

石油地质译文选

黄第藩 周国清 李晋超 卢书鐸 等译

油气运移

第 1 集

石油工业出版社

33634

石油地质译文选

油 气 运 移

(第一集)

黄第藩 周国清 李晋超 卢书铎 等译



00255455



5472/15



200365498



石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书反映了八十年代以来,国外有关油气运移研究的最新成果和发展方向。它以油气运移的地球化学研究为重点,还包括某些油气运移的基本理论、压实作用和异常压力带的形成、古水动力学、初次运移、粘土矿物脱水机理等有关问题,以及在某些盆地油气田形成中油气运移的剖析。

本书可供科研、教学、生产部门的石油地质、石油地球化学工作者及有关院校师生参考。

石油地质译文选

油 气 运 移

(第一集)

黄第藩 周国清 李晋超 卢书得 等译

石 油 工 业 出 版 社 出 版

(北京安定门内安华里二区一号楼)

安 徽 省 阜 阳 印 刷 总 厂 排 版

北 京 市 朝 阳 区 第 一 教 师 进 修 学 校 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

787×1092毫米16开本 21印张 525千字 印1—1,500

1988年3月北京第1版 1988年3月北京第1次印刷

书号: 15037·2691 定价: 4.10元

ISBN 7-5021-0151-9/TE·149

编 者 的 话

油气运移机理是石油有机成因说的一个不可缺少的组成部分。石油和天然气矿床生、储异地的特点,使得对油气运移机理的研究显得尤为重要。但是,长期以来这又是研究工作中的一个最为薄弱的环节。如果说,石油的生成有源岩可考,有油气的组成为证,而油气运移途径却常无确凿的踪迹可寻。

近几年来,一个值得注意的信息是,随着有机地球化学技术的显著进步,油气运移的研究突破了宏观的局限而取得了明显的进展。为了反映这个领域中的技术进步,我们以八十年代以来见诸于文献的报道为主,选译了一些国外有关油气运移的论文,包括英、俄、日、德四个文种,共三十篇,供我国学者参考。

这本译文选集力图反映这一领域中的最新成果。油气运移的地球化学研究是这本译文选集所侧重反映的一个方面。此外,还包括某些油气运移的基本理论、压实作用和异常压力带的形成、古水动力学、初次运移、粘土矿物脱水机理等有关问题,以及在某些盆地油气田形成中油气运移的剖析。

这本译文选集,是由石油工业部石油勘探开发科学研究院和地质矿产部石油地质中心实验室的部分同志共同完成的。参与翻译的主要人员有黄第藩、周国清、李晋超、张大江、卢书铎、偶乐姚、范成龙、王会祥、承大光、徐永元等。徐树宝对所有的俄文译稿作了复校,王绍贤校对和复校了相当一部分英文译稿。全书由黄第藩、周国清、李晋超、卢书铎负责审编。

黄第藩等

1985.3.25.

目 录

有机地球化学在烃类运移研究中的目前趋势	(1)
估算烃类聚集和扩散的基本原理	(16)
在页岩和砂岩层系中对烃类运移作用识别和定量的一种新方法	(31)
研究烃类聚集形成条件的新的地球化学指标	(63)
用 $C_1 \sim C_{35}$ 烃类的数量和分布查明地质岩系中的运移现象	(70)
匈牙利西部上三叠统张开孔隙与闭合孔隙中的抽提物	(81)
根据地球化学资料对烃类生成时有机质总体体积膨胀的试算	(92)
干酪根热解中矿物基质的作用	
——对石油生成和运移的影响	(102)
粘土盖层特性形成的地球化学观点	(110)
应力场——石油运移的关键	(114)
沉积盆地中流体的运移	(129)
碳酸盐沉积的压实作用和地层水古动力学	(154)
油气聚集对水运动的影响	(158)
对异常高压流体一些基本概念的验证	(166)
计算厚层压力异常页岩的压实状况	(176)
含油气盆地异常高压分布的规律性	(193)
异常地层压力与页岩孔隙度	(198)
烃类运移与砂岩的次生孔隙	(209)
苏联油气田中的异常高压层	(214)
最近关于石油初次运移的一些问题	
——着重论述日本晚第三纪油田	(218)
石油初次运移的证据	(234)
构造回返运动过程里泥岩中烃类的初次运移	(244)
关于烃类初次运移的条件和持续性	(249)
丹佛盆地的石油生成和运移	(253)
本州北部海域石油的生成和运移时期	(277)
对阿尔卑斯地槽带大高加索扇形地区西北部烃类垂向运移过程的评价	(289)
巴什基里亚上泥盆—下石炭统生物礁块中石油运移的模式	(294)
反应温度对蒙脱石成岩作用和砂岩胶结的影响	(299)
斜发沸石的脱水机理及其在石油勘探中的应用	(305)
石油运移和微体化石	(322)

有机地球化学在 烃类运移研究中的目前趋势

B. Durand

张大江 译 黄第藩 校

摘 要 在认识运移现象方面, 近来最大的变化大概就是, 认为烃类构成独立相的排驱机理比由水运载的机理要好。按照这个新的观点, 烃类对生油岩孔隙空间的饱和程度是一项基本参数, 它首先取决于有机质的含量, 而有机质的含量又取决于沉积盆地的沉积类型。因此, 有机质沉积学的研究, 在提高我们对运移作用的认识上, 是非常有意义的。本文对两种类型的沉积盆地进行了比较: (1) 缓慢沉降的盆地, 其中分布着海相有机质, 富含有机质的地层是不连续的; (2) 快速沉降的盆地, 其中有机质贯通于整个沉积体, 但是含量很低。上述这些看法大部分是推测的, 还需要有更多的观测来验证。对于其大部分特性尚不清楚的轻烃说来, 目前已有一些观测手段, 然而好的样品还很少。研究者要增加合适的样品数量, 石油公司的大力支持是极珍贵的。与流行的看法相反, 对于运移研究来说, 对烃类特别是轻烃的生成了解得还不充分, 正如从现今关于甲烷和轻烃的“早期生成”的争议中所看到的那样。这也需要进行更多的观察。由于轻烃极易流动, 通常用热解进行的模拟还是可取的。尽管对用热解进行模拟的有效性尚有争议, 但该领域仍在显见地发展着。储集烃/生油岩抽提物之间的对比处理, 与分析方法相比, 还是不够的。其部分原因是分析需要一定的时间, 这情况随着 GC-MS 系统的发展将得到改善。然而, 由于化学工作者与地质工作者一般很少合作, 缺乏关于生物标记化合物在运移中的命运的确切信息, 才是造成这种状况的主要原因。而在碳氢同位素应用方面引人瞩目的进展正是由于近年来人们的密切合作和活动的结果。

