科学通报
第41卷 第13期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1996年7月

叶蜡石高温物相及其演化特征*

汪 灵 张振禹
(中国科学院长沙大地构造研究所,长沙 410013) (中国科学院地质研究所,北京 100029)

关键词 叶蜡石 高温物相 相变 偏叶蜡石 莫来石 方石英

随着加热温度的提高,叶蜡石的物相将发生一系列变化. 为此,前人做了一定工作[1~4]. 但是,前人的研究温度范围一般考虑在1 150℃以下,也未见及较系统的研究成果报道. 因而,对于叶蜡石从室温到熔点(1 710℃ ±)的物相特征及其演化全过程迄今尚不清楚.

1 样品与实验

样品为产自福州峨嵋大型叶蜡石矿床的 $2M_2+1Tc$ 型叶蜡石单矿物集合体. 其化学成分与理论成分十分接近. 如图1(1)所示,其XRD图谱的衍射峰数目较多,清晰度好,强峰都具有$(00l)$或$(hkl)(k=3n)$指数,并呈对称图形;而少数$(hkl)(k\neq 3n)$反射峰稍微弱而宽,并呈非对称图形,这说明,该样品的某些晶体或晶体的某些部分存在 b 轴无序不规则结构. 这也是中国东南沿海叶蜡石的重要矿物学特征之一[1)]. 根据羟基定位结构理论[5],该样品中存在2c□和2c2t两种羟基定位结构的叶蜡石,因而,其DTA曲线为双谷型,实验结果在690℃有一个较大的宽缓吸热谷,在910℃还有一个较小的宽缓吸热谷. 为了便于分析讨论,笔者将样品中矿物晶体为理想状态(无 b 轴无序)、羟基具2c□定位结构的那部分叶蜡石称作叶蜡石Ⅰ,而将矿物晶体存在 b 轴无序不规则结构、羟基具2c2t定位结构的另一部分叶蜡石称作叶蜡石Ⅱ.

样品加工方法是:在空气环境和不同温度下进行加热处理,恒温1h后,立即将样品放置于空气中自然冷却. 温度控制点是这样选择的:首先按一定温度间隔进行控制,然后采用内插法在物相发生变化的两个样品之间逐渐加密控制点. 这样,从室温到熔点共设定了温度控制点24个,基本控制了叶蜡石高温物相变化情况. 最后,将经不同温度处理的样品进行XRD, IR和DTA-TG等分析.

2 叶蜡石高温物相演化阶段划分

XRD、IR和DTA-TG等分析结果都表明,叶蜡石高温物相的变化具有明显的阶段性. 根据主要物相及其组合特征(图1),从室温到熔点可划分为7个演化阶段(表1).

笔者同时采用产自青田山口的 $2M_2$ 型叶蜡石和福州寿山的1Tc型叶蜡石(均为具2c□和

1995-10-11收稿,1996-01-18收修改稿
* 湖南省自然科学基金、湖南省科研计划(重点攻关项目)和中国科学院长沙大地构造研究所所长基金资助项目
1)汪 灵. 中国东南沿海叶蜡石成矿学及叶蜡石热稳定性研究. 中国科学院理学博士学位论文,1994. 72~100

表1 叶蜡石高温物相演化阶段

名 称	温度范围	主要物相及其组合特征	备 注
叶蜡石阶段	室温～ 500℃	叶蜡石Ⅰ+叶蜡石Ⅱ	见图1(1)
叶蜡石Ⅰ脱水阶段	500～ 800℃	叶蜡石Ⅱ+偏叶蜡石+叶蜡石Ⅰ(逐渐降低)	见图1(2)
叶蜡石Ⅱ脱水阶段	800～ 960℃	偏叶蜡石+非晶态物质+叶蜡石Ⅱ(逐渐降低)	见图1(3)
偏叶蜡石阶段	960～1 150℃	偏叶蜡石+不定形 SiO_2 为主的非晶态物质+莫来石	见图1(4)
不定形 SiO_2 阶段	1 150～1 300℃	不定形 SiO_2 为主的非晶态物质+莫来石	见图1(5)
方石英阶段	1 300～1 590℃	方石英+莫来石+不定形 SiO_2(逐渐降低)	见图1(6)
莫来石阶段	1 590～1 710℃	莫来石+石英玻璃	见图1(7)

