

渤海湾盆地陈家庄油田陈 22 块 微生物异常分布研究

杨帆^{1,2}, 沈忠民¹, 汤玉平², 许科伟², 顾磊²

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059;

2. 中国石化 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

摘要:为探索油气藏上方微生物异常分布,按照从线到面的研究思路,采集渤海湾盆地陈家庄油田陈 22 块油气藏上方土壤样品 469 个,采用 MPN 法检测出样品中油气指示微生物的数量并研究其分布特征。结果显示,在联井剖面上,甲烷氧化菌和烃氧化菌 2 种油气指示微生物异常区与对应油井位置有很高的吻合度,呈顶端异常,剖面南北两端具有明显的背景区,表明了 2 种油气指示微生物对油气藏烃类微渗漏的指示性是有效的。进一步对本区块油气微生物进行了面上精查,结合地质和钻井信息,解析了微生物异常与下覆油气藏分布的响应关系,结果表明地表土壤中油气微生物对下覆油气藏的分布有很好的指示作用,同时对钻井部署也有一定的参考价值。

关键词:甲烷氧化菌;烃氧化菌;热释烃;微生物勘探;陈家庄油田;渤海湾盆地

中图分类号:TE132.4

文献标识码:A

Microbial anomaly distribution in Chen22 block, Chenjiazhuang oil field, Bohai Bay Basin

Yang Fan^{1,2}, Shen Zhongming¹, Tang Yuping², Xu Kewei², Gu Lei²

(1. State Key Laboratory of Oil-Gas Reservoirs Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: We collected 469 soil samples above Chen22 block in Chenjiazhuang oil field in the Bohai Bay Basin in order to study the microbial anomaly distribution above oil reservoirs. Methane-oxidizing bacteria and hydrocarbon oxidizing bacteria in the soil samples were cultured, and the number of bacteria detected was counted by using the MPN method. There was a good alignment between the upper abnormalities of the two indicative microorganisms and the position of wells on the connecting-well profile which had an obvious background area on the north and south ends. It showed that the two kinds of microorganism were effective indicators for the hydrocarbon microseepage of reservoirs. Combined with geological and drilling information, the response between the abnormal distribution of microorganisms and the underlying reservoir was researched by an accurate survey on the area. The distribution of underground reservoirs could be predicted by detecting microbiological anomalies, which also had a certain guiding significance to well drilling.

Key words: methane-oxidizing bacteria; hydrocarbon-oxidizing bacteria; pyrolysis-desorbed hydrocarbon; microbial prospecting; Chenjiazhuang oil field; Bohai Bay Basin

我国油气资源形成的地质条件极为复杂,油气勘探难度逐渐增大,导致传统的地球物理勘探和钻井成本随之急剧升高。地表油气微生物勘探是基于油气化探轻烃微渗漏原理而发展起来的一种新型勘探技术,通过实验室检测获取土壤中油气指示菌信息,通过微生物异常判断地下油气藏的分布情

况^[1-5]。油气微生物异常是指地表土壤中某些特定微生物以油气藏微渗漏至地表的轻烃为养料,在油气藏上方地表土壤中大量繁殖,其数量明显高于周围无油气背景区的现象。油气微生物勘探有多种测试指标,其中甲烷氧化菌和烃氧化菌是 2 种常用指标,是分别降解微渗漏甲烷、短链烷烃的油气

收稿日期:2015-12-24;修订日期:2016-11-30。

作者简介:杨帆(1983—),男,硕士,工程师,从事油气地球化学及油气微生物勘探研究。E-mail: yangfan.syky@ sinopec.com。

通信作者:沈忠民(1954—),男,教授,博士生导师,从事油气成藏与储层地质学研究。E-mail: szm313@ cdut.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金“典型油气藏上方气态烃氧化微生物类群分布异常的深度解析”(41202241)资助。

微生物。国内外相关勘探实例表明,这2种微生物对地下油气藏的分布具有很好的指示性,是识别石油与天然气聚集体专属性微生物。油气微生物勘探作为一种前沿技术,具有成本低、勘探周期短、稳定性好、效率高等特点,日益受到油气勘探界的重视^[6-11]。

