

文章编号: 1000- 6524 (2003) 01- 0065- 06

# 浙江青田石矿物成分和成玉机理研究

朱选民

(中国地质大学 珠宝学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 采用 X 射线粉晶衍射、红外吸收光谱、扫描电子显微镜和差热分析等测试方法对浙江青田石进行了研究。结果表明, 青田石中多数品种属叶蜡石型, 新发现有迪开石型、伊利石型和绢云母型等非叶蜡石型品种, 并对其宝石学特征和成玉机理进行了初步探讨。

**关键词:** 叶蜡石; 迪开石; 伊利石; 绢云母; 青田石; 浙江省

**中图分类号:** P578. 958; P571

**文献标识码:** A

## Study on mineral composition and genesis of the Qingtian stone from Zhejiang Province

ZHU Xuan\_min

(Gemological Institute, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of type assignment of the Qingtian stone from Zhejiang Province, the author made some experiments with such means as X-ray powder diffraction analysis, infrared absorption spectral analysis, scanning electron microscopy and differential thermal analysis. The results show that the main species of Qingtian stone is of pyrophyllite type; nevertheless, there also exist some other types, such as dickite\_type, illite\_type and sericite\_type. This paper has discussed mineral composition, gem features and formation mechanism of the Qingtian stone.

**Key words:** pyrophyllite; dickite; illite; sericite; Qingtian stone; Zhejiang Province

青田石以其质地温润脆软、色彩斑斓, 又易于雕刻被列为中国“四大图章石”之一。前人曾对青田石有程度不同的研究。叶良辅等(1931)指出青田石属叶蜡石, 由中- 高温热液与火山岩相作用形成。范良明等(1985)认为青田石即叶蜡石, 有绿、淡黄、桔黄、赭红和紫红等颜色。杨雅秀等(1995)提出我国产的具有民族特色的图章石(包括青田石)主要矿物成分非叶蜡石, 而是高岭石的3个多型矿物——迪开石、珍珠陶石和高岭石。由于争议颇多, 笔者在前人研究基础上, 对青田石的矿物成分、宝石学特征及成玉机理进行了重点研究。

### 1 地质背景

青田石矿区位于浙江东南临海- 宁海断裂与丽水- 余姚断裂带之间。由于燕山运动的影响, 区内构造活动频繁, 并导致该区内晚侏罗世及早白垩世中酸性火山岩广泛分布。构造形式以断裂为主, 其中北北东向构造发育, 并派生有北西向

以及东西向等次一级断裂。区域内火山岩发育广泛, 主要为酸性流纹质火山碎屑岩和熔岩, 多数相当于硅铝过饱和的贫钙过碱性系列(文化川等, 1982)。矿区围岩蚀变主要以次生石英岩化、叶蜡石化、硅化为主。矿体呈不规则的似层状、透镜状、团块状, 走向与矿区构造走向基本吻合。矿石组成主要为叶蜡石, 共生或伴生矿物有刚玉、硬水铝石、高岭石、红柱石, 脉石矿物主要为石英、绢云母、黄铁矿(朱选民等, 2001)。雕刻石主要赋存于蚀变叶蜡石矿化带中, 特别是在次生石英岩带下部以及含矿层中均能见到小型脉状、透镜状叶蜡石矿体。在许多采掘面上可以直接观察到次蜡石(主要成分为叶蜡石, 含有少量石英、硬水铝石、高岭石等矿物)向冻石(宝石级的叶蜡石- 迪开石)过渡。

### 2 样品及实验方法

研究用的青田石样品分别采自青田县山口、塘古、周

收稿日期: 2002- 01- 17; 修订日期: 2002- 03- 22

作者简介: 朱选民(1976- ), 男, 硕士, 主要从事矿物学、岩石学、矿床学专业和宝石学研究。

村、山炮、季山、双北山等地和山口矿床尧士、旦洪、封门、白和老鼠坪等矿段。部分典型样品由青田县石雕厂和山口镇历群勇、林俊平工艺师提供。

根据样品性质,采用X粉晶衍射法(D/MAX III B型,Cu靶,30 kV,30 mA,Ni滤片)测定矿物成分、晶体结构有序度、晶胞参数和多型特征;采用红外吸收光谱仪(傅立叶MAJNA-2R550型,KBr压片, $4000\text{ cm}^{-1}\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 波数范围)测试在室温条件下样品的红外吸收光谱特征,探讨水的存在形式;扫描电子显微镜(JSM-35CF型)观察样品的结晶形貌及与成玉机理之间的关系;高温差热仪(CR-G型, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 参比物,升温速率 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ ,测试室温 $\sim 1200\text{ }^\circ\text{C}$ 范围)作为辅助手段,确定样品的矿物成分、热相变特征和水的存在形式。

