

共性、差异与解读 运用牛津研究体系探究 早商郑州与盘龙城之间的金属流通

刘睿良 马克·波拉德 杰西卡·罗森 唐小佳

(英国 牛津 OX1 2PG)

张昌平 (湖北 武汉 430072)

摘要:金属资源的流通模式一直是中国青铜时代研究中的重要课题,位于长江流域的盘龙城遗址为探究这一课题提供了非常好的材料。本文运用牛津研究体系对现有数据进行重新发掘,我们发现,盘龙城、郑州两地的青铜器在化学组成和铅同位素比值存在一系列的相似以及不同,表明两地之间的金属资源流通过程和互动交流模式十分复杂。虽然两地使用同样的金属供应网络,但侧重点不尽相同。由此判断,盘龙城很有可能拥有独立的青铜生产体系。除铜以外,锡料也应是商人南下的另一驱动力。
关键词:金属流通;牛津研究体系;盘龙城;郑州;化学成分;铅同位素;交流

中图分类号:K854

文献识别号:A

文章编号:1001-0327(2017)03-0119-11

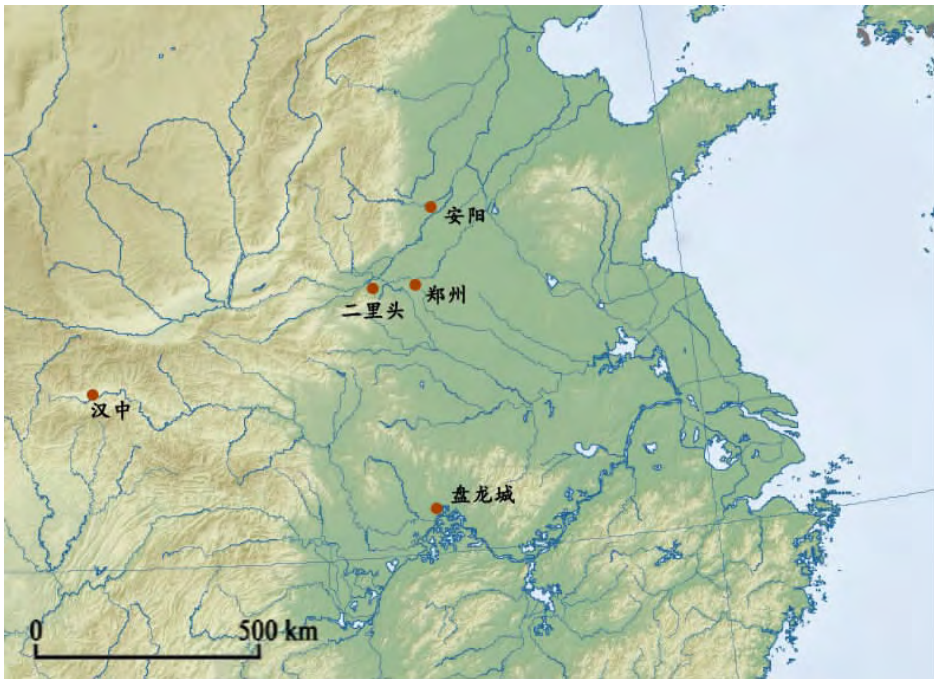
一、引言

青铜礼器是中国商周时期最显著的物质遗存,常常能够指示各地区间社会、政治、文化交互的情况。在二里冈时期,商中央王朝的势力已经延伸至长江流域,多年来,学界已经基本达成共识:郑州、盘龙城两地的文化内涵高度一致,说明盘龙城是早商势力进入长江流域的产物(图一)^[1]。郑州商城的贵族选择长途跋涉五百公里来到长江流域的盘龙城并常驻于此,背后必然存在着至关重要的动因。由于中原地区缺乏金属资源,学界普遍认为盘龙城的主要职能是收集长江流域的金属资源并输送至郑州^[2]。本文利用牛津研究体系^[3],通过铜器的化学成分和铅同位素,尝试为研究盘龙城本地青铜器生产状况和郑、盘两地金属资源供应体系等问题提供新的线索和思路。

二、本地生产与金属探源

考虑到模范技术的复杂性,青铜器在郑州制作完成后再运输至盘龙城的假设是合理的;另一种可能的情况则是,郑州的工匠被分派至盘龙城,从而建立起盘龙城本地的青铜生产体系^[4]。目前所知,郑州商城的南北各发现一处青铜作坊。城南的作坊位于南关外地点,占地面积约21000平方米,延续时间从二里冈下层二期到二里冈上层一期。该处在发掘过程中出土大量的冶金遗物,包括模范碎块、坩埚、冶炼熔渣等。另一处是紫金山地点,位于北城墙外侧,或许由于现代建筑的扰乱,其占地面积远远小于南关外,仅有2000平方米,使用时间也相对较短,为二里冈上层一期^[5]。紫金山出土的遗物内容与南关外大致相同,但值得注意的是,发掘者在此处发现了铜块、铅块各一。经分析,铜块为孔雀石,铅同位素比值在20.345(²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb)左右,属于高放射成因铅(下文简称高放射铅)^[6]。

作者:刘睿良,英国牛津大学。



图一 文中主要遗址地理位置

随着近年对盘龙城遗址的发掘，越来越多的迹象表明在遗址内可能存在青铜生产。根据手持式荧光光谱的分析，盘龙城小嘴发掘区内土壤中的铜含量远远高于其他区域^[7]；同时，在该区域内也出土了模范碎块，另外在小嘴采集到的石范^[8]。这些现象或可表明该发掘区过去存在集中的冶金活动^[9]。

