

# 地下水中有有机物质的 石油化探效果

刘崇禧

(地质矿产部石油地质综合大队101队)

在石油化探方面,我国从五十年代中期开始,主要应用地下水中的无机组份,预测盆地的含油气远景和潜在的含油气构造。近年来,随着分析仪器的更新和测试技术的提高,与油气有成因联系的水中有机物质,引起了人们的普遍重视和注意。为探讨这些有机物质的实用意义,我们对天然水系不同类型的水,进行了比较系统的采样、测试。初步认为,不同类型水中的有机物质,有其各自的背景含量,油田上方的地下水,有机质含量增高,组分相对齐全,与非油区地下水有本质的区别。水中有机物质是指示油气藏的存在较为敏感有效的水文地球化学标志之一。

## 一、地下水中有有机物质的分布特征

天然水系中广泛分布着各种不同类型的有机物质,其绝对含量差异较大,组成和结构也不尽相同。这些物质含量、组成和结构的差异,主要取决于所处的水文地球化学场。现从水中可溶气态烃和可溶有机物质进行讨论。

### 1. 可溶气态烃

天然水系中可溶气态烃主要以甲烷系列、甲烷-重烃系列及甲烷-重烃-不饱和烃系列三种形式存在(图1),其地球化学分布特征如表1所示。

从油气田水文地球化学普查勘探的角度来讲,下列几点值得注意:

(1) 甲烷系列是水中可溶气态烃的背景含量,其绝对值受自然地理景观的影响。一般在地下水流泄不畅、盐渍化程度较高、具有一定有机质丰度的低洼地区含

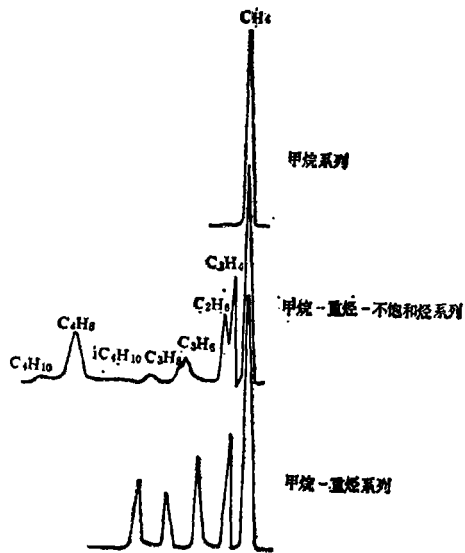


图1 地下水可溶气态烃的组成图

可溶气态烃的分布表

表 1

| 形式          | 水的赋存条件                  | 含量 (微升/升) |          | 甲烷碳同位素(PDB, ‰) | 成因                                |
|-------------|-------------------------|-----------|----------|----------------|-----------------------------------|
| 甲烷系列        | 地表水、江河湖沼、海洋、大气降水及部分地区潜水 | 河水        | 0.4—3    | -71—-87        | 有机质(一般沥青“A”含量较低), 经生物化学降解转化而成     |
|             |                         | 湖泊        | 0.5—52   |                |                                   |
|             |                         | 海洋        | 0.2—0.5  |                |                                   |
|             |                         | 降水        | 1—2.5    |                |                                   |
|             |                         | 潜水        | 0.2—250  |                |                                   |
| 甲烷-重烃-不饱和系列 | 煤层水或潜水                  | 鄂托克旗地区    | 0.15—2.5 | -35—-58        | 有机质经自然低温热催化形成; 煤层或围岩中分散有机质热变质作用形成 |
|             |                         | 江苏东风煤矿    | 0.3—1.5  |                |                                   |
|             |                         | 两淮煤浸泡     | 800—1750 |                |                                   |
| 甲烷-重烃系列     | 油田水或受油气影响的地下水           | 潜水        | 0.4—30   | -30—-48        | 有机质向石油转化过程中或油气运移时, 被水“捕获”溶解的气体    |
|             |                         | 济阳拗陷      | 21965.0  |                |                                   |
|             |                         | 松辽盆地      | 3900.3   |                |                                   |
|             |                         | 江汉盆地      | 5249.5   |                |                                   |
|             |                         | 陕甘宁盆地     | 5076.1   |                |                                   |

