

新郑西亚斯东周玉器材料属性与加工工艺的科技分析

刘 珺^{1,2}, 樊温泉³, 胡永庆³, 刘 松^{1,2}, 李青会^{1,2*}

1. 中国科学院上海光学精密机械研究所科技考古中心, 上海 201800
2. 中国科学院大学材料与光电研究中心, 北京 100049
3. 河南省文物考古研究院, 河南 郑州 450000

摘 要 中国玉文化源远流长, 治玉工艺经过各个时代的不断发展和完善, 在一定程度上能反映古代社会生产力发展水平及文化、贸易、技术交流等信息。利用能量色散型 X 射线荧光光谱(EDXRF)、激光拉曼光谱(LRS)、超景深光学显微系统(OM)等分析技术, 结合硅胶覆膜微痕复制技术, 对河南省新郑西亚斯东周墓地出土的一批玉器进行科技分析。首先利用化学成分和物相结构分析技术确定了玉器材质的矿物属性, 其次利用显微分析技术表征了玉器表面及穿孔内部和印模的加工痕迹, 特别是阴刻纹饰和穿孔微痕特征, 最后探讨了玉器样品的材料属性和加工工艺两者之间的联系。化学成分和物相结构分析结果表明, 所分析的西亚斯东周玉器材质丰富, 主要矿物组成有滑石、透闪石、水晶、云母等。玉器表面纹饰微痕特征分析表明, 所分析玉器阴刻工艺采用了两种加工工具, 分别是砣具和手持硬质工具。穿孔微痕分析特征表明, 钻孔包括单面钻孔和双面/多面钻孔两种方式, 钻孔工艺则有实心钻、管钻等。部分玉器钻孔形状和内部微痕特征表明, 尽管均采用了实心钻工艺, 但所采用的实心钻头在形状上存在差异, 同时, 也存在是否配合解玉砂进行钻孔的差异。不同材料属性的玉器采用了不同的加工工艺。滑石质玉器, 莫氏硬度 1, 器型主要为玉片饰, 其表面阴刻纹饰主要采用手持硬质工具进行刻画, 钻孔主要采用了双面钻孔方式, 并使用了实心钻头未添加解玉砂进行加工, 钻头形状可能为圆锥状; 云母质玉器, 莫氏硬度 2~3, 器型主要为玉块片饰, 纹饰采用了砣具添加解玉砂的加工工艺, 钻孔方式为单面钻孔, 采用了管钻工艺。透闪石型玉器, 莫氏硬度 5~6, 器型主要为玉片饰, 表面纹饰采用砣具配合解玉砂砣刻, 以双面钻孔的方式为主, 钻孔工艺为实心钻头配合解玉砂工艺, 钻头形状与滑石类样品一致, 为圆锥状。水晶质玉器, 莫氏硬度 7, 均为珠饰, 表面无纹饰, 钻孔方式为双面/多面钻孔, 钻孔工艺为实心钻配合解玉砂工艺, 且钻头可能为圆柱形。研究表明, 玉器表面纹饰所采用的阴刻工艺和钻孔工艺, 与玉器本身的材料属性、器型等存在密切关系。

关键词 东周玉器; 材料属性; 微痕特征分析; 硅胶覆膜

中图分类号: O433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)11-3637-09

引 言

治玉工艺是古代玉器研究的重要内容之一, 体现了古代社会生产力、手工业发展水平等诸多社会信息, 对研究古代社会经济、文化的发展状况有重要意义。微痕分析是研究古代玉器工艺的主要手段, 通过观察和分析玉器纹饰及穿孔内部或印模表面等加工微痕, 反推古代玉器制作工艺。Yue^[1]、Douglas^[2]等利用微痕分析法研究了商代、西周等时期的一些古玉样品。叶晓红则分别对桐柏月河一号春秋墓出土玉器

的阴刻技术^[3]以及殷墟妇好墓出土玉器的切割技术^[4]和圆雕工艺^[5]进行了重点研究, 取得了丰硕成果。以往的治玉工艺研究注重微痕分析, 对玉器材料属性及其与治玉工艺之间关系研究略显不足。

选取河南西亚斯东周墓地出土的部分玉器进行科技分析, 应用多种光学无损分析技术, 包括能量色散型 X 射线荧光光谱(energy dispersive X-ray fluorescence, EDXRF)、激光拉曼光谱(laser Raman spectroscopy, LRS)、超景深光学显微系统(optical microscope, OM)等, 并结合硅胶覆膜方法, 对其材料属性、纹饰、钻孔等微痕特征进行观测和表征, 并

收稿日期: 2018-09-21, 修订日期: 2019-01-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(11374314)和上海市科学技术委员会项目(18dz2304700)资助

作者简介: 刘 珺, 1991 年生, 中国科学院上海光学精密机械研究所硕士研究生 e-mail: liujun@siom.ac.cn

* 通讯联系人 e-mail: qinghuil@sina.com

初步探讨了材料属性与治玉工艺之间的联系。

1 实验部分

1.1 样品

河南西亚斯东周墓地位于新郑市郑韩故城东城外的西亚斯国际学院, 该墓地属于郑韩故城李马墓葬区的一部分, 以春秋战国时期的墓葬为主, 出土了大量陶器、玉器、青铜等

随葬品。样品由河南省文物考古研究院提供, 小计 11 件, 年代为东周时期, 器型为玉片饰、玉玦、玉柱和珠饰等。样品详细信息见表 1。典型样品照片见图 1。其中 HNXYS-16 由于表面纹饰较少, 未进行微痕分析。所分析玉器样品表面较为干净, 未发现有明显的污染痕迹。考虑到文物样品的安全性问题, 在测试之前, 选取样品干净区域, 用少量酒精进行擦拭。

