

石油实验地质

SHIYOU SHIYAN

DIZHI

1979年 第一辑

中国地质学会石油地质专业委员会 编
地质部石油普查勘探局

地质出版社 出版

01399
56.55

石油实验地质

一九七九年 第一辑

中国地质学会石油地质专业委员会 编
地质部石油普查勘探局

主编：朱夏 副主编：关士聪 陈丕济

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ ·印张：4.5 插页一个·字数：115,000

1980年4月北京第一版·1980年4月北京第一次印刷

印数1—2,140·定价0.30元

统一书号：15038·新509

100

◆ 1117 ◆ 1118 ◆ 1119 ◆ 1120 ◆ 1121 ◆

◆ 数学地质 ◆

◆ 1122 ◆ 1123 ◆ 1124 ◆ 1125 ◆ 1126 ◆

讨 论

技术与应用

会议报导

· 征稿简则 (71)

中国东部板块内部盆地 形成机制的初步探讨

朱 夏

本文试图本着作者以前提出的“在历史分析的基础上进行力学分析”的原则对中国东部中生代盆地的形成机制与发展历史作一轮廓性的说明。按照作者关于两个世代、两种体制的盆地的论点，这些盆地都是在中生代期间发生在中国板块内部的盆地。在全球性板块运动的体制与中国板块的具体活动之间，在太平洋板块与特提斯—印度板块对中国板块的相互作用之间，在中国板块的整体与分体活动之间，在深部结构与块体活动的动力学机制与运动学方式之间，都存在着密切的联系，应该作统一的考虑，才能对不同时期，不同方向，不同应力布局的盆地的内在联系作出总体的分析。遗憾的是，由于深部地质资料的贫乏和一些具体地层时代的不够确切，关于这些联系的许多方面的解释，在本文中只能作粗略而大胆的尝试。今后在取得更多资料的情况下，这些问题将有可能借助于实验模拟而获得较好的解决。作者希望这一工作将成为新兴的石油实验地质学的一个组成部分，故借本刊篇幅作初步探讨，请读者指教。

（一）中国板块的两条“锋线”

有如板块构造学说的某些奠基者所主张，板块的活动是从两亿多年前的联合古陆解体开始的。这一运动体制的转化时期在全世界并不是划一的，但都以华力西旋回的或迟或早的某一幕运动为标志。乌姆格罗夫在四十年代提出，“大多数盆地与槽地形成于某一华力西幕之后。在阿尔卑斯期的某些幕以后，同样而且特别强烈地形成盆地”。这一论点，值得重新予以评价。新的运动体制从开始到激化也有一个过渡时期。按中国的情况，黄汲清把华力西旋回以后的时期称为“滨太平洋和特提斯喜马拉雅构造域的形成和发展阶段”，而认为印支运动代表这两个构造域“开始强烈活动”，如果我们不是把构造域局限地看作是地域性的区划，而赋予它以运动体制的涵意，那末，这一观点也就指示着从二叠纪（可能某些地方还包括部分石炭纪）到下中三叠纪代表了一个体制过渡时期。

经过华力西旋回，中亚蒙古等地槽系封闭，西伯利亚地台与中朝、塔里木等地台连成一体。原来由古中国地台解体而形成的昆仑、祁连、秦岭等地槽亦都基本上褶皱封闭。大部分中国大陆成了欧亚板块的一部分——中国板块。这一板块的东面，陈炳蔚等认为，“在晚华力西阶段（早二叠世晚期或晚二叠世早期），于古东南亚大陆的东部和南部边缘，形成了一条环形的优地槽褶皱系。如自日本的内日本华力西优地槽向西至琉球，经我国台湾到菲律宾，再转向西南至北加里曼丹等优地槽褶皱带为古东南亚大陆装饰了一条美丽壮观的镶边”。这一“镶边”统一了中国东部中朝地台、扬子地台、南华地台、海南地台等的东部边缘，成

为从此以后与东面的太平洋板块对立斗争的“锋线”。在中国板块的西南侧，李春昱指出，“华力西运动之后，秦祁昆已基本上结束了它的地槽历史”。在青海湖附近，西秦岭以及巴颜喀拉山脉一带，三叠纪初期的地槽属于华力西运动的尾声。在它的南面，特提斯地槽主要在华力西褶皱基底上拉张，沿三江至喀喇昆仑山在地槽内出现有中生代蛇绿岩带，表示有新生的洋壳存在。这里的中生代运动是在“特提斯海洋壳与亚洲（中国）大陆陆壳的相互作用”下展开的（黄汲清等），到白垩纪以后又受到印度板块的影响，这是另一条“锋线”。

当沿着这两条“锋线”开展印支和燕山期的强烈板块活动以前，中国板块内部在二叠—三叠纪这一段过渡期间内主要表现为分区实现沉积—构造的统一性。例如鄂尔多斯地区（当时还没有形成盆地）东西两侧的不同石炭系沉积区为二叠纪石盒子组所统一。四川（同样尚未形成盆地）东部和西部从二叠纪海侵起趋于一致。在中国西北和东北的古生代地槽区内，这一阶段可能相当于苏联学者所讨论的中亚“青年地台”的二叠—三叠纪“过渡层”。（叶列门柯等认为它们在某些较稳定地区为泥质与碳酸盐岩沉积，在另些较活动地区则为有火山岩成分的“造山型”沉积，前者属褶皱轻微的拗陷，后者为断陷）。它们与油气的关系是值得注意的，本文暂不予以讨论。由于中国板块是由不同的旧构造单元组合而成的，所以这种统一只是相对的，而这些旧单元的界限在后来的板块内部活动中仍发生着重要影响。例如银川—昆明这一条近南北方向的“中国东西之间的古地质界限”，对板块内部中生代盆地的形成有显著影响。中朝地台与北部地槽区之间的界限、扬子地台与中朝地台间的界限、起源于古中国地台解体并控制了西部地槽多旋迴发育的北西西与北东东断裂、以及东部地台间因南北向挤压而发生的北北东向剪切，在后期的板块内部构造中都成为一定的控制因素。一些壳断裂还可以发展为超壳断裂，除压、张、升、降的活动外还有大规模的平移。这些问题将在下文分别涉及。

