

我国生物气的地化特征与勘探方向^{*}

张英^{1,2} 戴金星³ (中国科学院院士) 李剑² 王晓波²

1. 北京大学石油与天然气研究中心 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 3. 中国石油勘探开发研究院

张英等. 我国生物气的地化特征与勘探方向. 天然气工业, 2009, 29(9): 20-23.

摘要 虽然目前我国生物气的勘探开发程度较低,但它却是未来天然气勘探的重要接替领域。基于已发表文献,系统收集、整理笔者近年来采集样品的分析测试结果,分析了生物气的组分、烷烃气碳同位素、二氧化碳碳同位素和甲烷氢同位素特征,总结了我国目前发现的生物气在层位、深度和区域上的分布特征:①生物气主要赋存于第四系、新近系—古近系、白垩系;②生物气藏埋深普遍较浅,最深的约1900 m,最浅的只有十几米;③生物气藏分布具有明显的分区性,东部显示多,西部储量大,与这些地区的生物气源岩的“量”和“质”密切相关。结论认为:①应积极在规模较大、具备较好烃源条件的中生代沉积盆地中寻找大中型生物气田;②松辽盆地浅层、渤海湾盆地、柴达木盆地东部是我国今后生物气勘探的重点地区。

关键词 中国 生物气 地球化学特征 分布 第四纪 新近纪—古近纪 白垩纪 勘探方向

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.09.005

生物气是指有机质在以甲烷生成菌为主的菌群作用下生成的天然气。生物气在世界范围内广泛分布,已探明储量占天然气总探明储量的15%~20%^[1-3]。我国目前生物气探明地质储量约为2800×10⁸ m³,约占天然气总探明储量的7%。生物气与热成因气的成因机理不同,地球化学特征也有一定的差别,鉴别天然气的生物成因主要依据烷烃组分的碳同位素特征和重烃气含量^[4]。虽然目前我国生物气勘探开发程度较低,但生物气埋藏浅、经济效益高,是未来天然气勘探的重要接替领域。

1 生物气的地球化学特征

生物气来源于细菌对有机质的厌氧降解,与常规热成因气的成因机理完全不同,表现在地球化学特征上也与热成因气有较大区别。本文的讨论基于系统收集整理的前人发表的分析数据^[4-11]以及作者采集测试的生物气样品数据(共计131组),每个样品有一组数据。其中生物气田(藏)和较深钻井中样品83个,来自柴达木盆地、松辽盆地、渤海湾盆地、莺琼盆地、陆良盆地、保山盆地、二连盆地、阜新盆地,时代为白垩纪、新近纪—古近纪和第四纪更新

世,埋深范围在218.1~1821.6 m,代表地质年代中生成的生物气。地表气苗和浅水井中生物气样品48个,分别来自上海、浙江、安徽等东部沿海地区、河套盆地、云南等地区,时代为第四纪全新统,代表浅表近现代沉积生成的生物气。

1.1 组分特征

甲烷是生物气中最主要的成分,也是生物气中烃类成分的主体。在74个有组分数据的气田(藏)和钻井生物气样品中,80%以上的样品甲烷含量超过85%,58%以上的样品甲烷含量超过95%。48个地表气苗和浅水井生物气样品中甲烷含量也大部分在85%以上。

生物气中的乙烷、丙烷等重烃含量很低。气田(藏)和钻井获得的生物气样品中,有85%检测出乙烷,但含量一般都低于0.5%,反映出典型的干气特征;38%的样品检测出丙烷,其含量均低于0.06%。地表气苗和浅水井生物气样品未检出丙烷,只有4个检测出乙烷,不及样品总数的10%。

样品中还普遍检测到一定含量的CO₂、N₂等非烃气体,未检出H₂S。CO₂也主要来源于有机质厌氧生物降解,少量N₂可能来自于氨基酸等含氮化合

^{*} 本文受到中国石油天然气股份有限公司科研项目(编号:2008A-0608)的资助。

作者简介:张英,女,1971年生,博士,现在北京大学博士后工作站从事天然气地质和地球化学研究工作。地址:(065007)河北省廊坊市万庄44号信箱天然气地质所。电话:(010)69213289。E-mail:zhangying69@petrochina.com.cn

