

# 安徽铜陵县师姑墩遗址出土青铜冶铸遗物的相关问题

王 开 陈建立 朔 知

关键词：安徽铜陵县 师姑墩遗址 青铜冶铸 夏商周时期

KEYWORDS: Anhui Tongling County Bronze Foundry Xia, Shang and Zhou Dynasties

ABSTRACT: The Shigudun Site in Tongling County, Anhui Province is a bronze workshop site with smelting and casting procedures excavated archaeologically. Through the analyses to the remains and relics of bronze smelting and casting of the Xia, Shang and Zhou Dynasties, we can understand the technical characteristics and dates of these remains and relics and preliminarily speculate that the nature of this bronze workshop site might be different from that of the official workshops in the Central Plains, which provided systematic and scientific materials for further understanding the development of the early metallurgy in China and the situation of its production organization.

## 前 言

皖南拥有长江中下游最重要的铜矿带之一，迄今在当地发现的采矿、冶炼遗址数量众多，年代普遍在西周至唐宋时期，但当地出土的先秦时期青铜器风格各异，冶炼遗址与青铜器之间的关系尚不明了。安徽地区时代已知最早的青铜器为1972年在安徽中部肥西县馆驿大墩孜二里头文化晚期遗址中出土的单扉棱铜铃<sup>[1]</sup>和弦纹罍<sup>[2]</sup>。另外，在屯溪弈棋<sup>[3]</sup>、繁昌孙村、汤家山，贵池徽家冲，青阳汪村<sup>[4]</sup>、十字村、龙岗春秋墓，铜陵童墩<sup>[5]</sup>、金口岭、谢垅<sup>[6]</sup>、双龙村，芜湖韩墩，枞阳汤家墩<sup>[7]</sup>，庐江莫庄<sup>[8]</sup>，宣城正兴村<sup>[9]</sup>等遗址或墓葬中出土的商周时期青铜器，与中原地区及吴

楚文化的青铜器均有密切联系。据此，杨立新认为皖南青铜冶铸业是在商代中期受中原文化的影响而产生<sup>[10]</sup>；李学勤则认为商代前期中原文化已影响到皖南，周公东征将周朝的势力进一步深入安徽南部地区<sup>[11]</sup>。张爱冰结合在肥西大墩孜、含山大城墩、孙家岗等遗址发现的铜渣和木炭屑，以及在含山大城墩遗址发现的完整商代熔铜坩埚和在潜山彰法山遗址发现的陶范指出，夏商时期江淮地区普遍存在青铜冶铸<sup>[12]</sup>。那么，与江淮地区仅一江之隔的皖南铜矿资源重地是否早在二里头文化时期也开始了青铜冶铸活动，是值得研究的问题。

2010年发掘的师姑墩遗址堆积涵盖了夏、商、西周至春秋三个大的时期，构建了

作者：王 开，北京市，100086，中国国家博物馆。

陈建立，北京市，100871，北京大学考古文博学院。

朔 知，北京市，230061，安徽省文物考古研究所。

较完整的文化序列,文化面貌复杂,是认识皖南地区文化面貌的重要材料<sup>[13]</sup>。同时,遗址各期均有数量不等的与青铜冶铸各个环节相关的遗物,包括炉渣、炉壁、铜器、铜块、铅锭、陶范和石范等,是研究三代青铜冶铸工艺难得的材料,为从当时基层社会角度来探讨青铜器的生产、流通等环节提供了新的线索。特别是该遗址T8第10层、T9第11层和灰坑H9出土了3件炉壁,据对陶器的初步整理结果可知,这三个层位和灰坑年代应相当于二里头文化第三至四期;T8第10层中出土的木炭样品经碳十四年代测定和树轮校正,年代为公元前1770年到公元前1610年(2δ),与陶器分期结果吻合。综合多方面证据,初步认为师姑墩遗址的冶铸活动可能在二里头文化第三至四期已存在,年代甚早,意义重大,值得高度重视。为判定这批冶铸遗物的性质,我们检测分析了部分样品,本文将介绍分析结果,并初步讨论几个相关的问题。

## 一、出土冶铸遗物及分析检测结果

### (一) 样品情况

从冶金过程分析,可将炉渣简单分为金属冶炼渣和合金熔炼渣,冶炼渣和熔炼渣具有不同的组织和元素组成特征。通过对炉壁本身、附着于炉壁的炉渣以及弥散其中的金属颗粒的分析,可推断金属冶炼和合金熔炼的技术特征。根据残铜器、铜块可能为冶炼

和熔炼过程中的原材料或制成品的残片,可推断当时使用的原材料或成品的合金种类。为系统研究师姑墩遗址冶金活动的性质,本文对该遗址出土与冶铸相关的遗物共80余件样品中的68件进行分析,包括25件铜器、14件铜块、7件炉渣、19件炉壁、1件铅锭和2件陶范(表一)。需要指出的是,由于商时期(遗址中期)堆积仅在局部发现,材料较少,尚未发现这一时期的冶铸遗物,所以通过本批样品无法了解该遗址商时期冶铸的状况。

### (二) 金相显微观察与扫描电镜能谱分析

对68件样品中的40件(包括8件铜器、5件铜块、7件炉渣、17件炉壁、1件铅锭和2件陶范)进行取样分析,样品分别用酚醛树脂热镶和环氧树脂冷镶,固化后经过300目到2000目的砂纸依次打磨,抛光后利用LEICA DM4000M型金相显微镜进行显微组织观察,其中铜器和铜块样品用三氯化铁盐酸酒精溶液浸蚀后观察金相组织、夹杂物形态和铅的分布状况,并拍摄金相照片;炉渣和炉壁样品直接观察拍照。为进一步确定各相成分,使用Quanta200F场发射环境扫描电子显微镜及能谱分析仪(SEM-EDX),在加速电压15千伏条件下,对样品的合金成分采用面扫描的方式,一般选择锈蚀较少的部位进行1~3次面扫描,取平均值代表样品的合金成分;样品中的夹杂物和特殊相采用点测方式。表二列出了13件铜器、铜块和1件铅锭的SEM-EDX

表一 师姑墩遗址出土冶铸遗物及分析一览表

| 年代<br>类型 | 早期            | 晚期              |               |                     |                | 合计     |
|----------|---------------|-----------------|---------------|---------------------|----------------|--------|
|          | 二里头文化<br>三到四期 | I段(西周早<br>中期之际) | II段(西周<br>中期) | III段(西周晚期<br>至两周之际) | IV段(春秋早<br>中期) |        |
| 铜器       |               | 5(5)            | 15(14)        | 3(3)                | 3(3)           | 26(25) |
| 铜块       |               | 2(2)            | 14(10)        | 3(1)                | 3(1)           | 22(14) |
| 炉渣       |               | 2(2)            | 4(4)          |                     | 1(1)           | 7(7)   |
| 炉壁       | 3(3)          | 1(1)            | 16(13)        | 3(2)                |                | 23(19) |
| 范(陶、石)   |               |                 | 2(2)          | 1                   | 1              | 4(2)   |
| 铅锭       |               |                 | 1(1)          |                     |                | 1(1)   |
| 合计       | 3(3)          | 10(10)          | 52(44)        | 10(6)               | 8(5)           | 83(68) |

