

# “微量元素分组法”的验证与应用

黎海超 崔剑锋 陈建立 徐天进

(四川 成都 610065) (北京 100871)

**摘要:**近年来,牛津大学考古与艺术史实验室提出微量元素分组的方法研究铜器原料的流通。本文简要介绍了该方法的原理,并以前掌大、叶家山、郑州商城、城洋等地铜器数据为例对该方法的可行性进行验证。结果表明铜器的考古学背景与微量分组之间可以准确对应。基于研究实践,文章还概括了该方法在中国古代青铜器研究中的应用方向。

**关键词:**微量元素分组法;原理;验证;应用

中图分类号:K854.2

文献识别号:A

文章编号:1001-0327(2020)02-0103-07

青铜器的研究包含多个层次,不仅需关注“形”“工”的特征,也要注重“料”的研究。目前应用于商周铜器金属原料的研究方法主要包括铅同位素分析和微量元素分析两种,各有优劣。铅同位素分析方法会受到铜、铅、锡元素混合效应等因素的影响,但一般认为铅青铜的铅同位素数据主要指征的是铅料来源,因此以该方法讨论铅料来源更为适宜。以微量元素分析方法讨论铜器原料来源由来已久,国内外学者均有涉及<sup>[1]</sup>。但由于微量元素在冶炼、铸造、后期加工等过程中复杂多变等原因,微量元素分析方法在中国并未有过多应用。近年来,牛津大学考古与艺术史实验室的彼得·布睿(Peter Bray)与马克·波拉德(Mark Pollard)通过一系列的实验和研究提出了一套新的研究方法—微量元素分组法(Copper Groups),致力于铜料的研究<sup>[2]</sup>。事实上,微量元素分组法只是牛津大学冶金考古团队提出的“牛津研究体系”(Oxford system)中的部分内容。“牛津研究体系”是基于微量元素、主量元素以及铅同位素数据以新的数据处理方式讨论各类铜合金器物及其原料的流通。马克·波拉德、刘睿良等已对该研究体

系有详细论述,并取得了若干重要成果<sup>[3]</sup>。我们引用微量元素分组方法结合铅同位素等其他方法开展了一些个案研究<sup>[4]</sup>,认为以充分的考古学分析为前提,微量元素分组的方法在中国有较大的应用空间。本文基于我们以往的研究实践,对该方法的可行性及应用方向提出初步看法。

## 一、基本原理

微量元素分组法是利用砷、锑、银、镍四种元素在铜器中的有无(以0.1%为界进行区分),建立16个不同的微量元素小组(表一)。如第1组为NNNN,代表砷、锑、银、镍四种元素均无(Y为Yes, N为No)。第2组为YNNN,代表四种元素中仅有砷元素。这些铜器分组本仅仅是微量元素的特定组合,不具有任何考古学意义。但分组的作用是为跨区域、跨年度的铜器数据建立统一的对比平台。进一步归纳不同铜器分组的比重在时代、地域上的变化规律,结合考古学的相关线索,便有可能重现当时的铜器生产和流通体系。马克·波拉德等已发表论文对微量元素分组方法的原理进行详细介绍,本文不再赘述<sup>[5]</sup>。

**作者:**黎海超,四川大学历史文化学院;崔剑锋、陈建立、徐天进,北京大学考古文博学院。

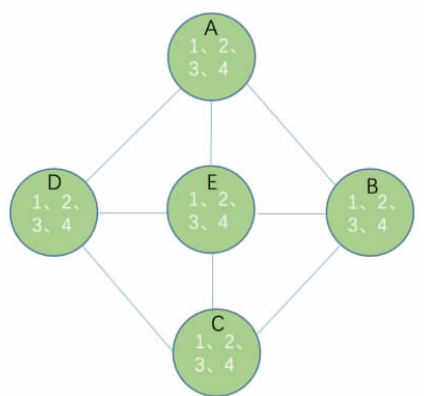
表一 微量元素分组表(元素顺序为砷、锑、银、镍,Y代表有,N代表无)

