

泰山玉的矿物岩石学特征

侯旭¹, 吴瑞华¹, 王时麒², 师伟³

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 北大宝石鉴定中心, 北京 100871; 3. 北京地大宝石检验中心, 北京 100083)

摘要: 采用电子探针、粉晶 X 射线衍射、化学分析和傅里叶变换红外光谱等方法对泰山玉进行了测试, 系统论述了山东泰山玉的颜色分类、矿物组成、化学成分、微量元素特征、结构和构造类型及物理性质。泰山玉分为 3 种类型: 泰山碧玉、泰山墨玉及泰山花斑玉。泰山玉主要由叶蛇纹石组成, 杂质矿物有磁铁矿、碳酸盐、滑石、绿泥石、斜方辉石、云母、黄铁矿、褐铁矿、硫镍矿等。泰山玉中的矿物生成顺序为片状蛇纹石→脉状蛇纹石→滑石→脉状碳酸盐。泰山碧玉和花斑玉由 Fe^{2+} 致色, 而泰山墨玉由微粒磁铁矿致色。与辽宁岫玉的区别在于泰山玉中 Cr、Ni 元素的含量很高。

关键词: 泰山玉, 叶蛇纹石, 矿物岩石学特征, Fe^{2+}

中图分类号: P575

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)S0-0169-06

Mineralogical and petrological characteristics of Taishan Jade

HOU Xu¹, WU Rui-hua¹, WANG Shi-qi² and SHI Wei³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Gems Appraisal Center of Peking University, Beijing 100871, China; 3. Beijing Dida Gem Testing Center, Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper, Taishan Jades were tested by such means as electron microprobe analysis (EPMA), X-ray diffraction (XRD), whole rock chemical analysis and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). They were discussed systematically in the aspects of colors, mineral composition, chemical composition, trace elements, texture, structure and physical properties. There are three types of Taishan Jades, namely Taishan green jade, Taishan black jade and Taishan piebald jade. The jade consists mainly of antigorite, with minor magnetite, carbonate, talc, chlorite, orthorhombic pyroxene, mica, pyrite, limonite and vaesite. The minerals in Taishan jades were formed in order of schistose serpentine→veined serpentine→talc→veined carbonate. The color of Taishan green jade and piebald jade is caused by Fe^{2+} , and the color of Taishan black jade results from particles of magnetite. Taishan Jades consist of more Cr and Ni in comparison with Xiuyan Jades.

Key words: Taishan Jade; antigorite; mineralogical and petrological characteristics; Fe^{2+}

泰山玉属于蛇纹岩, 因产于山东省泰安市泰山山麓而得名。该蛇纹岩主要由叶蛇纹石组成, 在上世纪八九十年代主要用于生产钙镁磷肥, 后来随着开采深度的增加才发现可用于雕刻的玉石。前人曾对泰山玉做过一些工作(张厚生等, 1989; 程佑法等, 2011), 主要是对矿床地质特征开展工作, 并对玉

石的成分和宝石学特征进行了研究。本文在前人工作的基础上, 应用各种分析测试手段对泰山玉的矿物成分、化学成分、结构构造特征以及不同种类玉石的折射率和密度进行了比较系统的研究。笔者将上述内容中的新认识与大家探讨, 以使泰山玉的宝石学研究得到更大的发展和深化。

1 矿体产出特征

泰山玉矿区位于泰安市岱岳区粥店街道石腊村,矿体赋存于太古界泰山群山草峪组的二辉橄榄岩中,严格受层间构造控制。矿体形态呈脉状、透镜状和不规则状产出,具有同一的延展方向,膨大收缩及分枝现象明显。原岩受到强烈的自变质作用,围岩蚀变类型有蛇纹石化、透闪阳起石化、滑石化、蛭石化、石棉化、绿泥石化、碳酸盐化、绿帘石化等^①。

2 泰山玉的分类

关于泰山玉的分类,国内目前尚无统一方案。



图1 泰山玉样品图片

Fig. 1 Photographs of Taishan jade samples

3 泰山玉的矿物学和岩石学特征

3.1 泰山玉的矿物组成

3.1.1 主要矿物成分

偏光显微镜下显示,泰山玉的主要组成矿物是蛇纹石,有一定的碳酸盐、滑石、磁铁矿、黄铁矿和绿泥石等。不同种类的泰山玉蛇纹石含量相差较大。碧玉含量最高,可达95%以上;墨玉一般在70%至85%之间;花斑玉中蛇纹石含量变化最大,低至55%,高可达90%。

