

塔里木盆地海相烃源岩显微组分的分类及其岩石学特征

刘大锰

(中国地质大学,北京 100083)

金奎励 艾天杰

(中国矿业大学北京研究生部,北京 100083)

摘要 通过对塔里木盆地海相烃源岩所作的详细有机岩石学研究,提出了适合该盆地的以全岩及干酪根为基础的海相烃源岩显微组分分类方案,系统地阐述了各显微组分光性、成因及岩石学特征。在该盆地早古生代源岩中发现了藻类型沥青、动物型沥青、镜状体及海相惰性体等几种显微组分。该分类方案考虑了成熟度的影响,因此也适用于其它地区海相烃源岩。

关键词 塔里木盆地 海相烃源岩 显微组分 分类 岩石学

第一作者简介 刘大锰 男 29岁 博士后 有机岩石学及煤岩学

0 引言

塔里木盆地海相烃源岩主要包括下二叠统、石炭系、奥陶系及寒武系。其中下二叠统及石炭系为海陆交互相源岩,有陆源有机质的输入,而寒武系及奥陶系为纯海相源岩,没有陆源物的混入。寒武系纯海相源岩的 TOC 为 0.47%(217 个样),奥陶系为 0.20%(842 个样);有陆源物混入的石炭系源岩为 0.56%(347 个样),下二叠统为 0.9%(111 个样)^[1]。国外海相碳酸盐岩的 TOC 为 0.67%(118 个样,18 个沉积盆地)^[2]。由统计数字知,塔里木早古生代海相源岩的有机质丰度总体来看是偏低的。我们认为主要是由于下古生界有机质成熟度偏高引起的。另一方面,作为下古生界主要源岩—碳酸盐岩的生烃机理及烃转化率高^[3]也使得下古生界海相源岩有机质丰度偏低。此外,由薄片观察发现,碳酸盐岩中的有机质赋存形式主要为晶缝型、裂缝型及孔隙型等几种,在成岩作用及结晶作用过程中,有机质可能沿晶缝、裂隙及孔隙发生运移丢失,也会造成残余有机质偏低。再者,据雍天寿等^[4]的资料,塔里木早古生代碳酸盐岩主要为台地相、台盆相沉积,属于典型的盆地相沉积,原始有机质丰度偏低也是造成目前塔里木下古生界源岩有机质丰度偏低的一个不可忽视的原因。

针对塔里木盆地海相烃源岩的上述特点,有必要提出一个合理的有机质分类方案,以便正确评价海相源岩的生烃潜力。本文以塔里木海相源岩有机岩石学特点为基础,参考了国际上有影响的分类,提出了塔里木海相源岩显微组分分类方案。

1 塔里木海相烃源岩显微组分的分类

煤显微组分分类已在国际上广泛使用并在国际煤岩学手册中作了详细论述,分类以光片研究为基础,侧重于化学工艺性质和植物结构保存程度。而分散有机质分类由于其成因上的复

杂性,在分类原则及研究方法上远未取得共识。目前国际上源岩有机成分的划分有三个不同体系。一是从全岩角度考虑的煤岩学体系,代表人物是 Teichmüller、Ottenjann、Alpern、Robert 等^[5]。二是从干酪根角度考虑的孢粉学体系,主要代表人物有 Bostick、Combaz 和 Burgress 等^[6]。再就是采用全岩和干酪根方法统一的第三分类体系,该分类的特点就是采用同一术语,对无定形有机质作了划分,并注重成熟度的影响^[7]。

由于海相烃源岩在有机组分赋存形式、有机组分组成及成烃性方面与煤及陆相烃源岩存在很大差异。而上述分类方案均侧重于陆相烃源岩。因此针对海相烃源岩特点和评价需采用不同的有机组分分类方案。本文通过对塔里木盆地海相烃源岩所作的详细有机岩石学研究,提出了适合该盆地的海相源岩显微组分分类方案,列于表 1。现将制订分类所考虑主要观点阐述如下:

表 1 塔里木盆地海相源岩有机组分分类方案

Table 1 The classification scheme of macerals of the marine hydrocarbon source rocks in the Tarim basin

