

文章编号: 1000-0550(2008) 02-0308-06

评价生物气生成量、生成期的碳同位素平衡法及其应用^①

卢双舫 徐庆霞 刘绍军 申家年 薛海涛 王 民 胡慧婷
(大庆石油学院 黑龙江大庆 163318)

摘 要 生物气的生成期对其成藏有至关重要的制约作用,但目前国内外尚缺少可信、有效方法来对此进行评价。针对这一难题,考虑到无论生物气的生成机理如何,转化前的有机质和转化后的残余有机质及产物的 ^{13}C 、 ^{12}C 的总量应该守恒,本文探索并建立了评价生物气生成量的碳同位素平衡法,并利用松辽盆地的实际分析数据,对这一评价方法(模型)进行了标定和应用。结果表明: I、II、III 型有机质累计产生物成因甲烷气的量分别约为 193.94 ml/g、175.64 ml/g、161.71 ml/g,区内源岩生物气的生成量约为 $385.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$,生物气的主要生成期在嫩江组沉积末期之前;区内生物气的可能资源量介于 $11.40 \times 10^{11} \sim 24.8 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 之间。

关键词 生物气 生气量 成气期 碳同位素平衡法 资源量

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 **文献标识码** A

0 引言

据 Rice 统计,世界累计探明的生物气储量占世界天然气总储量的 21.4%^[1]。目前世界上生物气最丰富的地区在西西伯利亚盆地,探明储量占该区总储量的 1/4 以上,大于 $10 \times 10^{12} \text{ m}^3$,其次为美国、意大利、加拿大等十几个国家^[1~8]。中国生物气显示普遍,从南海的莺歌海盆地到东北的松辽盆地;从青藏高原的柴达木盆地至浙江杭州湾沿海,都有生物气田或显示。我国现有探明生物气地质储量 $2.8439 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占总地质储量 $38.629 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的 7.36%, 仅为世界上生物气所占份额 (21.4%) 的 1/3, 表明中国生物气资源潜力巨大。

但是,目前国内外评价生物气生成量的方法主要仍然依赖于实验室微生物的厌氧发酵实验。在从“七五”到“九五”的攻关研究中,国内相当多的单位和学者用不同地区、不同类型的有机质进行过大量微生物发酵成气实验,以获取评价生物气生成量所需的产气率参数^[9~11]。但这一方法还存在以下 3 方面的不足: (1) 模拟实验不能给出地质剖面上不同埋深处生物气的生成量。由于生成越浅的生物气,越容易散失,对成藏的贡献将越小,因此同样的生气量如果分

别发生在 10 m、100 m、1 000 m 处的埋深,其成藏意义将有天壤之别。即资源前景不仅与生气量有关,还与生气的时期(埋深)有关。而目前国内外还缺少有效、可信的评价生物气生成期的技术; (2) 同一样品不同时间、不同学者模拟实验结果相差悬殊^[9~14],表明产气量与实验条件(菌种和发酵条件(培养液))有关。那么用哪一组实验数据更合理? 实验结果地质应用的可信性如何能得到保证? (3) 模拟实验所产生的生物气有多少来自地质有机质的贡献? 有多少来自于营养液的贡献? 模拟实验所得的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 重于地质条件,表明两者在过程或机理上有差异,如何保证结果的地质应用?

因此,建立能用于地质条件下生物气生成量、尤其是生成期评价的理论和技術,不仅具有认识生物气生成过程的理论意义,而且也是回答勘探家关注的生物气勘探潜力这一重大实际问题的要求。为此,笔者在承担中国石油攻关项目“松辽盆地生物气、低熟气形成的地质、地化条件与评价方法”的研究时,着力探索并建立了可对生物气的生成期进行评价的元素平衡法、碳同位素平衡法和动力学方法。本文报道有关碳同位素平衡法的研究及应用结果。