1	NNNN	9	YNYN
2	YNNN	10	NYNY
3	NYNN	11	YNNY
4	NNYN	12	YYYN
5	NNNY	13	NYYY
6	YYNN	14	YYNY
7	NYYN	15	YNYN
8	NNYY	16	YYYY

该方法的基本思路之一是通过分组的不同和相同来讨论不同区域铜器的关系。那么铜器分组所代表的含义是首先需要明确的。从普遍意义而言,没有考古学背景的单个分组无法进行有效解读。难以将分组数据与矿料来源作直接的对应。就单一地点的铜器分组数据而言,我们认为不同分组的含义可以指向不同批次、类型的原料。

单一的“组”的概念能提供的信息十分有限,因此我们主张利用不同微量小组间“组合”的概念来讨论问题。假设我们建立起某一时段内涵盖各个区域铜器数据的微量元素数据库,发现A、B、C、D、E五个不同区域的铜器数据均为1、2、3、4四个小组的固定组合,那么基本可以判断以上五个区域的铜器使用的原料来源应当是相同的(图一)。因为四类不同类型的原料形成固定组合,规律性的出现在多个区域,其为偶然巧合的几率是极低的,这种规律当是特定的考古学文化现象的反映。因此我们利用微量元素数据进行分组只是研究中的第一步。在全面建立同一时段的微量元素数据库后,关注不同区域铜器微量元素小组间的“组合”特征,并进行区域间的对比更为重要。

与大多数自然科学方法一样,微量元素分组法也有其局限所在,在不同地区和环境下发挥的作用也不一致。首先,微量元素分组法不能排除矿山重叠效应的影响。重叠效应



图一 不同微量元素小组的组合特征

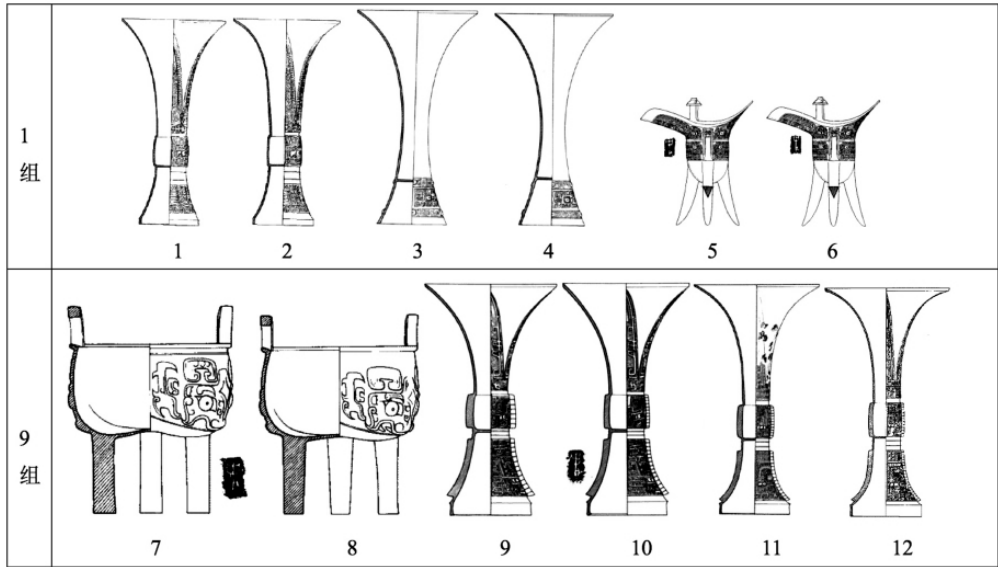
也是进行矿料溯源研究中普遍遇到的一个问题。一般来说不同区域的矿床由于成矿条件的差异会表现出特定的微量元素特征,但事实上不同区域矿床具有相同元素特征的情况也并不罕见。单纯讨论某一地点的铜器数据,很难排除重叠效应的影响。解决这一问题的主要方法便是关注不同微量小组规律性出现的“组合”特征。以区域间微量小组“组合”的异同来讨论问题,可以排除单一小组造成的重叠效应。

