

新疆和田玉岩石学特征及其扫描电镜研究*

吴瑞华¹ 李雯雯² 白峰¹

1. 中国地质大学材料科学与工程学院, 北京 100083;

2. 北京市东城商业学校, 北京 100006.

1. School of Materials Science and Technology, China University of Geoscience, Beijing 100083;

2. Beijing Commerce School of East City, Beijing 100006.

1999-02-01 收稿, 1999-08-28 改回.

Wu Ruihua, Li Wenwen and Baifeng. 1999. Study on petrological feature and SEM of Xinjiang Hetian Jade. *Acta Petrologica Sinica*, 15 (4): 638~644

Abstract This article mainly discusses petrological feature of Hetian Jade. It shows that Hetian Jade is characterized by rich SiO₂, MgO and CaO, and its Mg²⁺/(Mg²⁺+Fe²⁺) are all higher than 0.9. So the main mineral formation of Hetian Jade is tremolite series. By X-ray study, its lattice parameters are as follows: a₀=0.985~0.987nm, b₀=1.800~1.805nm, c₀=0.531~0.532nm, β=105.03°~105.10°. The study of crystal morphological details by SEM, it is clearly showing that the main factor of Hetian Jade's high toughness is its typical texture.

Key words Xinjiang, Hetian Jade, Tremolite

摘要 新疆和田玉产于塔里木盆地之南昆仑山的变质软玉矿床, 该矿床是由镁质大理岩与中酸性岩浆岩接触交代而形成。通过对和田玉的岩石矿物学研究表明和田玉主要由富钙富镁的透闪石矿物构成, 其化学组分中 Mg²⁺/(Mg²⁺+Fe²⁺) 比值均大于 0.9。对和田玉岩石薄片镜下观察发现, 和田玉是由透闪石微晶-隐晶质集合体构成, 其颗粒越细小, 交织结构越致密, 其质地就越细腻润泽。通过对和田玉的扫描电镜的观察分析, 探讨了和田玉高韧度主要与其特殊的交织结构所产生的粒间胶合力有关。

关键词 新疆; 和田玉; 透闪石

中图法分类号 P588.3

1 引言

和田玉色泽美丽, 温润光洁, 质地坚韧, 玉质优于其他玉石, 因产于新疆于阕(今和田)而得名。和田玉以其卓而不群的玉性深受世人的喜爱。最近已被中国宝玉石协会推荐为“国石”品种, 但对和田玉名称的界定在玉石界一直存有争议。从地质学观点看, 和田玉有明确的科学含义, 包括了以白玉为代表的多品种软玉系列, 产于中国昆仑山中, 由镁质大理岩与中酸性岩浆岩接触交代而形成的软玉矿床(唐延

龄等, 1994; 杨伯达, 1996)。由此可看出和田玉的特点: (1) 它属软玉, 有白玉、黄玉、青玉、墨玉等一系列品种, 尤以白玉为代表; (2) 该软玉矿床属于接触交代成因类型; (3) 地区分布以昆仑山为典型代表。其特点与世界上其他软玉矿不同, 在世界软玉中占独特地位, 具有典型意义。目前, 世界其它各地发现的软玉品种单一, 且多为碧玉, 而唯和田玉品种多样, 尤以白玉属世界罕见, 且玉质居世界软玉之冠。和田玉通常专指和田地区所产的软玉, 由和田玉所创造的中华民族七千年光辉的玉文化在世界上也是独一无二的, 本文正是对代表中国玉文化的和田玉从科学角度进行研究。

* 本研究由国家教委科研项目资助。

第一作者简介: 吴瑞华, 女, 1947 年出生, 副教授, 岩石学专业。

2 电子探针分析

本文研究选定了具有代表性的样品 XW3(白玉)、XQB1(青白玉)、XQ1(青玉)和 XM1(墨玉)进行了电子探针成分分析, 其分析结果见表 1。由电子探针数据而计算的矿物化学结构式, 以 23 个氧原子数为基础的离子数表示, 见表 2。

表 1 和田玉(透闪石)电子探针数据(%)

