



中国古玉

无损科技检测与研究

“基于无损检测技术的中国古玉鉴定研究”

课题组 著



科学出版社

中国古玉

无损科技检测与研究



“基于无损检测技术的中国古玉鉴定研究”课题组 著

科学出版社

北京

首都博物馆 书库

庚种 第伍部

《中国古玉无损科技检测与研究》

首都博物馆编纂委员会

主 任：郭小凌

副 主 任：白 杰 韩战明

委 员：靳 非 齐密云 黄雪寅 杨文英 杨丹丹
龙霄飞 彭 颖 齐 玫 鲁晓帆 刘绍南
黄春和

编 辑：孙芮英 张健萍 杨 洋 裴亚静 杜 翔
龚向军 李吉光

图书在版编目(CIP)数据

中国古玉无损科技检测与研究 / “基于无损检测技术的中国古玉鉴定研究”课题组著. —北京：科学出版社, 2018.11

ISBN 978-7-03-059407-5

I. ①中… II. ①基… III. ①古玉器—无损检验—研究—中国
IV. ①K876.84

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第252202号

责任编辑：张亚娜 / 责任校对：邹慧卿

责任印制：肖 兴 / 书籍设计：北京美光设计制版有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京华联印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年11月第 一 版 开本：889×1194 1/16

2018年11月第一次印刷 印张：23

字数：660 000

定价：480.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

本书出版得到了
北京市科学技术委员会课题的资助



《中国古玉无损科技检测与研究》课题委员会

主 任 于 平 （北京市文物局）

副主任 白 杰 韩战明 黄雪寅 （首都博物馆）

刘 晖 李国光 （北京市科学技术委员会）

委 员（按姓氏笔画排序）

王 田	王有泉	王显国	王燕玲	化 蕾	付文均	白 岩
邢礼学	朱乃诚	朱俊芳	刘 平	闫 娟	杜 侃	李 伟
李 冰	李 昂	李 健	李玉玲	李新强	杨 侠	杨文英
杨丽丽	杨静兮	肖 楠	何秋菊	辛爱罡	宋 磊	张 峰
张大建	张振松	张雪梅	张雪鸽	张彩娟	陈建平	邵 芳
武俊玲	林雪楠	昌 硕	赵兰会	赵明辉	赵瑞廷	胡 昱
柏 宁	高 爽	高尚武	高新峰	黄 洁	黄雪梅	曹 霞
章文永	韩 军	韩 冰	韩 更	虞海燕	薄海昆	穆朝娜
魏 红						



《中国古玉无损科技检测与研究》编委会

顾 问 赵朝洪 (北京大学考古文博学院)

曾卫胜 (江西省地矿局)

主 编 于 平 黄雪寅

执行主编 赵瑞廷

编 委 李玉玲 邵 芳 何秋菊 张雪鸽 黄 洁

杜 侃 虞海燕 闫 娟 张彩娟



提供玉器文物单位

北京艺术博物馆 甘肃省博物馆 宁夏回族自治区博物馆
宁夏隆德县文物管理所 中国社会科学院考古研究所 湖南省博物馆
首都博物馆 十三陵特区办事处定陵博物馆 江西省博物馆
大葆台西汉墓博物馆 江西省文物考古研究院

本课题玉器文物

1. 齐家文化玉器15件（石器时代）。该批玉器文物以“玉泽陇西——齐家文化玉器展”为主题由北京艺术博物馆等9家文博机构在北京联合展出。
2. 妇好墓出土玉器8件（商代）。该批玉器文物以“王后·母亲·女将——纪念殷墟妇好墓考古发掘四十周年特展”在首都博物馆展出。
3. 湖南省博物馆馆藏战国墓出土玉器、玻璃器文物10件。该批玉器文物以“凤舞九天——楚文化特展”为主题由湖南省博物馆、首都博物馆在北京联合展出。
4. 江西省南昌海昏侯墓出土玉器13件（汉代）。该批玉器文物以“五色炫耀——南昌汉代海昏侯国考古成果展”为主题在首都博物馆展出。
5. 明代江西藩王墓出土玉器14件套（41件，明代）。该批玉器文物以“气度与风范——明代江西藩王墓出土玉器”为主题由北京艺术博物馆、江西省博物馆在北京联合展出。
6. 定陵万历墓出土玉器文物21件套（103件，明代）。
7. 大葆台西汉墓出土玉器12件（汉代）。
8. 首都博物馆馆藏玉器文物8件（宋、元、明、清）。



