

## 四川软玉猫眼的宝石学特征

钱向丽<sup>1</sup>, 周开灿<sup>1</sup>, 亓利剑<sup>2</sup>,

(1. 西南科技大学, 四川 绵阳 621010; 2. 中国地质大学珠宝学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**用X射线衍射、红外光谱、扫描电镜、电子探针等测试方法,对四川软玉猫眼进行了研究,结果表明软玉猫眼的主要矿物组成为透闪石,主要结构为平行纤维状结构,并论述了其呈色机理。

**关键词:**四川软玉猫眼; 透闪石; 宝石学特征

**中图分类号:**P575 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2005)03-0018-05

继台湾花莲软玉猫眼之后新发现的四川 软玉猫眼<sup>[1]</sup>,填补了台湾猫眼资源枯竭而造



Linares-Solano CaO dispersed on carbon as an SO<sub>2</sub>  
sorbent[J]. Fuel, 1997, 76: 523 ~ 527.

54(2): 273 ~ 276.

[6]路春美,赵建立,韩奎华. 贝壳和石灰石作为燃  
煤固硫剂的微观结构特性[J]. 化工学报, 2003,

[7]杨海波,武增华,邱新平,等. CaO 固硫反应机理  
研究的新进展[J]. 燃料化学学报, 2003, 31(1):  
92 ~ 96.

## Experimental Development and Mechanism Analysis on A Mixed Fixing-sulfur Sorbent at High Temperature

WANG Bi-rong, SHI Lin, CHENG Ding-sheng

(South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong, China)

**Abstract:** Many variety of experiments were made on self-producing mixed fixing-sulfur sorbent of coal combustion in the laboratory scale under higher temperature condition. The experimental results show that high-temperature fixing-sulfur efficiency of the sorbent reaches 75% and 67% respectively for power anthracite coal (total sulfur content 0.74%) and bituminous coal (total sulfur content 0.659%) at 1200°C for 20min combustion, which is 25% higher than the ordinary calcium-based sorbent under the same conditions. By inspecting the structure and monography of coal cinder with polarizing microscope and X-ray diffraction (XRD), we deduce that several probable reasons for higher fixing-sulfur efficiency are: (1) decreasing the CaO sintering extents; (2) producing the new thermal stability sulfur mineral phase; (3) enwrapping the sulfation product CaSO<sub>4</sub> by the little melt body. Owing to being composed of natural minerals, the fixing-sulfur sorbent is generally characterized by low capital cost and higher practical value and broader marketing potentiality.

**Key words:** Coal combustion; High temperature; Fixing-sulfur; Mechanism analysis

收稿日期: 2004-04-26

作者简介: 钱向丽 (1978 - ), 女, 在读硕士研究生, 主要从事宝石学研究。

成的世界上透闪石猫眼品种空缺,但对其成分结构尚缺乏进一步的研究。在野外调研的基础上,通过X射线衍射、红外光谱、电子探针和扫描电镜分析等测试手段,对四川软玉猫眼进行深入的宝石学特征研究,可以填补其研究空白,具有重要的科学意义。

## 1 地质特征

四川软玉猫眼产于“康滇地轴”北段的中元古代超基性岩内<sup>[2]</sup>。矿区走向NW320°~330°,以南垭河断裂为主,次级断裂构造发育,控制了软玉矿体的形成和分布。矿体呈细脉状产出,脉宽几厘米至几十厘米,赋存于主断裂所派生的次级断裂中,与蛇纹石相伴随出现,其延伸方向严格受主断裂所派生的次级断裂构造控制,透闪石纤维状定向排列与控制断裂带的剪切应力有关,形成近于平行纤维组成的长纤维簇。四川软玉猫眼矿的矿床成因属受构造控制的动力变质热液交代矿床。

## 2 矿物成分

### 2.1 镜下观察

镜下观察得知,主要矿物为透闪石(>90%),单偏光镜下无色透明,中正突起,正延性。最高干涉色可达二级中部,二轴晶负光性,2V比较大。次要矿物为阳起石,它与透闪石的区别在于单偏光镜下呈现浅绿色并显示弱多色性。微量矿物有磁铁矿、铬尖晶石等。