Table 1 Electron microprobe analyses data of Hetian Jade

样品号	XW3(白玉)	XQB1(青白玉)	XQ1(青玉)	XM1(墨玉)
SiO ₂	59.02	57.39	58.61	58.91
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.22	0.13
Cr ₂ O ₃	0.15	0.08	0.00	0.07
FeO	0.02	0.47	1.84	0.16
MnO	0.00	0.09	0.36	0.02
MgO	25.43	23.36	23.82	24.73
CaO	12.02	11.41	11.21	11.66
CoO	0.00	0.10	0.00	0.12
NiO	0.11	0.03	0.00	0.15
K ₂ O	0.07	0.01	0.02	0.08
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.27	0.14	0.10	0.16
Total	97.09	92.08	96.22	96.19

(测试单位: 中国地质大学(北京)电子探针室)

表 2 和田玉(透闪石)化学结构离子数

Table 2 Chemical composition of Hetian Jade

样品号	XW3	XQB1	XQ1	XM1
Si	7.86	7.79	7.71	7.84
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.00	0.00	0.03	0.02
Cr	0.02	0.01	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.00	0.02	0.08	0.02
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.01	0.05	0.00
Mg	5.15	4.78	4.92	5.10
Ca	1.75	1.78	1.67	1.73
Co	0.00	0.01	0.00	0.09
K	0.02	0.01	0.01	0.02

从表 1 和表 2 分析结果可以看出, 和田玉高含量组分是 Si、Mg 和 Ca 的氧化物, 其中 SiO₂ 为 57.39%~59.52%, 平均为 58.6%; MgO 为 23.36%~25.43%, 平均为 24.34%;

CaO 为 11.21%~12.02%, 平均为 11.57%。这些组分和透闪石的理论组分很接近, 但均略偏低。其中样品 XW3(白玉)三个高组分含量均高于 XQB1(青白玉)、XQ1(青玉)和 XM1(墨玉), 说明白玉最接近理论透闪石成分, 其次为墨玉。和田玉的低含量组分主要是铁氧化物、钾氧化物、铬氧化物和锰氧化物等。其中 FeO 的含量与主要成分相反, 在白玉中含量最低仅 0.02%, 在青玉中含量较高为 1.84%, 青白玉则介于两者之间。

透闪石-铁阳起石的化学成分通式为: Ca₂(Mg, Fe)₅[Si₈O₂₂](OH)₂ 其中镁铁间呈完全类质同象代替, 置换程序不同, 矿物也不同。透闪石分子式为 Ca₂Mg₅[Si₈O₂₂](OH)₂, 当 Mg²⁺ 被 Fe²⁺ 置换时, 即 $Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+}) \geq 0.9$, 称为透闪石, 当 $0.5 \leq Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+}) \leq 0.9$ 称为阳起石, 当 $Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+}) \leq 0.5$, 称为铁阳起石。按照表 2 计算结果看, 和田玉的 $Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{2+})$ 比值均大于 0.9, 属于透闪石系列。

化学组分差异还引起和田玉硬度、密度和折射率的不一致, 从而导致不同种类和田玉物理化学特征的不同, 表 3 为不同种类的和田玉样品的物理与光学性质测试结果。其中折射率是样品经过严格抛光后测得的平均值, 密度是利用静水力学法测得, 硬度的测试仪器使用了德国 Leitz II POL-BK, 观测条件为反光, 经维氏显微硬度换算后所得的摩氏硬度, 其硬度值为该样品三个测点的平均值。

表 3 和田玉样品的物理与光学性质测试结果

Table 3 Physical and optical data of Hetian Jade

样品号	XW3	XQB1	XQ1	XM1
折射率	1.605	1.610	1.618	1.612
密度 g/cm ³	2.980	2.982	2.985	2.963
硬度	6.82	6.72	6.46	6.50

从所测得的数值可以看出, 随着和田玉颜色的加深, 折射率也逐渐增大, 表现为青玉>青白玉>白玉。和田玉的比重大致范围在 2.96~3.00 之间, 一般白玉比重小于青白玉或青玉, 墨玉因含较轻的石墨而略显小。经测定, 和田玉的摩氏硬度大致在 6.5~6.9 之间, 随品种以及各品种的质地的不同而发生变化。

3 X 光射线衍射分析

实验仪器为日本理学 Dmax/2C 粉晶衍射仪, 分析条件: Cu 靶($\lambda_{CuK\alpha_1} = 15.4056\text{nm}$), Ni 滤波片。样品 XW2 为白玉, XQ2 为青玉, 它们的 X 光衍射图谱见图 1。

