

# 湖北随州叶家山西周墓地 M111 出土铜器的检测分析及相关问题

郁永彬(景德镇陶瓷大学艺术文博学院 副研究员)  
陈建立(北京大学考古文博学院 教授)  
梅建军(英国剑桥大学麦克唐纳考古研究所 研究员)  
陈坤龙(北京科技大学科技史与文化遗产研究院 教授)  
常怀颖(中国社会科学院考古研究所 副研究员)  
黄凤春(湖北省文物考古研究院 研究员)

湖北随州叶家山墓地是西周早期曾国的高等级贵族墓地,葬制独特,布局清晰,保存完整,随葬器物种类多、数量大,备受学界关注<sup>①</sup>。其中 M28、M65 和 M111 三座墓葬尤为重要,是有确切铭文印证的曾侯墓,而且 M28 和 M65 均出土带有“曾侯谏”铭文的铜器<sup>②</sup>。M111 所出青铜礼器中,有 15 件可见“曾侯”铭文,完全可以确定其墓主身份为一位曾侯;其中 2 件铜簋上发现有“曾侯罔作宝尊彝”铭文,另有 1 件铜方座簋上发现有“罔作烈考南公宝尊彝”铭文,可进一步推定 M111 墓主为“曾侯罔”<sup>③</sup>。需要指出的是,在叶家山西周墓地发现后,有学者指出 M111 是墓地中年代最早的一位曾侯墓<sup>④</sup>,但 M111 发掘简报将其年代推定在西周早期偏晚阶段,约当昭王时期。

M65、M28 和 M111 三座墓葬均出土大量铜器,其中 M65 出土 117 件, M28 出土 606 件, M111 出土近 2600 件。通过检测分析,我们已初步揭示了 M65 和 M28 出土铜器的技术特征及

其蕴含的文化信息<sup>⑤</sup>。这两墓出土铜器以铸造为主,有铅锡青铜、锡青铜和铅青铜三种材质类型;铭文相同、纹饰风格一致的铜容器金相组织、合金成分均较为一致,但不同器组间的合金配比有所不同。本文拟通过金相组织观察、成分分析和铅同位素比值测定等方法,结合青铜器制作工艺和铭文、纹饰的研究,再对 M111 出土铜器的技术特征进行综合分析,为研究西周时期青铜技术的发展提供新的科学分析资料。

## 一 实验样品概况

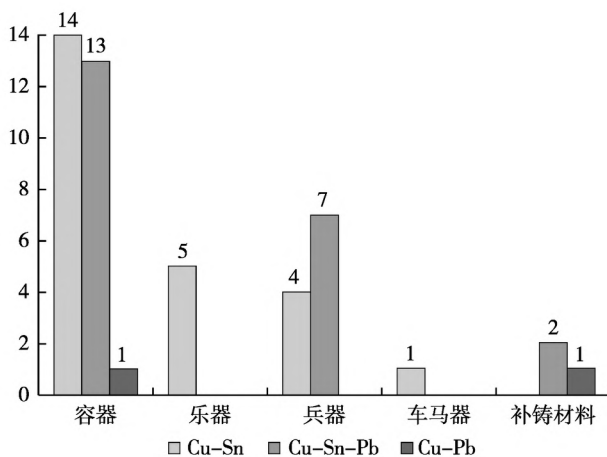
叶家山 M111 出土铜器按用途可分为容器、乐器、兵器、车马器、工具、原料、丧葬用器七大类。其中容器 58 件,包括鼎、甗、鬲、簋、甗、尊、卣、壶、漆壶铜钗、罍、盃、爵、扁觚、觶、盘、匕、斗等;乐器 14 件,包括铙钟、甬钟、编铃,其中 1 件铙钟和 4 件甬钟组成一套编钟;兵器 1324 件,包括钺、戈、戟、矛、旄、镞、胄饰、铉等;车马器 968 件,包括弓形器、马镳、马胄、当卢、马笼套、

马护膝、节约、扣件等;原料2件,均为圆铜锭;丧葬用器202件,包括铜鱼、手持钺形饰、人首形饰、翼、半兽面形饰、虎形饰、衔尾龙形饰等;工具18件,包括斧、铤、凿、刻刀等。为揭示各类器物的技术特征,本文对M111出土铜器进行了有针对性的取样分析。样品均取自器物残破处或铸造范缝部位,完好或毛刺打磨光滑的器物不取样,在满足分析条件的情况下所取样品尽可能小,未对器物外观产生影响。

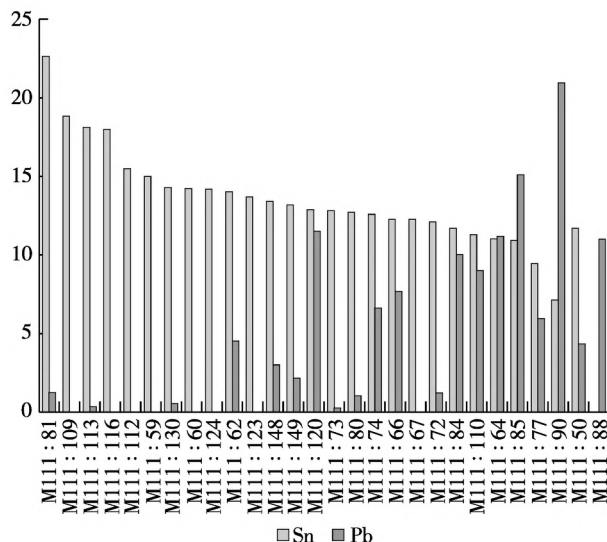
取样时,容器兼顾食器、酒器和水器,并考虑其铭文、纹饰和组合等情况;尽量选取不同种类的器物,以增强样品的代表性;同一种类器物尽量选多件取样,以增加可比性。本文共对45件器物进行取样,包括容器28件、乐器5件、兵器11件、车马器1件,计方鼎6件(M111:85取样4个)、圆鼎6件(M111:77、84各取样2个)、簋4件(M111:50取样2个、M111:59取样3个)、方座簋1件、尊1件、卣2件(M111:112取样2个)、鬯3件(M111:120取样2个)、壶1件、方觚1件、爵1件、漆壶铜钊2件、编钟5件、戟4件、钊7件、钺1件,共制备55个样品。另对山父丁盃M111:127锈蚀样品进行了铅同位素分析。

