

文章编号: 1004-5589 (2010) 02-0292-06

## 油气化探方法在方正断陷油气勘探中的应用

宁维坤<sup>1</sup>, 任志高<sup>2</sup>

1. 吉林大学 材料科学与工程学院, 长春 130026;
2. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

**摘要:** 方正断陷近地表油气地球化学勘探工作采用土壤酸解烃、蚀变碳酸盐 ( $\Delta C$ ) 和荧光光谱分析技术, 筛选出多个反映油气异常的指标, 圈定出红旗 I 级综合异常、西六方 II 级综合异常和宝兴 III 级综合异常。红旗 I 级综合异常和西六方 II 级综合异常具有异常强度大、平均衬度和评价指数高等特征, 为最有利含油气远景区, 是进一步勘探的主要方向; 而宝兴 III 级综合异常强度弱, 仅具有一定的参考意义。方 3 井、方 401 井、方 6 井和方 4 井均部署在西六方 II 级综合异常上, 获得工业油气流, 证实了异常下油气的存在。

**关键词:** 油气化探; 方正断陷; 古近纪

**中图分类号:** TE19      **文献标识码:** A      **doi:** 10.3969/j.issn.1004-5589.2010.02.016

## Application of oil and gas geochemical exploration method on oil and gas exploration in Fangzheng fault depression

NING Wei-kun<sup>1</sup>, REN Zhi-gao<sup>2</sup>

1. College of Material Sciences and Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China;
2. Research Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield Limited Company, Daqing 163712, Heilongjiang, China

**Abstract:** Multiple techniques such as soil acidolysis hydrocarbon, alteration carbonate and fluorescence spectrum analysis, have been used to select the indicators of anomalous hydrocarbon concentration in near-surface oil and gas geochemical exploration of Fangzheng fault depression. Three anomalous areas were identified including Hongqi-I, Xiliufang-II and Baoxing-III comprehensive anomalies. The Hongqi-I anomaly and Xiliufang-II anomaly, characterized by rather strong anomalous signal, high average contrast and evaluation index, are regarded as the main prospects. The anomalous signal in Baoxing-III is weak, which is significant for reference. From the Well Fang-3, Fang-401, Fang-6 and Fang-4 all located on Xiliufang-II anomaly, the commercial oil obtained, which confirmed the petroleum occurrence underlying the anomaly.

**Key words:** oil and gas geochemical exploration; Fangzheng fault depression; Paleogene

### 0 引言

深部烃类物质在地温场、应力场和水动力场等作用下, 以微渗漏方式运移至近地表<sup>[1,2]</sup>, 与地表的岩石、地下水、土壤及其孔隙水等介质发生相互作用, 产生近地表油气地球化学效应<sup>[3,4]</sup>。

作为直接检测烃类信息的油气化探技术, 以其直接、快速和较好的效果优势, 在石油勘探和开发领域里得到了广泛重视, 并取得了较为明显的应用效果<sup>[5,6]</sup>。近地表油气地球化学勘探方法在大庆探区也开展了大量工作, 但这一方法绝大多数都在勘探程度较低的地区进行, 随着大庆探区勘探工作量

收稿日期: 2010-05-02; 改回日期: 2010-05-16

不断增加,其勘探成果逐渐得到验证。笔者根据方正断陷近年来的油气勘探成果讨论了近地表油气地球化学勘探方法的有效性。

## 1 工作区域概况

方正断陷位于依兰—伊通地堑的北段,是一个一级负向构造单元,表现为受东西两条深大断裂控制的双断式断陷,总体呈北东 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 方向展布,面积约 $1\ 460\text{ km}^2$ (图1)。方正断陷向北为依兰断隆和汤原断陷,向南为尚志断隆、胜利断陷、舒兰断隆和岔路河断陷。