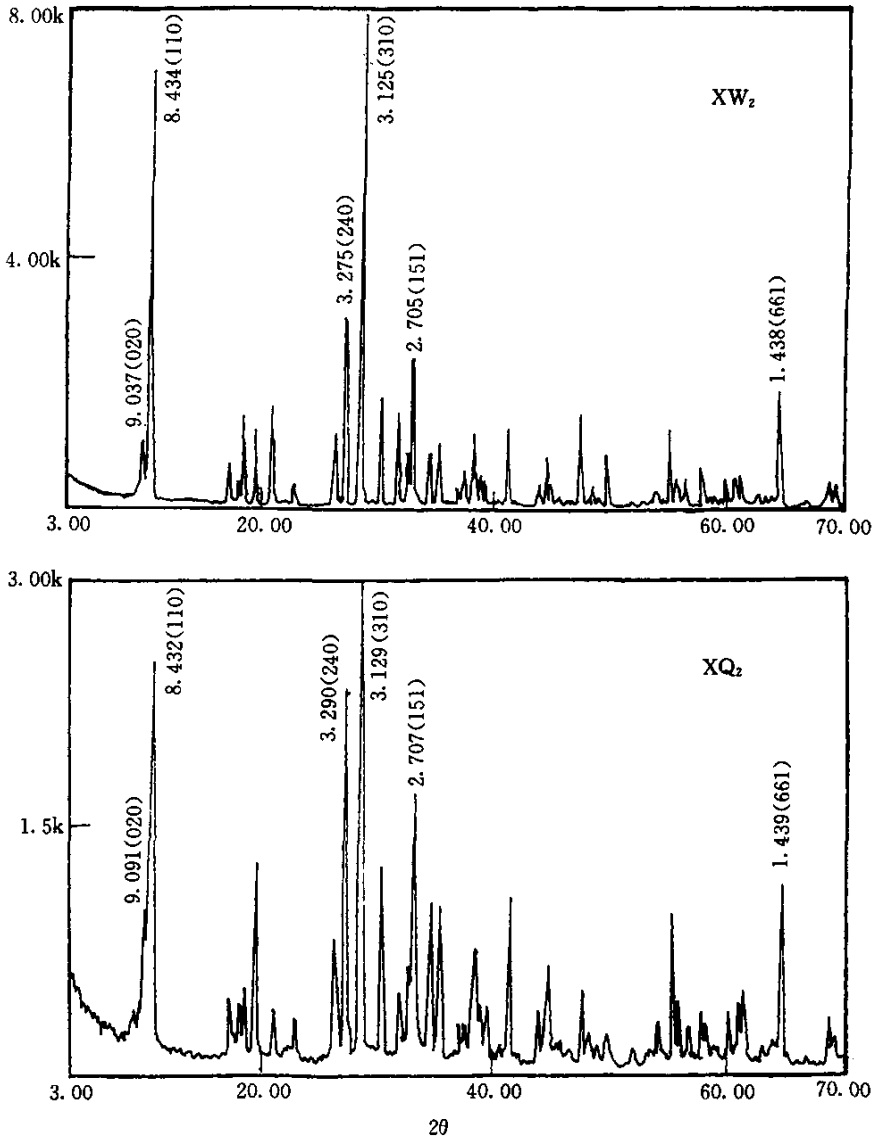


图1 和田玉样品 XW2 (上) 和样品 XQ2 (下) 的 X 粉晶谱线图

Fig. 1 X-ray spectrogram of samples XW2 and XQ2 from Xinjiang Hetian Jade

可以看出, 样品 XW2 与 XQB2 的 X 粉晶衍射数据基本相同, 其 XW2 的主要谱线为 3.125(310)、2.705(151)、8.434(110)、9.037(020)、1.438(661), XQB2 的谱线为 3.129(310)、2.707(151)、8.483(110)、9.018(020)、1.439(661), 与透闪石的粉晶衍射谱线基本一致, 说明和田玉样品主要矿物均由透闪石组成。同时计算出和田玉样品的晶胞参数并且与透闪石理论晶胞参数相对比, 可以看出和田玉与透闪石参数基本吻合(表 4)。

