

# 内蒙古赤峰市二道井子遗址出土铜器的初步科学分析\*

王永乐<sup>1, 2</sup> 梅建军<sup>1</sup> 陈坤龙<sup>1</sup> 曹建恩<sup>2</sup> 孙金松<sup>2</sup>

(1. 北京科技大学冶金与材料史研究所, 100083; 2. 内蒙古自治区文物考古研究所, 010010)

近年来, 关于中国早期铜器(本文中指商代以前的铜器)的研究已取得一系列重要的新进展。研究表明: 西北地区出土的早期铜器不仅年代早、数量多、种类全、分布广, 而且材质多样; 既显示出与欧亚草原青铜文化关系密切, 也有证据表明与中原和北方地区存在联系或互动<sup>[1]</sup>。相比之下, 北方地区的早期铜器发现不仅年代晚, 而且数量也少, 主要见于夏家店下层文化和朱开沟文化的一些遗址<sup>[2]</sup>。已有不少学者致力于北方地区出土早期铜器的科学分析研究, 发表的相关论著主要有: 李延祥等人的《敖汉旗大甸子夏家店下层文化墓葬出土铜器初步研究》<sup>[3]</sup>、贾海新的《夏家店下层文化药王庙类型的铜器初步研究》<sup>[4]</sup>、李秀辉和韩汝玢的《朱开沟遗址早商铜器的成分及金相分析》<sup>[5]</sup>等。这些工作已初步揭示了北方地区出土早期铜器的一些技术特征, 如锡青铜和铅锡青铜的普遍使用以及装饰品多采用锻造工艺制作等。不过总体而言, 有关北方地区早期铜器的科学分析工作仍相对薄弱。在此学术背景下, 新发现的内蒙古赤峰二道井子遗址及其出土的早期铜器显然意义重大, 亟待展开科学分析研究。

二道井子遗址位于内蒙古赤峰市红山区二道井子行政村打粮沟门自然村北侧的山坡上, 山坡海拔617米, 隆起于地表6米, 顶部地势平缓, 整体东高西低。遗址位于山坡中部, 因其多由灰土堆积构成, 故当地人称之为“大灰包”, 是目前发现的保存最好的一处夏家店下层文化遗址。遗址西北距离赤峰市约12千米, 面积约27000平方米。2009年4~11月, 为配合赤峰一朝阳高速公路的建设, 内蒙古自治区文物考古研究所对二道井子遗址进行了为期6个月的抢救性考古发掘, 揭露面积5200平方米<sup>[6]</sup>, 清理出城墙、环壕、院落、房屋、道路、窖穴、灰坑、墓葬等遗迹305处。所出遗物主要为陶器、石器和骨器, 玉器和铜器较少; 陶器以筒腹鬲、鼓腹鬲、罐形鼎、豆、

---

\* 本文的研究工作得到了国家自然科学基金项目(项目批准号: 51074026)和国家科技支撑计划项目《中华文明探源工程(三)》(课题编号: 2010BAK67B03)的资助。

罐、三足盘、大口尊等为主；石器有斧、刀、铲、镞、铍、铈、饼、球、槽、臼、杵、磨盘及磨棒等；骨器有三棱长铤镞、锥、铲、针、筭等；玉器有玉斧、玉环、项饰；铜器有刀、锥和耳环<sup>[7]</sup>。

此次二道井子遗址的发掘是继敖汉旗大甸子遗址、喀喇沁旗大山前遗址和宁城三座店遗址之后夏家店下层文化的又一重大考古发现，为深入研究夏家店下层文化提供了重要的新资料。遗址中出土的9件铜器尤为珍贵，对进一步研究夏家店下层文化铜器的制作工艺和北方地区早期青铜技术的发展均具有重要意义。鉴于此，北京科技大学冶金与材料史研究所同内蒙古自治区文物考古研究所合作，对二道井子遗址出土的9件铜器进行了科学分析研究。本文所报告的即是此项研究的初步结果，希望将有助于推动对北方地区早期青铜技术的深入探讨。

