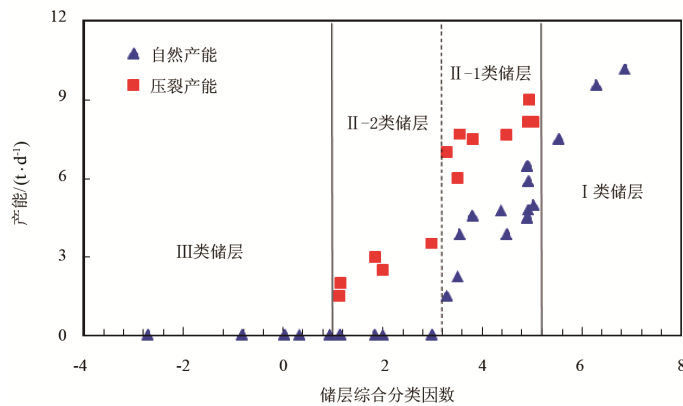


Figure 1. The relation schema between integrated reservoir classification and productivity  
图 1. 储层综合分类因数与产能关系图

### 3. 基于储层评价的水驱规律研究

研究区采用反九点井网注水开发, I类储层采用射孔投产, II类储层采用压裂投产。为进一步研究水驱规律,建立了研究区相控基质与裂缝模型,开展了南堡4-1区数值模拟[13][14]。

#### 3.1. 平面方向水驱规律特征

根据数模结果, I类储层注水、II类储层采油的水驱形态主要分为3类(图2): 类型1为折线条带形(图2(a))。主要形成机理是注水井与最近人工裂缝端点夹角大于 $90^\circ$ , 裂缝扩大了动用面积, 对应注水井水线以最短距离推进至人工裂缝末端, 形成水线; 类型2为一侧形(图2(b)), 注水井与最近人工裂缝端部夹角小于 $90^\circ$ , 其形成机理是人工裂缝增大了裂缝两侧的储量动用, 在压裂井与非压裂邻井的共同作用下, 注入水呈面积推进, 平面上水线推进均匀; 类型3为窄条形(图2(c)), 其机理是由于周围对应砂体无能量补充, 注入水由上下连通砂体进入裂缝。