其次,由于商周铜器多添加铅、锡,微量元素分组法会受到铜、铅、锡原料混合效应的影响。一般认为锡矿矿藏较为纯净,矿藏中的其他杂质元素较少。但铅矿则可能伴生其他元素。在这种情况下,明确微量元素小组指征的原料类型是较为重要的问题。解决这一问题的方法之一是分类讨论铜、铅、锡含量与微量元素小组间的关系。

尽管微量元素分组法存在一些局限性,但可设计相应的方法予以解决或降低影响。在该方法的具体应用中,也当针对性的选择研究问题,以扬长避短。

## 二、考古学验证

该方法应用于考古学研究是否可靠是需要讨论的问题。这里我们根据背景信息明确的铜器进行反向验证。微量元素分组代表原料类型,理论上讲同一生产批次的铜器应当



图二 前掌大成对铜器与微量元素分组对应图


1~4. 觚 (M11:100、M11:105、M120:22、M120:13) 5、6. 爵 (M120:15、M120:17) 7、8. 鼎 (M11:88、M11:89) 9~12. 觚 (M38:59、M38:67、M38:68、M128:4)

使用相同原料,属于相同的微量元素小组;同一产地的铜器即便出现在远离原产地的其他区域,其微量元素小组的组合特征也应与原产地铜器相同。对微量元素分组法的验证也依照这两个层次展开。我们一方面选取生产批次明确的铜器与微量元素分组进行对应,另一方面选取明确属于跨区域流通的铜器,将其与原产地的铜器数据进行对比。

#### (1) 生产批次与微量元素分组的对应

一般认为,形制、纹饰、大小、铸造特征等细节因素完全相同的铜器极有可能是同一批次的产品。另外即便器类不同,但风格类似,铭文内容、字体、款行完全一致的成套铜器也可被认为是同批次的产品。同批次铜器的微量元素分组极可能是相同的。循此思路,首先选取前掌大墓地出土的若干成对铜器进行验证。该墓地出土的230余件铜器发表了成分分析数据<sup>[6]</sup>,为研究提供了数据基础。本文所选的4对觚、1对爵、1对鼎均是形制、大小、纹饰完全相同的成对铜器。微量元素分组研究显示以上成对铜器均属于相同的微量元素小组,铜器批次与分组可以相互对应(图二)。

西周早期的叶家山墓地出土有多套铭文相同的铜器,张昌平等从考古背景出发对这些铭文铜器做了详尽分析<sup>[7]</sup>,郁永彬等对叶家山铜器做了较为全面的科技分析工作<sup>[8]</sup>。综合以上研究成果,我们进一步以ICP-AES方法测定了叶家山墓地部分铜器的微量元素成分,并进行微量元素分组研究。以各类曾侯铭文铜器为例对微量元素分组法进行验证。墓地出土的多件“曾侯谏作媿”铜器风格大体一致。根据铭文内容、字体、款行判断,可知卣、尊、簋的铭文几乎完全相同,当属同批次产品,微量元素分组显示3件铜器均属第3组;另有1件壶和1件觚的铭文内容或字体各有差异,微量元素分组则分属1组和12组(图三)。叶家山出土的“曾侯谏”铭文铜器包括鼎、簋、盘等16件,风格相同,铭文内容、字体、款行完全一致,当是同批铸造。对其中3件铜器进行微量元素分组研究,结果表明3件铜器均属于6组(图三)。另外,2件“曾侯猷”铜簋的形制、纹饰、铭文完全相同,微量元素分组均为1组(图三)。类似的对应案例还有不少,此不赘述,可见微量元素分组结果与铜器的批次可

