

## 天然气——天然气的成因

2008/9/20

兰州市生物和医药科技产业办公室 主办  
客服电话：0931-8266411

Email: [bec@bioenergy.cn](mailto:bec@bioenergy.cn)

Copyright © 2005-2008 中国生物能源网

## 天然气的成因

天然气与石油生成过程既有联系又有区别：石油主要形成于深成作用阶段，由催化裂解作用引起，而天然气的形成则贯穿于成岩、深成、后成直至变质作用的始终；与石油的生成相比，无论是原始物质还是生成环境，天然气的生成都更广泛、更迅速、更容易，各种类型的有机质都可形成天然气——腐泥型有机质则既生油又生气，腐植型有机质主要生成气态烃。因此天然气的成因是多种多样的。归纳起来，天然气的成因可分为生物成因气、油型气和煤型气。近年来无机成因气尤其是非烃气受到高度重视，这里一并简要介绍，最后还了解各种成因气的判别方法。

### （一）、生物成因气

#### 1. 概念

生物成因气—指成岩作用（阶段）早期，在浅层生物化学作用带内，沉积有机质经微生物的群体发酵和合成作用形成的天然气。其中有时混有早期低温降解形成的气体。生物成因气出现在埋藏浅、时代新和演化程度低的岩层中，以含甲烷气为主。

#### 2. 形成条件

生物成因气形成的前提条件是更加丰富的有机质和强还原环境。

最有利于生气的有机母质是草本腐植型—腐泥腐植型，这些有机质多分布于陆源物质供应丰富的三角洲和沼泽湖滨带，通常含陆源有机质的砂泥岩系列最有利。硫酸岩层中难以形成大量生物成因气的原因，是因为硫酸对产甲烷菌有明显的抵制作用， $H_2$  优先还原  $SO_4^{2-} \rightarrow S^{2-}$  形成金属硫化物或  $H_2S$  等，因此  $CO_2$  不能被  $H_2$  还原为  $CH_4$ 。

甲烷菌的生长需要合适的地化环境，首先是足够强的还原条件，一般  $Eh < -300mV$  为宜（即地层水中的氧和  $SO_4^{2-}$  依次全部被还原以后，才会大量繁殖）；其次对 pH 值要求以靠近中性为宜，一般 6.0~8.0，最佳值 7.2~7.6；再者，甲烷菌生长温度 0~75℃，最佳值 37~42℃。没有这些外部条件，甲烷菌就不能大量繁殖，也就不能形成大量甲烷气。

#### 3. 化学组成

生物成因气的化学组成几乎全是甲烷，其含量一般 >98%，高的可达 99% 以上，重烃含量很少，一般 <1%，其余是少量的  $N_2$  和  $CO_2$ 。因此生物成因气的干燥系数 ( $C_1/\Sigma C_{2+}$ )

一般在数百~数千以上，为典型的干气，甲烷的  $\delta^{13}C_1$  值一般-85~-55‰，最低可达-100‰。世界上许多国家与地区都发现了生物成因气藏，如在西西伯利亚 683-1300 米白垩系地层中，发现了可采储量达 10.5 万亿  $m^3$  的气藏。我国柴达木盆地（有些单井日产达 1 百多万方）和上海地区（长江三角洲）也发现了这类气藏。

## （二）. 油型气

### 1. 概念

油型气包括湿气（石油伴生气）、凝析气和裂解气。它们是沉积有机质特别是腐泥型有机质在热降解成油过程中，与石油一起形成的，或者是在后成作用阶段由有机质和早期形成的液态石油热裂解形成的。

### 2. 形成与分布

与石油经有机质热解逐步形成一样，天然气的形成也具明显的垂直分带性。

在剖面最上部（成岩阶段）是生物成因气，在深成阶段后期是低分子量气态烃（ $C_2 \sim C_4$ ）即湿气，以及由于高温高压使轻质液态烃逆蒸发形成的凝析气。在剖面下部，由于温度上升，生成的石油裂解为小分子的轻烃直至甲烷，有机质亦进一步生成气体，以甲烷为主石油裂解气是生气序列的最后产物，通常将这一阶段称为干气带。

由石油伴生气→凝析气→干气，甲烷含量逐渐增多，故干燥系数升高，甲烷  $\delta^{13}C_1$  值随有机质演化程度增大而增大。

对我国四川盆地气田的研究（包茨，1988）认为，该盆地的古生代气田是高温甲烷生气期形成的，从三叠系→震旦系，干燥系数由小到大（T: 35.5→P: 73.1→Z: 387.1），重烃由多到少。川南气田中，天然气与热变沥青共生，说明天然气是由石油热变质而成的。

## （三）. 煤型气

### 1. 概述

煤型气是指煤系有机质（包括煤层和煤系地层中的分散有机质）热演化生成的天然气。

煤田开采中，经常出现大量瓦斯涌出的现象，如四川合川县一口井的瓦斯突出，排出瓦斯量竟高达 140 万立方米，这说明，煤系地层确实能生成天然气。

煤型气是一种多成分的混合气体，其中烃类气体以甲烷为主，重烃气含量少，一般为干气，但也可能有湿气，甚至凝析气。有时可含较多  $H_2$  蒸气和  $N_2$  等。

