

论晋北石炭二叠系紫色高岭石粘土的成因^①

刘长龄 王双彬

(冶金部天津地质研究院)

关键词 高岭石粘土 成岩有序化 沼泽沉积 有机质氧化 去硅

提 要 晋北地区石炭二叠系煤层中与四号及九号煤伴生的含有机质的软质耐火粘土,即高岭石粘土,俗称紫矸或紫木节。对紫矸的成因过去有两种看法:(1)原生沉积的;(2)后期风化残积“由煤变来的”。笔者认为除这两个因素同时存在外,还与成岩后生作用中有机酸的淋滤和高岭石的重结晶、有序化等有关,尤其是后期风化表生作用使有机质氧化淋滤去 SiO_2 形成一水软铝石、褪色、溶蚀多孔、质地疏松,形成今日所见紫色高岭石粘土。

晋北地区石炭二叠系煤层中产一种棕褐色含有机质的软质耐火粘土,即高岭石粘土,俗称紫矸或紫木节。分布较广,常呈多层状产出,矿床有一定的规模,具可塑性,为我国北方主要软质耐火粘土之一,常用作陶瓷原料。在平鲁、朔县及兴县等地区早已开采,主要是与下二叠统山西组四号煤伴生及上石炭统太原组九号煤伴生的紫矸,含铝量较高,易熔杂质较少,耐火度较高。有时因其含少量有机质使灼减量大于16%,影响制品致密,故在配料使用时应加以限制。

紫矸(包括内蒙、河北等省区的紫木节)的矿床成因向来就存在两种不同的见解:(1)原生沉积的;(2)后期风化残积的或“由煤经风化作用变来的”。笔者通过对晋北煤层中紫矸的初步研究,提出了第三种意见,认为其成因既有原生沉积(含有机质、砂及粉砂的碎屑粘土沉积)因素;也有后期风化淋滤去有机质等的作用因素。此外,还有成岩后生作用中有机酸的淋滤和高岭石的有序化及于表生阶段(即退后生作用)有机质氧化并淋滤去 SiO_2 、形成一水软铝石(可达30%,照片4)等有关。可以说,其成因与“黑砂岩”相似(刘长龄,1984;夏琤,1985),但仍有明显的不同,前者主要为沉积的高岭石粒度细,多数小于0.001mm,疏松有孔隙,具可塑性及浸散性。而后者重结晶粒度粗,多数大于0.01~1mm,固结坚硬致密,不具或具很差的可塑性及浸散性,且二者抵抗表生淋滤及后期风化的能力很不同。

一、矿床地质特征

平朔地区位于山西省北部的大同成煤盆地南端。大同煤盆地是山西省北部呈多字型排列

本文于1986年3月收到。

①本文在1985年全国岩相古地理学术讨论会上交流过。

的盆地之一,它本身由一个复式向斜构成,平朔地区位于向斜西翼的南端,区内有少量断层分布。地层组成有奥陶系、石炭系、二叠系、第三系等,大面积为第四系黄土所覆盖。其中与紫矸有关煤地层为石炭系的太原组 C_3t , 含第6号~11号煤;二叠系的山西组 P_1S , 含第1号~5号煤。上述煤层如4号煤等常相变为紫矸(图1、2、3、5、6),当然,成为真正的软质耐火粘土往往还有后期的包括风化的各种叠加作用。

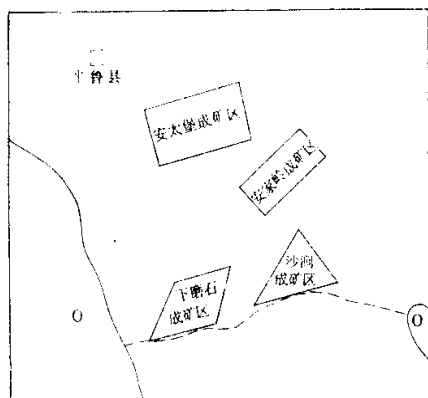


图1 平朔地区的紫矸矿区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of brown Kaolinite clay mine in PingLu-Suoxian area