序

中国玉文化历史悠久底蕴深厚，从我国早期文明开始，就独具特色，并延续数千年，至今仍然是中华民族文化中的艺术奇葩、工艺翘楚乃至精神寄托。玉器作为重要的礼器和装饰品，具有丰富的价值体现、礼仪制度、装饰和欣赏等内涵。具体到材料和加工，则蕴含着重要的矿物学知识和工艺技术等内容。

东北的兴隆洼文化、中原的磁山和裴李岗文化、长江流域的城头山文化和西北的大地湾文化，玉器已经极具特色，并使用了闪石玉。新石器时代晚期，东北的红山文化，长江中下游的石家河文化、凌家滩文化和良渚文化，玉器文化达到了繁荣的阶段。其后的龙山文化，玉器得到了显著的发展，这也意味着周边玉器文化与中原文化的相互交融。龙山文化开启了后来夏、商、周的历史，玉器更成为三代社会生活的核心内容。秦汉以降，玉器加工工具发生历史性转变，玉文化又呈现出持续发展的活力，从唐、宋、金、元、明、清长盛不衰地延续到现代。明清以来，北京作为皇都，玉器的制作与使用更达到了空前的规模，处处体现着皇家风范，受其影响，民间玉文化也进入鼎盛阶段，尤其是清中期到民国。

近现代以来，对玉器文物及相关的历史文化、玉礼器所体现的社会等级地位、玉器形制及工艺等研究持续进行并取得了不少成果。进入当代，在前人研究的基础上，快速发展的现代科技使得自然科学手段不断介入玉器文物研究中，借助高科技仪器设备开展玉器研究，正在拓展出一片全新的领域，为玉文化研究不断提供重要佐证与基础材料，具有重要的学术价值和文物考古学意义。本研究就是顺应这样的要求，由北京市科学技术委员会“基于无损检测技术的中国古玉鉴定研究”课题资助，北京市文物局牵头，首都博物馆等北京地区文博单位共同承担，利用首都博物馆科技平台，针对北京地区出土、北京文博单位展出的玉器文物，开展玉器无损科技检测研究工作。

就玉器文物科技研究而言，目前虽已突破金石学范畴，但由于问题的复杂性，如玉器材质，尤其是考古学特别关注的产地等问题主要依据经验与比对推测。和材料相比，玉器加工工艺的研究也处于初始阶段，加工技术所涉及的工具、加工方法，由于观察角度、深度有限，研究结果也是各抒己见。这一研究领域的不足，与悠久、辉煌的中华玉文化极不相称。需要强调的是，古代有形文化遗产的材质和工艺研究是科技考古和科技史学科的一项基础性工作，没有这样的研究，许多事情就无法解释清楚，玉器文物也同样如此。

综合上述提到的出土玉器文物科技研究存在的问题，本课题尝试性地开展了如下工作：



1. 解决所研究出土玉器文物的地质矿物学材料问题。这个方面很重要，本研究发现，部分出土玉器文物仅凭肉眼观察及经验判断，经常会发生问题，导致定名错误，误导玉器文物文化研究工作的精准展开。

2. 通过微观显微数据分析，尝试解决玉器加工工艺所涉及的工具、加工方法以及器物功用等相关问题。

3. 对出土玉器文物埋藏环境、皮色、沁蚀、风化现象进行科技研究，包括数据采集（如利用 XRF、XRD 等采集微观图像观察到的沁蚀风化物的化学成分、矿物结晶结构等化学、地质学科技数据）及现象解释，从科技角度揭示发生上述现象的矿物学内在原理。玉器沁蚀、风化数据，是文物埋藏环境研究的重要信息，是漫长岁月留下的、人工难以模拟的自然现象，所以也是玉器科技鉴定的重要依据。另外，从科技研究的角度，揭示玉器发生沁蚀、风化的原因，尝试为残损玉器文物保护修复新方法的探索提供依据。