量增高;

(2) 地下水中出现甲烷-重烃系列的分散晕时, 是油气存在的信息, 其晕圈范围往往超过油田规模, 并随地下水流向、通道条件诸因素偏离油田一侧;

(3) 在浅层地下水(尤其是潜水)中, 出现比较复杂的气体系列时, 是多种成因气体迭加的结果, 根据碳同位素等成果, 可以鉴别其成因属性。

## 2. 可溶有机物质

在石油化探中, 国内外十分重视水中芳烃的研究<sup>[1,2,3]</sup>, 目前研究较深入的是苯、酚等。在油田水和非油田水中苯、酚的组成和含量有明显的差别, 监测极限值的变化幅度很大。

我国陆相油田水中苯系物的组成如表2所示; 酚系物中主要有酚、间甲酚、邻甲酚、对甲酚、二甲酚等<sup>[4,5]</sup>。在同一个含油气盆地中, 苯、酚的绝对含量与水型有一定的关系, 一般按 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Ca}(\text{Mg}) \rightarrow \text{HCO}_3 \cdot \text{Na} \rightarrow \text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{Na}$ 的水型顺序而增加。此外, 随地下水埋藏深度增加, 含量也增高。

油田水和非油田水在芳烃紫外光谱上有明显差异, 前者在222nm处有较强的吸收峰, 后者在202nm和250nm处有明显的吸收峰。在荧光光谱上二者亦有区别, 油田水中422nm处的发光强度大于431nm的发光强度, 而非油田水恰恰相反。利用单位消光值和比例系数k(双环芳烃/多环芳烃, 表示水样总芳烃中双环芳烃的多少)组成的函数图象, 可以区分不同类型的地下水及其所处的水文地球化学环境(图2)。

油田水苯系列组成表

表 2

| 编 号  | 苯      | 甲 苯    | 乙 苯   | 邻二甲苯  | 对二甲苯  | 间二甲苯  |
|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 阳 21 | 1552.0 | 2555.4 | 162.5 | 391.1 | 803.6 | 117.9 |
| 红 10 | 528.0  | 1181.5 | 73.0  | 90.5  | 483.2 | 148.2 |
| 红 3  | 13.72  | 1988.2 | 106.9 | 352.0 | 590.5 | 126.7 |
| 王 14 | 520.0  | 717.9  | 91.3  | 111.2 | 250.1 | 90.5  |
| 红 4  | 1271.7 | 2034.0 | —     | 426.1 | 536.8 | 235.4 |

单位：ppb

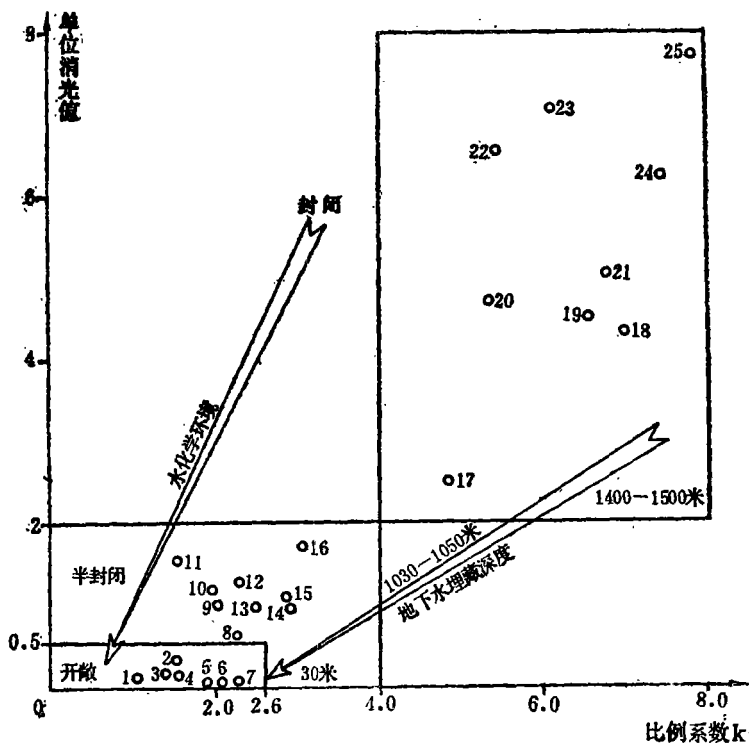


图2 单位消光值与比例系数k 关系图

(据王军资料改编)

