

汉代铜镜铸造技术相关问题研究 ——以临淄齐国故城汉代镜范为例

赵娜 郎剑锋

(山东 济南 250100)

摘要: 汉代是铜镜繁荣兴盛时期,但由于此前铸镜相关遗迹发现较少,汉镜铸造技术的相关研究受到很大影响。20 世纪末以来,临淄齐国故城大量汉代镜范及铸镜作坊遗址的发现,为我们研究汉镜铸造技术打开了新局面。本文拟以临淄齐国故城汉代镜范为例,对汉代镜范的材质与制法、浇铸技术、铸件加工等问题进行梳理,希望对汉代铜镜铸造技术研究有所帮助。

关键词: 汉代;齐国故城;镜范;浇铸技术;铸件加工

中图分类号:K876.41

文献识别号:A

文章编号:1001-0327(2021)03-0084-06

汉代郡县制与封国制并存,临淄齐国故城是汉代齐郡郡治和齐国都城所在地,也是汉代铸镜中心之一。迄今为止临淄齐国故城内已发现镜范270余件^①,考古发掘出土和采集的镜范分布于阚家寨^②、傅家庙^③、刘家寨、石佛堂、苏家庙^④等地点,亦有部分镜范来自民间收藏,故出土地点不明。临淄齐国故城内出土的镜范分为镜面范、镜背范与改制范三类,以镜面范和镜背范居多,采用陶质双合范技术铸镜。按照纹饰可将其分为蟠螭纹镜范、四乳弦纹镜范、四乳龙纹镜范、四乳草叶纹镜范和博局草叶纹镜范五种类型^⑤。这些镜范均属西汉时期,目前尚无东汉时期镜范发现。

铜镜的铸造过程可大致分为制范、浇铸与铸件加工三个步骤。制范完成的镜范是浇铸铜镜的重要模具,与铸件加工也有着紧密联系,故镜范中蕴含着大量铜镜铸造技术的相关信息,这是在对铜镜本身的研究和传世文献资料中无法获取的信息,因此通过对临淄齐国故城出土的镜范进行观察研究,可以进一步探讨铜镜铸造技术的相关问题。

一、镜范问题

(一) 镜范材质

关于汉代铸镜用范,学界此前已经对陶范、石范、金属范与失蜡法铸镜进行了一些讨论。中国目前发现的镜范以陶范居多,石范较少,如上海博物馆收藏有一件滑石范^⑥。尚未发现金属范,也并无失蜡法铸镜的相关发现。失蜡法铸镜这一观点是由日本学者荒木宏提出的,他曾检查过某件战国镜范,在其表面发现不少蜂蜡,因此推断中国古代有用失蜡法铸镜的传统^⑦。关于这件镜范的科学分析现在尚属未知,如若通过科学分析证明这件战国镜范是蜡范的母范,将对我们研究汉代铜镜的铸造技术有极大参考意义。临淄齐国故城目前发现的镜范均为陶质,型腔表层含有铜、铅、锡等多种氧化物,说明当时是使用陶范直接铸镜。这也佐证了白云翔先生的观点,即“陶范铸镜技术至迟在公元前3世纪末的秦汉之际全面走向成熟。陶范铸镜技术的发生,标志着具有古代中国特色的铸镜技术传统的真

正形成；极大地推动了铜镜的制造和普及应用”^[8]。陶质镜范相较于石质镜范原材料广泛存在，易于成型，并且对大批量制造形制丰富、纹饰精美的铜镜更有优势，临淄齐国故城作为汉代铸镜中心之一，使用陶范铸镜更有利于其大规模铸造精美铜镜。

临淄齐国故城的镜范均由夹细砂陶土制成，范体内有大量大小不一的孔隙，质量较轻。通过对镜范进行植硅体分析，可知镜范是由当地一种含有黏土的细颗粒黄土加入大量稻木灰制作而成^[9]。稻木灰的加入可以提高陶范耐火度，减少泥料开裂变形的概率，更重要的是可以改善镜范的充型能力，有利于制造出轮廓清晰、纹饰精美的铜镜。临淄齐国故城镜范的密度远低于商周镜范的密度^[10]，其根本原因正是稻壳灰的加入，这证明古代人民的制范技术是在不断实践中进步的。

（二）镜范制法

对于镜范制作工艺的讨论学界有不同推测，日本学者关野雄^[11]与三船温尚^[12]认为陶质镜范是刻制而成，而何堂坤先生认为我国泥质镜范造型工艺至少有“模印法”和“雕塑法”两种^[13]，现在我们习惯称之为“模制法”与“刻制法”。临淄齐国故城镜范的发现为这个问题的解决提供了实物资料。

