

文章编号: 1001-1986(2013)05-0006-05

# 重庆中梁山矿区主要煤层的煤岩学和煤相特征

侯贤旭<sup>1</sup>, 唐跃刚<sup>1</sup>, 宋晓夏<sup>1,2</sup>, 杨明显<sup>3</sup>, 郭明涛<sup>1</sup>, 贾 龙<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2. 太原理工大学矿业工程学院  
地球科学与工程系, 山西 太原 030024; 3. 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042)

**摘要:** 结合国际煤岩学会(ICCIP)对显微组分的新分类系统, 通过绘制显微组分三元图和煤相图, 对重庆中梁山矿区主要煤层显微组分和煤相特征进行了研究。结果表明: 该矿区宏观煤岩类型以半亮煤为主, 且构造煤较发育; 显微组分中以镜质组为主, 其中以基质镜质体和碎屑镜质体最为常见。煤相研究表明, 本区主要煤层形成于下三角洲平原或下三角洲平原到陆相沉积的过渡环境, 属于近陆相的低位沼泽环境, 成煤环境受海水作用明显。

**关键词:** 煤岩学; 中梁山矿区; 显微组分; 煤相

中图分类号: P618.11 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2013.05.002

## Coal petrology and coal facies of Zhongliangshan mining area, Chongqing

HOU Xianxu<sup>1</sup>, TANG Yuegang<sup>1</sup>, SONG Xiaoxia<sup>1,2</sup>, YANG Mingxian<sup>3</sup>, GUO Mingtao<sup>1</sup>, JIA Long<sup>1</sup>

(1. School of Geosciences and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. College of Mining Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 3. Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China)

**Abstract:** The main coal seams in Zhongliangshan mining area are analyzed by drawing macerals ternary diagrams and coal facies diagrams in consideration of the maceral classification of ICCIP 1994 system. The seams are characterized by the predominance of semi clairain and a lot of structural coal, which is a result of Epigenetic tectonic activity. The petrographic composition is dominated by vitrinite, in which collodetrinite and vitrodetrinite are the major macerals. The sedimentary environments deduced from petrographic composition and coal facies diagrams vary from low delta plain to limnic environment, which belong to Rheotrophic, the mires were influenced by marine flooding.

**Key words:** coal petrology; Zhongliangshan mining area; macerals; coal facies

中梁山矿区位于重庆市九龙坡区。矿井主体构造为中梁山背斜, 属新华夏系川东褶皱带华蓥山帚状褶皱群观音峡背斜之南延部分。中梁山矿区含煤地层为二叠系上统龙潭组(P<sub>3</sub>l)煤系, 厚26.50~105.02 m, 平均71.08 m, 共含煤10层(从上到下编号为K1—K10), 全区可采5层, 大部可采1层, 局部可采2层, 全区未采2层, 含煤段含煤系数为15.52%, 煤质为焦煤<sup>[1-2]</sup>。以往研究成果表明, 该区龙潭组主要为海陆交互相含煤建造, 属局限海碳酸盐岩台地潮坪成煤环境<sup>[3-5]</sup>。

