



# 西周时期周原地区的周原出土周原镀锡技术及文化意义

- ◆ 陈建立 (北京大学考古文博学院)
- ◆ 张周瑜 (山西省考古研究院)
- ◆ 种建荣
- ◆ 雷兴山 (北京大学考古文博学院)

**摘要:**通过对陕西孔头沟遗址宋家墓地与周原遗址姚家墓地出土的4件镀锡青铜器的分析,发现该批样品均为热镀锡工艺所成,镀锡层厚度在15~36 $\mu\text{m}$ 之间,镀锡层主要为 $\delta$ 、 $(\alpha+\delta)+\delta$ 组织。在此基础上,通过对以往中国古代镀锡铜器分析数据的梳理对比,发现中国古代青铜铜器表面镀锡技术自西周早中期开始出现直到东汉早期,陕甘宁地区镀锡制品年代最早,巴蜀文化区、古滇文化区以及北方毛庆沟等地相对较晚。陕甘宁、巴蜀、古滇地区技术熟练,镀锡处理工艺具有当地特色。本文认识或可有助于中国半月形文化传播带青铜器镀锡技术的深入研究。

**关键词:**宋家墓地 姚家墓地 镀锡技术

**Abstract:** Four pieces of tinned bronzes dated to the Western Zhou period were excavated from the Songjia and Yaojai sites in Zhouyuan area of Shaanxi province. Experimental results show that they were made by hot-dip tinning technology. The tin coating mainly have two layers, consisting of  $\delta$  phase and  $(\alpha + \delta) + \delta$  phase, and its thickness is between 15  $\mu\text{m}$  and 36  $\mu\text{m}$ . Compared with previous researches, the sites of tinned bronzes found in China can be divided into four different regions--northwest area, north area, Bashu area and Dian area. In northwest area, including Shaanxi, Gansu provinces and Ningxia Hui Autonomous Region, we found the earliest tinned bronzes, dated back to the Western Zhou period. While other regions are later. This paper provides new information to understanding the spreading of bronze technology in the half-moon culture communication area of China.

**Key words:** Western Zhou, tinning technology, Zhouyuan site, half-moon culture communication area

迄今所知,中国先秦两汉时期镀锡工艺制品集中发现于从东北到西南的半月形文化传播带地区,其中甘肃灵台白草坡墓地出土西周早期镀锡铜戈年代最早。与白草坡墓地紧临的陕西周原地区,被誉为“青铜器之乡”,已考古发现十多处商周时期青铜器铸造作坊,应是研究中国古代青铜器镀锡技术的重点区域,然以往相关发现与研究甚为薄弱。庆幸的是,近年在周原地区的岐山孔头沟遗址和周原遗址先后发现了多件西周时期的镀锡铜器,为深入研究镀锡工艺提供了新资料。

本文首先分析周原地区新发现的几件镀锡青铜器的制作工艺,并以此为基础,梳理对比以往相关镀锡制品的测试数据,以期了解更多的镀锡技术工艺细节,并促进对中国半月形传播地带镀锡技术的起源与传播等问题的深入研究。

## 一、周原地区的镀锡技术

位于周原地区腹心的陕西岐山孔头沟遗址,东

距周原遗址11公里。该遗址商周时期聚落乃一高级贵族的采邑。2007年在该聚落的宋家墓地发掘出土了2件镀锡青铜器。2007QSM16:4青铜短剑,残长21.5厘米,该墓年代为西周中晚期(图一)。2007QS M25:013为一铜軛脚饰,长4.5、最大径2.7厘米,该墓年代为西周晚期(图二)。



图一 孔头沟遗址宋家墓地 2007QS M16:4 铜短剑



图二 孔头沟遗址宋家墓地 2007QS M25:013 铜軛脚饰

在 2012 年发掘的周原遗址姚家墓地也发现了多件可能为镀锡的青铜器,如 2012FZYM8D2:016 为一铜管状舆饰,长 13.6、管径 2.2 厘米(图三),另有 2012FZYM8D2:011 铜泡、2012FZYM23-12 铜锡、2012FZYM34-D1:04 铜圆管状车饰。这三座墓葬的年代均为西周中期。

