

# 徐州狮子山楚王陵出土青铜器的科学分析

迟 鹏 李秀辉 陈建立 王 恺

**提 要:** 本文利用金相显微镜和扫描电镜能谱仪对徐州狮子山楚王陵出土的23件青铜器进行了分析,其中21件材质为铅锡青铜,2件材质为锡青铜,均铸造成型。出土器物在合金成分上呈现出铅含量较低,铜锡含量较高的趋势。江苏徐州狮子山楚王陵是西汉初期楚王墓葬,为全面研究汉代王陵提供了参考资料,对比其他汉王陵的相关器物可以发现:铜钱锡含量高而铅含量差异大,与北洞山楚王墓铜钱含量特点相似;镞的形制与汉王陵出土的镞的主要形制相吻合,实用器成分差异不大,体现了汉代成熟的制作技术;狮子山楚王陵出土铜器符合西汉时期冶铸技术水平。

**关键词:** 科技考古 西汉 徐州楚王陵 青铜器制作技术

## The Scientific Analysis of Bronze Artifacts from Chu Prince Mausoleum on Mt. Shizi in Xuzhou

Chi Peng, Li Xiuhui, Chen Jianli, Wang Kai

**Abstract:** Samples of 23 bronze artifacts from Chu Prince mausoleum on Mt. Shizi in Xuzhou were examined by Metallurgical Microscopy and Scanning Electron Microscope (SEM)-Energy Dispersive Analysis (EDS) in this paper. Results revealed that all the artifacts were cast in mold, 21 were made of lead-tin bronze, 2 were tin bronze. These artifacts present small quantity of lead and higher tin in trends. The Mausoleum of Chu Prince in Mt. Shizi is regarded as a mausoleum of the early Western Han Dynasty, the analysis of which could provide references for further understanding of imperial mausoleum of the Han Dynasty. A comparative examination with relative artifacts from other mausoleums indicates that: Copper coins with high quantity of tin and different levels of lead are similar to coins' features of the Chu Prince mausoleum on Mt. Beidong in Xuzhou. The shape of the arrowheads and component of functional artifacts were basically the same as imperial mausoleum of the Han Dynasty which reflects the sophisticated manufacture technology of the Han Dynasty. And the copper artifacts unearthed from the Chu Prince mausoleum on Mt. Shizi meet the standards of molding techniques in the Western Han period.

**Keywords:** Archaeometry, Western Han Dynasty, Chu Prince Mausoleum, Bronze Artifact, Manufacturing Technique

中图分类号: K876.41 文献标识码: A 文章编号: 1674-9677 (2016) 04-0062-08

## 引 言

徐州古谓之彭城,坐落于江苏省西北部、华北平原东南部,为苏、鲁、豫、皖四省接壤地区,汉高祖六年(公元前201年),刘邦以碭郡、薛郡、郟郡三十六县立弟文信君交为楚王,都彭城。狮子山楚王陵位于徐州市东郊,整座墓葬凿山为藏,坐北朝南,南北总长117米、东西最宽13.2米,总面积851平方米,由墓道与附属建筑、主体建筑两大部分构成,位置见图1。于1994年12月至1995年3月底进行了清理工作<sup>①</sup>,之后确定绣球山和羊龟山均为楚王陵的陪葬墓区<sup>②</sup>,出土了一大批青铜器、铁器、玉器、陶器及金银器等不同质料文物。本文拟对狮子

山楚王陵出土的23件青铜器进行分析检测,初步探讨合金配比、铸造工艺问题,为全面研究汉代王陵的青铜器材质及制作技术提供资料。

### 1. 样品的制备及分析方法

本次分析了取自23件器物的24件样品,取样情况见表一。铜镞样品取自完整器物,铜钱大小各5、大者残,其他样品均取自器物残片或碎块,将样品制成金相样品,利用金相显微镜和扫描电镜及能谱仪进行金相组织观察和合金成分分析。实验仪器为金相显微镜LEICA DM4000M、扫描电镜ZEISS EV01及配备的能谱仪Bruker Nano XFlash Detector 5010,测量条件:激发电压20kV,扫描时间60秒。

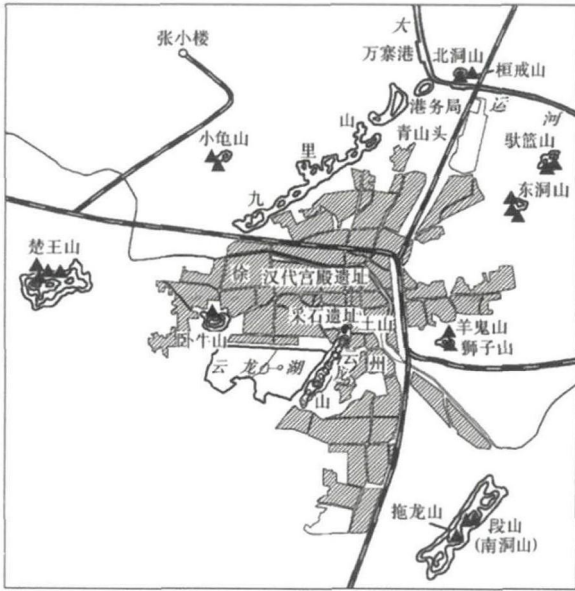


图1 狮子山楚王陵位置示意图<sup>③</sup>

表一徐州狮子山楚王陵样品取样情况表

文物名称 <sup>①</sup>	出土位置 <sup>②</sup>	样品号 <sup>③</sup>	取样部位 <sup>④</sup>	样品数(个) <sup>⑤</sup>
弩机	W3: 46	2447	残片	1
铜镜	“	2434-1	残片	1
铜镜	“	2434-3	残片	1
铜钱	墓内	2439-1d	残片	1
铜钱	墓内	2439-1x	残片	1
铜钱	墓内	2439-2	残片	1
铜钱	墓内	2439-3	残片	1
铜钱	墓内	2439-4	残片	1
铜钱	墓内	2439-5	残片	1
铜钱	墓内	2439-6	残片	1
铜钱	墓内	2439-7	残片	1
铜钱	墓内	2439-8	残片	1
铜钱	墓内	2439-9	残片	1
铜钱	墓内	3439-10	残片	1
铜带钩	“	2444-1	残片	1
铁铤铜铍	“	2445-1	铍部	1
铁铤铜铍	“	2445-2	铍部	1
铁铤铜铍	“	2445-3	铍部	1
铁铤铜铍	“	2445-4	铍部	1
铜铍	“	2446-1	铍部	1
铜铍	“	2446-4	铍部	1
铜印章	“	2449-2	碎片	1
铜印章	“	2449-3	碎片	1
铜印章	“	2449-4	碎片	1

