

特殊原生成因煤的特性和分布研究

王绍清¹ 唐跃刚¹ 李正越² 孙翊博¹ 舒昆昆¹ 马 薇¹

(1. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2. 中国煤炭地质总局, 北京 100038)

摘 要: 为实现特殊煤种的合理利用, 选择树皮残植煤、角质残植煤、树脂残植煤、孢子残植煤和腐泥煤5种典型的特殊原生成因煤为研究对象, 系统研究其性质特殊性, 调查5种煤在我国的分布范围及资源量(储量), 从能源和工艺2方面讨论了原生成因煤的开发利用价值, 并从基础研究—勘查—综合利用等多途径, 提出了特殊原生成因煤的合理利用建议。结果表明, 特殊原生成因煤具有高挥发分、高氢含量和高H/C原子比等特点, 且具有很好的生烃潜力。特殊原生成因煤分布在一定成煤期的部分煤层中。特殊原生成因煤的开发利用潜能很大。应加强基础研究, 深入分析特殊原生成因煤的特殊性质, 查清资源量, 结合我国发展和需求, 进行战略性的、持续性的综合利用研究。

关键词: 特殊原生成因煤; 特性; 资源量; 综合利用

中图分类号: P618 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2016)01-0020-06

Distribution and special characteristics of special coal types originated from syngenetic formation

WANG Shaoqing¹, TANG Yuegang¹, LI Zhengyue², SUN Yibo¹, SHU Kunkun¹, MA Wei¹

(1. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. China National Administration of Coal Geology, Beijing 100038, China)

Abstract: The five special coal types originated from syngenetic formation were selected to discuss their specialities on properties, and to investigate their distribution and reserve for studying and usage of special coal types: barkinitic liptobiolith coal, cutinitic liptobiolith coal, suberitic liptobiolith coal, sporinitic liptobiolith coal and sapropelite coal. The utilization values of these special coal types were studied from energy and technology. The reasonable further usages of these coals were suggested combining with various items which were fundamental research, exploration and comprehensive utilization. The results showed that the special coal types originated from syngenetic formation had high volatile matter, high hydrogen content and high H/C atomic ratio, and great hydrocarbon-generation abilities. They were often distributed in some coal seams in certain coal forming period. The usage of the special coal types originated from syngenetic formation was wide concerning on as energy and technology aspects. For reasonable utilization of the special coal types originated from syngenetic formation in future, some measures should be taken such as making fundamental research and investigating coal reserve and so on.

Key words: special coal types originated from syngenetic formation; speciality; reserve; comprehensive utilization

0 引 言

按照《全国矿产资源规划(2008—2015年)》要求, 我国将推进特殊煤种和稀缺煤种的矿产资

源, 同时, 国家发改委也公布了《特殊和稀缺煤类开发利用管理暂行规定》, 在此背景下进行特殊煤种的研究具有重要的现实意义。特殊煤炭资源是指煤中某个或某些成分、结构与一般煤有所不同, 其含量

收稿日期: 2015-03-20; 责任编辑: 白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2016.01.005

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40772101, 41102097); 特殊和稀缺煤炭资源调查项目(1212011085511); 国土资源部公益性行业科研专项经费资助项目(201211003)

作者简介: 王绍清(1979—), 男, 辽宁朝阳人, 副教授, 博士, 从事煤地质学研究工作。E-mail: wanzq@cumtb.edu.cn。通讯作者: 唐跃刚(1958—), 男, 教授, 从事煤岩学、煤化学、煤地球化学等研究。E-mail: tyg@vip.163.com

引用格式: 王绍清, 唐跃刚, 李正越, 等. 特殊原生成因煤的特性和分布研究[J]. 洁净煤技术, 2016, 22(1): 20-25.

WANG Shaoqing, TANG Yuegang, LI Zhengyue et al. Distribution and special characteristics of special coal types originated from syngenetic formation[J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(1): 20-25.

