

文章编号:1000-0550(2000)03-0460-05

“灰成分端元分析法” 及其在聚煤环境分析中的应用^①

郝吉生 葛宝勋 谢洪波

(焦作工学院资环系 河南焦作 454159)

摘要 “灰成分端元分析法”是以 $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO} - \text{MgO}$ 及 $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3$ 分别作为三角图端元进行聚煤环境分析的一种新方法。其原理是:灰成分与煤中矿物质种类与含量具有成因上的相关关系——据 $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ 端元特征,可以判断介质的总体运动方向;由 $\text{CaO} - \text{MgO}$ 端元特征,可以判断泥炭沼泽受海水影响的程度;由 $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3$ 端元特征,可以判断聚煤环境的氧化还原条件。该方法用于研究河东煤田 10[#] 煤的聚煤环境,收到了良好效果,证明其不失为传统聚煤环境分析方法的一个有益补充。

关键词 灰成分 端元分析 聚煤环境 河东煤田

第一作者简介 郝吉生 男 1963 年出生 工学博士 副教授 含煤岩系沉积学

中图分类号 P618.11 **文献标识码** A

1 引言

多年来,灰分产率(A_d)一直被作为聚煤环境分析的成因标志之一而广泛使用。但由于灰分产率“是指煤完全燃烧后剩下来的残渣”^[1],这种应用两个不足之处显然有二:

(1) 灰分产率指标中几乎包括了煤中的各种矿物质,因而它无法定性反映煤中所含矿物质的具体种类及其来源;

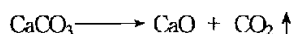
(2) 灰分产率是一个综合数量指标,因而它不能定量反映煤中不同矿物质的相对含量。

上述两点决定了灰分产率这一指标在聚煤环境分析中存在较大的局限性。为了克服这一不足,笔者提出了一种“灰成分端元分析法”,为聚煤环境分析中灰分指标的合理应用展示了一条新途径。

2 灰成分分析恢复聚煤环境的可行性

不同种类的灰成分几乎皆源于煤中相应矿物质的燃烧作用;换言之,煤在燃烧时,矿物质大部分被分解^[2],即有:

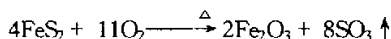
(1) 碳酸盐受热分解生成 CaO , 并放出 CO_2 :



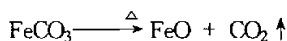
(方解石)

(2) 铁质矿物氧化或分解生成 Fe_2O_3 , 并放出 SO_2

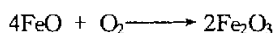
及 CO_2 等:



(黄铁矿)

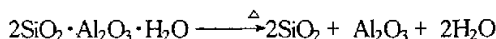


(菱铁矿)

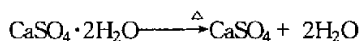


(氧化亚铁进一步氧化生成 Fe_2O_3)

(3) 粘土矿物、石膏等失去结晶水:



(粘土矿物)



(石膏)

显然,灰成分与煤中所含矿物质在种类、数量上皆具有一定的相关性。因此,可以根据各类灰成分的产率来反推煤中所含矿物质的类型及含量;进而推断这些矿物质的形成条件;最后再根据这些矿物质形成与聚煤环境介质二者间的成因联系恢复聚煤环境(参见图1)。

3 “灰成分端元分析法”的基本原理

所谓“灰成分端元分析法”是以灰成分 $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO} - \text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3$ 分别作为三角图一个

① 焦作工学院博士基金资助(编号:5905)

收稿日期:1999-02-02 收修改稿日期:1999-06-18

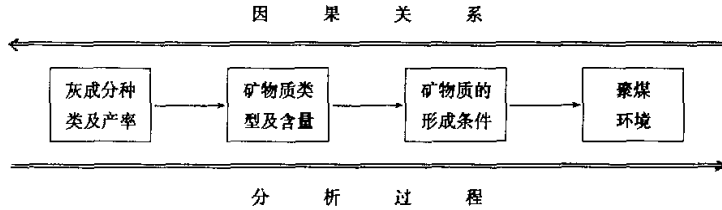


图1 由灰成分分析恢复聚煤环境的可行性

Fig. 1 The feasibility of analyzing coal - accumulating environment from ash - composition

