

河南荥阳官庄遗址铸铜技术与金属资源变迁初步研究*

- ◆ 张 吉 (北京大学考古文博学院)
- ◆ 郜向平
- ◆ 丁思聪 (郑州大学历史学院)
- ◆ 赵 昊
- ◆ 陈建立 (北京大学考古文博学院)

摘 要:对荥阳官庄遗址近年发掘的部分铸铜遗物进行显微物相及成分分析,铜渣块均为青铜熔炼渣,产品以铅锡青铜为主,部分样品锡含量较低,与春秋早期中原各诸侯国青铜器的合金技术面貌近同。官庄遗址大部分熔炼渣及铜器与同出的纯铅块具有一致的铅同位素比值;铸铜生产最早及最晚阶段的少数实例,分别与扶风李家及新郑中行铸铜作坊的铅同位素比值特征一致,填补了春秋早期金属资源序列的缺环。综合合金技术、铅料资源及已报道的制范技术,能够初步探讨春秋早中期铸铜作坊技术与资源的变迁。

关键词:官庄遗址;春秋;铸铜技术;金属资源;变迁

Abstract: Microscopic observation and composition analysis are carried out to research some bronze pieces and smelting slags excavated from Guanzhuang site in recent years. The bronze-smelting slags reflect that the products are mainly lead-tin bronze, and some samples have low tin content. The alloying technology is consistent with bronze vessels in the Central Plain during the 8th to 7th century B.C. Most of the smelting slags, bronze pieces and a small lead block excavated from Guanzhuang have similarities on lead isotope ratios. The lead isotope ratios of a few examples of the earliest and latest stages of the site are each consistent with smelting slags from Zhouyuan Lijia and Xinzheng Zhonghang Site, which could fill the gap of the metal resource sequence in the 8th to 7th century B.C. Combining alloying technology, types of lead resources, and the reported production technology of clay moulds, it is possible to preliminarily discuss the changes of technology and resources in bronze casting workshop in the early and mid-Spring and Autumn period.

Key Words: Guanzhuang Site; Spring and Autumn period; Bronze casting technology; Metal resources; Change

官庄遗址位于河南省荥阳市高村乡官庄村西,主体为一座两周时期城址^①,并在大城北部发现了春秋时期的铸铜作坊^{②③}。自2018年开始,郑州大学历史学院与北京大学考古文博学院等单位合作,对官庄遗址出土多种铸铜遗物进行科学分析研究。本文主

要对2015~2018年发掘所获铜渣块及青铜器等合金样品进行成分及铅同位素比值分析。

一、样品情况及分析结果

本次共分析样品34件,样品信息列于表一。其中

*本课题得到国家重点研发计划(2019YFC1520205、2020YFC1521606)、郑州中华之源与嵩山文明研究会重大课题《中原地区古代青铜冶铸体系的形成过程研究》、国家自然科学基金重大课题(17ZDA219)的资助。

表一 荥阳官庄遗址出土部分铸铜遗物及金属器相关信息及性质判断

实验室编号	遗迹单位	器物号	探方号	样品类别	样品描述	合金区域性质判断	渣层性质判断
450106	H1187	H1187④:11	T1410-2	炉壁	炉壁表面粘附少量渣	锡青铜	
450107		H1187③:20	T1410-2	铜渣	样品较小		铅锡青铜
450108		H1187②:1	T1410-2	粘渣铜块	表面粘附大量不均匀铜渣	铅锡青铜	铅锡青铜
450109		H1187②:15	T1410-2	粘渣铜块	样品较小,外表粘渣	铅(锡)青铜	铅锡青铜
450110		H1187①:8	T1410-2	铜片	壁薄,受热变形	锡青铜	
450101	H1337	H1337:2	T1510-3	残铜片	壁厚约 0.2 厘米,金属断面呈橙红色	锡青铜	
450111-1	H1341	H1341④:2	T1811-1	粘渣铜块	铜块一侧粘附黑色玻璃态渣	铅锡青铜	铅锡青铜
450111-2				粘渣炉壁	砖红色炉壁粘附厚层铜渣	(铅)锡青铜	
450112		H1341④:252	T1811-1	粘渣炉壁	灰褐色炉壁粘附少量渣,可见金属颗粒	锡青铜	
450102	H1367	H1367:1	T1711	铜块	表面未粘附铜渣	铅锡青铜	
450103	H1538	H1538:1	T1711-1	铜渣	颗粒或瘤状小块,表面有褐色硬结层		铅锡青铜
450113	H1573	H1573②:7	T1711-3	炉壁	灰褐色炉壁,局部附着薄层暗色渣		锡青铜
450114-1		H1573③:15	T1711-3	铜容器残片	残长 5.2 厘米,壁厚 0.5 厘米,局部有纹饰	铅锡青铜	
450114-2				粘渣铜块	铜块厚约 0.5 厘米,表面粘附黑色渣	铅锡青铜	
450115		H1573②:3	T1710-1	铜渣	小铜粒团聚成块状,锈蚀严重	(铅)锡青铜	铅锡青铜
450104	H1690	H1690:1	T1711-4	粘渣炉壁	砖红色炉壁表面粘附墨绿色渣及铜锈	铅锡青铜	
450105	H1701	H1701②:2	T1711	铜渣	可见薄片外裹大量铜渣	铅锡青铜	铅锡青铜
450131	H1790	H1790:7	T1511-1	残铜片	壁厚约 0.2 厘米,可能为铜容器残片	铅锡青铜	
450140	H1819	H1819:5	T1411-2	粘渣铜块	样品小,锈蚀严重	铅青铜	铅锡青铜
450136	H1820	H1820②	T1411-1	铜块	棒状铜块,表面锈蚀	锡青铜	
450142		H1820②:13	T1411-1	粘渣炉壁	样品小		铅锡青铜
450132	H1828	H1828:4	T1510-4	空首布	分析部位为釜残处,表面有大量铅锈	高铅的铅锡青铜	
450133	H1863	H1863:3	T1511-2	金属块	长 2.5 厘米,厚 0.9 厘米,外表灰白至灰褐色,中心露出灰绿色	外表为纯铅 中心为铅锡青铜	
450134	H1966	H1966:4	T1411-2	粘渣铜块	铜块一侧粘附灰白色多孔渣层	铅锡青铜	铅锡青铜
450135	H1978	H1978③:1	T1612-4	铜渣	样品较小,表面粘附褐色土层		铅锡青铜
450137	H1996	H1996③:1	T1610-1	粘渣炉壁	砖红色炉壁粘附厚层渣,局部烧流	铅锡青铜	铅锡青铜
450143	H2086	H2086:1	T1712-4	铜铤	取样部位为釜缘锈块	铅锡青铜	
450138	H2314	H2314	T1411-1	粘渣炉壁	砖红色炉壁粘附薄层渣		铅(锡)青铜
450144		③:11	T1411-2	粘渣炉壁	砖红色炉壁粘附厚层铜渣	铅青铜	铅锡青铜
450121		③:6	T1711-3	铜渣	薄片及小铜块锈结成渣块	铅锡青铜	铅锡青铜
450122		③:8	T1711-3	铜渣	样品较小	铅锡青铜	铅锡青铜
450139		③:5	T1712-2	空首布釜		铅锡青铜	
450120		③:5	T1811	粘渣铜块	铜块粘附多层渣,表面有灰色硬结层	铅锡青铜	铅锡青铜
450123		③:12	T1911-4	削刀	取样部位为刀残处	铅锡青铜	

