



# 商前期青铜罍铸造工艺分析与模拟实验研究

- ◆ 何 薇 (中国文物信息咨询中心)  
 ◆ 董亚巍 (湖北鄂州市博物馆)  
 ◆ 周卫荣 (中国钱币博物馆)  
 ◆ 王昌燧 (中国科学院研究生院科技史与科技考古系)

**摘 要:** 罍是一种酒器,夏代晚期已有出现,盛行于商到西周早期。关于罍的铸造工艺,前人也曾做过一些相关研究。我们通过对出土罍范的考古调研、对铜罍的实物考察和对其铸造工艺的模拟实验研究,认为黄冈博物馆所藏商前期铜罍是采用典型的三分法制作的。罍腹部凸起的棱角分明的兽面纹和柱帽上的涡纹,是在范面上制作出来的;罍腹芯和罍芯是由芯盒制作而成;铸型不糊草拌泥也可单独阴干、焙烧并用于浇铸。

**关键词:** 铜罍,青铜器纹饰,铸造工艺,陶范,泥芯

**Abstract** Bronze-jia is a kind of drinking vessel, appearing in Xia Dynasty, and prevailing from Shang Dynasty to the early period of Western Zhou. The former researchers have already done some researches about the mold-making techniques of the bronze-jia. According to the archaeological investigation of the unearthed molds of the bronze-jia, the observation of the casting features on the surface of the vessel and the simulated experiment of the mold-making techniques, we believe that the molds of the bronze-jia are made from the divided models. The ornaments on the surface of the bronze-jia are manufactured on the outer molds and the sunken ornaments in the cap are made by carving and pressing a small piece of clay pasted on the mold of cap. The cores of the body and the handle are made from the core-boxes. The molds and cores first dry in the shade and then were baked separately before they are used for casting.

**Key words** bronze-jia, mold, ornament, core, mold-making techniques

罍是一种酒器,它是最早出现的青铜容器中的一种,从出土的大量青铜器中发现,铜罍是与铜爵配套的酒器,专门向爵内注酒,又兼作温酒器。《礼记·礼器》云“尊者献以爵,卑者献以散。”王国维说“散”就是罍,明确了罍在酒器中的地位列于爵之后。罍在二里冈时期就已和爵、觚(或鼎、爵、觚)形成早期的器物组合,殷墟时期使用范围继续扩大,西周时渐趋衰落,继之绝迹,延续时间有五六百年之久。

在截面为圆形、长圆形的商代青铜容器中,罍的形制和铸造工艺是较为多变和繁复的。关于圆罍的

铸造工艺,很多学者曾做过相关探讨。石璋如先生认为空足罍是由两柱四块范,一釜两块范,上腹四块范,三足九块范,共二十三块范组成。显然这种繁复的分范方式既不符合青铜罍表面的范铸特征,也不符合实际操作。分范越多,范芯配合越难,浇铸成功的可能性越小。而郭宝钧先生认为圆罍等三足器,采用了三壁范过足包底铸法,是颇有见地的。万家保先生推断圆罍的块范组成大约是:器身、足和底,都是三分的,以足的中线为分界线;器身及足和底分为上下两组,以底折为界线;釜系二分,而釜之中



图一 盘龙城罍腹范缝



图二 盘龙城罍底范缝



图三 黄冈馆所藏罍

线又恰与一足之中线相符；柱的范由芯型与外范组成；钮为单独的范。而罍的内范，认为是由模切削而成。万先生所推断的块范组成大体都是正确的，惟罍内范（腹芯）的制法不大合理。李京华先生认为盘龙城出土弧腹罍PWZH7:1足比其它罍宽一倍。罍为“X”形，成为两个三角形镂空装饰，三角形镂空作为罍芯的芯撑，主要是固定罍的厚度，其铸型是由二外范、一底范、一腹芯及以罍芯组成。李先生认为此罍由两外范构成明显与罍腹部的范缝特征不符。华觉明先生认为，圆罍（M5 781）的铸型用六块腹范、三块足范、一块顶范（由三块分范结合）、三块罍足泥芯和底范、罍腹泥芯组成。罍足与腹浑铸而成，罍釜和柱帽都是分铸的。由于罍781的罍腹上每条扉棱两侧均有T形凹槽，华先生考虑到如果不在扉棱处进行垂直分范，就会造成造型时无法脱模的现象，并认为罍腹铸型是用6块腹范组成是非常合理的。但他和万先生均认为罍体铸型由罍腹和罍足这两段组成，分型面在罍腹底缘，即此罍在底折处出现了水平分范现象，这似乎与铜罍上的范铸特征不符。

