

陕西白河县月儿潭绿松石与次生磷钙铝矾研究

石振荣^{1,2}, 蔡克勤¹

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 北京经济管理职业学院, 北京 102602)

摘要: 对陕西省白河县月儿潭风化严重的绿松石样品进行了岩石薄片观察、化学成分测试、X 射线粉晶衍射和红外吸收光谱分析等研究。结果表明, 绿松石风化解体由天蓝色退色成黄绿色, 最后变成白色, 结构也由致密细腻变得松散多孔, 主要原因是发生了硫酸根对磷酸根的交代作用, 最终的交代产物主要是磷钙铝矾。

关键词: 绿松石; 磷钙铝矾; 硫酸根; 月儿潭; 陕西

中图分类号: P619.28⁺3; P578.92

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2008)02-0164-07

A study of turquoise and secondary woodhouseite from Yuertan, Baihe County, Shaanxi Province

SHI Zhen-rong^{1,2} and CAI Ke-qin¹

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Beijing Institute of Economic Management, Beijing 102602, China)

Abstract: Turquoise in the oxidized zone of Yuertan pyrite mine in Baihe County of Shaanxi Province has experienced severe weathering and retrograding. Its color has changed from sky-blue through yellowish green to white, with its texture from massive and smooth to loose and porous. Recent studies of typical turquoise samples by such means as thin section observation, chemical analysis and X-ray powder diffraction and infrared absorption spectroscopic analysis indicate that the factor responsible for weathering and retrograding of turquoise is the replacement of phosphate ions by sulfate ions. And the last important retrograding replacement product is woodhouseite.

Key words: turquoise; woodhouseite; sulfate ion (SO_4^{2-}); Yuertan; Shaanxi Province

绿松石是一种含水的铜铝磷酸盐矿物,常呈显微隐晶质或显微晶质集合体,颜色鲜艳娇嫩,自古以来就是人们非常喜爱的玉石品种之一。绿松石稳定性较差,气候干燥或高温条件下都容易失水退色,结构变得松散,进而分解成其他物质。绿松石主要形成于地表水的淋滤作用(邓燕华,1991;王家生等,1996;涂怀奎,1997,2000;黄宣镇,2003;魏道贵等,2003)。关于含矿地层水溶液的酸碱度问题,前人(姜泽春等,1983;岳德银,1995;Qi Lijian *et al.*, 1998;魏道贵等,2003)根据自然界绿松石的共生矿物组合关系以及室内绿松石差热分析结果等得出两

种相互矛盾的观点:一种认为水溶液呈中到弱碱性时形成绿松石;另一种认为水溶液呈酸性时形成绿松石。陕西省白河县月儿潭绿松石遭受了严重的风化作用,是研究绿松石在自然界风化分解条件以及形成条件的理想标本。本文选用白河县月儿潭绿松石样品,对其进行肉眼和显微镜下观察,同时应用 X 射线荧光光谱、红外光谱和 X 射线粉晶衍射等测试技术,对绿松石及其分解产物的化学成分、阴离子团种类及矿物组成等内容进行分析,进而对上述有争议的问题进行了探讨,以期对绿松石的优化处理及佩戴保养等起到一定的指导作用。

1 地质背景及样品特征

1.1 地质背景

陕西省白河县月儿潭位于陕、鄂、豫三省交界处, 濒临汉江南岸, 空气常年湿润, 位于秦岭东段武当山复背斜西端, 构造上属于北大巴山加里东褶皱带, 主要构造线为 NW 方向。绿松石矿床分布在郧西古陆西侧, 那里曾是历史上标准瓷松的产地(赵永魁, 1980), 矿床主要集中在地势低洼、相对潮湿的地段(王家生, 1996)。志留系下统、中寒武统或下寒武统水沟口组含炭质绢云母片岩夹炭质硅质岩及硅质岩是绿松石的主要含矿层, 顶部被 100 多米的白云岩覆盖, 其中含具有工业开采价值的硫铁矿矿床^①。绿松石赋存于层间破碎带和节理裂隙中(马玉兴, 1989; 于俊清, 2000), 矿石形态有葡萄状、环带状、皮壳状、块状及球粒状等。

