

文章编号:1005-1538(2017)05-0012-14

计算机断层扫描技术(X-CT)在子仲姜盘 制作工艺研究中的应用

丁忠明,周 亚,吴来明
(上海博物馆,上海 200231)

摘要:子仲姜盘内现有 12 只圆雕水生动物不能从盘中拔出,但都能在原地作 360°旋转,在青铜器制作技术上堪称一绝。为了揭示其独特的制作工艺,运用计算机断层扫描技术(X-CT)分析了子仲姜盘的圆雕水生动物、攀龙、虎足及附耳与盘体的连接方式和内部结构。结果显示:圆雕水生动物内部都相应地配有一个转轴与盘体铸接。轴分为两种结构:一种是带有柱帽的圆柱体转轴;另一种是下半部分圆柱体,中间设有直径较大的圆盘,上半部分是圆锥体的转轴,在水生动物脊背上设有与圆锥体相对应的卯口;攀龙与虎足都自带多个“铸接销”,与盘体构成隐蔽、牢固的铸接结构;附耳实心,与盘体浑铸。通过对子仲姜盘的 X-CT 检测,充分揭示了中国古代工匠在继承先人高超的陶范技术基础上,又有创新性应用。其理念是在设计中以美观为前提,呈现复杂而和谐的外观,而在制作技术上则以实用、简便为主,体现了合理性与巧妙性。运用 X-CT 检测技术对子仲姜盘内部复杂结构的精确呈现,表明该技术在古代青铜器工艺研究中的广泛应用前景。

关键词:子仲姜盘;X-CT 技术;转轴;铸接销;铸接;晋国

中图分类号: K876.4;O434 **文献标识码:** A

0 引言

子仲姜盘于 1997 年由香港太阳集团董事会主席叶肇夫先生赠予上海博物馆^[1,2],成为上海博物馆青铜器收藏中的一件珍品,常年在陈列室展出。

从子仲姜盘的铭文,以及器形、纹饰等特点分析,该盘属于春秋早期晋国青铜器。盘内装饰有 12 只圆雕的水生动物,不能从盘中拔出,但都能在原地作 360°的旋转,在青铜器制作技术上堪称一绝。盘口沿处 2 条相对的攀龙栩栩如生,与盘体结合得天衣无缝。3 只如背重负的虎足,与圈足的衔接也能看到间隙,但难以观察其内部结构。对于如此一件装饰独特,造型复杂的青铜盘,以往对其的制作技术认识主要从外部信息加以经验来做大概地推测。截止目前,尚未对其作科学检测分析。

为科学、精确、详细地揭示子仲姜盘的制作技术,尤其是盘内圆雕水生动物 360°旋转结构的制作工艺特点,本次检测运用 X-CT 扫描技术对子仲姜盘作了全面的剖析,以期对这一时期晋国青铜铸造

工艺有进一步认识,特别是对可旋转附件制作特点的解密。

1 子仲姜盘概况

子仲姜盘口径 45cm,高 18cm,重 12.4kg。器形硕大,颇为厚重,整器风格质朴浑厚,口折沿,浅腹,圈足,圈足下设三只圆雕爬行猛虎,若负重状,虎身侧面与圈足相接。盘的外壁饰窃曲纹,两侧设有一对宽厚的附耳,其外侧装饰有云纹。盘内装饰有规则排列的浅浮雕鱼、蛙和龟,及栩栩如生的圆雕鱼、蛙、水鸟等水生动物。最具特色的地方在于,这些圆雕的动物可以在原地作 360°的转动,这是青铜器中极为罕见的。盘前后各设一条圆雕的曲折角龙,龙身躬背曲体,攀缘于盘腹之外壁,龙首耸出盘沿作探视状,似正覬觎盘中的水生动物,将跃入盘内捕食,见图 1。

盘内铸有 6 行 32 字铭文。大意是在六月初七,大师为夫人仲姜所做的盥洗用盘,此盘既大且好,用来祈求长寿,子子孙孙永用为宝,见图 2^[3]。

收稿日期:2017-02-16;修回日期:2017-07-07

基金项目:上海市科学技术委员会科研计划项目资助(17DZ1205100)

作者简介:丁忠明(1979—),男,上海博物馆,副研究馆员,E-mail: raky_97@sina.com



图 1 子仲姜盘春秋早期

Fig. 1 Pan of Zi Zhong Jiang, early Spring and Autumn Period



图 2 子仲姜盘铭文拓片^[3]

Fig. 2 Rubbing of the inscription inside Pan of Zi Zhong Jiang

2 分析方法

本次检测采用的分析设备是德国产的高分辨率计算机断层扫描系统(X-CT),型号:Y. CT Modular-MG452。分析条件:线扫描方式,管电压 440kV,管电流 1.5mA,焦点 0.4mm。

3 分析结果

3.1 子仲姜盘内部的设计

盘内浅浮雕的动物分为 3 圈,外圈由 7 条鱼首尾相接构成;中间一圈由 4 只青蛙和 4 只龟相间排列;内圈由 2 只青蛙和 2 只龟相间排列。外圈的 7 条鱼与中间一圈的蛙和龟是呈一一对应关系,唯有一处没有鱼对应,这个空缺的位置用于设置铭文,如图 3 标识。

盘中圆雕水生动物现存有 12 只,本来共有 13

只,其中 1 只青蛙缺损,盘底还留有一个圆孔。它们的排列是:盘中心是 1 只带有头冠的雄性水鸟;其外第一圈由 4 条鱼组成;第二圈由 4 只头上无冠的雌性水鸟组成;第三圈由 4 只青蛙组成(其中 1 只前蛙缺损,留下一个孔洞,见图 3 圆圈内)。

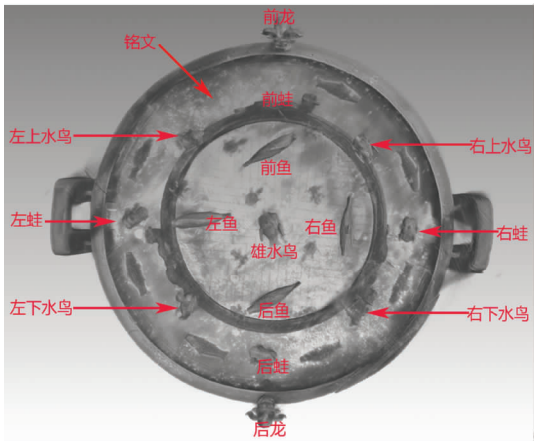


图 3 子仲姜盘 X-CT 渲染图

Fig. 3 Rendered X-CT image of Pan of Zi Zhong Jiang

以靠近铭文的攀龙作为正前方,简称前龙。其他圆雕水生动物的简称可见图 3 中的标识。图中明显可见,铭文位于正前方偏左侧(左前方),设置于已缺失的前蛙与左上水鸟之间,这一位置与铭文通常设置在器物中间显眼位置有所不同。根据浅浮雕水生动物的分布规律,为了铭文的设置所以空缺了一条浅浮雕鱼。由盘内圆雕水生动物、铭文及浅浮雕水生动物的设置优先顺序,可以推测设计者首先考虑的是圆雕水生动物的分布,其次是铭文的布置,最后才是浅浮雕水生动物的分布。由此可见圆雕水生动物在盘中的突出地位及制作中的难度。

盘中圆雕水生动物以转轴为基点规则的排列。从 X-CT 俯视截面图上发现,沿一对附耳的中心连线上,2 只青蛙,2 条鱼与中间雄水鸟的转轴在同一直线上;沿两攀龙中心连线上(与附耳连线垂直)同样是 2 只青蛙,2 条鱼与中间雄水鸟的转轴在同一直线上;而在两垂直线的 45°方向的直线上,2 只雌水鸟与中间雄水鸟的转轴也在同一直线上。4 条呈 45°角的直线将整个盘等分成 8 份,圆雕水生动物的轴心都在直线上,最外圈浮雕鱼则在 8 等分扇形弧线正中间(图 4)。从图 4 中所标出的 3 个同心圆来看,以中心雄水鸟的转轴为圆心,同一圈圆雕水生动物转轴心都在特定的圆上。