以往的研究均是通过煤系的沉积环境粗略地描述煤相。本文拟通过煤岩显微组分和煤相参数, 更加详细地描述该区的成煤环境, 以期为本区正在进行的煤层气相关研究有所帮助。

### 1 样品的采集 实验及数据分析方法

本次研究的所有样品采自中梁山南北两个矿

区, 北矿20个, 南矿5个, 共计25个, 其中全层样4个, 按宏观煤岩类型区分的分层样共21个, 除K6煤层(不可采)外, 其他煤层均有采样。

宏观煤岩类型分类采用GB/T 18023—2000《烟煤的宏观煤岩类型分类》方案<sup>[6]</sup>, 分为光亮煤、半亮煤、半暗煤、暗煤和构造煤; 煤岩粉煤光片的制备参照的是GB/T 16773—2008《煤岩分析样品制备方法》<sup>[7]</sup>, 显微组分的分类参照的是GB/T 15588—2001《烟煤显微组分分类》<sup>[8]</sup>, 另外由于分析的需要, 根据国际煤岩学会(ICCIP)1994分类系统<sup>[9]</sup>, 将镜质组分为结构镜质亚组、凝胶镜质亚组和碎屑镜质亚组, 并把惰质组分为有细胞结构、无细胞结构和碎屑3类组分<sup>[10]</sup>。由于所采样品变质程度较高, 在显微镜下并没有观察到壳质组(稳定组), 在进行数据分析时, 显微组分是以含矿物基的体积分数表示的; 煤相和沉积环境分析主要基于具有煤相指示意

收稿日期: 2012-12-09

基金项目: 全国煤炭资源潜力预测评价(1212010633908); 重庆市国土与房屋管理局科研项目(Dyy5095012010016)

作者简介: 侯贤旭(1988—), 男, 湖北恩施人, 硕士研究生, 研究方向为元素地球化学。

义的显微组分、矿物及经典的煤相图<sup>[11-12]</sup>。值得一提的是, 有一些学者对利用煤岩组分来研究古沉积环境(煤相)的有效性进行了讨论<sup>[13-14]</sup>, 并对Diessel<sup>[12]</sup>提出的用TPI/GI模型来研究泥炭沉积提出了质疑, 但是近几年的一些研究<sup>[15-16]</sup>证明了镜质组、惰质组和矿物相对含量与沉积环境的变化有密切的关系。

## 2 结果与讨论

### 2.1 煤的宏观煤岩特征

该矿区煤层由于后期构造作用的影响, 构造煤相对比较发育, 部分煤层(K3)可见成粉末状的糜棱煤。从图1可看出, K1煤层以半亮煤和构造煤为主, 其中构造煤占50%, 含有少量的半暗煤; K2、K3、K7以半亮煤为主, 其中K2和K3煤层均含有一定量的构造煤(20%~30%), K2煤层未见半暗煤; 另外, K10煤层以半暗煤为主, 可见少量的半亮煤和构造煤。从井下实地观察发现, 构造煤主要位于煤层中间部位, 各采样点均未见到光亮煤和暗淡煤, 各煤层均可见黄铁矿结核。

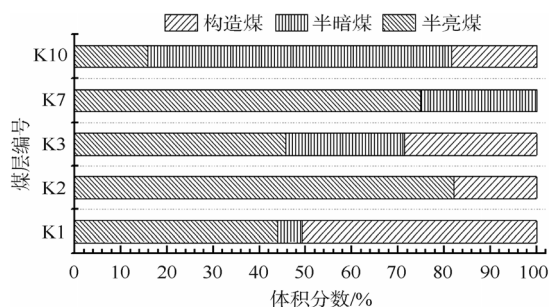


图1 主采煤层的宏观煤岩特征图

Fig.1 Lithotypes of major coal seams

### 2.2 煤的显微组分及矿物特征

煤的显微组分及矿物定量分析结果如表1所示。镜质组占38.4%~84.8%，平均69.8%；惰质组占6.7%~28.2%，平均14.3%；矿物占5.3%~47.5%，平均15.9%；所有煤层均未见壳质组。由此容易看出，各组分含量变化较大，同一煤层不同分层的组分含量差异明显，这主要是受同一煤层不同分层的沉积环境不同的影响。但总体上看，各煤层以镜质组为主，但有两个煤样的矿物接近50% (图2a)。

镜质组中以碎屑镜质亚组为主，个别样品超过50% (图2b)，大量的碎屑镜质亚组表明了植物细胞组织的高度破坏，尤其是富含纤维素的草本植物，同时也可反映较高pH值的泥炭沉积环境<sup>[9]</sup>。惰质组中以碎屑惰质体为主，其次是丝质体和半丝质体 (图2c)，也可观察到少量的粗粒体、微粒体和分泌体。根据以往的研究，碎屑惰质体往往富集于以下3种沉积环境<sup>[9]</sup>：  
a. 具有较多黏土、砂等沉积物的水位较高的环境；

