

地表油气地球化学勘探中轻烯烃形成机理探讨

王国建¹,唐俊红²,汤玉平¹,李吉鹏¹,杨俊¹,卢丽¹

(1.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214151;

2.杭州电子科技大学材料与环境工程学院,浙江杭州310018)

摘要:油气藏烃类能够垂向微渗漏到地表是油气地球化学勘探的理论基础。在油气田地表轻烃检测中,高浓度C₁—C₅烷烃常常伴有烯烃(C₂H₄,C₃H₆),众所周知,地下的石油和天然气中是不存在轻烯烃的。目前地表油气地球化学勘探中,土壤中的烯烃普遍被认为是地表原位有机物在一定条件下由微生物生成。油气藏地表烯烃异常的客观存在,如不给出合理的解释,将导致地质界对油气藏地表轻烷烃异常的质疑,影响地球化学勘探技术的应用。通过渤海湾盆地济阳拗陷惠民凹陷南坡临南油田、美国怀俄明州 Teapot Dome 油田地表地球化学勘探实例发现,油田区地表土壤轻烃异常中含有烯烃,且烯烃与烷烃相关性较好,并与油气区吻合度较高,说明这些烯烃并非来自地表原位有机质的生物作用。为了进一步说明油气藏地表烯烃的来源,对油气藏烷烃类垂向微渗漏到地表的地球化学特征进行了实验模拟,实验结果发现,模拟的地表土壤轻烃异常中含有较高浓度的烯烃,且烯烃与烷烃相关性较高,说明烯烃是在地表环境中由微渗漏的烷烃演化而来,具有油气指示意义。上述研究结果初步阐明了油气田地表轻烯烃异常形成机理,证实了地球化学勘探中轻烃异常对油气藏指示的可信性,同时为轻烯烃作为地表地球化学勘探新指标提供了理论和实践依据。

关键词:油气地球化学勘探;烯烃;油田区;实验模拟;形成机理

中图分类号:TE132.4

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2017)02-0324-07

引用格式:Wang Guojian, Tang Junhong, Tang Yuping, *et al.* Study on light alkenes forming mechanism in surface geochemistry exploration for oil and gas[J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(2): 324-330.[王国建,唐俊红,汤玉平,等.地表油气地球化学勘探中轻烯烃形成机理探讨[J].天然气地球科学,2017,28(2):324-330.]

0 引言

油气藏中的烃类能够垂向微渗漏到地表引起各种物理化学变化,已经在已知区通过观测得以证实^[1],地表微渗漏轻烃以及由这些烃类产生的变化都是寻找地下油气藏的线索,这也是油气地球化学勘探技术的理论基础。其中烃类是反映油气藏的最直接指标,其中C₁—C₅烷烃由于分子半径相对较小,迁移能力强,在油气地球化学勘探中最受重视并得到有效应用。然而在勘探实践中发现,在地表轻

烃检测中除C₁—C₅烷烃外,常常发现烯烃C=C(C₂H₄,C₃H₆)^[2-5]。众所周知,烯烃是不饱和烃,根据前人对烯烃物理化学性质的研究^[6,7],烯烃中C=C由一个σ键和一个π键组成,由于π键的不稳定性,烯烃化学性质活泼,易和其他物质发生反应而形成饱和碳链有机物。地下高温高压条件,埋藏以地质时间计(Ma),如有烯烃也早已发生裂解断键与地壳中的H₂结合形成烷烃,因此地下石油和天然气中是不存在烯烃的^[8-10]。目前地球化学勘探中地表烯烃的出现,普遍认为是有机物在一定条件下,由微生物

收稿日期:2016-09-05;修回日期:2016-11-15.

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41373121;41072099)联合资助.

作者简介:王国建(1972-),男,辽宁大连人,高级工程师,博士,主要从事油气地球化学勘探与石油实验地质研究.

E-mail: wanggj_syky@sinopec.com.

物生成: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。已有化学家或地球化学家对地表烯烃的成因做了研究,主要有以下的观点:乙烯是由真菌类(包括霉菌、食用伞菌、酵母菌等)产生的^[11],乙烯是在需氧—厌氧早期阶段由特殊的微生物生成的。只有完全厌氧的条件下,微生物甲烷才会产生。甲烷和乙烯几乎没有叠加^[12];非饱和烃是土壤中微生物活动的确切标志^[13];Kim等^[14]在实验室中用植物材料发酵生成甲烷、 CO_2 、微量乙烯、乙烷—戊烷;Oremland用河口沉积泥在 H_2 和 ethyl-S-CoM 的条件下培养生成气体的实验^[15,16],乙烯是在需氧—厌氧早期阶段由特殊的微生物生成的。甲烷和乙烯几乎没有叠加(图1),也就是说地表生物成因甲烷与乙烯相关性较差,乙烷的生成与甲烷类似。前已述及,有机质在地下的高温裂解作用下即使产生烯烃也只能是短暂的。实验室内烷烃在高温或催化剂的作用下,也可以进行自由基重组,形成烯烃^[17-19]。