利用水中芳烃环数多少的变化、苯环缩合程度的增高特性，结合水文地质条件及其它指标，可追索地下水在纵向上的联系，提供深部水文地球化学信息及其与油气藏的关系。

油田水中可溶有机质的含量较高，监测范围值达80—140ppm，其组成是非烃>烷烃>芳烃>沥青质；而与油气无关的水，不仅绝对含量低（低于70ppm），而且以烷烃

为主,其次是沥青质、非烃和芳烃<sup>[6]</sup>。从红外光谱图上(图3)看出,油田水中 $2920\text{cm}^{-1}$ 、 $2860\text{cm}^{-1}$ 、 $1460\text{cm}^{-1}$ 、 $1380\text{cm}^{-1}$ 、 $1270\text{cm}^{-1}$ 吸收峰变弱, $720\text{cm}^{-1}$ 和 $3400\text{cm}^{-1}$ 、 $860-880\text{cm}^{-1}$ 等吸收峰基本消失,说明水中有机质演化程度较高。据水中有机质演化特征所提供的信息,可以追索油气运移的途径,寻找油气富集的有利场所。

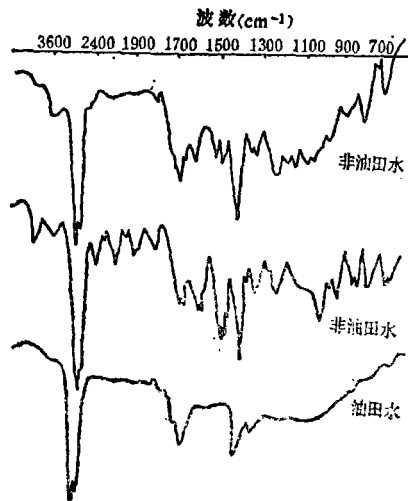


图3 不同类型水红外光谱图

此外,水中还普遍含有脂肪酸、腐殖酸、有机氯、有机酸及氮等组份(表3)。

松辽盆地不同类型水有机酸含量表 表3

| 类 型      | 地表水 | 潜 水    | 煤层水   | 油田水     |
|----------|-----|--------|-------|---------|
| 含量(毫克/升) | 117 | 90—140 | 70—90 | 170—540 |

(据杨忠辉等资料)

## 二、已知油区潜水中有机物质的分布规律

在油田上方的潜水中,常见组份、微量组份、同位素、地温及有机物质等指标,有不同程度的异常显示<sup>[7]</sup>。在充分地考虑了主要影响

因素之后,有机物质分布特征是阐明区域含油气远景、评价含油构造的有效指标。现以临盘、任丘和红岗油田为例,探讨油气分布与水中有机物质的关系。

### 1. 临盘油田

临盘油田是位于济阳拗陷的次一级构造单元——临邑凹陷中部。北东东向的临邑背斜带控制着油气分布,断裂、断层发育,主断裂在下第三纪沙河街组沉积早期即已存在,长期继承活动到晚第三纪。这就为油气在纵向上的扩散运移和水化学异常创造了条件。

