

## 敦煌西土沟遗址冶金遗物研究

李延祥<sup>1</sup> 陈国科<sup>1,2</sup> 潜伟<sup>1</sup> 陈建立<sup>3</sup> 王辉<sup>2</sup>

(1. 北京科技大学 冶金与材料史研究所, 北京 100083;

2. 甘肃省文物考古研究所, 甘肃 兰州 730030;

3. 北京大学 考古文博学院, 北京 100871)

**内容摘要:**对甘肃敦煌西土沟遗址7个地点的18个炉渣、9个矿石、27个金属颗粒共计54个样品进行了扫描电镜观测。认定大部分炉渣是氧化矿石直接冶炼红铜的,少量炉渣是冶炼含砷合金的;仅检测到含有少量硫化矿物的铜氧化矿石和绿松石;金属颗粒则具有红铜、砷铜、锡铜、铋铜(砷)、铅锡铜、锡铅铜(砷)、锡铅(铜)等多种成分组合。在一个炉渣样品中发现有砷酸钙,在一个金属颗粒中发现有砷氧化物。金属颗粒多次发现有银、铋、铋及锡氧化物。基于上述发现,对西土沟遗址的冶炼技术进行了推断,认为该遗址主要使用铜氧化矿石冶炼红铜,再配以含砷、锡等合金元素的矿料进一步冶炼获得各种合金。在第2地点与炉渣共出的木炭的碳十四年代测定结果为 $3470 \pm 35\text{BP}$ ,  $0x\text{Cal v3.10}$ 校正为1890—1690BC(95.4%)。

**关键词:**西土沟遗址;炉渣;冶金考古;矿石;青铜

中图分类号:K854.2 文献标识码:A 文章编号:1000-4106(2018)02-0131-10

DOI:10.13584/j.cnki.issn1000-4106.2018.02.018

## Research of the Metallurgical Remains in the Xitugou Site at Dunhuang

LI Yanxiang<sup>1</sup> CHEN Guoke<sup>1,2</sup> QIAN Wei<sup>1</sup> CHEN Jianli<sup>3</sup> WANG Hui<sup>2</sup>

(1. Institute for the History of Metallurgy and Materials, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083; 2. Gansu Provincial Institute of Cultural Relic and Archaeology, Lanzhou, Gansu 730030; 3. School of Archaeology and Museology, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract:** 54 samples of 18 slags, 9 ores, and 27 metal prills from an area of the Xitugou Site at Dunhuang in Gansu Province were analyzed by SEM-EDS. Most of the slags were produced from the smelting of pure oxidized copper minerals while a few are from the smelting of alloys containing arsenic; small amounts of pure oxidized copper and turquoise were found. The metal prills proved to be of various chemical compositions including Cu, Cu-As, Cu-Sn, Cu-Pb-Sn, Sn-Pb and more; Ag, Bi, Sb, Pb and SnO<sub>2</sub> were found widely in many of

收稿日期:2016-06-24

基金项目:国家文物局项目“黑水河流域早期冶铜技术研究”;国家自然科学基金项目“中原及北方地区早期冶金技术”(51174034);中华文明探源工程项目“中华文明形成过程中的资源、技术与生业研究”;国家文物局边疆考古项目“河西走廊早期冶金遗址调查与研究”

作者简介:李延祥(1962-),男,辽宁省铁岭市人,北京科技大学冶金与材料史研究所教授,主要从事科技考古、科技文献学等研究。

the prills. Calcium arsenite was found in one slag sample and arsenic trioxide was found in one prill. The analysis results indicate that the site once utilized a process to first smelt pure oxidized copper ore into copper and then add minerals containing elements such as arsenic and tin to produce alloys. One carbon sample unearthed together with slags in area 2 of the site has been dated to 1890—1690BC (BP 3470±35 by AMS within 95.4% probability by OxCal v3.10).

**Keywords:** Xitugou site; slag; archaeometallurgy; ore; bronze.

河西走廊是西北青铜时代考古学文化形成和发展的主要区域之一。由于大量早期铜器的发现，该地区很早便成为早期冶金研究所关注的重点区域。为探讨河西走廊地区早期冶金技术的面貌，2007—2008年，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组成调查队，开展了大规模的调查。在西土沟—古董滩遗址调查中，取得了重要收获。

## 1 遗址概况

西土沟遗址位于敦煌阳关镇(原南湖镇)绿洲边缘的西土沟两侧，宽约100米，深约10米，系河水冲刷而成，目前依旧水草丰茂。遗址东距阳关镇政府约7千米，西南为沙漠，东北为阳关遗址(又称古董滩遗址)，南为圆山子。遗址以西土沟为界可分为两部分，西土沟西侧部分面积约650万平方米，西土沟东侧部分原划入阳关遗址，整个遗址面积约为1000万平方米。本文调查涉及遗址的7个地点(西土沟西侧5处，编号为DX1—DX5；东侧2处，编号为DY2、DY5)，除采集到大量的陶片及石斧、石磨盘等石器外，都采集到炼铜渣、矿石、金属颗粒等冶炼遗物，见图1—5。本文通过对调查所得冶金遗物的分析揭示该遗址的冶金技术。

## 2 取样与检测

### 2.1 检测目的与方法

通过对矿石、炉渣、金属颗粒(块)的检测，可获得关键信息，进而复原冶炼技术。

使用日本电子公司JSM6480LV扫描电子显微镜(SEM)配备美国热电公司Noran Systemsix能谱色散仪(EDS)对各样品的基体、物相及含铜等金属颗粒进行了观测。以2%作为铜合金元素下限的划分界限。