1.2 样品描述

实验所用的绿松石样品呈块状, 样品本身包含了绿松石风化分解过程中的 3 种不同的存在状态(图 1), 集天蓝色、黄绿色和白色粉末于一体(图 1 中的①、②、③)。少量残留的比较新鲜的绿松石为天蓝色, 比较致密, 不透明, 蜡状光泽, 断口平坦或呈贝壳状, 较新鲜绿松石块度小, 用点测法测得其平均折射率为 1.607~1.616。大部分绿松石已风化为黄绿色, 结构松散, 具土状光泽, 无法测定其折射率, 样品表面呈蜂窝状, 蜂窝内空洞充填有纯净白色粉末状物质(图 1 中的③), 但新鲜的断面内多见天蓝色绿松石和白色粉末(图 1)。

单偏光显微镜下绿松石呈无色, 因透光强度不同而显示不同色调(图 2a、b、c、d), 正交偏光下主要呈一级灰白到一级黄干涉色(图 2e)。另外, 显微镜下天蓝色绿松石具有微晶粒状结构, 颗粒较细小, 集合体之间有泥炭质物, 常表现为脑纹状构造(图 2a)。图 2 中从 a 到 d 反映了绿松石被逐渐风化的形态。风化作用从泥炭质的黑色“线”开始逐渐向绿松石深处发展, 其中图 2a 为天蓝色绿松石的结构, 比较致密, 表面分布有大量弯弯曲曲的黑色不透光的泥炭质“线”, 泥炭质内部结构松散, 突起略低。在高倍放大时, 靠近“线”的部分绿松石晶粒较粗, 呈纤维针状(图 2f)。图 2b、c、d 均为黄绿色绿松石切片, 整体结

构比天蓝色绿松石松散, 绿松石特有的脑纹状构造变得不清晰, 并出现无色透明物质。图 2b 中黑色“线”的部位加宽并被无色透明(无光性)物质充填。图 2c 中绿松石已明显减少, 大量空间被无色透明的物质充填。图 2d 中绿松石剩余很少, 无色透明物质占主要组成。无色透明物质的表面裂理非常发育, 表现为负突起, 单偏光镜下具有裂理折射的虹彩色, 而正交偏光镜下全消光(图 2e 内全黑部分)。这部分无色透明物质正是标本中的白色粉末部分, 可能以非晶质态为主。

2 测试方法

根据岩石薄片观察结果, 采用红外光谱、X 射线粉晶衍射分析和 X 射线荧光光谱分析等测试方法进行研究。

为了保证其纯度, 样品破碎前对各部分(天蓝色和黄绿色样品)都进行了仔细挑选, 白色粉末选取的是样品内部空洞中白色的没有外来混入物的部分。然后将样品破碎研磨至 200 目以下, 用 X 射线荧光光谱仪进行全化学成分定性、半定量分析。取少量粉末进行红外光谱测试获得样品振动基团的种类, 并结合 X 射线粉晶衍射分析进一步确定主要物相组成。

3 测试结果与分析

3.1 X 荧光光谱分析

绿松石的理论化学成分主要包括 3 种: Al_2O_3 37.5%、 CuO 9.7%、 P_2O_5 34.8%, 另外含有约 20% 的 H_2O 。月儿潭天蓝色瓷质绿松石化学成分比理论值要复杂些, 主要有 Al_2O_3 31.00%、 CuO 7.74%、 P_2O_5 31.32%, 另外含有 SiO_2 4.46%、 Fe_2O_3 7.01%, H_2O 约占 18.47%(栾秉璈, 1989)。对标本中 3 种颜色的样品进行的 X 荧光光谱分析结果见表 1。由表 1 可见, 从天蓝色(LSO3)到黄绿色(LSO2)再到白色粉末(LSO1), 随着风化程度的逐渐加强, 绿松石中 Al_2O_3 、 CuO 、 P_2O_5 及 ZnO 微组分含量趋于减少。 Fe_2O_3 、 K_2O 和 Na_2O 在过渡样品(LOS2)中有所增加, 当完全风化为白色粉末时, SO_3 (代表 SO_4^{2-})的

① 陕西地质局第一地质大队, 1966. 年度地质工作报告.

