

加拿大 Cassiar 碧玉的宝石矿物学特征研究

吴青蔓¹, 吴瑞华¹, 赵洋洋¹, 师伟²

(1. 中国地质大学 珠宝学院, 北京 100083; 2. 北京中地大珠宝鉴定中心有限公司, 北京 100083)

摘要: 以产自加拿大 Cassiar 矿区的碧玉样品作为研究对象, 采用常规宝石学测试、偏光显微镜、电子探针、X 射线粉晶衍射仪以及红外光谱仪, 对其矿物组成、化学成分及结构特征进行较详细的研究。结果表明, Cassiar 碧玉主要矿物成分为向阳起石过渡的透闪石, 含有少量的石英, 其黑色固体包体为铁铬铁矿以及钙铬铝榴石, 该两种杂质矿物指示 Cassiar 碧玉的成因与超基性岩蚀变有关, 与新疆和田碧玉以及玛纳斯碧玉属同一成因类型。并将 Cassiar 矿与 Kutcho 矿碧玉样品进行了初步对比。

关键词: 加拿大; 碧玉; 化学成分; 矿物组成; 结构特征; 矿区对比

中图分类号: P619.28⁺3; P578.955

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)S0-0043-05

Gemological and mineralogical characteristics of green nephrite from Cassiar, Canada

WU Qing-man¹, WU Rui-hua¹, ZHAO Yang-yang¹ and SHI Wei²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Beijing CUG Gem Testing Center, Beijing 100083, China)

Abstract: Canada is one of the main producing areas of green nephrite, and there are three main mines in Canada: Polar, Cassiar and Kutcho; nevertheless, the qualities of green nephrite from different mines are different, but little research has been devoted to this diversity. In this paper, characteristics of mineral compositions and chemical components of green nephrite samples from Cassiar were studied by means of the conventional gemmological testing, orthogonal polarization microscope, electron microprobe analysis, X-ray powder diffraction and infrared spectrometer. The results indicate that the main mineral components of Cassiar green nephrite are tremolite and actinolite, together with minor quartz, whereas the black solid inclusions are iron-chromite and grossular, suggesting that the green nephrite from Cassiar of Canada is a product of the alteration of ultrabasic rocks. Its type is the same as that of the Manasi and the Hotan nephrite deposit. A comparison of the Cassiar mine with the Kutcho mine shows that the values of their main elements in green nephrite are different.

Key words: Canada; green nephrite jade; mineral composition; chemical component; microtexture; origin characteristics

近年来, 加拿大碧玉因结构细腻, 颜色浓重而受到国内消费者的亲睐。加拿大主要碧玉矿区有 Polar 矿、Cassiar 矿以及 Kutcho 矿, 各矿区产出的碧玉质量相差甚远, 鉴于目前针对加拿大具体矿区碧玉

的研究较少, 为了更全面地了解加拿大碧玉, 笔者对产自加拿大 Cassiar 矿区的碧玉样品进行了一系列较为系统的测试与分析, 总结该矿区碧玉的特征, 并将其与 Kutcho 矿区的碧玉进行相应对比。

收稿日期: 2013-07-17; 修订日期: 2013-12-11

作者简介: 吴青蔓(1990-), 女, 汉族, 宝石学专业在读硕士生, E-mail: wqm199012@sina.com; 通讯作者: 吴瑞华, E-mail: wrh@cugb.edu.cn

cugb.edu.cn

1 矿区概况

加拿大碧玉矿床主要分布在科迪勒拉山脉,较为著名的碧玉矿床主要产自于不列颠哥伦比亚省境内。加拿大 Cassiar 碧玉矿与卡西尔石棉矿伴生,该矿区位于不列颠哥伦比亚省北部麦克达姆山,平均海拔为1 830 m(姜俊城, 1979)。

该矿区碧玉呈较纯净的绿色、翠绿色,质地较细腻,矿体呈脉状、透镜状产于安山岩和蛇纹岩接触带内的叶片状透闪石绿泥石岩层中,或赋存于蛇纹岩

内断层剪切带透闪石岩体中。其中以透镜状为主,透镜体大小不一。

2 样品及测试方法

样品为采自加拿大 Cassiar 矿区的碧玉原料,观察并选取样品具代表性部分,对样品进行切割,获得两块碧玉标本,为方便记录,分别编号为 CC1 和 CC2(图1)。其中,CC1(图1b)颜色整体呈墨绿色,不透明;CC2(图1c)含黑色点状包体且颜色呈均匀深绿色,局部为微透明。