4. 以出土玉器科学研究为基础开展工作，逐渐积累基于无损检测技术的玉器科技研究经验，为后续出土玉器文物科学研究检测规范或标准奠定基础。

基于以上目的，课题组甄选研究价值相对较高、具有代表性的 210 件出土玉器文物展开研究，这些文物包括：齐家文化玉器，妇好墓出土玉器，湖南省博物馆馆藏战国墓出土玉器、玻璃器文物，江西南昌海昏侯墓出土玉器、明代江西藩王墓出土玉器，明代定陵万历墓出土玉器，大葆台西汉墓出土玉器，首都博物馆馆藏玉器。对于以上文物，课题组采取传统玉文化与现代科技手段相结合的研究方法，在玉器传统文化研究与玉器科技研究专家的共同指导下，利用现代高精尖科技手段：显微镜（体视、三维视频）、激光拉曼光谱仪、X 射线荧光能谱仪、X 射线衍射仪、电子探针（扫描电镜，针对玉石原材料），结合传统玉器文化的研究成果，就玉器文物矿物学材质、加工工艺、沁色、分化、埋藏环境中附着物判断、玉石原材料等方面开展研究。

借助本次团队协力开展的研究工作，我们希望逐步实现真正意义上的传统与科技相结合的玉器文物科学研究，提升首都北京玉器文物科学研究软实力，起到玉器文物无损科技检测研究的引领与示范作用，为古老的中华玉文化科学研究贡献力量。

于平

2016 年 12 月于北京



目 录

第一部分 研究篇

八件齐家文化圆形玉器加工工艺试析	002
妇好墓出土玉器文物科技检测研究	012
对战国楚地贵族墓葬出土玉器黑色水银沁现象的再认识	031
湖南出土战国玻璃器科学研究	038
首都博物馆馆藏三件宋、金、元玉器的科学研究	049
北京定陵出土部分明代玉器的无损检测与分析	068
江西出土明代藩王墓玉器科学检测与制作工艺研究	158
有关明清时期碧玉使用情况研究	203
几件明清碧玉之科学检测与研究	212

第二部分 鉴定篇

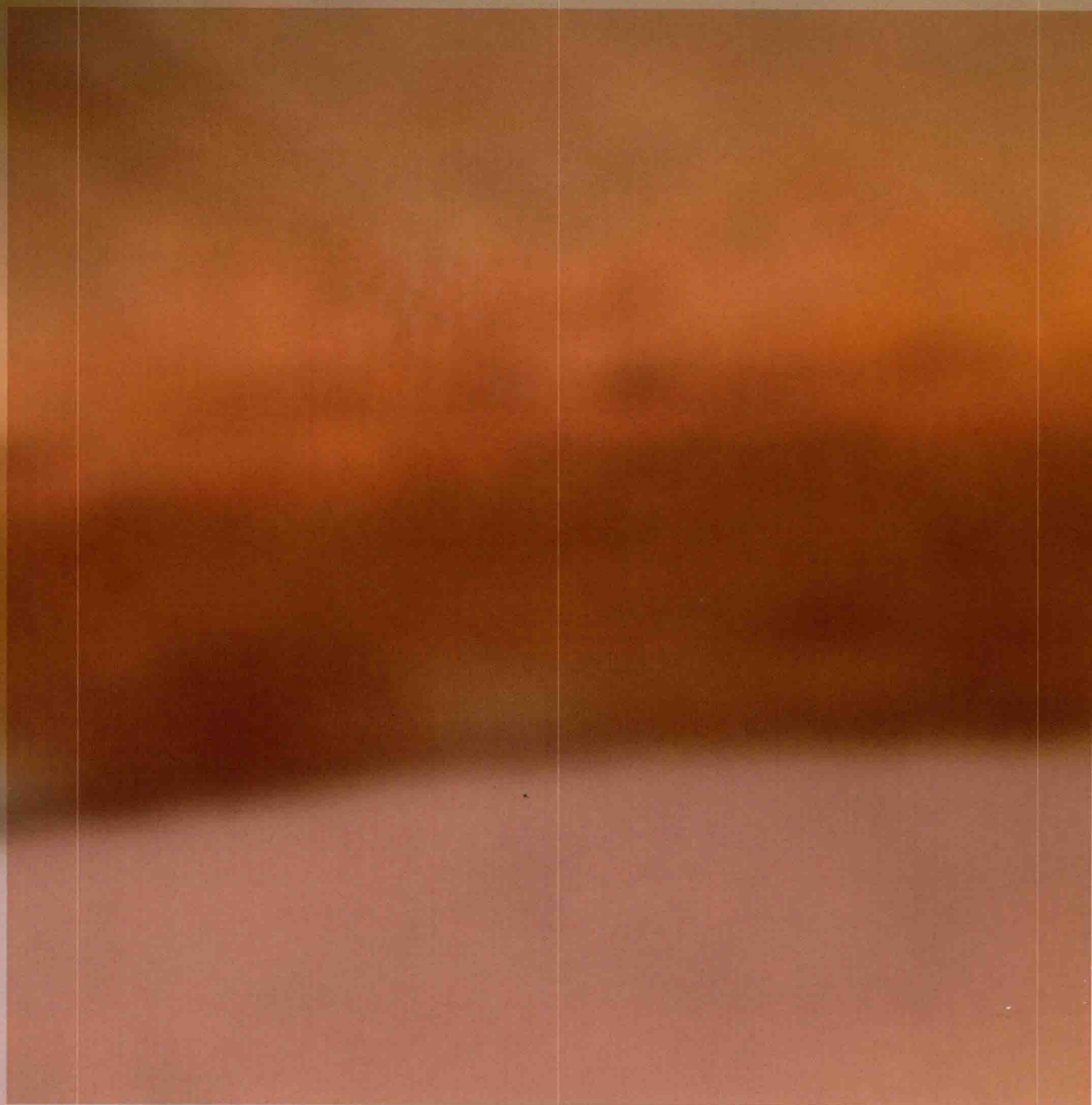
用传统与无损科技检测技术揭示现代仿古玉制作的工艺与特征	238
基于无损检测技术的玉器科技鉴定研究实例	268
仿古玉人工沁色模拟实验研究	287

