

新疆和田阿拉玛斯软玉成因

刘 琰¹, 何明跃², 买托乎提·阿不都瓦衣提³, 施光海²

(1. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学 珠宝学院, 北京 100083;
3. 新疆和田地区质量与技术监督局, 新疆 和田 848000)

摘要:新疆和田阿拉玛斯矿床中的软玉矿体在花岗闪长岩和白云质大理岩中以脉状和透镜状产出。花岗闪长岩和白云质大理岩之间出现水平和垂直方向分布的软玉分带结构, 这种分带包括镁铁尖晶石、透辉石、透闪石、青玉、青白玉、白玉和蛇纹石化白云质大理岩等矿物分带。采用电子探针和 ICP-MS 对这些白玉、青白玉和青玉的分带进行分析。这些软玉中的 Cr ($Cr = 8.95 \times 10^{-6} \sim 178.7 \times 10^{-6}$) 和 Ni ($NiO = 0.05 \times 10^{-6} \sim 3.95 \times 10^{-6}$) 的含量远低于与蛇纹石有关的软玉中的相关含量 ($Cr_2O_3 = 0.07\% \sim 0.43\%$, $NiO = 0.08\% \sim 0.36\%$)。软玉化学成分显示从白玉、青白玉到青玉的颜色变化主要与 Fe 元素的含量升高有关而与 Cr、Mn 等元素的含量关系不明显。花岗闪长岩和白云质大理岩之间的矿物分带显示了软玉分带的形成温度从高温到低温的变化、矿物从无 OH^- 到含 OH^- 的变化和透闪石颗粒从青玉到白玉不断变小。这些地质特征尤其是软玉分带现象表明了阿拉玛斯矿点是一个与白云质大理岩有关的接触交代成因的透闪石质软玉矿床。

关键词: 白玉, 化学成分, 分带性, 新疆, 阿拉玛斯

中图分类号: P578.955

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)S0-0039-08

Genesis of the nephrite from the Alamas in Hetian, Xinjiang

LIU Yan¹, HE Ming-yue², Maituohuti Abuduwayiti³ and SHI Guang-hai²

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Hetian Bureau of Quality and Technical Supervision, Hetian 848000, China)

Abstract: The Hetian nephrite deposit located south of the Tarim Basin in Xinjiang is a typical superlarge dolomite-related nephrite deposit. In this ore deposit, the Alamas ore belt explored about two hundred years ago is an important ore belt, and, since 1975, it has produced more than 100 tons of wonderful white nephrite. In this ore belt, different nephrite zoning structures exist as veins or lenses vertically or horizontally within the contact zone between dolomite marble and granodiorite. Nephrite zonings also stay with a variety of other mineral assemblages such as zeilanite, diposide and tremolite, boltonite dolomite marble, and serpentinized dolomite marble. Sometimes, there exists bicolor nephrite or nephrite and tremolitized nephrite zoning, i. e., one specimen representing a zoning transition can be easily found in this location. However, among nephrite deposits, obvious nephrite zonings are very uncommon, and there are few reports documenting them. Therefore, to explain the causes and genesis of such nephrite zoning structure, the authors carried out chemical analysis of samples collected from these nephrite zonings by means of electronic microscope probe analysis (EMPA) and ICP-MS. All the amphiboles in the nephrites have very low content of Cr ($Cr = 8.95 \times 10^{-6} \sim 178.7 \times 10^{-6}$) and Ni ($NiO = 0.05 \times 10^{-6} \sim 3.95 \times 10^{-6}$) relative to serpentinite-related nephrite ($Cr_2O_3 = 0.07\% \sim 0.43\%$; $NiO = 0.08\%$

收稿日期: 2011-05-15; 修订日期: 2011-07-06

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)青藏高原南部大陆聚合和成矿作用(2011CB403100)资助项目

作者简介: 刘 琰(1982-), 男, 博士, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: ly@cugb.edu.cn.

~0.36%)。The results indicate that such color-causing elements in nephrite as Fe, which mainly occur in tremolite, exhibit decreasing concentration as color changes from green to white, a trend which is consistent with the zoning structures. Based on these observations, the authors have further concluded that the variations from high to low temperatures are consistent with the distribution of zonings, as clearly demonstrated by the tremolite grain size. Therefore, these geochemical characteristics and mineral assemblages in the contact zone are strongly indicative of a dolomite-related ore deposit with metasomatic origin for the Alamas nephrites.

