

台湾花莲碧玉宝石学性质研究

沈春霞¹, 陈索翌¹, 李国贵¹, 刘东岳²

(1. 成都(国家)产品质量检验有限责任公司珠宝中心, 四川 成都 600041; 2. 中国地质大学 珠宝学院, 北京 100083)

摘要: 台湾花莲碧玉因其浓厚的颜色以及较细腻的结构和特殊光学效应受到广大消费者的喜爱。本文运用常规仪器、电子探针等测试手段研究台湾花莲碧玉宝石矿物学特征。通过科学全面系统的研究与前人资料对比可得, 碧玉样品的颜色主要为淡绿-深绿色, 颜色较为纯净, 分布不均匀。内部可见黑色金属矿物杂质。具油脂-丝绢光泽, 微透明-不透明, 折射率为 1.61, 相对密度 2.96~3.02 g/cm³, 硬度为 6~7。碧玉的主要组成矿物为透闪石或者阳起石, 次要矿物包括铬铁矿、铬钙铝榴石、透绿泥石。电子探针结果显示, 碧玉样品的主要元素成分为 MgO、SiO₂、CaO, 以及少量的 FeO 和微量的 Cr₂O₃、MnO、K₂O、Na₂O、Al₂O₃、TiO₂。根据样品数据的对比可以推测, 碧玉颜色的深度与 FeO 的含量呈正比, 当碧玉含有铬钙铝榴石包体时, 碧玉颜色更鲜艳。

关键词: 碧玉; 花莲; 宝石学特征; 化学成分

中图分类号: P619.28⁺3; P578.955

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)S2-0035-06

Comparative research on gemological characteristics of Hualian nephrite from Taiwan

SHEN Chun-xia¹, CHEN Suo-yi¹, LI Guo-gui¹ and LIU Dong-yue²

(1. Gem Center, Chengdu (National) Product Quality Inspection Co., Ltd., Chengdu 600041, China; 2. Institute of Gemology, China University of Geosciences, Beijing 100001, China)

Abstract: With its strong colors, delicate structure and special optical effects, the green Hualian nephrite of Taiwan is very popular among consumers. This paper deals with the gemological and mineralogical characteristics of green nephrite on the basis of basic test data and mineral compositions. Scientific, comprehensive and systematic research has a great significance for improving the scientific value and visibility of Hualian nephrite from Taiwan. The color of green nephrite ranges from light green to dark green, being relatively pure but distributed unevenly. Black metal mineral inclusions can be recognized, which have greasy-silky luster and are translucent to opaque. The green nephrite has refractive index of 1.61, relative densities from 2.96 to 3.02 g/cm³, and hardnesses from 6 to 7, and mainly consists of tremolite or actinolite, with minor grossular, chromite and chlorite. Electron microprobe analysis shows that the composition of green nephrite is characterized by relatively high values of MgO, SiO₂, CaO, comparatively low FeO, and minor amounts of Cr₂O₃, MnO, K₂O, Na₂O, Al₂O₃, TiO₂. The color of green nephrite has a positive correlation with the content of FeO. In addition, when the nephrite contains grossular, its color will become more bright.

Key words: nephrite; Hualian; gemological characteristics; chemical composition

软玉中碧玉的定义为颜色为青绿、暗绿、墨绿、质环境可以分为两种: 一种为产于酸性侵入岩体的绿黑色的软玉。碧玉根据形成的不同成矿机理和地接触带, 由花岗闪长岩和白云石大理岩接触交代而

成,碧玉质地较纯净细腻。另一种形成于超基性岩体的接触带,由镁橄榄石与中低温热液交代作用而成的蛇纹岩再同围岩(大理石或白云石)接触交代蚀变而形成,碧玉杂质较多,常含有黑色矿物包体(蔡青,2011)。因此两种碧玉的主要成分也有不同,前者主要为透闪石,后者多为阳起石。

自1986年起台湾碧玉就因故停采,直至今日仍然没有恢复开放。正是由于其稀有性及不可再生性,台湾碧玉拥有更高的经济价值(林嵩山,2011)。更值得一提的是,台湾碧玉中的碧玉猫眼是中国乃至世界软玉宝库中的珍品,具有很高的观赏、收藏和经

