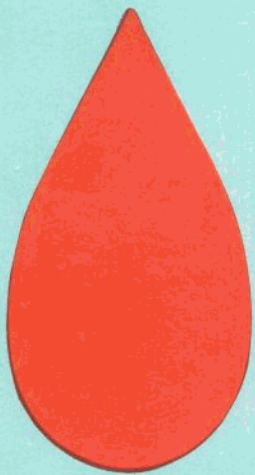


WUHAN YUJIASHAN

石油天然气 地球化学勘探

阮天健 费 琪 编著

中国地质大学出版社



SHIYOU TIANRANQI DIQIUHUA XUE KAN TAN
SHIYOU TIANRANQI DIQIUHUA XUE KAN TAN

SHIYOU TIANRANQI DIQIUHUA XUE KAN TAN
SHIYOU TIANRANQI DIQIUHUA XUE KAN TAN

中国地质大学出版社

前 言

油气地球化学勘探近年来在我国得到了迅速发展，但缺乏一本系统阐述其原理、方法、技术与综合应用的书籍。我们根据多年的教学经验、生产实践与研究成果，参考了国内外的有关文献，综合写成了本书，以弥补这方面的空缺。本书内容的选择考虑了教学的需要，将有关烃类的其本知识择要加以介绍，同时也照顾了各种方法的地位，在众多的化探方法中，突出了烃类测量。不断涌现的新方法、新技术均离不开烃类的运移、转化及其多种存在形式的测定。此外，各种方法的综合应用与综合解释，也是本书着重探讨的内容。

油气化探近年来得到了石油天然气总公司、长庆石油勘探局、贺西石油勘探局（筹）、玉门石油管理局、地矿部中南石油地质局、地矿部海洋石油局等单位的大力扶持，为本书的编写奠定了基础，在编写过程中，引用了国内外许多学者的资料，在此谨致以谢忱。中国地质大学出版社赵颖弘同志辛勤编辑，黄莉同志为本书清绘全部图件，在此深表谢意。

由于油气化探文献散见于多种文献、生产成果受保密限制，再加上编者学识有限，时间仓促，本书中定有错误、遗漏和不足之处，衷心希望读者批评指正。

编 者

1991.10

注：书中1ppm= 10^{-6} ，1ppb= 10^{-9} ，1ppt= 10^{-12} ，1ft=30.48cm，1mi=1.609km

目 录

绪 论	(1)
第一节 油气化探的基本概念及原理	(1)
第二节 油气化探的分类与特点	(3)
第三节 油气化探的发展简史	(7)
第四节 油气化探的学术团体与文献来源	(9)
第一章 烃类在自然界的形成与集散	(10)
第一节 烃类的一般化学性质	(10)
第二节 烃类的测定方法	(14)
第三节 有机质的成熟过程	(18)
第四节 油气运移的概念	(22)
第五节 油气的聚集与分散	(25)
第二章 地表烃类异常的形成与形态	(28)
第一节 扩散作用	(29)
第二节 浮力作用	(34)
第三节 流体动力作用	(36)
第四节 地表烃类异常的形态	(38)
第三章 气态烃测量	(44)
第一节 空中烃气测量	(45)
第二节 壤中烃气测量	(47)
第三节 累积法气态烃测量	(54)
第四节 井中烃气测量	(60)
第五节 海洋烃气测量	(63)
第四章 土壤烃类测量	(67)
第一节 烃类在土壤中的存在形式	(67)
第二节 酸解烃测量	(68)
第三节 土壤吸附烃测量	(74)
第四节 土壤重烃测量	(77)
第五节 土壤细菌测量	(79)
第五章 水化学测量	(81)
第一节 水化学测量的指标	(81)
第二节 水化学异常的形态与控制因素	(84)
第三节 水化学测量的工作方法	(87)
第四节 水化学测量实例	(88)
第六章 无机组分测量	(92)
第一节 土壤热释碳酸盐 (ΔC) 测量	(92)

第二节	卤素测量	100
第三节	碱土金属测量	102
第四节	重金属测量	104
第七章	无机气体测量	106
第一节	汞气测量	106
第二节	氦气测量	112
第八章	放射性测量	116
第一节	基本原理	116
第二节	放射性测量的应用	119
第九章	碳同位素测量	123
第一节	一般原理	123
第二节	甲烷碳同位素	126
第三节	甲烷同系物碳同位素	130
第四节	土壤热释碳酸盐(ΔC)碳同位素	132
第十章	油气化探数据处理	133
第一节	原始数据的质量评定	133
第二节	背景值与异常下限的确定	134
第三节	各种多元统计方法的应用	136
第四节	成果的图示	141
第十一章	油气化探异常的综合解释	144
第一节	综合解释的一般原则	144
第二节	地表化探异常的影响因素	145
第三节	油气地表地球化学综合异常模式	154
第十二章	多指标叠合分析研究实例	160
第一节	天池含气构造	160
第二节	元城油田	166
主要参考文献		174

绪 论

第一节 油气化探的基本概念及原理

一、地球化学异常

石油天然气地球化学勘探(以下简称油气化探)是利用地球化学异常进行石油与天然气资源勘探的一种方法。所谓地球化学异常,是指石油与天然气在其形成、运移、集中、分散及破坏过程中在岩石、水体、土壤、气体及生物体中留下的痕迹。为了发现地球化学异常,就要对多种天然物质进行系统的取样和观察,分析测试其中的一种或多种化学成分或化学特性(在油气化探中称为指标),通过对比,确定在广大的正常背景区中呈现的异常地段,然后根据异常与油气在成因上与空间上的关系,结合地质与物质资料,进行综合解释与推断。