^①国家自然科学基金(批准号: 40572077)教育部博士点基金(20050220001)及中国石油股份有限公司“十一五”攻关研究的联合资助。

收稿日期: 2007-06-18

1 模型

在以微生物为主要地质营力的成岩作用早期阶段, 有机质演化的主要产物是(生物)CH₄、CO₂、H₂O 和残余有机质, 如果假定在此转化过程中无外来碳的加入, 则总 C 和 ¹²C、¹³C 碳同位素的质量在转化成气过程中守恒可以表述为:

$$1 = X_{CH_4} + X_{res} + X_{CO_2} \quad (1)$$

$$^{13}C_{ini} = X_{CH_4} \cdot ^{13}C_{CH_4} + X_{res} \cdot ^{13}C_{res} + X_{CO_2} \cdot ^{13}C_{CO_2} \quad (2)$$

$$^{12}C_{ini} = X_{CH_4} \cdot ^{12}C_{CH_4} + X_{res} \cdot ^{12}C_{res} + X_{CO_2} \cdot ^{12}C_{CO_2} \quad (3)$$

这里, 下标 ini 指 CH₄、res 指 CO₂ 分别表原始有机质、CH₄ 残余有机质和 CO₂, X_{CH₄}、X_{res}、X_{CO₂} 分别表 CH₄、残余有机质、CO₂ 的产量。式 (1) 左边的 1 表示原始有机质中的碳量为单位质量, 它等于在某一反应阶段(埋深)转化到生物甲烷中的碳量(X_{CH₄})、残余碳量(X_{res})和二氧化碳中的碳量(X_{CO₂})之和。

如果已知原始有机质、CH₄、残余有机质和 CO₂ 的 C 同位素组成, 则由上述方程, 不难求得 CH₄、CO₂ 等的产量。不过, 由于通常的碳同位素分析数据由 δ¹³C 给出, 故需要作一定的变换:

$$\frac{R_{ini}}{R_{ini} + 1} \cdot 1 = \frac{R_{CH_4}}{R_{CH_4} + 1} X_{CH_4} + \frac{R_{res}}{R_{res} + 1} X_{res} + \frac{R_{CO_2}}{R_{CO_2} + 1} X_{CO_2} \quad (4)$$

其中: $R_{ini} = \frac{^{13}C_{ini}}{^{12}C_{ini}} = \frac{R_{st}(\delta^{13}C_{ini} + 1000)}{1000} \quad (5)$

$$R_{CH_4} = \frac{^{13}C_{CH_4}}{^{12}C_{CH_4}} = \frac{R_{st}(\delta^{13}C_{CH_4} + 1000)}{1000} \quad (6)$$

$$R_{res} = \frac{^{13}C_{res}}{^{12}C_{res}} = \frac{R_{st}(\delta^{13}C_{res} + 1000)}{1000} \quad (7)$$

$$R_{CO_2} = \frac{^{13}C_{CO_2}}{^{12}C_{CO_2}} = \frac{R_{st}(\delta^{13}C_{CO_2} + 1000)}{1000} \quad (8)$$

$$R_{st} = 0.0112372$$

δ¹³C_{ini}、δ¹³C_{CH₄}、δ¹³C_{res}、δ¹³C_{CO₂} 分别指原始有机质、生物甲烷气、残余有机质和二氧化碳的碳同位素组成。

解上述方程组得:

$$\left(\frac{R_{CH_4}}{R_{CH_4} + 1} - \frac{R_{res}}{R_{res} + 1}\right) X_{CH_4} = \frac{R_{ini}}{R_{ini} + 1} - \frac{R_{res}}{R_{res} + 1} + \left(\frac{R_{res}}{R_{res} + 1} - \frac{R_{CO_2}}{R_{CO_2} + 1}\right) X_{CO_2} \quad (9)$$

$$\text{令 } r_{ini} = \frac{R_{ini}}{R_{ini} + 1} = \frac{R_{st}(\delta^{13}C_{ini} + 1000)}{R_{st}(\delta^{13}C_{ini} + 1000) + 1000} \quad (10)$$

$$r_{CH_4} = \frac{R_{CH_4}}{R_{CH_4} + 1} = \frac{R_{st}(\delta^{13}C_{CH_4} + 1000)}{R_{st}(\delta^{13}C_{CH_4} + 1000) + 1000} \quad (11)$$

$$r_{res} = \frac{R_{res}}{R_{res} + 1} = \frac{R_{st}(\delta^{13}C_{res} + 1000)}{R_{st}(\delta^{13}C_{res} + 1000) + 1000} \quad (12)$$

$$r_{CO_2} = \frac{R_{CO_2}}{R_{CO_2} + 1} = \frac{R_{st}(\delta^{13}C_{CO_2} + 1000)}{R_{st}(\delta^{13}C_{CO_2} + 1000) + 1000} \quad (13)$$

