

我国典型特殊煤种特性及利用研究

王绍清^{1,2}, 唐跃刚^{1,2}, 李正越³, 秦云虎⁴, 郭鑫¹, 高伟程¹, 朱士飞⁴

(1.中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083;2.煤炭资源与安全开采国家重点实验室,北京 100083;

3.中国煤炭地质总局,北京 100038;4.江苏地质矿产设计研究院,江苏 徐州 221006)

摘要:为扩大特殊煤种和稀缺煤种的利用途径,以树皮煤、太西煤和小发路煤为试验煤样,通过工业分析、元素分析和显微组分分析等研究了 3 种煤样的宏观煤岩特征和煤属性性质,并对煤炭质量进行分级。结合煤样基本性质和工艺性能等提出 3 种煤的合理利用途径。结果表明,树皮煤属于高~特高挥发分、低灰和中高~高硫煤,太西煤属于特低挥发分、特低灰和特低硫煤,而小发路煤属于特低挥发分和特低灰煤。太西煤可用于生产超低灰纯煤,制备炭石墨复合材料、活性炭、优质铸造型焦等;小发路煤具有良好的加工利用前景,可用于生产活性炭、炭素、碳化硅、阴极炭块和高炉喷吹等;树皮煤应做到综合利用,加氢液化是一条可行之路。

关键词:特殊煤种;稀缺煤种;煤岩特征;质量分级

中图分类号:TD849

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2015)01-0032-05

Properties and utilization of typical coal types in China

WANG Shaoqing^{1,2}, TANG Yuegang^{1,2}, LI Zhengyue³, QIN Yunhu⁴, GUO Xin¹, GAO Weicheng¹, ZHU Shifei⁴

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

2.Laboratory of Coal Resources and Mine Safety, Beijing 100083, China; 3.China National Administration of Coal Geology, Beijing 100038, China;

4.Jiangsu Institute of Geology and Mineral Resource, Xuzhou 221006, China)

Abstract: In order to expand utilization ways of typical and scarce coal, the coal macro petrological characteristics and properties of Bark coal, Taixi coal and Xiaofalu coal were investigated by proximate analysis, ultimate analysis and maceral determinate, etc. Furthermore, these coals were graded according to the relatively national standards. The results showed that the Bark coal was characterized by super-high and high volatile matter, low and medium-low ash, medium-high and high sulfur. The Taixi coal was featured by ultra-low volatile matter, super-low ash, ultra-low sulfur and the Xiaofalu coal was ultra-low volatile matter and ultra-low ash. The Taixi coal was able to be used in the production of ultra-low clean coal, carbon-graphite compound materials, activated carbon and high quality foundry coke, the Xiaofa coal could be used in the production of activated coke, carbon, silicon carbide, cathode carbon block and blast furnace PCI coal. The Bark coal should be utilized comprehensively and liquefaction was a good choice.

Key words: typical coal; scarce coal; petrological characteristics; quality classification

0 引言

稀缺煤炭资源是指具有十分重要的工业用途,其利用途径具有一定产业规模,需求量大但资源量又相对较少的优质煤炭资源^[1]。而特殊煤炭资源

是指煤中某个或某些成分、结构与一般煤有所不同,其含量特高或特低,并具有一些特殊性质的煤炭资源。由于特殊煤种具有独特的物理化学性质,深入研究并合理利用这些性质对于国民经济建设意义重大。目前我国煤炭消费的 80% 以上作燃料,大量特

收稿日期:2014-07-04;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.01.008

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40772101,41102097);中国地质调查“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(2012111003)

作者简介:王绍清(1979—),男,辽宁朝阳人,副教授,从事煤地质学研究。E-mail:wanzq@cumt.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.我国典型特殊煤种特性及利用研究[J].洁净煤技术,2015,21(1):32-36.

WANG Shaoqing, TANG Yuegang, LI Zhengyue, et al. Properties and utilization of typical coal types in China[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(1): 32-36.