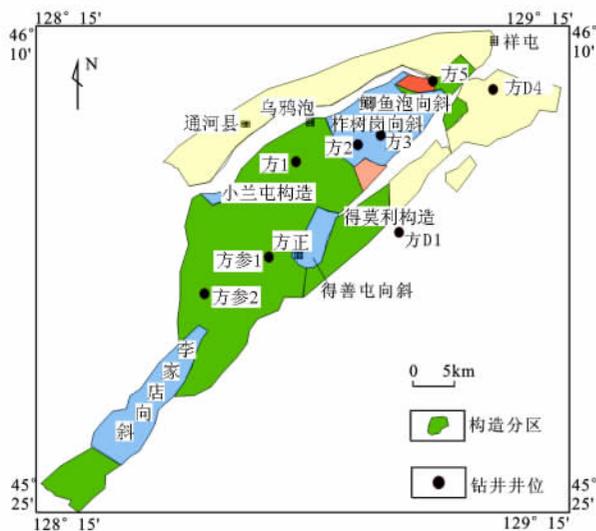


图1 方正断陷构造分区及钻井井位分布图

Fig.1 Structural zoning map and location map of wells in Fangzheng fault depression

方正断陷自下而上由元古界张广才岭群基底和古生界构造层、中生界残留盆地构造层和新生界盆地构造层所组成,其中新生界地层是主体构造层,为碎屑岩和火山岩。古近纪始新统分为达一段至达四段,在方正断陷中心部分为深湖相,向两侧过渡为滨浅湖相,并发育扇三角洲相沉积和冲积扇。这一段泥岩是本区最有利的生烃源岩,其次为达二段泥岩。这一段下部砂岩为主要的储层。

对方正断陷内各构造单元的构造、沉积相和生、储、盖综合评价研究,划分出3个含油气区带和6个圈闭构造:

(1) 以小兰屯构造和三合村构造为代表的西部

基底隆起性构造带,包括:①小兰屯构造,为一在基底隆起基础上发展起来的继承性构造,方3井发现单层厚度 $430\text{ m}$ 的暗色泥岩。该构造具有面积和幅度皆大的特点;②三合村构造,为一基底隆起基础上发展起来的继承性构造,方5井测井解释发现2层可疑气层,三合村构造由多个小断块所构成;③南天门构造,因盖层条件不具备,基本上是一个无效圈闭构造。

(2) 以伊-1号、伊-3号、伊-7号、哈哈泡为代表的中部断块构造带,包括方3井局部断块构造、伊-7号构造和哈哈泡断块构造。

(3) 以得莫利构造、宝兴构造为代表的东部火山岩及断鼻状构造带,包括:①得莫利构造,位于鲫鱼泡向斜的东南方向,为典型的复式火山机构分布区,老尖山油苗存在于该区;②宝兴构造,位于李家店向斜的东部,为一基底隆起基础上形成的断鼻/断背斜构造。

## 2 样品采集与分析

本次化探工作中的样品采集密度为线距 $1\ 000\text{ m}$ ,点距 $500\text{ m}$ 。样品采集工具选用人工麻花钻,为保证油气化探土壤分析结果的统一性,进行了系统的取样深度实验。依据试验结果确定样品采集深度为 $1.5\text{ m}\pm$ ,目标层为棕黄色亚黏土。对某些缺少棕黄色亚黏土的局部地区,则选取浅色调黏土和亚黏土为采集对象,以使全区采集的样品性质尽量保持一致。取样时先刮去钻头两侧的污染物,然后将 $500\text{ g}$ 新鲜样品采用玻璃纸包装,外层用牛皮纸包装。采集的土壤样品按表格记录描述。采集样品 $1\ 155$ 件。

样品分析项目有蚀变碳酸盐( $\Delta\text{C}$ )、甲烷( $\text{C}_1$ )、乙烷( $\text{C}_2$ )、丙烷( $\text{C}_3$ )、异构丁烷( $\text{iC}_4$ )、正构丁烷( $\text{nC}_4$ )、异构戊烷( $\text{iC}_5$ )、正构戊烷( $\text{nC}_5$ )、重烃、乙烯、丙烯、丁烯和芳烃类荧光(F304、F330、F355、F380、F390、F405)。

样品分析由大庆油田勘探研究院有机地球化学实验室完成。其中 $\Delta\text{C}$ 采用蚀变碳酸盐热解—气相色谱分析方法; $\text{C}_1$ 、 $\text{C}_2$ 、 $\text{C}_3$ 、 $\text{iC}_4$ 、 $\text{nC}_4$ 、 $\text{iC}_5$ 、 $\text{nC}_5$ 、重烃、乙烯、丙烯、丁烯的含量采用酸解气方法;样品中芳烃类物质的紫外荧光采用光谱仪测试。样品分析结果重现率 $>89\%$ 。

