

江苏镇江孙家村遗址出土青铜器及铸铜遗物的分析研究

张吉 何汉生 徐征 田建花 陈建立

(北京 100083) (浙江 杭州 310015) (江苏 镇江 212002) (江苏 南京 210016)

摘要:孙家村遗址自西周中晚期出现铸铜活动,春秋早期后铸铜业繁荣,铸铜遗物中砷青铜及铅青铜减少,铅锡青铜稳定为基本合金类别。春秋中期铸铜活动减退,铸铜遗物及青铜器中的锡青铜尤其是高锡青铜明显增多。遗址利用的铅资源主要来自皖江铜陵等地,出土陶范掺入大量植物性材料,也与同时期皖江地区的陶范相似。通过铜、铅、砷金属物料的流通,皖江与宁镇地区吴文化在西周中晚期至春秋初年形成了冶金共同体,但伴随春秋中期锡资源的广泛流通及吴与中原的交往,长江下游铸铜技术及铸铜业格局明显变化。孙家村铸铜生产变迁与大港吴国遗址群的兴衰大致同步,是长江下游地区周代铸铜业的缩影,见证了吴越特色高锡合金技术的成型。

关键词:镇江;孙家村遗址;西周;春秋;铸铜技术

中图分类号:K876.41

文献识别号:A

文章编号:1001-0327(2022)05-0117-12

孙家村遗址位于江苏省镇江市新区丁岗镇,为镇江大港周代遗址群中较为典型的台形遗址。台地面积约8000平方米,外侧环绕环壕。2015年至2018年,南京博物院及镇江博物馆在此发现了丰富的铸铜遗存,出土铜渣块、陶范、鼓风嘴等铸铜遗物及大量青铜残件^①。孙家村遗址周代遗存可以分为四期,根据出土陶范及青铜器形制判断,四期绝对年代分别大致对应西周中期、西周晚期、春秋早期和春秋中期^②。遗址前三期又可细分为前后两段,故共包括年代相续的四期七段,历时三百余年,为了解周代长江下游地区铸铜技术提供了难得的材料。

2018年至2020年,北京大学考古文博学院与镇江博物馆、南京博物院合作,对孙家村遗址出土的青铜器及冶铸遗物进行三次观察及取样,以分析其材质和矿料来源,在此基础上探讨遗址冶金生产活动的性质,并归纳西

周至春秋时期吴文化核心地域铸铜业的技术与资源特征。

一、实验分析结果

本文分析样品共150件,包括104件青铜器、37件铜渣块、2件铜器泥芯、3件陶范、1件坩埚壁及4件炉壁。选择适当的样品进行显微组织形貌观察、元素成分及铅同位素比值进行分析。铜块外观多为块状或棒状,形状多不规则,常粘附厚层铜渣,部分样品表面还粘附木炭或烧土。

青铜器、铜渣块、陶范及炉壁样品经镶嵌、打磨、抛光后,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^③。青铜器及铜渣块样品以北京大学考古文博学院冶金考古实验室的上光13XF-PC型金相显微镜拍摄金相组织

作者:张吉,北京科技大学科技史与文化遗产研究院;何汉生,浙大城市学院;徐征,镇江博物馆;田建花,南京博物院;陈建立,北京大学中国考古学研究中心。

表一

镇江孙家村遗址出土铜器及铸铜遗物铅同位素比值

期段	分析编号	器物号	器物名	铅含量/%	材质	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
一期一段	190978	T1109⑨B:1	铜渣	20.2	铅锡青铜	18.389	15.588	38.451
一期二段	181124	T0806⑮:1	刀	10.2	铅锡青铜	18.392	15.603	38.490
二期三段	190977	T1008⑬:1	大铜块	16.3	铅锡青铜	18.356	15.589	38.468
	201023	T1009⑫A:3	铜片	15.2	铅锡青铜	18.277	15.573	38.391
二期四段	201021	T1108⑩:9	刀	4.0	铅锡青铜	18.076	15.592	38.411
	201025	T1208⑪:1	铜块	28.0	铅青铜	18.467	15.617	38.592
	201022	H74②:5	铜条	27.2	铅锡青铜	18.268	15.571	38.383
	190167	G4①:1	铜渣块	29.3	铅锡青铜	18.401	15.593	38.420
三期五段	181126	T0609⑧A:1	镞	75.7	铅锡砷青铜	18.467	15.617	38.577
	190168	T0905⑦:13	铜块	20.5	铅砷青铜	18.397	15.613	38.549
	181122	T1009⑦B:10	铜块	23.6	铅砷青铜	18.380	15.609	38.549
	190976	T1109⑦B:1	剑	14.2	铅锡青铜	18.303	15.611	38.508
	190972	H65:1	容器残片	12.7	铅锡青铜	18.304	15.605	38.466
三期六段	190169	T1105⑥:15	铜块	57.4	铅锡青铜	18.246	15.609	38.491
	190975	T1109⑥A:8	残铜梗	0.5	锡青铜	18.517	15.674	38.828
	190973	T1110⑥:2	器足	37.4	铅青铜	18.363	15.612	38.540
	181121	T0609⑤:3	铜块	6.2	铅锡青铜	18.362	15.614	38.534
	190970	台 37B:1	器足	54.9	铅砷青铜	18.426	15.599	38.494
	181123	H17③:1	铜块	9.4	铅锡青铜	18.097	15.584	38.341
	190971	H17②:4	器足	29.3	铅锡青铜	18.133	15.581	38.281
	190974	T1108④A:6	扁足器	6.2	铅锡青铜	18.167	15.597	38.422
四期七段	201024	T1108④A:3	犁	10.3	铅锡青铜	18.367	15.628	38.616
	190166	T0608③B:4	铜块	24.8	铅锡青铜	18.230	15.600	38.473
	181125	T0709③B:1	刀	14.8	铅锡青铜	18.287	15.598	38.473
	181127	T0804②:3	铍	29.0	铅锡砷青铜	18.279	15.595	38.439