特高或特低,并具有一些特殊性质的煤炭资源。有关特殊煤的含义,许多学者进行深入研究。韩德馨等^[1]指出特殊煤种系指自然界中某些煤由于其成因、性质、煤岩组成具有特殊性,或由于某些化学性质、元素富集而具有与众不同的工艺性能和用途,如焦油率高的残植煤、腐泥煤和其他富氢煤、低灰低硫的优质煤等。曾勇^[2]指出特殊煤种是指自然界中由于成因、物理化学性质、煤岩组成等具有特殊性,或因富集某种元素而具有与众不同的化学性质、工艺性质及用途的煤种。戴和武等^[3]指出所谓特殊煤种是指煤中某个或一些成分、结构、成因与一般煤有所不同,含量特高或很低,并具有一些特殊的性质及用途。由此可见,特殊煤种可从组成、性质等角度探讨煤的特殊性,煤中某种或某些组分特殊或其含量过高,导致其性质表现出特殊性。特殊煤种是一种宝贵的煤炭资源,但受传统用煤方式的影响,特殊煤种煤的利用途径缺乏系统性研究,严重削弱了特殊煤应有的价

值,造成了煤炭资源浪费。特殊原生成因煤是指煤在形成过程中由于特殊成煤物源和地质条件而形成的具有特殊物质结构使其具有某种特殊研究价值的煤炭资源,如残植煤、腐泥煤等。关于特殊原生成因煤的特性、分布等方面的研究尚浅。而随着我国经济发展和国家对特殊煤种资源的重视,有必要对特殊原生成因煤进行深入研究。笔者以树皮残植煤、树脂残植煤、角质残植煤、孢子残植煤和腐泥煤为研究对象,分析了其性质特性,调查分布范围,并对其合理利用提出建议。

1 特殊原生成因煤的特性分析

为表征特殊原生成因煤的化学和元素组成特性,共计整理树皮残植煤的数据 77 个^[4-13],角质残植煤 70 个^[14-19],树脂残植煤 19 个^[20-25],孢子残植煤 9 个^[23,26],腐泥煤 20 个^[27-32],各煤样基本性质见表 1。为了对比,列出了美国典型腐植煤^[33](Argonne Premium 煤样,简称 APCS)的数据。

表 1 残植煤的基本性质
Table 1 Basic properties of liptobiolith coals

煤种	$V_{daf}/\%$	$w(C_{daf})/\%$	$w(H_{daf})/\%$	H/C 原子比
树皮残植煤	35.02 ~ 65.47	71.43 ~ 86.52	4.76 ~ 7.64	0.73 ~ 1.02
角质残植煤	23.77 ~ 89.04	66.05 ~ 95.80	1.20 ~ 11.10	0.15 ~ 1.66
树脂残植煤	48.23 ~ 100.00	63.60 ~ 86.52	5.42 ~ 10.91	0.82 ~ 1.53
孢子残植煤	67.00 ~ 88.90	62.13 ~ 81.15	6.85 ~ 9.75	1.04 ~ 1.88
腐泥煤	3.38 ~ 75.17	65.90 ~ 97.30	1.70 ~ 8.44	0.21 ~ 1.34
APCS 3 号	47.39	77.67	5.00	0.77
APCS 4 号	41.67	83.20	5.32	0.77
APCS 6 号	48.11	80.69	5.76	0.86
APCS 7 号	37.64	82.58	5.25	0.76

由表 1 可知,与腐植煤相比,各残植煤的挥发分、氢含量和 H/C 原子比均较高。特殊原生成因煤的挥发分最高可达 100% (树脂残植煤),一般在 60.00% 以上,而腐植煤在 50.00% 以下。特殊原生成因煤氢含量最高小于 11.10%,一般都在 4.76% 以上,而腐植煤集中在 5.00% 左右。特殊原生成因煤 H/C 原子比最高达到 1.88,一般在 0.73 以上,而腐植煤为 0.76 ~ 0.86。因此,特殊原生成因煤具有高挥发分、高氢含量和高 H/C 原子比等特点。研究表明,特殊原生成因煤的特殊属性与煤中类脂组分有一定关系。如针对树皮残植煤,高挥发分与煤中