## 一、铜器出土及取样情况

二道井子遗址出土的铜器共计9件，均为小件器物，其中耳环4件，刀3件，锥1件，还有1件残器，用途不明。3件铜刀中，仅有1件器形完整，其余2件均已残断；耳环和锥的保存状态较好。除2件耳环（EDJZ008和EDJZ009）出自墓葬外，其余7件铜器均出自居址。

对5件铜器进行了取样分析，其中2件铜刀已完全锈蚀，而3件耳环仅轻微锈蚀。其余4件铜器不做取样分析，其中锥（EDJZ005）因完全锈蚀，不做进一步检测，而刀（EDJZ002）、耳环（EDJZ003）和残器（EDJZ006）则做表面检测，即在器物表面选一小区域，适当除锈露出金属基体后，在扫描电镜中直接进行表面成分测定。二道井子遗址铜器出土和取样情况详见表一。

表一 二道井子遗址铜器出土和取样情况表

实验编号	名称	出土地点	保存状况	取样情况	备注
EDJZ001	铜刀（残）	CWET0508F1外s：7	完全锈蚀	残断处取样	
EDJZ002	铜刀	CWET0508F22东北侧长方形房屋北墙外	严重锈蚀	未取样	图一
EDJZ003	铜耳环	CWEF6：12	严重锈蚀	未取样	图二
EDJZ004	铜刀（残）	CWEF27内地面下垫土：2	完全锈蚀	残断处取样	
EDJZ005	铜锥	CWET0709F42外使用堆积：4	完全锈蚀	未取样	
EDJZ006	铜器（残）	CWET2203H116内s：1	完全锈蚀	未取样	
EDJZ007	铜耳环	CWET0108H14：1	轻微锈蚀	末端取样	
EDJZ008	铜耳环	CWET0704M116右耳边	轻微锈蚀	末端取样	
EDJZ009	铜耳环	CWET01708M57	轻微锈蚀	末端取样	



图一 铜刀 (EDJZ002)



图二 铜耳环 (EDJZ003)

## 二、分析检测方法和结果

本研究采用了三种分析检测方法：一是金相分析，即采用金相显微镜观察铜器的显微组织，以揭示其制作加工工艺；二是采用扫描电镜和能谱仪对铜器进行观察和成分分析，以探明其材质及所含夹杂物的组成；三是采用便携式X射线荧光能谱分析仪对未取样的铜器进行表面无损检测。此次分析工作采用莱卡（Leica）DM4000M金相显微镜、JSM6480LV型扫描电子显微镜（测定的技术条件：激发电压为20KV，测量时间50秒）和美国热电公司（Thermo）出产的Noran System Six型便携式X射线荧光能谱分析仪。

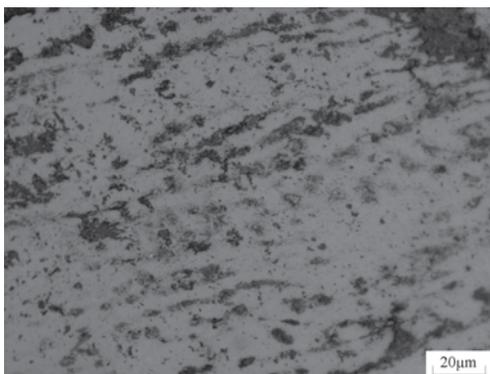
样品制备和分析检测过程如下：首先用冷镶法镶样，经磨光、抛光后，用浓度为3%的三氯化铁盐酸酒精溶液浸蚀；浸蚀后即可进行金相组织观察和拍照；样品再经抛光并做喷碳处理后，置入扫描电子显微镜观察组织形貌，并采用与其配置的能谱仪进行成分测定。

