

大化墨玉的矿物学特征

王长秋, 孙 鹏, 王时麒

(造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871)

摘要: 一种新的墨玉最近在广西大化瑶族自治县被发现。对该玉石的宝石学、岩石学、矿物学特征的系统研究表明, 其质地细腻, 主要组成矿物有阳起石和铁阳起石(95%以上), 呈显微毛毡状、柱状结构, 含特征次要矿物黑硬绿泥石, 并常含黄铁矿、磁黄铁矿。作为一种新型的墨玉成因矿床, 大化墨玉产于辉绿岩与围岩碳酸盐岩的内接触带, 是夕卡岩化后热液交代作用的产物。与其他产地墨玉相比, 宝石学特征基本相同, 但大化墨玉成分上更富铁, 主要由铁含量高的矿物组成, 密度略偏高。其黑色是由高铁含量的阳起石-铁阳起石所致。

关键词: 阳起石-铁阳起石; 黑硬绿泥石; 墨玉; 矿物学; 广西大化

中图分类号: P619.28⁺3; P578.955

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)S2-0001-09

Mineralogical characteristics of Dahua dark nephrite, Guangxi

WANG Chang-qiu, SUN Peng and WANG Shi-qi

(Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, MOE, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: A new kind of black nephrite was found in Dahua Yao Autonomous County, Guangxi Zhuang Autonomous Region. In this paper, gemological, petrological and mineralogical characteristics of the nephrite were studied. The results show that the fine and moist nephrites with micro-interwoven fibers and micro-prismatic textures are composed mainly of actinolite and ferroactinolite, and contain typical minor mineral stilpnomelane together with pyrite and pyrrhotite. As a new genetic type of dark nephrite deposit, the Dahua black nephrites occur in the inner contact zone between diabase and surrounding carbonate rocks and were formed by hydrothermal metasomatism after skarnization. The Dahua black nephrites have almost the same gemological characteristics as the black nephrites from other places, whereas the Dahua black nephrites with slightly higher density are iron-richer in composition and consist mainly of minerals with high iron content. The color of Dahua black nephrites is caused by actinolite-ferroactinolite with high iron content.

Key words: actinolite-ferroactinolite; stilpnomelane; black nephrite; mineralogy; Dahua, Guangxi

广西大化是我国重要的观赏石产地之一, 大化彩玉石在赏石界颇负盛名。2008年以来, 县境内新发现了透闪石玉矿, 玉石有白玉、青白玉、青玉、黄玉、青绿玉、绿玉和芝麻点玉几个类型, 大化又成为我国新兴的软玉产地之一。2013年, 一种新的墨玉在大化被发现并被当地玉石加工者用于制作手镯、

观音雕件(图1)等饰品并出售。加工好的制品, 质地致密细腻, 颜色均匀, 抛光感好, 光泽较强, 因而售价不菲。

大化透闪石玉的基本特征已有相关研究报道(李旭等, 2011; 徐立国等, 2014), 而大化墨玉的基本特征尚不为人知。为了揭示大化墨玉的基本特征,



图1 大化墨玉手镯和观音雕件

Fig. 1 A bracelet and a Guanyin carving made of Dahua black nephrites

笔者深入玉石产地,实地采集了研究样品,在室内进行了系统测试分析,研究了大化墨玉的矿物学及其他特征。

1 地质背景及玉石产出概况

大化墨玉矿点位于广西大化瑶族自治县岩滩镇仙女屯,玉材开采现场位于仙女屯北的一处山上。研究样品即采自开采现场(图2),具体位置 N 24.03°, E 107.46°,海拔 541 m。



图2 大化墨玉开采现场

Fig. 2 The mining field of Dahua black nephrites

区域大地构造位于华南褶皱系右江褶皱带西缘,北与扬子准地台上扬子台褶皱带相毗邻。矿区出露的与玉石相关的地层主要有下二叠系四大寨组和中石炭统南丹组。四大寨组为浅海相沉积的灰岩、

白云岩夹粉砂岩、页岩和硅质岩;南丹组为浅海相沉积的灰岩、白云岩夹硅质岩。古生代末期生成的辉绿岩顺地层侵入形成岩床,与围岩接触处均可形成接触交代变质蚀变带,其中致密者成为玉矿。

玉石产于辉长-辉绿岩岩体边缘,呈厚薄不等的层板状、透镜状平行于岩体与围岩的边界。作为玉石使用的细腻岩石与中粗粒的石榴角闪岩间层产出,或呈大小不等的透镜状分布于石榴角闪岩中。玉石层厚者达 10 cm 左右,薄者仅 1~2 cm (图3)。

