

汉铜漏壶的保护修复及相关问题探讨

杨忙忙

(陕西省考古研究院, 陕西西安 710054)

摘要: 为配合西安航天工业园区的建设, 2008年陕西省考古研究院凤栖原考古队对园区的汉墓群进行清理时, 在K4陪葬坑发现了一件铜漏壶。通过对漏壶的保护修复及表面附着物的显微观察, 不但有效地控制了粉状锈, 而且还发现了铜漏壶上携带的大量实物信息, 这些遗留物到底为何物, 与漏壶之间又有怎样的关系, 漏壶本身是如何计时的? 本研究围绕这些问题展开分析和讨论, 为研究西汉当时的生活习俗、社会礼制、丧葬制度及计时水平等提供了重要的参考资料。

关键词: 西汉铜漏壶; 保护修复; 附着物显微观察; 计时机理

中图分类号: K876.41 **文献标识码:** A

0 引言

凤栖原汉墓群位于西安市南郊大雁塔正南约5公里处的西安航天工业园区内, 是西汉宣帝杜陵的陪葬墓区, 也是汉宣帝大司马卫将军张安世的家族墓地。在此次随工清理过程中, 曾先后出土了大量珍贵的文物, 其中K4陪葬坑出土的这件铜漏就是目前存世量极少的汉代计时器实物之一。

漏壶也叫刻漏, 是古代用于计时的一种器具。《隋书》卷十九《天文上》有黄帝创制和使用刻漏的记载, 《周礼》上亦有掌管刻漏的世袭官职的职责和刻漏使用场合的记载^[1]。2002年湖南省龙山县里耶镇出土的3万余枚简牍中, 就有秦时地方官府以刻漏计时的记载。可见刻漏的使用具有悠久的历史。

我国古代计时主要有日钟和水钟两种方式, 刻漏属于后者。“漏”是指计时器——漏壶, “刻”指日以下的时间单位, 古代以一昼夜为100刻。漏壶浮箭上刻的就是这种时间分隔线。“孔壶为漏, 浮箭为刻”, 故称漏刻^[2]。刻漏又分沉箭漏和浮箭漏两种, 沉箭式刻漏由一个单壶组成, 壶中垂直插入一个能上下浮动并带有刻度的标尺即浮箭, 当漏壶泄水时浮箭下降从而显示时间。而浮箭式刻漏由泄水壶和受水壶两部分构成, 受水壶中插入可以上下浮动的浮箭, 因而又叫箭壶, 工作时泄水壶的水流入箭壶中, 箭壶中的浮箭随之上升, 其上显示的刻度会不断变化, 从而指示时间。有太阳的时候, 日钟较为方

便, 在阴雨天只能使用水钟, 因此在古代日钟和水中是互相校正、配合使用的, 二者皆为重要的计时器具。

据统计到目前为止, 在我国考古发现最早的漏壶实物为汉代的刻漏, 共计五个, 分别为: 内蒙古伊克昭盟出土的“千章铜漏”; 河北省满城刘胜墓出土的“满城铜漏”; 陕西省兴平出土的“兴平铜漏”; 山东省巨野县出土的“巨野铜漏”; 以及本研究所说的“凤栖原铜漏”。由于巨野铜漏无足无盖, 与其他铜漏的特征明显不同, 目前被公认为是浮箭式铜漏的供水壶, 因此考古出土的沉箭式漏壶实物可以说仅有四个。除满城铜漏的流管残损外, 其它几个基本完整无缺。

