

# 热解分析方法在松辽盆地北部 储层评价中的应用

郎东升 郭树生

(大庆石油管理局地质录井公司, 163411)

本文以松辽盆地北部为主要研究对象,通过对储层的热解分析,结合物性分析资料及含油厚度,对储层含油饱和度进行估算,进而对储层含油性进行识别及描述。

关键词 储层 含油厚度 含油饱和度 含油性

第一作者简介 郎东升 男 35岁 高级工程师 石油地质

## 1 用热解参数估算储层含油饱和度

以往对含油饱和度的测定无外乎两种方法,一是对储层岩心样品直接进行饱和度分析,其次是间接的测井计算方法。前者只对密闭取心井岩心分析。由于密闭取心井成本高,因此该方法使用有其局限性。测井方法由于影响因素较多,准确程度难以把握。而在储层解释评价过程中,含油饱和度参数的准确与否直接影响到储层评价效果,因此,对储层含油饱和度的确定至关重要。

### 1.1 用热解参数求取储层含油饱和度的方法

由沉积学及地层物理学的理论可知,如果储层为油、气、水三相流体共存,那么  $S_{oil} + S_{water} + S_{ga.} = 100\%$ 。如果储层中既不含油也不含气,那么  $S_{water}$  为  $100\%$ ,此时研究含水饱和度无意义。松辽盆地北部各区块的储层多为油水两项流体所饱和,不含气或含少量溶解气。因此,下面仅就该种情况下各相流体的相对百分含量进行讨论。

由热解分析的基本原理可知,热解参数  $S(S_0 + S_1 + S_2)$  是单位重量储层岩样的含烃量,是含油丰度的一种定量表现形式。如果孔隙度一定,  $S$  的变化能反映含油饱和度的变化,其理论证明推导如下:

$$S = S_0 + S_1 + S_2 \quad (\text{mg/g})$$
$$= (S_0 + S_1 + S_2) / 10^3 \quad (\text{g/g})$$

$$S / 10^3 = \frac{W_o}{W_r} = \frac{V_o D_o}{V_r D_r} = \frac{V_o D_o V_\varphi}{V_r D_r V_\varphi} = \frac{S_{oil} \varphi D_o}{D_r} \cdot 10^{-4}$$

经数学变换可得如下求取储层含油饱和度的计算公式:

$$S_{oil} = 10S \cdot D_r \cdot \varphi^{-1} \cdot D_o^{-1} \quad (1)$$

式中各参数的物理意义： $S_{oil}$ 为储层含油饱和度(%)； $\varphi$ 为有效孔隙度(%)； $S$ 为热解色谱总烃含量(mg/g)； $D_r$ 为储层岩石密度(g/cm<sup>3</sup>)； $D_o$ 为储层原油密度(g/cm<sup>3</sup>)； $S_{gas}$ 为储层含气饱和度(%)； $S_{water}$ 为储层含水饱和度(%)； $V_p$ 为孔隙体积(cm<sup>3</sup>)； $W_r$ 为岩样重量(g)； $W_o$ 为岩样孔隙中所含原油的重量(g)。

方程(1)在使用时,总烃含量参数  $S$  要进行校正。

### 1.2 储油岩热解总烃含量的校正方法

无论是岩心,还是岩屑或井壁取心,在钻取、保存及输送的过程中由于其压力的释放,泥浆滤液的浸泡等诸多因素的影响,烃类都会有不同程度的损失(表1)。

表1 金392井岩心、井壁取心、岩屑热解参数对比表

层位	井深(m)	$S_o$			$S_1$			$S_2$		
		岩心	井壁取心	岩屑	岩心	井壁取心	岩屑	岩心	井壁取心	岩心
G	1822.8	0.13	0.00	0.00	6.40	2.00	3.29	3.12	2.87	2.97
G	1827.4	0.12	0.00	0.00	5.76	0.80	0.76	2.59	2.43	2.32
G	1860.4	0.10	0.00	0.00	6.14	3.04	2.54	2.96	2.54	2.64
G	1865.8	0.18	0.00	0.00	3.65	2.68	2.00	3.50	3.97	3.74
G	1877.2	0.07	0.00	0.00	1.82	1.71	1.51	2.66	2.80	2.67

