



# 东周青铜器铅同位素比值的初步研究\*

◆ 张 吉

(北京大学中国考古学研究中心)

◆ 陈建立

**摘 要:** 铅同位素比值能够反映矿料的类型及其空间分布,指示矿料的流通方式,并为准确溯源提供重要的线索和判别标准。将东周时期青铜器铅同位素比值数据按时代、地域分组,可以初步构建青铜器矿料的时空框架。春秋早期青铜器的铅同位素比值高度集中,各地均使用 A 类矿料;春秋中期存在汉淮地区 B 类矿料与中原地区 A 类矿料的对立;春秋晚期至战国早期,中原及周边地区主要使用 C 类矿料。战国中晚期铅同位素比值趋于分散。

**关键词:** 东周; 青铜器; 铅同位素比值

**Abstract:** The lead isotop ratios of bronzes in the Eastern Zhou Dynasty are grouped by age and geography in order to construct the time and space frame of mineral resources. The lead isotope ratios of bronzes in 800~650 B.C. were highly concentrated with Class-A minerals used everywhere. During 650~550 B.C., there was a confrontation between Class-B minerals in the South China and Class-A minerals in the Central China. In 5th Century B.C., Class-C Mineral was widely used in Central China. The lead isotopic ratio in the late Warring States period tended to be scattered. The lead isotope ratios can reflect the type of mineral material and provide important clues for accurate traceability.

**Key words:** Eastern Zhou Dynasty; bronze; lead isotope ratios

铅同位素技术作为科技考古中重要的溯源手段,自上世纪 80 年代初金正耀先生发表中国第一篇关于铅同位素比值考古的文章后,中国考古界在商周青铜器矿料来源方面取得了许多成果。商代及西周早期重要的青铜器群大多有铅同位素比值数据报道,而西周中晚期以降的相关分析工作较少。东周青铜器材料充实,文献丰富,具有诸多研究优势,这一时期青铜器的面貌从统一走向多元,地域性逐渐鲜明,在溯源研究中具有承上启下的独特意义。

目前通过类型学比较,东周时期各区域青铜器皆有较为可靠的相对年代序列;利用器物铭文与文献材料对应,更可将相对年代加上绝对年代的标尺,并将中原、海岱及南方等各文化区的类型学序列连缀起来。春秋中晚期至战国早期的青铜器,组合及形

制变化尤其迅速,纪年器多,器群的断代精度普遍可达 50 年以内。结合考古背景将青铜器按地域、时代属性分组,观察对应铅同位素比值的规律,有助于了解矿料来源随时空的变化规律。在此基础上,将铅同位素比值的相关规律与主次微量元素成分、铸造工艺平行比较,将能得出相当生动的技术发展脉络,若进而同器物形制比对,也许还能够为类型学的变化梳理出可能的导因。

## 一、东周时期青铜业遗存的铅同位素比值研究简况

### 1、青铜器

整理目前所见的东周青铜器铅同位素比值数据,将其中国别、时代清晰的 21 处青铜器群列于表

\*本文得到国家文物局“文物保护科技优秀青年研究计划“田野考古与文物保护信息采集与定量处理技术研究(No.2014226)”、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“皖南地区早期铜冶金的技术与社会(No.14JJD78003)”和国家社科基金重大项目“随州叶家山西周曾国墓地考古发掘报告(No.14ZDB051)”资助。

表一 已进行铅同位素比值分析的东周青铜器群

墓地或墓葬单位	地区	地域	时代	数据量	数据来源
曲村 M5189	山西曲沃	晋	两周之际	4	
北赵 M93	山西曲沃	晋	两周之际	1	
分水岭	山西长治	晋-韩	春秋晚期至战国中期	19	
南阳村 1998M3	陕西宝鸡	秦	春秋早期	1	
边家庄 M1、M5	陕西陇县	秦	春秋早中期	11	
大堡子山 2006M1	甘肃礼县	秦	春秋晚期	1	
夏饷铺 M1	河南南阳	鄂	春秋早期	8	
寿县周边	安徽寿县	淮夷(群舒)	春秋早中期	4	
钟鼓堂 1975M	河南桐柏	淮夷(养)	春秋早中期	4	
徐楼 M1	山东峰城	宋、费	春秋中期	4	
沈岗 M1022	湖北襄阳	楚	春秋中期	4	
余岗-枣园	湖北襄阳	楚	春秋中晚期	16	
乔家院	湖北郢阳	楚	春秋晚期至战国早期	12	
下寺	河南淅川	楚	春秋晚期	1	
九里沟 M199	安徽六安	楚	春秋中期晚段	1	
城西窑厂 M5	安徽六安	楚	战国早中期	3	
擂鼓墩 M13	湖北随州	楚	战国中晚期	4	
安居桃花坡	湖北随州	曾	春秋早期	3	
郭家庙-曹门湾	湖北枣阳	曾	春秋早中期	16	
义地岗-文峰塔	湖北随州	曾	春秋中期至战国中期	32	
擂鼓墩	湖北随州	曾	战国早中期	42	⑪

一。

除考古发掘出土青铜器以外,国外馆藏青铜器亦有部分铅同位素分析数据,主要包括 T. Chase 对美国赛克勒艺术博物馆、弗利尔美术馆<sup>⑫</sup>及平尾良光对日本泉屋博古馆所藏东周青铜器的分析<sup>⑬</sup>。Chase 所测的器物中,有数件明确来自三晋、周、郑地区,能够补充目前中原地区青铜器科技分析工作的不足。其余馆藏青铜器大多缺失出土信息,但仍能够通过器形特征进行研究,部分器物形制独特,可以置于某一地区出土青铜器的类型学序列中,从而具有相对明确的时空背景<sup>⑭</sup>。