注:表中铅含量为ICP-AES测定样品溶液浓度后计算所得。由于样品锈蚀等因素,铅含量测值较扫描电镜—能谱法测值偏高。

照片。

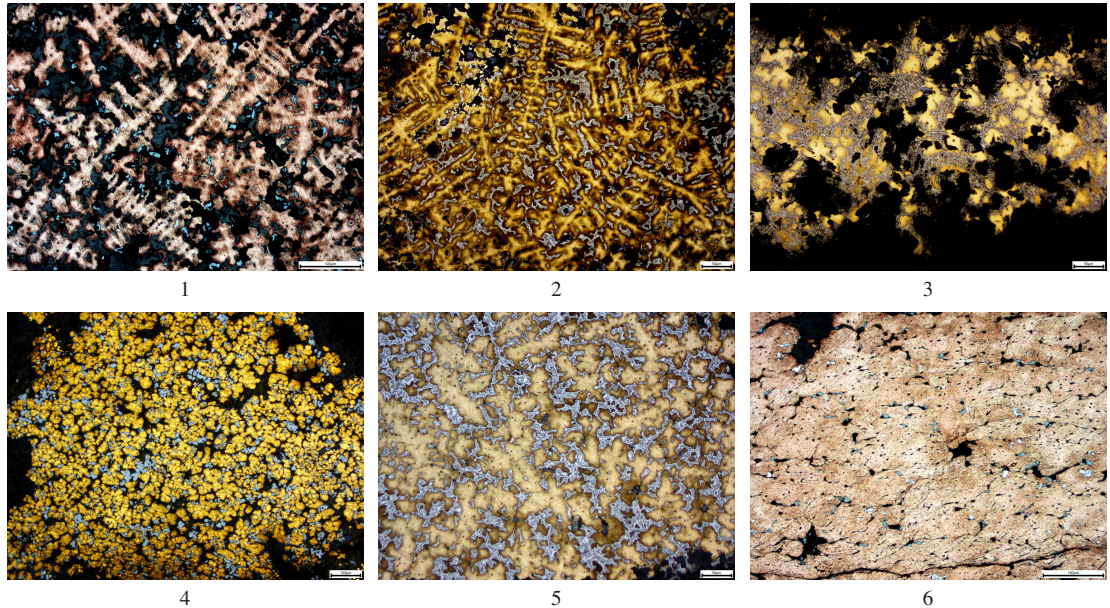
青铜器及铜渣块样品以王水溶解,稀释后加入 Ti_2SO_4 溶液作为内标^[4];利用北京大学地球与空间科学学院造山带与地壳演化教育部重点实验室的VG Axiom型MC-ICP-MS(多通道接收-电感耦合等离子体质谱仪)完成铅同位素比值测定, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值误差并不高于0.05%。结果列于表一。

二、孙家村遗址出土青铜器的合金技术

本次分析了孙家村遗址出土的104件青铜器,其中明确出于周代遗迹单位者共100件。G7②:2及T1208④B:3两件器物仅余锈蚀,其余98件器物的成分测值均可用于定性及半定量判断合金材质。孙家村出土青铜器具有

较为丰富的材质类别,以铅锡青铜占比最高,并可见铅青铜、铅砷青铜、锡青铜、铅锡砷青铜等多种合金。若以2%合金元素测值作为划分材质的阈值,则铅锡青铜共66件,占67%,锡青铜23件,占23%,其余各类合金的样品均不超过4件。孙家村遗址自西周至春秋均可见砷铜,但As含量均不超过4%^[5]。

孙家村遗址出土青铜器在春秋早中期发生较为明显的材质转变,各类砷铜趋于消失,锡青铜则逐渐增多。若以As含量1%为阈值,则西周至春秋早期各类砷铜占比可达四分之一以上,春秋中期急剧减少至仅余3%。锡青铜的比例自两周之际至春秋中晚期则有明显上升。西周晚期至春秋春秋早期,Pb含量测值低于2%者约为10~20%,至春秋中期上升至36%。



图一 孙家村遗址出土青铜器显微金相照片

1.T1108⑩:9铜刀200× 2.T0910③A:1铜刀200× 3.H13①:19锯镰200× 4.T0803②C:5方形铜器100× 5.H13②:5斧200× 6.T1005③:3铜条200×

在控制锈蚀程度后，可以针对样品的锡含量进行定量统计。本次分析的样品中，氧元素测值不高于2%的样品有48件。将Sn'低于7%者记作低锡，Sn'高于17%记为高锡，其余记为适中，以此对各期青铜器进行统计。孙家村出土青铜器的锡含量，在西周晚期至春秋早期大致稳定；进入春秋中期后，高锡青铜比例升高至50%，低锡青铜则明显减少。

锡含量的升高与砷含量的降低，在春秋中期的多类器物中皆有体现。以孙家村出土铜刀为例，翘首刀及直身宽刃刀皆自西周即出现，材质以铅锡青铜为主(图一,1)，间有低锡青铜，至春秋中期低锡青铜刀已基本不见；直身窄刃刀春秋中期始见，其中T0910③A:1(图一,2)、T0805②:1的Sn'均在17%以上。春秋中期新出现的齿刃锯镰等农具，材质亦为高锡青铜(图一,3)。

孙家村遗址出土的斧、铤、铜条等工具，在春秋中期仍有一定比例的铅青铜及低锡青铜，部分保留了早期特征，而与高锡青铜共存。T0804②:3铜铤材质为低锡的铅锡砷青铜；

T0803②C:5器物带有方釜残边，或为斧铤类，材质为铅青铜(图一,4)。与此相应，H13②:5斧材质则为高锡青铜(图一,5)。遗址中出土多件铜条，截面多为三棱形，如T0803④:1、T1005③:11等实例为低锡青铜。T1005③:3铜条显微组织受热均匀化明显，并经冷加工(图一,6)，表明此类器物可能有一定使用功能，而非浇铸小件铜器时多余的浇道。

孙家村遗址出土部分铜残件或铜片，可能来自容器，合金材质较为多样。遗址三期五段H65:1铜片或为流部残片，材质为铅锡青铜。遗址三期六段遗物中包含数件“椭圆形器”，或为鼎、盘等器类的足根，其中台37B:1为铅砷青铜，H17②:4为低锡的铅锡青铜，T1110⑥:2则为高锡青铜。H74②:5云纹铜器或为匙残柄，材质为铅锡青铜，类似纹饰亦见于浙江德清火烧山IT0504⑤:7铜器^[6]。

孙家村T1109⑦E:1剑仅存中部菱形截面残段，T0806②:1戈存圭形残援。两者据成分测值及金相组织骸像均可推定为高锡的铅锡青铜。T0709④A:1环形铜器或为剑首，据显微组



图二 T1108④B:5鬲足内粘附铜块

织骸像推断材质与上述两件样品类似。

孙家村遗址青铜器的合金材质变化,与以往西周至春秋吴文化青铜容器的技术演变规律相符。长江下游宁镇地区吴文化青铜器的检测工作开展较早,曾琳对苏南地区出土80件周代青铜器及7件铜块样品进行主、微量元素成分分析,发现早期铅含量较高,晚期材质趋于复杂⁷。商志⁸据上述数据指出,吴文化早期铜器以高铅低锡的“铜铅锡型”为主,晚期即春秋中晚期则多高锡低铅的“铜锡铅三元合金”,铜铅合金数量减少,已不占主导地位⁹。田建花、王金潮对苏南地区吴文化青铜器进行了进一步分析统计及显微金相观察,印证了成分的变迁规律¹⁰。西周中晚期至春秋早期,铅锡青铜是宁镇地区青铜容器最主要的材质类别,并且常见低锡、高铅、含砷的器物。不同的器群中,铅青铜的比例有差异,宁镇东部的丹徒母子墩、丹阳司徒窖藏等器群中,铅青铜仅占少数比例,而宁镇西部的溧水乌山M1及M2所测器物如提梁卣及附耳圈足盘等,经检测均为铅青铜。同期兵器则有较多锡青铜,如江苏句容赤山湖及高淳顾陇下大路所出铜矛,锡含量为15%左右。高淳所出几把早期铜剑,大多为高锡材质,个别为低

