

# 基于地层测试的冀东油田钻井液体系合理性评价

李申达<sup>1</sup>, 张亚明<sup>2</sup>, 王永军<sup>2</sup>, 史文奇<sup>1</sup>, 任斌斌<sup>1</sup>, 史琪琪<sup>1</sup>

1. 中国石油集团冀东油田公司勘探开发建设工程事业部 河北唐山 063200  
2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065007

通讯作者: Email: 345805586@qq.com

引用: 李申达, 张亚明, 王永军, 等. 基于地层测试的冀东油田钻井液体系合理性评价[J]. 油气井测试, 2023, 32(1): 63-68.

Cite: LI Shenda, ZHANG Yaming, WANG Yongjun, et al. Rationality evaluation method of Jidong oilfield drilling fluid system based on well testing[J]. Well Testing, 2023, 32(1): 63-68.

**摘要** 对于污染率较高的冀东油田来说, 确定储层污染的影响因子及条件对后续选择钻井液及钻井方式具有重要作用。通过表皮系数分解方法, 将总表皮系数分为部分打开地层表皮系数、射孔密度表皮系数、高速湍流表皮系数及泥浆污染表皮系数四个组成部分, 根据各部分分值大小判断导致冀东油田污染的主要原因为钻井液泥浆污染。经过归纳总结, 分析泥浆污染表皮系数与钻井液密度、地层压力、泥浆浸泡时间等因素的关系, 得到冀东油田五大钻井液体系污染储层的关系图版, 可提前判断储层污染程度。经冀东油田2口井应用抗高温钻井液体系图版, 判断NP203X33井储层属于无污染范畴, NP207X3井储层属于污染范畴, 与实际双对数-导数诊断曲线验证结果一致。该方法为油田开发中钻井液体系是否合理提供了新的思路和方法, 具有一定指导和借鉴意义。

**关键词** 冀东油田; 泥浆污染; 地层测试; 表皮系数; 钻井液体系; 关系图版

**中图分类号:** TE254      **文献标识码:** B      **DOI:** 10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.01.011

## Rationality evaluation method of Jidong oilfield drilling fluid system based on well testing

LI Shenda<sup>1</sup>, ZHANG Yaming<sup>2</sup>, WANG Yongjun<sup>2</sup>, SHI Wenqi<sup>1</sup>, REN Binbin<sup>1</sup>, SHI Qiqi<sup>1</sup>

1. Exploration Development and Construction Engineering Division of PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063200, China  
2. Well Testing Branch, CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Langfang, Hebei 065007, China

**Abstract:** Reservoir pollution is an important factor affecting the production of oil and gas reservoirs. For Jidong Oilfield with high pollution rate, determining the influencing factors and conditions of reservoir pollution is of great importance for the subsequent selection of drilling fluids and drilling methods. In this paper, based on the total skin coefficient obtained from formation test data, the total skin coefficient is divided into four parts by the method of skin coefficient decomposition, including the skin coefficient of partially open formation, the skin coefficient of perforation density, the skin coefficient of high-speed turbulence and the skin coefficient of mud pollution. According to the values of the four parts, it is determined that the main cause of pollution in Jidong oilfield is the pollution of drilling mud. By summarizing and analyzing the relationship between mud pollution skin factor and drilling fluid density, formation pressure, mud soaking time and other factors, the relationship chart of five major drilling fluid systems polluted reservoirs in Jidong oilfield is obtained, according to which the degree of reservoir pollution can be judged in advance. Based on this study, whether there is pollution in two Wells in Jidong oilfield under the condition of high-temperature resistant drilling fluid system is judged, and the results are consistent with the actual formation test data, which confirms the accuracy of the relationship chart. The research results of this paper provide a new idea and method for whether drilling fluid system is reasonable in oilfield development, which has certain guidance and reference significance.