主要矿物透闪石定向排列,纵切面透闪石呈明显的平行纤维排列(图1),横切面呈鳞片交织结构。

### 2.2 X射线衍射分析

按褐色(ST1)、浅绿(ST2)、灰绿(ST3)、暗绿(ST4)选择不同颜色样品进行X射线衍射分析(图2)。实验是用西南科技大学城建学院X射线衍射实验室的日本理学电机公司生产的D/max-ⅢA型完成的。实验条件

为:Cu靶,电压50kV,电流120mA,起始角度为0°,终止角度为70°,步进宽度0.02°。由图2可见,不同颜色品种的四川软玉猫眼谱线与标准透闪石的粉晶谱线极近似,说明四川软玉猫眼主要是由透闪石组成,含少量阳起石(电子探针有Fe的存在)。由于纤维状透闪石择优取向非常高,要求粉末尽可能的细,仍有可能出现谱线强度值的差异。

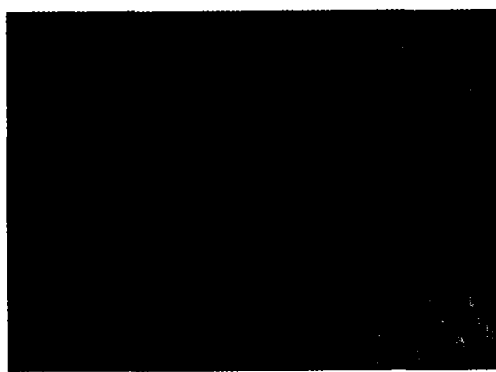


图1 纤维的平行排列(正交偏光40×)

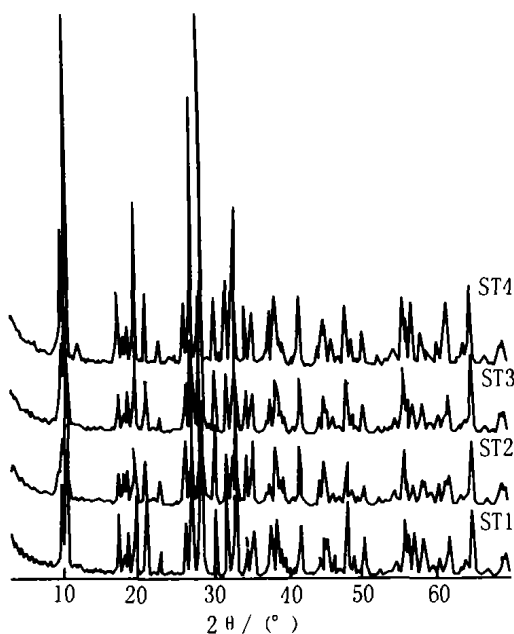


图2 四川软玉猫眼X射线衍射

### 2.3 红外光谱分析

选取样品对四川软玉猫眼进行红外光谱分析(图3)。实验是在中国地质大学(武汉)珠宝学院的付利叶变换红外光谱仪进行。测定前,按波长7000~4000cm<sup>-1</sup>和4000~400cm<sup>-1</sup>(KBr压片法)分别进行中—近红

