



洋地质调查

石油同位素地球化学勘探专辑

地质部海洋地质调查局科技情报资料室

一九八一年八月

致 读 者

根据上级指示,《海洋地质译丛》将自 1982 年起转由海洋地质调查局接办,并通过邮局向全国公开发行。海洋地质调查局情报资料室目前编译的内部参考资料《海洋地质调查》,亦将自行停止出版。《海洋地质调查》在这几年中,蒙广大读者关心和支持,谨致深切谢意。

《海洋地质译丛》是地质部海洋地质系统的综合性情报刊物,刊登关于国外海洋地质—地球物理及各有关学科研究成果、工作进展的译文和综合评述文章。

《海洋地质译丛》将在 1982 年由季刊改为双月刊,每逢单月 25 日出版,每期为 80 页,10 万字左右。

《海洋地质译丛》邮局征订刊号:28—74,请注意向当地邮局订阅 1982 年《海洋地质译丛》。

《海洋地质译丛》编辑部:上海延安西路 526 号,欢迎投稿和联系。

《海洋地质译丛》编辑部

前 言

根据中华人民共和国地质部和西德联邦地学与原料研究院一九七九年于北京签订的一项协议，中德双方的地学工作者已在一九八〇年起在我东海的温东海域开始执行用同位素地球化学方法找油的科学合作项目。

同位素地球化学方法找油是近几年来世界上许多国家致力发展的一个新领域。美国、苏联、日本、法国和西德等国的地质勘探和地球化学工作者已做了大量的研究工作，积累了一定的经验，其中西德联邦地学与原料研究院下属由 W. 斯塔尔博士领导的同位素室更是对此倍加重视，居于领先地位，并声称已获得了一定的突破。这方面的工作在我国目前还只是处于开始阶段，可望通过在东海地区的合作研究有一个更大的发展。

为了配合中德同位素地球化学找油合作研究项目的开展，及时把新的理论和技术方法引进来，我们收集了部分资料，编译了这本专辑，试图从碳、氢、氮同位素在石油勘探中的应用原理、次生分馏作用对碳同位素比值的影响、石油-生油岩对比、表层沉积物中甲烷的成因等方面来介绍同位素地球化学找油方法，并报导一些有关的仪器设备和应用实例，供有关方面的地质-地球化学勘探工作者参考。

海洋地质调查局情报资料室

目 录

前言.....	(I)
{24} 碳同位素在石油地球化学中的应用.....	(1)
{15} 碳、氮同位素在烃类勘探中的应用.....	(7)
{18} 稳定碳同位素在油气勘探中的应用.....	(28)
用 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 分析法识别喜氧菌对碳氢化合物的降解作用.....	(49)
关于甲烷在运移过程中不会发生明显同位素分馏作用的实验证明.....	(59)
生油岩-原油的“同位素类型曲线对比法”.....	(67)
{22} 用西得克萨斯瓦尔弗尔德盆地和特拉华盆地油田的天然气同位素 分析鉴定生油岩.....	(73)
吸附于地表沉积物中甲烷的成因.....	(81)
近地表沉积物中甲烷的碳同位素分析在碳氢化合物勘探中的应用.....	(93)
D/H 同位素分析中氧化天然气、石油和沉积有机质的真空装置.....	(99)
沉积样品中吸附甲烷碳同位素比值测定的程序以及沉积样品以及 沉积样品甲烷脱气时有关同位素分馏效应的室内实验.....	(108)
石油及相关有机物的氢、碳同位素.....	(122)
{24} 不同成因天然气所含甲烷的氢、碳同位素组成.....	(134)
台湾西北部天然气所含甲烷、重烃及二氧化碳的碳同位素测定.....	(148)

碳同位素在石油地球化学中的应用

W. J. Stahl

1. 干酪根和石油中碳同位素的变化

碳有两个稳定同位素—— ^{12}C 和 ^{13}C ，两者的差异仅在于原子核中一个中子的质量。有机质和无机质的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值约为 0.01，而在自然界中其变化高达 10%。

碳同位素比值可用气相质谱仪测定并取得 δ 值。 δ 值即样品同位素比值与标准试样同位素比值之差，与所使用的标准试样同位素比值相除：

$$\delta = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{样品}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}}} \cdot 1000(\text{‰})$$

本文所用的全部资料均与 PDB 标准作了比较。PDB 是根据产自美国庞迪河组地层的箭石属碳酸盐外壳中的 CO_2 提取物所建立的标准，它相当于一种海相碳酸盐的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 成分。

碳同位素的自然变化系在种种碳元素循环中由交换平衡和动力分离程序所起 (Hoefs, 1973)。据此，碳同位素能为石油、天然气勘探提供有关碳氢化合物与其母质的类属、成熟程度和成因联系方面的资料。图 1 为天然气、原油、煤和其母质中甲烷碳同位素的各种变化。

大气中的二氧化碳是一切自然碳的主要来源，它与富集 ^{13}C 、并作为海洋生物体组成部分的海洋碳酸氢盐处于平衡状态。大气二氧化碳的光合固碳作用伴有同位素动力分离，致使陆生植物中的 ^{13}C 贫化。与海相有机碳相比，陆源碳贫缺 ^{13}C ，系由固碳作用时的各种分离作用所造成。

堆积在沉积盆地中的浮游生物，植物和海洋生物在未固结的沉积物中受细菌的分解并转化成腐殖酸络合物，这些络合物在成岩过程中变为干酪根，干酪根，即沉积物中的不溶有机质，被认为是石油的来源物质。 δ 值从 -33‰ 到 -17‰，是干酪根碳同位素的主要特征，但如果光合固碳作用通过 C4-二羧酸途径进行，必然会出现较重的碳同位素 (Smith 和 Epstein, 1971)。

与生成原油的干酪根*相比，原油中缺少 ^{13}C (约少 2‰ 或更少) (Scalan, 1972)，大部分原油的 δ 值特定在 -34‰ 到 -18‰ 之间。因此，根据原油和干酪根两者之间同位素的密切关系，用碳同位素来区分海相和非海相的原油将是可能的。又因受其它的同位素分离现象的掩蔽，如随着地质时代的变老， ^{12}C 同位素趋于富集 (Degens, 1969; Stahl, 1976)，致使同位素鉴别方法仅对第三纪的石油有效 (Silverman 和 Epstein, 1958)。非海相天然气藏甲烷的 δ