（二）中国板块内部早期盆地（中生代）形成的两种机制

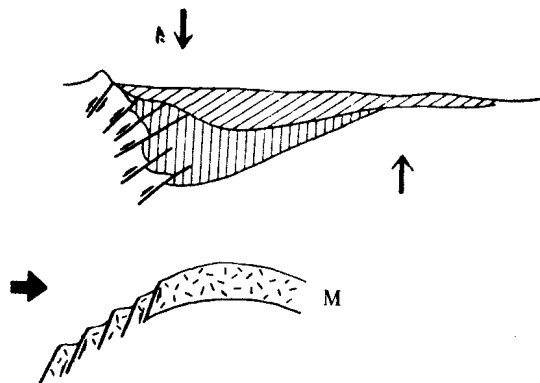
虽然属于同一运动体制，中国东部的板块内部盆地在中生代和在新生代的形成发育机制是有差别的（西部的盆地暂不在本文中论述）。这种差别大致以白垩纪末至第三纪初的晚燕山运动为转折点。正如黄汲清所说：“中国东部的构造应力场在晚燕山及其以后与印支、早燕山阶段是完全不同的。”至于为什么有这样的不同，作者认为除了太平洋板块的运动以外，还应该考虑白垩纪的全球性升降活动和自白垩纪末以来“西线”（特提斯—印度板块）的活动对东部所产生的影响。

据凡尔的分析（1977），显生宙海平面全球性升降的一级周期中，最大的下降发生在二叠纪至三叠纪，而以中三叠纪末达到最低点，所以把印支运动作为太平洋与特提斯板块对中国板块“开始强烈活动”的标志并不是偶然的。早燕山运动是印支运动的继续加强和发展。在这一段期间内，东面的日本印支、燕山构造带和西面的松潘甘孜、三江以及唐古拉褶皱带分别相继形成。在两者之间的中国板块内部，普遍发育了印支—早燕山的复杂地台盖层褶皱、压性及压剪性断裂系统以及中酸性为主的岩浆活动。就我们所关心的中生代盆地来说，主要出现了两种形成机制下的两种类型的盆地，作者在1965年曾分别称之为“断陷—拗陷结合型”与“断陷—拗陷转化型”盆地。前者以四川、鄂尔多斯为代表，后者是松辽和已被后来的新生代盆地所迭加改造的华北和苏北—南黄海深部的中生代盆地以及一些小型的侏罗

—白垩纪断陷。

1. 断陷—拗陷结合型盆地：四川和鄂尔多斯盆地有着颇不相同的个性，但无可否认，它们的共性是更为基本的。第一，它们都是在古中国东西两大块体的交界地带发育的，反映了当太平洋与特提斯洋壳从两边对中国板块施加压力时，沿西部厚壳槽区与东部薄壳台区的古地质界限所产生的变动。往北越出了这一古界限的位置，就没有类似的盆地发育。第二，它们都经历了二叠—三叠纪的过渡时期，从晚三叠纪、亦即太平洋与特提斯构造域“开始强烈活动”之际开始形成盆地，在早燕山期继续发育，而在白垩纪后期转入整体隆起。第三，它们都是在西部槽区的向东推挤和“东侧屏障山脉的升起”（李四光）的结合下成为西侧在逆推断层前有较狭窄的断陷而东侧则为宽阔斜坡的大型不对称箕状盆地。第四，逆推断层前的断陷中，在晚三叠世，早侏罗世到早白垩世都沉积了厚度最大的较粗碎屑物。它们的位置逐步向东推进，而同时期的沉积中心（如反映为厚度小得多的湖盆沉积等）则在盆地的更东部分依次转移其位置。说明除了西部上升槽区的挤压影响外，整个盆地的沉降作用还受着深部物质运动的控制。就现今的情况看，两个盆地的整体都和莫霍面的深度成倒影关系，但莫霍面隆起的位置都和盆地的轴线（在四川为成都平原，在鄂尔多斯为天环向斜）不相一致甚至偏离很远。这种情况似可表示来自西部挤压的断陷作用与源出深部物质运动的盆地拗陷作用曾结合地发生影响。

对于这些现象可以提出如下的设想：华力西运动以后，沿中朝地台与扬子地台的西部边缘，在西面的经过褶皱迴返，地壳加厚的槽区与东面的稳定台区之间，莫霍面的深度有一定差别（当然其程度远不如现在的情况）。印支至早燕山运动期间，与中国板块两侧的推挤相适应，西部的厚壳槽区向东推卷，在上部产生向西倾斜的逆断层，而在深部则由于台区的向西推挤受到槽区厚地壳的抵抗力，岩石圈一开始就有弯曲，当垂直面中的剪应力达到剪切强度值时，就产生一个剪切—拉张型重力断层。按此方式，岩石圈的下部被剪切成为几乎垂直的碎块。上地幔物质通过这些剪切—拉张面向地壳深部注入或浸染（参阅费歇尔1975），使下地壳物质的温度增高。在总的挤压应力场下，这里不可能发生拉张性的深断裂，地温的增高只能促成下地壳受热物质的塑性流动。由于西部是较冷的厚地壳，塑性流动受到限制，相对地有更多的物质向东作塑性流动（正如某些苏联学者对贝加尔裂谷所作的解释：异常地幔区受阻于西伯利亚地块而只能在另一方向向萨彦—贝加尔褶皱带作塑性扩张）。其结果是莫霍面向西倾斜而其转折的位置不断移动，隆起的高点不对称地向东偏移（图一）。各时期盆地拗陷与沉积中心位置的变动可能与这种偏移有关。一度升高的古地温梯度可能曾对早期（如四川盆地晚三叠世以前）的油气演化有过重要影响。盆地塑性物质的不对称外流使周围地区的地壳加厚，相应上升。在总的东西相对的挤压作用和向西流动受到阻碍的情况下，东侧“屏障山脉”的升起（武陵与太行）更为显著。就四川盆地来说，扬子地台型的上古生代至中生代盖层在这样的上升背景下，经白垩纪末—第三纪



图一 断陷—拗陷结合型盆地形成机制示意图

的板内平移活动（见下）的启导，发生了从武陵隆起向盆地以重力滑动为主要因素的盖层褶皱（川东平行褶皱带），并使印支期以来的构造面貌受到改造，油气发生再分配。鄂尔多斯的情况不同，中朝地台的基底和盖层性质不适于同样的形变，相反地，到了更晚一些时期，由于下文所述的原因，才在山西高原隆起的背景上出现了补偿性的裂谷体系。同样，扬子地台的复杂结构的基底，在中生代的多期挤压和扭动作用下在盆地内先后产生不同时期、不同程度、不同系统、不同形态的许多褶皱，而相对地完整坚硬的中朝地台基底则限制了鄂尔多斯盆地内中生代褶皱的发育。所以鄂尔多斯与四川盆地虽有相似的形成机制，却表现为不同的油气产出条件。