殊煤种和稀缺煤种未得到合理利用,造成严重浪费。根据《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储备。2012 年 12 月,中华人民共和国国家发展和改革委员会公布了《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及稀缺煤种的研究具有重要的现实意义。树皮煤是我国独有的一种典型特殊煤种,煤岩学^[2-8]和化学特征^[2,4,6,8-10]等研究表明,树皮煤确有其特殊性,但对于其高效利用途径的研究很少。被誉为“煤中之王”的稀缺煤种——太西煤^[11-18]是制造石墨和炭制品的最佳原料,在冶金、化学、航天等领域也有应用。小发路煤是优质无烟煤^[19-20],对于其加工利用途径的研究较多^[21-23],但均缺乏系统性,尤其在合理利用方面。鉴于此,笔者选择树皮煤、太西煤和小发路煤为研究对象,系统分析其煤岩学、化学组成等特征,讨论其合理利用途径,为正确、合理开发利用这些煤种提供基础数据研究。

1 试验条件

1.1 样品采集

树皮煤样采集于乐平地区鸣山煤矿 B₃煤层、浙江省长广煤矿 C 煤层。太西煤样采集于宁夏汝箕沟矿区 3 号煤层,小发路煤样采集于云南小发路矿 C₅煤层。

1.2 测试分析

煤样破碎至 0.85 mm 后制成煤砖光片,按照 GB/T 8899—1998《煤的显微组分组和矿物测定方法》对煤的显微组分进行定量分析。煤样破碎到 0.25 mm 后按照 GB/T 212—2008《煤的工业分析方

法》、GB/T 476—2008《煤中碳和氢的测定方法》、GB/T 214—2007《煤中全硫的测定方法》进行工业分析和元素分析。为进一步判定煤炭质量分级,按照 GB/T 15224.1—2010《煤炭质量分级 第 1 部分:灰分》、GB/T 15224.2—2010《煤炭质量分级 第 2 部分:硫分》及 MT/T 849—2000《煤的挥发分产率分级》对试验煤样进行分级分析。

2 结果与讨论

2.1 树皮煤的性能

2.1.1 煤岩学和煤化学特征

1)宏观煤岩特征。树皮煤呈黑色,光泽暗淡,致密坚韧,其宏观煤岩类型主要由半暗煤和暗淡煤组成,以半暗煤为主。宏观煤岩组成主要以暗煤为主,其次是亮煤,亮煤以条带状出现居多,也可见镜煤。这与 Hsieh^[2]、任德贻等^[3]、吴俊^[24]研究结果相似。Hsieh^[2]首次描述了乐平树皮煤的煤岩学特征,指出树皮煤具有暗淡色、致密状等宏观煤岩特征。

2)煤属性分析。树皮煤部分工业分析、元素分析及显微组分分析见表 1。由表 1 可知,煤显微组分主要由镜质组和类脂组组成,其中类脂组含量很高,有的高达 80% 多。元素组成中,氢含量为 5.65%~6.34%,全硫含量为 2.06%~15.64%,属于中高~高硫煤。工业分析中,灰分为 3.72%~34.15%,变化较大,但绝大部分为 10%~20%,为低灰煤,在个别地区为特低灰煤。挥发分较高,为 44.80%~65.15%,属于高~特高挥发分煤。因此,树皮煤具有挥发分、氢含量和全硫含量均较高、灰分较低的特点。

表 1 树皮煤部分工业分析、元素分析及显微组分分析

来源	煤田或 矿井	工业分析和元素分析/%				显微组分含量/%		
		A_d	V_{daf}	$w(H_{daf})$	$w(S_{t,d})$	镜质组	类脂组	惰质组
本试验	鸣山	17.99	56.03	6.13	11.79	34.20	56.60	9.20
本试验	鸣山-2	7.54	53.29	6.00	2.64	64.50	28.20	10.30
本试验	鸣山-4	14.16	57.51	6.36	6.54	15.00	81.40	3.50
本试验	长广	16.52	49.75	6.34	6.54	34.00	54.40	11.60
本试验	长广-3	14.54	44.80	6.23	4.74	20.00	69.10	11.10
本试验	长广-5	17.36	48.86	6.17	4.13	50.00	39.60	12.60
Hsieh ^[2]	乐平	3.72~19.54	45.50~65.15	—	2.06~5.80	—	—	—
戴和武等 ^[9]	鸣山	4.92	59.12	—	2.37	24.20	64.70	11.10
Zhong 等 ^[6]	长广	16.91~34.15	47.30~51.89	5.65~6.29	3.70~5.67	36.00	60.00	4.00
Sun 等 ^[25]	金山	—	—	—	2.56~15.64	5.60~17.80	80.20~88.00	1.60~10.50