* 干酪根系 Kerogen 的习惯译法，与干酪素 (Casein) 无关，按中国科学院名词室审订的译义 Kerogen 应译为油母质。

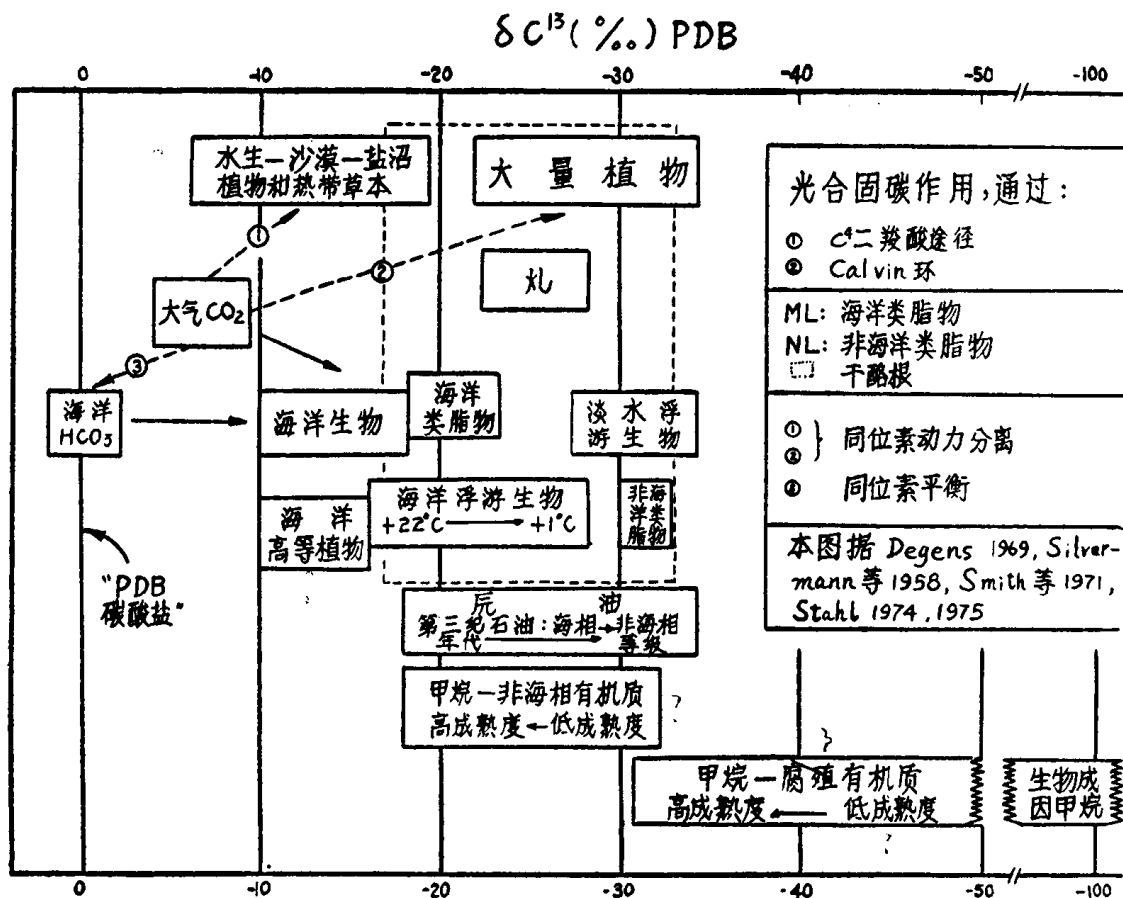


图 1 天然气、原油和母质的碳同位素比值

值范围与煤相似, 约为 -30‰ 到 -20‰ , 并显示了其有机来源物质的成熟度和碳同位素成分之间的相互关系 (Stahl 和 Koch, 1974)。可用同样的成熟度关系式, 来表示主要的海相生油岩中甲烷碳同位素成分的特征。但与“陆源”甲烷相比, 海相环境形成的甲烷其 ^{12}C 含量高。海相环境热催化气体的甲烷 δ 值约为 -50‰ (低成熟度) 到 -30‰ (过熟生油岩)。可以想象, 细菌气体成因所特有的甲烷气, 其 ^{13}C 极为贫乏 ($\delta C_1 = -55\text{‰} \sim -100\text{‰}$)。

2. 碳氢化合物生成和成熟期间的碳同位素分离

大多数商业性碳氢化合物聚集是在生油岩埋藏期间通过干酪根的热转化生成的。在这熟化过程中伴随着有机物质的化学 (Tissot 等, 1974) 和光学特性即孢子颜色 (Gutjahr, 1966) 和镜煤反射率 (Stach 等, 1975) 的变化。镜质体主要来自植物的木质素-纤维素络合体, 常由大陆径流, 风或河流携入并散布于海洋沉积物中。镜煤反射率 R_0 可用灵敏的显微光度计在细微的粒子上测定, 其变化值从未成熟有机质的 R_0 约为 0.3% 到过熟干酪根所特有的 $R_0 \geq 3\%$ 。此外, 由于 $^{12}C-^{12}C$ 键和 $^{13}C-^{12}C$ 键两者束缚能的差异, 导致熟化期间发生了对重同位素有利的同位素分离作用。在热应力条件下, 有机碳络合物生成的甲烷比其母质富集 ^{12}C , 因为断开 $^{12}C-^{12}C$ 键所需的能量少。在成熟阶段, 有机物质和由其生成的气态烃的同位素成分变