锡的铅锡青铜¹⁰。

西周中晚期至春秋早中期,皖江地区青铜器的合金材质多样。秦颖、贾莹等对安徽芜湖—南陵地区青铜器合金技术进行研究,相关技术特征与宁镇地区最为相近¹¹。皖江北岸的枞阳前程铜尊及官塘立耳鼎等青铜容器为铅青铜材质¹²。铜陵地区周代前期冶金产品中包含较高比例的砷铜,在铜陵师姑墩还发现了砷铜质的容器¹³。黄山一天目山以南及太湖以东,虽然自成一文化区,但青铜器材质却与吴文化地域类似,两者具有较强共性。安徽屯溪土墩墓出土青铜器材质以铅锡青铜为主,M1至M4各墓皆出有含砷青铜器¹⁴。浙江衢州庙山尖出土管饰及铜泡以锡青铜为主,四通器及铜剑则为铅砷青铜¹⁵。上海青浦崧泽及松江广富林遗址出土青铜器以铅锡青铜及铅青铜为主,且普遍含砷,偶见锡青铜及红铜器¹⁶。

春秋中晚期,吴国青铜器材质明显变化,锡青铜比例升高,戈、剑等兵器尤以高锡为材质特征,以制作精良闻名于世。此阶段偏早的墓葬如北山顶,其中仍有两件铜环为铅青铜;偏晚的墓葬如王家山等,各类器物中已不见铅青铜及砷铜¹⁷。

本次孙家村遗址出土青铜器的分析工作,表明典型吴文化青铜容器及兵器在春秋早中期的材质变迁,也发生于吴文化核心地区的一般性聚落,并能够明确铅、砷与锡含量消长的变化节点为春秋早中期之际至春秋中期早段。

三、孙家村遗址出土金属渣块的材质

孙家村铸铜遗址还出土较多铜渣、铜块,表面锈蚀疏松,外观呈大小不等的团、块或棒状,而区别于青铜器,较可能是本地铸铜生产活动的原料或废弃物,其材质能够直接指示遗址的铸铜生产性质和类别。遗址出土一件夹砂红陶鬲足,其边缘粘附铜块(图二);铜块表面还有少量炭屑及草茎印痕,或与浇铸青

铜器时挹注少量铜液有关。

孙家村遗址出土的铜渣块经检测均为青铜熔炼渣或青铜合金块,未见冶铜渣、粗铜精炼渣及铜锭。通过显微观察及物相分析,有21件铜渣块能够找到围裹的硅酸盐相及铅玻璃相或自形较好的锡石相,推测为合金化过程产生的熔炼渣,其中部分表面粘附炉壁或炉衬层。另有16件铜块虽具有不规则外形,但显微观察未见高温熔炼形成的物相,推测为浇铸后的余料。

本次分析的21件熔炼渣,指示的熔炼产品类别较为多样。通过渣中氧化物相及金属颗粒成分推定的合金产品包括铅锡青铜、锡青铜、铅青铜及多类砷青铜,与遗址出土青铜器的类别均能对应,但其中铅青铜、含砷青铜的比例明显高于在青铜器中的占比。铅青铜熔炼渣及各类砷铜熔炼渣各占总体的25%,而遗址出土青铜器中铅青铜及各类砷青铜占比皆不足10%,熔炼合金与出土青铜器之间的材质差异值得留意。

孙家村熔炼青铜的生产规模及类别随时代有序变化,并较遗址青铜器的材质变化规律更为鲜明。遗址内西周中晚期的熔炼渣很少,主要为铅青铜及砷铜。春秋早期铸铜活动变得频繁,铅锡青铜逐渐成为主要的生产类别,各类砷铜则显著减少。至春秋中期,熔炼渣的数量不再增长,铸铜的产品主要是铅锡青铜,并出现了锡青铜。孙家村遗址春秋中期陶范数量锐减,石范成为主要的铸范类型,高锡青铜块与石范的数量同步增长,或反映铜块余料与石范浇铸小件青铜器的生产活动存在关联。