油气化探的基本原理,深深扎根于油气成因的现代学说之中。化探人员在方法设计、野外施工、分析测试直到异常解释的全过程中总是自觉或不自觉地对以某种油气的成因学说为指导思想。现代油气成因学说可归纳为如下4个基本观点:①石油和天然气主要来源于沉积岩中分散的有机物。②分散的有机物在压实成岩作用后经过一系列降解,才能生成并分离出气态烃和液态烃,即石油与天然气。③分离出的气态烃和液态烃经过垂向、侧向或长或短的运移,在有利的地点聚集,才能形成工业油气田。④形成工业聚集的烃类可以进一步向地表或外围分散破坏甚至消失。以上4个阶段是不可分割的连续演化过程,从第1阶段至第3阶段是分散至集中的过程。这是石油地质学,特别是油气地球化学传统研究的主要领域,例如对有机物类型和干酪根的研究,对油气运移及圈闭条件的研究等等。这种研究对油气勘探是不可缺少的。从方法论的角度来看,这是一种正演的找矿方式,即沿着油气的来源,运移、聚集路线来探索油气田。这方面的工作成果已为油气勘探作出了重大贡献,在学术上也已有了长足的进展。因为,其中使用了大量的地球化学的理论与方法,所以,从广义上来说,也可算是油气化探的内容。但本书讨论的范围主要是从第4阶段的产物出发,反推至油气田,这是从分散向集中的反演找矿路线。这一领域长期以来未被传统石油地质学家列为研究对象,然而,油气田的分散部分应当作为油气田的一个组成部分来研究。这种研究不仅在勘探上有实际意义,而且在学术上也丰富和补充了石油地质学中的成因理论。

从分散状态反演地探索油气田,其难度远远大于正演的生油、运移与聚集研究。因为这里往往涉及极微量的浓度,众多的成分和错综复杂的干扰因素,正因为它是油气演化的最终产物,所以它也叠加了前面所有阶段的影响。由此可见,利用从油气田分散出来的地球化学异常勘探油气田是十分艰难的任务。

综上所述,可把地球化学异常的生成归结为如下图式(图0-1)。

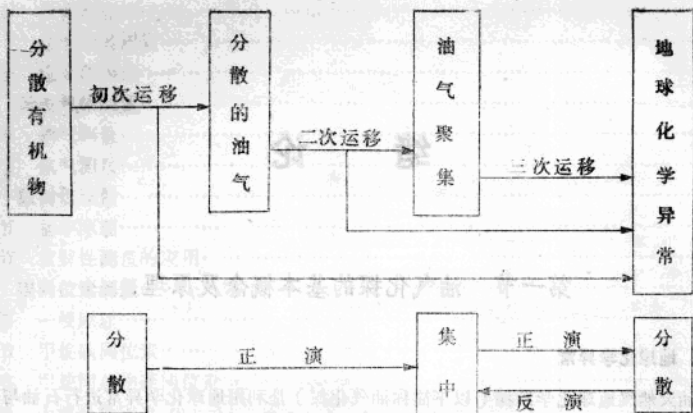
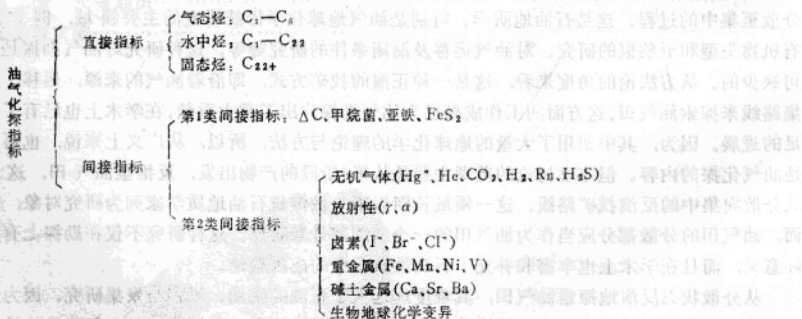


图0-1 地球化学异常示意图

二、地球化学指标

地球化学指标是指油气化探中直接测定或间接计算的参数。随着油气化探技术的发展，指标越来越多。根据指标在油气化探中的作用可分为直接指标和间接指标两大类。直接指标是指直接从油气藏中分散出来的烃类，主要是轻烃。间接指标又可根据间接的程度分为两类，第1类间接指标是指直接指标的派生物。例如轻烃的氧化产物及由于烃类氧化造成环境改变而生成的产物，如 ΔC 、亚铁、细菌等。第2类间接指标则只与烃类的运移和保存条件以及其他次生变化有关，并不和烃类直接有成因关系，如某些无机气体和生物地球化学异常。按照这一分类方案，可把现有的指标归类如下：



以上指标均可实际测定。在油气化探中还广泛应用综合指标，即按照人为设定的规则，用几项实测数据进行计算，例如比值、累加、累乘或各种统计参数。目的是消除可能的干扰，突出其指示意义。这种综合指标的设计，是综合解释的重要内容。

油气化探的指标是十分丰富的。多指标综合应用是当前的总趋势，因为它可以提供更多的信息。但指标的选择并不是越多越好，因为指标的增加意味着成本的增加。对于某一项具体的化探任务，要根据有效性、可能性、经济性和独立性等原则选定。化探人员还要了解各种指标的应用条件，才能正确地选定指标。

