

柴达木盆地三湖地区第四系生物气源岩中可溶有机质丰度及地质意义

张英^{1,2)}, 李剑²⁾, 张奎³⁾, 关平¹⁾, 李谨²⁾, 王晓波²⁾

1) 北京大学石油与天然气研究中心, 北京, 100871

2) 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊, 065007

3) 中国石油天然气股份公司, 北京, 100011

内容提要:柴达木盆地东部第四系生物气源岩有机质丰度是控制该区生物气资源的关键因素。通过重新设计实验流程,建立了针对未成熟生物气源岩的有机质丰度评价方法。柴达木盆地第四系生物气源岩可溶有机质含量约是不溶有机质含量的2.6倍,有机质大部分以可溶的形式存在。鉴于未成熟生物气源岩有机质赋存形式的特殊性,提出了柴达木盆地东部第四系生物气源岩的有机质丰度评价标准。大量存在的可溶有机质揭示柴达木盆地东部地区第四系仍处于生物甲烷生成阶段,较高的气源岩有机质丰度为生物气勘探提供了重要的资源保障。

关键词:柴达木盆地; 三湖地区; 生物气; 烃源岩; 有机质丰度; 可溶有机质

柴达木盆地位于青藏高原北部,四周被祁连山、阿尔金山、昆仑山三大山脉所包围,东西长850 km,南北宽150~300 km,面积约 $12.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ (党玉琪等,2004)。从1958年开始,相继发现了盐湖、涩北一号、涩北二号、驼峰山、台南5个气田和台吉乃尔含气构造(图1)(戚厚发等,1997)。截止2004年底,柴达木盆地第四系天然气探明储量已接近 $2800 \times 10^8 \text{ m}^3$ (魏国齐等,2005),全部为生物成因气(简称为生物气),使柴达木盆地成为我国四大气区之一。

生物气是一类重要的天然气资源,在世界范围内广泛分布,储量约占天然气总探明储量的15%~20%(Rice et al., 1981; 戚厚发等, 1997; Shurr et al., 2002; 张英等, 2005)。在中国,生物气分布也非常广泛,但资源分布不均匀,全国现探明生物气地质储量约为 $2850 \times 10^8 \text{ m}^3$,主要集中在柴达木盆地东部地区第四纪地层中。目前柴达木盆地生物气资源探明率不足30%,资源潜力巨大。

1 地质概况

柴达木盆地是在前侏罗纪柴达木地块基础上发育起来的一个中、新生代陆内沉积盆地。印支运动后,柴达木盆地演化经历了裂陷阶段、挤压阶段、挤

压断陷与局部走滑逃逸阶段和挤压褶皱拗陷阶段4个演化阶段,沉积、沉降中心由西向东不断迁移,在盆地的不同部分沉积了多套烃源岩,形成了多套含油气系统(金之钧等,2004)。到更新世,柴达木盆地沉积、沉降中心已移至三湖拗陷,在盆地东部沉积了一套厚达3200 m的湖相砂泥岩叠置地层。

柴达木盆地生物气主要分布在七个泉组(Q_{1+2}),彭德华等(2002)^①将第四系七个泉组(Q_{1+2})划分出13个标准层。更新世中期($K_5 - K_{10}$)是湖泊面积最大,水深最大的湖盆发展鼎盛时期,沉积的湖相暗色泥岩成为柴达木盆地东部地区优质的生物气源岩。更新世中晚期($K_2 - K_5$)是第四系湖盆相对稳定时期,形成的湖相泥岩成为最好的生物气源岩和区域盖层。到全新世,盆地整体抬升,湖盆收缩并逐渐消亡,水体浓缩,形成盐湖和盐沼,成为区域性盐岩盖层。

2 柴达木盆地第四系生物气形成条件

2.1 柴达木盆地第四系天然气成因认识

生物气是指有机质在埋藏早期阶段经微生物生化作用产生的以甲烷为主要成分的天然气。厌氧环境中,在多种微生物种群协同作用下,各种复杂的聚

注:本文为中国石油基金项目(编号07-01C-01-07和06-01C-01-04)资助的成果。

收稿日期:2007-11-01;改回日期:2007-11-07;责任编辑:周健。

作者简介:张英,女,1971年生,高级工程师,在站博士后。主要从事天然气成藏与地球化学研究。通讯地址:065007,河北省廊坊市万庄44信箱地质所;Email:zhangying69@petrochina.com.cn。