盘内水生动物的布局说明了子仲姜盘设计之精准,所以能使这么多形态手法各异的动物装饰呈现

在盘中而不显得凌乱,这也是该盘能得以完美制作的重要前提。

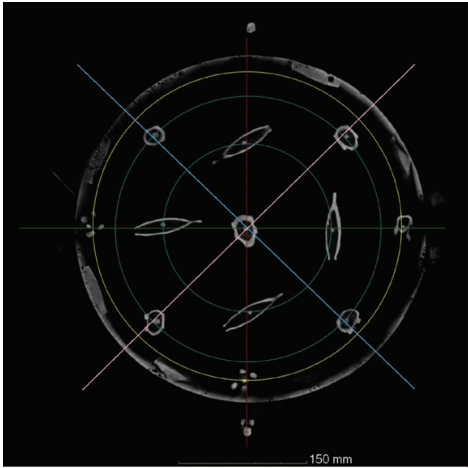


图 4 盘底 X-CT 俯视截面图

Fig. 4 Top view X-CT section image of the bottom of the Pan

3.2 盘中圆雕动物的连接结构

从 X-CT 截面分析,12 只圆雕水生动物与盘底连接是通过一个圆柱形轴。轴的结构根据动物的不同可分为 2 种。其中,青蛙使用的轴结构比较简单;鱼、水鸟使用的轴结构一致,较为复杂。轴铸接在盘底上,但不穿透盘底。从前蛙脱落后圆孔上(见图 5 红圈内),基本可判定其轴与盘底铸接,而且盘底还留有一层很薄的金属。从 X-CT 截面图上可以进一步证实轴与盘的铸接结构,轴与盘底之间呈现出明显的铸接缝隙。经测量,盘底的总厚度大约在 3.74mm,后鱼转轴底部与盘外底之间保留有约 1.07mm 的间距(图 6)。



图 5 前蛙脱落后留下的孔洞

Fig. 5 Hole left when the anterior frog was detached

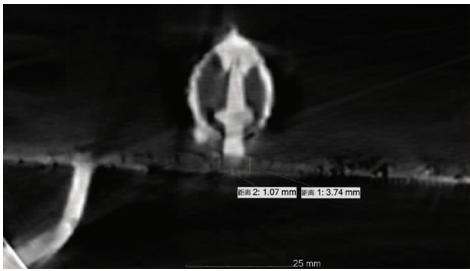


图 6 后鱼轴与盘底铸接结构 X-CT 截面图

Fig. 6 X-CT section image of the cast-in junction structure between the inner axis of posterior fish and the bottom of the Pan

3.2.1 青蛙与盘底连接的轴结构 青蛙与盘底连接的轴如蘑菇形,即一个圆柱体上设有一个柱帽(图 7)。圆柱体下部与盘底铸接,穿过青蛙腹部伸入体内,与腹部穿孔留有很小间隙,在其顶端是一个直径大于腹部穿孔的蘑菇头柱帽,用以防止青蛙从圆柱体转轴上拔出。转轴垂直于盘底,青蛙在盘中呈蹲伏状。所以,原始制作中转轴与青蛙腹部水平面应呈一定的倾斜角度(图 8)。经测量,左蛙的转轴高约 20.8mm,直径约 4.1mm(图 9),3 只蛙的转轴大小基本一致。



图 7 青蛙体内转轴 X-CT 渲染图

Fig. 7 Rendered X-CT image of the inner rotation axis of the frog sculpture

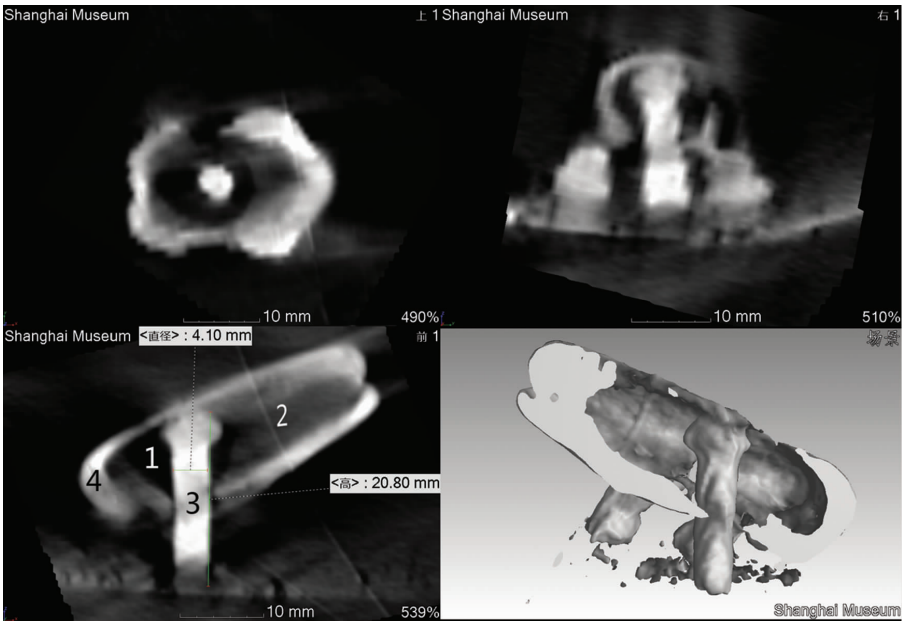


图 8 右蛙 X-CT 渲染图

Fig. 8 Rendered X-CT image of the right frog sculpture

CT 对被检测物体具有较高的密度分辨能力,从 X-CT 截面图的灰度值可以发现青蛙体内有陶范,但在转轴周围都出现陶范磨损后留下的空腔(如图 9 所标识 1)。这一现象表明青蛙在长期旋转过程中,转轴周围的陶芯被轴逐渐磨损。随着时间的推移,转轴

受陶芯的约束越来越小,最后只受制于青蛙腹部穿孔对转轴左右偏移运动的限制,及柱帽防止青蛙脱落的约束。因此,现在轴在青蛙体内有一定范围的上下和左右运动空间。目前,青蛙旋转时 4 足都能贴到盘底上,轴已经顶到青蛙背脊的金属上(图 9)。



1. 空腔; 2. 泥芯; 3. 转轴; 4. 青蛙

图 9 左蛙 X-CT 图

Fig. 9 X-CT image of the left frog

青蛙的外表造型为蹲伏状,但目前只有左蛙及右蛙的状态与原先设计的蹲伏状是一致的。即青蛙是头上扬,臀部下倾,背部倾斜,前足直立,后足弯曲。但后蛙的状态与左右两只青蛙不同。首先,转轴

与蛙腹底部形成垂直,青蛙的身体呈水平悬空状;其次,转轴上方的陶范已经被磨损,形成空洞,但转轴并没有因青蛙的自重而伸到青蛙脊背;最后,转轴露在青蛙体外的部分有一圈金属非接触地套着(图 10)。

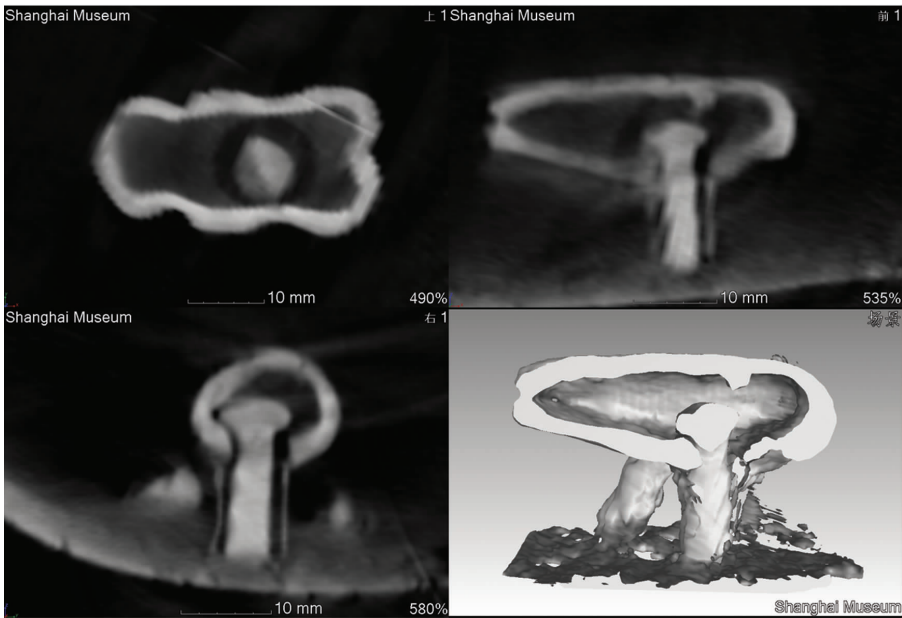


图 10 后蛙 X-CT 图

Fig. 10 X-CT image of the posterior frog sculpture

不难发现,正是套筒支撑住了后蛙身体的重量,使转轴不能自然伸入到后蛙脊背,从而改变了其原有状态。X-CT 截面图显示,转轴与盘底铸接处没有修补痕迹,转轴的形状、长度等与左、右蛙的转轴一致。可见后蛙亦是当时制作,只是可能由于后蛙旋转时不稳定,因此后来有人使用套筒包裹在转轴外圈,以便使后蛙体内的柱帽尽量靠近青蛙腹部,限制转轴的上下活动空间,达到支撑、稳定的作用。原本较长的转轴是顶在后蛙脊背的内壁处,并且与后蛙腹部平面呈倾斜状。但加固后的青蛙,只保证了它能平稳旋转,却失去了原先青蛙惟妙惟肖的传神形态。

