

普查勘探理论和方法

生油层段非储集岩中的烃类

(美) E. E. 布雷 E. D. 伊文斯

绪 言

烃类这个词由于用在不同的地方而其含义可能被混淆,例如通常地质学家所指的“固态烃”并不是化学上的烃类。烃类的定义是在它们的分子结构中仅仅含碳原子和氢原子。既然烃类是石油的主要组份,它们在沉积岩中的产状长期引起了地质学家和地球化学家的兴趣。数量不多的烃类到处与有机物质相伴生,并且是有机物质的一个天然部分,不论其是活的生物抑或是在沉积岩中呆了几百万年的死的生物。Baker(1962)和 Philippi(1956)曾经指出在页岩和泥岩中烃类与有机物质的关系。所有的沉积物包括现代沉积物在内都含有或多或少的烃类(Trask and Wu 1930; Orr and Emery 1956; Smith 1954; Swain and Prokopovitch 1954; Stevens et al., 1956; Bray and Evans 1961; Hunt 1961; and Gehman, 1962.)。

在研究石油起源方面,许多地质学家认为是由沉积有机物质转化为烃类的。这一见解由于在石油的分子结构中发现其碳骨架按化学原理可以与分散在沉积物内的非烃有机物质的化合物相对比而得到了支持。这一点开始是由在原油和页岩中发现卞啉的 Triebbs (1933) 提出的。这第一个证据又为近年来的其他发现再次肯定和加强。Mair 等(1962)在石油的一个高沸点馏份中分离和鉴定了二十一个三核芳香化合物。他们认为这些烃类中的极大部分可以由甾族化合物降介而来,这就支持了甾族化合物是石油的前身的理论。甾族化合物包括了生物体中的许许多多化合物。在石油的重质饱和馏

份和沉积物的抽提物中找到了甾烷和其他在结构上类似于甾族的烃类(Meinschein 1958)。

近来的文献说明姥鲛烷(2, 6, 10, 14-四甲基十五烷)和植烷(2, 6, 10, 14-四甲基十六烷)是石油的重要组份(Dean and Whitehead 1961; Bendoraitis, Brown and Hepnes, 1962)姥鲛烷和植烷的存在也似乎直接关系到石油的起源,它们再一次地与有生命物质的遗体有关。这里举为例子的姥鲛烷组成了叶绿素分子的30%左右。

已经提出了许多似乎有道理的将石油前身转化为烃类的化学反应(Abelson 1959; Hanson 1959; Erdman 1958; Cooper 1963)。尽管如此,所见到的文献还局限于在实验室中来论证这些地质条件下的转化过程(Mulik and Erdman, 1963)。然而,这些反应在原理上是可能的,大部分的证据表明在沉积物中烃的生成作用是存在的。这一点是基于古代沉积物较之现代沉积物含有更多的烃类的总倾向(Hunt 1961; Gehman 1962)以及在一些古代沉积物中发育汽油的事实。由于少于检测限度,大部分的汽油烃类在现代沉积物中检测不出来,然而它们在一些古代非储集岩中是比较丰富的。这些已由Erdman等(1958), Dunton and Hunt(1962), 以及 Kvenvolden (1962)的工作指出了。重质正构烷($C_{24}-C_{34}$)提供了近代沉积物和古代沉积物的烃类之间的又一个显著差别(Stevens等 1956, Evans 1957, Bray and Evans 1961)。这一差异表示在图1中,这里对比了三个样品中重质正构烷的相对丰度。图上方是现代沉积物中的正构烷,其中含奇数碳原子的正构烷强