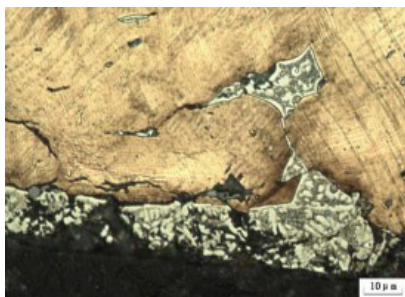


图三 周原遗址姚家墓地 2012FZYM8D2:016 铜管状舆饰

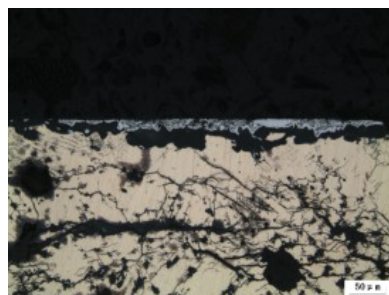
在 2014 年发掘的周原遗址董家东墓地也发现一件青铜戮 2014ZYII C3M11M11:10, 铜锈之下,表面呈银白色,可见菱形“暗纹”。陈建立目测判断此器应为镀锡产品。该墓年代为西周早中期之际(图四)。



图四 周原遗址董家东墓地 2014ZYII C3M11:10 铜戮



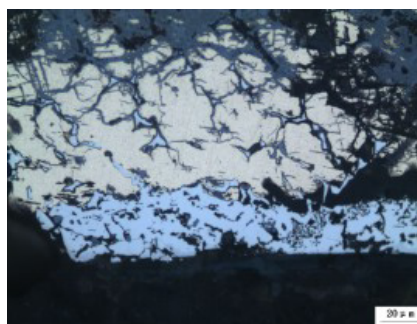
图五 2007QS M16:4 铜短剑 71044 金相照片,铸造



图六 2012FZYM8-D2:011 铜泡 71122 金相照片,冷锻

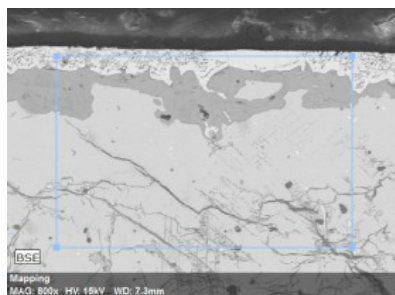


图七 2012FZYM23-12 铜锡 71131 金相照片,冷锻



图八 2012FZYM34-D1:04 车马器 71155 金相照片,铸造  
本文主要利用金相显微镜和扫描电镜能谱对上述器物中的 4 件:孔头沟遗址宋家墓地 2007QS M16:4 铜短剑,周原遗址姚家墓地的 2012FZYM8 D2:011 铜泡、2012FZYM23-12 铜锡、2012FZYM34-D1:04 铜圆管状车饰车马器分别取样分析,实验室编号分别为 71044、71122、71131、71155。

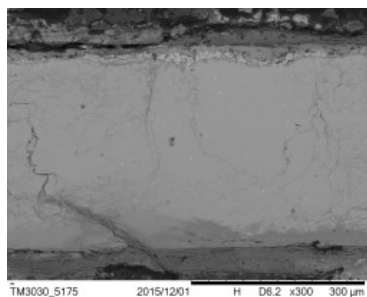
各样品利用树脂镶样,经打磨、抛光后以 3%三氯化铁盐酸酒精溶液浸蚀,首先进行金相组织观察,然后利用扫描电镜能谱进行微区成分分析。金相显微组织观察结果如图五至图八所示;扫描电镜显微组织观察结果见图九至图一一,能谱分析结果见表一。



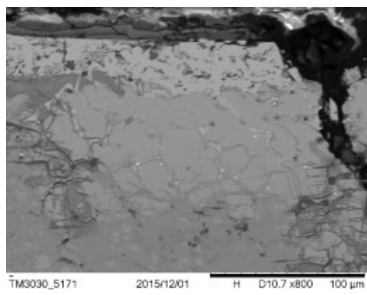
图九 71122 铜泡背散射电子图像

通过对 4 件铜器的分析,发现各样品边沿排列有一层富锡物相,这层富锡相与青铜基体间明显分界,且在镀锡层填补铜基体表面砂眼的痕迹,可确定为镀锡样品。姚家墓地的 3 件样品均为单侧镀锡,宋家墓地的 1 件样品为通体镀锡,其中姚家墓

