

2. 中国青铜器研究中的实验考古 中国青铜器研究における実験考古

張昌平

中国青铜时代青铜器是早期国家文明的最重要成就之一，对其研究一直是考古学热门，因之研究域度既是国际性的，也是多学科的。特别是在近半个世纪以来，艺术史家的研究不再只是关注青铜器的造型和装饰，还会进一步讨论造型和装饰形成的技术背景；技术史家的研究不只是复原青铜器的工艺过程，甚至还尝试实验浇注、以古人的制作方式再现与理解古代青铜器技术。这些研究，大大推进了青铜器研究的深入。

笼统地说，今人模仿商周青铜器的生产都是实验性铸造。而就实施过程而言，从工艺过程到材料结构分别对制范、浇注等环节进行复原研究，基于研究而进行的生产，我们称之为实验考古（试铸）。这样的实验考古，著名的有二十世纪六十年代万家保在史语所的试铸、二十世纪七十年代自然科学所的试铸、二十世纪九十年代上海博物馆的试铸。本文比较研究这些学者的试铸工作，观察其对青铜器工艺研究的意义。

1. 史语所的试铸

最早的青铜器试铸活动，是二十世纪六七十年代之交李济和万家保在台湾中央研究院历史语言研究所（史语所）组织的。李济在殷墟发掘开始后就将青铜器作为重点研究方向¹⁾，史语所迁台后他邀请具有机械学背景的万家保合作进行青铜器技术研究，并于1967年开始在哈佛燕京学社的资助下，进行了为期两年的实验铸造。

在此之前，西方学者如卡尔贝克（Karlbeck）根据对安阳出土陶范的观察，判断殷墟时期青铜器应该是块范法铸造，而不是西方学界认定的失蜡法²⁾，这一认识随后被巴纳（Noel Barnard）系统地论证³⁾。二十世纪五十年代盖屯斯（Rutherford John Gettens）在弗利尔艺术馆建立实验室，对中国青铜器进行全面检测与研究，确认了块范法的铸造技术⁴⁾。万家保则进一步对殷墟青铜器范型、模与范的制作、浇注系统等技术进行了全面的研究⁵⁾。

万家保的试铸，既参考了上述研究成果，也是首次通过试铸对这些研究进行实践与检验。针对当时的学术动态，他设定此次试铸“目的在证实殷商的青铜器系利用块范法铸造”，因此试铸活动“主要的是以范型的制造为主”⁶⁾，合金原料及熔化、设备是现代的，“铜、锡及铅等原料为市面所购置者，熔铜及烧范皆利用电炉”，并铸成兽面纹鼎（此研究以下简称《鼎形器研究》⁷⁾。试铸中以多次试验积累经验，例如以石膏为模型、低温的铅和铅合金开始实验，其后才用青铜试铸。因为史语所当年安阳发掘收获爵的模、范较多，试铸先从爵开始，而后成功地铸出了一件兽面纹鼎。

