

# 甘肃玉门火烧沟四坝文化铜器的科学分析及相关问题\*

陈坤龙<sup>1</sup> 王璐<sup>1</sup> 王颖琛<sup>1</sup> 梅建军<sup>1,2</sup> 王辉<sup>3</sup>

1. 北京科技大学科技史与文化遗产研究院, 北京 100083;

2. 李约瑟研究所, 英国 剑桥;

3. 甘肃省文物考古研究所, 甘肃 兰州 730050

**Abstract:** Sixty-seven metal objects excavated from the Huoshaogou site have been studied by using SEM-EDS and metallographic analysis. The results show that copper and tin bronze are dominant among metals used at Huoshaogou, while other materials, such as Cu-As, Cu-Pb, Cu-Sn-Pb, Cu-Sn-As and Cu-Pb-As, were also in use. The research has also revealed that both casting and hot-forging technologies were extensively used in making these metal objects. Most earrings were shaped with hot-forging technique, while the majority of implements were manufactured by casting. This research adds significant new data to explore the technological features of the Siba bronze technology, and also discusses challenging issues. All in all, in the early stage of the Siba culture, copper, tin bronze and arsenical copper were the majority, while, in the late stage, tin bronze became the dominant metal. The authors argue that the Hexi Corridor played a crucial role in the cultural interactions between the Gansu-Qinghai region and the Eurasian steppe in the early bronze age.

**Keywords:** Gansu-Qinghai region, Huoshaogou, Siba culture, early Bronze Age, cultural interaction

**摘要:** 本文对甘肃玉门火烧沟遗址出土的67件铜器进行了科学分析, 结果显示: 其材质以红铜和锡青铜为主, 有少量砷青铜、铅青铜、铅锡青铜等; 成型工艺有铸造和锻造两种, 前者略多; 耳环多为锡青铜, 热锻成型; 而铜锥、铜斧等工具则多为红铜, 制作以铸造为主。现有研究成果显示, 河西走廊地区四坝文化铜器技术的发展早期阶段以红铜和青铜为主, 砷铜或含砷青铜占有一定比例, 晚期阶段以锡青铜为主。依据新的考古发现和年代框架, 河西走廊地区早期冶金技术的出现和早期发展, 显示了来自欧亚草原地区的影响, 但不同时期文化交流路线以及影响的广度和深度并不相同。

**关键词:** 甘青地区; 火烧沟遗址; 四坝文化; 早期铜器; 文化交流

## 一 引言

甘肃玉门火烧沟遗址是迄今为止出土四坝文

化铜器最多的遗址。该遗址分布于甘肃省玉门市清泉乡火烧沟村东清泉中学西侧及校外一部分<sup>[1]</sup>。

1976年, 甘肃省博物馆文物工作队对该墓地进行正式发掘, 清理墓葬312座, 其中106座均出土

\* 本研究得到国家自然科学基金项目“齐家文化铜器的科学分析研究”(51074026)、“锻造工艺和锡料利用: 先秦金属技术的新探索”(51474029)、国家文物局文物保护优秀青年研究计划“基于原位分析的金属文物科学认知与保护关键技术研究”(2014220)、国家社科基金重大项目“史前时期中西文化交流研究”(12&ZD151)、英国利氏基金会(Leverhulme Trust Grant F/08 735/G)和英国学术院牛顿国际奖学金(NF160456)的资助和支持。

铜器。1990年进行的第二次发掘中，也有几座墓葬出土铜器。两次发掘总计出土四坝文化铜器200多件，均为小型器物，主要为工具、装饰品和兵器，工具以刀为主，另有斧、镰、凿、锥、匕等；装饰品包括泡、耳环、鼻环、臂钏、联珠饰、镜形饰、权杖首、蝶形带饰、牌饰和管等；兵器主要为镞和矛。此外，还出土有铸铜镞的石范<sup>[2]</sup>。

四坝文化主要分布于河西走廊地区，该区域既是连接西北边疆与内陆的文化交流要道，也是中国早期铜器及冶铜遗存发现较多的区域，以民乐东灰山、酒泉干骨崖、玉门火烧沟和瓜州鹰窝树为代表的几处遗址出土铜器近300件，其中有三分之二出自火烧沟遗址。关于火烧沟遗址出土的四坝文化铜器，前人已经做了一些重要的开拓性研究工作，包括1981年发表的无损定性分析<sup>[3]</sup>，1997年发表的检测结果<sup>[4]</sup>以及2003年新公布的37件铜器的取样分析结果<sup>[5]</sup>。2013年—2014年，北京科技大学再次与甘肃省文物考古研究所合作，对火烧沟遗址出土铜器开展了进一步分析，尤其是补充了部分第二次发掘的铜器样品，以期为深入探讨四坝文化的铜器制作技术水平以及甘青地区早期铜器技术的发展特征提供更全面的科学依据。

## 二 样品情况及分析方法

本次研究对火烧沟遗址的四坝文化铜器进行取样分析，样品均取自铜器残件的破损处，共取得样品67件，其中39件样品保存状况较差，已基本完全锈蚀。样品种类包括铜刀34件、铜泡17件、耳环7件、铜匕2件、铜锥2件、残片2件及指环、铜斧、镜形饰各1件。

本次检测主要对采集的样品进行金相组织观察和合金成分分析。样品经热镶处理后，使用不同粒度的金相砂纸打磨，并进行抛光。利用金相显微镜分别观察未浸蚀和经3%三氯化铁盐酸酒精溶液浸蚀后的样品，识别浸蚀前后样品的组

织、夹杂物形貌及分布等特征，并拍摄金相照片。所用仪器为莱卡（Leica）DM4000M金相显微镜。样品经重新抛光并进行喷碳处理后，利用扫描电子显微镜观察其显微组织形貌，并用配备的X射线能谱仪进行无标样定量成分测定。在测定整体成分时，为减少样品不同区域组织差异和成分偏析的影响，取不同区域面扫的平均值作为整体成分结果。本次分析所用扫描电子显微镜为德国ZEISS EVO18高分辨扫描电镜，能谱采用BRUKER X Flash Detector5010，加速电压为20kV，激发时间 $\geq 60s$ 。

