



湖北宜城跑马堤墓地战国西汉墓出土部分青铜器的制作工艺研究

◆ 刘煜
 ◆ 常怀颖
 ◆ 刘建宇
 ◆ 张昌平

(中国社会科学院考古研究所)

(故宫博物院)

(武汉大学历史学院)

湖北省宜城跑马堤墓地以西汉为主，也有部分战国墓。出有青铜器的23个墓葬中，除了M1、M16、M43、M45等4个墓葬属于战国外（其中M45的年代晚于前3个墓葬），其余的都属于西汉。出土的铜器主要包括鼎、钫等容器，镜、炉等生活用具，刮刀等工具，剑、矛等兵器，节约、马衔等车马器，带钩等饰品，合页、铜构件等杂器，共计125件。本文分类考察了这些青铜器的制作工艺，以期了解这个时期的青铜器制作的技术水平。以下根据容器、生活用具、工具、兵器、车马器、饰品、杂器七大类来分别讨论这批铜器的制作技术。

一、制作技术分析

(一) 容器的制作技术

所有墓葬出土的容器中包括鼎、蒜头壶、蒜头扁壶、提梁壶、鍤壶、盘、盆、匜、釜、钫、釜、甗、器盖、勺等，总体可分为鼎等三足器、壶等圈足器，盘、匜等薄壁容器三大类。以下分别选取代表器物来说明。

1、鼎

我们考察的鼎中，除了M43所出4件鼎属于战国时期外，其余的皆属于西汉。战国鼎均为盖鼎，盖中心有钮带圆环，盖上有两圈蟠虺纹，靠近边缘有三只小兽。柱足，足近底处起台。鼎的盖和器身均为铅

锡青铜铸造，但器身的铅含量大大高于盖，因此器身的颜色灰暗，器盖几乎已呈灰色。

鼎的器身均浑铸成形，是最为经典的 $3fz+1(\Delta)$ 型。足外侧的范线就是三分的证据(图一)，而足内侧的两条范线与三角形底范范线相连(图二)。盖三分外范，1个底范，钮下有1个活块芯，盖上的兽头可能是是先铸的，预埋进铸型进行二次浇注实现与器盖的连接。盖中心的环也是预制好埋入铸型的，浇注时与钮连接。

19件汉代鼎形制几乎完全一致，沿袭战国中晚期中原鼎的风格。子母敛口，扁球形腹，兽蹄足。盖上有8字形或者菌形钮，钮的形状明显比战国时候简化，盖和器身上都没有花纹。各鼎只有细节的差别，



图一 M43:8 鼎足外侧的范线



图二 M43:8 鼎足内侧的两条范线



图三 M49:1 鼎,足内侧的四条范线,在内侧两条范线之间可见铜芯撑,三足底可见设置泥芯撑之后形成的孔,露出足内的范土



图四 M49:4 鼎足外侧的铜芯撑及器身上的方形铜芯撑

比如耳、足撇曲的程度,盖上钮的形状等等。

这些鼎都经过通体打磨,范线在外表面已完全不可见,蹄足内侧有四条范线,靠近内部的比较锐利,而外侧的比较圆浑。推测这两条范线是器底沿三足内切圆做成的底范上修刻的,目的是为了很好地卡紧外范。足内侧有四条范线的做法,亦是这类汉代

鼎的特征之一(图三)。有的鼎会简化为两道。足底除向内的边缘是平的之外,还有一条折线与足外侧范线相连。器身的做法仍是浑铸。3 ζ (O)+1的铸型,在三足外侧沿中线分范,底范沿三足内切的最大圆形分范,而不是像战国鼎一样采用三角形底范。

耳内芯和足内芯都是盲芯,耳内芯上带泥芯撑定位,M49:1 鼎三足底均有孔,可能是泥芯撑的遗痕,但这种做法并不常见(图三)。足内芯主要是依靠铜芯撑定位,其材质与器身不同,为小长方块状,约6mm见方。质地较为疏松,锈蚀较重,有些上面还有气孔。三足内侧设置一个,外侧上下各一个。而器壁上的铜芯撑往往呈十分规整的方形,设置也非常有规律(图四)。以M49:4为例,在颈部、下腹、下腹向器底转折处分布有3圈铜芯撑,共15个;其中颈部两耳之间各有3个,共6个;下腹部每两足之间各有2个,共6个;下腹向器底转折处3个,分别位于两足连线的中间位置。器底通常亦有3个铜芯撑,但不如器身上规整,分布亦不均匀,有时矿化甚至凹陷。