注：2439-1d与2439-1x两件样品取自同一器物

由表一可以看出：铜镜样品有2件，铜钱样品有11件，铜带钩样品有1件，铁铤铜铍样品有4件，铜铍样品有2件，弩机样品有1件，铜印章样品有3件，样品种类与功用差异明显。部分器物实物照片



图2 2447弩机实物照片



图3 铜钱实物照片：  
自左至右依次为  
2439-1 2439-2 2439-3  
2439-4 2439-5



图4 铜钱实物照片：  
自左至右依次为  
2439-6 2439-7 2439-8  
2439-9 2439-10



图5 2444-1 铜带钩实物照片



图6 2445-1 铁铤铜铍实物照片



图7 2446-1 铜铍实物照片

如图2~图7所示。

## 2. 狮子山楚王陵铜器分析检测结果

分析检测的23件青铜器所取24件青铜器样品，金相组织观察与扫描电镜能谱分析结果见表二。22件样品的材质为铅锡青铜，2件为锡青铜，均为铸造成型。

由表二可以看出：2件铜镜样品合金成分：锡含量在22.9~24.0%，铅含量在3.4~5.1%；11件铜钱样品合金成分：锡含量在3.2~7.6%，铅含量在5.6~34.7%；铜带钩样品合金成分：锡含量为18.7%，铅含量为5.4%；4件铁铤铜铍样品合金成分：锡含量在8.4~9.3%，铅含量在13.1~18.5%；2件铜铍样品合金成分：锡含量在10.1~10.4%，铅含量在3.5~6.0%；弩机样品合金成分：锡含量为14.4%，铅含量为2.2%；3件铜印章样品合金成分：锡含量在6.6~8.2%，铅含量在1.3~2.1%。

22件铅锡青铜样品中铅在组织中以游离相存在于铜基 $\alpha$ 固溶体上，形态有3种：以较小颗粒存在；以较大的圆颗粒、椭圆颗粒存在；部分样品中含有铅的比重偏析。

快冷条件下锡含量超过5%的锡青铜铸件和一般铸造条件下锡含量超过7%的大型铸件，室温组织应是偏析的 $\alpha$ 固溶体枝晶，开始出现 $(\alpha+\delta)$ 共析体。

表二狮子山楚王陵铜器样品金相显微组织分析结果表

器物名称 <sup>①</sup> 样品编号 <sup>②</sup>	取样 <sup>③</sup> 部位 <sup>④</sup>	样品成分 (Wt%) <sup>⑤</sup>				金相组织观察结果 <sup>⑥</sup>	制作方法 <sup>⑦</sup> 材质 <sup>⑧</sup>	图号 <sup>⑨</sup>
		Cu <sup>⑩</sup>	Sn <sup>⑪</sup>	Pb <sup>⑫</sup>	其他 <sup>⑬</sup> 元素 <sup>⑭</sup>			
铜镜 <sup>①</sup> 2447 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	82.6 <sup>⑩</sup>	14.4 <sup>⑪</sup>	2.2 <sup>⑫</sup>	<sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体呈岛屿状，部分锈蚀；铅以小颗粒、较大圆颗粒、椭圆颗粒存在；夹杂物呈点状、块状及条状。 <sup>⑭</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 8 <sup>⑨</sup>
铜镜 2434-1 <sup>①</sup>	残片 <sup>③</sup>	72.0 <sup>⑩</sup>	24.0 <sup>⑪</sup>	3.4 <sup>⑫</sup>	As:0.4 <sup>⑬</sup>	组织为 α+(α+δ)，α 相少，呈针状和两端尖锐的条状孤立分布在连接成片的 (α+δ) 共析体基体上。铅以较小颗粒存在，夹杂物呈点状、块状。 <sup>⑭</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 9 <sup>⑨</sup>
铜镜 <sup>①</sup> 2434-3 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	71.5 <sup>⑩</sup>	22.9 <sup>⑪</sup>	5.1 <sup>⑫</sup>	As:0.4 <sup>⑬</sup>	组织为 α+(α+δ)，α 相少，呈针状和两端尖锐的条状孤立分布在连接成片的 (α+δ) 共析体基体上。铅以小颗粒、较大的圆颗粒、椭圆颗粒存在，夹杂物呈点状、块状。 <sup>⑭</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 10 <sup>⑨</sup>
铜钱 <sup>①</sup> 2439-1d <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	78.1 <sup>⑩</sup>	6.5 <sup>⑪</sup>	14.4 <sup>⑫</sup>	<sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体个体较小呈点状，部分锈蚀；铅以小颗粒、较大圆颗粒、椭圆颗粒存在，且部分脱落。夹杂物呈点状、块状沿枝晶分布。 <sup>⑭</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 12 <sup>⑨</sup>

器物名称 <sup>①</sup> 样品编号 <sup>②</sup>	取样 <sup>③</sup> 部位 <sup>④</sup>	样品成分 (Wt%) <sup>⑤</sup>				金相组织观察结果 <sup>⑥</sup>	制作方法 <sup>⑦</sup> 材质 <sup>⑧</sup>	图号 <sup>⑨</sup>
		Cu <sup>⑩</sup>	Sn <sup>⑪</sup>	Pb <sup>⑫</sup>	其他 <sup>⑬</sup> 元素 <sup>⑭</sup>			
铜钱 <sup>①</sup> 2439-5 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	85.0 <sup>⑩</sup>	6.1 <sup>⑪</sup>	6.5 <sup>⑫</sup>	As:0.4 <sup>⑬</sup> S:1.5 <sup>⑭</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体个体较小、呈点状或岛屿状，部分锈蚀；铅以较大圆颗粒、椭圆颗粒存在，且部分脱落。夹杂物呈点状、块状。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	<sup>⑨</sup>
铜钱 <sup>①</sup> 2439-6 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	61.3 <sup>⑩</sup>	4.0 <sup>⑪</sup>	34.7 <sup>⑫</sup>	Fe:0.2 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，枝晶间可见 δ 相数量较多且沿枝晶分布，部分锈蚀；铅发生比重偏析，较小颗粒集中于一侧，较大铅颗粒集中在另一侧。夹杂物呈点状和环状。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 14 <sup>⑨</sup>
铜钱 <sup>①</sup> 2439-7 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	87.0 <sup>⑩</sup>	6.4 <sup>⑪</sup>	5.6 <sup>⑫</sup>	Fe:0.8 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体个体较小、呈点状或岛屿状，部分锈蚀；铅以较小颗粒存在；夹杂物呈点状、块状。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 15 <sup>⑨</sup>
铜钱 <sup>①</sup> 2439-8 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	84.6 <sup>⑩</sup>	7.6 <sup>⑪</sup>	6.4 <sup>⑫</sup>	Fe:1.4 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体发生锈蚀；铅以较小颗粒存在；夹杂物呈点状。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	<sup>⑨</sup>
铜钱 <sup>①</sup> 2439-9 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	71.0 <sup>⑩</sup>	5.8 <sup>⑪</sup>	21.3 <sup>⑫</sup>	Fe:1.9 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体发生锈蚀；铅以较大圆颗粒、椭圆颗粒存在；夹杂物呈不规则状。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	<sup>⑨</sup>