四、孙家村出土陶范芯及炉壁的成分与物相

孙家村遗址出土的铸铜遗物中包括多类技术陶瓷,如陶范、青铜器泥芯、炉壁、坩埚壁衬等。陶范的材质较为接近,颜色呈紫红、砖红至浅黄褐色,外观均为疏松多孔状,质地较

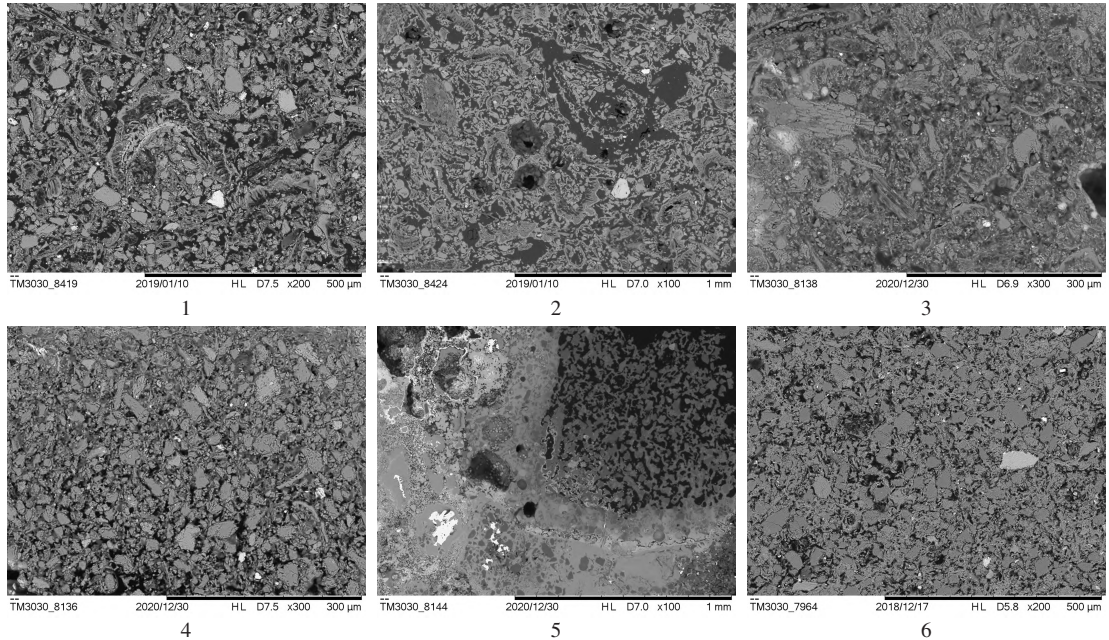
为均匀,未见明显背范层。

本次测定的三件陶范样品具有较高的孔隙率,其中掺杂少量粒径不等的粉砂颗粒,而包含大量多角形的植物碎屑(图三,1、2)。三件陶范样品平均含磷1%,经植硅体分析可见稻属植物颖壳的特征双峰类型,表明其中掺入稻壳灰以提高陶范中细颗粒硅质的含量。孙家村出土陶范含CaO量在1%左右,也显著低于中原地区西周至春秋时期的陶范^[18]。孙家村遗址出土陶范的成分及物料与中原地区同期陶范均有较大差异,而与皖江地区铜陵师姑墩及枞阳汤家墩遗址出土的陶范十分相似^[19],体现出长江下游的高度共性^[20]。

孙家村出土的泥芯存在两类不同的材质和显微结构。本次分析的两件泥芯均来自疑似容器残足内腔,时代均为春秋早期。H17②:4泥芯材质与遗址所出陶范接近,基体中掺入较多植物灰(图三,3)。台37B:1泥芯材质为粉砂及粉质黏土,显微结构中则未见植物灰的多角状结构(图三,4)。Matthew指出,师姑墩与汤家墩出土部分容器范具有背范层,多采用草拌泥材质;范体既有粉砂质,也有掺入大量植物性材料的特殊材质,而后者结构相当复杂,各层掺杂比例不等,浇铸面还涂覆有细腻粉砂质薄层^[21]。

孙家村遗址出土的炉壁为黏土质,而坩埚壁残片中的泥质部分,材质与陶范样品接近,质地细腻易碎,可能是坩埚内涂抹的高硅内衬层。T0806⑫:5坩埚表面粘附多层铜渣,其衬层具有较高的孔隙率,可见多角状的植物残体骸像(图三,5)。坩埚衬具有高硅低铝、高磷低铁的材质特征,也与陶范相近。本次分析了四件炉壁残片均为黏土质,成分彼此相近,Al₂O₃含量均在14%以上,具有高铝低硅的特征,从微观形貌到成分都有别于陶范(图三,6)。

综上,孙家村遗址出土技术陶瓷可根据材质及显微结构大致分为三类:陶范、部分泥芯及坩埚衬中都掺入大量植物性材料,以取得高孔隙率;部分泥芯为粉砂或粉质黏土质



图三 孙家村遗址出土技术陶瓷样品背散射电子像

1.台12B①:4(212212)陶范200× 2.T1105⑥:6(212214)陶范100× 3.H17②:4(212138-2)铜器泥芯300× 4.台37B:1(212137-2)铜器泥芯300× 5.T0806⑫:5(212126)坩埚壁100× 6.台48A①(212215)炉壁400×

地,与中原地区陶范及泥芯相似,但粒径分布不均;炉壁采用黏土制成,未见掺入植物灰。孙家村遗址陶范、芯与皖江沿线的师姑墩、汤家墩遗址出土同类材料质地相近,时代亦基本相当,具有密切的技术关联。

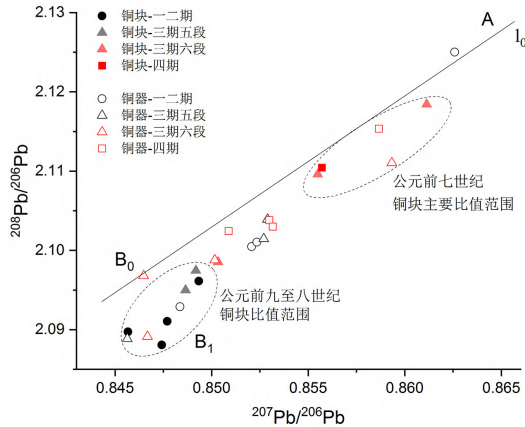
五、孙家村遗址出土铜器及铸铜遗物的铅同位素比值

孙家村遗址出土的青铜器中,大部分皆具有较高的铅含量,适于铅同位素比值研究。本次共分析25件样品的铅同位素比值,其中铜器15件,铜渣块10件,结果见表一。遗址铅同位素比值样品可分为三类,主次分明,数据总体较为集中。为便于讨论,选取 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 对 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 作图,将 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在0.860~0.875间记作A类区间,0.840~0.860的记作B类,0.875~0.900间记作C类;处于参考直线 l_0 附近的记作0类,在直线下方的记作1类。据上述标准,孙家村遗址铅同位素比值数据绝大多数属B₁类,B₀及A类各有1件,分别为T1109⑥A:8 梗状

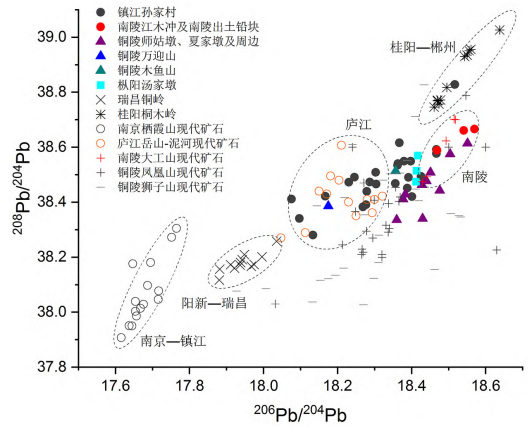
铜器及T1108⑩:9铜刀,且均为锡青铜。

孙家村铸铜业的主要金属资源类型,总体保持了稳定,但在春秋早期前后存在一定差异。孙家村遗址指示铸铜生产的铜渣块,在西周中晚期至春秋初年具有相近的铅同位素比值,而春秋早期晚段至春秋中期,则可见其比值从B₁区域向A区域偏移(图四)。孙家村遗址出土青铜器与铸铜遗物的比值相近但并非精确对应。西周中晚期至春秋早期,青铜器中有部分比值落在铜渣块B₁类比值范围内, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在0.85以下,这些器物包括T0806⑫:1铜刀、T0609⑧A:1铜镞及台37B:1残铜器足,其余大部分器物则有自身的分布区域。进入春秋中期后, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在0.85以下的青铜器消失, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 集中于0.85~0.86之间。