**Keywords:** Jidong Oilfield; mud pollution; well testing; skin factor; drilling fluid system; relationship board

钻井液是钻井过程中井筒内循环的冲洗介质, 它能够有效地把岩屑从井底携带出地面, 在此过程中会对储层产生一定程度的影响。钻井液侵入地层裂缝引起储层出现不可逆伤害, 并造成井壁围岩物理力学特性变化; 在生产井进行地层测试过程

中, 由于钻井液的影响会出现表皮系数增大现象, 降低油气井总产能<sup>[1]</sup>。左美玲等<sup>[2]</sup>提出水平井钻井液对储层评价技术, 有效的降低了钻井液对储层的伤害程度, 但该评价技术未能适用于国内各大油田, 具有一定局限性。

为了提高冀东油田开发效果,开展了大量科技攻关及研究工作,发现打开油气层后的整个生产阶段都存在油气层污染的风险,而表皮系数成为了确定油气层是否存在伤害的重要指标,只有找到引起储层不完善的原因,才能从根本上科学有效的保护油气藏<sup>[3-4]</sup>。

将总表皮系数分解为部分打开地层表皮系数、射孔密度表皮系数、高速湍流表皮系数和泥浆污染表皮系数四部分,以试井求取的地层参数为基础,利用表皮系数与泥浆污染的表征关系,分析泥浆污染的表皮系数与钻井液密度、地层压力、泥浆浸泡时间等因素的关系,建立表皮系数与钻井液体系关系图版,可达到优化钻井液体系,降低储层污染的目的。

1 冀东油田钻井液体系

基于现有钻井液储层评价的基础上,着重分析影响表皮系数各类因素。冀东油田地层测试井主要分布在南堡、唐海、高尚堡、老堡、老爷庙、柳赞等6个构造,南堡1~5构造测试井层为72层,占总测试层数(115层)的63%,其次为高尚堡和老爷庙构造,测试井层数分别为22层和9层,占总测试层数的19%和8%,老堡构造共完成地层测试5层次,占总测试层数的4%,其余唐海、柳赞构造测试井层数分别为4层和3层,占总测试层数的3%,各个层均不同程度存在污染,馆陶组为严重污染和较严重污染级别,东营组3层为重度污染,其余为中度污染,沙河街组1层为重度污染,14层为较重度污染,12层为中度污染。

通过数据统计发现,冀东油田主要涉及5种钻井液体系类型:聚合物型、聚磺型、低自由水型、KCl抗高温型、KCl成膜封堵低侵入型。

如表1所示,按照各个类型钻井液体系污染井层的占比得出,KCl抗高温型钻井液的污染井数最多,占比69%,而低自由水型钻井液污染井数占比最少,仅23%。可判断KCl抗高温型钻井液为该地区污染的主要原因。

表 1 钻井液体系分类

Table 1 Classification of Drilling Fluid System

钻井液泥浆体系	井数	污染层数	占比/%
聚合物钻井液	24	12	50
聚磺钻井液	14	7	50
聚束型低自由水/低自由水	26	6	23
KCl 抗高温	26	18	69
KCl 成膜封堵低侵入	17	5	29

2 表皮系数分解

表皮系数是评价油气层伤害程度的一个重要参数,在评价储层方面占据重要地位,事实上,不稳定试井方法获得的表皮系数称之为总表皮系数,它反映储层伤害程度的真实表皮系数与非均质因素产生的拟表皮系数的总和<sup>[5-7]</sup>,如果用总表皮系数作为评价储层伤害程度的依据,必然会产生误差,导致措施针对性不强,从而影响生产效益,为此将总表皮系数进行系统分解,着重分析不同类型钻井液对表皮系数产生的深远影响。

首先,根据地层测试获得的恢复曲线形态判断油气层保护情况,根据地层测试获得压力、产量、物性参数等资料,运用试井分析方法计算出表皮系数,总表皮系数由油井压力恢复曲线获得<sup>[8-9]</sup>

$$S = 1.1513 \left( \frac{P_1 - P_{wf}}{m} - \lg \frac{K}{\mu \phi C_t R_w^2} - 0.908 \right) \quad (1)$$

