

文章编号:1005-1538(2020)03-0001-07

· 研究报告 ·

夏家店下层文化遗址 出土铜器的矿料来源分析

王永乐^{1,2}, 梅建军^{1,3}, 李延祥¹, 陈坤龙¹, 曹建恩⁴, 党郁⁴

(1. 北京科技大学科技史与文化遗产研究院, 北京 100083; 2. 内蒙古博物院, 内蒙古呼和浩特 010010;
3. 剑桥大学麦克唐纳考古研究所, 英国剑桥 CB2 3ER; 4. 内蒙古自治区文物考古研究所, 内蒙古呼和浩特 010010)

摘要: 为进一步了解夏家店下层文化铜器的物料信息, 探讨其矿料来源, 采用多接收电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICP-MS)对4处夏家店下层文化遗址和1处高台山文化遗址出土的部分铜器进行了铅同位素比值测定, 并将测定结果同辽西地区几处金属矿的铅同位素数据进行了对比。结果表明: 这4处夏家店下层文化遗址出土铜器的原料可能是使用辽西当地的大井多金属矿的矿石冶炼而成, 而大山前遗址出土铜器的铅料有可能来自辽宁桓仁的多金属矿, 二道井子遗址所出红铜器的铜料则可能另有来源。所属高台山文化的湾柳遗址铜器的铅同位素数据具有高放射性成因铅特征, 表明其与同期其他考古学文化存在某种联系。

关键词: 夏家店下层文化; 铜器; 铅同位素; 矿料来源

中图分类号: K878.3 **文献标识码:** A

0 引言

夏家店下层文化是辽西地区继红山文化之后的又一次文化大繁荣, 该地区由此进入青铜时代。中国早期铜器主要分布于西北地区、中原地区和北方地区。西北地区^[1-2]和中原地区^[3-4]铜器的科学研究已经取得了一些重要成果, 而关于北方地区早期铜器的研究则略显薄弱。近年来, 随着考古发掘项目日益增多, 考古发掘所获实物资料日渐丰富, 夏家店下层文化遗址出土的铜器也开始得到学界的关注与重视^[5]。夏家店下层文化铜器的出土年代不算最早, 但它在中国早期青铜文化中占据重要的地位。近年来, 在大甸子、二道井子、三座店、大山前等遗址发现了夏家店下层文化时期的少量青铜器。此前, 这些铜器的金相和成分的分析结果已经发表^[6], 为认识夏家店下层文化的青铜技术提供了重要的科学数据和资料。

为进一步了解夏家店下层文化铜器的物料信息, 采用多接收电感耦合等离子体质谱仪(MC-

ICP-MS)对夏家店下层文化铜器样品进行铅同位素比值测定。通过对4处夏家店下层文化遗址和1处高台山文化遗址(湾柳遗址2件铜器)出土的铜器进行铅同位素比值测定, 探讨其矿料来源, 为相关研究的深入开展提供有益的信息。

1 实验方法和样品

1.1 实验测定方法

铅同位素比值测定使用的是英国VG公司生产的VG Axiom型MC-ICP-MS。测试条件为: 氩气流量: 13.5 L/min, 雾化器: 0.9 L/min, 辅助器: 0.68 L/min。

此次分析的具体前处理方法为: 使用去离子水清洗实验样品, 晾干后使用电子感量天平准确称取铜器样品重量, 使用王水在微波消解炉中直接将样品溶解成澄清溶液, 将溶液用去离子水定容至100 mL。根据主成分分析结果, 分别稀释2~5倍。加入国际T1标准SRM997作为内标, 即可上机测试。测试过程中, 为保证仪器的稳定性和精确度, 在

收稿日期: 2019-04-11; 修回日期: 2019-06-05

基金项目: 国家自然科学基金资助(51074026), 国家科技支撑计划资助(2010BAK67B03)

作者简介: 王永乐(1984—), 男, 2013年硕士毕业于北京科技大学科学技术史专业, 研究方向为文物保护与科技考古, E-mail: wangyongcool821@163.com

