

# 砣具配合解玉砂雕刻玉器纹饰的可能性分析

邓 峰<sup>1,2</sup>, 罗武干<sup>1,2</sup>, 杨益民<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044;

2. 中国科学院大学科技史与科技考古系, 北京 100049

**摘 要:** 玉器是中国传统文化的标志性符号之一, 但古代文献中关于玉器加工工艺的记载甚少。人们只能借助模拟实验和加工痕迹的显微分析, 来解读古代玉器的制作工艺。至迟出现于商代的砣具, 是一种旋转加工工具, 它可显著提高玉器表面纹饰的加工效率。以往学界的主流观点是, 利用砣具雕刻玉器表面纹饰(雕花)时, 其锯片的硬度远低于玉石的硬度, 必须添加解玉砂来辅助雕刻。然而, 本文的模拟实验表明, 即使不使用解玉砂, 硬度低于玉石的铁锯片也能为玉器雕花; 同时发现使用砣具配合解玉砂并不利于雕花操作, 因此对于古代用砣具配合解玉砂来雕花的观点需要审慎解释。再者, 古代也有硬度能达到或超过软玉(摩氏硬度为6-6.5)的钢, 这种钢砣使用时更无需添加解玉砂。此外, 显微分析表明, 用现代金刚砂锯片雕花会留下独特的加工痕迹, 应可作为鉴伪证据。

**关键词:** 玉器; 雕刻; 解玉砂; 砣具; 鉴定

中图法分类号: K876.8; 文献标识码: A; 文章编号: 1000-3193(2015)04-0537-07

## Feasibility Analysis of Using Rotary Incising Wheels with Abrasives to Engrave Jade

DENG Feng<sup>1,2</sup>, LUO Wugan<sup>1,2</sup>, YANG Yimin<sup>1,2</sup>

1. Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins of Chinese Academy of Sciences, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044;

2. Department of Archaeometry, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049

**Abstract:** Although jade is one of the symbolic signs of Chinese traditional culture, little information is known about the carving techniques of ancient jade due to few ancient literature records or excavated tools. Research about the traditional practice of jade carving are based on modern simulation results of jade carving and tool mark analysis of carved features. Rotary incising wheels, which appeared at the latest in the Shang Dynasty, greatly improved the

收稿日期: 2014-06-19; 定稿日期: 2014-10-13

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项资金(2014YQ240445)和国家自然科学基金(40802002)资助。

作者简介: 邓峰(1989-), 男, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所硕士研究生, 学习方向为科技考古。Email: easy163@vip.qq.com

通讯作者: 杨益民, Email: yiminyang@ucas.ac.cn

**Citation:** Deng F, Luo WG, Yang YM. Feasibility Analysis of Using Rotary Incising Wheels with Abrasives to Engrave Jade[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2015, 34(4): 537-543

efficiency of carving jade. Generally, it is considered that engraving soft jade with moderate hardness (Mohs hardness 6-6.5), which is harder than the wheel materials such as bronze and iron, should use abrasives. In this paper, we suggest that an iron wheel with lower hardness than soft jade can engrave jade without using abrasives. It is not easy to use rotary incising wheels with abrasives to incise jade, and thus we should be cautious to argue that rotary incising wheels for working jade need the abrasives in ancient times. Furthermore, there existed steel with higher hardness than soft jade in ancient times, and this rotary steel wheel doesn't require abrasives. In addition, tool marks analysis using digital microscopy showed that some special carving features existed in engraved grooves when using modern diamond saw blade, which can be evidence for identifying fake jade.

