

湖北随州曾侯乙墓出土玉器材质分析与产源初探

刘继富¹, 杨明星^{1*}, 苏越¹, 刘越²

1. 中国地质大学(武汉)珠宝学院, 湖北 武汉 430074

2. 扬州市玉器产品质量监督检验中心, 江苏 扬州 225000

摘要 曾侯乙墓位于湖北省随州市郊,是二十世纪重大考古发现之一,其中出土玉石器数量达五百余件,且种类齐全、工艺精湛。利用现代测试仪器对这批玉石器进行全面而科学的鉴定,对于东周时期曾国用玉水平的研究具有重要的学术意义。为了探知曾侯乙墓出土玉器的玉料类型及透闪石玉料可能来源地,以其中的319件玉器为研究对象,采用宝石学与光谱学的研究思路和方法对这些样品进行无损测试。通过十倍放大镜及天平常规宝石学检测仪器对样品的表面特征、受沁程度及种类做出初步判断,利用傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)和X射线荧光光谱仪(XRF)快速、无损的分析出土玉器样品的矿物相及化学成分。研究表明,常规仪器测试结合红外光谱及X射线荧光光谱可以很好的区分出土玉器的材质,在曾侯乙墓出土的319件玉器中,有264件透闪石质玉器,43件大理岩石璧、8件云母质玉器、1件石英岩、1件萤石以及2件水晶环。XRF测试结果显示,透闪石类玉占全部检测样品的82.8%,其主要化学成分为MgO约占20.03%~27.00%(平均值为24.46%),SiO₂约占56.31%~61.17%(平均值为58.99%),CaO约占14.25%~19.91%(平均值为15.42%),Fe_TO约占0.19%~2.06%(平均值为0.551%),计算可知 $m(\text{Mg})/m(\text{Mg}+\text{Fe})$ 的值在0.91~0.99之间,其测试结果范围与标准透闪石含量很接近,该批样品中未检测出阳起石质的软玉。其中,大部分优质透闪石质玉器均出土自主墓室,反映出当时人们的用玉水平及用玉习惯。根据已有研究结果,结合化学成分分析及部分具有特征风化皮层及戈壁料特征的样品,推测曾侯乙墓部分出土玉器的玉料来源于甘肃古玉矿。该结论为进一步研究曾国用玉制度和战国时期玉石之路提供了更多的研究资料。

关键词 曾侯乙墓;透闪石玉;红外光谱;X射线荧光光谱;用玉水平;玉料来源

中图分类号: O433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)01-0215-07

引言

曾侯乙墓位于湖北省随州市城关西郊擂鼓墩附近东方团坡上,距离随州市中心约2 km,于1978年发掘,下葬年代为公元前433年或稍后(即战国早期)。该墓分为东室、西室及北室,其中东室为主墓室,西室和北室为陪葬墓室。共出土文物15404件,包括九鼎八簋、青铜双银编钟、二十八宿衣箱、四龙曾徽、尊盘、鹿角立鹤等珍贵文物,其材质涵盖青铜器、黄金、丝麻织品、木制品、玉质、石质等^[1]。作为目前记载曾国文化历史资料最完整的墓葬,曾侯乙墓受到了研究者的广泛关注,特别是青铜器、漆器、竹简、音乐等都有较为系统的研究。与之相比,关于曾侯乙墓出土玉器的研究还相对较少,主要集中在工艺、纹饰^[2-3]、形制、功能^[4]等几

个方向。统计已有发掘资料,曾侯乙墓出土的玉、石器共535件(组),其中,玉器(包括透闪石玉、大理岩、石英质玉、云母质玉等)有319件,目前仅有学者对部分典型透闪石玉做了成分分析^[5-6],尚未见对曾侯乙墓出土玉器的材质进行系统归纳整理的文章。部分玉器的材质还未经过科学鉴定,客观上会影响曾侯乙墓玉器的玉料来源和文化交流的研究进展。

近年来,科技手段在出土玉器研究中的应用日益广泛,能量色散型X射线荧光光谱、拉曼光谱、X射线衍射和质子激发X射线荧光光谱等无损技术可以快速鉴定样品的材质,并对其成分进行半定量分析^[7-8]。对曾侯乙墓319件出土玉器进行科技分析,利用红外光谱、X射线荧光光谱等快速无损的对出土玉器材质进行鉴定,依托宝石学分析手段探讨战国时期曾国的用玉水平,同时辅以部分特征样品的表现特征

收稿日期:2020-11-11,修订日期:2021-02-19

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFF0215403),“考古中国”重大考古项目(文物保函[2020]444号)资助