		低成熟—高成熟		过成熟
		全岩	干酪根	
原生形态有机质	陆生形态有机质	惰性组 丝质体 半丝质体 粗粒体 菌类体 碎屑惰性体	惰性组 丝质体 半丝质体 粗粒体 菌类体 碎屑惰性体	惰性组
		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
	水生形态有机质	藻类组 聚源组 动物有机组 动物碎屑体 动物软体 镜状体组 海相惰性体组	藻类组 聚源组 动物有机组 动物碎屑体 动物软体 镜状体组 海相惰性体组	变藻类体组 微粒体组 各向异性 动物碎屑体 变镜状体组 海相惰性体组
		原生无形态有机质	沥青质体组(含晶胞有机质)	无定形体组
	次生有机质	微粒体组 渗出组(油滴、油膜) 沥青组 前油沥青 动物型沥青 藻类型沥青 后油沥青 再循环沥青 包体有机质	微粒体组 沥青组	微粒体组 各向异性沥青组
矿物沥青基质			无定形体组	微粒体

(1)本分类采用透射光及反射白光和反射荧光相结合,以干酪根方法为主,再结合全岩方法来解释组分的成因。

(2)本分类中,首先据组分的成因及结构特征将有机组分分作三大类:原生形态有机质、原生无形态有机质及次生有机质。陆生形态有机质即为高等植物成因的三大组分,并出现在晚古生代海相源岩中。矿物沥青基质单独列出,不作为显微组分。

(3)水生形态有机质指由水生生物所形成的形态有机组分,包括:藻类组、疑源组及动物有机组。又将镜状体组(Vitrinite-Like macerals)和海相惰性体组列入这一大组。我们没有按传统的划分方法将藻类组分为结构藻类体和层状藻类体,这种划分方法不符合塔里木早古生代海相源岩的实际情况。但在石炭—二叠系源岩中可区分出这两种藻类体。疑源组主要指那些在成因、来源上尚不清楚的一类有机组分,因其具特殊意义而被单独列为一组。动物有机组分为由动物外皮形成的动物碎屑体(笔石、几丁虫、虫牙、牙形刺、介形虫及有孔虫等)及动物软体两个亚组分。

(4)原生无形态有机质主要指沥青质体(包括晶胞有机质),在干酪根中归入无定形体。本分类对于无定形体没有详细划分,因为在早古生代成熟度偏高,大多数无定形体已无荧光,无需细分。但在晚古生代海相源岩中,据干酪根透光及荧光特点仍可分出四类无定形体:惰质无定形体、腐殖无定形体、菌解腐殖无定形体及藻无定形体。

(5)次生有机质包括微粒体组、渗出组(油滴、油膜)、沥青组及包体有机质。根据生油成熟期及再作用方式沥青组可分为前油沥青、后油沥青及再循环沥青;又根据沥青形成的母质类型将前油沥青分为藻类型沥青和动物型沥青。包体有机质指包含在晶体中的有机质,即有机包裹体。

(6)分类考虑了成熟度影响。因为塔里木晚古生代海相源岩已进入成熟期,有的地区达高成熟期;早古生代源岩已达成熟—高成熟期,部分达过成熟期。在这样的热演化背景下,各有机组分也发生了相应的变化(表1)。

