《自然科学史研究》 第 44 卷 第 3 期（2025 年）：293—311
Studies in the History of Natural Sciences Vol. 44 No. 3(2025)

洛阳出土东周铜币的科技考古研究

袁晓红✉
（洛阳市考古研究院，洛阳 471000）

摘 要 对东周洛邑出土的 13 件铜币进行金相组织、扫描电镜能谱(SEM-EDS)成分分析和电感耦合等离子体质谱(MC-ICP-MS)铅同位素比值分析，显示洛阳东周铜币合金类型为红铜和铅锡青铜。空首布合金配比、铸造技术稳定，圜钱为红铜铸造。铸造铜币使用了普通铅和高放射性成因铅两种矿料。东周铜器出现大比例的高放射性成因铅矿料的现象尤为重要，值得进一步研究。发现了一件$^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值达 30.44 的平首布属于地质上罕见的铀源铅，对比已发表的矿山数据，中条山的铜矿峪铅同位素数据与之吻合，从而获得了中条山金属资源开采利用的直接证据。金相组织中存在大量的硫化亚铜夹杂物表明，在冶炼矿石中存在着铜的硫化矿物。本文将冶金史研究与考古学相结合，为探索东周洛邑地区铸铜金属资源来源提供了新证据，对东周金属资源产地产生了新认识，为周王室与诸侯国的青铜器和青铜文化研究提供了新思路，对完善中条山古铜矿区考古学文化序列具有参考价值。通过本文的科技分析，对下一步中条山古矿区的发掘具有指导意义。

关键词 洛邑；东周；铜币；铅同位素比值；金相组织；合金成分
中图分类号 N092
文献标识码 A **文章编号** 1000-0224(2025)03-0293-19

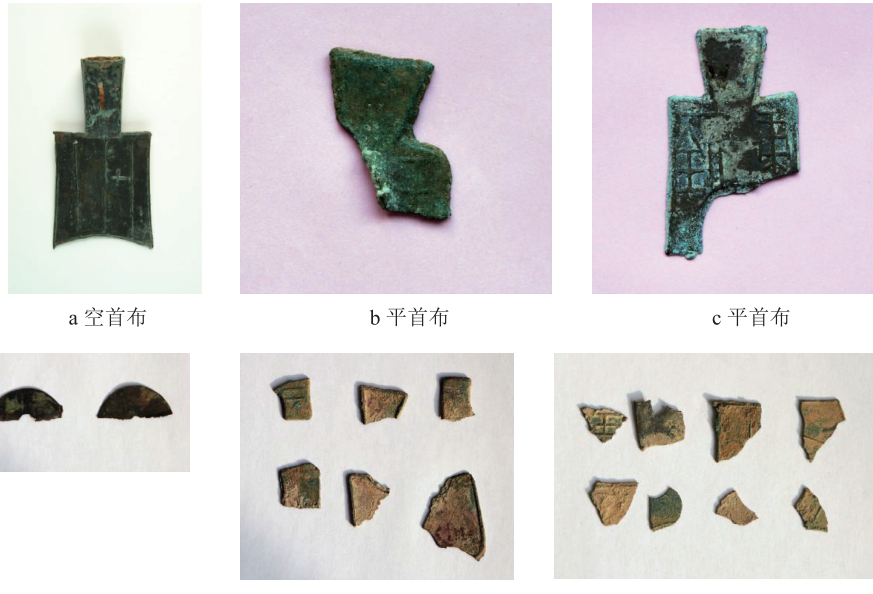
洛邑是东周都城，作为当时全国的最高政治中心，洛邑有其特定的考古学文化。洛阳东周出土的铜币一直是学界关注的热点，学者的研究主要集中于钱币类型学、器物分期等。[1-3]东周铜币的重要性在于它们具有明确的铸行地区和年代范围，这些地区有关矿产是否被开发利用也是明确的。东周铜币的金属资源来源、合金配比、铸造工艺等为探讨东周各国资源网络、技术互动及政治关系提供了新视角，也一直是冶金史研究的重点。周卫荣、戴志强等对先秦铜币的铸造和合金成分等发表过深入见解。[4,5]

收稿日期：2023-08-04；**修回日期**：2024-07-23。
作者简介：袁晓红，1976 年生，河南潢川人，副研究馆员，研究方向为技术史、冶金考古，Email：yxh2166@sina.com。
基金项目：国家社会科学基金一般项目“洛邑地区出土铜器的多学科研究”(项目编号：20BKG033)。

刘睿良根据先秦铜币的化学成分建立模型对铜币合金化过程进行探索。[6] 金正耀分析了燕、齐、楚、魏货币，指出各国货币铅料资源主要来自境内，齐和燕、魏和楚、魏和齐等国间存在矿料交流。[7] 陈建立研究团队对战国中晚期燕、赵地区铅料资源的历时性变化与地域性特征做出了探索[8]，张吉在对汉淮地区青铜器资源的研究中，探讨了部分东周货币的铅料资源[9,10]，而作为东周冶金技术的核心地区，洛邑铜币的金相组织、合金成分、铅同位素比值和考古学内涵的综合研究尚为空白。本文的科技分析对深入认识东周洛邑的冶金技术、金属资源来源及相关问题，尤其对研究商周时期冶金考古和冶金史将起到重要作用。

1 铜币的出土情况

1974 年 8 月，洛阳市文物工作队在东周王城内出土一批空首布，窖藏年代早于战国晚期，平肩布大型 1 枚、中型 14 枚、小型 1 501 枚，其中“安臧”布为 808 枚。[11] 这批空首布地层清晰。1958 年 9 月，洛阳老城的董村出土了一批战国时期的货币，平首布共 583 枚，圜钱共 118 枚，均为圆形、圆孔、背面平素，钱面有铭文，不远处还发现一件东周的陶范。[12] 1991 年 11 月，发掘了一批东周墓葬，其中 C1M3498 位于东周王城遗址内中部偏北处，墓主人属卿大夫一级的贵族。墓中出土铜贝 307 枚(C1M3498：43)，椭圆形，中间有槽沟和齿纹。[13] 我们根据形制对 3 处墓葬选择有代表性的 13 件铜币做技术分析。其中，5 件空首布，4 件平首布(部分带有铭文)，3 件圜钱，1 件铜贝，部分样品照片见图 1，样品清单见表 1。



a 空首布　b 平首布　c 平首布

d 圜钱　e 残片标本　f 残片标本

图 1　部分铜币样品

表 1　取样清单

样品编号	样品名称	有无铭文	所属时代	出土地点	文献来源
ZY2673	铜贝	无	春秋中期	洛阳东周王城中部偏北	《洛阳西工区春秋墓发掘简报》
ZY2652	空首布	无	早于战国晚期	洛阳东周王城东北角	《洛阳出土的空首布》
ZY2653	空首布	有	早于战国晚期	洛阳东周王城东北角	《洛阳出土的空首布》
ZY2654	空首布	有	早于战国晚期	洛阳东周王城东北角	《洛阳出土的空首布》
ZY2668	空首布	有	早于战国晚期	洛阳东周王城东北角	《洛阳出土的空首布》
ZY2669	空首布	有	早于战国晚期	洛阳东周王城东北角	《洛阳出土的空首布》
ZY2655	圜钱	有	战国晚期	洛阳董村	《洛阳附近出土的两批东周货币》
ZY2656	圜钱	有	战国晚期	洛阳董村	《洛阳附近出土的两批东周货币》
ZY2672	圜钱	有	战国晚期	洛阳董村	《洛阳附近出土的两批东周货币》
ZY2657	平首布	有	战国晚期	洛阳董村	《洛阳附近出土的两批东周货币》
ZY2658	平首布	有	战国晚期	洛阳董村	《洛阳附近出土的两批东周货币》
ZY2671	平首布	有	战国晚期	洛阳董村	《洛阳附近出土的两批东周货币》
ZY2670	平首布	无	战国晚期	洛阳董村	《洛阳附近出土的两批东周货币》