器物名称 <sup>①</sup> 样品编号 <sup>②</sup>	取样 <sup>③</sup> 部位 <sup>④</sup>	样品成分 (Wt%) <sup>⑤</sup>				金相组织观察结果 <sup>⑥</sup>	制作方法 <sup>⑦</sup> 材质 <sup>⑧</sup>	图号 <sup>⑨</sup>
		Cu <sup>⑩</sup>	Sn <sup>⑪</sup>	Pb <sup>⑫</sup>	其他 <sup>⑬</sup> 元素 <sup>⑭</sup>			
铜钱 <sup>①</sup> 2439-1x <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	75.7 <sup>⑩</sup>	5.8 <sup>⑪</sup>	17.8 <sup>⑫</sup>	As:0.4 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体个体较小呈点状或岛屿状，部分锈蚀；铅以小颗粒、较大圆颗粒、椭圆颗粒存在，且部分脱落。夹杂物呈点状、块状沿枝晶分布。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 13 <sup>⑨</sup>
铜钱 <sup>①</sup> 2439-2 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	68.9 <sup>⑩</sup>	3.8 <sup>⑪</sup>	24.8 <sup>⑫</sup>	As:0.7 <sup>⑬</sup> S:1.5 <sup>⑭</sup> Fe:0.3 <sup>⑮</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，枝晶间可见 δ 相数量较多且沿枝晶分布，部分锈蚀；铅以小颗粒、较大圆颗粒、椭圆颗粒存在，且部分脱落。夹杂物呈环状、块状、条状沿枝晶分布。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	<sup>⑨</sup>
铜钱 <sup>①</sup> 2439-3 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	65.4 <sup>⑩</sup>	3.2 <sup>⑪</sup>	31.2 <sup>⑫</sup>	Fe:0.2 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，枝晶间可见 δ 相数量较多且沿枝晶分布，部分锈蚀；铅以小颗粒、较大圆颗粒、椭圆颗粒存在。夹杂物呈不规则状沿枝晶分布。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	<sup>⑨</sup>
铜钱 <sup>①</sup> 2439-4 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	81.1 <sup>⑩</sup>	7.6 <sup>⑪</sup>	9.0 <sup>⑫</sup>	S:1.3 <sup>⑬</sup> Fe:0.2 <sup>⑭</sup>	晶界腐蚀，但依稀可见树枝状晶痕迹，铅分布于晶粒间界或枝晶间隙，铅颗粒及硫化物沿枝晶分布，铅以小颗粒、较大圆颗粒、椭圆颗粒存在且有部分脱落。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	<sup>⑨</sup>

器物名称 <sup>①</sup> 样品编号 <sup>②</sup>	取样 <sup>③</sup> 部位 <sup>④</sup>	样品成分 (Wt%) <sup>⑤</sup>				金相组织观察结果 <sup>⑥</sup>	制作方法 <sup>⑦</sup> 材质 <sup>⑧</sup>	图号 <sup>⑨</sup>
		Cu <sup>⑩</sup>	Sn <sup>⑪</sup>	Pb <sup>⑫</sup>	其他 <sup>⑬</sup> 元素 <sup>⑭</sup>			
铜钱 <sup>①</sup> 2439-10 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	70.6 <sup>⑩</sup>	6.7 <sup>⑪</sup>	20.5 <sup>⑫</sup>	Fe:2.2 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体个体较小、呈点状或岛屿状，部分锈蚀；铅以较大圆颗粒、椭圆颗粒存在；夹杂物呈不规则状。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	<sup>⑨</sup>
铜带钩 <sup>①</sup> 2444-1 <sup>②</sup>	残片 <sup>③</sup>	75.4 <sup>⑩</sup>	18.7 <sup>⑪</sup>	5.4 <sup>⑫</sup>	As:0.3 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体数量多、呈较大岛屿状或小片网状，部分锈蚀；铅以较大圆颗粒、椭圆颗粒存在；夹杂物呈点状、块状。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 16 <sup>⑨</sup>
铁铤铜镜 <sup>①</sup> 2445-1 <sup>②</sup>	镜部 <sup>③</sup>	72.3 <sup>⑩</sup>	9.3 <sup>⑪</sup>	18.3 <sup>⑫</sup>	Fe:0.2 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体个体较小、呈点状或岛屿状，部分锈蚀；铅以小颗粒、较大圆颗粒、椭圆颗粒存在；夹杂物呈点状、块状及条状。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 17 <sup>⑨</sup>
铁铤铜镜 <sup>①</sup> 2445-2 <sup>②</sup>	镜部 <sup>③</sup>	78.9 <sup>⑩</sup>	7.7 <sup>⑪</sup>	13.5 <sup>⑫</sup>	Fe:0.1 <sup>⑬</sup>	α固溶体树枝状晶偏析明显，(α+δ)共析体个体较小、呈点状或岛屿状，部分锈蚀；铅以小颗粒和较大圆颗粒、椭圆颗粒存在；夹杂物呈点状、块状及条状。 <sup>⑮</sup>	铸造 <sup>⑦</sup> Cu-Sn-Pb <sup>⑧</sup>	图 18 <sup>⑨</sup>

