

# 油气化探方法最佳组合初探

刘崇禧 汪 怀

(地质矿产部石油化探中心)

筛选油气化探方法的最佳组合,可以充分发挥化探的优点,本文综合不同介质中能提取的各类油气信息及各种方法指示油气的可靠程度等因素提出最佳组合系统,讨论了其应用特点和组合关系,并举出实例说明其实用意义。

油气地球化学普查与勘探(简称油气化探),经过50余年的试验研究,已进入了一个新的历史阶段,步入油气资源普查勘探常规方法的行列,特别是在寻找非构造圈闭油气藏的地区(盆地),该方法展现出广阔的应用前景和优越性。地质学家们开始认识到地质、物探、化探成果相配合,是加快找油气步伐、减少投资、提高钻探成功率及找油气效果的有效途径。

随着科学技术的进展和对油气生成机理认识的深化,国内外地球化学工作者在致力于完善经典化探方法的同时,不断探索新的找油气方法。目前投入生产试验的有十几种化探方法,虽然它们都有其成功的典型实例,但均有一定的局限性,在不同程度上受到一定条件的制约。因此,合理的运用和筛选最优化探方法组合,不仅能最大限度的发挥化探快速、经济、可靠的优点,而且进一步完善了油气化探工作程序,为油气普查勘探提供科学的勘探依据。

本文是在生产实践,尤其是近年来大规模油气化探测量的基础上,结合地球化学场多年的连续观测资料提出的,实践证明,油气化探方法组合的优化系统是可行的,有一定的应用价值与意义。

## 一、几种油气化探方法简介

油气化探方法可根据研究目的层、介质和指标的不同而分类,本文着重介绍实际应用中效果较明显的按指标分类的几种方法。

### 1. 烃类气体法

研究岩石、土壤、海洋(湖、沼)淤泥中烃类气体(固体、吸附及游离烃)及地下水中溶解的烃类气体,如甲烷、乙烷、丙烷及丁烷等。近年来随着色谱(色谱-质谱)分析技术的提高,甲烷的蒸气同系物( $C_5H_{12}$ 以上的组分)开始引入油气化探测量中。此外, $CO_2$ 和 $H_2S$ 等指标也列入烃类气体法,因为它们可以因烃类气体的氧化或生物化学作用而形成。由于烃类气体在油气藏中的浓度很高,具有较高的迁移能力,被视为油气化探的重要方法之一。

## 2. 水文地球化学法

研究天然水（主要是地下水）的化学成分——常量组分、微量组分、有机物质、气体成分、微生物及稀散元素等。水有良好的溶剂，有利于元素在水中富集，故能捕获较多的油气信息。水化学法是油气化探中形成常规程序的方法。

## 3. 生物地球化学法

主要研究气态烃（ $C_1-C_4$ ）氧化菌，其次是液态烃（ $C_5-C_9$ ）氧化菌、芳香烃（苯、甲苯）氧化菌及硫酸菌。

## 4. 岩石（土壤）地球化学法

主要研究岩石（土壤）的化学性质（有机物质的组成和元素含量等）、物理性质（酸性、电阻率、磁性、密度导电率、导热性等）及新生矿物等。

## 5. 沥青法

研究沉积物中沥青的物质成分和赋存特点等。

## 6. 汞测量法

研究沉积物中壤气汞和热释汞的浓度。

## 7. $\Delta C$ 地球化学法

研究油气藏中烃类气体在扩散运移过程中，经细菌氧化生成的 $CO_2$ 与沉积物的阳离子作用生成的特殊碳酸盐。

## 8. 同位素地球化学法

研究沉积物和地下水中甲烷稳定碳同位素；不同成因类型的气体，碳同位素散布范围值有明显的差异。

## 9. 其它方法

如植被地球化学法、放射性（包括放射性同位素）地球化学法、遥感地球化学法等。

# 二、化探方法运用简况

## 1. 国外化探方法运用简况

国外运用的化探方法很多，但在具体运用上有很大差别，主要有两种基本做法：

（1）单一方法的独立运用：地球化学工作者从经济效益出发，用某一化探方法或

指标寻找油气圈闭。如美国运用  $\Delta C$  地球化学法、地下水中苯指标、土壤气累计法等；日本运用地下水中挥发性酚指标、西德运用甲烷碳同位素法等。

(2) 多方法的综合运用：综合运用多种化探方法进行油气化探测量。如苏联强调综合运用烃类气体法、水化学法、沥青法、岩石化学法及生物化学法等五种方法预测油气藏。近年来，西方一些国家也开始注意化探方法的联合测量，如遥感与烃类气体法联合运用，烃类气体法与放射性法联合运用等。

