

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.02.019

“西安绿”玉石的宝石矿物学特征研究

赵慧博^{1,2}, 同彦庄^{3,*}, 刘芳晓⁴, 赵娟¹, 魏小燕¹, 刘三¹, 周宁超^{1,2}

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 西北大学, 陕西 西安 710054; 3. 陕西省珠宝玉石首饰行业协会, 陕西 西安 710054; 4. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710076)

摘要:“西安绿”玉石产于陕西南秦岭,是近几年珠宝市场上出现的高品质绿色印章和玉雕的材料,以颜色艳丽、细腻温润得到市场的认可。本次研究利用宝石学常规仪器、偏光显微镜、X粉晶衍射仪、电子探针、扫描电镜对玉石及围岩做了系统的宝石矿物学研究。包括与围岩的相互关系、成分特征、结构特征、颜色及成因等方面。结论为:①玉石产状呈团块状、脉状,围岩以大理岩为主,少量燧石,成因为蚀变交代成矿,常见后期石英脉与其共生,表现为穿插、交代关系。②玉石主要由伊利石组成,含少量的铬云母、钒云母、磷灰石、褐铁矿等。③玉石结构表现为由伊利石片状矿物紧密排列堆积,细腻玉石的颗粒大小约为0.002 mm×0.004 mm~0.007 mm×0.009 mm,颗粒较粗的玉石颗粒大小为0.006 mm×0.006 mm~0.025 mm×0.025 mm,矿物的形态与大小影响玉石的颜色及细腻程度。④玉石绿色颜色成因与伊利石中的V元素有关,V元素含量与绿色的深浅呈正相关关系,Ni元素可能也对颜色成因有一定的贡献;黄褐色、红褐色条带主要由含铁的金属矿物杂质引起。另外,笔者对其品质评价做了初步的建议,包括颜色、结构、杂质、块度及工艺等5个方面,可以为市场提供一定的理论依据。

关键词:“西安绿”玉石;宝石学;矿物学;伊利石;玉石结构;颜色成因

中图分类号:P57 文献标志码:A 文章编号:1009-6248(2022)02-0217-10

Study on the Characteristics of Gemology and Mineralogy of “Xi'an Green” Jade

ZHAO Huibo^{1,2}, TONG Yanzhuang^{3,*}, LIU Fangxiao⁴, ZHAO Juan¹,
WEI Xiaoyan¹, LIU San¹, ZHOU Ningchao^{1,2}

(1. Xi'an Center of China Geology Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Northwest University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Shaanxi Jewelry and Jade Jewelry Industry Association, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 4. China Coal Technology & Engineering Group Xi'an Research Institute Co. LTD, Xi'an 710056, Shaanxi, China)

Abstract: “Xi'an green” jade is produced in the south Qinling mountains of Shaanxi province. It is a high-quality green seal and jade carving material appearing in the jewelry market in recent years, and has been recognized by the market for its gorgeous color, delicate and moist. In this study, conventional gemological instruments, polarizing electron microscope, X-ray powder diffractometer, electron probe and scanning electron microscope were used to systematically study the gem mineralogy of jade and surrounding rock, including the relationship between jade and

收稿日期:2021-09-03;修回日期:2021-11-23;网络发表日期:2022-05-10;责任编辑:吕鹏瑞

基金项目:陕西省自然科学基金面上项目“新疆克拉玛依地区岩浆混合岩体中斜长石的精细结构特征研究”(2017JM4031)。

作者简介:赵慧博(1987-),女,工程师,主要从事岩石矿物学研究工作。E-mail:zhaohuibo5566@126.com。

* 通讯作者:同彦庄(1967-),男,高级工程师,主要从事宝石学研究工作。E-mail:2570358351@qq.com。

surrounding rock, composition characteristics, structural characteristics, color genesis and other aspects. The conclusions are as follows: ① The occurrence of jade is in the form of mass and vein. The surrounding rock is mainly marble with a small amount of flint, which is caused by alteration metasomatism and mineralization. Quartz veins are commonly symbiosis with them in the later period, and the relationship is interspersed and metasomatism. ② Jade is mainly composed of illite, containing a small amount of chromite, vanadium mica, apatite, limonite, etc. ③ The jade structure is characterized by the close arrangement and accumulation of illite flake minerals, The particle size of fine jade is about $0.002 \times 0.004 \text{ mm} \sim 0.007 \times 0.009 \text{ mm}$, and the particle size of coarse jade is $0.006 \times 0.006 \text{ mm} \sim 0.025 \times 0.025 \text{ mm}$. and the shape and size of the minerals affect the color and delicacy of the jade. ④ The cause of the green color of jade is related to the V element in illite. the content of V element is positively correlated with the depth of green, and the Ni element may also contribute to the origin of color. The yellow-brown and red-brown bands are mainly caused by iron-containing metallic mineral. In addition, preliminary suggestions for quality evaluation are made, including color, structure, impurity, lumpiness and process, which can provide some theoretical basis for the market.

Keywords: “Xi’an Green” jade; geomology; mineralogy; illite; jade’s structure; color genesis

“西安绿”玉石颜色艳丽,细腻温润,是近几年珠宝市场上新兴的高品质印章、玉雕的材料,因产在陕西西安,其颜色以绿色为主,故暂称“西安绿”,除了绿色,可常见斑杂的褐色、红褐色条纹。目前因其尚未大范围开采,市场流通的“西安绿”原石及雕刻品相对较少。“西安绿”玉石属新兴玉种,故前人多采用市场购买的成品样品进行研究,且相关研究相对较少(邹倩,2014;王黎明,2021)。笔者通过实地采取野外样品,对其进行宝石学特征研究,通过偏光显微镜观察、X射线粉末衍射(XRD)和电子探针和扫描电镜等对“西安绿”玉石进行系统的宝石矿物学研究,可以为市场提供一定的理论依据,也可以为珠宝成因、标准制定等方面提供较好的科研依据。

