

三星堆青铜器分铸连接工艺辨析

郭建波^{1, 2}, 蔡秋彤³, 肖庆², 苏荣誉⁴

(1. 四川大学考古文博学院, 四川成都 610030; 2. 四川省文物考古研究院, 四川成都 610041;
3. 四川广汉三星堆博物馆, 四川广汉 618300; 4. 中国科学院自然科学史研究所, 北京 100190)

摘要:三星堆青铜器铸造中普遍使用了分铸法, 成形后再将各部件通过多种连接工艺组装成一件完整器物。本文以三星堆青铜器铸造工艺研究为主线, 从实际观察所得, 以学理证明“铸接”与“焊接”的联系与区别; 归总三星堆青铜器连接工艺名词, 包括“锁扣连接”“插接”“铆接”“包接”“销杆连接”“改型连接”和“铜绳连接”七种形式。这一研究, 进一步明确了三星堆青铜器铸造工艺体系, 更加深入地认识古代青铜器铸造技术的系统性和科学性。

关键词:三星堆; 分铸法; 铸接; 焊接

作者简介:

郭建波(1988-), 男, 副研究馆员, 硕士, 主要从事冶金考古与文物保护工作。电话: 13488949280, E-mail: 834682583@qq.com
通信作者:
苏荣誉, 男, 教授, 博士。E-mail: bronzorongyu@qq.com

中图分类号: TG146.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2025)02-0166-09

基金项目:

国家重点研发计划“中国古代金属物料产地溯源方法研究”(2022YFF0903700)和四川省社科基金“三星堆遗址和金沙遗址铜器铸造工艺研究”(SC24SX019)阶段性研究成果。

收稿日期:

2024-07-29 收到初稿,
2024-10-19 收到修订稿。

商周青铜器多以铸造成形为主, 分浑铸和分铸两种铸造方式。三星堆青铜器铸造中普遍使用了分铸法, 成形后再将各部件通过多种连接工艺组装成一件完整器物。这是区别同时期中原地区和长江中下游地区青铜器铸造方法的明显特征, 这一点为诸多学者所认识。曾中恕、苏荣誉、许杰等先生关于三星堆青铜器铸造工艺都做了详细的讨论, 提出“爪铸法”和“邦铸法”^[1]、“铸接”和“焊接”^[2]、“铸铆”和“铸焊”^[3]等连接工艺。分铸连接工艺大体可分铸接和焊接, 铸接分为后铸法和先铸法^[4], 焊接分为压焊、熔焊和钎焊^[5]。目前, 冶金考古学者对于分铸连接方法的认识并不统一。其共同点, 是认识到了各部件之间的连接都是通过铜液连接, 但因实现连接的措施不同而给出了不同的名称。

基于以上研究, 学者对于三星堆青铜器分铸连接工艺有诸多解读和命名, 是在于对焊接工艺理解各有不同, 加之利用现代焊接概念对照古代青铜器铸造连接技术。学理上虽然可行, 但由于接头构造形式、焊料与基体成分差异等原因, 导致不同学者有不同理解, 进而有不同的命名。现在看来, 以上研究实质上都是根据三星堆青铜器相同的分铸连接现象, 所给出的不同名称。由于以前技术手段的限制, 只能通过肉眼观察对青铜器铸造工艺进行推断解读。限于器物表面观察, 故不能作出确切判断, 这就致使不同研究者对同一现象的不同理解。本文通过对三星堆铜器分铸工艺的研究, 辨别焊接与铸接的差异, 探讨三星堆青铜器的分铸连接工艺方法。

1 三星堆青铜器分铸法

分铸法是青铜器铸造的方法之一, 器物的制作过程被分为不同的阶段或部分。分铸法包括先铸法、后铸法和多次铸接。其特点是首先铸造整个器体, 然后再分阶段铸造其他部位, 最终将它们组装在一起^[4,6]。这种方法的目的是使制作过程更为灵活, 使不同部分能够更为独立、精细地制作, 以适应复杂设计、装饰的需求^[7]。分铸法还包括其他铸造连接工艺, 通过这些工艺, 青铜器的各个部分能够在制作过程中更好地协同合作, 最终制作成完整器物。

