

天然气地球化学勘探

烃类微渗漏与宏渗漏的识别及 镇巴长岭—龙王沟地区勘探实践

张春林^{1,2,3}, 庞雄奇^{1,3}, 梅海², 梅博文^{2,4}, 林壬子^{2,3}, 张艳萍^{1,3}

(1. 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京 102249;

2. 鑫亿泰地质微生物技术(北京)有限公司, 北京 100029;

3. 中国石油大学(北京), 北京 102249; 4. 长江大学, 湖北 荆州 434023)

摘要: 烃类微渗漏与宏渗漏的识别可提高化探异常解释的正确性, 对识别标志研究现状进行了综合分析, 表明微生物、灌顶气、酸解烃、土壤气对2类渗漏有不同响应。宏渗漏多具有微生物及烃检测异常指标呈线状分布、烃浓度高、 C_6+ 多、烷烃/烯烃值高的特征; 而微渗漏多具有微生物异常指标呈散乱分布、烃浓度低、几乎无 C_6+ 、烷烃/烯烃值低的特征。对四川盆地南大巴山冲断褶皱带内的镇巴区块长岭—龙王沟地区展开研究, 表明龙王沟异常带具有土壤丁烷氧化菌及酸解烃 C_1-C_4 异常点线状分布、 C_1-C_4 浓度高($>1\ 000 \times 10^{-6}$)、乙烷/乙烯值高(>10)的特征, 为宏渗漏, 与下伏油气藏可能不垂直对应; 长岭复向斜异常带具有土壤丁烷氧化菌异常点散乱分布、 C_1-C_4 浓度低($<100 \times 10^{-6}$)、乙烷/乙烯值低(<5)的特征, 为微渗漏, 与下伏油气藏垂直对应。

关键词: 轻烃; 微渗漏; 宏渗漏; 微生物勘探; 酸解烃; 四川盆地; 镇巴区块

中图分类号: TE132.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2009)05-0794-07

0 引言

油气化探方法创建至今, 其勘探效果乃至方法本身仍受到质疑。究其原因, 主要有以下几个方面: 缺少一种令人满意的烃类微渗漏机理^[1]; 渗漏烃与环境介质相互作用的影响和结果仍不清晰^[2]; 缺乏将地质条件与地表异常结合, 从而对测试结果作出正确的解释^[3]。因此, 完善烃渗漏基本原理、加强异常的地质解释可促进化探的发展。

众所周知, 油气化探方法的理论基础是油气藏内轻烃的近垂直向微渗漏理论, 化探异常与下伏油气藏存在近垂直的对应关系。然而在实际测量中, 微渗漏与宏渗漏常混合发生并一同被检测(图1)^[4], 如果不加以识别, 就有可能造成将宏渗漏错误解释为微渗漏, 导致钻探结果偏离目标。故对两者进行有效区分, 将提高异常解释的正确性, 同时完善烃渗漏理论。

1 烃类微渗漏与宏渗漏的定义

Price^[2], Rosaire^[5], Link^[6], Jones and Drozd^[7]等人, 都较早注意到烃类的宏渗漏与微渗漏问题, 但未详细定义两者的区别。Abrams系统地定义了宏渗漏与微渗漏: 宏渗漏为可视的、高浓度的烃类整体流动(达西流体), 灌顶气可收集气态烃浓度超过 $100\ 000 \times 10^{-6}$ (体积比, 下同), 沉积物可提取烃浓度超过 $1\ 000 \times 10^{-6}$; 微渗漏指低浓度的烃类运移, 不可视但可检测, 运移机制主要是微泡上浮, 灌顶气可收集气态烃浓度低于 $10\ 000 \times 10^{-6}$, 沉积物可提取烃浓度低于 100×10^{-6} ^[3]。但也客观存在大量不可视的烃类宏渗漏, 且渗漏点无明显油气苗, 这就需借助检测指标来识别。

2 烃类微渗漏与宏渗漏的识别标志

化探指标分为2类, 一类是以渗漏烃检测为主

收稿日期: 2009-04-09; 修回日期: 2009-06-01.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”)项目“中国西部典型叠合盆地油气成藏机制与分布规律”(编号: 2006CB202300)资助.

第一作者 E-mail: zhangchunlin_219@163.com.

