

# 高成熟碳酸盐气源岩定量评价标准的探讨

李 剑<sup>1</sup>, 蒋助生<sup>2</sup>, 罗 霞<sup>2</sup>, 李志生<sup>2</sup>, 张 英<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 石油勘探开发科学研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007)

**摘要:**随着全球性石油天然气勘探的商业风险性日益增大, 烃源岩的商业评价越来越受到重视, 但对于高成熟碳酸盐岩一直没有一个很好的评价方法, 尤其是气源岩的评价更缺乏手段。从有效气源岩的概念入手, 利用岩石等温吸附仪求取岩石最大吸附气量, 再利用热模拟分析仪测定岩石的热解气量, 热解气量大于岩石最大吸附气量即为有效气源岩, 通过大量实验, 建立了高成熟碳酸盐岩作为有效气源岩的评价标准, 认为产气率等于 15 L/t 为碳酸盐岩有效气源岩的下限值, 并将该标准应用于塔里木、鄂尔多斯和四川 3 个含气盆地, 验证了该评价方法的可靠性和有效性。

**关键词:**有效气源岩; 碳酸盐岩; 吸附气量; 产气率

**第一作者简介:**李剑, 男, 33 岁, 工程师(博士生), 油气运移

**中图分类号:**P588 **文献标识码:**A

## 1 有效气源岩的概念

我们认为评价一个源岩是否为有效气源岩应从其生、排气等方面进行综合考虑。有效气源岩是指在适当的热成熟条件下能生成足够量的气态烃类, 使岩石的孔隙和表面充分饱和, 并能排出气态烃类使之形成气藏的沉积岩。岩石的吸附气量与最大热解产生的天然气量超过最大吸附气量, 为有效气源岩, 岩石的吸附气量与最大热解气量之和小于最大吸附气量为非有效气源岩。

## 2 实验方法

### 2.1 岩石最大吸附量的求取

应用岩石等温吸附仪在高压下(6 MPa)通入 CH<sub>4</sub> 气体, 经过 48 h 饱和吸附, 然后求取其最大吸附气量。

### 2.2 岩石吸附气和产气率的求取

实验设备为中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院廊坊分院应用澳大利亚 SGE 公司产高温热解器、美国惠普公司 HP5890 II 型气相色谱仪及 HP486 微机数据系统组装的一套新型热模拟分析仪, 其热解装置可在 900℃ 以下各温度点长时间恒温工作。岩样经人工粉碎过筛, 选取 20

目到 60 目之间的颗粒, 装入热模拟装置的不锈钢样品管, 在氮气流中加热到各预设温度, 按要求恒温一定时间。达到预定反应时间后, 热解器温度迅速降至室温。热解产物用安装填充柱的气相色谱作定量分析, 用计算机采集和处理分析数据。

该装置的优点不同于其它热解仪(样品量只有毫克级), 样品最大量可以达到 3 g, 并且样品为颗粒, 保持了岩石本身的碳骨架, 真正反映其排烃过程; 而且在氮气流中加热避免了生成烃的二次反应, 更符合地质实际情况。

## 3 有效气源岩评价标准的建立

我们利用岩石等温吸附仪对塔里木、鄂尔多斯和四川盆地主要源岩层的碳酸盐岩进行了最大吸附气量的实验, 同时对辽河外围中生代盆地白垩系泥岩和莺-琼盆地的上第三系泥岩也作了最大吸附气量的实验, 实验结果见表 1。

由表 1 可见, 泥岩的最大吸附量变化范围为每吨岩石 121.4 ~ 146 L, 同文献[2]报道的泥岩的最大吸附气量 154 L/t 相接近, 说明本实验结果比较可靠。碳酸盐岩的最大吸附气量在 15 ~ 33.03 L/t 范围内, 不同的地区其范围不同。因此, 我们将产气率等于 15 L/t 作为碳酸盐岩有效气源岩的下限值, 产气率大于该值为有效气源岩, 产气率小于该值为非有效气源岩。

表1 不同类型岩石最大吸附量实验结果

Table 1. Test results of the largest gas adsorption amount in different type rocks

| 地区     | 井号     | 井深/m     | 岩性 | 层位      | 最大吸附量/ $\text{L}\cdot\text{t}^{-1}$ |
|--------|--------|----------|----|---------|-------------------------------------|
| 塔里木盆地  | 塔参1    | 6 418.0  | 灰岩 | C       | 15.2                                |
|        | 塔参1    | 4 003.5  | 灰岩 | $O_2+3$ | 17.8                                |
|        | 榆13    | 2 183.3  | 灰岩 | $O_1m$  | 19.46                               |
| 鄂尔多斯盆地 | 盟5     | 2 168.4  | 灰岩 | $O_1m$  | 26.73                               |
|        | 陕28    | 3 371.1  | 灰岩 | $O_1m$  | 33.03                               |
| 四川盆地   | 池7     | 5 212    | 灰岩 | $C_3$   | 30                                  |
| 辽河外围盆地 | 昌参1    | 1 204    | 泥岩 | J       | 121.4                               |
| 莺-琼盆地  | 崖8-2-1 | 3 367.47 | 泥岩 | N       | 146                                 |

