

吉林通化集安蛇纹石质玉的矿物成分与成因分析

秦宏宇, 刘 瑞

(长春工程学院勘查与测绘工程学院, 吉林 长春 130021)

摘 要: 吉林通化集安地区发现了储量较大的蛇纹石质玉石矿床。X射线荧光光谱分析(XRF)显示蛇纹石质玉石中SiO₂含量为35.21%~37.18%, MgO 46.94%~49.72%, FeO/Fe₂O₃之比在0.174~0.685之间。XRD分析显示在0.733 nm、0.366 nm和0.250 nm处存在有利蛇纹石的特征衍射峰。集安蛇纹石质玉主要矿物为利蛇纹石, 并常含有镁橄榄石。红外光谱显示在3 650~3 700 cm⁻¹、950~1 100 cm⁻¹、400~700 cm⁻¹存在有特征的利蛇纹石吸收峰。本玉石矿床属区域变质型蛇纹石矿床, 利蛇纹石应为橄榄石在低温条件下水热蚀变的产物。

关键词: 利蛇纹石; 橄榄石; 矿物组成; 成因分析

中图分类号: P578.964; P578.94⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)02-0344-05

Mineral composition and genetic analysis of Ji'an serpentine jade, Tonghua, Jilin Province

QIN Hong-yu and LIU Rui

(School of Surveying and Prospecting, Changchun Institute of Technology, Changchun 130021, China)

Abstract: A large new serpentine jade deposit was found in Ji'an area, Tonghua City, Jilin Province. The results of X-ray fluorescence spectrometry (XRF) show that the content of SiO₂ is from 35.21% to 37.18% in weight percentage, MgO from 46.94% to 49.72%, and the ratio of FeO/Fe₂O₃ is in the range of 0.174~0.685, respectively. The analyses of XRD indicate that there are characteristic peaks at 0.733 nm, 0.366 nm and 0.250 nm, which are attributed to lizardite. The main mineral of the serpentine jade is lizardite, commonly with forsterite. The characteristic XRD peaks of forsterite, dolomite and brucite also occur in the X-ray diffraction spectra. The IR spectra of 3 650~3 700 cm⁻¹, 950~1 100 cm⁻¹, 400~700 cm⁻¹ are found in the serpentine. The Ji'an serpentine jade deposit was formed by regional metamorphism, and lizardite was the product of forsterite hydrothermal alteration under the low temperature condition.

Key words: lizardite; olivine; mineral composition; genetic analysis

Fund support: Gem Resources and Their Exploitation Application in Jilin Province(120140051)

东北地区是我国乃至世界重要的蛇纹石质玉(岫玉)产地(曹俊晨等, 1994; 张良钜, 2002; 王长秋等, 2011; 王永亚等, 2012)。吉林通化集安蛇纹石质玉主要矿物成分为利蛇纹石, 不同于矿物成分主要为叶蛇纹石的辽宁岫玉。集安蛇纹石质玉是继岫

玉之外, 在东北地区发现的又一储量较大、颜色鲜艳的蛇纹石质玉石品种。

吉林集安蛇纹石质玉与辽宁岫岩等国内其他产地的蛇纹石质玉相比, 具有颜色鲜艳、结构细腻、质量好、块度大的特点, 具有更高的宝石经济学价值。

收稿日期: 2015-07-13; 接受日期: 2016-01-22

基金项目: 吉林省教育厅资助项目(120140051)

作者简介: 秦宏宇(1970-), 男, 副教授, 从事宝石学研究, E-mail: 490509516@qq.com。

关雅先等(1991)曾对吉林集安的安绿玉(蛇纹石质玉)矿物进行了XRD、红外光谱和穆斯堡尔谱学方面的研究,其研究主要是着眼于矿物学方面的特征,缺乏宝石学性质与特征的研究。本文通过对集安蛇纹石质玉的化学成分、矿物组成和红外光谱(IR)分析,以及玉石结构特征和宝石学性质的研究,为该玉石的检测、鉴定以及质量分级评价提供了依据,为开发利用该宝石品种奠定了基础。