2　分析方法

2.1　金相观察

首先对样品截面进行镶样、磨光、抛光。未浸蚀样品先观察夹杂物和锈蚀，然后再用 3%三氯化铁盐酸溶液侵蚀以显出样品的微观组织形貌。通过金相观察了解样品组织结构、夹杂物形貌、特征、分布判断制作工艺。

2.2　扫描电镜分析

样品重新抛光后，用扫描电子显微镜观察细部组织形态，并用能谱分析仪对样品进行无标样定量成分测定。考虑到样品成分偏析，分析基体合金成分尽可能在低倍视场下选取较大的分析面，选择 2—3 处区域进行测定，取平均值作为平均成分。夹杂物的成分以微区分析进行测量。本研究金相观察所用仪器为德国卡尔蔡司公司的 Axio Observer A1 型金相显微镜。成分分析所用实验设备为日本 SHIMADZU 公司的 SSX-550 型扫描电子显微镜，能谱仪为该公司的 SEDX-550 型，其激发电压为 25kV，扫描时间 >60s。

2.3　铅同位素分析

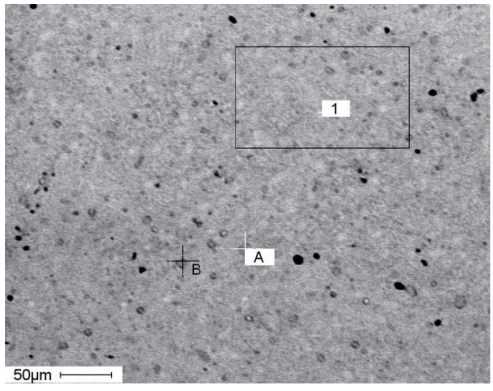
取适量样本，经清洗干燥后，加数滴硝酸溶解后经去离子水稀释，在弱酸性条件

下采用电解沉积法提纯铅，利用 ICP-MS 测量提纯铅溶液的浓度并稀释到合适的浓度。实验前处理工作完成于中国科学技术大学科技考古实验室，上机测试工作完成于中国科学技术大学地球空间学院。测试仪器为德国 ThermoScientific 公司的多接收电感耦合等离子质谱仪(neptuneplusMC-ICP-MS)，仪器型号 ISOPROBE-T。测试过程中，间隔几个样品测量一次 200ppb NBS-981 标准铅溶液，以矫正仪器质量分馏。对标样和样品的重复测量表明仪器的 2σ 标准误差小于±0. 001。

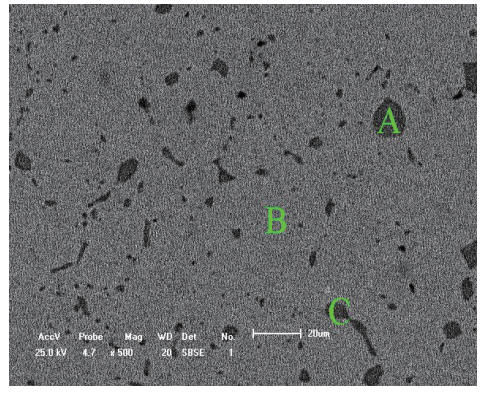
3 结果和讨论

3. 1 铜币的化学成分和金相组织的结果

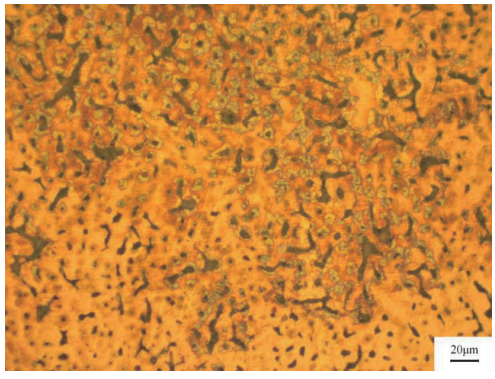
13 件铜币样品金相照片和扫描电镜背散射照片见图 2。金相组织和扫描电镜能谱结果分析结果见表 2。



