

枣阳郭家庙曾国墓地曹门湾墓葬M1出土 金属弹簧形器的分析与研究

李 玲¹ 高小霞²

(1. 湖北省文物考古研究院, 湖北武汉, 430077; 2. 公安县公共文化服务中心, 湖北公安, 434300)

摘要 2014年11月至2015年1月, 湖北枣阳郭家庙曾国曹门湾墓地M1出土了一批金属弹簧形器, 该批器物形制特殊, 相关研究较少, 为明确其材质、用途, 采用扫描电镜-能谱仪、金相显微镜对其进行科学分析。结果表明, 该批器物为锡与铅锡合金材质, 其所属时代与材质都和东周时期的焊料相符, 应当是当时用于焊接的焊丝材料。

关键词 弹簧 铅锡合金 焊料

引 言

湖北枣阳郭家庙曾国墓地隶属于枣阳市吴店镇东赵湖村一组、二组, 距枣阳县城15km, 坐落在汉水支流滚河北岸。墓地所在位置是随枣走廊的西部, 是古代南北物质、文化往来的交汇处。墓地分布在两个相对独立的山岗上, 北岗是郭家庙墓地, 南岗是曹门湾墓地, 总面积超过120万m²。墓地东距周台遗址、忠义寨城址1km, 西距九连墩战国楚墓群1.5km。

2002年, 襄阳市文物考古队对郭家庙墓地进行了发掘, 出土了包括曾伯猗钺在内的一批重要文物。2014年11月至2015年1月, 湖北省文物考古研究所、荆州文物保护中心等单位联合对曹门湾墓区进行了发掘, 清理了西周晚期至春秋早期墓葬29座、车坑1座、马坑2座、车马坑1座。M1是曹门湾墓区规模最大的一座墓, 位于岗地最高处, 该墓早期被盗扰, 但仍出土文物700余件(套), 包括车马器, 编钟架、编磬等礼乐器, 兵器, 豆、盒等漆木器以及金玉器等^[1]。在曹门湾M1出土的诸多文物中, 有一批金属弹簧形器较为特殊, 对其进行了成分分析, 并对其功能和作用进行了考证, 以期更全面地了解两周之际以及春秋早期曾国所掌握的金属资源, 尤其是锡矿资源, 并进一步对曾国在这一时期的青铜焊接技术及焊料进行探讨。

1 实验样品及方法

郭家庙曾国曹门湾墓地M1金属弹簧形器出土时均位于椁室西北部和北部, 文物信息如表1所示。

表1 郭家庙曾国曹门湾墓地M1出土金属弹簧形器统计

器号	外观描述	保存状态	尺寸/mm	重量/g
M1 : 85	圆柱形， 右旋，6圈	两头截断，断口完全锈蚀	通长22，直径13，金属丝直径2.5	10.3
M1 : 86	圆柱形， 左旋，2圈	残缺、变形	通长16，直径14，金属丝直径3.9	6.5
M1 : 87	圆柱形， 右旋，6圈	一头渐收成针尖状，另一口截断，断口完全锈 蚀，整体变形	通长24，直径12，金属丝直径2.2	5.9
M1 : 88	圆柱形， 右旋，4圈	两头断口不平整，断口完全锈蚀	通长26，直径13，金属丝直径4	10.9
M1 : 153-1	圆柱形， 左旋，5圈	一头逐渐收成针尖状，另一头为截断，断口不 平整但完全腐蚀	通长14，直径12，金属丝直径2.3	4.3
M1 : 153-2	圆柱形， 左旋，1圈	两头截面不平整，断口完全锈蚀	通长5，直径12，金属丝直径2.48	1.5
M1 : 153-3	圆柱形， 右旋，2圈	两头截面不平整，断口完全锈蚀	通长11，直径14，金属丝直径2.6	3.9
M1 : 153-4	圆柱形， 左旋，4圈	一头变形，两头截面不平整，完全锈蚀	通长16，直径13，金属丝直径2.8	6.2
M1 : 153-5	圆柱形， 左旋，4圈	一头收成针状，另一头截断，断口已完全锈蚀	通长15，直径15，金属丝直径3.7	6.5
M1 : 153-6	圆柱形， 左旋，3圈	一端变形，一头收成针尖状，另一头截断，断 口不平整，但完全锈蚀	通长18，直径13，金属丝直径3.7	7.2
M1 : 616-1	圆柱形， 左旋，7圈	整体变形，两头截断，断口不平整但完全锈蚀	通长24，直径14，金属丝直径2.4	7.5
M1 : 616-2	圆柱形， 左旋，6圈	两端变形，两头铜丝断口不平整，但完全锈蚀	通长20，直径13，金属丝直径2.4	7.9
M1 : 634-1	圆柱形， 左旋，4圈	两头断口不平整，但完全锈蚀，整体腐蚀严 重，局部矿化	通长13，直径11，金属丝直径2.3	3.0
M1 : 634-2	圆柱形， 左旋，4圈	两头截断，断口完全锈蚀，一头变形	通长13，直径13，金属丝直径2.48	5.1
M1 : 634-3	圆柱形， 左旋，4圈	一端被压扁。两头渐收成针尖状。全面腐蚀， 有层状剥落和矿化现象	通长15，直径13，金属丝直径2.9	5.6