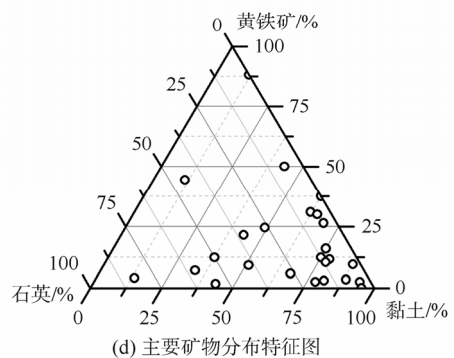
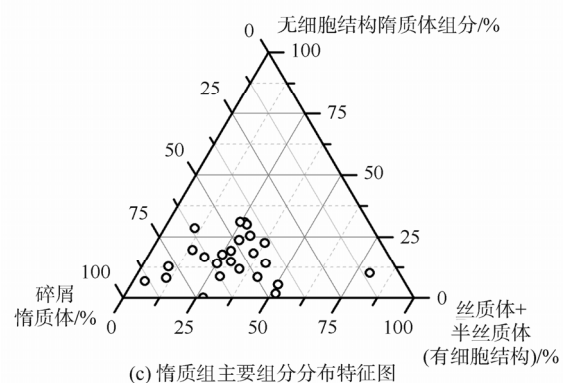
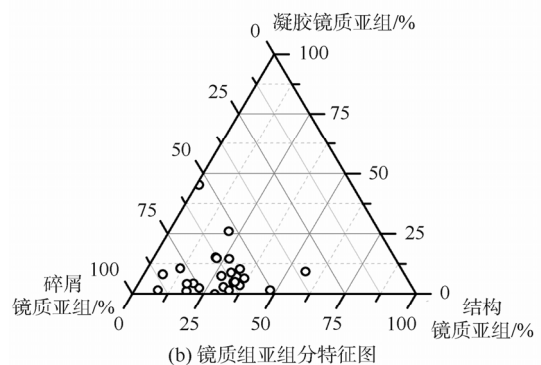
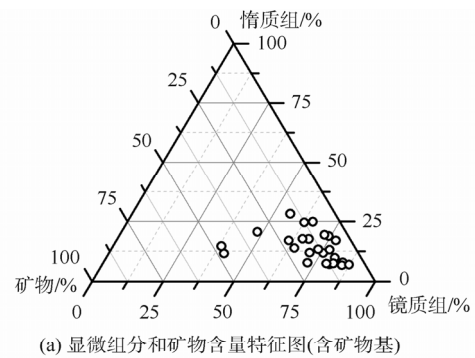


图2 岩石学特征图

Fig. 2 Petrographic characteristics of coal samples

b. 淡水芦苇沼泽环境 ;c. 具有动荡水平面的陆相环境。这对研究该矿区煤相特征有一定的指导意义。

从煤的矿物组成上看, 该矿区煤样总体上以黏土矿物为主 (表1, 图2d), 其次是黄铁矿和石英, 方解石主要以后生的脉状充填物见于数个煤分层。各分层煤样中各矿物含量相差较大, 如K3-3煤样中黏土的

体积分数为 43.8% ,K10-3 煤样的黄铁矿高达 18.8%。这些特点都能在一定程度上反映当时的沉积环境 ,如黄铁矿往往富集在受海水影响的还原环境中。

### 2.3 煤相特征

煤相是指煤的原始成因类型 ,它取决于泥炭堆积的古环境条件。各煤层的煤相特征主要由凝胶化指数(*GI*)、植物组织保存指数(*TPI*)、地下水流动指数(*GWI*)和植被指数(*VI*)等 4 个参数来反映。国内不少学都利用这 4 个煤相参数对不同地区进行了煤相研究<sup>[17-22]</sup>。

