

# 微生物地球化学探测技术在巴彦呼舒断陷 油气勘探中的应用

王江<sup>1</sup>, 王雪峰<sup>1</sup>, 赵传军<sup>2</sup>, 陈鸿平<sup>1</sup>, 王杰<sup>1</sup>

1 中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院; 2 中国石油大庆油田有限责任公司井下作业分公司

**摘要** 海拉尔盆地西部断陷带巴彦呼舒断陷具有多期复杂的构造建造和改造特征,形成了各种成因的断块、断鼻构造,以及不同类型的油气成藏模式。为了预测有利目标区的含油气性、识别油气藏的分布范围及油气性质,提高复杂断陷的油气探井成功率,基于轻烃微渗漏理论,应用微生物地球化学探测技术,包括微生物快速检测(MQS)、微生物油气检测(MOST)以及土壤酸解吸附烃油气检测(SSG)等石油地球化学和微生物学方法,开展勘探有利目标区之上地表的微生物值变化和酸解吸附烃异常的直接检测。研究表明微生物异常分布与已知含油气区、含油气井的对应关系良好,验证微生物地球化学探测技术在巴彦呼舒断陷具有较好的适用性和可靠性。通过MOST+SSG技术组合进一步确定有利异常区,认为巴彦呼舒断陷西部陡坡带是油气长期优势聚集区,微渗漏强度大。指出西部陡坡带的2个鼻状构造是下一步油气增储的有利地区。

**关键词** 微生物; 酸解吸附烃; 地球化学探测; 油气检测; 巴彦呼舒断陷; 海拉尔盆地

**中图分类号**: TE132.4 **文献标识码**: A

**引用**: 王江, 王雪峰, 赵传军, 等. 微生物地球化学探测技术在巴彦呼舒断陷油气勘探中的应用[J]. 海相油气地质, 2024, 29(2): 215-224.

WANG Jiang, WANG Xuefeng, ZHAO Chuanjun, et al. Application of microbial-geochemical detection technology in oil and gas exploration in Bayanhushuu fault depression[J]. Marine origin petroleum geology, 2024, 29(2): 215-224.

## 0 前言

微生物地球化学探测是地表油气勘探方法的一个技术分支。受油气藏压力、浮力和浓度差驱动,地下油气藏中的轻烃气体( $C_1$ — $C_4$ )会沿着地下复杂的微裂隙网络、断层体系以及其他运移通道,以连续气相或微气泡上浮的方式向上垂直运移<sup>[1]</sup>。当轻烃气体运移至地表土壤表层时,地表土壤中的烃氧化菌会因食物供应充足而异常活跃,一部分轻烃气体就被土壤中的专性烃氧化菌吞噬(碳源),一部分轻烃气体则被表层中的黏土矿物吸附或被次生碳酸盐胶结物所包裹。因此,在地下油气藏上方的地表表层土壤中就会形成与油气分布有关的微生物异常发育带或吸附烃异常发育带,这样通过地球化学酸解吸附烃和微生物异常检测就可以预测目标区的油气分布以及油气的流体性质,为地下烃类

物质的存在提供直接证据,这就是微生物地球化学探测(MGCE)技术的微生物石油地质学基本原理。MGCE技术与石油地质理论、地球物理勘探方法相结合,可以识别油气富集区,评价圈闭的含油气性,具有低成本、短周期、见效快的特点,成为提高勘探成功率、降低勘探成本的有效途径。微生物地球化学探测技术主要包括微生物油气检测(MOST)和土壤酸解吸附烃油气检测(SSG)2个方面<sup>[1]</sup>,前者对采集的地表土壤或海底表层沉积物样品中的专属微生物进行检测来预测地下油气藏的分布,后者预测地下油气藏的流体性质<sup>[2-4]</sup>。

早在20世纪30—40年代,苏联和美国的微生物学家<sup>[5-8]</sup>分别应用甲烷氧化菌以及地表土壤样品中分离出来的烃氧化菌作为地下气藏的指示物来预测地下油气藏;德国科学家在50年代独立开发了油气微生物勘探(MPOG)技术<sup>[2]</sup>; Beghtel等<sup>[9]</sup>在80

收稿日期:2023-05-09; 改回日期:2024-03-20

本文受国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”所属专题“页岩气勘探地球物理技术研究”(2011ZX05001-001-004)资助

**第一作者**: 王江, 博士, 高级工程师, 主要从事勘探部署、油气藏描述以及物探数据处理及解释技术研究。通信地址: 163712 黑龙江省大庆油田勘探开发研究院外围勘探研究室; E-mail: wangjiaang@petrochina.com.cn

年代开发了微生物油气检测(MOST)技术。这些技术均利用地表土壤中烃氧化菌的高抗丁醇的特性通过探测烃的微渗现象来预测地下油气藏的分布。经过近30年的实践应用,微生物地球化学探测技术得到了广泛的应用和推广,在50多个国家完成了近3 000个勘探项目<sup>[10]</sup>。2007年,该技术引入我国,先后应用在四川、柴达木、渤海湾、准噶尔、鄂尔多斯、松辽、羌塘、南黄海、北部湾、珠江口等盆地,覆盖了我国陆地与海域的不同生态环境、不同油气藏类型和不同油气藏性质的勘探目标,油气预测吻合率超过80%,取得了丰硕的成果<sup>[11-14]</sup>。

海拉尔盆地巴彦呼舒断陷构造横向成排成带、纵向复合叠置继承性发育,形成了上、中、下3套油气成藏组合(下部新生古储、中部自生自储和上部古生新储)<sup>[15]</sup>。巴彦呼舒断陷中部成藏组合断块和断鼻构造发育、储层条件优越,具备油气成藏和油气富集的条件。但是,受断陷湖盆近物源沉积条件的影响,砂岩储层岩性变化快、非均质性强,加上构造复杂,导致油水分布规律不清。因此,本文开展MGCE微生物地球化学探测工作,以明确巴彦呼舒断陷有利目标区的含油气性,为下一步的勘探部署提供有效依据。

