

Semi-Quantitative Evaluation of Reservoirs with Gas Logging Data in Xihu Sag of East China Sea Shelf Basin

Zechao Li, Fawei Lu, Lei Wang

CNOOC (China) Co., Ltd., Shanghai Branch, Shanghai
Email: lizch10@cnooc.com.cn

Received: May 30th, 2017; accepted: Jun. 7th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

The reservoirs discovered in Xihu Sag were mainly concentrated in Pinghu Formation and Huanggang Formation, which were low porosity and permeability with complex fluid properties, and thus it was difficult for accurately identifying with conventional logging methods. The advantage of gas interpretation was that it was not based on the parameters as formation water, rock frame, mud content and mineral content, therefore it worked well in interpreting fluid with unknown salinity in low resistance, low porosity and low permeability reservoirs. It was a supplement for logging interpretation especially in the identification of complex hydrocarbon reservoirs. In this study, the degassing efficiency was obtained from mud degassing experiment and gas chromatographic analysis, and the gas content of the mud was determined through degassing efficiency analysis, then it was converted to real gas content of the formation based on the data of drilling time, displacement and borehole diameter. Combined with the core, logging, porosity and other real drilling data, the formation gas saturation is obtained from underground real gas content and gas state equation.

Keywords

Xihu Sag, Gas Logging, Degassing Efficiency, Gas Content in Formation, Gas Saturation in Formation

东海陆架盆地西湖凹陷气测录井半定量评价研究

李泽超, 鲁法伟, 王 雷

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海

作者简介: 李泽超(1992-), 男, 助理工程师, 现主要从事测录井研究与管理工

Email: lizch10@cnooc.com.cn

收稿日期: 2017年5月30日; 录用日期: 2017年6月7日; 发布日期: 2017年8月15日

摘 要

西湖凹陷目前已发现的储层主要集中在平湖组 and 花港组, 属于低孔低渗储层, 流体性质复杂, 使用常规测井手段难以准确识别低孔低渗复杂油气层。气体解释的优点在于它不依赖于地层水、岩石骨架、泥质含量、矿物含量等参数, 所以在低阻、低孔、低渗的“三低”储层, 未知矿化度储层流体解释方面应用效果好。特别是在复杂油气层的识别方面对测井解释是一个补充。研究主要根据钻井液脱气试验和脱出气体的色谱分析, 获取现场脱气仪的脱气效率, 通过脱气效率分析获取钻井液含气量; 结合钻时、排量、井径数据可转化为地层真实含气量。结合岩心、测井孔隙度等实钻数据, 通过地下真实含气量与气体状态方程换算成地层含气饱和度。

关键词

西湖凹陷, 气测录井, 脱气效率, 地层含气量, 地层含气饱和度

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. 区域地质概况

西湖凹陷位于东海陆架盆地东北部, 呈北东向, 南北长约 55×10^4 m, 东西宽约 11×10^4 m, 面积约 5.9×10^4 km², 新生代最大沉积厚度约 1.8×10^4 m, 是东海陆架盆地中的一个二级构造单元。西湖凹陷东侧是钓鱼岛隆褶带, 西侧是海礁 - 虎皮礁隆起, 西南与钓北凹陷相邻, 北与福江凹陷相接, 是东海陆架盆地中面积最大的沉积凹陷。

西湖凹陷油气勘探主要分布在三大构造区带: 西部斜坡区、西次凹和中央反转构造带。其中低渗层在西部斜坡带平湖组、西次凹和中央反转构造带的花港组和平湖组上部均有广泛分布。初步估算, 在这几大构造带中低渗层天然气地质储量巨大, 是西湖凹陷油气勘探的主要领域[1]。

2. 西湖凹陷低孔低渗油气层特征

目前西湖凹陷的油气勘探主要集中在始新统平湖组和渐新统花港组两个层系上。近年来, 在中央反转构造带和西次凹地区花港组发现了厚度大、分布广的低孔低渗储层, 该类储层孔隙度多在 15% 以下,