这些西汉鼎盖的铸型与战国鼎盖的基本一致。器盖上的铜芯撑往往不如器身明显,而且不一定是方形。通常分布有7个,分别位于盖中心处,均布于三钮中间,以及靠近盖边的一圈,位置与三钮中间的铜芯撑相对应。

2、鏊壶

考察3件出土于汉墓的鏊壶。鏊壶是一种三足器,扁圆形、有柄、有流,壶顶端有盖,盖中部有钮,侧面与流对应处还有一带孔的钮。在壶顶端与壶盖侧钮成直角的位置还有一个钮,该钮由两片带孔的薄铜条组成,看起来这些带孔的钮之间可以穿过细绳相连(图五)。鏊壶中部有一圈突起的扉边,柄的根部可见部分覆压在器身上的痕迹,有可能是榫卯式后铸法铸接的(图六)。其中,M47:4 鏊壶是一件比较完整的器物,器身上的范线看起来非常明显,有一条



图五 M47:4 鏊壶



图六 M29:2 鏃壶,柄部与器身的叠压证明柄部是后铸的



图七 M47:4 鏃壶器身范线遗痕



图八 M47:4 鏃壶器底范线,中部宽扁处可能为浇口遗痕

对分的范线从底中部一直延续到口沿(图七),腹部三道弦纹以及下腹部的凸棱在范线两侧皆有错位,范线穿过底部圆形凸棱的中心位置,略宽扁,怀疑为浇口遗痕(图八)。流中部也有范线痕迹。

因此,鏃壶的铸型设置较为特别,不同于其他的三足器,可能的铸型推测如下:柄部、三足皆是后铸接到器身上的。器身在下腹部有水平分范,上部三

分范,但范块并不均匀,分别为范线处到流部,以及两范线之间。下部二分范,圆形底范可能也是二分。1腹芯,1流芯,钮部有1活块芯。

盖是对分的两块外范,沿中心钮的径向分范,1块底范,中心钮有1块泥芯,侧钮有1块泥芯。

3、几种圈足器

跑马堤墓地出土的圈足器主要包括圆壶(图九)、蒜头壶(图一〇)、蒜头扁壶(图一一)以及钏(图一二)。钏是西汉时期常见的器物,跑马堤墓地出土了11件。钏的基本形制为方圆形,侧面有铺首衔环,有时也简化为钮挂环,有的环是银质的(图一二)。钏带方形器盖,有的器盖中间有小钮,钮上套环,四角有这些圈足器的基本铸型都类似。器身中部中线位置可见垂直的范线,证明是从这个位置及侧面的铺首中部纵向四分铸型。因器物外形曲率变化大,有可能在颈部与腹部之间、以及圈足上方有水平分范,或者同时有两组但从器表看不出痕迹。因此铸型为 $4j+4f+(4z)+1(\bigcirc)$ 。