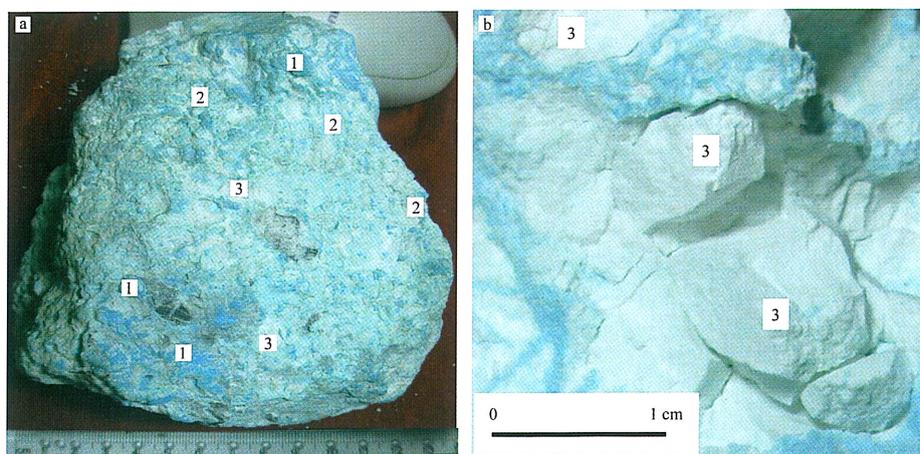


图 1 月儿潭绿松石样品

Fig. 1 Turquoise samples from Yuertan

1—天蓝色绿松石；2—黄绿色绿松石；3—白色粉末
1—sky-blue turquoise；2—yellowish green turquoise；3—white powder

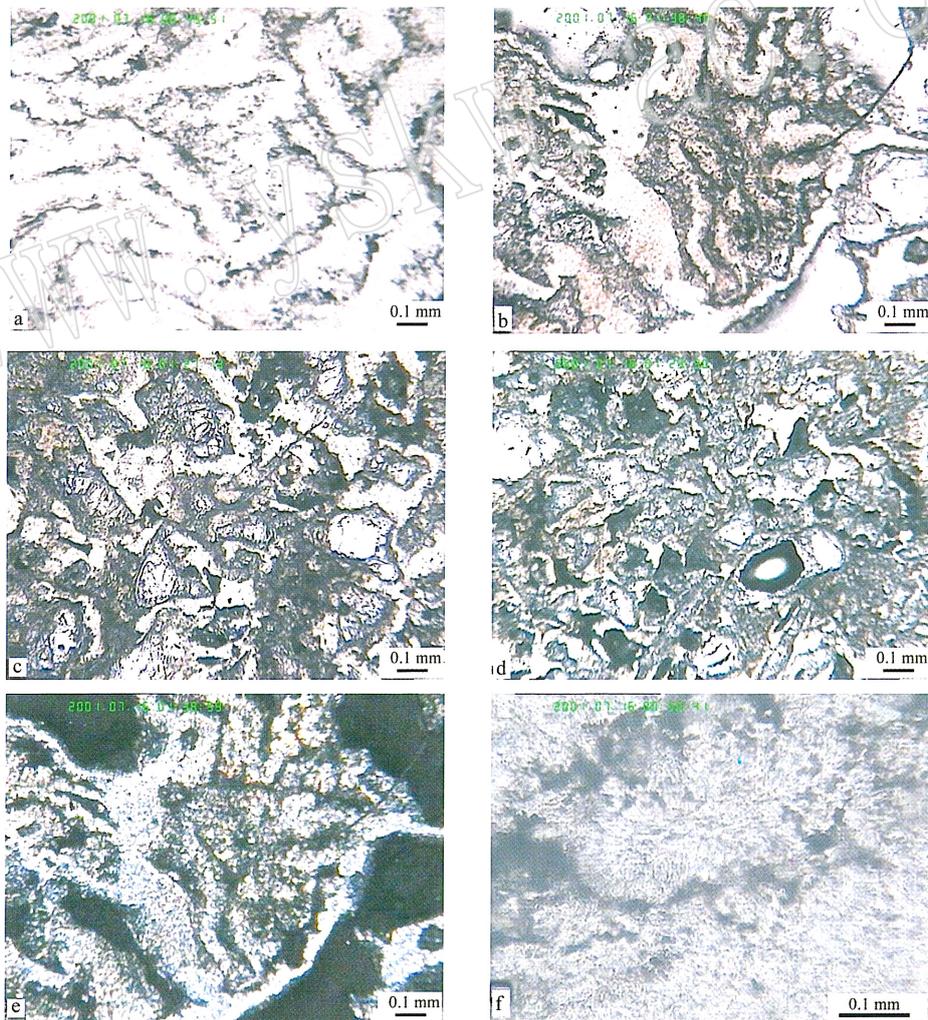


图 2 月儿潭绿松石样品显微特征(e为b图的正交偏光下特征)

Fig. 2 Microscopic characteristics of turquoise from Yuertan (e is the feature of b under orthoscopy)