基于试铸目的，模、范、芯的制作及浇注前配装是工作重点，试铸中对这些环节在操作上都予以重现（图1），这其中各个环节的重点情况有如下一些：

制模：强调低收缩率，避免龟裂，大部分纹饰在模上雕刻。烘焙至600℃左右；

制范：台湾本地黏土为主。强调材料耐温与强度、表面致密可复制清晰花纹、透气性。范上纹饰从模上翻制，泥范烘焙至800℃左右；

制芯：基于石璋如提出芯是由模刮削而成的认识⁸⁾，芯范是以刮削的方式缩小模而成，刮削的厚度即器物厚度；

烘烤：较低的加热速度，避免龟裂；

浇注：器物口部朝下倒浇，鼎的浇口和冒口设在足根；

合金配制：铜79%、锡18%、铅3%，比例接近司母戊方鼎。熔铜温度1200-1300℃左右⁹⁾。

万家保的研究和试铸“第一次全面地、整体性地构建了安阳青铜生产的流程和工艺细节”¹⁰⁾，对殷墟青铜器铸造技术引发多层次的思考，如烘范、浇注方式等等实践提升了对铸造技术许多工序的理解。但由于对试铸的具体环节描述不多，诸多细节问题的考虑和处理方式，未能体现。例如，在制作爵模环节中，何以分制爵体而不是完整地模型？爵足、鬲、柱、帽如何制模又是如何翻范的？芯与范特别是爵鬲芯如何定位？许多技术环节都缺乏交代。此次试铸选取的鼎是殷墟时期常见的兽面纹鼎，但非殷墟发掘品。试铸铸件口径17.1、通高20.4厘米，重3.4公斤，重量控制较好，如妇好墓类似尺寸的小圆鼎，也都在这一重量范围¹¹⁾。同时，试铸鼎纹饰脱范欠佳，在技术性和经验性上应该还明显欠缺（图2）。由此可见，殷墟青铜

器所展示出的艺术成就，所需的技术与经验支撑远远超乎我们的想象。

2. 自然科学所的试铸

二十世纪七十年代后期，侯马铸铜遗址、妇好墓、下寺楚墓、曾侯乙墓等重要遗存出土大批青铜器和青铜器生产遗物，当时适逢中国恢复高等教育与科研，由此青铜器及其技术的研究得到很大的发展。这些研究中，华觉明主导的青铜器技术研究形成了丰富的学术成果¹²⁾，并对当今的技术研究形成较大的影响。1976年妇好墓发掘后，华觉明组织团队对妇好墓青铜器进行技术研究（以下简称《妇好青铜器研究》）¹³⁾，并进行了两次试铸实验。先期的试铸有5件器物，包括刀、戈等工具以及一件圆鼎（以下简称《试铸简报》（图3））¹⁴⁾，后一次试铸了觚（以下简称《青铜觚铸造》（图4））¹⁵⁾。

此次研究特别是试铸团队的组成，考虑到铸造技术的各个不同的环节：

华觉明：中国科学院自然科学研究所冶金史专家，理解青铜时代特别是殷墟文化青铜器铸造工艺；

冯富根：郑州机械科学研究所铸造专家，掌握铸造操作实验；

王振江、白荣金：中国社会科学院考古研究所考古发掘与文物修复专家，熟悉青铜器形制与结构，长于制陶、烧窑、制模技术。

试铸工作由冯富根主导，和万家保的实验一样，试铸的操作是在工艺研究的理论指导下完成。此时的工艺研究，较之万家保的又有多方面的新认识。根据已发现的商周青铜器范、芯，研究认为“材料的主要组成均是粘土和砂，……一般来说，模和范的含泥量要多些，使有良好的可塑性、复印性；芯的含泥量少些，砂粒有时稍粗，可利通气”，而西周陶范的情况表明大型青铜器的陶范可能分为面料和背料。对于花纹的制作，提出浮雕兽面纹“用泥料在模表堆塑成形再雕镂花纹”，衬地的雷纹“是在范面上加工得到的，或者先从模上翻出大体形状再予修整”。铭文则是“先在泥模上阴刻成文，再用泥片复印成阳纹，修整后嵌到芯上”¹⁶⁾。

铸型的问题较为复杂一些。和万家保一样，华觉明等的研究也主要是根据器物表面的范缝来判断铸型。此前万家保《鼎形器研究》认为圆鼎外范三分，在试铸中的兽面纹鼎就是采用的三块外范（图2）。此次华觉明研究认为司母辛“方鼎铸型由芯和底范、四块腹范以及顶范组成”、“腹范从鼎耳上端到鼎足下端，不分段”¹⁷⁾，他们在其后的研究还提出每块腹范还内嵌的6块分范¹⁸⁾。但学者们对方鼎铸型的认识很不一致，华觉明等关于铸型的研究实际上已经参考了此前的研究成果，比如认为“圆形容器的器体，一般是三等分，采用三块腹范，器腹有扉棱时六等分”¹⁹⁾，但他们试铸的殷墟孝民屯M856兽面纹觚仍然采用两块外范（图4）。卡尔贝克（Karlbeck）讨论安阳出土陶范时已经指出，青铜器实物观察到的范缝往往可能少于实际上的分范数量²⁰⁾。孝民屯铸铜遗址发现的陶范表明，加倍分范、分段的现象普遍²¹⁾，我们将此称之为复杂的分范方式，是铸造繁缛细密的纹饰而设置的²²⁾。因此，万家保试铸的兽面纹鼎、冯富根试铸的兽面纹觚，分别应该是6分、4分外范，后者还应该分段。