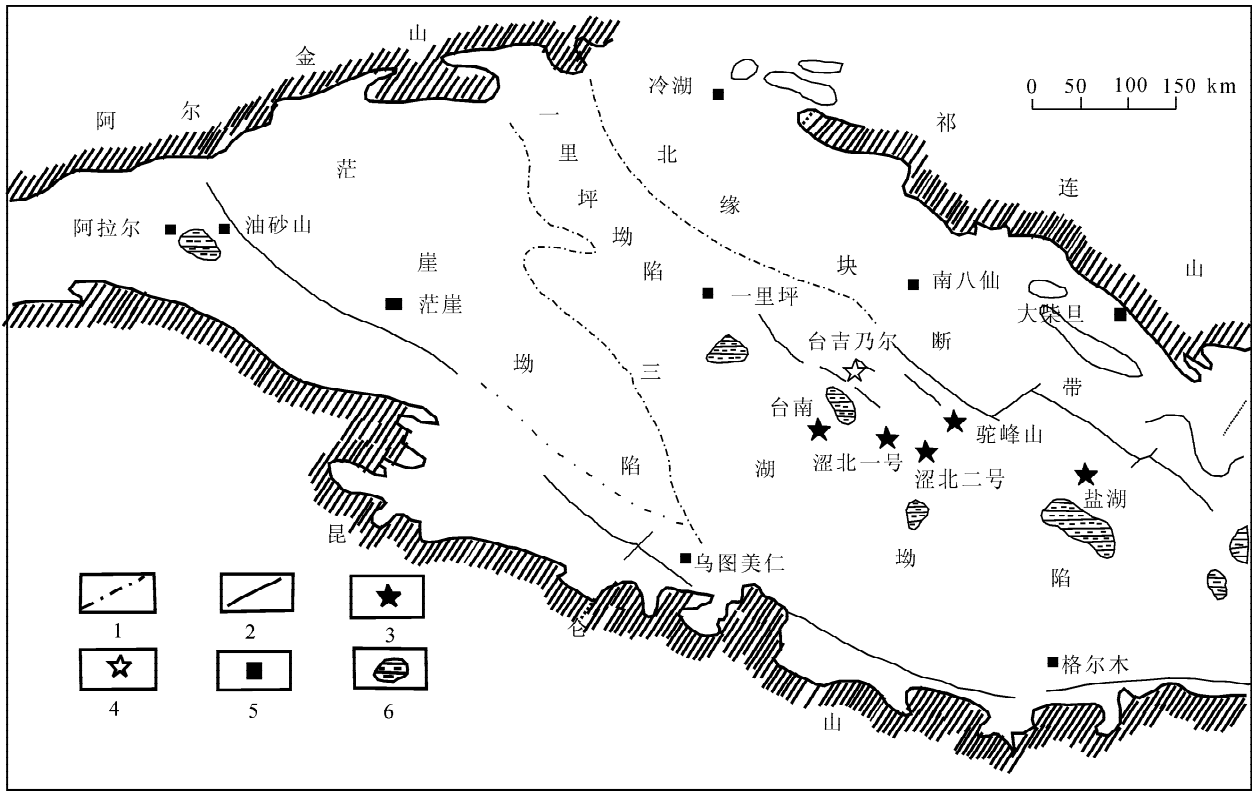


图 1 柴达木盆地三湖地区区域构造及气田分布图

Fig.1 Traps and gas fields in Sanhu Lake area, Qaidam basin

1—构造单元线; 2—断裂; 3—气田; 4—含气构造; 5—地名; 6—盐湖

1—Tectonic line; 2—fault; 3—gas field; 4—gas prospect; 5—place name; 6—salt lake

表 1 柴达木盆地涩北一号气田部分井天然气地球化学分析数据

Table 1 Components and isotopic data of gas samples from wells in Sebei 1 gas field of Qaidam basin

井名	CH ₄ (%)	C ₂ H ₆ (%)	C ₃ H ₈ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)	δ ¹³ C _{CH₄} (‰)	δD(‰)
涩 4-15	99.71	0.09	0.03	0.12	0.04	-67.8	-228.2
涩 3-23	99.90	0.06	0.01	0	0.02	-67.6	-231.3
新涩 4-3	99.46	0.11	0.04	0.16	0.21	-68.4	-230.3
涩 3-21	99.51	0.08	0.03	0.26	0.11	-66.6	-234.3
涩深 15	99.84	0.10	0.03	0.03	0	-68.0	-230.0
涩深 13	99.79	0.09	0.02	0.04	0.06	-69.6	-228.4

合物和大分子有机质逐步被分解,最终转化为可被产甲烷菌直接代谢生成甲烷的乙酸、二氧化碳等小分子。

柴达木盆地第四系气藏气都是以甲烷为主的干气(表 1)。大量的分析结果表明,甲烷在烃类组分中的含量超过 99% 以上,乙烷、丙烷含量不足 0.5%,含一定量的 N₂、CO₂ 等非烃组分,基本不含 C₄ 以上的重烃,几乎不含或很少含 H₂S(戴金星, 2000)。天然气中甲烷碳同位素分布在 -70‰ ~ -65‰ 之间,甲烷氢同位素分布在 -240‰ ~ -220‰ 之间。在 Whiticar 等(Whiticar et al., 1986; Whiticar, 1999)的生物气鉴别图版上(图 2),