说明:括号内的数字为本文检测的数量。

表二 样品的SEM-EDX成分分析结果 (wt%)

|    | 样品号     | 类型    | Cu    | Sn    | Pb    | As   | Fe    | S    | O     | 其他  | 合金类型           | 年代        |            |
|----|---------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|---|----------------|-----------|------------|
| 1  | T5⑧:2   | 铜块    | 87.37 |       |       | 3.81 | 3.17  | 1.70 | 3.95  |   | CuAs           | 晚期<br>I段  |            |
| 2  | T9⑨:1   | 铜铍    | 75.24 | 13.49 | 8.56  |      |       |      | 1.71  |   | CuSnPb         |           |            |
| 3  | T4⑦:2   | 残铜器   | 62.21 |       | 32.88 |      |       | 2.28 | 2.63  |   | CuPb           | 晚期<br>II段 |            |
| 4  | T6⑧:47  | 铜块    | 32.36 | 1.45  |       | 2.77 | 18.60 |      | 41.94 | P2.88   | CuAs<br>(Sn)   |           |            |
| 5  | T8⑦:4   | 残铜器   | 86.97 | 3.91  |       | 5.54 |       | 1.38 | 2.21  |   | CuSnAs         |           |            |
| 6  | T8⑦:9   | 铅块    |       |       | 93.29 |      |       |      | 6.71  |   | Pb             |           |            |
| 7  | T9⑥:11  | 残铜刀   | 69.58 | 7.04  | 12.61 |      |       |      | 10.78 |   | CuSnPb         |           |            |
| 8  | T9⑥:19  | 残铜器口沿 | 83.52 | 7.80  |       | 5.08 |       | 1.18 | 2.43  |   | CuSnAs         |           |            |
| 9  | T28⑤:5  | 铜块    | 95.76 |       | 3.04  | 1.21 |       |      |       |   | CuPb<br>(As)   |           |            |
| 10 | T41⑤:40 | 铜块    | 41.05 | 1.88  |       |      | 31.18 | 0.40 | 17.86 | Ca0.82<br>Mg0.76<br>Al2.32<br>Si2.83<br>P0.89 | Cu (Sn)        |           |            |
| 11 | T36④:28 | 残铜器   | 62.83 |       | 16.88 |      | 4.01  |      | 15.80 | P0.28<br>Si0.41                               | CuPb           |           | 晚期<br>III段 |
| 12 | T9③:1   | 残铜器   | 67.61 |       | 29.83 |      |       |      |       | Cl2.57  | CuPb           |           |            |
| 13 | T40③:39 | 铜块    | 79.11 | 18.14 |       |      |       |      | 2.76  |   | CuSn           | 晚期<br>IV段 |            |
| 14 | T7③:1   | 残铜矛   | 53.80 | 28.01 | 2.79  | 0.87 |       |      | 14.54 |   | CuSnPb<br>(As) |           |            |

说明：第4、7、10、11、14号样品因锈蚀比较严重，成分数据只适于定性判断合金类型。

表三 炉渣样品元素组成的SEM-EDX分析结果 (wt%)

|   | 样品号      | 分析方式 | CuO  | PbO  | As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO   | FeO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 炉渣<br>类型    | 年代        |
|---|----------|------|------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------------------------------|-------------|-----------|
| 1 | T5⑧:21   | 面扫   | 3.11 |      |                                | 1.51 | 5.46                           | 58.56            | 3.04             | 11.15 | 16.17 |                               | 熔炼铅青<br>铜渣  | 晚期<br>I段  |
| 2 | T6⑩:112  | 面扫   | 6.11 |      |                                | 1.27 | 3.94                           | 9.18             |                  | 2.96  | 76.54 |                               | 冶炼渣         |           |
| 3 | T6⑨:10   | 面扫平均 | 0.62 |      |                                | 0.81 | 6.14                           | 25.63            | 1.20             | 6.40  | 59.21 |                               | 冶炼渣         | 晚期<br>II段 |
| 4 | T6J1①:24 | 面扫平均 | 2.87 |      |                                | 1.16 | 5.52                           | 23.88            | 1.02             | 5.36  | 60.20 |                               | 冶炼渣         |           |
| 5 | T29②:39  | 面扫   |      | 4.98 | 2.87                           |      | 7.56                           | 36.81            | 2.19             | 16.62 | 26.59 | 2.36                          | 熔炼铅神<br>青铜渣 |           |
| 6 | T8⑦:5    | 面扫   |      |      |                                |      | 8.58                           | 36.18            | 1.10             | 4.85  | 46.53 |                               | 冰铜冶炼<br>渣   |           |
| 7 | T41②:8   | 面扫平均 |      |      |                                | 1.48 | 8.50                           | 53.74            | 1.52             | 11.22 | 23.54 |                               | 冰铜冶炼<br>渣   |           |

说明：样品含炉壁上附着的渣。

面扫描平均成分。炉渣和炉壁样品成分分布不均匀，需利用SEM-EDX对样品中的多个相以及金属颗粒进行分析，表三和表四列出了7件炉渣样品和17件炉壁样品的检测结果。

### (三) 便携式X射线荧光光谱分析

对28件样品用热电NITON-301便携式X荧光光谱分析仪(PXRF)在锈蚀较少的部位测定成分(表五)。鉴于PXRF设备的检

测误差，以及部分铜器和铜块锈蚀严重，其结果在本文中只用于定性判断样品的合金类型，采取2%为标准，样品中含量小于2%的锡、铅、砷等元素在表五中以括号标注。

## 二、出土冶铸遗物的技术分析

### (一) 师姑墩早期

师姑墩遗址早期地层中出土与冶铸相关

炉壁样品元素组成的SEM-EDX分析结果 (wt%)