1 研究区概况

研究区为渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷南部的陈家庄凸起西段北坡、邵家洼陷西南部的陈22块(图1)。陈家庄地区油气具有晚期成藏特点^[12-13],且埋藏较浅(陈22块油藏埋深在1200 m左右),易于烃类的微渗漏,对于噬烃微生物异常信息的提取相当有利。研究区具有较为独立的油田和气田,烃类微渗漏组分有一定差异(一般认为油田微渗漏以甲烷和重烃为主,气田微渗漏以甲烷为主),便于微生物勘探技术对不同油气属性的微生物特征进行提取和对比。另外油藏开采的动态变化,可以验证地表微生物异常对地下油气微渗漏强度变化的敏感性。

2 样品采集及测试

2.1 采样信息

研究区土壤样品采集部署如图2所示。首先从线上设计一条近似南北向的过陈6井、陈22井、陈221井、虎4井、虎2井的联井剖面,部署物理点70个,点距为500 m,同时采集化探土壤样品,结合地球化学指标来研究微生物异常与油藏地质剖面特征的对应关系。为了更精细解剖微生物异常与地下油气藏分布的响应关系,以500 m×500 m网

格部署物理采样点399个(图2中绿色圆点为实际采样点),共采集样品469件。采集微生物样品时采用专用麻花取土钻和刮刀等相应工具,采集深度为30~60 cm,样品重量约200 g左右,采集的样品置于无菌采样袋中并放入冷藏箱中保存。此外,在联井剖面上的每个物理点,采集化探土壤样品500 g,采集深度为1.5 m。

2.2 测试方法和流程

在实验室采用传统的MPN法(most probable number)对样品进行检测,检测指标为甲烷氧化菌和烃氧化菌。MPN法为微生物数量测定的传统方法,根据微生物培养试管中菌膜的产生和培养基色度改变来确定阳性变化,培养结束后通过统计阳性管的数量查最大或然数表即可换算出样品中微生物的数量,具有直观性好、可靠性高的特点。

在实验测试中甲烷氧化菌和烃氧化菌培养基的制备、接种及恒温培养,均严格遵循轻烃氧化菌培养实验操作规则^[14]。实验步骤如图3所示,主要包括培养基配置、样品稀释接种、恒温培养、微生物计数、结果分析等^[15-17]。

3 联井剖面指标异常分析

3.1 油气微生物异常特征

图4是联井油藏地质剖面上甲烷氧化菌和烃氧化菌数量分布情况。可以看出,两者数量在剖面具有异常区域,且整体特征较为类似,说明油藏烃类微渗漏甲烷及烷烃组分都是客观存在的。地表甲烷氧化菌和烃氧化菌异常高值位置与下伏油藏分布(陈22、陈221和虎4等油井)有较好对应关

