

Study on Logging Evaluation Method of the Low Amplitude Reservoirs in Shengbei Sag

Bojie Zeng¹, Du Wu^{2*}, Xiaorong Lou², Xianliang Wang², Zike Sun², Zhihong Ye²

¹School of Geophysics and Oil Resources, Yangtze University, Wuhan Hubei

²China Petroleum Logging Tuha Business Division, Hami Xinjiang

Email: *397599445@qq.com

Received: Oct. 26th, 2016; accepted: Mar. 1st, 2017; published: Apr. 15th, 2017

Abstract

The low amplitude structural reservoirs in Shengbei Sag were affected by pore structure and reservoir height; the oil and gas had obvious selective accumulation characteristics; and the quantitative evaluation of reservoir was more difficult. Study indicates that there is a certain correlation between reservoir quality and bound porosity. A new method for evaluating the reservoir quality and saturation is established by using the bound pore, by which the problem of low amplitude reservoir evaluation is well solved, and good application effect is obtained in Shengbei Sag.

Keywords

Low Amplitude Structure, Bound Porosity, Pore Structure, Saturation

*通信作者。

胜北洼陷低幅度油藏测井评价方法研究

曾博洁¹, 吴 都^{2*}, 罗小蓉², 王现良², 孙自科², 叶志红²

¹长江大学地球物理与石油资源学院, 湖北 武汉

²中国石油集团测井有限公司吐哈事业部, 新疆 哈密

作者简介: 曾博洁(1987-), 女, 硕士生, 现主要从事测井解释研究工作。

Email: 397599445@qq.com

收稿日期: 2016年10月26日; 录用日期: 2017年3月1日; 发布日期: 2017年4月15日

摘 要

胜北洼陷低幅度构造油藏受孔隙结构和油藏高度影响, 油气选择性成藏特征明显, 储层定量评价较困难。研究表明, 储层特征与束缚孔隙度有一定相关性, 利用束缚孔隙度建立了储层品质和饱和度评价新方法, 较好地解决了低幅度构造油藏储层评价的难题, 在胜北洼陷应用效果较好。

关键词

低幅度构造, 束缚孔隙, 孔隙结构, 饱和度

Copyright © 2017 by authors, 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. 引言

研究区位于吐哈盆地台北凹陷胜北洼陷次凹中部, 受平行断层切割, 且位于油气运移充注的主力方向, 形成了自北向东的胜北洼陷 2 号、3 号及 4 号局部断背斜构造。该区自上而下在侏罗系七克台组、三间房组、西山窑组以及喀拉扎组(J₃k)见到丰富油气显示。J₃k 以曲流河沉积为主, 储层为曲流河河道砂体, 厚度小。J₃k 油气藏闭合高度 30 m, 背斜两翼倾角小于 3°。受低幅度构造和储层孔隙结构影响, J₃k 油藏油气选择性成藏特征较为明显, 油水系统较复杂。

2. 储层特征

J₃k 储层岩性主要为棕色泥质粉砂岩、粉砂岩互层。依据胜北洼陷 7 口井 512 块岩样粒度分析数据统计(图 1)表明, J₃k 岩性主要为细砂岩, 粉砂岩次之, 细砂岩和粉砂岩占总样品的 95%, 储层岩性粒径分布较广, 分选较差。

3. 孔隙结构

经取心铸体薄片(图 2)观察, 胜北洼陷 J₃k 储层孔隙以粒间孔隙为主, 受粒间填系物充填影响, 孔隙结构较为复杂, 局部发育溶蚀粒间孔、粒内孔, 总体孔隙结构连通性较好[1]。

