

http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx

华北板块北缘晚古生代火山事件沉积的全序列及其主要特征

周安朝^{1,2)} 贾炳文¹⁾ 马美玲¹⁾ 张慧³⁾

1) 太原理工大学地球科学系, 030024; 2) 西北大学地质学系, 西安, 710069

3) 煤炭科学院西安分院, 710054

内容提要 本文对辽宁南票及内蒙古大青山区上石炭—下二叠统地层中火山事件沉积进行了系统的岩矿鉴定、差热、X光、电镜测试及微量稀土元素定量分析, 两剖面自下而上共划分出12期火山事件沉积序列, 包括了34~39层火山事件沉积层。由于各层均具有特定的岩石矿物及地球化学特征, 为进一步查明华北板块北缘火山事件沉积的展布规律, 并利用火山事件层作为标志层进行地层对比, 提供了新的依据。

关键词 晚古生代 火山事件沉积 岩石矿物地球化学特征 地层对比

华北板块北缘上石炭(C₂)—下二叠统(P₁)地层中, 陆续发现层数不等的火山事件层, 许多学者已对不同地区火山事件层的分布及岩性特征作了大量的研究(贾炳文等, 1996; Jia et al., 1996; 钟蓉等, 1996a), 并根据火山事件层层数和厚度自北向南逐渐减少及其岩石、矿物、地球化学特征, 论证了这些火山碎屑物质均来自其北部兴蒙槽区海西期大规模的火山喷发(贾炳文等, 1999a, b)。由于同源、同期火山喷发产物具有极强的等时性, 可以作为地层对比的良好标志层。为此, 本文选择华北板块最北缘两个典型的剖面进行了系统的岩石、矿物和地球化学研究, 进一步查明晚古生代地层中火山事件层的全序列及其主要特征, 为利用火山事件层作为地层对比的标尺, 提出新的标准。

华北板块最北缘辽宁南票苇子沟剖面(W)及内蒙古大青山童盛茂剖面(T)晚古生代地层出露良好, 火山事件层发育最为齐全, 是实现本项研究的典型剖面。其分布位置及采样点表示在图1中。

通过对上述两剖面 C₂—P₁地层的详细实测, 并按0.2~1.0m的间距系统采样, 并采用多种手段详细鉴定, 将两剖面的地层层序及其主要岩性特征表示在图2, 图3中。

鉴于火山碎屑岩(包括火山角砾岩、凝灰岩、沉凝灰岩、熔结凝灰岩、凝灰岩熔及凝灰质沉积岩等)

成分十分复杂, 既有典型的火山碎屑物质, 又有各种不同粒度的陆源碎屑物质, 单靠一般岩矿鉴定, 难于准确区分, 故本次研究中, 在岩矿鉴定的基础上, 还

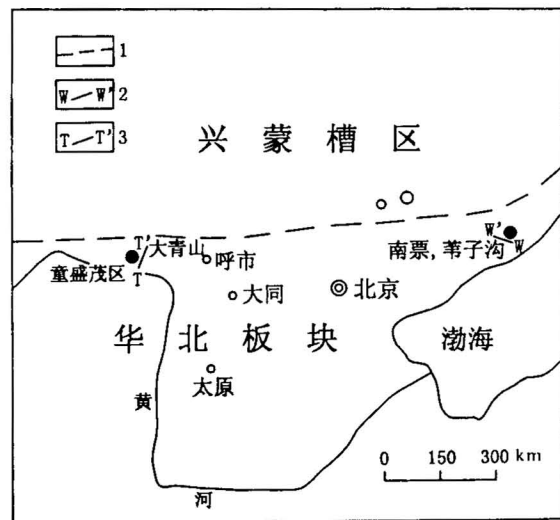


图1 华北板块北缘辽宁南票(苇子沟剖面, W)与内蒙古大青山(童盛茂剖面, T)分布位置示意图
Fig. 1 Distribution sketch of Weizigou section(W), Nanpiao, liaoning and Tongshengmao section(T), Daqingshan, Inner Mongolia in North China Plate
1—华北板块与兴蒙槽区分界; 2—南票苇子沟剖面位置; 3—大青山童盛茂剖面位置
1—Boundary of North China Plate and Xing-Meng geosynclinal area; 2—Weizigou section; 3—Tongshengmao section

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49762094)的部分成果。

收稿日期: 1999-12-18; 改回日期: 2000-05-03; 责任编辑: 郝祥国编辑。

作者简介: 周安朝, 男, 1956年生, 1982年毕业于原山西矿业学院地质系。现在太原理工大学地球科学系任教, 副教授, 西北大学在读博士生。从事岩石学及沉积学研究。通讯地址: 030024, 太原市太原理工大学(中区)地球科学系。

地层	火山沉积序列	岩层号	样品号 (w)	柱面	层厚 (m)	主要岩性特征		
下石盒子组 (81.68)m		31	69-73		7.86	灰黄色砾岩、中细粒岩屑杂砂岩、石英杂砂岩夹紫红色、灰色泥岩	砾岩 Conglomerate	
	XII	30	67-68		9.10	灰黄绿色长石岩屑杂砂岩夹4层凝灰质砂岩及泥岩		
			29	63上-66		21.10	灰黄绿色长石岩屑杂砂岩，上部夹粉砂岩及泥岩	砂岩 Sandstone
	XI	28	60-63下		8.75	灰色薄层泥岩、凝灰质泥岩夹1#煤，向上变为粗砂岩夹凝灰质砂岩		
			27	59上		4.90	灰黄色粗粒长石石英杂砂岩	粉砂岩 Siltstone
	X	26	59中		4.00	灰黄色凝灰质砂岩		
			25	59下 58上		11.40	灰色中砾岩、向上变为灰黄色长石石英砂岩	粉砂岩 Siltstone
			24	55-58下		9.50	灰色凝灰质泥岩夹2#煤层、向上变为粗粒砂岩夹4-5层凝灰质砂岩	
			IX	53上-54		5.07	灰黄色长石岩屑杂砂岩夹3-4凝灰质砂岩	泥岩 Pelite
			22	53下 52		17.40	灰黄色粗粒岩屑石英砂岩、杂砂岩，向上粒度变细	
山西组 (83.61)m	VIII	21	50上-51		4.12	灰黑色凝灰质泥岩、向上变为凝灰质砂岩与粉砂岩互层	煤层 Coal layer	
		20	48-50下		5.57	灰黑色泥岩夹3#煤层		
		19	44-47		5.45	灰色泥岩夹4-1#煤、向上变为黄绿色沉凝灰岩、凝灰质砂岩及泥岩	泥质粉砂岩 Pelitic siltstone	
	VII	18	41-43		16.55	灰-黄绿色泥质粉砂岩夹5-6层高岭石化沉凝灰岩、熔结凝灰岩及凝灰熔岩		
		17	39-40		10.83	黄绿色粉砂质泥岩、顶部为4#煤层	粉砂质泥岩 Silty pelite	
		VI	37-38 36 32-35		16.65	黄褐、杏黄色中粒砂岩夹沉火山角砾岩、沉凝灰岩及凝灰质砂岩6-7层，顶部为5#煤层		
		V	15 14	29-31 26-28	7.04 2.92	黄褐色中细砾岩夹细砂岩、粉砂质泥岩 灰绿黄色沉火山角砾岩、高岭石化(沉)凝灰岩	含砾砂岩 Conglomeratic sandstone	
			13 12	24-25 22-23	5.80 3.22	黄绿色粉砂质泥岩及泥岩 6#煤层、向上变为高岭石化沉凝灰岩夹凝灰熔岩		
		IV	11 10	20-21 19	6.35 3.33	凝灰熔岩夹安山质熔岩 7#煤层、顶部为炭质泥岩及粉砂质泥岩	凝灰质泥岩 Tuffaceous pelite	
			9	18	12.14	灰黄色粉砂岩夹细砂岩		
太原组 (38.90)m		III	8 7	15-17 13上-14	5.14 3.97	深灰-灰黑色高岭石化(沉)凝灰岩、凝灰泥岩夹8#煤层 灰白色细粒岩屑石英杂砂岩夹泥岩	火山碎屑岩 Volcaniclastic rocks	
		II	6	11-13下	4.39	深灰色岩屑石英杂砂岩夹3-4层凝灰质砂岩		
			5 4	7-10 5上-6	7.44 2.62	灰白色粗-细砾岩及凝灰质泥岩 灰色凝灰质砂岩及凝灰质泥岩		
			3	5下	6.01	灰白色中粗粒岩屑石英砂岩		
			2 1	4 2-3	6.90 3.64	灰色巨砾-粗砾岩 灰-褐色铁铝质泥岩		