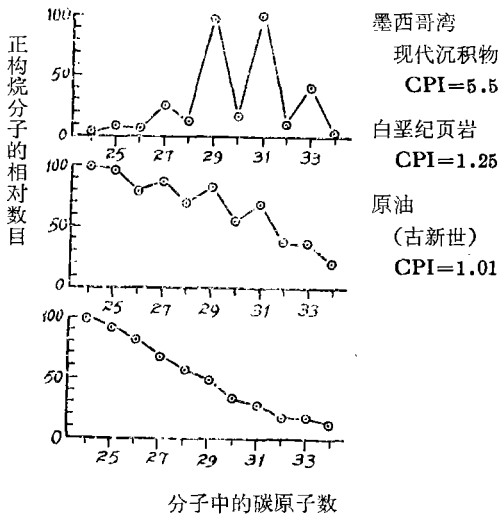


图1 沉积物和原油中正构烷分布示例

烈地居优势。这与图下方原油的情况相反，它很少显示奇数碳原子的优势。页岩样品则居于现代沉积物和原油之间。

图1中每条曲线的右方有一个数目记作CPI(碳优先指数)。这一数目告诉我们在每个样品中奇碳正构烷比偶碳正构烷多多少(Bray and Evans 1961)。例如,在现代沉积物中奇碳分子为偶碳分子的5.5倍。原油的碳优先指数是1.01,也就是奇碳分子和偶碳分子的丰度差不多相等。为了更好地了解沉积物中碳优先指数的意义,本文研究了比以往更多的样品(Bray and Evans 1961; Cooper and Bray 1963)。

碳优先指数的分布

沉积物和原油中碳优先指数的分布表示在图2中,横坐标是碳优先指数,纵坐标是相应于每一个指数区间的样品百分比。图2上方的77个现代沉积物大部分取自加里福尼亚岸外盆地,墨西哥湾和湾岸凹地。241个页岩样品和40个代表性的原油分别表示在图2的中央和下方。页岩或泥岩样品取自不同的沉积物,从第三纪到石炭纪,从北美、南美、北非到小亚细亚的露头和深部岩心。现代沉积物的碳优先指数在2.4到5.5之间,表明在现代沉积物中广泛地是奇碳重质正构烷明显地居优势。这个数

值的范围比原油的大得多,原油的指数集中在1.0左右的窄范围内,表明原油一般所含的重质正构烷其奇数分子和偶数分子几乎相等。页岩正构烷的碳优先指数一般低于现代沉积物。一些页岩的指数接近于1.0,而1.0是原油正构烷的特征。

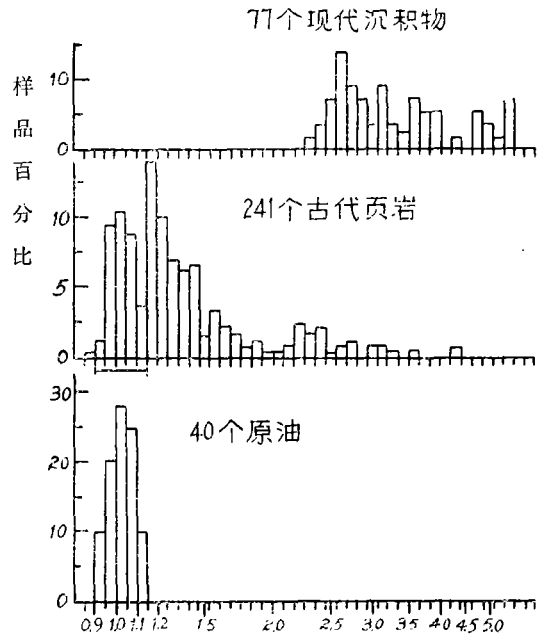


图2 沉积物和原油中碳优先指数的分布

某些古代页岩的指数与某些现代沉积物相当,这些样品的年代可老到石炭纪。如果说高的碳优先指数是保存下来或埋藏下来的,那么这就符合通常认为与古代沉积物在一起原先沉积下来的烃类在某些方面和现代沉积物是相同的假设。如果这一假设是正确的,那么所考察的古代页岩中约有90%其正构烷组成已经历了变化。

CPI值和烃类的新生

在较老的岩石中烃类数量的增加和汽油的出现说明了烃类的新生作用。数量不等的石油正构烷的新生与原先和沉积物在一起沉积的烃类相互混合可以导致页岩的CPI值降低。图3表示了CPI值的这一降低。这张图所列的成果是可以算出来的也可以用实验来获得的。把