得较重, 因为成熟作用常常掩蔽了干酪根和原油中的这些同位素变化, 但在甲烷天然气集聚中, 此变化却很清楚。

图 2 表现了不同沉积盆地中天然气藏的甲烷 δ 值与推测为天然气来源, 主要为海相的有

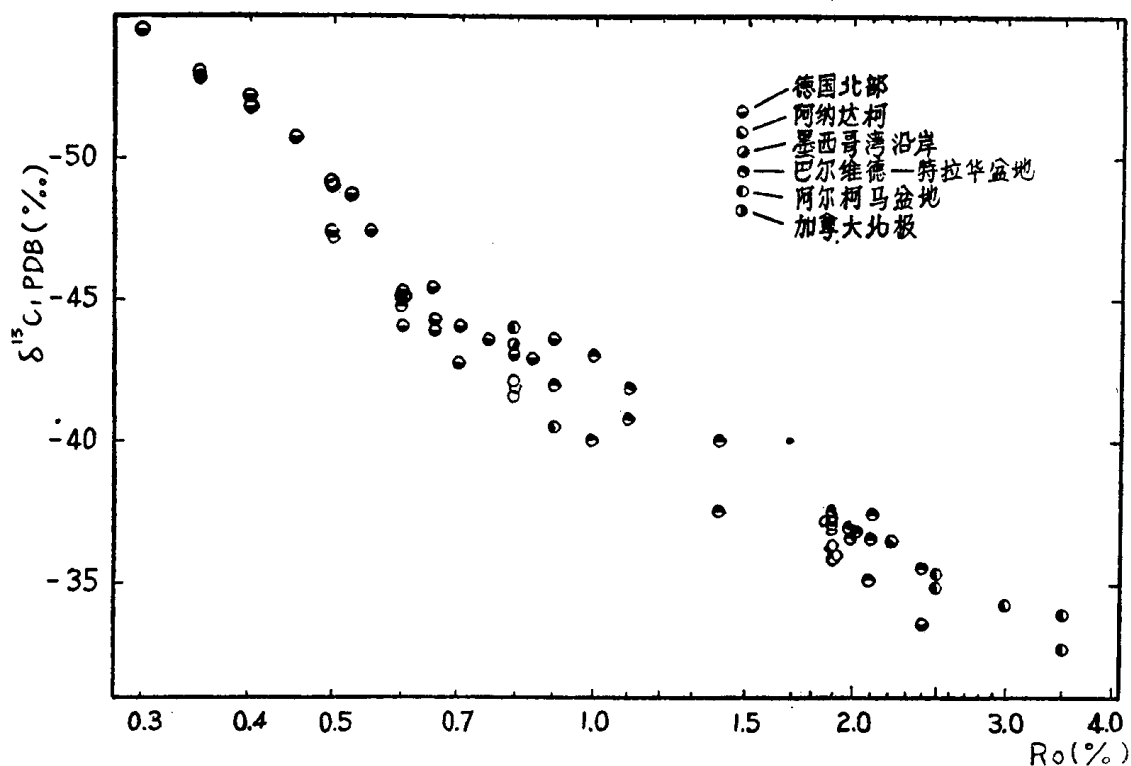


图 2 不同盆地的天然气 δC_1 值与其母质成熟度的关系

机物质成熟度相互之间的关系。

甲烷碳同位素比值在大于 80% 的范围内变化(图 1)并受下列条件限定:

- 1) 成因机制(生物成因或热成因);
- 2) 受热解作用的有机生油物质的大体类型;
- 3) 有机生油物质的成熟程度。

生物成因的甲烷贫缺 ^{13}C , 其 δC_1 值一般低于 -55% , 可能的最小值低于 -100% 。主要为海相有机质经热解形成的甲烷碳同位素比值, 可从“油窗”开始时的 $\delta C_1 = -50\%$ 左右 ($R_0 \approx 0.5\%$) 到仅有甲烷存在的深度处的 $\delta C_1 = -32\%$ ($R_0 = 3\%$)。“油窗”是指一个沉积盆地的深度范围, 此处的时间-温度条件有利于原油生成, 其特点是 $\delta C_1 = -50\%$ ($R_0 \approx 0.5\%$) 至 $\delta C_1 \approx -40\%$ ($R_0 \approx 1.2\%$)。主要为非海相有机质经热解形成的甲烷碳同位素比值呈现出同样的成熟趋势, 但这种甲烷中的 ^{13}C 一般比同样成熟度的海相来源的甲烷多 14% (Stahl 和 Koch, 1974)。

通过分析天然气藏甲烷和 $^{13}C/^{12}C$, 可以确定生成天然气的有机质类型及其成熟度。并区别热成因和细菌成因的天然气。

3. 岩屑吸附气中甲烷的碳同位素

在钻进过程中, 从不同深度收集岩屑, 并将其装罐。分析岩屑吸附气中 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值, 是近年来作为获取有关烃类形成和成熟度资料所介绍的一种技术方法(Menerdlez, 1973; Stahl 等 1977)。但是, 在岩屑带到地表时, 由于压力降低所产生的次生脱气分异, 会大大改变这些气体的烃类成分和碳同位比值。砂质岩屑气体的脱附分离最为明显, 而页岩岩屑, 至少对同位素数据来说, 就不如此严重。

在深度图上可根据以下两点来识别脱附效应:

- 1) 气测井中甲烷读数高, 但相应深度样品罐顶端的甲烷含量却是低的。
- 2) 岩屑脱附气中有含量高得反常的较重的碳氢化合物和富含 ^{13}C 的甲烷。

图 3 为泰国一口近海钻井的同位素-深度剖面, 图中将从页岩和砂中脱附气的 δC_1 值与钻杆测试的甲烷碳同位素成分作了比较。通过天然气测试时的甲烷同位素测定, 在分布曲线中, 页岩岩屑的脱附气同位素比值与砂质岩屑脱附气完全不同。 δC_1 与成熟度资料的比较表明天然气是由以腐殖质为主的混合型生油岩形成的(Faber 等, 1977)。