#### 一. 出土实物考察与技术工艺分析

考古发掘出土的罍范很少，河南安阳苗圃北地铸铜遗址虽出土了大量陶范，出土外范以礼器为主，器类有鼎、簋、方彝、卣、觥、罍、角、觚、爵等，但多残碎，仅少数能复原。郑州商代二里冈期铸铜遗址曾出土过罍外范两块。其中一块是罍腹和罍足的外范。范面上有圆弧形罍的下腹的一部分和半个尖锥状罍足印。足印的上端和平直的罍底有明显的分界。两块罍外范的合缝处，是在罍足外面的中部。另一块也是一块罍腹和部分罍足的外范。范面上印有部分罍腹和一个完整的罍足上半部。足印的中部有一条上下的粘合线，它是铸造铜罍时两块罍外范的接缝线。另还有一块罍的范芯，通体为上粗下细的圆柱形，顶部与底部皆为平面。

仅凭出土的这些少许罍范很难完整复原原罍的铸

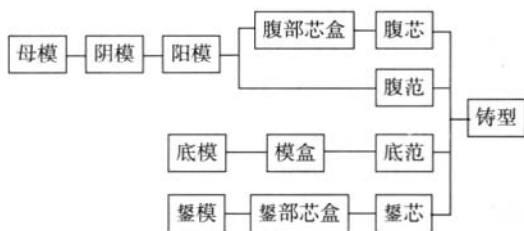
造工艺，于是我们又先后对北京、河南、陕西、安徽、湖北等地所出土的青铜器进行了考察，并着重对湖北黄陂盘龙城遗址所出铜罍和黄冈博物馆所藏下窑嘴M1中出土铜罍上遗留的范缝进行了细致研究，观察出它们都有共同的范铸特征。从图一可看到，自罍足的任

意一足足端起，沿足的内外面中线部位，皆可发现明显的范线。外面的一条范线笔直通到口沿，里面一条顺着足面上延，到器底后折向底的中心，和另外两条同样的范线汇合，形成了很整齐的Y形范线，如图二、图三所示。图一中罍的中线部位有一范线，罍内侧的罍腹部，在罍的正投影方向，两侧各有一条范线。从图三中可看到，柱帽下有一条与口沿平行的范线。罍腹部纹饰为凸起的兽面纹，纹饰凹槽并不存在拔模斜度，且纹饰在罍处不贯通，腹部纹饰被罍腹范线分为三组。罍口沿上两柱外宽内窄，柱帽上有很深的涡纹凹槽且棱角分明。

通过观察青铜罍上的范铸特征，并结合出土的罍范及相关陶范，我们推测：罍的铸型由三块腹范、一块底范、一个腹芯、一个罍芯组成，再结合罍腹和罍底的Y形范线，我们认为，罍模可能是采用三等分的方法制成，即模并非做成整模，而是只具有器物主体几何尺寸的三分之一（对称分割），三块腹范即是于陶模上翻制而成。罍腹范线从口沿直通足底，且出土罍外范上有罍腹和罍足的型腔，说明腹范并未在底折处出现水平分范现象。罍釜内侧器腹部的两条范线，从工艺逻辑分析来看，应系罍成型过程中的活块芯所致，而柱帽下的范缝当是罍腹范和腹芯组合时的合范缝。罍口沿上两柱外宽内窄，说明罍柱是在泥芯上制作的，这样的设计，是为了便于从泥芯上向外拔出柱模。罍腹部花纹和柱帽上的涡纹凹槽并不存在拔模斜度，且花纹不对称，说明其花纹并非事先刻于模上，然后于模上翻带出来，而应是在范面上制作的。通过考察殷墟及侯马出土的陶范，推测柱帽上的涡纹应是在范面上贴泥条制作的，但由于涡纹凹槽棱角分明，似乎并非像我们先前所认为的，直接在范面上贴泥条所致，可能在贴完泥条（片状）后还使用了刀刻。

综上所述，青铜罍的范铸工艺包括制模、制范、制芯、制作纹饰这四个主要步骤。先用车板造型法制

作出罍的完整腹膜,然后用三等分法切割腹膜,并单独制作出罍的足模,将三分之一部分的腹膜和足模组合起来,即可组成一个母模的主体部分。经过母模——阴模——阳模这几道工序后,就可以在焙烧的陶阳模上翻制罍腹范了。腹范共三块,均包括器腹和足的型腔,其中两块腹范还含有鋈的半个型腔。底范是一个平底范,是在单独制作的底模上翻制而成,底范中包含有两个帽的型腔(倒置浇筑)。罍腹芯和鋈芯是由芯盒制作而成,其芯盒是从各自的模具中翻出。而罍的整体铸型应由一块底范、三块腹范、一个罍腹芯、一个鋈芯组合而成。其具体的工艺流程如图四所示。



图四 罍的工艺流程

## 二. 模拟实验

### (一)制模

制模是器物铸造的第一道工序,也是最关键的技术之一。竹、木、骨、石以及先期所铸器物都可以用于制作模具,但普遍使用的还是陶模。一般说来,小件器物或附件一般作整模,大件器物则采用分模。所谓分模就是按照器物的对称关系,根据器物形状、纹饰以及各种附件,分别做模,把形状相同、纹饰一样、对称的部位分成相等的块,然后只做其中的一块模。此次模拟实验采用的制模工艺为:母模——阴模——阳模。其中母模是由腹模、足模等散件组合而成,且只做出了铸件的三分之一模。青铜罍模的具体制作过程及烘烤问题,已在《商前期青铜罍的制模工艺初步研究》<sup>[10]</sup>一文中作了较详细的讨论,工艺细节在此就不再介绍。

