

doi: 10. 11720/wtyht. 2021. 1136

王国建, 卢丽, 杨俊, 等. 壤中游离气方法及其在油气化探中的应用[J]. 物探与化探, 2021, 45(1): 11-17. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1136>

Wang G J, Lu L, Yang J, et al. The soil gas method and its application to geochemical prospecting for oil and gas[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(1): 11-17. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1136>

壤中游离气方法及其在油气化探中的应用

王国建¹, 卢丽¹, 杨俊¹, 李吉鹏¹, 任春¹, 唐俊红², 李武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 214126; 2. 杭州电子科技大学 材料科学与环境工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 油气藏中的轻烃气体能够以微弱但可检出的量近似垂直地渗漏到地表土壤中, 其中一部分烃类以游离态赋存在土壤或岩石颗粒空隙中。壤中游离气中的烃类能反映深部油气藏烃类的现代补偿性活跃微渗漏, 被认为是油气地球化学勘探的最可靠方法之一。壤中游离气采集是获得第四系沉积层中微渗漏烃类地球化学异常的关键技术。自行研制了便携式游离气采集新装置, 具有操作简便、携带方便、密封性好等特点。通过长期实践, 总结了土壤游离气保真采集的方法。游离气方法在济阳拗陷惠民凹陷南坡临南—钱官屯地区、塔里木盆地阿克亚苏地区 X 井区的油气化探应用, 获得的游离烃异常较好地反映了油气垂向微渗漏近地表信息, 以及下伏油气的分布特征, 油气微渗漏异常区与背景区分离明显, 表明壤中游离气方法应用效果显著, 在油气勘探中值得推广。

关键词: 微渗漏; 游离气; 采样装置; 地球化学勘探; 油气勘探

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2021)01-0011-07

0 引言

油气藏中的轻烃在地下驱动力作用下能够以微弱但可检出的量近似垂直地渗漏到地表土壤中, 这是油气地球化学勘探的理论基础^[1-6]。微渗漏烃类在土壤中主要以吸附态(包括物理吸附和化学吸附)、游离态、水溶态存在, 另有一部分被氧化成为衍生物^[5], 其中游离烃是以游离态形式存在于土壤介质或岩屑空隙中的烃类物质(通常为 $C_1 \sim C_5$), 能够反映深部油气藏烃类的现代补偿性活跃微渗漏。壤中游离气方法以其直接、快速、受干扰小而成为地球化学勘探最受推崇的方法之一^[7-11]。中国石油东方地球物理公司拥有采集土壤游离气的车载动力机械钻^[7], 但该方法需要车队相随, 设备庞大, 难以适应复杂地形条件。中国石化无锡石油地质研究所经过多年的研究和反复试验, 自行设计并研制了可快速拆卸组装、采气操作方便、采气深度较大、工艺先进的便携式壤中游离气采集新装置, 游离气方法在

渤海湾盆地临南地区、塔里木盆地阿克亚苏地区油气勘探中取得了良好效果。

1 方法的技术要素

1.1 采集装置

图 1 是壤中游离气采集装置的结构示意, 主要由螺旋钻头、集气室、封盖螺旋、钻杆、毛细管、手动把手等组成。最底部是螺旋钻头, 其作用是在钻进的过程中将土壤剖开, 使土壤颗粒空隙中的游离气释放出来进入其上部的集气装置, 再上部是封盖螺旋, 起到密封壤气不与大气交换的作用, 集气部位由毛细管连接到钻杆把手处, 可以由取气孔抽取壤中气。

该装置优点在于: 通过在进气通道入口处设置弹性件, 有效解决野外施工过程中进气口易堵的问题, 提高取气质量; 通过弹性件与多个进气通道配合设置, 提高气体排空效果, 也使钻具强度和使用寿命得以提高; 通过反转防脱落接口多级连接钻杆, 确保钻具适应第四系沉积层不同深度的气体采集需要。