济价值。为了发扬光大中国玉文化,提高中国名贵宝石——台湾花莲碧玉的科学含量和知名度,对其进行科学全面系统的深入研究显得尤为重要。

1 宝石学性质

1.1 肉眼观察特征

对本标的颜色、质地、光泽、透明度进行肉眼观察为宝石鉴定的第一步。本论文选取了4个标本,均为台湾花莲产地碧玉,编号如图1所示,标本肉眼观察结果如表1所示。



图1 台湾花莲碧玉片理构造

Fig.1 Schistosity structure of Hualian nephrite from Taiwan

根据以上观察结果可以总结,台湾花莲碧玉颜色不均,多呈绿-深绿色,内部有黑色点状杂质;样品为片理构造,光泽范围为油脂光泽到丝绢光泽,透明度呈半透明-不透明,与地质结构成因相对应。

表1 样品观察结果

Table 1 Observations of samples

编号	颜色	质地	光泽	透明度
BY-1	绿-深绿	质地细腻	油脂-丝绢光泽	不透明
BY-2	绿	质地细腻	油脂-丝绢光泽	半透明
BY-3	绿-深绿	质地细腻	油脂-丝绢光泽	微透明
BY-4	绿-深绿	质地细腻	油脂-丝绢光泽	微透明

1.2 宝石学基本特征测试

进一步对台湾花莲碧玉样品进行宝石学性质测试,主要包括折射率、相对密度、硬度、发光性等方面,

表2 宝石学特征测试结果

Table 2 Test result of the gemological characteristics

编号	折射率	硬度	相对密度	发光性	滤色镜下反应
BY-1	1.61	6~7	3.02	惰性	不变色
BY-2	1.61	6~7	3.00	惰性	不变色
BY-3	1.61	6~7	3.00	惰性	不变色
BY-4	1.61	6~7	2.96	惰性	不变色

测试结果如表2所示。由于本论文标本结构纤维化严重,受结构约束,本文采用弧面宝石常用的点测法来测试样品的折射率。一般说来,宝石硬度越高,宝石的耐磨性就越好,通常宝石的质量也就越好。碧玉样品的硬度采用标准摩氏硬度笔测得。相对密度的测定通过静水力学法对样品进行3次测试,再将测试结果取其平均值。使用紫外荧光灯观察标本的发光性。还对样品进行了滤色镜下反应检测。

2 台湾花莲碧玉成分分析

角闪石族矿物的化学通式可表示为 $A_{0-1}X_2Y_5[T_8O_{22}](OH, F, Cl)_2$, 其中, $A = Na^+, Ca^{2+}, K^+, H_3O^+$, $X = Na^+, Li^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}$, $Y = Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Ti^{4+}, Cr^{3+}$, $T = Si^{4+}, Al^{3+}, Ti^{4+}$ 。根据《角闪石命名法——国际矿物学协会新矿物及矿物命名委员会角闪石专业委员会的报告》的规定, 根据 B 位的占位, 角闪石主要可被划分为 4 组。

(1) 当 $(Ca + Na)_B < 1.00$ 及 $(Mg, Fe, Mn, Li)_B$ 的总数 ≥ 1.00 时, 则属于 Mg-Fe-Mn-Li 角闪石组的成员;

(2) 当 $(Ca + Na)_B \geq 1.00$, 而 $Na_B < 0.50$ 时, 则

属于钙角闪石组的成员, 通常(但并非所有)情况下, $Ca_B \geq 1.50$;

(3) 当 $(Ca + Na)_B \geq 1.00$, 而 Na_B 处于 0.50 ~ 1.50 的范围内时, 则属于钠-钙角闪石组的成员;

(4) 当 $Na_B \geq 1.50$ 时, 为钠角闪石组的成员; 以前称为碱性角闪石, 但新的名称更为精确, 因为 Na 是关键元素, 而并非 K 和 Li(黄海, 2009)

为了解台湾花莲碧玉化学组成, 我们对样品进行了电子探针对样品的化学成分进行能谱分析。采用的电子探针仪器为日本岛津公司的 EPMA-1600 型电子探针, 测试地点为中国地质大学(北京)电子探针室。电子探针测试条件: 电压 15 kV, 电流 7 nA, 束斑直径 1 μm 。