1 铜漏保护处理前的状况

凤栖原铜漏在保护处理前的状况如图1所示, 由壶盖和壶身两部分构成, 因埋藏期间土方坍塌, 壶盖提梁已彻底断掉。图2为修复前组装起来的漏壶全貌, 可见漏壶基本完整, 只是腐蚀情况比较严重, 壶身及壶盖外表面大部分生有浅绿色粉状锈, 且壶身多处留有编织物的印痕和残留物, 局部还粘附有红色的颜料, 壶身下部一处被撞成一个大约2平方厘米、深约1厘米的坑(如图2中黄色方框内浅绿色的部分)。坑内长满了浅绿色的粉状锈, 粉状锈外层粘满了藤席类编织物的残留物(图3~4)。打开壶盖, 壶内底部留下断成三节、类似木质物的残条, 如图5所示, 这些残条宽度、厚薄基本均匀。壶盖里

面及壶身内长满了厚厚一层致密的孔雀蓝和孔雀绿杂合锈(图1),颜色十分漂亮。

与其它铜漏一样,凤栖原铜漏为圆筒形,方形单提梁盖,下有三只蹄形足。漏壶通高 52.6cm,壶内深度 34cm,壶身口径 21cm,壶盖及梁总高 17.5cm,提梁高度 14.2cm,壶盖外径 22.5cm。位于漏壶下部的流管以与水平面 6° 的夹角(指圆锥形流管的中轴线与水平方向的夹角)斜向下伸出,流管外观为圆柱形,内部实为空心,从壶身至外流管依次变细。流管长 7.5cm,端口直径 2.5cm,流孔孔径 0.12cm。漏壶三足平均高约 8cm,由于三只腿高度稍有差异,因此整个漏壶放置时稍呈倾斜状。提梁和壶盖中央垂直对应位置各有一长 1.5cm,宽 0.6cm 的方孔,用以插入箭尺并保持其垂直。壶重约 11.6 千克。与其它几个铜漏明显不同的是,凤栖原铜漏两侧对应位置各有一直径 5.5cm 的圆形提环(图2,因锈蚀一边的圆环已不能自然下垂)。其次凤栖原漏壶是目前发现的漏壶中尺寸最大的。



图1 铜漏处理前的状况

Fig.1 Condition before restoration



图2 漏壶处理前

Fig.2 Complete picture before restoration



图3 漏壶一足处的编织物印痕

Fig.3 Plaited article mark on one leg of clepsydra



图4 漏壶身上的席纹印痕

Fig.4 Mat imprint on clepsydra



图5 漏壶内的木质物残段

Fig.5 Pieces of wooden material inside the clepsydra

2 铜漏壶表面附着物的提取及显微观察

2.1 铜漏上粘附的有机残留物样品的提取

在地下埋藏两千余年的铜漏出土后,不但自身长满了各种铜锈,而且壶体多处附着周围环境中的残留物及印痕。如图3、图4中所示器物身上多处留下的人字纹等编织物印痕非常清晰,还有多处附着类似有机质的残留物,如图4器物上的褐色附着物。由于这种附着物已完全腐蚀变质,质轻易碎、极易脱落,因此在出土后的搬运过程和照相过程中一部分已经脱落。如果将其当做泥土除去,势必造成许多重要信息的流失。因此为了尽可能全的收集各

种原始信息以便后续研究,先采集各种不同类型的样品标本,在显微镜下进行显微观察和照相,以获得相关的科学数据及资料信息。

2.2 附着物的显微观察

由于样品非常酥脆,极易粉化碎掉,所以样品尺寸都非常小,为了观察清楚,本实验所用的显微镜为基恩士超景深电子显微镜。图6和图7是样品中较为典型的两个。图6为铜漏壶上采集的样品1放大20倍下的3D显微照片,可以看出附着物含有丰富的信息,最上面为编织物,在编织物的下面还有黑色



图6 漏壶上粘附物样品1

Fig.6 Sample 1 from surface of clepsydra

类似大漆的龟裂层,因日久已老化。根据图中的比例尺,每条编织物宽度约为1.5mm,可能为竹编织物。图7是采集的样品2放大30倍下的3D显微照片。可以看出残留物成不规则分布,最上面浅绿泛白的部分是粘下漏壶表面的粉状锈,红色颜料部分也是紧贴在漏壶表面的,紧接下面的是网状的织物。这种织物每股的宽度接近 $100\mu\text{m}$ (即0.1mm),明显比图6中的编织物细得多,结构也更为复杂。同时在织物中还有褐色类似漆层的物质存在,在这层织物的下面还有一层黑色物质(图7中右下角)。