4 矿物组成及其结构特征

4.1 矿物组成及其表现形式

根据显微镜下观察和田玉岩石薄片发现, 和田玉基本上是由透闪石的微晶隐晶质集合体构成的, 依据矿物组成及其表现形式, 可将其分为显微纤维状透闪石、片晶透闪石和杂质矿物三个部分。

表 4 和田玉样品晶胞参数与透闪石理论值对比表

Table 4 Lattice parameters of Hetian and tremolite

样 品	a_0 (nm)	b_0 (nm)	c_0 (nm)	β ($^\circ$)
XW2 (白玉)	0.985 \pm 0.001	1.800 \pm 0.002	0.5320 \pm 0.001	105.02 \pm 0.07
XQ2 (青玉)	0.987 \pm 0.001	1.805 \pm 0.001	0.5317 \pm 0.006	105.10 \pm 0.06
透闪石*	0.984~0.987	1.800~1.805	0.527~0.530	104.07

* 引自中国科学院贵阳地球化学研究所 (1978)。

显微纤维状透闪石含量为 80%~90% 或更高。含量越高,表现在手标本上为结构愈细致均一。显微纤维状透闪石依据其聚合形态和大小,又可分为隐晶质部分、无定向毡状显微纤维鳞片、近平行的纤维束以及放射状(帚状)纤维团等。隐晶质部分在显微镜下无法分清透闪石的颗粒大小和形态,以基质形式存在,微具毛发特征;聚偏光现象明显,干涉色较低,交织成毡状、团块状。无定向毡状显微纤维鳞片是由无定向透闪石显微纤维杂乱交织成的集合体,大小在显微镜下不可测,但形态可以依据消光现象大致分清。近平行的纤维束状透闪石,纤维沿长轴近似平行排列,消光方向平行于纤维延长方向。放射状(帚状)纤维:团簇状透闪石纤维呈放射状分布,具微弱的波状消光现象。

片晶透闪石部分,一般呈单个的片状透闪石出现,长 0.05~0.2mm,宽 0.01~0.02~0.05mm,有时会更大一些,片状透闪石的长宽比约为 3:1~5:1,其组成大约占 10%~20%,含量多时使和田玉匀一性和透明性受到减弱或破坏。肉眼观察和田玉时,见到的透明-半透明均一基底上,有不透明的略带乳白色调的、不同形态之斑状物,即为片晶透闪石的较大颗粒,好似冷凝的米汤所见之残留的煮烂的米粒,这就是工艺上俗称的“汤”或“石”。

杂质矿物所占比例甚小,一般为个别出现,总量多不超过 1%。它们的出现也具有一定的规律性。在白玉中,见有少量的榍石以及磷灰石和磁铁矿,磷灰石一般粒径约为 0.025mm,磁铁矿约为 0.01mm,榍石大小变化范围较大。磷灰石在镜下可见其典型的六方柱横切面形态,表明自形程度较好。磁铁矿呈自形或半自形。榍石在单偏光下为褐黄色,具弱多色性,自形程度较差,正交偏光下,干涉色带矿物本身颜色,含量一般为几粒。青玉中杂质矿物除个别磷灰石、磁铁矿外,还具有斜黝帘石。青白玉中杂质矿物主要同于白玉,有时兼有青玉的矿物杂质。墨玉中含有鳞片状石墨。

4.2 结构种类及其特征

根据和田玉矿物组分及其表现形式特点,可将和田玉的显微结构分为以下几种。

毛毡状显微交织结构是和田玉最典型的一种结构,表现

为透闪石颗粒非常细微,粒度在光学显微镜下尚无法分清其轮廓,大小均一,交织成毛毡一般。具有该结构的和田玉表现为细润致密,是优质和田玉所具备的特性。该结构的白玉、青白玉、青玉、墨玉中均可见到,与和田玉质地紧密相关。

显微纤维-隐晶质变晶结构指由纤维状透闪石和隐晶质透闪石组成的结构,其中纤维状透闪石呈弱定向排列,表明变晶作用不强烈,重结晶程度较低。

显微纤维变晶结构中透闪石多呈纤维状聚集,大致沿长轴定向分布(图 2-1)。

显微片状隐晶质变晶结构指主要由片状透闪石和隐晶质透闪石组成的结构,其中片状透闪石的含量不高,表明变质过程中重结晶作用程度不高;具弱定向,表明该变质应力作用不强烈。肉眼观察手标本时,片状透闪石表现为斑点状杂质,若大量存在,则会影响到玉的质量,在琢磨时需要剔除,故具有该结构的玉石质地一般较差。