## 三 分析检测结果

火烧沟遗址四坝文化的67件样品中有28件可进行金相组织观察，其余样品因完全锈蚀无法辨认。（表一）

本次观察的28件样品包括13件装饰品和15件工具。装饰品中铜泡8件，有6件铸造成型，其中3件保存较完好的铜泡于边缘破损处取样。金相组织显示基体为 $\alpha$ 固溶体枝状晶，偏析明显，枝晶内有再结晶晶粒和孪晶，表明它们在铸造成型后还经过加热锻打的后期处理；另有2件铜泡为热锻成型。耳环有5件，均为热锻成型。工具中有铜刀13件，铸造成型7件、热锻6件，取样部位多在刀的刃部或刀背边缘，其中有4件进行过冷加工，金相观察可见枝晶及长条状夹杂沿加工方向拉长变形；铜斧和铜锥各有1件，均在铸造成型后进行过冷加工处理。另外，铜刀YH011基本锈蚀，但通过扫描电镜观察可见长条状硫化物夹杂沿加工方向拉长，判断其应经过后期加工修整。

整体而言，铸造成型15件，热锻成型13件，比例相当。装饰品中耳环均为热锻成型，铜泡多为铸造；铜锥、铜斧等工具则以铸造成型为主，铜刀铸造与热锻成型均有。工具类器物多在刃部或边缘进行冷加工修整，而饰品类则基本未见。

表一 火烧沟遗址出土四坝文化铜器金相观察及成分分析结果 (wt%)