图7 漏壶上粘附物样品2

Fig.7 Sample 2 from surface of clepsydra

3 漏壶的科学保护

在铜漏保护处理前,首先对其进行保存状况记录、拍照、绘制病变图等一系列基本步骤,然后提取表面残留的有机腐蚀物、颜料及内容物的标本,为今后的分析和科学研究提供实物佐证。然后对其表面上的附着物进行清理,由于漏壶上生有大量的粉状锈,会对青铜器造成致命的危害,如果不彻底清除,青铜器不是表面剥层脱落,就是产生洞状腐蚀,直至最终器物被全部腐蚀掉。因此只有尽快清除漏壶上的粉状锈,才能保证青铜器今后的安全。目前针对粉状锈行之有效的办法就是先采用机械方法对其进行挖剔,再用化学方法进行无害化处理。因此首先采用机械工具对铜漏壶上的粉状锈进行剔除,在处理过程中发现漏壶身上局部已出现表皮腐蚀空鼓脱落的现象,脱落后的表面呈红褐色。为了保证器物在后期保存时的稳定性,在那些粉状锈难于剔除干净的地方,使用电化还原法将粉状锈进行无害化转换,其具体操作方法为:将Zn粉与10%氢氧化钠水溶液制成糊状,涂敷在机械剔除粉状锈后的地方或坑洞内,定时进行更换,直至还原反应完全结束(没有气泡产生)。在腐蚀严重的部位及粉状锈腐蚀的坑洞部位还做了重点处理,即用5%的BTA乙醇溶液再进行

缓蚀处理,最后用去离子水对整个器物进行多次浸泡和清洗,并使用红外灯对其进行彻底烘干,经过上述一系列的化学处理后,不但清除了粉状锈,原先一边锈死的提环也可以自由转动而复位,同时一些重要的有机物印痕也完全保留了下来。对断掉的提梁还进行了矫形和粘接,最后用3%的paraloid B72丙酮溶液进行表面封护。图8为保护处理后的铜漏,可以看出漏壶身上的粉状锈得到了有效的控制。



图8 保护修复后的漏壶

Fig.8 Clepsydra after restoration

4 漏壶计时机理及相关问题探讨

漏壶计时主要根据液体压强的原理,即

$$P = \rho gh$$

式中, P 为液体内部某一深度处的压强; ρ 为液体的密度; g 为重力加速度; h 为液体的深度。液体内部某一深度处的压强在各个方向上大小相等,而液体在该深度处的压力 $F = PS$ 或 $F = \rho ghS$ (S 为受力面积)。根据牛顿第二定律:

$$F = ma = mv^2/t$$

式中, m 为物体的质量,这里代表流体的质量; v 为在 h 深度处液体流出时的速度; t 为时间,即液体所受的力与液体流动速度的平方成正比,进而可以得出:

$$h \propto v^2$$

可见液体在 h 深度处流动速度的平方与液体的深度成正比(这里假设在 h 深度处器壁有一流管)。

当然这一结论用能量守恒定律解释则更为简单,假设在一盛满液体的容器器壁的 h 深度处钻一小孔,液体在该处的流动速度为 v ,那么从该处流出的液体完全符合能量守恒定律,即流出的液体将自身的势能在该处完全转化为动能,用公示表示即为:

$$mgh = 1/2mv^2$$

式中, mgh 为流体的势能; $1/2mv^2$ 为流体流出容器时的动能,式中所有字母代表的含义与上面公式中的含义皆相同,从而可以清楚地看出,液体流出器壁时的速度与流孔在容器上高低位置有直接的关系。也就是说一个容积一定的容器要在一定的时间将液体完全流完,流管在器壁上的位置是非常关键的。