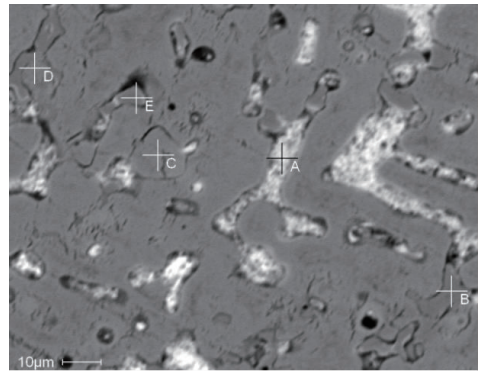
a 圜钱ZY2655电镜照片（A、B：硫化亚铜夹杂）



b 圜钱ZY2672背散射照片（A、C：硫化亚铜夹杂；B：基体）

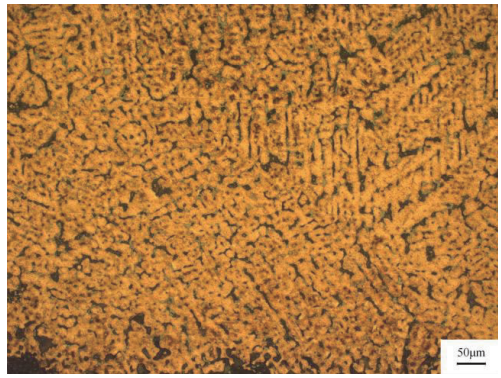


c 平首布ZY2657：铜锡α固溶体，锡铅青铜铸造组织

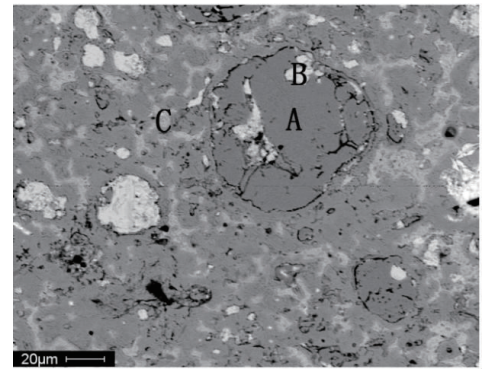


d 平首布ZY2657：A高铅相；B：硫化亚铜夹杂；C、D：铜锡α固溶体；E：硫化亚铜夹杂

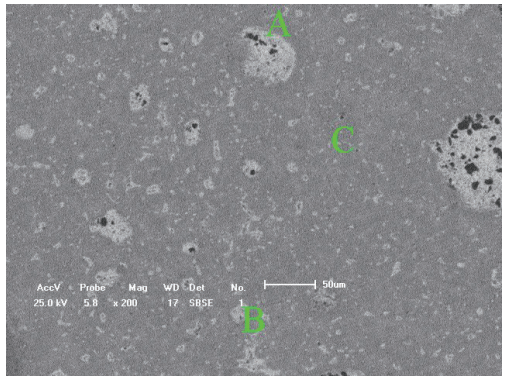
图 2 样品的金相照片和扫描电镜背散射照片



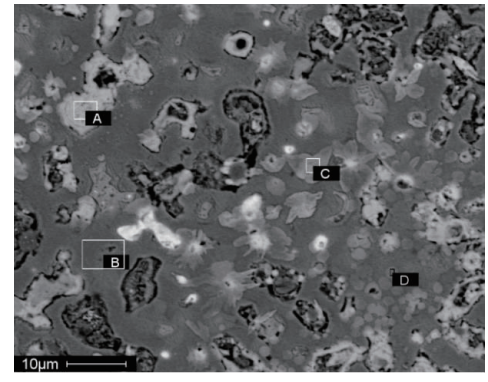
e 平首布ZY2671锡铅青铜铸造组织，蓝色豆芽状为硫化物夹杂



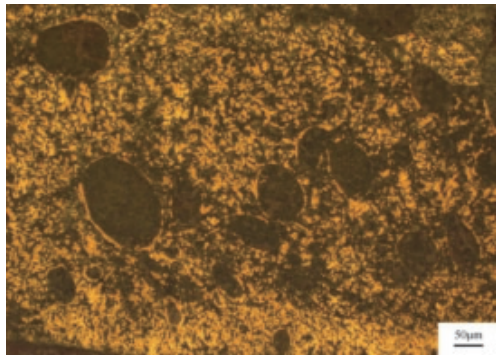
f 空首布ZY2652背散射照片（A：纯铜颗粒；B：铅析出相；C：夹杂物）



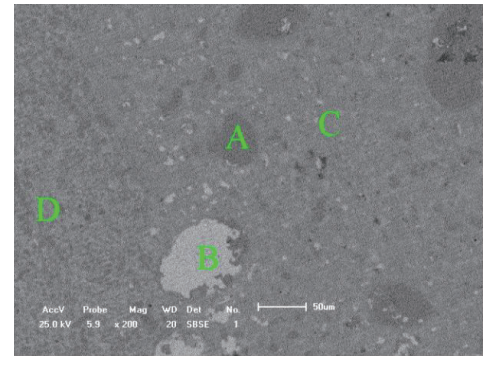
g 空首布ZY2653背散射照片（A：铅颗粒；B：硫化物夹杂；C：基体）



h 空首布ZY2668电镜照片（A：高铅相；B：基体；C：析出相；D：基体）



i ZY2673锈蚀。细小的（α+δ）共析体，球状及点状铅颗粒分布其中。



j ZY2673铜贝背散射照片（A：纯铜颗粒；B：铅颗粒；C：细小的（α+δ）共析体；D：基体）

续图 2　样品的金相照片和扫描电镜背散射照片

表 2 铜币的(SEM-EDS)成分分析结果和显微组织

器物名称/实验室编号	分析部位	元素含量(质量分数/%)								金相组织
		Cu	Sn	Pb	S	Fe	O	Si	As	
圜钱 ZY2655	面扫	96.5			1.7					红铜铸造组织，α固溶体，大量灰蓝色硫化物夹杂分布其中。见图 2-a
	面扫	97.5			1.4					
	面扫	97.2			1.3					
	A	70.8			23.8					
	B	75.8			19.5					
圜钱 ZY2656	面扫	98.3			0.8	0.9				红铜铸造组织
	面扫	95.3			0.8	0.9	3.1			
圜钱 ZY2672	面扫	92.7			1.3	3	3			红铜铸造组织，大量灰蓝色硫化亚铜夹杂物分布其中。见图 2-b
	面扫	96			1	3.1				
	A	55.6		0.9	18.9	24.6				
平首布 ZY2657	面扫	83.9	3.5	9.6	3					锡青铸造组织，α固溶体枝晶偏析明显，铅呈树枝状分布，大量的硫化亚铜夹杂。见图 2-c
	面扫	76.3	4	14.4	5.3					
	面扫	74.4	4	16.2	5.1					
	A	7.1		92.9						
	B	77.9			22.1					
	C	96.1	3.9							
	D	97.6	2.4							
	E	77.6			22.4					
平首布 ZY2670	面扫	85.3	5.9	6.7	2.8					锡青铸造组织，大量的硫化物夹杂分布其中
	面扫	84.8	5.6	6.8	2.7					
	面扫	83.9	3.5	9.6	3					
平首布 ZY2671	面扫	73.8	2	18.4	5.8					
平首布 ZY2658	面扫	77	4.4	5.6	1.5		11.6			铅锡青铸造组织，锈蚀
	面扫	78	4.42	4.6	1.8		11.2			
空首布（ZY2652）	面扫	69.2	14.2	16.6						铅锡青铸造组织。见图 2-f
	面扫	69.2	16.6	14.2						
	A	100								
	B			100						
	C	23.8	37.8	30.9		3.85			3.6	

续表

器物名称/实验室编号	分析部位	元素含量(质量分数/%)								金相组织
		Cu	Sn	Pb	S	Fe	O	Si	As	
空首布（ZY2653）	面扫	75.4	12.3	12.3						铅锡青铸造组织。见图 2-g
	A	4.1		66.6	24.9			4.4		
	B	58.9	16.6	4.2	2.4	12.6	5.4			
	C	64.5	6.9	28.6		3.9				
空首布（ZY2654）	面扫	75.9	9.8	14.3						铅锡青铸造组织
空首布（ZY2668）	面扫	72.5	8.5	19						铅锡青铸造组织。见图 2-h
		75.9	9.8	14.3						
	A	11.4		88.6						
	B	87.6	6.8	5.6						
	C	63.5	15.3	21.2						
	D	84.8	6.5	8.8						
空首布（ZY2669）	面扫	68.2	15.9	6.1	3.1		6.7			铅锡青铸造组织。锈蚀
铜贝（ZY2673）	面扫	60.5	16.5	15.5	7.5					铅锡青铸造组织，锈蚀，球状及点状铅颗粒分布其中，部分铅颗粒被腐蚀成空洞，自由铜沉积其中。见图 2-i、2-j
	面扫	68.2	10.6	7	3.9		10.2			
	面扫	61	13.8	9.9	3.1		12.3			
	A	85.6					14.4			
	B	3.4		64.5	19.4		12.7			
	C	87.4	7.7		0.5		4.4			
	D	50.2	19.1	1.9	7.6		21.1			

注：ZY2669、ZY2652、ZY2654 部分锈蚀，铜贝部分残留金属，其他测试均为金属本体。

3.2　洛阳出土东周铜币的合金成分和铸造技术

金相组织观察表明，圜钱为红铜铸造，空首布、平首布为铅锡青铜铸造。在已分析的样品中，10 件样品有硫化物夹杂，空首布 ZY2652 的夹杂物中有微量的铁、砷元素。

检测的空首布铜含量 61.6%—75.9%，平均值 69.5%；锡含量 8.5%—16.6%，平均值 12.6%；铅含量 14.3%—19.0%，平均值 16.5%。平首布锡含量较低(2.0%—5.9%)，平均值 3.6%，铅含量较低(4.6%—18.4%)，平均值 9.6%。铜币以含铜量高，锡、铅含量较低为特征。铜贝 C1M3498：43-1 铅、锡含量都较高，金属部分残留

有细小的(α+δ)共析体，由于锈蚀严重，大的球状铅被腐蚀后，被铜的氧化物及自由铜代替，有黑色锈蚀和铸造缩孔。以往研究战国铜币的特点是极高的铅含量[14]，其他地区出土铜币铅含量均在30%以上，甚至有高铅青铜与铅基铜合金。高铅铜合金熔点较低，铸造容易，硬度也较红铜有所增高，但因铅在青铜中凝固时呈游离相分布于晶间，使青铜的机械性能和抗腐性大大降低，质地很脆。[15]而钱币不需要很高的机械强度和韧性，铅又较铜和锡更为经济，因此当时选择大量铅用于铸币。但铜铅合金中铅含量达到36%时，铜与铅在液相就分成两相，[16]含铅量在10%以下的合金，铅以粒状和细枝晶状分布为好。从W. T. Chase[17]给出的铜、锡、铅含量与硬度、抗拉强度、延伸率的关系可知，含锡12%—13%的青铜熔液中加入6%的铅时，器物力学性能好，加入10%—15%的铅，熔液流动性最好，因此该配比范围的青铜合金铸造性能良好，这说明以洛阳为中心的王畿地区出土东周空首布合金配比合理、稳定。