Key words: nephrite; chemical composition; zoning structure; Xinjiang; Alamas

世界上已报道的白玉矿床有十几个,重要的包括新疆和田(Tsien *et al.*, 1996)、俄罗斯萨彦岭(Prokhor, 1991)、韩国 Chuncheon(Yui and Kwon, 2002)、英格兰 South Westland Fields(Wilkins *et al.*, 2003)和澳大利亚 Cowell 等(Flint and Dubowski, 1990)。Harlow 和 Sorensen(2005)认为接触/交代变质白玉矿床根据产状可以分为两种:与蛇纹岩有关的软玉矿床和与大理岩有关的软玉矿床。目前,对第一种类型的软玉矿床已经有了较多的研究(Coleman, 1966; Leaming, 1978; Tan *et al.*, 1977; Prokhor, 1991; Yui *et al.*, 1988; Yui and Kwon, 2002),而对于第二种软玉矿床只有很少一部分报道(Yui and Kwon, 2002; Adams *et al.*, 2007)。和田玉矿床是一个典型的与大理岩有关的白玉矿床,对白玉的成因研究和考古研究都有重要意义。目前,有很多古软玉陈列在西方各大博物馆并引起了世界范围的兴趣,也有很多相关的对这些白玉化学组成、物理参数、同位素的研究(Wen and Jing, 1993, 1996; Sax *et al.*, 2004; Chen *et al.*, 2004; Casadio *et al.*, 2007)。虽然和田软玉被认为是一种接触交代成因的透闪石质软玉,但是目前相关的地质学证据并不多。在新疆于田阿拉玛斯矿床,矿物分带比较典型如钾化闪长岩、镁铁尖晶石带、透辉石带、透闪石带、软玉带。软玉带一般分为白玉带、青白玉带和青玉带,然而目前对这种软玉分带研究比较少。本文对白玉、青白玉和青玉进行了分析,样品在 2008 年 12 月采自于新疆阿拉玛斯。在地质概况分析的基础上对软玉的分带成因和接触交代成因进行了讨论。

1 地质概况

阿拉玛斯矿床位于新疆和田地区于田县柳什村东南部 40 里,海拔 4 500 m(图 1a)。围岩是前寒武系大理岩和华力西期晚期的花岗闪长岩。在阿拉玛

斯矿床有 11 条矿脉,最大的约 20 m 长(平均 10 m),0.1~0.5 m 宽(图 1b),大部分矿脉沿白云质大理岩裂隙分布。白玉、青白玉和青玉分带性明显(图 1c),青玉和花岗闪长岩距离最近,而青白玉和白玉距离白云质大理岩较近。

2 软玉的分带性

在和田矿床软玉中,阿拉玛斯透闪石软玉矿不仅因产出优质白玉而闻名,更以其明显的软玉分带性著称。在阿拉玛斯矿点中,从花岗闪长岩(图 2a)至白云质大理岩,主要有青玉(图 2b)、青白玉(图 2c)、青白玉与白玉接触带(图 2d)、白玉(图 2e)、透闪石化白云质大理岩与青玉接触带(图 2f)、细粒透闪石化白云质大理岩(图 2g)和粗粒透闪石化白云质大理岩(图 2h)。粗粒透闪石白云质大理岩和细粒透闪石白云质大理岩分带与成玉关系比较密切,并且常常作为玉化和找矿的主要标志。不同颜色的分带有时在手标本上能够清楚地看到,如白玉和青白玉分带、软玉和透闪石化白云质大理岩分带(图 2d、2f 虚线)。部分矿物分带显微特征见图 3。

在这些分带中,青玉更靠近花岗闪长岩,而白玉和青白玉则朝白云质大理岩过渡性分布。软玉分带的展布与花岗闪长岩的侵位有关系。当花岗岩以高角度侵位,水平分带性比较容易出现,而当花岗岩侵位角度较低时,垂向分带比较明显。软玉的分带构造同样也显示了白玉主要与花岗闪长岩的侵位有关,而且部分物质来源也来自于花岗闪长岩(如 SiO_2)。

作为和田玉矿床中一个主要矿点,阿拉玛斯矿产出的优质软玉不仅仅与颜色白有关,而且与白玉的致密结构关系密切。在显微镜下,除了透闪石外几乎没有其他矿物或包裹体出现(图 3)。对透闪石几何体来说,大部分几何体呈现毛毡状结构或是细粒的叶片状结构,与白玉主要的显微结构一致。