渗透率一般小于 10 mD，发育深度多位于 3500 m 以下[2] [3]。与常规储层相比，低孔低渗储层成因机理复杂，孔隙度较小，流体含量低，使储层流体对电性的控制作用远远小于岩性、物性对电性的控制作用，因此，在低孔低渗储层中测井资料受储层岩性、地层水性质和物性的影响较大，使用常规测井手段难以准确识别低孔低渗复杂油气层。

气测录井获取的是地下地层含油气性的直接信息，不受储层岩性、物性的影响，在低孔低渗储层的油气识别中具有优势。

3. 气测值综合环境校正

录井气测解释需对全烃体积分数 $\varphi(\text{TG})$ 检测值进行校正(表 1)，以使全烃体积分数检测值在录井气测快速解释中更好的判断气测异常段，并选择有潜力的层。气测综合环境校正是在老全烃体积分数校正的基础上，在取心、钻时、排量等方面进行优化[4]。新的气测校正思路中，选取基准井段为参考值，对全烃体积分数进行放大或缩小，并考虑气测基值、取心的破碎岩石体积变化等因素的影响[5]。经过新老全烃体积分数校正的结果对比，新校正方法效果较好。

Table 1. The comparison between the new and old methods of $\varphi(\text{TG})$ basic correction

表 1. $\varphi(\text{TG})$ 基础校正新老方法对比

校正内容	新的校正方法
需做气测校正的值	$\varphi'(\text{TG}) = \varphi(\text{TG}) - \varphi(\text{TG})_j$
钻时校正	$R' = R/\bar{R}$
井径校正	$D' = (D/D_j)^2$
排量校正	$F' = F/\bar{F}$
取心校正	$C = 1.28$ (无取心则为 1)
校正公式	$\varphi(\text{TG}) = \varphi'(\text{TG}) \times R' \times D' \times F' \times C + \varphi(\text{TG})_j$

注： $\varphi'(\text{TG})$ 、 $\varphi(\text{TG})$ 、 $\varphi(\text{TG})_j$ 分别为校正后的气测值、校正前的气测值、气测基值，1； R 、 R' 、 \bar{R} 分别为校正前的钻时、校正后的钻时、钻时均值，min/m； D 、 D' 、 D_j 分别为校正前的井径、校正后的井径、井径基值，m； F 、 F' 、 \bar{F} 分别为校正前的钻井液排量、校正后的钻井液排量、钻井液排量均值，L/min； C 为取心校正系数，1。

在泥岩取心段，老的校正方法使泥岩段不应升高的气测值升高，新的校正方法在泥岩段校正前后仅有变化(图 1)。在砂岩取心段，老的校正方法使砂岩取心段气测值升高过大，引起重点气层段识别出现误差，新校正方法保护了曲线形态(图 2)。在多储层交替互层段，老校正方法难以区分主要层和非主要层(图 3)，新校正方法容易区分重点层，使夹层的识别变得更加有效。

4. 脱气效率分析校正

4.1. 钻井液脱气效率试验

4.1.1. 钻井液真空脱气试验

钻井液脱气试验共进行 72 项次，对于同一深度点的样品取一瓶现场脱气前和一瓶现场脱气后的两瓶样品，其中脱气前样品 36 个，脱气后样品 36 个。

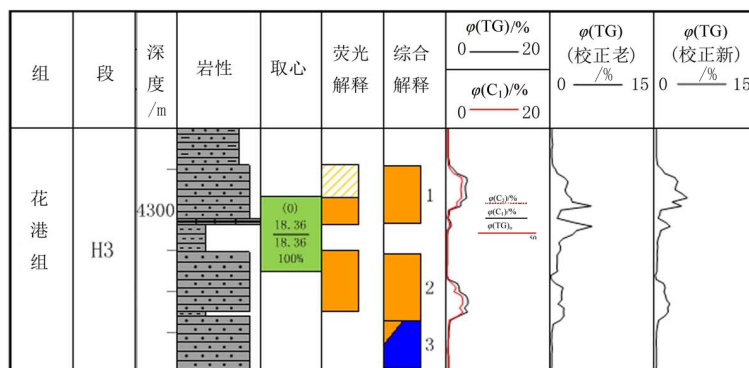


Figure 1. The comparison of total hydrocarbon volume fraction correction of mudstone coring zone in Well XX-1 before and after the optimization