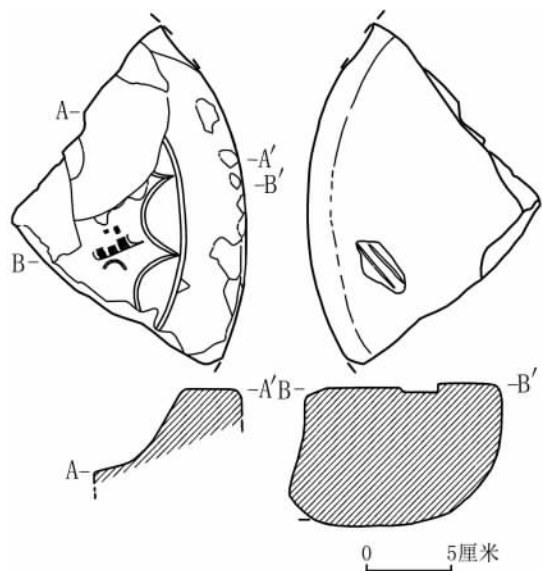
齐国故城内发现的少数镜面范，型腔表面有刻划痕迹，或在型腔面上有为雕刻纹样而画样放线的线条，说明当时可能有使用“刻制法”制作镜范；同样多数镜范的型腔表面及其花纹都具有明显的模印特征，直接证明“模制法”的存在^[14]。因此从实物资料看，汉代临淄齐国故城的陶质镜范是使用“模制法”和“刻制法”两种方法制作。相较于“模制法”，“刻制法”对于制作纹饰精美繁杂的铜镜效率偏低，且无法批量制造，故在铸镜需求量较大时此方法的实际使用量较少^[15]。

“模制法”与“刻制法”两种制范工艺并存的推断可进一步引申出目前尚存争议的“同范镜”与“同模镜”的讨论。日本学界普遍认为存在“同范镜”，即同一枚镜范铸造多枚铜镜；

而中方学者认为“同范镜”并不存在，陶质镜范无法经受多次浇铸，形制与纹饰大致相似的铜镜更有可能是“同模镜”，即同一件“母模”翻制多枚镜范用于铸造铜镜。三船温尚先生对山东省出土的80枚草叶纹镜进行考察，在允许镜面直径保持2毫米误差的前提下，形制、大小、花纹相同者最多可达13件，由此认为存在“同范镜”^[16]。对铜镜细部进行比对考察是探讨“同模镜”与“同范镜”最有效的研究方法，保持2毫米误差可能是考虑到浇铸过程导致的误差，但同范镜最多可达13件意味着同一件镜范被浇铸13次，尽管齐国故城的镜范是夹细砂陶土制成，细砂可以提高陶范的耐火度，但同一件陶范被高温铜液浇铸13次仍是极难做到的，陶范本身可能无法承受13次高温浇铸，而且多次浇铸对镜背范的精美纹饰亦有所影响。使用金属范或石范铸造纹饰精美的铜镜则颇有困难，目前也尚无金属镜范的发现。再则白云翔先生曾对“见日之光天下大明”铭文草叶纹镜进行系统的收集整理，并未发现大小、花纹与铭文完全相同的铜镜，仅有大致相似的铜镜^[17]。从目前齐国故城发现的镜范资料来看，此地镜范制造多是使用“模制法”，而我国古代镜范制作的常用方法是“模制法”的整范整模复制，使用母模制造多个相同镜范，使用这些镜范浇铸出的铜镜就是“同模镜”。

陶范相较于石范和金属范更加易损坏，目前临淄齐国故城发现的大部分镜范都是使用后因高温而破损的。按照目前的科技手段虽然无法从使用过的镜范表层观察其经受浇铸的次数，但镜范经过多次浇铸意味着多次受热，这是可以通过化学手段检验的。白云翔先生曾提出假设，从型腔受到高温浇铸后形成的高温变色表层入手，观察其厚度与颜色变化，理论上如果浇铸多次，型腔表面的高温变色表层厚度会有所增加，颜色可能亦有变化^[18]。这是对我们的研究很有启发性的假设，如果从这方面入手，对我们检验镜范是否经过多次浇铸可能有突破性成果。

另外从涂层以及镜范本身的人工痕迹方



图一 采集自刘家寨村的镜范SLQJF:15

(作者改绘)