属于 CO₂ 还原型生物气。

2.2 该区生物气生成的地质条件

生物气生成受氧化还原环境、温度、盐度、pH 值等多种条件的制约。柴达木盆地东部第四系 2000 m 以浅泥质岩镜质组反射率均在 0.2% ~ 0.47% 之间(顾树松, 1993),未达生烃门限;氯仿抽提物族组分中非烃和沥青质含量很高,平均在 70% 以上,说明源岩热降解程度极低;取样获得的岩心成岩程度低,泥岩和碳质泥岩中普遍见到未石化的螺、蚌和植物残体,进一步说明本区第四系仍处于早期成岩阶段,有机质仍未成熟。在埋深 1700 m(地温约 62℃)及以浅的岩心中普遍检测到产甲烷菌(管

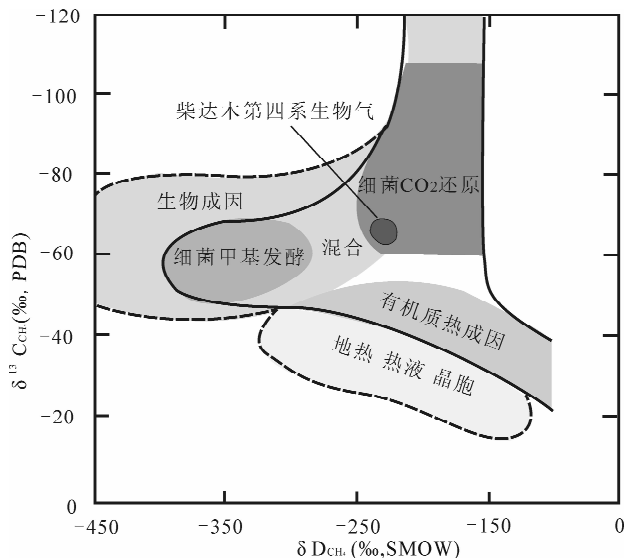


图2 柴达木盆地三湖地区第四系天然气的生物成因判别
Fig. 2 Diagram of origin identification of natural gases from Quaternary in Sanhu Lake area, Qaidam basin

志强等, 2001), 直接表明该套地层仍处于生物甲烷生成阶段。因此, 从埋深不足 10 m (钾盐钻孔) 到 1750 m (台南气田) 的范围内, 该区发现了大量的生物气显示也就不足为奇。

2.3 源岩有机质丰度与生物气资源潜力关系

柴达木盆地东部目前已经发现 5 个生物气田和一个含气构造, 其中 3 个气田为储量超过 $8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 的大型气田。要形成这样大型的生物气田, 必需具备足够优越的烃源条件。因此, 第四系生物气源岩的有机质丰度, 是决定生物气生烃强度的关键因素。正确认识柴达木盆地东部第四系生物气源岩的有机质丰度, 对于了解该区生物气生成条件、正确评价生物气资源及寻找有利的勘探领域具有重要意义, 也是迫切需要解决的问题。同时, 对生物气源岩有机质丰度认识的深入, 也将为在其他具有类似地质条件的盆地或地区寻找生物气资源提供参考。

3 常规方法评价生物气源岩存在的问题

3.1 应用常规测定方法对有机质丰度的认识

沉积岩中总有机碳含量(简称为有机碳, TOC)一直以来是评价烃源岩有机质丰度的重要指标, 也是应用成因法进行天然气资源评价的重要输入参数。专家针对不同类型的烃源岩, 建立了不同的烃源岩评价标准, 并对烃源岩进行分类评价。对于湖相泥岩, 好烃源岩有机碳含量一般应在 1.0% 以上;

中等烃源岩有机碳含量一般在 0.6%~1.0% 之间; 较差的烃源岩有机碳含量一般在 0.4%~0.6% 之间; 有机碳含量在 0.4% 以下为非烃源岩(黄第藩等, 1984, 1995)。

但针对柴达木盆地第四系生物气源岩, 该标准显得不适用。据文献数据(顾树松, 1993; 戚厚发等, 1997), 3000 多块气源岩有机碳分析结果, 平均有机碳仅为 0.3% 左右, 按常规烃源岩分类标准, 只能列入非烃源岩的范畴。烃源岩有机质丰度低, 但又发现了大量的天然气, 故国家“七五”计划以来的历次柴达木盆地生物气资源评价中, 都把生物气源岩的有机质丰度下限定为 0.18%, 远低于常规湖相泥岩的下限指标。是否柴达木盆地第四系生物气源岩特殊, 只需要很低的有机质丰度就可以生成大量的生物气, 还是对生物气源岩的认识不够深入, 是值得研究的问题。

