



〔英〕J. 布鲁克斯 主编

有机质成熟作用研究 与 矿物燃料勘探



石油工业出版社

有机质成熟作用研究与 矿物燃料勘探

〔英〕J.布鲁克斯 主编

高品文 译 卢松年 校

石油工业出版社

内 容 提 要

本论文集共收论文二十二篇。除着重论述生油岩中干酪根的成熟作用外,还包括了有机质的分类和鉴别、各类有机质生油潜力的评价、有机相的鉴别与分布、蒸发岩生油、有机质超微结构-生物化学相关性对沉积环境的意义,以及应用各种新方法研究和评价有机质的热成熟作用等反映该学科最新进展的专题论文。

可供从事石油勘探的地质学家、工程师及技术人员学习参考,也可作为有关院校该专业师生的参考资料。

J. Brooks

Organic Maturation Studies and Fossil Fuel Exploration

Academic Press, 1981

有机质成熟作用研究与 矿物燃料勘探

〔英〕布鲁克斯 主编

高品文 译 卢松年 校

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲86号)

北京昊海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 20印张 487千字 印 1—1,200

1987年8月北京第1版 1987年8月北京第1次印刷

书号: 15037·2793 定价: 3.75元

序 言

近二十年来,石油勘探科学领域有两大进展:第一是数字地震资料获取及处理;第二是地球化学。二者使石油勘探工作者从事工作的方法有了根本的改变。本论文集涉及其中的第二个大进展。

直到六十年代后期,大多数石油地质学家都是对照一张清单来评价一个勘探远景区的,这个清单包括“圈闭”、“可能的储集层”、“盖层”、及“生油层”。但是,最后一个要素——“生油层”,是一个很含糊的东西。一般,在可能的储集层附近有一些页岩就够了,如果这些页岩是海相的,那就更好。我们通常都偏爱深度约为 1 公里至 3 公里之间的勘探对象,但是,情况并不一定都如此,因为我们也知道存在深度浅一些和深一些的油田。

现在,情况就大不相同了。参加工作的年轻地质学家面临的是不同的干酪根类型、热成熟度、古埋藏曲线及有关有机地球化学的内容,它们在任何远景评价都不可缺少的组成部分。

这本论文集论述生油岩中干酪根的成熟作用。这一批专题论文的发表是非常适时的,它将帮助地质勘探工作者回答石油及天然气是“如何”、“何时”和“何地”生成的问题。

Jim Brooks 博士从事干酪根及石油生成的研究已有多,完全胜任这本论文集的编辑工作。他坚持不懈地研究石油有机地球化学,而干酪根的成分则是他主要关心的一个问题。多年来,他竭尽全力来促进各门学科(生产上的与学术上的)专家之间的协作,以研究和开展旨在更好地认识干酪根成熟作用和石油生成的活动。他是“沉积有机质的成熟作用、保存问题及矿物燃料勘探”国际工作小组(在国际孢粉学委员会内)的奠基人,该工作小组是在 1971 年于苏联新西伯利亚召开的第三届国际孢粉会议上成立的。从那以后的多次国际会议及分析讨论会的结果都表明,在理解干酪根及其在油气形成中的意义方面,正在取得重要进展。

该小组工作的某些成果及结论,是去年七月由个人按其专业范围向在剑桥举行的国际专题讨论会提交的,他们的稿件一并收入这本论文集里,由于作者是来自范围广泛的许多国家的科学家,其研究项目又是各学科的相互结合,这一事实使得本书的价值倍增。

本论文集对于地学工作者和所有涉及日益困难且费用很大的寻找油气工作的专业人员都是有益的。

M.F.RIDD (总经理)
英国国家石油公司勘探部
于英国格拉斯哥

前 言

最近几年,石油及天然气勘探已经变得更加困难和更加费钱了,因为容易找到的油气聚集已经发现了,而便于进入的盆地也已经勘探完了。我们经常想起寻找地层圈闭油气所涉及的众多问题,或者想起勘探近海地区或比较边远地区的更多的困难和花费。石油勘探是一项耗资甚多、日益困难但又必需的工作,它要求使用许多现代科学技术方法及技术装备。

对于成功的石油勘探而言,了解与从生油岩中有机质的聚集后经成熟、生油、运移,直到石油最终聚集于储集岩中的各个阶段有关的各种化学及地球化学作用,是十分重要的。不管怎样,在最近十年期间,我们已经特别广泛地研究了生油岩、有机质成熟作用和石油的生成、分布及性质。

1971年,在苏联新西伯利亚举行的第三届国际孢粉学委员会会议上,成立了一个关于“沉积有机质成熟作用、保存问题及矿物燃料勘探”的国际工作小组(在国际孢粉学委员会内)。在最近十年期间,举行过各种科研项目的讨论和会议。

这本论文集包括了1980年7月2日至5日在英国剑桥大学第五届国际孢粉学委员会会议期间举行的“有机质成熟作用研究与矿物燃料勘探”国际专题座谈会上提交的论文,并附有讨论。这本论文集所包括的地质学家、地球化学家、化学家和孢粉学家的论文,真正是各学科之间的相互结合,而且涉及学术和生产研究与实际应用两个方面。我们发现,工作小组在综合不同学科以更有条理地理解沉积有机质、成岩作用、成熟过程及石油生成方面,已经取得了一些(有限的)成功。在这本论文集中沿用了这个主题,并且希望某些认识,以及不同学科的结合,将会从这些论文中得以明确。然而,科学的发现和应用只能从具体的研究和开拓中取得进展,而本书则包括了由有机质成熟作用及石油勘探方面公认的、理论上和生产上的专家们撰写的论文。

这本论文集将向石油工业工作人员和有关的地学工作者通报情况,并可望有所帮助。对于那些渴望了解和评价石油地球化学某些最新进展的学生,也是一本适宜的参考书。因为本书的主要目的是为石油勘探日益增长的要求所提出的有机质成熟作用方面的目前的研究课题和讨论提供一个论坛,所以,我们假定读者都受过一定程度的、初级的一般科学教育。本论文集所提出的课题的广度,完全适用于国际石油工业界,以及所有对地球化学及孢粉学研究在石油勘探中的作用方面的最新进展怀有兴趣和表示关切的理论研究人员和学者们。