目前东周青铜器的铅同位素分析数据量较少,在时空上也不够均匀,但大致覆盖了中原及南方各主要地域,能够初步揭示一些基本规律<sup>⑮</sup>。从时代上看,东周各时段都有较多实例;地域上看,秦、楚、曾等国青铜器的研究工作较多,海岱、燕代、吴越等地区的研究则尚显薄弱;中原各国中,春秋晚期及战国早期的晋式风格青铜器数据相对多,周、郑地区的研究较为缺乏。

## 2、青铜矿冶遗物

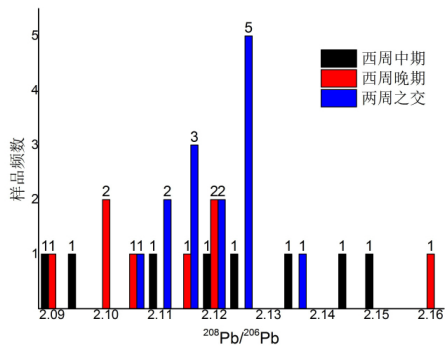
东周时期青铜器的铅同位素比值研究相对落后

于商代及西周,但这一时期矿石、炼渣的测定数据反而较多,研究工作集中在南方的长江中下游及北方的长城沿线与大兴安岭南麓地区<sup>⑯</sup>。

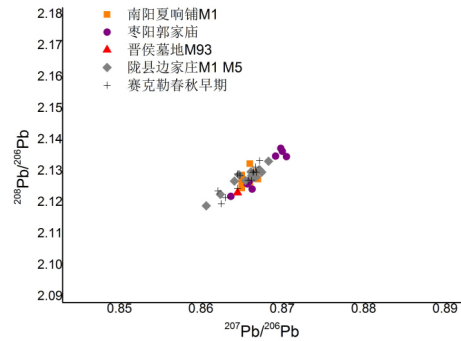
长江中下游地区的商周采矿及冶炼遗址围绕矿体聚拢成群,群间又联系成带,普遍冶、铸不分,冶炼技术随本地的金属矿资源的差异而具有一些特色<sup>⑰</sup>。近年发掘了安徽铜陵师姑墩、湖北大冶铜绿山等重要的矿冶遗址,李延祥等也调查发现不少先秦时期矿冶遗址,获取了一批新的青铜冶铸遗物的铅同位素比值数据<sup>⑱</sup>。结合鄂东南、赣西北及皖南铜陵矿区现代矿石铅同位素比值区间的细节差异,存在精细溯源的可能性。目前长江中下游地区的铅同位素比值数据涵盖青铜手工业各个环节的遗物,如矿石、冶炼渣、粗炼产物及青铜产品,为青铜器的溯源提供了重要的参比对象。

## 二、东周时期铅同位素比值的时空框架

东周时代青铜器的铅同位素比值随时代变化的现象,学界多有关注。崔剑锋在研究长治分水岭墓地出土青铜器时,就指出春秋时期的 M269 与战国诸



图一 西周晚期至两周之交曲沃晋侯墓青铜器铅同位素比值分布直方图



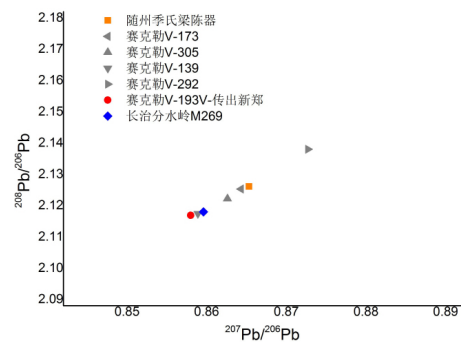
图二 春秋早期青铜器铅同位素比值

墓所用铅料不同, M25 及 M126 的数件青铜器铅同位素比值几乎完全相同, 很可能是同批生产<sup>19</sup>; 文娟对六安及寿县地区所出东周青铜器的研究, 也反映春秋与战国时期铅料有所差异<sup>20</sup>。在这些研究的基础上, 细化年代、增加分组, 能够观察到铅同位素比值随时代有着更细致的变化。

西周早期各主要青铜器群的铅同位素比值相当一致, 洛阳北窑、随州叶家山、宝鸡石鼓山、房山琉璃河等地所出青铜器的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  比值大致分布在 0.85~0.89 间。西周晚期起, 铅同位素比值由两端逐渐聚拢到连线的一侧, 到了两周之交, 各地青铜器的铅同位素比值都集中在非常窄的区间内。这种矿料的  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  比值在 2.11~2.13 之间,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  比值在 0.85~0.87 左右(记作 A 类)。以山西曲沃晋侯墓地青铜器的铅同位素数据按时代分组并作图一, 自西周晚期之初的北赵 M91-92(晋靖侯组)起, 铅同位素比值便开始趋于集中。到西周晚期晚段的北赵 M64-M62-M63(晋穆侯组),  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  比值完全落在 2.11~2.14 的较小区间内<sup>21</sup>。

进入春秋早期, 这一趋势更为明显, 青铜器  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  比值皆落在 2.12~2.14 的窄区间内。目前经检测的春秋早期青铜器中, 范围北至晋南, 西至关中、陇东, 南至汉淮, 东至沂泗, 均使用了这种矿料(图二)。