| 实验室编号  | 出土编号           | 器名  | 检测部位 | Cu   | Sn   | Pb  | As   | Fe  | 其他                       | 材质             | 制作工艺   | 图示         |
|--------|----------------|-----|------|------|------|-----|------|-----|--------------------------|----------------|--------|------------|
| YH001* | 76YHM11 : 7    | 铜刀  | 面扫   | 95.7 | 0.6  | 0.4 | —    | —   | O:3.3                    | Cu             | 完全锈蚀   |            |
| YH002* | 76YHM19 : 6    | 铜泡  | 面扫   | 92.1 | 0.1  | 0.2 | —    | —   | O:7.4; Cl:0.2            | Cu             | 完全锈蚀   |            |
| YH003  | 76YHM19 : 7    | 铜泡  | 面扫   | 97.8 | —    | 1.1 | 1.1  | —   | —                        | Cu (Pb, As)    | 铸造后热锻  | 图一         |
| YH004  | 76YHM19 : 9    | 铜泡  | 面扫   | 97.8 | —    | —   | 2.2  | —   | —                        | Cu-As          | 铸造后热锻  |            |
| YH005  | 76YHM19 : 12   | 铜泡  | 面扫   | 95.1 | —    | —   | 2.1  | —   | —                        | Cu-As          | 铸造后热锻  |            |
| YH006* | 76YHM36:15     | 铜片  | 面扫   | 84.9 | 0.8  | —   | 4.2  | —   | O:9.2; Cl:0.9            | Cu-As          | 完全锈蚀   |            |
| YH007* | 76YHM37 : 1    | 铜匕首 | 面扫   | 86.7 | 4.1  | 3.3 | —    | —   | O:5.6; Cl:0.3            | Cu-Sn-Pb       | 完全锈蚀   |            |
| YH008  | 76YHM39 : 9    | 铜刀  | 面扫   | 93.2 | 1.7  | 0.9 | —    | —   | O:4.2                    | Cu (Sn)        | 热锻     |            |
|        |                |     | 金属基体 | 99   | 1    | —   | —    | —   |                          |                |        |            |
| YH009* | 76YHM43        | 铜泡  | 面扫   | 85.8 | 6.5  | —   | 0.2  | —   | O:5.1; Cl:1.7;<br>P:0.7  | Cu-Sn          | 完全锈蚀   |            |
| YH010* | 76YHM44 : 12   | 铜泡  | 面扫   | 91.5 | 2.8  | —   | —    | —   | O:5.7                    | Cu-Sn          | 完全锈蚀   |            |
| YH011* | 76YHM46 : 7    | 铜刀  | 面扫   | 71.9 | 11   | —   | 1.1  | —   | O:12.5; Cl:2.2;<br>S:1.3 | Cu-Sn (As)     | 完全锈蚀   |            |
| YH012  | 76YHM47 : 27   | 铜刀  | 面扫   | 98.4 | 1.5  | 0.1 | —    | —   | —                        | Cu (Sn)        | 铸造+冷加工 | 图二         |
| YH014  | 76YHM56 : 6    | 铜泡  | 面扫   | 84.4 | 0.3  | 10  | 2.4  | —   | O:2.5; Cl:0.4            | Cu-Pb-As       | 铸造     |            |
|        |                |     | 金属基体 | 97.9 | —    | —   | 2.1  | —   |                          |                |        |            |
| YH015* | 76YHM61 : 11   | 铜刀  | 面扫   | 91.9 | 0.1  | 0.9 | 0.1  | —   | O:6.8; Cl:0.2            | Cu             | 完全锈蚀   |            |
| YH016  | 76YHM62 : 4    | 残铜刀 | 面扫   | 97.9 | 0.5  | 0.7 | 0.4  | —   | O:0.5                    | Cu             | 热锻     | 图三         |
| YH018  | 76YHM84 : 18   | 铜刀  | 面扫   | 98.4 | 1.3  | 0.3 | —    | —   | —                        | Cu (Sn)        | 铸造+冷加工 | 图四         |
| YH019* | 76YHM87 : 7    | 铜刀  | 面扫   | 91   | 0.5  | —   | 1.2  | —   | O:5.2; Cl:2.1            | Cu (As)        | 完全锈蚀   |            |
| YH020* | 76YHM88 : 15   | 铜泡  | 面扫   | 80.4 | 11.4 | —   | —    | —   | O:5.5; Cl:2.7            | Cu-Sn          | 完全锈蚀   |            |
| YH021  | 76YHM88 : 17   | 铜刀  | 面扫   | 97.6 | 0.8  | 0.4 | —    | —   | Sb: 1.2                  | Cu (Sb)        | 热锻     | 图五,<br>图十一 |
| YH022* | 76YHM90 : 17   | 铜刀  | 面扫   | 81.9 | 5.4  | 1   | 1.4  | —   | O:9.5; Cl:0.8            | Cu-Sn (As)     | 完全锈蚀   |            |
| YH023  | 76YHM98 : 7    | 铜刀  | 面扫   | 98.9 | 1.1  | —   | —    | —   | —                        | Cu (Sn)        | 铸造+冷加工 |            |
| YH024* | 76YHM109 : 5   | 铜刀  | 面扫   | 92.4 | —    | —   | —    | —   | O:6.8; Cl:0.8            | Cu             | 完全锈蚀   |            |
| YH025  | 76YHM117 : 6   | 铜刀  | 面扫   | 89.7 | 6.1  | 1.2 | —    | —   | O:3                      | Cu-Sn (Pb)     | 铸造     |            |
|        |                |     | 金属基体 | 93.7 | 6.3  | —   | —    | —   |                          |                |        |            |
| YH026* | 76YHM119 : 4   | 铜刀  | 面扫   | 93.4 | 0.2  | —   | 1.4  | —   | O:4.2; Cl:0.8            | Cu (As)        | 完全锈蚀   |            |
| YH028  | 76YHM124 : 17  | 铜刀  | 面扫   | 91   | 2.6  | —   | —    | —   | O:5.7; Cl:0.7            | Cu-Sn          | 热锻+冷加工 |            |
|        |                |     | 金属基体 | 96.1 | 3.9  | —   | —    | —   |                          |                |        |            |
| YH029* | 76YHM125 : 1   | 耳环  | 面扫   | 81.4 | 9.3  | —   | —    | —   | O:7.7; Cl:1.6            | Cu-Sn          | 完全锈蚀   |            |
| YH030  | 76YHM125 : 9   | 残铜刀 | 面扫   | 97   | 1    | 1.4 | 0.6  | —   | —                        | Cu (Pb)        | 热锻     |            |
| YH032* | 76YHM136 : 11A | 铜泡  | 面扫   | 90.4 | 2.6  | 0.6 | 1.8  | —   | O:4.6                    | Cu-Sn (As)     | 完全锈蚀   |            |
| YH033* | 76YHM136 : 11B | 铜泡  | 面扫   | 92.9 | 0.3  | —   | —    | —   | O:5.6; Cl:1.2            | Cu             | 完全锈蚀   |            |
| YH034* | 76YHM136 : 12  | 铜泡  | 面扫   | 85   | 0.4  | —   | —    | —   | O:9.9; Cl:4.7            | Cu             | 完全锈蚀   |            |
| YH035  | 76YHM136 : 12B | 铜泡  | 面扫   | 88.9 | 1.8  | 1.5 | 0.3  | —   | O:6.7; Cl:0.8            | Cu (Sn, Pb)    | 铸造     |            |
|        |                |     | 金属基体 | 92.7 | 1.6  | 4.8 | 0.9  | —   |                          |                |        |            |
| YH036* | 76YHM137 : 7   | 铜刀  | 面扫   | 90.2 | 4.5  | 0.6 | —    | —   | O:4.7                    | Cu-Sn          | 完全锈蚀   |            |
| YH037  | 76YHM140 : 3   | 铜刀  | 面扫   | 85.2 | 6.6  | 1.7 | 0.2  | —   | O:6.3                    | Cu-Sn (Pb)     | 热锻     |            |
|        |                |     | 金属基体 | 93.7 | 4.9  | 1.4 | —    | —   |                          |                |        |            |
| YH038  | 76YHM153 : 16  | 耳环  | 面扫   | 91.2 | 3.9  | 1.7 | —    | —   | O:3.2                    | Cu-Sn (Pb)     | 热锻     | 图六         |
|        |                |     | 金属基体 | 97.3 | 2.7  | —   | —    | —   |                          |                |        |            |
| YH039* | 76YHM151 : 12  | 铜刀  | 面扫   | 90.4 | 0.7  | 3.7 | —    | —   | O:5.2                    | Cu-Pb          | 完全锈蚀   |            |
| YH040  | 76YHM153 : 11  | 耳环  | 面扫   | 78.8 | 16.5 | 0.6 | 0.7  | —   | O:3.3                    | Cu-Sn          | 热锻     |            |
|        |                |     | 金属基体 | 89.4 | 10.6 | —   | —    | —   |                          |                |        |            |
| YH041* | 76YHM176 : 7   | 铜刀  | 面扫   | 85.7 | 5.7  | 1.3 | 1.6  | —   | O:5.7                    | Cu-Sn (Pb, As) | 完全锈蚀   |            |
| YH042* | 76YHM176 : 11  | 铜刀  | 面扫   | 82.6 | 7.3  | 2   | 0.9  | —   | O:5.8; Cl:1.4            | Cu-Sn-Pb       | 完全锈蚀   |            |
| YH043* | 76YHM185 : 13  | 铜刀  | 面扫   | 90.2 | —    | —   | 2.1  | —   | O:7; Cl:0.7              | Cu-As          | 完全锈蚀   |            |
| YH046* | 76YHM211 : 9   | 指环  | 面扫   | 87.2 | 1.1  | 3.5 | 1.7  | —   | O:5.6; Cl:0.9            | Cu-Pb (Sn, As) | 完全锈蚀   |            |
| YH047* | 76YHM215 : 3   | 铜泡  | 面扫   | 58   | 24.6 | —   | —    | —   | O:12.1; Cl:5.3           | Cu-Sn          | 完全锈蚀   |            |
|        |                |     | 金属基体 | 62   | 0.3  | 2.2 | 27.4 | 5.2 |                          |                |        |            |
| YH048  | 76YHM215 : 13  | 大铜泡 | 面扫   | 62   | 0.3  | 2.2 | 27.4 | 5.2 | O:2.9                    | Cu-As-Pb       | 铸造     | 图七,<br>图十二 |
| 金属基体   | 59.8           | —   | 20.2 | 19.2 | 0.8  |     |      |     |                          |                |        |            |
| YH050  | 76YHM262 : 7   | 铜泡  | 面扫   | 83   | 15.5 | 0.6 | 0.9  | —   | —                        | Cu-Sn          | 热锻     |            |
| YH051* | 76YHM262 : 8   | 铜泡  | 面扫   | 48   | 22.5 | 3.8 | 1.6  | —   | O:19.5; Cl:4.6           | Cu-Sn-Pb (As)  | 完全锈蚀   |            |
| YH052* | 76YHM274 : 5   | 铜刀  | 面扫   | 86.6 | 2.7  | 0.8 | 2    | —   | O:7.9                    | Cu-Sn-As       | 完全锈蚀   |            |
|        |                |     | 金属基体 | 91.6 | 2.1  | 1.3 | —    | —   |                          |                |        |            |
| YH053  | 76YHM290 : 4   | 铜刀  | 面扫   | 91.6 | 2.1  | 1.3 | —    | —   | O:5                      | Cu-Sn (Pb)     | 铸造     |            |
| YH054  | 76YHM293 : 6   | 耳环  | 面扫   | 91.2 | 7.3  | 1.5 | —    | —   | —                        | Cu-Sn (Pb)     | 热锻     | 图八         |
| YH055  | 76YHM296 : 1   | 铜斧  | 面扫   | 99.1 | 0.3  | 0.6 | —    | —   | —                        | Cu             | 铸造+冷加工 | 图九         |
| YH056* | 76YHM297 : 4   | 铜刀  | 面扫   | 93.1 | 0.9  | —   | —    | —   | O:5.2; Cl:0.8            | Cu             | 完全锈蚀   |            |
| YH057* | 76YHM298 : 11  | 耳环  | 面扫   | 82.9 | 8.8  | 1   | 1.1  | —   | O:6.2                    | Cu-Sn (Pb, As) | 完全锈蚀   |            |

