

井中岩屑碳酸盐含量与酸解烃关系新认识

杨俊^{1,2}, 沈忠民¹, 王国建², 程同锦², 卢丽²

(1. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室(成都理工大学), 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 214151)

摘要:用一元回归的方法探寻井中岩屑碳酸盐含量与酸解烃含量的关系,发现二者斜率和相关系数在长期稳产油(气)井、干井或产期短油(气)井中特征迥异。长期稳产油(气)井中泥岩的碳酸盐含量与酸解烃含量的斜率和相关系数大于砂岩,而干井或产期短油(气)井中恰好相反,并从碳酸盐矿物形成和不同岩性吸附性能的角度分析了这种特征的形成机理。据此特征提出一种新探井含油气性预测和老井复查的方法,具有快速、低成本的特点,可有效提高探井和老井复查成功率。

关键词:碳酸盐含量;酸解烃;含油气性预测;老井复查;临南—钱官屯油田;惠民凹陷

中图分类号:TE132.4

文献标识码:A

A new viewpoint about the relationship between carbonate content and acidolysis hydrocarbon

Yang Jun^{1,2}, Shen Zhongmin¹, Wang Guojian², Cheng Tongjin², Lu Li²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: Using unary linear regression, the relationship between carbonate content and acidolysis hydrocarbon in a well was investigated, which was different in wells with long production history, dry wells or wells with short production history. The gradient in the mudstone and related coefficient were greater than that in the sandstone in the wells with long production history, but the reverse was true in the dry wells or the wells with short production history. Then the reasons for the characteristics were analyzed from the carbonate mineral formation and the different lithology's adsorption property. According to the characteristics, a new method was developed for hydrocarbon prediction in exploration wells and the re-examination of old wells. This method was fast and with low cost, and could effectively improve the success rate of new and old wells re-examination.

Key words: carbonate content; acidolysis hydrocarbon; hydrocarbon prediction; old wells re-examination; Linnan-Qianguantun Oilfield; Huimin Sag

朱世全等^[1]、祝有海等^[2]认为沉积物中烃类气体存在多种赋存状态。酸解烃赋存机理为化学吸附烃、吸着烃,主要是指赋存于碳酸盐晶格内及其胶结物中的甲烷及其同系物,包括少量赋存于硅酸镁中的烃类^[3]。测试原理主要是在真空、一定的恒温条件下经稀盐酸分解,释放出来的气体经碱溶液吸收除去 CO₂,其余气体经碱液驱赶至量气管,计算脱出的气体体积,然后用气相色谱仪分析其中的烃类气体含量^[4-7]。

碳酸盐含量指井中岩屑碳酸盐质量百分含量。碳酸盐可分为与母岩经风化或地下水活动有关的无机成因碳酸盐和受深部碳源影响的有机成因碳

酸盐 2 种,后者明显与深部油气有关^[8-10]。陈清华等^[11]、王振平等^[12]认为酸解烃形成过程异常成因有 2 类:①异常高压带造成的水溶烃浓度升高引起的酸解烃异常,多与泥岩欠压实有关;②孔隙被烃类填充造成的酸解烃异常,这种异常多与油气藏有关。缪九军等^[13-14]、蒋涛等^[15]发现酸解烃与碳酸盐相关性较高。王付斌等^[16-17]认为碳酸盐含量一般作为干扰因素的判别和排除指标,主要对酸解烃方法有较明显的影响。杨振鸿等^[10]、孙长青^[18]、李兰杰^[9]发现碳酸盐含量影响着酸解烃甲烷、重烃等指标浓度的高低。王国建等^[19]在井中化探录井剖面上发现碳酸盐岩的酸解烃含量普遍较高。

收稿日期:2013-05-07;修订日期:2014-11-20。

作者简介:杨俊(1982—),男,硕士,工程师,从事油气藏形成与分布和油气地球化学勘探研究。E-mail: yangjun19821002@163.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(40972088)和国土资源部行业科研专项项目(201211060)共同资助。