那么: $(r_{CH_4} - r_{res})X_{CH_4} = r_{ini} - r_{res} + (r_{res} - r_{CO_2})X_{CO_2} \quad (14)$

$$X_{CH_4} = \frac{r_{ini} - r_{res} + (r_{res} - r_{CO_2})X_{CO_2}}{r_{CH_4} - r_{res}} \quad (15)$$

$$X_{res} = \frac{r_{CH_4} - r_{ini} + (r_{CO_2} - r_{CH_4})X_{CO_2}}{r_{CH_4} - r_{res}} \quad (16)$$

这里, X_{CO₂} 可设定有机质演化过程中所脱去的 O 以 1:1 的比例变成 H₂O 和 CO₂ 来求得^[15, 16]。因此, 如果能得到原始有机质的碳同位素组成及残余有机质、CH₄、CO₂ 随埋深而变化的碳同位素组成, 即不难求得单位质量的有机碳产 CH₄ 的量 X_{CH₄}。进一步可将生物成因甲烷换算为标准状态(0℃, 1 个大气压)下的体积(V, ml/g):

$$V = \frac{22400X_{CH_4}}{12} \quad (17)$$

2 模型中参数的确定

建立了上面的模型之后, 剩下的问题是如何确定 δ¹³C_{ini}、δ¹³C_{CH₄}、δ¹³C_{res}、δ¹³C_{CO₂} 的值。图 1 作出了松辽盆地北部干酪根的碳同位素组成随埋深的变化。可以看出, 随着埋深增大, 总体上干酪根的碳同位素趋

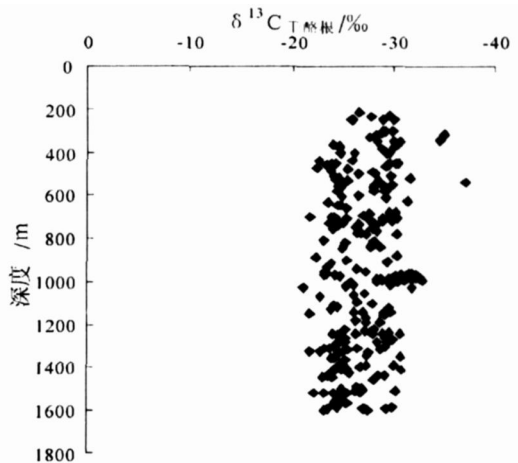


图 1 松辽盆地干酪根碳同位素值与深度的关系

Fig 1 Relationship between the δ¹³C values of kerogen and the depth in Songliao basin

于变重,这可能正是生成碳同位素组成很轻的生物甲烷气的必然结果。因此,其分段均值后的回归关系式(图 2)可以作为随埋深而变化的干酪根的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{res}}$, 而由回归关系式计算得到埋深为 0(或某一计算起始点,如本文取 50 m 为计算起点,因为过浅的埋深处所生成的天然气难以保存)处的值可作为原始有机质的 $\delta^{13}\text{C}_0$ 。

利用松辽盆地北部碳同位素分析数据中 $< -55\text{‰}$ 的生物成因甲烷数据^[17]分深度段平均后,可以得到 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 与埋深的关系(图 3)。

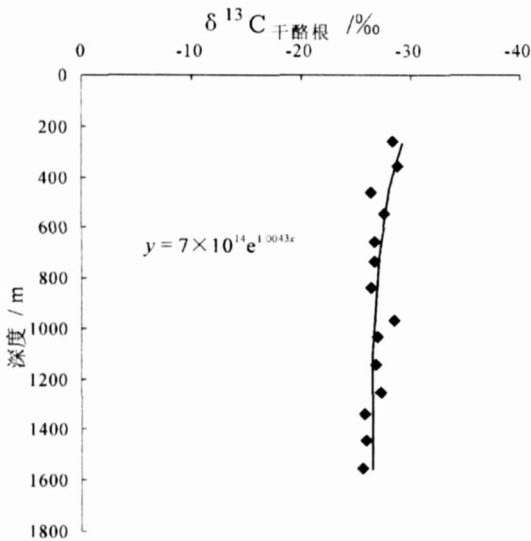


图 2 松辽盆地干酪根碳同位素值分段平均值与埋深的关系

Fig. 2 Relationship between the averaged $\delta^{13}\text{C}$ values of kerogen by stages and the depth in Songliao basin

