

文章编号: 1000-0550(2008)06-1063-08

# 吐哈盆地生物气—低熟气评价的元素平衡法及其应用<sup>①</sup>

卢双舫 黄振凯 刘绍军 刘海英 王 民 申家年 薛海涛

(大庆石油学院 黑龙江大庆 163318)

**摘 要** 吐哈盆地探明的源于非高温热成因天然气(生物气—低熟气)的储量虽然已近千亿方,但尚未见评价其生成量及资源量的有效方法报道,这影响了对其勘探潜力及有利目标的决策。针对这一难题,考虑到无论生物气、低熟气的生成机理如何,都是一个有机元素之间的物质平衡过程,探索并建立了评价生物气—低熟气生成量的元素平衡法。利用吐哈盆地大量的实际分析数据,对这一评价方法(模型)进行了标定和应用。结果表明,吐哈盆地 II 型有机质产生物气—低熟气的成气率高于 III 型,二者分别累计可达 134.40 m<sup>3</sup>/g 和 83.99 m<sup>3</sup>/g。吐哈盆地生物气—低熟气的生成总量约为 1.436 28 × 10<sup>12</sup> m<sup>3</sup>;资源量可能介于 7.09 × 10<sup>11</sup> ~ 24.42 × 10<sup>11</sup> m<sup>3</sup> 之间。表明吐哈盆地的非高温热成因气具有较大的勘探潜力。台北凹陷的 J<sub>2</sub>x 和 J<sub>1</sub> 及其附近层位是勘探的有利目标。

**关键词** 生物气 低熟气 生气量 元素平衡法

**第一作者简介** 卢双舫 男 1962 年出生 教授 博士生导师 油气地质学和油气地球化学

E-mail: lshuangfang@dqpi.edu.cn

中图分类号 P593 TE122.1 文献标识码 A

## 0 引言

生物气是指埋藏较浅沉积物(岩)中的有机质(或原油)在还原环境下经厌氧微生物作用所形成的富甲烷的气体,其生成主要通过乙酸盐发酵和二氧化碳还原二种途径完成。低熟气是指沉积有机质在生物甲烷气形成阶段之后,干酪根大量热解生烃之前(对应的  $R_o$  过去一般认为小于 0.7%, 近期徐永昌等将其确定为 0.8% 左右<sup>[1]</sup>)经低温热催化作用形成的天然气,故也称之为生物—热催化过渡带气<sup>[2-6]</sup>。

生物气的成藏意义很早就已经得到了国内外学者的广泛重视<sup>[7-19]</sup>,与此相应,国内外都已发现并探明了丰富的生物气储量,并已经建立了多种评价其生成量及资源量的方法。除了得到广泛研究的微生物发酵成气实验法之外<sup>[20-22]</sup>,目前业已报道的方法有化学动力学法<sup>[23]</sup>、生化动力学法<sup>[24]</sup>、碳同位素平衡法<sup>[25]</sup>等,正在探讨的有元素平衡法<sup>[26]</sup>。尽管这些方法各自都还有一定的不足之处,但毕竟已经迈出了重要的一步。

虽然人们并不怀疑低熟气的存在,但相对于生物气而言,低熟阶段一直被认为是介于(未熟阶段的生物气和高、过熟阶段的热成因气)两个成气高峰之间

的成气低谷,故它对工业性气藏形成的意义并未得到多数学者和勘探家的重视。因此,过去对低熟气的研究更多集中于对其概念、成熟度界定、形成条件、机理、产状、分布、地化特征及判识等方面<sup>[1-6, 27-29]</sup>,对低熟气定量评价的关注和重视不够。但是,自从有人认为<sup>[30, 31]</sup>,世界上最大的气田(乌连戈依气田)属于低熟气田,特别是近期徐永昌等<sup>[1]</sup>从天然气组分特征、同位素特征、天然气轻烃特征上,结合地质条件论证了吐哈盆地探明的近一千亿方的天然气主体应当属于煤型低熟气,是我国的低熟气大气田之后,明显提高了勘探家对我国低熟气勘探的期待。相应地,低熟气生成量及其资源潜力的评价问题成为勘探家关注的重要课题。但业已报道的评价其生成量的方法目前还只有化学动力学方法<sup>[32]</sup>。

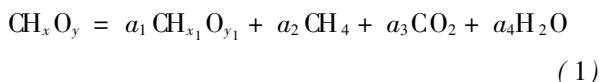
尽管生物气和低熟气在形成条件、成因机制上迥异,相应地在地化特征、判识指标上不同,但由于两者在形成阶段上紧邻,判识指标上有过渡,加上天然气的易流动性所导致的易混和性,并非所有的地质条件下,都能明确地判定一个气藏的确切气源。如世界上最大的乌连戈依气田究竟是生物气还是低熟气就有不同的观点:有学者将其储量统计到生物气中<sup>[7, 11]</sup>,有学者则将其统计到低熟气当中<sup>[1, 30, 31]</sup>,也有的学者为回避争

①中国石油天然气股份有限公司“十一五”超前科研项目和教育部新世纪优秀人才支持计划基金项目(NCET-04-0345)资助。  
收稿日期:2008-02-21; 收修改稿日期:2008-04-08

议将它统计到生物气—低熟气中<sup>[33]</sup>。因此,如果有某种方法能将两者一起进行评价,则也不失为一种回避具体的成因机制而为浅层气的勘探提供决策依据的有效途径。这正是本文试图探讨的问题。

