

# 一种利用气测录井预测地层原油黏度的新方法

安玉华,杨小红,郑金定,赵靖康,李媛婷

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院,天津 300452)

**摘要:**气测录井能及时发现油气显示,定性识别油气水层,预报井涌、井喷和气侵,是油气发现及储层流体判别的重要方法,但利用其与测井资料综合识别储层流体黏度的研究较少。通过对L油田钻井过程中大量油层的气测录井组分比值与原油API°相关性研究,回归建立预测原油API°的经验公式,避免了气测测量误差和单位不统一的问题。同时,利用本区已有的原油API°与原油黏度关系式,可快速预测油层地面原油密度和地层原油黏度,方法简洁、实用,不仅可节约化验分析费用,还能射孔生产等快速决策提供依据。

**关键词:**气测录井;组分比值;原油API°;原油密度;原油黏度

**中图分类号:**TE311 **文献标志码:**A

## A new method for predicting formation crude oil viscosity by gas logging

AN Yuhua, YANG Xiaohong, ZHENG Jinding, ZHAO Jingkang, LI Yuanting

(Bohai Oil Research Institute of CNOOC Tianjin Branch Company, Tianjin 300452, China)

**Abstract:** Gas logging can predict kick, blowout, and gas invasion as well as qualitatively identify oil, gas, and water layers. It is a crucial technique for finding oil and gas and identifying reservoir fluids. There are, however, few studies that use it with data logging to fully identify reservoir fluid viscosity. An empirical formula for predicting crude oil API° is established by regression by studying the correlation between the gas logging component ratio and crude oil API° in a large number of oil layers during the drilling of the L Oilfield. This method avoids the issues with gas logging measurement errors and unit inconsistency. The surface crude oil density and formation crude oil viscosity can be predicted quickly utilizing the established correlation between crude oil API° and crude oil viscosity in this area. The approach is simple and useful, and it can reduce the cost of laboratory analysis while also serving as a foundation for quick decisions about production-strategy.

**Key words:** gas logging; component ratio; crude oil API°; crude oil density; crude oil viscosity

气测录井是利用气体检测系统或按一定周期检测分析通过钻井液脱气器从钻井液中脱离的烃类以及某些非烃类气体含量的一种录井方法,能及时发现油气显示,预报井涌、井喷和气侵,是油气发现和储层流体判别的重要方法。由于与钻井工程关系紧密,气测录井相比测井解释和油气样品实验分析更具及时性和便捷性,且随着气测录井设备和解释方法的发展,其在油气勘探开发中发挥着越来越重要的作用。通过色谱分析能够直接获得地层中烃类气体C1—C5各组分的相对含量,定性识别油气水层。常用的气测录井解释方法有多种,数值结果差异大,但气体组分比值在钻井参数不变的情况下相对稳定,是判别油气层特征的主要方法,但利用其与测井资料综合识别储层流体黏度的研究较少<sup>[1-10]</sup>。本文通过对L油田大量井的气测录井气

体组分比值及对应层位油气样品的实验室高压物性综合分析,建立研究区气测录井中碳相对百分含量与原油API°间的关系式,避免了气测测量误差和单位不统一的问题,同时利用已有原油API°与原油黏度关系,可快速预测油层地面原油密度和地层原油黏度,为射孔生产等快速决策提供依据。

## 1 油田概况

L油田为断裂背斜,内部发育80多条正断层和走滑断层,将油田切割为40多个断块,主力含油层为新近系明化镇组下段和馆陶组,划分为13个油

收稿日期:2021-09-24;改回日期:2021-10-15。

第一作者简介:安玉华(1986—),硕士,工程师,目前从事油气田开发研究工作。E-mail: anyuhua\_2007@126.com。

组,其中明化镇组下段5个油组(L00—L40油组),馆陶组8个油组(L50—L120油组)。储层为中高孔、高渗,孔隙度21%~35%,渗透率(50~2 500)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>。平面和纵向上原油性质差异较大,地面原油密度0.924~0.983 g/cm<sup>3</sup>,原油黏度19.7~496.5 mPa·s(见图1),主要原因是浅层原油生物降解严重,向下原油性质稳定,靠近油水界面有轻微的生物降解,整体未接受二次充注和次生改造<sup>[11-13]</sup>。