地样品表面多锈蚀,镀锡层仅残留部分。



图一〇 铜锡背散射电子图像



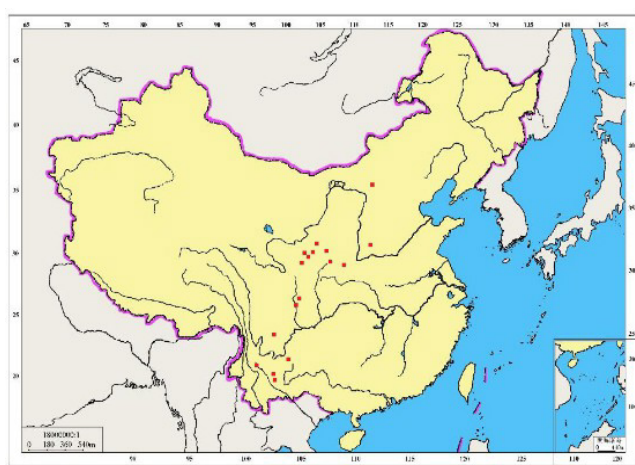
图一一 71155 车马器背散射电子图像

宋家墓地青铜短剑 71044 基体由  $\alpha$  固溶体与少量  $(\alpha+\delta)$  共析体组成,为典型的铸造组织,镀锡层表面平直,可见显微组织结构为  $(\alpha+\delta)$  共析体,厚度约  $18\mu\text{m}$ 。

姚家墓地铜泡 71122 基体为等轴晶组织,近镀锡层侧存在大量滑移带,为铸后加热再冷锻所成。青铜基体表面存在较多砂眼,但镀锡层表面平直,结构不均匀,局部结构致密,检测结果接近  $\delta$  相,局部存在较多孔隙,检测结果接近  $\epsilon$  相,镀锡层厚度在  $18\sim 36\mu\text{m}$  之间。铜锡 71131 基体显微组织结构与铜泡 71122 相似,为典型的铸后加热再冷锻的组织。铜器表面残留部分镀锡层,无镀锡层部位已锈蚀,且锈蚀已透过断裂口延伸到青铜基体内部。镀锡层结构均匀,但出现较多连接基体与外部的裂

纹,镀锡层内侧青铜基体也出现不同程度的锈蚀。镀锡层检测结果接近  $\delta$  相,厚度在  $17\sim 25\mu\text{m}$  之间。车马器 71155 基体为  $\alpha$  固溶体与  $(\alpha+\delta)$  共析体组织,铸造成型,近镀锡层侧的铜基体未发现明显的受热痕迹。镀锡层表面平直,显微组织结构不均匀,大部分检测结果接近  $\delta$  相,存在少量空隙较多的  $\epsilon$  相,且较多灰色夹杂物,镀层整体厚度约  $20\mu\text{m}$ 。

可见,本次分析的 4 件铜器镀锡层显微组织结构、成分及厚度相似度高,均未发现汞残留,当属于同一种人工表面镀锡工艺的产物。



图一二 中国出土镀锡器地点统计图

## 二、周原地区出现镀锡技术的文化意义

随着考古工作的不断进展,先秦时期镀锡铜器数量的发现越来越多,出土地点相对比较集中。目前,除陕西周原、孔头沟遗址、甘肃灵台白草坡外,陕西西安少陵园、郫县竹瓦街以及山西翼城大河口等地也发现西周时期的镀锡铜器,内蒙古凉城县、宁夏固原、甘肃张家川、清水和秦安、重庆峡江流域、四川成都、绵竹<sup>⑪</sup>和盐源<sup>⑫</sup>、云南晋宁、玉溪<sup>⑬</sup>、曲靖<sup>⑭</sup>和大理<sup>⑮</sup>等地发现大量春秋至东汉早期的镀锡制品。由此可见,中国古代铜器表面镀锡技术自西周早中期开始直到东汉早期,集中发现于从东北到西南的半月形文化传播带地区<sup>⑯</sup>,具体地点见图一二。其中周原地区及其邻近的甘肃灵台白草坡镀锡青铜器年代为西周早中期,乃半月形地带中最早出现镀锡青铜

实验室 编号	扫描部位	成分/wt%				合金类型	镀锡层厚度/ $\mu\text{m}$	图示
		Cu	Sn	O	S			
71122	镀锡层	66.3	33.5	0.2		$\delta$ 相	18~36	图九
		48.5	45.7	5.8		$\epsilon$ 相		
	铜基体	84.7	14.6	0.5	0.2	铜锡合金		
71131	镀锡层	67.6	31.9	0.5		$\delta$ 相	17~25	图十
	铜基体	86.2	13.7	0.1		铜锡合金		
		87.6	12.2	0.2				
71155	铜基体	83.4	14.6	2.0		铜锡合金	20 左右	图十一
	镀锡层	62.6	32.7	4.4	0.3	$\delta$ 相		

