

一种柠檬色蛇纹石玉的宝石学特征及颜色成因

杨 春¹, 边智虹², 王雅玫¹, 黄 茜¹

(1. 中国地质大学 珠宝学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖北省地质实验研究所, 湖北 武汉 430022)

摘 要: 国内蛇纹石玉的颜色一般以黄绿色为主, 柠檬黄色的蛇纹石玉比较少见。通过常规的宝石学仪器和偏光显微镜来研究柠檬黄色的蛇纹石玉的宝石学性质, 进一步用 Fourier 变换红外光谱、紫外—可见吸收光谱、X 射线粉晶衍射和电子探针定量分析对柠檬黄色的蛇纹石玉进行研究, 结果表明: 这种柠檬黄色的蛇纹石玉主要成分为利蛇纹石, 含有少量的纤蛇纹石、水镁石、橄榄石、菱镁矿等。蛇纹石玉的柠檬黄色主要是蛇纹石晶格中的 Fe^{3+} 离子引起的, Fe^{3+} 离子的 d-d 电子跃迁是柠檬黄色的蛇纹石玉致色的主要因素。

关键词: 柠檬黄色; 蛇纹石玉; 利蛇纹石; 颜色成因

中图分类号: P575

文献标识码: A

0 引言

目前, 在国内珠宝市场上出现了一种称之为“柠檬晶”的宝石。笔者通过一系列测试后发现, 它并不是柠檬晶, 而是“蛇纹石玉”(如图1)。市场上蛇纹石玉最常见的颜色就是黄绿色, 而这种柠檬黄色的蛇纹石玉是比较少见的, 并且这种蛇纹石玉的折射率、比重比常见的蛇纹石玉低。

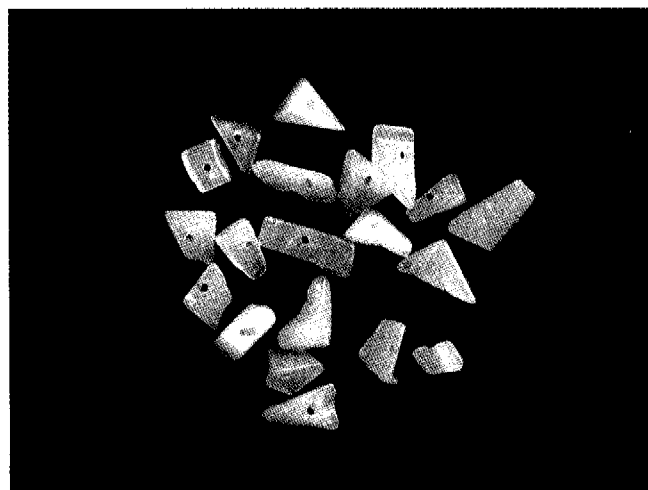


图1 柠檬黄色的蛇纹石玉

Fig. 1 The lemon-yellow serpentine jade

1 柠檬色蛇纹石玉的基本性质

本试验选取了8块柠檬黄色的蛇纹石玉作为试验样品(如图1)。颜色为均匀的浅柠檬黄色和柠檬黄色, 半透明—不透明, 油脂光泽—蜡状光泽, 多晶集合体, 呈致密块状, 比重2.47~2.62, 样品的物理性质见表1。

表1 蛇纹石玉的物理性质

Table 1 The physical properties of the serpentine jade

样品 编号	颜色	透明度	折射率	比重	偏光镜下 的特征	紫外荧光
S-1	浅柠檬黄色	半透明	1.55	2.62	全亮	无
S-2	浅柠檬黄色	半透明	1.55	2.54	全亮	无
S-3	浅柠檬黄色	半透明	1.55	2.54	全亮	无
S-4	柠檬黄色	微透明	1.55	2.49	全亮	LW 中等绿白色荧光
S-5	柠檬黄色	微透明	1.55	2.54	全亮	无
S-6	柠檬黄色	微透明	1.55	2.47	全亮	LW 中等绿白色荧光
S-7	柠檬黄色	不透明	1.55	2.58	全亮	LW 中等绿白色荧光
S-8	浅柠檬黄色	微透明	1.54	2.53	全亮	LW 中等绿白色荧光