### 3 样品成分及其特征

#### 3.1 叶蜡石型青田石

该类型青田石以“灯光冻”“封门青”品种为代表,其中“灯光冻”为青田石中的优质品种,其化学式为 $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ,化学成分( $w_B/\%$ )为 $\text{Al}_2\text{O}_3$  25.17,  $\text{SiO}_2$  67.39,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.25,  $\text{CaO}$  0.07,  $\text{MgO}$  0.08,  $\text{Na}_2\text{O}$  0.15,  $\text{K}_2\text{O}$  0.08,  $\text{TiO}_2$  0.05, 属贫铝型叶蜡石。测得晶胞参数为 $a_0=0.51137\text{ nm}$ ,  $b_0=0.88915\text{ nm}$ ,  $c_0=1.85975\text{ nm}$ , 主要粉晶谱线为 $0.9232$ 、 $0.4608$ 、 $0.3069$ 、 $0.2418$ 、 $0.1492\text{ nm}$ 。X粉晶衍射图谱分析表明“灯光冻”(图1a)在 $19^\circ\sim 22^\circ$ 区间只有 $0.444$ 和 $0.419\text{ nm}$ 两个稍弱而钝的峰,应属于 $2M$ 型(杨雅秀等,1994)。“封门青”(图1b)在此区间具有较锐的 $0.445$ 、 $0.426$ 、 $0.4068\text{ nm}$  3个峰,应属于以 $2M$ 为主的 $2M+1Tc$ 型。根据前人研究资料(杨献忠等,1993),叶蜡石的多型转变规律为 $2M$ 型 $\rightarrow 1Tc$ 型, $1Tc$ 型变体的产生与后期“表生溶液”改造原来 $2M$ 型叶

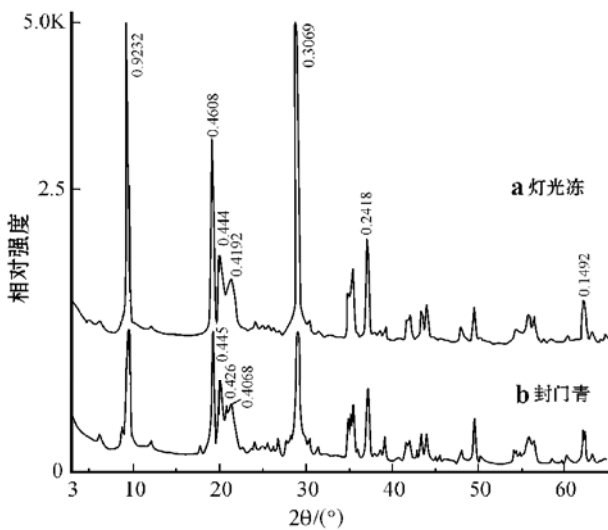


图1 叶蜡石型青田石的X射线衍射图谱

Fig. 1 X-ray powder diffraction patterns of pyrophyllite\_type Qingtian stone

蜡石有关,溶液沿着构造薄弱带渗透,可导致 $1Tc$ 型叶蜡石转变为高岭石。叶蜡石型青田石以 $2M$ 型为主,进一步说明其很可能是成岩期产物,受后期变质作用影响较少,故保持较高的有序度和化学成分纯度。叶蜡石型青田石以青色和青黄色为主,因含有少量的Fe、Ti、Cr等致色元素(范良明等,1985),出现绿、桔黄、砖红、紫红等杂色。该类型青田石密度为 $2.78\sim 2.83\text{ g/cm}^3$ ,微透明,油脂光泽,镜下为细鳞片状变晶结构,结晶颗粒度随品种不同而有差异,一般工艺级叶蜡石比工业级叶蜡石的鳞片细小。

#### 3.2 迪开石型青田石

该类型青田石以“冰花灯光冻”“北山晶”品种为代表,以“北山晶”为例,其化学式为 $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ ,主要化学成分( $w_B/\%$ )为 $\text{Al}_2\text{O}_3$  34.84,  $\text{SiO}_2$  51.71, 混入少量铁、钙、镁等杂质元素,属于富硅贫铝型迪开石。测得晶胞参数为 $a_0=0.515\text{ nm}$ ,  $b_0=0.896\text{ nm}$ ,  $c_0=1.445\text{ nm}$ , 主要粉晶谱线为 $0.7196$ 、 $0.359$ 、 $0.2328$ 、 $0.1653\text{ nm}$ ,  $2\theta$ 在 $34^\circ\sim 40^\circ$ 之间有两对衍射峰,在 $19^\circ\sim 24^\circ$ 之间有6条分裂清晰的衍射峰(图2a、b),反映其有序度较高(杨雅秀,1994),但其清晰程度会随有序度的降低而减弱,最后几乎连成一片,如昌化石和巴林石(图2c、d)。由此可见迪开石型青田石有序度明显偏高。迪开石型青田石颜色主要为白色,且透明度明显比叶蜡石型青田石要高,密度为 $2.59\sim 2.61\text{ g/cm}^3$ ,透射光下无色,细鳞片变晶结构。迪开石与叶蜡石(Py)的区别在于镜下前者双折率较低,为 $0.006$ ,

