

铅同位素示踪方法应用于考古研究的进展

金正耀

K85 A

(中国社会科学院世界宗教研究所,北京,100732)

摘要 应用Pb同位素示踪方法对中国青铜时代考古遗址出土青铜器进行研究,在商代青铜器中发现很多器物含有十分罕见的高放射成因铅;将从黄河流域到长江流域出土含高放射成因铅青铜器的这些商代遗址串联起来,可以得到一条“青铜之路”——青铜业所需金属原料以及青铜制品的流通路线。

关键词 铅同位素示踪方法 商代青铜器 高放射成因铅 青铜之路

Achievements in Applying Pb-Isotope Analysis to Ancient Chinese Bronzes

JIN Zhengyao

(Institute of World Religions, CASS, Beijing, 100732)

Abstract Analyzing numerous ancient Chinese bronze objects unearthed at the archaeological sites by lead isotopic method, the author found that a major portion of Shang (1 600 ~ 1 100 B. C.) bronzes contained a kind of high-radiogenic lead. The research results suggest that there existed a 'bronze road' linking the Shang sites in both the Yellow River valley and the Yangtze River valley in Shang dynasty.

Key words lead isotopic analysis Shang bronzes high-radiogenic lead bronze road

1 Pb同位素方法在青铜时代考古中的应用

人类在青铜时代最为重要的“工业活动”是青铜生产。当时青铜业所需大量金属原料的找寻,包括矿石采掘、冶炼,金属坯锭的运输,到青铜制品的铸造生产和消费,无不构成上古社会历史考古研究的重要内容。然而,对于中国历史考古学者来说十分棘手的是,关于夏商周三代的这一切研究课题,并没有足够的文献资料可以利用。因此,借助自然科学的方法和手段,是突破学术困境的希望所在。

Pb同位素示踪方法应用于青铜器考古研究的基本原理在于,由于地球上铜、锡、铅金属矿床在其形成的地质年代以及形成过程中环境物质中铀钍浓度条件方面的差异,其Pb同位素组成亦各有差异,即Pb的4种稳定同位素(^{204}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 和 ^{208}Pb)的含量比率各有特征;4种稳定同位素在古代

青铜业的一般冶炼、铸造等加热过程中不会发生分馏,与微量元素相比,可更好地保留原产地的信息(Pernicka, 1992)。所以,通过比较青铜器样品和矿床的Pb同位素分析数据,可以进行青铜金属原料来源的产地研究;同时,比较各个时代或时期青铜器样品的Pb同位素数据,也可以了解不同时期、不同地区矿山开采利用的盛衰变迁,进而推动关于上古时代的有关研究。

中国古代青铜器一般为铜锡合金或者铜锡铅三元合金。另外有部分红铜器,也有铅器及锡器。就铜锡铅三元合金和铅器而言,Pb同位素分析得到的数据反映的是铅料来源的信息;红铜器和锡器的Pb同位素数据,理论上应该分别是反映铜料和锡料的来源信息。锡青铜,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

本文为国家人事部2001年留学人员资助“夏商青铜器铅同位素示踪研究数据库”项目成果。

责任编辑:官月莹。

作者:金正耀,男,1956年生,博士,研究员,主要从事实验考古学、矿业与金属史,以及道教史研究。

料的 5~20 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。

2 商代青铜器中的高放射成因铅

中国铅同位素考古研究从 20 世纪 80 年代初开始起步(金正耀,1984),目前已经完成包括二里头夏文化遗址在内的绝大多数中国上古时代考古遗址出土青铜器的分析工作。这些工作中最富历史考古学价值的是在黄河流域和长江流域商代遗址出土青铜器中都发现大量器物含有同位素组成特征相似的高放射成因铅(HRL)。含这种高放射成因铅的青铜器,最早在偃师商城和郑州商城时期开始出现,包括湖北盘龙城青铜器等整个商代二里冈时期的青铜器中则约占 50% (金正耀等 1998, 2000; 彭子成等, 2001; 孙淑云等, 2001); 在晚商殷墟第一、二期器物中所占比例达 80% 左右; 殷墟第三期大幅减少至 40% 左右; 在殷墟第四期已不多见(金正耀等, 1998)。长江流域四川三星堆祭祀坑青铜器近 50 件器物的 53 个分析数据全部属于这种高放射成因铅(金正耀等, 1995); 江西吴城文化青铜器(彭子成等, 1997)和新干大墓青铜器(金正耀等, 1994)所分析的共 20 余件器物含这种高放射成因铅的器物有约 15 件。以上数据的测定均由笔者完成于日本东京文化财研究所, 所用质谱计为 VG Sector-J 型, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的误差均小于 0.06%。

