第十章　有机岩石学及其在油、气地质中的应用

有机岩石学是70年代以来发展起来的新兴学科。按照M. Teichmüller(1986)的观点，有机岩石学是研究沉积岩中有机显微组分的学科，它与煤岩学、孢粉学、微体古生物学，以及油气源岩岩石学的成长有关，并具有密切关系。随着地质学研究的深入，为指导油气勘探和开发，对有机质演化机理、成烃模式的研究日益广泛而深入。

目前有机岩石学主要使用两种研究方法(表10-1)：一种是煤岩学(全岩)方法；另一种是孢粉学(干酪根)方法。前者使用光片、薄片来研究；后者使用干酪根样，它是对破碎岩样经有机溶剂除去可溶有机质后，再用HCl、HF去掉碳酸盐和硅酸盐等无机质而得到的有机浓缩物。通常把干酪根与胶结物混合制成光片来观察，也可将干酪根拌入酒精或水中，经超声波处理使其均匀，再摊在载片上成为撒样薄片进行研究。

表10 1　有机源岩岩石学的研究方法

方法 / 特点	煤岩学方法	孢粉学方法
研究方法	全岩光片、全岩薄片，透射光、反射光及荧光的观察	干酪根薄片、干酪根光片，透射光、反射光及荧光的观察
描述术语	显微组分或显微成分	无国际术语，称干酪根类型
可应用的成熟度参数	镜质组反射率，荧光参数有 λ_{max}、Q及荧光变化	孢粉颜色、镜质组反射率、荧光参数
适应性	含较多形态有机质的烃源岩	一切烃源岩
优　点	保存了有机质的原始状态与结构，有利于对成因的研究，镜质组反射率更可靠	富集了矿物沥青基质中的那部分有机质，利于干酪根类型的确定

注：　据M. Teichmüller，1986；略修改。

全岩样品保存着更多成因信息，这是煤岩学方法的主要优点。但当岩石中分散有机质甚少时，这种方法不便使用，就需要靠干酪根方法来观察。这两种方法各有特点，互为补充。

当前的趋势是有机岩石学与有机地球化学相结合，扩大了应用范围并促进了相互发展。W. G. Dow指出，化学资料仅是测定现有条件下的有机物质，并且只能较少地说明有关岩石的历史，但它可以区分干酪根混合物的各种成分(不能单靠化学方法来区分)。Dow的观点反映多数人的看法，说明客观的化学技术和主观的光学方法可以互为补充。另一方面，有机岩石学不仅要和有机地球化学相结合，还要努力建立起光学的方法和参数与有机地球化学

特征间的关系，从而可找出取代后者的办法。现有的镜质组反射率与最大裂解温度 T_{max} 间关系，就是两者结合较好的例子(图 10-1)。

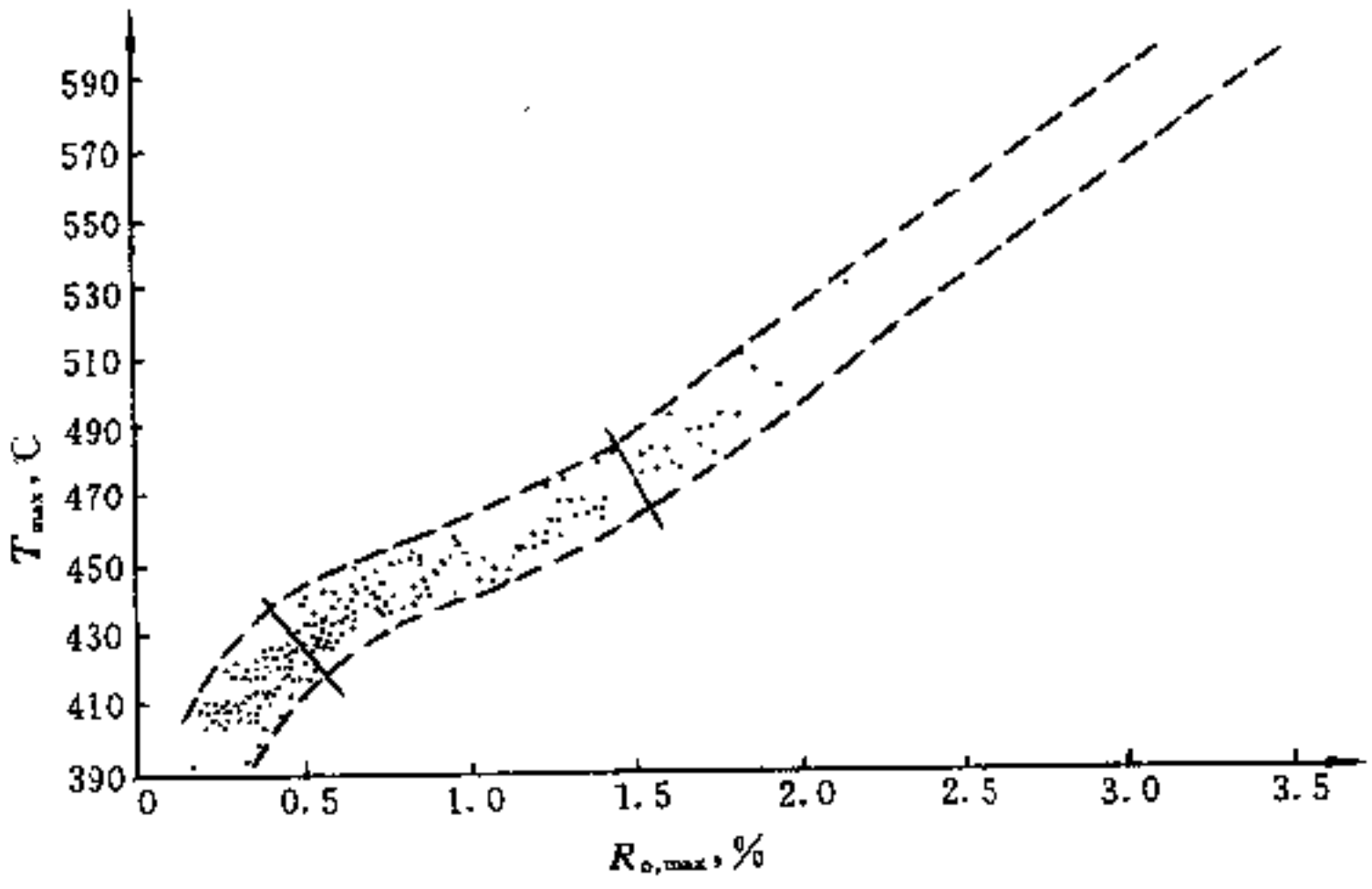

图 10-1　煤的镜质组反射率 $R_{o,max}$ 与 T_{max} 的关系

图中数据来源于法国石油研究所的计算机文件

(据 M. Teichmüller, B. Durand, 1986)

第一节　国际上源岩分散有机质分类现状与有机质类型划分

当前国际上重要的有关沉积岩中分散有机质的划分方案较多，并且存在术语较混乱现象。其原因是这门学科兴起不久，同时沉积岩中分散有机质比煤复杂，特别是研究方法的不同及学者所持不同学术观点所致。归纳起来，除了 M. Teichmüller 提出的全岩与干酪根两个体系之外，尚有兼顾以上两个体系的第三种体系。

一　全岩体系

全岩的有机成分划分实际上存在两种观点：其一，将煤岩组分划分移植到沉积岩，另外又注意到沉积岩的独特之处，虽对其基本实体叫法有异(如称显微组分或有机物质等)，但实质都承认煤岩组分的通用性；其二，根据沉积岩的特点，另定一套术语。

在前者观点中，最有影响的是 M. Teichmüller 和 K. Ottenjann(1977)的分类(表 10-2)；此外，P. Robert(1980)的分类(表 10-3)及 B. Alpern 的分类也有相当影响。

(一) M. Teichmüller 和 K. Ottenjann 分类

M. Teichmüller 和 K. Ottenjann 的分类中，煤及源岩内一般的组分在本书第三章中已有叙述。从源岩的特征来说，主要有以下几个方面：

(1) 镜质组比类脂组产油少，它是天然气的良好气源物质。惰质组不能生油，只生成很少量的天然气。类脂组中，除沥青质体、藻类体外，碎屑壳质体和树脂体也是良好油源物质。

(2) 其它类脂组分，包括藻类体、沥青质体、渗出沥青体和油状排出物，它们是具有特殊意义的显微组分。

表 10-2　岩石中有机组分的岩石分类

显微组分的类别	显微组分组	显微组分
腐植类	腐植组或镜质组	结构镜质体 无结构镜质体 团块无结构镜质体 碎屑镜质体
惰性类	惰质组	丝质体 半丝质体 菌类体 粗粒体 碎屑惰质体 微粒体
类脂类	类脂组	孢子体 角质体 木栓质体 荧光体 树脂体 叶绿素体 碎屑壳质体
	其它类脂组分	藻类体 沥青质体 渗出沥青体 油状排出物
动物类	动物遗体	
有机-矿物基质	矿物-沥青基质	

注：　据 M. Teichmüller 和 K. Ottenjann, 1977；略修改。

① 藻类体　为良好的油源物质，包括结构藻类体和层状藻类体。前者呈负荧光变化，后者呈正荧光变化。

② 沥青质体　为良好的油源物质。岩石中沥青质体是一种原生组分，来源于藻、浮游生物、细菌，以及低、高等动物（鱼、蟹、虾等）的生物降解和转变产物。岩石中沥青质体除类型更为复杂外，与煤中沥青质体没有大的区别。

国际煤岩学和有机岩石学会规定，沥青质体无固定形态，它与像沥青质体而本身无固定形态的渗出沥青体区别是，沥青质体为原生成分，作为层理中的细条带或不规则透镜体，或者作为其它组分或矿物的基质出现。在源岩垂直层理的切片上，沥青质体通常以线纹或透镜体产状出现，在平行层理的水平切片上表现为各种形状的等径颗粒。

沥青质体内部结构可由均匀变至线纹状，有时呈流纹状和细粒状，这些结构通常只在蓝光或紫外光激发下才可见到。由于沥青质体不同于有机质经变化和降解了的产物，因此它的光学性质，特别是荧光特征可在相当大范围内变化，因此对具体源岩可划分出不同的沥青质体类型。M. Teichmüller和 K. Ottenjann（1977）曾对德国里阿斯（J_1）的海浪蛤（*Posidonia*）页岩中的沥青质体进行研究，并区分出三种类型：沥青质体 I，一种反射力强，呈线纹或透镜状，有荧光而无荧光变化类型；沥青质体 II，一种结构均匀的透镜体，呈负荧光变化；沥青质体

Ⅱ，为粒状，无荧光。

表 10-3　P. Robert 有机物质分类

组分	反　射　光	荧　　光	透射光、孢粉学
原生可识别生物组分	惰质组： 丝质体 菌类体 镜质组(腐植物)： 无结构镜质体 结构镜质体 壳质组： 孢子体 角质体 树脂体	与一般镜质体不同的荧光镜质体 孢子体 角质体 荧光体 藻烯体 树脂体 (显微)藻	木质碎屑 管胞、木质纤维及薄壁组织 介壳状断口煤 孢子、花粉 细胞分泌物 (显微)藻
原生无结构组分		藻类体 腐泥基质 有机—矿物杂质(荧光基质) 沥青质体 腐植基质	无定形物 凝块、细片、粉状 无结构的无定形物
次生组分	微粒体 沥青	油 渗出沥青体 沥青	

注：　据 P. Robert，1981。

不考虑成熟度的影响，沥青质体的化学性质是随类型而变化的。但一般来说，高氢含量、高 H/C 比、高焦油与高可溶沥青产率是其特征。

③ 渗出沥青体　M. Teichmüller 把煤中渗出沥青体以及储集岩、源岩中的运移沥青(固体沥青)看成是一类物质，并认为煤中渗出沥青体来源于稳定组和部分(富氢)镜质组的沥青化。新生的沥青(类石油物质)运移困难(与大部分沥青在源岩中发生运移不同)，这是由于镜质组极细亚微孔隙系统起分子筛作用，煤中的类石油物质被吸附吸收，也可能以化学方式被镜质组吸收，只有一小部分作为渗出沥青体滞留在孔隙内。这实质上可与横穿岩层岩脉中的硬沥青、脆沥青等类比，说明在成因上与液态石油的成因有关。

④ 油状排出物　包括煤中油状排出物，以及源岩渗出与运移原油。使用干物镜紫外光或蓝光下对新制片进行观察，可以见到绿色或黄绿色油状液体滴珠从煤中镜质体细裂隙中、树脂体或渗出沥青体中排出，也可造成浸渍薄膜，显示牛顿晕环。在源岩中，油见于裂隙或孔隙，并可见到表面膜。

(3) 动物遗体存在不少，有时甚至居主导地位，包括几丁虫类、笔石、牙形石、沟鞭藻囊、鱼和鳌虾的残体、骨骼等。荧光颜色和强度随成熟度增高而变化，这表明一部分动物残体是油源物质。即便其中相当部分已无成烃意义，但也应注意，因为这与认识源岩的成因和性质有关。

(4) 矿物-沥青基质是指源岩中在矿物内或外部吸收了或结合亚微有机物质的部分。它

比显微组分含有更多具油、气倾向的有机物。矿物-沥青基质是M. Teichmüller和 K. Ottenjann 对德国海浪蛤页岩研究提出的。目前国际煤岩和有机岩石学会已经讨论通过，并指出在未熟和成熟源岩中，它是以吸附有机质而导致不同程度强荧光为特征的。随成熟度增高，矿物-沥青基质的荧光强度下降，下降开始于 $R_{o,max}=0.5$ %时，结束在 $R_{o,max}=1.3$ %～1.5 %，在此过程中荧光色由浅黄变到浅红(红移)，这种性质显示出"石油窗"的存在(图10-2)。M. Teichmüller 曾指出，矿物 沥青基质的荧光变化是成熟度的一个极好标志，例如未成熟是以强的正荧光变化为特征，成熟是以负荧光变化为特征，而过成熟则以无变化为特征(图10-3)。对矿物-沥青基质的研究，主要是研究泥质源岩，因为一些粘土矿物(如蒙皂石、伊利石、高岭石和绿泥石等)可以络合有机阳离子，并吸附分散沥青，如油滴(A. Weiss，1969；Czarnecka 和 Gillot，1980)。目前对碳酸盐岩的研究还不够，傅家谟、贾蓉芬等(1989)对碳酸盐岩分散有机质存在类型进行研究并指出，除吸附有机质外，尚有晶包有机质、包体有机质及进入矿物晶格的有机质。

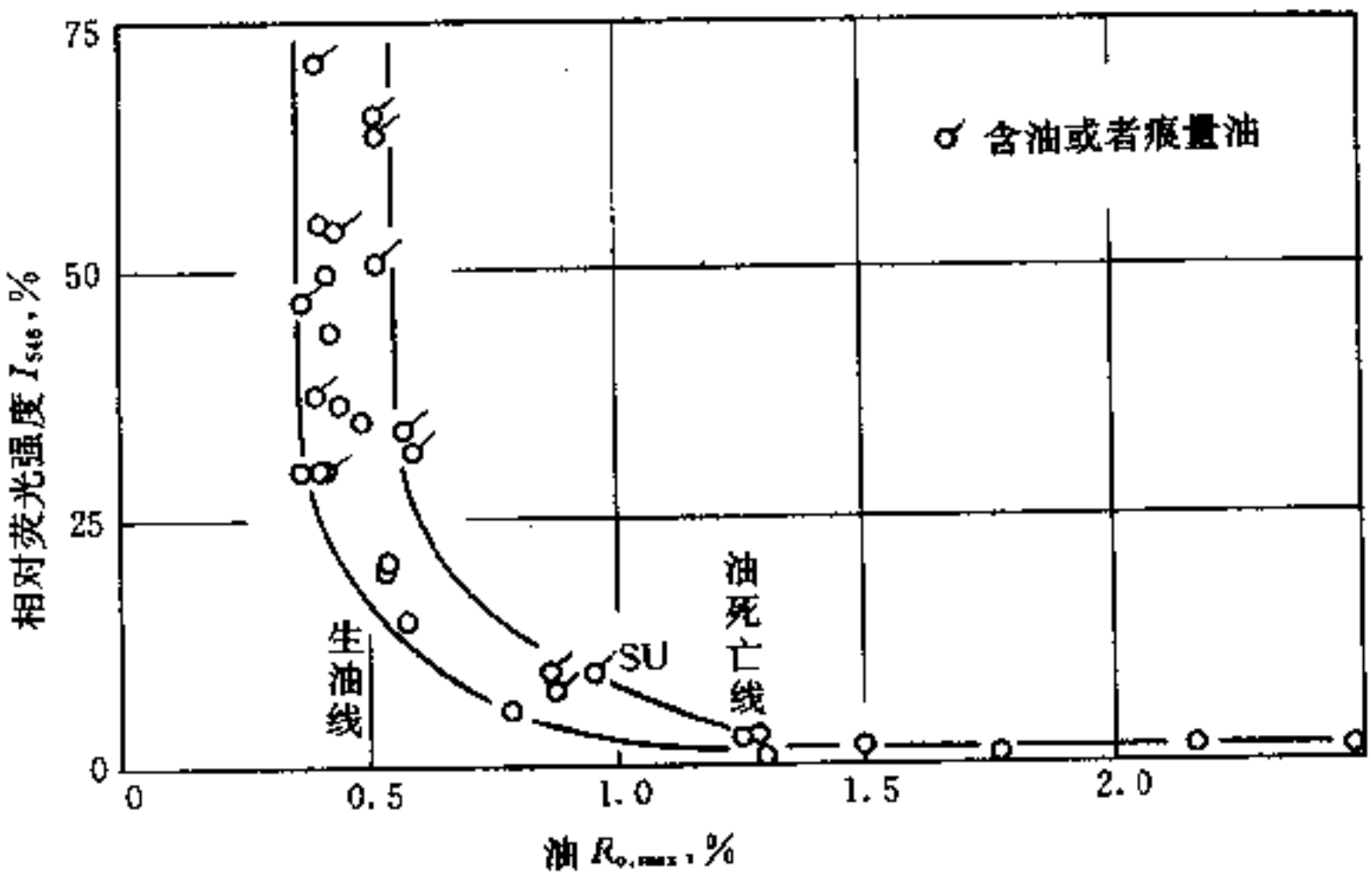

图 10-2　德国侏罗纪源岩(*Posidonia* 页岩)中矿物-沥青基质荧光强度 I 与镜质组反射率 $R_{o,max}$ 的关系

(据 M. Teichmüller 和 K. Ottenjann，1977)