显微片状变晶结构中透闪石颗粒呈叶片状分布,具有该结构的玉石质地一般较粗,甚至无经济价值(图 2-2)。

放射状或帚状结构在和田玉中较少,是纤维变晶结构的另一种表现形式,表现为透闪石纤维颗粒聚集成帚状,并伴有微弱的波状消光现象。推断可能是在汽水溶液热变质条件下,透闪石围绕中心强烈向四周急速生长的情况下,重结晶成放射状;波状消光现象的产生一般认为系构造应力所产生的塑性变形,颗粒首先消光的部位,往往是受力部位,也可由后期叠加的动力穿越所致(图 2-3)。

残缕结构表现为包裹在变斑晶或变晶矿物中的基质矿物与基质中同种矿物沿变余层理内外断续相连,表现为非同构造期的产物。这种结构表明,在变斑晶或变质矿物原地重结晶未完全吸收和排除掉原岩相应组分,而在应力不强、反应不充分环境下形成。它为我们分析和和田玉变质作用环境及条件提供了有效的证据(图 2-4)。

交代冠状结构表现为片状透闪石沿被交代的白云石残余的晶体边缘的规律的排布,证明了白云石在含热水溶液参与下,在晶体粒间经过交代作用形成软玉,即白云石+SiO₂+H₂O(汽)→透闪石(图 2-5)。