**Key words:** Jade carving; Abrasives; Rotary incising wheels; Tool marks; Jade authentication

## 1 前言

玉器在我国有着非常悠久的历史,其研究是考古学的重要内容;古代玉器加工工艺的研究一直是考古学的热点问题。鉴于出土的玉器加工工具和古代文献较少,加工工艺研究主要依赖于加工痕迹的显微分析——在模拟实验的基础上,利用显微镜、显微CT或扫描电镜等仪器观察古代样品或加工痕迹的硅胶翻模,从而推断加工工艺信息<sup>[1-9]</sup>。

砣具是一种旋转锯片,用于玉器的打磨、切割或雕刻,它可显著提高玉器制作的加工效率;其材质可能为木质、石质、铜质或铁质,但迄今为止没有发现十分明确的古代砣具,因而对具体材质知之甚少。根据玉器的加工流程,砣具可分为若干种类,如切割用的铡砣,打磨用的冲砣,掏膛用的碗砣,以及玉器表面雕刻纹饰(雕花)时用的砣具。Strahan等人分析了大英博物馆收藏的商代玉器,根据表面加工痕迹认为雕花用的砣具在商代就已出现,但没有判断砣具的材质;之后对比了利用硬度较低的砣具配合解玉砂及金刚砂锯片进行雕花操作的异同,并指出可以区分二者的痕迹<sup>[7]</sup>。Sax等人认为,根据线条的横纵截面特征,可以识别砣具加工的痕迹;在利用砣具开展模拟实验时,也考虑了解玉砂的使用<sup>[10-11]</sup>。国内一些学者也认为,砣具的硬度低于玉器,直接用砣具无法雕刻,必须使用硬度较高的解玉砂<sup>[12-13]</sup>。此外,一些民间的玉器爱好者、收藏家同样认为,古代使用砣具雕刻玉器时,由于砣具硬度不够,所以在使用时必然会加入一定的解玉砂<sup>[14-15]</sup>。总之,主流观点认为,古代使用砣具雕刻玉器表面纹饰时必须配合使用解玉砂。

明代以前的文献中未见玉器加工工艺的记载。明清时期关于玉器加工的文献,主要是明末的《天工开物》和清代光绪时期的《玉作图说》。《天工开物》中记载,“凡玉初剖时,冶铁为圆盘,以盆水盛沙,足踏圆盘使转,添沙剖玉,逐忽划断”,这说明解玉砂和切割用的铁圆盘(砣具)是用于开料工序<sup>[16]</sup>;除此之外,该书没有论述其他制作工艺。

《玉作图说》的记载较为详细,涉及开料、上花打眼和钻孔等工艺,在开料、透花、掏膛和打钻中皆明确提及解玉砂的使用,如开料工艺中记载:“器用聚钢条及浸水黑石沙,凡玉体极重即宜用此图内所画之图以开之……”;但雕刻上花工艺中记载:“玉作上花,

具皆用小圆钢盘，盘边甚薄，似刀，名之曰丁子，全形似圆帽丁子，故名之。或用小钢碓名为轧碓。此等具可以随意改作，大小以方便适用为度。凡玉器无论大小方圆，外面应有花样者皆用此等具磨冲以上花”<sup>[17]</sup>，即用小钢碓（砣）雕刻时并未提到解玉砂的使用。既然其他可能涉及解玉砂的工艺都明确记载了解玉砂的使用，似无道理在描述雕花时故意忽略解玉砂的使用；因而，非常有可能当时的玉器工匠在上花工艺中就没有使用解玉砂，但这又不符合“常识”——硬度低于玉石的工具无法直接雕刻玉石。鉴于此，本文使用不同硬度的铁质锯片对岫岩玉进行雕刻，并开展加工痕迹的显微分析，以期给出新的认识。

## 2 实验材料和方法

实验中选取硬度为 5~5.5 的岫岩玉为加工对象，用硬度为 4 的铁片和硬度为 7 的钢片分别制作成砣具；选用 200 $\mu\text{m}$  粒径的氧化铝研磨料来替代解玉砂；用现代电动工具为砣具提供旋转动力，转速设定约 1200 转 / 分钟，这是弓钻能达到的转速，也应是古代砣具所能达到的转速。

