

· 学科进展与展望 ·

中国特殊煤种——树皮煤的研究进展*

唐跃刚 郭亚楠 王绍清

(中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083)

[摘要] 树皮残植煤为我国华南晚二叠世特殊煤种之一,具有高挥发份、低水分、高硫(尤其有机硫)、高熔融性、高溶胀性和高焦油产率等特点。针对树皮残植煤的研究,从上世纪30年代开始距今已有80余年,取得了一定进展。本文对树皮残植煤的研究进行了概括和总结,并基于此,对其进一步研究提出了建议。

[关键词] 树皮残植煤,树皮体,分布,煤岩特征

1 引言

谢家荣(1933)研究乐平地区晚二叠世煤时发现此地区的煤不同于一般的腐植煤,具有高挥发份、低水分、高硫(尤其有机硫)、高熔融性、高溶胀性和高焦油产率等特点,并建议此煤为“lopinite”^[1]。此后,树皮煤的研究引起了国内大量学者的密切关注。研究发现,这种特殊煤种最主要煤岩特征是含有一种特殊显微组分—树皮体(barkinite)。尽管过去常把树皮体称之为木栓质体(suberinite)^[2,3],但是,在中国,曾先后把其定义为树皮体^[4-7]。其定义为:由植物的周皮组织形成的壳质体,其纵横切面呈叠瓦状结构^[7]。韩德馨等把树皮体含量大于50%的煤称之为树皮体残植煤,简称树皮煤^[8]。但是,陈其爽等^[9]和张爱云等^[10]提到按照树皮体的质量分数,把树皮体含量高于40%的称为树皮煤,40%—15%的为富树皮煤,而低于15%的为含树皮煤。刘惠永等研究六盘水地区龙潭煤系时,提出根据镜质组和树皮体含量将此地区煤分为富镜质体含树皮体煤、富镜质体较富树皮体煤、富镜质体富树皮体煤和树皮煤。其树皮煤中树皮体含量高于40%^[11]。

过去80多年来,大量学者从不同角度对树皮煤展开了广泛的研究。由于到目前为止,仅仅在我国发现有树皮煤,所以,有关它的大量研究工作都是由我国学者完成的。其研究的主要内容集中在:形成物质和成煤环境^[1,2,9,12-22]、煤岩学特

征^[1,2,8,10,12,13,16,19,23-25]、化学特征^[1-3,19,22,26-33]、煤相^[16,34,35]、化学结构^[19,31,33,36-48]和生烃性^[10,23,24,37,38,41,42,49-59]。

金瞰昆总结了树皮煤研究的现状与未来,并指出了树皮体地球化学性质研究发展趋势的几个方面^[60]。从2002年以来,虽继续研究树皮体的煤岩学特征,但更多关注的是树皮体的化学特征和化学结构^[29,31,43,44,47]、地球化学性质^[25,61,62]以及生烃性^[24,57-59]。与此同时,许多现代分析测试手段和方法也被运用到树皮体的研究中来。如为了研究树皮体的化学结构特征,涉及到透射显微红外光谱^[45,47]、¹³C-核磁共振^[33]等技术手段。运用溶剂抽提、液相色谱、气相色谱、色谱-质谱联用、同位素分析以及Rock-Eval热解等技术和实验方法详细分析了树皮体的地球化学性质,并与其他显微组分进行了对比,表明了树皮体确实与其他显微组分(镜质组、惰质组和孢子体)的性质不同^[25,61,62]。

尽管就树皮煤已经做了大量的工作,但是其树皮体的命名至今还没有得到国际组织—国际煤和有机岩学委员会(ICCP)和有机岩石学会(TSOP)的承认。Hower等人^[63]也指出,无论是从煤岩学角度还是化学角度,树皮体与已明确定义的壳质组之间是否存在本质的区别仍不甚清晰,因此,命名树皮体是一种新的显微组分并不恰当。树皮体的研究确实还存在一些问题没有得到彻底解决。如树皮体究竟来自哪种植物,或者植物的哪个组织?树皮体形成的

* 国家自然科学基金资助项目。
本文于2011年1月3日收到。

条件如何,即成煤环境如何?树皮煤的工艺性质和转化特性如何等等。这些未解决的问题为树皮体在煤岩学上的定位设置了障碍。正是基于还有许多问题没有得到解决,对树皮煤的归纳和总结显得越发重要,这既可以为今后的研究工作提供指导并明确方向,同时,对其物理、化学和工艺等性质的掌握有利于此类煤的合理利用。

2 地质背景

2.1 树皮煤的分布

晚二叠世为我国南方的主要聚煤期,由于聚煤环境及植物生长发育特点,决定了我国南方晚二叠

世煤的成因类型主要是腐植煤^[8],树皮残植煤亦属于局部地区富集树皮体而形成的腐植煤的一种。树皮残植煤在我国的南方晚二叠世煤和北方早二叠世煤中均有分布。在南方,树皮残植煤主要分布在苏南吴县^[14]、浙北长广^[2]、江西乐平^[1]和安徽广德^[14]、重庆南桐^[37]、贵州水城^[16]等地区,而在北方,邢台矿区发现有树皮体的赋存情况^[61]。但是,树皮残植煤主要还是分布在我国的南方(见图 1)。从图 1 可以看到,其分布基本呈北东-南西方向走向。比较著名的几个树皮残植煤的分布煤田有乐平煤田、长广煤田和水城煤田。