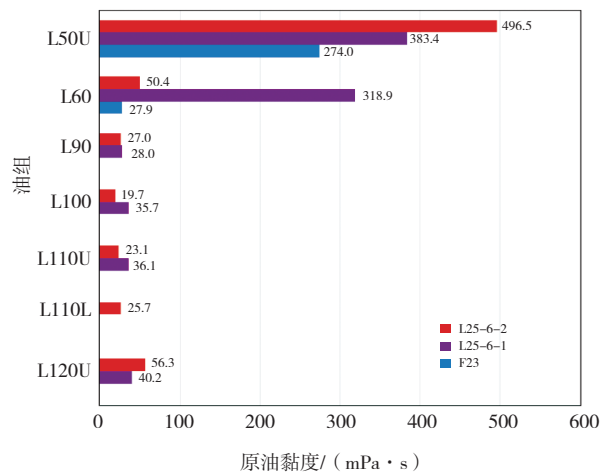


图1 L油田原油黏度分布

2 气测组分比值与原油性质关系

通过对本区大量录井气测的不同组分比值与原油流体性质的相关性研究,发现本区气测的C2、

C3、nC4和nC5之和S与C1的比值乘以100,与原油API°有较好的相关性。下面以研究区内2口评价井资料为例进行介绍。

首先将评价井的地面原油密度用公式 $API^{\circ} = \frac{141.5}{\text{相对密度}} - 131.5$ 换算为API°,再统计对应取样层位的录井气测组分,并对C2+以上组分求和S,计算其与C1的比值并乘以100(见表1),并回归其与原油API°的关系<sup>[14-15]</sup>,关系式中应用气测比值,避免了测量误差和单位不统一的问题。

通过对两者数据进行回归(见图2),其相关系数为0.947,得到关系式:

$$API^{\circ} = 0.0235 \times \left( \frac{S}{C1} \times 100 \right)^3 - 0.5379 \times \left( \frac{S}{C1} \times 100 \right)^2 + 3.7753 \times \left( \frac{S}{C1} \times 100 \right) + 12.411$$

已有的原油API°与原油黏度回归关系式为:

$$\text{地层原油黏度} = 39\,972e^{-0.358API^{\circ}}$$

利用评价井资料对相关式进行验证(见图3),其相关系数为0.953 5,由于黏度大于100 mPa·s样本点较少,用回归关系式计算地层原油黏度可能存在一定误差,上述两个关系式反计算评价井油层原油黏度和地面密度,与实测值比较平均误差为14.68%,因此,利用该方法预测原油黏度可信度较高,对快速制定射孔方案和估算产能有较大帮助。

表1 L油田评价井地层原油性质及对应的录井气测数据

井号	油组	压力/MPa		原油密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		原油黏度/(mPa·s)		组分含量/(mg·L <sup>-1</sup> )					C2+以上之和S	(S/C1)*100	气测计算API°
		静压	饱和压力	地层条件	地面条件	密度计算API°	油层压力	C1	C2	C3	nC4	nC5			
L1	L50 <sup>U</sup>	10.83	8.66	0.941	0.983	12.74	383.4 353.5	86 918	157	23	0	0	180	0.2	12.63
L1	L60	11.64	9.45	0.937	0.976	13.82	318.9 292.1	49 988	188	84	15	2	289	0.6	14.01
L1	L90	12.86	10.07	0.887	0.934	20.39	28.0 26.6	72 243	2 746	1 743	824	4	5 317	7.4	20.38
L1	L100	13.53	11.53	0.879	0.936	19.98	35.7 34.4	67 381	3 101	1 461	709	3	5 274	7.8	20.23
L1	L110 <sup>U</sup>	14.00	12.58	0.885	0.936	19.98	36.1 35.6	65 532	3 878	1 677	673	21	6 249	9.5	19.95
L1	L120 <sup>U</sup>	14.96	11.27	0.888	0.937	19.92	40.2 37.1	96 322	2 007	630	198	4	2 839	2.9	19.48
L2	L50 <sup>U</sup>	11.15	8.98	0.958	0.982	12.34	496.5 474.0	206 616	342	200	40	4	586	0.3	12.93
L2	L60	12.26	11.12	0.897	0.945	18.59	50.4 49.1	49 929	380	751	543	208	1 882	3.8	20.30
L2	L90	13.33	11.19	0.875	0.926	21.65	27.0 25.9	20 796	160	389	270	178	997	4.8	20.77
L2	L90	13.53	10.64	0.874	0.934	20.35	23.6 22.7	18 760	139	274	189	137	739	3.9	20.42
L2	L100	14.44	13.35	0.860	0.930	21.01	18.9 18.6	30 175	289	544	364	189	1 386	4.6	20.72
L2	L110 <sup>L</sup>	14.86	13.42	0.875	0.940	19.37	25.7 25.2	24 365	130	307	205	102	744	3.1	19.61
L2	L110 <sup>U</sup>	14.44	11.12	0.874	0.935	20.11	23.1 21.9	40 738	317	528	301	135	1 281	3.1	19.72
L2	L120 <sup>U</sup>	15.42	12.57	0.894	0.953	17.37	56.3 50.0	26 142	84	170	121	47	422	1.6	17.05