具体实验操作步骤如下：将铁锯片、钢锯片、刃部嵌有金刚砂的现代工业锯片（简称“金刚砂锯片”）分别固定在电动工具上，转速设定为 1200 转 / 分钟，再分别利用这三种锯片在岫岩玉上雕刻直线和曲线，同时在雕刻过程中不断地向雕刻表面加入清水。此外，还使用铁锯片配合研磨料进行线条的雕刻——利用流水装置让氧化铝粉末混合水形成的浆体在雕刻时不断添加到锯片与玉石的接触面。

图 1 是本次实验中所用到的工具及岫岩玉。对雕刻而成的线条，利用数码显微镜 VHX-600（KEYENCE, Japan）开展加工痕迹的显微分析。

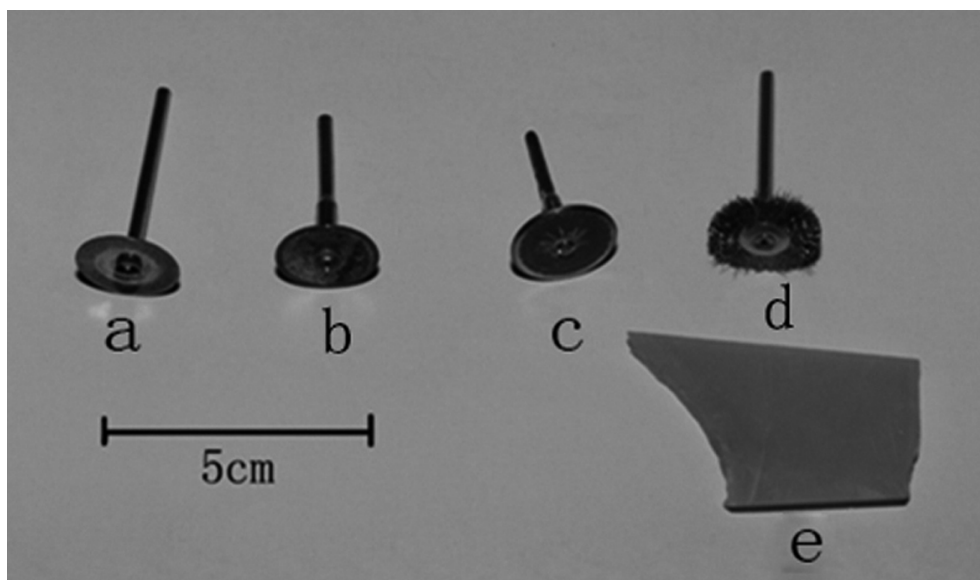


图 1 加工工具和玉石

Fig.1 Tools and jade used in this experiment

a. 金刚砂锯片 wheel with diamond blade; b. 铁砣 iron wheel; c. 钢砣 steel wheel; d. 打磨工具 grinding tool; e. 岫岩玉 jade

### 3 结果与讨论

#### 3.1 砣具雕刻时不加解玉砂

模拟雕刻实验表明, 钢砣、铁砣和金刚砂锯片均可以在不加入解玉砂的情况下, 雕刻出直线和曲线。由于铁砣的硬度低于钢砣, 钢砣的硬度低于金刚砂; 因此在同样的转速下, 雕刻出同样粗细的线条, 金刚砂锯片所需要的时间最短, 钢砣次之, 铁砣所需要的时间最长。三种砣具在雕刻时, 都需要在砣具和玉器的接触面随时滴加适量清水, 以提高工作效率。

尽管铁砣的硬度低于岫岩玉的硬度, 但无需解玉砂也可以对玉石进行雕刻; 而通常人们认为, 硬度低的物质无法刻划硬度高的物质。这两者看似矛盾, 但实际上并不矛盾。原因在于, 旋转砣具对玉器雕刻, 不同于用刻刀对玉器的雕刻; 砣在对玉器加工作用时, 与其说是“刻”的过程, 不如说是“磨”的过程。因为砣具不可能一瞬间在玉石上产生痕迹, 需要一定时间的摩擦, 而且不同硬度工具所需要的时间不一, 硬度越高, 所需时间越短。