壶的铺首与器身的连接方式一般有两种,浑铸或者铆接式的后铸法。M45:3壶是浑铸的(图九),M45:2壶是铆接式的后铸,器内壁可在相应位置看



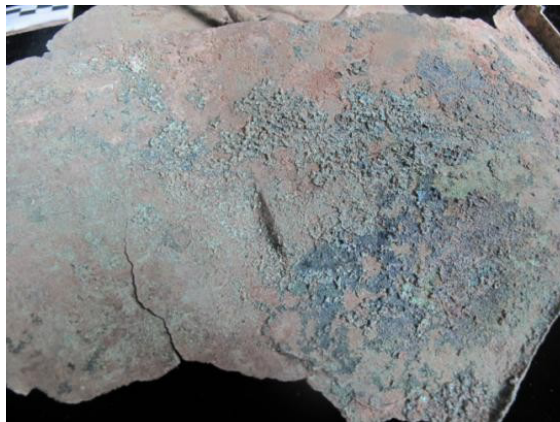
图九 M45:3 壶,铺首是浑铸的



图一〇 M49:3 蒜头壶,器身可见多处方形铜芯撑



图一— M32:1 蒜头扁壶



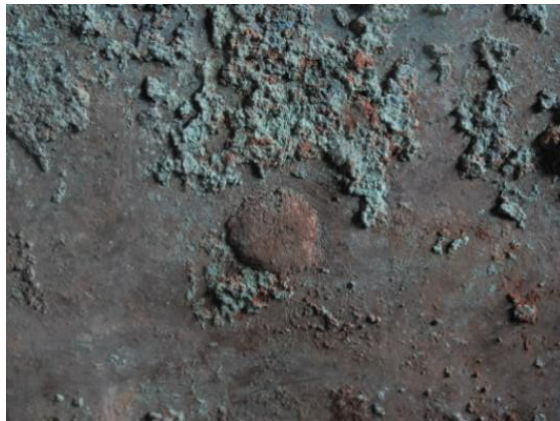
图一三 M39:9 钗内壁对应铺首的凹陷处



图一二 M44:8 钗侧壁的银环,环是开口的
见 2 个圆形的铆钉状的突起,是铸造器身时预留出孔,然后二次浇注铺首后形成的。M32 蒜头扁壶也是如此,器内侧一边可见 3 个铆钉状突起。钗侧壁钮的做法与此类似,一种是浑铸,内壁对应处有凹入(图一三),以防此连接处过厚,形成铸造缺陷。另一种是铆接式的后铸法,内壁有圆形突起(图一四)。

铺首或者纽带的圆环中,完全封闭的环是预先铸好,浇注铺首时埋入铸型的(图九),但合口处不封闭的环往往是在铸好之后再穿上去的(图一二),这是一种简便的做法。

M45:2 壶的圈足底可见长条形的铜块,是浇口打掉后的断茬(图一五)。16 件蒜头壶基本的形制几乎完全一致,区别只在于大部分蒜头壶底部带钮,有



图一四 M26:14 钗内侧壁突起的铜块



图一五 M45:2 壶底浇口遗痕

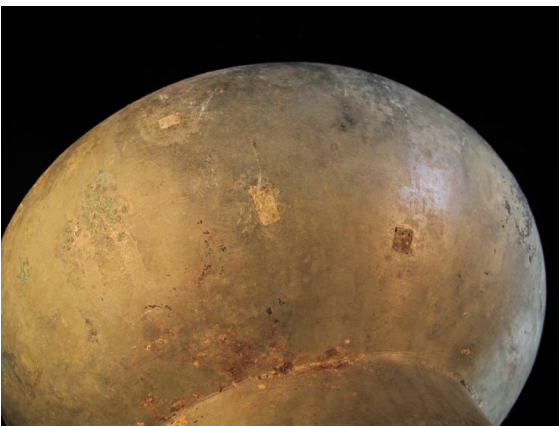
些则有突起的阳纹柿蒂纹(图一六),这种阳纹是在器底泥芯上刻出的。

壶盖的铸型一般是沿着盖钮的中线位置三分外范,范上各带半个钮芯形成钮部空腔,再加 1 块底范组成。钗的器盖分为两种,圆形盖的铸型与壶盖类似。方形盖四角往往有竖立的片状的鸟形钮,钮脱落的部位往往会连着一大块盖本体。可能就是沿 4 个钮中线分范,使用 1 块底范加 4 块外范的做法。

