

临淄齐故城镜范与汉代铸镜技术*

杨 勇 白云翔

中国社会科学院考古研究所 北京, 100101

Abstract: Ceramic molds were crucial in casting bronze mirrors in ancient China, the making process of which was the key in mirror-casting technique. Ceramic mirror molds unearthed at the Linzi City Site of the Qi state show significant developments in comparison with those of the pre-Qin period. A lot of rice-husk ashes was added during the making of the mirror molds. They were also baked at a comparatively high temperature. The Linzi molds were of low-density texture and with a lot of pores, which were ideal for casting mirrors and could be utilized for multiple times. In addition, the development of mirror-mold techniques, especially the common application of motif-carving technique, contributed greatly to the mold quality and artistic value. The developed technique also greatly improved mirror-casting efficiency.

Keywords: Linzi City Site of the Qi state, mirror mold, Han dynasty, mirror-casting technique

摘要: 在古代铜镜铸造中, 镜范的制作和使用是最为关键的环节, 也是铸镜技术的核心所在。山东临淄齐故城出土的汉代陶质镜范在材质、结构和制作工艺等方面, 都较先秦陶范有了很大的改进, 反映了汉代铸镜技术的进步。这些镜范在制作时于泥料中孱入了大量稻壳灰, 焙烧火候也高, 因此范体密度低、重量轻, 内含大量孔隙, 适合铸造, 同时又结实耐用且不失柔韧性, 从而便于工匠对其进行塑形、雕刻乃至修补和改制。镜范结构设计亦较科学、合理, 不仅可铸造出好的产品, 而且有利于保护镜范, 以达到多次反复使用的目的。另外, 镜范成形工艺的改进, 特别是刻纹技术的普遍采用, 既保证了镜范的质量, 也使工匠的艺术创造力得以充分发挥。技术上的进步, 造就了汉代临淄镜范优异的铸造性能, 同时还使其可以多次反复使用, 从而大幅度提高了当时的铜镜生产效率。

关键词: 临淄齐故城; 镜范; 汉代; 铸镜技术

汉代是中国古代铜镜发展的第一个高峰期。较之先秦, 两汉时期的铜镜不但类型和装饰更加丰富多彩, 而且因使用普及和需求扩大, 产量也空前增加, 从考古学上看, 便是数以万计、种类繁多的汉镜在各地乃至域外的不断出土。汉代铜镜的迅速发展, 显然有社会、经济、文化等方面

的原因, 但与这一时期铸镜技术的进步也不无关系, 二者当互为促进。

20世纪末以来, 随着山东临淄齐故城汉代镜范的不断发现及相关研究的逐步展开^[1], 关于汉代铜镜铸造技术的研究取得了令人瞩目的重要进展。近年来, 齐故城大城内阚家寨秦汉铸镜作坊

*本研究得到“中国社会科学院哲学社会科学创新工程”和“中国社会科学院登峰战略资深学科带头人资助计划”专项资助。



图二 齐故城出土镜范

1. 蟠螭纹镜背范 (LQKB II F13 : 1) 2. 龙纹镜背范 (LQKB II H118 : 2) 3. 四乳弦纹镜背范 (LQKB II H118 : 4) 4. 镜面范 (LQKB II H81 : 12) 5. 草叶纹镜背范 (LQC-JF0002) 6. 星云纹镜背范 (LQC-JF0028) 7. 素面镜背范 (LQKB II H82 : 1)



图三 齐故城出土镜范残断面

1. 蟠螭纹镜背范 (LQC-JF0019) 2. 素面镜背范 (LQC-JF0064)

城中部略偏东，发掘出土各类镜范残块 180 件，年代以西汉前期为主。此外，还清理出房址、水井、灰坑、铸镜坑等与铸镜作坊有关的遗迹。此次发掘作为国内外关于古代铸镜作坊遗址的首次科学发掘，是汉代乃至整个古代铜镜铸造业及铸造技术研究的一个重大突破，为相关学术研究的深化、拓展提供了弥足珍贵的科学资料。目前，通过发掘资料的系统整理以及多学科合作研究，我们对齐故城出土镜范的制作、使用及当时的铸镜技术等，有了不少更为深入的了解和认识。特