含高放射成因铅的青铜器只有商代比较多见。含这种 Pb 同位素组成的青铜金属原料的供应直到商代末期的殷墟第三期末才完全中断。商代以前的二里头夏文化遗址和殷墟三期以后时代的青铜器中都很少见(金正耀等, 1998)。在地域分布上,无论在西南地区的成都平原,还是长江流域其他商代遗址,以及黄河流域商王朝统治的中心地区,出土青铜器中都有这种器物(金正耀等, 1998; 金正耀, 2000)。流出海外的商代青铜器,如日本泉屋博古馆和美国华盛顿赛可勒艺术馆的收藏品,经过分析很多都含有高放射成因铅(平尾良光等, 1999; Barnes 等, 1987)。

通过对这些青铜器的化学成分分析,发现部分

含高放射成因铅的青铜器属于红铜和锡青铜材质,但很多这种器物的含铅量很高,最高的高达 20% 以上(Barnes 等, 1987; 金正耀等, 1998; 彭子成等, 1997; 孙淑云等 2001)。铜矿含高放射成因铅的较为常见,但铜矿石中的杂质铅含量很低,所以,铅合金成分如此高的高放射成因铅,只能来自铅矿。但无论在中国大陆还是在全球范围,这种密西西比型的高放射成因铅铅矿都是屈指可数的。通过比较,发现商代青铜器中这种高放射成因铅数据与中国滇东北永善金沙厂等铅锌矿数据存在差异(金正耀等, 1994, 1995; 朱炳泉等, 2002),在全球范围内,与已知的密西西比型铅矿数据相比,其 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 数值特别是 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 也显得异常高(图 1),目前尚未发现与之完全一致的铅矿。因为这种高放射成因铅的铅同位素组成如此罕见,而且所有这些商代遗址含高放射成因铅青铜器的数据结果又相当一致,所以,这种特殊的 Pb 同位素组成的青铜金属矿料应该来自同一或者相邻近的矿产地区(金正耀等, 1998)。

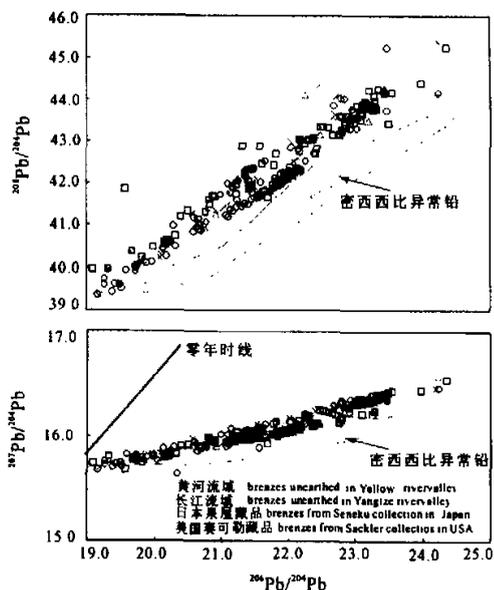


图 1 商代含高放射成因铅青铜器与密西西比异常铅比较图(据 Zartman, 1979; Karpenko 等, 1981)

Fig. 1 Plots for $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ for Shang bronzes containing HRL and selected ore deposits of the Mississippi Valley type (after Zartman, 1979; Karpenko et al., 1981)

3 联结西南和中原的“青铜之路”

除了黄河流域位于商人统治的中心地区的都城遗址以外,长江流域的商代遗址大多位于或者临近

青铜金属原料矿产比较丰富的地区。如果将所有这些出土含高放射成因铅的商代遗址串联起来,便形成一条“青铜之路”(图2)。

西南地区丰富的青铜金属资源正是沿着这条通路流向商王朝统治的中原腹地地区。长江中游地区的铜矿资源,例如江西瑞昌铜岭和湖北铜绿山古铜矿在不同时期也曾经为商人所利用,沿着这条通路流向中原。而中原商文明的青铜技术以及表现其精神文化的青铜礼器制品也是通过这条路线向长江流域传播。这条由出土含高放射成因铅青铜器的商代遗址联结而成的“青铜之路”,应该是 Pb 同位素示踪方法应用于古代青铜文明研究,在商代青铜器中发现罕见高放射成因铅这一科学成果所具有的最为重要的历史考古学意义。