## 1 区域地质概况

巴彦呼舒断陷位于海拉尔盆地西部断陷带南部,经过多期的构造建造和改造,表现为一个受西部断裂带控制、具有西断东超结构的北东向展布的箕状断陷。断陷结构复杂、构造破碎,发育断层控制的小断块和小断鼻构造。西部断裂不但控制巴彦呼舒断陷的构造格局,也控制巴彦呼舒断陷下白垩统铜钵庙组、南屯组和大磨拐河组的沉积。巴彦呼舒西部陡坡带经历了南屯组沉积末期和伊敏组沉积末期2期构造反转,第2期反转相对第1期反转构造影响小,构造得到完整保存,沿西部断裂带形成4个大型的鼻状构造,与扇三角洲前缘砂体配合,发育构造、构造-岩性油气藏。巴彦呼舒断陷面积约为1 500 km<sup>2</sup>,已完成二维地震(1 km×2 km)1 791.56 km、三维地震199.56 km<sup>2</sup>,预测资源量达9 900×10<sup>4</sup> t。南屯组烃源岩厚度大、面积广,干酪根类型为I型,有机质丰度高, $R_o$ 达到1.07%,是海拉尔盆地最好的烃源岩。断陷主要沉积上侏罗统的塔木兰沟组,下白垩统的伊敏组、大磨拐组、南屯组和铜钵庙

组,主力储层为南屯组扇三角洲砂体,具有“断坡控砂、沟谷控扇”的沉积特征。油气层主要分布在南屯组一段,已钻探井11口中的2口井获工业油流(CH5井试油获32.75 t/d;SH1井试油获5.38 t/d),2口井(CH3和CH9井)获低产,CH19井和CH8井见油气显示,表明该断陷具有较好的勘探前景,是油田近期储增的重点地区。

## 2 野外采样

为了准确、快速预测巴彦呼舒断陷的油气分布、识别油气藏的流体性质,快速筛选有利区,降低勘探成本,提高预测效率,在开展常规实验室土壤样品微生物培养、分析微生物数据并划分数据异常等级的同时,利用微生物快速检测(MQS)技术对研究区进行快速扫描的含油气性初探工作。以常规实验室样品微生物培养作为基础,MQS技术利用对氧化-还原反应敏感的染料作为反应指示剂进行实验检测,这种显色剂所表现出的不同颜色代表了微生物代谢活动的不同阶段。又由于微生物代谢活动可以反映现场烃氧化菌的含量,因此,可以根据显色剂变色的程度来确定检测区烃氧化菌的相对含量。利用指示剂显色方法,在野外施工现场快速检测烃氧化微生物、快速确定烃氧化微生物的丰度、快速划定烃类富集区,并针对性地进行样品采集加密设计,做到有的放矢,减少采样成本,缩短勘探周期,为后期的勘探工作提供重要而可靠的依据。

研究区地貌较简单,以草地为主,局部地区为河道,工区土壤类型为黏土和亚黏土,岩土类型单一,便于微生物样品的采集。首先以CHX7井—SH1井一带为中心,对构造圈闭实施MQS检测十字测线(图1),测线长度为45 km,点间距为250 m,共采集快速检测样品180个,旨在对巴彦呼舒断陷反转构造带的含油气性进行初探。然后根据MQS技术识别的微生物异常区加密微生物均匀网格,在巴彦呼舒断陷西部反转构造带的南部鼻状构造的CH5井—CHX7井区、CH3井—CH9井区整体一次性部署MOST检测采样点707个、SSG检测采样点263个,采样点覆盖面积72 km<sup>2</sup>,测点间距为330 m×330 m的均匀网格,来进一步落实微生物有利区及其分布范围。在采样过程中,用铁锹采集深度约为40 cm的地表土壤样品:刨去10 cm厚的表层土,然后用锹往近垂直方向向下铲获30 cm厚的土壤,取锹尖的土壤样品,样品重量不少于150 g。





壤样品中烃类微生物总数量与土壤样品总重量之比,其数值的高低不仅反映了微生物异常区下伏油气藏的轻烃渗漏强度,也是判断下伏地层含油气性,预测油气分布规律的定量标准。

### 3.3 土壤酸解吸附烃油气检测实验

SSG检测主要对浅层土壤或海洋沉积物样品直接酸解提取酸解物,通过分析样品中的轻烃( $C_1$ — $C_4$ )浓度和组分(“指纹”)来实现。吸附烃数据反映的是微渗漏的历史过程,而不仅仅是目前正在活跃的渗漏。地下潜伏的油气系统与近地表土壤表层或海洋沉积物中吸附烃的相对含量有关,故根据酸解轻烃( $C_1$ — $C_4$ )的组份就可以预测运移烃的流体性质(如油、气或油气混合),定性地鉴别由微生物异常所指示的地下潜在油气藏的流体性质。

在实验室,对土壤样品中的酸解吸附烃组分进行测试,通过组分比定性判断地下油气藏的流体性质。根据MOST检测的分析结果挑选微生物异常区的土壤样品来进行SSG检测。实验步骤包括:①应用酸解方式对称取的定量土壤样品提取气体组分,应用排水集气法收集气体,使用碱液将其中的 $CO_2$ 去除后得到高纯度 $C_1$ — $C_4$ 轻烃组分。②对酸解吸附烃轻烃组分( $C_1$ — $C_4$ )进行分析。实验使用的Agilent7890A气相色谱仪以氮气为载气,色谱柱为OV-101柱,流速为50 mL/min的恒流,精度可达ppm(即 $10^{-6}$ )级。③程序升温。首先80℃恒温保持6 min,然后以5℃/min的升温速度提高温度,当温度达到110℃时,恒温保持2 min。④对标准气体甲烷进行5~7次试验测定,当测定的相对误差 $\leq 3\%$ 后,测定酸解吸附烃轻烃组分( $C_1$ — $C_4$ )。⑤用1 mL进样针提取 $500.0 \pm 0.5$   $\mu$ L酸解吸附烃轻烃气体,迅速注入Agilent7890A气相色谱仪进行色谱分析、采集色谱数据、绘制色谱图,确定样品轻烃组分( $C_1$ — $C_4$ )的绝对浓度,定性地鉴别微生物异常所指示的地下潜在油气藏的流体性质。