3.2 常规测定方法的不适用性

石油地质学研究认为, 烃源岩中的有机质主要为干酪根, 干酪根热降解是晚期生油气理论的核心。烃源岩的各项有机地球化学分析项目, 多以干酪根作为分析重点。在烃源岩研究中, 常规烃源岩分析测定总有机碳含量(TOC)时, 需要对样品进行酸溶和水洗, 测定的主要是干酪根等不溶有机质的有机碳含量。因为在分析过程中损失掉了大部分可溶有机质, 可以认为 TOC 实际是不溶有机碳的含量。因此, 本文把常规分析方法测得的 TOC 数据作为不溶有机碳含量。

生物气生成机理与干酪根热解产气机理完全不同。柴达木盆地东部第四系生物气源岩正处于生物化学作用阶段, 各种原始有机质、大分子生物聚合物在各种菌群的作用下逐渐被降解, 并最终被转化为生物甲烷。生物化学作用主要发生在干酪根形成之前和形成过程中, 以干酪根为重点分析所获得的各项参数显然不适合用来评价生物气烃源岩。通过研究认为, 在评价未成熟生物气源岩时, 应强调总有机质而非只是干酪根对生物气生成的贡献。

4 生物气源岩中可溶有机质分析

4.1 可溶有机质评价方法

在有机地球化学分析中, 常规的有机碳测定方法需要对样品进行酸溶, 并用大量的水进行冲洗, 使大部分可溶(酸溶和水溶)有机质“流失”。这部分“流失”的有机质, 可能与生物气的生成关系更为密切。为避免损失这部分可溶有机质, 或者说, 为了准确评价烃源岩的有机质丰度, 需要重新设计实验方

法和流程。

在研究过程中,我们针对生物气源岩重新设计了实验流程。对一块烃源岩样品,分成 3 份,分别测定其总碳含量(TC)、无机碳含量(TIC)、不溶有机碳含量(TOC)。用总碳含量减去无机碳含量,即为总有机碳含量(* TOC)。用总有机碳含量(* TOC)减去常规烃源岩分析测定总有机碳含量(TOC,实为不溶有机碳含量),即获得烃源岩中可溶有机质的有机碳含量(TDOC)。

4.2 生物气源岩可溶有机质丰度

通过对柴达木盆地东部三湖地区涩北一号、涩北二号、台南、驼峰山构造 10 口井上取得的不同层位、不同深度 27 个烃源岩样品有机质含量的测定(表 2),发现采用常规有机地化分析方法测得的 TOC(不溶有机碳)值平均只有 0.24%,而这些样品

表 2 柴达木盆地三湖地区第四系生物气源岩
不同类型有机质含量

Table 2 Content of different types organic matter
in biogenic gas source rocks of Quaternary
in Sanhu Lake area, Qaidam basin

井名	井深 (m)	岩性	总有机碳 * TOC (%)	不溶有机碳 TOC (%)	可溶有机碳 TDOC (%)	可溶 /不溶
台南中 1	114.5	黑色淤泥	0.90	0.18	0.72	4.0
台南中 1	119	浅灰色淤泥	1.17	0.12	1.05	8.7
台南中 1	300.5	土黄色含盐泥岩	0.74	0.18	0.56	3.1
台南中 1	315	黑色淤泥	1.03	0.19	0.84	4.4
驼中 2 井	350	浅灰色泥岩	0.54	0.16	0.38	2.4
涩中 6 井	419	浅灰色泥岩	1.00	0.20	0.80	4.0
涩中 6 井	505	浅灰色泥岩	0.87	0.27	0.60	2.2
涩中 6 井	520	浅灰色泥岩	0.66	0.26	0.40	1.5
涩 23 井	549	浅灰色泥岩	0.22	0.17	0.05	0.3
涩中 6 井	721.39	浅灰色泥岩	0.64	0.19	0.45	2.3
涩 23 井	764.7	浅灰色泥岩	0.90	0.22	0.68	3.1
涩中 6	899.77	浅灰色泥岩	0.79	0.28	0.51	1.8
涩 6-3-3	932	浅灰色泥岩	0.63	0.20	0.43	2.2
台 5-7	1042.6	浅灰粉砂质泥岩	0.54	0.26	0.28	1.1
台南 5	1058	灰色泥岩	1.68	0.70	0.98	1.4
涩深 1	1206	灰色泥岩	0.74	0.16	0.58	3.6
涩 23	1236.58	灰色泥岩	0.79	0.20	0.59	2.9
台南 6	1280	灰色泥岩	0.70	0.18	0.52	2.9
台南 6	1302.9	灰色泥岩	0.91	0.18	0.73	4.1
台南 5	1416.5	灰色泥岩	0.89	0.38	0.51	1.3
涩深 1	1422	灰色泥岩	0.80	0.26	0.54	2.1
涩深 1	1485	浅灰泥岩	0.77	0.30	0.47	1.6
涩深 1	1523	浅灰泥岩	1.34	0.19	1.15	6.0
台南 5	1694	浅灰泥岩	0.82	0.27	0.55	2.0
台南 4	1697.5	灰色泥岩	0.58	0.22	0.36	1.6
台南 5	1705	灰色泥岩	0.68	0.35	0.33	1.0
台南 8	1740.9	浅灰色粉砂泥岩	0.69	0.28	0.41	1.5
平均值			0.81	0.24	0.57	2.4