表一 样品的 SEM-EDS 成分分析数据

器之地。相对而言,陕甘宁地区镀锡制品年代最早,其他地区较晚。这一现象值得重视,这可能事关镀锡技术的来源问题。而战国晚期马家塬墓地出土锯齿状三角形镀锡纹饰铜器制品(图一三),装饰风格与地中海沿岸地区相同,也许反映了某种技术和文化交流的可能性。



图一三 经过打磨的马家塬墓地铜伞杆箍(M1L:34)

与周原地区孔头沟遗址和周原遗址上述测试铜器具有类似镀锡层结构与厚度的还有甘肃东部、宁夏南部地区出土的春秋战国镀锡铜器。但清水刘坪、张家川马家塬战国墓地及宁夏固原地区多数铜器镀锡层表现出多层结构,除 $\delta$ 相外,还存在 $(\alpha+\delta)$ 共析体与 $\varepsilon$ 相,甚至少数镀层最外侧出现 $\eta$ 相。甘肃灵台白草坡出土的西周早期青铜戈与姚家墓地、宋家墓地出土铜器镀层的相似度极高,马清林对镀层仅存在 $\delta$ 相的现象,提出在青铜器后期处理中,外层 $\varepsilon$ 、 $\eta$ 相被打磨掉的可能<sup>①</sup>。中国古代热镀锡工艺下的镀锡层结构主要涉及到三种物相:浅灰色的 $\delta$ 相、灰至蓝色的 $\varepsilon$ 相、灰白色的 $\eta$ 相,其中 $\delta$ 相与 $\varepsilon$ 相结构较致密, $\eta$ 相易剥落。我们在研究甘肃清水刘坪与马家塬战国戎人墓地出土镀锡青铜器时,镀锡层分析数据中鲜有 $\eta$ 相,且观察到铜器表面镀锡花纹上存在明显的打磨痕迹,打磨痕迹平行连续到纹饰外的铜器上(图一三),为镀锡后再打磨的证据。本次分析宋家墓地与姚家墓地的4件铜器镀锡层表面平直,也经过打磨处理。

目前,关于中国古代人工表面镀锡技术的判断仍存在一定争议,主要集中在热镀锡与鎏锡的判定方面。鎏锡过程主要是利用汞与粉状锡或高锡青铜形成汞齐,涂抹于器表再加热驱汞,其往往需要更高的加热温度及更长的保温时间,才可以达到与中国古代青铜镀锡层相同的结构。温度过低,驱汞不完全,温度过高会形成高温铜锡固溶体,溶解较多的汞,导致器表发黑。但长期的埋藏作用,鎏锡生成不稳定 $\text{Sn}_8\text{Hg}$ 会分解流失,镀锡层也可能受到环境的污染,故镀层中是否存在 $\text{Hg}$ 不足以区分热镀

锡与鎏锡技术。但汞有很强的扩散性与渗透性,驱汞温度较高,汞向铜基体内部扩散,与之形成 $\text{CuHg}$ 、 $\text{Cu}_{15}\text{Hg}_{11}$ ,而会出现扩散印,以及因渗透扩散导致铜基体严重受损、器表花纹变形的情况<sup>②</sup>。而热镀锡工艺较鎏锡工艺更易得到与古代相似的镀层结构与厚度。

宋家墓地与姚家墓地铜器镀锡层厚度在 $15\sim 36\mu\text{m}$ 之间,且出现 $\delta$ 相与 $(\alpha+\delta)$ 共析体。依据 N. Meeks<sup>③</sup>、马清林、姚志辉<sup>④</sup>等人的模拟实验可知,样品加热 $450^\circ\text{C}$ 以上,镀锡层中才可能出现 $\delta$ 相。此温度已达到 $\text{Sn}_8\text{Hg}$ 分解及 $\text{CuHg}$ 、 $\text{Cu}_{15}\text{Hg}_{11}$ 形成的温度。本次分析样品近镀锡层侧的铜基体未见因渗透扩散出现的受损,且镀层中也未发现 $\text{Hg}$ ,因此,宋家墓地与姚家墓地镀锡铜器为热镀锡产物的可能性大。

