

甘肃省武山县鸳鸯玉的地球化学和宝石学特征

葛云龙^{1,2}, 王时麒¹, 于 洸¹, 郭 炬², 武 桐¹, 范桂珍¹, 刘 岩¹, 何丽伟¹

(1. 北大宝石鉴定中心, 北京 100871; 2. 北京经济管理职业学院, 北京 102602)

摘 要: 对甘肃武山县鸳鸯镇鸳鸯玉的地球化学特征和宝石学特征进行的鉴定、分析和研究表明, 鸳鸯玉是富镁铁的辉橄岩经岩浆期后多期热液的叠加蚀变(主要为蛇纹石化)形成的蛇纹岩, 鸳鸯玉的主要矿物成分为蛇纹石, 且多为叶蛇纹石, 含有少量的透闪石、滑石、白云石, 还有一定的金属矿物, 如磁铁矿、褐铁矿和水镍矿等。该玉石呈较深的灰绿色和墨绿色, 质地细腻, 可用于制作“夜光杯”和玉碗等工艺品。鸳鸯玉矿区交通方便, 矿石开采成本低, 是具有良好的开发前景的玉石资源。

关键词: 鸳鸯玉, 辉橄岩, 蛇纹石化, 宝石学特征, 地球化学特征, 甘肃省

中图分类号: P578.964; P579

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)S0-0151-11

Geochemical and gemmological characteristics of Yuanyang Jade from Wushan County, Gansu Province

GE Yun-long^{1,2}, WANG Shi-qi¹, YU Guang¹, GUO Ju², WU Tong¹, FAN Gui-zhen¹,
LIU Yan¹ and HE Li-wei¹

(1. Gems Appraisal Center of Peking University, Beijing 100871, China; 2. Beijing Institute of Economic Management, Beijing 102602, China)

Abstract: Geochemical and gemmological characteristics of serpentine jade (Yuanyang Jade) samples from Yuanyang Town of Wushan County in Gansu Province were identified, analyzed and studied. The results show that Yuanyang Jade is serpentinite formed by superimposed alteration of Mg- and Fe-rich pyroxene-peridotite through post-magmatic multiphase hydrothermal activity, with serpentinization being the main mechanism of the alteration. The main mineral of Yuanyang Jade is serpentine, mostly lizardite. The minor minerals include tremolite, talc, dolomite and metallic minerals composed of magnetite, limonite and hydronnicite. The jade samples are dark green or blackish green in color and have fine texture, suitable for grinding into such handicrafts as jade cups for wining and jade bowls. There are transport facilities in the mining area of Yuanyang Jade, and the mining cost of the ore is low, thus constituting a good developing prospect for the jade.

Key words: Yuanyang Jade; pyroxene-peridotite; serpentinization; gemmological characteristics; geochemical characteristics; Gansu Province

“夜光杯”是闪耀着中国古代文明斑斓色彩的路瑰宝。历史上人们多采用甘肃省酒泉地区西部和青海省东部祁连山上的蛇纹岩(称酒泉玉或祁连玉,

本文通称酒泉玉)制作“夜光杯”。基于开采条件和生产成本方面的原因,自1978年以来,人们逐渐转而选用甘肃省武山县的蛇纹岩为材料制作“夜光

收稿日期: 2011-05-15; 修订日期: 2011-06-22

作者简介: 葛云龙(1945-), 男, 研究员, 地球化学专业, 长期从事结晶矿物学、构造地质学、石油勘探与开发和宝石学等领域的教学、科研与培训工作。

杯”。武山县城西渭河以北的盘龙山蕴藏大量蛇纹岩矿,因其最早发现于鸳鸯镇邱家峡北山,故名鸳鸯玉。研究表明,武山县鸳鸯玉矿体产在块状和条带状蛇纹岩内,呈似层状、透镜状,是超基性岩受岩浆期后热液作用形成,出露地层比较简单,开采条件方便,矿石结构细腻,有一定的透明度,是制作各种形

状“夜光杯”以及玉镯、玉碗(图1)和其他工艺品的理想材料,具有很好的开发利用前景。笔者从2010年5月起,通过野外地质考察和室内一系列测试工作,对甘肃省武山县鸳鸯玉的地球化学和宝玉石学特征进行了初步研究。



图1 用鸳鸯玉制作的各种“夜光杯”和玉碗

Fig. 1 Jade cups for wining and Jade bowls grinded from Yuanyang Jade

1 矿区地质背景

武山县鸳鸯镇蛇纹石玉矿区的大地构造位置处于北秦岭海西褶皱带西南缘的骆驼巷-四店-武山深大断裂带上,以此断裂为界,可分为两个地质单元(图2):其北,除新生界覆盖外,主要地层为震旦系皋兰群上亚群;其南,除新生界广布外,见有上古生界的碎屑岩和碳酸盐岩^{①②}。

1.1 地层

研究区内出露的地层主要为震旦系皋兰群上亚群的黑云母石英片岩、斜长角闪片岩、大理岩及片麻岩,上泥盆统紫红色粉砂岩、泥岩、砂质页岩,上泥盆-下石炭统页岩夹薄层灰岩、页岩夹砂岩,下二叠统厚层灰岩,下第三系红色砂砾岩,以及上第三系红色泥岩和细砂岩。

1.2 岩浆岩

本区岩浆活动强烈,主要以侵入活动为主,岩浆岩类型自超基性到酸性均有发育。

(1) 超基性岩:计有鸳鸯镇岩体、费家山岩体、高家河岩体、谢家坟岩体和庙儿湾岩体。岩体总体呈近东西向。诸岩体受同一构造带控制。其分布范

围:西起磨子下,东至庙儿湾断续出露长达27 km以上,以鸳鸯镇岩体最大(包括庙儿湾岩体)。

(2) 基性岩:分布少,主要呈辉长岩小岩脉产出。

(3) 中性岩:沿磨子下、谢家坡、鸳鸯镇、庙儿湾一带断续出露。岩石类型包括辉石闪长岩、闪长岩,呈岩脉及小岩株产出。

(4) 酸性岩:大面积出露于高家河至谢家坡一带,岩性为黑云母花岗岩。

岩体侵入年代:据前人同位素年龄测定,高家河一带黑云母花岗岩年龄为2.04亿年,属印支期的产物。上述超基性岩体被后期的基性岩、中性岩、酸性岩所侵入或俘虏。故超基性岩体应在印支期以前侵入,为海西期的产物。

1.3 构造

研究区内岩体的围岩总体倾向 $345^{\circ}\sim 40^{\circ}$,倾角 $54^{\circ}\sim 75^{\circ}$,具单斜构造。断裂以走向北北西的压性断裂较为发育,其次见有走向东北及近南北向的断层,但规模较小。