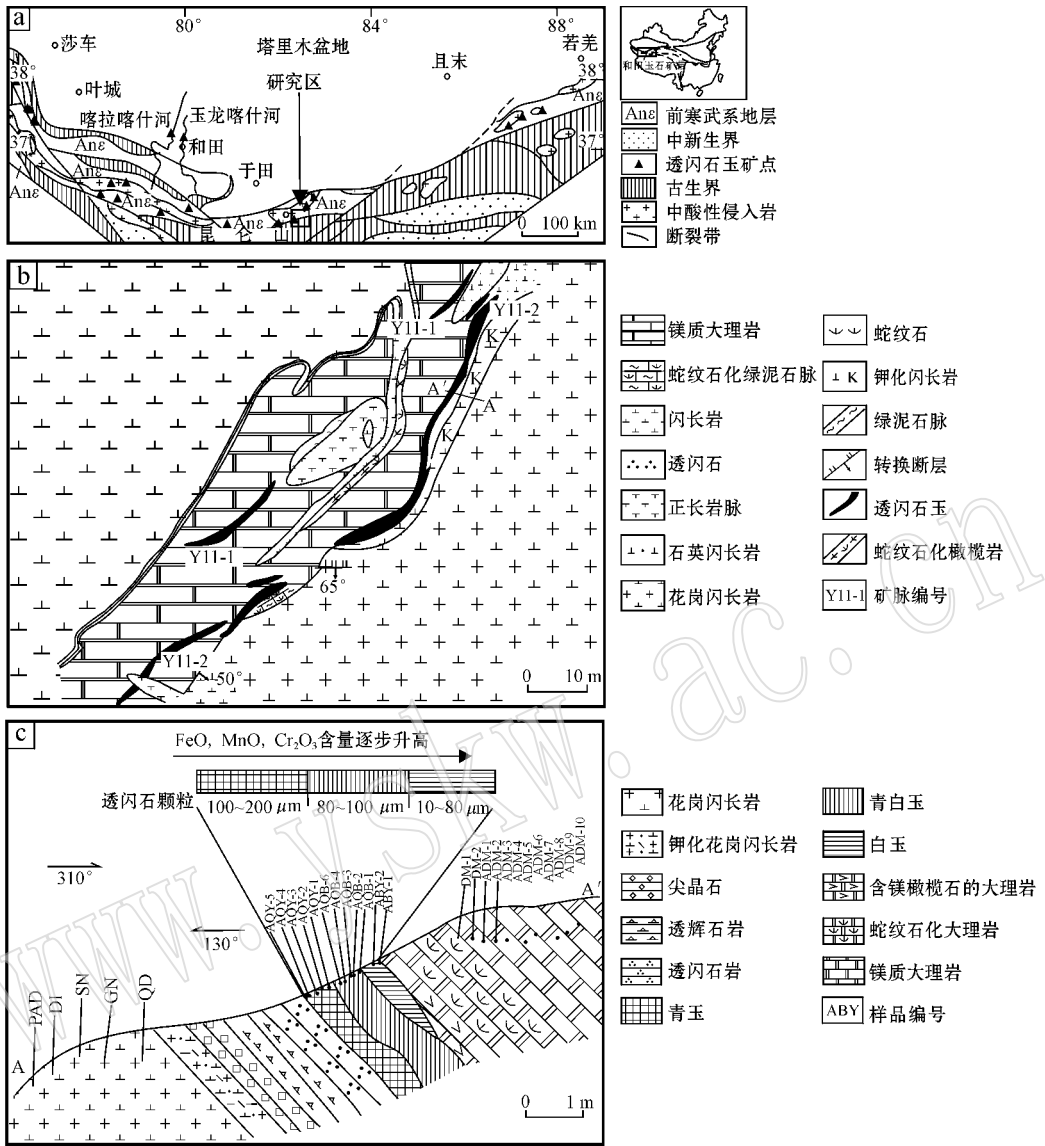


图 1 新疆和田区域沿昆仑山分布的 3 个矿带(莎车-叶城, 和田-于田, 若羌-且末 a), 阿拉玛斯矿点(b, 据蒋壬华, 1986) 及样品分布(c, 据唐延龄等, 1994)

Fig. 1 Geological sketch map of the Hetian nephrite deposit composed of three main primary nephrite deposit belts along the Kunlun Mountains: Shache-Yecheng, Hetian-Yutian, Qiemo-Ruoqiang (a), two main nephrite veins in Alamas (b, after Jiang Renhua, 1986) and locations of nephrite samples (c, modified after Tang Yanling *et al.*, 1994)

3 和田玉化学成分

白玉、青白玉、青玉的化学成分在中国科学院地质与地球物理研究所 CAMECA-SX-51 型电子探针上进行分析。工作电压 15 kV, 电流 12 nA。微量元素由电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)(VG-PQI-1)在中国地质科学院地质与地球物理研究所进行。

由透闪石组成。电子探针成分分析显示白玉(BY1-1、BY1-2、BY1-3、BY1-5、BY1-6)青白玉(QBY1-1、QBY1-2、QBY1-3、QBY1-4、QBY1-5、QBY1-6)和青玉(QY1-1、QY1-2、QY1-3、QY1-4、QY1-5、QY1-6)样品成分相对均匀,但是 FeO 从青玉到白玉含量逐渐升高。白玉和青白玉化学成分中 FeO(0.38% ~ 0.84%) MnO(0.00 ~ 0.08%)和 Cr₂O₃(0.00 ~ 0.05%)比青玉中 FeO(1.00% ~ 1.18%) MnO(0.05% ~ 0.09%)和 Cr₂O₃(0.03% ~ 0.17%)含量

根据 Leake 等(1997),白玉、青白玉和青玉主要



图 2 样品手标本照片

Fig. 2 Photographs of samples from Alamas

a—花岗闪长岩; b—青玉; c—青白玉; d—青白玉与白玉接触带样品; e—白玉; f—透闪石化白云质大理岩与青玉接触带样品;
g—细粒透闪石化白云质大理岩; h—粗粒透闪石化白云质大理岩

a—granodiorite; b—green nephrite; c—green-white nephrite; d—contact zone between green-white and white nephrites; e—white nephrite;
f—contact zone between tremolitized dolomitic marble and green nephrite; g—fine-grained tremolitized dolomitic marble; h—coarse-grained tremolitized dolomitic marble