如果没有各个作者的投稿,这本论文集的编辑出版显然是不可能的。我极其真诚地感谢各位作者的供稿,以及在提交和校对手稿方面的不断协助。专题座谈会是在国际孢粉学委员会的支持下举行的,我们向组织座谈会期间给予指导的Norman Hughes(国际孢粉学委员会前任主席)表示感谢。对担任历届会议主席的John Grayson(美国国际石油公司)、Chala Venkatachala(印度石油及天然气委员会)、Nigel Bailey(英国地球化学研究所)、Rick Pierce(美国莫比尔石油公司)和Gordon Spears(英国石油公司)的帮助也致以谢意。特别要感谢在打印手稿中表现出耐心和熟练技巧的Shona Harris和Gwyneth Rusack(英国国家石油公司);还要特别感谢Jim Morrow(英国国家石油

公司)协助整理索引、Peter Brown 和 Cathy Pettyfer (学术出版社)在出版论文集中所给予的帮助和鼓励。封面是由 Jim Dymock (英国国家石油公司)设计和绘制的,我十分愉快地对他致以谢意。

我特别感谢 Mike Ridd 为本论文集盛情作序和 Chris Cornford 在本论文集编辑和准备期间慷慨耗时,提出了许多宝贵的意见和建议。

JIM BROOKS

1981年3月于格拉斯哥

目 录

1. 沉积有机质的成熟作用与石油勘探——综述·····	1
2. 实验成熟作用的对比研究与化学药品对孢粉体及沉积有机质的影响·····	27
3. 孢粉质在热处理过程中的变化·····	34
4. 碳化孢子体的光学性质·····	50
5. 作为沉积岩分散有机质成分的自然燃烧的产物·····	56
6. 古被子植物叶片组织中超微结构-生物化学相关性对沉积前后环境的意义 ·····	68
7. 沉积岩中来源于植物的分散有机质的分类·····	86
8. 沉积物中无定形有机质类型的鉴别 ·····	100
9. 孢粉相、有机质成熟作用与生油潜力 ·····	109
10. 现代孢子花粉与热变孢粉质的瞬时热解-质谱及瞬时热解-气相色谱-质 谱分析·····	121
11. 用分子测量结果评价沉积岩中的热成熟作用·····	131
12. 启莫里支油页岩——有机质成熟作用研究·····	142
13. 生油岩中干酪根相的鉴别与分布——以北海盆地为例·····	152
14. 有机质生成油气的潜力·····	160
15. 孢粉起源的石油·····	175
16. 伊朗沥青：原油的晚期转化产物·····	188
17. 烃类的生成——时间、温度和生油岩性质·····	200
18. 显微荧光光谱与干酪根液化作用·····	205
19. 干酪根、固态烃和原油的地质显微光度学在石油勘探中的应用·····	210
20. 单轴和双轴镜煤反射率模型及其与古构造的关系·····	229
21. 西西里岛西西里盆地上中新统蒸发岩沉积的有机地球化学·····	239
22. 利用西西伯利亚侏罗系沉积确定有机质深成作用程度的孢粉学方法·····	261

1. 沉积有机质的成熟作用与石油勘探

——综述

〔英〕 J. BROOKS

一、引言

在大多数沉积岩石中,有机质通常只是一种次要成分。然而,在各种类型的沉积物中,有机质都不同程度地存在。大家都公认,有机物质高度富集的是煤及泥炭沉积、石油聚集、天然气、含沥青砂及油页岩沉积。然而,十分值得注意的是,在碎屑沉积物中,也含有极其丰富的、细分散的不连续有机质颗粒。

沉积有机质可以由各种不同来源的物质产生,其中包括水生的和陆生的动物,由于沉积有机质或者是生物体残骸本身,或者来源于生物体残骸,所以,沉积有机质被认为是化石物质。

沉积有机质的分类示于图 1。有机质几乎仅保存于水中沉积物。在整个地史过程中,海水及淡水中的浮游生物和细菌是有机质的主要生产者,而且也是保存于沉积物中的大部分古有机质的物源(Brooks, 1978)。

科学家们常常惊奇地发现沉积物中 98% 以上的有机质呈无定形的不溶物质的形式(Brooks 和 Shaw, 1968)。这种有机质通常被命名为“干酪根”。这个术语(希腊语, Kerós 的意思是形成蜡的或形成石油的,而词根 gen 的意思是“产生者”),最初是由 Crum-Brown 提出来(参阅 Steuert, 1912)用以描述 Lothian(苏格兰)油页岩中的有机质的,当加热该油页岩时,能产生一种蜡状的蒸馏物。最近,这个术语已被用得更为广泛。Durand(1980)建议,把干酪根定义为“沉积有机质中不溶于常用有机溶剂的部分”。因此,这个定义包括不同煤阶的(腐殖质、泥炭、褐煤、烟煤、无烟煤)腐殖煤中的有机质、藻煤、烛煤、地沥青类物质(地沥青、沥青、焦油砂中的焦油)、近代沉积物及土壤中的有机质。作者认为,这个定义太一般,而使其包罗万象。这种归类的主要缺点是,为了从岩石中获得干酪根提纯物,需要用各种无机酸来处理(有时需用碱处理)。这样,公认的干酪根制备方法(HCl、HF 处理),就直接修正了上述定义。

“腐泥质”这个术语也常常被滥用,因为流行用法的意思是,无定形有机质起源于藻类,而且,由于以下两个原因而有可能使人误解:无定形物质并不总是起源于藻类物质;“腐泥质”这个术语(Potonie, 1910)起初是用来定义“一种来源于缺氧介质中已经腐烂的有机体残骸的凝胶”的。

某些作者似乎把干酪根这个术语用于岩石中的全部有机质。我们认为,这种用法是不正确的,因为有人证明用有机溶剂抽提出的有机组分不同于干酪根,不应同干酪根一起分在一类,而可称之为 EOM(可抽提的有机质)。作者认为,“岩石中不溶于非氧化性的无机酸、碱及有机溶剂的分散有机质”这个定义,是目前干酪根的比较好的定义。这个地球化学定义包括了不溶的孢粉成分(花粉、孢子及类似的生物体),可以把这些成分从无定形干酪根及有部分结构的干酪根成分中单独划分出来。作者完全同意 Durand 的意见(1980),

