

晋北罕见的“烧变高岭岩”研究

真 允 庆

(冶金工业部山西地质勘探公司)

晋北大同及浑源一带,在上石炭世太原统四号煤系中,常见有洁白的粘土岩,外貌酷似“人工熟料”,其成因与煤层的自燃作用有关。由于原岩主要矿物为高岭石故名这种洁白的粘土岩为“烧变高岭岩”。

一、地质概况

这种“烧变高岭岩”最显著的特点,就是色白坚硬,断口如瓷。主要分布在上石炭世太原统煤系之中,围岩沿裂隙或层理常见赤红色铁质薄膜,由低价铁矿物遭受强烈的氧化作用所致。

本区四号煤层中有三层较厚的黑色高岭岩煤矸石,与“烧变高岭岩”为同一层位,但两者界限分明,形态极不规整,厚度变化很大。在局部地区,白色“烧变高岭岩”中,原岩黑色高岭石粘土岩多呈残留体出现,也有呈黑白相间的“似片麻状构造”(图版 I—1)。

二、“烧变高岭岩”的岩石学初步研究

1. 岩石外观及主要矿物的光学性质

按照岩石的外观及物理特性基本上可分三种:

(1) 粉白色酥糖状的“烧变高岭岩”:质轻、性脆、断口粗糙,以锤击之有礁渣响声。

(2) 洁白色致密状的“烧变高岭岩”:断口平整半贝壳状,略具玻璃光泽,固结坚硬,硬度在6—7之间。

(3) 灰白色胶状的“烧变高岭岩”:质轻,略具油脂光泽、贝壳状断口,胶状结构。

(1)、(2)产于大同怀仁鹅毛口、偏岭及浑源等地,两者界限不很清楚。(3)常见于浑源,但和(2)在外观上并无明显区别。其主要组成矿物的光学性质描述如下:

(1) 粉白色酥糖状“烧变高岭岩”,主要由高岭石组成,无色透明,(001)解理完全,平行消光,呈胶状体、鳞片状、蠕虫状及球粒状出现。干涉色一级灰,折光率为 $1.561\sim 1.566$, $N_g - N_p = 0.005$ 。微量矿物有石英、金红石、水云母、电气石及锆石等。

有时由变高岭石*组成, 并含少量石英。

(2) 洁白色致密状“烧变高岭岩”是由高岭石变来的, 残留结构非常清晰。主要矿物为变高岭石, 云翳状者无色透明, 有时具微弱的多色性 (N_g =淡黄色, N_p =无色), 胶状、细鳞片状、蠕虫状者最为常见, 最大的蠕虫状晶体可达2毫米以上(图版I-2)。

(001) 解理完全, 平行消光, 干涉色一级灰黄, $N_g=1.534(\pm)$, $N_m=1.532(\pm)$, $N_p=1.524(\pm)$, $N_g-N_p=0.010(\pm)$, $2V=5^\circ-25^\circ(\pm)$, 负光性。副矿物与粉白色酥糖状“烧变高岭岩”完全相同。当其被强烈烧变以后, 局部可见莫来石和方英石组合。在一些地区由于受到表生作用的影响, 变高岭石向水铝英石和多水高岭石转变。

(3) 灰白色胶状的“烧变高岭岩”中, 曾见有水铝英石、薄片无色, 无固定的胶状体, 负突起、均质性, 折光率为1.47~1.49。

2. 化学成分

经过单矿物挑选, 进行化学分析, 其结果列于下表:

表1 粘土矿物的化学成分

Table 1 Chemical composition of clay mineral

单矿物	化学成分													总计
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻		
(1) 高岭石	36.53	48.64	0.35	0.14	0.16	0.25	0.13	痕	0.036	0.012	10.97	0.075	97.30	
(2) 变高岭石	41.44	51.15	0.49	0.18	0.60	0.12	0.14	量	0.88	0.006	4.12	0.054	99.18	
(3) 水铝英石	37.22	44.29	0.40	0.26		0.50	0.04				15.36			

