



甘肃金塔一个地窝南遗址绿松石矿源研究

张登毅¹, 李延祥², 席光兰³

1. 北京联合大学应用文理学院历史文博系, 北京 100191;
2. 北京科技大学科技史与文化遗产研究院, 北京 100083;
3. 国家文物局考古研究中心, 北京 100013

中图分类号: K876.8 文献标志码: A

文章编号: 1001-6872(2022)01-0001-07

收稿日期: 2021-11-13; 改回日期: 2022-02-09

基金项目: 国家社会科学基金项目“古丝路贸易背景下河西走廊先秦‘绿松石之路’的建构与实证研究(编号: 18CKG007)”

第一作者简介: 张登毅, 男, 35岁, 讲师(博士), 考古学专业, 研究方向: 科技考古、矿冶考古。

通信作者: 李延祥, 男, 59岁, 教授, 科学技术史专业, 研究方向: 矿冶考古、冶金与材料史。

【摘要】 本研究对甘肃金塔一个地窝南遗址的9件绿松石样品进行物相、成分、铅铋同位素检测得出: 所取样品的拉曼峰位于 $3\,473\text{ cm}^{-1}$, $1\,035\text{ cm}^{-1}$, 815 cm^{-1} , 645 cm^{-1} , 414 cm^{-1} , 223 cm^{-1} 等处, 样品强峰位于 $1\,035\text{ cm}^{-1}$ 附近。该遗址绿松石的主要成分为 Al_2O_3 , P_2O_5 和 CuO , 其中 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 $32.14\% \sim 37.48\%$, $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 $33.09\% \sim 42.50\%$, $w(\text{CuO})$ 为 $6.05\% \sim 7.68\%$, 除此之外, 还有少量和微量的 Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , BaO , SnO_2 , SrO , ZnO , VO 等元素。铅铋同位素比值 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 $37.037 \sim 40.032$ 之间, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 $15.039 \sim 16.333$ 之间, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 $18.500 \sim 29.685$ 之间, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 在 $0.710\,054 \sim 0.712\,786$ 之间。对比新疆哈密及陕西洛南辣子崖等五处绿松石矿数据得出。新石器时代晚期金塔一个地窝南遗址绿松石至少有3处不同的矿源, 其中一处指向新疆哈密地区。以 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} + ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为组合的铅铋同位素比值组分模型, 可以成功将不同矿源的绿松石区分开。先秦“绿松石之路”传播除了“洛河一线”“太行山西麓”外, 还有“河西走廊”一线。

【关键词】 绿松石; 铅同位素; 铋同位素; 金塔一个地窝南遗址; 绿松石之路

绿松石是中国先秦使用较为广泛的一种装饰品材料, 在先秦遗址中有较多出土, 然中国绿松石矿的分布范围很有限, 因此考古出土绿松石制品存在着远距离开采、交流和贸易的可能。

国际学术界对绿松石矿源示踪的研究, 按照示踪“指纹”的不同分为三个阶段: 微量元

素^[1]、光谱示踪; 单一同位素示踪; 多重同位素示踪。研究发现, 微量元素、光谱及单一同位素没有满意的将绿松石和其矿源区别开来。之后学者开始尝试使用多重同位素研究方法(Multi-isotopic Approach)同时界定绿松石的矿源。这种方法以美国亚利桑那大学的艾莉

引用格式: 张登毅, 李延祥, 席光兰. 甘肃金塔一个地窝南遗址绿松石矿源研究标题[J]. 矿物岩石, 2022, 42(1): 1-7.
Zhang Dengyi, Li Yanxiang, Xi Guanglan. Provenance Determination of Turquoise in the Southern Yigediwo Site of Jinta County, Gansu Province[J]. *Mineralogy and Petrology*, 2022, 42(1): 1-7.
doi: 10.19719/j.cnki.1001-6872.2022.01.01 中国知网(<https://www.cnki.net>)

森^[2](铅铋同位素)和加拿大马尼托巴大学的赫尔^[3](氢铜同位素)的研究为代表,结果证明多重同位素在界定绿松石的矿源方面是可行的。国内学者任佳等^[4],张登毅^[5],李延祥^[18]用多重同位素方法对考古出土绿松石进行矿源示踪并取得了较理想的结果。本研究试图采用²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb+⁸⁷Sr/⁸⁶Sr为组合的铅铋同位素比值组分模型,将金塔一个地窝南遗址绿松石样品与五处绿松石矿源样品对比,示踪考古遗址出