可溶有机碳(TDOC)的均值为 0.57%,是不溶有机碳含量(TOC)的 2.4 倍。把可溶有机质考虑进来,烃源岩平均总有机碳含量(* TOC)达到 0.81%,大部分样品(23 个,占样品总数的 85%)达到中等烃源岩的标准,总有机碳含量(* TOC)大于 0.6%;其中部分样品(5 个,占样品总数的 19%)达到好烃源岩的标准,总有机碳含量(* TOC)大于 1%。

对涩北二号气田的一口单井从 520~1335 m 的系统岩心取样分析单井地质剖面也获得了非常相似的分析结果(图 3)。29 个样品平均总有机碳含量(* TOC)为 0.83%,其中采用常规有机地化分析方法测得的 TOC(不溶有机碳)值平均只有 0.22%,可溶有机碳(TDOC)的均值为 0.61%,是不溶有机碳含量(TOC)的 2.8 倍。全部样品的总有机碳含量(* TOC)都超过 0.4%;大部分样品(25 个,占样品总数的 86%)达到中等烃源岩的标准,总有机碳含量(* TOC)大于 0.6%;其中部分样品(6 个,占样品总数的 21%)达到好烃源岩的标准,总有机碳含量(* TOC)大于 1%。

综合 56 个样品的分析结果,柴达木盆地第四系生物气源岩中总有机碳含量(* TOC)均值为 0.82%,有机质大部分以可溶形式存在,平均可溶有机碳含量(TDOC)为 0.59%,是不溶有机碳含量(TOC0.23%)的 2.6 倍。柴达木盆地东部第四系生物气源岩有机质丰度并不低,只是过去没有认识到可溶有机质,仅以不溶有机质的含量作为总有机质丰度,导致生物气源岩有机质丰度的评价偏低。

5 可溶有机质大量存在的地质意义

5.1 指示生物甲烷生成过程

在厌氧环境中,生物甲烷产气是在种类繁多的微生物作用下有机质分子量逐渐降低的过程(图 4)。首先蛋白质、多糖、脂肪、核酸等多聚体被水解为单体和聚体,包括多肽、氨基酸、糖类、有机酸等分子量较小的物质,并进一步水解为醇类、丙酸、丁酸等产物,这些中间产物再被进一步降解为乙酸、甲酸、二氧化碳和氢,最后产甲烷菌利用这些小分子产物来制造生物甲烷(赵一章,1997)。在整个生物地球化学过程中,大量的中间产物,如氨基酸、可溶糖类、有机酸等都是可溶有机质。