备注:以 Pb、Sn 质量分数达 2% 为阈值,含量介于 1%~2% 间的加括号注明

表二 荥阳官庄遗址出土炉壁(坩埚壁)中合金及铜渣层区域的成分分析结果(质量分数/%)

实验室编号	分析部位	分析区域	O	S	Cu	Sn	Pb	Fe	As	Si	Al	Ca
450104	炉壁渣层	合金颗粒	2.1		92.4	2.7	1.4	0.4		1.1		
		熔炼渣	23.5		9.0	17.1	14.8	19.2		7.6	1.6	5.9
450106	炉壁渣层	合金颗粒	3.4	0.1	60.4	31.4	0.8	0.7		2.6	0.7	
450111	炉壁渣层	熔炼渣	15.8	0.5	44.4	13.2	12.1	3.3		2.7	0.9	7.1
		渣中铜颗粒	1.8		98.2							
450112	炉壁粘渣	铜锈	24.6	0.2	32.7	34.2	1.1	1.7		4.4	0.5	0.3
450113	炉壁表面	局部玻璃态渣	28.0		10.4	1.1	18.5	2.7		23.6	4.8	6.0
450135	炉壁渣层	熔炼渣	17.4	0.4	3.2	32.8	25.9	6.6		10.2	3.0	
450137	炉壁渣层	合金锈蚀	22.0	0.6	23.0	35.4	13.3		0.5	5.1	0.2	
450142	炉壁渣层	合金锈蚀	12.0	0.8	58.9	18.4	9.2	0.2		0.4		
450144	炉壁渣层	合金颗粒	3.0	0.1	88.1		3.6	0.4	0.8	2.7	0.7	0.3

表三 荥阳官庄遗址出土铜渣块成分分析结果(质量分数/%)

实验室编号	类别	分析区域	O	S	Cu	Sn	Pb	Fe	As	Si	Al	Ca	
450102	铜块	合金区域	4.6	0.5	72.4	17.5	4.7	0.2		0.2			
450108	粘渣铜块	合金区域	1.8		86.0	2.0	5.9	0.3		2.1	0.6	0.8	
		熔炼渣	13.2		14.3	19.4	29.7	2.6		9.5	2.0	7.0	
		渣中胞状富锡相	26.4	0.5	1.4	21.8	6.5	9.1			13	2.1	19.2
		渣中玻璃态区域	15.9	3.0		4.4	50.1	2.2			14.6	2.9	6.9
450109	粘渣铜块	合金区域	1.6	0.6	79.5	1.7	15.3	0.2		0.6		0.4	
		熔炼渣	12.1	0.6	20	18.1	30.8	4.4		6.3	1.3	5.0	
450114-2	粘渣铜块	合金区域	1.8	1.4	79.4	12.9	3.5	1.0					
		渣中富铁区域	21.0	0.2	14.6	25.3	6.1	32.7			0.1		
450115	粘渣铜块	合金区域	0.7	0.4	81.6	15.0	1.4	0.9					
450120	粘渣铜块	合金区域	2.4	0.4	73.9	12.3	8.9	0.6	0.5	1.0			
		熔炼渣	21.6	0.7	11.3	20.6	14.5	9.7		7.0	1.8	9.8	
450121	粘渣铜块	合金区域	2.0	0.6	78.2	15.7	3.4	0.2					
		熔炼渣	24.2		7.3	27.1	5.2	11.3		7.0	0.8	16.3	
450122	粘渣铜块	合金区域	1.5	0.3	83.5	4.6	9.2	0.5					
		熔炼渣	17.5	0.8	4.9	40.6	17.6	8.4		6.7	1.6	0.2	
450134	粘渣铜块	合金区域	1.4	0.1	91.6	3.6	2.4	0.1		0.8			
		熔炼渣	15.4	0.3	9.5	27.9	29.8	2.4		7.5	1.3	5.1	
450136	铜块	合金区域	0.1	0.3	84.4	13.7	0.4	1.1					
450140	粘渣铜块	合金区域	2.2		88		8.8	0.1		0.7			
		熔炼渣	13.2	0.6	20.4	13.4	25.7	4.0		5.5	1.0	14	
		渣中胞状富锡相	23.8		4.9	31.0	4.6	10.4		5.5	1.0	18.5	
450103	铜渣	熔炼渣	26.8	0.8	26.1	9.2	15.4	0.6		10.9	2.5	4.7	
		渣中胞状富锡相	31.3	0.4	2.1	33.1	3.6			13.7	1.5	13.8	
450105	薄铜片及粘渣	金属锈蚀	7.0	0.8	69.3	15.8	5.5	0.4		0.5			
		熔炼渣	18.4	1.1	14.2	34.8	25.4	0.7		4.0			
450107	铜渣	金属锈蚀	10.8		0.3		81.9	0.5		4.4	1.1	0.5	
		渣中富锡区域	21.3		10.0	29	20.7	1.1		14.8	3.0		
		渣中玻璃态区域	24.7		11.2	0.2	28.6	2.7		24.2	4.1	1.7	
450133	金属块	表面铅质区域	4.9	1.1			92.6		0.8				
		中心青铜质区域	0.8	0.8	83.0	5.3	7.6	1.6	0.6	0.4			

表四 荥阳官庄遗址出土残铜片及金属器成分分析结果

实验室编号	器物号	器物名	分析部位	元素质量分数/%							
				O	S	Cu	Sn	Pb	Fe	As	Si
450101	H1337:2	残铜片		0.7	1.0	89.9	5.3		3.1		
450110	H1187①:8	残铜片		13.0	0.2	62.4	20.2		2.6		
450114-1	H1573③:15	容器残片		1.1	0.7	77.5	12.5	6.9	1.2		
450131	H1790:11	残铜片		0.9	0.6	80.6	8.0	9.0	0.8		
450123	T1911-4③:12	削刀		0.9	0.5	82.7	10.4	5.2			0.4
450143	H2086:1	铤		13.1	1.0	61.2	18.9	3.8	0.8		
450132	H1828:4	空首布	锈蚀区域	7.3	1.2	7.0	1.0	81.3			0.4
			低锈蚀区	1.0	0.2	75.2	13.2	9.6		0.5	
450139	T1712-2③:5	空首布釜		1.5	0.7	80.2	10.6	6.9			