外光谱的扫描。从图 3 中可以看到,它的谱带数目、谱带位置、谱带形状等特征和标准透

闪石非常类似,这说明了四川软玉猫眼的主要矿物成分是透闪石。

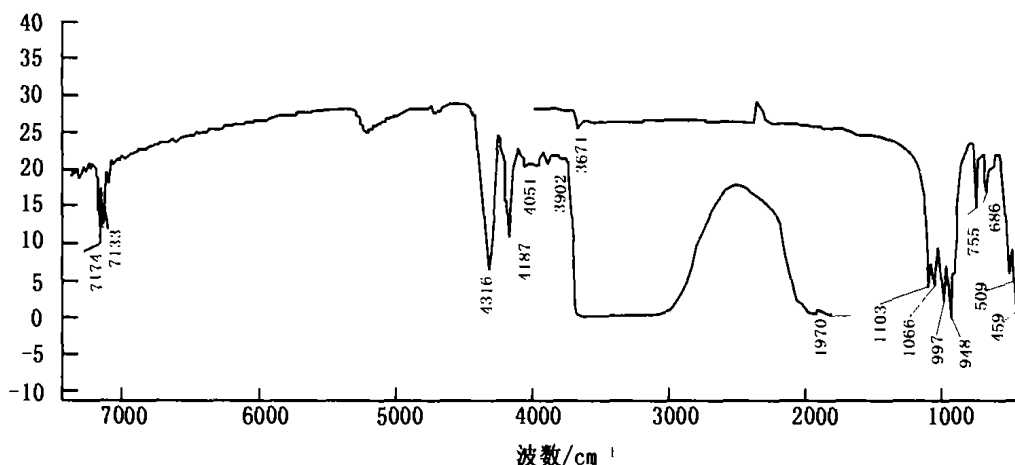


图 3 四川软玉猫眼的红外光谱

### 3 结构构造

选取四川软玉猫眼样品在中国地质大学(武汉)红外扫描电子显微镜室进行微形貌的分析,从扫描电镜图片(图 4)可以明显看出透闪石纤维的定向、笔直、平行、致密排列,这就是四川软玉形成猫眼的必要条件。

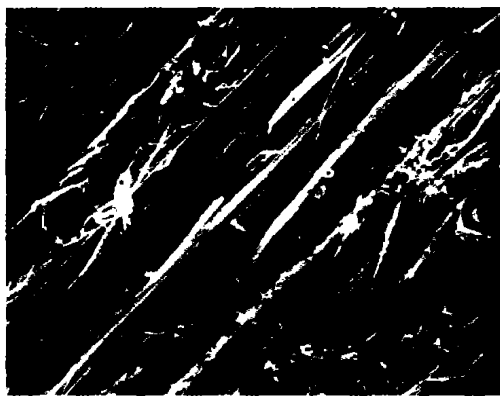


图 4 四川软玉猫眼扫描电镜图

### 4 化学成分

软玉的化学成分介于透闪石和镁阳起石之间,理想分子式为  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ , 按颜色选择 ST1(褐色)、ST2(浅绿)、ST3(灰绿)、ST4(暗绿)和 ST5(灰白)5 件样品在成都综合岩矿中心进行电子探针定量分析。表 1 为四川软玉猫眼及新疆、台湾

软玉的化学成分。

从表 1 可知,与新疆和田玉、台湾花莲软玉<sup>[3]</sup>相比,四川软玉猫眼与透闪石的化学理论成分及各地软玉的化学成分十分近似。

### 5 物理性质

通过对四川软玉猫眼的原矿手标本(图 5)观察和物理性质测定,总结得出,四川软玉猫眼原矿致密,块状,晶粒细小,多呈纤维状,定向排列,质地细腻坚韧,块体表面光滑,具蜡状光泽,参差状断口,颜色丰富,有浅绿、暗绿、碧绿、蜜黄、深灰、灰白、黑和褐色等(图 6)。密度:2.91~3.01;折射率:1.62(素面点测),半透明~不透明,硬度:6~6.5。

### 6 呈色机理

结合四川软玉猫眼的化学组分特点分析其呈色机理。四川软玉猫眼的主要组成矿物为透闪石,其化学成分通式为  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ , 其中镁铁间可呈完全类质同像代替,置换程度不同,矿物也不同。透闪石分子式为  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ , 当 Mg 被 Fe 置换时,即  $\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}) \geq 0.9$ , 称为透闪石,当  $0.5 \leq \text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}) \leq 0.9$  称为阳起石,当  $\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}) \leq 0.5$  称为铁阳起石。