### 3 结果和讨论

#### 3.1 化探指标特征值及相互关系

分析结果(图1)表明,各指标普遍存在离群的特高值,其分布正偏严重,偏度系数多为 $20 \pm$ 。少量这样的特高值点使 $C_1$ 的均值和标准差变得很

大,不能反映地球化学场的主体特征。为此采用了多次迭代的线性映射方法。另外,除少量高值点外,本区土壤中烃类含量较低, $C_1$ 的中位数为 $1.33 \mu\text{l}/\text{kg}$ ,而重烃类则不到 $0.1 \mu\text{l}/\text{kg}$ 。但从后文所揭示的各指标地球化学场特征来看,区内土壤中烃类浓度明显富集,且环形结构较为清晰。

表1 方正断陷化探工区各指标特征值

Table 1 Characteristic values of each index in geochemical work area of Fangzheng fault depression

| 指标     | 样品数  | 最小值   | 最大值    | 均值     | 中位数   | 标准差    | 偏度    | 峰度     |
|--------|------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
| C      | 1149 | 0.003 | 0.43   | 0.035  | 0.031 | 0.02   | 7.52  | 95.80  |
| $C_1$  | 1153 | 0.246 | 484.57 | 3.139  | 1.331 | 18.68  | 21.85 | 513.59 |
| $C_2$  | 1153 | 0.0   | 81.42  | 0.448  | 0.071 | 3.22   | 21.03 | 480.43 |
| $C_3$  | 1153 | 0.0   | 34.29  | 0.299  | 0.026 | 1.70   | 16.75 | 311.61 |
| $iC_4$ | 1153 | 0.0   | 2.38   | 0.073  | 0.017 | 0.15   | 6.85  | 80.23  |
| $nC_4$ | 1153 | 0.0   | 11.42  | 0.092  | 0.008 | 0.49   | 18.33 | 382.70 |
| $iC_5$ | 1153 | 0.0   | 9.16   | 0.066  | 0.033 | 0.34   | 22.77 | 566.77 |
| $nC_5$ | 1153 | 0.0   | 11.55  | 0.091  | 0.042 | 0.39   | 24.24 | 687.00 |
| 重烃     | 1153 | 0.0   | 171.22 | 1.182  | 0.265 | 6.76   | 20.20 | 456.56 |
| 乙烯     | 1153 | 0.0   | 61.02  | 0.431  | 0.195 | 2.40   | 21.53 | 496.56 |
| 丙烯     | 1153 | 0.0   | 49.79  | 0.108  | 0.000 | 1.83   | 24.58 | 617.74 |
| 丁烯     | 1153 | .20   | 103.61 | 6.593  | 2.897 | 10.78  | 4.24  | 22.92  |
| F304   | 1151 | 5.0   | 1400   | 135.96 | 118   | 101.54 | 4.99  | 46.57  |
| F330   | 1151 | 6.0   | 2200   | 146.87 | 122   | 140.84 | 7.25  | 81.62  |
| F355   | 1151 | 4.0   | 15000  | 124.06 | 72    | 558.07 | 20.27 | 482.96 |
| F380   | 1151 | 2.0   | 10000  | 85.656 | 35    | 482.83 | 14.89 | 254.23 |
| F390   | 1151 | 1.0   | 7800   | 64.970 | 23    | 402.29 | 13.98 | 219.97 |
| F405   | 1151 | 0.0   | 8200   | 50.739 | 12    | 418.33 | 14.86 | 238.84 |

注:  $C_1 \sim nC_5$ 、重烃、乙烯、丙烯、丁烯为 $\mu\text{l}/\text{kg}$ ;  $\Delta C$ 为 $10^{-2}$ ; F304 ~ F405为 $10^{-6}$

R型聚类分析和因子分析揭示了各化探指标间的相互关系(图2,表2)。其中 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $nC_4$ 、 $iC_5$ 、 $nC_5$ 、重烃、乙烯、丙烯之间呈密切相关,是最为重要的因子组合,也是最为重要的化探指标,是圈定油气远景区的主要指标,预期其有相似的空间分布特征。这组共生的变量组合与 $iC_4$ 也有一定的相关性。荧光各波段之间有较强的相关,但与烃类指标关系很弱。 $\Delta C$ 与烃类指标关系也较弱,它们的空间分布特征仅提供有限的补充信息。