2 矿体特征

2.1 矿体规模、形态及产状

① 甘肃省地质矿产局第一地质队,1984.甘肃省武山鸳鸯蛇纹石矿一九八四年地质普查工作总结和石畔脑矿段一九八五年度初步勘探设计。

② 甘肃省有色金属地质勘查局天水总队,2006.甘肃省天水市秦州区木皮沟梁金矿普查报告。

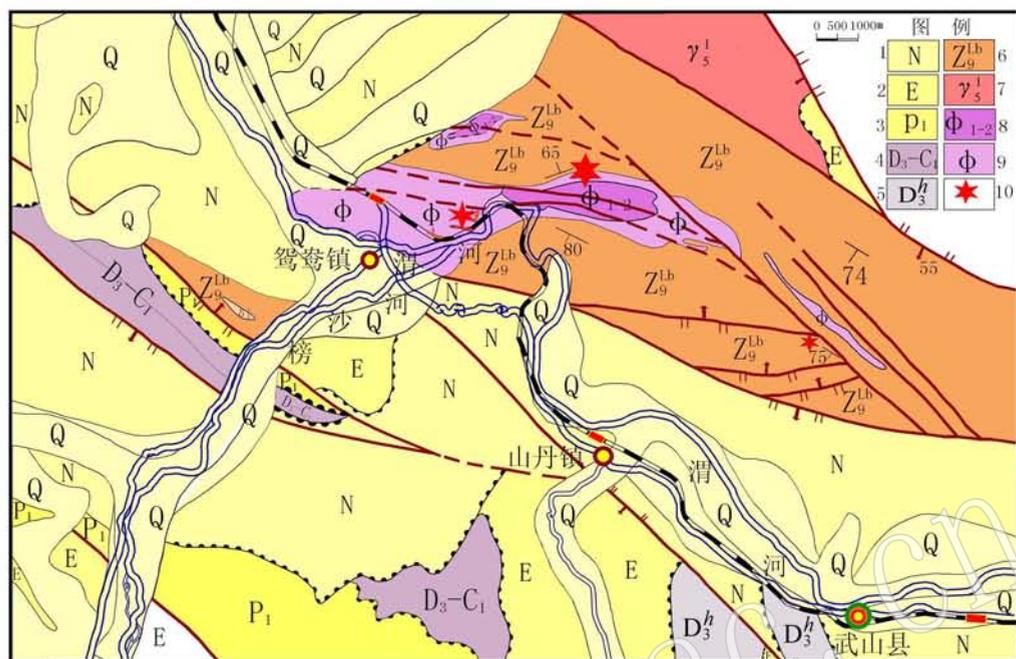


图2 甘肃省武山县鸳鸯镇一带地质矿产略图(据甘肃省地矿局第一地质大队, 1984^①修改)

Fig. 2 Geological map of Yuanyang Town area in Wushan County, Gansu Province, showing distribution of mineral resources

1—红色泥岩夹细砂岩; 2—红色砂砾岩; 3—厚层灰岩; 4—页岩夹砂岩和薄层灰岩; 5—紫红色粉砂岩、泥岩、砂质页岩; 6—云母片岩、石英片岩、角闪斜长片岩夹大理岩; 7—花岗岩; 8—辉橄岩; 9—蚀变蛇纹岩; 10—工艺玉石蛇纹岩

1—red mudstone intercalated with fine sandstone; 2—red sandstone-conglomerate; 3—thick bed of limestone; 4—shale intercalated with sandstone and thin bed limestone; 5—purplish red siltstone, mudstone and sandy shale; 6—mica schist, quartz schist and amphibole-plagioclase schist intercalated with marble; 7—granite; 8—pyroxene-peridotite; 9—altered serpentinite; 10—serpentine Jade

鸳鸯镇超基性岩体呈 280°~305° 方向展布, 一般倾向为 10°~35°, 倾角 62°~65°。岩体北界与围岩(皋兰群上亚群)呈侵入接触。从岩体中部向围岩, 具较明显的蚀变分带现象, 从岩体中部向围岩的岩石分带大致为蛇纹石化辉橄岩、条纹状蛇纹岩、块状蛇纹岩(图 3)。

蛇纹岩矿是超基性岩体的蚀变产物。矿区内蛇纹岩呈似层状, 总体走向 115°~295° 矿体南界与辉橄岩带呈渐变过渡关系。总体向北东倾斜, 倾角 45°~65°。矿体北界被第四系掩盖。剖面、工程控制矿体长 600 m, 矿体宽 70~167 m, 平均 108.75 m^①。

2.2 矿石自然类型及物质成分

根据蛇纹岩的颜色、花纹等特点, 区内蛇纹岩可划分为块状蛇纹岩、条纹状蛇纹岩和花斑状蛇纹岩等 3 个自然类型。以块状蛇纹岩为主, 其次为条纹状蛇纹岩。

(1) 块状蛇纹岩

分布于条纹状蛇纹岩以北, 二者呈渐变过渡接触, 此类矿体宽 59~100 m, 平均宽 82 m。岩石新鲜面以灰绿-墨绿色为底色, 浅色蛇纹石斑点(淡绿、黄绿、翠绿)不均匀分布。岩石致密细腻, 块状, 断口平坦, 岩石碎片边部不透明至半透明, 少数呈腊状光泽, 略有滑感。

(2) 条纹状蛇纹岩

分布在块状蛇纹岩与辉橄岩之间, 南与辉橄岩呈渐变过渡接触, 此类矿体宽 7~69 m, 平均宽 26.5 m。矿石新鲜面呈黄绿、淡绿、翠绿与墨绿、灰绿色组成相间条纹。岩石致密细腻, 略具油脂光泽, 岩石碎片边部浅色者呈半透明状。

(3) 花斑状蛇纹岩

位于块状蛇纹岩中, 仅见于东沟局部地方。岩石呈墨绿、灰绿、黄绿、淡绿、翠绿色的斑点和斑纹,

① 甘肃省地质矿产局第一地质大队, 1984. 甘肃省武山鸳鸯蛇纹石矿一九八四年地质普查工作总结和石畔脑矿段一九八五年度初步勘探设计。

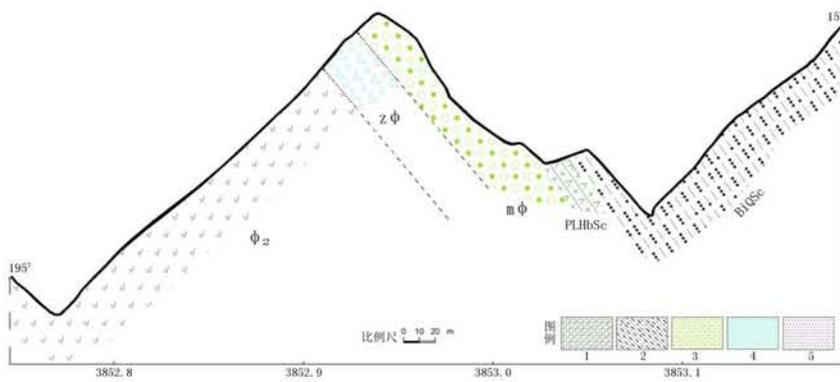


图3 鸳鸯蛇纹岩矿石坪沟脑矿段3线剖面图(据甘肃省地矿局第一地质大队, 1984^①修改)

Fig. 3 Geological section along No. 3 exploration line of Shipangounao ore block, Yuanyang serpentinite

1—斜长角闪片岩(PLHbSc); 2—黑云石英片岩(BiQSc); 3—块状蛇纹岩(mφ); 4—条纹状蛇纹岩(Zφ); 5—辉橄岩(φ₂)