柴达木盆地东部第四系生物气源岩中大量可溶有机质的存在,指示该区正处于生物甲烷生成阶段,生物化学作用强烈,有机质被大量改造、利用,生物气大量生成。

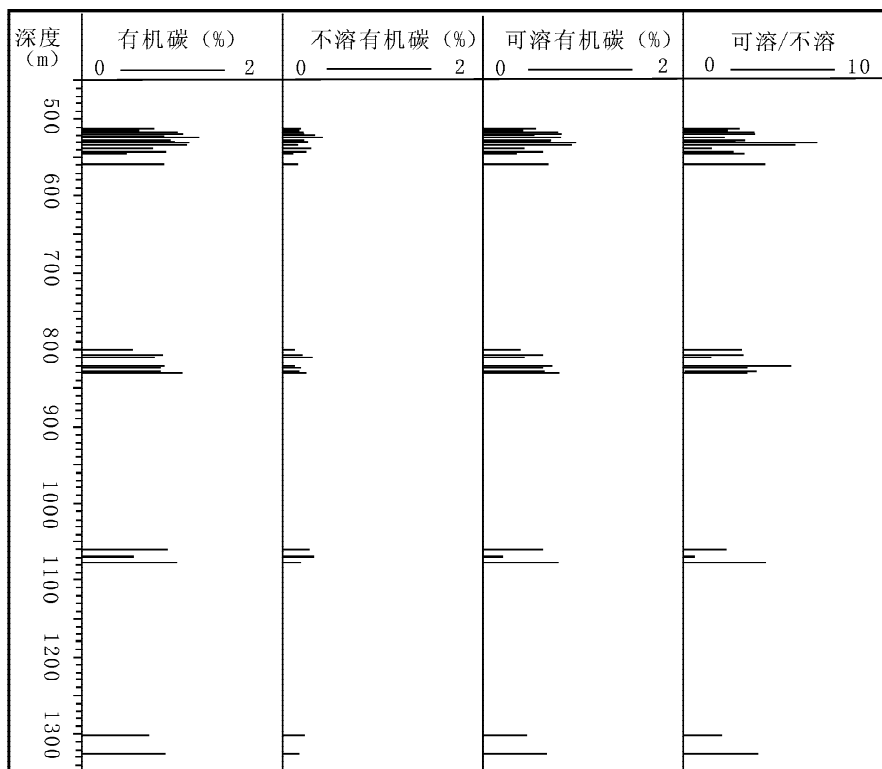


图 3 涩北二号气田单井剖面第四系泥岩有机质丰度分布

Fig. 3 Profile of organic matter abundance in Quaternary mudstones of a well in Sebei 2 gas field

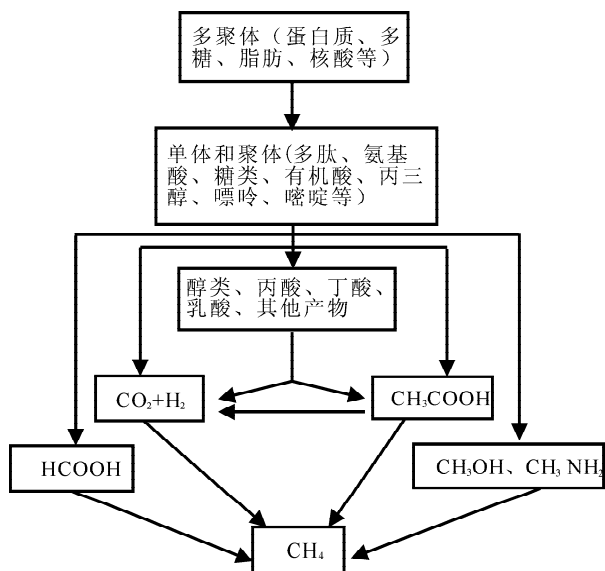


图 4 厌氧生态环境中的微生物食物链 (转引自 Zehnder, 1998)

Fig. 4 Food chains of microorganism in anaerobic ecological environment (from Zehnder, 1998)

在针对柴达木盆地东部第四系生物气源岩开展研究时,陈安定等(1991)曾发现岩心中存在一定含量的半纤维素、糖类有机质,这些有机质是本文中

研究的可溶有机质的重要组成部分。另外,有机酸是大分子被生物降解的中间产物,其中部分为可溶有机质。关平等(1995)开展柴达木盆地东部第四系生物气源岩研究,在岩心中普遍测出了一定含量的有机酸(表 3),含量主要分布在 0.1%~0.6%之间,

表 3 柴达木盆地三湖地区生物气田 (%) 不同层位岩心中有机酸含量

Table 3 Content (%) of organic acid in rock samples from different formation in biogenic gas fields in Sanhu Lake area, Qaidam basin

层位	涩北	盐湖	驼峰山	台南
K ₁ 以上	0.35(15)		0.13(2)	0.23(5)
K ₁ -K ₂	0.18(7)		0.20(2)	
K ₂ -K ₃	0.23(7)		0.11(1)	0.20(1)
K ₃ -K ₄	0.10(4)	0.22(1)		
K ₄ -K ₅	0.36(2)	0.24(1)		0.48(1)
K ₅ -K ₆	0.61(6)	0.29(3)	0.87(2)	0.49(1)
K ₆ -K ₇	0.22(4)		1.53(3)	
K ₇ -K ₈	0.27(6)		1.58(2)	1.17(1)
K ₈ -K ₉	0.29(5)			
K ₉ -K ₁₀	0.44(5)			0.79(1)
K ₁₀ -K ₁₁	0.17(4)			
K ₁₁ -K ₁₂	0.43(7)			
K ₁₂ -K ₁₃	0.28(4)			

注:括号中数据为样品数。

少数样品有机酸含量达到 1.5% (驼峰山气田)。

5.2 重新建立有机质丰度评价标准

由于以往对柴达木盆地东部第四系生物气源岩的评价过程中一直沿用传统分析方法,测得的有机质丰度很低,柴达木盆地历次生物气资源评价中,都把生物气源岩的有机质丰度下限定为 0.18%^{[10][11]}。同时这些研究中也发现,即使柴达木盆地东部第四系 TOC 含量只有 0.14% 的岩心样品,在生物气生成模拟过程中也能产生较多的甲烷,所以将下限值定为 0.18% 还是较为保守的。