(原图来自《山东省临淄齐国故城汉代镜范的考古学研究》)

面考虑“多次浇铸”问题可能也会有所收获。笔者在阅读镜范考古材料时，发现一件采集自刘家寨村的镜背范(图一)，局部留有一深约5厘米的凹坑，凹坑中可见有细微反射光的矿物质^[19]。这枚镜范在使用破裂后又在型腔一侧挖出凹坑并用涂料涂抹，凹坑中曾有金属液流入。再次使用后破裂为现状，即整个镜范的五分之一左右。这枚镜范的发现证明了镜范存在再次使用的情况，但并非再次浇铸铜镜，5厘米深的凹坑显然并不是用做铸镜，而是破损后改作他用，其用处尚不明，这也旁证了陶范经过高温浇铸后易破碎的特点。

镜范制造的常用方法整范整模复制在进行大批量铜镜铸造时实用且省力，对作为汉代铸镜中心之一的齐国故城铸镜作坊来说是较优选择，此方法可以复制多个镜范，减少镜范的制造时间，同时也会造成多个“同模镜”出现。另外考虑到陶质镜范在高温浇铸后易破损的特性，目前发现的大小花纹相似的同形镜更可能是“同模镜”而非“同范镜”。

二、浇铸技术

(一) 镜范表层处理

目前考古发现的临淄齐国故城镜范的范体颜色为青灰色，极大多数镜范范体表面呈浅黄褐色，分型面与型腔存留浅黄褐色或橘黄色表层，部分镜范型腔表面有细腻光亮的黑色表层，从镜范断面观察，黄褐色表层与青灰色范体分界清晰，大多数黄褐色表层与黑色表层分界明显，且黑色表层浸入浅黄褐色表层中。

关于浅黄褐色表层的形成原因目前有两种观点：一种观点是浅黄褐色表层有可能是烘烤时陶范以合范的方式放入窑中，分型面还原不充分所致^[20]；另一种观点认为浅黄褐色表层应是预先处理于整个镜范表面，系涂刷而成，且将浅黄色表层当作判断镜范是否浇铸使用过的依据^[21]。但笔者查阅镜范资料，发现亦有未经使用过的镜范分型面呈黄褐色^[22]，这证明浅黄褐色表层并不能判断镜范是否浇铸过。

刘煜先生对临淄齐国故城内的部分镜范进行了等离子发射光谱、x衍射、波长色散x荧光等一系列科学检测，检测表明镜范型腔存留的黑色表层是浇铸形成的。青铜器原料中的铅、锡和铜经过高温熔合氧化，黑色表层是在浇铸时由极易偏析的铅氧化物富集于镜范型腔形成的氧化层，因此黑色氧化层可以判断镜范是否使用过。而大多数使用过的镜范型腔表面黑色表层中的硫元素高于内层，可以起到提高镜范表面光洁度和脱模的作用^[23]，这种情况在殷墟亦有发现。也有学者认为细腻光亮的黑色表层可能是在浇铸前先在型腔表面涂抹一种细腻的涂料或者经过烟熏而形成的，其目的是利于脱范^[24]。

学界普遍认为古代工匠在浇铸前会在陶范表面涂料充当“脱范剂”，但从未经检测证实，如今通过对齐国故城镜范浅黄褐色和黑色表层的科学检测，可以确定古人铸镜时会对镜范表面进行“脱范”处理，便于浇铸后的铜镜从镜范中脱离。再者对镜范的观察亦可发现大多数分型面与型腔表面光滑平整，也有部分镜范分型面与型腔表面有若干大大小小的孔隙^[25]，有大大小小孔隙的镜范应是未涂刷涂

料,由此可推测涂料亦有平整镜范表面的作用。

(二) 浇铸流程

根据镜范存留的浇铸痕迹以及阚家寨铸镜作坊遗址^[26]的发掘资料,可大致将浇铸流程还原如下。

浇铸之前,先在镜面范与镜背范的型腔表面涂刷脱范涂料并晾干,然后在镜背范的镜钮型腔处放置和固定钮孔内范,再行合范。合范采用横向捆绑的方法,有的还用草拌泥涂抹合范之间的空隙^[27]。从临淄齐故城阚家寨铸镜作坊遗址的情况看,合范安装好后,先放置和固定在砂坑中,之后再行浇铸。铜液在浇铸过程中受到高温影响,原料中的铅、锡和铜熔合氧化后形成黑色细腻的表层。目前只有阚家寨铸镜作坊有明确发掘简报,遗址为一处铸坑^[28],由于受发掘面积所限以及晚期的破坏影响,我们无法从整体上揭示并探讨该铸镜作坊遗址的结构和布局,也不能完全认识当时的各个生产环节,期待在考古资料整理后以及多学科合作研究下可以为我们提供更多信息。

