

# 岫岩软玉(透闪石玉)的矿物岩石学特征及成矿模式

王时麒,段体玉,郑姿姿

(北京大学 地质学系,北京 100871)

**摘 要:**系统叙述了辽宁岫岩软玉(透闪石玉)的产出类型、颜色分类、矿物组成、化学成分、微量元素和稀土元素特征、结构和构造类型及物理性质,综合分析了成矿物质的来源和成矿过程。

**关键词:** 辽宁岫岩;软玉;透闪石;热液矿床

**中图分类号:** P578.955;P618

**文献标识码:** A

辽宁岫岩县盛产蛇纹石质玉(俗称“岫玉”),已为世人所尽知,扬名海内外。其实,岫岩不仅产蛇纹石质玉,还产出透闪石质玉,即软玉,这点却鲜为人知。为了与已流行的“岫玉”(专指蛇纹石质玉)相区别,我们将岫岩产的透闪石质玉称之为“岫岩软玉”。尽管岫岩软玉的开发利用历史相当悠久(可以追溯到 6 000 年前的红山文化),质量比岫玉更佳,但由于产量很少,又缺乏报导,故一直湮没无闻,使得世人只知岫玉,而不知岫岩软玉。通过近年来的实地考察,笔者对岫岩软玉的矿物学、岩石学和矿床地质学特征进行了全面系统的工作,并运用现代测试手段和成矿理论进行了深入研究。

## 1 矿体产出特征

原生软玉矿床产于岫岩县细玉沟沟头的山顶上,矿体赋存于元古宙辽河群大石桥组三段的透闪石白云质大理岩中的构造破碎带间,严格受地层层位和构造的控制。矿体形态呈不规则似层状和透镜状产出,矿体与围岩的界限清楚。矿体周围岩石普遍遭受热液蚀变,围岩蚀变类型有蛇纹石化、滑石化、透闪石化、阳起石化、绿泥石化和碳酸盐化。蚀变带具有一定的宽度(0.5~2 m),无明显分带现象。

## 2 岫岩软玉的分类

关于软玉的分类,目前国内外尚无统一标准。根据当地的实际情况,参考新疆和田玉的分类方案,我们从两个方面即产状和颜色对岫岩软玉进行了初步分类。

### 2.1 产状分类

根据地质产状不同,岫岩软玉可分为原生矿和砂矿两大类,砂矿又可细分为坡积矿和冲积矿两类。地质产状不同,玉石的特点和质量也有所不同,据此,岫岩软玉可分为 3 个品

种:

(1)山料玉 当地俗称“老玉”。是指从细玉沟山顶上原生矿采掘出来的透闪石玉料。此种玉料由于是人工放炮崩采,块度大小不一,形状各异,多为棱角状。块体的表面多为新鲜的崩裂面。但有时块体的面是原来玉体早已存在的自然裂隙面,这种面均发育有厚度不等的白色皮层,与其内部的玉肉有明显的界线,当地称之为“石包玉”,这显然是由于玉体接近地表,沿裂隙风化退色所致。此外,2001 年在北瓦沟蛇纹石玉矿中发现了纯净的白色透闪石玉矿体,规模较小,仅有几吨。

(2)河料玉 当地俗称“河磨玉”,是指产于细玉沟东侧的白沙河河谷底部及两岸的一级阶地泥砂砾石层中的透闪石玉,是由细玉沟头山顶的原生“老玉”矿裸露地表经风化破碎成块,然后被洪水沿沟冲至沟外洪积扇和河谷中,经滚磨沉积而成。此种冲积型软玉砂矿呈大小不一的砾石产出,大者可达几吨,目前发现最大的一块为 2 吨,小者只有几十克,一般为几公斤至几百公斤。砾石的磨圆度为中等,一般为次圆状或次棱角状。此种软玉砾石的突出特点是普遍发育一层带色的风化而成的外皮,皮的厚度不一,从几毫米至几厘米。外皮颜色有褐红、褐黄、灰褐、黑色等。偶尔可见局部没有皮,可直接见到新鲜的软玉,当地称之为“露肉”。如切开玉砾,可见外层有 2~4 个不同颜色或色调的圈层,然后过渡到新鲜的软玉。此类软玉由于经长期滚磨,原玉石中一些裂隙相对发育、结构疏松部分被磨蚀掉,从而提高了玉石的质量,因此河磨玉从总体上讲质量最高。