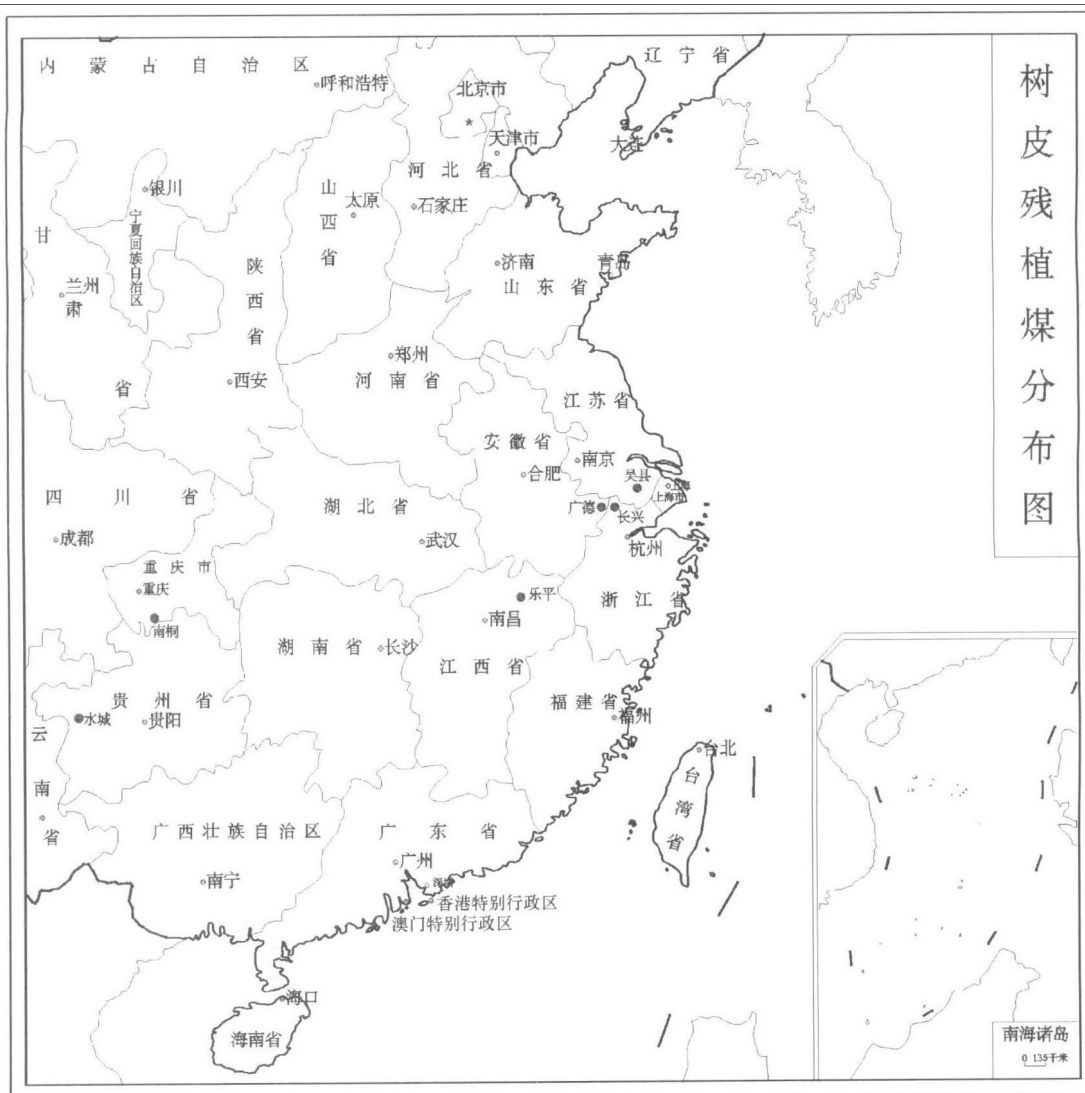


图 1 树皮残植煤的分布图

2.2 沉积环境

我国南方晚二叠世龙潭组含煤岩系,上覆地层为长兴组,下伏地层,浙江长广地区的为孤峰组,江西乐平为茅口组,贵州水城为汪家寨组。龙潭组系

由砂质页岩、粉砂岩、灰岩、泥岩、煤层等组成^[1,2,12 14,19],如图 2。龙潭组含煤建造主要含 B 和 C 两煤组十余煤层,浙江长广地区树皮残植煤的主可采煤层为 C 煤层,乐平地区则为 B₃煤层,贵州水

城地区树皮残植煤主要为 C₄₀₉ 煤层。

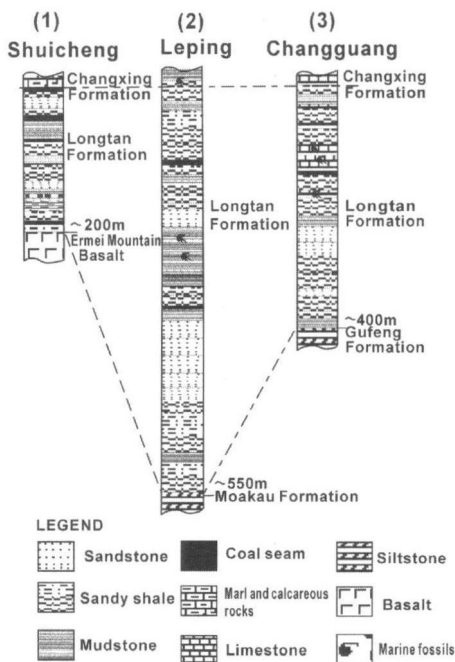


图2 水城、乐平和长广盆地的晚二叠世地层图^[19]

长广地区 C 煤层形成于潮坪泥炭沼泽沉积体系,煤层底板为形成于淡水沼泽环境的灰白色泥岩-粉砂质泥岩,煤层之上为形成于高能量浅海-滨海环境的一层浅灰色砂粒级生物碎屑灰岩,通过对煤层中的化石进行统计分析结果表明 C 煤层的形成环境是较大面积堆积高等植物遗体的泥炭沼泽^[2]。

乐平地区煤层底部为粗砂岩层,顶部为泥质页岩,含煤岩层以页岩为主^[12]。陈其爽通过对显微煤岩标志和地球化学标志的测定和分析得出江西乐平树皮残植煤的沉积环境具有动荡、微咸化、偏碱性、强还原性的物理化学性质^[18]。

张井等对长广和乐平的树皮残植煤的沉积环境运用煤岩特征分析法做了进一步的研究,指出华南晚二叠世“树皮煤”主要形成于受海侵影响的覆水较深的森林泥炭沼泽和开阔水域泥炭沼泽环境^[34]。此外,关于树皮残植煤的沉积环境的研究,许多学者认为其和我国海南现代红树林泥炭相类似^[9,14,18],红树林泥炭为一套海相过渡相沉积,大量植物残体形成腐植泥,泥炭的堆积属广海型泥炭坪堆积。

2.3 植物群落

李海立通过对皖南龙潭组的含煤地层中植物化石的分析,把皖南龙潭组植物群落列为烟叶大羽羊齿-多叶瓣轮叶组合^[15]。陈其爽在前人研究的基

上将南方龙潭组植物群划分为两种组合:福建单网羊齿-华夏齿叶(早二叠世晚期植物群)和烟叶大羽羊齿-多裂瓣轮叶(晚二叠世早期植物群)^[18]。郭英廷通过运用植物形态学和解剖学,详细探讨了贵州晚二叠世含煤岩系的植物古生态并将其分为四种群落类型:沼泽群落、岸边群落、中生群落和高地群落,其中主要参与成煤的植物群落为大羽羊齿和辉木为优势植物的中生群落^[17]。玄承锦对江西乐平鸣山煤矿 B₃ 煤层的顶底板中的植物化石进行了鉴定分析,详细地确定了各植物的种属和各种属所占的比重,并和我国其他地区同期的植物群落进行了比较,研究表明参与成煤的主要植物为蕨类植物的石松纲、楔叶纲和真蕨纲^[20]。