器物名称 <sup>1)</sup> 样品编号 <sup>2)</sup>	取样 <sup>3)</sup> 部位 <sup>4)</sup>	样品成分 (Wt%) <sup>5)</sup>				金相组织观察结果 <sup>6)</sup>	制作方法 <sup>7)</sup> 材质 <sup>8)</sup>	图号 <sup>9)</sup>
		Cu <sup>10)</sup>	Sn <sup>11)</sup>	Pb <sup>12)</sup>	其他 <sup>13)</sup> 元素 <sup>14)</sup>			
铁铤铜镜 <sup>1)</sup> 2445-3 <sup>2)</sup>	镜部 <sup>3)</sup>	78.4 <sup>4)</sup>	8.4 <sup>5)</sup>	13.1 <sup>6)</sup>	Fe:0.1 <sup>7)</sup>	$\alpha$ 固溶体树枝状晶偏析明显, ( $\alpha+\delta$ )共析体个体较小、呈点状, 部分锈蚀; 铅以小颗粒和较大圆颗粒、椭圆颗粒存在; 夹杂物呈点状、块状及条状。 <sup>8)</sup>	铸造 <sup>9)</sup> Cu-Sn-Pb <sup>10)</sup>	图 19 <sup>11)</sup>
铁铤铜镜 <sup>1)</sup> 2445-4 <sup>2)</sup>	镜部 <sup>3)</sup>	72.7 <sup>4)</sup>	8.7 <sup>5)</sup>	18.5 <sup>6)</sup>	Fe:0.2 <sup>7)</sup>	$\alpha$ 固溶体树枝状晶偏析明显, ( $\alpha+\delta$ )共析体个体较小呈点状、岛屿状, 部分锈蚀; 铅以小颗粒、较大圆颗粒、椭圆颗粒存在; 夹杂物呈点状、块状及条状。 <sup>8)</sup>	铸造 <sup>9)</sup> Cu-Sn-Pb <sup>10)</sup>	图 20 <sup>11)</sup>
铜镜 <sup>1)</sup> 2446-1 <sup>2)</sup>	镜部 <sup>3)</sup>	84.9 <sup>4)</sup>	10.4 <sup>5)</sup>	3.5 <sup>6)</sup>	Fe:0.4 <sup>7)</sup> Ag:0.3 <sup>8)</sup>	晶界腐蚀, 可见偏析, 存在少量呈点状的 ( $\alpha+\delta$ )共析组织, 铅以小颗粒和较大圆颗粒、椭圆颗粒存在; 夹杂物呈块状、点状。 <sup>9)</sup>	铸造 <sup>10)</sup> Cu-Sn-Pb <sup>11)</sup>	<sup>12)</sup>
铜镜 <sup>1)</sup> 2446-4 <sup>2)</sup>	镜部 <sup>3)</sup>	82.7 <sup>4)</sup>	10.1 <sup>5)</sup>	6.0 <sup>6)</sup>	Fe:0.5 <sup>7)</sup>	晶界腐蚀, 可见偏析, 存在少量呈点状的 ( $\alpha+\delta$ )共析组织, 铅以小颗粒、较大圆颗粒、椭圆颗粒存在; 夹杂物呈块状、点状。 <sup>8)</sup>	铸造 <sup>9)</sup> Cu-Sn-Pb <sup>10)</sup>	<sup>11)</sup>

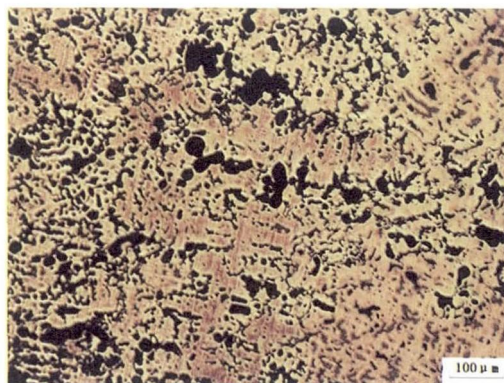


图8弩机样品2447的金相组织析痕迹, 表明均为铸造型。

### 3. 讨论

#### 3.1 合金成分特点

分析的23件器物中, 有2件为锡青铜器, 其余均为铅锡青铜器。不同类型器物铅锡含量差异明显, 同类型器物锡含量相近。铜钱样品合金成分锡含量有一定差异但整体相近, 铅含量差异大; 铍类样品合金成分锡含量相近, 铅含量差异较大; 弩机、铜带钩样品合金成分锡含量较高; 铜镜样品合金成分铅锡含量相近, 材质一致; 铜印章样品合金成分铅锡含量相近, 材质一致。

弩机样品2447合金成分锡含量为14.4%, 铅含量为2.2%,  $\alpha$ 固溶体树枝状晶偏析明显, ( $\alpha+\delta$ )共析体呈岛屿状且大部分锈蚀, 铅以较小颗粒存在(见图8)。根据D.Hanson和W.T. Pell-walpole<sup>④</sup>的实验研究, 锡含量在12~15%之间, 材料的抗拉强度、硬度适中, 延伸率较低。弩机的材质能够满足武器使用的机械性能要求。

器物名称 <sup>1)</sup> 样品编号 <sup>2)</sup>	取样 <sup>3)</sup> 部位 <sup>4)</sup>	样品成分 (Wt%) <sup>5)</sup>				金相组织观察结果 <sup>6)</sup>	制作方法 <sup>7)</sup> 材质 <sup>8)</sup>	图号 <sup>9)</sup>
		Cu <sup>10)</sup>	Sn <sup>11)</sup>	Pb <sup>12)</sup>	其他 <sup>13)</sup> 元素 <sup>14)</sup>			
铜印章 <sup>1)</sup> 2449-2 <sup>2)</sup>	碎片 <sup>3)</sup>	91.3 <sup>4)</sup>	6.6 <sup>5)</sup>	1.3 <sup>6)</sup>	<sup>7)</sup>	样品腐蚀严重, 可见偏析, 存在少量形态小、受到腐蚀的 ( $\alpha+\delta$ )共析组织, 铅以小颗粒存在; 夹杂物呈点状、块状。 <sup>8)</sup>	铸造 <sup>9)</sup> Cu-Sn <sup>10)</sup>	<sup>11)</sup>
铜印章 <sup>1)</sup> 2449-3 <sup>2)</sup>	碎片 <sup>3)</sup>	88.8 <sup>4)</sup>	8.2 <sup>5)</sup>	2.1 <sup>6)</sup>	Ag:0.4 <sup>7)</sup>	样品腐蚀严重, 可见偏析, 存在少量呈点状 ( $\alpha+\delta$ )共析组织; 存在小颗粒状铅及较大椭圆形铅残痕; 夹杂物呈点状、块状。 <sup>8)</sup>	铸造 <sup>9)</sup> Cu-Sn-Pb <sup>10)</sup>	<sup>11)</sup>
铜印章 <sup>1)</sup> 2449-4 <sup>2)</sup>	碎片 <sup>3)</sup>	89.6 <sup>4)</sup>	7.9 <sup>5)</sup>	1.6 <sup>6)</sup>	S:0.3 <sup>7)</sup>	样品腐蚀严重, 部分偏析明显, 存在少量呈点状 ( $\alpha+\delta$ )共析组织; 存在小颗粒状铅及较大椭圆形铅残痕; 夹杂物呈点状、块状。 <sup>8)</sup>	铸造 <sup>9)</sup> Cu-Sn <sup>10)</sup>	<sup>11)</sup>