虽然研究地表油气化探土壤碳酸盐含量与酸解烃含量关系的学者较多,但大多只是将碳酸盐含量作为影响酸解烃的干扰因素进行研究和排除,同时也将剔除有用的信息。前人很少从井中化探角度研究碳酸盐含量与酸解烃含量的关系。相比地表油气化探,井中化探受地貌、微生物等其他干扰因素影响小。

1 井区地质背景

选取渤海湾盆地济阳坳陷西部的惠民凹陷临南—钱官屯油田中 6 口井,从北向南,夏 326、钱斜 14、钱斜 19、钱斜 5 为油井;钱 4 井低产,产油期很短,目前已经停产;钱 6 井为干井。夏口断层为临南—钱官屯油田内最大断层,断层以北为临南洼陷,断层以南为临南斜坡。临南油田位于洼陷内,钱官屯油田位于斜坡部位,其中夏 326 井位于洼陷内的临南油田,其余 5 口井位于斜坡部位的钱官屯油田(图 1)。

2 碳酸盐与酸解烃含量关系及成因机理

挑选钱斜 14、钱斜 19、钱斜 5、钱 4 和钱 6 井井中岩屑较纯的砂岩和泥岩样品,进行 W_b (碳酸盐含量)与 SC_1 (酸解烃甲烷)含量、 SC_{1+} (酸解烃全烃)含量、 SC_{2+} (酸解烃重烃)含量线性拟合。夏 326 井岩屑发现大量红色铁锈,岩屑不纯,在此不作讨论。

2.1 异常点识别与剔除

数据拟合前需进行异常点处理。定义明显偏

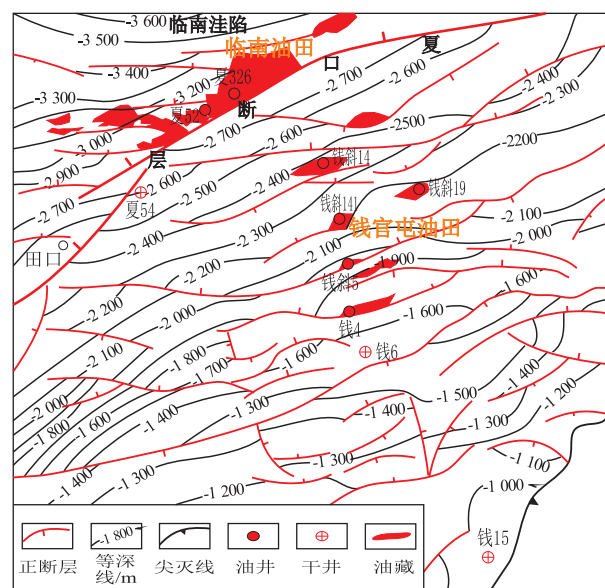


图 1 惠民凹陷临南—钱官屯油田地质特征及井位分布

Fig.1 Geological features and well location in Linnan-Qianguantun Oilfield, Huimin Sag

离规律的样点为异常点,异常点可能由其他地质因素造成,也可能是实验误差造成。剔除明显异常点前后拟合斜率和相关系数差别巨大,特别是相关系数将明显增大。油井以钱斜 19 井为例,泥岩 W_b 与 SC_1 含量相关系数由 0.738 4 增大到 0.917 0,砂岩 W_b 与 SC_1 含量相关系数由 0.215 8 增大到 0.745 4 (图 2);产油期短的低产井或干井以钱 4 井为例,所有样点相对油井比较分散,泥岩 W_b 与 SC_1 含量相关系数由 0.243 9 增大到 0.348 8,砂岩 W_b 与 SC_1 含量相关系数由 0.506 9 增大到 0.518 5 (图 3)。