表五 荥阳官庄遗址出土铜块及金属器的铅同位素比值分析结果

实验室编号	器物号	器物类别	期别	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{210}\text{Pb}/^{214}\text{Pb}$	比值类别
450134	H1966:4	粘渣铜块	一期	0.8688	2.1334	17.888	A
450114	H1573③:15	铜容器残片	一期	0.8555	2.1080	18.217	B ₁
450115	H1573②:3	铜渣	一期	0.8630	2.1254	18.050	A
450111	H1341④:2	粘渣炉壁	一期	0.8668	2.1316	17.974	A
450109	H1187②:15	粘渣铜块	二期	0.8664	2.1308	17.987	A
450106	H1187④:11	炉壁	二期	0.8664	2.1285	17.959	A
450107	H1187③:20	铜渣	二期	0.8652	2.1266	17.99	A
450101	H1337:2	残铜片		0.8656	2.1292	17.991	A
450102	H1367:1	铜块		0.8659	2.1272	17.982	A
450103	H1538:1	铜渣		0.8661	2.1278	17.974	A
450131	H1790:7	铜器残片		0.8659	2.1258	17.988	A
450136	H1820②	铜块		0.8649	2.1262	18.002	A
450141	H1820②:1	铜环		0.8654	2.1272	18.005	A
450142	H1820②:13	铜渣		0.8659	2.1287	17.979	A
450133	H1863:3	铅块		0.8662	2.1266	17.977	A
450135	H1978⑧:1	铜渣		0.8653	2.1279	17.977	A
450137	H1996③:1	粘渣炉壁		0.8658	2.1273	17.960	A
450143	H2086:1	铜铤		0.8500	2.0993	18.395	B
450138	H2314	粘渣炉壁		0.8609	2.1160	18.073	A-B
450144	T1411-2③:11	粘渣炉壁		0.8662	2.1297	17.993	A
450122	T1711-3③:8	铜渣		0.8659	2.1306	17.994	A
450123	T1911-4③:12	削刀		0.8657	2.1261	17.982	A
450140	H1819:5	铜块		0.8545	2.1137	18.225	B
450132	H1828:4	空首布	二期	0.8514	2.1036	18.373	B
450139	T1712-2③:5	空首布釜	二期	0.8886	2.1651	17.464	C ₀



图一 官庄 H1996:1 炉壁残块

铸铜遗物 26 件,包括炉壁(坩埚壁)样品 10 件,金属渣块样品 16 件;青铜器样品 8 件,其中削刀与铍等工具类器物各 1 件,空首布货币 2 件,厚薄各异的铜器残片 4 件。

样品以北京大学考古文博学院科技考古实验室 Hitachi TM3030 超景深电子显微镜观察形貌,并以 SEM-EDS(扫描电镜联用能谱)进行成分分析,信号采集时间为 90 秒,结果以元素质量分数形式列于表二至表四。样品以王水溶解,稀释后加入 Tl_2SO_4 溶液作为内标^④;利用北京大学地球与空间科学学院 VG Axiom 型 MC-ICP-MS(多通道接收-电感耦合等离子体质谱仪)完成铅同位素比值测定, $^{207}Pb/^{206}Pb$ 与 $^{208}Pb/^{206}Pb$ 比值误差不高于 0.05%,结果列于表五。



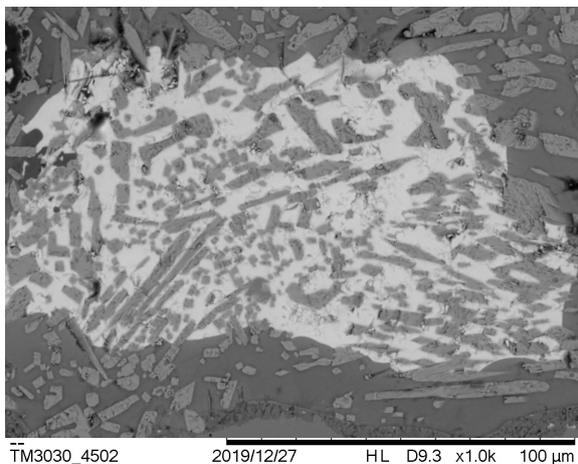
图二 官庄 H1573③:15 铜块及断面

二、合金技术的分析研究

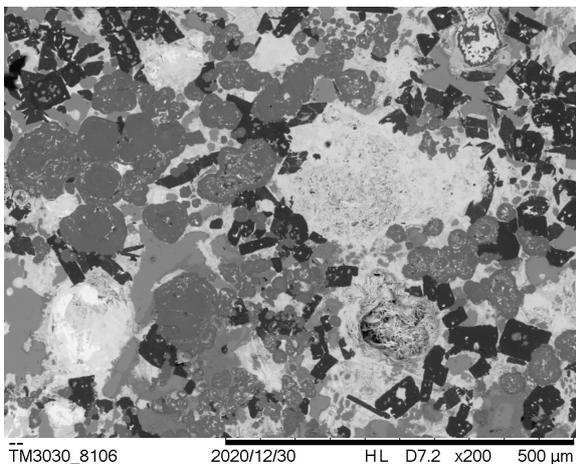
(一)铜渣块的性质判断

官庄遗址出土的铸铜遗物中,有的由宏观形貌即可确定功能,如陶范与制范及浇铸工序有关,粘附铜渣的炉壁(坩埚壁)(图一)当与精炼粗铜或熔炼青铜的工序有关,而有的遗物则需要通过显微形貌观察及物相分析方可确认。铜渣、铜块形貌多样(图二),仅肉眼观察未必能够将粘附熔炼浮渣的铜块与自然锈蚀的金属块准确区分。若能在铜渣、铜块表面找到高温过程产生的特定物相,则能较为准确地判定其为精炼或熔炼产物。

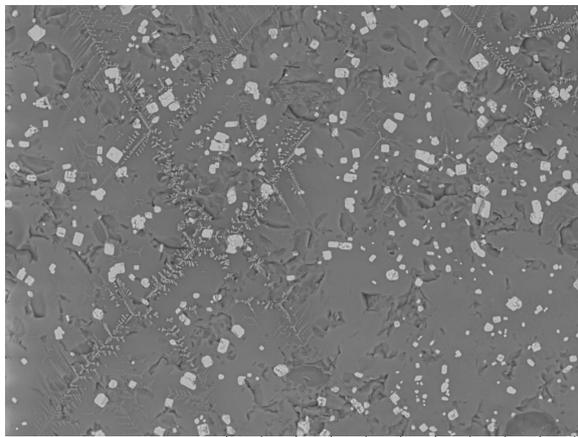
官庄遗址出土的铜渣、铜块,大部分样品表面均存在高温活动产生的物相,指示较强的氧化气氛,可以确定为熔炼青铜时产生的渣块。周文丽对铅锡青



图三 450134 样品背散射电子像
方形及条形锡石颗粒(灰色)弥散分布



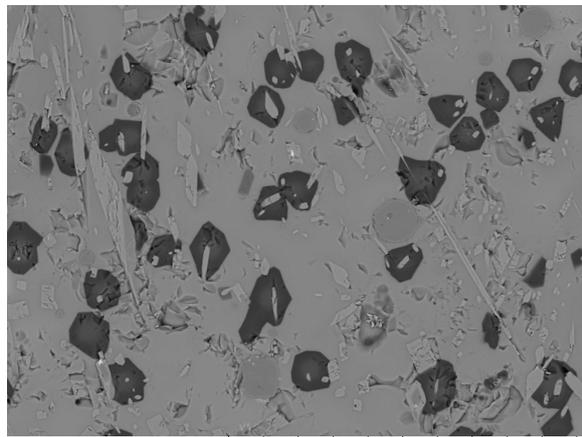
图四 450140 样品背散射电子像
大小各异的球状颗粒(灰色)为锡钙硅酸盐



TM3030_7082 2018/11/01 HL D6.5 x1.0k 100 μm

图五 450113 样品背散射电子像

方形锡石颗粒及枝状氧化亚铜晶体
弥散分布于铅硅酸盐基体之上



TM3030_7283 2018/11/14 HL D5.6 x1.0k 100 μm

图六 450108 样品背散射电子像

方形及条状锡石颗粒(浅灰色)
与胞状锡铁硅酸盐相(黑灰色)