三、铸件加工

铸件加工过程包括热处理、机械加工和镜面处理等,经过后续加工铜镜才算最终完成。汉代铜镜中有相当一部分铜镜的镜面有弧度,即镜面外凸的凸面镜。山东地区出土的86枚西汉早期铜镜中,凸面镜12枚;80枚西汉草叶纹镜和花叶纹镜中,凸面镜有49枚^[29]。凸面镜的成因一直是铜镜研究的热点,目前主要有四种看法。

(一) 镜范下凹说

何堂坤先生认为战国汉唐时期铜镜含锡量较高,强度、硬度均较高,难以通过刮削和按压在镜面制造凸起,这个时期的凸面镜是由于镜面范型腔下凹到一定弧度而铸造形成的。而宋代以降铜镜含锡量明显降低,铅、锌或者铜的含量明显升高,含锡量的减少和含铅量的增加使铜镜材质变软,改变了合金的切削加工性能,使用刮削、按压方式制造一定弧度的凸面镜也是有此可能的^[30]。

(二) 冷热收缩说

龟井清先生与董亚巍先生认为铸造过程中浇注的铜液由于镜体部分薄而冷却快,镜钮部分厚而冷却较慢形成以镜钮为中心的张力,从而使镜体弧曲形成凸面镜^[31]。汉代铜镜背面出现半圆钮,半圆钮的厚度大于镜面厚度,浇铸过程中,镜钮冷却慢,以镜钮为中心的张力使镜面中心外弧,凸面镜因此成型^[32]。

(三) 淬火说

日本学者清水康二先生与三船温尚先生认为凸面镜是在热处理过程中淬火,热膨胀后铜镜急剧冷却,因镜体厚度的差异而出现冷却速度的时间差,因钮和外区的收缩较晚而形成凸面镜。即在镜范阶段,制作出铸造平面镜或者微凸面镜的铸范,利用热处理技术的影响使之变形成为凸面镜^[33]。三船温尚先生后来在对草叶纹镜的考察中认识到,通过长时间600℃高温加热后用水骤冷淬火的“淬火态镜”可以有效改善含锡铜镜易破碎的状态。在这一过程中,由于内区和外区的厚度存在差异,铜镜放入水中骤冷产生微小收缩使平面镜变形为凸面镜。这是由于无法在一瞬间将整个铜镜全部放入水中出现的稍微弯曲而变成的凸面镜^[34]。

(四) 铸后研磨成型说

即在铜镜铸造完成后,通过研磨等物理手段将平面镜打造成凸面镜。

然而“铸后研磨成型说”并不可靠,中科院高能物理研究所和社科院考古研究所曾联合对我国古代铜镜的面范形制进行初步探讨,验证了凸面镜刮磨加工的可能性极小。根据青铜器铸造的偏析现象,从表层向内里深入,锡含量迅速降低,如果铜镜在铸造完成后刮磨形成凸面镜,则被磨部分的锡含量应该低于未磨部分的锡含量。经过实验证明,几面凸面镜的镜面边缘处的锡含量相对于镜面中央并未有明显下降^[35]。由此推断铜镜铸造完成后并未进行刮磨,可能存在有一定弧度的镜面范。临淄发现的有弧度的汉代镜面范佐证了这一可能,但是问题依旧存在。观察目前

发现的临淄齐国故城镜范, 镜面范中部略下凹者有11枚, 但根据中日学者对山东省出土的80枚汉代草叶纹镜的观察, 镜面的凸曲度均远大于迄今所见镜面范的凹曲度^[36], 这说明仅凭借镜面范型腔下凹铸造凸面镜是不现实的, 因此“镜范下凹说”可能是凸面镜形成的原因之一, 但绝不是唯一成因。

“冷热收缩说”与“淬火说”的应用原理实则相同, 都认为凸面镜是在高温后由于镜面厚度不一造成冷却时间不同, 镜钮冷却慢造成收缩张力使镜面形成一定凸曲度, 区别在于这个过程是发生在浇铸铜液过程中, 亦或是铸件加工的热处理过程中。