一、引 言

对沉积盆地中烃类运移现象的描述和理解, 只有通过地质学领域中所有学科的配合才能实现, 同时还需要进行大量的实验和理论研究工作。

所以如果要单说有机地球化学的特殊贡献, 那可能就是人工模拟了。不过, 也能选择出这样一些课题, 有机地球化学在其中起主要作用, 其进展对石油勘探的指导思想有着直接影响。这些课题是: 生油岩排烃机理的选择, 运移现象的观测, 还有储集烃与源岩烃之间的对比。因此我愿意对上述这三个领域中一些基本思想的进展和目前发展趋势作些阐述和介绍。

二、源岩排烃机理的选择在石油勘探领域中的影响

沉积盆地中烃类运移问题研究的一个很大变化, 看来是逐渐放弃了把水和烃类结合为一相从源岩中排出的机制。

这个趋势应归因于关于沉积盆地中烃类形成知识的进展 们现在认识到:

(1) 烃类的形成, 实质上要在一定的深度才能发生, 在一定的深度上, 大部分水早已从沉积物中排出了, 因此可用于排烃的水量就太少了。

(2) 对于储集层和源岩之间烃类分布上的差异, 要用烃类是由水来输送的加以解释是困难的, 因为它们几乎不溶于水。

这些观察结果, 加上即使是在地下的条件下大多数烃类在水中的溶解度也很低的情况 (Price, 1976; McAuliffe, 1980), 以及要设想一个当烃类到达储集层后的解析机制是困难的, 这就使得水的输送作用是极不可能的了。

面对这种情况, 该机制的支持者们就又提出了几种假设:

(1) 在成烃带中, 由蒙脱石转化为伊利石所产生的水 (Powers, 1967; Burst, 1969; Perry and Hower, 1972), 增加了有效水量;

(2) 形成胶束 (Baker, 1962) 或乳液液 (Cordell, 1973);

(3) 由官能团化分子构成的, 因而是可溶于水的原油, 在较浅的深度处排出, 到储集层之后, 这些分子脱去官能团而形成石油 (Dobryansky 等, 1961; Hodgson, 1980);

(4) 他们所持的烃类形成图解彼此不同: 有的提出在较浅的深度成烃, 在这样的深度上仍有丰富的水 (Wilson, 1975); 有的提出在很大的深度成烃, 在这样的深度上, 高温高压可增加烃类的溶解度 (Price, 1976)。

目前最普遍的看法是, 虽然这些机制有时也可能起作用, 并且不应忘记甲烷和轻芳香烃颇能溶于水, 但大多数的情况却只能用烃类构成一个独立相——液相或气相的机理来解释。

通常妨碍这些机制成立的是, 在孔隙细微的生油岩中, 水相和烃相之间的界面张力产生了毛细管压力, 一般认为这种压力比压实作用所产生的压力要大, 因此又提出了另外几种机理。

这些机理都是通过建立一个连续的有机相来回避界面张力障碍的, 例如:

(a) 干酪根的含量对其转化成油来说是足都大的, 并可产生一个连续的油相 (Meissner, 1978a 和 b);

(b) 干酪根构成了一个被油所浸润的三维有机网络, 烃类正是利用它由生油岩中逸出的 (McAuliffe, 1980);

(c) 在矿物的表面存在着一种有机膜 (Yariv, 1976); 这种概念可以认为是与前一条有关系的。

还有一些因素会引起孔隙压力的增加, 使之足以超过毛细管压力, 甚至使岩石产生微裂缝, 例如:

(a) 水的热膨胀作用 (水热效应, Barker, 1972);

(b) 由于干酪根转变为烃类, 特别是转变为气体时, 有机质的比容增加了 (Snarskiy, 1962, 1970; Sokolov 等, 1964; Vandenbroucke, 干 Tissot 和 Pelet 文中, 1971; Hedberg, 1974和1980; 也可参见 Vngerer 等, 本次会议);

(c) 当干酪根转变为烃类时, 地静压强制 (geostatic constraints) 由面相向液相的部分传递 (Meissner, 1978)。由于干酪根的可塑性质, 该种传递作用也会对于干酪根发生 (Du Rouchet, 1978和1981), 甚至当干酪根还是固态时就引起微裂, 因而对进一步都烃提供了通道。

然而, 水/烃界面张力所产生的障碍, 可能被夸大了。难办的是, 对生油岩的环境了解

得极少，其孔隙空间的描述和有机质的分布也很粗略。原地的界面张力是不能测定的，计算所采用的值都是在实验室中对测单体系测定的结果。还有，生油岩既非均质也非永不改变的，它在压实作用期间是有变化的。矿物的成岩作用现象，其中某些有时是起因于干酪根热降解的产物 (Moore 和 Druckam, 1981)，也能改变孔隙度。

为了图示这个思想的目前趋势，让我们来研究一下 Meissner (1978) 所描述的 Williston 盆地中 Bakken 地层的例子 (参看图1)。下密西西比系 (下石炭统一译者注) 的这个地层是一种富含有机质 (有机质重量约占5%) 的泥灰岩。埋深期间，在烃类形成之前，水就从生油岩中排出了。如果烃类是由于干酪根生成的，那么：