随着锡含量和铸件冷却速度的不同, 共析体组织呈现不同的形态。通过金相观察, 18件样品有 ( $\alpha+\delta$ )共析体组织析出, 其形态有: 个体较小呈点状或岛屿状, 呈较大的岛屿状和连成网状3种。另有2件样品不见 ( $\alpha+\delta$ )共析体, 优先发生了锈蚀。

24个样品中均有夹杂物, 主要为铜的硫化物和铜、铁的硫化物, 个别样品中为纯度较高的含铁夹杂物。夹杂物是由冶炼时所用的矿石中带入, 一般以点状、环状、块状、条状分布。

24个样品都呈现 $\alpha$ 固溶体树枝状晶偏析或可见偏

对所取铜镜片样品2434-1与2434-3进行分析: 2434-1样品锡含量为24.0%, 铅含量为3.4%; 2434-3样品锡含量为22.9%, 铅含量为5.1%; 符合中国从春秋晚期至汉唐时期的铜镜含锡量一般在20~26%且接近集中在23~24%的统计规律, 金相显微结果表明室温下合金相组成为 $\alpha+(\alpha+\delta)$ ,  $\alpha$ 相少, 呈针状和两端尖锐的条状, 分布在连接成片的 ( $\alpha+\delta$ )共析体基体上。两个样品组织形态大小存在差异, 与两个样品的取样位置、铜镜厚度不同有关(见图9, 图10)。

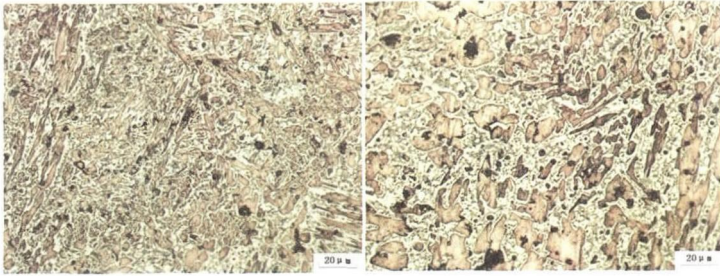


图9 铜镜样品2434-1的金相组织      图10 铜镜样品2434-3的金相组织

所取11件铜钱样品的材质均为铅锡青铜，统计铜钱合金成分中铜、锡、铅含量频率分布，见图11。铜钱的合金成分：铜含量在61.3~87.0%之间，主要集中于65~85%；锡含量在3.2~7.6%之间，主要集中于5~7.6%；铅含量在5.6~34.7%之间，主要集中于5~25%。

铜钱样品2439-1d与2439-1x均取自编号为2439-1的较大且残的铜钱，2439-1d合金成分：锡含量为6.5%，铅含量为14.4%；2439-1x合金成分：锡含量为5.8%，铅含量为17.8%；二者锡含量相近，铅含量差异明显，可能与2439-1d铅粒发生脱落有关（见图12，图13）。铜钱样品对铅颗粒分布情况涵盖的较为全面：样品2439-1x合金成分铅含量为17.8%，铅颗粒以较小颗粒存在和较大圆颗粒、椭圆颗粒存在，且部分脱落；样品2439-6合金成分铅含

量为34.7%，铅颗粒发生比重偏析，较小颗粒集中于一侧，较大铅颗粒集中在另一侧；样品2439-7合金成分铅含量为5.6%，铅颗粒以较小颗粒存在（见图13，图14，图15）。

铜钱样品2439-7金相组织显示， $\alpha$ 固溶体枝晶细密且狭长，枝晶间可见 $(\alpha+\delta)$ 共析体数量少且形态较小（见图15）；铜带钩样品2444-1金相组织显示， $\alpha$ 固溶体枝晶细密且狭长，枝晶间可见 $(\alpha+\delta)$ 共析体数量多且形态较大（见图16）；虽然2444-1枝晶较2439-7枝晶发育，仍然是由于冷却速度较快导致的未完全发育，另由于其含锡量较2439-7要高，晶间 $(\alpha+$