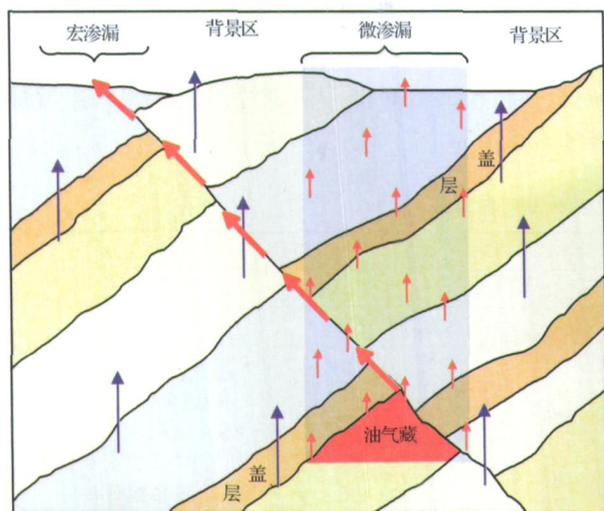


图1 烃类微渗漏与宏渗漏模式
(据 Gore 公司资料^[4],修改)

的直接指标,如酸解烃;另一类是检测近地表因烃渗漏所引起的周围介质的物理、化学或生物化学变化,为间接指标^[8],如微生物^[9]。众多指标中,微生物指

标是比较关键的,其具有普遍性、垂直性及动态性3大优势^[10]。不同于传统化探技术的是,微渗漏引起的微生物异常只存在顶部异常,且微生物对油气藏渗漏轻烃的改造及分配存在关键作用^[2,11-12]。此外,微生物指标还具有动态性,其微生物异常由现今发生的烃渗漏引起,历史的烃渗漏则不能^[13-16],故微生物勘探发现的油气渗漏异常具有勘探现实意义。而烃检查指标则具有灵敏及可鉴定下伏油气流体性质的优势^[17]。

2.1 微生物指标

微渗漏引起的微生物异常都为顶部块状异常,异常点散乱分布^[18]。而宏渗漏引起的微生物异常多呈线状分布,异常浓度一般较微渗漏处高,因为宏渗漏具有高得多的渗漏烃量,可维持更高数量的烃氧化菌发育。如图2所示,普光气田普光2井区西北侧北东—南西向断层上方呈现4个高浓度微生物值异常点线状分布,而气田上方则是微生物(丁烷氧化菌)高、中值散乱分布,偶有低值,反映了气藏上方

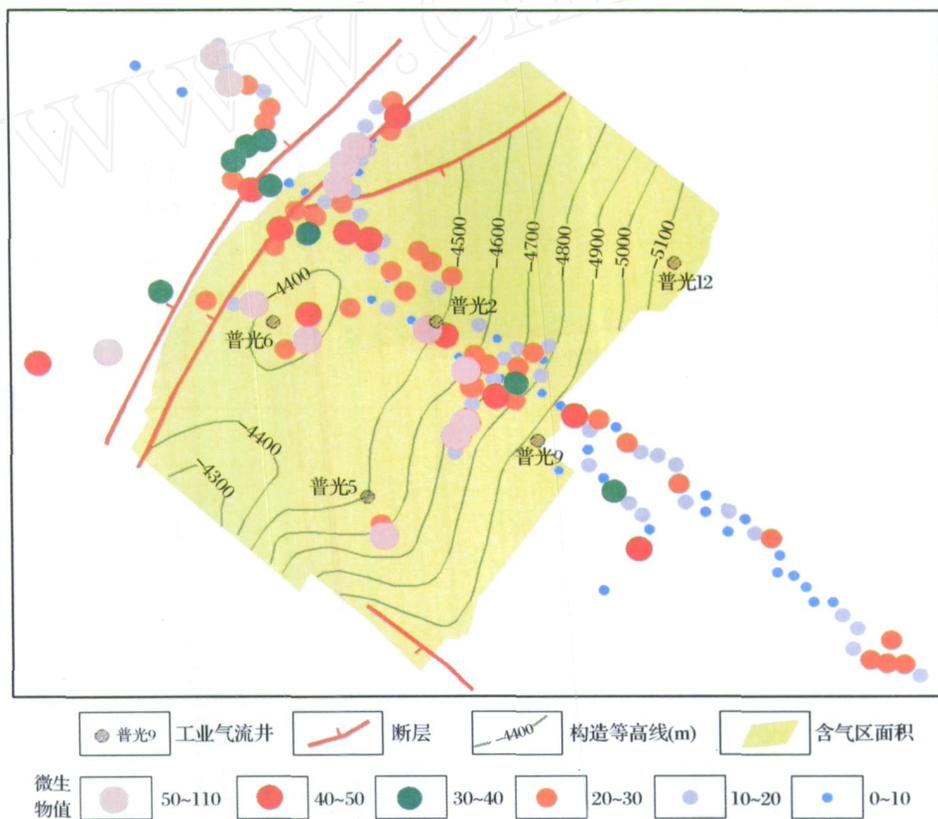


图2 普光气田普光2井区微生物值平面分布示意

微渗漏的典型特点——非均质低浓度渗漏。因此,可依微生物异常带呈线状还是块状分布、微生物浓度高低判别出是微渗漏还是宏渗漏,不能用此方法判识的可采用烃检测指标(表1)进行判识。

