

地化录井中一种新的生、排烃量计算方法

肖丽华 孟元林

高大岭 郝翠娟 李宏 侯创业

(大庆石油学院秦皇岛分院, 河北秦皇岛 066004)

(辽河油田录井公司, 辽宁盘锦 124010)

本文综合考虑了成岩压实、有机质热演化和类型的影响,以干酪根中无效碳在生烃过程中其绝对含量保持恒量这一原则,建立起一个新的有机碳恢复模型。在此基础上得出了适用于地化录井应用的生、排烃量计算公式,从而使整个过程比以前的图解法更加准确、高效。本方法已成功地应用于辽河油田海上、陆上和外盆地的地化录井。但本文中仅以铁岭盆地的一口井为例说明了该方法的应用。铁岭盆地昌参2井的地化录井表明,其生烃强度为 $263.794 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$,排烃强度为 $138.166 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$,资源密度为 $13.190 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$,达到了我国 I 类含油气盆地的生烃强度标准,昌图凹陷具有较为充足的油气来源,可望形成一些中、小型油气田,下一步勘探的方向主要是寻找圈闭和有利的储层。

关键词 地化录井 有机碳 生烃强度 排烃强度

第一作者简介 肖丽华 女 36岁 工程师 石油地质

地球化学录井是二十世纪 70~80 年代发展起来的一门录井新技术(Clementz, 1979; Espitalie, 1984),该技术可以在钻井过程中快速、高效地对烃源岩的生烃能力和储层的含油特征作出定量评价。目前,我国地化录井的烃源岩评价中,对有机质丰度、类型、成熟度的研究基本上沿用了以前的方法,生、排烃量的计算仍以热模拟图版为基础(邬立言等, 1986; 丁莲花等, 1992; 李玉桓等, 1993),先用图解法求出热演化分数 K ,然后恢复原始生烃潜量,最后求得生、排烃量:

$$S_1 = S_2 \times (1 + K) \quad (1)$$

$$Q = S_1 - S_2 \quad (2)$$

$$Q_{\text{排}} = S_1 - (S_1 + S_2) \quad (3)$$

式中 S_1 为原始生烃潜量(mg/g); S_2 为热解烃含量(mg/g); K 为热演化分数; S_1 为烃源岩残留烃含量(mg/g)。

这一方法在我国有机地化中已被普遍接受。但该方法计算生、排烃量时,用的是图解法,在现场使用起来不太方便,不利于发挥地化录井高效、快速的特点。而且大多数油田计算生、排烃量时仍应用了以前的图版,这可能会引起一些误差。而要完成适合本地区的热模拟图版,又是一项耗时费力的工作。针对上述情况,本文试图在原有理论的基础上,通过推导原始有机碳恢复的解析表达式,建立起一套新的生、排烃计算方法。

1 原始有机碳的恢复

1.1 公式推导

现今烃源岩实测的有机碳是烃源岩经成岩压实、生烃和排烃所残余的部分。所以,在根据残余有机碳恢复原始有机碳时,必然全面考虑上述因素(孟元林等, 1993)。在有机地化中,常将有机碳分为有效碳和无效碳两大部分(Cools et al, 1986)。有效碳是指干酪根中在足够的温度和时间作用下能够生成油气的碳。而无效碳则是指干酪根中不能转化为烃类的部分,它在油气生成和运移的过程中,其绝对含量保持不变,即:

$$W_0 \times (C_0 - C_{\text{PO}}) = W (C_{\text{OT}} - C_{\text{P}}) \quad (4)$$

式中 W_0 为压实前单位面积烃源岩原始重量; W 为现今单位面积烃源岩重量; C_0 为原始有机碳含量(%); C_{PO} 为原始有效碳含量(%); C_{OT} 为现今残余有机碳含量(%); C_{P} 为现今有效碳含量(%)。