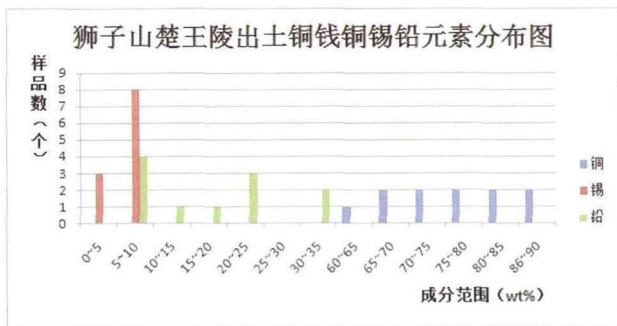


图11 狮子山楚王陵出土铜钱铜锡铅元素分布图

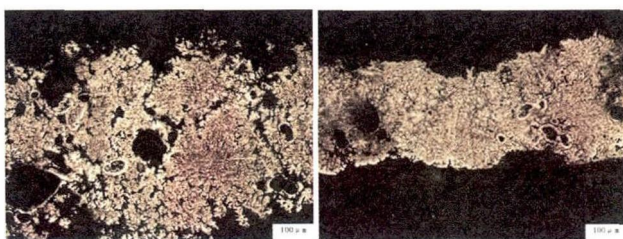


图12 铜钱样品2439-1d的金相组织      图13 铜钱样品2439-1x的金相组织

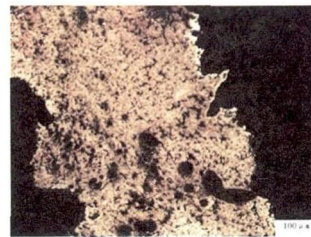


图14 铜钱样品2439-6的金相组织

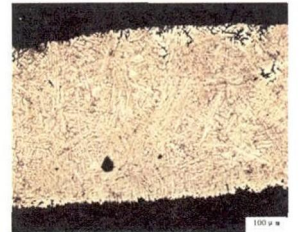


图15 铜钱样品2439-7的金相组织

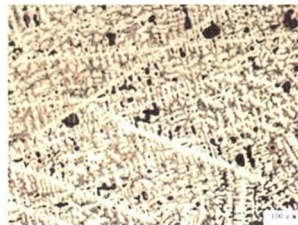


图16 铜带钩样品2444-1的金相组织

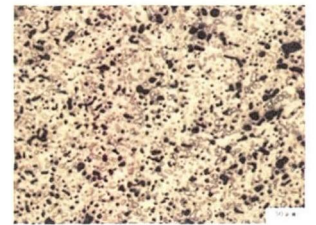


图17 铁铤铜铤样品2445-1的金相组织

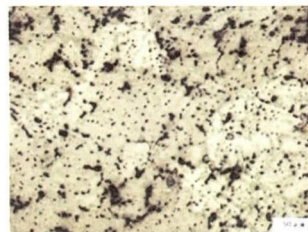


图18 铁铤铜铤样品2445-2的金相组织

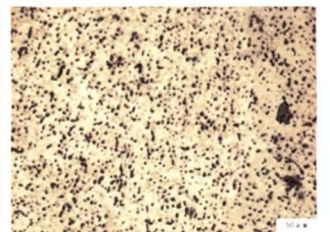


图19 铁铤铜铤样品2445-3的金相组织

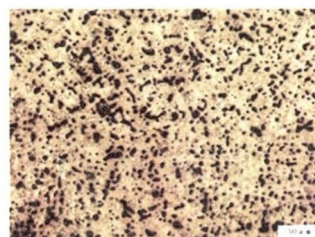


图20 铁铤铜铤样品2445-4的金相组织

δ) 共析体的比例随之增加。

4件铁铤铜铍样品2445-1、2445-2、2445-3、2445-4取自铁铤铜铍的铍部,材质均为铅锡青铜,锡含量在7.7~9.3%之间,铅含量在13.1~18.5%之间,合金成分中锡含量变化较小,铅含量变化稍大,推测其原因:可能与样品保存状况有关;可能与铁铤铜铍存在本地制作与外来输入有关;可能来自不同的作坊。

将2445-1与2445-4进行比较,发现合金成分中铅含量几乎一致,前者锡含量稍高,结合2445-1金相照片与2445-4金相照片,前者铅分布比后者较均匀且呈现较多颗粒状(见图17,图20)。将2445-2与2445-3进行比较,发现合金成分铅含量几乎一致,但后者锡含量较高,2445-2金相照片显示铅分布呈细枝晶状,2445-3金相照片显示铅颗粒较小并呈点状(见图18,图19)。将2445-3与2445-4进行比较,发现合金成分锡含量几乎一致,但后者铅含量较高,2445-3金相照片显示铅颗粒较小并呈点状,2445-4金相照片显示铅颗粒较大(见图19,图20)。铅的比重(11.34)比铜的比重(8.9)大得多,含铅较高时易造成比较偏析,但当含锡5~10%时,可以减轻这种偏析,可使铅的分布和颗粒变细,合金中铅的尺寸、形状及分布状态对合金性能有决定性影响,以点粒状或细枝晶状分布最为理想。

对所取铜印章样品2449-2、2449-3、2449-4进行分析,合金成分铜含量范围在88.8~91.3%,锡含量范围在6.6~8.2%,铅含量范围在1.3~2.1%。3件样品铅锡含量相近,材质相同,基体都受到较严重腐蚀。

弩机样品2447与铜带钩样品2444-1合金成分含锡量高,含少量的铅,与二者机械性能相适应;铜镜样品2434-1与2434-3合金成分锡铅含量相近,材质一致,符合中国从春秋晚期至汉唐时期的铜镜含锡量的统计规律,体现其成熟的制作技术;铜钱样品合金成分锡含量基本相近,铅含量差异大,可能与铜钱的取样部位及制作产地有关;铜铍样品合金成分锡含量相近,铅含量有较大差异,可能与取样部位与样品保存状况有关,可能与铜铍存在本地制作与外来输入有关,也可能来自不同的作坊;铜印章样品合金成分铜锡铅含量相近,铜含量很高,各样品材质一致,体现其成熟的制作技术。

### 3.2 狮子山楚王陵与其他汉代王陵出土铜器比较

目前,对汉代王陵出土的青铜器合金成分成果较为丰富,周卫荣<sup>5</sup>对徐州北洞山楚王墓出土的铜钱进行了分析,中国社会科学院考古研究所实验室<sup>6</sup>及戴志强、周卫荣、樊祥禧等<sup>7</sup>对青铜器进行了科学鉴定,李秀辉、韩汝玢<sup>8</sup>对永城梁王墓出土铜器进行了取样科学鉴定,北京科技大学冶金史研究室<sup>9</sup>对西汉南越王墓出土的部分铜器进行了鉴定。各王陵所鉴定的青铜器均以铅锡青铜为主,金相组织均为铸造组织,α固溶体树枝状晶及晶内偏析明显,铁与硫主要以夹杂物形式存在。

