

文章编号: 1673 - 9469(2014) 03 - 0086 - 04

doi: 10. 3969/j. issn. 1673 - 9469. 2014. 03. 022

## 准格尔煤田串草圪旦煤矿 4# 煤煤相研究

段飘飘 李彦恒 石志祥 白洪杰 张勇  
(河北工程大学 资源学院 河北 邯郸 056001)

**摘要:** 运用煤岩学方法和地球化学方法,探讨了内蒙古准格尔煤田南部串草圪旦煤矿 4# 煤的煤岩特征和煤相类型。研究发现 4# 煤层的显微组分富集镜质组,煤相类型主要为潮湿森林沼泽相,在沼泽的整个演化过程中,还偶尔出现了开阔水域沼泽相和覆水森林沼泽相,沼泽的演变可划分为 2 个阶段。4# 煤层从下到上覆水程度总体上呈现强 - 弱 - 强变化的特点,4# 煤层的沼泽水流表现为滞留沼泽和活水沼泽周期性交替出现。

**关键词:** 准格尔煤田; 串草圪旦煤矿; 4# 煤; 煤岩; 煤相

**中图分类号:** P618. 11

**文献标识码:** A

### Coal facies of the No. 4 seam from Chuancaogedan Mine, southern Jungur coalfield, Inner Mongolia

DUAN Piao - piao, LI Yan - heng, SHI Zhi - xiang, BAI Hong - jie, ZHANG Yong  
(School of Resource, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056001, China)

**Abstract:** 14 samples of No. 4 coal seam are taken from the Chuancaogedan Coal Mine, Jungur coalfield, Inner Mongolia. Combined with coal plant type and sedimentology characteristics, the petrographic properties and coal facies type of the coal were analyzed by use of coal microscopic method. The results indicate that the maceral of the No. 4 coal seam is enrichment in vitrinite. In the whole evolution process of the swamp, the No. 4 coal was deposited dominantly in moist forest peat marsh, as well as in open moor and shallow water forest swamp facies occasionally. The evolution of the swamp can be divided into two stages. The extent of the overlying water in the No. 4 coal seam from bottom to top shows a strong - weak - strong change. There are two types of swamp hydrodynamic conditions in the No. 4 coal, the retention swamps and running water swamps periodic appear alternately.

**Key words:** Jungur coalfield; Chuancaogedan Mine; No. 4 coal; coal petrography; coal facies

煤相是指某一成煤沼泽中煤的原始成因类型,它取决于泥炭形成时的环境。煤相分析是基于煤岩组分的定量测定(显微煤岩类型、显微煤岩组分和地球化学特征)依据这些参数判断煤相类型,从而反映成煤泥炭沼泽类型和沉积体系的关系<sup>[1-3]</sup>。煤相研究在煤的成因等基础理论方面有重要意义<sup>[4-5]</sup>,在煤层对比、油气地质以及煤质预测等领域具有广阔的前景<sup>[6-7]</sup>。选择准格尔煤田南部的串草圪旦煤矿 4# 煤为研究对象,通过分析该煤层的煤岩学和煤相特征,进而探讨该煤层的原始成煤环境及演化规律。澳大利亚学者 Diseel

首先提出了煤相结构指数,但是这些参数在实际应用中存在一些问题。因此,本文在运用煤相相关参数分析时,结合了地质背景,综合考虑沉积环境、构造演化史,并与其他地球化学参数对比加以具体分析。

### 1 地质背景简介

内蒙古准格尔煤田位于鄂尔多斯盆地东北缘,是鄂尔多斯盆地中煤层最富集的地带<sup>[8-9]</sup>,同时也是沉积相变最明显的地带。串草圪旦煤矿地处准格尔煤田南部边缘,矿区内被新生界松散沉

收稿日期: 2014 - 04 - 01

基金项目: 河北省自然科学基金(D2012402025); 中国地质调查局地质调查项目(12120113040000 - 3)