盘龙城近几年新出土青铜器的科技分析检测也在进行中，学界主要关注的问题是当地是否存在本地生产体系，以及这些青铜器的金属来自何处。通过对青铜器所包裹范土的成分分析，南普恒等发现盘龙城器物范土钙镁元素的含量与中原地区诸如安阳、侯马、周原等地出土器物的范土有着明显区别^[10]。这一差别有可能是因为取土地区地质环境的差异，亦或是处理黏（沙）土的技术的不同造成的。针对金属原料来源问题，学者对盘龙城青铜器的微量元素和铅同位素比值进行了检测，结合微量元素数据和主量因子判别法，可以看到盘龙城铜器的铜料与由铜绿山铜矿制成的两块铜锭有着显著差别^[11]。铅同位素分析

显示盘龙城青铜器所用铅料包括高放铅和普通铅两部分。在这两种铅料来源于不同地区的假设前提下，我们可以认为盘龙城青铜器所用的铅料有多处来源。但由于高放铅和普通铅在郑、盘两地均有大规模使用，仅仅依赖铅同位素数据是无法准确判断这些铅料的流通方向^[12]。

本文使用牛津研究体系作为主要的数据分析方法，系统地归纳青铜器化学成分与铅同位素数据，通过比较不同青铜器数据组合的特征，再结合已知的考古、地质等背景，让研究者获知更多关于金属原料来源、供应体系变化和古代人群交流模式等诸多方面的信息^[13]。中国青铜器的分析数据在近二十年迅速增长，但像郑、盘青铜器这样同时拥有主量元素、微量元素和铅同位素三种分析数据的遗址很少见^[14]。以往研究者们扎实的数据分析和积累工作，为本文及以后的研究奠定了坚实的基础。本文的数据来源主要是：（1）盘龙城考古报告的附录，包括主量元素（SEM-EDS）、微量元素（NAA）和铅同位素（ICP-MS），每项

共计50笔,包括43件容器和少量的工具^[15]。(2) 田建花博士的博士论文,同样包括了以上三种分析数据(主量元素 ICP-OES;微量元素, ICP-MS和铅同位素ICP-MS),每项分析共计25笔数据,均为青铜容器^[16]。(3) 郑州出土的17件容器的主量元素数据^[17]。

三、数据分析

1. 微量元素组合与铜器分组

铜器分组法的第一步是根据四种微量元素(砷-As、锑-Sb、银-Ag、镍-Ni)的有无(以0.1%为界)将器物划为16个不同的组别。但特别需要指出的是,这16个铜器分组是对铜器微量元素组合内在规律的归纳总结,与铜矿源之间并非一一对应的关系:一个分组的铜料可能来自不同的矿源,而同一矿源也可以出产多种分组的铜料,具体步骤在已发表文献中有详细说明^[18]。以0.1%为界进行铜器分组是这一分析方法的第一步,在发现关键元素后,还需要进行第二步分析,即利用散点图等方式对其含量多少进行作图。这样有助于观察各个微量元素分组之间差异的大小,帮助研究者判断分组结果是否具有考古意义。

图二是将郑盘两地出土铜器的分组结果进行比较。可以看出,第1(无)和2(砷)分组在郑、盘两地出土铜器群中占有非常大的比重,这显示出它们的铜料微量元素组合具有很强的相似性。但值得注意的是,第4(银)、9(砷-银)分组虽然在郑州青铜器中占有很大比重(36%),但在盘龙城却相对较少(14%);与之相反的是,盘龙城超过三成的铜器为第5(镍)和11(砷-镍)组,而这两组在郑州所占比重均不超过5%。通过散点图比较两地青铜器的银、镍含量可以看出,盘龙城诸多铜器的镍含量(0.1~0.33%)要高于郑州(小于0.1%;图三)。这些微量元素的差异指示:有一部分在盘龙城出现的铜料并未运送至郑州,因此这也意味着郑、盘两地的关系比之前想象的更为复杂。

进一步思考这一微量元素的差异,也存

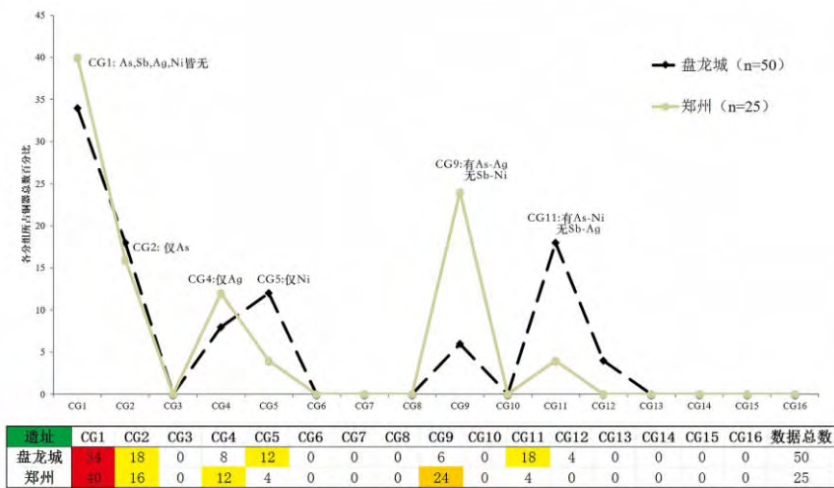
在这样一种可能:盘龙城的工匠利用含镍铜料制作本地所需的青铜器,而将其他类型的铜料运送至郑州。从理论上讲,商代工匠仅凭经验,就将含有少量镍元素的铜料分拣出来的可能性非常小,但也不排除该类型铜料出自某一特定矿源(其所产铜矿恰好含有少量镍元素),它们没有被运往郑州,而是留在盘龙城供应本地生产。

将上文的微量元素分组与器物类型进行对比后(图四),我们发现,二者之间似乎并不存在直接联系。但要注意的是,在所分析的盘龙城青铜器中,绝大多数为铜容器(43件),其余器物类型的分析数据仅有1~2件,所分析的铜容器主要包括鼎、觚、斝、爵和尊等。从图四中可以看出,铜器分组和各种铜容器之间也并不存在直接的关联,据此可以初步判断:盘龙城所见含镍铜料并非是为生产特定的器物类型而准备的。