春秋中期中原地区进行过铅同位素比值分析的器物很少, 且主要集中在春秋中期晚段, 列于表二。美国赛克勒博物馆所藏的



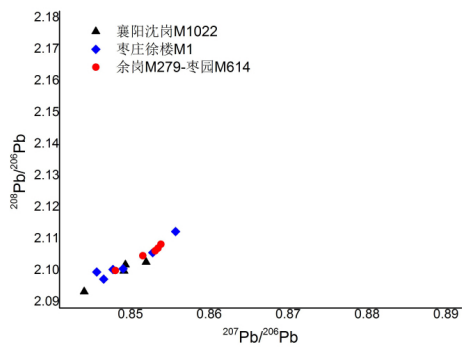
图三 春秋中期中原地区青铜器铅同位素比值

部分器物, 具有较清晰的出土背景, 如 V-193 大鼎传出新郑郑公大墓, 与侯马上马 M5 所出大鼎形制高度相似, 时代当在春秋中期晚段, 绝对年代在公元前 570 年前后。由图三可见中原各国及秦大致延续使用此前的 A 类矿料, 只是比值范围变宽。

春秋中期汉淮地区的矿料则发生了巨大的变化,  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  比值在 2.09~2.11 的铅料(记作 B 类)迅速成为主流(图四)。汉淮地区应用 B 类矿料的墓葬中, 年代清晰且较早的是襄阳沈岗 M1022, 在公元

表二 中原地区进行铅同位素比值分析的春秋中期青铜器

来源	器物号	器物名	特征形制	时代	国别
长治分水岭	M269:9	鼎	三环纽盖	春秋中晚期之际	晋
随州义地岗季氏梁	79M:2	簠	折沿	春秋中期晚段	陈
赛克勒馆藏 传出新郑李家楼	V-193	鼎	附耳折沿蹄足	春秋中期晚段	郑
赛克勒馆藏	V-292	盨	圈柱捉手	春秋中晚期之际	周/郑
赛克勒馆藏	V-139	舟	椭体四足	春秋中晚期之际	周/郑
赛克勒馆藏	V-305	鼎	三矩纽平盖	春秋中期晚段	
赛克勒馆藏	V-173	舟	椭体敛口平底	春秋中期	

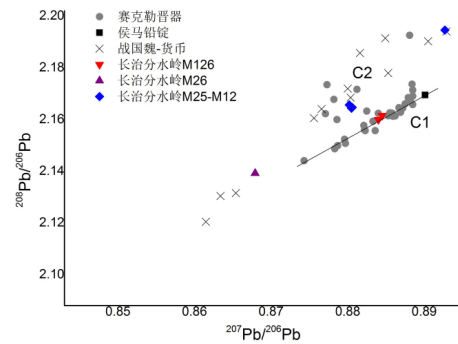


图四 春秋中期汉淮地区青铜器铅同位素比值

前 600 年前后。襄阳余岗 M279、郧县乔家院 M4、枣庄徐楼 M1 等春秋中期铜器群中，绝大多数亦为 B 类矿料，据此推测春秋中期自江汉直至淮泗，是 B 类矿料的流行区域<sup>②</sup>。汉淮地区部分墓地，如鄂东的大冶四方塘、汉淮间的桐柏钟鼓堂、枣阳郭家庙，均可见 A、B 两类矿料共存，相替的时间节点大致在春秋早中期之际。这一现象还见于秦地，如陇县边家庄及礼县大堡子山—圆顶山墓地，但相替的时间晚于汉淮地区<sup>③</sup>。

春秋中晚期之际出现了第三种较为常见的矿料，其  $208\text{Pb}/206\text{Pb}$  比值在 2.16~2.18 (记作 C 类)。这类矿料最早见于南方的楚、曾等国，如郧县乔家院 M4 浴缶可早至公元前 560 年前后。中原的周、晋等国则大约在公元前 550~公元前 520 年间开始出现这类矿料，稍晚于南方<sup>④</sup>。

春秋晚期至战国早期，中原及周边地区主要利用 C 类矿料，并且比值范围相当统一。T. Chase 对侯马牛村铸铜遗址 H329 所出的铅锭进行了铅同位素比值分析，测值正落在 C 类矿料的比值范围中，赛克勒“侯马”风格的青铜器的铅同位素比值亦集中在此区间(图五)。这一阶段的末期，矿料开始发生变化，从长治分水岭墓地看，自春战之际的 M126 到战国早中之际的 M25、M12，铅同位素中钍铅的比值稍有升高，导致图五中比值连线的斜率增大。若将斜率较小的矿料记作 C1，较大的记为 C2，则 C2 矿料的应用晚于 C1，相替的时间节点约在战国早期晚段<sup>⑤</sup>。反观同期南方青铜器铅同位

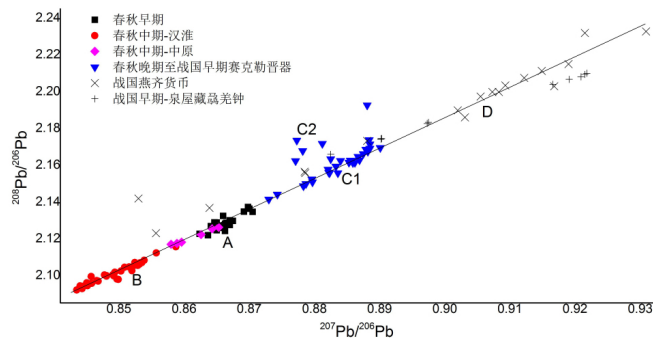


图五 公元前五世纪前后中原地区青铜器铅同位素比值

素比值的一致性远不及中原地区，除了楚地中心的襄阳外，周边的随州、郧县等地都转而大量使用 C 类矿料。

战国中晚期，青铜容器的制作与使用都在走向衰落，铅同位素比值趋于分散，各地区在较宽的比值范围内各有特征。将金正耀对战国货币的分析数据与战国中期青铜器进行比较，可见晋南之安邑、虞所制的魏币与战国中期长治分水岭各墓青铜器的铅同位素比值相近；楚蚁鼻钱亦与战国中期随州擂鼓墩各墓青铜器的铅同位素比值大致重合，说明同时期各国疆域内的货币与青铜容器具有基本相同的矿料来源<sup>⑥</sup>。由此可从燕、齐战国货币的铅同位素比值推知燕、齐战国青铜器中可能存在相当比例的高比值矿料 ( $208\text{Pb}/206\text{Pb}$  比值大于 2.20，放射性成因最低，记作 D 类)，并可以与日本泉屋博古馆所藏翦羌钟的铅同位素比值相对比(图六)。

