

油气微生物检测技术:理论、实践和应用前景

梅海¹, 林壬子^{1,2}, 梅博文^{1,3}, Daniel Hitzman⁴

(1. 鑫亿泰地质微生物技术(北京)有限公司, 北京 100029;

2. 中国石油大学资源信息学院, 北京 102249;

3. 长江大学地球化学系, 湖北 荆州 434023;

4. 美国地质微生物技术公司, 美国 俄克拉荷马州 74051)

摘要:简述了微生物勘探技术(MOST+SSG)的原理和方法。指出:专性烃氧化菌对食物(碳源)的高度选择性决定了 MOST 技术烃检测结果的唯一性和重现性;全球 MOST 勘探,特别是岩性地层油气藏勘探的成功范例展现了地震勘探(2D/3D)和微生物勘探(MOST)相结合的综合勘探模式对于提高勘探成功率,降低勘探风险的重大价值。

关键词:微生物勘探;MOST+SSG;岩性地层油气藏;综合勘探模式

中图分类号:TE132.1

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2008)06-0888-06

1 微生物勘探技术的历史和发展

地质微生物学是以地质学和生物学,特别是地球化学和微生物学为基础而发展起来的交叉边缘学科^[1]。经过几十年研究与实践,地质微生物技术在石油的勘探、开发、炼制,以及相关环境保护中的应用已日趋成熟,正在发挥着越来越重要的作用。

油气微生物勘探法源于前苏联。早在 1937 年,前苏联地质微生物学家 Mogilewskii^[2]就率先提出了油气微生物勘探法,并迅速在前苏联推广应用,为被称为“第二巴库”的伏尔加—乌拉尔油田的发现作出了重要贡献。但是,20 世纪 50 年代以后,在一片质疑轻烃垂直运移理论的声浪中,前苏联发明的这项技术受到了冷落。

然而,美国和德国的地质微生物学家和地球化学家们并未停止他们在微生物勘探技术领域的探索^[3-6]。经过 20 世纪 50 年代后期以来对这项技术的持续研发和完善,在全球的微生物勘探实践中充分论证了轻烃微渗漏理论的可靠性,显著提高了微生物检测技术和解释模型的准确性,建立了地震勘探法与油气微生物检测技术相结合的勘探新模式,使得微生物勘探技术正在成为大幅度提高油气勘探成功率、降低勘探风险的新型综合勘探法的重要组成部分。在微

生物勘探技术开发与应用基本上停滞了 30 多年之后,2000 年我国开始引进德国的油气微生物勘探技术(MPOG),取得了较好的应用效果^[5-6]。1986—2000 年,Phillips 公司在我国南海北部和渤海 4 个合作区块的勘探中,先后采用了美国的微生物石油调查(MOST)勘探技术,获得重大的油气发现。但是 MOST 勘探技术第一次进入我国陆上海相油气勘探领域是在 2007 年,并取得了引人注目的重要成果^[7]。

2 微生物勘探技术的原理和方法

油气藏中的轻烃气体在油气藏压力的驱动下以微泡上浮^[8-9]形式或连续气相流形式^[10]沿复杂的微裂隙垂直地向上运移。轻烃运移进入表层沉积物过程中,一部分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,另一部分被粘土矿物吸附和次生碳酸盐胶结物包裹。因此,在油藏上方表层土壤中形成了与下伏油气藏正相关的微生物异常和吸附烃异常。采用微生物学方法(MOST)和地球化学方法(SSG)分别检测微生物异常和吸附烃异常就可以预测下伏地层是否存在油气藏,以及油气藏的属性,即是油藏还是气藏。

轻烃微渗漏有 3 个基本特性^[11]:第一,普遍性。

自然界绝大多数油气藏都存在轻烃微渗漏现象,都可以用微生物方法来检测。只有沥青砂、超低压油气藏和特殊稠油油藏(缺少 C_1-C_5 等轻质组分的稠油)例外。第二,垂直性。油气藏轻烃微渗漏过程中,轻烃运移的方向总体上是垂直的。因而微生物异常的范围基本对应于地下油气藏的油/水和(或)气/水边界,形成“顶部异常”。微生物异常强度的变化反映了油气圈闭内含油气的原始非均质性。但是,受区域不整合面与活动断裂带等地质条件的影响,也会发生轻烃侧向运移而出现异常偏移现象。第三,动态性。随着油气藏投入开发后,轻烃微渗漏强度会发生动态性变化,在高产井区周围的微生物异常强度将不断降低。这种动态变化又成为油田开发中剩余油分布动态检测的微生物油藏表征技术(MRC)的基础^[12-14]。