作者简介:刘继富,1995年生,中国地质大学(武汉)珠宝学院硕士研究生 e-mail:liujf@cug.edu.cn

* 通讯作者 e-mail: yangc@cug.edu.cn

对曾侯乙墓出土透闪石质玉器的玉料来源进行初步分析。

1 实验部分

1.1 样品

319 件玉器研究对象, 均出自曾侯乙墓室内, 由湖北省博物馆提供。器型丰富, 大致可分为玉璧(环)、玉璜(珩)、玉佩、玉玦、玉管、玉饰等。

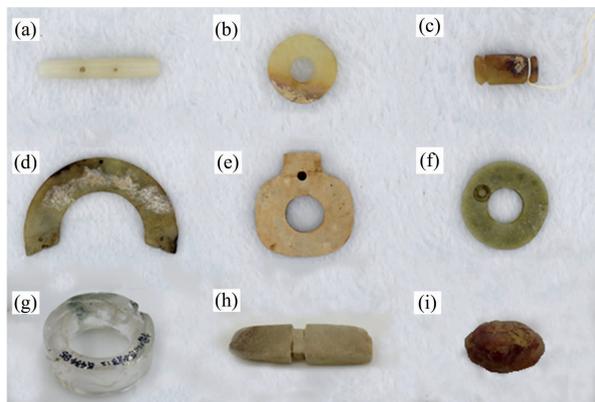


图 1 部分曾侯乙墓出土玉器样品

(a): 未受沁透闪石; (b): 轻度受沁透闪石; (c): 中度受沁透闪石; (d): 重度受沁透闪石; (e): 大理岩; (f): 云母质玉; (g): 水晶; (h): 萤石; (i): 石英岩

Fig. 1 Some archaic jade from the tomb of Marquis Yi of Zeng

(a): No soak-induced color tremolite; (b): Light soak-induced color tremolite; (c): Medium soak-induced color tremolite; (d): Severe soak-induced color tremolite; (e): Marble; (f): Mica jade; (g): Crystal; (h): Fluorite; (i): Quartzite

1.2 方法

利用 10 倍放大镜、天平等常规仪器测试出土玉器的宝石学特征, 主要表征样品的颜色、光泽、比重及受沁程度, 对于一些受沁严重, 肉眼难以鉴定的玉器, 还需进一步测试。

运用傅里叶变换红外光谱 (FTIR)、X 射线荧光光谱仪 (XRF) 等测试出土玉器的矿物相及化学成分。出于对文物安全的考虑及测试仪器对样品形貌的要求, 选取 311 件进行红外光谱测试, 对其中的 237 件进行 XRF 测试。

红外光谱测试利用中国地质大学(武汉)珠宝学院的 Bruker TENSOR 27 红外光谱仪完成。具体的测试条件: 采用反射法, 通过 K-K 转换图谱, 测量范围是 $400 \sim 4\,000 \text{ cm}^{-1}$, 分辨率为 4 cm^{-1} , 扫描时间是 32 s, 扫描次数为 32 次。

XRF 测试使用的仪器是中国地质大学(武汉)珠宝学院的能量色散型 X 射线荧光光谱仪, 仪器型号为 ARL QUANT' EDXRF Analyzer, 配置有铑 (Rh) 靶 X 射线管和 PCD (Peltier Cooled Detector) 探测器(探测器型号: 面积 15 mm^2 , 厚度 3.5 mm , 分辨率 160 eV), 准直器 3.5 mm , Mylar 膜(厚度为 $3.5 \mu\text{m}$)。正式测试前对仪器进行能量校正, 及分辨率及稳定性的调试。采用实验室已建立的定量测定透闪石玉成分的工作方法。

2 结果与讨论

测试结果见表 1—表 3 及图 2。通过常规宝石学测试、红外光谱及 XRF 测试结果分析, 319 件曾侯乙墓出土玉器样品的矿物种类可以分为六种类型, 分别为透闪石、大理岩、云母、石英岩、萤石、水晶。

表 1 出土玉器样品的基本宝石学特征

Table 1 Basic gemological characteristics of archaic jades

样品类别	颜色	光泽	沁色	表面受沁程度	比重
透闪石类	以白、青白、灰白为主, 有少量青黄色、青色、青花的玉器	油脂光泽-弱油脂光泽	白色、褐色	无-重度受沁	2.80~3.10(通常 2.95)
大理岩类	白色、褐色	土状光泽	白色、褐色	严重受沁	2.60~2.90
云母质类	青灰色、青黄色、浅褐色	蜡状光泽	褐黄色、浅褐色	极轻微-轻微受沁	2.70~2.90
石英质类	褐红色	油脂光泽	未受沁	—	2.60
萤石类	灰白色	弱玻璃光泽	未受沁	—	3.16
水晶类	无色	玻璃光泽	未受沁	—	2.63~2.65