1 地质背景及样品采集

“西安绿”玉石产于秦岭南部,位于秦岭褶皱系南秦岭印支褶皱带冷水河-白浪倒转复式向斜南翼,赵川穹窿东端北缘。地层区划属南秦岭地层分区辉县-旬阳小区,出露地层由老至新依次为上震旦统灯影组、下寒武统水沟口组、中寒武统岳家坪组,该区域圈定钒矿体2处。

“西安绿”玉石野外产状呈团块状、脉状产出(图1a),围岩以白云岩为主,少量燧石。后期经热液改造,硅质石英以粗细不等的脉体插入(图1b、图1c),

切穿玉石。

显微镜下可见白云岩以白云石为主,呈半自形粒状,大小在 $0.05 \text{ mm} \times 0.05 \text{ mm} \sim 0.14 \text{ mm} \times 0.14 \text{ mm}$,晶体较纯净,与“西安绿”呈不整合接触关系,界限截然(图1d、图1e);燧石以颗粒微细的石英为主,属于隐晶质,局部产生硅化,可见较大石英颗粒团块(图1f);石英脉为后期生成,与“西安绿”玉石呈穿插(图1g)、交代关系(图1h),在巨大石英颗粒中,可见残留的“西安绿”玉石(图1i)。通过镜下观察显微结构,伊利石内部出现细小云母类矿物残留体,推测伊利石成因可能为云母类矿物或长石类矿物蚀变所致(邓燕华,1991;胡受奚等,2004)。

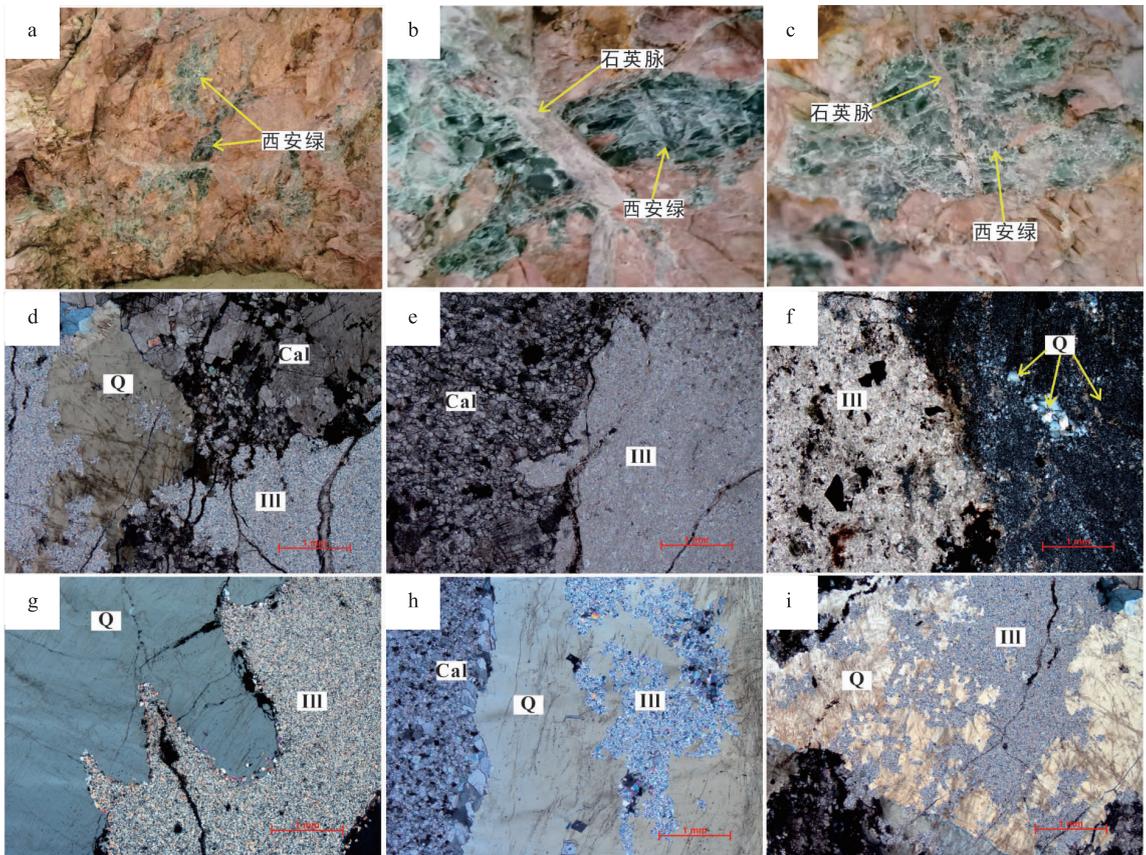
2 实验方法

2.1 宝石学特征测试

利用10倍放大镜、折射仪、宝石显微镜和电子天平等常规宝玉石仪器对玉石进行基本的宝石学常规参数测试。

2.2 偏光显微镜下观察

挑选出典型的样品及围岩,切磨成大小为 $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$,厚度为 0.3 mm 的岩石薄片并盖片,利用偏光显微镜对样品进行偏光显微观察,型号为Axioscope 40,放大倍数为 $25 \times \sim 600 \times$,目的是初步判断玉石矿物成分及观察其结构。



III. 伊利石; Cal. 方解石; Q. 石英; a~c. “西安绿”玉石野外产状, 可见穿插交代关系; d~e. 白云石与玉石中间的接触界限截然; f. 与玉石接触的燧石, 可见硅化石英团块; g~i. 石英与玉石间的穿插交代关系

图1 “西安绿”玉石的产出状态及其镜下显微特征图

Fig. 1 Occurrence state and microscopic characteristics of “Xi'an Green” jade

2.3 X射线粉晶衍射成分分析

对玉石成分的定性分析采用X射线粉晶衍射分析(XRD), 实验在中国地质调查局西安地质调查中心实验室完成, 仪器型号为日本理学公司D/max-2500, 实验条件为Cu靶, 电压40 kV, 电流200 mA, 测试角度: $5 \sim 56$, $DS = SS - 1^\circ$, $RS = 0.15$ mm, 石墨单色器。

