

文章编号: 1000-0550(2000)04-0515-06

沉积环境对降落火山灰蚀变作用的影响^①

——以大青山晚古生代煤系为例

张 慧¹ 周安朝² 郭敏泰² 贾炳文²

1(煤炭科学研究总院西安分院 西安 710054) 2(太原理工大学 太原 030024)

摘 要 借助于 X 光衍射仪、透射电子显微镜(TEM)和扫描电子显微镜(SEM)等手段,较详细地揭示了内蒙大青山晚古生代(C₂-P₁)煤系中降落火山灰的蚀变特征,以此来论述沉积环境对火山灰蚀变作用的影响。泥炭沼泽环境中,降落火山灰以原地直接高岭石化为主,残留较多的火山玻屑和晶屑形态,并具斑状结构;非泥炭沼泽环境中,降落火山灰以异地凝胶化—多种粘土矿物化为主,微层理、微层面等沉积岩特征明显。火山灰降落的环境不同,其蚀变作用和蚀变产物亦不同。本文对加深煤系火山事件沉积的认识和研究煤系高岭岩的成因机理颇有意义。

关键词 沉积环境 火山灰 蚀变 大青山

第一作者简介 张慧 女 1956 年出生 高级工程师 普查地质和煤田地质

中图分类号 P619.26⁺4 文献标识码 A

1 前言

很多研究已证明,晚古生代聚煤期,华北板块北缘火山活动强烈且多期,内蒙大青山童盛茂 C₂-P₁ 剖面的岩性组成既充分说明了这一点^[1]。此剖面上 > 0.01 mm 的火山碎屑岩已有较多研究^[2],而 < 0.01 mm 的降落火山灰则研究较少。

降落火山灰主要为微米级火山物质(岩屑、晶屑、玻屑等),它们在火山喷发时被抛入空中,经一定距离漂移后散落着地。火山灰在任何自然地理环境中都可以沉积,然而,由于沉积环境物理、化学条件的不同,沉积后的蚀变作用及蚀变产物亦不同。

成煤泥炭沼泽有一些特殊的物化条件,与其它沉积环境形成明显的对比。本文通过 X 光衍射仪、透射和扫描电子显微镜等测试手段,较详细地揭示了大青山童盛茂 C₂-P₁ 剖面泥炭沼泽和非泥炭沼泽环境中降落火山灰的蚀变特征,以此来论述沉积环境对火山灰蚀变作用的影响。

2 火山事件沉积序列

内蒙大青山煤田位于华北板块最北缘,晚古生代煤系上石炭统栓马桩组(C₂¹-C₂²)、下二叠统杂怀沟组(P₁)及石叶湾组(P₁²),总厚 283.8 m。近年来笔者通过对该区童盛茂剖面的系统研究,共划分出 12 个火山事件沉积序列^[1](以下简称序列),自下而上编号为 I-XII(图 1)。每个序列少者由 1~2 层,多者由 5~8 层

火山沉积层组成,单个序列厚度由 1.72~28.94 m 不等,12 个序列总厚 157.6 m,占该剖面总厚度的 55.5%。由此可见,该剖面火山事件沉积十分发育。

12 个序列中 II、IV、V、VIII 等 4 个序列含煤层,其中第 IV 和第 V 序列为大青山巨厚煤层所在层位。本文将含煤层的火山事件沉积序列称之为含煤序列;反之为无煤序列。上、下栓马桩组和杂怀沟组既有含煤序列,也有无煤序列,石叶湾组均为无煤序列。第 I 至第 X 序列中均有细粒级的火山碎屑岩,按火山岩命名为凝灰岩、沉凝灰岩和凝灰质泥岩(图 1),其火山物质含量分别为 > 90%、50%~90% 和 20%~50%。按沉积岩命名为高岭石泥岩或粘土岩,实际上它们都是广义上的“tonstein”^[2,3],本文统称为泥岩,泥岩样品原始编号见图 1。