2.1.2 工艺性能

了解和掌握煤的热解行为对煤的加工利用转化具有重要作用。Wang 等^[10]在不同升温速率下对鸣山 B₃煤层和长广 C 煤层树皮煤进行热重分析。结果表明,树皮煤的热解非常剧烈,失重的最大热解速率高于 0.30%/℃,最大可达 1.11%/℃;加热速率为 10℃/min 时,树皮煤在 380~500℃有一个狭窄又尖的峰。树皮煤具有极强的流动度,其最大基氏流动度均都大于 180 000 ddpm(固定力矩条件下的最大转速)(数值已超出基氏流动仪的上限,故仅供参考)。树皮煤黏结性强,其胶质层最大厚度普遍在 23.0~29.5 mm,奥氏膨胀度一般在 280%以上,胶质体流动性大、黏稠度较小,热稳定性差^[9]。戴和武等^[9]、Wang 等^[26]研究了树皮煤的液化性能。结果表明,树皮煤的液化转化率和液体收率都不高。430℃时,树皮煤的液化转化率在 85%以上,但液化转化率受温度影响,当温度到一定程度时,富含树皮体煤的转化率变化不大。

2.1.3 生烃性

树皮煤中的树皮体含量高。大量全岩热解(Rock-Eval)研究表明,树皮煤或树皮体具有高生油能力,其生烃潜力(吸附烃 S₁+热解烃 S₂)和氢指数(HI)均较高^[8-10,24-28],其生烃能力比以镜质组为主的腐植煤高出几倍到数十倍^[24]。吴俊等^[29]研究了江西鸣山矿 B₃煤层的生烃性,得到其 S₂为 419.20

mg/g,HI 为 520.75 mg/g。同时,长广地区树皮煤的热解结果表明,热解产物的脂肪族部分富含 C₁₂以下正构烷烃。树皮体的热解烃类产品主要由轻油(C₆~C₁₄)和湿气(C₂~C₅)组成,少量重油(C₁₅⁺)和 CH₄^[30],树皮体烃类液态烃组成具有低蜡、高芳烃、轻质油为主的特征^[31]。

2.2 太西煤的性能

2.2.1 煤岩学和煤化学特征

1)宏观煤岩特征。太西煤的宏观煤岩类型以半亮型为主,光亮型煤和半暗型少量。煤岩成分以亮煤为主,夹少量条带状镜煤、暗煤及薄层丝炭。颜色多为黑灰色,多呈线理状-条带状结构,常见阶梯状断口和参差状断口,也见有贝壳状断口,内生裂隙不发育。

2)煤属性分析。太西煤部分工业分析、元素分析及显微组分分析见表 2。由表 2 可知,太西煤主要由镜质组和惰质组组成。由于太西煤的煤化度高,其煤级达到无烟煤,在普通光学显微镜下未检测到类脂组。元素组成中,氢含量为 3.24%~3.95%,全硫含量为 0.14%~0.67%,绝大部分属于特低硫煤。工业分析中,灰分为 2.88%~13.43%,变化较大,但绝大部分处在 10.00%左右,为特低灰煤,也见有低灰煤。挥发分为 5.17%~9.06%,属于特低挥发分煤。因此,太西煤具有挥发分、全硫和灰分均特低的特点。