对地表油气地球化学勘探来说,由于地表不存在高温,所以上述2种高温热裂解在地表是不存在的。通过上述的现状分析,目前普遍认为地表烯烃是地表原位有机质在微生物的作用下产生的,与深部油气无关。然而,油气藏地表烯烃异常的客观存在,如不给出合理的解释,将导致地质界对油气藏地表轻烷烃异常的质疑,影响地球化学勘探技术的应用。笔者从油田区近地表实际观测结果和实验模拟2个方面,对油田上方的轻烯烃形成机理进行了探讨。

1 油气区近地表烯烃观测结果

1.1 济阳拗陷惠民凹陷南坡临南—钱官屯油田

对临南—钱官屯油田的钱15井—钱6井—钱4井—钱斜5井—钱16井—钱斜14井—夏52井—夏323井—夏31井联井剖面近地表进行了地球化学勘探测量,图2是该剖面地表壤中游离气的甲烷浓度、乙烯浓度分布特征。可以看到油田区地表甲烷浓度与乙烯浓度异常变化趋势基本一致。除钱6井以南尚无油气发现外,其余异常与油藏具有很好的吻合度。为了判定已知油田区地表甲烷异常是否来源于地下烃类的微渗漏,挑选了10个甲烷浓度较高的异常点进行甲烷稳定碳同位素测试。除了有2个游离气样品的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值小于 -56‰ ,显示有生物成因气混入外,其余8个样品 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为 $-55.8\text{‰} \sim -38.6\text{‰}$,平均为 -46.95‰ ,可以认为游离烃异常大多数、极可能来源于地下油藏的石油伴生气。

临南—钱官屯油田联井剖面地表壤气观测结果

显示,乙烯与甲烷具有较好的相关性,相关系数达到0.7以上(图3),乙烯与乙烷的相关系数接近0.5,从数学统计学角度,属于显著相关。说明油田上方土壤中的甲烷与乙烯存在很高的亲缘关系,这与学者Oremland^[15]用河口沉积泥培养生成气体的实验结果有很大差异,即甲烷和乙烯几乎没有叠加,也就是说地表生物成因甲烷与乙烯相关性较差(图1)。

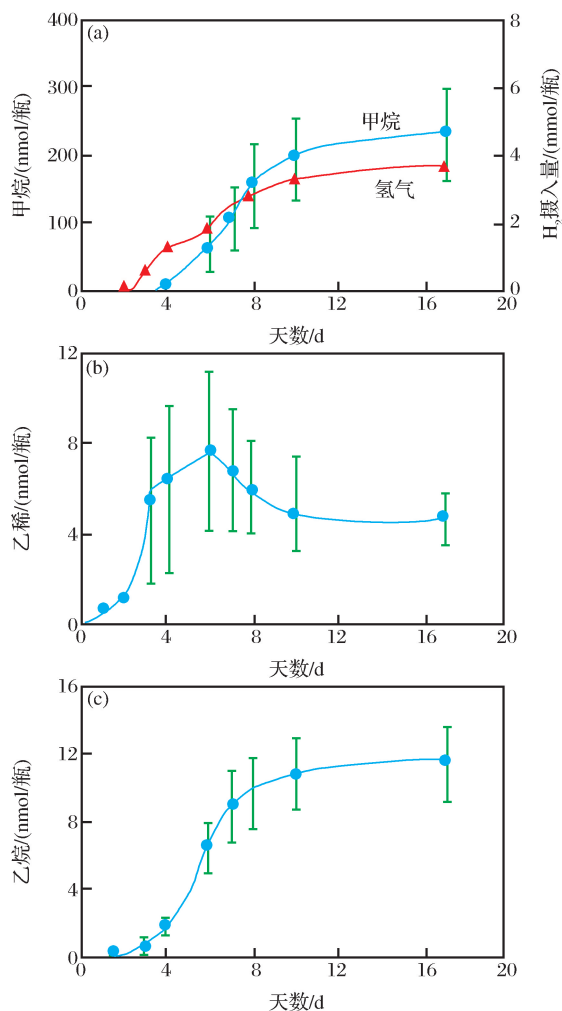


图1 河口沉积泥培养气体代谢的实验^[15,16]

Fig.1 The experimental results of gas metabolism of sediment slurries incubated under a certain condition^[15,16]