此次实验共对 3 个电子探针薄片样品的 8 个点进行了 8 个电子探针成分分析。具体位置如图 2 所示。

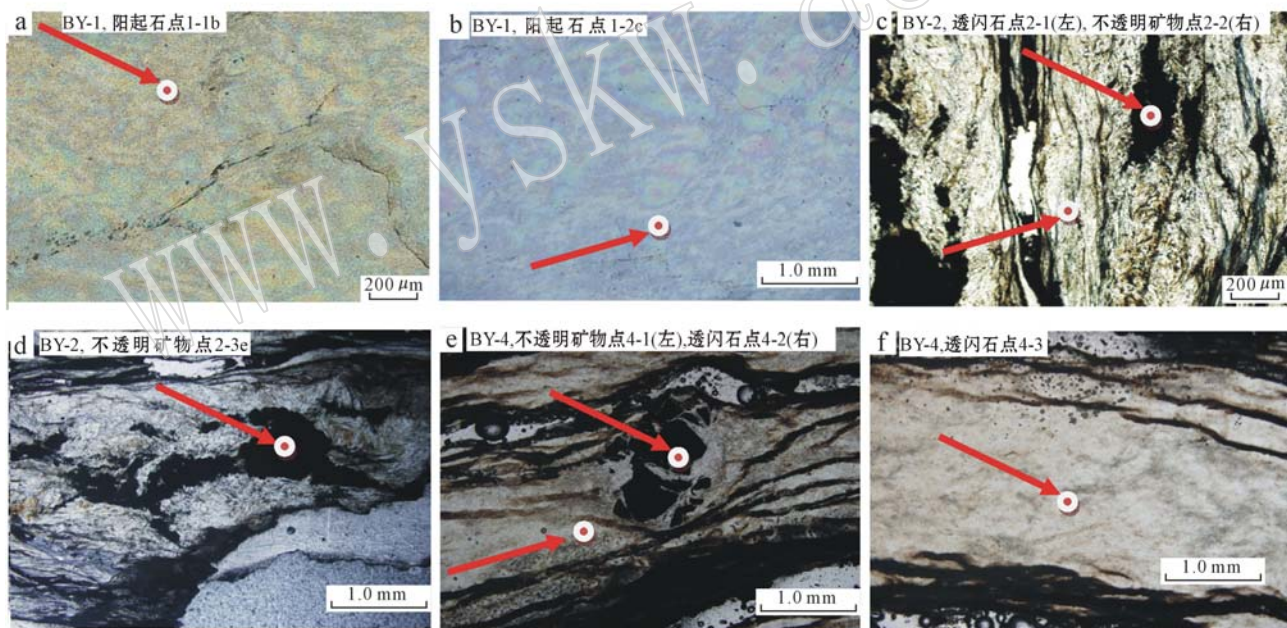


图 2 薄片中的作探针测试的矿物点

Fig. 2 Nephrite mineral point for probe test

电子探针分析结果如表 3 所示。

从 3 块样品中选取测试点, 通过测试结果可以看出, 碧玉样品的主要元素为 Mg、Si 和 Ca, 其中 SiO_2 含量区间为 53.95% ~ 57.75%, MgO 含量区间为 18.05% ~ 23.61%, CaO 含量区间为 12.59% ~ 24.27%, 次要元素为 Fe, 微量元素为 Mn、Cr、Ti、Na、K。观察对比得出, 台湾花莲碧玉 1 号样品中的

FeO 的含量较高, MgO 含量较低, 2、4 号样品各元素含量较为接近。经计算, 3 块样品的主要成分中 1 号样品接近阳起石理论值, 2、4 号样品的计算结果接近于透闪石的理论值(表 4)。但由于微量元素 Mn、Cr、Ti、Na、K 等离子体的替代作用, 导致样品主要元素的含量均略低于理论值。各种样品经计算得出的矿物化学式见表 5。

表3 碧玉电子探针测试结果

 $w_B/\%$

Table 3 Electron microprobe analyses of nephrite

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	总和
1-1	55.96	0.05	0.49	0.22	7.75	0.20	20.21	12.59	0.19	0.08		97.75
1-2	55.59	0.02	0.53	0.07	8.37	0.12	19.56	12.85	0.20	0.09		97.39
2-1	56.97	0.01		0.22	3.60	0.03	23.08	12.87	0.14			96.90
2-2	38.58	0.41	14.63	9.78	3.62	1.68	0.12	31.16	0.11	0.00		100.09
2-3	0.27	0.27	1.02	52.20	38.91	2.02	0.26	0.07	0.89		4.13	100.05
4-1	29.47	0.02	18.32	3.41	9.32	0.43	27.00	0.06	0.28			88.29
4-2	56.96	0.06	0.32	0.07	4.24	0.13	22.56	12.88	0.11	0.04		97.37
4-3	57.58	0.00	0.19	0.15	3.49	0.05	23.18	12.72				97.36