三星堆青铜器的制作中，分铸法得到了广泛应用，这成为区分同时期中原和长江中下游地区铜器群铸造工艺的典型特征。三星堆青铜器的分铸法不仅是一种技术

手段，更是一门艺术，一种文化传承。这一点为诸多学者所认识，如青铜立人、神树（图1）、面具（图2）和太阳形器，还有组合器型（图3）等都是分铸成形。



图1 1号神树
Fig. 1 No.1 bronze tree



图2 K3QW:21大面具
Fig. 2 K3QW:21 bronze mask



图3 K3QW:13神坛
Fig. 3 K3QW:13 model of a bronze altar

三星堆青铜器使用了铆接、套接和锁扣等多种分铸连接方法，还有芯骨、条形芯撑对泥芯的处理技术^[8]。这些技术方法共同构成了分铸法的技术因素，使得分铸法实施起来较为容易。可见，三星堆匠人已经熟练掌握了分铸技术。这种技术核心体现在，能够精密地计算不同铸件之间的空间结构，即铸件的尺寸、形状和位置。三星堆时期的文化传统可能倾向于强调青铜器的复杂设计和艺术表达，这使得分铸法成为满足这一需求的理想选择。

华觉明先生认为分铸法在商代乃至整个中国青铜时代具有重要意义，以安阳妇好墓出土的铜器看，“之所以能得到高度复杂化的器型，关键是使用了分铸法（铸接）”。“分铸法是了解殷商鼎盛时期青铜器铸造技术奥秘的关键。没有分铸法的普及和娴熟应用，大量精美、复杂的青铜器物是不可能在不使用失蜡法的情况下制作出来的”^[4]。郭宝均先生用“执简驭繁”来概括这类方法的工艺特色。可见，分铸法的使用无疑是一种技术进步，甚至是人类思想和科学文化的进步。那么，直至三星堆文化时期，分铸法得到了更为普遍和多样的应用，可以说三星堆青铜器分铸技术是分铸法产生以来的技术发展高潮。

2 焊接技术

分铸法得以实施的重要前提是分铸法中各种连接方法的应用，即不同构件之间的连接方式。目前，对于连接方法的研究，并没有引起学者的关注。尤其是三星堆青铜器中，分铸法的应用如此普遍，自然有很多连接关系和连接方法的产生和使用。从已发表的文献分析，不同的学者有不同的意见。这个问题的症结

在于对“焊接”的认识。那么，三星堆文化时期有没有出现“焊接”技术？

三星堆遗址祭祀区1、2号坑出土了大量青铜器后，许多学者对其做了很多有益的研究。尤其是对于三星堆青铜器的铸造方法，有了比较细致的解读。曾中懋先生根据铸造时留下的铸缝、金相组织和成分分析数据，将三星堆铸造工艺分为浑铸法、分铸法、套铸法、爪铸法、邦铸法和锻打法六大类。苏荣誉先生早期文章也指出，三星堆青铜器中使用“铸接”“焊接”“铸铆”和“铸焊”等工艺。许杰先生对三星堆青铜器铸造做了细致研究，认为焊接在三星堆应用广泛，分有范和无范两种。余健先生对三星堆青铜方罍铸造工艺进行细致研究发现，方罍盖脊棱的鸟饰与钮同属铸铆式后铸^[9]。最近，也有文章对三星堆青铜器铸造方法做了进一步研究，同样提出焊接工艺的使用^[10]。由此看出，学者认为三星堆青铜器铸造中焊接技术应用较为普遍。这些研究中，关于焊接的工艺名词非常相似但不统一，不同名称的实质是什么？是对同一技术现象的不同认知？

如上文中提出将金属块体积较大、有无范线或浇口作为“铸型”和“焊接”区分的前提条件，认为有范称为“铸型”，无范称为“焊接”。曾文认识到了“套接”时需要施加内外范才能完成，而“爪铸法”和“邦铸法”却未提及是否用范。根据笔者观察和浇注常识，这些连接方式都必须施加外范浇注。以太阳形器晕圈连接方式为例，虽然未找到明显范线痕迹，但可以看到，铸接的铜液呈一定形状，一面高低不平，而另一面平整，这几点都说明铸接处是用范浇注。再者，铜的熔点是1 083 ℃，加入锡铅后，其混合

熔点800℃，在室温条件下，冷却速度非常快^[11]，这就要求在短时间内完成浇注，以保证良好的铜液流动性和浇注质量。那么，浇注时的温度与已经成形待铸接的器件之间有极大的温差，如果不施范，直接将铜液倾倒在器件上，这种温差会导致铜液的飞溅，无法完成部件连接，更不能形成一定外形的铸接块。所以，铸接时必须用范，因此有范与无范不能作为是否为焊接的评判标准。