(续表一)

| 实验室<br>编号 | 出土编号          | 器名  | 检测部位 | Cu   | Sn   | Pb  | As  | Fe | 其他                | 材质         | 制作<br>工艺 | 图示 |
|-----------|---------------|-----|------|------|------|-----|-----|----|-------------------|------------|----------|----|
| YH058*    | 76YHM299 : 10 | 铜刀  | 面扫   | 81.4 | 11.8 | 0.2 | 0.2 | —  | O:6.4             | Cu-Sn      | 完全锈蚀     |    |
| YH059*    | 76YHM299 : 12 | 铜匕  | 面扫   | 92.7 | —    | —   | 0.8 | —  | O:6.5             | Cu         | 完全锈蚀     |    |
| YH061     | 76YHM304 : 3  | 耳环  | 面扫   | 84.2 | 9.8  | 0.6 | 0.3 | —  | O:5.1             | Cu-Sn      | 热锻       |    |
|           |               |     | 金属基体 | 94.7 | 5.3  | —   | —   | —  |                   |            |          |    |
| YH063     | 76YHM310 : 8  | 铜刀  | 面扫   | 99.6 | 0.4  | —   | —   | —  | —                 | Cu         | 铸造+冷加工   |    |
| YH065     | 76YH : 048    | 铜泡  | 面扫   | 87.5 | 10.1 | 1.4 | 0.9 | —  | —                 | Cu-Sn (Pb) | 热锻       |    |
| YH066*    | 76YH : 049    | 铜刀  | 面扫   | 95.8 | —    | —   | —   | —  | O:4.2             | Cu         | 完全锈蚀     |    |
| YH067*    | 76YH 墙基填土     | 铜刀  | 面扫   | 85.6 | 5.5  | 1.2 | —   | —  | O:7.7             | Cu-Sn (Pb) | 完全锈蚀     |    |
| YH068*    | 不明            | 铜镜  | 面扫   | 87.3 | 0.3  | —   | —   | —  | O:8.7; Cl:3.7     | Cu         | 完全锈蚀     |    |
| YH069*    | 90YHM12 : 1   | 铜刀  | 面扫   | 93   | 0.8  | 0.1 | 0.6 | —  | O:4; Cl:1.5       | Cu         | 完全锈蚀     |    |
| YH070     | 90YHM106 : 5  | 铜锥  | 面扫   | 98.8 | 1.2  | —   | —   | —  | —                 | Cu (Sn)    | 铸造+冷加工   | 图十 |
| YH071*    | 90YHM109 : 1  | 铜刀  | 面扫   | 90.5 | 1.3  | —   | —   | —  | O:7.9; Cl:0.3     | Cu (Sn)    | 完全锈蚀     |    |
| YH072*    | 90YHM111 : 6? | 铜刀  | 面扫   | 80.5 | 6.7  | 2.1 | 0.7 | —  | O:9.2; Cl:0.8     | Cu-Sn-Pb   | 完全锈蚀     |    |
| YH073*    | 90YHM114 : 9  | 铜锥  | 面扫   | 89.9 | 0.3  | 2.4 | 2.4 | —  | O:3.5; Cl:1.5     | Cu-Pb-As   | 完全锈蚀     |    |
| YH074*    | 90YHM125 : 1  | 铜刀  | 面扫   | 86.9 | 3.5  | 0.7 | 0.8 | —  | O:8.1             | Cu-Sn      | 完全锈蚀     |    |
| YH075     | 76YHM259 : 14 | 铜耳环 | 面扫   | 82.3 | 13.9 | —   | —   | —  | O:3; S:0.4; P:0.4 | Cu-Sn      | 热锻       |    |
|           |               |     | 金属基体 | 90.6 | 8.6  | 0.8 | —   | —  |                   |            |          |    |
| YH076     | 90YH采集        | 铜刀  | 面扫   | 95.8 | 2.1  | 0.8 | 0.2 | —  | Sb:1.1            | Cu-Sn (Sb) | 铸造       |    |
| YH077*    | 90YH采集        | 小铜片 | 面扫   | 83   | 2.1  | 6.3 | —   | —  | O:7; Cl:1.6       | Cu-Sn-Pb   | 完全锈蚀     |    |