1 样品及化学成分特征

样品采自通化集安蛇纹石质玉矿。测试分析选

取了绿色、绿黄色、黄色,以及带有黑色斑点的不同代表性玉石样品,在吉林大学无机材料与工程学院无机材料实验室完成。

根据GB/T 14506.28-2010 硅酸盐化学分析方法,采用日本岛津XRF-1800型X射线荧光光谱仪对集安蛇纹石质玉化学成分进行定量分析,分析结果见表1。集安蛇纹石质玉主要化学成分为SiO₂和MgO,其中SiO₂为35.21%~37.18%,MgO 46.94%~49.72%。其SiO₂和MgO的含量均比岫玉中的SiO₂(49.85%)和MgO含量(50.15%)略低(王永亚等,2012)。这可能是由于集安蛇纹石质玉中含有镁橄榄石等其他矿物组分所致。

表1 集安蛇纹石玉的XRF成分分析结果
Table 1 XRF compositions of Ji'an serpentine

| No. | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | MnO | LOI | Total |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-------|-------|
| 1 | 35.95 | 0.04 | 0.57 | 0.25 | 0.50 | 48.43 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 13.81 | 99.62 |
| 2 | 36.21 | 0.03 | 0.50 | 0.25 | 0.56 | 48.82 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 13.40 | 99.62 |
| 3 | 37.01 | 0.06 | 1.00 | 0.57 | 0.52 | 49.26 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.06 | 11.15 | 99.68 |
| 4 | 36.70 | 0.14 | 1.43 | 0.98 | 0.85 | 48.15 | 0.08 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 11.29 | 99.74 |
| 5 | 36.25 | 0.01 | 0.46 | 0.08 | 0.80 | 49.91 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 12.26 | 99.86 |
| 6 | 37.36 | 0.13 | 0.66 | 0.33 | 0.49 | 48.81 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 10.89 | 99.78 |
| 7 | 36.22 | 0.03 | 1.01 | 0.23 | 0.65 | 46.94 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 9.52 | 99.81 |
| 8 | 37.18 | 0.16 | 0.87 | 0.45 | 0.52 | 49.72 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 14.53 | 99.68 |
| 9 | 35.21 | 0.74 | 0.99 | 0.25 | 0.49 | 47.47 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.05 | 14.48 | 99.71 |
| 10 | 36.10 | 0.85 | 0.81 | 0.21 | 0.51 | 48.43 | 0.22 | 0.02 | 0.12 | 0.01 | 0.05 | 12.59 | 99.92 |

2 XRD物相分析

分析所用的仪器是丹东方圆仪器有限公司生产的DX-2700型X射线衍射仪对。测试条件:Cu靶,管电压为35 kV,管电流为25 mA。XRD分析表明蛇纹石质玉的主要矿物相为利蛇纹石和镁橄榄石,

且含有水镁石、白云石等矿物(图1)。

蛇纹石亚族矿物包括有利蛇纹石、叶蛇纹石和纤蛇纹石3个亚种(王濮等,1994)。XRD分析显示集安蛇纹石具有0.733 nm、0.366 nm和0.250 nm的特征衍射峰,具有d₀₀₆、d₀₀₁、d₀₀₂的强反射,其衍射角2θ分别为12.065°、24.299°和35.862°。还具有镁橄榄石的0.1738 nm、0.245 nm、0.389 nm的特征峰。