别要强调的是，为验证关于镜范制作和使用的一些推断，我们还有针对性地做了模拟实验，取得了重要收获。

二 镜范的制作

齐故城发现的汉代镜范均为陶范，出土时大多残破。镜面范和所有类型的镜背范在材质、外形、颜色等方面基本相同，但结构有别。镜范多呈较厚的扁钵状，上小下大，平面为弧底梯形。镜范正面平整；侧面与正面大致垂直，多见刮削痕迹，有的与分型面在交汇处形成宽约 2~5 毫米的抹角折面；背面较平整，有的表面有很深的人为压印指痕，与侧面交汇处往往呈弧形。残破的镜范断面可见大量孔隙。（图三）正因如此，这些镜范质感一般较轻，比重多小于 1。范体大多呈青灰色，正面一般覆有红褐色涂层，表面细腻光滑。镜背范正面上部中间设梯形槽状浇道，上端（浇口）一般窄于下端（浇道口）。浇道底部呈斜坡状，但下部较平缓，上部近浇口处倾角略变大。浇道两个侧

面呈斜坡状，从上至下逐渐内收。浇道两侧各有一条状排气道，较浅，横截面呈弧形或近三角形，一般是下端（排气口）要宽于上端（冒口）。浇道和排气道下接圆形型腔，相接处即浇道口和排气口要高于型腔镜缘底部。浇道、排气道和型腔之外为分型面，平整光滑。（图四）镜面范一般仅于上部设弧形坡状浇道，而无下凹的排气道和型腔，浇道较短，与镜背范浇道相比，实际主要起到浇口的作用。根据体量尤其是镜背范型腔的尺寸，可知所铸铜镜大小不一，直径以



图四 齐故城出土镜背范结构示意图

10余厘米的居多,但也有少数较大或较小的,其中个别大的直径可达30余厘米。关于镜范制作的工艺技术,需要运用多种科技检测手段,同时结合对镜范的细致观察,还有模拟实验,进行综合分析和探讨。

就原料而言,过去曾对个别采集的镜范样品进行过检测和分析,结论是制作镜范使用的原材料为当地一种含有较多黏土的细颗粒黄土,或者是一种灰黄色黏土,并于其中加入稻壳灰等富含非晶态二氧化硅的植硅石类孳杂物^[11]。另有研究认为,植硅石是齐故城汉代镜范原料中的主体,但同时可能也使用了牛粪之类的有机材料作为黏合剂,故焙烧后形成大量孔洞^[12]。在对阚家寨铸镜作坊遗址发掘资料的整理过程中,我们又对遗址出土的多个镜范样品进行了检测和分析,再次证实镜范中含有大量非结晶态的二氧化硅,即植硅石,且很可能主要为稻壳灰。在阚家寨铸镜作坊遗址地表采集的一块残镜范的断面上,曾发现夹杂一个较完整的未碳化的稻壳,亦证明镜范中的植硅石类孳杂物以稻壳灰为主。稻壳灰一般是煅烧而成的,故灰烬中常存留少许燃烧不充分或未燃烧的稻壳。不过,对于泥料来源,有了一些新的看法^[13]。根据对部分镜范原料中土的化学成分以及植硅石种类的分析,制作镜范的黏土不像是附近的生土,而很可能来自遗址周边河道中淤

积的黏土或腐殖土。另外,还发现镜范中含有少量的石英颗粒,可能也是人为加入的,其同样富含二氧化硅。不管怎样,齐故城镜范的制作中,孳杂大量稻壳灰是一个十分重要的技术特点。其结果既减少了镜范在干燥和焙烧过程中的收缩、变形和开裂情形,同时还降低了镜范密度,增加镜范的透气性,改善镜范的热稳定性,从而有利于铸造过程中的排气和充型。