## 二 分析结果

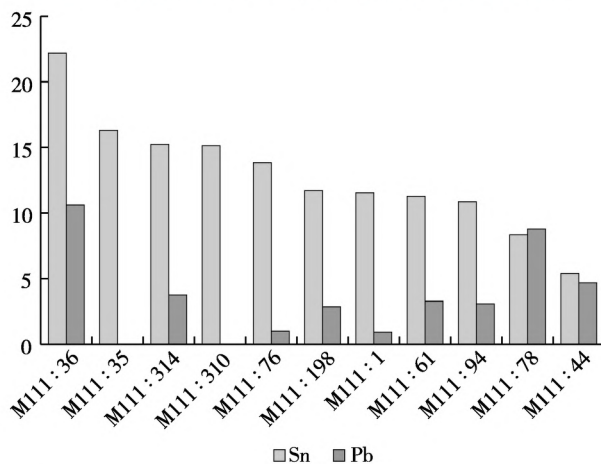
首先按标准程序制备好金相样品,在浸蚀前对样品铸造缺陷和夹杂物分布情况进行初步观察;然后使用3%的三氯化铁盐酸乙醇溶液进行浸蚀,采用Leica DM4000金相显微镜对浸蚀后的样品进行金相组织观察和拍照。观察后的样品经再次磨光和抛光,做喷碳处理,而后置入带有能谱仪的扫描电子显微镜进行观察和成分分析。所用仪器为北京科技大学测试中心的ZEISS EVO18高分辨扫描电镜,能谱分析仪为BRUKER X Flash Detector 5010,分析条件设定为加速电压20kV,工作距离7~10mm,激发时间≥60s。考虑到铜器样品