(二) P. Robert 分类

P. Robert 分类与 M. Teichmüller 分类大体一致，但主要差别如下：

P. Robert 分类中提出有机-矿物杂质或荧光基质，这是包括范围较 M. Teichmüller 和 K. Ottenjann 的矿物-沥青基质更广的术语。它是指被扩散有机物质浸渍了的岩石，并且有不同强度与颜色的荧光为特征。在任何情况下，在 $R_{o,max}$ 为 1.3 %～1.4 %之前，荧光大致逐渐向油窗末端消失。它的消失与烃类的释放有关，在岩石中有时留下永久的残余物，属于沥青物质类型，与煤的微粒体相似。荧光是以特定的"衰减"为特征，在荧光强度变化上为正，在波长变化上为负。具体包括腐泥基质、腐植基质和中间类型基质。

① 腐泥基质　主要来源于藻类等低等生物。这种基质中经常伴有结构藻类体，并且有机质属于水生及原地沉积，陆地上的植物很少或者没有。其主要化学特征是经热解证实可产

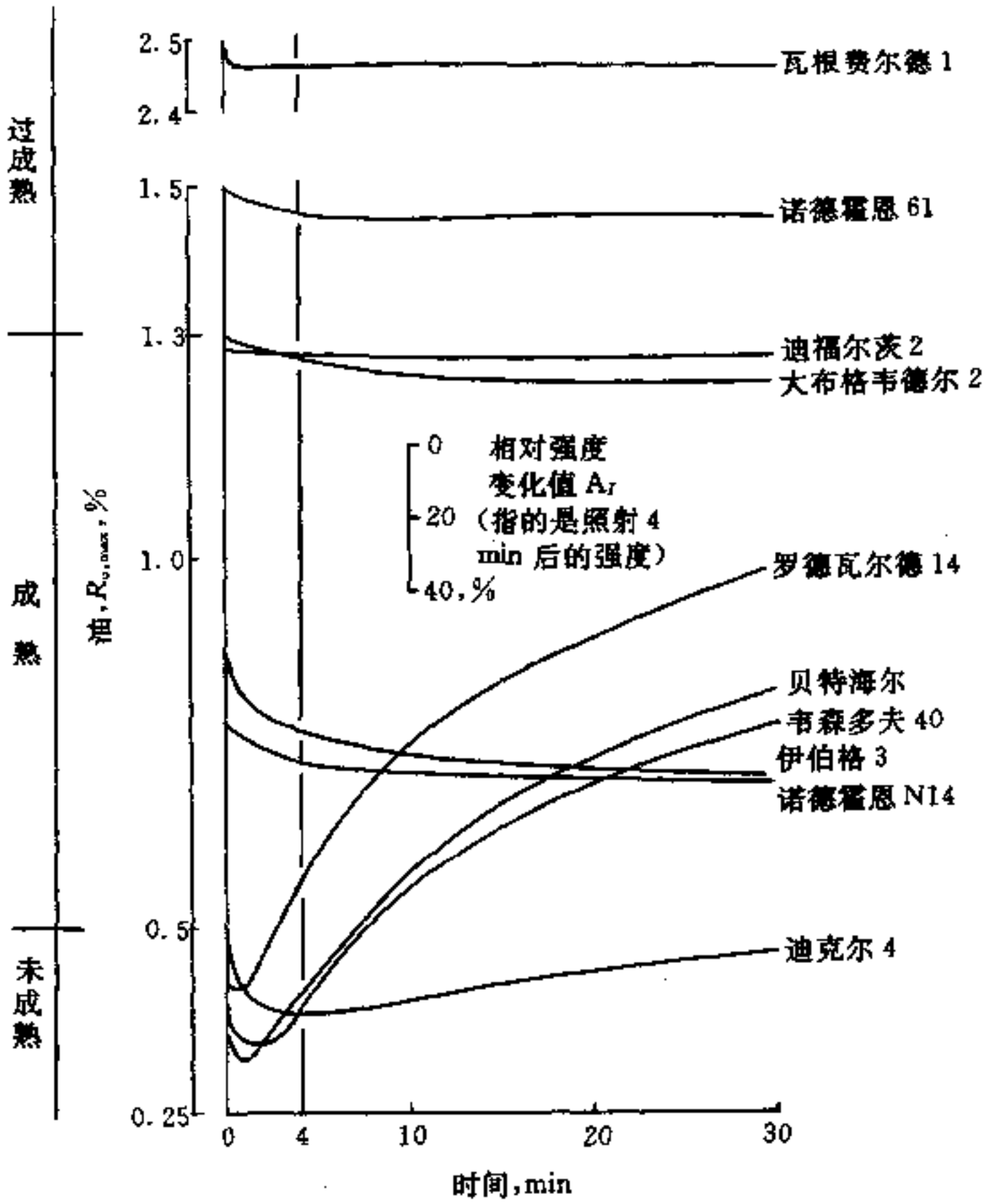

图 10-3　矿物-沥青基质的荧光变化

（据 M. Teichmüller，1979）

生大量烃。腐泥基质基本可与矿物-沥青基质类比。腐泥基质分为以下两类：

湖相腐泥基质　常含丛粒藻，无孢子和植物碎屑，荧光强，当 $R_{o,max}$=0.4 %～0.5 %时呈黄绿—桔色，消失较早；约在 $R_{o,max}$=0.7 %～0.8 %，荧光强度“衰减”（变化）达 100 %（正），光谱发生变化（负）。

海相腐泥基质　以经常有单细胞藻（塔斯马尼亚藻、丝状藻和平滑球状藻）为特点，在物质组成上较湖相腐泥基质的纯度差，有陆地来源的孢子和植物碎屑。进入成熟门限（$R_{o,max}$=0.4 %～0.5 %），荧光强度随成熟度增高由黄绿转变为黄—桔—褐等色。荧光强度在 $R_{o,max}$ 为 0.8 %～1 %时，较湖相腐泥基质下降规律更加明显。

② 腐植基质　赋存于泥岩或碳酸盐岩中，有机物是大陆来源的孢子体和来自富腐植酸与腐植酸盐的植物腐植质，偶尔可含藻类。荧光强度低到中，呈均匀的绿—黄—桔—褐等色色调，颜色随煤级变化很小，荧光持续到石油窗末，约 $R_{o,max}$1.3 %。有机碳含量很少超过 2 %～3 %，也是液态烃生源物质。

③ 中间类型基质　常常以某种基质占优势。

此外，B. Alpern 又根据沉积岩其特点及煤显微组分之概念，另定一套术语，并建立分

类(表 10-4)。

表 10-4　有机碎屑分类方案

生源及次生产物	有机碎屑		
I 陆相高等植物的碎屑	木质体(组织)	丝木质体 凝胶木质体：低凝胶木质体、中凝胶木质体、变凝胶木质体	
	凝胶体(木质纤维素凝胶)	低凝胶体 中凝胶体 变凝胶体	
	碎屑体(混合物)	低碎屑体 中碎屑体 变碎屑体	
	表皮质：角质层、木栓		
	包体：油、蜡、树脂、鞣质		
II 真　菌	假木质体(菌丝) 菌核体 几丁质菌丝体和海生真菌		
III 孢　子	孢子体	低热孢子 中热孢子 变孢子	
IV 湖泊和海相自养生物	植物	底栖藻　褐藻　红藻 浮游藻：绿藻(从粒藻、塔斯马尼亚藻)；色藻(硅藻、硅鞭毛藻、颗石藻)；裂藻　从粒念珠藻	
		腐泥质体(藻和细菌的凝胶)	
	未名生物	疑源类 几丁虫类	
IV 湖泊和海相自养生物	动物	浮游动物	有孔虫类、放射虫类、纤毛虫类 甲壳类(枝足类、介形类) 笔石
		底栖动物	蠕虫动物 软体动物 有孔虫类、海绵动物门 节肢动物(三叶虫纲)
		自游生物：鱼、头足纲等	
V 细　菌	真菌、嗜铁菌、嗜硫菌		
VI 沥　青	原沥青(原地分散的)	低热沥青 中热沥青 变沥青	
	运移沥青		

续表 10-4

生源及次生产物	有机碎屑
Ⅵ 沥青	焦沥青：各向异性球状体，充填着裂隙或作为沉积矿物晶体内的包裹体出现 非生物沥青：岩浆矿物晶体内的包裹体 天然焦炭：凝聚物、陨石等 煤的接触变质产物

注：据 B. Alpern，1978，1980；略修改。

Alpern 分类也是一个有影响的分类，其特点与优点是对海相源岩的有机碎屑划分较细，有助于认识源岩的生成与性质，而且这些遗体中有些为烃的生源。但问题是缺失与成烃有关的沥青质体、矿物-沥青基质或有机-矿物组合成分，同时也无经沥青化作用生成的次生产物。

二　干酪根体系

（一）J. D. Burgess 分类

孢粉学家最早利用盐酸和氢氟酸得到干酪根，并建立了一套术语。Burgess(1974)把这些干酪根分为藻类的、无定形的、草质的、木质的及煤质的，并与显微组分相对应(表 10-5)。该分类运用较广，有一定影响。

表 10-5　Burgess 划分与显微组分对照表

种类 \ 组分类型	腐泥型			腐植型	
干酪根（用透射光）	藻类	无定形	草质的	木质	煤质（惰质组）
	稳定组（壳质组）			镜质组	惰质组
煤的显微组分（用反射光）	藻类体	无定形	孢子体 角质体 树脂体	结构镜质体 无结构镜质体	丝质体 微粒体 菌类体
干酪根（以演化途径）	类型Ⅰ、Ⅱ		类型Ⅱ	类型Ⅲ	类型Ⅲ
H/C	1.7～0.3		1.4～0.3	1.0～0.3	0.45～0.3
O/C	0.1～0.02		0.2～0.02	0.4～0.02	0.3～0.02
有机质来源	海洋和湖泊		陆地	陆地	陆地和再循环
矿物燃料	主要是原油、油页岩、藻煤和烛煤		油和天然气	主要是腐植煤	无油，痕量的油

注：据 J. M. Hunt，1979。

（二）A. Combaz 分类

A. Combaz(1980)根据光学观察，对干酪根进行划分。

1）具形态部分　包括微体生物的化石、软体、组织碎片。

(1) 陆生植物的微体化石和碎屑，如孢子、花粉、树皮、角质层、导管组织及其它碎屑。

(2) 藻类微体化石和碎屑，包括疑源类（一类未查明分类位置的水生生物，大小几微米至几百微米，其元素分析：$C_{daf}=71.8\ \%$，$H_{daf}=7.84\ \%$，$O_{daf}+S_{daf}=18.12\ \%$，$N_{daf}=2.16\ \%$）、平滑球状藻和塔斯马尼亚藻（$C_{daf}=76.78\ \%$，$H_{daf}=9.56\ \%$，$O_{daf}+S_{daf}=12.10\ \%$，$N_{daf}=1.56\ \%$）、沟鞭藻（单细胞海生浮游生物，25～500 μm）、群体藻（大小不超过几十微米），以及底栖藻类（很少见有保存结构的，是极好的油源物质）

(3) 微体动物化石及残体，如笔石、几丁虫碎屑、有孔虫及双壳动物。

2）无定形部分　来源于生物本身（如色素、脂肪等）或生物新陈代谢的产物，以及沉积时一些有机质的合成新生物质，或生物组织经成岩破坏生成的无定形物质，以及沥青化产生的次生产物等。镜下可划分出以下几种有机质：

① 凝块状有机质　呈絮片状或凝块状，颜色浅棕或淡黄，腐泥质性质。

② 粒状有机质　呈大小 1 μm 及小球粒状，是凝块状有机质变种。

③ 亚胶体有机质　分散的粉末状，棕或浅棕色，来源于有机质少的岩石。

④ 薄膜状有机质　仅见于碳酸盐岩中，出现方解石印模，或在压缩晶体之间，部分属于傅家谟等确定的晶胞有机质。

⑤ 凝胶化有机质　不同大小颗粒状，轮廓有时较完整，颜色棕至黑色，为镜质组或惰质组性质。

3）再沉积部分　上述的孢粉、疑源类、沟鞭藻胞囊和其它碎屑均可以是干酪根中的再沉积（再循环）产物，受过氧化与破坏，其反射率较高，它们会造成有机地球化学解释的困难。

4）可溶性部分　指腐植酸和富里酸。

A. Combaz 分类是干酪根体系中较为完整的分类，它便于进行孢粉相分析。广义的孢粉型，系指孢子、花粉、疑源类、几丁虫，以及其它不溶的微体生物。孢粉相分析是指具体沉积物的孢粉型组合分析，据此认识沉积条件，而并非指区域孢粉植物群。

（三）J. Brooks 分类

J. Brooks 分类(1981)密切结合煤岩术语体系，但按照有机岩石学上的特征，可将壳质组与类脂组区分开来(表 10-6)。

三　全岩与干酪根统一的划分

一些学者试图将全岩与干酪根两个系统的划分对应起来，并采用煤岩组分术语，如 J. T. Senftle 及 P. K. Mukhopadhyay 等人的分类，各具有一定特色。

（一）J. T. Senftle 分类

J. T. Senftle 分类(1984)是对全岩有机成分及干酪根有机成分的具体划分(表 10-7)。这个分类根据荧光只区别了两种无定形体，对干酪根中反映热变的成分也认识不足（如微粒体），所以该分类偏于简单。

（二）P. K. Mukhopadhyay，H. W. Hagaman 及 J. R. Gormly 分类

这个分类方案是结合有机地球化学和热模拟成果，对沉积岩中分散的有机物质进行具

体划分(表 10-8)。此分类的特点如下：

表 10-6　沉积岩的有机质成分

饱和物 正烷烃 异戊间二烯 环烷 甾烷 三萜烷	芳香族 烷基苯 杂环芳香族 卟啉	NSO 化合物 (树脂)	重质 (高分子量) 极性化合物	沥青质 (高分子量) 不溶于戊烷

可抽提的有机组分

矿物质	抽提物	矿物质	干酪根	矿物质

干酪根组分

惰质组 (贫氢)	镜质组	壳质组	类脂组 (富含氢)	无定形有机物 (? 易于生成油气)

矿物

微体生物成分

花粉	孢子	甲藻及疑源类	藻 (其它)	几丁虫	虫牙	有部分结构的成分， 如角质层及细胞碎片

表 10-7　全岩及干酪根有机组分

全岩有机成分	干酪根有机成分
镜质组 结构镜质体 无结构镜质体 团块镜质体 碎屑镜质体	镜质组 结构镜质体 无结构镜质体 团块镜质体 碎屑镜质体
惰质组 丝质体 半丝质体 菌类体 粗粒体 微粒体 碎屑惰质体	惰质组 丝质体 半丝质体 菌类体 碎屑惰质体

续表 10-7

全岩有机成分	干酪根有机成分
壳质组 孢子体 角质体 木栓质体 树脂体 藻类体 渗出沥青体 沥青质体 荧光体 碎屑稳定体	壳质组 孢子体 角质体 木栓质体 树脂体 藻类体 碎屑稳定体
动物遗体(含真菌)	动物遗体(含真菌)
矿物-沥青基质	无定形组 荧光无定形体 非荧光无定形体

表 10-8 沉积物中分散有机质的分类

全岩(a) 原生显微组分	干酪根(b) 原生显微组分	次生显微 组分或产物(c)
Ⅰ 稳定组 (1) 藻质体 (2) 无形态不定形或碎屑 藻碎屑体 腐泥质体 I 腐泥质体 II 稳定碎屑体 (3) 粒状稳定体 A(海生植物或动物碎屑,如沟鞭藻、疑源类或有孔虫 (4) 粒状稳定体 B(陆生壳质组分如孢子体、角质体和木栓质体) (5) 树脂体 B 和荧光体	Ⅰ 稳定组 (1) 藻质体 (2) 无形态不定形或碎屑 藻碎屑体 腐泥质体 I 腐泥质体 II 稳定碎屑体 (3) 粒状稳定体 A(海生植物或动物碎屑,如沟鞭藻、疑源类或有孔) (4) 粒状稳定体 B(陆生壳质组分如角质体、孢子体和木栓体) (5) 树脂体 B	Ⅰ (1) 粒状镜质体和变质惰质体(变质藻质体)油滴,固体和液态沥青 (2) 与以上藻质体变化相同 粒状镜质体、微粒体 群集的微粒体、变质惰质 碎屑体(变腐泥质体) 固体沥青 油滴和液态沥青 粒状镜质体、微粒体、变质惰质碎屑体、液态沥青 (3) 变质惰质碎屑体、固体和液态沥青 (4) 变质惰质碎屑体、微粒体、渗出沥青体(d)及液态沥青 (5) 细小微粒体、固体和液态沥青
Ⅱ 镜质组 原地的/初次沉积的 (1) 腐植腐泥质体	Ⅱ 镜质组 原地的/初次沉积的 (1) 腐植腐泥质体	Ⅱ (1) 微粒体和群集的微粒体液态沥青、渗出沥青体(d)

续表 10-8

全岩(a) 原生显微组分	干酪根(b) 原生显微组分	次生显微 组分或产物(c)
(2) 镜质组分(基质镜质体,团块镜质体、结构镜质体、镜质碎屑体)/腐植组分 再循环的 (1) 氧化的镜质体及镜质碎屑体	(2) 镜质组分(基质镜质体、团块镜质体、结构镜质体、碎屑镜质体)/腐植组分 再循环的 (1) 氧化的镜质体及镜质碎屑体	(2) 微粒体,群集的微粒体,液态沥青 (1) 无变化
Ⅱ 惰质组 (1) 微粒体(低成熟条件下的) (2) 惰质碎屑体 (3) 菌类体 (4) 丝质体/半丝质体 (5) 粗粒体	Ⅱ 惰质组 (1) 微粒体(低成熟条件下的) (2) 惰质碎屑体 (3) 菌类体 (4) 丝质体/半丝质体 (5) 粗粒体	Ⅱ 无变化,小的微粒体
Ⅳ 矿物-有机基质 (1) 壳质的 (2) 腐植/镜质的 (3) 惰质的		Ⅳ 微粒体(d)、群聚微粒体(d)

注：① (a)表示在正常反射光与反射荧光下观察,R_o<0.60 %；(b) 表示在透射光和反射光下观察,R_o<0.60 %；(c) 表示成熟作用产物,R_o>0.6 %～0.7 %,有些要到R_o>1.1 %～1.3 %才能观察到；(d) 表示仅能在全岩光片中看到。

② 据 Mukhopadhyay 等,1985。

(1) 分类中结合有机地球化学方法,并进行过热模拟试验及有机地球化学分析,统一了全岩和干酪根有机成分的划分,且保留了组分概念,找出全岩与干酪根组分的对应关系,特别是注意了热模拟前后组分之间的变化关系,以及活性组分随热演化向惰性组分的转化。

(2) 该分类指出矿物-有机基质只存在于全岩,这与 M. Teichmüller 等所定的矿物-沥青基质不同。M. Teichmüller 认为,矿物-沥青基质中的有机物仅是来自壳质组的原生和次生组分;而这里所定的矿物-有机基质则可来自任何壳质组或腐植、镜质组,甚至惰质组组分(微粒体)。