这些泥岩有 2 个共同之处,其一是物质来源相似,降落火山灰和陆源碎屑为主要物质来源,二者以不同的比例混合。以往研究^[1]表明,该区火山物质来自兴蒙槽区同期(C₂-P₁)中酸性、钙碱性岛弧型火山喷发,降落火山灰在性质上具相似性;其二是原始物质和蚀变产物均以微米级为主,蚀变矿物主要为高岭石。这些泥岩的不同之处是它们沉积于不同环境,本文将泥质岩沉积环境分为两类,一为泥炭沼泽环境,包括潮坪沼泽、三角洲平原沼泽、岸后沼泽等成煤环境;二为非泥炭沼泽环境,包括湖泊、水下三角洲、天然堤等泥质岩形成的低能环境。

① 国家自然科学基金项目(批准号:49672094)资助

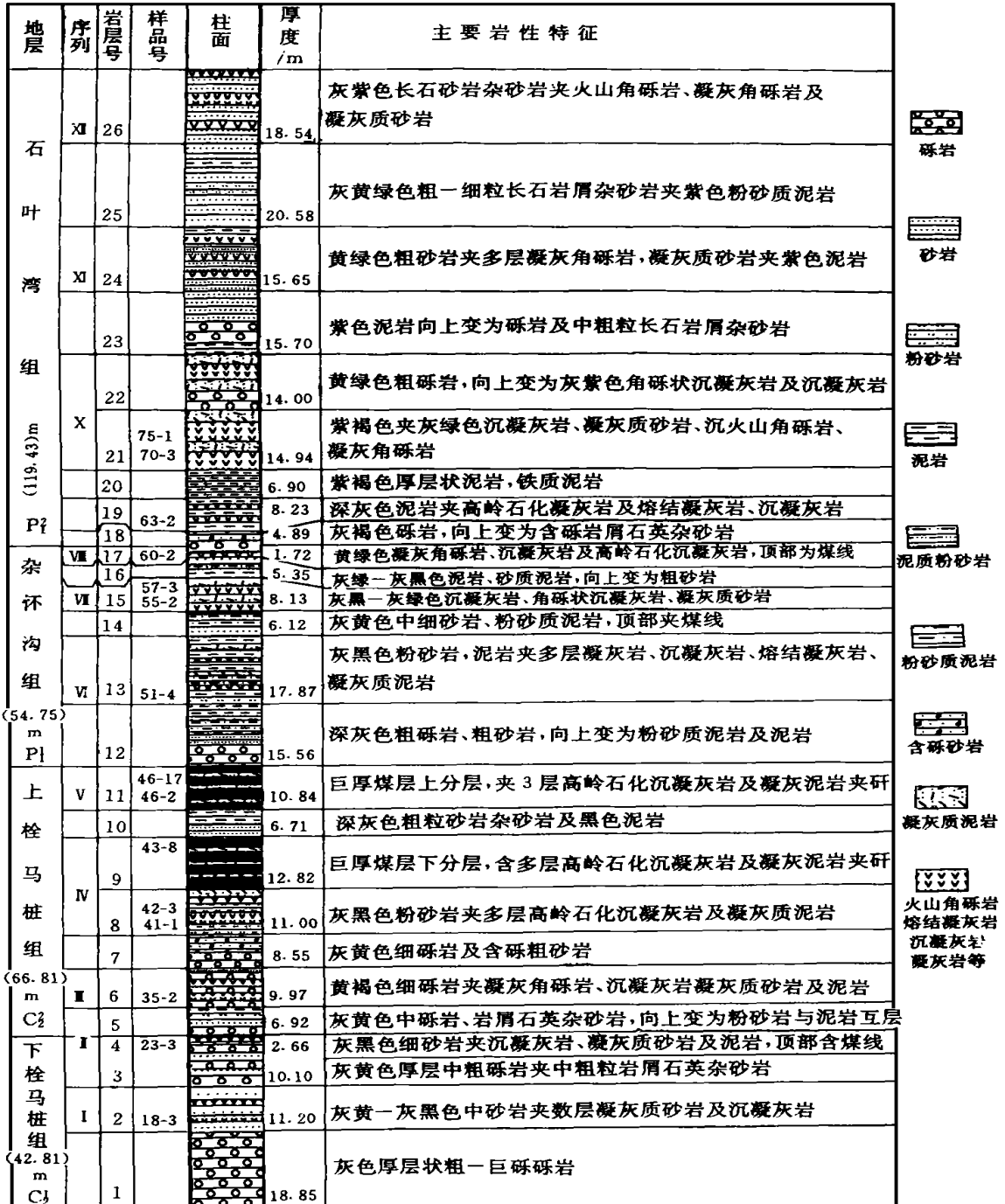
收稿日期:1999-08-18 收修改稿日期:1999-11-16

由表 1 可见, 这些泥岩在该 C₂-P₁ 剖面中, 有的为煤层夹矸, 有的为砂岩夹层, 厚度一般为 10~30 cm, 有的为薄层状泥岩, 厚度为 1~2 m。无煤序列中泥岩颜色有杂色、灰色和黑灰色等比较复杂; 含煤序列中泥岩颜色以黑灰色和灰黑色为主。后者的颜色比前

者深且单一。

3 蚀变特征

大青山童盛茂 C₂-P₁ 剖面中降落火山灰的蚀变矿物主要是粘土矿物, 粘土矿物特征既是蚀变作用的



注: 地层划分据内蒙古区域地质志, 1991。栓马桩组上、下界限据梅美棠, 1991。图中序列为火山沉积序列

图 1 内蒙大青山童盛茂区 C₂-P₁ 地层剖面柱状图

Fig. 1 C₂-P₁ stratigraphic section column of Tongshengmao, Daqingshan, Inner Mongolia

表1 含煤序列和无煤序列中泥岩的主要岩矿特征

Table 1 The petrology mineralogy characters of the mudstone in coal-bearing and coal-free sequences

序列	样品编号	颜色及产状	火山物质/%	粘土矿物	玻屑状高岭石/%	粘土矿物 SEM 特征
