

· 宝玉石矿物学 ·

陕西洛南绿松石的结构构造特征研究

罗远飞¹, 余晓艳¹, 周越刚², 杨心鹤²

(1. 中国地质大学(北京)珠宝学院, 北京 100083; 2. 浙江省地质矿产研究所, 浙江 杭州 310007)

摘要: 采用偏光显微镜观察、扫描电镜、X射线粉晶衍射分析, 对产于绿松石遗址陕西洛南的绿松石进行了详细的结构构造研究。结果表明, 陕西洛南绿松石的结构多呈隐晶质结构, 部分可见环带状结构、结核状结构; 可见块状构造、致密块状构造, 部分见葡萄状构造; 扫描电镜下观察陕西洛南绿松石多呈鳞片状结构、不规则团块状分布, 可见板状绿松石微晶不规则分布, 部分见孔隙分布; 绿松石微晶越接近它形, 孔隙越少, 排列越均匀, 则结构越紧密, 呈现致密块状构造; 反之则呈葡萄状构造; XRD实验结果表明, 样品中均含有绿松石和石英, 部分样品中含有少量的伊利石和高岭石。

关键词: 绿松石; 结构构造; 扫描电镜; X射线粉晶衍射; 陕西洛南

中图分类号: P578.92⁺7

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)01-0115-09

A study of texture and structure of turquoise from Luonan, Shaanxi Province

LUO Yuan-fei¹, YU Xiao-yan¹, ZHOU Yue-gang² and YANG Xin-ge²

(1. Jewelry Institute, China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: Luonan area of Shaanxi Province is a historic site of turquoise and is a potential source of neolithic turquoise products. The texture and structure of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province were studied by microscope, SEM, XRD experiments in this paper. The results show that the turquoise from Luonan area of Shaanxi Province mainly has cryptocrystalline texture, with some samples exhibiting band texture and nodular texture, and has lumpy structure, dense lumpy structure and minor grape structure. The observation under SEM shows that the turquoise is mainly of flaky texture and irregular lumpy distribution. Tabular turquoise microcrystals are distributed irregularly, and pores can be seen among them. The microcrystals of turquoise are somewhat anhedral, the less pores they have, the evener their arrangement, and the denser their texture, thus exhibiting dense massive structure. On the contrary, it has grape structure. XRD results show that all the samples have turquoise and quartz, and some samples contain small amounts of illite and kaolinite.

Key words: turquoise; texture and structure; SEM; XRD; Luonan area of Shaanxi Province

Fund support: China Geological Survey Project (2-5-2014-40, 2-5-2013-01); Open Project Program of Non-metallic Mineral Engineering Technology Research Center in Zhejiang Province (ZD2015k01)

绿松石, 又叫松石, 因其“形似松球、色近松绿”而得名, 英文为 turquoise。一直以来, 绿松石深受古今中外人士的喜爱, 作为佩戴和使用已有5 000年以

上的历史(申柯娅等, 1998)。绿松石的化学式为 $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_8(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 理论上 CuO 含量为 9.57%, Al_2O_3 含量为 36.84%, P_2O_5 的含量为 34.12%, H_2O 的

收稿日期: 2016-05-30; 接受日期: 2016-09-25

基金项目: 中国地质调查项目(2-5-2014-40, 2-5-2013-01); 浙江省非金属矿工程技术研究中心开放课题(ZD2015k01)

作者简介: 罗远飞(1992-), 女, 宝石学专业, 研究生在读; 通讯作者: 余晓艳(1964-), 女, 副教授, 主要从事宝石学相关的教学与研究
工作, E-mail: yuxy@cugb.edu.cn。

含量为 19.47% (余晓艳, 2016)。世界上出产绿松石的国家主要有伊朗、美国、埃及、俄罗斯、中国等。中国的绿松石王要集中产出于鄂、豫、陕交界处, 即湖北省的西北部、陕西、安徽、河南等地。其中, 陕西省不仅作为现代绿松石的产地之一 (石振荣等, 2008), 同时也是古代绿松石文物出土地区和开采遗址, 境内多处出土绿松石 (郝用威等, 2002; Qin *et al.*, 2015)。近年来, 李延祥等人在调查陕西省东部古代矿冶遗址过程中认定了洛南县辣子崖洞穴为绿松石矿开采遗址, 并采集到大量的采矿石器、陶片、绿松石标本等实物证据, 初步确认了其新石器时代至青铜时代的年代属性 (先怡衡等, 2016), 考古学家也表明该地的绿松石使用可追溯到新石器时代 (张登毅等, 2015)。

作为一个绿松石遗址, 陕西洛南产出的绿松石可能为新石器时代先民绿松石制品的来源, 洛南绿松石的宝石学特征研究对矿物学、考古学都有重要意义。本文在前人研究基础上, 对产于陕西洛南的绿松石进行了详细的结构构造研究。

1 样品情况及测试条件

本文用于常规宝石学观察和测试的 6 块样品 (图 1) 均来自于陕西洛南辣子崖开采遗址, 编号分别为 SH-1、SH-2、SH-3、SH-4、SH-5、SH-6。因为在样品中绿松石和围岩、风化层等同时存在, 故其常规的宝石学特征测试有限。通过肉眼观察和宝石显微镜下观察, 得出其外观特征如表 1 所示。