图 1. XX-1 井泥岩取心层段全烃体积分数校正优化前后对比

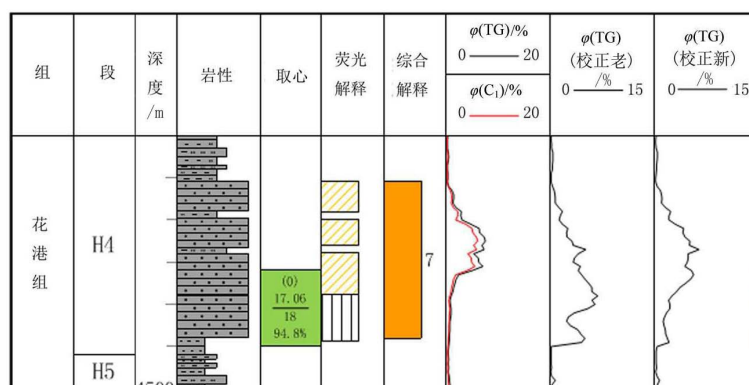


Figure 2. The comparison of total hydrocarbon volume fraction correction of mudstone coring zone in Well XX-2 before and after the optimization

图 2. XX-2 井砂岩取心层段全烃体积分数校正优化前后对比

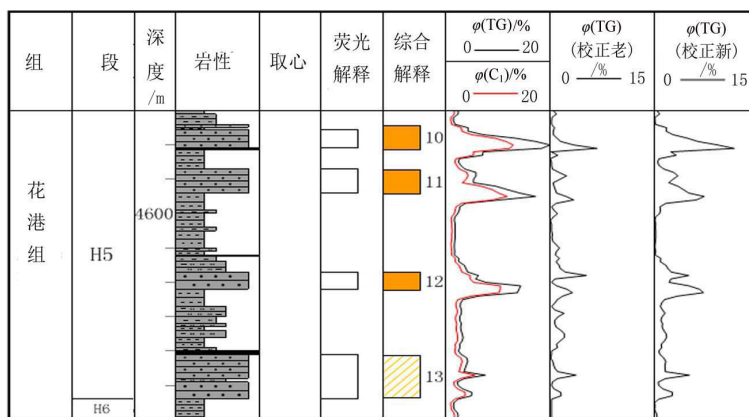


Figure 3. The comparison of total hydrocarbon volume fraction correction of multi-layers and interbeds in Well XX-3 before and after the optimization

图 3. XX-3 井多层互层段全烃体积分数校正优化前后对比

试验记录主要有日期、编号、深度、时间、钻井液进量、脱气量、取样个数、试验温度、试验人等信息[6]，且需要根据脱气罐和集气管体积计算出修正的脱气体积。根据修正脱气体积计算 1 L 钻井液的脱气体积，部分试验结果见表 2。

Table 2. The results of degassing tests of part of the drilling fluids

表 2. 部分钻井液脱气试验结果

样品编号	样品深度/m	进样量/mL	脱气量/mL	集气管体积/mL	脱气罐体积/mL	修正的脱气体积/mL	1 L 钻井液脱气体积/mL
1.1	4319	170	25	80	460	116	682
1.2	4319	170	26	80	460	120	706
9.1	4496	130	15	80	460	77	592
9.2	4496	150	19	80	460	93	620
10.1	4503	150	4	80	460	20	133
10.2	4503	125	13	80	460	67	536
2.1	4322	125	15	80	460	78	624
2.2	4322	125	22	80	460	114	912