2 组成及结构构造

2.1 组成特征

对样品进行了X射线粉晶衍射物相和红外吸收光

收稿日期: 2006-07-07; 改回日期: 2006-07-20

作者简介: 杨春(1962-), 女, 副教授, 岩石矿物学专业, 从事珠宝教学及研究工作。E-mail: yangchun 8709@tom.com

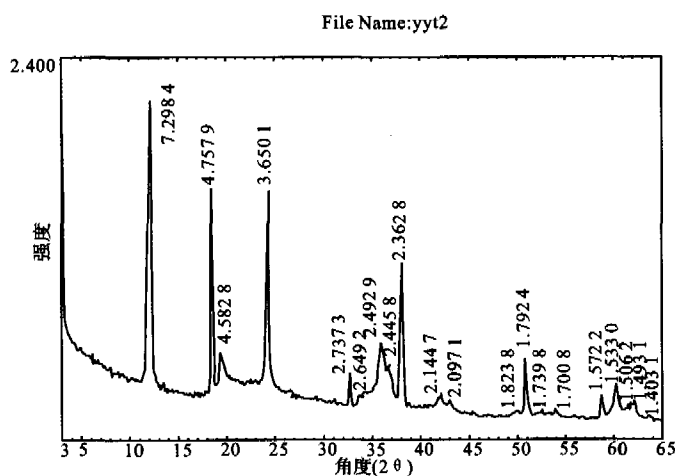


图2 样品的X射线粉晶衍射图

Fig. 2 The XRD of the sample

谱分析,通过与标准蛇纹石图谱对比,样品主要矿物为

利蛇纹石,有少量纤蛇纹石和水镁石。

图2为样品的X射线粉晶衍射图。样品具有蛇纹石的特征衍射谱线^[1]: $d_{002} = 7.2984 \times 10^{-10} \text{ m}$ 和 $d_{004} = 3.6501 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的强谱线以及 $d_{020} = 4.5828 \times 10^{-10} \text{ m}$ 和 $d_{060} = 1.5330 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的弱谱线;还具有 $2.4929 \times 10^{-10} \text{ m}$ 峰锐而强的谱线以及 $2.1447 \times 10^{-10} \text{ m}$ 和 $1.5062 \times 10^{-10} \text{ m}$ 谱线,都是利蛇纹石的特征谱线,因此,矿物应属于利蛇纹石(见图3)。

$2.4458 \times 10^{-10} \text{ m}$ 、 $2.0971 \times 10^{-10} \text{ m}$ 、 $1.7339 \times 10^{-10} \text{ m}$ 这三个谱线为纤蛇纹石的特征谱线,因此,含有少量的纤蛇纹石(见图4)。

图谱中有 $d_{001} = 4.7579 \times 10^{-10} \text{ m}$ 、 $d_{101} = 2.3628 \times 10^{-10} \text{ m}$ 、 $d_{102} = 1.7924 \times 10^{-10} \text{ m}$ 、 $d_{110} = 1.5722 \times 10^{-10} \text{ m}$ 、 $d_{111} = 1.4931 \times 10^{-10} \text{ m}$ 特征谱线是水镁石的特征谱线,因此,其中含有水镁石(见图5)。