(3)山流水玉 此名是借用新疆和田此类玉名而来的,是指分布于靠近原生矿的山麓或沟谷两侧凹地中的坡积型和洪积型软玉砾块。此种玉料是由原生矿块经洪水冲击沿山坡自上而下滚动时停积在凹地中而形成的。由于滚动时间和距离比较短,砾块的棱角略有磨圆,多呈次棱角状,靠近原生矿附近的块度一般较大,目前发现一块最大者为 8 吨。此种玉料也发育一层薄厚不同的风化外皮。

## 2.2 颜色分类

岫岩的透闪石玉有多种颜色,由浅至深可以分成白色系列、黄白系列、绿色系列和黑色系列。白色系列包括白色、乳白色;黄白系列包括浅黄白、黄白、深黄白、浅白黄、白黄色;绿色系列包括浅绿黄、绿黄、深绿黄、浅黄绿、黄绿、深黄绿、绿、灰绿、深灰绿、墨绿色;黑色系列包括绿黑、灰黑、黑色。

根据上述颜色系列,岫岩软玉可以分为白玉、黄白玉、绿玉和墨玉 4 个基本颜色类型,其中黄白玉和绿玉在新疆和田玉中基本上没有,而新疆和田玉中的黄玉和青玉岫岩软玉中基本上没有,这是两地软玉在颜色上的明显差别,这一点对判断古玉器的玉料来源很重要。

此外,在岫岩软玉的内部经常可以看到一片一片的褐黄色,因其颜色似红糖,故称“糖色”。这是在地表氧化条件下,三氧化二铁溶液沿着软玉的微裂隙和颗粒间隙渗透扩散天然染色所致,是一种次生色。当这种糖色分布面积较大占据大部分玉块时,可称为“糖玉”。糖色在“老玉”中比较发育,在河磨玉中较少。

## 3 岫岩软玉的矿物学和岩石学特征

### 3.1 岫岩软玉的矿物组成

岫岩软玉是一种由微晶透闪石(少量阳起石)集合体组成的单矿物岩石,含很少量的杂

质矿物。

3.1.1 主要矿物成分

经过偏光显微镜下仔细观察得知,岫岩软玉的矿物成分主要是透闪石,其含量达 95% 以上。不同种类的软玉其透闪石的含量稍有变化,白玉和黄白玉含量最高,可达 99% 以上,一般在 98% 至 99% 之间;绿玉一般在 97% 至 98% 之间;墨玉中含量相对较低,一般在 96% 至 98% 之间。

从结构特征可明显看出,透闪石的形成可分为 4 个期次:第 1 期透闪石为柱状,呈斑晶,粒度较粗,一般 1~3 mm,大者可达 5~7 mm,常被后期透闪石交代残蚀呈残留结构;第 2 期透闪石为纤维状,往往交代第 1 期柱状透闪石呈束状或环绕第 1 期透闪石交代呈放射状结构,粒度较小,纤维长一般在 0.3 至 0.5 mm;第 3 期透闪石呈微细的纤维状,小于 0.1 mm,颗粒之间界限不清,集合体呈毛毡状结构,构成玉石的主体;第 4 期透闪石呈细脉状集合体穿切前 3 期透闪石。

为准确地鉴定透闪石的种属,选择有代表性的样品做了电子探针、X 射线衍射、红外光谱和拉曼光谱分析,现分述如下。

(1)电子探针分析

电子探针分析结果见表 1。根据表中测定的数据,应用 Minpet 2.0 软件,对每个样品中的  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  进行了计算。按照国际矿物学协会对角闪石的命名规则(Leak *et al.*, 1997),本区软玉的主要矿物角闪石的  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  大都  $>0.90$ ,属透闪石,仅黑色软玉 B-8 样品的该值  $<0.90$ ,属阳起石。