第二节 油气化探的分类与特点

一、油气的化探分类

油气化探可按工作性质分为5类：

(1) 概查：概查的任务是用很稀的观察密度，在几万平方公里的面积上进行工作，其目的是对整个沉积盆地进行油气远景的评价。例如苏联西西伯利亚，对早先的稀疏普查孔进行层间水取样分析，根据水中溶解的 CH_4 、 CO_2 、 N_2 及其他一些指标，发现鄂毕河以西 5000km^2 的地区最有远景，而其东部与南部为不利区。这一结果公布后10年中，在预测的远景区中发现了若干个大油气田（图0-2）。在法国及加拿大也都有这种区域性预测成功的例子。我国

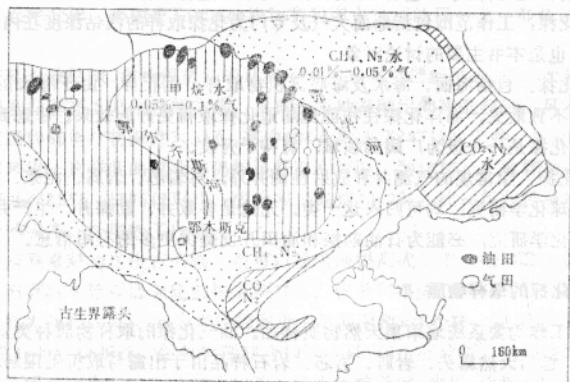


图0-2 西西伯利亚下白垩统层间水中气体含量(体积百分比)分布情况及发现的油气田
(据卡尔茨夫, 1963)

鄂尔多斯盆地面积达 $3.6 \times 10^5 \text{km}^2$ ，周围已有马家滩，元城等油田，但对其北部中腹的油气远景一直没有正确的评价。1988年，石油天然气总公司决定对盆地中腹进行概查，通过几条稀疏的地表化探区域大剖面，迅速肯定了盆地中腹的远景，发现了若干远景区，并钻出了工业气流。

(2) 普查：普查的目的是圈定有利区块。工作面积为数千平方公里。观察点密度通常是每 $4-10\text{km}^2$ 一个点，通过对沉积凹陷生油能力的评价，确定详查面积。

在实际工作中，概查与普查很难区分。一个油气远景较好的盆地，往往一次普查工作，就可把有利区块加以圈定。这一阶段往往与遥感、航照、航磁、航放、重力等各种地球物理方法综合进行，在有利条件下，根据化探资料，还可以对盆地构造格架，油气运移的主导方向，生油岩的分布特征作出一定的推测。

(3)详查：详查的目的是圈定可供钻探的靶区。观察点的密度根据油气田的预期规模而变，例如我国东部断块油田，面积较小，观察点密度需增加至4—10点/km²，而在宽缓构造区，则可放稀至1—2点/km²。在这一阶段，往往与地震勘探配合，对地震勘探发现的构造进行含油气性的评价。详查阶段由于解释工作要求比较确切，所以总是采用多指标工作方式。此时，除烃类直接指标外，多种间接指标能发挥重要作用。

(4)勘探：在油气勘探阶段，为了进一步了解储层的变化，化探的任务除了进一步加密取样密度外，还配合进行井下地球化学研究。除了常规的气测井外，还可以通过岩屑或岩心中有机气体和原油地化特征进行各种对比工作，为进一步勘探指出方向。

(5)成熟区勘探：在油田开发后期，通过井下地球化学研究，有可能发现漏失的油层，寻找外围或深部的油层。特别是井下水层的研究，具有重要意义。在这阶段仍然可以开展地面化探工作，以寻找一些漏失的油藏。

油气化探根据进行的场所可分为：

(1)航空化探：利用卫星和飞机，在不同高度上对广大地面进行观察和测定，这种方式主要用于普查或概查。航空化探由于设备与技术要求很大的一次性投资，只能由专门的国家机构进行。在资本主义国家，也有私人探矿公司承包这种工作。

(2)地面化探：工作范围包括地面大气及专门为化探采取的浅钻深度在内。这是最常用的工作方式，也是本书主要的讨论对象。

(3)海洋化探：包括海面、海水及海底沉积物取样。据报导，由于海水的均匀覆盖，使海底微渗漏烃不致散失，海洋化探往往能比陆地化探取得更好的效果。考虑到海洋的巨大面积，所以海洋化探是一个极为广阔的领域，有待于开发。

(4)井中化探：除常规的气测井和放射性测井外，对岩芯、岩屑、泥浆、涌水、油样及气样的系统地球化学研究，均可归入这一类。无论是参数井、勘探井，生产井、如能系统地进行井下地球化学研究，必能为石油勘探和油田开发提供更多的有用信息。

二、油气化探的取样物质

任何化探工作均要系统地采集天然物质样品。油气化探的取样物质种类繁多，如：

(1)岩样：包括天然露头、岩屑、岩芯。岩石样品由于出露与取得受限制，难以构成取样网格，但岩石样品往往有确切的地质时代和岩性资料，故有利于进行地质解释。

(2)土壤：本书不采用土壤学中对土壤下的严格定义，只是泛指砂砾、砂土、粘土、黄土等第四纪地表疏松沉积物。由于这类物质分布广泛，可以实现网格取样，是地表化探最常用的取样对象。但它们往往受到各种表生作用的变化，经过搬运、分选与成土作用，其成分较难反映原始含量，给解释工作带来困难。

(3)水体：包括河水、井水、泉水、海水及土壤中的压滤水。由于水的溶解能力和流动性，天然水中带有丰富的油气信息。对水中有关组分的研究，构成了水化学油气化探的独特方法，在一定的水文地质条件下能取得良好的地质效果。但水样的采集需要特殊的装置和严格的防污染，防变质措施。