从 20 世纪 60 年代开始,赫兹曼博士先后发明了与微生物石油调查(MOST)技术有关的多项专利技术,并多次改进土壤吸附气(SSG)技术,实现了对轻烃微渗漏现象的快速定量检测,并将 MOST 与 SSG 相结合,逐步发展成了国际领先的微生物勘探技术系统。盎亿泰公司向国内完全引进了这套成熟和精确的技术系统(包括勘查设计、野外采样、分析测试、资料处理、综合研究和成果报告)。其中微生物测定法的准确度和重现性至关重要。MOST 技术适用于油气扫描调查,预测地下是否有油气藏,而 SSG 技术则是用于判别地下油气藏的属性,即是油藏还是气藏。2 种技术一主一辅,互相补充,合为一体。具体实践中,SSG 技术采样点数通常为 MOST 采样点数的 1/10。

3 微生物勘探技术的特点和优点

微生物勘探技术相对于土壤游离气技术的优点主要表现在以下几个方面:

3.1 MOST 测量结果有着更好的重现性/重复性

正如土壤游离气技术一样,MOST 技术也是检测动态的热成因烃的微渗漏。如果动态的轻烃微渗漏不存在,MOST 技术所检测的微生物也不会富集存在。但是,MOST 技术与土壤游离气技术相比,其测量结果有着更好的重现性/重复性。MOST 技术所检测的微生物起到了轻烃气体的微小收集器或捕食器的作用,这些专性菌生活在土壤和沉积物中等待着新的轻烃微渗漏的连续供给。由于轻烃气体的逃逸性,在野外实施土壤游离气技术往往很困难,而且容易受取样深度、昼夜温差以及气压变化等诸多因素的影

响。相比而言,MOST 技术的测量结果更加稳定。

3.2 MOST 预测结果具有专一性

MOST 技术所检测的微生物对热成因烃作为其食物(碳源)具有极强的专属性。这种专性微生物异常的存在直接反映了深部油气藏的存在,不可能指示其他的来源。也绝不会与生物甲烷来源相混淆。(有时候也开展甲烷 MOST 调查,但仅仅是在以生物气源如煤层甲烷,生物气藏等为勘探目标时。)换句话说,正是这种微生物的专属性决定了 MOST 预测结果的专一性。

3.3 MOST 技术受环境因素影响较小

MOST 信息直接反映轻烃微渗漏。它们并不受其他环境因素(如土壤类型、丛林、沙漠、草地、冻土和农作区等)的显著影响,而游离气技术常常受到环境条件的限制,同时也受到微生物活动所造成的影响。

3.4 建立了庞大而系统的 MOST 数据库

MOST 勘探技术的应用已遍及全球五大洲的各种不同的环境条件。建立的可对比的全球 MOST 数据库从 20 世纪 50 年代开始积累,直到现在从未间断过。应该说,这个庞大数据库为未知探区门槛值的确定和综合研究提供了有用的参照体系。

3.5 样品采集灵活易行

MOST 技术被证实在几乎任何野外条件下都是有效的。无论在陆上或海域只需采集表层土壤或沉积物,样品的保存和运输也严谨易行。其他方法往往采样步骤繁琐,更多的步骤意味着更高的成本。

4 典型实例与钻探成果

20 多年来美国地质微生物技术公司在全球 50 多个国家和地区完成了 3 000 多个 MOST 项目,其中 2 400 多个项目在美国本土,600 多个项目在美国以外,根据 MOST 勘探结果先后共钻井 1 100 口,其钻探成果总结如表 1 所示。

表 1 微生物勘探后的钻井成果

区域	实钻井数(口)	干井数(口)及所占比例	油气井数(口)及所占比例
无微生物异常区	480	419(87%)	61(13%)
微生物异常区	620	106(17%)	514(83%)