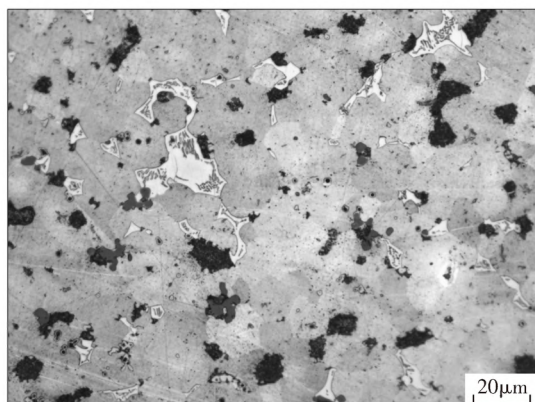
图一 叶家山 M111 出土铜器合金种类与器物类型之间的关系



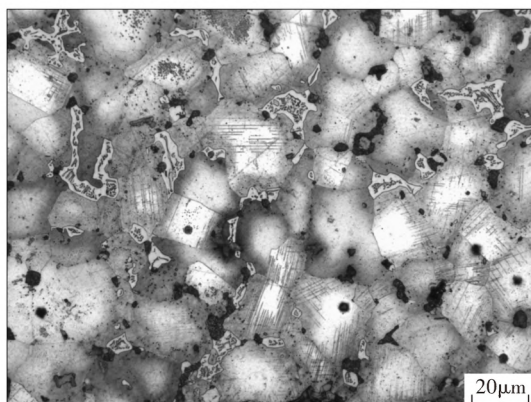
图二 叶家山 M111 出土铜容器合金元素百分含量柱状图



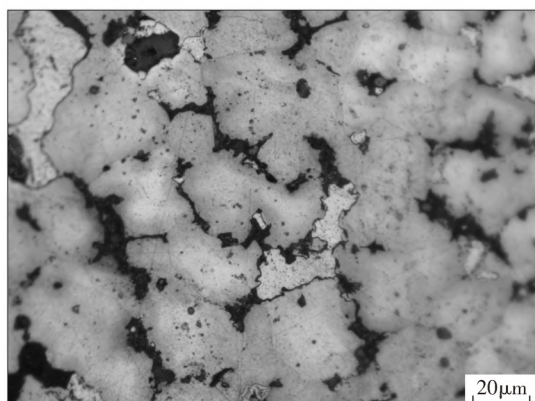
图三 叶家山 M111 出土铜兵器合金元素百分含量柱状图



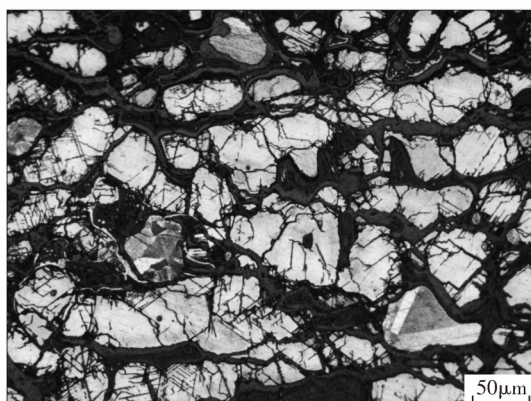
图四 方鼎 M111:74 耳下残破处金相照片



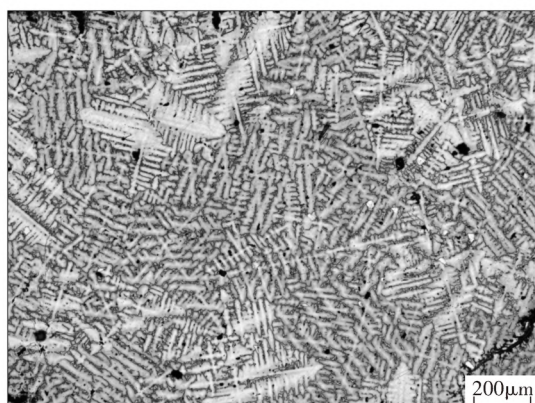
图五 圆鼎 M111:77 腹部残片金相照片



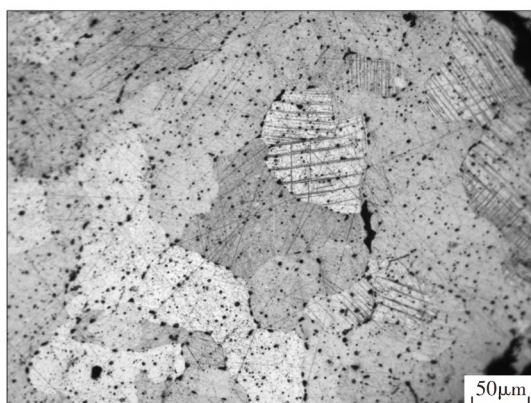
图六 圆鼎 M111:77 腹部补片金相照片



图七 铜簠 M111:59 盖残片金相照片



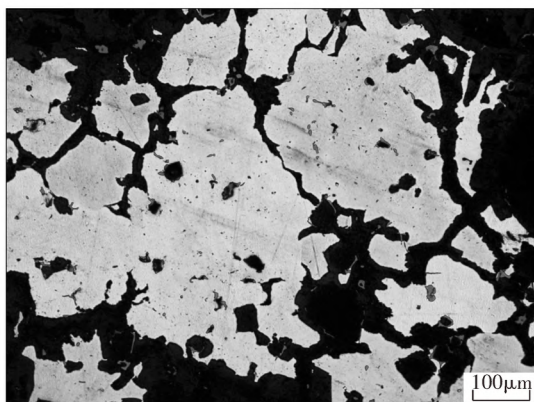
图八 铜簠 M111:67 方座处残片金相照片



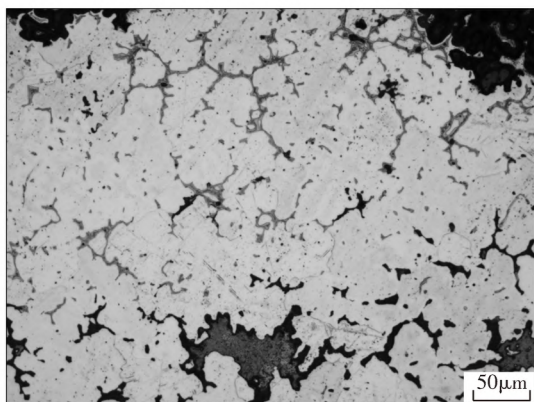
图九 铸钟 M111:5 内腔毛刺金相照片

存在成分偏析和锈蚀等因素，尽量选取锈蚀较少的不同部位进行分析，而后取多次分析结果的平均值代表该样品的成分组成。附表一列即为 55 个样品的扫描电镜能谱分析结果。使用北京大学地球与空间科学学院的 VG Elemental 型多接收电感耦合等离子体质谱仪

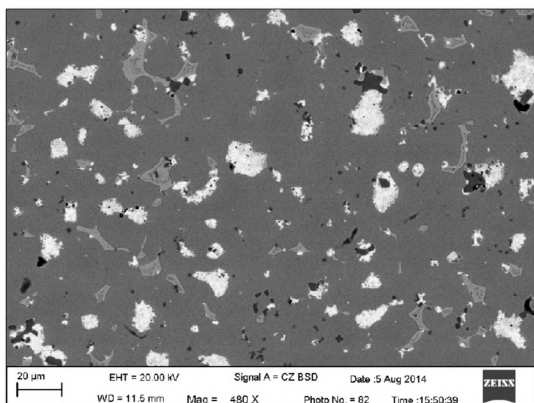
(MC-ICP-MS)测试样品的铅同位素比值。仪器分析精度： $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  和  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  的相对误差分别小于 0.01%、0.01%和 0.1%；测试时使用国际铅同位素标准溶液 SRM981 校正仪器，每测试 3~4 个样品即测试一次标准溶液 SRM981。结果详见表一。



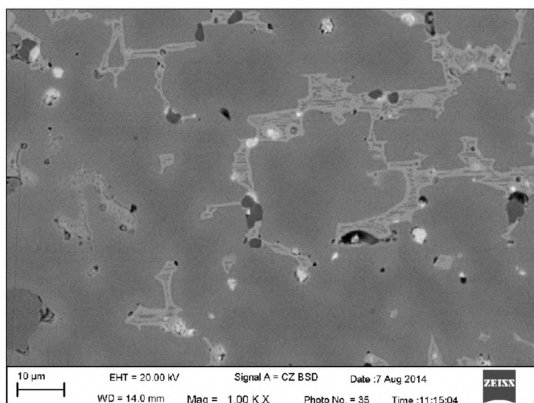
图一〇 甬钟 M111 : 11 甬部毛刺金相照片



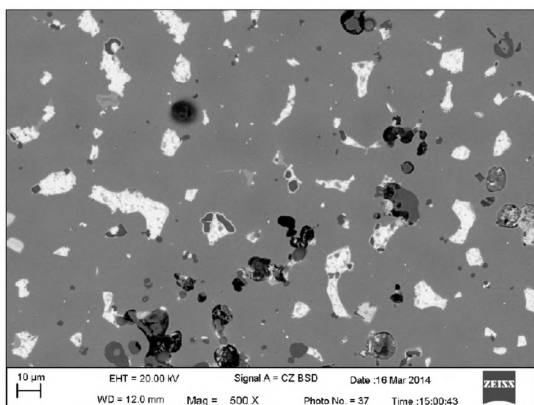
图一一 铜戟 M111 : 94 残片金相照片



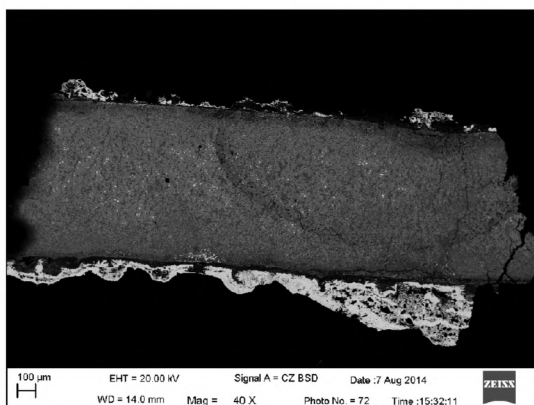
图一二 方鼎 M111 : 74 耳下残破处背散射电子图像



图一三 方鼎 M111 : 80 盖残片背散射电子图像



图一四 圆鼎 M111 : 84 断耳背散射电子图像



图一五 圆鼎 M111 : 90 腹部残片背散射电子图像  
容器补铸材料样品 3 个,其中 2 个为铅锡青铜, 1 个为铅青铜(图一)。分析结果揭示,这批铜器在合金材料方面具有如下几个技术特征。

### (一)合金成分

由检测结果可知,就取自器物本体的样品而言,经分析的 45 件器物中,有 20 件为铅锡青铜,包括容器 13 件、兵器 7 件;有 24 件为锡青铜,包括容器 14 件、乐器 5 件、兵器 4 件和车马器 1 件;仅有 1 件为铅青铜,为容器铜鼎。检测

首先,容器的材质类型较多。28 件容器类器物中,锡青铜有 14 件,铅锡青铜有 13 件,铅青铜有 1 件(图二)。铅锡青铜的锡含量为

7%~14%，且集中分布于 10%~14%，占比约 84.6%；铅含量为 2.1%~21%，其中在 2.1%~10% 之间的器物有 9 件，在 10%~21% 之间的器物有 4 件。锡青铜的锡含量多为 12.1%~18.8%，仅铜鼎 M111：81 器盖锡含量较高，达 22.7%。另有 1 件铅青铜鼎 M111：88，其铅含量为 11%。

其次，带盖的器物，器盖和器身的合金类型或同或不同。铜鼎 M111：120 器盖(43465-2)和器身(43465-1)、曾侯猗簋 M111：59 器盖(43457-3)和器身(43457-2)合金元素含量均接近，可能是使用相同配比的合金料制成的。父辛提梁卣 M111：112 器盖(43488-1)和器身(43488-2)分别为铅锡青铜和锡青铜，应是分别配制合金料制作的。另外，方鼎 M111：85 器盖(43463-3)与盖上扉棱(43463-2)为分铸铸接制作，均为铅锡青铜。