## 4 油气探测

### 4.1 微生物快速检测

根据培养过程中氧化-还原指示剂颜色的变化,对照比色卡进行简单赋值后,可区分烃类微生物富集区,从而来判定油气富集有利区和非有利区。图2中蓝色代表背景值,绿色代表低异常,二者指示油气富集非有利区;黄色代表中异常,橙色代表

高异常,红色代表超高异常,均指示油气富集有利区。

巴彦呼舒断陷西部反转构造带南部整体表现为北北西走向的长轴鼻状构造,平面上发育多个局部构造高点,并发育多条北东向和南北向断层。从检测结果与勘探目的层的构造叠合来看,构造顶部整体异常强度较高,十字线4个方向均呈现连续高异常,指示了较好的含油气前景。反转构造带翼部异常强度要低于构造高部位,以中异常和低异常为主。

### 4.2 微生物油气检测

根据MQS检测识别的有利区范围,整体一次性部署MOST检测采样点707个(图1),完成野外采样、实验分析和油气检测工作。

#### 4.2.1 微生物异常等级划分

对微生物值进行数理统计分析:MV最小值为0 CFU,最大值为623 CFU,平均值为191 CFU,标准偏差为121 CFU;背景值(不高于全部数据平均值的微生物值)的平均值为110 CFU,标准偏差为46 CFU。在微生物勘探中,微生物异常值与背景值的等级划分是预测有利含油区、识别油气藏流体性质的关键环节,通常以颜色色标来表示,用蓝、绿色代表无异常和低异常的油气非有利区,用黄、橙和红色代表中异常、高异常及超高异常的油气有利区。本文应用数理统计、频率直方图及分形等方法划分微生物异常值与背景值的门槛界限。

应用数理统计学计算微生物异常下限的数学表达式为:

$$V_0 = X + KS \quad (1)$$

式(1)中: $V_0$ 为微生物异常值下限(即黄色高异常与绿色低异常之间的门槛界限值),CFU(Colony-Forming Units,简称CFU,为单个平板培养获得的微生物菌落单位); $X$ 为微生物背景值的平均值,CFU; $K$ 为系数, $K$ 取0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0,通常 $K$ 值选取1.5~3.5,置信度较高; $S$ 表示标准偏差。通过统计分析,研究区微生物背景均值为121 CFU,标准偏差为52 CFU。当 $K$ 取值0.5~5时,得到以下数据节点(表1)。根据经验,微生物门槛值一般取在 $K=2\sim 3$ 附近的 $V_0$ 值,所以通过数理统计计算得到的土壤样品的微生物异常下限约为251 CFU。

根据微生物值数据的频率分布直方图确定土壤样品中微生物异常值与背景值的门槛界限。在



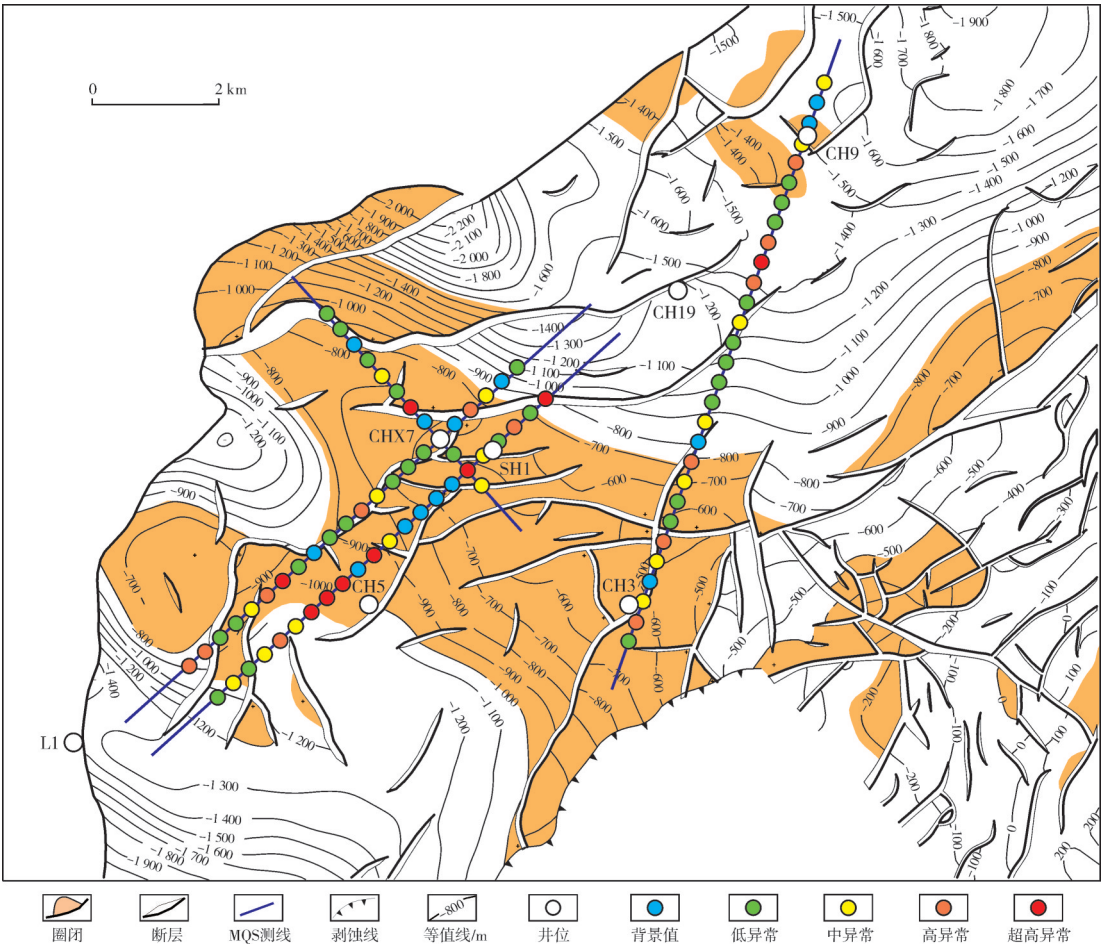


图2 巴彦呼舒断陷 MQS 检测结果平面分布图

Fig. 2 Planar distribution of Microbial Quick-Screen (MQS) results in Bayanhushuu fault depression