由表1可以看出,对3类样品  $S_o$  值几乎都近似为零;  $S_1$  值岩心较高,井壁取心岩屑较岩心损失大;  $S_2$  值岩屑、井壁取心较岩心极少损失或不损失。这从理论上也可加以说明,含油砂岩中原油中溶解的气态烃  $S_o$ 。在地层钻开后及上返的过程中由于压力的释放而飘逸;  $S_1$  由于主要是轻质液态烃,稳定性差,极易挥发及散失;  $S_2$  为重质烃类组分,只有温度超过300℃才发生裂解,可见烃类组分稳定,不易挥发及散失。由于以往储层含油饱和度是通过密闭取心的室内分析而获得,所以笔者认为密闭取心样品的热解总烃含量  $S$  能准确地反映原始地层含油丰度。一般取心并在岩心出筒就取样分析,其热解总值  $S$  也能较好地反映储层含油丰度。但对井壁取心或岩屑,由于影响因素多,  $S$  损失较严重,所以用方程(1)求储层含油饱和度时,总烃含量  $S$  要经参数校正。

热解参数  $S_1/(S_1+S_2)$  是储层轻质液态烃与液态总烃含量之比,它与原油密度之间存在线性关系(表2,图1)。

表2 松辽盆地北部储层热解均值与原油密度均值对应关系

地区	层位	$\bar{D}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\overline{S_1/S_1+S_2}$ (mg/g)
西超	G	0.92	0.36
三肇	FY	0.87	0.55
古龙	P	0.84	0.62
长垣	S	0.89	0.49

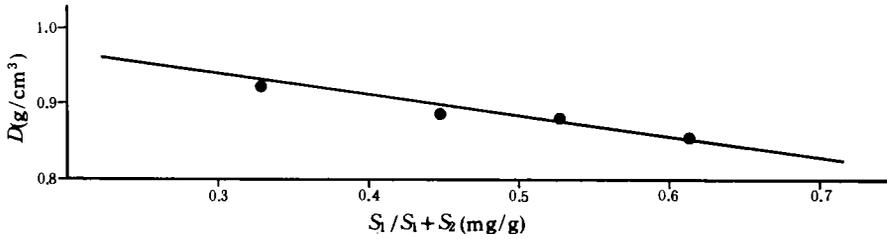


图1 松辽盆地北部储层热解均值与原油密度均值关系图

回归方程如下:

$$S_1/(S_1+S_2)=3.223-3.135D_0 \quad r=0.985$$

式中  $D$  为原油密度,单位为  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

经数学变换,  $S_1=(3.223-3.135D_0)S_2/(3.135D_0-2.223)$ 。

对于  $S_2$ , 无论是岩心还是岩屑, 只有微量损失或不损失。所以对井壁取心或岩屑, 总烃含量  $S$  只须对  $S_1$  校正。将上式代入  $S=S_1+S_2$ , 可得  $S=S_2/(3.135D_0-2.223)$ , 将该式代入(1)式, 可以得出根据岩屑或井壁取心热解值求储层含油饱和度的公式:

$$S_{\text{oil}}=10 \cdot \varphi^{-1} \cdot S_2 D_0 / (3.135 D_0^2 - 2.223 D_0) \quad (2)$$

为了验证所建立的用热解参数估算储层含油饱和度方法的使用效果, 笔者对树113密闭取心井18块岩心样品含油饱和度进行了估算, 并与室内分析结果做了对比(表3), 最大相对误差为17.6%, 最小为0.66%, 平均为8.11%; 由此可见, 所建立的方法其原理正确, 方法可靠, 在进行热解参数校正的前提下完全可以应用于一般探井中。

## 2 用热解及热失重参数判断储层产液性质

### 2.1 用热失重参数判断储层含水性

储层岩心含水性识别及描述是地质录井工作的一项重要内容, 也是储层产液性质评价的基础。目前, 现场地质录井对岩心含水性描述, 仍是采用传统的滴水描述法。由于缺乏定量依据, 效果不佳。因此, 寻找有效的储层岩心含水性定量描述方法是主要的研究工作。

油层物理学将储层中的水划分为自由水(可动水)和束缚水(不可动水)。但具体到某一储层, 对其所含水的性质进行划分是比较困难的。对储层岩心进行热失重分析, 可对其含水性进行识别及描述。

首先, 对松辽盆地北部龙西地区塔222井葡萄花油层的部分不具含油产水的含水砂岩岩心样品做了不同温度条件下的失重实验(图2), 其热失重曲线都有图3所示的特征。由图3可以看出, 热失重参数  $SZ$  在  $50^\circ\text{C}$  以前迅速增加, 在  $50^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$  之间缓慢增加, 在  $70^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$  之间微量增加, 在  $90^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$  失重值有拐点, 该点对应的温度为  $100^\circ\text{C}$  左右。拐点温度到  $110^\circ\text{C}$ , 热失重值  $SZ$  又有较大幅度的增加;  $110^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ ,  $SZ$  缓慢增加; 温度超过  $150^\circ\text{C}$  以后,  $SZ$  不再变化。不难理解, 样品  $90^\circ\text{C}$  以前的热失重量  $\Delta W$ , 在某种程度上表征了自由水