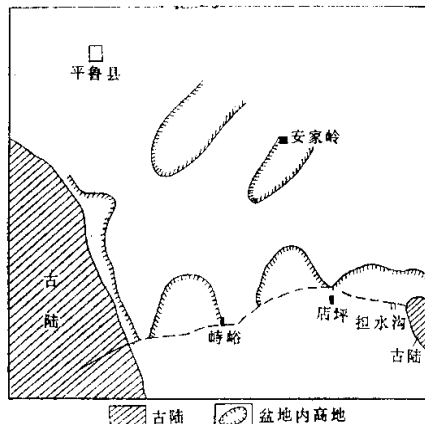


图2 平朔地区紫矸矿区古地理图

Fig. 2 Paleogeographic map of the same area shown in Fig. 1

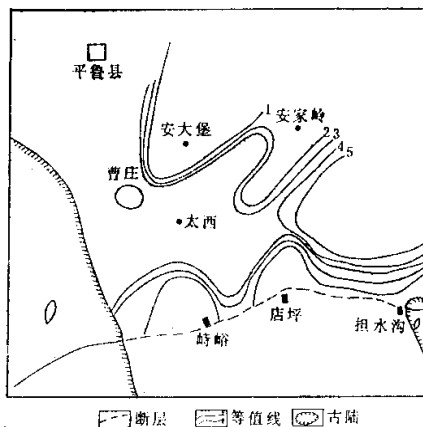


图3 4号煤中间夹层的等厚线示意图

线距1米夹层一般为砂页岩及碳质粘土岩,各区段不一样)

Fig. 3 Sketch showing the isopach intercalated bed within No. 4 coal seam

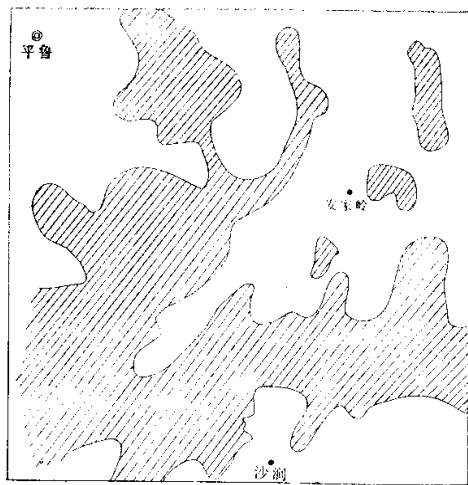


图4 5号煤层分布图

Fig. 4 Distribution of No. 5 coal seam

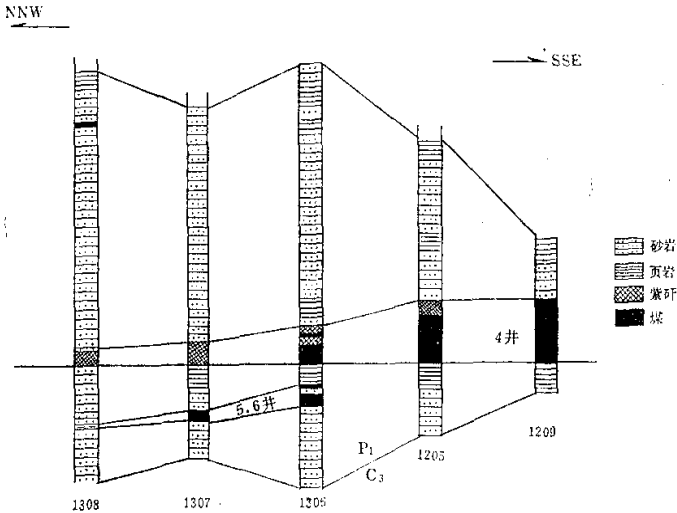


图 5 1308等钻孔柱状对比图
Fig. 5 Column of No.1308 and other boreholes

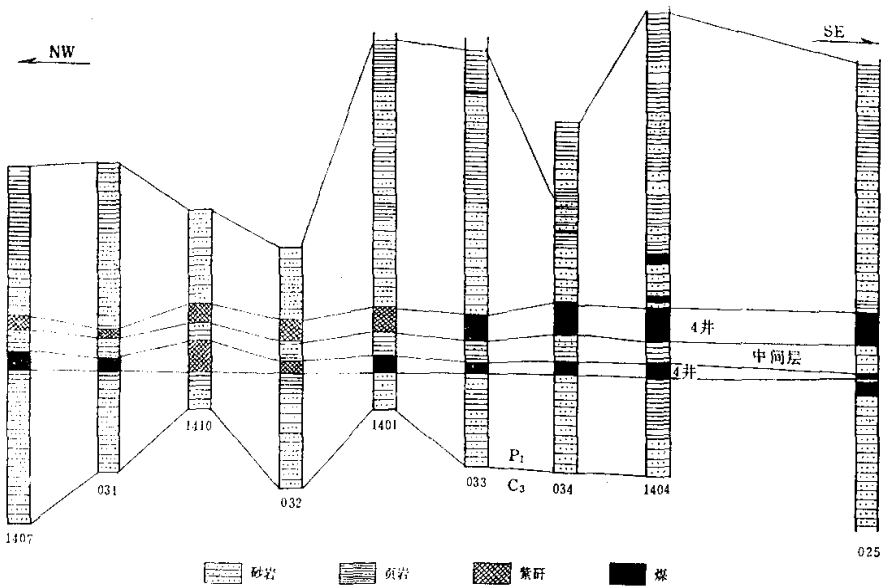


图 6 1407等钻孔柱状对比图
Fig. 6 Column of No.1407 and other boreholes

本区紫矽矿体常呈层状产出，层理清楚。矿层的直接顶底板常为砂岩、页岩、煤，矿层常与煤呈过渡渐变关系（图 5、6），矿层中一般夹有多层致密状硬质粘土，相当于煤层中的

夹矸（有时为“黑砂石”或高岭石粘土岩）。矿层厚度常在3~5 m左右，矿层倾斜平缓，沿走向稳定延长数百米仍能保持连续，但有变薄及增厚的现象。由于后期构造活动，局部可见微弱的褶曲及小的断裂错动。