虽然后两种结构在和田玉中非常少见,但却生动地为我

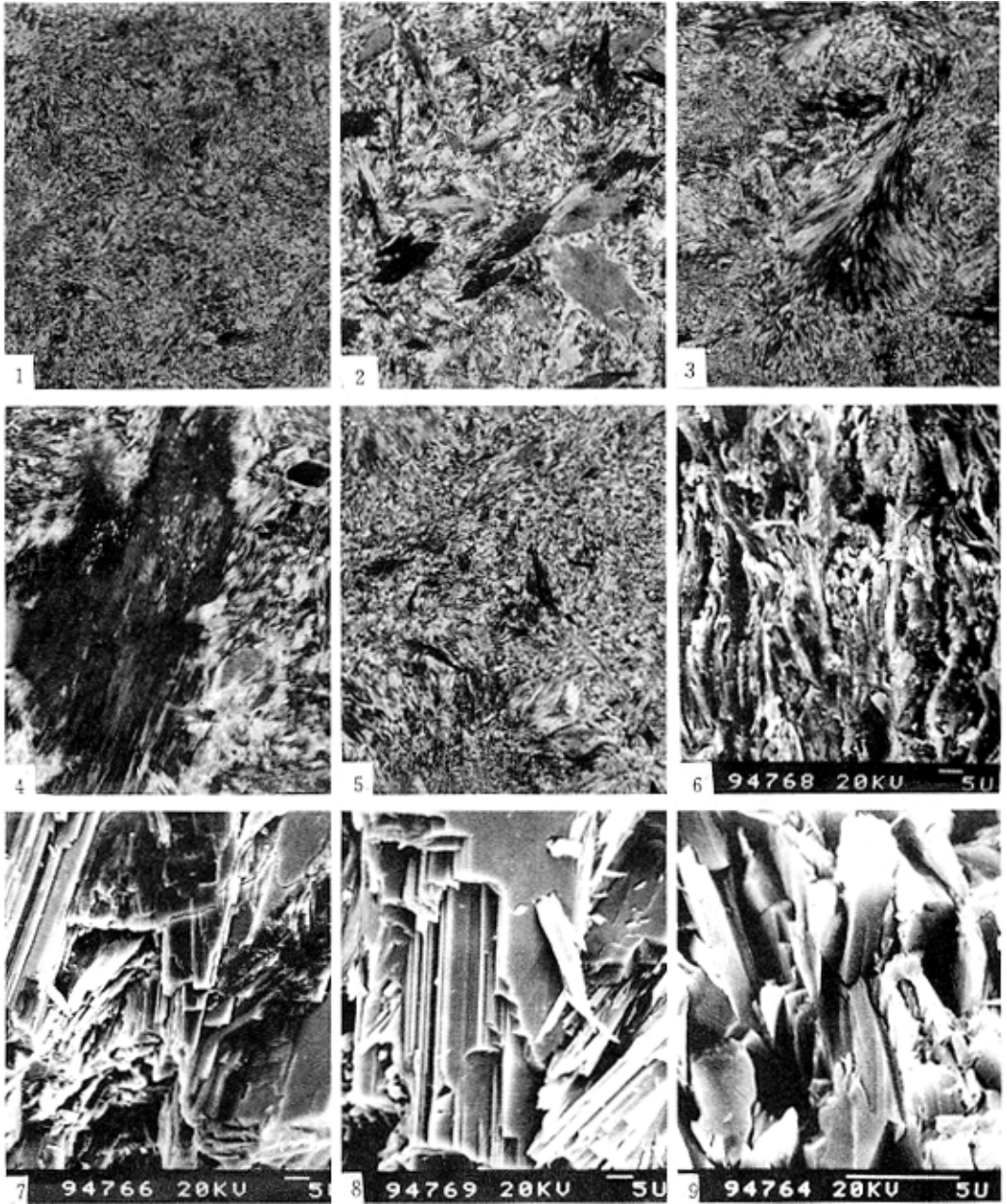


图2 和田玉结构的显微照片

1. 显微纤维变晶结构, $10\times 4 (+)$; 2. 显微片状变晶结构, $10\times 4 (+)$; 3. 放射状(帚状)结构, $10\times 4 (+)$; 4. 残缕结构, $10\times 4 (+)$; 5. 交代冠状结构, $10\times 4 (+)$; 6. 和田玉敞口断面大致形貌; 7. 和田玉矿物颗粒解理及断裂面形貌; 8. 和田玉断裂台阶; 9. 和田玉断裂裂纹。

Fig. 2 The photographs of textures for Xinjiang Hetian Jade

们提供了和田玉的形成轨迹。

5 扫描电镜研究

和田玉的高韧度特性使其在玉雕业中一直占有重要地位。韧性可以用断裂表面能和断裂韧度这两个相关尺度来衡量(JC 耶格等, 1981)。断裂表面能(W)为形成每一单位断裂表面所需要的能量:

$$W = 2\pi c^2 \sigma^2 / E$$

其中 σ 为外加应力; E 为杨氏模量; c 为裂纹长度。断裂韧度(K_c)定义为材料抵抗裂纹失稳扩展能力的参量,与材料有关,与材料尺寸及所受外加应力无关。 K 为应力强度因子, $K = \sigma(\pi c)^{1/2}$ 。当应力强度因子达到断裂临界值 K_c 时,裂纹就会失稳而扩展,最终导致物体的断裂,这就是Griffith理论。由上述可以得出,和田玉的韧性评价是与裂纹有着密切的关系。就多晶集合体的玉石来说,其裂隙并不仅仅限于Griffith所考虑的裂隙,应包括玉石中所存在的任何薄弱点以至于任何缺陷都应称为裂隙。断裂即沿缺陷造成的软弱面进行,这些软弱面在多晶集合体的和田玉中可以包括为晶粒界面、解理面、微裂纹和孔隙。

因此,研究和和田玉的韧度可以从其多晶集合体晶粒之间的结合方式、解理面及裂纹的微观形貌特征来定性地评价。

扫描电子显微镜(SEM)具有分辨率高、放大倍数大、立体感强等特点(陈丽华等, 1986),可以对和田玉组成矿物的微观形貌作综合分析。测试的1号和2号样品均为新疆和田玉的白玉,3号样品为青白玉。工作条件:仪器型号5450,加速电压为15kV,图象分辨率为15nm,室温为20℃。

照片6为1号样品自然敞口断面的大致形貌,放大倍数1.0K,该样品在光学显微镜下结构为毛毡状显微交织结构,可以看出:和田玉的组成矿物透闪石颗粒呈长短不一、大小不等的针状、放射状形式存在,矿物颗粒宽度 $<1\mu\text{m}$,矿物延伸方向杂乱无章,相互交织,且镶嵌紧密。由于这种特殊的交织结构的存在,在矿物颗粒之间产生了一种机械结合力,我们可以称之为粒间绞合力。当受外力作用时,互相穿插、啮合着的针状透闪石构成的和田玉形成断裂面时需要破坏各种力拔出,其中这种粒间绞合力的存在大大增强了每一个断裂表面所需要的能量。其次,这种拔出作用又几乎不可避免地导致无数次级裂纹的产生,断裂面积的加大,断裂沿各个方向延伸,将会进一步消耗更多的能量,这些综合因素即形成了和田玉的高韧度,所以形成和田玉高韧度的主导因素为玉石的结构。