(1)、(2) 由原华北冶金地质局分析

(3) 由山西地质局中心试验室分析

从表1可以看出, 高岭石、变高岭石、水铝英石三者的化学含量, 并无很大差别, 只是结构水H₂O⁺的含量有所不同, 三种矿物的H₂O⁺显示了等比差异。其中:(1)高岭石的分子式为Al₂O₃:SiO₂:H₂O=1:2.26:1.71, 即Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O;(2)变高岭石因焙烧过程中, 结晶水有所减少, 故Al₂O₃:SiO₂:H₂O=1:1.84:0.493, 分子式应为Al₂O₃·2SiO₂;(3)当高岭石经水化作用, 则生成水铝英石。

3. 热分析

对止述不同外观特征的“烧变高岭岩”, 分别挑选单矿物, 作差热分析, 其结果如图1所示。

图1示知: 1号样品为不很典型的高岭石差热曲线。在600℃处有不太显著的吸热谷, 在960℃有放热峰。

2号样品中2a为变高岭石的差热曲线, 在989℃时有放热峰。2b基本为变高岭石的差热曲线, 由于少量复水, 故在240℃处有不明显的吸热谷, 具向水铝英石变化之特征。2c也是由于大量复水, 在110℃有吸热谷, 而且在500℃时吸热谷不甚明显, 993℃有放热峰, 为向多水高岭石变化的特征。2d是莫来石的差热曲线, 因为加热温度不够, 所以1000℃以前无吸热、放热反应。

* 变高岭石 (Metakaolinite, Метакаолинит) 一词, 已为矿物学及工艺岩石学所习惯通用, 但有人译为偏高岭石。

3号样品为水铝英石差热曲线。在170℃有明显吸热谷、970℃有放热峰。

4号样品经实验室加温至800℃，保温2小时后的人工熟料差热曲线。5号样品加温至800℃，真空恒温2小时，失水14.3%的差热曲线^[1]。二者对比，完全一致。

4. X-射线分析

对前述三种“烧变高岭岩”，分别进行了矿物的X-射线粉末照相和粉末衍射分析。

现将粉白色酥糖状“烧变高岭岩”的主要矿物X射线粉末照相分析数据列于表2。

从表2数据可以看出，这种粉白色酥糖状“烧变高岭岩”主要由高岭石组成，与G.W.布令得利所测的结晶较差的高岭石的数据极为近似。

其它两种“烧变高岭岩”的X-射线衍射谱如图2所示。2a、2c、2d均为洁白色致密

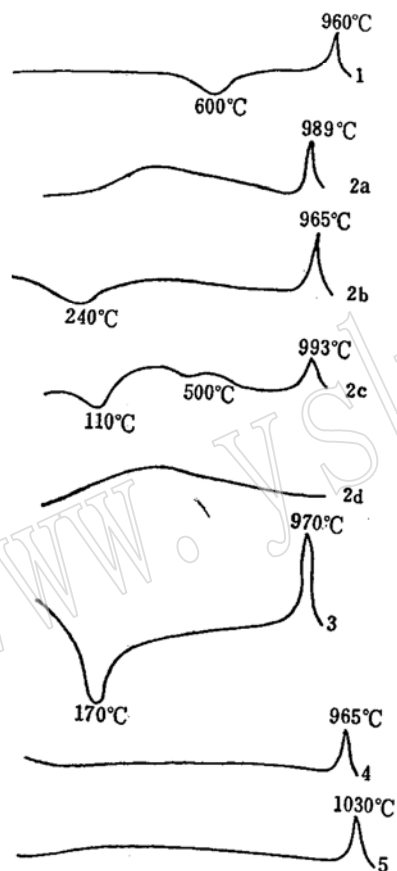


图1 差热分析曲线
Fig. 1 Differential thermal analytical curve

1. 采自怀仁粉白色酥糖状“烧变高岭岩”中的高岭石；2. 2a—2d均采自怀仁洁白色致密状“烧变高岭岩”的主要矿物；2a为变高岭石；2b为变高岭石经少量复水向水铝英石变化；2c为变高岭石大量复水，向多水高岭石变化；2d为莫来石，由于温度不够，故1000℃以前无吸热、放热反应。3. 采自浑源，为水铝英石；4. 采自怀仁鹅毛口，黑色致密状高岭石粘土岩（原岩）经加热800℃保温12小时的人工熟料（真允庆1964）；5. 苏州高岭石加温800℃真空恒温2小时失水14.3%（章元龙1957）1、3为冶金工业部地质研究所测定。2a—2d为中国科学院地质研究所测定。4. 为原华北冶金地质勘探公司测定