3 煤岩学特征

3.1 树皮体的分类

阎峻峰等根据乐平地区树皮煤的煤岩鉴定结果,把树皮产状归纳为三类:(1)全部由树皮组成,其他显微组分几乎完全消失。(2)树皮数量减少,且形状呈碎块状,有较规律的浸沉于不透明的丝炭化基质中。(3)树皮为次要成分,大多呈带状夹在凝胶化或丝炭化基质中。并据此三种树皮的产状,又将其分为三种显微煤岩种类:(1)树皮煤;(2)树皮暗煤;(3)树皮亮煤质暗煤或树皮暗煤质亮煤^[12]。韩德馨等研究浙江长广煤田 C 煤层的树皮残植煤时,按照解剖结构的不同,树皮体可分为:(1)最常见的茎部或根部的木栓组织;(2)木栓化的细根;(3)属于有细根穿过的根部木栓组织^[2]。马兴祥依据树皮体(根皮体)在显微镜下的不同形态和保存方式等因素,把树皮体分为七种类型,即:单层型、多层型、多层环状型、侧根伸出型、胞腔中空型、高降解型和特殊型^[16]。陈其爽等研究乐平煤的成因及成煤物质时,根据树皮体在植物株上的部位,树皮体可分为茎皮体和根皮体二种亚组分;而从形态上分为条带状和碎片状;按结构分为单层型、多层型和多层环带型^[9]。

3.2 煤岩特征

树皮煤的煤岩特征描述是从宏观和微观两个方面展开的。微观描述借助于光学显微镜。其几个典型地区的树皮体含量统计见表 1。

表 1 树皮煤的基本数据表

资料来源	煤田或矿井	反射率 (%)	树皮体含量 (%)	挥发份产率 (%)	氢含量 (%)	H/C 原子比
Hiseh, 1933; 韩德馨等, 1996; Guo et al., 1996; Querol et al., 2001; Wang et al., 2010b	乐平, 江西	0.67—0.77	0.20—78.71	42.36—65.16	>6	>0.95
韩德馨等, 1996; Guo et al., 1996; 张井等, 1998; Sun, 2005; Wang et al., 2010b	长广, 浙江	0.70—0.76	1.83—74.42	36.25—56.44	5.98—7.51	0.87—0.94
Guo et al., 1996; Sun and Wang, 2000; Sun, 2002, 2005	水城, 贵州	0.61—0.95	19—40.4			
阎峻峰等, 1958	鸣山, 江西			41.3—59.79	5.91—6.44	
吴士清等, 1988	浙北晚二叠世龙潭期含煤岩系		44.98—66.47	52—64	7.00—7.51	
Zhong and Smyth, 1997	牛头山, 浙江	0.74	5—60	47.30—51.89	5.65—6.29	0.84—0.88
曾荣树等, 1998; Sun, 2003; Wang et al., 2010b	大河边, 贵州		12.2—24	38.37—44.24	5.85—6.40	0.81—0.94
Sun, 2005	铜陵, 安徽	0.78	43.6			
韩德馨等, 1996	吴县, 江苏		5.6—20.3	27.35—34.75	4.91—5.63	
韩德馨等, 1996	恩口, 湖南		5.2—8.3			
韩德馨等, 1996	韶山, 湖南		15—23			
韩德馨等, 1996	萍乡, 贵州		13.5—21.4			
韩德馨等, 1996	六枝, 贵州		2.6—31.8			
韩德馨等, 1996	富源, 云南		15			
韩德馨等, 1996	南桐, 四川		15			
Sun, 2002	东庞, 河北		0—1.6			
吴俊等, 1990	松藻打通矿 8 煤层, 重庆		>50			
吴俊, 1992	南桐硯石台 4 煤层, 四川	1.10	71			
Van Krevelen, 1961 ^[19]	煤(富含镜质组)			~40	4.4—4.9	≤0.8
Iglesias et al., 2002	富氢煤 (Perhydrous)			52.1—72.1	5.7—7.4	0.83—1.07

谢家荣首次描述了乐平地区树皮煤的煤岩特征,指出树皮煤宏观煤岩特征是暗淡色且致密状。其显微煤岩特征:纵切面由不透明、半透明和透明组织交替组成。有矩形砖状细胞结构出现,细胞组织呈现黄色、褐色和红褐色^[1]。任德贻等也研究了乐平煤的煤岩特征,发现其树皮体局部可见叠瓦状鳞片状结构^[13]。此后,对乐平地区、长广地区和水城地区树皮煤的宏观煤岩特征研究^[23,34],也表明其宏观煤岩特征是呈暗淡色且致密状,主要由亮煤和暗煤组成,而主要的煤岩类型是半暗煤和暗淡煤。

对华南晚二叠世树皮煤的煤岩特征研究,可以得到以下初步认识^[1,2,9,10,12,13,16,19,23,24,34]:

(1) 在光学显微镜下,树皮体的颜色比同期的镜质组的颜色暗,而与壳质组的颜色类似。

(2) 一般而言,树皮体呈锯齿状。在显微镜下,可见到不同形状的树皮体。Sun 研究贵州水城大河边煤层中树皮煤的树皮体煤岩特征时,将树皮体按形态分为四种类型:厚型、锯齿型、环型和无结构型,

并指出四种类型与形成环境有关,其中前三种可能与镜质组形成条件相似,而无结构型树皮体可能与惰屑体的形成条件相似(弱氧化成煤条件)^[25]。此外,树皮体呈类似周皮组织形状^[19]。

(3) 树皮体常常呈或单层或多层或环形出现。树皮体的厚度从一层到多于十层均有出现,且每个煤植体(phyterals)有几厘米长^[19]。Sun 也指出,华南晚二叠世树皮体的长度和厚度分别为 0.8×10^3 — $1.2 \times 10^4 \mu\text{m}$ 和 14 — $60 \mu\text{m}$ ^[24]。

(4) 树皮体的细胞壁和细胞充填物之间没有明显的界限,且树皮体常常与基质镜质体、半丝质体、丝质体和惰屑体共生^[19,25]。

(5) 树皮体有明显的亮黄色荧光现象^[19],观察得到,当镜质体随机反射率为 0.6% 时,树皮体的荧光强度最强,而反射率至 1.10% 时,其荧光强度最弱。Sun 也指出在镜质体随机反射率为 0.6%—0.80% 时,树皮体有强的橙黄-亮黄荧光。反射率低于 0.90% 时,树皮体仍有很强的荧光性,但当反射

率高于 1.20%—1.30% 之后,树皮体的荧光强度消失^[24]。

Zhong 等人^[19]和 Sun^[24]详细分析了树皮体与木栓质体和角质体的煤岩学特征区别。其区别点主要集中在以下几点:(1)木栓质体仅指木栓质化的细胞壁,而不包括细胞充填物。且细胞壁和细胞充填物之间有明显的界限。而树皮体既指细胞壁也指细胞充填物,且二者之间没有明显界限。(2)大部分木栓质体在镜质组反射率为 0.50% 时的荧光就消失了^[64]。而树皮体在反射率为 0.60%—0.80% 时有强亮黄—橙色荧光,而直到反射率超过 1.20%—1.30% 时,大部分树皮体的荧光性才消失。(3)木栓质体在中国南方的三叠纪和北方的中生代中均有分布,而树皮体只在中国南方晚二叠世的龙潭组和北方的早二叠世有所发现。(4)角质体只有单层出现,而树皮体不但有单层,也能多层出现。(5)在同成熟度下,角质体的荧光强度高于树皮体。(6)在中国煤中,树皮体的单层厚度要厚于角质体。