将研究视野放大到整个中国青铜时代，观察“焊接”技术的应用情况。张昌平先生在多篇文章中很明确地提出了商周青铜器焊接技术的应用^[12-13]，认为焊接在商周时期就是一个普遍的技术现象。将研究视野再放大一些，既然商周时期有焊接，那么焊接是否起始于商周？比较早的研究著作，能够清楚地说明这一点。《中国上古金属技术》中，提出了铸接与焊接的区别和联系，但似乎又没有严格的区分。文中观点认为春秋中期起，焊接才开始普遍应用，并有不同的形式。这部著作中，也非常清楚地说明了铸接的多种形式。文中观点给出了一个非常明确的时间节点，焊接技术在春秋中期才开始普及，而且非常明确地指出了大焊、小焊的焊接材料。铸焊是先秦时期唯一的焊接方式，可分为铜焊和镏焊。铜焊是将熔融的铜合金浇注于两个或多个部件的结合处，使被焊件局部加热，并和焊接合金连接起来，类似于“大焊”。镏焊是用镏（铅锡合金）作焊接合金，即“小焊”^[14]。

至此，本文不得不讨论，什么是焊接？《中国冶金百科全书》“金属焊接”词条，明确解释了焊接和焊接形式，也同样提出了焊接的出现时间是春秋战国时期（公元前7世纪）。焊接是通过一定的物理-化学过程，使被焊金属间达到原子（或分子）间结合的工艺手段。焊接时可以充填或不充填焊接材料。金属焊接是一门复杂的技术学科，包括研究金属焊接性、金属焊接方法、焊接冶金过程、金属焊接材料、金属焊接结构和金属焊接检验等问题^[15]。为实现焊接过程中的金属连接，需采取两种措施——加热被焊金属连接处，或加压被焊金属。根据加热和加压方式的不同，将金属焊接方法分为：熔焊、压焊和钎焊。根据三种焊接方法的定义，钎焊与商代青铜器铸造工艺更为相近。钎焊靠加热来促使金属间的结合。其根本差别是：钎焊必须充填一种比待焊金属熔点低的钎料，在钎焊过程中与焊件一同加热至钎料熔化（焊件本身不熔化），熔化的钎料在“毛细管作用”下流入连接面间的空隙，与固态被焊金属之间相互扩散或局部溶解，形成联接。《中国铸造技术史（古代卷）》中也明确说明了铸接、焊接及焊接材料，与《中国冶金百

科全书》论述基本一致^[16]。国外学者对于焊接问题也早已发文说明，文章详细说明了焊接（Welding）及焊接方法（Soldering），且说明了钎焊（Brazing）所使用的材料是黄铜和锌合金，且铜的含量并不高^[17]。

3 三星堆青铜器的铸接工艺

从上文分析中可知，商代青铜器连接与“钎焊”有着类似的工艺特点，如果能够称为焊接，那么就须满足钎焊的基本条件。从外在状态分析，被焊物件未被熔解。从成分分析，焊料成分分为铅锡或铜锌合金两种。焊料为铅锡的，即为镏焊；焊料为铜锌合金的，即为铜焊。

以神坛（K3QW:13，图4）和圆尊（K3QW:18，图5）为例，可以进一步探讨这一问题。这两件器物均由不同器类通过拼接组合而成，其拼接处以铜液连接。例如，神坛是通过觚形尊与顶圈、觚形尊与龙之间的连接实现整体构造；圆尊则通过肩部的牛首与鸟首连接形成完整器物。对这些连接处的仔细观察未发现任何熔解的迹象，表明此连接工艺并非焊接工艺中的熔焊。同时，由于曲面物体及线面结合部位难以施加足够外力实现紧密结合，因此也可排除压焊工艺的可能性。

能否称为“钎焊”？本文对这两处铜液取样，进行成分和金属物相分析，并与器物其他位置的成分和



图4 K3QW:13神坛顶部

Fig. 4 K3QW:13 the top of the model of a bronze altar



图5 K3QW:18圆尊

Fig. 5 K3QW:18 bronze zun

金属物相进行对比分析。

从成分分析结果(表1)可知,三处连接位置的合金成分(13CF2、18CF1)与其他部位的基体合金成分无显著差异,均为铜锡铅合金。根据金属物相分析(图6、7),13CF2呈现典型的铸造组织,其基体为铜

锡 α 固溶体枝晶结构,铅以颗粒状、多角状和椭球状分布于晶间,部分晶粒显示出应力线特征。18CF1同样为铸造组织,基体为铜锡 α 固溶体枝晶结构,铅则以颗粒状、条索状及椭球状分布于晶间,部分晶粒亦存在应力线,且样品受锈蚀影响较为严重。两处连接位

表1 扫描电镜能谱分析结果

Tab. 1 Results of Scanning electron microscope energy dispersive spectroscopy analysis