4.1.2. 脱出气体色谱分析试验

每瓶钻井液脱出气体均进行一次色谱分析试验。脱出气体主要为 CO₂，其次为混入的空气组分，烃气含量较小，一般为 10~80 mL。钻井液含气计算结果见表 3。

Table 3. The calculation result of hydrocarbon-bearing component in 1 L drilling fluid

表 3. 1 L 钻井液含烃组分的计算结果

样品号	1 L 钻井液脱气体积/mL	CH ₄ 体积/mL	C ₂ 体积/mL	C ₃ 体积/mL	iC ₄ 体积/mL	nC ₄ 体积/mL	iC ₅ 体积/mL	nC ₅ 体积/mL
1.1	682	4.22	2.93	6.62	3.34	2.99	0.88	1.83
9.1	1320	8.68	6.90	7.39	0.69	5.59	1.92	2.57
9.2	742	2.17	3.19	5.64	2.43	4.05	1.92	1.05
10.2	445	2.59	2.32	1.67	1.40	1.50	0.73	0.67
11.1	487	2.24	0.00	5.43	1.24	2.40	1.86	0.54
13.1	432	6.36	3.54	0.00	3.73	3.00	1.91	1.53
13.2	550	2.06	0.45	0.00	6.22	2.36	1.38	0.73

4.2. 脱气效率分析

通过分析钻井液脱气实验数据，发现脱出气体 CO₂ 占比例过高，使得烃气含量受随机误差影响大，导致数据异常。现场脱气仪甲烷脱气效率为 40%~80%，随钻井液含气量增加而升高；乙烷脱气效率一般为 20%~60%，个别大于 80% 数据点因其绝对值小，误差较大[7] (图 4)。

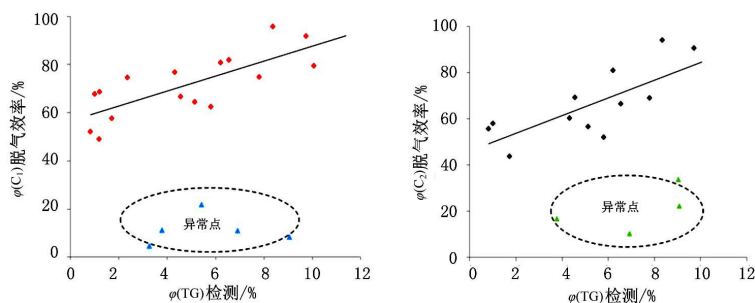


Figure 4. The relationship between the total hydrocarbon volume fraction and degassing of $\varphi(C_1)$ and $\varphi(C_2)$

图 4. 全烃体积分数与 $\varphi(C_1)$ 、 $\varphi(C_2)$ 脱气效率关系

由于丙烷和丁烷受二氧化碳影响，数据误差较大，仅分析甲烷、乙烷、戊烷的脱气效率。根据图 5 可以看到，现场脱气仪甲烷的脱气效率最高，一般为 20%~80%，乙烷脱气效率比甲烷的低，一般为 20%~60%，戊烷脱气效率更低。分析原因认为，是由于重质组分的扩散性较差，导致脱气效率略低。