表 1 玉器样品的基本情况

Table 1 Summary table of features for jade samples observed

编号	出土编号	器名	样品描述
HNXYS-2	M47:12-5	玉片饰(残)	不透明青白色, 残长 2.10 cm, 宽 3.00 cm, 厚 0.10 cm
HNXYS-4	M76:2	玉玦	绿色, 圆形, 外径 4.00 cm, 内径 0.90 cm, 厚 0.05~0.10 cm
HNXYS-6	M83:19	水晶珠	圆柱形, 直径 1.30 cm, 厚 0.80 cm
HNXYS-8	M83:32	水晶珠	扁圆柱形, 直径 2.75 cm, 厚 0.85 cm
HNXYS-10	M153:15	水晶珠	圆柱形, 直径 1.00 cm, 厚 0.66 cm
HNXYS-12	M280:2	玉片饰	半透明青白色, 梯形, 高 3.85 cm, 顶边长 3.40 cm, 底边长 4.40 cm, 厚 0.10 cm
HNXYS-13	M323:4-1	玉片饰	白色不透明, 长 3.20 cm, 宽 2.30 cm, 厚 0.20 cm
HNXYS-14	M323:5-1	玉片饰(残)	不透明青白色, 残长 3.30 cm, 残宽 2.50 cm, 厚 0.18 cm
HNXYS-15	M323:5-4	玉片饰	半透明白色, 长 3.20 cm, 宽 1.70 cm, 厚 0.01~0.10 cm
HNXYS-16	M323:5-8	玉片饰(残)	不透明青白色, 残长 2.20 cm, 宽 2.20 cm, 厚 0.10 cm
HNXYS-18	M349:6	玉柱	不透明白色, 圆柱体, 长 1.50 cm, 直径 3.00 cm

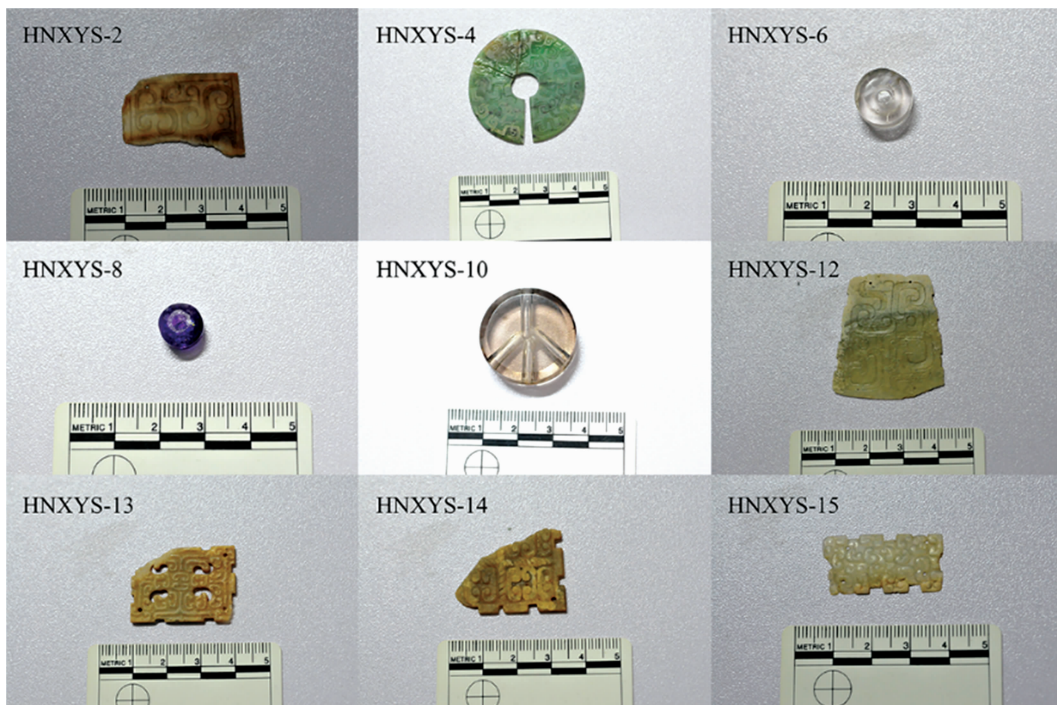


图 1 典型玉器样品照片

Fig. 1 Typical photos of jade artifacts observed

1.2 方法

1.2.1 能量色散型 X 射线荧光光谱仪(EDXRF)

XRF 是一种无损化学成分分析技术, 实验采用 OURSTEX100FA 型光谱仪来进行测试。该谱仪的靶材为钨

靶(Pd), X 射线焦斑直径约为 2.50 mm, 激发电压最高可达 40 kV, 最大功率为 50 W, 探测器能量分辨率为 145 eV(Mn $K\alpha$)。本台设备已成功应于古代玻璃、陶瓷器的化学成分分析^[6]。实验时将样品放入低真空腔(400~600 Pa)测试 300 s。

1.2.2 共焦显微激光拉曼光谱仪(LRS)

物相结构分析采用 LabRAMXploRA 型 LRS 光谱仪(Horiba, 法国)。该仪器配备高稳定研究级显微镜,物镜包括 10×, 100×和 LWD50×。采用针孔共焦技术,横向空间分辨率优于 1 μm,纵向分辨率优于 2 μm,光谱分辨率≤2 cm⁻¹,测试前均采用单晶 Si 标样进行校正。该仪器在分析与研究中国古代硅酸盐质文物样品中已得到成功的应用^[7]。实验使用的激发波长为 532 nm,测试范围 100~2 000 cm⁻¹,采用内置光栅 1 800 gr·mm⁻¹,积分时间 15 s,循环次数 2 次。

1.2.3 光学显微系统(OM)

采用 VHX-5000 型超景深三维显微系统(日本基恩士(KEYENCE)公司)对玉器表面加工痕迹进行观测。该仪器配备超小型高性能变焦镜头和大范围变焦镜头,具备图片拼接、多角度观察功能。实验采用 20×至 200×镜头,配合深度合成、三维成像及测量等功能对样品进行测量和分析。