(4)气体：包括大气、壤中气及水中气。气体由于其巨大的活动性，一直是油气化探观察的重点，油气化探正是从测定气态烃开始的。但气体的采样及测定远比固体与液体样品困难。近年来，由于微量气体的测定技术有突破性进步，才使油气化探得以较快地发展。气样有时可以不加处理，直接测定，而且气体无处不在，极适合于网格取样，甚至连续测定，所以是油

气化探的重要观察对象。

(5)生物：包括细菌、藻类及高等植物。众所周知，细菌能降解有机物和消耗烃类，细菌测量曾在50年代是地表化探主要方法之一。但由于细菌异常难解释，细菌培养需要专门技术，所以这一方法始终局限于少数专门研究机构而不能推广。在一般化探人员心目中，细菌不是取样对象，而是一种影响烃类异常的因素。

高等植物生长的地点，如有油气田的影响，则会使植物的化学成分或生态特征（群落或季相）发生变异，有时可以从卫片上识别出来。

三、油气化探的特点

1. 直接性

油气化探是用油气苗找油这种最古老的直接找油方法的继续。油气苗就是极其强烈的凭肉眼观察即可发现的地球化学异常；地球化学异常就是微观的肉眼不可见的油气苗。

著名石油地质学家Link指出：“除少数例外，世界上绝大多数油田是靠油气苗发现的”。《石油天然气杂志》第100期纪念刊中特别报道“在油气苗上打钻这一简单的方法，今天仍然很有效。它所发现的油田，比所有现代地质、物探所发现的总和还要多”。例如中东两伊的油田，苏联巴库油田，墨西哥Tampico油田和我国老君庙油田等等，都是油气苗指示出来的。

随着油气苗普遍被钻探，靠油气苗发现油田的时代基本上已经过去。代之而来的是地震勘探时代，但地震勘探基本上是间接的方法，根据地震勘探确定的构造打钻，见油的成功率并不高。例如，美国1966年打初探井7007孔，其中684孔见油，6323口为干井，成功率为9.76%，对于石油资本家来说，这样低的成功率仍然还是有利可图。到1976年，地震勘探技术有了改进，当年打初探井6438口，1335口见油，成功率提高到20.7%，比10年前提高1倍，但为此付出的地震工作的成本，却增加了10倍。

如果利用化探异常对构造进行筛选，则可以显著地提高成功率。据加拿大巴林杰公司报告，美国蒙大拿州有39个地震法确定的构造要打钻，该公司事先在这些构造上布置了9点测量（即以预计钻孔为圆心，以400m为半径的圆周上等间隔地取8个样，包括圆心1个样），以9点的甲烷平均值作为评价指标，结果发现39个构造上只有5个有异常。钻探结果，仅发现3个构造含油，地震成功率为7.7%。这3个构造上都有甲烷异常。所以，化探异常的肯定预测成功率为60%。其余34个构造均无化探异常，否定预测的成功率为100%。需要指出的是，否定性的预测对石油勘探也是有意义的，正确的否定可以节约时间和资金。化探方法在否定评价中的作用也是不可低估的。

根据杨有斌(1987)统计，油气化探在已知油田上获得良好异常的比例平均为65%（表0-1），根据化探异常预测后来被钻探证实有工业油流的成功率平均为39.3%（表0-2），从表中可见，化探异常的预测成功率高于单纯根据地震构造钻探的成功率。又由于油气化探的直接找油性能，所以适用于寻找非构造圈闭的油藏，后者的重要性已日益显示出来，在某些地区，非构造圈闭的油田储量占总储量的40%以上。

2. 灵活性

油气化探可以组织大规模的生产性找矿工程，也可以进行小型的针对性专题调查；可以从空中到井下作三度空间的立体研究，也可以进行单测线观察；还可以利用多种介质中的多种指标，进行从宏观到微观以至核子水平上的研究。总之，油气化探为油气资源的勘探提供

表0-1 油气化探的先验成功率

(据杨育斌,1987)

地 区	应 用 方 法	统 计 者	先 验 成 功 率
原苏联东部	水、气	索科洛夫	70%
美 国	气	西蒙斯	50%
美国得克萨斯海湾	气	石油周刊	65%
美国得克萨斯	ΔC	达什诺尔	81.3%
德国及北海	气、碳同位素、荧光	法卡尔、斯塔尔	49%
中国东部	水、气、测汞	龚维琪	70%—80%
平 均			65%

表0-2 油气化探预测成功率

(据杨育斌,1987)

地 区	方 法	统 计 者	预 测 成 功 率
美 国	气体测量	霍 维 茨	59%
非 洲	气体测量	戴 维 奇	34%
美 国	ΔC	达什诺尔	22%—25%
原 苏 联	水、气、微生物	佐 尔 金	34%
原 苏 联	水、气、微生物		27%
中国东北	水、气、汞	101队	42%
中国华北	水、气	101队	55%
平 均			39.3%

了新的巨大信息来源,但这方面的可能性还远远没有充分利用和发掘。

3. 经济性与快速性

与常规的地震勘探相比,油气化探单位面积的投资仅合1/10。据国内外的一些资料, ΔC 法在3个月内一个工作组可完成1000km²。在8—10个月内,一个小型石油化探队可完成15项指标的4000km²面积测量。包括6项指标的详查工作成本为200元/km²左右,在难以通行地区增至400元/km²,均远远低于支持地震勘探的费用。在美国,支持一个地震队每月耗资75—100万美元,地震测线每公里需1—7.5万美元。而化探工作费用为每100平方公里6万美元。