2.2 烃检测指标

2.2.1 烃检测异常指标浓度高低

如前所述,宏渗漏为烃流体沿断裂的大量运移,其在量上明显多于微渗漏。无论是游离气或是沉积

物可提取的烃,宏渗漏的烃浓度一般都能达微渗漏的10倍之多。美国怀俄明州 Ryckman Creek 油田^[7]、西弗吉尼亚的 Lost River 地区^[19]的土壤气测量,油田上方的微渗漏异常与毗邻的由断裂引起的

尖峰高值异常相比要弱得多。因此,相对于断裂两侧,宏渗漏带上烃检测指标表现出尖峰状高浓度的特点,而微渗漏处较低。两者烃浓度界限的经验标准如表1所示。

表1 烃类微渗漏与宏渗漏识别指标

渗漏级别	微渗漏与宏渗漏识别的指标					
	微生物指标			烃检测指标		
	异常点 浓度高低	异常 平面形状	烃浓度 ($\times 10^{-6}$)	异常点 平面形状	轻烃与重烃 含量	轻烃 饱和烃/烯烃
宏渗漏	高于微渗漏处	线状分布	罐顶气 酸解烃 > 100 000 > 1 000	线状分布	除 C ₁ —C ₅ 外,可有 C ₆ + 重烃	大于 10,多数为 10、甚至 100 以上
微渗漏	低于宏渗漏处, 浓度界限确定难	块状分布	罐顶气 酸解烃 < 10 000 < 100	块状分布	主要为 C ₁ —C ₅ ,几乎无 C ₆ + 重烃	一般小于 5,多数不足 1

注:该表据 Price^[2],Abrams^[3],Jones 等^[7],Harbert 等^[19],Kartsev 等^[20],王锡福^[21],Sounders 等^[22],Philp 等^[23],Hickey^[24]研究成果总结

2.2.2 烃检测异常指标平面分布特征

化探一般需采集近地表土壤以提取微生物及烃指标。在采样模式上有测线模式、网格模式,对于宏渗漏与微渗漏的识别,网格模式较有利,其采样点是平面分布,利于用烃检测异常指标的平面分布形状识别宏渗漏与微渗漏。若烃检测指标的高异常值呈线状分布,多表明该处渗漏为断裂宏渗漏^[7,20-22],而微渗漏处异常点通常呈块状散乱分布。

2.2.3 烃检测异常指标烃组分特征

渗漏机理的差别造成了渗漏烃组分上的差异。可依据烃组分中重烃含量、饱和烃/烯烃值去识别宏渗漏与微渗漏。对于重烃含量,微渗漏主要由 C₁—C₅ 烃组成,几乎无 C₆+^[22],但断裂宏渗漏异常由于 C₆+ 的向上运移,可具有相当大的 C₆+ 浓度^[2]。美国科罗拉多州的 Denver-Julesburg 盆地与 Las Animas 穹窿,怀俄明州的 Green River 盆地,犹他州的 Hingeline 构造,与断裂有关的样品都大量含有分子量较高(< C₇+)的组分^[24]。

对于饱和烃/烯烃值,因烯烃通常不在热成因油气藏中遇到,主要是微生物途径形成^[25],油气藏上方检测到的乙烯、丙烯多是油气藏渗漏的乙烷、丙烷在不太快速的微渗漏过程中发生了化学或生物氧化作用而形成,而快速的断裂宏渗漏则无足够时间去完成这些氧化作用,缺少烯烃,导致高的饱和烃/烯烃值^[22]。研究了美国密歇根盆地、德克萨斯州达拉斯 Austin Chalk 地区、西弗吉尼亚 Lost River 地区的渗漏烃,表明高浓度的断裂及裂缝渗漏烃较微渗漏烃具有更高的饱和烃/烯烃值,往往高出背景值10余倍或数十倍^[19,22]。

因此,宏渗漏烃具有较多的 C₆+ 重烃组分,且饱和烃/烯烃值较高,多数为 10,甚至 100 以上;而微渗漏主要由 C₁—C₅ 烃组成,饱和烃/烯烃值普遍不足 5。