1—plagioclase amphibole schist (PLHbSc); 2—biotite quartz schist (BiQSc); 3—massive serpentinite (mφ); 4—striped serpentinite (Zφ); 5—pyroxene-peridotite (φ₂)

花色美观, 致密块状, 岩石碎片边部呈半透明。

室对鸳鸯玉样品进行了化学成分分析, 表1列出14个样品以及深色岫玉、酒泉玉、玄武岩和超基性岩的化学成分数据。鸳鸯玉的SiO₂含量为36.02%~41.59%, 平均40.00%, 均<43%, 低于深绿色岫玉测量值和玄武岩标准值, 但比酒泉玉含量高。MgO含量为35.03%~38.55%, 平均36.94%, 远高于

3 地球化学特征

3.1 岩石化学特征

由北京大学造山带与地球演化教育部重点实验

表1 鸳鸯玉样品、岫岩玉、酒泉玉、玄武岩(GSR-3)和超基性岩化学成分一览表

w_B/%

Table 1 Chemical compositions of Yuanyang Jades, Xiuyan Jade, Jiuquan Jade, basalt and ultrabasic rock

样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total
WS-1	40.45	1.31	7.89	0.11	37.04	0.04	0.03	0.137	0.001	0.005	12.56	99.57
WS-2	40.45	0.11	11.20	0.01	35.62	0.03	0.01	0.140	0.001	0.002	11.88	99.45
WS-3	41.42	1.16	8.27	0.43	36.42	0.04	0.01	0.143	0.005	0.011	11.57	99.47
WS-4	41.16	0.41	7.43	0.09	37.95	0.03	0.03	0.046	0.010	0.005	12.14	99.30
WS-6	40.21	0.02	8.96	0.02	37.89	0.03	0.02	0.068	0.006	0.001	12.16	99.38
WS-8	40.17	0.21	8.30	0.05	38.06	0.04	<0.01	0.064	0.003	0.002	12.56	99.46
WS-10	40.89	2.04	3.97	0.08	39.55	0.04	0.02	0.070	0.004	<0.001	12.79	99.46
WS-14	40.81	0.58	9.01	0.06	36.52	0.03	<0.01	0.084	0.017	0.010	12.31	99.43
WS-15	40.33	0.76	8.63	0.80	36.21	0.03	0.01	0.099	0.019	0.008	12.60	99.51
WS-16	36.02	3.58	10.63	0.11	36.22	0.04	0.01	0.075	0.008	0.001	12.78	99.47
WS-20	37.94	3.57	7.56	0.56	35.03	0.03	<0.01	0.115	0.016	0.023	14.72	99.55
WS-24	40.50	2.29	6.95	0.08	35.82	0.01	0.03	0.123	0.015	0.006	13.71	99.53
WS-27	41.59	1.24	4.92	0.02	38.88	0.02	0.02	0.071	0.006	0.003	12.71	99.48
WS-29	38.04	2.21	10.47	0.11	35.90	0.04	0.01	0.120	0.007	0.003	12.54	99.46
14件平均	40.00	1.39	8.16	0.18	36.94	0.03	0.01	0.098	0.008	0.006	12.65	99.47
深绿色岫玉	44.34	0.18	1.59	0.07	41.08	0.10	0.11	0.040	0.000	0.007	12.20	99.72
酒泉玉	35.80	6.40	4.21	0.51	38.28	0.03	0.02	0.058	0.08		13.96	99.35
玄武岩标准	44.64	13.83	13.40	8.81	7.77	2.32	3.38	0.169	2.369	0.946	2.24	99.87
超基性岩	37.75	0.21	7.04	1.8	38.34	0.009	0.028	0.097	0.004	0.003	14.35	

注: 深绿色岫玉数据引自王时麒等(2007b), 酒泉玉数据引自崔文元等(2006), 超基性岩数据引自王毅民等(2003)。

① 甘肃省地质矿产局第一地质队, 1984. 甘肃省武山鸳鸯蛇纹石矿一九八四年地质普查工作总结和石坪脑矿段一九八五年度初步勘探设计.

玄武岩,比深绿色岫玉略低,与酒泉玉相当。CaO 平均含量为 0.18%,远低于玄武岩,比深绿色岫玉略高。TFe₂O₃ 含量高与样品中磁铁矿多少有关,在 3.97%~11.20% 之间变化,平均 8.16%,含量均高于岫玉,比酒泉玉略高,低于玄武岩。LOI(烧失量)平均为 12.65%,比玄武岩高许多,与岫玉和酒泉玉相当。除 CaO 含量略低外,鸳鸯玉的其他各种化学成分含量均与超基性岩相当。这些化学成分特征表明鸳鸯玉(武山蛇纹石玉)是低钙富镁铁超基性岩的热液蚀变产物,与酒泉玉成因类似。

3.2 微量元素特征

由北京大学造山带与地球演化教育部重点实验室对 14 个鸳鸯玉样品进行了微量元素成分分析,分析结果列于表 2。从表中可知,与上陆壳平均成分(Taylor)相比,鸳鸯玉的 Cr、Co、Ni、Sc 的含量较高,

Sr、Ti、Pb、V、Ga 含量普遍较低;Cu 含量与上陆壳相近,但多数偏高;Ba 含的平均含量与上陆壳接近,但变化大,有的高于上陆壳,有的低于上陆壳。与超基性岩相比,除 Ti、Ga、Cu 含量较高外,Cr、Co、Ni 的含量与超基性岩接近但略微偏低,Sr、Pb、V、Ba、Sc 等元素的含量在多数样品中与超基性岩相近,但在有些样品中比超基性岩高,也有一些样品比超基性岩低。总的来看,鸳鸯玉微量元素特征与上陆壳差异较大,与超基性岩较接近,表明武山蛇纹岩与超基性岩的渊源关系。与岫岩蛇纹石玉微量元素数据(王时麒等 2007b)相比较,鸳鸯玉的 Cr、Co、Ni 含量明显偏高。