| 样品号 | 分析方式                | CuO   | SnO <sub>2</sub> | PbO   | As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO   | FeO   | 炉渣类型   | 年代       |
|-----|---------------------|-------|------------------|-------|--------------------------------|-------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------|-------|--------|----------|
| 1   | T8⑩:1<br>面扫平均(无附着渣) |       |                  |       |                                | 1.10              | 1.01 | 16.14                          | 73.30            |                               | 2.73             |       | 4.98  | 与铅相关   | 早期       |
| 2   | T9⑩:62<br>面扫        | 2.48  |                  |       |                                |                   | 1.96 | 9.26                           | 41.35            |                               | 0.88             | 18.58 | 25.48 | 熔炼青铜   |          |
| 3   | H9:4<br>锈面扫平均(无附着渣) | 28.68 | 20.48            | 18.98 |                                |                   | 2.23 | 2.51                           | 13.85            | 1.19                          |                  | 9.86  | 2.21  | 熔炼铅锡青铜 |          |
| 4   | T9H3:1<br>炉壁基体面扫平均  |       |                  |       |                                |                   |      | 14.76                          | 73.73            |                               | 4.09             |       | 7.41  | 黏土质    | 晚期 I 段   |
|     | 附着渣面扫平均             | 3.52  |                  |       |                                |                   | 1.22 | 5.09                           | 50.24            | 3.84                          |                  | 3.60  | 32.49 | 熔炼铅锡青铜 |          |
| 5   | T8⑧:3<br>面扫平均       |       |                  |       |                                |                   | 2.89 | 11.24                          | 38.53            | 2.92                          |                  | 19.16 | 25.26 | 熔炼铅青铜  | 晚期 II 段  |
| 6   | T29⑤:2<br>附着渣面扫平均   | 34.58 |                  |       |                                |                   | 2.02 | 6.58                           | 34.23            |                               | 1.65             | 5.93  | 10.24 | 熔炼红铜   |          |
| 7   | T29⑤:5<br>炉渣A面扫平均   |       |                  |       |                                |                   |      | 7.56                           | 36.81            | 0.77                          | 2.19             | 16.62 | 26.59 | 冶炼冰铜   |          |
| 8   | T28②:9<br>面扫平均      | 5.46  |                  | 7.50  |                                |                   |      | 15.19                          | 63.37            | 5.41                          |                  |       | 5.08  | 熔炼铅青铜  |          |
| 9   | T5④:69<br>附着渣面扫平均   | 0.86  |                  | 43.73 |                                |                   |      | 5.02                           | 43.56            |                               | 1.19             | 1.82  | 3.81  | 熔炼铅青铜  |          |
|     | 炉壁基体面扫平均            |       |                  |       |                                |                   |      | 15.50                          | 69.92            |                               | 3.56             | 2.49  | 7.15  | 黏土质    |          |
| 10  | T33⑦:32<br>附着渣A面扫   |       |                  |       |                                |                   | 0.72 | 11.67                          | 60.78            |                               | 3.92             | 6.43  | 16.48 | 冶炼冰铜   |          |
|     | 附着渣B面扫              | 2.64  |                  |       |                                |                   | 1.30 | 7.11                           | 33.90            | 2.33                          | 2.31             | 9.64  | 40.75 | 冶炼青铜   |          |
| 11  | T6⑧:48<br>炉壁基体面扫平均  | 8.26  |                  |       |                                | 1.47              | 1.06 | 13.48                          | 63.95            |                               | 6.25             | 5.33  |       | 黏土质    |          |
|     | 附着渣面扫               | 12.40 | 40.70            | 10.98 |                                |                   | 0.92 | 3.55                           | 15.42            | 0.43                          |                  | 5.24  | 10.37 | 熔炼铅锡青铜 |          |
| 12  | T5③:1<br>炉壁基体面扫平均   |       |                  |       |                                | 0.45              | 0.52 | 12.56                          | 80.78            |                               | 4.36             | 1.32  |       | 黏土质    |          |
|     | 附着渣面扫               | 36.19 | 4.77             |       | 2.78                           |                   | 3.56 | 4.19                           | 18.98            | 3.27                          | 1.38             | 10.78 | 5.04  | 熔炼铅锡青铜 |          |
| 13  | T28⑤:3<br>炉壁基体面扫平均  |       |                  |       |                                |                   |      | 15.47                          | 74.41            |                               | 3.32             | 2.27  | 4.52  | 黏土质    |          |
|     | 附着渣面扫平均             | 7.98  | 25.91            | 10.09 | 3.82                           | 1.81              |      | 4.98                           | 20.95            | 0.98                          |                  | 13.42 | 10.04 | 熔炼铅锡青铜 |          |
| 14  | T28⑤:4<br>附着渣面扫     | 19.10 | 26.02            | 6.64  | 1.67                           |                   |      | 3.18                           | 20.76            | 0.90                          |                  | 14.12 | 5.86  | 熔炼铅锡青铜 |          |
| 15  | T29⑤:6<br>炉壁基体面扫平均  | 1.50  |                  |       |                                | 0.58              | 1.33 | 12.97                          | 69.53            | 1.78                          | 2.49             | 1.66  | 8.15  | 黏土质    |          |
|     | 附着渣面扫               | 17.57 | 51.27            | 10.77 | 4.47                           |                   |      | 1.73                           | 9.03             |                               |                  |       | 5.15  | 熔炼铅锡青铜 |          |
| 16  | T6⑤:103<br>附着渣面扫平均  | 11.51 | 19.89            | 5.64  | 1.03                           |                   | 1.74 | 7.24                           | 15.62            | 6.14                          |                  | 14.16 | 17.04 | 熔炼铅锡青铜 | 晚期 III 段 |
| 17  | T9④:126<br>附着渣面扫平均  | 5.91  |                  |       |                                |                   |      | 2.27                           | 8.74             | 1.98                          |                  | 1.93  | 79.18 | 熔炼铅锡青铜 |          |

表五

样品的PXRF分析结果

|    | 样品号        | 类型 | Cu | Sn | Pb | As | Fe | Al | S | P | Si | 合金类型       | 年代         |
|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|------------|------------|
| 1  | T5⑧: 22    | 铜块 | √  |    | √  | √  | √  | √  |   |   | √  | Cu(PbAs)   | 晚期<br>I段   |
| 2  | T5⑩: 1     | 铜器 | √  | √  | √  |    | √  | √  |   | √ | √  | CuSnPb     |            |
| 3  | T6⑪: 1     | 铜矛 | √  | √  | √  |    | √  |    |   |   | √  | CuSn(Pb)   |            |
| 4  | T6⑫: 2     | 铜铍 | √  | √  | √  | √  | √  | √  |   | √ | √  | CuSnAs(Pb) |            |
| 5  | T8⑨: 2     | 铜块 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   |   |    | Cu(SnPbAs) |            |
| 6  | T9⑩: 1     | 铜铍 | √  | √  | √  |    | √  | √  |   | √ | √  | CuSnPb     |            |
| 7  | T33⑦: 34   | 铜块 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   |   | √  | CuSnPbAs   | 晚期<br>II段  |
| 8  | T5④: 1     | 铜削 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   | √ | √  | CuSnPbAs   |            |
| 9  | T5④: 3     | 铜削 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   | √ | √  | CuSnAs(Pb) |            |
| 10 | T5⑦: 3     | 铜铍 | √  | √  | √  |    | √  | √  |   | √ | √  | CuSn(Pb)   |            |
| 11 | T5⑦: 6     | 铜铍 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   | √ | √  | CuSnPbAs   |            |
| 12 | T5⑦: 8     | 铜削 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   | √ | √  | CuSnAs(Pb) |            |
| 13 | T7⑨下K10: 1 | 铜块 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   | √ | √  | CuAs(SnPb) |            |
| 14 | T8⑦: 6     | 铜块 | √  | √  | √  |    | √  |    | √ | √ | √  | CuSnPb     |            |
| 15 | T8⑦: 7     | 铜铍 | √  | √  |    | √  | √  |    |   | √ | √  | CuSnAs     |            |
| 16 | T9⑥: 114   | 铜块 | √  |    | √  | √  | √  | √  |   | √ | √  | CuAs(Pb)   |            |
| 17 | T9⑥: 12    | 铜削 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   | √ | √  | CuSnAs(Pb) |            |
| 18 | T9⑥: 3     | 铜铍 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   | √ | √  | CuSnPbAs   |            |
| 19 | T9⑦: 3     | 铜铍 | √  |    | √  |    |    |    |   | √ | √  | CuPb       |            |
| 20 | T9⑦: 5     | 铜铍 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   | √ | √  | CuSnPbAs   |            |
| 21 | T9⑧: 3     | 铜片 | √  | √  | √  |    | √  |    |   | √ | √  | CuSn(Pb)   |            |
| 22 | T9⑧: 41    | 铜块 | √  |    | √  | √  | √  | √  |   | √ | √  | CuAs(Pb)   |            |
| 23 | T29②: 38   | 炉壁 | √  | √  | √  | √  | √  | √  |   |   | √  | CuPbAs(Sn) |            |
| 24 | T29②: 40   | 炉壁 | √  |    | √  |    | √  |    |   | √ | √  | Cu(Pb)     |            |
| 25 | T6⑦: 19    | 铜块 | √  |    |    |    | √  |    |   | √ | √  | Cu         | 晚期<br>III段 |
| 26 | T9③: 2     | 铜铍 | √  | √  | √  | √  | √  | √  |   | √ | √  | CuSnAs(Pb) |            |
| 27 | T32③: 1    | 铜铍 | √  | √  | √  | √  | √  | √  |   | √ | √  | CuSnAs(Pb) | 晚期<br>IV段  |
| 28 | T7④: 4     | 铜矛 | √  | √  | √  | √  | √  |    |   | √ | √  | CuSnPbAs   |            |

说明：本表只显示是否有该元素，早期的T6⑪层2件铜器和1件炉壁暂归入晚期。

的遗物共有3件。

炉壁T8⑩: 1横截面上有明显的添加有机物留下的长条形孔洞，基体中有较多铁颗粒弥散分布，边缘处有少量高铅相（图一；图二），未发现其他金属，应与金属铅相关的合金熔炼活动有关。炉壁H9: 4分层明显，外侧为黏土质耐火材料，内侧粘附有锈蚀金属和炉渣（图三）。粘附炉渣中有大量板条状二氧化锡晶体，周围分布有富含锡和钙的氧化物（图四），推测反应过程为金属

