

芮国及周边诸侯国出土金属器的科学研究进展

中国国家博物馆 崔春鹏

陕西省考古研究院主持发掘的韩城市梁带村遗址以及澄城县刘家洼遗址是近年来两周考古工作的重要收获^[1]，墓地中不仅出土了“芮公”“芮伯”“芮太子”等铭文铜器，还发现数量丰富的铜、铁、金、玉等质地的礼乐器、兵器等随葬品。《史记》“芮，姬姓”，两处遗址对于研究周代考古与芮国历史意义深远，分别被评为2005年与2018年全国十大考古新发现之一。本文将在前人研究基础上，对芮国以及周边（陕豫晋交界地区）同时期诸侯国墓地出土金属器的科学研究成果进行整理。虽然芮国金属器的科学分析数量有限，但本文同时兼述其周边同时期诸侯国墓地金属器的冶金、合金、铸造等技术环节，以试图比较认知芮国金属器的冶铸技术特点，并将有助于促进芮国考古全面系统的研究。

一、芮国以及姬姓诸侯国

（一）芮国

梁带村两周墓地位于陕西省韩城市咎村镇梁带村北，陈坤龙、梅建军对梁带村4件青铜器（分别为鼎、簋、青铜鱼、甲冑片）的成分分析表明^[2]，所有材质皆为铜锡铅三元合金。两件容器的铅含量较高，均超过20%。金相组织显示，两件容器和青铜鱼为铸造而成。甲冑片样品为热锻加工而成，这是首次对春秋早期的甲冑片进行科学鉴定，对研究青铜时代甲冑制作技术提供了重要材料。遗憾

的是，由于分析器物数量太少，并不足以全面显示梁带村出土青铜器的材质及工艺特征。

陈建立还对梁带村春秋早期M27出土铁刃铜削和铁刃铜戈两件铜铁复合器进行金相组织观察和电子探针分析^[3]，判定两件样品的铁刃系用块炼渗碳钢锻打成型，再将其嵌在陶范内并浇注铜液，使铜液包住铁刃进而形成铜铁复合器。另外，刘家洼M49也出土有1件铜柄铁剑^[4]。

（二）虢国

《左传》“虢仲、虢叔，王季之子，文王之母弟也”，虢国是西周初期周文王之弟的姬姓封国。三门峡虢国墓地位于河南省三门峡市上村岭，时代在两周之际。所分析的34件青铜礼容器合金类型为锡青铜和铅锡青铜两种^[5]，铅锡青铜占绝大比例。所分析的7件兵器锡含量较高，均值约为17%，铅含量均值约为1%。所分析的5件乐器合金类型有锡青铜与铅锡青铜，锡含量较高，均值约为18%；铅锡青铜中的铅含量较低，均值约为4%。车马器仅分析了1件车軎，为铅锡青铜，锡含量为20.3%，铅含量4.4%，也为高锡低铅之器。吴坤仪对虢国墓地7座墓葬出土的75件铜器的铸范缝迹、浇冒口残留进行工艺研究^[6]，发现浑铸法与分铸法并用，铸型较多采用泥支撑、铜垫片，用以控制型腔尺寸和壁厚。分铸法铸接方式有三种：榫卯式铸接、榫卯销式铸接与榫卯式焊接，大大提高

了铸接强度。

虢国墓地经过分析的铁刃铜器总共 7 件^[7]，其中 4 件为陨铁，3 件为人工冶铁制品（2 件为块炼渗碳钢，1 件为块炼铁），说明虢国墓地中铁刃铜器的刃部工艺为陨铁和人工冶铁技术并存。