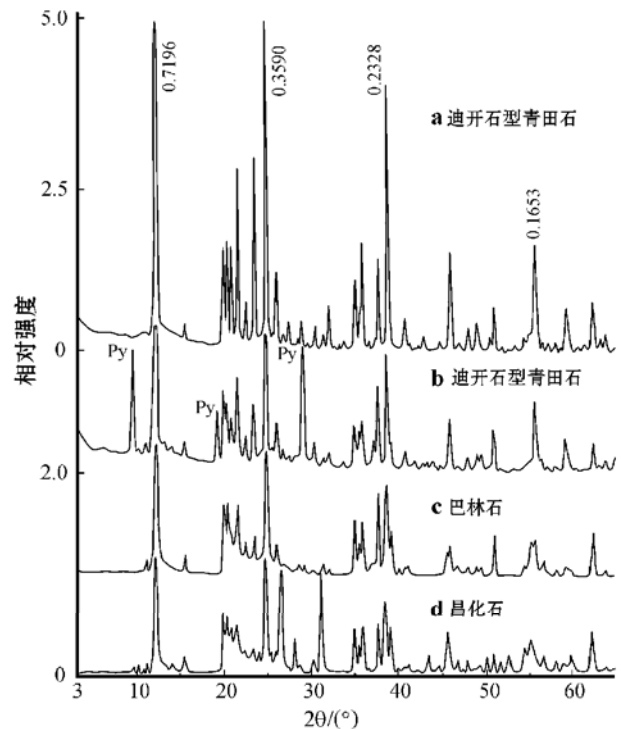


图2 迪开石型青田石、昌化石和巴林石的X射线衍射图谱

Fig. 2 X-ray powder diffraction patterns of dickite\_type Qingtian stone, Changhua stone and Balin stone

干涉色为一级灰白; 后者的双折率较高, 为 0.05, 在正交偏光镜下为鲜艳的二级干涉色。

### 3.3 伊利石型青田石

该类型青田石以“竹叶青”和“龙蛋石”品种为代表, 测得伊利石的化学成分 ( $w_B/\%$ ) 为  $Al_2O_3$  33.58,  $SiO_2$  51.55,  $Fe_2O_3$  0.65,  $Na_2O$  1.08,  $K_2O$  7.17,  $H_2O^+$  5.38,  $H_2O^-$  0.11, 属于富硅型伊利石, 其  $H_2O$  的含量相对偏少。该类型伊利石的晶胞参数为  $a_0 = 0.5213$  nm,  $b_0 = 0.9021$  nm,  $c_0 = 2.008$  nm, 主要粉晶谱线 1.0083、0.5014、0.4473、0.3339、0.2562 nm, 从图 3a 中明显可见伊利石型青田石中 1M 和 2M<sub>1</sub> 两种多型并存, 但以 1M 为主。前人的研究资料表明(杨雅秀等, 1994), 随着成岩和变质程度的加强, 水云母矿物(包括伊利石)多型转化的规律是 1M<sub>d</sub>-1M-2M<sub>1</sub>, 伊利石型青田石以 1M 为主, 说明其变质程度相对较低, 与前人得出火山热液成因的结论吻合(文化川等, 1982)。该类型青田石中常含有少量的叶蜡石(图 3b), 颜色主要为青色和青白色, 微透明, 密度 2.78 g/cm<sup>3</sup>, 多数易脆裂, 透射光下浅绿色和无色, 镜下为细鳞片变晶结构。伊利石与绢云母的区别在于伊利石含有层间水, 颗粒度近于粘土级, 并且干涉级序偏低。

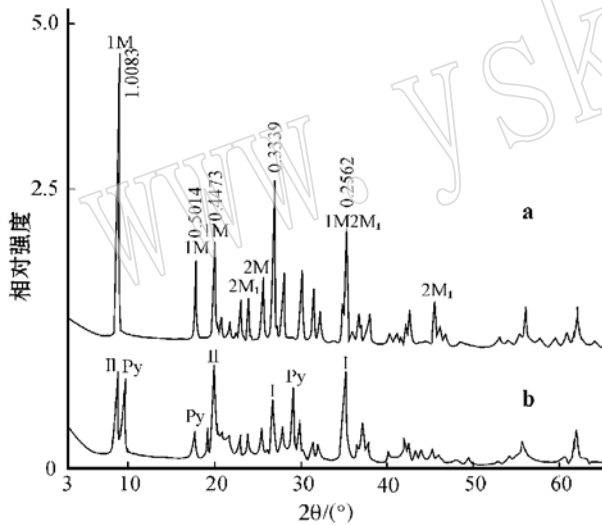


图 3 伊利石型青田石的 X 射线衍射图谱

Fig. 3 X-ray powder diffraction patterns of illite\_type Qingtian stone  
Py—叶蜡石; I—伊利石  
Py—pyrophyllite; I—illite