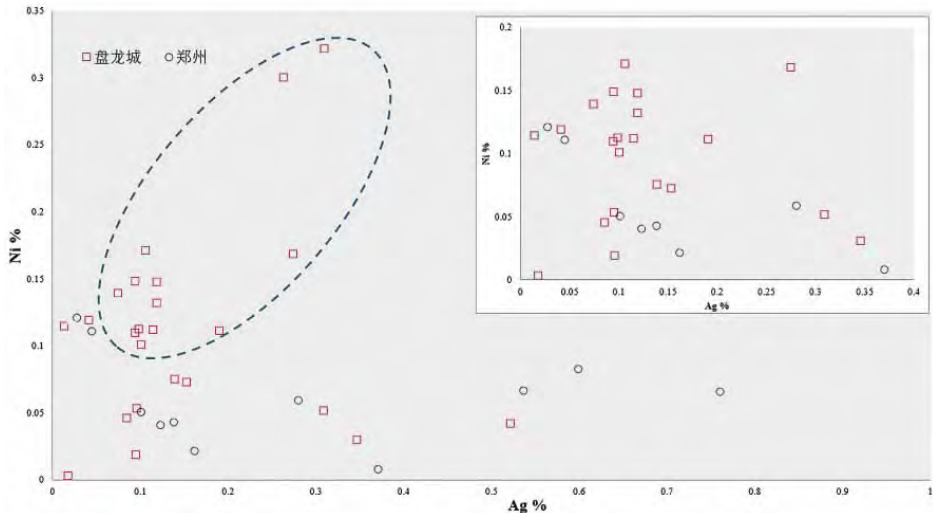
尽管中国目前的镍矿年产量高居世界第一,但从中原到长江中下游的广大地区内是少有镍矿分布的。即使有零星的镍矿存在,它们大多埋藏深度很大,或者是铁镍共生矿,很难为商人开采或使用。最近的镍矿可以在秦岭山脉中找到^[19]。从考古出土铜器的成分分析来看,中原和长江流域从二里头到西周时期的大部分遗址的青铜器基本不见镍元素(图五、六)。含镍铜器主要出现在商早期的汉中和盘龙城两地,两地由汉水相连,文化面貌也有相通之处,在以后的研究中值得关注^[20]。

虽然镍元素可将郑、盘两地部分青铜器区分开来,但两者微量元素分组中存在的显著的相似性也同样值得关注,第1(无)、2(砷)组铜料在郑州和盘龙城所占比例均超过50%。如此高比例的第1、2分组的铜料是否可以支持学界“盘龙城的建立是商人为了南下获取铜料”的普遍观点^[21]?目前所知,这两组铜料的来源可能包括南方的长江流域和晋南的中条山地区。

从陶器和铜器建立的年代框架来看,长江流域的铜矿资源开发似乎在早商时期已经开



图二 郑州、盘龙城出土青铜器分量元素分组统计

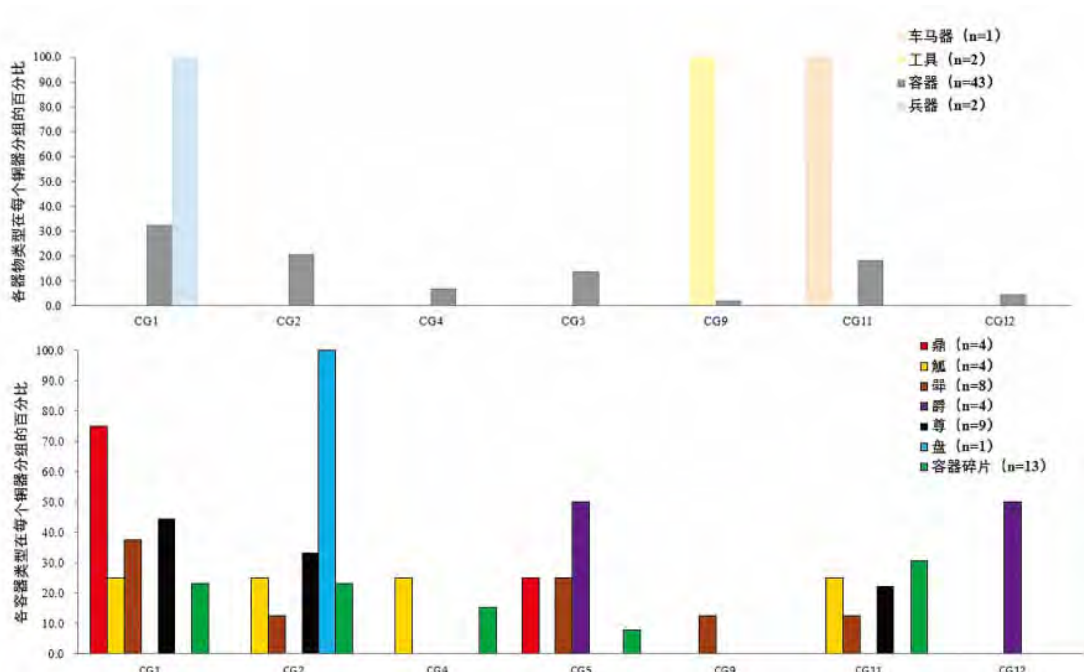


图三 郑州、盘龙城青铜器银、镍元素含量比较

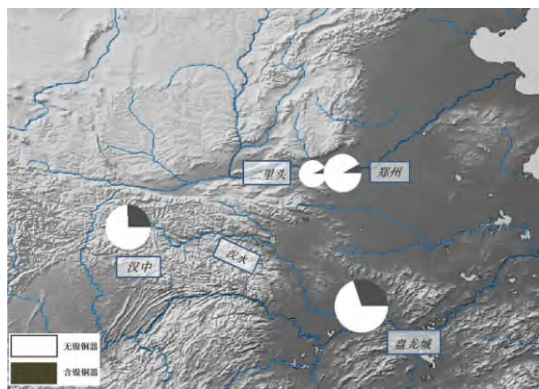
始^[22]。本文利用牛津大学碳十四校正软件(Oxcal)中的边界算法对已发表的相关碳十四数据进行了重新校正^[23]。边界算法的优势在于它可以计算出系列样品所定义的事件的起止时间,并清楚地给出可能的概率值^[24]。经过拟合后的碳十四概率密度分布显示,长江流域铜矿开发的起始年代应该在早商时期(图七),这与类型学分析得出的盘龙城兴起时间是一致的。但是,目前尚不能充分解决的问题是:分布在长江流域的铜矿是否能够出产第1(无)、2(砷)组这样的铜料。回答这一问题需要对该地区铜矿进行全面的考察,还需要对诸如新

