

文章编号:1009-2722(2009)12-0036-07

油气微生物勘探技术的初步 实践及其应用前景

林壬子^{1,2}, 梅海¹, 梅博文^{1,3}

(1 鑫亿泰地质微生物技术(北京)有限公司; 2 中国石油大学; 3 长江大学)

摘要: 油气微生物勘探技术从属于地质微生物学研究领域,其理论基础是轻烃的微渗漏,主要的检测目标是存在于可能油气藏上方的专属热成因烃氧化菌的丰度(MV)值,辅助技术是土壤或沉积物中的酸解吸附烃(SSG)的组成特征。简述了这项技术与以往油气化探不同的4大特点。近3年来,这项技术在我国的山山密林、沙漠、戈壁、海洋等多种景观区开展了缜密的野外施工与综合研究,取得了令人瞩目的初步成果。笔者疾声呼吁:应当建立一种新型的、学科交叉渗透的油气勘探模式:即物探+化探。它们犹如“一体两翼”,一体是石油地质学,它是勘探研究的主题和终极;双翼就是地球物理技术,加上油气化探技术。

关键词: 油气勘探;地质微生物;勘探模式;应用前景

中图分类号: TE132.4 **文献标识码:** A

油气微生物勘探从属于地质微生物学。它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工业的勘探、开发、炼制,以及环境保护中的应用日趋成熟,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 首先提出了油气微生物勘探法^[2],并迅速在前苏联推广应用,卫国战争期间为“第二巴库”油田的发现做出了重要贡献。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音

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开拓^[3,4]。从20世纪50年代后期持续研发和完善这项技术,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,从而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日渐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。

上世纪80年代,我国开始海洋油气勘探的对外合作,Phillips 公司在我国南海北部大陆架和渤海的油气勘探中,就采用了美国的 MOST (Microbial Oil Survey Technology) 勘探技术,并获得重大的油气发现。但是, MOST 勘探技术第1次进入我国陆上油气勘探领域还是

收稿日期:2009-10-10

基金项目:镇巴地区油气微生物勘探(G0800-07-2S-17)

作者简介:林壬子(1938—),男,教授,博导,长期从事油气勘探与石油地球化学研究工作。

2007 年,取得了引人注目的重要成果^[5]。

1 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^[6,7]形式或连续气相流形式^[8]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;另一部分则被黏土矿物吸附和次生碳酸盐胶结物所包裹。因此,在油藏上方表层土壤中形成了与下伏油气藏的丰度与压力有正相关关系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中是否存在油气藏,以及油气藏的性质。

轻烃微渗漏具有 3 个基本特性^[9]:

普遍性 自然界绝大多数油气藏均存在轻烃微渗漏现象,都可以用微生物方法来检测,只有超低压油气藏和特殊稠油油藏(缺少 C₁—C₅等轻质组份的稠油)例外。

垂直性 在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/气水边界,形成“顶部异常”,而且微生物异常强度的变化反映了油气圈闭内含气气的原始非均质性;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的现象,这种现象称之为宏渗漏,它与微渗漏具有不同的物理特性,二者是可以辨识的。

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伴随油藏压力和油气浓度的下降而不断降低,这种动态变化又成为油田开发中检测剩余油分布动态的微生物油藏表征技术(MRC)的理论基础。

MOST 技术既相似于但又有别于以往的油气化探,被国际知名的非震烃检测技术专家

Schumacher 评价为“一个老技术的新生命”。这项技术拥有以下特点:

它的主要监测目标是勘探靶区上方的土壤或沉积物中专属烃氧化菌的丰度(简称为 MV 值),热成因烃是这种氧化烃菌的唯一碳源,因此,它的丰度与隐伏于探区下方油气圈闭中的烃类浓度和压力密切相关,指标体系具有地质解释的唯一性(图 1);