第三，补铸的器物，补铸材料和本体合金类型或同或不同。铜鼎 M111：77、铜簋 M111：50 腹部补块和本体材料均为铅锡青铜，合金元素含量接近。铜鼎 M111：84 补足和本体材料的合金类型不同，本体(43462-1)为铅锡青铜，补足(43462-2)为铅青铜。

第四，兵器以铅锡青铜为主，1 件车马器为锡青铜。11 件兵器中，有铅锡青铜 7 件，锡青铜 4 件(图三)。铅锡青铜的铅含量为 2.8%~10.6%，锡含量变化幅度较大，为 5.3%~22.2%，其中铜钺 M111：36 合金元素含量最高，含锡 22.2%、含铅 10.6%；锡青铜的锡含量为 11.5%~16.3%。车马器铜軎 M111：填 53 锡含量较高，为 27.3%。

## (二)金相组织

经金相鉴定的 45 件器物，有铸造、铸后受热、铸后局部热锻三种组织形态。部分器物金相组织见图四~一一。总体看来，这批铜器在制作工艺方面呈现如下两个技术特征。

首先，这批铜器的制作主要采用铸造工艺，仅有个别兵器在局部进行了热锻加工。其中有 24 件器物的本体样品显示典型的铸态组织，包括容器 18 件、兵器 5 件、车马器 1 件，基体为  $\alpha$  固溶体枝晶，晶内偏析明显。部分样品

组织中( $\alpha+\delta$ )共析体较多，互连成网状；部分样品( $\alpha+\delta$ )共析体较少，呈岛屿状分布。铅锡青铜中的铅呈大小不等颗粒状、枝晶状、片状分布于组织中；个别样品中铅分布不均匀，可能与铅的比重偏析有关；有些样品中少量的铜硫化物与铅颗粒伴生。有 21 件为铸后受热组织，包括容器 10 件、乐器 5 件、兵器 6 件，基体为  $\alpha$  固溶体，晶内偏析不明显，局部晶粒粗大，显示受热组织均匀化的特点，可能系使用或其他原因经火烧受热所致。

其次，这批铜器的杂质元素较少，仅检测到铁、砷和锑，它们都以硫化物形式存在。硫化物大多为硫化亚铜，也有含铁的硫化物，未发现富铁相和其他杂质元素形成的特殊相。从器表观察，样品组织致密，未见集中的缩孔和疏松存在，如图一二~一五。

## (三)铅同位素比值分析

铅同位素分析结果显示，22 件青铜器样品  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  的比值为 37.672~41.9， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  的比值为 15.492~16.008， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  的比值为 17.403~21.838， $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  的比值为 1.919~2.173， $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  的比值为 0.733~0.89(表一)。 $^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}$  是铅的四种稳定同位素，其中  $^{204}\text{Pb}$  几乎不具放射性，而  $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}$  则是由不同的放射性元素经一系列衰变形成的。铅同位素组成中  $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$  或  $^{208}\text{Pb}$  含量特别高，即所谓高放射性成因铅，这种铅在地质上是十分罕见的，而我国的金属铅矿大多为  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  比值大于 0.84 的普通铅<sup>[6]</sup>。由此可见，铜鼎 M111：64、铜钺 M111：310 及铜戟 M111：1、61 样品中所含的铅均为高放射性成因铅，其他样品中的铅为普通铅。

## 三 分析讨论

### (一)铜容器合金成分与铭文、组合的关系

容器类器物的制作背景和工艺值得关注。铭文相同、纹饰风格一致的铜器组，部分器物合金元素组成相近，可能是使用相同配比的合金料制作的；部分器物合金元素组成有所差异，可能是分别配制合金料制作的。4 件曾侯带盖方鼎大小、形制、纹饰及铭文内容基本相同。

表一

叶家山 M111 出土部分铜器铅同位素比值分析结果

器名	出土号	实验号	分析结果					备注
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	
铜鼎	M111:84	43462-1	0.8890	2.1651	17.459	15.521	37.801	祖辛大鼎本体
	M111:84	43462-2	0.8769	2.1434	17.679	15.503	37.893	补铸足
铜鼎	M111:90	43597	0.8896	2.1659	17.445	15.519	37.783	四瓣目纹
铜鼎	M111:77	43461-1	0.8901	2.1675	17.453	15.535	37.831	范线特殊
铜鼎	M111:64	43589	0.7330	1.9186	21.838	16.008	41.900	商代风格
铜簋	M111:59	43457-1	0.8668	2.1230	17.953	15.562	38.121	曾侯猗簋
铜簋	M111:60	43458	0.8545	2.1000	18.262	15.604	38.350	曾侯猗簋
铜簋	M111:67	43459	0.8594	2.1080	18.119	15.571	38.198	犴作烈考 南公宝尊彝
提梁卣	M111:112	43488-2	0.8902	2.1646	17.403	15.492	37.672	父辛卣
方觚	M111:123	43466	0.8700	2.1290	17.891	15.573	38.114	
铜盃	M111:127	43602	0.8707	2.1732	17.844	15.536	38.778	山父丁盃
罍钟	M111:5	43455	0.8641	2.1254	17.968	15.525	38.188	
甬钟	M111:7	43582	0.8661	2.1316	17.906	15.508	38.169	形制相同
甬钟	M111:11	43584	0.8672	2.1335	17.890	15.513	38.167	
甬钟	M111:8	43583	0.8656	2.1273	17.962	15.548	38.211	形制相同
甬钟	M111:13	43585	0.8657	2.1274	17.956	15.543	38.198	
铜戟	M111:1	43581	0.8259	2.0709	19.006	15.697	39.359	兵器
铜戟	M111:61	43587	0.7676	1.9853	20.813	15.976	41.319	兵器
铜戟	M111:76	43593	0.8695	2.1322	17.897	15.562	38.160	兵器
铜戟	M111:94	43598	0.8868	2.1591	17.520	15.537	37.827	兵器
铜铎	M111:310	43606	0.7753	1.9903	20.529	15.916	40.859	兵器
铜铎	M111:314	43605	0.8656	2.1261	17.991	15.574	38.251	兵器
铜铎	M111:78	43486	0.8688	2.1354	17.941	15.587	38.310	兵器

方鼎 M111:72、M111:80 和 M111:81 只分析了器盖,合金类型为含少量铅的锡青铜;方鼎 M111:72 和 M111:80 合金元素含量相近,应是使用相同配比的合金料制作的;M111:81 锡含量较高,为 22.7%。另外 1 件方鼎 M111:74 样品取自器身部位,合金类型为铅锡青铜。

两件曾侯猗带盖圈足簋 M111:59、60 (图一六),大小、形制、纹饰及铭文内容相同,合金类型均为锡青铜。M111:59 口沿(43457-1)和腹部(43457-2)锡含量分别为 15%和 15.8%,M111:60 腹部锡含量为 14.2%,它们可能是使用相同配比的合金料制作的。另外,M111:59 盖(43457-3)也为锡青铜,锡含量为 18.3%,器盖可能是使用和器身相同配比的合金料制作的。

