

碧玉的矿物学特征及其扫描电镜的研究

史 淼, 郭 颖

(中国地质大学珠宝学院, 北京 100083)

碧玉是目前国内研究最多的玉石种类, 软玉矿物学研究资料丰富, 但针对碧玉的专题研究较少(唐延龄等, 1994)。碧玉是软玉的一种, 由其所呈的特征绿色而得名。本文选取市场上常见的质地细腻、颜色存在差异的碧玉标本利用电子探针、X射线粉晶衍射、红外光谱、拉曼光谱、扫描电镜等现代测试技术, 并且通过偏光显微镜下的观察对碧玉的矿物组成与结构特征进行了比较全面的分析和研究。

1 结构、构造特征

碧玉多为致密块状构造, 质地细腻。由偏光显微镜下的观察知, 碧玉标本的主要结构为毛毡状纤维交织变晶结构与纤维状变晶结构, 除此以外还有一些过渡结构, 如显微纤维隐晶变晶结构、显微纤维叶片变晶结构等。

毛毡状纤维交织变晶结构 碧玉最重要的一种结构。透闪石的颗粒非常细小, 粒度比较均匀。显微纤维透闪石均匀地无定向密集分布, 像相互交织而成的毡毯一样(图1)。纤维状变晶结构 表现为透闪石晶体呈纤维状并且具有一定的定向性聚集排列(图2)。



图1 碧玉的毛毡状纤维交织变晶结构 x40(+)



图2 碧玉的纤维状变晶结构 x40(+)

2 碧玉的矿物组成

2.1 矿物化学

本文选用碧玉标本中绿色(BY-01)、暗绿色(BY-02)两块颜色深浅不同的样品通过电子探针对其化学成分进行了定量分析, 所得结果如表1所示:

表1 碧玉的化学成分 ($w_B/\%$)

编号	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	Ti ₂ O	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O	MnO	FeO	NiO	SiO ₂	总和
BY-01	0.05	0.10	22.35	12.79	0.00	0.81	0.11	0.10	3.09	0.27	57.56	97.23
BY-02	0.04	0.07	21.46	12.94	0.05	0.72	0.04	0.17	3.58	0.22	57.71	97.00

测试单位: 中国地质大学(北京)电子探针室。测试人: 尹京武。

由表1可以看出, 主要元素氧化物的平均值分别为: $w(\text{SiO}_2)$ 57.64%、 $w(\text{MgO})$ 21.95%、 $w(\text{CaO})$ 12.87%。对比透闪石标准分子式 $\text{Ca}^{2+}(\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+})_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$, 其各部分理论值为: $w(\text{SiO}_2)$ 59.17%、 $w(\text{MgO})$ 24.81%、 $w(\text{CaO})$ 13.80%。以上成分与透闪石氧化物含量的理论值十分接近, 但是总体偏低。

依据表1的数据结果投图, 点均落在透闪石区域内(图4)。所选标本符合

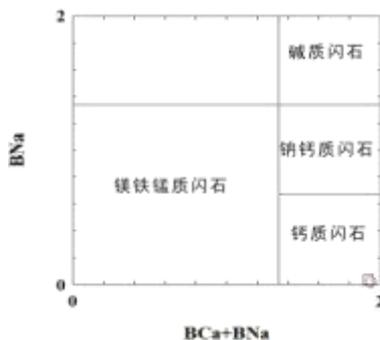


图3 闪石矿物的分类投图

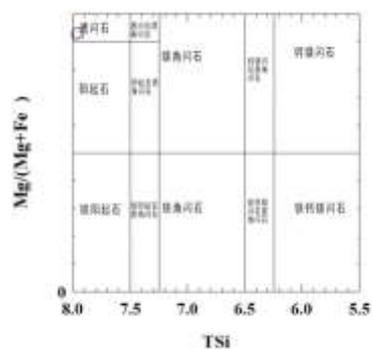


图4 钙质闪石亚族矿物的分类投图

国际矿物学会角闪石委员会分类命名方案中透闪石结构式的规定(王立本, 2001), 故标本的主要矿物成分为透闪石, 与镜下观测结果一致。

2.2 X射线物相分析

选取这两块标本的粉末分别通过X射线粉晶衍射分析其物相, 所得出的衍射数据如表2所示。

表2 样品的主要锋线衍射数据

序号	BY-01			序号	BY-02		
	2-THETA	d	I/I0		2-THETA	d	I/I0
1	10.480	8.434	64	1	10.420	8.483	50
2	28.540	3.125	100	2	28.500	3.129	100
3	27.180	3.278	44	3	27.160	3.281	55
4	33.060	2.707	33	4	33.080	2.706	41