(3) 对一些特殊组分的特征描述如下：

① 腐泥质体Ⅰ、腐泥质体Ⅱ　腐泥质体Ⅰ是藻、细菌的混合不定形产物,产烃潜力大于700 mg HC/g Corg.,H/C>1.5;腐泥质体Ⅱ是动物、植物、浮游生物、陆生壳质体及细菌的混合产物,有时是壳质组及细菌类脂物质的降解混合物,它的产烃潜力为300～650 mg HC/g Corg.,H/C 为 1.0～1.5。

② 粒状壳质体 A　包括沟鞭藻、疑源类、几丁虫、角、有孔虫等碎屑(>10 μm),一般为富脂类物质,有形态,黄至褐色荧光。

③ 粒状壳质体 B　指高等植物的稳定组分,包括孢子体、木栓质体、角质体等。

④ 树脂体 B　指类脂树脂体。

⑤ 粒状镜质体　反射光下呈多孔粒状,类似基质镜质体,有时有暗褐色荧光。当 $R_{o,max}$

>0.6 %时，出现在腐泥质体Ⅰ和腐泥质体Ⅱ中，呈补丁状。

⑥ 变质惰质体或变质碎屑惰质体　有更高反射率(高过相应镜质组的0.3 %～1 %)，有时见孢子体、藻类体和其它粒状壳质体的煤化破碎产物。某些粒状壳质体(孢子体)和藻类体虽保持原来形态，但已完全改变为惰质体。

⑦ 群集的微粒体　呈多孔、粒状，是若干粒状微粒体聚结而成，反射率高于粒状镜质体，低于变质惰质体。透射光下，呈暗色粒状木炭样聚集。

⑧ 固体沥青　出现于油源岩内，或以脉形式见于沉积岩中。

⑨ 液态沥青和油滴　两者均为绿-褐色荧光，因此在源岩中难以区分。多数情况下，在藻类体或腐泥质体中，油呈绿色荧光滴状。

(4) 在热演化过程中，活性组分会向惰质组分转化，并建立了腐泥质体、粒状镜质体、微粒体、群集的微粒体等变质惰质体的演化系列模式。

四　有机质类型

除上述几种体系的划分之外，还有有机质类型的划分，即干酪根类型。这是B. Tissot和B. Durand等(1974)根据干酪根的元素组成及在H/C、O/C原子比值构成的D. W. van Krevelen图上，把干酪根分为Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型。1984年B. Tissot等又划出"死碳"形式的干酪根，系由富碳的高缩合芳构化物组成，其生源物质为氧化腐植质、惰质组分及再循环颗粒，这种干酪根不产生油，J. Brooks等人称为$Ⅲ_R$型干酪根或Ⅳ型干酪根。

M. Teichmüller(1982)根据B. Tissot、B. Durand(1980)等人资料划分的有机质类型，如表10-9所示。J. M. Hunt(1979)将Ⅰ型及Ⅱ型称腐泥型，Ⅲ型称腐植型。

表10-9　有　机　质　类　型　表

类型	化　学　特　征	沉积特征、母质	油量
Ⅰ	主要是链烷，其次是环烷与芳烃，挥发性物质和可抽提物均高	湖相粘土类；藻、浮游动物、细菌	很高
Ⅱ	主要是环烷烃，硫含量相当高	主要是海相灰泥岩类和碳酸盐；浮游生物、细菌，Ⅰ型与Ⅱ型干酪根的混合	高
Ⅲ	富含氧和杂原子官能团，以及多环芳烃	三角洲及近海粘土类；陆生高等植物，与煤母质相似	低

注：　据M. Teichmüller，1982。

为了从生源母质来阐明有机质类型，使用干酪根的Burgess术语体系(参见表10-5)，或干酪根D. W. van Gijzel煤岩术语体系(表10-10)，以及干酪根Brooks煤岩术语体系(参见表10-6)，都可粗略对应B. Tissot等的有机质类型。

为了使显微鉴定与地球化学划分一致，德国核研究中心地球化学研究所与P. K. Mukhopadhyay等在分类中加入了有机地球化学参数(表10-11、表10-12)。

表 10-10　D. W. van Gijzel 干酪根类型的显微组分

类型	显微成分(组分)	荧光色、λ_{max}	反射率 $R_{o,ran}$
Ⅰ	藻类体、碎屑藻类体与无定形体 A	浅绿、白、黄，520～580 nm	低于Ⅱ和Ⅳ，暗灰
Ⅱ	无定形体 A 无定形体 B 无定形体 C	白—黄，540～580 nm 桔—褐，580 nm 及大于 580 nm 浅灰	低于Ⅲ和Ⅳ，暗灰
Ⅲ	壳质组(少量藻类体) 碎屑壳质体 镜质组和碎屑镜质体	浅黄、白和桔黄 500～580 nm 无荧光	低于Ⅱ 暗灰 约 0.4 %～0.85 %
Ⅳ	惰质组和碎屑惰质体	无荧光	高于Ⅲ、亮灰

注：据 van Gijzel，1982；简化。

表 10-11　德国核研究中心地球化学研究所干酪根类型划分(1985)

数　型	有机成分组成(主要成分>60 %)	荧　光　特　征	H/C 原子比
Ⅰ型 稀少的生油岩	藻类体 沥青质体Ⅰ	黄色带绿为藻，黄色为沥青质体Ⅰ，藻的 λ_{max} 为 510～530 nm	>1.5
$Ⅰ_A$ 型 常见生油岩	沥青质体Ⅱ>沥青质体Ⅰ	桔—桔褐为沥青质体Ⅱ，桔—红色为动物碎屑；沥青质体Ⅱ λ_{max} 为 560 nm	1.1～1.5
$Ⅰ_B$ 型 在三角洲中普遍生油、气的生油岩	有形态壳质组(高等植物)、沥青质体Ⅲ、基质镜质体	有形态高等植物壳质组分为黄色，沥青质体Ⅲ为棕色带灰；壳质组分的 λ_{max} 为 560～580 nm	0.9～1.1
Ⅱ型 普遍生气的生油岩	镜质组(结构镜质体，基质镜质体)	有形态高等植物壳质组分为黄色，沥青质体Ⅲ为棕色带灰；壳质组分的 λ_{max} 为 560～580 nm	0.5～0.8
Ⅳ型 非生油岩	惰质组	无荧光	0～0.5

第二节　中国烃源岩与干酪根有机组分的划分

由于油气勘探工作的需要，80 年代中国引进了美国 Exxon 公司对干酪根有机质的划分和油、气潜力的评价方案。1984 年石油勘探开发研究院和胜利油田地质科学研究院均曾对干酪根镜下划分做过研究。

在这个基础上，中国原石油工业部在 1986 年颁布了透射光下干酪根显微组分鉴定及类型划分方法的部颁标准，地质矿产部石油地质中心实验室亦于当年提出用反射光方法鉴定分散有机质的显微组分及其类型划分方案。在以后的科研和生产实际中，不断出现了新的划分方案，这里介绍几个分类方案。

表 10-12 P. K. Mukhopadhyay, H. W. Hagemann 及 J. R. Gormly 关于干酪根类型的划分

干酪根类型	组分组成		氢指数 mg HC/g Corg.	H/C 原子比	生烃峰值 $R_{o,ran}$,%	产生的烃类	荧光特征	沉积环境和典型例子
	主要	少量						
I	藻类体 腐泥质体 I	细菌残体 腐泥质体 I	>700	>1.5	0.6～0.9	主要为油	藻类体绿黄	严重缺氧的湖相或浅海泻湖相，绿河页岩；Wealden(联邦德国)、Torbanite(苏格兰)
I_A	腐泥质体 I 碎屑壳质体 树脂体(A+B)	粒状壳质体(A+B) 藻类体 团块镜质体	400～700	1.1～1.5	0.6～0.9 0.3～0.7(树脂体)	主要为油，高成熟主要为气，$R_{o,ran}$>1.3 %	腐泥质体 I 为橙—橙褐，树脂体(A+B)黄	缺氧海泻湖/深盆地湖或潮上，里阿斯(德意志民主共和国)、Irati 油页岩(巴西)、Messel 页岩(联邦德国)、Kimmeridge 页岩(北海)，树脂体明显的 Mahakam 三角洲(印度尼西亚)及白垩系(阿根廷)
I_B	粒状壳质体 (主要是 B) 碎屑壳质体	藻类体 腐泥质体 I 基质镜质体 腐植腐泥质体	150～400	0.8～1.3	0.7～1.1	油和气	孢子体及角质体等为黄色	中至低缺氧泻湖、红树沼泽，以及三角洲复合体，下第三系(印度尼西亚、印度西部)及尼日利亚三角洲
II	镜质组 (均质镜质体、腐植腐泥质体)	树脂体 惰质组 孢子体	25～150	0.5～0.8	0.8～1.0 油 1.0～1.5 气	主要为气	树脂体暗褐色	低缺氧至低氧化淡水或卤咸水沼泽，Douala 盆地(喀麦隆)，印度与澳大利亚二叠纪煤
N	惰质组	镜质组	<25	0.5	不是烃类来源	少量气(不是液态烃来源)	…	有氧沼泽和含氧海盆，印度二叠纪煤、大西洋白垩纪沉积(大西洋东北和西北)

注：据 P. K. Mukhopadhyay, H. W. Hagemann 及 J. R. Gormly, 1985。

一　原石油工业部部颁标准

原石油工业部部颁标准是利用透射光和干酪根薄片进行观察。有以下两种分类方案：

(1) 应用煤岩分类命名方法的原则为基础，分类如表 10-13 所示。

表 10-13　烃源岩与干酪根有机组分的划分

组分	亚　　组　　分
腐泥组	无定形——絮状、团粒状、薄膜状等有机质
	藻质体
壳质组	孢粉体——孢子、花粉、菌孢
	树脂体——植物的分泌物
	角质体
	木栓体
	表皮体
镜质组	结构镜质体
	无结构镜质体
惰质组	丝质体

干酪根类型划分按各组分百分含量进行加权计算，求出类型指数 TI 值。

$$TI=\frac{a\times 100+b\times 50+c\times(-75)+d\times(-100)}{100}$$

式中　a——腐泥组的百分含量；

b——壳质组的百分含量；

c——镜质组的百分含量；

d——惰质组的百分含量。

类型划分标准规定为

干酪根类型 I　　TI 值不小于 80

干酪根类型 II_1　　TI 值小于 80，不小于 40

干酪根类型 II_2　　TI 值小于 40，不小于 0

干酪根类型 III　　TI 值小于 0

(2) 基本采用国外干酪根体系的划分方法，类型分别规定了含量标准(表 10-14)。

表 10-14　烃源岩的有机组分划分

类　　型	组　　分　　含　　量
无定形型	无定形含量大于 70 %
草质型	草质含量大于 70 %

续表 10-14

类　型	组　分　含　量
木质型	木质含量大于 70 %
无定形-草质型	草质为主，无定形次之，木质少
草质--无定形型	无定形为主，草质次之，木质少
混合型	草质、木质、无定形含量接近
其它类型依次类推	

二　地质矿产部石油地质中心实验室方案

利用光片在反射光下进行观察，组分的划分及干酪根类型皆引用煤岩术语体系(表 10-15、表 10-16)。

表 10-15　分散有机质显微组分分类

显微组分 / 形态 / 分类	母质来源	有形	无形
腐泥类	水生生物、藻、浮游生物及其降解产物	藻质体	沥青质体 I 沥青质体 II
腐植类	高等植物，腐植物质的降解产物及它们的分泌物和孢子等	类脂体(包括孢粉、树脂、角质、木栓等)、镜质体、惰质体	沥青质体 III 腐植基质

表 10-16　分散有机质的类型划分

类　型		有机显微组成(主要成分 > 60 %)
I	I_A	藻质体 沥青质体 I
	I_B	藻质体、沥青质体 I > 沥青质体 II
II	II_A	沥青质体 I > 藻质体、沥青质体 I
	II_B	沥青质体 II 有形类脂体
III		镜质体 惰质体 腐植基质 碎屑体

三　石油勘探开发研究院的油气源岩有机组分分类

石油勘探开发研究院于1989年在国家"七·五"重点科技攻关研究的基础上，提出了以煤岩显微组分分类为基础的油气源岩显微组分分类(表10-17)。

表10-17　烃源岩显微组分分类

组	组　分	亚组分*	成　因
镜质组 (腐植组)	结构镜质体 无结构镜质体 镜屑体		高等植物木质纤维组织凝胶化作用的产物
惰质组	丝质体 半丝质体 粗粒体 菌类体 惰屑体		高等植物木质纤维组织碳化作用的产物
壳质组	孢子体 树脂体 角质体 木栓质体 荧光质体 壳屑体		高等植物类脂的膜质物质和分泌物
腐泥组	藻类体	藻类体A 藻类体B	低等水生生物及其降解产物
	无定形腐泥体	沥青质体 矿物沥青基质	
动物有机碎屑组	笔石、几丁虫 牙形刺等等		动物的有机质硬体
次生有机质	渗出沥青体 微粒体 各向异性体		富氢显微组分成烃的次生产物和各种显微组分热变质产物

注：①*煤的显微组分的进一步划分适用国际煤岩学委员会(ICCP)推荐的煤显微组分分类。

②据程克明等，1989。

四　中国陆相及海相烃源岩有机组分的分类探索

根据中国若干陆相油田和大量煤田的系列生油岩、腐植煤、腐植腐泥煤及油页岩的研究，并结合海生生物单组分及陆生单组分的相对富集样品热模拟及地球化学研究，试对中国陆相源岩及干酪根组分的划分、塔里木盆地海相源岩及干酪根有机组分划分进行探索。内容主要将全岩与干酪根组分统一起来，并考虑成因及成熟度影响。由于显微组分在热演化过程中，本身的光学性质和结构不断改变，低成熟阶段的术语已不能反映过成熟阶段组分的特性，因此有必要对过成熟烃源岩显微组分进行划分，使其趋于完善。

(一) 中国陆相烃源岩有机组分的分类

中国是以陆相生油岩系为主的国家，现已基本建立起陆相生油的地球化学理论与评价标准。为便于合理地评价烃源岩，以中国陆相烃源岩有机岩石学特征为基础，并参考国际上

重要分类，提出初步分类方案(表 10-18)。主要依据全岩光片、干酪根薄片、干酪根光片，利用透射光、反射光及反射荧光的综合观察方法，将全岩与干酪根分类结合起来，采用统一分类术语，这不仅适用于陆相生油岩的研究，也可用于腐植煤及腐泥煤显微组分的研究。现扼要阐述如下：

表 10-18　中国陆相烃源岩分散有机质的分类

未成熟—高成熟阶段				过成熟阶段
无形态类		成因	有形态类	
无荧光无定形组	腐植无定形体	主要是高等植物木质纤维素在弱还原—强氧化条件下转变而来	镜质组： 腐泥镜质体 正常镜质体 再沉积镜质体	镜质组
	惰质无定形体		惰质组： 丝质体 半丝质体 粗粒体 菌类体 惰屑体	惰质组 丝质体 半丝质体 粗粒体 菌类体 惰屑体
荧光无定形组	藻类无定形体 粒状无定形体 菌解无定形体 A 菌解无定形体 B	淡水藻类	藻类组： 结构藻类体 层状藻类体 藻屑体	微粒体 A
	菌解无定形体 C 菌解无定形体 D	细菌及其它动物有机质	动物有机体组： 动物壳屑体 动物软体	微粒体 B
		主要是高等植物类脂、孢子花粉	壳质组： 孢子体 角质体 木栓质体 树脂体 沥青质体 荧光质体 叶绿素体 壳屑体	原地各向异性体
油　　滴		次生有机组及转变产物	渗出沥青体	异地各向异性体
降解无定形体			微粒体 A 微粒体 B	
矿物沥青基质* 动物无机碎屑*				

注：①* 这两者不是显微组分。

② 据肖贤明等，1990；已作修改。

(1) 为阐明组分成烃与热演化特征，除观察自然样品外，尚进行了六个温度点下的热模拟观察(表 10-19、表 10-20、表 10-21)，并建立了一些单组分的成烃模式(图 10-4)。

表 10-19　显微组分热模拟实验结果

样号	显微组分及其纯度，%	温度，C / 项目	未加热	250	290	320	360	400	450
1	菌解无定形体 B 100	气态产物，%	0	10.7	12.6	25.0	40.0	45.7	52.8
		氯仿沥青"A"，%		9.7	16.5	54.6	21.4	6.7	0.27
		$R_{o,ran}$，%	0.08	0.08	0.10	0.49	1.04	1.58	2.39
		I_{546nm}，%	2.39	0.66	0.36	0	0	0	0
3	菌解无定形体 C 90	气态产物，%	0	9.10	14.37	26.45	39.10	39.22	43.22
		氯仿沥青"A"，%					4.20		
		$R_{o,ran}$，%	0.08	0.10	0.34	0.68	0.98	1.56	2.30
		I_{546nm}，%	2.13	0.49	0.23	0	0	0	0
4	结构藻类体"A" 80	气态产物，%	0	0.50	5.76	15.57	35.88	43.26	46.95
		氯仿沥青"A"，%	0.91			46.18	25.76		
		$R_{o,ran}$，%	0.02	0.11	0.15	0.18	1.25	1.61	2.07
		I_{546nm}，%	74.13	51.25	39.20	6.34	0	0	0
6	层状藻类体"A" 90	气态产物，%	0	4.09	8.22	18.26	40.10	48.60	53.60
		氯仿沥青"A"，%	2.09	3.96	14.27	47.26	25.94	9.95	0.095
		$R_{o,ran}$，%	0.12	0.20	0.21	0.35	1.10	1.51	2.04
		I_{546nm}，%	4.07	2.03	0.71	0.36	0	0	0
7	木栓质体 90	气态产物，%	0	2.23	4.80	13.29	38.51	44.23	48.47
		氯仿沥青"A"，%	3.22	3.38	10.22	45.51	11.62	2.0	0.07
		$R_{o,ran}$，%	0.22	0.32	0.32	0.41	1.61	2.29	3.33
		I_{546nm}，%	4.60	2.56	1.25	0.09	0	0	0
8	角质体 90	气态产物，%	0	12.18	9.38	15.86	37.11	42.26	48.15
		氯仿沥青"A"，%	3.46	7.12			42.25	20.05	
		$R_{o,ran}$，%	0.10	0.10	0.11	0.34	0.95	1.66	2.40
		I_{546nm}，%	15.90	9.62	10.2	4.65	0	0	0
9	沥青质体 75	气态产物，%	0	2.74	5.66	13.86	29.82	35.21	40.49
		氯仿沥青"A"，%	2.48			30.50	13.57		
		$R_{o,ran}$，%	0.14	0.13	0.12	0.54	1.19	1.70	2.12
		I_{546nm}，%	2.03	1.40	1.10	0.20	0	0	0