3.3 稀土元素特征

由北京大学造山带与地球演化教育部重点实验室对鸳鸯玉样品进行了稀土元素成分分析,表 3 列

表 2 鸳鸯玉样品的微量元素含量

$w_B/10^{-6}$

Table 2 Analytical results of trace elements in Yuanyang Jade samples

	WS-1	WS-2	WS-3	WS-4	WS-6	WS-8	WS-10	WS-14	WS-15	WS-16	WS-20	WS-24	WS-27	WS-29	14 件 平均	上陆壳	超基 性岩
Sc	26.05	27.76	21.39	26.71	28.13	204.07	177.40	22.88	20.36	37.60	18.90	19.43	28.61	18.99	48.44	11	33.2
Ti	81.51	78.15	80.91	64.37	58.63	488.43	445.69	106.34	133.92	124.36	126.78	80.50	75.89	59.69	143.22	3000	40
V	16.87	20.49	16.90	39.84	19.44	23.86	21.91	37.24	26.41	25.26	35.33	18.51	17.00	29.11	24.87	60	30
Cr	2 442	2 137	2 375	3 232	2 330	2 019	2 954	2 486	1 573	2 129	1 859	1 736	1 967	2 434	2 262.36	35	4 200
Co	90.02	103.53	98.67	104.03	99.15	99.82	83.98	90.20	96.07	113.01	94.01	92.37	82.86	97.61	96.10	10	130
Ni	1 249	1 801	1 617	1 867	1 895	1 663	1 770	1 823	1 887	2 164	1 779	1 708	1 652	1 759	1 759.57	20	3 000
Cu	16.06	41.49	38.82	15.34	40.70	44.29	28.69	22.53	36.72	64.21	43.33	48.57	42.20	165.56	46.32	25	5.3
Ga	1.27	1.81	1.40	1.61	1.60	13.93	15.00	2.48	2.14	2.78	2.78	1.88	2.23	1.64	3.75	17	0.38
Pb	1.37	1.61	3.81	8.43	1.23	105	6.71	7.01	2.21	3.38	1.05	5.86	16.18	1.36	11.80	20	3.2
Sr	2.39	4.00	95.5	5.45	3.13	74.08	30.41	10.33	60.76	10.85	56.82	23.04	8.38	1.66	27.63	350	33.2
Ba	5.51	108	4 215	11.4	113	158	1 002	42.0	11.0	129	41.1	989	18.9	5.3	489.23	550	10.5

上地壳数据引自王时麒等(2007b)和中科院地化所(1991),超基性岩数据引自王毅民等(2003)。

表 3 鸳鸯玉样品的稀土元素含量

$w_B/10^{-6}$

Table 3 Analytical results of REE in Yuanyang Jade samples

	WS-1	WS-2	WS-3	WS-4	WS-6	WS-8	WS-10	WS-14	WS-15	WS-16	WS-20	WS-24	WS-27	WS-29	超基 性岩
La	0.84	1.05	6.91	0.92	1.02	6.54	7.90	1.09	2.32	2.59	3.05	0.71	0.78	1.11	0.21
Ce	1.48	1.98	13.87	1.74	1.82	12.34	14.33	2.34	5.02	4.94	6.47	1.37	1.62	1.73	0.40
Pr	0.18	0.22	1.29	0.16	0.20	1.35	1.63	0.25	0.60	0.51	0.76	0.14	0.17	0.16	0.047
Nd	0.58	0.79	4.39	0.59	0.57	5.13	5.87	0.93	1.99	1.80	2.98	0.52	0.57	0.52	0.18
Sm	0.13	0.15	0.60	0.12	0.11	1.00	1.09	0.18	0.50	0.44	0.61	0.12	0.14	0.12	0.028
Eu	0.03	0.03	0.08	0.01	0.03	0.26	0.32	0.04	0.13	0.05	0.13	0.03	0.01	0.01	0.0061
Gd	0.13	0.13	0.25	0.13	0.12	1.02	0.91	0.20	0.51	0.29	0.58	0.13	0.15	0.13	0.31
Tb	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.16	0.11	0.03	0.08	0.04	0.08	0.02	0.02	0.02	0.003
Dy	0.10	0.10	0.09	0.10	0.11	0.84	0.70	0.16	0.49	0.18	0.52	0.11	0.14	0.11	0.021
Ho	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.17	0.16	0.04	0.10	0.04	0.10	0.02	0.03	0.02	0.0043
Er	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.49	0.59	0.11	0.30	0.13	0.30	0.06	0.11	0.06	0.012
Tm	0.01	0.01	0.01	0.008	0.01	0.08	0.12	0.02	0.05	0.02	0.05	0.01	0.02	0.01	0.0028
Yb	0.06	0.09	0.07	0.06	0.07	0.54	0.83	0.14	0.34	0.19	0.33	0.09	0.15	0.07	0.012
Lu	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.08	0.16	0.03	0.06	0.03	0.06	0.02	0.03	0.01	0.0022

超基性岩数据引自王毅民等(2003)。

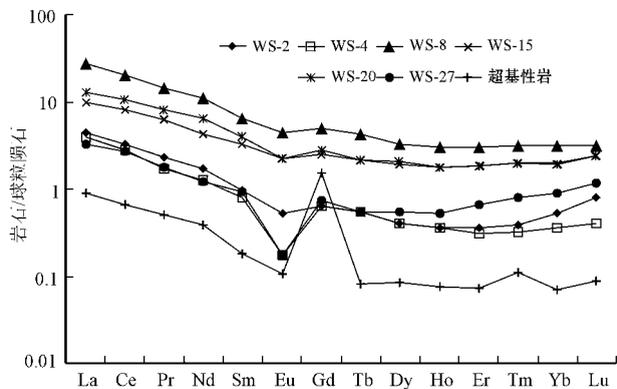


图 4 6 件鸳鸯玉样品的稀土元素配分模式图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of six Yuanyang Jade samples

出 14 个样品的分析结果。其中 6 件鸳鸯玉样品的稀土元素配分模式见图 4, 具有较平的稀土元素配分模式, 普遍具负 Eu 异常和正 Gd 异常, 与超基性岩的稀土元素配分模式有相似性。

3.4 同位素地球化学示踪

为了探讨武山鸳鸯玉的物质(水和硅)来源问题, 对鸳鸯玉样品进行了氢、氧同位素和硅同位素分析。

3.4.1 氢、氧同位素分析

由中国地质科学院矿产资源研究所测定了 6 个鸳鸯玉样品的氢、氧同位素组成, 分析结果见表 4。

参与蛇纹石化作用的水, 其同位素是根据测定蛇纹石的 δD 和 $\delta^{18}O$ 来计算的, 水的 $\delta^{18}O$ 是根据 Wenner 和 Taylor (1971) 提出的公式求出的。 $\delta^{18}O_{\text{蛇纹石}} - \delta^{18}O_{\text{水}} = 1.56(10^6/T^2) - 4.70$, 水中的 δD 是根据 Wenner 和 Taylor (1973) 的蛇纹石与水之间氢同位素同位素分馏的经验曲线获得的。

陈正国等(1992)通过对青海茫崖超镁铁质岩蛇纹石化作用的氢氧同位素研究, 认为早期蛇纹石化的温度为 233~320℃, 中期蛇纹石化的温度为 210~240℃, 晚期形成蛇纹石石棉的温度为 120~170℃。笔者据此求出与早、中期蛇纹石化阶段蛇纹石处于平衡状态的水(即成矿溶液)在 210~320℃ 的氢、氧同位素组成, 换算后的成矿溶液的氢、氧同位素组成见表 4, 把表 4 中成矿溶液的氢、氧同位素组成投影到 δD 和 $\delta^{18}O$ 关系图(图 5)上。

由图 5 可以看出, 武山蛇纹石成矿溶液中的水主要源于变质水 + 大气降水的混合水。温度较高时的蛇纹石化作用主要表现为超基性岩的自变质作

表 4 鸳鸯玉样品氢、氧同位素分析结果
Table 4 Analytical results of oxygen and hydrogen isotopes in Yuanyang Jade samples