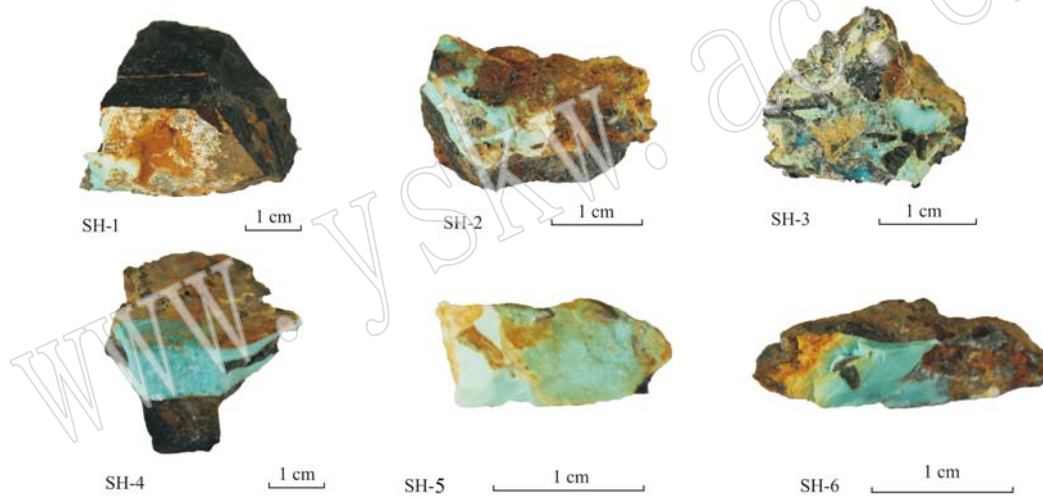


图 1 陕西洛南绿松石样品的外观

Fig. 1 The appearance of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province

表 1 陕西洛南绿松石样品的特征

Table 1 The regular gemological characteristics of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province

样品编号	质量/g	外观描述	紫外荧光特征
SH-1	33.03	浅蓝色、蓝绿色, 不透明; 隐晶质结构; 围岩部分黑色, 局部可见黄色脉状物, 表面可见棕黄色风化层; 块状构造	LW: 无 SW: 无
SH-2	31.01	浅蓝色-蓝色, 呈过渡状, 不透明; 隐晶质结构; 块状构造; 围岩部分棕褐色、黑色, 气孔状构造	LW: 无 SW: 无
SH-3	31.65	浅蓝绿-蓝绿-浅蓝-蓝色过渡明显, 不透明; 隐晶质结构; 围岩呈棕色至黑色, 黄色风化层明显; 围岩和绿松石不规则嵌入分布; 块状构造; 去除风化层以后明显葡萄状构造	LW: 无 SW: 无
SH-4	11.61	蓝色, 不透明; 隐晶质结构; 葡萄状构造; 围岩部分黑色, 表面可见明显风化层; 可见围岩嵌入绿松石	LW: 无 SW: 无
SH-5	3.10	黄绿色, 不透明; 隐晶质结构; 极少量围岩呈黑色, 表面可见黄色的风化层, 并有细小的孔洞; 块状构造	LW: 无 SW: 无
SH-6	4.73	黄绿色-蓝色, 颜色过渡明显; 不透明; 隐晶质结构; 致密块状构造, 绿松石成层分布; 和围岩接触带平整	LW: 无 SW: 无

绿松石一般以集合体形式存在,多为致密块状或结核状隐晶质集合体,集合体称为绿松石玉。本

文 6 块样品均为块状构造,在样品 SH-3 和 SH-4 中,还能看到明显的葡萄状构造(图 2)。

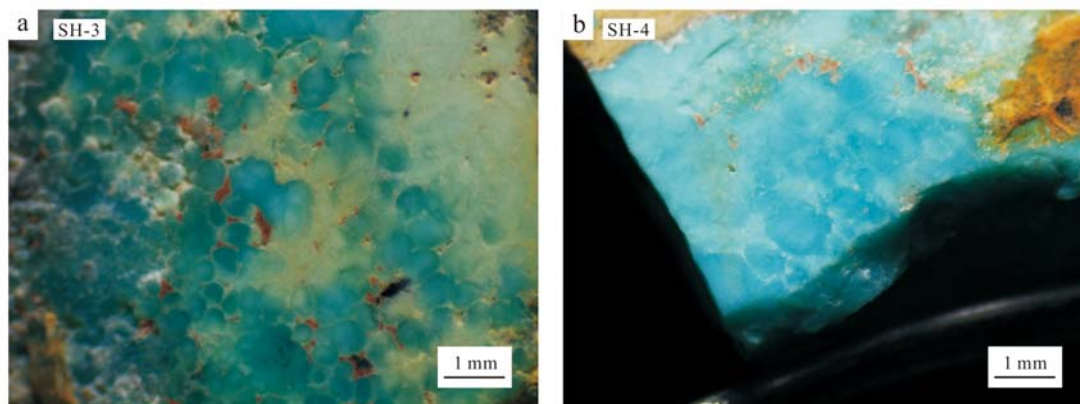


图 2 陕西洛南绿松石样品的葡萄状构造

Fig. 2 The grape structure of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province

将样品切磨成薄片,置于偏光显微镜下观察其结构构造和基本组成矿物特征,实验在中国地质大学(北京)珠宝学院宝石鉴定实验室进行。

为了更好地观察样品的表面微形貌,采用扫描电镜观察样品 SH-1 至 SH-5 绿松石新鲜断面的表面微形貌,同时得到绿松石相应点的能谱。实验在中国地质大学(北京)扫描电镜实验室进行,仪器型号为 ZEISS SUPRATM 55 型场发射扫描电镜,电镜分辨率 0.8 nm,加速电压 0.1~30 kV,工作距离 15~20 mm,室温 20℃,湿度 50%。

采用 X 射线粉晶衍射实验对样品进行物相分析,从绿松石样品上刮下少许粉末,用研钵磨至 200 目以下,实验在中国地质大学(北京)X 射线粉晶衍射实验室进行,仪器为日本理学 Smart Lab,实验条件 Cu 靶,电压 45 kV,电流 200 mA,石墨单色器,扫描方式为连续扫描,扫描速度 10°/min,狭缝 IS(DS) = RS1(SS) = 2/3, RS1(RS) = 0.3 mm,室温 25℃,湿度 50%。