需要指出的是,我们虽以黄冈博物馆所藏铜罍为模拟实验的对象,起初,由于缺乏经验,我们将模具的形状设计得过于简单。参考了盘龙城所出铜罍的几何形状后,在实验后期,我们又重新制作了新的刮板、腹模、阴模及阳模。其一是因为实验期间,我们曾多次考察黄冈馆所藏铜罍,发现铜罍的浇口似乎设置在器底中央,与我们原来的设计相左。其二通过前期的实验摸索,逐渐积累了较多的制模、制范经验,试图将模拟实验做得更加完善,而改变了模具的

形状。新制模具的形状与黄冈博物馆所藏铜罍之形状更为接近<sup>[12]</sup>,具体如图五、六、七所示。



图五 腹模



图六 阴模



图七 阳模

### (二)制范

#### 1. 范料的选择与配制

根据现代铸造学和造型材料的理论,并参考有关学者对古代陶范研究的成果<sup>[13][15]</sup>,陶范应具有下列基本性能:可塑性、复印性、脱模性良好;足够高的干湿强度和干硬度;足够高的耐火度和化学稳定性;收缩-膨胀率低;发气量足够低;足够好的高温退让性;足够好的充型性能。为了能够满足上述基本性能,要求在制作罍范时,首先应选取合适的制范原料,再对其进行一系列的加工和处理,如粉碎、精选、配制、练泥、陈腐等,这些工艺环节缺一不可。罍范性能的优劣、铸件质量的好坏,很大程度上取决于罍范原料的选择和对其进行的加工处理上。

制作陶范的原料以土和砂为主,部分芯和范掺有少量植物质<sup>[16]</sup>。古代陶范的原料配方问题本身就是个很复杂的课题,此次模拟实验时间有限,不可能面面俱到,故对陶范的原料配方没做细致的研究,而是将模拟实验的重点放在了对器物本身工艺技术的复原上。幸而谭德睿等先生对古代陶范原料做过很多研究,我们在充分借鉴他们的研究成果的同时,还参考了鄂州博物馆多年仿古铸造青铜镜的经验,选择



了适当的范料配比,即原生土:砂:草木灰=13:13:3进行模拟实验。此次实验所用原料均为就地取材,将当地所取原生土打成土坯,烘干后用电磨磨至约100目,然后掺入一定比例的江砂和草木灰。

## 2. 制范工艺

根据模的不同,范也有整

模翻范和分模翻范之分。整模翻范较复杂,而分模翻范比较简单。制范的手法也分两种。一种是将泥料压成一定形状的薄片,贴附模上,再加厚至所需范壁厚度。另一种是用泥料逐块往模上堆贴,由于泥料塑性极好,在按捺过程中可消除绝大部分接缝,获得良好的范面。安阳苗圃北地出土的方彝范于范面留有褶皱,为第二种制范手法提供了依据。此次模拟实验采用的是第二种制范手法,并收到了满意的效果,具体如下所述。

(1) 腹范的制作。将罍的阳模平置于一块平板上,在其两头安置挡板,并在两边用具有凹槽的木板将两挡板固定,如图八所示。在制第一片范前,需将预先制好的木质鑿模固定于阳模的合适位置处,然后在阳模上刻上记号,并于阳模的另一边相应位置处也刻上记号,以方便制下一片范时鑿模的定位。这些准备工作完毕后,即可开始制作第一片范。首先将一片鑿模置于阳模的记号处,并将鑿模用木质销钉固定于阳模上,然后在阳模上填充薄泥片,并一层层的按压,直到泥料与挡板平齐,在泥料上放置一块平板,并用木棍轻轻夯捣,直到泥料平整,可以将范脱出。第一片范脱出后,用工具将其修整好,即可将其上的鑿模取出,然后将鑿模处的空腔修整好,将范重新扣合到阳模上,并将阳模平置于平板上,然后轻轻按压即可将范再次脱出,这样做的目的是为了防止范在修整过程中变形。接着可制作第二片范,在制第二片范前,需将另一片鑿模置于阳模的另一边的记号处,下面的操作方法与制第一片范相同,这里不再赘述。制第三片范时,不用再在阳模上安置鑿模,直接在阳模上按压泥料,翻出第三片范即可。

(2) 底范的制作。底范制作方法比较简单,只在底模的模盒内填以薄泥片,一层层按压薄泥片,直至将模盒填满,然后将泥料捣紧刮平。在泥料上放置一块平板,将模盒翻转过来,轻轻敲击模盒,底范即可顺利脱出。