图1 加拿大 Cassiar 碧玉样品

Fig. 1 Samples of green nephrite from Cassiar, Canada

本研究通过常规宝石学测试方法,结合电子探针、X射线粉晶衍射、红外光谱以及偏光显微镜下薄片观察等测试手段,对加拿大 Cassiar 碧玉样品的化学成分、矿物组成等方面进行了较全面的研究。

3 测试结果与分析

3.1 物理性质

肉眼观察,该矿区碧玉样品整体呈现深绿色,局部呈现褐绿、墨绿色,内部含有黑色点状、斑块状杂质包体,半透明-不透明,透明度较其他产地稍高,抛光后为玻璃光泽。

两样品折射率均为1.60(点测),摩式硬度为6~7,通过静水力学法对两样品进行测试,多次结果平均值显示其比重均在2.99左右。

3.2 化学成分

为研究样品的化学成分,将其分别制作为0.03 mm厚度薄片,编号为CC1-1和CC2-1,为对比同时制作Kutcho-1、Kutcho-2两同样厚度薄片。采用中国地质大学(北京)地学实验中心EPMA-1600型电子探针对各薄片进行微区元素分析,加速电压15 kV,电流7 nA,束斑直径1 μm ,结果见表1。其中,CC2-1-2和CC2-1-3为CC2-1薄片黑色点状包体的化学成分。

表1 样品的电子探针化学成分及对比值

$w_B/\%$

Table 1 EPMA analyses of samples

样品编号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO _T	ZnO	Total
CC1-1-1	0.22	21.07	0.58	57.54	12.92	0.07	—	0.35	4.34	—	97.09
CC1-1-2	0.17	20.87	0.79	57.01	13.29	—	—	0.55	4.43	—	97.11
CC2-1-1	0.24	20.75	0.63	57.60	12.97	0.13	—	0.46	4.85	—	97.66
Kutcho-1	0.15	21.89	0.22	57.58	13.05	0.12	—	0.13	3.76	—	96.90
Kutcho-2	0.23	22.38	0.03	57.97	13.00	—	—	0.25	3.40	—	97.26
CC2-1-2	—	3.47	—	—	—	—	50.88	6.68	33.11	5.94	100.08
CC2-1-3	0.02	0.23	16.09	38.63	32.6	0.23	6.53	3.27	1.68	—	99.28

根据表 1 分析结果并结合前人资料分析如下:

(1) 样品主要化学成分的平均值(SiO_2 57.38%, MgO 20.90% 和 CaO 13.06%)与透闪石矿物理论值(SiO_2 59.169%, MgO 24.808%, CaO 13.805%)十分接近,但样品 Fe 含量相对较高,平均值为 4.54%。

(2) 样品矿物组成为透闪石-阳起石,随铁含量增加,透闪石已逐步向阳起石过渡。透闪石-阳起石类质同像系列矿物化学通式为 $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, 其中 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 可成完全类质同像替代,由表 1 数据可知两者互为消长关系,根据尼克(Leake)的“角闪石族命名方案”,透闪石与阳起石按照 $\text{Mg}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 的比值划分: $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0.90 \sim 1.00$ 为透闪石, $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0.50 \sim 0.90$ 为阳起石, $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 0.00 \sim 0.50$ 为铁阳起石,通过计算得到样品 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 比值平均值为 0.89,属透闪石向阳起石过渡。且该区碧玉 Si 含量较高,而 Al 含量较低,由此可以推测该区碧玉形成于富硅贫铝的地质环境中(张晓晖等, 2011)。

(3) 样品中黑色点状包体为铁铬铁矿和钙铬铝榴石。对表 1 测试数据 CC2-1-2 和 CC2-1-3 进行计算分析,得到两种矿物的晶体化学式为 $(\text{Mg}_{0.2004}, \text{Fe}_{1.0726}, \text{Zn}_{0.2193}, \text{Mn}_{0.1699})\text{Cr}_{1.5586}\text{O}_4$ 和 $\text{Ca}_{2.7473}(\text{Al}_{1.4916}, \text{Cr}_{0.4060}, \text{Mn}_{0.0461}, \text{Fe}_{0.0234})\text{SiO}_4$, 分别为铬铁矿 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Cr}_2\text{O}_4$ 以及石榴石 $\text{A}_3\text{B}_2(\text{SiO}_4)_3$ 。其中铬铁矿 Cr_2O_3 的质量分数为 50.88%,根据次多氧化物 FeO 、 MgO 的含量可进一步将其确定为铁铬铁矿,由于在铬铁矿的六次配位阳离子中, Al^{3+} 代替 Cr^{3+} 较为广泛,但是在本样品中铬铁矿几乎不含 Al^{3+} ,因此可以再次说明,该碧玉样品在贫铝的地质环境中形成。又根据石榴石 A、B 位置所占离子主要为 Ca^{2+} 和 Al^{3+} 、 Cr^{3+} ,进一步确定其为钙铬铝榴石亚种。