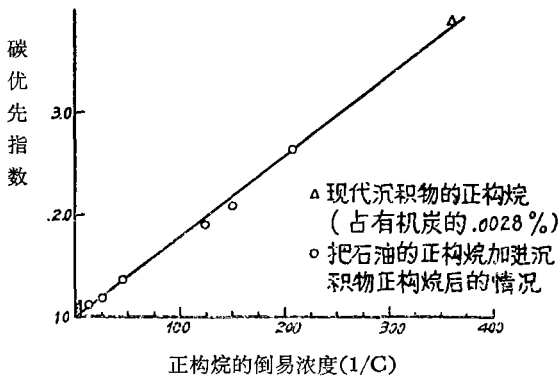


图3 石油正构烷和现代海底沉积物正构烷的混合情况

从石油中分离出来的正构烷与近代沉积物的正构烷相混合，现代沉积物原有的碳优先指数及其正构烷在总有机碳中的浓度的倒易数已用三角点表示在图中，逐步混入石油正构烷其结果用圆圈表示在图中，这导致 CPI 值的连续下降。图 3 中 CPI 值与倒易浓度之间的线性关系是有意义的，前述页岩 CPI 值的低是由于重质正构烷混合物的新生并掺入到原先烃类中去的说法就可以通过古老沉积物来考察。现实地考虑一下，在最好的情况下，所寻求的页岩的 CPI 和有机碳中正构烷的倒易浓度之间的线性关系可以被原始 CPI 值和浓度等变数弄得模糊起来。这表示在图 4，其中的叉点是各个现

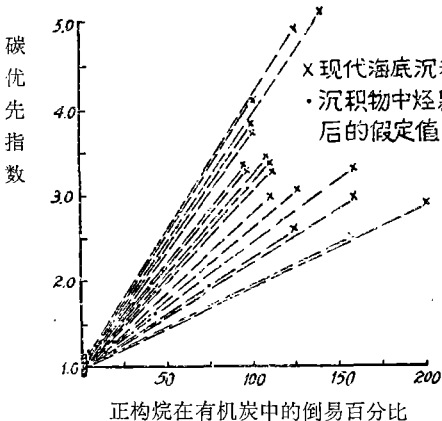


图4 页岩 CPI 与其原先沉积物时的 CPI 之间的理论关系

代海泥的 CPI 值和正构烷倒易浓度。假定这些现代沉积物可以代表以往地质时代原先沉积的沉积物；并在其中新生了数量不等的烃类，

原先的数值就变掉了，出现一些代表较老岩石的新点，在图中以黑点表示之。又如在图 3 中那样，这些点应当位在原始沉积物的数值与石油的数值的连线上。图 4 表示了沉积物在地质历史时期不同程度的转化所可能导致的点，并预示了分析许多页岩样品可能出现的结果。在主要是页岩的 Eagle Ford 层位广泛地采了样。这些样品可以作为例子。在这一层位采了二套完整的岩心，一是从德克萨斯州 Dallas 群，一是从德克萨斯州 Wood 群。Eagle Ford 在 Dallas 群出露而往东在 Wood 群它埋至 4,000 英尺。

图 5 表示了碳优先指数和正构烷的倒易浓度

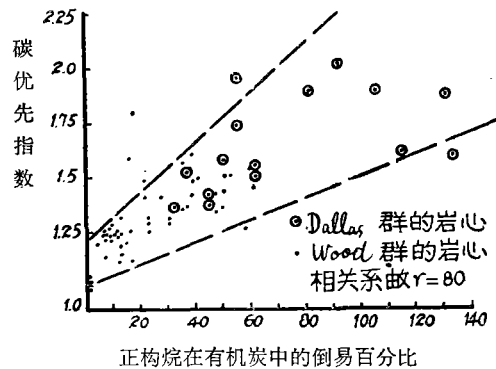


图5 Eagle Ford 页岩中碳优先指数与正构烷倒易浓度之间的关系

(1/C)。正构烷的浓度以其占有有机碳的百分比表示之，以减少可变性。这些点子具有较高的线性相关系数($\gamma=0.8$)。这一碳优先指数与正构烷浓度的关系是与正构烷经新生作用形成类似于石油的奇偶比例的假设一致的。Eagle Ford 在东西二边的岩性、厚度和有机碳含量大致相仿，然而在 Wood 群这一层位的 CPI 值较低和正构烷浓度较大与这一盆地深部转化作用较强的推断相一致。这一现象与 Robinson 等 (1963) 在 Green River 建造 900 英尺层段看到的碳优先指数随着埋藏深度的增加由 3.6 降为 1.2 的事实差不多。

CPI 值和总烃含量的关系

有利于形成烷烃的条件也应当有利于有机物质转化为其他烃类。考虑到这一点，考察了

页岩、泥岩和现代海泥中的 CPI 与总烃在有机炭中的倒易浓度的关系。相当多的样品揭示了 CPI 与有机炭中总烃的倒易浓度之间具有很好的线性相关系数 ($\gamma=0.73$)。这一关系符合于 CPI 作为在沉积物中有机物质转化为烃类的指标。图 6 表示了 CPI 与烃类倒易浓度的关系。