在众多 MOST 勘探成功实例中,绝大多数为商业项目,由于保护商业机密而长期不得公开发表。只有那些得到美国能源部(DOE)资助的方法试验研究才得以较快的发表。

我国油气勘探已进入以岩性地层油气藏为主要

勘探目标的新时期。中低丰度岩性地层油气藏勘探难度更大,亟待创新开发有效的勘探技术和方法^[15]。我们选择几个不同类型岩性地层圈闭获得油气勘探突破的典型实例,以展现地震勘探(2D/3D)与微生物勘探(MOST)相结合的综合勘探模式的重大价值。

4.1 3D+MOST:砾岩向斜油气藏的发现^[16]

微生物勘探(MOST)与三维地震(3D)相结合,在美国德克萨斯州 Fort Worth 盆地发现了新的砾

岩油气藏。1995年3D勘探中发现了Fort Worth盆地北部下奥陶统的构造圈闭(埋深2 200 m)和南部上石炭统砾岩向斜(埋深1 700 m)。在随后1995—1996年进行的微生物勘探中,在南部砾岩向斜带发现了高的微生物异常区,而北部构造上只有弱的微生物异常。根据微生物勘探结果布署了一批探井,结果表明:其北部Ellenburger构造上只打出1口低产油气井,南部砾岩向斜内全为高产井,4口干井皆位于微生物背景值区(图1)。