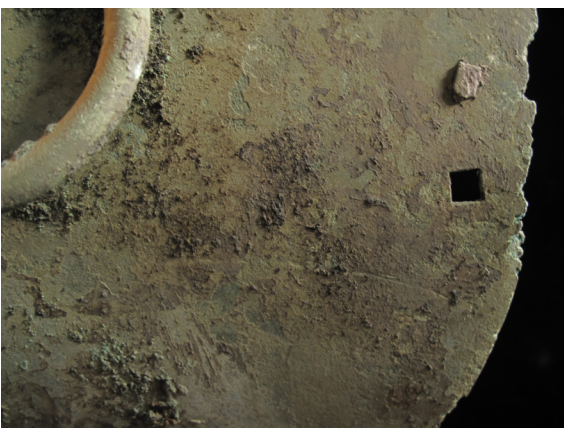
器身可见多个方形铜芯撑,一般是沿着水平方



图一六 M4:2 蒜头壶底部花纹



图一七 M49:3 器身上的方形铜芯撑



图一八 M39:8 钊,铜芯撑脱落后留下方孔

向绕器身一周均布,从口沿部、颈部、上腹部、腹部向圈足转折处等,大概分为四层,每层均布6-8个,颜色异于器身(图一七)。有些芯撑脱落,留下方形的孔(图一八)。

4、提梁壶

提梁壶是一种比较复杂的器物,仅考察一件,出土于西汉墓。

M20:9 提梁壶(图一九),腹部中部环带中间有比较明显的水平分范痕迹,在圈足上方第二道环带中间亦有明显水平分范的痕迹。外壁呈六棱形,内壁



图一九 M20:9 提梁壶



图二〇 M20:9 提梁壶身上的链条

呈圆形。器身可能沿着这六棱作垂直分范。

腹部最大处两侧均有铺首衔环,两环均不完全闭合,而是留有约几毫米的间隙,侧面可见泥芯(图二〇),其中一侧的铺首衔环已整块脱落。两圆环套彼此相连的环扣锁链(两侧各有6组8字型小环),锁链中部为一段提梁,提梁与环连接处也有花纹。而壶盖两侧各有一个钮套着环,此两环亦不完全闭合,锁链穿过这两个环与器盖相连。

中部环带下方可见一圈非常清晰的铜芯撑,方形小块,上面多有气孔,与器身区别甚大。推测提梁壶可能的铸造方式:

(1)器身浑铸,垂直六分,水平三分,腹芯1,圈足芯1。铸型为6j+6f+6z+1(○),铺首系浑铸;

(2) 器盖浑铸, 对分外范(沿钮中线分范), 盖芯1、两钮泥芯各1;

(3) 锁链单独铸好, 其中6组8字小环可能是多次铸接的, 并与中段的提梁铸接;

(4) 锁链与器盖相连, 套接器盖圆环;

(5) 锁链与器身相连, 套接器身圆环。

5、盆和匝

盆有6件, 均出自汉墓, 其中M39:11盆检测经热锻而成, 其器壁是6件盆中较厚的(图二一), 环是预先铸好的, 侧面的铺首可能是用焊接的方式与外壁相连, 因为在内壁看不见任何铆接式后铸法的痕迹。大多数盆器壁较薄, 经锻打锤揲而成。以M18:9为例, 器身有多处连接。如器底和圈足边的连接, 一边为圆形的铜块, 一边为方形的与圈足连为一体的铜块, 中间还有一层金属(图二二)。可能的连接方式是机械的铆接, 用铜棍将圈足和器底相连, 将铜棍的两头锤揲为圆形铆钉和方形铆钉。其铺首也是类似的做法。其他带环耳或者带铺首衔环的盆的做法均与其类似。

匝是一种水器, 2件都出土于西汉墓M39。因为比较残破, 无法考察其制作工艺, 仅根据取样检测结

果知道匝是热锻而成。

6、其他容器

其他的几种容器的铸型都比较简单, 釜、甑均可能是四分外范, 釜在环状裙边的下方有水平分范, 盘是三分外范, 釜是对分外范。

附件的连接方式多样, 釜的铺首是与器身浑铸的, 甑使用铆接式后铸法(图二三), 釜的环耳可能是用焊接的办法与器身连接的(图二四)。铺首所衔之环, 做法也同于上述带环的器物。



图二三 M4:18 甑内壁突起铜块



图二一 M39:11 盆壁残片及铺首衔环



图二四 M35:2 釜耳与器身连接处



图二二 M18:9 盆外侧环耳与器身的连接



图二五 M44:4 勺

勺的铸型应该是多段组合,包括:勺部2件外范加1件底范,柄部对开范,中部对开范,对开兽首范,1个预先铸好的铜环(图二五)。

以上器物都出土于西汉墓中。

(二) 生活用具

1、镜

铜镜的铸型很简单,一般都是双面范,镜背范和镜面范各一件。但是,M16:18镜略为特殊,镜面和镜背可能是分开铸造的,镜背具有镂空花纹。根据以往的研究我们知道,镜范材料是比较特殊的,是用经过淘洗的去泥化黄土添加大量植硅石和有机物制作的,显微结构可见较多的孔洞。植硅石含量很高,远高于普通的商周陶范,同时密度很小,手感很轻。经考察的4件铜镜,1件战国镜、2件西汉镜,均为含锡20%以上的高锡青铜,是较特殊的铸造组织, δ 相呈沿晶界析出, $(\alpha+\delta)$ 共析体数量多、形体大,并连成网状。