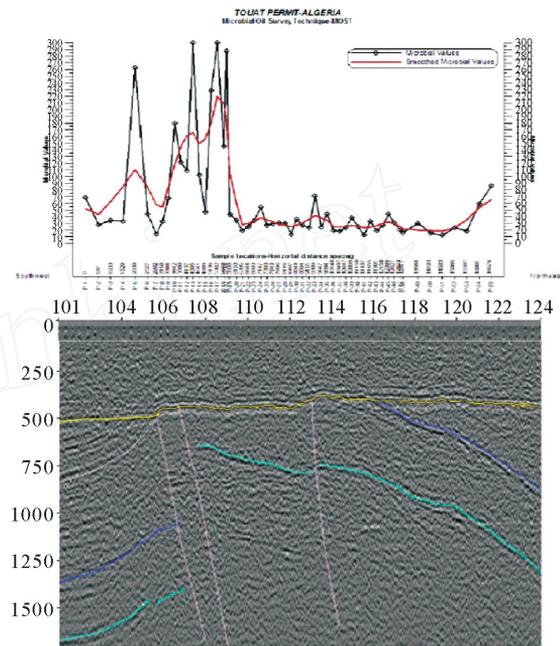


图 1 ARJ 地区 MV/2D 叠合图

Fig. 1 Microbial value & 2D Overlay Map, ARJ

它的辅助指标是样品中的酸解吸附烃(简称为 SSG)特征,它刻画的是漫长地质年代中积累于沉积物矿物结晶和包裹体内轻烃的内组成特征。它有助于我们辨识勘探靶区下方可能存在的圈闭内烃类的地球化学属性,即油藏、油气并存、凝析油气藏、干气藏抑或生物成因气、蚀变气等;

关于勘探靶区地球化学门槛值的选择与确定拥有一套严格的准则和规范,其依据是建立在全球各种不同景观类型的 3000 多个案例的庞大的油气微生物勘探(MOST)数据库,为不同景观区的门槛值分析提供了可靠的对比平台;

容易实现油气微生物勘探线线与地震勘探线线的叠置施工。它有利于实现(物探 + 化探)的学科交叉和学科渗透,实现{(2D/3D) + MOST}或者{MOST + (2D/3D)}的新型的油气勘探模式。

这项技术的弱点是:它不能直接有效地指示烃类异常深度的空间归属,对于复合油气藏而言,它不能阐明该异常来自上组合或者下组合,因此,从完成油气勘探使命来看,它不能替代“先行官”的位置,它的定位应当是地震勘探法的最佳搭配技术。

2 油气微生物勘探的初步实践

3 年来,我们分别在高山地区、高原地区、戈壁滩、沙漠腹地以及海洋开展了油气微生物勘探技术(简称为 MOST)的试验研究工作。

在执行国内的第 1 个陆上项目“镇巴地区油气微生物勘探”时,我们借助邻近的普光气田建立了正演模型。那是一个即将投入大规模开发的礁滩相的海相碳酸盐岩油气田,它保持了油气藏的原生状态。在那里,我们看到了微生物丰度的背景区和异常区有序分布(图 2),而且还观察到 7 口探井油气的初试产能与 MV 值之间存在密切的正相关关系(图 3),并且预示了往北延伸的大湾地区良好的油气勘探远景。

川东北镇巴地区是一个岩层陡立的高山区,地震勘探的方法久攻不克,我们用 3 个月时间采集了 3 000 多样品做烃类微生物检测。施工过程中严格执行样品采集的操作规范,当天在野外基地进行样品的预处理,并且在数据分析阶段对于可能存在的自然干扰因素进行甄别和研究。最终明确地指出 2 个最有利和 9 个有利的 MV 高值异常区(图 4),并且指出:它们的烃类属性特征与凝析油气田密切相关颇似普光气田(图 5)。促使勘探家们缩小了勘探靶区,当前正在该区进行疏三维地震勘探方法攻关,以便选择最佳钻探部位。我们在中国陆地实现了一次 MOST 先行的勘探实践。