2. 断陷—拗陷转化型盆地：关于这类盆地的形成发展机制，作者于1977年曾试作探讨，后来陈发景等也提出了类似的观点。这里只补充说明几点：

（1）在印支—早燕山运动期间，这里的应力格局包含有两个方面的内容。一方面是：自古生代以来的南北挤压仍未终止，而太平洋板块向北北西方向的活动已登上了舞台，从而使以郯庐系断裂的左旋活动为标志的南北直扭造成了上三叠世以前地台盖层的褶皱断裂，并在早燕山运动中继续影响到上三叠世到早中侏罗世的沉积。按穆迪与希尔（1954）的扭断裂机制，这种次一级褶皱的方向按离扭断裂的远近从北北东、北东转向近东西向，正如江苏—南黄海区一系列隆起与凹陷所显示的方向，这些褶皱及其伴生的压性断裂，在扬子地台范围内比在华北地台内更为发育，使得苏北拗陷下的“潜山”内幕具有复杂的结构。另一组北西向的张性断裂则在华北地台基底中更为显著（在扬子地台范围内仍然有其形迹），它的活动使得不同断块内晚元古代至古生代地层的剥蚀保存程度有所不同，从而影响到华北地台不同块段中古潜山的性质与分布。另一方面是：太平洋板块的活动促使中国板块东部的岩石圈隆起。与鄂尔多斯、四川地区相比，华北，苏北的上三叠世，中下侏罗世沉积在厚度和分布范围上都小得多，表明岩石圈在当时是东隆西降的。在隆起背景上，这时可能已发生断陷，但不如晚侏罗世那么广泛。晚侏罗世火山断陷的形成，据卢华复等在宁芜地区的研究，仍是在北北东的左行平移和南东至南东东的挤压应力场交替作用下的产物。

（2）但是，历史发展的趋势是：从古生代继承下来的南北挤压日趋消减，北北东向的左旋平移从白垩纪末以来在中国板块向东滑动扩张的影响下停止活动或逆转为右旋平移，而在新全球构造运动体制下的太平洋板块对中国板块的作用则方兴未艾。整个机制可概括为：在太平洋板块挤压影响下，中国板块东部岩石圈隆起，受到剥蚀，并发生断裂（上三叠世—中下侏罗世）→因板块俯冲引起壳内岩浆房的形成和沿断裂的中酸性岩浆外溢（晚侏罗世—早白垩世）→岩石圈隆起、剥蚀、壳内岩浆的外溢使上地幔的压力减轻，发生相的转化〔例如由榴辉岩（橄榄岩）到辉长岩〕，形成地幔垫，继而出现与之成倒影关系的拗陷（白垩纪）→太平洋板块的继续活动以及西部锋线以滑线场的方式对东部施加的影响使东部岩石圈进一步隆起，并发生北北东与北东向的拉张断陷，其发生时代顺拉张的方向依次变新。在此过程中，地幔垫再次发展，断裂下延切割到地幔垫，上地幔物质沿某些断裂以地幔柱形式上升（老第三纪）→与地幔垫的范围相应的与之成倒影关系的新的拗陷的形成，地幔垫的两个高点之间，可能由于地壳物质的塑性流动而产生拗陷间的隆起，如山东。拗陷发育的同时有基性岩浆的流溢，如三垛、盐城组下部以及第四纪的玄武岩（新第三纪至第四纪）。在这一机制中，岩石圈的受压、上隆、断裂激发了地幔垫的形成，而地幔垫的发育又使得岩石圈更加隆起，断裂更加深入，最终转化为拗陷。这是中国东部所处的接近于太平洋板块的“锋线”

这一构造位置所决定的（图二）。

（3）松辽是按上述机制发展的单旋迴盆地（三叠—中下侏罗世隆起—晚侏罗（早白垩）世断陷—白垩纪拗陷—第三纪隆起，华北与苏北则是复旋迴的，从白垩纪末，老第三纪

以来有不同于松辽的新发展。有如下节所将说明。白垩纪时期本身是一个重要的转折点。

（4）如上所述，这一断陷—拗陷转化机制的发展可以分为若干步骤，断陷的发生或断陷转化为拗陷的时期，在时间上有某种渐进的规律。这是因为随着岩石圈的隆起、断裂的发生、强化与延拓、地幔垫或地幔柱发生的起始，激化与“回收”等等都有一个构造演化的过程，包括着一个时间的函数。这些过程自然也就联系到各个断陷或拗陷中生储油岩系在旋迴的同一性与同时性之间的复杂关系。例如华北苏北第三系下的白垩纪拗陷，如

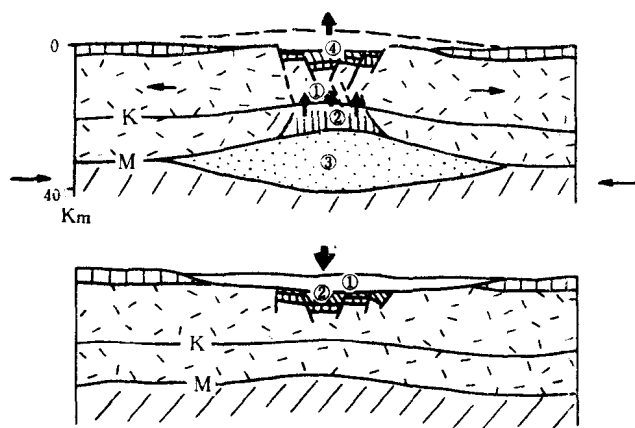
果曾经发育的话，在时代上未必与松辽完全相同。苏北各个断陷中的泰州组、阜宁组、三垛组与华北各个断陷中的孔店组、沙河街组、东营组在时代上、发育机制上与成油条件上如何对比联系，都值得进一步探讨。

上述断陷—拗陷结合型与断陷—拗陷转化型盆地，就其形成机制来说，虽然同在板块内部，同样是受两侧相邻板块的相互影响而发育，但由于所处的位置不同而有明显的差别。转化型盆地是在接近东部锋线，在太平洋板块推挤作用下中国板块岩石圈“下压上张”情况下的产物。在时间上，盆地的发生与结束均较晚。结合型盆地则更多地受西部锋线的影响，在厚壳槽区与薄壳台区相互推挤下“上压下张”的结果，盆地的发生与结束均为时较早。不同的机制取决于岩石圈在板块内所处的构造位置与盆地基底的不同性质，受不同机制的作用

（如同属中朝地台基底的华北与鄂尔多斯），或类似的机制作用于不同的基底（如鄂尔多斯与四川、松辽与华北）又可以有不同的结果。盆地内建造的类型、性质，改造的形态、程度，无不受这些共性与个性的控制。这就为我们具体分析各个盆地或盆地各个部分的油气条件提供了一条联贯的而又同中存异的线索。