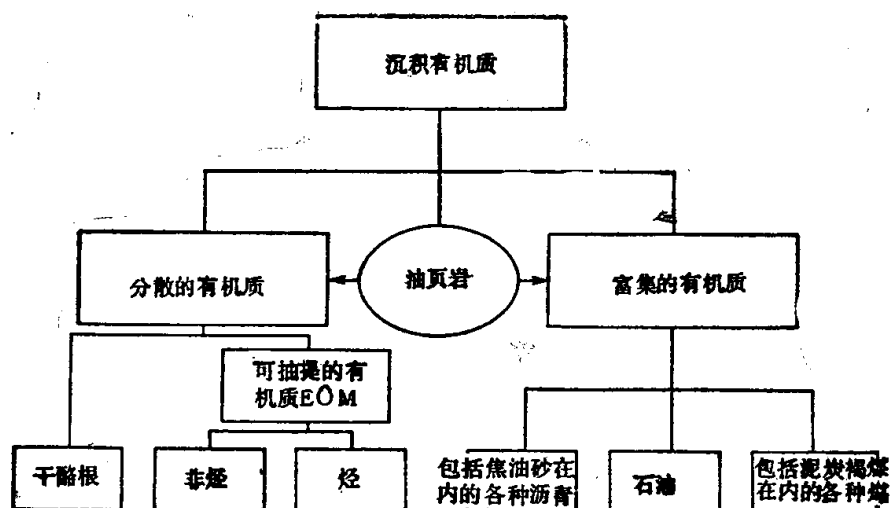


图 1 沉积有机质的分类

干酪根这个术语既不当含有涉及沉积有机质中各成分起源的成因意义，也不应当包含从以烃类生成物为前提的观点出发而得出的成因意义。

人们普遍认为石油是由含有起源于生物物质的有机质的生油岩生成的。石油的起源可以说是一系列连续的、相互联系的过程：（a）富含有机质的细粒沉积物的堆积与保存（生油岩）；（b）在埋藏与转化成类似石油的产物的过程中，该有机质的成熟作用（热转化）；（c）石油（和/或天然气）从细粒的生油岩中排出，并在生油岩内部运移（叫做初次运移）；（d）石油从生油岩排出之后，通过较大的孔隙、比较易于渗透的多孔载体及储集岩运动（叫做二次运移）；（e）通过二次运移，石油在可渗透的多孔的储集岩圈闭中聚集。

本文综述沉积物（生油岩）中有机质的起源、类型及数量，以及与烃类形成有关的有机质的成熟作用，还有各种用于评价和确定生油岩及其成熟状况和石油潜量的方法与技术。由引起有机质地球化学结构及组成变化的时间/温度的作用结果而导致烃类生成的过程，叫做有机质成熟作用。

二、有机质的产生与聚集

A. 产生

有机质的产生是有机质混入沉积物而形成可能的生油岩的第一步。光合作用是产生沉积有机质前身物的最基本的生物化学作用。太阳的能量通过诸如藻、细菌、真菌及高等陆生植物等有机物质的光合作用产物而进入生物循环。现在，陆生植物与海生浮游植物生成大致等量的有机碳。据计算（参阅 Huc, 1980），有机物质的原始产量，在海洋为 $1.5 \sim 7.0 \times 10^{10}$ 吨有机碳/年，而在大陆则为 $1.4 \sim 7.8 \times 10^{10}$ 吨有机碳/年。

陆相有机质在大陆边缘是最常见的，特别是在大的河流流过的地区。海相有机质的产生受海水的光线、温度及养分含量的控制。有深海海水上涌的地区与具高的海相有机质产量的地区密切相关。这些地区覆盖了一些有机质极为丰富的、而今在海洋东侧还在沉积的可能的生油层（Demaison 和 Moore, 1980）。

至此，我们只是简单地考虑了补充的有机质对于地球生物量所起的作用，而这种作用对

于发生在生物圈内的总的生物地球化学循环的影响相当小。生物地球化学循环（图 2）包括了各种碳源及储集层，它们是整个碳循环的主要影响因素和稳定因素。在地表或地表附近，只有此数量巨大的碳的大约百分之一（估计为 2×10^{21} 克）在生物圈中快速循环。“地表碳”的大部分是由无机的碳酸盐、不溶有机质（干酪根）及需要几百万年才能达到它目前数量的范围较小的矿物燃料组成的（Hunt, 1979）。