样品号	样品名称	δD	$\delta^{18}O$	δD_{H_2O} 210℃	δD_{H_2O} 320℃	$\delta^{18}O_{H_2O}$ 210℃	$\delta^{18}O_{H_2O}$ 320℃
WS-1	蛇纹石	-78	4.0	-42	-53	2.01	4.27
WS-2	蛇纹石	-54	4.6	-18	-29	2.61	4.87
WS-3	蛇纹石	-69	5.2	-33	-44	3.21	5.47
WS-6	蛇纹石	-69	5.8	-33	-44	3.81	6.97
WS-14	蛇纹石	-58	4.6	-22	-33	2.61	4.87
WS-15	蛇纹石	-57	5.5	-21	-32	3.51	5.77

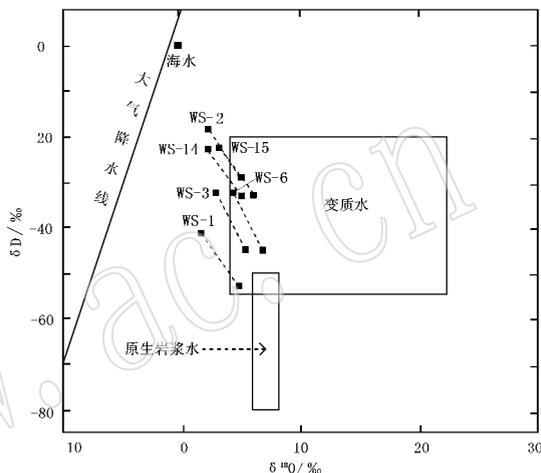


图 5 蛇纹石成矿溶液的氢、氧同位素关系图

Fig. 5 Relations between oxygen and hydrogen isotopes in mineralizing solution of serpentine

用。随温度的降低, 大气降水在蛇纹石化过程中起较为重要的作用。

3.4.2 硅同位素分析

由中国地质科学院矿产资源研究所测定了 6 个鸳鸯玉样品的硅同位素组成, 分析结果见表 5。

据丁悌平等(1994)资料, 玄武岩类样品(24 个) $D_{30}Si$ 值分布于 -0.3‰ ~ -1.0‰ 的范围内, 峰值为 -0.7‰, 平均值为 -0.63‰; 花岗岩类样品(50 个) $D_{30}Si$ 值数据分布于 -0.4‰ ~ 0.4‰ 的范围内, 峰值为 -0.1‰, 平均值为 -0.12‰。

从表 5 可以看出, 武山蛇纹石玉的硅同位素测定值为 -0.3‰ ~ -0.6‰, 在镁铁质玄武岩类的硅同位素值范围内, 与其平均值接近或稍小, 与硅铝质花岗岩类的硅同位素值差异较大。表 5 还表明, 武山蛇纹石玉的硅同位素值与王时麒等(2007b)提供的辽宁闪石玉和丁悌平等(1994)等提供的角闪片岩的硅同位素值接近或稍大, 而与王时麒等(2007b)提供的辽宁岫岩玉和白云岩中燧石结核的硅同位素值差别较大。鸳鸯玉的这种硅同位素特征是其硅源于

表 5 鸳鸯玉样品的硅同位素分析结果和相关硅同位素数据

Table 5 Analytical results of silicon isotope in Yuanyang Jade samples and related data of silicon isotope

样品编号	样品名称	$\delta^{30}\text{OSi}/\%$	采样地点	资料来源
WS-1	蛇纹石玉	-0.6	甘肃武山县	本文
WS-2	蛇纹石玉	-0.3	甘肃武山县	本文
WS-3	蛇纹石玉	-0.4	甘肃武山县	本文
WS-6	蛇纹石玉	-0.3	甘肃武山县	本文
WS-14	蛇纹石玉	-0.5	甘肃武山县	本文
WS-15	蛇纹石玉	-0.6	甘肃武山县	本文
W-2	闪石玉	-0.2	辽宁岫岩县	王时麒等(2007b)
青 Z-25	角闪片岩	-0.3	辽宁青城子	丁悌平等(1994)
SI-2	蛇纹石玉	0.2	辽宁岫岩县	王时麒等(2007b)
8H-8	白云岩中燧石结核	1.7	辽宁八家子	丁悌平等(1994)

超基性辉橄岩的反映。

4 宝石学特征

4.1 显微镜下观察

蛇纹石在单偏光下多为无色和很浅的绿色,低正突起;在正交偏光下干涉色多为Ⅰ级灰,极少达Ⅰ级黄,近平行消光。多数具不等粒鳞片变晶结构(图 6a),大者宽 0.05 mm,长可达 0.1 mm,小者粒径 < 0.001 mm,也有的具鳞片变晶结构(图 6b),由于切片方向与鳞片垂直或斜交,在薄片上看酷似杂乱纤维状结构,鳞片长 0.05~0.1 mm,厚 0.01 mm 左右;还有的呈平行排列(图 6c)具箭束状结构(图 6d)。可见多期热液作用形成的蛇纹石的交切关系,图 6e 就显示 3 期蛇纹石的交切关系。薄片中还见热液期的蛇纹石沿边缘交代蚕蚀早期形成的透闪石的交代蚕蚀结构(图 6f)。

透闪石呈纤维状集合体,边缘被后期蛇纹石交代成港湾状或缝合线状(图 6f)。单偏光下无色,中正突起;正交偏光下具Ⅱ级黄干涉色。

滑石多呈鳞片状集合体,单偏光下无色,低正突起;正交偏光下呈Ⅰ级紫红至Ⅱ级干涉色(图 6g、6h)。

碳酸盐类呈不规则粒状集合体;在单偏光下无色,高突起,闪突起明显;在正交偏光下具高级白干涉色(图 6i)。

磁铁矿呈不规则粒状,黑色,均质性。磁铁矿普

遍存在于样品中,但粒径变化较大,有呈星点状分布,星点可排列成带状,也有微粒磁铁矿呈粉尘状分布。

褐铁矿呈褐黄色隐晶集合体,均质性。

4.2 大型仪器观测

为了对该玉石的矿物种类和种属进行深入研究,运用红外光谱仪、X 射线粉末衍射仪和电子探针仪进行了检测分析。

4.2.1 红外光谱

由北京大学造山带与地球演化教育部重点实验室测试了武山蛇纹石玉样品的红外光谱,图 7 是 10 件样品的红外光谱图。从图 7 可以看出,WS-1 的红外光谱特征谱带 3 666、1 075、991、622、558、450、401 cm^{-1} 峰值与蛇纹石的标准红外光谱峰值 3 675、1 080、980、610、560、445、400 cm^{-1} 峰相近或相同,其他样品的红外光谱特征谱带与 WS-1 类似。因此,推断武山鸳鸯玉的主要矿物成分是蛇纹石。

4.2.2 X 射线粉末衍射

由北京北达燕园微构分析测试中心对 14 件鸳鸯玉样品进行了 X 射线粉末衍射分析,图 8 为其 X 射线粉末衍射图,分析结果见表 6。综合 X 射线粉末衍射分析结果表明,该玉石的主要矿物成分为叶蛇纹石(Antigorite),同时也伴生有少量的利蛇纹石(Lizardite),其他还有滑石、磁铁矿、角闪石、铁白云石和纤铁矿等。

