

安徽铜陵夏家墩遗址出土青铜冶金遗物 科学研究

崔春鹏 李延祥 陈建立 徐天进 宫希成

关键词：铜陵 夏家墩遗址 商周时期 冶铜技术特征 产业格局

KEYWORDS: Tongling Xiajiadun Site Shang and Zhou Period Technical Characteristics of Bronze Metallurgy Industrial Patterns

ABSTRACT: The Xiajiadun site is a typical Shang and Zhou site containing metallurgical remains in southern Anhui. Through an analysis of 50 samples of metallurgical remains unearthed from the site, ranging from slag, ores, crucible fragments with adhered slag, and small copper lumps to small copper products, this study finds that two parallel technical systems characterized by using tin and arsenic as primary alloying elements, respectively, might have co-existed at the same site. Arsenic bronze metallurgy represented by the Xiajiadun site plays an important role in the early metallurgical industry of southern Anhui. The paper further discusses a two-step bronze production smelting process and infers that the sources of copper and arsenic were probably local, while tin ores were likely imported from northern Jiangxi, where the particular industrial pattern of bronze production is correlated with the trajectory of social complexity. Through archaeometallurgy, this paper provides important evidence for the study of such hot topics as the early civilizational history of cultural peripheries, social complexity, and arsenic bronze production in China.

前 言

安徽铜陵地区因存在较多青铜时代矿冶遗存备受学界关注，2010年师姑墩遗址的发掘与检测不仅发现有早至二里头文化时期的冶金遗物，其所揭示的技术特征还为判定该遗址的性质与功能提供了重要线索^[1]。2013年秋冬之际，为加强铜陵地区早期矿冶文明的整体研究，深层次认识当地冶金技术的面貌特征，安徽省文物考古研究所与北京大学

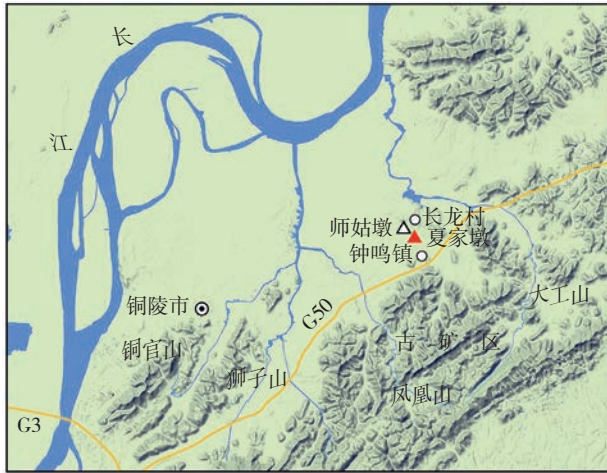
考古文博学院又对师姑墩东侧600米的夏家墩遗址进行了联合发掘^[2]。该遗址位于铜陵市义安区钟鸣镇长龙村桂塘组，南距沪渝高速（G50）约3公里，北距长江约10公里，大工山、凤凰山古矿区在其南10余公里范围（图一）。遗址地处断续绵延岗地围成的小盆地内，南侧紧邻中心河支流，西侧有水塘环抱，为台墩型，高出周围水田1.5~2.5米，面积约3000平方米。遗址保存状况一般，地表现种植蔬菜、棉花、豆类等农作

作者：崔春鹏，北京市，100006，中国国家博物馆考古院。

李延祥，北京市，100083，北京科技大学科技史与文化遗产研究院。

陈建立、徐天进，北京市，100871，北京大学考古文博学院。

宫希成，合肥市，230061，安徽省文物考古研究所。



图一 夏家墩遗址位置示意图

物。此次发掘地点位于靠近水塘的遗址边缘，共布4个5米×5米的探方，遗迹可见房址、灰坑、残破的冶炼设施，文化遗产可见软陶器、印纹硬陶器、原始瓷器以及石器、玉器、铜器。冶铸遗物出土较为丰富，见于多数地层、灰坑等单位，类别有炉渣、炉壁、铜（铅）矿石等，以炉渣数量最多。

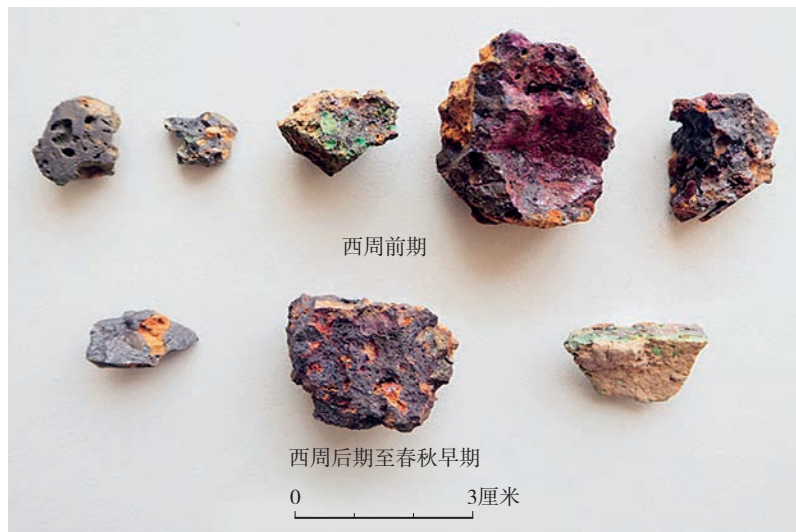
夏家墩遗址大多数文化遗产可在师姑墩遗址找到相应的类型，且师姑墩遗址有相关的碳十四测年数据，包括T10F1竹炭样品年代为公元前1000~920年，相当于西周早期，T41第3层下K2木炭屑样品年代为公元前790~590年、T11第13层草木灰样品年代为公元前760~530年，相当于春秋早中期，以上均可作为夏家墩遗址年代判定做参考。夏家墩遗址的文化遗产存可分两期：第一期为西周前期，相当于师姑墩晚期的1、2段；第二期为西周后期至春秋早期，相当于师姑墩晚期的3、4段。夏家墩与师姑墩两遗址同期遗存主要包含冶金遗物的单位列表一加以对照。夏家墩第一期遗物中，横绳纹陶鬲TXH1:10多见于中原地区的西周早期阶段，陶罐TXT1⑧a:4的形态与师姑墩遗址出土陶罐T36⑤:10接近，年代为西周中期。陶鬲TXT1⑧a:1与中原体系西周陶鬲基本相同，年代为西周早中期。夏家墩第二期遗物

中，陶鬲TXT2③:10的形态接近师姑墩B型陶刮面鬲，应为西周后期。陶鬲TXT4④:5腰外侧按窝的风格具有西周晚期的特征。陶鼎TXH2:2则与师姑墩春秋早期的陶鼎T36②:1基本接近。值得注意的是，该遗址西周前期地层中出土有二里头文化时期的典型陶片，如侧装按窝鼎足，还见到疑似二里冈文化时期的陶鬲口沿，夏家墩遗址二里头文化、二里冈文化时期的遗存可能被后期人类活动所破坏。

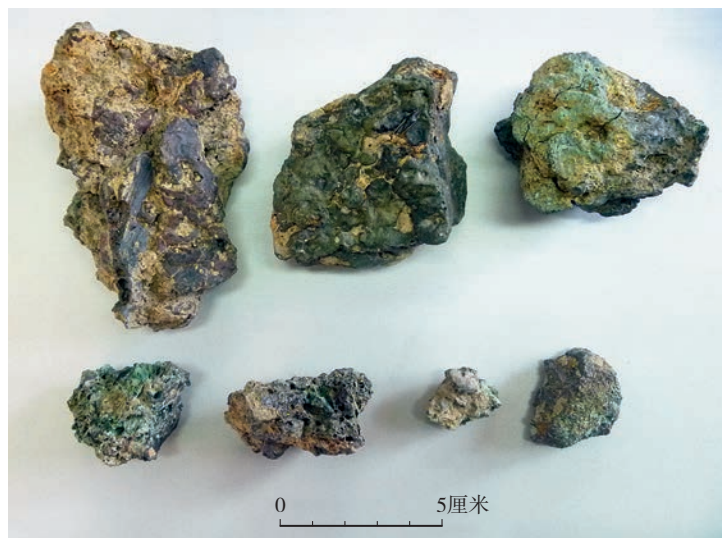
本文对夏家墩遗址出土的50件冶金遗物进行科学分析，其中第一期有铜矿石3件、铅矿石2件、炉渣16件、挂渣炉壁（或坩埚片）6件、小铜块2件和小铜器2件，合计31件。第二期有铜矿石1件、铅矿石1件、炉渣10件、挂渣炉壁（或坩埚片）4件、小铜块1件和小铜器2件，合计19件。部分炉渣及矿石照片见图二至图四。样品经截取镶嵌、打磨抛光、金相观察后，使用德国蔡司（ZEISS）公司EVO18型扫描电子显微镜配备德国布鲁克（BRUKER）公司Nanu XFlash