1.2 美国怀俄明州 Teapot Dome 油田

Teapot Dome 油田是一个不对称的背斜,位于美国怀俄明粉河盆地西南角。研究者在该油田区及外围钻了5个深10m的孔,其中3个有异常的气体微渗漏,2个所具的特征是“背景”。3个有异常的气体微渗漏的钻孔均检测出了一定量的不饱和烃乙烯(C_2H_4)和丙烯(C_3H_6)浓度,而背景区钻孔乙烯微量和丙烯未检出^[4]。以有异常的气体微渗漏17号钻孔和背景02号钻孔实测的不同深度游离气数据

为例(图 4,表 1),可以看到 17 号 10m 孔检测出可观的不饱和烃乙烯(C_2H_4)和丙烯(C_3H_6)浓度,认为这是饱和烃乙烷与丙烷发生部分氧化作用而致,并且在钻孔剖面上烷烃类与烯烃的相关性较好

(图 4)。土壤游离气甲烷稳定碳同位素测试结果表明,有异常的气体微渗漏 17 号钻孔和背景钻孔游离气都属于油田伴生气范畴。背景低浓度甲烷可能是油气藏中的烃类由深部经过漫长地质时间及过程

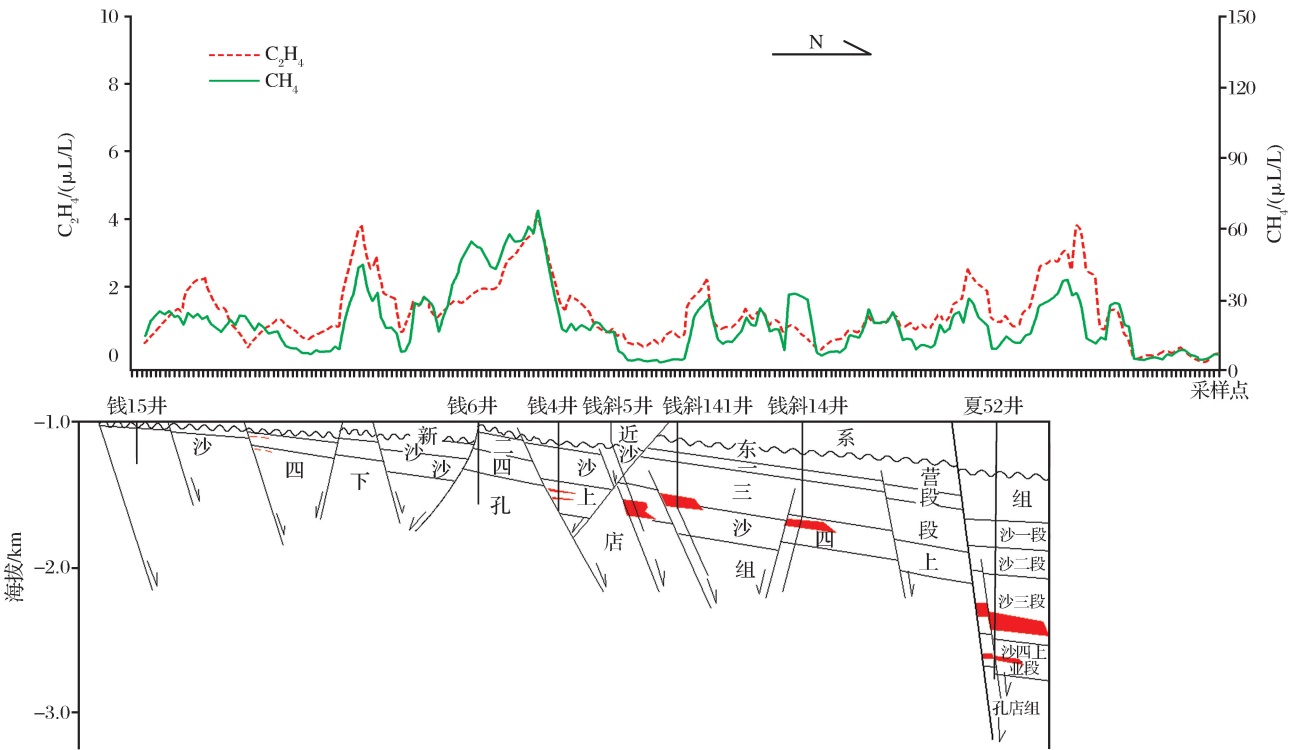


图 2 临南—钱官屯油田地表土壤游离气甲烷、乙烯浓度异常分布特征
(为消除单点异常不确定性,剖面烃类数据经过滑动平均处理)

Fig.2 The distribution characteristics of methane,ethane concentration anomalies in soil gas in Linnan-Qianguantun Oilfield