树皮体含量高有关(相关系数 = 0.980)^[11],而氢含量也与树皮体含量呈正相关关系(相关系数 = 0.870)^[6]。

2 特殊原生成因煤的调查

2.1 分布范围

1) 树皮残植煤。树皮残植煤在我国南方晚二叠世煤和北方早二叠世煤中均有分布^[34]。在南方,树皮残植煤在我国华东区主要分布在苏南吴县宜兴一带,浙皖长兴、广德煤田的 C₂ 煤层、江西乐平 B、C 煤层以及安徽的广德和铜陵地区休宁、宁国、宣城、泾县一带,西南区主要在四川南桐、贵州六盘水地区

(六枝、盘县和水城)和云南的富源地区一带,华中区主要为湖南涟源和韶山地区;而在北方,邢台矿区亦发现有树皮体的赋存^[35]。但以南方树皮残植煤比较典型,其大多数分布在南通—萍乡地区具有特色的二叠系煤油气复合带内^[36],比较著名的树皮残植煤的煤田(矿)有乐平煤田、长广煤田和水城煤田。

2) 角质残植煤。角质残植煤在我国云南禄劝,其中泥盆世煤具有典型的角质残植煤,有时也简称为“禄劝煤”。此外,在四川省攀枝花市大麦地一带中泥盆统地层中也有大量角质残植煤。在华北聚煤区北缘的晚石炭世太原组煤层赋有角质煤,主要分布在内蒙古准格尔煤田,山西河东煤田的偏关、河曲、保德,大同煤田的左云,宁武煤田的轩岗等矿区。

3) 树脂残植煤。我国树脂残植煤主要以黑龙江东宁煤田白垩纪含煤岩系为代表。而在辽宁古近纪和新近纪的抚顺煤田也赋存有典型的树脂煤(琥珀煤)。

4) 孢子残植煤。孢子残植煤主要分布在河南平顶山煤田、山东兖州煤田、山西大同煤田、山东滕县煤田和徐州夹河矿B层煤的早二叠世煤。

5) 腐泥煤。腐泥煤在我国分布广泛,如山西浑源、大同、蒲县东河、霍西煤田、晋城、河北唐山,山东肥城、兖州、枣庄、黄县、淄博、滕州,江苏徐州大屯,河南巩县、济源、焦作,贵州水城,广西百色,陕西镇坪大河,黑龙江依兰,辽宁抚顺,内蒙古伊克昭盟,云南等地均有赋存,其中,以山西浑源和山东蒲县河东的腐泥煤最著名。有些腐泥煤厚度大,具有工业价值,如华北盆地的太原组、秦岭—淮河以南的早古生代石煤。从煤级来看,低煤级腐泥煤主要分布在山西浑源、大同、蒲县东河,山东西南的兖州、滕州、枣庄和江苏的徐州大屯等^[37],而高煤级腐泥煤分布在山西晋城、河南巩县等地的太原组煤中和河南济源、焦作的山西组煤中^[38]。

2.2 资源量(储量)

受特殊原生成因煤形成的地质条件、赋存层位以及达到残植煤的组分含量等因素的限制,准确预测特殊原生成因煤的资源量(储量)比较困难,只能借助已有资料进行整理。文献[11]显示,鸣山煤矿树皮残植煤的探明和预测储量近20000万t。1990年地质报告显示,大河边煤矿、汪家寨煤矿树皮残植煤的保有储量分别约为8091万t和211995万t。

3 特殊原生成因煤的研究利用价值分析

3.1 作为能源的研究利用价值

特殊原生成因煤因其具有高挥发分、高氢含量的特点,同时富含类脂组分,因此,树皮残植煤^[39-42]、角质残植煤^[43]和腐泥煤^[44]的生烃性能得到大量研究。树皮残植煤具有高的生油能力、生烃潜力(S_1+S_2)和氢指数(HI)^[39-42]。张爱云等^[45]指出树皮煤的生烃潜力与树皮煤含量呈正相关关系,生烃潜力与煤化程度有关。孙旭光等^[46]通过对贵州水城晚二叠世龙潭组树皮体生烃特征研究表明,树皮体的生烃高峰只有一个,其主要生烃温度为400~500℃,生烃高峰温度为420~450℃。相比于镜质体,树皮体的生油门限较高而生油窗较窄。腐泥煤能够产出大量液态烃,是良好的生烃母质,甚至生烃潜力属于I型干酪根。低煤化腐泥煤的含油率高,尤其以褐煤阶段为最,一般为20%~30%,有的高达55%^[44]。树脂残植煤的有机碳含量高达67.71%,产油潜量为399.08 mg/g,是重要的成油生气母质,因此,富含树脂体的含煤地层是形成低成熟原油和天然气的良好母岩^[1]。