表3 同时期其他地区出土或收藏的圜钱的合金成分

编号	文字	Cu	Sn	Pb	Fe	资料来源	出土或收藏地
YZB1	垣	94.42	0.52	1.8		[18]	上海博物馆
YZB2	垣	99.31	0.28	0.34		[18]	上海博物馆
YZB3	垣	92.08	0.32	6.18	1.88	[5]	出河南鹤壁
YZB4	垣	93.3	0.34	5.02	2.2	[5]	出河南鹤壁
MY1	明月	69.79	3.51	21.04	0.21	[5]	出燕下都
MY2	明月	75.92	7.03	13.51	0.38	[5]	出燕下都
1987，1111.1	甾四化	71.3	5.4	22.1	0.8	[19]	大英博物馆
1996，0217.173	甾四化	70.3	5.8	22.7	0.4	[19]	大英博物馆
1883，0802.77	甾四化	73	7.2	19.2	0.4	[19]	大英博物馆
1883，0802.78	甾四化	75.8	4.1	19.1	<0.1	[19]	大英博物馆
1883，0802.84	甾六化	75.8	6.1	17.5	0.4	[19]	大英博物馆
1996，0217.172	甾六化	64.4	3.2	31.6	0.3	[19]	大英博物馆
1882，0601.5	甾六化	75.2	3.9	20.1	0.8	[19]	大英博物馆
1865，0105.10	甾六化	68.4	6.6	22.9	1.9	[19]	大英博物馆

圜钱为红铜铸造是一个特殊的现象，本文收集了东周其他地区出土或收藏的圜钱的合金成分见表3。本次所有样品钱面都铸有铭文“垣”，上海博物馆收藏的“垣”字圜钱也为红铜铸造。[18]此外河南鹤壁出土的“垣”字圜钱铜含量都在92%以上[5]，但燕下都出土的“明月”字圜钱合金配比则和“垣”字圜钱明显不同。大英博物馆所藏齐国钱币中圜钱：“甾六化”与“甾四化”币锡含量平均为5.3%(范围3.2%—7.2%)，铅含量平均为21.9%(范围17.5%—31.6%)。[19]我们将检测结果与已发表数据进行比较，发现

洛阳、鹤壁出土的圜钱和上海博物馆收藏的圜钱合金配比基本相似，燕下都出土的“明月”字圜钱和齐国圜钱有相似之处。东周时期铜器的合金技术已经成熟，铜器一般为铜锡或铜锡铅合金铸造成型，圜钱是战国晚期出现的铸币形态[20]。多个地区“垣”字圜钱用红铜铸造是一个特殊的现象，是古人为提高其货币价值，还是有其他方面的考量，尚需进一步研究。

分析结果表明，洛邑东周铜币相比诸侯国铜币铜含量较高，圜钱为红铜，空首布、平首布、铜贝的铜含量在 73.8%以上(锈蚀样品除外)。另外，东周王城宫殿区北部发现了两块“安臧”平肩空首布陶范。面、背范各一件，质地细密坚硬，范面细心错磨，两范皆经浇铸使用。钱范的发现为探讨平肩空首布的铸行区域提供了重要证据，学者们认为钱范出土的地方应该是当年周王室铸钱作坊的所在地。[2,21-22]另外，通过研究战国古币的铅同位素比值，金正耀认为各国铸币所用的铅主要来自各国境内[7]。根据考古学、冶金学的综合研究结果可以判断这些钱币应是当地铸造，那么铸造铜币使用的矿料是来源于当地金属资源，还是来源于其他金属资源区？周王室与各诸侯国之间在资源的获取、分配方面存在怎样的关系？尚有待进一步考察。

3.3　洛阳出土东周铜币的铅同位素比值和矿料来源

洛阳出土东周铜币样品的铅同位素比值分析结果见表 4，同时期其他诸侯国铜币的铅同位素比值见表 5。

表 4　洛阳出土东周铜币样品的铅同位素比值

实验室编号	器名	合金类型	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
ZY2652	空首布	铅锡青铜	17.54	15.497	38.46	2.193	0.884
ZY2653	空首布	铅锡青铜	17.754	15.524	38.572	2.173	0.874
ZY2654	空首布	铅锡青铜	17.405	15.483	38.396	2.206	0.89
ZY2668	空首布	铅锡青铜	17.656	15.526	38.487	2.18	0.879
ZY2669	空首布	铅锡青铜	17.649	15.522	38.529	2.183	0.88
ZY2655	圜钱	红铜	21.551	16.024	39.234	1.821	0.744
ZY2656	圜钱	红铜	22.095	16.219	41.039	1.857	0.734
ZY2672	圜钱	红铜	22.108	16.219	41.037	1.856	0.734
ZY2657	平首布	铅锡青铜	22.117	16.222	41.052	1.856	0.734
ZY2658	平首布	铅锡青铜	22.339	16.139	39.479	1.767	0.722
ZY2670	平首布	铅锡青铜	30.442	17.052	41.701	1.37	0.56
ZY2671	平首布	铅锡青铜	17.533	15.481	38.103	2.173	0.883
ZY2673	铜贝	铅锡青铜	17.528	15.535	37.907	2.163	0.886

表 5 同时期其他邦国铜币的铅同位素比值[7]

实验室编号	器名	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
ZY392	二鼏四化	16.658	15.308	36.896	2.215	0.919
ZY393	四鼏四化	16.754	15.327	37.043	2.211	0.915
ZY394	八鼏四化	16.841	16.361	37.175	2.207	0.972
ZY395	九鼏四化	16.92	15.367	37.219	2.200	0.908
ZY416	安邑二釿	17.592	15.488	38.147	2.168	0.88
ZY417	安邑二釿	18.006	15.547	38.358	2.130	0.863
ZY418	安邑二釿	17.934	15.521	38.217	2.131	0.866
ZY419	安邑一釿	17.745	15.556	38.4	2.164	0.877
ZY420	安邑一釿	17.507	15.492	38.358	2.191	0.885
ZY396	燕国刀	21.257	16.101	42.153	1.983	0.757
ZY397	燕国刀	21.006	16.051	42.546	2.025	0.764
ZY398	燕国刀	17.386	15.439	37.782	2.173	0.888
ZY399	燕国刀	16.927	15.358	37.234	2.200	0.907
ZY400	燕国刀	18.311	15.619	39.219	2.142	0.853
ZY401	燕国刀	16.704	15.313	36.796	2.203	0.917
ZY402	燕国刀	16.413	15.278	36.66	2.234	0.931
ZY403	燕国刀	17.057	15.404	37.285	2.186	0.903
ZY404	燕国刀	16.606	15.303	37.061	2.232	0.922
ZY405	燕国刀	17.057	15.381	37.35	2.19	0.902

注：ZY418 安邑二釿、ZY419 安邑一釿铅含量分别为 12.69%、9.07%，其余均为高铅含量。

3.3.1 洛阳王都地区铜币的铅同位素组成

由洛邑铜币铅同位素图(图 3)所示，数据可分为 A、B、C 三个区域。A 区为普通铅区域，5 件空首布、1 件铜贝和 1 件平首布。B 区是高放射性成因铅区域[23,24]，3 件圜钱、2 件平首布，其中 2 件大口圜钱和 1 件平首布数值点完全重合。C 区平首布 ZY2670 铅锡青铜较为特殊，属于极富铀铅的一类铅同位素比值。

图 4 是洛邑铜币以合金类型分类的铀铅—钍铅关系图。铜币的合金类型有红铜和铅锡青铜，从图 4 看，两类合金并无同位素方面的差异，铜矿和铅矿的来源一致，并且数据点具有良好的线性关系，表明它们应来自同一矿山。