样品编号	$w_{Cu}/\%$	$w_{Sn}/\%$	$w_{Pb}/\%$	$w_O/\%$	取样位置
13CF2	85.7	2.3	9.4	2.5	觚形尊顶部与顶圈连接处
13CF3	92.1	1.3	5.1	1.6	顶圈分铸部件
13CF4	74.8	7.2	15.4	2.7	顶圈折断处
13CF5	78.3	7.9	11.5	2.2	觚形尊顶部本体
13CF6	74.7	8.3	14.3	2.7	觚形尊顶部补铸处
13CF7	68.8	11.6	17.1	2.6	人像本体
18CF1	79.7	11.7	8.5	0	牛首与鸟首连接处
18CF2	83.4	5.7	9.4	1.5	鸟首本体

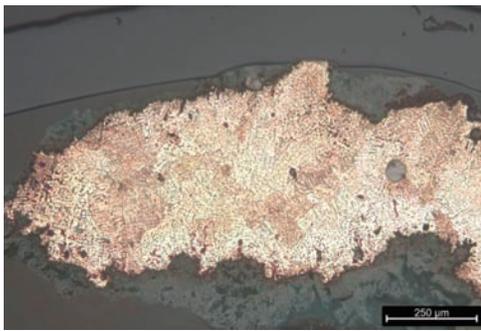


图6 13CF2 金相照片

Fig. 6 Metallographic image of the 13CF2

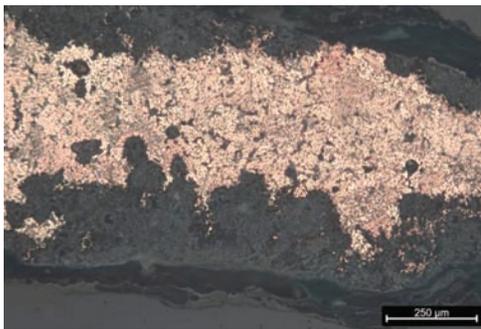


图7 18CF1 金相照片

Fig. 7 Metallographic image of the 18CF1

置的金相组织均未发现异常现象。

此外,将分析结果与钎焊中钎焊和铜焊的定义进行比对,发现钎焊焊料通常含有铅锡,铜焊焊料则为铜锌合金,这两者均与连接处的材料成分和组织特征不相符。那么,该处连接方式就不属于钎焊,所谓的

“焊接”就不存在,更没有“铸焊”和“铸焊铆”等混淆的名词存在。据以上分析,三星堆青铜器中诸如神坛、圆尊兽首这样的连接方式,并非焊接工艺。

那么,是否符合铸接连接?通过对圆尊牛首和鸟首连接关系的分析(图8),可以看出,两者的连接是通过外部铜液进行的。铜液在外部呈圆圈状包裹,且表面较为平整。进一步观察,鸟首根部可见空腔结构(图9),这表明,在鸟首与牛首连接的过程中,连接处可能通过施加模具后浇注铜液来实现两部分的结合。这一现象表明,连接处的特征是通过模具形成,符合铸造连接的工艺特征。

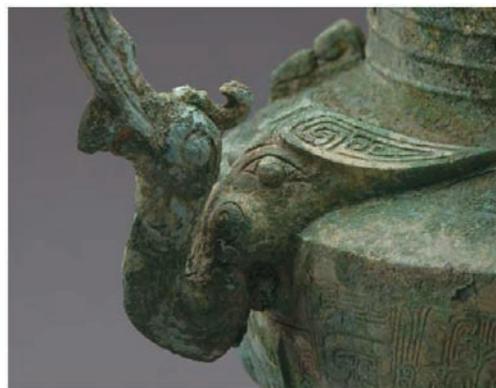


图8 牛首与鸟首连接处

Fig. 8 Connection between the ox head and the bird head

以上分析表明,三星堆青铜器连接的位置并不满足焊接的基本定义和条件,不能定名为焊接,更不能



图9 鸟首空腔

Fig. 9 Cavity of the bird head

因为相似外在形式，而将其定名为焊接。同时，铸件连接处的铜液，在浇注时，不论器物形状如何，都必须施加外范。铸接是青铜器铸造中常见的一种连接技术，分为后铸法、先铸法和多次铸接。后铸法即先铸器体再在其上接铸附件的分铸方法；先铸法即先铸附件再放入陶范和器体的分铸方法；多次铸接是利用熔融铜液将两个或两个以上构件连接成为一个整体^[18]。显然，上文神坛、圆尊兽首连接处的铜液呈一定形状，说明铸接处是用范浇注。综合以上分析，这与范铸工艺是一致的，所以称之为铸造连接，即“铸接”。