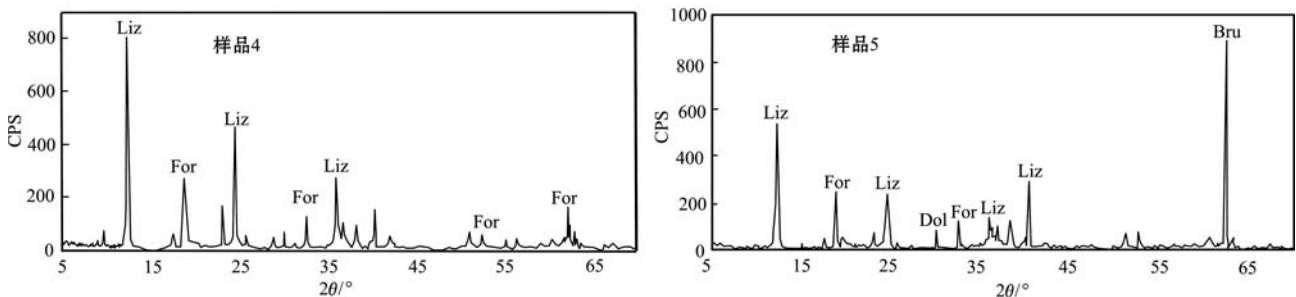


图1 集安蛇纹石质玉粉晶衍射图

Fig. 1 XRD of Ji'an serpentine jade samples
Liz—利蛇纹石; For—镁橄榄石; Dol—白云石; Bru—水镁石
Liz—lizarite; For—forsterite; Dol—dolomite; Bru—brucite

此外还见有白云石、斜硅镁石和氢氧化镁等矿物的特征衍射峰,显示玉石中不同的矿物组分特征。关雅先等(1991)对集安蛇纹石质玉 XRD 研究的结果显示,样品具有 d_{002} (或 d_{001})和 d_{004} (或 d_{002})的强反射,它们分别在 $0.71 \sim 0.749$ nm 和 $0.35 \sim 0.37$ nm 范围内,认为应为利蛇纹石。

集安蛇纹石质玉的 XRD 分析结果和关雅先(1991)的研究结果基本一致,表明集安蛇纹石质玉石矿物成分主要为利蛇纹石,且含有橄榄石等其他矿物成分。

3 蛇纹石质玉的岩石学特征

玉石新鲜面为黄色、绿色和斑杂色,风化面呈黄

白色、土黄色和黑绿色。岩石为鳞片变晶结构,交代网脉状构造(图 2)。镜下观察主要矿物成分为蛇纹石(70%)和橄榄石(30%)。橄榄石矿物呈正高凸起,呈不规则状的蚀变残留体,粒度为 $0.1 \sim 0.25$ mm。蛇纹石呈鳞片状分布在橄榄石矿物的裂隙和边缘处,长度为 0.5 mm 至 2 mm 不等。玉石的岩石学名称为蛇纹石化橄榄岩。

4 红外光谱特征

红外光谱分析是揭示矿物分子结构官能团的有效手段,并被广泛应用于各种宝玉石的研究中。红外光谱分析使用的是美国 Thermo 公司的 Nexus 6700 傅立叶红外光谱仪。

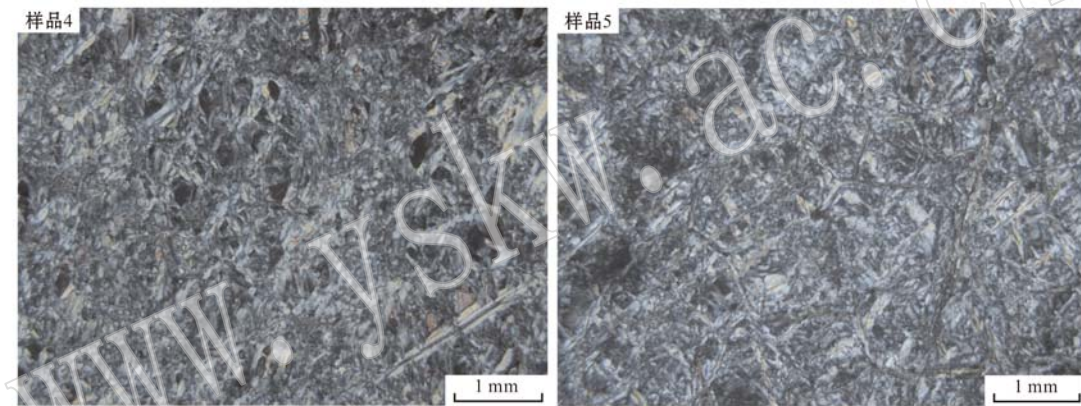


图 2 集安蛇纹石质玉正交偏光镜下特征

Fig. 2 Characteristics of Ji'an serpentine jade under microscope (crossed nicols)