#### 3.2 单指标地球化学场结构分析

在地球化学场结构分析中,首先进行单指标分析,在把握单指标空间分布特征的基础上进行多指

标综合分析。离群样品,即孤立特高值点,往往导致地球化学场的严重畸变。为了抑制孤立离群数据点对地球化学场总体结构的畸变影响,并使各指标量纲统一,首先对本工区化探数据作了5次线性映射迭代和局域数据预处理,然后进行了4个方向的变异函数结构分析、泛克里格法网格加密估值和低通滤波,最后作等值线图并叠加井位。局域高值预处理的窗口半径取平均采样间距的2.5倍,即2.5 km;变异函数结构分析的间距为1 km,距离容差0.3 km,角容差为 $20^\circ$ ;克里格估值时,估计域上限为2.5 km,下限为1.5 km,网格插密后为 $128 \times 128$ 。

表 2 方正断陷化探工区各指标主因子载荷

Table 2 Principal factors load of each index in geochemical work area of Fangzheng fault depression

| 指标              | F1    | F2     | F3     | F4     | F5     | F6     |
|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| C               | 0.035 | 0.110  | -0.632 | 0.459  | 0.613  | 0.026  |
| C <sub>1</sub>  | 0.984 | -0.069 | 0.012  | -0.048 | 0.031  | 0.086  |
| C <sub>2</sub>  | 0.991 | -0.076 | 0.001  | -0.029 | 0.010  | 0.022  |
| C <sub>3</sub>  | 0.950 | -0.076 | -0.031 | 0.012  | -0.028 | -0.175 |
| iC <sub>4</sub> | 0.772 | -0.057 | -0.112 | 0.103  | -0.118 | -0.562 |
| nC <sub>4</sub> | 0.983 | -0.075 | -0.026 | 0.006  | -0.022 | -0.113 |
| iC <sub>5</sub> | 0.959 | -0.069 | 0.029  | -0.044 | 0.036  | 0.185  |
| nC <sub>5</sub> | 0.921 | -0.067 | 0.018  | -0.038 | 0.045  | 0.176  |
| 重烃              | 0.993 | -0.075 | -0.011 | -0.017 | -0.001 | -0.025 |
| 乙烯              | 0.989 | -0.076 | 0.010  | -0.034 | 0.016  | 0.049  |
| 丙烯              | 0.939 | -0.067 | 0.042  | -0.070 | 0.057  | 0.242  |
| 丁烯              | 0.050 | 0.040  | 0.794  | 0.225  | 0.548  | -0.121 |
| F304            | 0.189 | 0.663  | 0.141  | 0.609  | -0.309 | 0.116  |
| F330            | 0.249 | 0.802  | 0.047  | 0.437  | -0.265 | 0.038  |
| F355            | 0.103 | 0.935  | -0.009 | -0.187 | 0.015  | -0.027 |
| F380            | 0.094 | 0.958  | -0.037 | -0.215 | 0.114  | -0.026 |
| F390            | 0.091 | 0.947  | -0.042 | -0.216 | 0.132  | -0.025 |
| F405            | 0.076 | 0.925  | -0.016 | -0.261 | 0.089  | -0.040 |
| 特征值             | 9.16  | 4.689  | 1.072  | 1.042  | 0.903  | 0.528  |
| 累计比             | 0.509 | 0.261  | 0.060  | 0.058  | 0.050  | 0.029  |

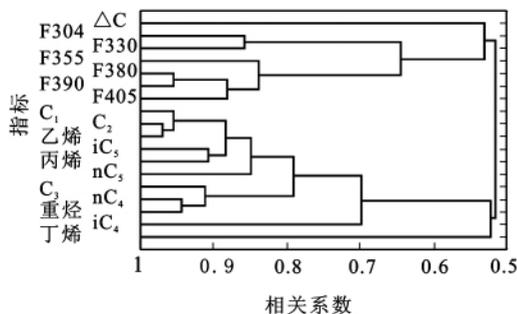


图 2 方正工区化探指标聚类分析谱系图

Fig. 2 Pedigree diagram of geochemical indexes cluster analysis Fangzheng work area

