

# 浅谈殷墟青铜器的铸后打磨工艺

翟少冬

朱雪峰

徐宏杰

岳占伟

何毓灵

(北京 100710) (河北 邯郸 056000) (江西 南昌 330025) (北京 100710)

**摘要:**打磨是青铜器铸后的重要加工环节,学术界鲜有讨论,殷墟孝民屯遗址出土的数千件多种形状的磨石为认识这一工艺提供了材料。本文在打磨实验和对孝民屯遗址出土青铜器铸后痕迹观察的基础上,认为遗址出土的球状和有正圆平面的扁平状磨石可能不是用来打磨青铜器的,铸后打磨使用的磨石大多为中细粒的长石砂岩或岩屑长石砂岩,打磨内容包括青铜器铸造后留在铜器上的范线、模外范内涂层的涂刷痕迹,以及因铸造缺陷而产生的坑洼不平等痕迹。

**关键词:**殷墟青铜器;磨石;铸后痕迹;铸后打磨

中图分类号:K871.3

文献识别号:A

文章编号:1001-0327(2020)05-0098-12

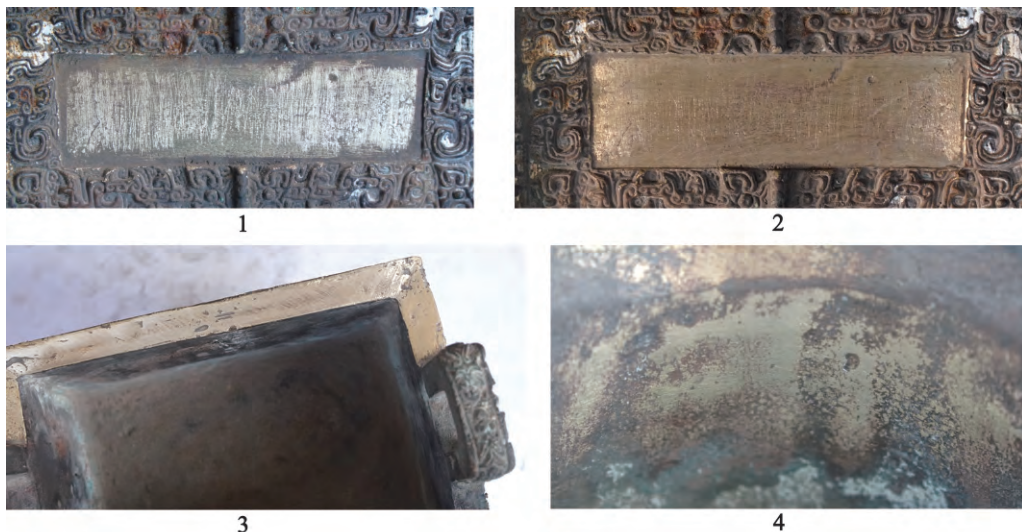
殷墟青铜器的制作流程包括器物浇铸前的矿料开采冶炼、合金配比熔炼、陶范铸型制作和器物浇铸后的铸后加工环节。目前,学界关注的焦点大都集中在器物浇铸前的环节,尤其是陶范的铸型,铸后加工环节相对关注较少。其实铸后加工也是青铜器制作过程中不可缺少的环节,在高质量的青铜器制作过程中发挥着重要作用。正如《荀子》所说,“不剥脱,不砥厉,则不可以断绳。剥脱之,砥厉之,则鬲盘孟,勿牛马,忽然耳。”华觉明根据唐代杨倞的注解认为,这里的“剥脱”就是“铸后清理,即打开铸型之后清除范土、型芯等粗活,以及较为细致的清理工作,如锤击、锯割、锉削、刮削等方法去除飞边和多肉,用剔凿、刮锉等方法去除烧结的范土,芯料和毛刺、边棱等。”“砥厉”指“磨削”,也就是精整,“即用剔凿、刮削、磨研、抛光等手段对铸件表层做精细加工,以期得到合用和美观的成品。”可见,一件精致青铜器成品的制成离不开反复精细的清理和精整等铸后加工工作<sup>[1]</sup>。

铸后加工的内容在春秋中期以前主要针

对器物本身的清理和磨研,装饰主要由铸型来完成。春秋中期以后随着铁器的普及效率大大提高,铸型逐渐简化,镶嵌、锤锻篆刻等装饰工艺也包括进来<sup>[2]</sup>。铸后加工的工作量巨大,华觉明根据清代有关文献中用工量的记载,又考虑到商周时期铸后加工主要由铜石工具来完成,推算商周时期青铜礼器铸后加工的用工量依器物复杂程度的不同大概是铸造的6~9倍<sup>[3]</sup>。殷墟孝民屯遗址发现的大量磨石因为出土于铸铜遗址,被发掘者认为大部分是用来打磨青铜器的<sup>[4]</sup>,巨大的磨石数量也说明铸后加工工作量的庞大<sup>[5]</sup>。

2000~2004年在殷墟孝民屯铸铜遗址发现了6000多件砂岩磨石,其形状、大小、厚薄多样。立体形状有片体、柱体、球体等,以片体为大宗,少量柱体,罕见球体;平面形状有圆形、椭圆形、方形、长方形、三角形、梯形、多边形以及不规则形等,以圆形居多。发掘者认为形状的不同是长期用来打磨青铜器的不同部位以及要求不同所致<sup>[6]</sup>。为了确认这批磨石的用途,2018年7月,我们观察了殷墟孝民屯遗

作者:翟少冬、岳占伟、何毓灵,中国社会科学院考古研究所;朱雪峰,河北工程大学文法学院;徐宏杰,江西省文物考古研究院。



图一 实验中打磨后铜器上的划痕

1.GS7 打磨铜方鼎腹部 2200 次后 2.GS7 打磨后用 GS20 打磨铜方鼎腹部 3000 次后 3.GS20 直接打磨铜方鼎口沿 4500 次后 4.GS28 打磨铜圆簋内壁 7000 次后