表1 四川软玉猫眼和新疆、台湾软玉的化学成分/wt%

样品	ST1 褐色	ST2 浅绿	ST3 灰绿	ST4 暗绿	ST5 灰白	新疆 和田玉	台湾 软玉	透闪石 理论值
Na <sub>2</sub> O	0.021	0.047	0.096	0.090	0.011	0.42	0.42	—
MgO	22.734	20.014	19.089	19.452	23.306	23.83	23.03	24.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.093	0.275	0.546	0.484	0.353	1.36	1.355	—
SiO <sub>2</sub>	58.821	59.023	58.888	58.409	59.123	57.38	56.55	58.80
K <sub>2</sub> O	0.017	忽略	忽略	0.000	0.002	0.42	0.42	—
CaO	12.907	13.257	13.496	13.919	12.540	13.54	11.81	13.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	0.80	0.67	—
TiO <sub>2</sub>	0.000	0.007	0.028	0.006	0.016	—	—	—
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.765	0.167	0.175	0.657	0.026	—	—	—
MnO	0.157	0.207	0.309	0.198	0.235	—	—	—
FeO	3.429	5.742	5.965	6.346	2.862	—	—	3.50
NiO	0.025	0.066	0.014	0.007	0.059	—	—	—



图5 四川软玉猫眼原石

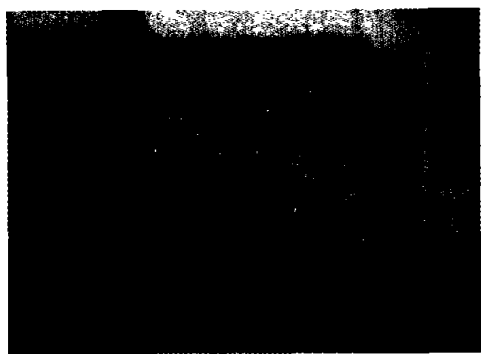


图6 四川软玉猫眼

+Fe<sup>2+</sup>)≤0.5,称为铁阳起石<sup>[4]</sup>。

从表1软玉化学成分中可以得出如下规律:(1)MgO含量较高时,FeO含量低;MgO含量较低时,FeO含量就略高。(2)四川软玉猫眼中Fe<sup>2+</sup>含量依灰白、浅绿、灰绿、暗绿的顺序明显升高。(3)四川软玉猫眼中Cr的含量非常高,并且按灰白、浅绿、灰绿、暗绿的顺序,依次升高。(4)褐色中的Cr含量最高。

四川软玉猫眼主要矿物为透闪石,透闪石属于单斜晶系,按照单斜晶系面网间距计算公式,由四川软玉猫眼样品的X射线衍射数据分析计算出透闪石晶胞参数结果见表2。

闪石类矿物组成复杂,类质同象代替普遍,角闪石化学通式为A<sub>0-1</sub>X<sub>2</sub>Y<sub>2</sub>[Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>](OH)<sub>2</sub>。式中A=Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>;X=Na<sup>+</sup>、Li<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>;Y=Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Al<sup>3+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Ti<sup>4+</sup>、Cr<sup>3+</sup>。同时,(OH)<sup>-</sup>亦常可被F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、O<sup>2-</sup>代替。

表2 四川软玉猫眼样品透闪石晶胞参数与透闪石理论值<sup>[4]</sup>

样品	a <sub>0</sub> /nm	b <sub>0</sub> /nm	c <sub>0</sub> /nm	β/(°)
ST1(褐色)	0.9882	1.8040	0.5346	105.7829
ST2(浅绿)	0.9853	1.8028	0.5315	105.2918
ST3(灰绿)	0.9840	1.8066	0.5276	104.7000
ST4(暗绿)	0.9802	1.8144	0.5203	103.5503
透闪石理论值	0.984~0.987	1.800~1.805	0.527~0.530	104.07