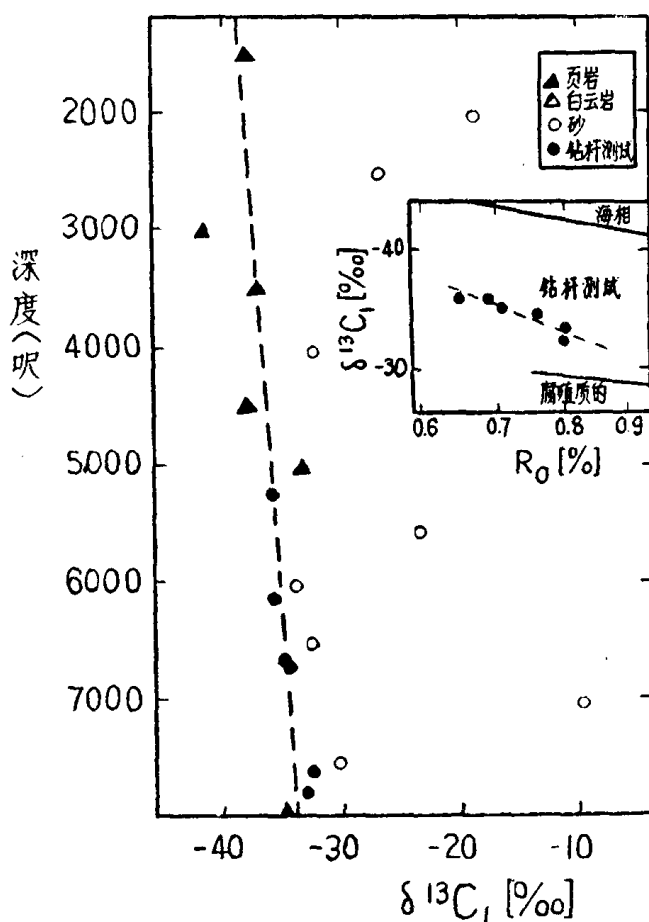


图 3 甲烷碳同位素和深度-成熟度的关系(岩屑脱附气 δC_1 资料与钻杆测试甲烷碳同位素成分的比较)。

从岩屑中脱附出来并作了次生分离校正的甲烷同位素分析，在一个深度关系图中，将表示出：

- 1) 成熟程度随深度增大而增高；
- 2) 生成吸附在岩屑中的碳氢化合物的有机来源物质的一般类型；
- 3) 运移气体的状态及其母岩的大致成熟情况。

4. 碳同位素在对比研究中的应用

多年来碳同位素一直用于对比研究。如果干酪根、抽提物和原油具有成因联系，则它们的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值相等或仅仅稍有差异。通过蒸馏原油成狭窄范围的馏分，即以烃类分子大小所分的各种馏分，建立了以碳同位素为基础的油-油对比 (Silverman, 1971)。另一种对比方法——同位素类型曲线法，是根据原油或抽提物经蒸馏分离所得不同分子类型的馏分，即饱和烃、芳烃、杂质、沥青质和干酪根而建立的 (Stahl, 1978)。原油或抽提物随极性和极化率的增加，显示出 ^{13}C 的规则富集，即饱和烃馏分的同位素成分最轻，而沥青质馏分中 ^{13}C 最多。如果沥青质馏分和干酪根有成因联系，则沥青质和干酪根的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值就非常相似。将原油或抽提物各馏分有规则增加的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值加以外推，就能对已取得的一种原油或一种抽提物进行其干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值的经验估算。抽提物-干酪根对比 (图 4) 表明，原地形成的抽提物馏分与所讨论的干酪根有成因联系。

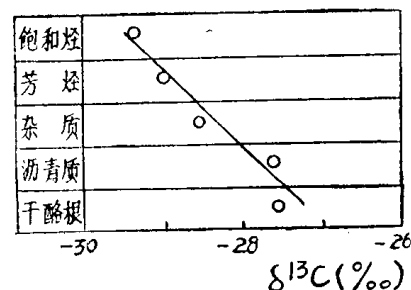


图 4 北海侏罗系的抽提物-干酪根对比

此外，甲烷的碳同位素比值与生成天然气的有机质类型和成熟度之间的相互关系可用来对比天然气和生油岩 (图 5)。

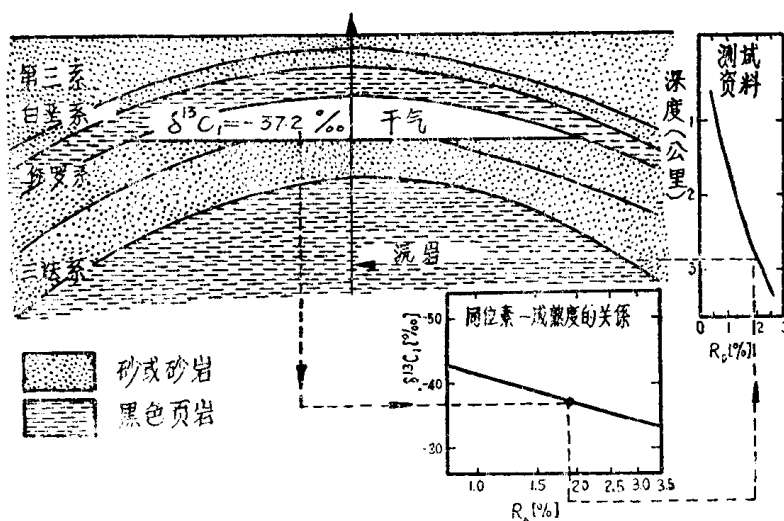


图 5 加拿大北极天然气、生油岩的同位素对比

5. 碳同位素在石油勘探中的应用

碳同位素在石油勘探中的应用系以对比方法为基础；在北极和埃及近海钻成的野猫井中使用了天然气和生油岩的对比法，认为那里的天然气来自未成熟、成熟和过成熟的生油岩。

图 5 为一实例(Stahl 等, 1977)。

在北极一个大型背斜的侏罗纪砂层中发现了天然气。干气可能生成于下白垩系-侏罗系成熟较差的三角洲相中 (R_o 为 0.50~0.65%) 或来自过成熟的三迭纪黑色页岩 (R_o 为 1.03%~2.00%)。同位素分析得出的 $\delta^{13}C_1 = -37.2\text{‰}$ ，相应于此，同位素值的镜煤反射率为 $R_o = 1.9\%$ 。因此，天然气仅可能生成于地下很深的三迭纪黑色页岩中。很明显，对于从事勘探的地质学家来说，寻找相似类型的天然气藏取决于储集目的层下面的三迭纪黑色页岩，而与下白垩系-侏罗系的有机沉积相无关。

图 6 提供了一个原油-原油直接对比和一个原油-生油岩间接对比的例子 (Stahl 等, 1977)。

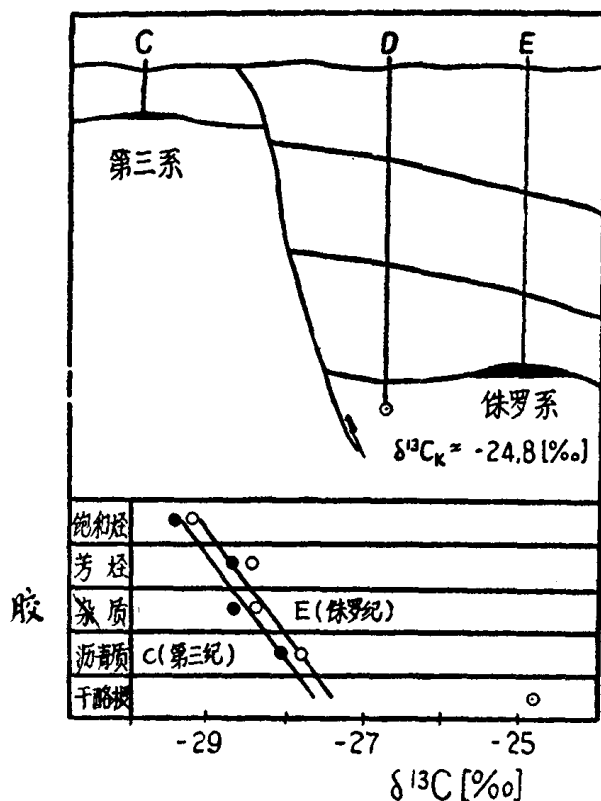


图 6 北海油-油对比和生油岩-原油对比

第三纪原油和侏罗纪原油两者在同位素方面多少有点相同，这一点有力地表明了它们来自同一的有机生油物质。但是，干酪根的 $^{13}C/^{12}C$ 比值与类型曲线不在一条线上，这说明原油是从别的地方运移到这两个储集层中去的。