2.1 透闪石

共有 264 件透闪石质玉器, 占曾侯乙墓出土玉器的 82.8%, 是曾侯乙墓出土玉器的主要材质。红外光谱检测与标准透闪石吸收峰位基本符合^[9](表 2)。透闪石-阳起石类质同象系列的化学式为: $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$, 依据 Mg、Fe 含量的不同, 可以细分软玉。当 $m(\text{Mg})/m(\text{Mg} + \text{Fe}) \geq 0.9$ 称为透闪石; $0.5 \leq m(\text{Mg})/m(\text{Mg} + \text{Fe}) < 0.9$ 称为阳起石; $m(\text{Mg})/m(\text{Mg} + \text{Fe}) < 0.5$ 称为铁阳起石。已测试的 200 件透闪石质玉器中, 主要化学成分 $w(\text{SiO}_2)$, $w(\text{MgO})$ 以及 $w(\text{CaO})$ 的数值较稳定, 与理论值相当: w

(SiO_2) 为 56.31%~61.17%, 平均值为 58.99%; $w(\text{MgO})$ 为 20.03%~27.00%, 平均值为 24.46%; $w(\text{CaO})$ 为 14.25%~19.91%, 平均值为 15.42%。次要化学成分 $w(\text{FeO})$ 为 0.187%~2.056%, 变化范围不大。除此之外, 样品中还有一定量的 Al, Mn, Na, K 和 Ti 等微量元素(表 2)。这些样品的 $m(\text{Mg})/m(\text{Mg} + \text{Fe})$ 值在 0.91~0.99 之间, 因此, 所有样品应该定名为透闪石质玉。另外, 样品中主要化学成分 $w(\text{SiO}_2)$, $w(\text{MgO})$, $w(\text{CaO})$ 和次要化学成分 $w(\text{Fe})$ 的含量之和超过 98.5%, 表明其他杂质元素在样品中含量极低, 样品的主要矿物组成为透闪石, 属优质玉石。

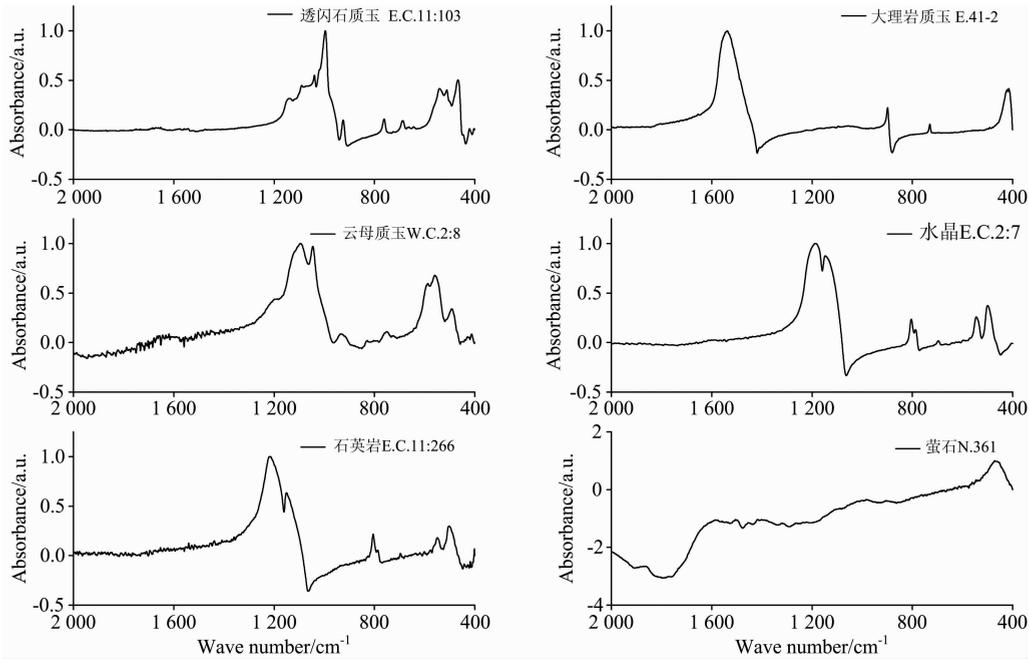


图 2 不同类别出土玉器红外光谱图

Fig. 2 Infrared spectra of different categories archaic jade infrared spectrogram

表 2 出土玉器的红外光谱谱峰归属

Table 2 Attribution of infrared spectrum peaks of the unearthed jade

材质	峰位	标准谱峰	归属指派
透闪石	1 144, 1 039, 997, 924	1 137, 1 040, 997, 921	O—Si—O, Si—O—Si 的反对称伸缩振动及 O—Si—O 对称伸缩振动
	761, 687	762, 687	Si—O—Si 对称伸缩振动
	510, 461, 419	538, 513, 467	Si—O 的弯曲振动和 M—O 的晶格振动
大理岩	1 538	1 450	C—O 键的不对称伸缩振动
	897, 729	892, 726	C—O 键的弯曲振动
云母	1 080, 1 037	1 022	Si—O—Si 的伸缩振动
	930, 835	935, 833, 803	Al—O ⁻ 面外振动 (830 附近), OH 的摆动 (950~800)
	748	754	Al—O—Si 面内振动 (750 附近)
	537, 482	533, 479, 412	Si—O 的弯曲振动 (530 附近), OH 的平移振动 (520~400)
石英岩	1 180, 1 147	1 168, 1 086	Si—O—Si 反对称伸缩振动
	803, 785, 695, 541, 498	798, 779, 695, 515, 462	Si—O 键对称伸缩振动
水晶	1 184, 1 147	1 170, 1 085	Si—O—Si 反对称伸缩振动
	804, 786, 696, 543, 498	798, 779, 695, 519, 462	Si—O 键对称伸缩振动