址出土的青铜器上的铸后痕迹，并在中国社会科学院安阳考古工作站进行了一次铜器的打磨实验，本次观察和实验使我们对仅在文献中记载的铜器铸后打磨工艺有了实践上的直接认识。本文旨在通过本次实验和对孝民屯遗址墓葬中出土青铜器铸后痕迹的观察，谈谈对殷墟青铜礼器铸后打磨工艺的认识。

## 一、实验目的、过程和结果

### (一) 实验目的

殷墟孝民屯遗址出土的砂岩磨石因为发现于铸铜作坊遗址，故自发现以来就被认为是用来打磨青铜器的，因此本实验的主要目的即是想验证这些磨石是否确实为打磨青铜器之用。验证的方法主要是观察实验中用磨石打磨铜器后器物上的痕迹，并将实验中铜器和磨石上的痕迹与遗址中出土的铜器上的痕迹进行比较。

其次，孝民屯遗址中出土的磨石形状多样，这些不同形状的磨石是否都曾用来打磨青铜器则是要验证的第二个问题。验证这个问题的方法主要是通过观察打磨实验过程中磨石形状的变化。我们也试图通过微痕分析、

XRF等科技手段来比较实验中使用的磨石和出土磨石的表面，但这些方法都没有奏效。

### (二) 实验过程

首先是实验材料的选取。实验过程需要的材料主要是铜器和磨石。本次实验中所使用的铜器是现代用失蜡法浇铸而成的一个黄铜方鼎和圆簋。实验中使用的磨石材料，开始计划在太行山上寻找，但尽管太行山上确实分布有用来做磨石的砂岩材料，但我们不熟悉这种石料在太行山上的分布情况，所以短时间内没有找到实验所需要的砂岩石料。为了保持和出土磨石石料的一致性，我们从遗址上采集到的一些磨石石料中挑选了几件作为实验磨石。我们对6件实验磨石和挑选出的15件出土磨石进行了岩石薄片鉴定，从鉴定结果(附表一)可以看出，和出土磨石的石料一样，用于实验的磨石以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主，还有长石岩屑砂岩和岩屑石英砂岩。

本实验首先使用较粗的岩屑石英砂岩(GS6、GS7)、细粒长石砂岩(GS20、GS22、GS37)以及介于两者之间的中细粒岩屑长石砂岩(GS28、GS3D)三种颗粒粗细不同、形状不同的磨石分别打磨铜鼎腹部和铜鼎口沿，观



图二 实验中磨石的打磨面

1.GS15 打磨面上的波纹状凸起 2.GS15 纵向打磨扉棱后在打磨面上形成的凹槽 3.GS28 未修整的一侧打磨铜簋内壁后的打磨面情况 4.GS28 修整后的一侧打磨铜簋内壁后的打磨面情况

察两种石料打磨铜器后在铜器表面留下的痕迹，同时观察打磨器物不同部位对磨石形状的选择；其次，使用较粗的岩屑石英砂岩磨石（GS15）打磨铜鼎的扉棱，以了解打磨范线后磨石形状的变化；第三，为了探究磨石形状的成因，实验中还采用了先修整磨石再打磨器物 and 直接用磨石打磨器物的不同方式（GS18、28、29），以观察两种情况下磨石形状的变化（附表二）。打磨实验结束后，在金相显微镜下观察了实验磨石和出土磨石的微痕。

### （三）实验结果

用磨石打磨铜器后会留下深浅不一、不甚规整的划痕。实验中用粗中粒岩屑石英砂岩（GS7）打磨铜鼎的腹部后，留下深浅不一的明显划痕（图一，1），再用钙质细粒长石砂岩（GS20）打磨后，原来的划痕变得不那么明显了，但较深的划痕依然存在（图一，2）；而直接用钙质细粒长石砂岩（GS20）打磨铜鼎的口沿

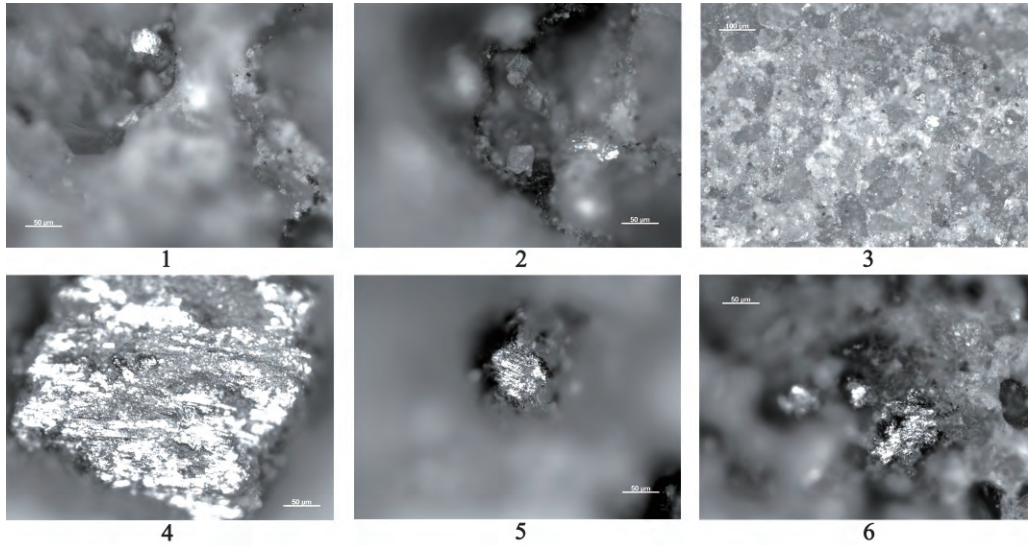
后，留下的划痕细密，较浅（图一，3）；用中细粒岩屑长石砂岩（GS28）打磨铜簋的内腹部，留下的划痕介于前两者之间（图一，4），虽没有粗中粒岩屑石英砂岩打磨的磨痕明显，但较钙质细粒长石砂岩打磨的痕迹明显许多。