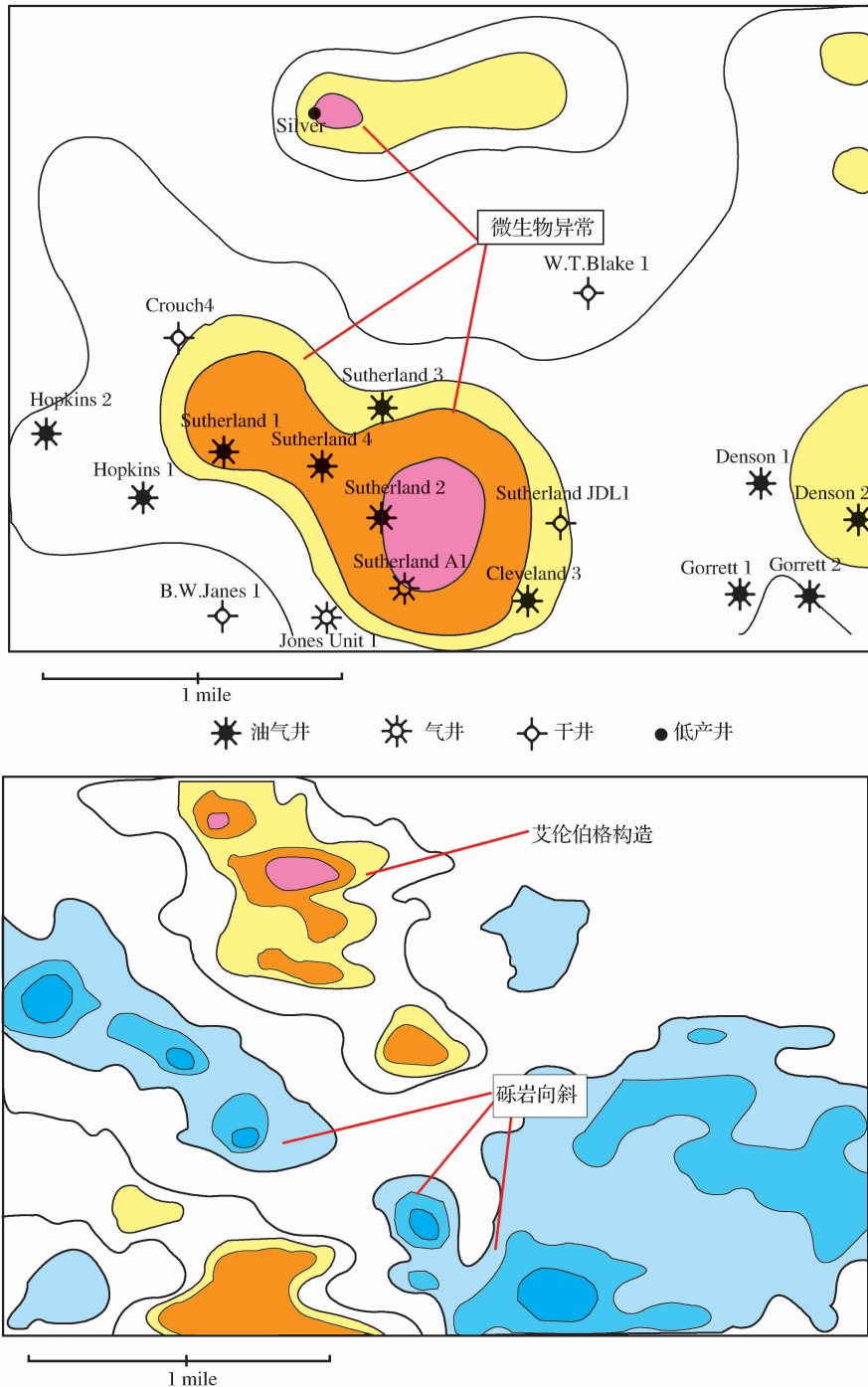


图1 3D+MOST综合勘探成果—砾岩向斜油气藏的发现

4.2 3D+MOST: 河道砂体气藏的发现^[17]

1997 年在美国能源部(DOE)的资助下,在美国俄克拉荷马州 Osage 县土著民族领地内近 23 km² 的区块上,由 2 支独立的勘探队分别完成了高分辨的三维地震勘探(3D)与其微生物勘探(MOST)。将两者的结果相比较发现,3D 时间切片图解释的雷