从结构特征可明显看出,蛇纹石的形成可分为2个期次:第1期蛇纹石为片状,粒度较粗,一般为0.15~1.2 mm;第2期蛇纹石为细脉状集合体,穿切前期蛇纹石,粒度较小,偏光显微镜下无法看清其

本文根据当地的实际情况,参考商业贸易中的惯例,根据玉石的颜色、花纹、透明度等将泰山玉分为3类,样品照片见图1。

(1) 泰山碧玉(图1a):碧绿色至暗绿色,常见黑色磁铁矿斑点及零星黄铁矿颗粒,半透明至微透明,蜡状光泽至油脂光泽,叶片状结构,块状构造。

(2) 泰山墨玉(图1b):新鲜面为黑绿色,磨光面为墨黑色,含有较多的磁铁矿,不透明,蜡状光泽至油脂光泽,叶片状结构,块状构造。

(3) 泰山花斑玉(图1c):淡黄绿色至深墨绿色,间有白色菱镁矿斑块,常见黑色磁铁矿斑点,半透明至微透明,蜡状光泽至油脂光泽,叶片状结构,花斑状构造。

颗粒边界。根据镜下观察,矿物生成顺序为片状蛇纹石→脉状蛇纹石→滑石→脉状碳酸盐。

选择有代表性的样品做了电子探针、X射线衍射和红外光谱分析。

(1) 电子探针分析:样品的电子探针测试在中国地质大学(北京)地学实验中心电子探针实验室用日本EPMA-1600电子探针进行,分析人郝金华。分析结果见表1。从表1可知,该地蛇纹石主要由MgO和SiO₂组成,MgO为35.95%~41.46%,SiO₂为41.90%~44.70%。随着泰山玉颜色的加深,FeO的含量有增加的趋势,而其他元素无明显规律变化。

(2) X射线衍射分析:粉晶X射线衍射实验在中国地质大学(北京)粉晶X射线衍射实验室完成测试,采用日本理学D/Max-RC粉晶衍射仪,Cu靶

① 山东省化学矿地质勘探队,1985.山东省长清县界首矿区蛇纹岩矿详细普查地质报告。

表 1 泰山玉电子探针分析结果

 $w_B/\%$

Table 1 Electron microprobe analyses of Taishan Jade

序号	样品号	颜色	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Total
1	A-2-3	碧绿色	0.31	38.88	0.50	44.20	0.14	0.02	0.23	0.18	3.13	87.60
2	A-7-1	淡黄绿	0.31	41.23	0.15	43.93	0.01	0.00	0.11	0.00	1.88	87.63
3	A-7-2	淡黄绿	0.00	41.46	0.16	44.70	0.03	0.08	0.00	0.00	1.41	87.85
4	B-3-1	深墨绿	0.11	39.90	0.39	43.56	0.11	0.09	0.02	0.00	2.95	87.12
5	B-3-2	深墨绿	0.18	40.71	0.05	43.76	0.01	0.05	0.00	0.12	2.19	87.07
6	B-4	黑色	0.08	41.24	0.36	44.20	0.08	0.00	0.00	0.00	1.93	87.89
7	C-2-1	淡黄绿	0.21	40.44	0.16	44.27	0.10	0.04	0.00	0.00	2.65	87.87
8	C-2-3	淡黄绿	0.04	40.48	0.40	43.87	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09	86.89
9	C-3	深黄绿	0.00	35.95	0.08	41.90	0.10	0.00	0.00	0.05	9.44	87.53
10	C-5	淡黄绿	0.00	40.69	0.42	43.80	0.10	0.00	0.09	0.00	1.35	86.45
11	C-6-1	白绿色	0.18	39.75	0.65	42.98	0.08	0.00	0.00	0.06	2.28	85.98
12	C-6-2	白绿色	0.05	40.11	0.51	44.32	0.00	0.00	0.00	0.12	2.48	87.59