## 4 与常规方法比较

### 4.1 与有机碳方法比较

通过对我国主要含气盆地 51 个样品测试,大部分样品源岩的有机碳高其产气率也高,但有些样品并不尽然,如川 100 井 4 548 m 泥岩,有机碳为 1.79%,而产气率仅为每吨岩石 32.91 L。灰岩样品尽管成熟度高、有机碳含量较低,却仍具有较高的产气率,如四川池 7 井寒武系灰岩和鄂尔多斯盟 5 井奥陶系灰岩,它们的有机碳含量分别为 0.18% 和 0.28%,而产气率则分别为 70.29 L/t 和 102.6 L/t。这是由于岩石中的有机碳包括了对生烃有效和无效的两部分,有的岩石即使有机碳含量高,但有效碳含量低,产气率也低;相反,有的岩石即使有机碳含量低,但有效碳含量高,产气率也高,因此,有机碳含量不能直接评价产气能力。另一方面,对于分布很广的碳酸盐气源岩,因为有机碳测定方法中要用盐酸把 90% 以上的碳酸盐矿物溶解,沉积在碳酸盐矿物中的有机质基本上被酸液溶解和清洗液冲洗损失掉了,实际测定的只是其中微量的泥质杂质中的有机碳,因此,有机碳测定值远比其真实值低。我们采用的方法是按照沉积岩热演化生烃的基本原理,由热模拟实验测定其天然气产率,是直接评价气源岩生烃能力的方法,特别是对于碳酸盐气源岩,该方法克服了有机碳方法的间接性和不准确性缺点,是较科学和准确的方法。

### 4.2 与 Rock-Eval 方法比较

上述实验结果与 Rock-Eval 方法的实验结果对比(图 1),表明用本方法测定的岩石产气率与常规 Rock-Eval 法测定产气率无正相关性,原因在于常规 Rock-Eval 法测定的热解产物为气、液混合烃,并含有部分沥青。同时用本方法测定的岩石产气率普遍低于常规 Rock-Eval,其原因是由于 Rock-Eval 的实

验样品为粉末状,一些非烃或不能排出的烃类也计算在内,使得总产气率增大。本方法选用的样品颗粒较大,在与热模拟实验相似的条件下进行仪器分析测定,排出的烃类为有效烃类,不能排出的烃类或非烃化合物是无效的,这不仅更适合碳酸盐气源岩的定量评价,而且由于测定的产气率已包含了排烃效率,因而是比 Rock-Eval 更符合地质原理的评价方法。

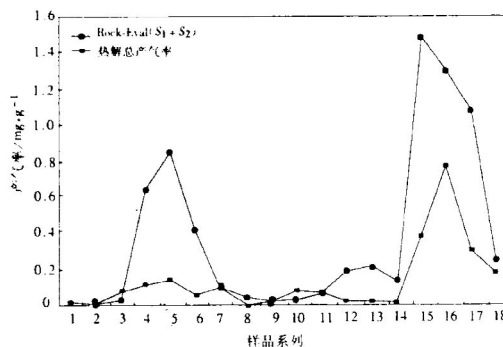


图1 有效气源岩方法与常规热解方法结果比较

Fig. 1 Result comparison between available gas source rock method and conventional thermolysis method

## 5 有效气源岩定量评价标准的应用

我们利用上述方法对塔里木、鄂尔多斯和四川盆地主要源岩层的碳酸盐岩进行吸附气和热解气产率的实验,将总的产气率(吸附气与热解气产率之和)与最大吸附气量的下限值相比较,进行有效气源岩的判别。