集安蛇纹石质玉红外吸收光谱分析显示集安蛇纹石质玉样品存在 3 个特征的谱带: $3650 \sim 3700$ cm^{-1} 、 $950 \sim 1100$ cm^{-1} 、 $400 \sim 700$ cm^{-1} (图 3)。 $3650 \sim 3700$ cm^{-1} 范围内有一个强的谱带,峰窄而尖,属 O—H 伸缩振动带,样品在 3648 cm^{-1} 附近有

一个吸收肩(图 3)。 $950 \sim 1100$ cm^{-1} 带应为 Si—O 四面体伸缩振动和弯曲振动, $400 \sim 700$ cm^{-1} 为 Mg—O 弯曲振动(刘养杰等,2009)。集安蛇纹石质玉的谱图与利蛇纹石的标准红外光谱特征基本一致(Chukanov, 2014)。

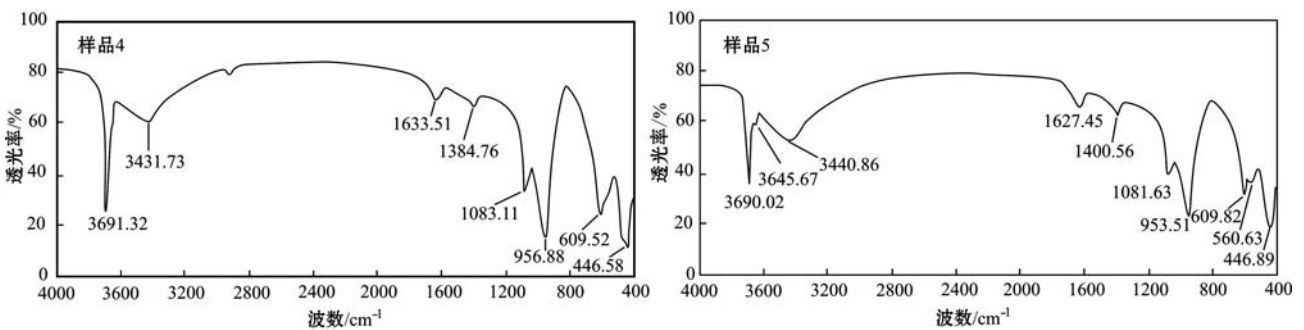


图 3 集安蛇纹石质玉红外光谱图

Fig. 3 Infrared spectra of Ji'an serpentine jade

据李幼琴等(1981)对矿物的红外光谱研究认为蛇纹石结构中一个跃迁矩垂直于层面的振动,其吸收位于 $1\ 080\ \text{cm}^{-1}$ 处。在图3中,玉石样品的吸收峰位置分别位于 $1\ 081\ \text{cm}^{-1}$ 和 $1\ 083\ \text{cm}^{-1}$ 处。集安蛇纹石样品的吸收峰强度和形状与利蛇纹石光谱特征基本相吻合。

5 宝石学性质与特征

集安蛇纹石质玉颜色丰富多样,有均一的黄色、黄绿色、青绿色、墨绿色。部分玉石呈斑杂的颜色,绿色、浅黄色中夹杂有灰黑色等。玉石结构为鳞片状变晶结构以及纤维交织结构(图2)。透明度为半透明至微透明(图4)。质地细腻,温润,表面呈现典型的油脂光泽、蜡状光泽至玻璃光泽。折射率在 $1.55\sim 1.56$ 之间。长波紫外光下可见微弱的黄绿色荧光。硬度较高,摩氏硬度为 $4\sim 6$ 。玉石密度 $2.6\sim 2.8\ \text{g}/\text{cm}^3$ 。某些玉石含有深绿色色斑,呈斑点状分布于玉石中(图4)。



图4 黄色、绿色和带有黑斑的绿色蛇纹石质玉石
Fig. 4 Ji'an serpentine jade of yellow, green and dark green colors or with black spots