无煤序列	75-1	杂色, 夹层	20~50	I, K, I/M	< 20	定向片状
	70-3	灰黄色, 薄层状	20~50	K, I/M	< 20	胶凝状
	63-2	灰色, 薄层状	50~90	K	50±	定向片状
	57-3	灰绿色, 薄层状	50~90	K, I	50±	定向片状
	55-2	灰黑色, 夹层	50~90	K, I	60±	胶凝状, 泥粒状
	51-4	黑灰色, 薄层状	> 90	K, I	> 60	蠕虫状, 泥粒状
	35-2	灰黑色, 夹层	50~90	K	50±	定向片状, 胶凝状
含煤序列	18-3	灰色, 夹层	50~90	K, I	< 20	定向片状
	60-2	灰黑色, 薄层状	50~90	K	> 80	蠕虫状, 泥粒状
	46-17	灰黑色, 夹矸	50~90	K	> 80	蠕虫状, 泥粒状
	46-2	灰黑色, 夹矸	50~90	K	> 60	多向片状, 泥粒状
	43-8	黑灰色, 夹矸	20~50	K, I	50±	蠕虫状, 泥粒状
	42-3	黑灰色, 薄层状	50~90	K	> 80	蠕虫状, 泥粒状
	41-1	灰黑色, 薄层状	50~90	K	> 80	蠕虫状, 多向片状
23-3	灰黑色, 夹层	20~50	K	50±	蠕虫状, 泥粒状	

注: 表中 K—高岭石; I—伊利石; I/M—伊/蒙混层, 以含量多少为序。玻屑状高岭石为 TEM 测试结果

结果和反映。

3.1 粘土矿物组合

差热分析、X 光衍射及电子显微镜等测试结果(表 1)均表明, 含煤序列泥岩的矿物成分比较单一, 主要为高岭石, 其含量大多在 80% 以上, 仅个别样品含少量伊利石(如 43-8 样)。无煤序列泥岩的矿物成分较为复杂, 其粘土矿物组合主要为高岭石和伊利石(或伊/蒙混层), 仅少数样品(63-2 和 35-2 样)为比较单一的高岭石。75-1 样的主要矿物成分为伊利石, 其次为高岭石和伊/蒙混层, 应命名为“illite tonstein”^[3]。