*TPI-GI* 和 *VI-GWI* 的概念分别由 Diessel<sup>[12]</sup>和 Calder 等<sup>[11]</sup>提出,本文在前人基础上,根据研究区煤岩显微组分的特点,对这 4 个指数进行了适当修正。本次研究所用的 *TPI* 和 *GI* 公式如下:

$$TPI = \frac{\text{结构镜质体} + \text{均质镜质体} + \text{半丝质体} + \text{丝质体}}{\text{基质镜质体} + \text{碎屑镜质体} + \text{粗粒体} + \text{碎屑惰质体}}$$

$$GI = \frac{\text{镜质组} + \text{粗粒体}}{\text{半丝质体} + \text{丝质体} + \text{碎屑惰质体}}$$

$$GWI = \frac{\text{基质镜质体} + \text{碎屑镜质体} + \text{团块镜质体} + \text{胶质镜质体} + \text{矿物}}{\text{结构镜质体} + \text{均质镜质体}}$$

$$VI = \frac{\text{结构镜质体} + \text{均质镜质体} + \text{半丝质体} + \text{丝质体}}{\text{基质镜质体} + \text{碎屑镜质体} + \text{碎屑惰质体}}$$

*TPI* 指数是指在镜质组和惰质组中有结构的显微组分与无结构的显微组分之比,该指数反映植物组织的破坏程度和木本植物在成煤植物中的比例;另外, *TPI* 还在一定程度上反映成煤环境的 pH 值,因为在低 pH 值环境里,微生物的活动性比较弱,植物组织得以保存完好,这样就有一个相对高的 *TPI* 值。*GI* 指数是指凝胶化的显微组分与未受凝胶化作用的显微组分之比,较高的 *GI* 值通常指示一种潮湿的沼泽环境。各样品 *TPI* 和 *GI* 值已在表 1 给出, *GI-TPI* 关系见图 3a。根据 *GI-TPI* 关系,可以把煤层的形成环境分为陆地(Terrestrial)、山麓(piedmont plain)、干燥森林沼泽(Dry forest swamp)、上三角洲平原(Upper delta plain)、潮湿森林沼泽(Wet forest swamp)、湖泊(Limnic)和下三角洲平原(Lower delta plain)<sup>[12, 19]</sup>。

唐跃刚等<sup>[23]</sup>对各煤相类型进行了较详细的描述。干燥森林沼泽相以火焚丝质体、半丝质体为主,可见许多镜质体向惰质体过渡的现象,而镜质组主要是结构镜质体;上三角洲平原相形成的煤层发育镜煤和光亮煤,结构镜质体发育,森林指数较高;潮湿森林沼泽相以结构镜质体、均质镜质体富集为标志,形成环境为一种极为潮湿、覆水较深的森林面貌,同时植物体遭受分解破坏弱,水流活动差;湖泊沼泽相以暗煤为主,显微结构主要为碎屑结构,镜质组含量相对较低;下三角洲平原相反映的是一种复合沼泽体的发育过程,可形成连成片的巨大沼

泽,整个煤层以基质镜质体为主。

*GWI* 是根据凝胶化作用的显微组分和矿物含量计算的,所以 *GWI* 值可以在一定程度上反映泥炭堆积时的水位高低,一般而言,较高水位沉积环境伴随着显微组分较高度度的降解和较高矿物含量。*VI* 能反映成煤植物类型,较小 *VI* 值与草本植物密切相关<sup>[11]</sup>。

*TPI* 和 *GI* 的变化范围分别为 0.1~1.2 和 2.4~18.7。所有样品的 *TPI* 值较小,这主要是由于碎屑镜质亚组和碎屑惰质体含量较高的缘故,表明成煤植物组织保存较差,可以推测当时的成煤环境处于弱碱性状态,这可能是受到海水作用的影响;样品的 *GI* 值普遍较高,反映当时的泥炭沼泽处于较湿润的环境。在 *GI-TPI* 关系图(图 3a)中,绝大部分点都落在下三角洲平原区域,并且各煤层差异并不明显,表明该区各煤层的沉积环境基本一致,即主要为下三角洲平原或下三角洲平原到陆相沉积的过渡环境。

