

化探在我国石油普查勘探中的应用与成就

程志纯

(地质矿产部石油地质海洋地质局培训化探中心)



一、我国石油化探工作现状

1929年,苏联的 B.A.索科洛夫提出了普查石油和天然气的气体测量法,德国的 G.劳伯梅采用地表游离壤中气里的饱和烃总量和甲烷含量探测油气田,从而开拓了油气田的地球化学勘探法(简称石油化探)。石油化探曾一度颇受重视,人们陆续提出了气测井、岩心气测法、发光沥青法、水化学法、细菌法及与烃类物质有关的土壤盐法、重金属微量元素法、放射性法等。但因理论和方法尚不完善,采样和分析设备质量较差,石油化探工作者不注意与地质和物探结合,加之当时油气普查正处在背斜找油阶段,偏重地质、物探,因此,到50年代,其声誉下降,发展处于低潮。60年代后期,随着分析技术的提高,油气化探有了长足的进展,取得了良好的找油效果。当前油气勘探难度越来越大,非构造油气藏勘探工作在加强,高价的地震方法在非背斜油气藏的勘探上遇到了困难,成本明显增高。在此形势下,油气化探的研究工作重新崛起。

根据地下油气向上迁移的原理,从空气、水体、土壤、岩心中检测油气的运移迹象,研究石油在地表、地下的衍生物,从而推断下伏油气藏的存在,圈定油气富集地段,指出油气的存在层段和性质,这就是石油化探的目的。运用地球化学法寻找油气藏是一个比较复杂的问题,它涉及到石油的成因、油气的运移、油气运移过程中成分的质变分异以及近代沉积中有机质的分类分布问题。因此,要解决石油化探问题,需要排除各种干扰因素,进行综合分析。

我国油气化探事业的开创初期,翁文波教授(1954)在《谈油、气、水》一文中和顾功叙教授(1955)在《应用地球物理方法的经验》一文中都曾分别对气体测量、荧光测量、水化学测量进行了讲解。谢学锦、李善芳、俞志汉、张柏年、李金祥、王成义、黄醒汉、石毓理、刘方槐等同志,分别翻译出版了第一批石油化探专著。陆伟文、石毓理、何炳俊、郑俊懋同志向石油专业的学生系统地传授了石油化探专业知识,为我

国开展石油化探工作奠定了基础。

地质部从1955年开始进行大规模石油普查,一开始就非常重视石油化探工作。物探局组织了石油化探专业研究队,在关成烈、谢学锦同志主持下,分别在华北平原、新疆克拉玛依等地进行了气测法和发光沥青的生产研究工作。当时的西北地质局633队在关士聪工程师的指导下成立了水文队,运用水化学法、沥青法在六盘山地区开展了大面积的研究工作。631、632队同时在新疆、柴达木开展了荧光找油。之后,一普、二普、三普先后都成立了石油化探的专门研究队伍。这几个普查队先后同北京地质学院、长春地质学院、中国科学院微生物所、中国科学院黑龙江分院、东北农学院、东北林土所协作,进行过微生物、放射性、沥青法、水化学法找油的研究工作,先后在松辽盆地、黄骅坳陷、鄂尔多斯盆地进行过区域性的化探工作。物探局系统的中原、华东、西北、东北物探队分别建立了放射性微量元素找油的专业队,开展石油化探试验研究。1964年地质部把石油局各普查大队化探分队、物探局671队(各物探队放射队组合的)合并建成地质部唯一的石油化探专业研究队101队,继续坚持石油化探的研究工作。