图七 官庄 H1863 金属块(正、背面)



图八 H1573③:15 容器残片(正、背面)

铜体系的熔炼渣,按铜、锡、铅各自归纳判别物相^⑤,本文进一步梳理为以下三类:

1. 含锡物相:包括自形为方形或条状的锡石颗粒(图三);含锡钙(铁)硅酸盐^⑥,多呈胞状(图四);2. 含铅物相:包括铅硅酸盐,常为多气孔的均一玻璃态,表面可见贝壳状断口(图五);3. 含铜物相:包括铜氧化物,多呈方形,在富氧环境中常偏析枝晶(图五)。

高温过程中金属锡被氧化形成自形较好的锡石,但熔炼时常常产生大量灰分,导致局部钙含量较高,从而析出富钙、铁的含锡物相,故而第一类中常共存多种物相(图六)。据此可通过渣中物相推断熔炼对象,信息汇总于表一的末列。

官庄遗址大部分铜渣块均为青铜合金渣块,多为铅锡青铜质,少数为锡青铜质,未见纯铜、锡等金属单质原料锭块,仅发现一件内部为青铜的小铅块。本次检测的铜渣块中,未发现纯铜块及粗铜精炼渣,仅 H1341④:2、H1573②:7 等样品中发现少量铜颗粒,反

映铸铜作坊以纯铜配制合金,但铜、锡等铸铜原料集中管理,并未随意遗弃。官庄 H1863 出土一件金属块(图七),表面灰白色,内部灰绿色,经分析表层为铅质,另含 As 0.8%,最内层为铅锡青铜。中原地区商周时期铸铜作坊中发现的铅锭块,局部或内部常带有绿色,如安阳殷墟刘家庄北地铅锭^⑦。山西侯马牛村铸铜作坊 H329 所出铅锭块的铜含量甚至超过 10%,研究者推测是铅青铜锭块冷凝时先析出高熔点富铜相所致,应为铸铜生产的副产物^⑧。

官庄遗址出土一些碎铜片,大小各异,厚薄不均,并与熔炼渣、炉壁块共出,可能为待重熔的金属原料。H1573③:15 铜片壁厚达 0.5 厘米,弧度极小,局部残存铸造纹饰(图八),可能为大型礼容器的残片。此残片及同出的铜渣块,成分相近(表三 450114-1 行及表四 450114-2 行),并且均具有富铁的材质特征,不排除铜渣块与铜残片对应同一件器物的可能性。

(二) 铜块与铜器的合金成分

两周之际,中原地区青铜容器的材质发生了明显变化。西周中晚期以来盛行的锡青铜容器迅速减少^⑨,铅锡青铜材质的容器则迅速成为主流^⑩。容器以外的薄片饰及部分车马器、兵器由于对加工、使用的机械性能存在需求,仍然多使用锡青铜或低铅的铅锡青铜材质制成。借助这一背景,可以更好地理解官庄铸铜作坊的合金技术。

官庄遗址出土铜块与铜器的材质主要为铅锡青铜。本次分析的34件样品中,仅5件样品为锡青铜材质,且其中4件与铅锡青铜块或炉壁同出,可知同一区域可以同时生产不同材质的青铜。在遗址出土的5件残铜片中,2件为锡青铜残片,故可推断铸铜作坊不断将锡青铜残片进行重熔利用,但合金化后的产品主要是铅锡青铜,仅有少量为锡青铜材质。

春秋初年常见的低锡青铜器,在官庄遗址中多有所见。春秋早期中原及关中地区墓中常随葬锡含量较低的青铜容器^⑪。南阳夏饷铺等墓地中甚至随葬成组红铜或铅青铜质容器^⑫。官庄遗址H1337铜片、T1711-3^⑬:8铜块均为低锡材质,可知当时低锡器物在豫中地区同样多见,并且确为铸铜作坊重要的生产类别。官庄所出铜块及炉壁中,有大量低锡的铅锡青铜甚至铅青铜颗粒,但这主要指示不充分的熔炼过程,不一定能够用于推断铸件的合金配比。李延祥指出熔炼渣成分通常很不均匀,熔炼时较强的氧化气氛,会导致浮渣中合金相的锡含量低于理想合金配比^⑭。

春秋早中期,青铜器中常见较高的铁含量,官庄遗址部分铜块、铜器也具有这一材质特征。自西周至春秋前期,长江中下游地区硫化型铜矿是铜料的主要来源,矿源特征导致粗铜中具有很高的铁含量^⑮。官庄H1337铜片含Fe甚至高达3%以上。这一时期,部分金属物料中含有相对高的砷含量,如T1411-2^⑯:11渣中即含As 0.8%;新郑郟楼M139:1鼎含As 1.1%,与官庄春秋铸铜遗物同期^⑰。由本次分析的官庄H1863金属块知,青铜器中的砷不仅由铜料引入,也可能来自含砷的铅料。

三、金属资源的变迁

(一) 铅同位素比值随时代的变化规律

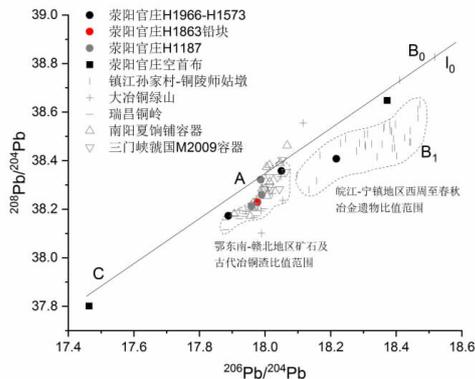
官庄遗址青铜器及铸铜遗物的铅同位素比值具有较高共性,并且较为完整地展现了两周之际至春秋中期主要铅料随时代的变化。为便于讨论,以 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 对 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 作图,以经验参考线 $l_0: y=$

$1.6162x+0.7288$ 划分区域,则在 l_0 中段、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在2.12~2.14间的比值记作A类, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在2.09~2.12间的比值记作B类, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在2.15~2.18间的比值记作C类。B类比值中,沿参考线 l_0 左端分布的记作 B_0 类,在 l_0 下方的则记作 B_1 类。在西周晚期,中原地区青铜器的材质以锡青铜及低铅的铅锡青铜为主,铅同位素比值的分布相对分散,包含A、 B_0 、 B_1 三类。进入春秋早期,中原地区青铜器铅含量升高,铅同位素比值趋于集中,A类比值成为主流,个别地区存在一定比例的 B_1 类比值;春秋中期起, B_0 类比例迅速增高,取代A类成为主要铅料类别^⑱。