大量凸面镜的发现^[37], 可能代表着古人有意识的铸造。在浇铸铜液的冷却过程中或是热处理淬火技术都可能形成凸面镜, 但目前发现的有高起内向连弧纹草叶纹铜镜亦有较大的凸曲度, 这显然与董亚巍先生认为加宽加厚镜缘可避免形成凸面镜的解释冲突。也就是说在浇铸铜液冷却过程中, 镜钮冷却速度较镜体慢而形成收缩张力可能导致凸面镜形成, 但即使加宽加厚镜缘, 使镜钮与镜体的冷却速度尽量同步, 依旧会形成部分凸面镜, 可见这并不是凸面镜形成的唯一原因。再者关于热处理淬火技术虽经过何堂坤先生实验证实^[38], 但并不能完全确定铜镜铸造过程中是否会有热处理, 淬火加工亦没有确切证据证明其为铜镜铸造的步骤之一。因此, 按照目前的考古材料和文献资料, 我们无法判定淬火形成凸面镜是偶然还是必然步骤。古人制造出有凹曲度的镜面范, 使铜镜镜面微弧, 但究竟是在浇铸铜液后冷却造成的镜面凸曲度进一步扩大, 抑或是存在热处理加工, 又或者还是有别的我们尚未认识的处理手段, 这可能需要我们的进一步观察研究。

四、余论

临淄齐国故城汉代镜范和铸镜作坊遗址的发现与研究, 使我们对汉代铜镜铸造工艺研究有了突破性进展, 山东临淄齐国故城的

汉代镜范由“模制法”与“刻制法”两种方法制成, 对“模制法”与“刻制法”两种制范工艺的探讨引申出目前发现的大小、形制、花纹相似的同形镜更有可能是“同模镜”而非“同范镜”。对镜范表面的浅黄褐色表层和黑色表层进行科学检测, 亦可确定古人铸镜时会对镜范表面进行“脱范”处理。“凸面镜”的形成可能是多种工艺技术共同作用导致的, 并非单一的成因。但有待进一步研究考察的问题依旧很多。比如, 根据现有的考古材料与文献资料我们对铸镜流程进行了复原, 但熔炉、坩埚等铸镜工具的研究因无实物材料而稍显滞后。在工艺技术方面, 热处理技术是否是铸镜的必需技术尚待论证, 古人制作凸面镜的意图也尚需讨论。对于铜镜学界内已经有较为全面的研究, 而关于铜镜的生产与流通及其所折射的汉代社会经济与社会文化还需要进一步深入探讨。除去传统的考古学方法, 这些问题的解决需要我们积极利用现代科学手段, 多学科交叉研究可为我们提供新的研究思路, 而制范以及铸镜模拟实验对于解决凸面镜的形成这类问题极其必要, 期待日后汉代铜镜铸造技术的研究有更多进展。

注释:

[1]中日合作山东省临淄齐国故城出土镜范总计95件, 2012~2013年阙家寨铸镜作坊遗址发掘出土镜范180余件, 总计270余件。中国山东省文物考古研究所、日本奈良县立橿原考古学研究所:《山东省临淄齐国故城出土镜范的考古学研究》, 科学出版社, 2007年, 第101~102页; 杨勇:《山东临淄齐故城秦汉铸镜作坊遗址的发掘》, 《考古》2014年第6期。

[2]王会田:《临淄齐国故城阙家寨铸镜作坊址调查》, 《山东省临淄齐国故城汉代镜范的考古学研究》, 科学出版社, 2007年, 第260~272页; 杨勇:《山东临淄齐故城秦汉铸镜作坊遗址的发掘》, 《考古》2014年第6期。

[3]关野雄:《齐都临淄の調査》, 《中国考古学研究》, 日本东洋文化研究所, 1942年, 第272页。

[4]中国社会科学院考古研究所、山东省文物考古研究所:《山东临淄齐国故城内汉代铸镜作坊址的调查》, 《考古》2004年第4期。

[5]白云翔:《临淄齐国故城汉代镜范及相关问题研究》, 《山东省临淄齐国故城汉代镜范的考古学研究》, 科学出版社, 2007年, 第96~133页。

[6]陈佩芬:《上海博物馆藏青铜镜》, 上海书画出版社, 1987年, 第14页。

[7]石野亨:《铸造技术の源流と历史》,株式会社产业技术,1971年,第159~181页;何堂坤:《中国古代铜镜的技术研究》,紫禁城出版社,1999年,第117~124页。