应用碳同位素寻找石油，已日益成为提高碳氢化合物勘探效率的一种重要手段。

原载《Lecture in Isotope Geology》，p.274~282，朱文焕译 陈伟国校

碳、氮同位素在烃类勘探中的应用

W. J. Stahl

【摘要】 本文阐述了对烃类中碳氮同位素变化的现有认识，包括一些迄今尚未发表过的最新成果资料。稳定同位素技术可用于以下几个方面：1) 鉴定有机母源物质的生成环境，2) 评价运移的影响，3) 识别细菌降解作用，4) 定量确定甲烷有机母源物质的成熟度，5) 研究各种原油聚集的特点并加以区分，6) 进行原油-生油岩对比。特别是通过同位素技术测定的甲烷成熟度对烃类勘探有着重大的意义。

引言

天然气和石油生成于堆积在沉积盆地中的有机质。这种物质大部分属于海相成因，但经大陆上的雨水、风和河流携入海中的陆源有机质也构成了部分生成油气的母源物质。这种物质在未固结的沉积物中受到细菌的分解而转化成含 N、O 和 S 的腐植络合物。在成岩作用过程中，这些络合物转化成干酪根——石油和天然气的母源物质。

大部分工业性烃类都是在生油岩埋藏期间由于干酪根的热转化而生成的。这种有机质的成熟作用伴随着镜煤反射率 R_o 的系统变化(图 1)。

埋藏较浅的有机质一般都不成熟，仅产出细菌成因的甲烷。随着埋藏深度不断加大，通过干酪根(即不可溶有机质)的热裂解首先生成甲烷，然后生成乙烷，最后生成更高级的烃类，生成的量逐渐增大。这是石油生成的主要阶段，即气和油同时生成的阶段。在更深的地方，干酪根和先前形成的原油通过裂解反应生成了轻烃。在最后的成熟阶段，即“过熟阶段”，就只能生成甲烷了。因此，大部分工业性原油聚集只能形成于一定的深度范围内，相应的温度范围约为 $65\sim 150^{\circ}\text{C}$ (图 2)。

图 3 总结了烃类生成的一般图式。同位素数据以通用的 δ 符号表示：

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{样品}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}}} \times 1000(\text{‰})$$

所有的数据都是 PDB 的相对值。

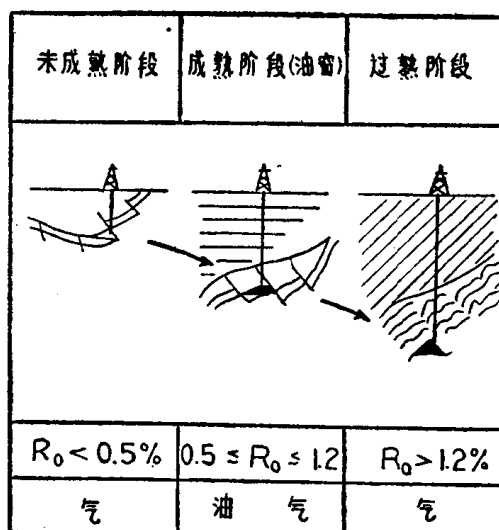


图 1 原油与天然气的生成取决于有机母源物质的成熟度

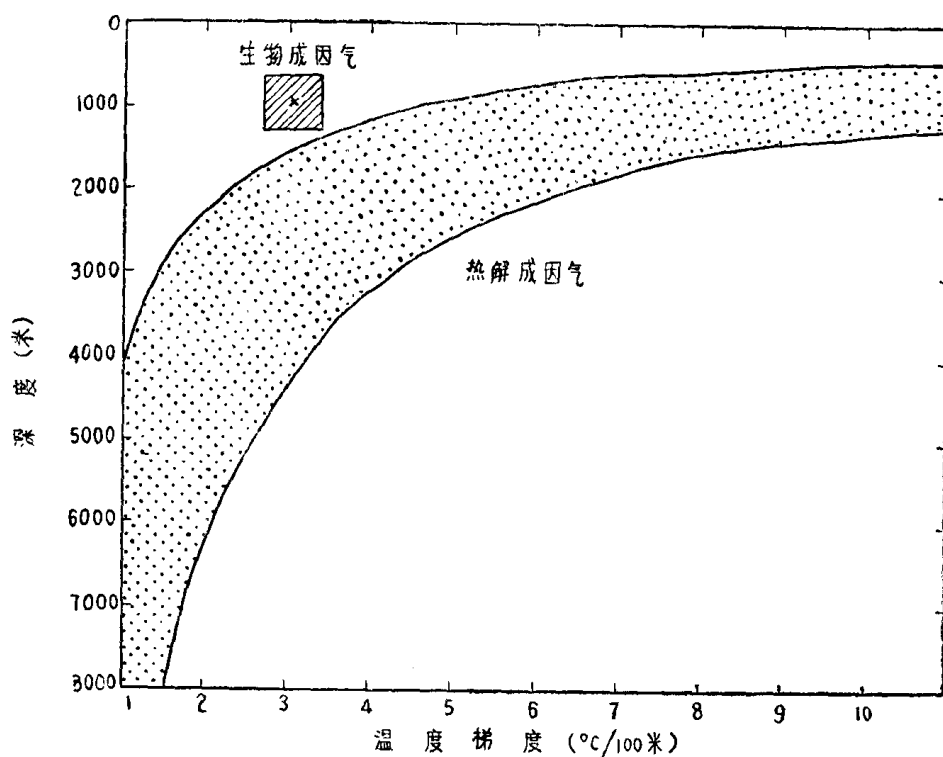


图 2 液窗范围(根据 Pursey ■, 1973)