第四系是一套氧化条件下的河流—浅湖相沉积,含有较丰富的地下水,其流向是南西—北东向。我们以均匀布点的方式采取水样,着重研究了潜水中有机物质的分布特点。地下水矿化度在 $0.2-3$ 克/升之间,偏碱性。随矿化度增高,水中主要离子由 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 变为 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 。水中有机物质如重烃含量、酚、苯等指标,呈现一定的规律性分布。从图4看出,异常范围与控制油气富集的主断裂带基本吻合。确定异常的主要水文地球化学依据是:①水化学异常构成一定的分布面积,在空间展布上有一定的方向性,组成北东东向延伸的异常带;②水化学异常有一定的强度,异常值和背景值的差异幅度比较大;③异常带内水化学指标的吻合程度较高,主要水化学指标在单个异常点上的显示比较齐全,不同年份、不同季节及抽水前后的异常点水性比较稳定;④异常带的水化学性质和特征与油田水有类似之处;⑤异常带与区域地下水运动条件不相匹配。也就是说,异常带在区域地下水运动途径中“跳跃”出现,不符合水化学成分随地下水流向而变化的一般规律。在详细地研究了沉积物的分布特征、水化学成分与地貌、土壤盐份、地表水分布之间的关系诸影响因素之后,可认为这些异常不是常规水文地球化学

作用的结果，而是与深部地下水的越流补给和油气影响有关的真异常。

## 2. 任丘油田

任丘油田位于冀中拗陷中部，是新生代地层生油、古生代地层储油的古潜山油田。走向北东，西陡东缓，四个古潜山山头呈雁式排列。西侧以北北东向的任西大断层与饶阳凹陷相接，东侧和南北两端，向下倾没于饶阳凹陷之中。第三纪沉积超覆于雾迷山组硅质白云岩之上，厚约1000米。

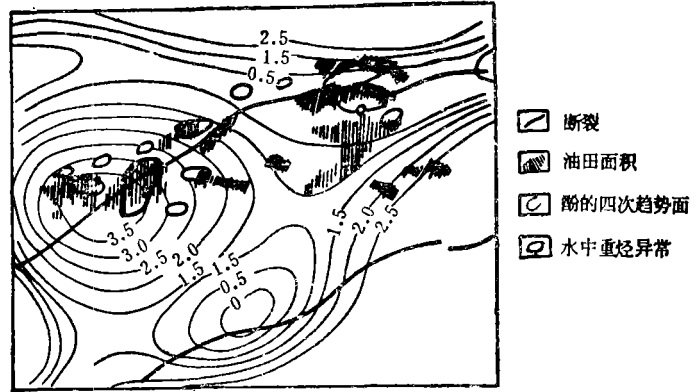


图4 临盘油田潜水有机质分布图

## 为探讨“新生古储”类

型油田水的浅层效应，在研究本区油田水化学成分特征的基础上，选择了在区域上分布比较稳定的第四系中、下更新统含水层组为研究对象，分层采取水样，测定分析。对所取得的分析数据进行数理统计，首先按含油区和非含油区两组进行判别分析，建立判别式，再根据判别函数式所计算的综合值(R)，进行分区。则R的高值点主要为含油边界内的水样点所占有，其错判率只有16%左右。利用多维空间非线性映照技术处理(包括水中可溶气态烃、酚系物、芳烃紫外、荧光等在内的8个指标)，作为观察矢量记入八维空间，以考察已知两类——含油边界内和含油边界外两类点阵的分布关系。耐人寻味的是油田上方的水样点，在所确定的多维空间中相对密集的聚集在一起，彼此之间的距离小于含油边界外的水样点，其群判率只有5%左右。说明含油边界内、外的水化学成分有比较明显的差异，其中水中有有机物质的存在和增高，是确认异常与油气有关的主要标志。

## 3. 红岗油田

红岗油田位于松辽盆地中央拗陷区的西部，是龙虎泡—红岗子阶地南端的一个背斜构造。构造轴向为北北东，除油田西部为一西掉的正断层外，其它部分断层裂隙不甚发育。萨尔图一、二组为主力油层，埋深1150—1230米，其上为明水组气藏，埋深在400米左右。

白垩系油田水矿化度变化范围较大，多在10—40克/升之间，属苏林分类的NaHCO<sub>3</sub>型水。新生界地下水处于积极交替带，矿化度有潜水高于承压水的现象。应用一般的水化学指标揭示含油构造轮廓，探讨油(气、水)的浅层水化学效应时，受污染、盐渍化及表生地球化学作用等因素的影响。但从可溶气态烃趋势分析所揭示的数据信息可看出，所圈定的异常范围和形状，显示了与含油构造相吻合的现象(略向西偏移，图5)，这不能视为一种偶然的巧合。结合本区在地质历史中，长期处于沉积水和淋滤水的平衡带及油田西侧油气纵向运移的通道条件较好的事实，异常中的化学成分并非都是“原生”，而有一部分深层水成分混入。

