引用格式：李跃林，徐思慧，王利娟，等.一种基于RPM测井的泥浆侵入校正方法[J].油气藏评价与开发，2020，10(1)：123-128.
LI Y L, XU S H, WANG L J, et al. A mud invasion correction method based on RPM logging[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(1): 123-128.
DOI：10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.01.020

一种基于RPM测井的泥浆侵入校正方法

李跃林[1]，徐思慧[2]，王利娟[1]，乐 彪[3]，曾 桃[1]，张 宫[4,5]
（1.中海石油（中国）有限公司湛江分公司，广东 湛江 524057；2.中国石油塔里木油田分公司勘探事业部，新疆 库尔勒 841000；3.贵州正业工程技术投资有限公司，贵州 贵阳 550000；4.长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室，湖北武汉 430100；5.长江大学地球物理与石油资源学院，湖北 武汉 430100；）

摘要：由于实际测井情况的复杂性，存在部分泥浆侵入井的电阻率曲线只含有随钻电阻率曲线，并且由于该电阻率曲线测量时泥浆还未完全侵入，因此，常规泥浆侵入校正方法不能应用于此类井中的泥浆侵入校正。为此提出一种新的校正方法，即结合泥浆侵入机理和改进体积模型得到侵入前后地层含水饱和度关系式，对RPM（Reservoir Performance Monitor-储层性能监测仪）测量的含水饱和度直接进行校正，来有效规避电阻率测井资料的不适用性。将校正模型运用于实际测井资料解释中，发现解释结论与实际产出情况一致，校正了由随钻电阻率曲线进行泥浆侵入校正的解释结果，由此验证了该校正方法的可行性。该方法为泥浆侵入校正提供了一种全新的思路。

关键词：随钻；泥浆侵入；体积模型；含水饱和度；RPM
中图分类号：P631.8 **文献标识码：**A

A mud invasion correction method based on RPM logging

LI Yuelin[1], XU Sihui[2], WANG Lijuan[1], YUE Biao[3], ZENG Tao[1], ZHANG Gong[4,5]
（1.CNOOC Zhanjiang branch, Zhanjiang, Guangdong 524057, China; 2.Oilfield Business Department, CNPC Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China; 3.Guizhou Zhengye Engineering Technology Investment Co., Ltd., Guiyang, Guizhou 550000, China; 4.Key laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources（Yangtze University）, Ministry of Education, Wuhan, Hubei 430100，China; 5.College of Geophysics and Oil Resources, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China）

Abstract: As the actual logging situation is complex, some resistivity curves of mud invasion wells only contain resistivity curve while drilling. And as the mud invasion is not complete during the measurement, conventional mud invasion correction methods can not be applied to the mud invasion correction in this kind of wells. In order to solve this problem, a new correction method is proposed, that is, the water saturation are corrected directly with the relation between water saturation before and after mud invasion according to the improved volume model. The water saturation measured by RPM is corrected directly to effectively avoid the inapplicability of resistivity logging data. Then the correction model is applied to the interpretation of logging data, and it is found that the interpretation conclusion is consistent with the actual outputs. The interpretation results of mud invasion correction by resistivity curves while drilling is corrected, which verifies the feasibility of the correction method. This method provides a new idea for the mud invasion correction.

Key words: while drilling, mud invasion, volume model, water saturation, RPM（Reservoir Performance Monitor）

由于钻井液与地层流体存在压力差，在钻井过程中泥浆滤液侵入地层并造成周围地层岩石物理性质发生变化，因此泥浆侵入会影响测井响应值，降低测井解释精度[1-2]。据调研，泥浆侵入校正方法主要分为三种。较简单的校正方法是直接使用测井公司提供的解释图版或校正公式对泥浆侵入进行校正，主要有Schlumberger的双感应—八侧向解释图版和双侧向—微球解释图版，Atlas的双感应—浅聚焦测

