

文章编号: 1001-1986(2005) 05-0001-04

# 神东矿区富惰质组煤的形成条件研究 ——惰质组分的真菌交替成因意义

李小彦 (煤炭科学研究总院西安分院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 应用煤岩学分析方法, 对神东矿区富惰质组煤中惰质组分的种类、含量、形态特征、真菌衍生物特征所反映的泥炭沼泽条件进行研究, 揭示了真菌交替作用对惰质组分的成因意义。

**关键词:** 惰质组; 富惰质组煤; 真菌交替成因

**中图分类号:** P618.1102 **文献标识码:** A

## Conditions of inertinite-rich coal generation, Shendong mining area: Significance of fungal alternating origin of inerts

LI Xiao-yan

(Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

**Abstract** By petrographic procedure of analysis, the peat and swamp conditions of inerts of inertinite-rich coal from Shendong coal mining area are researched, which reflected from the type, proportion, shape, and fungal ramification characteristics. The study results indicated the significance of fungal alternation origin of inerts.

**Key words:** Inertinite; rich-inertinite coal; fungal alternating origin

## 1 前言

富惰质组煤的形成是地史上成煤作用的一种模式。不同于石炭二叠纪及其他时代煤, 神东矿区延安组煤中的惰质组占有很大的含量。富惰质组煤在地球的许多地区均有分布, 例如印度、东澳大利亚的二叠纪煤田, 捷克斯洛伐克上西里西亚煤田、冈瓦拉大陆煤, 等。

鄂尔多斯盆地神东矿区富惰质组(半丝质组+丝质组为 30%~50%或更多)煤, 低灰、低硫、低磷, 是极好的低煤级优质煤。前人对该区煤形成的地质条件、煤岩煤质、加工利用特性等研究<sup>[1~7]</sup>甚多, 但对惰质组煤成因的研究不多见。因为惰性组组分的高碳及大分子碳网结构, 在煤中含量大时直接影响到煤炭加工利用的特性。譬如在焦化过程中起骨架作用, 提高焦炭的机械强度; 大的孔隙度和比表面积, 可增强工业吸附剂的吸附能力; 同时惰质组也是煤成气的物源, 故探讨富惰质组煤的形成条件和成因不仅可完善煤田地质理论, 也具有潜在的经济意义。

## 2 惰质组煤的成因理论

煤岩学理论认为, 煤的岩石学组成反映一定的

泥炭沼泽条件, 镜质组是覆水还原环境下凝胶化作用的产物, 而惰质组是在相对干燥、氧化的泥炭沼泽条件下经丝炭化作用形成的, 因为易失去挥发性元素(氢和氧), 碳的含量相对较富集。所以从有机质的种类、含量及形态特征, 可推断古泥炭的形成条件, 研究不同煤的成因。

关于惰质组的成因, 早在 20 世纪公认<sup>[8]</sup>有“原生”和“次生”两种成因, 并分出 4 种不同成因的丝质体。Techmüller(1950)指出, 原生成因的惰质组是在泥炭化作用阶段经强烈氧化蚀变形成的, 脱水、失氧、失氢、富含碳, 大部分惰质组是经泥炭沼泽中缓慢氧化作用的产物。次生成因发生在森林火灾或泥炭沼泽火灾情况下, 植物组织在高温下(400~600℃)烧焦碳化, 成为丝炭层或丝炭透镜体分布在煤层中, 显微镜下可见细胞壁极薄的火焚丝质体。

Moore(1996)在对印度尼西亚中加里曼丹帕朗卡拉亚穹丘状现代泥炭研究时报道<sup>[9]</sup>, 有人曾提出惰质组真菌交替的次生成因, 指出真菌交替一直被用来“解释那些具有低反射率、或细胞结构发生塑性变形的半丝质组分”的成因。他研究了泥炭中氧化物质的特征、真菌频数, 认为帕朗卡拉亚泥炭中有有机质的细胞壁增厚、有粒状或纹层状氧化物质(煤中氧