根据多次对镜范样品的检测,以及不同学者的分析、讨论和研究,我们在镜范制作的模拟实验中,采用齐故城东北郊的黄色生土、南郊古河道中的黑色淤积土、东郊淄河河道中冲刷沉积的细砂灰、煅烧的稻壳灰等作为原料,按多种不同配比来制作镜范。经反复调整和多次焙烧实验,结果显示,按重量比,以1份黑色淤积土+0.4份稻壳灰+0~0.2份细砂灰的配比来制作镜范,可获得与齐故城汉代镜范质地相似的范体。按同样配比,用黄色生土制作的范坯焙烧后范体很软且酥脆易破,若降低稻壳灰比例,范体虽变得结实,但比重又明显增高,因此黄色生土作为镜范主要泥料的可能性被排除。黑色淤积土较之黄色生土黏性更强,以之制作镜范,焙烧后不会出现上述问题。

制作镜范的原料加水搅拌之后,先反复进行揉练,之后进入成形阶段。从出土的镜范看,虽形状大体相同,但很难找到完全一致的。另外,在镜范的侧面和背面常见刮削、按压等痕迹,且侧面和背面交汇处一般都有不规则的弧度。因此可推断,镜范成形时一般不使用模具或范框,而主要由手工堆筑而成。过去认为的“模制法”可能需要重新考虑,至少其应当不是镜范成型的主要方法。模拟实验时,我们将木板锯成镜范形状,然后将木板光滑的一面朝上,在上面堆筑、拍打、压实、刮削泥料,最后做成与木板平面形状一致的镜范,其中与木板接触的一面即为镜范正面。整个过程较为简单,易于操作。堆筑时,泥料仍然较软,这样容易成形。在出土的部分镜范背面发现有工匠的手指戳印痕迹(图五:1),有些镜范的侧面或侧面与背面的交汇处可见手指



图五 齐故城出土镜范背面指痕

1. 蟠螭纹镜背范 (LQKBH82 : 5) 2. 蟠螭纹镜背范 (LQKBH82 : 2)



图六 齐故城出土镜范侧面刮削痕

1. 素面镜背范 (LQC-JF0049) 2. 镜面范 (LQC-JF0008)

抹痕或按压痕迹 (图五: 2), 亦说明制范时泥料应当很软, 且范体背面朝上。镜范堆筑成形后, 需要在阴凉处放置一段时间, 稍干后可以进一步刮削修边 (图六: 1, 2); 彻底晾干后, 很容易从木板上取下。从模拟实验看, 可能是由于含较多稻壳灰的缘故, 镜范晾干后有少许收缩。

镜范成形晾干后要进行焙烧, 但因目前未发现烘范窑, 具体情况不详。由于范体多呈青灰色, 可知这些镜范曾在还原气氛中焙烧过或经过还原处理。过去对个别齐故城内采集的镜范样品的热膨胀法测温显示, 其烧成温度约为 $850 \pm 20^\circ\text{C}$, 处于方解石分解温度之上而又未达到烧结温度的合理范围之内^[14]。日本学者三船温尚亦曾指出, 镜范原材料中一般有结晶水, 必须将之去除方可铸造器物, 而黏土中结晶水的挥发温度在 700°C , 所以理论上镜范的焙烧温度当在此之上^[15]。在模拟实验中, 我们先自己砌筑小型窑炉使用木柴和煤炭来焙烧镜范, 但由于窑炉体量较小且结构可能不合理, 红外线测温显示炉膛内温度最高不超过 700°C , 且缺乏稳定性, 所以最终未能取得成功, 所烧范坯火候明显偏低。于是, 我们又

使用现代电炉焙烧, 最后温度达到 860°C 左右, 但仍然无法获得与出土镜范相似的成品。经分析判断, 主要原因仍然是焙烧温度不够。实际上, 大部分商周时期的陶范烧成温度都在 800°C 以上, 而齐故城汉代镜范大都具有较强的硬度, 火候要明显高于先秦时期的陶范, 敲击时发出很清脆的声音, 已属于或接近陶的范畴。因此, 我们又使用烧制艺术陶器的燃气窑炉重新焙烧镜范, 炉内温度最高接近 960°C (测温锥误差在 10°C 左右), 取得不错效果。所烧制镜范不仅比重较低, 而且范体含有很多孔隙并具备一定的柔韧性, 敲击发出的声音也不像之前那样沉闷, 总体来看, 质地与齐故城所出的汉代镜范已比较接近。