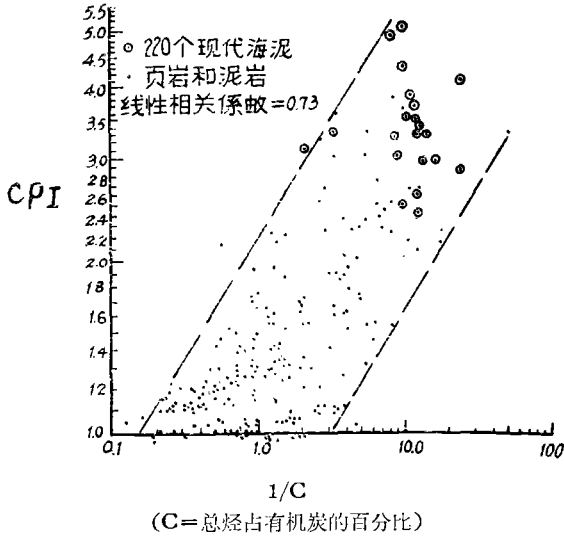


图 6 CPI 与总烃倒易浓度的正比关系

从现代沉积物开始一直到某些页岩和泥岩，CPI 值显示了有机物质向烃类的转化。分布的带较宽是由于原始沉积物具有不同的 CPI 和浓度值。带中的每一点大概代表了沉积有机物质向石油烃类发育成熟的一定阶段。下一步的转化是否能达到石油烃类取决于有机物质的性质及其经历的环境。

CPI 值和生油层学说

“生油层”的概念被地质学家广泛地引为指导的学说。这一学说提出石油烃类是在作为生油层的富含有机质的细粒沉积物经过长期的埋藏后形成的。推测接在这一生油过程后面的是原生运移和在渗透性储集岩中的聚集。图 7 中的绝大部分页岩是作为可能生油层挑选出来的。其中约有 30% 具有类似于石油的 CPI 值，这在烃类含量高的沉积中更普遍。图 7 画出了 400 个页岩样品的成果。CPI 接近于石油的样

以总烃含量划分生油层的界线

其正构烷接近于石油的样品出现的概率

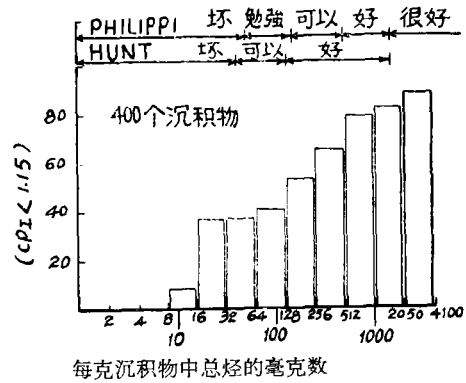


图 7 所含正构烷接近于石油的沉积物通常含总烃较多

品所占的百分比随烃类含量的增加而迅速增加。根据生油层学说，石油烃类的含量是作为一个生油层的前提。通过 CPI 值可以辨别那些未生成石油烃类的沉积物。根据这一准则，图 7 中就 CPI 值和其他学者判别生油层的烃含量界限作了对比 (Philippi 1956; Hunt and Meinert 1958)。碳优先指数低和烃含量高一般是相随在一起的。然而，根据 CPI 来看以往根据烃含量可以作为生油层或好生油层的样品有相当一部分要降级。也应当提醒一下去进一步研究少数具有近似于石油的正构烷而以往根据烃含量被作为生油不好的样品。图 8 表明近似