2.2 大理岩

共有 43 件大理质类玉器，大理岩类玉器多为石璧(表 1)。部分石璧表面留有打磨痕迹，可见大量平行抛光纹。红外光谱与白云石吸收峰接近^[10]，在 892 和 726 cm⁻¹ 附近有吸收峰(表 2)。大理岩的化学式为 CaCO₃，通常含少量 Mg, Fe 和 Mn 元素，有时含微量元素 Sr, Zn, Co 和 Ba 等。大理岩的化学成分随不同的矿物组成而变化。前人研究提出，当岩石中 SiO₂ + Al₂O₃ 的含量大于 35%，该岩石不能定名为大理岩。只有岩石中 SiO₂ + Al₂O₃ 含量满足小于 30% 的条件时，才可确定样品为大理岩^[11]。根据表 2，所有样品的 SiO₂ + Al₂O₃ 的含量小于 30%，属于大理岩。

2.3 云母

共有 8 件云母质玉器，质地较细腻，部分玉器表面有大

量刮痕。最强吸收峰 1 037 cm⁻¹ 为 Si—O—Si 的伸缩振动，属于 ν Si(Al_N)—O 和 ν Si—O—Si(Al_N)，748 cm⁻¹ 附近的吸收与四次配位 Al_N 有关，属面内 Si—O—Al_N 振动，谱带强度随 Al_N 数目减少而降低^[12]。白云母的化学式为 KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂，理论上含 SiO₂ 45.2%，Al₂O₃ 38.5%，K₂O 11.8% 以及 H₂O 4.5%，此外，还含少量 Na, Ca, Mg, Ti, Cr, Mn 和 Fe 等。在红外光谱测试时，样品 W. C. 2 : 6 的表面测试到石英的光谱，可能样品中含有较多石英杂质，从而导致此样品的 SiO₂ 的含量明显比其他样品更高。这些玉器的主要化学成分与白云母的理论含量相去甚远，可能与样品本身含有其他杂质矿物有关，已做的测试尚不能解答。并且，XRF 测试属于半定量测试，Al 和 Si 的含量可能存在偏差，具体的化学成分含量，还需进一步研究。

2.4 石英岩

只有 1 件是石英岩质玉器, 为玉孔芯, 表面起伏不平, 没有经过精细打磨抛光。石英质玉器主要化学成分均为 SiO_2 。具有 $1\ 090\ \text{cm}^{-1}$ 附近的 Si—O—Si 反对称伸缩振动峰,

$800\ \text{cm}^{-1}$ 附近和 $470\ \text{cm}^{-1}$ 附近的 Si—O 键对称伸缩振动峰^[13](表 2)。石英质玉器的 SiO_2 含量超过 95%, $\omega(\text{MgO})$ 仅有 2.1%, 除此以外, 还含有极少量的 Al, Na 和 P 等微量元素(表 3)。