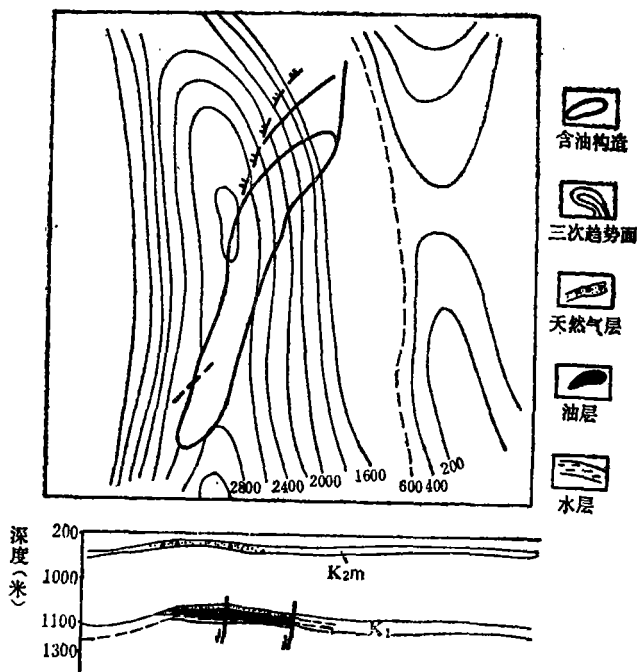


图5 红岗油田潜水中可溶气态烃的三次趋势面图

其次在马家滩油田、魏岗油田、下辽河地区及句容凹陷等，浅层水中也均有一定的水化学异常存在。

### 三、利用地下水有机物质预测含油气构造的实例

本文仅举以下几个实例，来说明地下水有机质指标的实用意义。

#### 1. 河套地区

本区是一个中新代断陷区，经燕山运动成为大型内陆湖盆。相继沉积了下白垩系、第三系及第四系湖相沉积物，地质构造比较复杂，新构造比较活跃，以断裂活动为主，特别是近东西向的断裂系统，具有继承性发展的特点。

我们从区域入手，研究不同层位地下水中可溶气态烃、氧化-还原电位等指标的分布特征。通过长期观测、建立试验场等手段，与其它水化学指标相结合，在临河县人民疙瘩一带圈定了水化学异常区。其中可溶气态烃以组份比较全、重烃含量高、温度系数（ $C_2-C_4/\Sigma C_1-C_4$ ）大为特征，Eh值低，具有油田水的某些特征。事隔数年，经石油工业部钻探，在井深2616—3748米的白垩纪地层中多处发现油气显示。

#### 2. 白音都兰凹陷

位于内蒙古自治区阿巴嘎旗以北，为狭长的椭圆形，呈北东东向延伸。凹陷内部上覆较薄的新生代地层，其下为白垩系下统巴彦花组。经水化学测量后，认为在凹陷的东半部存在着与油气有关的异常区，其中以可溶气态烃和苯、酚为确定异常的重要指标。从

图6看出，指标含量高，重烃及湿度系数也较高，且这个异常点，主要与凹陷东南边界的断裂有关。随后经钻探，在水化学异常范围内发现了油气藏，而在水化学测量确定的非异常区（背景区）即凹陷西部，至今没见油气显示。

### 3. 松辽盆地南部

近年来在松辽盆地南部开展了大面积的水文地球化学测量，着重研究第四系承压水和潜水化学成分的变化规律。在不同的水文地球化学带上选用常见组份、微量元素、有机物质等指标，确定了异常特征（表4），指出有远景的异常带。其中海坨子异常，经钻探证实，获得了工业油流，其它异常有待验证<sup>1)</sup>。