3.2 透射电镜下的蚀变特征

采用悬浮液法制备样品, 透射电子显微镜(TEM)下, 煤系高岭石具多种形态—成因类型, 常见的有碎屑状(浑圆等度薄片)、胶凝状(圆状轮廓清晰, 厚度较大)、玻屑状等^[4]。玻屑状高岭石指保留玻屑假象的高岭石单体或集合体, 其形态特征具有边缘不整齐、形态复杂多变、粒度小且聚集性强等特点(图版 I-5、7、8)。1 μ m 左右的玻屑状高岭石大多由 0.1~0.3 μ m 或更细小的高岭石组成(图版 I-8), 实际上是高岭石的集合体, 其内部结构有条带状(图版 I-7)、网状、斑状等, 并常伴生有絮条状和盘旋状埃洛石(图版 I-6), 它们都是火山灰蚀变产物^[5]。絮条状和盘旋状埃洛石是火山灰向高岭石转化的中间产物, 玻屑状高岭石具有明显的成因意义。

表 1 中玻屑状高岭石在含煤序列与无煤序列中含量有明显差异, 同样是含 50%~90% 的火山物质, 含煤序列泥岩中, 玻屑状高岭石的含量 > 60%, 高者 > 80%; 而无煤序列泥岩中, 一般为 50%±, 少者 < 20% (如 18-3 样)。同样是含 20%~50% 的火山物质, 含煤序列泥岩中, 玻屑状高岭石含量为 30%~50%; 而无煤序列泥岩中少于 20%。由此可见, 含煤序列泥岩中玻屑状高岭石含量明显高于无煤序列, 或者说, 降落火山灰的原始形态在含煤序列中保留得多于无煤序列。

TEM 下, 含煤序列泥岩主要由玻屑状高岭石组成, 其次为少量碎屑状和胶凝状高岭石; 无煤序列泥岩主要由胶凝状和碎屑状高岭石组成, 其次为少量玻屑状高岭石。大青山童盛茂 C₂-P₁ 剖面, 越往上含煤性越差, 越往上火山事件沉积泥岩中玻屑状高岭石含量越少。

3.3 扫描电镜下的蚀变特征

以往研究^[5-7]认为, 扫描电子显微镜(SEM)下, 弯曲的蠕虫状高岭石大多由长石晶屑蚀变而成, 泥粒状高岭石(1~5 μ m 的边缘模糊的无定形颗粒)系微米级火山玻屑蚀变而成; 定向片状粘土矿物(沿(001)晶面在一定范围内定向排列)为沉积成因; 轮廓清晰的规则粒状高岭石为胶体成因。

块状样品的自然断面, 在 SEM 下, 含煤序列泥岩

主要由蠕虫状高岭石和泥粒状高岭石(图版 I -1)组成(表 1)。泥粒状高岭石进一步晶化即成为(001)晶面呈多方向展布的多向片状高岭石(表 1, 图版 I -4)。含煤序列泥岩结构致密, 微层理、微孔隙及矿物晶间孔均不发育。蠕虫状高岭石大者 100 μm 左右, 小者 10 μm 左右, 常呈弯曲状, 在泥粒状高岭石中无定向分布, 二者构成不同尺度上的斑状结构(图版 I -1), 与凝灰岩结构相似。含煤序列泥岩的这些蚀变特征在该剖面巨厚煤层所在序列(图 1 中的第 IV 和第 V 序列)最为发育。

无煤序列泥岩在 SEM 下, 主要由定向片状高岭石(图版 I -2)和胶凝状高岭石(图版 I -3)组成(表 1), 并常见到胶凝状高岭石向伊利石或伊/蒙混层矿物转化, 伴生矿物有绿泥石、方解石、黄铁矿等。无煤序列泥岩中, 由定向片状粘土矿物所构成的微层理(图版 I -2)、微层面较发育, 局部可见溶孔或溶隙。无煤序列泥岩中沉积岩特征占优势, 尤其是石叶湾组的无煤序列。