将 TOC 含量为 0.18% 的下限值用柴达木盆地岩心样品测得的平均可溶/不溶系数 2.6 进行折算,可以发现它代表的总有机碳含量 (* TOC) 为 0.65%,已经超过了常规湖相泥岩 0.4% 的下限值,甚至达到中等烃源岩 (* TOC 为 0.6%~1.0%) 的标准。而 TOC 含量只有 0.14% 的岩心样品总有机碳含量 (* TOC) 为 0.50%,也超过了烃源岩的有机质丰度下限值。

分析认为,柴达木盆地东部第四系生物气源岩评价仍可借鉴常规湖相泥岩的烃源岩有机质丰度评价标准,只是应同时考虑可溶和不溶两部分有机质。总有机碳 (* TOC) 含量大于 1.0% 为好的烃源岩,0.6%~1.0% 为中等烃源岩,0.4%~0.6% 为较差的烃源岩,0.4% 以下为非烃源岩。如果折算为不溶有机碳的含量,则柴达木盆地第四系好的生物气源岩烃源岩 TOC 含量应在 0.28% 以上;中等烃源岩 TOC 含量在 0.17%~0.28% 之间;较差的烃源岩 TOC 含量在 0.11%~0.17% 之间;TOC 含量在 0.11% 以下为非烃源岩。

5.3 对该区生物气源岩质量和资源规模的认识

对柴达木盆地第四系生物气资源进行过多次评价和研究工作,其中重要的参数之一就是生物气源岩的有机质丰度。由于在过去的研究过程中借鉴常规油源岩和气源岩的评价思路,主要针对干酪根开展工作,得出了本区第四系生物气源岩有机质丰度很低的认识,造成历次生物气资源评价中算得的生物气生气量都很低,也就造成用成因法计算的生物气资源量低。如 1984 年全国第一轮油气资源评价中运用生油岩体积法对东部三湖地区进行了资源评价,评价结果生物气资源量不足 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1993 年全国第二轮油气资源评价采用生物模拟和碳酸盐碳同位素平衡法,对东部第四系生物气资源进行了评价,评价结果比第一次资源量有了较大的增长,但也只有 $2000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。

随着勘探程度和地质认识的不断提高,2002 年中国石油进行新一轮主要含油气盆地资源评价,采用地质类比法、圈闭加和法、饱和勘探法、规模序列法、生烃律法和蒙特卡洛法对柴达木盆地东部地区的生物气资源量进行计算,评价结果为第四系生物气资源量为 $10488 \times 10^8 \text{ m}^3$ (徐子远等,2004)。在此次评价中,相对弱化了生物气源岩有机质丰度参数的应用,也带来了大家的疑问:柴达木盆地第四系这种低丰度的烃源岩,如何能够形成如此大规模的生气田?

本文的研究表明,柴达木盆地东部第四系生物气源岩中总有机碳 (* TOC) 含量均值超过 0.8%,有机质丰度整体已经达到中等烃源岩的标准,其中 20% 为优质烃源岩。柴达木盆地东部第四系泥岩占地层厚度 70% 左右,基本全部达到了有机质丰度下限,生物气源岩厚度在涩北一号、涩北二号和台南气田超过 1000 m。如此大面积分布的、巨厚的、有机质丰度较高的生物气源岩,可以生成大量的生物气,从而为在合适的构造或地层条件下生物气的聚集成藏提供丰厚的气源基础。

6 结论

(1) 常规有机碳测定方法不适用于生物气源岩评价,测得的 TOC 不能真实的反映生物气源岩的有机质丰度。

(2) 柴达木盆地第四系烃源岩中存在大量可溶有机质。56 块样品用差额法测得的可溶有机质平均含量为 0.6% 左右,是常规分析方法测得的 TOC 平均值 (0.23%) 的 2.6 倍。

(3) 重新建立的生物气烃源岩有机质丰度评价标准仍借鉴常规湖相泥岩的烃源岩有机质丰度评价指标,但同时考虑了可溶和不溶两部分有机质。对柴达木盆地生物气源岩来说,TOC 大于 0.28% 属于好烃源岩,TOC 在 0.17%~0.28% 之间为中等烃源岩,TOC 在 0.11%~0.17% 之间属于较差的烃源岩,TOC 在 0.11% 以下为非烃源岩。

(4) 根据新建立的生物气源岩有机质丰度评价标准,柴达木盆地东部第四系泥岩基本上全部达到了有机质丰度下限,而且有 20% 的烃源岩为优质烃源岩,为该区生物气大规模聚集成藏提供了保障。

致谢: 在本文的研究过程中得到了赵文智教授、胡朝元教授、郑绵平院士的悉心指导和帮助,在此一并致谢!