综上分析,青蛙与盘体的制作先后顺序是:1)先制作带有柱帽的圆柱体转轴;2)将转轴包裹在青蛙腹内的陶范中,特别是在转轴穿过青蛙腹底型腔时,转轴上要设有相应的较薄陶范,防止浇注型腔时,金属液与转轴黏连;3)浇铸青蛙身体,与转轴形成一个整体;4)扭动转轴,确认青蛙能在转轴上旋转。5)将青蛙连同转轴包裹在盘腹内陶范中,转轴底部伸入盘底型腔中,但不与盘底外范相接;6)最后在浇铸盘体时,将转轴铸接在盘体上,形成整体。

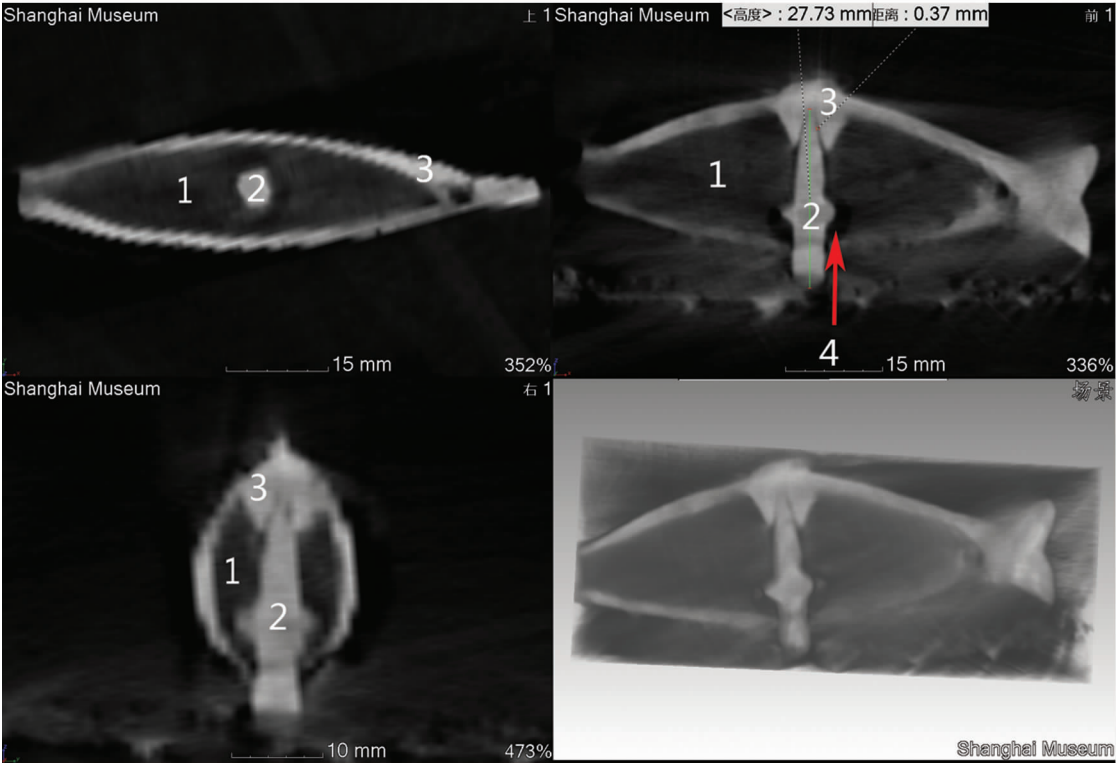
3.2.2 水鸟、鱼与盘底连接的轴结构 水鸟、鱼与盘底连接的转轴形状是一致的。轴的下半部分是圆

柱体,上半部分是圆锥体,中间部位设有一个直径较大的圆盘状体(图 11)。经测量,转抽的通高约 27.73mm(图 12)。



图 11 转轴的 CT 渲染图

Fig. 11 Rendered X-CT image of the rotation axis



1. 内芯; 2. 转轴; 3. 鱼(或鱼体内凸出冒口); 4. 空腔

图 12 后鱼 X-CT 图

Fig. 12 X-CT image of the posterior fish

轴在动物体外呈圆柱体,体内设置一个直径比穿孔大的圆盘,用以防止动物从转轴上拔出,其作用与青蛙体内的圆柱体柱帽相同。动物体内的上半部分设计成圆锥体,延伸至动物脊背,对应于圆锥体的上半部,动物脊背内部有相应的凸出部分,将圆锥体的上部尖端包围在其中,形成很小的活动间隙。从后鱼 X-CT 图像测量转轴与鱼脊背内部的间隙,其较大间隙约 0.37mm(图 12)。这正是工匠为了达到特定的艺术效果,在铸造技术上进行的创新突破性

的运用。这一结构的组合设计有效地防止了转轴在动物腹中左右的偏离,使这些圆雕的鱼或鸟可以平稳地转动。

盘中共有 5 只水鸟,中间一只是带有冠饰的雄鸟(图 13)。从 X-CT 截面图可以发现,鸟体中的陶范都保存完好,没有因为转轴而形成磨损的空洞。这与青蛙腹内陶范磨损的情况形成鲜明对比(图 9)。外面分布一圈 4 只无冠的雌鸟,其轴结构与雄鸟一致(图 14)。细观雌雄鸟的区别:雄鸟形体稍