物的厌氧分解。地表气苗和浅水井样品中 N_2 含量很高,可能是取样过程中空气污染所致。

生物气甲烷含量高,重烃含量少,非烃气体含量较低,不含 H_2S ,不需特殊处理即可使用,表明生物气气质优良,适宜开发利用。

1.2 烷烃气碳同位素特征

生物气以甲烷碳同位素 ($\delta^{13}C_{CH_4}$) 偏轻为主要特征,分布区间为 $-89.4\% \sim -55.1\%$,主要分布在 $-75\% \sim -55\%$ 之间。其中,气田(藏)和钻井中生物气 $\delta^{13}C_{CH_4}$ 以 $-70\% \sim -55\%$ 为主;地表气苗和浅水井中生物气 $\delta^{13}C_{CH_4}$ 更轻,以 $-75\% \sim -65\%$ 为主。

由于生物气中重烃含量低,131个样品中只有44个测出了乙烷碳同位素值 ($\delta^{13}C_{C_2H_6}$) 数据。 $\delta^{13}C_{C_2H_6}$ 分布区间为 $-66.0\% \sim -30.79\%$,以 $-50\% \sim -40\%$ 为主,也反映出偏轻的特征。其中陆良盆地样品 $\delta^{13}C_{C_2H_6}$ 低于 -60% ,被认为是典型的生物乙烷^[8]。仅有19个样品测出了丙烷碳同位素值数据 ($\delta^{13}C_{C_3H_8}$),分布区间为 $-36.5\% \sim -23.3\%$,以 $-35\% \sim -30\%$ 最多。对于单个天然气样品,甲烷、乙烷和丙烷呈正碳同位素系列分布,即 $\delta^{13}C_{CH_4} < \delta^{13}C_{C_2H_6} < \delta^{13}C_{C_3H_8}$ 。

甲烷碳同位素偏轻和重烃含量低是生物气最典型的两个地球化学特征,也是鉴别生物气和热成因气的两个最重要的指标。

1.3 二氧化碳碳同位素特征

生物气中二氧化碳碳同位素值 ($\delta^{13}C_{CO_2}$) 范围较宽,在有分析数据的31个样品中,分布区间为 $-39.1\% \sim 0.95\%$ 。值得注意的是部分样品的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值达到常规认为属于无机 CO_2 气的范畴。其中气田(藏)及盆地钻井样品 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 与 $\delta^{13}C_{CH_4}$ 之间表现出较好相关性(图1),而地表气苗和浅水井中生物气则不存在这种相关性(图2),可能是由于生物甲烷生成过程中有机质处于不同的降解阶段,碳同位素的分馏效应显现程度不同造成的。

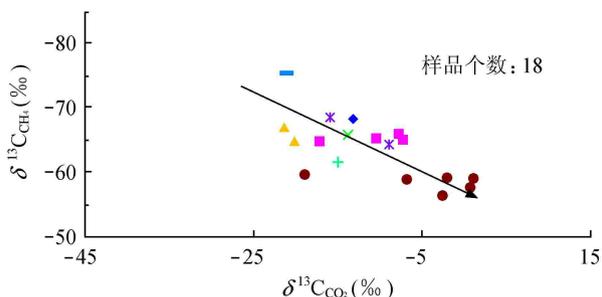


图1 气田和盆地钻井中生物气 $\delta^{13}C_{CH_4}$ 与 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 关系图

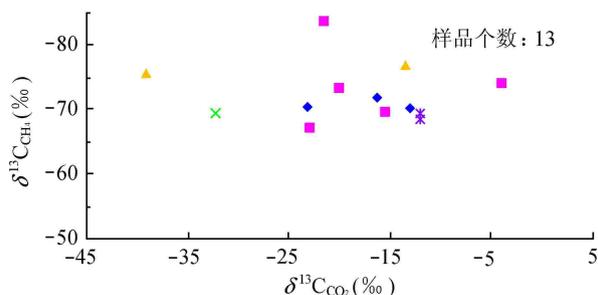


图2 地表气苗和浅水井中生物气 $\delta^{13}C_{CH_4}$ 与 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 关系图

1.4 甲烷氢同位素特征

有31个样品测得了甲烷氢同位素 (δD_{CH_4}) 数据。其中气田(藏)和钻井样品中 δD_{CH_4} 分布区间为 $-277\% \sim -108.5\%$,地表气苗和浅水井样品中 δD_{CH_4} 分布区间为 $-245.8\% \sim -158.0\%$ 。应用 Whiticar 的图版^[12],大部分生物气为 CO_2 还原作用生成(图3、4)。保山盆地的生物气由于 δD_{CH_4} 偏轻,落入细菌甲基发酵和细菌 CO_2 还原混合的范围。而莺琼盆地的样品较为特殊,两个样品的 δD_{CH_4} 重达 -108.5% 和 -123% ,落在范围之外。