## 1 评价模型

生物气和低熟气的生成,无论其机理如何,都是有机 C、H、O 损失的过程,根据有机 C、H、O 元素的损失量可以计算生气量。这一物质平衡原理的可行性曾经被乌斯宾斯基(1954)和庞雄奇等<sup>[34]</sup>用于热成因油气生成量的评价当中。从原理上讲,它也应该能够被用于不同时期生物气、低熟气生成量的定量评价当中。虽然有观点认为,有机质成烃的过程中与环境物质可能有交换,而并非一个严格的有机元素之间的物质平衡过程,但目前证实的主要是干酪根演化过程中的加氢反应和有机氢与水的交换反应,加氢反应主要发生在高温条件下,如热液活动的地质条件和实验室高温条件下<sup>[35,36]</sup>,在生物气、低熟气生成的低温环境发生反应的可能性不大,天然气中有机氢与环境水的氢同位素交换反应是等量交换,并不影响物质平衡。因此,可以假设:(1)有机物质在转化生成生物气、低熟气的过程中无外来物质的加入;(2)有机母质在转化过程中 C、H、O 三种元素不与其它元素发生化学反应,只彼此之间相互作用形成 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 三种产物(为简化模型和计算,其它微量组分忽略不计);由此可以回避生物气、低熟气生成时复杂的成气过程和机理,而将原始有机母质成气的过程用下面的化学方程式表示:



为了方便计算,这里设有机母质转化前的物质量为 1 个单位,H/C 和 O/C 原子比分别为  $x$ 、 $y$ ,转化后有机母质的 H/C 和 O/C 原子比分别为  $x_1$ 、 $y_1$ 。在转化过程中只形成上列 4 种产物

由此不难列出 C、H、O 各元素的质量平衡方程:

$$1 = a_1 + a_2 + a_3 \quad (2)$$

$$x = x_1 a_1 + 4a_2 + 2a_3 \quad (3)$$

$$y = y_1 a_1 + 2a_3 + a_4 \quad (4)$$

$$a_4/a_3 = 1 \quad (5)$$

$$a_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

式(5)的意义相当于认为转化过程中,二氧化碳和水总是按照 1:1 的比例脱去的<sup>[19]</sup>。

当  $x$ 、 $y$ 、 $x_1$ 、 $y_1$  的值确定以后,代入式(2)~(5)方

程组中,即可求得  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$  的值,进一步不难求得单位质量有机母质产甲烷的质量( $R$ )和单位质量有机母质产甲烷的体积( $V$ ):

$$R = \frac{16a_2}{12 + x + 16y} \quad (7)$$

$$V = \frac{22}{16} \frac{4R}{16} \times 1000 \quad (8)$$

同理,可求得 CO<sub>2</sub> 的质量和体积。

## 2 模型中有关参数的确定

建立了上述模型之后,剩下的问题是如何确定  $x$ 、 $y$ 、 $x_1$ 、 $y_1$  的值。事实上,由于有机质样品在地质条件下的非均值性, $x_1$ 、 $y_1$  的实测值会存在一定的波动,故需要在由浅到深的大量气源岩样品的元素分析数据的基础上,总结规律性、趋势性的变化来进行统计分析。

利用吐哈盆地大量的有机质元素分析数据,可以作出 H/C、O/C 与埋深的关系(图 1)。不过,仔细观察发现,当将全部样品点在同一张图上时,即便同一深度上,H/C、O/C 的变化幅度也较大,难以直接应用。因此,本文利用 Van Krevelen 图,结合其它判别干酪根类型的指标,先将有机质的类型分为 I、II、III 型。由于吐哈盆地主要为 II、III 型有机质,故本文重点研究这两种类型。图 2 以 III 型有机质为例作出了 H/C、O/C 与埋深的关系。可以看出,统计上看,随着埋深的增大,H/C、O/C 原子比随埋深增大呈逐渐下降的趋势。这应该正是有机质成气(CH<sub>4</sub>和 CO<sub>2</sub>)的结果。由此可分段计算出不同深度下的 H/C、O/C 原子比的均值,并可求出回归曲线(图 3)。进一步由曲线可以确定任一埋深条件下的 H/C、O/C 比值( $x_1$ 、 $y_1$ )。将由此确定的  $x$ 、 $y$  及  $x_1$ 、 $y_1$  数据代入前面的模型,即可实现对不同埋深处(阶段)生物气、低熟气生成量的定量评价。

## 3 吐哈盆地生物气—低熟气生成量评价

### 3.1 产气率评价

考虑到地表浅处的开放环境所生成的气基本不具有成藏意义,取 50 m 埋深为计算的起点,从图 3 中可以求得,II、III 型有机质此时对应的 H/C 分别为 1.13、1.07,O/C 分别为 0.200、0.34。按徐永昌等确定的低熟气的下限  $R_0 = 0.8\%$ <sup>[1]</sup>,下限计算到 4 200 m 的埋深。