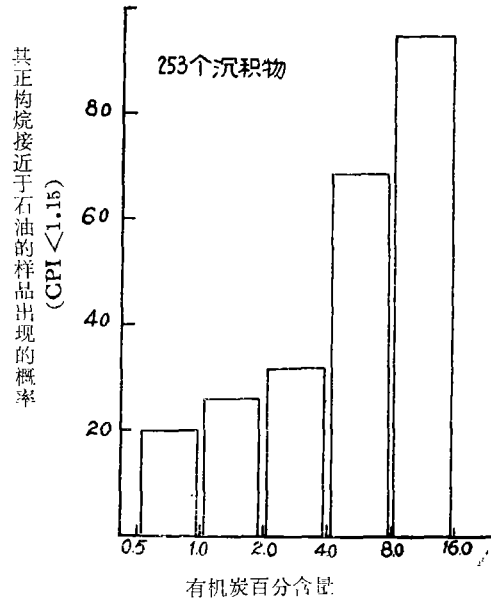


图 8 所含正构烷接近于石油的沉积物通常含有机炭较多

于石油的正构烷也是在有机碳含量高的页岩中更普遍。这与 Ronov (1958) 和 Schrayner and Zarrella (1963) 对有机碳含量的综合研究是一致的。他们认为油藏有规则地与区域性富含分散有机碳的地层组合相伴生。这一富集作用在页岩和泥岩中特别显著。绝大部分油藏位于生油岩地层组合之中，除非是运移。根据前述资料，似石油正构烷的出现与烃含量、有机碳含量较多连在一起，而后者按 Hunt and Meinert (1958), Philippi (1956), Schrayner and Zarrella (1963) 以及 Ronov (1958) 与石油的聚集连在一起。概要来说，石油的生成似乎与富有机质因而富含烃类的层位相伴随。

或许，石油可能离开生油层向上运移到聚集岩中去。有许多位于石油聚集上方或下方的页岩不具有接近于石油的 CPI 值不足为烃。生油层或许在下倾的方向。然而，邻近油藏的可能生油层可以根据地质判断来揭示它们的关系。其中的一个例子是在德克萨斯州 Scurry 群邻近 Canyon 礁块采集的一个 150 英尺二迭系页岩岩心。其岩性和分析成果见图 9。直接盖在石灰岩上并邻近石灰岩储油层的 50 英尺页岩含有石油烃类，这符合于一个可能的生油层。

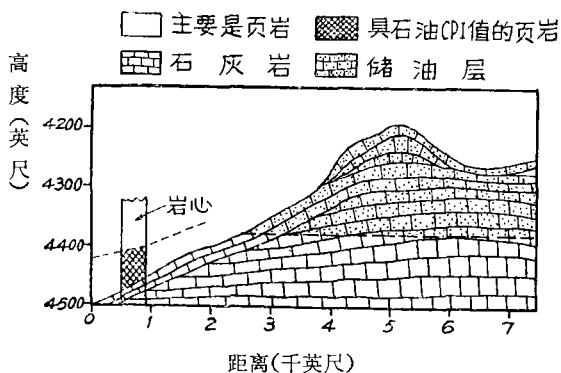


图 9 可能生油层邻近于石灰岩储油层的一个剖面

运移的可能影响

目前已掌握的生油层知识还不能判断那一部分烃曾经从一个生油层运移到一个储油层，然而，还掌握一些运移对石油组成的影响的知

识。Brenneman and Smith (1958) 在石油和生油岩的相应的馏分组成之间只能找到很少的一点关系。除非在重质芳烃馏分中。八对原油和有关的生油岩中有六对其重质芳烃具有相似的红外光谱。这种相似性是石油和生油岩有关系的唯一指示。John Hunt (1961) 和 Donald Baker (1962) 发现 Cherokee 页岩中的芳烃对饱和烃的比例比之有关的原油为大。他们认为运移过程有利于饱和烃比例的增加。另一个可能性是在运移以后沉积物中烃类的新生和变化有利于芳烃。

对运移过程中烃类组成的变化作了进一步的研究，对比了原油与有关生油层抽提物的重质饱和烃 (C_{18+})。这些烃类用色层法回收，在 $40^{\circ}C$ 下蒸发至恒重 (Bray and Evans, 1961)。按 Clerc (1955) 等的方法用质谱仪测定了烷烃和环烷烃在饱和烃中的百分比。

以前述邻近 Canyon 礁块的二迭纪页岩为例。页岩中的正构烷具有和石油相似的 CPI 值，而其重质芳烃的红外光谱也类似于原油的重质芳烃。图 10 画出了原油和页岩中 C_{18+} 饱和烃的质谱分析结果。在储层的原油中烷烃占饱和烃的 31.3%，而在页岩中是 22.1%，这就是说原油中的烷烃比例比之可能生油岩增加了 41.5%。虽然原油和页岩根据地质判断有相互关联，还缺乏原油真正是从这一页岩中出来的完整证明。为了减少偶然性引起的错误，对比了许多页岩及其有关的原油，不论其 CPI 值的高低和烃类的性质。除了避免重复以外，没有