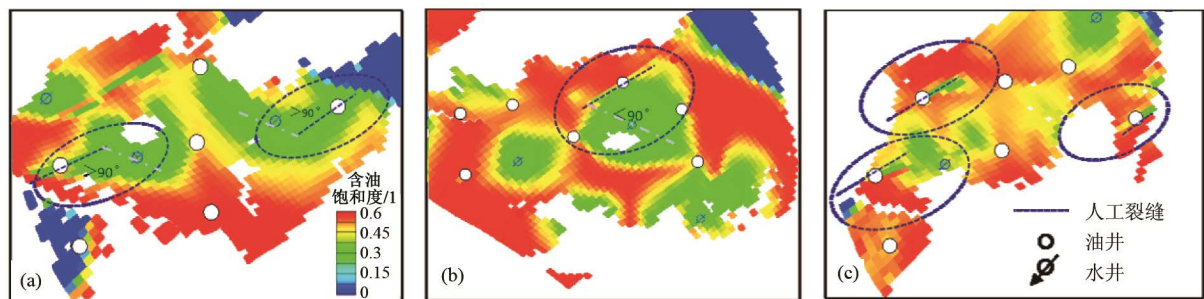
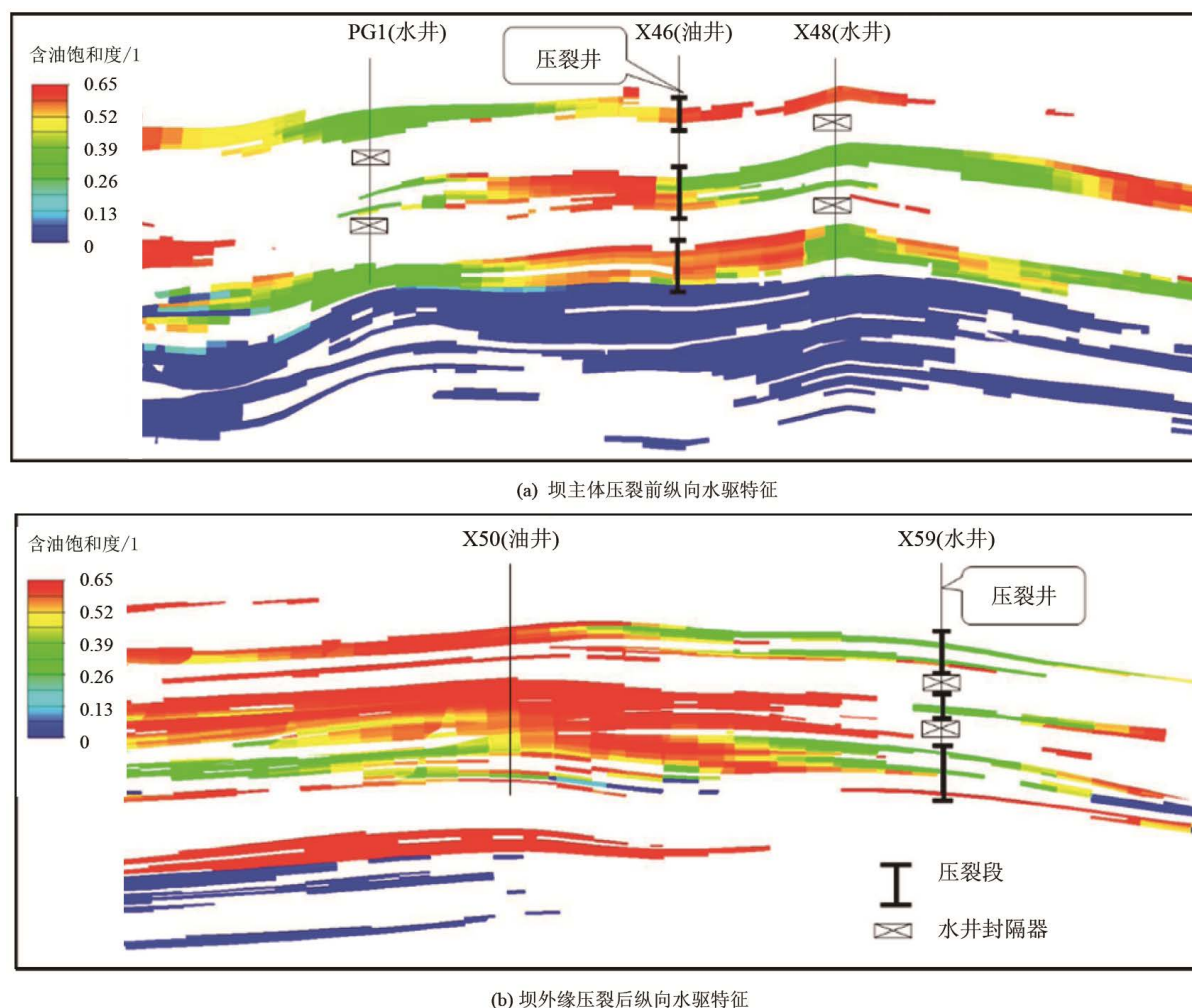


Figure 2. The characteristics of water flooding in oil well after fracturing  
图 2. 压裂后油井水驱特征

#### 3.2. 纵向水驱规律特征

I类储层主要位于河口坝的主体部位和河道相, 物性较好, 如图3(a)所示。PG1井各层均有储量动用, 层间动用差异小。与II类储层对比, 纵向上层间水驱的均匀程度较好, 各层水线推进距离较接近。主要原因是I类储层的吸水能力和产液能力要明显好于II类储层, 注水井的启动压力和注入压力要小于坝体边部的II类储层, 建立驱替系统后, 坝主体的层间压差通常小于坝外缘砂体。复合砂体整体上动用较好, 水淹厚度大。