这批金属弹簧形器表面腐蚀物均呈灰白色，通体锈蚀。实物请见图1～图4。

样品制备：采用ZXQ-1自动金相镶嵌机对弹簧样品进行镶嵌，随后在MP-2金相试样磨抛机上进行磨光、抛光，并使用三氯化铁酒精溶液对试样进行侵蚀。

成分分析：样品成分分析利用Hitachi TM3030超景深电子显微镜及附带EDAX能谱仪完成，扫描电压20kV，测试时间以能谱成分显示稳定为准，通常在90～120s。测试时避开样品锈蚀区域。

金相检测：样品金相组织分析利用德国卡尔蔡司研究级倒置式Axio Vert A1金相显微镜完成。



图1 M1：85金属
弹簧形器



图2 M1：87金属
弹簧形器



图3 M1：88金属
弹簧形器



图4 M1：616-1金属
弹簧形器

2 金属弹簧形器的合金成分

M1：85样品的扫描电镜图如图5所示，能谱图如图6、图7所示，EDS分析结果如表2所示，金相分析如图10所示；M1：86样品的扫描电镜图如图8所示，能谱图如图9所示，EDS分析结果如表3所示，金相分析如图11所示。

M1：85样品未经打磨，从EDS结果来看，测试区氧化物含量较高，主要元素为Sn和Cu，还含有少量Si和Fe，并未检出Pb。但其金相显微组织中明显可见 β 固溶体树枝晶偏析， $(\alpha+\beta)$ 共析体数量较多，呈岛屿状分布，锈蚀严重，边缘处的 $(\alpha+\beta)$ 共析体组织拉长变形，沿加工方向排列，可能与弹簧形器成型过程中的弯曲受力有关。从金相组织来看，该样品应当是铅锡合金，EDS未检出Pb应该是和检测区域的选择有关。M1：86样品经过打磨，EDS结果显示为纯锡材质，其金相显微图也证实了这一点，金相组织为单相 α 晶粒，晶界中夹杂有少许合金相，存在轻微锈蚀。从检测分析结果来看，郭家庙出土金属弹簧形器的材质为纯锡和铅锡合金。