曾侯 谏作 媿铭 文					
	卣 (M28:167)	尊 (M28:174)	簋 (M2:9)	壶 (M28:178)	甗 (M2:1)
分组	3	3	3	1	12
曾侯 谏铭 文					
	鼎 (M65:44)	簋 (M65:49)	盘 (M28:163)		
分组	6	6	6		
曾侯 谏铜 簋					
	簋 (M111:60)	簋 (M111:59)			
分组	1	1			

图三 叶家山铭文铜器与微量元素分组对应图

以准确对应。

(2) 跨区域流通铜器与原产地铜器的数据对应

具有同一产地的铜器其所用原料往往是相同的。这种相同并不一定局限于某个组的原料的一致，更可能表现为不同微量元素小组间“组合”的一致。假设A地区的铜器固定使用1、2、3、4四组不同的原料，当在B地区发现明确产于A地区的铜器时，这些铜器的微量元素组别也应在1、2、3、4四个小组的范畴内。以城洋铜器群中的典型商式铜器为例可对这一问题进行说明。中原地区商时期的铜器成分数据已发表不少，另外陈坤龙、梅建军等对城洋铜器群也做了系统的科学研究<sup>[9]</sup>，以下微量元素分组研究所用数据即以此为基础。

对早、中商时期郑州商城铜器的微量元素分组研究表明铜器集中使用了1、2、4、9共四个组别的原料。远在汉中的城洋铜器群中也发现一些中商时期铜器。其中大部分铜容器如鼎、觚、提梁卣等纹饰、造型、铸造特征与中原地区铜器如出一辙，可以判断为中原地区的直接传播品。微量元素分组研究表明这些铜器主要分布在1、2、4组，与郑州商城铜器原料类型一致(图四,1~7)。我们对中原地区晚商时期铜器也进行了微量元素分组研究，结果表明商文化区域内流行使用1、2、9、12四个小组的原料。城洋晚商时期铜器中甗、斝的纹饰、形制与殷墟铜器完全一致，当是直接来自于中原地区，其微量元素分组分别属于1、9组，符合中原地区铜器所用的原料类型(图

四,8~10)。可见以上城洋铜器群中的商式铜器所用的原料均与典型中原铜器所用原料相同。跨区域流通的铜器与原产地铜器的微量元素分组数据可以完全对应。以上分析表明，微量元素分组法的分析结果与铜器批次、铜器产地均可准确对应，该方法在中国古代青铜器的研究中具有可行性。

### 三、微量元素分组法的应用

以上分析表明微量元素分组法在中国古代青铜器的研究中是值得尝试的。就具体的研究问题而言，我们初步概括为以下五个方面：

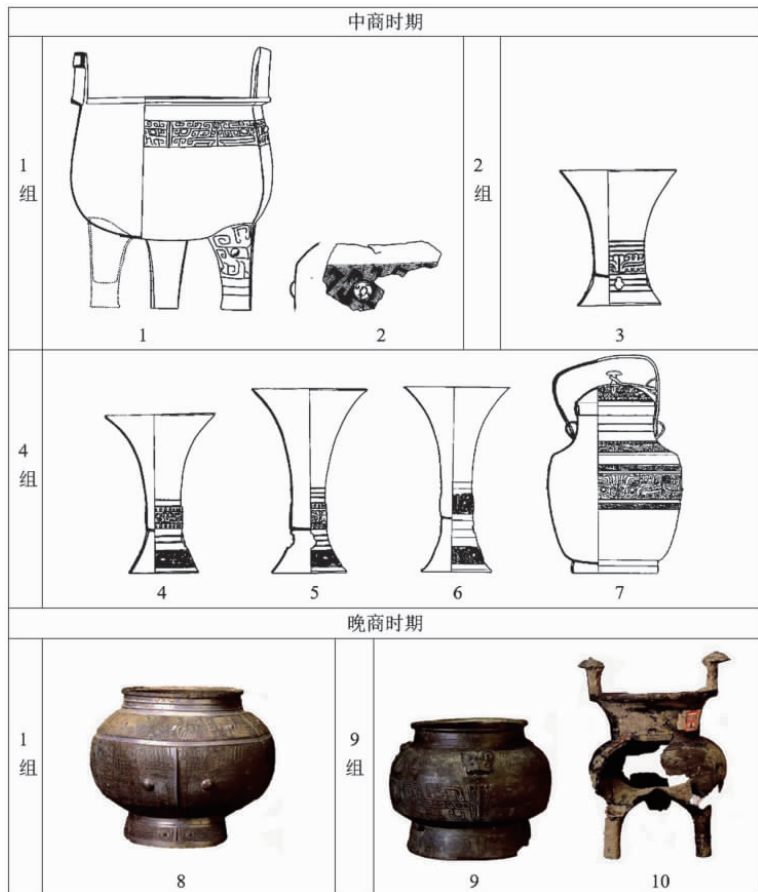
1. 铜器的生产和流通体系。目前商周时期的铜器生产、流通体系尚不明晰。中心都邑具备铜器生产能力已是共识，但地方中心如西