### 1. 金相组织鉴定结果

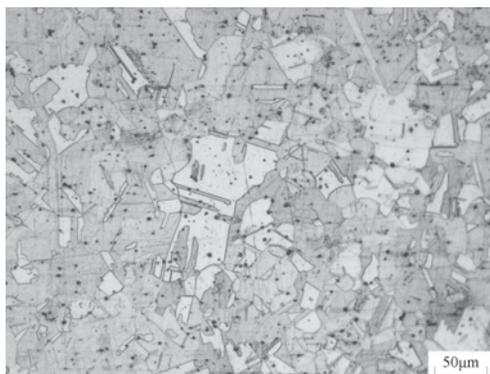
对镶好的5个样品进行了金相组织观察，结果详见表二。

表二 二道井子遗址部分铜器的金相组织鉴定结果

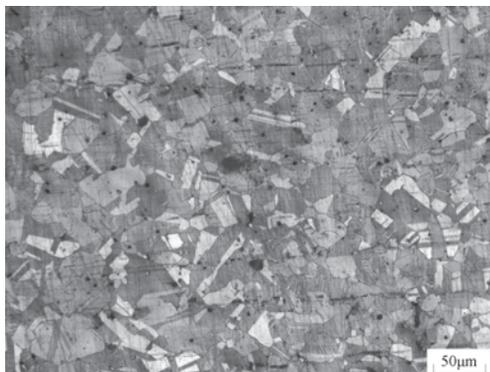
器名	实验编号	考古编号	金相组织观察	制作工艺	图示
铜刀尖	EDJZ001	CWET0508F1外s:7	因完全锈蚀，其显微组织特征已难分辨	不明	
铜刀（残）	EDJZ004	CWET27内地面下垫土:2	已完全锈蚀，但隐约可见枝晶偏析组织	铸造	图三
铜耳环	EDJZ007	CWET0108H14:1	$\alpha$ 固溶体再结晶晶粒及孪晶	热锻	图四
铜耳环	EDJZ008	CWET0704M116右耳边	$\alpha$ 固溶体再结晶晶粒及孪晶，有少量颗粒状硫化物夹杂	热锻	图五
铜耳环	EDJZ009	CWET01708M57	$\alpha$ 固溶体再结晶晶粒及孪晶，有少量颗粒状硫化物夹杂	热锻	图六



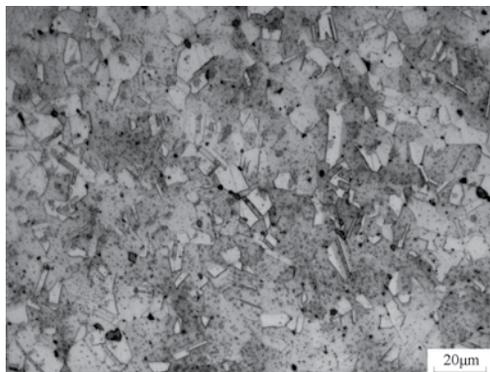
图三 EDJZ004浸蚀前



图四 EDJZ007浸蚀后



图五 EDJZ008浸蚀后



图六 EDJZ009浸蚀后

从表二可见, 3件铜耳环的金相组织鉴定表明其均为热锻制成, 且夹杂物较少; 而2件铜刀均已完全锈蚀, 1件组织不辨, 工艺不明; 另1件还隐约可见残余的枝晶偏析组织, 故判断其为铸造制成。

## 2. 化学成分分析结果

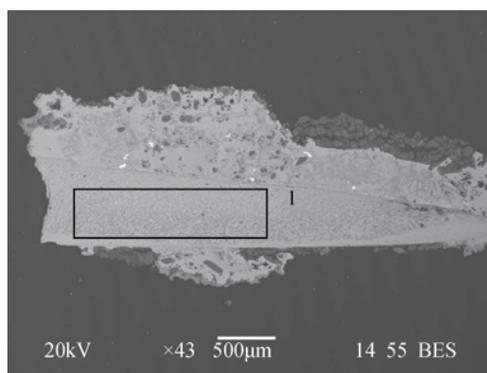
采用扫描电镜能谱仪对8件铜器进行了检测分析, 其中有5件为取样分析, 有3件(EDJZ002、EDJZ003和EDJZ006)是在器物表面直接进行检测。分析检测结果列于表三, 并参见图七~图一二。