表一 铜陵夏家墩遗址及同期师姑墩遗址包含冶金遗物的单位

遗址	分期	遗物类别	主要包含冶金遗物的单位
夏家墩	第一期	炉渣、炉壁、矿石	T1第8a层, T2第4~6层, T3第7层, T4第6、7层及H11
		铜器、铜块	T1第8a层, T2第4层
	第二期	炉渣、炉壁、矿石	T1第5、6d层, T3第5层, T4第4层
		铜器、铜块	T1第4层, T3第5层
师姑墩	晚期1、2段	炉渣、炉壁	T5第4、6、8层, T6第8、9、11层, T8第7、8层, T28、T29第2、5层, T33第7层及T9H3
		铜器、铜块	T4第7层, T5第4、7、8、10层, T6第8、11层, T8第7、9层, T9第6~10层, T28第5层, T33第7层, T41第5层
	晚期3、4段	炉渣、炉壁	T6第5层, T9第4层, T41第2层
		铜器、铜块	T6第7层, T7第3、4层, T9、T32、T40第3层, T36第4层



图二 夏家墩遗址出土砷青铜渣断面形貌



图三 夏家墩遗址T2第5层出土红铜渣



图四 夏家墩遗址T2第4层出土铜矿石与铅矿石

Detector 5010型X射线能谱仪进行检测。小件铜器还使用江南XJP-100型金相显微镜及

德国莱卡 (Leica) 公司 DM4000M型显微图像分析系统进行拍照。矿石的铅同位素比值使用英国VG Elemental型多接收电感耦合等离子体质谱仪 (MC-ICP-MS) 测试。

一、冶金遗物的成分及显微组织分析

(一) 西周前期

炉渣多呈黑褐色非玻璃态不规则状，熔融状态一般，断面多见气孔及铜锈色，有的还可见木炭残留。部分炉渣因混入耐材偏多而呈青灰色。炉渣基体主要可观察到黑褐色玻璃相、深灰色树突状或板块状铁橄榄石，有的还可见有浅灰色类椭球形浮氏体或白灰色等轴多边状尖晶石族。挂渣炉壁（或坩埚片）外层呈砖红色，渣层常见铜锈色。若以是否夹杂有与合金化有关的含锡、砷颗粒为标准，16件炉渣与6件挂渣炉壁（或坩埚片）可分为三类，分类及基体成分见表二。

第一类有11件炉渣，样品编号为24129、24132、24133、24147~24150、24154、24166、24177、24178；5件挂渣炉壁（或坩埚片），样品编号为24135、24144、24145、24155、24175。均未观察到含

锡、砷的夹杂颗粒，推测与红铜生产有关。11件炉渣样品均为高铁型，主要可见

表二 夏家墩遗址出土西周前期炉渣、挂渣炉壁(或坩埚片)基体成分(Wt%)

分类	属性	样品号	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	S	Cu	出土单位
第一类	炉渣	24129	0.75	7.81	35.28	0.47	1.12	54.58	0.24	5.27	T1第8a层
		24132	0.6	4.48	40.88	1.16	7.9	44.97	0.71	1.98	T2第4层
		24133	1.35	6.48	41.11	2.34	12.01	36.71	0.03	0.52	T2第4层
		24147	0.68	7.73	26.98	1.22	6.34	57.04	0.35	1.25	T2第5层
		24148	0.76	3.8	28.14	0.18	0.56	66.57	0.3	6.33	T2第5层
		24149	1.5	7.07	34.59	1.78	6.97	48.1	0.11	5.72	T2第5层
		24150	0.32	0.62	23.77	0.25	5.26	69.77	0.24	2.41	T2第5层
		24154	1.79	4.69	37.17	0.69	8.73	46.94	0.28	12.27	H11
		24166	0.92	7.31	22.38	0.72	2.7	65.97	0.17	4.46	T3第7层
		24177	1.4	5.52	21.28	0.92	13.52	57.36	2.13	2.42	T4第6层
		24178	1.22	5.2	20.07	0.98	15.26	57.26	1.84	2.9	T4第6层
		平均	1.01	5.52	30.15	0.97	7.31	55.02	0.58	4.14	—
	CV	44%	38%	26%	66%	66%	18%	123%	79%	—	
	挂渣炉壁(或坩埚片)	24155	3.57	7.28	22.84	2.11	11.36	52.84	0.54	5.81	H11
		24135	1.17	7.7	51.37	1.14	4.45	34.18	0.16	4.73	T2第4层
		24144	3.19	7.58	46.19	1.46	22.87	18.71	3.93	5.05	T2第4层
24145		5.6	16.87	49.17	0.73	14.7	12.93	0.47	22.95	T2第4层	
24175		2.64	8.64	46.03	2.8	22.66	17.23	0.48	10.38	T4第6层	
第二类	挂渣炉壁	24165	1.74	7.79	57.65	2.37	7.43	23.01	1.37	14.53	T3第7层
第三类	炉渣	24130	0.49	6.54	23.12	1.1	5.63	63.13	0.92	1.35	T1第8a层
		24131	0.39	6.07	22.48	1.25	6.59	63.23	1.05	1.21	T1第8a层
		24168	0.9	8.83	31.09	1.4	5.71	52.07	0.72	0.95	T3第7层
		24181	0.79	7.13	35.61	0.73	13.38	42.35	—	5.9	T4第7层
		24182	0.85	—	28.46	0.83	3.31	66.55	0.35	2.49	T4第7层
		平均	0.68	5.71	28.15	1.06	6.92	57.47	0.61	2.38	—
		CV	33%	58%	19%	26%	55%	17%	70%	86%	—

说明:挂渣炉壁(或坩埚片)基体成分选取炉渣层面扫。

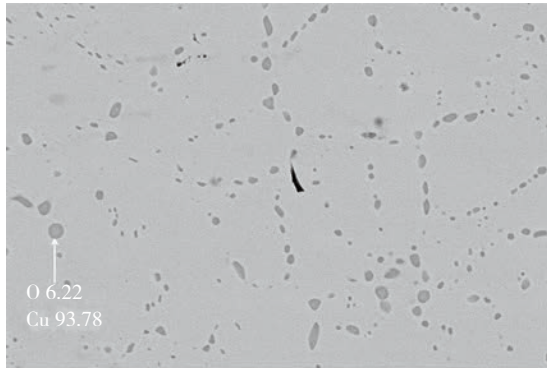
低铁的铜颗粒,还可见冰铜、铅铁氧化物或朱砂(HgS)。有的铜颗粒内可见辉银矿(Ag₂S)、富银相、富铅相。样品24166直径约300微米的红铜颗粒内 α 固溶体晶界和晶内分布着细小点状氧化亚铜(Cu₂O),为 $\alpha + (\alpha + \text{Cu}_2\text{O})$ 亚共晶组织(图五)。

挂渣坩埚片(样品24155)炉渣有两层,主要可见铜颗粒及其氧化物,还可见铅铁氧化物、朱砂(HgS)、铁酸铜(CuFe₂O₄)等。另外4件为挂渣炉壁(样品24135、24144、24145、24175),其中24145见有直

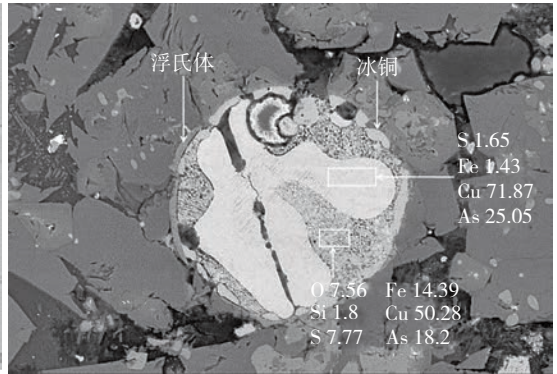
径约600微米的铜氧化物颗粒,还可见长条状铁酸铜,该样品有经历强氧化气氛或精炼的可能(图六)。

第二类仅有挂渣炉壁(样品24165),炉渣层基体富铜与接近高硅炉壁有关,主要可见锡氧化物颗粒、低铁的铜颗粒(图七)。

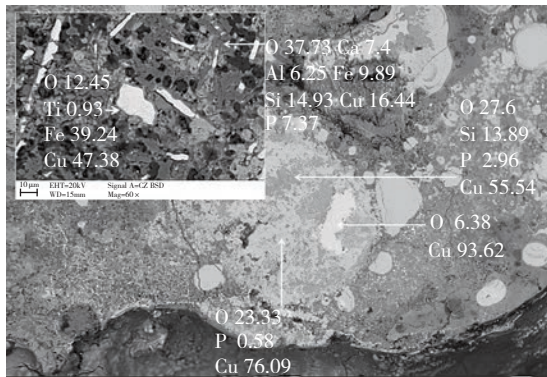
第三类有5件炉渣(样品24130、24131、24168、24181、24182),高铁型,主要可见砷青铜颗粒,还可见氧化的铜颗粒、铅颗粒或铅砷氧化物相等(图八至图一二)。样品24130低硫、铁的砷青铜颗粒内暗相为砷