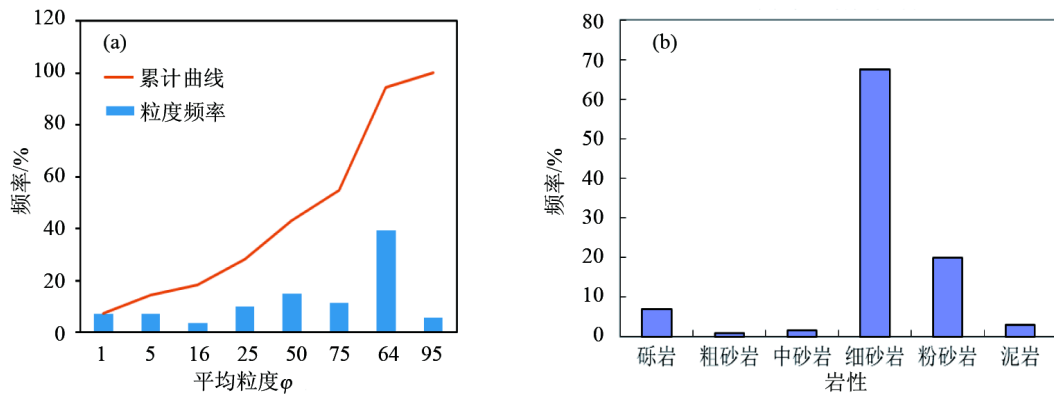


Figure 1. The distribution diagram of average particle size (a) and lithology (b) in Shengbei Sag
图 1. 胜北洼陷平均粒度(a)及岩性(b)分布图

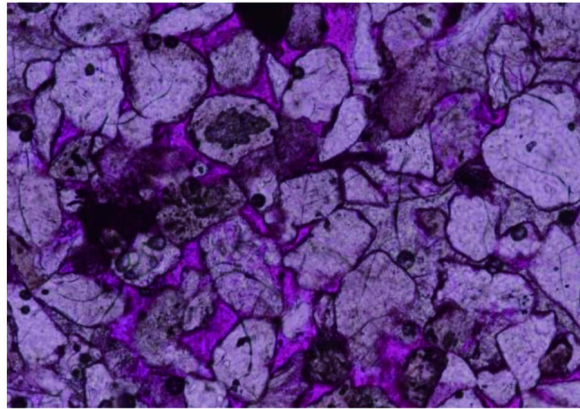


Figure 2. The flake image of J₃k in Shengbei Sag
图 2. 胜北洼陷 J₃k 铸体薄片

经扫描电镜(图 3)观察, J₃k 见方沸石, 局部见伊-蒙混层; 伊-蒙混层以黏土桥形式充填孔隙, 卷曲丝发状分布于颗粒表面, 石英次生加大 I 级, 颗粒溶蚀孔隙普遍发育, 粒间孔发育为中等~好, 微孔发育差~中等, 胶结物内微孔、颗粒内溶蚀微孔发育。

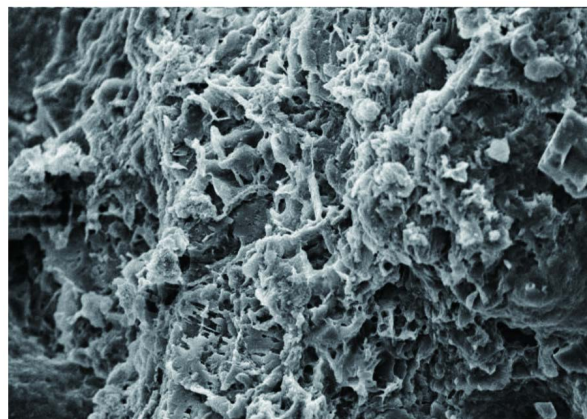


Figure 3. SEM image of J₃k in Shengbei Sag
图 3. 胜北洼陷 J₃k 扫描电镜

J₃k 储层岩石结构成熟度较低，碎屑粒径分布较广，导致孔隙结构差异较大，压汞测试中启动压力和最大进汞饱和度差异明显(图 4)，储层孔隙结构相对较复杂[2]。孔隙度主要分布在 6%~19%，平均 13.95%；渗透率主要分布在 1~100 mD。孔隙度与渗透率呈指数关系(图 5)，表明储层渗透性主要受孔隙度影响，但相同孔隙度下渗透率差异能达到 3 个数量级，说明相同孔隙度下储层孔隙结构有较大差异。