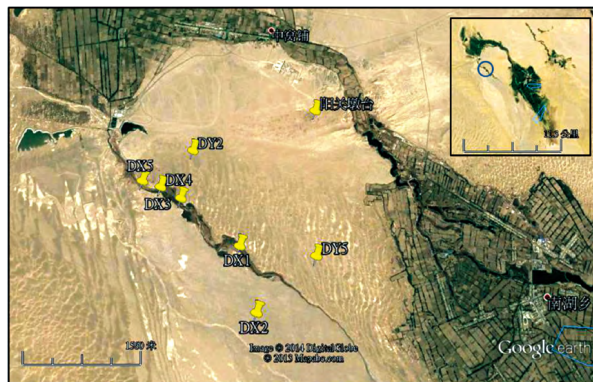


图1 西土沟遗址及各地点位置示意图



图2 西土沟遗址远景

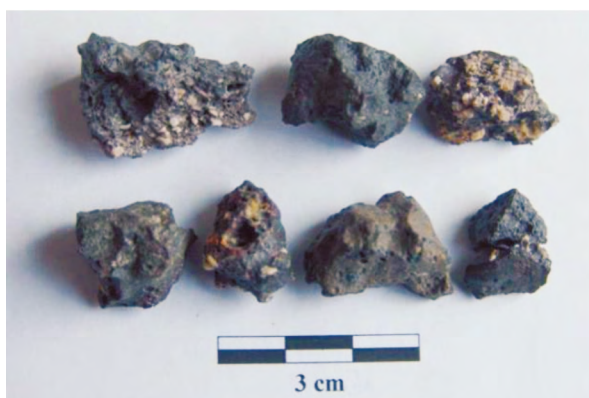


图3 西土沟第1地点(DX1)炉渣标本

### 2.2 取样情况

取样共计54件(表1)，炉渣多呈褐色，块状，

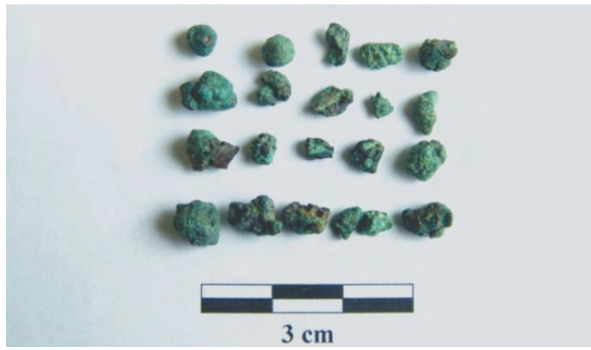


图4 西土沟第2地点(DX2)金属颗粒

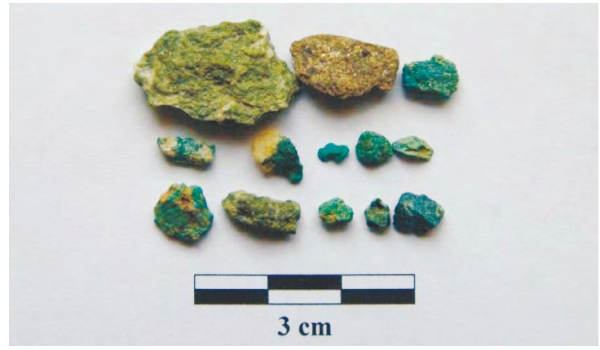


图5 西土沟第2地点(DX2)矿石标本

表1 西土沟遗址检测样品统计

地点	炉渣	矿石	金属颗粒(块)	合计	编号
西土沟西侧第1地点	3		1	4	DX1:1—4
西土沟西侧第2地点	4	4	7	15	DX2:1—15
西土沟西侧第3地点	4		1	5	DX3:1—5
西土沟西侧第4地点	4		5	9	DX4:1—9
西土沟西侧第5地点	1		1	2	DX5:1—2
西土沟东侧第2地点	1	3	4	8	DY2:1—8
西土沟东侧第5地点	1	2	8	11	DY5:1—11
合计	18	9	27	54	

较致密,部分有细小孔洞。矿石为蓝色、绿色或灰黄色,较为致密。金属颗粒多锈蚀。对第2地点(DX2)与炉渣伴出的一个木炭标本在北京大学考古文博学院进行年代测定。

### 2.3 检测结果

矿石、炉渣、金属颗粒(块)的检测结果显示见表2—4及所附各图。

上述检测结果显示有如下现象:

表2 西土沟遗址矿石检测结果

样品编号	总成分能谱分析相对质量百分比(wt%, 不计氧)										图号
	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	
DX2:12	2.41	17.25	55.85				5.45	3.76	15.28		
DX2:13	3.31	1.82	19.69		7.10	8.80	0.02	5.84	1.45	51.98	6
DX2:14	0.82	1.83	37.63			13.18	0.66	0.87	1.51	43.49	
DX2:15	5.57	4.97	12.37		11.28	10.10			4.37	51.36	
DY2:3		45.66		38.14					1.60	14.60	
DY2:7		37.83	0.76	34.11					12.11	15.19	
DY2:8		32.12	4.68	31.97				1.30	17.92	12.01	
DY5:9		41.23		35.56					7.39	15.82	
DY5:10	0.98	3.38	22.38		1.27	12.29	0.96	0.96		57.77	

表 3 西土沟遗址炉渣检测结果

样品编号	总成分能谱分析相对质量百分比(wt%, 不计氧氯磷)							冶炼产物	图号
	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Cu		
DX1:1	6.18	10.76	39.66	2.00	25.44	10.23	5.73	纯铜	
DX1:2	1.70	7.40	30.54	0.70	42.41	8.09	9.16	砷铜	
DX1:3	2.01	8.27	35.67	0.97	40.55	8.44	4.08	纯铜	
DX2:1	0.83	12.79	22.55	0.69	0.36	42.57	20.20	纯铜	
DX2:2	4.09	8.67	31.53	1.15	29.67	12.69	12.20	纯铜	7
DX2:4	1.85	12.08	35.18	4.00	5.36	6.35	35.18	纯铜	
DX2:5	1.08	18.73	59.13	10.25	1.52	2.04	7.25	纯铜	
DX3:1	4.49	6.38	33.79	1.84	33.13	11.22	9.14	砷铜	
DX3:2	8.29	5.78	32.08	1.66	28.22	9.89	14.09	砷铜	8—11
DX3:3	3.84	6.35	31.98	1.44	40.69	12.83	2.87	砷铜	
DX3:4	4.64	5.19	33.97	1.29	35.29	9.70	9.91	砷铜	12,13
DX4:1	3.16	7.50	31.34	1.43	29.33	14.82	12.41	纯铜	
DX4:2	3.52	7.08	30.88	1.12	28.96	17.38	11.07	纯铜	
DX4:3	3.79	6.52	30.42	0.87	33.47	17.23	7.70	纯铜	
DX4:4	1.45	8.72	36.06	1.60	30.07	16.18	5.91	砷铜	
DX5:1	38.73	0.85	48.71	0.07	0.07	11.53	0.05	?	
DY2:1	4.34	11.19	48.84	5.50	16.99	6.37	6.76	纯铜	
DY5:1	3.27	5.91	34.40	1.59	29.53	15.14	10.16	纯铜	