3.2 作为工艺的研究利用价值

某些特殊原生成因煤受特殊组分的形成过程、形成条件等影响,常表现出特殊的宏观效果。如树脂残植煤,又名琥珀煤,内部经常包裹昆虫或植物碎片;表面常见条纹构造,具有油脂光泽;呈金黄或淡黄色以及桔红色等,透明及半透明。正因为树脂残植煤的此种特性,可以被加工成工艺品,提高树脂残植煤的利用价值。在显微镜下,通过透射光、荧光的激发,特殊组分(孢子体、树脂体等)呈现明亮的亮黄色,非常漂亮,尤其是大(小)孢子堆和树脂体密集出现的时候,可以拍成照片或制作视频,做成礼物或装饰物,发挥价值。

4 合理利用建议

4.1 加强基础理论研究

特殊成因煤是我国不可再生的珍贵自然资源,有必要对其进行基础理论综合研究,查明沉积环境、成因性质、物质成分、物质结构、系统分类、赋存规律等特点。尤其是物质成分、物质结构等。同时,结合地质背景或条件,研究特殊成因煤的分布规律、赋存地质条件,为合理开发提供基础研究。

4.2 加大勘查力度,查明资源量

通过特殊和稀缺煤炭资源调查项目的支持,对部分特殊原生成因煤的资源量进行了摸底,但绝大部分特殊原生成因煤的资源量尚不明确。结合特殊原生成因煤的分布范围,理论上推测部分特殊成因煤的资源量很乐观,因此,有必要开展特殊原生成因煤的勘查工作,摸清特殊成因煤的资源储量,为评估保护特殊成因煤的必要性提供基础数据。

4.3 进一步探讨特殊成因煤的合理利用途径

目前,特殊原生成因煤主要作为民用燃料使用,浪费严重。应在调研基础上,认清特殊原生成因煤的价值,重新探讨其合理利用途径。如针对树皮煤,虽已在炼焦用煤、气化用煤、动力用煤、低温干馏、液化用煤等方面进行研究,但均未深入探讨,应加强研究树皮煤新的利用方法以发挥其最大价值。

5 结 语

针对特殊原生成因煤(树皮残植煤、角质残植煤、树脂残植煤、孢子残植煤和腐泥煤)的性质特殊性、分布范围等进行了研究。特殊原生成因煤具有高挥发分、高氢含量和高H/C原子比等特点,且具有很好的生烃潜力。特殊原生成因煤分布在一定成煤期的部分煤层中。如树皮残植煤主要分布在南方的晚二叠世煤的部分煤层,如江西乐平煤矿B、C煤层和广德煤矿的C₂煤层等。从理论上分析,特殊原生成因煤的研究利用价值较大,既可以作为能源利用,也可以从工艺角度进行开发,开发利用潜能很大,但目前仍未得到充分开发。建议应该从基础研究—勘查—综合利用等多途径进行研究,查清资源量,了解特殊性质,结合我国国情,进行战略性的、持续性的综合利用研究。

参考文献:

- [1] 韩德馨,任德胎,王延斌,等.中国煤岩学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1996.
- [2] 曾勇.中国西部地区特殊煤种及其综合开发与利用[J].煤炭学报,2001,26(4):337-340.
Zeng Yong. Special coal types in Western China and their exploitation and utilization [J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(4): 337-340.
- [3] 戴和武,陈祜生,刘恩庆,等.乐平树皮煤的煤岩组成及其物理化学特性[J].煤炭学报,1984,7(3):81-87.
Dai Hewu, Chen Nisheng, Liu Enqing, et al. Macerals and physico-chemical properties of loping bark coal [J]. Journal of China Coal Society, 1984, 7(3): 81-87.