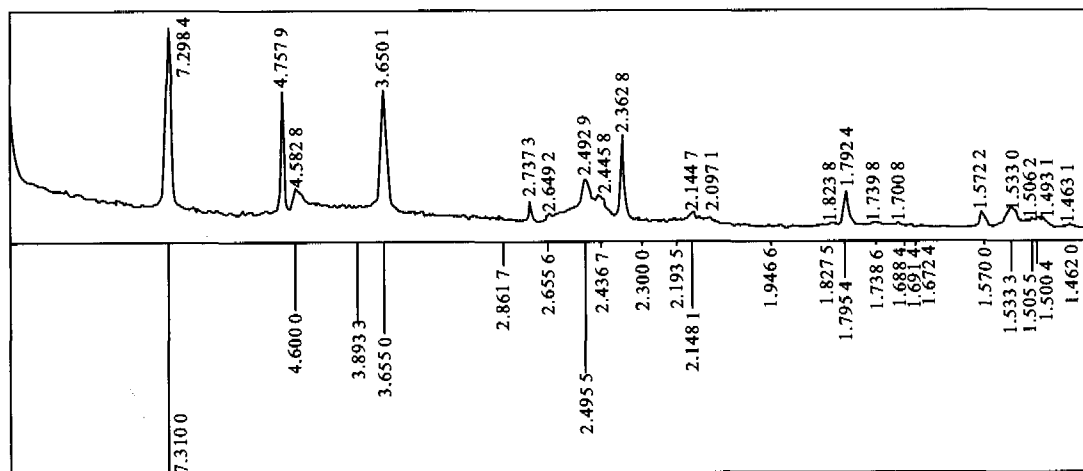


图3 样品与利蛇纹石衍射图谱对比

Fig. 3 The diffractometer spectrum of sample and lizardite

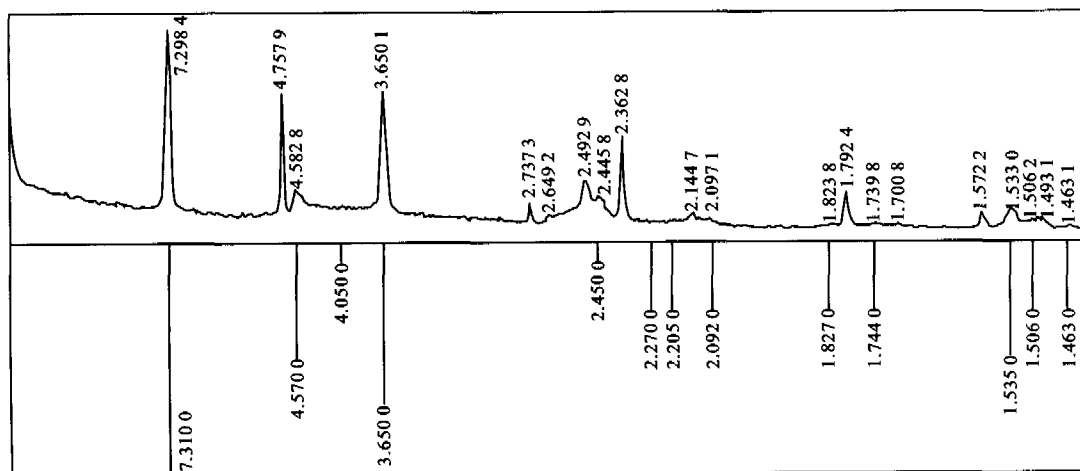


图4 样品与纤蛇纹石衍射图谱对比

Fig. 4 The diffractometer spectrum of sample and chrysotile

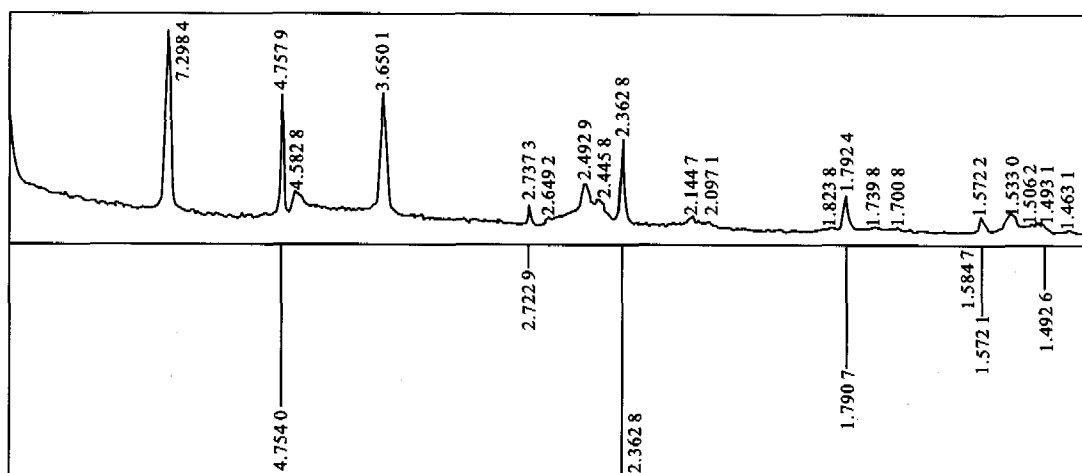


图5 样品与水镁石衍射图谱对比

Fig. 5 The diffractometer spectrum of sample and brucite

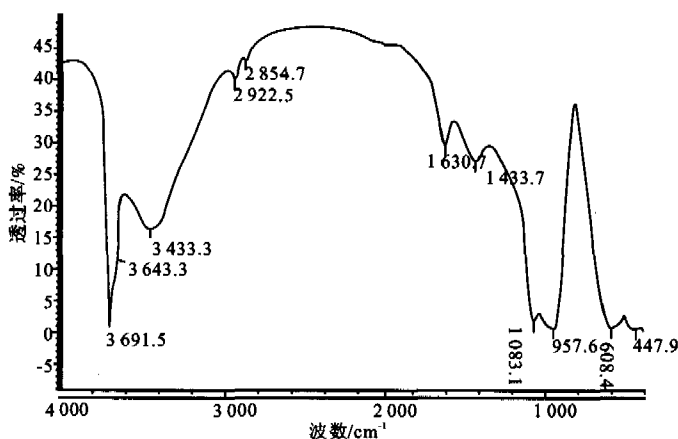


图6 样品的红外光谱

Fig. 6 The infrared spectrum of the sample

图6为样品的红外吸收光谱。从样品的红外图谱可知,显示为蛇纹石矿物红外光谱特征。在层状硅酸盐矿物蛇纹石的结构中,络阴离子 $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$ 排列接近理想的六方网格,其Si-O振具有 C_{6v} 对称。由群论分析可知12个振动模式,其中只有5个为红外活性,共5条谱线^[2]。