图2 辽宁南票苇子沟区 C₂-P₁地层剖面(W)柱状图
 Fig. 2 C₂-P₁ stratigraphical section column of Weizigou, Nanpiao, Liaoning

采用磁化率测定、差热、X射线、电镜测试及微量、稀土元素定量分析。经综合研究，在上述两剖面中共查明34层(W剖面)~39层(T剖面)火山事件沉积层，按各火山事件沉积层在剖面上的组合特征，两剖面自下而上均可划分出I~XII期火山沉积序列。现将

两剖面各组段中火山事件沉积层序，按主要岩性特征，磁化率测定值($\times 10^{-5}$ SI)，特征粘土矿物，脱玻化高岭石含量(%),特征高温矿物及稀有稀土元素参数列于表1,表2中,各火山事件层中火山碎屑样品的稀土元素定量分析数据(REE丰度值)列于表3,表4中。

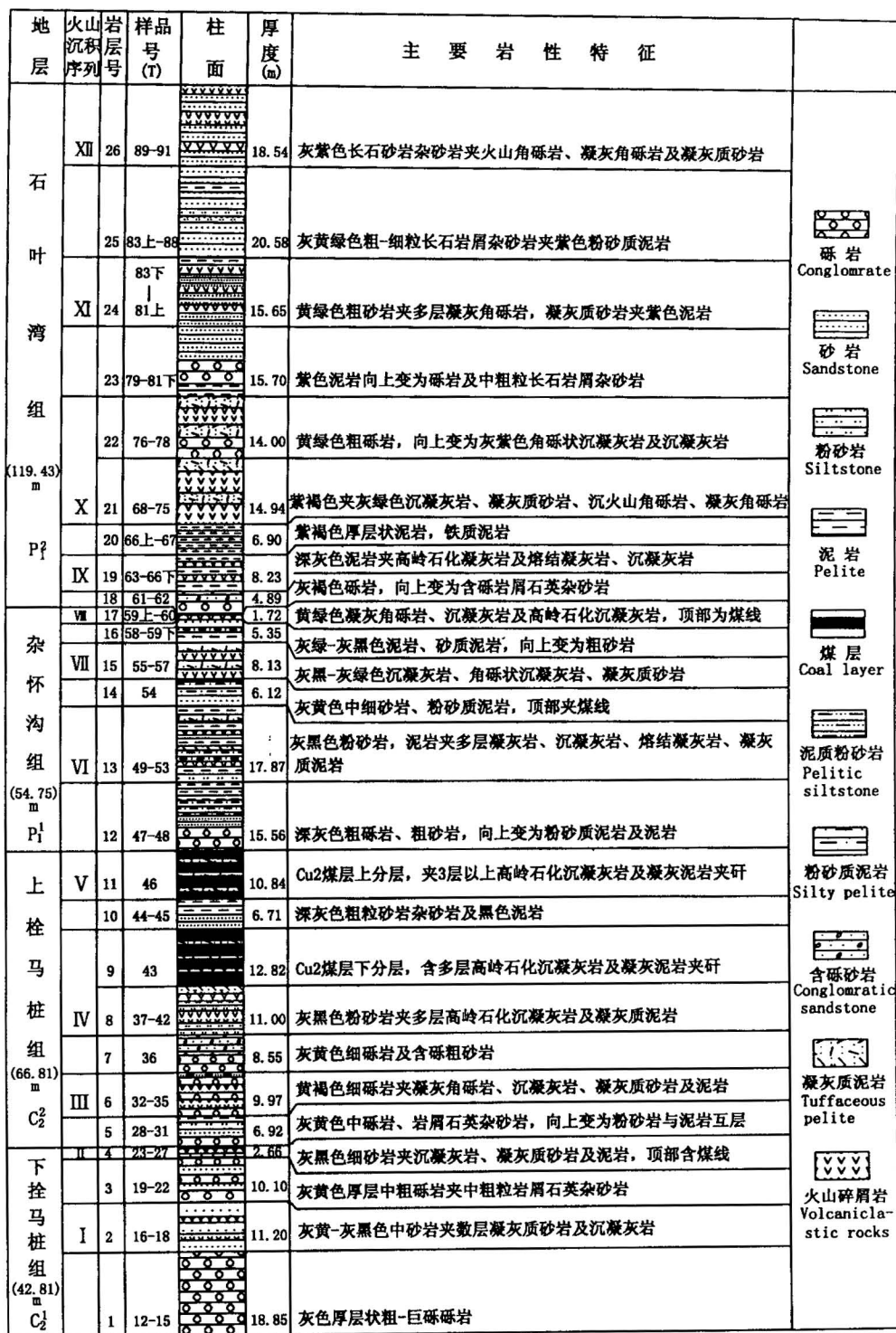


图3 内蒙古大青山童盛茂区 C₂-P₁地层剖面(T)柱状图

Fig. 3 C₂-P₁ stratigraphical section column of Tongshengmao, Daqingshan, Inner Mongolia

根据对上述两剖面的综合研究成果, 本文将对
其 C₂-P₁地层中火山事件层的岩石、矿物及地球化
学特征进一步加以论述。

1 岩石矿物特征

1.1 岩性特征

两剖面火山事件层中主要岩性为凝灰质砂岩、
凝灰质泥岩、凝灰质角砾岩、(沉)凝灰岩、(沉)火山
角砾岩及少量熔结凝灰岩、凝灰熔岩, 这些岩性特征
已有专文论述(贾炳文等, 1996; Jia Bingwen, et al.,