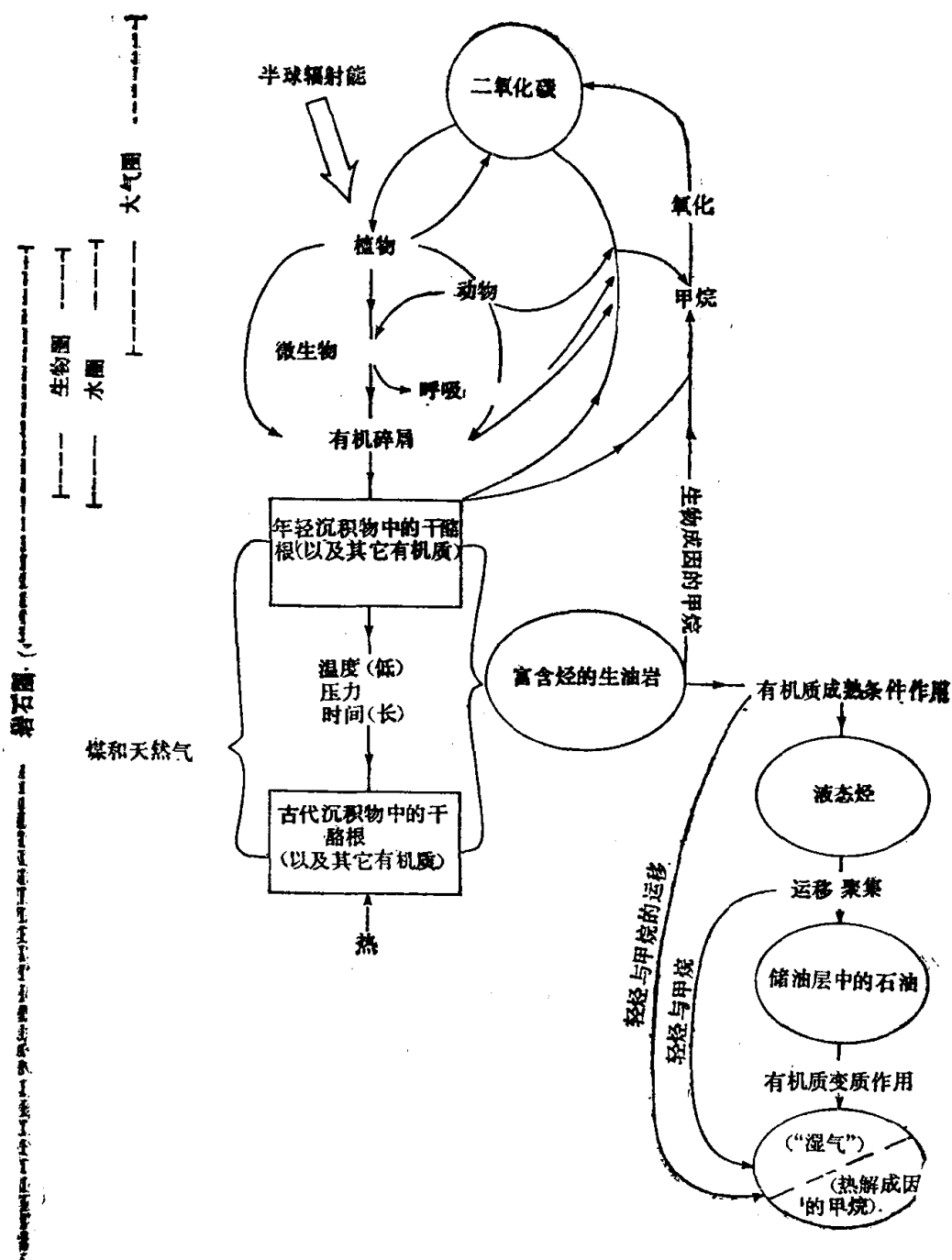


图 2 生物地球化学循环

沉积物常常含有从别处搬运到沉积区来的异地的有机质,但是,它们通常也含有在沉积区生成的原地的有机质。原地的有机质常常与特定的生物物质关系密切,而异地部分可能含有已经转化成岩的有机碎屑及再生物质,后者很可能是已经部分地经历了地球化学循环的有机质的

比较稳定的成分。Brooks 和 Shaw (1972) 提出, 沉积有机质组成的变化是有机质演化起点、时间及温度的函数。比较老的沉积物只含有原始生物的残余物, 而且, 沉积物越老, 沉积有机质的化学组成就越一致。

B. 聚集

有机质在沉积物中的聚集, 最终是取决于既保存和富集有机质、又分解和稀释有机质的“平衡”过程。据估算, 在生物化学循环中产生的有机质, 最终混入沉积物中的不到百分之一。大部分有机质是保存于碎屑沉积的缺氧环境里(参阅 Demaison 和 Moore, 1980)。

富含有机质的沉积物的聚集, 可能是由于下列的一种原因或几种原因综合影响的结果, (a) 产率高; (b) 保存好; (c) 稀释低。

C. 富含有机质的生油岩

为了得到好的生油岩, 鉴定出含有大量海相浮游生物的沉积物是很重要的事情。海相浮游生物含有丰富的类脂有机物质。

与沉积有机质的聚集有关的关键因素是缺氧环境的形成(水生环境缺氧, 在那里, 所有需氧的生物活动实际上都已停止)。生物化学资料表明(Demaison 和 Moore, 1980; Brumsack, 1980; Wakeham 等, 1980), 可能富含有机质的生油岩是沉积于、而且已经沉积于四种主要的缺氧环境中: 大型的缺氧湖泊(例如后期的坦噶尼喀湖, 始新统绿河层); 缺氧的孤立海盆[例如黑海、波罗的海、巴黎盆地的下侏罗统(托尔辛)]; 由于海水上涌而引起的缺氧层(例如加利福尼亚的海岸线、秘鲁、智利、西澳大利亚、西南非洲、加利福尼亚的第三系); 开阔的大洋缺氧层(例如印度洋、加利福尼亚海湾、大西洋、在上侏罗统及中白垩统广泛分布的富含有机质的黑色页岩)。

关于缺氧环境及富含有机质的生油层的形成, 已经发表了许多最新的评述文章(参阅 Dow 和 Pearson, 1975; Pelet 和 Debyser, 1977; Dow, 1978; Tissot 等, 1979; Demaison 和 Moore, 1980; Tissot 等, 1980)。

三、沉积有机质的成岩作用与成熟作用

许多地球化学家已经研究了与有机质转化有关的各种化学作用及微生物作用(参阅 Brooks, 1977b 及 1978; Tissot 和 Welte, 1978), 并对这些化学作用及微生物作用提出了各种解释及各种作用途径(图 3)。

原始的生物来源物质的性质、沉积环境、微生物转化、化学变化、温度、压力、上覆岩层荷载及地下水溶液的性质, 在有机质的沉积作用、成岩作用及成熟作用中都起着重要作用(Brooks, 1978)。在沉积期间, 各种作用的发生, 使得处在地表温度及压力条件下、未成岩的沉积物中的有机质易于转化, 或者统统破坏, 这些作用一般叫做有机质成岩作用。成岩作用是沉积物体系在埋藏较浅、沉积物一般变得固结的情况下趋向于达到平衡的一种过程。在沉积期间及埋藏的顶部几米中产生的物理、化学及微生物变化, 可称为早期成岩作用。接着, 在成岩期间和/或成岩之后、有机质成熟作用(约 60°C)之前发生的较长时期的、常常是不太剧烈的转化, 可称为晚期成岩作用(Ginsburg, 1957)。在早期成岩作用期间, 微生物及其有关的酶系把生物聚合物部分地(常常是全部地)分解成比较小的有机成分。高分子不溶地质聚合物(干酪根)的形成及混入沉积物, 是由以下两个主要原因造成的, 1) 在成岩

