

# 华北太原组镜质组中的超微类脂体 及其煤性质异常原因

王飞宇 何 萍

(石油大学,北京 102200)

傅家谟 刘德汉

(中国科学院广州地球化学所,广州 510640)

赵师庆

(淮南矿业学院,淮南 232001)

史国顺

(北京理化分析测试中心,北京)

**提 要** 利用超薄切片透射电镜分析技术,对华北太原组和山西组煤中镜质组的超微结构和组分进行了分析,确认太原组镜质组中含有较丰富的超微类脂体,且超微类脂体主要来自菌藻类,山西组和太原组镜质组中超微类脂体数量存在明显差异。证实镜质中超微类脂体数量和其化学性质紧密相关。从超微组分层次解释了山西组和太原组镜质组性质差异的原因,并分析讨论了太原组煤性质异常性的原因和煤还原程度问题,提出成煤过程中明显菌藻类低等生物贡献是太原组煤性质异常的一个重要原因。

**关键词** 超微类脂体 超微层次煤岩学 透射电镜 镜质组 太原组煤 还原程度

**第一作者简介** 王飞宇 32岁 博士 副教授 地球化学和有机岩石学

## 引 言

中国华北聚煤区石炭系太原组煤( $C_{2t}$ )与二叠系山西组( $P_{1s}$ )煤相比,具有异常高的挥发份产率、焦油产率、粘结性和生烃潜力<sup>[1-3]</sup>。我们对华北东部鲁南和苏北地区太原组和山西组煤性质的差异性和原因进行了煤岩学、煤化学、有机地球化学、沉积学、古植物学多领域的综合研究<sup>[4-9]</sup>,认识到太原组和山西组镜质组性质的差异性是其煤性质差异性的主要原因。煤和烃源岩中镜质组性质呈现了明显不均一性和多变性,这不仅影响到如何评价腐植煤的生烃潜力和粘结性、结焦性,也影响到镜质体反射率作为有机成熟度标尺的可靠性。利用超薄切片的透射电镜分析技术从超微层次的角度对镜质体性质不均一性和多变性取得许多重要认识,Taylor<sup>[10,11]</sup>认识到澳大利亚煤中镜质体可分为二类,一是呈均质的镜质体A,它是具有正常煤级反射率特征的镜质体;二是非均质的二组分组成的镜质体B,镜质体B中一种组分与镜质体A性质相似,而另一种与壳质组相似,呈页片状,页片厚度不超过0.1 $\mu\text{m}$ ,并认为正是这种具壳质体性质的页片状物质导致了镜质体B反射率较低和挥发份产率较高。王飞宇等<sup>[12]</sup>对中国煤和烃源岩镜质组超微结构分析表明,镜质组中普遍存在亚显微或超微层次大小( $<1\mu\text{m}$ )类脂体,富氢镜质体的本质在于其丰富的超微类脂体含量,许多腐植煤有无生成液态烃的希望及生成气态烃的干湿程度取决于超微类脂体的含量。本项研究利用镜质组超薄切片的透射电镜(TEM)分析,发现太原组镜质组中含有较为丰富的超微类脂体,从

超微结构和超微组分层次,分析了太原组煤和镜质组性质异常的原因。

## 1 样品

样品采自华北晚古生代含煤岩系代表性地区的太原组和山西组主要可采煤层,包括华北东部鲁南和苏北的兖州、滕县、陶枣、贾汪、丰沛煤田的18个矿区,以及华北西部陕甘宁盆地府谷、石咀山煤田6个矿区。样品的煤阶范围为镜质组反射率0.50%~1.32%,且以0.60%~0.70%为主。镜质组样品以手选和重液浮选分离的方法富集<sup>[7]</sup>。镜检确认其中镜质组含量大于95%。本项研究分析的镜质组样品共45个,表1列出了华北东部20个太原组镜质组和13个山西组镜质组样品状况。