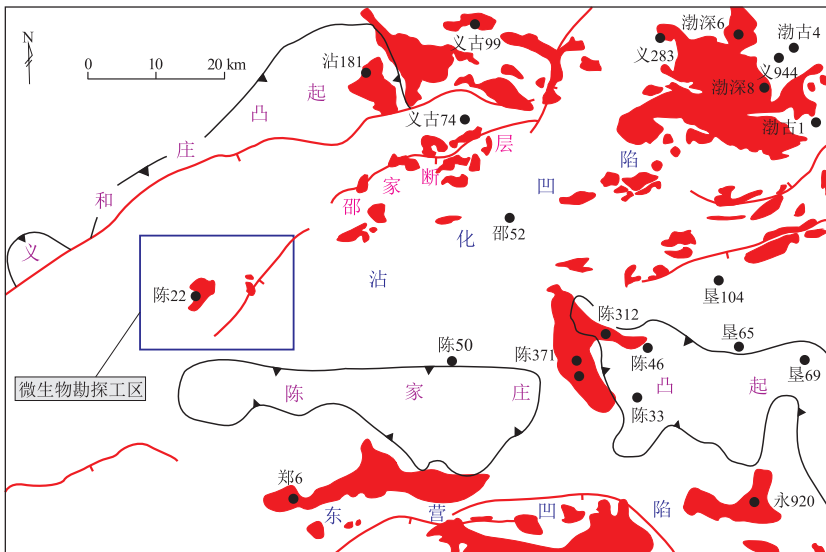


图1 渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷南部陈家庄油田陈22块位置

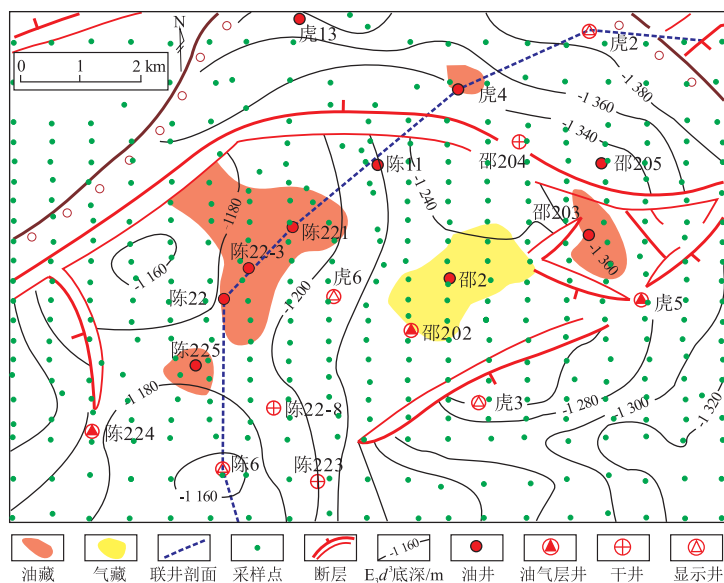


图2 渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷南部陈家庄油田陈22块采样部署位置见图1。

Fig.2 Sampling location in Chen22 block, Chenjiazhuang oil field, southern Zhanhua Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

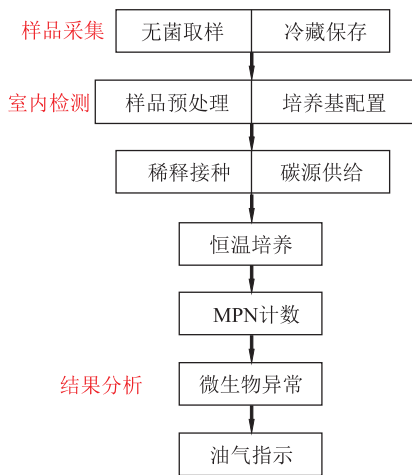


图3 样品测试流程

Fig.3 Flow chart of sample testing

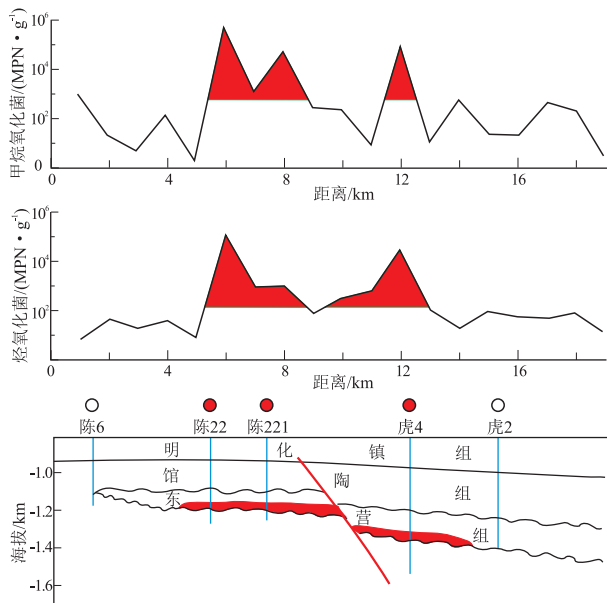


图4 渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷南部陈家庄油田陈22块联井剖面油气微生物数量分布剖面位置见图2。

Fig.4 Quantity distribution of microorganism in connected-well profile, Chen22 block, Chenjiazhuang oil field, southern Zhanhua Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

系,呈顶端异常,在剖面上形成“双驼峰”特征,与南北两端背景区明显区分开来,说明这2个指标对于油气微渗漏的指示是有效的。值得注意的是,2种油气指示菌在陈221油井与虎4油井间则呈低值,降幅高达2个数量级,说明油藏主控断层在侧向上具有很好的封堵性,对陈221井油藏烃类垂向微渗漏具有遮挡作用。油藏上方的地表微生物异常是烃类沿地层中广泛发育的垂向微裂隙系统,以及断层微渗漏共同作用的结果。