表 1 岫岩软玉电子探针分析结果

$w_B/\%$

Table 1 Electron microprobe analyses of Xiuyan nephrite

No	样品号	颜色	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	Total	Mg/(Mg+Fe <sup>2+</sup> )
1	W-1Hb	白色	0.00	23.87	0.21	59.53	0.00	14.52	0.01	0.00	0.63	98.77	0.996
2	Y-1Hb	浅黄白	0.12	23.75	0.73	58.61	0.09	13.67	0.00	0.04	0.67	97.68	0.984
3	Y-3Hb1	深黄白	0.31	23.79	0.28	59.02	0.00	14.11	0.00	0.02	0.36	97.89	0.984
4	Y-3Hb2	深黄白	0.27	23.41	0.27	58.85	0.00	13.79	0.00	0.17	0.41	97.17	0.990
5	Y-3Hb3	深黄白	0.12	24.36	0.51	59.89	0.05	12.81	0.02	0.09	0.73	98.58	0.990
6	Y-5Hb1	白黄	0.05	23.20	0.53	59.67	0.05	13.26	0.00	0.00	0.52	97.28	0.988
7	Y-5Hb2	白黄	0.07	24.05	0.50	59.42	0.02	13.40	0.00	0.24	0.55	98.25	0.987
8	Y-5Hb3	白黄	0.18	23.77	0.45	58.62	0.04	13.24	0.02	0.00	0.98	97.30	0.979
9	G-2Hb	绿黄	0.10	23.35	0.74	58.67	0.00	13.95	0.00	0.01	1.33	98.15	0.969
10	G-4Hb1	深黄绿	0.00	23.44	0.43	58.69	0.06	14.08	0.00	0.22	1.15	98.07	0.973
11	G-4Hb2	深黄浅	0.37	23.79	0.40	59.63	0.00	12.87	0.00	0.10	0.90	98.06	0.979
12	G-5Hb	黄绿	0.00	23.59	0.72	59.21	0.00	14.07	0.00	0.09	0.97	98.65	0.977
13	G-6Hb1	深黄绿	0.20	22.41	0.78	58.58	0.02	13.81	0.00	0.00	2.46	98.26	0.942
14	G-6Hb2	深黄绿	0.00	24.13	0.40	59.30	0.02	11.64	0.17	0.18	1.42	97.26	0.993
15	B-6Hb1	绿黑	0.09	23.38	0.80	58.24	0.08	13.82	0.00	0.24	1.11	97.76	0.974
16	B-6Hb2	绿黑	0.41	22.08	0.73	58.79	0.04	13.12	0.18	0.00	3.47	97.82	0.919
17	B-8Hb	黑色	0.22	20.54	0.26	57.16	0.13	13.58	0.00	0.08	6.75	98.72	0.849