2.4 扫描电镜微形貌分析

利用扫描电子显微镜(SEM)对玉石的结构进行精细研究。测试前对样品表面喷金, 实验在中国地质调查局西安地质调查中心实验测试中心完成, 仪器型号为配有牛津X-Max50能谱仪的JSM-7500F型场发射扫描电镜(日本电子JEOL公司), 能谱分析条件为加速电压15 kV, 束流0.3 nA, 工作距离为8 mm。

2.5 电子探针主微量成分分析

对玉石成分的定量分析、环带研究和颜色成因探

讨采用电子探针(EPMA)分析, 实验在中国地质调查局西安地质调查中心实验室完成, 仪器型号为日本电子公司JEOL JXA-8230电子探针分析仪, 实验条件为电压15 kV, 电流10 nA, 束斑1 μ m, 校正方法ZAF。

3 结果与讨论

3.1 宝玉石学特征

“西安绿”玉石为块状构造, 显微隐晶结构, 整体呈浅绿-碧绿色(图2-xl-1), 颜色多分布不均匀, 部分样品的绿色呈深深浅浅的环带状分布, 部分样品夹杂红色、红褐色条带状纹路(图2-xl-2、图2-xl-3、图2-xl-4), 黑褐色斑块, 玻璃光泽, 断口呈油脂光泽; 质地较细腻-细腻, 颗粒较粗的样品颜色、光泽稍显暗淡(图2-xl-5), 密度相对较低(表1), 半透明-不透明。因区域构造作用, 局部样品受到挤

压作用,产生碎裂状结构(图2-x1-6)。其他宝石学性质详见表1,表现为硬度较低,为2~2.5,折射

率点测为1.57左右,密度为2.71~2.85 g/cm³,无紫外荧光,可见光吸收光谱不典型。



图2 “西安绿”玉石样品图片

Fig. 2 Photo of “Xi'an Green” jade sample

表1 选取的“西安绿”玉石样品描述表

Tab. 1 Description of “Xi'an Green” jade samples

样品	颜色特征	透明度	光泽	硬度	折射率	密度(g/cm ³)	质地
X1-1	整体碧绿色,颜色均匀。	半透明	油脂光泽	2-2.5	1.57	2.82	细腻均匀
X1-2	整体碧绿色,颜色较均匀,有深色的矿物斑点。	微透明	油脂光泽	2-2.5	/	/	较细腻均匀
X1-3	整体碧绿色,颜色不均匀,有黄褐色、红褐色条纹。	微透明	油脂光泽	2-2.5	1.57	2.76	较细腻均匀
X1-4	整体大部分颜色为碧绿色,颜色不均匀,黄褐色、红褐色呈团块状出现。	微透明	油脂光泽	2-2.5	1.57	2.85	较细腻均匀
X1-5	整体大部分颜色为浅绿色,颜色不均匀,有大量的黄褐色斑点。	不透明	蜡状光泽	2-2.5	/	2.71	肉眼可见颗粒感
X1-6	整体碧绿色,颜色较均匀,裂纹发育。	半透明	油脂光泽	2-2.5	/	/	矿物颗粒不均匀,局部产生破碎

3.2 矿物组成及显微结构特征

利用偏光显微镜对“西安绿”玉石进行系统的矿物学研究。通过对比不同光泽、细腻度的玉石结构、具条带状花纹玉石的矿物分布、玉石中杂质矿物的赋存状态等,得出结论:①“西安绿”玉石主要组成矿物为伊利石,在偏光显微镜下表现为正交偏光最高干涉色为二级蓝绿,单偏光表现为无色,正中突起,呈显微细小鳞片状分布(图3a、图3b),大小较均匀,玻璃光泽;质地细腻的玉石颗粒大小在0.002 mm×

0.002 mm~0.01 mm×0.01 mm,蜡状光泽,质地较粗的玉石颗粒大小在0.005 mm×0.005 mm~0.10 mm×0.14 mm。②不均匀的“西安绿”玉石中常出现黄褐色、红褐色条纹,黄褐色条纹的主要包裹体矿物为褐铁矿(图3e),红褐色矿物主要矿物为赤铁矿,其分布形式有2种:一种呈无规律式弥漫分布(图3c),外观表现为无明显条带,整体带浅褐红色;另一种呈条带状分布,与伊利石之间形成相对截然的界限(图3d),形成绿、红、黄相间分布的条带(图