上述两种做法，虽然都能举出预测成功的典型实例，但均存在着一定的缺点。前者相对而言，有快速、经济的优点，但由于油气藏的浅层地球化学效应一般很弱，并受诸多因素的影响，异常变化较大，因此，单一方法或指标所获得的油气信息往往受到限制，降低了化探异常的可靠性。后者，强调了从不同方面提取多维油气信息的技术思路，但是，对各种化探方法不分主次“等量齐观”运用的作法值得商榷。油气对浅层地球化学场的影响和改造，于不同介质中所留下的形迹是有差别的，在化探指标上，有的是油气的直接反映，有的是间接反映，不同化探方法提供的油气信息水平有一定的差异。

## 2. 我国化探方法运用简况

我国油气化探于五十年代从苏联引进的，当时所沿用的方法虽然不少，但基本上是单一方法独立运用。在生产实践中，逐渐认识到化探方法的运用效果是有条件的，为了探讨这些条件，在我国主要含油气盆地和不同类型油气田上进行了研究和总结，探讨不同化探方法的有机结合和相互配合运用，开始向综合油气化探或系列油气化探的方向迈进。但是，在确保最大限度的获得多维油气信息的前提下，化探方法如何组合和配置最为合理、经济，认识是不一致的。

## 三、化探方法组合的基本条件

合理的化探方法组合是在优先考虑经济效益和最大限度、全面地提取油气信息的基础上，应满足以下基本条件：

1. 所选用的方法，能从不同介质（气体、液体、固体）中提取油气信息，一方面起到化探成果互相补充、相互验证的作用；另一方面能较全面地捕获油气在运移过程中于不同介质内保存下来的微弱信息，使化探成果具备多维的立体空间，避免或减少非油气因素对化探成果的影响，有利于剔除假异常与瞬间异常。

2. 在选用的方法中，应有足够数量的油气“诊断性”指标—直接指标，使其在确定与评价异常中起主导作用。前述化探方法，虽然都是建立在油气运移的基础上，但它们的研究对象或着眼点不同，有的方法以检测油气组分为主，有的以检测油气运移过程中的蚀变产物；有的检测适宜油气保存环境；有的检测与油气共生（伴生）的某些组分。显而易见，不同方法预测油气藏的准确性和可信度在很大程度上决定于它们的研究对象。化探方法组合要考虑多种介质条件。

3. 各种化探方法，应基本成熟或趋向成熟，自身的研究程度要高，形成一套科学而

合理的化探系统工程,具备独立进行化探测量的能力,并有一定的勘探成效。尤其是对异常的形态、模式的平面展布规律及其与油气藏的对应关系,已基本查明或掌握。

4.在同一观测点上取得各方法所需要的样品和分析测试数据。

## 四、化探方法组合的优化系统

前已述及,油气化探方法较多,但均有一定的局限性,只能从不同的角度和方面反映部分油气信息。建立化探方法组合的优化系统的目的,在于多层次、多角度、多方面的获得多维油气信息,有效地提高化探预测成功率,为油气普查勘探提供可靠的资料和依据。

作者在实践中,以水文地球化学法为主体,结合调查区实际情况选择运用烃类气体法、碳同位素法、岩石地球化学法及 $\Delta C$ 法,获得良好的地质效果,这是因为:

1.含油气盆地是地壳构造中的一种洼地构造,它是在古湖盆(海盆)的基础上发展起来的。从水文地质观点来讲,含油气盆地是自流水盆地中的一部分,亦就是说,含油气盆地的成生、发展和消亡过程是自流水盆地成生史的一部分。油气的生、运、聚、散都是在水的渗入下进行的,古湖盆中的水体由地表水转变为沉积作用水(软泥水)后,伴随着油气的生成而形成油田水。由于埋藏在封闭的还原环境里与油气长期共存,元素之间相互交换的结果使水化学成分具有与一般地下水迥然不同的组分与特征。含油气盆地与自流水盆地、石油(天然气)与地下水化学成分之间的天然内在联系是利用水化学成分预测油气藏的重要条件。

