

铅同位素考古研究的可行性问题

——浅议“青铜器铅同位素指示意义的范铸实验研究”

金正耀

(中国社会科学院世界宗教研究所, 北京 100732)

摘要: 国际上对铅同位素示踪方法在青铜器原料产地研究中的应用做过很多探讨。《范铸》一文再次提出有关问题, 认为铅同位素分析结果不能确切指示青铜器铜锡铅原料的来源信息。本文考察了其依据的实验数据, 它们似乎与其观点互相矛盾, 其结论说服力相当有限。

关键词: 产地研究; 铅同位素示踪; 青铜器

中图分类号: K85; K871.3; O615.4 **文献标识码:** A

秦颖、王昌燧诸位先生新近发表“青铜器铅同位素指示意义的范铸实验研究”(以下简称《范铸》), 对铅同位素示踪方法应用于青铜文物产地研究的可行性进行“论证”, “结果证明, 青铜器铅同位素指示意义是不确定的, 并且在冶铸过程中可能存在铅同位素的分馏”^[1], 认为青铜器的铅同位素分析结果既不能指示铜料、锡料的来源信息, 也不能指示铅料的来源信息。

《范铸》高论虽然惊人, 然实不敢苟同。现将拙见陈述于下, 以就正于学者专家。

1 《范铸》的实验和结论

从铅同位素考古的研究立场出发, 中国青铜时代的金属文物, 铁器于兹不论, 可以分为两种情形。一是器物中所含铅属于杂质成分的情形, 如锡青铜器、红铜器、锡器等等。一是器物中所含铅属于合金成分或主成分的情形, 如铅锡青铜器、铅青铜器、铅器等。《范铸》质疑铅同位素方法的可行性, 设计了两类实验, 一类是锡青铜的熔铸实验, 包括两组共 4 个实验, 如表 1 所示。另一类是铅锡青铜的熔铸实验, 也是 4 个实验, 如表 2 所示。全部实验一共 8 个。表 1 和表 2 系根据原文关于实验设计的文字叙述和相关数据列表整理而成, 并且将实验分别编号, 以便于讨论。

有关说明如下:

实验 1、实验 2 中, 原文未说明粤砂锡 08 加入量, 从熔铸产品的铅同位素组成完全没有来自砂锡杂质铅的影响看, 推测加入量不大。

实验 3、实验 4 中, 粤锡 Yc04 和 Yc05 为来自同一产地的粗锡料。

实验 5、实验 6、实验 7、实验 8 中, 依据原文文意, 主料分别为与 L1、TA、L3、TC 的铅含量和铅同位素组成相同的剩余锡青铜熔液, 故表中以 L1、TA、L3、TC 表示, 并且列出相应铅含量数据; 辅料铅 Pb01 和 Pb05 来自同一产地, 原文没有说明各个实验加入的究竟是何者, 表中将二者及其铅含量一并列出。

锡青铜 4 个实验(实验 1~4)的加热熔融时间和浇铸温度等工艺条件基本相同。铅锡青铜 4 个实验(实验 5~8)的金属工艺条件完全相同, 这 4 个实验以前 4 个实验的产品为主料(坩埚中熔融时间较长的剩余熔液), 由于其中杂质铅的权重与铅料比较可以忽略不计, 影响最后产品铅同位素组成的, 是铅料加入后的熔融时间和温度条件。从原文记载看, 铅料加入后到浇铸, 温度为“1150~1200℃”, 与锡青铜浇铸温度的“1150℃左右”相近。所以, 全部 8 个实验加热熔融时间、温度等金属工艺条件相互差异不大。

表 1 《范铸》锡青铜熔铸实验

Table 1 Experiments of tin bronze casting by Qin, *et al.*

A. 锡料所带杂质铅权重较小情形				B. 锡料所带杂质铅权重较大情形				
实验 1		实验 2		实验 3		实验 4		
名称	铅含量%	名称	铅含量%	名称	铅含量%	名称	铅含量%	
主料铜 代号	鄂粗铜, Tlc16	0.07	皖粗铜, Ttc10	0.04	鄂粗铜, Tlc16	0.07	皖粗铜 Ttc10	0.04
辅料锡 (加入量)	粤砂锡 08, (?)	0.01	粤砂锡 08 (?)	0.01	粤锡 Yc04, (10%)	0.85	粤锡 Yc05, (10%)	1.03
熔铸产品	L1	0.01	TA	0.07	L3	0.04	TC	0.15
原结论	铅同位素指示意义不确定(难以指示铜料、锡料的产地来源)							