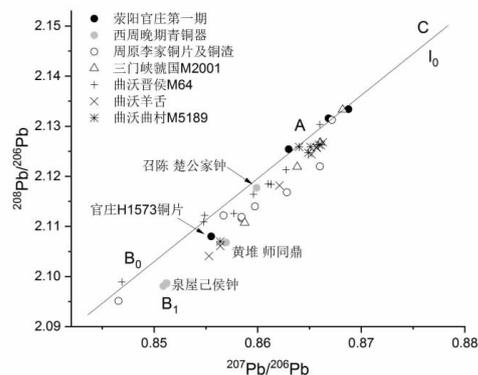
官庄遗址本次分析的25件铅同位素样品中,有20件属于A类比值,占80%,为官庄最主要的比值类别;其余5件样品分属B、C类比值,其中H1573所出容器残片属 B_1 类,两件空首布样品分别为B、C类,下文分别讨论。20件A类样品的铅含量各有差异,其中H1337铜片含铅不足0.2%,其余样品铅含量在1%上,H1863金属块则近纯铅。不同铅含量的样品具有基本相同的比值,反映比值与样品铅含量无关,据此推测A类比值指示的铜料与铅料来源可能是相同的,或为一类铜铅共生矿。

官庄铸铜作坊第一期单位样品的比值,以A类为主,兼有个别 B_1 类。官庄遗址简报指出,作坊第一期单位所出陶豆柄多有凸箍,陶容器范的纹饰主题以窃曲纹、重环纹为主,绝对年代为春秋早期。本期典型单位如H1966,所出簋范饰双周重环纹,具有西周晚期的遗风^⑲;还包括H1573、H1341等单位^⑳。这三个灰坑所出的4件样品,指示熔炼活动及铸铜产品的3件均为A类,H1573的容器残片则为 B_1 类。

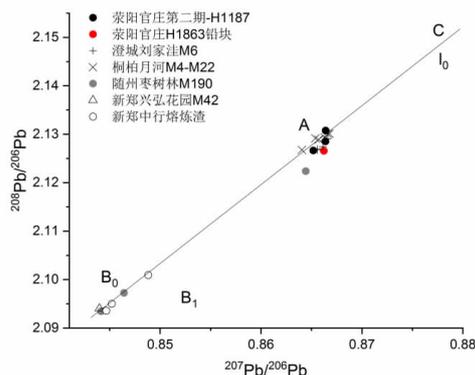
官庄所见 B_1 类比值具有明确的地域来源,在官庄遗址又指示了年代较早的资源特征。 B_1 类比值是西周中晚期至春秋早期长江下游地区主要利用的铅料资源(图九),由王开对安徽铜陵师姑墩遗址冶铸遗物的分析可知, B_1 类比值样品包括纯铅样品及含铅量极低的炼铜渣^㉑,故而对一类铜铅共生资源。西周晚期,这类比值在关中、晋南地区青铜器中占有一定比例^㉒;在豫中、山东等更偏东的地区,据已有数据看,此类比值甚至是主要类别^㉓。官庄遗址本阶段的发现可以说明,来自江淮地区的金属资源在春秋初年的中原地区仍然有少量应用,官庄铸铜作坊第一期样品的比值分布与曲沃羊舌M4、曲村M5189、虢国M2001等青铜器群最为接近(图一〇)^㉔。荥阳是晋南、豫西前往江淮地区的咽喉要道,春秋初年这些地区主要利用A类铅料,而同时延续 B_1 类铅作为补充,此现象有助于理解晋姜鼎、戎生钟等金文材料所



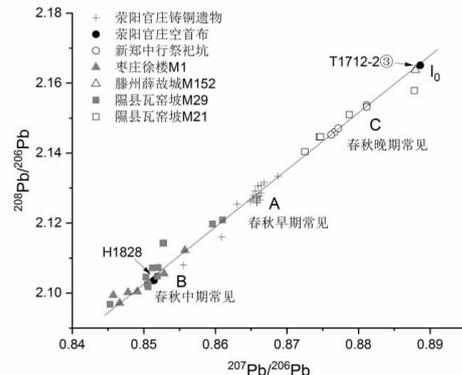
图九 官庄遗址铅料来源的地域比较



图一〇 西周晚期至春秋初年中原地区部分青铜器及铸铜遗物的铅同位素比值



图一一 春秋早中期中原及周邻地区部分青铜器及铸铜遗物的铅同位素比值



图一二 春秋中晚期中原地区部分青铜器及铸铜遗物的铅同位素比值

载晋国与江淮地区之间的铜料贸易^⑤。

官庄铸铜作坊第二期单位样品的比值,除空首布外,全部为A类比值。铸铜作坊第二期单位出土陶豆柄部省去凸箍,偶见弧盘豆,器形稍晚于第一期,但不见新郑中行遗址春秋中晚期单位所出鼓肩陶盂,细高柄陶豆等器形,年代明显又早于后者。本期陶范纹饰出现交龙纹、连体龙凤纹等,而尚不见中行遗址阶段流行的细密蟠螭纹。本期典型单位为H1187,绝对年代大致为春秋中期早段。H1187检测的3件样品,比值均为A类,并且较铸铜作坊第一期比值范围明显更为集中。据目前已有数据知,春秋早期晚段至春秋中期早段中原及周邻地区青铜器,铅同位素比值大多皆为A类,且同样高度集中(图一一)。

官庄遗址大量应用的A类铅料,目前还难以确定具体的产源,以鄂东南—赣北地区可能性最大^⑥,但尚缺乏与铅有关的矿冶遗物证据。官庄H1861铅块是首次在铸铜遗址中发现A类铅的实物,其内部成分不均,包裹少量青铜,表明其与铸铜活动有关,

而非小型铅器,此铅块富砷、银的微量元素特征对总结此类铅质原料的材料学特征也具有重要意义。

(二)空首布及相关遗迹的年代

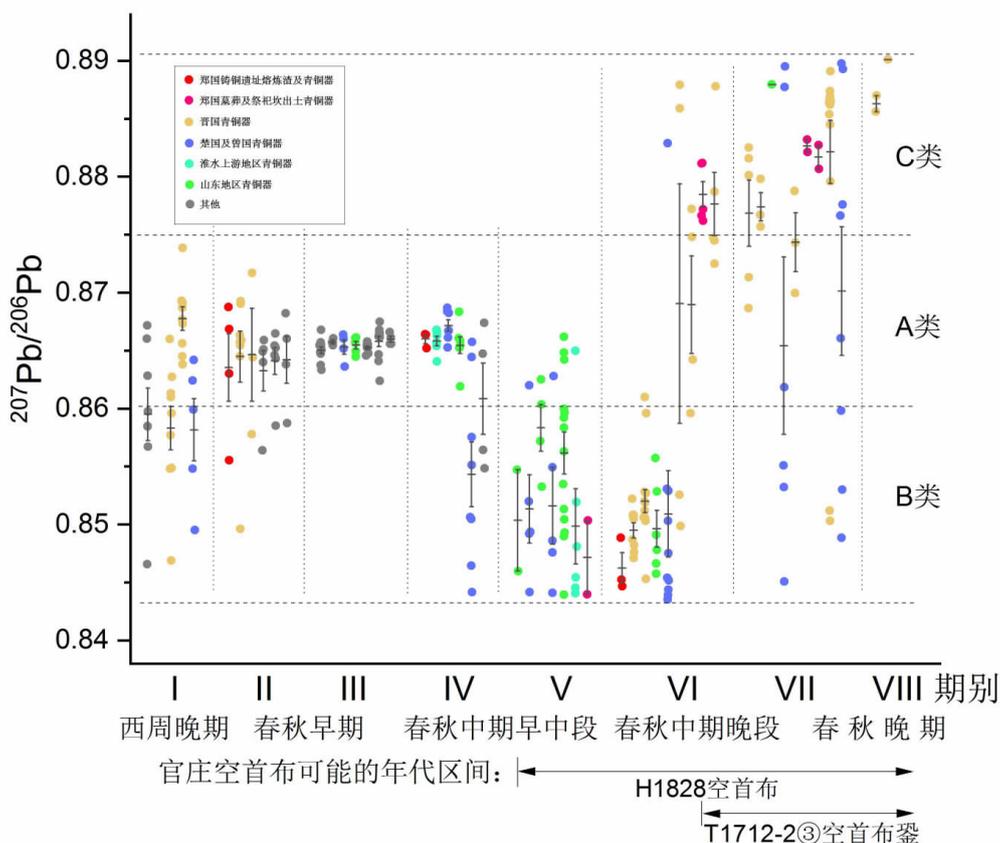
官庄遗址出土了多件空首布及布范泥芯。目前已测的两件空首布样品,铅同位素比值均指示了较晚的年代意味,上限不早于作坊第二期H1187等单位。官庄H1828空首布的铅同位素比值为B类。这类比值在春秋早中期之际的江淮地区即逐渐流行^⑦,至春秋中期中晚段在中原及海岱地区是最主要的铅料资源,在郑地目前最早见于兴弘花园M42及M100^⑧,也是中行铸铜遗址春秋中期中晚段熔炼渣的比值类型(图一二)^⑨。