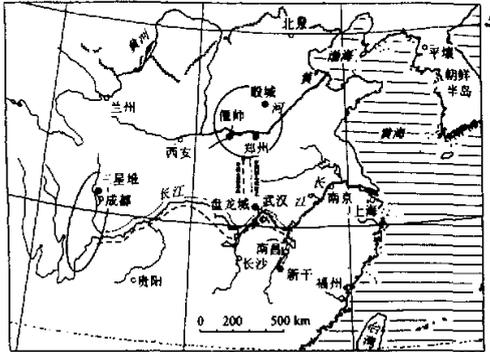


图2 商代联结黄河长江两大流域的“青铜之路”

Fig.2 A bronze road linking the valleys of Yellow River and Yangtze River in Shang era

4 未解之谜

朱炳泉等(2002)曾有专文分析这一成果在地质与地球化学研究方面的意义,同时也分析了中国大陆上这种高放射成因铅矿床几种可能的存在地区。提出高放射成因铅矿床在云南东北部一带的可能性应该是第一位的(朱炳泉等,2002)。

最先发现的含高放射成因铅的商代青铜器,是河南安阳殷墟妇好墓中出土的几件青铜器。笔者当时推测,这种高放射成因铅原料可能来自一多金属共生的地区。因为数据较少,且与云南东北部永善金沙厂等异常铅矿床数据差异尚不明显,因此笔者提出,殷墟青铜器中的高放射成因铅金属原料来自该地区的可能性较大(金正耀,1984)。这便是“西南说”。在之后工作中发现成都平原三星堆青铜器经过分析全部含有这种高放射成因铅,虽然三星堆青

铜器数据与滇东北金沙厂等矿山数据存在差异,但从西南地区出产丰富的铜锡铅青铜原料矿产的地质事实看,三星堆青铜器的原料矿产取自西南本地区的可能性应该较大。朱炳泉等(2002)从地球化学专业角度给出的分析,无疑加强了“西南说”这一观点。

如果能在黄河流域找到这种高放射成因铅矿产地,可能更容易为大家接受。但无论秦岭地区还是这条“青铜之路”中段的长江中游地区,似乎都没有这种高放射成因铅矿存在的线索。事实上,因为西南同这条“青铜之路”上的其他商代遗址在交通上的困难都是大致相同的,所以,无论将有关产地置于何处,研究者都要遇到同样的困惑:“为什么要从如此遥远的地方输入青铜原料?”有关问题显然牵涉更为广泛的论题,有待另外讨论。

致谢 20世纪80年代初,笔者在业师钱临照院士、李志超教授指导下最早将 Pb 同位素示踪方法应用于中国青铜时代考古研究,得到黎彤教授、陈移之教授、彭子成教授的支持和帮助;90年代与 W. T. Chase 博士、马渊久夫教授和平尾良光博士等美日学者合作继续这一研究以来,有关高放射成因铅的问题多获涂光炽院士、朱炳泉教授和夏毓亮教授指教;陈毓川院士、许荣华教授和常向阳博士等给予热情支持和帮助。笔者2002年冬访问伯克来地质年代学中心同 Dr. K. Ludwig 讨论了商代青铜器中的高放射成因铅,深获教益。谨此一并致谢。

参考文献

- 金正耀. 1984. 晚商中原青铜的矿料来源. 第二届国际中国科学史讨论会论文集, 北京: 科学出版社, 287~291.
- 金正耀. 2000. 中国古代文明をさぐる——鉛同位体比によるを中心に, 载马渊久夫, 富永健编《考古学と化学をむすぶ》, 东京: 东京大学出版社, 169~194.
- 金正耀, W T Chase, 平尾良光等. 1994. 江西新干大洋洲商墓青铜器的铅同位体比值研究. 考古, (8): 744~747.
- 金正耀, 马渊久夫, W T Chase 等. 1995. 广汉三星堆遗址青铜器的铅同位体比值研究. 文物, (2): 80~85.
- 金正耀, W T Chase, 平尾良光等. 1998. 中国两河流域青铜文明之间联系. 中国商文化国际学术讨论会论文集. 北京: 中国大百科全书出版社, 425~433.
- 彭子成, 孙卫东, 黄允兰等. 1997. 赣鄂皖诸地古代矿料去向的研究. 考古, (7): 53~61.
- 彭子成, 王兆荣, 孙卫东等. 2001. 盘龙城商代青铜器铅同位素示踪研究. 见: 盘龙城. 北京: 文物出版社, 552~558.
- 平尾良光, 铃木浩子, 早川泰弘等. 1999. 泉屋博古馆が所蔵する中国古代理器の鉛同位体比. 泉屋博古馆纪要, (15): 25~46.
- 孙淑云, 韩如盼, 陈铁梅等. 2001. 盘龙城出土青铜器的铅同位素测定报告. 见: 盘龙城. 北京: 文物出版社, 545~551.