测量样品前及后,分别测量国际铅同位素标准 NB - SRM981。

1.2 样品

此次进行铅同位素比值测定的样品共计 22 件。6 件出土于二道井子遗址,其中 4 件出土于居住址的使用堆积和废弃堆积,2 件出土于墓葬。二道井子遗址文化内涵单纯,除夏家店下层文化外未发现其他文化遗存。6 件属大甸子墓地,均为耳环。大甸子墓地共出土 26 件耳环,分别出自 16 座墓,均为夏家店下层文化遗存^[7]。2 件出土于三座店遗址,为夏家店下层文化遗物^[8]。大山前遗址铜器有 6 件,该遗址以夏家店下层文化遗存为主,也包括夏家店上层至战国时期各类遗存,其中夏家店下层和夏家店上层的文化层中均有铜器出土。此次检测样品中 4 件为夏家店下层文化遗物,2 件为夏家店上层文化遗物^[9]。辽宁法库湾柳遗址有 2 件铜器,该遗址第二和第三层为文化层,两个文化层的包含物无

差别,出土物类同。铜器是在推土机作业时发现,所属地层或遗迹单位尚不明确,可以确定出自该遗址,且属高台山文化^[10]。

样品中属于夏家店下层文化的铜器共有 18 件,其中 13 件为金属,剩余 5 件为锈蚀物。2 件夏家店上层文化铜器和 2 件高台山文化铜器保存良好,均为金属。表 1 列出了 22 件铜器样品的成分分析结果。

2 样品的合金成分分析结果

对铅同位素数据的分析探讨离不开样品的合金成分。由成分分析结果看,这 22 件铜器样品中,有 11 件的材质为铜锡合金,含锡量在 4.0% 以上;有 2 件铜锡铅砷合金(含铅分别为 1.0% 和 4.5%);有 8 件为铜锡铅合金,锡含量 2.0% ~ 12.0%,铅含量 1.0% ~ 19.0%;还有一件为红铜。制作工艺则包括热锻、铸造和热锻冷加工等。

表 1 铜器样品的化学成分和制作工艺

Table 1 Test results of chemical composition and technique

器物名称	试验编号	出处	合金成分/%				合金类型	制作工艺	保存状态
			Cu	Sn	Pb	As			
铜刀尖	EDJZ001	二道井子	31.6	47.4	—	—	铜锡	—	锈蚀
铜刀	EDJZ004		44.5	29.7	—	—	铜锡	铸造	锈蚀
铜镞或铜锥	EDJZ005		90.1	8.2	0.9	—	铜锡	—	锈蚀
铜耳环	EDJZ007		93.7	0.4	0.2	—	红铜	热锻	金属
铜耳环	EDJZ008		89.8	7.7	1.0	1.9	铜锡铅砷	热锻	金属
铜耳环	EDJZ009		82.7	9.2	0.5	—	铜锡	热锻	金属
铜耳环	DDZ008		81.6	7.0	0.9	—	铜锡	热锻	金属
铜耳环	DDZ010		73.3	6.5	0.9	—	铜锡	热锻	金属
铜耳环	DDZ015		82.5	2.3	2.0	—	铜锡铅	热锻	金属
铜耳环	DDZ016	大甸子	85.2	10.9	0.9	—	铜锡	热锻	金属
铜耳环	DDZ017		75.6	12.4	1.3	—	铜锡铅	—	锈蚀
铜耳环	DDZ018		71.7	18.9	0.8	—	铜锡	—	锈蚀
环首铜刀	DSQ001	大山前	77.0	12.2	0.6	—	铜锡	热锻冷加工	金属
残镞套	DSQ003		59.4	7.1	14.7	—	铜锡铅	铸造	金属
铜锥	DSQ006		73.9	6.7	4.5	4.1	铜锡铅砷	热锻	金属
细锥	DSQ008		84.1	7.3	0.7	—	铜锡	热锻冷加工	金属
铜削*	DSQ012		74.4	11.1	3.4	0.5	铜锡铅	—	金属
铜斧*	DSQ014		81.8	6.7	4.7	—	铜锡铅	—	金属
铜饰件	SZD001	三座店	78.3	7.0	1.7	—	铜锡铅	热锻冷加工	金属
铜锥	SZD003		69.2	5.9	18.7	1.1	铜锡铅	铸造	金属
孔首铜刀**	WL1	湾柳	77.3	4.8	8.1	0.9	铜锡铅	—	金属
直釜式铜斧**	WL2		96.6	4.3	0.2	0.1	铜锡	—	金属

注:对每处遗址分别进行了编号。所获样品做了金相、成分、铅同位素等分析,而铅同位素分析样品只占一部分,表格中的样品是挑选出的做了铅同位素测定的样品,故样品编号不连续。在本文中,铅含量 $\geq 1\%$ 即视为合金组分。*划归为夏家店上层文化的铜器;**划归为高台山文化的铜器。

3 铅同位素比值测定结果与矿料来源分析讨论

铅同位素测定结果共有5组数据,揭示了铀铅、钍铅与 ^{204}Pb 的相对含量,同时 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 两组数据也反映了铀铅和钍铅之间的相对含量。