2 塔里木海相源岩显微组分的岩石学特征

2.1 惰性组、镜质组及壳质组

镜下观察表明,惰性组主要呈碎屑状、条带状及片状出现,反射色灰白—白,主要见有丝质体、菌类体、半丝质体及碎屑惰性体。

镜质组在镜下可分为正常镜质体、富氢镜质体及碎屑镜质体。富氢镜质体是一种较常见的镜质组类型,主要表现在反射色偏低、镜质体反射率受抑制。

壳质组在晚古生代源岩中较少见,主要见有少量小孢子体、角质体及碎屑壳质体,偶见树脂体。过成熟时,壳质组表现出明显地脱氢、脱氧、增碳,反射色增高,并出现各向异性。

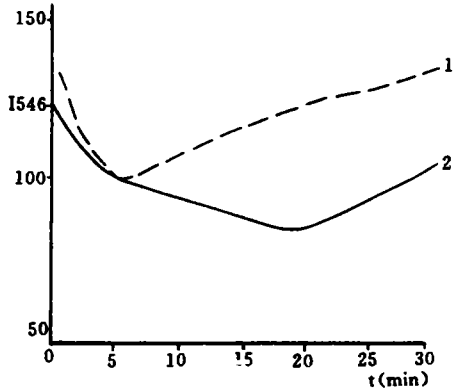
2.2 藻类组

针对塔里木早古生代海相源岩与晚古生代海相源岩中藻类体的差异性,我们分别予以阐述。

2.2.1 石炭—二叠系源岩中的藻类组

主要为结构藻类体,少见层状藻类体。反射光下呈球形、椭圆形,具黄—黄褐色荧光,部分藻胞腔荧光弱,胞壁荧光强,呈空心藻状。具负正荧光变化(图1)。由荧光来看,藻类体已达成

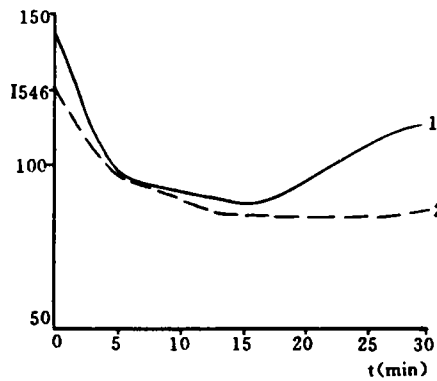
熟期,有的达高成熟期。



1. LN16井 2. MX₁井

图1 石炭系源岩中结构藻类体荧光变化

Fig.1 Fluorescence alteration of telalginites in the Carboniferous source rocks



1. YM₂井,579m 2. YM₂井,5981m

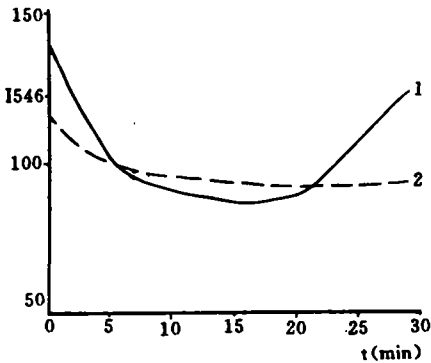
图2 原始球状的 *G. prisca* 荧光变化

Fig.2 Fluorescence alteration of the early growth stage coccoidal *G. prisca*

2.2.2 寒武—奥陶系源岩中的藻类组

主要为蓝藻藻类体,次为绿藻藻类体,另有少量褐藻藻类体及红藻藻类体。蓝藻为国外生油岩中常见的粘球形藻(*Gloeocapsomorpha Prisca*)及类胶球藻(*Myxococcoides*)等。绿藻主要有原始球形藻(*Protosphaeridium*)及四分球藻(*Tetraphycus*)等。

(1)粘球形藻(*G. Prisca*):是蓝藻中较原始的一个属,单细胞或多细胞,壁厚。据荧光性质及生烃替力,粘球形藻可分为三种。a、原始球状的(Coccoidal)(图版 I-1),具黄绿色荧光,随深度增加 λ_{max} 红移,荧光变化由负正型—负型(图2),见微粒体;b、胶群体型(Palmelloid)(图版 I-2),具黄—黄褐色荧光,随深度增加, λ_{max} 红移,且荧光变化由负正型变为负型(图3),不见微粒体;c、叠层石状的(Stromatolitic),呈层分布,具较强的黄—褐黄色荧光,随深度增加 λ_{max} 变化不明显,负正荧光变化。如在 TZ₁ 井奥陶系,当 R^o 达 1.5%—1.6%时藻类体仍具较强荧光,不见微粒体,说明目前仍具生烃潜力。上述成烃差异,一是可能与生物种属有关,叠层石状的 *G. Prisca* 具高脂族烃所组成的生物聚合物,主要为藻外层细胞形成的耐降解的大分子^[8,9];二是叠层石状的 *G. Prisca* 可看作巨型晶胞有机质,从而推迟了它的成熟期。