表1 苇子沟区 C₂-P₁剖面(W)中火山事件沉积序列及主要特征Table 1 Volcanic event deposit sequences and main features of C₂-P₁ stratigraphic section from Weizigou area

地层	火山沉积序列	火山沉积层号	样品号(W)	主要岩性	磁化率($\times 10^{-5}$ SI)	粘土矿物	脱玻化高岭石(%)	特征矿物	稀有(TE)稀土(REE)元素参数						
									As($\times 10^{-6}$)	Er/Dy	Gd/Sm	Er*(%)	Yb*(%)		
下石盒子组	XI	34	68(1)	凝灰质泥岩	38	I,K		S							
	XI	33	67(1~3)	凝灰质砂岩	56	I,K		S,A							
	XI	32	63(1~5)	凝灰质砂岩	141	K,I		S,A							
	XI	31	62(2)	凝灰质泥岩		K,I		S							
	XI	30	60(1)	凝灰质泥岩	22	K,I		S							
	X	29	59(6~8)	凝灰质砂岩	42	K,I		A,S	334.5	0.55	0.98	1.28	1.22		
	X	28	58(1~5)	凝灰质砂岩		K,I		S	101.1	0.57	0.91	1.32	1.27		
	X	27	57(1~4)	凝灰质砂岩		K,I		S	239.3	0.49	0.99	1.25	1.21		
	X	26	55(1)	凝灰质泥岩	21	K,I		S							
	X	25	54(1~4)	凝灰质砂岩	26	K,I		S	47.9	0.48	0.95	1.23	1.33		
P ₁ 山西组	X	24	53(4~5)	凝灰质砂岩	36	K,I		S		0.58	1.11	1.38	1.32		
	VIII	23	51(1~5)	凝灰质粉砂岩、泥岩	26	K,I									
	VIII	22	50(3)	凝灰质泥岩	22	K,I	10~15								
	VII	21	47(1~2)	高岭石化凝灰泥岩	41	K,I		A							
	VII	20	46(1~5)	凝灰质砂岩	38	K,I,M	20	S							
	VI	19	43(1~4)	沉凝灰岩夹熔岩	33	K,I,M	20	S	37.3	0.56	1.03	1.21	1.10		
	VI	18	41(1~4)	沉凝灰岩、凝灰熔岩	80	M,K	>50	S							
	VI	17	38(1~3)	凝灰质砂岩		K,I		S	64.8	0.53	1.01	1.30	1.14		
	VI	16	36(1~3)	沉凝灰岩、凝灰质砂岩		K,M	10	S	27.7	0.43	0.92	1.21	1.01		
	VI	15	35(1~4)	火山角砾岩、沉凝灰岩	332	M,K	>50	S	43.4	0.54	1.16	1.19	1.04		
太原组	VI	14	33(1~6)	沉凝灰岩、凝灰质砂岩	111	K,I									
	VI	13	32(1~3)	凝灰质砂岩	20	M,K		S							
	V	12	27(1)	沉火山角砾岩、沉凝灰岩	21	K			122.1	0.47	1.21	0.98	0.91		
	V	11	26(1~2)	高岭石化沉凝灰岩		K	>50								
	IV	10	23(1~3)	高岭石化沉凝灰岩	25	K,I	>50								
	IV	9	22(2)	高岭石化凝灰熔岩		K		S							
	IV	8	21(2~7)	碳酸岩化凝灰熔岩	29	M,K,I		A	79.20	0.47	1.09	0.84	0.81		
	IV	7	20(1~3)	安山质熔岩	20	M,K		S	62.6	0.46	1.11	0.95	0.82		
	III	6	17(1~2)	高岭石化(沉)凝灰岩		K	>50	A,S							
	III	5	15(1)	高岭石化沉凝灰岩	22	K,I	>50								
本溪组	II	4	13(1~2)	凝灰质砂岩	20	K,I			59.9	0.44	1.36	0.78	0.85		
	II	3	11(1~4)	凝灰质砂岩		K,I		S							
	I	2	6(1)	凝灰质泥岩		K,I	25		44.5	0.41	1.39	0.85	0.90		
	I	1	5(6~9)	凝灰质砂岩	27	K,I		A,S		0.48	1.45	0.91	0.98		

注: (1)表中K,I,M,S,A分别代表高岭石、伊利石、蒙脱石、透长石、高温钠长石(以含量多少为序),所有矿物均经过岩矿鉴定及差热、X光衍射法测定;(2)稀有、稀土元素定量数据由等离子质谱法(ICP-MS)分析(详见表3,表4);(3)磁化率由SES-942型磁化率仪测定;(4)样品号:W67(1~3)表示W67(1),W67(2),W67(3)三个样品,以下类推。

1996),本文不再重复。值得注意的是,南票苇子沟剖面(表1)太原组上部(C₂)—山西组下部(P₁),出现多层(沉)火山角砾岩及凝灰熔岩,而大青山童盛茂剖面(表2)石叶湾组(P₂)中则出现厚度较大、层数较多的(沉)火山角砾岩,说明从C₂至P₁兴蒙槽区火山喷发中心的位置应由南票以北向大青山以北逐渐转移。尽管两剖面各火山事件层的岩性变化厚度较大,但火山事件层层序却可以逐一对应。

1.2 磁化率特征

根据岩石磁学研究,火山岩与火山碎屑岩中含有较多的铁磁性矿物(如磁铁矿等),其岩石磁化率

数值($\times 10^{-5}$ SI)一般均大于正常沉积岩(杨诺夫斯基著,1982)。因此本次工作中对两剖面中所有样品均用SES-942型磁化率仪进行了磁化率测定,测定结果表明,几乎所有火山事件层样品,其磁化率均大于 20×10^{-5} SI,个别层可高达 $141 \times 10^{-5} \sim 332 \times 10^{-5}$ SI(表1,表2),而正常沉积岩中磁化率一般均小于 20×10^{-5} SI。可见磁化率数值完全可以做为识别火山事件层的重要参考。

1.3 粘土矿物

在岩矿鉴定的基础上,对于极细粒的粘土样品采用差热分析、X射线衍射分析及电镜测试,发现两

表2 童盛茂区 C₂-P₁剖面(T)中火山事件沉积序列及主要特征

Table 2 Volcanic event deposit sequences and main features of C₂-P₁ stratigraphic section from Tongshengmao area