(1) 矿石

DX2:12 为铁矿石, 含微量的银等。DX2:13、DX2:14、DX2:15、DY5:10 皆为铜的氧化矿石, 残留有铜的硫化矿物辉铜矿(Cu<sub>2</sub>S), 辉铜矿裂隙中有氯铜矿[Cu<sub>2</sub>Cl(OH)<sub>3</sub>], 脉石以石英(SiO<sub>2</sub>)为主, 局部见有方解石(CaCO<sub>3</sub>)(图 6)。DY2:3、DY2:7、DY2:8、DY5:9 皆为绿松石[CuAl<sub>6</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>8</sub>·5H<sub>2</sub>O], 不是炼铜的原料。

(2) 炉渣

均为冶炼炉渣, 从其铜硫含量和金属颗粒成分看, 均为还原冶炼的还原渣。炉渣整体含钙量较高, 仅 4 个含钙在 6% 以下, 其余大部分含钙在 25.44—40.69%, 属 FeO-SiO<sub>2</sub>-CaO 渣系。

渣中的铜颗粒主要以金属颗粒及氧化物、硫化物等形式存在。DX5:1 较为特殊, 其中未见有明显的铜颗粒等, 且含有较高的镁, 应属非正常炉

渣。其他 17 个炉渣样品中, 11 个样品只见红铜颗粒, 其中 2 个含有少量的铅等(DX2:2、DX2:5), DX2:2 中的金属颗粒为红铜, 其内夹杂微量硫化亚铜, 含有微量铅(图 7)。有 6 个样品中见到红铜颗粒与砷铜颗粒共存, 或仅见有砷铜颗粒(DX1:2、DX3:1、DX3:2、DX3:3、DX3:4、DX4:4)。样品 DX3:2 中除了砷铜颗粒、氧化亚铜等常见物相, 还发现有数量较多的砷酸钙[Ca<sub>3</sub>(AsO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]物相(图 8—11)。样品 DX3:3 中发现大量粒度不一的砷铜颗粒, 含砷量约为 10%(图 12)。DX3:4 中的砷铜颗粒中发现有高铋、高铋锑物相(图 13)。

(3) 金属颗粒

检测金属颗粒 27 个, 大部分基体完全腐蚀, 4 个残留有金属基体(内部也有锈蚀)。以下是典型金属颗粒的检测现象:

DX2:3 肉眼观察是一黏附有炉渣的大金属颗



表 4 西土沟遗址金属颗粒(铜块)检测结果

样品编号	检测部位	总成分能谱分析相对质量百分比(wt%)								材质	图号
		O	S	Cl	Cu	As	Sn	Pb	Sb		
DX1:4	内部锈蚀	10.46		3.34	86.21					Cu	
DX2:3	内部锈蚀	11.09	0.88	1.75	79.02	7.27				Cu-As	14、15
DX2:6	内部锈蚀	14.02	0.70	2.57	72.66		9.52			Cu-Sn	16、17
DX2:7	金属基体				97.16	2.84				Cu-As	18
DX2:8	内部锈蚀	8.24		0.42	91.34					Cu	
DX2:9	内部锈蚀	8.14			91.86					Cu	
DX2:10	内部锈蚀	8.93		1.50	85.35		3.86			Cu-Sn	
DX2:11	内部锈蚀	12.21		6.12	81.66					Cu	
DX3:5	金属基体				91.49	1.97			5.21	Cu-Sb(As)	
DX4:5	内部锈蚀	18.84	0.73	3.27	68.74	7.92				Cu-As	
DX4:6	内部锈蚀	10.11	0.46	1.74	85.31	2.39				Cu-As	19
DX4:7	内部锈蚀	9.38		2.63	87.99					Cu	
DX4:8	内部锈蚀	19.53		8.06	72.41					Cu	20
DX4:9	金属基体				97.63	2.37				Cu-As	21
DX5:2	内部锈蚀	10.00	1.59	3.78	83.43					Cu	
DY2:2	内部锈蚀	14.61		2.11	83.28					Cu	22
DY2:4	金属基体				98.15	0.59		1.26		Cu(Pb、As)	23
DY2:5	金属基体	9.25		0.31	90.44					Cu	24
DY2:6	金属基体				96.20				3.80	Cu-Sb	25
DY5:2	金属基体	3.28	0.17		82.72		13.83			Cu-Sn	
DY5:3	内部锈蚀	6.61		8.01	35.92		4.33	45.14		Cu-Pb-Sn	
DY5:4*	内部锈蚀	17.27		2.85	54.63		17.33	6.58		Cu-Sn-Pb(As)	26
DY5:5	内部锈蚀	22.55			62.94		9.65			Cu-Sn	
DY5:6	内部锈蚀	21.31	0.62	10.24	65.09					Cu	
DY5:7	内部锈蚀	21.87			6.47	1.01	62.84	6.62		Sn-Cu-Pb(As)	27
DY5:8	内部锈蚀	10.93		1.97	87.1					Cu	
DY5:11	内部锈蚀	17.29		18.83	63.88					Cu	

注:检测尚发现少量的 SiCaFeMg 等元素,未列出。\* 内部腐蚀后的样品严重不均匀,合金定性参考了微区观测结果。

粒,检测发现以氧化亚铜(Cu<sub>2</sub>O)为主,内部残留有硫化亚铜(Cu<sub>2</sub>S),尤为鲜见的是其中包裹有大块的三氧化二砷(As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)物相(图 14),黏附的炉渣内