2 岩相学及宝石学特征

玉石手标本新鲜面颜色青灰-灰黑色,风化面土黄-黄褐色,隐晶质结构,致密块状构造(图3)。

偏光显微镜下,主要组成矿物为角闪石,含量 95% 以上,颗粒细小,长径均在 0.1 mm 以下,Ⅰ级灰黄-Ⅱ级红干涉色。呈显微柱状、针状或纤维状交织(毛毡状)在一起,组成柱状、针状、纤维状交织结构(图4),局部角闪石略具定向性。次要矿物有黑硬绿泥石、单斜辉石、石榴子石、白云石、方解石等,并常见磁黄铁矿、黄铁矿散布,偶见褐帘石。副矿物主要是磷灰石、钛铁矿等。

大化墨玉质地细腻,反光下颜色黝黑,不透明,玻璃光泽,折光率 1.59~1.61,相对密度 3.15 g/cm³,摩氏硬度 6~6.5。在薄片厚度时,肉眼观察呈黄绿色,但其成品却不显绿色。



图 3 厚层状(左)和薄层状(右)墨玉

Fig. 3 The thick (left) and thin (right) layer black nephrites

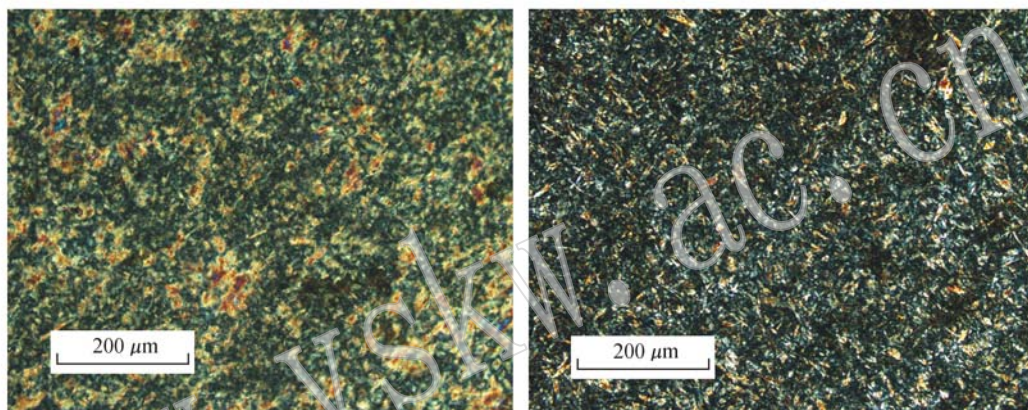


图 4 大化墨玉的显微毛毡状(左)和显微柱状(右)结构

Fig. 4 Photomicrographs of micro-interwoven fibers (left) and micro-prismatic (right) textures of Dahua black nephrites

3 岩石化学特征

墨玉的化学成分分析在北京大学地球与科学学院的造山带和地壳演化教育部重点实验室完成。常量元素分析采用 ARLADVANTXP + X 射线荧光光谱仪, 实验条件: 激发电流 50 mA, 激发电压 50 kV, 灵敏度 0.001%; 稀土及微量元素分析采用 Agilent 7500ce/cs 型 LA-ICP-MS, 精度 RSD < 5%。

样品的常量元素 XRF 化学分析结果见表 1。其

表 1 大化墨玉的常量元素化学分析结果 $w_B/\%$

Table 1 Analyses of major elements of Dahua black nephrites

样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	TFe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO
H-2	49.34	0.58	0.002	21.76	0.169	12.92	10.47
H-12	44.99	2.83	0.004	29.11	0.235	8.45	6.49
样号	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	LOI	Total	
H-2	0.09	0.07	0.029	2.58	1.96	99.97	
H-12	0.57	0.59	0.032	2.78	3.86	99.94	