1976年在塞风同志的主持下,在安徽黄山召开了全国第一届油气化探工作座谈会,孙大光同志对石油化探的研究方向作了指示,参加会议的专家对我国石油化探的成果进行了交流,总结了正反两方面的经验。会议纪要明确指出:水化学法、土壤盐法从方法研究阶段转入生产实验阶段。从此,石油化探投入了大面积的生产实验,重新出现了一个振兴时期。“六五”和“七五”期间,油气化探的研究任务列入国家重点科技攻关课题,在我国一些含油气远景区进行了大面积生产研究,提供了预测性成果,引进了一些新技术,探索开发了一些新的方法和指标,如液相色谱、全烃色谱、紫外、荧光、水中溶解烃、甲烷碳同位素、热释碳酸盐(ΔC)、汞测量、氮氢测量以及遥感化探等。1987年7月的第二届全国油气化探学术会进一步交流了近期的成果。在这十几年内,地面化探向综合方向发展,井下化探普遍受到了重视,取得了良好的效果。实践证明,石油化探适用于油气普查勘探的各个阶段,所圈定的异常区(带)反映了油气聚集的有利地区,从而可以缩小勘探靶区,对于勘查选区具有较明显的作用,所圈定的局部异常结合地质、物探资料可提供勘查有利部位。石油化探学术会之后,在刘光鼎同志主持和关士聪莅临指导下,召开了石油地质海洋地质局石油化探工作座谈会,代表们就石油化探列为油气勘探系列的必要性、可行性,油气化探在油气勘查各阶段中的目的任务以及组织、措施等问题,展开了热烈讨论,并获得了一致的认识。油气化探作为油气勘查的综合勘探方法之一,列入油气勘探系列已经成熟。

石油部非常重视石油化探工作。1988年3月,在总地质师阎敦实同志主持下,召开了全国石油化探工作会议,对今后如何开展石油化探工作指出了方向,作了全面布置:

(1)在新区有计划地进行化探概查,了解区域性的含油气远景;(2)开展中等规模和大面积的化探扫描;(3)在三维地震成熟区寻找多种类型的隐蔽油气藏,建立三维地球化学模型;(4)建立单井地球化学剖面,系统分析烃类物质含量,避免或减少轻质油和气层的漏失。

二、石油化探方法的进展与评述

石油化探方法种类繁多，当前野外采集、分析化验、数据处理、地质解释还没有系统地规格化和标准化，因地制宜，随机性大。

(一) 烃气测量地球化学法

依据油气扩散原理，在地表土壤和岩石中检测烃类气体的含量变化规律和组合关系来圈定地面化探异常，指出下伏油气藏存在的烃气测量法，历来被化探者所重视。气体的制备多样，有泥浆气测、罐顶气测、真空脱气、热脱气和酸解气等。经过多年来的实验，人们多选用罐顶气测和酸解气两种方法来进行研究和生产。沉积物中烃类气体的成因是多样的，地表干扰因素也较多，因此，该方法过去不太理想。最近几年随着高精度、高灵敏度气相色谱技术的应用，数据处理技术的改进，各类不同地质体中烃类气体组合模式的建立，开展了大面积的工作量，进行综合解释，烃气测量法有了进展，能够捕获地下油气的信息和预测油气远景。

钻井过程中的气测工作，由于深井泥浆比重大，加之有机泥浆的干扰，效果不够理想。为此，开展井下烃类气体全方法检测，进行罐顶气测和岩心岩屑酸解烃配合研究是非常必要的。罐顶气测解决地层中流动相的含量，酸解烃阐明生油气的能力或潜力。灰岩有机质含量极微，生油问题一直是个大难题，深部红色地层的含油气性怎么检测，烃类气测在一定程度上有助于上述问题的解决。把气体成分组合模式、岩石性质、气体同位素资料结合起来进行研究，能对油气运移、演化程度提供信息，对于判断储层很有参考价值。最近我们用J.H.Woworth提出的特征比 ($Ch = \frac{iC_4 + nC_4 + C_5}{C_3}$)、平衡比 ($Bh = \frac{C_1 + C_2}{C_3 + iC_4 + nC_4 + C_5}$)、湿度比 ($Wh = \frac{C_2 + C_3 + \dots + C_5}{C_1 + C_2 + \dots + C_5} \times 100$)，来判断地下岩心岩屑的油气特征，有一定的规律，利用气体特征能够判别地下油气的性质(表1)。

表1 根据吸附烃判别地层的油气特征

地 层	Wh	Bh	Ch	C_1/C_2+C_3	判 定
登娄库组	5.39	67.07	0.35	20.02	天 然 气
侏 罗 系	7.95	29.82	0.45	13.25	天 然 气
	51.58	3.85	0.42	1.07	油
	11.95	24.32	0.58	8.38	与油有关的气
	3.91	148.35	0.30	25.54	干气
	0.37	665.5	0.40	308.79	干气
古 生 界	0.37	665.5	0.40	308.79	干气
侵 入 体	25.74	7.00	0.49	3.42	油