此地区紫矸矿石多呈层状，疏松具微细孔隙，易染手，具可塑性。（据物理组测试其可塑性指数多在2.8~3.6之间，不很好，这可能与含一水软铝石起膏化作用有关。耐火度较高，部分达1770℃以上。颗粒大小累积曲线如图7所示，概率累积曲线如图8所示。其全部粒度皆小于0.1mm，在水体中呈悬浮搬运，分选差，悬浮粒径较小，说明当时沼泽水流的扰动强度不大。同时不含石英等较粗碎屑也可证明。

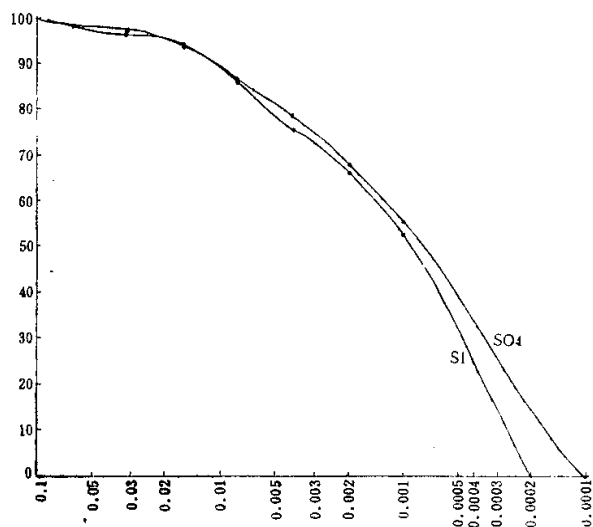


图7 晋北紫矸S1及SO4的颗粒大小累积曲线

Fig. 7 Cumulative curve of grain size of brown kaolinite clay in Suoxian County

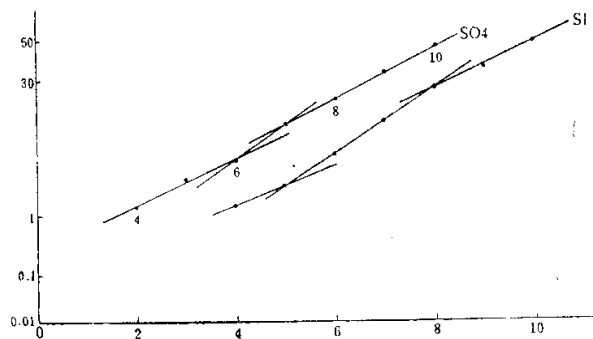


图8 晋北紫矸S1及SO4的概率累积曲线

Fig. 8 Probability cumulative curve of grain size of the brown kaolinite clay in Suoxian County

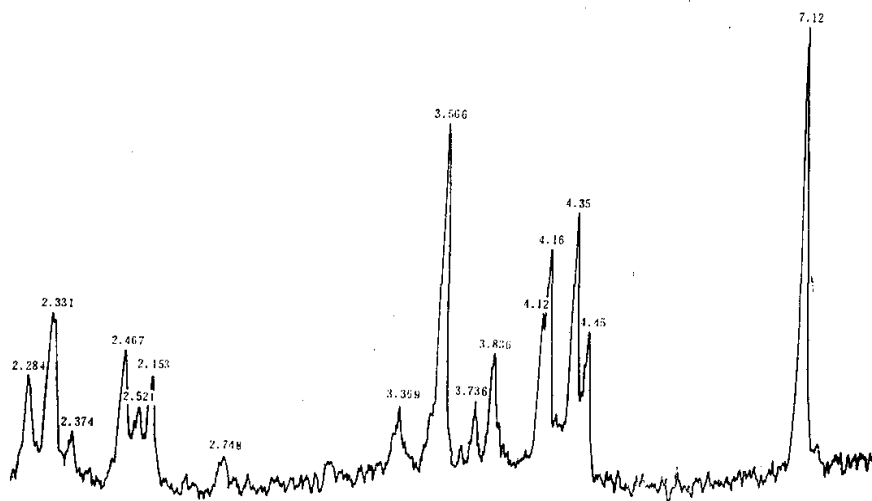


图 9 - 1 晋北紫矽的X射线衍射仪分析曲线
Fig. 9 - 1 XRD analysis of the brown kaolinite clay in Suoxian County