曾侯提梁卣 M111:124、126 和曾侯尊 M111:130(图一七),风格和铭文内容相同,为一尊二卣组合。本文分析的铜尊 M111:130 和提梁卣 M111:124 均为锡青铜,锡含量分别为 14.3%和 14.2%,应是使用相同配比的合金料制作的。

形制、风格相同的器物,其合金元素含量接近或趋同。带盖铜鬲 M111:110 和 M111:120,大小、形制和纹饰相同(图一八),均为铅锡青铜制作,合金元素含量接近,锡含量分别为 11.3%和 12.9%,铅含量分别为 9%和 11.5%,可能是使用相同配比的合金料制成的。另外,M111:120 器盖(43465-2)和器身(43465-1)合金元素含量趋同,也可能是使用相同配比的合金料制成



图一六 叶家山 M111 出土曾侯狁带盖圈足簋

的。漆壶铜钗 M111 : 148 和 M111 : 149, 大小、形制相同, 均为铅锡青铜, 锡含量分别为 13.4% 和 13.2%, 铅含量分别为 3% 和 2.1%, 应是使用相同配比的合金料制成的。

总体看来, 曾侯器有铅锡青铜和锡青铜两种合金类型, 包括曾侯狁器和未带私名的曾侯器。本文检测的另外 2 件未带私名的曾侯器物, M111 : 85 曾侯方鼎盖 (43463-3) 和 M111 : 62 方格乳丁纹曾侯簋均为铅锡青铜, 合金元素含量各不相同。需要指出的是, M111 : 67 “狁作烈考南公宝尊彝” 方座簋也应是曾侯作器, 与曾侯狁簋的合金类型相同, 均为锡青铜, 锡含量较为接近。

值得注意的是, M111 出土的一些风格特殊器物, 合金元素含量各具特点, 未见明显规律 (见图二)。形制特殊的方鼎 M111 : 73、表面打

磨光滑的铜罍 M111 : 109、橄榄形壶 M111 : 116、形制特殊的方觚 M111 : 123 均为锡青铜, 其中方鼎 M111 : 73 和方觚 M111 : 123 的锡含量在 13% 左右, 另外 2 件器物的锡含量在 18.4% 左右。商代风格的铜鼎 M111 : 64, 风格特殊、器腹较深的铜鼎 M111 : 66, 分范线在两足间的铜鼎 M111 : 77, 祖辛大鼎 M111 : 84, 饰四瓣目纹和火纹的铜鼎 M111 : 90, 均为铅锡青铜, 锡含量为 7%~12.3%, 除铜鼎 M111 : 90 外, 铅含量为 5.9%~11.2%。

#### (二) 关于青铜编钟的问题

M111 共出土 5 件编钟, 包括 1 件钲钟和 4 件甬钟 (图一九), 全部为锡青铜。甬钟 M111 : 8、13 形制相同, 锡含量较为接近, 分别为 2.5% 和 3.2%; 甬钟 M111 : 7、11 形制相同, 锡含量相同, 均为 3%; 钲钟的锡含量为 4.2%。总体看来,



图一七 叶家山 M111 出土曾侯尊和提梁卣

这 5 件编钟锡含量相近且较低,低于同墓出土的容器类器物。

从目前已发表的材料看,西周编钟制作工艺尚处于发展阶段。经科学分析的西周时期编钟主要为铜锡铅和铜锡含少量铅合金,其中虢国墓地检测的 3 件编钟铜含量最高达 97.2%,锡含量为 1.9%~3.7%,并含有少量铅<sup>[7]</sup>;横水墓地检测的 4 件编钟锡含量为 3.7%~6.1%,其中 3 件铅含量为 1%~2.4%,另 1 件不含铅,与该墓地出土青铜容器的合金成分有一定差别,特别是锡含量较容器低<sup>[8]</sup>。这表明西周早中期编钟合金组成并不稳定。经分析的宜昌万福垭 10 件西周中晚期编钟合金成分亦不稳定,材质类型有四种,包括 4 件铜锡砷合金(N03E20:5~8)、2 件铜锡铁合金(N03E20:2、4)、2 件铜锡含少

量铁合金(N03E20:3、9)和 2 件铜锡含少量铅合金(N03E20:10、11),表明万福垭编钟并非同一批次铸造而成<sup>[9]</sup>。其中铜锡铁和铜锡砷合金的编钟为首次发现,为古代编钟铸造技术史研究提供了重要材料。东周时期的曾侯乙墓和擂鼓墩 2 号墓出土编钟的平均锡含量约为 13%,铅含量为 1%~4.6%,合金组成趋于稳定<sup>[10]</sup>,与《考工记》所载“金有六齐,六分其金而锡居一,谓之钟鼎之齐”更加吻合。

退火组织的特点为金相组织中的树枝晶转变成等轴晶,这种晶体在形态上接近六边形,能够有效降低晶粒接触面上的能量,减少成分偏析,使得整个组织更加接近平衡态<sup>[11]</sup>。经金相鉴定的宜昌万福垭 10 件编钟,除 4 件铜锡砷合金编钟为铸造组织外,其余皆为铸后退火





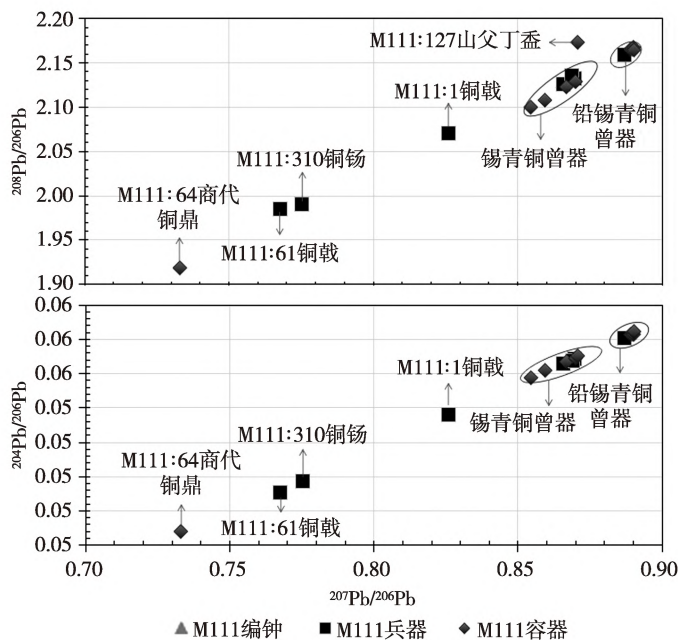
图一八 叶家山 M111 出土蟠龙盖罍



图一九 叶家山 M111 出土编钟(从左到右为 M111:5、7、8、11、13)