表3 树113井含油饱和度的热解估算数据表

序号	筒次	井段 (m)	距顶 (m)	$S_1+S_2$ (mg/g)	孔隙度 (%)	含油饱和度(%)		相对偏差 (%)	$D_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_o$ (g/cm <sup>3</sup> )
						分析值	计算值			
1	8	1895.07~1904.53	5.60	7.02	9.0	24.3	22.6	6.9	2.50	0.86
2	8	1895.07~1904.53	6.00	10.29	9.7	32.7	30.87	5.6	2.50	0.86
3	8	1895.07~1904.53	6.38	11.00	9.1	32.4	35.14	8.5	2.50	0.86
4	8	1895.07~1904.53	6.64	7.17	8.7	21.9	18.05	17.6	2.50	0.86
5	8	1895.07~1904.53	6.83	14.82	8.6	48.3	50.09	3.7	2.50	0.86
6	11	1914.56~1922.55	0.30	19.96	12.5	52.4	46.50	11.3	2.42	0.86
7	22	2049.96~2059.43	0.96	14.74	8.3	52.6	49.70	5.5	2.41	0.86
8	22	2049.96~2059.43	1.56	32.45	10.6	80.0	85.70	7.1	2.41	0.86
9	26	2115.99~2125.44	1.12	11.34	8.3	45.4	38.76	14.6	2.44	0.86
10	32	2191.49~2200.82	2.60	16.30	8.4	48.9	55.95	14.4	2.48	0.86
11	32	2191.49~2200.82	3.91	22.85	9.8	71.9	67.24	6.5	2.48	0.86
12	34	2209.64~2212.67	0.14	10.83	7.9	48.5	40.33	16.8	2.53	0.86
13	34	2209.64~2212.67	1.20	19.79	8.9	63.9	65.42	2.4	2.53	0.86
14	34	2209.64~2212.67	1.72	15.15	8.2	59.0	54.40	7.8	2.53	0.86
15	34	2209.64~2212.67	1.86	19.35	8.3	64.3	68.60	6.7	2.53	0.86
16	34	2209.64~2212.67	2.19	18.77	7.8	69.4	70.80	2.0	2.53	0.86
17	40	2254.95~2264.35	6.31	12.07	7.5	45.2	45.50	0.66	2.43	0.86
18	40	2254.95~2264.35	6.42	18.80	7.6	71.3	69.90	1.96	2.43	0.86

的含量;90℃~150℃之间的失重量  $\Delta W_1$ ,表征的则是束缚水与部分结晶水的含量,这部分水在温度大于100℃左右后才开始遭破坏。因此为了尽可能缩短分析时间,笔者选择最靠近拐点、束缚水及烃类不被破坏的90℃温度点(液态烃在温度大于90℃后才相继蒸发及裂解),作为求取表征储层自由水含量的热失重参数  $SZ(90^\circ\text{C})$  的加热温度。热失重分析实验结合试油资料综合研究成果表明, $SZ(90^\circ\text{C})$  结合孔隙度参数  $\phi$  能对储层含水性进行效果较好的描述(图4)。