(1) 可认为孔隙的烃饱和度是增加了，并且最终烃类在生油岩中构成了一个连续相，当没有水的障碍时它就会被排出了。电阻率增加到了很高的程度就说明这个现象。

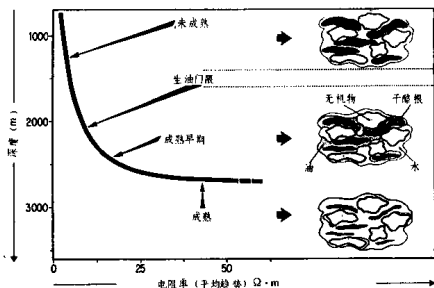


图1 Bakken 地层，据 Meissner (1978)

左—电阻率随深度的演化；右—用孔隙中油的饱和度来解释

(2) 部分固相 (干酪根) 向液相 (烃) 的转变导致固相的地静压强制有一部分传递给液相。所以孔隙压力就增加了，这样粗产生了有利于排驱作用的烃相压力梯度。

在我看来，对于石油勘探来说应记住这一重要事实，就是与用水输送的排驱机理不同，独立相的机理——无论它提出了多少变量——对其功效而言首先取决于烃类对生油岩孔隙的饱和度。

烃饱和度，首先取决于生油岩中有机质的含量和分布，其中是所勘探盆地的沉积特征 (这些特征也决定着水力梯度，而水力梯度又决定着水流的大小和方向)。

由于要考虑相对渗透率，以低渗透性储集层的情况类推，流出生油岩的烃类流量假定可以用达西定律描述。

值得注意的是，根据油田开发研究所列举的相对渗透率曲线的形状，任何烃类饱和度的增加均出现在烃类相对渗透率高得多的部位。如果不考虑储集层接受烃类的能力，则烃类从达到一定成熟度的生油岩中排出的概率，就要乘上一个比有机质含量的简矿比值高得多的因子，结果就使一个贫有机质的层段显得富含有机质了。

此外，由于对于排烃来讲饱和度必须高于一最低限才不可忽略，所以除了生油岩的一定

地史时期外, 以及当有机质含量太低时, 这些机理都将是无效的。

如果这一系列论证是正确的话, 那么石油勘探工业就应非常重视有机沉积学的研究, 尤其是生油岩/储集层体系的研究(我借用了 G. Demaison 的这个表达方式)。这项研究正在发展着(例子可参看: Demaison 和 Moore, 1980; Orgon 巡航(CEPM-CNEXO), Tissot 等(1979, 1980), Deroo 和 Herbin (1980)), 但是对于我刚才提到的这些方面注意得太少了。有机沉积学研究的一个手段, 应是更广泛地应用 Rock Eval 型地球化学测井仪(Espitalié 等, 1977)。

烃类一旦从生油岩中排出, 就能通过增溶作用沿着它们的通道带动其它生油岩生成的烃类, 否则后者是不会对运移作出贡献的。特别是当初始的排驱以“气”相(气相是流行的说法, 不过由于在这种情况下轻烃处于超临界状态, 所以用“超临界流体相”更好一些)发生时, 应取这一机理。Madame Zhuze 小组(Zhuze 和 Bourova, 1975)对这个机理的可能性进行了实验验证。

根据烃类进入到储集岩的通道性质, 这个效应的重要程度会有很大的变化。烃类处于高压条件时, 就被强制通过含有成熟有机质的、渗透率相对较低的岩系, 因而可获得良好的效应。应该指出的是, 烃类的带动能力并不能先验地认为仅局限于气相, 在油相中也是可以发生的, 否则它们也不会从生油岩中排出。

为了更完整地说明上述思想, 让我们用图来概略地比较一下两种模式的沉积盆地(图2)。第一个是沉积速度低(200×10^6 年中沉降3000米)的盆地, 海相有机质大量富集在一些不连续的泥质碳储层沉积中。其中一些多孔地层使与地表有充分的连通, 缓慢地沉积以及细粒沉积层相对较薄, 使其在烃类开始生成之前很容易将大部分水排出。第二个盆地具有较高的沉积速度(3000米用了 20×10^6 年), 其中充满了陆源沉积, 整个沉积体的陆源有机质的含量很低, 但相当稳定。当烃类生成时, 沉积中仍含有大量的水。

在第一个模式中, 烃类生成后不久, 常含有有机质的孔隙中烃类饱和度就迅速升高。同时, 更多的地静压强制传递给液相, 于是烃的相对渗透率和烃相中的压力梯度就很使提高, 所以在成油阶段有部分排驱是很可储的。

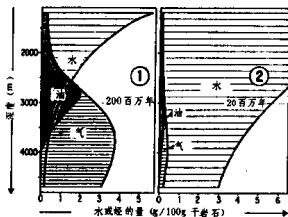


图2 在具有不同沉积型式两个沉积盆地的岩石中, 水和烃含量的对比

盆地1—低沉积速度以及不连续的富含有机质地层; 盆地2—高沉积速度以及许多贫有机质地层

在第二个模式中, 烃类饱和度长时间维持在很低的水平。成油阶段不可能有排驱作用。所生成的储将转变为气, 孔隙压力显著升高。运移如果发生的话, 那也将较晚, 并且首先以“气相”进行。

请注意, 在这样一个盆地中, 烃类形成一达到气相阶段, 水运载的机制相对来说就显得重要了。在沉积物中有机质是很分散的, 所以与水的接触是很容易的。与存在的烃类相比, 可储散的水是大量的。在这样的源度和压力条件下, 气态烃, 尤其是甲烷(Bonhan, 1978)和轻芳香烃还算可溶于水的。