秦统一前后的青铜器尚较缺乏铅同位素比值分析数据，邵安定对秦始皇帝陵园出土青铜水离的分析与金正耀对徐州所出秦半两钱的分析结果相对一致，铅同位素比值与战国中晚期楚、魏等国的青铜器



图六 东周青铜器铅同位素比值的四个主要区间

相近,皆在图六连线的上方,范围则进一步变宽<sup>⑦</sup>。

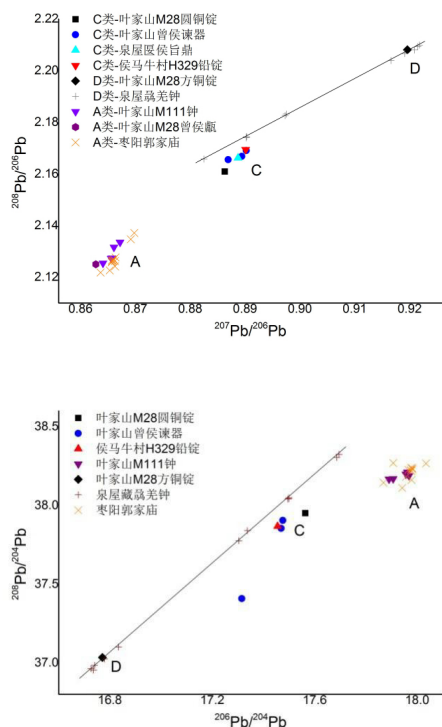
### 三、东周时期铅同位素比值反映的问题

#### 1、矿料的种类与流通

从矿石的开采到青铜器的使用,其间还包括矿料的流通、器物的生产与器物的流通三个环节。器物的生产及流通可以通过类型学各种手段进行研究,矿石的来源及矿料的流通则能够通过青铜器的铅同位素比值加以分析。通过分析同一时期铅同位素比值的离散程度,若数据能够集中到若干区域,则这些区域就很可能对应某类矿料。在此基础上可以将矿料流通问题,也即矿山与铸铜作坊之间的通路,归为若干类型矿料与若干类型器物之间的关联。

战国中期以前,青铜器的矿料种类其实相当有限,春秋时代大多数青铜器的矿料都能够归为A、B、C三种,并普遍可以在西周早期甚至更早阶段找到类似的实例。如图七,随州叶家山M28所出圆铜铤的铅同位素比值与侯马铸铜遗址铅铤十分相近,皆可归入C1类矿料;M28方铜铤则与日本泉屋博古馆藏战国早期翦羌钟的测值完全一致,可归入D类矿料;M111钟及M28曾侯甗所用矿料实际就是春秋早期盛行一时的A类矿料。

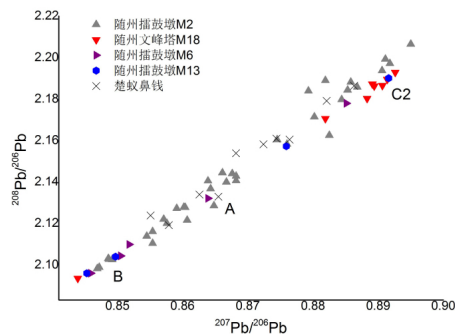
春秋早期青铜器的铅同位素比值非常统一,不仅含铅量各异,风格也多有不同,较可能的原因是多



图七 叶家山墓地青铜器矿料与东周时期的比较

处铸铜作坊利用了单一矿料。公元前570年前后乔家院M4、徐楼M1等来自汉淮各国的器物具有不同的形制背景,不同的范铸工艺与合金配比,却具有非常类似而集中的铅同位素比值范围,亦可以多个铸铜作坊利用单一矿料来解释。反观西周早期铅同位素比值虽然分散,但各墓地的铅同位素分布特征与器物的形制却彼此相似,似可用单一作坊利用多种矿料(以A、C1类为主)生产再向各国流通的模式解释。

战国中晚期,铅同位素比值变得非常离散,无法通过聚类分析抽象出特定的矿料。对这一时期的数据,则可以通过比较成对或成组合器物的离散程度来讨论其生产背景。金正耀对战国中期随州擂鼓墩M2所出青铜容器进行了系统分析,铅同位素比值的分布相当分散(图八)。M2:48与M2:51簋同型,铅同位素比值相近;M2:4, M2:4与M2:5为形制相近的成对方壶,却使用完全不同的矿料;M2:74盘与M2:75匜为成组合器物,也使用了不同的矿料。这说明战国中期以后很可能是多种矿料流向多个铸铜作坊,且青铜容器的生产不再受到器用组合的约束,故而观察流通环节末端的青铜器就难以找到与特定矿料的对应关系。