锡先被氧化成板条状的氧化物，再与富含钙的炉渣基体反应形成这一相。炉壁（附着炉渣）中的铜颗粒均为纯铜，没有铜锡合金颗粒，少量的铅以氧化态存在。综合判断H9: 4为熔炼铅锡青铜的炉壁。

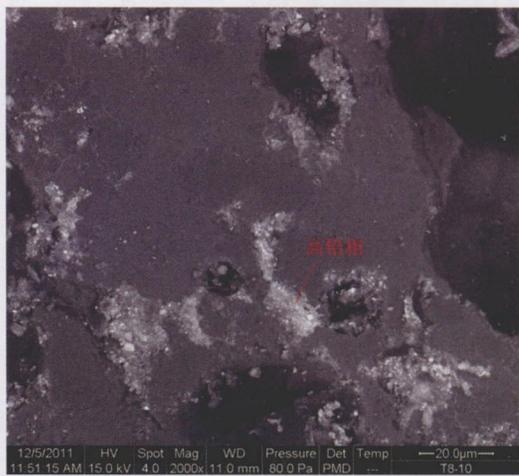
炉壁T9⑩: 62内表面有较多铁褐色凹坑，粘附少量炉渣和铜锈（图五）。附着渣中有较多红铜、砷铜和少量冰铜（Cu-Fe-S）颗粒，锈蚀红铜颗粒边缘包裹CuFeAs相（图六）。该样品反映了配制砷铜合金的

过程。

经仔细考察，这3件样品均出土于所在层位的中部，判定其属于师姑墩遗址早期遗



图一 炉壁 (T8⑩:1)



图二 炉壁 (T8⑩:1) 背散射电子像



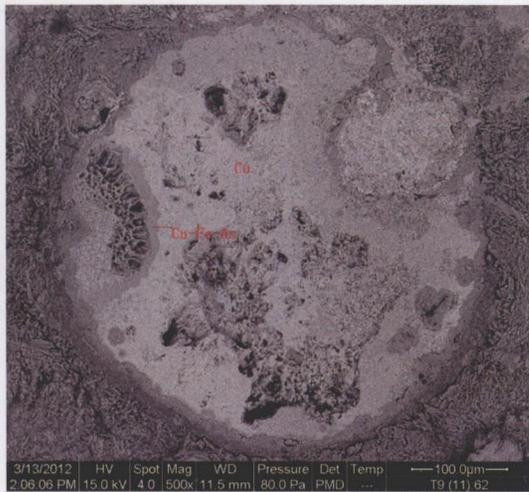
图三 炉壁 (H9:4)



图四 炉壁 (H9:4) 背散射电子像



图五 炉壁 (T9⑪:62)



图六 炉壁 (T9⑪:62) 中铜锈的背散射电子像

存应无大误。但鉴于此类样品数量很少，目前尚无法说明长江中下游地区的冶铸活动在二里头文化第三、四期已经普及。

(二) 师姑墩晚期 I 段（西周早中期之际）

晚期 I 段样品数量增加，共出土 10 件，包括 5 件铜器、2 件铜块、2 件炉渣和 1 件炉壁。需要指出的是，出土于 T6 第 11 层的 2 件铜器和 1 件炉壁，虽然根据地层判定属于早期，但它们出土于第 11 层上部，且该层有少数晚期陶片混入，或存在田野操作问题，为谨慎起见，仍将这 3 件样品归入晚期 I 段。

5 件铜器中，铜簋 T9⑨：1 经 SEM-EDX 分析为铅锡青铜，其余 4 件经 PXRf 检测，分别属于包括锡青铜、砷锡青铜和铅锡青铜三种合金类型。2 件铜块中，样品 T5⑧：2 为含微量铅的砷铜，铁和硫含量较高，其金相组织为  $\alpha$  固溶体上有砷含量不均引起的偏析，晶界间夹杂铜铁硫化物（图七）；样品 T5⑧：22 经 PXRf 检测为含有较高铁的红铜，可能是粗铜锭。

炉壁 T9H3：1 内壁粘附有少量铜锈和炉渣，铜锈为铅锡青铜，附着的炉渣中有大量鱼骨状铁硅酸盐骸晶，性质为熔炼铅锡青铜的炉壁。

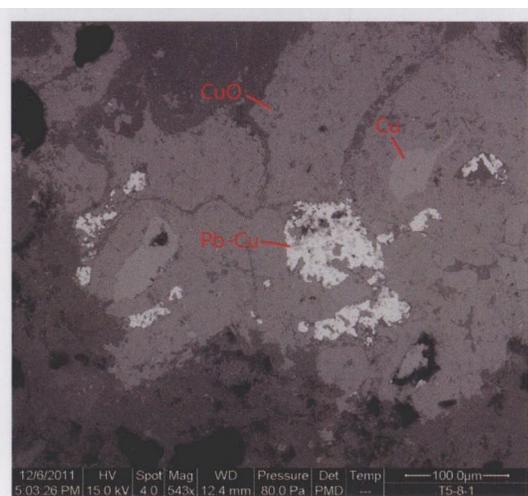
炉渣 T5⑧：21 的基体包裹着较大的铜铁氧化物和冰铜颗粒，发现氧化铜、红铜和铅青铜颗粒，推测反应过程为冰铜锭熔融脱

硫得到红铜，再加入金属铅配制铅青铜合金（图八）。炉渣 T6⑩：112 中金属颗粒均为红铜，周围分布大量四氧化三铁，应为冶炼渣（图九）。

西周早中期之际地层中出土的 1 件炉壁和 2 件炉渣，反映了红铜冶炼、铅青铜合金配制、铅锡青铜熔炼等过程，与同时期的铜器和铜块成分相比，未发现与砷相关的炉壁、炉渣，该时期的冶炼和铸造活动与早期相近。

(三) 师姑墩晚期 II 段（西周中期）

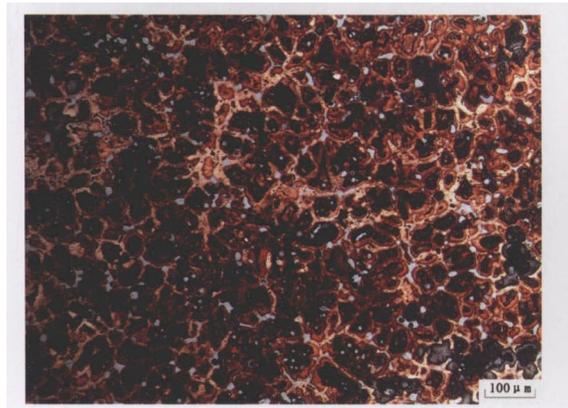
西周中期是师姑墩遗址冶铸活动最为活跃的时期，出土了 52 件冶铸遗物，我们分析了其中的 44 件，其中 2 件陶范将另文讨论。