其吸收频率主要集中在三个范围内: $3690\text{ cm}^{-1} \sim 3600\text{ cm}^{-1}$, $1100\text{ cm}^{-1} \sim 950\text{ cm}^{-1}$ 和 $704\text{ cm}^{-1} \sim 400\text{ cm}^{-1}$,它们各自的特点如下。

$3690\text{ cm}^{-1} \sim 3600\text{ cm}^{-1}$ 范围 一般都有1个强的谱带,峰窄而尖,为 OH^- 伸缩振动带。样品在 3691.5 cm^{-1} 有一个强吸收带,在 3643.3 cm^{-1} 处有一吸收肩, OH^- 伸缩振动的谱带位于 $3600\text{ cm}^{-1} \sim 3690\text{ cm}^{-1}$ 的高频区。纤蛇纹石和利蛇纹石在此范围内有1个强的谱带 3690 cm^{-1} 和较强的谱带 3640 cm^{-1} 。而叶蛇纹石只出现1个强谱带。但纤蛇纹石在 3640 cm^{-1} 附近的谱带比利蛇纹石强,可认为,样品主要为利

蛇纹石。进一步分析,水镁石的 3700 cm^{-1} 吸收谱带会对蛇纹石 3690 cm^{-1} 的羟基吸收有影响^[3],由于水镁石 3700 cm^{-1} 的羟基吸收带的影响,使蛇纹石在 3690 cm^{-1} 的羟基吸收向高波数方向偏移,两个矿物的吸收带简并成一个,且强度也有所加强,由此认为蛇纹石中含有水镁石。