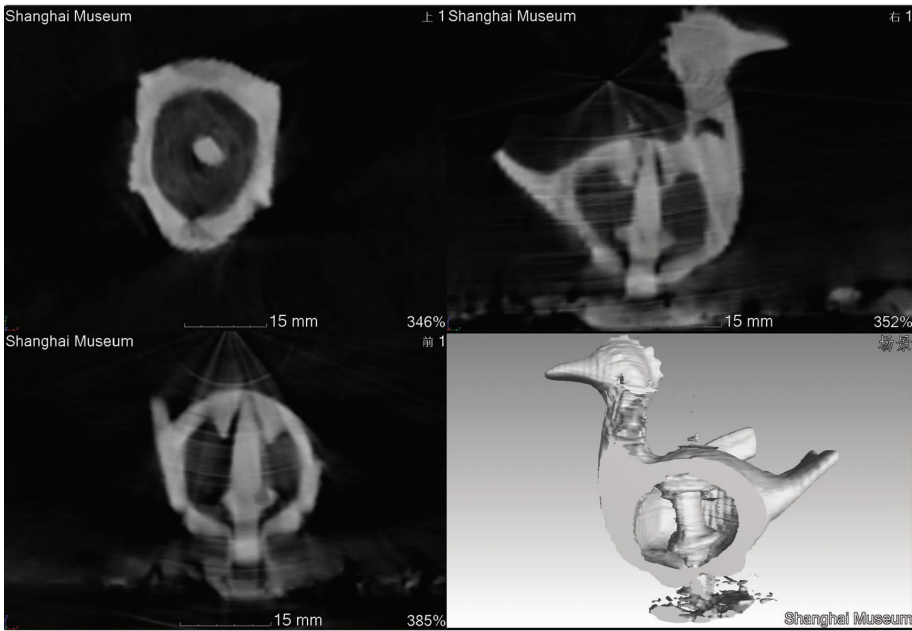


图 13 雄水鸟 X-CT 图
Fig. 13 X-CT image of male waterfowl sculpture

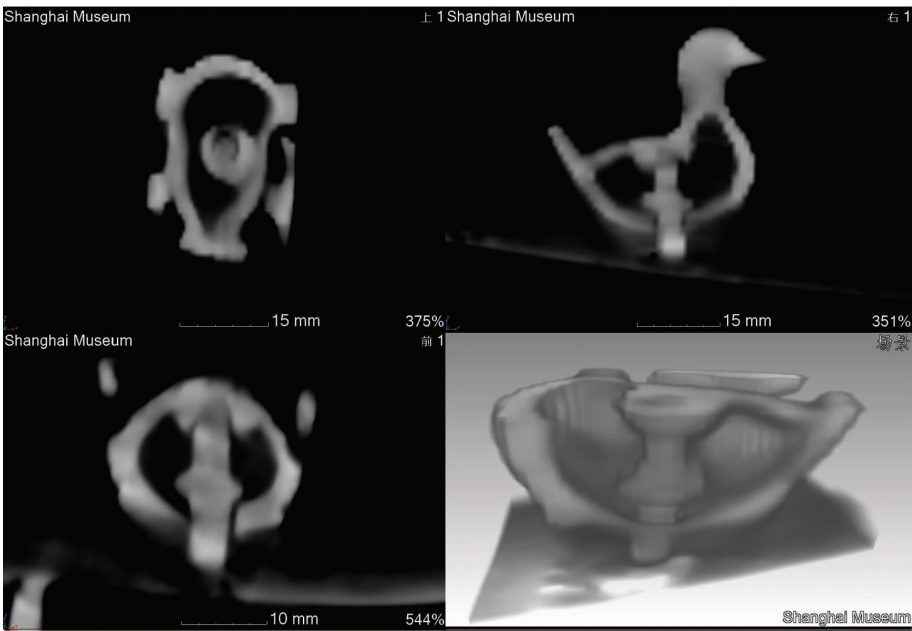


图 14 右上雌水鸟 X-CT 图
Fig. 14 X-CT image of female waterfowl sculpture in the upper right picture

大,头上有齿轮状冠饰,前胸部较平坦,腹底部下垂,尾巴上翘比较平坦;雌鸟体形较小,头上无冠,前胸略鼓,腹底部平坦,尾巴上翘相对陡。从雌雄鸟形态的细节刻画,充分展示了古代工匠制作前精益求精、力求逼真的设计理念。

4 条鱼中,3 条鱼的内外造型是一致的(图 12),唯独左鱼有明显的差异(图 15)。就鱼内部的设计而言,有 3 条鱼脊背内部专设有凸出的结构,内有空心的圆锥体,与转轴顶部的圆锥体形成配套结构。但左鱼脊背内侧是平坦的,对应的转轴只是简单的圆柱体加上一个柱帽,形如棒球棒状。柱帽较长,其形状与青蛙圆柱体上加扁圆状柱帽不同,故此转轴亦非与其它转轴同时制作。

除此之外,左鱼身体外部的转轴全部被一圈金属铸接包裹,鱼下腹直接碰触到盘底高凸的金属上(图 15)。从 X-CT 截面图上还能看清左鱼相对应盘底外侧有补铸痕迹(图 16 中画的圆圈)。由于左鱼的转轴设计原因,鱼尾以略往盘底倾斜,已经与盘底接触,在做 360° 旋转时,鱼尾会应碰到盘底的浮雕动物而受到阻碍。由以上设计的明显差异可以判断,左鱼及转轴都是在盘成形后,可能由于铸造时产生的缺陷或之后使用中损坏,重新制作了转轴与鱼,再用金属将其铸焊在盘底上,所以在盘内形成高凸的金属包裹轴。后期工匠并不知道原来鱼内部的设计结构,故使后做的左鱼只在表面形状相似,但内部结构及转轴都不如之前的精妙。

3.3 攀龙与盘体的连接

子仲姜盘两耳之间分别有一条攀龙,其形态就是觐觐盘中动物的两条曲角形龙。X-CT 检测显示,龙与盘体有 3 处连接咬合的结构,连接方式都为铸接。

3.3.1 龙嘴与盘口连接 龙嘴内设有一个直径约 3.62mm,长约 10.82mm 的横向圆柱体,与龙体同时浇铸而成。当盘口的金属液通过龙嘴进入,并包住龙嘴内的横向圆柱体,达到牢固连接,不易脱落的效果。同时,盘口的金属与龙嘴外部也直接铸接在一起(图 17)。

3.3.2 龙足与盘腹的连接 攀龙的前两足间与后两足间均设置有横向圆柱体,盘腹的金属液通过包裹两足间设置的圆柱体,达到连接效果,并且金属液完全将圆柱体包严实,与两足内侧壁相接,以起到连接牢固的作用(图 18、19)。但出于审美考虑,在两足的外侧,没有金属包覆的现象(图 20)。

通过内置的圆柱体作为铸接的支点,首先满足

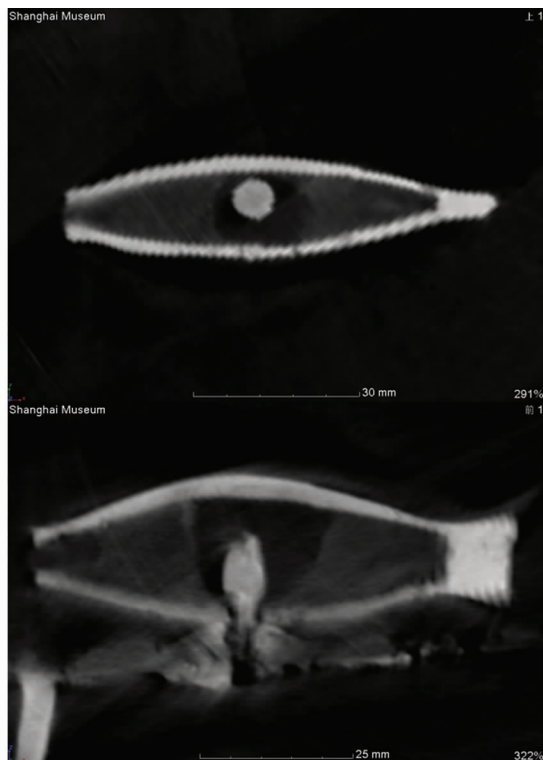


图 15 左鱼 X-CT 图

Fig. 15 X-CT image of the left fish sculpture

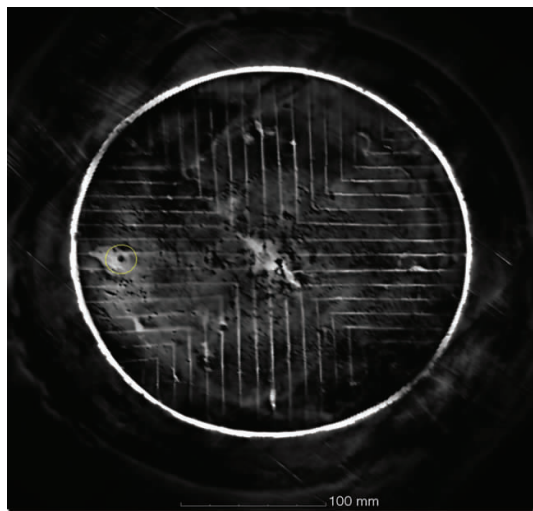


图 16 盘外底左鱼的补铸痕迹

Fig. 16 Casting repair of the left fish sculpture located on the outside bottom

了龙体与盘体的连接牢固;其次,没有使用外部可见的铸接,达到盘与龙浑然一体的审美要求。

3.4 虎足与盘圈足的连接

盘圈足上设置有 3 只虎足,虎足与盘圈足以铸接方式连接。从外侧看虎足身上铸有纹饰,虎头与圈足成 90° 垂直朝向外。虎身的内侧没有装饰纹饰,是一个平面体与盘圈足铸接在一起(图 21)。通过 X-CT 解析,虎足内侧面仅设置 4 个均匀间隔分