本工区土壤烃类和烯烃各指标，除戊烷外，具有十分类似的空间结构，均在联合屯—西六方及其以西地区和小兰屯构造上方显示强烈的异常浓集，

且环形、半环形和高浓集区十分清晰，而在其他部位则均表现为低值。各指标空间分布之间的相似性与前述化探指标的相关性结果是一致的。

本工区内最强和最大的烃类异常区分布在联合屯—西六方及其以西地区，其内部又大致可区分出 3 个子区：① 联合屯及以西至乌鸦泡，表现为近东西向展布的高浓集区，略显向南开口的半环状结构，大致相当于柞树岗向斜所在的构造部位，为向斜间局部隆起形成的含油气构造所致，方 3 井位于其中；② 西六方至鲫鱼泡，为一面积较小的等轴状异常，烃类浓度具有一定的环形特征；③ 三合屯构造上方，烃类浓集程度高，环形特征清晰。

区内另一个烃类指标异常区位于红旗镇附近的小兰屯构造上方，为一北西向展布的高浓集区，在其两侧有 C<sub>1</sub> 的中等浓度区呈南北向延展，略显向南开口的半环状。

$\Delta C$ 、 $iC_5$ 和荧光的空间分布则相对比较零散，但在  $C_1$ 和重烃异常最为明显的联合屯—西六方及其以西地区和红旗镇的小兰屯构造上方仍有不同程度的异常显示。

### 3.3 综合异常分析和含油气靶区评价

多方法、多参数化探指标间既有内在联系，又

有成因上的差异，它们保持各自独立的地球化学行为<sup>[7,8]</sup>。为了突出有价值的异常，避免繁琐，对指标进行筛选，最后选取酸解烃方法中的重烃指标作为酸解烃方法的代表，380 nm 荧光 (F380) 波段作为荧光方法的代表，加上  $\Delta C$  共 3 个统计分析指标，计算确定的各指标异常下限值 (表 3)。

表 3 油气化探指标异常下限表

Table 3 Lower limits of oil and gas geochemical indexes anomaly

| 指标                     | 样品数 N | 均值 X   | 标偏 S  | 异常下限值 | 异常几率/% |
|------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 重烃 (HC)                | 1 153 | 0.558  | 0.774 | 2.11  | 12.3   |
| 蚀变碳酸盐 ( $\Delta C$ ) * | 1 149 | -3.471 | 0.329 | 0.051 | 11.8   |
| 380 nm 荧光 (F380) *     | 1151  | 33.76  | 16.7  | 67.2  | 14.9   |

\* 表示符合对数正态分布，采用对数值；其他表示符合正态分布。

将重烃 (HC)、蚀变碳酸盐 ( $\Delta C$ )、380 nm 荧光 (F380) 3 个指标的异常叠和在一起，划分出 3 个综合异常，即红旗 I 级综合异常、西六方 II 级

综合异常和宝兴 III 级综合异常 (表 4)。3 个综合异常分别位于小兰屯构造、三合村构造和董家屯构造上。

表 4 综合异常评价参数表

Table 4 Evaluation parameters of comprehensive anomaly

| 异常名称    | $\Delta C$ 衬度 | $\Delta C$ 强度 | HC 衬度 | HC 强度 | F380 衬度 | F380 强度 | 平均衬度 | 评价指数 | 匹配关系 | 级别  |
|---------|---------------|---------------|-------|-------|---------|---------|------|------|------|-----|
| 红旗综合异常  | 0.09          | 1.73          | 20.6  | 9.80  | 939     | 14.0    | 6.96 | 11.0 | 叠合   | I   |
| 西六方综合异常 | 0.06          | 1.21          | 4.50  | 2.14  | 158     | 2.36    | 1.80 | 2.96 | 组合   | II  |
| 宝兴综合异常  | 0.08          | 1.59          |       |       | 146     | 2.17    | 1.21 | 1.76 | 组合   | III |

小兰屯构造上方的红旗 I 级综合异常和西六方 II 级综合异常具有异常强度大、平均衬度和评价指数高等特征，为最有利的含油气远景区，将是进一步勘探的主要方向，宝兴 III 级综合异常强度弱，仅具有一定的参考意义。