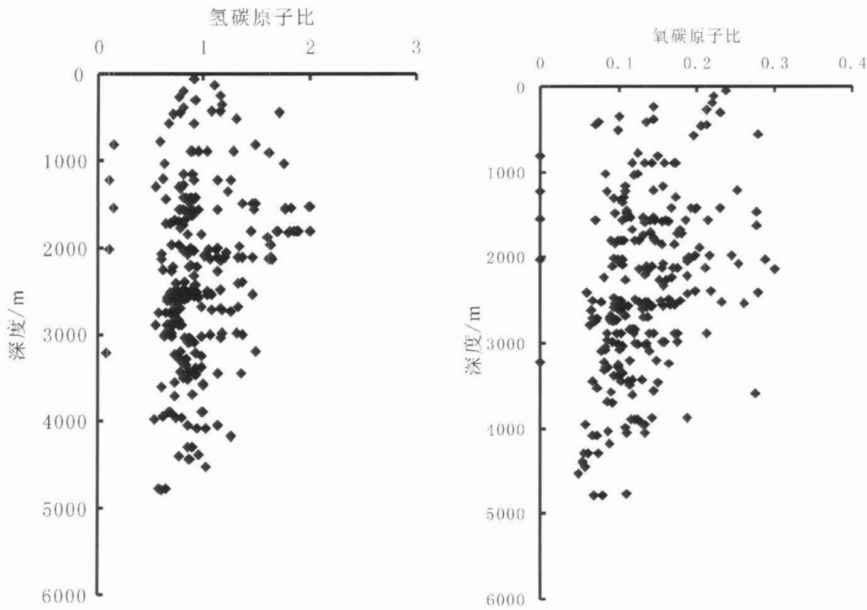


图 1 吐哈盆地 H/C、O/C 原子比与埋深的关系

Fig. 1 Relationship between the H/C and O/C atomic ratio of organic matter and burial depth in Tuha Basin

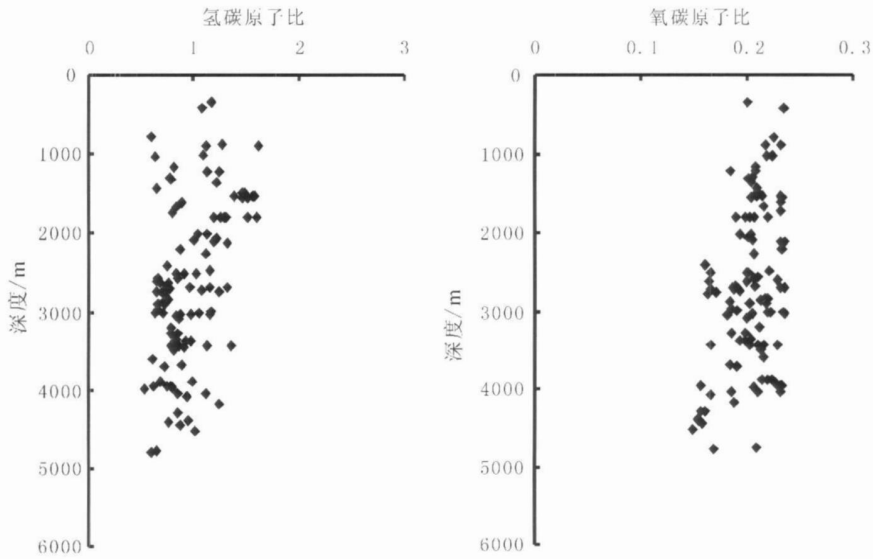


图 2 吐哈 III 型有机质的 H/C、O/C 原子比与埋深的关系图

Fig. 2 Relationship between the H/C and O/C atomic ratio of type III organic matter and burial depth in Tuha Basin

图 4 为按上述原理计算得到的吐哈盆地 II、III 型的有机质生成  $CH_4$  和  $CO_2$  的累计产率 (已换算为标准状态) 与埋深关系。从图中可以看出, II、III 型有机质累积产甲烷气量随埋深是逐渐增大的, II 型有机质产甲烷气的量高于 III 型, 达到 4 200 m 的埋深时累计产甲烷总量分别为 134. 40

m l/g 和 83. 99 m l/g 但两者产  $CO_2$  的总量比较接近, 分别为 67. 89 m l/g 和 73. 64 m l/g。生气量增长最快的阶段 (主成气期) 为 1 000 m 以浅的浅埋阶段, 显然, 这应该对应着生物气的生成阶段, 其次为 2 500 m 以深的埋藏阶段, 显然, 这对应着低熟气的主要形成阶段。