3 长岭—龙王沟地区烃类微渗漏与宏渗漏识别

镇巴区块位于陕西省汉中市镇巴县南部,构造上处于四川盆地东北部的南大巴冲断褶皱带内的铁溪—万源滑脱构造带。该构造带的表层由一系列主要分布于三叠系及侏罗系中的褶皱组成。以三叠系为标志层,存在着 4~5 排 NW 向背斜带,包括长岭复向斜(图 3)。

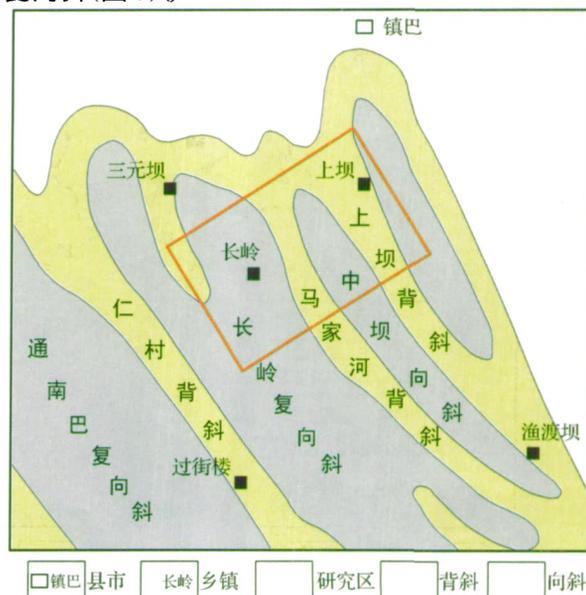


图3 镇巴区块长岭—龙王沟地区构造位置

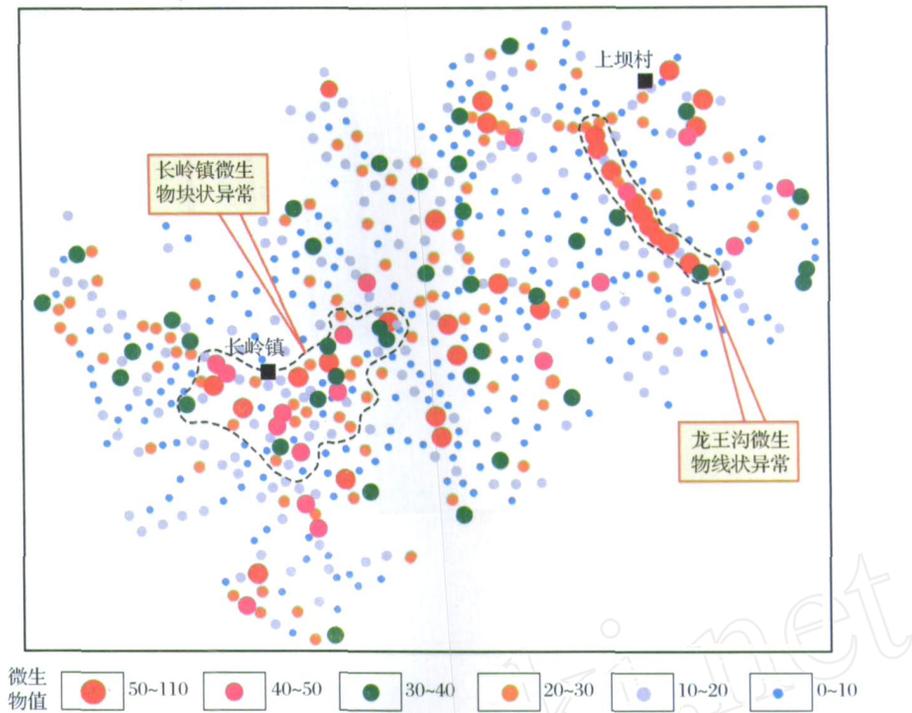


图 4 镇巴区长岭—龙王沟地区土壤微生物值平面分布

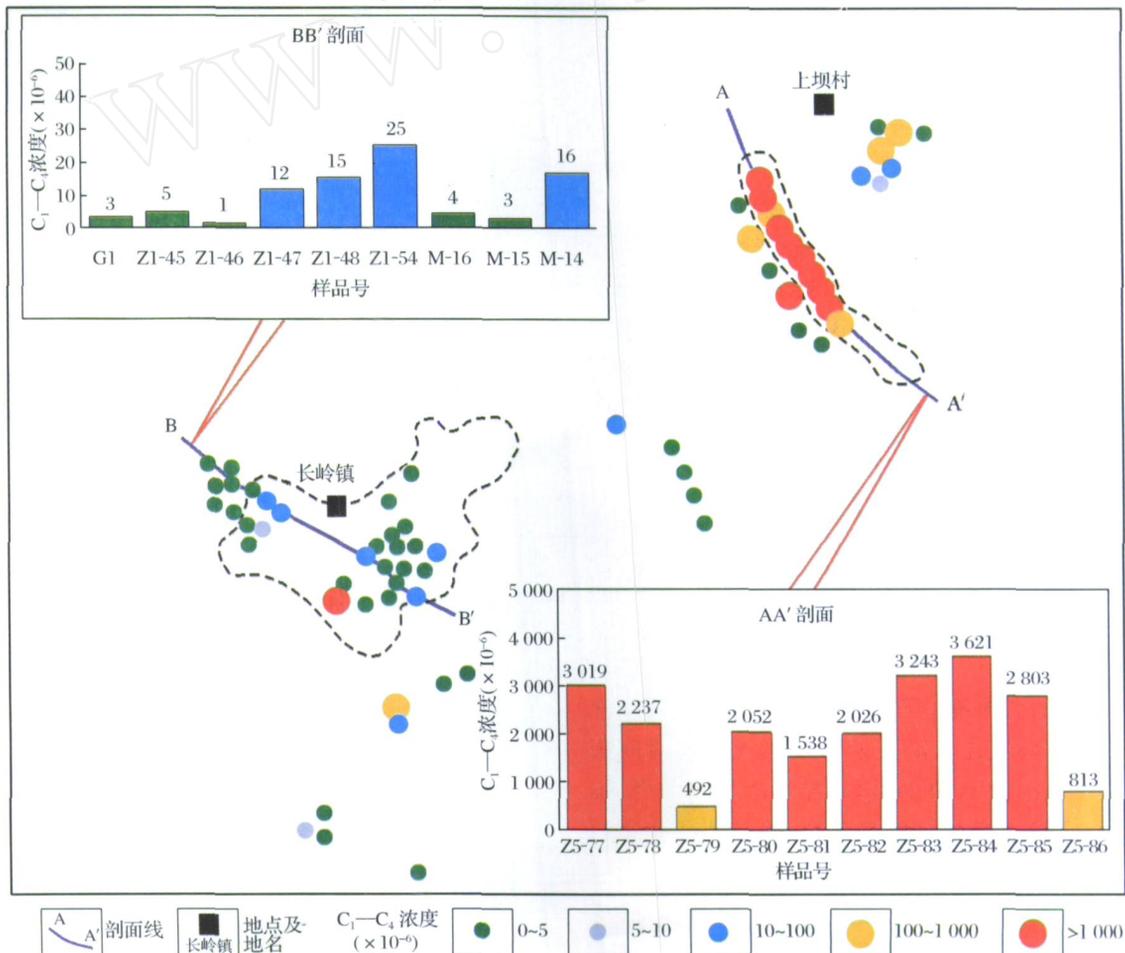


图 5 镇巴区长岭—龙王沟地区土壤酸解烃 C₁-C₄ 浓度

镇巴区块地表具有山地地震勘探罕见的复杂地貌条件,现有的二维地震资料构造成像差,已成为制约进一步勘探的“瓶颈”^[26]。为取得突破,采用了微生物检测技术。