状“烧变高岭岩”。图2—2a分析曲线具非晶质变高岭石的特征，在图上 $2\theta = 20^\circ - 30^\circ$ ，即3—4 Å附近为半圆形的扩散衍射谱，同时伴生有少量石英（4.27 Å和3.35 Å）。

图2—2c分析曲线，表示“烧变高岭岩”遭受表生作用，水分子逐渐进入变高岭石结构中，而向多水高岭石转变，因而出现了一系列7 Å多水高岭石的7.2 Å、4.44 Å、3.53 Å、2.55 Å等衍射峰。

图2—2d：为洁白致密状“烧变高岭岩”是由莫来石和方英石组成，属于莫来石的特征衍射峰有5.4 Å、3.4 Å、2.88 Å、2.69 Å、2.54 Å、2.21 Å等，而伴生的4.117 Å和2.51 Å是方英石的衍射峰。这种“烧变高岭岩”的几种矿物共生组合与澳大利亚新南威尔士燃烧山的情况非常相似^[2]。

对于灰白色胶状“烧变高岭岩”的X-射线衍射谱（图2—3），显示了非晶质特征，而

表 2 X-射线分析结果
Table 2 The results of X-ray analysis

(1) 粉白色酥糖状“烧变高岭岩”		结晶较差的高岭石(据布令得利)	
d (Å)	I	d (Å)	I
7.4	7	7.15	10
7.0	10		
4.8	1	4.555	8
4.3	7	4.36	2
4.06	2	4.145	2
3.84	3		
3.62	1		
3.51	10	3.57	10
3.33	1		
2.80	2		
2.75	2		
2.55	7	2.555	7
2.49	7	2.5	7
2.33	9	2.375	7
2.28	6	2.325	8.6
2.18	2	1.977	4
1.97	4		
1.94	1		
1.83	4		
1.78	3	1.785	3
1.66	5	1.657	2
1.61	2		
1.54	4	1.541	1
1.48	9	1.486	8
1.45	3	1.457	2
1.39	1	1.428	2
1.34	4		
1.30	5		
1.28	5		
1.265	1		
1.245	3		

(1) 据冶金工部原北京地质研究所分析

Fe阳极

40 kv 6mA

与变高岭石的谱线很相似, 在 $2\theta = 20^\circ - 30^\circ$ 间即 $3-4 \text{ \AA}$ 处为一个半圆形宽的扩散带, 如果与差热曲线对比来看(图1-3), 就可鉴别为水铝英石。