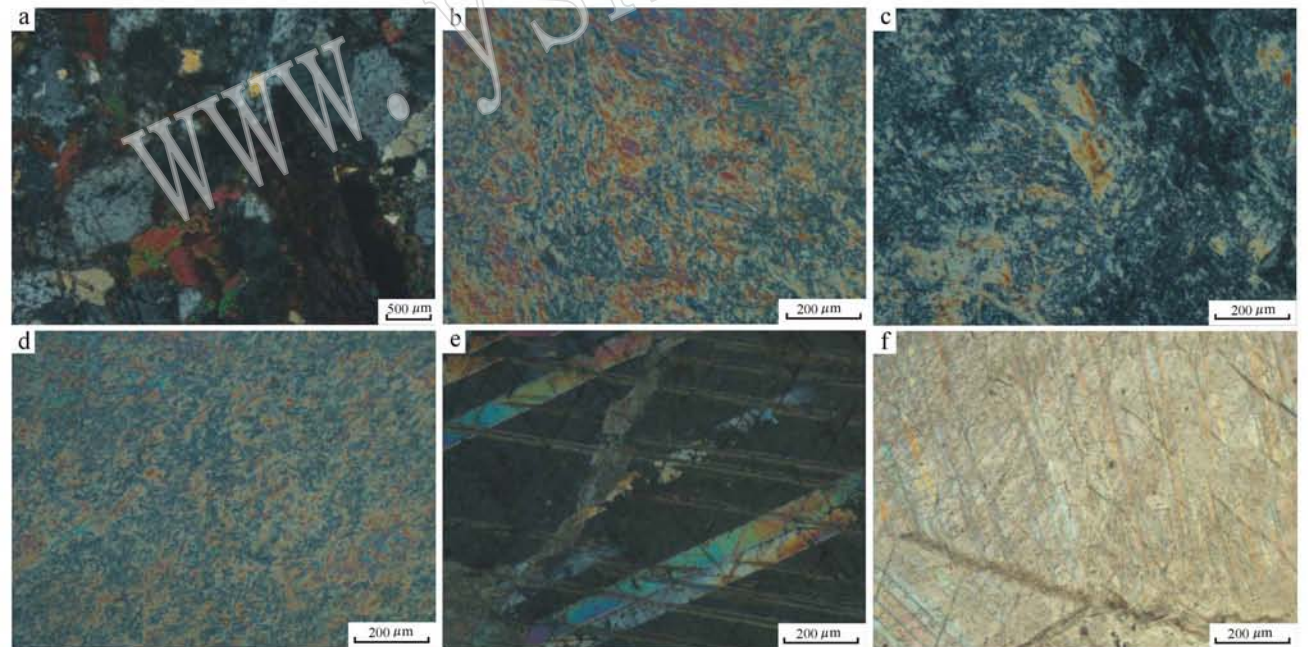


图 3 软玉分带中部分分带的显微特征

Fig. 3 Characteristics of mineral zones under microscope

a—花岗闪长岩; b—青玉; c—青白玉; d—青玉; e—细粒透闪石化大理岩; f—粗粒透闪石化大理岩

a—granodiorite; b—green nephrite; c—green-white nephrite; d—green nephrite; e—fine-grained dolomitic-marble;
f—coarse-grained dolomitic marble

表 1 阿拉玛斯白玉,青白玉和青玉电子探针成分

Table 1 EMPA results of white, green-white and white nephrites from Alamas

样品	白玉				青白玉				青玉			
	BY1-1	BY1-2	BY1-5	BY1-6	QBY1-1	QBY1-2	QBY1-5	QBY1-6	QY1-1	QY1-2	QY1-5	QY1-6
SiO ₂	58.01	56.66	58.24	57.49	57.92	58.14	58.25	58.25	56.88	57.73	57.31	57.28
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.29	1.54	0.40	0.30	0.34	0.38	0.42	0.42	0.49	0.36	0.47	0.52
FeO	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.03	0.06	0.08	0.04
Cr ₂ O ₃	0.41	0.42	0.38	0.44	0.48	0.84	0.36	0.45	1.09	1.00	1.18	1.17
MnO	0.08	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.08	0.09	0.08	0.05
MgO	24.02	24.29	24.02	24.16	24.21	24.70	24.41	24.23	23.02	22.87	22.86	23.16
CaO	12.90	12.03	13.21	13.12	12.68	12.64	12.79	13.00	13.11	12.98	13.18	12.74
Na ₂ O	0.09	0.02	0.04	0.02	0.08	0.15	0.05	0.09	0.00	0.02	0.06	0.00
K ₂ O	0.06	1.13	0.14	0.10	0.08	0.07	0.05	0.07	0.13	0.07	0.10	0.22
Total	95.92	96.10	96.47	95.64	95.82	96.95	96.39	96.56	94.83	95.18	95.32	95.18
Si	8.03	7.88	8.01	7.97	8.02	7.95	8.00	8.00	7.99	8.09	8.02	8.03
Al	0.05	0.25	0.07	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.06	0.08	0.09
Cr	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.09	0.04	0.05	0.12	0.11	0.13	0.13
Mg	4.96	5.05	4.93	4.99	4.99	5.04	5.00	5.04	4.83	4.78	4.77	4.84
Fe ₂	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Mn	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	1.91	1.79	1.95	1.95	1.88	1.85	1.88	1.91	1.97	1.95	1.98	1.91
Na	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00
K	0.01	0.20	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