但镇巴区块位于盆山过渡带,构造对油气的调整破坏严重。在南大巴地区地面调查过程中,发现了多处古油藏点、油苗^[27],表明构造对油气的强烈调整,宏渗漏现象发育,在该地区采用地表油气检测方法,必须识别出宏渗漏。

3.1 异常点的线状分布与块状分布

长岭—龙王沟地区的丁烷氧化菌浓度、酸解烃的平面分布如图4和图5所示。10个丁烷氧化菌高异常点(图4)在研究区东北部的龙王沟呈线状分布,与两侧的低值差别显著,此外,图5所示的该地区土壤酸解烃C₁—C₄浓度高值异常(>1 000 × 10⁻⁶)也呈线状分布,其浓度值大大高于两侧低值

点。该异常带位于龙王沟深沟谷中,丁烷氧化菌异常是现今烃渗漏仍在继续的标志,而酸解烃则是渗漏烃的历史累积,故龙王沟线状异常带为现今仍发生烃渗漏的断裂宏渗漏,与长岭镇块状异常形成对比。长岭地区的丁烷氧化菌高值异常呈块状,分布于长岭复向斜内,为微渗漏异常,异常级别类似于邻近的普光气田上方的丁烷氧化菌异常级别(图2),表明长岭复向斜油气富集程度高。