煤型气也可形成特大气田，1960S 以来在西西伯利亚北部 K2、荷兰东部盆地和北海

盆地南部 P 等地层发现了特大的煤型气田，这三个气区探明储量 22 万亿  $m^3$ ，占世界探明天然气总储量的 1/3 弱。据统计 (M. T 哈尔布蒂, 1970)，在世界已发现的 26 个大气田中，有 16 个属煤型气田，数量占 60%，储量占 72.2%，由此可见，煤型气在世界可燃天然气资源构成中占有重要地位。我国煤炭资源丰富，据统计有 6 千亿吨，居世界第三位，聚煤盆地发育，现已发现有煤型气聚集的有华北、鄂尔多斯、四川、台湾—东海、莺歌海—琼东南、以及吐哈等盆地。经研究，鄂尔多斯盆地中部大气区的气多半来自上古生界 C-P 煤系地层（上古：下古气源=7：3 或 6：4），可见煤系地层生成天然气的潜力很大。

## 2. 成煤作用与煤型气的形成

成煤作用可分为泥炭化和煤化作用两个阶段。前一阶段，堆积在沼泽、湖泊或浅海环境下的植物遗体和碎片，经生化作用形成煤的前身——泥炭；随着盆地沉降，埋藏加深和温度压力增高，由泥炭化阶段进入煤化作用阶段，在煤化作用中泥炭经过微生物酶解、压实、脱水等作用变为褐煤；当埋藏逐步加深，已形成的褐煤在温度、压力和时间等因素作用下，按长焰煤→气煤→肥煤→焦煤→瘦煤→贫煤→无烟煤的序列转化。

实测表明，煤的挥发分随煤化作用增强明显降低，由褐煤→烟煤→无烟煤，挥发分大约由 50% 降到 5%。这些挥发分主要以  $CH_4$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$ 、 $N_2$ 、 $NH_3$  等气态产物的形式逸出，是形成煤型气的基础，煤化作用中析出的主要挥发性产物

1. 煤化作用中挥发性产物总量；
2.  $CO_2$ ；
3.  $H_2O$ ；
4.  $CH_4$ ；
5.  $NH_3$ ；
6.  $H_2S$

从形成煤型气的角度出发，应该注意在煤化作用过程中成煤物质的四次较为明显变化（煤岩学上称之为煤化跃变）：

第一次跃变发生于长焰煤开始阶段，碳含量  $Cr=75-80\%$ ，挥发分  $Vr=43\%$ ， $Ro=0.6\%$ ；

第二次跃变发生于肥煤阶段， $Cr=87\%$ ， $Vr=29\%$ ， $Ro=1.3\%$ ；

第三次跃变发生于烟煤→无烟煤阶段， $Cr=91\%$ ， $Vr=8\%$ ， $Ro=2.5\%$ ；

第四次跃变发生于无烟煤→变质无烟煤阶段， $Cr=93.5\%$ ， $Vr=4\%$ ， $Ro=3.7\%$ ，芳香族稠环缩合程度大大提高。

在这四次跃变中，导致煤质变化最为明显的是第一、二次跃变。煤化跃变不仅表现为煤的质变，而且每次跃变都相应地为一次成气（甲烷）高峰。

煤型气的形成及产率不仅与煤阶有关，而且还与煤的煤岩组成有关，腐殖煤在显微镜下可分为镜质组、类脂组和惰性组三种显微组分，我国大多数煤田的腐殖煤中，各组分的含量以镜质组最高，约占 50~80%，惰性组占 10~20%（高者达 30~50%），类脂组

含量最低，一般不超过 5%。

在成煤作用中，各显微组分对成气的贡献是不同的。长庆油田与中国科学院地化所（1984）在成功地分离提纯煤的有机显微组分基础上，开展了低阶煤有机显微组分热演化模拟实验，并探讨了不同显微组分的成烃贡和成烃机理。发现三种显微组分的最终成烃效率比约为类脂组:镜质组:惰性组=3:1:0.71，产气能力比约为 3.3:1:0.8，说明惰性组也具一定生气能力。

#### （四）. 无机成因气

地球深部岩浆活动、变质岩和宇宙空间分布的可燃气体，以及岩石无机盐类分解产生的气体，都属于无机成因气或非生物成因气。它属于干气，以甲烷为主，有时含 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、He 及 H<sub>2</sub>S、Hg 蒸汽等，甚至以它们的某一种为主，形成具有工业意义的非烃气藏。

##### 1. 甲烷

无机合成： $CO_2 + H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$  条件：高温（250℃）、铁族元素