土绿松石的矿源。

1 样品特征与测试方法

金塔一个地窝南遗址位于位于甘肃金塔县大庄子乡永丰村东南 11 km 处软戈壁与风蚀台地相见地带(图 1)。遗址内地表散见有夹砂红陶片和彩陶片,该遗址属于西城驿文化^[4],年代距今约 4 000~3 700 a。

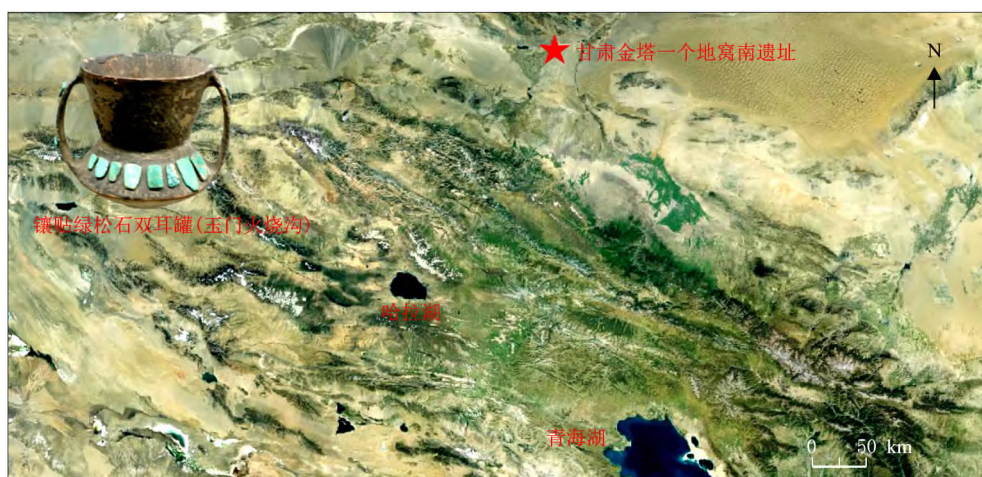


图 1 甘肃金塔一个地窝南遗址位置
Fig.1 Location of the southern Yigediwo Site

用超景深显微镜观察样品形貌,显示样品表面较为光滑,有的表面风化严重(YGDW-3, YGDW-4),有的结构致密,伴生大量黑色围岩(表 1,图 2)。结合地质调查资料,金塔县周遭无绿松石矿,遗址发现的绿松石可能为从远处矿源经过粗加工,运载至此的绿松石矿料。

本研究首先使用拉曼光谱仪对样品进行检测,以确定样品物相;其次用激光剥蚀电感耦合

表 1 金塔一个地窝南绿松石样品特征
Table 1 Characteristics of the turquoise samples from the southern Yigediwo Site

试验室编号	样品描述
YGDW-1	蓝绿色,结构致密,包含大量的黑色围岩
YGDW-2	蓝绿色,结构较为致密,黑色围岩相间分布
YGDW-3	绿色,结构疏松,表面光滑,较严重风化
YGDW-4	绿色,节理性发育,风化较为严重
YGDW-5	绿色,结构较为致密,伴生黑色围岩
YGDW-6	蓝绿色,结构致密,包含大量的黑色围岩
YGDW-7	蓝绿色,结构较为致密,黑色围岩相间分布
YGDW-8	蓝绿色,结构较为疏松,包含黑色围岩
YGDW-9	蓝绿色,结构疏松,发育不完整,包含黑色围岩