表 2 《范铸》中的铅锡青铜熔铸实验

Table 2 Experiments of leaded tin bronze casting by Qin, *et al.*

实验 5		实验 6		实验 7		实验 8		
名称	铅含量%	名称	铅含量%	名称	铅含量%	名称	铅含量%	
主料	锡青铜 L1, Pb01/ Pb05, 95. 4/ 96. 1	0.01	锡青铜 TA, Pb01/ Pb05, 95. 4/ 96. 1	0.07	锡青铜 L3, Pb01/ Pb05, 95. 4/ 96. 1	0.04	锡青铜 TC, Pb01/ Pb05, 95. 4/ 96. 1	0.15
辅料铅 (加入量)	(5%)	(5%)	(5%)	(5%)	(5%)	(5%)	(5%)	
产品	L2	5.05	TB	7.54	L4	5.50	TD	4.95
原结论	可能存在不可忽略的铅同位素分馏(难以指示青铜器中铅料的产地来源)							

《范铸》根据锡青铜熔铸的 4 个实验得出结论, 铅同位素数据不能确定指示的是铜料还是锡料的产地信息, 因此它的指示意义是不确定的。也就是说, 铅同位素研究无法确定铜料和锡料的产地来源。

根据铅锡青铜的 4 个实验,《范铸》得出结论, 尽管铅锡青铜器的铅同位素数据理论上应该指示铅料的来源信息, 但由于铅锡青铜熔铸过程中可能存在不可忽略的铅同位素分馏, 它将不能准确指示加入铅料的铅同位素组成。也就是说, 铅同位素研究也难以确定铅料的产地来源。

2 讨论和辨析

铜、锡、铅是中国古代青铜器的主要合金成分, 《范铸》的工作实际上意在“证伪”铅同位素示踪方法应用于古代青铜器金属原料产地研究的可行性。是否真有道理, 以下我们试对原文的实验结果加以讨论分析。

2.1 关于锡青铜熔铸实验的铅同位素分析结果

原文所有数据列于一表, 并以²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 对²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 对²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 作有两图。由于每张图都表示了全部 8 个实验的相关数据, 显得笼统不清。这里, 全部原始数据从略, 为节省篇幅, 暂以²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 对²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 图讨论有关问题。

图 1 为锡青铜熔铸 A 组实验 1、实验 2 的铜、锡原料和锡青铜产品的铅同位素分析图。A 组的这两个实验所加砂锡带入的杂质铅为异常铅, 数据点在图中右上角。但从图 1 可见, 或因加入量有限(原文

没有说明), 其权重与主料粗铜带入杂质铅的权重相比很小, 所以, 它完全被“淹没”, 产品的铅同位素组成指示的是铜料的产地信息。实验 1 中产品 L1 与所用铜料 Tlc16 的铅同位素组成一致性相当良好。实验 2 产品的铅同位素组成数据 TA 与所加粗铜 Ttc10 存在差异, TA 的²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 值小于 Ttc10, 但²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 值却几乎相同。这种情形不能用分馏来解释。