基于以上分析，本文列出以下关于焊接和铸接的区别与联系，见表2。

表2 焊接与铸接对比表

Tab. 2 Comparison of the welding and casting techniques

项目	铸接	焊接
相同点	均为分铸法的一种工艺方式； 将两个或两个以上铸件连接在一起。	
本质不同	通过物理铸造连接的方式，是铸造技术的一种工艺方式	物理—化学变化
基本条件不同	需要加热，施加外范	需要加热或不加热、加压等外在条件
产生时间不同	二里冈时期	春秋中期以后产生
连接材料不同	与基体材料成分比例基本一致	铜焊（铜锌或银铜锌合金） 钎焊（铅锡合金）
技术方法不同	与铸造方法一致，设置铸型，翻模制范	与铸造相类似或借用外在设备

4 三星堆青铜器铸造连接工艺及名词

三星堆青铜器铸造工艺中未使用焊接工艺，均属于铸接工艺范畴，同时铸接工艺又存有不同的连接方

式，且这些连接方式的表现形式都有所不同。为了进一步明晰三星堆青铜器的连接技术，本文对各种连接工艺进行重新命名和解读。

4.1 锁扣连接

锁扣连接是指在连接处形成锁扣形式的铸接方式。图10、11^[19]所示为青铜树干的CT影像图，图中1为树干壁，2为树杈端头，3为树枝与树杈连接处浇注的铜液。树枝先铸并在连接处设置连接孔，其后掏去部分泥芯在外侧施范，二次浇注形成与树枝相连的枝杈附件，部分铜液流出叠压树枝外壁。像这种锁扣连接的现象，在三星堆青铜器中使用较为普遍。

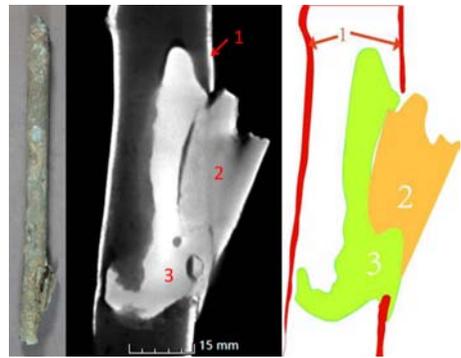


图10 K2:120内部结构

Fig. 10 Internal structure of the K2:120

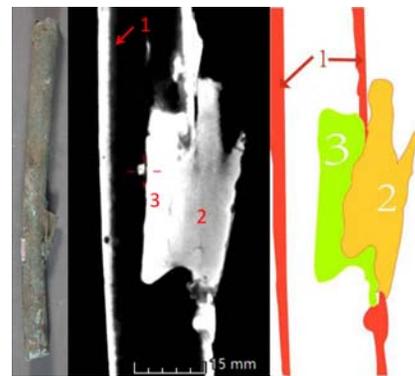


图11 K2:121内部结构

Fig. 11 Internal structure of the K2:121

观察标本K2:120、K2:121（图10、11）显示，细薄树枝外壁之间是泥芯，2号树杈上下端开设孔洞以便连接。3号铜液在树枝内形成不规则边缘，表明掏出泥芯后形成的形状。3号铜液与2号树枝明显分层，说明存在分次施作的间隔。两者之间的空隙和上下端的紧密锁合结构显示，3号铜液朝向开孔方向呈凹字卡槽，2号则为榫头样式，整体相互咬紧。此结构表明，树杈2被插入树枝的预设孔中，随后平放浇注3号铜液，冷

却后形成机械固定。此图像展示了通过铸接实现的机械连接效果，3与2之间的空隙为3冷却时形成的缩孔。

4.2 插接

插接是一种在连接处形成简单连接的铸接方式，与锁扣连接类似，但不同之处在于其未在连接处形成锁扣结构。以神坛（K3QW:13）为例，龙与觚形尊的连接方式即为插接。具体而言，龙身的三个点位具有突出的铜杆（图12A，红圈所示），对应的觚形尊上已预留孔洞（图12B）。连接时，通过将龙身铜杆（图12C）插入觚形尊的孔洞后再浇注铜液（图12D），实现部件的牢固结合。在连接处的X射线影像图中（图13），可以清晰地观察到，龙与觚形尊连接处呈现出浇注后的简单形态，未形成锁扣结构，这进一步验证了插接方式的特征。