5. 红外吸收光谱分析

粉白色酥糖状“烧变高岭岩”从以上资料足以证明主要矿物为高岭石, 故未进行红外光谱分析。

兹仅将洁白色致密状“烧变高岭岩”和灰白色胶状“烧变高岭岩”的红外吸收图谱绘于图3。

图3-2a为洁白色致密状“烧变高岭岩”的红外吸收曲线, 以变高岭石的非晶质谱线

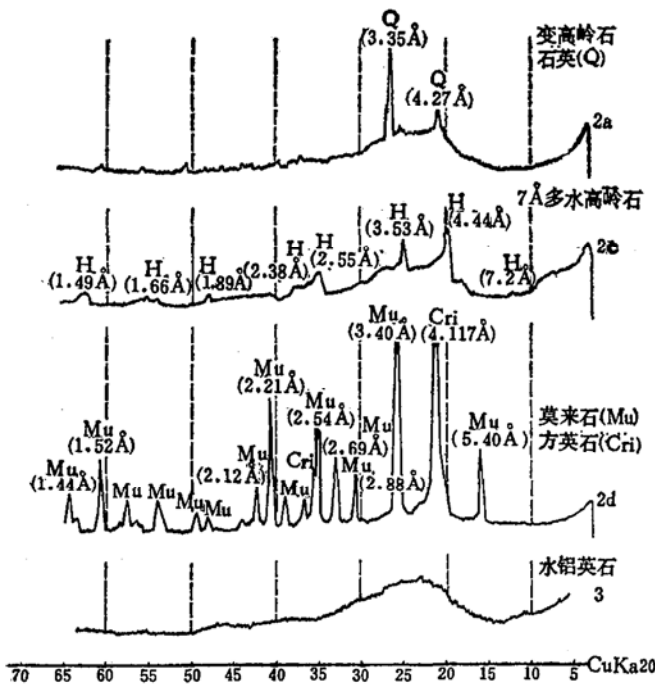


图 2 样品的X-射线衍射图谱
Fig. 2 X-ray diffraction diagram of samples
2a—为变高岭石+石英；2c—为7Å多水高岭石；2d—为莫来石+方英石均采自怀仁鹅毛石；3为水铝英石采自浑源。据中国科学院地质研究所十室分析。

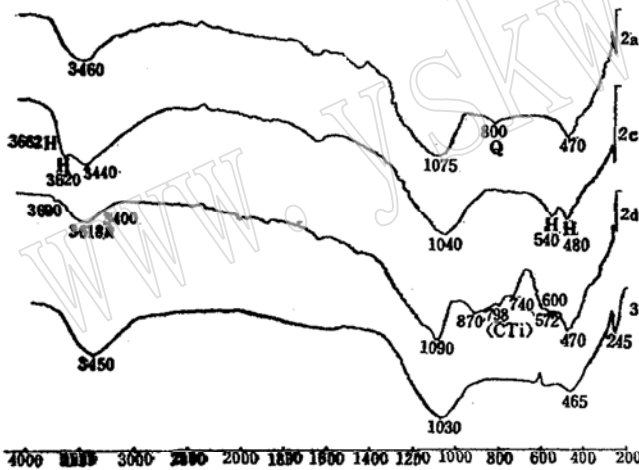


图 3 粘土矿物的红外光谱
Fig. 3 Diagram of infrared spectrum of clay minerals
2a—为变高岭石+石英；2c—变高岭石+多水高岭石+硅酸盐矿物；2d—莫来石+方英石；3—为水铝英石。据中国科学院地质研究所十室分析。

为特征， 1075cm^{-1} 与 470cm^{-1} 谱带是代表硅酸盐矿物中Si-O键和Al-O-Si键的伸缩和弯曲振动。曲线上 800cm^{-1} 的吸收带是石英特有的振动谱带。

图3—2c可以示知，除了非晶质的变高岭石外，尚出现了多水高岭石在 3482cm^{-1} 和 3620cm^{-1} 两个弱的羟基振动带，以及在 540cm^{-1} 和 480cm^{-1} 的硅酸盐晶格振动带。

图3—2d的红外光谱曲线已阐明是由莫来石 (Mu) 和方英石 (Cri) 组成。其中，在 1090cm^{-1} 和 470cm^{-1} 的强吸收带比标准莫来石吸收带的波数略小一些，而 870cm^{-1} 附近的吸收带强度亦较小，并且变为一个宽的谱带，但整个谱带的形状与莫来石在中低频区的谱线轮廓很相似。此外，在 794cm^{-1} 处则出现方英石的弱谱带。

图3—3是采自灰白色胶状“烧变高岭岩”的红外吸收图谱，它显示了非晶质水铝英石的红外光谱特点，高频区在 3450cm^{-1} 附近为一宽的羟基振动吸收带，而中低频区主要是在 1030cm^{-1} 和 465cm^{-1} 附近呈宽的Si-O-Al的振动吸收带。

6. 电子显微镜研究

图版 I—3 是采自粉白色酥糖状“烧变高岭岩”电子显微镜观察结果。主要为高岭石，呈轮廓圆滑的颗粒，不规则状，个别颗粒有晶角，粗略地显出假六方外形(电镜×14000)。

表 3 三种“烧变高岭岩”岩石学研究的结果

Table 3 Results of petrological study of three “burned kaolinite clay rocks”