表 3 部分出土玉器样品主要化学成分

Table 3 Main chemical components of some archaic jade samples

编号	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{MgO}/\%$	$\text{CaO}/\%$	$\text{FeO}/\%$	$\text{Al}/10^{-6}$	$\text{Mn}/10^{-6}$	$\text{Na}/10^{-6}$	$\text{K}/10^{-6}$	$\text{Ti}/10^{-6}$	$\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$
E. 243	58.2	22.6	16.3	2.0	4 344	1 651	745	1 051	56	0.92
透闪石 W. C. 7; 7	59.4	24.2	15.3	0.7	2 738	302	607	672	138	0.97
E. 48	58.7	25.2	14.8	0.9	3 020	768	694	211	17	0.97
编号	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{MgO}/\%$	$\text{CaO}/\%$	$\text{FeO}/\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3/\%$	$\text{Mn}/10^{-6}$	$\text{Na}/10^{-6}$	$\text{K}/10^{-6}$	$\text{Ti}/10^{-6}$	$\text{CaO}:\text{MgO}$
E. 75-13	1.6	15.7	38.7	0.1	1.375	209	780	623	207	2.46
大理岩 N. 344-2	1.7	16.2	38.1	0.1	1.720	171	639	917	210	2.35
W. C. 6; 3	2.1	15.2	38.7	0.1	0.916	113	341	1097	246	2.54
编号	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{MgO}/\%$	$\text{CaO}/\%$	$\text{FeO}/\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3/\%$	$\text{K}_2\text{O}/\%$	$\text{Mn}/10^{-6}$	$\text{Na}/10^{-6}$	$\text{Ti}/10^{-6}$	$\text{P}/10^{-6}$
N. 341	62.7	3.7	2.2	1.9	8.6	15.9	1 020	1 292	966	779
云母质 W. C. 2; 6	78.5	2.3	0.9	0.5	4.4	5.3	99	834	3 825	544
E. C. 8; 6	61.2	3.3	0.2	4.2	8.8	14.5	342	1 110	1 813	276
编号	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{MgO}/\%$	$\text{CaO}/\%$	$\text{FeO}/\%$	$\text{Al}/10^{-6}$	$\text{Mn}/10^{-6}$	$\text{Na}/10^{-6}$	$\text{K}/10^{-6}$	$\text{Ti}/10^{-6}$	$\text{P}/10^{-6}$
石英岩 E. C. 11; 266	96.4	2.1	0.3	0.4	3 283	62	665	2 563	1 003	1 353
编号	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{MgO}/\%$	$\text{CaO}/\%$	$\text{FeO}/\%$	$\text{Al}/10^{-6}$	$\text{Mn}/10^{-6}$	$\text{Na}/10^{-6}$	$\text{K}/10^{-6}$	$\text{Ti}/10^{-6}$	
萤石 N. 361	1.0	0.7	97.9	0.1	1 116	32	271	1 141	307	
编号	$\text{SiO}_2/\%$	$\text{MgO}/\%$	$\text{CaO}/\%$	$\text{FeO}/\%$	$\text{Al}/10^{-6}$	$\text{Mn}/10^{-6}$	$\text{Na}/10^{-6}$	$\text{K}/10^{-6}$	$\text{Ti}/10^{-6}$	$\text{P}/10^{-6}$
水晶 E. C. 2; 7	98.5	1.3	0.0	0.0	1 880	11	436	59	3	254

2.5 萤石

只有 1 件是萤石质玉器, 其边缘有大量破损缺口, 表面有凹凸不平的打磨痕迹, 未经过抛光。萤石(CaF_2)是无水卤化物, 具有聚合性很强的离子结构, 其红外光谱通常形成极宽的强吸收谱, 在 $260\ \text{cm}^{-1}$ 横向(TO)和 $470\ \text{cm}^{-1}$ 纵向(LO)频率定义的频率极限值之间伸展^[7]。因仪器测试范围为 $400\sim 4\ 000\ \text{cm}^{-1}$, 萤石的吸收谱带不能完整显示出来, 仅能在 $400\ \text{cm}^{-1}$ 附近观察到部分谱带。由于 XRF 测试难以测出原子序数 < 12 的元素, 因此, 限法测试萤石中的 F 元素, 仅能测得 Ca 元素的相关数据(表 3)。

2.6 水晶

共有 2 件水晶类玉器, 一件伴有绿色杂质, 另一件的裂隙中充斥着黑色杂质。水晶主要化学成分为 SiO_2 , 红外谱峰及化学成分与石英岩基本相同(表 2), 与石英岩相比 SiO_2 含量达 98%(表 3)。

2.7 用玉水平分析

曾侯乙墓玉器大多数出自东室内, 即曾侯乙主棺放置的椁室, 少量出自西室和北室。如表 4 所示, 东室内一共出土玉器有 265 件, 其中, 透闪石质玉有 224 件。东室主棺内几乎全部出土精美透闪石质玉器, 不仅如此, 散落在东室内的透闪石质玉也可能来自倾覆的主棺内。对比东室主棺与东室陪葬棺, 显然西室陪葬棺出土玉器的数量、材质及制作精美程度远逊于主棺的玉器。可见, 当时人们是按照墓主人身份的尊贵程度来选料制作玉器, 人们对玉料的优劣已具备一定认知。当时的贵族们更偏好使用透闪石质玉制品, 透闪石质玉应属于当时最优的玉料, 给曾侯乙使用的玉器及随葬玉

表 4 测试样品的出土位置、材质及数量统计

Table 4 The excavated location, material and quantity statistics of the test samples

出土位置	材质	数量
东室	东室主内棺	透闪石质玉 175
		石英岩 1
	东室主外棺	透闪石质玉 8
	东室外棺内底西侧	透闪石质玉 3
		透闪石质玉 16
	东室陪葬棺	云母质玉 1
		水晶 2
	东室殉狗棺	大理岩 2
		透闪石质玉 22
	东室	云母质玉 1
	大理岩 34	
东室外采集	透闪石质玉 1	
西室		透闪石质玉 34
	西室陪葬棺	云母质玉 5
		大理岩 3
	西室椁室内	透闪石质玉 2
	西室	透闪石质玉 1
		透闪石质玉 2
北室		云母质玉 1
		大理岩 4
		萤石 1