此外，在青海格尔木地区、安徽响导铺地区、内蒙达赖音素木地区等，均有水化学异常显示。

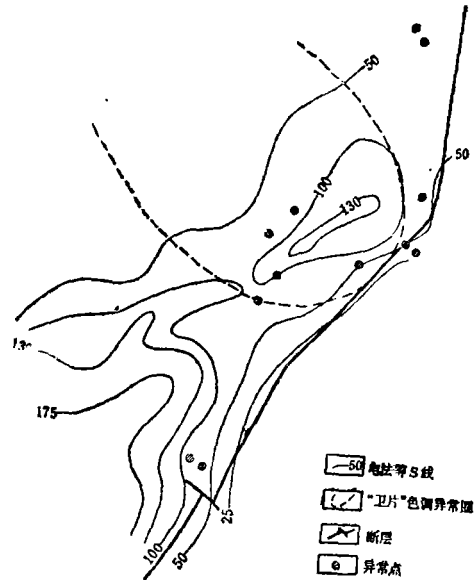


图6 白音都兰凹陷可溶气态烃异常分布图

松辽盆地南部上部水文地球化学分带

表4

| 水文地球化学带 | 水 化 学 特 征 |                        |                           | 地下水动态类型 | 异常特征      |
|---------|-----------|------------------------|---------------------------|---------|-----------|
|         | 矿化度 (克/升) | 微量元素 (ppb)<br>(锶、锂、铜等) | 有机物质                      |         |           |
| 元素迁移带   | 1.2       | 600                    | 可溶气态烃1582微升/升，<br>酚1.5ppb | 渗入—径流   | 弱异常 (带状)  |
| 元素富集带   | 0.7       | 300                    | 可溶气态烃1000微升/升，<br>酚0.8ppb | 渗入—蒸发   | 强异常 (面状)  |
| 元素淋滤带   | 0.5       | 200                    | 可溶气态烃600微升/升，<br>酚0.4ppb  | 径流      | 分散异常 (点状) |

## 四、结 语

油田水含有较丰富的有机物质，并且影响着浅层地下水中有有机物质的含量、组成和结构，在油田上方出现水文地球化学晕。在研究区域水文地质条件的基础上，利用水中有机物质作为找矿指标，预测含油气远景收到了一定的效果。这一研究领域的开拓，不仅具有重要的理论意义，而且可提供寻找隐蔽油气藏的较敏感的指标，具有广阔的发展前景。

(收稿日期，1985年2月7日)

1) 本队，松辽盆地南部石油化探总结报告，1982年。

## 参 考 文 献

- [1] B.A.索柯洛夫, 郑厚安、义和译, 油气运移, 科学出版社, 1959年。
- [2] 傅家谟、史继杨, 石油演化理论与实践, 地球化学, 1975年, 第二期。
- [3] Leo Horvitz, 1972, *Vegefation and Geochemical Prospecting for Retroleum. Exploration Methods and Concepts.*
- [4] 伍大俊, 薄层层析法分离与鉴定水中酚系物, 石油实验地质, 第5卷, 第1期, 1983年。
- [5] 蔡映宝, 地层水中苯系物的色谱分析方法及其石油地质意义, 石油实验地质, 第4卷, 第1期, 1982年。
- [6] 吴德云, 水沥青的分析方法及石油地质意义, 石油实验地质, 第4卷, 第4期, 1982年。
- [7] 刘崇禧, 油气矿床水文地球化学普查, 物探与化探, 第7卷, 第2期, 1983年。

THE APPLICATION OF GEOCHEMICAL  
CHARACTERISTICS OF ORGANIC MATTER FROM  
GROUNDWATER IN PETROLEUM CHEMICAL  
EXPLORATION

Lui Zhongxi

(No. 101 Team of Research Party of Petroleum Geology,  
Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

This paper makes a discussion on the thesis of the composition, structure and distribution of organic matter from groundwater as well as on some topics of geochemistry of oil and natural gas. Therefore, the author has completed sampling, testing and result analysing systematically. It states that the characteristics of content, composition, structure of organic matter from groundwater which associated with oil and natural gas have an essential distiction from those which are regardless of oil and natural gas areas,