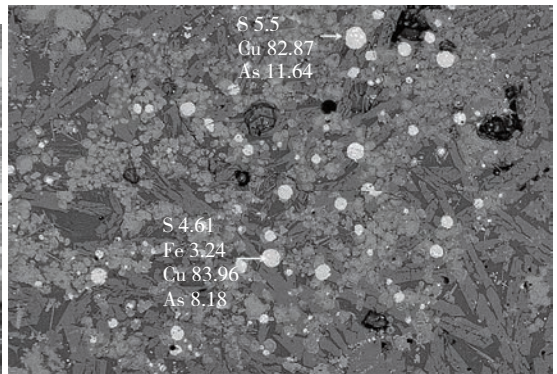
3μm EHT=20kV Signal A=CZ BSD
WD=17mm Mag=1.5K ×
图五 样品24166红铜颗粒内 α + (α + Cu₂O)
亚共晶组织



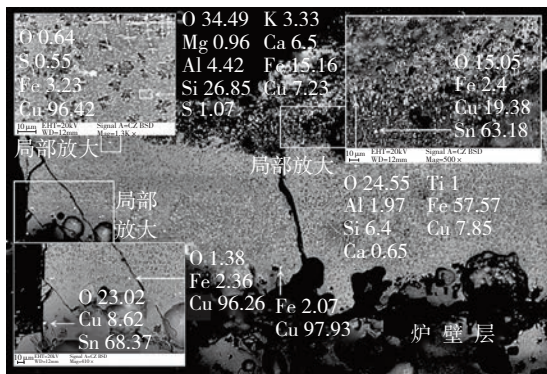
10μm EHT=20kV Signal A=CZ BSD
WD=17mm Mag=500 ×
图八 样品24130砷青铜颗粒



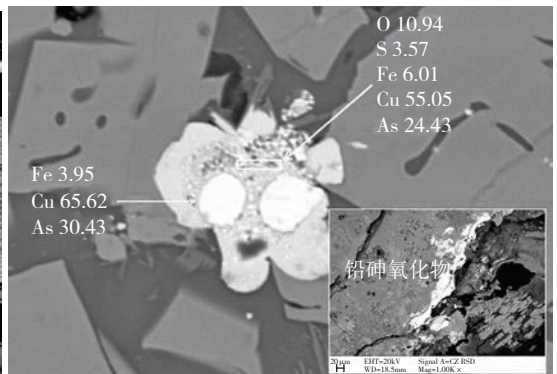
100μm EHT=20kV Signal A=CZ BSD
WD=15mm Mag=60 ×
图六 样品24145铜氧化物颗粒及铁铜相



100μm EHT=20kV Signal A=CZ BSD
WD=17mm Mag=109 ×
图九 样品24131弥散分布的砷青铜颗粒



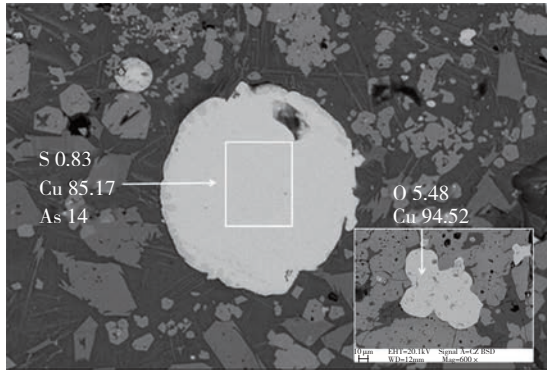
100μm EHT=20kV Signal A=CZ BSD
WD=12mm Mag=70 ×
图七 样品24165铜及锡氧化物颗粒



10μm EHT=20kV Signal A=CZ BSD
WD=18.5mm Mag=1K ×
图一〇 样品24168砷青铜颗粒

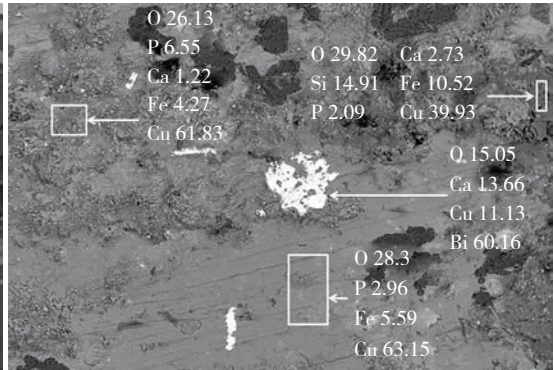
青铜风化所致，外围包裹有冰铜相及浮氏体（见图八）。样品24182可见砷青铜、砷铅青铜及氧化的铜颗粒，其中直径1毫米风化的砷铅青铜颗粒内可见高砷相及铅颗粒（见

图一二）。
3件铜矿石长径约4厘米，表面铜绿色，划痕浅绿，断面可见铁锈色风化物。样品24136表面有裂隙，可能与经过烘烤有关。2



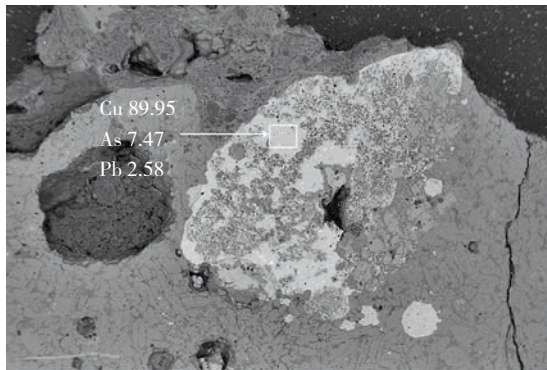
20 μm EHT=20.1kV Signal A=CZ BSD
WD=13mm Mag=200 ×

图一— 样品24181氧化的铜颗粒、砷青铜颗粒



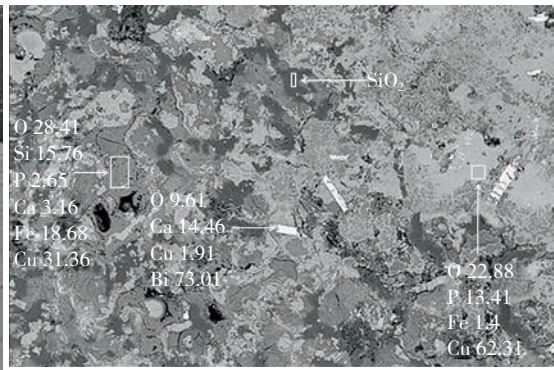
30 μm EHT=20kV Signal A=CZ BSD
WD=12.5mm Mag=175 ×

图一三 样品24136铜氧化矿及铋矿物



200 μm EHT=20.1kV Signal A=CZ BSD
WD=15mm Mag=20 ×

图一二 样品24182直径1毫米的砷铅青铜颗粒



100 μm EHT=20.1kV Signal A=CZ BSD
WD=12mm Mag=100 ×

图一四 样品24180铜氧化矿及铋矿物

件铅矿石长径约4厘米（见图四的右侧两件矿石），表面风化为白灰色，划痕银白，断口亮银色，触之有坠手感。

铜、铅矿石基体成分见表三。铜矿石样品24136品位近40%、样品24180品位近20%，基体富铁、硅，主要可见铜的碳酸盐、磷酸盐，还可见铋矿物（图一三；图一四）。铅矿石样品24137品位近60%，基体富砷、锌，主要可见方铅矿（PbS），还

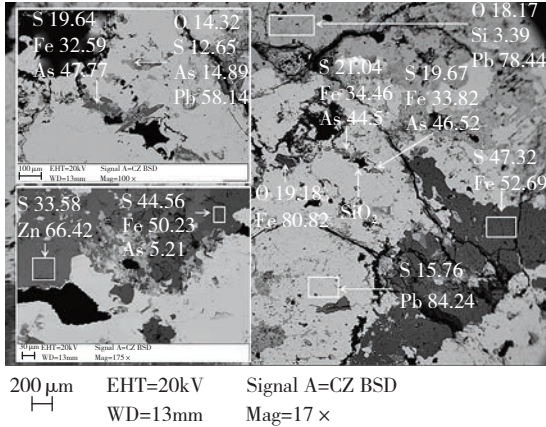
可见方铅矿的风化物铅矾（PbSO₄）、铅白（Pb₃[OH]₄CO₃），并伴生毒砂（FeAsS）、黄铁矿（FeS₂）、闪锌矿（ZnS）等（图一五）。铅矿石样品24138品位近84%，主要可见方铅矿（PbS），还可见铅矾（PbSO₄）、铅白（Pb₃[OH]₄CO₃）等（图一六）。