中 SiO₂ 含量在 45% ~ 49%, MgO、CaO 和全 Fe₂O₃ 含量分别为 8.45% ~ 12.2%、6.49% ~ 10.47% 和 21.76% ~ 29.11%。因次要矿物含量不同, 成分有明显变化, Fe 和 Mg 以及 Fe 和 Ca 都是反消长关系。值得注意的是, 样品中含百分之二点几的 S, 这与手标本和镜下观察的含少量磁黄铁矿等硫化物相符。样品的稀土元素和微量元素化学分析结果见表 2, 稀土元素配分型式见图 5。玉石的稀土元素总量较低, 负 Eu 异常明显, 两个样品稀土元素分馏有一定差别, H-2 不显重稀土元素亏损, 而 H-12 表现出一定程度的轻稀土元素富集和重稀土元素亏损。稀土元素配分型式与区域内的辉绿岩(A-7、A-8)明显不同, 而与碳酸盐岩(D-12、D-13)相似。其他微量元素含量多不高, Co、Cu 在数十 10⁻⁶, 相对略高, 应与玉石中含少量的金属硫化物有关; 另外, H-12 的 Rb、Sr、Ba、Cs 等碱金属和碱土金属元素含量较高, 以及更强的轻重稀土元素分馏, 可能都与该样品受后期交代

表2 大化墨玉的稀土元素和微量元素化学分析结果

 $w_B/\%$

Table 2 Analyses of REE and trace elements of Dahua black nephrites

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
H-2	0.73	0.97	0.23	1.15	0.28	0.06	0.42	0.08	0.58	0.14	0.41	0.06
H-12	1.53	1.91	0.42	2.13	0.39	0.05	0.40	0.06	0.34	0.07	0.20	0.03
样号	Yb	Lu	Σ REE	LREE	HREE	Li	Be	Sc	V	Co	Cu	Ga
H-2	0.38	0.06	5.53	3.41	2.12	0.45	0.59	0.19	8.00	47.65	23.93	1.96
H-12	0.19	0.03	7.75	6.43	1.32	0.56	0.32	0.26	8.00	54.84	57.03	5.05
样号	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Cs	Ba	Hf	Ta	Th	U
H-2	3.50	4.49	6.05	1.30	0.78	2.62	3.43	8.30	0.05		0.12	0.95
H-12	40.27	29.11	2.87	2.35	0.25	1.91	33.86	126.79	0.10	0.02	0.17	0.62

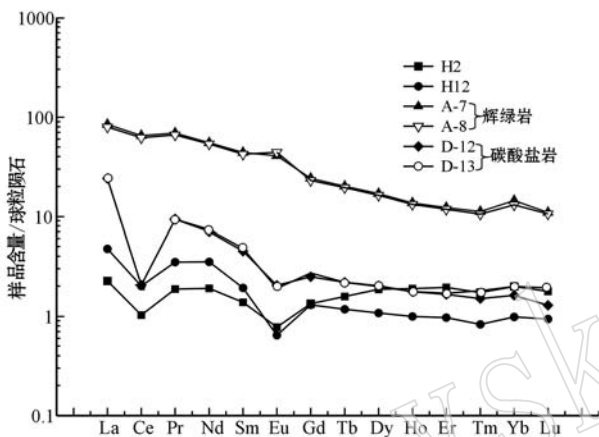


图5 大化墨玉及区内辉绿岩和碳酸盐岩的稀土元素配分型式

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of Dahua black nephrites as well as diabases and carbonate rocks in the study area

作用较强有关。

4 矿物学特征

为了详细研究大化墨玉的矿物学特征,对玉石样品进行了X射线衍射(XRD)、红外光谱(IR)和电子探针分析。

电子探针分析在北京大学地球与空间科学学院电子探针实验室采用日本电子JXA-8100型探针仪完成。实验条件:加速电压15 kV,束流 1×10^{-8} A,束斑 $2 \mu\text{m}$,修正方法PRZ,标准样品为美国SPI公司53种矿物。

IR测试在北京大学宝石鉴定中心完成,仪器型号为布鲁克Tensor27傅里叶变换红外光谱仪,扫描范围 $4000 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$,分辨率 6 cm^{-1} ,KBr压片法透射测试。

XRD测试在北京大学化学学院粉晶X射线衍射实验室完成,仪器型号为D8 Discover X射线衍射仪,测试条件:Cu靶 $K\alpha$,管电压40 kV,管电流40 mA。

4.1 红外光谱分析

IR分析(图6)结果显示,玉石中主要表现出阳起石的振动峰(彭文世等,1980)。其中, $3700 \sim 3400 \text{ cm}^{-1}$ 为M—OH的伸缩振动谱带,其频率和强度受M1、M3及A位的阳离子控制; $1100 \sim 900 \text{ cm}^{-1}$ 出现4个吸收谱带,位于 1100 、 1050 、 995 、 950 cm^{-1} 附近,属于O—Si—O的反对称伸缩振动、Si—O—Si的反对称伸缩振动和O—Si—O对称伸缩振动; $750 \sim 600 \text{ cm}^{-1}$ 有3个吸收谱带,位于 750 、 685 、 650 cm^{-1} 附近,属于Si—O—Si对称伸缩振动; $600 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$ 有两个吸收谱带,位于 500 、 460 cm^{-1} 附近,属于Si—O弯曲振动、M—O伸缩振或OH平动的耦合振动。图谱中也含微弱的碳酸盐矿物振动峰。