4 沉积环境及其作用

沉积学研究表明大青山童盛茂区栓马桩组(C_2)主要为后滨河流体系沉积, 杂怀沟组(P_1^1)和石叶湾组(P_1^2)以曲流河沉积为主, 厚薄不等的泥质岩与中—粗碎屑岩交替发育。即使都是泥岩, 其沉积环境也有较大的区别。前述含煤序列和无煤序列泥岩中降落火山灰蚀变特征上的差异, 主要受沉积环境物化条件的影

响。

4.1 泥炭沼泽环境

含煤序列泥岩大多形成于泥炭沼泽, 尤其是煤层夹矸。各类泥炭沼泽环境共同的物化条件是: 较低的 pH 和 Eh 值, 有机酸、腐殖质含量丰富, 水动能很弱或为滞水状态。此环境有利于火山灰向高岭石转化。此外, 腐殖质对高岭石也有一定的吸附性^[8], 泥炭沼泽本身还有较丰富的 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 凝胶体, 其来源有从陆源风化区带来的; 有由长石、云母及沉积型粘土矿物溶蚀、淋滤而形成的; 还有成煤植物本身在生物化学作用过程中产生的等等。这些多方来源的 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 物质以不同比例与降落火山灰混合, 在泥炭沼泽的酸性化学条件下形成高岭石泥岩。

含煤序列泥岩在 TEM 下较多的玻屑状高岭石, SEM 下的弯曲蠕虫状和泥粒状高岭石及其二者所构成的斑状结构等蚀变特征均表明, 火山灰在泥炭沼泽中原地水解, 脱去 K、Na、Ca、Mg 和部分 SiO_2 后, 直接转变成高岭石^[9]。因蚀变前后基本未经搬运, 故火山灰原始形态得以较多的保留, 晶屑与玻屑原有的斑状结构也得以较好的保留。

4.2 非泥炭沼泽环境

无煤序列泥岩可形成于湖泊、水下三角洲、天然堤等低能环境, 与泥炭沼泽相比, 这些环境一般具有较高的 pH 值, 有机质作用微弱或没有, 水动能相对较大等特点。火山灰落入此环境, 首先遭受较强的水解作用和

表 2 大青山童盛茂剖面和南票苇子沟剖面火山事件沉积序列对比表

Table 2 The correlation of volcanic event deposit sequences between Daqingshan and Nanpiao

时代	序列	大青山童盛茂剖面			南票苇子沟剖面		
		厚度/m	含煤性	粘土矿物	厚度/m	含煤性	粘土矿物
P_1^2	XII	18.54	无煤	K、I	9.10	无煤	I、K
	XI	15.65	无煤	M	8.75	含煤	K、I
	X	28.94	无煤	M、I、K、I/M	4.00	无煤	I、K
	IX	8.23	无煤	K	14.57	含煤	K、I
P_1^1	VIII	1.72	含煤	K	4.12	无煤	K、I
	VII	8.13	无煤	K、I	16.55	含煤	K、I
	VI	17.87	无煤	K、I	16.65	含煤	K、I、M
C_2^2	V	10.84	含煤	K	2.92	无煤	K
	IV	23.82	含煤	K	9.57	含煤	K
	III	9.97	无煤	I、K	5.14	含煤	K
C_2^1	II	2.66	含煤	K、I	4.39	无煤	K、I
	I	11.20	无煤	I、K	2.62	无煤	K、I

注: 序列为火山事件沉积序列 粘土矿物为序列中泥岩的矿物组成, 符号含义和排序同表 1

一定距离的搬运, 从而使得火山灰原始形态被改造或消失, 故无煤序列泥岩中玻屑状高岭石、弯曲蠕虫状和泥粒状高岭石含量少, 斑状结构也不多见。

无煤序列泥岩在 TEM 和 SEM 下出现最多的是胶凝状高岭石, 这表明非泥炭沼泽的水域中, 火山灰水解后首先形成 SiO_2 和 Al_2O_3 溶胶体, 然后晶化成高岭石。非泥炭沼泽不象泥炭沼泽那样本身还有较丰富的 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 来源, 水介质流动性大, 不一定为酸性, 如果水介质显中性或偏碱性, 火山灰就会向伊利石或伊/蒙混层矿物转化^[10], 所以无煤序列泥岩常由多种粘土矿物组合而成。