收稿日期: 2004-11-15

基金项目: 国家“973”项目(2003CB214602), “十五”国家重点科技攻关项目(2003BA612A-2)

作者简介: 李小彦(1953—), 女, 陕西扶风人, 煤炭科学研究总院西安分院研究员, 从事煤田地质学、煤岩学、煤层气地质研究工作

化半丝质体的前身) 的结构特征, 氧化物质含量较高与泥炭层向上真菌活动增强、与真菌交替作用的充氧带一致, 合理地推测泥炭中氧化物质是真菌交替作用形成的。现代泥炭研究成果也为研究真菌交替提供了物质的、环境的、生态学方面的理论依据。

3 富情质组煤的煤岩特征

3.1 富情质组煤的含义

关于富情质组煤的含义, Harvey 等<sup>[10]</sup> 研究伊利诺斯煤中显微组分的古环境意义时, 曾把情质组大于 16% 的煤称为富情质组煤, 将镜情比作为泥炭化作用期间环境差异的有效指标。Kosina 等(1983) 报道<sup>[11]</sup> 捷克富情质组煤中的情质组高达 40%~70%; Taylor 等(1962) 报道<sup>[12]</sup> 澳大利亚冈瓦纳煤层中情质组达 85%; 本次神东矿区侏罗纪煤中的情质组分含量平均为 31.5%~52.3%, 镜情比为 0.4~5.43。据作者以往对西北地区侏罗纪煤的研究<sup>[13]</sup>, 情质组的含量>30% 时, 明显影响到煤质及工艺性质的变化, 煤种由长焰煤或气煤变为不粘煤和弱粘煤, 因此本文以情质组含量>30%、镜情比在 2± 时认定为富情质组煤。

3.2 神东富情质组煤的煤岩特征

3.2.1 宏观煤岩类型

神东矿区延安组发育 5 个煤组, 以 2<sup>-2</sup> 煤全区稳定可采, 单层厚度 5~11 m。本次在上湾和补连塔煤矿采集了 37 个有代表性的完整剖面进行宏观煤岩类型描述。结果 2<sup>-2</sup> 煤的宏观煤岩类型光亮煤占 19.6%, 半亮煤占 22.3%, 半暗煤 28.8%, 暗淡煤占 29.3%; 煤层剖面上多表现出从底到顶逐渐变暗的趋势。

将富情质组煤的显微组分进行 5 分, 则各类显微组分组的组成, 从光亮煤到暗淡煤中镜质组的含量逐渐降低, 情质组的含量逐渐增高; 镜情比从 5.43~0.40, 显示有规律的变化趋势; 光亮煤和半亮煤中的镜情比大于 2, 半暗煤和暗淡煤中的镜情比在 1 左右。其中光亮煤和半亮煤中情质组以丝质组为主, 半暗煤和暗淡煤中情质组以半丝质组为主(表 1)。

3.2.2 微观煤岩显微组分分布

垂向上, 5 个主采煤层的煤岩显微组分变化如表 2。各煤层壳质组和矿物质含量都很低, 而镜质组(镜质组+半镜质组)与情质组(半丝质组+丝质组)的含量表现为互为消长关系。1<sup>-2</sup> 煤和 5<sup>-2</sup> 煤的情质组含量相对高于 2<sup>-2</sup>、3<sup>-1</sup>、4<sup>-2</sup> 煤层, 镜情比为 2.08~0.81。

情质组组分中, 除丝质体、半丝质体外, 粗粒体、分泌体、情屑体、真菌体含量较高, 尤其在暗淡煤中, 各组分杂乱堆积, 显示无序状排列。

3.2.3 真菌体特征

富情质组煤中除情质组组分富集外, 还有许多真菌体, 它是泥炭形成层真菌参与成煤作用的证据, 为氧化作用的衍生物, 以单体或群体分布在煤中。单体多分布在光亮煤和半亮煤的基质中, 群体则多见于半暗煤和暗淡煤的情质组分中。真菌遗体的形态有 3 种(图版):