表4 样品中角闪石族矿物阳离子

Table 4 Cations of amphibole group minerals in samples

	Si	Ti	Al	Cr	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	Mg/(Fe ²⁺ + Mg)
1-1	7.843 7	0.005 3	0.080 9	0.024 4	0.777 5	0.130 9	0.023 7	4.223 1	1.890 6	0.051 6	0.014 3	0.844 5
1-2	7.843 4	0.002 1	0.088 1	0.007 8	0.845 4	0.142 1	0.014 3	4.114 3	1.942 4	0.054 7	0.016 2	0.829 5
2-1	7.884 5	0.001 0	—	0.024 1	0.249 4	0.167 2	0.003 5	4.762 0	1.908 2	0.037 6	—	0.950 2
4-2	7.918 9	—	0.030 8	0.016 3	0.286 3	0.115 0	0.005 8	4.752 6	1.874 2	—	—	0.943 2
4-3	7.872 9	0.006 2	0.052 1	0.007 6	0.344 5	0.145 5	0.015 2	4.648 6	1.907 2	0.029 5	0.007 1	0.931 0

表5 计算得出的样品矿物化学式

Table 5 Calculated mineral formula for the sample

编号	化学式	名称
1-1	($N_{0.0516}K_{0.0143}$) _{0.0659} ($Ca_{1.8906}Fe_{0.1094}^{2+}$) ₂ ($Mg_{1.2231}Fe_{0.6681}Fe_{0.1309}Cr_{0.0244}Mn_{0.0237}$) _{5.0702} [($Si_{7.8437}Al_{0.0809}Ti_{0.0053}$) _{7.9299} O ₂₂](OH) ₂	角闪石
1-2	($N_{0.0547}K_{0.0162}$) _{0.0700} ($Ca_{1.9424}Fe_{0.0576}^{2+}$) ₂ ($Mg_{1.1143}Fe_{0.7878}Fe_{0.1421}Mn_{0.0143}Cr_{0.0078}$) _{5.0663} [($Si_{7.8434}Al_{0.0881}Ti_{0.0021}$) _{7.9335} O ₂₂](OH) ₂	角闪石
4-2	($Ca_{1.8742}Fe_{0.1258}^{2+}$) ₂ ($Mg_{4.7526}Fe_{0.1605}Fe_{0.1150}Cr_{0.0163}Mn_{0.0058}$) _{5.0502} [($Si_{7.9189}Al_{0.0308}$) _{7.9497} O ₂₂](OH) ₂	角闪石
4-3	($N_{0.0295}K_{0.0071}$) _{0.0366} ($Ca_{1.9072}Fe_{0.0928}^{2+}$) ₂ ($Mg_{4.6486}Fe_{0.2517}Fe_{0.1455}Mn_{0.0152}Cr_{0.0076}$) _{5.0686} [($Si_{7.8729}Al_{0.0521}Ti_{0.0062}$) _{7.9312} O ₂₂](OH) ₂	角闪石
4-1	($Fe_{0.9762}^{2+}Mg_{0.0238}$)($Cr_{1.5188}Fe_{0.4183}Al_{0.0629}$) ₂ O ₄	铬铁矿
2-2	($Ca_{2.6122}Fe_{0.2369}Mn_{0.1113}Na_{0.0167}Mg_{0.0140}$) _{2.9744} ($Al_{1.3491}Cr_{0.6050}Ti_{0.0241}$) _{1.9788} [$Si_{3.0189}O_{12}$]	钙铝榴石
2-3	($Ca_{2.6023}Fe_{0.2023}Mn_{0.1115}Mg_{0.0552}Na_{0.0107}$) _{2.9820} ($Al_{1.3589}Cr_{0.5745}Ti_{0.0296}$) _{1.9630} [$Si_{3.0305}O_{12}$]	钙铝榴石
4-1	($Mg_{3.9095}Al_{0.9592}Fe_{0.7569}Cr_{0.2618}Na_{0.0527}Mn_{0.0354}Ca_{0.0062}Ti_{0.0015}$) _{5.9832} [($Si_{2.8623}Al_{1.1377}$) ₄ O ₁₀](OH) ₈	透绿泥石