图八 湖北随州地区战国中期墓出土青铜器铅同位素比值

#### 2、东周时期各区域铅同位素比值随时代的变化规律

两周时期的铅同位素比值分布随时代有着较为规律的变化,大致可以分为两个阶段。西周至战国早期,各地铅同位素比值大多可以归入A、B、C三个比值相对集中的区域,据此推测这是三种使用较为广泛的矿料,铅同位素比值随时代的变化实质上是几类矿料使用比例的消长;战国中晚期至秦,矿料的来源变得复杂,分布也趋于分散,不再能够通过一个铜器群归纳出某类矿料。第一阶段的数据主要分布在



图六所示的连线上,第二阶段的数据则在连线的上侧。

自两周之交至战国早期,又可分为三期。第一期为春秋早期,各地皆使用A类铅料;第二期为春秋中期,出现了使用B类矿料的汉淮地区与延续使用A类矿料的中原地区的对立;第三期为春秋晚期至战国早期,C类矿料占据主流,且各区域先后由C1转为C2。各地区所用矿料随时代的变化整理为表3。

表三中可见,东周时期铅同位素比值区间发生广泛而显著的变化共有三次,即春秋早中期之际汉淮地区B类矿料取代A类,春秋晚期中原地区C1类矿料取代A类,以及战国早期中原地区C2类矿料取代C1类。前两次变化的背景尚不清楚,第三次变化则很可能与三家分晋及侯马铸铜作坊的弃用有关。对每一类矿料而言,南方的使用都早于中原。

用固定的时间节点观察表三,能够得到同一时期不同矿料的分布格局。如公元前570年前后,通过比较新郑李家楼郑公大墓、礼县圆顶山、随州义地岗季氏梁、枣庄徐楼M1、襄阳余岗M279、郧县乔家院M4、六安九里沟M199等时代相近的测值,可以大致看出A、B两类矿料的界限,其中宋及泗上小国与楚相近而与陈、郑、晋、秦有所差异,是一个有趣的现象。

### 3、指示的元素信息

青铜器的铅同位素比值毫无疑问反映的是青铜合金中铅的来源,但铅可能由单质铅在配制合金过程中引入,也可能由其他合金元素引入。Gale认为青铜器铅同位素比值,是各类元素引入的铅加权后的

结果<sup>③</sup>。关于铅料与铜料来源的差异,是否会显著影响铅同位素比值,不同学者存在争议。郁永彬分析湖北叶家山墓地青铜器后认为,锡青铜和铅锡青铜具有不同的比值,前者接近锡器测值,而后者接近铅焊料测值,故而铜料带入的铅与合金配制时加入的铅具有不同的同位素比值<sup>④</sup>。杨颖亮、崔剑锋则认为,铅同位素比值与铅含量基本无关,铅同位素比值可能是指示了某一铜铅共生矿<sup>⑤</sup>。

判断铅同位素比值指示的元素,需要结合成分分析等其他手段<sup>⑥</sup>。前述东周时期铅同位素比值大致可以聚为数类,经过扫描电镜—能谱测定样品成分,同一时期对应每类比值的样品中都既包括质地近于纯铅的焊料,也包括几乎不含铅的锡青铜,彼此铅同位素比值一致,说明这几类矿料很可能都具有铜铅共生矿的背景。故而对东周时期的数据,尤其是春秋至战国早期的数据,回避指示何种元素的讨论,直接按照时代、地域进行分组的做法是可行的<sup>⑦</sup>。

4、结合矿冶遗物的铅同位素比值,探讨青铜器的产源

上文将东周时期的若干个铅同位素比值区间对应为几类矿料,每一种矿料是否对应单一的矿源,以及是否能够置于特定的地域,是溯源工作的核心问题。目前汉淮地区春秋早中期的材料为B类矿料的溯源提供了一些宝贵线索。

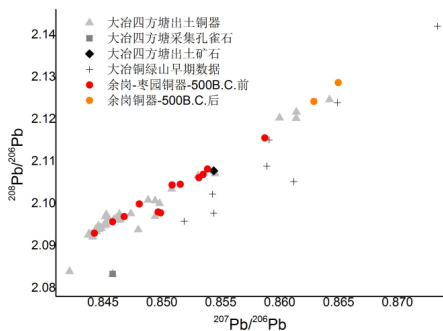
春秋中期B类矿料的<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb比值在0.84~0.86,<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb在2.09~2.11,与同时期矿冶遗物对比,最接近大冶四方塘墓地所出青铜器(图九)。四方塘墓地紧邻铜绿山VII号矿体及岩阴山脚采冶遗址,墓葬出土了春秋早中期带有周文化面貌的铜戈、

表三 东周时期各地铅同位素比值随时代的变化规律

	曾	楚			淮河上游	陈	宋	郑	晋/三晋	燕/齐	秦
		襄阳	郧县	六安							
春秋早期	A			群舒	A						
春秋中期早段	A,B	B	B	B	B			A			A
春秋中期晚段								A	B	A	
春秋晚期早段					楚				C1		B
春秋晚期晚段	N/C1	N/A	C1								C1
战国早期早段	N/C2			C2							
战国早期晚段											
战国中晚期	N						韩	C2		N/D	

注:A类-<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb为2.12~2.14,B类-<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb为2.08~2.11,C类-<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb为2.15~2.18

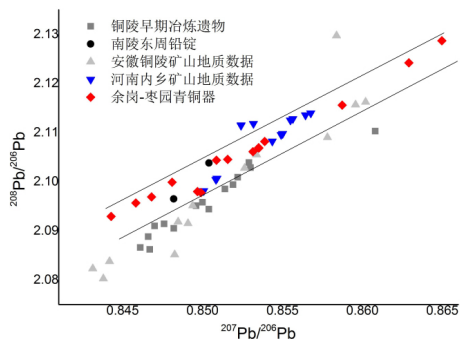
D类-<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb大于2.20,N表示多种矿料混用,斜线后为主要利用的矿料类型,空白表示缺数据。