### 3.4 绢云母型青田石

该类型青田石以“山炮绿”品种为代表, 其化学式为  $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ , 其中化学成分 ( $w_B/\%$ ) 为  $K_2O$  9.06,  $Al_2O_3$  31.03,  $SiO_2$  52.23,  $Fe_2O_3$  0.35,  $Na_2O$  0.40,  $Cr_2O_3$  0.7,  $TiO_2$  0.40,  $H_2O^+$  4.30,  $H_2O^-$  0.02, 测得晶胞参数为  $a_0 = 0.518$  nm,  $b_0 = 0.902$  nm,  $c_0 = 2.004$  nm, 主要粉晶谱线为 1.006、0.5016、0.3341、0.2003 nm。从图 4 可见其衍射峰发育很

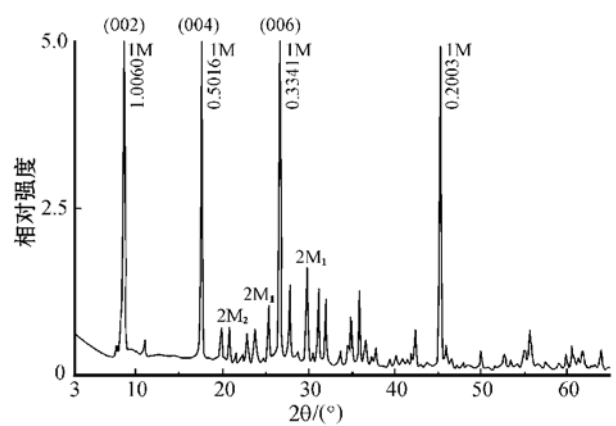


图 4 绢云母型青田石的 X 射线衍射图谱

Fig. 4 X-ray powder diffraction patterns of sericite\_type Qingtian stone

好, 说明有序度高, 以 1M 型为主含有少量 2M<sub>1</sub> 和 2M<sub>2</sub>。代表 (001)、(004)、(006) 晶面的 1.006、0.5016、0.3341 nm 3 个衍射峰发育强度极高, 说明绢云母晶片定向性非常显著, 粒度明显比伊利石要大。绢云母型青田石主要为绿色, 透明度较低, 密度 2.705 g/cm<sup>3</sup>, 透射光下浅绿色。镜下颗粒度较细小, 呈鳞片交织变晶结构, 致密块状构造, 干涉色达二级以上。该类型青田石外观较细腻, 没有云母的易剥落、易解理等特征。

## 4 红外光谱分析

红外光谱分析(图 5-1)表明叶蜡石型青田石在 1051 cm<sup>-1</sup> 处有一个强吸收谱带, 归属于 Si—O 伸缩振动, 与标准叶蜡石相比, 该吸收谱带变宽, 未见分裂, 是由四面体 Al 替代 Si 的结果引起(闻洛, 1989)。不同多型叶蜡石的红外光谱没有发现差异。

不同有序度的迪开石红外吸收光谱有明显的变化规律(杨雅秀, 1994)(图 5-2), 有序度高的迪开石 3705 cm<sup>-1</sup> 吸收谱带比 3650、3616 cm<sup>-1</sup> 弱, 中频区的 1034、1003 cm<sup>-1</sup> 吸收谱带分裂明显, 793 cm<sup>-1</sup> 较强, 随着有序度的降低 3705 cm<sup>-1</sup> 吸收谱带增强, 几乎与 3616 cm<sup>-1</sup> 平齐, 793 cm<sup>-1</sup> 减弱, 1034 与 1003 cm<sup>-1</sup> 分裂变不明显, 其特征有向无序高岭石变化的趋势。红外光谱分析结果表明迪开石型青田石为有序结构, 与 X 粉晶衍射结论吻合。

伊利石型青田石和绢云母型青田石同属于云母类, 红外吸收谱带特征非常相似(图 5-3、4)。3629 cm<sup>-1</sup> 归属于 Al—OH 伸缩振动, 由于 Al 替代 Si 的影响, 其吸收谱带比叶蜡石宽, 频率低。1022 cm<sup>-1</sup> 产生强吸收谱带, 一侧有肩状吸收, 归属于 Si—O 伸缩振动和 Si—O—Si 振动, 吸收谱带较宽, 未见分裂, 振动频率比叶蜡石低, 是由于四面体 Al 替代 Si 的结果。754 cm<sup>-1</sup> 吸收与四次配位 Al 有关, 属于面内 Si—O—Al 振动, 吸收谱带强度随 Al 数目减少而降低。