$1100\text{ cm}^{-1} \sim 950\text{ cm}^{-1}$ 范围 Yariv^[4]等通过对蛇纹石矿物的偏振光红外光谱研究,确定在蛇纹石晶体中有三个相互垂直的Si-O振动方向,其中一个方向始终与纤维轴垂直(即垂直层面振动),它产生了约 1080 cm^{-1} 的吸收峰,另外两个振动方向在层面内,它们互相垂直(垂直纤维轴约 1015 cm^{-1} 及平行纤维轴约 950 cm^{-1})。具假六方对称的利蛇纹石,由于对称性相对较高,面内两个方向的格子强度、振动频率相近,两个Si-O伸缩振动($1015\text{ cm}^{-1} \sim 950\text{ cm}^{-1}$),产生简并,出现一个对称性好的强吸收带。斜纤蛇纹石的层弯曲成管状,对称性最低,由于三个方向的晶格强度、振动频率相差大,表现在三个方向的Si-O伸缩振动差别也大,因此,在 $1015\text{ cm}^{-1} \sim 950\text{ cm}^{-1}$ 范围内出现三个频率不等的吸收峰,具斜方对称的正纤蛇纹石,对称较斜纤高,面内二个方向的晶格强度振动频率的差别比斜纤小,因而面内两个吸收峰带简并成一个宽大而不对称的带。

样品有两个明显的较强谱带,为 1083.1 cm^{-1} 、 957.6 cm^{-1} ,依此看来,样品为利蛇纹石。

$704\text{ cm}^{-1} \sim 400\text{ cm}^{-1}$ 范围 在 610 cm^{-1} 、 440 cm^{-1} 附近,有 608.4 cm^{-1} 、 447.9 cm^{-1} 强红外谱带。 610 cm^{-1} 附近的吸收谱带归属为 OH^- 的转动振动模式, 440 cm^{-1} 吸收谱带归属为Si-O的弯曲振动, 570 cm^{-1} 附近的吸收谱带归属为Mg-O金属离子与氧的伸缩振动和弯曲振动模式。研究表明,样品主要为利蛇纹石。

样品的 $3\,433.3\text{ cm}^{-1}$ 吸收峰为 H_2O 伸缩振动谱带, 谱带宽而钝, 在 $1\,630.7\text{ cm}^{-1}$ 附近有 H_2O 弯曲振动谱带。说明在制样过程中空气中少量的 H_2O 没有烘干。

还有, $1\,433.7\text{ cm}^{-1}$ 吸收峰为碳酸盐的吸收峰^[5], 表明样品中可能有常与蛇纹石共生的白云石或菱镁矿等碳酸盐矿物。

2.2 偏光镜下的鉴定特征

2.2.1 主要矿物的鉴定特征

利蛇纹石 片状、纤维状集合体, 多以横纤维集成羽毛状。低正突起。单晶体的颗粒大小约为 $0.07\text{ mm} \sim 0.32\text{ mm}$, 含量占 90% 以上。薄片中的无色。最高干涉色很低, 通常为 I 级灰, 最高不超过 I 级黄。近于平行消光, 有时可呈波状消光。负延性。负二轴晶, $2V$ 很小。油浸测其折射率: $N_g = 1.556$, $N_p = 1.546$ [如图 7(目镜 $5\times$, 物镜 $10\times$ 照相, 下同)所示]。

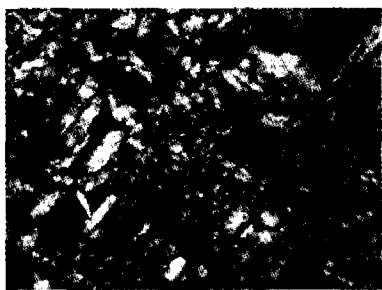


图 7 样品 S-4 片状利蛇纹石(正交偏光)

Fig. 7 The schistose lizardite

2.2.2 次要矿物的鉴定特征

纤蛇纹石 纤维状、纤维束状集合体分布, 与利蛇纹石的形态不同, 主要呈细小纵纤维。薄片中的无色。低正突起。干涉色为一级黄。平行消光。正延性。正二轴晶。 $2V = 20^\circ \sim 30^\circ$ 。油浸测其折射率: $N_g = 1.545$, $N_p = 1.532$ (见图 8)。



图 8 样品 S-7 少量纤维状蛇纹石(正交偏光)