收稿日期：2019-02-25。
第一作者简介：李跃林（1967—），男，高级工程师，从事油气田开发研究。通讯地址：广东省湛江市坡头区中海石油（中国）有限公司生产部，邮政编码：524057。E-mail：915252681@qq.com
基金项目：国家自然科学基金“页岩气水平井气水两相生产测井模拟实验研究”（41474115）。

井综合图版[3-5]。潘和平等[6]使用双感应—浅聚焦综合图版校正泥浆侵入，但由于图版单一会导致测井解释结果精度降低。第二种校正方法是直接分析某区块测井资料得出校正公式，李长喜等[7]运用某区块实际测井资料分析泥浆侵入影响条件构建校正模型进行泥浆侵入校正。第三种校正方法是模拟泥浆侵入的主要影响因素，运用电阻率曲线直接求取校正深度，得出关于电阻率的校正模型。杨震[8]利用有限差分法对泥浆侵入进行数值模拟得出影响因素与泥浆侵入深度的关系再进行校正。范宜仁等[9-10]利用数值模拟法以及实验法分别对泥浆侵入进行研究，得到泥浆侵入影响因素以及关系图版。现阶段泥浆侵入校正方法都需要运用电阻率曲线。但在实际生产过程中，可能出现电阻率测井资料质量差或者资料缺失的情况，导致上述方法失去应用基础。同时存在部分套管井中电阻率测井资料都是通过随钻的方式得到，此时泥浆还没有完全侵入，该电阻率曲线只能反映泥浆未完全侵入时的电阻率信息，而实际资料处理需要利用泥浆完全侵入后的地层电阻率信息来进行泥浆侵入校正，由此获得储层真实电阻率，故不能使用常规泥浆侵入校正方法来进行定向井泥浆侵入的校正。结合泥浆侵入机理和体积模型得到侵入前后含水饱和度关系式，实现了对泥浆侵入后的含水饱和度的直接校正，并通过实际资料验证了该方法的有效性，可为无法使用电阻率曲线情况下泥浆侵入校正工作提供一定理论参考。

1 泥浆侵入机理

井眼形成瞬间泥浆及泥浆滤液向孔隙性地层渗透，泥浆侵入地层时会在地层内先形成内泥饼，随后内泥饼阻挡固体颗粒运移，侵入达到动态平衡之后在地层外形成一定厚度的外泥饼，泥浆滤液侵入地层时会驱替地层孔隙中原有的流体，被污染的地层为冲洗带和过渡带，没有被泥浆滤液污染的地层为原状地层[11-13]。图1为泥浆侵入模型。

假设泥浆滤液侵入地层时为径向流动，并且孔隙流体为互不相溶的油相及水相，则流体满足如下流动方程[14-15]：

$$\nabla\left[\frac{\rho_w K K_{rw}}{\mu_w}\nabla P_w\right]+q_w=\frac{\partial}{\partial t}(\phi\rho_w S_w) \quad (1)$$

$$\nabla\left[\frac{\rho_o K K_{ro}}{\mu_o}\nabla P_o\right]+q_o=\frac{\partial}{\partial t}(\phi\rho_o S_o) \quad (2)$$

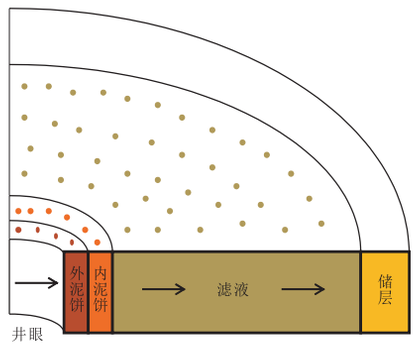

图1 泥浆侵入模型

Fig. 1 Mud invasion model

式(1)—(2)中：ρ_w、ρ_o分别为水、油的密度，kg/m^3；K_{rw}、K_{ro}分别为水、油的相对渗透率；μ_w、μ_o分别为水、油的黏度，Pa·s；P_w、P_o分别为水、油的流体压力，MPa；q_w、q_o分别为单位岩石体积水、油的流量初始值，m^3/s；t为泥浆侵入时间，s；ϕ为地层孔隙度，%；S_w、S_o分别为含水饱和度、含油饱和度，%。