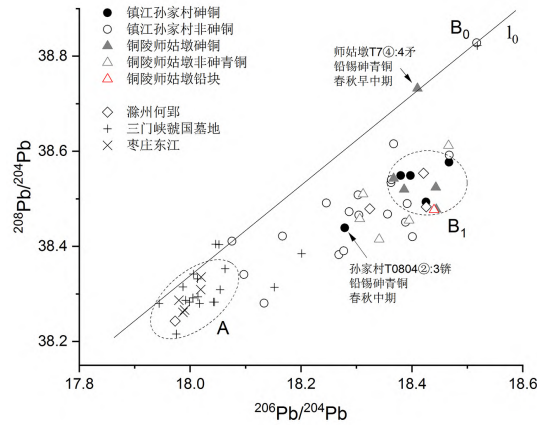
孙家村遗址青铜器及铸铜遗物的铅同位素比值分析结果,表明西周至春秋前期大港遗址群铸铜业的金属资源主要来自皖江地区,而与附近宁镇山地的铜多金属矿差异明显^[22]。与此相应,皖江地区的南陵、铜陵及枞阳



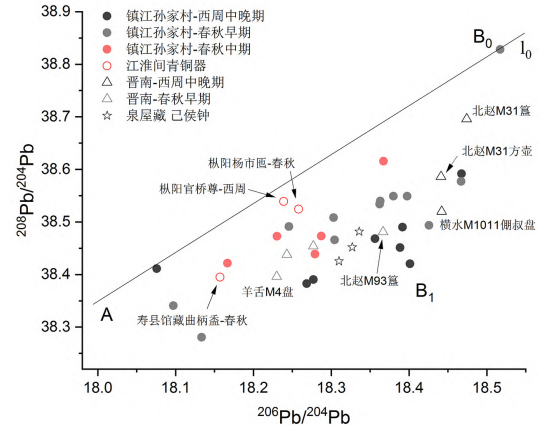
图四 孙家村遗址青铜器及铸铜遗物铅同位素比值



图五 孙家村遗址与皖江中段地区铅同位素比值比较



图六 孙家村遗址与相关遗址青铜器及铸铜遗物铅同位素比值比较



图七 孙家村遗址与江淮、中原及海岱地区部分青铜器铅同位素比值比较

地区, 不仅铜资源丰富, 也已发现大量西周至春秋时期冶铜遗址^[23]。皖南铜业具有冶铸一体的区域特征, 铅单质及各类砷矿石被广泛用于配制铅、砷青铜合金^[24]。在南陵江木冲、铜陵师姑墩都发现了西周晚期至春秋的铅块^[25], 崔春鹏在邻近师姑墩的夏家墩等周代遗址中采集到了铅矿石, 大墩子遗址还发现了高铁含量的冶铅渣^[26]。铜陵师姑墩及夏家墩遗址的铜、铅冶金遗物的铅同位素比值, 正与镇江孙家村遗址含砷青铜器及含砷铜渣块高度相合(图五)^[27]; 铜陵凤凰山、狮子山等矿区现代矿石的文献数据亦可基本覆盖孙家村遗址各类样品的比值分布范围^[28]。

孙家村遗址铜、铅、砷金属资源的产地以铜陵为中心, 西周至春秋初年的资源较依赖南陵及铜陵, 春秋早中期则主要来自铜陵及庐江、枞阳地区。南陵漳河流域冶铜遗址的上限多为西周中晚期, 进入春秋后, 大工山地区还发现江木冲等重要冶铜遗址^[29]。图五中显示南陵江木冲炼铜渣及南陵县文管所藏的两件铅青铜料的铅同位素比值^[30], 与铜陵东部黄河流域的师姑墩、夏家墩、神墩等地出土遗物范围相近, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 多在0.85以下。铜陵万迎山、木鱼山等春秋遗址出土的炼渣, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在0.85~0.86间^[31]。此类比值在铜陵及庐江地区现代矿山较为常见^[32]。为便于讨论, 将 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

低于0.85、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 高于18.4的比值记作“南陵型”，包括南陵江木冲、铜陵师姑墩、枞阳汤家墩等矿冶遗址；将 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 高于0.85、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 低于18.4者记作“庐江型”，包括铜陵万迎山等矿冶遗址。宁镇及皖南地区缺乏锡资源，一般认为此区域的锡来自江西或湖南地区。孙家村T1109⑥A:1锡青铜残梗比值属于 B_0 类，与湖南南部桂阳桐木岭遗址铅冶金遗物数据密合，或指示金属物料来自锡资源丰富的南岭地区^[33]。

西周中晚期至春秋早中期，长江下游地区多利用皖江所产的 B_1 类金属，中原及汉淮海岱地区大多数青铜器利用A类及 B_0 类金属，江淮间地区兼用以上三类资源，从而形成资源分野。在春秋早期，无论是中原、海岱，还是江汉各地^[34]，应用的铅料都是A类（图六），具体产地或在鄂赣交界地区。江淮西部地区自西周至春秋前期，一直多见“庐江型” B_1 比值，如枞阳程铜尊及杨市四足匜；江淮东部地区则兼有A、 B_1 等多类比值，如滁州何郢遗址出土铜器以“南陵型” B_1 比值占比最高^[35]。

西周中晚期至春秋初年，关中^[36]、洛阳^[37]及晋南^[38]部分铜器具有 B_1 类比值。由于金属可以分配转移，作器活动由中原铸铜作坊完成，这些器物与长江下游的关联仅限于资源物料，而不涉及制作技术及器物风格。晋南地区测出的 B_1 类比值，同样存在由西周中晚期“南陵型”向春秋早期“庐江型”的过渡，也与孙家村遗址所见历时变化规律相吻合。同期山东半岛地区亦多发现 B_1 类比值青铜器，实例如日本泉屋博古馆所藏西周晚期“己侯”甬钟及沂水纪王崮M1部分青铜器（图七）^[39]。

综上，西周中晚期至春秋早中期， B_1 类比值金属资源在长江下游及周邻地区多有发现。无论是矿冶遗存的规模，还是冶金遗物的比值特征，皖江铜陵地区都是 B_1 类资源最可能的产源。在其周边，近邻的宁镇及江淮地区多 B_1 类砷铜、铅青铜及铅锡青铜，与皖江沿线的青铜生产类别相近，表明这些地区获得铜料的同时，也接受质地较差的铅、砷青铜料。

而在远离皖江的中原等地区，类似比值的器物则主要是锡青铜，暗示中原选择性地获取质地较好的铜料，从其他地域获得锡料并配制合金，而较少接受皖江地区的铅料。

六、吴文化冶金区铸铜技术、资源及影响

宁镇地区的铸铜生产始于点将台文化至湖熟文化早期^[40]，在南京及镇江西部丘陵地区，已有多处湖熟文化遗址发现熔炼渣及铜器^[41]。南京北阴阳营遗址出土过粘附铜渣的小型熔铜坩埚^[42]，但铸铜遗物尚缺乏系统的科技检测与研究。湖熟文化三期及吴文化早期的铸铜遗物发现不多，镇江以西船山河流域的赵家窑团山遗址自第10层以上，各层均有熔铜渣发现，表明铸铜生产具有较长的延续性^[43]，出土青铜器的类别及铜块形制也与孙家村较为相似。句容城头山出土西周时期小型圜底坩埚残片^[44]，将北阴阳营与孙家村所出小型坩埚联系起来。故而大港遗址群西周中晚期的铸铜技术，较可能承袭自宁镇西部的湖熟文化。