收稿日期: 2020-03-23; 修回日期: 2020-07-02

基金项目: 国家自然科学基金(41872126, U2003101)

作者简介: 王力数据(1982-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事油气地球化学勘探及石油地质研究工作。Email: wanggj_syky@sinopec.com

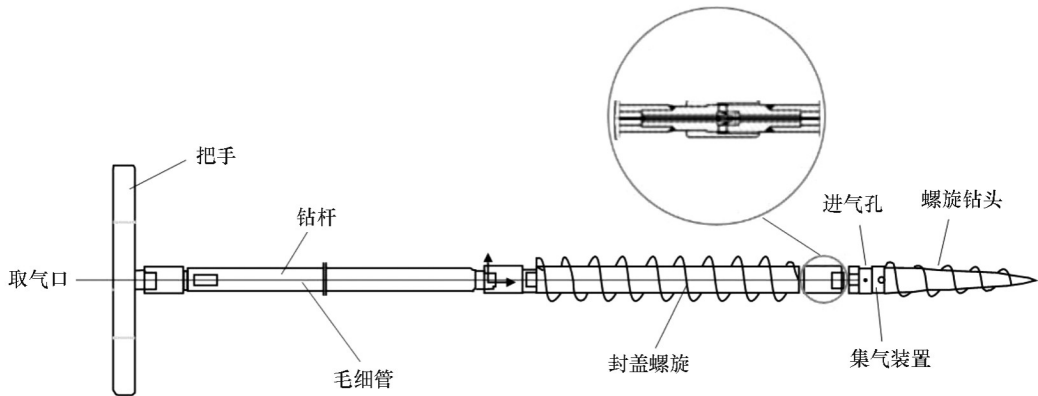


图 1 壤中游离气钻具结构示意图
Fig. 1 Schematic diagram of spiral auger for collecting soil gas

1.2 采气方法

该钻具采集壤中游离气的原理是将钻具钻至第四系沉积层的目的采气层位,土壤中的游离气经过滤器扩散到集气管中,以螺旋叶片作为隔绝空气的密封圈,用直接排水真空取气法排去毛细管中的空气,然后就可以有效地抽取目的采气层位中的游离气,密封在盐水瓶中(图 2)。壤中游离气采集过程中要注意以下几点:①集气瓶要注满饱和盐水,不能有较大的空气气泡(气泡直径一般不大于 2 mm)以免稀释所采集的壤中烃类浓度。②采样前,排空的气体体积要根据集气腔体积与毛细管体积之和($V_{空}$)而定,一般排空体积($V_{排}$)要大于 $V_{空}$ 2~3 mL,确保下步采集气样为地下土壤中游离气。③在用一次性注射器进行抽取气体时,无论是排空或是采气,活塞抽动要缓慢均匀,以防空气因负压进入注射器,不慎操作会导致这部分空气进入到集气瓶中,影响样品真实性。④现场抽入集气瓶的气体的压强一般是负压,需要在拔出注射器针头前,关闭连接毛细管气路,并向集气瓶中注入少量盐水,使得集气瓶中气压恢复常压或少许正压,再拔出针头,将集气瓶口朝下倒置存放。

1.3 测试分析

将采集的游离气样品送到实验室分析测试,抽取集气瓶中的气体进入气相色谱仪分析 $C_1 \sim C_5$ 组份浓度。气相色谱仪配置:氢火焰离子化检测器(FID);分流/不分流进样系统;色谱工作站;色谱柱(HP—PLOT/ Al_2O_3 型 50 m×0.53 mm 毛细柱)。需要说明的是,尽量建立野外现场测试实验室,对游离气样品进行现场分析测试,发现采集不合格样品可立即进行复采,也可对高浓度异常样品进行查证。