表 1 微生物可能阈值计算节点统计表

Table 1 Statistics of the calculation nodes of the possible microbial threshold value

系数	K=0.5	K=1.0	K=1.5	K=2.0	K=2.5	K=3.0	K=3.5	K=4.0	K=4.5	K=5.0
$V_0/\text{CFU}$	147	173	199	225	251	277	303	329	355	381

理想状态下,烃氧化菌异常值带和背景值带的频率分布均呈现为双峰形态的正态分布,而在实际的勘探实践中,由于石油地质条件的复杂性和非均质性,背景值和微生物异常值的频率分布形态曲线出现叠置,通常把形态曲线叠置交叉的“断点”作为微生物异常值与背景值的门槛界限点。由微生物值频率分布直方图(图3)可见,频率直方图分布曲线呈现双峰的特征,曲线叠置交叉的“断点”的微生物值约为 251 CFU,认为此交点是微生物异常值与背景值的门槛界限。在数理统计公式(1)中, $K=2\sim3$ 时的门槛值范围为 225~277 CFU(表1),与频率直方图确定的范围一致(图3),说明这2种方法得到

的结果比较吻合,这一结果比较可信。

分形理论下的含量-总量法计算微生物异常下限方法表示为:

$$N(r)=C\times r^{-D} \quad r>0 \tag{2}$$

式(2)中: $N(r)$ 为尺度大于等于 $r$ 的数目, $r$ 为特征尺度, $C$ 为比例常数( $C>0$ ), $D$ 为分维数( $D>0$ )。例如, $r$ 表示某元素的含量, $N(r)$ 为元素含量大于等于 $r$ 所围成的面积。将观测数据( $N(r_1), N(r_2), N(r_3), \dots, N(r_n)$ )和( $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ )绘在双对数坐标上,利用式(3)可求出分维数 $D$ :

$$\lg N(r)=\lg C-D\lg r \tag{3}$$

在计算中,假定数据散点分布在两段直线上,采用

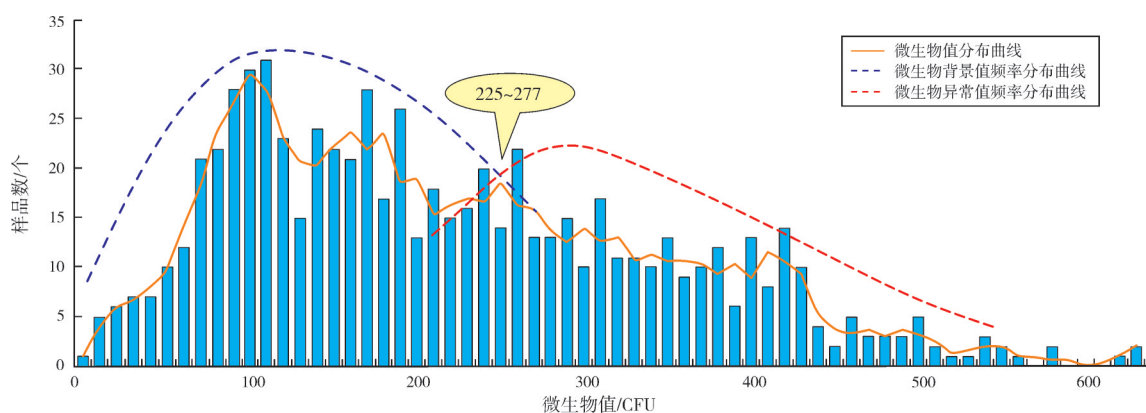


图3 巴彦呼舒断陷微生物值频率分布直方图

Fig. 3 Histogram of frequency distribution of microbial value in Bayanhushuu fault depression

分段拟合来确定分界点。为了提高分界点确定的客观性,在2个区间分别用最小二乘法进行曲线回归,使各区间拟合的直线与原始数据之间的剩余平方和在2个区间的总和最小,此时2段直线的交点即为微生物异常值的下限值(在图4中的直线分别为分2个区间拟合的直线,曲线则为整体拟合的原始曲线)。依据数据分形方法计算巴彦呼舒断陷的微生物异常值下限值为246 CFU,即认为微生物值 $\geq 246$  CFU指示微生物异常(图4)。

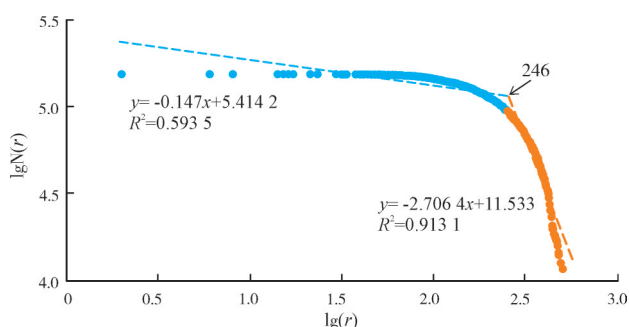


图4 巴彦呼舒断陷微生物值数学分形图

Fig. 4 Mathematical fractal diagram of microbial value in Bayanhushuu fault depression

将以上3种数学方法划分的微生物阈值同研究区4口已钻井处微生物异常值正演对比发现:CH5井南屯组一段5砂组试油获32.75 t/d的产量,为工业油流井,其微生物值统计结果为320 CFU,位于微生物高异常范围内;SH1井南屯组一段5砂组测试获5.38 t/d的产量,为工业油流井,其微生物值统计结果为303 CFU,位于微生物中异常范围内;而CH9井和CH3井为油气显示井,周围以微生物低异常和背景值为主。对比结果证明微生物阈值在250 CFU附近比较合理。