勘探结果证明，方 3 井和方 401 井具有工业气流，2 口井均钻在西六方 II 级综合异常上。方 6 井和方 4 井获得高产工业油流，这 2 口井也钻在西六方 II 级综合异常上。重烃 (HC) 指标异常在整个工区显示出 2 个异常分布区，即西六方异常分布区和红旗异常分布区，其中西六方异常分布区面积巨大，所获勘探突破的 4 口井 (方 3 井、方 6 井、方 4 井和方 401 井) 均在其上。红旗异常区目前还没有钻井。这说明酸解烃方法是非常有效的。

蚀变碳酸盐 ( $\Delta C$ ) 方法在西六方和红旗区效果不如酸解烃方法明显，分析其原因可能与取样深

度有关。 $\Delta C$  方法测量的是烃渗漏至近地表发生氧化反应形成的蚀变碳酸盐，方正断陷地表为水稻田区，在春季化探施工时地表融化深度较大 (1 m  $\pm$ )，这使蚀变碳酸盐 ( $\Delta C$ ) 在地表浅层的效果受到影响。380 nm 荧光 (F380) 指标异常在整个工区零散分布，效果不明显。

## 4 结论

综上所述，从方正断陷油气化探测量成果来看，效果非常明显，所圈定的红旗综合异常、西六方综合异常和宝兴综合异常中已有西六方综合异常勘探取得了突破，在其上有 4 口井 (方 3 井、方 6 井、方 4 井和方 401 井) 获得工业油气流。红旗综合异常还没有钻探，预计在今后红旗综合异常也将取得突破。

方正断陷油气化探中采用了酸解烃、蚀变碳酸

盐 ( $\Delta C$ ) 和二维荧光 3 种评价指标, 其中酸解烃指标效果最好, 蚀变碳酸盐 ( $\Delta C$ ) 次之, 二维荧光最差。

#### 参考文献:

- [1] 程同锦, 王者顺, 吴学明, 等. 烃类运移的近地表现与地球化学勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 35-38.  
CHEN Tong-jin, WANG Zhe-shun, WU Xue-ming, et al. Migration hydrocarbon show of near-surface and geochemical exploration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 35-38.
- [2] 蒋涛, 夏响华, 陈浙春. 地球化学烃场效应的探讨及应用 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (3): 290-294.  
JIANG Tao, XIA Xiang-hua, CHEN Zhe-chun. Hydrocarbon geochemical field effects and their applications [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25 (3): 290-294.
- [3] 关德范, 朱起煌. 地表油气化探理论和方法的新进展 [J]. 石油地质科技动态, 2000, 88 (3): 1-19.  
GUAN De-fan, ZHU Qi-huang. Advance of surface geochemical exploration theory and method [J]. Petroleum Geology Technical Dynamics, 2000, 88 (3): 1-19.
- [4] 赵克斌, 孙长青, 陈听华. 烃类垂向微运移及近地表地球化学效应 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27 (4): 99-101.  
ZHAO Ke-bin, SUN Chang-qing, CHEN Ting-hua. The vertical micro-migration of hydrocarbon and its near surface geochemical effect [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27 (4): 99-101.
- [5] 阮天健, 费琪. 石油与天然气地球化学勘探 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992: 136-141.  
RUAN Tian-jian, Fei Qi. Oil & gas geochemistry exploration [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992: 136-141.
- [6] 刘崇喜, 徐世荣. 油气化探方法与应用 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989: 142-145.  
LIU Chong-xi, XU Shi-rong. Oil & gas geochemical exploration method and application [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1989: 142-145.
- [7] 陈浙春, 程同锦, 汤玉平. 油气化探在塔里木盆地油气勘探中的应用 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16 (1): 59-63.  
CHEN Zhe-chun, CHENG Tong-jin, TANG Yu-ping. Application results of oil and gas geochemical technique in oil and gas exploration in Tarim Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16 (1): 59-63.
- [8] 索孝东, 于登跃. 油气地球化学勘探在大宛齐油田滚动开发中的应用 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16 (1): 64-68.  
SUO Xiao-dong, YU Deng-yue. Application of geochemical exploration in the on-going development of Dawanqi oil field [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16 (1): 64-68.