沈金龙对树皮体模拟固态产物进行镜下显微特征鉴定^[52]。孙旭光等分别对含树皮体煤和树皮体不同热模拟温度下的光性演化特征进行了描述。其光性特征包括反射色、荧光色、气孔量、形态等。树皮体在 370℃ 有少量气孔出现,420℃ 时气孔大量增加,其荧光消失。至 500℃ 时,树皮体形态消失,样品布满气孔,此光性演化特征能够较灵敏的反映油气生成过程^[42,55]。

此外,有关树皮体和镜质组之间是否存在过渡现象也得到了注意。Zhong 等人总结指出华南晚二叠世煤中,树皮体和镜质组之间没有发生过渡现象^[19]。张井等研究乐平和长广地区煤时,依据部分树皮体的原始形状消失,而其黑色变成浅灰色,且反射率增加等特征,推断树皮体向镜质组发生了过渡^[34]。Sun 等通过对邢台矿区 2 层煤的煤岩特征研究,也发现了树皮体和镜质组过渡的现象,并分析之所以发生过渡现象,可能与树皮体形成过程中发生的凝胶化作用有关^[61]。

4 化学特征

4.1 化学组成

树皮煤的一些工业分析和元素分析结果统计情况见表 1。同时,为了对比也列出了富含镜质组煤和 Iglesias 等人研究的相关数据。从表 1 可清楚地得到,相比于富镜质组煤,树皮煤的挥发份、氢含量和 H/C 原子比都高^[64]。韩德馨等研究浙江长广煤

田树皮残植煤的成因及其沉积环境时,发现本区树皮体含量达 80% 以上的树皮残植煤氢含量可达 7.11%^[2]。而相比于 Iglesias 等人^[64]的结果,树皮煤的氢含量和 H/C 原子比几乎与之相等,而挥发份偏低。谢家荣早就发现了乐平地区树皮煤具有高挥发份和低水分含量的特点,而这有别于一般的腐植煤,并用三角图做出说明(图 3)。同时,他还指出此煤的硫含量也很高^[1]。戴和武等研究乐平煤物理化学特性发现,树皮体(纯木栓质体)的挥发份可高达 73.5%,而氢含量也达 7.60%^[3]。在周师庸^[26]的《应用煤岩学》中,作者引用史美仁等^[66]的研究结果,指出乐平暗煤(七厂)树皮体(树皮)的氢含量为 6.90%。韩德馨等^[8]和陈鹏^[67]都对树皮体的工业分析和元素分析结果进行了总结。表 2 也对比了树皮体和壳质组部分显微组分的工业分析和元素分析结果。从表 2 中可以看到,大部分树皮体的氢含量都低于壳质组的其他显微组分。最近,Wang 等人^[32]却进一步发现,氢含量和树皮体含量之间有明显的正相关性。

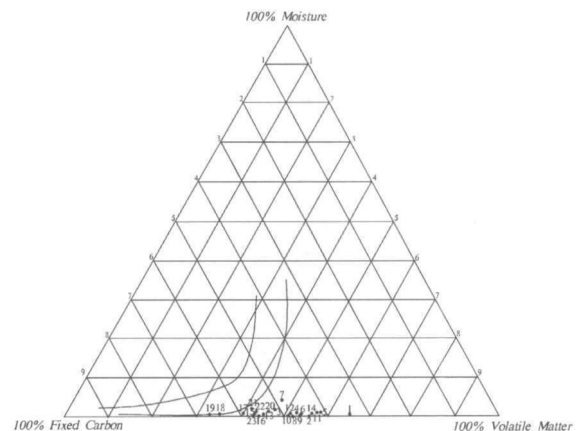


图 3 乐平煤的工业分析结果的三角图^[1]

表 2 树皮体和一些壳质组显微组分工业分析和元素分析对比

资料来源	产地	显微组分	V_{daf} (%)	H_{daf} (%)	H/C 原子比	显微组分 纯度/%
戴和武等, 1984	江西乐平鸣山 B ₃ 煤层	纯树皮体 (木栓质体)	73.50	7.60	1.146	
韩德馨等, 1996	江西乐平鸣山 B ₃ 煤层	树皮体	73.50	7.56	1.140	97.2
韩德馨等, 1996	江西乐平钟 家山	树皮体	49.80	6.90	0.950	
韩德馨等, 1996	贵州盘县老 屋基	树皮体	49.22	6.58	0.928	75
Sun, 2002	贵州水城	树皮体	79.25	7.96	1.26	>95
Sun, 2002	江西乐平	树皮体	71.32	7.73	1.16	>95
韩德馨等, 1996	辽宁抚顺西露 天矿	树脂体	99.01	10.10	1.501	
韩德馨等, 1996	山西浑源	藻类体	68.61	10.92	1.655	61
韩德馨等, 1996	山西蒲县东河	藻类体	54.38	8.08	1.122	68

(续表)

资料来源	产地	显微组分	V_{daf} (%)	H_{daf} (%)	H/C 原子比	显微组分 纯度/%
韩德馨等, 1996	云南华坪白 沙坪	角质体	83.48	9.34	1.592	86
韩德馨等, 1996	四川攀枝花大 麦地	角质体	60.93	8.00	1.265	74
韩德馨等, 1996	山西轩岗	孢子体	64.80	7.84	1.091	
韩德馨等, 1996	山东兖州兴 隆庄	孢子体	66.84	7.30	1.058	

树皮煤的另一个重要化学组成特征是硫含量高。戴和武等指出,乐平地区树皮煤中的全硫含量高于2%,且有机硫的含量高于无机硫^[3]。Zhong等人发现,牛头山煤矿中硫的含量变化为3.70%—5.67%^[19]。徐静等也发现长广地区树皮煤中全硫的平均含量高于5.72%,而有机硫含量稳定在1%—2%,黄铁矿硫的含量为2.93%^[22]。树皮煤之所以有如此高的硫含量与它的形成环境有关。有关其形成环境的具体细节已在2.2节做了综述。

尽管煤的地球化学研究早已是非常感兴趣的课题,但是对树皮煤的地球化学特征研究的报道却不多。Querol等人进行了乐平地区树皮煤的地球化学特征和矿物学特征研究。研究发现树皮体煤中的矿物主要以黏土矿物和黄铁矿为主,而富集元素主要有Ti, Li, V, Cr, Rb, Cs, 和 Sc^[28]。

4.2 化学结构

尽管现代分析技术被广泛的应用到研究煤或者显微组分的化学结构,但是,到目前为止,仅少量的分析技术被涉及分析树皮煤或者树皮体的化学结构特征,如傅立叶红外光谱^[37]、透射显微红外光谱^[39,45,47]、飞行时间二次离子质谱仪(TOF-SIMS)^[44]、¹³C-核磁共振^[38]和钉离子催化氧化法^[40]等。