地层	火山沉积序列	火山沉积层号	样品号(T)	主要岩性	磁化率(×10 ⁻⁵ SI)	粘土矿物	脱玻化高岭石(%)	特征矿物	稀有(TE)稀土(REE)元素参数				
									As(×10 ⁻⁶)	Er/Dy	Gd/Sm	Er*(%)	Yb*(%)
石湾组 P ₁	XII	39	91(2~4)	凝灰质角砾岩	41	K,I		A	38.0	0.58	0.96	1.22	1.10
	XII	38	89(1~12)	沉火山角砾岩、凝灰角砾岩	31	K		A	49.7	0.60	1.01	1.60	1.50
	XI	37	81(1)~83(1~4)	凝灰质角砾岩及砂岩	22	M		A,S	48.0	0.57	1.00	1.25	1.19
	X	36	78(1~2)	角砾沉凝灰岩		M		A,S	59.4	0.51	0.89	1.37	1.22
	X	35	77(1~5)	角砾沉凝灰岩	32	I,M		A					
	X	34	75(1)	凝灰质角砾岩	53	I,K,I/M		A,S	36.9	0.53	0.97	1.38	1.23
	X	33	74(1~3)	沉火山角砾岩	40	K,I							
	X	32	72(1~2)	沉火山角砾岩	44	K,I		S,A					
	X	31	70(1~3)	沉凝灰岩、凝灰质砂岩	24	K,I/M	10	A	38.2	0.78	1.02	1.28	1.33
	X	30	69(1~2)	沉凝灰岩、凝灰质砂岩		K		A					
	X	29	68(1~3)	沉凝灰岩	58	K		A	34.8	0.53	1.02	1.36	1.34
	IX	28	66(1~2)	高岭石化熔结凝灰岩		K		S					
	IX	27	65(1~3)	高岭石化沉凝灰岩	27	K		A,S					
	IX	26	64(1~4)	凝灰质砂岩、沉凝灰岩	89	K		S	34.9	0.45	0.98	1.29	1.22
IX	25	63(1~2)	高岭石化沉凝灰岩	24	K	50	S,A						
杂怀沟组 P ₁	VIII	24	60(1)	高岭石化沉凝灰岩	27	K	>50						
	VIII	23	59(2~3)	凝灰角砾岩、沉凝灰岩		K,I		A,S	38.9	0.55	1.09	1.05	1.02
	VI	22	57(3)	沉凝灰岩	37	K,I	50		39.9	0.55	1.05	1.03	1.05
	VI	21	56(1~3)	沉凝灰岩、凝灰质砂岩		K		S,A					
	VI	20	55(2~7)	高岭石化沉凝灰岩	31	K	>50		42.1	0.50	1.00	1.15	1.11
	VI	19	53(1~2)	凝灰质砂岩		K,I		A,S					
	VI	18	51(3~4)	熔结凝灰岩、凝灰岩	20	K,I	>50	A	38.8	0.42	0.95	1.17	1.01
VI	17	50(1~2)	高岭石化凝灰岩		K		S	38.5	0.45	0.94	1.11	1.08	
VI	16	49(1~3)	凝灰质粉砂岩及泥岩		K,I		S,A						
上控马桩组 C ₂	V	15	46(2,1,12)	高岭石化沉凝灰岩	20	K	>50						
	IV	14	43(1~8)	高岭石化凝灰质泥岩		K,I	30						
	IV	13	42(1~4)	高岭石化沉凝灰岩	25	K	>50		32.6	0.40	1.01	1.00	0.91
	IV	12	41(1~2)	沉凝灰岩、凝灰质泥岩		K	>50	A,S	50.7	0.39	1.12	1.11	0.90
	IV	11	39(1~6)	高岭石化沉凝灰岩									
	IV	10	37(2~4)	高岭石化沉凝灰岩	20	K		S,A					
	III	9	35(2)	高岭石化沉凝灰岩	34	K	55	A,S	76.9	0.35	1.08	0.74	0.70
	III	8	33(1~2)	凝灰质砂岩及泥岩		I,K		S					
III	7	32(1~2)	沉凝灰岩、凝灰质角砾岩	22	K,I		A	59.1	0.39	1.16	0.78	0.72	
下控马桩组 C ₂	I	6	26(1~3)	沉凝灰岩、凝灰质砂岩		I		S					
	II	5	25(1~4)	沉凝灰岩	34	K,I		S,A	82.0	0.40	1.17	0.67	0.66
	II	4	24(1)	凝灰质粉砂岩	54	K							
	II	3	23(2~3)	凝灰质粉砂岩及泥岩		K	>50	A,S					
	I	2	18(3~4)	沉凝灰岩		K,I20							
I	1	16(3~7)	凝灰质砂岩		I,K		A,S	33.6	0.38	1.33	0.63	0.64	

注:(1),(2),(3)说明同表1;(4)样品号 T91(2~4),表示 T91(2),T91(3),T91(4)三个样品,以下类推。

剖面火山事件层中粘土矿物主要为高岭石(K)、伊利石(I),个别层尚有火山成因的蒙脱石(M)及伊蒙混层矿物(I/M)。经电镜检查,发现其中高岭石矿物除部分属于沉积成因者外,相当多数的样品中还发现有由火山玻屑脱玻化而成的高岭石(即脱玻化高岭石),常保留玻屑的弧面多角状,鸡骨状,刃状和网格状外形,粒度细小(1μm±)且聚集性很强,晶形不规则,轮廓复杂多变,并常有絮条状、盘旋状埃洛石

伴生(图版 I-1~4)。表1,2中,将脱玻化高岭石的存在及其在样品中的含量(%)作为确定火山事件层的重要依据(Burger K., et al., 1990; 张慧,1992)。

1.4 高温特征矿物

经岩矿鉴定和 X 射线衍射分析,在多数火山事件层的样品中均不同程度地出现高温矿物透长石(S)和高温钠长石(A),其有序度为0.1~0.35,并具有d=3.24~3.18的特征衍射峰(图4,5)。扫描电

表3 苇子沟区 C₂-P₁剖面火山碎屑样品稀土元素丰度($\times 10^{-6}$)Table 3 REE abundance ($\times 10^{-6}$) of volcanoclastic samples in C₂-P₁ section from Weizigou area

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE
W59(6)	4.13	6.88	0.86	3.20	0.64	0.46	0.63	0.19	0.29	0.08	0.16	0.04	0.14	0.03	17.63
W58(5)	5.81	12.80	1.68	6.55	2.05	0.87	1.86	0.58	1.10	0.59	0.63	0.15	0.61	0.11	35.45
W57(1)	8.54	15.68	2.11	6.61	1.43	0.42	1.42	0.21	0.67	0.15	0.33	0.05	0.32	0.04	36.60
W54(4)	14.20	31.60	3.59	13.20	2.48	0.63	2.38	0.34	1.33	0.25	0.64	0.11	0.70	0.09	70.21
W53(4)	19.70	42.10	5.23	19.70	4.45	1.06	4.96	0.69	3.18	0.64	1.85	0.27	1.03	0.28	101.40
W43(2)	8.90	18.80	2.53	10.30	2.28	0.55	2.35	0.36	0.81	0.33	0.45	0.16	0.41	0.15	48.38
W38(1)	12.60	29.80	3.29	12.00	2.46	0.74	2.48	0.41	1.23	0.35	0.65	0.14	0.57	0.13	66.85
W36(1)	14.60	33.80	4.35	16.30	3.25	0.94	2.99	0.36	1.65	0.24	0.71	0.08	0.59	0.07	79.93
W35(3)	19.00	55.40	5.67	23.20	4.94	1.62	5.74	0.72	2.53	0.44	1.12	0.14	0.97	0.14	120.01
W27(1)	23.60	51.00	7.17	30.00	5.43	1.54	6.59	0.84	2.02	0.54	0.97	0.17	0.88	0.16	144.77
W21(2)	16.40	31.50	3.59	12.30	2.12	1.18	2.31	0.25	0.87	0.15	0.41	0.05	0.40	0.06	71.59
W20(1)	18.20	40.70	5.59	19.60	3.48	1.07	3.86	0.46	1.45	0.26	0.67	0.09	0.58	0.09	96.10
W13(1)	11.50	27.20	3.51	14.50	3.06	0.68	4.16	0.32	0.93	0.22	0.41	0.10	0.43	0.09	67.11
W6(1)	34.00	70.30	9.83	37.40	7.38	1.61	10.25	0.95	2.73	0.67	1.12	0.23	1.20	0.10	177.77
W5(9)	17.40	56.00	3.93	13.16	2.45	0.61	3.55	0.37	1.11	0.37	0.53	0.16	0.57	0.16	100.37