Fig. 8 The nemaline chrysotile

水镁石 片状、浸染状分布。薄片中的无色。中突起。最高干涉色为 I 级紫红, 常见红褐色异常干涉色。平行消光。负延性。正一轴晶(见图 9~10)。

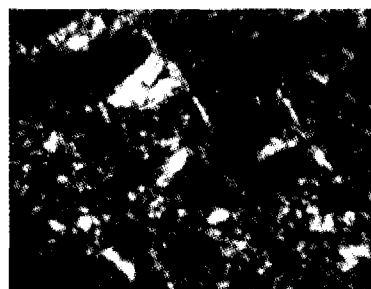


图 9 样品 S-2 片状水镁石(正交偏光)

Fig. 9 The schistose brucite



图 10 样品 S-8 水镁石浸染状(单偏光)

Fig. 10 The disseminated brucite

菱镁矿 带状、板状粒状分布。闪突起显著。含量占 1% 左右。薄片中的无色。最高干涉色为高级白。对称消光。负一轴晶(见图 11)。

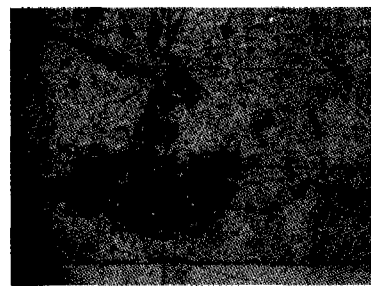


图 11 样品 S-4 菱镁矿(单偏光, 突起高)

Fig. 11 The magnesite

橄榄石 粒状分布。薄片中的无色。正高突起, 边缘粗黑, 糙面显著。最高干涉色为 II 级橙—III 级蓝绿。平行消光(见图 12)。



图 12 样品 S-8 橄榄石高突起(单偏光)

Fig. 12 The olivine

3 颜色成因

通过电子探针对这种蛇纹石玉研究表明, TFeO

($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) 的含量为 0.29% ~ 0.73% 左右, 由于 $\text{TFeO} < 1\%$, 因此这种蛇纹石玉偏向黄色且颜色较浅 (见表 2)。

表 2 电子探针定量分析的结果

Table 2 Data of quantitative analysis of electron probe (in W(B) %)

单位: W(B) %

样品编号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Cr_2O_3	合计
S-2	31.98	0.00	0.00	0.29	0.00	42.05	0.00	0.00	0.00	0.02	74.35
	34.63	0.00	0.00	0.32	0.00	36.86	0.00	0.00	0.00	0.00	71.80
	32.38	0.00	0.00	0.56	0.00	42.96	0.00	0.00	0.00	0.00	75.91
S-7	40.40	0.00	0.00	0.68	0.00	40.90	0.03	0.00	0.00	0.02	82.03
	40.65	0.00	0.00	0.63	0.00	40.48	0.00	0.00	0.03	0.01	81.80
	41.01	0.00	0.01	0.73	0.00	42.72	0.00	0.00	0.00	0.00	84.47