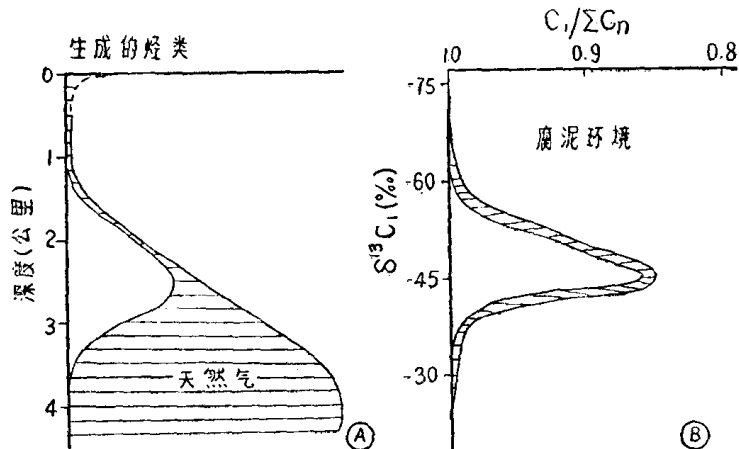


图 3 有机质成熟过程中烃类的生成(A), 气态烃的组成和甲烷的碳同位素比值(B)

C_1 = 甲烷; Σ_n = 甲烷 + 乙烷 + 丙烷 + 丁烷

不成熟的沉积物中有细菌成因的甲烷($\delta^{13}C < -60\text{‰}$)。少量分子量较大的烃类是从埋藏在沉积物中的有机质直接继承下来的。这一点表现于其正烷烃分布模式不同于由于酪根热成熟作用生成的碳数较高的烃类的分布模式。这些继承下来的“化学化石”随着埋藏深度的增加而在越来越大的程度上被热解生成的烃所稀释。在这个阶段, 形成了热催化甲烷以及越来越

多的碳数较高的烃类与石油。在最有利于生成石油的深度上所生成的碳数较高的气态烃类量最大。在此深度范围内，海相母源物质生成的甲烷的 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素比值通常为 -45% 。随着干酪根埋藏深度的增加，气态烃的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值越来越富集重同位素。过熟的腐泥母源物质则生成同位素较重的甲烷($\delta^{13}\text{C} \approx -30\%$ ，参见图 3)。

根据碳同位素分析鉴别烃类生成环境

虽然大多数有工业意义的油藏生成于海相有机物质，但是在非海相环境中也可以形成石油和天然气。Silverman 和 Epstein (1958) 曾发表过许多产自不同环境的第三纪原油的碳同位素资料(图 4)。海相第三纪原油的 ^{13}C 富集程度至少比非海相的高 3‰(图 4)。

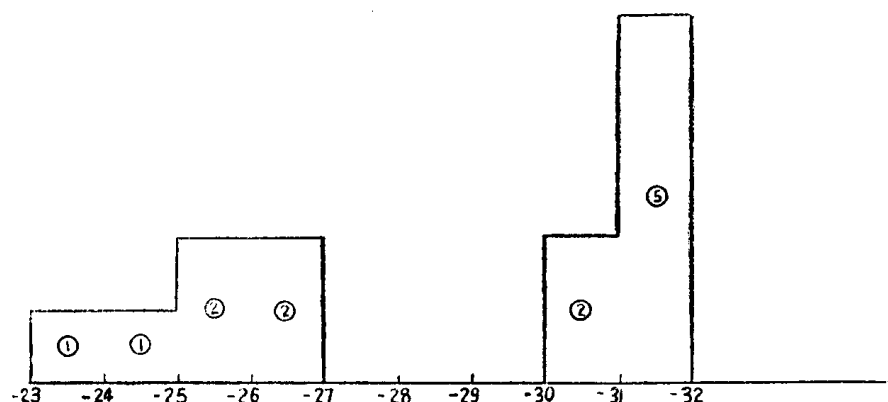


图 4 不同环境中生成的第三纪原油的碳同位素比值

海相第三系

加利福尼亚奥克斯纳德油田，渐新统
马昌德油田，中新统
苏门答腊油田，中新统
委内瑞拉卡拉诺油田，始新统
委内瑞拉贡尼拉斯油田，中新统
巴拉塔利亚油田，中新统

非海相第三系

杜切尼斯油田，始新统
布莱南·博特姆油田，始新统
霄德瓦什油田，始新统
杜切斯内油田，古新统
弗拉特梅萨油田，始新统
②=样品编号

然而，据 Galimov(1973)报导，乌拉尔石炭纪石油的 δ 值在海相与非海相之间并无重大差异(图 5)。在有些情况下，同位素这种程度不等的明显变化可有助于解决对比或运移的问题。

热催化气体有机母源物质的环境可通过分析甲烷的碳同位素来加以辨别。生成环境不同而有机母源物质成熟度相同的天然气的 δC_1 值相差 13~14‰。这种差异也许与生油层中干酪根的类型有关。主要生油的干酪根富含脂肪族结构(I型，Tissot 等，1974)，而主要生气的Ⅲ型干酪根主要由芳香族结构组成，这可能跟非海相或浅海环境中的较高等植物和陆源腐殖质有关。与脂肪族成分比较，芳香族结构略微富集 ^{13}C 同位素。化学差异可能导致腐植型生油岩中热成因甲烷的 ^{13}C 富集。