不过, 由于是在有氧环境中焙烧, 所烧镜范的颜色主要呈红褐色。但无论如何, 根据实验大致可以推定, 齐故城汉代镜范的焙烧温度可能在 950°C 以上, 甚至超过 1000°C , 已处于陶化烧结状态。以往通过热膨胀法测得的镜范烧制火候, 存在一定误差。

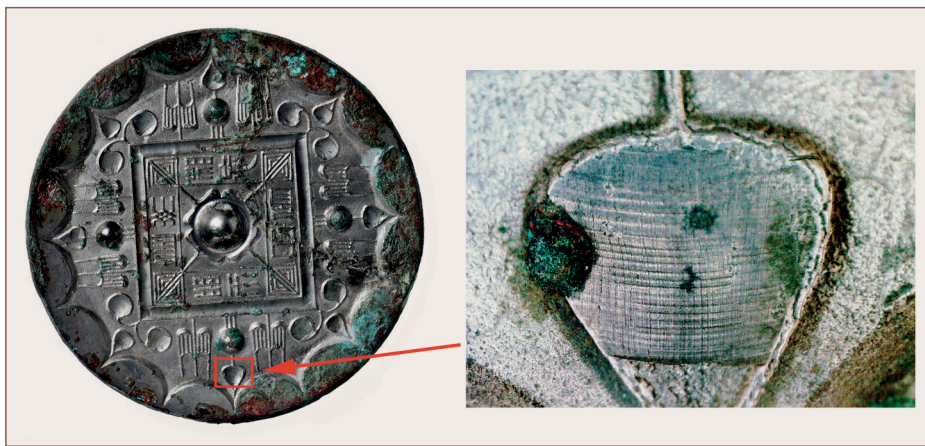
镜范正面的内凹结构如浇道、排气道和型腔等, 应当是范坯焙烧之后制作的。使用的工具有多种, 推测有刀、锯、锉、砺石以及一些特殊的类似于轮盘的旋割或旋磨器具。在阚家寨铸镜作坊遗址的发掘中, 出土不少刀具和砺石等遗物, 有些可能就是制作镜范时使用的工具。在范坯成形阶段使用模具来制作这些部位, 理论上是可以的, 但由于范坯材质特别 (含较多稻壳灰, 湿时吸水量大, 干时易收缩), 且所铸铜镜要求镜体很薄, 纹饰也很精细, 因此无论是在范坯湿软还是晾干后, 将镶入范体的模具轻易地脱下, 同时又不损伤范体本身, 都是很难处理的。在成坯后像制作花纹砖那样在范上压印型腔和纹饰等, 也不大行得通, 因为镜范体量较小, 受压很容易变形, 而作为铸范, 对范体特别是正面结构的精致程度要求是很高的。在出土的众多镜范中, 目前

亦未见有浇道、排气道和型腔形状及尺寸完全一致的。因此,使用模制法制作浇道、排气道和型腔等内凹部位的可能性微乎其微。在范坯半干或晾干后制作浇道、排气道和型腔,也会遇到一些问题,主要是内含大量稻壳灰的泥坯比较粗糙且硬度不够,在切割、凿刻等塑形过程中很容易崩坏,也难以保证镜范表面的平整光滑。经过高温焙烧的镜范,一方面整体硬度增强,另一方面又因所含稻壳灰已经不存,而为大量孔隙取代,加上配料中含有细砂灰等物质,故范体较一般的陶器柔软并带有一定的韧性(不易破碎和崩裂),从而更易对其进行各种塑形操作^[16]。观察临淄及山东地区出土的草叶纹镜、星云纹镜等汉代铜镜,发现其镜背纹饰经常有被某种坚硬刀具铲刻或刮削的拉丝状痕迹。(图七)这应是铜镜制作的一种工艺,目的是为了突出铲刻或刮削部位的亮度,从而使镜背纹饰更具层次感和立体感。那么,既然可以在铜镜上随意铲刻、刮削,用这些刀具对陶范进行各种加工,自然是很轻松的事情。这些在模拟实验中,都得到了验证。无论是镜面范还是镜背范,焙烧后都要对范体特别是正面进行修整、打磨,以使其平整光滑,有时为了防止分型面受到碰撞而损坏,还将镜范正面和侧面的夹角略微磨平,形成一个抹角折面。然后,再于镜范正面制作浇道、排气道及型腔。在制作浇道、排气道和型腔的过程中,工匠需要使用尺子、圆规等工具进行设计、划线,之后通过锯锉、切割、凿刻、磨砺等手段使镜范成形。浇道