器基本上皆使用透闪石质玉。样品中在东室内发现的尺寸差不多一致的大理岩石璧, 可能是用于坠饰棺盖上的布料, 出

土时位于主棺最上层。尽管西室陪葬棺中出土的透闪石质玉器的数量略多于东室陪葬棺，但是西室出土玉器均为素面玉器，且出土两件半成品玉器，玉器表面经常留有加工痕迹，制作工艺较粗糙，因此，西室陪葬者的身份地位不一定高于东室陪葬者。

依据上述曾侯乙墓玉器使用玉料的情况，可以看出战国早期开始，玉器已经是尊贵身份、地位的象征。当时的人们已经可以从玉料的纯净度、硬度等方面判别玉料的优劣，并且根据玉料的优劣区分使用者身份和地位。与曾侯乙墓玉器的用玉情况类似，河北平山中山国王墓也是以质地优良且工艺精美的玉器随葬身份高贵的墓主，以质地稍差、工艺稍次的玉器随葬身份、地位较低的墓主。中山国王墓的玉器多数为战国中期，少数为西周、春秋、战国早期和晚期，文化内涵较复杂。中山国 1 号墓是中山王的墓葬，椁室中出土一些制作精美的小型葬玉和佩玉。椁室内的玉器约 280 件，葬玉有 213 件，多是优质透闪石质玉，质地细腻。素面玉器表面抛光明亮，有纹饰的玉器也工艺精湛，体现了中山国国王的尊贵身份。而 3 号墓的墓主虽然是王的兄弟，但其墓中出土

的玉器玉料质地较粗，几乎无优质玉料，与 1 号墓相去甚远^[14]。由此可见，当时的人们多是按照使用玉器的玉料和工艺优劣区分所有者的地位尊卑，且身份地位不同拥有的玉器的数量和品质差别极大。

2.8 透闪石玉可能来源探析

曾侯乙墓出土玉器中有数十件玉器留有戈壁料表面的风化坑，形似“柚子皮”。样品有戈壁料特征的玉料颜色多样，有白、青白、青黄等，青黄色玉料数量最多。戈壁料制成的玉器，尺寸较小，包括玉下颌托、璞料、玉片以及兽形玉饰等，可能由于玉料的块度限制，这些玉器才保留有表皮特征。还有部分玉器的边缘保留有风化皮，风化皮多为褐色，表面光泽差，质地粗糙。其中，墓室内棺出土的十余件璞料完整展示了玉料具有较厚的风化皮，皮壳表面凹凸不平，且皮壳和玉质之间界限清晰，部分样品的分界处有暗色矿物沉积。对部分风化皮料[如图 3(e)]的石皮和玉质测试了化学成分含量，两者的主要化学成分 SiO_2 ， MgO ， CaO 以及 FeO 的含量非常接近，仅在微量元素 Al，Mn，K 和 Ti 的含量上略有差别。

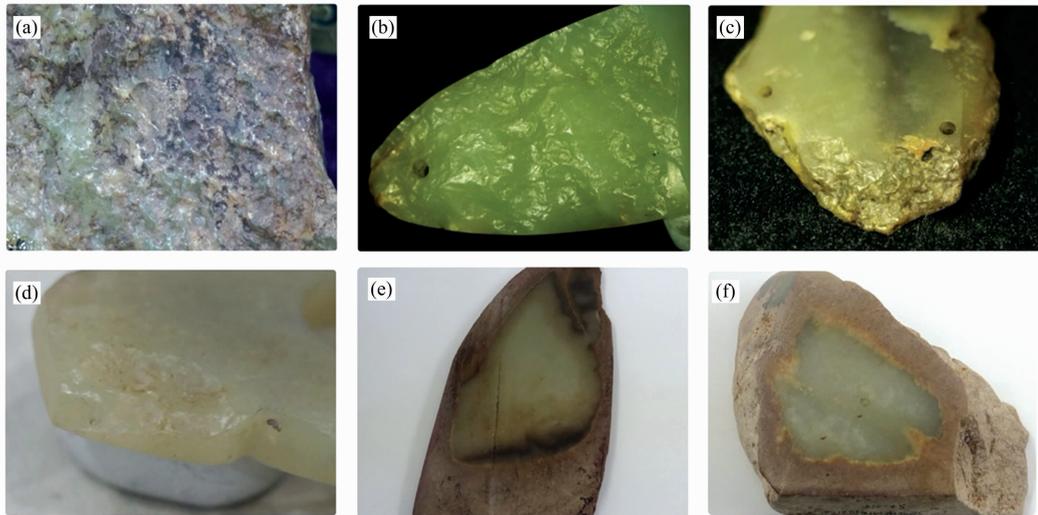


图 3 部分具有产地信息特征的样品

(a)—(d): 保留戈壁料表皮特征的样品; (e)—(f): 具有风化皮层的样品

Fig. 3 Some samples with origin information

(a)—(d): Retaining the epidermal characteristics of gobi materials; (e)—(f): With weathered skin