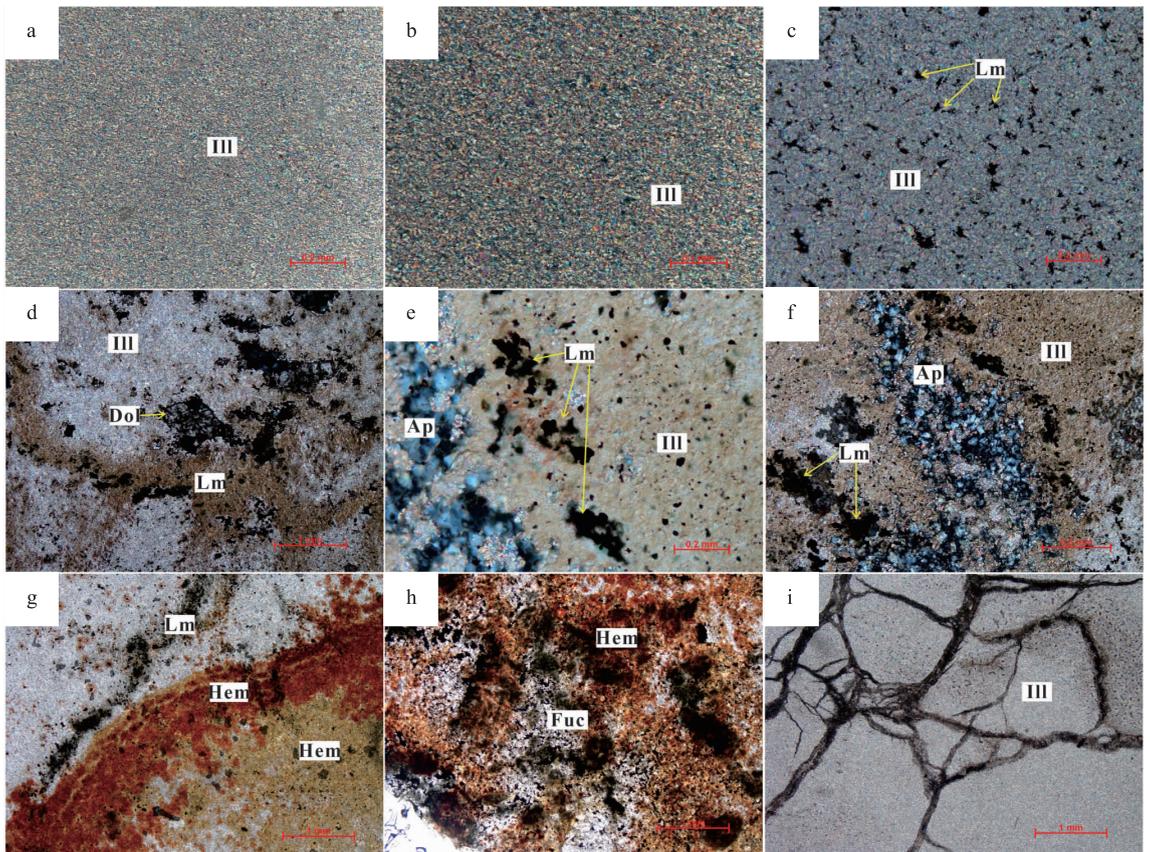
3g、图 3h), 颗粒多呈不规则形态, 大小不等, 小至 0.001 mm, 大至 0.05 mm。③部分玉石夹杂黑色磁铁矿、深绿色铬云母包裹体(图 3h), 还可见磷灰石团块包裹体(图 3e、图 3f), 杂质包裹体的出现会影响玉石的品质等级。④经挤压作用, 产生碎裂状结构的样品在镜下单偏光下表现为碎裂带晶体挤压变形, 呈暗褐色, 勾勒出碎裂状结构。

选取颜色较纯及较斑杂的 2 件样品, 对其进行 X 射线粉晶衍射分析; 从图谱看出, 较纯的样品主要由伊利石组成(图 4a), 颜色较斑杂的样品主要由伊利石和磷灰石矿物组成(图 4b), 其中伊利石的 d 值主要表现在 9.99 Å、4.46 Å、3.49 Å、3.33 Å、3.20 Å、2.99 Å、2.86 Å 等特征峰; 经衍射峰对比, 伊利

石属于二八面体水云母矿物, 多型属于 $2M_1$ 型, 特征峰窄且尖锐。磷灰石的 d 值主要表现在 2.81 Å、2.72 Å、2.77 Å、3.43 Å 等特征峰。印证了显微镜下得出的结论。鉴于粉末样品的选取具有局限性, 对其具体成分利用电子探针微区做进一步分析。

3.3 玉石细腻度与矿物粒度的关系

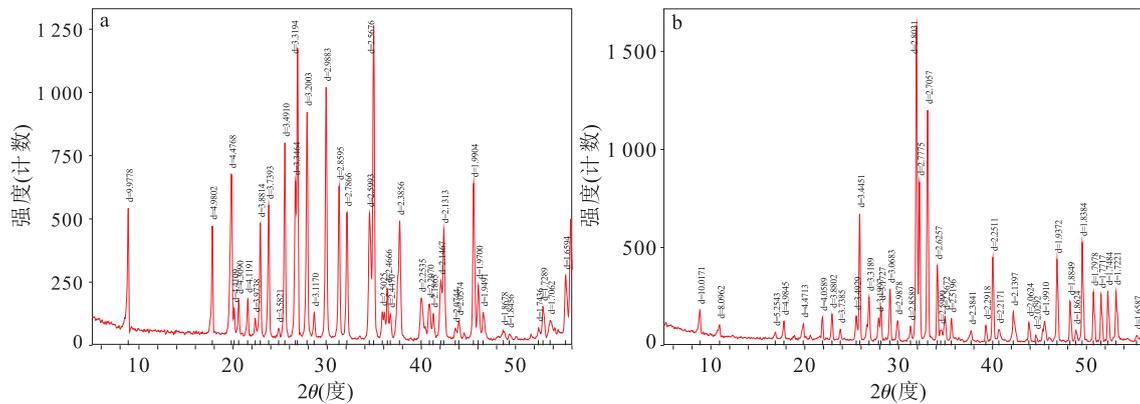
因偏光显微镜只能透光观察玉石平面, 不能观其立体结构, 故利用扫描电镜对其显微立体形态进行研究。选取肉眼颜色、细腻度存在差异的 2 件样品(图 2-x1-1、图 2-x1-5), 将其断面放大不同倍数, 测量颗粒大小以探究其结构差异。可以看出, 细腻度较差的“西安绿”玉石(图 2-x1-5)矿物呈六边形鳞片状, 颗粒界限截然, 断面高低起伏明显, 颗粒



Ⅲ. 伊利石; Lm. 褐铁矿; Dol. 白云母; Ap. 磷灰石; Hem. 赤铁矿; Fuc. 铬云母; a. 均匀绿色“西安绿”玉石中伊利石矿物, 正交偏光(+), 100×; b. 均匀绿色“西安绿”玉石中伊利石矿物, 正交偏光(+), 200×; c. 不均匀样品中伊利石与褐铁矿矿物, 正交偏光(+), 100×; d. 玉石中褐黄色条带, 主要由褐铁矿组成, 可见自形方解石矿物, 单偏光(-), 25×; e. 样品中较大的褐铁矿颗粒集合体与磷灰石, 正交偏光(+), 100×; f. 样品中褐铁矿颗粒集合体与磷灰石集合体, 正交偏光(+), 50×; g. 样品中红、黄条带中的褐铁矿与赤铁矿颗粒, 单偏光(-), 25×; h. 样品中赤铁矿颗粒与铬云母矿物聚集分布, 单偏光(-), 25×; i. 经构造挤压破碎的玉石结构, 单偏光(-), 25×

