

# 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

梅博文<sup>1</sup>, 吴 萌<sup>1</sup>, 孙忠军<sup>2</sup>, 杨志斌<sup>2</sup>, 祝有海<sup>3</sup>, 卢振权<sup>3</sup>, 林壬子<sup>1</sup>, 梅 海<sup>1</sup>

MEI Bo-wen<sup>1</sup>, WU Meng<sup>1</sup>, SUN Zhong-jun<sup>2</sup>, YANG Zhi-bin<sup>2</sup>,  
ZHU You-hai<sup>3</sup>, LU Zhen-quan<sup>3</sup>, LIN Ren-zi<sup>1</sup>, MEI Hai<sup>1</sup>

1. 鑫亿泰地质微生物技术(北京)有限公司, 北京 102200;

2. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000;

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

1. AE&E Geomicrobial Technologies (Beijing) Inc., Beijing 102200, China;

2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, Hebei China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

**摘要:**以木里煤田天然气水合物发现区为正演模型,探索和研究微生物地球化学检测法(MGCE)对于陆域天然气水合物勘查的实用性与可靠性。冻土带地表土壤中专性微生物含量异常与地下天然气水合物丰度具有良好的关联性,因而能灵敏而有效地预测天然气水合物的富集带。探区内天然气水合物具有以热成因气为主、生物气为辅的混合气源特征。试验成果表明,在青藏高原冻土带天然气水合物和油气资源勘查中,灵敏、快捷、经济而有效的微生物地球化学检测法(MGCE)将会有广阔的应用前景。

**关键词:**冻土带;天然气水合物;微生物地球化学检测法(MGCE);试验;木里地区

中图分类号:P618.13; P593 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2011)12-1891-05

Mei B W, Wu M, Sun Z J, Yang Z B, Zhu Y H, Lu Z Q, Lin R Z, Mei H. Microbial geochemical (MGCE) detection test of natural gas hydrate in permafrost of Muli area, Tianjun County, Qinghai Province. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30 (12):1891-1895

**Abstract:** The gas hydrate-discovering well in the Muli coalfield was chosen as the analog model in this test to study the applicability and reliability of the microbial geochemical (MGCE) detection method in exploring onshore natural gas deposits. A positive correlation was detected between the surface soil microbial anomaly of the permafrost zone and the abundance of the subsurface gas hydrate deposit. Therefore, this method could sensitively and effectively predict the distribution of gas hydrate accumulations. In the exploration block, a mixed gas source was detected. The gas is dominantly thermogenic and subordinately of biogas source. The result of the test proves that the microbial geochemical exploration method is a sensitive, fast and cost-effective technique for exploring gas hydrate and petroleum reservoirs in Tibetan Plateau permafrost region and therefore could be widely employed in this region.

**Key words:** permafrost zone; gas hydrate; microbial geochemical detection method (MGCE); test; Muli area

天然气水合物俗称“可燃冰”或“固体甲烷”,因其具有能量密度高、埋藏浅等特点,一被发现就引起各国科学家的重视,成为当今研究的热点之一。前苏

联、美国等国开展了一系列天然气水合物勘探研究工作,西伯利亚麦索亚哈气田内、墨西哥湾海域天然气水合物的发现,使人们逐渐认识到天然气水合物

收稿日期:2011-08-31;修订日期:2011-09-17

资助项目:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所所长基金项目《祁连山木里天然气水合物微生物检测有效性试验(编号:AS2009J04)》和中国地质调查局项目《青藏高原冻土带天然气水合物调查评价》(编号:1212010818055)

作者简介:梅博文(1940-),男,教授,博士生导师,从事有机地球化学和地质微生物技术研究。E-mail: meibowen2000@yahoo.com.cn

矿藏既受温压条件的限制,同时也受到局部地温梯度的影响<sup>[1-3]</sup>。

天然气水合物勘探始于陆地冻土带,而后在海域研究中得到进一步发展。与海域所建立的一些找矿标志(如拟海底反射层BSR)相比,陆地冻土地带的勘探因受到冻土层与水合物层地震波速度大体相当的困扰,迄今尚停留在由气(天然气)找气(天然气水合物)的初始阶段,未能在冻土带天然气水合物的勘探中确认成熟的异常标志<sup>[4-5]</sup>。