## 2 实验方法

镜质组 TEM 分析采用超薄切片样品,超薄切片样品制备时采用金刚石刀在 LKB-5 型超薄切片机上进行;部分超薄切片用枸橼酸铅染料染色,采用 EM-400 型和 EM10C 型透射电子显微镜分析样品超微结构,并与 IPS-500 型图像分析仪联用,以便对超微类脂体定量。

TEM 分析的镜质组样品均进行了详细煤岩学分析,包括了镜质体反射率,显微组分定量,相对荧光强度和光变幅度( $\Delta 160$ )测定。另一方面,对镜质组的富集物进行了挥发份产率( $V_{dmmf}\%$ )分析。荧光强度和光变幅度测试条件:100W 超高压汞灯,激发系统 BG12+BG38,配用 510nm 阻挡滤片,标样为 Jacob 铀酰玻璃,标样荧光强度定为 100。

## 3 结果

### 3.1 超微类脂体(Submicroliptinite)的确认

常规光学显微镜极限分辨率约为 0.2 $\mu\text{m}$ ,极限放大倍数为 2000 倍。实际上使用光学显微镜对微米级( $\mu\text{m}$ )以下的组分和结构不能明确区分和认识,煤岩学中“显微组分”的概念指的是光学显微镜下可识别的组分,国际煤岩学会(ICCP)规定显微组分的描述必须表示它们在入射光用放大倍数 25 倍至 50 倍的油浸物镜所观察到的外貌。“超微组分”(Submicromaceral)的概念反映的是光学显微镜难以识别,主要靠 TEM 识别的组分,这种组分一般在微米级和微米级以下,并尽可能建立超微组分与母质来源的关系,如超细纹层(Ultralaminae)主要来源于绿藻类抗分解外壁<sup>[13]</sup>。

镜质组中绝大多数是无结构镜质体,根据 TEM 观察,许多无结构镜质体,特别是基质镜质体,显示了极为明显的非均质性。这种非均质性在常规光学显微镜下难以识别,在放大倍数 5000~80000 倍,大多数无结构镜质体中可观察到超微类脂体和亚微粒体,说明它具有复杂微细结构。镜质体在 TEM 下显现的非均质性在灰度上主要分为二种组分,如图 1 所示。

A. 暗,颜色很深,主要是灰黑色的腐植物质:为腐植基质,其原始物质主要来源于木质素、纤维素等。

B. 亮,清晰的超微类脂体:灰度很低,呈白色,反映其电子密度低,说明其氢含量相对较高,这种物质灰阶分布与壳质体相同,重金属染色剂对它不起作用。它在大小上为微米级和微米级以下,一般比微粒体还要小,在形态上多呈碎屑状、不规则细条带状、纹层状、卵形等,