(CuK α 1 = 1.5406) 电压为 30 kV, 电流 110 mA, 起始角度 2.5° 终止角度 135°, 连续扫描模式。不同种类泰山玉的粉晶 X 射线衍射图谱见图 2。从图 2 可

见, 无论是衍射的波峰位置还是强度都与 JEPDS 标准卡片中的蛇纹石接近, 表示泰山玉主要由蛇纹石组成。蛇纹石可分为叶蛇纹石、利蛇纹石和纤蛇纹

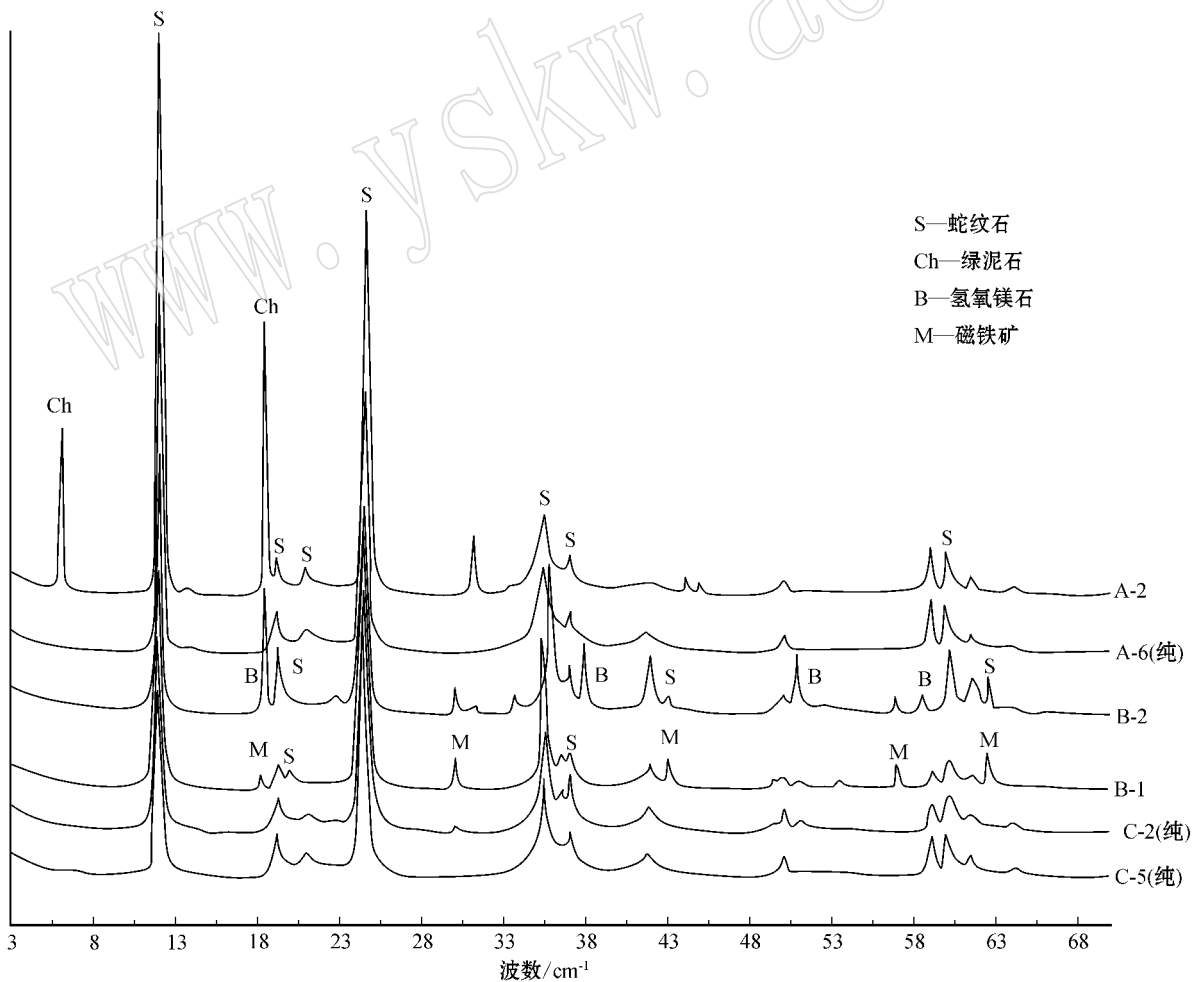


图 2 泰山玉的粉晶 X 射线衍射图

Fig. 2 X-ray powder diffraction patterns of Taishan Jade

石,这几种蛇纹石亚种在显微镜下不易区分,但借助粉晶X射线衍射分析可很好地区分它们。样品具有叶蛇纹石的特征谱线: 2.53×10^{-10} 的中强反射及 1.56×10^{-10} 、 1.54×10^{-10} 的弱反射,参照中国科学院贵阳地球化学研究所(1978)对蛇纹石粉晶的分析结果,表明泰山玉是由较纯的叶蛇纹石组成的。

(2) 红外光谱分析:样品的红外光谱测试在北京地大宝石检验中心完成,使用德国BRUKER VECTOR33傅里叶变换红外光谱仪,扫描范围: $400 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$,扫描次数:30。