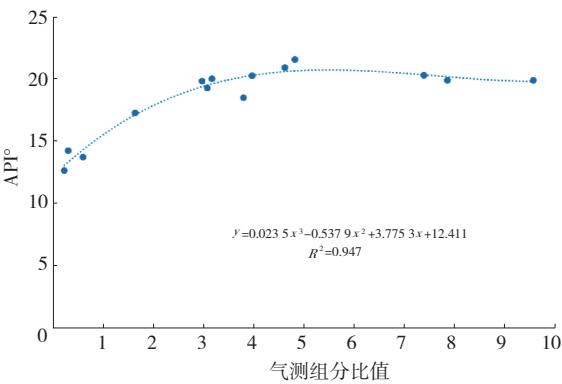


图2 L油田原油 API°与录井气测组分比值关系

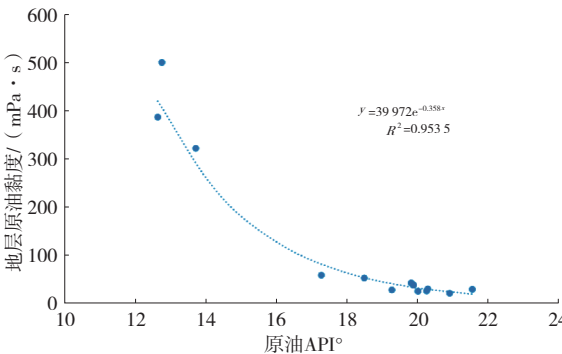


图3 L油田地层原油黏度与原油 API°关系

3 应用效果

应用上述公式对研究区新断块 L61 井 L40—L70 油组油层进行气测比值预测原油 API°、地面密度和地层原油黏度,预测 API°为 12.41°~20.0°,地面原油密度为 0.961~0.993 g/cm<sup>3</sup>,地层原油黏度为 31~470 mPa·s(见表 2)。该井完井射孔层段为 L50—L70 油组,为了验证上述方法预测流体性质的可靠性,初期仅打开 L50—L52 小层生产,深度 2 048.7~2 102.5 m,其他层段关闭,投产初期日产油 30 m<sup>3</sup>,不含水(见图 4)。

根据该井 L50—L52 小层生产段最新地面所取油样和气样,油样脱水后,按实测气油比 23.0 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>复配 PVT 样品分析,在地层温度 62.3 ℃单次脱气下,气油比 22.14 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,地层原油黏度 182.79 mPa·s,地层原油密度 0.922 8 g/cm<sup>3</sup>,地面原油密度 0.962 6 g/cm<sup>3</sup>,原油平均分子量 288.44,地层原油体积系数 1.059 7。实测地层原油黏度 182.79 mPa·s,与本文方法计算的 155~172 mPa·s 接近,可以满足油田开发的需求。

表 2 L61 井各油层录井气测数据及对应地层原油性质

油组	小层	顶深/ m	底深/ m	C1	C2	C3	nC4	nC5	(nC2+/C1) *100	计算 API°	计算密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	计算黏度 /(mPa·s)	备注
L50	L50	2 048.7	2 057.3	8.64	0.04	0.03	0.01	0	0.94	15.5	0.963	156	初期生产
	L50	2 058.3	2 066.7	8.10	0.03	0.03	0.01	0	0.94	15.5	0.963	155	初期生产
	L52	2 067.4	2 070.8	7.88	0.03	0.03	0.01	0	0.92	15.4	0.963	159	初期生产
	L52	2 071.5	2 102.5	9.10	0.04	0.03	0.01	0	0.84	15.2	0.964	172	初期生产
	L56+L58	2 127.3	2 157.3	8.54	0.08	0.11	0.07	0.01	3.15	19.7	0.936	35	初期关闭
L60	L60	2 173.5	2 175.1	1.52	0.01	0.02	0.01	0.01	3.18	19.7	0.936	34	初期关闭
	L62	2 177.5	2 180.2	1.75	0.01	0.02	0.01	0.01	2.78	19.3	0.939	40	初期关闭
	L62	2 180.6	2 183.2	2.70	0.02	0.02	0.01	0	1.93	17.9	0.947	67	初期关闭
	L62	2 191.7	2 193.6	3.14	0.02	0.02	0.02	0.01	2.23	18.4	0.944	55	初期关闭
	L62	2 197.7	2 201.6	3.72	0.02	0.02	0.02	0.01	1.78	17.6	0.949	74	初期关闭
	L64	2 209.1	2 211.4	0.99	0.01	0.01	0.01	0	3.27	19.8	0.935	33	初期关闭
L70	L70	2 230.4	2 235.7	3.99	0.03	0.04	0.01	0	2.02	18.0	0.946	63	初期关闭
	L72	2 248.9	2 250.4	3.04	0.02	0.02	0.01	0	1.60	17.2	0.952	86	初期关闭
	L72	2 251.3	2 253.5	4.27	0.03	0.02	0.01	0	1.47	16.9	0.954	95	初期关闭