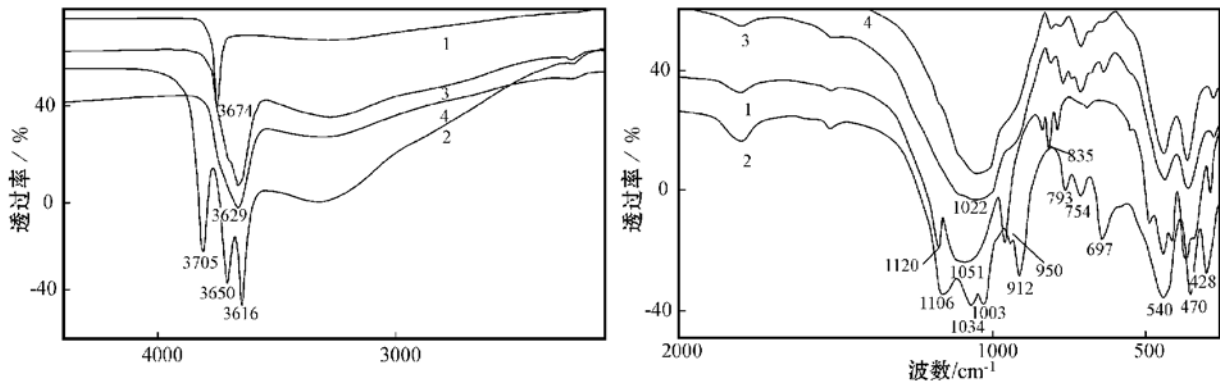


图5 青田石的红外吸收光谱

Fig. 5 Infrared absorption spectra of Qingtian stone

1—叶蜡石型; 2—迪开石型; 3—绢云母型; 4—伊利石型

1—pyrophyllite\_type; 2—dickite\_type; 3—sericite\_type; 4—illite\_type

$539.482\text{ cm}^{-1}$  归属于 Si—O 弯曲振动, 两侧吸收谱带分裂的特征与叶蜡石相同, 表现为二八面体矿物的共同特征。通过红外吸收光谱分析, 发现 Al 替代 Si 对红外吸收产生影响, 同时, Al 替代 Si 对青田石的品质也有影响。

## 5 结晶形貌特征

叶蜡石型青田石分为工艺级和工业级两种, 在相同倍率的扫描电子显微镜下观察, 前者呈圆滑的薄片状集合体, 晶体大小均一, 排列致密(图 6a); 后者为不规则的叶片状集合体, 结构疏松, 具有扭曲特征(图 6b)。两者在颗粒度和形状上的

明显差异是导致其外在质地不同的主要原因。

扫描电子显微镜分析结果表明, 迪开石型青田石以细鳞片状和假六方板状为主, 其中假六方板状为迪开石的典型晶态(图 7a), 其轮廓清晰, 厚度均匀, (001) 面发育, 呈手风琴状定向排列。迪开石的晶体形态随着产出环境及以后所受到的各种地质作用不同而有些差异(张天乐, 1978), 主要表现在晶体沿(001)晶面的发育程度(是等度的还是沿一个方向延长)、晶角和晶棱的完整程度以及片的厚薄等方面。青田部分迪开石晶形发育完整, 说明有序度较高。