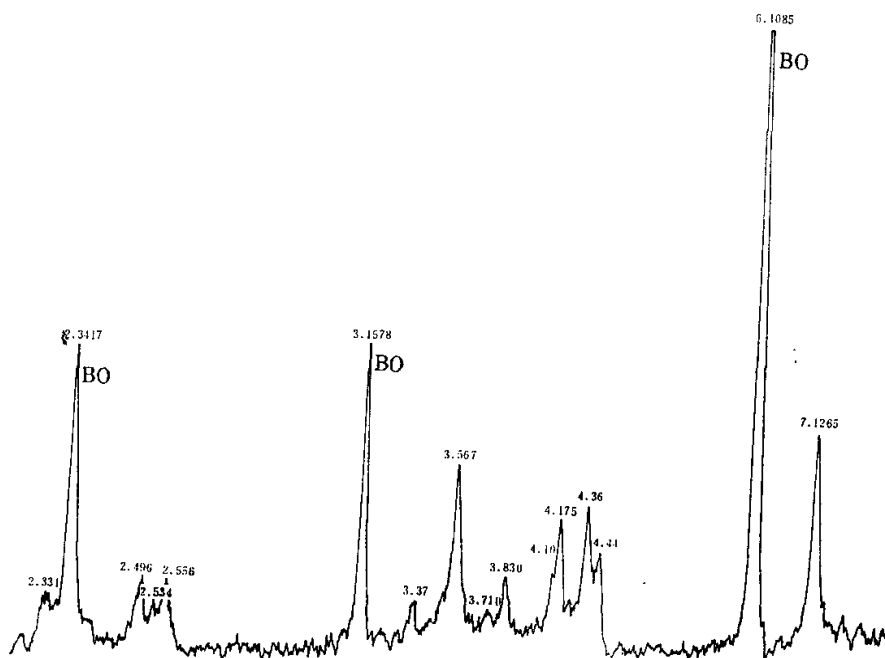


图 9 - 2 晋北紫矽高岭石及一水软铝石 (BO) 的X射线衍射仪分析曲线
Fig. 9 - 2 XRD analysis of the boehmite-bearing brown kaolinite clay in Suoxian County

此地区紫矸在水中具浸散性。在镜下观察,一般呈定向的隐晶质胶体结构、隐晶纤维结构及碎屑胶结结构等。可能因沉积时的季节性变化及后期氧化,所含有机质呈不均匀分布而显层纹状或显微层理构造(照片1、2)。矿物组成基本上属于单矿的高岭石粘土,且高岭石矿物的有序度,一般由很好到最好,即001至002晶面间的6条衍射峰清楚可见,11 $\bar{1}$ 与1 $\bar{1}\bar{1}$ 已分裂成两峰(图9-1、9-2)。紫矸中高岭石的晶胞参数测得: $a=5.142$, $b=8.902$, $c=7.365$ 。 $\alpha=91.775$; $\beta=104.745$; $\gamma=90\pm0.1$ 。结晶指数为1.465。证明为有序高岭石(固相有序化)。紫矸的综合热分析结果(图10-1), 464°C的放热峰为所含少量的有机质氧化, 580°C的吸热谷为高岭石脱结构水, 1005°C放热峰为变高岭石转变为硅铝尖晶石及莫来石等的反应; 其脱结构水等共失重10.8%。紫矸中的夹层“齐石”的综合热分析曲线(图10-2), 其中除高岭石外, 还有很少的地开石(670°C有一小吸热谷)。紫矸的红外吸收光谱分析(图11-1)为结晶很好的高岭石; 图11-2, 除主要为有序高岭石外, 还有30%左右的1水软铝石。

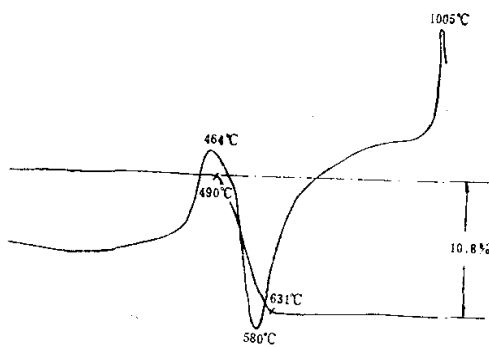


图10-1 紫矸的综合热分析
Fig.10-1 DTA of the brown kaolinite clay

紫矸在成岩后生作用中高岭石的有序化很强烈, 而晶体的重结晶现象不明显。此外, 紫矸不均匀含有少量隐晶质及胶体的次生1水软铝石, 少量伊利石~白云母碎屑, 靠近矿层底部还有少量石英及长石碎屑等。偶见少量地开铝石, 还有很少的锆石、锐钛矿、磷灰石、针铁矿及有机质等。