照片7为2号样品矿物颗粒解理、断裂面的形貌特征,放大倍数1.0K。可以看到其中断裂面主要沿矿物解理方向扩展,由于透闪石具有 $\{110\}$ 和 $\{\bar{1}\bar{1}0\}$ 两组解理,解理夹

角为 56° 和 124° 。单个矿物解理的夹角以及多晶颗粒取向杂乱,造成解理方向不一致且多变。当裂纹从一个颗粒的解理面扩展到另一个解理面时,裂纹必然要不断改变方向,从而形成无数次级断裂带与断裂面。从照片8中可以清楚的看到这种沿解理面的断面以及改变方向的断裂台阶。

照片9是3号样品的自然敞口断面的微观形貌,该样品在光学显微镜下结构为显微纤维隐晶质变晶结构。放大倍数5.0K。从照片9中可以清楚的看到透闪石矿物颗粒典型的断口显微形貌特征,同时看到透闪石颗粒延伸方向接近互相垂直,彼此穿插且致密结合,当裂纹在其中扩展时,微裂纹虽然形成,但它的扩展途径不大,由于颗粒之间镶嵌得很紧密,也不能利用晶间扩展裂纹,这种沿解理面的扩展,由于需要破坏硅氧链之间的结合力,估计所需的断裂表面能应该是很大的。根据Griffith定理,矿物的受外加应力 $\sigma = (EW/2\pi)^{1/2}/c$ 与裂纹长度成反比,所以断裂所需外加应力加大,表现在宏观上则为和田玉韧性较大,不易断裂。

6 结论

(1) 和田玉的高含量氧化组分为 SiO_2 、 MgO 、 CaO ,其中 $\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})$ 值大于0.9,属透闪石系列。

(2) 和田玉主要组成矿物为透闪石,杂质含量极少。测得和田玉的晶胞参数为: $a_0 = 0.985 \sim 0.987\text{nm}$, $b_0 = 1.800 \sim 1.805\text{nm}$, $c_0 = 0.531 \sim 0.532\text{nm}$, $\beta = 105.03^\circ \sim 105.10^\circ$ 。

(3) 根据透闪石大小形态,岩石结构类型可分为毛毡状显微交织变晶结构、显微纤维-隐晶质变晶结构、显微纤维变晶结构、显微片状隐晶质变晶结构、显微片状变晶结构和放射状或帚状结构等。偶见反映其生成条件的交代残余结构。

(4) 和田玉的高韧度主要取决于其特殊的交织结构,由此构成的粒间绞合力增强了和田玉的抗断裂能力。

References

- Chen Lihua *et al.* 1986. Application of SEM in geology. Beijing: Science Press. 139~143 (in Chinese)
- Chen Manyun. 1985. Study of balance co-live and transition of metamorphic minerals in microscope. Journal of Changchun Institute of Geosciences. (4): 103~109(in Chinese)
- Guiyang Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1984. X-ray diffraction figures of minerals. Beijing: Science Press, 261~262 (in Chinese)
- Yege J C *et al.* 1981. Base of petrological-mechanics. Beijing: Science Press Pan Zhaolu. 1984. Crystallography and mineralogy (Next). Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Tang Yanling, Cheng Baozhang *et al.* 1994. China Hetian Jade. Xin-

jiang People Press

Yang Boda. 1996. Jade culture of older China. China Gemstone Magazine. (3): 93; (4): 108