（三）晋国

《史记》：“晋唐叔虞者，周武王子而成王弟”，周成王平定唐人叛乱，封其弟叔虞于故唐地，是为晋国始封地。杨颖亮对曲沃北赵晋侯墓地西周中晚期墓 130 件青铜器进行成分分析表明^[8]，材质以锡青铜（54.6%）和铅锡青铜（37.7%）为主，其中兵器和车马器高锡低铅，容器铅含量相对较高。孙淑云对太原晋国赵卿墓（春秋晚期）33 件青铜容器、兵器、车马器进行成分分析表明，容器多为铅锡三元合金^[9]，锡含量在 10%—17%，铅含量在 7%—28%。吴坤仪对太原晋国赵卿墓 M251 出土的鼎、尊、壶、鉴、鬲、豆等典型青铜器进行技术考察^[10]，发现铜器的成型工艺主要为铸造，而且浑铸法和分铸法同时存在。分铸器的连接方式包括铸接法、焊接法、销接法。制作过程中还使用了模印、错金、镶嵌、篆刻等工艺。

南普恒对曲沃曲村北、曲沃羊舌、襄汾陶寺北和隰县瓦窑坡墓地青铜器进行科学研究并统筹近年来相关成果认为^[11]，西周时期晋国青铜容器、兵器、车马器主要为锡青铜或铅锡青铜，说明锡青铜在此时期占有重要地位。西周晚期、两周之际，锡青铜则较少出现。春秋时期晋国铸造成型的青铜器多为铅锡青铜，其中包括编钟。合金成分也更加稳定集中，锡含量多集中在 10%—17%，铅含量多低于 10%。热锻的青铜器材质则多为锡青铜或低铅的铅锡青铜，锡含量多集中在 10%—15%。根据现代冶金原理，以上含量均在合理范围内。在矿料来源上，除曲村北、羊舌墓地，西周晚期、春秋时期晋国铜料应非来自长江中下游，进而比对陕西陇县、凤翔、宝鸡等地春秋时期青铜器推测，长江中下游铜料在晋、秦、楚一带均有流通。

（四）应国

《左传》：“邶、晋、应、韩，武之穆也”，由此可见应国为周武王之子的封国。平顶山应国墓地位于河南省平顶山市新华区薛庄乡西湍村，姚智辉对应国墓地出土的西周到春秋时期 22 件青铜器进行科学分析^[12]，锡青铜有 10 件，铅锡青铜有 12 件，铅含量在 10%—25% 浮动，皆为铸造成型，其中来自西周时期应侯墓中的青铜器均不含铅，皆为锡青铜，从珍稀金属视角反映了墓主人的尊贵。研究还发现，自西周早期至春秋早期应国青铜器的锡含量呈逐渐减少趋势。

（五）郑国

《史记》：“郑桓公友者，周厉王少子而宣王庶弟也”，平王东迁，桓公之子武公将国都东迁至新郑一带。黄晓娟、李秀辉检测了郑韩故城郑国祭祀遗址所出土 46 件春秋时期礼容器和乐器^[13]，均为铅锡青铜铸造而成。礼容器的含铅量普遍偏高，多在 15% 以上，乐器的含铅量则明显低于礼容器。而根据年代的早晚关系对礼容器的合金成分对比发现，年代偏早的青铜器锡含量高于年代偏晚的青铜器，而铅含量却低于年代偏晚的青铜器。铸造工艺上，器型较为简单的鬲和钮钟皆为浑铸，器型较为复杂的鼎、簋、壶、豆、鉴及铸钟皆为分铸。分铸附件与主体连接的方法包括铸接和榫卯式焊接两种，其中以榫卯式焊接法为主。郑韩古城祭祀遗址东南部还发现铸造遗址，出土遗物包括铸范、炉壁、炉渣，李延祥检测冶金遗物发现有锡青铜铸造迹象^[14]，暗示出这批青铜器很可能为本地铸造。郑韩故城出土青铜器微量元素分析结果还显示^[15]，郑国铸造青铜器的铜料有可能来自楚国。

二、非姬姓诸侯国

（一）彊国

彊国族属上有巴蜀说和氏羌说两种。苏荣誉分析了西周早中期宝鸡彊国墓地 162 件青铜器的合金成分^[16]，材质以铅锡青铜为主，占 66.5%。礼容器中锡含量大多在 10% 以下，集中在 2%—6%，铅含量大多在 20% 以下，