地球原始大气中甲烷：吸收于地幔，沿深断裂、火山活动等排出

板块俯冲带甲烷：大洋板块俯冲高温高压下脱水，分解产生的 H、C、CO/CO<sub>2</sub>→CH<sub>4</sub>

##### 2. CO<sub>2</sub>

天然气中高含 CO<sub>2</sub> 与高含烃类气一样，同样具有重要的经济意义，对于 CO<sub>2</sub> 气藏来说，有经济价值者是 CO<sub>2</sub> 含量 > 80%（体积浓度）的天然气，可广泛用于工业、农业、气象、医疗、饮食业和环保等领域。我国广东省三水盆地沙头圩水深 9 井天然气中 CO<sub>2</sub> 含量高达 99.55%，日产气量 500 万方，成为有很高经济价值的气藏。

目前世界上已发现的 CO<sub>2</sub> 气田藏主要分布在中—新生代火山区、断裂活动区、油气富集区和煤田区。从成因上看，共有以下几种：

无机成因：

① 上地幔岩浆中富含 CO<sub>2</sub> 气体当岩浆沿地壳薄弱带上升、压力减小，其中 CO<sub>2</sub> 逸出。

② 碳酸盐岩受高温烘烤或深成变质可成大量 CO<sub>2</sub>，当有地下水参与或含有 Al、Mg、Fe 杂质，98~200℃ 也能生成相当量 CO<sub>2</sub>，这种成因 CO<sub>2</sub> 特征：CO<sub>2</sub> 含量 > 35%， $\delta^{13}C_{CO_2} > 8\text{‰}$ 。

③ 碳酸盐矿物与其它矿物相互作用也可生成 CO<sub>2</sub>，如白云石与高岭石作用即可。

另外，有机成因有：

生化作用、化学作用、油田遭氧化、煤氧化作用

### 3. N<sub>2</sub>

N<sub>2</sub> 是大气中的主要成分，据研究，分子氮的最大浓度和逸度出现在古地台边缘的含氮地层中，特别是蒸发盐岩层分布区的边界内。氮是由水层迁移到气藏中的，由硝酸盐还原而来，其先体是 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>。

N<sub>2</sub> 含量大于 15%者为富氮气藏，天然气中 N<sub>2</sub> 的成因类型主要有：

① 有机质分解产生的 N<sub>2</sub>：100–130℃达高峰，生成的 N<sub>2</sub> 量占总生气量的 2.0%，含量较低；（有机）

② 地壳岩石热解脱气：如辉绿岩热解析出气量，N<sub>2</sub> 可高达 52%，此类 N<sub>2</sub> 可富集；

③ 地下卤水（硝酸盐）脱氮作用：硝酸盐经生化作用生成 N<sub>2</sub>O+N<sub>2</sub>；

④ 地幔源的 N<sub>2</sub>：如铁陨石含氮数十~数百个 ppm；

⑤ 大气源的 N<sub>2</sub>：大气中 N<sub>2</sub> 随地下水循环向深处运移，混入最多的主要是温泉气。

从同位素特征看，一般来说最重的氮集中在硝酸盐岩中，较重的氮集中在芳香烃化合物中，而较轻的氮则集中在铵盐和氨基酸中。

### 4. H<sub>2</sub>S

全球已发现气藏中，几乎都存在有 H<sub>2</sub>S 气体，H<sub>2</sub>S 含量 >1%的气藏为富 H<sub>2</sub>S 的气藏，具有商业意义者须 >5%。

据研究（Zhabrew 等，1988），具有商业意义的 H<sub>2</sub>S 富集区主要是大型的含油气沉积盆地，在这些盆地的沉积剖面中均含有厚的碳酸盐—蒸发盐岩系。

自然界中的 H<sub>2</sub>S 生成主要有以下两类：

① 生物成因（有机）：包括生物降解和生物化学作用；1

② 热化学成因（无机）：有热降解、热化学还原、高温合成等。根据热力学计算，自然环境中石膏（CaSO<sub>4</sub>）被烃类还原成 H<sub>2</sub>S 的需求温度高达 150℃，因此自然界发现的高含 H<sub>2</sub>S 气藏均产于深部的碳酸盐—蒸发盐层系中，并且碳酸盐岩储集性好。

### 5. 稀有气体（He、Ar、…）

这些气体尽管在地下含量稀少，但由于其特殊的地球化学行为，科学家们常把它们作为地球化学过程的示踪剂。

He、Ar 的同位素比值  $3\text{He}/4\text{He}$ 、 $40\text{Ar}/36\text{Ar}$  是查明天然气成因的极重要手段，因沿大气→壳源→壳、幔源混合→幔源，二者不断增大，前者由  $1.39 \times 10^{-6} \rightarrow >10^{-5}$ ，后者则由  $295.6 \rightarrow >2000$ 。

此外，根据围岩与气藏中 Ar 同位素放射性成因，还可计算出气体的形成年龄（朱铭，

1990)。

#### (五). 各种成因气识别标志

自然界中天然气分布很广，成因类型繁多且热演化程度不同，其地化特征亦多种多样，因此很难用统一的指标加以识别。实践表明，用多项指标综合判别比用单一的指标更为可靠（戴金星，1993）。天然气成因判别所涉及的项目看，主要有同位素、气组分、轻烃以及生物标志化合物等四项，其中有些内容判别标准截然，具有绝对意义，有些内容则在三种成因气上有些重叠，只具有一定的相对意义。