

论烧变矿床与烧变岩研究及其意义

刘 长 龄

提 要 烧变矿床及烧变岩系煤自燃的产物。从宏观及微观上搞清其产状、分带性、物质组分及其形成机理。开拓地质科学的新领域, 填补岩石矿物学及矿床学中的空白。并作为找煤的有效标志及增加耐火材料、建材、陶瓷原料的新类型和基地。

关键词 烧变地质学 烧变矿床 烧变岩

烧变矿床及烧变岩是在天然界的煤层中因煤自燃而形成的。这在《矿床学》及《岩石学》中还没有位置, 其研究内容属于地质科学新领域, 介于工艺岩石矿物学与矿床学、岩石学之间的边缘学科。对烧变岩及烧变矿床的研究具有一定的科学意义。这类矿床是耐火材料、陶瓷及建筑材料等方面较为理想的原料, 烧变岩又是寻找煤层的有效找矿标志, 因此又具有一定经济价值。

烧变矿床与烧变岩国内外皆分布于地表煤层露头及其附近, 对其进行深入的系统的研究至今为数不多。这可能是由于烧变作用、烧变产物及其形成机理复杂, 特别是粘土矿物等的加热相变是近百年来工艺矿物与实验矿物学界许多学者久经研究而争论不休的老大难课题, 迄今仍未统一。笔者 1985 年在美国参加国际第八届粘土学术会议上提出了自己的见解^[1]。

国内早在五十年代初期章元龙教授开创了我国粘土矿物加热相变的研究, 在困难条件下自制设备并获得了一些可喜的效果。然而高岭石放热主峰的原因为结晶相 δ - Al_2O_3 ^[2], 后来被 Brindley G. W. 等用“Al-Si 尖晶石”说所取代^[3]。陈景炎还用红外光谱分析进行了 Al-Si 尖晶石说的补充。在自然界我国解放后就有人提出因煤自燃形成烧变岩的说法, 但未进行具体研究。煤田地质队多次提到煤自燃形成烧变岩。例如大同盆地侏罗纪煤层自燃“形成了一些红色砂岩”; “陕北煤田火烧岩煤层的物性特征”等等^[4]。但皆缺乏微观研究, 特别是岩石矿物学方面的研究。最近报纸报导, 宁夏太西煤矿由于小煤窑乱开采, 空气进入煤坑内引起大火, 现正隔断空气予以扑灭。又山西太原市古交区发现罕见的天然焦炭, 分布 50 平方公里, 约 4000 万吨储量, 看来, 与煤自燃有关。还有四川叙永地下煤层自燃起火, 金林乡金华村自 1987 年 11 月初煤自燃至今未灭, 地下煤层在强压下自燃, 燃烧地段长 50 米, 延深数米, 估计燃烧煤层厚度在 15 米左右。此地煤和黄铁矿夹杂燃烧, 产生大量磺烟 (SO_2), 方圆 0.53 平方公里内的小麦、油菜等农作物遭到破坏。因此, 煤的自燃给人们带来很大的损失。但是, 它能天然炼焦、自燃产生粘土熟料(烧变矿床)等等则是有利的方面。

笔者等在新疆等地见到了烧变矿床(表 2)应用于冶金、建材及轻工等部门的生产, 但都缺乏微观方面的研究。因此, 很感必要对我国烧变矿床及烧变岩进行系统的深入研究。

笔者多年来几次进行高岭石加热相变的研究, 无论在解释上或研究方法上, 都有过一些新的认识。例如, 笔者发现变高岭石的强非均质性 & 2V, 并在自然界首次发现了变高岭石^[5, 6], 从而否定了“非晶质混合物说”、“化合物均质性及一轴晶说”。高岭石主放热峰的产物发现三