普光区 PP' 剖面 MV/构造井位分布图

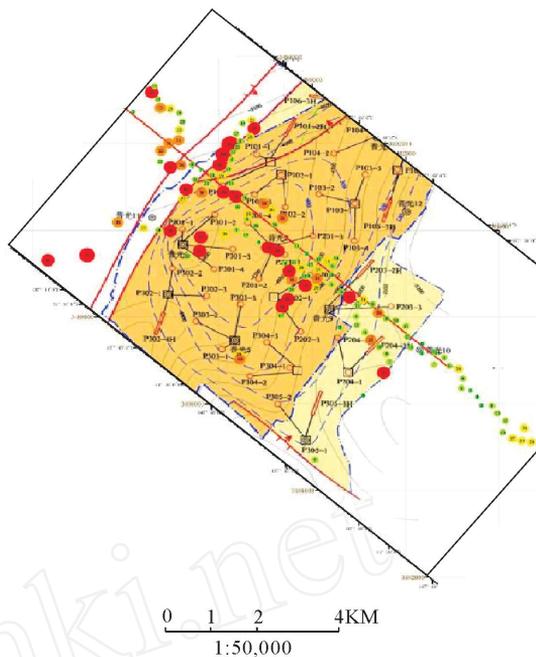


图 2 普光区 PP' 剖面线 MV/构造井位分布图

Fig. 2 Surveyline PP' MV and well location distribution map, Puguang

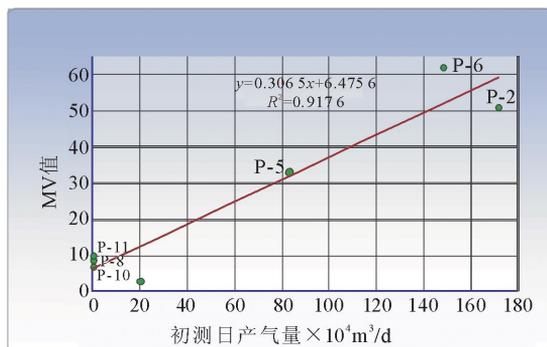


图 3 普光地区 MV/ 初试产能关系图

Fig. 3 MV and initial production capacity crossplot, Puguang

钻探风险评估也是 MOST 技术擅长的工作之一,例如在我国某海盆的一个沉降沉积中心,上组合已经勘探失利,20 多年后勘探家们对于下组合寄托了很大希望,勘探目的层设计井深约 6 000 ~ 7 000 m,意味着一笔巨大的投资。在那里我们完成了 180 个测点的采样,对