图九 大冶铜绿山铅同位素比值与春秋中晚期楚地青铜器的比较

铜鼎及本地风格的带钩,时代清晰<sup>③</sup>。四方塘 M54 等墓中还随葬了孔雀石,其铅同位素比值与四方塘 M5 鼎、M9 戈几乎一致,也与春秋中期汉淮地区大量的青铜器相一致。据此可以推断大冶四方塘开采的矿料很可能与墓地随葬的青铜器有直接联系,也与同时期南方与其具有相同铅同位素比值的青铜器具有一致的矿料来源。

然而郟县乔家院 M4 所出具有吴地风格的青铜柱茎剑,暗示 B 类矿料还可能有一个产源,即皖江南岸的南陵、铜陵地区。郟县乔家院 M4 出有一把柱茎双箍铜剑,时代为春秋中期之末,绝对年代在公元前 560 年或稍早。这类剑通常认为是吴文化的典型器物,产地当限于江苏、安徽南部<sup>④</sup>。其中宁镇地区铅同位素比值区间偏普通铅,<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 在 2.15~2.18,而铜陵、南陵附近的东周铅锭及现代矿石数据则与铜剑的铅同位素比值吻合<sup>⑤</sup>,故而皖南地区同时能够满足地质背景与器物的考古学文化背景,也可能是 B 类矿料的可能来源(图一〇)。其他具有 B 类矿料特征的现代矿山包括河南内乡银洞沟等处<sup>⑥</sup>。南阳以北的东秦岭南麓,亦有古代矿冶遗迹<sup>⑦</sup>。故而目前从



图一〇 铜陵及内乡铅同位素比值与春秋中晚期楚地青铜器的比较

铅同位素比值上看,鄂东南的大冶铜绿山是 B 类矿料最可能的来源,但也不能排除部分矿料来自其他地区,如皖南的南陵附近、豫西南的内乡附近。

其余两类矿料的溯源难度更大,与矿冶遗物的对应也显得薄弱,目前尚难以对应具体的地域。A 类矿料与大冶四方塘墓地中时代较早的器物相吻合,但目前尚缺乏矿冶遗物佐证。关于 C 类矿料,崔剑锋认为具体位置可能在太行山脉附近<sup>⑧</sup>;郁永彬等则通过比较中原及南方多处铅矿的地质数据,认为这类矿料最有可能产自豫西地区<sup>⑨</sup>。以现有数据观察,C 类铅在东周时期最早应用于汉水流域的襄阳周边,此后却在中原地区广泛流行,距离晋、楚均较为近便的豫西地区可能性较大<sup>⑩</sup>。

由以上讨论可知,以现有的数据与考古材料,每一类矿料的来源可能有多个较为合理的假设,目前尚不能确定,但在特定时期铅同位素比值聚拢到一定范围本身就是重要的特征。以春秋时期秦国青铜器为例,研究者过去多将矿源局限在秦岭附近,然而由表三可见,秦地应用的两种矿料和其间的一次快速变化均与汉淮地区类同,应该充分考虑汉淮地区为秦地提供矿料的可能性。从礼县圆顶山 M1、M2 所见中原及楚地风格的器物,以及文献所载春秋中晚期秦、楚间密切关系看,关中从汉淮地区获取矿料也是合乎考古背景的。综上所述,春秋时期每一类矿料都在非常广阔的空间内得到使用,故而溯源时不应将参比的对象局限于一地、一国,筛选出的区域也应该符合矿料兴替的大致规律和考古学背景。

#### 四、展望

本文结合已有的铅同位素比值数据,梳理了东周时期青铜器矿料的时空变化特征。目前铅同位素比值随时代存在相当规律的变化,对于历史、考古等领域的研究者,显然更关注矿料的空间分布格局及更迭的时间节点。故而科技考古工作者在解读数据时,也不应仅仅是探讨某批矿料来自某地。

东周时期青铜器的铅同位素比值研究,应该在以下几个方面着力。一是充实铅同位素比值数据,尤其是海岱及长江下游等数据缺乏的地区;二是继续进行东周时期矿冶遗址的调查、发掘与分析研究,特别是长江中下游等地区的采冶遗址和侯马、新郑等铸铜遗址的研究;三是设计合理模型,以求将铅同位素数据转化为青铜器研究需要的各类信息,完善论证过程;四是改善作图、数据处理等方法,以提高数据间差异的分辨能力,为精细溯源提供可能。在推进

铅同位素比值研究的同时,也应深入探讨青铜器微量元素组成、合金工艺、范铸技术,以求细致呈现东周时期铸铜工业各环节的技术面貌。

致谢:本文研究工作得到北京大学考古文博学院吴小红教授、孙庆伟教授、崔剑锋副教授、国家博物馆冯峰博士、北京科技大学刘思然博士的指导与帮助,实验分析工作得到北京大学地球与空间科学学院黄宝玲副教授协助。样品采集工作得到湖北省文物考古研究所、襄阳市文物考古研究所、枣庄市博物馆、襄阳市博物馆、随州市博物馆、十堰市博物馆、郟阳博物馆、大冶市博物馆、桐柏县文物管理委员会的大力支持。在此衷心致谢!