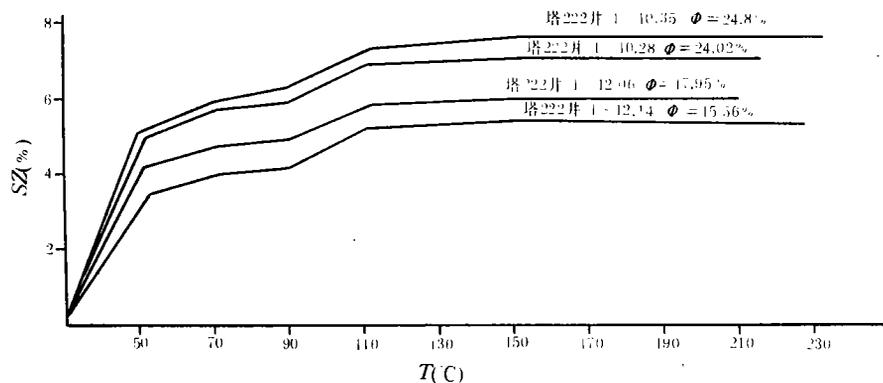


图 2 不同孔隙度含水岩心样品在随温度变化的热失重曲线

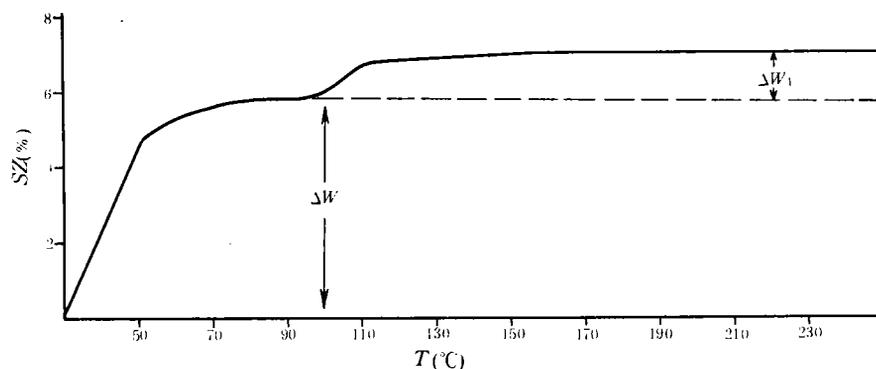


图 3 含水岩心样品随温度变化的热失重曲线模式

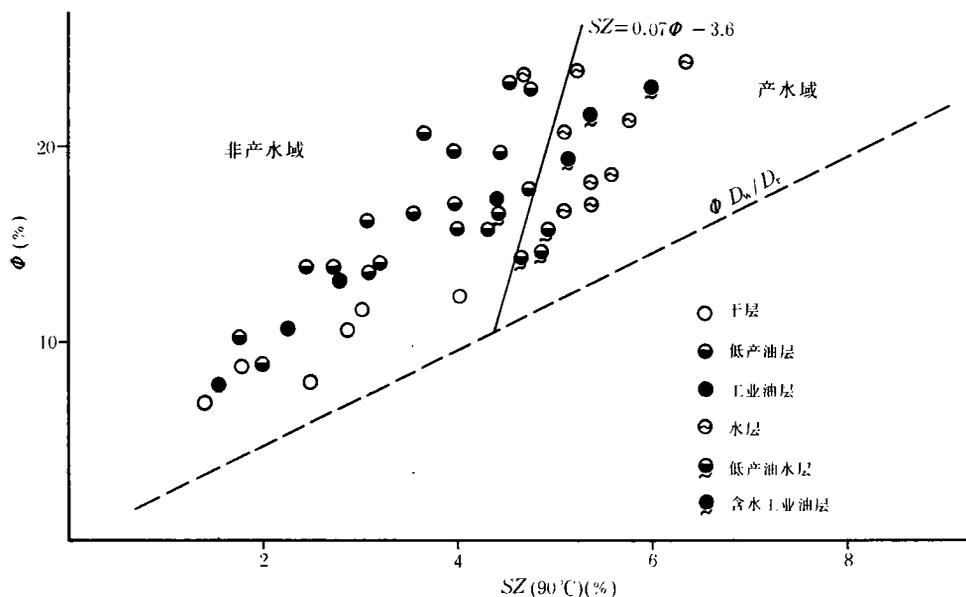


图 4 储层热失重参数  $SZ(90^\circ\text{C})$ 、孔隙度  $\phi$  交汇图

图 4 可作为储层含水性判别图版。凡热失重参数  $SZ(90^{\circ}\text{C})$  与孔隙度  $\varphi$  的交汇点落在产水水域的储层,其产水能力,可判储层含水。交汇点落在非产水水域的储层不具产水能力,可判储层不含水。

### 2.2 用热解参数判断储层含油性

储层含油性描述是其含油性评价工作的基础,准确与否直接影响到储层产液性质整体解释评价效果。以往对储层含油性的描述都是感观及经验的,缺乏有效的、科学的定量依据。

热解仪的应用在某种程度上解决了储层含油性半定量乃至定量描述的问题。

含油性评价依据的主要是储层 4 性,即岩性、物性、电性和含油性。在分区块及分层位统计研究的前提下,物性相近,岩性相同,含油性描述就是其评价的主要参数。热解参数  $S_1 + S_2$  是单位重量岩性的含烃量,是含油丰度的一种表现形式。热解参数与含油厚度配合使用,可对储层含油性进行识别及描述(图 5)。