打磨时遇到边角的地方，需要更换为有棱角的磨石，否则磨石很难深入到边角打磨。例如GS20是个三角形，而GS7基本没有棱角，所以铜鼎腹部经过GS20打磨后，原来没有打磨到的边角就基本都打磨到了。

磨石的形状会随着打磨时间和打磨部位的变化而变化。用磨石15（GS15）横向打磨铜鼎扉棱7分8秒，往复运动1000次后，打磨面上就已形成两条不甚明显的波纹状凸起，波纹状凸起随着打磨次数的增加而更加明显（图二，1），但随着波纹状凸起越来越明显，磨石的使用也变得越来越不顺手，因为波纹状凸起成为磨石往复运动的障碍。而当磨石纵向打磨扉

棱时磨石打磨面上容易形成凹槽（图二，2），但感觉纵向打磨明显没有横向打磨顺手。磨石15在打磨扉棱530分钟、往复打磨89000次后，两个打磨面较最初平整不少。

本实验还通过直接磨石打磨和先修整磨石形态再打磨两种情况对铜簋内壁进行打磨（GS28、GS29）。直接使用磨石打磨，由于磨石的打磨面不平整，少弧度，和铜簋内壁的弧面接触不充分，不如先将磨石打磨面修整成与铜簋内壁弧面差不多的弧边再进行打磨效果好。图二3、4相比较可以看出，在红砂岩石板上修整过的打磨面使用过的部位更多，可能和器物表面的接触面更大。另外，打磨时间久了，磨石打磨面的粗糙度也会降低，并且附着打磨下来的铜屑，这样不利于磨石的进一步使用，因此须对磨石的打磨面进行修整。在粗糙的石板上进行打磨可能为修整的一种方式，这样不仅可以去掉打磨面上附着的铜屑，



图三 部分出土磨石和实验磨石打磨面金相显微镜下的微痕(倍数均为 200X)

1.03AXST2108②:14 2.03AXST2807(15):1 3.03AXST2709M735:03 4.GS29 红石板磨后打磨铜簋内壁  
5.GS28 红石板磨后打磨铜簋内壁 6.GS20 直接打磨铜器

增加磨面的粗糙度,而且修整的时候也会根据器物表面的弧度对磨石打磨面的弧度进行修整,增加磨石和器物的接触面积,提高打磨效果。因此,打磨器物内壁的磨石会因为修整的原因逐渐形成和器物内壁弧度接近的弧面。

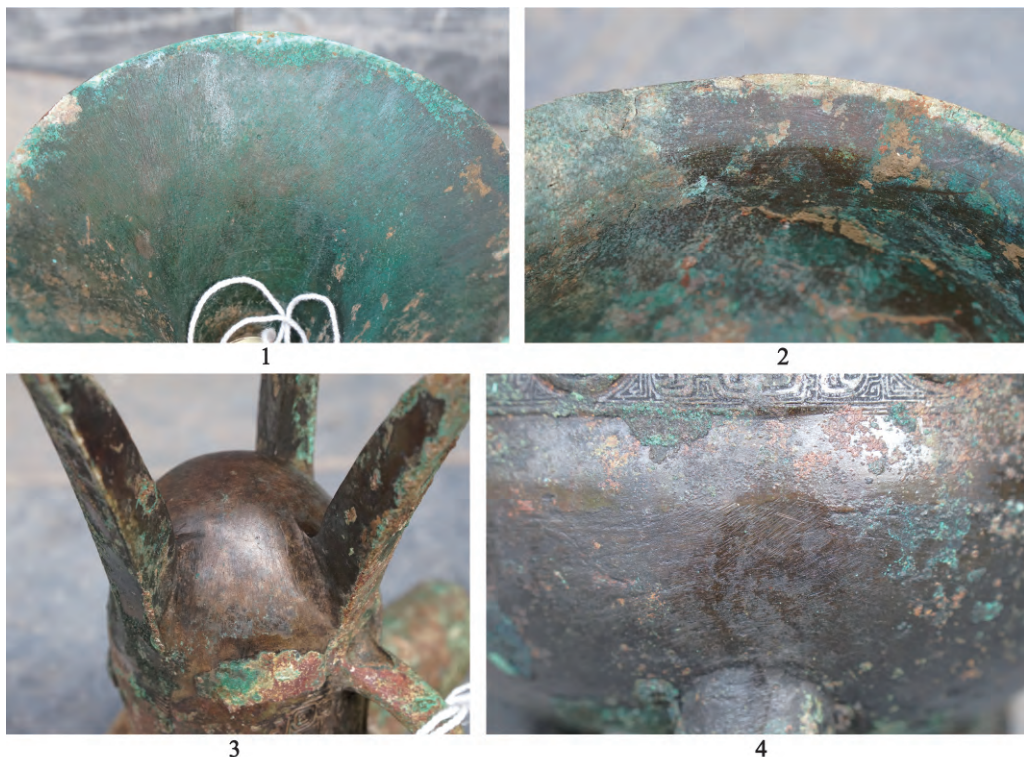
再者,出土磨石的打磨面看上去没有实验中使用过的磨石的打磨面光滑,我们认为这可能是因为后期埋藏对磨石打磨面有所作用的结果。我们对实验中使用过的磨石和出土磨石的打磨面在显微镜下进行了微痕观察,实验中使用过的磨石在显微镜下能够发现打磨面上很多有金属光泽的部位,但在出土的磨石上很难发现。实验中观察了6件出土磨石和9件实验中使用过的磨石,6件出土磨石中只有两件上各发现一处弱金属光泽,而9件实验用磨石中基本每件都可发现多处金属光泽(图三)。一些学者注意到后期埋藏过程对石制品表面形态的影响<sup>[7]</sup>,也有学者注意到土壤对石器表面可能产生的物理变化和可能发生的化学变化<sup>[8]</sup>。出土磨石不光滑的打磨面且高倍显微镜下鲜见金属光泽可能与磨石的后期埋藏有关。