(4) 铬铁矿是超基性岩的一种标志性矿物,而钙铬铝榴石也常产于与超基性岩有关的铬铁矿矿石中,因此可以推测该矿区碧玉样品的成因类型与超基性岩蚀变有关,与新疆和田碧玉、玛纳斯碧玉、新西兰碧玉等(王时麒等, 2008)属同一成因类型。

(5) 与 Kutcho 矿区碧玉样品相比, Cassiar 碧玉样品具有较高的 Fe、Mn 含量,在外观上表现为其绿色较深,因此可以推测 Fe、Mn 含量是影响碧玉绿色的主要原因之一。Kutcho 碧玉样品 Al 含量更低,同

样形成于富硅贫铝的地质环境中。

3.3 矿物组成

为进一步确定样品的矿物组分及含量,对样品 CC2 进行分选,磨制成两堆颗粒大小为 200 目的粉末,编号为 CC2-2-1 和 CC2-2-2。采用北京北达燕园微构分析测试中心的 Dmax 12KW 型 X 射线粉末衍射仪对粉末进行物相分析,环境温度 22.0°C,湿度 25.0%,X 射线 $\text{CuK}\alpha$ (0.154 18 nm),管电压 40 kV,管电流 100 mA,石墨弯晶单色器,扫描方式 θ/θ 扫描,扫描速度: $8^\circ(2\theta)/\text{min}$,采数步宽: $0.02^\circ(2\theta)$ 。其中 CC2-2-1 较靠近围岩,透明度及颜色均匀程度稍差,测试结果如图 2 所示。

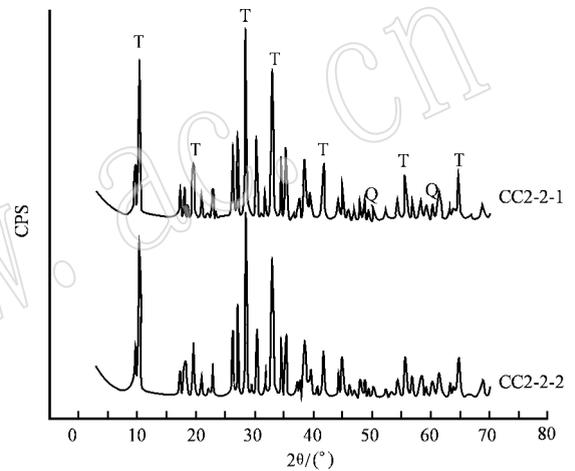


图 2 CC2-2-1 和 CC2-2-2 样品的 X 射线粉晶衍射图
Fig. 2 XRD diagram of samples CC2-2-1 and CC2-2-2

从图 2 可以看出,两样品 X 射线衍射图主体峰形一致,主峰值为 3.13、8.47、2.71,与透闪石粉晶数据主峰值 3.12、8.40、2.71 基本吻合,个别小峰值点有所差距。同时图谱中也有其他矿物谱线存在,经分析其对应峰值点为 3.35、1.821 以及 1.541 与石英粉晶峰值 3.35、1.819、1.543 一致。样品 CC2-2-1 与 CC2-2-2 相比含有较多的石英,在外观上表现为样品 CC2-2-2 的透明度较高且颜色分布更为均匀,因此可以推测石英含量的增多可能会导致碧玉透明度以及颜色均匀程度的下降。

为进一步了解样品的矿物组成,对碧玉样品薄片 CC1-1、CC2-1 进行镜下观察。在薄片,矿物颗粒无色透明,极少部分呈淡绿色,转动物台时有阳起石的多色性变化,证明碧玉样品中的主要成分透闪石已向阳起石过渡。其次在薄片中还观察到石英矿物颗粒,靠近围岩区域内石英颗粒分布较多,且颗粒较大,正交偏光下可以清晰观察到石英一级黄白干