西周中晚期至春秋早期，大港遗址群铸铜规模逐渐增长，并在金属资源、合金配制及铸范制作等方面与皖江沿线存在高度关联，形成区域性的冶金共同体。本阶段，皖江宁镇地区青铜容器的材质多样，以铅锡青铜及铅青铜为主，罕见西周王畿地区流行的锡青铜。铅同位素分析可以确证，皖江沿线以铜陵为中心的矿冶地带是长江下游金属物料的主要来源。孙家村遗址出土陶范与师姑墩、汤家墩等地所见陶范材质高度相似，亦不同于中原及汉淮各地。这一时期，吴文化势力逐渐向西扩展^[45]，在当涂、芜湖以至繁昌、南陵等地区均有较高密度的遗址发现^[46]。其中高等级聚邑如芜湖楚王城遗址（或为《左传》所载的吴邑鸠兹）^[47]、高等级墓葬如繁昌汤家山西周墓、漳河流域大量西周土墩墓，或皆与南陵大工山冶铜遗址具有内在联系^[48]。南陵所出铜料可通过漳水，沿青弋江—长江及丹阳湖—中江水路

分别与大港及茅山地区连接起来，成为维系吴文化铸铜业的资源通路。

在这一冶金共同体的内部，因资源分布的差异，形成了合金技术的东西差异。西区以铜陵、南陵为中心，已发现砷青铜质的铜块及熔炼各类含砷青铜的炉壁，是砷铜原料的产地，青铜器中亦多见各类砷铜。东区则自繁昌、芜湖以东，直至镇江、常州，砷铜比例及铜器砷含量都明显低于西区。苏南地区如金坛鳌墩及东方村等地还发现成批铅青铜块^[49]。

皖江中东部与宁镇地区构成的冶金共同体，建立在区域内部铜、铅、砷资源自给的基础之上。但砷青铜、铅青铜使用性能不及锡青铜，仅仅是锡料不足时的权宜材料。曾琳及田建花都指出早期吴文化青铜容器材质很少为锡青铜，可能与金属资源多铅少锡有关。为了获取锡料，仍需与较远的赣江流域进行交流^[50]。此外，通过江淮地区也可获得金属料及铸成的青铜器^[51]。在春秋早中期之际，中原地区青铜器的锡含量发生剧烈变化，低锡合金配比的容器显著减少，江淮地区更一度出现高锡材质的容器，可与传世“曾伯黍”簠铭“克迓淮夷，金道锡行”内容相对应。伴随楚文化的强力东扩，江汉与淮水上中游铜锡金属通路变得畅通。春秋中期吴文化各类别青铜器锡含量的普遍提升，也应在此时代背景下观察。

进入春秋中晚期，吴文化中心东移，镇江地区大港遗址群逐渐衰落。孙家村遗址春秋中期遗存中，熔炼渣及炉壁块减少，而铸余青铜块增多；需要精细制作的陶范减少，而形制简易的石范增多；铸铜产品中，剑、戈类兵器减少，而农具类别明显增多，出现了齿刃锯镰及铜犁等器类。凡此皆反映孙家村铸铜规模缩减，铸造功能有所转变。类似孙家村四期的铸铜业形态，在吴越地区常见于春秋晚期至战国，实例如江苏昆山盛庄^[52]、浙江绍兴西施山^[53]、上虞银山等^[54]。这些地点中，残损青铜农具、工具往往与尺寸不等的大量铜块共出，有的共置于罐瓮内，李学勤认为是待重熔的铸铜原料^[55]。较多的待熔金属废料与较少的铸

范，显示与中原不同的铸铜业形态，能够适应人口密度较低、改造自然压力较大的东南地区的客观条件，并在战国晚期至汉初，进一步扩展至浙东南沿海^[56]。

吴文化末期的金属资源开始受到中原地区的影响。湖北随州文峰塔M21出土的“吴王子光”戟，²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb为0.879，属C类比值。此类铅在中原及海岱地区不早于公元前570年，而主要流行于春秋晚期至战国初年，是寿梦通于中原后吴晋交流的资源实证。孙家村四期遗物中未见此类比值，或与其年代下限较早有关。

吴文化铸铜业的合金配制及陶范制作等技术，在越灭吴后仍然得以延续，并伴随越的扩张，影响至淮水下游及海岱地区。战国早中期，虽然苏南及浙江地区罕有发现青铜礼器，在江苏淮阴高庄、山东滕州大韩及湖北黄梅刘岳均发现了高锡材质的越式礼器^[57]。孙家村所见掺入大量植物性材料的陶范制作技术，在战国早中期亦见于高庄、大韩等淮泗地区的越式鼎^[58]。从时空分布上看，大量掺杂植物灰的陶范主要集中于中国东部，或与湖沼广泛分布的自然环境相关联，并可能存在自南向北的技术传播过程^[59]。

七、总结

孙家村遗址出土的青铜器及铜渣块具有较为多样的材质特征。自西周中晚期起，孙家村即开始有铸铜活动，产品包括铅青铜、铅锡青铜、锡青铜和各类含砷青铜等多种材质，进入春秋早期后，铸铜活动规模增长，铅锡青铜稳定为基本合金类别，砷铜逐渐减少。春秋中期，遗址铸铜遗物减少，铸范由陶质转为石质，青铜渣块及铜器中含锡量明显上升，铅青铜及砷铜基本消失。铜渣块与青铜器的铅同位素比值指示金属资源来自皖江铜陵等地，且随时代同步变化。早期金属资源尤其是各类砷铜及铅青铜，多来自皖江南岸的铜陵、南陵地区，简记为“南陵型”资源；晚期则有所差异，可能来自皖江两岸铜陵、庐江、枞阳等地，

表二

孙家村遗址青铜器及铸铜遗物反映的技术与资源演变

时代	特殊青铜器材质		熔炼合金		铅料类型	铸范材质	铸铜遗物数量	铸铜业阶段
	砷铜	锡青铜	砷铜	铅青铜				
西周中		有		有	南陵型 庐江型	陶	极少	I
西周晚	有	少	有	有			少	
春早偏早	较多	少	有	有			多	II
春早偏晚	较多	较多	少	有			多	
春秋中	少	大量	少	少			石+陶	较多