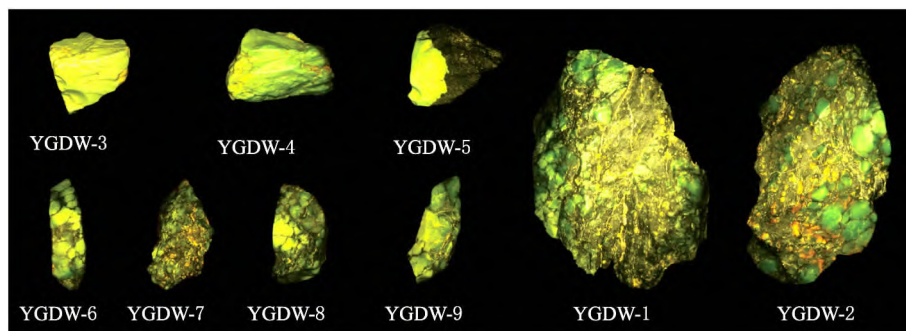


图 2 金塔一个地窝南遗址绿松石样品
Fig.2 Turquoise samples from the southern Yigediwo Site

等离子体原子发射光谱仪(LA-ICP-AES)检测样品的化学成分,以确定其化学元素构成;最后用TIMS检测样品的铅铋同位素比值,以判别矿源特征。拉曼光谱检测仪器为法国JY公司生产的Horiba型显微拉曼光谱仪,配备Olympus显微镜,激光器波长为638 nm,激光能量约为12.5 MW,曝光时间为30 s,扫描次数为30次,扫描范围4 000~100 cm⁻¹。LA-ICP-AES激光器为美国New-Wave公司产UP-266MARCO型激光剥蚀系统,ICP-AES为美国Leeman公司产PRODIGY型全谱直读ICP-AES。铅铋同位素检测使用仪器为英国GV公司(原MicroMass公司)制造的IsoProbe热电

离质谱仪。该设备配置17个接收器,包括有9个法拉第杯、1个戴利检测器、1个电子倍增器和7个离子计数器,可以满足微量—超微量样品的高精度同位素分析测试。

2 检测分析结果

2.1 拉曼光谱检测及物相定性分析

样品的拉曼光谱测试结果见表2,谱图见图3。由表可知,所取样品的拉曼峰位于3 473 cm⁻¹, 1 035 cm⁻¹, 815 cm⁻¹, 645 cm⁻¹, 414 cm⁻¹, 223 cm⁻¹等处,样品强峰位于1 035 cm⁻¹附近。

表2 所取样品拉曼特征峰谱值(cm⁻¹)

Table 2 Raman characteristic peak values of the samples(cm⁻¹)

样品号	$\nu(\text{OH})$ 伸缩振动	$\nu_3(\text{PO}_4)$ 伸缩振动	$\nu(\text{H}_2\text{O})$ 伸缩振动	$\nu(\text{PO}_4)$ 非对称弯曲振动	$\nu(\text{PO}_4)$ 对称弯曲振动	$\nu(\text{CuO})$
参考值(RayL.Frost)	3 800~3 400	1 066, 1 042	900~700	700~500	500~400	330, 235
YGDW-1	3 478	1 026	815	641, 590	453	279
YGDW-2	3 478	1 012	818	644, 586	457	274
YGDW-3	3 477	1 035	813	642, 583	468	225, 327
YGDW-4	3 474	1 035	815	643, 586		225, 327
YGDW-5	3 473	1 035	815	645, 583	461	223, 321
YGDW-6	3 466	1 010	820	644, 580	457	224, 327
YGDW-7	3 477	1 035	818	587	460	225
YGDW-8	3 461	1 012	813	643, 579	457	222, 325
YGDW-9	3 460	1 011	819	643, 584	454	226, 323

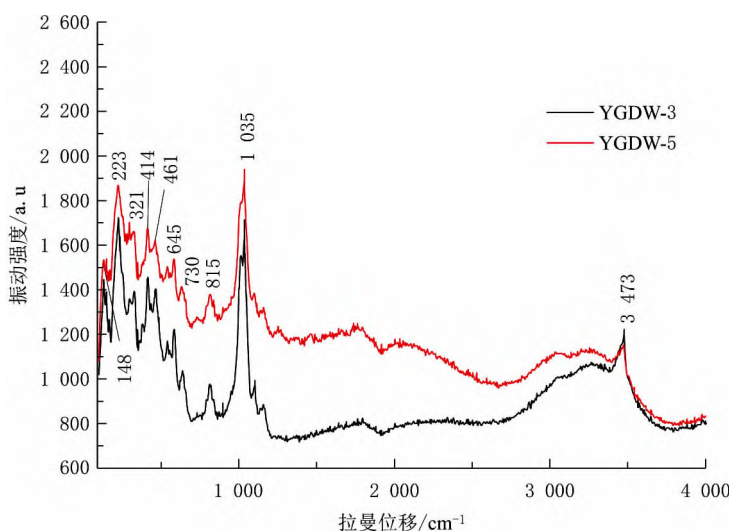


图3 金塔一个地窝南遗址绿松石拉曼光谱图(YGDW-3, YGDW-5)