注: 带\*样品为完全锈蚀, 并不反映真实的化学成分, 仅作为定性判断合金材质的依据; “—”表示未检出。

采用扫描电镜能谱分析仪对67件样品进行成分分析, 其中28件有金属残余, 材质类型以红铜和锡青铜为主, 各12件, 其余还有2件砷青铜和2件铜砷铅合金, 耳环及锥、斧类器物有明显的材质特征, 耳环均为锡青铜, 工具类器物则以红铜为主。整体合金元素含量浮动较大, 含锡量为2%至17%, 其中4件大于10%, 均为饰品类器物; 含铅器物有铜泡2件, 分别为2%和10%左右; 含砷量除1件铜砷铅合金的铜泡高达27%, 可能受到锈蚀影响, 其余均为2%左右。39件完全锈蚀的样品中, 材质类型同样以红铜和锡青铜为主, 各14件, 其余材质包括铅锡青铜5件、铅青铜2件、砷青铜2件、铜锡砷和铜铅砷合金各1件, 耳环均为锡青铜, 铜泡以锡青铜为主, 铜刀以红铜居多。另外, 火烧沟四坝文化铜器大多含有夹杂物, 以颗粒状或条状的铜硫化物为主, 少量带有银、铋等细小颗粒, 锡以多边形氧化物的形式存在。

#### 四 讨论

##### (一) 四坝文化铜器的技术特征

本次分析的火烧沟四坝文化铜器与2003年发表的检测结果较为一致<sup>[6]</sup>。孙淑云对26件铜器

进行取样分析, 并对9件完整铜器进行表面成分分析, 结果显示红铜占13件、锡青铜10件、砷青铜6件及少量铋青铜、铜铅砷、铜锡砷、铜锡铅合金共存; 在制作工艺方面, 26件铜器中有22件铸造成型, 有5件工具类器物在铸后进行局部冷加工。

结合之前的分析结果来看, 火烧沟四坝文化铜器的技术特征大体有两方面值得注意: 首先, 红铜在火烧沟遗址仍占有较大比例, 并且红铜中普遍见有少量或微量的锡、铅、砷、铋元素, 夹杂物中也包含银、铋等元素。这里判断合金元素与杂质元素是以公认的2%作为铜合金元素的下限, 以便于同其他研究成果对比分析, 含量低于2%的元素视为少量或微量元素, 亦或杂质元素。早期红铜中常见有杂质元素, 体现了在铜冶炼技术发展的早期阶段, 器物的材质更多地依赖于矿物原料的选择, 当时的工匠可能已开始尝试获取含锡、砷、铅等多种元素的矿物。与此相对应的是在器物类型方面, 红铜较多应用于制作刀、锥、斧等工具类器物, 为了提高器物的使用性能, 常采用后期修整加工的技术。这种材料使用上的现象, 除了与器物的机械性能要求有关, 还应考虑合金矿物的来源以及成本等因素。

其二, 锡青铜是火烧沟遗址的主要合金材

质,同时存在少量的砷青铜、铅青铜、铋青铜及铜锡铅、铜锡砷、铜铅砷合金。锡作为主要的合金元素,其含量浮动较大,铅、砷的含量大多低于6%,合金元素比例不稳定。从器物类型与材质的对应关系来看,耳环多用锡青铜热锻成型,铜泡以铸造为主,材质也多为青铜合金。相较于工具类器物多选用红铜铸造,饰品类则倾向于选择在硬度和色泽上更胜一筹的青铜合金,反映了当时人们对饰品的重视。这些特点显示了四坝文化铜器的制作技术还有一定的原始性,但对各类铜合金的材质性能已经有了初步认识。

随着近年来四坝文化其余几处用铜遗存研究成果的发表,四坝文化铜器的整体技术水平及区域分布也需要做更系统的对比分析。这些遗址主要包括民乐东灰山、张掖西城驿、酒泉干骨崖和瓜州鹰窝树。民乐东灰山遗址出土铜器16件,有8件经原子吸收光谱定量分析,7件为砷青铜、1件铜锡砷合金,含砷在2%-6%之间;有5件经扫描电镜分析均为砷铜合金制品;有11件铜器进行金相组织鉴定,均为热锻成型,6件器物在热锻后进行冷加工<sup>[7]</sup>。张掖西城驿遗址三期为四坝文化,出土铜器13件,在材质上包含砷青铜6件、红铜5件、锡青铜和铋青铜各1件;12件可辨组织的器物中铸造和热锻各6件<sup>[8]</sup>。酒泉干骨崖遗址出土铜器46件,有41件进行成分分析,包含锡青铜24件、砷铜10件、红铜4件及铜锡铅、铜锡砷、铜铅砷各1件;有28件铜器进行金相观察,铸造成型17件,热锻11件;有5件经冷加工处理<sup>[9]</sup>。瓜州鹰窝树遗址出土铜器7件,经检测均为锡青铜,以铸造成型为主<sup>[10]</sup>。

从区域分布来看,偏东地区的东灰山、西城驿遗址以含砷青铜、红铜为主;中部的干骨崖遗址以锡青铜为主,砷青铜占有较大比例;偏西地区的火烧沟遗址以红铜和锡青铜为主,鹰窝树遗址则均为锡青铜。先前的研究中已有学者关注到几处遗址出土铜器材质的差异,李水城<sup>[11]</sup>、孙淑云<sup>[12]</sup>等都注意到偏东地区的遗址砷铜合金比例较高,偏西地区的遗址则锡青铜比例较高。对比

铜器的制作工艺,东灰山遗址均为热锻成型;西城驿、干骨崖、火烧沟等遗址热锻和铸造比例相差不大;鹰窝树遗址以铸造居多。考虑到检测铜器的类型和数量的影响,东灰山样品中饰品类居多、鹰窝树则工具类较多,制作工艺的差异可能与遗址的分布区域并没有明显的对应关系。