4.2 X射线衍射分析

玉石样品的XRD(图7)主要衍射峰位与阳起石(标准卡片80-0521)基本对应,表明玉石的主要矿物相是阳起石。样品H-12在 $d = 11.99$ 附近出现不属于阳起石的强衍射峰,与黑硬绿泥石的最强峰相当。综合不同资料给出的黑硬绿泥石XRD数据,其主要峰位的 d 值分别为: $12.10 \sim 11.90(10)$, $4.00 \sim 4.045(8 \text{ 或 } 6)$, $3.03 \sim 3.036(7 \text{ 或 } 5)$, $2.549 \sim 2.57(10 \text{ 或 } 5)$, $2.35(7)$,略有差异(王濮等,1984;蒋永年等,1984;Bernard & Hyršl, 2006)。这些峰位在H-12图谱上均有位置相近的对应峰,表明该矿物为黑硬绿泥石。由于黑硬绿泥石在岩石中为次要矿物,含量较低,标准卡片中的一些较弱的峰在图谱上无显示。样品H-2阳起石含量较高,但也见黑硬绿泥石最强峰的微弱显示。

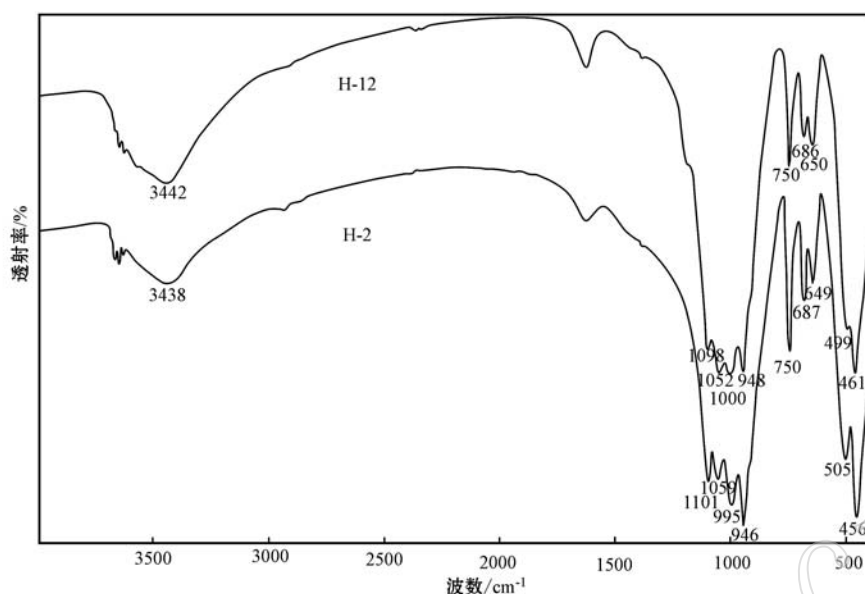


图 6 大化墨玉的红外光谱图

Fig. 6 Infrared spectra of Dahua black nephrites

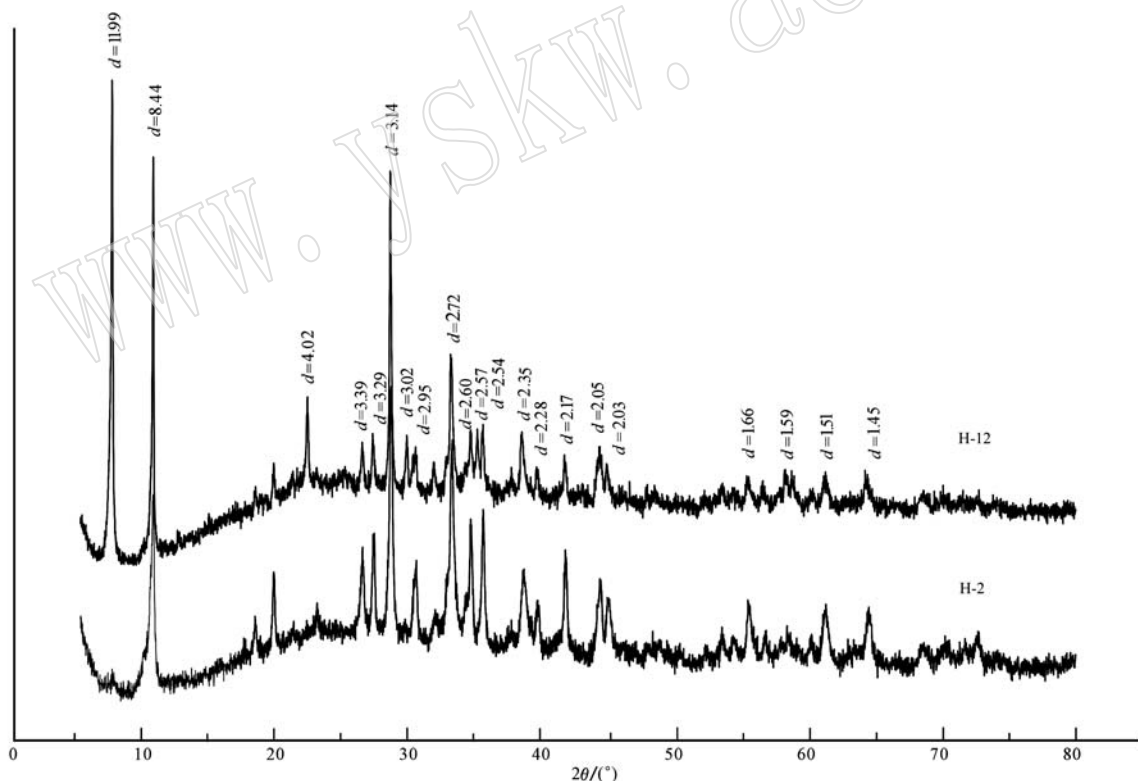


图 7 大化墨玉的 XRD 图谱

Fig. 7 XRD patterns of Dahua black nephrites

4.3 电子探针分析

主要物相角闪石在大化墨玉表现出两种形态。一种呈它形细粒状, 粒径在 0.1 mm 以下, 无色-淡绿色多色性, 均匀分布于玉石中(图 8a), 为墨玉的主要

组成; 另一种为针状或柱状, 自形-半自形, 长径在 0.05 mm 以下, 散布于它形闪石之上(图 8a), 也见局部聚集(图 8b), 颜色相对较深, 为淡绿-绿色多色性。背散射电子像显示自形角闪石比它形者亮度更高。

续表 3

Continued Table 3

	H-7	H-7	H-2	H-2	H-2	H-12	H-12	H-7	H-7	H-7
SiO ₂	52.87	51.72	53.84	54.24	53.59	53.68	53.74	53.69	53.97	53.26
Al ₂ O ₃	0.13	0.36	0.24	0.23	0.26	0.43	0.28	0.32	0.24	0.26
TiO ₂					0.02	0.07	0.03	0.02	0.01	
FeO	25.11	25.59	19.48	18.47	19.17	19.92	20.67	19.15	18.61	18.80
Cr ₂ O ₃	0.03	0.06	0.04	0.09	0.38	0.08	0.03	0.03	0.01	0.01