中国青藏高原冻土带自然地理条件恶劣,常规地球物理方法成本高、难度大,因此需要结合客观实际采用更加方便、快捷、可靠的检测新技术来推进冻土带的天然气水合物勘查工作。随着常规油气地球化学勘查方法的长足发展,一些学者已经开始对海域和陆域天然气水合物的地球化学勘探手段进行探索性研究<sup>[6-11]</sup>。在青海木里煤田的天然气水合物试验调查中,笔者选用甲烷氧化菌、丁烷氧化菌和酸解烃相结合的微生物地球化学检测方法(MGCE),取得了良好的勘查效果,为冻土带水合物资源的勘查提供了新思路和新方法。

## 1 天然气水合物地表异常

国内外油气微生物勘探实践证明,油气藏上方的轻烃微渗漏过程具有普遍性、垂直性与动态性三大基本特征<sup>[12-14]</sup>。根据轻烃微渗漏的垂向运移理论,天然气水合物矿床在其形成和演化过程中,所分解的烃类气体垂向运移至近地表,并发生一些相应的生物化学与物理化学变化。检测地表土壤和沉积物中由轻烃微渗漏所引发的生物的、物理的、化学的变化(或异常),将为天然气水合物资源勘查提供可靠的依据。目前国内针对天然气水合物资源地球化学勘查新方法的研究正在开展之中<sup>[15-16]</sup>。

## 2 微生物异常形成机理

微生物地球化学勘探技术,即MGCE(Microbial Geochemical Exploration),采用微生物方法和地球化学方法分别检测目标区的微生物异常和吸附烃异常,进而预测下伏层中是否存在烃类矿藏并鉴别其性质。

微生物异常形成机制:在轻烃气体从潜伏烃类矿藏垂直微渗漏进入表层土壤的过程中,大部分轻烃成为土壤中专性烃氧化菌的食物(碳源)而使烃氧

化菌异常发育,进而在烃类矿藏上方的表层土壤中形成了与下伏烃类矿藏具有正相关关系的专性微生物异常。

土壤吸附烃(SSG)分析,即采用Phillips石油公司改进的Horvitz吸附气技术,检测浅层土壤酸解烃中的( $C_1-C_{5+}$ )轻烃组分。应用酸解烃中轻烃的组成特征和在GMT(地质微生物技术公司)经验模版上的投影,鉴别引起地表微生物异常的轻烃气藏的性质是属于油藏、气藏还是凝析油气藏。

## 3 检测结果

本次试验选择祁连山木里煤田聚乎更矿区作为试验区。该区气源丰富、温压合适、常年冻土层较厚,具有良好的水合物成藏条件,而且已发现天然气水合物实物,可作为本次微生物检测法试验的正演模型。在此次工作中,32个测点的样品均做甲烷氧化菌含量(MMV)、丁烷氧化菌含量(BMV)和土壤吸附烃(SSG)检测,结果分述如下。