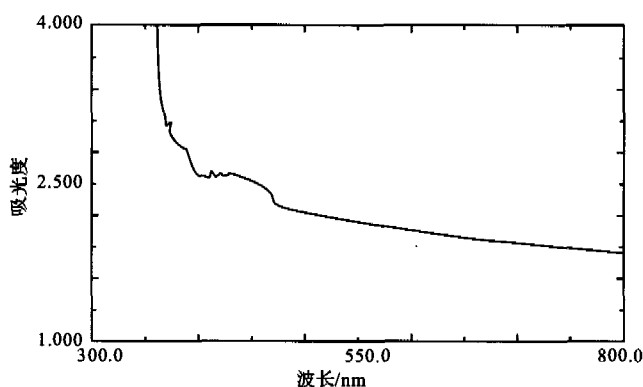


图 13 样品 S-1 的紫外—可见吸收光谱

Fig. 13 The ultraviolet - visible light adsorption spectrum of S-1

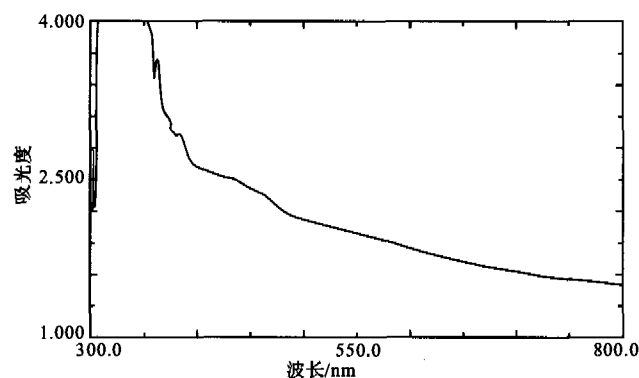


图 14 样品 S-6 的紫外—可见吸收光谱

Fig. 14 The ultraviolet - visible light adsorption spectrum of S-6

图 13、图 14 是样品 S-1 和 S-6 的紫外—可见吸收光谱。图 13 可以看出: 主要吸收峰出现在 403、418、423 和 432 nm 附近; 图 14 可以看出: 主要吸收峰出现在 364、399 和 442 nm 附近。这些吸收峰是由蛇纹石八面体空隙中的 Fe^{3+} 引起的^[6]。由于 Fe^{3+} 属于自旋禁戒跃迁, 所以只产生较弱的吸收。其中 403、364、399

nm 吸收峰是由杂质离子 Fe^{3+} 离子的 d-d 晶场跃迁引起, 处于紫外或近紫外区; 418、423、432 和 442 nm 吸收峰是由 Fe^{3+} 离子的禁戒跃迁引起, 处于深蓝色到蓝色之间, 吸收峰较弱。

柠檬黄色蛇纹石玉的紫外—可见光光谱表明, 这种蛇纹石玉可见光谱中 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ 荷移谱的强度很弱, 不能引起蛇纹石玉的颜色; 364 ~ 403 nm 吸收峰是由杂质离子 Fe^{3+} 离子的 d-d 晶场跃迁引起, 因处于紫外或近紫外区, 所以对蛇纹石玉的颜色基本无贡献; 而可见光在 413 ~ 442 nm 附近的吸收, 为 Fe^{3+} 离子的禁戒跃迁, 因处于紫区到蓝区之间而使蛇纹石玉呈现柠檬黄色, 但因属于自旋禁戒跃迁, 吸收峰较弱, 所以颜色较浅。

因此, 这种蛇纹石玉的柠檬黄色主要是蛇纹石晶格中的 Fe^{3+} 离子引起的, Fe^{3+} 离子的 d-d 电子跃迁是柠檬黄色的蛇纹石玉致色的主要因素。

4 结论

(1) 柠檬黄色的蛇纹石玉为多晶质集合体, 呈致密块状。呈浅柠檬黄色—柠檬黄色, 质地比较细腻, 半透明—微透明, 油脂—蜡状光泽, 比重 2.47 ~ 2.62, 折射率点测约为 1.55, 少量在紫外长波下有绿白色荧光, 内含物有黑色点状包裹体、白色絮状物、无色晶体包体等。

(2) 柠檬黄色的蛇纹石玉主要由利蛇纹石组成, 还含有少量的纤蛇纹石、水镁石、橄榄石、菱镁矿等矿物。

(3) 电子探针定量分析结果表明, 柠檬黄色的蛇纹石玉主要由富含 Mg 的含水镁硅酸盐组成。成分中还含有少量的 Fe、Cr 等杂质。

(4) 红外光谱显示出与利蛇纹石有关的 3 600

$\text{cm}^{-1} \sim 3\,690\,\text{cm}^{-1}$ OH 伸缩振动带,在 $3\,643.3\,\text{cm}^{-1}$ 附近有一弱吸收肩; $960\,\text{cm}^{-1} \sim 1\,026\,\text{cm}^{-1}$ 出现两个 Si-O 伸缩振动。OH⁻ 伸缩振动的谱带高波数方向偏移与水镁石有关。另外,红外光谱还显示出 $3\,433.3\,\text{cm}^{-1}$ 附近的 H₂O 伸缩振动谱带和 $1\,433.7\,\text{cm}^{-1}$ 附近的碳酸盐的吸收峰。