红外光谱分析图谱见图3,从图3可看出,OH的伸缩振动带位于 $3660 \sim 3690 \text{ cm}^{-1}$ 高频区, $960 \sim 1050 \text{ cm}^{-1}$ 间的吸收带属Si—O伸缩振动模式, 640 cm^{-1} 附近的吸收带可归于OH吸收, 565 cm^{-1} 附近的吸收带归属于Mg—O面外弯曲振动,Si—O弯曲振动位于 440 cm^{-1} 附近的一组吸收带。

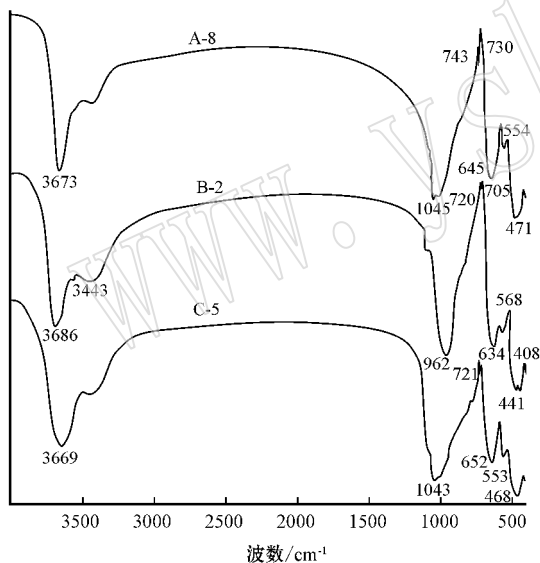


图3 泰山玉的红外光谱图

Fig. 3 Infrared spectrum of Taishan Jade

3.1.2 杂质矿物成分

不同品种泰山玉中的杂质矿物含量变化较大,在碧玉中仅占不到5%,在墨玉中为15%~30%,在花斑玉中最高可达45%。杂质矿物主要有磁铁矿、碳酸盐、滑石、黄铁矿、褐铁矿,含少量绿泥石、斜方辉石、硫镍矿及微量的氢氧化镁石、伊利石、高岭石、云母等。各种杂质矿物的电子探针分析数据见表2。

磁铁矿是泰山玉中最常见的杂质矿物,为黑色斑点状,部分为铬磁铁矿,薄片为黑色,不透明,粒度一般为 $0.05 \sim 0.8 \text{ mm}$,常呈集合体出现,粒径可达 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 。在碧玉和花斑玉中呈斑点状或团块状稀疏分布,而且随着泰山玉颜色的加深有增加的趋势;在墨玉中呈点状、团块状、脉状、浸染状分布,是墨玉致黑色的主要因素。碳酸盐矿物也是泰山玉中常出现的杂质矿物,可见两种不同形态的碳酸盐:一种为颗粒状,粒径 $0.04 \sim 0.15 \text{ mm}$;另外一种呈细粒状集合体产出,为细脉状,为晚期碳酸盐,常被褐铁矿所浸染。电子探针分析表明其均为菱镁矿。