由表三可见, 二道井子遗址出土铜器的材质主要为锡青铜, 仅有1件耳环(EDJZ007)为红铜制成。取样分析的5件器物中, 除1件耳环为红铜(图一〇)外, 另2件耳环为锡青铜(图一二), 含锡量为6%~8%; 而2件刀的材质亦为锡青铜(图八), 但因完全锈蚀, 其分析数据仅有定性意义。3件在器物表面直接检测的器物包括刀、耳环和锥, 检测结果显示均为锡青铜制成, 锡含量在3%~10%之间。

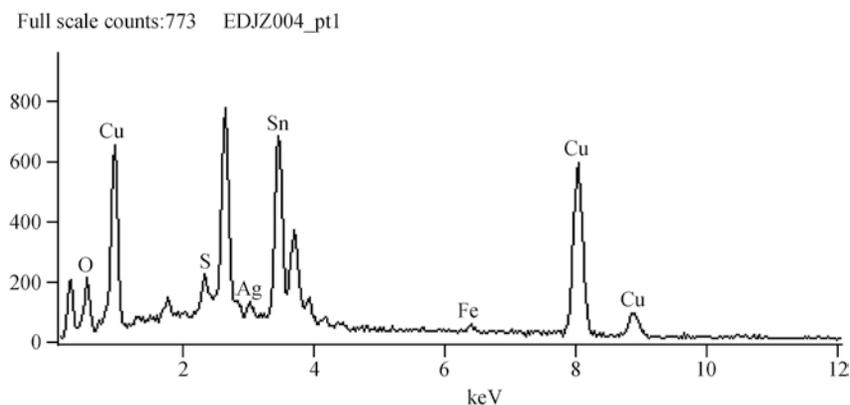
此外, 我们还采用便携式X射线荧光能谱分析仪对铜锥(EDJZ005)进行了表面化学成分直接检测分析, 结果为: Cu, 90.1%; Sn, 8.22%; Pb, 0.89%; As, 0.32%; Fe, 0.11%。表明其为锡青铜制成。因此件器物已完全锈蚀, 故分析数据只有定性意义。

表三 二道井子遗址出土铜器的扫描电镜能谱成分分析结果

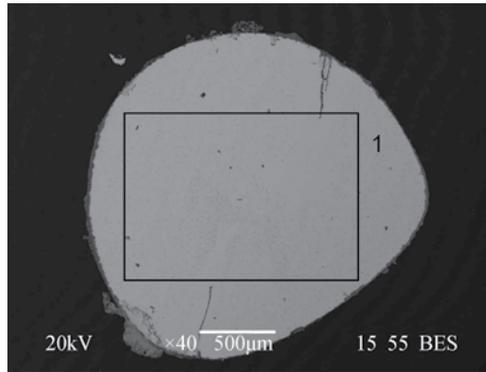
器物名称	实验编号	分析部位	合金成分 (Wt%)						材质	备注
			Cu	Sn	S	O	Cl	其他		
铜刀尖	EDJZ001	残块	31.6	47.4	1.0	16.2	2.7	Si 1.2	Cu-Sn	完全锈蚀
铜刀	EDJZ002	刃部	96.2	3.8	—	—	—	—	Cu-Sn	器物表面
铜耳环	EDJZ003	末端	95.5	4.5	—	—	—	—	Cu-Sn	器物表面
铜刀(残)	EDJZ004	残断处	44.5	29.7	2.9	17.6	—	Fe 0.9 Ag 4.5	Cu-Sn	完全锈蚀 图七、图八
铜器(残)	EDJZ006	中部	90.7	9.3	—	—	—	—	Cu-Sn	器物表面
铜耳环	EDJZ007	末端	100	—	—	—	—	—	Cu	金属基体 图九、图一〇
铜耳环	EDJZ008	末端	93.5	6.5	—	—	—	—	Cu-Sn	金属基体 图一一、图一二
铜耳环	EDJZ009	尾端	92.3	7.8	—	—	—	—	Cu-Sn	金属基体