炭系 Layton 河道砂体与微生物值平滑等值线图上的高异常区非常吻合,从而促成了 2004 年新的油气井的发现。

这一成功范例中 MOST 技术独特的油气检测能力受到美国能源部(DOE)和俄克拉荷马州技术专家的高度评价(图 2)。

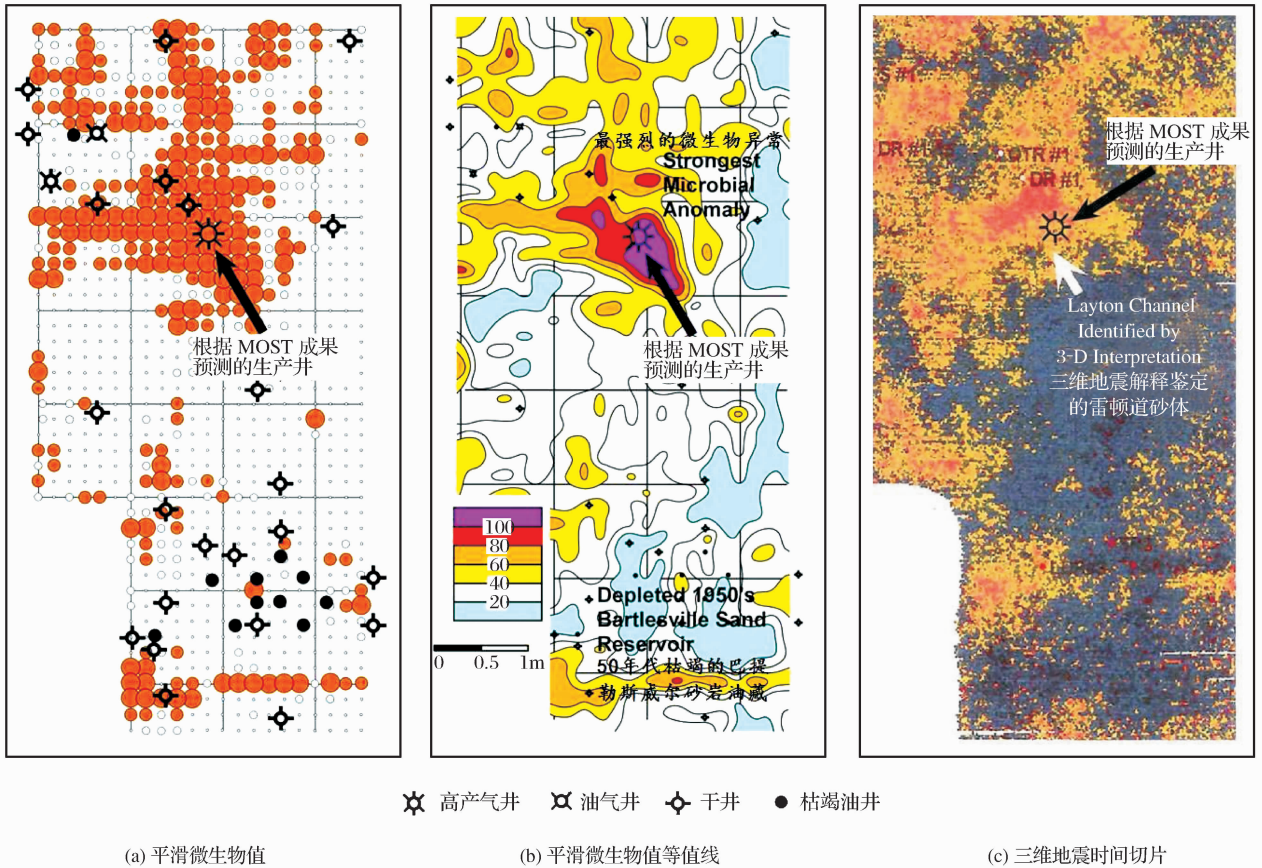


图 2 2D+MOST 综合勘探成果——河道砂体气藏的发现

4.3 3D+MOST: 生物点礁气藏的发现^[18]

3D 地震勘探在东德克萨斯棉谷地区侏罗系海相碳酸岩地层中,发现了一个极具勘探潜力的小型点礁群分布区。这些点礁面积很小,只有 0.08 ~ 0.32 km²;埋深大,4 300 ~ 5 400 m;超压,123.58 ~ 137.76 MPa,并且富含 H₂S。但是并不是每个点礁都充满油气,到底哪个礁体含有油气,哪个礁体不含油气,是油气勘探风险的关键所在。1997 年在该区完成了 1 300 m × 1 300 m 小测区高精度(100 m × 100 m)的 MOST 勘探,结果几个小范围微生物异常区与下伏点礁相对应,而有些点礁上方仅处于微生物背景值区。MOST 勘探后,A 区 2 个微生物异常区指示的礁体上均打出了高产油气井,日产量分别为 42 × 10⁴ m³ 和 85 × 10⁴ m³,H₂S 含量为 12% ~ 15%。而 C 区背景值区上的礁体所钻的 2 口井均为干井(图 3)。

4.4 中国海域

20 世纪 80 年代中后期到 90 年代中期,Phillips 石油公司先后在珠江口盆地 3 个合作区块的勘探中采用了 MOST 技术,为这些区块的油气发现作出了重要贡献。特别是 1999 年,Phillips 石油公司在渤海湾盆地 PL19-3 区块的勘探中,在地质勘探和地震勘探的基础上采用了 MOST 技术进行油气检测,为中国渤海海域这一大油田的发现作出了重要贡献。

4.5 中国陆上

2007 年盎亿泰公司与美国地质—微生物技术公司合作在川东北海相碳酸盐岩复杂山区完成了中国陆上第一个 MOST 项目。

首先以一个已知气藏为正演模型,发现气藏内从高产区、中产区、低产区到背景值区微生物值

(MV)呈现有序降低的变化,并发现探井的初测产能与微生物值之间有良好的线性关系,证明了MOST技术的可靠性与实用性。在MOST勘探目标区块发现了10个微生物异常区,其中位于侏