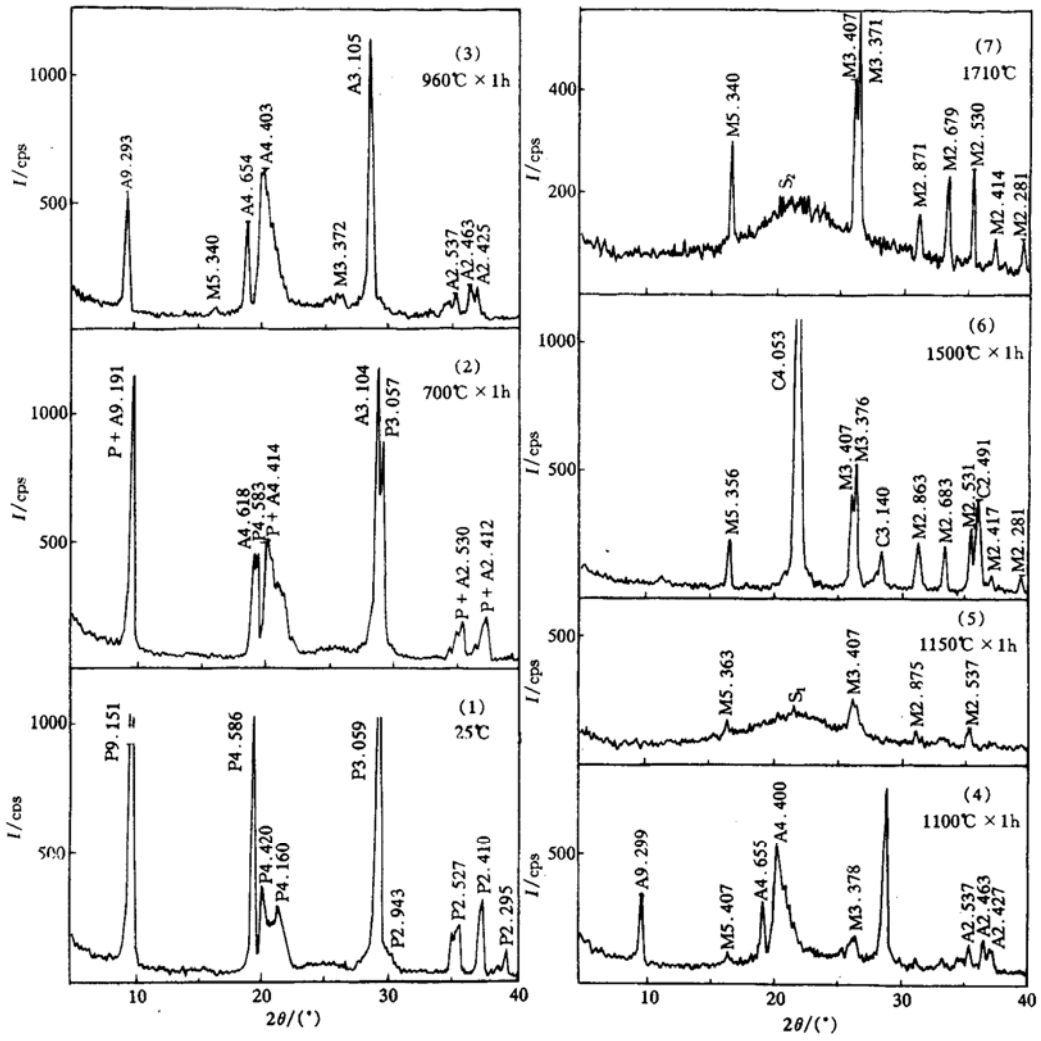

图1 叶蜡石高温物相的XRD图谱

P——叶蜡石，A——偏叶蜡石，M——莫来石，C——方石英，S_1——不定形 SiO_2，S_2——石英玻璃

实验条件：日本产 D/maxⅢA 型全自动X射线衍射仪，粉晶 Cu 靶，cps=2 000(图1(7)为1 000)，扫描角度 3°～85°，扫描速度 2°/min

2c2t 两种羟基定位结构的叶蜡石单矿物集合体)进行了验证,证明不同多型叶蜡石高温物相及其演化特征是基本相同的. 可以推断,对于纯叶蜡石 I 来说,不存在叶蜡石 II 脱水阶段,偏叶蜡石阶段的温度范围为 800～1 150℃;对于纯叶蜡石 II 来说,不存在叶蜡石 I 脱水阶段,叶蜡石阶段的温度范围为室温≈800℃.