端元的聚煤环境分析方法。据研究区内 10[#] 煤灰成分产率(见表 1)建立的三角端元图如图 2 所示。

图 2 中, SiO₂ - Al₂O₃ 端元(如块段 1), 反映了以粘土类矿物为代表的陆源矿物质类型, 多与淡水介质注入有关, 属于同生~准同生成因。由于粘土类矿物质的形成多依赖于沉积环境的搬运介质与沉积介质, 故该端元值在空间上的变化可反映介质的总体搬运方向。远离 SiO₂ - Al₂O₃ 端元(如块段 2、6、3), 则反映煤中的硅酸盐、铝硅酸盐类矿物含量较低, 多指示机械搬运与沉积作用较弱, 相对而言化学与生物化学搬运与沉积作用较活跃。

同理, 接近 CaO - MgO 端元(如块段 2), 反映煤中钙镁矿物(如菱铁矿、石膏、绿泥石、云母等)含量较高,

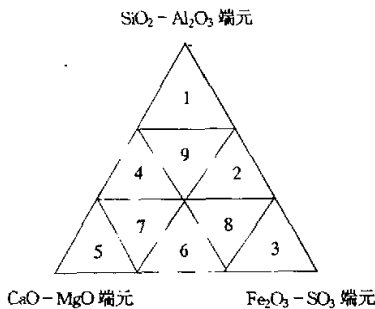


图 2 灰成分端元分析法三角图

Fig. 2 Triangular diagram of analysis method based on ash - composition

表 1 10[#] 煤灰成分产率

Table 1 The ash - composition yield of coal seam No. 10[#]

灰成分类别	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃
产率/%	43.2	35.8	5.2	0.84	8.6	5.1

多反映向半干燥气候转化的半潮湿气候条件与弱氧化~弱还原环境, 如泻湖、海湾、障壁岛后等。类似地有: 愈接近 Fe₂O₃ - SO₃ 端元(如块段 3), 反映煤中黄铁矿

含量愈高, 常代表闭塞~半闭塞、还原(强还原的覆水闭流盆地环境, 如局限海湾、泻湖、分流间湾、三角洲间湾等演化而成的泥炭沼泽环境。

除图中各过渡块段反映一些过渡情形外, 对每个双组分端元而言尚可以做相对含量比较分析。如对 SiO₂ - Al₂O₃ 端元而言, SiO₂/Al₂O₃ 高值时, 指示煤中含较多的石英、玉髓等陆源硅质碎屑, 反映水动力条件较强的稳定环境。同样对 Fe₂O₃ - SO₃ 端元而言, 若 SO₃/Fe₂O₃ 比值偏低, 反映煤中铁质矿物以菱铁矿为主, 黄铁矿含量低, 指示淡水介质弱氧化~弱还原环境, 常为冲积平原、三角洲平原和其它内陆浅水盆地泥炭沼泽环境的典型特征; 而如果 SO₃/Fe₂O₃ 值偏高, 常反映煤中的硫主要为成煤植物带来的有机硫, 指示成煤植物群落为咸水介质的类红树林属耐盐植物, 多与海水影响有关。对 CaO - MgO 端元而言亦有: CaO/MgO 高值, 指示煤中矿物质以方解石及腐植酸钙盐为主, 反映温暖潮湿~半潮湿气候条件; 而 CaO/MgO 值偏低, 则反映煤中钙镁矿物以白云石、石膏等为主, 常指示半干燥气候条件。另外, CaO/MgO 比值由大到小的变化也反映了沉积环境由陆到海的递变过程。

综上所述, 灰成分端元分析能够反映聚煤环境以下方面的特征:

- A. 介质的总体搬运方向
- B. 古盐度与海陆分布
- C. 氧化还原条件
- D. 聚煤期古气候
- E. 水动力条件强弱
- F. 成煤植物群落
- G. 泥炭沼泽的类型等。