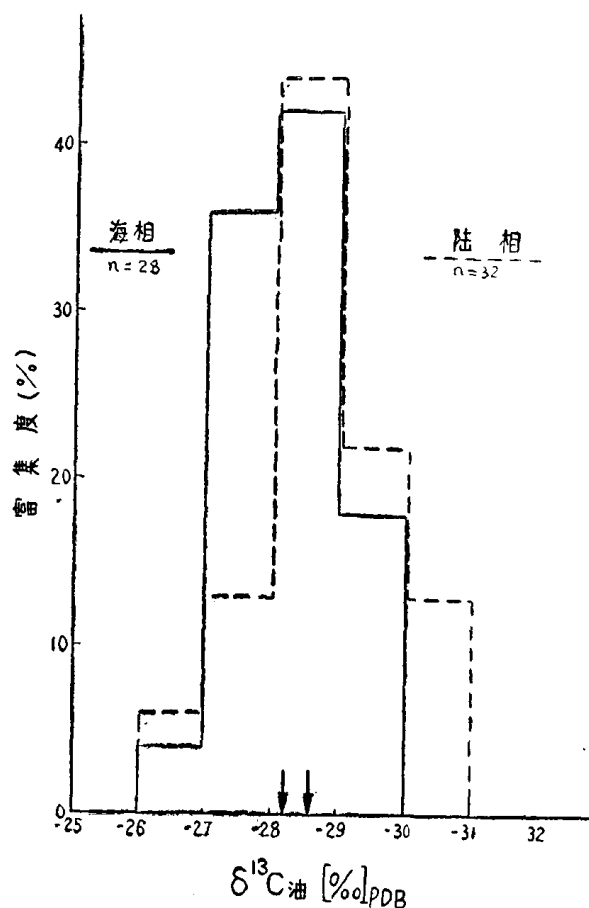


图 5 乌拉尔地区海相与陆相石炭纪原油的碳同位素组分

原油和干酪根的地质时代和 碳同位素比值之间的关系

虽然原油和干酪根的同位素比值随地质时代的迁移而有相当大的变化，但随着地质年代的增加，一般富集轻的同位素 ^{12}C 。造成这种趋势的原因可能是光合作用强度的变化改变了大气二氧化碳的同位素组分。图 6 显示了来自不同时代储油岩的原油的 $\delta^{13}C$ 同位素比值。

Kvenvolden 和 Squives(1967)已成功地将石油的同位素年代趋势用于对区域范围内的原油进行对比和区分并成功地鉴定了西得克萨斯的埃伦伯格原油的生油层(=下奥陶系)(图7)。

主要根据同位素资料，东部陆架的埃伦伯格原油可以追溯到中奥陶系或更年青的生油岩，而里根-奥佐纳隆起和特拉华-瓦尔弗尔德盆地的埃伦伯格原油则是从宾夕法尼亚系和二迭系生油层运移到埃伦伯格系中去的。

石油馏分的同位素差异

石油的对比和鉴别，可通过分析蒸馏馏分 and 不同分子类型馏分的同位素来进行。

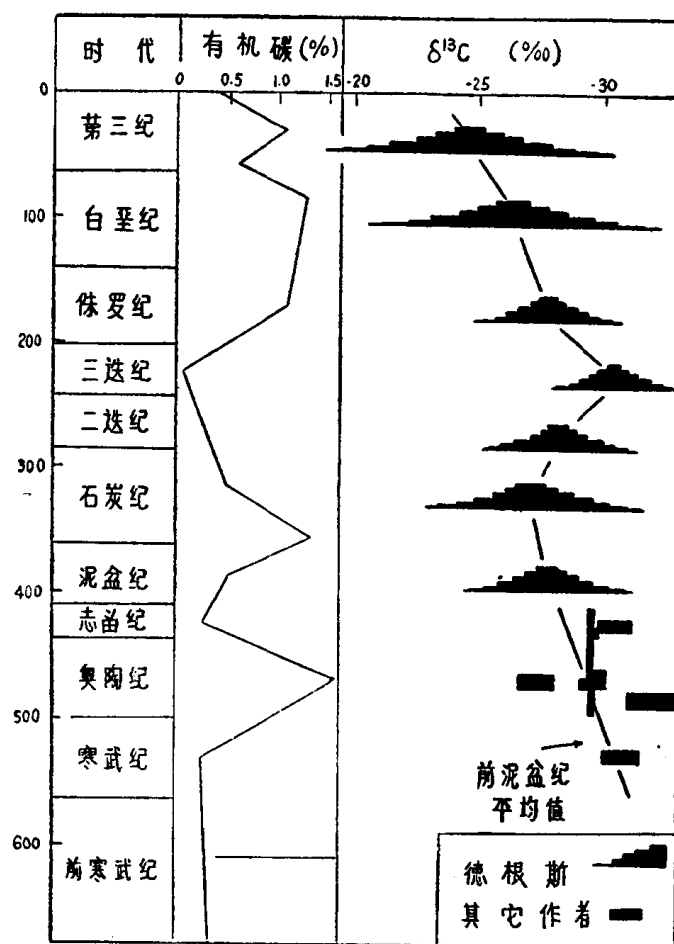


图 6 不同地质时代的原油的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 测定结果

石油蒸馏馏分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

石油通过蒸馏可以分离成分子大小不同的各种馏分。不同的蒸馏馏分，其碳数增加的范围不同， $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值也有系统的变化(图 8)。

“非气态”蒸馏馏分的同位素变化很小，特别是在低质量范围($\text{C}_6 \sim \text{C}_{30}$)内变化尤小。然而，气态成分的 ^{13}C 同位素相当贫化(图 9)。

石油蒸馏曲线有四个普遍特征：

- 1) 甲烷的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值约比总原油的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值低 16‰；
- 2) 从 CH_4 到 C_6 ， $\delta^{13}\text{C}$ 比值逐渐增加，在 115°C 馏分中达到最大值；
- 3) 在温度超过 115°C 的蒸馏馏分中， $\delta^{13}\text{C}$ 比值逐渐下降，在 $425 \sim 450^\circ\text{C}$ 范围内达到最低值；
- 4) 在 450°C 以上， $\delta^{13}\text{C}$ 的比值随馏分沸点上升而不断增高。

这些系统变化的模式可用于鉴别原油。

原油的分子类型和同位素组成

原油含有结构完全不同的分子。最重要的类型是石蜡烃、芳烃、沥青质和杂原子化合物(即含 N、S 和 O 的分子)。在石油中，这些不同分子结构类型的相对浓度变化范围很大。这些分子类型的浓度及其平均同位素组成可见图 10。