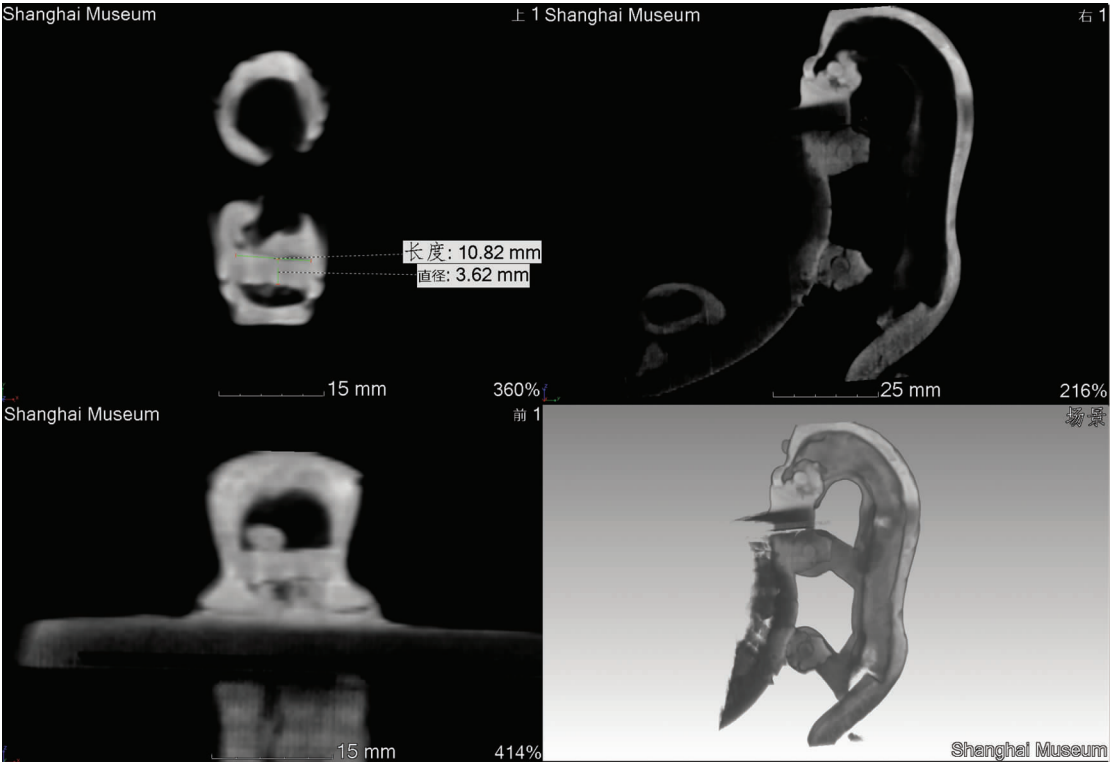


图 17 后龙口沿 X-CT 图

Fig. 17 X-CT image of the posterior dragon sculpture on the mouth rim

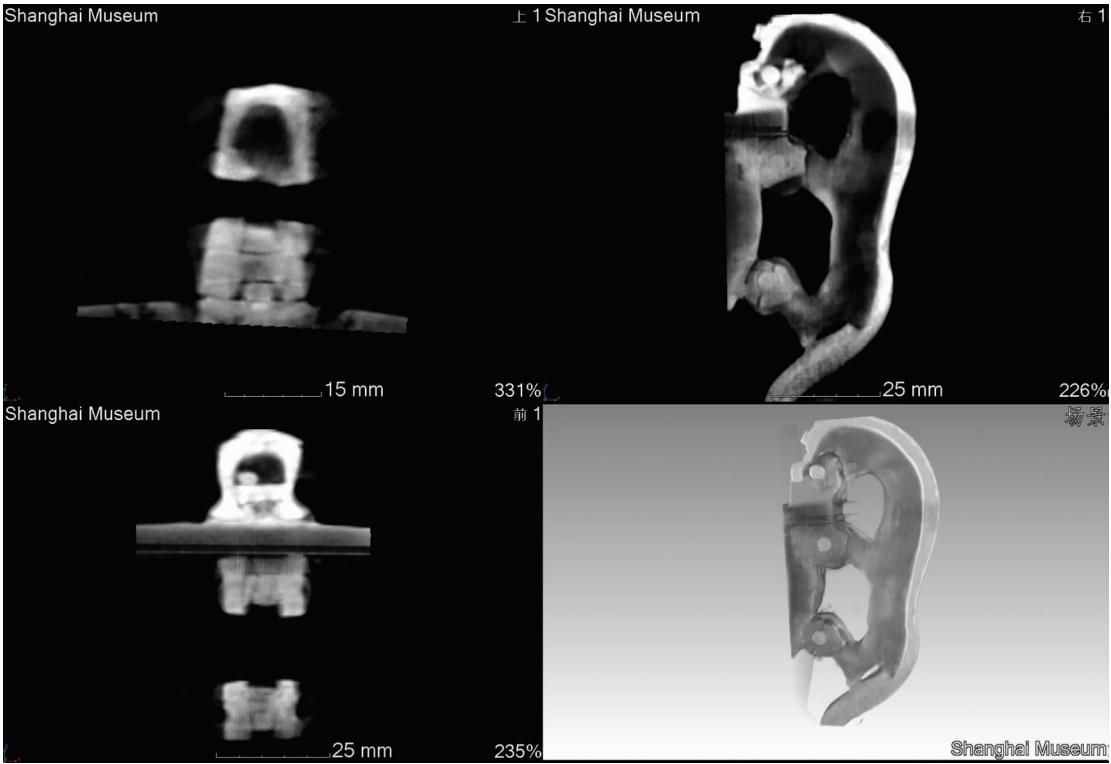


图 18 后龙 X-CT 图

Fig. 18 X-CT image of the posterior dragon sculpture



图 19 后龙 X-CT 渲染截面图

Fig. 19 Rendered section X-CT image of the posterior dragon sculpture



图 20 后龙照片

Fig. 20 Picture of the posterior dragon sculpture



图 21 盘前虎足

Fig. 21 The anterior tiger-shaped leg

布的竖直金属栏,金属栏与虎足为一体成形,虎体内为空心。在浇铸盘体时,金属液通过虎足内侧金属栏空隙填充进虎体空腔,并与设置的金属栏包裹,形成牢固连接。除了虎头内部较深处还留有部分陶范外,虎体内空腔均被盘体的金属液填充满了。从X-CT 截面可以看到,虎足金属壁厚比较厚实,这是为 3 只虎足要承受整个盘体的重量而设置的(图 22)。图 23、图 24 为 X-CT 效果图,其中偏青黄色是一次浇注成形的虎足;偏灰红色的是盘体。图 23 中的右上图截面经过了虎体上设置的金属栏,盘体金属与金属栏形成了榫卯结构。图 24 中的右上图截面未经过金属栏,盘体金属液直接填充进虎足内。

4 其他问题分析

4.1 浇冒口及底部凸棱纹的设置

子仲姜盘的浇冒口分别设置在圈足及盘底中心位置。盘底外侧布满规律的凸棱纹,呈等边直角折线形,从小到大,逐渐往盘中心扩展,两两之间的间隔相等,一直扩展到盘底中心,形成一组纹饰。整个盘底由相同的 4 组纹饰组成(图 25)。