#### (1) 铜钱

徐州狮子山楚王陵出土铜钱有榆荚半两、四铢半两、秦半两及八铢半两,其中榆荚钱占绝大多数,计约18万枚<sup>10</sup>。徐州北洞山楚王墓出土铜钱有两亩钱、明月钱及半两,可确认有四铢半两和八铢半两,计完整铜钱52640枚<sup>11</sup>。河南永城梁王陵墓出土铜钱有五铢钱、四铢半两、榆荚半两及其他半两,其中五铢钱22枚,计62枚<sup>12</sup>。河北满城汉墓出土铜钱有四铢半两及五铢钱,绝大多数为五铢钱,计4206枚<sup>13</sup>。由此可见,以上4座汉代王陵出土铜钱数目和种类存在差别:狮子山楚王陵出土铜钱数目远超其他三座汉王陵出土铜钱数目,河南永城梁王墓出土铜钱过少与早年遭受严重盗掘有关;狮子山楚王陵以榆荚半两为主且不见五铢钱,北洞山楚王墓以四铢半两和八铢半两为主且不见五铢钱,河南永城梁王陵墓五铢钱占大比例,河北满城汉墓以五铢钱为主,符合汉代铜钱的演变顺序,也与墓主人生活和下葬年代相符合。

统计以上各王陵检测鉴定铜钱结果进行对比,见表三。

狮子山楚王陵与北洞山楚王墓出土的铜钱合金成分中锡含量以5~10%为主,且北洞山楚王墓出土铜钱有部分锡含量超过10%,满城汉墓出土铜钱合金成分中锡含量以5%以下为主;狮子山楚王陵出土铜钱合金成分中铅含量在5~25%集中,北洞山楚王陵出土铜钱合金成分中铅含量在5~25%集中,满城汉墓出土铜钱合金成分中铅含量在5~15%集中。

整体上看汉代楚国诸侯王陵出土铜钱含锡量以5~10%为主,部分高于10%,这与楚地富含锡有关

表三 4 座汉代王陵出土铜钱成分分布

出土地点	锡含量 变化范围 (wt%)	分布 状况 (wt%)	样品数 (个)	所占 比例 (%)	铅含量 变化范围 (wt%)	分布 状况 (%)	样品数 (个)	所占 比例 (%)
北洞山楚王墓	2.2~17.4	<5	12	21.8	1.4~35.3	<5	4	7.3
		5~10	35	63.6		5~10	13	23.6
		>10	8	14.5		10~15	12	21.8
		-	-	-		15~20	10	18.2
		-	-	-		20~25	10	18.2
		-	-	-		25~30	4	7.3
		-	-	-		>30	2	3.6
狮子山楚王陵	3.2~7.6	<5	3	27.3	5.6~34.7	5~10	4	36.3
		5~10	8	72.7		10~15	1	9.1
		-	-	-		15~20	1	9.1
		-	-	-		20~25	3	27.3
		-	-	-		>30	2	18.2
永城梁王墓	0.3~13.9	<5	2	40.0	1.3~29.7	5~10	2	40.0
		5~10	2	40.0		10~15	1	20.0
		>10	1	20.0		>25	2	40.0
满城汉墓	1.6~8.4	<5	14	87.5	5.1~19.1	5~10	5	31.3
		5~10	2	12.5		10~15	8	50.0
		-	-	-		15~20	3	18.8

联。狮子山楚王陵出土铜钱的含铅量较北洞山楚王墓出土铜钱的含铅量稍高，但北洞山楚王墓出土铜钱的含锡量较高；狮子山楚王陵出土铜钱的含锡量较满城汉墓出土的铜钱高，且其出土铜钱的含铅量也稍高；满城汉墓出土铜钱的铅含量低于北洞山楚王墓。铅含量的变化可以一定程度上反应诸侯国国力的变化，加入不值钱的铅，可以使制作成本下降。

(2) 镞

汉代诸侯王陵随葬的铜质箭镞主要有铜镞和铁镞两种，另有部分钢镞和竹镞，现将狮子山楚王陵、北洞山楚王墓、永城梁王墓、满城汉墓及广州南越王墓5座汉代王陵出土箭镞情况，见图21~25。

根据以上形制图可以发现，铜质箭镞有三棱形、双翼、三翼、扁棱、圆锥、圆柱形、平头等形制，镞铤材质有铁铤、铜铤、钢铤、竹铤等，关之断面呈圆形、圆筒形、六棱形等。狮子山楚王陵出土铜镞有双翼、三翼和三棱三种，计有五种不同形制，铜镞有部分为铁铤铜镞，根据陈建立、韩汝玢<sup>15</sup>论文可确定为135件，但无法确定各形制数量。狮子山楚王陵出土的铜镞形制与汉代王陵出土的主要形制基本吻合。

统计对汉代王陵出土的铜镞做出科学分析，见表四。

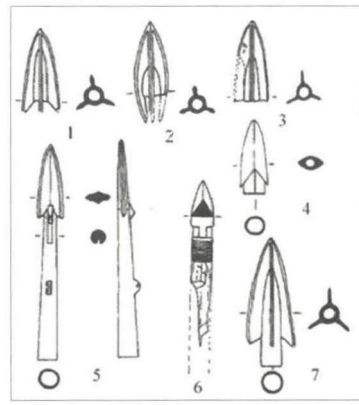


图 21 狮子山楚王陵出土镞形制图<sup>①</sup>

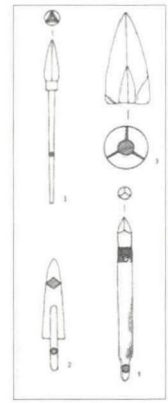


图 22 北洞山楚王墓出土镞形制图<sup>①</sup>

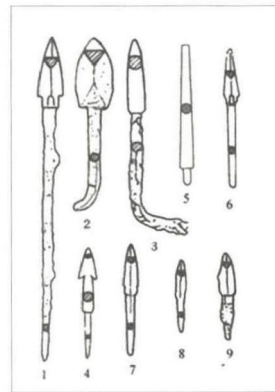


图 23 梁孝王墓出土镞形制图<sup>②</sup>

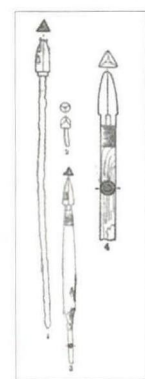


图 24 满城汉墓出土镞形制图<sup>③</sup>



图 25 广州南越王墓出土镞形制图<sup>④</sup>

经过比较可以得出：狮子山楚王陵出土铜镞及铁铤铜镞铜含量相对较高；其合金成分与永城梁王墓出土实用铜镞的锡铅含量相近，其铁铤铜镞的锡铅含量稍低；满城汉墓出土铁铤铜镞锡含量很高，具有较高的硬度。