组织<sup>[12]</sup>。已检测的曾侯乙墓和擂鼓墩 2 号墓出土编钟亦出现  $\alpha$  固溶体等轴晶退火组织<sup>[13]</sup>。此次经金相鉴定的 5 件叶家山 M111 编钟, 基体均为  $\alpha$  固溶体, 晶内偏析不明显, 局部晶粒粗大, 显示受热组织均匀化的特点(见图九、一〇), 说明这些编钟铸后均经退火处理。贾云福等在

复制曾侯乙编钟的过程中, “发现铸后测出的基频与停放一段时间后测得的基频不一样, 经过退火又有所变化”, 编钟经退火处理, 可使其组织均匀化, 消除内部应力, 改善音质<sup>[14]</sup>。因此, 叶家山 M111 出土编钟的铸后退火组织, 可能是根据音质需要而有意进行的工艺处理。



图二〇 叶家山 M111 出土铜器  
 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  和  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  关系图

叶家山 M111 出土 5 件西周早期编钟的配套是值得关注的问题。已有研究表明,西周早期的甬钟为 3 件一组,西周中期出现了 4 件一组和 5 件一组的新组合,西周晚期基本上是 8 件一组,也有少量为 7 件一组,还有 6 件一组的可能<sup>[15]</sup>。叶家山 M111 共出土编钟 5 件,其中 4 件甬钟可分为 A、B 两型,出土时为 ABAB 交叉放置,1 件钲钟放在最边上,属于“混搭”配套<sup>[16]</sup>。然而实际上,这批编钟具体如何配套尚需结合编钟测音结果进行研判。

### (三)铜器铅同位素比值特征

铅同位素比值分析在古代铜器矿料产地溯源和铜器群组划分研究中发挥着重要作用。古代铜器的主要合金成分为铜、锡、铅,而古代锡矿主要为锡石,锡石中杂质较少,合金元素锡对铅同位素数据的影响基本可以忽略不计,因此在大多数情况下,铅同位素比值可作为铜矿或铅矿的示踪剂<sup>[17]</sup>。至于反映的是何种矿料来源信息,则需对比器物的元素成分进行具体分析。

从分析结果看,叶家山 M111 出土 22 件铜

器的铅同位素比值分布范围较为宽泛。将叶家山曾国族属铭文铜器<sup>[18]</sup>与 M111 出土铜器铅同位素比值散点作图二〇,由图二〇结合表一、附表一可以看出,4 件高放射性成因铅样品中,有 2 件为锡青铜(铜戟 M111:1、铜钺 M111:310),其铅含量小于 2%,所含的高放射性成因铅应是铜料中的杂质;有 2 件为铅锡青铜(铜鼎 M111:64、铜戟 M111:61),使用了高放射性成因铅的金属铅料。这 4 件器物与叶家山曾国族属铭文铜器铅同位素比值分布范围截然不同。含有高放射性成因铅的铜器在我国商代遗址中有广泛发现<sup>[19]</sup>,而且在殷墟一、二期达到了使用的高峰<sup>[20]</sup>。铜鼎 M111:64 为商代风格器物,其出现在叶家山 M111 中,当是周初“分器”的结果。值得注意的是,

山父丁盃 M111:127 的铅同位素比值也在叶家山曾国族属铭文铜器的分布范围之外,表明山父丁盃的原料与曾国族属铭文铜器不同。

总体看来,M111 有 17 件普通铅样品与叶家山曾国族属铭文铜器使用的原料相同。如图二〇和表一、附表一所示,在这 17 件样品中,有 11 件样品为锡青铜,其铅同位素比值散点落在叶家山锡青铜曾国族属铭文铜器铅同位素比值分布范围内,其中 3 件为曾侯铜器,分别为曾侯瓘 M111:59、60 和瓘作烈考南公宝尊彝方座簋 M111:67;5 件编钟没有铭文,其使用的铜料与曾国族属铭文铜器相同,因此可以判断这 5 件编钟为曾国铜器;1 件方觚 M111:123 和 1 件铜戟 M111:76 所使用的铜料与曾国族属铭文铜器相同,也可以判断为曾国铜器;父辛卣 M111:112 的铅同位素比值散点落在叶家山锡青铜曾国族属铭文铜器铅同位素比值分布范围内,表明其使用的铜料与曾国族属铭文铜器相同。6 件铅锡青铜器物中,祖辛大鼎 M111:84、四瓣目纹鼎 M111:90 和范线特殊的铜鼎 M111:77 的铅同位素比值散点,落在叶家山铅

锡青铜曾国族属铭文铜器铅同位素比值分布范围内,表明其使用的铅料与曾国族属铭文铜器相同。需要说明的是,3件铅锡青铜兵器中,2件铜铉(M111:78、314)铅同位素比值散点落在叶家山锡青铜曾国族属铭文铜器铅同位素比值分布范围内,表明其使用的铅料与曾国族属铭文铜器的铜料可能来自同一处多金属共生矿;1件铜戟(M111:94)铅同位素比值散点落在叶家山铅锡青铜曾国族属铭文铜器铅同位素比值分布范围内,表明叶家山 M111 出土青铜兵器原料来源比较多元。

#### 四 结 语

本文通过检测分析,初步揭示了叶家山 M111 出土铜器的技术特征及其蕴含的文化信息,为研究西周时期青铜技术发展提供了新的科学依据,对于深入认识 M111 墓主身份具有重要意义。

叶家山 M111 出土铜器有铅锡青铜、锡青铜和铅青铜三种材质类型,以铸造为主,仅个别兵器在局部进行了热锻加工。铭文内容、纹饰风格相同的铜器组,部分器物合金成分较为一致,部分器物合金成分有所差异。5件编钟全部为锡青铜,与曾国族属铭文铜器使用的铜料相同,其制作工艺尚处于发展阶段。

经分析的 22 件叶家山 M111 铜器铅同位素比值分布范围较为宽泛,其中 4 件为高放射性成因铅,其他均为普通铅;个别高放射性成因铅的商代风格器物出现于叶家山 M111 中,可能是周初“分器”的结果;普通铅样品使用的原料基本上与曾国族属铭文铜器相同,少量兵器铅同位素比值分析结果表明其原料来源比较多元。

从方法论角度看,本文利用成分分析、金相组织鉴定、铅同位素分析与铜器组合、铭文内容相结合的研究方法,能够为青铜器技术特征、铜器群构成等学术问题研究提供科学资料,甚至能够为特殊器物的社会、文化属性等方面的研究提供重要线索。