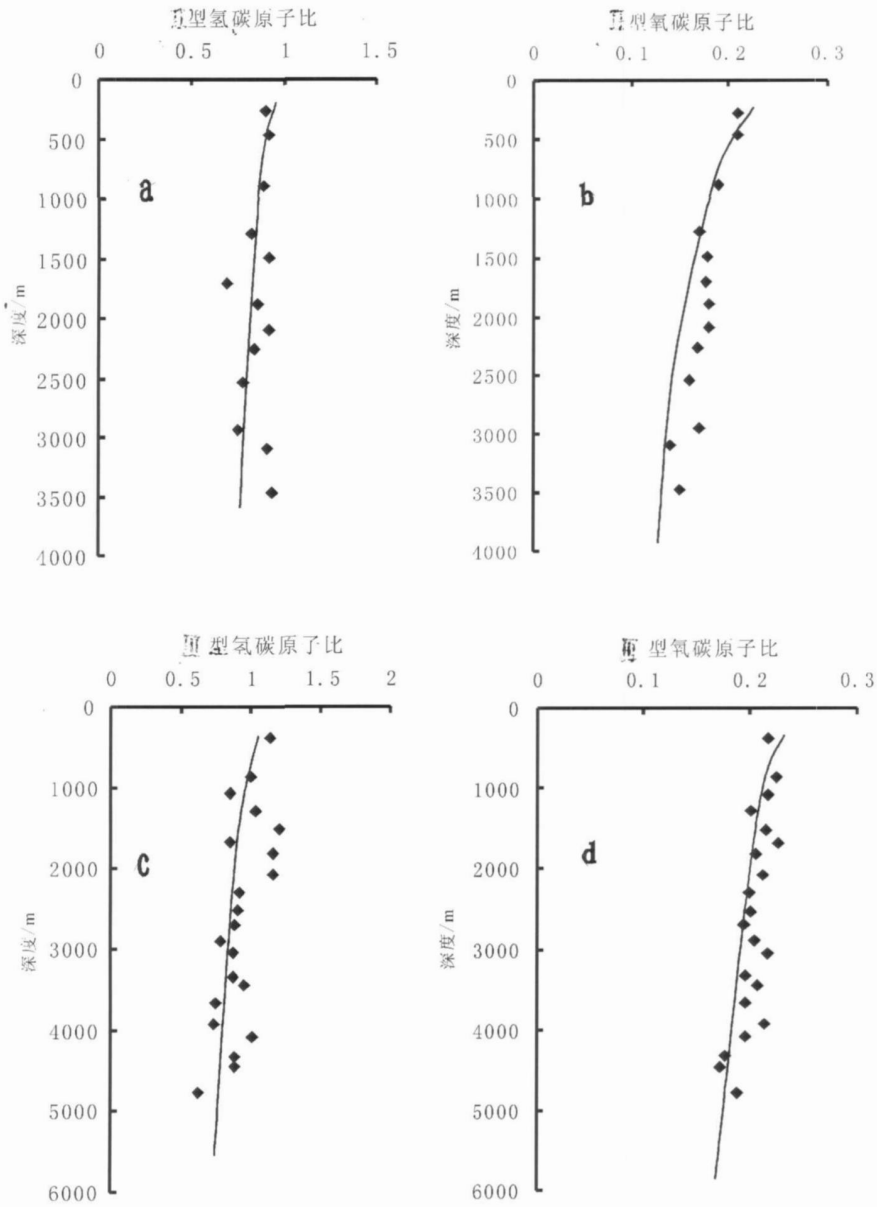


图 3 吐哈盆地 II、III 型有机质的 H/C、O/C 原子比分段均值与埋深的关系及其回归趋势

(a II 型干酪根氢碳原子比; b II 型干酪根氧碳原子比; c III 型干酪根氢碳原子比; d III 型干酪根氧碳原子比)

Fig 3 Relationship between the subsection average of H/C and O/C of types II/III OM and the depth in Tuha basin and its regression trend (a H/C ratio of type II kerogen; b O/C ratio of type II kerogen; c H/C ratio of type III kerogen; d O/C ratio of type III kerogen)

### 3.2 生气量评价

为计算生物气、低熟气的生成量,以 5 km × 5 km 的网格将吐哈盆地在平面上均分为 1918 个评价区,在垂向上分为 Q—N<sub>1k</sub>、E<sub>3k</sub>、K<sub>1k</sub>、J<sub>3q</sub>、J<sub>2q</sub>、E<sub>2x</sub>、J<sub>1</sub> 等 9 个评价层位。按照上述评价技术,不难分别计算出不同源岩层在不同时期内的每个网格区的生气量,并可以由此做出生气强度等值线图,累计相加即可得到各个层位的生气量,再将各个层位的生气量累计相

加,即可得到整个吐哈盆地总的生物气、低熟气生成量(表 1)。

可以看到,元素平衡法计算的盆地内生物气、低熟气的总生成量高达 1 436 28 × 10<sup>11</sup> m<sup>3</sup>,还是比较可观的。其中,主要的气源岩为 J<sub>2x</sub> 和 J<sub>1</sub> 的暗色泥岩和煤岩,合计约占总生气量的 83%,其次为 K 源岩,其它层位贡献相对较小。表明与 J<sub>1</sub> 和 J<sub>2x</sub> 层及邻近的目标是生物气—低熟气勘探的重点。

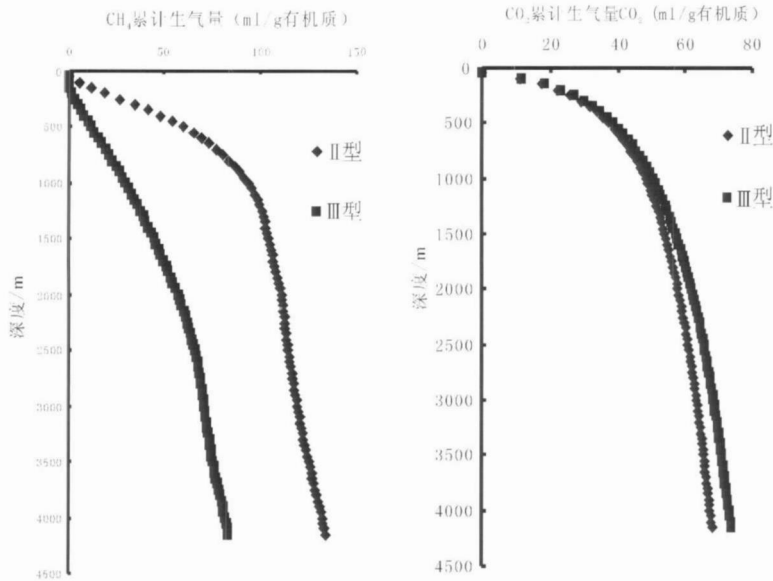


图 4 元素平衡法计算得到的吐哈盆地二种类型有机质产 CH<sub>4</sub>和 CO<sub>2</sub>产率—埋深关系图  
 Fig 4 Relationship between the methane yields and CO<sub>2</sub> yields of different organic matter and the depth in Tuha basin. Yields are calculated by element balance method