紫矸的化学成分(表1), 其中S01等因含30%以上的一水软铝石, Al_2O_3 含量较高外, 其余则接近于高岭石的理论成分, 其它杂质含量不多。在列举平朔及兴县地区七个紫矸样品的化学全分析中, TiO_2 的含量较为特征, 一般在1~2%, 或者说均在0.87%以上; 而“齐石”则在1%以下。似乎前者为机械沉积, 后者主要为胶体化学沉积。

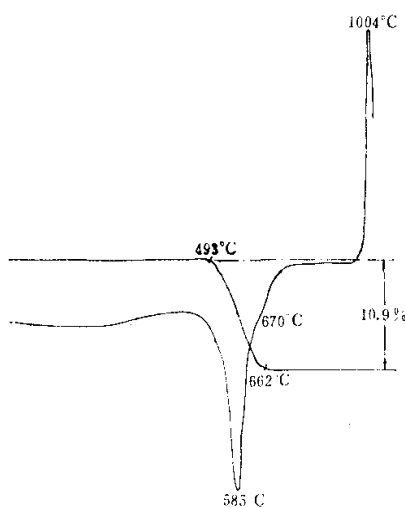


图10-2 齐石的综合热分析
Fig.10-2 DTA of the tonstein

表 1 晋北紫矸及齐石的化学成分

Table 1 Chemical composition of brown kaolinite clay and tonsetein

样 品	成 分	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	TFe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂	S	IL	总 计
紫 矸	S01	49.38	30.10	1.29	0.29	0.21	0.64	0.08	0.63	0.42	0.11	0.011	16.10	99.89
	S03	36.44	35.75	1.29	1.84	0.11	0.94	0.55	0.33	0.05	0.15	0.03	19.54	97.02
	S06	37.24	43.56	1.84	0.09	0.32	0.88	0.12	0.36	0.12	0.18	0.01	14.80	99.52
	An1	38.79	42.50	1.94	1.12	0.45	0.40						15.19	100.39
	Liu1	34.93	41.32	1.90	1.30	0.36	0.94						19.72	100.47
	X04	40.58	41.24	0.87	0.18	0.32	1.04	0.08	0.24	0.24			14.61	99.40
	Sa1	35.86	44.57	1.04			1.17						15.71	98.35
齐 石	6—1	38.32	42.82	0.31	0.12	0.25	1.88	0.07	0.22	9.06	0.07	0.01	15.72	99.85
	Ka1	37.99	44.57	0.83	2.45	0.66	0.46		0.10	5.75			14.89	102.70

二、沉 积 环 境

本区紫矸是与4号煤同时在沼泽中形成的沉积物,并与4号煤经历了相同的地质演化史,具有一定的共同特点。因此,对于紫矸的沉积环境分析,不能离开对4号煤的分析。4号煤的形成是由河流和湖泊转变为泥炭沼泽而形成的沉积。

4号煤在本区分布广而稳定,且易区分。其特点是在煤矿结构上有一定的差异。即本区北部及其以北仅为一层煤称为4号煤;而本区南部因4号煤有一夹层,把4号煤分为两层,其上层为4—1号煤,下层称4—2号煤。4号煤层的结构充分体现了当时沉积盆地和沼泽盆地的结构,反映了岩相古地理特点。依沉积的观点分析4号煤的沉积旋回,南部地区4号煤分为两个沉积旋回,即由湖相和河成三角洲相——沼泽相——湖相——沼泽相。在岩性组合上表现为砂岩、页岩——煤——页岩——砂岩——页岩——煤。在北部4—1,4—2煤合并为一层表现为一个沉积旋回,即河湖相——沼泽相,砂岩和页岩——煤。似乎还有泥炭沼泽沉积过程中,多次积水平静而有机酸多利于胶体化学沉积^①,形成多层硬质粘土——俗称齐

表 2 紫矸及齐石的微量元素 (ppm)

Table 2 Trace elements in brown kaolinite clay and tonstein

粘 土	Rb	K	Cu	Fe	B	Ga	Cr	Ni	V	Sr	Ba
紫 矸	8	1900	62	5400	19	50	17	12	32	164	220
齐 石	9	1000	22	7400	22	32	21	1	20	45	110

①tonstein 我国一般称为“煤层夹矸”。严格地讲,其与燧石粘土及硬质耐火粘土有所不同,其成因国外均认为是火山沉积原地蚀变为高岭石的。我国近年来煤田地质系统也找到了高温石英及透长石,都认为是火山沉积蚀变的。作者曾在薄片鉴定中发现内蒙煤层中硬质粘土含高温石英假象。作者认为总的以火山物质为主,各地不同程度还混掺着陆源物质(如晋北黑砂石中就有较大的低温石英碎屑等)。不管物质来源如何,这种煤层夹矸系在沼泽水中分解,胶体化学沉积,并在成岩后生作用中进一步使高岭石富化,重结晶、有序化。