滑石常见于花斑玉中,呈片状,粒度一般为 $0.3 \sim 0.8 \text{ mm}$,常交代蛇纹石,绿泥石多见于花斑玉中,常呈片状,粒度较大,一般为 $0.4 \sim 1.2 \text{ mm}$;褐铁矿在泰山玉中也较为常见,无定形态,沿裂隙分布,为磁铁矿地表风化的产物。黄铁矿是泰山玉中分布比较普遍的杂质矿物,呈他形粒状,粒径约为 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$,黑色不透明,反射色为黄色。斜方辉石在薄片偶尔可见,为淡黄色,透明,呈颗粒状稀疏分布,粒度一般在 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。白云母分布不普遍,偶尔可见,呈片状。

3.2 泰山玉的化学成分

在核工业北京地质研究院分析测试研究中心采用荷兰FHLISP生产的PW2404型X射线荧光光谱仪测试了不同种类泰山玉样品的化学成分,测试人夏晨光,其结果见表3。从表3可以看出,样品玉石

表2 杂质矿物的电子探针分析结果

$w_B/\%$

Table 2 Electron microprobe analyses of accessory minerals

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	Total
磁铁矿	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	94.65	94.69
铬磁铁矿	1.13	1.65	0.51	0.15	0.00	0.09	0.91	23.89	1.52	66.57	96.42
菱镁矿	0.00	47.35	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.04	3.25	50.73
滑石	0.49	31.34	0.01	61.43	0.00	0.09	0.05	0.00	0.00	1.85	95.25
绿泥石	0.16	33.50	13.23	33.42	0.10	0.04	0.09	0.00	0.13	5.04	85.72
斜方辉石	9.74	37.31	0.49	48.47	0.10	0.94	0.00	0.00	0.00	2.15	99.21
云母	0.54	28.59	11.14	44.20	7.75	0.09	0.00	0.00	0.01	3.20	95.52

表 3 泰山玉的主要化学成分含量

 $w_B/\%$

Table 3 Chemical compositions of Taishan Jade

样品号	品种	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	FeO	Total
A-2	碧玉	43.90	1.33	3.70	37.76	0.084	0.16	0.031	0.058	0.022	0.010	12.39	2.20	101.645
A-6	碧玉	44.65	1.38	2.86	37.78	0.071	0.16	0.033	0.051	0.028	0.011	12.50	1.55	101.074
A-7	碧玉	44.54	1.08	2.00	38.64	0.072	0.17	0.030	0.029	0.021	0.013	13.20	0.75	100.545
B-1	墨玉	39.52	0.36	9.93	38.23	0.060	0.12	0.017	0.042	0.016	0.010	11.34	3.35	102.995
B-2	墨玉	34.76	0.46	7.68	42.08	0.100	0.15	0.029	0.077	0.017	0.012	14.28	2.40	102.045
C-2	花斑玉	45.49	0.50	1.79	39.10	0.120	0.17	0.032	0.037	0.019	0.011	12.71	0.75	100.729
C-4	花斑玉	47.08	0.63	4.47	35.65	0.069	0.15	0.028	0.120	0.013	0.011	11.24	2.55	102.011

注 : Fe₂O₃ 为全铁含量。

的 MgO 含量略低于蛇纹石的理论数值 , 大多数在 37% 至 39% 之间 , CaO < 0.2% , 可能与样品中含菱镁矿等矿物有关 ; K₂O、P₂O₅、MnO、TiO₂ 含量甚微。对泰山玉的颜色起主导作用的是 Fe₂O₃ 及 FeO 的含量 , 初步认为泰山碧玉和花斑玉的具体颜色及浓度取决于 Fe²⁺ , 其颜色的加深是 Fe²⁺ 含量增加的缘故。

在核工业北京地质研究院分析测试研究中心采

用 Finnigan MAT 公司制造的 HR-ICP-MS (Element 1) 分析测试了样品的微量元素含量 , 测试人张良圣 , 结果见表 4。辽宁岫玉同样是由叶蛇纹石组成的 , 为了探讨两者之间的区别 , 与不同颜色岫玉的微量元素含量 (王时麒等 2007) 相比 , 泰山玉中的 Cr、Ni 含量较高 , Cr 含量为辽宁岫玉的 2~3 倍 , 而 Ni 含量最高为岫玉的 40 倍左右。因此较高的 Cr、Ni 含量可作为与岫玉相区分的依据。