#### 4.2.2 微生物有利区划分

综合数理统计、频率直方图和分形3种方法,求取巴彦呼舒断陷微生物异常门槛值为250 CFU(黄色下限)。将微生物值大于门槛值的数据按照数理统计的不同的标准差倍数进行异常等级区分,表现出异常等级的相对大小(图5a)。用红色表示400~623 CFU范围内的MV超高异常;用橙色表示320~400 CFU范围内的MV高异常;用黄色表示250~320 CFU范围内的MV中异常;用绿色表示120~250 CFU范围内的MV低异常;用蓝色表示0~120 CFU范围内的MV背景值。根据微生物异常值等级划分标准,研究区微生物异常分布特征比较明显,异常区和背景区的区分显著(图5):异常主要分布在西部地区,分布比较集中,可识别南、北2个异常条带,呈近东西向及北东—南西向展布,与本区构造发育方向一致;东部地区以背景值为主,异常值分布零散。

以微生物异常值下限为边界圈定微生物有利区的分布范围,识别出14个较连续的微生物异常区带(图5b),总异常面积为19.3 km<sup>2</sup>,约占工区面积的26%,其中大于1 km<sup>2</sup>的规模异常有7个,展现出较好的勘探前景。

#### 4.3 油气藏流体性质判别

应用SSG检测技术可以定性判别地下油气藏的流体性质。通过酸解烃中的轻烃组成特征及在SSG三组分经验模版上的投影,来甄别引起地表微生物异常的轻烃性质,进而追溯出轻烃是来源于油藏、气藏或其他类型烃类矿藏。与常规化探不同的是:①SSG检测技术要求土壤样品的采样深度(40 cm)比

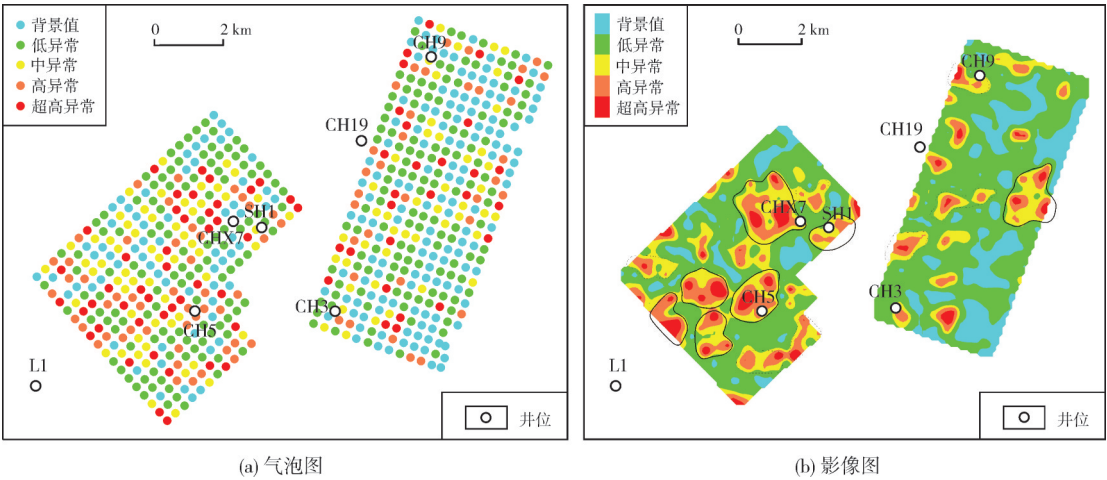


图5 巴彦呼舒断陷微生物异常分布图

Fig. 5 Distribution map of microbial values in Bayanhushuu fault depression

常规化探的采样深度(>1 m)浅;②常规化探是对土壤样品中含有的轻烃浓度进行定量分析,而SSG检测技术不但关注轻烃组分、检测土壤中酸解吸附轻烃各轻烃组份(C<sub>1</sub>—C<sub>4</sub>)的浓度,还可用C<sub>1</sub>/(C<sub>2</sub>+C<sub>3</sub>)与C<sub>2</sub>/(C<sub>3</sub>+C<sub>4</sub>)交会图版定性判别微生物异常带下伏油气藏的流体性质<sup>[16-17]</sup>。

为了定性识别MV异常区下伏油气藏烃渗漏的

流体性质,在剖析样品MV资料的基础上,选取了263个土壤样品进行酸解吸附轻烃C<sub>1</sub>—C<sub>4</sub>的烃含量分析,并将实验分析结果(表2)投影到C<sub>1</sub>/(C<sub>2</sub>+C<sub>3</sub>)与C<sub>2</sub>/(C<sub>3</sub>+C<sub>4</sub>)交会图版(图6)中。巴彦呼舒断陷SSG三组分图显示实验样点落到油区较多,还有少量样点落在油气并存区间内,表明巴彦呼舒断陷的油气性质以油为主,同时局部含有天然气。

表2 巴彦呼舒断陷SSG检测数据统计表

Table 2 Data statistics of sorbed soil gas (SSG) in Bayanhushuu fault depression

指标	C <sub>1</sub> /(μL·L <sup>-1</sup> )	C <sub>2</sub> /(μL·L <sup>-1</sup> )	C <sub>3</sub> /(μL·L <sup>-1</sup> )	C <sub>4</sub> /(μL·L <sup>-1</sup> )	C <sub>1</sub> /(C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub> )	C <sub>2</sub> /(C <sub>3</sub> +C <sub>4</sub> )
平均值	33.14	4.35	1.78	0.64	5.41	1.80
最小值	2.26	0.30	0.15	0.15	5.02	1.00
最大值	357.59	52.92	16.47	7.47	5.15	2.21