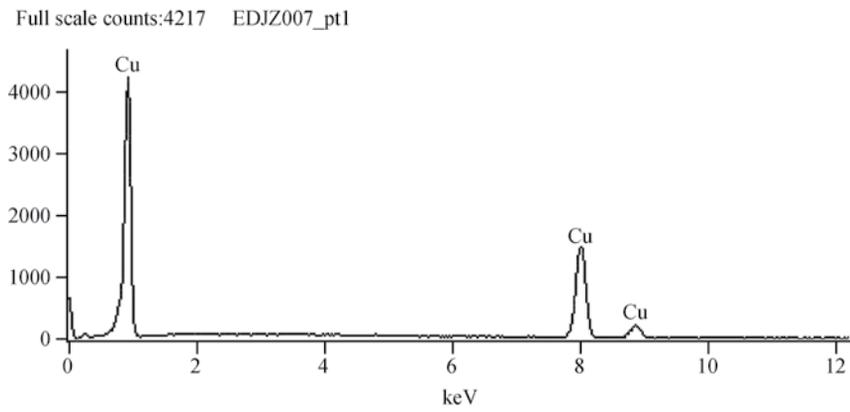
图七 EDJZ004背散射电子像(完全锈蚀)



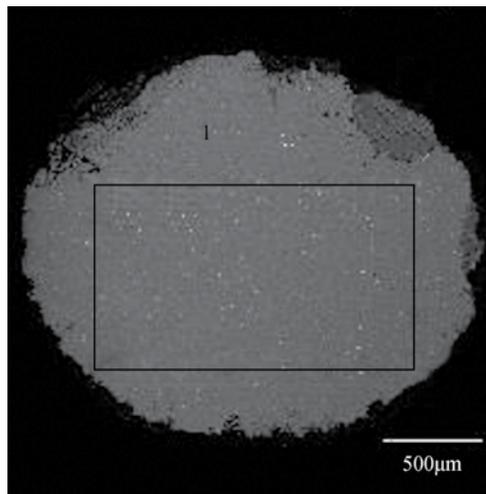
图八 EDJZ004平均成分测定



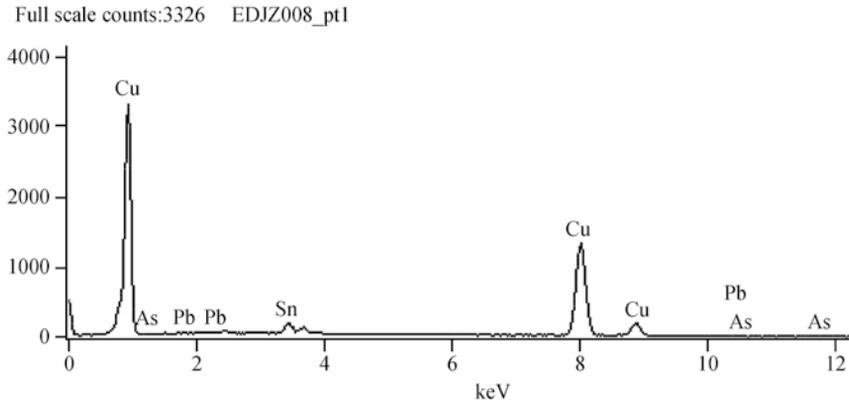
图九 EDJZ007背散射电子像



图一〇 EDJZ007平均成分测定



图一一 EDJZ008背散射电子像



图一二 EDJZ008平均成分测定

### 三、讨 论

以上对二道井子遗址出土9件铜器的分析检测，初步揭示了其成分组成和制作工艺，为研究夏家店下层文化时期的青铜技术提供了宝贵的新资料。以下我们将从技术特征和学术意义两个方面来展开讨论。

#### 1. 二道井子遗址出土铜器的技术特征

由分析检测的结果可以看出，二道井子遗址出土的铜器有3个值得注意的技术特征：其一是以锡青铜为主，9件器物中有8件为锡青铜制成；其二是作为小件装饰品的耳环均采用热锻工艺制成；其三是有1件红铜器物（耳环）的存在。这些技术特征与其他夏家店下层文化遗址出土的铜器相比，既有相近之处，又有一些明显的差异。