（三）中国板块内部后期盆地（第三纪）发育的双重背景

黄汲清等认为三叠纪以来中国东部大地构造发展中“有两个重要的转折时期，其一为侏罗纪末到白垩纪初的早燕山运动，这是中生代晚期大兴安岭—太行山—武陵山以东的中国东部挤压作用达到高潮并转向引张作用的开始，之后产生了松辽、江汉、苏北等拗陷。其二，为白垩纪末到第三纪初的晚燕山运动。之后，喜山旋迴开始，中国东部的引张作用得到了进



图二 断陷—拗陷转化型盆地形成机制示意图

a 断陷阶段

①—地幔柱；②—壳幔混合区；③—地幔垫；④—断陷沉积

b 拗陷阶段

①—拗陷沉积；②—断陷沉积

一步的发展,形成华北、下辽河、渤海以及中国大陆架上的若干盆地,同时,江汉、苏北等“继续发展”。

关于第一个转折时期,黄汲清等说:“由于资料缺乏,现在还不太了解它与太平洋板块运动的具体内在联系。”作者认为,除了太平洋板块的活动外,这里还应该探索这一转折与白垩纪时期的全球性深部物质运动的联系。普莱等在分析几个不同板块内部盆地的沉降幅度后认为,“沉降与造陆活动表现为同时的全球性现象”。并指出100百万年前的赛诺曼阶与75百万年前的晚白垩纪是两个全球性沉降的最高值。凡尔的研究也指出白垩纪是全球性海平面下降的重要时期。肯特发现“几乎所有的大西洋型大陆架”都在中白垩纪(阿普特—阿尔布阶,即115—100百万年间)的“非常有限的时间内”出现一次“最显著的变革”,即从断陷转化为拗陷。所以在板块活动的局部背景上还应考虑这种全球性背景。全球性的升降活动反映了内部物质运动的调节。对中国盆地的形成发展来说,表现为太行—武陵两侧在三叠—侏罗纪时是东升西降,而到了白垩纪则调节成为西升东降。在其东侧,侏罗纪末—白垩纪初的转折,与其说是“从挤压高潮转向引张”,毋宁说是从断陷转向拗陷。晚侏罗世的断陷是在与挤压直扭作用相同时的隆起背景上的拉张,而在白垩纪拗陷的同时仍包含了挤压与扭动的因素(在拗陷以外的地区,如燕山地区,从印支到燕山四幕亦均表现为南北向挤压和反扭的应力)。从印支运动以来,中国板块东部的应力场基本上是一致的,直到白垩纪末才有根本性改变,不过由于白垩纪时期的全球性升降调节,才使得有些断陷转化为拗陷(如松辽),另一些拗陷则转为上升(如鄂尔多斯)。

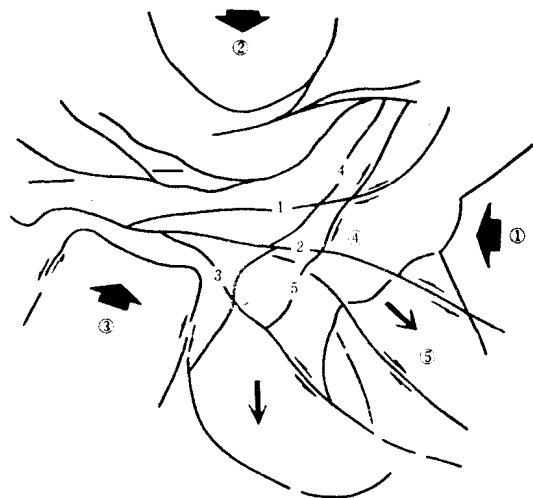
关于第二个转折时期,黄汲清等认为“华北等拗陷的大规模发展恰与大约在始新—渐新世时太平洋板块运动方向由北北西转向北西西的大转变时期(40百万年开始)相吻合,这绝不是偶然的”。华北等拗陷是从白垩纪末(或至少从古新世)起以北北东与北东方向拉张箕状断陷的方式开始发展的。在此以前,即至少从印支运动以来,在以郯庐型南北反扭标志的应力场控制下,作用于北北东与北东构造线上的是压或压扭应力。为什么到了这一时期竟转变为大规模的引张呢?除非是郯庐的南北反扭到这时停止活动或甚至转变为顺扭,才能使这种引张有可能实现。仅仅是太平洋板块运动方向由北北西转向北西西,看来不足以造成这一扭动的停止或逆转,何况在时间上太平洋运动方向的这一改变(始新—渐新世)比上述拉张作用的开始(白垩纪末或古新世)还晚了数十个百万年之久!各个断陷的水平拉张分量很大(仅在从北京到济南的360公里的剖面上,裂谷的累计宽度达到剖面长度的16%),至少一部分分量是向太平洋方向拉张的,说明中国板块在这一时期曾向太平洋扩张。是什么动力使得中国板块在白垩纪末第三纪初得以从受太平洋的向西推挤转为向东推进呢?作者认为,应该从中国板块在两条锋线交互作用下的运动方式来考虑。

尽管对西藏和喜马拉雅的重要地质问题,诸如雅鲁藏布江“缝合线”的性质等等,还存在不同的看法,但印度板块从白垩纪晚期至第三纪早期向亚洲板块靠拢以至碰撞这一总的趋向,大多数地质工作者的意见基本上是一致的。例如张之孟认为“晚白垩世时,南亚次大陆与欧亚大陆开始有较多的地方接触,…始新世初期(55百万年)…发生碰撞”。秦德瑜等指出:“印度板块从白垩纪开始与欧亚板块敛聚,并在晚白垩世末(80×10^6 年)和始新世晚期(40×10^6 年)先后两次俯冲”。帕克哈姆等也认为“印度次大陆同欧亚板块的直接接触首次发生在具有复理式沉积层的白垩纪晚期至始新世早期。”但是,在这种作用下,为什么“在早第三纪的大部分时间和白垩纪时,在构造上亚洲是稳定的地台”,而到了“约在渐新