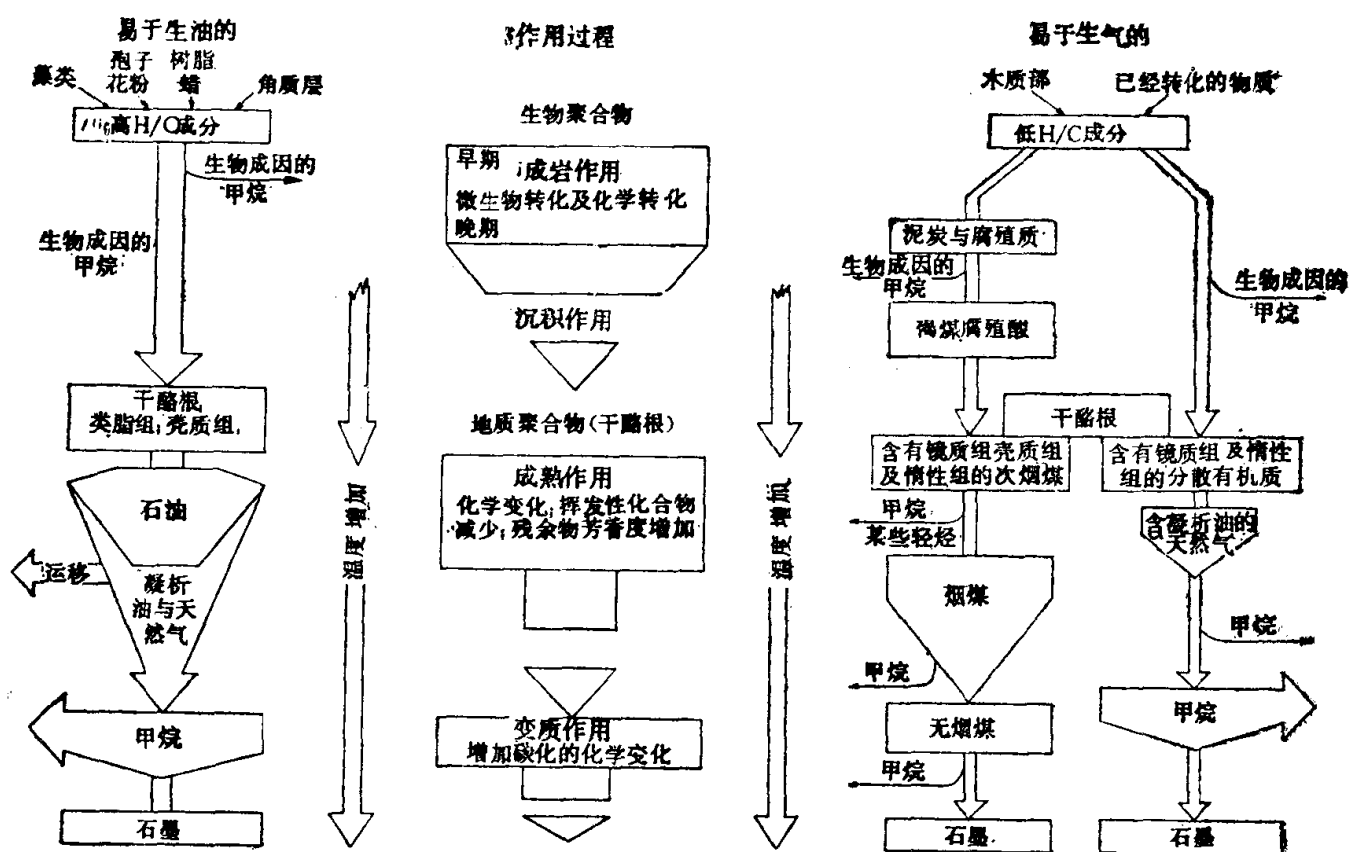


图 3 有机质成岩作用、成熟作用和变质作用

阶段，天然存在的高分子生物聚合物（孢子、花粉及有关的生物体、树脂、镜质组等）没有明显变化；2) 分解产物与其他来源于天然前身物的低分子化合物一起化合（缩合和/或聚合）而成地质聚合物（常常被称之为“干酪根”、“腐泥质”、“类脂组”、“腐殖质”或“无定形物质”）。

在这些有机质成岩作用期间及成熟过程中，发生了各种不同类型的化学反应：（a）特定 C—C 键的断裂或消除（例如生成一个卟啉和一个植醇（分子）的叶绿素分子）；（b）不饱和 C—C 键的还原作用（例如烯族还原成饱和的烷族；环化成小的碳环化合物，并产生交联反应）；（c）脱羧作用（失去二氧化碳）、脱甲基作用（失去甲烷）、脱氨基作用（失去氮和氨）、脱水作用（失去水）及脱硫作用（失去硫或硫化氢）反应；（d）歧化作用（分子内的氢原子的重排）；（e）环化作用及芳构化反应（脂肪族、脂环族及芳香族结构）；（f）异构化反应（例如 $17\beta(\text{H})$ 、 $21\beta(\text{H})$ 霍烷 转化为 $17\alpha(\text{H})$ 、 $21\beta(\text{H})$ 霍烷）。

在这些初期的成岩作用之后，沉积物中的有机质可能经历一连串有机质成熟作用反应而产生液态（及挥发性的）烃，并产生热稳定性更高的残余物。

有机质成熟作用（也叫“热转化作用”、“热成熟作用”、“深成作用”、“煤化作用”）就是在温度为 $60\sim 120^\circ\text{C}$ 下，高分子量的地质聚合物分子热解而产生出类似石油的化合物。这种作用（图 4）构成生油岩的生油主带。在有机质成熟作用过程中发生的主要地球化学反应是：（1）歧化作用、氢原子的重排及地质聚合物内的一些 C—C 键断裂，而产生挥发性及含氢量都增大的低分子量化合物，主要产物是烃。在高度成熟时（ $>250^\circ\text{C}$ ），甲烷则是最终产物。（2）地质聚合物结构中失去氢原子而剩下氢含量减少、碳含量增加的碳质残余物。在高度成熟时，石墨碳则是上述作用的最终产物。