4.2.3 电子探针

由北京大学造山带与地球演化教育部重点实验室运用电子探针仪有选择地对 12 件武山蛇纹石玉薄片 20 个测点的主要化学成分进行了定量分析,分析结果见表 7。根据该表所列的各测点的化学成分,推断鸳鸯玉中除主要矿物蛇纹石外,还含有透闪石、滑石、白云石和水镍矿等矿物。

4.3 物理性质

4.3.1 密度

利用密度仪对 19 个样品进行密度测定,其结果见表 8。表 8 说明样品的密度为 2.612~2.717 g/cm^3 ,平均 2.66 g/cm^3 。各样品密度变化不大,是因为各样品的主要组成矿物是蛇纹石,其他矿物含量极低的缘故。

4.3.2 折射率

利用宝石折射仪测定了 19 个样品的折射率,发现各样品的折射率变化不大(1.55~1.57),多数样品为 1.56(表 8),为蛇纹石的典型折射率值。这说明极少量的伴生矿物对其折射率的影响不大。

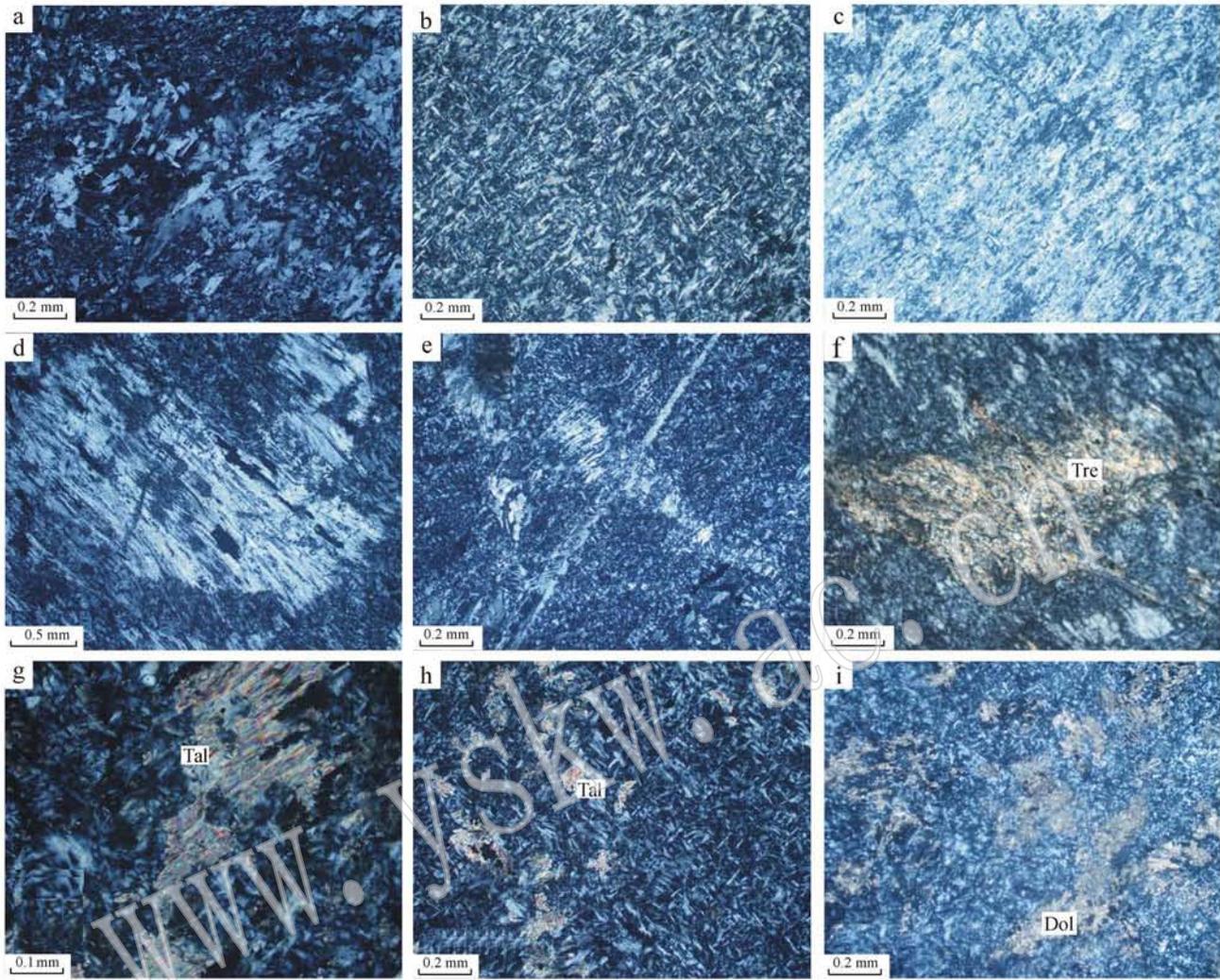


图6 显微照片(正交偏光)

Fig. 6 Microphotograph (crossed nicols)

a—蛇纹石的鳞片变晶结构; b—蛇纹石的鳞片变晶结构; c—平行排列的蛇纹石; d—蛇纹石的束状结构; e—多期蛇纹石; f—蛇纹石交代透闪石; g—平行排列的滑石; h—蛇纹石和滑石; i—白云石的高级白干涉色

a—lepidoblastic texture of serpentinite; b—lepidoblastic texture of serpentinite; c—parallel array of serpentinite; d—fasciculate texture of serpentinite; e—multiphase serpentinite; f—metasomatic tremolite by serpentinite; g—parallel array of talc; h—serpentine and talc; i—high-rank white interference color of dolomite

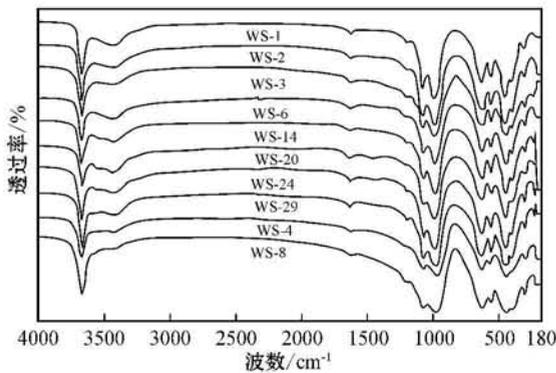


图7 10件鸳鸯玉样品的红外光谱

Fig. 7 FTIR spectra of ten Yuanyang Jade samples

4.3.3 硬度

利用标准矿物刻划法对19个样品粗略测定了摩氏硬度(表8),结果表明样品的摩氏硬度为4.0~5.0,大多数为4.5,有一定变化,可能主要受颗粒大小的均匀程度、结合的紧密程度和伴生矿物的影响。