涉色,越远离围岩区域,石英颗粒逐渐减少且颗粒逐渐变小,在碧玉样品外观表现为越往碧玉内部延伸越远离围岩,碧玉的结构越细腻,透明度越高,与X射线粉晶测试结果相一致;黑色点状包体在镜下呈现黑褐色,不透明,在反射光下,其反射色呈现灰色,经过电子探针实验进一步验证确定为铬铁矿。黑色包体周围常分布有半透明矿物颗粒,半透明矿物在单偏光下呈现浅绿色,无解理含有多组裂理,正交偏光下呈现全消光,偶出现异常干涉色,为钙铬铝榴石。

3.4 红外光谱特征

采用中国地质大学(北京)宝石实验中心傅里叶变换红外光谱仪,分别运用反射法以及KBr压片法对原料样品及其粉末的 $4\,000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 区域进行测试,分辨率 3 cm^{-1} ,湿度50%,温度 25°C 。具体分析如下。

3.4.1 样品的反射红外光谱

如图3所示,样品的红外光谱主要集中在 $1\,200\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 范围内,共有6个主要吸收峰:① $1\,200\sim 900\text{ cm}^{-1}$ 附近出现两个吸收谱峰,且 996 cm^{-1} 处强度明显高于 916 cm^{-1} 处强度,两者均为Si—O—Si非对称伸缩振动导致;② $800\sim 600\text{ cm}^{-1}$ 附近的两个吸收谱峰强度较弱,与Si—O—Si对称伸缩振动有关;③ $600\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 范围内有两个较强的吸收谱峰,归属于Si—O弯曲振动、M—O晶格振动;④上述峰位与透闪石的标准谱线基本一致,透闪石主要吸收峰在 $989, 765, 537, 461\text{ cm}^{-1}$ 等处,但样品在 $3\,700\sim 3\,600\text{ cm}^{-1}$ 范围内未出现水的特征吸收峰,可能由于反射法得到的谱峰强度相对较弱而导致。

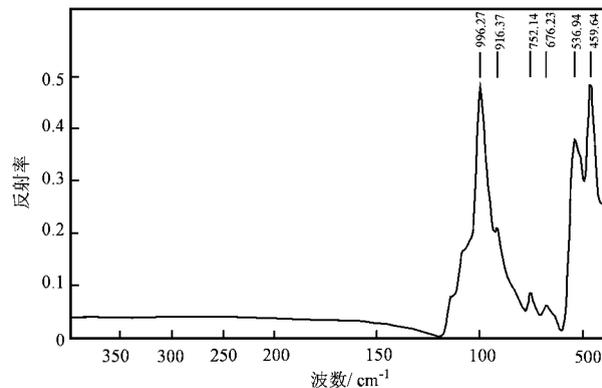


图 3 样品的反射红外光谱

Fig. 3 FTIR reflection spectrum of sample

3.4.2 样品的透射红外光谱

如图4所示,KBr压片法得到的测试数据与反射法基本一致,但其数目以及强度都明显优于反射法。在 $1\,200\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 范围内,出现7个主要吸收峰: $1\,200\sim 900\text{ cm}^{-1}$ 范围内出现4个吸收谱峰,分别位于 $1\,100, 1\,064, 999, 954\text{ cm}^{-1}$ 处, $800\sim 600\text{ cm}^{-1}$ 范围内的两个吸收谱峰 $754, 682\text{ cm}^{-1}$ 强度较弱, $600\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 范围内有两个较强的吸收谱峰 507 及 463 cm^{-1} , 463 cm^{-1} 强度强于 507 cm^{-1} 。同时在 $3\,662\text{ cm}^{-1}$ 处可见一较明显的吸收峰,属于水的特征吸收峰。