假设地层外边界封闭，则满足下面初始条件和边界条件[16-17]：

$$P(R)|t=0=P_0 \quad (3)$$

$$S_w|t=0=S_{w0} \quad (4)$$

$$P(R)|R=r_0=P_d \quad (5)$$

$$\frac{\partial P}{\partial R}|R=r_e=0 \quad (6)$$

式(3)—(6)中：P_0为原始地层压力，MPa；S_{w0}为原始地层含水饱和度，%；R为径向半径，m；r_0为油井内边界，m；r_e为油井外边界，m；P_d为井内压力，MPa。

泥浆滤液侵入后，泥浆滤液与地层水混合满足下列扩散方程[18]：

$$\frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial R}\left[\frac{\rho_w K K_{rw} C_{wr}}{\mu_w}\frac{\partial P_w}{\partial_r}\right]+q_w C_w=\frac{\partial}{\partial t}(\phi\rho_w S_w C_{wr}) \quad (7)$$

其初始条件和边界条件为：

$$C_{wr}|t=0=C_w0 \quad (8)$$

$$C_{wr}|R=r_w=C_{mf} \quad (9)$$

$$C_{wr}|R=r_e=C_w \quad (10)$$

式(7)—(10)中：C_{w0}为原始地层水的矿化度；C_{wr}为混合后的矿化度；C_w为地层水的矿化度；C_{mf}为泥浆滤液的矿化度；r_w为井径，m；r_e为油藏外边界，m。

结合图2所示的圆柱形储层泥浆侵入模型，则可以计算得到泥浆侵入深度。将地层近似为圆柱，圆柱中心轴为井轴，泥浆侵入过程近似看做水驱油过程[19-21]。

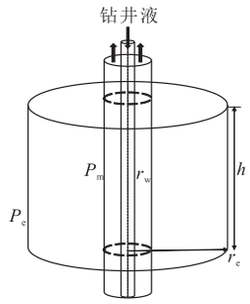

图2　圆柱形储层泥浆侵入模型

Fig. 2　Mud invasion model of cylindrical reservoir

$$S_o + S_f = 1 \tag{11}$$

根据物质平衡原理：

$$\left[(q_f\rho_f)R - (q_f\rho_f)R + \Delta R\right]\Delta t = \pi h\left[(R+\Delta R)^2 - R^2\right]\phi \times \left[(S_f\rho_f)^{t+\Delta t} - (S_f\rho_f)^t\right] \tag{12}$$

$$\left[(q_f\rho_f)R - (q_f\rho_f)R + \Delta R\right]\Delta t = \pi h\left[2R\Delta R + (\Delta R)^2\right]\phi \times \left[(S_f\rho_f)^{t+\Delta t} - (S_f\rho_f)^t\right] \tag{13}$$

由于$\Delta R \to 0$，$\Delta t \to 0$得到：

$$2R\Delta R + (\Delta R)^2 \approx 2R\Delta R \tag{14}$$

则：

$$r_f = \sqrt{\frac{tq_{f-av}}{\pi h\phi}\left(\frac{df_f}{dS_f}\right)S_f} \tag{15}$$

式(15)中：r_f为侵入深度，m；q_{f-av}为平均泥浆滤液侵入的流量；f_f为含滤液率；$\left(\frac{df_f}{dS_f}\right)S_f$可以通过岩心相对渗透率和流体性能计算得到；下标f表示侵入带。

2　校正模型建立

根据泥浆侵入机理，假设地层为均匀介质，泥浆侵入为均匀侵入，泥浆滤液与地层孔隙中的油互不混溶，并且侵入过程近似水驱油的过程，本文以RPM的碳氧比测井模式为例，提出校正方法。

图3为RPM在测量过程中的井下仪器及地层结构图。如图3所示，RPM测井仪器直径为4.3 cm，贴靠油管壁偏心测量，其探测深度为21.59 cm，油管直径为7.302 5 cm(2.875 in)，套管直径为21.59 cm(8.5 in)，水泥环厚度为3 cm，则仪器可以探测到的地层径向深度大约为9.295 cm。