2、炉

出土的两件炉,均来自汉墓。炉的顶部由一个有透气孔的直筒型盖扣在一个帽形盖上,直筒型盖与帽形器盖扣合的位置稍有裂开,可以看出是两层。此帽形器盖内顶面还有一周沿内壁的卷沿。从该器的腹部破洞处取样,显示为热锻组织。筒形器盖和帽形器盖扣合得很好,说明设计得很准确。二者对应的地方留有孔洞,是用铆接的办法连接的。器身上的铺首衔环,可能也是铆接的,内壁对应处有类似铆钉的铜块(图二六)。



图二六 M39:7 炉

(三) 工具

刮刀只有1件,出土在战国墓里,中部有一道垂直突起的中脊,应是范线所在的位置,因此刮刀的铸型应是双合范。这一类刮刀的金相组织是高锡青铜铸造组织, $\alpha+\delta$,大量亮白色 δ 析出相呈短小树枝状,偶见有 δ 相环绕灰黑色夹杂物颗粒呈环状分布,

并且有针状物析出。这种显微结构与河南叶县许公宁墓出土的刮刀很相似,由此可见这种刮刀可能具有某种特殊的用途,需要使用含26%锡的超高锡青铜制作。刮刀很脆,已经断成若干段。

(四) 兵器

兵器的铸型也是比较简单的,通常是双面范制作,空腔由泥芯形成。相比而言,剑的铸型略微复杂一些,在格的位置可能有分范,剑首部分和剑茎可能都是对分范,剑茎一侧开设内浇道,而在剑首端面处开设出气通道(图二七)。战国墓出土的M16:32剑格处镶嵌有绿松石,应是铸后镶嵌的(图二八)。经检测的兵器样品中,只有M1:25钺銜口处的样品显示是经过了热锻和冷加工,其他样品均为铸造组织。故可推知大部分兵器还是铸造的。



图二七 M39:11 剑首



图二八 M16:32 剑格处镶嵌的绿松石

(五) 车马器

车马器包括节约、马衔、盖弓帽、辖、𦍋等,均出土于M1、M16、M43等几座战国墓。节约用双合范加一块泥芯的铸型来制作,泥芯上应有四处突起与外范相连,形成侧面的四个孔(图二九)。马衔则具有一个套接的结构,在铸造时可能是一个先铸好在放入另一件的铸型里连接而成的,先铸好的部分是双合

范铸作的,有两块泥芯形成环的空腔。盖弓帽的结构也比较简单,也是双合范带1块泥芯制作的,泥芯上的突起形成了器身上的圆孔。辖和害也均是双合范配合泥芯组成铸型,泥芯上有凸起部分与外范和顶范相连形成铸出孔。

(六) 饰品

带钩只出土了1件,为汉墓出土。带钩表面的花纹立体感很强,中部有隐约的凸起感,猜测是范线所在的位置,这显示带钩可能是用双合范浇注的。

(七) 杂器

合页和铜构件似乎都属于木构件上使用的零件,也主要出土在汉墓。前者的铸型略微复杂,后者比较简单。合页通常由两件长方形的带有镂空花纹的牌饰套接组合,可能也是先铸好上面的部分,放到下面部分铸型内二次浇注时套接。铸型均为双面范,水平分型,范上带有凸起,形成镂空,相连的套环处的空腔由泥芯形成(图二九)。铜构件亦为双合范,垂直分型,泥芯形成空腔,但是铜构件的铸造显得非常随意,多处有浇不足或塌箱的缺陷,形成许多孔,可看到内部的泥芯(图三〇)。



图二九 M1:37 合页



图三〇 M1:31 铜构件上的铸造缺陷

二、讨论

1、成形技术

综上所述,宜城铜器的成形技术以铸造为主,但也有部分容器、少量兵器使用了锻打技术。锻打的铜器主要包括盆、匜等水器,还有炉等生活用具,以及钺等兵器。

我国古代青铜器的成型工艺以铸造为主,尤其在先秦时期,经分析的青铜容器绝大多数是铸造成型的,经锻打成型的青铜容器很少见。但是锻打技术早就出现并一直有使用,一般是为了提高器物的机械性能而应用于武器或工具。殷墟花园庄东地 M54 出土的 559 号圆盘形器,是由顺向叠压在一起的表面有六角星纹的两件极薄的平板形器组成,用途不明。该器是采用铸后退火热锻、冷篆刻纹和整形的方法制作而成的,与殷墟青铜器常用的制作方法不同。