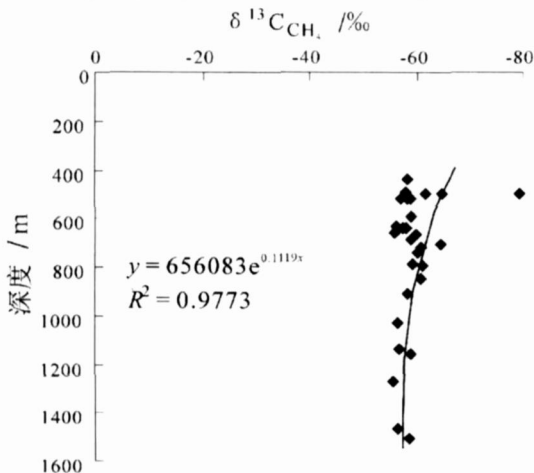


图 3 松辽盆地生物甲烷碳同位素的分段均值与埋深的关系

Fig. 3 Relationship between the averaged $\delta^{13}\text{C}$ values of biogenic methane by stages and the depth in Songliao basin

由于有关 CO_2 的碳同位素分析数据有限,难以确定 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 与埋深的关系,本文主要参考柴达木盆地的生物成因二氧化碳碳同位素分布(表 1),取其均值 -15‰ 作为 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 代入前面的模型中参与计算。

表 1 柴达木盐深 1 井天然气碳同位素值 ($\delta^{13}\text{C}$, PDB‰)

Table 1 The $\delta^{13}\text{C}$ values of natural gas of Well Yanshen1 in Qaidam basin ($\delta^{13}\text{C}$, PDB‰)

深度 / m	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$	深度 / m	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$
104	-13.57	-69.95	2052	-15.32	-62.69
129	-13.37	-69.74	2057	-16.68	-62.13
232	-13.96	-63.79	2120	-16.92	-63.83
273	-14.04	-65.47	2132	-16.55	-64.08
332	-11.14	-66.8	2179	-13.87	-65.93
505	-9.41	-67.68	2195	-11.43	-63.14
519	-13.4	-72.07	2239	-16.73	-64.06
533	-10.62	-71.92	2345	-13.14	-63.18
1652	-15.62	-62.1	2358	-12.59	-64.01
1739	-17.02	-60.12	2454	-13.09	-62.68
1904	-17.3	-59.98	2536	-15.72	-62.28
1905	-18.91	-60.38	2949	-12.06	-59.79
1935	-18.95	-61.77			

3 松辽盆地北部不同时期生物气生成量评价

图 4 为按上述原理计算得到的松辽盆地三种类型的有机质生成生物 CH_4 的产率与埋深关系(由于不同类型的有机质演化过程中产生的 CO_2 量不同,故产甲烷的量也不同)。可以看出,有机质累积产甲烷量均随埋深逐渐增大;有机质类型越好,演化过程中产生生物甲烷气的量越大,达到 1 200 m(大约对应着松辽盆地的成油门限,即生物气结束)的埋深时, I、II、III 型有机质产气量分别为 193.94 m³/g, 175.64 m³/g, 161.71 m³/g。

在此基础上,结合松辽盆地北部气源岩的发育和分布,不难分别计算出不同源岩层在不同时期内的生气量(表 2)。

可以看到,碳同位素平衡法计算的现今区内生物气的总生气量为 $385.36 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。其中,主要的生物气源岩为嫩一段和嫩二段,其次是青二三段、青一段和嫩三段,其它层位贡献相对较小。主要的生气期在嫩江组沉积末期之前,占生气量的 3/4 以上。

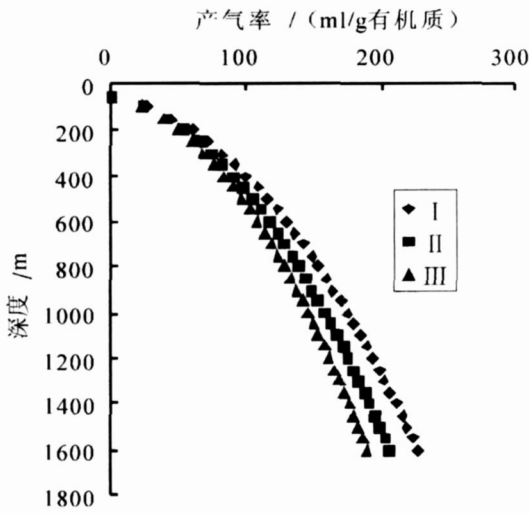


图 4 碳同位素平衡法计算的有机质成生物气产率与深度的关系

Fig 4 Relationship between the biogenic gas yield from organic matter calculated by carbon isotopic equilibrium method and the depth