一般而言,红铜器的铅同位素数据表示的是铜料的来源信息;含铅较多的铜合金(含铅大于1.0%)的铅同位素数据反映的则是铅料的来源信息;对于铜锡合金,由于铜料的比例要远大于锡料,一般情况下锡矿中的含铅量也小于铜矿,所以通常情况下铜锡合金的铅同位素数据更接近于铜料中的铅同位素数据,其表征的应是铜矿来源的信息^[11]。

为了探明这5处遗址的铜器矿料来源,将它们的铅同位素数据连同金属矿数据放在一起,分别作出铀铅图(图1)和铀铅-钍铅图(图2)。这几个金属矿包括内蒙古林西县的大井多金属矿(方铅矿)^[12]、位于内蒙古东部大兴安岭隆起带与松辽沉降带接壤部位的孟恩陶勒盖多金属矿(方铅矿与黄铜矿)^[13]、位于辽北地区的凡河元古宙坳拉谷关门山铅锌矿^[14]、位于山西省南部的中条山铜矿床^[15]、位于辽宁桓仁的多金属矿(方铅矿)^[16]、大兴安岭中南段的小坝梁铜金矿^[17]以及大井古铜矿的矿石和矿渣分析结果^[18]。由图1和图2可见,大井多金属矿中方铅矿数据点被大井古铜矿矿石矿渣数据完

全覆盖。而大井多金属矿和大井矿石矿渣的数据、孟恩陶勒盖多金属矿的数据较为相近,可能因为这两处金属矿从大范围来看均属大兴安岭成矿带^[19],有着相似的成矿历程。孟恩陶勒盖多金属矿位于通辽市科尔沁右翼中旗,距离4处夏家店下层文化遗址较远,而大井多金属矿位于赤峰市北部的林西县,距离遗址较近。因此大井多金属矿与4处夏家店下层文化遗址更具相关性。图2显示4处夏家店下层文化遗址的大部分数据和大井多金属矿(或大井矿石矿渣)的铅同位素比值最为接近,集中在一个区域,且与其他金属矿相差较远。而图1显示出两者存在一点差异。

二道井子遗址出土的5件青铜器样品的铅同位素数据总体比较接近,铅含量均较低,表明其铜料的来源应该大体一致。红铜器EDJZ007的数据点位置与其他铜器相去略远。根据李延祥的研究^[20],大井古铜矿的冶炼产物中很可能含微量银,并含有铋和铊等微量元素。但是这件红铜器中几乎不含大井古铜矿冶炼遗物中的“指纹元素”^[21],因此二道井子遗址所出的这件红铜器的铜料可能并非来自大井。从铀铅图(图1)来看,似乎这件红铜器数据和中条山铜矿接近,但是铀铅-钍铅图又显示出了两者存在差异。就现有数据而言,这件红铜器的铜矿来源尚未见有较为明确的线索。其他几件铜器(主要元素为铜和锡)的数据比较集中,数据点也大致落入或接近大井多金属矿的铅同位素分布区域。