续表 10-19

样号	显微组分及其纯度，%	温度，C / 项目	未加热	250	290	320	360	400	450
15	琥珀树脂体 100	气态产物，%	0	2.05	4.09	12.82	30.67	64.04	75.33
		氯仿沥青"A"，%		29.49	76.49	83.35	68.80	27.27	0.63
		$R_{o,ran}$，%	0.05	0.05	0.08	0.58	0.69	1.20	2.81
		I_{546nm}，%	240.0	127.3	84.98	5.01	0	0	0
11	镜质体 95	气态产物，%	0	8.62	7.62	14.89	17.85	19.69	22.53
		$R_{o,ran}$，%	0.44	0.30	0.63	0.89	1.15	1.36	2.05
19	丝质体 95	气态产物，%	0	1.05	2.00	2.78	3.05	6.08	13.40
		$R_{o,ran}$，%	2.38	2.37	2.40	2.49	2.43	2.53	2.70

表 10-20　显微组分在不同热模拟温度下的光学性质

样号及显微组分 / 温度，C	未加热	250	290	320	360	400	450
1. 菌解无定形体 B	黄褐色均匀的荧光透光下呈棉絮状，无反射	暗褐色荧光，黑灰色	极弱的褐色荧光，深灰色	无荧光，结合成块，似沥青，表面开始微粒体化	灰黄色，全部微粒体化	极细微粒体，颗粒大者各向异性明显	黄色，极细镶嵌结构
3. 菌解无定形体 C	褐色荧光，呈云雾状	很暗的褐色荧光，深灰色	灰色表面开始微粒体化，颗粒大者显各向异性	灰色，似镜质组，表面显示粒状结构	灰白色具微粒状结构，但颗粒少，有少量气孔	灰黄色，微粒状结构，具弱各向异性	
4. 结构藻类体 A	丛粒藻，形态结构清楚，黄绿色荧光		形态结构清楚，黄色荧光	无结构，形态模糊，个体变小，具褐色荧光	无荧光，浅灰色形成沥青状物质	浅灰色，表面皮满气孔，形成微粒体，具弱各向异性	黄白色，形成细粒镶嵌结构
6. 层状藻类体 A	层状、浅绿色荧光	层状，暗黄色荧光	层状结构模糊，很暗的黄褐色荧光	粘结成块、很弱的褐色荧光	浅灰色，无荧光，布满气孔	萌生出微粒体，显示弱的各向异性	黄白色，细粒镶嵌结构
7. 木栓质体	黄色荧光，具木栓结构	褐色荧光，具木栓结构	无结构，几乎无荧光，浅灰色，似沥青	灰黄色，细粒镶嵌结构	中粒镶嵌结构为主，少量粗粒镶嵌结构	粗粒镶嵌结构为主，局部发展为片状体	
8. 角质体	宽条带状，黄色荧光	暗褐色荧光	形态清楚，很暗褐色荧光	无形态，少数仍具极弱褐色荧光	无荧光，灰黄色，有些转变为微粒体与细粒镶嵌结构	布满气孔，细粒镶嵌结构	中粒镶嵌结构，局部发展为片状体

续表 10-20

样号及显微组分 \ 温度，C	未加热	250	290	320	360	400	450
9. 沥青质体	基质状，黄色荧光	暗褐色荧光		暗褐色荧光	浅灰色，具气孔，荧光消失	灰色，表面布满气孔	大部分形成微粒体，局部转变成细粒镶嵌结构
11. 琥珀树脂体	块状，具极强的绿色荧光	强黄色荧光	褐黄色荧光	极弱的褐色荧光，形成沥青状物质	无荧光，灰色少量气孔	块状，灰色，出现中间相小球体	片状体，局部粗粒镶嵌结构
10. 镜质组	深灰色，无荧光		浅灰色	灰色	灰黄色，开始显示极弱各向异性		浅黄、具气孔，弱的各向异性
19. 丝质体	黄白色，具植物结构						

表 10-21　无定形体的离子探针参数 CH/C，CH_3/C 结果

无定形体名称	无定形体 B(Ⅰ$_A$)		无定形体 C (Ⅰ$_A$)					腐植无定形体(Ⅱ$_A$)		
样品编号	M-1	1-3	EL-1	3-7	3-2	3-5	3-6	EL-10	2-7	2-9
热模拟温度，C	0	320	0	250	290	400	450	0	250	360
$VR_{o,ran}$，%	0.33	0.92	0.42	0.55	0.72	1.43	2.02	0.43	0.55	1.20
无定形体 $R_{o,ran}$，%	0.08	0.49	0.09	0.10	0.34	1.58	2.30			
I_{546}，%	2.39	0	2.18	0.49	0.23	0	0			
CH/C	0.53	0.26	0.36	0.40	0.50	0.36	0.15	0.19	0.25	0.31
CH_3/C	0.067	0.018	0.027	0.043	0.09	0.03	0.013	0.042	0.022	0.035

注：据李树枝，1988。

(2) 在生油岩中，藻类体往往是最丰富的形态有机质，与其它壳质组分不仅来源不同，而且成烃特征亦有差别(参见表 10-19)及最终演化产物有异(参见表 10-20)，故将其单独划分为一组。

(3) 关于沥青质体术语。存在于腐泥煤中，具褐色荧光的基质，称沥青质体 A；具暗褐色荧光不定形条带状的有机质，称沥青质体 B。主要出现在腐植腐泥煤及富含壳质体的腐植煤中。

(4) 本分类对无定形干酪根进行了详细划分，尽量做到成因、光性与产烃能力三者相结合。此外，对无定形体 B(Ⅰ$_A$)、无定形体 C(Ⅱ$_A$)和腐植无定形体(Ⅲ$_A$)曾进行过离子探针测试参数的对比(参见表 10-21)，其结果表明：Ⅰ$_A$ 与Ⅱ$_A$ 的 CH/C、CH_3/C 值呈抛物线型变化，并在生油峰期出现最大值；以产气为主的Ⅲ$_A$ 无定形体，在一定的变化范围内($R_{o,ran}$ < 2.02 %)其 CH/C、CH_3/C 值则随着成熟度的提高而逐渐增大。

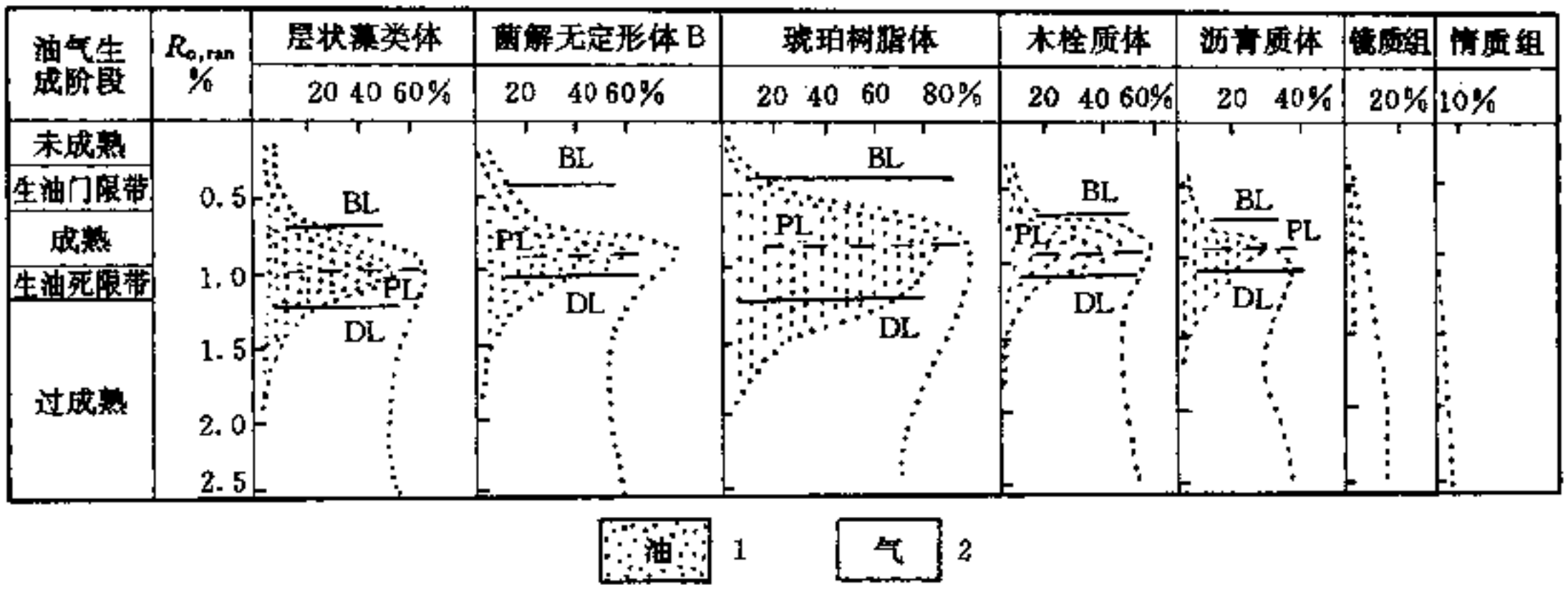

图 10-4　我国烃源岩主要显微组分成烃模式

1——油；2——气；BL——石油生成线；PL——生油高峰；DL——生油死限

（据肖贤明，1988）

(5) 分类中强调了成熟度的影响，对过成熟源岩有机质采用另一套分类系统，并试图在成因上与低成熟阶段显微组分对应起来。在热演化过程中，富氢显微组分在形成油、气后，本身转变为高反射且具各向异性的组分。低成熟阶段的分类术语已不能描述这类组分的特征，这种突变出现在石油大量生成之后，大致相当于镜质组反射率 1.0 %以后。因此为恢复过成熟源岩的原始有机质类型，有必要对其组分进行分类。

(6) 部分特殊的显微组分岩石学特征描述于下：

① 镜质组　包括镜质体 A、镜质体 B、镜质体 C。

镜质体 A　指一种富氢镜质体，反射率低，往往具很暗的褐色荧光，主要出现在腐泥煤、油页岩及 I 型生油岩中。

镜质体 B　相当于腐植煤中镜质体，灰色，无荧光，是 Ⅱ 型源岩中主要组分。

镜质体 C　指再循环镜质体。

② 藻类组　包括结构藻类体 A、结构藻类体 B、结构藻类体 C、结构藻类体 D、层状藻类体 A、层状藻类体 B。

结构藻类体 A　即 *Pila* 藻，具强绿色—金黄色荧光，荧光光谱呈三峰，是中国源岩中主要藻类体类型。

结构藻类体 B　即 *Reinschia* 藻，具黄绿色或金黄色荧光，荧光光谱呈双峰。

结构藻类体 C　个体小(2～3 μm)，单细胞，分散或密集堆集呈葡萄状，具强绿色荧光，荧光光谱呈单峰，呈正荧光变化。结构藻类体 C 是中国陆相源岩特有的，且仅见于辽河西部坳陷生油岩及山东黄县油页岩内，与微咸水环境有关。

结构藻类体 D　以椭圆外形与极强黄绿色荧光为特征，荧光光谱呈宽缓的单峰，负荧光变化，在大庆生油岩中异常丰富。

层状藻类体 A　指一些非常密集的藻类体薄层，具较强的浅绿色或金黄色荧光，强的正荧光变化，荧光光谱呈双峰。有时可见其中含有结构藻类体。

层状藻类体 B　指一些形态似小孢子体的薄壁藻类体，具黄褐色荧光，荧光光谱呈三

峰，常与动物壳屑体共生。

③ 动物有机组　来源于动物，包括动物壳屑体及动物软体两种类型，分别来自淡水有孔虫的假几丁质壳及介形虫的钙-几丁质壳与软体部分。动物软体有强血红色荧光。

④ 渗出组　将与液态烃类有关的有机质统划为渗出组，代表成熟过程出现的新生产物。形式有渗出沥青体、油滴、油膜与牛顿环。

⑤ 荧光无定形组　包括藻类无定形体、菌解无定形体、粒状无定形体。

藻类无定形体　指藻类的不完全分解产物，具浅黄色透光色，强黄色荧光，对应于全岩中的层状藻类体 A。

菌解无定形体　是分布最广的无定形有机质，呈絮状、海绵状，透光色变化大，呈褐黄至褐色。它可进一步划分为：菌解无定形体 A，具较强的绿黄色、黄色荧光，较强的正荧光变化，主要来源于藻类体的强烈分解；菌解无定形体 B，开始激发时荧光弱，呈暗褐色，有极强的正荧光变化，主要是动物有机质及高等植物类脂物质的菌解产物；菌解无定形体 C，具弱的褐色荧光，较弱的正荧光变化，可能形成于弱还原环境；菌解无定形体 D，在黄色、黄褐色荧光基质中夹有非常细小的无荧光碎屑，在Ⅲ及 $Ⅱ_B$ 型干酪根中常见。

粒状无定形体　透射光下呈直径 1 μm 左右，且为透明的浅黄色颗粒，具浅黄色荧光。

⑥ 无荧光无定形组　包括腐植无定形体、惰质无定形体、降解无定形体。

腐植无定形体　指半透明凝块状无荧光的有机质，是高等植物木质纤维素强烈凝胶化的产物，在成因上对应于煤中基质镜质体，常见于Ⅲ型干酪根中。

惰质无定形体　指成因与光性类似惰质组分的无定形有机质，在生油岩中很少见，亦仅见于Ⅲ型干酪根中。

降解无定形体　指富氢无定形体或藻类体生成石油后向微粒体转变的过渡产物。在透射光下呈半透明褐色颗粒状，主要见于高成熟干酪根中。

⑦ 各向异性类　将高反射且具明显各向异性的组分归于此类，它们是富氢显微组分生成油气后的残余物。在反射单偏光下多色性明显，正交偏光下具强烈各向异性，插入石膏试板并转动物台，呈现红、黄、蓝三种干涉色的反复交替。各向异性类的进一步划分，详见表 10-22 所示。

表 10-22　煤及生油岩中的各向异性体

成因类型	母质来源	类　型	成因机理	形态及结构划分
原地各向异性体	壳质组	各向异性壳质组	经历中间相	各向异性树脂体
			未经历中间相	各向异性角质体 各向异性孢子体 各向异性藻类体 各向异性壳屑体
	液态烃＋其它组分	各向异性混合体	共碳化作用	各向异性镶嵌结构 各向异性扩散晕
	富氢细胞壁	各向异性细胞壁	原地萌生	各向异性细胞壁
微粒体	无定形体及藻类体等	微粒体	中间相	微粒体 A 微粒体 B

续表 10-22

成因类型	母质来源	类 型	成因机理	形态及结构划分
异地各向异性体	沥 青	异地各相异性体	经历中间相	片状体 纤维状体 流动型 镶嵌结构
	热解气相烃类	裂解碳	气相沉淀	裂解碳

(二) 中国海相烃源岩有机组分的分类

中国海相地层分布广泛,海相烃源岩具有的显著特点是:早古生代碳酸盐岩是中国海相烃源岩的主要代表;海相碳酸盐岩有机质含量偏低;有机质主要来源于低等水生生物,而陆相有机质很少;古生代海相烃源岩成熟度普遍高。现以塔里木盆地海相烃源岩为例,探讨其有机显微组分的分类(表 10-23)及其以下特点:

(1) 有机岩石学不同于煤岩学及古生物学,它注重对有机成分的成因、成烃及排烃特性的认识,因此分类中没有化石或化石碎屑的位置。此外,提出了一些新的有机组分,如晶胞有机质、包体有机质、干酪根中的沥青等。

(2) 根据中国和国际情况,按有无陆源有机质输入,可将源岩分成二类,但从水生生物有机质这一共性来考虑,作为一个统一的划分方案比较合适。这个方案可用于陆相源岩,也可用于广义孢粉相分析。

(3) 海相源岩以富含水生生物类有机组分为关键特征。

(4) 对于一些特殊的显微组分现描述如下:

① 藻类组 仅用结构藻类体和层状藻类体的划分仍不够,还应考虑它们的种属与生态特征。例如塔里木奥陶系源岩中赋存蓝藻藻类体,经研究确定相当于国外生油岩中常见的粘球形藻(*Gloeocapsomorpha*),它们是比较原始的类型。根据细胞特征,可区分出叠层石状的类型、较原始球形体和有护皮连接的胶群体型(*Palmelloid*)。叠层石状球形藻的生油期较晚,如塔中 1 井,镜质组反射率已达 1.5 %~1.6 %,但仍见荧光,不见微粒体。原始球形体和有护皮连接的胶群体的差别尚需进一步研究,不过多数已成为变藻类体,荧光消失并出现微粒体。

② 疑源组 起源不明,个体微小(5~50 μm),由有机质成分的外壁包围一个中央空腔构成。它们的成分类似于孢粉质,外壁由一层或二层构成,形状有球、椭球、圆盘、纺锤及多面体等形状。П. П. Тимофеев 等(1981)曾分析过奥陶纪的疑源类,其碳含量达 71.88 %,氢含量 7.84 %,氮 2.16 %,氧和硫含量 18.12 %。

③ 水生动物有机组 包括笔石、节肢动物、海绵、苔藓虫等微体动物及碎屑。它们的反射率低,有时其碎屑不易与镜状体或沥青相区别。据对源岩中笔石、动物型沥青、镜质组、丝质体等的二次离子质谱(SIMS)、显微-傅里叶红外(Micro-FT-IR)和散能 X 射线能谱分析(EDX),它们的对比特征表现为:笔石和沥青的 SIMS 谱图与镜质组相似,但成熟度较低时笔石含有丰富的氧桥,它会阻碍其结构的芳构化,沥青的芳环缩合度不高且支链较多,所以笔石及沥青也都是成烃的母源物质。据 EDX 检测,笔石中富集 Sr、Ba、Mg、Cu,镜质组中富集 Zn、Al、Ti、Fe 等。

表 10-23　塔里木盆地海相烃源岩有机显微组分分类

		低成熟—高成熟		过成熟
		全岩	干酪根	
原生有形态有机质	陆生有形态有机质	惰质组 丝质体 半丝质体 粗粒体 菌类体 碎屑惰质体	惰质组 丝质体 半丝质体 粗粒体 菌类体 碎屑惰质体	惰质组
		镜质组 正常镜质体 富氢镜质体 碎屑镜质体	镜质组 正常镜质体 富氢镜质体 碎屑镜质体	镜质组
		壳质组 孢子体 角质体 树脂体 碎屑壳质体	壳质组 孢子体 角质体 树脂体 碎屑壳质体	各向异性壳质组
	水生有形态有机质	藻类组 疑源组 水生动物有机组 动物碎屑体 动物软体 镜状体 海相惰质体	藻类组 疑源组 水生动物有机组 动物碎屑体 动物软体 镜状体 海相惰质体	变藻类体 微粒体 各向异性 动物碎屑体
原生无形态有机质		沥青质体(含晶胞有机质)		变沥青质体
次生有机质		微粒体 渗出组(油滴、油膜渗出沥青体) 沥青组 原沥青{动物型沥青 藻类型沥青 运移沥青 再循环沥青 包体有机质	微粒体 沥　青	微粒体 各向异性沥青
		矿物沥青基质	无定形组 无定形体 A 无定形体 B 无定形体 C 无定形体 D	微粒体