3.2 宏渗漏烃的高浓度值与微渗漏的低浓度值

一般来说,宏渗漏处的沉积物中可提取烃浓度大于1 000 × 10⁻⁶,而微渗漏处多小于100 × 10⁻⁶。龙王沟线状异常带上(图5),10个采样点中有8处,其土壤酸解烃C₁—C₄总浓度大于1 000 × 10⁻⁶,其中有7处甚至超过了2 000 × 10⁻⁶,表明该异常带烃渗漏已达宏渗漏级别,与两侧采样点烃浓度差别明

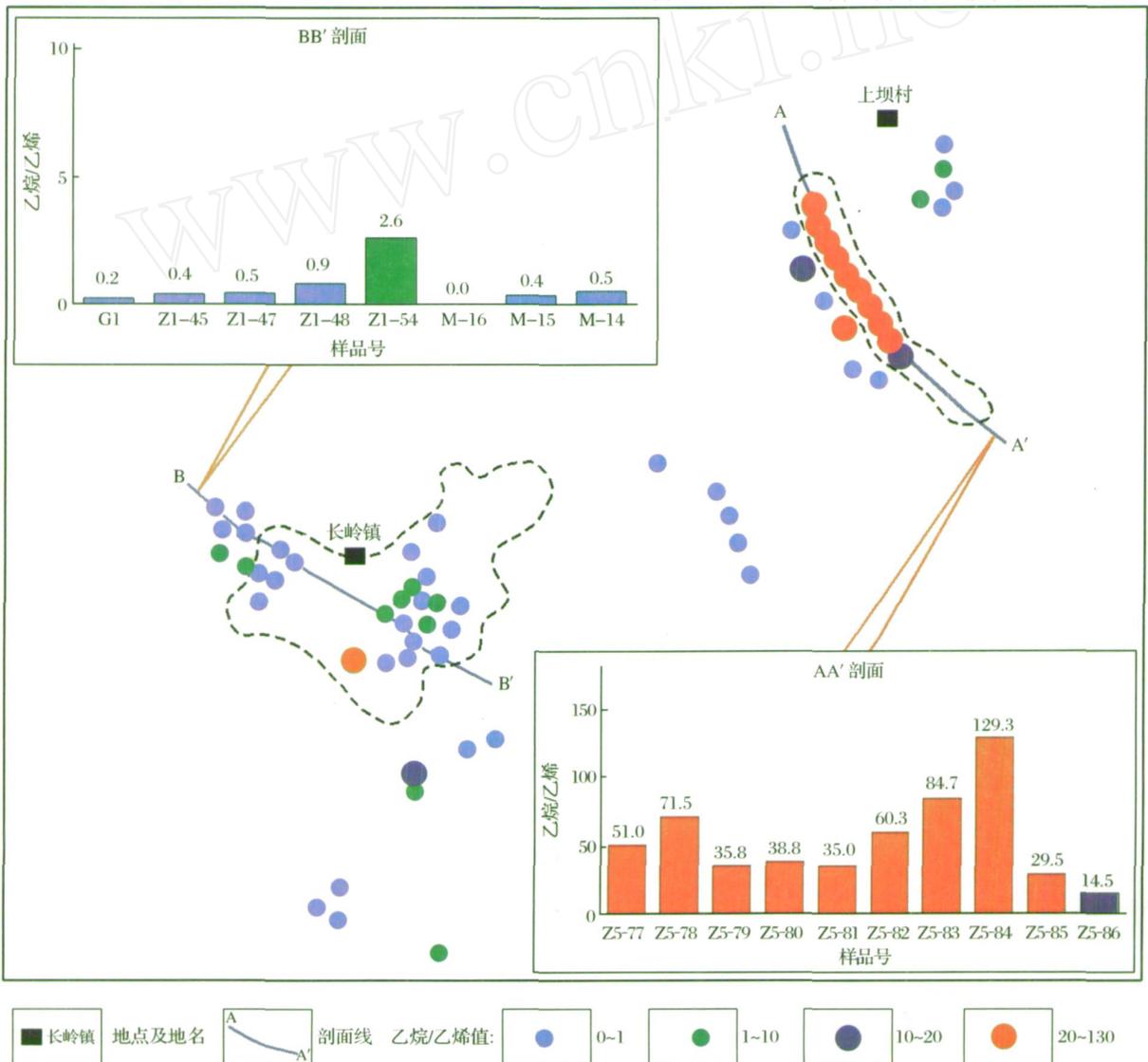


图6 镇巴区块长岭—龙王沟地区土壤酸解烃乙烷/乙烯值

显。而长岭镇块状异常带上,除一个采样点酸解烃 $C_1 - C_4$ 总浓度达 $1\ 510 \times 10^{-6}$ 外,其余均低于 30×10^{-6} ,多数更是低于 5×10^{-6} ,表明该地区烃渗漏强度不大,但却能维持丁烷氧化菌的持续高异常发育(图4),显然该处渗漏为下伏油气富集所引起,且现今仍在发生的低浓度烃微渗漏,该异常与下伏油气藏呈近垂直对应关系,而龙王沟线状异常带则不然。