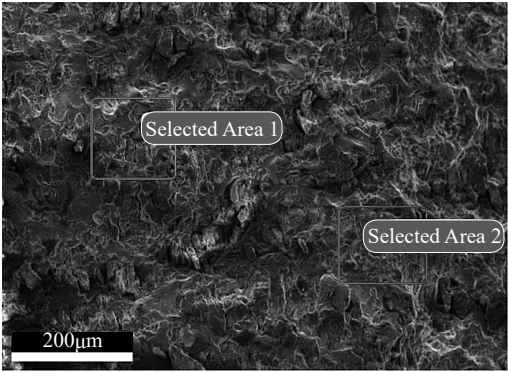


图5 M1：85样品扫描电镜图

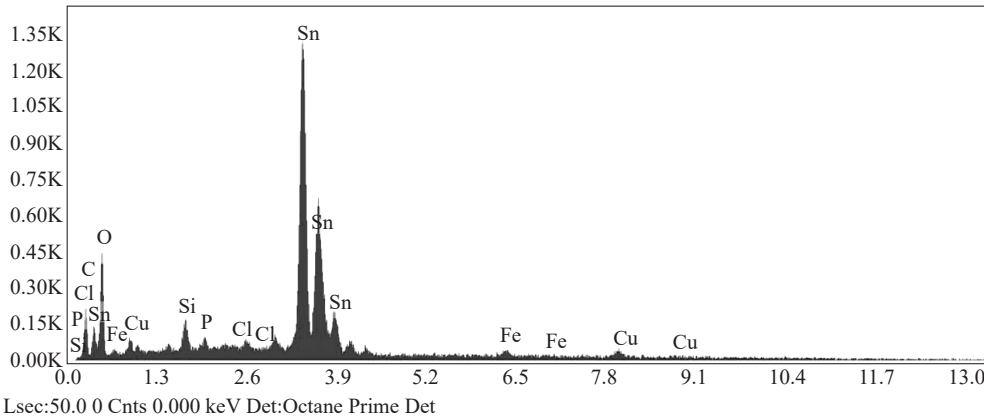


图6 M1：85样品Area 1 能谱图

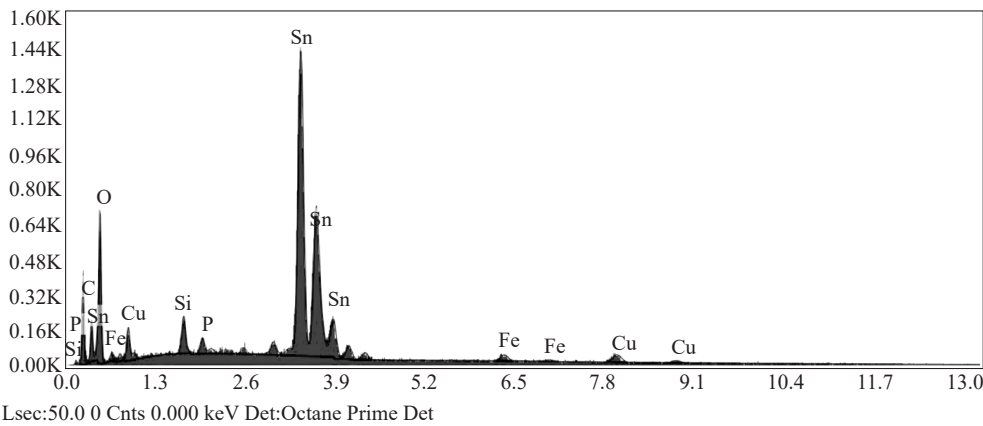


图7 M1：85样品Area 2 能谱图

表2 M1：85样品EDS元素分析结果

检测区	成分含量/（wt%）							
	C	O	Si	P	Cl	Sn	Fe	Cu
Area 1	9.21	13.82	1.81	0.74	0.80	67.43	2.01	4.16
Area 2	11.38	17.68	2.16	1.07	—	59.28	1.76	6.66

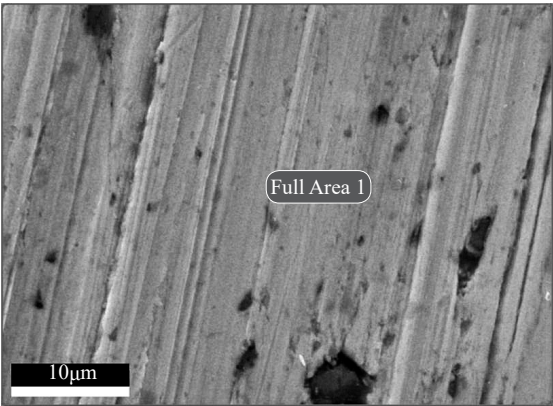


图8 M1：86样品扫描电镜图

郭家庙曾国曹门湾墓地M1出土的金属弹簧形器并不是曾国墓葬中首次出土该类器，湖北随州曾侯乙墓中就曾出土大量弹簧形器，且经检测有金和铅锡两种材质，黄金弹簧形器的成分为Au 87.4%、Ag 11.3%、Cu 0.079%，铅锡弹簧形器的成分为Pb 43.9%、Sn 27.12%^[2]。同样位于随州的义地岗枣树林墓地M190也出土有同类型弹簧形器，发掘简报中称其为铜弹簧（M190：359），出土于外棺旁边，与铅锡鱼、铜铈、铜节约、铜带辖车害、铜带镢马衔、铜戈同出^[3]。简报中未提及是否还出土有其他弹簧形器，但胡毅捷^[4]对枣树林M190出土