式中: $S$ 为总表皮系数; $P_1$ 为关井1h后压力恢复曲线直线段延长线上压力,MPa; $m$ 为直线斜率,MPa/对数周期; $P_{wf}$ 为井底流动压力,MPa; $K$ 为油气层渗透率, $\mu\text{m}^2$ ; $R_w$ 为井筒半径,m。

试井过程中求得的表皮系数包括了一切偏离理想渗流所产生的表皮效应,除了钻井液引起地带损害产生的表皮系数外,还有部分打开地层、射孔、井斜等因素产生的表皮系数。

综上所述,在试井过程结束后得到的总表皮系数还需要进一步验证,要求取地层真实的表皮系数时,必须先知道各类分项表皮系数如何得到,这就需要深入研究分项表皮系数的影响因素。

2.1 部分打开地层表皮系数

由于地质因素和工程因素的影响,储层未完全打开,流体进入井筒会出现一个附加压力降,因此形成局部打开拟表皮系数,打开厚度越小所产生的拟表皮系数越大;完全打开时,拟表皮系数为零<sup>[10]</sup>

$$S_1 = 2.948 \left( \frac{1 - C}{C} \right) + 2.948C - 3.884C^2 + 1.586C^3 + 0.369 \ln h_D - 1 \quad (2)$$

式中: $S_1$ 为部分打开地层表皮系数; $C$ 为井筒储集系数, $\text{m}^3/\text{MPa}$ ; $h_D$ 为地层打开厚度,m。

2.2 射孔密度表皮系数

在射孔完井中,由于射孔参数的不合理和射孔过程引起的储层污染有时比钻井污染还大<sup>[11]</sup>,

近些年来许多学者提出:射孔表皮系数包括射孔孔眼表皮系数、射孔充填线性流表皮系数、压实带表皮系数

$$S_2 = S_p + S_o + S_{dp} \tag{3}$$

式中: $S_2$  为射孔密度表皮系数; $S_p$  为射孔孔眼表皮系数; $S_o$  为射孔充填线性流表皮系数; $S_{dp}$  为压实带表皮系数。

充分考虑上式中射孔表皮系数各类影响因素,得出射孔密度表皮系数

$$S_2 = 10^a L_D^{b-1} r_D^b \tag{4}$$

式中: $L_D$  为无因次距离; $a, b$  为常数; $r_D$  为无因次半径。

2.3 高速湍流表皮系数

井底流速很高时会出现非达西流动,增加井底周围地带的附加压力损失,从而引起非达西渗流表皮系数<sup>[12-15]</sup>。气井存在流速高必须考虑该因素,研究表明可用雷诺数 Reck 值的大小表征是否发生湍流现象,当该值大于 600 以后才会发生明显的湍流现象,影响雷诺数大小的关键参数有湍流系数、粘度、流动速度,常规油井的粘度较小,流度较低,雷诺数小于 600,因此油井由此产生的表皮系数可以忽略。

$$S_3 = Dq_o \tag{5}$$

式中: $S_3$  为高速湍流表皮系数; $D$  为非达西流因子,  $d/m^3$ ;  $q_o$  为流体流量,  $m^3/d$ 。

2.4 泥浆污染表皮系数

钻井完井泥浆侵害污染造成的泥浆污染表皮系数表达式为

$$S_4 = \left( \frac{K - K_s}{K_s} \right) \ln \frac{r_s}{r_w} \tag{6}$$

式中: $S_4$  为泥浆污染表皮系数; $K$  为有效渗透率,  $mD$ ;  $K_s$  为近井地带污染区的渗透率,  $mD$ 。

由于污染半径  $r_s$  和污染区的有效渗透率  $K_s$  很难同时予以肯定,在  $S_1, S_2$  和  $S_3$  的数值能分项予以确定,压力恢复曲线已经确定总表皮系数  $S_t$  的数值后,得到公式