3　叶蜡石高温物相演化特征分析与讨论

(1)在叶蜡石阶段(室温～500℃),2c□和 2c2t 两种羟基定位结构的叶蜡石均保持稳定.

(2)在叶蜡石 I 脱水阶段(500～800℃),随着温度升高,叶蜡石 II 保持稳定;而叶蜡石 I 中具 2c□定位结构的羟基将逐渐脱去,形成偏叶蜡石,其反应方程式为

$$\underset{\text{叶蜡石 I}}{Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2} \xrightarrow{500\sim800℃} \underset{\text{偏叶蜡石}}{Al_2[Si_4O_{10}]O} + H_2O\uparrow$$

(3)在叶蜡石 II 脱水阶段(800～960℃),随着温度升高,叶蜡石 II 中具有 2c2t 定位结构的羟基也将逐渐脱去,形成偏叶蜡石. 偏叶蜡石含量在 850℃ 左右达到最大值;900℃ 左右有部分偏叶蜡石发生分解,形成非晶态物质. 发生于本阶段的主要化学反应是叶蜡石 II 脱羟吸热反应,即

$$\underset{\text{叶蜡石 II}}{Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2} \xrightarrow{800\sim960℃} \underset{\text{偏叶蜡石}}{Al_2[Si_4O_{10}]O} + H_2O\uparrow$$

(4)在偏叶蜡石阶段(960～1 150℃),随着温度升高,偏叶蜡石将不断分解,形成以不定形 SiO_2 为主的非晶态物质,直至1 150℃ 分解完毕. 另外,960℃ 开始出现莫来石,其含量随着温度升高缓慢增长. 发生于本阶段的化学反应主要是偏叶蜡石的分解反应,即

$$\underset{\text{偏叶蜡石}}{Al_2[Si_4O_{10}]O} \xrightarrow{960\sim1\,150℃} \underset{\text{不定形 } SiO_2 \text{ 为主的非晶态物质}}{Al_2O_3\cdot4SiO_2}$$

(5)在不定形 SiO_2 阶段(1 150～1 300℃),随着偏叶蜡石在1 150℃ 的彻底分解、消失,以不定形 SiO_2 为主的非晶质也达到最大值. 随着温度升高,莫来石增长速度有所加快,不定形 SiO_2 含量相应提高,其反应方程式为

$$\underset{\text{非晶态物质}}{3Al_2O_3\cdot12SiO_2} \xrightarrow{960℃\text{ 开始}} \underset{\text{莫来石}}{3Al_2O_3\cdot2SiO_2} + \underset{\text{不定形 } SiO_2}{10SiO_2}$$

(6)在方石英阶段(1 300～1 590℃),方石英于 1 300℃ 开始出现并以很快速度增长. 至 1 500℃ 左右达到最大值. 莫来石在缓慢增长的同时,结晶度明显提高. 发生于本阶段的化学反应主要是不定形 SiO_2 的方石英化,即

$$\underset{\text{不定形 } SiO_2}{SiO_2} \xrightarrow{1\,300\sim1\,500℃} \underset{\text{方石英}}{SiO_2}$$

(7)在莫来石阶段(1 590～1 710℃),莫来石自 960℃ 开始出现后,经过较长时间缓慢增

长，于本阶段达到最大值；方石英逐渐熔化，形成石英玻璃；随着温度继续升高，莫来石也将开始熔融并向非晶质转化.

4 结论

不同产地、不同多型叶蜡石具有相似的高温物相及其演化特征，从室温到熔点一般可划分出7个演化阶段. 方石英阶段及其以前各阶段的物相及其演化特征与 SiO_2-Al_2O_3 体系相图有很大差异，以后则与该相图基本相符.

致谢 本项目是在叶大年院士指导下进行的，深表谢意.

参 考 文 献

1 Heller L. The thermal transformation of pyrophyllite to mulite. American Mineralogist, 1962, 47: 156～157

2 Brindley G W, Wardle R. Monoclinic and triclinic forms of pyrophyllite and pyrophyllite anhydride. American Mineralogist, 1970, 55: 1 259～1 271

3 Sanchez-Soto P J, Perez-Rodriguez J L. Thermal analysis of prophyllite transformations. Thermochimica Acta. 1989, 138: 267～276

4 陈全庆，卢 星，王幼文. 叶蜡石加热过程相变的电子显微镜研究. 硅酸盐学报，1988，16(5)：385～392

5 汪 灵，张振禹. 2:1型层状硅酸盐的羟基定位结构. 科学通报，1995，40(22)：2 078～2 080