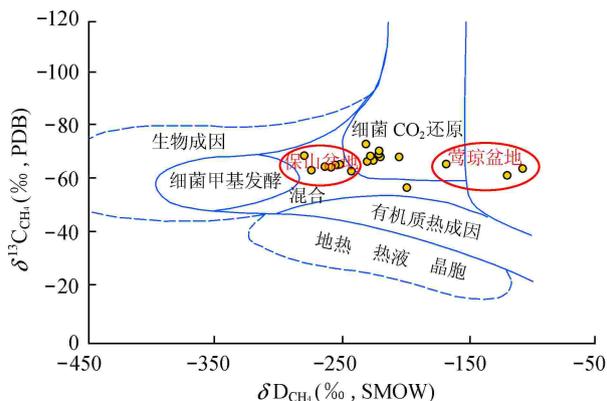


图3 气田和盆地钻井中生物气 $\delta^{13}C_{CH_4}$ 与 δD_{CH_4} 关系图
(据 Whiticar 图版)

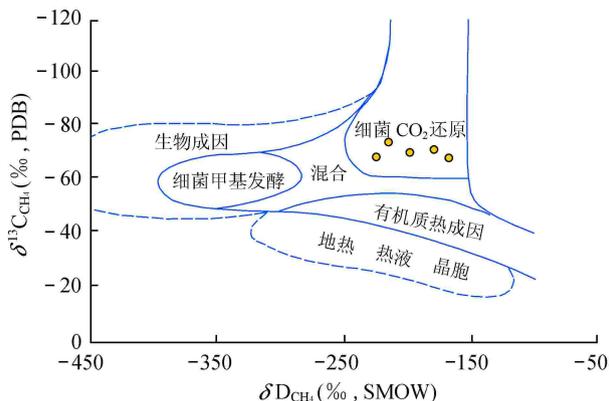


图4 地表气苗和浅水井中生物气 $\delta^{13}C_{CH_4}$ 与 δD_{CH_4} 关系图
(据 Whiticar 图版)

2 生物气勘探方向分析

2.1 生物气的分布特征

2.1.1 层位分布

目前发现的生物气主要赋存在第四系、古近系、新近系和白垩系地层。如白垩系松辽盆地红岗明水组气田、第四系的柴达木盆地东部台南气田、涩北一号气田、涩北二号气田和古近系—新近系的陆良气田、保山气田等。钻井、地表气苗和浅水井中生物气也是在這些地层中。这是由于生物气来源于源岩中有机质的厌氧降解,生成需要受温度^[13]、氧化—还原条件和活动孔隙空间等多方面因素限制^[14],需要埋深较浅、热演化程度较低、处于未成岩或成岩早期阶段的泥岩作为烃源岩。在我国,部分地区的白垩系、古近系、新近系和绝大部分的第四系泥岩都处于生物甲烷生成阶段,正好具备形成生物气藏的地质条件。

2.1.2 区域分布

生物气在我国的分布具有明显的分区性,东部盆地和地区生物气显示多,西部柴达木盆地生物气储量大,这与这些地区的生物气源岩的“量”和“质”密切相关。柴达木盆地集中了我国规模最大的3个生物气田以及2个小型生物气田——盐湖气田和驼峰山气田,因为其具备良好的烃源条件;第四系沉积了一套厚达3 000 m的湖相砂泥岩互层沉积,其中可作为生物气源岩的暗色泥岩在盆地中间厚度在千米以上,沉积早期由于地表温度低和地层水矿化度高使得有机质免于过早降解消耗。已发现了生物气田的松辽盆地、陆良盆地和保山盆地也具备较好的生物气源岩条件。面积广、厚度大、沉积早期保存好、类型好的生物气源岩对大中型生物气田的形成具有控制作用。

2.1.3 深度分布

目前发现的生物气藏埋深都较浅,最深的柴达木盆地台南深部气藏约1 900 m,最浅的浙江杭州湾的浅层生物气藏只有十几米。钻井气显示埋深与气藏相当,地表气苗和浅水井中生物气就更浅了。大部分有工业价值的生物气藏埋深在400~1 800 m,由于埋深相对较深时,泥岩盖层的封闭性逐渐增强,生物气更容易形成较大规模的聚集。

2.2 生物气勘探方向

生物气气质优良,埋藏浅,勘探开发成本低,是今后天然气勘探的重点领域。在具有一定规模的沉积盆地中寻找大中型生物气田是今后天然气勘探中值得关注的问题,下面分层系筛选出重点领域。