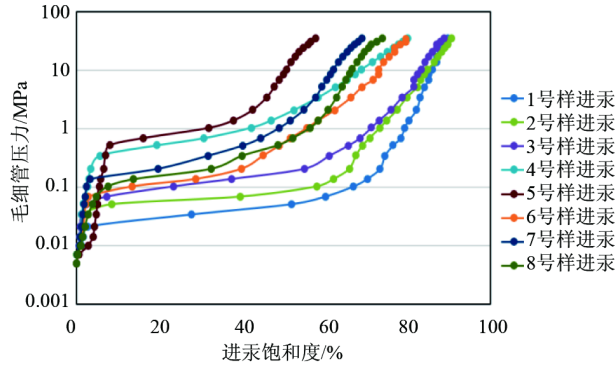


Figure 4. The capillary pressure curves of Shengbei Sag
图 4. 胜北洼陷毛细管压力曲线

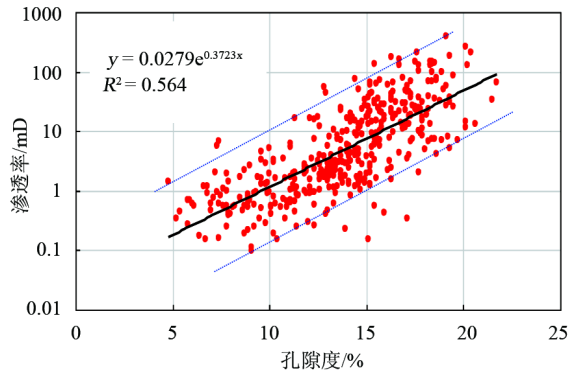


Figure 5. The cross-plot of porosity-permeability of J₃k in Shengbei Sag
图 5. 胜北洼陷 J₃k 孔隙度-渗透率交会图

4. 储层特性评价

胜北洼陷油藏为构造岩性油藏，储层特征基本符合阿尔奇公式砂岩模型，阿尔奇公式能间接反映储层孔隙结构特征[3]。

$$S_w = \left(\frac{ab\rho_w}{\phi^m \rho_t} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

式中： S_w 为含水饱和度，1； a 、 b 为岩性系数，1； m 为胶结指数，1； n 为饱和度指数，1； ϕ 为孔隙度，1； ρ_w 、 ρ_t 分别为地层水电阻率、地层真电阻率， $\Omega \cdot m$ 。

对公式(1)两边取对数获得公式(2)，经过整理得到公式(3)：

$$n \ln S_w = \ln ab\rho_w - m \ln \phi - \ln \rho_t \quad (2)$$

$$\ln \phi = \frac{1}{m} (\ln ab\rho_w - \ln \rho_t - n \ln S_w) \quad (3)$$

为了保障钻井施工安全，泥浆柱压力一般大于地层压力，使得泥浆在钻井过程中向地层侵入，地层侵入液体主要为泥浆滤液。由于测井过程中浅电阻仪器探测范围小，探测范围内地层被泥浆滤液冲洗完全，测井值受储层所含流体属性影响小，主要受储层孔隙特征影响。岩石受泥浆冲洗部分孔隙为储层有效孔隙，根据电阻率计算孔隙度关系，有效孔隙度与浅侧向电阻率之间应存在如下关系：

$$\ln \phi_e = \frac{1}{m} (\ln ab \rho_{mf} - \ln \rho_{ls} - n \ln S_{wmf}) \quad (4)$$

式中： ϕ_e 为有效孔隙度，%； ρ_{mf} 为泥浆滤液电阻率， $\Omega \cdot m$ ； ρ_{ls} 为浅侧向电阻率， $\Omega \cdot m$ ； S_{wmf} 为泥浆滤液饱和度，%。

浅地层完全被冲洗时，有效孔隙中的泥浆滤液饱和度为 1，则：

$$\ln \phi_e = \frac{1}{m} (\ln ab \rho_{mf} - \ln \rho_{ls}) \quad (5)$$

利用岩心刻度测井，根据孔隙度曲线拟合计算总孔隙度 ϕ_t ，则 $\phi_{wirr} = \phi_t - \phi_e$ (其中， ϕ_{wirr} 为束缚流体孔隙度，%)。当束缚流体孔隙度越小时，岩性越纯，孔隙结构相对简单；当束缚流体孔隙度越大时，孔隙结构越复杂。图 6 为建立的束缚流体孔隙度与储层品质系数(K/ϕ)之间的关系(K 为岩心分析渗透率，mD)可以看出，束缚流体孔隙度与储层品质系数呈负相关关系，且相关性较好。该方法有效地解决了复杂孔隙结构下同孔、不同渗的问题。

$$\lg \left(\frac{K}{\phi} \right) = -0.1014 \phi_{wirr} + 1.7742 \quad (6)$$

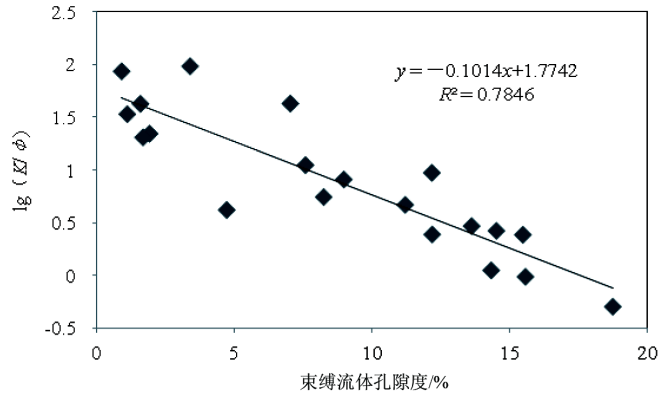


Figure 6. The cross-plot of irreducible fluid porosity and reservoir quality factor
图 6. 束缚流体孔隙度与储层品质系数交会图