## (三) 制作纹饰



图八 制腹范



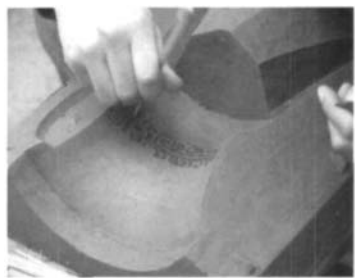
图九 带纹饰的腹范

郭宝钧认为早期青铜器上的单叠花纹,继承了陶拍印纹的方法<sup>⑦</sup>。万家保认为纹饰技术应按如下方式演进:范纹——模纹——模范合作纹——雕塑模纹。他认为制陶技术甚少利用到范,或和范相似的技术,因而脱范这一程序是与铸造一起发生的一项新技术<sup>⑧</sup>。既然由模脱范本身就是一项新技术,如若在早期陶模上制作纹饰,就更增加了由模脱范的难度。通过观察早期陶范和青铜器上的纹饰特征,我们确信早期青铜器上的纹饰是直接在范面上制作的。

## 1. 腹部花纹的制作

腹范做好后,在距腹范芯头8.2厘米及11厘米处,分别用刀具划上两条起稿线。接着在起稿线范围内,用针状物绘制花纹的底稿,再按照底稿,用刀具一点点地将稿线加深,然后将多余的泥料剔除,即可形成纹饰的凹槽,最后再用自制的竹质工具将纹饰凹槽的底面压平,如图一〇所示。此纹饰凹槽表现在青铜器上即为

凸起的阳文纹饰。用刀具加深稿线时,务必要确保刀具与范面垂直,这样才能确保纹饰凹槽内外宽度相等。纹



图一〇 制腹范花纹

饰制作完毕,可将罍范再次扣合到阳模上,轻轻按压后再揭开,以防止在制作纹饰时范体变形。图九为制作完纹饰的腹范。对此类腹范纹饰的制作,我们曾提出过在打完底稿后直接于范面压塑纹饰的设想<sup>⑨</sup>,这次实验,我们经过反复尝试,发现此法根本不可行;因为泥料具有一定的硬度,光用压的办法制作不了纹饰。由此也可以看出,郭宝钧先生提出的陶拍印纹法也不行。

## 2. 帽上花纹的制作

先用工具将底范上柱帽的型腔修整规整,然后

用圆形竹制工具在柱帽型腔的中心压上一个凹槽,稍稍转动圆形工具即可在帽的型腔的中央形成一个圆柱状凹槽。浇铸时,此凹槽反映在青铜罍柱帽上,即为一个圆柱状凸起。找一块厚度约为2毫米的薄平板,并在平板中央挖掉一个适度的长方形,然后将其置于另一平整板上。在平板的底面垫上一层纱布,将练制好的泥置于平板中央的长方形处,并于泥上覆上一层纱布,然后用擀面杖将泥片擀薄,直到泥片的厚度与平板的厚度相等即可。



图一— 制底范花纹

用毛笔在刚压出的凹槽周围刷上少许水,将擀好薄泥片粘贴在凹槽周围,用工具稍

加修整后用刀具在帽的型腔内距帽沿3毫米和5毫米处,分别用针状物在薄泥片上画上两条稿线,然后在稿线下适当位置处,画出五个涡纹的底稿。用刻刀将底稿加深,最后将多余的泥片剔除,即可完成柱帽花纹的制作。图一—为底范花纹的制作过程。

#### (四)制作芯盒

虽然至今为止考古发掘中鲜有芯盒出土,但这并不排除用芯盒制作泥芯的可能性。商中晚期青铜器中,内腔常常有与外表凸起纹饰相对应的凹陷特征(即内腔随外形走)<sup>⑨</sup>。青铜器上的这种特征,似乎足以充分证明芯盒制芯这一工艺的存在。

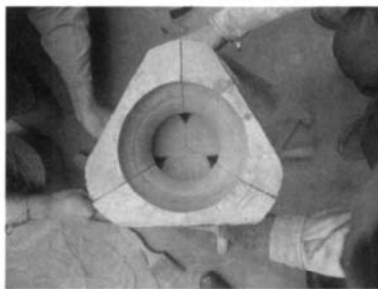
##### 1. 罍腹芯盒的制作

芯盒的翻制方法与范相似,不同之处在于制三片范时无需在阳模上放置鑿模。三片范制好后,在范的口沿处贴上一层厚约2毫米的薄泥片,贴泥片前,需将口沿部分划毛,这样是为了使泥片更好的粘接在口沿处,若范太干可刷点水,粘好后用工具修整平整。我们共采取了三种方法制作芯盒。一是选用比范料含水量更大的泥料,作为制作芯盒的原料。企图通过两级收缩,即芯盒的自然收缩、由芯盒所制出的泥芯的自然收缩,来形成器物的壁厚。二是将阴干的罍腹范放入窑内焙烧。用砂纸打磨焙烧后的罍腹范的分型面,打磨过程中要经常配合三片腹范,以免打磨过头。最后将打磨好的三片范配合起来,用绳子捆紧即为芯盒。三是在三片罍腹范的内部均贴上一层约