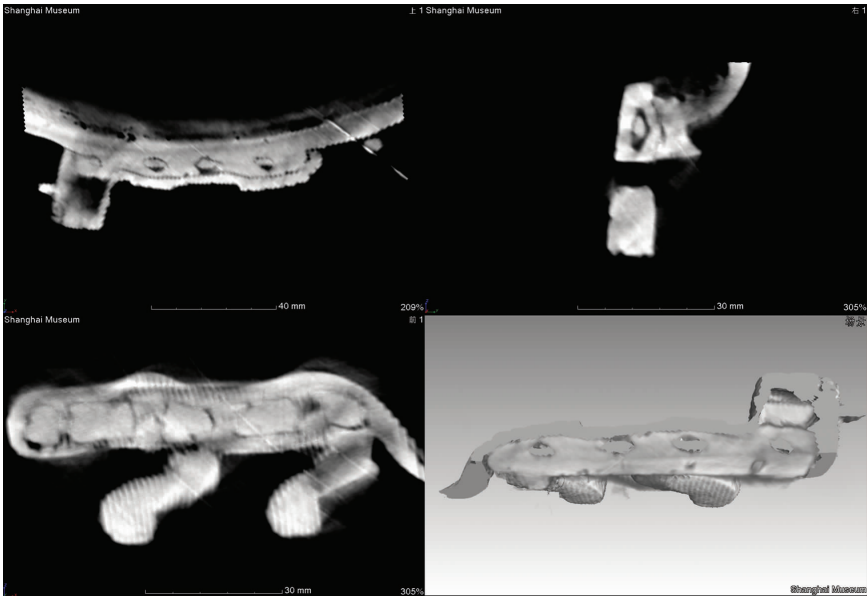


图 22 前虎足 X-CT 图

Fig. 22 X-CT image of the anterior tiger-shaped leg

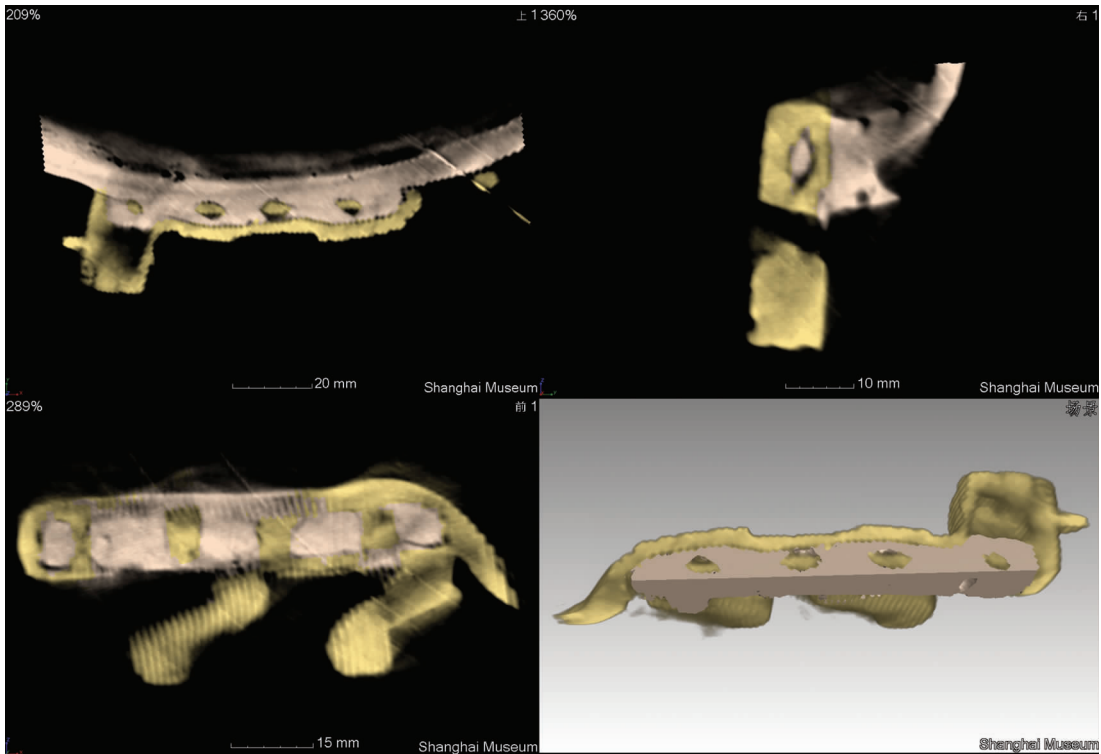


图 23 前虎足 X-CT 效果图(右上截面图经过金属栏)

Fig. 23 Rendered X-CT image of the anterior tiger-shaped leg(in the upper right, section image of cast-in insert)

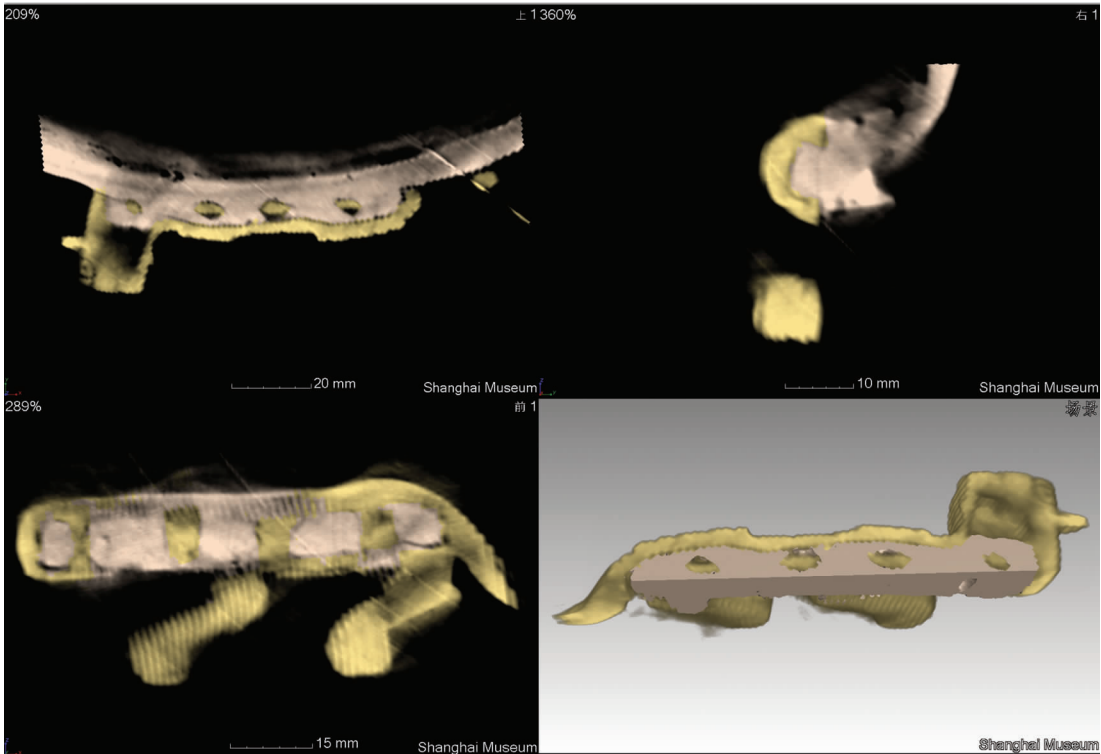


图 24 前虎足 X-CT 效果图(右上截面图未经过金属栏)

Fig. 24 Rendered X-CT image of the anterior tiger-shaped base(in the upper right, section image of the part without cast-in insert)



图 25 盘底纹饰及中心的冒口

Fig. 25 Decorative motifs on the outside bottom of the Pan and the riser gating in the center

相类似纹饰在山西绛县横水西周墓地出土的青铜簋底部多次出现,其中心形成“十”字纹^[4]。这个“十”字纹饰在子仲姜盘上是同样存在,只是被中心的冒口掩盖了“十”字交叉的位置。由此可见,在山西晋国范围内的一段时间里,这类规则的凸棱纹在较大器底出现并非个例。客观上,盘体是倒置浇注,这些凸棱纹在铸造工艺上起到收集没有及时排出的气体或悬浮渣的功能,有助于盘底浇注的成功。同时,对盘底的强度有一定的加强作用。从 X-CT 图可以证实盘底确实存在很多的气孔、疏松等铸造缺陷(图 16)。虽然盘底的纹饰通常是受不到关注的,但从多个器物底部排列规则的纹饰考虑,说明即使在隐蔽的位置,古代工匠也是将实用性和艺术性充分的结合,体现了古人制作青铜器过程中对艺术性与完美性的追求。

圈足底外侧留有 3 个细长形痕迹的浇口,与 3 虎足相邻。冒口与浇口交相呼应,表明盘体是倒置式浇注(图 26)。由于锡青铜不易产生集中缩孔,盘底冒口的大小和设置方式均符合现代铸造工艺学理论中冒口的作用。这类冒口主要起到排放盘体型腔



图 26 左侧虎足处的浇口

Fig. 26 Runner gating of the left tiger-shaped leg

中的气体和收集金属液中的夹杂物或被氧化的金属液的作用,以减少青铜器上的缺陷。将浇口设在三虎足边,更凸显出的作用是为了保证虎足内型腔的充分填充,从而确保虎足的强度。从 X-CT 截面图观察,虎体内填充的金属是非常致密的。

4.2 盘底金属芯撑的分布

子仲姜盘底部存在较多铸造缺陷,盘中心的冒口附近缺陷更为严重。盘底金属芯撑呈不规则小块状,数量较多,无明显规律地分散在盘底。其中在铭文中间及顶部各有 1 枚,用于控制盘腹芯上的铭文活块范位置。在冒口附近的金属芯撑发现较少,能确认离浇口最近的 2 个金属芯撑是在内圈浮雕动物边上,芯撑相对小(图 27)。芯撑分布的不规律,或许是金属液浇注时,对金属芯撑有一定冲击力,加上铸型材料特质,或致使部分芯撑偏离原有位置,即芯撑的漂移现象^[6]。另外,盘底圆雕与浮雕水生动物的分布会挡住部分金属芯撑的影像。所以,各种原因造成子仲姜盘盘底的金属芯撑无明显规律也在情理之中。