菌核体: 圆形、椭圆形或纺锤形, 大小为数十或数百 μm, 有一硬厚外缘, 细胞呈蜂窝状、网状。成群分布, 时常与分泌体共生, 以细胞结构与无结构、气孔或裂纹状的分泌体相区分。

菌孢子: 圆形、长圆形, 数十或数百 μm 大小, 单细胞、双细胞或多细胞; 细胞单列分布, 细胞较多时,

表 1 神东矿区不同宏观煤岩类型煤中显微组分检测结果表( min ~ max)

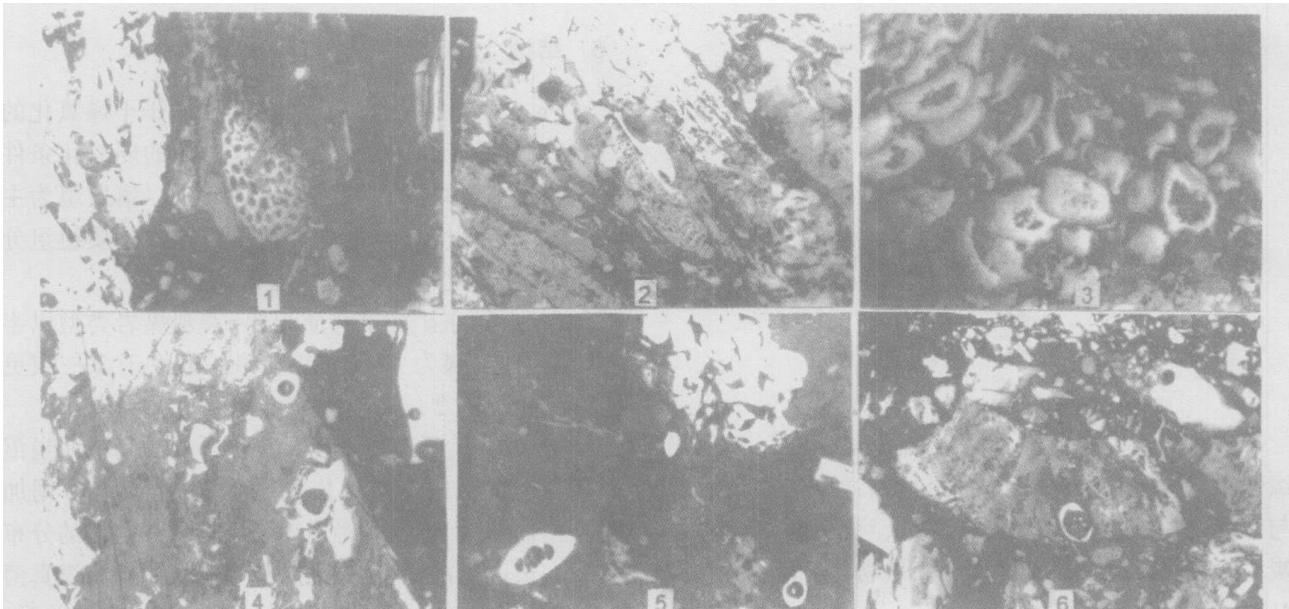
Table 1 The maceral measurement of macrolithotype from Shendong mine( min ~ max)

煤岩类型	显微组分 $\varphi_B/\%$						镜情比
	镜质组	半镜质组	半丝质组	丝质组	壳质组	矿物总量	
光亮煤	70.9~86.1	1.2~7.5	7.8~21.1	3.7~11.4	0.2~1.3	0.5~3.4	3.47~5.43
半亮煤	52.0~67.9	2.2~19.3	9.5~27.8	6.0~24.6	0.4~4.5	1.5~10.8	2.11~4.32
半暗煤	23.6~48.9	3.4~11.1	11.1~43.8	6.9~22.8	0.9~3.5	1.7~6.6	0.83~1.49
暗淡煤	13.5~34.3	3.5~12.5	24.9~57.8	14.6~37.5	0.9~4.8	1.1~6.6	0.40~1.14