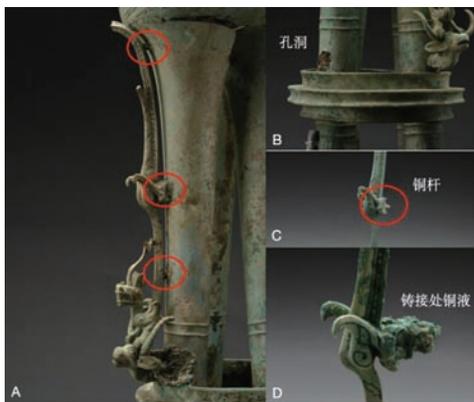


图12 神坛龙与觚形尊的连接处

Fig. 12 Connection points at various locations

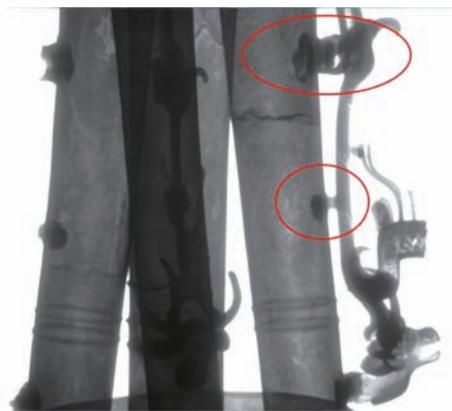


图13 神坛龙与觚形尊的连接处X射线影像图

Fig. 12 X-ray image of the connection points

4.3 铆接

铆接是指在器物主体上预设铆孔，将铜液注入到铆孔中，凝固后将两个单独的部件通过铜液连接在

一起。太阳形器是一个很好的例证。太阳形器分为阳（一部分）、芒和晕圈（五部分），共六部分分别铸造，然后通过铆接的方式将两两连接，组装成一个整体。在晕圈的连接处（见图14），首先将晕圈分别铸造好，在拼接处预设铆孔，孔径约为0.5~1 cm，且正面的孔径稍大，可能是有意为之。然后将两片晕圈的正面向下置于弧形的面范之上，在背面进行浇注。铜液填充接缝并流入铆孔，形成类似锁扣的结构将部件连接起来（图15）。曾中懋先生将这种连接方式称为“爪铸法”是非常形象的^[20]，其各部件之间显然是机械连接的关系。



图14 K2:037太阳形器

Fig. 14 K2:037 Sun-shaped artifact



图15 晕圈内部X射线影像图

Fig. 15 X-ray image of the sun-shaped artifact

4.4 包接

包接是指形成包裹的形式，将多个零部件包接在一起，以增加整体结构的稳定性和强度。在三星堆青铜器中，这种包接方法主要用于神树的枝干连接。例如，1号神树的主干间以及树枝间的连接方式都采用了这种方法。从九枝树的外形来看，每根树枝的弯曲度都很大，花朵和鸟的密度很高，都集中在树枝末端，这增加了树枝初始端和弯曲处的受力。为了使树枝不产生形变，达到稳固的效果，在树枝应力最大处，铸接了一根铜箍（见图16ab）。这样的设计不仅解决了受力问题，还表现出与真实树枝节点相似的形态。主干上也有三个铜箍，分别处于上、中、下段主干连接处（见图16cd），其作用与树枝上的铜箍相似。

4.5 销杆连接

销杆连接是指在两个完全独立的构件之间，通过第三者（如铜液或销杆）连接在一起的一种连接形式。青铜神树残件端头内部有一直径略小于树枝直径



图16 1号神树局部图

Fig. 16 Partial image of the No. 1 bronze tree

的销杆露出 (K3QW:73, 图17A), 从X射线光片可以明显看出 (图17B), 树枝的连接采用了内部销接的方式, 一段树枝有a、b两处销杆。即将主干的各段铸好后, 将连接处两端的泥芯掏空一部分形成空腔, 然后将两段拼接在一起, 再施加外部范围浇注铜液形成内销, 将两段连接为一体。这样的连接方法外观上难以辨认出分铸的痕迹, 既能实现牢固的连接效果, 又可使外观呈现出整体的和谐美观。



图17 K3QW:73 神树残件及树枝探伤图

Fig. 17 K3QW:73 X-ray image of the bronze tree fragments and branches

此外, 青铜神树上鸟足与花朵的连接处, 这种连接设有活动销杆, 属于销杆机械连接。在需要连接的一端留有插孔 (图18A), 并另外设计与插孔相匹配的销杆。连接时, 将销杆插入孔中, 即可实现连接 (图18B)。或者, 该孔的存在可能是为了在将该部分与其他部分连接时, 铜液能够填充到空隙中, 从而使两者连接更加牢固。2号神树底座三块山形底座的连接也采用了销杆连接 (图19)。