5 结语

众所周知,作为我国重要玉石品种的蛇纹石质玉矿床有两种地质产状:一种是由富镁碳酸盐岩蚀变而成,如岫玉和南方玉等;另一种则是超基性岩经

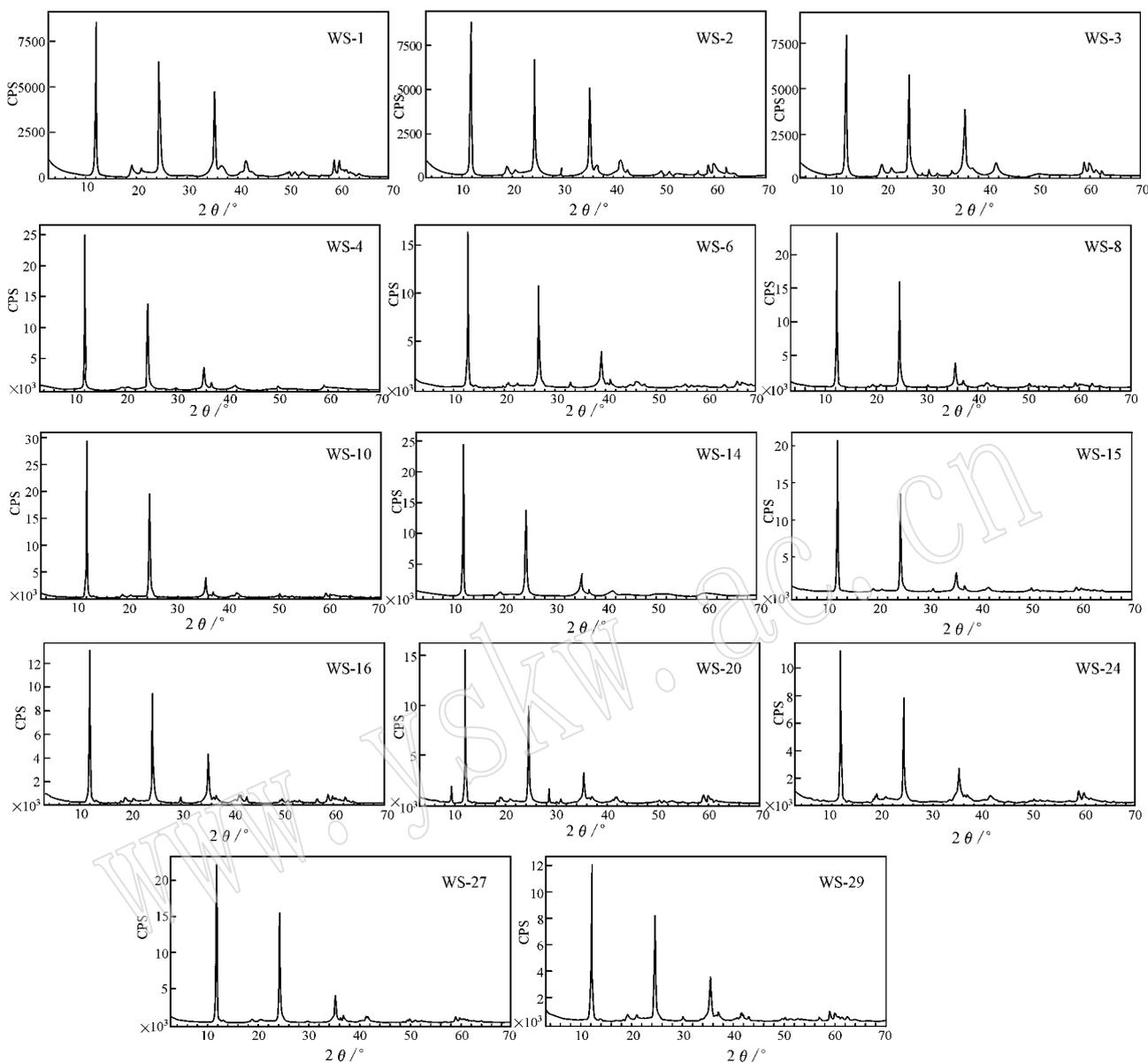


图 8 样品的 X 射线粉末衍射图

Fig. 8 X-ray powder diffraction patterns of samples

表 6 X 射线衍射分析结果

Table 6 Analytical results of X-ray powder diffraction

编号	角闪石	滑石	蛇纹石	纤铁矿	铁白云石	磁铁矿
WS-1	-	-	99%	<1%	-	<1%
WS-2	-	-	98%	-	-	2%
WS-3	4%	-	95%	<1%	-	<1%
WS-4	-	-	99%	-	-	1%
WS-6	-	-	99%	-	-	1%
WS-8	-	-	99%	-	-	1%
WS-10	-	-	99%	-	-	1%
WS-14	-	1%	98%	-	-	<1%
WS-15	-	1%	98%	-	<1%	1%
WS-16	1%	-	98%	-	<1%	1%
WS-20	-	11%	86%	<1%	2%	<1%
WS-24	-	-	99%	<1%	-	<1%
WS-27	-	-	99%	-	-	1%
WS-29	1%	-	98%	-	-	1%

热液蚀变形成,如泰山玉等。武山县鸳鸯镇块状蛇纹岩、条纹状蛇纹岩和强烈蛇纹石化辉橄岩三者之间的渐变过渡接触,表明该蛇纹岩是辉橄岩经岩浆期后热液蚀变形成。鸳鸯玉的岩石化学、微量元素和稀土元素特征与岫玉均有较大差异,而与超基性岩的特征相近。氢、氧同位素分析结果说明,引起蛇纹石化的热液中的水为源自变质水+大气降水的混合水。随温度的降低,大气降水在蛇纹石化过程中起较重要的作用。

岩石薄片鉴定以及红外光谱、X射线衍射和电子探针等大型仪器的鉴定分析结果说明,武山县鸳鸯镇的蛇纹岩主要由蛇纹石组成,且以叶蛇纹石为主,含

表 7 定量电子探针分析结果

 $\omega_B/\%$

Table 7 Electron microprobe analyses

标本号	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Cr ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	FeO	NiO	Total	矿物名称
WS-1-1	0.03	0.01	38.45	0.08	0.03	44.39	0.18	0.17	0.00	3.69	0.19	87.20	蛇纹石
WS-1-2	0.01	0.00	39.08	0.01	0.00	44.26	0.17	0.10	0.03	3.43	0.17	87.26	蛇纹石
WS-1-3	0.02	0.01	38.21	0.13	0.00	44.29	0.23	0.09	0.03	3.53	0.14	86.68	蛇纹石
WS-1-4	0.02	0.01	38.94	0.17	0.00	44.49	0.29	0.14	0.00	3.73	0.16	87.95	蛇纹石
WS-1-5	0.02	0.03	38.99	0.03	0.00	44.91	0.14	0.11	0.03	3.83	0.14	88.22	蛇纹石
WS-2-1	0.03	0.08	38.40	0.03	0.04	44.45	0.23	0.12	0.00	3.38	0.14	86.89	蛇纹石
WS-3-1	0.01	0.03	23.94	0.01	13.1	58.81	0.17	0.07	0.05	1.74	0.00	97.92	透闪石
WS-4-1	0.00	0.00	40.18	0.27	0.01	43.77	0.55	0.06	0.02	2.09	0.23	87.17	蛇纹石
WS-4-2	0.00	0.00	40.01	0.22	0.00	43.95	0.50	0.05	0.04	2.05	0.29	87.11	蛇纹石
WS-6-1	0.04	0.01	41.71	0.00	0.00	44.49	0.29	0.03	0.03	0.76	0.13	87.48	蛇纹石
WS-6-2	0.04	0.10	42.84	0.07	0.05	44.35	0.41	0.03	0.00	0.86	0.75	89.49	蛇纹石
WS-8-1	0.00	0.01	22.27	0.02	29.6	0.22	0.08	0.23	0.00	0.42	0.00	52.82	白云石
WS-10-1	0.01	0.03	2.00	0.78	0.78	0.27	0.01	0.00	0.00	0.14	69.8	73.82	水镍矿
WS-14-1	0.00	0.01	39.12	0.11	0.00	42.76	0.87	0.09	0.05	3.59	0.23	86.83	蛇纹石
WS-14-2	0.06	0.18	31.45	0.52	0.02	62.35	0.00	0.03	0.00	0.96	0.27	95.85	滑石
WS-14-3	0.00	0.05	38.60	0.18	0.01	43.15	1.06	0.06	0.00	3.68	0.18	86.96	蛇纹石
WS-15-1	0.00	0.00	20.82	0.00	30.5	0.72	0.11	0.43	0.00	0.95	0.06	53.62	白云石
WS-20-1	0.00	0.05	31.12	0.10	0.04	62.04	0.12	0.02	0.03	1.38	0.15	95.03	滑石
WS-24-1	0.01	0.02	38.98	0.02	0.01	43.11	0.90	0.14	0.02	4.04	0.21	87.46	蛇纹石
WS-29-1	0.00	0.01	39.67	0.12	0.02	43.95	0.53	0.11	0.00	2.79	0.28	87.48	蛇纹石