2件小铜块均出土于T2第4层，长径约1厘米，表面因锈蚀呈铜绿色，可能为冶铸时

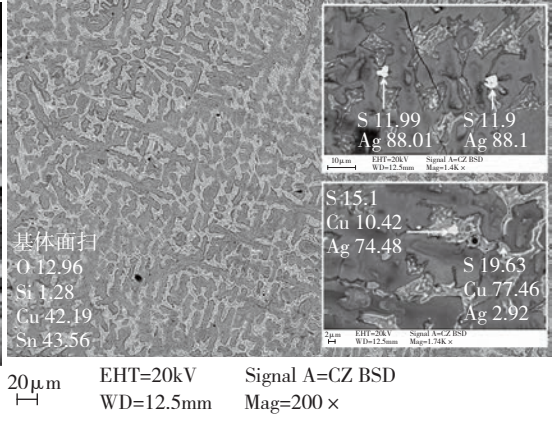
表三 夏家墩遗址出土西周前期铜矿石、铅矿石基体成分（Wt%）

类别	样品号	O	Al	Si	Ca	Fe	Cu	出土单位
铜矿石	24136	28.68	0.41	15.84	1.2	13.45	39.15	T2第4层
	24152	25.26	—	2.71	—	71.43	0.6	T2第5层
	24180	37.51	0.52	17.81	1.83	22.01	18.75	T4第6层
铅矿石	24137	3.79	21.61	2.36	8.37	6.05	57.83	T2第4层
	24138	—	15.35	1.27	—	—	83.38	T2第4层

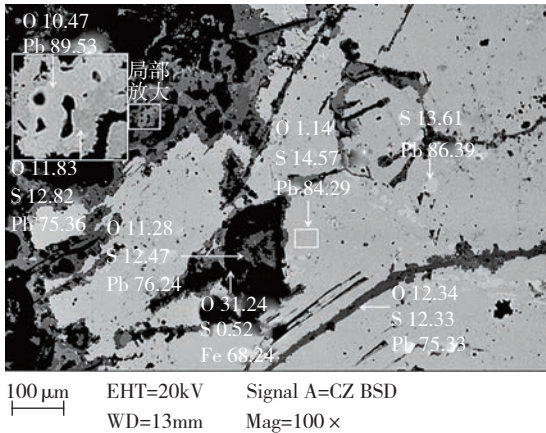
跑冒滴漏而形成。样品24139为风化的小红铜块，严重锈蚀以及完全锈蚀的基体中均可见抗氧化能力强的金属银和冰铜颗粒残留，严重锈蚀的基体中还可可见纯铜相（图一七）。样品24141为锈蚀



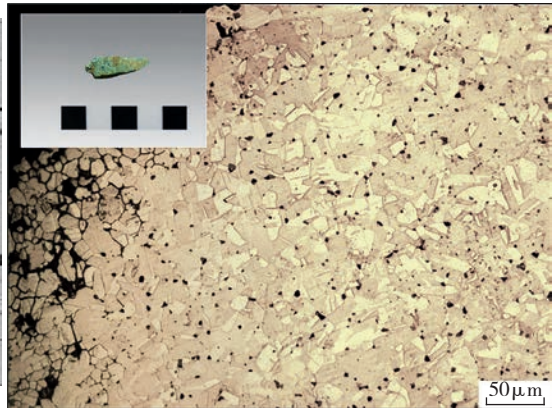
图一五 样品24137伴生毒砂、黄铁矿的方铅矿



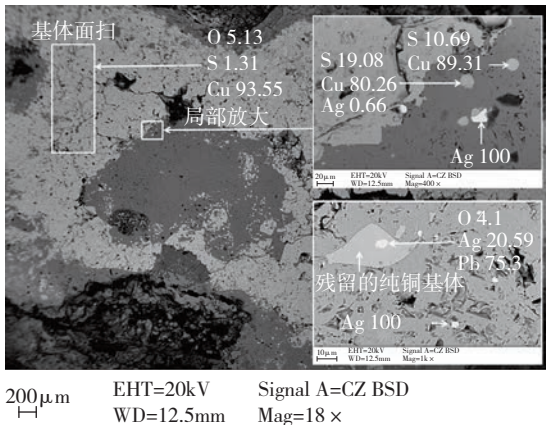
图一八 样品24141锈蚀的小青铜块及辉银矿夹杂



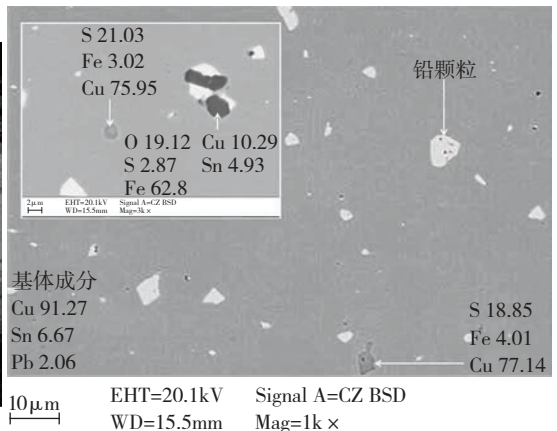
图一六 样品24138方铅矿及其风化物铅矾、铅白



图一九 铜锭（样品24183）前锋金相（热锻）



图一七 样品24139锈蚀的小红铜块及冰铜夹杂



图二〇 铜锭（样品24183）电镜图片（材质为锡铅青铜）

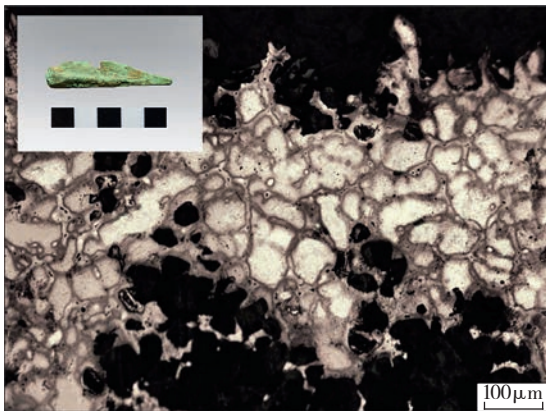
物残留或次生锈蚀所致（图一八）。铜锭（样品24183）出自T1第8a层，取样部位为前锋，热锻组织（图一九），材质为锡铅青铜，电镜下可见铅颗粒、冰铜、铁氧化物等夹杂（图二〇）。铜锥形器（样

物残留或次生锈蚀所致（图一八）。

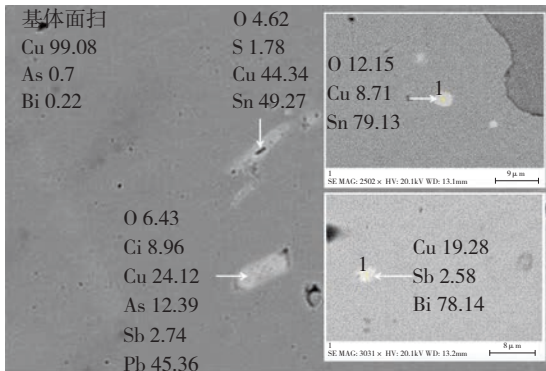
铜锭（样品24183）出自T1第8a层，取样部位为前锋，热锻组织（图一九），材质为锡铅青铜，电镜下可见铅颗粒、冰铜、铁氧化物等夹杂（图二〇）。铜锥形器（样

品24184)也出自T1第8a层,取样部位为刃部,铸后受热组织(图二一), α 晶体优先腐蚀,材质为红铜,电镜下可见锡氧化物、铜锡合金、含砷的富铅相、含铋的富铋相等夹杂(图二二)。该样品锡、砷的来源可能与冶铸所用炉具曾经历锡、砷青铜产品的制备或青铜废料的回炉混熔有关,砷还可能来自铜多金属矿石。

由目前材料看,夏家墩遗址西周前期冶金产品种类包括红铜、砷青铜、锡青铜,铅矿石的发现显示该遗址青铜生产中应有铅的参与。遗址中还可能存在精煉红铜的活动。另外,第一类红铜渣、铜矿石、小铜块、红铜质锥形器中均多见银或铋等特征元素。2件铅矿石1件为富砷,另1件不含砷。



图二一 铜锥形器(样品24184)刃部金相(铸后受热)



图二二 铜锥形器(样品24184)电镜图片(材质为红铜)

(二)西周后期至春秋早期

炉渣多呈黑褐色非玻璃态不规则状,熔融状态一般,断面多见气孔及铜锈色。炉渣基体主要可观察到黑褐色玻璃相、深灰色树突状或板块状铁橄榄石,有的还见有浅灰色类椭圆形浮氏体或白灰色等轴多边状尖晶石族。挂渣炉壁(或坩埚片)外层呈砖红色,渣层常见铜锈色。若以是否夹杂有与合金化有关的含砷颗粒为标准,10件炉渣与4件挂渣炉壁(或坩埚片)可分为两类,分类及基体成分见表四。