$$S_4 = S_{总} - S_1 - S_2 - S_3 \tag{7}$$

2.5 冀东油田表皮系数分解

根据上述公式选取冀东油田 91 口井的表皮系数进行分解,分别求取泥浆污染的表皮系数,选用 32 口具有代表性意义井的分解结果见表 2。

表 2 冀东油田表皮系数统计

Table 2 Statistics of Skin coefficient of Jidong Oilfield

井号	总表皮系数	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
G66X6 井	-2.66	0.72	0.00	0.00	-3.39
G66X9 井	-2.74	0.00	0.05	0.00	-2.79
NP1-66 井	7.28	0.00	0.00	0.00	7.28
NP4-69 井	-0.88	0.00	0.02	0.00	-0.90
M13X6 井	15.30	1.97	0.15	0.00	13.18
M13X6 井	10.41	0.00	0.00	0.00	10.41
NP1-56 井	11.94	3.40	0.00	0.00	8.54
NP1-56 井	128.00	0.00	0.00	0.00	128.00
NP1-56 井	4.19	3.06	0.00	0.00	1.13
NP5-98 井	-1.84	5.96	0.03	0.00	-7.83
NP280-32 井	3.82	0.00	0.05	0.00	3.77
NP2-66 井	-1.66	0.54	0.03	0.00	-2.22
NP203-50 井	15.00	0.00	0.00	0.00	15.00
NP203-50 井	5.74	2.67	0.00	0.00	3.07
NP1-66 井	5.91	4.33	0.03	0.00	1.55
G123X8 井	-1.03	-0.29	0.02	0.00	-0.76
G166X3 井	2.71	4.22	0.00	0.00	-1.51
G166x5 井	12.20	0.00	0.35	0.00	11.85
G166x5 井	-1.60	0.00	0.04	0.00	-1.64
G183X9 井	1.48	0.00	0.00	0.00	1.48
G185X7 井	3.65	0.42	0.04	0.00	3.19
G1 井	7.29	0.00	0.00	0.00	7.29
G23X6 井	-1.79	3.17	0.01	0.00	-4.97
G3 井	7.71	0.66	0.00	0.00	7.05
G66X6 井	-1.57	0.00	0.01	0.00	-1.58
NP1-68 井	2.08	0.00	0.01	0.00	2.07
NP286 井	0.40	0.34	0.00	0.00	0.06
NP3-20 井	-1.91	0.00	0.33	0.00	-2.24
NP403x9 井	-1.46	1.22	0.02	0.00	-2.70
NP5-29 井	3.47	1.31	0.01	0.00	2.14
NP5-80 井	12.98	0.00	0.01	0.00	12.97
NP5-82 井	19.99	3.04	0.00	0.00	16.95

通过分解后的各类表皮系数,泥浆污染表皮系数值直接影响总表皮系数大小,在总表皮系数中占据主导位置,统计的 32 口井中,有 12 口井存在泥浆表皮系数偏高情况,占总数的 37.5%,泥浆污染是引起冀东油田储层污染的主要原因,因此,如何解决泥浆表皮系数影响已经成为冀东油田亟待解决的问题。

3 泥浆污染表皮系数影响因素

泥浆污染的表皮系数与不同钻井液体体系下的钻井液密度、地层压力系数及钻井液浸泡时间任意一个单因素之间杂乱无章,没有明显的统计学规律,认为影响泥浆表皮系数非单一因素造成,需要深入分析多因素综合影响的可能性,进一步细分,

建立泥浆污染的表皮系数与钻井液体系、钻井液密度、地层压力系数及钻井液浸泡时间的综合关系。针对冀东油田开发过程中主要涉及 5 种钻井液体系类型:KCl 抗高温型、低自由水型、聚磺型、聚合物型、KCl 成膜封堵低侵入型,分析得到下列评价标准。

3.1 聚磺型钻井液体系

聚磺型钻井液(见图 1),钻井液浸泡时间 < 34 d:钻井液密度与地层压力系数差值 < 0.4,则地层无污染。钻井液密度与地层压力系数差值 ≥ 0.4,则地层存在污染,钻井液浸泡时间 ≥ 34 d:无论钻井液与地层压力系数差值多少均存在着污染。