Fig.3 Raman spectrum of sample YGDW-3 and YGDW-5

2.2 LA-ICP-AES 检测及化学元素分析

绿松石化学分子式为 $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。其中 P_2O_5 为 34.15%, Al_2O_3 为 36.8%, CuO 为 9.57%。绿松石矿物中常发生类质同象替代现象,表现为 Cu^{2+} 常被 Fe^{2+} ,

Zn^{2+} 替代, Al^{3+} 常被 Fe^{3+} 替代,替代离子的种类和数量受其所处的地球化学条件和环境控制^[7]。

通过分析可知,该遗址绿松石的主要成分为 Al_2O_3 , P_2O_5 和 CuO ,其中 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为

32.14%~37.48%, $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为33.09%~42.50%, $w(\text{CuO})$ 为6.05%~7.68%,除此之外,还有少量和微量的 Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , BaO , SnO_2 , SrO , ZnO , VO 等元素。相比而言,YGDW-4的 Al_2O_3 质量分数较高,可达37.48%,YGDW-3的 P_2O_5

质量分数较低,低至33.09%,YGDW-3的 SiO_2 质量分数较高,可达17.76%,其他样品的质量分数仅在2%左右(表3)。元素相差较大,跟考古样品长期风化及伴生较多其他岩石矿物有关。由于非原位测试,因此该异常值在拉曼光谱中未显示。

表3 绿松石样品化学含量表. $w(\text{B})/\%$

Table 3 Chemical contents of the turquoise samples (in percentage)

样品编号	Al_2O_3	P_2O_5	CuO	Fe_2O_3	SiO_2	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	BaO	SnO_2	SrO	ZnO	VO
YGDW-1	32.17	42.09	6.35	14.90	0.70	0.14	0.38	1.72	0.17	0.18	0.01	0.01	0.02	0.10	1.05
YGDW-2	32.14	42.96	6.57	14.03	0.72	0.15	0.33	1.45	0.18	0.23	0.02	0.01	0.01	0.11	1.08
YGDW-3	30.44	33.09	6.41	7.92	17.76	0.24	1.34	1.26	0.99	0.43	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03
YGDW-4	37.48	42.50	7.68	8.91	1.47	0.13	0.92	0.20	0.15	0.08	0.02	0.00	0.02	0.27	0.14
YGDW-5	32.32	41.12	6.46	14.34	2.44	0.19	0.56	1.38	0.42	0.18	0.02	0.01	0.13	0.15	0.98
YGDW-6	32.32	42.20	6.54	14.24	0.74	0.08	0.49	1.28	0.38	0.18	0.04	0.00	0.12	0.13	1.27
YGDW-7	32.04	40.44	6.05	14.52	2.39	0.19	0.59	1.48	0.93	0.22	0.08	0.01	0.25	0.11	0.70
YGDW-9	32.60	41.38	6.92	13.89	2.62	0.24	0.54	0.90	0.25	0.17	0.01	0.01	0.05	0.16	0.25

2.3 TIMS 检测及 Pb, Sr 同位素分析

自然界中铅存在四种稳定同位素,分别是 ^{208}Pb , ^{207}Pb , ^{206}Pb 和 ^{204}Pb 。铅同位素组成在很大程度上反应了成矿温度差异、矿化阶段以及成矿物质来源^[8]。铅同位素比值可以作为矿石的“指纹”指征矿石矿源,因此被广泛应用在国内外考古领域,用于指征早期青铜器及绿松石制品等的矿源。锶有四种稳定的同位素^[9],它们是 ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr 和 ^{88}Sr 。其中 ^{87}Sr 是放射性同位素 ^{87}Rb (半衰期约470亿年)的衰变产

物,因此地球上 ^{87}Sr 的总量是随时间不断增加的,而且不同的矿物成矿年代不同以及母岩的铷含量比不同,其锶同位素组成也是不同的。一般用 ^{87}Sr 与 ^{86}Sr 的比值作为物质锶同位素组成的度量。对于大多数岩石和矿物, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值高于0.7,有的矿物可达1.0以上。因此锶与铅相似,有可能应用于某些考古遗物的产地溯源^[10]。