发现数量较多粒度不一的砷铜颗粒,含 As 量为 2.57—4.10%不等(图 15)。

DX2:6 为外部黏结石英、内部有孔洞的大锡青

铜颗粒,基体大面积检测显示含有 Cu 72.66%、Sn 9.52%、O 14.02%,尚含少量 Cl、S(图 16),表明其为遭受部分氧化的青铜合金,若按其铜锡比例计算,则原来的青铜合金含 Cu 88.42%、Sn 11.58%。青铜颗粒内部除可见明显的残留青铜金相组织外,还检测到二氧化锡( $\text{SnO}_2$ )颗粒(图 17)。

DX2:7 为残存金属基体的砷铜颗粒,含 As 为 2.84%,其中分布有  $\text{Cu}_2\text{S}$ 、Pb 并含 Cu、Sb、As 物相(图 18)。

DX4:6 腐蚀严重,大面积扫描显示含 As 为 2.39%、O 为 10.11%,其中出现 Ag、Bi 物相(图 19)。

DX4:8 全部锈蚀,扫描电镜未检出砷的存在,铜已经被氧化成  $\text{Cu}_2\text{O}$  和  $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ (氯铜矿),同样检出有 Bi 物相(图 20)。

DX4:9 大部腐蚀,但残存有砷铜金属基体,含 As 为 7.27%,基体内有 Bi 物相(图 21)。

DY2:2 为一大锈蚀铜颗粒,内部检出 Ag 颗粒与腐蚀产生的  $\text{AgCl}$ (氯化银)及  $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ (氯铜矿)、 $\text{Cu}_2\text{O}$ (氧化亚铜)(图 22)。

DX2:4 残留有大部金属基体,大面积扫描显示含有少量的 As 和 Pb,但其中发现数量较多的二氧化锡( $\text{SnO}_2$ )颗粒,其边缘有 Pb,另在  $\text{Cu}_2\text{S}$  颗粒边缘有 Bi(图 23)。

DY2:5 大部腐蚀,未检出 Sn、As 等元素,但残存金属基体中发现有大量高 Sb、Bi 相(图 24)。

DY2:6 存有金属基体,为含 Sb 为 3.80%的铜锡合金,高锡相含 Sb 为 31.94%,低锡相含 Sb 为 6.26%,基体为纯铜(图 25)。同类现象在样品 DX3:5 中也有发现。

DY5:4 为一内部锈蚀金属颗粒,局部较均匀部分大面积扫描检测显示为锡铅青铜,锡含量较高(表 4),有  $\text{Cu}_2\text{O}$ 、 $\text{Cu}_2\text{S}$ 、 $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ 、Ag 及  $\text{AgCl}$  物相以及含 Pb、Sn、As、O 物相(推测应为铅锡砷酸盐物相)。颗粒外侧黏结有石英颗粒等(图 26)。

DY5:7 为内部腐蚀的金属颗粒,其成分含 Sn 为 62.84%、Cu 为 6.47%、Pb 为 6.62%、As 为 1.01%、O 为 21.87%,其腐蚀前的成分应为含 Sn 为 81.67%、Cu 为 7.92%、Pb 为 8.11%、As 为 1.24%的合金;虽然该合金已经完全腐蚀,但仍然残留有典型的铸造组织形态,其中铅已被氧化为碳酸铅( $\text{PbCO}_3$ ) (图 27)。

综上,可将以上检测归纳为三点:

9 个矿石样品中发现 5 个单纯的铜矿石,

未在铜矿石中检出砷、锡、铅等元素。其余 4 个为绿松石,不属炼铜的原料。

发现有冶炼纯铜的炉渣及冶炼铜砷合金的炉渣,15 个样品中前者有 9 个,后者有 6 个,前者的冶炼产物是红铜,部分产品含有少量铅等,后

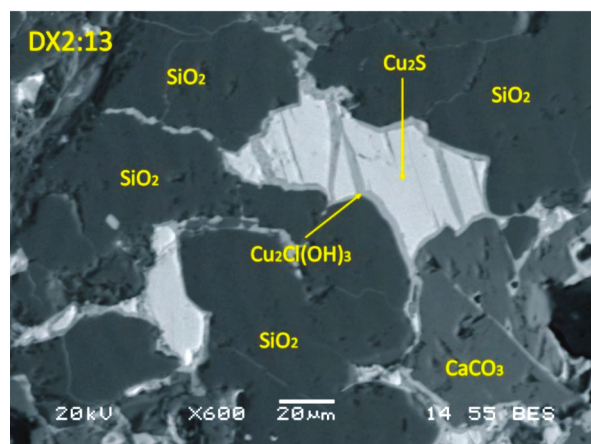


图 6 矿石 DX2:13

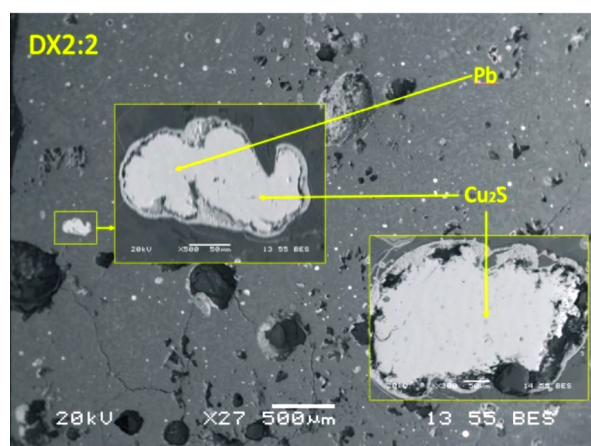


图 7 炉渣 DX2:2

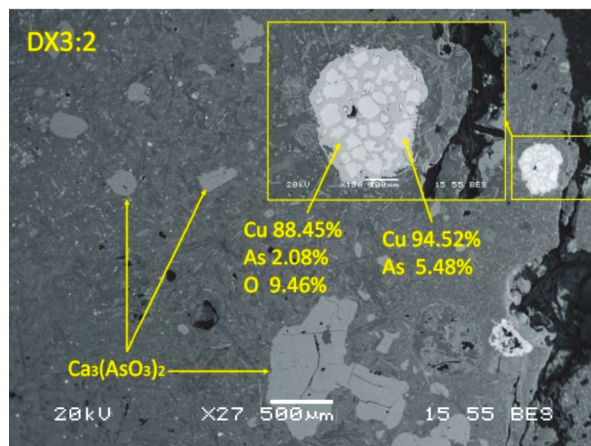


图 8 炉渣 DX3:2



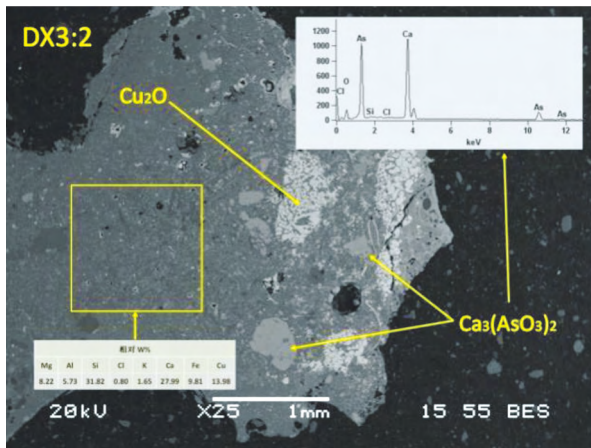


图 9 炉渣 DX3:2

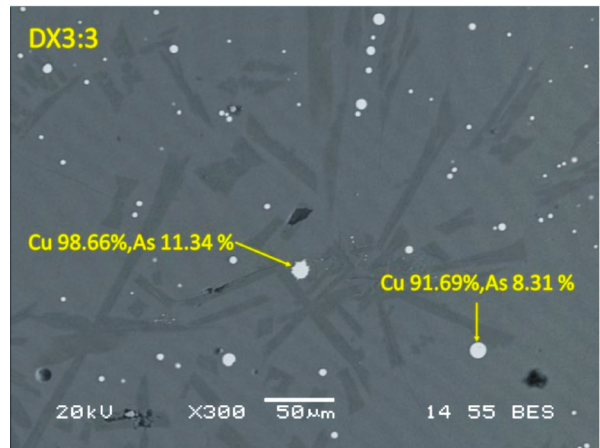


图 12 炉渣 DX3:3

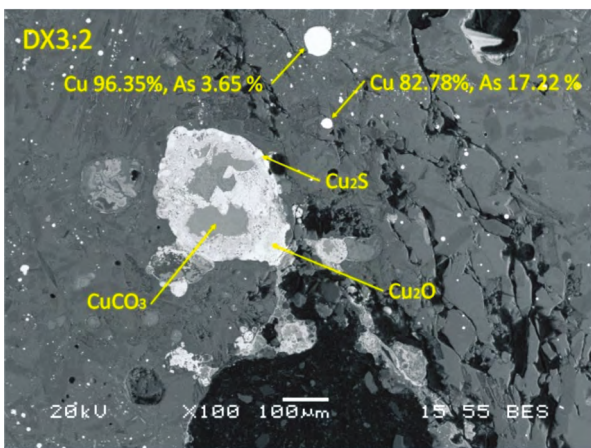


图 10 炉渣 DX3:2

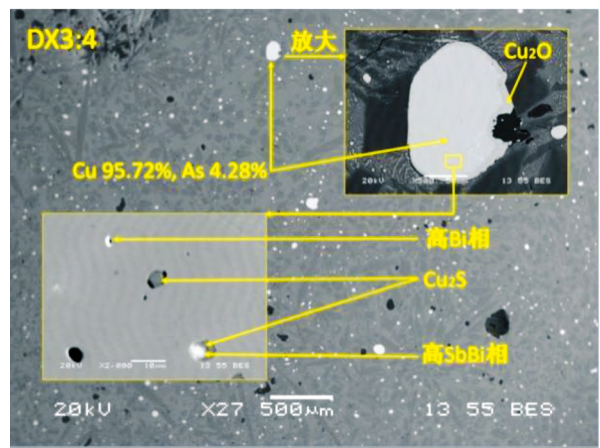


图 13 炉渣 DX3:4

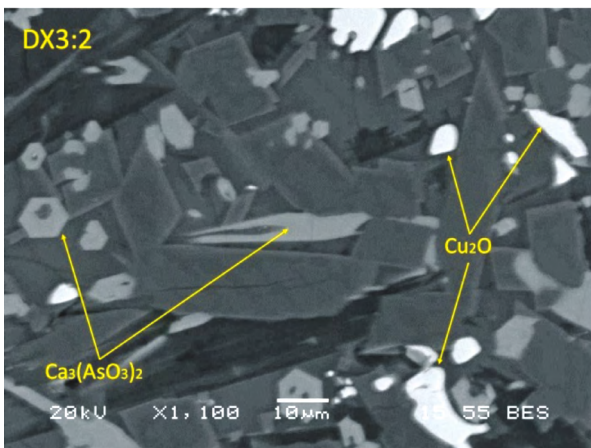


图 11 炉渣 DX3:2

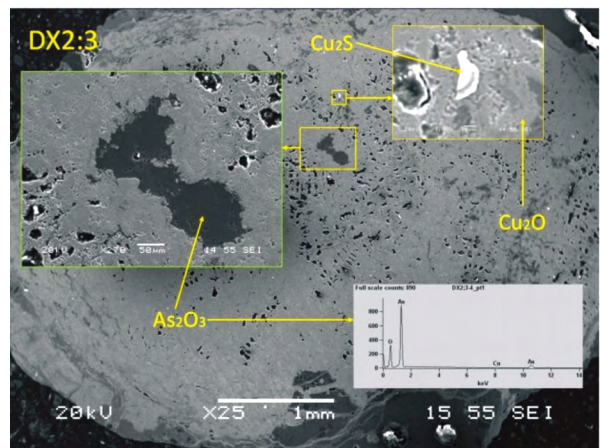


图 14 金属颗粒 DX2:3

者的冶炼产物是砷铜,部分含有少量的铋、锑等。两类产品可能都伴出有少量高品位冰铜。一个冶炼砷铜的炉渣中检出有砷氧化物及砷酸钙。

27 个金属颗粒中检测出纯铜 13 个、砷铜

5 个、锡青铜 4 个、铜锡铅合金 3 个、锑青铜 2 个。1 个红铜颗粒中有少量铅砷,1 个锑青铜颗粒含少量砷,有 2 个铜锡铅合金分别含有高铅、高锡。个别砷铜颗粒中出现高银、铋相。