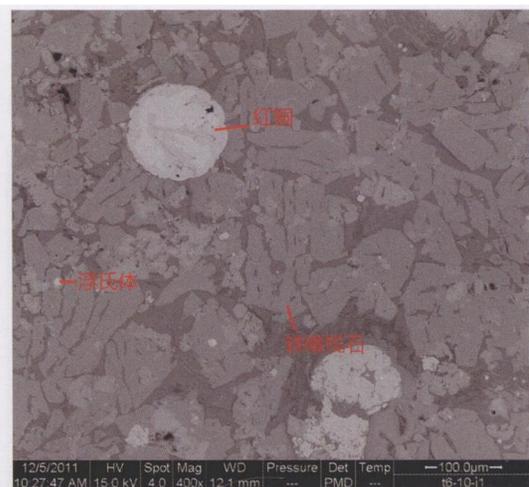
图八 炉渣（T5⑧：21）背散射电子像



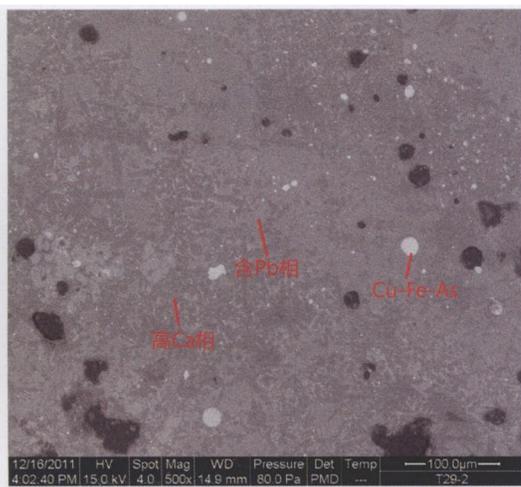
图九 炉渣（T6⑩：112）背散射电子像



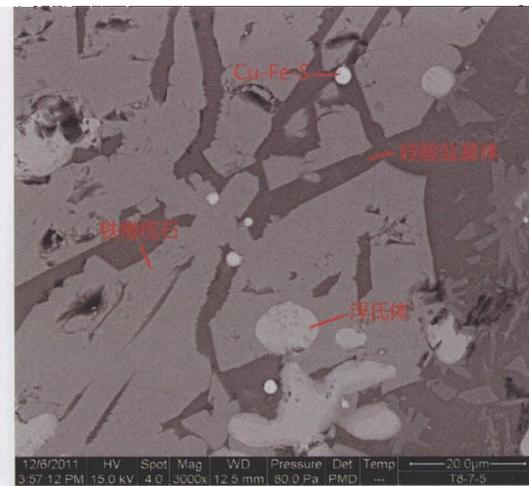
图七 铜块（T5⑧：2）金相组织



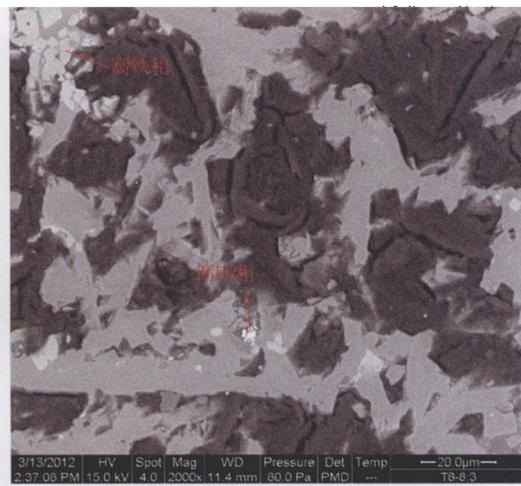
图一〇 冶炼渣 (T6J1①: 24) 背散射电子像



图一二 熔炼渣 (T29②: 39) 背散射电子像



图一一 炉渣 (T8⑦: 5) 背散射电子像



图一三 炉壁 (T8⑧: 3) 背散射电子像

14件铜器样品中含砷合金有10件，砷含量最高可达5%，三元和四元合金数量最多。10件铜块样品主要为二元合金，包括红铜2件，锡青铜、铅青铜、铅锡青铜、砷铅锡青铜各1件，砷铜4件，说明这一时期铜合金种类繁多，合金配比不稳定。

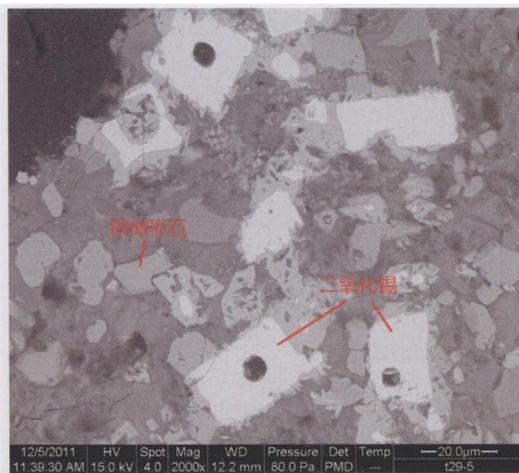
炉渣包括冶炼渣和熔炼渣。样品T6⑨: 10和T6J1①: 24相似，基体中分布条状铁橄榄石、成串的浮氏体和锈蚀的红铜颗粒（图一〇），为典型的冶炼渣。样品T8⑦: 5基体中含钙5%左右，含大量铁橄榄石和浮氏体，夹杂较多冰铜颗粒（图一一），反映了冰铜冶炼的过程。样品T29②: 39中弥散分

布大量砷铜颗粒和非常细小的冰铜颗粒，基体中铅以氧化物形式存在（图一二），为铅砷青铜的熔炼渣。

13件炉壁反映的合金类型有红铜、锡青铜、铅青铜、砷铜、铅砷青铜、铅锡青铜和砷铅锡青铜7种，既有冶炼炉壁也有熔炼炉壁。炉壁T8⑧: 3与早期样品T8⑩: 1相似，基体中有较多铁颗粒和少量高铅颗粒弥散分布（图一三），未发现其他金属，应与铅熔炼活动有关。T29⑤: 2内壁粘附炉渣中分布大量针状铜铁矿（Delafossite），夹杂红铜颗粒（图一四），应为纯铜熔融的炉壁。T29⑤: 5内壁附着炉渣分层，靠近炉壁的



图一四 炉壁 (T29⑤:2) 粘附炉渣背散射电子像



图一六 炉壁 (T29⑤:5) 第二层炉渣背散射电子像

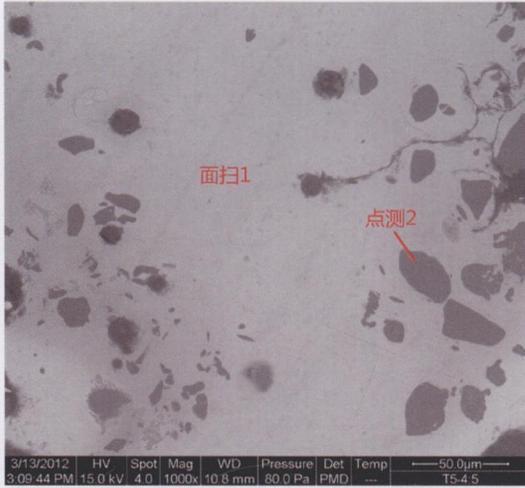


图一五 炉壁 (T29⑤:5)

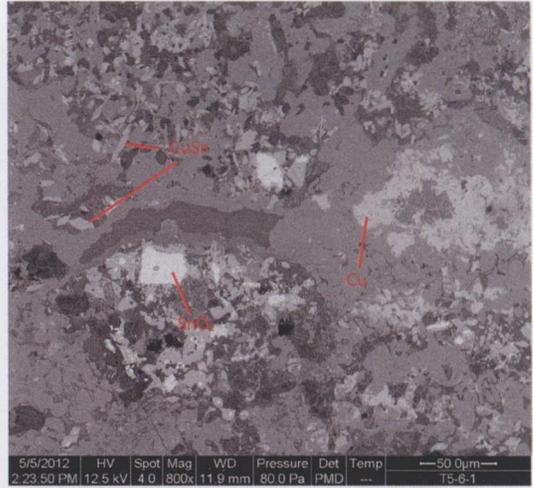
一层炉渣基体上有铁橄榄石和少量二氧化锡晶体,未发现锡青铜颗粒,可能为熔炼渣;第二层炉渣分布铁橄榄石和冰铜颗粒,为冰铜冶炼渣(图一五;图一六)。推测该炉壁的使用过程为:先进行熔炼,简单修补后又进行冰铜的冶炼。T28②:9整体为均匀的黏土质材料,基体中夹杂许多铅青铜颗粒。T5④:69内壁附有炉渣和部分锈蚀的铅青铜大颗粒,炉渣中主要为高铅相(图一七)。这两件样品可判断为熔炼铅青铜的炉壁。T33⑦:32内壁附着有两层炉渣,靠近炉壁的炉渣中有大量铁橄榄石和冰铜颗粒,为冰