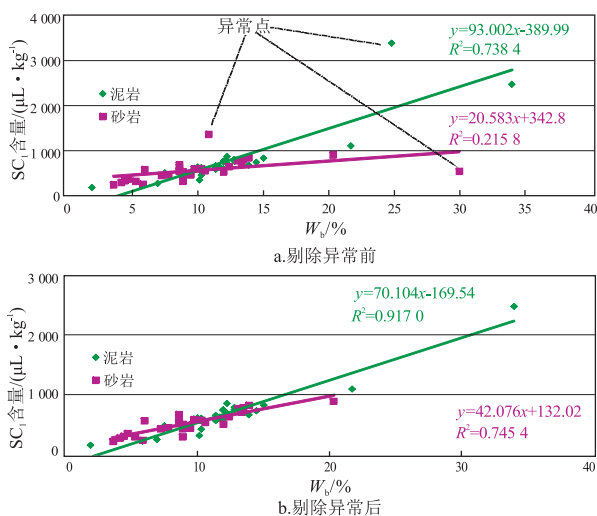


图 2 惠民凹陷临南—钱官屯油田钱斜 19 井 W_b 与 SC_1 含量拟合

Fig.2 Relationship between W_b (carbonate content) and SC_1 (acidolysis hydrocarbon methane content) in well Qianxie19, Linnan-Qianguantun Oilfield, Huimin Sag

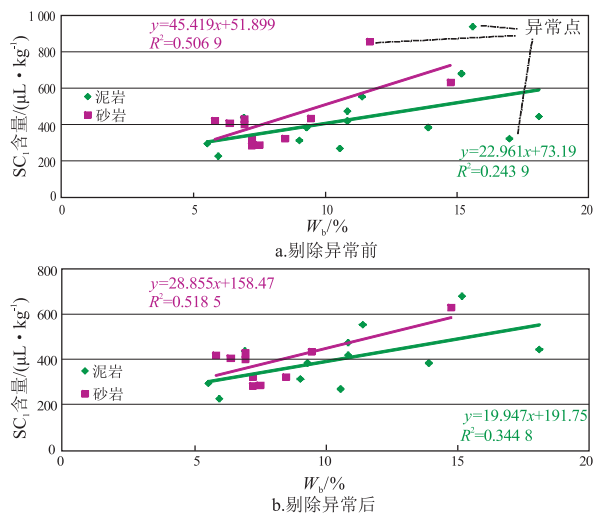


图 3 惠民凹陷临南—钱官屯油田钱 4 井 W_b 与 SC_1 含量拟合

Fig.3 Relationship between W_b (carbonate content) and SC_1 (acidolysis hydrocarbon methane content) in well Qian4, Linnan-Qianguantun Oilfield, Huimin Sag

2.2 碳酸盐含量与酸解烃含量关系

剔除明显偏离规律的异常点,使规律更加明显。由表 1 可以看出,钱斜 14、钱斜 19 和钱斜 5 油井泥岩 W_b 与 SC_1 、 SC_{1+} 、 SC_{2+} 含量的相关系数和斜率大于砂岩,钱 4 低产井和钱 6 干井泥岩 W_b 与 SC_1 、 SC_{1+} 、 SC_{2+} 含量的相关系数和斜率小于砂岩。

2.3 成因机理

碳酸盐含量与酸解烃含量良好的相关性,显示出它们之间有一定成因联系。分析认为,碳酸盐矿物表面和晶格内部可以吸附、吸留部分烃类,成岩过程中次生碳酸盐的形成可以包裹部分烃类,另外烃类在向上微渗漏的过程中,经氧化作用可以形成蚀变碳酸盐。因此,碳酸盐含量与酸解烃含量相互联系,特别是在井中不受地貌、气候、微生物及其他因素影响情况下,往往显示出同时增大和减小的特点。

前人研究发现^[9],一般化探指标浓度是黏土>亚黏土>亚砂土>砂土,这是因为颗粒越细,吸附能力就越强。在渗漏烃供给充分时,例如钱斜 14、钱斜 19 和钱斜 5 井储层含油性好,岩层不论砂岩还是泥岩都达到饱和吸附,出现泥岩碳酸盐含量与酸

解烃含量相关性优于砂岩的现象;钱 4 井短期低产,存在烃类垂向微渗漏效应但是供烃能力有限,在有限供烃条件下砂岩比泥岩更易趋于饱和吸附,即吸附饱和度可能更高,出现砂岩碳酸盐含量与酸解烃相关性更高的现象。钱 6 井为干井,下部热成因烃类供给有限甚至没有,自身含低丰度有机碳的泥岩成烃,被碳酸盐矿物或者胶结物吸附和包裹,为酸解烃的主要来源。因此,钱 6 井泥岩样品受背景烃影响程度更大,出现泥岩碳酸盐含量与酸解烃含量相关性整体差于砂岩。