表 2 神东矿区富情质组煤的显微组分检测结果表( min ~ max / mean)

Table 2 The maceral measurement of inertinite-rich coal from Shendong mine ( min ~ max / mean)

煤层	显微组分 $\varphi_B/\%$					镜情比	$R_{max}/\%$
	镜质组	半镜质组	情质组	壳质组	矿物质		
1 <sup>-2</sup>	30.7~53.2/43.6	3.4~19.7/8.7	28.9~60.5/43.4	0.3~4.0/1.3	0.7~5.4/3.1	1.21	0.40~0.618
2 <sup>-2</sup>	35.9~71.1/56.2	2.2~11.9/5.5	19.8~41.0/34.6	0.2~2.5/0.9	1.1~4.6/2.4	1.78	0.41~0.622
3 <sup>-1</sup>	47.8~67.1/59.7	2.4~9.0/5.9	21.2~40.0/31.5	0.2~1.8/0.9	0.8~4.7/2.1	2.08	0.49~0.631
4 <sup>-2</sup>	24.4~65.5/52.9	2.9~10.1/6.1	26.2~45.6/37.6	0.2~2.3/1.6	0.9~5.0/2.6	1.57	0.50~0.65
5 <sup>-2</sup>	24.0~45.9/36.3	4.4~9.6/6.3	34.8~62.0/52.3	0.5~1.1/1	0.9~6.0/4.2	0.81	0.58~0.65



图版说明:  
1. 真菌体, 菌核, 蜂窝状结构, 油浸反光,  $\times 360$ , 神东矿区上湾矿  $2^{-2}$  煤;  
2. 真菌体, 菌核, 蜂窝状结构, 油浸反光,  $\times 230$ , 神东矿区上湾矿  $2^{-2}$  煤;  
3. 真菌体, 菌核, 群体分布, 油浸反光,  $\times 360$ , 神东矿区上湾矿  $2^{-2}$  煤;  
4. 真菌体, 菌核(下), 菌孢子、单胞(上), 油浸反光,  $\times 230$ , 神东矿区上湾矿  $1^{-2}$  煤;  
5. 真菌体, 菌孢子, 单胞(右)、多胞(左), 细胞单列排列, 油浸反光,  $\times 360$ , 神东矿区上湾矿  $2^{-2}$  煤;  
6. 真菌体, 菌核(左下), 菌孢子、多胞(右上), 油浸反光,  $\times 306$ , 神东矿区上湾矿  $1^{-2}$  煤。

呈长条状。

菌丝: 因为个体仅  $1 \sim 2 \mu\text{m}$ , 光学显微镜下很少见到。

对真菌体的研究(Кизл ышейи, 1983), 形态学上因与现今菌核体和菌孢子的相似性, 说明了其真菌遗体的成因; Stach 认为真菌体的生物化学成分中含有黑素物质, 显微镜下表现出不透明, 反射率高, 光性类似于丝炭化作用的效果。

4 富惰质组煤的成因讨论

4.1 富惰质组煤形成条件

Chandra 和 Taylor(1982) 认为, 在泥炭化阶段, 弱氧化条件下植物遗体在真菌活动下进行生物化学分解, 粗粒体、惰屑体是生物化学分解的直接产物。冈瓦纳富惰质组煤是气候比较干旱和泥炭氧化强烈的标志。