集中在8%—18%，暗示出对铅料的管控远没有锡料严格。兵器以高锡低铅青铜为主。在铸造工艺上，大部分为铸造成型，且混铸与分铸并存。彭子成还对宝鸡强国墓地出土的部分西周时期青铜器进行了铅同位素分析^[17]，推测其矿料来源可能为秦岭山区以及湖北大冶铜绿山。

(二) 邰国

从山西绛县横水墓地青铜器铭文得知该墓地属于西周早期到春秋初年的邰伯墓地，邰氏属于媿姓狄人。南普恒对59件青铜器进行科学分析^[18]，其中青铜容器的合金以锡青铜为主，其次是低铅的铅锡青铜。锡含量较高，多处于10%—20%，铅含量主要集中于5%以下。兵器主要使用高锡的锡青铜及低铅的铅锡青铜。车马器大多使用锡青铜，很少使用低铅的铅锡青铜。工艺上以铸造为主，提梁、衔环为分铸或铸接成型。

(三) 霸国

大多数学者认为霸国与邰国同属媿姓狄人，刘勇对翼城大河口墓地M5010出土的铜马胄饰片的技术研究表明^[19]，饰片材质为铅锡青铜，含锡5.1%—7.8%、铅3.0%—10.8%。饰片的成型工艺为热锻加工，过程主要包括锤揲制作铜片、模印出主体纹饰条带、镏压刻画细部纹饰、裁切镂空，以及冲压铆孔和铜片穿系修补等。

(四) 秦国

《史记》：“秦之先为嬴姓，其后分封，以国为姓。”贾腊江对凤翔、宝鸡地区春秋时期的早期秦文化青铜器进行科学分析^[20]，所有器物均为铸造成形，且绝大多数为铅锡青铜，其中礼容器锡含量在1%—20%，铅含量在2%—25%。兵器及建筑构件成分较为接近，锡含量在10%—18%，铅含量在1%—10%，表明秦人已经认识到当锡含量一定时青铜的硬度和抗拉强度俱佳。矿源分析还揭示早期秦人很可能开发了附近秦岭山中的丰富资源^[21]。早期秦文化青铜器的科学研究具有重要的考古学意义，它显示出秦人从西周至东周期间一直掌握着青铜冶铸技术，控制着所需的原料矿源，为秦人由弱变强、逐步向东扩展

势力提供了必要的资源和技术保障。

早期秦文化地区应是中原地区金器工艺起源地点之一，秦人相关的城址、祭祀、墓葬中发现较多纹样华丽、极为精细的金制品^[22]，例如凤翔秦公大墓、凤翔马家庄秦国宗庙遗址、宝鸡益门村春秋墓等均出土有以铸造兼掐丝嵌松石两种工艺制成的金器，说明秦人在较早阶段已接触并掌握了金器制作技术。

三、结语

两周时期是先秦青铜器冶铸技术发展的又一个高潮时期，但由于地域以及割据等因素，不同区域的冶铸技术呈现出明显的区域风格，本文通过对芮国以及周边同时期诸侯国出土金属器的科技考古层面简述，大致归结这一区域（陕豫晋交界地区）的冶铸技术特点如下：

(1) 在合金类型上，自商周、西周，至春秋时期逐渐成熟，青铜合金技术路线由锡青铜为主发展至铅锡青铜为主，并且铅含量逐渐增多。如西周时期的晋国、应国、邰国青铜器合金类型与灵石旌介商墓较为接近^[23]，皆以锡青铜和铅锡青铜为主。而进入两周之际，直至春秋晚期，陕豫晋交界地区青铜器中铅锡青铜占有绝对的数量，且铅含量较高。另外，两周时期热锻的青铜器材质则多为锡青铜或低铅的铅锡青铜。

从不同器物视角而言，礼容器、兵器、乐器、车马器等合金类型区别明显，说明当时已能根据器类的需要选择不同的合金配料。铅锡青铜材质的礼容器中铅含量相对较高，如芮、虢、晋、应、郑、秦、强诸国。兵器多使用锡青铜，是因为高锡的青铜会提高兵器的硬度和强度。乐器铅含量较低或不含铅，这是由于铅在金属中以独立相存在，有阻碍声波传播的作用，过多的铅会影响乐器的音质。