纹层或页片灰度一般小于 2000 Å。

有时在镜质中还可观察到黑色微细碎屑惰质体、微粒体和亚微粒体,其中呈颗粒状、大小在微米级以下的亚微粒体十分明显。

表 1 镜质中超微类脂体的数量和镜质体性质

Table 1 Amount of submicroliptinite in vitrinite and vitrinite properties

样 品 号	采样地点及层位	镜质体反射率 %R <sub>s</sub>	超微类脂 体含量 SL%	1650nm rel%	$\Delta I_{60}/I_0$ 650nm	Vdmmf (%)
太原组镜质组						
V-1	徽山湖钻孔 14 煤层	0.60	33.5	1.12	17.6	50.2
V-4	徐州韩桥矿 21 煤层	0.68	10.5	0.59	6.43	47.2
V-5	徐州青山泉矿 21 煤层	0.69	20.1	0.69	11.62	46.0
V-6	兖州唐村矿 14 煤层	0.62	26.4	0.98	18.4	45.2
V-7	徽山湖钻孔 21 煤层	0.60	28.9	1.02	16.3	47.5
V-8	兖州北宿矿 16 煤层	0.63	25.3	0.81	17.6	40.6
V-9	徐州夏桥矿 17 煤层	0.64	18.5	0.83	12.31	43.2
V-10	兖州北宿矿 16 煤层	0.65	16.2	0.86	7.62	46.7
V-20	兖州唐村矿 14 煤层	0.61	9.8	0.53	8.76	45.3
V-22	徐州韩桥矿 20 煤层	0.67	15.6	0.57	9.42	48.1
LC-7	兖州唐村矿 14 煤层	0.60	24.9	0.97	14.6	44.9
V-32	兖州北宿矿 14 煤层	0.60	21.9	1.32	8.04	48.7
V-33	陶枣陶庄矿 14 煤层	0.69	21.3	0.87	10.2	46.5
C-10	陶枣枣庄矿 16 煤层	1.04	4.2	0.64	3.26	34.7
C-8	陶枣朱子埠矿 16 煤层	0.93	6.83	0.82	5.20	39.4
C-6	陶枣陶庄矿 16 煤层	0.84	12.4	0.78	3.24	39.9
C-12	丰沛姚桥钻孔 17 煤层	0.72	18.6	0.88		42.6
C-4	滕县武所屯 14 煤层	0.73	16.3	0.64		47.1
C-7	陶枣甘村矿 16 煤层	0.87	10.7	0.72	3.41	38.2
C-9	陶枣枣庄矿 14 煤层	0.98	6.2	0.72	3.02	36.4
太原组镜质组热模拟系列样品(热模拟实验条件见文[3])						
LC-7(原样)		0.60	24.9	0.97	14.6	44.9
LC-7-250℃(100h)		0.69	17.2	1.04		
LC-7-300℃(100h)		0.90	4.78	0.86		
LC-7-350℃(100h)		1.32	无	0.28		
山西组镜质组						
V-16	滕县柴里矿 3 煤层三分层	0.64	8.83	0.39	4.30	38.9
V-13	陶枣陶枣 3 煤层顶	0.70	无			
V-17	兖州兴隆庄 3 煤层二分层	0.66	6.65	0.36	2.37	37.6
V-18	兖州南屯矿 3 煤层二分层	0.67	5.72	0.27	1.14	37.4
LP-1	兖州南屯矿 3 煤层一分层	0.68	7.3	0.35	6.20	38.6
P-1	丰沛孔庄矿 7 煤层一分层	0.67		0.37		40.1
P-4	徐州大黄山矿 7 煤层	0.81		0.57		39.8
P-5	陶枣陶庄矿 3 煤层	0.95		0.78		34.3
P-6	陶枣山家林矿 3 煤层	1.01		0.61		29.6
P-7	陶枣枣庄矿 3 煤层	1.08		0.48		28.7



图1 无结构镜质体中的超微类脂体。

×65000倍,兖州煤田唐村矿太原组14煤层,镜质体反射率为0.60%

Fig. 1 Submicroliptinite in collinite, ultrathin sections with heavy metal staining, ×65,000, samples from the coal seam 14 of Taiyuan Formation, the Tangeun mining area, Yanzhou Coalfield, 0.60% $R_r$ .

在TEM下根据各显微组分的灰阶和衬度的差异,确认超微类脂体是容易的,也是十分可靠的。值得注意的是,一是要注意区分超微类脂体与孔隙和孔洞,二者在灰阶,突起,形态上明显不同,类似于常规显微镜透射光下特征;二是应注意区分超微类脂体与矿物质(特别是粘土矿物),利用电子衍射图象和探针分析易于区分。

根据TEM下形态和结构可进一步区分超微类脂体类型,但目前准确确认超微类脂体的成因类型仍是困难的,并带有一定程度上推测性,有些超微类脂体保留了原始的组织形态,易于确认其成因,如超细纹层来源于绿藻类抗分解外壁,形态上呈明显纹层状结构。据作者已有的研究<sup>[12]</sup>,超细纹层可分为以下8种类型,包括超微角质体、超微孢子体、超微木栓质体、超微藻质体、细菌降解类脂体、细菌膜(Bacterial membranes)、超细纹层,其中前四种来自高等植物,后四种则来自细菌和藻类。作者认为超微类脂体较多来