应当指出的是，气测法由于脱气条件不同，解析量有异，土壤中的烃类气体含量和碳酸盐含量成正相关，几乎所有的土壤样中均能检测出烃类气体，而且甲、乙、丙、丁烷的含量多同步增减，以及样品的保存和脱气条件不同而引起的甲烷碳同位素分馏现

象, 还需继续完善和深入研究。

(二) 水化学法测量

由于地下水与油气生成运移、聚集有着密切的联系, 因此, 石油地质工作者非常重视水化学的研究工作。水化学法在我国开始是以测定水中的盐类成分为基础。利用盐分通性(水型、水组、亚组)来评价含油远景的方法, 在我国是不理想的, 在很大程度上是偶然的现象。氯、溴、碘、有机卤素、环烷酸、铵, 报道很多, 但还没有取得突破性的进展, 处在实验研究阶段。油田水常量离子的组合, 在我国各不同构造体系中有不同的地质规律。在膏盐和生油层相互沉积的箕状断陷中, SO_4^{2-} 离子的富集地段反映油气的存在, 如潜江盆地。在白云岩、苏打和油源岩相互沉积的凹陷中, SO_4^{2-} 含量极微, 水中以 NaCl 和 NaHCO_3 为主的区域油气富集, 如南阳、泌阳凹陷。在矿化度相对不太高的松辽盆地, HCO_3^- 离子富集区反映了油气的存在。

在石油化探面积测量中, 水化学勘探的盐分通性和矿化度仅反映地球化学的区域背景景观及地貌第四纪水文条件。在柴达木盆地诺木河地区进行水化学测量表明, 在靠近南部山区供给水区多为低矿化度的 Na_2SO_4 型水, 向北到盐湖过渡区为中矿化度的 MgCl_2 型水, 一般到达霍布逊湖区为高矿化度的 CaCl_2 型水。渭河盆地南北黄土高原为低矿化度的 NaHCO_3 型水或 Na_2SO_4 型水, 愈向盆地中心矿化度愈高, 过渡成高矿化度的 MgCl_2 型水, 地面普遍盐渍化。近几年来引进开展了水中有机组分和水溶解烃类气体的测试研究, 水化学法有了较大的进展, 水中的有机成分溶解气能够反映出地下油气信息。水中酚、苯、甲烷及紫外、荧光检测在已知区都取得了良好的效果(图1, 2)。水化学有机组分面积测量在松辽南部、泌阳凹陷、周口盆地均获得了理想的异常, 为扩大油区、缩小勘探靶区提供了有意义的综合解释化探资料。