世时”，才“开始了构成今日地形景观的大规模垂直运动”（莫尔纳等 1975）呢？也就是说，在从白垩纪末到渐新世（或甚至中新世初）这一段时间内，两个大陆板块敛聚所引起的地壳短缩并没有表现为大规模的地壳加厚和垂直运动，而是以另外的方式来解决的。一种可能的方式是塔朋尼埃提出的“滑线场”理论，即通过大规模走向滑动断层来实现地壳的短缩。“由于欧亚大陆的岩石圈比沿太平洋边缘的消减带更加阻抗倒向运动，所以印度板块与欧亚板块的稳定部分之间的区域，与这些板块相比，向东比向西更容易移动”，那里是“欧亚板块的稳定部分”呢？作者意见不同于莫尔纳等，认为应该是指蒙古中部弧形大断裂以北，包括西伯利亚地块及围绕着它的早期（兴凯）褶皱的萨彦—额尔古纳地槽区，也就是在古中国地台开始解体之际已经褶皱上升的部分。这是亚洲板块的核心，比在它南面的经历过古中国地台的解体，直到晚华力西—印支运动才联合成为“中国板块”的槽台镶嵌体来，在构造上更为完整而稳定（图三）。后一槽台镶嵌体是不稳定的，它的一些历史遗留下来的重要断裂线，在白垩纪末至早第三纪由于受印度板块的进侵和在太平洋板块向东“后退”作用的诱导下，例如沿着内蒙地轴、秦岭—淮阳、金沙江—红河等大断裂，发生过相对平移滑动，它们之间的块体内还有着旋扭的关系。从而使沿北东与北北东向发生引张，结合前文所述的地幔垫的活动机制，使得东部（华北—苏北—南黄海）在中生代褶皱断裂的基础上，发生了许多白垩纪末到老第三纪的北东或北北东引张性箕状断陷。

郯庐断裂系越过渤海一下辽河，一般认为可与依兰—伊通地堑系相联系。但后者宽度小，且为一系列高角度正断层组成。更重要的是这里常有“对冲式”地堑（包括早第三纪），晚白垩世末有过强烈挤压作用。说明这里在晚白垩世到早第三纪的应力场与华北的箕状拉张断陷不同。老第三纪在东北大部分地区很少分布，也是与旋扭作用产生的隆起有关。

在秦岭—淮阳断裂东端以东，北北东向断裂往南延展分散成若干切割较浅的断裂，在白垩纪末第三纪初仍有拉张作用产生了苏、浙、皖、赣的一些北东至北东东向小盆地，有些和北东隆起带的次级裂陷相联合。由于深部机制的不同，这些盆地中的沉积厚度、岩相和油气条件显然不如华北、苏北的同时期断陷。在西面，一部分北东向箕状断陷延伸到秦岭淮阳断裂带内，但规模较大的则是因秦岭淮阳断裂带的旋扭滑动引起的拉张作用产生了近东西和北西西向盆地，如周口、信阳、西峡、浙川等。由于与滑移相伴随的升降活动，这些断陷主要为红色碎屑岩充填，成油条件较差。它们在时代上可与渭河地堑甚至祁连山前拗陷相联系。这两类盆地是在两组不同的滑移活动的控制下分别造成的，所以情况不同。当二者形成联合盆地时，如南阳，泌阳，却有有利的生储油岩相条件，对此，陈发景曾作了论述。从江汉到



图三 中国东部白垩—第三纪板块运动方式示意图

- ①—太平洋板块；②—安哥拉（亚洲板块的核心）；
- ③—印度板块；④—中国板块；⑤—菲律宾海板块
- 1—阴山—内蒙地轴断裂；2—祁连—淮阳断裂；
- 3—金沙江—红河断裂；4—太行—武陵断裂；
- 5—郯庐断裂

洞庭的北西西向晚白垩世一早第三纪盆地应该也是在这种旋扭拉张作用下造成的。这种旋扭活动的压应力在重力滑动的协调下在晚白垩世一早第三纪时还产生了川东表层平行褶皱带，已见前述。

由印度板块的致聚碰撞，引起中国板块分体东移，在东部促使上述几类不同盆地或断陷形成发展的情况，在时间上大致延续到了老第三纪末或新第三纪初。新第三纪以来，太平洋西部岛弧的构造格局有了新的发展。上田等认为“形成东日本岛弧（伊豆—马里亚纳弧—东北日本弧—千岛弧）的迁移是在新第三纪初期开始的”，“菲律宾海在新第三纪初开始才具有明显的边缘海特征”，西日本岛弧中的各种现象，虽然是“在老第三纪以前形成的构造骨架的强烈影响下”，但无疑受到新第三纪的重大改变，例如中新世后期的火山活动。日本海的成因，虽然还有不同的假说，但愈来愈多的人认为“日本列岛和亚洲大陆曾经是连结在一起的，由于伴随岛弧运动逐渐由下上升的物质的作用，就与大陆脱离开来”。“由下上升而来的物质，并不是通过巨大而单一的裂缝上升的”，而是具有许多微扩展中心，这种作用，按松田和上田的意见，从中生代晚期即已开始，但是大量物质的上升与边缘海洋壳的产生，则是与上述岛弧活动相联系，即直到新第三纪时期才实现。“随着边缘海的成长，岛弧就逐渐离开大陆，而且呈弧形向大洋扩展”。这种机制和历史发展实质上同华北盆地自白垩纪末以来从断陷向拗陷发展并有地幔物质上升的情况是一致的，不过更加成熟到了有洋壳形成的程度。

西太平洋岛弧与边缘海在新第三纪的这种新的发展，对中国板块在白垩纪末至老第三纪时受印度板块的影响而发生的分体向东滑移的活动起了“煞车”作用，甚至在边缘海扩张强烈的地方，向西的推压可使这种滑动开了“倒车”，即出现了滑移的反向过程。例如山西隆起在中生代末至老第三纪时受沿内蒙地轴发生了北东向的褶皱和断裂，形成包括侏罗系在内的向斜构造盆地，而到了新第三纪时，则由于滑移的反向，扭动所产生的区域拉伸作用，使北北东向断裂呈剪切拉开，陷落成为一系列中新世以来的新期地堑。沿这些大断裂的滑移活动目前可以从卫星照片上得到解释，但这只能说明它们的晚期活动。正如郯庐断裂“在地史发展过程中曾发生过多次滑移的反向过程那样，一系列白垩纪末到老第三纪盆地沿秦岭—淮阳断裂的分布可以作为这些断裂的平移活动在历史上也曾经有过反复的证明。

中国板块东部锋线在新第三纪的这种新的发展，反过来不能不影响到西部。印度板块在新第三纪继续向欧亚板块推压，这时青藏岩石圈的短缩已不再可能像在白垩纪末到老第三纪时期那样以大规模平移滑动的方式来解决。短缩了的岩石圈中能量集聚，使地壳下部或上地幔可能存在熔融或半熔融的物质，随着岩石圈的上隆还可能发生地幔物质的热底辟上涌，分异，玄武岩层加厚。使得青藏高原在新第三纪以来抬升成了“世界屋脊”，与之相应的在其外缘的新第三纪至第四纪沉积厚逾万米。青藏高原上第三纪花岗岩的大规模存在，第四纪火山活动和广泛的热水分布以及各种地球物理异常都说明在它下方存在着岩石圈异常现象，这些异常现象的产生看来是同太平洋西岸新第三纪以来的活动遥相呼应和互有联系的。