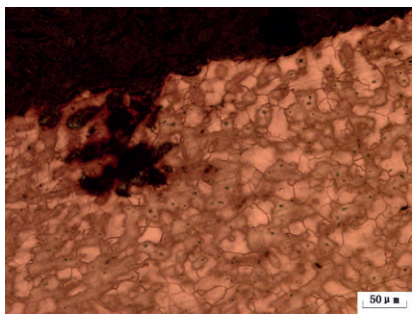
结合四坝文化整体的年代分期和区域类型,初步研究表明,东灰山、干骨崖和火烧沟诸遗址在葬俗葬式、陶器组合等方面有一定的差异,可分属不同的区域类型<sup>[13]</sup>,并且依据李水城<sup>[14]</sup>、水涛<sup>[15]</sup>、陈国科<sup>[16]</sup>等对四坝文化的初步分期,早期以火烧沟、西城驿三期和东灰山遗址为代表,晚期以干骨崖和鹰窝树遗址为代表。可以看出,在四坝文化的早期阶段,红铜与青铜材质并存,含砷青铜主要分布于河西走廊偏东地区,偏西地区以锡青铜为主,这种差异也可能与遗址本身的年代早晚相关;到晚期阶段,锡青铜逐渐成为主导材质。

## (二) 甘青地区早期铜器的相关问题

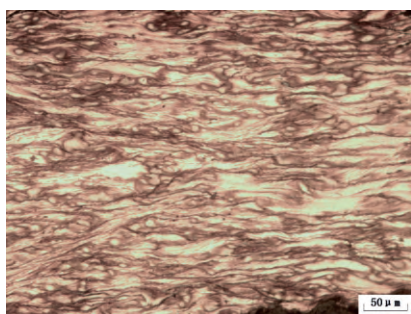
近年来,在河西走廊地区与早期冶金相关的考古工作及研究有了一些新的进展,这为探讨中国西北地区早期铜器技术的起源与发展提供了新的线索。

首先,张掖西城驿遗址的发掘与新的测年数据为探讨齐家文化与四坝文化的分期提供了新的认识<sup>[17]</sup>:西城驿二期遗存性质较为复杂,证实了齐家文化可能与马厂晚段遗存、马厂向四坝的过渡遗存及四坝早段遗存都曾共存,年代约为距今4000年至3700年,这为探索齐家文化与河西走廊东部接触的年代提供了参考;另外,西城驿三期为四坝文化遗存,上限为距今3700年,以火烧沟、东灰山遗址代表的四坝文化早期遗存与其年代相当,相较于以往对四坝文化起始年代的判断<sup>[18]</sup>,年代上限大体晚了300年左右。

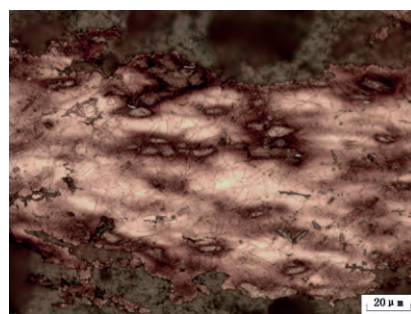
陈国科<sup>[19]</sup>、许宏<sup>[20]</sup>据此尝试对西北地区早期用铜遗存的年代框架进行重新梳理,大体可分为三个阶段:第一阶段大体为距今4000年至3700年,河西走廊东部和青海东部发现齐家文化