目前在欧亚大陆东西两端均发现镀锡铜器的使用。在英国、法国、西班牙、希腊等地也发现不少早期镀锡制品,其中意大利和英国出现于公元前2000年左右或更早,西班牙(1500-1000BC)、法国(公元前5世纪)和希腊(公元前5世纪)稍晚,一直流行于中世纪东南欧地区。如英格兰 Barton Stacey 出土一件公元前2000年的铜平斧<sup>⑤</sup>,系锡石还原法镀锡工艺处理而成<sup>⑥</sup>。同样工艺处理的还有伊比利亚半岛出土西班牙晚期青铜时代(1500-1000BC)青铜剑<sup>⑦</sup>。在法国发现公元前5世纪的凯尔特镀锡青铜马刺<sup>⑧</sup>;La Tène 文化出土公元前450-500年凯尔特人的镀锡青铜盘<sup>⑨</sup>;以及公元前5世纪初早期 Halstatt 文化的镀锡胸针和手镯<sup>⑩</sup>。根据 N. D. Meeks 的报道<sup>⑪</sup>,在地中海地区,一件公元前5世纪的希腊头盔的面颊碎片系镀锡,还有一些公元前5-3世纪 Etruscan 和同时期希腊文化的低锡青铜镜可能被镀锡。罗马时期,广泛运用镀锡技术装饰各种铜器表面,如发现有镀锡马套和头盔,与真人同样大小的镀锡阅兵面具,以及镀锡炊具等。在其后的中世纪时期,镀锡青铜器亦一直流行。于此提及的是,2012和2015年,陈建立两次考察俄罗斯图瓦共和国阿尔赞II号墓出土器物,发现其中一件铜刀也经镀锡处理,其时间为公元前7世纪。

由上可知,古代欧洲地区至迟自公元前2000年开始使用镀锡技术,并一直持续到中世纪。中国的镀锡技术始于西周早中期,一直持续到东汉早期,集中发现于从东北到西南的半月形文化传播带

地区,并存在一个传播过程。

其实,铜矿开采、冶炼和铸造的全过程中,还能够发现更多的这种“同质”现象,如中国不同地区发现的采矿石锤、鼓风管、石范,以及铜器的锻造技术等等,也反映中国冶金术应与西方有一定联系。再如,在陕西宝鸡地区(如石鼓山墓地和姚家墓地)还多次发现锻造的铜甲片类器物,其制作技术也应与西方有一定联系<sup>②</sup>。

### 三、再论中国古代镀锡技术

目前,全国范围内已发表分析数据的镀锡铜器已超过 60 件,该批器物表面镀锡部位均具有白色光泽,镀层与基体分界明显,镀层表面平直,且存在填补基体表面砂眼的痕迹,未锈蚀的镀锡层中不见汞、铅元素,近镀层侧的铜基体未见严重的渗透受损,器表镀锡花纹边界明显,无明显扩散痕迹,可确定为人工镀锡的产物。马清林等认为鎏锡也属于热镀锡工艺,并最终通过对青铜戈的宏观观察,认为白草坡西周墓地出土的青铜戈为锡汞齐镀锡的产物。但与该批青铜戈有相似镀锡层结构与厚度的陕甘宁其他地区西周至战国出土的镀锡铜器中,未见到确认为鎏锡产物的证据,且已发表的镀锡铜器数据中也未发现相关证据。因此,我们推测中国古代南北铜器表面镀锡技术为同一技术传统,即热镀锡工艺的可能性大。

根据镀锡器物宏观特点、镀锡层结构与厚度等方面的异同,可将中国镀锡铜器区大致分为三大区域:其一,陕甘宁及内蒙古地区,主要为镀锡青铜饰件、车马器、

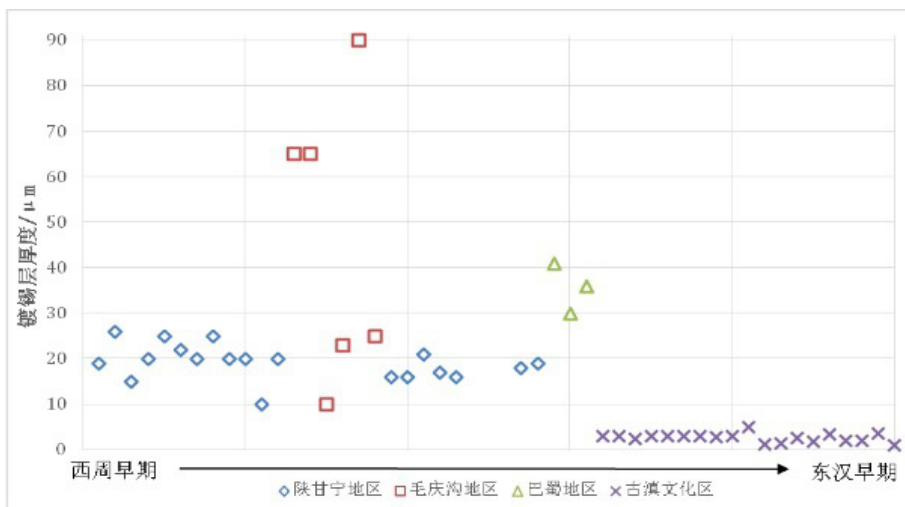
兵器等,存在单面镀锡、双侧镀锡及具有当地特色的几何纹饰镀锡;其二,晚期巴蜀文化区,镀锡样品以青铜兵器为主,斑纹镀锡或通体镀锡者多,最具特色的为当地的虎斑纹镀锡青铜剑;其三,南部古滇文化区,出土多为镀锡兵器,基体有红铜,也有青铜,存在通体镀锡与具有当地特色的几何纹饰镀锡。