注:(1)所有样品均为火山碎屑岩中选纯的火山碎屑物质(纯度>90%),样品由北京医科大学公共医疗卫生学院测试;(2)样品编号见表1。

表4 童盛茂区 C₂-P₁剖面火山碎屑岩样品稀土元素丰度($\times 10^{-6}$)Table 4 REE abundance ($\times 10^{-6}$) of volcanoclastic samples in C₂-P₁ section from Tongshengmao area

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE
T91(2)	12.50	27.10	3.31	11.70	2.13	0.76	2.04	0.35	0.96	0.22	0.56	0.09	0.50	0.08	62.29
T89(4)	6.02	13.70	1.80	6.99	1.38	0.45	1.40	0.21	0.68	0.20	0.41	0.07	0.38	0.07	33.76
T83(4)	17.10	32.30	3.78	14.00	2.44	0.68	2.44	0.33	1.17	0.22	0.67	0.09	0.64	0.07	75.79
T78(1)	18.20	36.80	4.01	14.00	2.44	0.67	2.17	0.33	1.52	0.20	0.78	0.07	0.70	0.06	81.95
T75(1)	14.40	45.80	4.40	17.20	4.02	1.03	3.89	0.53	1.96	0.45	1.04	0.18	0.92	0.19	96.01
T70(2)	23.60	50.20	5.89	19.40	3.76	1.02	3.83	0.53	1.33	0.41	1.04	0.16	1.08	0.17	112.42
T68(2)	31.00	51.10	8.54	31.40	5.88	1.32	5.98	0.80	2.57	0.48	1.36	0.18	1.34	0.21	142.16
T64(2)	62.90	120.00	14.50	48.10	10.60	2.15	10.38	1.58	5.57	0.80	2.51	0.15	2.37	0.11	281.72
T59(3)	23.00	54.50	5.64	18.50	2.80	0.51	3.05	0.41	1.56	0.30	0.86	0.11	0.84	0.12	112.14
T57(3)	8.29	22.50	2.57	9.51	1.96	0.44	2.05	0.26	0.71	0.22	0.39	0.07	0.40	0.08	49.45
T55(2)	16.10	39.00	5.18	19.30	3.38	0.56	3.36	0.45	1.54	0.33	0.77	0.11	0.74	0.11	90.87
T51(4)	32.80	84.20	10.60	39.50	7.50	0.85	7.11	0.92	4.02	0.64	1.69	0.21	1.47	0.18	191.69
T50(2)	31.60	67.60	7.52	21.10	3.57	0.50	3.36	0.52	2.46	0.37	1.10	0.13	1.07	0.11	141.01
T42(4)	2.74	8.68	0.93	3.20	0.56	0.11	0.60	0.06	0.35	0.05	0.14	0.02	0.12	0.02	17.59
T41(2)	20.10	45.90	5.52	20.60	3.91	0.70	4.37	0.61	2.23	0.42	0.87	0.11	0.71	0.09	106.14
T35(2)	26.90	67.40	8.13	29.50	5.87	1.16	6.33	0.84	2.40	0.41	0.84	0.09	0.79	0.11	150.77
T32(1)	37.40	79.40	9.70	34.10	5.90	1.25	6.85	0.83	2.62	0.42	1.02	0.13	0.94	0.14	180.70
T25(3)	46.40	94.70	11.20	37.30	5.92	1.26	6.84	0.85	2.50	0.41	1.00	0.15	0.98	0.14	209.65
T16(3)	30.20	58.50	6.73	23.80	3.02	0.94	4.02	0.54	1.53	0.25	0.58	0.07	0.58	0.07	130.83

注:(1)同表3,(2)样品编号见表2。

镜下可见碎裂状、弯曲状透长石晶屑(图版 I-5,6)。在表1,表2中,这两种高温矿物的出现,也是确定火山事件层的重要依据。

2 地球化学特征

对两剖面中34个火山碎屑岩样品,经粉碎、淘洗、镜下挑纯,尽量使火山碎屑的纯度达到90%以上,分别进行了等离子质谱法(ICP-MS)微量稀土元素定量分析,其主要特征列于表1,2,3,4中。

2.1 砷(As)含量特征

所有已测的火山碎屑样品中,砷含量最低为 27.7×10^{-6} ,最高可达 334.5×10^{-6} (表1,表2),高出地壳中砷(As)的平均丰度(1.8×10^{-6})的15~210多倍。如此高的砷含量,充分说明在火山灰溅落时伴有较多的火山喷气(刘钦甫等,1997)。

2.2 稀土元素总量(Σ REE)特征

从表3、4可见,两剖面34层火山碎屑样品中均为轻稀土(LREE)富集型,其总稀土(Σ REE)含量变化

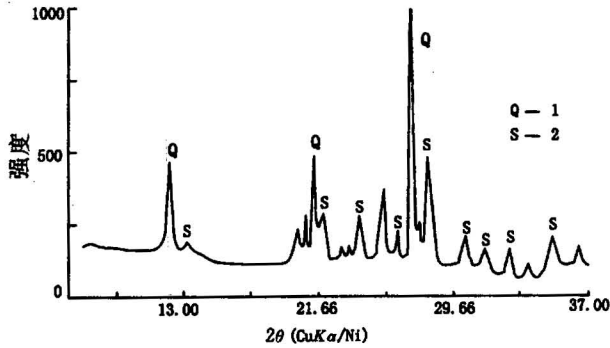


图4 火山碎屑岩样品(W36(1),表1)X射线衍射曲线
 Fig. 4 X ray diffraction pattern of volcanic clastic sample (W36(1), Table 1)
 1—石英;2—透长石
 1—Quartz;2—Sanidine