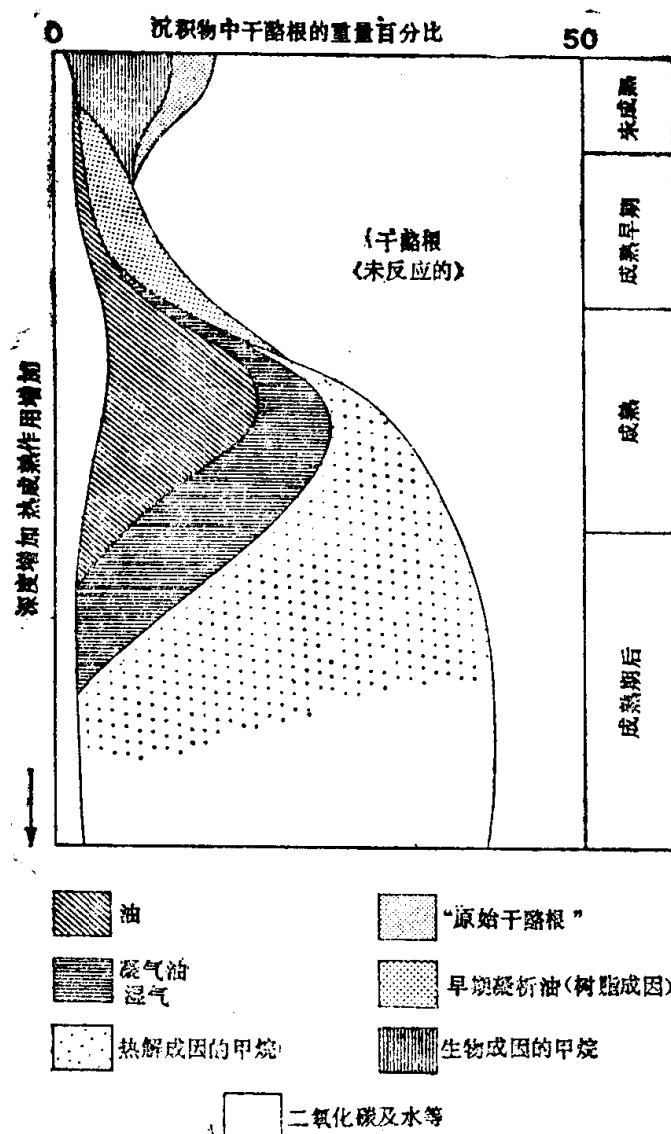


图 4 干酪根成因的烃类的演化 (据 Durand, 1980)

在有机质成熟作用之后，最后的作用是在温度高于 120°C 时发生有机质变质作用，有机质最后变成残余的高碳化合物，并最终变成石墨，同时释放出甲烷。

四、生油岩与运移

人们所用的生油岩这个术语是不考虑有机质是成熟还是不成熟的。生油岩的分类是按有机质的数量及类型、有机质的成岩状况或有机质成熟作用、以及能够生成的烃类的性质及数量来加以确定的。

为使沉积物有可能作为生成烃类的生油岩，其主要条件是：(1) 有足够的有机质（总有机碳）；(2) 适于生油（或适于生气）的合适的干酪根类型；(3) 石油生成所必需的有机质成熟度。

A. 有机质的数量

在一个沉积盆地内，生成烃类的主要条件是有足够的类型适当的有机物质。例如，含有

0.6%总有机碳(TOC)的主要由来源于藻类的物质组成的岩石,就是一种比含有4%总有机碳的主要由半丝质体及惰性体组成的岩石好得多的生油岩。起生油岩作用的岩层所需总有机碳的最低数量并非一定,对于不同的盆地,必须进行测定和解释。然而,在条件最为有利的情况下,一般都把总有机碳为0.4%(有机质含量为0.5%)这个经验下限值当作可能存在液态(和气态)烃类大量生成和排出所需的最低浓度。尽管某些最好的生油岩所含有机碳多达12%,但平均来说,在页岩中,生油岩只含有0.5%至2.0%的有机碳,而在碳酸盐岩石中,生油岩最多含有0.2%左右的有机碳。Tissot和Welte(1978)提出,总有机碳最低值是很有意义的,这不仅是因为生油岩中的烃类是由这些干酪根生成的,而且还因为烃类必须达到一个临界水平,然后才有可能从生油岩中排出(初次运移)。有人提出,在碳酸盐岩中,烃类的生成是更加有效的,并且因为人们常常推想其有机质几乎完全是无定形的、来源于浮游生物的物质(Hunt, 1979),所以它可能具有非常好的生油性能。这些情况还必须以盆地分析来加以检验。页岩含有比较多的总有机碳,但常常是由大量陆源物质(镜质组及惰性组)组成,它们生成液态烃的潜力小或者根本就没有。

在生油条件最好的情况下,最多只有大约15%的沉积有机质转化成液态烃。其中,不多于15%的(即总量的2.2%)类似石油的产物可以从生油层中运移出去。最终形成有工业价值的油气聚集的生油量,也是处在这个数量级(Hunt, 1977a)。生油岩排烃效率很低,业已计算,加利福尼亚的圣飞泉油田的烃类,仅仅是由存在于公认的生油岩中的大约4%的有效沉积有机质生成的(Hunt, 1979)。

标准的地球化学方法是在实验室用除去岩屑或岩心样品中的二氧化碳的办法来进行总有机碳(TOC)测定的。然而,近来,总有机碳的数值已经可以用测井曲线分析的方法来加以确定。Schmoker(1979及1980)已用地层密度测井曲线确定了页岩的有机质含量,并与实验室岩心分析的最好结果进行了对比。数据表明,用密度测井曲线计算出的总有机碳,与用传统的实验室分析测定结果一样可靠和准确。这种密度测井方法具有垂向非均质页岩连续取样的优点,而且,由于它是用电缆测井曲线来计算的,因而是很普通且易获取的资料来源。阿巴拉契亚盆地的地层密度测井曲线得到的总有机碳定量资料,提供了间接估计天然气的空间位置及页岩向渗透性通道供给天然气的能力(Schmoker, 1980)。