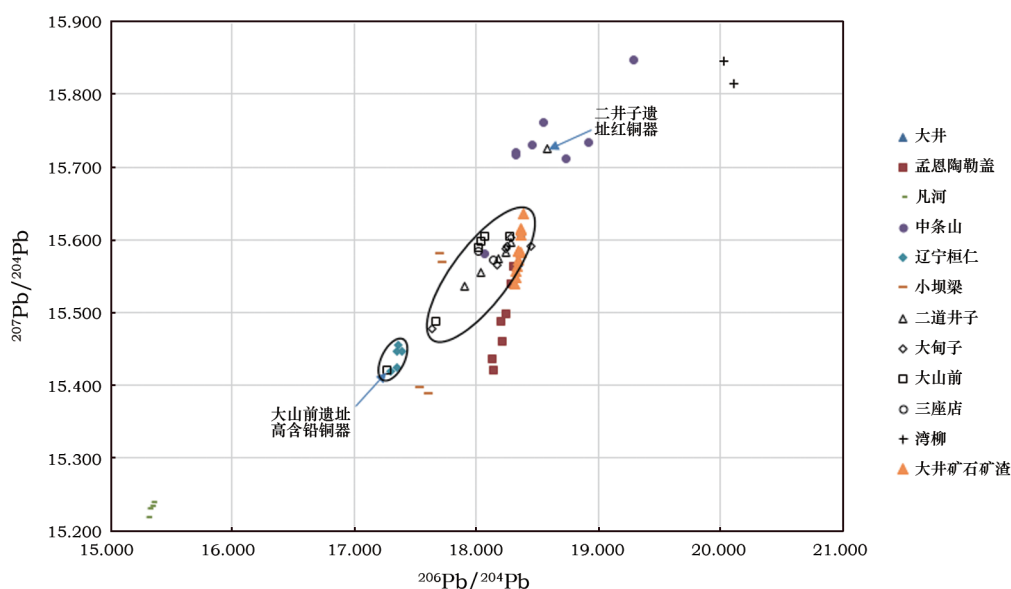


图1 铜器和金属矿的铀铅图

Fig. 1 Uranium lead diagram of bronze wares and metallic deposits

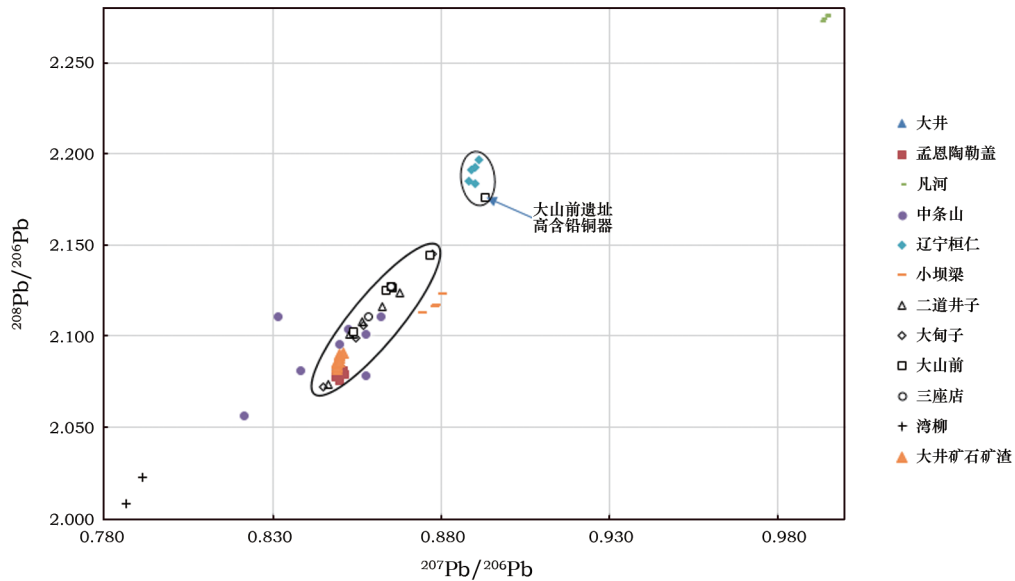


图 2 铜器和金属矿的铀铅 - 钍铅图

Fig. 2 Uranium lead - thorium lead diagram of bronze wares and metallic deposits

大甸子遗址的 6 个样品中, 3 个铜锡合金和铜锡铅样品 DDZ017 的数据最为集中, 铜锡铅样品 DDZ015 和 1 个铜锡锈蚀物样品稍稍偏离集中区域, 但差别不大。大甸子遗址铜器的铅同位素数据和大井多金属矿极为接近。有几个铜锡合金含有一定量的铅, 含量约在 1.0%, 而铜锡铅合金的铅含量约为 2.0%, 差别不大。事实上大甸子遗址经成分分析的所有样品显示出该遗址样品含铅量普遍较低, 铜锡铅合金的铅含量多为 1.0% ~ 3.0%。大甸子的居民已经能够有意识地进行合金配比, 也是针对铜和锡而言^[5]。而铅的含量与器物类型和制作方法关系不大, 无明显规律可循。经铅同位素比值测定的几个金属样品对应的器物均为耳环, 且皆为热锻而成。结合制作工艺和铅含量来看, 大甸子铜器中的铅存在无意识混入的可能。大井多金属矿中富集锡、银、锌、铜、铅等矿石, 并存在一些共生矿, 铜 - 银、铜 - 锡相关度最高, 但也有一定数量的铜 - 锌(铅)共生矿石^[22]。因此无论大甸子遗址中的铅是冶炼时的杂质, 还是有意加入, 大甸子遗址的矿料均有来自大井多金属矿的可能性。

大山前遗址 6 个样品中的含铅量差别较大, 为对比研究不同合金类型的数据提供了有利条件。大山前遗址夏家店下层文化和夏家店上层文化的铅同位素数据相互叠压, 其矿料应来自同一处矿山, 故将其放在一起进行讨论。由图 1 可见, 大山前遗址的高铅器物数据明显偏离其余几个样品所处的集中区