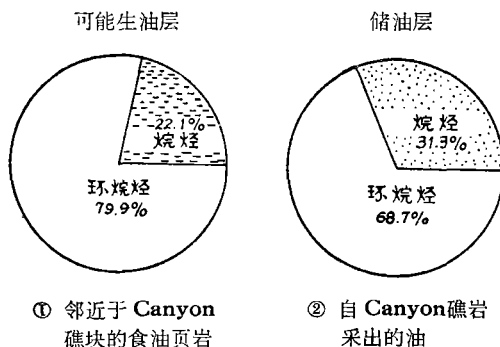


图 10 储油层和生油层中重质饱和烃的对比

故意去挑选出某些样品来，例如，在一个油田内每一个生产层位只取一个油样，这些来自各种环境未经故意挑选的样品的烃类分析成果综合在图 11 中，它表示了页岩和原油中烷烃占重质饱和烃的百分比的频率分布。365 个页岩和 494 个原油中烷烃的平均百分比相应地是 30.4 和 37.3。这一频率分布表明原油的重质饱和烃比之页岩中的相应馏分含更多的烷烃(23.3%)。

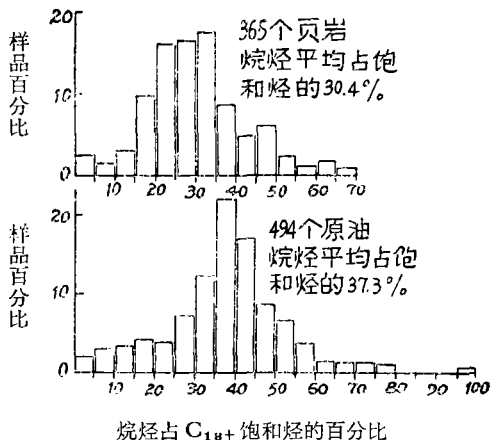


图 11 页岩和原油烷烃百分含量的分布

如前所述，并不确切知道图 11 中列出的原油是否来自所列出的页岩，这需要作特定的鉴别工作。频率分布的意义仅仅基于它们代表了二个统计全域并且其差异不是由于偶然性采样所引起。用统计学中的解消假设统也就是多项式二样对比法测试了这二个全域的存在(Mood, 1950)。统计测试的结果表明其概率非常接近于 1 (0.9999)，原油作为一群比之页岩在重质饱和烃中含有较多的烷烃。这一推断是属于偶然性的概率少于万分之一。在各种环境中广泛的重向采样，这些环境的差异又很大，以及其中分散有机质的多样性使所得到的这一成果可以普遍应用。

又在这些地区内作了页岩和原油的另一个对比。只是用了一些 CPI 值接近于石油的页岩，也没有把它们和原油一一对起来。样品的年代从奥陶纪到白垩纪，来自五个州的八个地质构造单元。原油也是取自同一地区。烃类分析成果综合于图 12 中，它表示了页岩和原油的

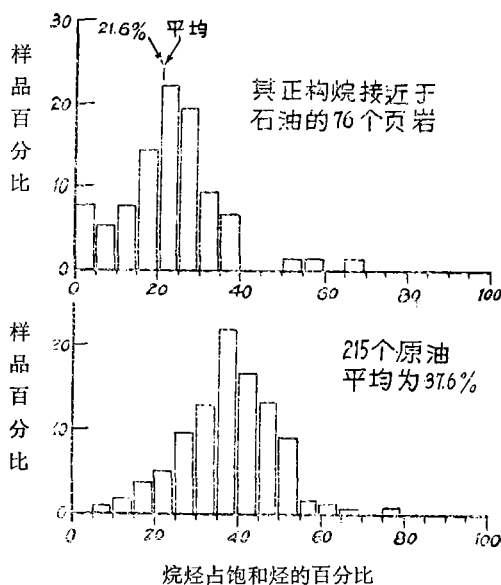


图 12 在沉积物和原油中烷烃占重质饱和烃百分比的分布

重质饱和烃中烷烃百分含量的频率分布。76 个页岩和 215 个原油的烷烃平均百分含量相应地是 21.6 和 37.5。这二个数字说明在原油中的烷烃百分含量比之在页岩中大得多(74%)。这表明存在着运移的可能性。再一次用解消假设统进行了统计测试，说明原油中烷烃的增加不可能是由采样的偶然性引起的。