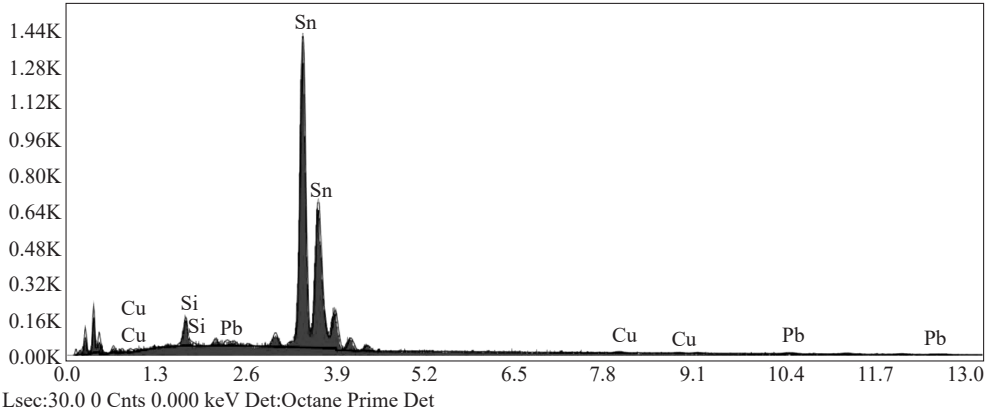


图9 M1：86样品能谱图

青铜器与锡器进行检测分析时，对M190：106铜鼎内一件弹簧形器的残段进行了成分检测，结果为Fe 0.2%、Cu 0.4%、Sn 76.3%、Pb 15.8%，为铅锡器。由目前所见考古资料来看，在曾文化墓葬区范围内，早至春秋早期甚至西周晚期，晚至战国时期，都有金属弹簧形器的发现，其材质有铅锡质、纯锡质和金银质，其中以铅锡质弹簧形器的数量最多。