图3 “西安绿”样品偏光显微镜下图片

Fig. 3 Polarizing microscope image of “Xi'an Green” sample



a. 颜色较纯的样品主要由伊利石组成;b. 颜色斑杂的样品主要由伊利石与磷灰石组成

图4 样品的X衍射结构图

Fig. 4 X-ray diffraction structure of the samples

大小为 $0.006\text{ mm} \times 0.006 \sim 0.025\text{ mm} \times 0.025\text{ mm}$ (图 5a、图 5b、图 5c), 可见平整的一组完全解理面。细腻度较好的“西安绿”玉石(图 2-xl-1)组成矿物呈鳞片状, 边界不清晰, 衔接紧密, 矿物颗粒叠错在一起, 基本无缝隙, 断面几乎无高低起伏, 颗粒大小为 $0.002\text{ mm} \times 0.004\text{ mm} \sim 0.007\text{ mm} \times 0.009\text{ mm}$ (图 5d、图 5e、图 5f), 颗粒较前者细小, 无定形态, 且衔接更为紧密; 另外, 在图 2e 样品断面中发现褐铁矿集合体颗粒, 形状如同完整的花形(图 5g、图 5h、图 5i), 与伊利石矿物呈紧密接触关系。

3.4 矿物化学成分

在前期镜下矿物鉴别及 X 粉晶衍射分析研究的基础上, 选择代表性样品, 利用电子探针测试, 对其组成矿物成分进行详细分析。测试结果显示, “西安绿”玉石中主要组成矿物为伊利石, 含少量的铬云母、钒云母、磷灰石、褐铁矿等其他矿物(图 6)。

3.4.1 主矿物化学成分

根据电子探针分析数据, 几种呈现绿色的“西安绿”玉石主要组成矿物的化学成分较一致, 主要组成矿物为伊利石, 其化学组成为: SiO_2 含量为 $50.908\% \sim 54.466\%$, 平均值为 53.36% ; Al_2O_3 含量为 $25.616\% \sim 28.074\%$, 平均值为 27.11% ; K_2O 含量为 $8.093\% \sim 12.062\%$, 平均值为 9.30% ; MgO 含量为 $4.388\% \sim 5.922\%$, 平均值为 4.81% ; V_2O_5 含量为 $0.227\% \sim 0.708\%$, 平均值为 0.41% 。另外, 含微量 Na、Ti、Fe、Mn、Cr、Ni、Ca、P 等元素(表 2)。经计算化学式为 $\text{K}_{0.6}(\text{H}_3\text{O})_{0.5}\text{Al}_{1.6}\text{Mg}_{0.4}\text{Si}_{2.7}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})$, 微量元素主要以类质同象

的形式替代 Al^{3+} 。

3.4.2 其他矿物化学成分

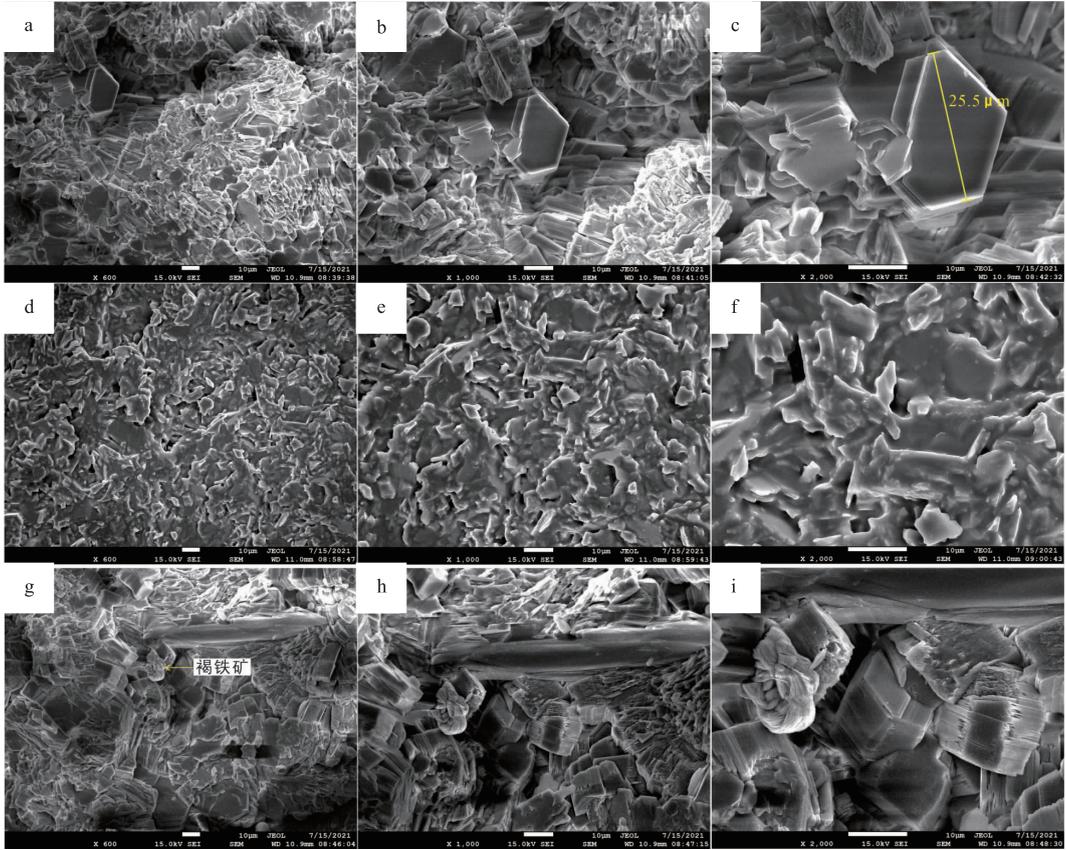
玉石中其他杂质矿物成分见表 3。其中, 玉石内部黄色或红色条带主要由褐铁矿致色, 化学成分主要为 Fe_2O_3 , 含量为 75.59% , 并含少量水, 化学式为 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。