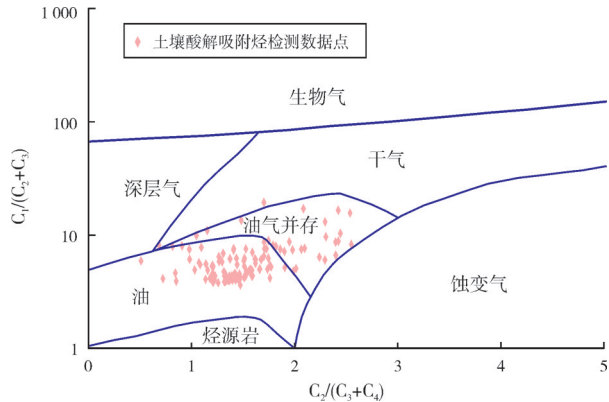


图6 巴彦呼舒断陷SSG三组分图  
Fig. 6 Three-component diagram of SSG in Bayanhushuu fault depression

5 探测综合评价

5.1 有利区评价

巴彦呼舒断陷CHX7井—CH5井联井地震剖面与微生物异常叠合对比图(图7)显示,MV异常区主要位于背斜构造和断块构造的高点附近,该区域MV不但异常强度高、平面分布连续,而且微生物异常与已钻井试油结果一致,展现出较好的适用性和可靠性。巴彦呼舒断陷微生物采集工区内共有4口已知钻井,微生物异常数据统计显示,异常等级与含油气丰度具有较好的等级对应关系,指示微生物异常具有较好的可靠性。



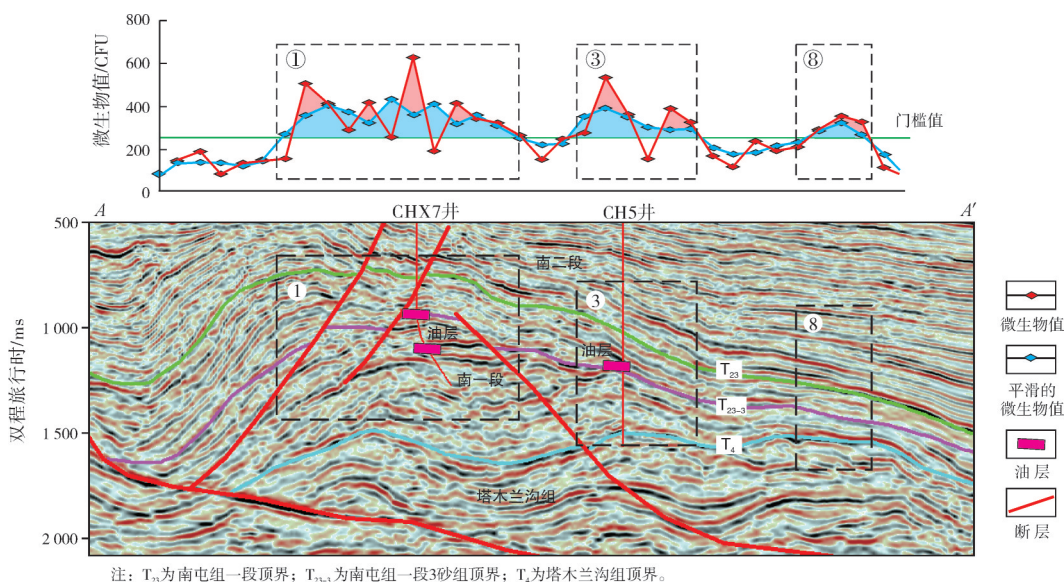


图7 巴彦呼舒断陷CHX7—CH5联井地震剖面与微生物异常叠合对比图(剖面位置见图8)

Fig. 7 The CHX7-CH5 inter-well contrast of seismic profile and microbial values in Bayanhusu fault depression (section location is shown in Fig. 8)

根据油气成藏条件来看,巴彦呼舒断陷整体表现为一西断东超的箕状断陷,从西向东划分为西部陡坡带、中部洼槽区和东部缓坡带3个次级构造单元,在南屯末期和伊敏末期发生2期构造反转,沿西部陡坡带发育的4个鼻状构造紧邻中部生烃中心且断裂非常发育,是油气运聚成藏的有利区,与沉积扇体和烃源岩匹配较好,成藏条件有利。西部陡坡带勘探目的层为南屯组一段,储层为扇三角洲前缘砂体,以砂砾岩、粉砂岩及泥质粉砂岩为主。从西部陡坡带CH5井—SH1井区、CH3井—CH19井区微生物异常气泡图和微生物异常影像图(图5)来看,西部陡坡带的南部鼻状构造整体具有较好的含油气性,表明南部鼻状构造带为有利含油气区。在预测的有利油气区内,SH1井和CH5井获得高产工业油流,发育构造油藏,微生物异常显著、连续稳定,呈集中、连片分布特征。在西部陡坡带CH5井—SH1井区、CH3井—CH19井区预测有利含油气区14个,面积19.3 km<sup>2</sup>。

微生物异常与构造叠合图(图8)显示:③号异常和⑦号异常分别对应CH5井含油气区和SH1井含油气区,异常分布与已知含油气圈闭吻合,微生物异常主要聚集分布在南部的鼻状构造内,与构造解释成果较一致,表明研究区成藏主要受构造控制;①号和④号异常也分别与构造圈闭对应,预测这2个目标具有较好含油气性;CH5井区断块构造呈聚集式分布,发育了5个异常,其中③号、④号、⑨号异常有圈闭对应,⑤号和⑥号异常显著,局部有圈闭对应,表明CH5井

区的断块构造具有构造整体含油的特征。

综合分析,在巴彦呼舒断陷西部陡坡带,微生物异常与南部鼻状构造对应关系良好,指示南部鼻状构造具有较好的含油气性。其中,①号异常面积为3.3 km<sup>2</sup>,分布连续、稳定,对应CHX7井区断块构造,与已知油气区的③号异常相比,无论异常规模还是异常等级,均展现出良好的含油气潜力;④号、⑤号、⑥号和⑨号异常对应CH5井区断块构造,4个异常总面积为5.1 km<sup>2</sup>,展现出南部鼻状构造整体连片含油的特征。