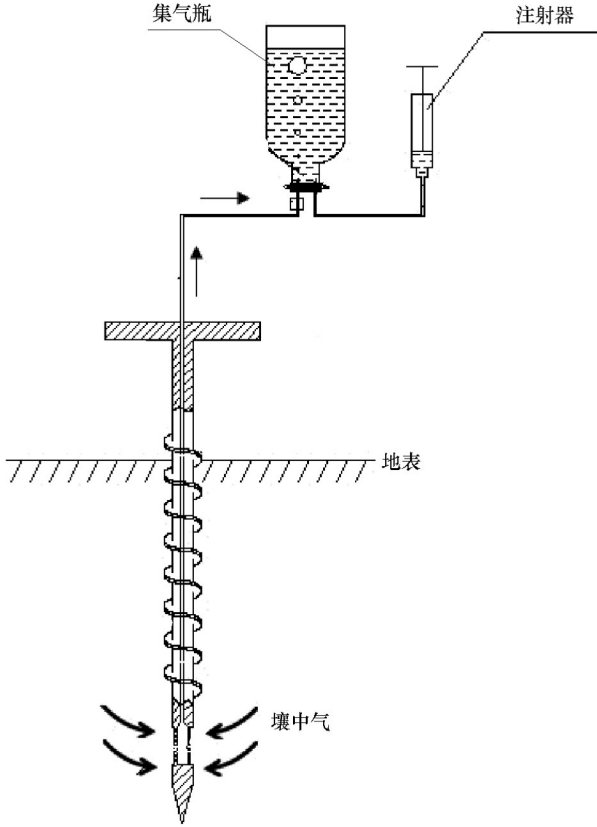


图 2 游离气野外采集示意
Fig. 2 Schematic diagram of soil gas collection in field

2 应用实例

2.1 渤海湾盆地济阳拗陷惠民凹陷南坡临南—钱官屯地区

2.1.1 地质背景及化探部署

临南—钱官屯地区位于济阳拗陷惠民凹陷南

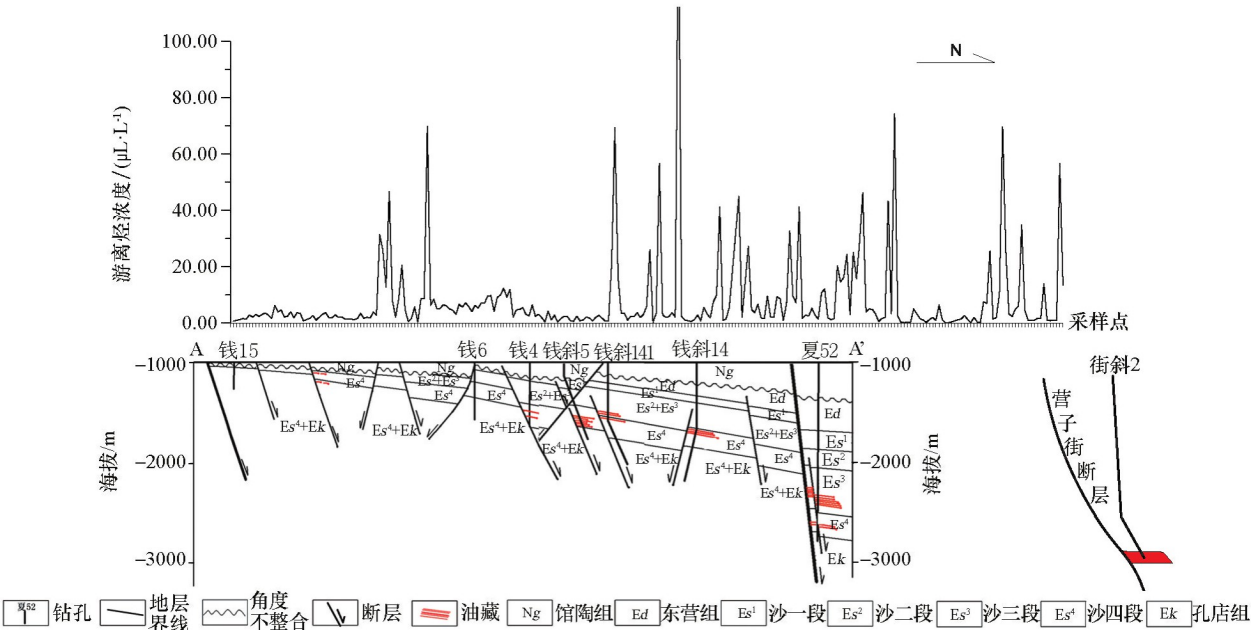


图 4 临南—钱官屯地区联井剖面近地表游离烃重烃浓度分布特征

Fig. 4 Distribution characteristics of hydrocarbon concentration (C_{2+}) of soil gas through the joint well section of Linnan-Qianguantun area

向上渗漏,在地表形成的高丰度异常。夏 52 井(临南油田及夏口断层)—钱斜 14 油藏—钱斜 141 油藏上方均存在游离烃浓度异常带,夏 52 井断块为高产油藏,钱斜 14 油藏、钱斜 141 油藏目前均存在产能,因此渗漏源丰度充足,油藏烃类在地下各种驱动力的作用下垂向微渗漏在地表形成高浓度游离烃异常。而再往南的钱斜 5 井目前为捞油,钱 4 井已停产,钱 6 井为干井,渗漏源不足或无渗漏源,游离烃则没有出现浓度异常。可见,联井剖面上游离烃浓度与下伏油藏分布特征吻合度较高,能指示下伏油气藏的“生命体征”;在主力产区,地球化学异常更显著,在停产区,则没有明显地球化学异常。

2.1.3 面积精查游离烃化探异常特征