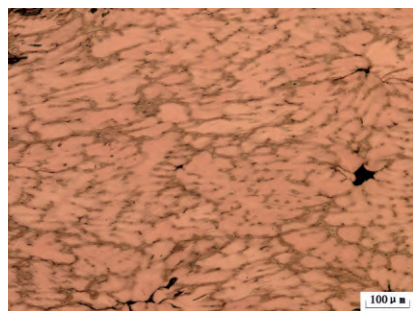
图一 YH003铜泡金相组织



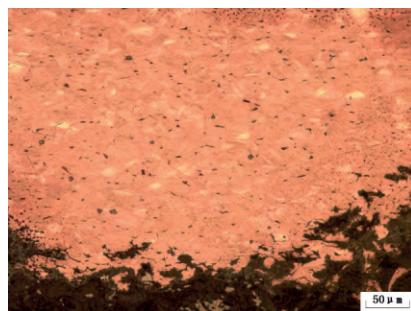
图二 YH012铜刀金相组织



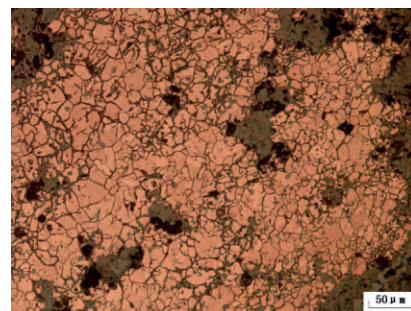
图三 YH016铜刀金相组织



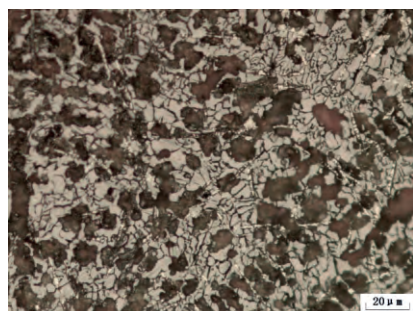
图四 YH018铜刀金相组织



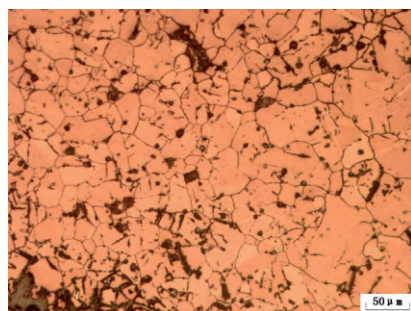
图五 YH021铜刀金相组织



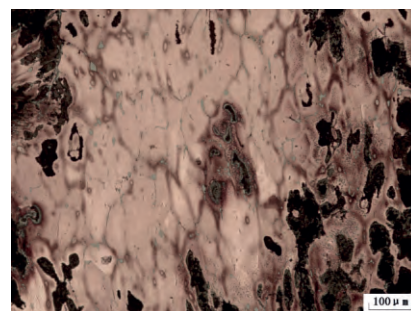
图六 YH038铜耳环金相组织



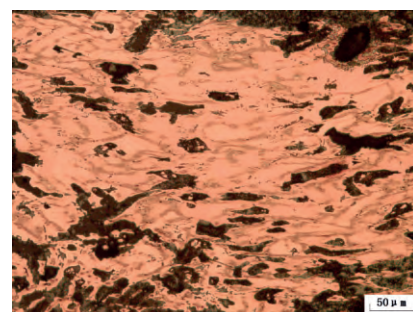
图七 YH048铜泡金相组织



图八 YH054铜耳环金相组织



图九 YH055铜斧金相组织



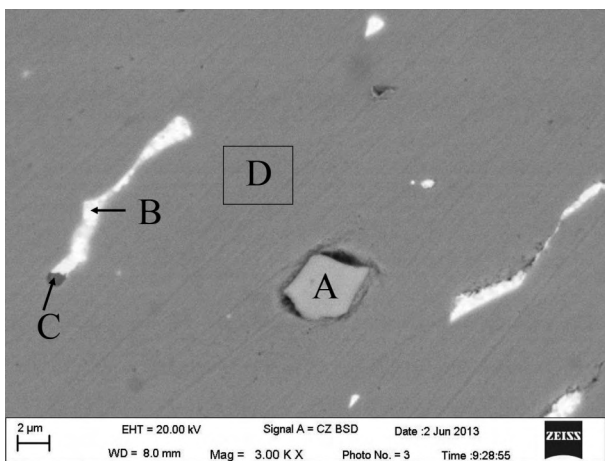
图十 YH070铜锥金相组织

最早的铜器，大体属于齐家文化中期，并且河西走廊东部发现目前最早的冶炼遗址

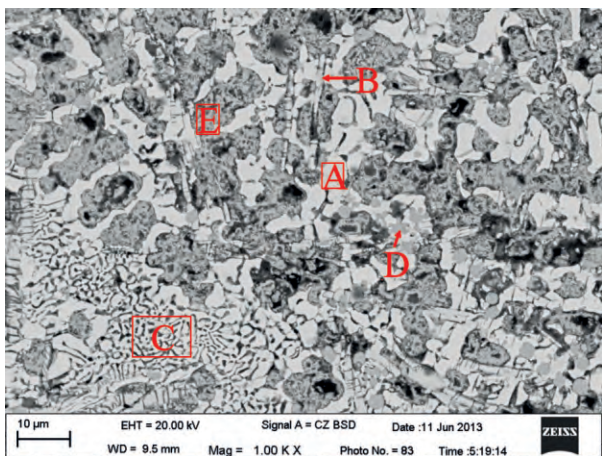
三阶段为距今3500年至3300年左右，包括四坝文化晚期、天山北路二期和三期遗存，甚至齐家文化最晚阶段遗存，这一时期锡青铜已成为主导材质，同时含砷青铜和铅锡青铜等其他材质并存。

其次，在这样的年代分期背景下，可初步探讨河西走廊在早期青铜技术的传播与交流中的意义。河西走廊在马厂文化晚期至西城驿文化时期（“过渡类型”阶段），已存在本土的冶炼活动，西城驿遗址发现的大量冶炼遗物及铜器说明河西走廊中部可能为西北地区早期冶金技术产生与传播的中心之一，除冶炼红铜外，已开始尝试炼制含锡、砷等合金元素的青铜<sup>[21]</sup>。四坝文化时期铜器的技术特征来看，应该是延续了西城驿文化的铜器技术传统，发展的趋势是锡青铜取代含

及属于“过渡类型”阶段的冶炼遗物，这一时期红铜与青铜合金并存，红铜仍属于主要材质，砷为重要的合金元素；第二阶段为距今3700年至3500年，甘青地区进入早期青铜时代，在河西走廊、青海东部及洮河流域均发现大量四坝文化早期和齐家文化晚期的用铜遗存，红铜与青铜合金并存，锡青铜与含砷青铜成为主要材质；第



图十一 YH021 铜刀的扫描电镜背散射电子像  
A为锡氧化物, Cu 4.5%, Sn 82.9%, O 12.6%; B为块状铅, Cu 25.8%, Pb 70.1%, O 4.1%; C为硫化物, Cu 81.1%, S 18.9%; D为基体, Cu 98%, Sn 1%, Sb 1%



图十二 YH048 铜泡的扫描电镜背散射电子像  
A为基体, Cu 59.8%, As 19.2%, Pb 20.2%, Fe 0.8%; B为条状高砷铁析出相, Cu 38.8%, As 31.2%, Fe 28.3%, O 1.7%; C为花状析出相, Cu 55.2%, As 16.9%, Pb 24.3%, Fe 3.6%; D为硫化物, Cu 73.8%, S 17.9%, As 5.9%, Fe 2.4%; E为锈蚀, Cu 80.8%, As 5.7%, Pb 4.7%, Fe 2.6%; Sn 0.4%, O 5.2%, Cl 0.6%

砷青铜成为主导,同时多种青铜合金并存。在青铜时代早期,河西走廊与周边地区也有较多的互动,新疆东部哈密地区的天山北路墓地与河西走廊西部毗邻,天山北路一期遗存发现的彩陶双耳罐等器物与河西走廊“过渡类型”一致,可能在此阶段新疆东部已与河西走廊产生联系<sup>[22]</sup>,天山北路二至三期发现的部分陶器、铜器类型及铜器的技术特征也与四坝文化相似,铜器主体材质为

锡青铜,红铜与含砷青铜并存<sup>[23]</sup>。从西城驿的发现来看,齐家文化与河西走廊最早的接触时间可追溯至“过渡类型”阶段,相当于齐家文化中期,值得注意的是,齐家文化目前发现最早用铜遗存也大体在这一阶段,河西走廊东部主要为红铜<sup>[24]</sup>,青海东部已有少量含砷青铜<sup>[25]</sup>,与西城驿文化的铜器技术特征类似。