当然,油气化探也有其局限性,主要表现在:①理论尚不完善,有关油气垂向运移,异常发育规律等基本问题,仍在探讨之中,而任何一种技术,在其科学基础尚未奠定之前是不会得到社会的普遍承认的。对石油化探来说,经验性仍多于理论性。②异常影响因素众多,解释的不确定性大,尤其是地面化探,单是地表覆盖物性质的差别就足以影响化探效果。在厚层流动沙丘地区,就很难用一般的化探方法取得效果。③方法技术与装备比较落后,许多现代化的分析测试和计算技术还没有普遍引用到油气化探中来,例如离子阱检测器,轻便钻机。正因为如此,化探人员需要熟悉特定方法的应用条件,以便在现代综合勘探中发挥自己应有的作用。一般说来,物探长于解决“广度”问题,而化探则善于提供“强度”资料。前者好比探测酒瓶,后者则有助于判断瓶中是否有酒,这两者结合起来,再加上

深入的地质研究，就能提供完备的油气勘探资料。

第三节 油气化探的发展简史

一、原苏联

原苏联是油气化探的发源地之一。

索科洛夫是在原苏联创立和发展石油化探的代表人物。他在1933年巴库的一次石油会议上发表了“气体测量”方法，这一方法可以在地表上直接确定由深部油气藏引起的微观显示。该方法在原理上的新颖性和应用上的巨大远景，立即引起人们的极大关注。两年后(1935)，他对气测方法作了理论上的论证，详细研究了不同形式的气测方法，论述了野外气测工作的仪器和解释方法，并介绍了初步应用成果。这本书是油气化探奠基性的著作，受到了古布金院士的赏识，未经答辩便授予他化学博士学位。

从40年代起，气测方法就在原苏联地球物理托拉斯的“油气测量”专门小组中开展起来了。在艰苦的卫国战争年代，该小组积极地完善气测方法，发展气体分析仪器和数据解释方法。野外气测分队曾在滨里海盆地、扎沃耳日耶、中亚、高加索等地开展过工作。战后，于50年代在油气测量小组的基础上成立了“地球物理和地球化学勘探方法研究所”(后来成为“全苏核物理和地球化学科学研究所”)。

在60年代，原苏联化探队曾发展到200个之多，但因理论基础跟不上，异常难以解释及其他原因，过后也经历了一个衰落阶段。

在70年代，油气普查工作的结果，查明了约320个远景区块或可供深部钻探的靶区，其中46个已打钻验证，成功率接近80%。

现在，在原苏联油气勘探的各个阶段中，从区域评价到局部圈闭勘探，都已应用了化探方法，从理论研究、生产应用到地质效果，都在世界前列。据最近文献报导，原苏联当前油气化探的重点在以下几个方面：①在理论上，用数字模拟方法研究烃类气体在均匀介质和不均匀介质中的迁移规律，制订判断烃类异常成因的准则，研究地壳中大型环状地球化学异常的成因，研究冻土、煤层、盐层和岩浆岩对烃类异常的影响。②在方法上，注重各种方法的有效配合，优化每种方法本身，如取样密度、深度等的合理化，以求在给定的地区条件下获得最大的地质效果。③在数据处理上，目前正在开发专门用于化探的数据储存和处理自动化系统，该系统包括4个子系统，每个子系统都具有数据质量监控、参数选择、制图、分析及评价功能。④在仪器的发展上，重点是野外油气化探用的成套仪器设备，包括密封探测和样品封存装置，脱气和气体分析装置。

总之，原苏联的油气化探由国家集中管理，有统一的规范，注重理论上的研究，资料与成果不因竞争而封锁。在工作上舍得化本钱，例如，他们的普查取样工作，有专门的浅钻，在50m深度上系统取样。

二、西方

西方的石油化探以德国的Laubmeyer和美国的Horvitz为代表，他们先后在30年代投身于地表石油化探的开创工作，以毕生的精力，挚着的追求，经历了各种失败与嘲笑，苦心经营，逐步使这一新方法在美国的石油地质勘探领域取得一席之地。他们在基本原理、方法技术、应用效果等方面作了大量论述。经过半个多世纪的发展，无论在方法、技术、理论、地

质效果与经济利益方面都有了长足的发展。

在西方，油气化探没有国家有计划的资助，全靠化探人员个人奋斗，或组织私人公司或求助于大型石油集团，50年来，按Price(1980)的说法，是形成了一个以合同为基础的技术市场。卖方为化探公司（出卖方法技术或资料成果），买方为石油财团，有市场就有竞争。竞争机制一方面能促进技术的开发，另一方面则盛行技术保密，忽视非盈利的基础理论研究，偏向于报导成功的例子，就连学术论文也带有广告色彩。但是西方化探人员有其有利的条件：没有刻板的规范约束，学术思想活跃，易于对新方法、新思想进行探索；一般的工业技术水平高，新仪器、新设备易于获得；信息交流渠道畅通；因此，有许多新方法发源于西方。近年来，西方不少有识之士也已认识到油气化探的重要性，开始系统地推进基础研究。从1968年起，美国南梅索迪斯特大学地球与人类研究所，在得克萨斯州的Dallas市召开了4届(1968, 1979, 1984, 1986.)“石油与天然气非常规勘探方法”专题讨论会。其中绝大多数论文均是油气化探方面的。与会人员一次比一次踊跃，会期间隔一次比一次短。第2届会议主席William在开幕词中发出这样号召“……形势仍然迫切需要一批富于想象、坚韧不拔的有识之士，冒着猜忌、风险、挫折和失败而勇往直前地去实践自己的想法，如果人们一旦对‘非常规’不再发生兴趣，那么我们国家和人类的前途也就颇感忧虑了。”这一号召得到了广泛的响应，这从以后几次会议的广度与深度上就可以看出。