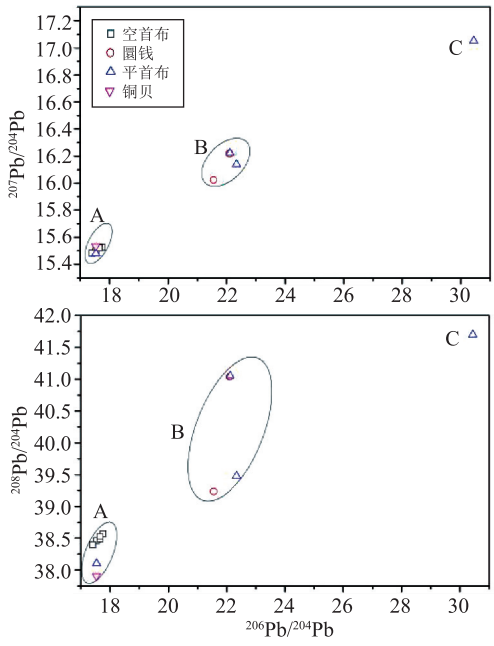


图 3　不同器物类型洛邑铜币铅同位素组成图

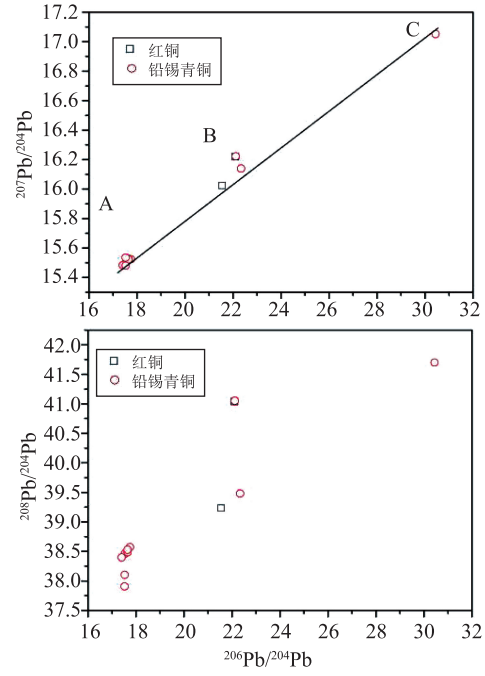


图 4　不同合金类型洛邑铜币铅同位素组成图

如图 5 所示，洛阳空首布、部分普通铅平首布、铜贝和魏国布币[7]落于 A 区，铅同位素比值数据点基本重合，说明这些铜币的铜、铅原料来自同一金属矿源区。

本次分析的平首布和圜钱都出土于洛阳董村，钱币以“梁正币百当爭”布为最多，其次是“垣”圜钱[12]。王毓铨认为梁正币百当爭布是公元前 362 年梁(魏)惠王迁都大梁(魏后期都城，今河南省开封市)以后铸造的货币[25]。黄锡全也认为梁布的铸行年代应该在梁惠王九年(公元前 362 年)魏从安邑(魏早期都城，今山西省夏县东下冯遗址)迁此之后[22]。平首布样品的铭文共有三种，为“甫反一斤”、“安邑一斤”和“安邑二斤”。对于斤布，钱币学界和考古学界一致认为属于魏币[22,26]。甫反和安邑皆为魏国城市，这些平首布应为魏币。分析结果与早期检测的魏国布币[7]具有相似的铅同位素比值。普通铅平首布、洛阳空首布、铜贝和魏国布币落于同一区域，铅同位素比值与文献及考古材料一致。圜钱、部分平首布与部分燕国刀币落于高放射性成因铅 B 区，它们具有相同或相近的铅同位素组成。

3.3.2　金属资源来源探索

战国西部与南部地区诸国铜币的含铜量普遍比北部与东部的燕、齐各国的高，有学者认为这与当时的铜矿资源和冶炼技术密切相关[14]。今河南郑州、安阳、洛阳等地区及湖北大冶、山西侯马、安徽铜陵，在商殷、西周、春秋时期已是主要的冶铜中心[27]。从考古资料来看，西周较大型的铜矿采冶地点主要有湖北大冶铜绿山、江西瑞昌铜岭及安徽皖南沿江地区，内蒙古赤峰林西大井也发现了西周的大规模采铜、炼铜

遗址[28]；距洛阳不远地处晋南豫北中条山铜矿区是商周时期距离中原最近的铜矿产地。此外，东秦岭金属矿位于豫西，属洛阳地区，紧邻宗周和成周地区。东秦岭多金属矿及相邻的陕西北秦岭多金属矿都有较丰富的铅矿资源和一定的铜矿资源。

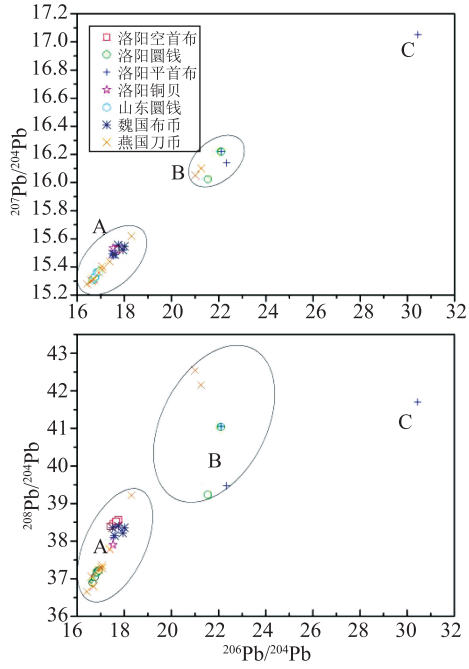


图 5 洛邑铜币与同时期诸侯国铜币的铅同位素数据[7]比较图

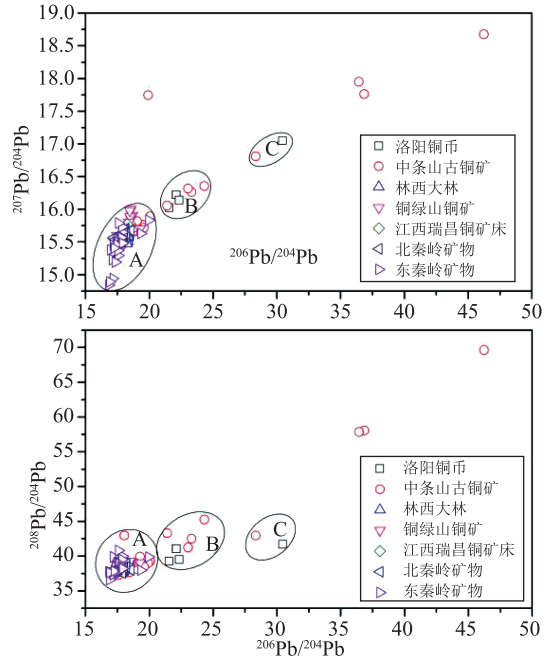


图 6 东周钱币与各矿山铅同位素比较图

据此，为探索洛阳东周铜币的金属资源来源，我们将 13 件铜币的铅同位素比值，与中条山矿区[29]、瑞昌铜岭铜矿[30]、铜绿山铜矿[31]、林西大井矿冶遗址[32]以及北秦岭金属矿[33]、东秦岭铜铅矿石及相关冶炼遗物[34]的铅同位素比值做比较分析。

由图 6 可知，在普通铅 A 区内，铜币与铜岭、铜绿山、林西大井矿冶遗址、东秦岭矿山金属矿、北秦岭矿山金属矿的铜矿石或冶炼铜锭的铅同位素数据点都有不同程度的重叠，作为洛邑铜币的金属资源产地都有一定的可能性。而在 B、C 高放射成因铅区域以上古矿遗址没有出现任何数据点，显示出它们属于其他的矿料来源，另外，据储雪蕾等人研究，林西大井的锡多金属矿及方铅矿中所含铅基本上是普通铅[32]，它们应该不是洛邑铜币使用的铜料、铅料的矿料来源。中条山铜矿的铅同位素比值的分布范围，无论是高放射成因铅还是普通铅，基本覆盖了洛邑铜币铅同位素比值的分布范围，洛邑铜币与中条山铜矿铅同位素比值数据点聚集在相应的区域，甚至重合。在高放射性成因铅区域内，洛邑圜钱为红铜，能指征铜料的来源。北京科技大学研究团队对晋南早期铜矿冶遗址的研究表明，这一区域发现了大批龙山至夏商时期的矿冶遗址和遗存，中条山地区矿冶业产出的主要是红铜[35]，这与洛阳圜钱在合金类型方面吻合。洛邑平首布为铅锡青铜，铅同位素数据指征铅矿的来源。有 5 件铜币（圜钱 ZY2655、