2 测试结果与分析

2.1 偏光显微镜下特征

选取 6 块样品中含绿松石部分,在中国地质大学(北京)磨片实验室制成 0.03 mm 的标准岩石薄片,并置于偏光显微镜下观察。理论上绿松石在单偏光显微镜下为透明矿物,带有淡绿色色调;正交偏光镜下干涉色为一级灰,隐晶质结构,局部有球粒状结构、环带状结构及放射状结构,并常含有带棱角的

石英(姜泽春等,1983)。湖北竹山绿松石在显微镜下可见片状绿松石微晶,放射球粒状结构(Chen Quanli *et al.*, 2012);安徽歙庵山绿松石在偏光显微镜下为微晶集合体产出,多呈微晶团粒状和鳞片状结构,部分为放射纤维状结构及放射球粒状结构(周彦等,2013)。

偏光显微镜下观察结果(图 3)表明,陕西洛南绿松石主要为隐晶质结构。在单偏光镜下,陕西洛南绿松石为灰黄色(图 3a);正交偏光镜下,绿松石的最高干涉色为一级灰白(图 3b)。绿松石的结构多呈隐晶质结构(图 3c、3d),部分可见环带状结构(图 3e)、结核状构造(图 3f)。

绿松石集合体的主要组成矿物为绿松石,常与石英、高岭石、云母、褐铁矿等矿物伴生,不同产地的绿松石伴生矿物种类和含量都不一样,陕西白河出产的绿松石围岩中含有大量二氧化硅成分,其绿松石的含量较低(张胜男,2012)。在偏光显微镜下观察其矿物共生关系(图 4),陕西洛南绿松石和大量石英伴生(图 4a),部分可见玉髓(图 4b);部分样品可见褐黑色非晶质杂质,在单偏光镜下不规则团块状、斑点状,为褐铁矿(图 4c);黑色不透明围岩中分布大量石英脉(图 4d)。在围岩和绿松石的接触处,绿松石为隐晶质结构,石英的自形程度较好,可见粒状、带棱角的三方晶系形态。两种矿物呈穿插关系,被穿插的矿物形成时间要早于穿插的关系(李胜荣,2008)。因此在陕西洛南绿松石的样品中,绿松石的形成时间要早于围岩中石英的形成时间(图 4e、4f)。

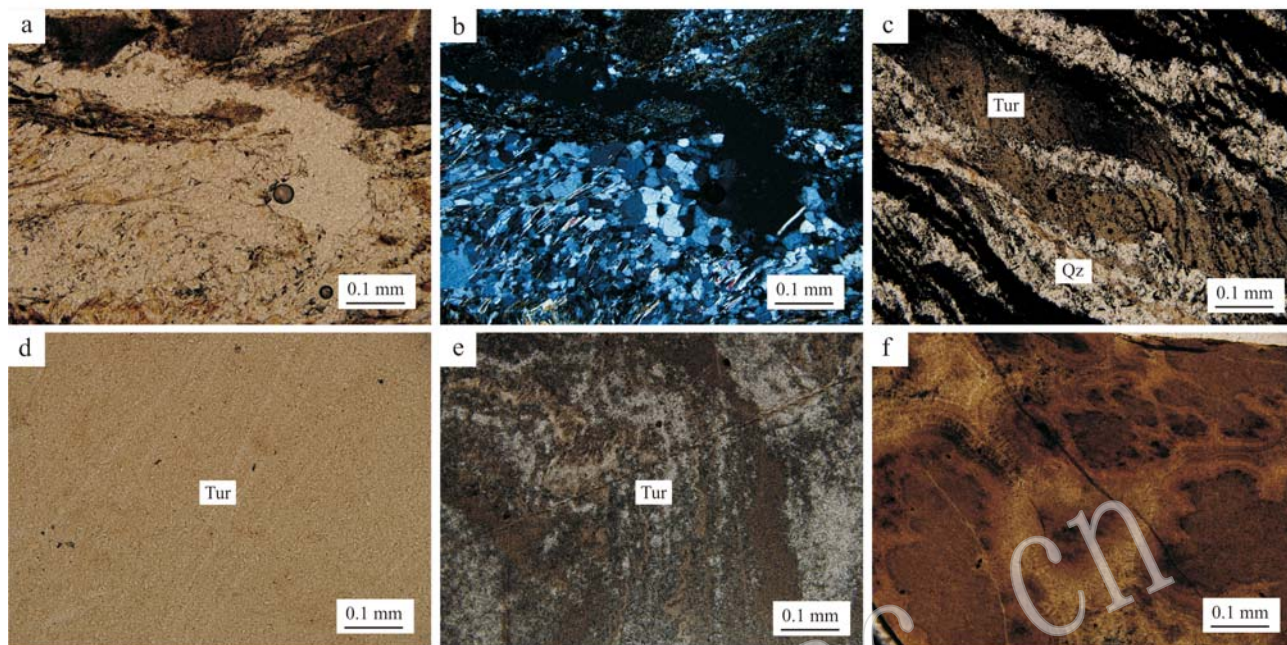


图 3 陕西洛南绿松石样品的结构特征

Fig. 3 The texture of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province

a—单偏光镜下绿松石呈灰黄色；b—正交偏光镜下干涉色；c—隐晶质结构；d—隐晶质结构；e—环带状结构；f—结核状结构
 a—the grayish yellow turquoise (plainlight); b—the interference color (crossed nicols); c—the cryptocrystalline structure of turquoise;
 d—the cryptocrystalline structure of turquoise; e—the band structure of turquoise; f—the nodular structure of turquoise