种情况:无序高岭石除硅铝尖晶石等外,含莫来石最多(5.1 Å衍射峰明显);有序度很好的高岭石(除硅铝尖晶石等外),含莫来石较少(3.1 Å衍射峰明显);有序度较差的高岭石除硅铝尖晶石等外,含莫来石很少。但埃洛石及偏岭石在条件相同时与上述高岭石不同的是均不含莫来石(图1a)。再者笔者从逻辑上的连续性与继承性进一步肯定硅铝尖晶石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$),并且在自然界首次发现了硅铝尖晶石。高岭石第二放热峰(1250℃左右)为:硅铝尖晶石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)→莫来石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)及非晶质 SiO_2 →方英石(SiO_2)。并在我国自然界首次发现莫来石,有的形成莫来石质的矿床在国外可能是无人报导过的(如新疆等地的莫来石质矿床)。

笔者通过研究,由高岭石粘土岩形成的烧变矿床(如新疆)或烧变岩(如晋西北)都具有明显的分带性:高温带(莫来石+方英石),中温带(硅铝尖晶石+非晶质 SiO_2 +少量莫来石),低温带(变高岭石)。否则,不是烧变矿床及烧变岩或值得进一步研究。此外,还见到有氧化带(焰)及还原带(焰),前者的含铁矿物有赤铁矿等,后者的含铁矿物有磁黄铁矿等。又如水云母粘土岩的高温带可出现:白榴石等。

重点研究我国干旱区:甘肃清水河、水西沟的烧变矿床,甘肃窑街烧变岩,陕西及鄂尔多斯盆地、内蒙清水河、山西河曲、大同、太原、宁夏太西及四川叙永等地的烧变岩及烧变矿床。具体研究的内容:①研究煤系地层沉积建造的特性特点、矿物成分与其加热相变的机理;②研究自燃煤层赋存特点、所需氧化而干燥的气候、软韧又拱塌的热成构造、地势缓慢升高而地下水位逐渐下降等条件;③研究烧变矿床及烧变岩的产状、规模、物质组分、分布规律、形成机理及合理的用途等。

重点解决的科学问题与预期成果:

1、理论上:①阐明烧变岩及烧变矿床的分类(粘土质的、碎屑岩的及碳酸盐岩等的烧变产物)、分带性等;②阐明烧变岩及烧变矿床的形成条件和机理等;③阐明高岭石及水云母粘土矿物的有序度在煤自燃的条件下与加热相变的关系等。上述问题的解决,可以填补矿床学、岩石学的空白,和解决工艺岩石矿物学分歧已久的争论,还将有一些新矿物在自然界发现(已发现有硅铝尖晶石、变高岭石等),因而具有重大的科学意义。

2、应用上:①烧变岩及烧变矿床的烧变作用和产物与内生接触变质或热变质以及区域变质作用不同,其产物的分带性也明显不同;同样的和外生作用中的产物如偏岭石等也是不同。从而通过研究互相区别,可以把烧变岩石或者烧变矿床作为找煤的有效找矿标志;②烧变矿床中有粘土熟料、半粘土熟料或半硅质熟料等可应用于耐火材料生产,不需要经过人工煅烧(已为新疆钢铁公司耐火材料厂的生产所证实)。含着色杂质铁钛元素较低者,特别是由偏岭石烧变为硅铝尖晶石的(因莫来石晶体小而少或没有,则这种瓷坯薄而透明,可作为高档瓷用)如晋北产,又是很好的细瓷原料;而较多的普通烧变岩(矿床)又是水泥等较好的建筑材料原料;③烧变岩及烧变矿床在后期风化淋滤作用中,常常很容易发生次生变化,这是它的极不稳定(除莫来石外)地球化学特性所决定的。例如高岭石烧变的及偏岭石烧变的产物很易埃洛石化,可形成埃洛石粘土,应用于工业。上述应用,证明其具有重要的经济价值。

在研究方法上,采取野外宏观与室内微观并重。以前人及野外地质队资料和自己原有的工作为基础,对一些关键性的问题进行补充研究和综合分析研究总结,发挥工艺岩石矿物学

期研究资料丰富和采用多种测试方法以及有关煤质与灰分研究联合攻关的优势,力求研究深入和系统化,方法多样,取长补短,理论明确而数据可靠。具体安排主要有:

①资料文献收集整理研究:收集以往的煤田地质报告及有关地质资料,编制烧变岩及烧变矿床(含烧变煤)的分布规律图。总结工艺及实验矿物学界关于高岭石、水云母及蒙脱石等加热相变研究成果及分歧意见,并找出产生分歧的原因。从耐火材料、陶瓷及水泥等工艺岩石学原理探讨一些易熔元素对其烧结性、熔融性等的影响及其赋存状态。由此搞清烧变矿床及烧变岩的母岩烧变特点和理论原理。

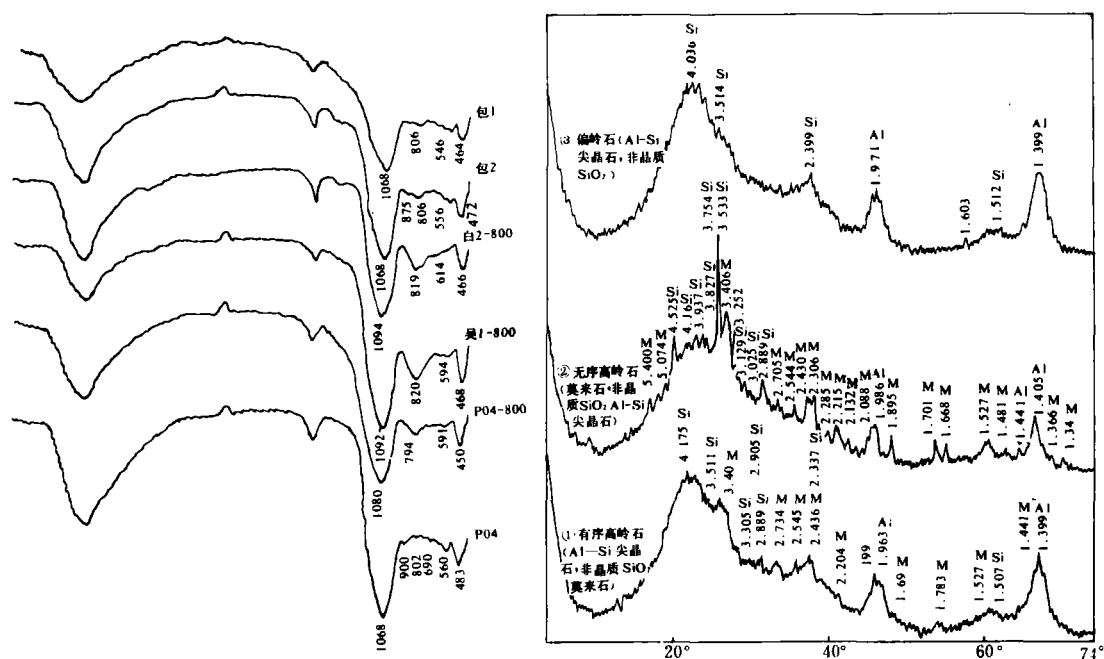


图1 偏岭石与变高岭石的红外光谱曲线比较

Fig. 1. Showing comparison between infrared spectrum curves of metakaolinite and pianlingite.

图 1a. 偏岭石与高岭石的第一放热峰产物的对比结果(XDA)。Cu^{ka. 20}。

M—莫来石; Al—硅铝尖晶石; Si—非晶质 SiO₂。

Fig. 1a. Comparison between results of the first thermal loosing peak of pianlingite and kaolinite.

②研究煤层夹矸或围岩的性质及其沉种相变关系:例如,煤层夹矸粘土岩的物质来源往往为分布广的多层的薄层火山灰,在酸性沼泽水中及成岩作用里淋蚀而高岭土化(含高温石英及透长石;而煤层底板如为碎屑高岭石及微斜长石,则是古风化壳被水流搬运而来的),属于滨海潮坪沼泽相沉积;其沿水平方向可相变为伊利石或伊利石~蒙脱石粘土岩(已为海相,此时煤变差,且煤层变薄以至尖灭)。从而可以说明含煤岩层的沉积建造与沉积相的关系。这也是烧