3.2 化探指标异常特征

通过研究地表化探常规指标热释烃的含量及分布,来考察油藏上方地表土壤样品中是否真正存在微渗漏轻烃异常。根据热释烃的特点,将热释烃

称为“亚稳定”指标,主要是基于以下原因:对于热释烃赋存状态,一般认为是吸附于硅酸盐矿物层间或格架中的烃气,吸附牢固,较稳定^[18-19]。通过烃类微渗漏模拟实验研究发现^[20-21],介质中的热释烃受短期气体运移叠加的影响,说明该指标又具有活跃指标的属性。通过检测土壤样品中热释烃含量,获取相应的地表地球化学异常,可验证下伏油

气藏富集的可利部位。

图 5 为联井剖面上热释烃甲烷(RC_1)和热释烃重烃(RC_{2+})含量分布情况。可以看出,在联井剖面上 RC_1 和 RC_{2+} 均呈“双驼峰”异常,分别对应下伏虎 4 井油藏、陈 221 井油藏,“双驼峰”之间的低值带同样也揭示了断层对油藏烃类垂向微渗漏的遮挡作用,这与甲烷氧化菌和烃氧化菌的异常分布特征类似。

热释烃指标异常分布表明,油气藏上方地表土壤样品中烃类含量较高,存在微渗漏轻烃异常。这

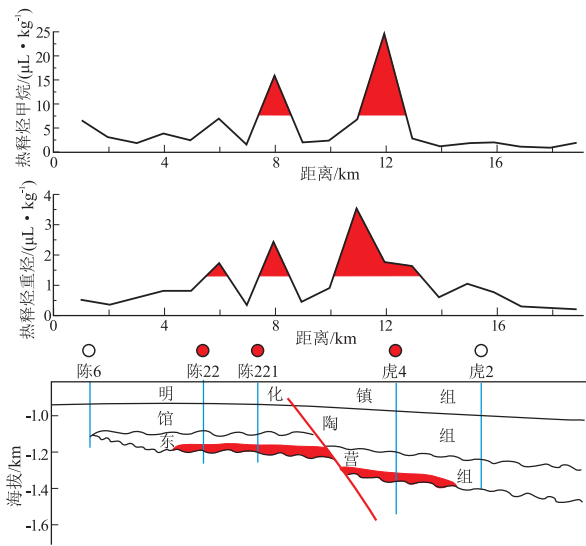


图 5 渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷南部陈家庄油田陈 22 块联井剖面热释烃含量分布剖面位置见图 2。

Fig.5 Content distribution of thermally-released hydrocarbon in connected-well profile,Chen22 block, Chenjiazhuang oil field, southern Zhanhua Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

种高含量的轻烃为土壤中油气指示菌提供“食物”,促使其大量生长,形成了油气藏上方油气微生物数量高于背景区的现象。

4 油气微生物异常分布精查

从线到面对陈 22 块油气田进行微生物分布精查,面积覆盖陈 22 块油田区、气田区、背景区(图 2),进行二维空间分析,进一步研究地表微生物异常与下伏油气藏的响应关系。

为了更精确地反映油气田上方微生物分布情况,对甲烷氧化菌和烃氧化菌异常进行综合信息提取,所提取的综合异常分布如图 6 所示。从整体上看,油气微生物在油气区上方呈现高异常富集区,而远离油气区的背景地带只有零星异常或无明显异常。整个油气微生物异常富集区又可细分为北西、南东 2 个较大异常带,覆盖到陈 22 油藏和邵 2 气藏。北西异常覆盖了陈 22 油藏北部(陈 221 井以北)以及陈 22 井区。该区东营组储层在岩性和构造双重控制下,油气藏类型为受地层超覆控制的构造-岩性油藏,储层为滨浅湖滩坝相砂岩,小层之间互不连通,具有不同的油水系统。目前该油藏仅陈 22-3 井以北的油井仍在开采,陈 22 井及其以南的油井因产量过低(含水率达到 95%以上),已经关井停采。由于开采,导致油区南部的储层渗漏源丰度降低,烃类微渗漏的动力减弱,因此陈 22 井以南的含油区地表无明显的微生物异常。而陈 22 油藏北部由于下伏仍存在较高丰度的渗漏源,烃类微渗漏动力相对较强,因此在地表具有明显的微生物异常分布。