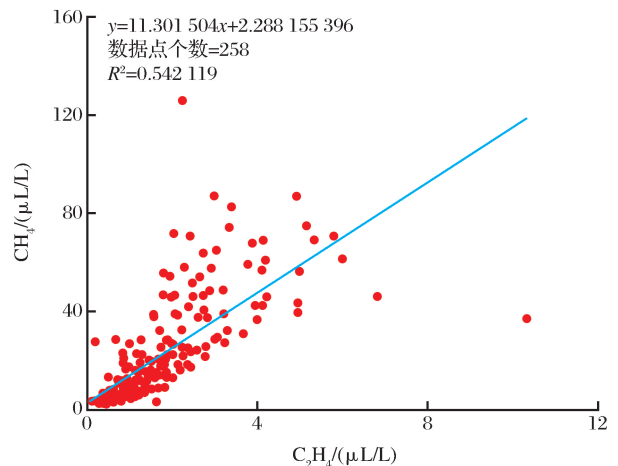


图 3 临南—钱官屯油田地表游离气甲烷与乙烯相关散点图
Fig.3 The scatter diagram of correlation between methane and ethene in soil gas in Linnan-Qianguantun Oilfield

弥散性渗漏,形成区域地球化学背景,即扩散机制对整个区域地球化学背景的主要贡献。扩散作用不能形成文献中所报道的那种汇聚式的强烈局部异

常^[20]。因此,背景区和油气区近地表壤中气甲烷均有来自于深部油气的成分,只不过微渗漏的强度存

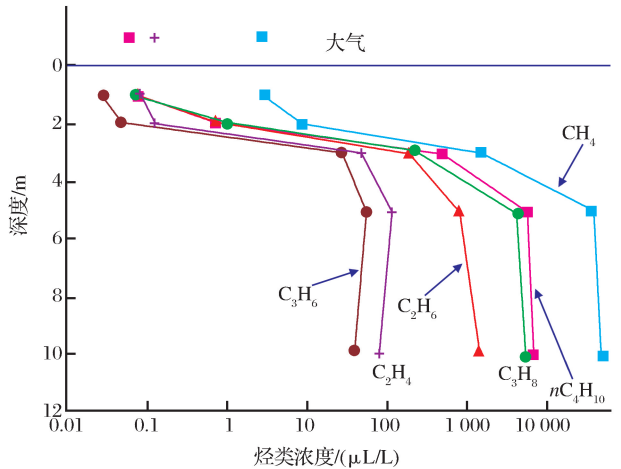


图 4 美国怀俄明州 Teapot Dome 油田地表异常的气体微渗漏钻孔游离气组分特征^[4]

Fig.4 Hydrocarbon profiles for the deep hole at the site of gas microseepage in Teapot Dome Oilfield, Wyoming, USA

表 1 Teapot Dome 油田上方异常的气体微渗漏钻孔与背景钻孔游离气组分和同位素数据对比^[4]

Table 1 The comparison and isotopic data of soil gas from the microseepage hole and the background hole over Teapot Dome Oilfield

钻孔	深度/m	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	nC ₄ H ₁₀	iC ₄ H ₁₀	δ ¹³ C _{CH₄} /(‰,PDB)
02	0	2.86	0.08	nd*	nd	nd	nd	nd	—
	1	2.19	0.10	nd	nd	nd	nd	nd	—45.6
	2	2.27	0.12	nd	nd	nd	nd	nd	—45.7
	3	1.88	0.11	nd	nd	nd	nd	nd	—44.9
	5	1.86	0.08	nd	nd	nd	nd	nd	—
	10	1.37	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—48.1
17	0	2.75	0.12	nd	nd	nd	0.06	nd	—48.5
	1	2.87	0.08	0.09	0.03	0.08	0.07	0.04	—43.0
	2	8.48	0.12	0.74	0.05	1.26	0.74	0.46	—
	3	1 507	50.6	164	27.1	214	477	275	—43.6
	5	36 700	114	812	60.7	3 730	5 760	3 910	—55.7
	10	51 300	76.3	1 460	35.8	5 140	6 410	4 870	—53.1

* 注:烃类浓度单位为 μL/L;nd 表示未测出,余同

在明显差异。油气藏正上方由于烃类主要以浮力机制沿裂隙、微裂隙、解理等通道垂向微渗漏^[21],造成局部烃类浓度异常与油气藏范围的响应关系。

2 油气微渗漏模拟实验结果

通过上述的已知区观测,可以初步认为油气藏垂向微渗漏到地表的轻烷烃可以发生氧化形成烯烃,而非传统观点认为的油气藏地表的烯烃是地表原位有机质在微生物作用下形成的。为了进一步说明微渗漏的轻烷烃在地表环境中能演化成烯烃的这一客观存在的化学过程,利用中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所自行研制的模拟实验装置进行了油气藏烃类垂向微渗漏至地表的过程实