特约专稿

作者简介: 段飘飘(1987 -),女,河北鸡泽县人,硕士研究生,从事煤地球化学方面的研究。

积物广泛覆盖,新生界以下老地层出露不多,只有在较大冲沟及冲沟两侧才有基岩出露。部分地层缺失,地层遭受剥蚀严重。根据地表出露及钻孔揭露,本区地层层序自下而上为:奥陶系中~下统( $O_{1+2}$ )、石炭系上统太原组( $C_{2t}$ ),二叠系下统山西组( $P_{1s}$ )、二叠系下统下石盒子组( $P_{1x}$ ),和第三系、第四系( $Q+N_2$ )。4#煤位于山西组中部,由于后期遭受风化,部分地段的煤层已被铝质泥岩所代替,有工业价值的煤层主要分布在矿区中部。煤层自然厚度0.25~5.95 m,平均3.73 m。煤层可采厚度2.38~3.55 m,平均3.06 m。该煤层结构较复杂,含夹矸0~8层,夹矸岩性多为泥岩。顶板以砂质泥岩、泥岩为主,底板为泥岩及细粒砂岩,与下部5号煤层间距14.65~35.62 m,平均26.38 m。该煤层层位稳定,对比可靠,在煤层赋存范围内属大部可采的较稳定煤层。

## 2 样品的采集和实验方法

参照国家标准(GB482-1985)《煤层煤岩采

样方法》,对内蒙古准格尔串草圪旦4#煤层自上而下采集了10个煤层样品、3个夹矸样品和一个顶板样品。从上到下依次编号为顶板A-1,夹矸1,夹矸2 A-2,夹矸3 A-3 A-4 A-5 A-6 A-7,4-8 A-9 A-10。采煤样时从煤层底板开始,每隔30 cm取1个样品。采样时每一个煤样按照长10 cm,宽10 cm,厚50 cm的标准采集,所有收集到的样品采下后立刻储存在塑料袋来防止污染及氧化。

煤岩光片制备按照国家标准《煤岩分析样品制备方法》(GB/T16773-2008)进行制备。显微煤岩观察和定量统计根据《国际煤岩学委员会的分类方案》(GB/T8899-199)国家标准,使用德国J&M公司生产的TIDAS MSP 400显微分光光度计,对煤中的三大煤岩组分以及矿物进行定量统计,每个样品统计500个点。并使用德国J&M公司生产的TIDAS MSP 400显微分光光度计对4#煤的反射率进行测定,每个样品选取10处均质镜质体进行测定,最后取平均值。