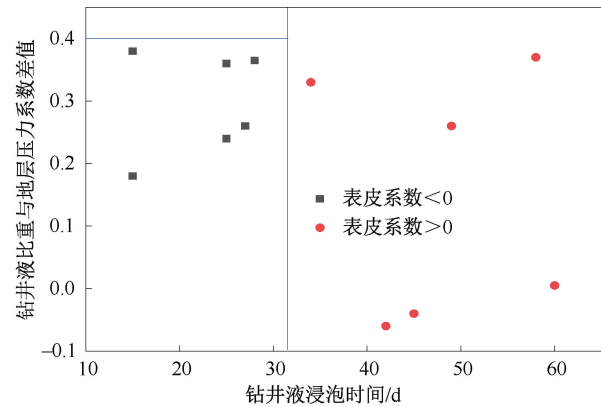


图 1 聚磺物钻井液体系表皮系数研究  
Fig.1 Study on skin coefficient of polymer drilling fluid system

3.2 聚合物钻井液体系

聚合物钻井液(见图 2),钻井液浸泡时间 < 36 d:钻井液密度与地层压力系数差值 < 0.3,则地层无污染。钻井液密度与地层压力系数差值 ≥ 0.3,则地层存在污染。钻井液浸泡时间 ≥ 36 d:无论钻井液密度与地层压力系数差值多少均存在着污染。

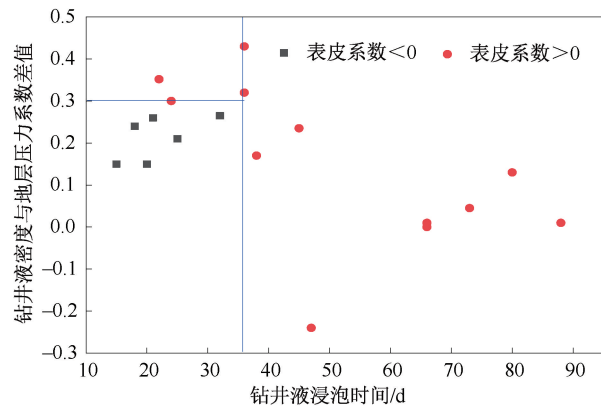


图 2 聚合物钻井液体系表皮系数研究  
Fig.2 Study on skin coefficient of polymer drilling fluid system

3.3 KCl 成膜封堵低侵钻井液体系

KCl 成膜封堵低侵钻井液(见图 3),钻井液浸泡时间 < 37 d:钻井液密度与地层压力系数差值 < 0.3,则地层无污染。钻井液密度与地层压力系数差值 ≥ 0.3,则地层存在污染,钻井液浸泡时间 ≥ 37 d:无论钻井液与地层压力系数差值多少均存在着污染。

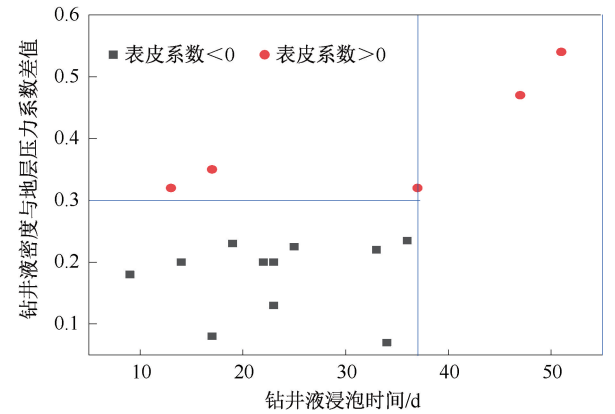


图 3 低自由水钻井液体系表皮系数研究  
Fig.3 Study on skin coefficient of drilling fluid system with low free water

3.4 抗高温钻井液体系

抗高温钻井液体系(见图 4),钻井液浸泡时间 < 41 d:钻井液密度与地层压力系数差值 < 0.4,则地层无污染。钻井液密度与地层压力系数差值 ≥ 0.4,则地层存在污染。钻井液浸泡时间 ≥ 41 d:无论钻井液与地层压力系数差值多少均存在着污染。