胜北洼陷为低幅度构造，岩石亲水特性明显。由于油藏幅度低，油藏成藏压力小，岩石表面束缚水含量较高[4]，则岩石主体导电特性可以分为泥质、束缚水和纯砂岩条件下的自由水并联导电。理论模型如下：

$$\sigma = \varphi(\text{sh}) \sigma_{sh} + S_{wirr} \sigma_w \phi + (1 - \varphi(\text{sh})) (1 - S_{wirr}) \sigma_{sand} \quad (7)$$

式中： σ 为岩石电导率，S/m； $\varphi(\text{sh})$ 为泥质体积分数，%； $S_{wirr} = \phi_{wirr} / \phi$ 为束缚水饱和度，%； σ_w 为地层水电导率，S/m； σ_{sand} 为含水纯砂岩电导率，S/m。

根据电阻率与电导率之间关系，利用式(7)可以推演出：

$$\frac{1}{\rho_a} = \frac{\varphi(\text{sh})}{\rho_{sh}} + \frac{S_{wirr}}{\rho_w} \phi + \frac{(1 - \varphi(\text{sh})) (1 - S_{wirr})}{\rho_{sand}} \quad (8)$$

式中： ρ_a 为地层视电阻率， $\Omega \cdot m$ ； ρ_{sh} 为泥岩视电阻率， $\Omega \cdot m$ ； ρ_{sand} 为砂岩视电阻率， $\Omega \cdot m$ 。

排除泥岩和束缚水导电，岩石导电模型中砂岩导电特性更加符合胜北洼陷纯砂岩阿尔奇公式岩电关系 ($a = 0.9844$ 、 $b = 0.916$ 、 $m = 1.987$ 、 $n = 1.791$)，利用纯砂岩模型计算含水饱和度近似为可动水饱和度 S_{wm} ：

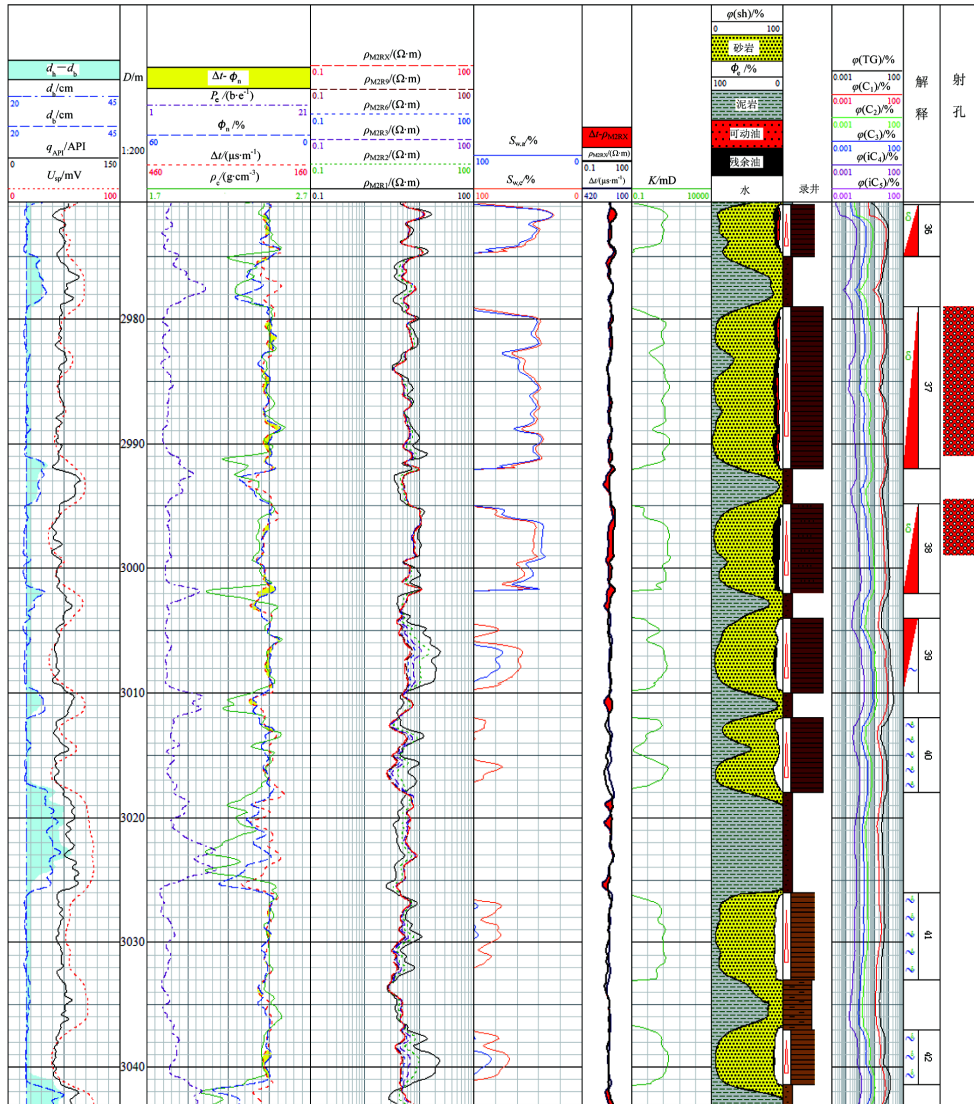
$$S_{wm} = \left(\frac{ab\rho_w}{\phi^m \rho_{sand}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (9)$$