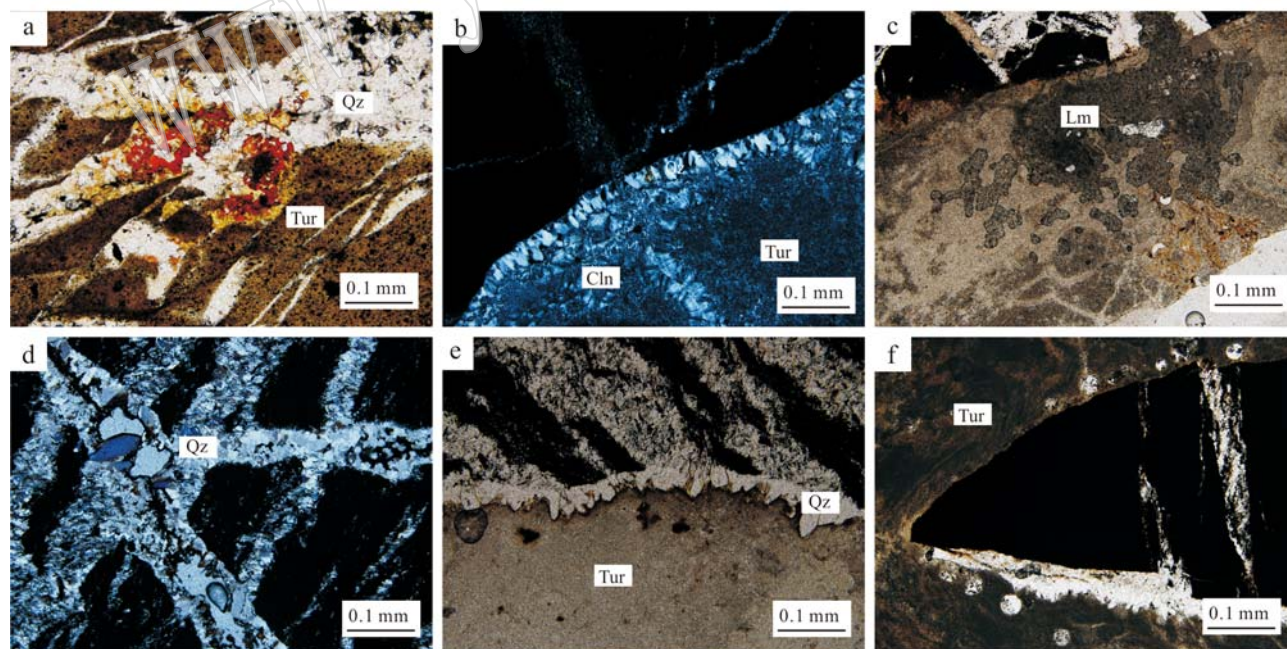


图 4 陕西洛南绿松石的矿物共生关系

Fig. 4 The mineral association of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province

a—绿松石(Tur)和石英(Qz)伴生；b—绿松石和玉髓(Cln)伴生；c—绿松石和褐铁矿(Lm)伴生；d—石英脉分布在围岩中；
 e—绿松石和围岩平行接触带；f—围岩穿插绿松石接触带
 a—turquoise associated with quartz; b—turquoise associated with chalcidony; c—turquoise associated with limonite; d—distribution of quartz vein
 in the surrounding rock; e—the parallel contact zone of turquoise and surrounding rock; f—the contact zone of turquoise penetrated by surrounding rocks

总的来说,陕西洛南绿松石在偏光显微镜下表现为隐晶质结构,部分可见环带状结构、结核状结构,可见绿松石和石英伴生。

2.2 扫描电镜分析

扫描电镜一般用于观察宝石及其他物体的表面微形貌,其自带的能谱还能对样品的化学成分进行测试。扫描电镜下观察绿松石的微结构和孔隙情况,通常为针状结构、鳞片状结构,能看到板状、柱状绿松石微晶,质地细腻(赵虹霞等,2007;何煦等,

2011)。

本文对样品 SH-1、SH-2、SH-3、SH-4、SH-5 共 5 块样品进行了扫描电镜形貌观察和能谱分析,拟通过扫描电镜的实验结果得出绿松石的显微结构情况及其与对应的玉石致密程度的关系。能谱分析表明样品为绿松石(图 5),所扫描的区域为样品的新鲜断面,其中 SH-1、SH-2 所扫描的区域为致密块状部分;SH-3、SH-4 所扫描的区域为葡萄状构造部分;SH-5 所扫描的区域为块状部分。