Guo等人应用显微红外光谱分析了乐平地区、长广地区和水城地区树皮煤的化学结构,表明树皮体相比于镜质组含有高的脂肪基团和少量的芳香基团,尤其是亚甲基含量。树皮体的脂肪侧链带有或长或短的支链^[39]。余海洋等^[46]和Sun^[45]也得到相似的结果。此外,树皮体某些含氧官能团,如脂肪醚键和芳香羰基/羧基等的含量较高,这一特点明显区别于其他组分,但羟基官能团含量大致和孢子体类似^[45]。Sun应用飞行时间二次离子质谱仪研究水城矿区的树皮体化学结构表明,其细胞壁和细胞充填物的化学结构相似,均主要是由脂肪化合物组成,其次是芳香化合物和烷基芳香族,此外,还有少量的烷氧基和烷基胺^[44]。而且,相比于镜质组,树皮体

有更多的同性质的化学结构^[41]。其芳香族由少于4个环组成,且由短的脂肪链(少于C₁₂)交联构成。这个结论是郭绍辉等通过应用钉离子催化氧化方法对长广地区树皮体研究得到的^[40]。Sun研究得到树皮体的化学结构主要是以脂族化合物为主,其次是低分子的芳香族化合物(苯、甲苯、二甲苯和萘)以及少量类异戊二烯化合物^[24]。来自长广矿区的两个富含树皮体煤的(富含树皮体含量分别为80%和86%)的结果表明,树皮煤主要是以芳香族为主^[38]。在戴和武等^[3]的文章中,作者引用陈晴^[68]的实验结果,树皮体(木栓质体)和镜质组的化学结果虽都以芳香核为主,但是,树皮体(木栓质体)的芳核却比镜质组小,而脂肪族侧链基和脂环化合物比镜质组多。抽提结果表明,树皮煤中的脂族部分含量低,而芳族部分含量高。相比其他壳质组树皮体的化学方面特征更接近于镜质组^[19]。

4.3 工艺特性

正是由于树皮煤的挥发份产率和氢含量均高,对树皮煤的工艺性质研究很有意义。戴和武等研究乐平煤物理化学特性表明,树皮煤的黏结性强,其胶质层最大厚度普遍在23—29.5 mm之间,奥氏膨胀度一般都在280%以上,胶质体流动性大,而胶质体的黏稠度较小,而且其热稳定性差^[3]。Wang等人也发现乐平地区、长广地区和水城地区的树皮煤的具有极强的流动度,其最大基氏流动度均都大于180 000 ppdm,但这只是个推算值,因为其值超过了现有仪器的适用限度^[68]。

虽然针对树皮煤已经有了大量的研究。但是,有关树皮煤的热性质报道还很少。一般而言,热解是煤转化的第一步。Wang等人研究了乐平地区、长广地区和水城地区树皮煤的热重行为。研究表明,树皮煤的热解非常剧烈,其最大热解速率可达到1.11 (%/°C)^[31,32,69]。由于树皮煤的氢含量高,因此,被认为是一种好的液化原料。然而,戴和武等做了一釜乐平地区树皮煤的液化实验,结果发现其转化率和液体收率都不高^[3]。最近王绍清等做了乐平地区、长广地区和水城地区树皮煤的液化实验,结果得到其转化率也不高^[33]。从这两个实验结果来看,树皮煤的液化效果并不理想,这与我们的推断差别很大。需要注意的是,在这两个液化实验中,使用的液化条件都没有太多改变,如温度、催化剂等。因此,液化效果不理想可能与所使用的液化条件不当有关。同时,还有一点需要注意,树皮煤的硫含量都很高,尤其是有机硫。而这在液化过程中可能耗掉

一部分氢。但是,由于树皮煤的液化方面的数据还很少,有关液化效果不理想的原因仍需进一步深入研究。

4.4 生烃性

树皮煤的生烃性分两种方法进行阐述:煤岩观察和实验模拟(Rock-Eval 热解)。

(1) 煤岩观察

用来观察树皮煤生烃性的最重要仪器是显微镜:荧光显微镜和普通光学显微镜。吴俊就应用荧光显微镜和普通光学显微镜对华南树皮煤中的显微组分的光学特征进行了描述。发现树皮煤含烃性高的特征与其有机岩石组成有关。树皮煤中可以发现较多的生烃和排烃的显微组分标志:渗出体、变渗出体、树脂状馏出体、沥青质体、微粒体、变微粒体和各向异性的丝质体和粗粒体^[23]。而且,树皮体从内到外有不同的荧光强度,即荧光分馏现象^[50,54]。此外,树皮煤的高生烃性与树皮体和基质镜质体有关,二者都是很好的生油源^[10]。

(2) 实验模拟(Rock-Eval 热解)

大量 Rock-Eval 热解都表明,树皮煤或者树皮体具有高的生油能力,其具有很高的生烃潜力($S_1 + S_2$)和氢指数(HI)。

吴俊通过树皮煤的成烃模拟实验,证明它的成烃能力巨大,它可以比其他类型的腐殖煤(以镜质组为主)高出几倍到数十倍^[23]。树皮体的 $S_1 + S_2$ (297.4 mg/g)和氢指数(490.8 mg/g)与角质体相近,但远高于镜质组和丝质组^[24]。吴俊研究江西鸣山矿 B₃ 煤层(树皮体(木栓质体)体积含量大于 95%)时,得到其 S_2 为 419.20 mg/g,而 HI 为 520.75 mg/g^[37]。而 Sun 研究贵州水城大河边煤层中的树皮煤热解实验,结果显示树皮体的 S_2 (328.24 mg/g) 大于孢子体,但是 S_1 值相反^[25]。周松源等提出树皮体的产油量是镜质组的 3 倍多^[58]。

鹿清华等研究长广地区树皮煤的热解结果表明,热解产物的脂肪族部分以富含 C₁₂ 以下正构烷烃为特征。树皮体的热解烃类产品主要由轻油(C₆—C₁₄)和湿气(C₂—C₅)组成,少量的重油(C₁₅⁺)和甲烷(CH₄)^[53],且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^[51]。Sun 等人通过抽提推测华北邢台东庞煤矿煤层中树皮体的生物标志物可能为卡达萘(Cadalene)^[61]。

吴俊等做了树皮体的热模拟试验表明,在油气生成阶段,树皮体的成烃转折期要比同变质程度的镜质体、藻烛煤迟,但其成烃转化率高^[37]。且相比

于镜亮煤和藻烛煤,树皮体成烃累积速率最慢而成烃转化速率最快^[50]。树皮体生成液态烃的高峰期一般早于气态烃,且液态烃和气态烃的生产量存在着互为消长的关系^[23]。在相同的热解条件下,树皮体生烃早于藻类体^[53]。刘惠永等对六盘水地区龙潭煤系煤的煤岩显微组成与热解指标进行了相关性分析结果表明,基质镜质体早于树皮体产生液态烃,在有机质热演化作用的初期,氢指数与树皮体的含量呈正相关关系^[11]。张爱云等指出树皮煤的生烃潜力与树皮煤含量呈正相关关系,且生烃潜力与煤化程度有关^[10]。孙旭光等通过上述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,其主要生烃温度区间为 400—500℃,生烃高峰温度区间为 420—450℃,且相比于镜质体,树皮体的生油门限较高而生油窗较窄^[42]。