应用壤中游离气方法,对济阳拗陷惠民凹陷南坡临南—钱官屯地区进行化探精查,化探精查面积覆盖北部洼陷区、临南油田区、钱官屯油田区、背景区(图 3)。图 5 展示了精查区游离烃地球化学指标异常分布特征,游离烃重烃浓度异常在不同的区域内具有不同的分布特征:①从临南油田区到钱斜 14 井油藏上方地表,游离烃重烃浓度呈现一个较大的环状异常晕,包含了临南油田、钱斜 14 井油藏,较好地反映了下伏油藏垂向微渗漏信息。②宽缓斜坡带上的钱斜 141 井油藏、钱斜 19 井油藏、钱斜 5 井油藏、钱 4 井油藏区上方地表,游离烃重烃浓度在钱斜 141 井油藏北边缘地表出现游离烃异常,并与钱斜 14 井油藏区地表异常连成一片;钱斜 19 井油藏区

上方地表游离烃异常呈半环状分布。钱斜 5 井油藏目前为捞油、钱 4 井油藏已停产,它们正上方地表游离烃无明显异常,只在东南边缘出现一块异常,可能与钱 4 井残余油藏烃类沿断层微渗漏有关。③研究区的典型背景区指西北角的北部洼陷区、东北角的无油气发现区、钱斜 5 井油藏和钱 4 井油藏的西部地区,北部洼陷区作为生烃供烃洼陷,游离烃指标只有零星异常分布,东北角游离烃无明显地球化学异常,该区域经多口井钻探无油气发现。钱斜 5 井油藏、钱 4 井油藏区西部地区的游离烃指标分布特征与异常区明显区分开来,无明显异常显示。上述不同地质单元内,游离烃类指标具有不同的分布规律,化探异常与下伏油藏分布相关性密切。

2.2 塔里木盆地阿克亚苏地区 X 井区

X 井区位于塔里木盆地沙雅隆起阿克库勒凸起南部,X 井是阿克亚苏地区 X 区块三叠系油气藏内的第一口发现井^[23]。通过对 X 井区的三维地震资料重新处理解释,认为 X 井区中油组圈闭西部存在一个圈闭 A,在地质上认为有两种可能,一是 A 圈闭与 X 井圈闭整体为同一圈闭,油水界面一致,后期可向东评价、向西产建,进一步落实构造。二是 A 圈闭与 X 井圈闭是两个独立的圈闭,A 圈闭油水界面与 X 井不一致,可进一步西扩评价。