*GWI* 和 *VI* 的变化范围分别为 1.0~118.8 和 0.1~1.2。K3-4 煤样的 *GWI* 值最高达 118.8,从表 1 可看出,该分层的基质镜质体和团块镜质体含量非常高,分别占总煤岩组分的 39.0%和 35.9%(含矿物基,下同),而惰质组和矿物含量较低, *GWI* 值高的原因可能是由于泥炭沼泽微生物活动强烈,成煤植物受到了非常强烈的凝胶化作用所致。该分层的成煤环境应该受到海水作用影响,这从高黄铁矿含量(3.9%)也能说明这一点。从图 3b 可以看出,该区当时主要处于低位泥炭沼泽,且为近陆相的成煤环境。另外,各煤层的 *VI* 值都较小,说明成煤植物以草本植物为主。

### 3 结 论

a. 中梁山矿区主要煤层的宏观煤岩类型以半亮煤为主,未见光亮煤和暗淡煤。另外,因煤层受后生构造作用影响,本区构造煤较发育,且通常分布在煤层中部。

b. 本区煤的煤岩显微组分以镜质组为主,绝大部分煤样都超过 60%,碎屑组分(基质镜质体、碎屑镜质体、碎屑惰质体)含量高,未见壳质组。同一煤层不同分层的显微组分不同,这主要因不同分层的沉积环境不同所致。煤的矿物组成以黏土为主,其次为黄铁矿,方解石以后生的脉状填充为主。

c. 该矿区各煤层煤相指数中, *TPI* 和 *VI* 均较小,表明成煤植物以草本植物为主,木本植物居次要位置;根据 *TPI-GI* 关系图,本区主要煤层形成于下三角洲平原或下三角洲平原到陆相沉积的过渡环境;成煤环境受海水作用明显,处于弱碱性环境,微生物活动较强,各煤层凝胶化程度普遍较高;据 *VI-GWI* 关系图,该矿区主要煤层处于近陆相的低位泥炭沼泽。

表 1 煤的显微组分和矿物含量及煤相参数表  
Table 1 Macerals, mineral matter content and coal facies index of all samples