为进一步探讨镀锡层厚度及镀锡层结构与出土地区之间的关系,现将已发表数据进行统计分析如下(表二与图一四)。

综上所述,各地区镀锡青铜器的镀锡层组织结构、厚度与遗址所处地区、遗址年代之间存在一定的关系,且这种关系显著。

表二 中国古代青铜器镀锡层分析结果统计表

镀锡层平均厚度/ $\mu\text{m}$		$\leq 10$	15-29	30-50	50-85	85 以上	厚度不明	小计	合计
镀锡层结构	地区								
$\eta/\text{Sn}$	北方								11
	巴蜀								
	古滇	11						11	
$\epsilon, \eta$	北方	2	1				1	4	14
	巴蜀								
	古滇	9	1					10	
$\delta, \epsilon, \eta$	北方		8					8	13
	巴蜀								
	古滇	2						2	
$(\alpha+\delta)+\delta, \epsilon, \eta$	北方		14		2	1	2	19	22
	巴蜀			3				3	
	古滇								
合计		24	14	3	2	1	3	60	



图一四 镀锡层总厚度与样品年代对应图

陕甘宁地区出土样品年代最早,早至西周早期,晚至战国晚期,该时期的镀锡青铜器多为青铜饰件、车马器等,形制上地域特色明显,镀锡工艺统一,镀锡层厚度集中在 $15\sim 30\mu\text{m}$ 左右,镀锡层结构由内到外多为 $[(\alpha+\delta)+\delta,\varepsilon,\eta]$ ,少数为 $(\delta,\varepsilon,\eta)$ 与 $(\varepsilon,\eta)$ 类型。镀锡层厚度与结构时间前后变化不大,结构统一性高,从一定程度上说明西周时期陕甘宁地区人民已熟练掌握了青铜镀锡工艺,这可能与当地周原地区集中的青铜冶铸作坊、高超的冶铸技术具有一定的联系性。

与陕甘宁地区具有相似结构的内蒙古毛庆沟墓地的镀锡器,年代相对晚一些,由战国至秦,主要为青铜饰件,镀锡层厚度波动大,结构统一性不高,推测与当地青铜镀锡技术熟练度不高有关,其相对于陕甘宁地区的落后可能与两地区不同的青铜冶铸模式有关。

晚期巴蜀文化区镀锡青铜器多为战国时期,镀锡层成分与陕甘宁地区有相似之处,但器物类型、纹饰、镀锡层显微组织形貌具有明显的当地特色,多在兵器上施以虎斑纹等独特的纹饰,镀锡层厚度集中在 $30\sim 50\mu\text{m}$ 之间,镀锡层显微组织结构与陕甘宁地区的差异可能与镀锡后的冷却速度有关。可见,战国时期,当地已形成独具特色的镀锡风格,且同南、北地区差别明显。

古滇文化区镀锡器物出现时间较晚,主要为青铜兵器,集中在战国末期至东汉早期,镀锡层厚度集中于 $5\mu\text{m}$ 以下,镀锡层结构由内到外为 $(\varepsilon,\eta)$ 或 $\eta$ ,本次统计数据中两件祥云红土坡样品为 $(\delta,\varepsilon,\eta)$ ,内层 $\delta$ 结构极薄,基本可归纳入 $\varepsilon-\eta$ 类。镀锡层结构与厚度在时间前后变化不大,虽无耐腐蚀性 $\delta$ 相,但结构统一性高,从节约锡料上来看,是多地区中最优。可见战国末期南方古滇文化区已经熟练掌握镀锡技术,且能高效地利用少量锡而获得优美外观,镀锡技术业已形成地方特色。