应用游离烃方法在 X 井区开展了高密度精查,游离烃甲烷指标和游离烃重烃指标相关系数达到 0.93,为显著相关,说明游离烃甲烷与重烃来源基本

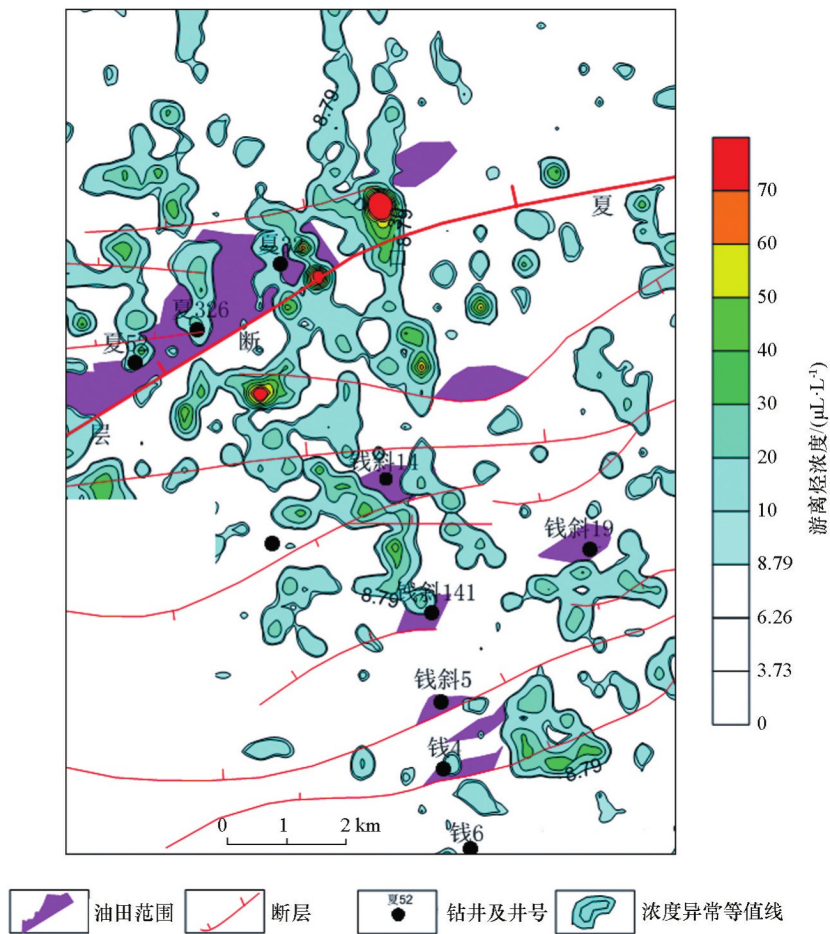


图 5 临南—钱官屯地区近地表游离烃浓度异常分布特征

Fig. 5 Distribution characteristics of hydrocarbon concentration anomalies of soil gas in Linnan-Qianguantun area