吴俊等首先用红外光谱技术结合热模拟实验研究了南方树皮煤成烃规律,研究表明龙潭煤系树皮体生烃是个多阶段、多量级的复杂过程。它们成烃过程经历了有机质的成烃熟化期(R_0 , 0.7%±)、成烃成熟期(R_0 , 1.08%—1.30%)和成烃过成熟期(R_0 , 1.70%±)等三个高峰期^[37]。沈金龙首次对二叠系乐平煤中特殊的显微组分树皮体在水介质条件下进行大样品量、系统性的成烃热压模拟实验。结果表明,树皮体成烃具有多阶段性、成烃时间长和芳烃含量高等特点。树皮体成烃可划分为五个阶段,即未成熟阶段、低成熟阶段、成熟阶段、高成熟阶段和过成熟阶段。而且在过成熟阶段,重质烃仍有增大现象,这与现代干酪根降解气-油-气的成烃模式存在明显的差别,也有别于不同显微组分的差异成烃^[51]。

5 树皮煤的成因及其煤相

目前,有关树皮煤的成因还没有统一的说法。树皮残植煤的成因最早被推断为异地成煤^[1],其形成条件一是成煤植物必须要充分的腐解。二是经过腐解的物质要发生搬运作用,使孢子等物质被移走,而使周皮(cork)和与它有关的组织保存富集下来。但是,任德怡等认为乐平树皮残植煤并非异地成煤而是形成于覆水沼泽中并有局部搬运作用影响,因此应属微异地成煤^[13]。骆善胜研究表明浙江长广煤田 C 煤层沉积处于海进的初期,含有大量海相动物化石,且这些化石大部分都是原地埋葬的生物群落,推测此树皮煤是原地形成的^[14]。而韩德馨等在前人研究结果的基础上结合泥炭沼泽沉积环境的特

点,将树皮残植煤的成因总结为原地成煤和微异地成煤两种类型^[2]。徐静等的研究也表明了类似的结果^[22]。陈其爽等依据煤的显微组分组成和树皮体富集程度的不同,把树皮残植煤分为原地型、过渡型和微异地型^[9]。

马兴祥研究贵州水城晚二叠世树皮煤的煤相分类方案,总结出了煤相垂向演替序列^[16]。张井等详细分析了长广和乐平树皮煤的煤岩特征,并依据微相双三角图和煤层微相 GI-TPI 坐标图将树皮煤划分为四种煤相:干燥森林沼泽相、潮湿森林泥炭沼泽相、草、木混生型泥炭沼泽相和开阔水域泥炭沼泽相^[34]。

关于树皮残植煤中树皮体的植物来源问题一直存在争议,阎峻峰等认为树皮体主要来源于鳞木皮层的内层组织^[12]。马兴祥在 1988 年提出了树皮体主要起源于辉木类植物小根中的厚壁细胞带组织^[16]。韩德馨等总结诸多古植物学家的研究结果认为树皮体的来源为鳞木的周皮组织,并因其性质与功能不同于现代植物的周皮建议称之为次生皮层(Secondary cortex)^[2]。王士俊等通过对长广煤田中所发现的黄铁矿结核浸解和镜下观察,认为树皮体中的大部分不是来源于树蕨辉木的小根外部皮层中的厚壁组织,也不是来源于鳞木类或裸子植物的周皮,而可能是来源于一种大羽羊齿类植物的刺根茎(*Rhizomopsis gemmifera*),但对这种周皮组织的性质和功能尚无定论^[21]。由于化石和煤核的植物研究有其不可避免的局限性,关于树皮体的植物来源问题仍需进一步的研究确认。

6 建议

中国学者们对树皮煤和树皮体进行了大量研究,取得了一些结果,得到了国际关注。研究表明,树皮煤和树皮体的化学性质类似于富壳质组煤和壳质组,黏结性更趋于富镜质组煤和镜质组。尽管我国标准化委员会和我国烟煤显微组分分类都划分出树皮体显微组分,但截止到目前,有关树皮体与其他壳质组的显微组分在化学结构上的本质区别还不完全清楚,树皮煤和树皮体来源仍然是一个科学问题。因此树皮体的命名及其在煤岩学分类的定位研究具有重要的理论意义。树皮煤在中国属于特殊煤种,在世界也属于特殊而十分罕见的,树皮煤表现出特殊的工艺特性(极强的热塑性和流动性),对其工艺性质和转化性质等方面的进一步深入研究,对其开发利用的定位研究具有重要的现实意义。因此,欢

迎广大的国内外专家和学者加入到此研究中来。基于本综述和本课题组的研究,作者认为应重点注重以下几个方面的研究:

(1) 树皮体成因研究,包括树皮体植物来源、树皮煤的煤相和成煤环境。

(2) 树皮体的化学结构研究,尤其是与其他壳质体化学结构相区别的研究,新技术新方法及其综合研究将是未来的研究领域。

(3) 树皮体的工艺特性及其利用研究。

致谢 作者真诚感谢国家自然科学基金(No. 40772101)对本论文提供的资金支持。特别感谢任德贻、钟宁宁、汤达祯、孙玉壮、代世峰和赵峰华教授提出的宝贵意见和建议。