- [4] Querol X, Alastuey A, Zhuang X, et al. Petrology, mineralogy and geochemistry of the Permian Petrology, mineralogy and geochemistry of the Permian and Triassic coals in the Leping area, Jiangxi province, Southeast China [J]. International Journal of Coal Geology, 2001, 48(1/2): 23-45.
- [5] Guo Y T, Renton J J, Penn J H. FTIR microspectroscopy of particular liptinite (lopinitic) rich, Late Permian coals from Southern China [J]. International Journal of Coal Geology, 1996, 29(1/2/3): 187-197.
- [6] Wang Shaoqing, Tang Yuegang, Schobert H H, et al. A thermal behavior study of Chinese coals with high hydrogen content [J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 81(1): 37-44.
- [7] Wang Shaoqing, Tang Yuegang, Schobert H H, et al. FT-IR and ¹³C NMR investigations of coal component of Late Permian coals from Southern China [J]. Energy & Fuels, 2011, 25(12): 5672-5677.
- [8] Wang Shaoqing, Tang Yuegang, Schobert H H, et al. Petrology and structural studies in liquefaction reactions of Late Permian coals from Southern China [J]. Fuel, 2013, 107: 518-524.
- [9] Wang Shaoqing, Tang Yuegang, Schobert H H, et al. FTIR and simultaneous TG/MS/FTIR study of Late Permian coals from Southern China [J]. Journal of Analytical Applied Pyrolysis, 2013, 100: 75-80.
- [10] Hsieh C Y. On lopinitic, a new type of coal in China [J]. Bulletin of Geology Society China, 1933, 12(4): 469-490.
- [11] 颜跃进,何洪明,席与龄,等.江西乐平煤的组成、性质及合理利用途径探讨[R].鹰潭:江西煤田地质局二二三地质队,1994.
Yan Yuejin, He Hongming, Xi Yuling, et al. The composition, behavior and utilization of Leping coal in Jiangxi province [J]. Yingtan: Jiangxi Bureau of Coalfield Geology 223 Geological Team, 1994.
- [12] 王绍清.富含树皮体煤和富含半丝质体煤的岩石学与液化特性研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2010.
Wang Shaoqing. The study on petrographic and liquefaction characteristics of coals rich in barkinite and semi-fusinite [D]. Beijing: China University of Mining & Technology (Beijing), 2010.
- [13] 苏育飞.树皮煤的化学结构及其液化性能研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2011.
Su Yufei. The chemical structure and liquefaction behavior of bark coal [D]. Beijing: China University of Mining & Technology (Beijing), 2011.
- [14] 刘勇,张科.多种能源矿产共存富集的地球化学特征[J].中国煤炭地质,2008,20(9):1-10.
Liu Yong, Zhang Ke. Geochemical characteristics of diversiform energy minerals coexisting and concentration [J]. Coal Geology of China, 2008, 20(9): 1-10.
- [15] 盛国英,傅家漠,刘德汉,等.富含于泥盆系角质残植煤中的四环二萜烷[J].石油与天然气地质,1991,12(2):107-116.
Sheng Guoying, Fu Jiamo, Liu Dehan, et al. Tetracyclic diterpanes enriched in Devonian Cutinite coal [J]. Oil & Gas Geology, 1991,