原油比之页岩在其饱和烃中含烷烃较多的现象与在运移过程中烷烃相对富集的推断相一致。反过来可以解释为在原油运移后沉积物中优先形成了环烷烃，然而这种见解似乎与现代和古代沉积物的 C₁₀₊ 饱和烃中烷烃和环烷烃的比例关系不符。图 13 综合对比了页岩和现代海泥的资料，一般重质环烷烃在较老的岩石中并不形成得更多一些，因为在页岩的饱和烃中环烷的百分含量比之在现代沉积物中有减少的倾向。

页岩和原油之间频率分布的相似性并不排斥一个原油比之它的母岩可以含更多的烷烃。然而，其意义是肯定的，在大多数场合下原油中的重质饱和烃比之页岩中的重质饱和烃含有更多的烷烃。如果说石油是从页岩中运移出来的，那么这一事实强烈地倾向于指出运移过程

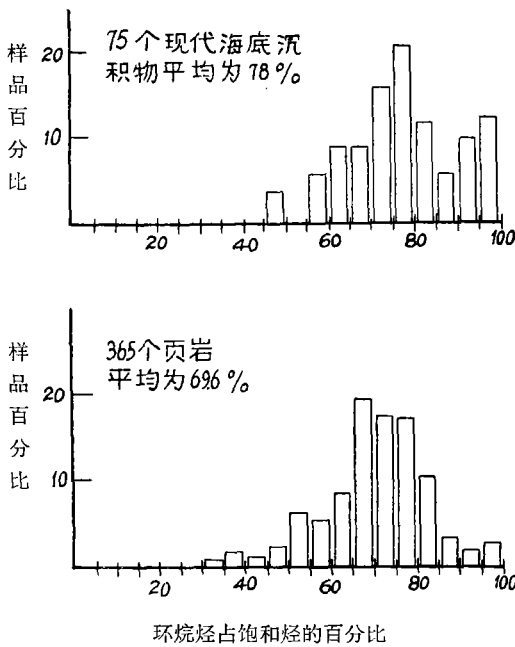


图 13 沉积物中环烷烃占重质饱和烃百分比的分布

一般来说是有利于烷烃的。

生油层的采样工作

常常说富含有机质或暗色的岩石可能是生油岩。然而，对深部非储集岩作一次分散石油烃类存在与否的分析将会更直接和更有用。“生油层”的概念可以开拓普查勘探的思路，并通过对生油层的可能体积及其与储集层关系的评价而起作用。生油层的编图是地下勘探工作的一部分，并且像其他地下研究一样，这一工作永远是做不完的。有了新的资料，图就要增补和修订。生油层的区域性产状在某些场合下可以根据少数几个钻孔的取样而推断出来。另一个途径是通过详细的地区性研究来确定生油层和油藏之间的地层对比关系以及尚未发现的储油层。于是地质学家可以根据已知推断未知，更有把握地对这些分散的资料作出良好的解释。

在每一个勘探工区内，沉积相的局部变化远比在钻探以前所能够推测的复杂得多。沉积物中有机物质的数量和发育成熟度也随地层和

古地理而变化，并且这些变化好像跟岩性变化一致(Hunt and Jamieson 1958; Boker, D. R., 1962)。沿着层理的一定范围内有机物质的性质和含量相当均一，但是纵向的变化可以是频繁的和突变的。正由于如此，不能根据稀疏地采样来否定一个地层组合。烃类分析的采样密度需要同控制地层的环境指标的采样密度一样。为了控制起见需要很多的样品，但是另一方面要有经济观点。因此在每一特定地区及层段内，应该根据熟练的地质学家本身的判断来采样。

钻孔取样和露头取样都有自己的局限性。在钻孔中，沾污是件麻烦的事，必须小心避免。露头样品的烃类不一定与深部相应的沉积物一样，可以由于风化或生物作用而发生改变。也可以因为它们没有经历过深部沉积物所经历的生成烃的环境。有许多例子，包括 Cherokee 页岩和 Eagle Ford 页岩，其露头中的烃类与深部同一地层的烃类不同，尽管它们的岩性和有机碳含量大致相仿。露头的样品必须不风化，并且应当通过地质研究确定其沉积环境、岩性和最大埋藏深度是否相当于深部所欲研究的沉积物。

纪要和结论

从含油区采集的许多具有地层代表性的页岩样品中约有30%其抽提物的正构烷碳优先指数(CPI)与石油相似，另外60%其CPI值处于原油和现代沉积物的CPI值之间。而还有10%其正构烷与现代沉积物相似，这表明古代沉积物在刚刚沉积时其正构烷也是奇数碳居多。