变岩及烧变矿床的母岩空间分布特点，对烧变作用的研究有一定的指导意义。

③烧变作用条件的研究：煤自燃必需有氧，沿裂隙氧化可达数百米，而面上的煤自燃则较浅。已知新疆浅水河矿区烧变矿床距地表深达 130 多米，这里由于煤层从地表露头逐渐地自燃，逐渐地变为煤灰而出现空隙，有氧进入而继续不断地缓慢燃烧所致。在烧变地质构造上，要求上部围岩有一定的韧性如粘土页岩等。特别是其中一些易熔杂质达到烧结，以至烧熔而荷重软化，使部分塌陷，而氧不能进入；但另一部分则可成为棚拱式的空隙（而没有破碎致全部坍塌），使氧继续进入较深的部位而不断促进煤的自然作用。又气候必须干燥，如为我国南方气候潮湿多雨，则不利于煤

的自然。再者地下水面必须较低或不断地下降；否则，在地下水面以下，煤是不会自燃或继续自燃的。还根据各地区具体情况进一步研究其烧变作用的条件。

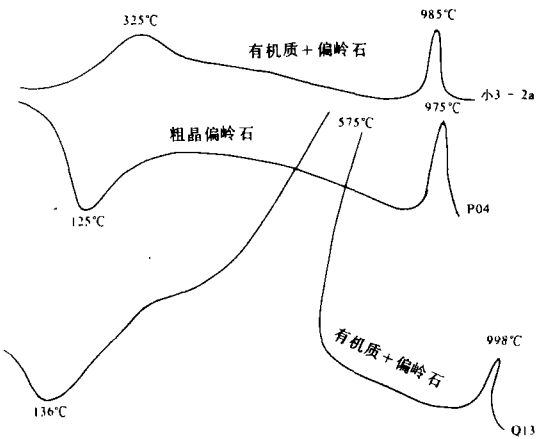


图 2 偏岭石的差热曲线

Fig. 2. Showing curves of differential thermal analysis of pianlingite.

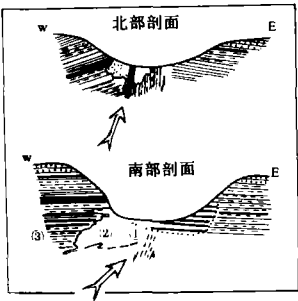


图 3 鹅毛口采石场剖面示意图

①洁白色致密状粘土岩②粉白色酥糖状粘土岩，二者为渐变关系③为黑色、灰色高岭石粘土岩。箭头以示煤层自燃时热气上升方向（据真允庆）。实际上非煤自燃而是煤斑岩脉的烘烤（刘长龄注）

Fig. 3. Schematic section of E Maokou quarry.

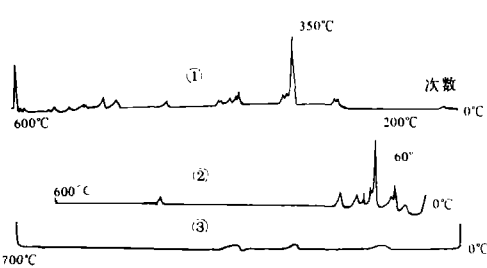


图 4 偏岭石粘土岩中石英的包体爆破温度曲线

①含粉砂偏岭石粘土岩中石英及重晶石内包体；②怀仁偏岭石粘土岩中石英内包体；③河曲煤自燃“烧变粘土质粉砂岩”中石英内包体 0°~700℃无爆裂声（夏桂兰测试）

Fig. 4. Decrepitation temperature curves of quartz inclusion.

④物质组分的研究：烧变矿床及烧变岩的物质成分复杂，不易研究。又往往因晶粒细小（有的只几十埃）或为半晶质（准晶质）及非晶质，且难于提纯（但对某些结晶稍大的，可以用扫