绢云母型青田石在扫描电子显微镜下呈不规则片状集合体(图 7b), 其轮廓不圆滑, 沿(001)面的解理发育极完全。

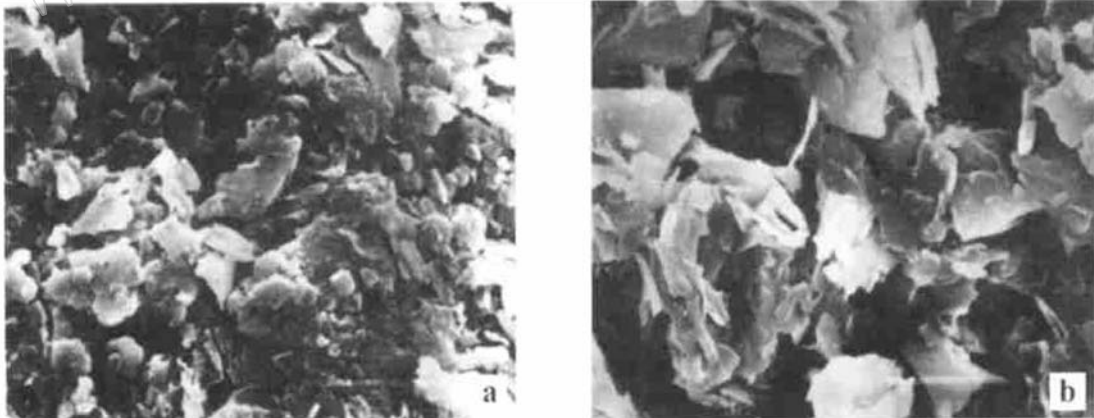


图6 叶蜡石型青田石的镜下形貌

Fig. 6 SEM photos of Pyrophyllite\_type Qingtian stone

a—青田工艺级叶蜡石,  $\times 3\ 000$ ; b—青田工业级叶蜡石,  $\times 3\ 000$ a—technological\_grade pyrophyllite,  $\times 3\ 000$ ; b—industrial\_grade pyrophyllite,  $\times 3\ 000$ 

绢云母之所以成为青田雕刻石中的一个品种, 在于其颗粒度较小, 结构致密, 使解理的危害降低到最低值。

## 6 热学特征

差热分析(DTA)是由中国地质大学(武汉)差热分析室

许娅玲测试的。测试结果表明, 叶蜡石型青田石在  $656\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右有一个 S 型的吸热谷(图 8a), 属脱羟反应, 该温度与叶蜡石的产状和多型关系不大, 而与叶蜡石的颗粒度关系密切(杨雅秀等, 1994), 颗粒越细则温度越低, 据温度值判断青田工艺级叶蜡石的颗粒度偏细。

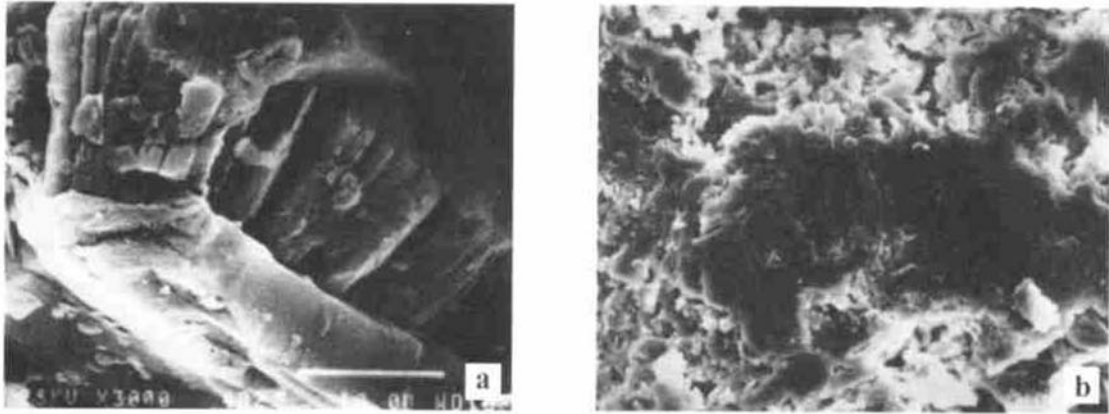


图 7 迪开石型青田石和绢云母型青田石的镜下形貌

Fig. 7 SEM photos of dickite\_type and sericite\_type Qingtian stone  
a—青田假六方板状迪开石,  $\times 1500$ ; b—青田不规则片状绢云母,  $\times 600$ ;  
a—pseudo\_hexagon platform dickite,  $\times 1500$ ; b—irregular schistose sericite

绢云母型青田石的差热曲线基本上无变化(图 8b), 只在 752、890、934 $^{\circ}\text{C}$ 等处有不显著的吸热谷, 即逸出结构水, 由于云母含有较少的结构水, 所以脱羟反应不显著。从 DTA 曲线可以发现绢云母型青田石在低温区没有脱羟反应, 说明不含有吸附水。

伊利石型青田石脱羟谷从 509 $^{\circ}\text{C}$ 开始较平稳延续到 657 $^{\circ}\text{C}$ , 形成一个钝化的吸热峰, 再到 724 $^{\circ}\text{C}$ 结束, 表明排出层间结构水, 其脱羟过程比较缓慢, 造成差热曲线比迪开石要宽敞平浅(图 8c)。Crim 和 Brandley(1940)指出伊利石从二八面体中失去氢氧组分, 其结构没有扰动, 在这种情况下, 加热至 850 $^{\circ}\text{C}$ 时结构没有破坏, 排出吸附水和结构水所产生的热效应是可逆的(转引自黄伯龄, 1987)。