简记为“庐江型”资源。前者主要见于西周,进入春秋后式微;后者则历时较长,在春秋早中期占比较高。

孙家村遗址出土的陶范质地轻脆,其中掺入大量植物性材料,材质特征独特,与同时期皖江地区枞阳汤家墩及铜陵师姑墩等遗址出土陶范相似,而不同于中原及汉淮各地。这类制范技术体现长江下游沿岸的共性。遗址出土的泥芯及坩埚内衬亦见此材料,以实现高硅含量、高孔隙率的技术需求。

以上述铸铜遗物类别及技术、资源特征,可将孙家村周代铸铜作坊分为三个阶段(表二)。第一阶段为西周中晚期,仅有零星铸铜遗物而未见陶范,熔炼的合金材质已出现多样的特征;第二阶段为春秋早期,铸铜生产规模较大,能够铸造戈、剑等兵器,铅锡青铜以外的合金材质逐渐减少;第三阶段为春秋中期,铸铜活动减退,各类器物中锡青铜尤其是高锡青铜明显增多。

孙家村铸铜生产规模的盈缩与大港吴国遗址群的兴衰大致同步,是吴文化乃至长江下游地区周代铸铜业的缩影。通过铜、铅、砷金属资源的区域内流通,皖江与宁镇地区吴文化在西周中晚期至春秋初年形成了相对闭合的冶金共同体,但伴随春秋中期长江中游锡资源在汉淮及中原各地的流通,长江下游的闭塞面貌也逐渐改变,各类青铜器的锡含量迅速升高,最终形成具有吴越特色的高锡合金技术。

孙家村遗址最晚阶段可能变为一般性聚落,但仍保有一定的铸铜功能。此类仅制作及修治小件工农具、少见铸范的铸铜地点,在春

秋中晚期之后的东南沿海较为普遍,而与中原都邑功能集约、工序分化的大型铸铜作坊形成反差,反映长江下游地区铸铜业乃至社会组织方式的鲜明时代地域特色。

附记:本文为国家社科基金项目“江苏镇江孙家村吴国铸铜遗址发掘资料整理与研究”(17BKG016)及2020年度江苏省第五期“333工程”科研项目“江苏镇江孙家村吴国铸铜遗址出土冶铸遗物的检测分析及相关研究”(BRA2020163)的阶段性成果。本文铅同位素比值分析工作由北京大学地球与空间科学学院黄宝玲副教授完成,陶范植硅体鉴定由北京大学考古文博学院邓振华副教授完成,谨致谢忱!

注释:

[1]南京博物院、镇江博物馆:《江苏镇江市孙家村遗址2015~2016年发掘简报》,《考古》2018年第6期。

[2]简报中已简要介绍部分探方的地层及对应分期,整理报告时改订部分西周地层的绝对年代。如T0805南壁第3~4层为春秋中晚期地层,第5~8层为春秋早期地层,第9~13层为西周晚期地层,第15~19层为西周中期地层。

[3]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,第364~369页。

[4]崔剑锋、吴小红:《铅同位素考古研究》,文物出版社,2008年,第57页。

[5]若以2%测值为阈值,则各类含砷样品共7件,占7%;若以1%为阈值,则含As样品有17件,占17%。

[6]浙江省文物考古研究所等编著:《德清火烧山:原始瓷窑址发掘报告》,文物出版社,2008年,第66页。

[7]曾琳等:《苏南地区古代青铜器合金成分的测定》,《文物》1990年第9期。

[8]商志群:《苏南地区青铜器合金成分的特色及相关问题》,《文物》1990年第9期。

[9]田建花、王金潮、孙淑云:《吴国青铜容器的合金成分和金相研究》,《江汉考古》2014年第2期。

[10]贾莹、苏荣誉:《吴国青铜兵器的金相学考察与研

究》，《文物科技研究》第二辑，科学出版社，2004年，第21~51页。

[11]秦颖等：《皖南沿江地区部分出土青铜器的铜矿料来源初步研究》，《文物保护与考古科学》2004年第1期；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年第1期。

[12]郁永彬等：《安徽枞阳地区出土先秦青铜器的初步科学分析》，《中原文物》2014年第3期。

[13]王开、陈建立、朔知：《安徽铜陵县师姑墩遗址出土青铜冶铸遗物的相关问题》，《考古》2013年第7期。

[14]李国梁主编：《屯溪土墩墓发掘报告》，安徽人民出版社，2006年，第79~80页。

[15]王志雄等：《浙江衢州庙山尖土墩墓出土青铜器初步检测分析》，《河南博物院院刊》2020年第2期。

[16]上海市文物保管委员会编：《崧泽新石器时代遗址发掘报告》，文物出版社，1987年，第86页；顾雯等：《广富林遗址出土周代青铜器合金成分与金相分析》，《文物保护与考古科学》2021年第2期。

[17]同[7]。

[18]Liu 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) pp.2402–2414.

[19]陈建立：《中国古代金属冶铸文明新探》，科学出版社，2014年，第169~173页。

[20]郁永彬等：《皖南地区早期冶铜技术研究的新收获》，《考古》2015年第2期。

[21]Matthew Chastain认为掺入的物相为硅藻土，亦可作为参考。见Matthew Chastain. *The Ceramic Technology of Bronze-Casting Molds in Ancient China: Production Practices at Three Western Zhou Foundry Sites in the Zhouyuan Area*. Doctoral Dissertations, Massachusetts Institute of Technology, 2019; pp.545–562.

[22]南京市博物馆、南京博物院、南京九华山铜矿：《南京九华山古铜矿遗址调查报告》，《文物》1991年第5期；李延祥：《九华山唐代铜矿冶遗址冶炼技术研究》，《有色金属》2000年第4期。

[23]安徽省文物考古研究所、铜陵市文物管理所：《安徽铜陵市古代铜矿冶遗址调查》，《考古》1993年第6期；王淡春等：《安徽枞阳县古代矿冶遗址调查》，《遗产与保护研究》2018年第11期。

[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，第172~173页。

[25]刘平生：《安徽南陵大工山古代铜矿遗址发现和初步研究》，《东南文化》1988年第6期。

[26]崔春鹏、李延祥、陈建立：《安徽铜陵夏家墩遗址出土青铜冶金遗物科学研究》，《考古》2020年第11期。

[27]王开：《铜陵师姑墩遗址出土青铜冶铸遗物的初步研究》，北京科技大学博士学位论文，2014年，第67页。

[28]常印佛、刘湘培、吴言昌：《长江中下游铜铁成矿带》，地质出版社，1991年；陆三明：《安徽铜陵狮子山铜金矿田岩浆作用与流体成矿》，合肥工业大学博士学位论文，2007年，第133~134页；刘忠法等：《安徽铜陵冬瓜山铜

(金)矿床H-O-S-Pb同位素组成及其示踪成矿物质来源》，《岩石学报》2014年第1期。

[29]安徽省文物考古研究所、南陵县文物管理所：《安徽南陵县古铜矿采冶遗址调查与试掘》，《考古》2002年第2期。

[30]孙淑云等：《盘龙城出土青铜器的铅同位素比测定报告》，《盘龙城——1963~1994年考古发掘报告》，文物出版社，2001年，第546页。

[31]Wang Yanjie, et al., Provenance of Zhou Dynasty bronze vessels unearthed from Zongyang County, Anhui Province, China: determined by lead isotopes and trace elements, *Heritage Science*, (2021) 9:97.