官庄T1712-2^⑩空首布范的铅同位素比值为C类,这类铅在中原地区具有明确的年代上限。郑国青铜器中最早的C类铅实例为新郑中行祭祀坑K2鼎,而较此稍早的兴弘花园M100敦尚为B类;晋国青铜器中,最早的C类铅见于隰县瓦窑坡M21,而较此稍早的瓦窑坡M30及M29尚为B类;海岱地区最早的

C类铅见于滕州薛故城 M152, 而稍早的枣庄徐楼 M1、长清仙人台 M5 则均为 B 类; 楚地最早的 C 类铅见于鄖阳乔家院 M4, 但 B 类铅一直沿用至战国^⑧。据此可以清晰地看出, C 类铅在春秋时期中原地区的年代上限大致为公元前 580~前 570 年。官庄 C 类比值的空首布釜很难更早于此。

官庄遗址出有空首布的铸铜遗迹, 大致与新郑中行铸铜遗址同时, 或可考虑与 H1187 等单位分开, 单独划为铸铜作坊第三期。官庄空首布的形制均为耸肩

弧裆尖足布, 与新郑中行等地所见平肩布差异明显, 而与晋地春秋晚期前后的大型空首布十分相似^⑨。晋郑接壤始于晋文公自周室受南阳地之年(公元前 635 年), 这也是官庄空首布一个大致的年代上限^⑩。官庄出土空首布的 H1828 打破出土矛鏃芯的 H2496, 知此类与空首布生产及使用有关的灰坑在地层关系上晚于官庄早期铸铜遗存。出空首布釜芯的灰坑如 H2032 中还同出有镞范, 知这一时期的铸铜生产仍有一定规模, 产品也相对多样, 并不仅限于货币。官庄 H1819



图一三 官庄遗址铅同位素比值与相关器物群的比较

- I 段: 1.扶风周原李家 2.曲沃晋侯 M64 3.曲沃晋侯 M62 及 M63 4.楚公逆钟与楚公家钟
 II 段: 1.荥阳官庄 H1341.H1573 及 H1966(铸铜作坊第一期) 2.曲沃晋侯 M93 及 M102
 3.曲沃曲村 M5189 4.南阳夏饒铺 M6 5.三门峡虢国 M2001
 III 段: 1.三门峡虢国 M2009 2.南阳夏饒铺 M16 3.枣阳曹门湾 M43 4.枣庄东江 M2 及 M3
 5.南阳夏饒铺 M1 6.陇县边家庄 M1 及 M5 7.澄城刘家洼 M6
 IV 段: 1.荥阳官庄 H1187(铸铜作坊第二期) 2.桐柏月河 M4 及 M22 3.京山苏家垄 M79 及 M88
 4.长清仙人台 M6 5.随州枣树林 M190 及 M191 6.礼县大堡子山 K5
 V 段: 1.长清仙人台 M4 2.襄阳沈岗 M1022 3.滕州薛故城 M139.M144 及 M147
 4.随州枣树林 M168 及 M169 5.沂水纪王崮 M1 6.桐柏钟鼓堂 M1 7.新郑兴弘花园 M42 及 M100
 VI 段: 1.新郑中行 J446.J447 及 J449 2.隰县瓦窑坡 M30 3.隰县瓦窑坡 M29 4.枣庄徐楼 M1 5.鄖阳乔家院 M4
 6.辉县琉璃阁乙墓 7.长治分水岭 M269 8.新郑祭祀遗址 K2.K10.K15 及 K16 9.隰县瓦窑坡 M21
 VII 段: 1.辉县琉璃阁甲墓 2.隰县瓦窑坡 M17 3.滕州薛故城 M152 4.随州文峰塔 M35 5.林州大菜园 M301
 6.新郑兴弘花园 M35 7.新郑西亚斯 M247 8.隰县瓦窑坡 M20 及 M23 9.鄖阳肖家河 1990M 及 2001M
 VIII 段: 1.隰县瓦窑坡 M36 2.侯马牛村 H329 铅锭

表六 荥阳官庄铸铜遗址部分技术与资源类别的历时性观察

典型铸铜遗址及 典型单位	时代	合金技术与资源		制范技术		
		容器合金材质	铅料类别	陶范烘制温度	纹饰范制作方式	陶范粉砂粒径
周原李家	西周中晚期	锡青铜为主	A+B ₁ +B ₀	较低	范上刻画 堆塑为主	较细
荥阳官庄 H1573 H1966	春秋早期	铅锡青铜为主	A+少量 B ₁			较高
荥阳官庄 H1187	春秋中期早段		A			
荥阳官庄 H2032 等	春秋中期 晚段及稍晚		B+C	待明确		
新郑中行	春秋中期晚段 至晚期早段		中期晚段为 B ₀	较高	自纹饰模 翻制为主	适中偏粗

所出铜块,比值亦为 B 类,也可能属于这一阶段。而打破 H2032 的 H1886、H2037 及打破 H1828 的 H1785 等一系列灰坑单位,可以为这一阶段的年代下限提供更准确的参考。

四、官庄遗址铸铜技术与金属资源历时性变化的初步分析

官庄遗址近年发掘所得铸铜遗物数量庞大,类型丰富,年代连续,可以初步填补西周中晚期周原李家铸铜作坊与春秋中晚期新郑中行铸铜作坊之间的技术、资源缺环。北京科技大学韩玉、刘思然对官庄出土陶范的制作技术进行了系统分析,并初步从前后两期的典型单位中总结了纹饰范制作方式、范料粒径及烘范温度等技术特征的变化规律^⑧。制范技术与本文讨论的合金技术是铸铜技术中的两个重要方面,针对这两类技术及铅料资源等因素进行历时性观察,有助于深入研究铸铜作坊的变迁。