描电镜加能谱分析解决)。特别是某些矿物相似,如 τ - Al_2O_3 与硅铝尖晶石的性质与数据很相似,不作详细的测量是不能区别的(G·W·Brindley等1959年以此否定了我国章元龙教授等主张“高岭石放热反应的 τ - Al_2O_3 说”(2,3)。这是由于用X-衍射法测定立方相的晶格常数时,发现980℃生成的中间立方相的晶格常数为7.88~7.89 Å,比 τ - Al_2O_3 的晶格常数7.90~7.91 Å小,故确定为硅铝尖晶石。因此,必须进行多种测试方法结果的综合研究。再如F. C. Loughnan等错误把“硅铝尖晶石当成变高岭石”,由笔者指出的(8,33)。是经过差热、X射线及红外等曲线综合分析的结果。偏岭石与变高岭石的区别更应如此。通过多种测试方法的综合研究,既可搞清各种成分的详细性质,再加上矿石结构构造的研究,又可查清其形成特点(或为固相的结晶转变,如高岭石族等;或为熔融体或液相生成,如含易熔杂质较多者)。再者人工重砂(如锆石等)及痕量元素地球化学的研究,对确定母岩也是需要的。

⑤野外地磁性等物性的测定与室内包体测温对比:烧变岩或烧变矿床的地磁性与母岩(未烧变的原岩)有较大的不同。据陕北煤田地质队的资料,烧变岩的地磁性已发生明显变化,可使未烧变的原岩磁化率从 80×10^{-8} CGSM单位,增至烧变岩的磁化率 120×10^{-8} CGSM单位。这是由于岩石烧变后,因铁质成分的变化在岩体冷却过程中产生了较强的热剩磁,使磁化率增加的缘故。因此,煤田地质队根据地磁的变化,磁法勘探能准确地圈定烧变岩的范围。此外,还到有关地质队收集测井曲线,如声波曲线和伽玛~伽玛曲线对烧变岩界面反映清晰(41)。再配合我们实测的包体测温(在原岩内常有石英等碎屑的气液包裹体,经煤自燃已不存在,或者只在低温区保留)及物质成分等,予以验证并明确分带,从而综合研究,得出烧变岩及烧变矿床的形成模式。

已遇到的两个问题及其解决办法:

①如何区别烧变岩与偏岭石粘土岩一有同志曾撰文把偏岭石当成了变高岭石,从而认为是“烧变岩”。但笔者认为偏岭石与变高岭石不仅在理化性质上有许多的不同,而且还有其它方面的区别,现略举下列几点与之区别:(a),偏岭石与变高岭石的红外光谱曲线(见图1所示6条),偏岭石(包1,包2, P04)三条与变高岭石三条(白2-800, 吴1-800, P04-800)主要不同的是,后者的Si-O伸缩振动 $700 \sim 1200 \text{ cm}^{-1}$ 区域出现两个明显吸收峰,强峰的波数为 $1080 \sim 1094 \text{ cm}^{-1}$ 比偏岭石的高出 $12 \sim 26 \text{ cm}^{-1}$;此峰为偏岭石所没有的或很不明显。(b)图1a为偏岭石与变高岭石放热主峰峰顶产物的x射线衍射曲线对比,偏岭石的除硅铝尖晶石等外,而无莫来石;但变高岭石(高岭石)无论原来有序或无序,除硅铝尖晶石等外,均含莫来石。故二者不同。(c),图2为含有机质的黑色偏岭石(小3-2a及Q-13)的差热分析曲线,说明它至少在 $325^\circ \sim 575^\circ \text{C}$ 时没有受过热影响,这是偏岭石非由高岭石脱水(烧变)而变来的铁证!(d),图3为鹅毛口偏岭石经煌斑岩蚀变的剖面图,而不是“烧变岩”(40),因在镜下可见长柱状角闪石。(e),图4为偏岭石粘土岩与含变高岭石烧变岩的包体爆破试验曲线,其中鹅毛口的偏岭石粘

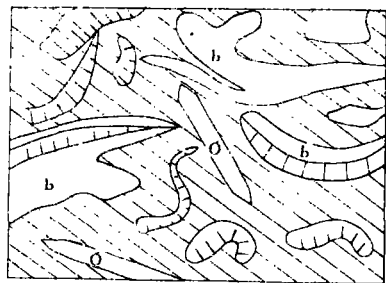


图5 偏岭石岩石结构图

Fig. 5. Showing texture of pianlingite rock.