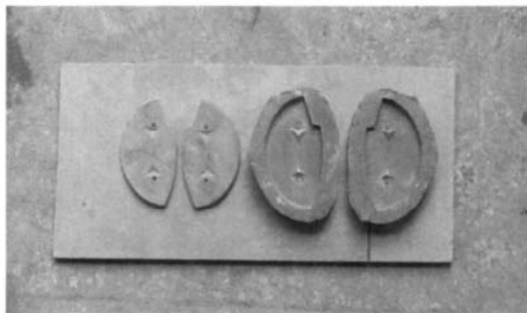
2毫米厚的薄泥片,然后用工具修整平整,待罍腹范阴干后,放入窑内焙烧,将焙烧后的三片罍腹范用绳子捆紧,即为芯盒,如图一二所示。而通过实验后的合范对比,发现用第三种方法制作的芯盒效果更好。

##### 2. 罍釜芯盒的制作

罍釜芯盒的制作方法在《商前期青铜罍的制模工艺初步研究》<sup>⑩</sup>一文中已有详细介绍。由于罍模形状已作了些许改动,所以与之相应的也要改变鑿模的形状,新的鑿模和芯盒如图一三所示。



图一二 腹部芯盒



图一三 模和芯盒

#### (五)制作泥芯

##### 1. 罍腹泥芯的制作

在确定制芯泥料的配比前,我们首先试配了两组芯料,通过对比这两组芯料的性能,以期确定更加合适的芯料配比。为了配料方便,我们选用体积比进行配制。第一组芯料配比为:泥:砂:草木灰=1:3:2,第二组芯料配比为:泥:砂:草木灰=2:3:2。芯料配制完成后,分别将两组芯料用于制作鑿芯,经阴干后发现,两组芯料都具有一定的强度,均能用于制作泥芯。

参考这一实验结果,并结合鄂州博物馆多年复制青铜镜的制范经验,我们最终选定的芯料配比与范料配比相同,即泥:砂:草木灰=1:3:3。区别在于范料是经练泥而成,芯料则是散土。泥芯的制作过程如下:选择一大小合适的砂箱置于平地上,并在砂箱内平铺一薄层具有一定湿度的细砂;将预先捆



图一四 制腹部泥芯



图一五 腹部泥芯



图一六 装窑



图一七 焙烧

绑好的一套芯盒置于砂箱内,然后于砂箱内芯盒外部的空腔内填以细砂,并用木棍夯紧;将制芯的泥料少许填入芯盒中埤足的空腔内,用尖状木棍捣紧,边捣边填芯料。夯捣过程中力度要适中,力度太小会导致埤足夯制不到位,且夯出的泥芯埤足强度不够。力度太大则容易损坏芯盒。当埤足的空腔填满后,即可进一步填芯料完成埤腹部空腔的夯制;当芯料夯制到埤口沿部分时,在此套芯盒中任意选择一片范,并在这片范的埤口沿上部左右两侧芯头处,分别安置两个木质的柱模,于柱模处填以芯料并加以夯紧,直到芯盒被填满,用木棍夯紧后,用刮板将泥料刮平;⑤轻轻敲打柱模的前后左右,缓慢取出柱模。如在取柱模的过程中,不小心将柱模空腔边缘的芯料带掉,可以将柱模再次插入空腔内,用工具将边缘修整后可再次取出;⑥将砂箱的一边稍微抬起一定的高度,用木棍将芯盒外的细砂捣出一角,即可取走砂箱。将芯盒外表面的细砂清理干净后,即可解开芯盒外捆绑的绳子。然后用手轻推任意一片范,感觉到稍有松动后,再依次轻推第二片、第三片范,直到三片范都松动后,即可从任意一片范开始缓慢开范。脱范时要确保范平直脱出,如稍有倾斜,就会将泥料挂掉。脱范后将泥芯稍加修整即可放置阴干。

#### 2. 泥芯的制作

将芯料分别填于埤的两片芯盒内,填满后将芯料捣紧刮平,然后在其中一片埤芯表面涂抹稀泥浆,

将两片芯盒扣合起来,待芯盒内的两片埤芯粘接后,用木榔头轻轻敲打两片芯盒的外表面,待埤芯在芯盒内稍有松动后,即可分别拿掉两片芯盒,脱出一个完整的埤芯。

#### (六) 铸型的阴干与焙烧

泥范、泥芯制成后,需在背阴处自然阴干,使水分缓慢均匀地蒸发,这对控制范、芯的变形至关重要。为了减少泥范在阴干过程中的收缩、开裂、变形,可对陶范采取加压阴干的方法<sup>②</sup>。青铜器范、芯阴干后,在鄂州市博物馆青铜范铸实验基地焙

烧镜范用的鼓风倒焰窑中焙烧,如图一六、一七所示。总共焙烧四次,前三次每次焙烧时间约为36小时,温度约为1100℃。最后一次共焙烧了两窑范,均烧至1100℃左右。其中,为做试验将一套镜范在约900℃时从窑中提前取出放凉。

#### (七) 熔铜与浇注

熔铜浇注前,需先将范、芯配合起来,配合时在范与芯中间放上垫片,组合好后用绳子将三片范捆紧,放入一砂箱中,然后再在范的周围埋上砂土,并用棍子捣紧,配合好后即可待铸。