表 1 元素平衡法计算的吐哈盆地气源岩生气量汇总 (10<sup>11</sup>m<sup>3</sup>)  
 Table 1 Gas generation amount of gas source rocks in Tuha Basin, calculated by element balance method (10<sup>11</sup>m<sup>3</sup>)

层位	生气量
N <sub>1</sub> t—Q	24.08
Esh	10.08
K	124.42
J <sub>3</sub> k	5.64
J <sub>3</sub> q	0.25
J <sub>2</sub> q	60.77
J <sub>2</sub> s	12.78
J <sub>2</sub> x (暗色泥岩)	205.65
J <sub>2</sub> x (煤岩)	413.23
J <sub>1</sub> (暗色泥岩)	215.81
J <sub>1</sub> (煤岩)	363.57
合计	1436.28

### 4 吐哈盆地生物气、低熟气资源评价

虽然目前已有各类地质类比法、勘探成果统计法等多种方法对一个研究区的油气资源量从不同的角度和层次进行评价,但与其它方法相比,从生成量来评价资源量的方法仍以其从实际地球化学分析数据出发的特点成为一项最为基本和重要的评价方法。这一方法的基本思路是由生烃量乘以运聚系数。由于生气量已在前面计算,这里的关键是研究确定运聚系数。不过,由于过去运聚系数的取值一般将众多影响运聚成藏及资源潜力的地质因素用一个不考虑这

些因素的简单运聚系数来反映而被众多石油地质学家批评为过于粗糙。我们近期的研究曾通过综合考虑不同时期的生排烃量、构造运动的强度和次数、盖层条件、水动力、生排烃强度等主要地质因素对成藏的影响来确定运聚系数<sup>[37, 38]</sup>。由于生成越浅的天然气越容易损失而难以聚集成藏,故对成气深度相对较浅的生物气来说,生成时期(深度)对其成藏有至关重要的影响,因此,本文又进一步用一个介于[0, 1]之间的校正系数(*f*)来体现成气深度(成气期)对运聚系数的影响,进一步可以评价不同层位、不同地区生物气的资源量。具体实现如下:

设在埋深为 0 的地表,取 *f* = 0 即运聚系数为 0 在生物气生成末期(对应成油门限,吐哈盆地取 3 150 m<sup>[39]</sup>)及更大的埋深处,取 *f* = 1,即运聚系数与热成因气相同。在埋深 0~ 3 150 m 之间,*f* 介于 0~ 1,埋深增加,意味着上覆盖层增厚,保存条件逐渐变好,运聚系数将逐渐增大。在埋深 0~ 3 150 m 之间,由于难以确定随着埋深增大 *f* 增大的幅度,本文尝试分别用三种函数来表示:一为线性函数,即 *f* 随埋深线性均匀增大,二为上凸函数(即 *f* 随埋深的增加迅速增大),三为下凹函数(即 *f* 随埋深的增加而缓慢增大)(图 5)。结合前面评价得到的不同时期的生气量,不难计算得到的区内生物气可能的中值及最大、最小资源量(表 2)。

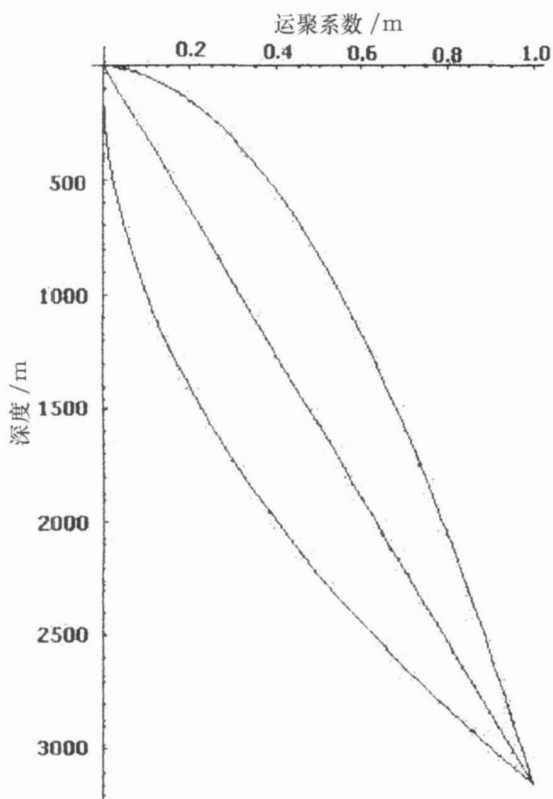


图 5 运聚系数的校正系数  $f(z)$  随深度变化关系  
Fig 5 Relationship between correction coefficient and depth of migration and accumulation coefficient

表 2 元素平衡法计算吐哈盆地源岩生物气资源量汇总 ( $10^{11} \text{ m}^3$ )

Table 2 Collection of the biogenetic gas resource quantity from source rocks in Tuha Basin, calculated by element balance method ( $10^{11} \text{ m}^3$ )