注:BY1-1、BY1-2、BY1-5、QBY1-1、QBY1-2、QBY1-5、QY1-1、QY1-2、QY1-5、QY1-6 引自 Liu *et al.* (2010, 2011); BY-6、QBY1-6 来自本文; 主量元素组成单位 $w_p/\%$ 。

低。白玉和青白玉化学成分中 MnO (0.00 ~ 0.08%) 和 Cr₂O₃ (0.00 ~ 0.05%) 比青玉中 MnO (0.05% ~ 0.09%) 和 Cr₂O₃ (0.03% ~ 0.17%) 含量略低,变化并不太明显。采用 ICP-MS 对软玉全岩研究也得到了相同的认识(表 2,图 4)。

样品全岩和微区化学成分(表 1、表 2 和图 4)显示 ①白玉、青白玉和青玉主要由透闪石组成;②软玉中 Fe、Mn、Ti 和 Cr 元素主要存在于透闪石中;③从白玉到青玉 FeO 含量在增加,而 Cr、Mn、Ni 的含量增加并不明显。白玉中透闪石化学成分更加接近纯净的透闪石。

4 讨论

4.1 带状构造成因

根据地质产状,软玉与花岗岩位置比较接近。根据白玉成玉模型 $5Ca(Mg, Fe)(CO_3)_2 + 6SiO_2(aq) + H_2O \rightarrow Ca_2(Mg, Fe)_3Si_8O_{22} + 3CaCO_3 + 7CO_2(aq)$, 花岗闪长岩提供 SiO₂ 和热量,而白云质大理岩提供 Ca

和 Mg,但是这些仅仅是白玉的成因,对于带状构造的研究来说并不能提供更有效的信息。

由于有比较明显的颜色分带和分布的规律性,花岗闪长岩和白云质大理岩之间的白玉、青白玉和青玉的分带能够比较明显的被辨认出来。根据电子探针分析和 ICP-MS 结果(表 1,表 2 和图 4)这些颜色分带和一些元素(例如 Fe)的含量有一致性。Fe 元素一直被认为是软玉的致色元素(Douglas, 1996, 2003),它的含量从青玉到白玉有明显的逐渐降低的趋势,也就是说 Fe 元素在白玉、青白玉和青玉中含量的差异造成了软玉颜色上的分带性。

此外,根据花岗闪长岩和白云质大理岩的化学成分(表 3),白云质大理岩围岩和花岗岩质岩石之间 Fe 元素含量差别较大:白云质大理岩中有 0.3% 的 Fe₂O₃,而在花岗闪长岩、闪长岩、石英闪长岩和钾化闪长岩中有 0.26% ~ 3.6% 的 Fe₂O₃ 和 0.22% ~ 3.98% 的 FeO,而软玉中 TF₂O₃ 含量(0.41% ~ 1.35%)高于白玉质大理岩中。因此,致色元素 Fe 很可能是来自于花岗闪长岩而不是白云质大理岩,