由上式可得

$$W_0 \times \frac{C_0 - C_{\text{PO}}}{C_0} \times C_0 = W \times \frac{C_{\text{OT}} - C_{\text{P}}}{C_{\text{OT}}} \times C_{\text{OT}} \quad (5)$$

即

$$W_0 \times C_0 = W \times \frac{(C_{\text{OT}} - C_{\text{P}})/C_{\text{OT}}}{(C_0 - C_{\text{PO}})/C_0} \times C_{\text{OT}} \quad (6)$$

化简得

$$W_0 \times C_0 = W \times \frac{1 - C_P/C_{OT}}{1 - C_{PO}/C_0} \times C_{OT} \quad (7)$$

根据干酪根降解潜率的定义

$$D = 100C_P/C_{OT} \quad (8)$$

式(7)可以改写为

$$W_0 \times C_0 = W \times \frac{1 - 0.01D}{1 - 0.01D_0} \times C_{OT} \quad (9)$$

在上式中,令

$$F = \frac{1 - 0.01D}{1 - 0.01D_0} \quad (10)$$

则有

$$W_0 \times C_0 = F \times (W \times C_{OT}) \quad (11)$$

式(11)的左端表示单位面积烃源岩原始有机碳的总含量,右端则是现今单位面积烃源岩的残余有机碳总量。显然, F 的地质意义就是原始有机碳的恢复系数。由于 $D_0 \geq D$,所以 $F \geq 1$ 。

1.2 有机碳恢复系数的影响因素及参数选取

由式(10)可见,原始有机碳的恢复系数 F 的大小,主要受现今烃源岩干酪根降解率 D 和原始降解潜率 D_0 的影响。

1.2.1 干酪根类型的影响

烃源岩干酪根原始降解潜率 D_0 是恢复原始有机碳的关键参数,它主要与有机质类型有关,I型干酪根的 D_0 最大,II型干酪根的 D_0 最小,I型干酪根的 D_0 介于二者之间。但各学者测得的3类干酪根的原始降解潜率不尽相同(孟元林等,1993)。在实际应用时,可根据具体地质情况,按如下方法选取 D_0 :

(1)通过热解研究区内同层位或干酪根类型相同的末(低)成熟烃源岩,求得烃源岩干酪根原始降解潜率 D_0 ;

(2)借用邻区相同类型干酪根的原始降解率 D_0 ;

(3)取有机质分类标准的上限值,例如,3类四分法中,I₂型干酪根的降解潜率 D 为10%~20%,则取I₂型干酪根的原始降解潜率为20%。

1.2.2 有机质成熟度的影响

随埋深和温度的增加,干酪根逐渐降解生成油气,并运移出去,从而使得干酪根的降解潜率随有机质成熟度的增加而降低。由式(10)可见,随有机质成熟度的增加,原始有机碳的恢复系数 F 将增加。

由以上讨论可知,原始有机碳恢复系数 F 主要

与烃源岩的有机质类型和成熟度有关,而与丰度无关。式(10)不仅揭示了原始有机碳恢复系数与有机质类型和成熟度的内在数值关系,而且形式简单,便于计算,可以大大提高工作效率,充分发挥地化录井高效、快速的特点。

2 生、排烃量和资源量的计算

2.1 单位重量岩石生、排烃量计算

在恢复原始有机碳的基础上,可用下列算式,计算单位重量烃源岩的生、排烃量

$$S_i = C_0 / 0.083 \quad (12)$$

$$Q_v = S_i - S_2 \quad (13)$$

$$Q_{ev} = S_i - (S_1 + S_2)$$

或 $Q_{ev} = (C_0 - C_{OT}) / 0.083 \quad (14)$

式中 S_i 为单位重量烃源岩原始生烃潜量(kg/t); Q_v 为单位重量烃源岩生烃量(kg/t); Q_{ev} 为单位重量烃源岩排烃量(kg/t)。

2.2 单位面积烃源岩生、排烃与资源量计算

若一口井内有 n 层烃源岩,则其单位面积的生、排烃量为:

$$Q_{st} = \sum_{i=1}^n S_{ti} \times H_i \times d_i / 10 \quad (15)$$

$$Q_s = \sum_{i=1}^n Q_{vi} \times H_i \times d_i / 10 \quad (16)$$

$$Q_{se} = \sum_{i=1}^n Q_{evi} \times H_i \times d_i / 10 \quad (17)$$

式中 Q_{st} 为单位面积烃源岩原始生烃潜量(10^4 t/km²); Q_s 为单位面积烃源岩生烃量(10^4 t/km²); Q_{se} 为单位面积排烃量(10^4 t/km²); H_i 为第 i 层烃源岩厚度(m); d_i 为第 i 层烃源岩密度(g/cm³)。

单位面积的生、排量又称为生、排烃强度(石广仁,1994),它们是含油气盆地远景评价和资源量计算的基础参数,见表1(李惠芬等,1992)。

在求得生烃强度之后,结合其它地质资料,即可用生聚法求出单位面积的资源量:

$$Q_{sr} = K_{gs} \times Q_s / 100 \quad (18)$$

式中 Q_{sr} 为资源密度(10^4 t/km²); K_{gs} 为生聚系数(%)。

在地化录井中,还用到油气转化率和排烃效率的概念。油气转化率是衡量干酪根向油气转化程度的一个参数,其值为生烃量占原始生烃潜量的百分

表 1 生聚系数及主要指标

级别	生聚系数 (%)	生烃强度 (Mt/km ²)	沉积速率 (mm/a)		储集层占全盆地面积 (%)	地温梯度 (°C/100m)	区域性剥蚀事件 (次)	圈闭面积占凹陷面积 (%)
			拗陷型	断陷型				
I	>10	>3	0.05~2.1	0.25~0.4	>50	3.0~4.0	1	>50
II	5~10	1~3	0.02~0.05	0.2~0.3	20~50	2.0~3.0	1~3	20~50
III	<1	<1	/	/	<20	<2.0	>3	<20

比:

$$K_t = Q_s / Q_{st} \times 100\% \quad (19)$$

而排烃效率则是排烃量占生烃量的百分比:

$$K_e = Q_{se} / Q_s \times 100\% \quad (20)$$

3 应用实例

本模型已成功地应用于辽河油田陆上、海上以及外围盆地的地化录井中,并取得了有关参数。限于篇幅,本文仅以辽河外围盆地——铁岭盆地为例,说明这一模型的应用情况。

3.1 区域地质概况

铁岭盆地是辽宁省北部的一个中生代断陷盆地,总面积 7200km²,具有“三凸五凹”的构造格局,昌图凹陷是铁岭盆地中北部的一个凹陷,其面积为 1800km²,从西向东进一步分为付家屯—头道沟洼陷带、中央断裂构造带、大洼—长春堡洼陷带和东部斜坡带。目前,已完成重、磁、电勘探和地震勘探,完钻两口参数井,两口参数井揭示的地层表明,本区从下至上发育上侏罗统义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组,下白垩统泉头组和第四系。其中全区存在两个大的区域不整合,分别位于泉头组的顶底。下侏罗统除义县组为一套火山碎屑岩外,其它组为湖相的砾岩、砂岩和泥岩,其中生、储、盖发育,是本区主要的勘探目标层段。在昌参 2 井的地化录井中,于九佛堂组中发现了良好的油气显示,表明本区一定发生过油气生成、运移和聚集的过程。

3.2 地化录井生、排烃量计算结果

昌参 2 井位于昌图凹陷付家屯—头道沟洼陷带内,完钻井深 2750m,从井深 300m 开始地化录井,共完成地化热解样品 963 次,在泥岩段内,还测试了有机碳和镜质体反射率。