公元前 113 年西汉刘胜墓出土钢剑刃部的维氏硬度达到 900~1170HV, 即摩氏硬度约为 6~7.5 度<sup>[18]</sup>; 那么清代钢的硬度完全可能达到 7。即使清代的钢砣硬度没有达到模拟实验中所用钢砣的硬度, 也可以进行雕刻, 只是加工时间会增加。因此, 清代《玉作图说》记载的“上花图”中, 仅用钢砣对玉器进行刻花, 完全合理可行。

金刚砂锯片雕刻出的直线和曲线, 未经打磨抛光时, 在线条内部会留有大量的直线划痕, 这些划痕十分明显且相互平行 (图 2a 和图 2b); 经过抛光打磨之后, 这些线条内部的划痕虽有所减弱, 但仍可见到 (图 2c 和图 2d), 需要指出的是, 铁砣和钢砣所雕刻的线条中通常不见此类划痕。

图 3a、图 3b 和图 3c 分别为铁砣在玉器上直接雕刻成的直线和曲线, 未使用氧化铝粉末作为研磨料。不难发现, 线条内部光滑平整, 未见任何直线划痕。而由钢砣雕刻而成的直线, 其特征与铁砣雕刻而成的直线相似。图 3d 和图 3e 分别为由钢砣雕刻而成的曲线, 其线条内部同样十分光滑平整。

观察上述砣具的刃部, 金刚砂锯片的刃部较为粗糙, 有大量的金刚砂颗粒嵌在刃部; 而铁砣与钢砣的刃部平整光滑。显然, 砣具雕刻的线条, 其内表面是否存在排列规则且相互平行的划痕, 应该是与该砣具刃部的粗糙程度有关。尽管这种划痕, 会因为抛光打磨有所减弱, 但很难完全消失。而这种刃部粗糙的特点, 只有金刚砂锯片才具有。因此, 如果观察到雕刻线条内部存在排列规则且相互平行的划痕, 那么可以断定这些线条是由刃部嵌有金刚砂颗粒的锯片所雕刻而成。而铁砣和钢砣所产生的线条, 内表面均较为平整光滑, 无法将两者加以区分。

#### 3.2 砣具雕刻时配合解玉砂

模拟实验表明, 铁砣进行雕刻时, 若加入氧化铝粉末作为解玉砂, 则只能勉强在玉石上雕刻出直线 (图 3f); 这些线条的内部十分光滑平整; 末端也有短促、不连续的划痕, 这与 Donna Strahan 等人和 Sax 等人的实验一致<sup>[7,10]</sup>。