验模拟研究。

相关的实验装置和实验条件已有文献^[22,23]做过介绍,实验装置是一个长为 100cm,宽为 100cm,高为 130cm 的箱状模型(图 5),模拟直接盖层和上覆地层介质用水泥和石英砂按照一定的比例混合浇筑,物性接近于地质条件下天然气 5 类盖层^[24];模拟地层介质上覆是 30cm 厚的潮湿土壤层。地层介质底部设置了 1 个气源,天然气可以由气源注入,模拟油气藏的烃类通过盖层及上覆地层的垂向微渗漏。在模拟地层和土壤层中布置了规则网格的采样探头。模拟实验过程中可以从取气口抽取微渗漏气体样品进入气相色谱仪进行分析。本文仅针对模拟实验中土壤层出现高浓度烯烃问题进行专门讨论。

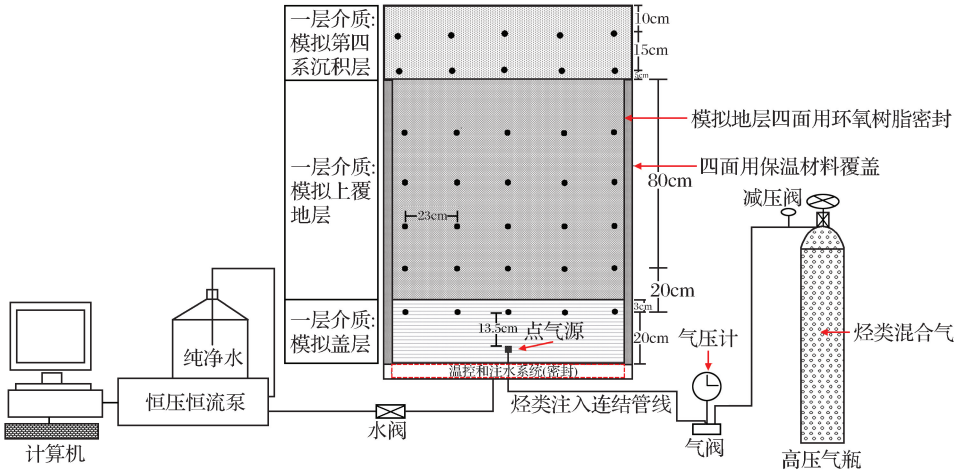


图 5 模拟油气藏烃类垂向微渗漏的实验装置

Fig.5 The experimental apparatus used to simulate hydrocarbons microseeping from an oil/gas reservoir

表 2 模拟实验气源组分及百分含量

Table 2 Composition of the point source gas used in the experiment

气源组分	CH ₄ /%	C ₂ H ₆ /%	C ₃ H ₈ /%	iC ₄ H ₁₀ /%	nC ₄ H ₁₀ /%	iC ₅ H ₁₂ /%	nC ₅ H ₁₂ /%	N ₂ /%
百分含量	89.00	4.40	2.30	0.66	1.04	0.096	0.104	2.40

模拟实验所用的向模拟地层中注气的气源组分参照我国一个含油气盆地气藏的湿气成分配制^[25],气源组分如表 2 所示,可以看到除了底气 N₂ 外,均为 C₁—C₅ 烷烃气体,不含有烯烃。在进行烃类垂向微渗漏模拟实验前(即未向模拟地层中注气前),先检测了所使用的模拟地层及土壤层中背景烃类的组分和浓度(表 3),可以看到均含有较低含量的烯烃,模拟地层中乙烯浓度均值为 0.66μL/L,丙烯浓度均值为 0.65μL/L;土壤层中乙烯浓度均值为 0.37μL/L,丙烯浓度均值为 0.10μL/L。经过不同时间、不同压力的持续注气实验后,在不同时间内,监测气源气通过模拟地层渗漏到表层土壤中的烃类浓度发现,上覆土壤层有 2 个检测探点有高浓度烯烃出现(图 6),且与甲烷、乙烷浓度变化趋势高度一致,说明它们具有高度亲缘性。注气气源组分中不含烯烃(表 2)、模拟地层和土壤层的背景烯烃都小于 1μL/L,而表层土壤高浓度的烯烃(最高值达到 200μL/L)可以确定是来自于微渗漏烷烃的氧化所致,说明了在地表环境中烷烃向烯烃转化的作用是客观存在的。另外,实验中某个时间段土壤层烃类异常点烷烃和烯烃浓度相对较高,主要是与幕式微渗漏有关^[22]。后期(171d 后),烷烃和烯烃浓度变得较低,一方面可能是因为土壤中的高浓度烃类向大气散失,另一方面可能是受微生物氧化作用使浓度降低^[23]。