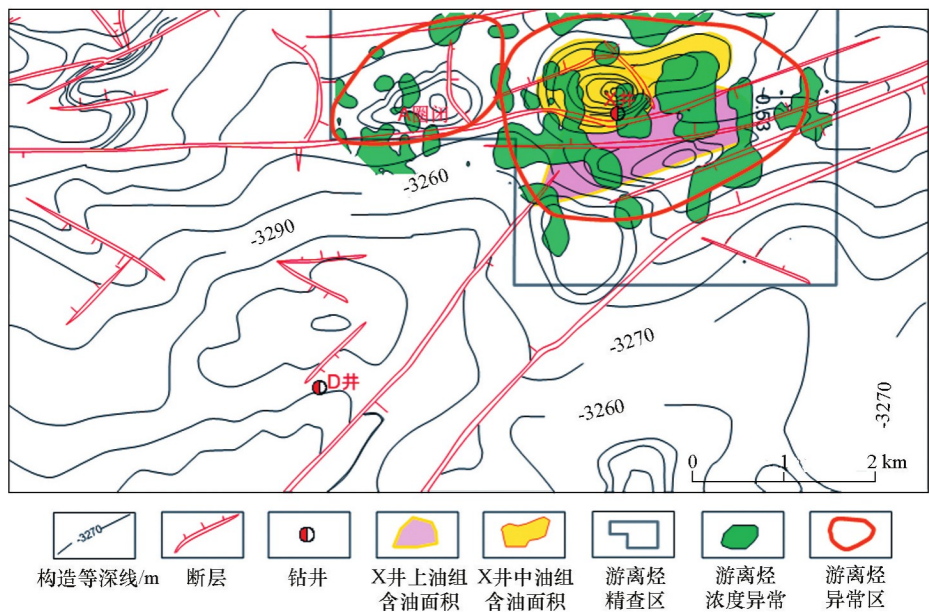


图 6 阿克亚苏地区 X 井区游离烃浓度异常分布

Fig. 6 Geochemical anomalies distribution of hydrocarbon concentration of soil gas in well X, Akyasu area

万方数据

相同,受地表生物甲烷干扰很小。图 6 是 X 井区游离烃甲烷浓度异常分布图。可以看到,X 井圈闭及其西部的 A 圈闭上方的游离烃甲烷分别以较好的环状异常形态围绕 X 井圈闭和 A 圈闭,两个圈闭的游离烃甲烷异常明显具有连续性,圈定的 A 圈闭游离烃甲烷异常区与 X 井圈闭的游离烃异常区相接,显示两个圈闭应属同一油水界面,这在后期的钻探中得到了验证,说明游离烃化探方法的有效性。

3 结论

1) 便携式壤中游离气采集装置操作简便、取气效果好,适用于多种地形地貌野外现场,是游离烃方法的重要技术之一。

2) 壤中游离气方法作为地球化学勘探活动态烃类的代表性方法,是反映现今油气藏是否存在的最直接指标,通过在渤海湾盆地临南地区和塔里木盆地阿克亚苏地区的应用,采集和提取的烃类气体异常较好地响应了下伏油藏分布位置,指示了下伏油气藏的“生命体征”。

3) 壤中游离气方法适用范围包括地表油气地球化学勘探、矿产勘查、环境调查等,具有较广阔的应用前景。

参考文献 (References):

- [1] 程同锦,王者顺,吴学明,等. 烃类运移的近地表显示与地球化学勘探[M]. 北京:石油工业出版社,1999:1-3.
Cheng T J, Wang Z S, Wu X M, et al. Surface expression of hydrocarbon migration and geochemical exploration [M]. Beijing: Oil Industry Press, 1999:1-3.
- [2] 阮天健,费琪. 石油天然气地球化学勘探[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992:1-3.
Ruan T J, Fei Q. Geochemical prospecting for oil and gas [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992:1-3.
- [3] Schumacher D, Abrams M A. Hydrocarbon migration and its near surface expressions[J]. AAPG Memoir 66 (Vancouver), 1996:1-14;
- [4] B. A. 索柯洛夫. 油气运移[M]. 郑厚安,义和,译. 北京:科学出版社,1959:247-265.
Sokolov B A. Petroleum migration [M]. Translated by Zheng H A, Yi H. Beijing: Science Press, 1959:93-109.
- [5] 王国建,汤玉平,陈伟钧,等. 一种物理吸附脱烃吸密封罐及其化探应用效果[J]. 天然气地球科学,2013,24(4):768-773.
Wang G J, Tang Y P, Chen W J, et al. A seal jar for desorbing physical-adsorption hydrocarbons and its application effect [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(4): 768-773.
- [6] 王国建,汤玉平,唐俊红,等. 断层对烃类微渗漏主控作用及异常分布影响的实验模拟研究[J]. 物探与化探,2018,42(1):21-27.