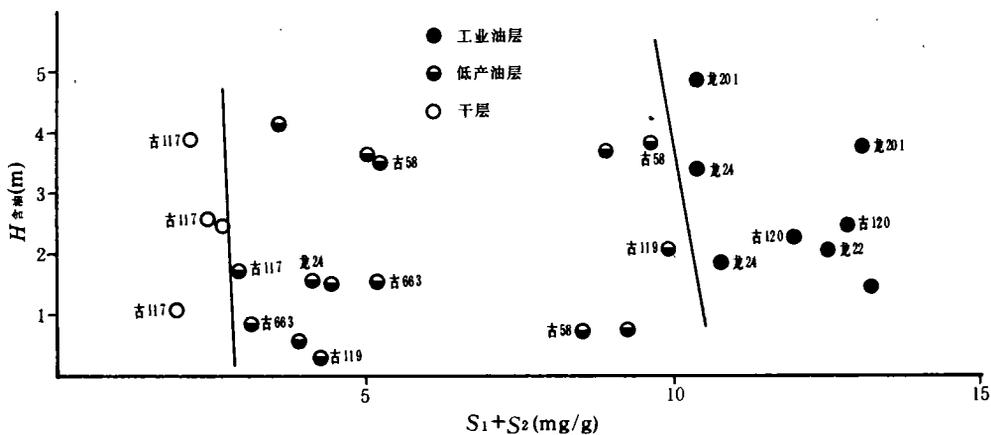


图 5 高西地区葡萄花油层含油厚度、热解参数交汇图

图 5 是松辽盆地北部高西地区葡萄花油层含油性判别图版。可以看出油层、差油层、干层具明显的分区性。根据这个图版可由含油厚度( $H_{\text{油}}$ )与含油丰度( $S_1 + S_2$ )的交汇关系来对储层含油性进行判别。同时,由该图也可以得出该区葡萄花油层含油性的热解单项资料解释标准。

油层:  $S_1 + S_2 > 10\text{mg/g}$ , 差油层:  $S_1 + S_2$  为  $3 \sim 10\text{mg/g}$ , 干层:  $S_1 + S_2 < 3\text{mg/g}$ 。

### 2.3 应用效果分析

笔者对松辽盆地北部高西地区 9 口井、葡萄花油层的 29 个横向层用热解及热失重参数对储层产液性质进行判别。从目前 4 口井 7 个横向层的试油情况看,热解及热失重参数对储层产液性质的判别结果与试油结论一致(表 4),因此,符合性较好。

## 3 结 论

(1)在对储层进行热解分析的基础上,热解总烃含量  $S$  经参数校正后,结合孔隙度  $\varphi$ ,估算储层含油饱和度是可行的。

(2) 热解参数、热失重参数结合孔隙度分析及含油厚度能对储层产液性质进行识别及描述。

表4 高西地区葡萄花油层地化解释数据表

井号	层号	横向层段 (m)	$S_1+S_2$ (mg/g)	$S_2(90^\circ\text{C})$ (%)	$\varphi(\%)$	含油厚度	试油数据			试油结论	地化解释
							试油 (t/d)	气 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	水 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )		
龙22	61	1719.6~1722.4	12.51	3.27	16.92	2.04	3.44			工业油层	油层
龙27	23	1795.0~1797.8	13.22	2.78	17.29	2.55	7.67			工业油层	油层
龙27	26	1823.0~1824.2	11.42	4.07	12.90	0.85				工业油层	油层
龙27	24	1805.0~1808.6	0.12	5.67	17.37	0.68			2.238	水层	水层
葡18	36	1270.8~1273.2	7.29	6.32	20.86	2.26	0.275		12.330	低产油水层	油水层
敖403	43	1220.0~1221.8	5.51	3.15	15.07	0.87	0.023			低产油层	差油层
敖403	44	1223.8~1225.8	5.98	3.97	17.69	1.02	0.171			低产油层	差油层

(收稿日期: 1995年8月21日)

### 参 考 文 献

- 1 罗蜚潭. 油层物理. 北京: 地质出版社, 1985
- 2 李玉恒等. 储油岩热解地球化学录井评价技术. 北京: 石油工业出版社, 1993

## A PYROLYSIS ANALYTICAL METHOD APPLIED IN THE RESERVOIR EVALUATION OF THE NORTH SONGLIAO BASIN

Lang Dongsheng Guo Shusheng

(Geological Logging Corporation of Daqing Petroleum Administration Bureau)

### Abstract

This paper takes the North Songliao Basin as an object of study. By means of pyrolysis analyses on the reservoir combined with porosity analytical data and oil-bearing thickness, the oil-bearing saturability of the reservoir is estimated. Furthermore, the oil possibility of the reservoir is also distinguished and described.