④ 无定形组　可划分出无定形体 A，是动物有机质与藻类分解的产物，包括藻类无定形体(为藻类不完全分解产物)及菌解无定形体(为动物与藻类分解的产物)；菌解无定形体为粒状、薄膜状或海棉状；透射光下呈褐黄—褐色，具绿黄或黄色荧光；薄膜状有机质仅见于碳酸盐源岩，外貌像方解石、文石或白云石铸膜。无定形体 B 呈凝块状，透射光下呈暗棕或淡黄，有弱的褐黄或褐色荧光，来源于沥青质体或前油沥青。无定形体 C，透射光下为半透

明，橙红色，无荧光，来源于木质纤维组织凝胶物。无定形体D，透射光下为半透明至不透明，颗粒状，无荧光，是富氢组分生成石油向微粒体过渡的产物。

⑤ 海相惰质体 反射率高，来自生物硬质部分，无成烃价值。一些活性的有机组分在热演化中去氢增碳也可形成类似的组分。

⑥ 镜状体 B. Alpern（称假镜质体；1981），P. van. Gijzel（称海相镜质体；1982）等人都曾对其做过研究并指出，当成熟度不高时，在透射光下呈黄褐色，反射光下类似镜质体。轮廓分明如切割，且两头有尖角，也有各向近于等距的。B. Buchardt 和 M. D. Lewan（1990）研究认为，原生组分来源于藻或动物外皮，由纤维素、多糖等经凝胶化形成。P. Bertrand（1987）研究认为，它们属于沥青。

⑦ 次生有机质 指埋藏后经热演化产生的。这里介绍沥青和包体有机质。

沥青，按油、气生成关系，划分为原沥青与运移沥青，以及再循环沥青。原沥青相当于B. Alpern（1980）的原沥青，其轮廓不清楚。L. D. Stasink 等（1991，1993）曾在热模拟的情况下追索藻演化为沥青的过程，刘大锰等（1994）分别用蓝藻和虾蛄进行热模拟实验（表 10-24，图 10-5），结果表明，它们不仅都能成油而且生油窗范围比陆相源岩宽，并且都能形成沥青。运移沥青由石油演化而成，在源岩中是附加成分，可以进一步细分为热裂解沥青、脱沥青沥青和表生沥青三种类型。其中，热裂解沥青为原油在热力作用下裂解缩合形成的；脱沥青沥青是原油经脱沥青作用形成的。这两种沥青常共生在一起，产状比较一致，常出现在储层的裂隙、晶洞和孔隙中。表生沥青则为原油经蒸发、水洗、生物降解、氧化作用而形成的，它常形成于油藏露头附近或浅部，在断裂构造处常形成沥青脉。

包体有机质，指源岩热演化过程中被矿物质包裹的有机质，它是源岩成熟过程中不同期次的产物。

表 10-24 蓝藻（粘球藻）及虾蛄热模拟产物饱和烃中甾、萜生标参数特征

样品		$\alpha\alpha\alpha C_{29}$ S/(S+R)	C_{29}(S+R) αββ/(αββ+ααα)	C_{24} 四环萜/三环萜	Ts/Tm	C_{29} M/H	C_{30} M/H	C_{32}S/R
藻类	A1	0.347	0.30	0.64	0.65	0.28	0.23	1.27
	A2	0.359	0.31	0.66	0.69	0.27	0.20	1.36
	A3	0.379	0.39	0.58	0.71	0.17	0.19	1.41
	A4	0.423	0.41	0.58	0.76	0.16	0.16	1.43
	A5	0.473	0.42	0.51	1.38	0.13	0.12	1.45
	A6	0.526	0.42	0.65	1.29	0.10	0.09	1.50
虾蛄	P1	0.37	0.31	0.68	0.09	0.13	0.12	1.42
	P2	0.43	0.31	0.51	0.16	0.12	0.12	1.45
	P3	0.48	0.34	0.64	1.12	0.10	0.09	1.51
	P4	0.51	0.33	0.66	1.57	0.09	0.10	1.53
	P5	0.81	0.34	0.69	1.54	0.09	0.10	1.57

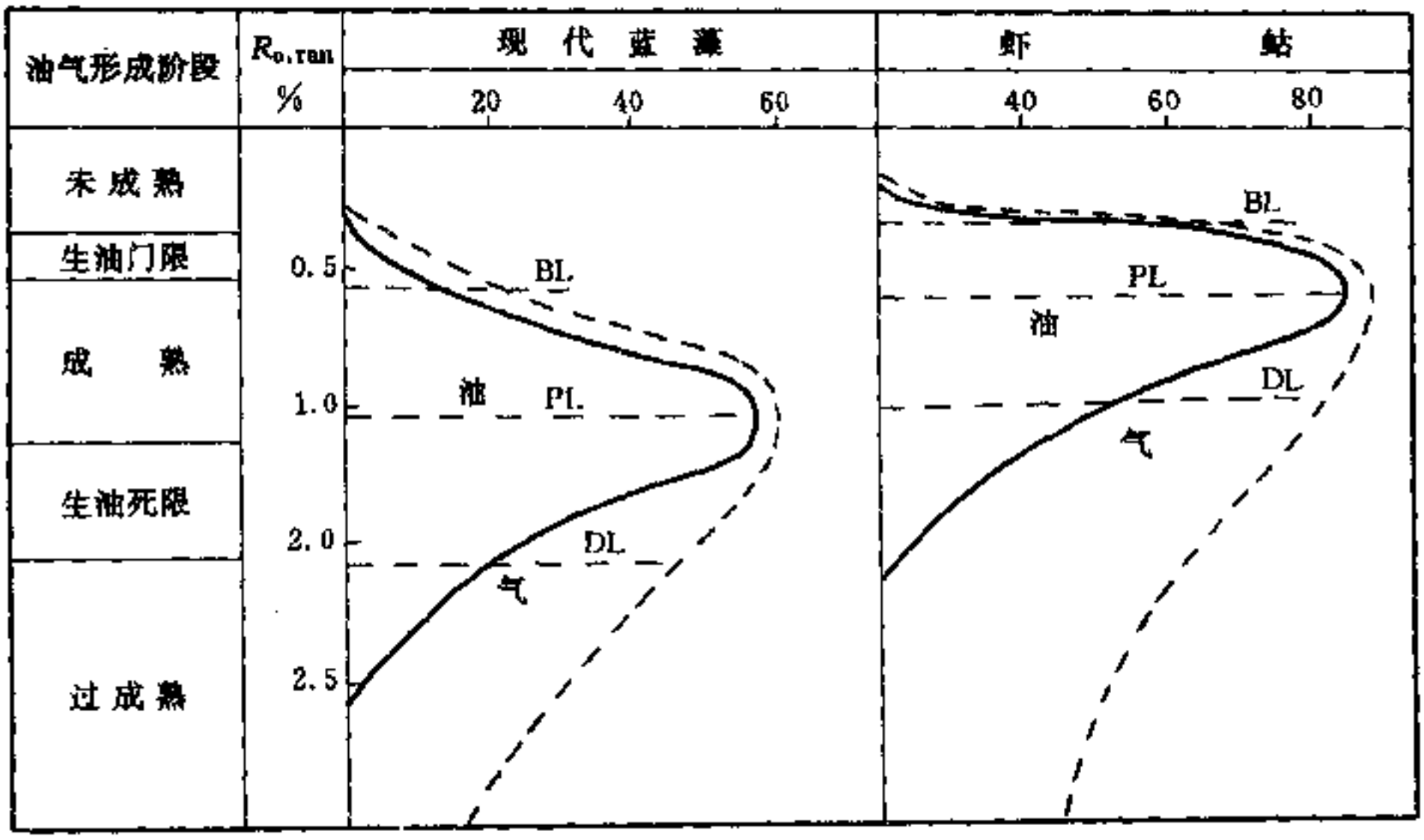

图 10-5　海相单组分成烃作用模式

BL——油生成线；PL——生油高峰；DL——生油死限

（据刘大猛，1994）

第三节　烃源岩的有机岩石学评价法

一　评价要点

按照 D. W. Waples 等学者的观点，烃源岩评价应当注意有机物质的组成和含量、成熟度、有机质类型和生烃能力等方面。在这些方面可以运用地球化学方法，但有机岩石学方法也具有重要意义。对于有机物质组成和含量来说，有机岩石学方法的优点在于"可见性"上。因此对可见有机质可以分门别类进行统计，但对亚微级与超微级的不可见有机质当前主要根据镜下特点，辅以有机地球化学参数来进行分类统计，这样可以从成因上阐明有机质的质和量。另一方面，对地球化学方法所采用的参数，有机岩石学方法则努力寻求其对应关系。例如，地球化学方法中常使用总有机碳作为衡量有机物丰度的参数，M. Smyth，A. Cook 等（1984）根据澳大利亚侏罗纪 Birkhead 煤系研究，建立起"总有机碳＝分散有机质×0.5×n（n＝0.80～0.85）"的关系式。但研究认为，它不适合于纯海相烃源岩，对海相烃源岩可采用 n＝3.55 来计算其有机碳含量。

除注意烃源岩的生源母质的组成和含量之外，还要了解烃源岩的热演化程度，在这方面 Dow 法则常被人们引用（图 10-6）。Dow 法则所表示的是常见情况，但实际情况复杂得多。W. A. Rogers（1980）提出成熟度与有机质类型有关，石油生成门限为 $R_{o,max}$ 0.35 %～0.6 %，生气死亡门限为 $R_{o,max}$ 2.5 %～3.5 %。

二　确定成熟度的光学标志

对于陆相源岩及有陆源生源母质输入的海相源岩从光学角度评价其成熟度，主要选择镜质组反射率、孢子体的荧光参数、透射参数等指标，它们之间的关系见图 10-7 所示。对于

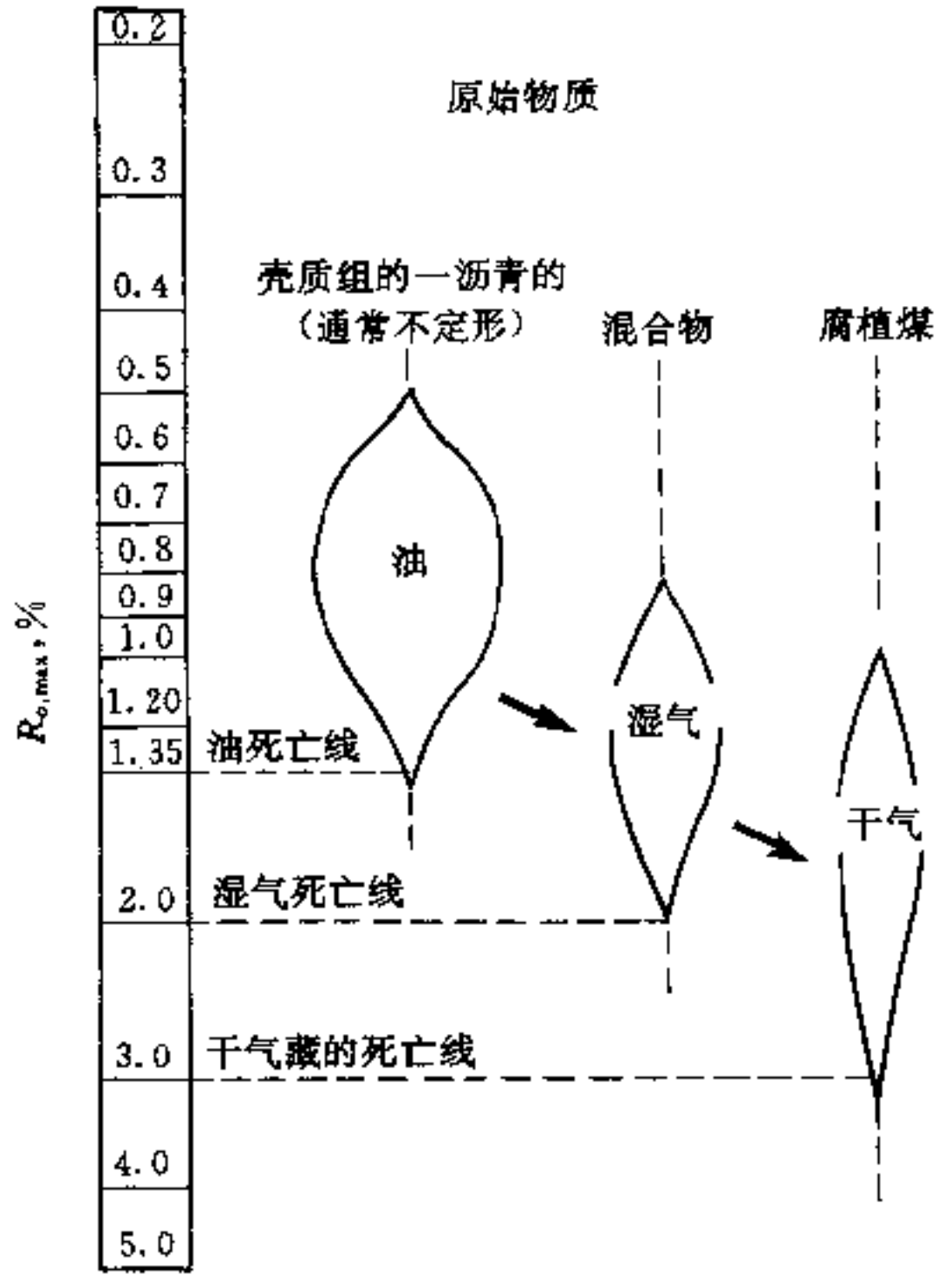

图 10-6　不同生源母质的石油、湿气和干气的产生
（据 W. G. Dow，1977）

无陆源生源母质输入的早古生代源岩，从光学角度评定成熟度则是困难的问题，目前采用沥青反射率、动物碎屑的光学参数及镜状体反射率等作为指标，并与镜质组反射率建立对比关系。

碎屑源岩中赋存的分散镜质组组分反射率测定，已成为确定源岩成熟度的通用方法，但碎屑源岩中镜质组组分类型较多（如原生的、再循环的、井壁落入的、有泥等附加物的，以及各种镜质组组分的不同类型），在具体测试时要注意选取具有代表意义的组分进行测试。一般在干酪根样品中需测取 50 个颗粒的反射率 $R_{o,max}$ 值，并绘出直方图，以便选择具有代表性的镜质组反射率值（图 10-8）。对全岩片，因受污染少，便于认识组分的成因条件，容易选取被测的组分。应该注意，影响源岩中镜质组反射率值的自然因素很多，如富氢镜质体的反射率偏低、样品制作的质量，以及围岩岩性的影响等，因此具体测试时应对源岩的性质有一个较全面的了解。