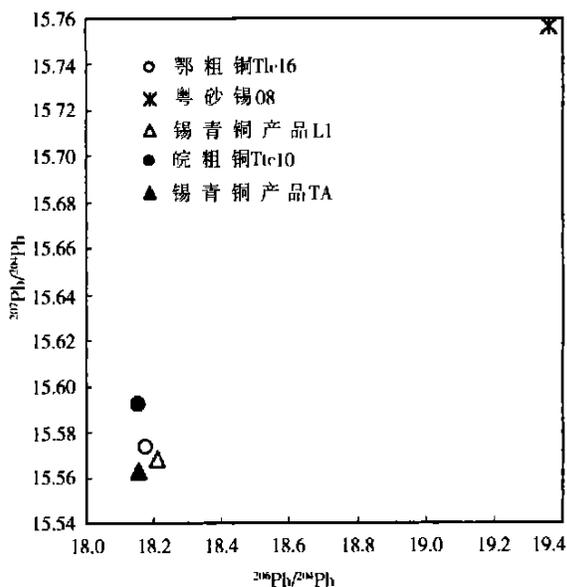


图 1 锡青铜实验 1、2 原料和产品的铅同位素分析

Fig. 1 Lead isotope analyses of copper, tin and Cu-Sn alloy for experiment 1, 2

图 2 为锡青铜熔铸 B 组实验 3 和实验 4 的铅同位素分析图。其中, 实验 3 铜料和锡料所含杂质铅的权重接近(1:1.2), 理论上其合金产品 L3 的铅同位素数据应该在二者的中间值附近, 但如图 2 所示, L3 的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值比 Tlc16 和 Yc04 二者都要大, 但 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值与其中间值的差异却在误差范围附近。这种情形也难以用分馏解释。实验 4 中锡料的杂质铅权重约为铜料杂质铅的 2.6 倍, 合金产品 TC 的铅同位素数据点应更靠近锡料 Yc05 数据点。

锡青铜 4 个实验中, 实验 1、2 的分析结果都指示了铜料的来源信息, 但实验 1 的数据优于实验 2。实验 3、4 的分析结果都较多反映了锡料来源信息, 但实验 4 的数据优于实验 3。两组实验表明, 在不同条件下, 铅同位素数据能够确切指示铜料或者较多反映其中锡料的来源信息。

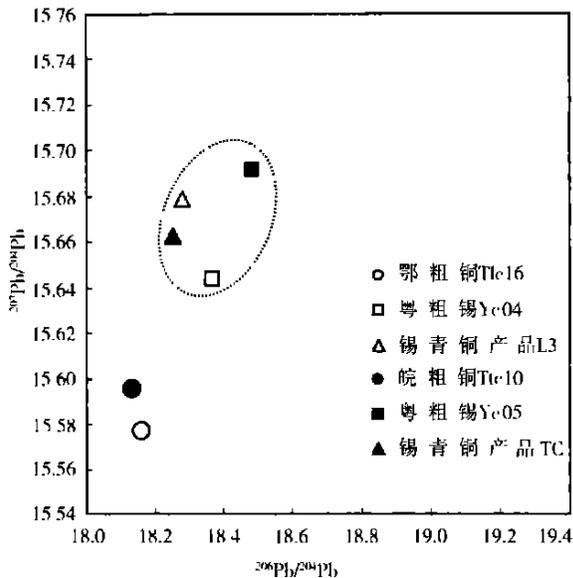


图 2 锡青铜实验 3、4 原料和产品的铅同位素分析

Fig. 2 Lead isotope analyses of copper, tin and Cu-Sn alloy for experiment 3, 4

关于如何理解锡青铜器物铅同位素数据的意义, 我们根据实际研究工作积累的经验, 曾经有过简短的总结^[2]:

“锡青铜亦即铜锡合金制品, 因为其中的铅成分属于杂质, 而一般情形合金配比上铜料所占比例远大于锡料, 如果铜、锡料各自的铅杂质含量在相近的数量级水平, 则锡青铜合金中因铜料配比为锡料的 5 至 20 几倍, 其样品数据结果多偏近于铜料中杂质铅的同位素组成。但如果所用铜料较为纯净, 而锡料含铅杂质较高, 则其合金的样品数据将反映的是锡料的产地信息。究竟锡青铜器物样品数据是更多

地反映了铜料的产地信息, 还是更多地反映了锡料的产地信息, 可以结合同时期的红铜器或锡器的数据结果进一步予以确定。”