官庄铸铜作坊第一期的合金技术及铅料资源已与西周晚期发生较大改变,而制范技术及纹饰风格则与西周一脉相承。本期改以铅锡青铜为主要产品类别,来自长江下游地区的铅料急剧减少。与李家出土的陶范相比,官庄陶范的粉砂粒径已有所增大,但制范的相关技术仍然具有较高的相似性。

官庄铸铜作坊第二期的合金技术及铅料资源与上一期变化很小,而制范技术及纹饰风格则发生了显著变化。韩玉、刘思然指出,作坊第一、二期间纹饰范的制作技术发生改变,从范上刻画堆塑过渡到纹饰模翻范;范面不再精细操作,导致范料粒径逐渐由细腻转向粗糙;同时预制纹饰模的大量增加,导致陶范需

要增强机械性能以应对频繁的搬运储存,促使烘范温度明显升高。官庄铸铜作坊第三期的陶范制作技术目前尚未报道,但从宏观形貌观察,应当与作坊第二期陶范相对接近。新郑中行遗址春秋阶段陶范与本期时代基本相当,刘思然曾进行材质及粒径的系统分析,粉砂粒径稍高于官庄作坊第二期陶范^⑨。本期在合金、制范技术稳定发展的过程中,铅料的变化却十分明显,先后应用了两类新的铅料资源(图一三)。

由官庄遗址的科技分析研究可以发现,铸铜遗址的技术及资源的演变并不一定同步,并对青铜器装饰风格的变化有不同程度的影响(表六)。陶范是纹饰的实物载体,故而青铜器纹饰风格的演变与制范技术关系相对密切。合金配比能够决定铜液的流动性,低锡的合金配比往往限制了纹饰的精致程度,故而器物的装饰风格与合金材质也存在一定关联。但合金技术则在考虑技术因素外,更多地被金属资源的丰歉所左右,而金属尤其是贵重的锡料又受到贸易通路及政治格局的强烈影响。春秋初年中原地区青铜器锡含量的降低,很可能即与两周之际政治环境剧烈变动有关;春秋中期青铜器自南向北锡含量的重新升高、B 类比值对应铅锡资源的广泛应用,也与楚国北进的史实基本相合^⑩。故而春秋时期铸铜作坊的金属资源与合金技术与列国间的政治、经济互动息息相关,在针对一国一地展开研究时,也需对时代共性有所把握。

五、总结

荥阳官庄遗址出土的铸铜遗物,是研究青铜器风格及铸铜技术自西周至春秋之变的良好切入点。周

东迁后,中原地区各诸侯国间的合金技术及金属资源网络呈现较强的一致性,具有密切关联。官庄遗址反映的合金技术、铅料资源,与春秋早中期中原各地青铜器的技术与资源面貌相符,故而在铸铜遗址尚乏实例的现阶段,可以将官庄遗址作为春秋早中期中原诸侯国铸铜作坊的典型,用于构建、完善先秦时期以中原地区为中心的各类铸铜技术、资源的演变序列。

官庄遗址出土的铜渣块,从锡石、锡钙硅酸盐、铅硅酸盐等指示高温的特定物相可以判断其中大部分为青铜熔炼渣,产品以铅锡青铜为主。官庄发现的铅块及铸铜遗物,铅同位素比值均以A类为主,反映官庄遗址铸铜活动兴盛阶段铅料资源的连续性。官庄铸铜作坊第一期仍在少量重熔利用更早阶段常见的B类比值的金属资源,在作坊第二期之后已开始利用春秋中晚期常见的B、C类铅料,完整地体现了中原地区春秋时期利用铅料资源的历时性变化。若能对官庄遗址出土铸铜遗物进行更为全面的分析,并兼顾官庄春秋墓葬出土青铜器的相关信息,当能进一步明晰时代特征。

通过合金配制及陶范制作环节的技术与资源观察,目前已对官庄遗址的铸铜技术形成初步认识。各类技术与资源并非同步变化,与青铜器风格的演变也存在不同的关联方式。铅料类别及合金配比的变动指示金属资源的丰歉程度,由于铸铜作坊与金属产地的分离,这些技术资源因素受政治格局影响十分明显。在春秋时期,强大的诸侯国参与争霸,并通过会盟的方式形成政治秩序,可能在资源层面也承担了分配转输的功能,从而导致目前青铜器检测数据所显示的广域资源共性与历时性同步变化;而面向手工业者的制范环节则具有自身的技术逻辑,演化规律更为有序,并直接影响青铜器风格的呈现与转变。

致谢:本文所用铅同位素比值数据由北京大学地球与空间科学学院黄宝玲副教授测定,北京科技大学科技史与文化遗产研究院刘思然副教授、北京大学考古文博学院博士研究生蔺诗芮对本文研究提供了重要意见,特致谢忱!

注释:

①郑州大学历史文化遗产保护研究中心、郑州市文物考古研究院:《河南郑州市官庄周代城址发掘简报》,《考古》2016年第8期。

②中国考古学会编:《中国考古学年鉴2017》,第322页,中国社会科学出版社,2018年。

③郑州大学历史学院、郑州市文物考古研究院、荥阳市文物保护管理中心:《河南郑州市官庄遗址铸铜作坊区2016~2017年发掘简报》,《考古》2020年第10期。

④崔剑锋、吴小红:《铅同位素考古研究》,第57页,文物出版社,2008年。

⑤周文丽、陈建立、雷兴山等:《周原遗址李家铸铜作坊出土冶铸遗物的分析》,陈建立、刘煜主编:《商周青铜器的陶范铸造技术研究》,第213页,文物出版社,2011年。

⑥渣中Ca(Mg)含量升高有助于锡石进入硅酸盐相,胞状锡钙硅酸盐的成分波动较大,其中常包裹锡石微晶而导致锡含量显著高于马来亚石(Malayaite)、硅钙锡石(Stokesite)等矿物。见:a陈骏等著:《锡的地球化学》,第176~181页,南京大学出版社,2000年;b Roger G. Taylor著,云南省地质科学研究所情报室等译:《锡矿床地质学》,第372~376页,地质出版社,1983年。

⑦中国社会科学院考古研究所安阳工作队:《河南安阳市殷墟刘家庄北地铅锭贮藏坑发掘简报》,《考古》2018年第10期。

⑧山西省考古研究所:《侯马铸铜遗址上》,第412~413页,文物出版社,1993年。

⑨西周中晚期周原地区研究实例如扶风宋家墓地,见刘思然、陈建立、种建荣等:《周原孔头沟遗址宋家墓地铜器的科学分析与研究》,《南方文物》2017年第2期。

⑩两周之际青铜容器材质的变化,可参考晋侯墓地及应国墓地出土青铜器的科技研究。西周末年北赵M64容器仍以锡青铜居多,至春秋初年M63已绝大多数为铅锡青铜,应国墓地亦在M85及M8之间发生类似变化。见:a张吉:《东周青铜器的资源与技术研究——以汉淮地区为中心》,第162~163页,北京大学博士学位论文,2020年;b姚智辉、王龙正:《平顶山应国墓青铜器的分析》,河南省文物考古研究所、平顶山市文物管理局编:《平顶山应国墓地I下》,第833~837页,大象出版社,2012年。

⑪目前已报道的实例较多,较为典型的低锡容器群如陕西澄城刘家洼M49、山西曲沃羊舌M4等,见南普恒:《春秋时期晋国青铜器制作技术研究》,第163页,北京科技大学博士学位论文,2017年。