加拿大地球化学家R. W. Boyle 1984年在一篇评述化探方法的论文中预言：“当我们认真开始使用化探方法找油时，就会使全世界已有的油气藏储量翻一番”。由此可见西方勘查地球化学家多么重视油气化探。

三、中国

我国的油气化探和金属矿床化探一起是50年代从苏联引入的。40多年来，经历了早期发展，中期衰落，现在再次兴起的马鞍形发展历程。

50年代初期，共和国刚刚成立，人们的建设热情非常高昂，对新鲜事物有强烈的敏感性，通过当时来华苏联专家的介绍，在石油部、地质部、科学院、高等院校立即有一批年青人满怀热情地投入了油气化探行列，他们筹建化探队，开展方法试验，研制仪器，翻译俄文专著，开设油气化探课程，一时形成了相当兴旺的局面。当时引进和试验过的方法有水中常量离子测定，沥青荧光强度法， γ -总强度放射性测量，土壤可溶盐份测定和微生物法。但当时毕竟油气化探整个发展水平很低，我国所用的技术又落后，异常的可靠性和多解性一直困扰着技术人员和决策机构。故在玉门青草湾构造和东北李家洼子高异常上的验证接连失败。当时，传统的地质-地震方法正处于鼎盛时期，而油气化探本来就是在普查中顺便进行的，所以，到60年代，石油化探就落入了低谷。石油系统的化探队伍全部解散，油气化探课程停止开设。现在回头看这一段历史，可以说当时石油化探发展的时机尚未成熟。但第1次的兴旺并没有白费，而是有历史功绩的，它为第2次兴旺播下了种子。在60—70年代的衰落期，全国只剩下一支队伍在坚持进行油气化探的试验研究工作，这就是由地质部1、2、3普查分队和671队合并组建的101队（现改名为地矿部石油海洋局培训化探中心）。101队的技术人员孤军奋战，锲而不舍，他们以科学的精神认真总结了经验，中止了一些理论上很不成熟的方法，而集中力量发展烃类气体测量和水化学方法。在“十年动乱”期间，研究工作也没有中止，为我国石油化探事业作出了决定性的贡献。

1976年9月，地矿部石油局在黄山召开了“全国第1届油气化探工作座谈会”。它标志着

我国的油气化探已经从低谷走出,进入了新的发展时期,101队长期积累的技术以及新引入的方法,开始发挥作用,在我国东部的一些含油气远景区进行生产性研究所提供的预测性成果,在不同程度上经钻探验证,有的已获得工业油流,受到生产部门的重视与欢迎。

党的改革开放政策,给石油化探的发展注入了新的动力。近年来,石油天然气工业总公司在新疆、内蒙、陕西采用投标的方法,开展了大规模的生产性试验工作,取得了重要成果。有关部门正在考虑把石油化探纳入正规勘探程序,这一时期的特点是:①对油气地球化学异常形成的机制有了较明确的认识,油气垂向运移的事实已得世界范围的公认。②对微量烃、Hg、He等分析技术有了较好的掌握,在灵敏度与精密程度上比10年前有了长足的进步。③新方法包括K-V指纹法、遥感技术等,不断开发与引进,多指标综合应用已深入人心。④电子计算机处理数据已经比较普及。⑤生产部门对油气化探采取了比较开明的政策和积极扶持的态度。

近年来,油气化探迅速发展的主要因素有:①用直接找油方法寻找非构造圈闭的重要性日益受到重视。②作为常规石油勘探技术的地震法成本不断上涨,例如,以大庆油田每吨原油的勘探成本为1,到东部岸上油田变成10,而到近海油田增加到100;因此需要开发费用较低的找油方法。广大浅海陆架区,将是油气化探的广阔领域。最近有重大突破的西部干旱沙漠区,油气化探也大有用武之地。③近代仪器分析技术的进步,如气相色谱、色质联机等,为超微量多组分烃类的测定提供了手段。④金属矿业的萧条,促使金属矿业化探人员向能源工业转移,他们带来了有用的经验和力量。

第四节 油气化探的学术团体与文献来源

原苏联在1968年由地质部矿部和科学院联合成立“地球化学找矿方法科学基础部际委员会”,下设金属矿床化探和油气化探两个分会,负责协调各科研、教学和生产单位的化探研究工作,组织学术讨论会(每两年召开一次)。俄文文献中经常刊登油气化探的杂志有:“石油天然气地质”(Геология Нефтьгаз)、“矿产”(Недра)、“地质学杂志”(Геологический Журнал)、“地质与勘探”(Геология и Разведка)及“苏联地质”(Советская Геология),还有全苏联和各加盟共和国的专门油气化探研究机构和生产队伍及其出版物。

在美国,1984年春成立了“油气勘查地球化学家协会(Association of Petroleum Geochemical Explorationists)",出版油气化探的杂志,刊登油气化探文章的主要杂志有“地球化学勘探杂志”(Journal of Geochemical Exploration)、“石油天然气杂志”(Oil and Gas Journal)。在“化学地质”(Chemical Geology)、“有机地球化学”(Organic Geochemistry)等杂志上也经常有关于烃类生成和运移的理论性文章。美国石油地质学家协会公报(Bulletin of American Association of Petroleum Geologists)等也刊登油气化探的应用成果。1991年年会上,也专设了一个地表油气化探的分会场。