附记:本文写作得到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”(项目批准号:14ZDB051)和“先秦时期中原与边疆地区冶金手工业考古资料整理与研究”(项目批准号:17ZDA219)的资助。本文是湖北省博物馆、湖北省文物考古研究院、随州市博物馆、北京大学考古文博学院、中国社会科学院考古研究所、北京科技大学科技史与文化遗产研究院等单位关于叶家山墓地出土青铜器制作工艺综合研究的成果之一。研究工作得到这些单位诸多老师的指导与帮助,在此致以诚挚感谢。

- [1] 李学勤等《湖北随州叶家山西周墓地笔谈》,《文物》2011年第11期;李伯谦等《随州叶家山西周墓地第二次发掘笔谈》,《江汉考古》2013年第4期。
- [2] 湖北省文物考古研究所等《湖北随州叶家山 M65 发掘简报》,《江汉考古》2011年第3期;湖北省文物考古研究所等《湖北随州叶家山 M28 发掘报告》,《江汉考古》2013年第4期。
- [3] 湖北省文物考古研究所等《湖北随州叶家山 M111 发掘简报》,《江汉考古》2020年第2期。
- [4] 张天恩《试论随州叶家山墓地曾侯墓的年代和序列》,《文物》2016年第10期。
- [5] 郁永彬等《湖北随州叶家山西周墓地 M65 出土铜器的金相实验研究》,《江汉考古》2014年第5期;郁永彬等《湖北随州叶家山墓地 M28 出土青铜器的检测分析及相关问题》,《考古》2018年第7期。
- [6] 金正耀等《商代青铜器中的高放射性成因铅:三星堆器物与沙可乐(赛克勒)博物馆藏品的比较研究》,《“迎接二十一世纪的中国考古学”国际学术讨论会论文集》,科学出版社,1998年。
- [7] 苏荣誉等《随国墓地青铜器铸造工艺考察和金属器物检测》,《宝鸡随国墓地》,文物出版社,1988年。
- [8] 陈建立《中国古代金属冶铸文明新探》,第123~141页,科学出版社,2014年。
- [9] 马仁杰等《宜昌万福垭遗址青铜器的科技分析及相关考古学问题》,《江汉考古》2019年第5期;北京科技大学科技史与文化遗产研究院万福垭编钟检测数据。
- [10] 贾云福、华觉明《曾侯乙编钟的化学成分及金相组织分析》,《曾侯乙墓》,文物出版社,1989年;黄维、陈建立《随州擂鼓墩二号墓出土青铜器的金相实验研究》,《随州擂鼓墩二号墓》,文物出版社,2008年。
- [11] D. A. Scott, *Metallography and Microstructure of*

- Ancient and Historic Metals*, Singapore: J. Paul Getty Trust, 1991:284.
- [12] 北京科技大学科技史与文化遗产研究院万福培编钟检测数据。
- [13] 同[10]。
- [14] 贾云福、华觉明《曾侯乙编钟的化学成分及金相组织分析》,《曾侯乙墓》,文物出版社,1989年。
- [15] 常怀颖《西周钟镛组合与器主身份、等级研究》,《考古与文物》2010年第2期。
- [16] 方勤《叶家山 M111 号墓编钟初步研究》,《黄钟》2014年第1期。
- [17] Noel H. Gale, Zofia Stos-Gale, Lead Isotope Analyses Applied to Provenance Studies, *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000:503-584.
- [18] 叶家山曾国族属铭文铜器是指叶家山整个墓地出土的带曾国铭文的铜器,其铅同位素比值特征代表曾国铜器的铅同位素比值特征。叶家山曾国族属铭文铜器的合金类型有铅锡青铜和锡青铜两种,铅锡青铜曾器代表曾国族属铭文铜器中的铅锡青铜器物,锡青铜曾器代表曾国族属铭文铜器中的锡青铜器物。
- [19] 金正耀等《江西新干大洋洲商墓青铜器的铅同位素比值研究》,《考古》1994年第8期;金正耀等《广汉三星堆遗址坑青铜器的铅同位素比值研究》,《文物》1995年第2期;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;孙淑云等《盘龙城出土青铜器的铅同位素比测定报告》,《盘龙城——1963~1994年考古发掘报告》,文物出版社,2001年;彭子成等《盘龙城商代青铜器铅同位素示踪研究》,《盘龙城——1963~1994年考古发掘报告》,文物出版社,2001年;金正耀等《成都金沙遗址铜器研究和城洋部分铜器的铅同位素组成与相关问题》,《城洋青铜器》,科学出版社,2006年;崔剑锋等《垣曲商城出土部分铜炼渣及铜器的铅同位素比值分析研究》,《文物》2012年第7期。
- [20] 金正耀等《中国两河流域青铜文明之间的联系——以出土商青铜器的铅同位素比值研究结果为考察中心》,《中国商文化国际学术讨论会论文集》,中国大百科全书出版社,1998年;金正耀《论商代青铜器中的高放射成因铅》,《考古学集刊》(15),文物出版社,2004年。

(责任编辑:周艳明)

附表一 叶家山墓地 M111 出土铜器化学成分分析结果

器名	出土号	实验号	取样部位	合金成分 (Wt%)					材质	加工工艺	备注
				Cu	Sn	Pb	Fe	其他			
带盖方鼎	M111:72	43591	盖残片	86.7	12.1	1.2			Cu - Sn (Pb)	铸造	曾侯小方鼎,大小、形制、纹饰及铭文内容基本相同
带盖方鼎	M111:74	43592	耳下残破处	80.7	12.6	6.6			Cu - Sn - Pb	铸后受热	
带盖方鼎	M111:80	43594	盖残片	86.3	12.7	1.0			Cu - Sn (Pb)	铸造	
带盖方鼎	M111:81	43595	盖残片	76.1	22.7	1.2			Cu - Sn (Pb)	铸造	
带盖方鼎	M111:73	43460	外底毛刺	87.0	12.8	0.2			Cu - Sn	铸后受热	风格特殊
带盖方鼎	M111:85	43463-1	盖上铸接处毛刺	77.4	10.7	11.9			Cu - Sn - Pb	铸后受热	曾侯作父乙宝尊彝大方鼎
		43463-2	盖扉棱毛刺	81.6	9.0	9.4			Cu - Sn - Pb	铸后受热	
		43463-3	盖残片	74.0	10.9	15.1			Cu - Sn - Pb	铸后受热	
		43463-4	盖上堆积物	74.9	9.5	15.2		Sb: 0.3	Cu - Sn - Pb	铸后受热	
铜圆鼎	M111:64	43589	腹部残片	77.8	11.0	11.2			Cu - Sn - Pb	铸后受热	商代风格
铜圆鼎	M111:66	43590	腹部残片	80.0	12.3	7.7			Cu - Sn - Pb	铸后受热	风格特殊,腹深
铜圆鼎	M111:77	43461-1	腹部残片	84.5	9.5	5.9		As: 0.2	Cu - Sn - Pb	铸后受热	风格特殊,分范线在两足间
		43461-2	腹部补片	82.9	10.0	7.1			Cu - Sn - Pb	铸后受热	