B. 有机质的类型

沉积物中的有机质(图5)主要有三种状态,它们往往同时出现(Brooks和Shaw, 1968; 1973): (a)无结构的/无定形的不溶物质(干酪根); (b)形态上有结构的(例如花粉、孢子、塔斯马尼亚孢属、甲藻、疑源类)及有部分结构的(例如镜质组、角质层、孢子囊碎片)物质; (c)能够被抽提到有机溶剂中的可溶有机化合物,它含有地球化学上常常被用作“生物标记”的化合物。这些化合物在岩石内部是游离的。生物菌肉具有防护机能,因而更能抗微生物作用及化学反应的沉积有机质成分(孢粉质、树脂、角质层、木糖及蜡),常常是在沉积物中保存得很好的。植物色素分解及代谢物的典型的化合物(饱和烃、卟啉、异戊间二烯、类胡萝卜素、萜烷及甾烷)也常常存在于岩石中。

通过各种地球化学作用生成绝大部分烃类的干酪根,有四个主要来源:水生的(海水与淡水)、陆生的及再生的物质。由于不同类型的有机质具有不同的生油潜力及产物,因而必须区分和鉴别这些有机质的类型。

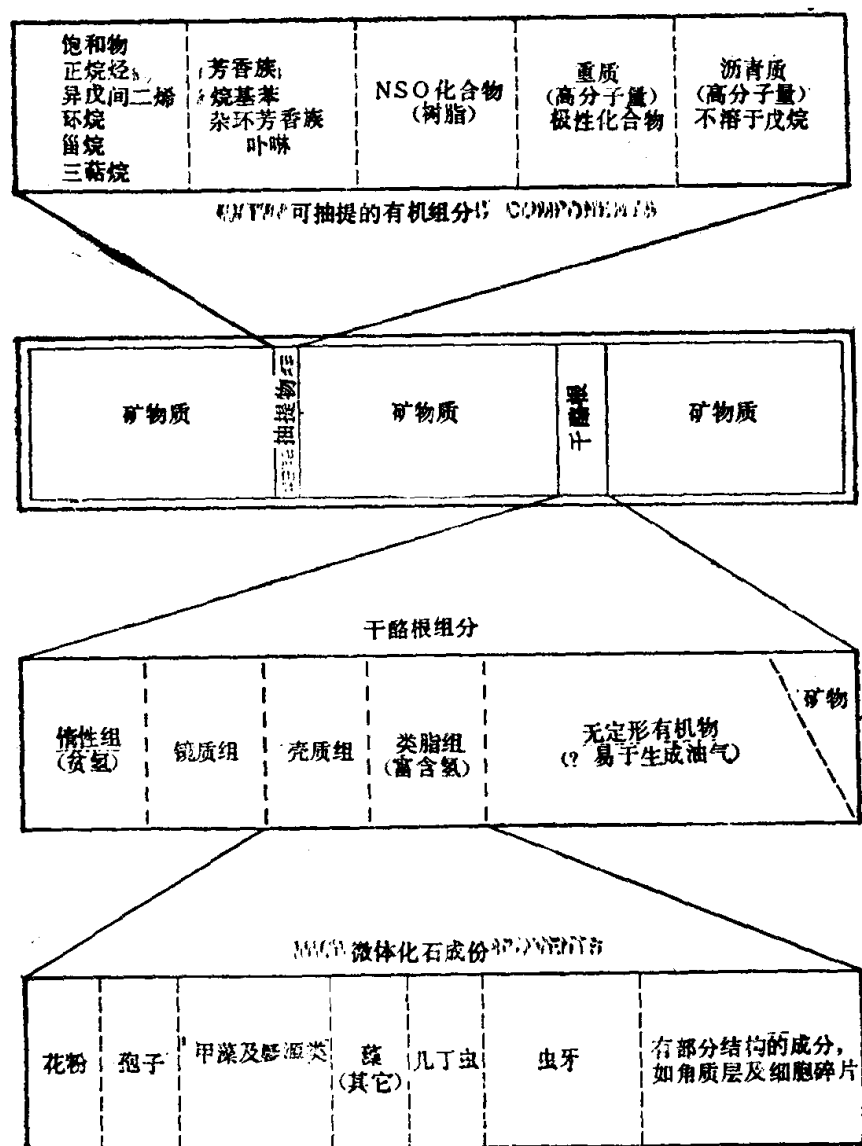


图 5 沉积岩石的有机质成分

五、方法与技术

用于表征沉积岩中有机质成分的两种主要方法是：有机岩相学——应用光学方法来鉴别干酪根中单个的有机质颗粒（显微组分），并使之半定量化（图 6），还用以研究干酪根的成熟度；有机地球化学——应用化学及生物化学分析来确定（通常是定量）沉积物中有机化合物及显微组分的组成与变化。

A. 有机岩相学

有机岩相学是用整块岩石和/或岩石的有机质浓缩物（经盐酸及氢氟酸处理后）的光片来鉴定有机质颗粒成分、含量及特征的。综合应用透射光、反射光及紫外/荧光，就可以把有机质分成各种有机质显微组分（图 6），并可归为以下四个大类（图 7）。