## 二、孝民屯遗址出土青铜器上的铸后痕迹

青铜器铸造后会在铜器上留下一些痕迹,这些痕迹有助于我们了解青铜器的铸造工艺。之前不少学者就根据青铜器上的范线来分析青铜器的分范铸造技术<sup>[9]</sup>。孝民屯遗址墓葬中出土的青铜器上大都有明显的铸后痕迹,包括细密的划痕、有磨圆感的条痕、坑洼及波浪形痕、范线等。

### (一) 细密划痕

细密线状划痕,有的虽然被铜锈覆盖,但依然可以看到。划痕深浅不一,痕间距离不等,大面积分布处方向大体平行,腹底交接处与器物底部和裆部方向交错。分布于不同器形周身,但觚、斝、簋表面的分布范围更大,也更明显。另外器物有纹饰部位的划痕较少,素面无纹饰的部位则明显许多,例如弦纹爵身的划痕分布比饕餮纹爵器身的划痕明显得多,几件觚基本都是弦纹素面,因此划痕分布比较明显,鼎、爵的划痕主要分布在下腹部没有纹饰的地方(图四)。这些痕迹与实验中磨石打磨铜器产生的划痕相似,可能为铸后打



图四 殷墟孝民屯出土青铜器上的划痕

1.铜觚 T2615M699:1 内壁划痕 2.铜簋 04AXST3010M926:7 口沿上的划痕 3.铜爵 03AXNT1824M137:14 底部的划痕 4.铜鼎 03AXST2608BDM637:1 外壁上的划痕

磨所致。

### (二) 有磨圆感的条痕

此类痕迹与第一种细密划痕一样，都呈长条状，但较第一类划痕粗、深且有磨圆感，例如铜簋03AXNT1824M137:12圈足上的纹饰间凹下去部位的条痕，条痕为突起状，不同于第一类凹入器物表面的细密划痕，而且这种条痕不间断地延伸至纹饰转角深处（图五，3），应不是反复打磨所致，因为这是打磨深入不到的部位。这些条痕似为翻模所致，可能是浇铸后留下的痕迹。另外铜觚03AXST1913M402:1和03AXST1810M694:2外壁上也布满这种条痕（图五，1、2）。

西周时期周原青铜器的模外和范内壁有一涂层，研究发现这一涂层的成分可能是骨粉灰、泥浆或石膏<sup>[10]</sup>，印加人在生产青铜器时也会在范内涂抹一层骨粉灰，这一涂层应为器

物浇铸前涂抹上去，作用一是利于脱范，二是使器物表面光滑，三是便于模范重复使用<sup>[11]</sup>。殷墟孝民屯遗址出土的一件泥芯外也发现有一层细泥浆，泥浆涂刷上去的痕迹清晰可见（图六），刷痕多横向，有利于铜液流动。有的陶范在分型面上也发现一层淡红色细泥<sup>[12]</sup>，说明孝民屯的铜器浇铸前可能也会抹一涂层。孝民屯遗址出土青铜器外壁上有磨圆感的条痕和出土泥芯上泥浆的印痕非常相似，显示范内也可能抹一涂层。从条痕的形态的来看，和泥芯上的印痕一样，像是刷子刷过的。如此看来，这些条痕可能是青铜器浇铸前用刷子在陶范内刷了一层涂层而在浇铸之后印在铜器上的。

### (三) 坑洼及波浪形痕迹

铜鼎03AXST2608BDM637:1下腹表面有小坑洼和波浪形痕迹（图七，D）。相关研究表



图五 殷墟孝民屯遗址出土青铜上有磨圆感的条痕

- 1.铜觚 03AXST1913M402:1 外壁颈下磨圆感条痕 2.铜觚 03AXST1810M694:2 圈足上磨圆感条痕  
3.铜簋 03AXNT1824M137:12 圈足上纹饰间磨圆感的条痕

明青铜器浇铸时范块充型不良会造成表面气孔等缺陷,使铜器表面坑洼不平<sup>[13]</sup>。

#### (四) 范线

青铜器浇铸后范块拼合的地方会留下范线,刑范不正即范块尺寸不精确会造成块范变形、拼合不准、形状不准等问题,在青铜器上出现范线错位、跳台等现象<sup>[14]</sup>。铜鼎 04AXST3010M926 :9 腹底和铜爵 03AXST1328M85:3 腹底交界处有明显突起于器表的一道棱(图七,3、4),从铜爵铸造工艺来看,合范的部位主要分布在下腹部、底部及足部<sup>[15]</sup>,由此看来这道棱应该是范线,周围都有与其垂直分布的细密划痕。铜爵 03AXST1328M85:3 的腹部还有合范不准的错缝痕迹(图七,2)。