- Wang G J, Tang Y P, Tang J H, et al. Experimental simulation of the effect of faults on vertical hydrocarbon microseepage[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018,42(1):21-27.
- [7] 索孝东,劳文剑. 近地表游离烃化探系统及其应用效果[J]. 勘探家,1999,4(1):52-55.
Suo X D, Lao W J. Geochemical exploration system for near-surface free hydrocarbon and its application effect [J]. Petroleum Explorationist, 1999,4(1):52-55.
- [8] 索孝东,李德春,宋喜林. 用壤中游离烃现场分析解释技术直接寻找浅层油气藏[J]. 地质通报,2009,28(11):1638-1642.
Suo X D, Li D C, Song X L. Shallow oil and gas reservoir exploration in using on-site analysis and interpretation technology of free hydrocarbons in soil [J]. Geological Bulletin of China, 2009,28(11):1638-1642.
- [9] 张宗元,王国建. 土壤中游离烃技术的油气化探意义[J]. 天然气工业,2004,24(6):30-32.
Zhang Z Y, Wang G J. Petroleum geochemical exploration significance of soil free hydrocarbon technique [J]. Natural Gas Industry, 2004,24(6):30-32.
- [10] 任春,孙长青,汤玉平,等. 油气勘探中壤气烃的采集与应用[J]. 物探与化探,2010,34(1):63-70.
Ren C, Sun C Q, Tang Y P, et al. The collection and application of soil gas hydrocarbon in oil and gas exploration [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010,34(1):63-70.
- [11] 汤玉平,王国建,唐俊红,等. 应用壤中气方法圈定沉积盆地型地热田的地热最有利富集区[J]. 物探与化探,2017,41(1):22-28.
Tang Y P, Wang G J, Tang J H, et al. The application of soil gas method to delineation of the most favorable enrichment area of he sedimentary basin type geothermal system [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(1):22-28.
- [12] 谭丽娟,蒋有录,刘华,等. 济阳拗陷南部油气成藏特征对比分析[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):39-43.
Tan L J, Jiang Y L, Liu H, et al. Petroleum accumulation and occurrence in the Dongying and the Huimin Sags [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003,30(3):39-43.
- [13] 李纯泉,刘惠民. 临南洼陷沙三段异常地层压力及其演化特征[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2013,38(1):105-111.
Li C Q, Liu H M. Abnormal formation pressure and its evolution features of the third member, Shahejie Formation, Linnan Sag [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2013, 38(1):105-111.
- [14] 覃克,赵密福. 惠民凹陷临南斜坡带油气成藏模式[J]. 石油大学学报:自然科学版,2002,26(6):21-32.
Qin K, Zhao M F. Hydrocarbon accumulation models in Linnan slope zone, Huimin depression [J]. Journal of the University of Petroleum: Natural Science, 2002,26(6):21-32.
- [15] 付金华. 惠民凹陷夏口断裂带油气藏机制研究[J]. 石油实验地质,2002,24(2):136-140.
Fu J H. Pool-forming mechanism of the Xiakou faulted zone in the Huimin depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(2):136-140.
- [16] 高先志,杜玉民,张宝收. 夏口断层封闭性及对油气成藏的控

制作用模式[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):76-78.

Gao X Z, Du Y M, Zhang B S. The sealing of Xiakou fault and its model of controlling on the petroleum accumulation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003,30(3):76-78.

[17] 陈庆春,林玉祥,唐洪三. 临南地区石油运移方向与成藏期次研究[J]. 沉积学报,2001,19(4):611-616.

Chen Q C, Lin Y X, Tang H S. Analysis of oil migration direction and accumulation time in Linnan area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001,19(4):611-616.