我国油气化探的文献散见于多种有关杂志中,主要有“油气化探”、“物探与化探”、“石油地质与实验”、“物化探译丛”、“国外地质科技”等。

此外,各种专业会议的论文集,也是油气化探文献的重要来源。

随着油气化探研究和生产工作的开展,人员的扩大,学术交流和出版必将繁荣起来,这些活动,将为勘查地球化学的新思想、新方法的交流提供良好的机会,增进化探同行间的了解与友谊,对促进油气化探的发展和新生力量的培养具有重要意义。

第一章 烃类在自然界的形成与集散

实质上，油气田本身就是烃类的工业聚集体，所以烃类是油气化探的直接指标，其他多种化探方法都是围绕烃类测量而开展的。因此本书将以较大篇幅讨论烃类测量。考虑到部分化探人员缺乏系统的有机地球化学基础知识，本章将择要加以介绍。

第一节 烃类的一般化学性质

按有机化学定义，烃类是指只包含C、H两种元素的化合物。由于烃分子中碳原子数目和连接方式不同，故已知烃类化合物在3000种以上。但在油气化探中只涉及几种最简单的烃类。

碳在烃类化合物中表现为负的价态，这与无机化合物中碳是+4价截然相反。这表明烃类需要在极端还原性的条件下才能生成。烃分子中的碳原子，通过4个共价键把相邻原子维持在四面体的4个顶角上。这种四面体可以无休止地连接成复杂的构造，形成各种类型的烃。在有机化学中，可以按各种原则将烃分类，其中最基本的是按烃分子中碳骨架的分类。

烃可以按碳骨架分成3大类：开链烃、脂环链、芳环烃。现分别介绍如下：

一、开链烃

开链烃分子中的碳骨架首尾不相连，但可以包含支链、侧链。因为它最早在脂肪中发现，所以也叫脂肪烃，还叫石蜡烃。如果分子中碳键完全由单键连接，意味着与碳原子结合的氢原子数目已达最高限度，则称为饱和烃，也称烷烃。如碳链中包含着双键，叫作烯烃。如包含着叁键，叫做炔烃，它们的键长与键能分别表示如下（表1-1）

请注意键能这一项。键能是键强度的一种度量，它代表了使键断裂所需的最低能量。从数据上看，似乎炔烃最为稳定，因为它的键能最大。其实不然，因为炔烃中的叁键由3个单键组成，每一个单键的能量不同，可将它们分解如下：

$$\text{C}-\text{C}; 345.8=345.8+0+0$$

$$\text{C}=\text{C}; 610.3=345.8+264.5+0$$

$$\text{C}\equiv\text{C}; 835.5=345.8+264.5+225.2$$

$\text{C}\equiv\text{C}$ 好比3根不同强度的绳子，当外界作用时，最弱的1根先断，依次断第2根，最后留下 $\text{C}-\text{C}$ 键。因此叁碳键是烃分子中的薄弱环节。自然界之所以以烷烃为主，是因为经过漫长的地质历史，最后总是留下最稳定的键。在油气化探样品中，烯烃很少检出，而如检出烯

表1-1 碳键基本参数表

	键型	键长 (nm)	键能 (kJ/mol)
烷烃	$\text{C}-\text{C}$	0.154	345.8
烯烃	$\text{C}=\text{C}$	0.134	610.3
炔烃	$\text{C}\equiv\text{C}$	0.120	835.5

烃，则可以说明是表生或人为污染，因为成熟的有机物中几乎不存在烯烃。炔烃在成熟有机物中更为少见。下面重点介绍开链烷烃的性质。

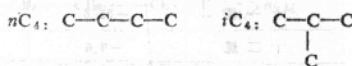
开链烷烃的通式是 C_nH_{2n+2} ，习惯上叫做“ n 烷”，“ n ”指分子中的碳原子数目，由1到10用甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸表示，在石油地球化学中用 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 ……分别表示甲烷、乙烷、丙烷、丁烷……。自11个碳原子的烷烃起，用数字表示，如 C_{11} ，叫做十一烷。凡是相邻的两个烷烃，在组成上均差一个 CH_2 、 CH_2 叫做系差。象烷烃这样，具有同一个通式，结构相似，化学性质与物理性质随碳原子数增加而呈规律变化的化合物系列，称为同系物。

具有相同分子式而结构不同的同系物称为同分异构体，烷烃从 C_4 起，就开始有异构体，随着碳数的增加，可能的异构体数目增加极快（表1-2）。

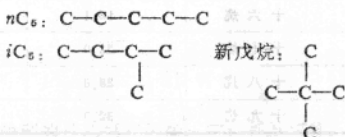
表1-2 烷烃的异构体数目

碳数	异构体数	碳数	异构体数
1	1	10	75
2	1	11	159
3	1	12	355
4	2	13	802
5	3	14	1858
6	5	15	4347
7	9	20	366319
8	18	30	4111640763
9	35		

丁烷有两个异构体，正丁烷与异丁烷，分别用 nC_4 与 iC_4 来表示，它们的碳骨架是：



戊烷有3个异构体：正戊烷 nC_5 、异戊烷 iC_5 及新戊烷。



异构体之间的物理化学性质有系统的差别（表1-3）。异构体因为有支侧链，所以其分子形状比直链的正构体更接近球形，这样，在多孔介质中迁移时，异构体较易通过从而发生层析分离。在油气化探中，正异构体的比例，往往是很有价值的指标。

烷烃的物理性质随碳数的增加呈有规律的变化。表1-4列出了正构烷烃的重要物理性质。

表1-3 烷烃异构体的沸点

名称	沸点(°C)
正丁烷	-0.5
异丁烷	-10.2
正戊烷	36.1
异戊烷	27.9
新戊烷	9.5

从表中看出，在室温（25℃）下， C_1-C_4 是气体， C_5-C_{10} 是液体， C_{11} 以上是固体。这就决定了它们在油气化探中的指示意义和测定方法。