表 1 月儿潭绿松石化学成分数据表

 $w_B/\%$

Table 1 Geochemical analyses of turquoise from Yuertan

编号	颜色	Al ₂ O ₃	CuO	P ₂ O ₅	ZnO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	SiO ₂	总量
LSO1	白色	30.85	0.11	7.80	0.132	0.157	0.013	0.09	0.547	0.055 6	3.04	23.61	66.41
LSO2	黄绿色	33.44	5.22	27.85	0.187	0.960	0.490	0.18	0.070	0.032 6	2.56	3.56	74.55
LSO3	天蓝色	37.00	5.30	29.04	0.216	0.394	0.032	—	0.489	0.018 2	1.13	3.23	76.90
	天蓝色*	31.00	7.74	31.32	—	7.01	—	—	—	—	—	4.46	81.53
	理论含量	37.50	9.70	34.80	—	—	—	—	—	—	—	—	80.00

X 荧光光谱分析在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室完成,分析人杨斌,仪器型号 ARL-XRF,最大功率 4.2 kW,误差 24% ~ 0.6%(含量越多,误差越大);* 数据引自栾秉璩(1989)。

含量明显增加。另外, SiO₂ 的含量变化最大,在白色粉末中含量最高,达 23.61%。

依据样品化学成分分析结果,结合薄片观察分析,推测导致绿松石分解的主要物质因素是含硫酸根的溶液(即酸性水溶液)。天蓝色绿松石内 SO₃ 的含量相对较少,而 K 和 Ca 的金属氧化物含量相对较多,可能与泥质物含量较多有关;黄绿色绿松石内 SO₃ 含量显著增加,可能是硫酸根离子对绿松石中的磷酸根进行交代所致。白色粉末中 P₂O₅、CuO、Fe₂O₃、MgO、K₂O 和 Na₂O 大量减少,对绿松石的交代作用更彻底,最终形成磷钙铝矾和非晶质态的混合物(以 SiO₂、Al₂O₃ 为主)。SiO₂ 和 Al₂O₃ 在表生条件下溶解度很低,而且酸性越强溶解度就越低(乐昌硕,1984)。

3.2 X 射线粉晶衍射分析

样品的 X 射线粉晶衍射分析在中国地质大学(北京)X 光室进行,测试人陈荣秀,实验仪器型号 D/Max-RC, CuK α 靶,电压 40 kV,电流 80 mA,发散狭缝 1°,接收狭缝 0.15 mm,防散射狭缝 1°。获得的 X 射线粉晶衍射谱线图见图 3,衍射数据见表 2。

图 3 和表 2 显示,天蓝色(LSO3)和黄绿色(LSO2)两个绿松石样品的 X 射线粉晶衍射分析结果与 JCPDS 6-0214(Erd *et al.*, 1953)及湖北产出的绿松石(姜泽春等,1983)的 X 射线粉晶衍射数据基本一致。

黄绿色绿松石(LSO2)的谱线在 $2\theta > 50^\circ$ 以后衍射峰几乎消失,衍射峰与绿松石谱线图吻合度略差一些,表明 LSO2 样品中的绿松石结构已有变化,可能与后期次生变化有关。

白色粉末(LSO1)是绿松石的次生分解产物,大部分显示为基值态,说明主体为非晶质态,衍射谱线 3.509(100 λ) 2.986(76 λ) 2.942(100 λ) 2.231(55 λ) 1.895(49 λ) 1.753(41 λ) 1.474(37 λ) 其中有 4 条(表 2)与磷钙铝矾(JCPDS 83-1288) CaAl₃(PO₄)₂(SO₄)₂(OH)₂

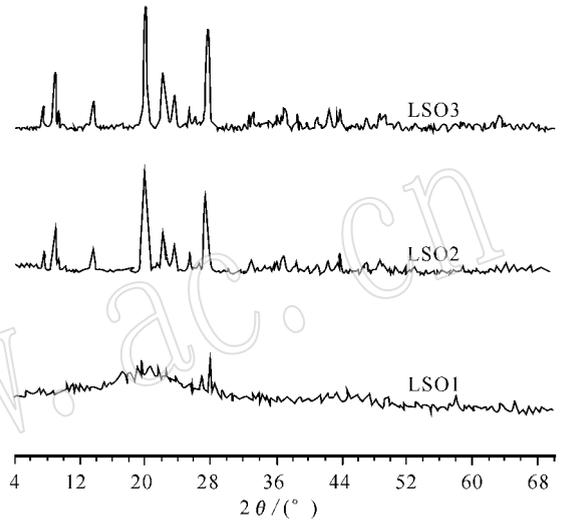


图 3 月儿潭样品 X 射线粉末衍射图

Fig. 3 X-ray powder diffraction diagram of turquoise and residual minerals from Yuertan