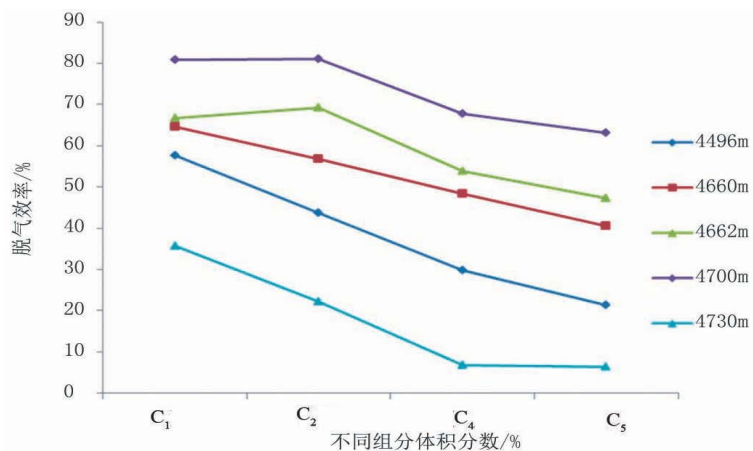


Figure 5. The comparison of degassing efficiency between different components of drilling fluid samples

图 5. 钻井液样品不同组分脱气效率对比

4.3. 脱气效率校正

通过总脱气效率和 $\varphi(\text{TG})$ 关系曲线进行校正。总脱气效率为：

$$\eta_G = \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) \times 100\%$$

式中： η_G 为总脱气效率，%； V_1 和 V_2 分别为脱气前后 C_1 、 C_2 、 C_3 、... 钻井液中所含烃类气体的体积，mL。

总脱气效率 η_G 和 $\varphi(\text{TG})$ 关系如图 6 所示，通过实验数据投点拟合关系曲线公式：

$$\eta_G = 4.879 \times \varphi(\text{TG}) + 39.939$$

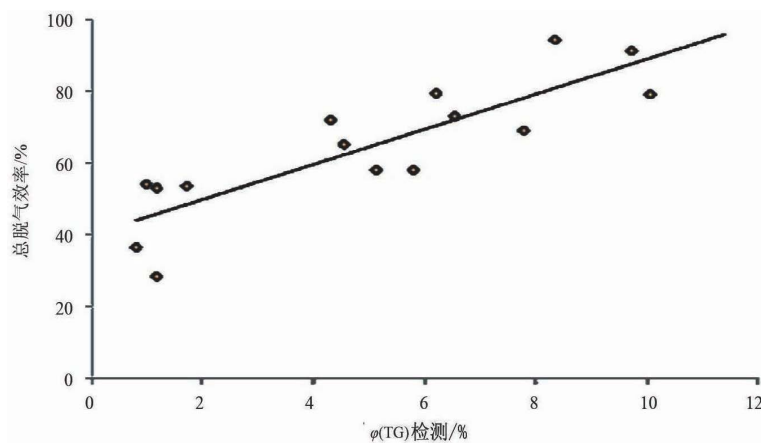


Figure 6. The relationship between the total degassing efficiency and $\varphi(\text{TG})$

图 6. 总脱气效率和 $\varphi(\text{TG})$ 关系

$\varphi(\text{TG})$ 的脱气效率校正公式为:

$$\eta'_G = \frac{\varphi(\text{TG})}{\eta_G}$$

式中: η'_G 为脱气效率校正后的气测值, %。

5. 地层真实含气量评价计算

5.1. 钻井液含气量的计算

将钻井液含气量与 $\varphi(\text{TG})$ 的关系数据投点拟合曲线(图 7),得到 1L 钻井液含气量 G_c 与 $\varphi(\text{TG})$ 关系为:

$$G_c = 1.1069 \times \varphi(\text{TG})^{1.8137}$$

式中: G_c 为 1 L 钻井液中含气量, mL/L。

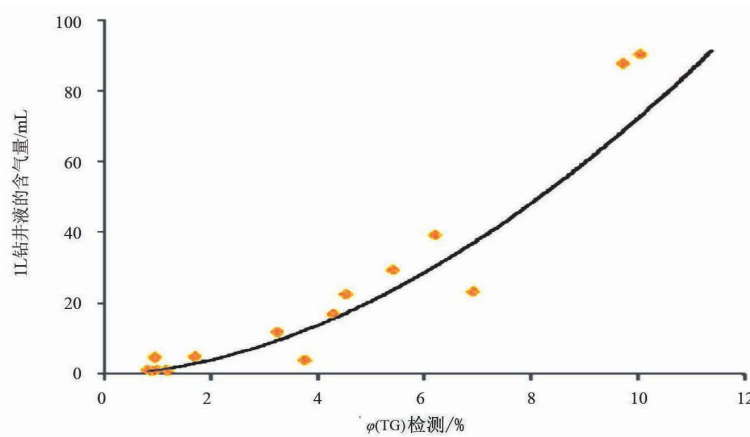


Figure 7. The relationship between the gas content of 1 L drilling fluid and $\varphi(\text{TG})$
图 7. 1 L 钻井液的含气量与 $\varphi(\text{TG})$ 关系

5.2. 甲烷逸散校正

假设溶进钻井液中的气体组分和地层中组分相同,且重烃组分无逸散;原始地层甲烷含量 95%,经过实验分析,脱气仪脱出气体甲烷 85%;计算认为甲烷会逸散一半左右[8] [9]。

逸散校正后 1 L 钻井液含气量 G'_c 与 $\varphi(\text{TG})$ 关系为:

$$G'_c = 2.0367 \times \varphi(\text{TG})^{1.8011}$$

当 $\varphi(\text{TG}) < 1\%$ 时,钻井液含气量很低,可认为钻井液不含气(图 8)。

5.3. 地层真实含气量的计算

以 XX-3 井为例进行钻井液含气量的计算,钻井液含气量计算公式:

$$Q_g = \frac{4 \times R \times F \times G'_c}{\pi \times D^2 \times \rho}$$

式中: Q_g 为地面状态下地层真实含气量, m^3/t ; R 为目的层段平均钻时, min/m ; F 为目的层段平均钻井液排量, L/min ; D 为目的层段平均井眼尺寸, m ; ρ 为目的层段钻井液密度, g/cm^3 。

在 XX-3 井应用计算中效果良好(图 9),达到了定量评价的要求。

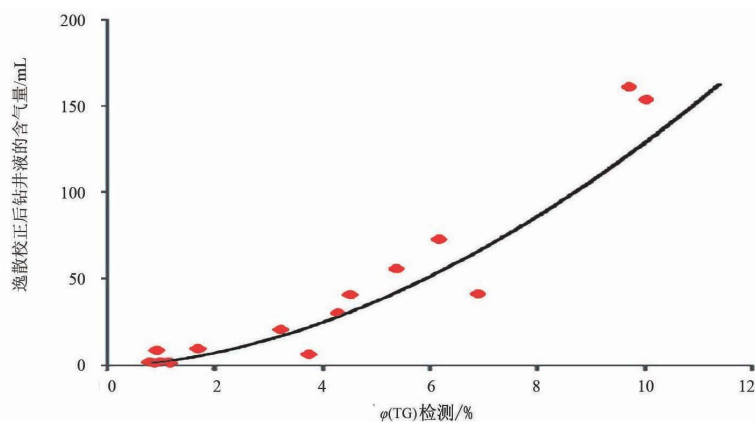


Figure 8. The relationship between the gas content of 1 L drilling fluid and $\phi(TG)$ after methane emission correction
图 8. 甲烷逸散校正后 1 L 钻井液的含气量与 $\phi(TG)$ 关系