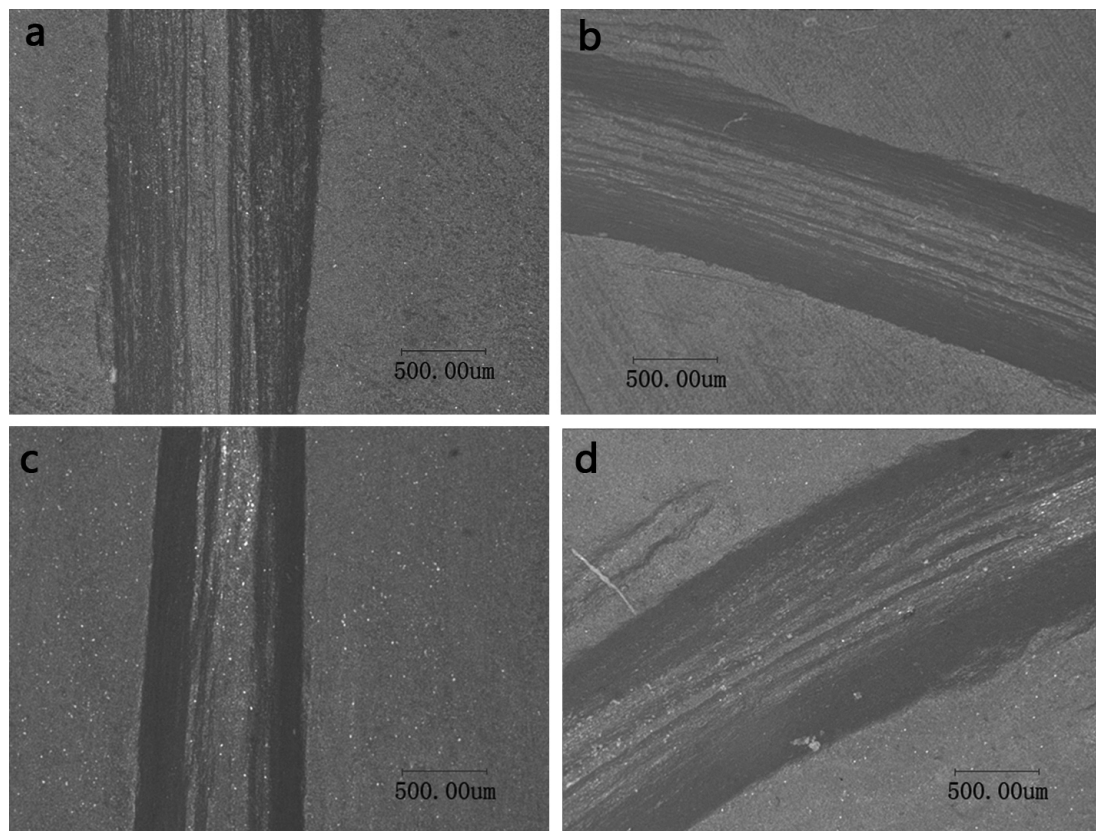


图 2 a. 金刚砂锯片加工出的直线 (未抛光打磨); b. 金刚砂锯片加工的曲线 (未抛光打磨); c. 金刚砂锯片加工的直线 (抛光打磨后); d. 金刚砂锯片加工的曲线 (抛光打磨后)

**Fig.2 a. Lines made by diamond blades, unpolished; b. Curves made by diamond blades, unpolished; c. Lines made by diamond blades after polishing; d. Curves made by diamond blades after polishing**

使用铁砣配合研磨料对玉石表面进行雕刻,其操作难度较大。研磨料在旋转的铁砣下,无法停留在玉器和砣具的接触面,将随着铁砣的旋转而不断地飞溅;若要让一定量的研磨料停留在接触面,则只能增加研磨料的数量。增加研磨料之后,它们将堆积在玉器表面,使雕刻者无法观察雕刻的线条和进展;这样,雕刻者只能凭感觉控制线条的长短、粗细以及线条之间的间隔等,很难保证线条的流畅。若要雕刻复杂的图案,就更不可能。因此,从操作角度而言,在用砣具雕刻时,配合解玉砂,反而难以实现。

## 4 结 论

传统观点认为,硬度较低的材料做成砣具,要对硬度高的材料进行雕刻,必须加入解玉砂。然而,本文的模拟实验表明,将低于玉石硬度的金属材料制成砣具,只要配合清水,即可在玉器上进行雕花。若将锯片配合使用解玉砂进行雕刻,其难度将陡然增大,尤其难以刻划流畅的曲线。何况古代也有硬度达到或超过软玉(硬度 6-6.5)的钢,使用这