2.众所周知,水具有许多异常特性,如生成热、沸点、热传导、热溶、溶化热、汽化热及热膨胀高,粘度小,流动性大,以及表面能力和介电常数大的特点。并且在地壳内多以液态巨型分子形式存在,成为很强的溶剂,不仅能溶解许多固体物质,也能溶解某些液态和气体物质,因此在地壳中的化学元素都不同程度地溶解于水中,并与水一起运动。目前,在地下水中已发现门捷列耶夫周期表所列93种天然元素中的近80种(沈照理等,1985)。水的地球化学特性为各种元素和化合物在水中溶解、富集创造了条件,形成了稳定性较高的浓度场。特别是在油气扩散—对流迁移条件较好的地区,深部烃源在连续不断向上运移的过程中而被水所捕获,使浅层水化学成分的异常稳定。如济阳拗陷临盘油田,经多年观测同一取样点的水化学成分基本一致(表1),并保持着与非油气地区不同的特点。南阳凹陷魏岗油田,开采前潜水中有明显的异常显示,油田开采10年后,水化学异常不仅存在,而且某些指标的强度和衬度有增高的趋势。

3.地下水(尤其是承压水)一般都有良好的相对隔水层作为盖层,一方面阻止溶解于水中的石油和天然气组分大规模的向大气中扩散,另一方面不易受到大气降水的淋滤和冲刷作用的影响,致使地下水化学成分中保留着较多的油气信息。

模拟试验表明,大气降水的淋滤、冲刷及表生地球化学的氧化作用是比较强烈的,贮存在密闭容器里的沉积物(粉碎为80—100目),当缓慢通进甲烷气体7天后,沉积物中烃的含量由 $500\mu\text{l}/\text{kg}$ 增加至 $48000\mu\text{l}/\text{kg}$ ,然后的样品暴露在大氣中,烃损失量如表2所示。用流速大约为 $0.5—0.8\text{m}/\text{D}$ 的蒸馏水冲刷样品,五天后沉积物中烃的含量降低至

表1 不同年份同一井水分析成果对比表

编号	年份	水化学成分(毫克当量/升)					阴离子顺序
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	矿化度	
41	1965	12.31	23.95	23.16	14.15	90.62	Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	1970	11.29	24.58	25.74	11.63	92.76	" "
	1972	11.32	20.35	24.30	12.97	83.18	" "
2	1965	24.15	41.38	40.25	15.28	125.38	" "
	1970	23.13	40.26	46.80	13.76	139.00	" "
	1972	26.34	45.34	52.99	12.41	144.78	" "
113	1965	6.10	4.00	3.92	8.54	30.00	HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
	1970	5.45	3.65	3.76	9.01	27.82	" "
	1972	6.05	3.69	3.80	8.90	32.78	" "
13	1965	4.45	11.00	9.25	9.65	49.32	" "
	1970	5.28	11.29	8.78	12.08	57.20	" "
	1972	4.20	12.70	11.73	11.73	51.04	" "

14200 $\mu$ l/kg左右。而向含水层中注入甲烷气体,在0.5m粘土复盖的条件下,仍用上述蒸馏水冲刷,五天后烃类仅损失1—4%。在我国东部地下水蒸发极限深度一般在5—8m之间,可见利用一定埋藏深度的地下水化学成分预测油气藏,比以研究表层沉积物为主的其它化探方法较为有利。

表2 烃类气体模拟试验

天数	1	2	3	4
烃含量(ul/kg)	19400	3100	1200	1150

4.石油与天然气的化学成分大部分都能溶解于水,而且某些组分溶解度很高,因此油气信息在地下水中集中出现的机率比其它化探方法要高,表现在水化学找油气指标上多组分出现异常,吻合度高,异常强度大,可靠性高。另外,地下水是一个极其活跃的载体,在地质构造条件的控制下易于迁移,在浅层形成异常。

在我国东部进行水化学找油测量,水样点的密度基本能满足1:20万—1:10万比例尺精度的要求。如进行大比例尺测量,人工揭露浅层地下水,在经济上是合算的。

诚然,水化学找油法只是从液体一个方面提取油气信息,加上地下水的水平径流强度等多种因素的影响,异常易出现偏移现象。为了获得更可靠的油气信息,提高解释水平和预测水平,需要与其它化探方法相互配合。化探成果解释是“地质工艺品”,解释水平的高低,除与解释人员的技术水平和掌握地质资料的丰富程度有关外,化探方法的