将所有样品均作Pb, Sr同位素组分检测。检测结果见表4。

表4 甘肃金塔一个地窝南绿松石铅锶同位素数据

Table 4 Pb-Sr isotopic data of the turquoise samples

样品编号	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
YGDW-1	40.032	15.845	21.421	2.526	1.869	0.710 310
YGDW-2	38.545	16.290	28.642	2.366	1.346	0.710 054
YGDW-3	38.544	15.645	18.500	2.464	2.083	0.712 786
YGDW-4	37.037	15.039	18.780	2.458	1.969	0.711 149
YGDW-5	39.063	15.646	19.094	2.497	2.046	0.710 974
YGDW-6	38.637	16.333	29.685	2.366	1.302	0.710 430
YGDW-7	38.761	15.874	23.008	2.442	1.685	0.710 295
YGDW-8	38.960	15.760	21.141	2.472	1.843	0.710 370
YGDW-9	39.044	15.648	19.012	2.495	2.054	0.710 425

3 讨论

3.1 样品物相

9件样品拉曼光谱特征基本一致,经过与标准谱图对比,该谱图与绿松石矿[Turquoise,分子式 $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8\cdot 5\text{H}_2\text{O}$]的标准谱图一致,可以确认9件样品全部为绿松石。除此之外,样品伴生的围岩为长石类矿物,如钙长石、正长石等(图4,图5)。

根据Ray L. Frost^[11]以及陈全莉^[12]等人的研究,4000~3400 cm^{-1} 范围内出现的拉曼谱峰是绿松石中羟基单元中的氢氧根拉伸振动引起的;在3300~3000 cm^{-1} 范围内的峰值是绿松石水单元中的氢氧根拉伸振动引起的^[13];在1200~500 cm^{-1} 内产生的峰是磷酸根基团振动所致,具体表现为:1159~976 cm^{-1} 范围附近为 $\nu_3(\text{PO}_4)$ 非对称伸缩振动,在641~548 cm^{-1} 范围为 $\nu_4(\text{PO}_4)$ 非对称弯曲振动,479~

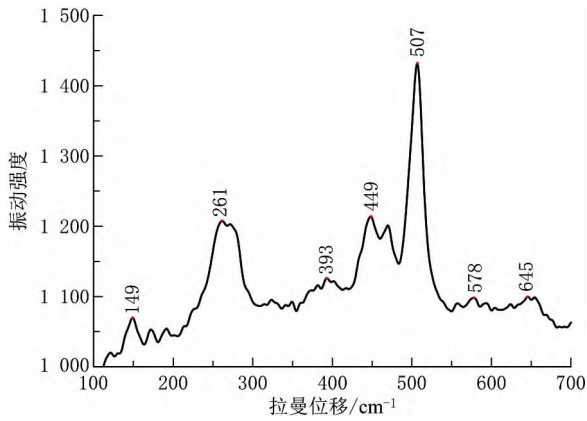


图4 YGDW-1伴生的钙长石
Fig.4 Anorthite associated with sample YGDW-1

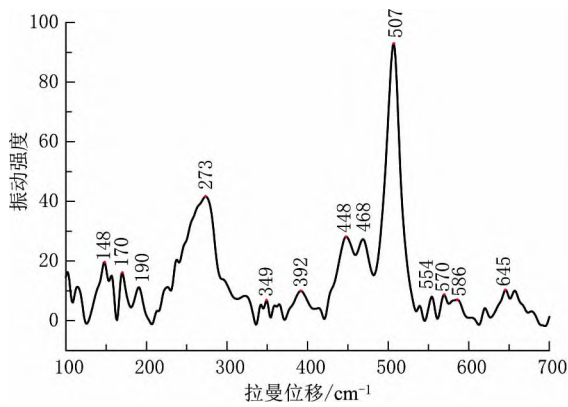


图5 YGDW-1伴生的正长石
Fig.5 Orthoclase associated with sample YGDW-1

413 cm^{-1} 范围为 $\nu_2(\text{PO}_4)$ 对称弯曲振动。其中前一个峰值强度较高,为绿松石的主峰,后两个振动的峰都相对较小且强度低;330 cm^{-1} , 235 cm^{-1} 附近出现的峰是绿松石中 $\nu(\text{CuO})$ 振动引起的。