6 矿物组成与成因分析

集安蛇纹石质玉矿物成分主要为利蛇纹石。玉石中常见有橄榄石,偶见水镁石、白云石等矿物。岩石薄片可见纤维状的利蛇纹石分布在橄榄石颗粒的边部和裂隙处(图2),说明蛇纹石应为橄榄岩水热蚀变的产物。

于淑一(2013)对集安地区蛇纹石质玉主要矿物组成分析研究认为集安玉石主要矿物成分为铝利蛇纹石,其化学式为 $[\text{MgAl}]_3[\text{SiAl}]_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ 。O'Hanley等(1993)通过对蛇纹石矿物的电子探针和穆斯堡尔谱的研究认为,利蛇纹石中 Fe^{2+} 的含量低

($\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.28 \pm 0.21$)。吉林集安蛇纹石质玉石样品中 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 比值在 $0.174\sim 0.517$ 之间,与O'Hanley等(1993)研究的利蛇纹石进行对比, $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 比值大致相当。在一定程度上反映了二者在化学成分上的相似性。

集安玉石矿床属区域变质型蛇纹石矿床。李明德(1993)在对橄榄石的蛇纹石化热力学讨论中,根据伽马相矿物反应的吉布斯自由能变和反应温度,认为在一定的自然界环境条件下,橄榄石与水能够反应,生成蛇纹石。从样品中蛇纹石分布在橄榄石颗粒的边部和裂隙处,以及二者之间的位置关系可以说明利蛇纹石应为橄榄石蚀变的产物。XRD物相分析表明集安蛇纹石质玉还存在有水镁石、金云母、滑石等。这3种矿物都可以认为是橄榄石水热蚀变的产物(黄瑞芳等,2013),也说明集安蛇纹石质玉的原岩应为橄榄岩。Mével(2003)和汪小妹等(2010)认为由橄榄石蚀变形成的蛇纹石的成分相对贫Al和Cr,这也与集安蛇纹石质玉的化学成分特征相吻合。对玉石的岩石薄片、XRD以及红外光谱分析均显示玉石中存在有橄榄石残留体,表明集安蛇纹石质玉的原岩应为超基性橄榄岩。利蛇纹石与橄榄石共同构成了集安蛇纹石质玉的主要矿物成分。

7 结论

集安蛇纹石质玉X射线荧光光谱分析(XRF)显示玉石中 SiO_2 含量为 $35.21\% \sim 37.18\%$, MgO $46.94\% \sim 49.72\%$ 。XRD分析表明玉石主要矿物成分为利蛇纹石,并常含有少量的镁橄榄石。红外光谱分析显示玉石在 $3\ 650\sim 3\ 700\ \text{cm}^{-1}$ 、 $950\sim 1\ 100\ \text{cm}^{-1}$ 、 $400\sim 700\ \text{cm}^{-1}$ 处存在有特征的利蛇纹石吸收峰。玉石具鳞片变晶结构,块状或交代网脉状构造。集安蛇纹石质玉属橄榄岩蛇纹石化蚀变产物,颜色呈绿色、绿黄色和黄色等,较辽宁岫玉的颜色深且鲜艳。集安蛇纹石质玉应为蛇纹石质玉中的中高档玉石品种。

References

- Cao Junchen, Kan Xuemin, Wen Guilan, *et al.* 1994. Mossbauer, EPR and IR Spectroscopic characteristics of Xiuyan jade[J]. Acta Mineralogica