第一类有8件炉渣,样品编号为24122~24124、24126、24127、24159、24169、24173;3件挂渣炉壁(或坩埚片),样品编号为24128、24158、24170。均未观察到含砷的夹杂颗粒,推测与红铜生产有关。8件炉渣均为高铁型,主要可见低铁的铜颗粒,还可见冰铜、锌黄铜、铅矿物、铁铬镍(铜铋)矿物等(图二三)。

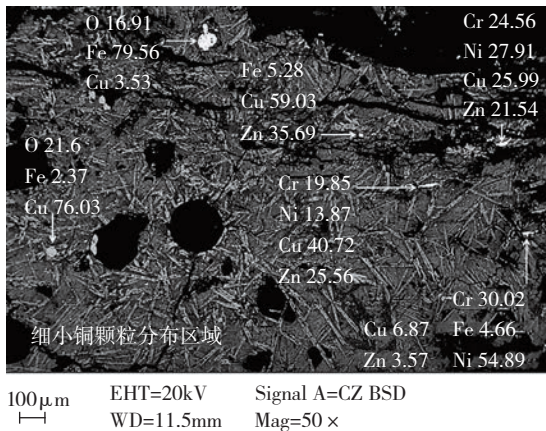
挂渣坩埚片(样品24128)渣层中多粒直径逾1毫米的红铜颗粒均含低量的砷、硫(图二四),但不含铁,与坩埚内弱还原气氛相关。坩埚壁可观察到四次精整或修补的迹象(图二五),修补层富钙、磷,科尼格(König)在研究法国罗马时期冶铜坩埚耐材时认为这种富钙的修补层能够阻止金属颗粒迁移到坩埚层而降低损失^[3]。渣层富硅、钙,小范围内还分布有许多被热压分解的铅砷氧化物颗粒。该样品铅、砷、硫的来源有多种可能性:(1)坩埚内曾进行过砷(铅)青铜的配制;(2)混入铜料的铅、砷料;(3)铜料。另外2件挂渣炉壁(样品24158、24170)基体成分为选取渣层面扫。

第二类有2件炉渣(样品24121、24125)和1件挂渣坩埚片(样品24163),均发现砷青铜颗粒。炉渣为高铁型,样品24121砷青铜颗粒内见有高砷相以及铅、银颗粒(图二六)。样品24125直径400微米砷青铜颗粒内可见独立的氧化亚铜(Cu_2O),

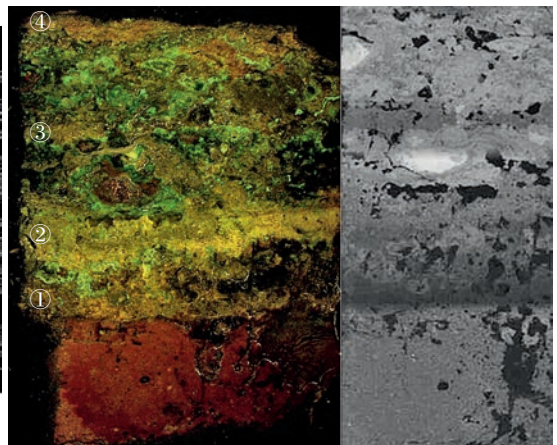
表四 夏家墩遗址出土西周后期至春秋早期炉渣、挂渣炉壁基体成分 (Wt%)

分类	属性	样品号	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	S	Cu	出土单位
第一类	炉渣	24122	1	2.99	37.15	0.67	12.58	45.62	—	0.99	T1第5层
		24123	1.44	6.51	29.05	1.06	14.57	47.38	0.81	1.3	T1第5层
		24124	0.69	4.19	34.6	0.58	5.25	54.69	0.04	2.4	T1第6d层
		24126	1.33	6.32	29.57	1.63	10.81	50.34	1.27	1.41	T1第6d层
		24127	0.86	8.13	26.3	0.62	3.77	60.31	1.03	1.72	T1第6d层
		24159	1.04	5.9	35.12	0.63	7.61	49.71	—	4.76	T3第5层
		24169	1.07	8.13	27.12	0.92	5.12	57.64	0.15	2.36	T4第4层
		24173	0.64	6.11	32.31	0.67	5.45	54.81	0.15	0.89	T4第4层
		平均	1.01	6.04	31.4	0.85	8.15	52.56	0.43	1.98	—
		CV	27%	29%	12%	42%	49%	9%	120%	63%	—
	挂渣炉壁	24158	1.23	7.25	60.72	3.16	4.46	23.17	—	14.09	T3第5层
24170		1.36	7.53	45.55	2.33	14.35	28.89	0.08	1.76	T4第4层	
第二类	炉渣	24121	0.8	8.38	20.2	0.7	3.12	66.79	0.37	2.17	T1第5层
		24125	1.32	5.27	21.58	0.35	0.72	70.75	0.19	23.76	T1第6d层
		平均	1.06	6.83	20.89	0.53	1.92	68.77	0.28	—	—

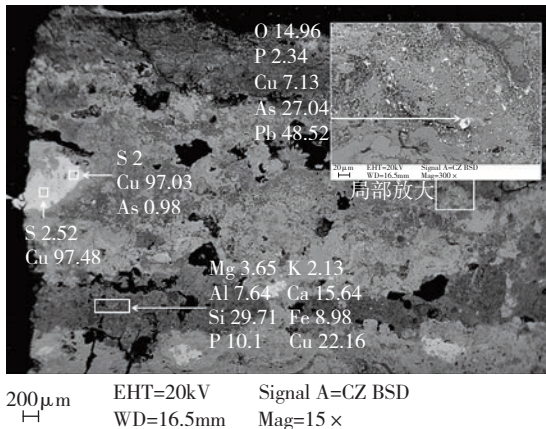
说明：挂渣炉壁（样品24158、24170）基体成分选取炉渣层面扫，挂渣坩埚片（样品24128、24163）炉渣层成分来源较杂，因而未检测其基体成分。