[18] 韩天佑,漆家福,林会喜. 惠民凹陷西南缓坡带新生代构造演化与油气成藏特征[J]. 石油与天然气地质,2003,24(3):245-248.

Han T Y, Qi J F, Lin H X. Study of Cenozoic tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in southwest gentle slope belt, Huimin sag[J]. Oil & Gas Geology, 2003,24(3):245-248.

[19] 杨俊,沈忠民,王国建,等. 济阳拗陷临南—钱官屯地区烃类微渗漏特征及异常成因[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2015,42(6):709-718.

Yang J, Shen Z M, Wang G J, et al. Characteristics of hydrocarbon micro-leakage and its abnormal genesis in Linna-Qianguantun area, Jiyang depression, Shandong, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology:Science & Technology Edition, 2015,42(6):709-718.

[20] 王国建,程同锦,卢丽,等. 烃类垂向微渗漏近地表显示与运移通道的关系——以苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田为例[J]. 石油实验地质,2008,30(3):302-306.

Wang G J, Cheng T J, Lu L, et al. Relationship between near-surface expressions of hydrocarbon microseepage and migration pathways—A case study in the Zhujiadun gas field, The Yancheng Sag, the Northern Jiangsu Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008,30(3):302-306.

[21] 贾红义. 营子街断层研究引发的地质构造问题探讨[J]. 油气地球物理,2015,13(3):1-6.

Jia H Y. Approach to the question of the geological structure found in the research of the Yingzijie fault [J]. Petroleum Geophysics, 2015,13(3):1-6.

[22] 李继岩,宋国奇,赵仲祥,等. 惠民凹陷南部地区断层输导与封闭性能研究[J]. 油气地质与采收率,2011,18(4):17-20.

Li J Y, Song G Q, Zhao Z X, et al. Study on the transport and sealing performance of faults in southern Huimin sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011,18(4):17-20.

[23] 马洪涛,蔡玥,付国民. 塔河油田 AT1 井区中三叠统中油组湖底扇沉积特征研究[J]. 岩性油气藏,2010,22(3):53-58.

Ma H T, Cai Y, Fu G M. Sedimentary characteristics of sub-lacustrine fan of middle Triassic Zhongyou Formation in AT1 area, Tahe oilfield [J]. Lithologic Reservoirs, 2010,22(3):53-58.

The soil gas method and its application to geochemical prospecting for oil and gas

WANG Guo-Jian¹, LU Li¹, YANG Jun¹, LI Ji-Peng¹, REN Chun¹, TANG Jun-Hong², LI Wu¹

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Wuxi 214126, China; 2. College of Material Science and Environmental Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Light hydrocarbons in an underground hydrocarbon reservoir can reach the surface in a trace yet detectable amount through near-vertical microseepage, and some of them may occur in free form in the pores of soil or rock particles. Hydrocarbon in soil gas can indicate the current compensatory active microseepage of hydrocarbons in deep reservoirs; therefore, it is thought to be one of the most reliable methods in geochemical prospecting for oil and gas. The collection of free gas from soil is a key technique for obtaining the geochemical anomalies of microseepage hydrocarbons in Quaternary sediments. A new portable soil gas collection device was developed, which is easy to operate, easy to carry and has good air tightness. The ways of soil free gas fidelity collection are summarized through long-term practice. Soil gas method was applied to geochemical prospecting for oil and gas in Linan-Qianguantun area on the south slope of Huimin sag, Jiyang depression and X well block of Akyasu area, Tarim basin. The soil free hydrocarbon anomalies can well reflect the near surface information from vertical microseepage as well as the distribution characteristics of oil and gas accumulations underground. The surface geochemical anomaly of oil and gas accumulations is significantly different from that of the background area. The results show that the soil gas method is very effective and deserves wide application in oil and gas exploration.

Key words: microseepage; soil gas;collection device;geochemical prospecting; oil and gas exploration

(本文编辑:蒋实)