4 “灰成分端元分析法”的应用举例

实际应用“灰成分端元分析法”时, 可将其与传统聚煤环境分析方法(如沉积相、煤相的鉴定标志等)结合起来, 遵循“先端元分析, 再参照分析, 最后综合定

相”的原则,可以取得较好的应用效果。

下面以鄂尔多斯盆地东缘的河东煤田离石~中阳勘探区10#煤层聚煤环境的研究为例,对“灰成分端元分析法”的应用步骤予以说明。

4.1 端元分析

第一步:先绘制出端元组分及各种单一灰成分的等值线图(图3、图4、图5)。

第二步:SiO₂-Al₂O₃端元分析

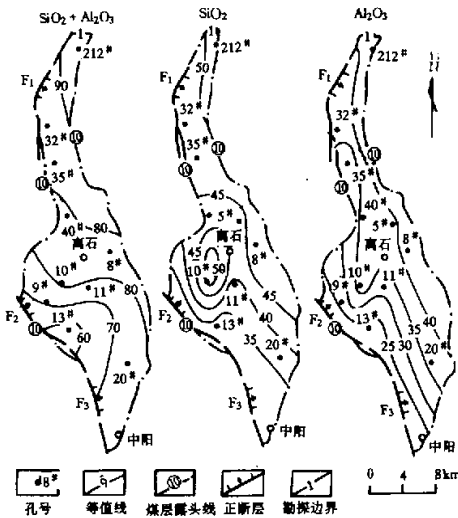


图3 SiO₂+Al₂O₃端元分析

Fig. 3 SiO₂-Al₂O₃ end-member analysis

由图3可知:(1)SiO₂+Al₂O₃等值线总体走向北西,且有自北东向南西递减的规律,说明本区介质总体搬运方向为自北东向南西;(2)北东部212孔-8孔连线周围为区内SiO₂+Al₂O₃高值区,反映煤中粘土矿物(后证实主要为高岭石、水云母)含量高,代表了近陆一侧淡水介质泥炭沼泽环境;(3)中部32孔-40孔-10孔-20孔连线周围SiO₂为高-较高值、Al₂O₃中高值,反映除含一定量的粘土矿物外尚含少量的石英碎屑矿物,指示受淡水影响的过渡带泥炭沼泽环境;(4)南西部9孔-13孔连线及其南西地区为SiO₂+Al₂O₃低值区,指示粘土矿物含量低,说明机械沉积与分异作用较弱,化学与生物化学作用占优势,推测为深覆水~半深覆水的泥炭沼泽环境;(5)从等值线间距看,研究区内中部密、北部与南部均较稀,反映了中部过渡带地区矿物质数量变化大、沉积分异速率高以及环境变迁较快的特点。

上述特征显示,研究区内发育一自北东近陆一侧向南西覆水盆地方向推进的沉积环境体系,该体系控制了本区10#煤的聚煤作用。

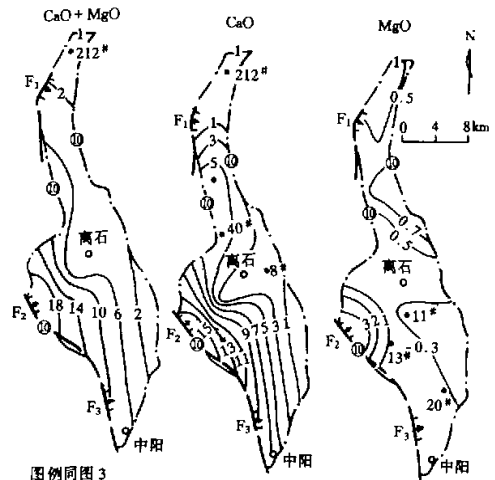
第三步:CaO-MgO端元分析

由图4可知:(1)CaO+MgO等值线总体走向为亦为北西~南东方向,且有自北东向南西递减的规律;高值区位于研究区南西部,且呈开口南西的扇状,由此推断本区主要是受来自南西方向海水的影响,且西南部为湾状环境。(2)自北东向南西, CaO值变化由低到高, MgO值则呈现“中-低-高”的变化规律,呈过渡带泥炭沼泽的特点;(3)40孔-11孔-20孔连线以东区域为CaO+MgO低值区,表明化学与生物化学沉积作用不发育,指示近陆浅覆水的泥炭沼泽环境;(4)南西部以9孔为中心的CaO+MgO高值扇区,反映煤中含有较高的方解石、白云石等钙镁矿物质,化学与生物化学沉积作用活跃,指示与海沟通较好的咸-半咸水泥炭沼泽环境或滨海泥炭沼泽环境;(5)9孔与212孔之间CaO、MgO值的极差分别为:

$$\Delta CaO = 12.84\%$$

$$\Delta MgO = 2.97\%$$

如此高的CaO、MgO极差及递变的同方向性,又一次反映了“北东陆、南海”的古地理格局。



图例同图3

图4 CaO-MgO端元分析

Fig. 4 CaO-MgO end-member analysis

第四步:Fe₂O₃-SO₃端元分析

从图5可以看出:(1)Fe₂O₃+SO₃等值线总体特征为北部宽缓、稀疏,南西部为一扇形高值区,且开口南西,反映受来自南西方向的海水影响,使得南西部煤层中富含黄铁矿,这与沉积介质中硫细菌的强活动性及硫的高富集是分不开的,造成这种现象通常与富Ca²⁺海水的直接补给及还原环境有关^[3];(2)Fe₂O₃值呈以32孔、5孔及13孔分别为中心的扇形分布,Fe₂O₃的这种高值区通常与陆源淡水的注入有关,因为淡水的介入带来了丰富的Fe³⁺离子;SO₃值则呈