- Sinica, 14 (3): 292~297(in Chinese with English abstract).
- Guan Yaxian, Huang Junjie, Bian Tonglin, *et al.* 1991. Mineralogical features of Anlu jade in Ji'an region, Jilin Province[J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 21(2): 151~156 (in Chinese with English abstract).
- Chukanov V Nikita. 2014. Infrared Spectra of Mineral Species[M]. Springer Dordrecht Heidelberg, New York, London, 484~485.
- Huang Ruifang, Sun Weidong, Ding Xing, *et al.* 2013. Mechanism for serpentinization of mafic and ultramafic rocks and the potential of mineralization[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(12): 4 336~4 348 (in Chinese with English abstract).
- Li Mingde. 1993. Thermodynamic investigation of the serpentinization, talcization and brucitization for the forsterite and clinoenite[J]. Journal of Mineral and Petrology, 13(3): 81~85(in Chinese with English abstract).
- Li Youqin and Jiang Shaoying. 1981. Study on the infrared spectra of chrysotiles in China[J]. Scientia Geologica Sinica, 16(3): 247~252.
- Liu Yangjie, Lin Xiaoming, Zhang Ting, *et al.* 2009. A mineralogical study on the serpentine in Nanzheng, Hanzhong, Shanxi[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 39(6): 1 032~1 036(in Chinese with English abstract).
- Mével. 2003. Serpentinization of abyssal peridotites at mid-ocean ridges[J]. Comptes Rendus Geosciences, 335(10~11): 825~852.
- O'Hanley D S and Dyar M D. 1993. The composition of lizardite 1T and the formation of magnetite in serpentinites[J]. American Mineralogist, 78: 391~404.
- Wang Changqiu, Wang Shiqi, Zhou Weiwei, *et al.* 2011. A genetic analysis of the Yingkou serpentine jade deposit in Liaoning Province [J]. 30(Suppl.): 185~194(in Chinese with English abstract).
- Wang Pu, Pan Zhaolu and Wong Lingbao. 1994. A System of Mineralogy (Middle)[M]. Beijing: Geological Press, 388~398(in Chinese).
- Wang Xiaomei, Zheng Zhigang, Ouyang Hegen, *et al.* 2010. Review of progress in serpentinization research of oceanic peridotites[J]. Advances in Earth Science, 25(6): 605~616(in Chinese with English abstract).
- Wang Yongya and Gan Fuxi. 2012. Coloration mechanism and Chromaticity of Xiuyan jade of China[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 32(9): 2 305~2 310(in Chinese with English abstract).
- Yu Shuyi. 2013. Spectral analysis of serpentine jade in Jian area, Jilin [D]. Master's thesis of Jilin University(in Chinese with English abstract).
- Zhang Liangju. 2002. A study on the composition and properties of Xiuyan jade in Liaoning Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 22(2): 137~142 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹俊臣, 阚学敏, 温桂兰, 等. 1994. 岫玉的穆斯鲍尔谱、电子顺磁共振谱和红外光谱特征[J]. 矿物学报, 14(3): 292~297.
- 关雅先, 黄俊杰, 边同林, 等. 1991. 吉林省集安安绿玉矿物学特征 [J]. 长春地质学院学报, 21(2): 151~156.
- 黄瑞芳, 孙卫东, 丁兴, 等. 2013. 基性和超基性岩蛇纹石化的机理及成矿潜力[J]. 岩石学报, 29(12): 4 336~4 348.
- 李明德. 1993. 橄榄石的蛇纹石化、滑石化、水镁石化的热力学讨论 [J]. 矿物岩石, 13(3): 81~85.
- 李幼琴, 江绍英. 1981. 蛇纹石矿物的红外光谱特征及其研究[J]. 地质科学, 16(3): 247~252.
- 刘养杰, 林晓明, 张婷, 等. 2009. 陕西汉中南郑蛇纹石玉的矿物学研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 39(6): 1 032~1 036.
- 王长秋, 王时麒, 周维卫, 等. 2011. 营口蛇纹石玉类型及其特征 [J]. 岩石矿物学杂志, 30(增刊): 185~194.
- 王濮, 潘兆枢, 翁玲宝. 1994. 系统矿物学(中)[M]. 北京: 地质出版社, 388~398.
- 汪小妹, 曾志刚, 欧阳荷根, 等. 2010. 大洋橄榄岩的蛇纹岩石化研究进展评述[J]. 地球科学进展, 25(6): 605~616.
- 王永亚, 干福熹. 2012. 中国岫岩玉的致色机理及色度学研究[J]. 光谱学与光谱分析, 32(9): 2 305~2 310.
- 于淑一. 2013. 吉林省集安蛇纹石玉的谱学研究[D]. 吉林大学硕士学位论文.
- 张良钜. 2002. 辽宁岫岩玉的组成和性质的研究[J]. 矿物学报, 22(2): 137~142.