(王濮等,1987)的主要粉晶谱线相对衍射强度吻合较好,另外 3 条衍射谱线 d 值吻合好,但相对衍射强度差异较大,同时,由于谱线太少,要划分出其他物相比较困难。

以上分析表明,月儿潭绿松石在自然条件下的分解产物是以磷钙铝矾为主的混合物。据姜泽春等(1983) Qi Lijian 等(1998)和栾丽君等(2004)的室内研究,绿松石的最终分解产物为磷铝石($AlPO_4 \cdot 2H_2O$),因此推测本区绿松石的次生变化是在富 SO_4^{2-} 的酸性水体作用下生成各种矾类矿物的过程。

3.3 红外光谱分析

样品的红外光谱分析在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室进行,分析人赵印香,仪器型号 PE983G,分辨率 3 cm^{-1} ,扫描范围 $4\ 000 \sim 180 \text{ cm}^{-1}$,实验条件为室温,电压 $220 \sim 240 \text{ V}$,频率 $50 \sim 60 \text{ Hz}$,功率 250 VA 。获得的红外光谱图见图 4,吸收峰数据见表 3。

表 2 月儿潭绿松石 X 射线粉晶衍射数据表

Table 2 X-ray diffraction results of turquoise and residual minerals from Yuertan

绿松石(JCPDS 6-0214)		湖北产出	LSO3	LSO2	磷钙铝矾(JCPDS 83-1288)		LSO1
<i>hkl</i>	<i>d</i> (Å) I/I_0	绿松石	天蓝色绿松石	黄绿色绿松石	<i>hkl</i>	<i>d</i> (Å) I/I_0	白色粉末
010	9.09(50)	9.074(9)	9.000(15)	9.225(14)	101	5.680(25)	
001	6.73(50)	6.732(17)	6.753(28)	6.784(27)	003	5.462(0)	
0 $\bar{1}$ 1	6.17(70)	6.197(31)	6.197(52)	6.250(48)	012	4.870(34)	
110	6.00(40)		6.029(24)	6.062(21)	110	3.496(31)	3.509(100)
$\bar{1}$ 01	5.77(20)			5.779(14)	104	3.393(0)	
$\bar{1}$ 10	4.80(60)	4.813(23)	4.802(31)	4.834(30)	021	2.977(37)	2.986(76)
111	3.68(100)	3.681(100)	3.687(100)	3.705(100)	113	2.945(100)	2.942(100)
$\bar{2}$ $\bar{2}$ 1	3.44(70)	3.440(41)	3.435(52)	3.448(45)	015	2.882(4)	
200	3.28(70)	3.281(35)	3.281(35)	3.381(24)	202	2.840(2)	
0 $\bar{2}$ 2	3.10(40)	3.091(20)	3.089(25)	2.951(26)	006	2.731(11)	
012	2.91(80)	2.906(89)	2.908(84)	2.919(78)	024	2.435(4)	
$\bar{2}$ 11	2.89(10)		2.875(24)	2.877(18)	211	2.267(0)	
$\bar{2}$ $\bar{3}$ 2	2.74(20)		2.730(15)		205	2.224(4)	2.231(55)
$\bar{1}$ 30	2.52(40)	2.521(21)	2.514(23)	2.538(21)	122	2.204(13)	
221	2.35(40)	2.351(20)		2.355(20)	107	2.183(49)	
242	2.32(40b)	2.320(18) 2.302(21)	2.316(25) 2.301(23)	2.324(21) 2.311(24)	116	2.152(2)	
003	2.23(40)	2.232(24)	2.233(22)	2.238(19)	300	2.019(0)	
$\bar{2}$ $\bar{2}$ 1	2.19(20)	2.181(13)	2.181(14)		214	1.998(3)	
$\bar{1}$ 13	2.12(40)	2.117(17)	2.123(19)		018	1.940(0)	
$\bar{2}$ 22	2.07(50)	2.062(27)	2.060(24)	2.067(21)	033	1.893(54)	1.895(49)
202	2.02(60)	2.018(28)	2.015(26)	2.019(26)	027	1.852(2)	
301	1.903(40)	1.903(16)	1.902(19)	1.900(19)	009	1.820(3)	
150	1.845(40)	1.845(20) 1.842(18)	1.844(23)	1.849(21)	220	1.748(44)	1.753(41)
0 $\bar{2}$ 4	1.727(20)	1.720(12)	1.720(16)		208	1.696(3)	
$\bar{2}$ $\bar{1}$ 5	1.494(20)	1.492(21)	1.493(21)		131	1.671(0)	
$\bar{2}$ 05	1.426(20)	1.425(13)	1.422(15)		223	1.665(0)	
474	1.266(20)		1.267(14)		312	1.645(5)	
361	1.258(20)		1.255(14)		226	1.472(16/37)*	1.474(37)