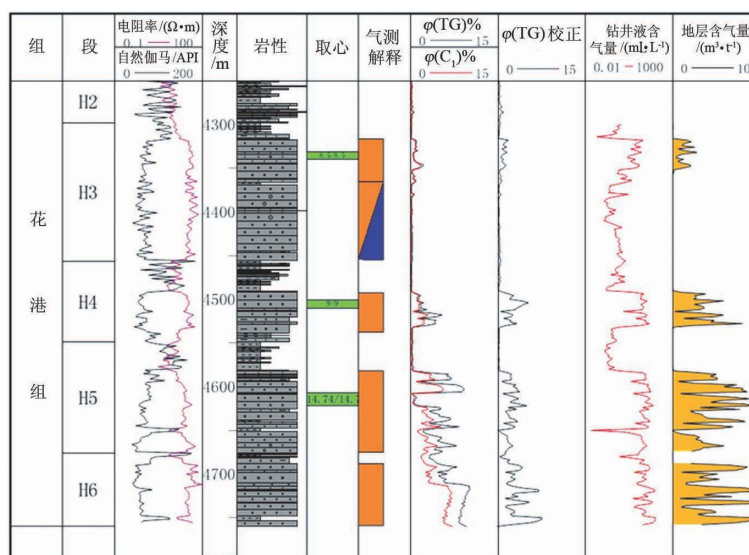


Figure 9. The calculation results of gas content of drilling fluid and gas content in formation of Well XX-3
图 9. XX-3 井钻井液含气量与地层含气量的计算结果

5.4. 地层含气饱和度定量计算

地下地层含气饱和度计算是基于地层气体在地表、地下不同温压条件下气体体积变化导致其在钻井液中含量变化的思路提出的，通过对地下温压情况的分析，结合地下含气量的计算公式，得出地下状况下地层含气饱和度 S_g 的计算公式[10] [11]:

$$S_g = Z \cdot \frac{T_2 \cdot P_1}{T_1 \cdot P_2} \cdot \frac{Q_g \cdot \rho}{\phi}$$

式中: S_g 为地层含气饱和度, %; T_2 为地下状态下地层的温度, K; P_2 为地下状态下地层的孔隙压力, Pa; T_1 为地面状态下地层的温度, K; P_1 为地面状态下地层的孔隙压力, Pa; ϕ 为地层岩石孔隙度, %; Z 为气体压缩因子, 1。

由 Z 值, 结合分析化验、测井、测试等数据的对应关系, 建立气测录井含气饱和度的定量评价方法。

6. 结论

- 1) 提出的气测环境校正新方法综合考虑了低渗储层钻进及取心过程中对气测值的影响, 应用效果好。
- 2) 现场脱气仪甲烷脱气效率为 20%~80%, 重质组分脱气效率逐渐下降。

实验中钻井液脱出烃类气体总含量约为 20~60 mL, 通过公式计算所得地面地层含气量约为 1.5~3.5 m³/t, 相当于 15%~30%的含气饱和度。

参考文献 (References)

- [1] 鲁法伟, 陈忠云, 王建平, 等. 西湖凹陷油气录井技术识别与评价[J]. 海洋石油, 2012, 32(1): 79-82, 96.
- [2] 苏奥, 陈红汉, 陈旭, 等. 东海盆地西湖凹陷平湖构造带致密砂岩储层成岩成藏的耦合关系[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2015, 46(3): 1016-1026.
- [3] 张国华. 西湖凹陷高压形成机制及其对油气成藏的影响[J]. 中国海上油气, 2013, 25(2): 1-8.
- [4] 杜武军, 杨登科. 基于气测录井资料校正方法研究[J]. 内蒙古石油化工, 2013(9): 18-19.
- [5] 赵洪权. 气测录井资料环境影响因素分析及校正方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(S1): 32-34, 125.
- [6] 杨明清. 钻井液脱气效率现场试验研究[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(2): 230-232.
- [7] 乔玉珍, 王晓阳, 宋昌顺. 全烃与全脱值的相关性分析和地层含气量的计算[J]. 录井工程, 2011, 22(1): 5-9, 74.
- [8] 尚锁贵. 气测录井影响因素分析及甲烷校正值的应用[J]. 录井工程, 2008, 19(4): 42-45.
- [9] 王立东, 罗平. 气测录井定量解释方法探讨[J]. 录井技术, 2001, 12(3): 1-10, 15.
- [10] 李学国, 曹凤江. 气测资料在确定地层含气量中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(4): 14-15, 82-83.
- [11] 刘强国, 朱清祥. 录井方法与原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.

[编辑] 帅群

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