表 2 新疆阿拉玛斯软玉矿床中全岩主量($w_B/\%$)和微量($w_B/10^{-6}$)元素含量

Table 2 Bulk-rock chemical compositions of nephrites from Alamas, Xinjiang

	ABY1	ABY2	AQB1	AQB2	AQB3	AQB4	AQB6	AQY1	AQY2	AQY3	AQY4	AQY5
SiO ₂	57.09	57.48	53.25	43.59	57.64	56.92	58.58	57.33	57.54	57.62	56.74	57.83
TiO ₂	0.02	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	1.04	0.83	4.13	0.23	0.25	1.33	0.41	0.66	0.48	0.25	0.85	0.40
Fe ₂ O ₃ T	0.50	0.41	0.71	0.96	0.80	0.43	0.54	1.96	1.61	1.03	1.20	1.35
FeO	0.42	0.41	0.66	0.60	0.66	0.42	0.42	1.49	1.33	0.83	1.00	1.00
MnO	0.05	0.05	0.03	0.13	0.05	0.08	0.11	0.13	0.08	0.09	0.10	0.11
MgO	25.97	25.88	26.55	18.89	25.86	26.25	25.49	24.86	24.95	25.46	25.58	25.02
CaO	11.85	12.27	10.20	23.21	12.21	10.97	12.67	12.10	12.21	12.41	12.08	12.26
Na ₂ O	0.05	0.01	0.07	0.01	0.01	0.04	0.03	0.05	0.06	0.01	0.01	0.00
K ₂ O	0.28	0.32	0.18	0.03	0.03	0.55	0.05	0.12	0.14	0.04	0.04	0.05
P ₂ O ₅	0.02	0.09	0.05	0.04	0.01	0.07	0.02	0.01	0.03	0.06	0.03	0.05
LOI	2.72	2.02	4.16	12.97	2.48	2.74	1.48	2.94	2.28	2.42	2.76	2.46
Total	99.57	99.37	99.37	100.08	99.35	99.38	99.40	100.16	99.39	99.40	99.40	99.56
Cr	13.02	27.72	45.53	25.84	8.95	33.72	11.00	123.72	178.70	92.77	55.38	151.05
Ni	0.05	1.27	2.41	3.95	0.95	0.49	0.25	2.98	3.40	1.15	0.34	2.26
Rb	38.42	46.29	21.29	0.62	1.59	105.14	4.43	26.27	24.99	3.02	3.62	9.32
Ba	14.34	17.44	19.96	1.09	0.90	13.21	1.31	4.20	5.47	2.93	2.15	1.72
Th	0.22	0.30	0.10	0.08	0.05	0.36	0.07	0.23	0.12	0.13	0.12	0.58
U	0.64	1.05	0.12	1.32	0.60	1.44	1.11	0.09	0.99	1.15	0.76	2.09
Nb	0.74	0.27	0.54	1.81	2.02	1.55	1.95	1.74	0.27	1.26	0.99	7.65
Ta	0.06	0.06	0.09	0.13	0.11	0.07	0.06	0.08	0.05	0.08	0.08	0.30
La	0.59	0.58	2.85	0.38	0.90	1.47	0.20	26.40	0.45	0.25	0.17	13.57
Ce	1.47	1.09	6.00	0.55	2.50	2.68	0.39	38.72	0.94	0.67	0.44	19.90
Pr	0.19	0.17	0.75	0.06	0.38	0.37	0.06	3.44	0.12	0.12	0.08	1.64
Sr	8.36	7.91	4.87	43.07	3.75	11.71	5.88	12.83	9.01	9.47	7.26	7.55
Nd	0.92	0.77	2.82	0.25	1.85	1.41	0.34	10.45	0.55	0.71	0.44	4.36
Zr	2.96	4.77	10.29	0.37	0.34	3.14	0.48	0.92	1.89	1.83	1.49	3.45
Hf	0.08	0.14	0.31	0.01	0.01	0.07	0.02	0.03	0.05	0.05	0.04	0.11
Sm	0.29	0.21	0.60	0.10	0.62	0.37	0.17	1.36	0.18	0.32	0.22	0.66
Eu	0.02	0.02	0.07	0.01	0.03	0.01	0.01	0.28	0.02	0.04	0.03	0.02
Gd	0.33	0.25	0.51	0.18	0.74	0.38	0.30	1.35	0.28	0.46	0.35	0.73
Tb	0.06	0.05	0.08	0.05	0.16	0.07	0.07	0.17	0.06	0.09	0.08	0.11
Dy	0.47	0.36	0.56	0.46	1.26	0.51	0.54	1.01	0.53	0.69	0.57	0.75
Y	4.91	3.73	4.42	6.22	10.86	5.47	5.56	8.40	6.70	6.94	5.98	7.39
Ho	0.11	0.08	0.12	0.13	0.31	0.12	0.12	0.21	0.13	0.16	0.13	0.18
Er	0.34	0.23	0.34	0.42	0.96	0.34	0.32	0.63	0.38	0.47	0.37	0.54
Tm	0.05	0.04	0.05	0.07	0.16	0.05	0.04	0.09	0.05	0.07	0.05	0.09
Yb	0.35	0.23	0.35	0.42	1.10	0.31	0.26	0.61	0.29	0.37	0.31	0.72
Lu	0.06	0.04	0.05	0.06	0.17	0.05	0.04	0.10	0.04	0.05	0.04	0.13
Eu*	0.06	0.07	0.13	0.05	0.05	0.04	0.04	0.21	0.07	0.11	0.10	0.03
[Gd/Yb] _N	0.74	0.90	1.17	0.35	0.54	1.01	0.93	1.79	0.78	0.99	0.92	0.82
[La/Sm] _N	1.24	1.67	2.92	2.40	0.88	2.42	0.70	11.92	1.55	0.47	0.48	12.62
[La/Yb] _N	1.09	1.68	5.41	0.59	0.54	3.16	0.50	28.77	1.05	0.44	0.37	12.45
ΣREE	5.23	4.10	15.13	3.12	11.16	8.13	2.84	84.81	4.02	4.45	3.28	43.41
ΣREE+Y	10.14	7.83	19.55	9.34	22.02	13.6	8.4	93.21	10.72	11.39	9.26	50.8