由北京大学地质系电子探针实验室用日本 JEOL JXA-8100 电子探针测定。

(2)X 射线衍射分析

各种软玉的粉晶 X 射线衍射图谱见图 1。从图中可见,无论是衍射的波峰位置还是强度都与 JEPDS 标准卡片中的透闪石接近,表示岫岩软玉主要由透闪石组成。

(3)红外光谱分析

红外光谱分析图谱见图 2。从图中可见,其谱带数目、位置、形状以及峰值强度等特征与标准的透闪石图谱相同。

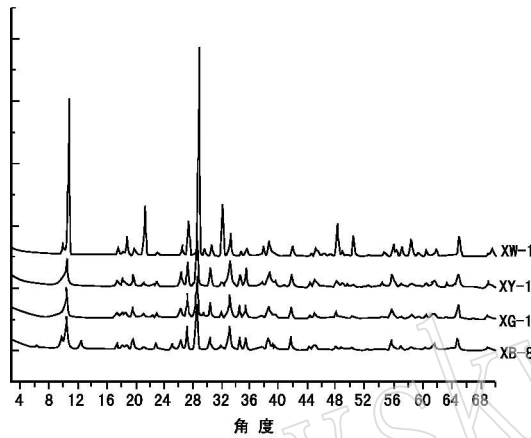


Fig. 1 The X-ray powder diffraction patterns of Xiuyan nephrite

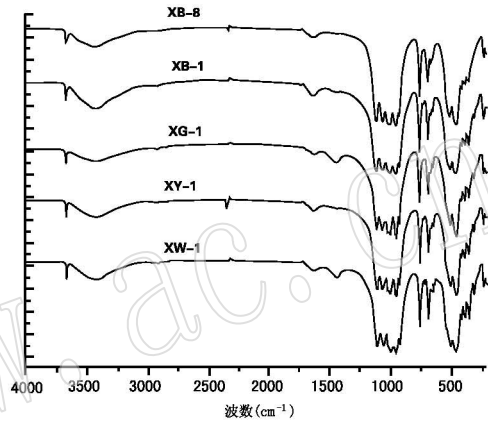


Fig. 2 The infrared spectrum of Xiuyan nephrite

(4)拉曼光谱分析

不同颜色软玉的拉曼光谱分析图谱见图 3。从图中可知,不论是高频部分还是低频部分,其图谱特征均与标准透闪石一致。

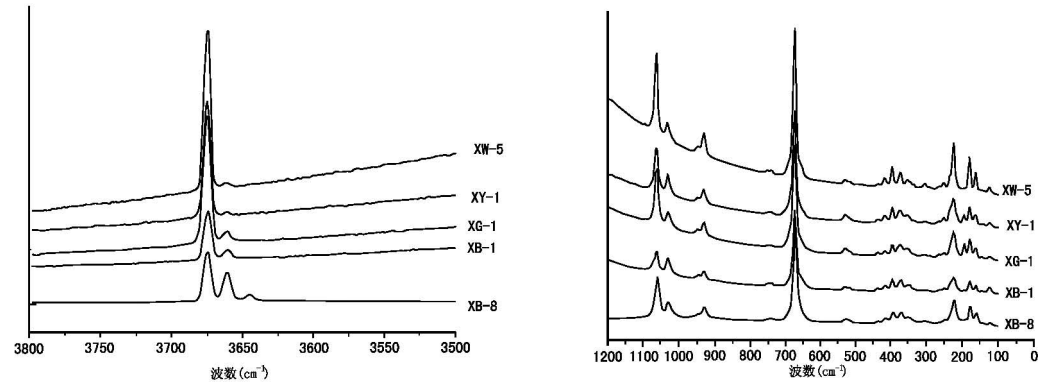


图 3 岫岩软玉的拉曼光谱图

Fig. 3 The Raman spectrogram of Xiuyan nephrite

3. 1. 2 杂质矿物成分

岫岩软玉中的杂质矿物含量很少 (< 5%), 且粒度一般小于 0. 2 mm, 个别可达

0.5 mm,其含量随软玉的品种不同而有所变化,和透闪石的含量呈负相关,在白玉和黄白玉中仅1%左右,在墨玉中最高可达4%。杂质矿物主要有碳酸盐、磷灰石、绿帘石、蛇纹石、绿泥石、滑石、石墨、黄铁矿、磁铁矿、褐铁矿等。

(1)碳酸盐矿物 是岫岩软玉中最常见的杂质矿物,明显地可分为两个期次:早期的碳酸盐矿物是原岩(大理岩)交代作用进行不彻底而残留下来的,呈粒状,多浑圆,有的沿解理呈多角形具交代残余结构,粒度一般为0.1~0.3 mm,有的可达0.5 mm;晚期碳酸盐矿物是热液蚀变交代而成,呈细粒状集合体产出,多为细脉状,沿微裂隙和斑状透闪石的解理缝分布。电子探针分析表明其均为方解石(表2)。

表2 碳酸盐矿物电子探针分析结果

Table 2 Electron microprobe analyses of carbonate

$w_B/\%$

	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO
早期方解石	0.03	0.50	0.08	0.50	0.08	56.37	0.16	0.13	
晚期方解石		0.40		0.35		56.26	0.25	0.13	0.02

由北京大学地质系电子探针室用日本 JEOL JXA-8100 电子探针测定。

(2)磷灰石 也是岫岩软玉中较普通的杂质矿物,一般呈他形粒状结构,在绿玉中有时见到正六边形的自形颗粒,粒度一般为0.05~0.2 mm,有的可达0.4~0.6 mm。磷灰石多被交代,有的内部生成星点状产物,从而形成筛状结构;也有的具交代港湾、交代残余结构;有的沿裂缝被透闪石交代具细脉状或网脉结构。磷灰石的电子探针分析数据见表3。

表3 磷灰石的电子探针分析结果

Table 3 The results of electron microprobe analyses of apatite

$w_B/\%$

	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
点1	0.43	0.25	0.17	0.83	0.29	51.17	0.07	0.23	0.01	41.64
点2		0.11	0.06	0.16	0.03	55.91	0.12	0.02		42.47
点3	0.25	0.23	0.12	0.79		54.93	0.18			41.29

由北京大学地质系电子探针室用日本 JEOL JXA-8100 电子探针测定。

(3)绿泥石 在黑色的软玉中常见,多呈片状,粒度较大,一般为2~3 mm。绿泥石的边缘及中间部分往往被纤维状透闪石交代。电子探针分析数据如下(表4)。

表4 绿泥石电子探针分析结果

Table 4 Electron microprobe analyses of chlorite

$w_B/\%$

成分	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	FeO
绿泥石	0.09	24.83	17.46	31.14	0.12	0.02	14.89

由北京大学地质系电子探针室用日本 JEOL JXA-8100 电子探针测定。

(4)其他杂质矿物 石墨主要在黑色的软玉中常见,薄片为黑色,不透明,呈片状或鳞片状稀疏分布,而且随着软玉颜色的加深有增加的趋势,是软玉致黑色的主要因素。在黑色软玉的X射线衍射图谱中可见石墨的特征谱线。绿帘石分布不普遍,偶尔可见,呈他形粒状,粒度一般在0.02 mm左右,有的边缘被后期透闪石交代。蛇纹石在薄片偶尔发