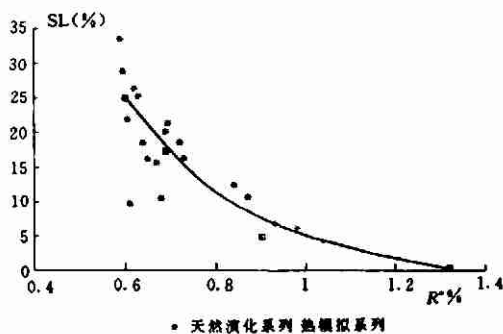


图2 镜质体中超微类脂体数量随煤阶的变化

Fig. 2 Relationship between the amount of submicroliptinite in vitrinite and coal rank

源于菌类和藻类的生物降解产物和残留物,主要由抗分解的高脂肪生物聚合物组成的生物膜在 TEM 下最为明显。根据形态和结构分析,太原组煤中超微类脂体主要来自低等生源。

通过 TEM-IPS 分析可获得镜质体中超微类脂体的大致含量,数据已列于表 1 中。在镜质体反射率为 0.60%~0.70%左右时,太原组镜质体中超微类脂体含量一般在 8%~25%之间,平均为 16%,而山西组镜质体中其含量则一般在 3%~10%之间,平均仅为 5%。

### 3.2 镜质体中超微类脂体演化

镜质体中超微类脂体数量随煤阶的变化关系如图 2,随着煤阶增高,其数量总体上趋于减少,特别是在 0.70%~0.90% $R_o$  阶段,其数量迅速减小,这是因为在此阶段超微类脂体经历了明显的沥青化作用,一方面生成液态烃和气态烃,表现为煤和镜质组中可溶有机质和流动相数量的明显增加;另一方面,转变为亚微粒体和微粒体,超微类脂体丰度与微粒体,亚微粒体丰度之间存在消长关系。在煤阶高于镜质体反射率 1.1% $R_o$  时,镜质体中已很少见有超微类脂体。这一发现解释了镜质体中细分散微粒体的成因问题,也说明超微类脂体易微粒化,它是煤成烃主要母质之一。

### 3.3 镜质体中超微类脂体数量和煤化学工艺性质、镜质体荧光性的关系。

镜质体挥发份产率(Vdmmf)与超微类脂体数量的关系如图 3 所示,反映了二者之间的正相关关系,在镜质体反射率为 0.60%~0.70% $R_o$  时,太原组镜质体挥发份产率一般在 45%以上,而山西组镜质组则均在 40%以下,这两组煤的挥发份产率差异与镜质组情况基本类似,说明太原组镜质组和煤中挥发份产率较高与其较丰富超微类脂体数量有关。

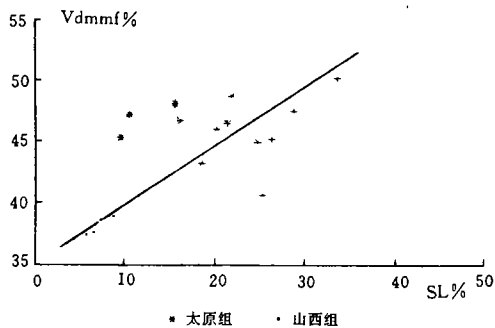


图 3 镜质体挥发份产率(Vdmmf)与超微类脂体数量的关系

样品镜质体反射率范围 0.60%~0.70%

Fig. 3 Relationship between the yield of volatile matter(Vdmmf) and the amount of submicrolipitinite in vitrinite,