目前已知最早的锻打容器是甘肃崇信于家湾西周墓出土的 4 件铜盆;但是对于中原地区而言,直到春秋时期,才开始有锻打铜容器出现,比如安徽蚌埠双堆一号墓出土的铜盘。战国晚期至秦汉时期,锻造成型的容器逐渐增多。据目前已有的科学分析工作确认,在湖北包山楚墓、湖北襄阳陈坡 M10、荆门左塚楚墓群、郟县乔家院墓地、随州文峰塔 M1、M2^①、西安北郊战国晚期至西汉中期墓葬^②、江苏淮阴高庄战国墓^③、安徽南陵^④、贵州可乐墓地^⑤、四川宣汉罗家坝战国遗址^⑥、广州南越王墓^⑦、安徽天长三角圩西汉墓^⑧所出青铜器以及陕北地区出土汉代铜器^⑨、北京延庆西屯墓地出土汉代铜器^⑩中,均有锻造青铜容器发现。

本次分析的汉代容器中,鼎、钊、壶、釜等器型相对较复杂的或束颈小口的器物都是铸造而成,而匜、盆、炉等敞口器物则采用了热锻工艺。根据以往的发现和综合来看,锻造容器大多是盆、盘、釜、甑、匜、洗、鉴等敞口器物,而且器壁都较薄,这是与锻打技术的工艺特点相关的。铜器经热锻加工可以节省青铜原料,减少成分偏析,使得成分均匀化,还可以消除或减少铸造孔洞,使组织更加致密,从而改善合金的强度和硬度。铜器经锻打后机械性能提高,具备更好的延展性,可以制作成器壁较薄的器物,而器物的敞口形制则更适宜于锻打技术的操作实施。因此,从春秋时期开始,薄壁铜器使用热锻技术成形,从战国到秦汉时期,使用更加普遍。

2、铸型工艺

此次考察的宜城跑马堤墓地出土的铸造成形的铜器普遍具有比较简单的铸型分范形式,垂直方向多为三分或者四分,水平方向通常在颈部与腹部之间、以及圈足上方分范,花纹、附饰都比较简单,形制非常一致,与纹饰繁丽、器形多样的商周铜器比有明显的差别,后者往往有非常复杂多样的分范型式。^④圈足外底中部可见浇口的遗痕,这与商周时期圈足器浇口设在圈足边缘的情形不同。

就此遗址来看,西汉墓与战国墓出土铜器都具有器形简单、形制单一的特点,故而可以推测这种简化和规范化的风气早在战国甚至更早的春秋时期既已开始了。但战国墓地出土铜器通常还有一些花纹,而西汉墓出土铜器表面为完全光素的,但打磨得光泽度很好。

3、连接方式

该墓地出土的容器普遍带有附饰的兽头或者扁平的铺首,兽头的空腔或者铺首的嘴里通常衔环。附饰的兽头或者铺首与主体的连接方式主要有四种:最常见的方式是铆接式的后铸法,即先浇注器身,在器壁上预留孔洞,将预铸好的铜环放入兽头铸型,二次浇注兽头或铺首后,依靠金属液的凝固收缩使附件紧贴器壁,器壁内通常可见2个或3个铆钉式的凸起的小块;其次是浑铸,将预铸好的铜环放入整体铸型,浇注后器内壁是平的;也有的铜器,采用焊接的方式连接附件;锻打的薄壁铜容器,可能采用铆接的方式连接不同的部件。比较特殊的是鏃壶,其柄部使用后铸法连接到器身上。闭合的铜环是预先铸好放入铸型的,不闭合的环可以直接与其他链环或附件套接,简化连接的形式。

4、金属芯撑

宜城跑马堤出土的铜容器上普遍有规则分布、形状整齐的金属芯撑,一般为方形小块,分为若干层在器身上均匀分布。芯撑的设置很规则,鼎通常在颈部、下腹、下腹向器底转折处分布有3圈铜芯撑,器底通常亦有3个铜芯撑。壶上铜芯撑的设置多为平行的几圈,如颈部、肩部、上腹部、下腹部向圈足的转折处等,一圈多为6-8个。鼎的耳部、足部还设置泥芯撑用于定位和保持壁厚,浇注后形成小孔。

这些金属芯撑数量较多,与器身颜色有明显不同,具有装饰性的效果。但是因为形状过于规则,很容易发生脱落,而在器身上留下方形空洞。目前无法辨别这些芯撑的脱落是在随葬之前还是之后,因此也不能确知是否给使用者造成了不便,苏荣誉认为,这是东周以后垫片(金属芯撑)滥用的结果。^⑤但令人困惑的是,如果的确是滥用,且给使用者造成了不