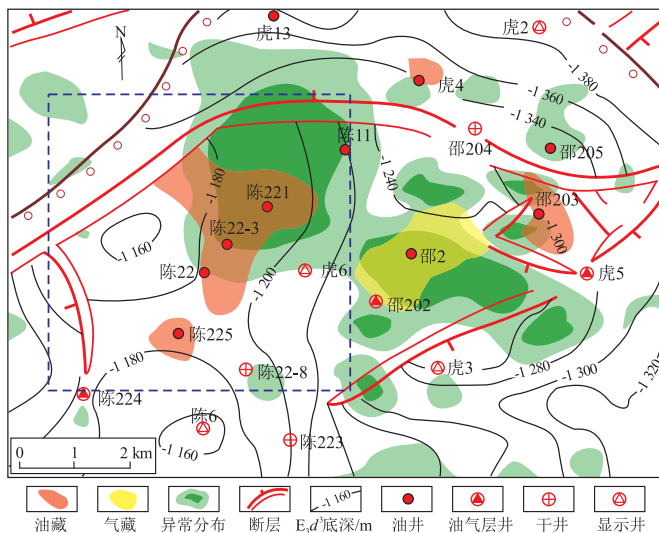


图 6 渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷南部陈家庄油田油气微生物异常分布位置见图 1。

Fig.6 Abnormal distribution of microorganisms in Chenjiazhuang oil field, southern Zhanhua Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

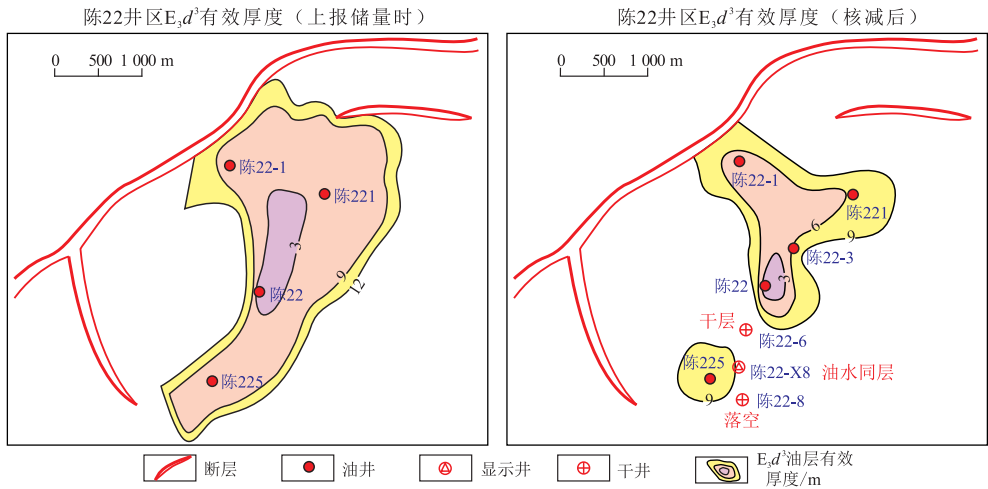


图 7 渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷南部陈家庄油田陈 22 井区 E_3d_3 段砂体有效厚度分布位置见图 6 虚线框。

Fig.7 Distribution of effective thickness of sand body in E_3d_3 section, Chen22 block, Chenjiazhuang oil field, southern Zhanhua Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

据陈家庄油田最新资料,根据试采情况及电测解释综合分析,陈 22-3 钻遇油层,陈 22-斜 8 钻遇油水同层,陈 22-6 干层、陈 22-8 落空,根据岩性油藏含油边界外推一个井距的原则,结合新钻井资料及构造趋势,重新落实了含油面积,计算了 E_3d_3 有效厚度(图 7)。由图 7 可以看到,砂体有效厚度主要集中在陈 22 井以北,陈 22 井以南所钻的陈 22-6、陈 22-8 井为干井,以前所钻的陈 225 井虽然砂体有一定厚度(薄于陈 22 井以北),但已经关井停产。由此可见,在陈 22 块油区,微生物异常分布与下伏砂体厚度、产出情况具有很高的吻合度。