域, 落入辽宁桓仁多金属矿的区域。该样品含铅量为 14.7%, 反映的应是铅矿中铅同位素的含量比值, 但是高铅器物样品数据和其他几个含铅(1.0% 以上, 但含量相对较低)样品的数据存在明显差别。高铅器 DSQ003 为铸造而成, 其余 3 件器物均为锻造, 加之铅同位素数据的差异, 大山前遗址的这件高铅器物中的铅应是人为有意加入, 其余器物(包含上层两件遗物)中的铅有随其他矿料混入的可能。所以大山前遗址的铅料可能来自辽宁桓仁多金属矿中的方铅矿, 而铜料与大甸子遗址类似, 存在来自大井多金属矿的可能性。若除高铅器外其余两件铜锡铅合金中的铅是人为加入, 那么其铅料也存在来自大井方铅矿的可能性。

三座店遗址检测了 2 个样品, 均为铜锡铅合金。SZD001 为铜锡合金, 但铅含量不高。结合制作工艺, 这件器物中的铅存在无意识混入的可能。SZD003 也为铜锡铅合金, 并且含铅量很高, 数据揭示的是铅料来源的信息。从结果来看, 两者每组数据的结果都相差很小, 因此如果两件样品均指示铅料信息, 则该遗址铅料可能来自大井方铅矿, 若 SZD001 指示铜料信息, 则铜矿矿料也有可能来自大井多金属矿。

湾柳遗址 WL1 为铜锡铅合金, 且含铅量较高, 数据表征的是铅料同位素信息。而样品 WL2 为铜锡合金, 并且含铅量极低, 所以该数据反映的应是铜矿信息。同三座店遗址一样, 这两件样品的铅料来源的信息也相差很小, 其铜料和铅料可能来自同一

地区。从WL1和WL2的铅同位素数据来看,和上述4处夏家店下层文化遗址差别明显。高台山文化分布于辽北地区,时间跨度大,与夏家店下层文化毗邻,但从数据可以推测湾柳遗址和夏家店下层文化4处遗址的矿料应该不会出自一处。该遗址铜器的铅同位素数据具有高放射性成因铅特征。古代铜器中含有这种铅的多见于商代青铜遗物,如三星堆遗址出土的青铜器经检测分析,表明其矿料可能来自一处,且开采规模较大,并且和新干大洋洲商代墓葬出土铜器铅同位素数据相近^[23-24]。在湖北盘龙城遗址、江西青江吴城商代青铜器及河南安阳商代青铜器均有高放射性成因铅发现^[25]。近年来,又在陕北地区的商代青铜器中发现高放射性成因铅^[26]。而湾柳遗址晚于4处夏家店下层文化遗址,年代测定结果也为商代中期^[10]。因此,加上本次的数据结果,似乎表明在这一时期这种铅几乎不分地域地广泛存在,有可能在这一时期分布各处的先民都用了同一处铅矿的铅料。但在中国大陆现存的金属矿中很少有高放射成因铅的发现^[27]。也有学者^[28]认为其矿料较多的分布于长江流域和西南地区,由于缺乏金属矿的铅同位素数据,对该遗址的矿料来源尚不能做出推断。但是这一现象应该引起重视,因为这一测试结果有可能反映了湾柳遗址出土铜器与其他地区的某种关联。

几处遗址中铜锡合金(也包括讨论中铅可视为杂质铅的铅锡青铜)的锡料来自何处?由于铜器中铜和锡的权重问题,铜锡合金的铅同位素数据更接近铜矿数据,但是锡的加入也会对数据产生一定影响。如果铜锡不同源,那么铜器的铅同位素数据应该落在铜矿数据和锡矿数据之间,更接近铜矿,并且随着锡含量的多少呈现规律性分布。但是在测定的数据结果中,数据点的分布随合金中锡含量的变化并无规律可循,锡含量高的样品和锡含量低的样品数据点穿插分布。表明这几处遗址铜锡合金中的铜和锡有可能有着共同来源。辽西地区多金属矿资源丰富,共生矿居多,而大井多金属矿主要为铜、锡多金属矿^[12]。因此,就数据结果来看,这4处夏家店下层文化遗址的数据与大井多金属矿最为接近,其铜器矿料有来自大井多金属矿的可能。但是由于金属矿数据较少,尚不能完全肯定该结论,以后随着金属矿数据的丰富,或许会发现新的线索。