2.2.1 白垩系

据卢双舫等^[15]计算,松辽盆地800 m以浅生物气生成量约为 $285 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。如果取生聚系数为0.35%,则生物气资源量可以达到 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。盆地中央拗陷区浅层发育有上白垩统嫩江组二段、三段和四段以及明水组等生物气源岩,嫩江组三段—明水组的河流相砂岩为储层,已发现敖南、红岗等生物气田,具备形成较大规模的生物气藏的条件。盆地西部斜坡区发育有青山口组一段和嫩江组一段两层还处于生化甲烷阶段的未熟—低熟气源岩,也具有较好的生物气勘探前景。加强针对浅层气藏的地震识别和测井识别,是识别出浅层气藏的有效技术手段,而且,识别并适时开发浅层气藏对油田中深层油气的安全生产也具有非常重要的意义。

2.2.2 古近系—新近系

生物气在古近系—新近系地层中分布广泛,南海北部资源量约 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$,东海资源量约为 $0.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[16],渤海湾盆地资源量约为 $0.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[17]。考虑经济性,渤海湾盆地的生物气勘探应引起高度重视。渤海湾盆地新近系沙河街组(E_{st-3})及东营组(E_d)有机质热演化程度较低,埋藏深度浅,综合分析其烃源条件和储盖条件,生物气勘探潜力大。另外沿庐断裂带分布的新生代盆地群和滇黔桂地区新生代发育的南方中小盆地群,有可能形成一定规模的生物气藏。

2.2.3 第四系

柴达木盆地东部第四系生物气资源量为 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 左右^[18],虽然已发现了3大气田(涩北一号、涩北二号、台南气田),但资源探明率低,勘探潜力仍然巨大。受烃源岩分布和构造发育条件的限制,在三湖拗陷的深凹区和北斜坡的下斜坡寻找构造气藏是今后一段时间最重要的勘探方向。随着勘探的逐步深入,岩性气藏勘探可能占据越来越重要的地位。提高构造和岩性圈闭的地震识别及烃检测技术、低饱和度薄气层的测井识别技术是勘探中应该重点解决的问题。

东部沿海地区的第四系河口湾相沉积中生物气显示多,但埋藏极浅,储量丰度低。可考虑适当开展这种极浅层生物气的勘探开发,实现就地民用。

参 考 文 献

- [1] RICE D D, CLAYPOOL G E. Generation, accumulation, and resource potential of biogenic gas[J]. AAPG Bulletin, 1970, 14(1): 1-10.

- tin, 1981, 65: 5-25.
- [2] 戚厚发, 关德师, 钱贻伯, 等. 中国生物气成藏条件[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 188.
- [3] SHURR G W, RIDGLEY J L. Unconventional shallow biogenic gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1939-1969.
- [4] 戴金星, 陈英. 中国生物气中烷烃组分的碳同位素特征及其鉴别标志[J]. 中国科学: B辑, 1993, 23(3): 303-310.
- [5] 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): 39-41.
- [6] 史占楨. 渤海湾盆地及其外围的生物气研究[J]. 天然气工业, 2002, 22(5): 11-15.
- [7] 张晓宝, 徐子远, 段毅, 等. 柴达木盆地三湖地区第四系生物气的形成途径与运聚方式[J]. 地质论评, 2003, 49(2): 168-174.
- [8] 徐永昌, 刘文汇, 沈平, 等. 保山气藏碳氢同位素特征及纯生物乙烷发现[J]. 中国科学: D辑, 2005, 35(8): 758-764.
- [9] 王大锐, 罗槐章. 云南陆良盆地天然气及烃源岩地球化学特征[J]. 天然气工业, 2000, 20(3): 12-15.
- [10] 何家雄, 夏斌, 张启明, 等. 南海北部边缘盆地生物气和亚生物气资源潜力与勘探前景分析[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 167-174.
- [11] 杨华, 李民才, 崔永平, 等. 河套盆地生物气成藏条件及勘探前景[J]. 中国石油勘探, 2005(3): 16-21.
- [12] WHITICAR M J. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane[J]. Chemical Geology, 1999, 161: 291-314.
- [13] 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.
- [14] 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): 1-4.
- [15] 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): 196-199.
- [16] 谢秋元. 我国生物气资源的开发前景[J]. 中国地质, 1991(10): 23-25.
- [17] 张英. 生物气生成机理、成藏条件与资源条件[R]. [出版地不详]: 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 2007.
- [18] 姜桂凤, 孔红喜, 侯泽生, 等. 柴达木盆地生物气资源潜力评价[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(4): 363-366.

(收稿日期 2009-07-25 编辑 罗冬梅)