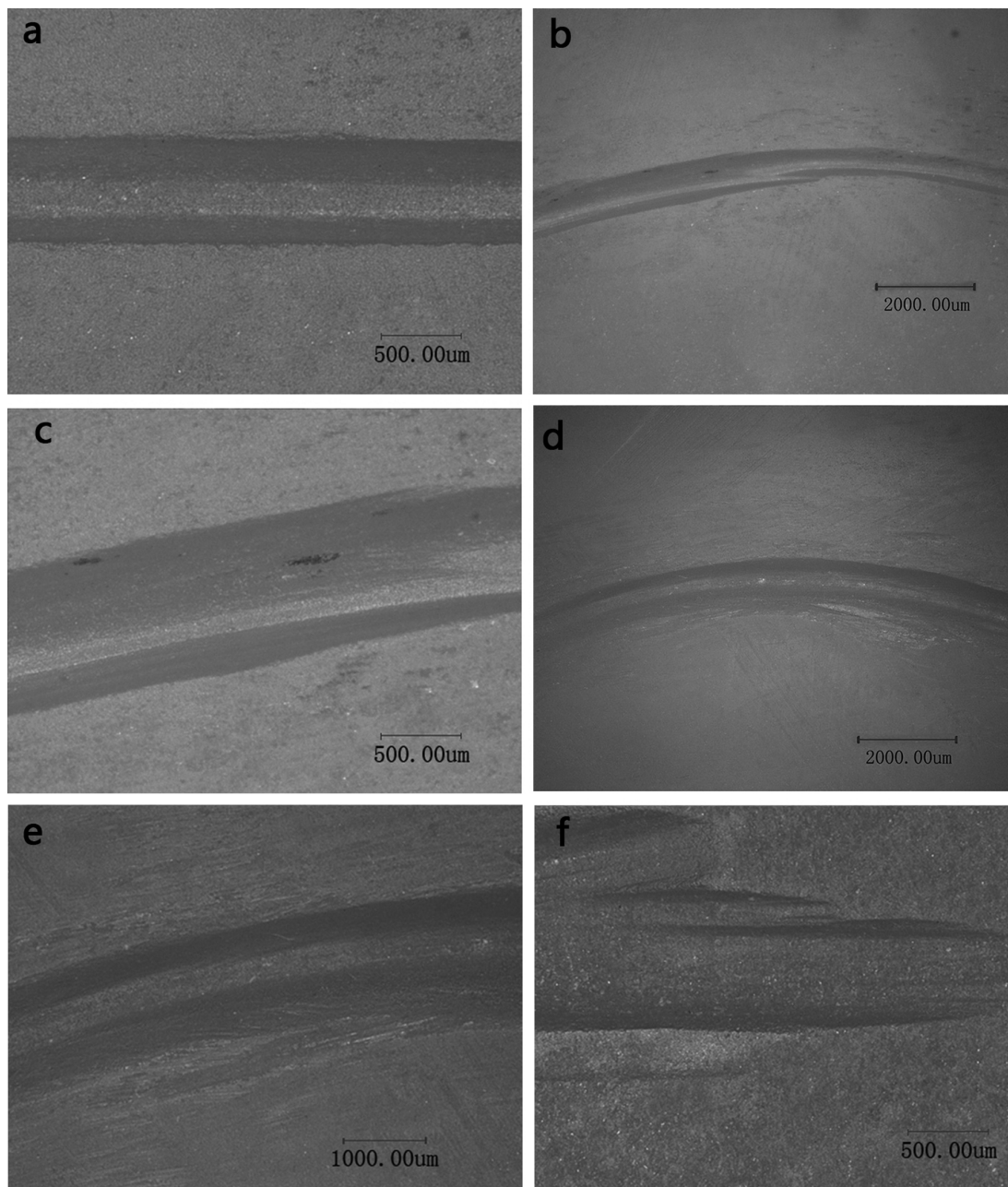


图 3 a. 铁砣加工的直线 (未使用研磨料); b. 铁砣加工的曲线 整体 (未使用研磨料); c. 铁砣加工的曲线 局部放大 (未使用研磨料); d. 钢砣加工的曲线 整体 (未使用研磨料); e. 钢砣加工的曲线 局部放大 (未使用研磨料); f. 铁砣加工的直线 (使用研磨料)

**Fig.3 a. the line made by an iron wheel without adding abrasives; b. the curve made by an iron wheel without adding abrasives; c. the curve made by an iron wheel without adding abrasives; d. the curve made by a steel wheel without adding abrasives; e. the curve made by a steel wheel without adding abrasives; f. the line made by an iron wheel with using abrasives**