4 结 论

综上所述,夏家店下层文化4处遗址所出铜器

的铅同位素数据与大井多金属矿较为接近,其矿料应来自大井多金属矿。有研究表明大井古铜矿很可能在夏家店下层文化时期就已经得到开采,这给夏家店下层文化的这4处遗址中的矿料来自大井多金属矿的结论提供了一个支持。

大山前遗址的铅料可能来自辽宁桓仁多金属矿。二道井子遗址红铜器的矿料可能来自其他矿床。夏家店下层文化如此繁荣,各遗址之间的联系应该比较紧密,和检测分析得出的结果一致,它们的大部分矿料可能来自同一处。而二道井子红铜器的铜料和大山前遗址的铅料相对于其他矿料在矿源上表现出不一致性,可能是辽西地区金属矿资源丰富的体现。

湾柳遗址出土的铜器检测结果表明其具有高放射成因铅特征,显示出其与同时期的其他地区考古学文化之间存在某种关联。

致 谢: 此项研究工作得到内蒙古考古研究所的支持,孙金松老师对取样工作给予了大力帮助;北京大学文博学院崔剑锋老师在实验分析等方面给予了很多指导和帮助,在此一并致以诚挚的敬意和谢忱!

参考文献:

- [1] 梅建军,刘国瑞,常喜恩. 新疆东部地区出土早期铜器的初步分析和研究[J]. 西域研究,2002(2):1-10.
MEI Jianjun, LIU Guorui, CHANG Xi'en. Preliminary analysis and research on early bronze wares unearthed in eastern Xinjiang [J]. The Western Regions Studies,2002(2):1-10.
- [2] 陈坤龙,王璐,王颖琛,等. 甘肃玉门火烧沟四坝文化铜器的科学分析及相关问题[J]. 中原文物,2018(2):121-128.
CHEN Kunlong, WANG Lu, WANG Yingchen, et al. Scientific analysis and related problems of Siba cultural bronze wares in Huoshaogou, Yumen, Gansu Province [J]. Cultural Relics of Central China,2018(2):121-128.
- [3] 梁宏刚,孙淑云. 二里头遗址出土铜器研究综述[J]. 中原文物,2004(1):29-39,56.
LIANG Honggang, SUN Shuyun. Overview of research on bronze wares unearthed at Erlitou site [J]. Cultural Relics of Central China,2004(1):29-39,56.
- [4] 金正耀. 二里头青铜器的自然科学研究与夏文明探索[J]. 文物,2000(1):56-64,69.
JIN Zhengyao. Scientific research on the bronzes of the Erlitou culture and exploration of the Xia civilization [J]. Cultural Relics, 2000(1):56-64,69.
- [5] 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.
LI Yanxiang, JIA Haixin, ZHU Yanping. A preliminary study on bronzes from Dadianzi tombs [J]. Cultural Relics,2003(7):78-84.