- 12(2):107-116.
- [16] 权 彪,韩德馨.云南禄劝中泥盆世含煤岩系化石生态群落:兼论角质残植煤的成因[J].中国矿业大学学报,1998,27(3):298-301.
Quan Biao,Han Dexin.Fossil communities of coal-bearing formation(Givetian,Middle Devonian) in Luquan,Yunnan: analysis of the origin of Cutinitic Liptobiolith[J].Journal of China University of Mining & Technology,1998,27(3):298-301.
- [17] 韩德馨,王延斌,权 彪,等.中国泥盆纪聚煤作用的演化[J].煤田地质与勘探,1993,21(5):1-6.
Han Dexin,Wang Yanbin,Quan Biao *et al.*The evolution of Devonian coal accumulation in China[J].Coal Geology and Exploration,1993,21(5):1-6.
- [18] 程顶胜,韩德馨,王延斌,等.中国泥盆纪煤岩研究[J].煤田地质与勘探,1995,23(1):25-29.
Cheng Dingsheng,Han Dexin,Wang Yanbin *et al.*Coal petrological study of China Devonian coal[J].Coal Geology and Exploration,1995,23(1):25-29.
- [19] 程顶胜.中国泥盆纪煤有机地球化学特征[J].中国煤田地质,2006,18(5):7-10.
Cheng Dingsheng.Organic geochemical characteristics of Chinese Devonian coal[J].Coal Geology of China,2006,18(5):7-10.
- [20] 熊 波,赵师庆,王铁冠,等.百色褐煤中树脂体特征及意义[J].淮南矿业学院学报,1992,12(3/4):20-31.
Xiong Bo,Zhao Shiqing,Wang Tieguan *et al.*Characteristics and significance of resinites in brown coal of Baise Basin[J].Journal of Huainan Mining Institute,1992,12(3/4):20-31.
- [21] 曹 灵.煤中树脂体的分离与提纯研究[J].东北煤炭技术,1997(4):61-64.
Cao Jiong.Study on separating and purifying resin in coal[J].Coal Technology of Northeast China,1997(4):61-64.
- [22] 钟建华.泥炭、软褐煤中的树脂体的荧光光度术研究[J].光谱实验室,1997,14(4):12-15.
Zhong Jianhua.Fluorescence study on the resinite of the peat and soft brown coal[J].Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory,1997,14(4):12-15.
- [23] 胡宗定.抚顺残植煤的低温干馏[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),1965(1):1-19.
Hu Zongding.Low carbonization of Fushun liptobiolith coal[J].Journal of Tianjin University(Science and Technology),1965(1):1-19.
- [24] 熊 波,李贤庆,钟宁宁,等.黄县煤田第三纪有机岩中树脂体类型及成烃意义[J].中国煤田地质,1996,8(4):15-19.
Xiong Bo,Li Xianqing,Zhong Ningning *et al.*The resinite types and their hydrocarbon forming significance in tertiary organic source rocks in Huangxian coalfield[J].Coal Geology of China,1996,8(4):15-19.
- [25] 谢 华,姜志伟,李幼竹.热重分析法测定煤中树脂体含量[J].煤炭科学技术,1996,24(8):11-13.
Xie Hua,Jiang Zhiwei,Li Youzhu.Measure on suberinite content in coal by thermogravimetric methods[J].Coal Science and Technology,1996,24(8):11-13.