测井解释中体积模型法是将地层按照其物理特性划分成有限部分，并且仪器响应结果为这些部分的贡献总和。通常地层体积模型为图3所示井眼纵

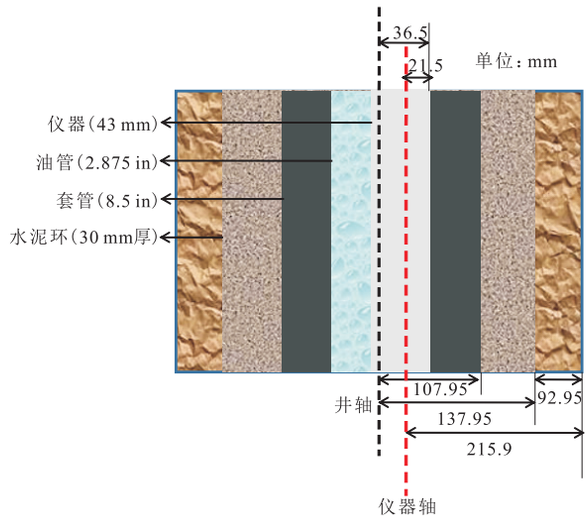

图3　井下仪器及地层结构

Fig. 3　Downhole tools and stratigraphic structure

向上的矩形，但考虑到在RPM测量过程中，仪器探测近似为点状向外发射伽马射线，假定泥浆滤液侵入为均匀侵入，在纵向上侵入没有变化，侵入地层体积比值等价于侵入面积之比，则建立如图4所示的以仪器探测器为原点的径向井眼分布体积模型，分别为仪器、油管、套管、水泥环、泥浆侵入带以及原状地层。图4中扇形顶点为探测点所在位置，仪器径向探测深度为21.59 cm；α为仪器探测范围夹角，(°)；水泥环的厚度为3 cm；仪器探测点到水泥环外壁的深度为12.295 cm；r为侵入带的径向长度，cm；L为仪器探测范围内地层的径向长度，cm。

如图4所示，则泥浆滤液侵入地层的面积S_{mf}为：

$$S_{mf} = \pi\alpha(12.295 + r)^2 - \pi\alpha 12.295^2 \tag{16}$$

$$S_{mf} = \pi\alpha r(24.59 + r) \tag{17}$$

原状地层的面积S_t为：

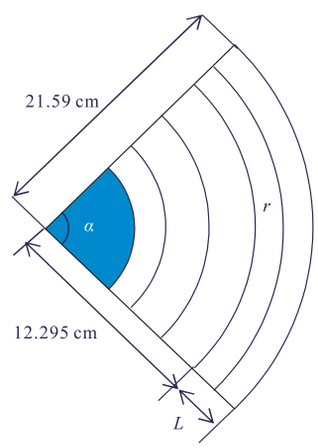

图4　径向井眼分布

Fig. 4　Distribution of radial well hole

$$S_t = \pi\alpha 21.59^2 - \pi\alpha(12.295 + r)^2 \tag{18}$$

根据体积模型，仪器测量值为泥浆侵入带以及原状地层贡献之和，则测量得到的含水饱和度与地层真实含水饱和度关系如公式(19)所示。

$$S_{测} = \frac{\pi\alpha r(24.59 + r)}{\pi\alpha 21.59^2 - \pi\alpha 12.295^2} + \left(1 - \frac{\pi\alpha r(24.59 + r)}{\pi\alpha 21.59^2 - \pi\alpha 12.295^2}\right) S_w \tag{19}$$

则：

$$S_w = S_{测}\frac{314.96}{314.96 - r(24.59 + r)} - \frac{(24.59 + r)r}{314.96 - r(24.59 + r)} \tag{20}$$