表 2 太西煤部分工业分析、元素分析及显微组分分析

来源	煤田或 矿井	部分煤质指标/%				显微组分含量/%		
		A _d	V _{daf}	w(H _{daf})	w(S _{t,d})	镜质组	类脂组	惰质组
本试验	汝箕沟-2	2.88	5.35	3.32	0.23	61.40	—	38.60
本试验	汝箕沟-3	3.21	5.68	3.32	0.20	62.50	—	37.50
本试验	汝箕沟-3	3.33	5.96	3.30	0.25	61.70	—	38.30
本试验	汝箕沟-9	3.13	6.32	3.28	0.19	63.30	—	36.70
本试验	汝箕沟-15	6.79	5.58	3.36	0.23	63.70	—	36.30
本试验	汝箕沟	8.33	8.31	3.45	0.21	65.60	—	34.40
刘善荃 ^[11]	汝箕沟	3.05~3.88	5.17~6.26	—	0.19~0.37	—	—	—
张西春 ^[12]	汝箕沟	8.54~13.43(A _{ad})	6.76~9.06	3.60~3.95	0.07~0.50(S _{t,ad})	—	—	—
陈文敏等 ^[18]	汝箕沟	8.54~13.43	—	—	0.24~0.67	—	—	—
曾勇 ^[32]	汝箕沟	<10.00	—	—	0.14~0.54	—	—	—
文献 ^[4]	汝箕沟	7.13~12.93	—	3.24~3.47	0.14~0.57	54.20~63.60	—	36.40~45.80

2.2.2 工艺性能

汝箕沟煤具有高发热量、高强度、高化学活性等特点^[13,18]。刘善荃^[11]对汝箕沟煤和国际优质的越南鸿基、美国宾夕法尼亚煤进行了对比分析,结果表

明,汝箕沟煤与其他 2 种煤样的水分、灰分、发热量等指标差别较小,有的指标甚至优于其他煤种。陈文敏等^[18]研究表明,汝箕沟煤的灰熔融性普遍较低,软化温度在 1260℃以下,熔融温度一般也低于

1300 ℃,最低软化温度在 1100 ℃ 以下。而汝箕沟煤发热量为 32.32~33.12 MJ/kg,热稳定性 R_{+6} (大于 6 mm 的残焦质量比) 为 86.80%~91.00%, R_{6-3} (3~6 mm 的残焦质量比) 为 1.62%~32.21%,机械强度 (大于 25 mm) 为 71.2%~92.00%,一般为 8.40%~87.00%^[3]。

2.3 小发路煤的性能

2.3.1 煤岩学和煤化学特征

1) 宏观煤岩特征。小发路煤的宏观煤岩类型以光亮型和半亮型为主。煤岩成分以镜煤和亮煤为主,夹少量暗煤。颜色多为黑色,光泽为似金属光泽或金刚光泽,条带状结构,常见贝壳状断口、阶梯状断口,内生裂隙不发育。

2) 煤属性分析。小发路煤部分工业分析、元素

分析及显微组分分析见表 3^[10]。由表 3 可知,小发路煤主要由镜质组和惰质组组成,其中,镜质组含量很高,均在 80%左右。由于小发路煤的煤级是无烟煤,煤化程度高,在普通光学显微镜下未能检测到类脂组。元素组成中,氢含量为 3.11%~3.81%,全硫含量为 0.39%~4.84%,变化很大,文献[19]指出小发路煤 C₅煤层具有高硫特点,但集中分布于煤层顶板和底板附近,且煤中硫以硫铁矿硫为主,因此,在加工利用中易处理。本文中发现一个样品的全硫含量为 4.70%。工业分析中,灰分为 1.61%~18.73%,变化较大,但绝大部分处在 10.00%以下,为特低灰煤。挥发分为 4.96%~8.16%,属于特低挥发分煤。因此,小发路煤具有挥发分特低、灰分特低和全硫变化大等特点。

表 3 小发路煤部分工业分析、元素分析及显微组分分析

来源	煤田或 矿井	部分煤质指标/%				显微组分含量/%		
		A_d	V_{daf}	$w(H_{daf})$	$w(S_{t,d})$	镜质组	类脂组	惰质组
本试验	小发路-2	1.61	4.96	3.25	0.56	80.20	—	18.80
本试验	小发路-4	3.15	5.12	3.23	0.39	80.60	—	17.60
本试验	小发路-5	4.82	5.82	3.20	1.96	79.90	—	17.10
本试验	小发路-6	2.51	5.17	3.29	0.63	80.20	—	18.40
本试验	小发路-7	2.29	4.96	3.26	0.84	79.50	—	19.10
本试验	小发路	7.61	6.98	3.17	4.70	77.40	—	16.40
文献[19]	小发路 C ₅ 煤层	3.12~18.73	5.11~8.16	3.11~3.81	0.71~4.84	77.30	18.00	4.70