⑫张吉、崔本信、陈建立:《南阳夏饷铺墓地出土青铜器的检测分析及相关问题研究》,《华夏考古》2020年第5期。

⑬李延祥:《郑国祭祀遗址冶铸遗物检测报告》,河南省文物考古研究所编:《新郑郑国祭祀遗址(中)》,第1048页,大象出版社,2006年。

⑭刘海峰、梅皓天、白国柱等:《综论长江中下游铜矿带先秦矿冶考古》,《中国国家博物馆馆刊》2020年第7期。

⑮张吉、陈建立、樊温泉:《新郑郟楼两周墓地出土青铜器的初步研究》,河南省文物考古研究院编著:《新郑郟楼两周墓地》,第349~352页,大象出版社,2020年。

⑯张吉、陈建立:《东周青铜器铅同位素比值的初步研究》,《南方文物》2017年第2期。

⑰亦不排除是明器簋盖、器合体后的纹饰,类似实例如新郑唐户 M9 簋,见开封地区文管会、新郑县文管会、郑州大学历史系考古专业:《河南省新郑县唐户两周墓葬发掘简报》,《文物资料丛刊》(2),文物出版社,1978年。

⑱两遗迹单位材料尚在整理中,据所出陶范纹饰初步判断为铸铜作坊第一期单位。

⑲王开:《铜陵师姑墩遗址出土青铜冶铸遗物的初步研究》,北京大学硕士学位论文,2012年。

⑳周原地区实例如扶风黄堆所出师同鼎,晋南地区如晋侯墓地 M64 组器。见:a 汪海港:《宝鸡地区西周铜器生产和资源流通研究——以周原和鱼国为例》,中国科学技术大学博士学位论文,2017年;b 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。

㉑洛阳地区实例如银河花园 C3M1629,山东半岛地区实例如日本泉屋博物馆所藏三件“己侯”钟,见:a 袁晓红:《成周地区出土西周铜器的合金技术和金属资源研究》,中国科学技术大学博士学位论文,2016年;b [日]平尾良光、铃木浩子:《泉屋博物馆が所蔵する中国古代青銅器の鉛同位体比》,第25~46页,《泉屋博物館紀要》第十五卷抜刷,平成十年(1999年)。

㉒羊舌 M4 数据见南普恒:《春秋时期晋国青铜器制作技术研究》,北京科技大学博士学位论文,2017年;曲村 M5189 数据见金正耀:《天马一曲村遗址西周墓地青铜器的铅同位素比值研究》,北京大学考古学系商周组、山西省考古研究所编著:《天马一曲村 1980—1989 第三册》,第1174~1177页,科学出版社,2000年;虢国 M2001 数据见魏强兵、王鑫光、李秀辉等:《三门峡虢国墓地出土青铜器的材质与矿料来源分析》,《有色金属(冶炼部分)》2019年第1期。

㉓李学勤:《戎生编钟论释》,《文物》1999年第9期。

㉔A类铅对应的比值在中原及长江中下游地区并不罕见,故而研究者对精确溯源迄今仍然较为审慎,较有代表性的观点有两类。其一是按目前的冶金考古发现,及数据精细比对的一致性,将鄂东南、赣北及近邻地区作为最优选。日本学者马渊久夫认为此类铅的产地当在湘鄂赣三省交界地区,并指出湖南临湘桃林铅矿的重要性;崔春鹏系统比较了鄂东南、赣北、皖江及宁镇等不同矿集区矿山地质数据,指出利用铅同位素比值精细溯源的可行性;近年徐幼刚也认为鄂东南大冶—阳新地区及赣北九江—瑞昌地区与本阶段青铜器最为相符。北京科技大学逢硕、李延祥等研究者在阳新地区也调查发现了多处古代炼铜遗址。其二是考虑铸铜作坊应就近利用铅资源,综合历史时期相关科技研究,保留中原地区提供类似铅料的可能性。崔剑锋认为西周时期若铅料与铜料的铅同位素比值恰巧重合,则按照就近利用资源也需考虑中原地区的可能性,他测定的巩义黄冶窑铅釉陶大部分属于A类比值。近年中国科技大学郁田园、金正耀等研究者在河南南召桑树坪发现了汉代

炼铜遗址,炼渣的铅同位素比值即属此类。见[日]马渊久夫等:《漢式鏡の化学的研究(4)後漢中期以降の漢三国晋鏡の原材料産地》,《考古学と自然科学》,66(2014)1-24;崔春鹏:《长江中下游早期矿冶遗址考察研究》,北京科技大学博士学位论文,2016年;Hsu Yiu-Kang, et al., Sources of Western Zhou lead: a new understanding of Chinese Bronze Age supply networks, Archaeological and Anthropological Sciences, 1 (2021); Cui J. F., et al., Lead isotope analysis of Tang Sancai pottery glazes from Gongyi Kiln, Henan Province and Huangbao Kiln, Shaanxi Province. Archaeometry, 52 (2010) 597-604.

㉕目前所见较早实例为湖北随州枣树林 M190 及 M191 曾公求夫妇墓,可早至公元前650年前后。

㉖河南省文物考古研究院编:《郑韩故城兴弘花园与热电厂墓地》,文物出版社,2007年。

㉗河南省文物考古研究所编:《新郑郑国祭祀遗址(中)》,大象出版社,2006年。

㉘瓦窑坡诸墓数据见南普恒:《春秋时期晋国青铜器制作技术研究》,北京科技大学博士学位论文,2017年;薛故城 M152 数据见张吉、孙波、郝导华等:《山东滕州薛国故城出土部分青铜器的时代及科学分析研究》,《中国国家博物馆馆刊》2020年第10期;其余数据见张吉:《东周青铜器的资源与技术研究——以汉淮地区为中心》,北京大学博士学位论文,2020年。

㉙吴建国:《山西寿阳县上湖村出土西周布币》,《考古》1996年第3期。

㉚《左传·僖公二十五年》载“晋侯朝王。王……与之阳樊、温、原、欒茅之田。晋于是始启南阳”。

㉛韩玉:《荥阳官庄遗址出土铸铜陶范的科学研究》,北京科技大学硕士学位论文,2020年。

㉜Liu Siran, Wang K., Cai Q., et al., Microscopic study of Chinese bronze casting moulds from the Eastern Zhou period. Journal of Archaeological Science. 40(2013) 2402-2414.

㉝《左传·僖公十八年》载“郑伯始朝于楚,楚子赐之金”。春秋早期楚国迅速兴盛,至楚文王时灭申、息,“封眡于汝”而与郑接壤。但随后齐桓公称霸,楚对中原地区的政治影响一度被遏制,故春秋早中期之际,郑在齐、楚之间反复摇摆。公元前643年齐桓公薨,次年郑成公即朝楚,在政治上完全倒向楚国,借楚之力与宋争衡。公元前638年,郑伯再次朝楚,楚文王同年如郑,郑国馈赠丰厚,“庭实旅百”。江汉地区B类比值的铅锡资源大量进入中原地区,大致就始于此阶段,在楚国极盛的成、穆、庄时期一直是主要铅料类型,至楚国中衰的共、康时期又迅速被产自中原的C类铅替代。

(责任编辑:周广明)