3.3 渗漏烃组分中饱和烃/烯烃值

研究区近地表土壤酸解烃,其乙烷/乙烯值如图6所示。龙王沟线状异常带的乙烷/乙烯值呈现高值,10个采样点中有9个超过29,平均值为55,最大值达129,大大高于异常带两侧的采样点,结合表1的宏渗漏与微渗漏判别标准,该异常带已具宏渗漏特征。而长岭镇块状异常带,除一个高值点外,其余采样点酸解烃的乙烷/乙烯值都较低,普遍小于4,平均值不足1,表明该异常带乙烷/乙烯值具微渗漏特征,其与下伏富集的油气存在近垂直的对应关系。

4 结论

(1) 烃类宏渗漏与微渗漏可通过近地表油气检测指标的差异来识别,包括微生物、罐顶气、酸解烃、土壤气等。

(2) 烃类宏渗漏具有微生物异常点及烃检测指标高浓度点多呈线状分布、烃浓度高、多 C_6+ 组分、烷烃/烯烃值高的特点;而微渗漏具有微生物异常点多呈块状分布、烃浓度低、几乎无 C_6+ 组分、烷烃/烯烃值低的特点。

(3) 在四川盆地镇巴区块长岭—龙王沟地区完成了勘探实践,认为龙王沟渗漏异常带具有丁烷氧化菌高异常点呈线状分布、酸解烃 $C_1 - C_4$ 呈高浓度异常 ($> 1\ 000 \times 10^{-6}$) 且线状分布、乙烷/乙烯值呈高值的特点,为烃宏渗漏,该异常与下伏油气富集带不一定近垂直对应;而长岭镇块状异常带具丁烷氧化菌高异常呈点散乱分布、酸解烃 $C_1 - C_4$ 低浓度 ($< 100 \times 10^{-6}$)、乙烷/乙烯值低的特点,为烃微渗漏,该异常与下伏油气富集带近垂直对应。

致谢:感谢中国石化股份有限公司勘探南方分公司的领导和专家在项目开展过程中的指导和帮助。

参考文献:

- [1] Klusman R, Saeed M. Comparison of light hydrocarbon mechanisms[C]// Schumacher D, Abrams M A. Hydrocarbon mi-

gration and its near-surface expression: AAPG Memoir 66. Tulsa, Oklahoma: AAPG, 1996:157-168.

- [2] Price L C. A critical overview and proposed working model of surface geochemical exploration[C]// Davidson M J. Unconventional Methods Exploration for Petroleum and Natural Gas-IV. Dallas TX: Southern Methodist University Press, 1986: 245-304.
- [3] Abrams M A. Significance of hydrocarbon seepage relative to petroleum generation and entrapment[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22(4): 457-477.
- [4] Gore TM Surveys for oil and gas exploration [EB/OL]. [http://www.gore.com/MungoBlobs/0/560/GORE % 20 Surveys_onshore %20brochure_final_1.pdf](http://www.gore.com/MungoBlobs/0/560/GORE%20Surveys_onshore%20brochure_final_1.pdf).
- [5] Rosaire E E. Symposium on geochemical exploration geochemical prospecting for petroleum[J]. AAPG Bulletin, 1940, 24(8): 1400-1433.
- [6] Link W K. Significance of oil and gas seeps in world oil exploration[J]. AAPG Bulletin, 1952, 36(8): 1505-1541.
- [7] Jones V T, Drozd R J. Predictions of oil and gas potential by near surface geochemistry[J]. AAPG Bulletin, 1983, 67(6): 932-952.
- [8] 夏响华. 油气地表地球化学勘探技术的地位与作用前瞻[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 529-532.
- [9] Davis J B. Microbiology in petroleum exploration[C]// Heroy W B. Unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas. Dallas TX, Southern Methodist University Press. 1969:139-158.
- [10] 梅海, 林王子, 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.
- [11] Soli G G. Microorganisms and geochemical methods of oil prospecting[J]. AAPG Bulletin, 1957, 41(1): 134-140.
- [12] Davis J B. Petroleum Microbiology[M]. New York: Elsevier, 1967:604.
- [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[C]// Institute for the Study of Earth and Man, Applications of Emerging Technologies: Unconventional Methods in Exploration of Petroleum and Natural Gas. Dallas: Southern Methodist University Press, 1997:309-322.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 索孝东, 石东阳. 油气地球化学勘探技术发展现状与方向[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(2): 286-292.
- [18] Hitzman D C, Rountree B A, Cunningham K. Integrated microbial and 3D seismic survey: hydrocarbon microseepage in