现,系后期蚀变产物。滑石不常见,呈片状,系后期蚀变产物。黄铁矿主要出现在绿色和黑色软玉中,呈他形粒状,粒径约 0.1 mm 左右,黑色不透明,反射色为黄色。在墨玉的 X 射线衍射图谱中可见黄铁矿的特征谱线。磁铁矿偶尔可见,呈细小的粒状,自形或半自形晶。褐铁矿是岫岩软玉中分布比较普遍的杂质,出现在每一种颜色的软玉中,只是多少不一,呈非晶态,多以集合体的形态出现,常沿裂隙呈脉状或网脉状树枝状分布,也有沿粒间孔隙扩散呈点状、浸染状、苔藓状、团状或面状分布,推断其对该区软玉的黄色调起一定的作用。

3.2 岫岩软玉的化学成分

岫岩软玉的主要化学成分分析数据见表 5。从表中可见,岫岩软玉的主要化学成分为 MgO、SiO<sub>2</sub> 和 CaO,与透闪石的理论值相近,与岫岩软玉主要为透闪石组成是一致的。FeO 的含量随软玉颜色的加深而增高,表明 Fe 类质同象替代 Mg 的数量增加,逐渐向阳起石过渡。

表 5 岫岩软玉的主要化学成分  
Table 5 The main chemical compositions of Xiuyan nephrite

样品号	HM-B	HM-F	HM-J	HM-D	HM-H	透闪石
种	墨玉	黄绿玉	绿玉	浅绿玉	黄白玉	理论值
Na <sub>2</sub> O	0.21	0.17	0.12	0.11	0.11	
MgO	20.88	23.79	23.97	24.24	24.51	24.808
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.64	0.58	0.60	0.79	0.89	59.169
SiO <sub>2</sub>	55.54	56.85	56.87	57.34	57.39	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.03	<0.01	0.01	0.05	
K <sub>2</sub> O	0.06	0.06	0.04	0.06	0.05	
CaO	11.99	11.50	11.44	11.34	11.55	13.805
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	
MnO	0.13	0.09	0.09	0.08	0.07	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
FeO	7.70	4.15	4.03	2.98	2.00	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.03	0.83	1.77	0.60	1.10	2.218
LOI	2.08	2.01	2.81	2.65	3.00	
Total	100.34	100.09	100.7	100.22	100.74	100.00

由国家地质实验检测中心测定。

岫岩软玉的微量元素含量见表 6。从表中可知,岫岩软玉中含量比较高的微量元素为 Be、V、Cr、Co、Nb、Cd、Sn、Pb 和 U,其次是 Ni、Cu、Zn、As、Mo、Sb 和 Cs,而 Ga、Hf、Ta、W 则很少。

岫岩软玉的稀土元素含量见表 7。从表中可知,岫岩软玉的稀土元素含量比较低,其稀土元素配分型式大体相似,均为轻稀土元素富集型,重稀土元素为平坦型,并具有明显的 Eu 负异常。

3.3 岫岩软玉的结构和构造

3.3.1 岫岩软玉的结构

岫岩软玉的矿物粒度非常细小,一般在 0.01 mm 以下,肉眼观察为隐晶质,在偏光显微镜下观察,按粒度大小可分为三大类型:

(1)显微粗晶质 粒度一般为 1~3 mm×0.1~0.3 mm,此种类型的软玉不多见,其外观比较粗糙,光泽和透明度均较差,主要分布在白色软玉中。

表 6 岫岩软玉的微量元素

$w_B/10^{-6}$

Table 6 The microelements of Xiuyan nephrite

样品号	W-1	W-2	Y-1	Y-3	G-2	G-3	B-7	B-8	平均值
Be	0.382	0.353	16.91	14.26	19.33	19.69	18.26	19.61	13.60
V	13.72	16.198	18.41	14.11	19.68	16.72	14.61	27.09	17.57
Cr	8.951	8.458	6.46	7.05	7.019	6.858	7.648	7.242	7.48
Ni	1.153	1.045	1.188	1.009	1.459	1.522	3.865	7.218	2.31
Co	1.132	0.934	2.871	1.553	1.143	2.762	8.803	13.55	5.06
Cu	4.929	12.123	3.436	3.13	3.767	4.194	2.962	3.514	4.76
Zn	3.215	2.667	2.538	2.721	1.937	2.935	1.717	2.099	2.48
Ga	0.599	0.458	1.048	0.993	1.257	1.079	1.243	1.924	1.08
As	1.58	1.722	2.805	1.7	3.365	3.262	2.804	4.021	2.66
Nb	1.765	1.586	5.587	7.466	3.626	5.42	3.48	17.04	5.75
Mo	0.491	0.694	0.737	0.516	0.489	0.7	15.7	0.881	2.53
Cd	5.495	3.599	11.97	4.593	2.789	4.74	4.784	4.848	5.35
Sn	5.543	3.547	13.74	6.09	7.643	5.958	5.928	8.13	7.07
Sb	2.087	2.139	3.253	2.489	3.991	3.61	0.479	0.38	2.34
Cs	0.916	0.459	2.055	2.882	3.556	3.783	2.753	2.126	2.32
Hf	0.083	0.081	0.083	0.145	0.118	0.096	0.188	0.328	0.16
Ta	0.16	0.117	0.358	0.649	0.158	0.247	0.223	0.348	0.29
W	0.536	0.448	0.758	0.678	0.864	0.833	1.37	1.19	0.84
Pb	13.58	9.125	10.77	6.826	8.354	8.472	13.52	10.55	10.15
B	0.09	0.069	0.077	0.068	0.073	0.066	0.246	0.058	0.09
Th	0.466	0.482	0.509	0.879	1.791	0.638	1.344	1.2	0.91
U	2.99	3.03	5.679	4.565	5.19	9.047	45.31	2.071	9.74

由北京大学地质系化学分析室用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)测定。

表 7 岫岩软玉的稀土元素

$w_B/10^{-6}$

Table 7 The rare-earth elements of Xiuyan nephrite

样品	浅黄白	深黄白	浅白黄	白黄	绿黄	深绿黄	浅黄绿	黄绿	深黄绿	绿色
	Y-1	Y-3	Y-4	Y-5	G-2	G-3	G-4	G-6	G-7	G-8
La	10.814	8.296	13.911	14.05	26.174	18.928	12.131	8.581	4.154	4.372
Ce	16.96	15.49	25.622	26.877	39.8	32.936	20.93	13.259	8.453	6.55
Pr	1.575	1.649	2.739	2.787	4.139	3.483	2.27	1.323	0.817	0.926
Nd	3.842	3.974	6.607	6.845	10.804	8.473	5.509	3.135	1.788	3.212
Sm	0.572	0.55	0.706	0.71	1.297	0.95	0.633	0.294	0.207	0.298
Eu	0.087	0.136	0.12	0.126	0.094	0.134	0.129	0.049	0.048	0.065
Gd	0.539	0.59	0.749	0.788	1.454	0.972	0.654	0.322	0.147	0.474
Tb	0.116	0.163	0.163	0.173	0.32	0.205	0.143	0.072	0.02	0.103
Dy	0.747	1.262	0.967	1.167	2.164	1.323	0.887	0.45	0.135	0.675
Ho	0.165	0.272	0.202	0.257	0.523	0.276	0.181	0.1	0.028	0.154
Er	0.484	0.868	0.605	0.828	1.539	0.806	0.569	0.312	0.086	0.465
Tm	0.067	0.131	0.086	0.117	0.266	0.112	0.083	0.044	0.013	0.064
Yb	0.46	0.819	0.59	0.72	1.453	0.708	0.596	0.304	0.086	0.417
Lu	0.052	0.104	0.071	0.087	0.239	0.075	0.085	0.033	0.01	0.057

由北京大学地质系化学分析室用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)测定。

(2)显微细晶质 在偏光显微镜下可分辨出透闪石颗粒的大小和形态,呈纤维状或针状,粒度一般为  $0.1\sim 0.01\text{ mm}$ ,比较常见。

(3)显微隐晶质 在偏光显微镜下无法分清透闪石颗粒的大小和形状,其粒径一般小于  $0.01\text{ mm}$ ,此种类型最为常见,常和显微细晶质混杂在一起。

按晶体形态可以分为:

(1)长柱状变晶结构 主要分布在白色软玉和某些斑晶结构中,透闪石呈长柱形,其长宽比为  $5\sim 10$ ,为相对粗粒状晶体。

(2)纤维状变晶结构 分布普遍,透闪石呈纤维状,颗粒大小不一,大者可在显微镜下看到其明显的晶形,小者需在电子显微镜下进行分辨。

按粒度相对大小可以分为:

(1)等粒变晶结构 透闪石晶体大小差别不大,呈等粒状均匀相嵌分布,在白色软玉中这种结构比较典型。

(2)不等粒变晶结构 透闪石晶体大小差别较大,大小晶体混杂排列呈不等粒状结构。

(3)斑状变晶结构 组成软玉的矿物明显分为两类,大小晶体悬殊,一类是大晶体呈斑晶,主要为交代残留的柱状透闪石;一类为细小晶体组成基质,主要为纤维状透闪石。

按照矿物之间的相互关系和组合排列方式特点,可将本区软玉的结构分为以下类型:

(1)毛毡状纤维交织结构 是软玉的典型结构,也是本区软玉中最重要最普遍的一种结构。透闪石呈纤维状,颗粒非常细小,粒度比较均匀,在偏光显微镜下无法分清楚其界限,非常均匀地无定向的密集分布,犹如绒毛相互交织而成的毡毯一样。

(2)束状结构 透闪石呈纤维状聚集,大致沿长轴定向排列,可见斜消光现象。

(3)帚状结构 纤维状透闪石局部定向排列,一端收敛,一端发散,似扫帚状,常见到跟踪消光现象。有时出现挠性,并有微弱的波状消光,显然受过应力的作用。

(4)放射状结构 由纤维状透闪石以一个基点为中心向四周呈放射状分布。转动物台有跟踪消光现象。

(5)似螃蟹状结构 由纤维状透闪石围在残留矿物的两端,并且向外扩散而形成,整体形态似螃蟹,此种结构比较少见。

(6)交代残余结构 由于交代作用进行的不彻底而残留下来的各种结构。根据形态,此类结构可分为以下几种:

交代筛状结构 透闪石在磷灰石或碳酸盐矿物内部呈星点状分布,残留矿物整体上呈网筛状,故称交代筛状结构。

交代环边结构 晚期的纤维状透闪石围绕早期矿物的边缘进行交代,形成一个环边,故称交代环边结构。

交代港湾结构 早期的磷灰石或透闪石颗粒被后期的透闪石局部交代,形成类似港湾状形态,故称交代港湾结构。

交代残蚀结构 早期的粗粒柱状透闪石被后期透闪石交代而形成的锯齿状不规则残蚀边。此种结构比较常见。

交代假像结构 早期具聚片双晶的碳酸盐矿物颗粒被晚期透闪石完全交代,但仍保留有聚片双晶形象,故称交代假像结构。

### 3.3.2 岫岩软玉的构造



(1)块状构造 是软玉中最重要最常见的构造。软玉主要由透闪石组成,分布均匀,呈均一的致密块体。

(2)片状构造 软玉呈片状,是由后期应力造成的。这种构造只在原生矿中偶有出现,因质量差多不能利用。

3.4 矿化阶段和矿物生成顺序

矿化阶段是指成矿作用的阶段,代表一个较长的成矿作用过程,是根据地质和物理化学条件的变化来确定的。矿物生成顺序,是指在同一个矿化阶段中,矿物结晶先后顺序,而同一种矿物在同一矿化阶段中多次先后结晶则称为矿物生成世代。

本区透闪石玉的形成过程可分为变质阶段、热液阶段和表生阶段,热液阶段又可分为早期、中期和晚期。在变质阶段中,主要形成白云石、方解石、磷灰石、绿帘石、粗粒柱状透闪石;在热液阶段主要形成蛇纹石、滑石、绿泥石、黄铁矿、磁铁矿、石墨;在表生阶段主要形成褐铁矿。矿化阶段和矿物生成顺序见表 8。

表 8 岫岩软玉的矿化阶段和矿物生成顺序表  
Table 8 The mineralization stage and ore-forming sequence

矿物	内生作用期			表生作用期
	变质阶段	热液阶段		
		早期	中期	
白云石	_____			
方解石	_____			
柱状透闪石	_____			
绿帘石	—			
磷灰石	_____			
纤维状透闪石		_____	_____	_____
滑石			_____	
蛇纹石			_____	
绿泥石			_____	
石墨			_____	
晚期方解石				_____
黄铁矿				_____
磁黄铁矿				_____
磁铁矿				—
褐铁矿				_____

3.5 岫岩软玉的物理性质

(1)透明度 在透明、亚透明、半透明、微透明和不透明 5 个级别中,本区的软玉主要属于微透明,即在一般厚度下(几个厘米)能透过光,但是看不清透过的物像。不同品种的岫岩软玉透明度也不尽相同,一般颜色浅的相对透明度好一些。