样品 编号	镜质组/%					惰质组/%					矿物质/%					煤相参数							
	TV		GV			DV		V	I	Clay	Py	Ca	Q	M	GI	TPI	GWI	PI					
	T	Ct	Cg	G	Cd	Vd	Sf												F	Ma	Sc	Mi	Id
K1-3	1.2	29.5	2.9	0.0	49.2	2.0	84.8	1.6	0.4	0.2	0.0	1.2	4.5	7.8	4.7	0.8	1.2	0.8	7.4	13.2	0.6	2.0	0.6
K1-4	0.8	22.0	2.1	0.0	46.6	2.7	74.3	4.3	3.7	1.0	0.0	0.6	9.4	18.9	4.5	0.4	0.2	1.8	6.8	4.3	0.5	2.6	0.5
K1-5	1.2	2.0	0.6	0.0	1.8	32.8	38.4	0.2	0.4	1.0	0.0	0.0	13.1	14.7	35.2	7.6	0.0	4.2	46.9	2.9	0.1	28.5	0.1
K1-6	1.2	16.2	4.7	0.0	38.3	2.3	62.7	6.6	1.8	2.7	0.2	0.0	13.3	24.6	7.8	1.2	2.7	1.0	12.7	3.0	0.5	3.5	0.5
K2	1.0	20.6	6.6	0.2	36.3	1.0	65.6	7.0	2.3	5.4	0.0	0.2	9.9	24.9	3.1	1.6	2.3	2.5	9.5	3.7	0.6	2.5	0.7
K3	0.6	26.3	1.2	0.0	51.4	1.0	80.4	1.2	0.6	1.0	0.0	0.0	4.3	7.1	5.9	2.9	0.6	3.1	12.5	13.4	0.5	2.5	0.5
K3-1	0.2	17.9	1.8	0.2	59.3	1.6	80.9	3.1	0.4	1.8	0.0	0.0	4.5	9.8	4.3	0.8	0.8	3.3	9.3	10.2	0.3	4.0	0.3
K3-2	4.5	11.9	8.9	0.0	30.1	5.7	61.1	2.8	1.9	2.5	0.0	0.8	9.1	17.0	18.9	2.1	0.4	0.6	21.9	4.6	0.4	4.3	0.5
K3-3	0.2	2.6	1.6	1.8	0.6	34.2	40.9	2.0	1.2	0.0	0.0	0.0	8.4	11.6	43.8	1.2	0.8	1.8	47.5	3.5	0.1	34.4	0.1
K3-4	0.2	0.6	35.9	1.0	39.0	4.9	81.6	1.6	2.2	0.2	0.0	0.2	3.3	7.5	1.0	3.9	2.2	3.9	11.0	11.6	0.1	118.8	0.1
K4	1.0	26.5	4.9	0.0	40.7	2.8	75.8	4.5	1.6	0.0	0.2	0.0	5.5	11.8	5.1	0.2	0.6	6.5	12.4	6.5	0.7	2.2	0.7
K5	4.7	7.5	8.5	0.0	32.1	3.2	56.0	9.3	2.6	3.2	0.0	0.8	12.4	28.2	6.5	7.5	0.8	1.0	15.8	2.4	0.5	5.1	0.5
K5-1	2.0	11.2	2.9	0.0	49.7	2.0	67.8	3.1	2.4	1.4	0.0	3.1	7.7	17.7	2.0	0.6	0.0	12.0	14.5	5.3	0.3	5.3	0.3
K7-1	1.0	23.4	3.5	0.0	44.2	1.2	73.3	1.0	2.8	2.6	0.0	0.6	6.5	13.4	4.7	1.6	0.8	6.3	13.4	7.4	0.5	2.6	0.5
K7-2	4.0	6.7	7.1	0.0	21.4	8.9	48.2	3.7	2.3	1.2	0.0	0.6	12.9	20.6	24.9	1.0	3.1	2.3	31.2	2.6	0.4	6.9	0.4
K7-4	3.8	11.5	18.8	0.0	35.6	2.8	72.3	0.2	0.6	1.8	0.2	0.2	4.7	7.7	15.8	0.6	0.4	3.2	20.0	13.4	0.4	5.3	0.4
K8	2.2	6.8	8.0	0.2	59.8	0.4	77.4	2.2	0.4	1.0	0.0	1.2	8.4	13.2	8.6	0.0	0.4	0.4	9.4	7.1	0.2	8.8	0.2
K8-1	1.0	25.3	5.7	0.0	45.8	1.4	79.1	0.2	0.6	0.4	0.2	0.0	6.0	7.4	4.5	1.0	0.0	8.0	13.5	11.7	0.5	2.6	0.5
K9	5.9	18.1	3.5	0.0	41.7	1.8	70.9	2.6	1.0	0.6	0.2	1.0	6.7	12.0	11.8	4.5	0.0	0.8	17.1	7.0	0.5	2.8	0.5
K9-1	2.9	12.9	1.0	0.0	66.5	1.7	85.0	1.0	0.8	1.3	0.4	0.4	2.9	6.7	6.2	0.2	0.4	1.5	8.3	18.7	0.2	5.0	0.2
K9-2	0.2	25.2	0.0	0.0	61.2	0.8	87.4	1.0	0.0	0.2	0.0	1.2	4.7	7.0	3.5	1.7	0.0	0.4	5.6	15.6	0.4	2.7	0.4
K9-3	0.4	40.6	6.7	0.0	23.8	1.0	72.5	0.8	1.0	2.1	0.0	0.4	15.2	19.4	5.0	2.3	0.4	0.4	8.1	4.4	1.0	1.0	1.1
K10-1	5.3	18.4	6.8	0.0	44.8	2.3	77.7	2.9	1.8	4.9	0.0	0.2	7.2	17.0	2.9	1.8	0.6	0.0	5.3	6.9	0.5	2.5	0.5
K10-3	6.8	24.1	1.0	0.0	28.2	4.5	64.6	7.8	3.3	1.4	0.0	0.0	1.4	13.9	2.5	18.8	0.2	0.0	21.5	5.3	1.2	1.9	1.2
K10-5	0.8	10.5	2.7	0.0	50.2	1.4	65.6	2.5	1.9	5.3	0.0	0.2	7.8	17.7	12.8	1.8	0.2	1.9	16.7	5.8	0.2	6.5	0.3