1. LN₁₄井,5332m 2. LN₁₄井,5522m

图3 胶群体型 *G. prisca* 荧光变化

Fig.3 Fluorescence alteration of palmelloid *G. prisca*

(2)类胶球藻(图版 I-3),细胞群呈球形或椭球形。群体细胞被包在一共同的均匀不成层的有机基质中。具黄—褐色荧光,荧光变化为不变型。

(3)原始球形藻(图版 I-4),单细胞,不具胶鞘,呈球形至亚球形,直径 20—30 μm ,壁厚,边缘略具锯齿。具黄—黄绿色荧光,弱的负正荧光变化。

2.3 原生无形态有机质

(1)沥青质体,在石炭—二叠系源岩中略具暗褐色荧光,寒武—奥陶系源岩中多变为变沥青质体,灰白—白色条纹状,伴生微粒体,表明有过成烃贡献。紧密置于矿物颗粒间的微小晶胞有机质和“巨型”晶胞有机质均是其中不同类型。

(2)矿物沥青基质,因为它是与矿物颗粒混杂而被吸附的,一般不将其看作组分,在分类表中,我们将其单列。主要靠荧光来鉴别,成熟度不高时($R^o < 0.65\%$)荧光变化为正型;在成熟期(R^o 0.6%—1.1%)具较强的负正变化;成熟度较高阶段($R^o > 1.2\%$)荧光变化为负型(图 4)。富集干酪根时进入无定形体。

2.4 动物有机组

塔里木常见的动物有机遗体是无脊椎动物的残体,包括笔石、几丁虫、牙形刺、有孔虫、苔藓虫、海绵及一些节肢动物,保存的只是外皮(残壁)。上述生物的软体部分在沉积阶段部分降解掉了,部分转为无定形的分散有机质而保留下来,外皮有机质发生演化,但仍属于有机组分,对成烃仍有贡献。至于介壳类动物的壳常常矿化而不具成烃能力。

2.4.1 动物软体

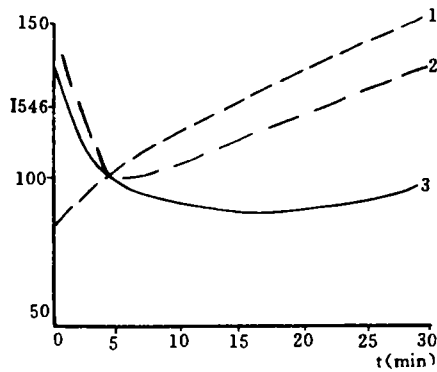
较难保存,大部分被细菌降解成无定形体而参与成烃。我们在柯坪奥陶系印干组黑色页岩中发现保存完好的圆货介,光片下观察发现软体部分仍然遗留,为灰白色,轮廓清楚,无突起—低突起,具黄褐荧光(图版 I-5)。我们认为这是由于壳体呈闭合状态,使得其中的软体仅遭受热演化,细菌降解作用较微弱,以至保存至今。

2.4.2 动物碎屑体

笔石:由光性特征的研究发现,笔石外皮具较强的双轴光性各向异性。往往具粒状、纹层状的显微构造(图版 I-6、7)。透射光下呈黄褐—红褐色,见网格状内部结构。在平行层理所切光面上,所测笔石最大反射率较垂直层面的高^[10]。另外,笔石最大反射率随成熟度增加而有规律的变化,如 QK₁ 井奥陶系源岩在 2802m 时 R_{max}^o 为 1.45%(垂直层面),在 3211m 时 R_{max}^o 为 2.15%(垂直层面)。在 YM₁ 井、萨尔干及 C₁ 井等地均发现有笔石碎屑,其反射率经换算后可以与同层位的沥青反射率对比。因此,在缺乏镜质体的前泥盆纪地层中,可以用笔石 R_{max}^o 作为烃源岩有机质成熟度指标。

几丁虫:具有与笔石类似的化学成分和近似的生活历程^[11]。油浸反射光下呈轴对称的瓶状等形态,浅灰色(图版 I-8)。具光学各向同性的特点。在 YM₁ 井 5300m 处,几丁虫 R^o 为 0.95%,换算后可与沥青反射率对比。本次研究的几丁虫较少,得不出规律性结论,但据 Bertrand 等^[12]和 Goodarzi^[13]等的研究,几丁虫 R^o 随成熟度增加而增大,因此几丁虫 R^o 亦可作为源岩成熟度标志。