MgO	7.91	7.42	12.61	12.83	11.98	11.58	11.89	12.25	12.11	11.93
CaO	11.85	11.62	11.18	11.55	11.15	11.15	10.21	11.11	11.48	11.14
MnO	0.12	0.17	0.17	0.20	0.26	0.22	0.31	0.21	0.19	0.27
Na ₂ O	0.07	0.06	0.11	0.05	0.08	0.03	0.03	0.18	0.10	0.03
K ₂ O	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05	0.03	0.01
Total	98.11	97.04	97.75	97.77	96.93	97.18	97.30	96.98	96.75	95.70
以 23 个 O 和 13 eCNK 计算的阳离子数										
Si	7.998	7.929	7.830	7.894	7.888	7.893	7.815	7.881	7.969	7.930
Al	0.023	0.065	0.041	0.039	0.045	0.075	0.048	0.055	0.041	0.046
Ti					0.002	0.008	0.003	0.002	0.001	
Cr ³⁺	0.004	0.007	0.005	0.010	0.044	0.009	0.003	0.003	0.001	0.001
Fe ³⁺	0.111	0.227	0.771	0.535	0.580	0.580	1.108	0.619	0.351	0.528
Mg	1.784	1.696	2.734	2.784	2.629	2.538	2.578	2.681	2.666	2.648
Fe ²⁺	3.066	3.054	1.598	1.713	1.780	1.870	1.406	1.732	1.947	1.813
Mn	0.015	0.022	0.021	0.025	0.032	0.027	0.038	0.026	0.024	0.034
Ca	1.921	1.909	1.742	1.801	1.758	1.757	1.591	1.747	1.816	1.777
Na	0.021	0.018	0.031	0.014	0.023	0.009	0.008	0.051	0.029	0.009
K	0.006	0.008	0.007	0.011	0.011	0.013	0.013	0.009	0.006	0.002
Mg/(Mg+ Fe ²⁺)	0.368	0.357	0.631	0.619	0.596	0.576	0.647	0.607	0.578	0.594
名称	铁阳起石	铁阳起石	阳起石	阳起石	阳起石	阳起石	阳起石	阳起石	阳起石	阳起石