表 4 泰山玉的微量元素

 $w_B/10^{-6}$

Table 4 Trace elements of Taishan Jade

样品编号	品种	Sr	Ba	V	Co	Ni	Cu	Zn	Cr	Nb	Zr	Pb
A-2	碧玉	20.300	3.060	23.900	111.000	2 220.000	602.000	307.000	794.000	1.140	4.230	31.800
A-6	碧玉	8.090	1.670	16.000	95.300	1 839.000	73.700	63.400	597.000	0.549	6.190	5.800
A-7	碧玉	0.822	4.770	9.220	59.200	2 235.000	16.200	26.400	668.000	0.281	2.270	1.940
B-1	墨玉	0.884	2.950	10.900	136.000	3 086.000	8.010	44.100	878.000	0.205	0.617	0.570
B-2	墨玉	2.190	35.600	9.830	122.000	2 593.000	27.700	52.800	830.000	0.131	1.480	18.700
C-2	花斑玉	2.330	4.660	10.100	62.100	2 283.000	813.000	323.000	692.000	0.321	2.120	44.600
C-4	花斑玉	11.700	2.280	19.500	110.000	1 807.000	329.000	76.600	632.000	0.615	1.680	8.220

3.3 泰山玉的结构和构造

3.3.1 泰山玉的结构

泰山玉的矿物粒度非常细小 , 肉眼观察为隐晶结构 , 在偏光显微镜下观察 , 其主要为叶片状变晶结构 , 蛇纹石呈叶片状 , 颗粒往往比较粗大 , 粒度一般为 0.15~1.2 mm , 显微照片见图 4。

按粒度相对大小可分为 ① 等粒变晶结构 : 蛇纹石矿物的颗粒大小差别不大 , 呈等粒状均匀相嵌分布。这种结构多见于质量较好的泰山碧玉中。② 不等粒变晶结构 : 蛇纹石矿物的颗粒大小不等 , 混杂排列呈不等粒状结构。这种结构由不同期次的蛇纹石组成 , 早期蛇纹石的颗粒较粗 , 晚期蛇纹石的颗粒较细。③ 斑状变晶结构 : 组成泰山玉的矿物明显可分为两种 , 晶体大小相差悬殊 , 一种是大晶体呈斑晶 ,

主要为菱镁矿 ; 一种是细小的晶体组成基质 , 主要为叶片状蛇纹石。这种结构主要见于泰山花斑玉中。

3.3.2 泰山玉的构造

① 块状构造 : 是泰山玉中最常见的构造 , 玉石中的矿物成分分布较均匀 , 无定向排列 , 呈均一的致密块体。② 花斑状构造 : 玉石中的白色菱镁矿集合体与绿色蛇纹石集合体相互交织在一起 , 形成花斑状构造。泰山花斑玉即为这种构造。

3.4 泰山玉的物理性质

手标本观察 , 泰山碧玉和泰山花斑玉的透明度较好 , 主要属于微透明 , 泰山墨玉的透明度最差 , 属于不透明 ; 大部分样品呈玻璃光泽 , 少数呈蜡状光泽 , 在实验室通过静水称重法测定样品的密度 , 12 件样品的测定结果见表 5 , 泰山碧玉的密度为 2.59