4.6 改型连接

改型连接是指通过改变原有器型的外形, 将其与

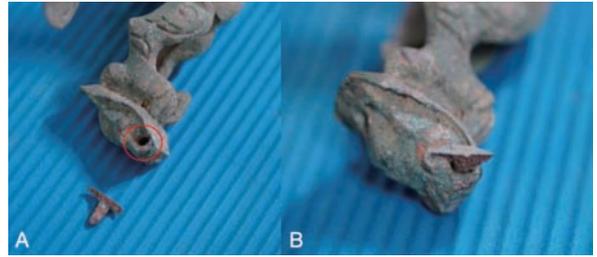


图18 鸟足

Fig. 18 Bird's foot



(a) 外部



(b) 内部

图19 2号神树树座连接处

Fig. 19 Connection points of the base of the No. 2 bronze tree

其他器物相连接, 从而共同组成一种新的器型。圆尊 (K3QW:18) 便是这一工艺的典型实例 (图20)。



图20 牛首与鸟首的连接处

Fig. 20 Connection between the ox head and the bird head

该尊为侈口、折肩、高圈足，其肩部原本装饰有三牛首，这一尊型在其他地区也屡见不鲜。然而，在此件圆尊中，牛首经过改制，其口部与鸟首尾部相连。在连接过程中，通过在连接处外部浇注铜液实现两者的结合。肩部牛首经过这种改制后增加了外部饰件——鸟首，从而形成了全新的饰件样式，充分体现了改制连接的特点。

4.7 铜绳连接

铜绳连接是一种罕见独特的连接方式，它在将两个或多个不同器物连接在一起时发挥了重要的作用。不同于常见的牢固连接方式，铜绳连接只起到衔接联系的作用，使器物之间保持一定的关联但不会牢固固定在一起。目前，只在3号坑出土的神坛（图21）和8号坑小青铜神兽上分别发现了一根铜绳（图22）。经过拼对，这两者被确认为一根铜绳，但在埋藏前已经断裂为两部分。这根铜绳通常是由三根较细的铜丝拧成一股，形成呈S形的粗铜绳。每根铜绳的截面近似方形，边长约为2 mm，而粗铜绳的直径约为7 mm（图23）。在铜绳的闭合处，会将铜绳拧成一个结，类似于绳索打结，以确保连接的稳固性（图24）。这种连

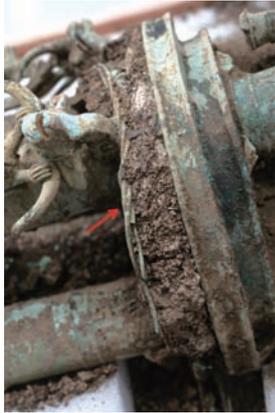


图21 神坛上的铜绳

Fig. 21 Copper rope on the model of the bronze altar



图22 小青铜神兽颈上的铜绳

Fig. 22 Copper rope on the neck of the bronze divine beast



图23 神坛上脱落铜绳

Fig. 23 Copper rope fallen from the model of the bronze altar



图24 神坛上铜绳打结处

Fig. 24 Knot of the copper rope

接方式在三星堆青铜器中也仅此一例，在其他青铜器群中尚未发现。这种独特的铜绳连接可能具有特殊的意义或用途，可能与特定的宗教、仪式或象征性行为有关。对于这种现象的解释需要更深入地研究和考证。

5 结束语

通过对三星堆青铜器的铸造工艺体系进行深入研究，本文可以进一步明确这一地区在古代青铜器制作中的独特贡献。其采用的分铸法不仅是一种技术手段，更是一种文化传承和文化需求的体现，使得三星堆的青铜器在古代中国的青铜器群中独具特色。这些技术并非三星堆青铜器所独有，铸接工艺源于补铸，这为大家所认同的，早在夏商之交就有萌芽，远早于三星堆。技术的发生与发展自有其“源”与“流”。三星堆青铜器铸造技术无疑是源自中原和长江中下游等地区的早期文明，同时在此基础上创新发展出了符合自身文化的铸造技术，即分铸法和分铸技术的应用。三星堆青铜器多为分铸技术，缘于技术体系的不同、考古学文化的不同、铸造对象不同，以及浑铸法的局限性，从而形成了独特的技术文化体系。当本文从技术层面解读三星堆文化的独特性时，主要聚焦于其青铜器制作的工艺特色。

三星堆青铜器中以分铸法为主要的铸造方法，分铸法中涉及“锁扣连接”“插接”“铆接”“包

接”“销杆连接”“改型连接”和“铜绳连接”七种连接方式，这些都是三星堆青铜器分铸法得以广泛应用的技术要素。三星堆匠人已经熟练掌握了分铸技术，这种技术核心体现在，能够精密地计算不同铸件