钱斜 14、钱斜 19 和钱斜 5 井岩层饱和吸附,泥岩吸附能力大于砂岩,因此泥岩碳酸盐含量与酸解烃含量回归斜率大于砂岩。钱 4 井和钱 6 井烃类供给有限,泥岩和砂岩未能达到饱和吸附,砂岩吸附饱和度大于泥岩,因此钱 4 井和钱 6 井泥岩碳酸盐含量与酸解烃含量回归斜率小于砂岩(表 1)。

另外,研究发现不同地区井中 SC_1 含量与 SC_{2+} 含量表现出很高的相关性,显示同一种化探方法烃类指标间的同源特性。相关系数总体表现出“高产稳产井大于产期短的低产井和干井”的特点(表 2)。

表 1 剔除异常点后碳酸盐含量与酸解烃含量拟合特征

Table 1 Relationship between carbonate content and acidolysis hydrocarbon content after eliminating abnormal points

| 位置 | 井号 | 岩性 | 拟合数/ 个 | 与 SC_1 含量 | | 与 SC_{1+} 含量 | | 与 SC_{2+} 含量 | |
|--------|-------|----|-----------|-------------|---------|----------------|---------|----------------|---------|
| | | | | 斜率 | 相关系数 | 斜率 | 相关系数 | 斜率 | 相关系数 |
| 东部惠民凹陷 | 夏 326 | 砂岩 | 34 | 43.71 | 0.062 4 | 53.21 | 0.047 7 | 9.5 | 0.016 7 |
| | | 泥岩 | 43 | 59.49 | 0.293 5 | 75.13 | 0.279 7 | 15.64 | 0.217 3 |
| | 钱斜 14 | 砂岩 | 12 | 46.001 | 0.634 4 | 56.013 | 0.618 9 | 10.011 | 0.534 2 |
| | | 泥岩 | 15 | 111.19 | 0.903 0 | 129.03 | 0.904 0 | 17.841 | 0.891 0 |
| | 钱斜 19 | 砂岩 | 27 | 42.076 | 0.745 4 | 49.547 | 0.656 8 | 7.470 6 | 0.246 9 |
| | | 泥岩 | 27 | 70.104 | 0.917 0 | 88.172 | 0.904 6 | 18.068 | 0.803 6 |
| | 钱斜 5 | 砂岩 | 33 | 47.042 | 0.717 6 | 61.31 | 0.703 9 | 14.268 | 0.577 0 |
| | | 泥岩 | 32 | 56.597 | 0.844 2 | 73.977 | 0.829 3 | 17.38 | 0.746 5 |
| | 钱 4 | 砂岩 | 11 | 45.419 | 0.506 9 | 54.28 | 0.472 4 | 8.860 6 | 0.319 1 |
| | | 泥岩 | 14 | 22.961 | 0.243 9 | 25.965 | 0.235 6 | 3.003 8 | 0.148 2 |
| | 钱 6 | 砂岩 | 12 | 28.97 | 0.871 3 | 34.605 | 0.846 6 | 5.635 | 0.662 6 |
| | | 泥岩 | 7 | 18.206 | 0.597 2 | 20.18 | 0.504 6 | 1.974 4 | 0.110 0 |
| 西部塔北隆起 | 沙 15 | 砂岩 | 24 | 66.314 | 0.638 8 | 78.889 | 0.634 2 | 12.575 | 0.606 6 |
| | | 泥岩 | 10 | 167.98 | 0.506 5 | 208.07 | 0.459 9 | 40.093 | 0.286 3 |
| | 沙 22 | 砂岩 | 24 | 34.236 | 0.344 2 | 37.588 | 0.346 7 | 3.351 2 | 0.344 0 |
| | | 泥岩 | 24 | 134.49 | 0.628 3 | 159.74 | 0.625 5 | 25.246 | 0.605 2 |