图3(a)所示为盆地1和盆地2中烃的相对渗透率的使化, 这是由图2的曲线以及

图3 (b) 中相对渗透率对油饱和度的曲线估算的。示出的曲线有很大的任意性, 这主要是由开发研究 (Simlote 和 Withjack, 1980) 导出的图3 (b) 曲线与沉积盆地中的实际饱和度没有密切的关联性, 不过正如在图3 (b) 中所看到的, 作一些大致的结论还是可以的。

1、烃类在其排驱期间生油岩的相对渗透率, 在盆地2中的要比盆地1中的低几个数量级, 尽管其有机质浓度比只是1到10 (图3的曲线并未涉及与二次运移有关的进一步排驱和储集层)。

2、在盆地1中, 烃类刚一生成, 其相对渗透率即非常迅速地增加; 而在盆地2中所能考虑的深度内, 相对渗透率还几乎为零。

盆地1可以认为是一种陆缘的地台盆地模式。不过用来构成图2和图3的10%的有机碳含量, 在这样的盆地中还是少见的。正是由于这一高值, 遂与盆地2的情况形成了强烈的对比。

盆地2是快速沉降的第三系盆地 (tertiary basins——可能有误, 译者注) 的例子。大家都知道这样的盆地是生气的而不是成油的。人们普遍认为这个性质要归因于这些盆地中的有机质是陆源的, 认为这就造成了埋深期间烃类形成的高气/油比 (Dow, 1978)。油的保存以及未排出的油经裂解而生成气, 在我看来用以解释这些盆地中气体的丰度比用来说明有机质的性质要好得多。确实, 对陆相干酪根的研究表明, 它们在埋深期间生成的油要比气多得多 (Durand 等, 待刊稿)。按照这个观点, 在这样一个盆地中, 烃类聚集的性质 (油或气) 与有机质的性质 (海相或陆相的) 关系不大, 而主要取决于沉积物中有机质的分布。就大范围说来, 聚集的应主要是气。不过人们也应该注意到, 在这样的盆地中, 由于沉降速度很高并且沉积物中泥质沉积物的相对比例很大, 所以异常压力带在一定深度以下才会出现。当其它条件相同时如果烃的生成发生在压力梯度高的地带, 那么油的运移是易于进行的, 例如, 转变带就靠近异常压力带。还应注意, 气相穿越位于其上的沉积的渗透作用, 很可能会溶去其中所含的部分烃类, 从而新产生出一个气—凝析油藏甚或轻油藏。

就局部情况而言, 由于许多砂岩体处于静水压力之下, 所以也能有一些特别好的排驱层。另外也存在一些有机质含量相当高的地层, 甚至煤层, 这是许多第三系三角洲 (tertiary deltas——可能有误, 译者注) 的情况。这些条件类似于盆地1的情况, 因而有利于在成油阶

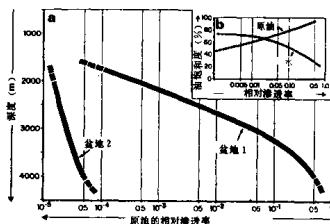


图3

a—图2●的盆地1和2中烃的相对渗透率随深度的演化; b—作为油饱和度函数的水和油的相对渗透率曲线, 从由图2●推得的水和油的饱和度来制作图3 (a) ●

●从正文看, 原文图注在这里误为图3 (b)。——译者

●从正文看, 原文图注在这里误为图3。——译者

●从正文看, 原文图注在这里误为图4 (a)。——译者

段烃类的早期排出。

因此,按此观点,在这样一种盆地中烃类聚集的性质(油或气)就与有机质的性质(海相的或陆相的)关系不大,而主要取决于沉积物中有机质的分布以及当地的条件。就大范围而言,由于有机质含量通常很低,所以聚集的应大部分是气。

据 Bray 和 Foster (1980) 的实验,人们注意到,二氧化碳在烃类运移中可能会起作用。这些作者指出,在饱和着 CO_2 水的压力下的岩石中,油的缓慢渗滤作用所带动的油,要比渗滤处于同样条件,但不含 CO_2 水的压力下的岩石所带动的油多。同时,所带动的烃类分布与这种油的分布相近。有些人认为, CO_2 的作用是增加了烃在水中的溶解度。而事实上,在实验条件下它的作用看来应是,通过降低水/油界而张力而提高了周围油的相对渗透率,并且排驱机理与烃类以单相运移的机理是有联系的。定性地讲,用气态烃,而不是 CO_2 ,也能发生类似的现象(定量讲,那就较弱了)。因此,看来 CO_2 与烃类同时生成就有利于烃类的排驱。但是在烃类生成时,在生油岩中只可能偶尔发现大量的 CO_2 。实际上 CO_2 的生成大多是先于烃类的生成,又因它极易溶于水,故除了因地下压力很高而部分溶解在有机质中以外,大部分都随水排走了。形成碳酸盐岩也是 CO_2 的一个归宿。不过在某些情况下,在更大深度上生成的 CO_2 的途径上,烃类带动作用的可能性还是不能排除的 (Kvenvolden 和 Claypool, 1980), 轻烃也会以同样方式起作用(以“气”相运移)。

让我们再呼吁一下,鉴于 Leythaeuser 等(1980)的工作,应该重新注意扩散机理。毫无疑问,扩散作用是在地下进行的,并且它的作用加强了上述所有排驱机理的作用。它起着均衡浓度的作用,因而其功效正象单相排驱机理的功效一样,是酸生油岩中烃饱和度而增加的。然而,目前一酸认为它在形成油藏中的作用是次要的,这是因为扩散系数很低,烃类在水中溶解度很低也酸制了它的作用;并且由于其固有的分散效应,它甚至还不利于油藏的形成。如果有较高的扩散系数和较高的水中溶解度的话,那么在形成气体聚集时,它才能更为有效。