有孔虫:在本区奥陶系及石炭系源岩中均见有孔虫。在 LN₄₆ 井奥陶系泥灰岩中有孔虫具



1. 三叠系源岩 2. 石炭系源岩 3. 奥陶系源岩

图 4 矿物沥青基质荧光变化

Fig. 4 Fluorescence alteration of mineral-bituminous matrix

平旋式、多房室壳,反光下呈灰白色,轮廓清楚,具褐黄色荧光。石炭系泥岩及灰岩中亦见有孔虫,油浸下灰—灰白色,具单列式多房室壳及螺旋壳,形态完整,具黄褐色荧光。

此外,在 LN₄₆井奥陶系灰岩中见有一动物遗体,呈闭合环状顺层分布,外层具黄色荧光而腔中无荧光,可能是软体部分被降解参与成烃。另外一带状动物碎片,在油浸下呈浅灰—灰色, R^o 为 0.50%,具黄褐色荧光,且明显地显示出微层状构造(图版 II-1)。据推测是某种节肢动物外皮。

2.5 镜状体及海相惰性体

镜状体:指前泥盆纪海相地层中出现的类似镜质体的一种显微组分^[14]。国内尚无人公开报道。在油浸反光下呈灰色,碎屑状,轮廓分明,部分表面见有凝胶化作用后留下的气孔,呈分散状分布于岩石基质中,既不顺层,也不出现在裂隙中与沥青相区别(图版 II-2、3)。可能是低等水生生物外皮纤维素、多糖等经过凝胶化作用而形成的,是一种原生组分。据 Buchardt 和 Lewan^[14]的研究,镜状体 R^o 的演化径迹与受抑制的镜质体的相同。我们测定了少数井中的镜状体 R^o,如 C₁井深 5200m 处 R^o 为 0.8%,TZ₄井深 3477m 处 R^o 为 0.85%,TZ₅井深 3875m 处 R^o 为 0.95%,其 R^o 值与用沥青测定后换算的 R^o 近似。

海相惰性体:主要由动物的硬质部分演变而来,在过成熟阶段部分活性组分通过去氢、脱氧、增碳也可转变成惰性组分。呈灰白—白色,反射率极高,一般在 3%以上,形态不规则,具各向同性(图版 II-4)。

2.6 次生有机质

2.6.1 沥青组

(1)前油沥青 是干酪根降解为原油的过渡产物。据研究前油沥青至少有两种成因类型,即藻类型沥青和动物型沥青。

藻类型沥青 灰—浅灰色,呈园球形,30—50μm,边缘有锯齿,低突起—中等突起,表面不均一。部分在兰光下具极弱的暗褐色荧光。我们认为是由群体藻在降解为原油的过程中形成的且形成较晚(图版 II-5)。

动物型沥青 油浸反光下呈灰—浅灰色,环状或破碎的弯曲状,表面光滑与动物碎屑相区别,中等突起,且中间软体大多被黄铁矿化(图版 II-6)。可能是由动物外皮(部分软体)在热演化过程中形成的。

(2)后油沥青 原油热裂解产物,发生距离不等的运移,主要产出于脉、裂隙及孔隙中。其 R^o 一般不能作为热指标。

(3)再循环沥青 产出于泥岩中,碳酸盐岩中较少,产状与孔隙、裂隙无关,顺层分布,边缘有氧化环,显示再搬运痕迹。

(4)沥青光性结构演变 据此次研究,沥青光性结构可分为各向同性及各向异性。在低成熟—成熟阶段,显示均一结构;R^o>1.5%—2.0%时,沥青显示不均一结构,转变为各向异性沥青,如 QK₁井(3701m)沥青具粒状镶嵌结构(图版 II-7),详见表 2。

2.6.2 微粒体

由直径约 50nm 的极细小的颗粒组成的与类脂组有关的颗粒集合体,是富氢组分生烃残余物。在 QK₁井 3701m 处发现由群体藻转变而来的微粒体,轮廓清晰,反射色极高(图版 II-8)。

表2 塔里木海相源岩中不同光性结构沥青反射率

Table 2 Bitumen reflectance with different optical structure in the marine source rocks of Tarim basin

井号	井深 (m)	光性结构类型	R_{max}^0 (%)	ΔR (%)
QK ₁	2732	均一结构	1.35	0
QK ₁	2975	各向同性	1.85	0.21
QK ₁	3211	各向异性	2.58	0.98
TD ₁	2975	镶嵌结构	2.47	0.85
TD ₁	3937	镶嵌结构	3.35	1.49
TD ₁	4669	粒状镶嵌结构	3.85	2.43
KN ₁	4544	粒状镶嵌结构	3.61	1.83