表 2 井中 SC_1 含量与 SC_{2+} 含量关系

Table 2 Relationship between SC_1 (acidolysis hydrocarbon methane content) and SC_{2+} (acidolysis heavy hydrocarbon content)

| 位置 | 东部惠民凹陷 | | | | | | 西部塔北隆起 | |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 井号 | 夏 326 | 钱斜 14 | 钱斜 19 | 钱斜 5 | 钱 4 | 钱 6 | 沙 15 | 沙 22 |
| 相关系数 | 0.847 8 | 0.672 8 | 0.893 1 | 0.980 6 | 0.517 6 | 0.686 2 | 0.964 5 | 0.961 7 |

说明高产稳产井地层中烃类充足,可以抑制干扰因素对烃类的影响,表现出同一化探方法各烃类指标间很好的相关性;而产期短的低产井和干井中烃类不足,干扰因素对烃类的影响更容易凸显出来,造成同一化探方法各烃类指标间相关性变差。

3 应用前景

以上碳酸盐含量与酸解烃含量关系特征不仅在东部拉张型盆地出现,在其他盆地例如西部塔里木挤压型盆地中也出现(表1)。

因此,可利用“油(气)井中泥岩碳酸盐含量与酸解烃含量相关系数和斜率大于砂岩,干井或者低产井中泥岩相关系数和斜率小于砂岩”的特征,进行新钻井含油气性预测和老井复查。若井中泥岩的碳酸盐含量与酸解烃含量相关系数和斜率大于砂岩,则说明烃类充足,岩层饱和吸附,单井含油气性极好;若相关系数和斜率泥岩小于砂岩,则说明烃类不足甚至没有而以背景为主,岩层不饱和吸附,单井含油气性较差甚至不含油气。

以上特征虽然建立在碎屑岩基础之上,但是并不妨碍对目的层为碳酸盐岩的探井的含油气性预测,只要在目的层之上,探井钻开的地层发育有碎屑岩,该方法同样适用。

沙22井和沙15井分别位于塔北隆起雅克拉断凸和阿克库勒凸起,含油气层位多,为高产油气井,沙15井产层之一为奥陶系白云岩风化壳。沙22井泥岩碳酸盐含量与酸解烃含量相关系数和斜率大于砂岩,与惠民凹陷临南—钱官屯油田稳产油井特征一致。沙15井碳酸盐含量与酸解烃含量相关系数砂岩大于泥岩,斜率泥岩大于砂岩。分析认为,沙15井碳酸盐含量与酸解烃含量相关系数砂岩大于泥岩,可能是因为沙15井参与拟合的泥岩样品个数太少(表1)。因此,建议取样时尽量使砂岩和泥岩样品个数相差不大,且都不小于20个。在样品较少时(小于20个),以碳酸盐含量与酸解烃含量拟合斜率为主,相关系数为辅判断单井含油气性;在样品较多时(不小于20个),可以利用相关系数和斜率相结合判断。

井中 SC_1 含量与 SC_{2+} 含量相关系数可作为判断单井含油气性的辅助指标。二者相关系数越大,含油气性概率越大;相关系数越小,含油气性概率越小(表2)。

4 结束语

(1)虽然利用井中碳酸盐含量与酸解烃含量

关系不能准确预测探井含油气层位,但是其预测不受距离限制,与以往井中化探只能准确预测钻头下方附近地层含油气性的不足互相补充,从而使井中化探探井含油气性预测更加完善,使钻进不久离目的层较远时就能对探井含油气性做出预测。进而,在第一时间提出继续钻进或者停钻建议,给现场及生产应用单位提供参考,达到降低成本,提高探井成功率的目的。

(2)利用井中碳酸盐含量与酸解烃含量关系进行老井复查,是常规利用测井资料等进行老井复查的重要补充。从化探的角度揭示老井的含油气性,与常规方法相互结合验证,可提高老井复查效率和成功率,同时具有快速、低成本的特点,为油田增产稳产提供参考性技术支持。