表 3 模拟地层及土壤层中背景烃类的含量(μL/L)及组分
Table 3 Composition and content of background hydrocarbons in simulated strata and soil layer

介质	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆
模拟地层	32.68	3.22	0.66	1.02	0.65
土壤层	5.83	0.59	0.37	0.43	0.1

3 讨论

通过上述的已知油气藏地表烃类实测和烃类垂向微渗漏的实验模拟,明确了油气藏微渗漏轻烷烃在地表环境中可以转化成烯烃。有机地球化学研究认为,热动力和过渡金属的催化作用是轻烃形成的主要机制^[19,26-28],Mango^[19]通过模拟实验证实,含有过渡金属的烃源岩催化形成的烯烃和氢气产物在

组分和同位素组成上与天然气是一致的。油气田上方地表出现的与高浓度烷烃伴生的烯烃这种现象,由于过渡元素、黏土矿物等在土壤中是广泛存在的^[29,30],推测烯烃的形成机理可能是在土壤环境中,

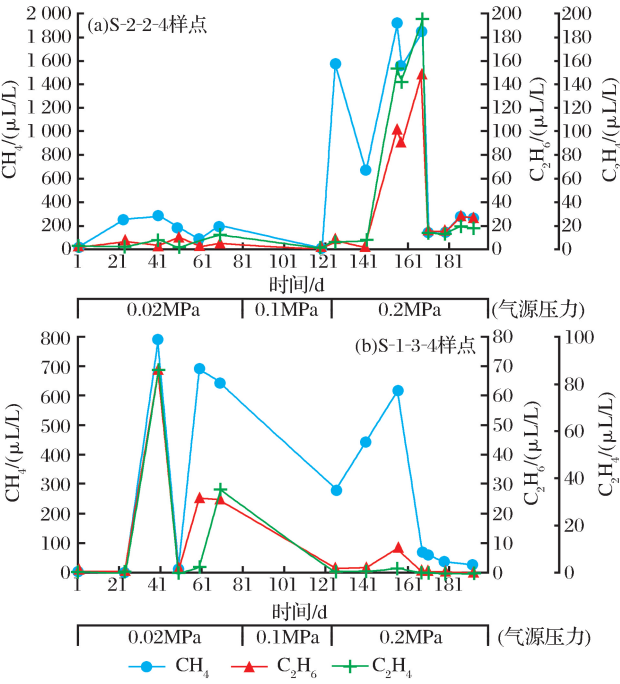
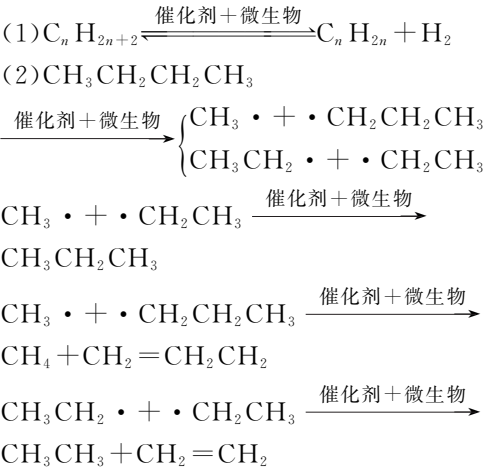


图 6 模拟实验中土壤层烃类异常点烷烃与烯烃浓度随天数和气源压力变化

Fig.6 The variation of alkanes and alkenes concentration with days and gas pressure in the soil layer in the simulation experiment

烷烃以铁锰等过渡元素、黏土矿物等作为催化剂,微生物的参与,发生了以下的裂解和聚合反应:



作用下,烷烃直接发生裂解反应形成烯烃和氢气。

第二种反应,在土壤环境中,在催化剂和微生物作用下,烷烃先裂解为自由基,然后在催化剂或微生物的作用下,发生自由基重组,形成较小分子量的烷烃和烯烃。

不管是哪种反应,油气藏微渗漏的轻烷烃在地表环境中可以转化为烯烃是客观存在的,这类烯烃同样对油气地球化学勘探具有指示意义。

4 结论

(1)长期以来,油气藏地表烯烃异常被认为是由近地表原位有机质生物化学作用产生的,本文通过已知区实例和实验模拟证实了油气藏微渗漏的轻烷烃在地表环境中存在向轻烯烃的转化反应,并推测了形成机理,说明了地球化学勘探轻烃异常对油气藏指示的可信性,同时为轻烯烃作为地表地球化学勘探新指标提供了理论和实践依据。