铜冶炼渣;第二层炉渣中夹杂的金属颗粒内部为砷铜,外侧为冰铜或含少量砷的冰铜,周围分布铁橄榄石和浮氏体,也应为铜冶炼渣(图一八)。T6⑧:48内壁附着的炉渣夹杂较大的红铜颗粒和许多细小的铅锡青铜和锡青铜颗粒,周围分布二氧化锡晶体(图一九),基体中含有少量砷、锡、铅,反映了铅锡青铜合金配制的过程。T5⑥:1分三层,从外向里依次为黏土、炉渣和铜锈,炉渣中有红铜、锡青铜和二氧化锡晶体(图二〇),平均成分中含有少量砷,是配制砷锡青铜合金过程中产生的炉渣;最外侧的铜锈成分为铅青铜,应该是经过二次使用,曾进行过铅青铜的熔炼。T28⑤:3内壁附有炉渣,分布有铅锡砷铜颗粒、二氧化锡晶体和高铅砷相(图二一)。T28⑤:4内壁附有炉渣,炉渣中有一颗粒径500微米的红铜颗粒,红铜颗粒内部包含零星分布的铅砷相,另有细小的铅锡砷青铜颗粒和锡青铜颗粒。这两件样品均为熔炼铅锡砷青铜的炉壁。T29⑤:6内壁附有炉渣(图二二),包裹了砷铜、铅砷青铜、冰铜和含少量砷的冰铜颗粒,另外炉渣中有较多二氧化锡骸晶,但没有发现高锡青铜颗粒,反映的可能是熔炼铅锡砷铜的过程。

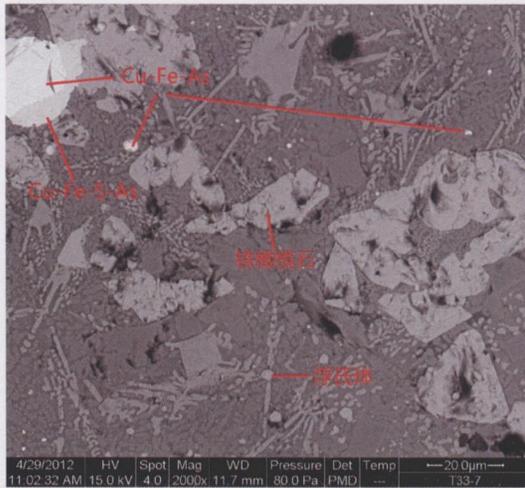
总体来看,西周中期样品数量最多,合



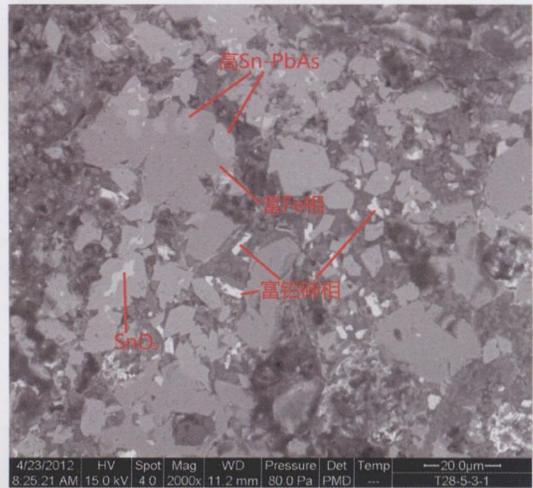
图一七 炉壁 (T5④:69) 粘附炉渣背散射电子像



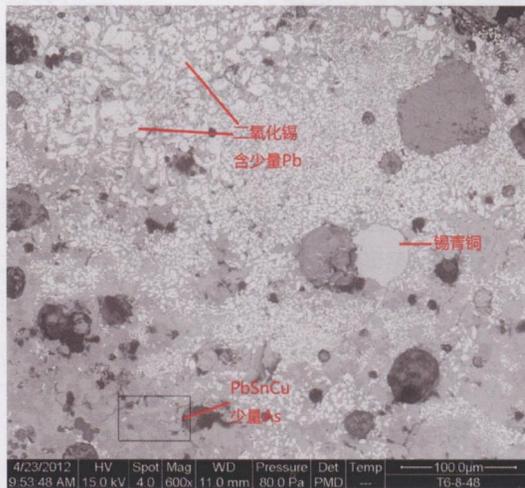
图二〇 炉壁 (T5⑥:1) 背散射电子像



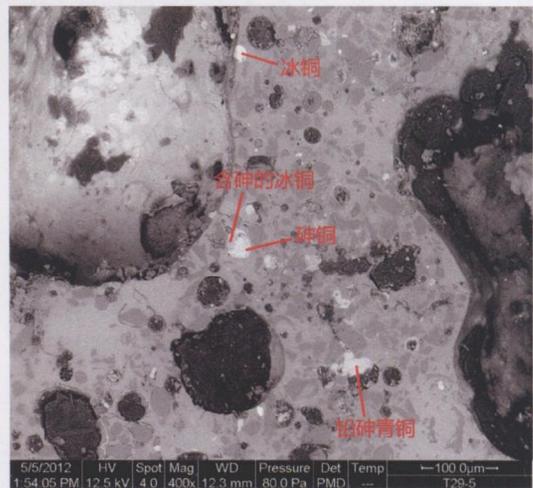
图一八 炉壁 (T33⑦:32) 第二层炉渣背散射电子像



图二一 炉壁 (T28⑤:3) 背散射电子像



图一九 炉壁 (T6⑧:48) 背散射电子像



图二二 炉壁 (T29⑤:6) 背散射电子像

金类型最丰富。与西周早期相比，铜器中出现大量三元合金与四元合金，大部分合金类型在炉壁中均有体现；铜块的合金类型有所增加，主要为砷铜。炉渣与早期相似，反映了红铜冶炼和铅砷青铜熔炼的过程，冶炼渣中钙含量相对低一些，熔炼渣钙含量较高。炉壁上的附着渣反映出冰铜冶炼、红铜熔炼、多种合金配制和熔炼的过程，还有部分炉壁样品有多次使用的证据，此时硫化矿—冰铜—铜冶炼技术已经成熟。出土的铅锭当与合金熔炼有关。据此可知西周中期合金冶炼、熔炼和铸造活动规模有所扩大。

#### （四）师姑墩晚期Ⅲ段（西周晚期至两周之际）

西周晚期至两周之际样品数量急剧减少，出土各类样品共10件，分析了其中6件。

铜器的合金类型在本期减少为两种，分别为铅青铜T9③：1（图二三）、T36④：28和砷锡青铜T9③：2。铜块中未见到砷铜，2件样品分别为含铁较多的粗铜和铅锡青铜。

炉壁样品有2件。T6⑤：103样品分两层，外层为黏土质材料，内壁粘附一层炉渣，炉渣中有含少量砷的冰铜颗粒和二氧化锡晶体（图二四），平均成分含少量铅，说明至少在熔炼过程中曾加入金属锡，为熔炼铅锡青铜的炉壁。T9④：126外层黏土质材料残留较少，内壁粘附炉渣，炉渣中夹杂大量纯铜、少量细小的铅青铜、铅砷青铜和铅锡砷青铜颗粒（图二五），并分布较多富铁相，没有二氧化锡晶体，反映了熔炼铅锡砷铜的过程。

这一时期铜器中铅青铜和砷锡青铜占主要地位，铜块中的红铜和铅锡青铜在熔炼铅锡青铜、铅锡砷青铜的炉壁中均有对应。与晚期Ⅱ段炉壁相似，炉壁中的冰铜颗粒含少量砷，可能此时砷铜的配制继续沿用上一时期的方法，但由于砷容易挥发，因此相应的证据较少。