华觉明、冯富根的研究与试铸反复努力，研究团队对于铸造技术的理论与实践有很好的结合。附表所示，是该团队对工艺研究和试铸各个技术环节的讨论，这些讨论内容表明，试铸实验的重点仍然是在铸前的模范准备阶段。即便如此，冯富根等的试铸工作仍然总结了多方面的经验，并且在多个环节取得了进步。例如，在制范环节注意到留取榫卯装置，增强了合范的装配。又如，理论研究认为出土商周陶范成分为粘土和砂。试铸高度重视范料的配比，实验中取侯马铸铜遗址地下8米的泥土，社科院考古所地下7米的细沙，经过“晾晒、破碎、筛分、混匀、加入适量的水份，和成软硬适度之后，还必须反复摔打、揉搓，并经过较长时间的浸润使之定性”，“经过反复的实践，终于得到了理想的泥

表1 自然科学所研究团队认识的铸造工序

	《妇好青铜器研究》	《试铸简报》	《青铜觚铸造》
工 艺 环 节	造型材料的选取和制备	制模	泥料的准备及加工
		泥料的选用和制备	
	模、范、芯的制作	制范和制芯	翻制范型
	铸型的干燥、焙烧和装配	铸型的干燥与焙烧	范型的阴干
			型范的焙烧、配芯和铭文刻制
	熔化和浇注	熔化与浇注	金属的熔化与浇注
脱范和清理、磨砺			

料配比”²³⁾。在随后试铸青铜觚时，更是明确在泥料中加 30% 细沙、加 20% 熟料，其核心目的是为了降低泥范的收缩率，在烘焙陶范时，设定加温温度为 800℃，操作中温度高至 950℃。

铸造是件经验性极强的工作，此次试铸中也有经验上的进步与总结。如注重模上使用分型剂，方鼎的浇注中分别在鼎足处设两个浇口和冒口。特别是他们在实践中摸索出先制范、后陪芯的方式，在殷墟新发现的芯范研究中得到支持²⁴⁾。试铸多次操作中，在经验上取得收获或突出的难点，有对范、芯湿度和收缩率控制问题，有对范的烘烤与预热、铜水熔与浇的温度问题。这些经验，是我们今天进行试铸时仍然应该重视的。

3. 上海博物馆的试铸

二十世纪九十年代，上海博物馆在马承源馆长支持下发起“中国青铜时代陶范铸造技术研究”，由谭德睿主导进行技术研究和试铸实验。上海博物馆是中国古代青铜器收藏的重镇，对青铜器研究特别是技术研究也有很强的力量。1960 年，上海博物馆设立文物保护与考古科学实验室，这是国内考古与博物馆机构中最早设立的文物保护与考古科技实验室；1989 年，上海博物馆创办《文物保护与考古科学》，也是国内最早的科技考古期刊²⁵⁾。因此由上海博物馆进行的青铜器技术研究和试铸工作，有着良好的学术支撑。

和此前的试铸一样，铸前的范型制作是重点研究和实验的工作。谭德睿总结了陶范应该具备的基本性能，包括 1. 可塑性、复印性、脱模性；2. 足够的强度和硬度；3. 足够的耐火度；4. 低收缩 - 膨胀率；5. 发气量足够低；6. 退让性足够好；7. 充型性足够好。主要是通过化学成分检测，课题组将古陶范对比原生土、陶器等，检测认为古陶范具有强度高、发气量低、足够高的耐火度、膨胀和收缩率低等积极因素，但同时发现古陶范具有透气性不良的消极因素，并认为“各地古陶范的焙烧温度约为 850-920℃”。实际上，殷墟陶范烧成温度检测数据大部分为 550-600℃²⁶⁾。而在实验中“若使用了低于 850℃ 焙烧温度的陶范，铸件废品率就高，若高于 850℃，合格率则高得多”。现在看来，透气性不良和烧成温度高的两个结论，都与实际情况有较大出入，而高温高合格率的实验，问题可能出在陶范材料上。