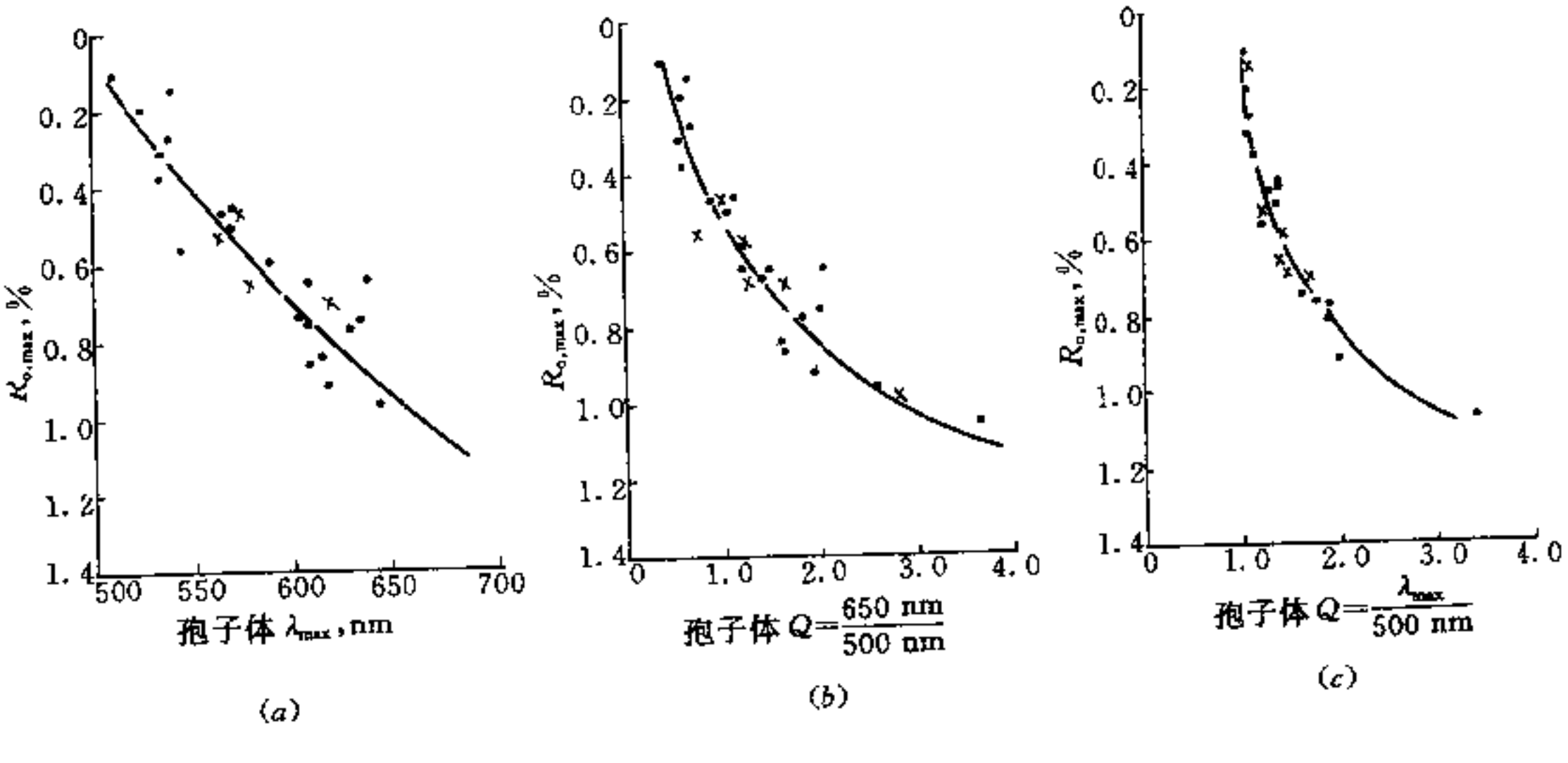

图 10-7　孢子体的 $\lambda_{max}Q$ 值与镜质组反射率之间的关系
（据 Teichmüller 等，1983）

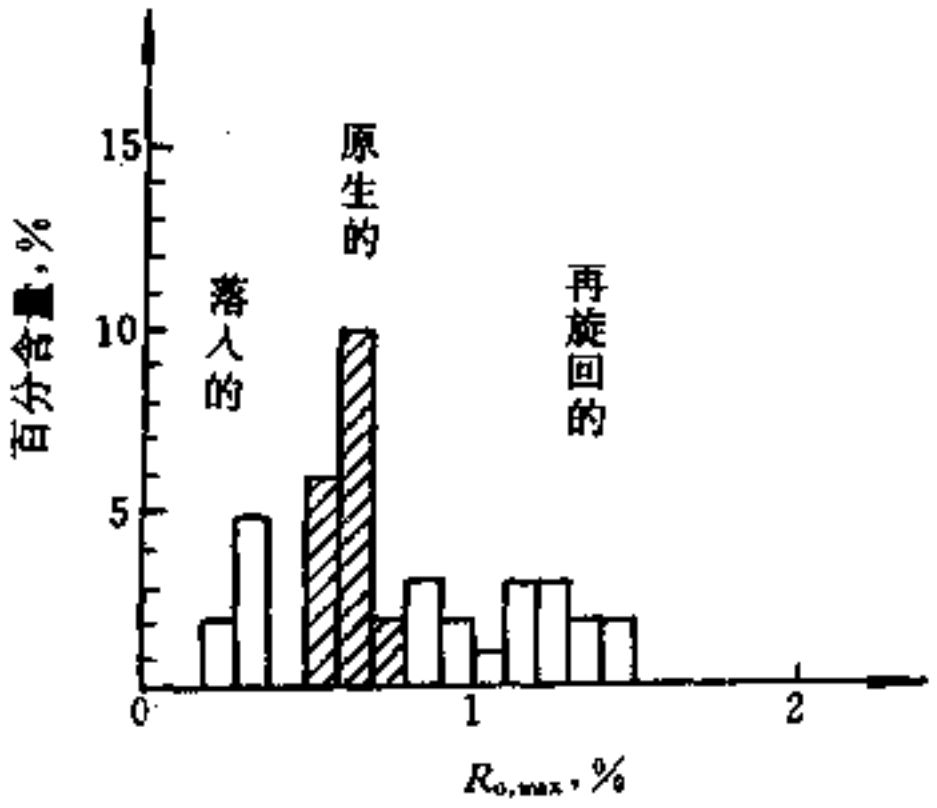

图 10-8　反射率直方图的解释

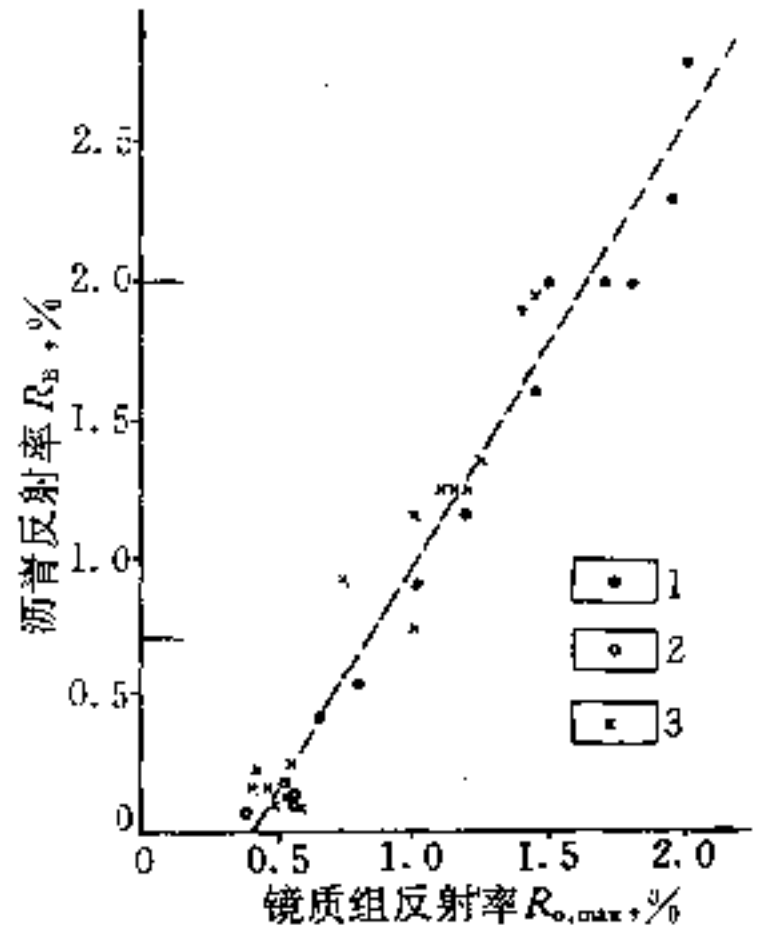

图 10-9　镜质组反射率与沥青反射率关系图

1——德国西北；2——德国南部；3——其它国家；

$R_{o,max}=0.618R_B+0.40$

（据 H. Jacob，1985；略修改）

在缺失镜质组组分的源岩中，利用原沥青反射率确定成熟度是常用方法。为此，可参考原国际煤岩学会建立的沥青反射率与镜质组反射率关系（图 10-9）。由图可看出，在油与湿气阶段，二者关系比较明显。

牙形刺的颜色变化指数 CAI 也可确定成熟度。用冰醋酸将牙形刺浸解出来后，制成薄片进行观察，根据其透射光下的颜色，可划分牙形刺色变指数 CAI 与镜质组反射率的对应关系（表 10-25），以及牙形刺的透明度（透射率）与色变指数 CAI 和镜质组反射率之间的关系（图 10-10）。

表 10-25　牙形刺色变指数与镜质组反射率对应关系

色变指数 CAI	镜质组反射率 $R_{o,max}$，%
1	<0.8
$1\frac{1}{2}$	0.7～0.85
1.4～21.95	0.85～1.33
4	1.95～3.60
5	>3.6

据 C. M. Link，R. M. Bustin 和 F. Goodarzi 等（1990）研究，笔石具各向异性，在平行层面的切面上可求最大反射率，并且可建立与牙形刺色变指数的关系。P. Bertrand（1990）根据加拿大东部 Gaspe 地区泥盆系中几丁虫和结构镜质体共生关系，直接建立了两者对应关系，并

由此导出与虫牙、笔石等关系如下(图 10-11)：

$$\log R_C = 1.08\log R_T$$

$$\log R_S = -0.19 + 1.29\log R_T$$

$$\log R_G = -0.04 + 1.10\log R_T$$

式中　R_C——几丁虫油浸反射率；

R_T——结构镜质体油浸反射率；

R_S——虫牙油浸反射率；

R_G——笔石油浸反射率。

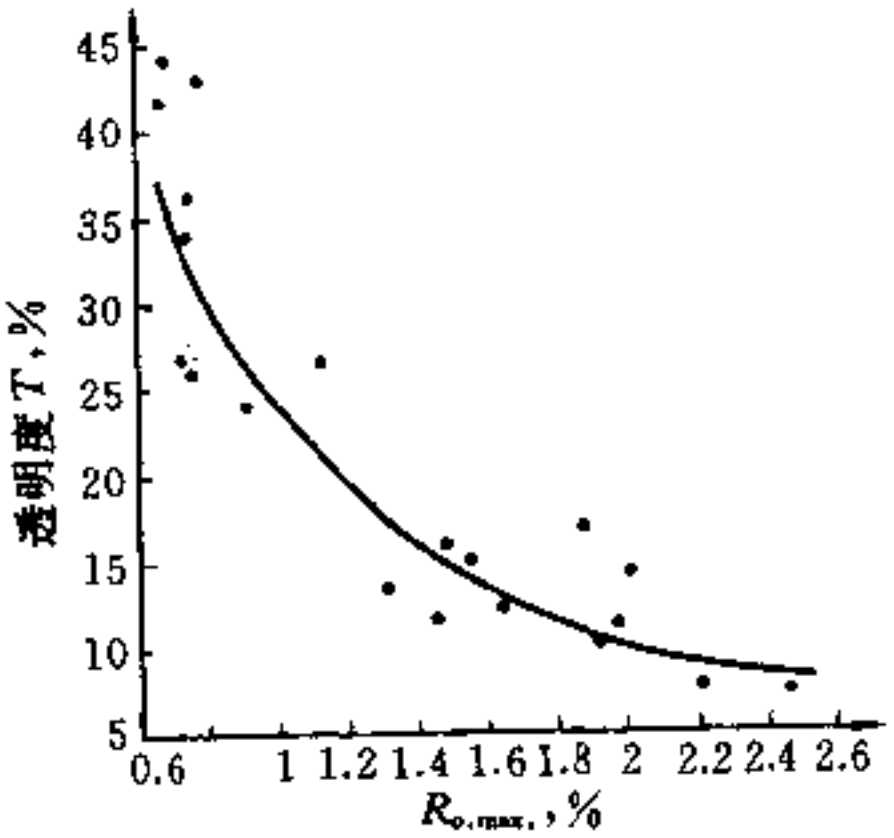

图 10-10　牙形刺透明度与 $R_{o,max}$的关系图

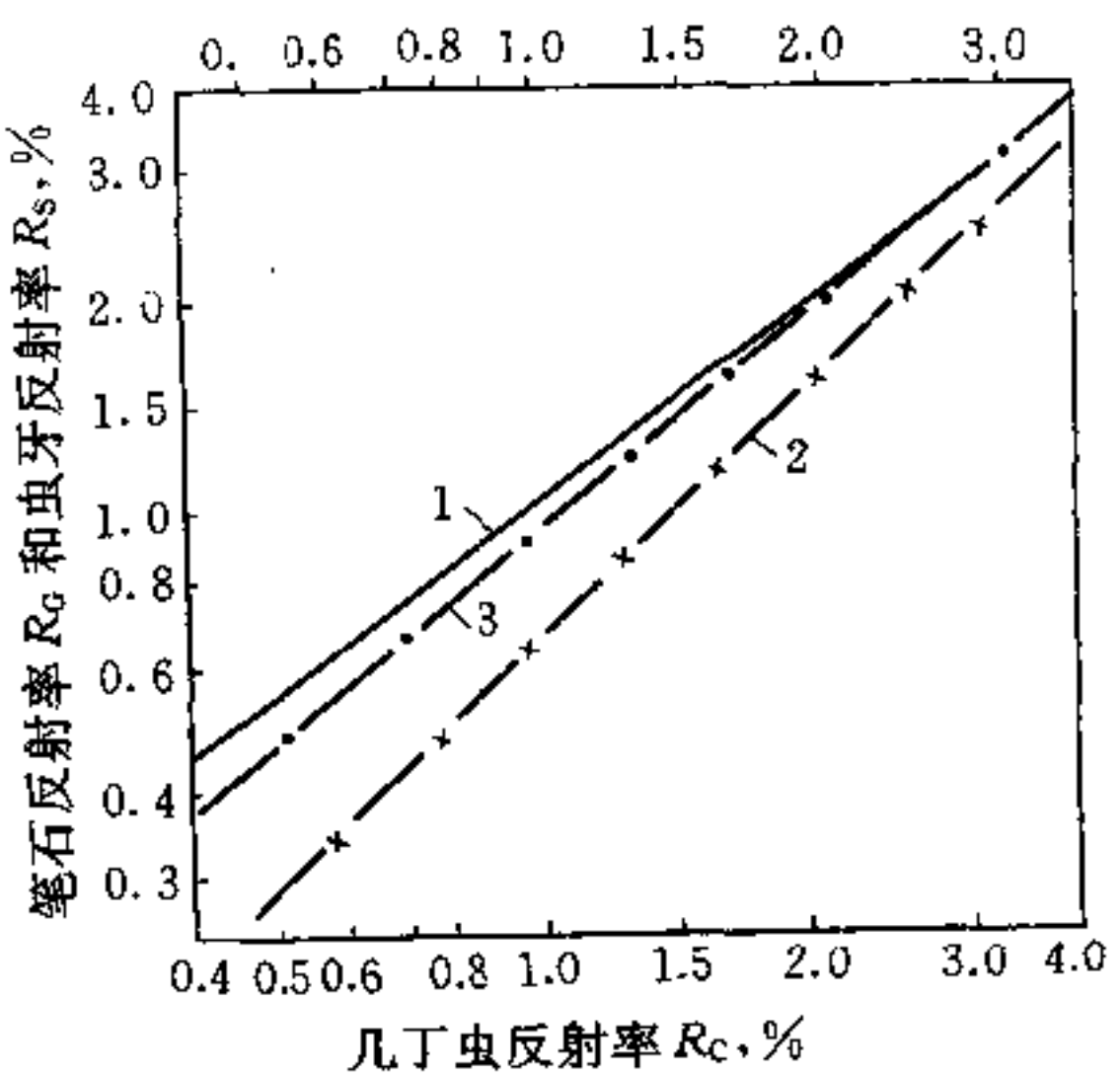

图 10-11　几丁虫、虫牙、笔石反射率与结构镜质体反射率的对应关系图

1——几丁虫；2——虫牙；3——笔石

(据 P. Bertrand，1990)

在缺乏镜质组的源岩或干酪根中，镜状体反射率是可以利用的成熟度指标。据 B. Buchardt 和 M. D. Lewan(1990)对斯堪的那维亚寒武纪、奥陶纪源岩中镜状体与北美泥盆纪、石炭纪源岩中镜质组的对比研究，结果发现它们的反射率与 H/C 原子比的关系大体一致(图 10-12)。

激光诱导荧光参数是有机质成熟度等评价指标之一。其理论依据是随着热演化程度的增加，源岩中芳烃馏分的有机组成和结构发生变化，尤其是高环数芳烃所占比例增大。由于早古生代源岩和陆相源岩相比，在有机质类型和岩性上均有差别，因此提出不同的方法。对陆相源岩，可以使用氮分子激光器测定芳烃馏分的激光诱导荧光谱，选荧光强度比 I_{567}/I_{375}(图 10-13)、I_{505}/I_{404}作为参数。在使用染料激光器时(IBOP 染料)，可用峰面积比——S_{457}/S_{414}作为参数(图 10-14)。

对早古生代源岩，可选用芳烃馏分 I_{547}/I_{414}荧光强度比作为参数，并和镜质组反射率有较好的相关关系(图 10-15)。早古生代泥岩，$R_{o,max} = 1.26I_{457}/I_{414}$；早古生代灰岩，$R_{o,max} = 1.82I_{457}/I_{414} - 1.42$。

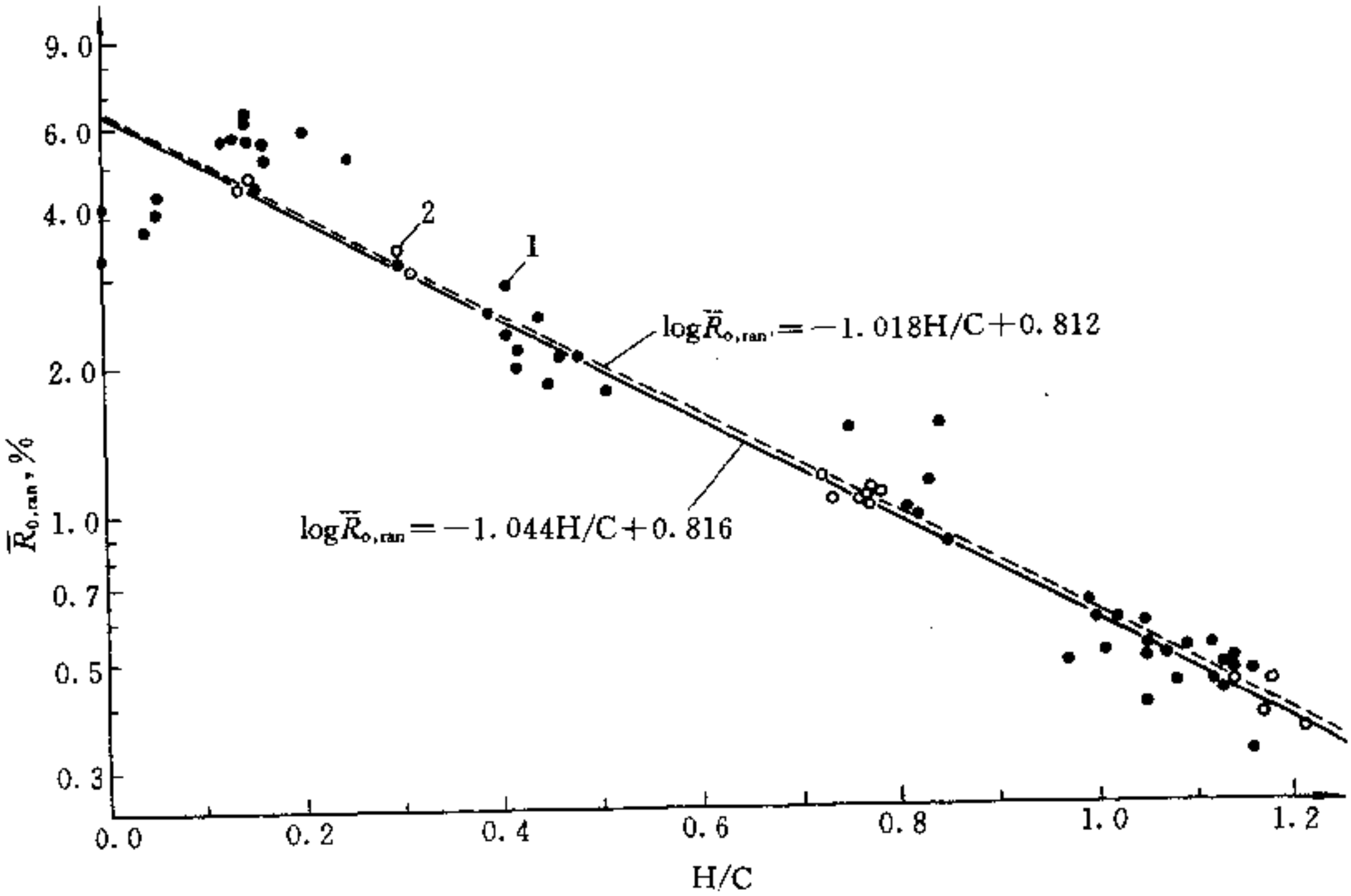

图 10-12　镜状体和镜质组的反射率与 H/C 比的关系图

1——镜状体；2——镜质组

(据 B. Buchardt 及 M. D. Lewan，1990)