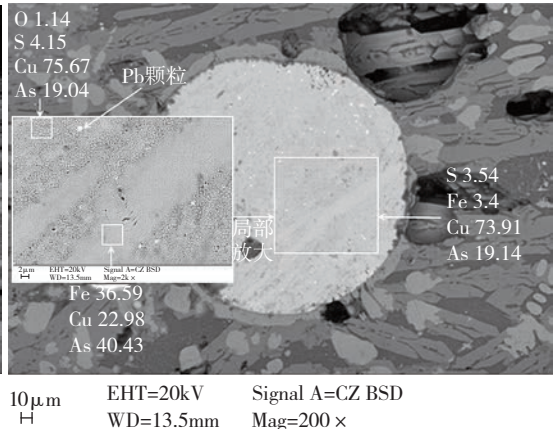
图二三 样品24122较多铁铬镍矿物（不计O）



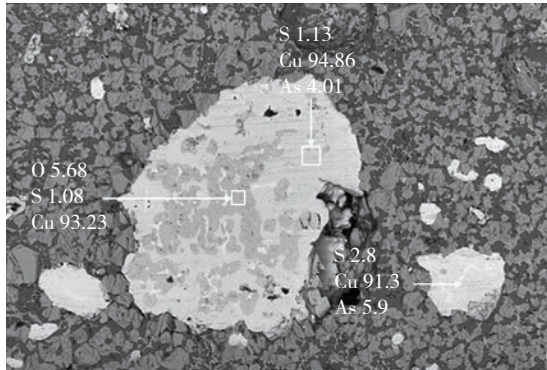
图二五 样品24128可见四次精整迹象及铜颗粒



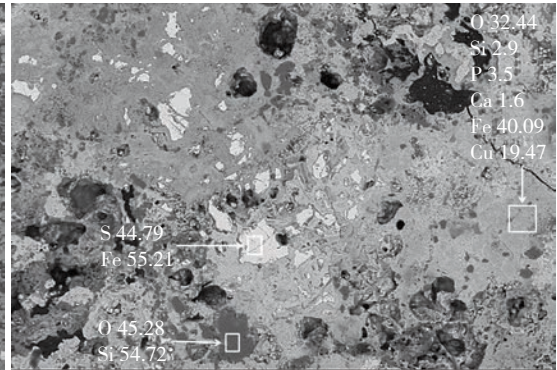
图二四 样品24128铜颗粒及精整层成分



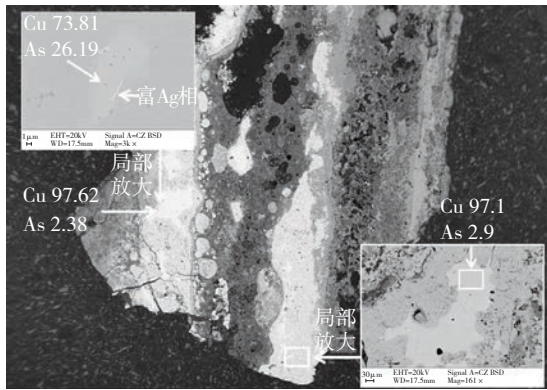
图二六 样品24121砷青铜颗粒及高砷相



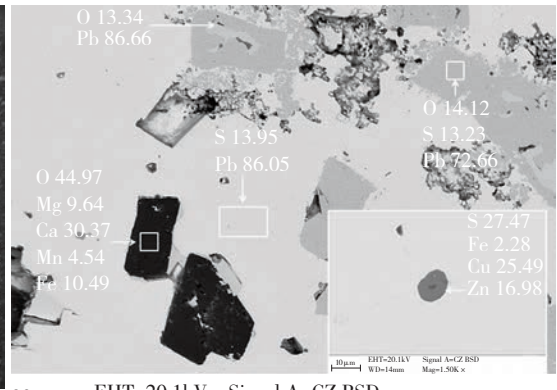
图二七 样品24125砷青铜及氧化亚铜物相



图二九 样品24162共生黄铁矿的铜氧化矿石



图二八 样品24163两层渣层中的砷青铜颗粒



图三〇 样品24174伴生砷、银、铜、锌、锑以及铁白云石的方铅矿

还可见尖晶石族物相(图二七),可能与气氛、温度不稳定或冶炼后期添加砷矿物还原气氛变弱、氧化气氛提高有关。样品24163可见两层明显的渣层(图二八),均发现直径近1毫米的砷青铜颗粒,平均品位约2.6%。

所出1件铜矿石长径约3厘米,表面呈铜绿色,划痕浅绿,断面可见铁锈色风化物。所出1件铅矿石长径约5厘米,表面风化为白灰色,划痕银白,断口亮银色,触之有坠手感。

铜、铅矿石基体成分见表五。铜矿石(样品24162)品位约24%,基体富铁、铝,主要可见铜的碳酸盐、磷酸盐,还见

黄铁矿(FeS_2)及石英(SiO_2)等矿物(图二九)。铅矿石(样品24174)品位约83%,主要可见方铅矿(PbS),还见方铅矿的风化物铅矾($PbSO_4$)、铅白($Pb_3[OH]_4CO_3$),并伴生铜、锌、砷、银、锑等元素以及铁白云石($Ca[Fe,Mg,Mn][CO_3]_2$)、黄铁矿(FeS_2)等矿物(图三〇)。

小铜块(样品24161)出自T3第5层,长径约2厘米,表面呈铜锈色,产品为红铜,可能为冶铸时跑冒滴漏而形成。铜锥

表五 夏家墩遗址出土西周后期至春秋早期铜矿石、铅矿石基体成分(Wt%)

类别	样品号	O	Al	Si	Ca	Fe	Cu	出土单位
铜矿石	24162	31.24	10.12	2.98	2.07	26.62	24.16	T3第5层
铅矿石	24174	3.31	13.58	—	—	—	83.11	T4第4层

(样品24185) 出自T1第4层, 取样部位为尾端, 热锻组织, 材质为锡青铜, 电镜下可见铅颗粒、冰铜颗粒、铁氧化物等夹杂(图三一)。铜锯形器(样品24186) 出自T1第4层, 取样部位为刃部, 铸造组织, 材质为红铜, 还含1.48%的砷, 电镜下可见锡氧化物、高砷相等夹杂(图三二)。锡、砷的来源推测与青铜废料的回炉混熔或冶铸所用炉具曾经历锡、砷青铜产品的制备有关, 砷还可能来自铜多金属矿石。

由目前材料看, 夏家墩遗址西周后期至春秋早期冶金产品种类包括红铜、砷青铜, 2件小件铜器中发现有锡信号以及铅矿石的存在显示青铜生产中可能有锡、铅的参与。遗址中还存在着坩埚冶炼砷青铜的活动。另外, 第一类红铜渣多见铬镍(锌)矿物, 铜

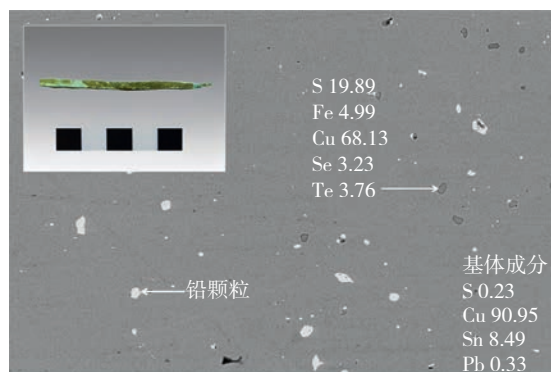
矿石中多见黄铁矿(FeS_2)矿物。铅矿石基体面扫未见砷, 但夹杂物中可见。

二、冶金遗物的技术特征

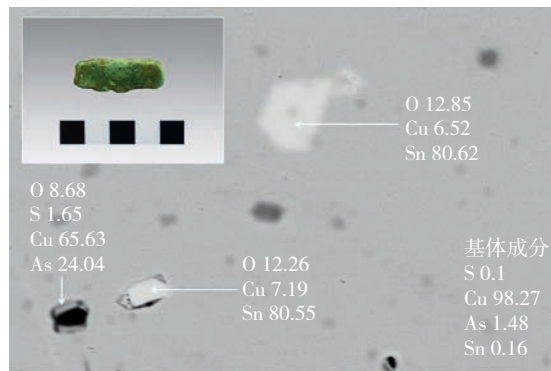
所分析的36件炉渣及挂渣炉壁(或坩埚片)中, 8件与砷青铜生产有关, 1件与锡青铜生产有关, 27件与红铜生产有关。夏家墩遗址存在分别以砷和锡为主要合金元素的两种生产体系, 而砷青铜冶金在该遗址中占有重要地位。从宏观视野看, 砷青铜冶金普遍存在于皖南地区早期冶金遗址。除夏家墩外, 皖南地区目前还发现同时期砷青铜冶金遗址10处^[4], 包括铜陵师姑墩、木鱼山、大墩子、沙包墩、大孤墩、小孤墩, 南陵小脚园以及池州七星墩, 铜陵对岸的枞阳汤家墩、陈家山也发现砷青铜冶炼现象。这一砷青铜生产区域的发现意义非同一般, 说明长江下游的皖南地区是除西北的新疆、甘青地区^[5]之外, 中国早期又一处生产砷青铜的区域, 大大扩展了砷青铜冶金在中国的分布范围。多数学者倾向于将早期砷青铜的赋存与中西方文化交流相关联, 皖南砷青铜冶金区的发现为深入理解该合金的出现模式与流行机制等问题提供了重要材料。

考虑到夏家墩遗址红铜、青铜冶炼渣的基体成分和物相特征与大冶香炉山遗址所出者相似^[6], 结合长江中下游早期青铜冶金的技术背景^[7], 青铜冶炼工序推测为两步法, 即红铜基本还原完成将大多数炉渣排出, 然后向炉内加入砷、锡还原生产青铜, 并排出少量含合金颗粒的青铜渣。而变异系数(CV)除 SiO_2 、 FeO 外, 其他成分数值较大(见表二、表四), 反映了冶炼中炉料或环境气氛并不十分稳定。另外, 遗址中还可能存在精炼红铜以及坩埚内冶炼红铜、砷青铜的活动。

关于炉渣中观察到的锌黄铜颗粒(如图二三所示), 可能与使用伴生闪锌矿(ZnS)、菱锌矿(ZnCO_3)的矿石炼铜有



图三一 铜锥(样品24185)电镜图片(材质为锡青铜)



图三二 铜锯形器(样品24186)电镜图片(材质为红铜)

关。孙淑云、韩汝玢曾用孔雀石添加菱锌矿与直接冶炼铜锌共生矿两种配料方法实验复原我国新石器时代晚期锌黄铜生产工艺^[8]，结果就多见含锌不等的黄铜颗粒。

三、冶金遗物的矿源特征

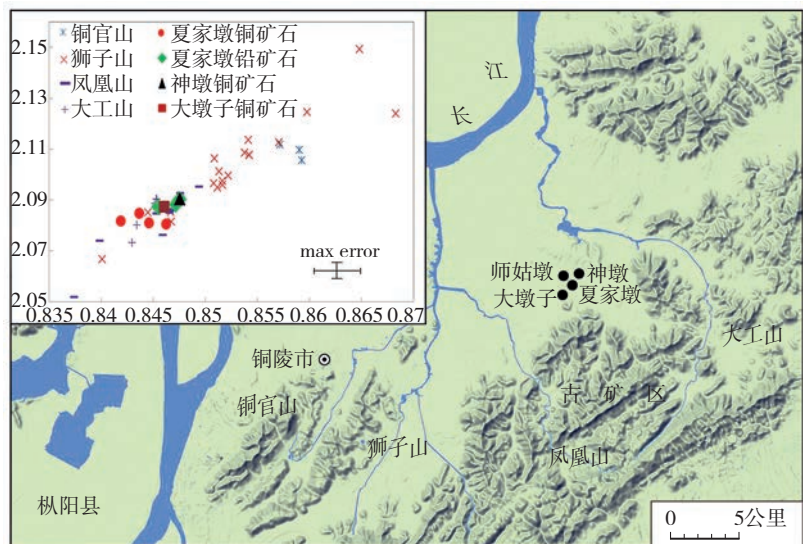
夏家墩遗址西周前期红铜渣及铜矿石多见银、铋等特征元素，西周后期至春秋早期红铜渣多见铬、镍、锌等特征元素，铜矿石还共生黄铁矿，暗示两个时期开采的铜矿石可能处于不同地质成因的矿脉。铜陵地区丰富的铜多金属资源足以保障当地青铜冶金业的基础原料，这里有着铜官山、狮子山、凤凰山、大工山四大古矿区^[9]，覆盖面积达数百平方公里；典型商周采矿遗址有铜陵金山、万迎山、小铜山，早期文化遗物可见印纹陶片、绳纹陶片、夹砂红褐陶片以及亚腰石锤、木铲、支护木等。