角闪石族矿物中硅氧四面体以角顶相连接形成平行  $c$  轴的双链,这种双链可以看成是由两个单链结合而成,络阴离子团为  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{4-}$ ,双链之间以  $Y$  类阴离子连接,这种阴离子位于双链中活性氧及氢氧根离子组成的八面体空隙中(这种空隙有三种位置,分别以  $M1$ 、 $M2$  和  $M3$  表示)。X 类阳离子将相背的双链连接起来,这种配位多面体位置以  $M4$  表示。角闪石类矿物晶胞参数的某些变化与  $M2$ 、 $M4$  的阳离子种类有关, $M4$  阳离子较固定,所以主要影响因素为  $M2$ 。晶胞参数变化最明显的是  $b_0$ ,对  $c_0$ 、 $\beta$  也有一定的影响,而对  $a_0$  影响最小。 $b$  轴的长短决定于  $M2$  阳离子种类:当  $\text{Fe}^{2+}$  全部代替  $\text{Mg}^{2+}$  时, $b$  轴增长  $0.033\text{nm} \pm$ ;当  $\text{Al}^{3+}$  代替  $\text{Mg}^{2+}$  时, $b$  轴缩短  $0.030\text{nm} \pm$ ;当其中的  $\text{Fe}^{2+}$  全部代替  $\text{Mg}^{2+}$  时,变成铁透闪石, $b$  轴增长至  $1.834\text{nm}^{[5]}$ 。从表 2 中看出,四川软玉猫眼样品从 ST2(浅绿)到 ST3(灰绿)到 ST4(暗绿) $b$  轴分别增长了  $0.0038\text{nm}$  和  $0.0078\text{nm}$ ,说明  $\text{Fe}^{2+}$  在 ST2(浅绿)、ST3(灰绿)和 ST4(暗绿)样品中逐步地代替了  $\text{Mg}^{2+}$ 。

通过以上分析比较,可肯定地认为四川软玉猫眼的颜色起因于取代  $\text{Mg}^{2+}$  而占据畸变八面体位置  $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Cr}^{3+}$  起辅助作用。因此四川软玉猫眼的颜色主要是由四川软玉猫眼结构中鉄的含量决定。

## 7 结 论

1. 四川软玉猫眼产于中元古代超基性岩内,呈细脉状产出,其成因类型属受构造控制的动力变质热液交代矿床。

2. X 射线衍射分析和红外光谱分析结果一致,表明四川软玉猫眼的主要矿物成分为透闪石,少量阳起石。

3. 镜下观察和扫描电镜微形貌的分析表明,四川软玉猫眼主要矿物透闪石呈纤维状致密、平直、均匀排列,是形成猫眼效应的必要条件。

4. 四川软玉猫眼的颜色起因于取代  $\text{Mg}^{2+}$  而占据畸变八面体位置  $\text{Fe}^{2+}$ 。因此四川软玉猫眼的颜色主要是由四川软玉猫眼结构中鉄的含量决定,铬起辅助作用。

## 参考文献:

- [1] 翁臻培,张庆麟. 软玉猫眼的新发现[J]. 上海大学学报(自然科学版). 2001(2):136~141.
- [2] 许仲华,李俊雄. 四川省石棉县纵纤维蛇纹石石棉矿床地质特征及成矿规律[R]. 四川:四川省地质矿产局川东南地质大队,1987.
- [3] 栾秉璈. 宝石[M]. 北京:冶金工业出版社,1988.
- [4] 李雯雯,吴瑞华. 和田玉的颜色及其色度学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报,1999(4):428~421.
- [5] 潘兆橐. 结晶学及矿物学(下册)[M]. 北京:地质出版社,1984.

## Gemological Characteristics of Nephrite Cat's-eye in Sichuan Province

QIAN Xiang-li<sup>1</sup>, ZHOU Kai-can<sup>1</sup>, QI Li-jian<sup>2</sup>

(1. Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan, China;

2. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei, China)

**Abstract:** A study on nephrite cat's-eye in Sichuan Province has been carried out by means of X-ray diffraction, electron microprobe, infrared spectra, scanning electron microscope, etc. The results show that the major composition of the nephrite cat's-eye is tremolite and the major texture is parallel fibri-form structure. Color development mechanism is also discussed in this paper.

**Key words:** Nephrite cat's-eye in Sichuan Province; Tremolite; Gemological characteristics