石(Stp)。有的呈针状,较为自形,褐绿-无色多色性明显,有的与它形阳起石交织过渡,界限不清,但由于其 Fe 含量高于阳起石, BSE 图像上明显更亮(图 8a)。电子探针分析结果(表 4)显示,不同测试点的成分基本相同, SiO₂ 含量在 44.52%~47.18%, 全铁含量高, 超过 30%, MgO 在 4.34%~5.87%, K₂O 在 0.81%~2.00%, 总质量分数在 90% 左右, 与其它变质岩及铁矿区的黑硬绿泥石成分基本一致(蒋永年等, 1984; Baker, 1985; 翟淳等, 2000; 孔繁梅等, 2009)。

大化墨玉中的石榴子石分布于玉石与相邻的石榴角闪岩的接触过渡部位, 呈自形粒状, 边缘和裂隙发育蚀变, 形成阳起石、黑硬绿泥石和碳酸盐矿物的后成合晶。电子探针分析结果表明, 成份上属于钙铁榴石(表 4)。

单斜辉石在墨玉中偶尔可见, 呈蚀变残余被阳起石包围, 成份上属于钙铁辉石(Morimoto *et al.*, 1988)。

磁黄铁矿和黄铁矿是大化墨玉中常见的金属矿

物, 有时可见磁黄铁矿局部聚集。电子探针能谱测试磁黄铁矿 S 含量为 34.51%, Fe 为 64.41%; 黄铁矿 S 为 51.55%, Fe 为 48.45%。

5 讨论与结论

5.1 大化墨玉成因浅析

大化墨玉产于辉绿岩体与围岩接触带的岩体一侧, 细腻隐晶的玉石与含较大颗粒自形钙铁榴石的显晶石榴角闪岩相间分布, 玉石边缘及石榴角闪岩中均可见钙铁榴石和钙铁辉石具有交代残余和交代假象结构, 交代产物为阳起石、铁阳起石、黑硬绿泥石等。石榴子石的成分特征表明其不是火成辉绿岩的原生矿物, 而应属于交代夕卡岩成因。推测墨玉的形成经历如下演化阶段:

首先是辉绿岩侵入, 与周围碳酸盐地层发生接触交代作用, 在内接触带形成钙铁榴石和钙铁辉石组成的夕卡岩; 在后来的热液作用下, 夕卡岩发生蚀

表4 大化墨玉中其他矿物的电子探针分析结果

 $w_B/\%$

Table 4 Analyses of other minerals in Dahua black nephrites

样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	NiO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	矿物
H-2	45.58	5.87	0.05	32.61	0.08	4.39	0.58	0.47	0.01	0.16	2.00	91.81	
H-2	46.24	6.07	0.03	32.72	0.02	4.45	0.74	0.54			0.81	91.61	
H-2	46.08	5.68		31.99		4.34	1.05	0.56		0.03	1.43	91.16	黑硬
H-7	45.17	5.78	0.01	31.33	0.04	4.85	0.48	0.56	0.08	0.14	1.65	90.09	绿泥
H-7	47.18	4.80		30.28		5.87	2.01	0.46	0.02	0.21	1.21	92.03	石
H-7	45.67	5.45	0.06	31.27		4.40	0.49	0.60		0.16	1.18	89.29	
H-7	44.52	5.70		32.17		4.57	0.51	0.47	0.12	0.28	1.65	89.99	
H-12	45.73	5.44		31.41	0.01	4.59	0.46	0.36	0.04	0.44	1.96	90.44	
H-7	36.10	1.34	0.01	26.67	0.03	0.03	32.69	0.04		0.06		96.98	钙铁
H-7	36.22	3.42	0.02	23.69	0.01	0.14	32.92	0.11	0.04	0.05		96.62	榴石
H-12	36.09	3.25	0.04	24.56	0.04	0.10	33.11	0.12			0.02	97.34	
H-7	48.97	0.92	0.01	23.09		3.25	21.27	1.41		0.11	0.01	99.04	辉石