## 三、讨论

### (一) 磨石原料

我们挑选了15件出土磨石和6件实验用磨石做了岩石薄片鉴定,挑选的磨石形状包括扁圆形、扁方形、扁梯形、扁不规则形和球形等,并且从肉眼来看基本涵盖了各种不同的砂岩类型。检测结果表明,选作实验磨石的材料和出土磨石的材料基本相同。磨石的岩性主要为长石砂岩和岩屑长石砂岩,还有少量长石岩屑砂岩和岩屑石英砂岩,不见石英砂岩,其中除岩屑石英砂岩和岩屑长石砂岩有粗中粒的情况外,其他均为中细粒(附表一)。这些岩石基本都由碎屑和填隙物组成,碎屑的成分都是长石、石英和岩屑,区别在于



图六 殷墟孝民屯遗址出土泥芯上的刷印  
2003AXST1906④:35(图片来自注[10]图版 51)

各种成分的比例。石英砂岩中石英的含量为95%以上；长石石英砂岩和岩屑石英砂岩中石英的含量为75%~95%，二者的区别为长石和岩屑的含量不同；而长石砂岩和岩屑砂岩中石英的含量都不到75%。一般来讲，石英的含量越多，砂岩的硬度越高，长石的含量越多，砂岩的硬度越低。当然砂岩的硬度还取决于填隙物的成分。填隙物是将岩石的各种矿物粘合起来的物质，这些物质包括粘土杂基、硅质胶结物和钙质胶结物<sup>[9]</sup>。有的磨石中这几种填隙物都有，有的磨石中只有其中的一种或两种。总体来讲，填隙物为钙质胶结物的磨石较硅质胶结物的结构疏松，硬度也略低。孝民屯出土的磨石中大多为长石砂岩和岩屑长石砂岩，说明石英含量太高的砂岩如石英砂岩并不适合用来打磨青铜器。我们的实验也表明，石英含量相对比较高的磨石，如岩屑石英砂岩，打磨铜器后留下的划痕会比较明显，而去除这种划痕有一定难度，因此岩屑石英砂岩，可能并不经常被选来打磨青铜器，孝民屯工匠们可能尽量选择岩屑长石砂岩或者长石砂岩作磨石，以减少在器物表面产生较深的划痕。

## (二) 打磨内容

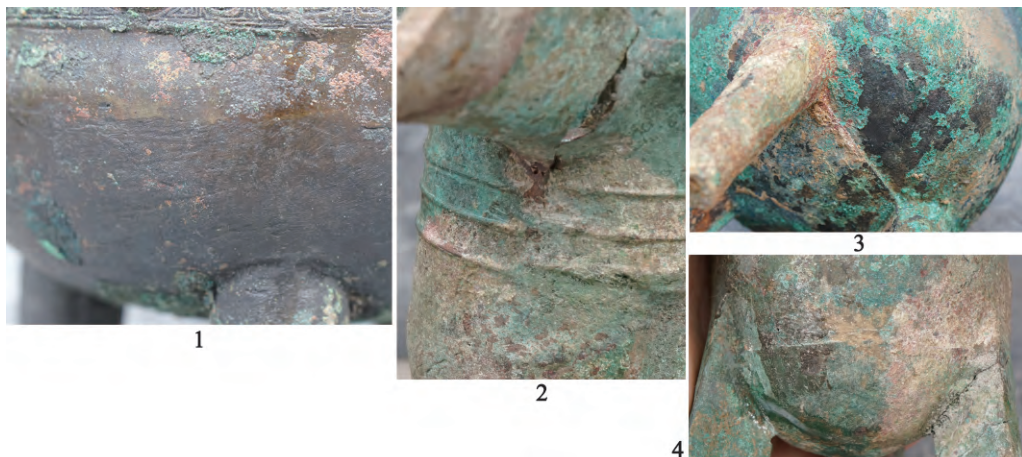
打磨作为铸后加工的一个重要环节，就是要磨掉那些青铜器制造过程中产生的、影

响青铜器美观的痕迹。华觉明认为铸后加工的剥脱包括铸型之后清除范土、型芯和去除飞边、多肉等较为细致的清理工作，而砥厉包括刮削、磨砺、抛光等对铸件表层的精细加工。其中不仅磨砺属于打磨的范畴，去除飞边、多肉等也属于打磨的范畴，因为这些工作都要用到锉削或者磨砺的工艺，如打磨铜器上的范线用的就是锉削工艺。但其实殷墟青铜器的铸后打磨内容可能远不止于此，铸造过程中产生的工艺痕迹和铸造缺陷都需要打磨掉，如上文提到的范线、表面坑洼不平，以及模外范内刷涂层的刷印等，这大概就是我们在铜器表面看到大面积打磨划痕的原因。诸多需要打磨掉的内容也说明打磨工作确实费时费工。

另外，打磨本身也会产生痕迹，所以工匠们会尽量选择颗粒较细的磨石，尽量减少打磨的痕迹。但打磨不是青铜器生产的最后一道工序，铜器上的打磨痕迹可能会被之后更精细的打磨或抛光工艺去掉，因此我们在大多数制作精美的青铜器上都看不到明显的打磨痕迹，例如在孝民屯出土铜器上抛光的部位就基本看不到打磨痕迹，在花园庄东地出土的许多青铜器上也看不到打磨痕迹。

## 四、结论

实验和出土铜器上的痕迹表明，殷墟孝民屯遗址出土的磨石可能一部分是用来打磨青铜器的，并且因打磨时间和打磨部位的不同，可能会修整磨石，例如打磨容器内壁时会将磨石的打磨面修整成弧形，以加大和容器内壁的接触面积，提高打磨效果。但对磨石打磨面的修整可能是尽量和容器内壁的弧度贴近，这样才可能起到应有的效果。所以孝民屯遗址出土的球状和有正圆平面的扁平状磨石可能不是用来打磨青铜器的，大概另有他用，其他形状的磨石可能曾用来打磨青铜器。另外，孝民屯铸铜遗址的一座房址(F5)里发现了残存1平方米左右的铜绿锈面，分布均匀，厚约0.5厘米，发掘者认为此绿锈面可能是修