(3)井中 SC_1 含量与 SC_{2+} 含量较好的相关性,不仅说明同一种化探方法烃类指标间的同源特性,根据井中二者相关系数还可以辅助判断单井含油气性,为钻进不久评价单井含油气提供参考。

参考文献:

- [1] 朱世全,彭威,罗智,等.岩石酸解烃技术在松辽盆地气层识别中的应用[J].西南石油大学学报,2006,28(2):25-26.
Zhu Shiquan, Peng Wei, Luo Zhi, et al. The technique on acidolyzed hydrocarbon in rock applying in identification of gassy formation in basin Songliao [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2006, 28(2): 25-26.
- [2] 祝有海,吴必豪,罗续荣,等.南海沉积物中烃类气体(酸解烃)特征及其成因与来源[J].现代地质,2008,22(3):407-414.
Zhu Youhai, Wu Bihao, Luo Xurong, et al. Geochemical characteristics of hydrocarbon gases and their origin from the sediments of the South China Sea [J]. Geoscience, 2008, 22(3): 407-414.
- [3] 邓平,王国建.井中化探异常与石油地质特征关系研究[J].天然气工业,2002,22(3):1-4.
Deng Ping, Wang Guojian. Borehole geochemical exploration anomalies related to petroleum geological conditions [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(3): 1-4.
- [4] 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.
Ruan Tianjian, Fei Qi. Geochemical exploration for oil and gas [M]. Wuhan: China University of Geosciences Publishing House, 1992.
- [5] 杨育斌,张金来,吴学明,等.油气地球化学勘查[M].武汉:中国地质大学出版社,1995.
Yang Yubin, Zhang Jinlai, Wu Xueming, et al. Geochemical prospecting for oil & gas [M]. Wuhan: China University of Geosciences Publishing House, 1995.
- [6] 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.
Cheng Tongjin, Wang Zheshun, Wu Xueming, et al. Near-surface indications of hydrocarbon migration and geochemical prospecting [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.

[7] 杨俊,李武,朱怀平.利用井中化探酸解烃和顶空轻烃技术预测和评价烃源岩[J].天然气工业,2011,31(1):37-40.
Yang Jun,Li Wu,Zhu Huaiping.Prediction and appraisal of source rocks with acidolysis hydrocarbon and headspace light hydrocarbon technologies for borehole geochemical exploration[J].Natural Gas Industry,2011,31(1):37-40.

[8] 王凤国,李兰杰.鄂尔多斯盆地近地表油气化探干扰因素及抑制方法[J].河南石油,2003,17(3):19-22.
Wang Fengguo,Li Lanjie.Disturbing factors of near-surface petroleum geochemical prospecting in Ordos Basin and elimination methods[J].Henan Petroleum,2003,17(3):19-22.

[9] 李兰杰.影响酸解烃浓度的因素及排除干扰的方法[J].物探与化探,2004,28(2):126-129.
Li Lanjie.Factors affecting the concentration of acid hydrolytic hydrocarbon and methods for eliminating interference[J].Geophysical & Geochemical Exploration,2004,28(2):126-129.

[10] 杨振鸿,鲍征宇,李方林.若尔盖地区酸解烃与热释烃影响因素研究[J].物探化探计算技术,2007,29(1):48-53.
Yang Zhenhong,Bao Zhengyu,Li Fanglin.Study of influence factors between acidolysis hydrocarbon and pyrolysis-desorbed hydrocarbon in Ruergai area[J].Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration,2007,29(1):48-53.

[11] 陈清华,林玉祥,黄鹏程,等.鄂尔多斯盆地土壤酸解烃成因分析[J].石油大学学报:自然科学版,1994,18(5):8-13.
Chen Qinghua,Liu Yuxiang,Huang Pengcheng,et al.Analysis on origin and enhancing method of soil-acid hydrolysis hydrocarbon in Ordos Basin[J].Journal of the University of Petroleum,China,1994,18(5):8-13.

[12] 王振平,傅晓泰,吕广玉.油气垂向化探酸解烃异常识别[J].石油勘探与开发,1996,23(1):39-42.
Wang Zhenping,Fu Xiaotai,Lü Guangyu.Identification of acidolysis hydrocarbon anomaly in vertical geochemical prospecting for oil and gas[J].Petroleum Exploration and Development,1996,23(1):39-42.