周诸侯国是否普遍独立生产铜器仍不明确。这些问题仅依据考古材料无法解决。综合铜器的考古学分析方法与微量元素分组法,做到“形”“工”“料”结合的研究,则有可能复原铜器的生产、流通体系。

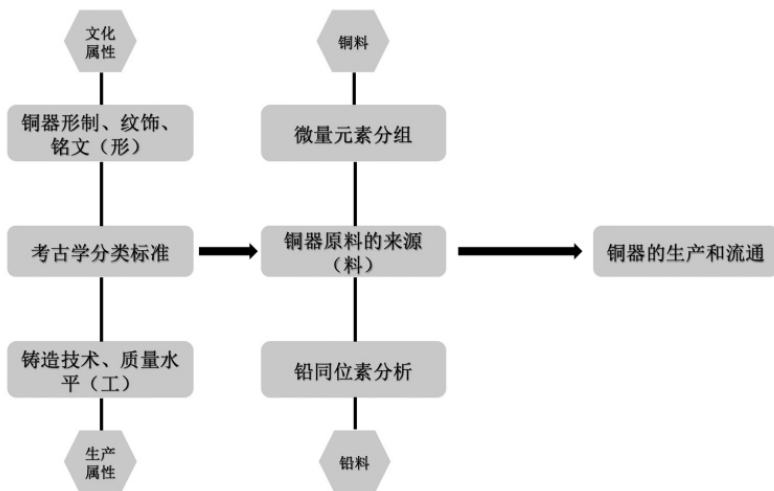
具体来说,我们的基本思路是首先建立铜器的考古学分类标准,这包括依据铜器形制、纹饰、铭文建立反映铜器文化属性(“形”)的标准,以及依据铜器铸造技术特征和质量水平建立反映生产属性(“工”)的标准(图五)。在所建立的考古学分类标准之上,再利用科技手段讨论不同类别铜器所用原料的异同。这包括以微量元素分组法主要讨论铜料特征,以铅同位素分析方法主要讨论铅料特征(图五)。由此可知铜器类别与所用原料特征的对应关系,从而对铜器的生产地点进行判断。进一步结合其他区域的数据进行对比,关注区域间微量元素小组“组合”的关系,则有望全面复原铜器的生产、流通体系。

2. 铜器的生产模式。商周时期铜器的生产模式是以往关注较少的问题。一般来说,手工业生产会遵循以生产效率为本的原则,但商周时期的青铜容器具有礼制涵义,是否会



图四 城洋地区商式铜器微量元素分组

1. 鼎(2004CHLTT:2) 2、8、9. 甗(2004CHLTT:4、1990YMAT:1、1973CHLHT:1) 3~6. 觚(1980CHLTT:10、1980CHLTT:8、1980CHLTT:9、1981CHLTT:7) 7. 提梁卣(1980CHLTT:4) 10. 斝(1981YZHCT:4)