附中文参考文献

陈丽华等. 1986. 扫描电镜在地质上的应用. 北京: 科学出版社. 139~143

陈曼云. 1985. 显微镜下变质矿物平衡共生及转变的研究. 长春地质学院学报, (4): 103~109

贵阳地化所. 1984. 矿物 X 粉晶衍射图册. 北京: 地质出版社

J·C 耶格等. 1981. 岩石力学基础. 北京: 科学出版社

潘兆麟. 1984. 结晶学及矿物学 (下册). 北京: 地质出版社

唐延龄, 陈葆章等. 1994. 中国和田玉. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社

杨伯达. 1996. 古老的中国玉文化. 中国宝石杂志, (3): 93; (4): 108

中国岩石学专业会议： “火山作用与资源、环境学术研讨会”在长春召开

1999年8月14日至16日在长春召开了“火山作用与资源、环境学术研讨会”。这是本世纪最后一次全国性岩石学专业会议，也是一次跨世纪的全国性大会，以往我国召开过火山岩和火山作用的全国性会议共5次，这次应是第六届大会。

这次会议由中国地质学会岩石专业委员会等10个主办单位和19个协办单位经过了较长时间共同筹备组织召开的。直接承办这次大会的单位是中国地质学会岩石专业委员会、吉林省地质矿产厅、长春科技大学和吉林省地震局，他们为会议的召开以及长白山地质考察，付出了极大精力，出色地完成了会议的一系列组织工作和各项任务。

出席这次会议的有近80个单位150余名代表和各方面的贵宾。我国岩石学界的老前辈董申保和沈其韩资深院士自始至终参加了会议，并作了报告。吉林省副省长刘淑莹同志在会上致辞，她希望参加会议的专家为吉林省的资源开发和经济发展作出贡献。

全国岩石学界的同仁们对这次会议十分重视，投寄了大量论文稿件，经审查选出了176篇论文，由《地质论评》编辑部编辑，以1999年增刊方式出版，并由会议作为重要资料发给出席会议的代表，其内容十分广泛，包括火山岩和火山地质学、火山岩岩石学和年代学、火山岩地球化学、火山岩岩浆的形成机制和动力学、火山岩形成的构造环境、火山作用与资源、火山作用与环境（包括灾害）、火山岩区旅游学等等。

这次研讨会重点对下列三方面的问题进行了深入的研讨：(1)地质历史时期火山活动规律及其长周期环境变化的关系；(2)火山岩（火成岩）地区国土资源的开发利用和环境保护；(3)近代休眠和活动火山的研究及其稳定性评价和监测。会议期间利用晚上时间还组织了三个专题讨论和典型地区火山岩和火山作用的图片展览，代表们自由参加，讨论热烈，拓宽了会议报告的广度和深度。会议中出

现了老中青结合及其良好的团队精神，不少科研集体把年青人推上了第一线和活动舞台，在论文宣读中给他们尽情施展才能的机会，青年人的报告约占70%。

会议闭幕式上路凤香教授、樊祺诚研究员和姜福芝研究员对上述研讨的三方面问题分别作了精彩的总结发言。中国灾害防御协会火山学会会长刘若新教授代表会议组委会对会议做了总结，进一步强调：这次会议是在世纪之交召开的，因此我们必须考虑21世纪我国研究“火山作用与资源环境问题”所面临的任务，并提出如下建议：

1. 火山作用一方面作为地球物质循环和能量交换的主要方式而成为人们认识和了解地球物质运动的最重要的方面，因而受到普遍关注。另一方面火山作用又与人类赖以生存的资源和环境密切相关，在相当程度上制约着社会经济的可持续发展，因此可以预期上述两方面将成为下一世纪火山作用研究的主旋律。虽然这两个主题是相互联系密不可分的，但由于后一主题更贴近人们的生活，更贴近经济发展，也许强调后一主题会更切合我国的情况。

2. 为了实现上述目标，需要强调以下几个方面：(1)从全球构造观点出发结合我国实际，与大地构造和深部地球物理研究相结合，加强对不同火山作用特定构造环境的研究；(2)把不同源区的火山岩或火山作用作为大自然超深钻进行研究，并从中提取不同地史阶段壳-幔物质组成及其演化动力学过程的信息；(3)加强物理火山学及火山过程与地壳、水圈、大气圈相互作用的研究，这是火山作用与环境资源实际研究的基础；(4)包括岩浆在内的深部流体和火山热流体是研究火山成矿作用的关键；(5)培养具有广博基础知识的和具有与火山作用有关多学科专业知识的高素质人才是完成上述任务的关键。

在你的面前是一片真理的大海，让我们共同去追求和探索；21世纪是我们现在年青科学家的舞台。这是与会科学家共同心声。

《岩石学报》编辑部供稿