矿物定名规则中,当次要元素所占含量 $>5\%$ 时可参与定名,另外当绿泥石中 $Si_B < 6$ 、 $Fe_B < 1$ 时,绿泥石属于透绿泥石亚种(李英哲,2011)。因此由上述计算结果可知,样品中所含次要矿物包括铬铁矿、钙铝榴石、透绿泥石。综上所述可以看出,台湾花莲碧玉中主要组成矿物为阳起石和透闪石,次要矿物含有铬铁矿、钙铝榴石、绿泥石。

3 不同产地碧玉对比分析

3.1 宝石学性质对比

碧玉的产地众多,主要的产出国包括中国(柴凤梅等,2000)、加拿大(黄海,2000)、俄罗斯(龙楚等,2001)、美国、蒙古以及澳大利亚、新西兰、巴西等。为了更好地确定台湾花莲碧玉的鉴定特征,本文对比前

人的研究成果,以产地为比较对象,首先从碧玉宝石学性质将台湾花莲碧玉与加拿大碧玉、俄罗斯碧玉、新西兰碧玉、玛纳斯碧玉和中国碧玉进行了多方面的对比分析,对比结果如表6所示。

通过以上对比可知,加拿大、新西兰、玛纳斯地区碧玉以及四川石棉软玉猫眼的折射率均大于台湾花莲碧玉,四川石棉软玉猫眼的密度较小,俄罗斯碧玉密度相对较大。台湾碧玉光泽与四川石棉软玉猫眼类似,其他产地碧玉均为油脂-蜡状光泽。透明度方面台湾碧玉范围较宽,半透明-不透明。

3.2 不同产地碧玉主要组成矿物成分对比

不同的生长环境以及成矿过程同时也会对碧玉的矿物组成产生决定性的影响。通过表7数据对比可以看出,台湾花莲碧玉主要组成矿物中Fe含量高于其他产地碧玉,Mg含量低于其他产地碧玉,主要矿

物根据铁含量的高低可为阳起石或透闪石;加拿大碧玉矿物成分组成元素种类较少,玛纳斯碧玉中含有产

地碧玉中所没有的元素 P,四川软玉猫眼中含有其他产地所没有的元素 Ni。

表 6 不同产地碧玉宝石学特征对比

Table 6 Comparison of gemological characteristics of nephrites from different producing areas

产地	折射率	相对密度/g. cm ³	硬度	颜色	质地	光泽	透明度
加拿大碧玉	1.62	2.964~3.049	6~6.5	绿色、深绿色、灰绿色、墨绿色	质地细腻-质地较粗	油脂-蜡状光泽	半透明-微透明
俄罗斯碧玉	1.61	3.01~3.03	6~7	深绿色	质地较细	蜡状-玻璃	微透明-不透明
新西兰碧玉	1.62	2.950~3.020	6~7	浅绿-深绿色内有黑色点状杂质	质地较细-较粗	油脂-蜡状光泽	半透明-微透明
玛纳斯碧玉	1.62	3.006	6.5~7	深绿色-墨绿色	质地较粗-粗糙	蜡状光泽	微透明-不透明
四川石棉软玉猫眼	1.62	2.91~2.95	6~7	浅绿、暗绿、碧绿、浅黄、密黄、深灰	质地细腻	油脂-丝绢光泽	半透明-不透明

表 7 不同产地碧玉主要成分对比

Table 7 Comparison of major mineral compositions of nephrites from different producing areas

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	P ₂ O ₅	NiO
台湾碧玉 1-1	0.19	20.21	0.49	55.96	0.08	12.59	0.05	0.22	0.20	7.75		
台湾碧玉 2-1	0.14	23.08	-	56.97	-	12.87	0.01	0.22	0.03	3.60		
加拿大碧玉	-	22.73	-	59.78	0.10	13.59	-	-	-	3.34		
俄罗斯碧玉	0.023	22.15	0.27	57.68	0.01	13.10	0.01	0.05	0.14	3.73		
玛纳斯碧玉	0.05	24.75	1.54	54.55	0.04	11.14	0.01	-	-	-	0.01	
四川软玉猫眼	0.08	21.61	0.27	56.85	0.04	13.13	0.03	0.03	0.24	5.05		0.08