式(19)—(20)中：$S_{测}$为泥浆侵入后的地层含水饱和度，%；S_w为泥浆侵入前的地层含水饱和度，%。

通过计算泥浆侵入深度以及式(20)，则可以得到地层真实含水饱和度与仪器测量得到的含水饱和度关系式，将该公式应用于泥浆侵入校正。

3 校正实例及效果分析

A井2 360～2 379 m层段被泥浆滤液侵入，图5为使用随钻电阻率曲线进行泥浆侵入校正的测井解释成果。图中SGFC为地层剩余油地层俘获截面，CAL为井径，GR为自然伽马曲线，CCL为磁定位曲线，ATR为随钻衰减电阻率(深电阻率)，PSR为随钻相移电阻率(浅电阻率)，S_{W-oh}为随钻电阻率计算的含水饱和度，S_{WC4}为使用随钻电阻率进行校正的含水饱和度。根据常规裸眼井曲线(电阻率、井径、GR等)，A井解释层段岩性为砂岩，从图中可以看出，校正后的含水饱和度明显高于原始地层含水饱和度，并且差值幅度较大，根据该区域油层划分标准，该层解释为水层。

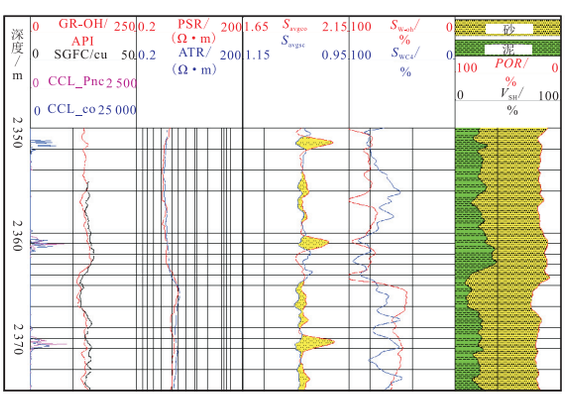

图5 A井解释成果

Fig. 5 Interpretation result of well-A

考虑到随钻过程中所测得的电阻率曲线不能反映泥浆侵入后的地层信息，用电阻率进行泥浆滤液侵入校正方法不适用于该情况，因此采用本文提出的体积模型对该层段进行侵入校正。图6为使用改进体积模型的A井泥浆侵入校正后解释成果图。图中CO_{1j}为第j次测量得到的C/O曲线，S_{AVGCO}为合并滤波后的平均C/O曲线；S_{AVGSC}为合并滤波后的平均S_f/C_a曲线；S_W为随钻电阻率计算的含水饱和度，S_{WCO}为使用碳氧比测井资料计算的含水饱和度，$S_{W侵入校正}$为泥浆侵入校正后的含水饱和度；V_{SH}为泥质含量曲线，POR为孔隙度曲线。图中2 370 m处的异常尖峰是由于管柱结构(套管接箍、封隔器、滑套等)引起的。

根据该地区油层划分标准解释，该层段使用随钻电阻率计算的含水饱和度值较低，解释为油层；泥浆侵入后使用碳氧比测井资料计算的含水饱和度值明显增加，解释为油水同层。A井该层段存在泥浆侵入，使用改进体积模型校正后的含水饱和度值比校正前有所降低，解释为油层。

使用随钻电阻率曲线进行泥浆侵入校正的解释结果与使用改进体积模型进行校正的解释结果差异较大，因此需要结合产出资料进行验证。图7为A井2 360～2 379 m解释层段的产液图。图中可以看出，产出流体中含水率极低，因而证明2 360～2 379 m为油层，与使用改进体积模型的校正结果相符。因此验证了使用改进体积模型进行泥浆侵入校正的可行性。