和排气道的侧面都做出一定的坡度,目的可能主要是为浇铸后易于脱范。镜背范型腔的制作要相对复杂,可能使用了某种中心固定的旋割或旋磨工具,这样可以尽量控制厚度并保持其均匀。钮坑部位推测采用了旋钻和凿刻相结合的方法,部分镜范的钮坑壁上尚可见较明显的凿刻痕迹。

齐故城出土镜范的正面均施有很薄的涂层,有些局部脱落。涂层质地致密,表面呈红褐色,手感细腻光滑,与范体完全不同。该涂层可填平和覆盖范体表面的孔隙,并使镜范正面即合范面平整光滑,这样处理后镜范才可用于浇铸。另外,有了该涂层,镜背范型腔面上的孔隙被填充和覆盖,刻制细密纹饰也会变得更为容易。因此,施加涂层是镜范制作的一个极为重要的环节。经观察,有部分镜范表面残破后使用一种细黄泥修补(图一一:1,2),推测镜范表面的涂层可能也使用此种细黄泥作为主要原料。施加涂层的办法可能是将细黄泥加水做成很稀的泥浆,然后用毛刷等工具均匀涂抹。从很多镜范的断面可观察到,镜范正面靠近表层处的范体明显较其他部位质地细腻,且变得致密,应当就是施加稀泥浆后渗入并填塞原先的孔隙所致。据日本学者三船温尚推测,施加泥浆涂层后,还要涂抹或刷上一层蜂蜡或与之相类似的东西。蜂蜡中含有油脂等物质,可增加镜范表面的韧性,使刻制纹饰时不易发生崩裂。镜范最外面的涂层薄而光滑、细腻,且有一定硬度,不添加一些特殊物质于其中,是很难做出此种效果的。涂层做好后再放入

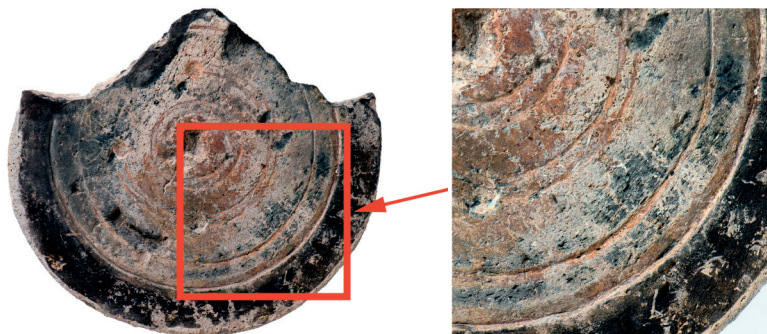
火中进行烘烤,主要是烤正面即施加涂层处以去除其中的结晶水。烘烤过程中,氧化焰使涂层变为红褐色并更加坚硬。涂刷泥浆和蜂蜡以及烘烤应不止一次,特别是对型腔再次施加薄的涂层并烘烤。关于涂