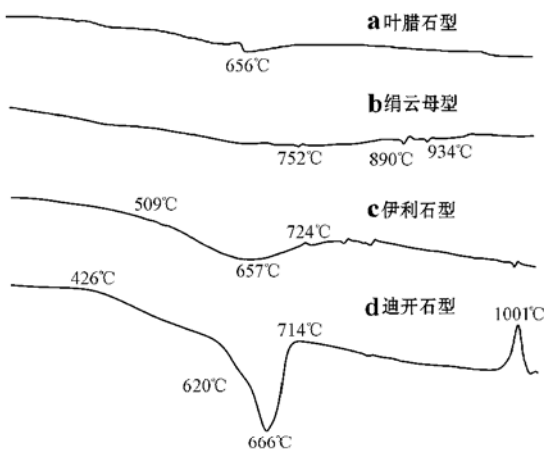


图 8 青田石的差热曲线

Fig. 8 DTA curves of Qingtian stone

迪开石型青田石有一个显著的脱羟谷(图 8d), 于 426 $^{\circ}\text{C}$ 到 620 $^{\circ}\text{C}$ 有一个小停顿, 到 666 $^{\circ}\text{C}$ 脱羟结束并迅速回返, 到 714 $^{\circ}\text{C}$ 回返结束, 表明排出氢氧组分; 在 1001 $^{\circ}\text{C}$ 出现一个显著的放热峰, 表明其开始发生热相变。迪开石与高岭石区别在

于前者在中温-水热环境下形成, 后者在低温条件下形成(黄伯龄, 1987), 这会引起脱羟温度的不同, 通常迪开石的脱羟温度在 650~700 $^{\circ}\text{C}$ 之间, 比高岭石高出 100 $^{\circ}\text{C}$ 左右。

## 7 讨论

青田石多为鳞片状变晶结构, 这与其变质作用程度及成矿温度压力有关。细鳞片状结构相对发育, 有利于青田石矿物结晶细化, 形成较好的质地特征。

前人研究结果表明, 青田石矿床主要为中低温热液矿床(文化川等, 1982), 青田石中的叶蜡石以 2M 型为主, 伊利石和绢云母以 1M 型为主, 部分迪开石呈假六方板状, 均说明青田石结晶度较好, 符合火山热液成因的特征。因为热液蚀变作用可输送和集中晶体生长所必需的硅铝成分, 迁出一些不必要的原始物质, 从而使晶体得以充分发育。

Al 的含量对青田石的品质有影响。层状硅酸盐中 Al 分两种类型, 一种是八面体占位的 Al, 一种是四面体占位的 Al。红外吸收光谱分析发现, 八面体占位的 Al 易与羟基结合, 而羟基会与其相邻的硅氧层中的氧相作用, 形成 O—OH 键, 使硅氧层之间更富于结合力(叶良辅等, 1931), 并且使硅氧堆积结构趋向于有序化。四面体占位的 Al 主要是由 Al 替代 Si 引起, Al<sup>3+</sup> 替代 Si<sup>4+</sup> 必然引起电价不平衡, 由层间吸收阳离子(或 H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>) 补偿, 形成离子键, 使硅氧层之间的结合力增强, 但 Al 替代 Si 需在一定的限量范围内, 否则会引起杂质离子过量替代造成结构破坏, 使其有序度降低。一般来讲, Al 含量增加有利于青田石质地和透明度的改善。

有序度与青田石外观特征有密切关系。有序度高说明晶体内部占位情况有规律, 产生晶格缺陷和杂质离子混入的几率相对就少, 形成杂色心也较少, 使其外部趋向于透明。在结晶过程中, 质点倾向于按照能量最低的结合方式进入某特定位置, 并尽可能使此种结合方式贯穿整个晶体, 形成有序结构, 所以有序度高, 其内能低, 性质较稳定, 符合其作为宝石的

基本特性。X 粉晶衍射分析结果表明,工艺级青田石的有序度均较高,这也是青田石之所以成为优质雕刻石的原因之一。

非叶蜡石型青田石是青田雕刻石中的新品种,其中迪开石型青田石的透明度高于其他类型的青田石,这与其含有较多的结构水有关,因为迪开石加热脱水时折射率会急剧下降(王濮等,1994),其透明度相应降低。绢云母型青田石含有较少的吸附水和层间结构水,所以质地细腻,不易脆裂,并且在温度升高时,还保持晶格稳定性,是一种较新型雕刻石。伊利石型青田石的特征是颗粒度细小,含有的吸附水和结构水明显比其他产地的伊利石少,所以少数优质伊利石型青田石不会出现脆裂现象,但大多数由于太阳烤晒或自然干燥而脱去层间水出现脆裂现象。