图七 殷墟孝民屯遗址出土青铜器上的坑洼和范线

1.铜鼎 03AXST2608BDM637:1 下腹部表面的小坑洼和波浪形痕迹 2.铜爵 03AXST1328M85:3 腹部的错缝 3.铜鼎 04AXST3010M926:9 腹底的跳台 4.铜爵 03AXST1328M85:3 腹底交界处的跳台

整打磨铜器形成的。如果这样，F5就有可能是孝民屯铸铜遗址里专门用来打磨青铜器的场所，一些青铜器铸后打磨工作是在专门的场所中进行的<sup>[7]</sup>。

铸后打磨工艺使用的磨石大多为中细粒的长石砂岩或岩屑长石砂岩，打磨内容可能包括青铜器铸造后留在铜器上的范线、模外范内涂层的涂刷痕迹等铸造工艺痕迹，以及因铸造缺陷而产生的坑洼不平等影响铜器美观的痕迹。打磨铜器后会在铜器上留下深浅不一的划痕，这种铸后打磨痕迹在殷墟其他遗址出土的青铜器上也有发现，如殷墟梅园庄北地、刘家庄遗址墓葬中出土的铜器上大多可以看到这种痕迹。这种打磨痕迹可能会随着之后更精细的打磨或抛光工艺的使用而减弱或消失，因此在孝民屯铜器上抛光较好的部位很少看到打磨痕迹，在花园庄东地和水利局遗址墓葬中出土的抛光较好的青铜器上也基本不见打磨痕迹。

本文对殷墟青铜器铸后打磨工艺的认识是基于我们的实验和对没有除锈的青铜器表面铸造痕迹的观察获得的。腐蚀状态下的青铜器表面能够观察到的痕迹可能并不是青铜器表面铸后痕迹的全部，但目前观察到的痕迹基本可以说明我们想要表达的内容，青铜

器铸后打磨可能主要就是将这些铸造痕迹和铸造缺陷磨掉。实验中使用的是黄铜，不是青铜，黄铜较青铜质地略软，打磨后留在器物表面的痕迹或许会有差异。另外，我们实验中所使用的技术未必就一定就是殷墟工匠们使用的技术，但我们有限的实验经验或许能为更好地理解殷墟青铜器铸后打磨工艺提供一点儿新思路和新认识。有关殷墟青铜器打磨工艺的更多认识还有待今后更多地工作去解决。

**附记：**本研究得到中国社会科学院哲学与社会科学创新工程项目“石器微痕数据库建设”和国家重点研发计划“中华文明起源进程中的生业、资源与技术研究”（2020YFC1521606）的资助。感谢王学荣老师对本项目开展的鼓励！感谢评审专家和编辑对本文提出的中肯意见！

**注释：**

- [1]华觉明：《商周青铜礼器铸后加工的探讨》，《自然科学史研究》2007年第3期。
- [2]田建花、王静艺：《先秦青铜器的铸后加工》，《铸造》2018年第10期。
- [3]同[1]。
- [4]中国社会科学院考古研究所安阳工作队：《2000~2001年安阳孝民屯东南地殷代铸铜遗址发掘报告》，《考古学报》2006年第3期；殷墟孝民屯考古队：《河南安阳市孝民屯商代铸铜遗址2003~2004年的发掘》，《考古》2007年第1期。



[5]刘煜、岳占伟:《复杂化生产:晚商青铜器的陶范铸造工艺流程》,《商周青铜器的陶范铸造技术研究》,文物出版社,2011年,第81~94页。

[6]中国社会科学院考古研究所:《殷墟孝民屯铸铜遗址》,文物出版社,待刊。

[7]杨霞、陈虹:《石制品后埋藏微痕的实验研究述评》,《东南文化》2017年第3期。

[8]Burroni, Daniela, Randolph E. Donahue, A. Mark Pollard and Margherita Mussi. 2002. The surface alteration features of flint artefacts as a record of environmental processes. *Journal of Archaeological Science* 29:1277-1287.

[9]刘煜、岳占伟、何毓灵、唐锦琼:《殷墟青铜礼器的铸型设计》,《考古学集刊》(18), 科学出版社,2010年,第169~199页;岳占伟、岳洪彬:《殷墟铜爵铸造工艺研究》,《文物》2018年第4期。

[10]Plaza, Maria Teresa, and Marco Martinon-Torres, 2015. Metallurgical traditions under Inka rule: a technological study of metals and technical ceramics from the Acocagua Valley, Central Chile. *Journal of Archaeological Science* 54: 86-98; Hein, A., G. Gluzman, and V. Kilkoglou, 2018. Pre-Columbian metallurgy-evidence of pyrotechnical ceramics from Rincon Chico, Northwestern Argentina (Andes). *Journal of Archaeological Science: Reports* 21:1163-1170; Chastain,

Matthew, 2019. The ceramic technology of bronze-casting molds in ancient China: production practices at three western Zhou foundry sites in the Zhouyuan Area. PhD Thesis, Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology: 381-392.

[11]孙升、秦颖、张少昀、谢尧亭、金普军:《侯马陶范表层处理技术初探》,《铸造》2008年第57卷第10期; Chastain, Matthew, 2019. The ceramic technology of bronze-casting molds in ancient China: production practices at three western Zhou foundry sites in the Zhouyuan Area. PhD Thesis, Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology: 434-443.