[32]葛宁洁、李平、黄宪安：《安徽庐江岳山银铅锌矿的成矿物质来源及物理化学条件探讨》，《中国科学技术大学学报》1989年第3期；张舒等：《安徽庐江泥河铁矿床地球化学特征及其对成因的制约》，《岩石学报》2014年第5期。

[33]张吉等：《钟祥黄土坡墓地出土春秋青铜器的检测分析及相关问题研究》，《南方文物》2019年第3期。

[34]魏强兵等：《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；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，第142~144页。

[35]同[31]。

[36]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》，中国科学技术大学硕士学位论文，第30、47~49页。

[37]袁晓红：《西周中央王朝的金属控制策略》，《考古学集刊》第22集，社会科学文献出版社，2019年。

[38]山西省考古研究所编著：《绛县横水西周墓地青铜器科技研究》，科学出版社，2012年，第10、99页；黎海超：《资源与社会：以商周时期铜器流通为中心》，中国社会科学出版社，2020年，第370页；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，科学出版社，2000年，第1174~1177页；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，第254页。

[39]平尾良光、鈴木浩子：《泉屋博古館が所蔵する中国古代青銅器の鉛同位体比》，《泉屋博古館紀要》第十五卷，平成十年(1999年)，第30页；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。

[40]张敏：《宁镇地区青铜文化研究》，《长江流域青铜文化研究》，科学出版社，2002年，第262~263页。

[41]曾昭燏、尹焕章：《试论湖熟文化》，《考古学报》1959年第4期。

[42]南京博物院编著：《北阴阳营——新石器时代及商周时期遗址发掘报告》，文物出版社，1993年，第142~143页。

[43]团山考古队：《江苏丹徒赵家窑团山遗址》，《东南文化》1989年第1期。

[44]镇江市博物馆：《江苏句容城头山遗址试掘简报》，《考古》1985年第4期。

[45]付琳:《江南地区周代墓葬的分期分区及相关问题》,《考古学报》2019年第3期。

[46]中国国家博物馆、安徽省文物考古研究所编著:《姑溪河—石臼湖流域先秦时期聚落考古调查与研究》,科学出版社,2019年。

[47]张敏:《鸠兹新证——兼论西周春秋时期吴国都城的性质》,《东南文化》2014年第5期。

[48]宫希成:《皖南地区土墩墓初步研究》,《长江流域青铜文化研究》,科学出版社,2002年,第207~215页。

[49]镇江市博物馆、金坛县文化馆:《江苏金坛鳌墩西周墓》,《考古》1978年第3期。

[50]一般认为吴文化区出土的护耳甗形器受到赣北地区的影响,实例如南陵千峰山土墩墓出土陶甗、丹徒粮山及六合程桥墓葬出土铜甗。

[51]春秋早期前后,溧水白马上洋、高淳顾陇下大路及丹阳司徒等地出土的立耳半球腹鼎,即与江淮地区关系密切。

[52]陈兆弘:《昆山盛庄青铜熔铸遗址考察》,《苏州文物资料选编》,昆山新光印刷厂,1980年,第60~65页。

[53]刘侃:《绍兴西施山遗址出土文物研究》,《东方博物》2009年第2期。

[54]章金焕:《浙江上虞市银山冶炼遗址调查》,《考古》1993年第3期。

[55]李学勤:《从新出青铜器看长江下游文化的发展》,《文物》1980年第8期。

[56]实例如临海上山冯、仙居湫山及永嘉西岸等。这种大分散、小集约的铸造业生产管理方式,也与《考工记》中所载“粤之无铸也,非无铸也,夫人而能为铸也”内容相对应。

[57]孙淑云等:《淮阴高庄战国墓出土铜器的分析研究》,《考古》2009年第2期;代全龙等:《山东滕州大韩东周墓地第一次发掘出土青铜的科学分析研究》,《南方文物》2021年第3期;张吉等:《湖北黄梅刘岳墓地M1出土青铜器的科学分析研究》,《江汉考古》2021年第4期。

[58]罗武干等:《淮阴高庄战国墓出土青铜器产地初步研究》,《土壤》2009年第4期。

[59]临淄齐故城镜范多为此类掺植物灰的材质。近年南京大学历史学院在江苏建湖大同铺遗址发现了战国早期陶范,表明淮水下游与长江下游地区的铸范制作方式具有明显共性,并为探讨此类技术传播的具体路径提供了重要参考。参见刘煜等:《山东临淄齐国故城汉代镜范的科学分析》,《考古》2005年第12期。

Scientific Analysis of the Bronzes and Casting Remains Unearthed at the Sunjiacun Site in Zhenjiang City of Jiangsu Province

ZHANG Ji, HE Hansheng, XU Zheng, TIAN Jianhua, CHEN Jianli
(Beijing 100083) (Hangzhou, Zhejiang 310015)
(Zhenjiang, Jiangsu 212002) (Nanjing, Jiangsu 210016)

Abstract: At the Sunjiacun site, bronze casting began in the middle and late Western Zhou period and prospered during the early Spring and Autumn period, when arsenic and lead bronzes decreased in frequency in the casting remains in comparison to the presence of dominant lead-tin bronzes. By the middle Spring and Autumn period, bronze casting activities declined at the time and tin bronzes, especially those with high tin, increased significantly in bronzes and slags. The source of lead to be used at the site of Sunjiacun can be traced to Tongling along the lower Yangtze River. The clay molds were mixed with large amounts of plant materials, a practice also noticed for other contemporaneous sites in the same region. While copper, lead, and arsenic were circulated, a metallurgical community was developed to connect the Wanjiang and Ningzhen area by the 9th to early 7th century B.C. After the second half of the 7th century B.C., the bronze casting technology and the whole industry underwent significant changes due to the communication with the Central Plains as well as the widespread circulation of tin. The bronze casting industry at Sunjiacun underwent the similar process of development as those noticed for the site clusters at Dagang, both of which are material evidence of the bronze casting industry in the lower Yangtze River and witnessed the emergence of high-tin bronzes that later became a core component of the *Wu-Yue* style.

Keywords: Zhenjiang; the Sunjiacun site; the Western Zhou; the Spring and Autumn period; bronze casting technology

(责任编辑、校对:段姝杉)