根据其表面特征及成分特征，这部分玉料为典型的戈壁料，调查研究表明，我国和田玉戈壁料在陇西及南疆的茫茫戈壁滩集中分布，鉴定特征明显。近年来，在甘肃省河西走廊发现了一系列可以确定的年代最早的透闪石质玉采矿遗址，包括马鬃山径保尔玉矿遗址(2007)、寒窑子玉矿遗址(2014)、早峡玉矿遗址(2019)^[15-16]。在这些遗址中发掘的玉料基本是较为优质的透闪石质玉，产状特征多为山料，有少量戈壁料，包括白玉、青白玉、黄玉、黄白玉、糖玉和墨玉(青花玉)等，并且，部分透闪石质玉料有褐色或黄白色的风化皮，外观上类似曾侯乙墓中具有风化皮壳的璞料。已有的研究表明，马鬃山的玉料在西汉早期已进入中原(徐州西汉早期玉器玉料的来源之一)，早于张骞西行最早的时间。而

早峡玉矿遗址的发现，很可能将河西走廊地区玉料进入中原地区的年代大大提前。早峡玉矿遗址主体为骊马文化遗存，其主体年代为春秋时期(700B. C.—500B. C.)，然而根据地表采集和部分房址内出土的篮纹陶片及双耳罐残片，推测该遗址的上限可到齐家文化和四坝文化时期，年代推定在殷商时期(1700B. C.—1500B. C.)。马鬃山矿点以及附近古矿点出土的玉料均带有厚风化皮壳，与曾侯乙墓出土的一批玉料十分相似，唯一的区别是曾侯乙墓出土玉器中的皮壳为棕色，颜色较深，可能是埋藏过程改变的。因此，马鬃山玉矿可能是曾侯乙墓玉料的来源之一。

综合以上分析，曾侯乙墓出土玉器部分透闪石质玉器玉料很可能来源于甘肃古玉矿。有学者认为，从新石器时期至

隋唐时期,我国透闪石质的来源处在多元一体化进程中。玉料使用情况从以“就地取材”为主,逐渐转变为向西北地区集中的趋势,至西汉张骞通西域之后,新疆玉料才开始大量输入中原,古代玉料的使用逐步由多元走向一体^[17]。曾侯乙墓属战国早期,恰好处在玉料来源多元化和来源一体化的中间。本工作的测试结果与此观点一致,表明此时所用玉料可能部分来自甘肃古玉矿。

3 结 论

通过红外光谱及 XRF 测试分析,结合宝石学基本特征,曾侯乙墓出土的 319 件玉器有透闪石、大理岩、云母、石英岩玉、萤石、水晶六大类。其中,透闪石有 264 件,大理岩有

43 件,云母有 8 件,另外还有 2 件水晶、1 件石英岩、1 件萤石。透闪石质玉器占总数的 82.8%,是曾侯乙墓出土玉器的主要材质。

曾侯乙墓东室主棺内的出土玉器几乎都是透闪石质玉器。主棺内玉器的数量、材质优劣度及工艺水平远超过陪葬棺内玉器。显然,当时的人们已经可以从玉料的纯净度、硬度等方面判别玉料的优劣,并且根据玉料的优劣区分使用者的身份和地位。

XRF 可以用于玉料产源的初步分析,结果表明,曾侯乙墓部分透闪石质玉器可能来源于甘肃古玉矿,其玉料的开采年代与早峡玉矿遗址相仿,并且部分玉料特征与马鬃山遗址发掘出的玉料相似。