地层	资源量(凸)	资源量(直)	资源量(凹)
$N_1 t-Q$	0.27	0.11	0.02
$E_h$	0.11	0.05	0.01
K	1.53	0.70	0.19
$J_3 k$	0.08	0.04	0.01
$J_3 q$	0.00	0.00	0.00
$J_2 q$	0.94	0.53	0.22
$J_2 s$	0.08	0.02	0.00
$J_2 x$ (暗色泥岩)	3.47	2.07	0.97
$J_2 x$ (煤岩)	7.31	4.50	2.21
$J_1$ (暗色泥岩)	3.97	2.56	1.30
$J_1$ (煤岩)	6.66	4.27	2.16
合计	24.42	14.85	7.09

表注①: 资源量后标凸、直、凹表示计算资源量的运聚系数分别利用图 5 中的凸函数、直线和凹函数来校正。

可以看出, 吐哈盆地生物气—低熟气的可能资源量介于  $7.09 \times 10^{11} \sim 24.42 \times 10^{11} \text{ m}^3$  之间, 目前探明储量仅约  $1.000 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , 表明吐哈盆地非高温热成因

气的勘探还有较大的潜力。与生气量相同的是, 以  $J_2 x$  和  $J_1$  层位的煤和泥岩的资源贡献最大。

## 5 结语

本文的探索性研究表明, 元素平衡法能够对不同时期生物气、低熟气的生成量同时进行定量评价。评价结果表明, 吐哈盆地 II 型有机质产生物气、低熟气的成气率高于 II 型, 累计量分别约为  $134.40 \text{ m l/g}$  和  $83.99 \text{ m l/g}$

对吐哈盆地不同源岩层生物气、低熟气生成量进行的定量评价表明, 区内源岩生物气、低熟气的生成总量约为  $1.43628 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ; 垂向上, 主要贡献来自  $J_2 x$  和  $J_1$  的煤和泥岩, 二层合计的贡献大  $4/5$ , 其次为  $K_1$  层位。平面上, 生气强度的高值区主要分布在台北凹陷, 在托克逊凹陷也有较小面积的分佈 (未示图)。因此, 台北凹陷  $J_2 x$  和  $J_1$  及其附近层位是低熟气、生物气勘探的有利目标。吐哈盆地生物气、低熟气的可能资源量介于  $7.09 \times 10^{11} \sim 24.42 \times 10^{11} \text{ m}^3$  之间, 目前探明储量仅约  $1.000 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , 应该还有较大的勘探潜力。

本文研究过程中, 得到了兰州地质所徐永昌教授和北京石油勘探开发研究院张水昌教授的多方支持、帮助和指导, 谨表衷心感谢。

## 参考文献 (References)

- 徐永昌, 王志勇, 王晓峰, 等. 低熟气及我国典型低熟气田 [J]. 中国科学 (D 辑), 2008, 38 (1): 87-93 [Xu Yongchang Wang Zhiyong Wang Xiaofeng *et al.* Low maturity gas and typical low maturity gas field in China [J]. Science in China (Series D), 2008, 38 (1): 87-93]
- 徐永昌, 沈平, 刘文汇, 等. 一种新的天然气成因类型——生物—热催化过渡带气 [J]. 中国科学 (D 辑), 1990, 21 (9): 975-980 [Xu Yongchang Shen Ping Liu Wenhui *et al.* A new origin type of natural gas biotermocatalytic transitional zone gases [J]. Science in China (Series D), 1990, 21 (9): 975-980]
- 徐永昌. 天然气成因理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1994 122-146 [Xu Yongchang The Origin Theory of Natural Gas and Application [M]. Beijing: Science Press, 1994 122-146]
- 刘文汇, 徐永昌. 生物—热催化过渡带油气关系 [J]. 沉积学报, 1995, 13 (2): 4-13 [Liu Wenhui Xu Yongchang Relation of biotermocatalytic transitional zone gases [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13 (2): 4-13]
- 刘文汇, 徐永昌, 史继扬, 等. 生物—热催化过渡带气形成机制及模式 [J]. 中国科学 (D 辑), 1996, 26 (6): 511-517 [Liu Wenhui Xu Yongchang Shi Jiyang *et al.* Formation mechanism and mode of biotermocatalytic transitional zone gases [J]. Science in China (Series D), 1996, 26 (6): 511-517]