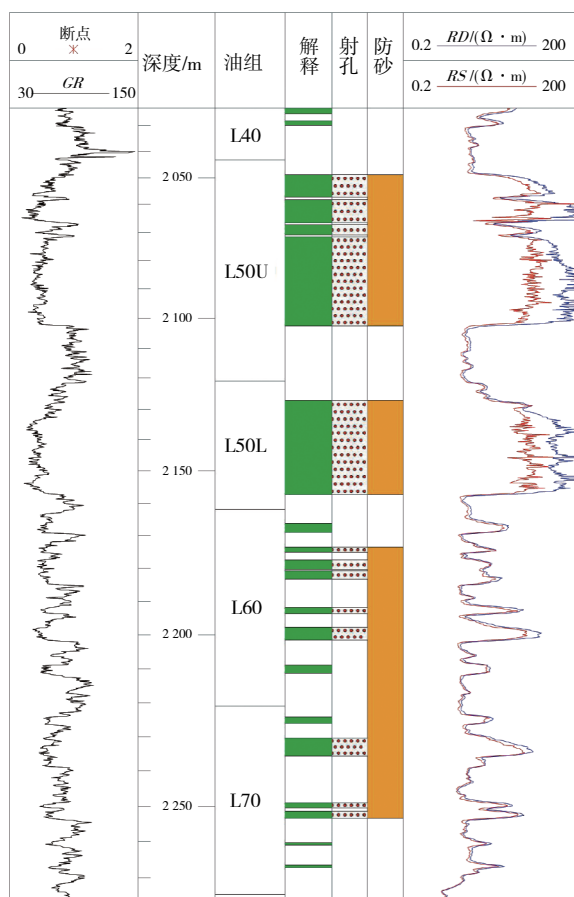


图4 L61井剖面

## 4 结论

(1)气测录井虽然受施工环境、钻井工况、采集设备等外部因素的影响,但在钻井液参数不变的情况下,组分之间的相对比例可以保持大致稳定,组分比值在一定程度上反映了油气层特征。

(2)本区油层录井气测的C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、nC<sub>4</sub>、nC<sub>5</sub>之和S,与C<sub>1</sub>比值乘以100,与原油API°有较好的相关性,回归经验公式相关系数为0.947,避免了气测测量误差和单位不统一的问题。同时与已有原油API°和原油黏度关系结合,其相关系数0.953 5,预测流体性质即原油黏度,相对误差较小,可以较好地满足开发生产需要。

(3)本文方法简洁、实用,可在已知储层流体类别的区域快速预测流体性质,不仅节约化验分析费用,还能为生产快速决策提供依据。

### 参考文献:

- [1] 周波.地化录井技术在录井现场的应用现状及发展[J].西部探矿工程,2021,33(5):95-96.
- [2] 郑广东.开发井地化录井评价技术[J].西部探矿工程,2021,33(5):51-52,58.
- [3] 张毅.气测录井定量解释方法探析[J].西部探矿工程,2019,31(4):71-72.
- [4] 樊秀英,沈卫宁.临盘工区岩石热解与气测综合解释评价方法[J].录井工程,2020,31(3):90-93.
- [5] 杜鹏,陈志伟,周长民,等.在线连续轻烃录井技术研究与应[J].录井工程,2021,32(1):56-61.
- [6] 魏峰,李跃林.基于测录井资料的复杂流体性质识别技术[J].断块油气田,2020,27(6):760-765.
- [7] 严伟丽,高楚桥,赵彬,等.基于气测录井资料的气油比定量计算方法[J].科学技术与工程,2020,20(23):9287-9292.
- [8] 汪瑞雪.气测录井资料解释及其油气层评价方法研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2007.
- [9] 姬扬.录井与测井结合识别油气水层方法及应用[D].大庆:东北石油大学,2016.
- [10] 黄菲.气测录井方法在渤海黄河口凹陷的应用[D].大庆:东北石油大学,2018.
- [11] 邓运华.渤海油区稠油成因探讨[J].中国海上油气,2006,18(6):361-364,371.
- [12] 牛嘉玉.渤海湾地区高粘重质油藏的形成与分布[D].北京:中国石油勘探开发研究院,1987:1-11.
- [13] 邓运华.渤海湾盆地上第三系油藏类型及成藏控制因素分析[J].中国海上油气(地质),2003,17(6):359-364.
- [14] 谭忠健,吴立伟,郭明宇,等.基于烃组分分析的渤海油田录井储层流体性质解释新方法[J].中国海上油气,2016,28(3):37-43.
- [15] 李庆林,戴文德,李玲成.气测图版解释方法探讨[J].青海石油,2006,24(3):30-32.

(编辑 谢 葵)