图11-1 紫矸的红外吸收光谱分析
Fig.11-1 IR analysis of the brown kaolinite clay

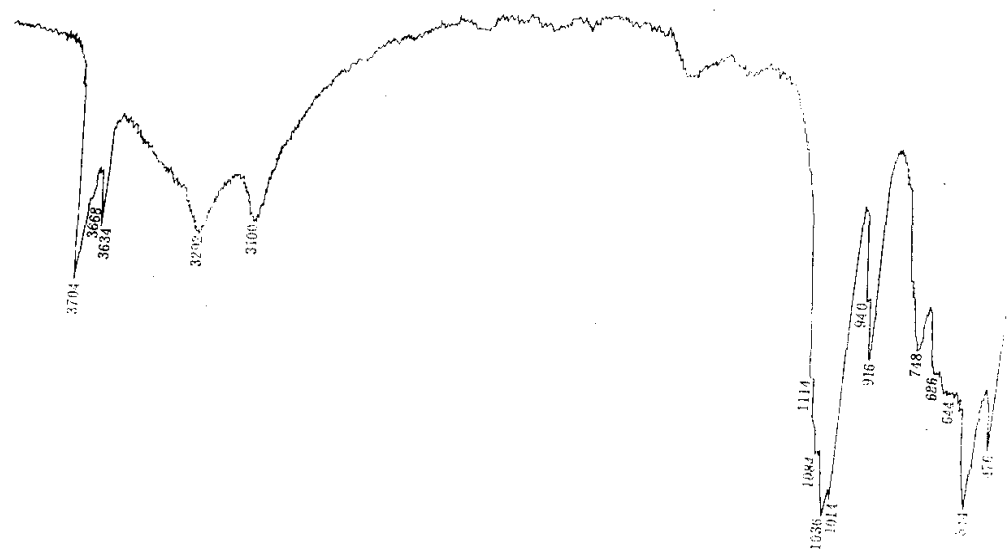


图11-2 紫矸的红外吸收光谱分析 (含—水软铝石)
Fig.11-2 IR analysis of the brown kaolinite clay

石或夹矸相当于tonstein (Loughnan, 1978), flint clay (Keller, 1981)。矿层微量元素含量见表2。可见本区矿层B/Ga为0.38~0.69, Sr/Ba为0.74~0.41。又通过对B-Ga制作含量离散图和B-粘土含量关系图(图12-1、12-2), 反映了淡水沉积特点。

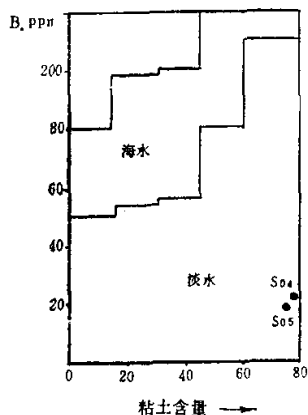


图12-1 B-粘土含量关系图

Fig.12-1 Correlation of B-clay

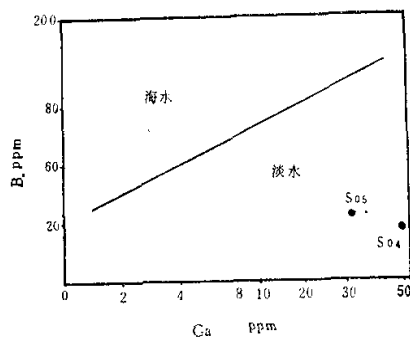


图12-2 B-Ga含量离散图

Fig.12-2 Scattered diagram of B-Ga

从产出层位及地层的岩石组合分析, 山西组下部为巨厚的砂岩组成, 厚度一般在10m以上, 见有大型斜层理, 属于湖成三角洲相和河口扇沉积, 有时夹有薄煤层。向盆地中心粒度变细直至页岩, 从而形成对称型的湖泊沉积。从4号煤与紫矸的关系可以知道紫矸的沉积环境。因此在相分析过程中4号煤中所夹的砂岩、页岩即中间层是很好的研究对象, 它既反映了煤沉积过程的变化, 又反映了岩相古地理变化, 因而对它的研究是很有意义的。

4号煤的沉积表现了旋回性, 其间层是其中的一个组成部分, 中间层在不同地区厚度不同。据统计曹庄3.64~13.03m, 安家岭2.49~8.85m, 平均6.50m; 安太堡1~4.6m, 平均1.5m; 陶村0.65~6.66m, 平均4.50m; 太西区0.65~4.50m, 平均2.37m(图3)。从图3看出中间层可以完全反映出一个完整的湖盆地结构, 并推测其厚度与盆地水深度是相关的。