**Figure 3.** The profile of water flooding both before and after the fracturing  
**图 3.** 压裂前后水驱剖面图

从水驱前缘特征来看, II 类储层压裂后纵向动用极不均匀, 矛盾突出, 如图 3(b)所示。水井 X59 井位于坝体边部, 砂体物性较差、厚度薄, 主要表现为层间动用不均衡; 厚层的层内非均质性及压差导致其主要特征为层内吸水不均, 水井吸水厚度小, 这种差异是开发中后期综合治理方案的认识基础。

#### 4. 矿场应用效果

基于储层评价的水驱规律研究, 开展了针对研究区不同类型储层的治理方案论证。I 类储层以注重改变平面流场、均衡注入水推进为主, II 类储层以利用压裂及细分注水强化主力层动用为主。2013~2017 年共实施井网调整 7 井次, 精细注采调控 129 井次。储量动用程度分别提高 2.4%、4.6%, 采收率提高 4.7%。

#### 5. 结论与展望

1) 通过对低渗透油藏动静参数的综合分析, 确定了储层评价的 4 个方面 7 大特征参数, 建立了两步法储层评价方法。

2) 受储层类型和开发政策等因素的影响, 低渗透油藏水驱特征极为复杂。平面上分为 3 种水驱特征。纵向上, II 类储层的层内与层间储量动用差异大, I 类储层的动用较均匀, 含水率上升等水驱规律具有明



显差异。研究结果可为制定综合治理方案提供依据。

## 参考文献

- [1] 俞启泰. 关于剩余油研究的探讨[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(2): 46-50.
- [2] 李红南, 徐怀民, 许宁, 等. 低渗透储层非均质模式与剩余油分布——以辽河西部凹陷齐 9-欢 50 区块杜家台油层为例[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 404-408.
- [3] 赵伦, 王进财, 陈礼, 等. 砂体叠置结构及构型特征对水驱规律的影响——以哈萨克斯坦南图尔盖盆地 Kumkol 油田为例[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(1): 86-94.
- [4] 高建, 侯加根, 林承焰, 等. 特低渗透砂岩油藏剩余油分布的主控因素及有利区块评价[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007, 31(1): 13-18.
- [5] 严科. 三角洲前缘储层特高含水后期剩余油分布特征[J]. 特种油气藏, 2014, 21(5): 20-23.
- [6] 王启蒙, 汪强, 诸葛镇. 低渗储层渗流规律及水驱油机理的试验研究[J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(1): 102-126.
- [7] 沈瑞, 赵芳, 高树生, 等. 低渗透纵向非均质油层水驱波及规律实验研究[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(4): 91-93.
- [8] 张国辉, 任晓娟, 张宁生. 微裂缝对低渗储层水驱油渗流规律的影响[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2007, 22(5): 44-47.
- [9] 黄延章. 低渗透油层渗流机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [10] 苏玉亮, 李涛. 平面非均质性对特低渗透油藏水驱油规律的影响[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(1): 69-71.
- [11] 束青林, 郭迎春, 孙志刚, 等. 特低渗透油藏渗流机理研究及应用[J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(5): 58-64.
- [12] 张仲宏, 杨正明, 刘先贵, 等. 低渗透油藏储层分级评价方法及应用[J]. 石油学报, 2012, 33(3): 437-441.
- [13] 姜瑞忠, 乔杰, 孙辉, 等. 低渗透砂砾岩油藏储层分类方法[J]. 油气地质与采收率, 2018, 25(1): 90-93.
- [14] 贾培锋, 杨正明, 肖前华, 等. 致密油藏储层综合评价新方法[J]. 特种油气藏, 2015, 22(4): 33-36.

[编辑] 帅群

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)