续附表一

器名	出土号	实验号	取样部位	合金成分 (Wt%)					材质	加工工艺	备注
				Cu	Sn	Pb	Fe	其他			
铜圆鼎	M111:84	43462-1	断耳	78.2	11.7	10.0			Cu-Sn-Pb	铸后受热	祖辛大鼎
		43462-2	断足(补铸的)	93.9		5.3		As: 0.5 Sb: 0.3	Cu-Pb	铸造	
铜圆鼎	M111:88	43596	残片	89.0		11.0			Cu-Pb	铸后受热	风格特殊
铜圆鼎	M111:90	43597	腹部残片	72.0	7.0	21.0			Cu-Sn-Pb	铸后受热	四瓣目纹、火纹
铜簠	M111:50	43586-1	腹部残片	84.0	11.7	4.3			Cu-Sn-Pb	铸后受热	带小乳丁纹
		43586-2	腹部补块	81.5	11.8	6.8			Cu-Sn-Pb	铸造	
铜簠	M111:59	43457-1	口沿下残片	85.0	15.0				Cu-Sn	铸造	曾侯狁簠, 大小、形制、纹饰及铭文内容相同
		43457-2	腹部残片	84.3	15.8				Cu-Sn	铸造	
		43457-3	盖残片	81.7	18.3				Cu-Sn	铸造	
铜簠	M111:60	43458	腹部残片	85.8	14.2				Cu-Sn	铸造	
铜簠	M111:62	43588	腹部残片	81.5	14.0	4.5			Cu-Sn-Pb	铸造	曾侯簠, 带方格乳丁纹
方座簠	M111:67	43459	方座处残片	87.7	12.3				Cu-Sn	铸造	狁作烈考南公宝尊彝
铸钟	M111:5	43455	内腔毛刺	94.9	4.2	0.9			Cu-Sn	铸后受热	
甬钟	M111:7	43582	甬部毛刺	97.0	3.0				Cu-Sn	铸后受热	风格相同
甬钟	M111:11	43584	甬部毛刺	96.4	3.0	0.6			Cu-Sn	铸后受热	
甬钟	M111:8	43583	甬部毛刺	97.5	2.5				Cu-Sn	铸后受热	风格相同
甬钟	M111:13	43585	甬部毛刺	96.7	3.2	0.1			Cu-Sn	铸后受热	
铜尊	M111:130	43603	腹部残片	85.2	14.3	0.5			Cu-Sn	铸造	铸有相同铭文“曾侯用彝”, 风格相同
提梁卣	M111:124	43601	圈足内毛刺	85.8	14.2				Cu-Sn	铸造	
提梁卣	M111:112	43488-1	盖残片	78.8	16.4	4.4	0.4		Cu-Sn-Pb	铸后受热	父辛卣
		43488-2	圈足残破处	84.5	15.5				Cu-Sn	铸造	
铜罍	M111:109	43487	残片	81.2	18.8				Cu-Sn	铸造	父丁罍, 表面打磨光滑
带盖铜罍	M111:110	43464	口沿下残片	79.8	11.3	9.0			Cu-Sn-Pb	铸造	大小、形制、纹饰相同
带盖铜罍	M111:120	43465-1	腹部残片	75.6	12.9	11.5			Cu-Sn-Pb	铸造	
		43465-2	盖残片	76.5	12.2	11.2			Cu-Sn-Pb	铸造	
铜壶	M111:116	43600	腹部残片	82.0	18.0				Cu-Sn	铸造	橄榄形壶
方觚	M111:123	43466	圈足残片	86.4	13.7				Cu-Sn	铸造	形制特殊
铜爵	M111:113	43599	足残破处	81.7	18.1	0.3			Cu-Sn	铸造	共出4件
漆壶铜钫	M111:148	43489	残片	83.6	13.4	3.0			Cu-Sn-Pb	铸造	大小、形制相同
漆壶铜钫	M111:149	43604	残片	84.7	13.2	2.1			Cu-Sn-Pb	铸造	

续附表一

器名	出土号	实验号	取样部位	合金成分 (Wt%)					材质	加工工艺	备注
				Cu	Sn	Pb	Fe	其他			
铜戟	M111:1	43581	残片	87.6	11.5	0.9			Cu - Sn	铸造, 局部热锻	
铜戟	M111:61	43587	残片	85.6	11.2	3.2			Cu - Sn - Pb	铸造	
铜戟	M111:76	43593	残片	85.3	13.8	0.9			Cu - Sn	铸造	
铜戟	M111:94	43598	残片	89.2	10.8	3.0			Cu - Sn - Pb	铸后受热, 局部热锻	
铜铎	M111:35	43483	残片	83.7	16.3				Cu - Sn	铸造	
铜铎	M111:36	43484	残片	67.2	22.2	10.6			Cu - Sn - Pb	铸后受热	
铜铎	M111:44	43485	残片	90.1	5.3	4.6			Cu - Sn - Pb	铸后受热	
铜铎	M111:78	43486	残片	82.6	8.3	8.8	0.2		Cu - Sn - Pb	铸后受热	
铜铎	M111:198	43490	残片	85.5	11.7	2.8			Cu - Sn - Pb	铸后受热	
铜铎	M111:314	43605	残片	81.2	15.2	3.7			Cu - Sn - Pb	铸后受热	
铜铎	M111:310	43606	残片	84.9	15.1				Cu - Sn	铸造	
铜钹	M111:填53	43456	残片	72.7	27.3				Cu - Sn	铸造	

### Bronzes Unearthed from Tomb M111 at the Yejiashan Cemetery of the Western Zhou Dynasty in Suizhou, Hubei: Detection and Analysis and Related Issues

Yu Yongbin *et al.*

Abundant bronzes have been unearthed from Tomb M111 at the Yejiashan cemetery in Suizhou, Hubei. The cemetery belonged to the state of Zeng during the early Western Zhou Dynasty; according to the bronze inscriptions, the tomb occupant of M111 is Marquis Kang of Zeng. This paper comprehensively analyzed the technical characteristics of bronzes unearthed from M111 by means of metallographic examination, composition analysis, and lead isotope analysis, combined with studies on the craftsmanship, inscriptions, and patterns of bronzes. Analysis results showed that the M111 bronzes were mainly manufactured by casting, including three material types: leaded tin bronze, tin bronze, and leaded bronze. For bronzes with the same inscriptions and decorative style, the alloy compositions are partially consistent while partially different. The leads in bronze samples are mainly ordinary, and a few are high-radiogenic leads. This paper provided scientific data for studying issues such as the technical characteristics and combinations of bronzes by combining analyses of scientific detection as well as bronze assemblage and inscriptions.