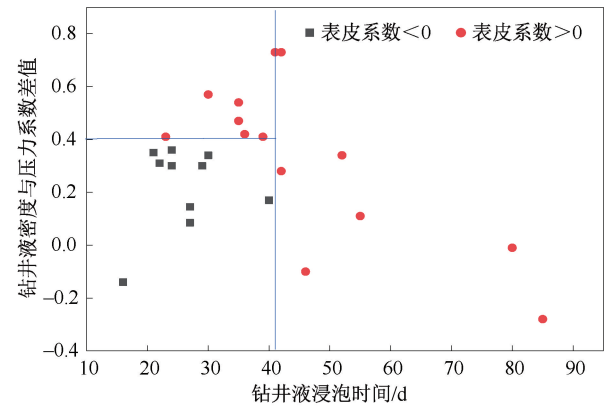


图 4 抗高温钻井液体系表皮系数研究  
Fig.4 Study on skin coefficient of high-temperature resistant drilling fluid system

3.5 低自由水钻井液体系

低自由水钻井液(见图 5),钻井液浸泡时间 < 43 d:钻井液密度与地层压力系数差值 < 0.4,则地层无污染。钻井液密度与地层压力系数差值 ≥ 0.4,则地层存在污染。钻井液浸泡时间 ≥ 43 d:无论钻井液与地层压力系数差值多少均存在着污染。



液与地层压力系数差值多少均存在着污染。

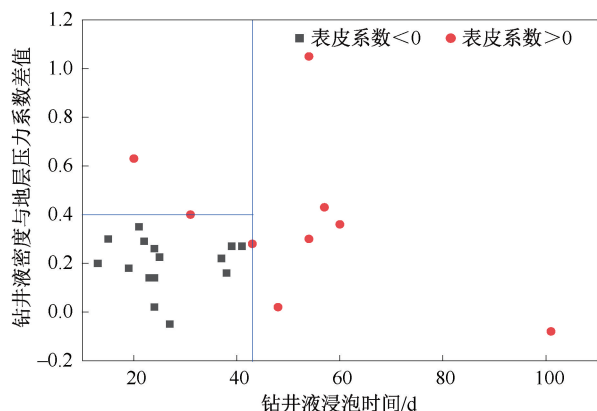


图5 低自由水钻井液体系表皮系数研究

Fig. 5 Study on skin factor of drilling fluid system with low free water

针对上述冀东油田常用五种钻井液类型,得到针对冀东油田钻井液污染评价关系表,该表科学有效地实现钻井阶段判定地层污染情况,避免了完井阶段近井地层污染,为冀东油田油气开发提供有利的理论依据。

## 4 现场应用

NP203X33井位于河北省唐山市曹妃甸区南堡2-66陆域平台,是渤海湾盆地南堡坳陷南堡2号构造南堡2-66断块构造较高部位上的一口评价井,沙三段储层采用的钻井液体系是钾盐抗高温钻井液体系,钻井液密度为 $1.35\text{ g/cm}^3$ ,与对应储层地层压力系数0.99的差值为0.36,钻井液浸泡时间为36 d,按照抗高温钻井液体系与储层污染的关系(见图4),钻井液浸泡时间小于41 d,钻井液密度与地层压力系数差值 $<0.4$ ,储层应属于无污染范畴。

从2022年7月8日至7月18日对沙三段地层4069.0~4072.2 m井段进行的STV测射联作工艺结果看,双对数-导数诊断曲线(见图6)径向流时期导数曲线与压差曲线距离短,总表皮系数为-2.09,分解后的泥浆污染表皮系数为-2.36,仍然小于0,均表明储层处于完善状态,与划分结果相符。

NP207X3井是南堡油田2号构造南堡2-27区块南堡2-49断块构造高部位处的一口评价井。东三段储层采用的钻井液体系也是钾盐抗高温钻井液体系,钻井液密度为 $1.39\text{ g/cm}^3$ ,与对应储层地层压力系数0.97的差值为0.42,钻井液浸泡时间为210 d,按照抗高温钻井液体系与储层污染的关系(见图4),当泥浆浸泡时间 $>41\text{ d}$ ,不管钻井液密度与地层压力系数差值多少,储层均属于污染范畴。