图五 铜器生产、流通研究思路图

出于对铜器视觉效果追求而采取不计工料的原则?兵器等小件铜器铸造技术要求低,器形较小,是否采用了批量化生产的模式?在铜器分铸、焊接技术较为流行的时期,是否存在部件批量化生产再进行组装的流水化作业?这些问题在以往商周铜器的研究中关注较少。微量元素分组法可有效判断铜器所用原料的异同,从而可推断生产批次。因此可针对性的设计一些方法来讨论铜器的生产模式。如讨论车马器的生产模式,可以选取同一单位出土的、形制相同的多件车马器进行科技分析。再选取成套车马器中的不同构件进行分析,则可知车马器是按照功能组合生产还是按照器类进行生产。

3.铜器组合方式的研究。以往研究铜器组合往往关注铜器器类间的固定关系,而对铜器来源关注较少。事实上,构成组合的铜器有不少是各种来源的铜器拼凑而成的。成批生产的成套铜器与拼凑而成的铜器组合显然表达了不同的礼制意义。再者,我们通常讨论的铜器组合绝大多数是墓葬中的组合,实际属于“葬制”的一部分,但铜器在入葬之前还可能以宗庙之制进行组合,两种组合方式有何关联仍待探讨。因此从生产角度着手,讨论铜器组合方式是深入理解铜器礼制的重要内容。比如对于讨论较多的列鼎制度,通常会以形制、纹饰相同,大小相次的列鼎形式体现,大小列鼎似为同批生产。但仔细观察可以发现,一些列鼎组合中的鼎也会有细部差异,是否全部为同批生产有待确认,这就需要引入微量元素分组法对原料类型进行研究。

4.铜器断代研究。商周时期铜器的断代研究向来以铜器形制、纹饰、铭文等作为主要依据,但在某些特定时段,尤其是王朝交替阶段的铜器断代往往较为困难。如商末与周初的大部分铜器形、纹相同,多难分辨,但对类似阶段的铜器进行断代对于研究王朝更替过程中的若干问题又极为重要。在此背景下,我们认为可以将“料”作为断代的标准之一。王朝更替,新王朝的资源来源或有继承前代的情

况,或有因政权变更导致丧失资源来源地的控制而开发新资源的情况。我们对商至西周时期南北各地的铜器进行了系统的微量元素分组研究,认为中原地区部分金属原料的来源在商周之际发生了明显变化。晚商时期中原地区流行使用1、2、9、12四组类型的原料,而西周时期则流行使用1、3、6、12四组类型的原料,其中的差异为商周之际的铜器断代提供了可能性。例如我们对叶家山墓地出土铜器的研究表明,墓地出土的大量带有商铭文、族徽的铜器既有晚商时期生产的也有相当部分可能是西周时期制作的。

5.金属原料的流通。讨论金属原料的流通首先要建立起完整的微量元素数据库。假设我们在某一时段的数据库内发现A地点铜器几乎都使用了1组类型的原料,其他地区虽也见有1组数据,但所占比例较低。这表明A地点的人群很可能掌握了1组原料的来源,由此才能持续、大量的使用同一类型原料。当然金属原料的流通较为复杂,还需综合各类信息进行判断。

以上五类问题仅是我们基于研究实践总结的主要问题,实际研究当不局限于此。对该方法的运用应以具体问题为导向,以充分的考古学分析作为前提条件,同时也要注意结合铅同位素、显微观察等其他方法。引用微量元素数据时,要注意对数据质量进行评估。另外,研究中还需充分考虑商周铜器中的回收、重熔现象。

我们认为对于所有自然科学方法的态度是不寄希望其为万能的解决方案,而是要结合相关方法的优势和缺陷,以考古问题为本位,针对性的设计、利用这些方法。对于微量元素分组法也要取长避短,恰当利用。这一方法也不应成为解读微量元素数据的唯一方法,还可将不同微量元素间的散点图结果与分组结果进行对比。不同解读方法的介入,数据的多元化解释或是理解古代社会的更佳途径。微量元素分组法可以作为一种解读微量元素数据的尝试性方法,并可推广至其他时段的相