在颜色不太均匀的样品中发现了颗粒细小的绿色铬云母片与钒云母片。其中, 铬云母的化学成分为: SiO_2 含量为 42.71% ; Al_2O_3 含量为 11.988% ; Cr_2O_3 含量为 26.514% ; K_2O 含量为 9.814% ; MgO 含量为 1.637% 。另外, 含微量 Fe、Mn、Ti、Ca、V 等元素, 经计算其矿物化学式为 $\text{K}_{1.5}\text{Mg}_{0.3}\text{Fe}_{0.1}(\text{Cr}_{2.5}, \text{V}_{0.1})[\text{Si}_{5.1}\text{Al}_{1.7}\text{O}_{20}](\text{OH})_4$ 。钒云母的化学成分变化幅度较明显, 其具体成分为: SiO_2 含量为 $40.404\% \sim 44.884\%$; Al_2O_3 含量为 $14.51\% \sim 24.746\%$; V_2O_5 含量为 $10.84\% \sim 21.389\%$; K_2O 含量为 $5.791\% \sim 8.973\%$; Cr_2O_3 含量为 $5.508\% \sim 5.896\%$ 。另外, 含微量 Mg、Fe、Mn、Ca 等元素, 经计算其矿物化学式为 $\text{K}_{1.6}(\text{H}_3\text{O})_{2.9}\text{Mg}_{0.3}(\text{V}_{2.4}, \text{Cr}_{0.7})[\text{Si}_{5.6}\text{Al}_{2.4}\text{O}_{20}](\text{OH})_4$ 和 $\text{K}_{1.0}(\text{H}_3\text{O})_{0.7}\text{Mg}_{0.1}(\text{Al}_{1.9}, \text{V}_{1.2}, \text{Cr}_{0.6})[\text{Si}_{6.0}\text{Al}_{2.0}\text{O}_{20}](\text{OH})_4$ 。

少数样品中含有磷灰石矿物, 化学成分为: CaO 含量为 56.487% , P_2O_5 含量为 42.021% , 含微量 Na、Mg、Cr、K 等元素(表 3), 经计算其矿物化学式为 $\text{Ca}_{4.9}(\text{P}_{0.95}\text{O}_4)_3$ 。

3.5 “西安绿”玉石绿色成因机理

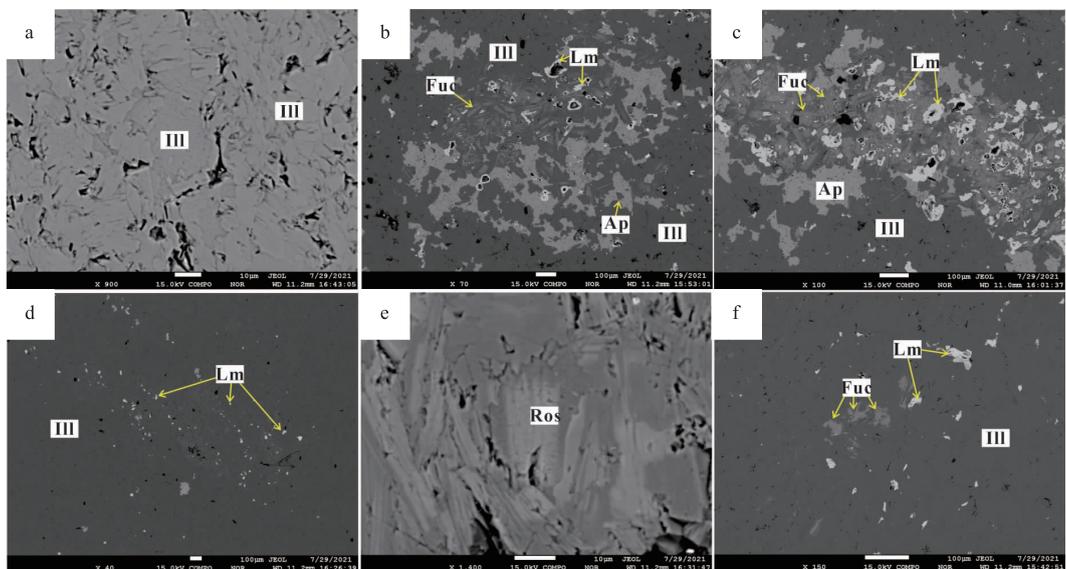
颜色成因机理为宝玉石矿物研究的重点方面, 前人在黏土矿物宝石颜色成因方面做了较多的研究



a~c. 图 2e 样品分别放大至 600×、1 000×、2 000×；d~f. 图 2a 样品分别放大至 600×、1 000×、2 000×；
g~i. 样品中的褐铁矿花形集合体分别放大至 600×、1 000×、2 000×

图 5 “西安绿”玉石扫描电镜图像

Fig. 5 Sem image of “Xi'an Green” jade



Ⅲ. 伊利石；Lm. 褐铁矿；Dol. 白云母；Ap. 磷灰石；Hem. 赤铁矿；Fuc. 铬云母；Ros. 钼云母

图 6 “西安绿”玉石的电子探针二次电子图像

Fig. 6 Electron probe secondary electron image of “Xi'an Green” jade

表2 西安绿玉石中主要矿物伊利石电子探针成分表(单位:%)
Tab.2 Electron probe composition of illite in "Xi'an Green" jade (unit: %)

	5-2	5-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	平均值
SiO ₂	50.908	54.466	53.768	53.226	53.935	54.082	53.113	53.402	53.36
Al ₂ O ₃	25.616	26.746	27.144	27.643	27.087	27.585	28.074	26.965	27.11
K ₂ O	11.154	12.062	9.169	8.805	8.606	8.144	8.357	8.093	9.30
MgO	4.737	5.922	4.79	4.389	4.667	4.496	4.388	5.077	4.81
V ₂ O ₃	0.227	0.337	0.381	0.43	0.708	0.414	0.415	0.395	0.41
Na ₂ O	0.056	0.118	0.08	0.203	0.138	0.183	0.139	0.131	0.13
TiO ₂	0.036	0.106	0	0.106	0.071	0.018	0.054	0.089	0.06
FeO	0.143	0.047	0	0.016	0	0	0.032	0.016	0.03
MnO	0.106	0	0	0.019	0.006	0	0.088	0	0.03
Cr ₂ O ₃	0.041	0.049	0.064	0	0.016	0	0	0.041	0.03
NiO	/	/	0.01	0.014	0.034	0.072	0.048	0	0.02
CaO	0	0	0.004	0.016	0.035	0.005	0.006	0.091	0.02
P ₂ O ₅	/	/	0	0	0.029	0.034	0	0	0.01
Total	93.024	99.853	95.41	94.867	95.332	95.049	94.714	94.305	/