### 5.1 塔里木盆地

中、上奥陶统的岩样中,塔中地区的产气率明显比巴楚隆起的方 1 井区的要高,为有效气源岩(图 2),特别是塔参 1 井(TAC1)产气率高达 413 L/t,为极

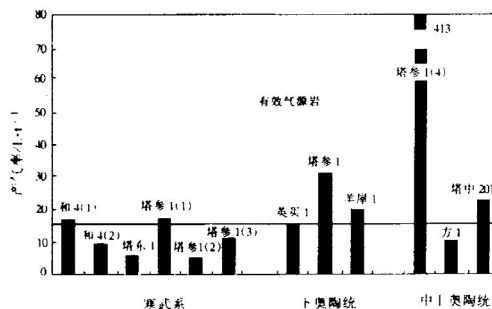


图2 塔里木盆地海相烃源岩定量评价图

Fig. 2 Quantitative evaluation of marine source rocks in Tarim Basin

好的生气源岩。从气源对比的成果可知,塔中 45 等高产气流井的天然气都来自塔中的中上奥陶统

泥灰岩,而方1井区的中上奥陶统的源岩为非有效气源岩,难以成藏。同样,下奥陶统烃源岩产气能力也是塔中地区较高的,英买力地区相对较低,但都达到了有效气源的标准。

寒武系,只有塔参1井的6 161.4 m的样品和巴楚地区和4井的4 813.1 m的样品达到了有效气源标准,其它均未达到,而塔东地区塔东1井的寒武系样品的产气率只有5.81 L/t,为非有效气源岩。

## 5.2 鄂尔多斯盆地

鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组碳酸盐岩均为有效气源岩,北部伊盟地区源岩产气率要高于中部地区(图3)。

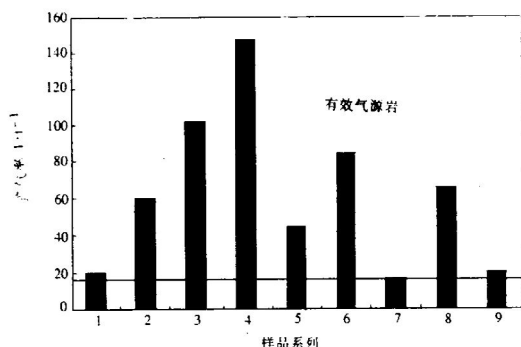


图3 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组气源岩定量评价图

Fig.3 Quantitative evaluation of gas source rocks from Majiagou Formation of Ordovician in Ordos Basin

## 5.3 四川盆地

四川盆地各层系的碳酸盐岩都存在有效气源岩,二叠系明显好于其它层系,为四川盆地碳酸盐

岩主力生气层,其次为寒武系(图4)。值得注意的是震旦系的震3、震4两个样品均达到了有效气源岩的标准,说明震旦系源岩也可作为气源岩。

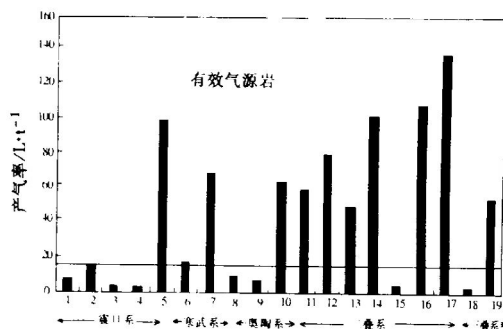


图4 四川盆地各层位碳酸盐气源岩定量评价图

Fig.4 Quantitative evaluation of carbonate gas source rocks in Sichuan Basin

## 6 结论

利用本方法进行有效气源岩的定量评价既简便快捷又符合岩石排烃过程,是评价高成熟碳酸盐岩的有效方法。通过研究初步认为高成熟碳酸盐岩作为有效气源岩的标准为产气率等于15 L/t。

## 参 考 文 献

- 1 程克明.碳酸盐岩油气生成理论与实验[M].北京:石油工业出版社,1996
- 2 Whiticar M. Correlation of natural gases with their sources[J]. AAPG Memoir, 1995, 60: 261 ~ 281

## DISCUSSION ON QUANTITATIVE EVALUATION CRITERION FOR HIGH-MATURED CARBONATE GAS SOURCE ROCKS

Li Jian<sup>1</sup> Jiang Zhusheng<sup>2</sup> Luo Xia<sup>2</sup> Li Zhisheng Zhang Ying<sup>2</sup>

(1, China University of Geosciences, Beijing; 2, Langfang Branch, Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Langfang, Hebei)

**Abstract:** As commercial risk of oil and gas exploration of the world increases, commercial evaluation on source rocks has become more and more important. Till now there isn't a good method to evaluate high matured carbonate source rocks, especially of gas source rocks. Quantitative evaluation criteria for gas source rocks is introduced in this paper. According to the conception of effective gas source rock, rock isothermal absorber is used to obtain maximum of absorptive gas, then use thermal analogy analyzer to measure the pyrolytic gas amount of the rock. If the pyrolytic gas amount is greater than the maximum of absorptive gas of the rock, the rock then could be considered as available gas source rock. The criterion of high-matured carbonate rocks is established as effective gas source rocks by a lot of experiments. Gas generation rate of 15 L/t is considered to be the lower limit of the carbonate source rocks. This criterion is applied to evaluate the available carbonate source rocks in Tarim, Ordos and Sichuan basins, and is proved to be effective.

**Key words:** available gas source rock; carbonate rock; absorptive gas amount; gas generation rate