关研究中。以“分组”的概念处理科学数据,形成考古学家易于理解的科学“语言”,类似的工作应当在科技考古领域中予以更多关注。

**致谢:** 本文研究得到中国博士后科学基金特别资助项目《先秦两汉四川盆地青铜器生产、流通研究》(项目号:2019T120832)的资助。牛津大学杰西卡·罗森(Jessica Rawson)教授、马克·波拉德(Mark Pollard)教授、刘睿良博士、彼得·布睿(Peter Bray)博士等为笔者的学习和研究提供了诸多支持,特此致谢。

**注释:**

[1]a.魏国峰、秦颖等:《若干古铜矿及其冶炼产物输出方向判别标志的初步研究》,《考古》2009年第1期。

b.魏国峰、秦颖等:《古代铜矿冶炼过程中稀土元素的变化研究》,《中国稀土学报》,2005年第3期。

c.秦颖、魏国峰等:《长江中下游古铜矿及冶炼产物输出方向判别标志初步研究》,《江汉考古》2006年第1期。

d.李清临、朱君孝等:《微量元素示踪古代青铜器铜矿料来源的可行性》,《文物保护与考古科学》2004年第3期。

e.李清临、王然:《微量元素示踪法在青铜器铜料来源研究中的应用与进展》,《江汉考古》2007年第2期。

f.Pearson, G. *Observations on Some Ancient Metallic Arms and Utensils; With Experiments to Determine Their Composition*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Royal Society of London, 1796, pp.395-451.

g.Caley, E. R. Early history and literature of archaeological chemistry. *Journal of Chemical Education*, 1951(28), pp. 64-67.

h.Junghans, S., Sangmeister, E. and Schroöder, M. Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas, *Studien zu den Anfängen der Metallurgie 2*. Berlin: Gebr. Mann, 1968, pp.1-13.

i.Pollard, A. M., Batt, C. and Stern, B., *Analytical chemistry in archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, pp.153-157.

[2]Bray, P. J. and Pollard, A. M., A new interpretative approach to the chemistry of copper-alloy objects: source, recycling and technology. *Antiquity*, 2012(86), pp.853-867.

[3]a.马克·波拉德、彼得·布睿等:《牛津研究体系在中国古代青铜器研究中的应用》,《考古》2017年第1期。

b.Pollard, A. M., Bray, P. J., Hommel, P., Hsu, Y., Liu, R., Rawson, J., Bronze Age metal circulation in China. *Antiq-*

*uity*, 2017(91), pp. 674-687.

c.Liu, R., Pollard, A. M., Rawson, J., Tang, X., Bray, P. J., Zhang, C., Panlongcheng, Zhengzhou and the Movement of Metal in Early Bronze Age China. *Journal of World Prehistory*, 2019(32), pp.393 - 428.

[4]a.黎海超、崔剑锋等:《论强国本地风格铜器的生产问题》,《考古》2020年第1期。

b.黎海超、崔剑锋:《试论晋、楚间的铜料流通》,《考古与文物》,2018年第2期。

c.黎海超:《试论盘龙城遗址的区域性特征》,《南方文物》2016年第1期。

[5]同[3]。

[6]赵春燕:《前掌大墓地出土铜器的化学组成分析与研究》,中国社会科学院考古研究所编《滕州前掌大墓地》,文物出版社,2005年。

[7]张昌平、李雪婷:《叶家山墓地曾国铭文青铜器研究》,《江汉考古》2014年第1期。

[8]a.郁永彬、陈建立等:《关于叶家山青铜器铅同位素比值研究的几个问题》,《南方文物》2016年第1期。

b.郁永彬、陈建立等:《试析西周早期社会工业生产机制——以湖随州叶家山墓地出土铜器为中心》,《文物》2019年第5期。

c.郁永彬:《湖北随州叶家山墓地出土西周青铜器的科学分析研究》,北京科技大学博士学位论文,2015年。

[9]a.Me, J., Chen, K., Cao, W., Scientific Examination of Shang -Dynasty Bronzes from Hanzhong, Shaanxi Province, China. *Journal of Archaeological Science*, 2009 (36), pp. 1881-1891.