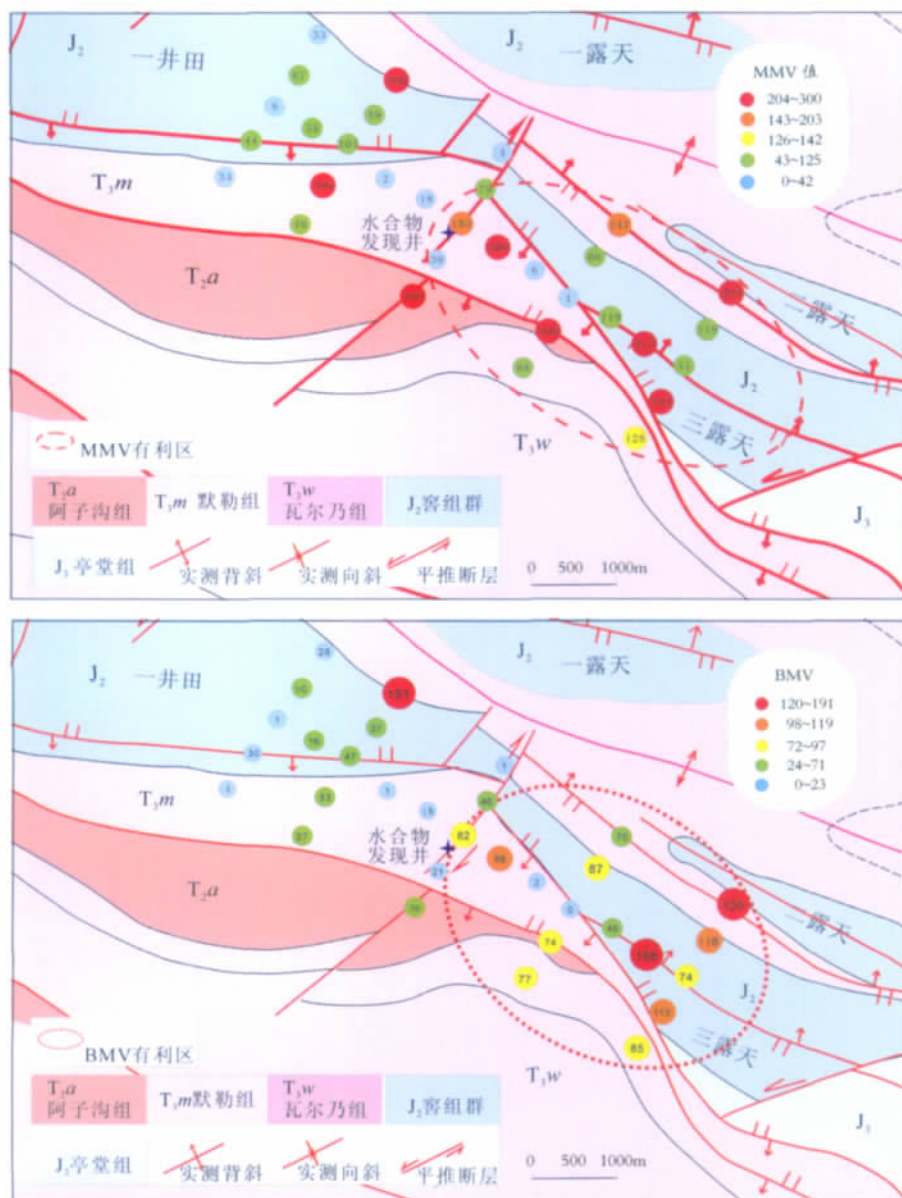
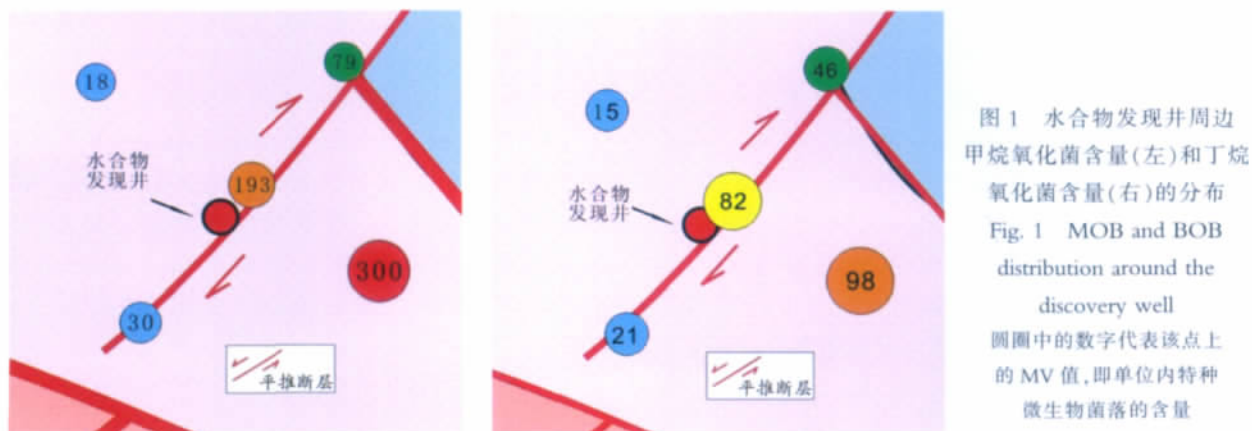
### 3.1 水合物发现并检测结果

天然气水合物发现井附近的测点(QM-C3)位于探区中部的平推断裂上,其MMV为193,BMV为82,均属于高异常。这表明水合物矿床与MMV、BMV均存在较好的关联,可以为本区MV(单位内微生物菌落含量)异常值的确定提供参考依据(图1)。

### 3.2 甲烷氧化菌和丁烷氧化菌异常对比分析

从微生物含量上看,甲烷氧化菌的平均含量值为115,高于丁烷氧化菌57的平均含量值。区内2套平均厚度均达百米的含煤地层,在高成熟—过成熟的热变质作用和断裂作用下,形成以热成因甲烷为主的煤层气,为冻土带天然气水合物的形成不断供给充足的气源。此外,在煤系断裂破碎带水文地质活跃区,煤系的厌氧发酵作用导致生物甲烷生成,并输入冻土带水合物矿层。然而,冻土带水合物在一定温压条件下可以被认为是一种动态平衡体系,一方面来自煤系的煤层气不断供给,天然气水合物在稳定带下部不断生成;另一方面,在稳定带上部天然气水合物分解使轻烃微渗漏也持续发育。由于本区煤层气碳源成分的制约,地表土壤中甲烷氧化菌的含量均高于丁烷氧化菌。