3.2 样品 Pb, Sr 同位素

将金塔一个地窝南遗址绿松石样品与五处绿松石矿源样品以 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 做散点图(图6)。

由图可知, YGDW-2, YGDW-5, YGDW-6, YGDW-7, YGDW-8, YGDW-9 号样品铅锶同位素数据相近,落在新疆哈密古绿松石矿样品数据的范围之内^[14]。YGDW-1, YGDW-3, YGDW-4 号样品与五处绿松石矿样品数据均未重合,其矿源指向未知。

金塔一个地窝南遗址位于河西走廊的中心节点上,铅锶同位素数据显示其绿松石矿源大部分指向新疆哈密地区,表明至迟从新石器时代晚期始,新疆哈密地区开采的绿松石便通过河西走廊,输送到甘肃金塔地区。近些年来,考古工作者在哈密黑山岭地区作了大量考古调查和发掘工作,发现了古代绿松石开采迹象^[15]。张登毅^[14]对中国中原八处先秦遗址出土绿松

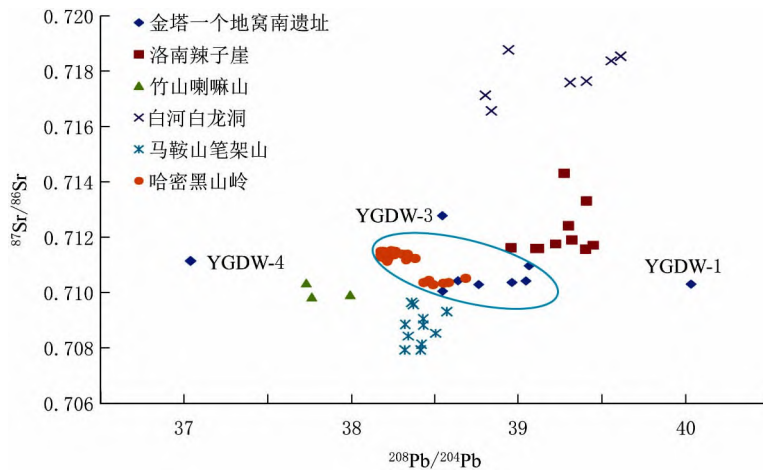


图6 甘肃金塔一个地窝南与五处不同矿源的绿松石样品铅锶同位素散点图
Fig.6 Pb-Sr isotope scatter plot for turquoise samples from the southern Yigediwo Site against samples from two ancient mines

石矿源示踪得出,中原先秦“绿松石之路”分陆路交通和水路交通两种形式,“太行山西麓”是陆路传播的典型代表,“洛河一线”是水路交通的典型代表^[16]。本研究证实,中国先秦“绿松石之路”陆路传播路线除了“太行山西麓”,还有

“河西走廊”一线。

4 结 论

通过对甘肃金塔一个地窝南遗址 9 件样品

进行物相、成分、铅锶同位素组成的检测,我们初步得出如下结论:

(1)所取9件样品全部为绿松石,其伴生的围岩为长石类矿物。样品主要成分为 Al_2O_3 , P_2O_5 和 CuO ,除此还有少量和微量的 Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , BaO , SnO_2 , SrO , ZnO , VO 等元素。

(2)铅锶同位素比值示踪结果显示:新石器时代晚期的金塔一个地窝南遗址绿松石至少有3处不同矿源,其中一处指向新疆哈密地区古绿松石矿。表明至迟从新石器时代晚期始,新疆哈密地区开采的绿松石便通过河西走廊,输送到甘肃金塔地区。

(3)除了已知的绿松石矿源,铅锶同位素数据还表明甘肃金塔一个地窝南遗址绿松石指向

其它两处未知矿源。经查阅地质资料,内蒙古阿拉善右旗浩贝如、青海乌兰高特蒙拉断层山也发现绿松石矿,且前者在东周时期已开采^[17],至于金塔一个地窝南遗址绿松石是否指向这两处绿松石矿,还需要进一步研究证实。