4. 结论

本文分析狮子山楚王陵出土器物 23 件，其中 21 件材质为铅锡青铜，2 件材质为锡青铜，均铸造成型。出土器物在合金成分上呈现出铅含量较低，铜

表四 汉王陵出土鉴定铜铤合金成分表

出土地点 <sup>a</sup>	器物种类 <sup>b</sup>	实验编号 <sup>c</sup>	合金成分 (wt%) <sup>d</sup>		
			铜 <sup>e</sup>	锡 <sup>f</sup>	铅 <sup>g</sup>
永城梁王陵墓 <sup>h</sup>	铜铤 <sup>i</sup>	6133 <sup>j</sup>	77.7 <sup>k</sup>	9.8 <sup>l</sup>	11.1 <sup>m</sup>
	铜铤 <sup>i</sup>	6143 <sup>j</sup>	72.7 <sup>k</sup>	16.7 <sup>l</sup>	9.4 <sup>m</sup>
	(明器) <sup>i</sup>				
	铁铤铜铤 <sup>i</sup>	6146 <sup>j</sup>	68.0 <sup>k</sup>	12.8 <sup>l</sup>	18.4 <sup>m</sup>
满城汉墓 <sup>h</sup>	铜铤 <sup>i</sup>	1:5082 <sup>j</sup>	74.7 <sup>k</sup>	22.1 <sup>l</sup>	2.7 <sup>m</sup>
狮子山楚王陵 <sup>h</sup>	铜铤 <sup>i</sup>	2446-1 <sup>j</sup>	84.9 <sup>k</sup>	10.4 <sup>l</sup>	3.5 <sup>m</sup>
	铜铤 <sup>i</sup>	2446-4 <sup>j</sup>	82.7 <sup>k</sup>	10.1 <sup>l</sup>	6.0 <sup>m</sup>
	铁铤铜铤 <sup>i</sup>	2445-1 <sup>j</sup>	72.3 <sup>k</sup>	9.3 <sup>l</sup>	18.3 <sup>m</sup>
	铁铤铜铤 <sup>i</sup>	2445-2 <sup>j</sup>	78.9 <sup>k</sup>	7.7 <sup>l</sup>	13.5 <sup>m</sup>
	铁铤铜铤 <sup>i</sup>	2445-3 <sup>j</sup>	78.4 <sup>k</sup>	8.4 <sup>l</sup>	13.1 <sup>m</sup>
	铁铤铜铤 <sup>i</sup>	2445-4 <sup>j</sup>	72.7 <sup>k</sup>	8.7 <sup>l</sup>	18.5 <sup>m</sup>

锡含量较高的趋势。与其他汉王陵相比较：狮子山出土铜钱主要以榆莢半两为主且不见五铢钱，狮子山楚王墓出土铜钱锡含量高于中原地区出土铜钱，铅含量稍高；与北洞山楚王墓和满城汉墓出土的铜钱存在一定差异，楚王陵出土的铜钱锡含量较高与楚地富含锡有关联；狮子山楚王陵出土的铜铤形制与汉代王陵出土的主要形制基本吻合；狮子山楚王陵出土铜铤成分与永城梁王墓所出实用器成分相近，铁铤铜铤锡含量稍低，但其锡含量低于满城汉墓所出者；狮子山楚王陵出土铜器符合西汉时期冶铸技术水平。

#### 参考文献:

- ① 王恺, 邱永生. 徐州狮子山西汉楚王陵发掘简报 [J]. 文物, 1998, 08: 4-33.
- ② 葛明宇. 徐州狮子山楚王陵陪葬墓的调查发现与认识 [J]. 华夏考古, 2012, 03: 99-106.
- ③ 刘尊志. 徐州两汉诸侯墓研究 [J]. 考古学报, 2011, 01: 57-98.
- ④ Hanson D, Dell-Walpole W T. Chill-Cast Tin Bronzes [M]. London: Edward Arnold&Co, 1951: 242-243.
- ⑤ 周卫荣. 北洞山西汉楚王墓出土钱币等器物的分析 [R]. 徐州博物馆, 南京大学历史学系考古专业. 徐州北洞山西汉楚王墓. 北京: 文物出版社, 2003. 208-214.

⑥ 中国社会科学院考古研究所. 满城汉墓部分铜、银器的化学成分 [R]. 中国社会科学院考古研究所. 满城汉墓发掘报告. 文物出版社, 北京, 1980. 376-383.

⑦ 戴志强, 周卫荣, 樊祥禧. 满城汉墓出土五铢钱的成分检测及有关问题的思索 [J]. 中国钱币, 1991, 02: 12-17+81-82.

⑧ 李秀辉, 韩汝珍. 永城梁孝王寝园及保安山二号墓出土金属器物的鉴定 [R]. 河南省文物考古研究所. 永城西汉梁国王陵与寝园. 郑州: 中州古籍出版社, 1996. 276-285.

⑨ 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 [R]. 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. 西汉南越王墓. 北京: 文物出版社, 1991. 397-410.

⑩ 韦正, 李虎仁, 邹厚本. 江苏徐州市狮子山西汉墓的发掘与收获 [J]. 考古, 1998, 08: 1-20.

⑪ 徐州博物馆, 南京大学历史学系考古专业. 徐州北洞山西汉楚王墓 [R]. 北京: 文物出版社, 2003. 180.

⑫ 河南省文物考古研究所. 永城西汉梁国王陵与寝园 [R]. 郑州: 中州古籍出版社, 1996. 80-83, 189-199, 74-215.

⑬ 中国社会科学院考古研究所. 满城汉墓发掘报告 [R]. 北京: 文物出版社, 1980. 38-208, 246-333.

⑭ 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. 西汉南越王墓 [R]. 北京: 文物出版社, 1991. 20-294.

⑮ 陈建立, 韩汝珍. 汉诸侯王陵墓出土铁器的比较 [J]. 文物保护与考古科学, 2000, 01: 1-8.

#### 作者简介:

迟鹏 (1991-), 男, 硕士, 北京科技大学科技史与文化遗产研究院, 研究方向: 科技史。

李秀辉 (1963-), 女, 本科, 北京科技大学科技史与文化遗产研究院副教授, 研究方向: 科技史。

陈建立 (1973-), 男, 博士, 北京大学考古文博学院教授, 研究方向: 冶金考古。

王恺 (1936-), 男, 徐州汉兵马俑博物馆研究员, 研究方向: 考古。

(责任编辑: 宋燕)