干大洋洲、荆南寺、阜南台家寺等商代遗址所出铜器进行分析检测。不过据现有的青铜器数据,长江地区出产第1、2分组铜料的可能性似乎高于中国北方和东北区域^[25]。

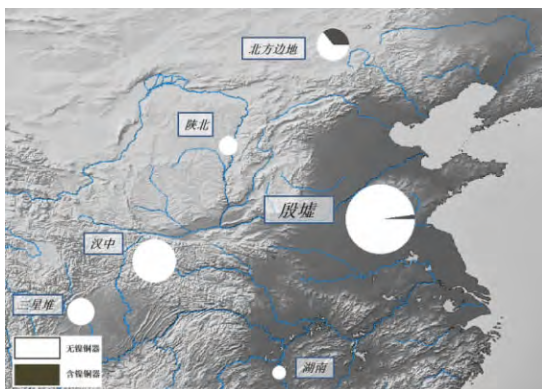
此外,第1(无)、2(砷)组铜料的另一处重要的潜在产地应为晋南中条山。中条山几乎可以确定是为二里头遗址输送铜料的,因此在一定程度上归纳总结二里头铜器的化学组成,可以让我们对中条山铜料的特征有大致地了解。虽然目前可以用于二里头铜器分组的数据量较少(仅13件)^[26],但可以看出,第1、2分组所占比例非常低,两者相加仅为7.7%,而



图四 盘龙城铜器器物类型与微量元素分组比较



图五 早商时期含镍铜器汇总



图六 晚商时期含镍铜器汇总

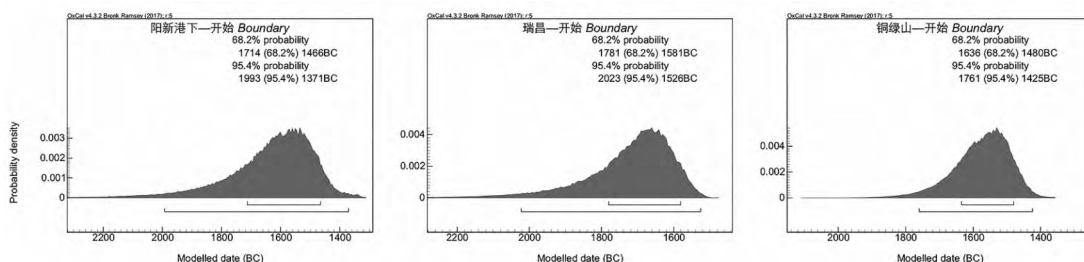
所占比例高者为第4(银)、9(砷-银)和12(砷-锑-银)组。考虑到这三个分组均含有银元素，而银元素或可与铅伴生，因此二里头铜器中的微量银元素或许与铅料有关。

2.合金元素分析

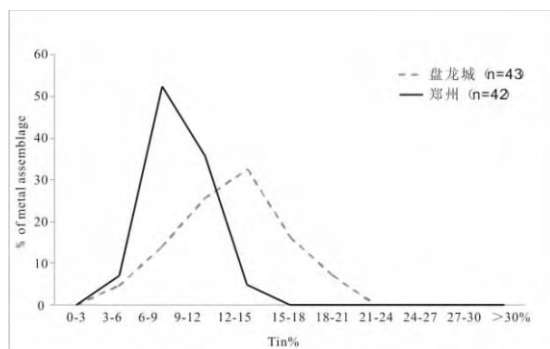
为了对铜器的合金元素进行科学分析 本文运用K-S检验法 (Kolmogorov-Smirnov Test) 比较不同铜器群的合金成分分布状况^[27]，其主要原理是比较两种或两种以上函数分布的累积频率。就青铜器研究来讲，它可以帮助研究

者以定量的方式比较两组铜器群合金元素含量的密度分布。传统的柱状图能够让研究者通过肉眼判断两组青铜器在合金含量上是否存在差别，但这些差别有时是由于分析数据过少造成的 运用K-S检验则可以让学者通过严格的数学计算来判断两组青铜器群合金元素分布中所呈现的不同是否具有统计学意义。

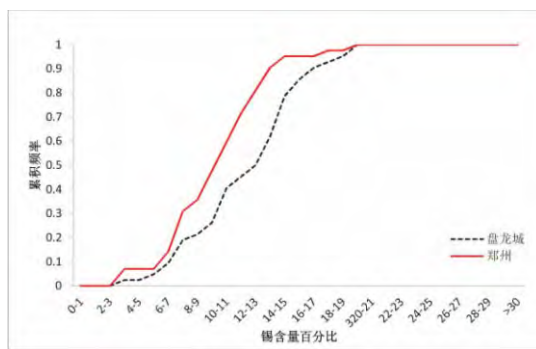
图八是传统的柱状图表示方法，可以看出盘龙城青铜器群锡元素含量明显高于郑州



图七 利用Oxcal边界算法计算长江流域部分古铜矿始用年代



图八 郑、盘两地铜容器锡元素含量分布比较



图九 郑、盘两地铜容器锡元素分布的K-S检验

铜器群。这一差别在K-S作图(图九)中更加直观,两组铜器群含锡量的最大观测差为0.309,大于95%置信度下的临界值0.295。这表明两遗址出土铜器锡元素含量不一致,这一现象是具有很强的统计意义的,而非样品量过小导致的,所以就锡元素而言,它的用法在郑、盘两地制作铜器的过程中存在显著的差异。