另外, 锡青铜杂质铅也有可能来自铸造环境的污染, 在实际工作中也可以通过与同时期铅锡青铜器物数据的比较分析进行确定。例如, 三星堆两件铅同位素数据与主要数据分布区距离最大的锡青铜戈形器, 通过与其它铅锡青铜材质器物数据的比较, 其来自铸造环境铅料污染的可能性便可以完全排除^[3]。大量出土铜器的分析工作发现, 很多商代青铜器含有一种在全球范围都十分罕见的高放射成因铅, 这些器物中也包括一部分锡青铜器。对其铅同位素数据的理解, 我们有过讨论, 并曾指出这些数据结果的重要意义^[4]。

目前还没有一种方法能够同时解决青铜器中几种主要合金成分产地来源问题。铅同位素分析同任何一种科学方法一样, 都有其局限性, 对此我们应该充分予以认识; 但我们不赞成将这种局限性任意夸大。由《范铸》的 4 个锡青铜实验, 难以得出“青铜器铅同位素指示意义是不确定的”这一结论。

2.2 关于铅锡青铜熔铸实验的铅同位素分析结果

图 3 所示是原文 4 个铅锡青铜熔铸实验(实验 5~8)的有关铅同位素分析结果。由于铅锡青铜中铅料的权重远大于铜锡料杂质铅的权重, 合金产品的铅同位素数据应该指示铅料来源信息。所以, 为了眉目清楚, 图中略去 4 个实验金属主料的有关数据点。

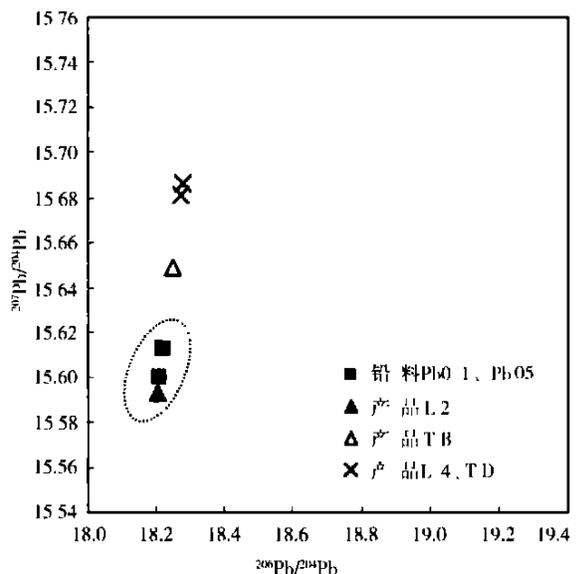


图 3 铅锡青铜实验原料和(锡青铜料数据从略)

Fig. 2 Lead isotope analyses of lead and leaded bronzes for experiment 5, 6, 7, 8 (the data of L1, L3, TA, TC are omitted)

如图 3 所示, 4 个产品数据中只有实验 5 的 L2 与铅料数据较接近, 有两个实验的产品 L4、TD 则差异显著。《范铸》力证, 熔铸过程存在的铅同位素分馏幅度已经“远超出分析误差范围”, 因而铅同位素分析不能准确指示铅料来源信息。这两个数据正是其主要根据。

值得注意的是, 原文自始至终没有给出由其实实验得到的铅同位素分馏幅度的具体数值。一篇以论证铅同位素分馏为主要实验目的之一的科学报告, 怎么会出这种疏忽? 或者说, 它真的是报告作者的疏忽吗?

原文中有一段文字:

“根据 Rayleigh 分馏定律, 蒸馏过程中, 较轻的同位素应优先于较重的同位素富集至蒸汽相中。对于铅同位素而言, 虽然它们的质量相差很小, 但由于铅的熔点和沸点低, 再考虑到²⁰⁴Pb 最轻, 且²⁰⁴Pb 在整个铅含量中所占比例甚小, 故青铜合金在熔融时, 哪怕只有微小的同位素分馏, 都可能导致²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 的明显变化。”

这里有几处概念问题可商。在讨论特定元素的同位素是否容易发生分馏时, 考虑的是它们“相对质量差”的大小, 讲“质量差”不够确切;²⁰⁴Pb 应该是“在整个铅同位素组成”中所占比例很小, 讲其“在整个铅含量”中所占比例如何, 不妥。当然, 这些尚无关宏旨。重要的是最末关于铅同位素分馏与三组铅同位素比值关系的说法。真的存在这种能导致铅同位素比值数据发生“明显变化”的“微小的”铅同位素分馏吗?