注释:

金正耀等:《天马—曲村遗址西周墓地青铜器的铅同位素比值研究》,邹衡主编:《天马—曲村·三》,科学出版社,2000年。

杨颖亮:《晋侯墓地出土青铜器的合金成分、显微结构和铅同位素比值研究》,北京大学硕士学位论文,2005年。

①崔剑锋等:《长治分水岭青铜器矿料的铅同位素比值分析》,山西省文物考古研究所等著:《长治分水岭东周墓地》,第386—391页,文物出版社,2009年。

贾腊江等:《秦早期青铜器中铅料矿源分析》,《自然科学史研究》2015年第1期。

Di Mu, et al., Provenance study on Chinese bronze artefacts of E in the Zhou Dynasty by lead isotope analysis. *Journal of Archaeological Science*. 52:515—523, 2014.

②文娟等:《安徽六安地区东周楚国青铜器铅同位素特征的初步研究》,《西北大学学报(自然科学版)》2013年第6期。

③经笔者测定,数据待发表。

彭子成等:《赣鄂皖诸地古代矿料去向的初步研究》,《考古》1997年第7期。

金正耀:《測定試料と鉛同位体比値のまとめ》,(日)平尾良光著《古代東アジアにおける青銅器の変遷に関する考古学的・自然科学的研究》,1999年。

张吉:《随州文峰塔墓地青铜器工艺与腐蚀研究》,北京大学硕士学位论文,2015年。

④孙淑云等:《盘龙城出土青铜器的铅同位素比测定报告》,湖北省文物考古研究所主编:《盘龙城—1963~1994年发掘报告》,文物出版社,2001年。

⑤Chase. T., Lead isotope ratio analysis of Chinese bronze examples from the Freer Gallery of Art and Author M. Sackler collections, in *Ancient Chinese and Southeast Asian Bronze Age Cultures*, 2000, Vol. 1, Taipei.

⑥平尾良光、鈴木浩子:《泉屋博古館が所蔵する中国古代青銅器の鉛同位体比》,《泉屋博古館紀要》第十五卷

刷新,1999年。

⑦赛克勒馆藏青铜器中很多都带有清末民初所作的伪铭,对应的铅同位素比值应在类型学背景下使用,结合其所带铭文时需要非常谨慎。

⑧中原以外的地区还有一些青铜时代晚期的研究实例,如广东肇庆松山、罗定太平等战国青铜器;重庆峡江地区如云阳李家坝、涪陵小田溪、开县余家坝等战国至西汉墓地所出青铜器;云南楚雄万家坝、祥云大波那、江川李家山等相当于战国至西汉出土铜器;内蒙古赤峰地区夏家店上层文化各遗址所出铜器;大兴安岭南麓林西井沟子类型铜器;陕北及陇东地区西戎文化青铜器的遗存。新疆地区亦有相当于东周时期的青铜时代遗存。这些地区的青铜器有自身的研究方法,与中原的东周青铜器关联相对小,限于数据量及研究能力,在本文中不作讨论。

⑨自上世纪90年代起,李延祥对内蒙古林西大井、塔布奔敖包等遗址开展了调查,对赤峰地区夏家店上层文化及井沟子类型的冶炼技术进行了持续研究。目前一般认为林西、巴林右旗这一重要的铜、锡产区,在青铜时代晚期生产模式相对粗放,并未大规模向中原地区提供矿料。近年陕北横山黑水沟等遗址也有铅同位素比值报道。

⑩郁永彬等:《皖南地区早期冶铜技术研究的新收获》,《考古》2015年第6期。

⑪王开:《铜陵师姑墩遗址出土青铜冶铸遗物的初步研究》,北京大学硕士学位论文,2012年。铜陵师姑墩遗址晚期IV段大致为春秋早中期,大冶四方塘墓地与此基本同时,铅同位素分析工作在本实验室完成,下文简单讨论测定结果。数据的使用经湖北省文物考古研究所惠允。

⑫李伯谦:《熨马盘铭文与晋侯墓地排序》,北京大学考古文博学院编:《考古学研究8》,科学出版社,2011年。

⑬尚有少数地区继续使用A类矿料,如随州义地岗季氏梁79M所出的陈公子仲庆簋,时代当在春秋中期晚段,推测陈所用的矿料与同时期的中原各国更为相似。

⑭春秋早期以后的秦器分析数据较少,若以礼县圆顶山M1、M2来估计贾腊江所分析的圆顶山E4039铜盂的时代,则秦地的A类矿料当延续使用至春秋中期晚段。大堡子山IIIIM1已使用了B类矿料,该墓的时代介于凤翔八旗屯M27及高庄M10之间,约在春秋中晚期之际,据此推断,秦地两类矿料相替的时间节点约在春秋中期晚段,滞后于楚地。

⑮春秋晚期中原地区的铅同位素比值数据较少,赛克勒所藏春秋晚期晋式青铜器中V-153三斜环纽盖鼎尚使用A类矿料,稍晚的V-188捉手盖鼎、V-283壘以及时代更晚的V-62三宽环纽盖鼎等器物则使用C类矿料。赛克勒V-153鼎与临猗程村M1082:14鼎形制相近,V-188鼎与上马M4006:5鼎及临猗程村M1056同类鼎的相似,V-62鼎则与上马M5218:5鼎十分相似,可分别归入上马第四期早段、第四期晚段和第五期。

⑯长治分水岭M126铜器与太原赵卿墓所出器物形制



相近或稍晚,绝对年代约为公元前 470 至 450 年间。春秋之际的这类三晋铜器流行满施浅浮雕蟠螭纹,采盛器多用盖豆,而进入战国早期的陕县后川 M2040、万荣庙前 61M1 则普遍为素面加若干道绚索纹,装饰趋于简单,采盛器中多有上下对称的圈足敦,绝对年代约为公元前 450 至 400 年。长治分水岭 M12 出有球体敦、钁;M25 则出有对称的三足敦,此组墓的时代当接近辉县赵固 M1,已进入战国中期。故而推测矿料由 C1 向 C2 的转变发生在分水岭 M126 与 M25 之间,较可能在战国早期后段,与侯马铸铜作坊的衰落大致同时。

②⑥金正耀等:《战国古币的铅同位素比值分析—兼说同时期广东岭南之铅》,《考古》1993 年第 8 期。

②⑦邵安定等:《秦始皇帝陵园出土彩绘青铜水禽铜矿料来源探索》,《文物保护与考古科学》2015 年 增刊。

金正耀所测秦半两钱的铅同位素比值数据来源同。

②⑧ Z. Stos-Gale, N.H. Gale, Lead isotope analysis applied to provenance studies, in Modern Analytical Methods in Art and Archaeology: Chemical studies Series. New York: Hohn Wiley & Sons Inc, 2000.