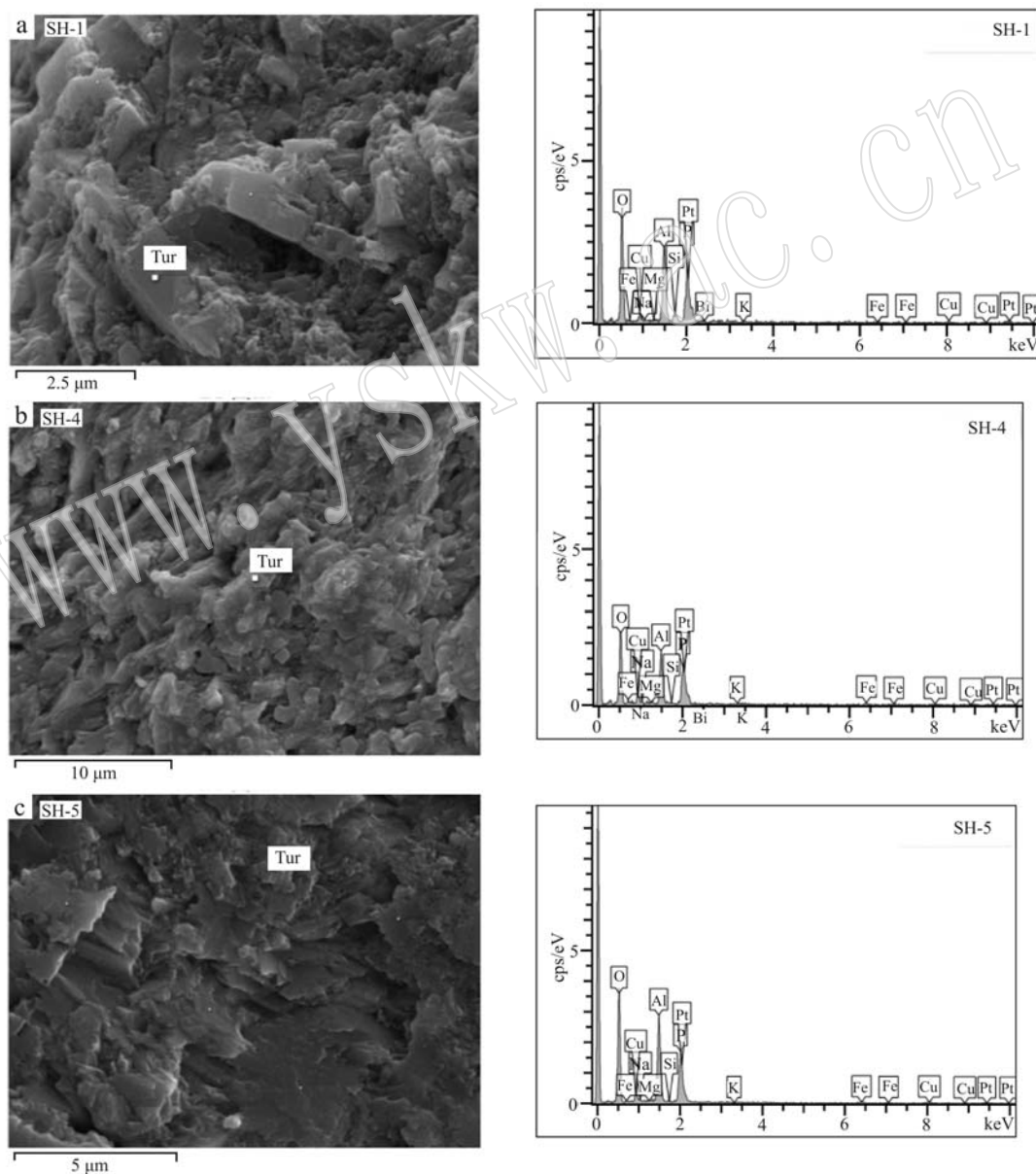


图 5 陕西洛南绿松石扫描电镜能谱分析结果

Fig. 5 The energy spectrum analysis under SEM of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province

在扫描电镜下观察陕西洛南绿松石样品的微形貌(图6),放大1万倍观察,致密块状构造的绿松石多呈鳞片状结构(图6a)、不规则团块状分布(图6b),部分可见板状绿松石微晶不规则分布(图6c),孔隙几乎不可见;放大2万倍观察,可见鳞片状结构,孔隙极少(图6d);放大3万倍观察,可见柱状绿松石微晶不规则分布,孔隙较少(图6e)。放大1500倍观察SH-2样品时,可见球粒状结构,球粒之间伴有部分孔隙,能谱显示主要含铁和氧元素,为褐铁矿或赤铁矿分布在绿松石中,这种结构被称为“铁玫瑰”(图6f)。

葡萄状构造的绿松石在扫描电镜下观察,可见板状、柱状绿松石微晶,孔隙较多。放大5千倍时,

能看到柱状、板状的绿松石微晶不规则排列,大小为 $5\sim 20\ \mu\text{m}$ 不等,微晶之间孔隙可见(图6g);放大1万倍观察,板状、柱状绿松石微晶轮廓十分清楚,呈不规则排列(图6h),部分可见鳞片状排列(图6i),微晶之间孔隙分布明显。

由此可见,块状构造绿松石的微形貌为不规则团块状、鳞片状结构,孔隙较少;葡萄状构造绿松石的微形貌为鳞片状结构,板状、柱状绿松石微晶之间的孔隙明显。这样的结果和手标本观察、偏光显微镜下观察结果一致,因此可以得出,在偏光显微镜下观察绿松石颗粒越细,分布越均匀,则扫描电镜下微晶形貌越倾向于它形,表现为不规则团块状,孔隙几乎不可见,绿松石的外观呈现为块状、致密块状构