原文这种说法实际上似是而非。判断铅同位素分馏的幅度大小, 是以铅同位素比值数据的变化大小作为判断依据的。原文所说这种“远超出分析误差范围”的“微小分馏”, 事实上并不存在。正因为如此, 原文在其关于铅同位素分馏的论证中根本无法进行精确的数据定量讨论, 只能回避关键性的具体分馏幅度问题, 而代之以含混的文字描述。

《范铸》引以为据的 Rayleigh 分馏定律, 具体表达式如下

$$R_l = R_0 f^{\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)}$$

式中, R_0 是初始总组成 (initial bulk composition) 的同位素比值, R_l 是残留液相的瞬间同位素比值 (instantaneous isotope ratio), f 为残留液相所占的比例, α 为分馏系数。根据这一定律, 熔铸产品的铅同位素比值与熔铸过程中铅成分的挥发损失率直接相关, 挥发损失率越高, 即 f 值越小, 熔铸产品的铅同位素比

值增大越明显, 铅同位素分馏越显著。在熔铸产品铅同位素组成因分馏作用发生的变化中, 理论上 5 对铅同位素比值²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb 都应该增大。正因为如此, 实验 1 中的 TA、实验 3 中的 L3 都是难以用分馏解释的疑问数据。

《范铸》说, 所有铅锡青铜熔铸产品数据的“铅同位素组成和铅料之间还是有些差异, 有些已远超出了分析误差范围”。实际上其中实验 5 的产品 L2 与铅料数据的一致性优于其它几个数据, 不应该将其与 L4、TD 混为一谈。原文这种随意、笼统的说法, 实际上提醒了我们一个重要问题: 为什么在完全相同的金属工艺条件下, 《范铸》有的数据结果符合同位素科学定律, 而有的数据却如此异常?

铅属于原子量超过 200 的重金属元素。按照同位素科学定律, 只有当某一特定元素的几个同位素之间的相对质量差足够大时, 才能发生可检测的同位素分馏作用。因此, 只有原子量一般小于 40 的轻元素的同位素分馏作用能够测定^[5]。铅同位素示踪方法应用于古代青铜器金属原料产地研究的科学基础之一, 铅同位素在一般人工金属工艺过程的加热熔融等温度条件下发生的微弱分馏可以忽略不计, 正是建立在同位素科学关于分馏问题的定律之上的。

铅同位素分馏与熔铸的青铜合金材质种类无关。如果铅锡青铜在熔铸过程存在显著铅同位素分馏, 那么, 锡青铜在熔铸过程中, 其中作为杂质的铅的同位素组成也应该发生因分馏带来的显著变化。然如前所述, 《范铸》关于锡青铜 4 个实验的数据结果中, 没有一个可能被解释为铅同位素分馏的显著效应。在意图论证铅同位素指示意义不能确定为铜料还是锡料时, 熔铸过程没有出现铅同位素分馏; 在需要论证铅同位素分析因存在铅同位素显著分馏而不能准确指示铅料来源信息时, 实验中就出现了能够“暗示”存在不可忽略的铅同位素分馏的数据结果。实验结果如此具有“合目的性”, 而违背同位素分馏定律, 确实令人不解。

当实验数据与科学定律不符时, 只有两种可能: 一是数据结果可靠, 定律需要修正; 一是定律无可动摇, 数据结果可疑。《范铸》取的是前者, 对其所依据的少量数据是否确实可靠未加考虑。原文所有实验的加热熔融和浇铸温度等金属工艺条件基本相近, 但实验结果却相互矛盾。而《范铸》在有关论证过程中不但没有实事求是地对没有观察到分馏的大部分数据结果予以客观说明, 反而含糊其词, 将不存在分馏的有关数据与明显异常的数据混为一谈, 将它们