第三部分 其他篇

蚌埠仿古玉器市场考察报告	342
“基于无损检测技术的中国古玉鉴定研究”课题组成员会议纪要	344
“基于无损检测技术的中国古玉鉴定研究”课题实施方案专家论证会会议纪要	346
“基于无损检测技术的中国古玉鉴定研究”课题第三次专家论证会纪要	348
首都博物馆玉器文物无损检测安全工作规范	349
首都博物馆关于利用现代科技手段进行玉器文物无损检测的说明	351
文物无损检测协议书	352

后记

354



第一部分

研 究 篇



八件齐家文化圆形玉器 加工工艺试析

1 背景介绍

齐家文化是始于新石器时代晚期的重要文化遗址，地跨甘肃、宁夏、青海、内蒙古四个省区。齐家文化出土的玉器因其独特的切割痕迹及钻孔方式一直受到学术界的关注。本研究借齐家文化玉器在北京艺术博物馆展览之机，利用首都博物馆文博科技实验室三维视频显微镜^①和体视显微镜^②获取了8件齐家文化圆形玉器切割微痕迹、钻孔微痕迹及表面形貌信息，从而探究齐家文化玉器的加工工艺，推测其所使用的制作工具，同时对齐家文化玉器的分期有一定的参考价值。

1.1 研究目的

2014年11月，北京市文物局和首都博物馆共同承担了北京市科学技术委员会课题——“基于无损检测技术的中国古玉鉴定研究”，该课题研究对象以北京市出土的文物为主，也有部分其他省市、自治区博物馆来京展览的文物。课题研究以鉴别文物工艺与材质为主要内容，利用首博文保科技实验室的先进实验仪器，运用科技检测的手段，补充了

传统文物研究的不足，发掘出很多文物背后的信息。

本文选取了8件具有典型特征的齐家文化圆形玉器，利用三维视频显微镜和体视显微镜，探究齐家文化玉器的加工工艺，为史前时期的历史及考古工作提供了参考与证据。

1.2 文物信息

本研究选取的8件齐家文化圆形玉器，其中3件出土于甘肃省，5件来自于宁夏回族自治区。这些圆形玉器包括玉璧5件、玉环1件、玉璧芯2件(表1)。

1.3 文物基本介绍

小玉璧(编号19818)

玉璧重48.15g，直径5.6cm，孔径1.7~2.2cm，壁厚0.3~1.0cm。玉璧本体呈淡绿色，内有土色和褐色沁均匀分布。器物为不规则圆形，厚薄不均，侧面最厚处为1.0cm，最薄处仅为0.3cm。钻孔为正圆形，上大下小。玉璧正反面均有磨错痕迹，背面钻孔边缘有敲掉玉璧芯时造成的崩碴儿面，接近该部位钻孔内还留有管钻台阶原始加工痕迹。