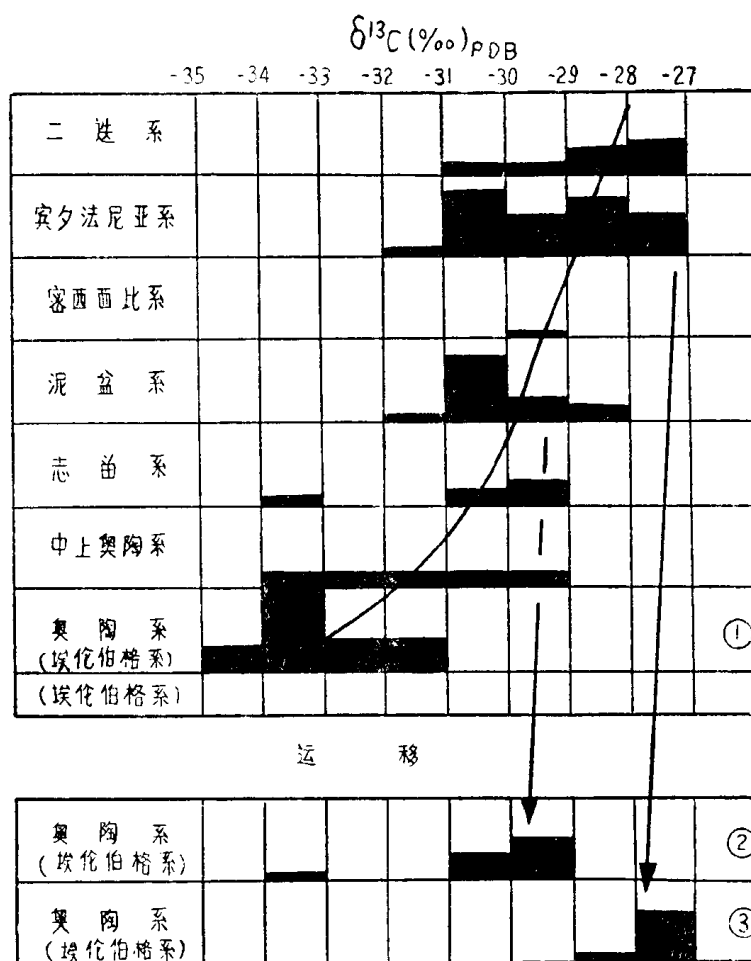


图 7 西得克萨斯和新墨西哥不同储油岩中原油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值

①米德兰盆地和中央盆地地台；②东部陆架和削蚀构造；③里根-奥佐纳隆起与特拉华-瓦尔弗尔德盆地

Galimov (1973) 曾报导过对正构和异构烷烃之间的同位素差异以及芳烃同位素比值与其环数之间的详细研究成果。例如图 11 即表现了不同结构原油组的碳同位素比值图式，即“石油类型曲线”。

其它关于石油类型曲线的例子见图 12。

这些石油类型曲线可用来进行原油对比。从北海的油井中可以看出这种对比关系(图12)。虽然这些油井相距 100 多公里，但它们的 $\delta^{13}\text{C}$ 比值基本相同，而且它们的石油类型曲线也极其相似，充分说明这两口井的原油来自同一个生油层。

石油类型曲线一般有四个特征：

1) 原油馏分的 $\delta^{13}\text{C}$ 比值按下列次序逐渐变重：饱和烃、总原油、芳烃、杂原子化合物和沥青质；

2) 异构石蜡烃的同位素比正构石蜡烃重；

3) 环烷烃的同位素比石蜡烃重；

4) 芳香族化合物的 $\delta^{13}\text{C}$ 比值随环数增加而变重。

如果没有因水冲洗或细菌降解而引起二次同位素分馏，这些特征都是可以观察到的。

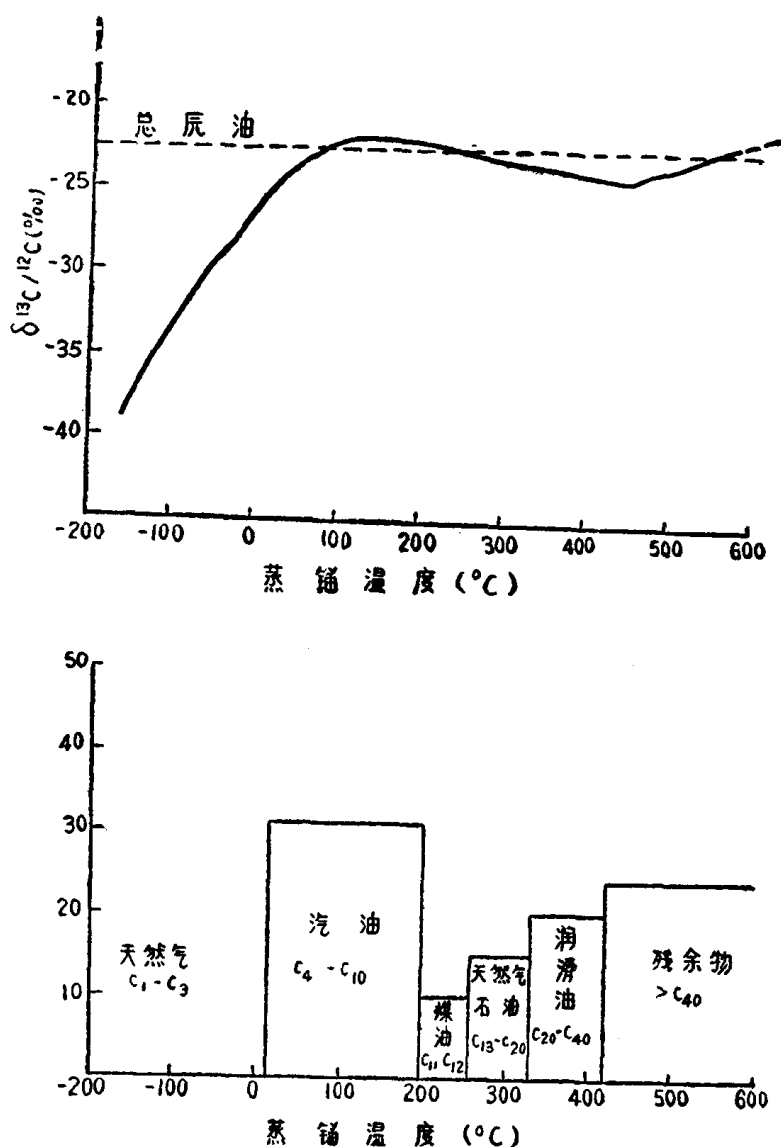


图 8 石油蒸馏馏分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(上图)和原油的分子大小分布情况(下图)

生油岩-原油对比

关于生油岩-石油之间关系的资料对许多勘探问题具有重要意义。最近有人把各种地球化学对比方法作了比较。原油、抽提物(即岩石中的可溶物质)和干酪根的碳同位素分析对生油岩和原油的对比起着重要作用。稳定同位素分析的意义在于其把原油和生油岩中的干酪根直接联系起来了。生油岩中的抽取物代表了留在原始生油区的那一部分原油。因此,在储油层中发现的原油的碳同位素比值应该与生油岩中抽提物的同位素组成相似。根据目前关于生油机制和动力学的假说,原油的同位素组成应与其抽提物的相似或比抽提物的轻;而如果生油岩的有机质与原油在成因上是有关的,则抽提物的同位素应比干酪根轻。就这个原理来说,例外情况是很少的。在前泥盆系生油岩-原油对中,这种情况是占优势的。