表3 M1：86样品合金成分表

检测区域	成分含量/（wt%）			
	Si	Pb	Sn	Cu
Area 1	2.74	1.27	94.97	1.03

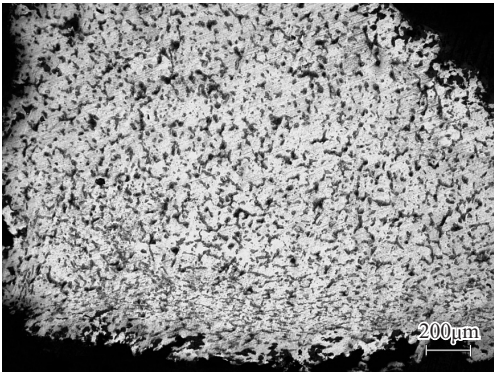


图10 M1：85样品金相显微

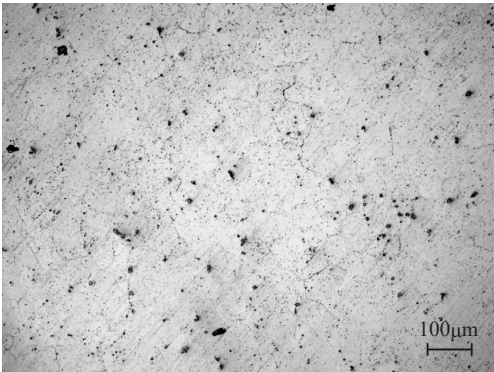


图11 M1：86样品金相显微

曾国墓地外的考古发掘中也有见这种金属弹簧形器。河南信阳光山春秋黄季佗父墓中陪葬箱出土110件金属弹簧形器，有粗细两种，右旋圆柱形体，5~7圈，通长11~14mm，细型弹簧形器外径4mm、内径3mm，粗型弹簧形器外径5mm、内径3.4mm，表面呈灰白色，内部呈银色，质地柔软，易拉伸，经检测，弹簧形器合金成分为Sn 57.93%、Pb 30.57%、Zn 1.62%以及少量的Cu、Fe、Bi、Sb^[5]。安徽六安城西窑厂2号楚墓出土弹簧丝堆放在头箱，长约12cm、宽10cm、厚5cm，由丝绳穿系，材质以锡为主，可伸弹拉，逆时针卷放，每节长1.5~2.5cm、直径0.4~0.55cm，弹簧丝直径0.1~0.13cm^[6]。王颖琛^[7]对当阳赵巷M12出土的4件弹簧形器进行了金相和成分分析，其中2件为纯锡材质，锡含量为99.1%、99.7%，基体为单相等轴晶晶粒，组织中有含砷夹杂物；1件为铅锡材质，锡含量81.0%，铅含量18.6%，基体为富锡β相等轴晶；1件为锡铅砷合金，锡含量72.9%，铅含量24.3%，还含有2.7%的砷，基体为富锡β相等轴晶，有大量的含砷夹杂物。湖北黄州汪家冲墓群出土若干铅锡弹簧形器，多已残断，WM49：20长1.3cm，直径0.6cm^[8]。襄阳蔡坡M12^[9]出土小型拉伸弹簧一堆，弹性已失，外表呈灰白色，内部呈银白色，放大镜下可见金属光泽，虽未对其进行成分分析，但从简报中对这批弹簧形器的外观、颜色的描述来看，与河南光山黄季佗父墓出土弹簧形器非常相似，初步判断蔡坡M12这批弹簧形器为铅锡材质。

以上考古出土金属弹簧形器均有经成分检测，或是能从简报中对其外观、颜色、质地的描述来初步判断其材质，整体来看，以铅锡材质为主，也不乏纯锡材质。无论是铅锡合金，还是纯锡，质地都较软，现代工业不会使用这样的材料来制作弹簧。先秦时期是我国青铜时代的鼎盛期，在有青铜这种更适合制作弹簧的材料的前提下，古人仍选择铅锡来制作这类器物，显然，以郭家庙出土金属弹簧形器为代表的这一类器物只是恰好具有弹簧的外形，而实际上并不具备弹簧的功能和作用，那么，当时人们制作这种金属弹簧形器到底是用于何处呢？

3 金属弹簧形器用途

郭家庙曾国曹门湾墓地M1出土的金属弹簧形器仅从形制上看，除了容易让人联想到现代弹簧，还与现代焊接中使用的一种材料十分相似，即金属焊丝，两者不仅同是金属丝被拉伸成螺旋状圆柱体形状，还在材质上高度相似。

我国古代先民使用铜合金是经历了不同的发展阶段的，最初使用红铜居多，然后逐渐过渡到砷铜，并很快发展到锡铜、铅锡铜，最后是黄铜、白铜等^[10]。先秦时期，尤其是两周时期，锡青铜和铅锡青铜被大量使用，同时焊接技术伴随着铜器铸造技术的发展也逐渐成熟。

河南三门峡上村岭虢国墓出土两件西周晚期凤鸟纹方壶，耳部焊料的成分经检测为Pb97.0%、Sn1.5%和Pb91.7%、Sn1.1%^[11]，为纯铅焊料。何堂坤等对春秋时期的六件焊料进行了成分分析，北京延庆山戎文化墓地出土春秋早期铜甬M18：1所用焊料为铜锡材质，铜含量约为11%，另一件春秋早期铜甬M2：1所用焊料为纯铅，同样为延庆所出的春秋铜甬M250：1所用焊料则为低锡铅料，平均锡含量为5.9%，平均铅含量为91.8%；河南淅川下寺春秋中晚期铜升鼎M2：34和铜浴缶M3：6所用焊料为纯锡；郑州春秋时期铜簋所用焊料为低锡铅料，锡含量3.23%，铅含量88.78%，此外还含有2.4%的锌^[12]。河南叶县春秋中晚期许灵公墓出土透空蟠虺纹青铜饰件所用焊料为纯锡^[13]。随州曾侯乙墓出土战国早期青铜器上有7件附件的焊料经过化学定量和光谱定性分析，结果显示均为铅锡合金，且多数为以锡为基的铅锡合金^[14]。孙淑云等对江苏淮阴高庄战国墓出土铜釜的焊料进行了分析，结果表明焊料锡含量52.1%，铅含量46.3%^[15]。