都作为铅锡青铜熔铸过程存在铅同位素分馏的证据。原文用相互矛盾的数据结果,质疑具有普遍性的科学定律,说服力相当有限。

从《范铸》全部 8 个实验来看,绝大多数实验的数据结果不存在可以解释为显著分馏效应的可能性。原文仅仅依据少数异常数据断定冶铸过程中存在不可忽略的铅同位素分馏,是难以成立的。

应该指出的是,《范铸》回避“显著分馏”的提法,回避关键性的分馏幅度问题,刻意使用诸如“可能存在”、“有限”、“微小”等说法,但又强调这种微小分馏能够动摇铅同位素考古研究的前提基础,要求先对“在冶炼以及铸造等物理和化学过程中不会产生分馏或分馏效应微弱可忽略不计”这一前提条件,“通过实验进一步论证”,“进一步探索冶铸过程中铅同位素的分馏机理和规律”;否则,“皮之不存,毛将焉附”?《范铸》貌似审慎,实则立论轻率,给人以自相矛盾之感。

2.3 关于与挥发烧损率有关的铅成分数据结果

根据 Rayleigh 分馏定律,熔铸过程铅同位素的

分馏与铅的蒸发烧损直接相关。其公式中 f 与烧损率 ρ 的关系为

$$f = 1 - \rho$$

因此,古代青铜金属工艺过程中铅的蒸发烧损是一个在讨论铅同位素分馏时不应遗漏的问题。

《范铸》没有对这一问题进行科学分析,仅描述了进行熔铸实验时铅的蒸发烧损现象:

“实验过程中只要铅料加入到熔融状态的铜锡合金中,立即可见到青白色的铅蒸汽从坩埚里冒出,而浇铸时,水口处也可见到蒸发的青白色气体和浮在表面的泡沫。”

这些文字描述是很感性的,意在渲染铅金属在高于其熔点温度条件下十分容易蒸发烧损,从而强调熔铸过程必然存在不可忽略的铅同位素分馏。实际上,铅成分在熔铸过程中的蒸发烧损是一个完全可以用精确的数据进行定量讨论的问题。铅成分在熔铸过程中的蒸发烧损率,可以从各原料成分和熔铸产品的含铅量等数据准确计算。现将原文 8 个实验的有关数据及计算得到的烧损率列于表 3。

表 3 《范铸》实验中铅成分的烧损和“烧增”

Table 3 The lead loss and the lead 'increase' in melting experiments reported by Qin *et al.*

	实验 1 *	实验 2 *	实验 3	实验 4	实验 5	实验 6	实验 7	实验 8
产品铅含量理论值/ %	< 0.07	< 0.04	< 0.15	< 0.14	< 4.77	< 4.83	< 4.80	< 4.91
实测铅含量数据/ %	0.01	0.07	0.04	0.15	5.05	7.54	5.50	4.95
烧损率/ %	> 85.7		> 73.3					
“烧增”率/ %		> 75.0		> 7.1	> 5.9	> 56.1	> 14.6	> 0.8

* 实验 1、实验 2 辅料砂锡原文未说明添加数量,根据其熔铸产品的铅同位素组成数据完全未见辅料砂锡所含杂质铅的影响,这里以主料铜的杂质铅含量作为熔铸产品铅含量的理论值。

按照《范铸》所言,铅锡青铜熔铸实验 5~8 都观察到铅蒸汽显著蒸发。然而,依据表 3,这 4 个实验中铅成分似乎都没有出现烧损,反而出现“烧增”,有的还增加高达 56.1%。这些数据结果与原文的文字描述是矛盾的,也违背金属物理学定律。锡青铜熔铸实验 1~4 中,有两个烧损量竟然达到 85.7% 和 73.3% 以上,而实验 2 则“烧增”达到 75.0% 以上。如前所述,这些实验的熔融加热时间和温度条件都基本相同,但它们的数据结果却相互矛盾。

根据已有关于商代青铜觚铸造工艺的复原实验,包括铅在内的金属料“在熔铸过程中烧损的量都较小”,铅料的挥发烧损率约为 8%^[9]。表 3 实验数据,没有一个与之相符。如果用这些数据代入 Rayleigh 公式进行铅同位素分馏幅度的计算,显然无法获得正确结果。

可见,原文又一次将问题尖锐地摆在我们面前:信任其实验结果,还是信任科学定律?