3 结 语

通过此次研究,主要获得以下几点成果与认识:

(1)提出了塔里木海相源岩显微组分分类方案,该分类也适用于其它海相源岩研究。

(2)系统地研究了塔里木海相源岩显微组分的光性、成因及其演变规律。并在该盆地古生代海相源岩中鉴定出了藻类型沥青、动物型沥青、镜状体及海相惰性体,这在国内尚属首次发现,该发现丰富了我国海相源岩有机岩石学研究。

收稿日期:1994年11月10日

参 考 文 献

- [1]朴明植,1992,论塔里木盆地寒武—奥陶系生油岩热演化模式及生油潜力,塔里木盆地油气勘探论文集,乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,343—353。
- [2]Tissot, B. P., 1989,石油形成与分布,徐永元等译,北京:石油工业出版社,88—131。
- [3]郝石生、贾振远,1989,碳酸盐岩油气形成与分布,北京:石油工业出版社,133—197。
- [4]雍天寿,1992,塔里木盆地油气勘探论文集,乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,354—362。
- [5]Teichmuller, M., 1986, *Org. Geochem.*, 10:581—599。
- [6]Burgess, J. D., 1974, *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 153:19—30。
- [7]肖贤明、金奎励,1990,中国陆相源岩显微组分的分类及其岩石学特征,沉积学报,8(3):22—34。
- [8]Douglas, A. G. et al., 1991, *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 51:275—291。
- [9]Burwood, R. et al., 1990, *Org. Geochem.*, 16(1—3):325—338。
- [10]Goodarzi, F. and Norford, B. S., 1989, *Int. J. Coal Geol.*, 11:127—141。
- [11]Goodarzi, F. and Higginst, A. C., 1987, *Marine and Petr. Geol.*, 4:1353—1359。
- [12]Betrand, R. et al., 1987, *AAPG Bull.*, 71:951—957。
- [13]Goodarzi, F., 1985, *Mar. and Petr. Geol.*, 2:72—78。
- [14]Buchardt, B. and Lewan, M. D., 1990, *AAPG Bull.*, 74:394—406。

A Petrographic Classification and Organic Petrological Characteristics of Macerals of the Marine Hydrocarbon Source Rocks in the Tarim Basin