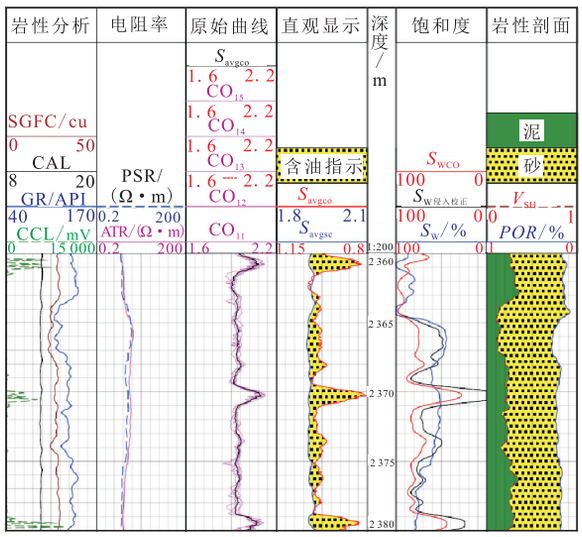

图6 A井解释成果(改进体积模型)

Fig. 6 Interpretation result of well-A (Improved volume model)

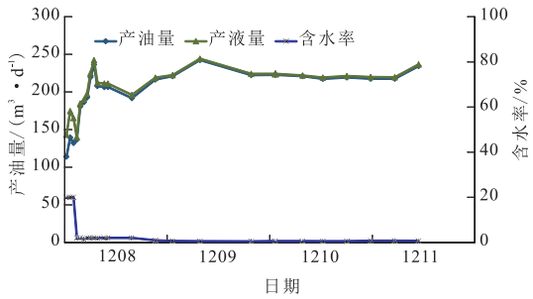

图7　A井产液曲线

Fig. 7　Production of well-A

4　结论

结合泥浆侵入机理,使用改进体积模型进行泥浆侵入校正,利用RPM测量曲线求取地层真实含水饱和度,得出以下结论。

1）实际解释过程中存在部分泥浆侵入井电阻率曲线只包含随钻电阻率曲线的情况,结合随钻电阻率曲线使用常规泥浆侵入校正方法进行校正得到的解释结果与实际产出情况有较大的出入,因此,在此类井中进行泥浆侵入校正需要使用其他方法。

2）本文结合泥浆侵入机理及RPM测井几何模型,通过改进体积模型得到地层真实含水饱和度以及RPM测量得到的含水饱和度关系式,将关系式应用于实际测井解释中,发现解释结果与产出情况相符,验证了该方法的可行性。

参 考 文 献

[1] 邓少贵,李智强,范宜仁,等.斜井泥浆侵入仿真及其阵列侧向测井响应数值模拟[J].地球物理学报,2010,53(4):994-1000.
DENG S G, LI Z Q, FAN Y R, et al. Numerical simulation of mud invasion and its array laterolog response in deviated wells [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(4): 994-1000.

[2] 刘尊年,孙建孟,迟秀荣,等.泥浆侵入研究现状分析[J].地球物理学进展,2012,27(6):2594-2601.
LIU Z N, SUN J M, CHI X R, et al. Analysis of research present situation of mud invasion[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27 (6): 2594-2601.

[3] 姜艳玲,常俊,胡振平,等.测井资料环境校正方法研究及软件开发[J].测井技术,2011,35(z1):660-663.
JIANG Y L, CHANG J, HU Z P, et al. An environmental correction method for log data[J]. Well Logging Technology, 2011, 35(z1): 660-663.

[4] 刘小红,张寿,先远莲,等.常规测井技术评价东濮凹陷古潜山储层[J].断块油气田,2002,9(5):83-85.
LIU X H, ZHANG S, XIAN Y L, et al. The traditional well logging technique to evaluate buried hill reservoir in Dongpu depression[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2002, 9(5): 83-85.

[5] 徐文远.泥浆侵入数值模拟及校正方法研究[D].荆州:长江大学,2012.
XU W Y. Study on numerical simulation and correction method of mud invasion[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2012.

[6] 潘和平,樊政军,马勇,等.电阻率测井的钻井液侵入校正方法[J].天然气工业,2005,25(7):41-43.
PAN H P, FAN Z J, MA Y. Correction method of drilling fluid invasion of resistivity logging[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25 (7): 41-43.