本次实验用石墨坩锅来熔炼青铜合金,用150W的电动机鼓风,使用的燃料是焦炭。熔铜和浇铸试验共进行了4次。第一次是试浇实验,于11月20日进行。熔化合金时先装入5kg回炉料。所谓回炉料是指浇铸过程中的“水口”、“冒口”、“跑火料”以及过去未浇铸完的剩余料等。此次浇铸的合金配比约为Cu 67.5%、Sn 10%和Pb 20.5%。原料熔炼好后进行浇铸,结果如图所示。此次浇铸虽然成功,但所铸青铜器范缝很宽,约1~2毫米,且非常厚约4毫米,芯头部分有一圈很明显的披缝且较厚如图一八所示。

第二次正式浇注试验于11月24日进行,合金配比与第一次相同。此次浇铸前,在一平板上先将三片埤范预先配合一次,并在范上作上合范记号,然后按合范记号再次装配埤范和泥芯,用绳子捆紧后放入砂箱内浇铸。此次浇铸出的青铜器范缝很窄,很多



都不到1毫米,但壁厚依然有约4毫米厚,且芯头部分也有明显的一圈较厚的披缝。分析原因,可能是由于采用打磨分型面的方法制作出的芯盒过小,导致翻出的泥芯太小,与范配合后形成的壁厚太大,导致浇铸出的铜罍过厚。



图一八 第一次浇铸



图一九 第四次浇铸

第三次试验于12月9日进行,加入回炉料4kg,铜5kg,铅1kg,合金配比约为Cu 80%、Sn 9.6%和Pb 10.4%,若考虑回炉料的反复使用,应与盘龙城所出弧腹罍PY WH6:18的合金配比铜78.46%,锡8.22%,铅9.83%接近<sup>②</sup>。此次浇铸所用泥芯是采用在范内贴泥片法制作的。铸出的青铜罍范缝很窄,壁厚减少到约3毫米,芯头部分的一圈披缝也很薄,不到1毫米厚。

第四次试验于12月14日进行。此次浇铸的合金成分与第三次相同,所用泥芯也是用在范内贴泥片法制作的。在浇铸经高温焙烧过的罍范和镜范时,浇铸效果都非常好,如图一九所示。但浇铸900℃焙烧的镜范时,浇出的铜镜有些发气,如图二〇所示。



图二〇 铜镜

### 三. 讨论

#### 1. 榫卯问题

很多早期青铜器上的范缝很窄,有些甚至都不到1毫米,可见古代匠师制作铸型技术的高超。在模拟制备陶范时,我们所制的陶范都是带有榫卯的,但在范阴干、焙烧后配合起来都达不到出土青铜器上那么窄的范缝,最后尝试不设榫卯,反而收到了较好的效果。4次浇铸所铸出的青铜罍很多范缝都很窄,而且很规整,与盘龙城所出青铜罍上的范缝差不多。由此看来,只要保证了底范和三片腹范的分型面平整,陶范不设榫卯构造也可浇铸。

#### 2. 烧成温度问题

有的研究者提出陶范的焙烧温度不得低于850~900℃,且陶范并未陶化,表明焙烧温度未达到烧结点,即低于1050℃。冯富根等复原试铸铜觚时,陶范最高焙烧温度达950℃。但万家保则认为殷墟陶范的焙烧温度较低,大约为600~700℃。他复原试铸仅将泥模烘至600℃、陶范烘至700℃,试铸取得良好效果。刘煜等曾对孝民屯的陶范样品做过测温,多数未浇铸过的范都在550~600℃,仅一件已浇铸过的范达到900℃。我们在最后一次浇铸实验中,试浇了一组低温焙烧的镜范,结果浇铸出的铜镜有发气现

象。而所制罍范均焙烧至1100℃左右,浇铸效果皆不错。所以陶范到底有无陶化,烧成温度究竟几何还有待进一步研究。

#### 3. 合范问题

有不少学者认为,范、芯制好后需糊草拌泥阴干、焙烧之后才能进行浇铸。但很多青铜器上都有使用垫片的痕迹,证明合范前,范与芯之间是有垫片存在的。若在糊草拌泥前将垫片放入范、芯之间,那么范在窑内焙烧到1000多度时,垫片就会熔化,即失去了放入垫片的意义。且考古发掘出土的陶范有糊草拌泥迹象的并不多。我们通过模拟实验也发现,铸型不糊草拌泥也可单独阴干、焙烧,焙烧后铸型也无需预热,即可进行组合、浇铸。只是组合前若预先配合一下,并在范上作上合范记号,浇注前按记号将范、芯装配起来,放入埋有砂土的砂箱内,浇铸效果更佳。