注 释

- ① 彭德华,等. 2002. 柴达木盆地油气资源评价. 青海油田分公司内部报告.
- ② 范连顺等. 柴达木盆地东部第四系生物气成藏条件与勘探目标选择. 青海石油管理局.“八·五”国家重点科技攻关项目成果报告. 1995.
- ③ 周翥虹等. 柴达木盆地东部生物气的形成条件及资源评价.“七·五”国家重点科技攻关项目成果报告. 1989. 10.

参 考 文 献

- 陈安定,刘桂霞,连莉文,钱贻伯,张辉. 1991. 生物甲烷形成试验及生物气聚集的有利地质条件探讨. 石油学报,12(3):7~15.
- 戴金星. 2000. 天然气地质和地球化学论文集(卷二). 北京:石油工业出版社.
- 党玉琪,刘震,熊继辉,马达德,汪立群,李淮莲. 2004. 柴达木盆地油气成藏主控因素分析. 见:张一伟等主编. 柴达木盆地油气勘探论文集. 北京:石油工业出版社.
- 顾树松. 1993. 柴达木盆地东部第四系气田形成条件及勘探实践. 北京:石油工业出版社.
- 关平,王大锐,黄第藩. 1995. 柴达木盆地东部生物气与有机酸地球化学研究. 石油勘探与开发, 22(3):41~45.
- 管志强,徐子远,周瑞年,姜桂凤. 2001. 柴达木盆地第四系生物气的成藏条件及控制因素. 天然气工业,21(6):1~5.
- 黄第藩,李晋超. 1984. 陆相有机质演化和成烃机理. 北京:石油工业出版社.

- 黄第藩,秦匡宗. 1995. 煤成油的形成和成烃机理. 北京:石油工业出版社.
- 金之钧,张明利,汤良杰,等. 2004. 柴达木中生代盆地演化及其控油气作用. 石油与天然气地质,25(6):603~608.
- 戚厚发,关德师,钱贻伯,张祥,黄保家,等. 1997. 中国生物气成藏条件. 北京:石油工业出版社.
- 魏国齐,刘德来,张英,李本亮,胡国艺,李剑. 2005. 柴达木盆地第四系生物气形成机理、分布规律与勘探前景. 石油勘探与开发, 32(4):84~89.
- 徐子远,姜桂凤,韩凤祥. 2004. 柴达木盆地生物气资源现状及勘探方向. 见:张一伟等主编. 柴达木盆地油气勘探论文集. 北京:石油工业出版社.
- 张英,李剑,胡朝元. 2005. 中国生物气—低熟气藏形成条件与潜力分析. 石油勘探与开发,32(4):39~41.
- 赵一章. 1997. 产甲烷细菌及研究方法. 成都:成都科技大学出版社.
- Rice D D, Claypool G E. 1981. Generation, accumulation, and resource potential of biogenic gas. AAPG Bulletin,65:5~25.
- Shurr G W, Ridgley J L. 2002. Unconventional shallow biogenic gas systems. AAPG Bulletin,86:1939~1969.
- Whiticar M J, Faber E, Schoell M. 1986. Biogenic methane formation in marine and fresh-water environments—CO₂ reduction vs acetate fermentation isotope evidence. Geochimica et Cosmochimica Acta,50: 693~709.
- Whiticar M J. 1999. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane. Chemical Geology,161: 291~314.

Organic Matter Abundance in Quaternary Source Rocks and Its Application on Assessment of Biogenic Gas in Sanhu Lake area, Qaidam Basin

ZHANG Ying^{1, 2)}, LI Jian²⁾, ZHANG Kui³⁾, GUAN Ping¹⁾, LI Jin²⁾, WANG Xiaobo²⁾

1) *Institute of Oil & Gas, Peking University, Beijing, 100871*

2) *Research Institute of Petroleum Exploration and Development-Langfang, Langfang, Hebei, 065007*

3) *Exploration and Production Company of PetroChina Company Limited, Beijing, 100011*

Abstract

Organic matter abundance of quaternary source rock of biogenic gas in eastern Qaidam basin is the key factor controlling biogenic gas resource in the area. By redesigning measurement processes, the assessment method of source rock for biogenic gas is established. The content of dissoluble organic matter in quaternary source rock of biogenic gas is about 2.6 times than that of insoluble organic matter. So most of organic matter in Qaidam basin appear as dissoluble form. Based on the special existing form of immature source rock of biogenic gas, the assessment system of organic matter abundance for quaternary source rock of biogenic gas in Qaidam basin is suggested. Appearance of giant amount of dissoluble organic matter in the quaternary source rocks illustrates that there still is methane generation in the area, and abundant organic matter in source rock provides a resource guarantee for biogenic gas exploration.

Key words: Qaidam basin; Sanhu Lake area; biogenic gas; hydrocarbon source rock; organic matter abundance; dissoluble organic matter