vitrinite rank ranging from 0.60% to 0.70%

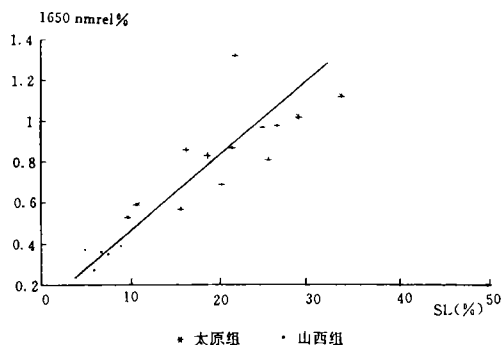


图 4 镜质组相对荧光强度(1650nmrel%)与超微类脂体数量的关系

样品镜质体反射率范围 0.60%~0.70%

Fig. 4 Relationship between the relative fluorescence intensity (1650nmrel%) and the amount of submicrolipitinite in vitrinite

vitrinite rank ranging from 0.60 to 0.70%

图 4 反映了在镜质体反射率为 0.60%~0.70%阶段,镜质组相对荧光强度(1650nmrel%)与超微类脂体数量的相关关系,镜质组相对荧光强度随超微类脂体数量增加而增加,揭示了镜质组的荧光性与超微类脂体紧密相关。一方面,细分散的超微类脂体导致

了镜质组的原生荧光,特别是富氢镜质体的强荧光性可能很大程度上与其中超微类脂体荧光有关;另一方面,超微类脂体沥青化作用产生的石油型烃类是镜质组次生荧光的主要原因。这说明无论是镜质组原生荧光,还是次生荧光在很大程度上都与其所含的超微类脂体有关,对于太原组富氢镜质体,在煤阶范围 0.50%~0.90%时,其相对荧光强度一直较强<sup>[4,6]</sup>,而不是象 Hagenmann 等(1981)和 Wolf 等(1985)所描述在 0.50%~0.60%,镜质组荧光很弱<sup>[14,15]</sup>,反映原生荧光的消失和次生荧光的开始形成,在  $R_o$  值为 0.50%~0.90%这一阶段,太原组富氢镜质体,显示的特殊荧光性和变化规律,反映了超微类脂体提供的原生荧光和次生荧光的叠合。由于富氢镜质体中含有一定数量超微类脂体,实际上在镜质体反射率 0.50%以后,由于超微类脂体的缘故,富氢镜质体中仍存在细分散超微类脂体贡献的原生荧光。

## 4 讨 论

### 4.1 太原组煤和镜质组性质异常的原因:有机组分组成的描述性观点

同一地区山西组和太原组煤阶基本相似,但在有机组分组成上,不仅煤显微组分组的数量不同,更重要的是显微组分、亚显微组分组成和特征也存在差异性<sup>[6]</sup>。鲁南和苏北地区山西组和太原组煤显微组分组成特征如表 3。单纯从显微组分数量上并不能较好解释这两组煤性质的明显差异性,这两组煤中镜质组的性质存在明显差异,具体表现在显微组分和亚显微组分组成、超微层次的超微类脂数量、煤岩大分子网络相基本结构单元芳香环数目与流动相数量和组成上<sup>[16]</sup>。通过对显微组分、显微组分、亚显微组分、超微组分和分子级五个层次的研究,易于理解太原组煤和镜质组性质异常原因,山西组和太原组镜质组的亚显微组分、超微组分组成上存在明显差异,后者以基质镜质体为主,其中超微类脂体含量较高;前者包括了基质镜质体和均质镜质体,其中超微类脂体数量相对较低。