2.3.2 工艺性能

小发路煤的煤质优等,但对其工艺性能的研究很少。试验测得小发路 C₅煤各分层的发热量为 29.85~36.40 MJ/kg,原煤发热量加权平均值为 35.54 MJ/kg。文献[19]中小发路煤 C₅煤层的发热量为 28.48~33.57 MJ/kg,平均为 30.77 MJ/kg,煤灰熔融软化温度为 1120~1430 ℃,平均 1257 ℃,为中等软化温度灰,而流动温度平均在 1400 ℃ 左右,煤灰成分中 Fe₂O₃ 含量较高。李小彦等^[20] 分析了小发路分层煤样的煤灰成分,发现其灰熔融性较低,灰熔融软化温度在 1140~1230 ℃,流动温度在 1210~1260 ℃;小发路煤的抗碎强度和热稳定性均较高。

3 树皮煤、太西煤和小发路煤的利用建议

太西煤和小发路 C₅煤层煤均具有挥发分、灰分、全硫、灰熔融性低,发热量、热稳定性高等特点。小发路煤的灰分低于太西煤,而全硫含量高于太西煤(除去个别点)。曾勇^[32] 分析了我国西部地区特

殊煤种的性质及综合开发利用。太西煤可用于生产超低灰纯煤^[8],制备炭石墨复合材料^[5]、活性炭^[6]、优质铸造型焦^[7]等,但对其深加工和产品的研究力度还有待提高。对于小发路煤,由于缺乏系统研究,对其深入开发利用还没有全部展开,但由于小发路煤的煤质性能可与太西煤相媲美,部分指标甚至优于太西煤,因此,具有良好的加工利用前景,可用于生产活性炭、炭素、碳化硅、阴极炭块和高炉喷吹等。树皮煤具有高挥发分、生烃性能好、焦油产率高等特点,是很好的化工原料,可用于低温干馏。同时,树皮煤的黏结性强,膨胀性大,胶质体多而稀,硫含量高,导致其用作动力用煤时存在结渣现象、污染严重等问题,因此,寻找一条树皮煤综合利用的途径尤为重要。戴和武等^[9] 研究表明,树皮煤液化性能不理想。但鉴于树皮煤的挥发分高、惰质组含量低、煤级低(气煤阶段)、H/C 比高等特点,笔者认为,只要探索合理的液化工艺条件,树皮煤作为液化用煤完全可行。

为充分利用树皮煤、太西煤和小发路煤,需加强对这些煤种的基础研究,突出其特殊性和稀缺优质性。同时,还要求国家相关部门对树皮煤、太西煤和小发路煤进行必要勘查,摸清资源量,制定相应政策、法规保护这些煤种,以免浪费或乱用,同时充分挖掘树皮煤、太西煤和小发路煤的潜力和价值,服务于社会。

4 结 语

通过研究树皮煤、太西煤和小发路煤的煤质特性,结合相关作者研究成果,根据挥发分、灰分、全硫等指标,对树皮煤、太西煤和小发路煤进行了煤炭质量分级。通过考虑灰熔融性、黏结性等工艺指标,分析了3种煤的合理利用途径。树皮煤属于高~特高挥发分、低灰和中高~高硫煤,太西煤属于特低挥发分、特低灰和特低硫煤,而小发路煤属于特低挥发分和特低灰煤。太西煤可用于生产超低灰纯煤,制备炭石墨复合材料、活性炭、优质铸造型焦等;小发路煤缺乏系统研究,但其煤质性能可与太西煤相媲美,具有良好的加工利用前景,可用于生产活性炭、炭素、碳化硅、阴极炭块和高炉喷吹等。树皮煤应做到综合利用,加氢液化是一条可行之路。

参考文献:

- [1] GB/T 26128—2010, 稀缺、特殊煤炭资源的划分与利用[S].
- [2] Hsieh C Y. On lopinite, a new type of coal in China[J]. Bulletin of the Geological Society of China, 1933, 12(4): 469-490.
- [3] 任德贻, 高庆才, 刘翔生, 等. 江西乐平凹陷乐平组含煤建造煤岩煤质特征[C]//中国地质学会第32届学术年会论文选集. 北京: 中国地质学会, 1963: 124-128.
- [4] 韩德馨, 任德贻, 郭敏泰. 浙江长兴广煤田树皮残植煤的成因及其沉积环境[J]. 沉积学报, 1983, 1(4): 1-14.
- [5] 韩德馨, 任德贻, 王延斌, 等. 中国煤岩学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [6] Zhong Ningning, Smyth M. Striking liptinitic bark remain specular to some Late Permian Chinese coals[J]. International Journal of Coal Geology, 1997, 33(4): 333-349.
- [7] Sun Xuguang. The optical features and hydrocarbon-generating model of "barkinite" from Late Permian coals in South China[J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 51(4): 251-261.
- [8] 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.
- [9] 戴和武, 陈祚生, 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, 9(3): 81-87.
- [10] 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.
- [11] 刘善荃. 太西煤资源评价与合理加工利用途径[J]. 煤炭加工与综合利用, 1988(4): 56-61.
- [12] 张西春. 太西煤煤质变化规律及其加工利用途径[J]. 选煤技术, 1992(2): 12-15.
- [13] 宁夏煤田地质局. 宁夏煤业集团汝箕沟煤矿井生产地质报告[R]. 银川: 宁夏煤田地质局, 2005.
- [14] 时迎迎, 臧文平, 楠 顶, 等. 太西煤的石墨化改性及其锂离子电池负极性能[J]. 煤炭学报, 2012, 37(11): 1925-1929.
- [15] 杨旭洲. 太西煤基活性炭制备研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2013.
- [16] 张天兵, 赵 沛. 太西煤冷压成型制取优质铸造型焦[J]. 宁夏工程技术, 2003, 2(4): 301-303.
- [17] 吴向勇, 史素云, 李矿军. 太西煤: 由燃料到原料的巨变[N]. 中国煤炭报, 2009-03-16(2).
- [18] 陈文敏, 刘序普. 汝箕沟矿区无烟煤资源的性质及其利用途径[J]. 煤炭加工与综合利用, 1985(3): 40-44.
- [19] 云南省煤炭地质勘查院. 云南省彝良县小发路煤矿区东部北段详查报告[R]. 昆明: 云南省煤炭地质勘查院, 2004.
- [20] 李小彦, 崔永君, 杜新峰, 等. 一种值得关注的高效洁净煤资源: 云南昭通小发路无烟煤性能研究[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(1): 13-14.
- [21] 蒋建华. 小发路煤矿煤质特征及加工利用初探[J]. 云南煤炭, 2005(2): 17-18.
- [22] 高西平, 余艳平, 王 薇. 小发路无烟煤可选性初探[J]. 云南冶金, 2012, 41(1): 25-27.
- [23] 郭 伟, 刘洪波, 许 阳. 云南小发路无烟煤生产密闭糊的研究[J]. 炭素技术, 2007, 26(3): 6-12.
- [24] 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): 86-93.
- [25] Sun Yuzhuang, Zhao Cuiliang, Lin Mingyue, et al. Formation mechanism of maceral and mineral compositions of the "barkinite" liptobiolith from the Jinshan mine, Anhui Province, China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2010, 84(3): 643-653.
- [26] 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.
- [27] 吴 俊. 我国南方龙潭煤系镜亮煤、藻烛煤、树皮煤成烃规律研究[J]. 中国煤田地质, 1993, 5(2): 23-27.
- [28] Sun Xuguang. The optical features and hydrocarbon-generating model of "barkinite" from Late Permian coals in South China[J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 51(4): 251-261.
- [29] 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): 29-36.
- [30] 周松源, 徐克定, 杨 斌, 等. 南鄱阳拗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.
- [31] 沈金龙. 南方龙潭组树皮体在水介质条件下热压模拟试验[J]. 南方油气地质, 1995, 1(2): 34-42.
- [32] 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.