则含水饱和度为：

$$S_w = S_{wirr} + S_{wm} \quad (10)$$

5. 应用效果

利用上述方法对胜北洼陷 A 井含水饱和度进行计算处理，结果如图 7 所示，可以看出，在相对高部位、



注： d_w 为井径； d_b 为钻头直径； q_{API} 为自然伽马； U_n 为自然电位； D 为井深； Δt 为声波时差； Φ_n 为中子孔隙度； P_c 为光电因子； ρ_c 为岩石密度； ρ_{MDRX} 、 ρ_{MDR9} 、 ρ_{MDR6} 、 ρ_{MDR3} 、 ρ_{MDR2} 、 ρ_{MDR1} 为高分辨率感应电阻率； $\phi(TG)$ 为全烃气测体积分数； $\phi(C_1)$ 为甲烷气测体积分数； $\phi(C_2)$ 为乙烷气测体积分数； $\phi(C_3)$ 为丙烷气测体积分数； $\phi(iC_4)$ 为异丁烷气测体积分数； $\phi(iC_5)$ 为异戊烷气测体积分数。

Figure 7. The comprehensive logging curve of Well A in Shengbei Sag

图 7. 胜北洼陷 A 井测井处理综合图

岩性较纯的井段，新模型计算的含水饱和度($S_{w,c}$)与阿尔奇公式计算的含水饱和度($S_{w,a}$)相差较小；在位置较低的井段， $S_{w,c}$ 小于 $S_{w,a}$ ， $S_{w,c}$ 的曲线形态与录井信息更为相符。胜北洼陷 A 井于 2013 年 11 月 6 日对 2979~2991 m、2994.5~2999 m 和 3003.4~3005.4 m 井段射孔，4 mm 油嘴，日产液 13 m³，日产油 10.1 t，日产气 15000 m³，与解释结论相符。综合统计，该方法在胜北洼陷的解释符合率达到 83.4%，效果较好。

6. 结论

- 1) 胜北洼陷油藏为低幅度构造油藏，由于受储层岩石成熟度较低、粒径分布宽、岩石分选差等特征影响，储层孔隙结构差异较大。
- 2) 研究发现低幅度油藏的储层品质系数与束缚流体孔隙度之间呈较好的负相关关系。
- 3) 利用束缚流体孔隙度导电模型，推导出低幅度构造油藏的储层含水饱和度模型，实际应用效果较好。

基金项目

中国石油天然气股份有限公司科技重大专项(2012E-34-12)。

参考文献 (References)

- [1] 刘洪亮, 刘海涛, 王成荣. 胜北地区复杂微观结构储层岩电关系及含水饱和度主控因素分析[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 4(12): 37-38.
- [2] 刘洪亮, 王成荣. 吐哈盆地复杂孔隙结构储层测井评价方法研究[J]. 测井技术, 2015, 6(39): 315-316.
- [3] 张庚骥. 电法测井[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986.
- [4] 张龙海, 周灿灿, 刘国强, 等. 孔隙结构对低孔低渗储集层电性及测井解释评价的影响[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(6): 671-676.

[编辑] 龚丹

Hans 汉斯

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: jogt@hanspub.org