不过，课题组敏锐地注意到“试验证明，古陶范中可能含有一种仅凭化学成分分析以至 X 射线衍射分析无法分辨的 SiO₂ 含量高的物质，是这种物质改变了范料的充型性能”²⁷⁾。但在试验操作中如果加入细砂，则铸件会出现大面积气孔、凹陷、纹饰不清等等浇不足现象。经过论证和实验认为，应该加入的是植物硅酸体，这是此次研究提出的一个重要观点。

试铸使用的范料“与古陶范配方组成一致”的材料：上海本地的原生土 + 熟料 + 植物灰（马粪、稻草、麦秆、木炭灰等），其比例为 50 : 30 : 20，加水后经过练泥、陈腐。范料中面料颗粒较细，背层加较多植物纤维。制范时一块块外范制作，分型剂使用熏油烟或草木灰。

课题组经过多次实验，试铸出爵、觥这样单次浇注完成的铸件，也完成了鸛卣这样需要连接工艺的铸件，体现了极高的水准。在熟练操作的情况下，完成爵、觥等单次铸件的工时量约 50 天，其具体工序工作量如表 2：

表 2 上海博物馆试铸爵、觥工序与工量

工序	铭文爵	雷纹觥
塑模	11	10
翻外范	9	8
脱模及阴干	5	6
制内范	6	6
制浇口	6	6
预合范	1	4
预焙烧	1	
刻纹饰	0.5	6
合范与焙烧	5-7	7
熔、铸	2	1
铸后	1	1
合计	49.5	55

浇注完成后，铸件“很易脱范，且表面光洁”，说明范料的配比是成功的。同时“脱下的陶范，内表面有一层浅黑褐色，断面呈浅砖红色，与古陶范相似”，但实际上与自然科学所试铸的范表不同，浅砖红色实际上也不同于发掘所见陶范的浅灰色，这或者缘于试铸陶范烧成温度在 850℃ 相关。课题组通过试铸，总结认为范铸技术的关键在于陶范充型性良好、陶范缓慢阴干与捶实、陶范未及陶化等几个方面。

上海博物馆的试铸工作首次系统研究和检测范料及其材料配比，首次批量生产铸件，铸件体现出较好的充型和脱范性能，体现了试铸工作的高水平。总体

而言，他们的试铸工作重点，仍然是在陶范制作上。

总结以上试铸活动，实验所取得的进展无疑是明显的。青铜器铸造非经实践而难以理解工序的具体环节，正如万家保所指出：“以殷商青铜器如此成熟的工业产品而言，必然是经过了一段很长的进化过程所得的成果。青铜的熔合，锡、铅、铜的冶炼，青铜合金的制造以及铸造所用的坩埚、模、炉等必要条件显然都已具备。这每一个条件的形成，定当包含了一套艰苦的试探，失败，改进的历史过程”²⁸⁾。青铜器的试铸也是如此，试铸工作的进展其实也是我们研究青铜器技术的进展。

上述试铸实验都是小型铸件，尚未涉及大体量青铜器。而对于大型的铸件，万家保设想像牛方鼎重 110 公斤左右，所需熔铜当在 150 至 200 公斤始可，“大鼎铸造时系将数个坩埚所熔的青铜注入一件铸物中，故必须控制各坩埚中青铜成分均一，温度的适宜及铸入时间的顺序”，因此“起火之时刻，风箱之缓急，原料之配合，何时何种温度注入，坩埚之注入顺序如何”，需要有经验的人才组织指挥²⁹⁾。在历次试铸中，课题组人员理论、实践知识丰富，尚且反复多次试验，尚且感受到技术之难度。可以理解，殷墟文化晚期青铜时代发展到高峰之际，大邑商青铜铸造业发达之程度、技艺之高超。