[7] 李长喜,石玉江,周灿灿,等.淡水钻井液侵入低幅度-低电阻率油层评价方法[J].石油勘探与开发,2010,37(06):696-702.
LI C X, SHI Y J, ZHOU C C, et al. Evaluation of low amplitude and low resistivity pay zones under the fresh drilling mud invasion condition[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6): 696-702.

[8] 杨震,李智强,邓少贵,等.大斜度井钻井液侵入数值模拟[J].中国石油大学学报(自然科学版),2008,32(3):55-67.
YANG Z, LI Z Q, DENG S G, et al. Numerical simulation of drilling fluid invasion in highly deviated wells[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(3): 55-59.

[9] 范宜仁,胡云云,李虎,等.泥饼动态生长与泥浆侵入模拟研究[J].测井技术,2013,37(5):466-471.
FAN Y R, HU Y Y, LI H, et al. Numerical simulation of mud-cake dynamic formation and reservoir mud filtrate invasion[J]. Well Logging Technology, 2013, 37(5): 466-471.

[10] 范宜仁,吴俊晨,吴飞,等.地层模块尺度下的新型钻井液侵入物理模拟系统[J].石油勘探与开发,2017,44(01):125-129.
FAN Y R, WU J C, WU F, et al. A new physical simulation system of drilling mud invasion in formation module[J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(1): 125-129.

[11] 宋子齐,程国建,杨立雷,等.利用测井资料精细评价特低渗透储层的方法[J].石油实验地质,2006,28(6):595-599.
SONG Z Q, CHENG G J, YANG L L, et al. A method for fine evaluation in extra-low permeability reservoirs using logging data[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(6): 595-599.

[12] 王建华,鄢捷年,郑曼,等.钻井液固相和滤液侵入储层深度的预测模型[J].石油学报,2009,30(6):923-926.
WANG J H, YAN J N, ZHENG M, et al. Prediction model for invasion radius of solids and filtrate in drilling fluids[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 923-926.

[13] 刘振华,张霞.阵列侧向测井响应的多参数反演[J].西安石油大学学报(自然科学版),2005,20(1):30-33+89.
LIU Z H, ZHANG X. Multi-parameter inversion of array laterolog response[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2005, 20(1): 30-33.

[14] 张松扬,陈玉魁.钻井液侵入机理特征及影响因素研究[J].勘探地球物理进展,2002,25(6):28-31.
ZHANG S Y, CHEN Y K. Reponses to drilling-fluid[J]. Advances in Geophysical Exploration, 2002, 25(6): 28-31.

[15] 郭肖,赵显阳,杨泓波.异常高压低渗透气藏产能评价新方法[J].油气藏评价与开发,2018,8(6):13-18.
GUO X, ZHAO X Y, YANG H B. A new method for evaluating

the productivity of abnormally high- pressure and low permeability gas reservoirs[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2018, 8(6): 13-18.

[16] 位云生,胡永全,赵金洲. 井筒与地层非稳态换热数值计算方法[J]. 天然气工业,2005,25(11): 66-68.
WEI Y S, HU Y Q, ZHAO J Z. Numerical calculation method of transient heat transfer between borehole and formation[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(11): 66-68.

[17] 谢关宝,范宜仁,吴海燕,等. 储层泥浆侵入深度预测方法研究[J]. 测井技术,2006,30(3): 240-242.
XIE G B, FAN Y R, WU H Y, et al. Research of mud invasion depth prediction method in reservoir[J]. Well Logging Technology, 2006, 30(3): 240-242.

[18] 常文会,潘和平,周峰. 泥浆侵入二维数值模拟[J]. 地球科学,2010,35(4): 674-680.
CHANG W H, PAN H P, ZHOU F. Two- dimensional numerical simulation of mud invasion[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2010, 35(4): 674-680.

[19] 许长福,刘红现,钱根宝,等. 克拉玛依砾岩储集层微观水驱油机理[J]. 石油勘探与开发,2011,38(6): 725-732.
XU C F, LIU H X, QIAN G B, et al. Microcosmic mechanisms of water- oil displacement in conglomerate reservoirs in Karamay Oilfield, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(6): 725-732.