迄今为止，经过科学分析检测的夏家店下层文化的铜器主要出自以下四处遗址：大甸子、三座店、大山前和本次研究的二道井子<sup>[8]</sup>。表四和表五列出了这四处遗址出土铜器的合金种类、数量及其所采用的制作工艺的数量统计结果。

表四 夏家店下层文化部分遗址出土铜器的合金种类和数量统计<sup>[9]</sup>

遗址名称	合金种类和数量（件）					锡含量（%）	铅含量（%）
	铜	铜锡		铜锡铅	铜锡铅砷		
		含铅	不含铅				
二道井子	1	—	8	—	—	3~10	0
大甸子	—	10	10	10	—	0~25	0~6
大山前	—	3	1	2	2	4~24	0~36
三座店	—	1	—	1	1	3~9	1~21

表五 夏家店下层文化部分遗址出土铜器制作工艺及其数量统计<sup>[10]</sup>

遗址名称	铜器制作工艺及其数量（件）			备注
	铸造	热锻	热锻后冷加工	
二道井子	1	3	—	此处仅列出经过金相鉴定的铜器的统计结果
大甸子	5	6	—	
大山前	2	2	3	
三座店	—	—	1	

由表四可以看出，二道井子遗址与其他三处遗址相比，其相近之处就是锡青铜为数最多，明显占有主导地位。而差异主要有两点：一是铜锡铅合金或含铅的铜锡合金在大甸子、三座店和大山前三处遗址均有显著存在，并且在三座店和大山前还发现有铜锡铅砷四元合金，而这些在二道井子遗址均未发现；二是二道井子遗址出有1件红铜器，而在其他三处遗址则从未发现。

表五则表明，热锻工艺用于铜器制作在夏家店下层文化各遗址中应是较常见的现象，比如在11件经鉴定的大甸子遗址出土铜器中，有6件均为热锻制成<sup>[11]</sup>。不过，热锻后再经冷加工目前仅见于三座店和大山前两处遗址<sup>[12]</sup>。李延祥等人在研究大甸子墓地出土铜器的制作工艺时发现，经过金相鉴定的11件铜器中，6件耳环均为热锻制成，而4件指环为铸造制成<sup>[13]</sup>。这与二道井子遗址出土的3件耳环均为热锻制作相一致，目前经分析检测的所有夏家店下层文化耳环皆为热锻而成。铸造工艺在二道井子遗址也已用于铜器制作〔这可以铜刀（EDJZ004）的金相鉴定结果为证〕，与大甸子和大山前遗址所见情形相似。

## 2. 二道井子遗址铜器发现及其科学分析研究的意义

二道井子遗址的铜器发现及其科学分析研究意义重大。首先，从器物类型来看，二道井子遗址出土的9件铜器皆为小型工具和装饰品，这不仅与夏家店下层文化铜器的类型学特征基本一致，而且与中国北方和西北地区的早期铜器特征也是相符的。尤其是一端呈扁状喇叭口的耳环（EDJZ009，图二）具有典型意义，类似的耳环在甘肃、新疆等地的早期青铜文化遗址中均有发现<sup>[14]</sup>；而遗址中出土的唯一一件器形完整的铜刀（EDJZ002，图一）呈无柄状，颇具早期铜刀的特征。因此，二道井子遗址出土的铜器数量尽管不多，却为认识夏家店下层文化的铜器及其同中国西北地区的联系提供了宝贵的资料。

其次，二道井子遗址出土铜器的科学分析研究表明，其与其他夏家店下层文化遗址出土的铜器相比有同有异，这对进一步认识夏家店下层文化青铜技术的多样性及其演变无疑是至关重要的。尤其是在二道井子遗址出土铜器中发现红铜器，直接证明了夏家

店下层文化居民已能够冶炼和制作红铜器物；至于二道井子遗址出土铜器的其他技术特征——比如不见铜锡铅三元合金和铜锡铅砷四元合金，是否在某种程度上反映了该遗址铜器有着自己的矿料来源可与其他遗址区别开来——则是今后进一步的研究应予以关注的问题。