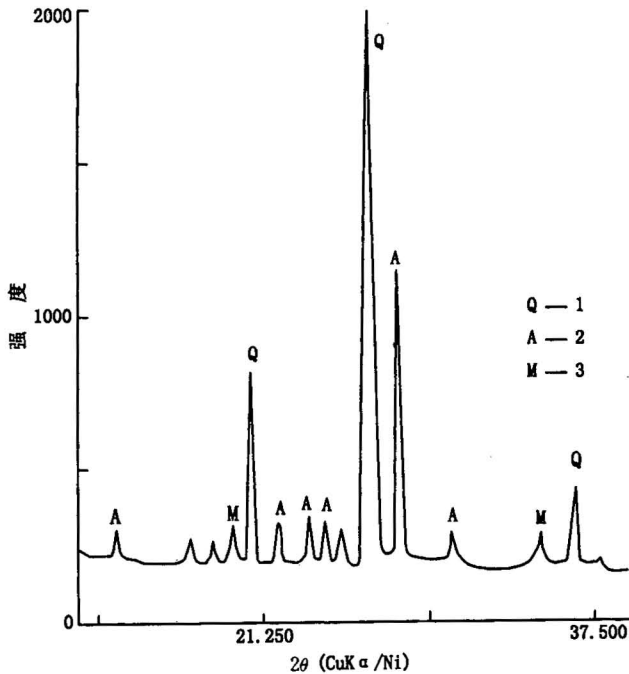


图5 火山碎屑岩样品(T83(4),表2)X射线衍射曲线
 Fig. 5 X ray diffraction pattern of volcanic clastic sample (T83(4), Table 2)
 1—石英;2—高温钠长石;3—蒙脱石
 1—Quartz;2—high temperature albite; 3—montmorillonite

较大,介于 $17.59 \times 10^{-6} \sim 281.72 \times 10^{-6}$,大致与全球流纹岩、英安岩及安山岩等中酸性火山岩相当(李昌年,1996)。具体来看,在两剖面下部安山岩质(沉)凝灰岩中 ΣREE 含量偏高,而上部英安质、流纹质凝灰岩中 ΣREE 偏低。但在煤层附近的个别样品(如W13(1),W21(2),T42(4),T57(3)等), ΣREE

明显偏低,这可能与成煤期酸性介质条件下,REE易于活化迁移有关(刘钦甫等,1997),有关本区火山碎屑岩中稀土元素配分曲线及其地质意义,另有专文讨论(贾炳文等,1999a,b)。

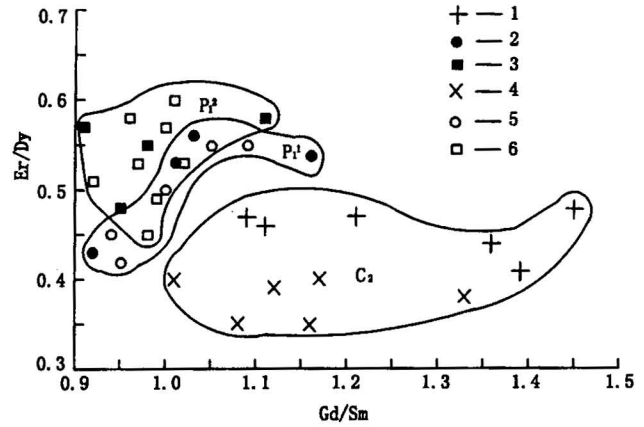


图6 火山碎屑岩中 Er/Dy-Gd/Sy 分布图解
 Fig. 6 Er/Dy-Gd/Sy distribution diagram of volcanic clastic samples

1—太原组及本溪组(C_2);2—山西组(P_1);3—下石盒子组($P_2^?$);
 4—拴马桩组(C_2);5—杂怀沟组(P_1);6—石叶湾组($P_2^?$)
 1—Taiyuan and Benxi Formation(C_2);2—Shanxi Formaton(P_1);
 3—Xiashihezi Formation($P_2^?$);4—Shuanmazhuang Formation(C_2);
 5—Zahuaigou(P_1);6—Shiyehe formation($P_2^?$)

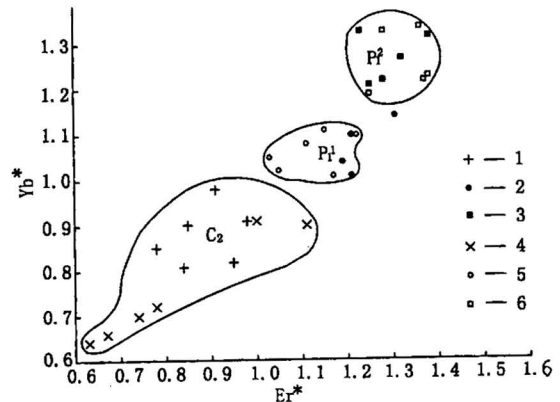


图7 火山碎屑岩中 Er*-Yb* 分布图解
 Fig. 7 Er*-Yb* distribution diagram of volcanic clastic samples

图例同图6(The legend is the same as Fig. 6)

$$\text{Er}^* = 100\text{Er}/(\text{Ce} + \text{Nd} + \text{Sm} + \text{Gd} + \text{Dy} + \text{Er} + \text{Yb});$$

$$\text{Yb}^* = 100\text{Yb}/(\text{Ce} + \text{Nd} + \text{Sm} + \text{Gd} + \text{Dy} + \text{Er} + \text{Yb})$$

2.3 稀土元素 Gd/Sm 与 Er/Dy 比值变化规律

Sm、Gd、Dy、Er 属于偶数稀土元素,其比值变化往往能反映稀土元素总的变化趋势(白志民,1993),经计算,两剖面自下而上($C_2^1 - P_1^2$),所有已测的火山

碎屑样品中, Gd/Sm 值依次减少, 而 Er/Dy 比值依次增多(表1, 2), 将其对应值投入 Er/Dy-Gd/Sm 图解, 可大致按地层顺序划分出 C_2 、 P_1^1 、 P_1^2 三个区(图6)。造成这种分区的原因, 显然与物源区岩浆的演化有关, 其机理尚有待进一步研究。但利用这种分区特征, 无疑对地层对比有重要的指导作用。

2.4 稀土元素 Er^* 、 Yb^* 变化规律

Er 、 Yb 是两个最重的偶数稀土元素, 也属于高场强元素, 离子电位 >3 , 化学性质不活泼, 不易溶于水, 且不易发生后期变化(赵振华, 1997), 它们在偶数稀土元素中的重量百分比(Er^* 、 Yb^*), 能反映岩浆喷发时最原始的特点。将计算后的两剖面中各火山碎屑样品的 Er^* 、 Yb^* 值, 投入 Er^*-Yb^* 图解中, 自下而上($C_2^1-P_1^2$)也可以明显地按地层顺序划分出 C_2 、 P_1^1 、 P_1^2 三个区(图7)。由于 Er 、 Yb 化学性质最稳定, 最能反映物源区岩浆喷发的原始特点, 完全可以作为地层对比的良好标志。

3 结论

通过本项研究, 取得了以下几方面的重要进展:

(1) 通过对华北最北缘两个典型剖面岩石、矿物和地球化学的综合研究, 用多方面翔实的数据, 首次查明两剖面 C_2-P_1 地层中, 自下而上均发育 I ~ XII 期火山事件沉积序列, 其中本溪组(下拴马桩组 C_2^1)为 I ~ II 期, 太原组(上拴马桩组 C_2^2)为 III ~ V 期, 山西组(杂怀沟组 P_1^1)为 VI ~ VIII 期, 下石盒子组(石叶湾组 P_1^2)为 IX ~ XII 期。鉴于两剖面火山沉积序列彼此可一一对应, 将为解决南票和大青山煤田长期争议的地层和煤层对比问题提供了新的依据。