测试单位:中国地质调查局西安地质调查中心电子探针实验室;测试者:周宁超;误差范围:0.01%。

表3 “西安绿”玉石中杂质矿物电子探针成分表(单位:%)
Tab.3 Electron probe composition of impurity mineral in "Xi'an Green" jade (unit: %)

	5-3	5-1	4-1	3-1	3-2
Na ₂ O	0.01	0.084	0.62	0.035	0.073
SiO ₂	3.549	40.404	44.884	42.71	0
Al ₂ O ₃	0.468	14.51	24.746	11.988	0
MgO	0.259	1.317	0.729	1.637	0.016
FeO	68.031	0	0	0.649	0
MnO	0.006	0	0.099	0.055	0
Cr ₂ O ₃	0	5.896	5.508	26.514	0.008
TiO ₂	0	0	0	0.117	0
CaO	0.018	0	0.009	0.008	56.487
K ₂ O	0.068	8.973	5.791	9.814	0.007
P ₂ O ₅	/	/	0.008	/	42.021
V ₂ O ₃	0.084	21.389	10.84	0.618	0
Total	72.493	92.573	93.234	94.145	98.612
定名	褐铁矿	钒云母	钒云母	铬云母	磷灰石

测试单位:中国地质调查局西安地质调查中心电子探针实验室;测试者:周宁超;误差范围:0.01%。

(朱选民,2003;陈涛,2004;何雪梅等,2011;杨心鸽等,2019;沈崇辉等,2020),探讨其致色矿物及元素。而“西安绿”玉石温润鲜亮的绿色成因自然是被关注的重点,针对“西安绿”玉石的绿色成因机理,选取不均匀绿色条带较纯样品进行电子探针连续点元素分析(图7a);从1-1点到1-6点颜色呈浅-深-浅的渐变过渡关系,其中1-1、1-2、1-6为颜色较浅的绿色,1-3、1-4、1-5为颜色较深的绿色;通过比较不同深浅绿色条带中的相关元素的分布,主要聚焦于Fe、Ni、V 3种致色元素。

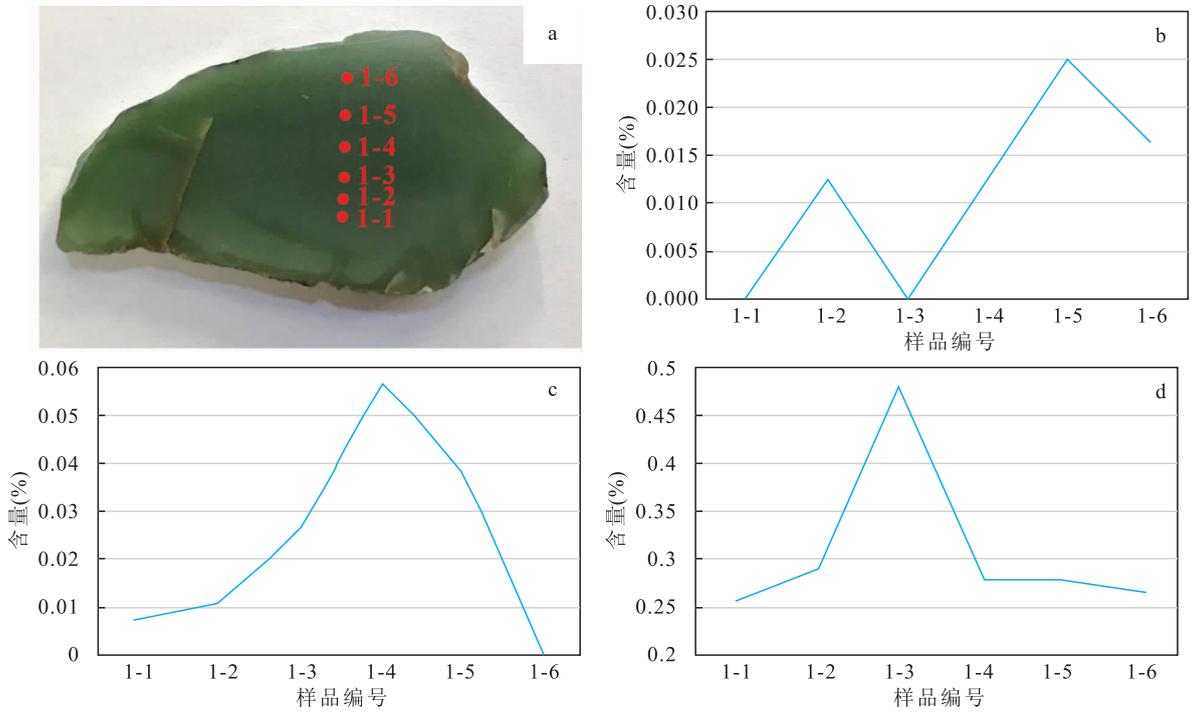
笔者对其元素含量做折线图(图7),可以看出V元素变化范围为0.259%~0.481%(表4),V元素与颜色的深浅呈正相关关系;Fe元素变化范围为0%~0.025%,分布与颜色的深浅变化并无很好的规律对应关系;Ni元素变化范围为0%~0.057%,Ni元素与颜色的深浅也呈较规律的正相关关系。由此可推测V元素和Ni元素含量与颜色成因有密切的关系,根据V与Ni元素含量对比,V元素含量为Ni元素含量的上百倍,初步判断绿色成因主要由玉石中的V元素引起,Ni可能对颜色成因有一定的贡献作用。据前人研究(范良明等,1985;陈涛,2001),这2种元素是以类质同象的形式替代了伊利石成分中的Al³⁺。另外,常见致色元素Fe与绿色成因关系不大。