朱炳泉,常向阳.2002.评“商代青铜器中高放射成因铅的发现”.古代文明,(1):278~283.

References

- Barnes I L, Chase W T, Deal E C. 1987. Lead isotope ratios of ancient Chinese bronzes in the Arthur M. Sackler collections. In R. Bagley: *Shang Ritual Bronzes in the Arthur M. Sackler collections*, Appendix 2, Harward University Press, 558~561.
- Doe B R, Zarrman R E. 1979. *Plumbotectonics I—the Phanerozoic*. In Barnes H L ed. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 2nd ed.: New York, Wiley-Interscience, 22~70.
- Hirao Y, Suzuki H, Hayakawa Y et al. 1999. Lead isotopic ratios of ancient Chinese bronzes from collections of Senoku Museum. *Senoku Museum Digest*, (15):25~46 (in Japanese).
- Karpenko S, M H Deievau, B R Doe. 1981. Lead isotope analyses of galenas from selected ore deposits of the USSR. *Economic Geology*, 76:716~742.
- Jin Zhengyao. 1984. The ore sources for making bronzes in the Central Plain by the Late Shang Period. *Collected essays from the Third International Conference on the History of Science in China*. Beijing: Science Press, 287~291 (in Chinese).
- Jin Zhengyao. 2000. Quest for the Lost Civilization in China. In: *Chemistry and Archaeology*. ed. H. Mabuchi and K. Tominaga, Tokyo: Tokyo University Publishing House, 169~194 (in Japanese).
- Jin Zhengyao, Chase W T, Y Hirao et al. 1994. Lead isotope studies on bronzes from the Shang tomb at Dayangzhou in Xin'gan, Jiangxi. *Archaeology*, (8):744~747 (in Chinese).
- Jin Zhengyao, Mabuchi H, Chase W T. 1995. Lead isotope studies on bronzes from the pits at the Sanxingdui site in Guanghan. *Cultural Relics*, (2): 80~85 (in Chinese with English abstract).
- Jin Zhengyao, Chase W T, Hirao H et al. 1995. Yellow River valley and Yangtze River valley: the question of contact with distant bronze cultures, collected essays from the international conference on the Shang Culture, ed. Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences. Beijing: Great Encyclopedia Press, 258~266 (in Chinese with English abstract).
- Jin Zhengyao, Hirao Y, Chase W T et al. 1999. Scientific study on Early Chinese Bronzes, collected essays from the fourth international conference on the Beginning of the Use of Metals and Alloys (Shimane, Japan). Tokyo: The Japan Institute of Metals, 127~132. Reprinted in *humanities*: Chinese Academy of Social Sciences Forum, ed. Foreign Affairs Bureau of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing: China Social Sciences Publishing House, 198~208.
- Peng Zicheng, Sun Weidong, Huang Yunlan et al. 1997. A preliminary study on the areas using copper ore yielded in the ancient Jiangxi, Hubei and Anhui region. *Archaeology*, (7): 53~66 (in Chinese with English abstract).
- Peng Zicheng, Wang Zhaorong, Sun Weidong et al. 2001. Lead isotope studies on Shang bronzes from Panlongcheng. In: *Panlongcheng*. Beijing: Cultural Relics Press, 552~558 (in Chinese with English abstract).
- Pernicka E. 1992. Comments III, evaluating lead isotope data: comments on E. V. Sayre, K. A. Yener, E. C. Joel and I. L. Barnes, 'Statistical evaluation of the presently accumulated lead isotope data from Anatolia and Surrounding regions', and reply. *Archaeometry*, 34(2): 322.
- Sun Shuyun, Han Rubin, Chen Tiemei et al. 2001. A report for determining lead isotope ratios of bronzes unearthed at Panlongcheng site. In: *Panlongcheng*. Beijing: Cultural Relics Press, 545~551 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Bingquan, Chang Xiangyang. 2002. On cussion of the discovery of high-radiogenic lead in Shang bronzes. *Ancient Civilizations*, (1): 278~283 (in Chinese with English abstract).