变,形成阳起石和铁阳起石化,并伴随黑硬绿泥石化。若阳起石化完全,则形成墨玉;若不完全,石榴子石大量剩余,则形成石榴角闪岩。因此大化墨玉属于热液交代成因。

5.2 大化墨玉的致色因素

已有的研究表明,墨玉有石墨包裹体和阳起石两种致色原因(邹天人等,2002;那宝成等,2008;杨晓丹等,2012;张永旺等,2012)。大化墨玉中未发现石墨包裹体,却富含Fe,组成矿物主要为铁含量较高的阳起石、铁阳起石,因此大化墨玉属于高铁阳起石致色。

5.3 大化墨玉与其他产地墨玉的对比

墨玉是软玉中产出较少的颜色品种。作为墨玉家族的新成员,大化墨玉与已有的和田墨玉、岫岩墨玉既有相同之处,又有自己的特征。

相同之处在于它们主要组成矿物都属于钙质闪石亚族的透闪石-阳起石-铁阳起石系列矿物,细腻隐晶质结构,颜色黝黑,不透明,玻璃光泽,硬度6~6.5,折光率1.59~1.61。

而大化墨玉的独特之处表现在许多方面。

大化墨玉的成分中铁含量明显偏高,全铁含量可达29.11%,而和田墨玉最高不到12%(杨晓丹等,2012),岫岩墨玉最高仅7.70%(王时麒等,2002)。

化学成分中的高铁含量导致其主要组成矿物的铁含量高,为阳起石和铁阳起石,无透闪石;而和田和岫岩墨玉中的主要矿物为透闪石,含少量阳起石,无铁阳起石。

次要矿物黑硬绿泥石是大化墨玉特有的,其他

产地的墨玉中未见报道,可成为大化墨玉产地鉴别的标志矿物。此外大化墨玉中常见散布的黄铁矿和磁黄铁矿也是和田和岫岩墨玉中极少见到的。

高铁含量也导致大化墨玉的密度偏高,相对密度可达3.15 g/cm³,明显高于其他产地的墨玉。精确的密度测试可以作为大化墨玉的辅助鉴别方法。

大化墨玉与和田墨玉、岫岩墨玉同属热液交代矿床,但大化墨玉产于辉绿岩与碳酸盐岩的内接触带,而和田墨玉和岫岩墨玉产于中酸性岩浆岩和白云质大理岩的外接触带。基性火成岩由于携带的气液比中酸性火成岩少,决定了其与围岩发生交代作用的规模亦小,同时辉绿岩一般比中酸性花岗质岩的岩体规模偏小,因此大化墨玉,包括其他大化玉的矿床规模不及和田和岫岩。大化墨玉的形成经历了夕卡岩化后再蚀变成玉,物质来源复杂,辉绿岩可以提供墨玉中的绝大部分成分,如Si、Ca、Mg,尤其是Fe显然来自辉绿岩,而夕卡岩化过程也使得碳酸盐围岩的成分也对玉石的成分有贡献,墨玉的稀土元素配分型式与围岩的相似性(图5)也说明了这一点。

References

- Baker J H. 1985. Greenalite, Mg-rich minnesotaite and stilpnomelane from Osjoberg and Sirsjoberg iron-ore mines, Hjulso, west Bergslagen, Sweden[J]. Mineralogical Magazine, 49(353): 611~613.
- Bernard J H and Hyršl. 2006. Mieranls and Their Localities[M]. Prague: Granit Publishing House, 576.
- Jiang Yongnian, Cao Xiulan and Chen Yonghua. 1984. A preliminary study of stilpnomelane from Yuanjiacun iron ore, Shanxi Province