原文粗糙的实验工作应该是产生这些可疑数据的根本原因,在利用这些数据结果进行论证时,作者显然也未对数据质量及其可靠性进行充分研究。

3 结 语

国际上自 20 世纪 80 年代以来对古代冶铸条件下铅同位素分馏的问题已经有很多实验工作。结果证明,人为金属工艺过程对铅同位素组成的改变是完全可以忽略的。^[7]《范铸》对所有前人的相关工作无一提及,有违于科学研究规范。科学本无禁区。已经获得普遍承认的科学定律,是可以质疑,可以再研究的;前人做过的实验研究也是可以重复检验的。但是,这种质疑普遍性科学定律的研究必须严肃认

真, 这种重复性的实验工作一定要在充分了解已有研究成果的基础上, 更加精确、更加严密地进行, 这样才可避免低水平的重复。如果轻率地用相互矛盾的数据结果质疑普遍性科学定律, 用感性的文字渲染代替精确的定量分析, 用笼统含混、主观随意的解释代替细致缜密的讨论, 把实验科学当作某种主观需要的道具, 势必陷实验科学于尴尬境地。

参考文献:

- [1] 秦颖, 王昌燧, 朱继平, 等. 青铜器铅同位素指示意义的范铸实验研究[J]. 文物保护与考古科学, 2004, 16(2): 36~38.
QIN Ying, WANG Chang-sui, ZHU Ji-ping *et al.* Molding experiment on indicating meaning of lead isotopes in bronzes[J]. *Sci Conserv Archaeol*, 2004, 16(2): 36~38.
- [2] 金正耀. 铅同位素示踪方法应用于考古研究的进展[J]. 地球学报, 2003, (6): 548~551.
JIN Zheng-yao. Achievements in applying Pb-isotope analysis for ancient Chinese bronzes[J]. *Acta Geosci Sin*, 2003 (6): 548~551.
- [3] 金正耀, 朱炳泉, 常向阳, 等. 成都金沙遗址铜器研究[J]. 文物, 2004, (7): 76~88.
JIN Zheng-yao, ZHU Bing-quan, CHANG Xiang-yang *et al.* Lead isotope analysis of the bronzes unearthed at Jin-sha site in Chengdu [J]. *Cult Relics* 2004, (7): 76~88.
- [4] 金正耀. 论商代青铜器中的高放射成因铅[J]. 考古学集刊, 2004, (15): 269~278.
JIN Zheng-yao. On the High-radiogenic lead in Shang bronzes[J]. *Papers Chin Archaeol*, 2004, (15): 269~278.
- [5] Hoefs J. 刘季花等译. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 海洋出版社, 2002. 35.
Hoefs J. *Stable isotope geochemistry* [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1997, chapter 2.
- [6] 冯富根, 王振江, 华觉明, 等. 殷墟出土商代青铜觚铸造工艺的复原研究[J]. 考古, 1982, (5): 532~541.
FENG Fu-gen, WANG Zhen-jiang, HUA Jue-ming, *et al.* A study for reviving the process of making bronze *gu* in YinXu era[J]. *Archaeology*, 1982, (5): 532~541.
- [7] Gale N H, Stos-Gale Z. Lead isotope analyses applied to provenance studies[A]. In: Gilberto E. Spoto Geds. *Modern analytical methods in art and archaeology*[M]. A John Wiley & Sons, 2000. 525~528.

The feasibility of lead isotope analyses for provenance study—

Comments on Qin *et al* “molding experiment on indicating meaning of lead isotopes in bronzes”

JIN Zheng-yao

(Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: Numerous studies during decades of the last century have contributed to the application of lead isotope analyses to trace the metal source of ancient bronzes. Qin *et al* raised some related questions once again and stressed that lead isotope analyses could not reveal the source information of copper, tin or lead in bronze research. This paper suggests that the experimental data contradict with the viewpoints they put out in their report, and their conclusion lacks tenability

Key words: Provenance study; Lead isotope analyses; Bronze