- 6 刘文汇,徐永昌.论生物热催化过渡带气[J].石油勘探与开发,2005,32(4):30-35[Liu Wenhui Xu Yongchang Bio-thermocatalytic transitional zone gases[J]. Petroleum Exploration and Development 2005,32(4):30-35]
- 7 Rice D, Claypool G. Generation accumulation and resource potential of biogenic gas[J]. AAPG Bulletin, 1981, 65(1): 5-25
- 8 schoell M. Genetic-characterization of natural gases[J]. AAPG Bulletin 1983, 67(12): 2225-2238
- 9 Whittier M J, Faber E, Schoell M. Biogenic methane formation in marine and freshwater environments: CO<sub>2</sub> reduction vs acetate fermentation—Isotope evidence[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1986, 50(5): 693-709
- 10 George W S, Jennie L R. Unconventional shallow biogenic gas systems [J]. AAPG Bulletin 2002, 86(11): 1939-1969
- 11 张水昌,赵文智,李先奇,等.生物气研究新进展与勘探策略[J].石油勘探与开发,2005,32(4):90-96[Zhang Shuichang Zhao Wenzhi Li Xianqi et al. Advances in biogenic gas studies and exploration strategies [J]. Petroleum Exploration and Development 2005,32(4):90-96]
- 12 戴金星,陈践发,钟宁宁,等.中国大气田及其气源[M].北京:科学出版社,2003,73-93[Dai Jinxing Chen Jianfa Zhong Ningning et al. Giant Gas Fields and Their Gas Sources[M]. Beijing: Science Press, 2003, 73-93]
- 13 林春明,李艳丽,漆滨汶.生物气研究现状与勘探前景[J].古地理学报,2006,8(3):317-330[Lin Chuming Li Yanli Qi Binwen Research status and exploration potential of biogenic gas[J]. Journal of Paleogeography, 2006, 8(3): 317-330]
- 14 王雪,冯子辉,宋兰斌.松辽盆地北部生物气特征及其成因[J].天然气工业,2006,26(4):5-8[Wang Xue Feng Zhihui Song Lanbin The character and formation reason of biological gas in north of Songliao Basin[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(4): 5-8]
- 15 王跃文,卢双舫,惠荣耀,等.松辽盆地滨北地区生物气资源量预测[J].天然气工业,2006,26(7):18-21[Wang Yuewen, Lu Shuangfang Hui Rongyao et al. Estimation of biogas resources in Binbei area in the Songliao basin[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(7): 18-21]
- 16 郭泽清,李本亮,曾福英,等.生物气分布特征和成藏条件[J].天然气地球科学,2006,17(3):407-413[Guo Zeqing Li Benliang Zeng Fuying et al. Distribution characteristics and origin conditions of reservoir of biogenic gas[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 407-413]
- 17 黄保家,肖贤明.莺歌海盆地海相生物气特征及生化成气模式[J].沉积学报,2002,20(3):462-468[Huang Baojia Xiao Xianming Characteristics and generation-evolution model of marine biogas in the Yinggehai Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(3): 462-468]
- 18 史占祯.渤海湾盆地及其外围的生物气研究[J].天然气工业,2002,22(5):11-16[Shi Zhanzhen Study on biogas in Bohaiwan Basin and its surrounding[J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(5), 11-16]
- 19 陈英,戴金星,戚厚发.关于生物气研究中几个理论及方法问题的研究[J].石油实验地质,1994,16(3):209-219[Chen Ying Dai Jinxing Qi Houfa Some theoretical and methodological topics on biogenic gas studies[J]. Experimental Petroleum Geology 1994, 16(3), 209-219]
- 20 李明宅,张洪年,刘华,等.生物气模拟实验的进展[J].石油与天然气地质,1996,17(2):117-122[Li Mingzhai Zhang Hongnian Liu Hua et al. Progress of the simulate experiment of biogas[J]. Oil & Gas Geology 1996, 17(2): 117-122]
- 21 李明宅,张洪年.生物气成藏规律研究[J].天然气工业,1997,17(2):6-10[Li Mingzhai Zhang Hongnian Research on the formation of biogas Reservoir[J]. Natural Gas Industry, 1997, 17(2): 6-10]
- 22 关德师,戚厚发,钱贻伯,等.生物气的生成演化模式[J].石油学报,1997,18(3):31-36[Guan Deshi Qi Houfa Qian Yibo et al. Generation and evolution model of biogenic gas[J]. Acta Petroleologica Sinica 1997, 18(3): 31-36]
- 23 王民,卢双舫,胡慧婷,等.生物气生成的化学动力学模型及其应用——以柴达木盆地为例[J].地质学报,2007,81(3):428-432[Wang Min Lu Shuangfang Hu Huiting et al. Chemical kinetic model of biogenic gas and its application in the Qaidam Basin[J]. Acta Geologica Sinica 2007, 81(3): 428-432]
- 24 王民,卢双舫,胡慧婷,等.有机质生成生物气的生化动力学模型及其初步应用[J].石油学报,2008,29(1):75-78[Wang Min Lu Shuangfang Hu Huiting et al. Biochemical kinetic model of biogenic gas generated from organic matters and its application[J]. Acta Petroleologica Sinica 2008, 29(1): 75-78]
- 25 卢双舫,徐庆霞,刘绍军,等.评价生物气生成量、生成期的碳同位素平衡法及其应用[J].沉积学报,2008,26(2):308-313[Lu Shuangfang, Xu Qingxia, Liu Shaojun, et al. Application of carbon isotope balance method to evaluating the quantity and the period of biogas generation[J]. Acta Sedimentologica Sinica 2008, 26(2): 308-313]
- 26 卢双舫,刘绍军,申家年,等.评价生物气生成量、生成期的元素平衡法及其应用[J].地学前缘,2008,15(2):195-199[Lu Shuangfang Liu Shaojun, Shen Jianian, et al. Application of element balance method to evaluate the quantity and the period of biogas generation[J]. Earth Science Frontiers 2008, 15(2): 195-199]
- 27 何家雄,洗仲,陈伟煌,等.莺琼盆地生物气及生物—低熟过渡带气特征与勘探前景[J].天然气地球科学,2001,12(6):1-11[He Jiaxiong Xian Zhong Chen Weihuang, et al. Character and exploration potential of biogas and bi-thermocatalytic transitional zone gases in Yingqiong Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2001, 12(6): 1-11]
- 28 刘玉梅,邓泽进,田晓平,等.大港探区天然气成因类型、分布和地球化学特征[J].天然气地球科学,2003,14(4):279-282[Liu Yumei Deng Zejin Tian Xiaoping, et al. Genetic types distribution and geochemical characteristics of natural gas in Dagang Oilfield[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(4): 279-282]
- 29 王万春,刘文汇,刘全有.浅层混源天然气判识的碳同位素地球化学分析[J].天然气地球科学,2003,14(6):469-473[Wang Wanchun Liu Wenhui Liu Quanyou. Analysis of the carbon isotopic geochemistry of the mix-sourced shallow reservoir of natural gas identification