为加深认识夏家墩遗址铜料与当地铜官山、狮子山、凤凰山、大工山四大古矿区之间的关系，将夏家墩遗址铜（铅）矿石铅同位素比值数据与铜陵矿集区矿山进行比对^[10]，并引入附近年代相近的神墩、大墩子遗址数据^[11]（表六；图三三），发现三处遗址的数据均落在10余公里范围的凤凰山、大工山古矿区数据类聚区域，而与铜陵西部的铜官山、狮子山古矿区数据类聚区域有所差异。除此之外，本文还进一步引入铜陵之外的皖南枞阳汤家墩遗址、赣西北共青城（原属德安县）陈家墩遗址的铜矿石与长江中下游上百个多金属矿山数据进行比

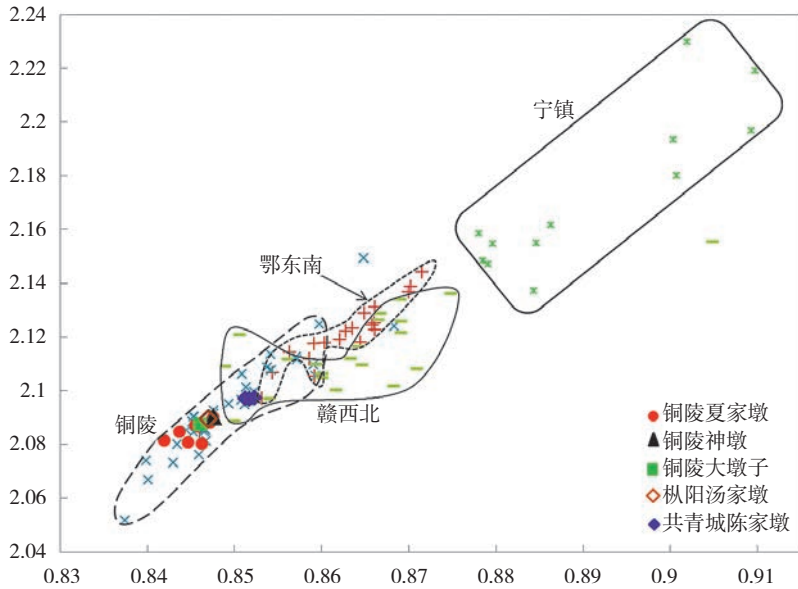
表六 铜陵、枞阳、共青城各遗址铜（铅）矿石的铅同位素比值数据

遗址	属性	样品号	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
铜陵 夏家墩	铜矿石	24136	18.476	15.605	38.443
		24152	18.551	15.618	38.614
		24162	18.504	15.611	38.575
		24180	18.43	15.596	38.34
	铅矿石	24137	18.451	15.6	38.508
		24138	18.377	15.575	38.411
24174		18.36	15.553	38.336	
铜陵 神墩	铜矿石	24252	18.383	15.58	38.429
铜陵 大墩子	铜矿石	24258	18.428	15.591	38.463
枞阳 汤家墩	铜矿石	24416	18.412	15.595	38.474
共青城 陈家墩	铜矿石	24559	18.347	15.625	38.467
		24560	18.335	15.625	38.456
		24561	18.375	15.641	38.534

对^[12]（见表六；图三四），结果发现汤家墩数据落在皖南一带，陈家墩数据则落在赣北地区，铜陵各遗址矿石与赣西北、鄂东南、宁镇地区没有重叠，显示了各区域铜矿石来源与当地矿山关系密切。也即是说，包括夏家墩在内的皖南各遗址所使用铜矿料可能还



图三三 铜陵各遗址铜（铅）矿石与铜官山、狮子山、凤凰山、大工山四大古矿区的铅同位素比值（ $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ）关系图



图三四 铜陵、枞阳、共青城各遗址铜（铅）矿石与长江中下游多金属矿山的铅同位素比值（ $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ）关系图

是倾向于距离相对较近的本地矿山。

关于砷料的来源，王开、陈建立在研究师姑墩冶铸遗物时认为砷料来自单独的添加，而不是由铜矿引入^[13]。由于夏家墩红铜渣金属颗粒及铜矿石均不含砷，砷料也应来自单独的矿石。科学分析发现，砷青铜渣样品24168可见长约500微米的铅砷氧化物（见图一〇），出土的铅矿石可见富毒砂的方铅矿（见图一五）。师姑墩遗址炉渣、铜块、铜器合金成分中也发现砷、铅并存现象^[14]。周边同时期的铜陵沙包墩遗址炉渣中还观察到使用砷铅共生矿生产砷铅青铜的迹象^[15]。铜陵地区冶金遗物这种砷、铅关系密切的现象能够为探究砷料产地提供有益的讨论空间，这里也确实多见毒砂（FeAsS）与铅锌矿共生的矿点^[16]。考虑到这层关系，我们对夏家墩遗址出土铅矿石的铅同位素比值与长江中下游各区域矿山进行比对（见表六、图三四），发现铅矿石数据均落在铜陵矿集区，而与鄂东、赣北、宁镇有所差异，暗示砷料的来源倾向于当地。至2003年，安徽砷的累计采出量在全国居第5位，且主要分布于皖南，典型砷矿如铜陵的天鹅抱蛋山^[17]，

储量达9.3万吨。基于当地商周时期的采选技术，氧化带、浅表中的砷由于品位高、储藏浅可能已为先民所使用，但该问题的研究尚待加强。

目前皖南一带尚无产锡的报道，江西的锡矿可能成为长江下游青铜器的重要矿源，长江中下游之间应当存在着基于复杂社会体系下的锡料运输线路。正如这一时期，长江中下游沿江一带普遍可见高

（矮）锥状足鬲（鼎）、鼎式鬲、护耳甗、带把器、带把盃、镂空豆等器物，以及均发现夹砂红褐陶、印纹陶、原始瓷等文化共性现象，同时也可能将大范围内金属矿产的开采、冶铸技术传播、资源流通等人类活动紧密联系。

四、产业格局

放大到更宏观的地带去观察，以中原和长江下游为代表的商周时期青铜产业格局特征反映了各地区社会复杂化的实现存在着不同的途径，礼制背景则是两者所推崇的内容形式有所不同。例如晋南地区过多呈现了由上到下的权力意识，冶铸工序分离、合金成分规范、礼容器铸造置于王权严控之下^[18]，冶金遗址的设址可能需要特定的统筹规划。而铜陵地区产业格局在日常生活诸多方面同样扮演着重要角色，并涉及到当时的社会复杂程度。

首先是聚落内，研究发现该地区的矿冶技术无须上层严格保密与管制^[19]，小型生产组织可能“淘金热”式的开采矿石，且以血缘、家户为基础自行生产少量红铜、青铜

与小件器物。遗址中普遍发现冶金坩埚，有的还发现铸造礼容器的陶范（如师姑墩），未能实现冶、铸的空间分离，也未能实现与农业、渔猎等基础性生产活动的剥离。本文的研究揭示了以夏家墩遗址为代表的中小型聚落内冶金生产链可能存在着从矿石开采与冶炼、粗铜精炼、合金化到铜器铸造相对完整的五个环节，家户劳动者可能掌握了整个链条的绝大部分技术，而非专注于某项生产工序。

其次是区域内，铜陵地区集中分布着数十处像师姑墩、夏家墩这样从事青铜冶金的中小型聚落，这类聚落附近地势平缓且防御诉求不强，聚落间尚未真正形成资源压力下的竞争关系。而大型冶金遗存铜陵木鱼山遗址以及周边皖南大城——南陵牯牛山城址的存在^[20]，似乎暗示它们可能在政治或经济上依附于大城或“核心作坊”进行家户式生产；我们也很难得出中小型聚落和大城、中心遗址之间是地位平等的交流互动，从而显现出产业纽带下地缘关系凝聚力的加强趋势以及宏观控制运转的社会结构。同时在区域间，当地菱形铜锭的较多发现暗示作为“冶金产业园”的铜陵地区甚至可能通过复杂的运作机制将更充裕的剩余产品输往牵涉青铜资源流通的淮夷、南淮夷或中原。土著势力通过附近矿山资源直接冶炼矿石得到金属产品，减少了原先与其他地区矿石贸易的中间环节，进而降低物耗成本、提高利润空间、积累社会财富，连锁带动本地冶金业的持续兴盛。