## 5.2 探测效果

依据巴彦呼舒断陷构造、沉积、储层以及成藏等综合研究成果,结合微生物异常油气预测结果,在断陷西部陡坡带反转构造的高断块上部部署了探井CHX7井,CHX7井在南一段3砂组83、86号层井段(1 153.0~1 132.6 m)射开厚度5 m,压后水力泵求产获工业油流,日产油2.364 t,原油密度为0.918 1 g/cm<sup>3</sup>,原油黏度为277.6 mPa·s;南一段4砂组137号、140号、147号、148号层井段(1 616.1~1 546.8 m)射开厚度8 m,压后水力泵求产见油花,日产油0.106 t,原油密度为0.916 g/cm<sup>3</sup>,原油黏度为1 783.9 mPa·s,受油质影响,常规求产的产量低,热采产量会有所提升。CHX7井钻探成功不但进一步证实了巴彦呼舒断陷西部陡坡带油气富集,勘探潜力巨大,也验证了在复杂构造区,应用微生物地球化学探测技术预测油气藏分布、识别油气藏流体性质结果准确,方法可行。



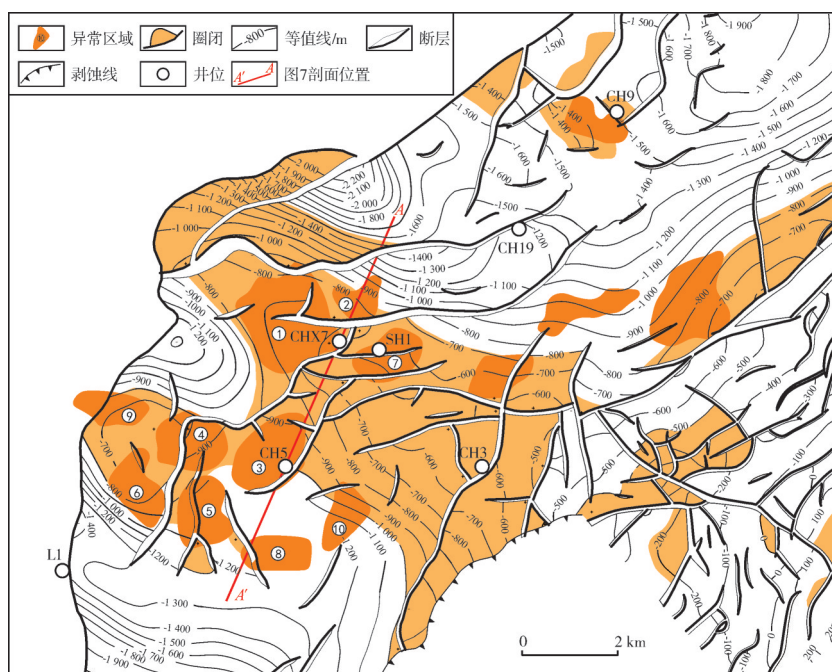


图8 巴彦呼舒断陷CH5井—SH1井区微生物异常与构造图叠合图

Fig. 8 Superimposed map of microbial anomaly and structure in Well CH5-SH1 area, Bayanhushuu fault depression

## 6 结 论

(1)微生物油气检测(MOST)和土壤酸解吸附烃油气检测(SSG)表明,海拉尔盆地巴彦呼舒断陷西部陡坡带不但轻烃微渗漏强度大、含油气性好,而且油气藏流体性质以石油为主。探测结果同SH1井、CH5井试油结果相吻合,证明微生物地球化学探测技术在油气勘探中预测油气藏分布、识别油气藏流体性质的方法可行,成果可靠。

(2)微生物快速检测(MQS)可为野外土壤样品采集质量检查、加密采集样点的详查提供可靠依据。MQS与MOST技术在SH1井、CH5井和CHX7井区检测出的轻烃微渗漏结果一致,同钻井试油情况相吻合,不但表明MQS检测有效可行,也表明在MQS检测的基础上,逐步加密野外土壤取样的这种模式不但提高了油气藏的预测效率,而且降低了勘探成本。

(3)针对油气勘探成本高、探井风险高和节奏慢的新区、新领域等风险勘探区,将勘探高效、检测灵敏的微生物地球化学探测技术与石油地球物理技术、石油地球化学实验方法以及石油地质油气成藏理论相结合,不但可以降低“三新”领域的勘探成本、加快勘探节奏,而且能快速获得新区、新领域勘探的新突破。

## 参 考 文 献

- [1] 丁力, 杨迪生, 吴宇兵. 微生物地球化学勘探技术在准噶尔盆地的应用[J]. 天然气工业, 2021, 41(10): 50-57.  
DING Li, YANG Disheng, WU Yubing. Application of microbial geochemical exploration technologies in the Junggar Basin [J]. Natural gas industry, 2021, 41(10): 50-57.
- [2] 梅博文, 袁志华, 王修垣. 油气微生物勘探法[J]. 中国石油勘探, 2002, 7(3): 42-53.  
MEI Bowen, YUAN Zhihua, WANG Xiuyuan. Microbiological prospecting of oil and gas [J]. China petroleum exploration, 2002, 7(3): 42-53.
- [3] DING Li, WU Yubing, LIU Xuechao, et al. Application of microbial geochemical exploration technology in identifying hydrocarbon potential of stratigraphic traps in Junggar Basin, China [J]. AIMS geosciences, 2017, 3(4): 576-589.
- [4] SUN Zhongjun, YANG Zhibin, MEI Hai, et al. Geochemical characteristics of the shallow soil above the Muli gas hydrate reservoir in the permafrost region of the Qilian Mountains, China [J]. Journal of geochemical exploration, 2014, 139: 160-169.
- [5] BROWN A. Evaluation of possible gas microseepage mechanisms [J]. AAPG bulletin, 2000, 84(11): 1775-1789.
- [6] ABRAMS M A. Significance of hydrocarbon seepage relative to petroleum generation and entrapment [J]. Marine and petroleum geology, 2005, 22(4): 457-477.
- [7] SAUNDERS D F, BURSON K R, KEITH THOMPSON C. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations [J]. AAPG bulletin, 1999, 83(1): 170-185.
- [8] HITZMAN D C, ROUNTREE B A, O'DONNELL C. Advanced reservoir characterization of a Hunton Field, Kingfisher County, Oklahoma [J]. Circular-Oklahoma Geological Survey, 2001, 105: 176.