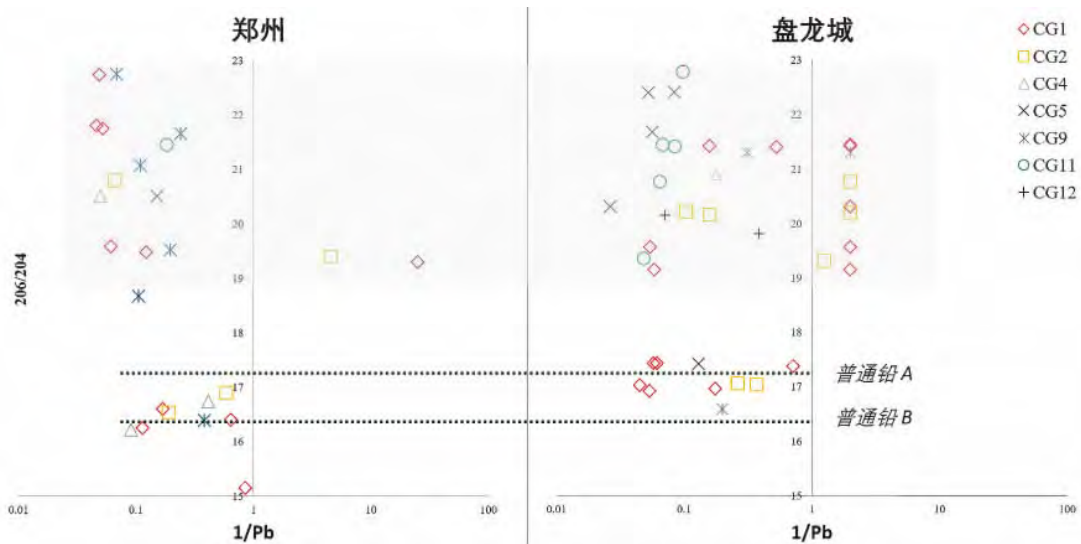
由于锡矿的匮乏性,我们倾向于认为在制作青铜器过程中影响锡料添加量的因素之一是获取锡料的难易程度,其他因素当然也会影响锡的使用,例如所需青铜成品的硬度、颜色等。这里本文的一个基本假设是,工匠在比较容易获得锡料的情况下才会有能力在合金化过程中加入更多的锡。获取锡料的难易程度或许与锡矿的远近距离有关,亦或是与贮存锡料的金属次级生产中心的交流有关。盘龙城铜容器含锡量较高这一现象暗示盘龙城贵族获取锡原料的途径比郑州更加容易。

地质调查表明,我国锡矿大多分布于长江以南^[28],涉及到商代的地区包括安徽、湖北、湖南和江西。从目前发表的资料来看,江西德

安应该是距中原或者盘龙城最近的锡矿点。盘龙城铜器中较高的锡含量或许正是因为它距离南方锡矿更近、更容易获取锡料,这也暗示着盘龙城在向中原输送铜料的同时也可能涉及锡料的供应^[29]。

3. 铅同位素

对于铅同位素,本文选取将一种铅同位素比值和所对应器物铅含量的倒数进行相互比对的作图方式,这种作图法有两方面的优势:一是可以将每一件铜器的铅含量清楚地表示出来,这一点对于研究中国青铜器具有重要意义,由于其铅含量高低不一,研究者仅观察铅同位素数据很难判断其代表的究竟是铅料还是铜料;二是在这种作图方式下,如果铜器中的铅来自不同的铅矿,或者是由铜料本身中的铅和合金铅混合而成的,图中会出现一条混熔线^[30]。另外,实际存在三种铅同位素比值($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$),在研究过程中我们对每一种都做过同样的分析,结果一致,所以在文中仅放入一种铅同位素($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)作为例证。



图一〇 结合微量元素分组、铅同位素和铅含量比较郑、盘两地青铜器

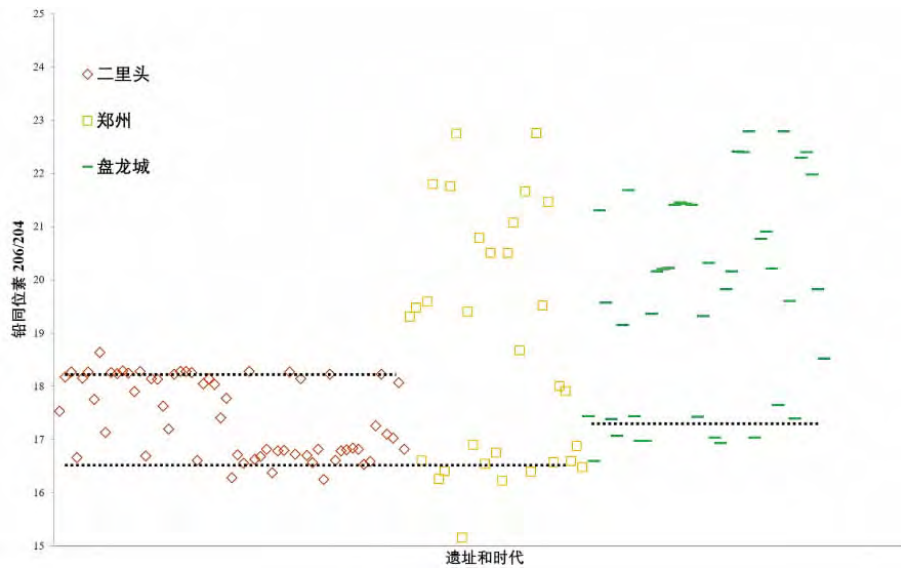
基于这一种数据表达方式,重新将郑、盘两地青铜器的相关数据进行归纳总结(图一〇)。可以明显看出,高放铅和普通铅在郑州和盘龙城的青铜器中都占据相当数量。大量青铜器的铅同位素比值($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)在19~23之间,正好对应高放铅的范围,并且,这种高放铅的比值在郑、盘两地铜器群中并无明显区别。但是,郑、盘两组铜器群的普通铅情况却相差甚大。盘龙城大部分铜器的铅同位素比值高于17(普通铅A组),但郑州铜器的铅同位素比值则多在17以下(普通铅B组),这一差别表明郑盘两地普通铅的来源或许存在不同。另一个值得注意的现象是,从目前的数据来看,不同的铜器分组与不同的铅料之间并不存在特定的关联(图一〇)。这暗示出铅料的选取添加是随机的,而并不是特定种类的铅料一定要与特定种类的铜料进行合金配比。