最佳组合与综合运用是重要的条件。

水化学法与烃类气体法组合运用能够收到良好地预测效果,因烃类是油气的主要组分,它扩散能力强,迁移性能好,易在浅层形成较强的地球化学异常。但烃类异常范围往往较大,并易受生物地球化学作用的影响而增加其含量。在实际测量工作中,一般使水化学测量点的采样层位在下,烃类气体采样层位在上,构成上下叠置的立体空间。该两种化探方法的组合运用,可以相互验证,取长补短,在查清两者之间平面上的展布规律和关系之后,可为正确判断油气聚集的有利地区提供较为可靠的依据。为查明化探异常的成因类型,可借用甲烷稳定碳同位素法。浅层化探异常的形成受诸多因素的干扰,因此,异常的石油地质意义和可靠程度的判断带有一定的风险性,特别是对弱异常性质的判断更是如此,在这方面甲烷碳同位素法可起到决定性的作用。同时,沿着某一特定方向延伸的同位素富集带,往往是深层流体向上扩散一对流的通道。 $\Delta C$ 法的综合运用从一个侧面揭示了水化学法和烃类气体法的内在联系,能够阐明某些指标间的演变关系。在综合油气化探中有一定的应用前景。沉积物的紫外吸收光谱和荧光光谱法,实际上是水中芳烃紫外吸收光谱和荧光光谱的外延方法,二者在确定异常和提取油气信息水平上是一致的,该方法还可补充水化学测量采样密度不够(均)的缺陷。

应当指出,油气化探方法最佳组合应当是在认真研究区域地质和自然地理条件的基础上,从经济效益和预测效果出发,充分发挥各化探方法的优点。显而易见,那种单纯强调方法越多越好的所谓综合(系列)化探是不可取的。

## 五、化探方法最佳组合实践

### 1. 双河油田

双河油田可作为已知油田的实例,它位于泌阳凹陷水下冲积扇的西部,构造向西抬起成为单斜,同时砂岩也向西变薄尖灭,形成岩性尖灭性油气藏。按1:20万比例尺精度进行油气化探测量,所运用的方法有水化学法、烃类气体法、甲烷碳同位素法和 $\Delta C$ 法。

将水化学法中的27个指标用电子计算机进行统计处理,求得I级指标有紫外222nm(主要反映水中双环芳烃)、紫外254—258nm(主要反映水中单环芳烃)、荧光405nm(主要反映水中稠环芳烃)及可溶气态烃。II级指标有酚、苯。III级指标有常量组分和Li、Ni、Mn、Cu。对其分别进行定量评价指数计算,在平面上圈定的水化学异常如图1所示,异常基本上反映地下含油气圈闭,但明显向北偏移。烃类气体法主要运用了甲

烷及同系物、特征比( $\frac{iC_4 + nC_4 + C_5}{C_3}$ )、湿度比( $\frac{C_2 + C_3 + C_4 + C_5}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5} \times 100$ )、

平衡比( $\frac{C_1 + C_2}{C_3 + C_4 + C_5}$ )等指标。利用均值加标准偏差和各种比值内在联系的方法,在

平面上所圈定的异常,除分布在含油圈闭上外,在圈闭外围的一定距离内也显示异常。 $\Delta C$ 法的异常零星的分布在上述两种方法的异常内。

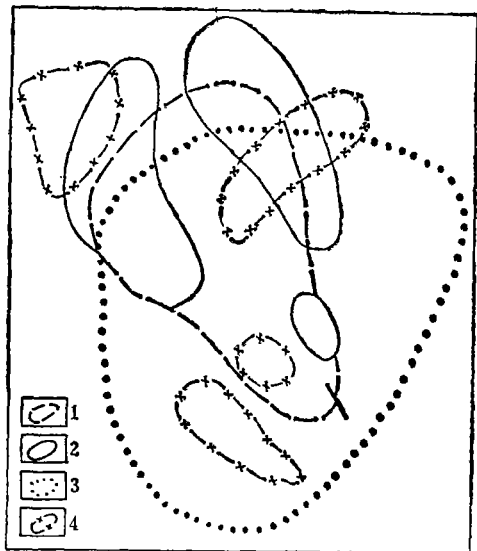


图1 双河油田油气化探异常图

1.油田 2.水化学异常 3.烃类气体异常 4.ΔC异常

运用的化探方法有水化学法、烃类气体法和甲烷碳同位素法。各方法的指标参数如表3所示。

表3 化探指标参数表

方法	指标	强度	衬度	面积 (km <sup>2</sup> )
水化学法	紫外254—258nm	61.80E×1000	2.91	44.20
	紫外222nm	1673.00E×1000	29.51	
	荧光405nm	58.33 I <sub>0</sub>	3.26	
	可溶烃	6.13 μl/l	1.28	
烃类气体法	丙烷	6.24 μl/kg	1.94	85.25
	重烃	22.86 μl/kg	1.79	
	乙烷	16.94 μl/kg	1.86	
	重烃/甲烷	0.15	15.02	
δ <sup>13</sup> C <sub>1</sub> 法		-36~-42‰ PDB (PDB标准)		