便,何以这种现象会从东周延续到西汉?由于目前并未对金属芯撑技术作系统的梳理,公布的材料也比较有限,还需要进一步的研究。

三、小结

此次考察的湖北省宜城跑马堤墓地23个墓葬出土的125件器物中,以西汉时期的铜器为主,少部分属于战国时期。这些铜器的成形技术以铸造为主,但也有部分容器、少量兵器使用了锻打技术。锻打的铜器主要包盆、匜等敞口薄壁铜器,还有炉等生活用具,以及钺等兵器,锻打容器多采用铆接的连接方式。铸造成形的铜器普遍具有比较简单和规范的铸型分范形式,大量使用铜芯撑。连接方式多样,以铆接式的后铸法和浑铸最为多见,也使用了焊接技术,还有使用开口环套合的简便做法。这种工艺简化和规范化的倾向,是与节约原料、提高效率的工艺思想相关的。

注释:

a.刘煜:《汉代镜范材料分析及其相关讨论》,清华大学汉镜文化研究课题组著:《汉镜文化研究》(研究部分),第313-322页,北京大学出版社,2014年。b.刘煜、赵志军、张光明、白云翔:《山东临淄齐国故城汉代镜范的科学分析》,《考古》2005年12期。

陈建立、刘煜、刘建宇、华觉明:《先秦超高锡青铜刀具初探》,陈建立、刘煜主编:《商周青铜器的陶范铸造技术研究》,第297-305页,文物出版社,2011年。

刘煜、贾莹、成小林、姚青芳:《M54出土青铜器的金相分析》,中国社会科学院考古研究所编著:《安阳殷墟花园庄东地商代墓葬》附录三,第297-301页,科学出版社,2007年。

刘煜、贾莹、成小林、姚青芳:《M54出土青铜器的金相分析》,《安阳殷墟花园庄东地商代墓葬》,第297-301页,科学出版社,2007年。

张治国、马清林:《甘肃崇信于家湾西周墓出土青铜器的金相与成分分析》,《文物保护与考古科学》2008年第2期。

胡飞、秦颖:《蚌埠双墩春秋一号墓部分青铜器成分及金相分析》,《有色金属》2011年63卷1期。

何堂坤:《包山楚墓金属器初步考察》,湖北省考古研究所编:《包山楚墓》,第417-430页,文物出版社,1991年。

(下转第102页)

相近或稍晚,绝对年代约为公元前 470 至 450 年间。春秋之际的这类三晋铜器流行满施浅浮雕蟠螭纹,簠盛器多用盖豆,而进入战国早期的陕县后川 M2040、万荣庙前 61M1 则普遍为素面加若干道绚索纹,装饰趋于简单,簠盛器中多有上下对称的圈足敦,绝对年代约为公元前 450 至 400 年。长治分水岭 M12 出有球体敦、钲;M25 则出有对称的三足敦,此组墓的时代当接近辉县赵固 M1,已进入战国中期。故而推测矿料由 C1 向 C2 的转变发生在分水岭 M126 与 M25 之间,较可能在战国早期后段,与侯马铸铜作坊的衰落大致同时。

②⑥金正耀等:《战国古币的铅同位素比值分析—兼说同时期广东岭南之铅》,《考古》1993 年第 8 期。

②⑦邵安定等:《秦始皇帝陵园出土彩绘青铜水禽铜矿料来源探索》,《文物保护与考古科学》2015 年 增刊。

金正耀所测秦半两钱的铅同位素比值数据来源同。

②⑧ Z. Stos-Gale, N.H. Gale, Lead isotope analysis applied to provenance studies, in Modern Analytical Methods in Art and Archaeology: Chemical studies Series. New York: Hohn Wiley & Sons Inc, 2000.