南东异常带的主体以一个较大的块状异常覆盖了邵 2 井气藏,其东部的邵 203 井油藏仅在西部边缘出现 2 个小异常块,而邵 203 井目前也因产量过低已经关井停产。由此可见,油气微生物异常分布对下伏油气藏“生命体征”具有很灵敏的指示作用。

从油气微生物异常分布与钻井油气显示结果对比来看(表 1),研究区内绝大多数干井或显示井,如虎 2 井、邵 204 井、虎 6 井、虎 5 井、虎 3 井、陈 224 井、陈 6 井、陈 223 井上方均不存在微生物异常;几乎所有的油气井,如虎 4 井、邵 2 井、陈 221 井、陈 22 井、邵 202 井上方或近于上方均存在微生物异常,符合率达到 80%,表明微生物异常分布对工业油气藏区具有很好的响应关系,同样,微生物勘探对钻井部署具有重要的指导意义。

5 结论

(1)在油气微生物勘探中,地表土壤中特定微生物的生长发育与下伏油气藏有密切的关系,能够

表 1 渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷南部陈家庄油田陈 22 块微生物异常与钻井显示对比

Table 1 Contrast table of microbiological anomaly and drilling results, Chen22 block, Chenjiazhuang oil field, southern Zhanhua Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

井号	完钻井深/m	微生物异常	含油气性	符合情况
邵 2	2 424	异常区	产油井	相符
邵 203	1 401	异常边界	产油井	基本相符
邵 202	1 350	异常区	油气显示井	基本相符
虎 4	1 444	异常区	产油井	相符
陈 22-3	1 220	异常区	产油井	相符
陈 22	1 270	异常区	产油井	相符
虎 3 井	2 322	异常边界	低油气显示井	相符
虎 13 井	1 508	非异常区	产油井	不相符
邵 204	1 475	非异常区	干井	相符
陈 223	1 237	非异常区	干井	相符
陈 6	1 175	非异常区	干井	相符
陈 224	1 300	异常边界	油气显示井	不相符
虎 6	1 600	异常边界	低油气显示井	相符
虎 2	1 700	非异常区	干井	相符

指示下伏油气藏的“生命体征”。通过检测勘探区块油气微生物数量异常分布,可预测地下油气藏的位置。

(2)微生物指标、化探指标较好地响应了下伏油藏的分布位置,其异常结果可以相互补充、相辅相成,从不同角度指示了烃类微渗漏,不同指标代表的地球化学意义不同,但它们又具有内在的成因联系。

(3)剖面测量在一定程度上能够揭示油藏上方微生物异常部分特征,但是仅从一维角度不能全面反映油气藏的地表生物场与地质特征的关系,面

上高精度二维解剖为油气微生物勘探提供更精确的信息。

(4) 微生物勘探过程是揭示油气藏微渗漏地质作用所引起的地表微生物地球化学过程, 因此, 要以石油地质观点认识微生物勘探成果, 从整体上研究微生物异常, 才能比较深入地做出符合客观地质条件的解释。

(5) 由于地质和地表条件以及烃类微渗漏的复杂性, 任何一种地表勘探方法都有它的局限性, 多方法、多参数综合勘查是勘探成功的必要途径。

参考文献:

- [1] Ehrlich H L. Geomicrobiology [M]. New York: Marcel Dekker, 2002.
- [2] 阿特拉斯. 石油微生物学 [M]. 黄第藩, 译. 北京: 石油工业出版社, 1991.
Atlas R M. Petroleum microbiology [M]. Huang Difan, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991.
- [3] 袁志华, 赵青, 王石头, 等. 大庆卫星油田微生物勘探技术研究 [J]. 石油学报, 2008, 29(6): 827-831.
Yuan Zhihua, Zhao Qing, Wang Shitou, et al. Microbial prospecting technology for oil and gas in Satellite Oilfield of Daqing area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(6): 827-831.
- [4] 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.
Mei Hai, Lin Renzi, Mei Bowen, et al. Microbial oil-gas detection technologies: Theory, practice and application prospect [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(6): 888-893.
- [5] 吴传芝. 微生物油气勘探技术及其应用 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(1): 82-87.
Wu Chuanshi. Microbial oil and gas exploration technique and its application [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(1): 82-87.
- [6] Davis J B. Studies on soil samples from "paraffine dirt" bed [J]. AAPG Bulletin, 1952, 36(11): 2186-2188.
- [7] Strawinski R J. A microbiological method of prospecting for oil [J]. World Oil, 1955(11): 104-115.
- [8] Soli G G. Geomicrobiological prospecting [J]. AAPG Bulletin, 1954, 38(12): 2555-2558.
- [9] Soli G G. Microorganisms and geochemical methods of oil prospecting [J]. AAPG Bulletin, 1957, 41(1): 134-140.
- [10] Strawinski R J, Cox W B. Microbes locate gas production in field test [J]. World Oil, 1959(7): 93.
- [11] Hitzman D O. Comparison of geomicrobiological prospecting methods used by various investigators [M] // Rich S. Developments in Industrial Microbiology. New York: Plenum Press, 1961: 33-42.
- [12] 方旭庆. 渤海湾盆地沾化凹陷新近系油气运移路径与富集规律 [J]. 断块油气田, 2016, 23(3): 300-304.
Fang Xuqing. Hydrocarbon migration paths and enrichment rules of Neogene in Zhanhua Sag of Bohai Bay Basin [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2016, 23(3): 300-304.
- [13] 程付启, 王永诗, 宋国奇, 等. 断陷盆地压力系统及其成藏特征: 以沾化凹陷孤南洼陷古近系为例 [J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(1): 20-25.
Cheng Fuqi, Wang Yongshi, Song Guoqi, et al. Pressure systems and their hydrocarbon accumulation characteristics in faulted basins: a case study of the Palaeogene in Gunan subsag of Zhanhua sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 20-25.
- [14] Hanson R S, Hanson T E. Methanotrophic bacteria [J]. Microbiological Reviews, 1996, 60(2): 439-471.
- [15] 杨帆, 汤玉平, 许科伟, 等. 海安凹陷富安油气区微生物异常分布研究 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2014, 29(6): 83-87.
Yang Fan, Tang Yuping, Xu Kewei, et al. Study on anomaly distribution of microbial in Fuan oil-gas area, Haian Sag [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science), 2014, 29(6): 83-87.
- [16] 黄秀梨. 微生物学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
Huang Xiuli. Microbiology experimental instruction [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [17] 赵斌, 何绍江. 微生物学实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
Zhao Bin, He Shaojiang. Microbiology experiment [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [18] 冯晓双, 李贵友. 热释烃技术在油气化探中的应用 [J]. 石油实验地质, 1999, 21(1): 91-94.
Feng Xiaoshuang, Li Guiyou. Application of the pyrolysis-desorbed hydrocarbon technology to the geochemical exploration of gas and oil [J]. Experimental Petroleum Geology, 1999, 21(1): 91-94.
- [19] 王周秀, 徐成法, 姚秀斌. 化探热释烃方法机理及影响因素 [J]. 物探与化探, 2003, 27(1): 63-68.
Wang Zhouxiu, Xu Chengfa, Yao Xiubin. The mechanism of the geochemical thermally-released hydrocarbon method and its affecting factors [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2003, 27(1): 63-68.
- [20] 高俊阳. 中国石化无锡石油地质研究所实验地质技术之烃类垂向微渗漏模拟实验技术 [J]. 石油实验地质, 2016, 28(4): 封二.
Gao Junyang. Experimental petroleum geologic technique series of Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC: Experimental simulation of vertical migration of hydrocarbons from underlying reservoir [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 28(4): inside front cover.
- [21] 程同锦, 王国建, 范明, 等. 油气藏烃类垂向微渗漏的实验模拟 [J]. 石油实验地质, 2009, 31(5): 522-527.
Cheng Tongjin, Wang Guojian, Fan Ming, et al. Experimental simulation of the vertical migration of hydrocarbons from the underlying reservoir [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(5): 522-527.