#### （五）师姑墩晚期Ⅳ段（春秋早中期）

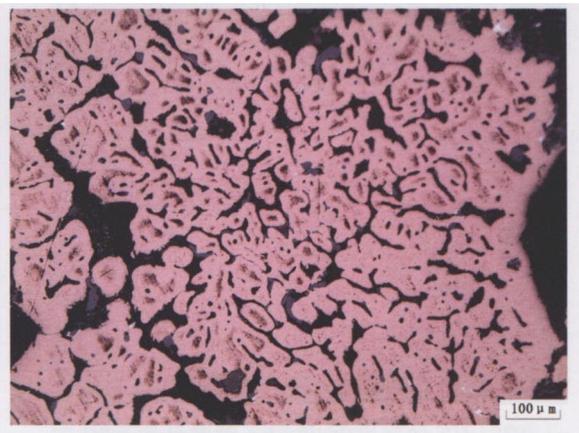
师姑墩遗址春秋早中期地层共出土8件样品，没有发现炉壁，分析了其中5件。

经PXR检测，铜矛T7④：41为铅锡砷青铜，铜镞T32③：1为砷锡青铜。经SEM-EDX分析，铜矛T7③：1为铅锡青铜，铜块T40③：39为锡青铜。

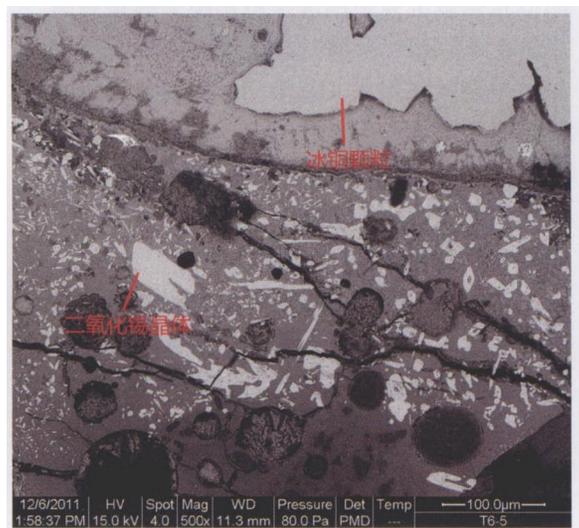
炉渣T41②：8基体为铁、钙含量较高的硅酸盐，钙含量可达11%，分布大量条状铁橄榄石和冰铜颗粒（图二六），属于典型的冰铜冶炼渣。

总体来看，锡、铅在这一时期取代砷铜合金，占主要地位。

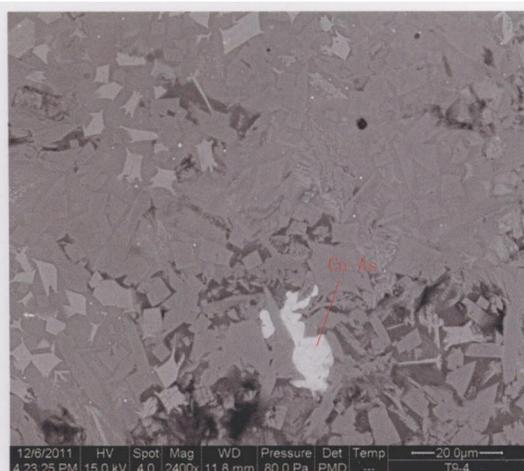
#### （六）师姑墩遗址冶铸遗物所反映的技术特征



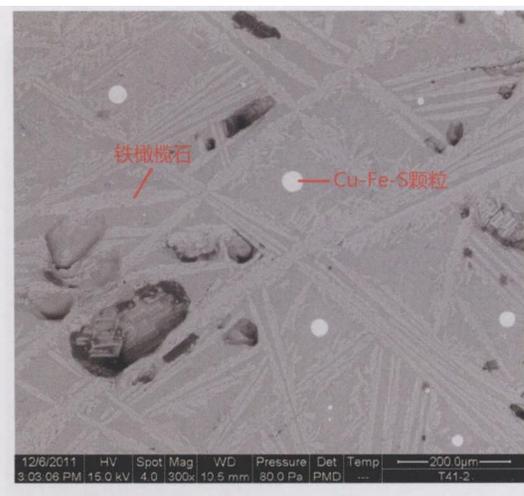
图二三 铜器（T9③：1）的金相组织



图二四 炉壁（T6⑤：103）背散射电子像



图二五 炉壁 (T9④:126) 背散射电子像



图二六 炉渣 (T41②:8) 背散射电子像

根据以上分析结果,可初步了解师姑墩遗址冶铸遗物所反映的技术特征及发展轨迹。

早期(二里头文化第三至四期)已出现冶铸活动,规模小,产品少,但合金种类丰富,包括铅、砷铜和铅锡青铜。

中期(商时期)暂未发现与冶铸相关的遗物。

晚期 I、II 段(西周早中期之际到西周中期)冶铸活动逐渐增多,出土样品近 60 件,出现红铜原料,硫化矿—冰铜—铜冶炼工艺基本成熟。随着铅、锡的加入,此时的合金类型发展到 6 种,西周早中期之际以铅锡合金为主要类型,西周中期含砷铜合金占主要地位,出现了砷铅锡铜四元合金。铜

器、铜块、炉渣和炉壁反映的冶铸工艺相互呼应,系统完整。

晚期 III、IV 段(西周晚期至两周之际到春秋早中期)出土相关样品的数量仅为晚期 I、II 段的三分之一左右。西周晚期至两周之际砷铜与锡青铜、铅青铜继续共存,春秋早中期砷铜样品数量更少,此时冰铜冶炼技术十分成熟。

### 三、师姑墩遗址性质的判定

以往在安徽南部地区发现的众多古代铜矿遗址,主要分布在沿江的贵池、青阳、铜陵、南陵、泾县、繁昌等地<sup>[14]</sup>,在铜陵附近的金山、曹山南侧、凤凰山一带,发现了朱村乡木鱼山,西湖乡大冲、小冲,凤凰山的万迎山,金榔乡金山盛、金山北坡、岗巴垅等多处先秦时期炼铜遗址<sup>[15]</sup>;在南陵地区发现江木冲、西边冲、刘家井、荷花荡、小乔冲等多处西周至汉代的采矿冶炼遗址<sup>[16]</sup>。其中万迎山遗址附近有青铜器和铜锭出土,推测可能为综合性的采、冶、铸场所。另外在江北的枞阳汤家墩遗址发现商末至西周的炉渣和陶范<sup>[17]</sup>,当地可能曾有铸铜作坊。其他遗址的性质大多比较单一,几乎未见冶炼与铸造活动并存。师姑墩遗址经科学发掘和系统检测,从出土的冶铸遗物看,包括冶炼矿石的冶炼渣、粗铜锭,熔炼铅锭、合金配制过程中产生的熔炼渣,以及铸造中需要的陶范、石范和最终的青铜器产品。尽管早期缺乏铸造的相关产品,可能仅有冶炼、熔炼活动,但晚期 I 段至 IV 段,冶炼、熔炼和铸造活动长时期共存,充分说明本遗址是一处综合性的冶炼、铸造作坊遗址。

中原地区先秦时期铸铜遗址,如偃师二里头<sup>[18]</sup>,商代的郑州商城<sup>[19]</sup>、安阳殷墟<sup>[20]</sup>、西周的洛阳北窑<sup>[21]</sup>、陕西周原<sup>[22]</sup>,东周的新郑郑韩故城<sup>[23]</sup>、山西侯马晋国都城新田<sup>[24]</sup>等,都分布在政治中心及周边地区,距离铜矿资源较远,功能明确,性质普遍为官营作