水化学法在平面上圈定的异常呈环状，其成因模式如图2所示。它的形成一方面决定于构造圈闭类型，主要出现在背斜构造的上方，另一方面决定于新构造运动的性质，即继承性活动使现今地形仍处于相对较高的位置，当深部烃源或地下水向上扩散一对流迁移时，由于现今地形较高，当烃类接近地表时，受大气降水渗入等因素影响，向四周作横向运动，使异常中心部位水化学成分的浓度低于周边，构成“卫星式”异常群(组)。水化学异常的圈闭面积为44余平方公里，而烃类气体法异常圈定的面积(85km<sup>2</sup>)远远大于水化学异常。综合两种化探方法异常，结合环状异常模式的有利勘探部位在中心的特

从上述实例看出，不同油气化探方法所圈定的异常在平面上不尽一致，与地下含油构造也不完全吻合。在考虑研究目的层中地下水的运动方向(自东南向西北)之后，结合烃类气体浓度和ΔC法异常出现特点，可以在浅层比较准确的圈定地下含油气构造的具体位置，在综合异常内，水中δ<sup>13</sup>C<sub>1</sub>值，属于热解成因气的范畴。

### 2.石槽—莲池异常

位于周口盆地沈丘凹陷，本区地质构造复杂，已在下第三系发现次生工业油藏，中生界获得油流，古生界见天然气，说明该盆地具有较丰富的油气资源和良好的勘探远景。石槽—莲池化探异常，是经1:20万比例尺油气化探测量后确定的，

点，最后圈定综合油气化探异常面积只有24.65km<sup>2</sup>。在该异常内 $\delta^{13}C_1$ 值的变化幅度为-36--42‰。这个异常位于箕状凹陷的斜坡上，北临生油凹陷，经地震勘探为一深埋的良好圈闭，其石油地质意义已引起人们的重视。

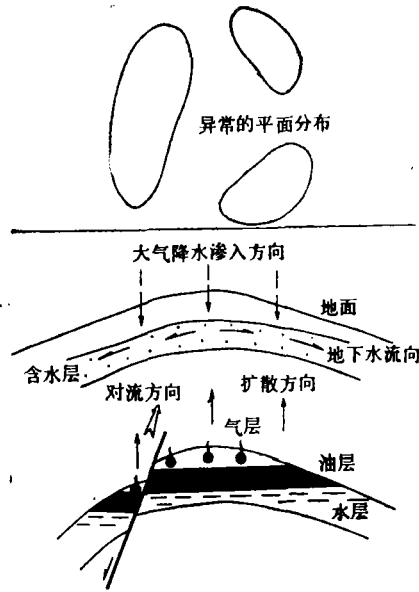


图2 环状异常模式图

## 六、结 语

油气化探方法最佳组合的研究，不仅进一步完善了油气化探方法，而且提高了油气化探预测成功率，节约勘探资金，提高了经济效益。使化探在油气普查勘探中发挥更大的作用。

## 参 考 文 献

〔1〕沈照理等，1985年，水文地质学，科学出版社。



# APPROACHES ON THE OPTIMUM ORGANIZATION OF THE GEOCHEMICAL EXPLORATIONS FOR PETROLEUM

Liu Congxi

Wang Huai

( Research Center of Petroleum Geochemical Exploration,  
Ministry of Geology and Mineral Resources )

## Abstract

In view of the limitations of the individual methods used in oil/gas geochemical explorations, the optimization of organization of the various methods would bring the advantages of the geochemical exploration into full play. The main methods of the geochemical exploration and the practices at home and abroad are introduced in this paper. Based on the available informations and the reliabilities of the different oil/gas indicators, it is suggested that the optimum organization of geochemical methods should take the hydro-geochemistry method as the main body, supported by gaseous hydrocarbon method, methane isotopic method,  $\Delta C$  method, ultraviolet absorption spectroscopy and fluorescence spectroscopy. Finally, the applications of the above methods and the relationships between them are also discussed with examples.