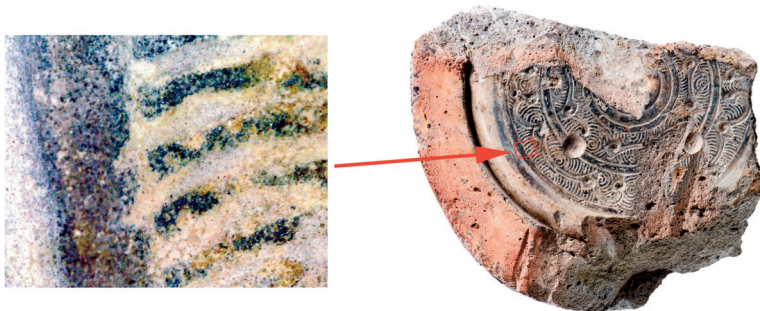
图七 临淄范家墓地出土草叶纹铜镜(淄江花园D组团工地M743:1)上的铲刮痕

层烘烤温度，从部分镜范样品上红色涂料的热膨胀法测温看，多在 400℃ 以下^[17]。需要说明的是，蜂蜡中的油脂等有机物在烘烤过程中会向范体内渗透，并在高温下发生碳化。齐故城出土的很多镜范，其断面上都可见由正面向范体内渗透的黑色层。（图三：2）该黑色层说明范体内含碳，而从其样貌看显然是从镜范正面向下渗透的。当然，这种含碳的有机质除了和涂层中的蜂蜡等有关外，浇铸时使用的脱范剂中可能也会有此类物质，而且浇铸时的高温或许也是导致其发生碳化变黑的原因。我们注意到，镜范断面上这种黑色层的水平分布并不一致，有的主要在型腔和浇道下，有的延伸至分型面下；另外，有时黑色层之上即镜范正面涂层之下，还可见其他颜色层，有浅灰、红褐等，有的不止一层，厚一般以毫米计，推测与镜范多次涂刷并烘烤表面涂层以及多次浇铸有关。在模拟实验中，我们按上述方法，用齐故城附近生土层中的细黄泥来制作镜范涂层，并在露天用木炭进行烘烤，烘烤过程中又涂刷了蜂蜡，取得与出土镜范涂层大致相似的效果。

镜背范不仅比镜面范多了下凹的排气道和型腔，而且有些还要制作纹饰。关于纹饰的制作方法，过去有“模制”和“刻制”两种看法，我们也曾认为临淄齐故城汉代镜范纹饰的制作，是“模制”和“刻制”并用^[18]。但随着对镜范研究的深入，现在看来应当还是以刻制法为主。首先，如上所述，镜背范型腔本身就不大可能是模制的，而是在范坯烧熔之后刻成的。其次，通过细微观察可以发现，镜范纹饰的线条及铭文多透



图八 齐故城出土镜背范（LQKB II ZK1 : 6）上的刻纹



图九 齐故城出土镜背范（LQKB II H115 : 2）上的刻纹



图一〇 齐故城出土镜范及临淄地区出土铜镜上的设计线

1. 草叶纹镜背范（SLQJF : 12） 2. 草叶纹铜镜（范家墓地淄江花园J组团工地 M237 : 1）

出明显的手工刻制的质感，特别在型腔涂层脱落或被磨掉的镜范上面，看的尤为清楚。以齐故城阚家寨秦汉铸镜作坊遗址出土的一件四乳弦纹镜背范（LQKB II ZK1 : 6）为例，该范曾经过浇铸使用，后来可能为了改制或其他目的，正面被重新打磨，但毁弃时型腔面仍保留一些下凹的纹饰。这些残留的纹饰由于仅剩底部，加上缺少涂层遮掩，其线条不流畅且高低不平、粗细不匀的特点暴露无遗。（图八）再次，在有些纹饰较为密集的镜范上，有时能看到纹饰线条之间的先后关系及打破现象（图九），还有部分镜范及铜镜

上可观察到制作镜范纹饰时留下的同心圆状或放射状的设计线,尤以一些草叶纹镜范以及草叶纹铜镜和星云纹铜镜上较为多见,这些亦都可说明问题。(图一〇)最后,不论是整个齐故城,还是闾家寨秦汉铸镜作坊遗址,所出同类镜背范中未见到有型腔大小和纹饰完全一样或大致相同的,即所谓的“同模范”,也一定程度上否定了模印纹饰的存在。要说明的是,由于焙烧后的镜范虽整体较硬,但范体本身实际较软,且有一定韧性,加上含有蜂蜡的涂层,因此在型腔面上刻制纹饰和铭文,并不像想象的那样困难。