表 4 “西安绿”玉石中不同深浅绿色致色元素含量表(单位:%)

Tab. 4 Contents of chromaticity elements of different shades of green in "Xi'an Green" jade (Unit: %)

	1-1(浅)	1-2(浅)	1-3(深)	1-4(深)	1-5(深)	1-6(浅)
Ni	0.008	0.011	0.027	0.057	0.038	0.000
Fe	0.000	0.012	0	0.012	0.025	0.016
V	0.259	0.292	0.481	0.282	0.282	0.269

测试单位:中国地质调查局西安地质调查中心电子探针实验室;测试者:周宁超;误差范围:0.01%。



a. “西安绿”玉石电子探针测点; b. Fe 元素对比图; c. Ni 元素对比图; d. V 元素对比图

图 7 不均匀绿色成因与元素对比图

Fig. 7 Comparison of genesis and elements of non-uniform green

4 品质评价建议

在前期市场及野外研究的基础上,初步认为“西安绿”玉石的品质评价主要从以下几个方面进行。

(1)颜色:以鲜艳绿色为佳,浅绿、暗绿色等次之。

(2)结构:结构细腻者为佳,平均粒度大小在 0.002 mm×0.002 mm~0.01 mm×0.01 mm,粗粒的结构可达 0.10 mm×0.14 mm,粒度大小影响玉石的细腻度和光泽。

(3)杂质分布:通常可见玉石中出现黄褐色、红褐色花纹,还可见黑色的杂质矿物,以杂质的分布少为佳,也不排除巧雕对颜色、花纹的合理运用带来额

外的增值。

(4)块度:在同等品质的前提下,块度越大,价值越高。

(5)雕刻工艺:“西安绿”玉石硬度较低,通常雕刻成印章和摆件,价值也跟雕刻工艺密切相关。

5 结论

(1)“西安绿”玉石野外产状呈团块状、脉状分布,围岩以大理岩为主,少量燧石。常见后期石英脉与其共生,表现为穿插、交代关系。

(2)“西安绿”玉石主要组成矿物为伊利石,含少量铬云母、钒云母、磷灰石、褐铁矿等其他矿物。

(3)“西安绿”玉石结构表现为由片状矿物紧密排列堆积;细腻度较差的玉石矿物自形,颗粒界限截然,细腻度较好的玉石矿物为他形,边界不清晰,衔接紧密,矿物颗粒叠错在一起,基本无缝隙,颗粒较前者细小,无定形态,且衔接更为紧密。

(4)“西安绿”玉石绿色成因主要与伊利石中的V元素类质同象替代有关。V元素呈类质同像进入矿物晶格替代成分中的 Al^{3+} ,V元素含量影响颜色的深浅;黄褐色、红褐色条带主要由含铁的金属矿物杂质引起。

参考文献(References):

陈涛. 浙江青田石的宝石学研究[J]. 宝石和宝石学杂志, 2001, 3(3): 25-30.

CHEN Tao. Gemmological Study on Qingtian Stone from Zhejiang Province[J]. Journal of Gems and Gemmology, 2001, 3(3): 25-30.

陈涛. 浙江青田石几个新品种的矿物学特征初步研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 23(2): 186-192.

CHEN Tao. A preliminary study of mineralogical and spectroscopic characteristics of Qingtian Stone[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2004, 23(2): 186-192.

邓燕华. 宝(玉)石矿床[M]. 北京:北京工业大学出版社, 1991.

DENG Yanhua. Bao (jade) ore deposit[M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 1991.

范良明, 杨永富. 浙江青田石及颜色成因的初步研究[J]. 成都地质学院学报, 1985, 12(2): 32-43.

FAN Liangming, YANG Yongfu. Preliminary study on the origin of Qingtian Stone and its color [J]. Journal of Chengdu Institute of Geology, 1985, 12(2): 32-43.

何雪梅, 刘海徽, 钱雪雯. 青田石山炮绿的组成成分对其品质的影响[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(Z1): 105-110.

HE Xuemei, LIU Haihui, QIAN Xuewen. Influence of composition of Qingtian Shishan Cannon Green on its quali-

ty[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30 (Z1): 105-110.

胡受爻, 叶瑛, 方长泉. 交代蚀变岩石学及其找矿意义[M]. 北京:地质出版社, 2004.

HU Shouxi, YE Ying, FANG Changquan. Metasomatic Alteration Petrology and its Prospecting Significance [M]. Beijing: Geological Press, 2004.

沈崇辉, 白峰, 杨晓燕, 等. 浙江多色青田石岩石地球化学特征及成因[J]. 现代地质, 2020, 34(1): 13-26.

SHEN Chonghui, BAI Feng, YANG Xiaoyan, et al. Mineral Geochemistry Characteristics and Genesis of the Multicolor Qingtian Stone from Zhejiang Province [J]. Geoscience, 2020, 34 (1): 13-26.

杨心鸽, 周越刚, 胡勇平, 等. 四种浙江青田石矿物学特征与颜色成因[J]. 矿物学报, 2019, 39(5): 594-600.

YANG Xinge, ZHOU Yuegang, HU Yongping, et al. The mineralogical study and color genesis of four types of Qingtian stone from Zhejiang Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2019, 39(5): 594-600.

王黎明. “西安绿”与雅安绿的宝石矿物学研究[J]. 福建分析测试, 2021, 30(2): 45-49.

WANG Liming. Study on the gemological and mineralogical characteristics of Xi'anlv and Ya'anlv[J]. Fujian Analysis & Testing, 2021, 30(2): 45-49.

朱选民. 浙江青田石矿物成分和成玉机理研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(1): 65-70.

ZHU Xuanmin. Study on mineral Composition and jade-forming mechanism of Qingtian stone in Zhejiang province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2003, 22 (1): 65-70.

邹倩, 李琳. 西安绿的矿物成分研究[J]. 化工管理, 2014, 15 (4): 131-133.

ZOU Qian, LI Lin. Study on mineral composition of Xi'an green [J]. Chemical Management, 2014, 15(4): 131-133.