在流速一定的前提下,要让一定容积的水在一定时间内流完,要么流管位置是在铸造前经过精确计算确定的;要么预先设计好流管位置,再计算漏壶的大小。如果流速不确定,流管位置和壶的大小再精确也是没有任何意义的,这时控制流速将成为关键。图9是从外看到的流管孔,图10是从壶内看到的流管分叉口,可见流管是空心的圆筒形。因为自然水中含有大量的钙、镁离子,漏壶长时间使用后,往往会结下厚厚一层水垢,从而堵住流管口。而内口敞开的流管设计较好地解决了这个问题,对于出水孔径仅为1.2mm(如图10)的流管,即使内部结了水垢,从里头可以方便地进行清理。这也可能就是古人将流孔设计在流管端面的中央而非流管最底处的原因吧。



图9 漏壶流水孔

Fig. 9 The mouth for Flowing water outside

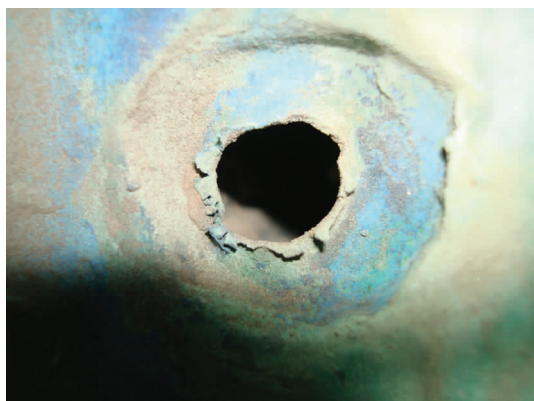


图10 漏壶内流管处

Fig. 10 The mouth for Flowing water inside

据考证在汉代刻漏指的是在一刻或数刻时间内滴完满容器的水^[2]。西汉时期将一昼夜分为100刻,与现在的24小时对应起来,汉代的一刻相当于现在的0.24小时,即现在的14.4分钟,或14分24秒,也就是说漏壶会在14.4分钟或数个14.4分钟内滴完容器中的水。这个结果现在已无法得到准确的验证,因为前面用去离子水清洗漏壶时,水从流管处的小孔是以弧线射出,而并非一滴一滴地漏。

另据考古资料报道,在兴平铜漏内壁流管处还发现有4cm²大不规则形状的云母片,被认为有可能是控制水流量的^[3]。云母本为铝硅酸盐矿物,具有耐酸、耐碱的化学稳定性能,还具有良好的绝缘和耐热性、不燃性、防腐性,在现代工业和建材业上都有广泛的应用。漏壶里的云母片是遮挡在流管处用于控制水流量的,还是有别的用途,有待于进一步的考古发掘实物证据。凤栖原铜漏里未发现类似云母的东西。

漏壶在装水使用时,还需要插上一个刻上刻度的浮标指示时间,这就是刻箭。刻箭制作的材质应该质轻结实,在水中长期浸泡也不能变形。根据液

体浮力定律,漏壶在滴漏过程中,随着容器中水量的减少,浮标指示的刻度也会随之发生变化,从而显示时间。当器内液体不断减少时,液体对器壁的压力也会不断减少,漏壶滴水的速度将会逐渐减慢,所以刻箭上的刻度应是不均匀的,由下向上刻度应是逐渐变密的。这也正是西汉时期经常使用日晷校正漏壶的原因。