反射和透射红外光谱分析结果均表明,样品的主要组成矿物为透闪石,进一步验证了X射线粉晶衍射实验的相关结果。

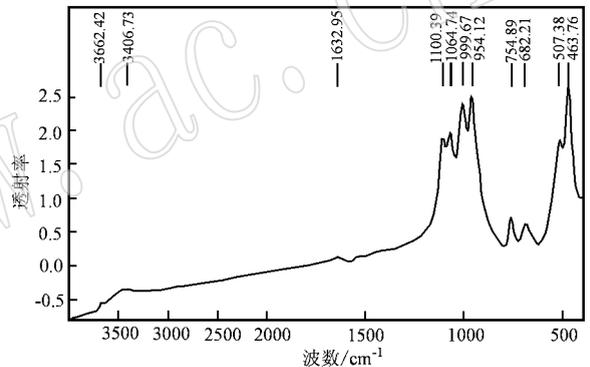


图 4 样品的透射红外光谱

Fig. 4 FTIR absorption spectrum of sample

3.5 结构特征

根据透闪石颗粒大小,一般可将碧玉结构分为显微粗晶质结构、显微晶质结构、显微隐晶质结构3大类。样品主要含有两类结构:①显微隐晶质结构,70%以上透闪石颗粒极细小,无法辨认其晶体形态,干涉色较低,该类结构碧玉样品的结构细腻、透明度好;②显微晶质结构,40%左右的透闪石呈长条状,粒度约为 $0.10\sim 0.20\text{ mm}$ 之间。且显微晶质结构与显微隐晶质结构常以叠加形式在该矿区碧玉中出现。

根据碧玉成因,其结构属变晶结构,又可细分为5大类:毛毡状隐晶质变晶结构、显微纤维状变晶结构、显微鳞片状或叶片状变晶结构、过渡结构(显微纤维-隐晶变晶结构、显微叶片-隐晶变晶结构、显微纤维-叶片变晶结构)、中细粒斑状变晶结构。本研究样品多呈毛毡状隐晶质变晶结构以及过渡结构中的显微纤维-隐晶质变晶结构。

4 与加拿大 Kutcho 矿区碧玉的比较

4.1 外观特征

在外观上,Cassiar 矿区与 Kutcho 矿区碧玉相比绿色更为浓重,透明度更好,且 Cassiar 碧玉样品多含黑色点状杂质包体,未见水线。

4.2 化学成分

Cassiar 碧玉样品含有更高的 Fe、Mn 含量,而两矿区碧玉样品的 Al 含量均较低,说明两矿区碧玉均产自富硅贫铝的地质环境中。

4.3 矿物组成

在矿物组成上,Cassiar 矿区碧玉样品主要矿物成分为透闪石,部分透闪石已向阳起石过渡,而 Kutcho 矿区碧玉样品主要矿物成分为透闪石。两矿区样品内部均含有铬铁矿,铬铁矿指示两矿区碧玉成因类型相似,均与超基性岩蚀变有关。

5 结论

通过对加拿大 Cassiar 矿区碧玉的系统研究,可以归纳出以下几点结论:

(1) Cassiar 碧玉产出地质环境富硅贫铝,且属超基性交代岩型矿床。

(2) Cassiar 碧玉样品的主要矿物成分为透闪石,部分透闪石已向阳起石过渡,样品内部黑点为铁铬铁矿和钙铬铝榴石。该两种矿物指示 Cassiar 碧玉成因类型为超基性岩蚀变成因,且根据钙铬铝榴石其他次要氧化物的含量再次验证矿区地质环境富硅贫铝。其次样品还含有少量或微量的石英,且越靠近围岩石英含量越高,石英含量与其透明度高

以及结构细腻程度存在一定关系。

(3)按透闪石颗粒大小划分,Cassiar 碧玉样品主要为显微晶质结构、显微隐晶质结构以及两种结构的叠加;按成因类型划分,其结构属变晶结构大类,进一步细分为毛毡状隐晶质变晶结构以及过渡结构中的显微纤维-隐晶质变晶结构。

(4)与加拿大 Kutcho 矿区碧玉样品相比发现 Fe、Mn 是碧玉绿色的影响因素之一。

致谢 论文中使用的加拿大碧玉样品均由新西兰汇玉堂国际珠宝集团张锦洪先生提供,特此表示感谢。

References

- Jiang Juncheng. 1979. The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin [J]. Non-Metallic Mines, 6:42~47(in Chinese).
- Wang Shiqi and Yuan Xuemei. 2008. Characteristics of Material Compositions and Geological Origin of Green Hetian Nephrite[J]. Journal of Gems and Gemmology, 10(3):4~7(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaohui, Wu Ruihua and Wang Leyan. 2011. Research on Petrologic Character of Nephrite Jade From Baikal Lake Region in Russia [J]. Journal of Gems and Gemmology, 3(1):12~17(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 姜俊城. 1979. 加拿大卡西尔石棉矿[J]. 非金属矿, 6:42~47.
- 王时麒, 员雪梅. 2008. 和田碧玉的物质组成特征及其地质成因[J]. 宝石和宝石学杂志, 10(3):4~7.
- 张晓晖, 吴瑞华, 王乐燕. 2011. 俄罗斯贝加尔湖地区软玉的岩石学特征研究[J]. 宝石和宝石学杂志, 3(1):12~17.