1.2.4 硅胶覆膜方法

除直接观察玉器表面微痕外,还采用覆膜法对加工微痕进行复制,进而利用显微系统对印模进行观测。覆膜材料选用 3M ESPE Express 轻型硅胶(light body),其化学成分为乙烯聚硅氧烷,无毒无味,混合后可迅速感光凝结为绿色

固体。这种硅胶材料流动性好,可以高精度复制玉器表面或钻孔内部微痕。需要注意的是,印模所表现的微痕状态与实际相反。

2 结果与讨论

2.1 化学成分及物相结构分析

表 2 和图 2 分别是玉器样品化学成分和物相结构的实验结果。由表 2 可知,HNXYS-2, HNXYS-12, HNXYS-15 的主要成分是 SiO₂ (60.47%~61.36%), MgO (20.87%~21.81%), CaO (12.55%~13.37%), 这与透闪石—阳起石的理论组分值(MgO 24.81%, SiO₂ 59.17%, CaO 13.81%)基本一致。计算其镁铁比 R^* ($Mg^{2+} / Mg^{2+} + Fe^{2+} + Fe^{3+}$) 发现,这 3 个样品的 R^* 值大于 0.90,说明 HNXYS-2, HNXYS-12, HNXYS-15 均为透闪石型玉器^[8]。拉曼光谱[图 2(a)]显示此类玉器的拉曼特征峰主要为 670 和 1 057 cm⁻¹,分别与透闪石 Si—O—Si 伸缩振动(Stretching vibration)和 Si—O 伸缩振动(Stretching vibration)的拉曼特征峰位基本吻合^[8],与化学成分分析结果相一致。

表 2 玉器样品的主要化学成分分析结果(Wt%)

Table 2 Major chemical composition of jade artifacts observed(Wt%)

编号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	R*
HNXYS-2	1.80	21.81	1.49	60.47	0.27	0.10	13.37	0.02	0.67	0.97
HNXYS-12	1.61	21.58	1.55	60.72	0.32	0.16	12.55	0.01	1.50	0.94
HNXYS-15	1.54	20.87	1.65	61.36	0.49	0.31	13.04	0.01	0.73	0.97
HNXYS-13	0.39	32.74	5.42	58.32	N. D.	0.44	0.84	0.03	1.82	
HNXYS-14	0.76	30.27	2.91	63.86	0.26	0.24	0.51	0.01	1.18	
HNXYS-16	1.01	29.99	2.16	65.06	0.11	0.42	0.40	0.02	0.83	
HNXYS-18	0.96	30.80	1.61	65.33	0.19	0.13	0.43	0.01	0.54	
HNXYS-10	1.12	2.10	1.77	92.56	1.59	0.58	0.25	0.00	0.03	
HNXYS-4	N. D.	1.54	41.92	39.79	N. D.	2.60	13.39	0.19	0.57	

注:“N. D.”表示此种组分含量低于检测限,未检出

HNXYS-13, HNXYS-14, HNXYS-16 和 HNXYS-18 的主要成分是 MgO (29.99%~32.74%), SiO₂ (58.32%~65.33%), 与滑石组分理论值(MgO 31.88%和 SiO₂ 63.37%)接近。拉曼谱图 2(b)中,样品在 190 和 673 cm⁻¹附近有拉曼峰,这两个峰分别与滑石[SiO₄]扭曲振动(Swing vibration)及 Si—O_{br}—Si 伸缩振动(Stretching vibration)的拉曼峰基本一致。

HNXYS-6, HNXYS-8 和 HNXYS-10 的拉曼光谱[图 2(c)]特征峰与石英基本一致,其中 123 和 351 cm⁻¹为晶格振动峰(Lattice vibration), 202 cm⁻¹归属于 [SiO₄]扭曲振动(Swing vibration), 最强的 460 cm⁻¹则归属于 On_b—Si—On_b 弯曲振动(Bending vibration)。化学成分分析结果表明, HNXYS-10 的主要成分是 SiO₂ (92.56%), 也表明其为石英质矿物。结合 3 件样品的外观特征,判断其均为水晶。

HNXYS-4 的化学成分是 Al₂O₃ 41.92%, SiO₂ 39.79%,

CaO 13.39%, 为富钙铝的硅酸盐,由图 2(d)可知, HNXYS-4 在 263, 416, 702 cm⁻¹附近均有较强拉曼峰,这与云母特征峰基本吻合,分别归属于晶格振动(Lattice vibration)、On_b—Si—On_b 弯曲振动(Bending vibration)、[CO₃]²⁻ 弯曲振动(Bending vibration)^[8]。判断其材质为富钙铝的云母质矿物。

综合化学成分和物相结构分析结果,所分析的 11 件东周玉器的主要矿物组成有透闪石、滑石、水晶和云母 4 种类型。

2.2 加工工艺分析

2.2.1 阴刻工艺

东周时期中原地区阴刻工艺主要有两种方式:砣刻和手持硬质工具刻画。国内外学者对阴刻纹饰开展了一系列研究^[3, 9-11],发现两种加工方式的微痕特征存在差异,主要体现在纹饰的表面纹理、平面图、侧视图等三方面,详见表 3。