(2)油气藏微渗漏到地表的轻烷烃与其转化生成的轻烯烃有较好的相关性,而地表有机质生成的轻烷烃与轻烯烃相关性较差,这一特征可以用来识别微渗漏轻烃。

(3)在微渗漏强度较低的地区,可考虑先将烷烃生成的烯烃恢复回原始烷烃量,这将有助于异常信息的提取。

参考文献(References)

- [1] Schumacher D. Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments[M]//Schumacher D, Abrams M A. Hydrocarbon Migration and Its near-Surface Expression. AAPG Memoir 66, 1996:71-89.
- [2] Han Pengyun, Zhang Weidong, Tang Hongsan. Discussion on the application of alkenes in soil in geochemical prospecting for oil and gas[J]. Petroleum Geology of Terrestrial Facies, 1992(3): 73-77. [韩鹏云, 张卫东, 唐洪三. 土壤烯烃在油气地球化学勘探中应用探讨[J]. 陆相石油地质, 1992(3): 73-77.]
- [3] Saunders D F, Burson K R, Thompson C K. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations[J]. AAPG, 1999, 83(1): 170-185.
- [4] Ronald W. Klusman. Detailed compositional analysis of gas seepage at the national carbon storage test site, Teapot Dome, Wyoming, USA [J]. Applied Geochemistry, 2006, 21(9): 1498-1521.
- [5] Sechman H, Dzieniewicz M, Liszka B. Soil gas composition above gas deposits and perspective structures of the Carpathian Foredeep, SE Poland[J]. Applied Geochemistry, 2012, 27(1): 197-210.
- [6] Wei Meiju, Dong Bo, Jia Jing, *et al.* Topological study on phys-

ical chemical properties of alkane, alkene, alcohol and ether [J]. Journal of Molecular Science, 2013, 29(5): 363-368. [韦美菊, 董博, 贾静, 等. 烷烃、烯烃、脂肪醇和脂肪醚物理性质的拓扑研究[J]. 分子科学学报, 2013, 29(5): 363-368.]

- [7] Ni Caixue, Feng Zhiyun, Li Liangchao. Studies on the physico-chemical properties of unsaturated hydrocarbons using topological indices[J]. Acta Chimica Sinica, 1998, 56(4): 359-363. [倪才华, 冯志云, 李良超. 不饱和烃的理化性质与分子拓扑指数的关系研究[J]. 化学学报, 1998, 56(4): 359-363.]
- [8] Zhang Houfu, Fang Chaoliang, Gao Xianzhi, *et al.* Petroleum Geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 14-28. [张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 14-28.]
- [9] Wu Xiaoqi, Tao Xiaowan, Liu Jingdong. Geochemical characteristics and genetic types of natural gas from Lunnan area in Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(1): 53-59. [吴小奇, 陶小晚, 刘景东. 塔里木盆地轮南地区天然气地球化学特征和成因类型[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(1): 53-59.]
- [10] Cui Jingwei, Wang Tieguan, Li Meijun, *et al.* Light hydrocarbon characteristics and oil family classification of crude oils, southwest Tarim Basin, northwest China[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(7): 1354-1363. [崔景伟, 王铁冠, 李美俊, 等. 塔西南地区原油轻烃特征及成因类型[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1354-1363.]
- [11] Davis J B, Squires R M. Detection of microbially produced gaseous hydrocarbons other than methane[J]. Science, 1954, 119(3090): 381-382.
- [12] Primrose S B, Dilworth M J. Ethylene production by bacteria [J]. Journal General Microbiology, 1976, 93(1): 175-181.
- [13] Ullom W L. Ethylene and propylene in soil gas: Occurrence, sources and impact on interpretation of exploration geochemical data[J]. Association Petroleum Geochemical Explorationists Bulletin, 1988(4): 62-81.
- [14] Kim A G, Douglas L J. Hydrocarbon Gases Produced in a Simulated Swamp Environment[R]. US Bureau of Mines, Report of Investigations 7690, US Govt Printing Office, Washington, DC, 1972: 15.
- [15] Oremland R S. Microbial formation of ethane in anoxic estuarine sediments[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1981, 42(1): 122-129.
- [16] Klusman R W. Chemical and microbiological reactions of light hydrocarbons[M]//Klusman R W. Soil Gas and Related Methods for Natural Resource Exploration. Wiley, Chichester, 1993: 63-70.
- [17] Deng Sunhua. Sub-critical Water Extraction of Organic Matter from oil Shale Lumps [D]. Changchun: Jiling Universtiy, 2013: 45-50. [邓孙华. 近临界水对块状油页岩中有机质的提取研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 45-50.]
- [18] Hu Hongwen. Organic Chemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 1991: 15-148. [胡宏文. 有机化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991: 15-148.]
- [19] Mango F D. The origin of light hydrocarbons in petroleum: Ring preference in the closure of carbocyclic rings[J]. Geo-