上述铅同位素的作图方式需要器物的分析数据中同时包括铅同位素和铅含量两种数据类型,但在实际情况中,往往很难大量收集到这样的分析数据。因此,我们对上述作图方式进行了简化,仍将一种铅同位素比值作为纵轴信息,而将横轴改为考古信息模块,例如

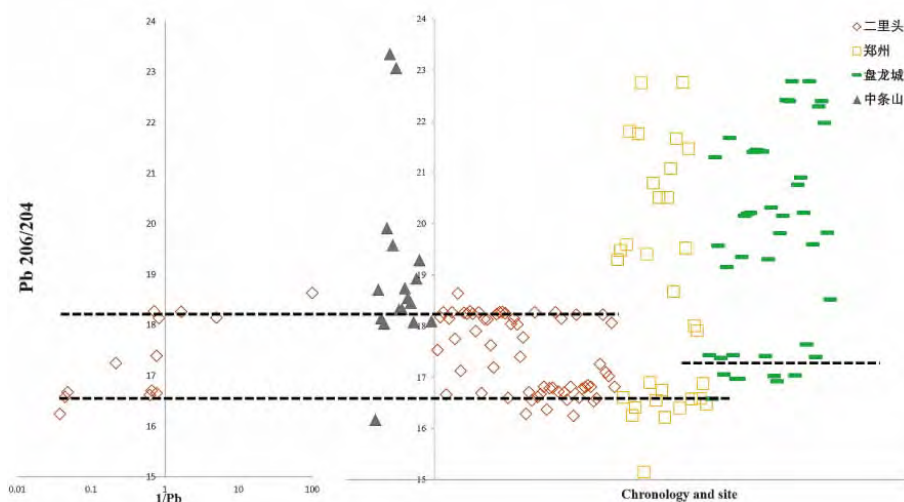
不同的时代、遗址或者器物类型等。若以时代作为横轴,可以让研究者清晰地看到铅矿源随时代而产生的变化。

根据简化的作图方式,图一一归纳总结了目前已知的二里头、郑州和盘龙城出土铜器所有的铅同位素比值(包括铅含量未知的铜器)。与相比图一〇,图一一的数据量更大,也更具有代表性。可以明显地看到,铅同位素约在16.5的铜器大量出现在二里头和郑州两遗址中,却不见于盘龙城;与之相反,铅同位素比值约为17.5的铜器基本都出在盘龙城。所以,我们倾向于认为郑州、盘龙城两地所使用的普通铅产地不尽相同,同时盘龙城所用的金属原料也未必与郑州完全一致。

另外,二里头铅同位素集中于18.25左右的部分则可能代表该遗址青铜器第二个铅源,而这一铅同位素数据集中情况没有出现在二里冈时期的郑、盘铜器中(图一一)。众所周知,中国青铜时代广泛使用铅青铜,尤其是在二里冈时期之后,但铅在二里头青铜器中的使用相对较少^[31]。因此,图一一中的两条水平线(16.5和18.25)也有可能指代的是两种不同的合金传统:一个是铅作为一种合金元素人为添加至铜料当中,因而铅同位素比值表



图一一 二里头、郑州、盘龙城铜器铅同位素比值比较



图一二 二里头、中条山、郑州和盘龙城铅同位素汇总比较

征的是铅料本身；另一种是铜器中的铅元素为铜料的伴生元素，其铅同位素比值依然指示铜料。

目前，二里头铜器中同时具有铅同位素和铅含量的数据较少，图一二将已测量数据的器物按照上述作图方法进行分析。可以看出，二里头含铅量在1%以下的器物的铅同位素比值(18.25)与含铅量高于1%的器物的铅同位素比值(16.5)有着显著差别。这为之前所提到的二里头铅同位素两条水平线代表两种

不同合金传统的论述提供了进一步支持。

如果我们参考中条山黄铜矿铅同位素比值^[32]，会发现上述数据特征更加有趣，虽然目前还没有收集到中条山铅矿的铅同位素数据，但根据目前已有的数据，我们还是可以提出两点假想：(1) 二里头出现的铅同位素在16.5左右的样品应该代表的是来自中条山的铜矿；(2) 从二里头向二里冈时期过渡的过程中，金属资源供应网络中出现了重要的变化：二里头所依赖的部分铜料在二里冈时期不再

被使用,亦或是二里头所使用的铜料在二里冈时期仍继续使用,但是在合金化过程中其原有的铅同位素信号被新添加的铅料所覆盖。

二里头至二里冈过渡时期的另一个重要变化是出现了新的铅料供应,即众所周知的高放铅。虽然目前还不能完全确定这种铅料的来源地,但在盘龙城、郑州两地同时发现具有此类铅同位素比值实则意义重大。可以确定的是,自商代二里冈到殷墟时期,这种铅料在中国青铜时代被广泛使用,对探究金属资源流通有着重要的指示意义^[33]。

四、结论

毫无疑问,在进行冶铸活动的一开始,盘龙城便选择接受郑州商城所使用的成套铜容器以及相关的纹样风格和铸造技术,这一选择凸显出郑、盘两地在社会政治上的紧密联系^[34]。但同时从器物层面讲,例如器物的类型和铜器的铸造方式,盘龙城的高等级墓葬又出土了诸多不见于同时期商遗址的器物^[35],例如金器或是新发现的觚型容器、青铜饰件等^[36]。