凤栖原漏壶与满城汉墓漏壶及兴平漏壶一样,为单提梁,在壶盖和提梁的正中央各有一方形孔,以插箭尺之用。盖上的方孔长和宽分别为1.7cm和0.6cm,梁上的方孔长和宽分别为1.6cm和0.6cm,可见两孔尺寸基本相当,是互相对应的。值得一提的是,凤栖原漏壶出土后,在壶内发现了断为数节的有机质条状物,如图5所示,这会不会就是漏壶的刻箭呢?从目前的保存状况看,这些条状物早已腐烂收缩、扭曲变形,长度残缺不全,部分段节也已灰化,但其木质纤维还依稀可见。现存三节的宽约0.5cm,厚约1mm,总长度约为21cm左右,宽度、薄厚皆较为均匀,经物理观察,象芦苇杆或竹质物,质量较轻。据分析一个漏壶的箭尺长度至少要长于壶深和提梁高度的总和,对于凤栖原漏壶这个值应为34cm和14.4cm的总和48.4cm。但单就这些有机条状物的薄厚宽窄尺寸与壶盖孔和提梁孔的尺寸等比较,其作为箭尺是合理的,但毕竟经过了两千年的埋藏,其腐化,变质、收缩、变形得相当严重,与当年箭尺的尺寸存在较大差异是不足为奇的。

另据发掘资料证明,目前出土的漏壶实物,其自身重量皆较重,如千章漏壶器身上就刻着“重卅二斤”,以西汉时期一斤为258克算,相当于现在的8254克。凤栖原漏壶是目前出土漏壶中体积最大的,重量也最重。仅壶盖重量就2.641千克,壶身11.595千克,漏壶总重量14.236千克,合成西汉时的重量即为55斤左右,比千章漏壶重的多,如此大的重量自然增加了它在使用过程中的稳定性,不会轻易被碰倒,也增加了其为实用器的可能性。

凤栖原漏壶与其它漏壶的最大的区别在于壶身两侧对称位置各有一只衔环,这种衔环是青铜器上常见的,出现在漏壶上还是首次,这也是凤栖原漏壶比较独特的设计之处,它把青铜器上常见的精美的饕餮纹衔环巧妙的设计在漏壶上,不仅增加了器物的观赏性,而且增加了它的实用性,易于搬取、挪动,甚至还可以悬挂使用。《周礼》中记载^[1]:“凡军事,悬壶以序聚。凡丧,悬壶以代哭者。皆以水火守之,分以日夜。”可见漏壶是可以悬挂起来使用的,凤栖原漏壶是目前悬挂漏壶的唯一实物。

5 结论

凤栖原漏壶在经过科学地保护修复后,粉状绣得到了有效地控制,从处理多年后的器物的稳定状况看,处理的方法是科学合理的。同时把印在漏壶表面多处的人字纹、平织纹痕迹也清晰的保留了下来,展示了另一个西汉漏壶的完整形象,为后续研究提供了重要的实物标本。尤其是通过3D显微照相技术对漏壶表面附着物的观察,不仅发现了编织物,而且还发现有类似纺织物和大漆的东西,这些是不是汉代人极为善用的竹筥、竹箬留下的遗迹呢?据考证从战国开始,人们就开始使用竹编器盛放东西,这种风气一直延续到汉,而且在汉代尤为盛行,人们常常把圆的竹编箱子叫做箬,方的叫做筥,可以盛放各种东西,而并非仅限于盛放食品或丝织物^[4],在长沙马王堆汉墓的出土物中,就有大量完整的竹筥^[5],在汉代一般平民盛放东西多用竹器,只有贵族才能够用铜器和彩画的漆器,而且里面全用黄绢衬里^[6]。遗憾的是由于样品已完全腐蚀变质且易碎太小,难于取样作进一步的科学分析。

漏壶在汉代仅为达官贵族所使用,是比较珍贵的实用器物,这一点可以从目前漏壶的出土数量上得以证实。即使在科技高度发达的今天,它的设计仍旧是非常科学的。首先是它的三个蹄形足,除了考虑到美观外,更具稳定性。其实这样的三足设计还具有另外两个优点,一是移动起来拿取方便,二是在寒冷的冬季,为了防止漏壶结冰,可以在漏壶下很容易地加热烘烤。至于三足做成蹄形,王振铎先生曾撰文探究其文化渊源,当然这是与当时社会的文化背景和人们的审美观密切相关的。