- chemica et Cosmochimica Acta, 1994, 58(2): 895-901.
- [20] Brown A. Evaluation of possible gas microseepage mechanisms [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(11): 1775-1789.
- [21] Ronald W. Klusman. Microseepage of Light Hydrocarbons as Applied to Surface Geochemistry-Theoretical Aspects [C/OL]. 2005-1-7. <http://www.geotech.org>.
- [22] 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. [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.]
- [23] Wang Guojian, Cheng Tongjin, Fan Ming, *et al.* Laboratory simulation of vertical hydrocarbon microseepage [J]. Acta Geologica Sinica; English Edition, 2011, 85(1): 223-232.
- [24] You Xiuling. Study on assessment method of caprocks in natural gas pools [J]. Oil and Gas Geology, 1991, 12(3): 261-274. [游秀玲. 天然气盖层评价方法探讨 [J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(3): 261-274.]
- [25] Zhou Xingxi. The distribution and control factors of phase state of oil and gas pools in Kuqa petroleum system [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(3): 205-210. [周兴熙. 库车油气系统油气藏相态及其控制因素 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(3): 205-210.]
- [26] Duan Yi, Zhao Yang, Yao Jinli, *et al.* Research advance and tendency of light hydrocarbon geochemistry [J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(12): 1875-1887. [段毅, 赵阳, 姚泾利, 等. 轻烃地球化学研究进展及发展趋势 [J]. 天然气地球科学, 2014, 25(12): 1875-1887.]
- [27] Mango F D. Transition metal catalysis in the generation of petroleum and natural gas [J]. Geochemica et Cosmochimica Acta, 1992, 56(1): 553-555.
- [28] Liu Wenhui, Chen Mengjin, Guan Ping, *et al.* Trialistic Geochemical Tracing System and Its Practice of Hydrocarbon Generation and Hydrocarbon Accumulation of Natural Gas [M]. Beijing: Science Press, 2009: 2-5. [刘文汇, 陈孟晋, 关平, 等. 天然气成烃、成藏三元地球化学示踪体系及实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 2-5.]
- [29] Jiang Tao, Xia Xianghua, Ren Chun. The correlation between oil and gas geochemical indices and mineral compositions of soil media [J]. Geophysics & Geochemical Exploration, 2004, 28(6): 523-526. [蒋涛, 夏响华, 任春. 油气地球化学勘探指标与土壤介质中矿物成分相互关系的研究 [J]. 物探与化探, 2004, 28(6): 523-526.]
- [30] Wei Fusheng, Chen Jingsheng, Wu Yanyu, *et al.* Study on the background value of environment soil in China [J]. Environment Science, 1991, 12(4): 12-19. [魏复盛, 陈静生, 吴燕玉, 等. 中国环境土壤背景值研究 [J]. 环境科学, 1991, 12(4): 12-19.]

Study on light alkenes forming mechanism in surface geochemistry exploration for oil and gas

Wang Guo-jian¹, Tang Jun-hong², Tang Yu-ping¹, Li Ji-peng¹, Yang Jun¹, Lu Li¹

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production,

SINOPEC, Wuxi 214151, China;

2. College of Material Science and Environmental Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Though no light alkenes existed in oil and gas reservoirs, light alkenes including C_2H_4 and C_3H_6 often occur in the soil gas over oil and gas fields, accompanied with high concentration of C_1 - C_5 alkanes. The exploration cases in Linnan Oilfield, Huimin Sag of Jiyang Depression, China and Teapot Dome Oilfield, Wyoming, USA suggest that these light alkenes are not derived from in-situ surface organic matters. In order to explain the origins of these light alkenes in the soil gas to reinforce the foundation of Surface Geochemistry Exploration (SGE), a simulation experiment was conducted to simulate the surface geochemical characteristics of hydrocarbons micro-seeping vertically from a hydrocarbon reservoir. The experimental results are in accord with that in oilfield. It is proved that these light alkenes come from the surface microbial evolution of the light alkanes micro-seeping from the hydrocarbon reservoirs. The above results illustrate the forming mechanisms of the surface light alkenes anomalies over oil and gas fields and enhance the credibility of the light hydrocarbon anomalies in SGE. It is also provided that the light alkenes can be a new indicator in SGE on the basis of theory and practice.

Key words: Surface geochemistry exploration; Alkenes; Oilfield; Simulation experiment; Forming mechanism