ZY2656、ZY2672，平首布 ZY2657 、ZY2658）与中条山铜矿数据落于高放射成因铅 B 区，其中一件铅锡青铜（平首布）与 2 件红铜器（圜钱）完全重合，且铀铅图中铅同位素比值的斜率一致，这说明铜币采用的铜料、铅料具有相同或相似的铅同位素组成。由图 4 可知，本文所考察的样本中红铜与铅锡青铜两类合金并无同位素方面的差异，铜矿和铅矿的来源一致。C 区中 1 件高放射成因铅平首布 ZY2670 属地质上罕见的$^{206}Pb/^{204}Pb$ 高比值铅，$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{206}Pb$、$^{207}Pb/^{206}Pb$ 值分别是 30.44173、17.05156、41.70066、1.3698、0.56013，这件高放射性成因铅平首布的发现非常重要，该铜币冶炼时使用的铜矿石明显为富铀铅，说明其赋存环境的地层中富含铀。对比矿山数据，只有中条山的铜矿峪铅同位素数据与之吻合[36]。通过同位素指纹锁定中条山铜矿峪为关键矿源，首次获得该矿区参与中原东周铸币活动的直接证据。因此，东周洛邑铜币使用的铜料（红铜器）、铅料（铅锡青铜）至少一部分应来自于中条山古矿区。

商代青铜器高放射性成因铅的产地来源问题，一直是学界讨论的热点和重点，金正耀指出含高放射性成因铅的铜器最早出现在二里岗下层，二里岗上层晚段和殷墟早期大量使用，殷墟四期后锐减。进入西周后，含高放射性成因铅的铜器较为少见。[37,38] 这表明一些特殊的金属矿经过了长时间开采，可能已基本枯竭，人们在寻找和使用新的金属矿源。例如，金沙遗址出土铜器的高放射性成因铅和一般异常铅器物所占比例约为 63%，但同时有约 37%普通铅的器物[39]。新干[40]、盘龙城[41]等地出土的商朝铜器中两种铅都有，孙淑云、彭子成等发现商代中期的盘龙城遗址中，有接近一半的铜器含有高放射性成因铅（[30]；[41]，545-551 页）。此次检测的 13 件东周铸币，有 46.2%的铜币含有高放射性成因铅，红铜器 3 件、铅锡青铜 3 件，这是特别重要且罕见的现象。除上述 1 件高铀铅，其他 5 件的铅同位素比值和商代高放射性成因铅的比值更加接近，为解决商代青铜器高放射性成因铅的来源问题提供了新思路。

在富含金属矿藏的主要矿带上，晋南的中条山和长江中下游地区处在二里头和早商的文化分布范围内，这两个地区的金属矿藏应该最早被开发利用。刘莉、陈星灿等根据聚落形态和资源分布的综合研究，认为晋南地区的矿冶活动与夏商势力在该地区的进入和发展历程大致同步，可能与夏商王朝获取晋南地区的金属资源有关。[42,43] 中条山地处晋南豫北，考古发掘在此地区发现不少与早期炼铜技术有关的遗址遗物[44]。从地质资源上看，中条山地区是夏商时期距中原最近的铜矿产地。中国国家博物馆、山西省考古研究所等单位联合组队，对中条山西吴壁遗址进行大规模发掘，获得大量二里头、二里岗时期的冶铜遗存[45,46]，确认该遗址是一处以冶炼纯铜为主，兼制作小型工具的聚落，是邻近夏商王朝的腹心地带的专业冶铜遗址[47]。专家们还对遗址年代、布局功能和遗址内冶铜产业链进行了论证[48]，为认识晋南地区东周时期的矿冶活动提供了考古学证据。特别在 2018—2020 年度发掘区域中，他们发现东周与夏商时期人类活动范围高度重合，大部分东周遗迹兼有夏商及东周器物，东周遗迹中还包含大量冶

铜遗物，包括残炉壁、炉渣等[49]。通过科技分析并结合炉渣外观形态，他们判断这些遗物为夏商冶铜活动的遗留。[50]另一辅证是二里头遗址的一件编号 ZY-527 的青铜器残片，为铜锡合金类型[37]，其中铅同位素比值$^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 28.378、$^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 16.695、$^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 38.52、$^{207}Pb/^{206}Pb$ 为 0.588，锡青铜一般指征的是铜矿的产地信息[51,52]，这件青铜器残片出自二里头第五期的地层，金正耀认为它与商代铜器中的特殊铅有着很大差异，不属于同一产地所出，它来自与铀共生的硫化铜矿物的可能性最大。[37]最近他发文认为西吴壁冶铜遗址在夏商时期一直持续使用，中条山铜矿峪铜矿即含高放射性成因铅，二里头这件铜器残片原料来自晋南的可能性更大，也更合理。[53]根据科学数据我们发现这件地质上罕见的高放射性成因铅平首布 ZY2670 铀源铅与二里头遗址锡青铜残片的铅同位素比值相近，表明它们具有相同或相似的铜料来源，这件二里头遗址青铜器残片的铜料来源也应在中条山古铜矿区，这说明了夏商时期的铜器至少部分铜料可能来自于中条山古铜矿区。

中条山地区矿冶业出产的主要是红铜，对地区中心聚落或王都的铸铜遗物的研究表明合金元素锡和铅有相对独立的来源[35]。在矿冶遗址调查中，在垣曲、闻喜等地也发现了大量古代矿冶遗址。[54-56]李刚对商早期出土的部分青铜器进行比较，发现一件二里头文化青铜器、部分郑州和盘龙城青铜器、大部分三星堆及新干大洋洲青铜器的铅同位素比值落入中条山高放射性成因铅数据的分布区域。[56]崔剑锋等根据地球化学矢量图也认为商周王朝铜器大量铜料可能还是来自中条山铜矿区。[57]另外，距中条山不远的洛阳发现了大规模、高等级的西周铸铜遗址。[58,59]根据洛邑地区西周铜器的铅同位素比值并与矿山数据的对比研究，发现洛邑地区出土西周(特别是西周早期)铜器合金类型(锡青铜为主)及铅同位素数据指征的金属资源产地与中条山古铜矿区吻合。[60]对于早期青铜器，我们很难找到相应时代的矿区，即对应时代的矿石铅同位素数据，若有更多的数据和考古成果，特别是关键数据的出现，可以修正或丰富现有的研究。本文的实验结果获得了中条山金属资源早期开发的直接证据，说明中条山古铜矿早期已经得到大规模的开采利用，这对矿冶史具有极其重要的意义，对我国科技史和考古学的研究具有促进作用。对铅同位素比值、考古矿冶遗存、聚落形态和资源分布的研究都表明洛邑地区青铜时代的铜器部分铜料应来自中条山古铜矿区。

3.3.3 冶炼技术

洛邑圜钱、平首布的扫描电镜和金相组织观察表明，铜币的显微组织中存在大量硫化物夹杂且基本为硫化亚铜夹杂(图 2)，铜与硫质量百分比含量都大于 4，只有 ZY2652 的夹杂物中含有微量的铁、砷元素，硫化物夹杂进一步表明当时使用硫化矿炼铜的可能性，通过化学元素组成与各物相分析判断，这些铜币应该是硫化矿石冶炼铸造的，冶炼矿石中存在着铜的硫化矿物。硫化矿用于炼铜在冶金史上具有重要意义，古人早期开采浅层的、较易熔炼的氧化铜矿，经过漫长的探索演变，将井巷开拓延伸到探部的原生矿床，如《考工记·匠人》和《周髀算经》记载了如何用矩测量的问题，东