① 三维视频显微镜：日本HiroxKH-3000VD，测试于首都博物馆技术部文博科技实验室。

② 体视显微镜型号：德国徕卡MZ16M，测试于首都博物馆技术部文博科技实验室。

表1 玉器文物信息

序号	名称	编号	出土地点	收藏单位
1	小玉璧	19818	甘肃省武威市皇娘娘台遗址出土	甘肃省博物馆
2	小玉璧	20231		
3	玉璧芯	20229		
4	玉璧芯	NCⅢ：206	宁夏固原市原州区张易镇	宁夏回族自治区博物馆
5	玉璧	NCⅢ：208		
6	玉环	NCⅢ：209		
7	玉璧	Z0757	宁夏隆德县温堡乡街道出土	宁夏隆德县文物管理所
8	玉璧	Z0759	宁夏隆德县凤岭乡胜利遗址出土	

注：表中信息来自于北京艺术博物馆“玉泽陇西——齐家文化玉器展”展品清单

小玉璧（编号 20231）

玉璧重 21.66g，直径 4.7cm，孔径 1.8cm，厚 0.7cm，玉璧颜色不均匀，底色为浅绿色，上有墨绿色斑点密集分布，形状为不规则圆形。玉璧整体只经过粗磨，没有抛光，表面紧密附着有零星土迹。器物正面较平整，背面有多处凹坑，凹坑内被泥土物质填充。玉璧边缘侧面凹凸不平，多处可见玉石的天然风化面，风化面向内凹陷，表面被土状物覆盖，只有个别处可见打磨痕迹。

玉璧芯（编号 20229）

玉璧芯呈翠绿色，内有墨绿色物质，呈点或条带状不规则分布于玉料中。器物形状为上小下大的圆柱体，侧截面为梯形。玉璧芯小圆面直径 3.1cm，大面直径 3.6cm，厚 0.7cm。

玉璧芯（编号 NCⅢ：206）

玉璧芯出土于宁夏回族自治区固原市，与玉璧芯 20229 虽出土于不同的地方，却有着相似的形状及工艺特点。玉璧芯直径 4.6 ~ 4.8cm，厚 0.5cm，璧芯上有一条明显的呈白色的矿物裂纹横穿其中，其他部位为浅绿色。

玉璧（编号 NCⅢ：208）

器物为圆形，厚薄不均，表面抛光良好，制作精细。器物重 302.53g，外径 12.2 ~ 12.0cm，孔径 3.4 ~ 2.8cm，厚 0.6 ~ 1.0cm，切割痕长 10.2cm，台高 0.2 ~ 0.3cm。

玉环（编号 NCⅢ：209）

器物为圆形，外沿有缺口，表面有切割痕，切割断面有打磨痕迹，孔径较大。器物重 116.19g，外径 10.9cm，孔径 5.3 ~ 4.8cm，厚 0.5cm，玉质呈青灰色，青灰色中夹杂有黑灰、黄褐色。

玉璧（编号 Z0757）

玉璧重 654.61g，外径 18.2cm，孔径 4.4cm，厚 0.95cm。器物为圆形，中间圆孔呈椭圆形。玉璧呈深褐色，颜色不均匀，杂色较多，不透明，有蜡质光泽。器物外缘一周及表面多处都有黑色沁附着。玉石内部杂有白色络，并有截面为三角形及正方形的金属光泽矿物分布。

玉璧（编号 Z0759）

玉璧重 262.8g，直径 15.1 ~ 15.4cm，圆孔内径

6.1cm，侧边薄厚不均，厚约0.3~0.6cm。玉璧呈乳白色，不透明，玻璃光泽，细粒状结构，玉质内有黄褐色缟呈条带状分布。边部轻微受沁呈现石质光泽。器物表面有一条似划痕的白色细脉穿插其中。

2 齐家文化圆形玉器工艺研究

小玉璧（编号19818）

玉璧孔内留下的明显螺旋钻痕，为管钻工具夹

带解玉砂造成。在磨制过程中，管钻工具因磨损而内外壁同时减薄，因此玉璧钻孔呈现上大下小的形状，而被去除的玉璧芯正好相反，呈现上小下大的形状。孔壁内螺旋痕从孔径大的一侧开始，到距离另一侧约1~2mm处停止，在圆孔未完全钻通的情况下将玉璧芯料敲击打掉（并且从玉璧正面敲掉玉璧芯料的可能性很大），造成玉璧背面圆孔处大部分玉料被芯料不规则带走而留有破茬（图1-1），由此也正好可以推断出该玉璧是先进行了两面抛光，然后钻孔去芯料。