- [J]. Bulletin of Tianjian Institute of Geology and Mineral Resources, (11): 109~130(in Chinese with English abstract).
- Kong Fanmei, Li Xuping, Jiao Lixiang, *et al.* 2009. Petrology and P-T conditions of stilpnomelane schist in the Yilan district, Heilongjiang Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(8): 1917~1923(in Chinese with English abstract).
- Leake B E, Woolley A R, Arps C E S, *et al.* 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names[J]. American Mineralogist, 82(9~10): 1019~1037.
- Li Xu, Yu Xiaojin, Wang Shiqi, *et al.* 2011. The discovery and a preliminary study of Dahua tremolite jade in Guangxi[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 30(Suppl.): 47~52(in Chinese with English abstract).
- Morimoto N, Fabries J, Ferguson A K, *et al.* 1988. Nomenclature of Pyroxenes[J]. American Mineralogist, 73(9~10): 1123~1133.
- Na Baocheng, Leng Yingying and Li Xianghu. 2008. Research on coloring element of nephrite[J]. Superhard Material Engineering, 20(3): 55~58(in Chinese with English abstract).
- Peng Wenshi and Liu Gaokui. 1980. Infrared Spectra of Minerals[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- Wang Pu, Pan Zhaolu, Weng Lingbao, *et al.* 1984. Systematic Mineralogy (B)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 411(in Chinese).
- Wang Shiqi, Duan Tiyu and Zheng Zizi. 2002. Mineralogical and petrological characteristics of Xiuyan nephrite and its minerogenetic model [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 21(Suppl.): 79~90(in Chinese with English abstract).
- Whitney D L and Evans B W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals[J]. American Mineralogist, 95:185~187.
- Xu Liguo, Yu Xiaojin and Wang Shiqi. 2014. The gemological characteristics and origin of Donggang Village tremolite jade in Dahua, Guangxi[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 33(Suppl.): 55~60(in Chinese with English abstract).
- Yang Xiaodan, Shi Guanghai and Liu Yan. 2012. Vibrational spectra of black species of Hetian nephrite(tremolite Jade) and its color genesis [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 32(3): 681~685(in Chinese with English abstract).
- Zhai Chun, Xiao Yuanfu, Wang Jiangzhen, *et al.* 2000. Stilpnomelane metamorphic belt in northern Tongbai Mountains, Southern Henan Province, central China[J]. Journal of mineralogy and Petrology, 20(1): 4~10(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yongwang, Liu Yan, Liu Taotao, *et al.* 2012. Vibrational spectra of Hetian nephritefrom Xinjiang[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 32(2): 398~401(in Chinese with English abstract).
- Zou Tianren and Chen Keqiao. 2002. The locality feature of Hetian jade, Manasi green jade and Xiuyan old jade[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 21(Suppl.): 41~49(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蒋永年, 曹秀兰, 陈勇华. 1984. 山西袁家村铁矿黑硬绿泥石的初步研究[J]. 天津地质矿产研究所所刊, (11): 109~130.
- 孔繁梅, 李旭平, 焦丽香, 等. 2009. 黑龙江依兰地区黑硬绿泥石片岩岩石学与 $p-T$ 条件研究[J]. 岩石学报, 25(8): 1917~1923.
- 李旭, 於晓晋, 王时麒, 等. 2011. 广西大化透闪石玉的发现及初步研究[J]. 岩石矿物学杂志, 30(增刊): 47~52.
- 那宝成, 冷莹莹, 李祥虎. 2008. 软玉致色元素的研究[J]. 超硬材料工程, 20(3): 55~58.
- 彭文世, 刘高魁. 1980. 矿物红外光谱图集[M]. 北京: 科学出版社.
- 王濮, 潘兆槽, 翁玲宝, 等. 1984. 系统矿物学(中册)[M]. 北京: 地质出版社, 411.
- 王时麒, 段体玉, 郑姿姿. 2002. 岫岩软玉(透闪石玉)的矿物岩石学特征及成矿模式[J]. 岩石矿物学杂志, 21(增刊): 79~90.
- 徐立国, 於晓晋, 王时麒. 2014. 广西大化东扛村透闪石玉的宝石学特征及成因[J]. 岩石矿物学杂志, 33(增刊): 55~60.
- 杨晓丹, 施光海, 刘琰. 2012. 新疆和田黑色透闪石质软玉振动光谱特征及颜色成因[J]. 光谱学与光谱分析, 32(3): 681~685.
- 翟淳, 肖渊甫, 王奖臻, 等. 2000. 桐柏山北部的黑硬绿泥石变质带[J]. 矿物岩石, 20(1): 4~10.
- 张永旺, 刘琰, 刘涛涛, 等. 2012. 新疆和田透闪石软玉的振动光谱[J]. 光谱学与光谱分析, 32(2): 398~401.
- 邹天人, 陈克樵. 2002. 和田玉、玛纳斯碧玉和岫岩老玉的产地特征[J]. 岩石矿物学杂志, 21(增刊): 41~49.