我们的研究表明,九佛堂组是一套深湖—半深湖相沉积,有机质类型以 I₁ 型为主,有机质丰度较

高,达到了中偏好的丰度标准,目前处于低成熟—成熟阶段。原始生烃潜量、生烃强度和油气转化系数分别为 221.278 × 10⁴t/km²、157.411 × 10⁴t/km²、71.1%,见表 2,其生烃强度占昌参 2 井总生烃强度的 59.67%。其排烃强度为 101.564 × 10⁴t/km²,排烃效率 64.5%,其排烃强度占总排烃强度的 73.51%,是本区主要的烃源岩。

表 2 昌图凹陷昌参 2 井

地化录井生、排烃计算结果

层位	原始生烃潜量 (10 ⁴ t/km ²)	生烃强度 (10 ⁴ t/km ²)	油气转化率 (%)	排烃强度 (10 ⁴ t/km ²)	排烃效率 (%)
阜新组	215.610	95.951	44.5	31.525	32.9
沙海组	20.503	10.432	50.9	5.077	48.7
九佛堂组	221.278	157.411	71.1	101.564	64.5
合计	457.391	263.794	57.7	138.166	52.5

九佛堂组共有 14 层烃源岩,总厚度为 131.0m,各单层泥岩的地化录井参数和生、排烃量计算结果见表 3。

沙海组沉积时期水体变浅,泥岩总厚度为 34.0m,有机质丰度较低,干酪根类型以 I₁ 型和 II 型为主,目前处于低成熟的生烃阶段,其生烃强度为 10.432 × 10⁴t/km²,见表 2,占总生烃强度的 3.95%,排烃强度为 5.077 × 10⁴t/km²,占总排烃强度的 3.67%。因此,沙海组对本区的生烃意义不大。

阜新组为一套湖沼相沉积,泥岩总厚度为 265.5m,其有机质丰度达到了中偏差的丰度标准,干酪根类型以 III 型为主,其生烃强度为 95.951 × 10⁴t/km²,占总生烃强度的 36.27%。排烃强度为 31.525 × 10⁴t/km²,占总排烃强度的 22.82%。生、排烃强度均介于九佛堂组和沙海组之间,是本区的次要烃源岩。

铁岭盆地烃源岩总厚度为 430.5m,总生烃强度为 263.794 × 10⁴t/km²,总排烃强度为 138.166 ×

表3 昌参2井地化录井九佛堂组生排烃量计算结果

序号	井段 (m)	厚度 (m)	S ₀ (mg/g)	S ₁ (mg/g)	S ₂ (mg/g)	T _{max} °C	CoT (%)	原始生油潜量 (10 ⁴ t/km ²)	生油强度 (10 ⁴ t/km ²)	排油强度 (10 ⁴ t/km ²)	油气转化率 (%)	排油效率 (%)
38	1941.0~1961.5	10.0	0.020	0.030	2.240	452	1.10	1.145	8.890	6.410	77.6	72.2
39	1961.5~1975.5	14.0	0.037	1.107	4.925	451	3.06	36.570	28.434	17.883	77.8	48.9
40	1980.0~2003.0	23.0	0.024	0.566	6.210	444	2.47	57.500	40.351	23.092	70.2	40.2
41	2004.0~2011.0	6.5	0.025	1.863	9.890	438	2.99	36.247	26.883	19.399	74.2	53.5
42	2012.0~2017.5	2.5	0.030	0.250	1.830	488	2.20	4.540	4.070	3.380	89.6	74.4
43	2018.5~2032.5	14.0	0.015	0.150	1.820	438	0.23	17.360	12.936	11.634	74.5	67.0
44	2034.0~2041.5	7.5	0.020	0.350	1.810	444	2.22	4.538	2.528	0.938	55.7	20.7
45	2052.0~2059.5	6.5	0.000	0.437	3.220	443	2.14	9.911	6.738	4.485	68.0	66.6
46	2060.0~2104.5	12.0	0.001	0.230	2.057	446	2.45	7.922	6.820	3.939	68.3	57.8
47	2198.0~2236.0	4.5	0.010	0.180	3.070	432	1.99	3.303	0.954	0.017	28.9	7.9
48	2243.5~2257.5	10.0	0.013	0.130	0.803	443	1.66	2.360	1.060	0.270	44.5	11.4
49	2276.0~2285.5	6.0	0.010	0.390	3.360	446	2.29	7.308	4.752	2.346	65.0	32.1
50	2357.5~2403.0	6.0	0.010	0.608	4.952	449	2.47	13.824	10.188	6.548	77.6	46.7
51	2414.0~2470.5	6.0	0.010	0.608	4.952	449	2.47	13.824	4.327	6.548	77.6	46.7