虽然铜陵地区家户背景下的产业链条简单直接、合金元素波动不稳，体现出相对较弱的社会整合力、不显著的阶层分化，却展示了中小聚落的有机力量、系统整合的日益强化以及地方文化的活跃程度，因而对于社会复杂化影响也是显而易见，它的背后应存在着某个擅长青铜冶金铸造、分配消费和贸易交换的手工业生产族群。诚然，中原地

区有着更统一的意识形态、更彻底的贡赋制度、更精密的社会分工，我们可通过中原体系衡量其他产业格局的形成。但也需与时代环境相联系：（1）长江下游各区域土著势力尚未形成统一的文化秩序，中心遗址或高级聚落与中小型聚落关系松散，集权模式较弱，社会资源整合度与中原文明的王权专制还有差距；（2）江淮地区的淮夷、群舒集团限制了中原文化的南下冲击，客观上保护了长江以南相对独立的文明进程及技术传统。

结 语

铜陵夏家墩遗址冶金技术与内涵的新发现大大丰富了对长江下游商周青铜文明的认识，对于探讨边缘文化地区的早期文明模式、复杂社会、青铜产业格局等问题提供了重要的科学材料。而随着铜陵一带考古工作的深入，未来还需继续结合田野工作进行科学分析，同时紧密跟进考古年代学研究成果以建立更细微的阶段性冶金技术特征，进而提炼新材料、发现新问题，并以问题为导向从冶金考古视角推进长江流域早期文明史、社会复杂化等热点课题的研究深度。

附记：本文为国家社科基金重大项目“先秦时期中原与边疆冶金手工业”（编号17ZDA219）的阶段性成果。写作过程中得到北京大学崔剑锋、北京科技大学刘思然、四川大学黎海超、中国社会科学院考古研究所李宏飞、陕西省考古研究院李建西等诸位师友的指导帮助；样品收集过程中得到铜陵市博物馆唐杰平、德安县博物馆周迪人先生的帮助，在此致以衷心感谢！

注 释

- [1] a.安徽省文物考古研究所：《安徽铜陵县师姑墩遗址发掘简报》，《考古》2013年第6期。
b.王开等：《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。
- [2] 安徽省文物考古研究所、北京大学考古文博学

- 院：《安徽铜陵夏家墩、神墩遗址发掘简报》，《江汉考古》2015年第6期。
- [3] König D., Serneels V., Roman Double-layered Crucibles from Autun/France: A Petrological and Geochemical Approach, *Journal of Archaeological Science*, 1:156-165, 2012.
- [4] a.为本文作者之一李延祥团队的冶金考古成果, 详细资料待发表, 本文暂先引用。
b.同[1]b。
- [5] a.陈坤龙等：《丝绸之路与早期铜铁技术的交流》，《西域研究》2018年第2期。
b.李延祥等：《敦煌西土沟遗址冶金遗物研究》，《敦煌研究》2018年第2期。
- [6] 李延祥等：《大冶香炉山遗址采集炉渣初步研究》，《江汉考古》2015年第2期。
- [7] 同[4]a。
- [8] 北京钢铁学院冶金史组：《中国早期铜器的初步研究》，《考古学报》1981年第3期。
- [9] 杨立新：《安徽沿江地区的古代铜矿》，见《文物研究》第8集, 黄山书社, 1993年。
- [10] a.杨学明、林文通：《铜官山矿区金口岭铜金矿床围岩蚀变、成矿物理化学条件及成矿机理研究》，《地质科学》1989年第4期。
b.陆三明等：《安徽铜陵狮子山铜金矿田铅同位素地球化学特征》，见《中国矿物岩石地球化学学会第10届学术年会论文集》，矿物岩石地球化学学会, 2005年。
c.徐兆文等：《铜陵冬瓜山层状铜矿同位素地球化学及成矿机制研究》，《地质评论》2007年第1期。
d.臧文拴等：《浅析安徽省新桥S-Fe矿田的成因》，《矿床地质》2007年第4期。
e.刘绍锋等：《安徽姚家岭锌金多金属矿床地质特征及成矿流体研究进展》，见《中国矿物岩石地球化学学会第14届学术年会论文集》，矿物岩石地球化学学会, 2013年。
- [11] 同[4]a。
- [12] a.同[4]a。
b.江西省文物考古研究所、德安县博物馆：《江西德安县陈家墩遗址发掘简报》，《南方文物》1995年第2期。
c.同[10]。
d.王彦博等：《湖北铜绿山矽卡岩型铜铁矿床同位素地球化学研究》，《现代地质》2011年第4期。
e.贾宝剑等：《湖北鸡笼山矽卡岩型铜矿床铅同位素地球化学研究》，《现代地质》2012年第3期。
f.季绍新等：《九瑞地区铜矿床的稳定同位素地球化学》，《华东地质》1986年第3期。
g.孟良义、黄恩邦：《城门山铜、钼矿床的稳定同位素地质》，《长春地质学院学报》1988年第3期。
h.真允庆、陈金欣：《南京栖霞山铅锌矿床硫铅同位素组成及其成因》，《桂林冶金地质学院学报》1986年第4期。
i.叶敬仁：《长江中下游铁铜多金属矿带的铅同位素研究及其大地构造与成矿学意义》，《大地构造与成矿学》1985年第4期。
j.有色总公司华东地勘局810队：《江苏省江宁县伏牛山铜矿区仙人桥矿段详查地质报告》，全国地质资料馆第86068号, 1991年。
- [13] 同[1]b。
- [14] 同[1]b。
- [15] 同[4]a。
- [16] 安徽地质局321队：《铜陵幅H-50-44-B 1/5万区域地质矿产调查报告》，全国地质资料馆第48416号, 1969年。
- [17] 邵毅等：《安徽铜陵马山层控金铜硫矿床成因》，《地质找矿论丛》2010年第4期。
- [18] 李延祥：《中原与北方地区早期青铜产业格局的初步探索》，《中国文物报》2014年2月28日第5版。
- [19] 同[4]a。
- [20] 安徽省文物考古研究所：《安徽考古的世纪回顾与思索》，《考古》2002年第2期。

(责任编辑 李学来)

本期要览

上海市青浦区崧泽遗址2014年发掘简报 2014年,河南大学历史文化学院等对崧泽遗址保护范围内建设用地区进行了抢救性发掘,发现较丰富的崧泽文化、良渚文化及东周等时期的遗存,包括灰坑、水井等遗迹,出土较多陶器、石器、玉器等遗物。此次发现的良渚文化和崧泽文化遗存的直接叠压关系,为研究两者的发展演变、周边地区史前文化的变迁等提供了重要资料。

安徽含山县凌家滩遗址新石器时代墓葬的清理 2016年底,凌家滩遗址考古队对遗址区内现代坟(万氏坟)底部残存的一座新石器时代墓葬进行了清理,发现50余件玉、石器及少量陶器,其中玉器有玉雕人头像、璜、玦、环等,石器有钺、镞,陶器有高柄豆、细长颈壶。此次清理对于进一步了解凌家滩遗址与红山、良渚等考古学文化的交流具有重要意义。

辽宁北镇市新立遗址一号基址2015~2018年发掘简报 2015~2018年,辽宁省文物考古研究院等在新立遗址一号基址的发掘中揭露出一组廊院建筑,出土大量绿琉璃质的瓦当、滴水、凤鸟、鸱尾及花斑石等建筑构件和瓷器、铁器、铜器、玉册等遗物。从遗存特征、遗址年代和地望分析来看,该基址与辽庆陵前殿址性质和功能相同,应为辽乾陵玄宫前的享殿址。

苏州五峰北遗址磨制石器的“操作链”及“生命史”研究 采用“操作链”概念、级差动态分类法和微痕分析技术,对五峰北遗址石制品进行了类型、功能和生命史的多角度研究,构建出该遗址磨制石器一般的完整“操作链”。并对石凿及相关产品展开详细分析,基本复原出良渚时期苏州地区石凿的制作工艺与生产流程,为研究磨制石器提供了新的案例与思路。

安徽铜陵夏家墩遗址出土青铜冶金遗物科学研究 夏家墩遗址是安徽南部一处具有典型冶金内涵的商周遗存。科学分析表明,该遗址合金技术体系以砷和锡为主,所用铜料、砷料推测来自当地,锡料可能来自赣北。而当地独特的青铜产业格局与社会复杂化密切关联。此项研究可为深入探讨边缘文化地区早期文明史、复杂社会及砷青铜冶金等问题提供重要例证。