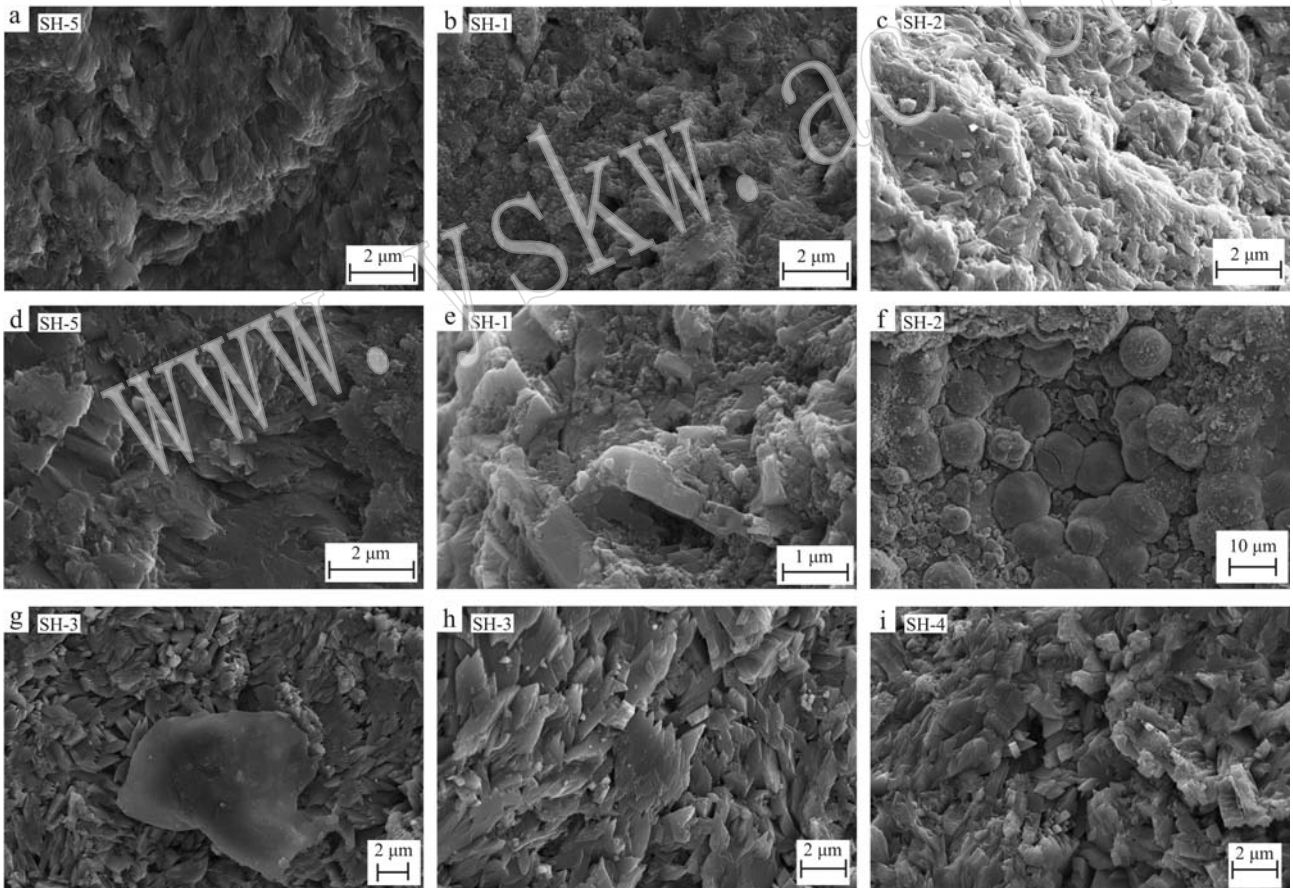


图6 陕西洛南绿松石扫描电镜下观察结果

Fig. 6 The observations under SEM of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province

a—绿松石鳞片状结构; b—绿松石不规则呈团块状分布; c—板状绿松石微晶不规则分布; d—板状绿松石鳞片状结构; e—板状绿松石微晶; f—赤铁矿的“铁玫瑰”结构; g—柱状、板状绿松石微晶; h—绿松石微晶不规则排列; i—绿松石微晶鳞片状排列
a—the flaky texture of turquoise; b—the irregular lumpy distribution of turquoise; c—the irregular distribution of tabular turquoise microcrystals; d—the flaky texture of tabular turquoise; e—the tabular turquoise microcrystals; f—the “iron roses” structure of hematite; g—the columnar and plate turquoise microcrystals; h—the irregular arrangement of turquoise microcrystals; i—the flaky arrangement of turquoise

造；反之则绿松石微晶多表现为板状、针状、柱状等，微晶之间可见孔隙分布，绿松石为葡萄状构造，致密程度较差。

2.3 X 射线粉晶衍射

陕西洛南绿松石样品的矿物成分和物相分析采用 X 射线粉晶衍射实验，所采用的样品为 SH-1、SH-2、SH-3、SH-4、SH-5、SH-6 上刮下的较纯粉末。X 粉晶全岩半定量实验结果表明，样品中均含有绿松石

和石英，在 SH-2、SH-3、SH-4 中还有少量的伊利石和高岭石(图 7)。将实验样品的衍射数据和标准卡片对比，以此分析样品中绿松石的结晶情况。

通过和绿松石标准图谱(于吉顺, 2011)及绿松石卡片标样数据对比，确定 6 个样品的主要矿物成分均为绿松石(表 2)。由表 2 可以看出，6 块样品的 *d* 值均有一些偏差。*d* 值表征衍射面间距，*d* 值越高，则晶体的晶面间距越大，它也受到晶胞大小和形