(2) 通过对两剖面火山事件层地球化学的研究, 特别是稀土元素 Er/Dy-Gd/Sm 及 Er^*-Yb^* 关系图解, 可按地层顺序划分出 C_2 、 P_1^1 、 P_1^2 三个区, 不仅为解决南票和大青山煤田的地层对比问题提供了可靠的依据, 也为解决华北北缘更广大地区地层对比问题提供了新鲜经验。

(3) 通过对各火山事件层中粘土矿物的 X 射线及电镜研究, 不仅发现了由火山灰脱玻化而形成的蒙脱石及火山成因的高温透长石和高温钠长石, 而且还根据电镜下的形貌特征, 进一步区分出由火山玻屑脱玻化形成的高岭石与正常沉积的高岭石的重要区别, 为精确确定难于识别的细粒粘土级的火山事件层提供了可靠的证据。

总之, 本文通过对华北最北缘两个典型剖面火山事件层详细的岩石、矿物、地球化学的综合研究,

用确切的数据, 划分出 C_2-P_1 地层中火山事件层的最完整的序列, 并提供多方面可资识别的重要标志, 必将为进一步为利用火山事件层解决华北板块各地长期争议的晚古生代地层对比问题, 打开新局面。

参 考 文 献

- 白志民. 1993. 稀土元素组分图解类型划分及地质意义. 现代地质, 7(2):178~185.
- 贾炳文, 张俊计. 1996. 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. 沉积学报, 14(2):163~171.
- 贾炳文, 周安朝, 郭敏泰. 1999a. 大青山区晚古生代火山事件沉积物源区分析. 中国学术期刊文摘, 5(2):506~510.
- 贾炳文, 周安朝, 谷东起. 1999b. 辽西地区晚古生代火山事件沉积地球化学特征及物源区分析. 沉积学报, 17(3):473~477.
- 李昌年. 1996. 火成岩微量元素岩石学. 北京: 中国地质大学出版社, 74~93.
- 刘钦甫, 张鹏飞. 1997. 华北晚古生代煤系高岭岩物质组成和成矿机理研究. 北京: 海洋出版社, 58~63.
- 梅美棠, 张家国, 穆桂松. 1991. 大青山煤田拴马桩煤系植物群的系统研究及地层层序的新认识. 王竹泉100周年纪念文集, 煤炭工业出版社:52~63.
- 杨诺夫斯基著, 刘洪学译. 1982. 地磁学. 地质出版社:103~120.
- 张慧. 1992. 煤系地层中高岭石的形态-成因类型. 矿物学报, (1):53~57.
- 钟蓉. 1996a. 华北地台本溪组、太原组火山事件沉积特征及时空分布规律. 地质力学学报, 2(1):83~152.
- 钟蓉, 陈芬, 傅泽明等. 1996b. 辽西石炭纪地层沉积特征的新认识. 现代地质, 10(3):259~302.
- 钟蓉, 孙善平, 傅泽明. 1996. 山东及邻区晚石炭世一早二叠世火山事件沉积及地层对比. 地质学报, 70(2):152~160.
- 钟蓉, 傅泽明. 1998. 华北地台晚石炭世一早二叠世早期海水进退与厚煤带分布关系. 地质学报, 72(1):64~75.
- 钟蓉, 傅泽明. 1998. 华北地台晚石炭世一早二叠世早期海水进退与厚煤带分布的关系. 地质学报(英文版), 72(1):114~120.
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理. 北京: 科学出版社, 7~10.

References

- Bai Zhiming. 1993. The pattern division and geologic significance of seven rare~earth element component diagram. Geoscience, 7(2): 178~185.
- Burger K., Zhou Yiping, Zhou Tang D., 1990. Synsedimentary volcanic ash-derived illite tonsteins in Laye Permian coal-bearing formations of Southwestern China. Int. J. Coal Geology. 15(4):341~356.
- Geology and ore deposit bureau in Inner Mongolia. 1991. Geology Journal in Inner Mongolia Autonomous Region. Geology Press of China, 74~179.
- Geology and ore deposit bureau in Liaoning Province. 1989. Geology journal in Liaoning. Geology press of China, 183~199.
- Jia Bingwen, Guo Chengying. 1993. Study on the pyroclastic rocks of late-Paleozoic Coal measures, Eastern Hebei, China. Acta Sedimentologica Sinica, 11(1):65~74.
- Jia Bingwen, Wu yongqiang. 1996. Recognition and geologic significance of the Permo-Carboniferous pyroclastic rocks from Daqing-shan Coalfield, Inner Mongolia, China. Scientia Geologica Sinica, 5(4):469~482.
- Jia Bingwen, Zhang Junji. 1996. Discovery and research of Pyroclastic

- layers in Coal measures, late-Carboniferous, North part of Hebei and west part of Liaoning. *Acta Sedimentologica, sinica*, 14(2):163~171.
- Jia Bingwen, Gu Dongqi. 1998. The petro-geochemical characteristic and stratigraphic significance of the volcanic event layers in Mid-Taiyuan Formation from Middle region of Shanxi and western region of Hebei. *Acta Sedimentologica Sinica*, 16(3):85~91.
- Jia Bingwen, Fang Xiaohong. 1993. Zhou Anchao Discovery and study on the volcanic event layers of Late-Paleozoic coal measures in the center and North parts of Shanxi, China. *Shanxi Geology*, 8(4):346~356.
- Jia Bingwen, Zhou Anchao, Gu Dongqi. 1999. Geochemistry and Provenance analysis of late Paleozoic volcanic event deposits in the West Liaoning, China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(3):473~477.
- Jia Bingwen, Wu Yongqiang. 1996. Recognition and geologic significance of the Permo-Carboniferous volcanoclastic rocks from Daqingshan coalfield, Inner Mongolia, China. *Scientia Geologica Sinica*, 5(4):469~482. Jia Bingwen, Zhou Anchao, Gu Dongqi. 1999. Geochemistry and provenance analysis of late Paleozoic volcanic event deposits in west Liaoning. *Acta sedimentologica sinica*, 17(3):473~477.
- Jia Bingwen, Zhou Anchao. 1999. Preliminary study on source region of late Paleozoic volcanic event deposits from Daqingshan area, Northern China. *Academic periodical abstracts of China*, 5(4):506~510.
- Jing Xiangfu. 1981. The discussion on Shuamazhang Group, The journal of stratigraphy. 5(1):115~120.
- Li Changnie. 1992. Trace element petrology of igneous rocks. China University of Geology Press, 74~87.
- Liang Shaoxian, Wang Shuili, You Gaihan. 1996. A study on Quartz in volcanic ash-derived clay rock bands of Carboniferous-Permian coal-bearing formation in Northern China. *Journal of Northwest University*, 26(3):259~266.
- Liu Qingfu, Zhang Penfei. 1997. The composition mechanism of Kaolinite rocks in late Paleozoic coal measures, North China. Marine Press of China, 1997:65~71.
- Mei Meitang, Zhang Jianguo, Mu Guisun. 1991. The systematic research of Shuanmazhuang Formation flora and new recognition of stratigraphic sequence. The 100 anniversary memorial collected works to Wang Zuquan. Coal industry press(China), 52~63.
- Peng Gelin, Zhong Rong. 1995. Discovery of volcanic event deposits and stratigraphic correlation of Taiyuan Formation in western margin of North China. *Geoscience*, 9(1):108~118.
- Pearce J A, Harris N B W. 1984. Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25:950~983.
- Tong Zaisan. 1988. Discovery of Permian volcanic clastic rocks in Shandan coalfield, Gansu and its master characteristic *Geoscience*, 6(1):102~108.
- Yangnovski B M. 1982. *Geomagnetism*. Geology press, 103~120.
- Zhang Hong. 1997. Shuanmazhuang coal series in Northern edge of North China Platform. *The journal of stratigraphy*, 21(1):21~30.
- Zhao Zhenhua. 1997. *Geo Chemical principle of trace elements*. Science Press of China, 1997:7~10.
- Zhong-Rong, Chen-Fong. 1996. The new recognition of Carboniferous strata and sedimentologic feature in west part of Liaoning, China. *Geoscience*, 10(3):293~302.
- Zhong Rong, Sun Shanping, Fu Zeming. 1996. Volcanic event deposits and stratigraphic correlation of the late Carboniferous~early Permian in Shandong and adjacent regions. *Acta Geologica Sinica*, 70(2):152~160.
- Zhong Rong, Sun Shanping, Fu Zeming. 1996. Volcanic event deposits and stratigraphic correlation of the late Carboniferous~early Permian in Shandong and adjacent regions. *Acta Geologica Sinica*, 70(2):152~160.
- Zhong Rong, Fu Zeming. 1998. The relationship between the distribution of thick coal belts and the late Carboniferous~early Permian marine transgression regression in the North China Platform. *Acta Geologica Sinica*, 72(1):114~120.
- Zhong Rong, Sun Shanping, Fu Zeming. 1996. The characteristics of volcanic event deposits and their temporal-spatial distribution of Benxi and Taiyuan Formation in North China Platform, *Journal of Geomechanics*, 2(1):83~91.