近年来也有研究者注意到河西走廊中部是早期文化交流互动的重要区域,张莉指出额济纳河(黑河)区域可能成为早期技术传播的通道之一。额济纳河北通欧亚草原,西接河西走廊西部及新疆,东南连接中原地区,一些年代最早的外来文化因素都在该区域有所体现,包括大麦、小麦及驯化的山羊、绵羊、马、牛以及早期冶金技术<sup>[26]</sup>。这一观点对于补充前人的研究具有重要意义,梅建军、李水城等早已提出大体从公元前第三千纪末开始,中国西北地区与欧亚草原之间存在文化互动,早期冶金技术大体由南西伯利亚传至新疆北部,再经新疆东部、河西走廊影响到中原内陆地区<sup>[27]</sup>。目前的研究来看,甘青地区早期铜器技术发展的区域差异可能是受到来自不同途径文化交流的影响,河西走廊在早期铜器技术传播过程中不是简单的中介地带,更是早期冶铜技术实现本土化过程中最重要的地区。西城驿文化之后一系列的“区域创新”和技术传播与此关系密切。

## 五 结论

本文对火烧沟遗址出土铜器开展了进一步的科学分析,结果表明其材质以红铜和锡青铜为主,并有少量砷青铜、铅青铜、铋青铜及铜锡铅、铜锡砷、铜铅砷合金;成型工艺有铸造和锻造两种,铸造略多。饰品类中耳环多为锡青铜,以热锻成型;铜刀、铜锥、铜斧等工具多用红铜制作,铸造成型为主,常在刃部或边缘进行冷加工修整。

结合河西走廊其他几处四坝文化遗址早期铜

器的检测分析结果,四坝文化早期阶段红铜与青铜材质并存,到晚期阶段,锡青铜逐渐成为主体材质。近年来新的考古发现与研究也为河西走廊早期铜器技术的产生与发展提供参考依据,以西城驿为代表的河西走廊中部地区可能为西北地区早期冶金中心之一,是早期冶铜技术实现本土化的重要体现,对四坝文化、齐家文化甚至新疆东部的早期铜器技术产生影响;同时该区域也可能为早期青铜时代,西北地区与欧亚草原文化交流与技术传播的重要通道之一。

致谢:调查与采样工作得到甘肃省文物考古研究所陈国科博士的支持与帮助,研究工作得到了北京科技大学科技史与文化遗产研究院韩如汾、孙淑云、李延祥、潜伟、李秀辉、刘思然和程瑜老师的指导,谨此一并致谢!

- [1] 甘肃省文物考古研究所,北京大学考古文博学院.河西走廊史前考古调查报告[M].文物出版社,2011:283-299.
- [2] 甘肃省博物馆.甘肃省文物考古工作三十年[M]//文物考古工作三十年1949—1979.文物出版社,1979:140-144.
- [3] 北京钢铁学院冶金史组.中国早期铜器的初步研究[J].考古学报,1981(3).
- [4] [24] 孙淑云,韩汝芬.甘肃早期铜器的发现、冶炼与制作技术的研究[J].文物,1997(7).
- [5] [6] [12] 孙淑云,潜伟,王辉.火烧沟四坝文化铜器成分分析及制作技术的研究[J].文物,2003(8).
- [7] 孙淑云.东灰山遗址四坝文化铜器的鉴定及研究[M]//民乐东灰山考古——四坝文化墓地的揭示与研究.科学出版社,1998:191-195.
- [8] 陈国科,李延祥,潜伟,王辉.张掖西城驿遗址出土铜器的初步研究[J].考古与文物,2015(2).
- [9] 孙淑云.酒泉干骨崖墓地出土四坝文化铜器的分析与研究[M]//酒泉干骨崖.文物出版社,2016:333-352.
- [10] 孙淑云.瓜州(原安西)鹰窝树墓地采集及出土四坝文化铜器鉴定报告[M]//河西走廊史前考古调查报告.文物出版社,2011:452-454.
- [11] 李水城,水涛.四坝文化铜器研究[J].文物,2000(3).
- [13] [14] 李水城.四坝文化研究[C]//考古学文化论集(三).文物出版社,1993:80-121;陈小三.河西走廊及其邻近地区早期青铜时代遗存研究——以齐家、四坝文化为中心[D].吉林大学博士学位论文,2012.
- [15] 水涛.甘青地区青铜时代的文化结构和经济形态研究[M]//中国西北地区青铜时代考古论集.科学出版社,2001:193-327.
- [16] [19] 陈国科.齐家文化与四坝文化铜器年代再认识[C]//2015中国·广河齐家文化与华夏文明国际研讨会论文集.文物出版社,2016:148-154.
- [17] 甘肃省文物考古研究所,北京科技大学冶金与材料史研究所,中国社会科学院考古研究所,西北大学文化遗产学院.甘肃张掖市西城驿遗址[J].考古,2014(7).
- [18] 北京大学考古文博学院,甘肃省文物考古研究所.酒泉干骨崖[M].文物出版社,2016:294-315.
- [20] 许宏.从仰韶到齐家——东亚大陆早期用铜遗存的新观察[C]//2015中国·广河齐家文化与华夏文明国际研讨会论文集.文物出版社,2016.
- [21] 李延祥,陈国科,潜伟,王辉.张掖西城驿遗址冶铸遗物研究[J].考古与文物,2015(2).
- [22] 李水城.天山北路墓地一期遗存分析[C]//俞伟超先生纪念文集·学术卷.文物出版社,2009:193-202.
- [23] 潜伟.新疆哈密地区史前时期铜器及其与邻近地区文化的关系[M].知识产权出版社,2006:87-99.
- [25] 徐建炜,梅建军,格桑本,陈洪海.青海同德宗日遗址出土铜器的初步科学分析[J].西域研究,2010(2).
- [26] Li Jaang. The Landscape of China's Participation in the Bronze Age Eurasian Network [J]. *J World Prehist*, 2015 (28).
- [27] Mei Jianjun. Cultural interaction between China and Central Asia during the Bronze Age. *Proceedings of the British Academy*, 2003 (121); 梅建军,高滨秀.塞伊玛——图比诺现象和中国西北地区的早期青铜文化[C]//中国冶金史论文集(第四辑).科学出版社,2006:24-38;李水城.从考古发现看公元前二千纪东西方文化的碰撞与交流[M]//东风西渐——中国西北史前文化之进程.文物出版社,2009:200-218;李水城.西北与中原早期冶铜业的区域特征及交互作用[J].考古学报,2005(3).

(责任编辑:刘丁辉)