注 数据引自 Liu *et al.* (2011)。

同时,这些元素从花岗岩迁移到青玉、青白玉和白玉。

从花岗闪长岩到大理岩,接触带中连续分布尖晶石带,透辉石带,透闪石带和蛇纹石带。从尖晶石

带到透辉石带,矿物属于无水矿物,不含羟基;从透闪石带到蛇纹石带,矿物属于含水矿物,含羟基。因此,成玉过程也经历了从无水到含水的过程。

白玉的出现很可能是与纯净的白云质大理岩有

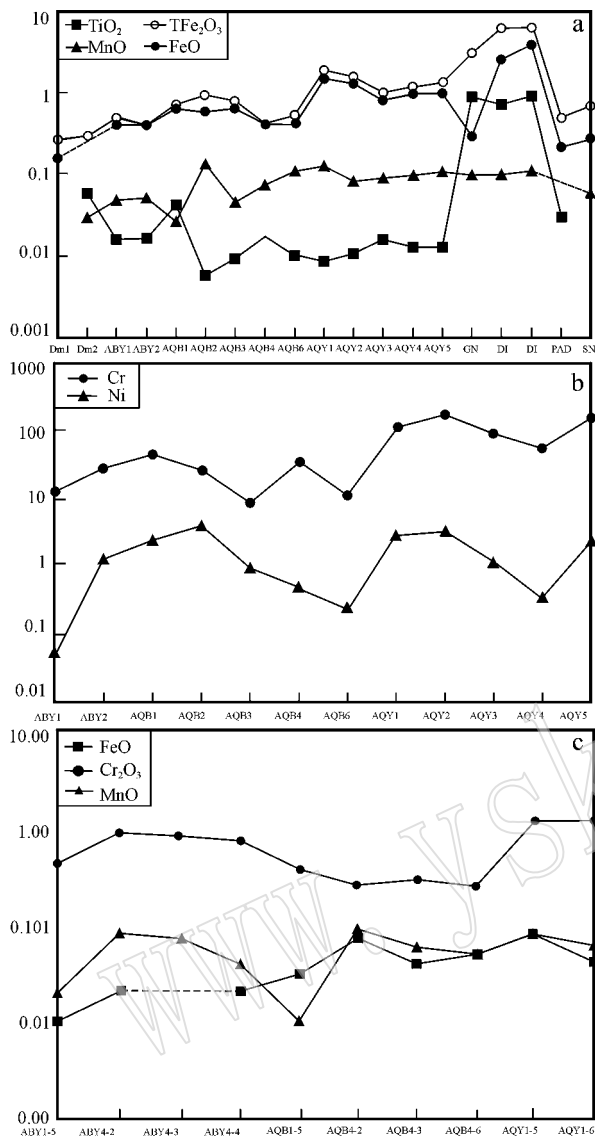


图 4 阿拉玛斯透闪石软玉种成分变化(引自 Liu *et al.*, 2011)

Fig. 4 Variation of chemical composition in nephrite from Alma(from Liu *et al.*, 2011)

关,有一个相反的例子可以证明,南澳大利亚 Cowell 含量中产出的黑色和青色软玉中 FeO 含量高达 1.26%~7.1% 这些玉的产出都与 Katunga 白云石有关。

总之,来自于花岗闪长岩中的 Fe 元素导致了这些软玉分带的出现。另外,和白云质大理岩中的成分比较纯净相反的是花岗闪长岩中这些元素相对富集,这一点导致了 Fe 元素在变质过程中朝白云质大理岩的运移,并且导致了软玉从接近花岗岩的青玉到与白云质大理岩附近的白玉的分带。这种在岩浆岩与大理岩接触过程中出现了元素的带入和带出是接触交代矿床最主要的特征。在接触带的分带中也出现了蛇纹石分带,这是接触交代作用的结果,与蛇纹石经过接触变质形成完全不同。

4.2 宝石学意义

阿拉玛斯白玉因白色纯正和低透明度而著称,这与白玉中的 Fe、Cr、Ti、Mn 元素含量低和细粒的透闪石几何体有关。阿拉玛斯软玉中 Ti (0.00~0.02%)、FeO (0.00~0.17%)、MnO (0.00~0.09%) 和 Cr₂O₃ (0.36%~1.18%) 含量很低。这些微量元素很可能导致软玉呈现出不同的颜色,例如深橄榄绿色到黑色主要与低 Ni 和 Cr、高 Fe 和 Mn 有关(Douglas, 1996)。因此,通过比较这些成分认为高品质的白玉含有低含量的 FeO、MnO、TiO₂ 和 Cr₂O₃。高质量的白玉与细粒的紧凑的透闪石白云质大理岩有关,这些特征也是白玉完美的主要因素。

5 结论

(1) 阿拉玛斯矿点是一个大理岩型的白玉矿床,物质来源于花岗闪长岩和白云质大理岩。阿拉

表 3 阿拉玛斯矿床围岩化学成分组成

Table 3 Chemical composition of host rock of nephrite in Alamas

样品	镁质白云质大理岩	镁质白云质大理岩	花岗闪长岩	闪长岩	石英闪长岩	钾化石英闪长岩	<i>w_B</i> /%
SiO ₂	6.04	1.3	58.62	50.57	58.93	57.71	
TiO ₂	0.00	0.06	0.92	0.73	0.90	0.03	
Al ₂ O ₃	0.15	0.34	16.77	19.86	17.22	15.27	
Fe ₂ O ₃	0.12	0.30	2.38	3.60	2.00	0.26	
FeO	0.16	0.00	0.30	2.56	3.98	0.22	
MnO	0.00	0.03	0.10	0.10	0.11	0.00	
MgO	20.62	20.79	2.27	4.30	3.14	3.37	
CaO	30.85	30.21	5.67	7.88	5.51	4.96	
Na ₂ O	0.26	0.09	4.54	2.50	3.18	4.54	
K ₂ O	0.14	0.01	4.90	5.82	2.80	6.94	
Total	58.34	53.13	96.95	98.2	98.21	93.32	

注:数据引自唐延龄等(1994)。

玛斯白玉主要由透闪石集合体组成,带状构造主要由 Fe 元素从白玉到青玉含量逐渐增加而造成的,这些元素可能主要来自于花岗闪长岩。

(2)在接触变质过程中,软玉分带的分布与从高温到低温的变化相一致。在变质过程中白玉的分带也存在着从高温到低温的分带,粒度大小的分带和有无 OH⁻ 的分带。在温度变化的情况下,Fe 元素、颜色和粒度都发生了变化,粒度随颜色从青色变成白色逐渐降低。这些特征都是阿拉玛斯软玉带状分布的特征。