参 考 文 献

- [1] Hsieh C Y. On lopinite, a new type of coal in China. Bulletin of the Geological Society of China, 1933, 12(4):469-490.
- [2] 韩德馨,任德贻,郭敏泰. 浙江长广树皮残植煤的成因. 沉积学报,1983, 1(4):1-14.
- [3] 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. 煤炭学报, 1984, (3):81-87.
- [4] 国家技术监督局. GB 12937-1991. 煤岩术语. 1991.
- [5] 国家技术监督局. GB/T 12937-1995. 煤岩术语. 1995.
- [6] GB/T 15588-2001. 烟煤显微组分分类. 北京: 国家质量技术监督局, pp. 1-7. 2001.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会. GB/T 12937-2008. 煤岩术语. 4. 2008.
- [8] 韩德馨,任德贻,王延斌等. 中国煤岩学. 北京: 煤炭工业出版社. 1996.
- [9] 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. 海相油气地质,1996, 1(2):29-33.
- [10] 张爱云,翁成敏,蔡云开. 中国南方树皮煤的生油潜力. 地学前缘,1999, 6(增刊):209-215.
- [11] 刘惠永,翁成敏,张爱云. 从显微煤岩学角度探讨六盘水地区龙潭煤系低煤级煤的生烃状况. 现代地质,1998, 12(3):406-411.
- [12] 阎峻峰,李广有. 乐平附近煤田地质及“乐平煤”. 地质学报, 1958, 38(3):343-368.
- [13] 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. 第三十二届学术年会论文选集, 1963, 124-128.
- [14] 骆善胜. 长广煤田 C 煤层海相成煤的初步认识. 煤炭学报, 1980, 3:26-33.
- [15] 李海立. 皖南龙潭组植物群的时代探讨. 安徽理工大学学报(自然科学版), 1983, (1):36-42.
- [16] 马兴祥. 贵州水城晚二叠世主采煤层(C₆₀₅, C₄₀₉)的岩石学研究及古泥炭沼泽的演化. 北京: 中国矿业大学(北京)(博士学位论文), 1988.
- [17] 郭英廷. 贵州西部晚二叠世含煤地层的植物古生态. 煤炭学报,1990, 15(1):48-49.
- [18] 陈其爽. 中国南方龙潭植物群及乐平煤的沉积环境. 南方油气地质,1995, 1(2): 28-33.
- [19] Zhong N N, Smyth M. Striking liptinitic bark remain specular to some Late Permian Chinese coals. International Journal of Coal Geology, 1997, 33:333-349.

- [20] 玄承锦. 江西乐平鸣山煤矿 B₃煤层顶底板植物群的性质与对比. *中国煤田地质*, 1997, 9(4): 20—22.
- [21] 王士俊, 刘咸卫, 宋丽君. 乐平煤的成煤植物及树皮体的起源. *煤炭学报*, 1998, 23(3): 231—234.
- [22] 徐静, 吴承国, 苏永荣等. 皖浙长广地区树皮煤的煤质特征及成因. *安徽地质*, 1999, 9(4): 295—300.
- [23] 吴俊. 中国南方龙潭煤系树皮煤岩石学特征及成烃性研究. *中国科学 B 辑*, 1992, (1): 88—95.
- [24] Sun X G. The optical features and hydrocarbon-generating model of “barkinite” from Late Permian coals in South China. *International Journal of Coal Geology*, 2002, 51(4): 251—261.
- [25] Sun Y Z. Petrologic and geochemical characteristics of “barkinite” from the Dahe mine, Guizhou Province, China. *International Journal of Coal Geology*, 2003, 56 (3—4): 269—276.
- [26] 周师庸. *应用煤岩学*. 北京: 冶金工业出版社, 1985.
- [27] 曾荣树, 赵杰辉, 庄新国. 贵州六盘水地区水城矿区晚二叠世煤的煤质特征及其控制因素. *岩石学报*, 1998, 14(4): 549—558.
- [28] Querol X, Alastuey A, Zhuang X et al. Petrology, mineralogy and geochemistry of the Permian and Triassic coals in the Leping area, Jiangxi province, Southeast China. *International Journal of Coal Geology*, 2001, 48, 23—45.
- [29] 赵存良, 孙玉壮. 安徽省金山煤矿晚二叠世树皮煤的地球化学特征. *河北工程大学学报(自然科学版)*, 2007, 24(4): 60—62.
- [30] Wang S Q, Mitchell G D, Tang Y G et al. Direct liquefaction of selected Chinese and American coals. 237th ACS National Meeting & Exposition, Salk Lake city, 2009.
- [31] Wang S Q, Tang Y G, Schobert H H et al. Liquefaction reactivity and ¹³C-NMR of coals rich in barkinite and semi-fusinite. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2010a, 38(2): 129—133.
- [32] Wang S Q, Tang Y G, Schobert H H et al. A thermal behavior study of Chinese coals with high hydrogen content. *International Journal of Coal Geology*, 2010b, 81: 37—44.
- [33] 王绍清, 唐跃刚, Schobert H H 等. 富含树皮体和半丝质体煤的液化反应性和¹³C-核磁共振分析的研究. *燃料化学学报*, 2010, 38(2): 129—133.
- [34] 张井, 唐家祥, 郑雪萍等. 华南晚二叠世“树皮煤”的煤岩特征及沉积环境. *中国矿业大学学报*, 1998, 27(2): 176—180.
- [35] 郭亚楠, 赵博, 解锡超等. 华南晚二叠世树皮煤的煤相特征及对比研究. *中国煤炭地质*, 2009, 21(12): 19—23.
- [36] 陈德玉, 刘德汉, 叶朝辉. 富氢煤的固态高分辨¹³C-NMR 谱初步研究及其与生烃的关系. *中国科学院地球化学研究所有机地球化学开放研究实验室研究年报*. 1988, 164—173.
- [37] 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. *煤田地质与勘探*, 1990, (5): 29—38.
- [38] 秦匡宗, 郭绍辉, 黄第藩等. 用¹³C NMR 波谱技术研究烃源岩显微组分的化学结构与成烃潜力. *石油大学学报(自然科学版)*, 1995, 19(4): 87—94.
- [39] Guo Y T, Renton J J, Penn J H. FTIR microspectroscopy of particular liptinite (lopinite) rich, Late Permian coals from Southern China. 1996, *International Journal of Coal Geology*, 29 (123): 187—197.
- [40] 郭绍辉, 李术元, 秦匡宗. 用钨离子催化氧化法研究干酪根及其显微组分的化学结构. *石油大学学报(自然科学版)*, 2000, 24(3): 54—57.
- [41] Sun X G, Wang G. A study of the kinetic parameters of individual macerals from Upper Permian coal in South China via open-system pyrolysis. *International Journal of Coal Geology*, 2000, 44: 293—303.
- [42] 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. *北京大学学报(自然科学版)*, 2000, 36(2): 209—213.
- [43] 孙旭光, 陈建平, 王延斌. 煤岩显微组分热解气相色谱特征与化学结构剖析. *地质学报*, 2003, 77(1): 135—143.
- [44] Sun X G. A study of chemical structure in “barkinite” using time of flight secondary ion mass spectrometry. *International Journal of Coal Geology*, 2001, 47(1): 1—8.
- [45] Sun X G. The investigation of chemical structure of coal macerals via transmitted-light FT-IR microspectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A*, 2005, 62 (1—3): 557—564.
- [46] 余海洋, 孙旭光, 焦宗福. 华南晚二叠世“树皮体”显微傅里叶红外光谱(Micro-FTIR)特征及意义. *北京大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(6): 879—885.
- [47] 余海洋, 孙旭光. 江西乐平晚二叠世煤成烃机理红外光谱研究. *光谱学与光谱分析*, 2007, 27(05): 858—862.
- [48] Wang S Q, Tang Y G, Schobert H H et al. A study of chemical structure of Chinese coals with high hydrogen content. *Advances in Organic Petrology and Organic Geochemistry, Joint 61st IC-CP/26th TSOP Meeting*. Gramado/Porto Alegre, Brazil; 2009a.
- [49] 吴士清, 张恕芳, 乐淑贞. 浙北煤山龙潭煤系煤成油剖析. *石油与天然气地质*, 1988, 9(2): 155—162.
- [50] 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. *中国煤田地质*, 1993, 5(2): 23—27.
- [51] 沈金龙. 南方龙潭组树皮体在水介质条件下热压模拟试验. *南方油气地质*, 1995, 1(2): 34—44.
- [52] 沈金龙. 上二叠统龙潭组树皮体在水介质条件下热压成烃模拟实验. *石油勘探与开发*, 1998, 25(1): 15—20.
- [53] 鹿清华, 王剑秋, 秦匡宗. 长广煤床柱质体的热解特征及热解产物各组分生成动力学. *燃料化学学报*, 1995, 23(3): 236—241.
- [54] 刘惠水, 张爱云, 翁成敏. 贵州六盘水地区龙潭煤系煤岩富氢显微组分的生烃潜力与生烃贡献. *石油实验地质*, 1999, 21(1): 66—70.
- [55] 孙旭光, 秦胜飞, 金奎励. 贵州水城地区晚二叠世世树皮煤成烃特性研究. *地球化学*, 1999, 28(6): 605—611.
- [56] 孙旭光, 秦胜飞, 罗健等. 煤岩显微组分的活化能研究. *地球化学*, 2001, 30(6): 599—604.
- [57] 周松源, 徐克定, 杨斌等. 乐平煤系树皮煤生油研究. *天然气工业*, 2005, (9): 10—13.
- [58] 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. *石油与天然气地质*, 2006, 27(1): 17—22.
- [59] 王真奉, 焦伟伟, 林明月. 树皮体的开放热解特征. *河北工程大学学报(自然科学版)*, 2007, 24(2): 78—80.
- [60] 金融昆. 树皮煤研究的现状与未来. *河北建筑科技学院学报*, 2002, 63—66.
- [61] Sun Y Z, Püttmann W, Kalkreuth W et al. Petrologic and geochemical characteristics of seam 9-3 and seam 2, Xingtai coalfield, Northern China. *International Journal of Coal Geology*, 2002, 49: 251—262.
- [62] Sun Y Z, Horsfield B. Comparison of the geochemical characteristics of “barkinite” and other macerals from the Dahe mine, South China. *Energy Exploration & Exploitation*, 2005, 23(6): 475—494.
- [63] Hower J C, Suárez-Ruiz I, Mastalerz M et al. Discussion the investigation of chemical structure of coal macerals via transmitted-light FTIR microscopy by X. Sun. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2007, 67(5): 1433—1437.
- [64] Iglesias M J, DelRio J C, Loggoun-Défarage F et al. Control of the chemical structure of perhydrous coals; FTIR and Py-GC/MS investigation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2002, 62: 1—34.