②⑨郁永彬等:《关于叶家山青铜器铅同位素比值研究的几个问题》,《南方文物》2016 年第 1 期。

③⑩③⑨杨颖亮:《晋侯墓地出土青铜器的合金成分、显微结构和铅同位素比值研究》,北京大学硕士学位论文,2005 年。

③① Pernicka, E, Trace element fingerprinting of ancient

copper: a guide to technology or provenance, in Metals in Antiquity. London: Oxford University Press, 1999; 马克·波拉德、刘睿良(译)等:《牛津研究体系在中国古代青铜器研究中的应用》,《考古》2017 年第 1 期。

③②这种简化是基于东周时期铅同位素比值随时代的聚类特征。其他时期如西周早期,锡青铜与铅锡青铜数值存在明显差异,则需考虑除铅料与铜料来源不同外,是否有可能是合金工艺上的差异所致,比如特定的矿料被固定地用于生产特定合金成分的器物。

③③湖北省文物考古研究所编:《三苗与南土 湖北省文物考古研究所“十二五”期间重要考古收获》,2016 年。湖北省文物考古研究所等:《大冶四方塘墓地第一次考古主要收获》,《江汉考古》2015 年第 5 期。

③④冯峰:《郟县乔家院春秋墓初识》,《南方文物》2009 年第 4 期。

③⑤张静等:《河南银洞沟造山型银矿床碳硫铅同位素地球化学》,《岩石学报》2009 年第 11 期。

③⑥河南省文物考古研究所等:《河南省镇平县柳树湾古铜矿冶遗址的调查》,《华夏考古》2001 年第 2 期。

③⑦崔剑锋、吴小红:《铅同位素考古研究》,第 39-40 页,文物出版社,2008 年。

③⑧豫西地区在春秋早中期为群戎杂处,春秋中期起,晋、秦、楚对此处诸戎不断攻伐、移徙,至春秋晚期伊洛戎、陆浑戎及蛮氏先后被灭,这一历史进程与 C 类矿料的大规模利用也许存在一定关联。

(上接 第 111 页)

孟祥伟、梅建军、董亚巍等:《湖北襄阳陈坡 M10 出土金属器的初步科学分析》,《江汉考古》2009 年 4 期。

罗武干、秦颖、黄凤春等:《湖北荆门市左塚楚墓群出土金属器研究》,《江汉考古》2006 年第 4 期。

a. 罗武干、秦颖、黄凤春等:《古麇地出土青铜器合金技术与金相组织分析》,《自然科学史研究》2010 年第 3 期;b. 金锐、罗武干、王昌燧等:《湖北郟县乔家院墓地出土战国及东汉铜器的成分与金相分析》,《文物保护与考古科学》2013 年第 2 期。

①①李洋、后加升、樊志威等:《随州文峰塔 M1、M2 出土金属器的科学分析》,《江汉考古》2014 年第 4 期。

①②a. 岳连建、Jett P、杨军昌:《陕西省交通学校汉墓出土铜釜的实验分析》,《历史文物》(台湾)2005 年第 5 期;b. 陈坤龙、梅建军、岳连建.:《陕西西安出土的两件薄壁铜容器的科学分析》,陕西省考古研究所编.:《西安北郊秦墓》,第 378-384 页,三秦出版社,2006 年。

①③孙淑云、王金潮、田建花、刘建华:《淮阴高庄战国墓出土铜器的分析研究》,《考古》2009 年第 2 期。

①④贾莹、刘平生、黄允兰:《安徽南陵出土部分青铜器研究》,《文物保护与考古科学》2012 年 1 期。

①⑤赵凤杰、李晓岑、张元:《贵州可乐墓地出土铜器的技术研究》,《中国文物科学研究》2012 年 3 期。

①⑥宋艳:《宣汉罗家坝出土部分青铜器的合金成分和金相组织》,《四川文物》2010 年第 6 期。

①⑦北京科技大学冶金史研究室:《西汉南越王墓出土铜器、银器及铅器鉴定报告》,广州市文物管理委员会、中国社会科学院考古研究所、广东省博物馆等:《西汉南越王墓(上)》,第 397-410 页,文物出版社,1991 年。

①⑧晏德付、秦颖、陈茜、张钟云:《天长西汉墓出土部分金属器的研究》,《有色金属(冶炼部分)》2011 年第 9 期。

①⑨廉海萍、曹玮、Michael R、Notis:《陕北铜器合金成分与制作技术的分析研究》,曹玮:《陕北出土青铜器》,第 972-1096 页,巴蜀出版社,2009 年。

②⑩杨菊、李延祥:《北京延庆西屯墓地出土汉代铜器的科学分析》,《中国文物科学研究》2012 年第 3 期。

②⑪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),第 169-199 页,科学出版社,2010 年。

②⑫苏荣誉、胡东波:《商周铸吉金中垫片的使用和滥用》,《饶宗颐国学院院刊》创刊号,2014 年。