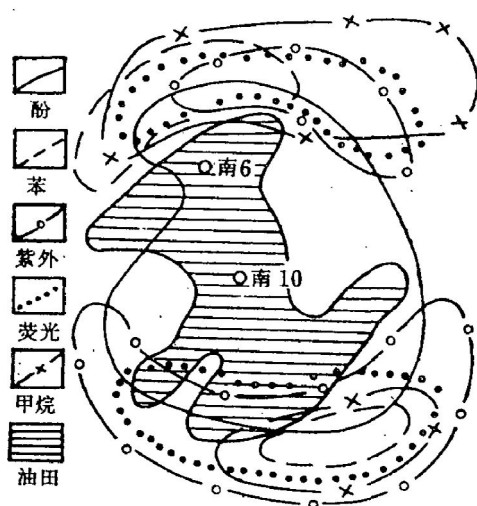


图1 魏岗油田水化学异常图

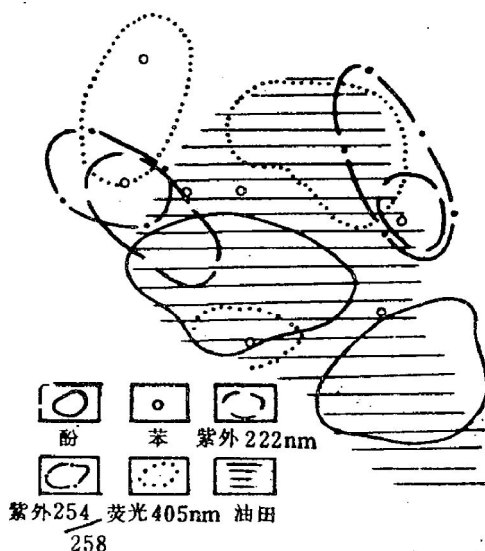


图2 双河油田上方油气化探异常模式图

通过对水中溶解烃的甲烷碳稳定同位素的研究, 用地下地面不同成因的甲烷碳同位素分析数据建立了判别值, 从而提高了石油化探的解释水平。

把油田水特征与构造、沉积相、生油地球化学、古水文的研究结合起来, 对于探索

不同类型的成油理论和模式很有必要。不同的构造格局对油田水、原油性质有一定的控制作用。我国东部中生代大体有五个以上的组合模式，最主要的为：

1. 海侵：半咸水—咸水为主的沉积膏盐的生油岩组合模式；
2. 陆相：苏打水为主的沉积白云岩碱的生油岩组合模式；
2. 陆相：淡水为主的沉积煤、油页岩的生油岩组合模式。

不同的组合模式有不同的有机地球化学特点：前者正构烷偶碳，异构烷植烷优势，中者高蜡原油，后者正构烷奇碳，异构烷姥鲛烷优势。

(三) 有机地球化学勘探法(沥青法和KV技术)

有机地球化学勘探法主要是测定岩石、土壤中分散微量的石油物质以及所产生衍生物的性质和含量，从而推断下伏地层中油气藏的存在。历年来研究和开展的方法有：沥青法、发光沥青法、全烃色谱法、红外(芳烃结构分布指数)、紫外、荧光光谱法及KV技术。50年代我国就已普遍应用沥青法、发光沥青法进行油气苗的鉴别和土壤的石油化探普查，多年的实践表明对于高含量的油苗露头 and 岩石中的有机质检测是有效的，但在土壤化探面积测量的研究中没有取得理想的结果而停止了实验。之后，开展了土壤氯仿抽提物中的正构烷烃色谱分析和芳烃的红外分析，研究结果表明正构烷烃多为高碳部分的奇碳优势，是现代沉积物中正构烷烃的特点，很少发现热解烷烃色谱图，芳烃部分污染严重，进展不大。

最近十年列入的几项新技术是紫外吸收、荧光光谱和三维全扫描荧光光谱。由于排除了污染，选用高纯度正己烷冷抽提才有了明显的进展。紫外吸收光谱法是一种复合光谱，是物质分子中介电子跃迁而引起，其特点是只有大 π 键而产生共轭效应的物质存在特征的吸收谱带，在松辽的研究中取得了204nm、245—260nm三个有意义的紫外吸收峰段，根据吸附度所圈出的异常与油气符合较好。

研究原油的荧光光谱分析，发现有两个主要的荧光发射峰，油田附近地表处的土壤及沉积物所产生的荧光光谱与原油荧光光谱的类型很相似(图3)，于是产生了荧光光谱法找油。荧光是一种分子受到激发光之后而发射出被激发光波波长的一种光，石油中发荧光的物质主要是芳香烃。近来我们先后在松辽南、南阳、泌阳凹陷、塔里木、四川等地的水、土化探中采用了荧光光谱法，取得了较好的成果，说明荧光光谱法是一个灵敏、快速的可以预测油气的好方法。

三维全扫描荧光光谱法是在荧光光谱法的基础上发展的一种新化探法，用荧光强度比值 R_1 ($\frac{\text{荧光强度/发射波长}}{\text{荧光强度/激发波长}}$) 和荧光强度两个参数来评价预测油气远景和有机质的类型。