罗系复向斜内的2个最有利区块被综合评价为优先实施3D地震勘探,再实施钻探的靶区。这一重要成果得到客户石油公司肯定,等待着钻探的检验。

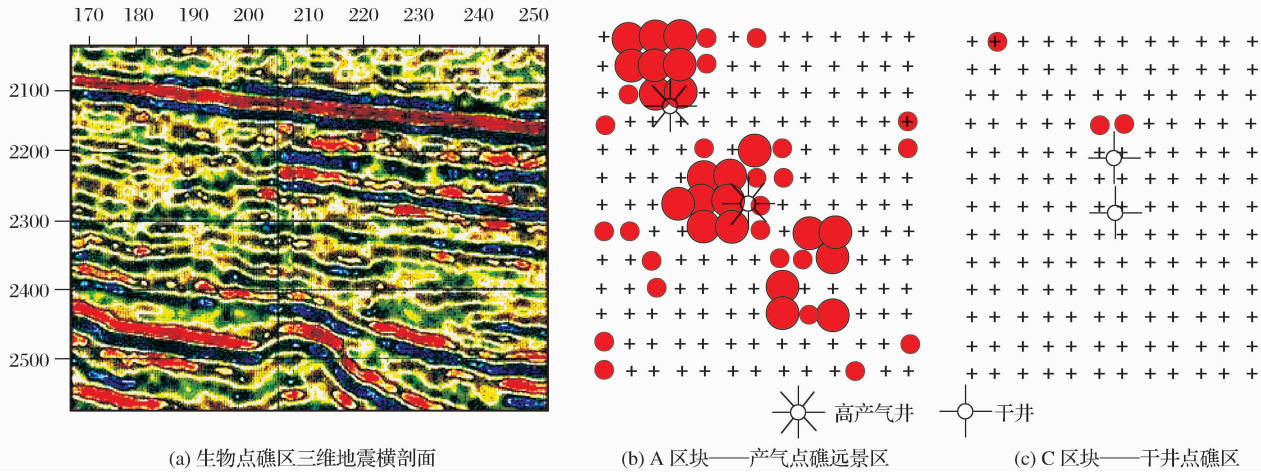


图3 3D+MOST综合勘探成果——生物点礁气藏的发现

5 微生物勘探技术应用展望

根据国内外MOST勘探的实践经验,在我国进入以岩性地层油气藏为主要勘探目标的新时期,如何采用MOST技术以大幅度提高勘探成功率,这里提出如下初步意见:

5.1 MOST+2D/3D

在新区和那些难于取得地震资料的远景区,勘探者们应当跳出“地震先行”的模式,设想一种“微生物先行”的勘探程序。勘探程序的这一变革必将有利于低成本搜索并缩小靶区,以求达到既降低成本又提高勘探效率之目的,可以确信:对于我国南方复杂山区、深水海域以及盆山耦合的复杂构造带的油气勘探而言,勘探程序上“微生物先行”的变革必将是行之有效的。

5.2 2D/3D+MOST

在那些勘探失利地区,不妨更换一种思维方法,在原有的二维或者三维地震勘探的基础上,重新布设微生物勘探网,以求取得新的认识。因为第一轮勘探失利的原因很可能并不在于勘探家对于圈闭形态的描述失真,而在于对圈闭内地质流体的性质与分布,特别是对油气分布的非均质性缺乏有效的检测资料。在这种情况下,高效灵敏的油气微生物检测技术(MOST)将是十分有效的。

5.3 岩性地层油气藏勘探

微生物勘探并不擅于对油气藏空间形态的描述,但是在岩性油气藏、地层油气藏和其他隐蔽油气

藏的勘探中,微生物异常是下伏活跃的油气系统,特别是油气富集带存在与否的可靠标志,其他勘探方法将难以取代。

5.4 微生物油藏表征技术(MRC)

微生物油藏表征技术(MRC)是油藏开发动态检测和剩余油分布预测的新手段。轻烃微渗漏过程具有动态性。在油气藏开发过程中,油层压力和轻烃浓度的变化将直接导致其垂直上方土壤中专属烃氧化菌含量的变化。因此,在油气藏上方的不同时间域内MV值的变化成为油气藏开采动态及剩余油分布的灵敏标志。可以为开发中后期调整井的布设乃至开发方案提供很有价值的科学信息。

正如美国地质微生物技术公司总裁 Hitzman 先生指出的^①“地表勘探方法不能取代传统的勘探方法,但是却能成为后者强有力的补充。微生物方法(MOST)和土壤吸附方法(SSG)与现有的地质和地震信息相结合时才能发挥它们最大的效用。对这种综合分析方法的必要性再怎么强调也不过分。地表勘探法和地下勘探法结合运用得当的话,能够通过提高勘探成功率和缩短开发时间来降低勘探开发的风险和成本。”

参考文献:

[1] Ehrlich H L. Geomicrobiology[M]. 4th ed[S. L.]. US, Marcel

① Hitzman D C. The best integration of surface exploration (MOST) with subsurface exploration (2D/3D), Private communication, 2007.