图1-1^① 小玉璧（编号19818）钻孔内留有细密螺旋痕及断口



图1-2 小玉璧（编号19818）器物背面平直切割痕台阶

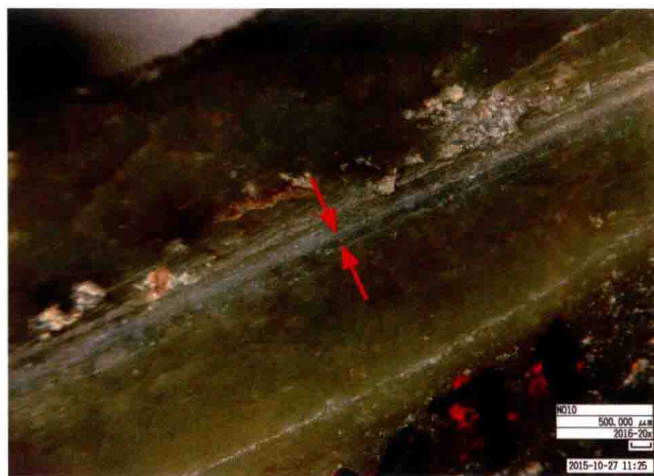


图1-3 小玉璧（编号19818）器物背面切割痕台阶显微图像



图1-4 小玉璧（编号19818）表面擦痕及摩擦方向

① 为了便于阅读，本书按器物进行编号，与该器物相关的局部图及检测图均归入该器物的图序内。

器物背面有一道笔直的切割痕台阶,没有任何弧度和弯曲(图1-2)。利用三维视频显微镜对台阶处放大观察,发现台阶痕剖面分为两部分:下部分为一道粗细均匀的平滑细槽,槽宽约0.3~0.4cm(图1-3两箭头间的距离);上部分呈宽窄不均、参差不齐的齿状,有明显的断裂痕迹,是加工玉璧开料时双向片切割存在误差在交汇处敲断所留痕迹。台阶剖面两部分厚度相近,总厚度约1cm。两者过渡处并未形成明显的坡度,可推测底部的细槽宽度可约等于当时工匠所用片切割工具的厚度,约0.3~0.4cm(图1-3两箭头间的距离)。

观察器物表面,不难发现,器物表面有明显的磨错痕迹,磨错痕细密且近似平行,方向单一,证明磨错工具是以与图中黑线平行的方向来回做往复运动来加工器物。

还有一个加工现象值得一提,那就是在器物正面,在玉璧较薄部位可见一处明显凸起的棱脊,棱脊两侧平面呈坡状,每个坡面上的磨错痕迹近似平行但磨错方向不同,表明加工器物时棱脊两侧磨错方向不同(图1-4两条黑线所指方向),而脊棱的形成正是不同磨错方向的两次工序后的相交棱,及两次工序的磨错面不在同一个平面所造成。

小玉璧(编号20231)

玉璧侧面的磨错痕细密均匀且近似平行,显微镜下可见其形貌高低起伏,并非平滑直线,而是呈断续波浪状平行排布(图2-1),本研究倾向于认为这种粗粒平直的磨错痕是往复同向磨圆玉璧外沿时留下的。

通过显微图像观察可见,玉璧正反两面都有定向的磨错痕迹,玉璧反面的磨错痕迹较正面更加明显。观察玉器背面,所有擦痕近似平行且为同一方向(图2-2),因为玉璧表面没有经过细磨和抛光程序,所以此擦痕应该为切割玉料时所留,切割玉料成为片状玉璧最可能的工艺是片切割方式。另外,通过玉璧正面平滑反面凹凸不平且正面外圆直径大于反面外圆直径的现象(也就是玉璧外沿侧面呈斜坡状)可知,加工该玉璧的玉料原为一块近似

不规则球形的大料,片切割边缘一块玉料下来后再加工玉璧,片切割的这个面就是玉璧的正面,玉璧反面则是其后切割掉另一小部分玉料后形成的一个小平面,平面周围的凹坑正是球状玉料外表面原状的真实体现。