周时期采矿平巷留有一定坡度用于排水，溜槽用于分选矿石等，并解决了铜矿的焙烧、熔炼等一系列重要问题，我们的实验结果说明“硫化矿—铜”冶炼技术在战国时期的中条山古铜矿已经得到使用，这对我国其他地区同类技术的源流有重要的参考价值。李延祥通过对矿冶遗物和冶炼遗址的分析与调查，指出中条山的铜锅、马蹄沟遗址炉渣的 Cu/S 都大于 4，两处遗址古代可能使用了“氧化矿—铜”和“硫化矿—铜”炼铜工艺。[54] 笔者认为洛邑铜币使用的铜料、铅料来自中条山铜矿区，早期可能使用了表层的氧化矿，基本枯竭后，古人寻找和使用新的矿料来源，随着采矿、冶炼技术的提高，东周时期可以冶炼深层的氧化矿和高品位的硫化矿。这也更加合理地解释了夏商部分青铜器的矿料来源于晋南地区。根据 2018—2020 年几个发掘区均可见东周与夏商人类活动区域高度重合的现象，经过科技分析，确认众多东周遗迹中出土冶铜遗物的时代属于夏商，发掘者认为该遗址夏商冶铜生产具有规模大、延续时间长的特点。[49] 本文的科技分析，对下一步中条山古矿区的发掘尤其是寻找东周的古矿遗址具有指导意义。

4　结　语

本文对洛阳出土的东周 13 件铜币进行科技分析，结果显示铜币合金类型为红铜和铅锡青铜，铸造成型，铜含量高。空首布合金配比合理、稳定，圜钱为红铜。战国时期多个地区“垣”字圜钱用红铜铸造是一个特殊的现象，存在技术选择。铜币使用了普通铅和高放射成因铅两种矿料，接近一半的铜币使用高放射成因铅矿料是一个重要的新发现，东周出现大比例罕见的高放射性成因铅这一特殊现象具有重要意义。铜币所有数值落入中条山铜矿的铅同位素比值范围内，特别是一件$^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值达 30.44 的平首布属于地质上罕见的铀源铅，与中条山的铜矿峪铅同位素数据吻合，这是中条山金属资源当时已被开采利用的直接证据，铀源铅样本的发现及其矿源判定，对重建古代中国青铜资源流通体系具有里程碑意义，对矿冶史具有及其重要的意义，说明中条山古矿区早期可能已经大规模地使用，表明洛邑东周铸币所使用的铜料、铅料至少有一部分来自于中条山古铜矿区。金相组织中大量的硫化物夹杂表明，冶炼矿石中存在着铜的硫化矿物，体现了古人最大程度地利用金属矿石的智慧，说明东周时期已使用“硫化矿—铜”工艺炼铜。洛邑空首布、普通铅平首布、铜贝和魏国布币等的矿料来自同一金属矿源区，铅同位素数据、考古材料及文献三者一致，铅同位素数据表明洛邑与各诸侯国间因金属资源的获取、分配存在关联，这些与洛邑的政治地位相符。本研究更新了对东周冶金技术的认知，对东周金属资源产地产生了新认识，更重要的是建立了文物—矿山—文化的证据链，为探索早期国家资源政治提供了科技考古学范式。未来通过扩大样本量和矿冶遗址数据比对，有望重构东周时期中原与晋南的金属经济地理格局。

致 谢 本文写作过程中得到中国科学技术大学金正耀教授，中国社会科学院考古研究所陈星灿研究员，北京科技大学孙淑云、李延祥、潜伟教授，中国钱币博物馆周卫荣研究员，首都师范大学戴向明教授和北京大学崔剑锋教授的帮助。洛阳市考古研究院在取样过程中给予了大力支持。评审专家提出了宝贵的修改意见。在此谨致谢忱。

参 考 文 献

[1] 余扶危，赵振华. 洛阳发现随葬空首布的东周墓葬[J]. 考古，1987(8)：711-722.

[2] 蔡运章，张书良. 洛阳发现的空首布钱范及相关问题[J]. 中原文物，1998(3)：5.

[3] 蔡运章，李运兴，赵振华. 洛阳钱币发现与研究[M]. 北京：中华书局，1998：136-138.

[4] 周卫荣，戴志强. 铸钱学与冶铸史论丛[M]. 北京：中华书局，2002：98-106.

[5] 周卫荣. 中国古代钱币合金成分研究[M]. 北京：中华书局，2004：102-108.

[6] POLLARD A M，LIU R L. Bronze Alloying Practice in ancient China - Evidence from Pre-Qin Coin Analyses[J]. *Journal of Archaeological Science*，2021(126)：1-7.

[7] 金正耀，CHASE W T，马渊久夫，等. 战国古币的铅同位素比值研究——兼说同时期广东岭南之铅[J]. 文物，1993(8)：80-89.

[8] 蔺诗芮，郭济桥，梁志龙，等. 战国青铜货币所见燕、赵地区铅料资源类别及变迁[C]//北京大学考古文博学院，北京大学中国考古学研究中心. 考古学研究：第 14 辑[M]. 北京：科学出版社，2022：142-159.

[9] 张吉，郜向平，丁思聪，等. 河南荥阳官庄遗址铸铜技术与金属资源变迁初步研究[J]. 南方文物，2021(3)：162-173.

[10] 张吉. 东周青铜器的资源与技术研究——以汉淮地区为中心[D]. 北京：北京大学，2019：48-270.

[11] 洛阳市文物工作队. 洛阳出土的空首布[J]. 文物资料丛刊，1985(9)：151-162.

[12] 蔡运章，侯鸿军. 洛阳附近出土的两批东周货币[J]. 中原文物，1981(3)：9-11.

[13] 洛阳市文物工作队. 洛阳西工区春秋墓发掘简报[J]. 文物，2010(8)：8-18.

[14] 赵匡华，陈荣，郭玉竹，等. 战国时期古币金属组成试析[J]. 自然科学史研究，1992，11(1)：32-44.

[15] 洛阳铜加工厂中心试验室金相组. 铜及铜合金金相图谱[M]. 北京：冶金工业出版社，1983：72-73.

[16]《铸工手册》编写组. 铸造有色合金手册[M]. 北京：机械工业出版社，1978：403.

[17] CHASE W T，ZIEBOLD T O. Ternary Representation of Ancient Chinese Bronze Compositions[C]// *Archaeological Chemistry-II*，*Advances in Chemistry Series* 171，American Chemical Society，Washington，D. C. 1978：303-305.

[18] 汪庆正. 中国历代货币大系·先秦货币[M]. 上海：上海人民出版社，1988：1162.

[19] 王全玉，汪海岚. 大英博物馆所藏齐国钱币的成分分析[C]//秦时期冶金考古国际学术研讨会论文集. 北京：文物出版社，2014：115-116.

[20] 郑家相. 中国古代货币发展史[M]. 北京：生活·读书·新知三联书店，1958：177.

[21] 中国社会科学院考古研究所. 洛阳发掘报告——1955—1966 年洛阳涧滨考古发掘资料[M]. 北京：燕山出版社，1989：136-165.

[22] 黄锡全. 先秦货币通论[M]. 北京：紫禁城出版社，2001：105-106.

[23] DOE B R，ZARTMAN R E. Plumbotectonics，the Phanerozoic，in Geochemistry of hydrothermal ore depo-sits[C]// Barnes H R，eds. *Wiley-Interscience*. New York，1979：22-70.