### 4.2 太原组煤和镜质组性质异常的原因:地质成因观点

太原组煤性质异常的原因,以前认为主要是由于滨海沼泽受海水影响<sup>[1]</sup>和煤还原程度类型上的差异<sup>[2]</sup>,侧重于考虑泥炭沼泽水介质  $Eh-pH$  值因素的影响,并认为山西组和太原组成煤植物组成总面貌上无显著差异。根据作者对鲁南和苏北地区太原组煤沉积环境的研究<sup>[6]</sup>,太原组煤形成于滨岸环境,多属湖坪半咸水-咸水沼泽,泥炭形成和发育过程中不断受海水输入影响,沼泽水介质以咸水、半咸水为主。对煤层中煤核的植物解剖学和植物分类学研究<sup>[9]</sup>表明成煤植物群落是热带、亚热带泥炭坪中森林沼泽,大部分植物可能是水生或半水生,按照植物生长型和高度,成煤植物群落在垂向结构上可分为三个层次:第一层次为群落主要层,以科达类和鳞木类等高大乔木为主;第二层次为群落次要层,以楔叶等林下植物为代表;第三层次为在沼泽水体中发育的藻类(丰富的葡萄球藻)和菌类低等生源,这种植物群落生态环境极类似于美国 Okefenokee 和 Everglade 现代落羽杉森林沼泽。通过四个层次的研究,证实华北太原组煤形成过程中低等生源贡献是十分重要的:

第一层次:宏观上腐殖煤中夹有腐殖泥煤,腐泥煤细分层<sup>[6]</sup>,煤层中常含有黄铁质菌藻煤核<sup>[5]</sup>。

第二层次:显微镜下腐殖煤中见有藻类体,沥青质体等腐泥组显微组分,值得指出的是成煤过程中藻类(algae)的贡献较煤中藻类体(alginite)数量反映的要大得多。

第三层次:TEM 分析表明镜质体中超微类脂体较丰富,其中很大一部分超微类脂体来源于菌藻类。

第四层次:生物标志物特征上,特别是烷烃特征上显示了明显的低等生源输入<sup>[6]</sup>。

成煤过程中明显的低等生源贡献是太原组煤性质异常性的一个重要原因。而成煤植物群落组成与成煤环境、泥炭沼泽水介质条件三者是紧密相关的,成煤植物群落的形成和发展是植物群体与成煤沼泽环境相互作用的结果。沉积环境对煤性质的影响很大程度上通过对成煤植物群落结构和组成的影响而实现的。

表 2 鲁南和苏北地区山西组和太原组煤显微组分组成

Table 2 Maceral compositions of Shanxi and Taiyuan Formation coals from the areas of southern Shandong and northern Jiangshu

显微组成	太原组煤 (42)	山西组煤 (37)
镜质组	70~90	45~75
V1:结构镜质体	<8	8~18
V2:均质镜质体	++ 30	+++ 35~55
V3:基质镜质体	+++ 60~90, 不均一状为主	+++ 35~65, 相对均一
V4:团块镜质体	5	5
胶质镜质体		
V5:碎屑镜质体	++ 5	++ 5
类脂组	7~13	9~16
E1:	40~65	80~95
孢子体	+	++
角质体	+	++
树脂体		+
木栓质体		
表皮体	+	
E2:	30~60	10~25
藻质体	+	
沥青质体	++	
荧光性体		
类脂碎屑体	++	+
E3:	5~15	8
渗出体	+	
排出油	常见镜质组裂缝中油排出	
惰性组	5~15	15~40
I1:微粒体	+ 8~25	10
I2:菌类体	5~10	5
I3:碎屑惰性	+++ 45~75	++ 30~40
半丝质体		+++ 60~80
I4:粗粒体	20~40	
典型无机显微组分	莓球状黄铁矿丰富	主要是粘土矿物
典型显微煤岩类型	微亮煤	微镜惰煤、微三合煤

1)+++ 最丰富组分,++ 较丰富组分,+ 次要组分 2)表中各个显微组分内分布的基准是显微组分组为 100%。 3)括号内为样品数

### 4.3 腐殖煤的还原程度

“还原程度”(Восстановленность)这一概念最早由苏联学者 Видавский(1941)在编制顿巴斯煤化学地质图时提出,反映顿巴斯煤田层间距很小,变质程度相似,显微组分含量也相似,均以镜质组为主的煤具有不同化学工艺性质这一现象。还原程度这一术语在过去的半个世纪中得到苏联煤岩学者的广泛应用,并为中国煤岩工作者接受。一方面将还原程度作为一种现象来描述,反映煤阶相同,煤岩组成相似的煤化学工艺性质有较大差异这一现象,这种差异性是由于煤的不同还原程度类型造成的;另一方面又赋予还原程度一定的成因意义,认为煤的还原程度与泥炭沼泽水介质的地球化学性质有关。Еремия 等<sup>[17]</sup>认为还原程度的概念由相同煤化程度和相同煤岩成分煤(它决定于原始植物的性质及其成煤初期阶段的转变环境)的物理、化学、粘结性和其它特性的差别加以确立。