#### 4. 纹饰制作问题

目前,关于商代青铜器纹饰制作,一般认为是在模上雕刻或堆塑的,翻范时花纹即可复印于范面上,郭宝钧、万家保、Robert W. Bagley、谭德睿等学者注意到在外范施加纹饰的可能。近期李永迪等对孝民屯东南地出土涡纹模和牛首模的研究,发现纹饰可能是以压印的方式施于外范上<sup>③</sup>。谭德睿等认为内外范经加压阴干定形,此时若雕刻细致的范纹或组装修整,由于强度和硬度不足而容易损坏,应整体组合经850℃左右的烘焙,再进行范纹的雕刻和组装修

整,此时极易雕刻,薄细的线条也不至于崩塌<sup>⑤</sup>。

客观地讲,外范经850℃的烘焙后,虽未陶化但已有相当的强度和硬度,在其上雕刻花纹实不可行。通过模拟实验,我们发现范在制作出来后,即可立即制作纹饰,并不存在有的研究者所说的“强度和硬度不足容易损坏”的问题。不过在范面上制作完纹饰后,可将范再扣回到阳模上按压一下,防止在制作纹饰时,范长时间搁置产生变形。

青铜器上凸起的纹饰,其制作工艺应是:脱范—修整范面—打起稿线—加深稿线—剔除多余范料—压制纹饰凹槽。制范泥料必须具备相当的强度,这样才能减少泥范的收缩和变形,但如果在具有一定强度的范上直接压制纹饰,那是不可行的,必须用刀具将多余的泥料剔除后再行修整。倘若范料很软,虽然便于纹饰压印,但会加大泥范的收缩和变形。

在制作青铜罍柱帽上的涡纹时,我们尝试了预先推测的贴泥条工艺,但泥条搓成后,稍一弯曲就断裂了,即便是在泥条上刷水后再修补也无济于事。Lukas Nickel 也认为晚商和西周一些青铜器上的凹纹,若用贴泥条的方法操作是很难实现的,他认为有种很简单的方法就是挤泥浆法<sup>⑥</sup>。这种方法我们也做过尝试,并不像 Lukas Nickel 先生说的那么简单易行,而且挤出来的泥浆不连续,宽窄也不一。这显然跟古代青铜器上表现出来的纹饰特征不符。最后我们通过实验摸索,涡纹采用的制作工艺是:贴薄泥片—打起稿线—加深稿线—剔除多余泥料—修整涡纹凹槽。此种方法虽简单易行,但浇铸出的青铜罍柱帽上的纹饰与出土实物相比存在一定的差距,且与我们原先的推断也不一致。而从出土陶范看,贴泥条工艺确实存在而非主观臆断,所以关于涡纹类阴文纹饰的制作工艺还有待进一步研究和摸索。

#### 5. 浇口问题

巴纳认为早期的罍是立着浇而不是倒着浇的,罍的扁平小纽即是浇口痕迹<sup>⑦</sup>。华觉明先生否定了巴纳的设想,并认为二里冈期和殷墟早期的罍有从鑿部浇的,并列举了几件疑为从鑿部浇注的铜罍,且以郑州南关外商代冶铸遗址所出土的浇口设在器腹侧部的鬲范作为佐证。但由于有些铜罍的鑿是分铸的,此种罍显然不可能从鑿部浇注,故他又用能谱仪对罍作了检测,发现罍足的含铅量从足尖向足根递增,说明罍毫无疑问是倒着浇注的。对罍的浇注位置,他曾作过多方面的探讨,认为罍是从足尖倒浇的,但并无直接证据。随后又考察了多处出土的铜罍,也没找到明确的浇口痕迹。后来发现山东滕县有一铜罍(实

用器)上,有保留下来的浇口断茬,从而确证罍等三足器和四足器的浇口设在足端<sup>⑧</sup>。

万家保在试铸青铜鼎时,认为浇口的功用在使熔铜能均匀、安定、迅速的流入铸物的各部分。满足这些要求的浇口,其位置应在鼎底的中央,因其离鼎的各边缘部分距离皆大约相等。但由于安阳的Y形范线鼎底中央毫无浇口的痕迹,故又认为浇口应位于足端<sup>⑨</sup>。

图二—即为郑州南关外二里岗期的鬲范,鬲范右侧应是所谓的浇口,但从形状看其并不具备浇口的形状,而且浇口中间有个凸起的榫,更是无法理解,而早期的罍足尖通常很细小、尖锐,壁很薄,根本不便设置浇口<sup>⑩</sup>。根据现代铸造工艺学关于浇铸系统的选择,以及我们对一系列出土青铜器实物的考察,我们认为浇口设置在器底中央应更为合理。



图二— 鬲范

#### 6. 制芯问题

考虑到铸型的配合问题,泥芯须通过芯盒来制作才能与范包配合紧密。在模拟实验过程中,我们采用了三种方案制作芯盒。第一种方法虽可以简化芯盒的制作,省去了在范内表面粘贴泥片的工艺,但用此种芯盒制出的泥芯很难跟范配合紧密,达不到预想的效果。二是采用打磨范的分型面的方法制作芯盒。这种方法虽可人为地控制芯与范的配合,但泥芯的芯头直径也随之缩小,使得铸出罍口沿的披缝与罍体厚度一样,与出土早期青铜器的特征不符。显然,此法不正确。三是采用在范内贴薄泥片制作芯盒的方法,收到了良好的效果。谭德睿等提出的外范翻制内范法<sup>⑪</sup>也正是这一原理。