“南西高、北东低”的变化规律,反映海水影响南西强、北东弱的特点;(3) 北部以 32 孔为中心的 Fe_2O_3 高值扇,反映了腐植质丰富的近陆淡水泥炭沼泽环境;(4) 以 8 孔 - 10 孔联线为中心的 SO_3 低值扇应为淡水水体楔入所致,该扇北东 - 南西的走向指示了淡水水体的推进方向。(5) 本区南东部以为受海水影响的还原性的滞流覆水泥炭沼泽环境,北部、北东部为受淡水影响为主的弱氧化 - 弱还原性的开放淡水泥炭沼泽环境。总的看,本区属于兼受淡水与海水影响的过渡带泥炭沼泽环境。(6) 扇状展布的 Fe_2O_3 与 SO_3 等值线显示成煤环境主要发育于湾状微环境基础之上。

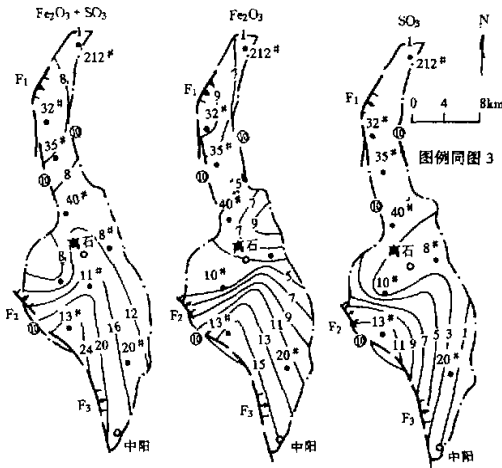


图 5 $Fe_2O_3 - SO_3$ 端元分析

Fig. 5 $Fe_2O_3 - SO_3$ end-member analysis

4.2 参照分析

10[#]煤层底板砂体图(图 6)显示,研究区北部发育了一系列的复合扇形砂体,砂体推进方向均为自北东向南西,尤以复合扇南端的主扇形砂体发育最好,其前方的席状砂体被改造为喙状。上述特征再次证实自北东向南西存在着一个三角洲沉积环境体系,聚煤环境便是在此基础上演变而成的。

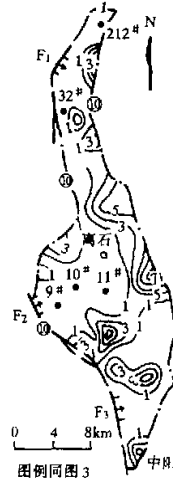
从煤层厚度看,呈“三薄三厚”的变化规律,即扇根薄,扇前缘厚;扇内薄,扇间厚;北东、南西薄,中部地区厚^[4]。

从硫成分看, $S_{T}^C = 1.09\%$, $S_{Y}^C = 0.26\%$, $S_{YI}^C = 1.22\%$, 即煤中的硫主要来自成煤植物,其次为黄铁矿,反映受海水影响的闭塞 - 半闭塞泥炭沼泽聚煤环境。

从煤岩特征看为光亮 - 半亮型煤,条带状结构,显微煤岩组分中以镜质组分占绝对优势(75%以上),反映成煤植物群落以森林木本植物为主。

4.3 综合分析

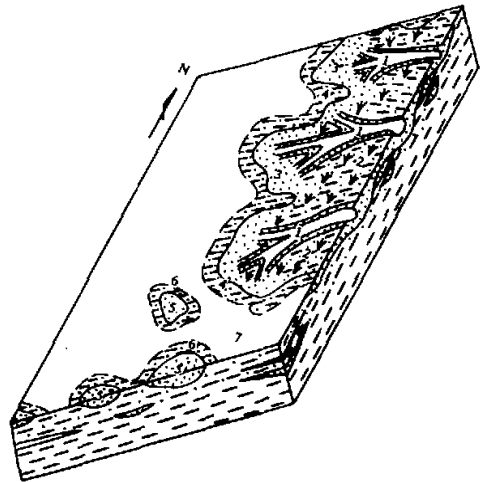
综上推知,研究区 10[#]煤的聚煤环境总格局是在自北东向南西推进的浅水三角洲(图 7)基础上发育而成的,该三角洲沉积环境体系的发展与演化控制了聚煤环境空间配置、演变及迁移的全过程。区内 10[#]煤聚煤环境尚可进一步划分为以下几个微环境分区:



1. 等值线; 2. 10[#]煤层露头线; 3. 止阶层; 4. 勘探边界

图 6 10[#]煤层底板砂岩厚度等值线图

Fig. 6 Isogram of the footwall sandstone thickness of coal No. 10[#]



1. 分流河道; 2. 分流间湾泥炭沼泽; 3. 前缘砂体; 4. 前三角洲砂质泥质沉积; 5. 障壁滩地; 6. 湖畔泥炭沼泽; 7. 泻湖

图 7 10[#]煤层聚煤模式图

Fig. 7 The coal accumulating model of coal seam No. 10[#]

(1) 北、北东部浅水三角洲平原淡水介质泥炭沼泽聚煤区。

聚煤作用主要发生于河泛盆地、废弃砂坝及天然

堤等微环境演化而成的泥炭沼泽环境。煤中的矿物质主要是一些机械沉积成因的粘土矿物及少量陆源碎屑,黄铁矿含量低。

(2) 中部浅水三角洲前缘半咸水介质泥炭沼泽聚煤区

聚煤作用主要发育于三角洲前缘分流间湾、三角洲间湾及被改造的河口砂坝泥炭沼泽环境,以覆水较深、较闭塞及偶尔遭受海水侵扰为特点,是区内聚煤最佳的地区。

(3) 南西部前三角洲、泻湖、海湾咸-半咸水介质泥炭沼泽聚煤区

聚煤作用主要发生于局限泻湖、海湾及前三角洲半深水环境上。咸水-半咸水介质、覆水较深、成煤植物以耐盐的类红树林木本植物占优势,决定了煤中的硫及钙镁矿物含量高,聚煤作用较差^[5]。

归结以上讨论,绘制出研究区 10# 煤层的聚煤模式如图 7 所示。

5 结语

“灰成分端元分析法”作为一种新方法虽然还不尽

完善,但事实证明它在聚煤环境分析中有着广阔的应用前景,有待于在今后的应用中进一步发展和完善。

致谢:该方法提出后,曾得到韩德馨院士、沙庆安研究员、赵师庆教授审阅并提出宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 杨起,韩德馨主编.中国煤田地质学(上册)[M].北京:煤炭工业出版社,1979,56~57
- 2 武汉地质学院.地球化学[M].北京:地质工业出版社,1979:132-140
- 3 赵师庆.我国腐植煤的还原性质及其与沉积环境的关系[J].沉积学报,1984,2(2):53~64
- 4 郝吉生.河东煤田中部 C2b-C3t 含煤段沉积环境及太原组聚煤特点[J].山西地质,1993,2:198~202
- 5 郝吉生,葛宝勋.河东煤田中部石炭系灰岩中钙球的形态结构类型及沉积环境意义[J].焦作矿业学院学报,1991,3:53~57

The Analysis Method Based on Ash - Composition and Its Application in Coal - Accumulating Environment Reconstruction

HAO Ji-sheng GE Bao-xun XIE Hong-bo

(Jiaozuo Institute of Technology Jiaozuo Henan 454159)

Abstract

The Analysis Method Based on Ash - Composition is a new method in coal - accumulating environment analysis and reconstruction. Principles of the method are that all ash composition comes from the minerals and clasts in coal seams, so it is possible to reversely infer the sorts, contents and grading law of the minerals and clasts of coal seam from the sorts, contents and grading law of ash composition, in advance to judge the coal forming environment. Main points are as follows:

(1) According to the end - member $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, analyze the sort, content and its grading law of clay minerals and land - source clasts in coal seams, in advance to judge the main direction of transportation.

(2) According to the end - member $\text{CaO} - \text{MgO}$, analyze the sort and content of calcium - magnesium mineral in coal, in advance to judge the distance between coal - accumulating environment and the marine.

(3) According to the end - member $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3$, analyze the sort and content of iron mineral (esp. pyrite), in advance to judge the oxidation - reduction condition of coal - accumulating environment.

This method was applied in studying accumulating environment of coal seam No. 10# in Taiyuan Group, Hedong Coal Basin, and achieved satisfactory result, which proved that the analysis method based on ash - composition is a valuable way in reconstructing coal forming environment.

Key words ash - composition environment analysis coal accumulation Hedong Coal Basin