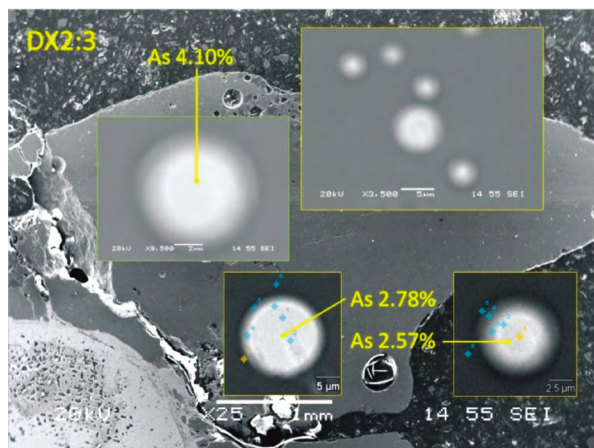


图 15 金属颗粒 DX2:3 黏附炉渣

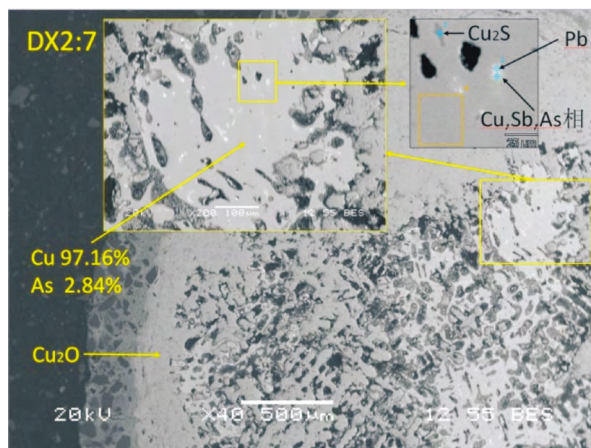


图 18 金属颗粒 DX2:7

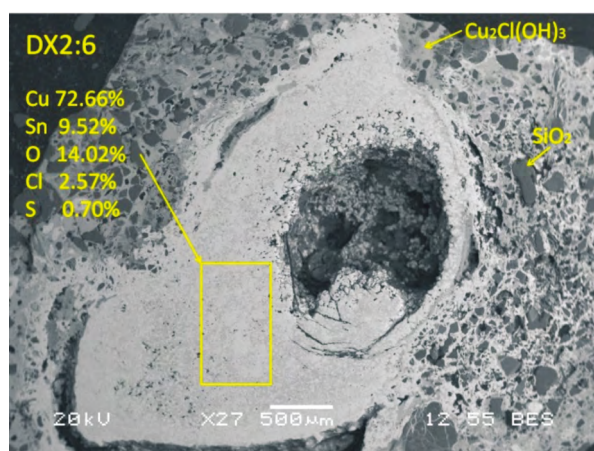


图 16 金属颗粒 DX2:6

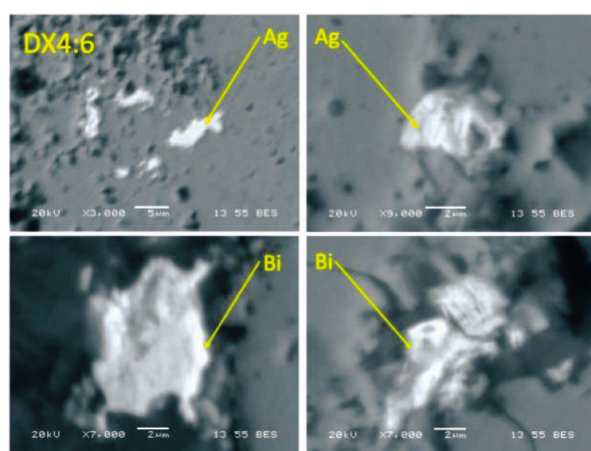


图 19 金属颗粒 DX4:6

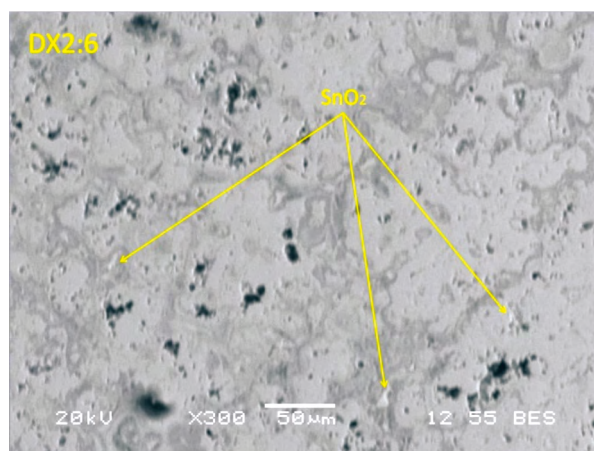


图 17 金属颗粒 DX2:6

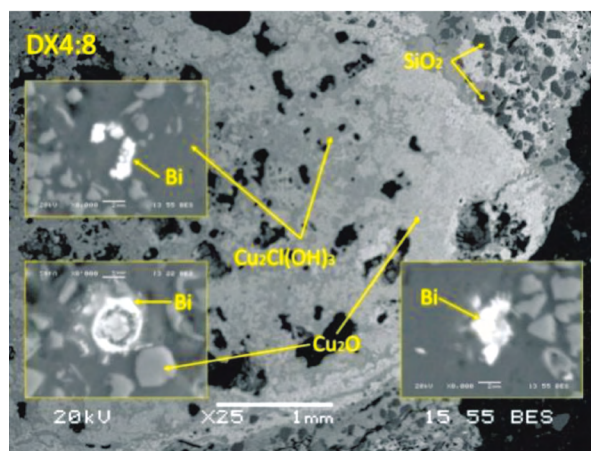


图 20 金属颗粒 DX4:8

### 3 讨论

#### 3.1 遗址年代

西土沟西侧第 2 地点与炉渣伴生的木炭碳十

四年代实测值为  $3470 \pm 35BP$ , 经牛津 Oxcal 4.2.4 校正为 1886—1692BC(置信度为 95.4%)。2001 年 8 月初, 西北大学考古专业、甘肃省文物考古研究所和敦煌市博物馆的工作人员对遗址进行了调查、试掘。发掘者认为, 遗址所见陶器类型主要为