三维全扫描荧光光谱法在我国已开始进行实验，预计不久的将来会有较大的突破。

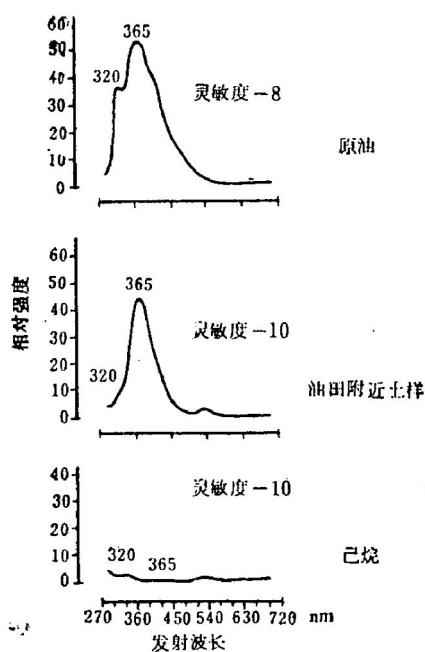


图3 荧光光谱

色-质谱指纹技术是由样品收集、分析及数据处理的完整系统所组成,收集样品采用了活性炭累计吸附而不同于其它化探的瞬时取样手段。当前我国开展的有热解-色谱(Py-GC)和热解-质谱(Py-MS)两个系列在进行研究,现活性炭吸附丝在我国已经研究成功。地矿部华东石油地质局地质大队在苏北的化探面积测量中取得了良好的效果。该方法取得的指纹色谱图和质谱棒图信息量非常多。如何排除污染及第四纪干扰,从中提取出与石油有关的数据处理系统还需继续开发。

(四) 测汞找油方法

汞蒸气在金属矿产地球化学勘探中的应用已被人们有所了解,然而作为油气田地球化学勘探方法应用,却是一个新课题。

近年来层控汞的沉积理论有所发展,汞有生汞层、储汞层,而且和石油的生成条件有一定的相关性。贵州的汞和沥青同受构造控制,都是层控矿床。实验资料表明,煤、石油和天然气中有比较高的汞含量。世界原油含汞平均值达 $1000\mu\text{g}/\text{kg}$,高于汞的克拉克值12.5倍。1982年涂修元、吴学明在四川盆地对16个构造不同时代的天然气进行了系统的测汞工作,得出了有意义的结论:①汞与天然气 C_2 以上的重烃有显著的相关性;②天然气中汞的含量变化与天然气的演化变质阶段具有明显的关系;③含煤地层天然气层中的汞相对于其它产层更为富集,汞可作为煤成气的指标之一。汞有两个化学重要性质,高电离势和挥发性。生油岩中有机质向石油转化时,汞还原释出,随着油气移聚而富聚到储集层。由于汞有较强的挥发能力,在地下的相对高温、高压下,能够穿透水层和油层不断向低压部位蒸发,在地表形成异常,因此测汞法给石油化探提供了理论依据。

近几年来我们在江汉王场、泌阳凹陷、南松辽以及华北柳泉等油气田进行了试验研究,取得了一定的效果。由于野外直接测汞受到土壤湿度及气温的干扰,我们近期又进行了室内热释汞的方法实验,得到了较为稳定的效果。鉴于汞与油气等有机矿床有一定的成因关系,又能区分煤成气油成气,并能在地表形成异常,因此测汞找油是值得重视的方法。

(五) 土壤热解碳酸盐(ΔC)和甲烷稳定碳同位素法

近几年来随着分析手段的改进和应用,我们把 ΔC 法和甲烷碳同位素法引入石油化探,结合已知区和未知区土样进行了上述两方法的室内分析攻关和分析流程的建立。

我们对热解碳酸盐进行了一系列的研究和实验。对各种无机碳酸盐的分解温度、样品的粒度、氧化时间、 ΔC 最佳分解温度、分解时间、测量范围、精密度等进行了条件选择。实验证明在地表土壤中,在 $500-600^\circ\text{C}$ 温区内存在着热释 CO_2 异常。在分布上与已知区含油气部位有一定的关系。

可以认为 ΔC 异常与地下油气藏有一定的内在联系。质谱技术的引进,发现甲烷的 ^{13}C 同位素的含量与母源物质成因和成熟度有一定的相关关系。甲烷的碳同位素比值可用来判断母源物质的类型、成熟度和甲烷的成因,是区分次生烃和自生烃、现代烃和古老烃的有力手段。为此,我们进行了真空度和抽真空最佳功率、甲烷与空气、二氧化碳分离、制样最佳条件、准确度、精密度与进量关系等一系列试验。实验表明甲烷进样量在 $30\mu\text{L}$ 以上标准偏差小于1%, $30\mu\text{L}$ 到 $10\mu\text{L}$ 仍能满足地质要求。当前在已知区和未知区