无煤序列泥岩中粘土矿物常沿 (001) 晶面定向排列(图版 I-2), 微层理、微层面发育, 沉积岩特征占优势, 此乃非泥炭沼泽较大的水动能作用的结果。

5 火山事件沉积序列的横向对比

火山事件沉积序列研究的主要目的之一是解决地层对比问题。除大青山童盛茂剖面之外, 作者还对辽宁南票煤田苇子沟 C_2 — P_1 地层剖面做了系统研究, 该剖面总厚 239.16 m, 其中火山沉积序列厚度为 98.38 m(表 2), 占剖面总厚度的 41.13%, 可见该剖面火山事件沉积层也很发育。

大青山煤田和南票煤田均位于晚古生代华北板块北缘, 对比研究表明, 大青山童盛茂剖面和南票苇子沟剖面 C_2 — P_1 煤系含煤特征不同, 地层厚度也有差异, 但其火山沉积序列有很好的可对比性(表 2)。两个剖面都可划分出 12 个火山事件沉积序列, 每个序列厚度不同, 层位一致, 泥质岩的矿物组合及其 TEM 和 SEM 显微特征有很好的相似性, 这些共性反映了火山事件沉积的等时性和影响面积的广泛性。作者根据火山沉积序列的识别与划分, 曾做过一定范围内的煤层对比^[11]。

6 结论

同一性质的火山灰降落不同沉积环境, 受环境

各种物化条件的影响, 火山灰蚀变过程和蚀变产物明显不同。泥炭沼泽环境中, 火山灰以原地直接高岭石化为主, 保留较多的玻屑和晶屑原始形态, 泥岩结构与凝灰岩斑状结构相似; 非泥炭沼泽环境中, 降落火山灰以异地凝胶化—多种粘土矿物化为主, 火山玻屑和晶屑原始形态保留较少, 泥岩主要呈沉积岩结构特征。此结论是对煤系火山事件沉积层认识的加深, 也是煤系高岭岩成因机理研究的一个新思路。

参 考 文 献

- 1 贾炳文等. 内蒙大青山区晚古生代火山事件沉积全序列及其主要特征[J]. 中国学术期刊, 1999, 5(9)
- 2 Jia Bingwen, Wu Yongqiang. Recognition and geologic significance of the Permian-Carboniferous volcanoclastic rocks from Daqingshan coalfield, Inner Mongolia[J]. China. Scientia Geologica Sinica, 1996, 5(4): 469~482
- 3 Burger K, Zhou Yiping, Dazhong. Synsedimentary volcanic ash derived illite tonsteins in Late Permian coal-bearing formations of Southwestern China[J]. Int. J. Coal Geology, 1990, 15(4): 341~356
- 4 张慧. 煤系地层中高岭石的形态—成因类型[J]. 矿物学报, 1992, 12(1): 53~57
- 5 张慧等. 霍林河矿区 17 号煤层夹矸的电子显微学研究[J]. 中国煤田地质, 1991(1): 27~30
- 6 Dewison M G. Dispersed kaolinite in the Barnsley Seam Coal (U. K.); evidence for a volcanic origin[J]. Int. J. Coal Geol. 1989, 11: 291~304
- 7 Keler W D. Classification of kaolinite exemplified by their textures in scan electron micrographs[J]. Clays and Clay minerals, 1978, 26: 1~20
- 8 黄焱球, 程守田. 东胜煤系砂岩型高岭土的富集机理[J]. 煤田地质与勘探, 1999, 27(3): 13~16
- 9 冯宝华. 我国北方石炭—二叠纪火山灰沉积水解改造而成的高岭岩[J]. 沉积学报, 1989, 7(1): 101~106
- 10 刘钦甫, 张鹏. 华北晚古生代煤系高岭岩物质组成和成矿机理研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1997
- 11 贾炳文, 张俊计. 冀北辽西晚古生代煤系地层中火山碎屑岩层的发现与研究[J]. 沉积学报, 1996, 16(2): 163~171