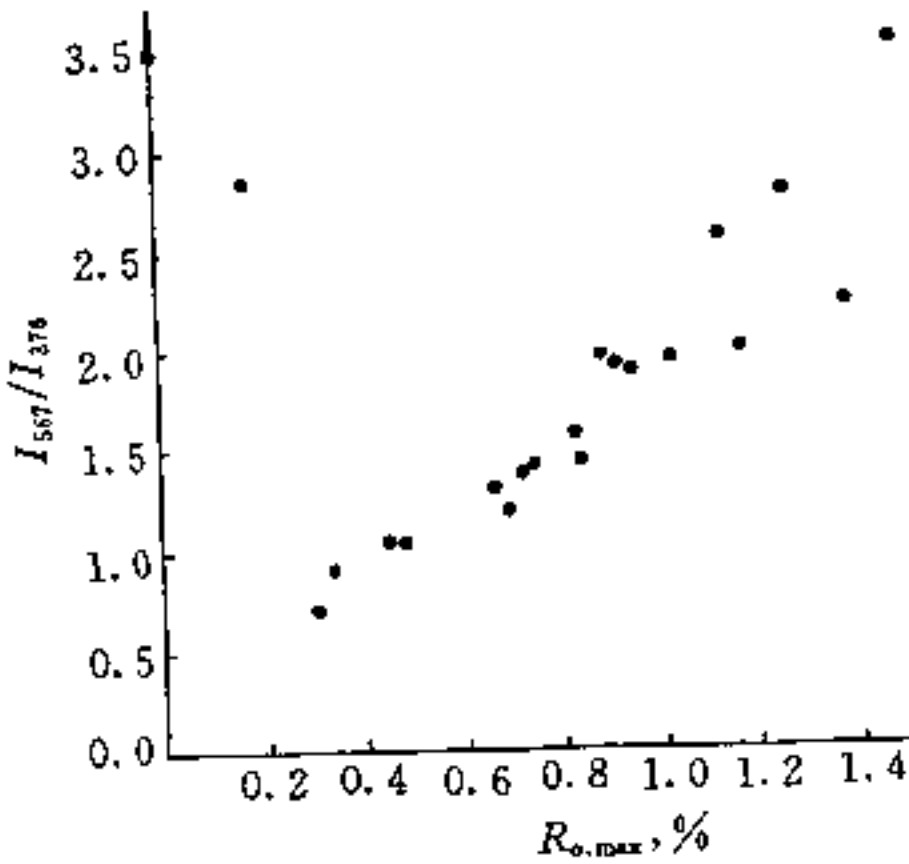

图 10-13　激光诱导荧光强度比 I_{567}/I_{375} 与镜质组反射率关系图

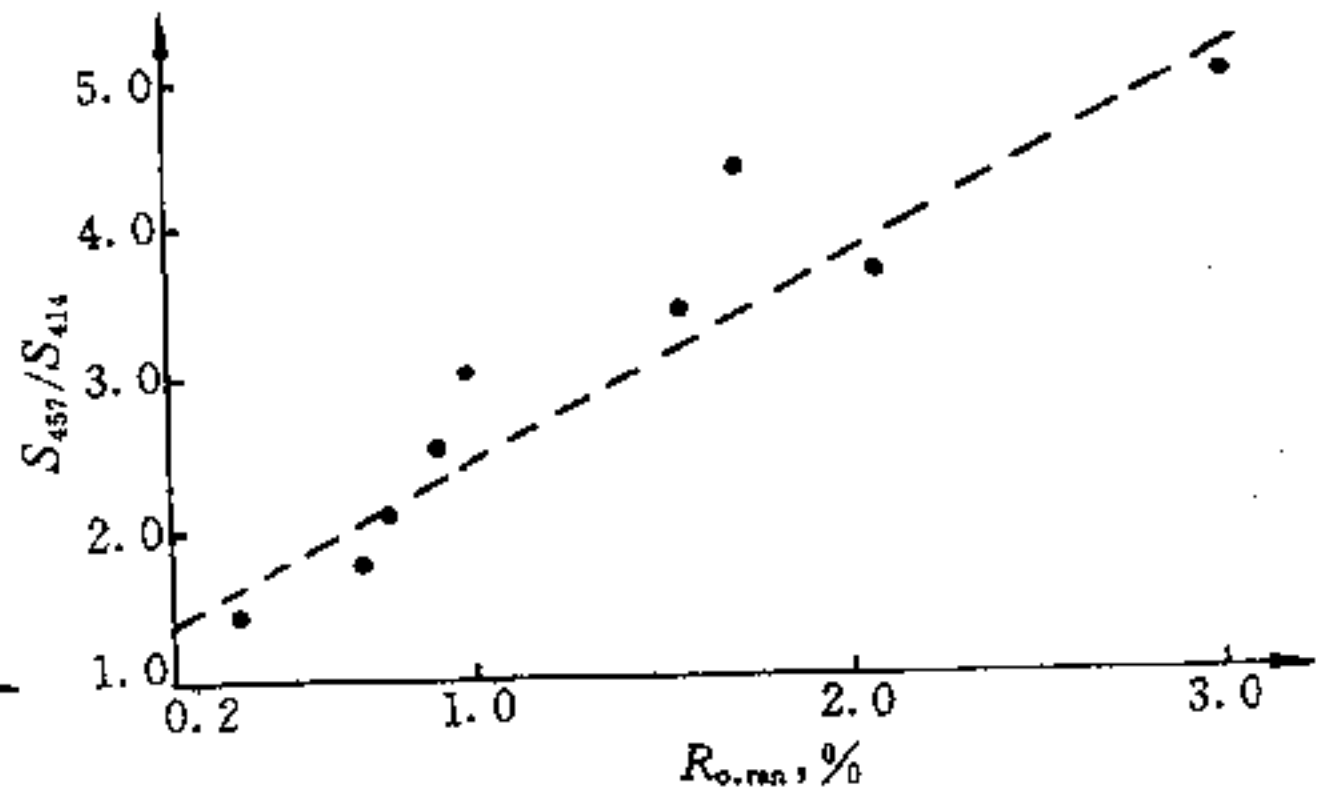

图 10-14　S_{457}/S_{414} 与镜质组随机反射率的关系图

三　有机质类型和生烃潜力评价

为进行生烃潜力评价，应划分有机质类型。由于各学者所持的观点不同，因此对有机质类型的理解不一，采取的方法也有所不同。例如，W. G. Dow 和 D. I. O'Connor 是利用干酪根片进行评价，并根据组分组成特征划分出三种有机质类型，它是依据光学方法进行评价，但

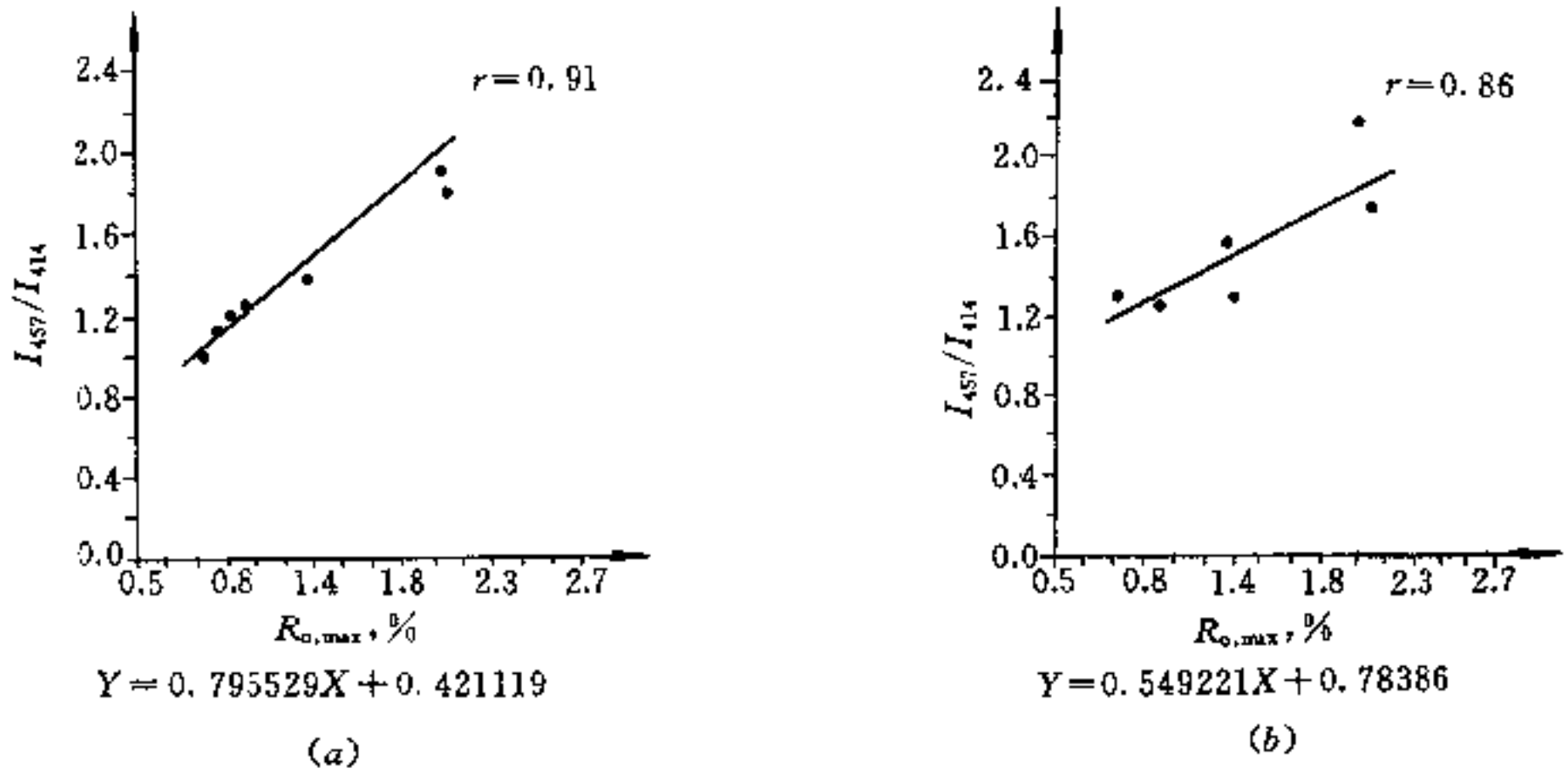

图 10-15　早古生代源岩芳烃馏分 I_{547}/I_{414} 与镜质组反射率关系图

a——泥岩；*b*——灰岩

也考虑了地球化学指标；M. Smyth，A. C. Cook 等是利用全岩片进行工作，并根据组分组组合划分有机质类型；也有学者通过寻找地球化学参数与光学参数间的关系，并用光学方法来取代地球化学方法进行评价。

（一）Dow 和 O'Connor 方法

利用测定反射率（确定成熟度）的干酪根片，在反射光和荧光下进行有机质类型的观察（表 10-26）。观察对象为镜质组、惰质组，以及无定形有机物亚组＋壳质组。根据镜下观察和参考化学资料，在此基础上指出，含少于 35 %能形成油的成分时（无定形有机物亚组＋壳质组）会形成原生干气，而作为油源则通常要大于 65 %，两者之间则产生原生湿气与凝析油。这三个基本组亦即所划三种有机质类型（图 10-16，参见图 10-6）；同时指出，光学鉴定受人为因素影响较多，因此还主张引用地球化学参数（未进行组分热模拟试验）配合进行评价，为此建立了反射率与 H/C 原子比两者关系的生油类型图（图 10-17）。上述两种研究使用的样品相同，其结果一致。

表 10-26　干酪根镜下鉴定表

样品	深度 m	有机物质类型，%					样品描述			镜质组描述				荧光强度					
		$R_{o,max}$ %	无定形亚组	壳质组	镜质组	惰质组	沥青	有机物质量	黄铁矿	正常	强溶蚀的	氧化的	天然焦	壳质组			背景		
														低	中	高	低	中	高

（二）美国 Exxon 石油公司及中国原石油工业部部标方法

Exxon 公司使用干酪根片在透射光下进行观察，以孢粉学划分显微组分的方法为基础，并结合一些地球化学研究，把源岩中干酪根划分为煤质、木质、非丝状藻、草质、藻类、细分散的物质与无定形有机物质等类型，并提出其相应的有机类型数及其生成油、气潜力特征（表

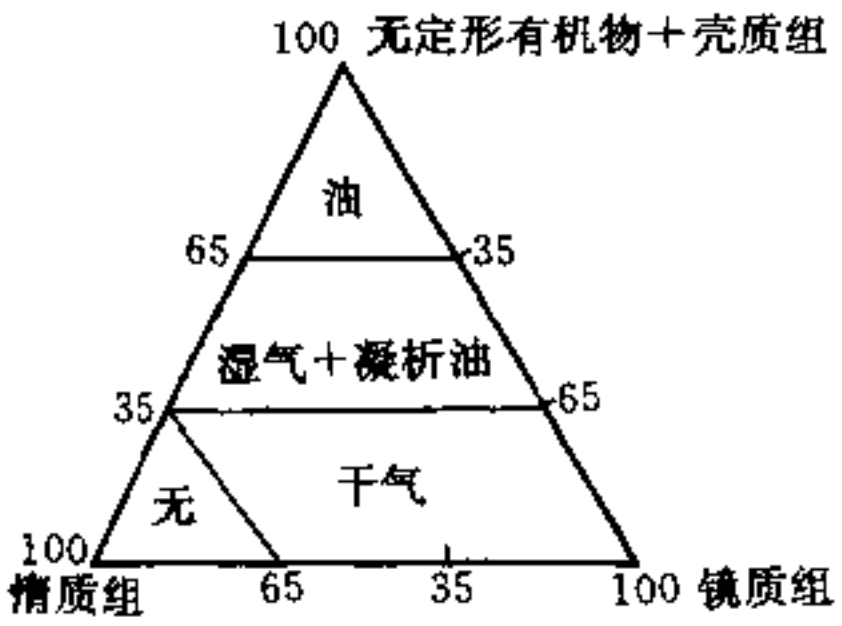

图 10-16　三种有机质类型图

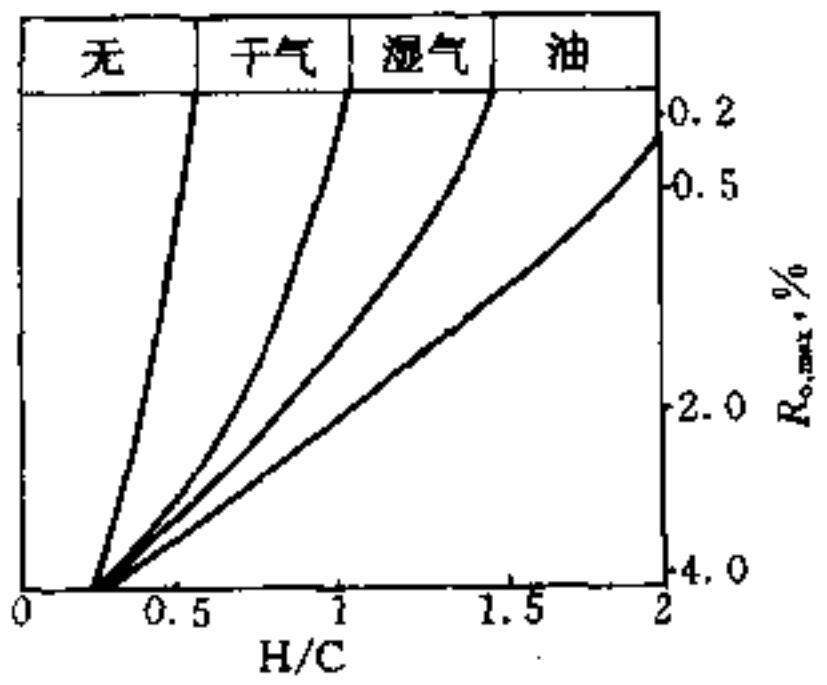

图 10-17　镜质组反射率与 H/C 原子比关系及生油类型

10-27)。评价时,要按某地实际出现的干酪根不同类型(如 30 %木质、50 %草质、20 %无定形有机物质)乘以各自的有机质类型数之和(即总有机类型数=0.3×(−75)+0.5×(+35)+0.2×(+100)=+15),并根据生成油、气特征表进行评价。

中国原石油工业部部标方法与 Exxon 公司方法类似,不同之处是使用干酪根煤岩术语,各组的类型指数为:腐泥组(a %)为+100,壳质组(b %)为+50,镜质组(c %)为−75,惰质组(d %)为−100。总类型指数与地球化学的有机质类型关系见表 10-28 所示;然后用类型指数 TI 值确定干酪根类型,即

$$TI=\frac{a\times(+100)+b\times(+50)+c\times(-75)+d\times(-100)}{100}$$

表 10-27　Exxon 公司干酪根油、气潜力评价表(略简化)

干酪根类型	煤　质	木　质	非丝状藻	草　质	藻　质	细分散的物质	无定形有机物质
有机类型数	−100	−75	−35	+35	+65	+75	+100

−100		−15	+15	+100
油、气潜力	气	油与气	油	

表 10-28　有机质类型划分标准

有机质类型	总类型指数 TI
Ⅰ	不小于 80
$Ⅱ_1$	小于 80,不小于 40
$Ⅱ_2$	小于 40,不小于 0
Ⅲ	小于 0

（三）M. Smyth, A. C. Cook, R. P. Philp 法

该方法(1984)是根据全岩片进行工作，认为与油、气生成潜力有关的是沉积岩分散有机物(DOM)的类型、体积、成熟度，以及源岩层厚度。所谓"类型"是根据 Park 和 O'Donnel 的概念，指组分组合特征。如果详细研究，还需要计算分散有机物与煤各自的壳质组与镜质组的比值，以使进行生烃潜力评价。其记录格式如表 10-29、表 10-30 所示。

表 10-29　钻井中分散有机物(DOM)及煤的丰度、类型和煤化程度鉴定记录表

井	样品数量	分散有机物(DOM)丰度 %	分散有机物(DOM)类型及含量，%(V—E—I)	煤体积百分比 %	煤中显微组分及含量，%(V—E—I)	反射率 %
1	10	1.5	43—34—23	9	63—37—0	0.74
2	5	2.2	58—27—15	4	86—0—14	0.68
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

注：　V，镜质组；E，壳质组；I，惰性组。

表 10-30　根据分散有机物性质计算生烃潜力的分值

井	成熟度得分 A	分散有机物(DOM)丰度得分 B	$\frac{\text{壳质组}}{\text{镜质组}}$ C	源岩厚度，m D	A×B×C×D E	含分散有机物(DOM)的井得分 $\frac{E}{448.91}\times 10$
1	4	3	0.79	26.8	254.06	5.7
2	2	7	0.47	19.8	130.28	2.9
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

根据以上得到的大量资料，可在平面上作出各种等值线图(图 10-18、图 10-19)、反射率面等深线图(图 10-20)，以及垂向等反射率分布图(图 10-21)，据此进行综合评价。对分散有机物的生烃潜力，也可分别表示在剖面及平面图上(图 10-22、图 10-23)。进行初步评价时，可仅根据有机质类型和体积资料；详细评价时，则要综合研究各种有关因素。