- [65] Khorasani G K, Michelsen J K. Geological and laboratory evidence for early generation of large amounts of liquid hydrocarbons from suberinite and subereous components. *Organic Geochemistry*. 1991, 17:849—863.
- [66] 史美仁等. 中国科学院煤炭研究所报告集, 21号. 1962.
- [67] 陈鹏. 中国煤炭性质、分类和利用(第二版). 北京: 化学工业出版社, 2009, P103.
- [68] 陈晴. 乐平煤中树皮分离及其性质的研究. 兰州煤化学学术讨论会. 1979.
- [69] Wang S Q, Tang Y G, Schobert H H et al. The thermoplastic properties study of Chinese coals with high hydrogen content. International Conference on Coal Science and Technology (ICCS \$ T), Cape Town, South Africa; 2009b.
- [70] Wang S Q, Tang Y G, Schobert, H H et al. The thermogravimetric analysis of Chinese coals with high hydrogen content. 25th Annual International Pittsburgh Coal Conference, Pittsburgh; 2008.

THE CHINESE TYPICAL COAL TYPE-BARK COAL: A REVIEW

Tang Yuegang Guo Ya'nan Wang Shaoqing

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

Abstract One of special coal types in Late Permian in South of China, bark coal, is characterized by high volatile matter yield, low moisture, high sulfur content (especially organic sulfur), high fusibility, high swelling, and high oil yield. The research on bark coal has been continuing more than 80 years since 1930s. In this paper, the process of study on bark coal was reviewed, and some suggestions were also provided.

Key words bark coal, barkinite, distribution, petrographic characteristic

(上接第 153 页)

- [9] 张嵩午, 王长发, 冯佰利等. 灾害性天气下小麦低温种质的性状表现. *自然科学进展*, 2001, 11(10): 1608—1073.
- [10] Zhang S W, Wang C F, Feng B L et al. Some traits of low temperature germplasm wheat under extremely unfavorable weather conditions. *Progress in Natural Science*. 2001, 11(12): 911—917.
- [11] Feng B L, Yu H, Hu Y G et al. The physiological characteristics of the low canopy temperature wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under simulated drought condition. *Acta Physiol Plant*. 2009, 31: 1229—1235.
- [12] 张嵩午, 王长发, 冯佰利等. 冷型小麦对干旱和阴雨的双重适应性. *生态学报*, 2004, 24(4): 680—685.
- [13] 张嵩午, 王长发, 冯佰利等. 冠层温度多态性小麦的性状特征. *生态学报*, 2002, 22(9): 1414—1419.
- [14] 张嵩午, 刘党校. 小麦冠温的多态性及其与品质变异的关联. *中国农业科学*, 2007, 40(8): 1630—1637.
- [15] 张嵩午, 王长发, 姚有华. 小麦叶片的逆向衰老. *中国农业科学*, 2010, 43(11): 2229—2238.
- [16] Zhang S W, Wang C F, Yao Y H. Inverse leaf aging sequence (ILAS) and its significance of wheat. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(2): 207—219.
- [17] Zhang S W, Wang C F. Study on wheat cold source and its characters. *Agricultural Sciences in China*, 2002, 1(2): 132—137.
- [18] 严菊芳, 张嵩午, 刘党校等. 干旱胁迫下不同温型小麦农田微气象特征研究. *西北农林科技大学学报*, 2006, 34(10): 49—53.
- [19] 周春菊, 张嵩午, 王林权等. 冷型小麦氮素吸收积累特性的研究. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(2): 162—168.
- [20] 周春菊, 张嵩午, 王林权. 冷型小麦磷素吸收积累特性的研究. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6): 1062—1067.

LOW TEMPERATURE STATE AND INVERSE LEAF AGING OF WHEAT

Zhang Songwu

(Research Laboratory of Low-Temperature Plants, College of Sciences, Northwest A&F University, Yangling 712100)

Abstract This paper explained the following questions: the main points of the theory of wheat temperature type; research status quo of wheat's low temperature state and inverse leaf aging sequence; meanings of dynamic index in breeding and cultivation. It is a memoir of the progress in comprehensive study on the relationships among wheat's canopy temperature, its biological traits and environment.

Key words wheat, low temperature state, inverse leaf aging sequence, dynamic index