#### 四、结语

通过对宋家墓地与姚家墓地出土镀锡青铜器的分析,了解到该批青铜器有铸造、铸后加热再冷锻等技术制成,表面镀锡技术主要为热镀锡工艺,各样品镀锡层厚度在 $15\sim 36\mu\text{m}$ 之间,镀锡层主要为 $\delta$ 与 $(\alpha+\delta)+\delta$ 组织。两遗址镀锡工艺的确定有

助于判断中国早期人工镀锡技术的年代。通过进一步对比北方毛庆沟墓地、陕甘宁地区、巴蜀文化区、南方古滇文化区的镀锡青铜样品,总结出各地区出土样品镀锡层结构、总厚度与遗址的地理位置、年代之间关系,认为陕甘宁地区最早,镀锡层厚度集中在 $15\sim 36\mu\text{m}$ 之间,镀锡层结构由内到外主要为 $[(\alpha+\delta)+\delta,\varepsilon,\eta]$ ,古滇文化区最晚,镀锡层厚度集中在 $5\mu\text{m}$ 以下,镀锡层结构由内到外主要为 $(\varepsilon,\eta)$ 。各地区镀锡技术的掌握程度不同,其中以毛庆沟墓地最弱,其他地区掌握程度较高,且均形成各地特色的镀锡风格。各地演变结果应与各地区青铜文化背景与青铜冶铸模式关系密切。本文认识或可有助于中国半月形文化传播带青铜器镀锡技术的深入研究。

注释:

本文得到国家文物局“文物保护科技优秀青年研究计划(No.2014226)”课题的资助。

孙淑云、李晓岑、姚智辉等:《中国青铜器表面镀锡技术研究》,《中国冶金史论文集(第五辑)》,第472~488页,科学出版社,2012年。

①马清林、大卫·斯科特:《甘肃灵台白草坡西周早期青铜戈镀锡技术研究》,《文物》2010年第4期。

种建荣、张敏、雷兴山:《岐山孔头沟遗址商周时期聚落性质初探》,《文博》2007年第5期。

少陵原、竹瓦街和大河口墓地的镀锡铜器系陈建立观察而得,尚未经科学检测。

韩如玢、埃玛·邦克:《表面富锡的鄂尔多斯青铜饰物的研究》,《文物》1993年第9期。

a.孙淑云:《宁夏固原春秋战国时期两件青铜饰物表面镀锡层的SEM-EDS分析与研究》,《文物科技研究》(第五辑),科学出版社,2007年;b.马清林、苏伯明、胡之德等:《中国文物分析鉴别与科学保护》,科学出版社,2001年。

a.黄维、陈建立、吴小红等:《马家塬墓地出土表面富锡铜器研究》,《商周青铜器的陶范铸造技术研究》,文物出版社,2011年;b.邵安定、梅建军、陈坤龙等:《张家川马家塬战国墓地出土金属饰件的初步分析》,《中国冶金史论文集》(第五辑),科学出版社,2012年。

陈建立、张周瑜、杨军昌等:《金银和镀锡铜器的制作工艺研究》,甘肃省文物考古研究所,清水县博物馆:《清水刘坪》,文物出版社,2014年。

甘肃省文物考古研究所:《甘肃秦安王洼战国墓地2009年发掘简报》,《文物》2012年第8期。

(下转第114页)

第2期。

⑪黄展岳:《南越国出土铁器的初步考察》,《考古》1996年第3期。

⑫陈建立、黄全胜、李延祥等:《贵州赫章可乐墓葬出土铁器的金相实验研究》,贵州省文物考古研究所:《赫章可乐2000年发掘报告》,文物出版社,2008年。

⑬张增祺:《云南开始用铁器的时代及其来源问题》,《云南省博物馆.云南省博物馆学术论文集》,云南人民出版社,1989年。

⑭李晓岑、韩汝玢、杨帆:《昆明羊甫头出土金属器的初步研究》,云南省文物考古研究所、昆明市博物馆、官渡区博物馆:《昆明羊甫头墓地》,科学出版社,2005年。

⑮陈建立、杨琮、张焕新等:《福建武夷山城村汉城出土铁器的金相实验研究》,《文物》2008年第3期。

⑯李延祥:《东南亚冶金考古》,《中国冶金史料》1993年第2期。

⑰Stech T, Maddin R. Reflections on Early Metallurgy in Southeast Asia. The Beginning of the Use of Metals and Alloys [M]// R Maddin. The Beginning of the Use of Metals and Alloys. Papers from BUMA- . Zhengzhou, China: The MIT Press, 1988: 163-174.