如果把表1-4中的数据绘成曲线（图1-1，1-2）。

从图1-1、1-2则可以看出沸点随碳原子数的增加形成一条光滑曲线，而熔点却呈一折线，其原因是每遇偶数，熔点增高就多一些。原来含偶数直链烷烃分子的对称性较奇数分子

表1-4 直链烷烃物理性质

名称	熔点(°C)	沸点(°C)	比重	状态
甲烷	-182.5	-161.4	0.4240	气 体
乙 烷	-182.7	-88.6	0.5462	
丙 烷	-187.1	-42.2	0.5824	
丁 烷	-138.3	-0.5	0.5788	
戊 烷	-129.7	36.1	0.6263	
己 烷	-95.3	68.7	0.6594	液 体
庚 烷	-90.6	98.4	0.6837	
辛 烷	-56.8	125.6	0.7028	
壬 烷	-53.7	150.7	0.7179	
癸 烷	-29.7	174.0	0.7299	
十一烷	-25.6	195.8	0.7403	固 体
十二烷	-9.6	216.2	0.7483	
十三烷	-6.5	234.0	0.7568	
十四烷	5.5	252.5	0.7636	
十五烷	10.0	270.5	0.7688	
十六烷	18.1	286.5	0.7733	固 体
十七烷	22.0	303	0.7767	
十八烷	28.0	317	0.7768	
十九烷	32.0	330	0.7776	

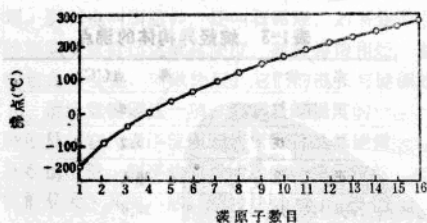


图1-1 直链烷烃的沸点与分子中所含碳原子数目的关系

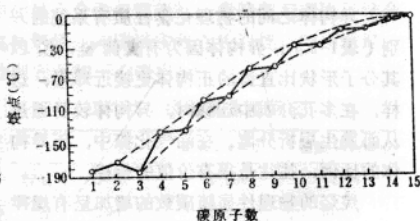
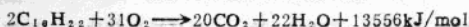


图1-2 直链烷烃的熔点与分子中所含碳原子数目的关系

高，碳键之间的排列比较紧凑。因此，在外界温度压力升高时，烷烃分子有向偶数碳转变的自发倾向。这一奇偶的变化趋势，在石油地球化学中具有重要意义。

烷烃是饱和烃，无论C—C键和C—H键都比较坚实，所以化学性质稳定，在常温下，与大多数试剂无反应，CH₄可以和O₂长期共存而不被氧化，但是在细菌、触媒和燃烧条件下，可以生成CO₂和H₂O，并放出大量热能；



这就是油气的能源所在。

广泛存在于动植物机体中的复杂化合物在无氧、高温高压下可发生C—C键和C—H键断裂，叫做热解反应，从而生成低级烷烃，这是形成气体地球化学指标的主要机制之一（图1-3）。

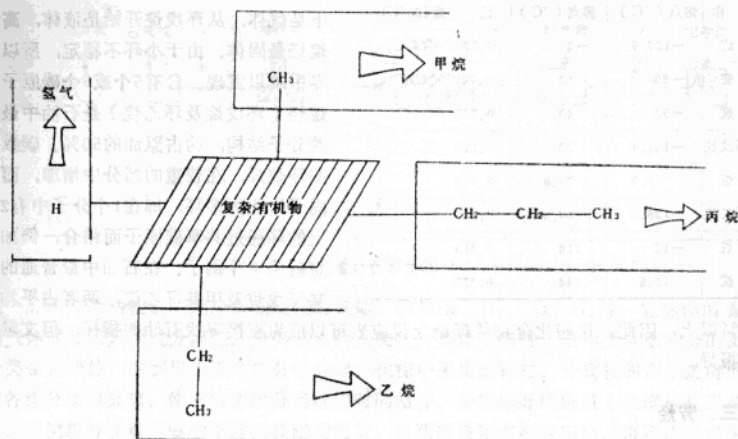


图1-3 低级烷烃的生成

开链烯烃的通式是 C_nH_{2n} ，在油气化探中可能接触到的是乙烯和丙烯，它们都是气体，烯烃的物理常数见表1-5。

表1-5 烯烃的物理常数

名称	熔点(°C)	沸点(°C)	比重
乙 烯	-169.5	-103.7	0.570 (在沸点时)
丙 烯	-185.2	-47.7	0.610 (在沸点时)
1-丁 烯	-130	-6.4	0.625 (在沸点时)
顺-2-丁烯	-139.3	3.5	0.6213
反-2-丁烯	-105.5	0.9	0.6042

烯烃因为有双键，所以化学性质比较活泼，如环境中有 H_2 ，它则可以在一定条件下加入分子中，转化成烷烃，如环境中无多余的 H_2 ，它则可以自行聚合，形成高分子量的聚合物，如聚乙烯、聚丙烯等。植物和动物形成的许多烃类是烯烃，例如，成熟的水果和蔬菜都产生乙烯，动植物油中包含高级烯烃，植物色素，如胡萝卜的橙黄色，西红柿的红色，都是高级烯烃。但是动植物中的烯烃在成岩作用的早期便分解或转换，所以在古老的油气田中不常见。在地表取的油气化探样品中，如出现烯烃，可能来自近代植物或甚至来自塑料的污染（如聚乙烯薄膜）。