The Whole Sequences of Volcanic Event Deposits on the North Margin of the North China Plate and Their Features

ZHOU Anchao^{1,2)}, JIA Bingwen¹⁾, MA Meiling¹⁾, ZHANG Hui³⁾

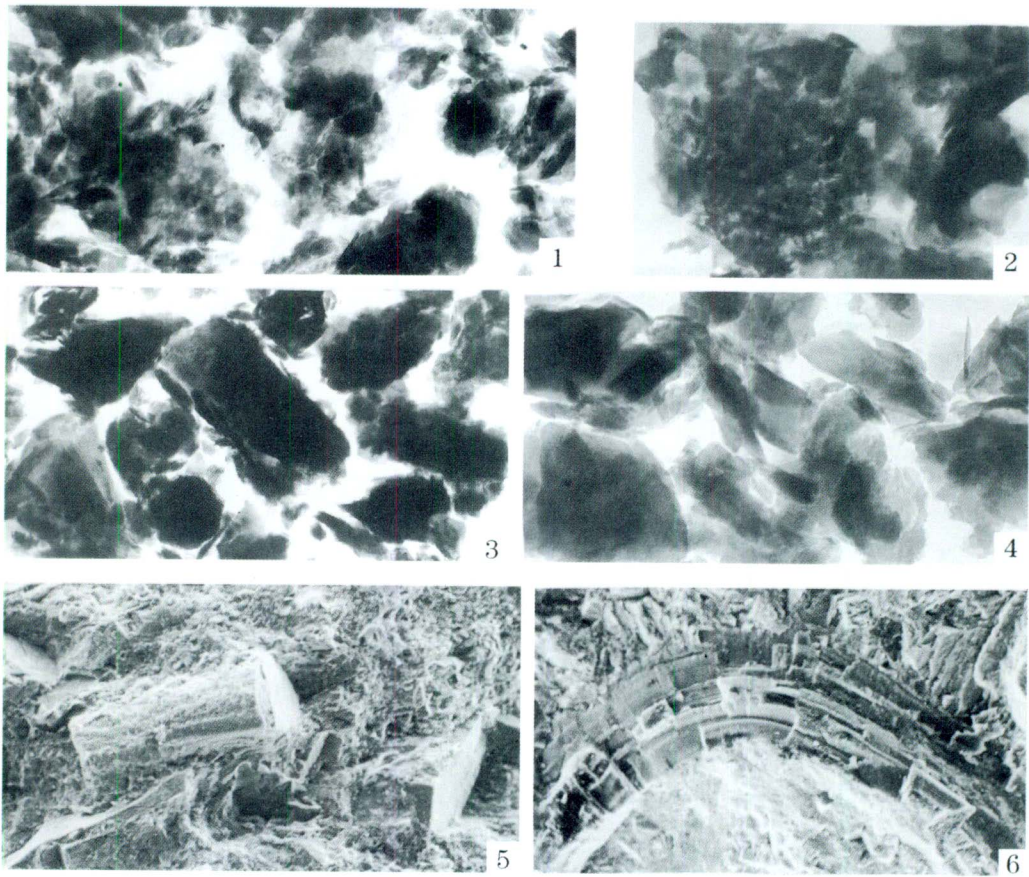
1) *Taiyuan University of Technology, Taiyuan, 030024*; 2) *Geology Department of Northwest University, Xi'an, 710069*

3) *Xi'an Branch China Coal Research Institute, Xi'an, 710054*

Abstract

According to systematic petro-mineral appraisal, differential thermal, X-ray differentiation and electron-microscope tests and quantitative analyses of trace rare elements from the volcanic event deposits of the Upper Carboniferous-Lower Permian series in Nanpiao, Liaoning, and Daqingshan, Inner Mongolia, deposit sequences of 12 volcanic events have been identified, including the 34~39th volcanic beds from bottom to top. Because the volcanic beds have their respective petro-mineral and geochemical features, they will provide a reliable basis for further proving the time-space distribution pattern of the volcanic event deposits on the northern margin of the North China plate and making stratigraphic correlation taking the volcanic beds as marker beds.

Key words: Paleozoic strata; volcanic event deposits; petro-mineral and geochemical features; stratigraphic correlation



1. 样品 W17(1)中由各种形态细小玻屑($<1\mu\text{m}$)脱玻化而成的高岭石不规则集合体,并伴有絮条状埃洛石。透射电镜, $\times 26000$ 。
2. 样品 w41(3)中由细小玻屑($<1\mu\text{m}$)脱玻化而成的高岭石不规则集合体,内部呈网格结构。透射电镜, $\times 22000$ 。
3. 样品 T35(2)中由玻屑脱玻化而成的高岭石聚集成四块状,并伴有絮条状,盘旋状埃洛石。透射电镜, $\times 11000$ 。
4. 样品 T46(17)中具不同形态的高岭石化玻屑集合体,形态不规则,结构复杂多变。透射电镜, $\times 44000$ 。
5. 样品 T43(8)中高岭石化碎裂状透长石晶屑及脱玻化高岭石玻屑。扫描电镜, $\times 150$ 。
6. 样品 T46(12)中弯曲状高岭石化长石晶屑及玻屑。扫描电镜, $\times 120$ 。