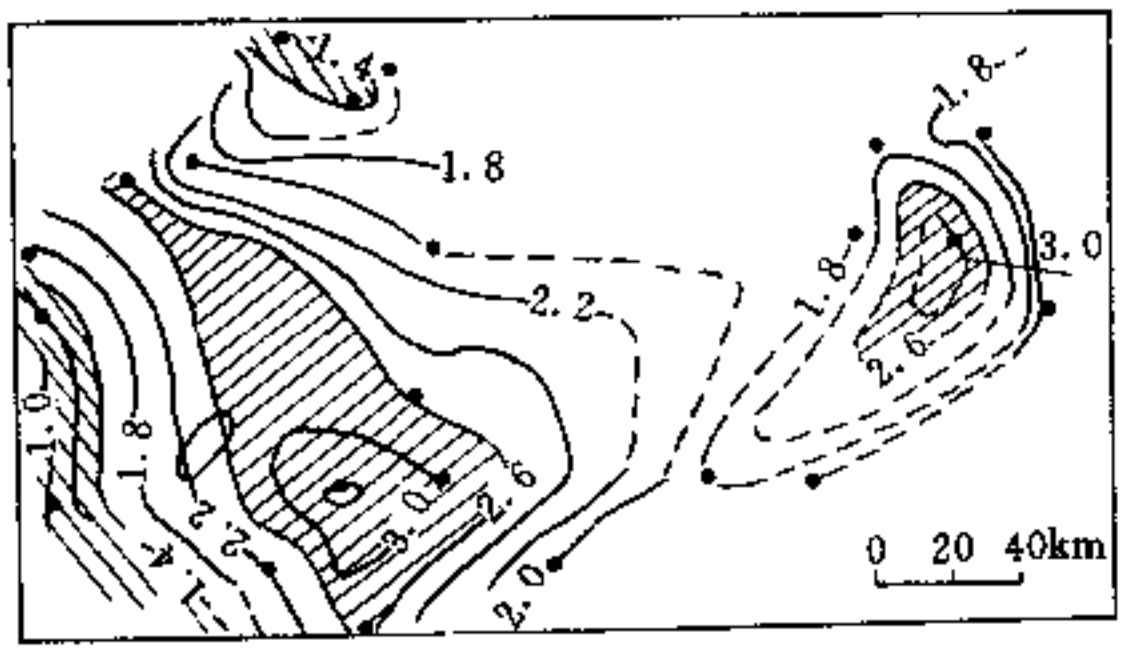

图 10-18　分散有机物(DOM)平均丰度等值线

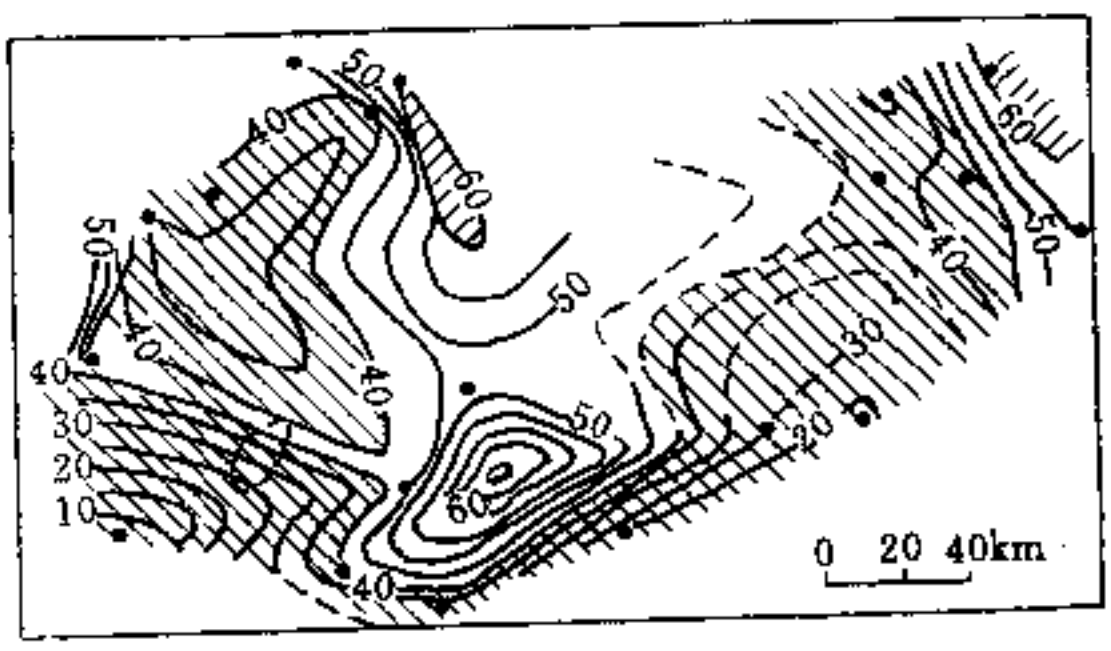

图 10-19　分散有机物(DOM)中镜质组含量等值线

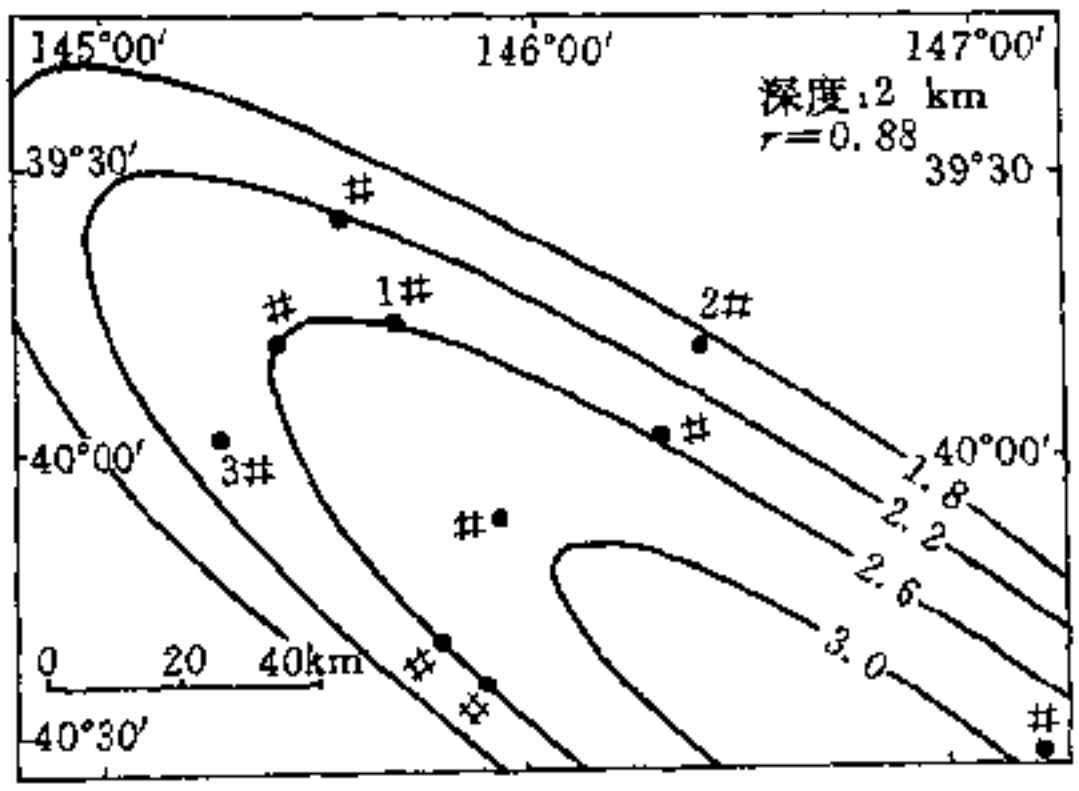

图 10-20　0.7 %反射率面等深线(单位:km)

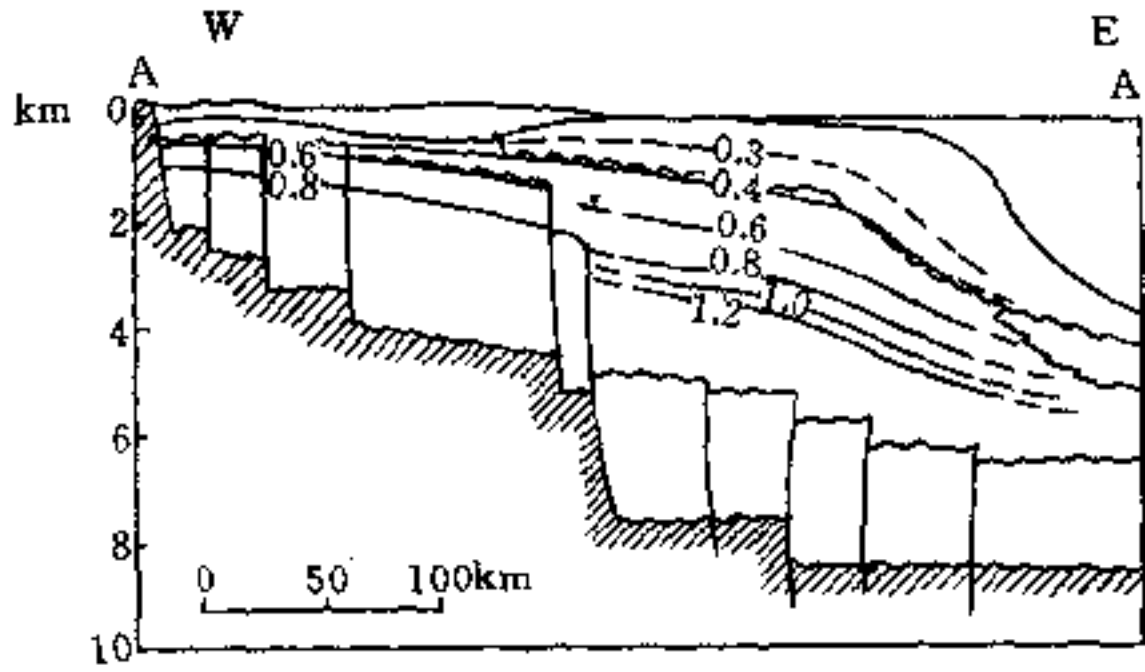

图 10-21　等反射率剖面图

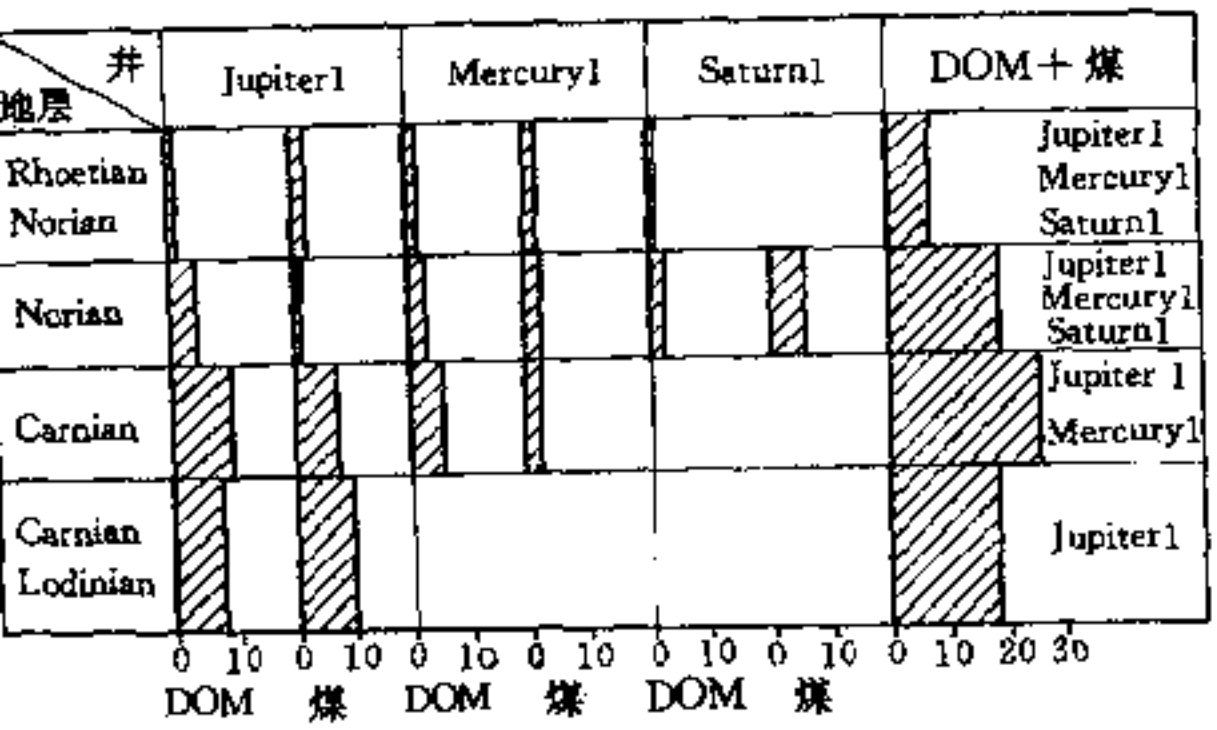

图10-22　生油潜力剖面图

仅根据有机质类型及丰度

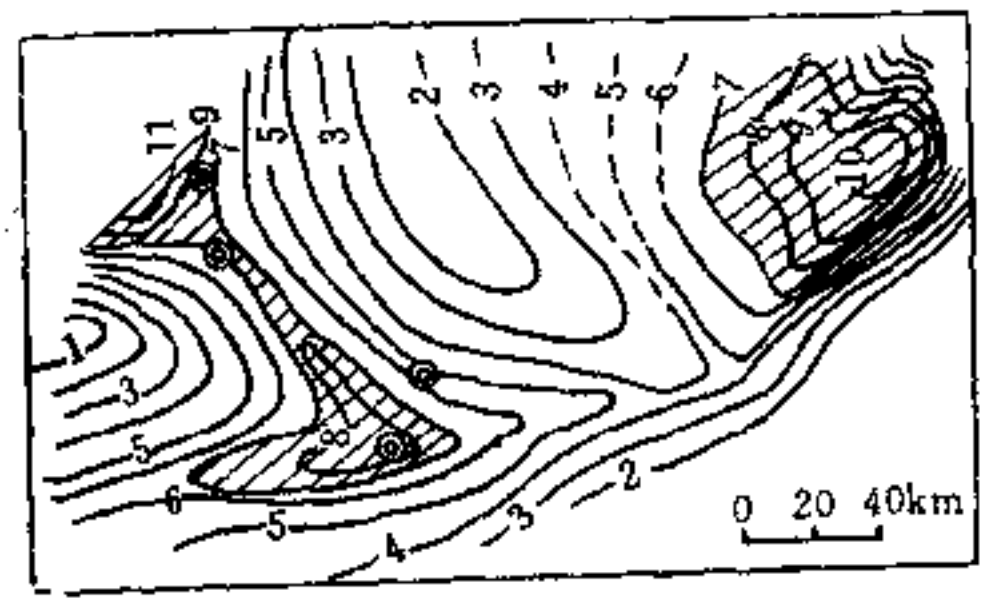

图 10-23　根据各种因素综合研究制作的生油潜力评分等值线图

(四) 中国陆相、海相烃源岩有机岩石学评价探索

根据近年来对中国陆相、海相烃源岩的研究,利用干酪根片在光学鉴定的基础上进行陆相单组分和海相单组分的热模拟及地球化学研究,从而提出中国陆相、海相烃源岩单组分生烃指数,并进行生烃潜力评价。

1. 陆相烃源岩

提出产烃指数 HP 和产油指数 OP(表 10-31),根据干酪根镜检结果,按下式进行计算:

$$\Sigma HP=\sum_{i=n}^{n}(x_i,HP_i)/100$$

$$\Sigma OP=\sum_{i=m}^{m}(y_i,OP_i)/100$$

式中　x_i、y_i ——分别代表第 i 类生烃母质与生油母质百分含量;

HP_i、OP_i ——分别为 i 类生烃母质的产烃指数 HP 与产油指数 OP 值。

按照这个方法确定时,ΣOP 及 ΣHP 与原石油工业部标方法确定的有机质类型关系见表 10-32 所示。

表 10-31 显微组分的产烃指数及产油指数

产烃指数 *HP*	显微组分	显微组分	产油指数 *OP*
1200	琥珀树脂体	琥珀树脂体	A 类 1000
850	藻类无定形体 结构藻类体 D	藻类无定形体 结构藻类体 D	B 类 800
750	菌解无定形体 B 层状藻类体 A	菌解无定形体 B 菌解无定形体 A 粒状无定形体	C 类 700
650	结构藻类体 A、B、C 层状藻类体 B 粒状无定形体 菌解无定形体 A 角质体、孢子体 分泌状树脂体	层状藻类体 A、B 结构藻类体 A、B、C 角质体、孢子体、木栓质体 分泌状树脂体	D 类 600
550	沥青质体 A、木栓质体 菌解无定形体 C 动物软体	沥青质体 A 菌解无定形体 C 动物软体	E 类 350
300	菌解无定形体 D 沥青质体 B	菌解无定形体 D 沥青质体 B	F 类 150
150	镜质组 腐植无定形体 降解无定形体 动物壳屑体	镜质组 腐植无定形体 降解无定形体 动物壳屑体	G 类 0
50	惰质组 惰质无定形体	惰质组 惰质无定形体	

注：① 产烃指数单位相当于 mg/g Corg.。

② 据肖贤明等，1989。

表 10-32 有机质类型的 *HP* 及 *OP* 标准关系

类 型	原石油部 *TI*	ΣHP	ΣOP	潜 力
I	>80	550～620	>550	油
I_1	80～40	550/620～400	550～300	油、气
I_2	40～0	400～200	300～150	气、油
II	<0	<200	<150	气

2. 海相源岩

对有陆源有机质输入的源岩，可按表 10-33 选取指数；对纯海相和纯海相过成熟的源岩，可分别按照表 10-34 和表 10-35 选择指数，并按 Exxon 石油公司的计算方法进行计算和评价。

建立海相烃源岩显微组分成烃模式很必要，但由于我国尚少低成熟度的纯海相源岩，因

此仍必须通过研究，逐步建立海相烃源岩显微组分成烃模式，这对生产实践具有重要意义。

近年，中国寻找油、气工作广泛开展，研究评价方法已有多种出现，可以预见在今后不断实践中，评价方法将逐渐成熟、完善。

表 10-33　塔里木盆地晚古生代源岩中干酪根的光学评价方法

	煤质	木质	沥青	镜状体	动物碎屑	草质	藻质	细分散的物质	无定形有机物质
	−100	−75	−45	−15	+15	+35	+65	+75	+100
有机质类型数									
数字范围			−100	−45	−15	+15	+45	+100	
颜　色	深红		粉红	黄		淡黄		绿	
解　释	气			油气		油			

表 10-34　塔里木盆地成熟纯海相源岩中干酪根的光学评价方法

	沥青	镜状体	动物碎屑	藻类体	无定形体
有机质类型数	−45	−15	+15	+75	+100
数字范围	−45	−15	+15	+75	+100
颜　色	红色	黄色	淡黄	绿	
解　释	气	油与气	油		

表 10-35　塔里木盆地过成熟纯海相源岩中干酪根的光学评价方法

	沥青	镜状体	动物碎屑	藻类体	无定形体
有机质类型数	−100	−65	−45	−35	−15
数字范围	−100	−45	−15		
颜　色	黑色	褐黑色			
解　释	气				