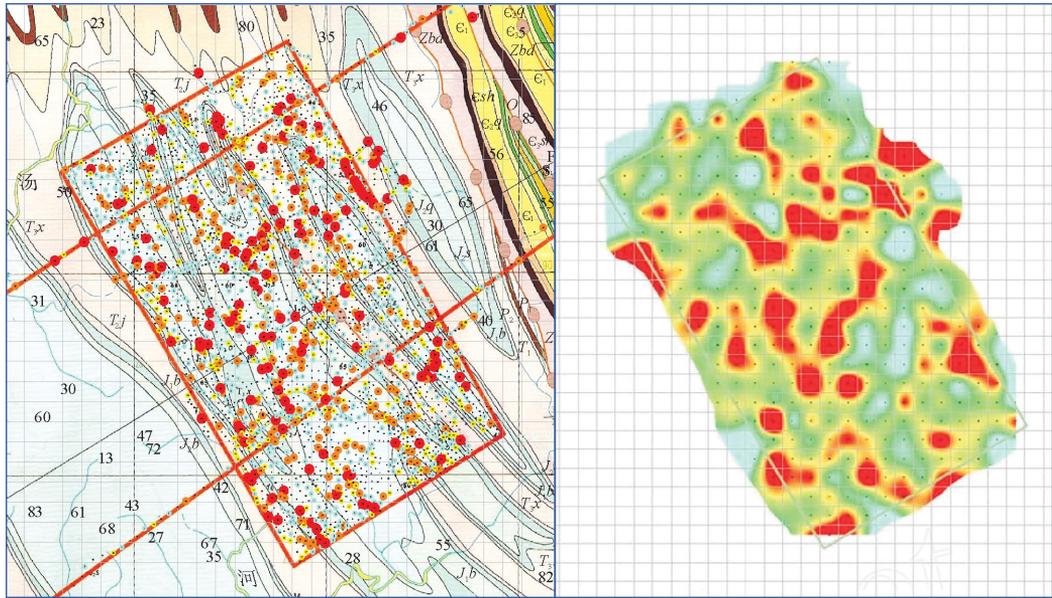


图 4 镇巴地区 MV 异常分布图

Fig.4 MV anomaly distribution map , Zhenba

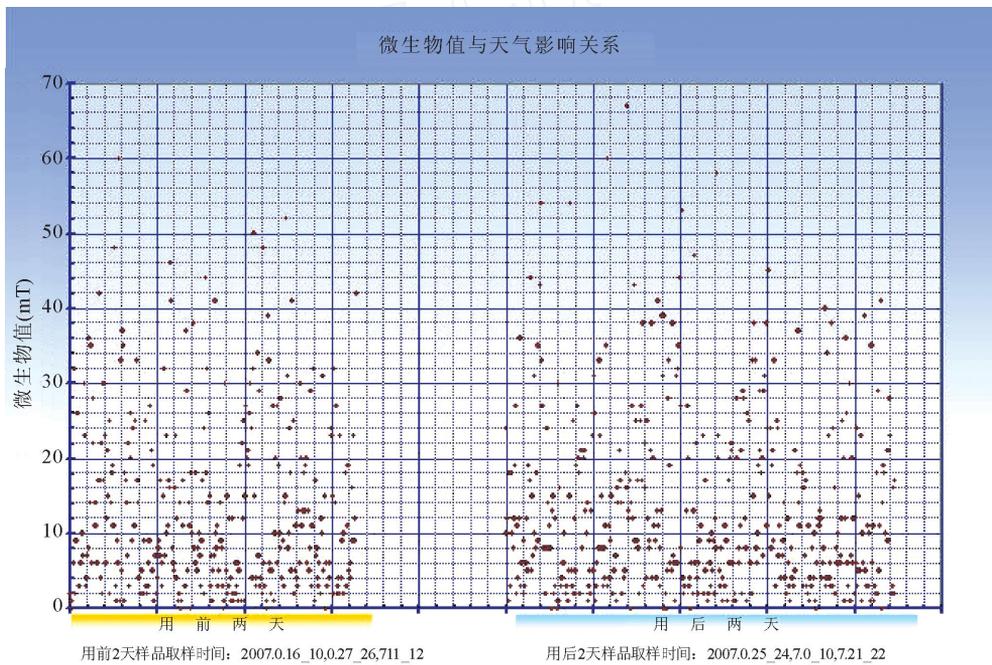


图 5 镇巴地区 MV/ 气候因素关系图

Fig.5 MV and weather factor cossplot , Zhenba

这个设想进行风险评估,微生物勘探结果警示我们:MV 高值异常区展布在这个完整背斜的

西南和北侧(图 6),而几条穿越原设计井位上方的MOST测线并不存在MV 高值异常区,

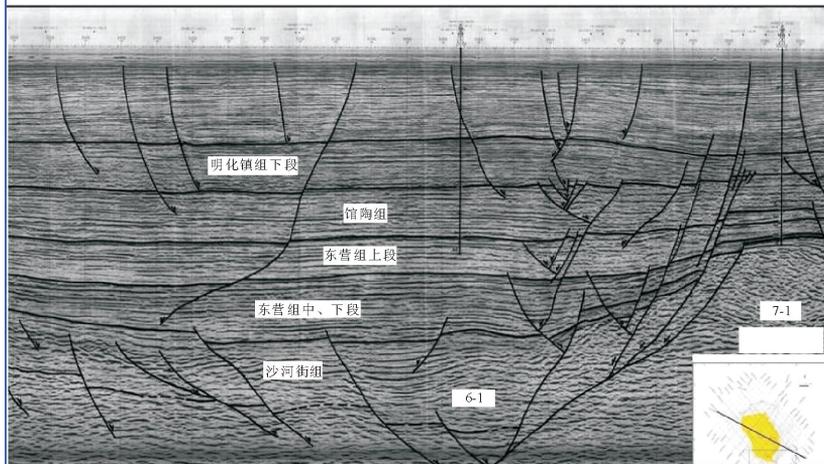