- Dekker, Inc. 2002;1-749.
- [2] Moqilewskii G A. Microbiological investigation in connecting with gas Surveying[J]. Razvedka Nedr, 1938, 8: 59-68.
- [3] Hitzman D O. Prospecting for Petroleum Deposits. US. 2880142 [P]. 1959.
- [4] Wagner M, Rasch H J, Piske J, *et al.* Mikrobielle prospektion auf erdo 1 und erdgas in Ostdeutschland[J]. Geologisches Jahrbuch, 1998, 149: 287-301.
- [5] 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.
- [6] 梅博文, 袁志华. 地质微生物技术在油气勘探开发中的应用[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(2): 156-161.
- [7] 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与实践. 北京: 石油工业出版社, 2008, 待出版.
- [8] Klusman R W, Saeed M A. Comparison of light hydrocarbon microseepage mechanisms [M]// Schumacher D, Abrams M A. Hydrocarbon Migration and Its Near Surface Expression. AAPG Memoir, 1996; 157-168.
- [9] Saunders D F, Buraon K R, Thompson C K. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(1): 170-185.
- [10] Brown A. Evaluation of possible gas microseepage mechanisms[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(11): 1775-1789.
- [11] Schumacher D, Clavijo L, Hitzman D. Best practices for hydrocarbon microseepage survey (Abstract) [C]// AAPG Annual Meeting. Houston Texas; AAPG, 2002.
- [12] Hitzman D C, Rountree B. Advanced reservoir characterization of a Hunter field, Kingfisher County, Oklahoma [G]// Oklahoma Geological Survey Workshop; Silurian, Devonian, and Mississippian Geology and Petroleum in the Southern Midcontinent. Norman Oklahoma, 1999; 23-24.
- [13] Tucker J, Hitzman D C. Detained microbial Survey help improve reservoir characterization[J]. Oil & Gas Journal, 1994, 92(23): 65-69.
- [14] Schumacher D, Hitzman D C, Tucker J, *et al.* Applying high-resolution surface geochemistry to assess reservoir compartmentalization and monitor hydrocarbon drainage[M]// Institute for the Study of Earth and Man, Applications of Emerging Technologies: Unconventional Methods in Exploration of Petroleum and Natural Gas V; Dallas: Southern Methodist University Press, 1997; 309-322. 1997.
- [15] 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等. 岩性地层油气藏地质理论与勘探技术[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 257-272.
- [16] Hitzman D C, Rountree B A, Cunningham K. Integrated microbial and 3D seismic survey: hydrocarbon microseepage in Osage County, Oklahoma, case study [C]// 1999 AAPG Annual Convention San Antonio, Texas: AAPG, 1999.
- [17] Hitzman D C, Rountree B A, Tucker J D. Integrated microbial and 3-D seismic surveys discover new reserves in Park Springs (Conglomerate) Field and track microseepage reduction [C]// Society of Exploration Geophysicists (SEG) International Exhibition and Annual Conference. Dallas, Texas: SEG, 1997.
- [18] Hitzman D C, Rountree B A, Schumacher D. Microseepage Survey successfully high-grades Texas Cotton Valley Pinnacle Reefs on basis of hydrocarbon Charge [C]// AAPG Annual Convention. San Antonio, Texas: AAPG, 1999.

Microbial Oil-gas Detection Technologies: Theory, Practice and Application Prospect

MEI Hai¹, LIN Ren-zi^{1,2}, MEI Bo-wen^{1,3}, Daniel Hitzman⁴

(1. AE&E Geomicrobial Technologies, Inc., Beijing 100029, China;

2. School of Resources & Information, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Geochemistry Department, Yangtze University, Jingzhou 434023, China;

4. Geo-Microbial Technologies, Inc., Ochelata, Oklahoma 74051, USA)

Abstract: This article briefly introduced the mechanisms and methodologies of microbial oil and gas exploration technologies (MOST+SSG). High selectivity of obligate hydrocarbon-oxidizing bacteria towards their food (carbon source) determined the high specificity and reproducibility of MOST results. MOST surveys worldwide, especially the successful implementation of MOST on lithostratigraphic traps, proved that the integration of seismic exploration technologies (2D/3D) with microbial exploration technologies (MOST+SSG) can significantly improve exploration success rate and minimize exploration risk.

Key words: Microbial exploration; MOST+SSG; Lithostratigraphic oil-gas accumulation; Integrated exploration model.