观察玉璧钻孔处,从正面可见孔内径上大下小,内壁呈斜坡状,清晰可见一圈圈分布均匀的螺旋痕,痕迹整体光滑平整,具有从玉璧正面开始进行单管钻的特征。在管钻加工玉璧孔时,工艺依旧保持着齐家玉器的制作风格,在没有完全钻透玉璧时(距离另一侧约1~2mm),用工具将玉璧芯敲掉,使玉璧背面孔洞处留有不规整齿状边缘(图2-4)。观察钻孔内部,玉璧孔内侧参差断痕的宽度有所差异,在靠近背面处出现了几条较深的弧形台阶(图2-3),是管钻工艺的明显特征。有一个特别值得关注的工艺细节是:该玉璧在管钻未钻通玉璧孔时,敲掉玉璧芯料的方向与编号为19818小玉璧的方向正好相反,从玉璧反面向正面施力敲击打掉玉芯料的可能性很大。

玉璧芯(编号20229)

玉璧芯整体形状规则,做工良好,仅在大圆边缘有几处很小的断碴儿,其他部分光滑平整(图3-1)。仔细观察玉璧芯侧面斜坡处,有三道明显棱线,棱线凸起且高于两侧斜坡(图3-2),该棱线为管钻加工玉器(玉璧)圆孔时留下:因管钻时工具磨损而更换另一钻管,抑或是管钻着力点发生变化导致圆心偏移。斜坡处还隐约可见钻孔时留下的凹凸不平的螺旋痕,这些现象都应该是管钻夹带解玉砂加工玉璧孔时,玉璧芯料与玉璧分开而形成的。玉璧芯表面留有少量土沁,放大观察表面有深浅不一的沟壑,应是玉石本身的纹路。

另外,该玉璧芯小圆面边缘光滑平整,大圆面边缘有断碴儿,虽后期经过加工处理,断碴儿痕迹不太明显,但也能明显看出两面边棱的区别。证明在加工时玉璧芯的小圆面朝上,大圆面向下,而大圆面处细小豁口则是在管钻打孔未全部钻通时就敲



图 2-1 小玉璧（编号 20231）定向排列的水线状磨错痕



图 2-2 小玉璧（编号 20231）背面磨痕



图 2-3 小玉璧（编号 20231）钻孔内部的台阶痕



图 2-4 小玉璧（编号 20231）钻孔背面的崩碴儿

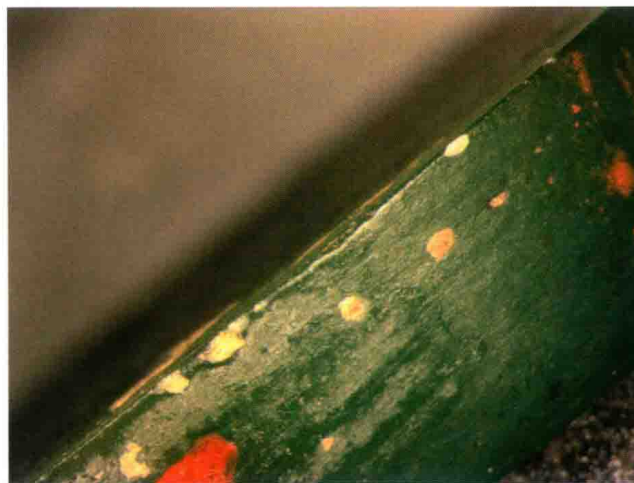


图 3-1 玉璧芯（编号 20229）侧面有一道凸起，猜测为工匠更换管钻工具时留下的螺旋纹痕迹

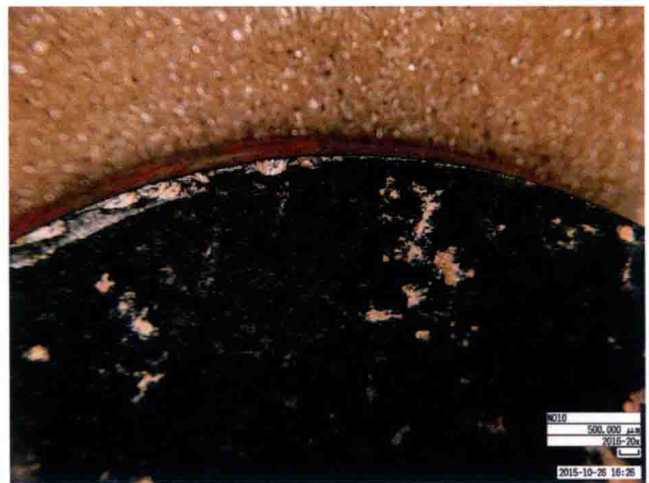


图 3-2 玉璧芯（编号 20229）背面边棱有缺口