三、运移现象的现测

前而一些考虑大部分是理论性的,排驱机理的现实性讨论只能根据地质取样的精细观测来进行。

过去几年我们已经看到,快速观测沉积物中烃类数量和分布的技术有了发展。象 Rock Eval (Espitalié等, 1977) 和类似仪器 (Claypool 和 Reed, 1976) 这样一些地球化学测量技术,处于这个领域的最前沿。由于有了 Rock Eval,我们现在就有可能在井场简单而又快速地对岩石中游离烃的浓度进行了研究,并且还可根据干酪根的特征,把游离烃的浓度与理论上应存在的量进行比较。

同一时期,所谓的热蒸发技术也得到了开发。用这种技术,对很少样品在 $<300^\circ\text{C}$ 的温度下进行蒸发,再接用气相色谱仪 (Bordenave等, 1970; Jonathan 和 Lothe, 1975; Schaeffer 等, 1978; Whelan, 1979; Saint Paul等, 1980), 就可以研究沉积物中烃类的分布。

这些技术是非常有用的,因为我们现在就能通过研究大量的容易得到的样品,从理论上在沉积盆地的规模上进行运移现象的观测了。这些技术也使我们有可能进行轻烃的研究了,而这是通常用溶剂进行抽提,然后再蒸发掉溶剂的技术所无法实现的。

然而,就通过目前技术水平的这些方法取得的结果而论,还有某些不足之处。同理这也适用于由 Rock Eval 得到的结果。在某些情况下,尤其是在排品中有机质含量很低以及(或

者)样品的泥质成分很多的情况下,样品含有的重烃就会滞留于其中,甚至还可能发生低温裂解,其结果就产生了改头换面的烃类分布,它并不是样品孔隙中所含的烃的分布了。这就是Espitalie等(1980)所描述过的矿物基质的影响。一个少见的极端情况的例子如图4(a)和(c)所示:在此例中,把一个煤样与极过量的伊利石混合起来(混合物中煤重2%),模拟了矿物基质的影响。图4(a)是热蒸发纯净煤而获得的色谱图(Saint Paul等的方法,1980),图4(c)是用煤和伊利石的混合物得到的色谱图。在图4(c)的情况中,只回收了约 C_{10} 以下的烃。

另一个重大的进展要归因于荧光显微镜应用方面的发展。由于它的发展,现在有可能用肉眼来观察烃类并且研究它们在孔隙空间的分布(Robert, 1979)。同时,也可能更逼真地描述孔隙空间和有机质在沉积物中的分布,尽管这是以相对很大的比例尺来描述的。

让我们也关注一下对细粒沉积物进行电测方面的进展。我认为这就是Meissner(1978)用电阻率测井方法来检验他提出的在多孔环境中烃类饱和度的假说。对西西伯利亚Bazhenov地层(Bois和Monicard, 1981)也进行过同样的观测。关于压实现象和初始排驱的驱动力的测井研究(Chiarelli等, 1973; Magara, 1978)也有很大的价值。

然而对于观测,特别是对排烃的观测来说,障碍之一就是缺乏足够合适的样品。面对石油公司,在这方面尽其全力总是有益的。由于大体上都是在聚集带进行钻井,所以获取已有油气聚集的样品的机会要多于获取已经排驱的样品的机会。此外,因为聚集带面积大致较小,并且每单位面积的带动力又大于排驱带的,所以对聚集现象比对排驱现象看得更清楚。顺便说一下,取样必须十分注意,然而现行的钻井规程(涡轮钻井中使用的复杂组分的泥浆,经常是保密的)使这方面的研究复杂化了,甚至受到阻碍。

由于存在所有这些困难,所以通过地球化学观测方法来解释研究运移现象还进行得很少,如果进行了,一般也是在有限的范围之内。这样的例子包括以下作者的工作:Vandenbroucke(1972), Barker(1980), Huc和Hunt(1980), Leythaeuser等(1980),以及本次会议期间的Leythaeuser等, Schaeffer等, Schoell等和Vandenbroucke等。

上面提到的Meissner(1978)用Dow(1974)和Williams(1974)的地球化学结果对Williston盆地的研究, Combaz和de Matharel(1978)以及Durand和Oudin(1979)对马哈坎三角洲的研究, Clayton和Swetland(1980)对丹佛盆地的研究, Basu等(1980)对Bombay盆地的研究,都是一些根据准确的地球化学观测,尽可能考虑到运移现象的三维性质并综合于地质体系的必然结果。没有这些基于观测的研究,要最终确定排驱机理的性质,也还是可能的。

解释观测结果的一个主要障碍是,只有当充分了解了烃类生成史之时才能清楚查明运移

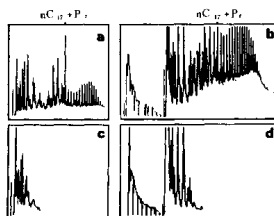


图4 以300°C下热蒸发作用提取出来的 $C_1 \sim C_{35}$ 烃类的气相色谱图之间的对比

a—马哈坎三角洲的煤; c—相同的煤以其2%重量比与伊利石混合; 这两张色谱图与同等原始重量有机质相关,并且是以同一分流比记录的; b和d—相同的样品热蒸发之后在氦气流中于470°C进行热解而得到的烃的对比; 色谱图前面的大峰对应于 CH_4 。

现象。然而，我们的关于成烃现象的知识，特别是关于轻烃生成的知识，在定量和定性的水平上仍不够详实。我可以举出一个例子，对于在主成油带之前由干酪根热降解而产生轻烃，特别是甲烷的可能成烃过程，就是一个尚未解决的有争议问题(Powell, 1978; Powell等, 1978; Snowden, 1978; Connan和Cassou, 1979; Kubler, 1980)。另一个例子是涉及上述问题的一种非常流行的看法，即关于陆源有机质几乎只能成气的问题，我认为这个看法有必要重新加以检验。