土岩中石英碎屑包体爆破温度为 160 C 及 200 C 等，可见此处偏岭石没有经过 160 C 以上的热烘烤（烧变岩则不然）。(F)，图 5 为与偏岭石伴生的长柱状低温石英，证明偏岭石是在沼泽中由溶液经水铝英石而于成岩阶段转变的。这在高岭石粘土岩中所没有的。当然，偏岭石与变高岭石的区别还可以进一步研究(详表 1)。

偏岭石与变高岭石、水铝英石的主要区别

表 1

Table 1. comparison of character of pianlingite, metakaolinite and riemannite

名 称	偏 岭 石	水 铝 英 石	变 高 岭 石
分子式	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$	$mAl_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot PH_2O$ 或 $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 3H_2O$	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (人工)
结晶类型	准晶质(无序→有序)	非 晶 质	准晶质(有序→无序)
Al—O 层配 位	Al—O 层共边八面体及共面八面体配位，在某种程度上有序排列	Al—O 层八面体配位的任意排列	Al—O 层共面八面体配位在某种程度上有序排列
硬 度	6—7	3	5—6 (硬质粘土烧)
比 重	2.45	1.85—1.89	2.19—2.53
折光率 (平均)	$N_g = 1.511 \pm$ $N_m = 1.539 \pm$ $N_p = 1.532 \pm$	$N = 1.49 (1.47—1.51)$	$N_g = 1.525 \pm$ $N_m = 1.522 \pm$ $N_p = 1.514 \pm$
重折率 (平均)	$N_g - N_p = 0.009 \pm$	0	$N_g - N_p = 0.011 \pm$
2V 与光性	2V 往往不大，(—)光性	无	2V 不很大，(—)光性
红外光谱 曲线特点	Si—O 伸缩振动 1086 cm^{-1} 很强且较锐。	Si—O 伸缩振动 $965—1065\text{ cm}^{-1}$ 不很强而钝宽	Si—O 伸缩振动除 $1080—1094\text{ cm}^{-1}$ 很强外 $794—820\text{ cm}^{-1}$ 的吸收峰也明显且锐
X 射线 粉末照相 特征数据	1.4—1.1 (宽(中强)) 3.45 Å (中) 2.45 Å (中) 2.16 Å (弱) 2.00 Å (中) 1.85 Å (中) 1.48 Å (弱) 1.28 Å (弱)	非晶质	0.440 Å (宽(30)) 0.220 Å (宽(10)) 0.187 Å (20) 0.166 Å (宽(10)) 0.117 Å (宽(10)) (平定产(11))
成因及 其在自然 界的转化	Al_2O_3 与 SiO_2 溶液交互沉淀的胶体沉积(沼泽)，成岩阶段经水铝英石转变而成。后期风化及热液浸变可变成蛭石等。	风化分解及沉积作用形成，一般转变为蛭石	人工产生，但在空气中可部分复水恢复为高岭石，平定天然产，但未见复水为高岭石。

②如何区别烧变岩与接触变质及火成岩热烘烤变质—烧变岩主要是在高温下烧变的，时间短，常为固相转变(特别是高岭石族矿物)，而成为熔体或发生化学分异作用或交代作用则是很少的或比较少的。而接触变质及其热烘烤变质的时间较长，形成非晶质及超微晶体是极少

的,而且会在后期变化的。更主要的是从地质产状及接触关系上弄清楚,为此野外工作更需加强。例如鹅毛口煌斑岩蚀变偏岭石粘土岩在产状上是清楚的,镜下鉴定也易区别。再如平定县因玄武岩覆盖在铝粘土矿之上,因热烘烤变质,可使高岭石→变高岭石,但其温度较低,未见有高温及中温的莫来石及硅铝尖晶石形成(只是“表带变质”);而林县及武安县的变质时间更长、温度更高(为“中带及浅带变质”),可见有莫来石等^[7]。但那些结晶不稳定的如硅铝尖晶石及变高岭石等已不能保留。总之,是可以区别的。至于与区域变质更可区别。并且“烧变岩石矿物学与烧变矿床学”是“烧变地质学”的主要组成部分。还有“烧变地球化学”、“烧变地球物理学”、“烧变构造地质学”、“烧变数学地质”及“烧变水文地质学”等均属于“烧变地质学”。因此,“烧变地质学”将成为地质科学的一个小小分支学科,受到人们的注意。