外观特征	(1) 粉白色酥糖状“烧变高岭岩”质轻、性脆、断口粗糙	(2) 洁白色致密状“烧变高岭岩”断口平整、半贝壳状、略具玻璃光泽、坚硬	(3) 灰白色胶状“烧变高岭岩”质轻略具油脂光泽、贝壳状断口、胶状结构	
主要矿物	高岭石	变高岭石	水铝英石	
次要(共生)矿物	7 Å 埃洛石、水铝英石、石英、锆英石等	高岭石、莫来石、方英石、水铝英石、多水高岭石	高岭石、一水铝石、三水铝石变高岭石、水云母	
化学成分	Al ₂ O ₃	36.53	41.44	37.22
	SiO ₂	48.64	51.15	44.29
	Fe ₂ O ₃	0.14	0.18	0.26
	TiO ₂	0.35	0.49	0.40
分子式	Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O	Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂		
硬度	4~5.5	5.6~6.4	3	
比重		2.537	1.85~1.88	
折光率	1.561~1.566	1.534~1.524	1.47~1.49	
重折率	0.005	0.010(±)	0	
2V光性	3°~50°(-)	3°~50°(-)	无	
主要矿物鉴定结果	差热分析	在 600℃ 时有不太显著的吸热谷，在 960℃ 有放热峰	989℃ 有放热峰。如少量复水，在 240℃ 有不明显的吸热谷为向水铝英石变化，当大量复水在 110℃ 时有吸热谷 500℃ 有不明显吸热谷向多水高岭石变化，当加温高时在 1000℃ 时无吸热放热反应则应为莫来石。	在 170℃ 有明显的吸热谷，970℃ 时有放热峰
	X-衍射线	有 7.0、3.51、2.33、1.48	有变高岭石 4.27、3.35、2.49、2.12、1.81、1.54 (含石英) 及莫来石 5.39、3.39、2.88、2.69、2.54、2.22、2.12、1.52 衍射峰	3-4 Å 出现一个宽的衍射带
红外光谱		1075cm ⁻¹ 与 470cm ⁻¹ 为变高岭石，800cm ⁻¹ 石英，并有多水高岭石在 3482cm ⁻¹ 和 3620cm ⁻¹ 。在 1090cm ⁻¹ 和 470cm ⁻¹ 为莫来石和方英石	在 3450cm ⁻¹ 为一宽的吸收带及 1030cm ⁻¹ 和 465cm ⁻¹ 吸收带	
电子显微镜研究	不规则轮廓圆滑颗粒，粗略地显出假六方外形	不规则状(变高岭石)长柱状的莫来石+石英	球粒状集合体	

洁白色致密状“烧变高岭岩”，电镜（ $\times 9500$ ）下多为不规则状的变高岭石，并与长柱状的莫来石+石英共生。

图版 I—4 是采自灰白色胶状“烧变高岭岩”，扫描镜下（ $\times 5400$ ）为球粒状水铝英石组成。

综合上述、兹将本区三种“烧变高岭岩”的岩石学初步研究结果归纳列于表 3。

三、成因问题的探讨

通过笔者于1965年及1983年先后研究，对晋北罕见的“烧变高岭岩”成因问题概括起来，有以下几点认识：

1. 这种白色“烧变高岭岩”的原岩为上石炭系煤系中的黑色致密状高岭石粘土岩，主要矿物为高岭石。由于煤层自燃，又处于天然开放系统，温度、压力有高有低，因此促使高岭石粘土岩的烧变程度甚不均一，温度高者可变成莫来石，次之为变高岭石，但在镜下仍可见到高岭石的残留痕迹。在表生作用下，又可复水，后生作用甚者成为多水高岭石，轻者成为水铝英石。因此在同一标本上常见这些矿物共生。

2. 野外见到煤层自燃成白色粉末处，原岩黑色致密状高岭石粘土岩，很明显也变成白色“烧变高岭岩”。这是因为在煤层自燃过程中，温度升高，碳质挥发，脱去羟基而形成的结果。