- [6] 王永乐,梅建军,李延祥,等.夏家店下层文化铜器成分及工艺研究[J].草原文物,2018(2):108-114.
WANG Yongle, MEI Jianjun, LI Yanxiang, *et al.* Study on the composition and technology of bronze wares of the Lower Xiajiadian culture[J]. *Steppe Cultural Relics*, 2018(2):108-114.
- [7] 中国社会科学院考古研究所.大甸子——夏家店下层文化遗址与墓地发掘报告[M].北京:科学出版社,1996:188-190.
The Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences. Dadianzi: excavations on the residence and cemetery of the Lower Xiajiadian culture[M]. Beijing: Science Press, 1996:188-190.
- [8] 内蒙古文物考古研究所.内蒙古赤峰市三座店夏家店下层文化石城遗址[J].考古,2007(7):17-27.
Inner Mongolia Institute of Cultural Relics and Archaeology. Sanzuodian stone city - site of the Lower Xiajiadian culture in Chifeng, Inner Mongolia[J]. *Archaeology*, 2007(7):17-27.
- [9] 彭善国,朱延平,郭治中,等.内蒙古喀喇沁旗大山前遗址 1998 年的发掘[J].考古,2004(3):31-39.
PENG Shanguo, ZHU Yanping, GUO Zhizhong, *et al.* Excavation of the Dashanqian site in Harqin Banner, Inner Mongolia in 1998 [J]. *Archaeology*, 2004(3):31-39.
- [10] 辽宁大学历史系考古教研室,铁岭市博物馆.辽宁法库县湾柳遗址发掘[J].考古,1989(12):1076-1086.
Archaeological Department of History, Liaoning University, Tieling Museum. Excavation of Wanliu site in Faku County, Liaoning [J]. *Archaeology*, 1989(12):1076-1086.
- [11] 金正耀.铅同位素考古研究的可行性问题[J].文物保护与考古科学,2005,17(2):46-51.
JIN Zhengyao. The feasibility of lead isotope analyses for provenance study[J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2005, 17(2):46-51.
- [12] 冯建忠,艾霞,吴俞斌,等.内蒙古大井多金属矿床稳定同位素地球化学特征[J].吉林地质,1994,13(3):60-66.
FENG Jianzhong, AI Xia, WU Yubin, *et al.* The stable isotopic geochemistry of the Dajing polymetallic deposit, Inner Mongolia [J]. *Jilin Geology*, 1994, 13(3):60-66.
- [13] 张乾,战新志,裘愉卓,等.内蒙古孟恩陶勒盖银铅锌铜矿床的铅同位素组成及矿石铅的来源探讨[J].地球化学,2002,31(3):253-258.
ZHANG Qian, ZHAN Xinzhi, QIU Yuzhuo, *et al.* Lead isotopic composition and the source of the Meng'entaolegai Ag-Pb-Zn-In deposit in Inner Mongolia [J]. *Geochimica*, 2002, 31(3):253-258.
- [14] 张国武.凡河元古宙坳拉谷关门山铅锌矿床铅同位素研究[J].辽宁地质,1993(1):24-37.
ZHANG Guowu. Studies on the lead isotopes from Guanmenshan Pb-Zn deposits in Proterozoic Aulacogen at Fanhe area [J]. *Liaoning Geology*, 1993(1):24-37.
- [15] 徐文忻,汪礼明,李薏,等.中条山铜矿床同位素地球化学研究[J].地球学报,2005,26(增刊1):130-133.
XU Wenxin, WANG Liming, LI Heng, *et al.* Isotope geochemistry of copper deposits in the Zhongtiao Mountain [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2005, 26(Suppl 1):130-133.
- [16] 张乾.辽宁桓仁多金属矿床的铅同位素组成——显生宙单阶段幔源铅的证据[J].地球化学,1994,23(增刊1):32-38.
ZHANG Qian. Lead isotopic compositions of Huanren polymetallic ore deposit, Liaoning Province: evidence from Phanerozoic single-stage mantle-source lead [J]. *Geochimica*, 1994, 23(Suppl 1):32-38.
- [17] 孙艳霞,张达,张寿庭,等.内蒙古小坝梁铜金矿床的硫、铅同位素特征和喷流沉积成因[J].地质找矿论丛,2009,24(4):282-285.
SUN Yanxia, ZHANG Da, ZHANG Shouting, *et al.* S, Pb isotopic characteristics and exhalative-sedimentary genesis of Xiaobaliang Cu-Au deposit, Inner Mongolia [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2009, 24(4):282-285.
- [18] 董利军.夏家店上层文化矿冶遗址的考察研究[D].北京:北京科技大学,2012:45-127.
DONG Lijun. Investigation and study on mining and smelting sites of the Upper Xiajiadian culture [D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2012:45-127.
- [19] 张永正,李秀荣,杨宏智,等.大兴安岭东南段铜多金属成矿构造条件[J].地质与资源,2007,16(1):38-41.
ZHANG Yongzheng, LI Xiurong, YANG Hongzhi, *et al.* Structural conditions of copper-polymetallic mineralization in the southeast section of Daxing, anling Mountains [J]. *Geology and Resources*, 2007, 16(1):38-41.
- [20] 李延祥,韩汝芬.林西大井古铜矿冶遗址冶炼技术及产品特征初探[C]//吉林大学边疆考古研究中心.边疆考古研究(第1辑).北京:科学出版社,2002:204-213.
LI Yanxiang, HAN Rubin. The smelting technology of Dajing, an ancient copper mining and smelting site in Chifeng district, Inner Mongolia [C]//Research Center for Chinese Frontier Archaeology of Jilin University. Research of China's Frontier Archaeology: volume 1. Beijing: Science Press, 2002:204-213.
- [21] 王永乐,梅建军,陈坤龙,等.内蒙古赤峰市二道井子遗址出土铜器的科学研究[C]//吉林大学边疆考古研究中心.边疆考古研究(第13辑).北京:科学出版社,2013:283-292.
WANG Yongle, MEI Jianjun, CHEN Kunlong, *et al.* A preliminary scientific research on copper artifacts unearthed from the site of Erdaojingzi, Chifeng city, Inner Mongolia [C]//Research Center for Chinese Frontier Archaeology of Jilin University. Research of China's Frontier Archaeology: volume 13. Beijing: Science Press, 2013:283-292.
- [22] 赵利青,上本武,覃功炯,等.大井锡多金属矿床矿化元素分布特征研究[J].地质与勘探,2002,38(4):22-27.
ZHAO Liqing, UEMOTO Takeshi, QIN Gongjiong, *et al.* Distribution of mineralization elements in Dajing Tin-polymetallic deposit, China [J]. *Geology and Prospecting*, 2002, 38(4):22-27.
- [23] 金正耀,马渊久夫,CHASE T,等.广汉三星堆遗址坑青铜器的铅同位素比值研究[J].文物,1995(2):80-85.
JIN Zhengyao, HISAO Mabuchi, CHASE T, *et al.* A study on lead isotope ratios of the Sanxingdui pit-burial bronzes [J]. *Cultural Relics*, 1995(2):80-85.
- [24] 金正耀,CHASE W T,平尾良光,等.江西新干大洋洲商墓青铜器的铅同位素比值研究[J].考古,1994(8):744-747.