b.Chen, K., Rehren, T., Mei, J., Zhao, C., Special Alloys from Remote Frontiers: Scientific Study of the Shang Bronzes from Hanzhong, Southwest Shaanxi. *Journal of Archaeological Science*, 2009(36), pp.2108-2118.

c.陈坤龙、梅建军、赵从苍:《城固宝山遗址出土铜器的科学分析及其相关问题》,《文物》2012年第7期。

d.陈坤龙:《从陕西汉中地区出土铜器的科学分析看商王朝周边地区金属技术的区域性特征》,北京科技大学博士学位论文,2010年。

e.田建花、金正耀等:《郑州二里岗期青铜容器的合金成分研究》,《中原文物》2013年第2期。

f.中国社会科学院考古研究所实验室:《殷墟金属器物成分的测定报告 (一)——妇好墓铜器测定》,《考古学集刊》(2),中国社会科学出版社,1982年。

g.李敏生、黄素英、季连琪:《殷墟金属器物成分的测定报告(二)——殷墟西区铜器和铅器测定》,《考古学集刊》(4),中国社会科学出版社,1984年。

(下转第 102 页)

## **Pattern of Spatial Distribution of Ritual Bronzes in Tombs of the Early Western Zhou Period : With the Yejiashan Cemetery in Suizhou as Case Study**

Yang Bo

(Beijing 100101)

**Abstract:** The pattern of spatial distribution of ritual bronzes in tombs is informative, which could enhance our understanding of the nature and function, as well as the ideas of use, of grave goods. The Yejiashan Cemetery in Suizhou City and the Shigushan Cemetery in Baoji City can serve as excellent examples for demonstrating such distribution pattern of ritual bronzes in tombs in the Zhou's core area and in the vassal states, respectively. Taking into consideration the distribution of ritual bronzes in other Western Zhou tombs published elsewhere, it is proposed that by the Early Western Zhou period the combination and use of food-centered serving vessels had been well established in burial rituals. Regarding their spatial distribution in tombs, three patterning seems noticeable; that is, ritual bronzes were placed where the general categories of grave goods were found; food-serving and wine/water vessels were separated from one another; wine/water vessels were placed together, with food-serving vessels being placed on the two ends (one with wine vessel while the other with water vessel). The first two patterning place a strong emphasis on food, which is a key aspect of the Zhou's culture; by contrast, drinking vessels are central to the last patterning, which may be an indication that the tomb occupants were closely related to the leftover subjects of the Shang Dynasty.

**Keywords:** Yejiashan, the Early Western Zhou Period, ritual bronze, leftover subjects of the Shang Dynasty

(责任编辑、校对: 凡国栋)

---

(上接第 109 页)

## **Verification and Application of 'Copper Groups' Method**

Li Haichao Cui jianfeng Chen jianli Xu tianjing

(Chengdu, Sichuan 610065) (Beijing 100871)

**Abstract:** In recent years, the RLAHA in University of Oxford proposed a "Copper Groups" method to study the circulation of metal material. This paper briefly introduced the principle of the method and used the bronze data of Qianzhangda, Yejiashan, Zhengzhou Shangcheng, Chengyang to verify the feasibility of the method. The results suggest that Copper Groups correspond well with the archaeological background. Furthermore, the paper also discussed the application of this method in the study of Chinese bronzes based on previous studies.

**Keywords:** Copper Groups, Principle, Verification, Application

(责任编辑、校对: 陈丽新)