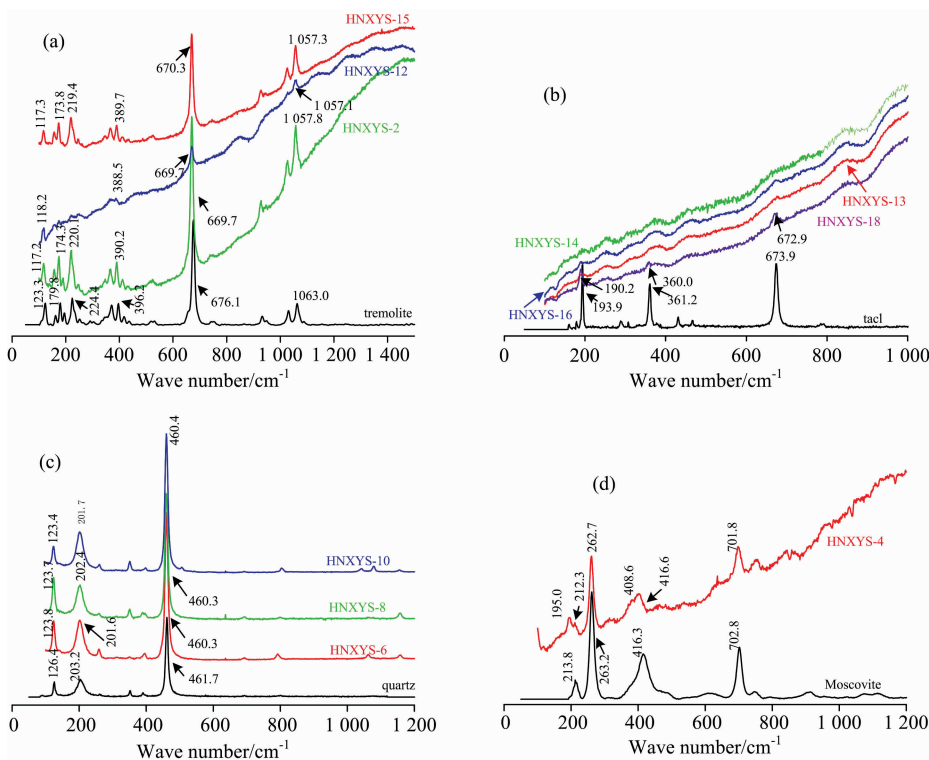


图 2 玉器样品的拉曼光谱图

(a): 透闪石型玉器; (b): 滑石型玉器; (c): 石英型玉器; (d): 云母型玉器

Fig. 2 Raman spectrum of jade artifacts observed

(a): Tremolite type jade; (b): Talc type jade; (c): Quartz type jade; (d): Muscovite type jade

表 3 2 种不同加工方式产生的阴线微痕特征

Table 3 Incising features of two different carving technologies

观察要点	砣刻	手持硬质工具
表苗纹理	常添加解玉砂一起加工, 表面呈现晶团状或晶粒状凸脊或凹洼	刻划工具常为砾石类材质, 硬度大, 一般直接使用。其反复刻画、磋磨造成的微破裂面分布较乱、排列无序
平面图	直线或曲线, 呈中间宽深、两头尖浅。一般连续性较好, 宽度深度较为一致	直线或曲线, 呈中间宽深、两头尖浅。一般连续性较差, 宽度深度变化不均匀
侧视图	阴线呈现下凹弧形槽底	底部凹凸不平、凌乱, 没有下凹弧形特征

7 件玉器纹饰的微痕分析表明, 刻痕大致分为两类: 第一类, 以 HNXYS-2 为典型, 从平面图 3(a) 上看, 阴线连续性较好, 长直处宽度均匀, 转弯时略微变宽, 末梢尖锐且有变浅趋势。放大至 $200\times$ [图 3(b)], 可见转弯处有明显放射性歧出, 表明加工时使用了解玉砂。当雕刻方向改变时, 附着的解玉砂由于惯性作用会在玉器表面造成这种放射状歧出^[3]。从侧面观察印模三维深度图像 [图 3(c)], 长直处底部颜色基本不变, 说明其底部平直、深度较为一致; 而较短的弧形刻线, 底部中间位置颜色明显变深, 显示为中间略凹的弧形槽底 (印模显示为弧形凸脊, 下同)。阴线轮廓形态表明刻痕截面均呈下凹弧形 [图 3(d)]。上述特征与砣刻阴线较为一致。在 HNXYS-12, HNXYS-4, HNXYS-15 上也发现了类似的微痕迹。第二类典型代表样品是 HNXYS-13, 从平面图 3(e) 上看, 刻痕宽度变化不均匀, 沟槽底部和减地斜面凹凸不平, 放大至 $150\times$ [图 3(f)], 阴线底部呈现多次刻画的痕

迹。观察刻痕侧面特征 [图 3(g)], 颜色的变化显示出其底部起伏不平, 没有下凹弧形特征, 且阴线截面轮廓底部平直 [图 3(h)], 与第一类刻痕的下凹特征明显不同。这些微痕特征说明阴线应为手持尖端或短边刃工具刻画而成。相似的微痕特征还出现于 HNXYS-14 和 HNXYS-16。

HNXYS-12 表面有两组阴刻特征存在差异的蠕螭纹。一组刻痕连续性好, 基本无间断点 [图 4(a)]。另一组连续性较差 [图 4(b)], 部分刻痕由多段短线交叠而成, 放大短线至 $100\times$, 显示两头尖浅, 中间宽深的特征 [图 4(c)]。但观察其侧面时, 有明显下凹弧形 [图 4(d)], 说明两组纹饰均为砣具加工。推测形成差异的原因与工匠治玉水平有关^[3]。因此, 判断纹饰的阴刻工艺, 需综合考虑平面、侧面及剖面形态, 重点观察刻痕侧面和剖面是否具有下凹弧形特征。HNXYS-12 出现两组不同特征的相似纹饰, 可能是由同一时期治玉水平不同的玉工分别制作, 或者是不同时期雕琢完成的改制玉