[12]岳占伟、刘煜、岳洪彬、荆志淳:《殷墟陶模、陶范、泥芯的制作工艺研究》,《南方文物》2016年第2期。

[13]谭德瑞:《中国青铜时代陶范铸造技术研究》,《考古学报》1999年第2期。

[14][15]岳占伟、岳洪彬:《殷墟铜爵铸造工艺研究》,《文物》2018年第4期。

[16]于炳松、赵志丹、苏尚国:《岩石学》(第二版),地质出版社,2014年,第110页。

[17]中国社会科学院考古研究所安阳工作队:《2000~2001年安阳孝民屯东南地殷代铸铜遗址发掘报告》,《考古学报》2006年第3期。

## Post-cast Polishing Technique Applied on the Yinxu Bronzes

Zhai Shaodong(Beijing 100710)

Zhu Xuefeng (Handan 056000)

Xu Hongjie (Nanchang, Jiangxi 330025)

Yue Zhanwei, He Yuling (Beijing 100710)





Abstract: Polishing is a process central to bronze production but little attention has been paid to it. Thousands of stone grinders, in different shapes, were unearthed from the Xiaomintun site at Anyang, which offers an opportunity to investigate the topic. The present paper, based on replication studies and microscopic examination of bronzes unearthed at Xiaomintun, proposed that ball-shaped stone grinders, as well as flat-shaped ones that show a perfect circle on plan view, had unlikely served for polishing cast bronzes. Stone grinders used for post-cast polishing are mostly made of middle- or fine-grained feldspar sandstone or detritus feldspar sandstone. Specifically, they were used for making less visible the casting lines on bronzes, traces left on or between clay moulds, and pits or uneven parts due to casting defects.














Keywords: Yinxu bronzes, stone grinders, post-cast traces, post-cast polishing

(责任编辑、校对: 段姝杉)

附表一

孝民屯遗址出土磨石和实验磨石的岩石薄片鉴定结果

序号	样品编号	岩性	镜下成分	样品图片
1	03AXST1613M356:04	粗中粒岩屑石英砂岩	砾级碎屑: 少 砂级碎屑: 长石 5-10% 石英 75%± 岩屑 <15% 填隙物: 粘土杂基 1-2% 硅质胶结物 1-2%	
2	03AXST2108:16	中细粒长石砂岩	砂级碎屑: 长石 25%± 石英 50-55% 岩屑 <20% 填隙物: 粘土杂基 1-2% 钙质胶结物 少 硅质胶结物 少	
3	03AXST2108(2)下铲面出土:14	中细粒长石岩屑砂岩	砂级碎屑: 长石 10-15% 石英 70-75% 岩屑 15%± 填隙物: 粘土杂基 1-3% 硅质胶结物 少	
4	04AXST2109F100:37	含粗粒中细粒岩屑长石砂岩	砂级碎屑: 长石 20-25% 石英 65%± 岩屑 <10% 填隙物: 粘土杂基 1-2% 硅质胶结物 少	
5	03AXST3209M778 填土:05	不等粒长石岩屑砂岩	砂级碎屑: 长石 15%± 石英 65-70% 岩屑 15-20% 填隙物: 粘土杂基 少 硅质胶结物 1-2%	
6	03AXST2709M735 填土:03	细粒长石砂岩	砂级碎屑: 长石 35-40% 石英 45-50% 岩屑 3-5% 填隙物: 粘土杂基 少 钙质胶结物 10-15% 硅质胶结物 少	
7	03AXST2108(3):11	细中粒长石岩屑砂岩	砂级碎屑: 长石 10-15% 石英 70-75% 岩屑 15%± 填隙物: 粘土杂基 1-3% 硅质胶结物 少	
8	03AXST2807(15):1	细粒岩屑长石砂岩	砂级碎屑: 长石 <45% 石英 35-40% 岩屑 15-20% 填隙物: 粘土杂基 1-2% 硅质胶结物 少	
9	03AXST2807(14):2	粗中粒岩屑长石砂岩	砂级碎屑: 长石 <25% 石英 55-60% 岩屑 15-20% 填隙物: 土杂基 1-3% 硅质胶结物 1-2%	
10	04AXST2109F100:36	中细粒长石砂岩	砂级碎屑: 长石 50-55% 石英 35-40% 岩屑 10-15% 填隙物: 粘土杂基 1-2% 硅质胶结物 少	
11	03AXST2807(14):1	中细粒长石砂岩	砂级碎屑: 长石 40-45% 石英 45%± 岩屑 <10% 填隙物: 粘土杂基 1-2% 硅质胶结物 少	
12	03AXSM834 填土:01	中细粒长石砂岩	砂级碎屑: 长石 40-45% 石英 45-50% 岩屑 10-15% 填隙物: 粘土杂基 1-2% 硅质胶结物 少	