注：TV—结构镜质亚组；GV—凝胶镜质亚组；DV—碎屑镜质亚组；T—结构镜质体；Ct—均质镜质体；Cg—团块镜质体；G—胶质镜质体；Cd—碎屑镜质体；Vd—碎屑镜质体；Sf—半丝质体；F—丝质体；Ma—粗颗粒；Se—分泌体；Mi—微颗粒；Id—碎屑惰质体；I—惰质体总量；Clay—黏土；Py—黄铁矿；Ca—方解石；Q—石英；M—矿物总量；GI—凝胶化指数；TPI—植物组织保存指数；GWI—地下水流速指数；VI—植被指数。

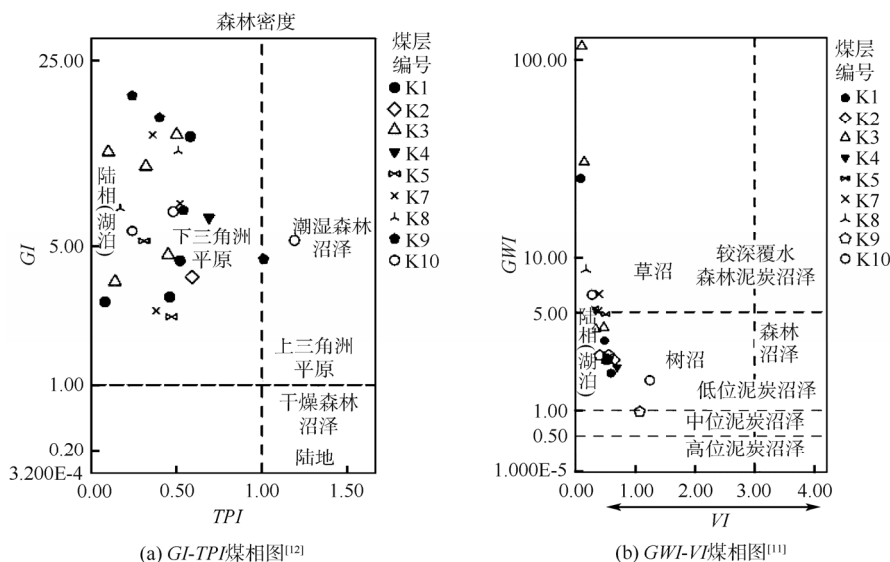


图 3 中梁山矿区煤相图

Fig. 3 Coal facie diagrams based on macerals and mineral matter for studied coals

致谢：本研究得到重庆地质矿产研究院的大力支持，中梁山矿区领导为采样工作提供了各种便利，中国矿业大学(北京)代世峰教授在基础理论上给予了指导，侯慧敏老师在煤岩显微定量方面给予了宝贵的协助和指导，解锡超硕士也参加了前期部分采样工作，在此一并致以衷心的感谢！