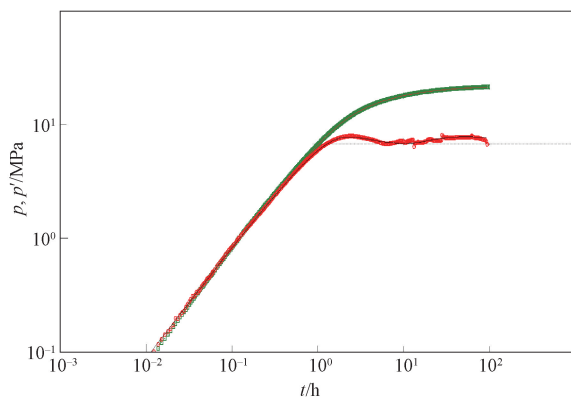


图6 NP203X33井双对数曲线拟合图

Fig. 6 Matching Diagram of Double Logarithmic Curve of Well NP 203X33

从2022年6月29日至7月7日对东三段地层3982.00~3986.00 m井段进行的STV测射联作工艺结果看,双对数-导数诊断曲线显示径向流时期导数曲线与压差曲线的距离极大(见图7),总表皮系数为150,分解后的泥浆污染表皮系数为128( $>0$ ),表皮压降15.50 MPa,堵塞比10.87,均显示储层处于高污染状态,进一步证实该方法可用来优化冀东油田的钻井液体系。

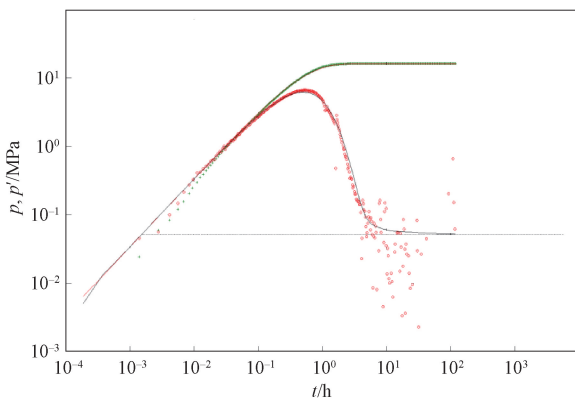


图7 NP207X3双对数曲线拟合图

Fig. 7 Double logarithmic curve fitting diagram of NP 207X3

## 5 结论

(1)从地层测试资料获取的总表皮系数出发,通过表皮系数分解方法,将总表皮系数分为部分打开地层表皮系数、射孔密度表皮系数、高速湍流表皮系数及泥浆污染表皮系数四个组成部分,根据四个部分值大小判断导致冀东油田污染的主要原因为钻井液泥浆污染。