概观煤“还原程度”这一概念的提出和发展,实际上它反映了腐殖煤的成因类型或煤相方面的概念,作者认为从描述性的观点,不同还原程度的煤的有机组分组成实际上既不相同也不相似,而相似性常常仅体现在显微组分这一层次,对煤有机组分组成的描述实际上存在层次的问题,包括了宏观的煤岩类型、显微组分、亚显微组分、超微组分、分子级各个层次的认识。煤还原程度的主要体现在煤中镜质组性质的差异性上,煤还原程度的本质实际上是不同类型的镜质体性质的差异性,而不同类型镜质体的差异性主要体现在亚显微组分组成,超微类脂体数量与流动相数量的组成上。因此,不同还原程度煤有机组分组成在显微组分层次上数量可能是相似的,但进一步在显微组分、亚显微组分、超微组分层次上则是明显不同的。

煤性质异常现象在显微组分这一层次可能不能较好解释,但进一步具体深入到显微组分、亚显微组分、超微组分层次,异常现象就不难解释。煤还原程度成因上单纯强调泥炭沼泽水介质  $Eh-pH$  条件实际上仅反映了形成过程中差异的一个方面,更广泛地说,不同还原程度煤的沉积环境和成煤植物有明显差异,中国华北山西组和太原组不同还原程度煤形成过程中情况确实如此。

## 结 论

1) 超薄切片的 TEM 分析表明太原组镜质体中含有较丰富超微类脂体,且超微类脂体主要来自菌藻类。山西组和太原组镜质体中超微类脂体数量存在明显差异。

2) 镜质体中超微类脂体数量与镜质组挥发份产率、镜质组相对荧光强度存在正相关关系,证实镜质体中超微类脂体数量和煤化学工艺性质、镜质体荧光性紧密相关。超微类脂体数量差异是山西组和太原组镜质组性质差异性的一个重要原因。