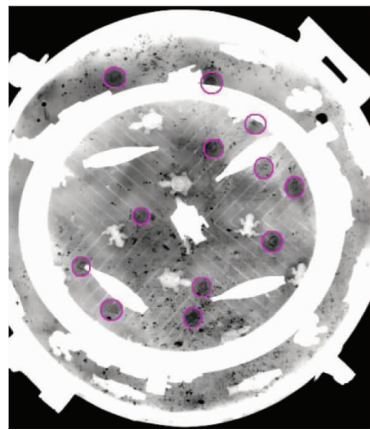


图 27 盘底 X-CT 二维图像

Fig. 27 Bi-dimensional X-CT image of the outside bottom of the Pan

4.3 实心附耳

子仲姜盘的双附耳比较厚实,与盘体浑铸。X-CT 检测显示,附耳内并没有设置盲芯,实心的附耳内部缩松非常严重(图 28)。在春秋时期的青铜器附耳,使用分铸技术较多。特别是较大附耳内通常会设置泥芯,以保证器物等壁厚浇注,从而减少金属凝固时间,防止金属液补缩不足而产生疏松等缺陷。

子仲姜盘是一个精心设计,制作考究的青铜盘,其出人意料地设置实心附耳,应该是由于盘中大量带动物的转轴、攀龙及虎足等附件需要定位,最后形成铸接连接。如果再使用耳内盲芯的设置,无疑将制作难度进一步提高。这应是工匠权衡利弊,而将

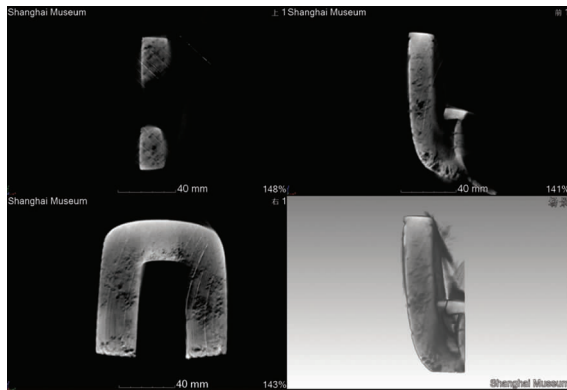


图 28 左侧附耳 X-CT 图

Fig. 28 X-CT image of the left handle

附耳制作成实心的内在原因。

综上所述,子仲姜盘的附件都是通过铸接连接,并使用多次分铸铸接的方法。2 条攀龙、3 只立虎足及盘内每只圆雕水生动物转轴都与盘体铸接。圆雕动物与转轴分开铸,形成既不能脱离又不粘连,可作 360°的旋转结构。盘的制作步骤为:

1) 根据需求制作不同类型的转轴。对于需要保持圆雕水生动物高度平衡的转轴,在其顶部做成圆锥体,并在下半部设有直径较大圆盘,用于防止圆雕水生动物脱落,这种转轴设计较为复杂;对于青蛙这样没有很高平衡要求的,就做成简单的蘑菇状转轴;

2) 复杂的转轴需在顶部圆锥体上涂覆一层薄的泥范,并且在轴与动物腹部穿孔位置涂覆一层薄的泥范。对于顶部带柱帽的蘑菇形转轴,仅在轴与动物腹部穿孔位置涂覆一层薄的泥范,其它部分可直接安放在动物内腹陶范中,并对陶范焙烧;

3) 制作动物型腔,浇铸完成动物。将轴在动物体内转动,确定都可以自由旋转(如浇铸中有任何缺陷,则再次制作浇铸);

4) 攀龙制作,在龙口内,前、后双足之间均设横向圆柱体,用以攀龙与盘体铸接时的咬合;

5) 虎足制作,虎体内为空腔,虎足外侧设有纹饰,内侧设 4 个间隔距离相等的金属栏,用于盘体金属液流入虎体,与金属栏形成榫卯结构的咬合铸接;

6) 所有附件制作完成后,放入盘体的陶范中,一次将所有附件铸接在盘体上。盘体为倒浇,浇口呈枣核形设在盘底中心。冒口在三只虎足对应的圈足处各设 1 个。厚实的盘耳为实心。

5 讨论

5.1 转轴的应用

X-CT 检测结果显示,青蛙使用了较为简单的

转轴结构,轴与盘底的铸接没有后加工痕迹;鱼和水鸟用了复杂的转轴结构,除了左鱼转轴与盘底是后期铸焊外,其余转轴和盘底为铸接,也不存在后加工痕迹。因此,运用两种结构的转轴是当时工匠的选择。转轴在动物体内是不可见的,故转轴结构的选择应主要考虑其实用性。使用两种复杂程度不一的结构应有其必然性。

青蛙设计为蹲伏状,可判断其重心比较容易控制,只要后半身比较重就能保持原有姿势。所以运用简单的轴结构就可以保证其平衡状态。

水鸟和鱼的造型则需要保持足够的水平,往任何方向的倾斜都将失去其美观性。因此,为保证它们的水平状态,在转轴与动物脊背内设置带有类似榫卯式的复杂结构。这种结构限定了动物上下及左右移动的空间,这在青铜器的制作中难度较大,它的设计在当时是一种创新的体现。总体来看,两种轴结构的设置情况与动物形态有直接的关联,这应是工匠充分考虑到两者之间的适用性,从实际出发,既满足了艺术审美上的需求,也达到了制作技术上的简化。两种转轴结构的设计充分展示了古代工匠设计中的审美观、实用性、制作简易化等理念。

以往对子仲姜盘的科学分析手段较有限,缺乏细节上的描述。对盘内圆雕动物旋转的认识也不够全面。如推测轴与盘是一体铸造,之后再铸圆雕水生动物^[5],或认为转轴仅是作蘑菇状等^[1]。

通过本次分析发现,转轴应是圆雕水生动物之间形成旋转,然后铸接于盘底,这种转轴与盘底铸接的方式简化了整器成形的难度。每一个旋转主体都是单独成形后,再被装配至整个盘底。如果中间出现问题,就可以及时重做旋转主体,这就降低了整个盘的制作难度。

对于原地作 360°旋转技术的难点在于:轴与动物底腹间的间隙控制,及复杂轴顶部圆锥与动物脊背的榫卯式结构间极小的间隙控制。这种技术在青铜制作中是一个创造性应用,也是难点所在。子仲姜盘上能突然集中体现出如此娴熟的工艺是令人难以置信的,这应该不是突然出现的技术。

晋侯墓地曾出土一件年代为西周晚期的“晋叔家父作宝盘”(资料有待发表),该盘整体造型与子仲姜盘相似,特别是在盘中心也设有一只圆雕的青蛙。虽然青蛙已不能转动,但其头朝向无规律,且青蛙身体压在盘中心的铭文上,从青蛙所处的位置等可推测盘上青蛙应能作 360°转动。该盘虽只设一只圆雕青蛙,但制作原理应与子仲姜盘中圆雕青蛙相似。其年代比子仲姜盘稍早,两盘又同为晋国器,

所以它们的制作技术应为一脉相承。从西周晚期至春秋早期,子仲姜盘的整体制作技术又有所精进。特别是复杂转轴顶端与动物脊背内部之间的装配结构,是旋转技术的关键之处。

从检测结果分析,制作子仲姜盘的陶范技术并没有跨越当时的技术范畴。能做到如此繁复,而又具备附件旋转功能的青铜盘,既是古代工匠在以往陶范技术积累基础上创造性应用的结果,也是制作前对盘整体的巧妙构思与设计,及制作中每一步细节的把握。可以说,子仲姜盘是艺术性的巧妙构思与创新性陶范技术应用的完美结合,是用高超的陶范技术诠释了一件完美的艺术品。

5.2 “铸接销”结构的应用

攀龙、虎足与盘体的连接中都使用了在附件上专门设置的圆柱体或条状金属栏,用以与盘体的牢固连接。由于这些在附件上专设的金属销主要用于附件与主体的铸接连接,从其功用考虑,暂称其为“铸接销”。铸接销是与附件一起浇注而成的隐蔽性结构,会被主体的金属液包裹,因此在器物表面无法观察到铸接销。通过专门设置的铸接销与主体的连接更为牢固、合理,可以省去为连接牢固而在表面设置的主体咬合附件的结构,提高了主附件浑然一体的审美效果。正因为铸接销被主体件的金属全部包裹,因此,一般的X射线探伤很难将其分辨清楚。加之其局部结构的复杂,及金属堆积相对厚实,故即使在X-CT的三维扫描中,也需要充分穿透和仔细分析。