- Osage Country[R]. Oklahoma: 1999 AAPG Annual Convention, San Antonio, Texas, April 11, 1999 Tulsa, Oklahoma: AAPG, 1999.
- [19] Harbert W, Jones V T, Izzo J, *et al.* Analysis of light hydrocarbons in soil gases, Lost River region, West Virginia: Relation to stratigraphy and geological structures[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(5): 715-734.
- [20] Kartsev A A, Tabasranskii Z A, Subbota M I, *et al.* Geochemical methods of prospecting and exploration for petroleum and natural gas[M]. Los Angeles: University of California Press, 1959: 101-106, 332-333.
- [21] 王锡福, 杨晓元, 孙六一, 等. 鄂尔多斯盆地油气化探基本理论和方法[C]// 王锡福, 陈安福. 鄂尔多斯盆地非地震油气勘探. 北京: 地质出版社, 1992: 27-50.
- [22] Saunders D F, Burson K R, Thompson C K. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(1): 170-185.
- [23] Philp R P, Crisp P T. Surface geochemical methods used for oil and gas prospecting—a review[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1982, 17(1): 1-34.
- [24] Hickey J C, Klusman R W, Voorhees K J. Fault leakage characterization of integrative gas geochemistry/mass spectrometry/pattern recognition procedures[J]: AAPG Bulletin, 1983B, 67: 1342.
- [25] Ullom W L. Ethylene and propylene in soil gas: occurrences, sources, and impact on interpretation of exploration geochemical data[J]. Association of Petroleum Geochemical Explorationists Bulletin, 1988, 4: 62-81.
- [26] 云美厚. 对镇巴复杂山地地震采集的思考[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(5): 504-508.
- [27] 石文斌. 南大巴构造特征及演化[D]. 中国地质大学, 2007: 82-84.

Identification of Microseepage from Macroseepage and Exploration Practice in Changling-Longwanggou Area of Zhenba Block

ZHANG Chun-lin^{1,2,3}, PANG Xiong-qi^{1,3}, MEI Hai², MEI Bo-wen^{2,4},
LIN Ren-zi^{2,3}, ZHANG Yan-ping^{1,3}

(1. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. A E & E Geomicrobial Technologies (Beijing) Limited Company, Beijing 102200, China;

3. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 4. Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

Abstract: The identification of hydrocarbon s microseepage from its macroseepage could improve the accuracy of interpretation on anomaly geochemical exploration, so we summarize the present research progress about identification marks and point out that the indicators, namely soil microbes, headspace gas, acid-extraction of soil hydrocarbon and soil gas, appear to be responded differently towards macroseepage and microseepage respectively. The anomalous points of these indicators are linear distribution, high hydrocarbon concentration, more C₆₊, high alkane/alkene ratio where the macroseepage is detected; where the microseepage is presented, the anomalous points of soil microbes are random distribution and seepage hydrocarbon is low concentration, little or no C₆₊, low alkane/alkene ratio. Further investigation on Changling-Longwanggou area of Zhenba block of Nandaba fold-thrust belt located in western China Sichuan basin show that Longwanggou anomaly zone is of fault macroseepage and may not be vertically above the reservoir, while Changling synclinoria anomaly zone is caused by the microseepage and is vertically above the reservoir. The anomalous samples of soil butane oxidating bacterias and C₁—C₄ from acid-extraction of soil are linear distribution, C₁—C₄ of anomalous samples are highly concentrated (> 1000 × 10⁻⁶), the alkane/alkene ratios are also high (> 10) in Longwanggou anomaly zone while the anomalous samples of soil butane oxidating bacteria are random distribution, values of C₁—C₄ are low (< 100 × 10⁻⁶), the alkane/alkene ratios also are low (< 5) in Changling synclinoria anomaly zone.

Key words: Light hydrocarbon; Microseepage; Macroseepage; Microbial survey; Acid-extraction of soil hydrocarbon; Sichuan basin; Zhenba block.