(2)通过归纳总结,分析泥浆污染表皮系数与钻井液密度、地层压力、泥浆浸泡时间等因素的关

系,得到冀东油田五大钻井液体系是否污染储层的关系图版,并形成钻井液是否合理的评价新方法,可提前判断储层是否会污染。

(3)基于本文研究,进行了冀东油田2口井在抗高温钻井液体系条件下是否存在污染的判断,并通过实际地层测试资料进行验证,证实了判断的准确性。

(4)该研究成果为油田开发中钻井液体系是否合理提供了新的思路和方法,具有一定指导和借鉴意义。

**致谢:**感谢冀东油田公司勘探开发建设工程事业部、渤海钻探油气井测试分公司地质研究中心对本次研究提供的技术支持。

#### 参考文献

- [1] 杨力省. 油田水平井保护油层钻井液技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012, 32(6): 88.  
YANG Lisheng. Research on drilling fluid technology for protecting oil layers in horizontal wells in oilfield[J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2012, 32(6): 88.
- [2] 左美玲, 郭立辉, 何金宝, 等. 沿着水平井钻井液侵入对储层污染评价[J]. 当代化工, 2015, 44(8): 132-135.  
ZUO Meiling, GUO Lihui, HE Jinbao, et al. Evaluation of reservoir pollution along horizontal well drilling fluid invasion[J]. Contemporary Chemical Industry, 2015, 44(8): 132-135.
- [3] 段永刚, 陈伟. 油气层损害定量分析和评价[J]. 西南石油学院学报, 2001, 23(2): 44-47.  
DUAN Yonggang, CHEN Wei. Quantitative analysis and evaluation of oil and gas reservoir damage[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2001, 23(2): 44-47.
- [4] 陈元千, 油气藏工程计算方法(续篇)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 102-106.
- [5] 陈元千, 确定气井高速湍流系数新的相关经验公式[J]. 断块油气田, 2002, 9(1): 29-32.  
CHEN Yuanqian. Determining a new related empirical formula for high-speed turbulence coefficient in gas wells[J]. Fault-block Gas Field. 2002, 9(1): 29-32.
- [6] Michael D. Wilson, Edward D. Pittman. Authigenic clays in sandstones: recognition and influence on reservoir properties and paleo environmental analysis[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1977, 47(1): 3-31.
- [7] 卫玮, 严晋川, 刘斌, 等. NP油田Ed1储层泥浆伤害综合评价与解堵技术研究[J]. 海洋石油, 2010, 30(2): 67-71.  
WEI Wei, YAN Jinchuan, LIU Bin. et al. Research on comprehensive evaluation of mud damage and plugging removal technology in Ed1 reservoir of NP oilfield[J]. Offshore Oil, 2010, 30(2): 67-71.
- [8] Morton K, Bomar B, Schiller M, et al. Selection and Evaluation Criteria for High Performance Drilling Fluids. SPE96342, 2005.
- [9] 周福建, 杨贤友, 刘雨晴. 用现场资料预测钻井液损害储层深度[J]. 钻井液与完井液, 2000, 17(4): 8-10.  
ZHOU Fujian, YANG Xianyou, LIU Yuqing. Predicting the depth of reservoir damage by drilling fluid using field data[J]. Drilling and Completion Fluids, 2000, 17(4): 8-10.
- [10] MCLEOD. The Effect of Perforating Conditions on Well Performance Journal of Petroleum Technology, 1983(January): 31-39.
- [11] 王建峰, 靳佩. 表皮系数分解方法及应用[J]. 西部探矿工程, 2005, (S1): 91-93.  
WANG Jianfeng, JIN Pei. Decomposition method and application of skin coefficient[J]. Western Prospecting Engineering, 2005, (S1): 91-93.
- [12] 梅明霞. 疏松砂岩油藏水平井表皮污染讨论[J]. 石油钻探技术, 2003, 31(2): 47-48.  
MEI Mingxia. Discussion on Surface Contamination of Horizontal Wells in Unconsolidated Sandstone Reservoirs[J]. Petroleum Drilling Technology, 2003, 31(2): 47-48.
- [13] 曾文广, 米强波. 水平井射孔完井表皮系数分解计算方法[J]. 钻井液与完井液, 2005, 22(1): 105-106.  
ZENG Wenguang, MI Qiangbo. Decomposition calculation method of skin factor for horizontal well perforation and completion[J]. Drilling and Completion Fluids, 2005, 22(1): 105-106.
- [14] 徐建, 张绍礼, 严玉华. 表皮系数分解应用效果分析[J]. 油气井测试, 2005, 14(6): 25-27.  
XU Jian, ZHANG Shaoli, YAN Yuhua. Applied result analysis for decompound of skin factor[J]. Oil and Gas Well Testing, 2005, 14(6): 25-27.
- [15] 曲杰, 吴建平. 胜利油田水平井表皮污染及防砂工艺探讨[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(1): 67-70.  
QU Jie, WU Jianping. Skin pollution and sand control technology of horizontal well in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2002, 9(1): 67-70.

编辑 方志慧

**第一作者简介:**李申达,男,1992年出生,工程师,2014年毕业于北京科技大学采矿工程专业,现主要从事试油管理工作。电话:0315-8763896,18630556603;Email:lishd2015@petrochina.com.cn。通信地址:河北省唐山市曹妃甸区新城大街181号辅楼309室,邮政编码:063200。