- JIN Zhengyao, CHASE W T, YOSHIMITSU Hirao, *et al.* A study on lead isotope ratios of the Shang dynasty tomb bronzes in Dayangzhou, Xingan, Jiangxi Province [J]. *Archaeology*, 1994 (8): 744 - 747.
- [25] 彭子成, 刘永刚, 刘诗中, 等. 赣鄂豫地区商代青铜器和部分铜铅矿料来源的初探[J]. *自然科学史研究*, 1999, 18(3): 241 - 249.
- PENG Zicheng, LIU Yonggang, LIU Shizhong, *et al.* A preliminary study on Shang Dynasty bronzes and their Cu - Pb ore sources in Jiangxi, Hubei and Henan Provinces [J]. *Studies in the History of Natural Sciences*, 1999, 18(3): 241 - 249.
- [26] 刘建宇, 陈坤龙, 梅建军, 等. 陕西子洲出土商代铜器的科学分析及其相关问题[J]. *文物*, 2015(1): 77 - 84.
- LIU Jianyu, CHEN Kunlong, MEI Jianjun, *et al.* Scientific analysis of Shang Dynasty bronzes unearthed in Zizhou, Shaanxi Province and related problems [J]. *Cultural Relics*, 2015(1): 77 - 84.
- [27] 常向阳, 朱炳泉, 金正耀. 殷商青铜器矿料来源与铅同位素示踪应用[J]. *广州大学学报(自然科学版)*, 2003, 2(4): 323 - 326.
- CHANG Xiangyang, ZHU Bingquan, JIN Zhengyao. Application of lead - isotope tracing in resource provenance of the Shang bronze vessels [J]. *Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition)*, 2003, 2(4): 323 - 326.
- [28] 金正耀. 中国铅同位素考古 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008: 48 - 56.
- JIN Zhengyao. *Lead isotope archaeology in China* [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2008: 48 - 56.

Research on the ore sources of some bronze objects from Lower Xiajiadian culture sites

WANG Yongle^{1,2}, MEI Jianjun^{1,3}, LI Yanxiang¹, CHEN Kunlong¹, CAO Jian'en⁴, DANG Yu⁴

(1. *Institute of Cultural Heritage and History of Science & Technology, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;*

2. Inner Mongolia Museum, Hohhot 010010, China;

3. McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge, Cambridge CB2 3ER, UK;

4. Inner Mongolia Institute of Cultural Relics and Archaeology, Hohhot 010010, China)

Abstract: This paper presents lead isotopic analysis results for bronze objects from several Lower Xiajiadian culture sites and one Gaotaishan culture site. It is revealed that, except for two objects, lead isotope data of the bronzes from four Lower Xiajiadian cultural sites are quite close to each other. It is suggested that the resources of bronze objects from the four Lower Xiajiadian culture sites were most likely to be from the Dajing polymetallic deposit. It is also inferred that the bronze object with a high lead content from Dashanqian Site might be related to the Liaoning Huanren Polymetallic deposit in terms of its lead resource. The source of the raw material for an unalloyed copper object from Erdaojingzi Site is different from that of Dajing, a finding that needs further investigation in the future. The test results from Wanliu Site show that it has the characteristics of high radiogenic lead, which indicates that it had some relationship with other archaeological cultures of the same period.

Key words: Lower Xiajiadian culture; Bronze; Lead isotope; Ore sources

(责任编辑 马江丽; 校对 潘小伦)