结合牛津研究体系和已发表数据,本文揭示出郑州与盘龙城出土铜器在化学成分和铅同位素上的一系列相似与差异,这为今后进一步加深对两个遗址在考古和金属原料配置方面的理解提供了新的视角。虽然目前已发表的数据较为有限,但我们依然可以清楚地看到,郑、盘两地所使用的金属原料是有区别的。通过比较两地铜器分组的情况,我们首先发现含镍铜料多出现于盘龙城而很少见于郑州,所以郑州和盘龙城之间的铜料交流或许比之前想象得更为复杂;其次,通过对锡元素的讨论,本文指出郑、盘两地在锡料的获取以及利用方面存在不同,整体来讲,盘龙城青铜器锡元素含量要高于郑州青铜器;第三,郑州和盘龙城普通铅的铅同位素比值也存在明显差异。

从锡元素的分布和距离锡矿的远近程度来看,盘龙城较郑州似乎更容易获取锡料。如

此一来,建立和发展盘龙城背后的动力是否与获取南方丰富的锡料有关?锡是制作青铜器必不可少的原料,其需求自然十分巨大。包括在北方边地在内,目前尚未发现比长江流域更加靠近中原地区的锡矿。盘龙城的建立是否是商人南下、南北互通背后的另一个重要驱动力?

在金属流通这一层面来看,郑盘两地在共享部分金属资源供应网络的基础上,同样有可能各自拥有其独立的金属(铜、铅)来源。故可以推断,盘龙城应存在本地青铜生产体系。通过重新比较分析铜器化学成为与铅同位素组成,本文发现了一系列启发性的线索,未来则需要更多的分析数据结合实际器物与考古学背景对其逐一验证。

附记:本文是我们正在进行的一个课题的一部分,尚不完善。该研究得益于欧洲研究委员会项目基金(1300505 FLAME)、牛津大学PAG科伦拉登全额博士奖学金(PAG-Clarendon Scholarship)和牛津中国奖学金(China Oxford Scholarship Fund)的资助。牛津大学考古实验室Peter Bray、Chris Doherty以及北京大学考古文博学院陈建立教授为本项研究提出了宝贵的意见,武汉大学历史学院陈丽新和苏昕在百忙之中带我们参观考察盘龙城遗址并介绍最新的考古进展。特别感谢牛津大学Barry Cunliffe爵士和剑桥李约瑟研究所梅建军教授在本文作者博士论文答辩中给予的极大帮助和深刻启发。

注释:

[1]BAGLEY, R.W. 1977. P'an-lung-ch'eng: A Shang city in Hupei. *ArtibusAsiae* 39: 165-219; BAGLEY, R.W. 1987. *Shang ritual bronzes in the Arthur M. Sackler Collections*. Arthur M. Sackler Foundation; BAGLEY, R.W. 1999. *Shang archaeology in E.L. SHAUGHNESSY & M. LOEWE (eds.) The Cambridge History of Ancient China: From the Origins of Civilization to 221 B.C.: 124-231*. Cambridge: Cambridge University Press; 高大伦:《论盘龙城遗址的性质与作用》,《江汉考古》1985年第1期;李伯谦:《长江文明流域的进程》,《考古与文物》1997年第4期;中国社会科学院考古研究所:《中国考古学-夏商卷》,科学出版社,2003年,第200页;张昌平:《夏商时期中原与长江中游地区的文化联系》,《华夏考古》2006年第3期。

[2]江鸿:《盘龙城与商朝的南土》,《文物》1976年第2期;李学勤:《龙城与商朝的南土》,《盘龙城:1963~1994年考古发掘报告》,文物出版社,2001年,第650~655页;刘莉、陈星灿:《城:夏商时期对自然资源的控制问题》,《东南文物》2000年第3期;湖北省文物考古研究所:《盘龙城:1963~1994年考古发掘报告》,文物出版社,2001年,第502~504页;刘莉、陈星灿:《中国早期国家的形成——从二里头和二里冈时期的中心与边缘之间的关系谈起》,《古代文明》第1卷,文物出版社,2002年。

[3]马克·波拉德等:《利用牛津研究体系深化对中国青铜器的认识》,《考古》2017年第1期; POLLARD, A.M., BRAY, P., HOMMEL, P., HSU, Y.-K., LIU, R. & RAWSON, J. in press. Bronze Age metal circulation in China. *Antiquity*; BRAY, P., CUENOD, A., GOSDEN, C., HOMMEL, P., LIU, R. & POLLARD, A.M. 2015. Form and flow: the 'karmic cycle' of copper. *Journal of Archaeological Science* 56: 202-209.

[4]ZHANG, C. 2014. Erligang a perspective from Panlongcheng, in K. STEINKE & D.C.Y. CHING (eds.) *Art and Archaeology of the Erligang Civilization*: 51-63. Princeton: Princeton University Press.

[5]河南省文物考古研究所:《郑州商城》,文物出版社,2001年,第307~383页。

[6]金正耀:《中国铅同位素考古》,中国科学技术大学出版社,2008年,第26页。

[7]张昌平:《湖北黄陂盘龙城遗址又获重大发现》,《中国文物报》2016年4月8日第3版。

[8]韩用祥:《盘龙城遗址首次发现铸造遗物及遗迹》,《江汉考古》2016年第2期。

[9]同[7]

[10]南普恒等:《湖北盘龙城出土部分商代青铜器铸造地的分析》,《文物》2008年第8期。

[11]陈建立等:《盘龙城遗址出土铜器的微量元素分析报告》,《盘龙城:1963~1994年考古发掘报告》,北京文物出版社,2001年,第559~73页。

[12]彭子成等:《盘龙城商代青铜器铅同位素示踪研究》,《盘龙城:1963~1949年考古发掘报告》,文物出版社,2001年,第552~558页;孙淑云等:《盘龙城出土青铜器的铅同位素比测定报告》,《盘龙城:1963~1994年考古发掘报告》,文物出版社,2001年,第545~551页。

[13]同[3]

[14]LIU, R., BRAY, P., POLLARD, A.M. & HOMMEL, P. 2015. Chemical Analysis of Ancient Chinese Copper-based Objects: Past, Present and Future. *Archaeological Research in Asia* 3: 1-8.