⑱Higham C. Prehistoric Metallurgy in Southeast Asia: Some New Information from the Excavation of Ban Na Di [M]// R

Maddin. The Beginning of the Use of Metals and Alloys. Papers from BUMA- . Zhengzhou, China: The MIT Press, 1988: 130-155.

⑲Murowchick R. E. The Development of Early Bronze Metallurgy in Vietnam and Kampuchea: A Reexamination of Recent Work [M]// R Maddin. The Beginning of the Use of Metals and Alloys. Papers from BUMA- . Zhengzhou, China: The MIT Press, 1988: 182-199.

⑳Suchitta P. History and development of iron smelting technology in Thailand [D]. USA, Providence: Brown University, 1983: 110-136.

㉑黄全胜、李延祥:《广西贵港地区早期冶铁遗址初步考察》,《有色金属》2008年第1期。

㉒黄全胜、李延祥:《广西平南六陈坡嘴遗址冶炼技术研究》,《有色金属》2011年第1期。

㉓黄全胜、李延祥:《广西平南县铁屎塘冶炼遗址初步研究》,《四川文物》2012年第1期。

㉔黄全胜、李延祥:《广西桂平罗秀古代冶铁遗址群初步研究》,《中国科技史杂志》2012年第4期。

㉕郑超雄:《平南县六陈汉代冶铁遗址》,中国考古学会:《中国考古学年鉴(1989)》,文物出版社,1990年。

(上接第108页)

①②姚智辉:《晚期巴蜀青铜器技术及兵器斑纹工艺探讨》,科学出版社,2006年。

③崔剑锋、吴小红、刘弘等:《四川盐源出土的一件镀锡九节鱼纹鸡首杖》,《文物科技研究(第五辑)》,科学出版社,2007年。

④a.李晓岑、韩汝玢、蒋志龙:《云南晋宁石寨山出土金属器的分析和研究》,《文物》2004年第11期;b.韩汝玢、李晓岑:《云南古滇地区的金属制作技术与北方草原青铜文化》,《文物科技研究(第五辑)》,科学出版社,2007年;c.孙淑云、李晓岑、姚智辉等:《中国青铜器表面镀锡技术研究》,《中国冶金史论文集(第五辑)》,科学出版社,2012年。

⑤李晓岑、赵凤杰、刘成威等:《云南省曲靖市平坡墓地出土铜器的技术分析》,《江西理工大学学报》2012年第6期。

⑥李晓岑、雅丽、刘杰等:《云南祥云红土坡古墓群出土金属器的初步分析》,《文物》2011年第1期。

⑦孙淑云、李晓岑、姚智辉等:《中国青铜器表面镀锡技术研究》,《中国冶金史论文集(第五辑)》,科学出版社,2012年。

⑧张少昀、秦颖:《加热过程中古代铜镜表面“锡汞齐”相变分析》,《光谱学与光谱分析》2010年第10期。

⑨N. D. Meeks, Tin-rich Surfaces in Bronze—some Ex-

perimental and Archaeological Considerations, Archaeometry 28, 1986(2): pp.133-162.

⑩Kinnes, I. A., Craddock, P. T., Needham, S. and Lang, J. Tin plating in the Early Bronze Age: the Barton Stacey axe. Antiquity 53, 1979(208): 141-143.

⑪MEEKS N. D. Tin-rich Surfaces on Bronze — Some Experimental and Archaeological Considerations. Archaeometry 28, 1986(2): 133-162.

⑫Rovira S. Tinned surface in Spanish Late Bronze Age swords. Surface Engineering 21, 2005(5-6): 368-372.

⑬Hedges, E. S. Tin in social and economic history. London: Edward Arnold, 1964.

⑭Savory, H. N. A new hoard of La Tène metalwork from Merionethshire. The Bulletin of the Board of Celtic Studies 20, 1964(4): 449-475.

⑮Savory, H. N. Further notes on the Tal-y-Lylyn (Mer.) hoard of La Tène metalwork. The Bulletin of the Board of Celtic Studies 22, 1966(1): 88-103.

⑯MEEKS N. D. Tin-rich Surfaces on Bronze — Some Experimental and Archaeological Considerations. Archaeometry 28, 1986(2): 134.

⑰陈坤龙、梅建军、邵安定等:《陕西宝鸡石鼓山新出西周铜甲的初步科学分析》,《文物》2015年第4期。