- tion[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(6): 469-473]
- 30 Galimov E M. Sources and mechanisms of formation of gaseous hydrocarbons in sedimentary rocks[J]. *Chemical Geology*, 1988, 71: 77-95
- 31 王晓峰, 刘文汇, 郑建京, 等. 乌连戈依气田形成机制及其启迪[J]. *天然气工业*, 2006, 26(5): 29-32 [Wang Xiaofeng, Liu Wenhui, Zheng Jianjing, et al. Formation mechanism and inspiration in Wuliangyige gas field[J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(5): 29-32]
- 32 卢双舫, 王琼, 李吉君, 等. 低熟气评价方法探讨及其在松辽盆地北部的应用[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(1): 8-12 [Lu Shuangfang, Wang Qiong, Li Jijun, et al. Discussion on the assessment method of low mature hydrocarbon and its application to the north part of Songliao basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2008, 19(1): 8-12]
- 33 张英, 李剑, 胡朝元. 中国生物气—低熟气藏形成条件与潜力分析[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(4): 37-41 [Zhang Ying, Li Jian, Hu Chaoyuan. Biogenic gas—low mature gas origin condition study and potential analysis[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(4): 37-41]
- 34 庞雄奇, 陈章明, 陈发景. 含油气盆地地史、热史、生留排烃史数值模拟研究与烃源岩定量评价[M]. 北京: 地质出版社, 1993 [Pang Xiongqi, Chen Zhangming, Chen Fajing. Digital modelling the Sedimentary History and Thermal Evolution, Hydrocarbons Generation Residence as well as Expulsion Procedure, and Quantitative Evaluation of Source Rocks in Oil and Gas Bearing Basins[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993]
- 35 金之钧, 张刘平, 杨雷, 等. 沉积盆地深部流体的地球化学特征及油气成藏效应初探[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2002, 27(6): 659-665 [Jin Zhijun, Zhang Liuping, Yang Lei, et al. Preliminary exploration of the geochemical character of the deep-sourced fluid and the effectiveness of hydrocarbon accumulation in sedimentary basin[J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2002, 27(6): 659-665]
- 36 金之钧, 杨雷, 曾溅辉, 等. 东营凹陷深部流体活动及其生烃效应初探[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(2): 42-44 [Jin Zhijun, Yang Lei, Zeng Jianhui, et al. Preliminary exploration of the movement of deep-sourced fluid and hydrocarbon generation in Dongying depression[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(2): 42-44]
- 37 卢双舫, 王振平, 赵孟军, 等. 从成油成气期论塔里木盆地的油气勘探前景[J]. *石油学报*, 2000, 21(4): 6-12 [Lu Shuangfang, Wang Zhenping, Zhao Mengjun. Viewing oil and gas exploration in Tarim from the periods of oil and gas formation[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(4): 6-12]
- 38 卢双舫, 付广, 王朋岩. 天然气富集主控因素的定量研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002, 14-30 [Lu Shuangfang, Fu Guang, Wang Pengyan, et al. Quantitative Research on Main Factors Controlling Gas Accumulation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002, 119-128]
- 39 程克明. 吐哈盆地油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994, 96-216 [Cheng Kening. Hydrocarbon Generation in Tuha Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994, 96-216]

## Element Balance Method and Application of Appraising Biogenic Gas-Low Maturity Gas in Tuha Basin

LU Shuang-fang HUANG Zhen-kai LIU Shao-jun LIU Hai-ying

WANG Min SHEN Jia-nian XUE Hai-tao

(Daqing Petroleum Institute, Daqing Heilongjiang 163318)

**Abstract** The proved reserves of non-high temperature-originated natural gas (biogenic gas-low maturity gas) in Tuha basin is already near  $100 \times 10^9 \text{ m}^3$ , but we didn't see the reported about appraises to the effective method of generation quantity and resource quantum yet, this has affected the decision-making to its exploration potential and the favorable target. In view of this problem, considering regardless the generation mechanism of biogenic gas and low maturity gas, they were an organic element balance process, this article explored and established element balance method to appraise the gas-generated amount of biogenic gas and low maturity gas. We use massive actual analysis data of Tuha basin to demonstrate and apply this assessment method. The result indicated that biogenic gas-low maturity gas generation rate of II OM is higher than III OM in Tuha basin, the two accumulate separately may reach 134.40m l/g and 83.99m l/g, total generation quantity of biogenic gas-low maturity gas in Tuha basin approximately  $1436.28 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ; The resource quantum is possibly situated between  $7.09 \times 10^{11} \text{ m}^3 \sim 24.42 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , it indicated that non-high temperature originated natural gas in the Tuha basin has big exploration potential. J<sub>2x</sub> and J<sub>1</sub> and the nearby position in Taipei hollow are the favorable exploration target.

**Key words** biogenic gas; low maturity gas; gas-generated quantity; element balance method