## 参考文献

- [1] 张天模, 吴自立. 中梁山北矿 K-1 煤层自燃的地质因素探讨[J]. 矿业安全与环保, 2012, 39 (1): 77-78.
- [2] 胡广青, 姜波, 吴胡. 中梁山矿区煤的孔隙特征及其对吸附性的影响[J]. 中国煤炭地质, 2011 (5): 8-12.
- [3] 苏现波. 四川中梁山和南桐矿区晚二叠世龙潭组主要煤层的煤相分析[J]. 焦作矿业学院学报, 1990 (3): 49-57.
- [4] 钟明洋, 杨本钦, 陈仕欢, 等. 重庆磨心坡龙潭组沉积环境与聚煤规律研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2011 (6): 679-683.
- [5] 邓光明, 曾金源. 重庆市沥鼻峡背斜盐井矿区龙潭组沉积特征及聚煤规律[J]. 中国煤田地质, 2007(6): 5-8.
- [6] 国家质量技术监督局. GB/T 18023—2000 烟煤的宏观煤岩类型分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [7] 国家质量技术监督局. GB/T 16773—2008 煤岩分析样品制备方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] 国家质量技术监督局. GB/T 15588—2001 烟煤显微组分分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [9] ICCP. The new vitrinite classification (ICCP System 1994)[J]. Fuel, 1998, 77 (5): 349-358.
- [10] ICCP. The new inertinite classification (ICCP System 1994)[J]. Fuel, 2001, 80 (4): 459-471.
- [11] CALDER JH, GIBLING M R, MUKHOPADHYAY P K. Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland Basin, Nova Scotia; implications for the maceral-based interpretation of rheotrophic and raised paleomires[J]. Bulletin de la Societe Geologique de France, 1991, 162 (2): 283-298.
- [12] DIESSEL C F K. On the correlation between coal facies and depositional environments[C]//Proceedings symposium on advances in the study of the Sydney Basin. Newcastle: Newcastle University, 1986: 19-22.
- [13] DEHMER J. Petrological and organic geochemical investigation of recent peats with known environments of deposition[J]. International Journal of Coal Geology, 1995, 28 (2/4): 111-138.
- [14] MOORE T A, SHEARER J C. Peat/coal type and depositional environment—are they related?[J]. International Journal of Coal Geology, 2003, 56 (3/4): 233-252.
- [15] DIESSEL C F K. Utility of coal petrology for sequence stratigraphic analysis[J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 70 (1/3): 3-34.
- [16] IZART A, SACHSENHOFER R F, PRIVALOV V A. Stratigraphic distribution of macerals and biomarkers in the Donets Basin: Implications for paleoecology, paleoclimatology and eustacy[J]. International Journal of Coal Geology, 2006, 66 (1/2): 69-107.
- [17] 陈善庆, 陈家怀, 赵时久. 滇东坝黔西土城晚二叠世煤系上段煤岩特征及煤相分析[J]. 沉积学报, 1989 (2): 79-87.
- [18] 曹志德. 贵州织纳煤田以那架勘探区煤中硫与煤相分析[J]. 中国煤田地质, 2006 (1): 18-20.
- [19] 代世峰, 任德怡, 李生盛, 等. 内蒙古准格尔黑岱沟主采煤层的煤相演替特征[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2007 (增刊 1): 119-126.
- [20] 王绍清, 唐跃刚. 神东矿区煤岩学特征及煤相[J]. 中国煤田地质, 2007(5): 4-7.
- [21] 代世峰, 艾天杰, 侯惠敏, 等. 乌达矿区主采煤层煤相特征与煤的可选性[J]. 煤田地质与勘探, 1999, 27 (1): 11-13.
- [22] 李鑫, 庄新国, 周继兵, 等. 准东煤田中部矿区西山窑组巨厚煤层煤相分析[J]. 地质科技情报, 2010 (5): 84-88.
- [23] 金奎励, 秦勇, 赵长毅, 等. 金奎励教授煤岩学和有机岩石学文集[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.