(2)光泽 光泽是指玉石对光的反射能力,它与矿物的折射率、吸收系数和反射率有关,反射率越高,光泽就越强。岫岩软玉为玻璃光泽至油脂光泽。一般来讲,软玉的质地越细腻,油脂光泽相对越强,给人以滋润的感觉。质地越纯,杂质越少,光泽越强。

(3)硬度 首先用显微硬度仪测出软玉的显微硬度,然后将显微硬度值换算为摩氏硬度值。15 个样品的硬度值测定结果(表 9)表明岫岩软玉的硬度为 6.0~6.5,平均值为 6.3。

- (4) 密度 在实验室里通过静水力学法测定,15 件样品的测定结果见表 9。从表可知,岫岩软玉的密度为 2.91~3.02,平均值为 2.96;从黄白玉→绿玉→墨玉,随着颜色的加深,其密度有增大的趋势。
- (5) 折射率 在实验室用折射仪测定 25 件岫岩软玉的折射率,为1.60~1.62。其中,白色软玉为 1.60~1.62,黄白色软玉为 1.60~1.61,绿色软玉为1.61~1.62,黑色软玉为 1.61~1.62。

表 9 岫岩软玉的硬度和密度测定值

Table 9 The hardness and density of Xiuyan nephrite

标本号	品种	密度/g. cm <sup>-3</sup>	硬度	标本号	品种	密度/g. cm <sup>-3</sup>	硬度
HM-A	黄白玉	2.94	6.36	HM-I	黄白玉	2.91	6.27
HM-B	墨玉	3.02	6.00	HM-1	黄白玉	2.93	6.36
HM-C	黄白玉	2.95	6.08	HM-2	黄白玉	2.93	6.36
HM-D	绿玉	2.98	6.50	HM-3	绿玉	3.00	6.46
HM-E	黄白玉	2.93	6.22	HM-4	绿玉	2.98	6.38
HM-F	黄白玉	2.95	6.46	HM-5	墨玉	2.99	6.40
HM-G	绿玉	2.98	6.26	HM-6	黄白玉	2.95	6.36
HM-H	黄白玉	2.93	6.36	平均值		2.96	2.96

4 岫岩软玉的物质来源与成矿模式

软玉的分子式为  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ ,从成矿的地质背景分析,其中的 Ca 和 Mg 显然是来自其赋存的地层围岩——白云质大理岩,即白云石  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ,其中 Si 和  $\text{H}_2\text{O}$  最可能来自附近中生代中酸性岩浆岩的富含 Si 质的热水溶液。在有利的构造条件下,富含 Si 质的岩浆热液沿着白云质大理岩的裂隙进行交代即可形成透闪石玉。

根据区域地质和矿区地质特征分析,岫岩软玉矿床属层控性的中温热液交代矿床,推论岫岩软玉的形成大致经历了 4 个地质作用阶段。

(1)白云岩沉积阶段

张秋生等(1988)根据辽河群的同位素年龄数据,推测辽河群的沉积下限大于 2200 Ma,上限可能小于 1900 Ma,属早元古代。在早元古代,我国东北的南部地区大部分为浅海环境,沉积了分布广泛、厚度达万米以上的辽河群巨厚中基性火山-沉积岩系,其上部为厚度大的富镁碳酸盐建造,尤其在大石桥一带,富镁碳酸盐建造——大石桥组地层东西向延长 50 km,厚度稳定,最厚处为 3 000 m,主要由白云岩组成,这为岫岩软玉的形成奠定了丰富的物质基础。

(2)白云岩的区域变质阶段

在距今 18 亿年左右的早元古代末期,吕梁运动使该区的地层发生褶皱、变质,并伴有岩浆活动。在广泛的区域变质作用中,发生了重结晶作用和重组合作用,原岩的成分和结构受到改造,白云石结晶变成了白云石大理岩,其中的杂质成分粘土等重新组合,形成了橄榄石、透辉石、粒硅镁石、金云母、磷灰石、柱状透闪石,绿帘石等矿物,它们主要呈镶嵌结构和花岗变晶结构。



**Mineralogical and petrological characteristics of  
Xiuyan nephrite and its minerogenetic model**

WANG Shi-qi, DUAN Ti-yu and ZHENG Zi-zi

(Department of Geology, Peking University, Beijing, 100871, China)

**Abstract:** This article systematically presents Xiuyan nephrite in Liaoning Province. It involves modes of occurrence, colours, mineral association, main chemical compositions, trace elements and rare-earth elements, textural and structural types and physical properties. The source of minerogenic material and ore-forming process are also comprehensively analysed.

**Key words:** Xiuyan, Liaoning; nephrite; tremolite; hydrothermal deposit