神东矿区富惰质组煤, 反映了当时低水高位沼泽、泥炭表层大气风化、森林火灾、干燥气候条件惰质组富集的沉积环境。

4.2 真菌交替证据

4.2.1 真菌体与宏观煤岩类型

其 1 不同于其他时代煤, 神东矿区的富惰质组煤以半暗煤和暗淡煤占绝对优势。

其 2 宏观煤岩类型分布, 煤层的底部为光亮煤和半亮煤, 中部各种煤岩类型交替出现, 顶部为半暗煤和暗淡煤, 这个序列反映了泥炭沼泽的生长, 由

覆水逐渐转向间歇性降水和干旱的弱还原、弱氧化、最终为干燥氧化条件的变化过程; 泥炭层从低位向高位发展, 宏观煤岩类型越来越暗, 真菌活动越来越强, 惰质组分的含量越来越高, 镜惰比越来越小。21 个煤岩类型中真菌体的统计结果支持这个观点。(图 1)

4.2.2 真菌体与惰质组的关系

其 1 相对于其他时代煤, 本区煤中半镜质组和半丝质组过渡组分含量较高, 显微组分以结构体为主, 反映了成煤条件的弱还原、弱氧化环境, 这些有机质氧化时释放的能量为真菌活动提供了生存能源。

其 2 惰质组分含量与真菌活动程度之间存在一定的组合关系。考察神东矿区煤中真菌体与惰质组的关系, 发现真菌体与半丝质组的相关性较好, 而与丝质组关系不明显(图 2)。这说明真菌活动的亲

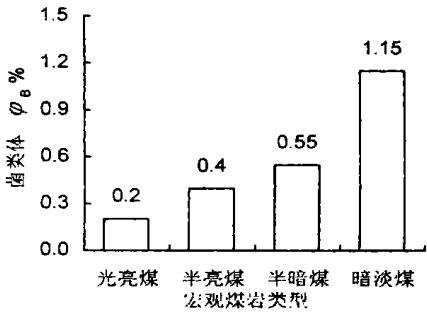


图 1 各宏观煤岩类型的真菌体质量分数

Fig. 1 The percentage of funginite in the macrolithotype

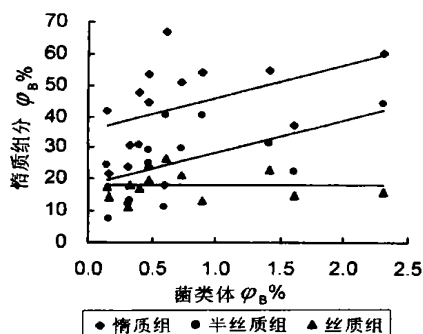


图 2 真菌体与惰质组组分的关系

Fig. 2 Relationship between funginite and inertinite

缘性,尽管在各种类型煤中都可见到,但它更亲近于与低反射的半丝质组共生,这一点与 Moore 关于泥炭中氧化物质的真菌交替作用结果吻合。

#### 4.3 真菌交替成因讨论

众所周知<sup>[8]</sup>,真菌体是微生物参与聚煤作用的证据。泥炭表层 0.5 m 深处,需氧菌、放线菌和真菌活跃,在干燥氧化的高位沼泽,泥炭酸度高 ( $\text{pH}=4$ ),只有真菌才能在泥炭层顶部充氧带生存,泥炭层越向上氧化作用和真菌活动越强,真菌交替作用使得植物碎片碳化、腐朽、降解促成了惰质组的形成,这种活动的特殊性使它参与或主导了富惰质组煤的聚煤作用。但泥炭化作用阶段真菌交替的生物化学作用发生在原地,其遗体与植物遗体同存于煤层中。粗粒体、惰屑体、分泌体、真菌体是冈瓦纳、澳大利亚、印度等富惰质组煤中常见的组分,惰屑体则更特征,成条带状分布在煤层中暗淡煤的顶部,富含惰质组碎片的条带有时可达 1 m。

从以上富惰质组煤的形成条件,和真菌体与煤岩特征的关系,可初步认定真菌在煤化作用过程中与惰质组的形成有直接的成因联系——真菌交替成因,但泥炭化作用是极其复杂的微生物变化和化学变化过程,仅依据地质、数量上的相关关系还不能得出真菌交替的成因机制结论。