参照前人研究可进一步对比不同产地碧玉次要矿物(任成明,2012),可得出结论:台湾花莲碧玉中含有其特有的铬铁矿、钙铝榴石、绿泥石,次要矿物的特性可作为与其他产地的碧玉区分的鉴定的特征。

4 结论

碧玉样品的颜色主要为淡绿色-深绿色,颜色较为纯净,分布均匀。内部可见黑色金属矿物杂质。台湾花莲碧玉的光泽可呈油脂-丝绢光泽。透明度为微透明-不透明。折射率点测试为 1.61,相对密度在 2.96~3.02 g/cm³ 之间,硬度为 6~7;发光性为惰性,滤色镜下不变色台湾花莲碧玉围岩颜色主要为灰绿色,颜色分布均匀纯净。光泽较碧玉弱,通常为蜡状光泽。透明度为不透明。

台湾花莲碧玉碧玉样品的主要组成矿物为透闪石-阳起石类质同像系列矿物,根据含铁量的不同,主要成分为透闪石或阳起石。碧玉样品的主要元素成分为 MgO、SiO₂、CaO 以及少量的 FeO 和微量的 Cr₂O₃、MnO、K₂O、Na₂O、Al₂O₃、TiO₂。碧玉颜色的深浅与 FeO 的含量呈正比,当含有钙铝榴石次要矿物

时,碧玉颜色更加鲜艳。计算台湾碧玉阳离子数,并由 Mg/(Mg+Fe²⁺) 的比值得出,台湾花莲碧玉样品的主要组成矿物为透闪石或阳起石。

台湾花莲碧玉的性质与其他产地碧玉较为接近,可根据宝石学特征和矿物成分组成进行一定的区分。台湾花莲碧玉经济价值因其浓厚的颜色以及较细腻的结构和特殊光学效应受到广大消费者的喜爱。高质量的台湾碧玉将有极高的经济价值,更为稀有的碧玉猫眼更是佳品。

References

- Cai Qing and Zhu Qinwen. 2011. The gemological study New Zealand jade [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 30(sup.): 95~100(in Chinese with English abstract).
- Chai Fengmei and Palatina*Abu Khan. 2000. Qinghai gemological characteristics of nephritecontrast research[J]. Journal of Xinjiang Institute of Technology, 21: 77~80(in Chinese).
- Huang Hai. 2000. Study on Gemmological Characteristics of Jasper from Canada[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese).
- Li Yingzhe, Liao Guanlin, Zhi Yingxue, et al. 2011. Taiwan Hualian nephrite fabric and vibration spectral[J]. Acta Petrologica et Mineralogica,

- 30(sup.): 73~77(in Chinese with English abstract).
- Lin Songshan. 1999. Taiwan nephrite jade (Nephrite) species and characteristics[J]. *Gems & Gemology* magazine, 1(3): 18~19(in Chinese).
- Long Chu, Li Xinling, Xu Zhi, *et al.* 2001. Study on genetic material composition and color of Russian Jasper[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(sup.): 78~82(in Chinese with English abstract).
- Ren Shuming, Zhang Liangju and Zhang Jie. 2012. The mineral composition, microstructure and generation of Taiwan nephrite[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 32: 36~42(in Chinese).
- 柴凤梅, 帕拉提·阿布都卡迪尔. 2000. 和田软玉和青海软玉的宝石学特征对比研究[J]. *新疆工学院学报*, 21: 77~80.
- 黄海. 2000. 加拿大碧玉的宝石学特征研究(硕士论文)[J]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 李英哲, 廖冠琳, 支颖雪, 等. 2011. 台湾花莲软玉的组构及振动光谱特征[J]. *岩石矿物学杂志*, 30(增刊): 73~77.
- 林嵩山. 1999. 台湾软玉(闪玉)的种属及特征[J]. *宝石和宝石学杂志*, 1(3): 18~19.
- 龙楚, 李新岭, 徐志, 等. 2001. 俄罗斯碧玉的物质组成及颜色成因研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 30(增刊): 78~82.
- 任成明, 张良钜, 张杰. 2012. 台湾软玉的矿物成分、显微结构特征及形成世代[J]. *桂林理工大学学报*, 32: 36~42.

附中文参考文献

蔡青, 朱勤文. 2011. 新西兰碧玉的宝石学研究[J]. *岩石矿物学杂*

www.yskw.ac.cn