类似子仲姜盘中铸接销的设置,在山东新泰出土战国早期剑首与剑柄的铸接中也有使用。在剑首所带的较长凸榫上设有垂直的小圆柱金属销,是预防剑首与剑茎铸接后,剑首从剑茎脱落的“铸接销”^[7]。

西周早期虘国墓地出土的青铜器上曾提到过“自锁”结构,这是在附件上先预留孔,然后在浇注主体时充盈预留孔的方法^[8]。这与铸接销方法虽有不同,但其起到的效果是相似的。

商晚期的皿方罍兽耳内也发现有相同的圆柱体结构,用以兽耳与罍体的铸接(该研究资料后续将发表)。但其圆柱体设计成竖立式,与子仲姜盘中攀龙内的横向圆柱体有所不同。这种设计结构的差异隐含的是铸接销的实用性和制作时的便捷性。

日本泉屋博古馆的大量中国青铜器都经过了X-CT检测分析,对37件器物上耳(鑿)的结合方式研究表明:商晚期至西周晚期的耳(鑿)采用了浑铸、分铸两种方式。9件分铸器中,2件觥身上出现半环结构,其他器身上都为凸榫结构^[9]。从这些器

物上看,铸接销结构并没有得到应用。但觥身上的半环结构与铸接销结构上有些类似。铸造方法上,带有铸接销的附件是先铸法,而这两件觥的半环结构分析认为是使用了后铸法,是在这时期内比较特殊的铸接方式。铸接销类型的结构还是常见的先铸方式,其使用的广泛性有待进一步发掘。

从以上已有的资料分析,至少从商晚到战国时期,运用铸接销方法来分铸铸接是长期存在的。这种结构多运用在器物附件内部,隐蔽而不能见,其存在的现实意义是:既保证了器物外表美观,又能确保附件的牢固连接。

虽然日本X-CT检测中未发现类似结构,但考虑到铸接销结构长期存在,并且具有美观又牢固的特点。因此,在古代青铜器中铸接销结构的使用应该同样是普遍存在的。由于其设置的隐蔽性,使主体与附件的结合更趋近于完美,表面能看到的痕迹有限,而长期被忽视。相信随着无损检测手段,特别是X-CT技术的运用,具有“铸接销”结构特点的青铜器在今后会被越来越多的发现。

6 结 论

子仲姜盘的造型生动、典雅,铸工精良,不仅体现了春秋早期极高的制作工艺水平与装饰水平,而且揭示了古代晋国工匠无与伦比的构思与创造,这是技术与艺术完美结合的代表作。子仲姜盘的设计充分体现了技术服务于艺术审美需求,而艺术审美需求又促进了技术的创新与发展。通过X-CT的检测分析,可以得到以下结果:

- 1) 子仲姜盘作为一件高级艺术品,盘内动物众多但不凌乱,是得益于其前期精心设计;
- 2) 所有附件与盘体的连接都为铸接连接,盘整体为倒置式浇注;
- 3) 圆雕水生动物所使用的转轴,根据动物形态的需求分为两种:简单的蘑菇形和圆柱加圆锥状并带圆盘的复杂形;
- 4) “铸接销”结构娴熟地应用于各附件与盘的连接,展示了其隐蔽性与实用性的设计要求。

参考文献:

- [1] 郭艳艳. 不幸而幸,妙趣横生——春秋子仲姜盘传奇[J]. 收藏, 2010(2):124-125.
GUO Yan-yan. Good luck in the midst of misfortune, full of humor and wit—legend of Pan of Zi Zhong Jiang in the Spring and Autumn Period[J]. Collections, 2010(2):124-125.
- [2] 郑重,叶肇夫与子仲姜盘[J]. 寻根,2000(3):20-26.
ZHENG Zhong. Ye Zhao-fu and Pan of Zi Zhong Jiang[J]. Root

Exploration,2000(3):20-26.

[3] 马承源. 跋子仲姜盘[M]. 上海:上海博物馆,1997.

MA Cheng-yuan. Postscript of Pan of Zi Zhong Jiang[M]. Shanghai: Shanghai Museum,1997.

[4] 山西省考古研究所. 绛县衡水西周墓地青铜器科技研究[M]. 北京:科学出版社. 2012;161,166,190.

Shanxi Provincial Institute of Archaeology. Scientific studies on the bronze objects from the Western Zhou cemetery at Hengshui of Jiangxian[M]. Beijing: Science Press,2012;161,166,190.

[5] 谭德睿. 子仲姜盘——《中国古代艺术铸造系列图说》之二十三[J]. 特种铸造及有色合金,2008(11):901-902.

TAN De-rui. Pan of Zi Zhong Jiang—"Illustrated Chinese ancient artifact casting", XXIII[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys. 2008(11):901-902.

[6] 苏荣誉,胡东波. 商周铸吉金中垫片的使用和滥用[J]. 饶宗颐国学院院刊,2014(4):101-134.

SU Rong-yu, HU Dong-bo. On the use and abuse of spacers in the production of bronzes during the Shang and Zhou[J]. Jao Tsung-I Academy of Sinology, 2014(4):101-134.

[7] 丁忠明,吴来明,刘延常,等. 山东新泰出土同心圆剑首连接技术研究[J]. 文物保护与考古科学, 2014,26(3):29-37.

DING Zhong-ming, WU Lai-ming, LIU Yan-chang, et al. Studies on the jointing techniques used in sword pommels decorated with concentric circles and excavated from Xintai, Shandong Province[J]. Sciences of Conservation and Archeology,2014,26(3):29-37.

[8] 苏荣誉,胡智生,卢连成,等. 弓鱼国墓地青铜器铸造工艺考察和金属器物检测[M]//卢连成,胡智生. 宝鸡弓鱼国墓地. 北京:文物出版社,1988;530-570.

SU Rong-yu, HU Zhi-sheng, LU Lian-cheng, et al. Survey on the casting technology of bronze from Yuguo cemetery and analysis of the metal objects[M]//LU Lian-cheng, HU Zhi-sheng. Yuguo cemetery of Baoji. Beijing: Cultural Relics Press, 1988;530-570.

[9] 广川守. 商晚期至西周时期大耳(簋)的结合方式[M]//泉屋博古馆,九州国立博物馆编,黄荣光译. 泉屋透赏—泉屋博古馆青铜器透射扫描解析. 北京:科学出版社,2015;446-451.

Hirokawa Mamoru. The connection structure of the Da Er (handle) of the bronzes from late Shang Dynasty to Western Zhou[M]//Sen-oku Hakuko Kan, Kyushu National Museum (eds.), trans by HUANG Guang-rong. Quan Wu Tou Shang—Transmission scan analysis of the bronze artifacts of Sen-oku Hakuko Kan. Beijing: Science Press,2015;446-451.

X-CT computed tomography studies on the manufacturing techniques of Zi Zhong Jiang Pan

DING Zhong-ming, ZHOU Ya, WU Lai-ming
(Shanghai Museum, Shanghai 200231, China)

Abstract: The twelve water animal sculptures around the inside of the Pan (water vessel) of Zi Zhong Jiang can circle around 360° without being detached. The piece represents an extraordinary example of bronze fabrication craftsmanship. In order to unveil the unique techniques used for its construction, computed tomography (CT) technology was applied to study the structure of the connection between the main body of the vessel and the water animal sculptures, namely the scrambling dragon decoration over the rim of the mouth, the tiger-shaped legs and the handles. The results show that the water animal sculptures are connected to the Pan thanks to two types of rotational axes: one is a cylinder with cap piece, and the other has a cylindrical lower part, a protruding disc form in the middle, and a cone top coinciding with the cavity inside the spine of the animal sculpture. The scrambling dragons and tiger-shaped legs were cast separately with protruding rods as cast-in inserts, which permit invisible and firm junctions to the vessel. By contrast, the solid handles were cast together with the vessel. As revealed by the X-CT analysis of the Pan of Zi Zhong Jiang, the ancient Chinese artisans successfully made innovative use of the excellent mould-casting techniques learnt from their predecessors. From an aesthetical point of view, this design concept has given the vessel a complicated yet harmonious aspect; and the attention paid to practicality and convenience has led to a reasonable and intelligent fabrication strategy. Precise determination of the complicated internal structure of the vessel has also demonstrated that the X-CT technology can be widely applied in the studying of ancient bronze techniques.

Key words: Zi Zhong Jiang Pan; X-CT technology; Rotation axis; Cast-in insert; Cast-in junction; State of Jin

(责任编辑 谢 燕)