序号	样品编号	岩性	镜下成分	样品图片
13	03AXS 采集	中细粒长石砂岩	砂级碎屑:长石 <40% 石英 50-55% 岩屑 3-5% 填 隙 物:粘土杂基 1-2% 硅质胶结物 1%±	
14	03AXST2611F64(6):7	含海绿石细粒长石砂岩	砂级碎屑:长石 35-40% 石英 55%± 岩屑 5-10% 海 绿 石: 少 填 隙 物:粘土杂基 2-3% 硅质胶结物 少	
15	03ASXM859 填土:01	中细粒长石砂岩	砂级碎屑:长石 35-40% 石英 55%± 岩屑 3-5% 填 隙 物:粘土杂基 1-3% 硅质胶结物 少	
16	磨石 18(GS18)	粗中粒岩屑石英砂岩	砂级碎屑:长石 少 石英 90-95% 岩屑 5-10% 填 隙 物:粘土杂基 1-3% 硅质胶结物 1-2%	
17	磨石 20(GS20)	钙质细粒长石砂岩	砂级碎屑:长石 15-20% 石英 55-60% 岩屑 2-5% 填 隙 物:钙质胶结物 20-25% 粘土杂基 1-2%	
18	磨石 28(GS28)	中粒岩屑长石砂岩	砂级碎屑:长石 15-20% 石英 70-75% 岩屑 10-15% 填 隙 物:粘土杂基 1-3%	
19	磨石 29(GS29)	粗中粒岩屑长石砂岩	砂级碎屑:长石 20-25% 石英 70-75% 岩屑 5-10% 填 隙 物:粘土杂基 1-5% 硅质胶结物 1-2%	
20	磨石 31(GS31)	细中粒长石岩屑砂岩	砂级碎屑:长石 25% 石英 35%± 岩屑 30-35% 填 隙 物:粘土杂基 2-3% 钙质胶结物 少 硅质胶结物 <1%	
21	磨石 37(GS37)	钙质中细粒长石砂岩	砂级碎屑:长石 35-40% 石英 <30% 岩屑 10-15% 填 隙 物:粘土杂基 少 钙质胶结物 20-25% 硅质胶结物 少	
22	磨石 6(GS6)	岩屑石英砂岩	此 4 件磨石未经切片,岩性的命名是经与其他经过切片分析的磨石相比较而定	
23	磨石 7(GS7)	岩屑石英砂岩		
24	磨石 15(GS15)	岩屑石英砂岩		
25	磨石 22(GS22)	钙质细粒长石砂岩		

(本岩性薄片鉴定由廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司承担)

附表二

磨石实验过程

序号	标本号	打磨部位	打磨时间(分:秒)	打磨次数	打磨结果
1	磨石 6 (GS6)	铜鼎 A 面腹部拐角	17:24	1400	磨石锐棱角微磨,铜鼎划痕较深,明显
		铜方鼎 C 面腹部拐角	7:29	1000	磨石锐棱角微磨,铜鼎划痕较深,明显
		铜方鼎 C 面口沿拐角	24:39	2000	磨石锐棱角微磨,铜鼎划痕较深,明显
2	磨石 7 (GS7)	铜方鼎 A 面腹部	12:36	1200	磨石边缘磨平较明显,铜鼎划痕较深,明显
		铜方鼎 C 面腹部	7:40	1000	磨石边缘磨平较明显,铜鼎划痕较深,明显
		铜方鼎 C 面口沿	2:29	200	磨石边缘磨平较明显,铜鼎划痕较深,明显
3	磨石 15 (GS15)	铜方鼎 C 面右侧扉棱	210:22	38000	横向打磨,在第一个 1000 次时磨石磨面上已出现两道不甚明显的波纹状突起,之后越来越明显。打磨过程中一直有少量石英颗粒从打磨面脱落,在打磨 41 分 43 秒 7000 次之后出现打磨光泽。扉棱基本磨掉。
		铜方鼎底部	10:24	2000	磨石磨面有少量石英颗粒脱落,铜器底部打磨光亮
		铜方鼎 A 面右侧扉棱	148:38	21000	用磨石拐角纵向打磨,打磨不久磨石磨面上即见凹槽,随着打磨时间的加长,凹槽加深。
		铜方鼎 A 面右侧扉棱	171:02	30000	用磨石另一面打磨,打磨过程中一直有少量石英颗粒从打磨面脱落,打磨 12000 次后出现光泽。扉棱基本磨掉一半。
4	磨石 18 (GS18)	红石板上打磨	22:32	3000	磨石打磨成圆饼状
		铜圆簋内壁及口沿	21:29	3000	磨石磨圆度增加,铜簋表面留下细密划痕
5	磨石 20 (GS20)	铜方鼎 A 面腹部	38:18	3500	铜鼎划痕不如之前明显,但较深划痕依然存在
		铜方鼎 C 面口沿	97:01	12000	磨石长弧边逐渐磨平。铜鼎口沿表面划痕浅,细密
		铜圆簋内壁	3:11	500	磨石略有弧度,铜簋内壁划痕细密
6	磨石 22 (GS22)	铜方鼎 C 面口沿	44:17	5500	随着打磨次数的增多,磨石的磨圆度不断增加
7	磨石 28 (GS28)	红砂岩石板	11:08	1500	磨石一角被磨圆,角的两侧面被修整,另两侧面未修整
		铜圆簋内壁	9:47	1500	铜簋内壁留有很多横向划痕,磨石被修整的一侧表面残留打磨下来的铜屑
		铜圆簋内壁	35:21	5000	铜簋内壁磨痕加深,磨石未被修整的一侧打磨面磨圆度增加,残留打磨下的铜屑
		铜圆簋内壁	32:23	5500	铜簋内壁留有很多横向划痕,磨石被修整的一侧表面残留打磨下来的铜屑
8	磨石 29 (GS29)	红砂岩石板	2:57	500	磨石一侧面略磨平
		铜圆簋内壁	40:24	6000	磨石长弧边 A 磨圆度增加,铜簋内壁有较多划痕
		铜圆簋内壁	30:50	6000	磨石侧边 B 磨圆度增加,铜簋内壁有较多划痕
9	磨石 31 (GS31)	铜圆簋内壁	22:19	3000	磨石边 A 部分被磨平;铜圆簋内壁划痕细密
		红砂岩石板	10:49	1500	磨石边 A,较平整,略有弧度;磨石边 B,略有弧度
		铜圆簋内壁	14:42	2000	磨石边 B 略有弧度;铜圆簋内壁划痕细密
10	磨石 37 (GS37)	红砂岩石板	16:31	2000	磨石边缘略磨平
		铜方鼎扉棱	44:22	7500	扉棱留有斜向划痕;磨石磨面有波纹状凸棱
		铜圆簋外壁	49:51	7500	铜簋外壁划痕细密;磨石打磨面中部微凹