考古冶金研究表明，中国古代铜器焊接技术出现于西周晚期，焊接所用的焊料，从西周晚期—春秋时期的铅、锡逐渐发展到战国时期的以低熔点铅锡二元合金为主。

目前所见考古出土的金属弹簧形器基本上集中在春秋早期至战国这一时间段，尚未见更早或更晚期的同类器出土。合金成分和含量上，金属弹簧形器以铅锡合金材质为主，也有纯锡材质，金银质地的目前仅见曾侯乙墓这一例。综合来看，无论是时代、成分、含量，都与焊料的性质、发展规律高度相似甚至一致，这种趋同性绝非巧合，唯有二者本同属一物才能解释。

结 语

湖北枣阳郭家庙曹门湾墓地M1出土金属弹簧形器经检测分析为纯锡与铅锡合金质地，同类型器物不仅在曾国墓地中已多次出土，并且在楚文化及其影响范围内也较为多见，材质以铅锡合金为主。西周晚期—春秋时期至战国时期是我国焊料的发展演变期，这一时期的焊料逐渐从铅、锡过渡到低熔点铅锡二元合金材质。金属弹簧形器仅有类弹簧的外形，并不具备弹簧的功能和特性，且合金成分及含量与同时期的焊料高度相似，其应当是一种焊料。

参 考 文 献

- [1] 方勤，胡刚. 枣阳郭家庙曾国墓地曹门湾墓区考古主要收获 [J]. 江汉考古，2015（3）：2-11，129.
- [2] 后德俊. “金属弹簧形器”初论 [J]. 中原文物，1992（2）：103-106.
- [3] 武汉大学历史学院，湖北省文物考古研究院，北京大学考古文博学院，等. 湖北随州枣树林墓地190号墓发掘报告 [J]. 考古学报，2023（1）：29-34，49，35-94.

[4] 胡毅捷, 胡涛, 陈虎, 等. 随州义地岗枣树林墓地M190出土青铜器与锡器的科技分析 [J]. 中国国家博物馆馆刊, 2023 (7) : 87-99.

[5] 信阳地区文管会, 光山县文管会. 河南光山春秋黄季佗父墓发掘简报 [J]. 考古, 1989 (1) : 26-32, 99.

[6] 安徽省六安县文物管理所. 安徽六安县城西窑厂2号楚墓 [J]. 考古, 1995 (2) : 124-140, 193-195, 123.

[7] 王颖琛. 楚文化地区出土东周金属饰片科学分析研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 2019.

[8] 湖北省文物考古研究所, 黄冈市博物馆, 黄州博物馆. 湖北黄州楚墓 [J]. 考古学报, 2001 (2) : 227-298.

[9] 襄阳首届亦工亦农考古训练班. 襄阳蔡坡12号墓出土吴王夫差剑等文物 [J]. 文物, 1976 (11) : 65-71, 98.

[10] 陈光祖. 商代锡料来源初探 [J]. 考古, 2012 (6) : 54-68, 114.

[11] 李秀辉, 韩汝玢, 孙建国, 等. 虢国墓出土青铜器材质分析 [M] // 河南省文物考古研究所, 三门峡市文物工作队. 三门峡虢国墓 (第一卷) 上、下. 北京: 文物出版社, 1999: 542.

[12] 何堂坤, 靳枫毅. 中国古代焊接技术初步研究 [J]. 华夏考古, 2000 (1) : 61-65.

[13] 李元芝, 张方涛, 谭德睿, 等. 许公宁透空蟠虺纹青铜饰件——先秦失蜡法之一器例 [J]. 中原文物, 2007 (1) : 96-103.

[14] 谭维四. 曾侯乙墓 [M]. 北京: 文物出版社, 1989: 177, 229, 478.

[15] 孙淑云, 梅建军. 中国古代铅锡焊料的分析 [J]. 北京科技大学学报, 2009, 31 (1) : 54-61.