在刻制纹饰前可能先要设计并用笔绘出图案,而图案的设计和绘制,需要掌握一定的几何知识和原理并借助一些必要的辅助工具,即便是技艺精湛的制镜工匠,亦不例外。有学者通过研究汉代铜镜纹饰,指出圆规、尺子等制图工具在当时的使用已比较普及和成熟^[19]。观察齐故城汉代镜范以及临淄地区出土的汉代铜镜,可得出相同的看法。就齐故城目前出土较多的蟠螭纹、四乳弦纹和草叶纹镜背范而言,其上面不仅常见同心弦纹,而且乳钉、连弧纹、方框纹、草叶纹、花苞纹等主要纹饰的布局也都很有规律,完全是按等分线、交差线等几何原理设计和规划的。可以肯定,没有一定的几何知识和圆规、尺子等机械制图工具,仅靠手工是不可能完成如此复杂而规整的图案设计的。不同类别的镜背范,其纹饰虽各有特点,但可以确定,几乎所有镜范纹饰的最初设计和规划,都是以钮坑为中心向外划同心圆和等分的放射线。放射线大多按4或其倍数等分,也有少数按3等奇数等分的。这些同心圆和放射线将镜面分为若干单元,并形成若干交叉点。以此为基础,再按纹饰种类,进行更细致的布局和设计,最终绘制出美观而对称性很强的纹饰。一般来说,乳钉、连弧纹等常见装饰都是根据放射线和同心圆的交叉点来确定的,草叶纹和花叶纹镜范上的柿蒂、方形铭文框以及一些花苞、草叶的设计也大多如此。蟠螭纹和龙纹等镜范上常见涡卷纹、折线纹等细密地纹,从线条走向看,都是以对称的主纹为基础,再根据剩余空

间的大小和形状设计的。草叶纹和花叶纹镜范上多刻有铭文,铭文一般都为反字,铸造后便为正字。不过,在临淄地区出土的铜镜上也偶见有反字的^[20],说明在镜范铭文制作过程中,有时也会因为疏忽或其他缘故刻成正字的。就所铸铜镜的铭文排列方向而言,以右旋读的居多,同时也有少数左旋读的。这些其实都表明,镜范上的铭文与纹饰一样,主要也是刻制的。

镜背范纹饰刻制好以后,对制作过程中发生的崩裂、损坏等,需进行修补。齐故城出土的镜范特别是镜背范中,有不少可观察到带修补痕迹,多数应当是使用特别是浇铸过程中损坏的,但也不排除有些是制作过程出现的问题。修补完以后,还要施加很薄的涂层并烘烤。至此,镜背范制作基本完成。

镜面范的制作相对简单,只要保证正面平整并凿刻和研磨出一个弧形短浇道即可。但是要制作合格的范面,也并非易事,除了堆筑镜面范的木板面要光滑平整外,还要对泥坯和焙烧过的范体进行反复修整和打磨。从目前出土的大量镜面范看,大部分正面都几乎呈水平状,只有少数中部略有下凹,但凹曲度都极低,与出土的所谓“凸面镜”对应不上。这进一步证明了过去关于汉代凸面镜成因的判断,即汉代凸面镜的形成与镜范无关或关系不大,其应是铸造过程中或“淬火”等热处理过程中由一些特殊的物理因素导致的^[21]。

综上所述,镜范的制作程序可简单归纳为:备料→制坯→晾干→刮削和修整→焙烧→修整和打磨→制作浇道、排气道和型腔→施加涂层→烘烤涂层面→刻制镜背范纹饰→施加涂层→烘烤涂层面。

三 镜范的使用

根据齐故城发现的镜面范和镜背范,可知汉代临淄铜镜铸造采用了双合范的技术。由于镜面范正面只有位于顶部居中的短浇道,其余皆为平面,因此浇铸时只要将形状、大小相同的镜面范