其次出水孔设计在流管终端面的中心位置,与水平面6°的夹角斜向下伸出,根据地球引力的作用,水会自然地顺势流出,发生堵塞的几率是非常小的。即便有水垢,也往往会沉积在流管底部,一般不会发生堵塞。但根据现代实验结果证明,如果流管水平伸出,水滴回勾现象会非常严重,水滴滴下时的位置离流管端口较远(尤其在水滴速度很慢时),从而导致流出的水不能完全流入承接的容器内。

总之,凤栖原漏壶的保护和修复不管是对古代计时系统的发展、演变、改进和研究,还是为后续研究都提供了非常珍贵的实物资料,尤其是对漏壶上有机残留物标本、印痕的科学观察及粉状绣的处理技术为同类问题器物的保护和环境考古提供了可鉴的经验和信息。

参考文献:

- [1] 马 怡. 汉代的计时器及相关问题[J]. 中国史研究, 2006(3): 17.
MA Yi. The timer of Han Dynasty and related problems[J]. Study Chin History, 2006(3):17.
- [2] 王振铎. 西汉计时器“铜漏”的发现及其有关问题[J]. 中国历史文物, 1980: 116-125.
WANG Zhen-duo. Discovery and related problems of bronze timer of West Han Dynasty [J]. China Historical Relics, 1980: 116-125.
- [3] 兴平县文化馆, 茂陵文管所. 陕西兴平汉墓出土的铜漏壶[J]. 考古, 1978(1):70.
Xingping County Museum, Maoling Cultural Management. The bronze clepsydra unearthed from Tomb of Han Dynasty At Xingping County, Shaanxi Province [J]. Archaeology, 1978(1):70.
- [4] 张显成. “箭”器所指新解[J]. 文史杂志, 1994(1): 39.
ZHANG Xian-cheng, “Si” is refers to new explanation [J]. J Literat History, 1994(1):39.
- [5] 湖南省博物馆, 中国科学院考古研究所. 长沙马王堆一号汉墓(上)[M]. 北京: 文物出版社, 1973.
Hunan Provincial Museum, Chinese Archaeological Research Academy of Sciences. ChangSha No. 1 Han Dynasty tomb Of Mawangdui (part 1) [M]. Beijing: Cultural Relics Publishing House, 1973.
- [6] 湖南省博物馆, 中国科学院考古研究所. 长沙马王堆二、三号汉墓发掘简报[J]. 文物, 1974(7):39-48.
Hunan Provincial Museum, Chinese Archaeological Research Academy of Sciences. The No. 2 And NO. 3 tomb excavation report Of ChangSha Mawangdui [J]. Cultural Relics, 1974(7):39-48.

Protection, restoration and investigation of a Western Han dynasty bronze clepsydra

YANG Mang – mang

(Shannxi Provincial Institute of Archaeology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to facilitate the construction of Shannxi Aerospace Industrial Park, a group of Han dynasty tombs were excavated by the Fengxiyuan archaeological team of the Shaanxi Province Archaeological Institute in 2008. A bronze clepsydra was found in pit K4. A lot of information was obtained during the process of conservation, restoration and microscopic observation of the bronze clepsydra. This research helped to control the powdery rust and to uncover some attachments left on the object. What are these attachments? What is the relationship between these attachments and the clepsydra? How did the clepsydra keep time? This article discusses these questions. This research has provided useful information with regard to Western Han dynasty customs, social etiquette, funeral system and the technology available for measuring time.

Key words: Bronze clepsydra of the Western Han dynasty; Protection and restoration; Microscopic observation of attachments; Timing mechanism

(责任编辑 潘小伦)