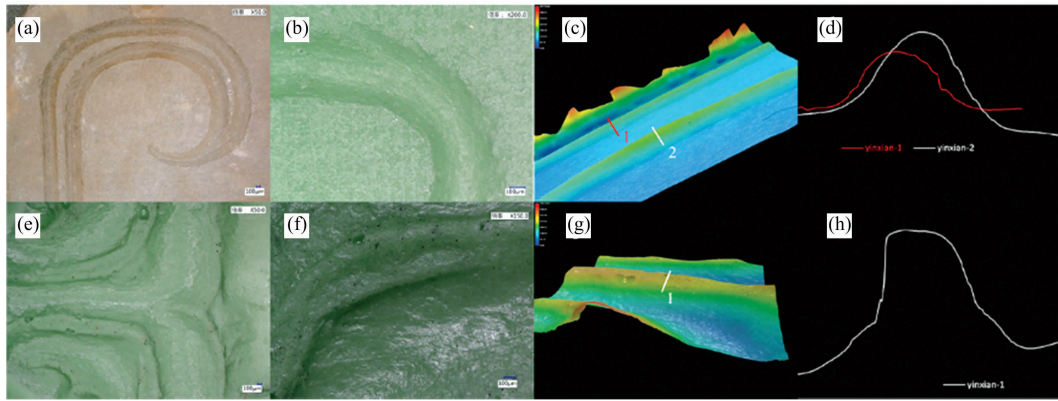


图 3 玉器样品的阴刻微痕

(a): HNXYS-2 平面图, 50×; (b): HNXYS-2 平面图, 200×; (c): HNXYS-2 印模 3D 图; (d): HNXYS-2 印模截面轮廓图; (e): HNXYS-13 平面图, 50×; (f): HNXYS-13 平面图, 150×; (g): HNXYS-13 印模 3D 图; (h): HNXYS-13 印模截面轮廓图

Fig. 3 Incising traces on the jade artifacts observed

(a): HNXYS-2 in plan view, 50×; (b): HNXYS-2 in plan view, 200×; (c): HNXYS-2, 3D image of molding; (d): HNXYS-2, cross-sectional profile of molding; (e): HNXYS-13 in plan view, 50×; (f): HNXYS-13 in plan view, 150×; (g): HNXYS-13, 3D image of molding; (h): HNXYS-13, cross-sectional profile of molding

器, 具体结论有待进一步研究。

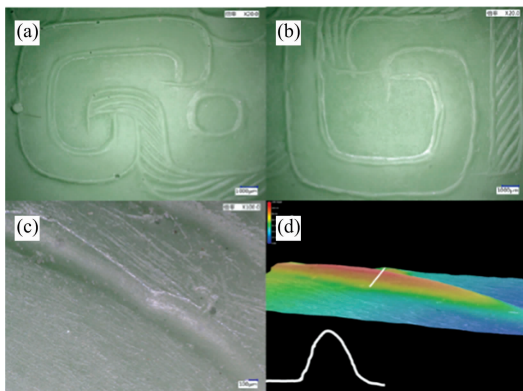


图 4 HNXYS-12 两组不同特征的阴刻纹饰

(a): A 组纹饰; (b): B 组纹饰; (c): B 组纹饰细节;
(d): B 组纹饰 3D 图和截面轮廓图

Fig. 4 Two different kinds of incising traces on HNXYS-12

(a): Group A ornamentation; (b): Group B ornamentation; (c): Detail image of group B ornamentation; (d): 3D image and cross-sectional profiles of group B ornamentation

2.2.2 钻孔工艺

图 5 为典型钻孔微痕特征显微图像。HNXYS-15 两面均有开孔痕迹, 是典型的双面钻孔方式[图 5(a, b)]。HNXYS-2, HNXYS-13 和 HNXYS-16 也采用了此类方式。水晶为透明材料, 可直接观察孔道形态[图 5(c, d)]。孔道特征表明, 连通处有轻微错位, 表明此类钻孔为双面/多面钻孔方式。HNXYS-12 从背面开孔, 正面没有钻孔痕迹, 说明是从背面直接钻穿[图 5(e, f)]。HNXYS-14[图 5(g)、图 6(f)]、HNXYS-4[图 5(h)]穿孔孔壁较直, 没有对钻时留下的台阶痕。上述两类样品采用了单面钻孔方式。

根据图 5(d)和图 6(b), HNXYS-8 穿孔形状呈渐缩圆柱形, 内壁光滑, 有螺旋纹理, 孔径约为 3.86 mm, 推测使用了实心钻头加解玉砂进行钻孔^[11-12], 其他水晶珠饰均为此类工艺。HNXYS-15 穿孔如图 6(c), 呈上大下小的锥形, 与 Hansford 描述较为一致^[13], 孔壁有螺旋纹, 孔径约为 1.50 mm, 推测也是由实心钻添加解玉砂加工而成, HNXYS-12 和 HNXYS-2 也属于这类。从穿孔形状差异可以推测, 水晶珠饰(HNXYS-8 等)所使用的钻头可能为圆柱状, 而 HNXYS-15 等玉片饰则可能使用了锥形钻头。另有一类特征, 如图 6(d-e), HNXYS-16 穿孔呈锥形, 孔径约为 2.04 mm, 与 HNXYS-15 穿孔形状有些相似, 但孔壁上更加粗糙, 均匀分布的圆周状沟槽十分明显。有研究表明^[13], 实心钻工具不加解玉砂加工时穿孔似锥形, 孔壁有明显圆周状沟槽, 这与 HNXYS-16 的微痕特征基本一致, 推测其采用了实心钻工具不添加解玉砂工艺。HNXYS-13 也有类似特征。还有研究^[11]表明, 管钻工具加工的穿孔孔壁陡直, 有螺旋纹, 不呈锥形, 这些特征与 HNXYS-14 和 HNXYS-4 基本吻合[图 5(g-h), 图 6(f)]。