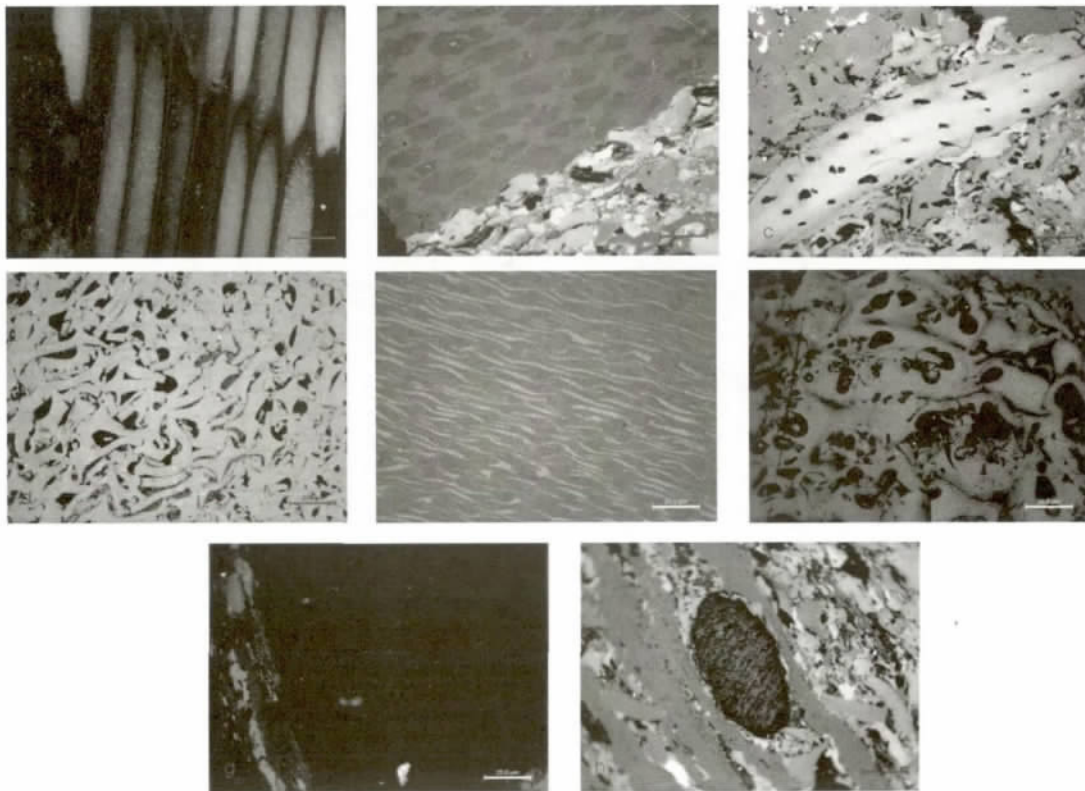


图1 4#煤煤岩图片(油浸反射光,500×)

a. 结构镜质体; b. 结构镜质体; c. 丝质体; d. 半丝质体; e. 微粒体; f. 菌类体; g. 树皮体;  
h. 氧化树脂体。

Fig. 1 Coal rock pictures of No.4 coal (Oil-immersed reflected light, 500×)  
a. Telinite; b. Telinite; c. Fusinite; d. Semifusinite; e. Micrinite; f. funginite;  
g. Barkinite; h. resinite

### 3 结果与讨论

#### 3.1 显微组分含量特征

4#煤各个分层显微煤岩组分定量统计结果表明 4#煤中镜质组(50.2% ~ 80.2%)和惰质组(8.2% ~ 25.6%)含量较高,平均值分别为64.54%和16.54%,壳质组比较少见,平均值仅为1.26%,矿物组含量平均值高达17.66%,镜质组反射率平均为0.67%左右。4#煤中镜质组以均值镜质体和基质镜质体为主,说明生物降解作用较强。结构镜质体和团块镜质体含量较少,结构镜质体中细胞结构保存较好,胞腔中充填树脂体、方解石等。基质镜质体一般呈条带状分布,并胶结了其它显微组分。惰质组以丝质体和半丝质体为主,含有少量的微粒体、粗粒体、碎屑惰质体和菌类体。大多数丝质体的胞腔有不同程度的破坏,呈“星状结构”,少数丝质体中植物细胞保存良好,呈“筛状结构”。壳质组主要有小孢子、大孢子和角质体和氧化树脂体等,一些样品中存在树皮体。用结构镜质体、均质镜质体、丝质体、半丝质体和树脂体含量之和可以对木本植物的贡献进行粗略地评价,而用基质镜质体的含量可直接评价小灌木和草本植物的贡献<sup>[10]</sup>。4#煤中有5个样品的结构镜质体与均值镜质体之和大于基质镜质体,说明成煤植物主要是木本植物,5个样品的结构镜质体与均值镜质体之和小于基质镜质体,说明成煤植物主要是草本植物<sup>[11]</sup>。总体上讲,4#煤的成煤植物木本植物和草本植物同等重要。

矿物组成上,4#煤中均含有较多黄铁矿、粘土矿物和方解石,一些样品含有少量的石英。黄铁矿以块状和草莓状为主,多分布于均质镜质体表面或充填于丝质体胞腔中,黄铁矿一般存在于海相与海陆交互的煤中,代表一种还原环境。4#煤的黄铁矿含量较高,反映了成煤环境为较强的还原环境。粘土矿物多呈条带状或浸染状分布,有一些充填于结构镜质体和丝质体的胞腔中,在一些煤的分层中,粘土矿物出现了富集,可能是由沼泽外搬运而来,表明沼泽成煤过程中受到的水动力条件较强。方解石有的呈脉状分布于均质镜质体上,有的充填于结构镜质体或者丝质体的胞腔中。