参 考 文 献

1. 朱夏 1965, 我国陆相中新生界含油气盆地的大地构造特征及有关问题。《大地构造问题》科学出版社
2. 朱夏 1978, 关于我国陆相中新生界含油气盆地若干基本地质问题的初步设想。《石油地质实验专辑》石油地质中心实验室
3. 黄汲清等 1977, 中国大地构造基本轮廓。《地质学报》第二期
4. Fischer, Alfred G., 1975, Origin and growth of basins, in Alfred G. Fischer and Sheldon Judson (ed.): Petroleum and global tectonics.
5. Moody, J. D. and M. J. Hill, 1956, Wrench fault tectonics. Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 67, No. 9.
6. Poulet, M. et al, 1975. Tectonique globale et evolution structurale des bassins sedimentaires, Proceedings, 9th World Petroleum Congress.
7. Teponnier, P. and P. Molnar, 1976, Slip Line Fields—Large Scale Continental Tectonics Z Nature, Vol. 264.
8. 上田诚也等 1979年, 《岛弧》地质出版社

我国陆相生油岩与原油的地球 化学基本特征

陈丕济 胡 民

我国不同类型的古湖盆广布和发育,湖盆中生油岩最早形成于晚二叠世,中生代以来直至早第三纪占有主导地位,它为我国油气田的形成奠定了良好的基础。陆相生油岩的发育与古湖盆成生、发展的特定阶段和特定条件密切相关,巨厚的暗色泥质岩所指示的深湖相沉积是最有利的生油岩相带,当其演化处于成熟阶段(即生油主要阶段)时,将成为找油远景最有利地带。实践证明,这是油气勘探的一条普遍规律。因此,加强生油岩形成和演变的实验研究,在理论和实践上都具有十分重要的意义。

本文主要对生油岩和原油的一些有机地球化学特征进行概述。

一、陆相生油岩地球 化学基本特征

陆相生油岩地球化学特征,主要从有机物质丰度、母质类型和演化程度三方面进行论述。

1. 有机物质丰度

我国陆相生油岩有机物质丰度,按有机碳计算一般为5000—30000 ppm,含膏盐沉积的生油岩可大于30000 ppm;好的生油岩有机碳一般为10000—20000 ppm;当有机碳含量大于30000ppm或更高时(含膏盐层及油页岩除外),往往是最差的生油岩,它们中的有机质对生油来说多属于低效或无效的有机质。

有机物质丰度的变化,直接与沉积相有关,不同相带有机物质组成分布有一定的规律(表1)。就生油条件而言,较深—深湖相有机物质丰度最有代表性,它是形成良好生油岩的最佳沉积环境;河流—浅湖相或湖沼相,其生油条件最差或是非生油岩,即使有机碳含量较高,但生烃效率很低;湖沼相的煤系地层沉积,只有当其外于湖水相对广阔和湖盆中心的那一部分沉积才具有生油条件;干旱气候条件下的含膏盐沉积,除了具有较深水的沉积环境外,还要处于湖水相对

表 1 不同沉积相有机物质丰度

沉积相		有机物质丰度 (ppm)	有机碳	氯仿抽提物	烃
陆相	较深—深湖相		10000—20000	>1000	>500
	浅—较深湖相		5000—10000	500—1000	100—500
	河流—浅湖相		3000—5000	250—500	50—100
	河湖沼泽相		15000—30000以上	500—1000	100—200
海相	盆地或陆棚相		一般1000左右	100—500	60—200以上

淡化的部位,才能形成良好的生油岩。

海相碳酸盐岩有机物质丰度与泥质含量有关,它随着泥质含量的增加而增高。含有泥质的其有机碳含量一般均大于2000ppm;一般的碳酸盐岩有机碳含量为1000ppm左右;比较纯的碳酸盐岩有机碳含量均小于1000ppm。海相泥质岩有机物丰度和上述深湖相近似。

陆相生油岩由于以泥质成分(或粘土矿物成分)为主,因而具有有机物质丰度高的特点,这是因为泥质成分可以携带丰富的陆源有机物,它有利于水体中浮游生物的生长繁殖,泥质成分又能吸附和絮凝水体中溶解的、胶状的和悬浮的有机碎片并迅速沉淀堆积水底,如果湖盆水体较深而且长期持续沉降,这就具备了形成良好生油岩的基本条件,湖盆越大,深湖相生油岩的规模也就越大。如松辽古湖盆深湖相生油岩,烃含量最高可达5000ppm以上,华北济阳古湖盆深湖相烃含量最高可达3000ppm。浅湖相和湖沼相有机物含量低或者有机碳含量高但质量差,这是由于该相带的水动力条件不稳定,不利于生物生长,而且死亡的生物多遭氧化,即使被保存下来的有机物,其生油效能也是很低的。含膏盐的暗色生油岩具有有机物丰度高的特征,可能是由于盐类在沉积时,将有机物包裹在内,保护了有机物,减少了生化阶段的损失,也可能与运移效率有关,从而使有机物具有高的丰度和生油效率。

有机物丰度较高的碳酸盐岩生油岩,通常也正是由于含较多的泥质成份,它对浮游生物的繁殖、迅速堆积和保存均起着重要的作用,所以一些质纯的碳酸盐岩,一般不会成为生油岩或好的生油岩。

上述的有机碳、氯仿抽提物(以下简称抽提物)和烃含量都是岩石中的残余量,而且抽提物和烃都仅是高于 C_{15} 馏份的含量,当它们在未进入过熟阶段之前,可以分别指

示原始有机物质丰度和生油量。其依据是不论生油是在成岩作用早期或晚期,都处于“地化”作用阶段,因而所指的原始有机碳应从“生化”作用阶段结束,“地化”作用阶段开始算起。这样,从“地化”阶段开始到主要生油阶段,有机碳要损耗于形成二氧化碳,而在所生成的烃类物质中,轻馏份和中馏份要损耗于运移和扩散,而且在重馏份中也有部分损耗于运移。但从整个演变情况看,一定类型的有机质在演化过程中所生成的二氧化碳、烃类物质以及烃类中的轻、中和重馏份的比例大致是一定的,虽然运移和扩散损失的比例范围还无法确切地估计,但它们仅占已生成烃的一小部分。因此,残余有机碳与原始有机碳的比例、残余烃含量与实际生油量的比例皆是有规律可循的。据此,粗略估计,在未进入过熟阶段之前,烃/有机碳值可以近似地反映有机质的转化效率。