(4)至迟从新石器时代晚期始,新疆哈密地区开采的绿松石便通过河西走廊,输送到甘肃金塔地区。先秦“绿松石之路”传播有陆路交通和水路交通两种形式,水路交通以“洛河一线”传播代表。陆路交通除了已证实的“太行山西麓”传播路线外,还有“河西走廊”一线。

(5)以 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为组合的铅锶同位素组分模型,可以成功将不同矿源的绿松石区分开,这对于示踪出土绿松石制品等矿物文物,具有较大的指示意义。

参考文献

- [1] Frances Joan Mathien. The Organization of Turquoise Production and Consumption by the Prehistoric Chacoans[J]. *American Antiquity*, 2001(1):103-118.
- [2] Alyson M. Thibodeau. Isotopic evidence for the provenance of turquoise, mineral paints, and metals in the southwestern United States[D]. PH.D dissertations. The University of Arizona, 2012.
- [3] Sharon Hull. Preliminary Results of a Multiscalar Analysis of Turquoise Procurement Patterns Across the American Southwest [D]. PH.D dissertations. University of Manitoba, 2012.
- [4] 任佳,叶晓红,王妍,等.二里头遗址绿松石的红外光谱产地识别[J]. *光谱学与光谱分析*, 2015, (10):2 768-2 772. REN Jia, YE Xiaohong, Wang Yang, et al. Identification of origin of Erlitou Turquoise by infrared spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2015, (10):2 768-2 772.
- [5] 张登毅. 中原先秦绿松石制品产源探索[D]. 北京科技大学博士学位论文, 2016. Zhang Dengyi. Exploration on the provenance of pre-Qin turquoise products in the central plains[D]. Doctoral dissertation of University of Science and Technology Beijing, 2016.
- [6] 甘肃省文物考古研究所, 北京大学考古文博学院. 河西走廊史前考古调查报告[M]. 文物出版社, 2011, 8. Gansu Provincial Cultural Relics and Archaeology Research Institute, School for Archaeology and Museology of Peking University. A prehistoric archaeological survey on the Hexi Corridor[M]. Cultural Relics Press, August 2011.
- [7] 南京大学地质系岩矿教研室. 结晶学与矿物学[M]. 北京:地质出版社, 1978. Lithology and Mineralogy Faculty Office, Department of Geology, Nanjing University. *Crystallography and Mineralogy* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978.
- [8] 地质部宜昌地质矿产研究所同位素地质研究室. 铅同位素地质研究的基本问题[M]. 北京:地质出版社, 1979. Isotopes Geology Laboratory, Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Ministry of Geology. *Essential problems associated with Pb isotopes geological research* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979.
- [9] 王庆铸, 郭俊峰, 陈建立. 济南市刘家庄遗址出土商代青铜器的铅同位素分析[J]. *考古*, 2021, (7):106-120. WANG Qingzhu, GUO Junfeng, CHEN Jianli. The lead isotope analysis of the Shang Dynasty bronze unearthed from Liu Jiazhuang, Jinan City [J]. *Journal of archaeology*, 2021, (7):106-120.
- [10] 尹若春, 张居中, 杨晓勇. 贾湖史前人类迁移行为的初步研究——锶同位素分析技术在考古学中的运用[J]. *第四纪研究*, 2008, (1):50-57. YIN Ruochun, ZHANG Juzhong, YANG Xiaoyong. the preliminary research on prehistoric humans migration behavior of Jiahu Site——Strontium isotope analysis technology in the application of archaeological [J]. *Quaternary research*, 2008, (1): 50-57.
- [11] Frost Ray L, Reddy B Jagannadha, Martens Wayde N, et al. 13. The molecular structure of the phosphate mineral turquoise Raman spectroscopic study. *Journal of Molecular Structure*. May 2006, Vol. 788: 224.
- [12] 陈全莉. 绿松石的激光拉曼光谱研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2009, (2):406-409. CHEN Quanli. Raman spectrum study on turquoise [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, (2):406-409.