- [26] Dai Shifeng,Han Dexin,Chou Chenlin.Petrography and geochemistry of the Middle Devonian coal from Luquan,Yunnan province China[J].Fuel,2006,85(4):456-464.
- [27] 李太任.山西省蒲县东河腐泥煤研究[J].煤炭学报,1983,8(2):36-46.
Li Tairen.Study of Donghe sapropelic coal in Puxian,Shanxi province[J].Journal of China Coal Society,1983,8(2):36-46.
- [28] 周国庆,姜尧发,刘梦溪.徐州大屯腐泥煤的煤岩煤质和微量元素特征[J].中国煤炭地质,2011,23(7):7-9.
Zhou Guoqing,Jiang Yaofa,Liu Mengxi.Sapropelic coal petrologic quality and trace element characteristics in Datun mining area,Xuzhou[J].Coal Geology of China,2011,23(7):7-9.
- [29] 刘桂建,杨 萍,彭子成,等.淄博煤田共生腐泥煤与腐植煤化学组成对比[J].地质地球化学,2003,31(1):23-27.
Liu Guijian,Yang Ping,Peng Zicheng *et al.*Comparative study of chemical composition of paragenetic sapropelic coal and humic coal from Zibo coalfield[J].Geology-Geochemistry,2003,31(1):23-27.
- [30] 顾永达,林明辉.浑源煤和乐平煤抽出物的化学组成及其地球化学特征[J].沉积学报,1991(9):34-43.
Gu Yongda,Lin Minghui.Chemical composition and their geochemical feature in tow special coal extracts of Hunyuan coal and Lopinite-alkane fraction[J].Acta Sedimentologica Sinica,1991(9):34-43.
- [31] 杨秋水,张桂珍.茂名油页岩、黄县腐泥煤高锰酸钾氧化产物的分析[J].华东石油学院学报,1985(4):81-88.
Yang Qiushui,Zhang Guizhen.Analysis of The oxidation products from Maoming oil shale and Huangxian sapropelic coal[J].Journal of East China Petroleum Institute,1985(4):81-88.
- [32] Martina Havelcová,Jvana Sykorová,Hana Trejtnarová *et al.*Identification of organic matter in lignite samples from basins in the Czech Republic: Geochemical and petrographic properties in relation to lithotype[J].Fuel,2012,99:129-142.
- [33] Vorres K S.The Argonne Premium coal sample program[J].Energy & Fuels,1990,4(5):420-426.
- [34] 唐跃刚,郭亚楠,王绍清.中国特殊煤种——树皮煤的研究进展[J].中国科学基金,2011,25(3):22-31.
Tang Yuegang,Guo Ya'nan,Wang Shaoqing.The Chinese typical coal type-bark coal: a review[J].Bulletin of National Natural Science Foundation of China,2011,25(3):22-31.
- [35] Sun Yuzhuang,Püttmann W,Kalkreuth W *et al.*Petrologic and geochemical characteristics of seam 9-3 and seam 2,Xingtai coalfield,Northern China[J].International Journal of Coal Geology,2002,49(4):251-262.
- [36] 陈其爽,陈能贵.中国南方晚二叠世乐平煤的成因及成煤物质[J].海相油气地质,1996,1(2):29-33.
Chen Qishi,Chen Nenggui.Origin and precursors of late permian leping coal in southern china[J].Marine Origin Petroleum Geology,1996(2):29-33.
- [37] 中国煤田地质总局.中国煤岩学图鉴[M].徐州:中国矿业大