矿物名称是笔者依据分析结果参照王濮等(1982)有关数据做出的解释。

表 8 鸳鸯玉样品物理性质测定结果

Table 8 Physical properties of Yuanyang Jade samples

标本号	密度(g/cm ³)	折射率	硬度
WS-1	2.675	1.56	4.5
WS-2	2.666	1.57	4.5
WS-3	2.648	1.56	5.0
WS-4	2.612	1.56	5.0
WS-5	2.715	1.55	4.5
WS-6	2.675	1.56	4.5
WS-7	2.707	1.56	5.0
WS-8	2.660	1.57	4.5
WS-9	2.621	1.56	4.0
WS-10	2.636	1.56	4.5
WS-11	2.699	1.57	4.5
WS-14	2.633	1.57	4.5
WS-15	2.689	1.56	4.5
WS-16	2.619	1.55	5.0
WS-20	2.672	1.56	4.5
WS-23	2.667	1.57	5.0
WS-24	2.626	1.57	4.5
WS-27	2.655	1.56	5.0
WS-29	2.717	1.56	5.0

有少量透闪石、滑石、白云石,还有一定的磁铁矿、褐铁矿和水镍矿等金属矿物。

岩石薄片显现的不同期次蛇纹石的交切关系说明,鸳鸯镇蛇纹岩至少发生过 3 期蛇纹石化作用,

加上可能在早期发生的透闪石化和晚期发生的滑石化,推断鸳鸯镇蛇纹岩是辉橄岩先后经历至少 5 期热液叠加蚀变的产物。

鸳鸯玉石呈较深的灰绿色和墨绿色,质地细腻,有一定透明度,是制作“夜光杯”和玉碗等工艺品的好材料。鸳鸯玉矿区交通方便,矿床赋存位置不高,矿石开采成本低,是具有较高利用价值和良好开发前景的玉石资源。

致谢 在资料收集和野外采样期间得到天水市政协前副主席苏爱生、甘肃省地矿局第一地质矿产勘查院总工程师胡晓隆高级工程师、北京经济管理职业学院石振荣副教授、天水市政协教科文卫委员会主任余积栋、武山县政协副主席马进、武山县招商局局长苟洲彦、武山县中小企业局局长韩应勇和武山县国土资源局局长姚爱军等的大力支持和帮助,在室内薄片鉴定和化学与结构分析期间得到北京大学地球与空间科学学院教学实验中心和重点实验室的耿金达、高秀丽、舒桂明、赵印香、李建、贾秋月、黄宝玲和杨斌以及北京北达燕园微构分析测试中心江超华和中国地质科学院矿产资源研究所万德芳等的热情支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

References

- Chen Zhengguo and Sun Jiwen. 1992. Oxygen and hydrogen isotope studies of serpentinization in ultramafic rocks in Mang-ya, Qinghai Province [J]. *Geochimica*, 12(4): 367~372 (in Chinese).
- Cui Wenyuan and Wu Guozhong. 2006. A Course of GAC Gemmology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 426 (in Chinese).
- Ding Tiping, Jiang Shaoyong, Wan Defang, et al. 1994. Geochemistry of Silicon Isotopes [M]. Beijing: Geological Publishing House, 27~31 (in Chinese).
- Institute of Geochemistry, Science Academy of China. 1998. Super-geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 38~40 (in Chinese).
- Wang Pu, Pan Zhaolu, Weng Lingbao, et al. 1982. Systematic Mineralogy [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang Shiqi, Yuan Xuemei and Li Shibo. 2007a. Gemmological characteristics and developing prospect of Fe-rich serpentine Jade from Liaoning Province [J]. *Journal of Gems and Gemmology*, 9(4): 2~5 (in Chinese).
- Wang Shiqi, Zhao Chaohong, Yu Guang, et al. 2007b. Xiuyan Jades in China [M]. Beijing: Science Press, 12~14 (in Chinese).
- Wang Yimin, Gao Yushu, Han Huiming, et al. 2003. Practical Handbook of Reference Minerals for geoanalysis [M]. Beijing: Geological Publishing House, 20~21 (in Chinese).
- Wenner D B and Taylor H P Jr. 1971. Temperatures of serpentinization of ultramafic rocks based on $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ fractionation between co-existing serpentine and magnetite [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 32: 165~185.
- Wenner D B and Taylor H P Jr. 1973. Oxygen and hydrogen isotope studies of serpentinization of ultramafic rocks in oceanic environment and continental ophiolite complexes. *Amer. J. Sci.*, 273: 207~239.

附中文参考文献

- 陈正国, 孙继文. 1992. 青海茫崖超镁铁岩蛇纹石化作用的氢氧同位素研究 [J]. *矿物岩石*, 12(4): 367~372.
- 崔文元, 吴国忠主编. 2006. 珠宝玉石学 GAC 教程 [M]. 北京: 地质出版社, 426.
- 丁悌平, 蒋少涌, 万德芳, 等. 1994. 硅同位素地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 27~31.
- 王濮, 潘兆橹, 翁玲宝, 等. 1982. 系统矿物学 [M]. 北京: 地质出版社.
- 王时麒, 员雪梅, 李世波. 2007a. 辽宁富铁蛇纹石玉的宝石学特征及开发利用 [J]. *宝石和宝石学杂志*, 9(4): 2~5.
- 王时麒, 赵朝洪, 于洗, 等. 2007b. 中国岫岩玉 [M]. 北京: 科学出版社, 12~14.
- 王毅民, 高玉淑, 韩慧明, 等. 2003. 实用地质分析标准物质手册 [M]. 北京: 地质出版社, 20~21.
- 中国科学院地球化学研究所. 1998. 高等地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 38~40.