表 2 同位素平衡法计算的松辽盆地北部各层气源岩生气量表 (10¹² m³)

Table 2 Gas-generated quantity of various gas source rock in north of Songliao basin calculated by carbon isotopic equilibrium method (10¹² m³)

地层	代号	现今	泰康组末期	明水组末期	嫩江组末期
第四系	Q	0.45			
泰康组	N ₂ t	0.54	0.30		
大安组	N ₁ d	0.34	0.24		
依安组	E ₃ y	0.28	0.29		
明二段	E ₃ m ²	4.42	3.82	2.45	
明一段	E ₃ m ¹	8.58	7.77	6.33	
四方台	E ₃ s	5.52	5.00	4.19	
嫩五段	E ₃ n ⁵	1.62	1.54	1.41	0.60
嫩四段	E ₃ n ⁴	6.80	6.71	6.18	3.37
嫩三段	E ₃ n ³	24.55	22.31	21.80	16.16
嫩二段	E ₃ n ²	116.67	103.90	86.64	86.34
嫩一段	E ₃ n ¹	108.07	102.37	96.06	94.02
姚二三段	E ₃ y ²⁺³	8.59	8.47	8.21	7.63
姚一段	E ₃ y ¹	4.96	4.93	4.54	4.06
青二三段	E ₃ qm ²⁺³	48.55	48.08	47.89	47.32
青一段	E ₃ qm ¹	45.43	45.26	44.59	44.28
总计		385.36	361.00	330.31	303.79

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, 这里的关键是需要确定运聚系数。不过, 由于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、构造运动的强度和期次、盖层条件、水动力条件、生排烃强度等各种地质因素对成藏的影响来确定运聚系数^[18, 19]。由于如前言中所述, 生物气的生成时期(深度)对其成藏有至关重要的影响, 因此, 本文又进一步用运聚系数 × 校正系数(f)来反映成气深度和成气期对运聚系数的影响, 由此可对不同层位、不同地区生物气的资源量进行评价(表 3)。可以看出, 松辽盆地北部生物气的可能资源量介于 11.40 × 10¹¹ ~ 24.8 × 10¹¹ m³ 之间, 总量比较可观, 但因面积大, 丰度不一定很高。其中, 以嫩一、二段贡献最大, 其次为青二三段、青一段和嫩三段。

表 3 碳同位素平衡法计算松辽盆地北部源岩生物气资源量汇总 (10⁸ m³)

Table 3 The resource quantity collection of biogenic gas in the north of Songliao basin calculated by carbon isotopic equilibrium method

层位	最大资源量上凸	中间资源量线性	最小资源量下凹
Q	5.96	5.73	2.73
N ₂ t	13.68	9.75	4.77
N ₁ d	11.42	7.50	3.75
E ₃ y	5.62	4.18	2.05
E ₃ m ²	218.39	147.42	82.31
E ₃ m ¹	331.76	218.19	113.61
E ₃ s	255.80	171.00	93.43
E ₃ n ⁵	93.23	65.09	38.45
E ₃ n ⁴	389.34	271.75	160.43
E ₃ n ³	1531.84	1100.73	681.41
E ₃ n ²	7422.14	5382.25	3380.25
E ₃ n ¹	6741.21	4869.69	3048.83
E ₃ y ²⁺³	593.55	437.88	283.41
E ₃ y ¹	403.15	307.78	208.87
E ₃ qm ²⁺³	3553.93	2637.04	1721.89
E ₃ qm ¹	3262.14	2416.67	1573.13
总计	24833.17	18052.67	11399.33