2.2.3 其他加工工艺

除上述两种主要加工工艺外, 这批东周玉器还采用了斜刀、浅浮雕、镂空等其他加工技术。斜刀是西周中期的一种特殊阴刻工艺。如图 7(a), HNXYS-2 双阴线内侧以减地方式磨出斜面, 有立体感, 减地面平整光滑, 判断使用了稍厚或者工作面为斜面的砣具^[3]。浅浮雕工艺是在平面雕刻凹凸起伏形象的一种工艺, 东周时颇为兴盛, 本研究分别观察到了剔地浅浮雕[HNXYS-15, 图 7(b)]和阳线浮雕[HNXYS-16, 图 7(c)]两种浮雕工艺。此外, HNXYS-13 和 HNXYS-16 表面有多处镂空纹饰[图 7(d)]。圆形孔有管钻微痕特征[图 7(e)], 弯勾形孔壁布满了竖直条纹[图 7(f)], 推测是线切割加工而成, 说明镂空纹饰可能是先用管钻工具钻出一个孔再通过线切割技术加工成弯勾状。

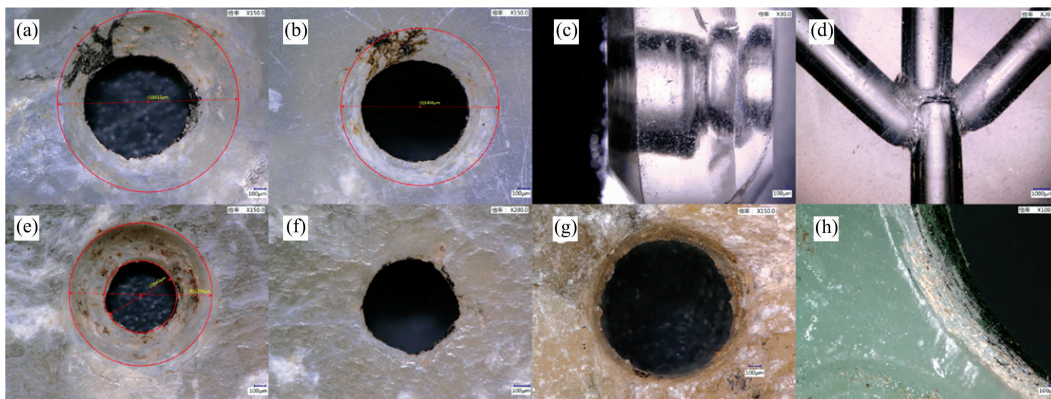


图 5 玉器样品的钻孔微痕

(a): HNXYS-15 穿孔正面; (b): HNXYS-15 穿孔背面; (c): HNXYS-6 透射显微图; (d): HNXYS-8 透射显微图; (e): HNXYS-12 穿孔背面; (f): HNXYS-12 穿孔正面; (g): HNXYS-14 穿孔显微图; (h): HNXYS-4 孔壁显微图

Fig. 5 Images of drill hole of jade artifacts observed

(a): HNXYS-15, front view of hole; (b): HNXYS-15, back view of hole; (c): HNXYS-6, perspective image; (d): HNXYS-8, perspective image; (e): HNXYS-12, back view of hole; (f): HNXYS-12, front view of hole; (g): HNXYS-14, hole image; (h): HNXYS-4, wall of hole

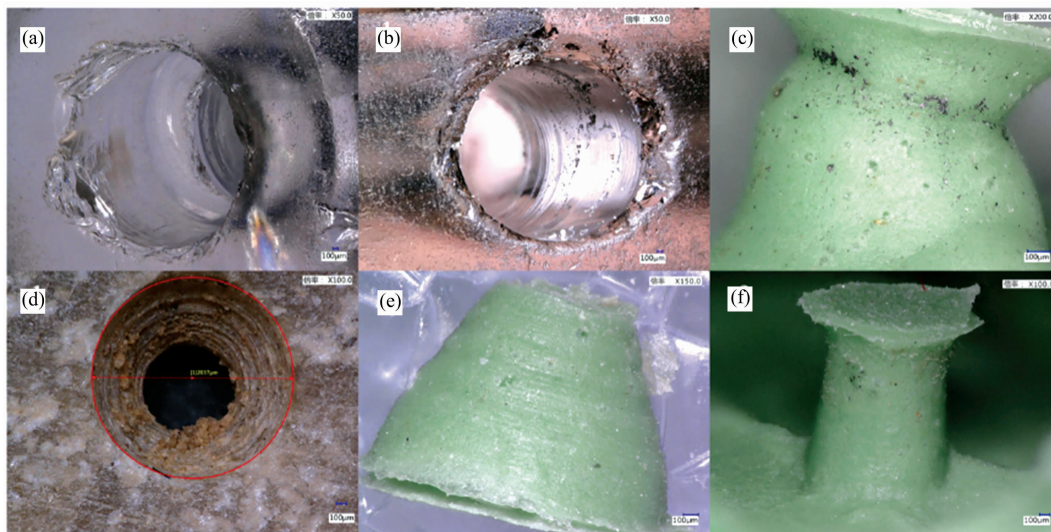


图 6 玉器样品的钻孔微痕

(a): HNXYS-6 孔壁显微图; (b): HNXYS-8 孔壁显微图; (c): HNXYS-15 穿孔印模; (d): HNXYS-13 孔壁显微图; (e): HNXYS-13 穿孔印模; (f): HNXYS-14 穿孔印模

Fig. 6 Images of drill hole of jade artifacts observed

(a): HNXYS-6, wall of hole; (b): HNXYS-8, wall of hole; (c): HNXYS-15, molding of hole; (d): HNXYS-13, wall of hole; (e): HNXYS-13, molding of hole; (f): HNXYS-14, molding of hole

2.3 新郑西亚斯东周墓地出土玉器加工工艺与材料属性的联系

本工艺研究所选的 10 件玉器中, 3 件水晶、3 件透闪石、1 件云母、3 件滑石。各自所采用的部分加工方式总结如表 4。

水晶材质莫氏硬度为 7, 以珠饰为主, 表面无任何纹饰。钻孔时均采用了实心钻头加解玉砂工艺, 主要的钻孔方式为两面/多面钻孔。

透闪石型玉器以玉片饰为主, 单面纹饰, 莫氏硬度为 5~6, 虽硬度不及水晶, 但普通铁质、铜质工具都无法对其直

接加工, 需配合硬度高的解玉砂进行雕刻。砣具的旋转速度带动解玉砂高速向前运动, 能在表面刻出流利的阴刻线。因此, 此类材质均采用砣刻工艺配合解玉砂来加工表面纹饰。钻孔方式有单面钻孔和双面钻孔两种, 但均采用了实心钻头加解玉砂的工艺进行加工。同时, 透闪石玉质较好、价值较高, 通常还结合斜刀、剔地浅浮雕、抛光等复杂工艺使纹饰更加生动, 充分发挥玉料的价值。