The Effect of Depositional Setting on Alteration of Landing Ash

ZHANG Hui¹ ZHOU An-chao² GUO Min-tai² JIA Bing-wen²

1(Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an 710054) 2(Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024)

Abstract

By the aid of X-ray diffractometer, transmit electron microscopes (TEM) and scanning electron microscopes (SEM), authors have revealed the altered features of landing ash from Daqingshan Inner Mongolia Late Paleozoic

era (C₂-P₁), and discussed the effect of depositional setting on ash alteration.

In peat moor, the landing ash is directly altered into kaolinite in situ, forming cryptocrystalline kaolinite mudstone. The mudstone is almost monomineralic and keeps the shapes of crystallinoclastic and shard. Under TEM, the kaolinites in the form of unitary and aggregate are mostly glassy. Their aris are not tidy, with different shapes small particle size and strong aggregation. Under SEM, worm kaolinites and pisolite kaolinites are usually paragenetic. Both made up porphyritic texture in the range of micron.

In non-peat moor, the landing ash is firstly altered into gel, then into clay minerals in allochthon, becoming clay mudstone. The mudstone is polymineralic, with mineral components composed of illite, montmorillonite and interstratified illite-montmorillonite and so on. Under TEM, the kaolinites are coagulative and elastic; under SEM, the sedimentary characters are often seen, such as microbedding and microbedding plane made up of oriented clay minerals. After the ash transferred by air deposits, its alteration and products in peat moor are different from non-peat moor because the conditions of physics and chemistry vary with environment. The paper shows much to insight on deeply understanding of volcanic event strata and studing genesis of kaolinton in coal series.

Key words depositional setting ash alteration Daqingshan

图版说明

图版 I 1. 蠕虫状高岭石和泥粒状高岭石及其由它们所构成的斑状结构, SEM, ×240, 46-17 样; 2. 定向片状粘土矿物与微层理, SEM, ×1260, 57-3 样; 3. 胶凝状高岭石, SEM, ×2520, 70-3 样; 4. 多向片状高岭石, SEM, ×1680, 46-2 样; 5. 玻璃状高岭石, TEM, ×22000, 46-2 样; 6. 絮条状和盘旋状埃洛石, TEM, ×33000, 55-2 样; 7. 高岭石集合体内部呈条带状结构, TEM, ×33000, 42-3 样; 8. 由 0.1-0.3 μ m 的高岭石组成的集合体, TEM, ×26000, 46-17 样

(Continued from page 514)

probably formed under the condition bursting and returning breccia mixed with submarine surface carbonates and water in the basin, as submarine gravity flow deposited around the places of the volcanic craters.

Key words sedimentation related to volcanic event Proterozoic Dahongyu Formation Beijing

图版说明

图版 I 1. 北京十三陵大红峪组豆粒-鲕粒状硅质岩, 岩层中具同沉积变形构造, 弯曲的暗色层理由豆粒构成; 2. 河北承德县新杖子大红峪组砂屑状硅质岩镜下特征。Si: 隐晶硅质砂屑, 部分隐晶颗粒具暗色的藻包壳; 胶结物为节状玉髓。Dol: 具析铁环带的白云石, 交代了硅质岩。×5, 正交偏光; 3. 北京平谷黄松峪大红峪组火山碎屑基浪沉积的火山碎屑岩镜下特征。碎屑成分: Ba 玄武岩, Dol 白云岩, Q 石英, 杂基支撑, 杂基成分以碳酸盐为主。×20, 正交偏光; 4 黄松峪大红峪组火山碎屑基浪沉积中的多重正粒序递变层理(局部), 左边笔示比例。位置见图 3(A)中的小矩形框。Ba: 玄武岩, Pc: 火山碎屑岩。