种钢砣更无需添加解玉砂。模拟实验的结论与古代文献的描述完全相符，即古人使用砣具雕刻表面线条时，无需使用解玉砂；换言之，上述传统观点明显错误。

模拟实验还指出，根据雕刻线条的痕迹，可以判断砣具雕刻时是否添加解玉砂。

此外，如果雕刻的线条内存在细小且相互平行的长划痕，那么该线条应由金刚砂锯片雕刻而成；而锯片表面镶嵌金刚砂或钻石的技术是 Richard Felker 于二战期间发明<sup>[19]</sup>，这可为现代仿古玉器的鉴伪提供一个新判据。

致谢：两位审稿人对本文提出重要修改意见，作者在此向他们表示感谢。

## 参考文献

- [1] 陈启贤. 琢磨微痕探索在古玉研究中的功用[J]. 文物, 2009, 7: 68-73
- [2] 杨益民, 郭怡, 王昌燧, 等. 西周曾国墓地绿松石珠微痕的数码显微镜分析[J]. 文物保护与考古科学, 2008, 20(1): 46-49
- [3] Kenoyer JM, Vidale M. A new look at stone drills of the Indus Valley tradition[J]. Materials Issues in Art and Archaeology, III, 1992, 267: 495-518
- [4] 张敬国, 杨竹英, 陈启贤. 凌家滩玉器微痕迹的显微观察与研究——中国砣的发现[J]. 东南文化, 2002, 5: 16-27
- [5] 邓聪. 线切割 vs. 砣切割[J]. 故宫学术季刊, 2005, 23(1): 35-51
- [6] 张敬国, 张敏, 陈启贤. 线性工具开料之初步实验——玉器雕琢工艺显微探索之一[J]. 东南文化, 2003, 4: 46-50
- [7] Strahan D, Fenn M. A transfer of technology: Jade abrasive methods used to create inscriptions in ancient Chinese bronzes[A]. Douglas JG, Jett P, Winter J, (eds). Scientific Research on the Sculptural Arts of Asia. Proceedings of the Third Forbes Symposium at the Freer Gallery of Art[C]. Washington DC: Archetype Publications, 2007, 26-36
- [8] Hodgskiss T. Identifying grinding, scoring and rubbing use-wear on experimental ochre pieces[J]. Journal of Archaeological Science. 2010, 37: 3344-3358
- [9] Gorelick G. The change from stone drills to copper drills in Mesopotamia[J]. Expedition, 1987, 29(3): 15-24
- [10] Sax M. The identification of carving techniques on Chinese jade[J]. Journal of Archaeological Science. 2004, 31: 1413-1428
- [11] Sax M. The introduction of rotary incising wheels for working jade in China[A]. Douglas, JG, Jett, P, Winter, J (eds). Scientific Research on the Sculptural Arts of Asia. Proceedings of the Third Forbes Symposium at the Freer Gallery of Art[C]. Washington D.C.: Archetype Publications, 2007, 20-25
- [12] 北京市玉器厂技术研究组. 对商代琢玉工艺的一些初步看法[J]. 考古, 1976, 4: 229-233
- [13] 徐琳. 中国古代治玉工艺[M]. 北京: 紫禁城出版社, 2011, 60
- [14] 孙为东. 古玉鉴真[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2013, 27
- [15] 沈泓, 舒慧芳. 玉石鉴赏与收藏[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2007, 136
- [16] 宋应星(明). 天工开物[M]. 杭州: 浙江人民美术出版社, 2013, 438
- [17] 杨伯达. 李澄渊的《玉作图说》[J]. 收藏·拍卖, 2006, 1: 54-60
- [18] 李飏, 李祖德. 中国古代块炼铁技术[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 1999, 4(1): 4-12
- [19] Willam Locks. Diamond Blade Knives-Some of the Sharpest in the World. 2014. <http://whatsthatknife.com/diamond-blade-knives-some-of-the-sharpest-in-the-world/>