[24] HEYL A V，DELEVAUX M H，ZARTMAN R E，et al. Isotopic Study of Galenas from the Upper Mis-sissippi Valley，

the Illinois-Kentucky, and Some Appalachian Valley Mineral Districts[J]. *Economic Geology*, 1966, 61: 933-961.
[25] 王毓铨. 我国古代货币的起源和发展[M]. 北京：科学出版社, 1957：38.
[26] 中国钱币大辞典编撰委员会. 中国钱币大词典：先秦编[M]. 北京：中华书局, 1995：210-213.
[27] 田长浒. 中国金属技术史[M]. 成都：四川科技出版社, 1987：48.
[28] 韩汝玢, 柯俊. 中国科学技术史·矿冶卷[M]. 北京：科学出版社, 2007：40-45.
[29] 徐文忻, 汪礼明, 李蘅, 等. 中条山铜矿床同位素地球化学研究[J]. 地球学报, 2005(26)：130-133.
[30] 彭子成, 王兆荣, 孙卫东, 等. 盘龙城商代青铜器铅同位素示踪研究[C]//湖北省文物考古研究所. 盘龙城：一九六三年——一九九四年考古发掘报告. 北京：文物出版社, 2001：552-558.
[31] 马光. 鄂东南铜绿山铜铁金矿床地质特征, 成因模式及找矿方向[D]. 长沙：中南大学, 2005：43-60.
[32] 储雪蕾, 霍卫国, 张巽. 蒙古林西县大井铜多金属矿床的硫, 碳和铅同位素及矿物来源[J]. 岩石学报, 2002, 18(4)：566-574.
[33] 任鹏, 梁婷, 牛亮, 等. 陕西秦岭铅锌矿床的地质特征及成矿动力学过程[J]. 地球科学与环境学报, 2013, 35(1)：34-47.
[34] 马振东. 从铅同位素组成特征初步探讨豫西东秦岭相矿带的成因和构造环境[J]. 地球科学——武汉地质学院学报, 1984(4)：57-64.
[35] 李建西. 晋南早期铜矿冶遗址考察研究[D]. 北京：北京科技大学, 2011：143.
[36] 徐文忻, 李颖, 郭新生, 等. 中条山北段绛县群铜矿(点)稳定同位素地球化学研究[J]. 地质与勘探, 1997：33(4)：34-39.
[37] 金正耀. 论商代青铜器中高放射成因铅[J]. 考古学集刊, 2004(15)：269-278.
[38] 田建花. 郑州地区出土二里岗期铜器的研究[D]. 合肥：中国科学技术大学, 2013：89-128.
[39] 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.
[40] 彭子成, 刘诗中. 赣鄂豫地区商代青铜器和部分铜铅矿料来源的初探[J]. 自然科学史研究, 1999(3)：241-249.
[41] 孙淑云, 彭子成. 盘龙城出土青铜器的铅同位素比测定报告[C]//湖北省文物考古研究所. 盘龙城：一九六三年——一九九四年考古发掘报告. 北京：文物出版社, 2001：545-551.
[42] 刘莉, 陈星灿. 城：夏商时期对自然资源的控制问题[J]. 东南文化, 2000(3)：45-60.
[43] 刘莉, 陈星灿. 中国早期国家的形成——从二里头和二里岗时期的中心和边缘之间的关系谈起[C]//北京大学中国考古学研究中心, 北京大学古代文明研究中心, 编. 古代文明：第 1 卷. 北京：文物出版社, 2002：71-134.
[44] 东下冯考古队. 山西夏县东下冯遗址东区、中区发掘报告[J]. 考古, 1980(2)：97-107.
[45] 戴向明, 田伟, 崔春鹏. 山西绛县西吴壁遗址发现大量夏商时期冶铜遗存[N]. 中国文物报, 2018-12-14(3).
[46] 戴向明, 田伟, 汤毓赞. 山西绛县西吴壁遗址 2018—2019 年发掘简报[J]. 考古, 2020(7)：47-74.
[47] 中国国家博物馆, 山西省考古研究所, 运城市文物保护研究所. 山西绛县西吴壁遗址发掘取得重要新收获[N]. 中国文物报, 2020-01-03(3).
[48] 戴向明, 田伟, 崔春鹏, 等. 山西绛县西吴壁遗址 2019 年春季考古再获新成果[N]. 中国文物报, 2019-07-05(5).
[49] 戴向明, 田伟, 崔春鹏, 等. 山西绛县西吴壁遗址 2018—2020 年周代遗存发掘简报[J]. 中国国家博物馆馆刊, 2021(8)：60-78.
[50] 崔春鹏, 汤敏赟, 田伟, 等. 山西绛县西吴壁遗址东周遗迹出土冶铜炉渣研究——兼叙复杂文化堆积中冶金遗物时代特征的判别方法[J]. 中国国家博物馆馆刊, 2021(8)：79-87.
[51] GALE N H. The isotopic composition of tin in some ancient metals and the recycling problem in metal provening[J].

Archaeometry, 1997, 39(1): 71-82.

[52] PERNICKA E. 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[J]. *Archaeometry*, 1992, 34(2): 322.

[53] 金正耀. "何以河南"之问与中国科技考古新为向[J]. 历史研究, 2020(5): 28-36.

[54] 李延祥. 中条山古铜矿遗址初步考察研究[J]. 文物季刊, 1993(2): 64-67.

[55] 田伟. 闻喜千斤耙采矿遗址及相关问题探讨[J]. 文博, 2020(6): 49-55.

[56] 李刚. 闻喜千金耙遗址的发现与商代早期青铜器原料产地研究[J]. 青铜器与金文, 2017: 511-524.

[57] 崔剑锋, 吴小红. 铅同位素考古研究——以中国云南和越南出土青铜器为例[M]. 北京: 文物出版社, 2008: 31-51.

[58] 洛阳博物馆. 洛阳北窑村西周遗址 1974 年度发掘简报[J]. 文物, 1981(7): 52-64.

[59] 洛阳市文物工作队. 1975—1979 年洛阳北窑西周铸铜遗址的发掘[J]. 考古, 1983(5): 430-441.

[60] 袁晓红. 西周中央王朝的金属控制策略——以洛邑地区出土西周铜器金属资源研究为中心[C]. 考古学集刊: 第 22 集. 北京: 社会科学文献出版社, 2019: 239-277.

A Scientific Archaeological Study of Eastern Zhou Bronze Coins Unearthed in Luoyang

YUAN Xiaohong

(*Luoyang Municipal Institute of Archaeology, Luoyang*, 471000, *China*)

Abstract The authors conducted a comprehensive analysis of 13 bronze coins excavated from the Eastern Zhou capital site of Luoyi(洛邑), employing metallographic microscopy, scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS) for compositional analysis, and multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (MC-ICP-MS) for lead isotope ratio determination. The results reveal that the Eastern Zhou bronze coins from Luoyang were primarily made of two alloy types: pure copper and lead-tin bronze. The spade-shaped *kongshoubu* coins exhibited stable alloy ratios and casting techniques, while the round coins were cast from pure copper. The coins utilized two distinct lead sources: common lead and highly radiogenic lead. Notably, the widespread presence of highly radiogenic lead in Eastern Zhou bronzeware warrants further investigation. A remarkable discovery was a flat-shaped *pingshoubu* coin with an exceptionally high $^{206}Pb/^{204}Pb$ ratio of 30.44, indicating uranium-derived lead, a geologically rare signature. Comparative analysis with published ore data suggests that the Zhongtiaoshan(中条山) copper mine, particularly the Tongkuangyu deposit, as a likely source, providing direct evidence for the exploitation of metal resources from this region during the Eastern Zhou period. Metallographic examination revealed abundant copper sulfide inclusions, indicating the use of sulfide copper ores in smelting. This study integrates metallurgical history research with archaeology, providing new evidence for exploring the

sources of copper-casting metal resources in the Luoyi region during the Eastern Zhou Dynasty, and provides fresh perspectives for research on royal and regional bronze production and culture. Additionally, it contributes to refining the archaeological cultural sequence of the ancient copper mining activities in the Zhongtiaoshan region. The findings also guide future archaeological investigations of ancient mining sites in Zhongtiaoshan.

Keywords　Luoyi(洛邑); Eastern Zhou; copper coin; lead isotope ratio; metallographic organization; alloy composition