¹*Liu Dameng* ²*Jin Kuili* and ²*Ai Tianjie*

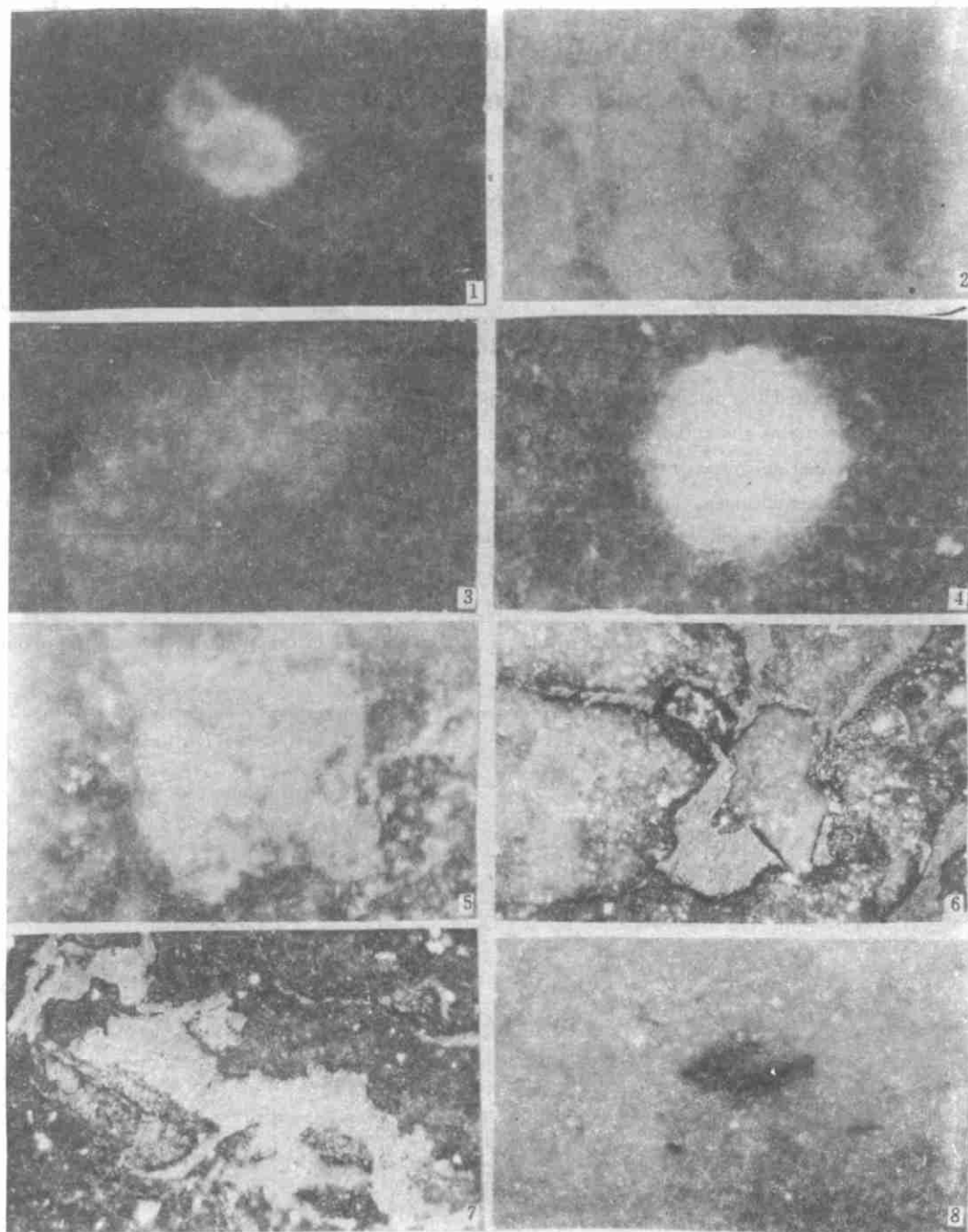
(1. China University of Geosciences, Beijing 100083)

(2. Beijing Graduate School, China University of Mining and Technology, Beijing 100083)