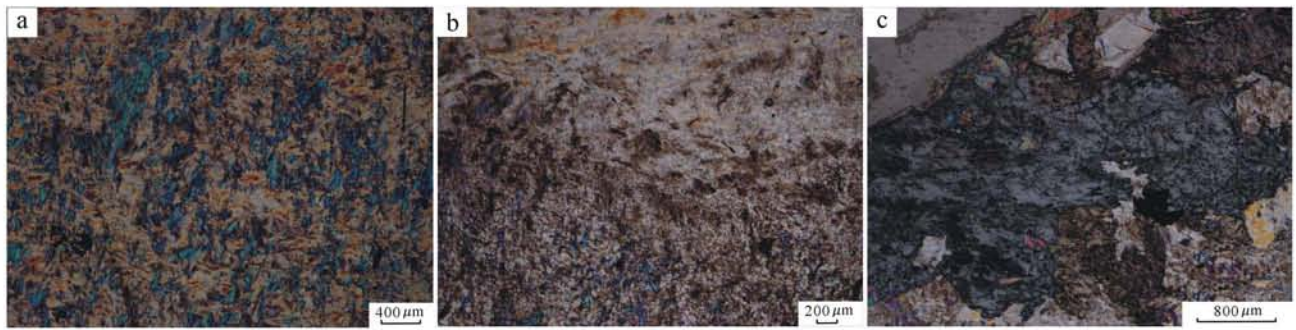


图4 泰山玉样品在正交偏光下的特征

Fig. 4 Characteristics of Taishan jade under crossed nicols

a—等粒变晶结构; b—不等粒变晶结构; c—斑状变晶结构

a—homoeoblastic texture; b—heteroblastic texture; c—porphyroblastic texture

表5 泰山玉的密度测定值
Table 5 Density of Taishan jade

序号	标本号	品种	颜色	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
1	A-1	泰山碧玉	碧绿色	2.64
2	A-3	泰山碧玉	深墨绿	2.66
3	A-4	泰山碧玉	深墨绿	2.65
4	A-5	泰山碧玉	绿色	2.60
5	A-8	泰山碧玉	墨绿色	2.59
6	B-2	泰山墨玉	黑色	2.60
7	B-3	泰山墨玉	黑色	2.63
8	B-4	泰山墨玉	黑色	2.74
9	C-3	泰山花斑玉	深黄绿	2.62
10	C-5	泰山花斑玉	淡黄绿	2.58
11	C-6	泰山花斑玉	白绿色	2.57
12	C-9	泰山花斑玉	淡黄绿	2.62

~2.66 g/cm^3 , 泰山墨玉为 2.60~2.74 g/cm^3 , 泰山花斑玉为 2.57~2.62 g/cm^3 ; 用折射仪测定 21 件泰山玉样品的折射率, 为 1.56~1.57。

4 讨论

本次研究的泰山玉样品的主要组成矿物是蛇纹石, 初步认为泰山碧玉和花斑玉的具体颜色及浓度取决于 Fe^{2+} , 须做进一步的测试研究。在对市场调查的过程中发现, 大量假冒品已现身市场, 它们同样为蛇纹石玉, 在外观上与泰山玉极为相似, 因泰山有其独特的文化背景, 所以如何在无损分析的条件下区分泰山玉与其他产地的蛇纹石玉应是下一步工作的重点。

5 结论

泰山玉主要由叶蛇纹石组成, 玉石中含有绿泥

石、菱镁矿、滑石、磁铁矿等物相, 其中蛇纹石有两个世代即叶片状和脉状, 矿物生成顺序为片状蛇纹石→脉状蛇纹石→滑石→脉状碳酸盐。泰山碧玉和花斑玉的具体颜色及浓度取决于 Fe^{2+} , 其颜色的加深是 Fe^{2+} 含量增加的缘故; 墨玉为微粒磁铁矿致色。

References

- Cheng Youfa, Li Jianjun, Fan Chunli, *et al.* 2011. Gemology characters of Taishan jade[J]. *Journal of Gems & Gemology*, 13(1): 29~32(in Chinese).
- Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1978. The Manual for XRD of Mineral[M]. Beijing: Science Press, 292~293(in Chinese).
- Wang Shiqi, Zhao Chaohong, Yu Guang, *et al.* 2007. Xiuyan Jades in China [M]. Beijing: Science Press, 4~22(in Chinese with English abstract).
- Zhang Housheng and Zhang Xiyu. 1989. Study on geological characteristics of Taishan jade and its properties for artistic processing[J]. *Geology of Shandong*, 5(1):63~72(in Chinese).

附中文参考文献

- 程佑法, 李建军, 范春丽, 等. 2011. “泰山玉”的宝石学特征[J]. *宝石和宝石学杂志*, 13(1):29~32.
- 王时麒, 赵朝洪, 于洗, 等. 2007. 中国岫岩玉[M]. 北京: 科学出版社, 4~22.
- 张厚生, 张希雨. 1989. 泰山玉地质特征及其工艺加工性研究[J]. *山东地质*, 5(1):63~72.
- 中国科学院贵阳地球化学研究所. 1978. 矿物 X 射线粉末鉴定手册 [M]. 北京: 科学出版社, 292~293.