[8]白云翔:《试论东亚古代铜镜铸造技术的两种传统》,《考古》2010年第2期。

[9]刘煜:《山东临淄齐国故城汉代镜范的科学分析》,《考古》2005年第12期。

[10]刘煜先生在《山东临淄齐国故城汉代镜范的科学分析》一文中,尝试将临淄齐国故城的镜范与侯马东周陶质镜范进行比对,汉代镜范密度远低于东周镜范,且吸水率更强。

[11]同[3],第241~294页。

[12]三船温尚:《从临淄齐国故城汉代镜范和日本收藏的草叶纹镜范考察铜镜制作技术》,《山东省临淄齐国故城汉代镜范的考古学研究》,科学出版社,2007年,第206~225页。

[13]何堂坤:《关于我国古代铜镜铸造技术的几个问题》,《自然科学史研究》1983年第4期。

[14]同[5]。

[15]何堂坤:《中国古代铜镜的技术研究》,紫禁城出版社,1999年,第102~106页。

[16]同[12]。

[17]白云翔:《西汉时期日光大明草叶纹镜及其铸范的考察》,《考古》1999年第4期。

[18]同[5]。

[19]同[5]。

[20]白云翔、张光明:《山东临淄齐国故城汉代镜范的发现与研究》,《考古》2005年第12期。

[21]张光明、徐新、赵燕:《试论汉代临淄的青铜冶铸业》,《管子学刊》2006年第3期。

[22]中国山东省文物考古研究所、日本奈良县立橿原考古学研究所:《山东省临淄齐国故城汉代镜范的考古学研究》,科学出版社,2007年,第3~91页。SLQJF:09、SLQJF:

18、SLQJF:20、SLQJF:33、SLQJF:62等镜范皆未经使用且分型面呈黄褐色,这说明浅黄褐色表层并非是镜范浇铸使用过的依据。

[23]同[9]。

[24]同[20]。

[25]同[22],第36页。SLQJF:62的分型面与型腔表面有若干大大小小的孔隙,未有涂料痕迹。

[26]杨勇:《山东临淄齐故城秦汉铸镜作坊遗址的发掘》,《考古》2014年第6期。

[27]杨勇:《汉代铜镜铸造工艺略说》,《中国文物报》2014年12月5日第006版。

[28]同[26]。

[29]同[5]。

[30]同[15],第114~116页。

[31]董亚巍:《试论古代铜镜镜面凸起的成因及其相关问题》,《文物保护与考古科学》2000年第2期。

[32]董亚巍先生认为解决这一问题的方案是对镜背纹饰进行调制,增加镜缘的宽度与厚度,在离半圆钮座较近的部位增加厚度,使镜体在浇注后的凝固期内能有部位暂时多储存一些铜液供镜钮补缩。因此西汉早期出现日光镜,昭明镜这样的镜中,在钮座周围增加一圈高起的内向连弧纹,是加宽加厚镜缘的举措。

[33]清水康二、三船温尚:《草叶纹镜范研究的现状和课题》,《山东省临淄齐国故城汉代镜范的考古学研究》,科学出版社,2007年,第190~197页。

[34]同[12]。

[35]李道伦、范钦敏、刘亚文等:《关于我国古代铜镜的面范形制的初步信息》,《核技术》1986年第12期。

[36]同[5]。

[37]西汉时期镜面开始微凸,随着历史进展,镜面凸起越明显,至东汉、三国、六朝时期镜面凸起程度达到历史顶峰,六朝后镜面凸起开始趋于平缓。

[38]同[15],第142~174页。

Bronze Mirror Casting Technology in Han Dynasty and Related Issues: A Case Study with

Han Dynasty Mirrors Unearthed at Ancient City of the *Qi* State in Linzi

ZHAO Na, LANG Jianfeng (Ji'nan, Shandong 250100)

Abstract: It was during the Han Dynasty that bronze mirror gained unprecedented attention and development. The discoveries of cast bronze mirrors of the Han Dynasty, for quite a long time, were limited, thus a barrier to studying bronze mirror casting technology. Great breakthrough was made since the end of the 20th century when large quantities of casting moulds as well as a few workshops for bronze mirror production were unearthed at *Qiguo Gucheng* (Ancient City of the *Qi* State) in Linzi. The paper here presents a case study on Han Dynasty bronze mirrors unearthed from *Qiguo Gucheng* and investigates a few interrelated issues including material use, casting technology, and man-made modifications, for the purpose of shedding light on bronze mirror casting technology in Han Dynasty.

Keywords: Han Dynasty, *Qiguo Gucheng* (Ancient City of the *Qi* State), bronze mirror casting moulds, casting technology, man-made modifications

(责任编辑、校对:段姝杉)