10⁴t/km²。其生烃强度达到了我国Ⅰ类含油气盆地的标准。具有较为丰富的油气资源,具备了形成中、小型油气田的基本地质条件。昌图凹陷的沉积速率、储层发育程度、地温梯度、区域不整合次数、圈闭面积系数也都达到或接近Ⅰ类盆地的标准,其生聚系数可取为5%。这样,其单位面积的资源量为13.19×10⁴t/km²。

参 考 文 献

- 1 Clementz D M. Well site geochemistry by programmed pyrolysis. 11 th offshore technology conference. Huston, 1979, 465~469
- 2 Espitalie J. Geochemical logging by the oil show analyzer (Kent J. Edition). London: Butterworth, 1984, 7~9
- 3 邬立言等. 生油岩热解快速定量评价. 北京: 科学出版社, 1992, 64~95
- 4 丁莲花, 刘志勤, 翟庆龙. 岩石地球化学录井. 北京: 石油工业出版社, 1992, 90~97
- 5 李玉桓, 邬立言, 黄九思. 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, 139~164
- 6 孟元林, 肖丽华, 郭庆福. 原始有机碳含量的恢复及应用. 大庆石油地质与开发, 1993, 27~32
- 7 Cools G P et al. Calculation of petroleum masses generation and expelled from source rocks. Advance in organic geochemistry, 1986, 20: 235~245
- 8 石广仁. 油气盆地数值模拟. 北京: 石油工业出版社, 1994, 64~87
- 9 李惠芬, 周锦明. 盆地模拟地质参数研究和选取. 石油勘探与开发, 1992, 19(增刊): 83~90

(收稿日期: 1996年12月9日)

A NEW CALCULATION METHOD FOR HYDROCARBON GENERATION AND DISCHARGE AMOUNT IN GEOCHEMICAL LOGGING

Xiao Lihua Meng Yuanlin

(Qinhuangdao Branch of Daqing Petroleum College)

Gao Daling Hao Cuijuan Li Hong Hou Chuangye

(Logging Company of Liaohe Oil Field)

Abstract

By comprehensive consideration over the effect of diagenetic compaction and organic matter thermal evolution and types, a new organic carbon recovery model is established in this paper on the principle that the absolute content of unavailable carbon in kerogen remains constant in the process of hydrocarbon generation. On this basis, a calculation formula about hydrocarbon generation and discharge amount fit for geochemical logging is obtained to make the whole calculation process more correct and efficient than former illustration method. This new method has been applied successfully in geochemical logging to the offshore, subaerial and peripheral basins of the Liaohe Oil Field. In this paper, only one well in the Tieling Basin is taken for example to explain the application of this method. The geochemical log of Dichang 2 well in the Tieling Basin shows that its hydrocarbon generation intensity is $263.794 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$, its hydrocarbon discharge intensity is $138.166 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$ and its resource density is $13.190 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$. All these have come up to the hydrocarbon-generating intensity standard for I-typed oil and gas basins of our country. The Changtu Depression has more sufficient source of oil and gas, and is hoped to form some middle and small scale of oil and gas fields. The next exploration program is mainly to find traps and favorable reservoirs.