(5) 柠檬黄色的蛇纹石玉的紫外—可见光光谱在紫外及近紫外、紫区和蓝区出现吸收峰。这一范围的吸收是由 Fe³⁺ 离子的 d-d 晶场跃迁引起的。Fe³⁺ 离子的 d-d 电子跃迁是柠檬黄色的蛇纹石玉致色的主要因素。部分柠檬黄色的蛇纹石玉在紫外长波下有绿白色荧光。紫外—可见光光谱表明了有荧光的柠檬黄色的蛇纹石玉在紫区 364、399 nm 有吸收。

参考文献:

- [1] 南京大学地质学系矿物岩石学研究室编. 粉晶 X 射线物相分析 [M]. 北京:地质出版社,1980.
- [2] 卢保奇,亓利剑,夏义本. 四川蛇纹石猫眼的谱学特征及呈色机理研究[J]. 硅酸盐学报,2005,33(5):572-575.
- [3] 江绍英. 蛇纹石矿物学及性能测试[M]. 北京:地质出版社,1987.
- [4] YARIVS. Infrared evidence for the occurrence of SiO groups with double bond character in antigorite, sepiolite, palygorkite[J]. Clays Miner,1986,34:925-936.
- [5] 彭文世,刘高魁. 矿物红外光谱图籍[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [6] SCHWARZ D, PETSCH E J, KANIS J, et al. Sapphire from Andranodamo Region, Madagascar[J]. Gems Gemology,1996,32(2):80-99.

GEMOLOGICAL CHARACTERISTICS AND COLOR FORMATION OF A LEMON-YELLOW SERPENTINE JADE

YANG Chun¹, BIAN Zhi-hong², WANG Ya-mei¹, HUANG Qian¹

(1. Gemological Institute, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074; 2. Hubei Provincial Institute of Gemological Experiment, Wuhan, Hubei 430022)

Abstract: The color of serpentine jade is mainly yellow-green, the lemon-yellow serpentine jade is quite rare. The gemological characteristics of lemon-yellow serpentine jade are studied by the conventional gemology instrument and the polarizing microscope; the Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, ultraviolet-visible light absorption spectra, X-ray power diffraction (XRD) and electron probe quantitative analysis have also been used to study the lemon-yellow serpentine jade. The studies indicated that the main components of lemon-yellow serpentine jade are lizardite, minor chrysotile, the brucite, the olivine, the magnesite and the green mudstone. The color lemon-yellow is from Fe³⁺ ion on the serpentine crystal lattice and the d-d electrons transition of Fe³⁺ is the major cause for the coloration of lemon-yellow serpentine jade.

Key words: lemon yellow; serpentine jade; lizardite; mechanism of coloration

(上接 739 页)

- [2] 钱锦江,等. 湖北省宜昌市环境水文地质工程地质综合勘察研究报告[R]. 宜昌:湖北省水文地质工程地质大队,1988.
- [3] 朱文彬. 湖北宜昌地区膨胀土研究[J]. 夷陵建筑,2003(14):55-58.
- [4] 杨宜军,等. 宜昌市夷陵区地质灾害防治规划(2005~2015年)[R]. 宜昌:宜昌市夷陵区国土局,2005.
- [5] 王治福. 宜昌市城市形态及结构优化初探[J]. 夷陵建筑,2003(14):19-21.

GEOLOGICAL ENVIRONMENT IN URBAN YICHANG AND ITS SUSTAINABLE DEVELOPMENT

QIAN Dan-sheng

(Hubei Hydrological & Engineering Geological Prospecting Center, Yichang, Hubei 443002)

Abstract: The author put forward an idea for sustainable development in urban Yichang after analyzing its geological environment, its advantages and disadvantages. To achieve a harmony among human, resources and environment, the author also discussed the method to benefit the advantages and minimize or avoid the disadvantages.

Key words: Yichang City; geological environment; taking advantage; disadvantage; sustainable development