[20] 鄢捷年,宗习武,李秀兰,等. 泥浆滤液侵入对油藏岩石水驱油动态的影响[J]. 石油学报,1995,16(4): 84-92.
YAN J N, ZONG X W, LI X L, et al. Effect of drilling mud infiltration on water flooding behavior of reservoir rocks[J]. Acta Petrolei Sinica, 1995, 16(4): 84-92.

[21] 马明学,鞠斌山. 一种新的计算泥浆侵入储层电阻率分布的数学模型[J]. 测井技术,2004,28(6): 503-507.
MA M X, JU B S. A novel mathematical model to calculate distribution of mud invasion formation resistivity[J]. Well Logging Technology, 2004, 28(6): 503-507.

(编辑 徐佩)

(上接第122页)

[15] 杨华,付金华,何海清,等.鄂尔多斯华庆地区低渗透岩性大油区形成与分布[J].石油勘探与开发,2012,39(6): 641-648
YANG H, FU J H, HE H Q, et al. Formation and distribution of large low-permeability lithologic oil regions in Huaqing, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(6): 641-648.

[16] 刘秀婵,陈西泮.鄂尔多斯盆地富县地区长8油层组致密油成藏主控因素分析[J].油气藏评价与开发,2019,9(1): 1-7
LIU X C, CHEN X P. Analysis on main controlling factors of tight oil reservoirs in Chang-8 reservoir of Fu County, Ordos Basin[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2019, 9(1): 1-7.

[17] 吴应忠,段毅,赵阳,等.陇东地区长$_8^1$低阻油层与高阻水层识别标准研究[J].特种油气藏,2017,24(1): 38-42.
WU Y Z, DUAN Y, ZHAO Y, et al. Standards for discernment of low-resistivity oil zones and high-resistivity water zones in L_8^1 Formation of the Longdong Area[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2017, 24(1): 38-42.

[18] 李相博,刘化清,陈启林,等.鄂尔多斯盆地天环坳陷迁移演化与坳陷西翼油气成藏[J].地质科学,2010,45(2): 490-499
LI X B, LIU H Q, CHEN Q L, et al. Migration history of the Tianhuan depression of the Ordos Basin and it's effects on the hydrocarbon accumulation in the west part of the depression[J]. Chinese Jounral of Geology, 2010, 45(2): 490-499.

[19] 杨巍,陈国俊,张铭杰,等.鄂尔多斯盆地镇北地区长8油层组自生绿泥石对储层物性的影响[J].岩性油气藏,2012,24(3):27-38.
YANG W, CHEN G J, ZHANG M J, et al. Influence of authigenic chlorite on reservoir properties of Chang 8 oil reservoir set in Zhenbei area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(3): 27-38.

[20] 王钊,邱军利.鄂尔多斯盆地长8储层碳酸盐胶结物成分组成与碳氧同位素特征研究[J].油气藏评价与开发,2018,8(2): 14-21
WANG Z, QIU J L. Study on composition, carbon and oxygen isotopic characteristics of carbonate cements in Chang- 8 reservoir, Ordos Basin[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2018, 8(2): 14-21.

[21] 李阳,张文选,李树同,等.鄂尔多斯盆地长8砂岩储层碳酸盐胶结物特征及其对物性的影响[J].地质科技情报,2018,37(4): 175-183.
LI Y, ZHANG W X, LI S T, et al. Characteristics of carbonate cements and their effects on properties in Chang 8 sandstone reservoir, Ordos Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(4): 175-183.

[22] 马彦凤,何顺利,王建国.合水地区长8超低渗储层渗透率控制因素及表征[J].测井技术,2014,38(5): 569-573
MA Y F, HE S L, WANG J G. Permeability controlling factors and characterization of Ch8 Ultra-low permeability reservoir in Heshui Area, Ordos Basin[J]. Well Logging Technology, 2014, 38(5): 569-573.

(编辑 徐佩)