资料来源 JCPDS 6-0214(Graham, 1947; Erd *et al.*, 1953) 湖北产出绿松石(姜泽春等, 1983) JCPDS 83-1288(Kato and Neues, 1977); * 来自 JCPDS 04-0670(Pabst, 1947)。

红外光谱图(图 4)及吸收峰数据表(表 3)显示, LSO3 红外吸收光谱特征及数据与绿松石标样(Farmer, 1982; 姜泽春等, 1983)的红外光谱(图 4 和表 3 中绿松石)特征基本吻合, 具有含 H₂O 磷酸盐矿物各种组分引起的 A₁、E、F₂ 伸缩振动和弯曲振动以及 H₂O 羟基离子振动的特点。但是 1 630 cm⁻¹ 处 H₂O 弯曲振动吸收强度明显减小。根据红外光谱吸收峰的强度和宽度半定量测定成分含量的方法(Farmer, 1982; 闻轲等, 1988), 初步确定 1 630 cm⁻¹ 处的 LSO3 已经有部分水分流失, 也就是说有结晶水损失。

LSO2 吸收峰特征大部分与绿松石矿物谱图及吸收峰数据资料相近, 另外在 1 748、1 628、1 443、1 370 cm⁻¹ 位置都有较明显的吸收峰出现。1 628 cm⁻¹ 处代表 H₂O 弯曲振动吸收, 吸收强度与 LSO3

相差不大, 也显示有部分结晶水损失, 但结构没有被明显破坏。1 748 cm⁻¹ 处为有机碳吸收峰, 1 443、1 370 cm⁻¹ 为 CO₃²⁻ 基团吸收峰, 吸收强度很小, 表明在风化过程中碳质聚集并有微量的碳酸盐成分混入。

LSO1 的谱带特征及吸收峰数据与绿松石资料及谱图相比差别很大, 3 426 cm⁻¹ 位置的 H₂O 及 OH 吸收非常强, 1 630 cm⁻¹ 的 H₂O 弯曲振动吸收峰也很强, 推断白色粉末的矿物组成仍然有含水矿物, 且含量较多(Farmer, 1982; 闻轲等, 1988)。1 107、1 050 及 593 cm⁻¹ 处 PO₄³⁻ 离子团特征吸收峰宽, 吸收强度大, 说明磷酸根的量也较多。另外, 在 1 218 cm⁻¹ 有 SO₄²⁻ 离子团特征吸收峰(吸收峰小, 不易观察到), SiO₄⁴⁻ 离子团特征吸收峰在图谱中不明显, 当将图谱放大后, 在 920 cm⁻¹ 附近有微弱的 SiO₄⁴⁻ 离

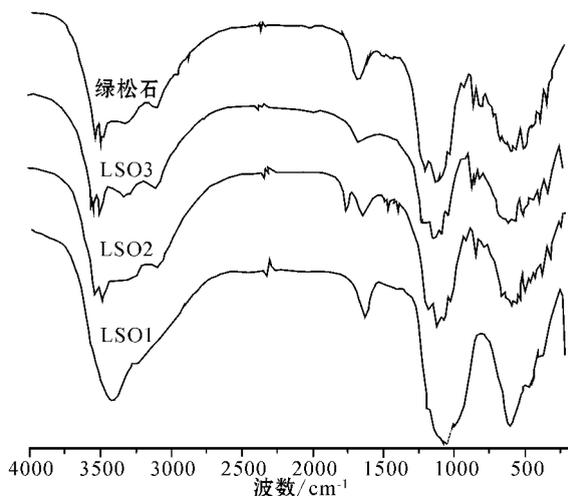


图 4 月儿潭样品红外光谱图

Fig. 4 Infrared absorption spectroscopic diagram of turquoise from Yuertan

子团特征吸收峰存在。根据它们的峰值大小及宽度可以推断,硫酸和硅酸根的量非常少。可见,白色粉末中主要矿物组成应该为含水的磷酸盐矿物,这一结果与 X 射线粉晶衍射分析得出的物相组成基本一致。