- [9] BEGTEL F W, HITZMEN D O, SUNDBERG K R. Microbial oil survey technique (MOST): evaluation of new wildcat wells in Kansas[J]. APGE bulletin, 1987, 3(1): 1-14.
- [10] BAURN M, WAGNER M, RASCH H J. MPOG-microbial prospection of oil and gas: field examples and their geological background [C]//60th EAGE Conference and Exhibition. Leipzig, Germany: European Association of Geoscientists & Engineers, 1998: cp-110-00451.
- [11] 梅博文, 吴萌, 孙忠军, 等. 青海省天峻县木里地区天然气水合物微生物地球化学检测法 (MGCE) 试验[J]. 地质通报, 2011, 30(12): 1891-1895.  
MEI Bowen, WU Meng, SUN Zhongjun, et al. Microbial geochemical (MGCE) detection test of natural gas hydrate in permafrost of Muli area, Tianjun County, Qinghai Province [J]. Geological bulletin of China, 2011, 30(12): 1891-1895.
- [12] 郝纯, 孟庆芬, 梅海. 青海木里三露天水合物微生物地球化学勘查研究[J]. 现代地质, 2015, 29(5): 1157-1163.  
HAO Chun, MENG Qingfen, MEI Hai. Microbial geochemical exploration and research on gas hydrate in Sanlutian of Muli, Qinghai Province [J]. Geoscience, 2015, 29(5): 1157-1163.
- [13] 曹军, 周进松, 银晓, 等. 微生物地球化学勘探技术在黄土塬地貌区油气勘探中的应用[J]. 特种油气藏, 2020, 27(5): 53-60.  
CAO Jun, ZHOU Jinsong, YIN Xiao, et al. Application of microbial geochemical exploration technology in oil and gas exploration in loess tableland regions [J]. Special oil & gas reservoirs, 2020, 27(5): 53-60.
- [14] 凌勋, 姚茂敏, 杨万祥, 等. 微生物地球化学勘探在准噶尔盆地车排子凸起石炭系中的应用[J]. 新疆地质, 2021, 39(3): 452-455.  
LING Xun, YAO Maomin, YANG Wanxiang, et al. Application of microbial geochemical exploration technology in Carboniferous System of Chepaizi Uplift, Junggar Basin [J]. Xinjiang geology, 2021, 39(3): 452-455.
- [15] 李文涛. 海拉尔盆地巴彦呼舒凹陷南屯组层序地层特征及有利区带预测[J]. 长江大学学报(自科版), 2018, 15(3): 1-9.  
LI Wentao. The feature of sequence stratigraphy and prediction of favourable exploration belt of Bayanhushu Sag in Nantun Formation of Hailar Basin [J]. Journal of Yangtze University (natural science edition), 2018, 15(3): 1-9.
- [16] 丁力, 郝纯, 吴宇兵, 等. 微生物油气检测技术在准噶尔盆地油气勘探中应用[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(3): 136-146.  
DING Li, HAO Chun, WU Yubing, et al. Progress and application of microbial oil and gas detection technology in oil and gas exploration, Junggar Basin [J]. China petroleum exploration, 2021, 26(3): 136-146.
- [17] VON DER DICK H, WYMAN R E, BOSMAN D A. Unmixing of complex soil-gas hydrocarbons: concepts and application for hydrocarbon exploration [C]//Proceedings of AAPG Hedberg Research Conference, Near-Surface Expression of Hydrocarbon Migration, Vancouver, 1994.

编辑:黄革萍

## Application of microbial-geochemical detection technology in oil and gas exploration in Bayanhushuu fault depression

WANG Jiang<sup>1</sup>, WANG Xuefeng<sup>1</sup>, ZHAO Chuanjun<sup>2</sup>, CHEN Hongping<sup>1</sup>, WANG Jie<sup>1</sup>

1. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Daqing Oilfield Company Ltd ;

2. Downhole Operations Branch of PetroChina Daqing Oilfield Company Ltd

**Abstract:** In view of the multi-stage construction and reconstruction of complex structure of Bayanhushuu fault depression in the western fault depression of Hailaer Basin, there are not only various fault blocks and nosing structures of various origin, but also different types of hydrocarbon accumulation modes. In order to improve the success rate of oil and gas exploration in complex fault depression, based on the theory of light hydrocarbon microleakage, microbial-geochemical detection technologies, including Microbial Quick-Screen (MQS), Microbial Oil Survey Technique (MOST) and Sorbed Soil Gas (SSG) detection are applied to directly detect the change of microbial value and acid desorption hydrocarbon anomaly on the surface of the favorable exploration target area, predict the oil and gas properties of the underlying favorable target area, and identify the distribution range and oil and gas properties of the oil and gas reservoirs. The results show that there is a good correlation between the distribution of microbial anomalies and the known oil and gas areas and oil and gas wells, which indicates that the microbial-geochemical detection technology has good applicability and reliability in the Bayanhushuu fault depression of Hailaer Basin. The MOST+SSG technology combination is applied to further identify the favorable anomaly area, and it is considered that the western steep slope of Bayanhushuu fault depression is a long-term oil and gas advantageous accumulation area with large microleakage intensity. It is pointed out that the two nosing structures in the western steep slope belt are favorable areas for further oil and gas accumulation.

**Key words:** microorganism; acidolysis adsorbed hydrocarbon; geochemical exploration; oil and gas detection; Bayanhushuu depression; Hailaer Basin

**WANG Jiang,** First author: PhD, Senior Engineer, engaged in exploration deployment, hydrocarbon reservoir description, geophysical data processing and interpretation. Add: Research Institute of Exploration and Development of Daqing Oilfield Company Ltd, Daqing, Heilongjiang 163712, China. E-mail: wangjiaang@petrochina.com.cn