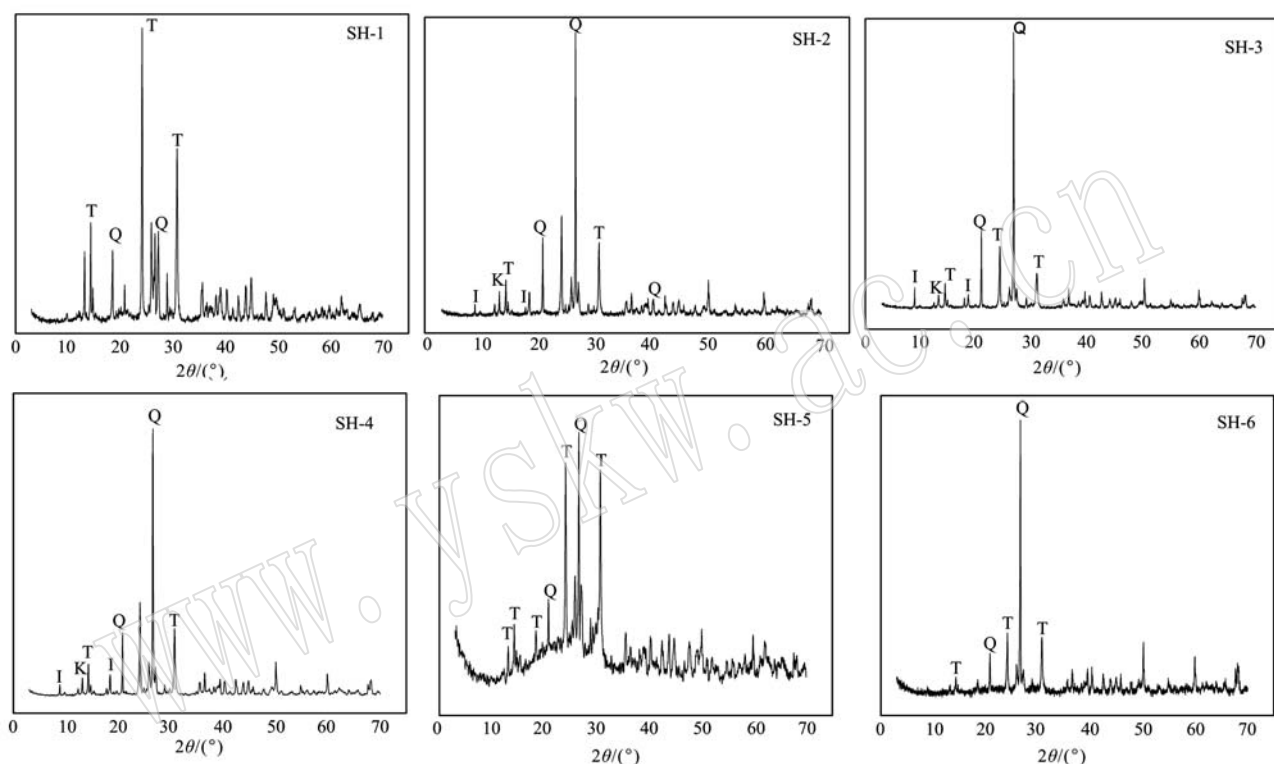


图 7 陕西洛南绿松石 X 射线粉晶衍射图谱

Fig. 7 The results of XRD of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province

Q—石英；T—绿松石；K—高岭石；I—伊利石
Q—quartz；T—turquoise；K—kaolinite；I—illite

表 2 陕西洛南绿松石 X 射线粉晶衍射数据和标准卡片对比

Table 2 The X-ray powder diffraction data of turquoise from Luonan area of Shaanxi Province and the standard card

PDF: 73-0184		SH-1		SH-2		SH-3		SH-4		SH-5		SH-6	
<i>d</i> /Å	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>d</i> /Å	FWHM	<i>d</i> /Å	FWHM	<i>d</i> /Å	FWHM	<i>d</i> /Å	FWHM	<i>d</i> /Å	FWHM	<i>d</i> /Å	FWHM
8.982 9	186	8.979 8	0.289					8.999 1	0.201				
6.686 4	138	6.713 2	0.156	6.704 4	0.161	6.712 5	0.208	6.711 8	0.153	6.720 9	0.194	6.691 2	0.194
6.165 8	566	6.171 7	0.152	6.179 4	0.181	6.172 1	0.178	6.180 2	0.164	6.204 6	0.247	6.172 8	0.151
5.986 6	224			6.005 3	0.267	5.997 9	0.337	6.004 3	0.168			5.991 0	0.302
5.750 9	82			5.750 5	0.186			5.742 8	0.254				
4.798 1	283	4.796 1	0.198	4.793 3	0.190	4.792 8	0.203	4.797 9	0.181	4.820 7	0.121	4.792 7	0.192
4.491 5	7							4.486 6	0.197				
3.670 2	999	3.683 6	0.193	3.678 1	0.200	3.683 4	0.235	3.680 6	0.195	3.686 8	0.231	3.680 9	0.258
3.497 8	59			3.501 3	0.109								
3.436 9	447	3.434 7	0.261	3.437 5	0.192	3.442 2	0.335	3.437 5	0.186	3.437 4	0.299	3.4323	0.234
3.277 2	368	3.268 8	0.222	3.285 1	0.314	3.282 5	0.350	3.285 1	0.262	3.275 7	0.235	3.2760	0.284
3.082 9	103	3.084 9	0.167	3.087 3	0.238	3.086 5	0.160	3.087 1	0.121	3.092 6	0.140	3.089 3	0.129
2.901 1	741	2.900 4	0.285	2.900 9	0.247	2.904 1	0.332	2.904 4	0.252	2.907 8	0.290	2.906 0	0.306

状的影响(黄继武等,2012)。本文样品 d 值有所偏差的原因是绿松石遭受不同程度的风化,结构紧密度和结晶程度受到一定的破坏和影响,从而晶格常数发生变化,导致 d 值、衍射峰的相对强度(I)、衍射峰的位置、形状及半高宽(FWHM)等发生改变。

衍射图的半高宽通常能反映样品的晶粒大小,且半高宽值和晶粒大小成反比。通过对比不同样品的衍射图,发现 SH-4 样品的半高宽最小,即反映结晶程度相对较高,这和外观观察、薄片观察、扫描电镜观察结果一致。而 SH-5 样品的 d 值偏差最大,这可能是样品风化程度较高所致。

3 小结

(1) 陕西洛南绿松石的颜色呈黄绿色、浅蓝色、蓝色,新鲜绿松石为鲜艳的蓝色,为致密块状、葡萄状结构;绿松石表面风化较严重,风化层为黄色;围岩为黑色,围岩中可见白色石英脉分布。紫外荧光情况为惰性,这和样品含 Fe 有关。