#### 3.2 煤相研究标志

煤岩学标志。根据各显微组分间的关系,可以计算出凝胶化指数(GI)、植物结构保存指数

(TPI)、骨基比(F/M)、镜惰比(V/I)来反映煤层的成因特征。串草圪旦4#煤煤相参数值如表1所示。TPI表示被搬运到沼泽中植物碎片的保存完整程度。Diessel<sup>[12]</sup>以植被保存指数值1.0作为森林沼泽和芦苇草沼的划分界限,以GI作为潮湿型和干燥性型沼泽的划分界限,依据TPI-GI关系图,泥炭沼泽形成环境主要划分为低位沼泽、潮湿森林沼泽和干燥森林沼泽<sup>[13]</sup>。 $GI = (\text{镜质体} + \text{粗粒体}) / (\text{丝质体} + \text{半丝质体} + \text{惰屑体})$ ,  $TPI = (\text{结构镜质体} + \text{均值镜质体} + \text{丝质体} + \text{半丝质体}) / (\text{基质镜质体} + \text{粗粒体} + \text{碎屑惰质体})$ 。由表1可知,串草圪旦煤矿各分层均具有较高的凝胶化指数,植物组织保存指数变化较大,说明成煤过程中植物遗体的遭受的破坏程度不同。凝胶化指数在2到10之间,4#煤从下到上凝胶化指数(GI)值总体呈现递减趋势。由GI-TPI关系图(图2)可知,4#煤层从下到上整体上从潮湿森林沼泽向低位沼泽演化。结合GI和TPI指数,可将4#煤的煤相分为低位沼泽、潮湿森林沼泽相和覆水森林沼泽相。其中2个煤分层(4-1, 4-9)为浅覆水森林沼泽相,6个煤分层(4-1, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7, 4-8, 4-10)为潮湿森林沼泽相。有2个分层(4-2, 4-3)属于在低位沼泽相。其中潮湿森林沼泽相在沼泽演化过程中占主导地位。

镜惰比(V/I)是镜质组与惰质组含量的百分比,可以反映成煤沼泽的覆水程度及气候的干湿情况。覆水程度决定了植物类型和植物遗体的保存,覆水程度浅,则植物遗体容易发生氧化作用,形成惰质组较多。覆水程度深,则植物遗体容易发生还原作用,形成镜质组较多。通过计算4#煤的镜惰比,主要可以划分成2种成煤环境:潮湿覆水环境( $V/I > 4$ )、浅覆水环境( $V/I$ 为1~4)。串草圪旦煤矿4#煤从底板到顶板的覆水程度由强变弱再到强,覆水环境呈现周期性变化。

骨基比(F/M)是指成煤植物中骨架组分与基质组分的比值, $F/M = (\text{结构镜质体} + \text{均值镜质体} + \text{丝质体} + \text{半丝质体}) / (\text{碎屑镜质体} + \text{碎屑惰质体} + \text{粗粒体} + \text{基质镜质体})$ ,骨架组分一般受破坏的程度较弱,而基质组分则是受到较强的机械破碎或者降解作用而成。这一比例可以反映沼泽水的流动情况,植物遭受破坏情况越严重,表明水流作用越强。

按照F/M的大小,可以将沼泽水流活动性分为两种类型:F/M > 1和F/M < 1,分别代表水流活

动性较弱的滞留环境和水流活动性较强的活水环境<sup>[13]</sup>。水体的流通情况决定了成煤泥炭沼泽的氧化还原条件。在滞留环境下,沼泽还原性较强,活水环境下,氧化作用较强。由表 1 可知 4#煤从底到顶活水沼泽和滞留沼泽交替出现。

表 1 串草圪旦煤矿 4#煤煤相参数

Tab. 1 The coal facies parameters of the No. 4 Coal from Chuancaogedan Mine

样品号	TPI	GI	F/M	V/I
4-1	1.28	7.28	1.02	7.09
4-2	0.26	4.74	0.19	4.09
4-3	0.72	3.27	0.53	3.12
4-4	1.32	2.66	1.09	2.61
4-5	1.19	2.81	0.9	2.58
4-6	1.42	4.26	1.07	3.99
4-7	2.79	4.61	1.9	4.47
4-8	1.02	3.59	0.64	3.35
4-9	1.39	9.78	1.31	9.78
4-10	1.57	4.15	0.93	4.09