之间的空间位置，即铸件的尺寸、形状、分型面和固定方式等。三星堆地区的文化传统可能倾向于强调青铜器的复杂设计和艺术表达，这使得分铸法成为满足这一需求的理想选择。

参考文献:

- [1] 曾中懋. 三星堆出土铜器的铸造技术 [J]. 四川文物, 1994 (6): 68-69, 77.
- [2] XU Jay Jie. The Sanxingdui site: art and archaeology (PhD Dissertation) [D]. Princeton University, 2008: 158.
- [3] 苏荣誉. 三星堆祭祀坑青铜器铸造工艺的初步考察 [M]. 孙华, 苏荣誉//神秘的王国——对三星堆文明的初步理解和解释. 成都: 巴蜀书社, 2003: 399-443.
- [4] 华觉明. 中国古代金属技术: 铜和铁造就的文明 [M]. 郑州: 大象出版社, 1999: 136-140.
- [5] 中国冶金百科全书《金属材料卷》编辑委员会. 中国冶金百科全书·金属材料卷 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001: 659, 688, 868.
- [6] 高守雷, 范金辉. 试论中国商周时期青铜器的铸造技术 [J]. 铸造, 2016, 65 (11): 1111-1114.
- [7] 田建花, 王静艺. 先秦青铜器的铸后加工 [J]. 铸造, 2018, 67 (10): 906-909.
- [8] 郭建波, 田灏, 余健, 等. 三星堆出土青铜器铸造工艺补议 [J]. 南方文物, 2021 (3): 145-152.
- [9] 余健, 苏荣誉, 郭汉中. 三星堆青铜方罍铸造工艺研究 [J]. 学术论坛, 2018 (21): 255-256.
- [10] 肖红艳, 张跃芬, 吴钰洁, 等. “工”与“匠”的多元性重建: 三星堆祭祀坑青铜器铸造工艺再观察 [J]. 四川文物, 2023 (5): 57-64.
- [11] 周继扬. 金属的超速凝固 [J]. 铸造, 1984 (4): 8-11, 34.
- [12] 张昌平. 商周青铜礼器铸造中焊接技术传统的形成 [J]. 考古, 2018 (2): 88-98.
- [13] 张昌平. 从三棱锥形器足看中国青铜时代块范法铸造技术特质的形成 [J]. 考古, 2022 (3): 92-102.
- [14] 苏荣誉, 华觉明, 李克敏, 等. 中国上古金属技术 [M]. 济南: 山东科技出版社, 1995: 320-324.
- [15] 中国冶金百科全书《金属材料卷》编辑委员会. 中国冶金百科全书·金属材料卷 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001: 659, 688, 868.
- [16] 田长浒, 吴坤仪, 张闻博. 中国铸造技术史 (古代卷) [M]. 北京: 航空工业出版社, 1995: 65-67.
- [17] HERBERT Maryon. Archaeology and metallurgy [J]. I. Welding and Soldering. Man, 1941 (41): 118-124.
- [18] 华觉明. 中国古代铸造技术的八大成就 [J]. 铸造, 1984 (4): 1-8.
- [19] 叶琳, 郭建波, 秦海嘉. 三星堆遗址出土青铜神树结合部位工业CT图像的再辨析 [J]. 西南文物考古, 2023 (2): 152-156.
- [20] 曾中懋. 三星堆出土铜器的铸造技术 [J]. 四川文物, 1994 (6): 68-69, 77.

Aanalysis of Split-Casting and Joining Techniques in Sanxingdui Bronze Ware

GUO Jian-bo^{1,2}, CAI Qiu-tong³, XIAO Qing², SU Rong-yu⁴
(AVIC Xi'an Power Control Technology Co., Ltd., Xi'an 710077, Shannxi, China)

Abstract:

In the casting of Sanxingdui bronzes, the commonly used method is the segmented casting technique, where various parts are cast separately and then assembled into a complete object using multiple connecting processes. This paper focuses on the study of the Sanxingdui bronze casting techniques, based on actual observations, aims to substantiate the connections and distinctions between "casting joints" and "welding" from a theoretical perspective. It summarizes the terminology of connecting processes used in the Sanxingdui bronzes, including seven types: "lock-and-key connection" "insertion connection" "rivet connection" "overlapping connection" "pin-and-rod connection" "modified connection" and "copper rope connection." This research further clarifies the casting technology system of the Sanxingdui bronzes and provides a deeper understanding of the systematic and scientific nature of the ancient bronze casting techniques.

Key words:

sanxingdui; sectional casting; casting joint; welding