## 8 结论

(1) 青田石矿物成分及组合复杂多样,多数品种属于叶蜡石型,但也发现有迪开石型、伊利石型和绢云母型等非叶蜡石型品种。

(2) 叶蜡石型青田石以“灯光冻”、“封门青”品种为代表,主要为 2M 型,工艺级叶蜡石与工业级叶蜡石在颗粒度和形状上的差异是导致其外在质地不同的重要原因。

(3) 迪开石型青田石以“冰花灯光冻”、“北山晶”品种为代表,透明度比叶蜡石型青田石高,质地细腻,是一种优质雕刻石。

(4) 伊利石型青田石因含有层间水,所以在脱水的情况下出现脆裂现象。但少数品种由于粒度细,结构致密,具有温润细腻的质地,是一种较稀少的青田石品种。

(5) 绢云母型青田石以“山炮绿”品种为代表,因含有较少的结构水和吸附水,所以在温度升高的条件下,还保持晶格稳定性,是一种新型雕刻石。

(6) 青田石的结构有序度、Al 的含量及占位形式、水的存在形式及晶体颗粒度等是影响玉石质量的重要因素。

在文章撰写和地质调研过程中得到亓利剑导师和中国地质大学测试中心陆琦教授的指导以及青田县科协蒋红旗先生的大力支持和帮助,在此谨表谢意。

## Reference

Fan Liangming, Yang Yongfu. 1985. Preliminary study on Qingtian stone and its genesis of color from Zhejiang Province[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 12(2): 32~ 43(in Chinese).  
Huang Boling. 1987. Appraisal Enchiridion of DTA of Minerals[M]. Beijing: Science Press, 511, 516~ 517(in Chinese).  
Wang Pu, Pan Zhaolu, Weng Lingbao. 1994. Systematic Mineralogy (2)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 384~ 386(in Chinese).

Wen Huachuan, Wang Ling. 1982. Preliminary study on geological factor and genesis of pyrophyllite deposit in Shankou of Qingtian of Zhejiang Province[A]. Collection of Dissertation on The Srd. Conference of National Mineral Deposits[C]. 1~ 25(in Chinese).  
Wen Luo. 1989. Infrared Absorption Spectrum of Minerals[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 94(in Chinese).  
Yang Xianzhong, Huang Guangzhao, Li Peiyu, et al. 1993. Polytypes and transformation of pyrophyllite from the Shoushan pyrophyllite deposit[J]. Geology of Fujian, 12(3): 172~ 180(in Chinese).  
Yang Yaxiu. 1995. The Mian mineral Component of the stone are not pyrophyllite but the dickites[J]. Construction Materials Geology, 79(3): 8~ 14(in Chinese).  
Yang Yaxiu, Zhang Naixian, et al. 1994. Clay Mineral of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 28~ 33, 44, 58~ 78(in Chinese).  
Ye Liangfu, Li Huang, Zhang Geng. 1931. Stamp stone from Qingtian of Zhejiang province[J]. Journal of China Central Institute of Geology, 1(in Chinese).  
Zhang Tianle, Wang Zongliang. 1978. Study by Electron Microscope of Clay Minerals in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 12(in Chinese).  
Zhu Xuanmin, Qi Lijian, Jiang Hongqi, et al. 2001. Study on gemmological characteristic and genesis of blue pyrophyllite, type corundum from Qingtian of Zhejiang Province[J]. Journal of Gems & Gemmology, 3(4): 15~ 19(in Chinese).

## 附中文参考文献

范良明, 杨永富. 1985. 浙江青田石及颜色成因的初步研究[J]. 成都地质学院学报, 12(2): 32~ 43.  
黄伯龄. 1987. 矿物差热分析鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 511, 516~ 517.  
王濮, 潘兆楷, 翁玲宝. 1994. 系统矿物学(中册)[M]. 北京: 地质出版社, 384~ 386.  
文化川, 汪灵. 1982. 浙江省青田县山口叶蜡石矿控矿地质因素及矿床成因初步探讨[A]. 第三届全国矿床会议论文集[C]. 成都: 四川建筑材料工业学院, 1~ 25.  
闻洛. 1989. 矿物红外光谱学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 94.  
杨献忠, 黄光昭, 李佩玉, 等. 1993. 寿山叶蜡石矿床中叶蜡石的多型及其转变[J]. 福建地质, 12(3): 172~ 180.  
杨雅秀. 1995. “图章石”的主要矿物成分为迪开石类矿物非叶蜡石矿物[J]. 建材地质, 79(3): 8~ 14.  
杨雅秀, 张乃娟, 等. 1994. 中国粘土矿物[M]. 北京: 地质出版社, 58, 28~ 33, 44, 78.  
叶良辅, 李璜, 张更. 1931. 浙江青田县之印章石[J]. 国立中央研究院地质研究所专刊, (1).  
张天乐, 王宗良. 1978. 中国粘土矿物的电子显微镜研究[M]. 北京: 地质出版社.  
朱选民, 亓利剑, 蒋红旗, 等. 2001. 浙江青田叶蜡石型蓝刚玉的宝石学特征及成因初探[J]. 宝石和宝石学杂志, 3(4): 15~ 19.