的应用表明：水中烃、岩心烃能够提供出可靠的数据，但地表土壤中的同位素分析鉴定前气体分离工作不太理想，还需继续探索。

过去由于分析鉴定技术落后而暂停下来的微生物法、放射法，随着新技术的发展，有继续研究的必要。近地面大气测量和遥感石油化探法，随着传感技术的问世，正在改变着石油化探的面貌，引起了广泛重视。

三、石油化探在各普查勘探阶段中的作用

多年来的经验说明，石油化探在油气勘探的各个阶段均可发挥独特的作用，都有相应的工作可做。石油化探是由下列三个方面组成的，它们的工作内容和任务是：

1. 遥感-化探油气预测系统：遥感研究立足于全盆地或二级构造单元，为石油化探面积测量提供选区依据。经过遥感图象纹理特征（线性密度，交叉点的密度，长度主方向角）和遥感不同波段数据特征与石油化探数据对照研究，明确继承性构造的线性密集区与油气的关系。

2. 石油化探的地表面积测量：进行化验分析，建立油气化探数据库预测系统和专家系统，经过石油化探数据处理，圈定石油化探异常，预测含油区块，为石油物探缩小靶区，结合地质、物探资料，为钻探选点提供依据。

3. 油气信息的井下化探检测：对钻井过程中的岩心、岩屑、泥浆进行全方位的、以重点研究储集层为目的的油气检测，提供油气运移聚集迹象，确定含油气层，预测油气的性质及演化程度，尤其是红色地层和演化程度较高、有机质含量极微的地层，开展酸解烃和紫外、荧光、三维检查更为需要。

石油化探应当和地质、物探资料综合解释，强调多方法、多指标的综合测量。考虑到不同测量手段的实际可行性和可信度，建议石油化探工作分四个阶段进行。

1. 区域概查阶段：垂直主要构造单元走向，进行化探路线调查，研究浅钻或露头岩样及水样、土样，路线的测网和密度决定于地形条件和构造的大小，编制区域性小比例尺（1：50万）或大剖面测量的地球化学预测图。

2. 远景区普查阶段：进行1：20万或1：10万的石油化探面积测量及参数井的井下地球化学检查，确定远景区内化探指标的趋势变化及异常的平面分布，划分含油气的有利地段。

3. 油气区详查阶段：进行1：5万的石油化探面积测量，综合地质、物探、井下化探资料确定油气的存在，提出生产井的布置意见。

4. 油气田勘探阶段：进行1：1万的石油化探面积测量和深井化探的全方位检测，根据石油化探的性质、组合关系及地下三维化探模式的推断，为扩大含油面积、确定流体性质及产层层位提出地质依据。

四、结 束 语

石油化探的应用前景是远大的。作为一种快速、廉价、有效的勘探手段，具有很大

的吸引力。当前市场竞争十分激烈,方法不易优选。由于石油化探方法多,种类杂,怎样结合我国各地的实际地质、地理、地貌情况优化精选,很有必要。当前开展石油化探工程,在我国还没有标准化、规程化的章程可循,加之石油化探的基础理论不太完善,解释异常的随机性大,因此,要迅速提高我国石油化探的成功率和研究水平,加强石油化探的专题研究是非常重要的和紧迫的。去粗取精,去伪存真,方法甄别很有必要。石油化探受多种因素的制约和影响,过多地强调综合异常的叠加配制,忽略单一方法的分析精度和与油气内在关系的研究,可能会出现事与愿违的局面。石油化探应当和地质、物探资料综合解释,组织非地震的物化联测,紧跟找油形势做大面积的普查工作,结合生产实践边研究、边生产,创出新路子,到沙漠、草原去,到海域去,寻找新的油气资源。我们相信,随着科学技术的进步,地球化学勘探水平的提高,新的石油化探方法,还会涌现出来,在今后的油气勘探中,它将会起到更重要的作用。

参 考 文 献

- [1] 朱桂海, 1987, 石油实验地质, 第9卷, 第3期。