明确地讲，由于存在运移的因素，所以仅仅根据观测要建立烃类生成尤其是轻烃生成的非常精确的模式，那是困难的。这也就是为什么需要在实验室中对成烃现象进行准确模拟的原因。这个研究课题现已有很大的发展，在一开放体系中在 300 和 700°C 之间于惰性气体中进行热解，是最常用的技术。许多研究者就是在一开放或一封闭环境中用这种技术来刻画干酪根的(Larter, 1978; Larter等, 1980; Larter和Douglas, 1980; Philp和Russel, 1980; Van Graas等, 1980; Van de Meent等, 1980)，而另一些研究者的目的则在于模拟石油的生成(Vandenbroucke等, 1977; Harwood, 1977; Ishiwatari等, 1978; Peters, 1978; Seifert, 1978; Rohrback, 1979; Peters等, 1980; Monin等, 1980)。

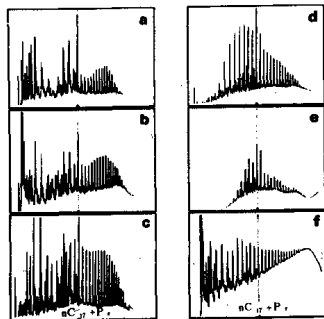


图5 $C_1 \sim C_{25}$ 烃类的对比

a—马哈坎三角洲一种原油中的烃类；b—对马哈坎三角洲一种镜质体反射率（油中的）为0.8%的煤于300°C进行热蒸发而得到的烃类；c—对马哈坎三角洲的一种镜质体反射率（油中的）为0.4%的煤于470°C热解而得到的烃类；d, e, f—巴黎盆地一种油的和下托阿尔阶页岩的烃类，获取方法和样品成熟度同上。情况c和f中所产生的 CH_4 ，在这里并未示出

用这种技术得出了一些令人鼓舞的结果，正如由图5中所看到的，它对海相和陆相有机质的三种色谱图作了比较：一种是原油的色谱图（图5(a)和(d)）；另一种，即图5(b)和(e)，是对位于主成油带的样品在300°C进行热蒸发而得到的烃类；最后一种，是470°C热解未成熟干酪根而得到的烃类（图5(c)和(f)）。油的、热蒸发烃的和热解烃的色谱图形是相似的，不过很显然，海生有机质图谱的相似性不如陆源有机质的。

对这样一种模拟至今仍有争议(Snowdon, 1979)。此外，热解对于操作条件的细节也非常敏感。正如图4(b)和(d)（原文误为图5——译者）对纯净煤和煤-伊利石混合物（混合物中煤重占2%）于470°C热解所产烃的对比那样，矿物基质的影响显然存在，并且可能还是很重要的。因此，虽然热解分离出来的干酪根是违反地质逻辑的，但是热解岩石中的干酪根也并不总是合理的。尽管有这样一些局限性，但在在我看来，已经取得的成果还是激起了人们这样一种期望，即在不远的将来，通过改善模拟的质量使之满足运移研究的需要（当然，还不能做到在分子结构的细节上都完全相似）。这样就可使人工模拟的演化序列与天然演化序列十分类似，并且制定出一些相应的清晰图版。

为了做到这一点，就必须改进实验技术。一个有希望的方向看来是Lewan等（1979）在约 300°C 的温度下热解有水的整块岩石而开拓的。由此得到的烃类分布实际上非常近似于原油中的烃类分布。此外，它产生的正烯烃很有限，而这些烯烃在无水开放环境下进行的实验中是大量存在的，在天然原油中则是没有的。

四、油藏与生油岩之间的对比

油藏与生油岩之间的种种对比，是建立在烃类分布、尤其是生物标记化合物分布的对比研究之上的。它们主要用于盆地研究中油源岩层的识别，而往往并不明确涉及运移的描述和解释。不过目前这种对比的广泛应用（这就意味着取得了某些令人满意的结果），暗示着支持烃类是以独立于水相的一种相态来运移的。确实，在水相运载的情况下，由于烃在水中的溶解度是作为其分子量和分子结构的函数而差别极大，就使得油藏和生油岩中烃类的分布如此不同，以致对比起来使人感到十分棘手。

然而，除了传统的追索生油岩层外，要解决运移问题和选择运移机理，就要做比现在多得多的对比工作。一般来说，这样就有可能比现在更精确地定出烃类所来的生油岩层段，并且也才有可能以排驱和运载机理来更准确地解释烃类分布的差异。全套可用的生物标记化合物是广泛的，最近已扩大到包括石油卟啉了，HPLC的发展使我们有可能对其进行处理了。为认识运移作用，过多的分析与相对贫乏的应用之间的对比，现在愈加明显了。

实际上，通过仔细比较生油岩和油藏中烃类分布来认识运移作用，会面临一系列困难，下面我们就列举其中一些：

1. 原油代表其整个排驱地区的生油岩的平均组成。相反，用于对比研究的生油岩的特定样品，只能代表特定的有限的干酪根的面貌。何况在一个沉积盆地中，还会存在几个具有相似地球化学特征的可能的生油岩层，这样就需要非常详细地研究大量的沉积样品。这种复杂性以及目前分析方法所需的时间，对于协调这个要求来讲是困难的。GC-MS联用的发展，在相当大的程度上减少了这个障碍。

2. 可得到的沉积岩样品一藏都不是产油的，简单说来这是因为钻井大致都在聚集带进行，而不在排驱带进行。在许多情况下，它们充其量仅相当于有效生油岩的未成熟阶段。

3. 所应用的一些生物标记化合物可能是原油在其运移途中溶解下来的，所以它所对应的岩石并不是生油岩。

4. 象生物标记化合物这样的一些复杂分子，很容易被熟化作用所破坏。因此，当达到强烈成油带时（对形成工业性油藏唯一有意义的阶段），它在深处生成的烃中的浓度（以至其重要性）都大大降低了。

5. 对生物标记化合物在运移中的行为，以及它们在储集层中可能发生的蚀变作用，所知甚少。

整个看来，运移效应起先是使生物标记化合物在到达储集岩的途中，由于“损耗”而降低了其在最终原油中的浓度。这就产生了类似于熟化作用的效应，增加了解释的困难。此外，由于运移作用和成熟作用大体上有相似的效应，所以要区分它们对生物标记化合物分布的相对影响是困难的。