通过对神东矿区富惰质组煤的研究结果,作者根据已有资料分析推测: a. 神东矿区光亮煤和半亮煤的惰质组分中丝质组含量较高,可能是惰质组分以原生成因占主导地位;而半暗煤和暗淡煤中的惰质组分以半丝质组为主,则可能以真菌交替的成因为主; b. 低反射率、塑性形变的半丝质体、粗粒体、分泌体等大量堆积是富惰质组煤在泥炭化阶段真菌交替作用的结果; c. 半丝质组组分的高频率和与真菌体的亲源性就表明真菌交替的成因。这些推测能否成立,还有待寻找更充分的论据来证实。

## 5 结论

a. 神东矿区富惰质组煤,形成于干燥氧化的低水位高位沼泽,泥炭表层大气风化的弱氧化条件下。植物遗体经受真菌活动,形成了以惰质组为主的煤层,真菌交替作用是富惰质组煤中惰质组组分的成因机制之一。

b. 神东矿区富惰质组煤,宏观煤岩类型以半暗煤和暗淡煤为主,惰质组含量一般大于 30% 或更高,镜惰比在 2 土。

c. 富惰质组煤形成于炎热干燥的高位泥炭沼泽,随泥炭层向上氧化作用增强,真菌交替作用加强,惰质组含量增高,镜惰比增高。从真菌体的分布特征,表明真菌体有选择性,从光亮煤到暗淡煤真菌体含量依次增加;与半丝质组呈较好的正相关关系,说明半丝质组与真菌体有较好的亲源性。

## 参考文献

- [1] 窦廷焕等. 神府东胜矿区煤种微量元素初步研究[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(3): 11—15.
- [2] 曾凡桂. 神府大柳塔 2<sup>-2</sup> 煤层煤岩特征[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(2): 25—28.
- [3] 白向飞, 李文华等. 神东矿区侏罗纪 2<sup>-2</sup> 煤煤质特征研究[J]. 煤炭转化, 2002, 25(3): 85—88.
- [4] 葛岭梅, 李建伟. 神府煤低温氧化过程中官能团结构演变[J]. 西安科技学院院报, 2003, 23(2): 187—190.
- [5] 祁威. 神东矿区含煤建造与煤质[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(8): 43—45.
- [6] 武彩英等. 神府煤焦油产率、组成、性质与热解温度的关系[J]. 陕西环境, 2000, 7(3): 15—17.
- [7] 武彩英等. 神府煤高温焦油组成、性质分析[J]. 陕西环境, 1999, 6(2): 22—23.
- [8] Stachs. Textbook of Coal Petrology[M]. Gebrüder Borntraeger. Berlin. Stuttgart, 1982, 31—33, 279—285.
- [9] Moore T A, Shearer J C, Miller S L, Fungal origin of oxidised plant material in the Palangkaraya peat deposit, Kalimantan Tengah, Indonesia: Implications for 'inertinite' formation in coal[J]. International Journal of Coal Geology, 1996, 30(1—2): 1—23.
- [10] Harvey R D, Dillon J W. Maceral distribution in Illinois coals and their paleoenvironmental implications[J]. In: Phillips, T. L., Cecil, C. B. (Eds.), Paleoclimatic controls on coal resources of the Pennsylvanian System of North America. International Journal of Coal Geology, 1985, 5(1—2): 141—165.
- [11] Kosina M, Hrnčíř J. The macerals characteristics of rich-inertinite coal from Czechoslovakia[J]. International Journal of Coal Geology, 1983, 3(2): 145—156.
- [12] Taylor G H, Cook A C. Sclerotinite in coal—its petrology and classification[J]. Geology Magazine, 1999, 41—52.
- [13] 吴传荣等. 西北早—中侏罗世煤岩煤质与煤变质研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995.
- [14] 曹玉珍译, Кизил 著. 无烟煤中真菌体的成因和结构[J]. 国外煤田地质, 1985, 4: 25—27.