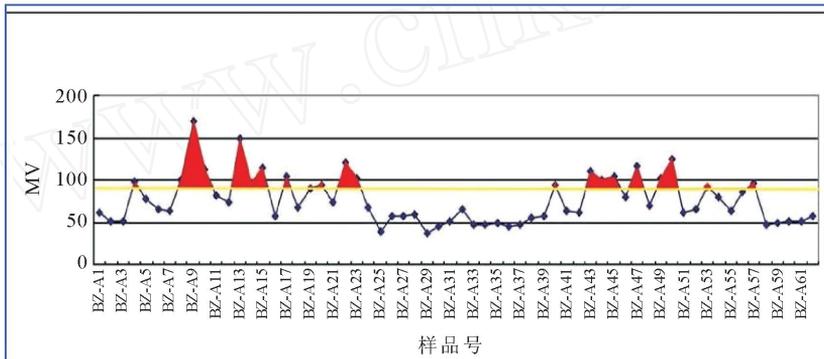
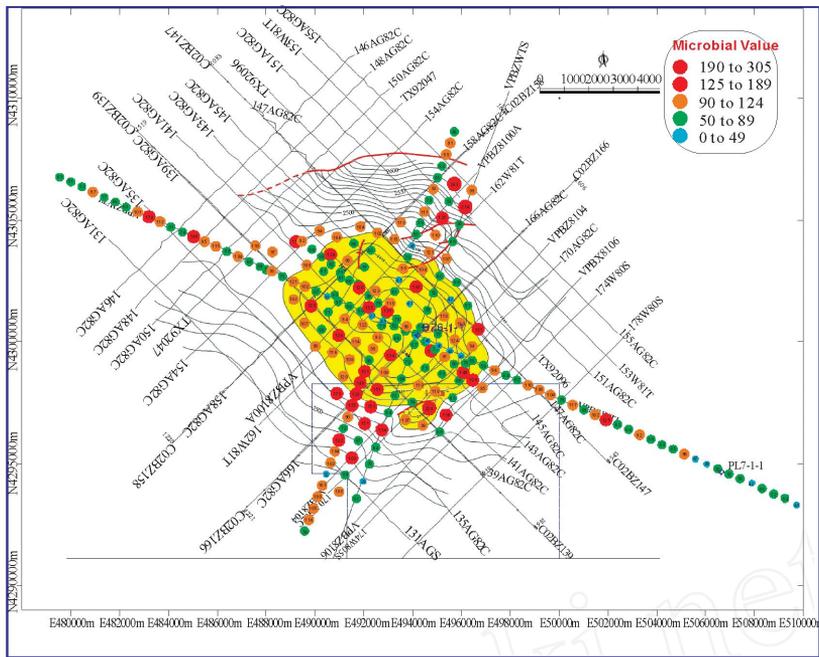


图 6 MB 探区钻前风险评估 MV 分布图

Fig. 6 MV distribution map for pre-drilling evaluation, MB

结合 MV 异常值和地震资料的分析,在该构造的浅层羽状断层发育的部位可能富集油气藏。因此,建议将设计井向西南方向移动至 A 区,这样可以兼顾深层和浅层两套目的层,以减少勘探风险,提高探井的成功率。

在我国大西北的 JM 戈壁滩上,一条

MOST 测线的采样与一口关键探井的开工几乎同时并举,可以清楚地看到 MV 值分布曲线和二维地震剖面的叠置关系(图 7)。图件表明:

测线南段的设计井位(19 井)乃处于微生物异常的门槛值以下,并非钻探之最佳部位。

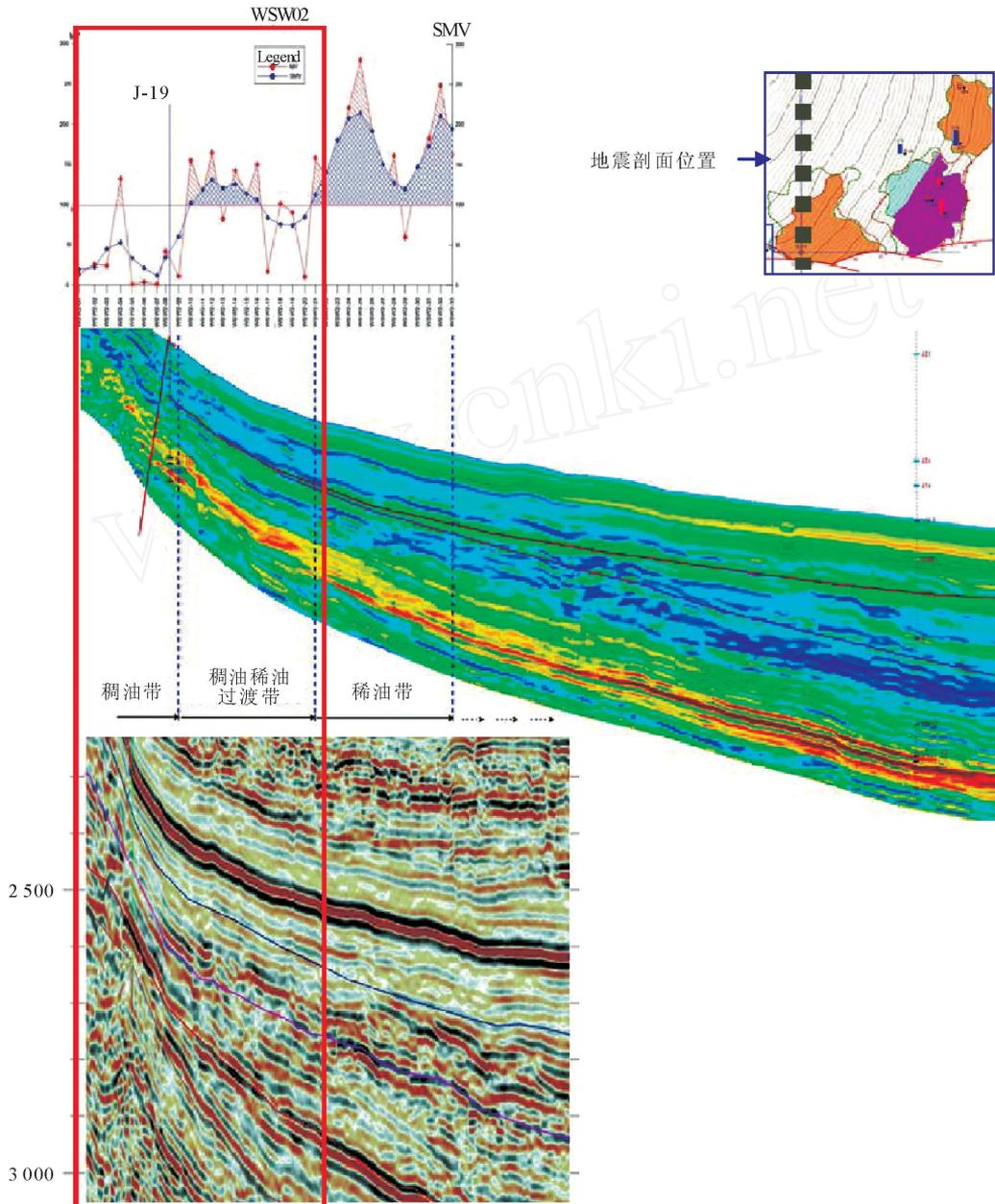


图 7 JM 地区 MV/3D 叠置剖面图

Fig.7 MV and 3D overlay map , JM

根据 MV 值剖面的判识,测线北段恰恰是 MV 高值异常区段。从叠置的三维地震波阻抗剖面上不但可以看到地层的超覆尖灭,而且还可以看出 MV 高值段的下方隐约见到了 WT 反射层波阻抗特征的变化,它们具有弱振幅、差连续的杂乱地震相,疑似为发育于坡折带前沿的浊积砂岩,很可能有利于油气的富集。我们极力主张在这里跟踪并且扩大(3D + MOST)的勘探成果,当前这里已经布设了新的微生物勘探网。该区的勘探案例展现了 3D + MOST 模式的巨大潜力。

根据美国地质微生物技术公司(GMT)的总结,在全球 3 000 多个勘探项目中,采用这种新型的勘探模式而确定的 1100 口油气探井,钻探的成功率平均高达 80%。

显然,当前油气勘探正面临着战略转移。石油地球物理勘探则面临着其学科的限制性:其一是地震勘探对于激发条件的要求限制了它在许多景观区施工的可行性和有效性,例如具有高倾角岩层的崇山区、黄土高原的沟壑发育区、海洋里严重气涌的干扰区、沉积火成岩披盖的多次波发育区等等,地震反射波在这许多地方因为遭遇了严重的扭曲和干扰而难于判识;其二,当前的形势已经逼迫勘探家们告别背斜油气田和断块油气田的“大餐”,艰苦地走向寻找岩性油气藏、地层油气藏以及许多不规则的隐蔽油气藏,这就提出了一个对于潜伏圈闭内流体性质及其分布特征的判识问题。尽管当今的物探技术已经可以提取许多物理参数通过正演和反演进行模式判别,然而,它们毕竟是一种虚拟的或者是间接的标志,难于直接表征这里是油、气、抑或是水。

因此,我们倡导发展新的勘探模式,就是物

探+化探,它们犹如“一体两翼”,一体是石油地质学,它是勘探研究的主题和终极;双翼就是地球物理技术,加上油气化探技术。

我们衷心地希望石油地质、石油物探和石油化探了大学科经过磨合、交叉、渗透,新的“一体两翼”的勘探模式能够运载我国的油气勘探事业实现新的腾飞。

参考文献:

- [1] Ehrlich H L. Geomicrobiology, Fourth Edition, USA [M]. Marcel Dekker, Inc. 2002:[J]P749.