4 结论

(1) 绿松石的次生产物为磷钙铝矾,是在酸性富 SO_4^{2-} 的作用下的分解产物,且酸性越强分解就越彻底,最终形成磷铝石。

(2) 自然条件下,绿松石风化分解的过程导致颜色变浅、结构松散。

(3) 鉴于以上研究,建议在佩带绿松石饰品时注意避免与酸性洗液接触,平时更应该注意避免汗液侵蚀。

表 3 红外光谱吸收峰数据表

Table 3 Data of absorption peak of infrared spectrum

编号	H ₂ O、OH 的 伸缩振动	H ₂ O 的 弯曲振动	PO ₄ ³⁻ 的非对称 伸缩振动 $\nu_3(F_2)$	PO ₄ ³⁻ 对称 伸缩振动 $\nu_1(A_1)$	OH 的面外弯 曲振动	PO ₄ ³⁻ 的非对称 弯曲振动 $\nu_4(F_2)$	PO ₄ ³⁻ 的对称 弯曲振动 $\nu_2(E)$
绿松石*	3 508、3 463、3 446、 3 295、3 090	1 650	1 195、1 175、1 115、 1 063、1 061	905	838、790	615、595、580、555、 480、460	435、415
LSO3	3 506、3 461、3 288、 3 070	1 639	1 187、1 170、1 157、 1 108、1 060、1 010	902	836、783	650、571、453	427
LSO2	3 505、3 461、3 282、 3 069	1 628	1 188、1 156、1 110、 1 060、1 011	902	836、787	648、609、570、544、 484、452	424
LSO1	3 426	1 630	1 107、1 050、967			601、593、465	358

References

- Deng Yanhua. 1991. Gemstones(Jades) Deposit[M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 123~133(in Chinese).
- Erd, *et al.* 1953. JCPDS 6-0214[J]. Am. Mineral., 38: 964.
- Farmer V (translated by Ying Yupu, Wang Shousong, Li Chungeng, *et al.*). 1982. The Infrared Spectra of Minerals[M]. Beijing: Science Press, 14(in Chinese).
- Graham. 1947. JCPD S6-0214[J]. Geol. Ser., 52: 39.
- Huang Xuanzhen. 2003. The feature of turquoise deposit and criteria for ore-search[J]. China Non-metallic Mining Industry Herald, 37(6): 50~51(in Chinese).
- Jiang Zechun, Chen Damei, Wang Fuya, *et al.* 1983. Thermal properties of turquoise and its intergrowing minerals in a certain district of China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 3(9): 198~206(in Chinese).
- Kato T and Neues. 1977. JCPDS 83-1288[J]. Am. Mineral., 54.
- Le Changshuo. 1984. Lithology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 63(in Chinese).
- Luan Bing'ao. 1989. Gem and Jade from China[M]. Xinjiang: Xinjiang People's Publishing House, 122~129(in Chinese).
- Luan Lijun, Han Zhaoxin, Wang Chaoyou, *et al.* 2004. Elementary research on color-forming mechanism of turquoise[J]. Northwestern Geology, 37(3): 77~81(in Chinese).
- Ma Yuxing. 1989. Geological feature and evaluation for turquoise in Yunyang district[J]. Hubei Geological Science and Technology Information, (4): 6~14(in Chinese).
- Pabst. 1947. JCPDS 04-0670[J]. Am. Mineral., 32: 22.
- Qi Lijian, Yan Weixuan and Yang Mingxin. 1998. Turquoise from Hubei Province, China[J]. The Journal of Gemmology, 26(1): 1~12.
- Tu Huaikui. 1997. A study for mineral resources research about turquoise and uranium[J]. Acta Geologica Gansu, (1): 74~79(in Chinese).
- Tu Huaikui. 2000. A study of some jade deposits in Qinling area[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 15(1): 86~87(in Chinese).