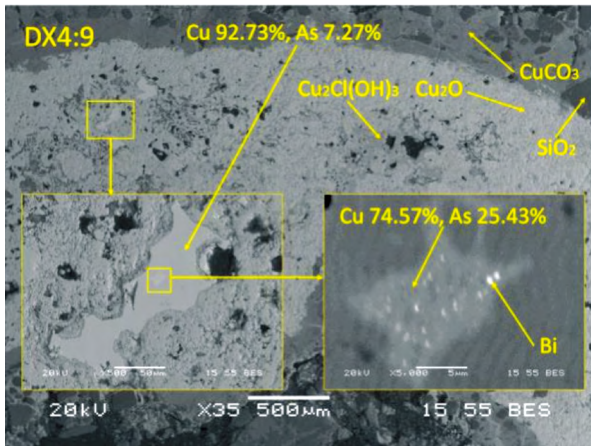


图 21 金属颗粒 DX4:9

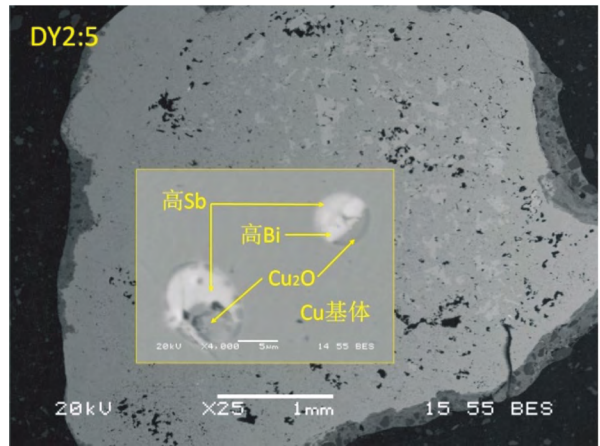


图 24 金属颗粒 DY2:5

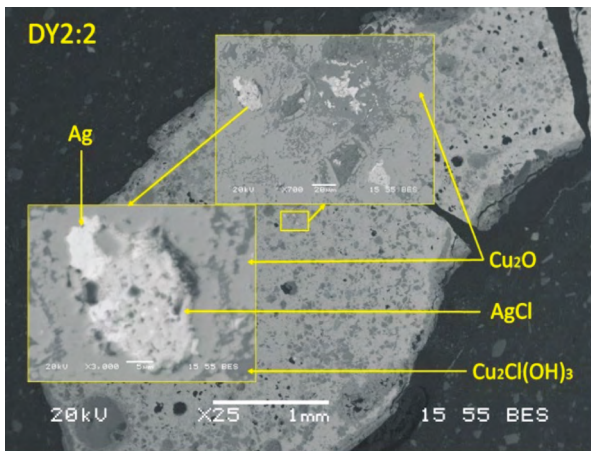


图 22 金属颗粒 DY2:2

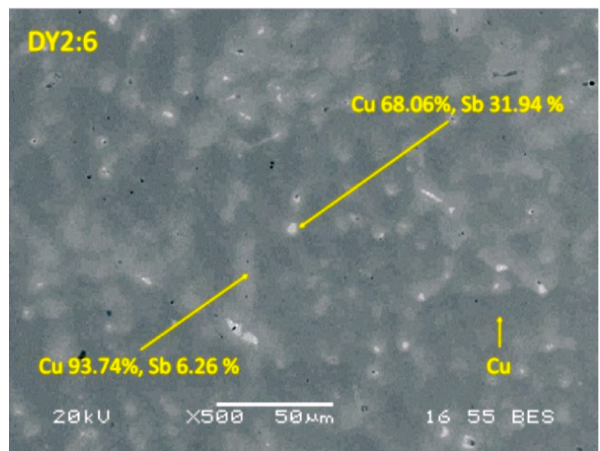


图 25 金属颗粒 DY2:6

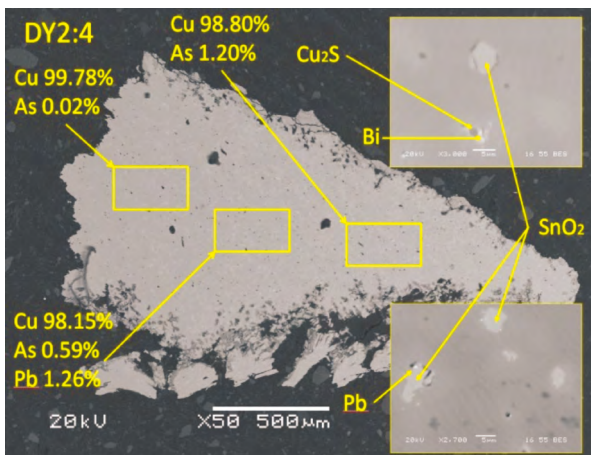


图 23 金属颗粒 DY2:4

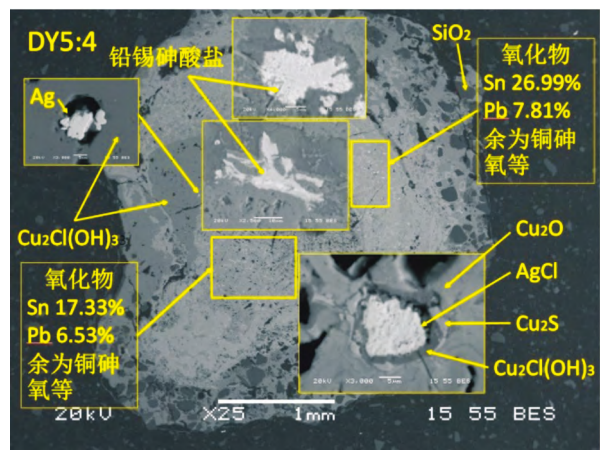


图 26 金属颗粒 DY5:4

罐、盆、钵,与河西走廊“过渡类型”的器物型式有着一致性<sup>[1]</sup>。张掖西城驿遗址的发掘研究已将“过渡类型”正式命名为“西城驿文化”<sup>[2]</sup>。本文检视西土沟遗址各地点采集陶片,发现其中还有驢马文