通过一个简单的例子，我可用图说明用生物标记化合物解决运移问题时的一些含糊性和困难。这个例子是从已研究过运移现象的印度尼西亚马哈坎三角洲的研究中得来的。三角洲

中的有机质属于该沉积层系中唯一的一种类型，它完全是由陆源输入的高等植物碎屑演化来的。它要么在粘土中以分散状态出现，要么集中于煤层中 (Durand和Oudin, 1979)。

马哈坎三角洲

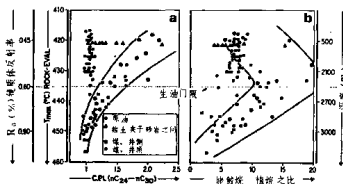


图6

a—马哈坎三角洲的煤和原油，其CPI值随深度和(或)成熟度的演化；b—同样的样品，其姥鲛烷与植烷之比随深度和(或)成熟度的演化

图6(a)表示了如下样品的CPI值(按原油和沉积物的 CHCl_3 抽提物中 $\text{C}_{24}\sim\text{C}_{30}$ 范围的正烷烃计算)，随深度(或者由镜质体反射率或者由Rock Eval分析(Espitalié等, 1977)的 $T_{\max}$ 确定的演化程度)而演化的情况：(a)煤样采自Handil和Nilam构造(Vandenbroucke等，本次会议)侧翼的油井，几乎未受运移影响；(b)取自位于Handil构造顶部油井的已有所聚集的煤样；(c)夹于侵染的砂岩层系之间的粘土样品，取芯靠近储集层的浅部；(d)取自不同深度的油样。

原油的CPI值介于0.95与1.15之间。煤的CPI值，无论它们是否已有过石油聚集，部随演化而减小，并且在相应于 $T_{\max}$ 超过 440°C (或0.7%的 R_o)的演化程度就与原油的CPI值一致了。这就使我们相信，这些原油是在比该值更高的成熟阶段形成的，并且 $T_{\max}=440^\circ\text{C}$ 就相当于可能已进入油藏的原油的成油门限。这个结果与用其它方法得到的结果是一致的。

夹在侵染过的砂岩之间的粘土，其CPI值变化很大。按上述关系来讲，这种波动是由于样品被来自更大深度的原油或大或小的浸渍所造成的。

原油的CPI值，看来在目前情况下并未受到运移作用的影响，“有所聚集”的煤被 $\text{C}_{24}\sim\text{C}_{30}$ 范围的正烷烃浸染也似乎很弱，至少在该层系的顶部是如此(因为原油和煤的CPI值正常接近，所以考虑下部是不可能的)。姥鲛烷/植烷的比值(图6(b))对解释而言是太分散了。虽然有机质的母源就整个层系而言是非常稳定的，但是这个值分散的部分原因，可能是由于与三角洲相态变化相应的氧化还原条件变化的结果。确实，现已普遍认为，姥鲛烷/植烷之比对于这种变化是非常敏感的。此外，这个比值——至少对起源于高等植物的有机质是一种已知现象(Boudou, 1981)——于未成熟带的末尾在几乎未受运移影响的煤中(因而作为成烃现象的标准是有用的)会达到一个最大值。这样，一个低值就会对应于两种演化程度。

姥鲛烷/ $n\text{-C}_{17}$ 之比和植烷/ $n\text{-C}_{18}$ 之比(图7(a)和(b))，虽然不宜用来表示到达的最大值，但是分散性较小，并且当采用原油来自深部这一结论时，则可以作出明确的解释：

1. 层系中部和顶部的“已有聚集”的煤，明显不同于标准煤，说明它们是被来自下部油中的、再加上原地生成的 $n\text{-C}_{17}$ 烷、 $n\text{-C}_{18}$ 烷、姥鲛烷和植烷浸渍了的叠加物。

2. 在油中测得的值是类似的，并且与深部煤中测得的值相对应。在最浅的油中，可以看到这些值有所升高，这就证明了它们在运移期间溶解了含在邻近岩石中的一些姥鲛烷。这样与在运移途中遇到的岩石发生了轻微的但也是可见的相互作用，而对重质正烷烃情况就不是这样了(所以原油的特性因所考虑的馏分而不同)。

在沉积盆地的地球化学研究中，使用得最普遍的大概就是生物标记化合物了。这里对它们所作的这些解释相对说来是容易的，推测起来这是因为：(a)前而已经证明其有机质的类

型是单一的; (b) 生物标记化合物随成熟度的演化可以认为与运移现象无关; (c) 运移现象和地质的来龙去脉在其它地方已经研究过了。

显然, 在这种尚简单的情况中, 如果一开始就用生物标记化合物解释运移现象, 那么这些生物标记化合物的使用就可能灵敏得多。在更复杂的情况中, 例如对于有机质类型有几种或类型混杂的盆地, 困难就会更大, 而克服它们的手段开发得还很少。这里, 就需要在三个方向上考虑通过至今还很少进行的地质学家、沉积学家和地球化学家的密切合作:

1. 要发现一些容易掌握的、对各种沉积类型确有特效的生物标记化合物。霍烷是个相反的例子, 有很长时间人们认为它们与高等植物有关, 而现在我们正把它们与细菌的蚀变作用这一普遍存在的特性联系在一起。在这个领域中, 将源于角质蜡的正构烷烃作为低演化阶段的陆相环境的标志, 以及把丰富的甾烷作为海相环境的标志, 看来只有这些还是经受住了时间的考验的。Baker等关于石油卟啉的工作也给我们带来一些希望, 他们指出(参看Baker和Louda, 1981; Louda和Baker, 1981) 这些标志物对于沉积条件有很高的灵敏度。