- 学出版社, 1996.
- China National Administration of Coal Geology. Atlas for coal petrography of China [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1996.
- [38] 秦 勇. 中国高煤级煤的显微岩石学特征及结构演变 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- Qin Yong. Micropetrology and structural evolution of high rank coals in P. R. China [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 1994.
- [39] 吴 俊, 金奎励, 汪昆华, 等. 南方树皮煤红外光谱特征及成烃演化规律研究 [J]. 煤田地质与勘探, 1990(5): 29-38.
- Wu Jun, Jin Kuili, Wang Kunhua, et al. Infrared spectroscopy characteristics and forming-hydrocarbon evaluation rule for suberain coal in Southern China [J]. Coal Geology & Exploration, 1990(5): 29-38.
- [40] 吴 俊. 中国南方龙潭煤系树皮煤岩石学特征及成烃性研究 [J]. 中国科学 B 辑, 1992(1): 88-95.
- Wu Jun. Research on the petrographic characteristics and hydrocarbon generating of bark coal of Longtan coal bearing of South of China [J]. Science in China (Series B), 1992(1): 88-95.
- [41] Sun Yuzhuang. Petrologic and geochemical characteristics of "barkinite" from the Dahe mine, Guizhou province, China [J]. International Journal of Coal Geology, 2003 56(3/4): 269-276.
- [42] 周松源, 徐克定, 杨 斌, 等. 南鄱阳坳陷龙潭组树皮煤生烃潜力及油气成藏 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(1): 17-22.
- Zhou Songyuan, Xu Keding, Yang Bin, et al. Hydrocarbon generating potential of bark coal in Longtan Fm and oil and gas reservoiring in southern Poyang depression [J]. Oil & Gas Geology, 2006 27(1): 17-22.
- [43] 刘海斌, 胡 凯, 亲建中, 等. 云南禄劝残植煤的有机地球化学特征及其石油地质意义 [J]. 地球化学, 2008 37(1): 68-76.
- Liu Wenbin, Hu Kai, Qin Jianzhong, et al. Organic geochemistry and hydrocarbon potential of liptobiolite in Luquan, Yunnan province [J]. Geochimica, 2008 37(1): 68-76.
- [44] 赵海舟. 腐泥煤变质系列的煤岩煤质特征 [J]. 中国煤田地质, 1995 7(1): 72-76.
- Zhao Haizhou. Coal petrology and coal quality of sapropelite coal [J]. Coal Geology of China, 1995 7(1): 72-76.
- [45] 张爱云, 翁成敏, 蔡云开. 中国南方树皮煤的生油潜力 [J]. 地质前缘, 1999 6(S1): 209-215.
- Zhang Aiyun, Weng Chengmin, Cai Yunkai. The Petroleum-generating potential of bark coal in South China [J]. Earth Science Frontiers, 1999 6(S1): 209-215.
- [46] 孙旭光, 王关玉, 金奎励. 贵州水城晚二叠世树皮体成烃的演化特征 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000 36(2): 209-213.
- Sun Xuguang, Wang Guanyu, Jin Kuili. Thermo evolutionary characteristics of hydrocarbon generation from Barkinite, Late Permian Coals in Shuicheng, Guizhou Province [J]. Acta Scientiarum Naturalium Univeritatis Pekinensis, 2000 36(2): 209-213.
-
- (上接第 59 页)
- [31] 王兴栋, 韩江则, 陆江银, 等. 半焦炭催化剂裂解煤热解产物提高油气品质 [J]. 化工学报, 2012 63(12): 3897-3905.
- Wang Xingdong, Han Jiangze, Lu Jiangyin, et al. Catalytic cracking of coal pyrolysis product for oil and gas upgrading over char-based catalysts [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2012 63(12): 3897-3905.
- [32] Han Jiangze, Wang Xingdong, Yue Junrong, et al. Catalytic upgrading of coal pyrolysis tar over char-based catalysts [J]. Fuel Processing Technology, 2014 122: 98-106.
- [33] 许 邦, 初 茉, 张慧慧, 等. 煤直接液化残渣热解研究现状 [J]. 洁净煤技术, 2013 19(4): 81-84.
- Xu Bang, Chu Mo, Zhang Huihui, et al. Research status of direct coal liquefaction residues pyrolysis [J]. Clean Coal Technology, 2013 19(4): 81-84.
- [34] 常 松, 初 茉, 孙任晖, 等. 褐煤与液化残渣共热解对煤气组成的影响 [J]. 煤炭工程, 2014 46(9): 116-119.
- Chang Song, Chu Mo, Sun Renhui, et al. Study on influence of lignite and liquefaction residue co-pyrolysis to gas composition [J]. Coal Engineering, 2014 46(9): 116-119.
- [35] Li Xiaolong, Xue Yanli, Feng Jie, et al. Co-pyrolysis of lignite and Shendong coal direct liquefaction residue [J]. Fuel, 2015, 144: 342-348.
- [36] 畅志兵, 初 茉, 孙任晖, 等. 煤直接液化残渣与褐煤共热解动力学研究 [J]. 煤炭科学技术, 2015 43(3): 138-141, 39.
- Chang Zhibing, Chu Mo, Sun Renhui, et al. Study on co-pyrolysis kinetics of coal direct liquefaction residue and lignite [J]. Coal Science and Technology, 2015 43(3): 138-141, 39.
- [37] Rada de Malherbe, Steve J Doswell. Synthetic fuel from coal [J]. Dusseldorf: VDI-Verlag, 1983 5(1): 33-37.
- [38] 张顺利, 丁 力, 郭启海, 等. 煤热解工艺现状分析 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2014(8): 46-51.
- Zhang Shunli, Ding Li, Guo Qihai, et al. Review of coal pyrolysis technology [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2014 (8): 46-51.
- [39] 梁 鹏, 巩志坚, 田原宇, 等. 固体热载体煤热解工艺的开发 [J]. 山东科技大学学报, 2007 26(3): 32-40.
- Liang Peng, Gong Zhijian, Tian Yuanyu, et al. Development and progress about coal pyrolysis with solid heat carrier [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology, 2007 26(3): 32-40.
- [40] 张 晶, 张生军, 周 凡, 等. 煤催化热解研究现状 [J]. 煤炭技术, 2014 33(4): 238-241.
- Zhang Jing, Zhang Shengjun, Zhou Fan, et al. Research advancement on coal catalytic pyrolysis [J]. Coal Technology, 2014 33(4): 238-241.