CPI值与页岩和泥岩有机质中烃类所占的比例成反比关系，它可以指示有机物质向烃类的转化。同时CPI值是一个独特的钥匙，用来鉴别非储集岩中重质正构烷的是否与石油中的相似。与石油相似的重质正构烷在富含有机质和烃类的页岩和页岩中更普遍。

石油如何从页岩中运移出来，还了解得很

不够，然而烷烃比之环烷烃更有利于运移。

沉积物中有机物质的多样性使生油层的寻找复杂化，需要较密的采样。烃类分析的采样密度需要与控制地层的环境指标的采样密度一

样。不应当根据稀疏地采样来评定生油层的体积和分布。必须根据地质判断在各个区域内采样。

(李成儒译自 AAPG 1965 Vol 49 № 3 张义纲校)

用萤光显微镜查明后生的和同生的含沥青岩石

(苏) 奥 利

B. A. 弗洛罗斯卡娅提出了用萤光显微镜来研究含沥青岩石，这个方法的基本原理是含沥青物质在紫外光的照射下有不同发光情况，不同的可见光谱与沥青的物质有关。

Г. П. 卡尔宾斯基进一步发展了萤光显微镜的方法。大量的资料表明这个方法与岩石学的、化学的和萤光沥青分析方法相配合可以解决一系列重要问题；有机物的性质及转化方向，沥青的后生性和同生性，沥青向围岩运移的方向及性质。现在就有许多学者利用这个方法详细研究含沥青岩石，我们运用这个方法研究了雅库梯自治共和国中部的中生代（海相和陆相）的碎屑沉积物。

在进行研究以前我们选择了正确的方法：第一我们选定岩层的顶板和底板做为研究方向，这对于决定碳氢化合物的运移方向是很重要的。第二方面是在比较匀一的厚岩层剖面中选取不同的岩石标本。最后，利用较好的钻井和露头研究了纵向和横向上含沥青的变化情况。

萤光显微镜的研究可以采用本国的МЛ-1, 2, 3 和 МТФ-1, 2, 3 型萤光显微镜，我们利用在透射光和反射光下都能够工作的 МЛ-1 型萤光显微镜，在观察时用 $9 \times 0.2 \text{ ОЭ-9-Л}$ 型目镜物镜和 УФ-3 型滤色片，我们主要在透射光下来研究薄片和光片的。在研究薄片时我们使用了奥地利 «райхерт» 公司的透射光线 «зетопан» 的生物显微镜和 «флчорлюкс» 萤光源，它比 МЛ-1 型显微镜光源更强。

通过反射光在光片或是薄片（光片的像较

为清晰）主要观察轻质的油质沥青。可以根据薄片上的发光强度和分布情况大概估计沥青的含量。但观察不到轻质沥青的原始产状，因为沥青在薄片和光片表面易发生分散作用，只有在轻质沥青最富集的地方在透射光下才可以看到它。

在透射光线下研究胶化的中质和重质沥青的分布（也研究了一些轻质沥青）及其和围岩之间的关系，因为沥青和围岩有紧密的联系，为此必须对岩石薄片的矿物成分进行描述。

在鉴定岩石薄片的矿物组成时特别要注意胶结物的成分、颗粒的磨圆度、分选性，并查明按照颜色有时和沥青相似的可发光矿物以及黄铁矿氢氧化铁矿物的存在。同一个薄片不能既作萤光又作偏光观察，因为研究岩性的薄片是采用强烈发光的加拿大树胶，而研究沥青的萤光薄片（为了进行萤光显微镜研究而制作的）通常厚度达 0.25mm，它妨碍了偏光显微镜的观察，所以要劈开岩心截面制作二个薄片。

在制作沥青薄片的时候磨光岩石的表面（光片）在显微镜下观察和描述，并把其一分二，一半作薄片用，一半作光片用。Г. П. 卡尔宾斯基等人的文章里说明了薄片制作方法。这个方法简述如下：把一块和岩石薄片大小一样的岩心磨光用硅酸盐胶贴在载物玻璃上，用东西压住一直到完全干燥（不压时玻璃和岩石之间会保留一层厚的胶），以后用手（或是转速慢的磨盘）在玻璃和呢绒上把岩石磨薄和磨光。所制作的薄片其厚度应尽可能相同，因为它影响发光强度（在透射光下片子过于薄就发光弱，