从异常的平面分布看,在CC'测线以东的二露天、三露天地区甲烷氧化菌值与丁烷氧化菌值呈现出高浓度异常,并且异常范围十分吻合(图2)。这种



高度吻合可能是受到复杂地质构造控制的缘故。探区内地堑和破碎带发育,为烃类提供了良好的运移通道;在沉积厚度达百米的侏罗系煤层中,受强烈热变质作用而形成的烃类气体,沿断裂、不整合面向表层运移,为冻土带水合物矿藏提供了以  $C_1$ — $C_4$  热成因轻烃为主并混有生物气的混源供给,最终形成地表局部的甲烷异常和丁烷异常共生的局面。值得注意的是,CC'测线恰好位于 NNE 向的平推断层面上,该断层对于天然气水合物的富集分布可能起到遮挡作用,从而形成以该测线为界的東西分异现象。

西区背景点多,而东部异常点多,表明东区轻烃微渗漏作用较强,进而指示东区为天然气水合物矿床较好的富集区。

3.3 2 种微生物检测指标之间的关系

在主测线上,甲烷氧化菌(MMV)含量与丁烷氧化菌(BMV)含量的异常趋势具有较好的相关性,相关系数为 0.85。说明 MGCE 检测法对于该区的轻烃异常指示具有较好的重复性,可以作为检测水合物分解所形成的地表轻烃异常的可靠依据(图 3)。

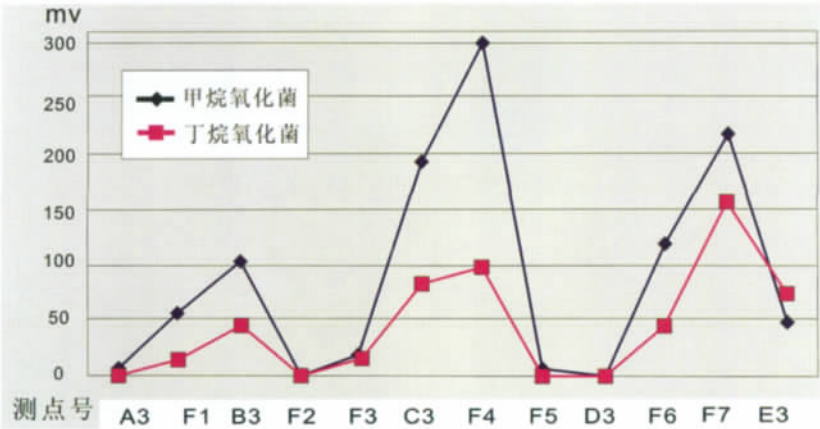


图 3 主测线 MMV 与 BMV 折线对比  
Fig. 3 MMV versus BMV along the main survey line

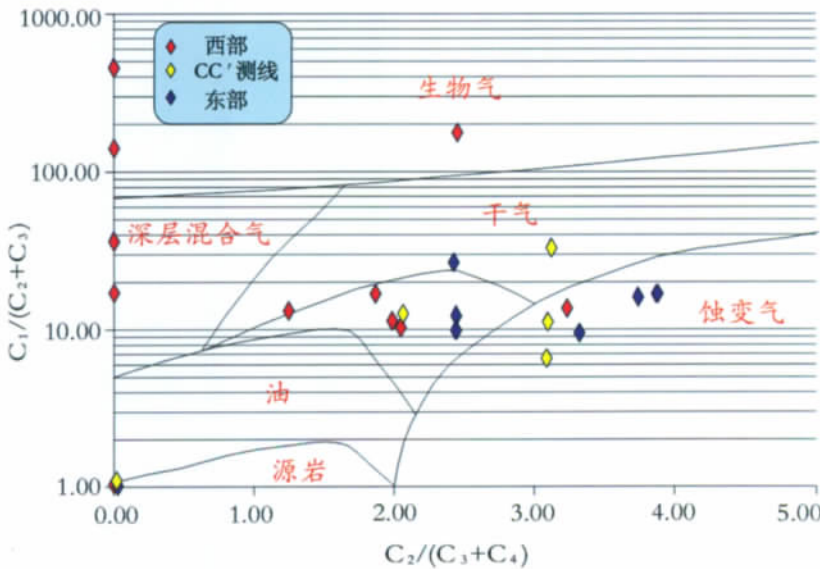


图 4 祁连山木里煤矿聚乎更探区  $C_1/(C_2+C_3)$ — $C_2/(C_3+C_4)$  交汇图  
Fig. 4  $C_1/(C_2+C_3)$ — $C_2/(C_3+C_4)$  cross plot of the Juhugeng exploration block in the Muli coalfield of the Qilian Mountain