现在我们来分析岩相变化情况, 在本区西南峙峪村西部, 这里4号煤层基本不存在, 而相变为紫矸, 其中间层变薄或缺失, 成为一个层的紫矸, 矿层直接顶板为厚层砂岩。由此向北, 向西北由紫矸相变为煤, 并分叉形成4-1及4-2号煤层, 直接底板相变为砂质页岩、页岩。到沙涧~刘家口一带又出现了与峙峪相同的情况, 在沙涧矿区见一层紫矸, 向西北又变为两层, 其中间夹层由薄变厚, 由紫矸变为上部紫矸及下部煤。矿层底板为砂岩随着矿层结构变化变为砂页岩及粘土岩。向东到担水沟则靠近古陆, 含矿层位相变为紫色粉砂质粘土岩, 矿层底板为厚层砂岩。以上为本区南部情况。

北部情况, 在安家岭村西南是当时地势较高的地区, 从这里4号煤中间层向西侧变厚。矿层结构则为紫矸向两侧变为上部紫矸下部煤, 中间层由砂岩变为砂质页岩、页岩。矿层底板由砂岩、砂质页岩变为页岩。向西北矿层合并为一层, 无中间夹层。到安太堡地区, 以近南北方向作两条剖面, 可见其下部为巨厚的砂岩向南渐变为页岩, 向西岩石结构也渐变细。由上观之, 4号煤底部属湖泊沉积, 向上变为沼泽, 形成了含矿层位, 在岩相古地理上是一个

湖泊转为沼泽相的沉积。在沼泽发育过程中盆底下降,形成了湖泊而后又转向沼泽。从现有资料分析,当时地势北高南低,北部物源丰富,南部及东南部地势平坦,西部山势较陡,形成障壁,物源不足。因此,湖泊由北向南渐渐缩小。在湖盆内部由于河流的填充,形成了一些大大小小的三角洲、沙洲与河口扇沉积,组成了盆地的较高地形。南部以河口扇为主,北部以三角洲沉积为主,安家岭可能为三角洲的枝状分支。

三、矿床成因

根据晋北紫色高岭石粘土——紫矽的地质产状和与煤层的密切伴生关系,说明它是由沼泽沉积的。并且往往是在河流相(包括河口扇及三角洲、沙洲等)的砂体附近,高位泥炭沼泽地区较易形成紫矽的沉积,其中一些有机质在沉积过程中已部分或大部分氧化掉;而低位泥炭沼泽地区则较利于煤层的沉积,处于还原环境有机质能够保存。紫矽的物质来源为盆地四周特别是北部内蒙古陆及北东部恒山古隆起的铝硅酸盐岩石风化产物经水流搬运而来。看来其主要呈悬浮状态搬运而沉积。在沉积过程中,由于盆地中水流与有机质等受季节性的变化,形成明显的层理与显微层理(照片1、2),镜下观察可见显微层理因有机质含量不同,而呈色深色浅的相间出现。紫矽在成岩后生阶段受一定的压力和温度增加的影响,固结致密成岩,但不如齐石。而其中高岭石的有序度转化为很好至最好,(11 $\bar{1}$)与(1 $\bar{1}$ 1)也已分开成为两个衍射峰;惟高岭石晶体的重结晶(次生长)现象不明显。在表生及后期风化阶段由于有机质的氧化及受下降水与地下水的溶解而成为有机酸溶液,对紫矽进一步溶蚀,使高岭石脱硅形成隐晶质及胶体的一水软铝石集合体,从而使紫矽疏松多孔,实测其孔隙率达40.9%(体重1.59);而齐石的孔隙率仅为3.5%(体重2.48),可见齐石比紫矽抵抗风化淋滤作用的能力较强。镜下观察可见齐石原由胶体沉积的高岭石向粗蠕状(重结晶)以致褪色(去有机质)而发展,最后为无色细晶后生高岭石交代。而紫矽有时表现隐晶及细晶状高岭石集合体(定向排列)因有机质不均匀分布呈层纹状(照片1)或显微层理,可见有机质的条纹因后期氧化淋失而成空隙(照片2)。已于前述鉴于TiO₂的含量不同,可以说明紫矽与齐石的成因不一样。我们还作了氧同位素的测定,其结果如表3。证明晋北的紫矽与伴生齐石的高岭石均产于常温常压下,这与国内外有关风化壳高岭土及沉积高岭石粘土的氧同位素颇相类