云母质玉器, 莫氏硬度约 2~3, 表面纹饰采用砣具添加解玉砂的工艺加工。本研究的云母质样品(HNXYS-4)为玉玦, 加工微痕特征表明采用了管钻工具进行加工, 钻孔方

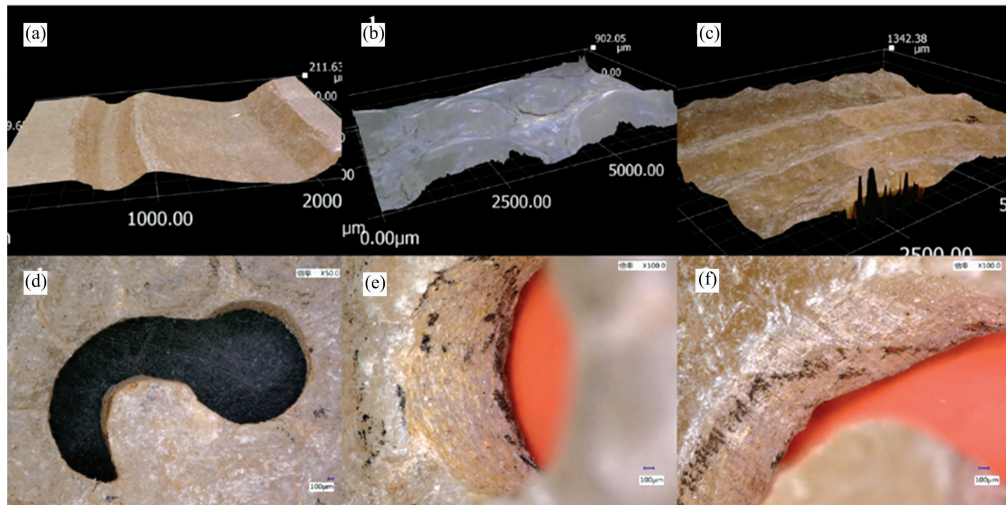


图 7 其他加工工艺微痕信息

(a): HNXYS-2 斜刀工艺; (b): HNXYS-15 剔地浅浮雕; (c): HNXYS-16 阳线浮雕;
(d): HNXYS-13 镂空工艺; (e): HNXYS-13 圆形孔壁显微图; (f): HNXYS-13 弯弓形孔壁显微图

Fig. 7 Fine features of other carving technology on jades observed

(a): HNXYS-2, xiedao technology; (b): HNXYS-15, shallow relief; (c): HNXYS-16, shallow relief;
(d): HNXYS-13, hollow-out technology; (e): HNXYS-13, wall of circular hole; (f): HNXYS-13, wall of curved hole

表 4 河南西亚斯墓地出土玉器材料属性与部分加工工艺总结

Table 4 Summary of material properties and part of carving technologies of jades observed

样品编号	材质	器型	莫氏硬度	阴刻工艺	钻孔方式	钻孔工艺	其他工艺
HNXYS-6	水晶	珠饰	7	无	双面钻孔	实心钻头+解玉砂	切割、琢型、抛光
HNXYS-8	水晶	珠饰	7	无	多面钻孔	实心钻头+解玉砂	切割、琢型、抛光
HNXYS-10	水晶	珠饰	7	无	双面钻孔	实心钻头+解玉砂	切割、琢型、抛光
HNXYS-2	透闪石	片饰	5~6	砣具+解玉砂	双面钻孔	实心钻头+解玉砂	斜刀
HNXYS-12	透闪石	片饰	5~6	砣具+解玉砂	单面钻孔	实心钻头+解玉砂	减地工艺
HNXYS-15	透闪石	片饰	5~6	砣具+解玉砂	双面钻孔	实心钻头+解玉砂	剔地浅浮雕、抛光
HNXYS-4	云母	玉玦	2~3	砣具+解玉砂	单面钻孔	管钻+解玉砂	线切割、手持工具减地
HNXYS-13	滑石	片饰	1	手持硬质工具	双面钻孔	实心钻头	镂空、阳线浮雕
HNXYS-14	滑石	片饰	1	手持硬质工具	单面钻孔	管钻+解玉砂	斜刀、剔地浅浮雕
HNXYS-16	滑石	片饰	1	手持硬质工具	双面钻孔	实心钻头	镂空、阳线浮雕

式为单面钻孔。这说明玉器的加工工艺不仅与材料属性有关还与样品器型有一定联系。

滑石莫氏硬度为 1, 普通工具就能在表面刻出阴线。滑石类玉器以玉片饰为主, 单面雕纹, 且纹饰均采用手持工具进行加工。穿孔采用了双面钻孔和单面钻孔两种方式。双面钻孔的穿孔使用了实心钻头工具, 而单面钻孔的穿孔则采用了管钻工艺。此外, 由于质地较软, 镂空、阳线浮雕等一些复杂的工艺在滑石上也比较容易实现。

上述分析表明, 不同材质的玉器, 根据其材料属性的不同, 会选择不同的阴刻工艺、钻孔工具和其他相关的治玉工艺, 说明了玉器材料属性与治玉工艺之间是存在一定联系的, 进一步反映了东周时期治玉工艺已趋成熟。