### 3.4 土壤吸附烃(SSG)检测结果

从SSG图的判别结果看(图4),测点分散在图内多个类型区域中,反映了区内存在混源气供给的特征。

东部的二露天、三露天地区有14个样品,其中6个测点分别表现出凝析油气、干气、蚀变气的性质,可能是煤系处于高热演化阶段所致;另外8个测点因无 $C_2-C_4$ 组分,处于图的原点。

西部的一井田地区共有测点13个,其中7个测点表现为凝析油气、干气、蚀变气及混合气的特征;3个测点表现出生物气的特点,表明矿区西部煤系受到较强的生物改造作用,形成生物甲烷气;另外3个测点则因无 $C_2-C_4$ 组分,落在交汇图的原点。

处于图4原点上的测点, $C_1$ 浓度为微量, $C_2-C_4$ 组分为零,表明轻烃微渗漏作用很弱,指示不存在潜伏的天然气水合物或者其饱和浓度很低,进一步反映本区天然气水合物矿体分布的非均质性很强。

## 4 初步认识

木里煤田聚乎更矿区内烃氧化菌背景点与异常点的分布不均匀,指示冻土区天然气水合物分布的非均质性。水合物发现井区烃氧化菌高异常与天然气水合物富集相吻合,探区东部为天然气水合物较好的富集区。土壤酸解烃以热成因气为主,生物气为辅,指示本区水合物的气源具有混源特征。试验成果证明,微生物地球化学检测法(MGCE)是灵敏、快捷、经济而有效的烃检测新技术,适用于木里煤田冻土带天然气水合物资源的勘查,从而取得了青藏高原冻土带水合物资源和油气资源勘查的“通行证”。

致谢:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所项目组的专家指导和完成样品野外采集工作。中国地质调查局陆域冻土带水合物项目组的专家为本实验项目提供了探区的地质背景资料。中国

地质科学院谢学锦院士自始至终关心和指导本试验项目。在此一并致以衷心的感谢。

## 参考文献

- [1]樊栓狮,刘锋,陈多福.海洋天然气水合物的形成机理探讨[J].天然气地球科学,2004,15(5):524-530.
- [2]蒋少涌,凌洪飞,杨竞红,等.海洋浅表层沉积物和孔隙水的天然气水合物地球化学异常识别标志[J].海洋地质与第四纪地质,2003,23(1):87-92.
- [3]陈作义,杨晓西,叶国兴,等.天然气水合物概况及最新研究进展[J].海洋通报,2002,21(3):78-85.
- [4]郑军卫,史斗.从文献计量角度看国际天然气水合物研发态势[J].天然气地球科学,2005,16(6):825-829.
- [5]李岩,祝有海.气体水合物及其研究现状[J].地质论评,1999,45(3):275-334.
- [6]Jones V T, Burtell S G. Hydrocarbon flux variations in natural and anthropogenic seeps[C]//Schumacher D, Abrams M A. Hydrocarbon Migration and Its Near-Surface Expression, AAPG Memoir. 1996:203-221.
- [7]张立新,徐学祖,马巍.青藏高原多年冻土与天然气水合物[J].天然气地球科学,2001,12(2):24-26.
- [8]付少英.烃类成因对天然气水合物成藏的控制[J].地学前缘,2005,12(3):263-267.
- [9]祝有海,刘亚玲,张永勤.祁连山多年冻土区天然气水合物的形成条件[J].地质通报,2006,25(1/2):58-63.
- [10]吴青柏,程国栋.多年冻土区天然气水合物研究综述[J].地球科学进展,2008,23(2):3-4.
- [11]庆焕,张光学,等.天然气水合物资源概论[J].北京:科学出版社,2006.
- [12]梅海,林壬子,梅博文,等.油气微生物检测技术:理论、实践和应用前景[J].天然气地球科学,2008,19(6):888-893.
- [13]林壬子,梅博文,梅海,等.油气微生物勘探技术[M].牟书令,金之钧.中国海相油气勘探理论技术与实践.北京:石油工业出版社,2008.
- [14]梅博文,袁志华,王修坦.油气微生物勘探法[J].中国油气勘探,2002,7(3):42-53.
- [15]卢振权,吴必豪.海底水合物地球化学探测方法的试验研究[J].现代地质,2002,16(3):1-2.
- ① 蒋少涌,刘坚,等.西沙海槽区天然气水合物地球化学识别研究.国土资源部海洋地质调查局2000—2001年部门科研项目报告,2002.