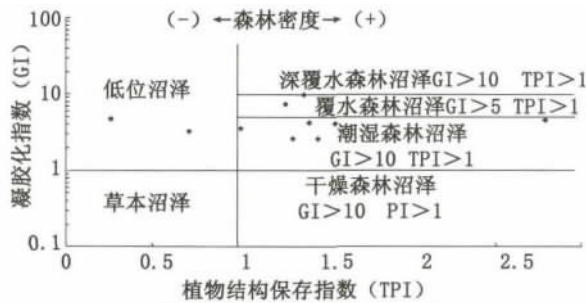


图 2 4#煤层 GI-TPI 关系图

Fig. 2 Diagram of GI-TPI in the No. 4 coal

地球化学标志。地球化学参数也是反映成煤环境的重要指标。煤中常量元素可以较好的反映泥炭聚积时的介质条件,但是如果灰分较高可能是受到了后生矿物的影响,4#煤的灰分平均为 37.84%,灰分较高,所以本次研究仅以微量元素作为成煤环境的地化指标。微量元素中煤中的 Sr/Ba 可以用来反映水介质的盐度,进而判断成煤环境受海水影响的大小,通常以 Sr/Ba 为 1 作为咸水和淡水分界值。Sr/Ba 比值在淡水沉积物中小于 1,在海相沉积物中则大于 1。本次研究结合当地地质概况,以 Sr/Ba 值为 0.6 作为淡水与咸水的分界值。4#煤的 Sr/Ba 统计结果显示,除 4-2、4-3、4-4、4-5、4-6、4-9 这 6 个分层的 Sr/Ba 大于 0.6 外,其余煤分层均小于 0.6。根据 Sr/Ba,可以推断 4#煤层的沉积环境从下到上经历了陆相-海相-陆相的变化。

煤相演变规律。综合分析 4#煤的煤相参数 (TPI、GI、V/I 和 F/M) 和地球化学参数 Sr/Ba 值,

可以判断出 4#煤层的垂向剖面的沉积环境经历了 2 次明显的旋回韵律。

旋回 1: 煤分层 4-10→4-9→4-8→4-7 4-6 4-5→4-4,煤相演变为特征为 潮湿森林沼泽相→覆水森林沼泽相→潮湿森林沼泽相。覆水程度也经历了由变弱强再到弱的变化过程,沼泽水流的变化规律为滞留→活水→滞留。旋回 2: 煤层 4-3 4-2→4-1,煤相成跳跃式演变,从低位沼泽相直接跳跃到覆水森林相,跳跃式的演化反映了比较动荡的沼泽环境。覆水程度逐渐增强,从沼泽水流动性来看,也从滞留沼泽过渡为活水沼泽。从水介质条件看,4#煤层的演变过程为淡水→咸水→淡水→咸水→淡水,反映了 4#煤的沉积环境为海陆交互相为主的沉积环境。

### 4 结论

本区显微煤岩组分中镜质组含量高于惰质组和壳质组,成煤环境为还原环境。矿物含量较高,主要为粘土、方解石和黄铁矿。成煤植物主要为木本植物。对串草圪旦煤矿 4#煤的煤相类型的比例进行统计,研究结果表明,本区的主要煤相是潮湿森林沼泽相,在沼泽的演化过程中,还出现了开阔水域沼泽相和浅覆水森林沼泽相。4#煤层从下到上覆水程度总体上呈现强-弱-强周期性变化的特点,活水沼泽和滞留沼泽交替出现。4#煤层从下到上存在 2 次旋回韵律,4#煤层的水介质环境也发生相应的淡水和海水的变化,从而形成了一套海陆交互相的沉积环境。

### 参考文献:

[1] SUN Y Z, WANG B S, LIN M Y. Maceral and geochemical characteristics of coal seam 1 and oil shale 1 in fault-controlled Huangxian Basin, China [J]. Organic Geochemistry, 1998(29): 583-591.

[2] SUN Y Z, P. TTMANN W, KALKREUTH W, et al. Petrologic and geochemical characteristics of seam 9-3 and seam 2, Xingtai Coalfield, Northern China [J]. Int. J. Coal Geol, 2002(49): 251-262.

[3] SUN Y Z. Petrologic and geochemical characteristics of "barkinite" from the Dahe mine, Guizhou Province, China [J]. Int. J. Coal Geol, 2003(56): 269-276.

[4] LIN M Y, TIAN L. Petrographic characteristics and depositional environment of the No. 9 Coal (Pennsylvanian) from the Anjialing Mine, Ningwu Coalfield, China [J]. Energy Exploration and Exploitation, 2011, 29(2): 197-204.