但谭先生并没有将外范翻制内范法归入芯盒制芯法一类,并认为这种方法简便易行,免去了另制芯盒。我们认为这种用于制泥芯的范其实就是芯盒,而且此种范与用于浇铸的范不同。就罍范而言,用于制作芯盒的范是没有鑿的型腔的,而用于浇铸的范必须有鑿的型腔,如果不用特制的芯盒制作泥芯,而用范制泥芯,在夯制芯料时,鑿的空腔内就会充填上芯料,这反而给制芯带来不便。而且此种特制的芯盒,由于没有鑿的型腔,制作起来也比用于浇铸的范方



便。所以,用芯盒制芯不仅是简便的,而且是合理的,也应是其它容器类器物的主要制芯方法。

#### 四. 结论

1. 商前期青铜罍范是采用分型制模、分模制范的方法制作的。这种方法不仅简单易行,也符合范铸工艺操作的逻辑。模拟实验的结果也表明,按此方法浇铸出的罍上的工艺特征与出土的青铜器上的工艺特征相符。

2. 青铜罍腹部凸起的棱角分明的纹饰,应是在范面上制作出来的,其制作工艺为:脱范—修整范面—打起稿线—加深稿线—剔除多余范料—压制纹饰凹槽。罍柱帽上的涡纹的制作方法,根据我们的试验,应是粘贴泥片后再雕刻成形。

3. 泥芯和垫芯是由芯盒制作而成。两种泥芯都是由散土制作而成,但制作方法不同。通过多种方法的实验对比,我们认为,前人提及的在外范内表面粘贴薄泥片法制芯盒的方法是合理的、可信的。

4. 铸型不糊草拌泥,单独阴干、焙烧,也可直接用于浇铸。但要预设合范记号配合铸型,并用绳子将铸型捆紧,放入砂箱内用砂夯实后浇铸,浇铸前铸型无需预热。

注释:

杨宝成、杨锡璋:《1969~1977年殷墟西区墓葬发掘报告》,《考古学报》1979年第1期。

、⑳ 华觉明:《中国古代金属技术》,大象出版社,1999年。

石璋如:《殷代的铸铜工艺》,《历史语言研究所集刊》第26本,1955年。

、⑰ 郭宝钧:《商周铜器群综合研究》,文物出版社,1981年。

李济、万家保:《殷墟出土青铜罍形器之研究》,古器物研究专刊第三本,中央研究院历史语言研究所出版,1968年。

李京华:《盘龙城遗址青铜器铸造工艺探讨》,《文物考古论集》,中州古籍出版社,2006年。

河南省文物考古研究所:《郑州商城》,文物出版社,2001年。

河南省文物研究所:《郑州商代二里冈期青铜遗址》,《考古学集刊》第6集,科学出版社,1989年。

山西省考古研究所:《侯马铸铜遗址》,文物出版社,1993年。

⑪、⑫ 待刊。

⑬ 由于我们是模拟制备青铜罍,而不是复制青铜器,所以模具的大小尺寸和形状不可能做到和黄冈馆所藏铜罍一模一样。

⑭、⑮ 谭德睿:《侯马东周陶范的材料及其处理技术的研究》,《考古》1986年第4期。

⑯、⑰、⑱、㉑ 谭德睿:《中国青铜时代陶范制作技术研究》,《考古学报》1999年第2期。

⑲ 昆明工学院主编:《造型材料》,云南人民出版社,1978年。

⑳ 万家保:《铸造技术对中国古代青铜器纹饰的若干影响》,中央研究院国际汉学会议论文集,中央研究院历史语言研究所出版,中华民国七十年。

㉑、㉒ 董亚巍、周卫荣、马俊才、万全文、王昌燧:《商周铜器纹饰技术发展的三个历程》,《中国历史文物》2006年第6期。

㉓ 湖北省文物考古研究所:《盘龙城(1963年—1994年考古发掘报告)》(上),文物出版社,2001年。

㉔ 李永迪、岳占伟、刘煜:《从孝民屯东南地出土陶范谈对殷墟青铜器的几点新认识》,《考古》2007年第3期。

㉕ Lukas Nickel, Imperfect Symmetry: Rethinking Bronze Casting Technology in Ancient China, *Artibus Asiae*, Vol. LXVI, No. , 2006.

㉖ N.Barnard, Origins of Bronze Casting in Ancient China, *Metallurgical Remains of Ancient China*, Tokyo, 1976, 9.

㉗ 李济、万家保:《殷墟出土青铜鼎形器之研究》,古器物研究专刊第四本,中央研究院历史语言研究所出版,1970年。

㉘ 苏荣誉、华觉明、卢本珊、李克敏:《中国上古金属技术》,山东科技出版社,1995年。

(责任编辑:周钰淦)