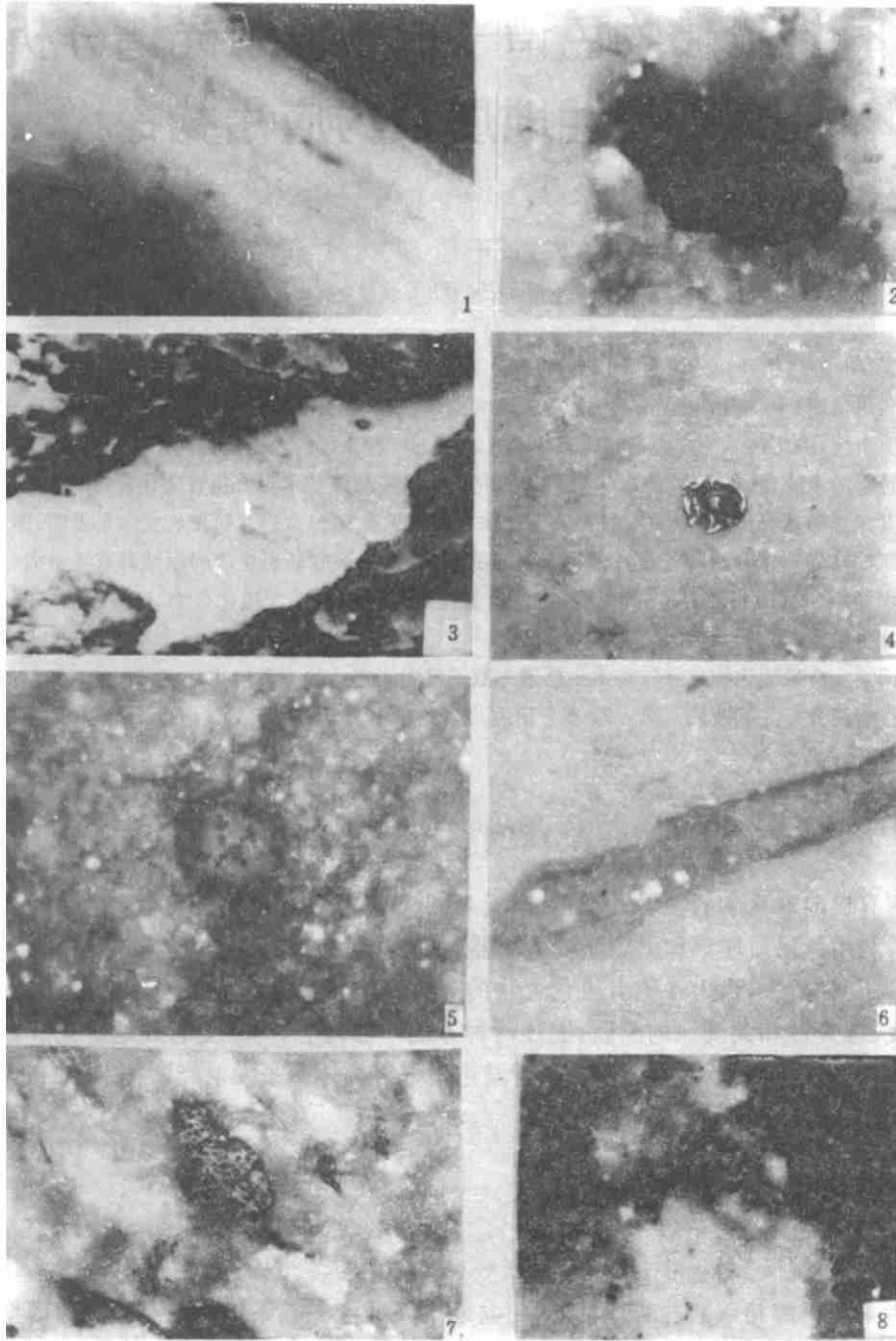
Abstract

Having investigated the detailed organic petrological characteristics of the marine hydrocarbon source rocks in the Tarim basin, the authors systematically elucidate the optical properties and origins of macerals occurring in these marine source rocks. Four new macerals have first been recognized in the source rocks, which are called as alorbitumen, zobitumen, vitrinite-like macerals and marine inertinite. On the basis of this observation, a petrographic classification of macerals of the marine hydrocarbon source rocks in the Tarim basin has been suggested. This scheme is based on the research of the polished surfaces of the whole rocks and the thin sections of kerogen. The influence of maturity level on optical properties of macerals is emphasized in this scheme, so this classification scheme is also suitable to other marine hydrocarbon source rocks.

Key words: Tarim basin marine hydrocarbon source rocks macerals classification petrology



1-1. 原始球状的 *G. prisca*, YM₂ 井, 奥陶系, ×500, 兰光激发。 1-2. 胶群体型的 *G. prisca*, LN₁₄ 井, 奥陶系, ×500, 兰光激发。 1-3. 类胶球藻, YM₂ 井, 奥陶系, ×500, 兰光激发。 1-4. 原始球形藻 (protosphaeridium), 柯坪, 奥陶系, ×500, 兰光激发。 1-5. 圆货介, 萨尔干, 奥陶系, 兰光激发, ×500。 1-6. 笔石, 具粒状显微结构, 萨尔干, 奥陶系, ×500, 油浸反光。 1-7. 笔石, 具纹层状显微结构, 萨尔干, 奥陶系, ×500, 油浸反光。 1-8. 几丁虫, YM₁ 井, 奥陶系, ×500, 油浸反光。



1-1. 节肢动物碎屑, LN₁₆井, 奥陶系, ×500, 兰光激发。 1-2. 镜状体, TZ₁井, 石炭系, ×500, 油浸反光。 1-3. 镜状体, C₁井, 志留系, ×500, 油浸反光。 1-4. 海相蜡性体, TZ₄井, 奥陶系, ×500, 油浸反光。 1-5. 藻类型沥青, YM₂井, 志留系, ×500, 油浸反光。 1-6. 动物型沥青, YM₂井, 奥陶系, ×500, 油浸反光。 1-7. 具粒状镶嵌结构的沥青, QK₁井, 奥陶系, ×500, 干物镜。 1-8. 藻微粒体, TD₁井, ×500, 干物镜。