(3)高质量的软玉含杂质元素比较少,特别是致色元素 FeO、MnO、TiO₂ 均 < 0.1%, Cr₂O₃ 低至 0.38%~0.54%。另外一种影响白玉的重要因素是白玉的粒度。

References

- Adams C J, Beck R J and Campbell H J. 2007. Characterisation and origin of New Zealand nephrite jade using its strontium isotopic signature [J]. *Lithos*, 97: 307~322.
- Casadio F, Douglas J G and Faber K T. 2007. Noninvasive methods for the investigation of ancient Chinese jades: an integrated analytical approach [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387: 791~801.
- Chen T H, Calligaro T, Pages-Camagna S, et al. 2004. Investigation of Chinese archaic jade by PIXE and mu Raman spectrometry [J]. *Applied Physics, A-Materials Science & Processing*, 79: 177~180.
- Coleman R G. 1966. New Zealand serpentinite and associated metasomatic rocks: Bulletin [J]. *New Zealand Geologic Survey Bulletin*, 76: 102.
- Douglas J G. 1996. The study of Chinese archaic jades using non-destructive X-ray fluorescence spectroscopy [J]. *Acta Geologica Taiwanica*, 32: 43~54.
- Douglas J G. 2003. Exploring issues of geological source for jade worked by ancient Chinese cultures with the aid of X-ray fluorescence [A]. Jett P. Scientific study in the field of Asian art [C]. London, UK, Archetype Publications Ltd, 192~199.
- Flint D J and Dubowski E A. 1990. Cowell nephrite jade deposit [A]. Hughes F E. Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea [C]. Melbourne, Australia, Institute of Mineralogy and Metallurgy, 14: 1059~1062.
- Harlow G E and Sorensen S S. 2005. Jade (nephrite and jadeite) and serpentinite: Metasomatic connections [J]. *International Geology Review*, 47: 113~146.
- Jiang Renhua. 1986. Preliminary study on genetic type, minerogenetic model and the law of distribution of Hotan nephrite [J]. *Xinjiang Geology*, 4: 1~12 (in Chinese).
- Leaming S F. 1978. Jade in Canada [M]. Geological Survey of Canada Papers, 78-19, 1~59.
- Leak B E and Woolley A R. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of LBE subcommission on amphiboles of LBE international mineralogical association [J]. *American Mineralogist*, 82: 1019~1037.
- Liu Yan, Deng Jun, Shi Guanghai, et al. 2010. Chemical Zone of Nephrite in Alamas, Xinjiang, China [J]. *Resource Geology*, 60: 249~259.
- Liu Yan, Deng Jun, Shi Guanghai, et al. 2011. Geochemistry and petrology of nephrite from Alamas, Xinjiang, NW China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 439~450.
- Prokhor S A. 1991. The genesis of nephrite and emplacement of the nephrite-bearing ultramafic complexes of East Sayan [J]. *International Geology Review*, 33: 290~300.
- Sax M, Meeks N D, Michaelson C, et al. 2004. The identification of carving techniques on Chinese jade [J]. *Journal of Archaeological Science*, 31: 1413~1428.
- Tang Yanling, Chen Baozhang and Jiang Renhua. 1994. Chinese Hetian Nephrite, Xinjiang [M]. Xinjiang People's Publishing House (in Chinese).
- Tan L P, Lee C W, Chen C C, et al. 1977. A mineralogical study of the Fengtian nephrite deposits of Hualien, Taiwan [J]. National Science Council Special Publication No: 81.
- Tsien H H, Tan L P and Douglas J G. 1996. Geology of tremolitic rock and petrofabrics of archaic Chinese yu [J]. *Acta Geologica Taiwanica*, 32: 85~101.
- Wen G and Jing Z. 1993. A geoarchaeological study of the jades from the Fengxi site of Western Zhou dynasty-geoarchaeological study of ancient Chinese jade (III) [J]. *Acta Archaeologica Sinica*, 2: 251~280.
- Wen G and Jing Z. 1996. Mineralogical studies of Chinese archaic jade [J]. *Acta Geologica Taiwanica*, 32: 55~83.
- Wilkins C J, Tennant W C, Williamson B E, et al. 2003. Spectroscopic and related evidence on the coloring and constitution of New Zealand jade [J]. *American Mineralogist*, 88: 1336~1344.
- Yui T F and Kwon S T. 2002. Origin of a dolomite-related jade deposit at Chuncheon, Korea [J]. *Economic Geology*, 97: 593~601.
- Yui T F, Yeh H W and Lee C W. 1988. Stable isotope studies of nephrite deposits from Fengtian, Taiwan [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52: 593~602.

附中文参考文献

- 蒋壬华. 1986. 和田玉成因类型、成矿模式及分布规律的初步探讨 [J]. *新疆地质*, 4(4): 1~12
- 唐延龄, 陈葆章, 蒋壬华. 1994. 中国和田玉 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社.