(2) 陕西洛南绿松石的结构多呈隐晶质结构,部分可见环带状结构、结核状结构;可见块状构造、致密块状构造,部分见葡萄状构造。陕西洛南绿松石和大量石英共生,部分为玉髓;部分样品中可见褐黑色褐铁矿;黑色不透明围岩中分布大量石英。

(3) 陕西洛南绿松石在扫描电镜下观察多呈鳞片状结构、不规则团块状分布,可见板状绿松石微晶不规则分布,部分见孔隙分布。绿松石微晶越接近它形,孔隙越少,排列越均匀,则结构越紧密,呈现致密块状构造;反之则呈葡萄状构造。

(4) XRD 实验结果表明,样品中均含有绿松石和石英,在 SH-2、SH-3、SH-4 中还有少量的伊利石和高岭石。

References

- Chen Quanli, Yin Zuowei, Qi Lijian, *et al.* 2012. Turquoise from Zhushan County, Hubei Province, China[J]. *Gems & Gemology*, 48(3): 198~204.
- Hao Yongwei and Hao Feizhou. 2002. The turquoise culture in neolithic age in China[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(Supp.): 147~150(in Chinese).
- He Xu, Chen Lin, Li Qinghui, *et al.* 2011. Trace elements and rare earth elements characteristics of turquoise from Zhushan and Maanshan area[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 30(6): 709~713(in Chinese).
- Huang Jiwu and Li Zhou. 2012. Polycrystalline Material Principle, Method and Application of X-ray Diffraction Experiment[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 161~163(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): 198~207(in Chinese).
- Li Shengrong. 2008. Crystallography and Mineralogy[M]. Beijing: Geological Publishing House, 307(in Chinese).
- Shen Keya and Wang Xu. 1998. Turquoise appreciation and evaluation [J]. *Jewellery Science*, (3): 41~42(in Chinese).
- Shi Zhenrong and Cai Keqin. 2008. A study of turquoise and secondary woodhouseite from Yuertan, Baihe County, Shaanxi Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, (2): 164~170(in Chinese).
- Xian Yiheng, Li Yanxiang and Yang Qihuang. 2016. Stone mining hammers of Jiyanyao turquoise Mining sites[J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 35(3): 1~12(in Chinese).
- Yu Jishun. 2011. X-ray Powder Mineral Identification Handbook(map) [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 296~297(in Chinese).
- Qin Y, Xu Y Y and LI H M. 2015. Turquoise mine and artefact correlation for some bronze age archaeological sites in Hubei Province, China[J]. *Archaeometry*, 5(57): 788~802.
- Yu Xiaoyan. 2016. Colored Gemology(2ed Edition)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 265~275(in Chinese).
- Zhou Yan, Qi Lijian, Dai Hui, *et al.* 2013. Study on gemmological characteristics of turquoise from Dian'anshan, Anhui Province[J]. *Journal of Gems and Gemmology*, 15(4): 37~45(in Chinese).
- Zhang Shengnan. 2012. Contrast Study of Mineralogy on the Natural Turquoise and Treated Turquoise from Zhushan, Hubei Province [D]. Beijing: A Dissertation Submitted to China University of Geoscience for Master Degree(in Chinese).
- Zhao Hongxia, Fu Xiufeng, Gan Fuxi, *et al.* 2007. Study on mineralogical characteristics of turquoise samples from different provinces by non-destructive analysis[J]. *Rock and Mineral Analysis*, (2): 141~145(in Chinese).
- Zhang Dengyi and Li Yanxiang. 2015. A preliminary study on the unearthed Qin turquoise products in Shaanxi Province[J]. *Huaxia Archaeology*, (4): 21~28(in Chinese).

附中文参考文献

- 郝用威, 郝飞舟. 2002. 中国新石器时代绿松石文化[J]. 岩石矿物学杂志, 21(增刊): 147~150.
- 何 煦, 陈 林, 李青会, 等. 2011. 竹山和马鞍山绿松石微量元素和稀土元素特征[J]. 岩矿测试, 30(6): 709~713.
- 黄继武, 李 周. 2012. 多晶材料 X 射线衍射-实验原理方法与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 161~163.
- 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[J]. 矿物学报, (3): 198~207.
- 李胜荣. 2008. 结晶学与矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 307.
- 申柯娅, 王 昶. 1998. 绿松石鉴赏与评价[J]. 珠宝科技, (3): 41~42.
- 石振荣, 蔡克勤. 2008. 陕西白河县月儿潭绿松石与次生磷钙铝矾研究[J]. 岩石矿物学杂志, (2): 164~170.
- 先怡衡, 李延祥, 杨岐黄. 2016. 洛南鸡眼窑绿松石矿业遗址采矿石锤[J]. 人类学学报, 35(3): 1~12.
- 于吉顺. 2011. 矿物 X 射线粉晶鉴定手册(图谱)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 296~297.
- 余晓艳. 2016. 有色宝石学教程(第二版)[M]. 北京: 地质出版社, 265~275.
- 周 彦, 元利剑, 戴 慧, 等. 2013. 安徽殿庵山绿松石的宝石学特征研究[J]. 宝石和宝石学杂志, 15(4): 37~45.
- 张胜男. 2012. 湖北竹山天然绿松石与优化处理绿松石的对比研究(硕士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 赵虹霞, 伏修锋, 干福熹, 等. 2007. 不同产地绿松石无损检测及岩相结构特征研究[J]. 岩矿测试, (2): 141~145.
- 张登毅, 李延祥. 2015. 山西出土先秦绿松石制品初步研究[J]. 华夏考古, (4): 21~28.