[15]同[11]

[16]田建花:《郑州地区出土二里冈期铜器研究》,中国科学技术大学博士论文,2013年,第79~86页。

[17]同[16]

[18]同[3]

[19]LIGHTFOOT, P.C. & EVANS-LAMSWOOD, D. 2015. Structural Controls on the Primary Distribution of Mafic-ultramafic Intrusions Containing Ni-Cu-Co (PGE)

Sulfide Mineralization in the Roots of Large Igneous Provinces. *Ore Geology Reviews* 64: 354-386.

[20]陈坤龙:《陕西汉中出土商代铜器的科学分析与制作技术研究》,北京科学技术大学博士论文,2009年,第104~108页;CHEN, K., REHREN, T., MEI, J. & ZHAO, C. 2009. Special Alloys from Remote Frontiers of the Shang Kingdom: Scientific Study of the Hanzhong Bronzes from Southwest Shaanxi, China. *Journal of Archaeological Science* 36: 2108-2118; MEI, J., CHEN, K. & CAO, W. 2009. Scientific Examination of Shang-dynasty Bronzes from Hanzhong, Shaanxi Province, China. *Journal of Archaeological Science* 36: 1881-1891.

[21]同[1][2]

[22]刘诗中、卢本珊:《江西铜岭铜矿遗址的发掘与研究》,《考古学报》1998年第4期;李延祥:《中原与北方地区早期青铜器产业格局的初步探索》,《中国文物报》,2014年2月28日。

[23]夏鼐、殷玮璋:《湖北铜绿山古铜矿》,《考古学报》1982年第1期;黄石博物馆:《铜绿山古矿冶遗址》,文物出版社,第118、192页;刘诗中、卢本珊:《江西铜岭铜矿遗址的发掘与研究》,《考古学报》1998年第4期;港下古铜矿遗址发掘小组:《湖北阳新港下古铜矿并遗址发掘简报》,《考古》1988年第1期。

[24]BRONK RAMSEY, C. 1994. Analysis of Chronological Information and Radiocarbon Calibration: the Program OxCal. *Archaeological Computing Newsletter* 41: 11-16; BRONK RAMSEY, C. 1998. Probability and Dating. *Radiocarbon* 40: 461-474.

[25]同[3]

[26]金正耀:《中国铅同位素考古》,中国科技大学出版社,第4页。

[27]K-S检测法的具体步骤请参见 https://daithiocruaolaoich.github.io/kolmogorov_smirnov/.

[28]陈郑辉等:《中国锡矿成矿规律概要》,《地质学报》2015年第6期。

[29]LIU, L. & CHEN, X. 2009. *State Formation in Early China*. London: Duckworth; 陈光祖:《商代锡料来源初探》,《考古》2012年第6期;易德生:《科技考古视野下的商王朝锡料来源与“金道锡行”》,《中国社会科学》2013年第5期。

[30]马克·波拉德等:《利用牛津研究体系深化对中国青铜器的认识》,《考古》2017年第1期。

[31]中国社会科学院考古研究所:《二里头:1999~2006》,文物出版社,2014年,第1515~1518页。

[32]徐文忻等:《中条山铜矿床同位素地球化学研究》,《地球学报》2005年增刊。

[33]JIN, Z. 1987. Sources of Metals for the Bronze Production in the Central Plain during the Late Shang Period, in Z. JIN (ed.) *Lead Isotope Archaeology in China*: 292-302. Hefei, China: Press of University of Science and Technology, China; SUN, W., ZHANG, L., GUO, J., LI, C., JIANG, Y., ZARTMAN, R.E. & ZHANG, Z. 2016. Origin of the Mysterious Yin-Shang Bronzes in China Indicated by

Lead Isotopes. *Nature Scientific Reports* 6: 1–9; JIN, Z., LIU, R., RAWSON, J. & POLLARD, A.M. in press. Revisiting Lead Isotope Data in Shang and Western Zhou Bronzes, *Antiquity*.

[34]张昌平:《夏商时期中原与长江中游地区的文化联系》《华夏考古》2006年第3期;罗森:《商代中国南方地

区与河南的联系》《中国古代的艺术与文化》,北京大学出版社,2002年。

[35]张昌平:《盘龙城商代青铜容器的初步考察》《江汉考古》2003年第1期。

[36]张昌平:《湖北黄陂盘龙城遗址又获重大发现》,《中国文物报》2016年4月8日。

Revisiting the movement of metal between Zhengzhou and Panlongcheng in early Bronze Age China

Liu Ruiliang A. M. Pollard

Jessica Rawson Tang Xiaojia

(UK Oxford OX1 2PG)

Zhang Changping(HubeiWuhan 430072)

Abstract: The movement of metal in Bronze Age China is the subject of much debate, in which a particularly important site is Panlongcheng. Considering the rich metal deposits in this area, it has been widely accepted that the major function of Panlongcheng was to ship metal to Zhengzhou. The central objective of this paper is to revisit this discussion through combining the legacy scientific data and the Oxford system. A series of differences and similarities in the chemical and isotopic compositions of metal objects at Panlongcheng and Zhengzhou have been identified, suggesting a more complex model of communication between these two places than previously thought. In this light, Panlongcheng appears more likely to have its own metal production system. The other impetus driving Zhengzhou people to the south was probably tin.

Keywords: Metal movement, Oxford system, Panlongcheng, Zhengzhou, Chemical composition, Lead isotopes, Communication

(责任编辑、校对: 陈丽新)