- [2] Moqilewskii G A. Microbiological investigation inconnecting with gas Surveying[J]. Razvedka Nedr. 1938, 8:59-68.
- [3] Wagner M, Rasch H J and Piske J et al. Mikrobielle Prospektion auf Erd? l und Erdgas in Ostdeutschland [J]. Geologisches Jahrbuch, 1998,149:287-301.
- [4] 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.
- [5] 林壬子,梅博文,梅海. D C Hitzman 油气微生物勘探技术[M]// 牟书令、金之钧,等. 中国海相油气勘探理论与技术. 北京:石油工业出版社,2008.
- [6] Klusman R W, Saeed M A. Comparison of light hydrocarbon microseepage mechanisms. Hydrocarbon migration and its near Surface expression[J]. AAPG Memoir, Schmacher D and Abrams MA(ed.),1996,66:157-168.
- [7] Saunders D F, Buraon K R, Thompson CK, Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations[J]. AAPG Bulletin, 1999,83,(1)170-185.
- [8] Brown A, Evaluation of possible gas microseepage mechanisms[J]. AAPG Bulletin, 2000,84(11):1775-1789.
- [9] Schumazher D, Clavijo L, Hitzman D, Best practices for hydrocarbon microseepage survey [C]. Abstract, presented at AAPG Annual meeting, 2002-03-10-23, Houston Texas.