②⑨郁永彬等:《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。

③⑩③⑨杨颖亮:《晋侯墓地出土青铜器的合金成分、显微结构和铅同位素比值研究》,北京大学硕士学位论文,2005 年。

③① Pernicka, E, Trace element fingerprinting of ancient

copper: a guide to technology or provenance, in Metals in Antiquity. London: Oxford University Press, 1999; 马克·波拉德、刘睿良(译)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。

③②这种简化是基于东周时期铅同位素比值随时代的聚类特征。其他时期如西周早期,锡青铜与铅锡青铜数值存在明显差异,则需考虑除铅料与铜料来源不同外,是否有可能是合金工艺上的差异所致,比如特定的矿料被固定地用于生产特定合金成分的器物。

③③湖北省文物考古研究所编:《三苗与南土 湖北省文物考古研究所“十二五”期间重要考古收获》,2016 年。湖北省文物考古研究所等:《大冶四方塘墓地第一次考古主要收获》,《江汉考古》2015 年第 5 期。

③④冯峰:《郟县乔家院春秋墓初识》,《南方文物》2009 年第 4 期。

③⑤张静等:《河南银洞沟造山型银矿床碳硫铅同位素地球化学》,《岩石学报》2009 年第 11 期。

③⑥河南省文物考古研究所等:《河南省镇平县柳树湾古铜矿冶遗址的调查》,《华夏考古》2001 年第 2 期。

③⑦崔剑锋、吴小红:《铅同位素考古研究》,第 39-40 页,文物出版社,2008 年。

③⑧豫西地区在春秋早中期为群戎杂处,春秋中期起,晋、秦、楚对此处诸戎不断攻伐、移徙,至春秋晚期伊洛戎、陆浑戎及蛮氏先后被灭,这一历史进程与 C 类矿料的大规模利用也许存在一定关联。

(上接 第 111 页)

孟祥伟、梅建军、董亚巍等:《湖北襄阳陈坡 M10 出土金属器的初步科学分析》,《江汉考古》2009 年 4 期。

罗武干、秦颖、黄凤春等:《湖北荆门市左塚楚墓群出土金属器研究》,《江汉考古》2006 年第 4 期。

a. 罗武干、秦颖、黄凤春等:《古麇地出土青铜器合金技术与金相组织分析》,《自然科学史研究》2010 年第 3 期;b. 金锐、罗武干、王昌燧等:《湖北郟县乔家院墓地出土战国及东汉铜器的成分与金相分析》,《文物保护与考古科学》2013 年第 2 期。

①①李洋、后加升、樊志威等:《随州文峰塔 M1、M2 出土金属器的科学分析》,《江汉考古》2014 年第 4 期。

①②a. 岳连建、Jett P、杨军昌:《陕西省交通学校汉墓出土铜釜的实验分析》,《历史文物》(台湾)2005 年第 5 期;b. 陈坤龙、梅建军、岳连建:《陕西西安出土的两件薄壁铜容器的科学分析》,陕西省考古研究所编:《西安北郊秦墓》,第 378-384 页,三秦出版社,2006 年。

①③孙淑云、王金潮、田建花、刘建华:《淮阴高庄战国墓出土铜器的分析研究》,《考古》2009 年第 2 期。

①④贾莹、刘平生、黄允兰:《安徽南陵出土部分青铜器研究》,《文物保护与考古科学》2012 年 1 期。

①⑤赵凤杰、李晓岑、张元:《贵州可乐墓地出土铜器的技术研究》,《中国文物科学研究》2012 年 3 期。

①⑥宋艳:《宣汉罗家坝出土部分青铜器的合金成分和金相组织》,《四川文物》2010 年第 6 期。

①⑦北京科技大学冶金史研究室:《西汉南越王墓出土铜器、银器及铅器鉴定报告》,广州市文物管理委员会、中国社会科学院考古研究所、广东省博物馆等:《西汉南越王墓(上)》,第 397-410 页,文物出版社,1991 年。

①⑧晏德付、秦颖、陈茜、张钟云:《天长西汉墓出土部分金属器的研究》,《有色金属(冶炼部分)》2011 年第 9 期。

①⑨廉海萍、曹玮、Michael R、Notis:《陕北铜器合金成分与制作技术的分析研究》,曹玮:《陕北出土青铜器》,第 972-1096 页,巴蜀出版社,2009 年。

②⑩杨菊、李延祥:《北京延庆西屯墓地出土汉代铜器的科学分析》,《中国文物科学研究》2012 年第 3 期。

②⑪刘煜、岳占伟、何毓灵、唐锦琼:《殷墟青铜礼器的铸型设计》,《考古学集刊》(18),第 169-199 页,科学出版社,2010 年。

②⑫苏荣誉、胡东波:《商周铸吉金中垫片的使用和滥用》,《饶宗颐国学院院刊》创刊号,2014 年。