2. 在同类的沉积岩系中, 或通过热模拟(由于细微的分子结构都必须再现, 所以在这一特定情况下热模拟可能是不符合实际的), 来研究每种生物标记化合物随熟化作用的演化, 以便将由未成熟沉积物获得的成果引伸到成熟沉积物中去。在甾烷、三萜烷、非环状异戊间二烯化合物和卟啉方面, 下列的工作是值得注意的: Ensminger (1977), Seifert (1978), Huc (1978), Hajibrahim (1978), Mackenzie (1980), Eglinton等 (1980), Mackenzie等 (1980 a和b)。

3. 从一些在其它方面已研究得很透彻的地质范例, 来研究生物标记化合物在运移和蚀变过程中的命运。在这方面我们应该提到Seifert和Moldowan (1980) 关于甾烷的工作。根据地质实例, 这些作者证明, 用这一族标记物中一定的光学异构体的比例可以反映出运移的程度。我们还应提到Connan等 (1980) 最近所做的关于Aquitaine盆地原油的工作, 他确证了较早的工作。提此, 除提端情况外, 生物降解作用并未改变三环、四环和五环烷烃的分布, 所以可以在有生物降解的情况下用来进行对比。

用除同位素技术之外的任何方法来追索气态烃、特别是甲烷的运移途径, 可能是很难行得通的。例如, 由与其有联系的液态烃来提气态烃的解头和途径那是危险的, 这是因为已知它们的物理性质相差极大, 要确信它们与气体是在同时来自同一地点大概是不可能的。

但是同位素之间的联系, 在其本身之中隐藏的信息极少, 这样对于研究运移问题来说, 它就很难成为一种辅助手段。还有, 决定它们的因素, 除了运移现象之外, 其它的也还有很多,

马哈坎三角洲

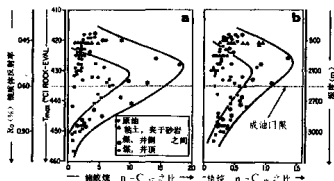


图7

a—马哈坎三角洲的原油和原油, 其姥烷/ $n-C_{17}$ 之比随深度和(或)成熟度的演化; b—同上样品, 其姥烷/ $n-C_{15}$ 之比随深度和(或)成熟度的演化

并且对它们各自的影响也存在着严重的争议。这些因素是：(a) 有机质的性质；(b) 有机质的成熟度；(c) 生成作用（生物成因气/热成因气）；(d) 与环境（水， CO_2 ，特别是碳酸盐）的相互作用。

过去几年，根据观测和实验已经进行了大量的解释工作。这些例子有Schoell (1979)，Chung和Sackett (1980)，Peters (1980)，Redding等 (1980)，Fuex (1980)，Rice和Claypool (1980)。结果是，尽管也有一些相反的意见 (Neglia, 1979)，但是碳和氢的同位素组成几乎不受运移现象的影响。与环境的相互作用看来也是有限的。 $\delta\text{C}^{13} < -55\text{‰}$ 的值，很可能相当于生物化学形成过程。

虽熟这是简单化了，但是同位素关系值与有机质性质和成熟度阶段之间的对应性——这决定着这些方法通过可以确定成气带的位置来解决运移问题的有效性——好象更不可靠。例如Stahl (在Schoell文中, 1979) 提出的陆相有机质的成熟度对其产出的气体的 δC^{13} 值的关系图，似乎并不存在一个普遍通用的对应关系。Redding等 (1980) 的工作提出了一个可能的解释，这就是，沉积中发现的气体可以有不同的 δC^{13} 值，这取决于它们是由于酪根直接生成的（在这种情况下，该值范围应该是较大的，过成熟样品生成的甲烷在同位素上应该是较重的），还是由两个相响阶段——先形成烷，然后油再裂解成气——生成的（在这样情况下，数值的范围会相当窄，在 -50‰ 左右）。而根据有机质的性质和地质条件，这两种类型的气体就会以不同的比例供给储集层。Stahl所报道的数值是报国北部的气体的，它们是由地质历史很复杂的煤层生成的 (Patijn, 1964)。这些气体可能是在重新埋深期间在成熟早期阶段就已经生成的，所以可能是由煤直接降解生成的，而没有经过以前就用运移作用排除了的成油中间阶段。这样就解释了这么一个事实，它在同位素上相对于也产于陆相有机质，但大报经过了成油阶段的甲烷是重的。马哈坎三角洲就是一个例子 (Schoell等，本次会议)。

再者，这样的问题能够得到解决也是由于有了非常特心地作出的一些地质样板。

五、结 论

有机地球化学仅仅是了解烃类在沉积盆地中运移的一种手段，但也是一种必不可少的手段。对有机质在沉积岩中分布的观测和预测，以及对烃类的报量、分布和它们形成历史的再造，报我们有可能设立该体系的初始和最终条件，做到质量平衡并且报验所提出机制的有效性。通过我对上述三个题目的讨论，报出了该领域近来的一些重要发展及其不足之处。在这些进展之中，从概念性的观点来看，类出烃类构成一个与水分开的相进行排驱的机理，我认为这是一个如腐殖类质降解动力学来质响石油生成一样的重要进步；从报术性的观点来看，分析技术的小型化和分析集度的加快，报使得研究人员可以在其必然的三维体制中来研究运移，并使他们感到拿的报验系统是轻而易举的。报光显微报集报的进步，类供了以不太抽报的形式了解生油报集报的可能性。

不足之处在于报的研究中利用报的新技术可他性的工作仍很新。我还注重报，在过去五年中有关烃类形成的知识几乎报有什么进展，要用来报决所提出的问题是报不移的。关于用生物标记化合物来解决运移研究中的实际对比问题，报们也还没有一套报造的程序。我认为，这些缺陷要报归于地质学家、沉积学家和地球化学家之间合作报不够，这是因为石油公司很少设置供研究人员报用的令人报直的地质样板，同时也因为这些小组要按其正常报望来处理问题也显得报小了。