3. 在白色“烧变高岭岩”体中，常见有燃烧不彻底的黑色高岭石粘土岩的残留体，并有黑白相间的“似片麻状构造”，这些均是由黑色高岭石粘土岩经焙烧的有力佐证。

4. 在实验室将本区原岩即黑色高岭石粘土岩加温 800°C 后，结果（图1—4）和白色“烧变高岭岩”甚为一致。

5. “烧变高岭岩”中的变高岭石，常呈蠕虫状粗晶。由于受热不均，出现矿物边缘硬度为 5.6 ($554\text{kv}/\text{mm}^2$)，中心部位硬度为 6.4 ($774\text{kv}/\text{mm}^2$) 的现象。蠕虫状变高岭石具有明显的撕裂纹理（图4）。

总之，本区白色的“烧变高岭岩”是经过煤层的自燃作用，脱羟变硬，氧化变白而形成的。

四、结束语

晋北罕见的白色“烧变粘土岩”是由于煤层的自燃作用而形成。主要矿物为变高岭石（局部为莫来石）、高岭石或经复水作用形成的水铝英石（偶尔为多水高岭石）。

这种“烧变高岭岩”可作为优质的陶瓷、耐火材料的资源，如开采利用将会得到较好

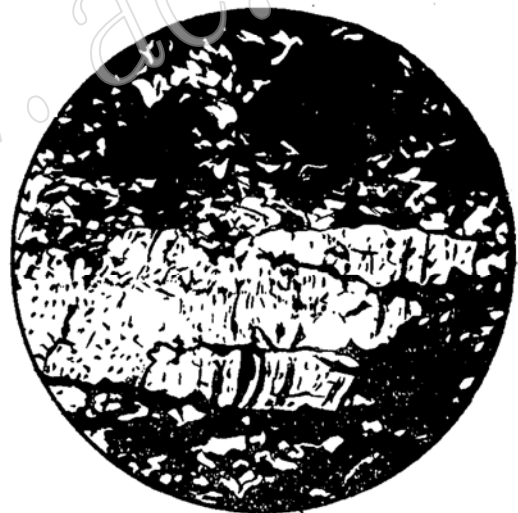


图 4 粗大高岭石蠕虫体素描图

Fig. 4 Myrmekitic texture of grossgrained kaolinite

沿001劈理有高温后的撕裂现象，正交 5×8

的经济效益。

在研究过程中, 承蒙中国科学院地质研究所夏琤先生的指教, 并由该所十室的同志进行了矿物测试工作, 在此表示深切谢意。

参 考 文 献

- [1] 章元龙, 1956, 高岭石放热反应的性质及其控制的研究, 地质丛刊, No.1.
 [2] Loughnan F. C. and Roberts, F. Ivor. 1981, The natural conversion of ordered kaolinite to halloysite (10\AA) at Burning Mountain near Wingen, New South Wales, American Mineralogist. Vol. 66, p. 997-1005.

图 版 说 明

- I-1 白色“烧变高岭岩”与黑色高岭石粘土岩呈“似片麻状构造”。
 I-2 “烧变高岭岩”中的蠕虫状变高岭石。单偏光 $\times 25$ 。
 I-3 粉白色酥糖状“烧变高岭岩”中的高岭石为不规则状, 个别颗粒有晶角。电子显微镜 $\times 1400$ 。
 I-4 灰白色胶状“烧变高岭岩”中的水铝英石, 呈球粒状的集合体。扫描电镜 $\times 5400$ 。

A Study on the Rare "Burned Kaolinite Clay Rock", in Northern Shanxi

Zhen Yunqing

(Metallurgic Geologic Exploration Corporation of Shanxi Province)

Abstract

A kind of white clay rock similar to grog materials is found in Early Carboniferous coal seams in northern Shanxi. Here it is called "Burned kaolinite clay rock", because it is formed by the metamorphism spontaneous combustion of the coal.

Studies with microscope and electron microscope, chemical analysis, differential thermal analysis as well as X-ray diffraction analysis etc., reveal that the clay rock consists of metakaolinite with mullite or kaolinite, locally with epigenetic allophane.

www.vskw.ac.cn

真允庆：晋北罕见的“棕变高岭岩”研究

图版 I