## 四、结 论

本文对内蒙古赤峰市二道井子遗址出土的9件铜器进行了初步的检测分析，并将分析结果与其他三处夏家店下层文化遗址出土铜器的分析资料进行了比较，从而得出以下结论。

(1) 二道井子遗址出土铜器的材质，除1件为红铜外，余皆为锡青铜；没有发现铜锡铅三元合金，这与其他夏家店下层文化遗址所出铜器明显不同，揭示出了夏家店下层文化铜器成分组成的多样性特征。

(2) 二道井子遗址出土的3件耳环均为热锻制成，与大甸子遗址出土6件耳环的制作方法一致；二道井子遗址出土的1件铜刀为铸造制成，与在大甸子和大山前遗址所见情形相似，反映了夏家店下层文化时期热锻工艺和铸造工艺已得到较普遍地使用。

(3) 二道井子遗址出土的9件铜器均为小件工具和装饰品，与中国北方和西北地区发现的早期铜器在类型学特征上基本一致，这有助于我们认识早期青铜时代中国不同地区间的技术和文化联系。

致谢：本文写作过程中得到了北京科技大学冶金与材料史研究所韩汝玢教授、李延祥教授和内蒙古自治区文物考古研究所党郁同志的指教与帮助，谨此一并致谢！

## 注 释

- [ 1 ] a.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):240~244.  
b.北京科技大学冶金与材料史研究所等(梅建军执笔).中国早期冶金术研究的新进展[A].科技考古(第三辑)[C].北京:科学出版社,2011:135~154.
- [ 2 ] 白云翔.中国的早期铜器与青铜器起源[J].东南文化,2002(7):25~37.
- [ 3 ] 李延祥,贾海新,朱延平.大甸子墓地出土铜器初步研究[J].文物,2003(7):78~84.
- [ 4 ] 贾海新.夏家店下层文化药王庙类型的铜器初步研究[D].北京科技大学硕士学位论文,2001.
- [ 5 ] 李秀辉,韩汝玢.朱开沟遗址早商铜器的成分及金相分析[J].文物,1996(8):84~93.
- [ 6 ] 曹建恩,党郁,孙金松.完美再现青铜时代的“东方庞贝城”——内蒙古二道井子遗址发掘纪实[J].中国文化遗产,2010(3):78~86.
- [ 7 ] 曹建恩,孙金松,党郁.内蒙古赤峰市二道井子遗址的发掘[J].考古,2010(8):1.
- [ 8 ] 同[4].

- [ 9 ] 同 [ 4 ] .
- [ 10 ] 同 [ 4 ] .
- [ 11 ] 同 [ 3 ] .
- [ 12 ] 同 [ 4 ] .
- [ 13 ] 同 [ 3 ] .
- [ 14 ] Emma C. Bunker. Cultural Diversity in the Tarim Basin Vicinity and its Impact on Ancient Chinese Culture[A]. *The Bronze Age and Early Iron Age Peoples of Eastern Central Asia*[C]. Washington D. C. : Institute for the Study of Man Inc, 1998: 604-618.

## **A Preliminary Scientific Research on Copper Artifacts Unearthed from the Site of Erdaojingzi, Chifeng City, Inner Mongolia**

Wang Yongle Mei Jianjun Chen Kunlong Cao Jianen Sun Jinsong

The discovery and excavation of the Erdaojingzi site in Chifeng, Inner Mongolia are significant for the study of the Lower Xiajiadian Culture, which is the most important site with early Bronze Age culture found in Northern border region of China. This paper presents the results of scientific analysis of nine copper and bronze objects excavated from the site. It has been shown that among these objects, one is pure copper and the others are Cu-Sn alloy. Microstructure examinations show that three earrings were shaped by hot-forging technique, which is similar to the technology seen at the Dadianzi site of the Xiajiadian Culture. The results of this research provide significant new information for understanding the development of bronze technology of the Lower Xiajiadian Culture in northern China.