- [13] 陈全莉, 亓利剑. 马鞍山绿松石中水的振动光谱表征及其意义[J]. *矿物岩石*, 2007, (1): 30-35.
Chen Quanli, Qi Lijian. Study on the vibrational spectra characters of water in turquoise from Ma'an shan[J]. *Mineralogy and Petrology*, 2007, (1): 30-35.
- [14] 李延祥, 谭宇辰, 贾 淇, 等. 新疆哈密两处古绿松石矿遗址初步考察[J]. *考古与文物*, 2019, (6): 22-27.
Li Yanxiang, Tan Yuchen, Jia Qi, et al. Preliminary investigation on two ancient turquoise mine sites in Hami, Xinjiang Province[J]. *Archaeology and antiquities*, 2019, (6): 22-27.
- [15] 李延祥. 新疆若羌黑山岭古代绿松石矿业遗址调查简报[J]. *文物*, 2020, (8): 4-13.
LI Yanxiang. Brief investigation of the Heishanling turquoise mining site in Ruoqiang County, Xinjiang Province[J]. *Journal of cultural relics*, 2020, (8): 4-13.
- [16] 张登毅. 中原先秦绿松石制品产源探索[D]. 北京科技大学博士学位论文, 2016.
ZHANG Dengyi. Exploration on the provenance of pre-Qin turquoise products in the central plains [D]. Doctoral dissertation of University of Science and Technology Beijing, 2016.
- [17] 曹建恩, 孙金松, 孙建军. 内蒙古阿拉善右旗浩贝如古代绿松石矿业遗址调查简报[J]. *考古与文物*, 2021, (3): 23-32.
CAO Jianen. Brief investigation of the Haobeiru turquoise mining site in Alashan County, Neimenggu Province[J]. *Journal of cultural relics and archeology*, 2021, (3): 23-32.
- [18] 李延祥, 张登毅, 何 弩, 等. 山西三处先秦遗址出土绿松石制品的产源特征探索[J]. *文物*, 2018(2): 86-91.
LI Yanxiang, ZHANG Dengyi, HE Nu, et al. Exploration on the provenance of turquoise products unearthed from three pre-Qin sites, Shanxi Province[J]. *Journal of cultural relics*, 2018(2): 86-91.

PROVENANCE DETERMINATION OF TURQUOISE IN THE SOUTHERN YIGEDIWO SITE OF JINTA COUNTY, GANSU PROVINCE

Zhang Dengyi¹, Li Yanxiang², Xi Guanglan³

1. Department of History and Museology, College of Applied Science and Technology of Beijing Union University, Beijing 100191, China;

2. Institute of Cultural Heritage and History of Science and Technology, University of Science and Technology of Beijing, Beijing 100083, China;

3. National Centre for Archaeology, Beijing 100013, China

Abstract: In this study, nine turquoise samples from the southern Yigediwo Site in Jinta area, Gansu province are detected for their physical phases, compositions and lead and strontium isotopes. The Raman peaks of the turquoise samples are located at $3\,473\text{ cm}^{-1}$, $1\,035\text{ cm}^{-1}$, 815 cm^{-1} , 645 cm^{-1} , 414 cm^{-1} and 223 cm^{-1} , and the strong peaks of the samples are located near $1\,035\text{ cm}^{-1}$. The main components of turquoise are Al_2O_3 , P_2O_5 and CuO , among which $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ content is 32.14% to 37.48%, $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ content is 33.09% to 42.50%, and $w(\text{CuO})$ content is 6.05% to 7.68%. In addition, there are also a small amount of Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , BaO , SnO_2 , SrO , ZnO , VO and other elements. Lead and strontium isotope ratios of $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ are 37.037 to 40.032, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ are 15.039 to 16.333, and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ are 18.500 to 29.685. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ranges from 0.710 054 to 0.712 786. By comparing the data of five turquoise deposits in Xinjiang Hami, and Luonan Tangziya of Shaanxi province, it is concluded that there are at least three different sources of turquoise in Jinta Yigediwo site in the late Neolithic Age, one of which points to Xinjiang Hami. The lead and strontium isotope ratio model, combined with $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} + ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, can successfully distinguish turquoise from different ore sources. Therefore, in the pre-Qin period, the "Turquoise Road" spread along the "Hexi Corridor" in addition to the "Luohe River Line" and "The Western Foothill of Taihang Mountain".

Keywords: turquoise; Pb isotope; Sr isotope; southern Yigediwo Site; turquoise road

ISSN 1001-6872(2022)01-0001-07; CODEN: KUYAE2

Synopsis of the first author: Zhang Dengyi, male, 35 years old, a lecturer (Ph D) of archaeology. Now he is engaged in the research of archaeometry.