4 松辽盆地北部生物气资源评价

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

5 结语

本文的探索性研究表明, 碳同位素平衡法能够对

不同时期生物气的生成量进行定量评价。评价结果表明, 随有机质性质趋好, 产生物甲烷气的量依次增大, I、II、III型有机质累计产生物成因甲烷气的量分别约为 193.94 m³/g, 175.64 m³/g, 161.71 m³/g。对松辽盆地内不同源岩层生物气于不同时期的生成量进行的定量评价显示, 区内源岩生物气的生成量约为 385.4 × 10¹² m³; 生物气的主要生成期在嫩江组沉积末期之前; 垂向上, 主要贡献来自嫩江组一、二段; 其次是青一段、青二三段、嫩三段。平面上, 生气强度的高值区主要分布在气源岩发育厚度较大的中央坳陷区和东北隆起区南部。松辽盆地北部生物气的可能资源量介于 11.40 × 10¹¹ ~ 24.8 × 10¹¹ m³之间。

参考文献 (References)

- Rice D D, Claypool G E. Generation, accumulation, and resource potential of biogenic gas [J]. AAPG Bulletin, 1981, 65(1): 5-25
- Schoell M. Genetic characterization of natural gases [J]. AAPG Bulletin, 1983, 67(12): 2225-2238
- Whitkar M J, Faber E, Schoell M. Biogenic methane formation in marine and fresh-water environments: CO₂ reduction vs. fermentation isotope evidence [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1986, 50(5): 693-709
- Shurr G E, Ridgely J L. Unconventional shallow biogenic gas systems [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1939-1969
- 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]
- 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 play strategies [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 90-96]
- 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 Chunming, Li Yanli, Qi Binwen. Research status and exploration potential of biogenic gas [J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(3): 317-330]
- 帅燕华, 张水昌, 苏爱国, 等. 生物成因天然气勘探前景初步分析 [J]. 天然气工业, 2006, 26(8): 1-5 [Shuai Yanhua, Zhang Shuichang, Su Aiguo, et al. Preliminary analysis of exploration potential of biogenetic gas [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(8): 1-5]
- 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. Advances in simulated test of biogas [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 117-122]
- 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 Yiba, et al. Generation and evolution model of biogenic gas [J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 18(3): 31-36]
- 黄保家, 肖贤明. 莺歌海盆地海相生物气特征及生成气模式 [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]
- 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. On some theoretical and methodological topics of biogenic gas studies [J]. Experimental Petroleum Geology, 1994, 16(3): 209-219]
- 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]
- 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]
- 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 Modeling 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]
- 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(1) [Lu Shuangfang, Liu Shaojun, Wang Pengyan, et al. Elemental equilibrium method for evaluating quantity of biogas and its formation age and its application [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1)]
- 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): 5-7 [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): 5-7]
- 卢双舫, 付广, 王朋岩, 等. 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 119-128 [Lu Shuangfang, Fu Guang, Wang Pengyan, et al. Quantitative Research on Main Factors Controlling Gas Accumulation [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002 119-128]
- 卢双舫, 赵孟军, 王振平. 从成油成气期论塔里木盆地油气勘探前景 [J]. 石油学报, 2000, 21(4): 6-12 [Lu Shuangfang, Zhao Mengjun, Wang Zhenping. Viewing oil and gas exploration in Tarim from the periods of oil and gas formation [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 21(4): 6-12]

The Carbon Isotopic Equilibrium Method of Evaluating the Biogas-generated Quantity and the Generation Period: its application

LU Shuang-fang XU Qing-xia LIU Shao-jun SHEN Jia-nian

XUE Hai-tao WANG Min HU Hui-ting

(Daqing Petroleum Institute Daqing Heilongjiang 163318)

Abstract The biogas generation period plays a very important role in its accumulation. But now there is not a credible and effective method to appraise it. Aiming at this difficult problem, and considering it's a carbon isotope balance process, regardless of the formation mechanisms of biogenic gas. The ^{13}C and ^{12}C amount of initial organic matter before generation and that of residual organic matter and other productions after generation should keep conservation. Carbon isotopic equilibrium method (model) is explored and established to assess biogenic gas in this paper, which is demarcated and applied according to the abundant analyzed data in Songliao basin. Results show that the accumulatively generated biogenic methane of I, II and III types organic matters are 193.94 m³/g, 175.64 m³/g and 161.71 m³/g respectively. The biogas-generated quantity of source rock in the research area is about $385.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$. The major period of biogenic gas generation occurs before the end of Nenjiang period. The possible biogas resource is between $11.40 \times 10^{11} \text{ m}^3$ and $24.8 \times 10^{11} \text{ m}^3$.

Key words biogas, gas-generated quantity, generation period, carbon isotopic equilibrium method, resource quantity