References

- [1] Hubei Provincial Museum(湖北省博物馆). The Tomb of Marquis Yi of Zeng state(曾侯乙墓). Wuhan: Cultural Relics Press(武汉:文物出版社), 1989.
- [2] GUO De-wei(郭德维). Collectors(收藏家), 2001, (12): 28.
- [3] CAO Miao-cong, LI Jing(曹妙聪, 李 晶). Journal of Gems and Gemmology(宝石和宝石学杂志), 2007, (3): 40.
- [4] ZHANG Chang-ping(张昌平). Chinese Historical Relics(中国历史文物), 2008, (1): 9.
- [5] ZHU Qin-wen, YANG Ruo-chen, HAN Zhuang-li, et al(朱勤文, 杨若晨, 韩壮丽, 等). Jiangnan Archaeology(江汉考古), 2009, (1): 106.
- [6] ZHU Qin-wen, CAI Lu-wu, HAN Zhuang-li, et al(朱勤文, 蔡路武, 韩壮丽, 等). Jiangnan Archaeology(江汉考古), 2011, (3): 102.
- [7] DONG Jun-qing, SUN Guo-ping, WANG Ning-yuan, et al(董俊卿, 孙国平, 王宁远, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2017, 37(9): 2905.
- [8] WANG Yi-fan, WANG Hui-min, ZHANG Ya-hong(王一凡, 王会民, 张娅红). Sciences of Conservation and Archaeology(文物保护与考古科学), 2018, 30(4): 91.
- [9] MIN Meng-yu, HUANG Feng-chun, LUO Ze-min, et al(闵梦羽, 黄凤春, 罗泽敏, 等). Journal of Gems and Gemmology(宝石和宝石学杂志), 2017, 19(1): 1.
- [10] GE Jian-sheng(葛健胜). Infrared(红外), 2013, 34(9): 44.
- [11] CHI Guang-cheng, WU Yue, WANG Hai-jiao, et al(迟广成, 伍 月, 王海娇, 等). Rock and Mineral Analysis(岩矿测试), 2018, 37(1): 43.
- [12] YANG Chun, ZHANG Ping, ZHANG Kun(杨 春, 张 平, 张 琨). Resources Environment & Engineering(资源环境与工程), 2009, 23(1): 74.
- [13] CHEN He-sheng, SUN Zhen-ya, SHAO Jing-chang(陈和生, 孙振亚, 邵景昌). Bulletin of the Chinese Ceramic Society(硅酸盐通报), 2011, 30(4): 934.
- [14] YANG Jian-fang(杨建芳). Cultural Relics(文物), 2008, (1): 53.
- [15] CHEN Guo-ke, JIANG Chao-nian, WANG Hui, et al(陈国科, 蒋超年, 王 辉, 等). Archaeology(考古), 2015, (7): 3.
- [16] CHEN Guo-ke, QIU Zhi-li, JIANG Chao-nian, et al(陈国科, 丘志力, 蒋超年, 等). Archaeology and Cultural Relics(考古与文物), 2019, (4): 12.
- [17] XU Lin(徐 琳). Palace Museum Journal(故宫博物院院刊), 2020, (2): 94.

Analysis of Material and Source of Archaic Jade From the Tomb of Marquis Yi of Zeng in Suizhou, Hubei Province

LIU Ji-fu¹, YANG Ming-xing^{1*}, SU Yue¹, LIU Yue²

1. Gemmological Institute, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China

2. Yangzhou Jade Product Quality Supervision and Inspection Center, Yangzhou 225000, China

Abstract Located on the outskirts of Suizhou City, Hubei Province, the tomb of Marquis Yi of Zeng state is one of the major archaeological discoveries of the 20th century, among which more than 500 pieces of jade and stone tools have been unearthed. The comprehensive and scientific identification of these jade and stone tools with modern testing instruments will be of great academic significance for studying the level of jade used in Zeng during the Eastern Zhou Dynasty. In order to obtain the types and possible sources of archaic jade, this paper takes 319 jade articles as the research objects and adopts the research ideas and methods of gemology and spectroscopy to carry out non-destructive tests on these samples. The surface characteristics, erosion degree and types of samples were preliminarily judged by conventional gemological detection instruments such as tenfold magnifying glass and electronic balance. Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) and X-ray fluorescence spectrometer (XRF) were used to analyze the mineral phase and chemical composition of unearthed jade samples quickly and nondestructive. The results show that the materials of unearthed jade can be well distinguished by conventional instrument test combined with infrared spectrum and X-ray fluorescence spectrum. Among the 319 jade articles unearthed from the tomb of Marquis Yi of Zeng, there are 264 tremolite, 43 marble, 8 mica, 1 quartzite, 1 fluorite and 2 crystal. XRF test results showed that tremolite accounted for 82.8% of all samples, and its main chemical composition ranged from $MgO=20.03\% \sim 27.00\%$, $SiO_2=56.31\% \sim 61.17\%$, $CaO=14.25\% \sim 19.91\%$, $Fe_2O_3=0.19\% \sim 2.06\%$, and the calculated value of $m(Mg)/m(Mg+Fe)$ ranged from 0.91~0.99. It can be seen that tremolite jade is the main material of archaic jade from the tomb of Marquis Yi of Zeng. Among them, most of the high-quality tremolite jades were unearthed in independent tombs, reflecting people's level of using jade and their habits of using it at that time. According to the current research results, combined with the chemical composition analysis and some samples with characteristic weathering cortex and gobi material characteristics, it is speculated that part of archaic jade came from the ancient jade mine of Gansu province. The conclusion of this paper provides more data for further study on the jade system of Zeng state and the Jade Road in the Warring States period.

Keywords The tomb of Marquis Yi of Zeng; Tremolite jade; FTIR; XRF; Level of usingjade; Jade sources

(Received Nov. 11, 2020; accepted Feb. 19, 2021)

* Corresponding author