从合金元素视角而言，铅的熔点较低，有利于在合金凝固的最后阶段填补枝晶间的空隙，提高铸造过程中的充填铸型能力，进而使器物纹饰更加清晰、外形更加规整，这些特点有利于大件以及薄壁铜器的成功浇铸。春秋时期

铅锡青铜中铅含量通常高于锡含量，也与青铜器铸造量的增大造成锡料缺乏存在着关联。

从墓主身份视角而言，虢、晋、应、邰等国君墓青铜器材质为锡青铜或含锡较高的铅锡青铜，体现出墓主尊贵的社会地位。正如李秀辉在分析虢国墓地青铜器材质时发现不同等级的墓葬中青铜器的质量有所差别^[24]，等级次之的墓葬中铅锡青铜相对于等级较高的墓葬铅含量更高，似乎表明青铜器材质的选择受到了墓主身份的影响。

(2) 在铸造工艺上，春秋早期青铜容器的铸造方式仍沿袭了西周时期的浑铸为主，用于主附件连接的铸接、销接、焊接等分铸方式则为辅助。春秋早期以后，青铜器生产转型较大^[25]，分铸法广泛应用，铸接、铸销、铸铆、镗焊、铜焊等方式也在春秋晚期发展成以铸接与镗焊为主，应用于舟、罍、方壶等环钮，衔环等附件的嵌范浑铸方式则表现出显著的从无到有过程。而西周中期以来，青铜锻造薄片状器物在中原地区高等级墓葬和车马坑中已颇为常见^[26]，梁带村甲冑片和大河口马冑饰片就颇具代表性。另外，该地区青铜器的细部加工和装饰技法也极为丰富，模印、错金、镂空、镶嵌、篆刻、敲花、冲孔、穿系修补等均有所运用。

(3) 在铜料来源上，相关研究推测晋国来自中条山与长江中下游、郑国来自楚国、邠国来自秦岭与铜绿山，邵安定还认为早期秦文化青铜器所使用铜料与西周时期周人控制地区矿料明显有别^[27]，尽管秦人从春秋时期挺进关中地区，但其铜料可能仍沿用了秦人西周时期的铜矿。虽然现有数据显示西周至春秋时期秦人所使用的铜料来源至少有两个，但其中一个可能是秦人的主要来源，秦岭山区与早期秦文化青铜器关联密切。未来追踪芮国青铜器矿料来源时还需注意，不同的早期矿山铅同位素场存在着重叠效应，以及郑韩故城中行铸铜遗址发现有废旧器物重新入炉熔化的证据^[28]，所以不能单一地从实验结果判断青铜器的矿料来源，必须与田野考古工作紧密相扣。

(4) 在铁器工艺上，梁带村、刘家洼芮国墓地与三门峡虢国墓地、曲沃晋侯墓地所出土铁器材质有限铁、块炼

渗碳钢、块炼铁以及生铁，年代自西周晚期至春秋早期，这批陕豫晋交界地区铁器在国内年代较早，对于研究中国冶铁技术起源、发展与互动具有重要意义。

(5) 在金器工艺上，研究显示中原地区先秦相关技术的起源与西北地区存在着密切联系，芮国出土的金器不在少数^[29]，西邻的早期秦文化金器制作技术包括铸造、锤揲、掐丝、篆刻、镶嵌、焊接等多种工序^[30]，将对周边诸侯国相关工艺的认识提供参考。

总的来说，芮国以及周边同时期诸侯国出土金属器科学研究所获得的信息兼具物质文化和科技文化两重内涵，不仅是当时经济与社会背景的实力展示，而且对于从技术角度审视中原体系青铜文明的发展与强盛具有重要价值。