测试单位: 中国地质大学(北京)X射线粉晶衍射实验室。测试人: 高翔。

从表中所列的数据可以看出, 两块标本的主要锋线衍射数据与标准透闪石的衍射数据相近。另外, 标本的衍射峰尖锐, 峰线强度大, 反映了此碧玉标本结晶较好、成分很纯。

2.3 样品的红外光谱

采用KBr压片法对标本(BY-01、BY-02)的粉末进行红外光谱测试, 所测样品的红外吸收主要出现在 $3\ 600\sim 3\ 700\text{ cm}^{-1}$ 、 $960\sim 1\ 100\text{ cm}^{-1}$ 和 $400\sim 700\text{ cm}^{-1}$ 这3个范围内。室温下2个样品的图谱基本相似, 且与透闪石的标准红外谱近似。

2.4 拉曼光谱

对标本(BY-01、BY-02)的特征拉曼光谱进行测试, 所得测试结果如图5、图6所示:

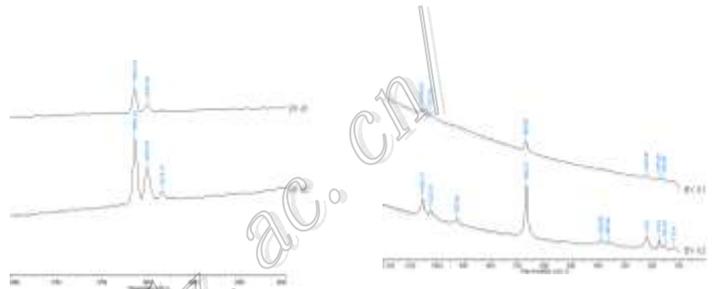


图5 碧玉的高频拉曼光谱图

图6 碧玉的低频拉曼光谱图

两块标本的拉曼光谱特征谱带分别为: 670 cm^{-1}

附近的最强谱带, $1\ 030\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\ 060\text{ cm}^{-1}$ 附近的较强谱带, 390 cm^{-1} 附近3~4个中强谱带, $100\sim 200\text{ cm}^{-1}$ 间的3~4个中强谱带。另外, 高频区有水的吸收峰, 随标本颜色的加深拉曼光谱的谱带位置向低波数方向漂移, 并且随颜色加深 $3\ 665\text{ cm}^{-1}$ 、 $3\ 650\text{ cm}^{-1}$ 吸收峰的强度增强。

拉曼光谱的分析结果显示: 无论是高频部分还是低频部分, 其图谱特征均与透闪石的标准谱一致。

2.5 对组成矿物微观形貌的研究

利用扫描电子显微镜(SEM)对碧玉组成矿物的微观形貌作综合分析。观察到碧玉作为闪石矿物的典型结构。矿物颗粒大小不等, 延伸方向不定, 相互交织, 且镶嵌紧密(图7)。由于这种交织结构的存在, 在矿物颗粒之间形成了一种机械结合力, 这种结合力使碧玉在受到外力作用时不易碎裂, 这是碧玉高韧度的主要原因。

可以看到矿物颗粒解理、断裂面的形貌特征。透闪石具有 $\{110\}$ 和 $\{\bar{1}\bar{1}0\}$ 两组解理, 且解理夹角为 56° 和 124° , 并且可以清楚的看到沿解理面的断面及断裂台阶(图8)。



图7 碧玉(BY-01)的SEM图像(500倍)

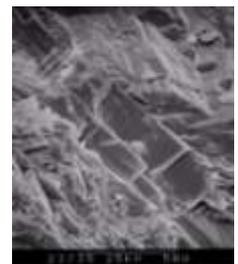


图8 碧玉(BY-01)的SEM图像(800倍)

3 结论

碧玉手标本多为块状构造, 其典型显微结构为纤维状变晶结构。

化学成分分析表明, 碧玉样品的主要氧化物成分与理想透闪石成分接近。通过计算知 $Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+}) > 0.9$, 经成分投图确定其为透闪石。X射线物相鉴定与红外光谱、拉曼光谱等分析都证明了碧玉为透闪石玉的结果。

碧玉的高韧度主要取决于其内部的交织结构, 内部矿物颗粒交织镶嵌排列而形成的粒间结合力增强了碧玉抗断裂的能力。

参考文献(略)