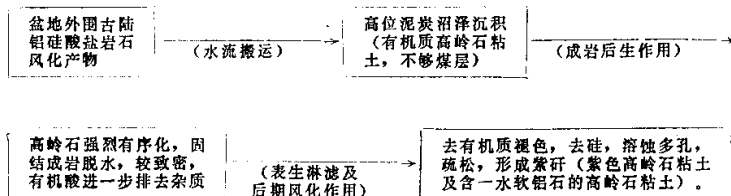
表3 晋北紫矽与齐石稳定氧同位素分析结果

Table 3 O-isotopic analysis of brown kaolinite clay and tonstein

粘土名称	产地	矿物组成	$\delta O^{18}\%$ (SMOW)	形成阶段、成因解释	资料来源
紫矽(软质粘土)	朔县(期1)	有序高岭石	15.23	古风化壳产物,略有后期改造	刘长龄
同上	同上	有序高岭石(70%) 一水软铝石(30%)	12.11	古风化壳产物,有明显的后期改造	同上
齐石(硬质粘土)	同上	有序高岭石	15.39	胶体化学沉积,有一定的后期改造	同上
高岭土	海南岛	高岭石(90%)	15.30	第四纪风化壳	邵益生
高岭石粘土	徐水	高岭石(蒙脱石少)	16.00	酸性脉岩风化	同上
高岭石粘土	大同	高岭石	15.40	沉积粘土(加H ₂ O ₂ 除有机质)。	同上
高岭土	苏州	高岭石	15.20	风化成因残斑状	同上
高岭土	苏州	高岭石	15.80	风化成因残斑状(辉绿玢岩)	同上
高岭石粘土	匈牙利	高岭石	16.0	风化壳	IO.A.鲍尔谢夫斯基

似，与其它研究结果一致或基本相符，至于在成岩后生作用中高岭石因所受压力加大、温度增高等原因，使晶体呈固体状态重结晶及有序化，基本上不改变其原来的同位素组成，除非有新形成物。

鉴于以上所述诸原因，可以将晋北紫矸的成矿模式概括于下：



参 考 文 献

- 刘长龄, 1958, 地质学报, 第38卷, 第4期, 511—527.
 刘长龄, 1964, 地质论评, 第22卷, 第6期, 434—444.
 刘长龄, 1983, 天津地质学会志, 第1卷, 第2期, 94—103.
 刘长龄, 1984, 矿物岩石, 第4卷, 第3期, 54—62.
 夏璋, 1985, 岩石学报, 第1卷, 第4期, 70—78.
 Keller W.D., 1981, J. Sedimentary petrology, 51 [1] 233.
 Loughnan F.C., 1978, J. Clay minerals, 13, 387.
 Spears D.A., Rice C.M., 1973, Sedimentology, 20, 281.
 Боршевский Ю. А., 氧同位素地球化学, 科学技术文献出版社, 译文集, 203—211.
 Заричкий П.В., 1977, Литол. и полез. ископаемых, 6, 134.

照片说明：1. 高岭石集合体呈定向排列（浅色），因有机质受季节性影响及后期风化呈不均匀分布（暗色），致显层纹状构造，单偏光，×63，（朔县紫矸）；2. 紫矸中的有机质因风化脱落而成空洞（白色），单偏光，×160。（同上）；3. 有机质浸染呈棕色的定向高岭石集合体被成岩阶段的无色高岭石交代，边缘见有次生加大的自形锆石（视域中央），单偏光，×160，（伴生“齐石”）；4. 六角片状高岭石在表生阶段脱硅形成微粒的一水软铝石。×5000；5. 机械搬运（由云母变来）粗鳞片高岭石的晶体边缘呈参差状，正交偏光，×160，（兴县紫色高岭石粘土）；6. 胶体沉积的高岭石在成岩初期形成土状（模糊不透明）的粗蠕状晶体，到成岩晚期及后生阶段被无色高岭石（有序化）和少量地开石交代，单偏光，×160，（朔县“齐石”）。



ON THE GENESIS OF THE BROWN KAOLINITE CLAY IN NORTHERN SHANXI PROVINCE

Liu Changling Wang Shuangbin

(*Tianjin Geological Academy*)

Key words: Kaolinitic clay; Diagenetic ordering; Bog sediment; Organic oxidation; Desilicification

Abstract

In the northern Shanxi province occurs some organic material-bearing clay which can be used as soft refractory material. The authors consider that the clay and the closely associated coal seam are formed by bog sedimentation on the sand mass in fluvial sediments. Clay were formed in high-level-peat-bog area while coal seam in low-level-peat-bog area. The weathered aluminum silicates from the periphery of ancient continent are the source material of clay transported by water flow as suspension. There are some organic material coal in the clay.

During deutero-genic processes kaolinite was strongly oriented without intense recrystallization. The clay was decolored with oxidation of organic material, formed as porous, loose kaolinitic clay or brown kaolinitic clay or boehmite-bearing clay (boehmite is about 30 percent) leaching during supergene processes.

The clay is intercalated with a 10—20 or 20—30cm-layer of tonstein composed of oriented kaolinite. This layer is more resistant to weathering, because of consists of flint clay with less TiO_2 and organic material and without boehmite. The others are inclined that the layer was formed as a result of colloidal precipitation.