注释：

- [1] a. 陕西省考古研究院等：《陕西韩城梁带村芮国墓地西区发掘简报》，《考古与文物》2010年第1期。b. 陕西省考古研究院等：《陕西澄城县刘家洼东周芮国遗址》，《考古》2019年第7期。
- [2] 陈坤龙，梅建军，孙秉君：《梁带村两周墓地出土青铜器初步检测分析》，《考古与文物》2009年第6期。
- [3] 陈建立等：《梁带村遗址M27出土铜铁复合器的制作技术》，《中国科学E辑：技术科学》2009年第9期。
- [4] 陕西省考古研究院等：《陕西澄城刘家洼春秋芮国遗址东Ⅰ区墓地M49发掘简报》，《文物》2019年第7期。
- [5] a. 李秀辉等：《虢国墓出土青铜器材质分析》，《三门峡虢国墓（第一卷）》，文物出版社1999年版，第539—551页；b. 吴坤仪等：《虢国墓出土青铜器铸造工艺分析与研究》，《三门峡虢国墓（第一卷）》，文物出版社1999年版，第552—558页；c. 韩汝珍等：《虢国墓出土铁刃铜器的鉴定与研究》，《三门峡虢国墓（第一卷）》，文物出版社1999年版。d. 魏强兵：《三门峡虢国墓地出土部分金属器的科学分析》，北京科技大学硕

士学位论文，2019年，第64—77页。

[6] 同 [5]c。

[7] 同 [5]d。

[8] 杨颖亮：《晋侯墓地出土青铜器的合金成分、显微结构和铅同位素比值研究》，《中国文物报》2005年9月30日。

[9] 孙淑云：《太原晋国赵卿墓青铜器的分析鉴定》，《太原晋国赵卿墓》，文物出版社1996年版，第253—268页。

[10] 吴坤仪：《太原晋国赵卿墓青铜器制作技术》，《太原晋国赵卿墓》，文物出版社1996年版，第269—275页。

[11] 南普恒：《春秋时期晋国青铜器制作技术研究》，北京科技大学博士学位论文，2018年，第35—63页。

[12] 姚智辉、王龙正：《平顶山应国墓青铜器的分析》，《平顶山应国墓地》，大象出版社2012年版，第826—832页。

[13] 黄晓娟、李秀辉：《郑国祭祀遗址青铜器的分析鉴定报告》，《新郑郑国祭祀遗址（中册）》，大象出版社2006年版，第1001—1037页。

[14] 李延祥：《郑国祭祀遗址冶铸遗物检测报告》，《新郑郑国祭祀遗址（中册）》，大象出版社2006年版，第1038—1049页。

[15] 张宏英、李秀辉、李延祥等：《郑韩故城出土青铜器的矿料来源初步分析》，《文物保护与考古科学》2015年第4期。

[16] 苏荣誉、胡智生、卢连成等：《虢国墓地青铜器铸造工艺考察和金属器物检测》，《宝鸡虢国墓地》，文物出版社1988年版，第530—638页。

[17] 彭子成、胡智生、卢连成等：《虢国墓地金属器物铅同位

素比值测定》，《宝鸡虢国墓地》，文物出版社1988年版，第639—645页。

[18] 南普恒：《绛县横水西周墓地青铜器的合金技术研究》，《文物世界》2012年第2期。

[19] 刘勇、王颖琛、陈坤龙等：《大河口西周墓地M5010出土锻造铜饰的技术特征及其相关问题》，《江汉考古》2019年第2期。

[20] 贾腊江：《秦早期青铜器科技考古学研究》，西北大学博士学位论文，2010年，第85—87、140—141页。

[21] 邵安定：《秦始皇帝陵园出土彩绘青铜水禽制作工艺及相关问题研究》，北京科技大学博士学位论文，2013年，第130—136页。

[22] a. 张天恩：《礼县秦早期金饰片的再认识》，《秦始皇帝陵博物院辑刊（第一辑）》，三秦出版社2011年版；b. 齐东方：《中国早期金银工艺初论》，《文物季刊》1998年第2期。

[23] 陈坤龙、梅建军：《山西省灵石县旌介村出土铜器的科学分析》，《灵石旌介商墓》，科学出版社2006年版，第209—228页。

[24] 同 [5]a。

[25] 同 [18]。

[26] 同 [22]a。

[27] 同 [21]。

[28] 同 [5]d。

[29] 同 [1][4]。

[30] 同 [22]。