坊。相比之下，师姑墩遗址冶铸遗物特征为合金类型繁杂，合金配比无严格要求，小件铜器以铜镞等兵器为主。总体来说，师姑墩遗址与三代时期的官营作坊有明显区别。

#### 四、师姑墩遗址出土的砷铜制品

师姑墩遗址经检测分析的68件样品中，砷含量超过2%的有28件，从早期到晚期一直存在：早期有1件，占33%；晚期Ⅰ段有2件，占20%；晚期Ⅱ段有22件，占50%；晚期Ⅲ段有1件，占17%；晚期Ⅳ段有2件，占40%。

根据对铜陵当地铜矿资源的调查可知，铜陵地区铜矿带中含有多种铜铁硫化物、含铅矿物（方铅矿）和砷化物（如毒砂、雄黄、雌黄等），砷可能是由当地的铜矿或铅矿引入的。但从对师姑墩遗址出土样品的分析结果来看，早期到晚期的4件冶炼渣中均没有出现砷，这在一定程度上说明砷不是随铜矿引入的；同时，在含有砷的样品中，铅并不一定存在，在遗址出土的铅锭中也没有发现金属砷，由此可见砷也不是从铅矿中引入的。另外，大部分含有砷的炉渣中均有冰铜颗粒，初步推测当地工匠在合金熔炼过程中有意添加砷硫化物生产砷铜制品，很可能采用了共熔还原法，用铜的氧化矿和含砷的硫化矿混合熔炼砷铜。

师姑墩遗址出土的早期炉壁附着的冶炼炉渣内发现含砷的铜颗粒，应与冶炼过程中使用了含砷矿物有关，但仅根据1件样品来判定早期砷铜是有意冶炼而成还缺乏说服力。晚期Ⅱ段（西周中期）及之后众多含砷铜器、铜块、炉渣和炉壁的出土，说明了这段时期师姑墩遗址的砷铜合金熔炼已有一定规模。

张敬国<sup>[25]</sup>、张国茂<sup>[26]</sup>、陈荣<sup>[27]</sup>、秦颖<sup>[28]</sup>等学者曾对皖南贵池、铜陵、繁昌、南陵等地出土的铜锭、铜器、炼渣、氧化矿石等冶铸遗物做过多方面分析，发现当地出土的铜锭均为冰铜锭，铜器的成分数据显示合金类型主要为锡青铜和铅锡青铜，仅少量铜器中

含有不到1%的砷。这点与本文的分析结果稍有出入，所以我们强调在将来的工作中，应对皖南地区冶铸遗物进行更加系统和细致的工作，以更好地判定遗址的性质。

目前中国发现砷铜的冶炼和铸造遗址较少，主要有偃师二里头<sup>[29]</sup>、垣曲盆地<sup>[30]</sup>和周原铸铜遗址等，西北和中原地区出土的早期铜器中也有不少砷铜制品。师姑墩遗址地处皖南铜矿资源重地，发现如此多的砷铜制品，其砷铜技术从何而来、如何传播是值得进一步探讨的问题。

## 结 论

师姑墩遗址出土的早期青铜冶铸遗物应当可以将皖南地区冶铸活动的时间提前到二里头文化第三至四期，从早期到晚期长期存在的冶铸遗物为了解当地冶铸技术的发展提供了依据，但是如何认识本次发现的二里头文化第三至四期炉壁的意义，需要更多的田野工作。根据师姑墩遗址距离铜矿资源近、远离政治中心、整体规模较小、出土遗物少、合金类型繁杂、冶炼铸造活动并存等特征综合判断，该遗址与三代时期官营冶铸作坊有明显差别。在遗址所处的小盆地内部与师姑墩遗址相距不远的其他三个同时期遗址面积也都较小，均采集到炉渣和陶片，功能应与师姑墩遗址相似。师姑墩遗址作为长江中下游地区经科学发掘、持续时间长、集冶铸为一体的遗址，对其冶铸遗物所反映的技术及所属时代的综合研究，为深入认识中国早期冶金技术的发展及其生产组织状况提供了比较系统的科学资料。

附记：本文得到国家科技支撑计划中华文明探源工程（三）、国家文物局指南针计划和国家自然科学基金（项目批准号：51074010）的资助。先后参与样品分析工作的有刘思然、刘海峰、李云河、刘瑞、喬传臻、陈竹茵、马艳歌、金晋攸、张炫俊、全世怡、朱亚光等。在此一并表示感谢。

注 释

- [1] 安徽省文物局:《安徽馆藏珍宝》上册图001,中华书局,2008年。
- [2] 杨德彪、杨立新:《安徽江淮地区的商周文化》,见《中国考古学会第四次年会论文集》,文物出版社,1985年。
- [3] 李国梁:《屯溪土墩墓发掘报告》,安徽人民出版社,2006年。
- [4] 石谷风:《青阳出土的西周晚期铜器》,《安徽文博》1983年第3期。
- [5] 张国茂:《安徽铜陵地区先秦青铜文化简论》,《东南文化》1991年第2期。
- [6] 张国茂:《安徽铜陵谢垅春秋铜器窖藏清理简报》,《东南文化》1990年第8期。
- [7] 安徽省文物考古研究所:《安徽枞阳县汤家墩遗址发掘简报》,《中原文物》2004年第4期。
- [8] 马道阔:《安徽省庐江县出土春秋青铜器——兼论南淮夷文化》,《东南文化》1990年第5期。
- [9] 王爱武:《安徽宣城出土的青铜器》,《文物》2007年第2期。
- [10] 杨立新:《皖南先秦青铜文化初析》,《宣州文物》1988年第6辑。
- [11] 李学勤:《安徽南部存在着颇具特色的青铜文化》,《学术界》1991年第1期。
- [12] 张爱冰、陆勤毅:《皖南出土商代青铜容器的年代与性质》,《考古》2010年第6期。
- [13] 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。
- [14] 杨立新:《皖南古代铜矿的发现及其历史价值》,《东南文化》1991年第2期。
- [15] 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遗址调查》,《考古》1993年第6期。
- [16] 刘平生:《安徽南陵大工山古代铜矿遗址发现和研究》,《东南文化》1988年第12期。
- [17] 同[7]。

- [18] 中国社会科学院考古研究所:《偃师二里头1959年~1978年考古发掘报告》,中国大百科全书出版社,1999年。
- [19] 河南省文物研究所:《郑州商代二里冈期铸铜基址》,见《考古学集刊》第6集,中国社会科学出版社,1989年。
- [20] 中国社会科学院考古研究所:《殷墟发掘报告(1958~1961)》第28~58页,文物出版社,1987年。
- [21] 洛阳市文物工作队:《1975~1979年洛阳北窑西周铸铜遗址的发掘》,《考古》1983年第5期。
- [22] 周原考古队:《陕西周原遗址发现西周墓葬与铸铜遗址》,《考古》2004年第1期。
- [23] 河南省博物馆新郑工作站:《河南新郑郑韩故城的钻探和试掘简报》,见《文物资料丛刊(3)》,文物出版社,1980年。
- [24] 山西省考古研究所:《侯马铸铜遗址》第62~77页,文物出版社,1993年。
- [25] 张敬国、李仲达、华觉明:《贵池东周铜锭的分析研究——中国始用硫化矿炼铜的一个线索》,《自然科学史研究》1985年第4卷第2期。
- [26] 同[5]。
- [27] 陈荣、赵匡华:《先秦时期铜陵地区的硫铜矿冶炼研究》,《自然科学史研究》1994年第13卷第2期。
- [28] 秦颖、王昌燧、冯敏、刘平生:《安徽省南陵县江木冲古铜矿冶炼遗物自然科学研究及意义》,《东南文化》2002年第1期。
- [29] 梁宏刚、孙淑云:《二里头遗址出土铜器研究综述》,《中原文物》2004年第1期。
- [30] 梁宏刚、李延祥、孙淑云、佟伟华:《垣曲商城出土含砷渣块研究》,《有色金属》2005年第4期。

(责任编辑 洪石)