总的说来,陆相生油岩有机碳含量可以比古老的较纯的海相碳酸盐岩生油岩高一个数量级,但它们的变化范围较大,烃的平均含量则与碳酸盐岩大致相同。

2. 母质类型

陆相生油岩母质类型的研究,这里主要是从可溶有机质性质和转化效率来表征。这里的有机质性质是指岩样中有机质组成即抽提物/有机碳和抽提物中族组份;转化效率是指抽提物/有机碳和烃/有机碳。这些参数与H/C原子比或碳化率等参数一样,既与演化程度有关又与母质类型有关。从理论上来说,仅当演化程度相同时才能比较类型,同样,在判断母质类型时也要考虑演化程度的影响。

相同演化阶段不同沉积相带中形成的各种类型母质的地球化学特征,可由表2中一些基本参数来表征。

由表可见,在湖相沉积中,以深湖和较深湖相生油岩的母质类型最好或较好,表现

表 2 不同类型生油岩抽提物组成及生油效率

生油岩类型			抽提物组成		抽提物/有机碳	饱和烃 + 芳烃 %	非烃 + 沥青质 %	烃/有机碳
成熟阶段	未成熟阶段				<0.05	<15	>85	<0.006
	海相碳酸盐岩生油岩				>0.2—0.4	>60	<40	>0.1—0.2
	泥岩页岩类	较深—深湖相	好的生油岩	>0.1—0.2	>50	<50	>0.05—0.1	
		浅—较深湖相	一般生油岩	0.05—0.1	30—40	60—70	0.01—0.05	
	含碳质泥页岩类	河流—浅湖相	较差生油岩	<0.05	<30	>70	<0.01	
		沼泽相（煤系）		一般<0.06	<20,芳>饱	>80,沥>非	≈0.01	
过成熟阶段（初期）					降低	降低—基本不变	非烃降低, 沥青质升高	降低

在有机物组成、性质和转化效率上,抽提物/有机碳值一般大于10—20%,最好的可达20—40;抽提物中烃含量达40—50%,好的可达50—60%左右,饱和烃大于芳烃,非烃大于沥青质;烃转化效率一般为5—10%或大于10%,个别好的可达20%以上,如大庆油田嫩一段中的生油岩等。由此表明,湖盆中心水体深而稳定,这种环境最适宜于浮游生物如藻类等的生长发育与保存。如大庆油田青一段中介形虫和叶肢介等可成层出现。同时,湖盆中心距离陆地较远,搬运来的陆源植物残屑较少,因而有较高的转化效率,其母质类型多属于腐泥型,它是生油条件最好的类型。

位于湖盆边缘的浅湖相沉积,由于水体浅而不稳定,浮游生物比例少而不易保存,陆植碎屑占有较大比例,因而有机物转化生油的效率较差,即使其有机物丰度高,但对生油来说它是低效的。因此,这一类富含植屑的或煤系中的生油岩,是一种较差的生油岩。

介于上述二种母质类型中间的是过渡类型,即腐植—腐泥型或腐泥—腐植型,在陆相中小型湖盆沉积中,它是一种较为普遍的母质类型。

海相碳酸盐岩有机物中,抽提物/有机碳值大于20—40%,抽提物中烃的比例(饱

和烃+芳烃)也高,一般可达50—60%以上,高的可达70%以上,饱和烃/芳烃值高,沥青质低,这种母质类型一般属于腐泥型或中间型。

由上述看出,烃/有机碳值虽然在陆相生油岩中变化范围较大(1—20%左右),但当有机物在未进入过熟阶段时,可以近似地反映转化效率,从而反映母质类型。

按蒂索(Tissot, 1975)的三种等级生油母质在高峰生油阶段 $C_{油}/C_{有机碳}$ 的比例分别约为0.45, 0.25和0.1,这里的油是指抽提物和气态烃,实际上是抽提物。已知一些海相生油岩,例如法国阿基坦盆地,抽提物/有机碳值约为0.4(40%),如以烃/抽提物值为50%计算,则烃/有机碳值约0.2(20%);北北海盆地上侏罗系下段烃/有机碳值在0.15—0.20(15—20%)间;巴黎盆地下托尔辛页岩,其比值为0.14(14%);美国洛杉矶盆地该值为0.12(12%);委内瑞拉巴斯油田白垩系拉吕纳地层,该值为0.064(6.4%)左右。

与上述这些油田相比较,我国陆相生油母质多数可列入蒂索的Ⅲ类或接近于Ⅱ类。如华北盆地好的生油岩沙河街组一、三段;苏北盆地好的生油岩阜宁组二、四段;陕甘宁盆地好的生油岩延长统二、三段;酒泉盆地新民堡群($K_1X_1^3$)生油岩;广东三水

东莞盆地好的生油岩埗心组二段等,其烃/有机碳值一般在5—10%左右,差一点的生油岩其值可小于5%。最好的生油岩其母质类型属于I类的为数不多,只有大型湖盆如松辽盆地的青一段和嫩一段以及某些好的生油岩中的局部层位以及含膏盐岩中最好层段,其烃/有机碳值接近或大于20%。生油条件最差的煤系地层中的生油岩,其烃/有机碳值一般均小于或近于1%,如四川地区的须家河组、香溪群,陕甘宁地区的延安组中的生油岩等,其母质类型都较差。

用烃/有机碳值作为烃转化效率来比较母质类型,不但方便实用而且还有量的概念,其缺点是受成熟度的影响,仅初熟与成熟阶段相比,就可以相差一倍左右甚至更大些。今后应从不溶有机物—干酪根着手,深入研究表征母质类型的定量参数。

从正构烷烃OEP值也可说明一些问题,据统计碳酸盐岩生油岩OEP值0.9—1.2左右,陆相生油岩其值在1.0—2.5左右。我国东部一些时代较新的生油岩,不少样品大于1.2,说明它是成熟度较低的生油岩,但一些母质类型较差的生油岩,在地质条件相同时,正构烷奇偶优势未能消失。例如图2中的碳质页岩,其原因一方面是因为原始沉积物中正构烷烃OEP值较高(据现有资料,我国现代海相淤泥OEP值在1.14—2.40左右,陆相淤泥OEP值为1.44—7.76),但主要还是由于生油效率低,其生成的烃类尚未足以稀释到奇偶优势消失,从这一意义上说,OEP值不仅与成熟度有关,也与母质类型有关。

总之,烃类物质是任何类型有机质在演化过程中发生歧化反应的必然产物。因此,就生油的“生”来说,对有机质没有严格的要求,但要成为生油岩,就要有一定的转化效率和生油量,并且至少应进入初熟阶段。