3 结论

利用 EDXRF, LRS 和 OM 多种科技分析技术, 对河南

省新郑西亚斯东周墓地出土的一批玉器的材料属性、治玉工艺及其二者之间的联系进行了研究。实验结果表明, 所分析样品主要矿物组成有滑石、透闪石、水晶、云母等。玉器表面纹饰主要采用阴刻工艺, 加工工具有砣具和手持硬质工具两种, 透闪石、云母质玉器采用砣具配合解玉砂砣刻, 滑石质玉器采用手持硬质工具进行刻画。钻孔方式有两/多面对钻和单面钻孔, 钻孔工艺包括实心钻和管钻工艺。水晶、透闪石质玉器多采用实心钻配合解玉砂工艺和双面/多面钻孔方式, 大部分滑石质玉器为双面钻孔方式, 并采用实心钻不添加解玉砂进行加工。云母和部分滑石质玉器为单面钻孔方式, 采用了管钻添加解玉砂工艺。部分玉器还采用了斜刀、浅浮雕、镂空、抛光等其他加工工艺。这表明玉器加工工艺与材质属性、器型之间有一定联系。

References

- [1] Yue C L, Song G D, Zhu J. *Archaeometry*, 2017, 59(3): 566.
- [2] Douglas J G. *Science in China(Series E: Technological Sciences)*, 2008, (4): 467.
- [3] YE Xiao-hong, LIU Xin, JIANG Hong-jie(叶晓红, 刘新, 蒋宏杰). *Cultural Relics in Southern China(南方文物)*, 2015, (4): 112.
- [4] YE Xiao-hong, TANG Ji-gen, XU Fei(叶晓红, 唐际根, 徐飞). *Cultural Relics in Southern China(南方文物)*, 2016, (4): 128.
- [5] YE Xiao-hong(叶晓红). *Cultural Relics of Central China(中原文物)*, 2018, (2): 65.
- [6] ZHAO Ling-wei, CHEN Hai-long, ZHAO Hong-xia(赵灵委, 陈海龙, 赵红霞). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2018, 38(5): 1420.
- [7] ZHONG Dan-xia, GUO Mu-sen, HU Yong-qing(钟丹霞, 郭木森, 胡永庆). *Chinese Journal of Lasers(中国激光)*, 2018, 45(1): 146.
- [8] Zhao H X, Li Q H, Liu S. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2014, 45: 173.
- [9] Margaret S, Nigel D M, Carol M, et al. *Journal of Archaeological Science*, 2004, (31): 1413.
- [10] Sax M, McNabb J, Meeks N D. *Archaeometry*, 1998, 40(1): 1.
- [11] Sax Margaret, Ji Kunzhang. *Journal of Archaeological Science*, 2013, 40(2): 1067.
- [12] Gwendolyn O Kelly. *Archaeological Research in Asia*, 2016, (6): 30.
- [13] DU Jin-peng, ZHANG You-lai(杜金鹏, 张友来). *Study of Ancient Jade of the Longshan Culture from Xizhufeng, Linqu(临朐西朱封龙山文化玉器研究)*. Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2015. 199.

Scientific Analysis of Materials and Technology of Jades Unearthed from Cemeteries Dated to Eastern Zhou Dynasty in Xiyasi, Xinzheng

LIU Jun^{1, 2}, FAN Wen-quan³, HU Yong-qing³, LIU Song^{1, 2}, LI Qing-hui^{1, 2*}

1. Center of Sci-Tech Archaeology, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China
2. Center of Materials Science and Optoelectronics Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
3. Institute of Cultural Relics in Henan Province, Zhengzhou 450000, China

Abstract The Chinese Jade culture has a long history. The processing techniques of jade have been continuously developed and improved during various periods, and to some extent, it can reflect the condition of productive forces, cultural, trade, technical communications and other information of ancient societies. In this paper, X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), Laser Raman spectroscopy (LRS), Optical microscopy (OM), combined with silicone resin molding method are used to analyze some jade artifacts unearthed from cemeteries dated to Eastern Zhou Dynasty in Xiyasi, Xinzheng, Henan province. Mineral property is determined by XRF and LRS, then OM technology is used to characterize the micro-marks on surfaces, in holes of the jade artifacts, and also on the surfaces of silicone molds. Based on the features of micro-marks, the processing techniques have been identified, especially for the processing techniques of incising decorations and perforations. The relationships between mineral properties and processing techniques are discussed finally. The results of XRF and LRS show that the main mineral phases of jade artifacts include tremolite, talc, mica and crystal. According to the features of micro-marks obtained, there are two kinds of tools used to incise the decorations. One is the rotary wheels, and the other is hand-held hard tools. The micro-mark characteristics of drilling process show that solid drills and tubular drills are used to drill holes from single-side or double-sides/multi-sides. Although solid drilling technology is adopted in some jades, there are some differences in drills' shape and abrasive sand used or not. Jades of different material properties adopt different processing techniques. Talc jade, whose mohs hardness is 1, is mainly plaques and uses pointed hand-held tools to incise surface decoration and solid tool-heads which are probably cone-shaped to drill holes without adding abrasive sand. Mica jade, whose mohs hardness is 2~3, is mainly slotted rings called Jue and uses rotary wheels to incise the surface decorations. It adopts single-side drilling method and its tools for drilling are tubular drills. Tremolite jade, which has a mohs hardness of 5~6, is also mainly plaque shaped, surface decorations are incised by rotary wheels, and the holes are mainly carried out by solid tools to drill from both sides with abrasive sand. The shape of the drills is cone-shaped, very similar to that of talc jade. For crystal beads, its mohs hardness is 7, the drilling technology mainly adopts solid tools to drill from

both or multiple sides and the drills might be cylindrical. This indicates that connections between the processing technology of jade and the material properties and shape of jade do exist.

Keywords Chinese jades in the Eastern Zhou period; Material property; Micro-mark characteristics analysis; Silicone resin molding

(Received Sep. 21, 2018; accepted Jan. 14, 2019)

* Corresponding author