化遗存,甚至有晚至汉代的遗存。

根据以上情况综合判断,西土沟遗址的冶金遗物可能是相当长的时段或多个考古学文化所遗留。但西土沟西侧第2地点与炉渣共存的炭样年

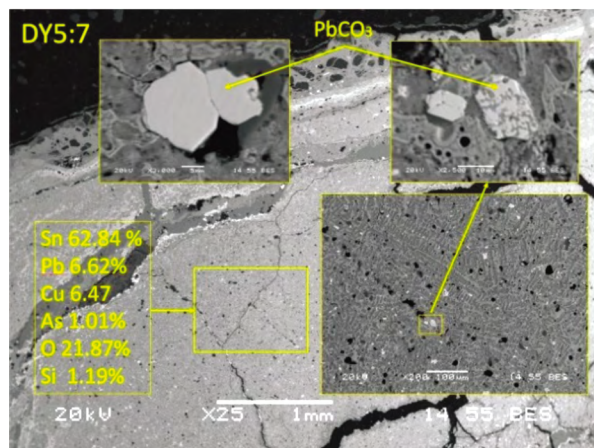


图 27 金属颗粒 DY5:7

代测定结果正落入了西城驿文化的年代范围,至少说明这一地点的冶金遗物应属于较早的西城驿文化。其他地点有可能含有四坝文化、骊马文化的遗物,甚至全属骊马文化。

### 3.2 冶炼技术

从边缘黏附有少量炉渣及形状不规则等事实看,所有金属颗粒应该来自于冶炼环节,属于冶炼过程中“跑冒滴漏”,其性质与炉渣中发现的金属颗粒相同,但显示出的合金种类更多,更能代表冶炼产物。

5个矿石样品皆为铜氧化矿石,个别矿石中残留铜硫化矿物,且炉渣中存在较多数量的铜颗粒。由此来看,采用的基本技术是“氧化矿-铜”工艺,将氧化矿石还原熔炼成铜。

矿石含钙相对较低,而炉渣含钙较高,推测冶炼时加入了含钙物料,以增强渣体的流动性。

虽然没有见到含砷矿物的矿石,但在炉渣中发现砷铜颗粒和红铜颗粒共存,在铜颗粒 DX2:3 中还发现  $As_2O_3$  残留,在炉渣 DX3:2 中还发现有数量较多的砷酸钙  $[Ca_3(AsO_3)_2]$  物相,所以推测必有以砷氧化物为主的含砷矿石参与了冶炼,目的是获得砷铜。锡青铜颗粒含有少量的砷,这可能不是有意识地进行锡青铜冶炼,很可能是冶炼砷青铜的伴生产品。

检测同样未见到含锡矿物的矿石。在炉渣的个别砷铜颗粒中偶尔见到微量的锡,推测这些微量锡可能来自于含砷的矿物。铜颗粒 DY2:4 合金

基体中未见明显的锡存在,但其中夹杂有斑块状锡石颗粒( $SnO_2$ ),表明冶炼此铜颗粒时有锡石参与,但未能被有效还原而残留下来。对金属颗粒的检测还发现了数量较多的球状锈蚀锡青铜颗粒(DX2:6、DX2:10、DY5:2、DY5:3、DY5:4、DY5:5、DY5:7),其中含有的锡量甚高,并伴生有铅,表明此类青铜合金颗粒应是由添加含锡矿物单独炼成的。从锡青铜颗粒出现的概率看,添加含锡矿物冶炼锡青铜的现象更多出现在西土沟东岸的两个地点(DY2、DY5)。

综合上述检测发现,西土沟遗址存在着砷铜、锡青铜两种合金冶炼技术,即在使用“氧化矿-铜”工艺冶炼红铜的基础上,添加含砷、含锡的合金配料,分别获得砷铜、锡青铜。鉴于本文检测显示出砷锡两种合金元素有交叉出现现象,不能排除砷锡等合金元素有共同来源的可能。

DY5:7 含 Sn 高达 81.67%, 并含有 8.11% 的 Pb、1.24% 的 As, 表明该地点及其所代表的文化(骊马文化?)有可能使用了含铜铅砷的锡矿石单独冶炼高锡金属材料,值得进一步研究。

就河西走廊地区来看,距今约 4100 年就已开始了铜冶金活动,随后在红铜冶炼的同时就已开始了砷铜的冶炼,并且很早就开始了锡青铜冶炼的尝试。从西城驿二期到骊马文化,砷铜在河西走廊地区的冶炼和使用延续了 1000 多年。我们推测砷铜在河西走廊地区的延续可能会更晚,可能与骊马文化的年代下限接近。在河西走廊地区的早期文化中,锡青铜常与砷铜共存,虽然四坝文化铜器体现出锡青铜比重明显增加的趋势,但是在长期的发展中,锡青铜从未将砷铜取而代之,锡青铜取代砷铜,很可能是汉纪年以后的事情了。

### 参考文献:

- [1] 西北大学考古系,甘肃省文物考古研究所,敦煌市博物馆. 甘肃敦煌西土沟遗址调查试掘简报[J]. 考古与文物, 2004(3):3-7.
- [2] 陈国科,王辉,李延祥. 西城驿遗址二期遗存文化性质浅析[C]// 早期丝绸之路暨早期秦文化国际学术研讨会论文集. 北京:文物出版社, 2014:22-33.