决定生油量的因素是有机物丰度和生油效率,后者又决定于母质类型和演化程度。

我国陆相生油岩由上古生界直至新生界第三系,它所经历的埋藏史和古地温史,从整体来说多处在生油阶段,有机物丰度高,因而生油岩的优劣主要决定于母质类型。

母质类型简单地讲,是指母质中饱和结构和芳香结构的比例,饱和结构比例大,生油潜力也大,以芳香结构为主的陆源有机碎片,对生油则可能是低效的。因此,陆相生油岩总的说来,烃/有机碳值虽然较低,但由于有机物丰度高,估算其单位重量岩石中的烃含量并不低于海相碳酸盐岩生油岩,说明不论是陆相或是海相,生油物质主要是水体中浮游生物(包括细菌和藻类),只要在一些有利于浮游生物繁殖、堆积和保存的沉积条件处于有利状况,并且生、储、盖条件在时间和空间上也处于有利组合时,就能形成有工业价值的油气田。

综上所述,我国陆相生油岩母质类型是多样的,且以过渡类型和腐植型居多,有机质平均生油效率不如海相碳酸盐岩生油岩高,但岩样中烃含量是不低于海相碳酸盐生油岩。

3. 演化程度

现有普查勘探的成果表明,我国陆相生油岩多处在生油成熟阶段,因此,有效地确定其上限(未成熟与低成熟)和下限(高成熟主要生油带与过成熟成气带),特别是上限的空间展布,对加速普查勘探并取得成效具有重要意义。

演化程度与生油之间的关系是通过如下两个方面来认识的,现简述如下:

(1) 有机物组成 近代沉积中抽提物/有机碳的值很低,变化范围很大,但一般不大于5%。当开始进入主要生油阶段时,增长较快,仅初熟到主要生油阶段可以相差1—3倍或更多(图1)。在主要生油阶段里,此比值与母质类型有关,因而也与沉积条件有关,到过了主要生油阶段之后又迅速下降。

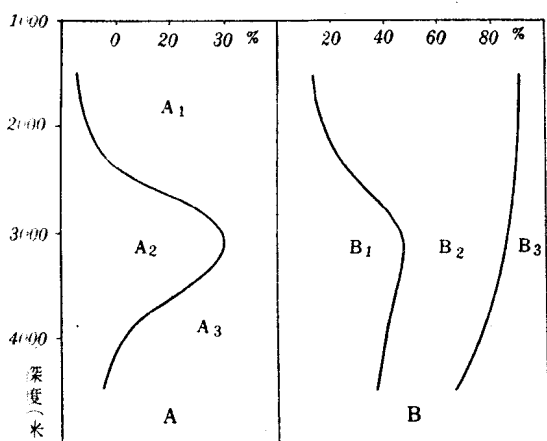


图 1 不同演化阶段有机质组成变化一般模式

A: 抽提物/有机碳; A₁: 未成熟; A₂: 成熟(主要生油阶段) A₃: 过成熟; B: 抽提物族组份; B₁: 饱和烃+芳烃; B₂: 非烃; B₃: 沥青质;

由图 1 可见, 抽提物中烃的比例在近代沉积中不超过 15%, 初熟阶段可达 20% 以上, 到主要生油阶段可达 50% 以上, 过了主要生油阶段之后, 抽提物/有机碳值降低较快, 但抽提物中烃的比例可保持不变或稍有降低, 因此仅当在主要生油阶段, 烃/有机碳值本是在高峰。例如华北饶阳凹陷下第三系沙一段, 由初熟到成熟, 抽提物/有机碳值可增长 0.5—1 倍以上, 抽提物中烃的比例由 30% 增长到 50% 左右。又如松辽盆地的下白垩系嫩一段生油岩与陕甘宁盆地上三叠系延长组三段生油岩相比, 前者抽提物/有机碳值最好的在 40% 左右, 抽提物中烃的比例达 50% 左右, 后者相应值为 12% 和 50%, 而且油质较轻, 正构烷烃主峰在 C₁₅ 处, OEP 值为 1 左右, 虽然它们都属于主要阶段, 但后者的演化程度要比前者深些, 二个盆地虽有些差别, 但还是可以比较。因此, 粗略估计, 成熟与未成熟和稍许过熟的生油岩相比, 抽提物/有机碳值至少相差 0.5—1 倍。

图中还可以看到抽提物中非烃(即胶质)随演化的加深而降低, 沥青质则增加。在未

成熟阶段, 非烃高达 75%, 甚至达 80% 以上, 非烃+沥青质一般在 85% 以上, 除泥炭土及土壤外, 一般是饱和烃大于芳烃。进入主要油阶段, 非烃降低, 常常可低到 50% 以下, 沥青质有所增加, 但变化幅度较大, 一般在 10—20% 之间, 非烃与沥青质之和在 50—60% 之间。当进入过熟阶段, 抽提物/有机碳和烃/有机碳值都急剧降低, 但族组份中烃的比例在初始阶段变化不大或稍有降低, 然后逐渐降低, 与此同时, 非烃下降而沥青质升高。鉴于有机质组成还与母质类型有关, 上图所示仅是有机质组成在演化中变化的一般模式。

此外, 在抽提物的族组份中, 饱和烃/芳烃值亦与物源有关, 因而亦与生油效率有关。煤系地层此比值总是小于 1, 沥青质则大于非烃, 高的沥青质总与高的芳烃有关, 随着演化的发展, 芳烃和非烃逐渐降低, 而沥青质逐渐升高。根据这些事实亦可以看出, 有机质在热转化生成小分子产物的同时, 芳烃和非烃等芳香结构物质, 通过形成沥青质而逐步稠合碳化, 碳化的过程就是芳香烃稠合的过程。

抽提物中非烃和沥青质都是有机质反复热解—缩合的中间馏份, MAB 三元抽提物(样品已经过氯仿抽提)也一样, 它与抽提物中非烃的区别, 仅是分子大小、杂原子多少和极性大小的区别, 可能从不溶有机物到烃, 中间有一系列分子量、极性和芳化度渐变的分子, 从未成熟—成熟—过熟的过程, 由于元素的反复重新组合, 各馏份、各分子结构和元素组成都在不断地变化, 总的趋势是两极分化, 因而总是在生成分子比原来为小的物质, 说明 MAB 三元抽提物是干酪根降解生油的中间产物, 亦仅能从总的趋势来理解。

上述抽提物/有机碳、族组份和烃/有机碳等都是同时受到母质类型和演化程度的控制, 但结合地质条件, 进行综合分析, 可用