- Wang Jiasheng, Yan Weixuan, Wei Qing, *et al.* 1996. Discovering of reid structures group and its turquoise orecontrolling in Yungaisi area, Northwestern Hubei [J]. Hubei Geology, 10(2): 62~70(in Chinese).
- Wang Pu, Pan Zhaolu, Weng Lingbao, *et al.* 1987. The System of Mineralogy(last of three volume) [M]. Beijing : Geological Publishing House, 141, 174, 178(in Chinese).
- Wei Daogui and Guan Ronghua. 2003. The distribution, genesis and crieria of turquoise in Maanshan are [J]. Mining Industry Newspaper, 412(10): 19~20(in Chinese).
- Wen Lu, Liang Wanxue, Zhang Zhenggang, *et al.* 1988. The Infrared Spectra of Mineral [M]. Chongqing : Chongqing University Press, 52(in Chinese).
- Yu Junqing. 2000. A study of some gemstone, jade and color-stone in Northwestern of China [J]. Northwestern Geology, 2 : 44(in Chinese).
- Yue Deyin. 1995. A study of pseudomorphous turquoise from Maanshan area, Anhui Province [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 14 (1): 79~83(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yongkui. 1980. A Brief Introduction of Jade [M]. Beijing : China Light Industry Press, 54(in Chinese).

附中文参考文献

- 邓燕华. 1991. 宝玉石矿床 [M]. 北京 : 北京工业大学出版社, 123~133.
- 法默 V (应育浦, 汪寿松, 李春庚, 等译). 1982. 矿物的红外光谱 [M]. 北京 : 科学出版社.

- 黄宣镇. 2003. 绿松石矿床特征及找矿方向 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 37(6): 50~51.
- 姜泽春, 陈大梅, 王辅亚, 等. 1983. 湖北、陕西一带绿松石的热性能及其共生矿物 [J]. 矿物学报, 3(9): 198~206.
- 乐昌硕. 1984. 岩石学 [M]. 北京 : 地质出版社, 63.
- 梁秉璩. 1989. 中国宝石和玉石 [M]. 新疆 : 新疆人民出版社, 122~129.
- 栾丽君, 韩照信, 王朝友, 等. 2004. 绿松石呈色机理初探 [J]. 西北地质, 37(3): 77~81.
- 马玉兴. 1989. 郧阳地区绿松石地质特征及其经济评价 [J]. 湖北地质科技情报, 4 : 6~14.
- 涂怀奎. 1997. 绿松石与铀矿找矿方向的研究 [J]. 甘肃地质学报, 6 (1): 74~79.
- 涂怀奎. 2000. 秦岭地区主要玉石矿床特征研究 [J]. 地质找矿论丛, 15(1): 86~87.
- 王家生, 颜慰萱, 魏清, 等. 1996. 鄂西云盖寺地区固态流变构造群落及其对绿松石矿的控制作用 [J]. 湖北地质, 10(2): 62~70.
- 王濮, 潘兆橹, 翁玲宝, 等. 1987. 系统矿物学(下册) [M]. 北京 : 地质出版社, 141, 174, 178.
- 魏道贵, 管荣华. 2003. 马鞍山地区绿松石矿的分布、成因及标志 [J]. 矿业快报, 412(10): 19~20.
- 闻轲, 梁婉雪, 章正刚, 等. 1988. 矿物红外光谱学 [M]. 重庆 : 重庆大学出版社, 52.
- 于俊清. 2000. 西北某些地区宝、玉石及彩石原料的矿物学研究 [J]. 西北地质, 2 : 44.
- 岳德银. 1995. 安徽马鞍山地区假象绿松石的研究 [J]. 岩石矿物学杂志, 14(1): 79~83.
- 赵永魁. 1980. 玉石简介 [M]. 北京 : 轻工业出版社, 54.

·新书介绍·

《环境矿物材料》

商平 等编著 2008年 北京 : 化学工业出版社 436千字 348页 定价 : 38元

该书比较全面地阐述了环境科学和矿物学领域的交叉学科和新的学科增长点——环境矿物材料的概念、基本性质、加工方法等,介绍了近年来国内外环境矿物材料在环境治理中的相关研究和应用所取得的成果。全书共分8章:第1章介绍环境矿物材料特性与分类;第2章介绍环境矿物材料加工、改性与再生;第3章介绍环境矿物材料治理水污染;第4章介绍环境矿物材料治理大气污染;第5章介绍环境矿物材料处理固体废物;第6章介绍环境矿物材料处理放射性核废物;第7章介绍环境矿物材料治理土壤污染与退化;第8章介绍环境矿物材料与微生物的交互作用。

该书内容丰富,系统性强,具有一定实用价值,可供广大环境工程、矿物材料、无机非金属材料、矿物加工领域的科技工作者、科研开发人员参考,还可以作为大专院校环境科学、环境工程、生态学、农学和地学等专业的教学参考书。如有读者欲购此书,请致电化学工业出版社,联系电话:010-64518888。