3) 从有机组分组成的描述性观点和地质成因观点分析讨论了太原组煤和镜质组性质异常性的原因,提出成煤过程中明显低等生源贡献是太原组煤性质异常的一个重要原因。

收稿日期:1993年12月15日

## 参 考 文 献

- [1] 戴和武,孙达三,1964,华北太原统和山西统煤层的煤质特征及化学介质因素和影响,地质论评,22(1)。



- [2] 赵师庆, 1981, 中国华北东部晚古生代煤层的煤质差别和显微特征, 中国矿业学院学报, (2): 41~53.
- [3] 赵师庆, 王飞宇, 傅家谟, 1992, 不同还原型腐殖煤及其镜质组生烃潜力的研究, 煤炭学报, 17(4): 101~110.
- [4] 赵师庆, 王飞宇, 1987, 等变质煤及其镜质组的煤岩学研究, 中国石炭二叠纪含煤地层及地质学术会议论文集, 北京: 科学出版社, 366~374.
- [5] 王飞宇, 赵师庆, 沈国栋, 1986, 陶枣煤田太原组煤核的发现及意义, 淮南矿业学院学报, (2): 41~53.
- [6] 赵师庆, 王飞宇, 刘德汉, 盛国英, 1988, 不同煤相中煤和镜质组特征的初步研究, 中科院地化所有机地球化学开放实验室年报, 北京: 科学出版社, 22~44.
- [7] 赵师庆, 王飞宇, 1988, 等变质煤中镜质组有机地球化学研究, 石油实验地质, 10(2): 159~168.
- [8] 王飞宇, 1994, 华北东部太原组腐殖煤形成过程中菌藻类的贡献, 科学通报, 39(19): 1824.
- [9] 王飞宇, 何萍, 赵师庆, 1995, 陶枣煤田太原组煤层的成煤植物群落组成和意义, 煤田地质与勘探, 23(1): 12~18.
- [10] Taylor G. H., 1966, The electron microscopy of vitrinite, coal science, Adv. Chem. series 55, ACS, 274~283.
- [11] Taylor G. H. & Teichmuller M., 1993, Observations on fluorinite and fluorescent vitrinite with the transmission electron microscope, Int. J. Coal. Geol., 1993, 22, 61~82.
- [12] 王飞宇, 傅家谟, 刘德汉, 史国顺, 雷加锦, 1993, 煤和烃源岩镜质体中超微类脂体检出及意义, 科学通报, 38(2): 151~154.
- [13] Derenne S. et al., 1991, Chemical evidence of kerogen formation in source rocks and oil shales via selective preservation of thin resistant outer walls of microalgae origin of ultralaminae, Geochimica et cosmochimica Acta, Vol. 55, 1041~1050.
- [14] Hagemann H. W. et al., 1981, Organic geochemical and petrological investigations into a series of coals with increasing rank, Proceedings der Internationalen Kohlenwissenschaftlichen Tagung 1981 in Dusseldorf Essen Verlag Glukauf S 80~85.
- [15] Wolf M. et al., 1983, Fluorescence properties of vitrinite Prepr Meet 36th Int. Comm. Coal petrology. Commission 3 Oviedo, 14pp.
- [16] 赵师庆, 王飞宇, 1992, 等变质煤镜质组的核磁共振分析, 石油实验地质, 14(2): 116~124.
- [17] Еремьев И. В., Вроновцев Т. М., Сунпрувекко О. И., Голубарж В., Гелла М., 1983, Опарамстрах восстановления сродветметар-физованных гумусовых углей стравчленов СЭВ. Фимия верлоя гоылива, No. 4, С. 3~10.

## Submicrolipitin in Vitrinite of Taiyuan Formation of North China and the Reasons of Anomalous Coals

<sup>1</sup>Wang Feiyu <sup>1</sup>He Ping <sup>2</sup>Fu Jiemo <sup>2</sup>Liu Dahan <sup>3</sup>Zhao Shiqing  
and <sup>4</sup>Shi Guoshan

<sup>1</sup>(Petroleum University, Beijing 102200)

<sup>2</sup>(Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640)

<sup>3</sup>(Huainan mining Institute, Huainan 232001)

<sup>4</sup>(Physical and Chemical Analytical Center of Beijing, Beijing 100083)

### Abstract

The transmission Electron Microscopy examination of ultrathin sections of a series of Carboniferous Taiyuan Formation and Permian Shanxi Formation vitrinites collected from 18 mining areas of the eastern part of North China, has revealed that vitrinites of Taiyuan Formation are rich in submicrolipitin, which is dominantly derived from bacteria and algae. There is

significant difference in the amount of submicrolipinites in vitrinite between Taiyuan Formation and Shanxi Formation. The amounts of submicrolipinites are related to chemical properties and behaviors in technical processes of vitrinite. The reasons of differences in vitrinite properties between Taiyuan Formation and Shanxi Formation have been explained in the level of maceral, submaceral and submicromaceral. The reasons of anomalous coal properties of Taiyuan Formation and reductivity of humic coal have been analysed and discussed. The results suggest that abundant algae and bacteria contribution, in the forms of lipinite, submicrolipinites and molecular level lipid materials incorporated in huminite/vitrinite, may be one of the important reasons for anomalous coal properties of Taiyuan Formation.

**Key Words:** Submicrolipinites Submicro-level coal petrology TEM Vitrinite Taiyuan Formation coal Reductivity