(下转第 103 页)

对于中、低水头水轮机,蜗壳进口流速可以取得相对较大(即经济流速系数较大),使蜗壳形成的速度矩满足水轮机基本方程式的要求,因而,可以通过调节蜗壳进口尺寸来优化蜗壳。

### 3 结论

理论蜗壳优化改型研究可对实际蜗壳的优化设计指明方向,在利用传统的“等速度矩”法设计的蜗壳的基础上,通过增大鼻端区域的断面面积,可优化蜗壳出口水流的流动均匀对称性,调整蜗壳进口断面面积可改变蜗壳形成的环量。对于高水头电站,实际蜗壳形成的环量达不到理论设计值,不足的环量应该靠导叶来形成。对于中、低水头水轮机,蜗壳进口流速可以取得相对较大,使蜗壳形成的环量满足基本方程式的要求。

#### 参考文献:

- [1] 齐学义,晁文雄,郝连松. 水轮机全蜗壳圆形断面的水力优化设计方法[J]. 兰州理工大学学报,2012,38(6): 38-40.
- [2] 廖伟丽,李建中. 混流式水轮机内蜗壳流动的数值研究[J]. 大电机技术,2012,6: 38-40.
- [3] 钟晨煜,胡慧婷. 基于灰色预测及多目标规划模型的水资源预测及优化配置[J]. 四川理工学院学报,2013,26(5): 90-95.
- [4] WANG FUJUN, LIAO CUILIN, TANG XUELIN. Numerical simulation of pressure fluctuations in a large Francis Runner[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 6: 198-204.
- [5] 周云龙,郭婷婷. 高等流体力学[M]. 北京: 中国电力出版社,2008.
- [6] 刘大恺. 高等学校教材水轮机第三版[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2011.
- [7] ANSYS Company. ANSYS workbench user's guide [DB/OL]. 2009. <http://www.ansys.com>.
- [8] 周文斌. 基于混流式水轮机蜗壳改造的型线优化及其数值模拟[D]. 兰州: 兰州理工大学,2006.
- [9] LI YINGWANG, DE HUAWEI. The optimum structural design for spiral case in Hydraulic Turbine[J]. Journal of Elsevier Procedia Engineering, 2011, 15: 4874-4879.
- (责任编辑 刘存英)
- 
- (上接第89页)
- [5] DUAN D J, ZHAO C L, QIN S J, et al. Coal petrological and coal facies characteristics of the No. 2 seam from Huangling mine, Shanxi Province, China[J]. Energy Exploration and Exploitation, 2011, 29(5): 647-666.
- [6] ZHAO C L, SUN Y Z, XIAO L, et al. The occurrence of barium in Jurassic coal in the Huangling 2 mine, Ordos Basin, northern China [J]. Fuel, 2014(128): 428-432.
- [7] SUN Y Z, KALKREUTH W. Explanation for peat-forming environments of Seams 2 and 9(2) based on the lithotype composition in the Xingtai Coalfield, China [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 10(1): 17-21.
- [8] SUN Y Z, ZHAO C L, LI Y H, et al. Li distribution and mode of occurrences in Li-bearing coal seam 6 from the Guanbanwusu Mine, Inner Mongolia, Northern China [J]. Energy Exploration & Exploitation, 2012, 30(1): 109-130.
- [9] SUN Y Z, ZHAO C L, LI Y H, et al. Further information of the associated Li deposits in the No. 6 Coal Seam at Jungar Coalfield, Inner Mongolia, northern China [J]. ACTA Geologica Sinica, 2013, 87(4): 801-812.
- [10] 吴新群. 布朗意-蒙索盆地煤相研究[J]. 沉积学报, 1994(1): 47-55.
- [11] SUN Y Z, QIN S J, ZHAO C L, et al. Experimental study of early formation processes of macerals and sulfides[J]. Energy and Fuels 2010(24): 1124-1128.
- [12] DISSEL C F K. An appraisal of coal facies based on maceral characteristics[J]. Australian Coal Geology, 1982, 4(2): 2-8.
- [13] 方爱民,雷家锦,金奎励,等. 山西西山煤田7号煤层煤相研究[J]. 中国煤田地质, 2003(5): 12-16.
- [14] 刘焕杰,张瑜瑾,王宏伟,等. 准格尔煤田含煤建造岩相古地理研究[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [15] 褚开智. 准格尔煤田含煤岩系沉积特征及沉积环境[J]. 内蒙古科技与经济, 2008, 159(5): 13-16.
- [16] 唐跃刚,任德贻. 煤中黄铁矿的成因研究[J]. 地质评论, 1996, 42(1): 64-70.
- (责任编辑 刘存英)