1) 类脂组型干酪根，由于存在脂肪族碳链而使得氢含量高，氧含量低。人们认为，这

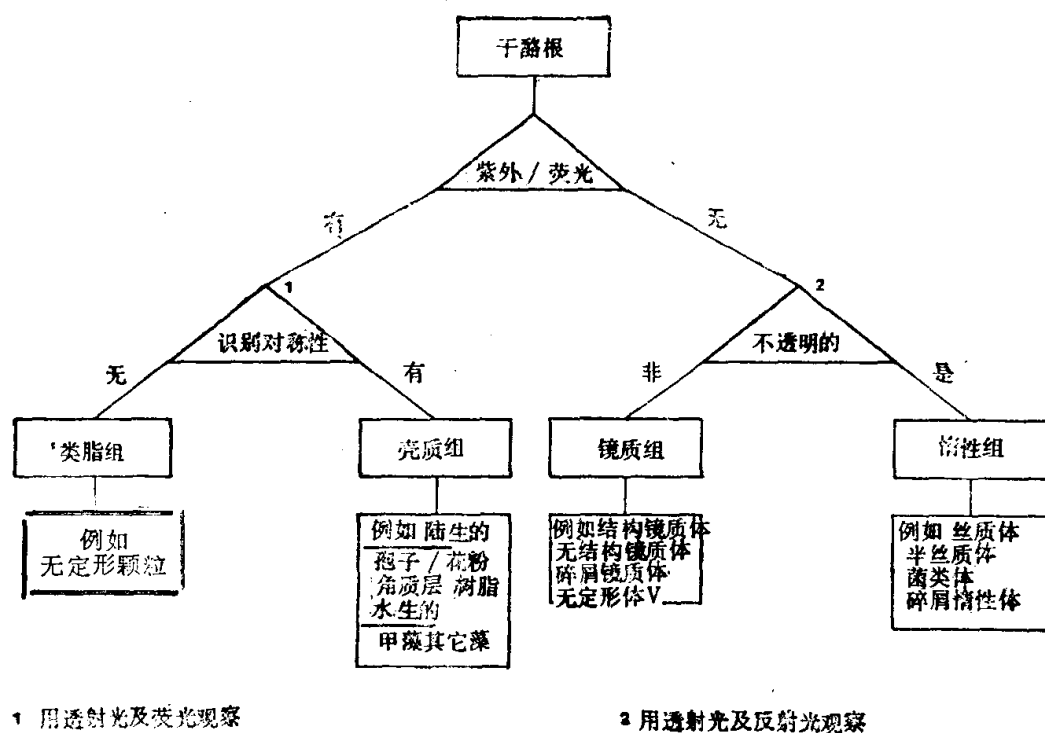


图 6 未成熟及成熟干酪根的基本显微亚类 (据 Cornford, 1980)

些干酪根来源于藻类物质 (例如葡萄藻、海藻), 它们含芳香族或含氧官能团很少, 具有高的生油潜力。

2) 壳质组型干酪根, 由于有脂族链、某些饱和的环烷烃、芳香环及含氧官能团, 而使得氢含量高 (但低于类脂组型干酪根)。这类有机质来源于膜质植物物质, 例如孢子、花粉、角质层, 即一般所说的植物有结构的部分。这类物质具有好的生油潜力, 能早期成油和/或热凝析, 因而, 也具有好的生气潜力。

3) 镜质组型干酪根, 氢含量低, 而氧含量高, 其化学结构主要由芳香结构组成, 具有少量由含氧官能团连接的脂族链。这类物质几乎都来源于有结构的木本 (木质化的) 物质, 生油潜力有限, 但生气潜力高。

4) 惰性组型干酪根, 它被定义为黑色不透明的分散碎屑 (高碳、低氢), 具有明显的来源于已转化的木本/木质化的前身物的、有棱角的外形。这类物质没有生油或生气的潜力。

起源	术语					
水生的	类脂组	I 型	藻	无定形的	无定形碎屑	壳质组
			无定形 (腐泥质)			
陆生的	壳质组	II 型	草本的	有结构的植物碎屑		镜质组
	镜质组	III 型	木本的			
	惰性组	IV 型或 IIIb 型	煤质的	腐殖的		惰性组
			惰性组			

图 7 干酪根主要亚类与术语

有关应用显微技术来进行有机质成熟作用评价及各种计量标度, 已有广泛的报道 (参阅 Staplin, 1969; Burgess, 1977; Jones 和 Edison, 1978; Heroux 等, 1979)。

B. 有机地球化学

有机地球化学被用于确定岩石中有机质的类型、数量及其生油潜力。所用的参数包括总有机碳 (TOC)、轻烃气体分析结果、可抽提的有机质 (EOM) 的数量及分子量分布、碳优势指数 (CPI)、某些无环的异戊间二烯化合物的相对比例和环烷烃的相对比例, 而且, 热解分析也被用来研究岩石中的有机物质。

我们将有机岩相学与有机地球化学分析的优缺点之比较总结于表 1 中。

表 1 有机地球化学方法与有机岩相学方法在有机质成熟作用研究中的应用——它们的相对评价

有机地球化学	有机岩相学
优点 I. 客观 II. 定量, 因而分析可靠, 不同实验室之间的结果可直接对比, 并可与文献中的数据对比 III. 不同分析人员之间、不同实验室之间及不同的文献数据之间可以直接对比 IV. 可研究生成的烃类的数量及化学组成, 以获得有关生油岩中所发生的地球化学作用的信息及运移资料, 可以进行生油岩—油的对比 缺点 I. 一般考虑的是有机质的“整体”分析, 常常可能使人发生误解, 因为没有把易于生油和易于生气物质的混合物分开 II. 不区分井壁坍塌的、再生的或者泥浆泥皮的污染 III. 一般所得出的分析结果, 既有干酪根类型的影响, 又有成熟度的影响, 这样的分析结果可能难以解释 V. 可抽提的有机质、轻烃及气体都运移走了, 使得完全认识生油过程十分困难, 各种解释常常是主观的 VI. 相对来说较费钱, 而且, 常常是费时间的	缺点 I. 主观 (特别是透射光显微镜观察) II. 同样的样品, 不同的分析人员常常得出不同的分析结果。生油岩文献资料的对比及实验室之间的实验结果的对比困难 (R_o 可能例外)。不同的分析人员对颜色的判断也是不同的 III. 需要不断检查, 并用地球化学标准校正, 要用各种方法来限制测定的人为误差 IV. 分析的是剩余物, 而不是可运移的烃, 没有什么有关油气生成和运移的直接信息 优点 I. 可确定有机质性质、成熟作用, 并估计数量——这是确定生油岩生油潜力所必需的三个主要特性 II. 能够鉴别出各种干酪根显微组分, 并得出各种类型干酪根的半定量分析结果及其生成油气的潜力 III. 能够查明井壁坍塌的和再生的物质, 以及钻井泥浆泥皮 IV. 应用透射光、反射光及荧光方法可以分别得出有关干酪根类型及成熟作用 (SCI 及 R_o) 的资料 VI. 相对较便宜

1) 轻烃分析 在有机质成熟作用研究中, 轻烃 ($C_2 \sim C_8$) 具有特殊的意义, 因为它们在地表沉积物中仅以痕量方式出现, 但典型的石油却由大约 30% 的轻烃构成 (Hunt 等, 1980)。人们已经发现, 轻烃的数量及组成是生油岩的成熟度标记 (Bailey 等, 1974; Thompson, 1979; Leythaeuser 等, 1979; Whelan 等, 1980)。