[13] 缪九军,荣发准,李广之.南方碳酸盐岩地区沼泽对土壤酸解烃的影响[J].安徽地质,2003,13(2):130-133.
Miao Jiujun,Rong Fazhun,Li Guangzhi.Influence of marshland on acid-extraction hydrocarbons in the carbonate area,Southern China[J].Geology of Anhui,2003,13(2):130-133.

[14] 缪九军,荣发准,李广之,等.酸解烃技术在油气勘探中的应用[J].物探与化探,2005,29(3):209-212.
Miao Jiujun,Rong Fazhun,Li Guangzhi,et al.The application of hydrocarbon acidolysis technique to oil and gas exploration[J].Geophysical & Geochemical Exploration,2005,29(3):209-212.

[15] 蒋涛,夏响华,任春.油气化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):523-527.
Jiang Tao,Xia Xianghua,Ren Chun.The correlation between oil-gas geochemical indices and mineral compositions of soil media[J].Geophysical & Geochemical Exploration,2004,28(6):523-527.

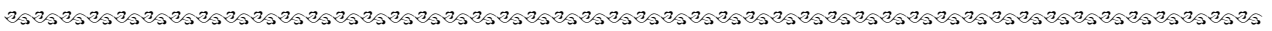
[16] 王付斌,刘敏军.提高油气化探原始资料品质的一些措施[J].天然气工业,2001,21(增刊):60-64.
Wang Fubin,Liu Minjun.Some measures of improving the quality of the original data on hydrocarbon geochemical exploration in E'erdusi Basin[J].Natural Gas Industry,2001,21(S):60-64.

[17] 王付斌,刘敏军,鲁子健.鄂尔多斯盆地北部油气化探方法评价[J].天然气工业,2005,25(3):36-40.
Wang Fubin,Liu Minjun,Lu Zijian.Evaluation of oil and gas geochemical exploration methods used for north E'erdusi Basin[J].Natural Gas Industry,2005,25(3):36-40.

[18] 孙长青,赵克斌,程军.油气化探地表干扰因素研究[C]//第四届全国油气化探学术会议论文集.武汉:中国地质大学出版社,1998.
Sun Changqing,Zhao Kebin,Cheng Jun.Study of the surface oil and gas geochemical exploration interference factors[C]//The Fourth Session of National Oil and Gas Geochemical Exploration Academic Conference Proceedings.Wuhan:China University of Geosciences Publishing House,1998.

[19] 王国建,汪林自.井中油气化探干扰因素的分析与抑制方法[J].物探与化探,2000,24(5):367-372.
Wang Guojian,Wang Linzi.Interference factors in borehole oil and gas geochemical exploration and the technique for their suppression[J].Geophysical & Geochemical Exploration,2000,24(5):367-372.

(编辑 黄娟)



(上接第 91 页)

[14] 李洪波.塔北隆起北缘原油轻烃单体烃碳同位素特征[J].石油实验地质,2013,35(3):302-306.
Li Hongbo.Compound specific carbon isotope composition of light hydrocarbons in crude oils from the north of the Northern Tarim Uplift[J].Petroleum Geology & Experiment,2013,35(3):302-306.

[15] 王起琮,张阳,肖玲.鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩成岩相碳、氧稳定同位素特征[J].石油与天然气地质,2013,34(5):652-658.
Wang Qicong,Zhang Yang,Xiao Ling.Carbon and oxygen stable isotopic features of diagenetic facies of Ordovician carbonate rocks in Ordos Basin[J].Oil & Gas Geology,2013,34(5):652-658.

[16] 孟凡超.松辽盆地深层天然气碳同位素反序及形成机理探讨[J].特种油气藏,2013,20(2):25-28.
Meng Fanchao,Ran Qingchang.Discussion on negative carbon isotope series and mechanisms of natural gas in deep of Songliao Basin[J].Special Oil & Gas Reservoirs,2013,20(2):25-28.

(编辑 韩 斌)