烧变矿床的化学成分(%) 表 2

Table 2. Chemical composition of burnt deposit (%)

样 品 号	天然耐火 粘土熟料	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P	灼减	耐火度
226	天然耐火 粘土熟料	44.06	52.65	1.46	1.74	0.36	0.05	0.09	0.75	0.06	0.04	1.14	> 1730℃
227	天然耐火 粘土熟料	42.46	53.59	1.75	2.13	0.39	0.27	0.12	0.93	0.05	0.15	1.49	> 1730℃
779	天然耐火 粘土熟料	32.56	61.30	0.79	2.02	0.85	0.54	0.33	1.12	0.32	0.02	3.79	1670°~ 1690℃
1153	天然耐火 粘土熟料	38.73	56.02	1.51	1.68	0.35	0.46	0.20	0.64	0.13	0.24	0.17	1710℃
A1154	天然耐火 粘土熟料	30.87	64.32	2.26	1.06	0.26	0.43	0.73	0.20	0.02	0.89	0.76	1650℃
778	天然水泥 粘土熟料	29.67	64.21	1.68	1.55	0.09	0.57	0.70	0.68	0.55	0.02	3.36	1670℃
1156	天然水泥 粘土熟料	29.78	63.30	2.15	1.47	0.26	0.55	1.69	0.30	1.59	0.02	0.85	1630°~ 1650℃

注:附表 2 数据引自浅水河烧变矿床矿区报告。主要根据生产实践和前人地质成果,将白色、灰白色、灰色、硬度大、似陶瓷状、无可塑性、烧失量低(一般应<6%)者划分为天然熟料、半熟料粘土矿石。

参考文献

[1] Liu changling, The discovery of Al-Si-Spinel in the nature, AIPEA, 1985
[2] 章元龙, 高岭石放热反应的性质及其控制的研究, 《地质丛刊》, 1956 年第 1 期。
[3] Brindley, G. W, Nakahira, M.,: The kaolinite mullite reaction series, J. Amer. Ceram. Soc, 42. NO7, 311—324, 1959
[4] 巩 泊: 火烧岩煤层的物性特征, 《煤田地质与勘探》, 1987 年第 6 期。
[5] 刘长龄: 变高岭石的强非均质性及 2V 的发现, 《科学通报》, 1963 年第 10 期。
[6] 刘长龄: 变高岭石在自然界的发现, 《地质找矿论丛》, 1986 年第 2 期。
[7] 刘长龄: 自然发现的高岭石加热相变系列总结, 《硅酸盐通报》, 1987 年第 6 期。

- [8] Loughnan, F. C., Roberts, F. Ivor., The natural conversion of ordered kaolinite to halloysite ($10 \text{ \AA}$) at Burning Mountain near Wingen, New South Wales. *American Mineralogist*. (66), 997—1005, 1981.
- [9] 王惠民:大磁窑高岭石—水铝英石粘土矿床地质特征和成因的初步探讨,《山西地质科技》,1984年第三期。
- [10] 真允庆:晋北罕见的“烧变高岭岩”研究,《岩石矿物学杂志》,1986年第4期。

ON STUDY OF BURNT DEPOSITS AND BURNT ROCKS AND THEIR SIGNIFICANCE

Liu Changling

Abstract

Burnt deposits and burnt rocks are derived from hard clay during naturally burning of coal seam. They have been discovered in Shanxi and Xinjiang. Burnt mineral assemblage is kaolinite—meta-kaolinite—Si-Al spinel etc. —mullite etc. or Pinanlingite—Si-Al spinel etc.—mullite etc. Because of higher content of impurities of burnt rocks they can not be used as refractory material but can be used as burden for cement.

Study on their occurrence, zonation, composition both macroscopically and microscopically and their genetic mechanism is a new field of geology and resources of refractory, building material and ceramic materials can be enlarged.