华觉明、陈建立等有实验铸造经验的学者都承认，“模拟实验是验证青铜器铸造工艺的重要手段之一”³⁰⁾。华觉明先生更是强调指出：“不准确的缺乏科学性的复原研究不但无助于我们得到正确的认识，相反地，将导致错误的结论，造成混乱”³¹⁾。期待未来的试铸工作，能够有更多、更为接近古代工匠工艺水平的铸件。

注

- 1) 李济：《记小屯出土之青铜器》，《中国考古学报》第三册，1948 年。
- 2) Karlbeck, Orvar, Anyang Moulds, Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities, pp39-60, No.7 1935, Stockholm.
- 3) Barnard, Noel. Bronze Casting and Bronze Alloys in Ancient China. The Australian National University and Monumenta Serica, 1961.
- 4) Gettens, Rutherford John, The Freer Chinese Bronzes, Volume II, Technical Studies. Smithsonian Institution, Washington, 1969.
- 5) 苏荣誉对万家保的青铜器技术研究有过系统的论述，参考苏荣誉：《论万家保先生对殷墟青铜器铸造技术的研究》，姜振寰主编《技术传播与文化遗产》第 105-125 页，中国科学技术出版社，2013 年。
- 6) 李济、万家保：《殷墟出土五十三件青铜器之研究》第 19 页，台湾中央研究院历史语言研究所，1972 年。
- 7) 李济、万家保：《殷墟出土鼎形器之研究》第 15 页，台湾中央研究院历史语言研究所，1970 年。
- 8) 石璋如：《殷代的铸铜工艺》，《中央研究院历史语言研究所集刊》第 26 本第 127 页，1955 年。
- 9) 《鼎形器研究》不同部分对熔铜温度表述不一致，第 16 页为 1200℃，第 20 页为 1300℃。
- 10) 苏荣誉：《论万家保先生对殷墟青铜器铸造技术的研究》，姜振寰主编《技术传播与文化遗产》第 123 页，中国科学技术出版社，2013 年。
- 11) 中国社会科学院考古研究所：《殷墟妇好墓》第 42 页，文物出版社，1980 年。
- 12) 苏荣誉等：《中国上古金属技术》，山东科学技术出版社，1995 年；华觉明：《中国古代金属技术——铜和铁造就的文明》，大象出版社，1999 年。
- 13) 华觉明等：《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》，《考古学集刊（1）》第 244-272 页。中国社会科学出版社，1981 年。
- 14) 冯富根等：《商代青铜器试铸简报》，《考古》1980 年第 1 期。
- 15) 冯富根等：《殷墟出土商代青铜觚铸造工艺的复原研究》，《考古》，1982 年第 5 期。
- 16) 华觉明等：《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》，《考古学集刊（1）》第 244-272 页。中国社会科学出版社，1981 年。
- 17) 华觉明等：《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》，《考古学集刊（1）》第 244-272 页。中国社会科学出版社，1981 年。
- 18) 冯富根等：《司母戊鼎铸造工艺的再研究》，《考古》1981 年第 2 期。

- 19) 华觉明等：《妇好墓青铜器群铸造技术的研究》，《考古学集刊（1）》第 244-272 页。中国社会科学出版社，1981 年。
- 20) Karlbeck, Orvar, Anyang Moulds, Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities, pp39-60, No.7 1935, Stockholm.
- 21) 中国社会科学院考古研究所安阳工作队：《2000—2001 年安阳孝民屯东南地殷代铸铜遗址发掘报告》，《考古学报》2006 年第 3 期。
- 22) 张昌平等：《二里冈文化至殷墟文化时期青铜器范型技术的发展》，《考古》2010 年第 8 期。
- 23) 冯富根等：《商代青铜器试铸简报》，《考古》1980 年第 1 期。
- 24) 岳占伟等：《殷墟陶模、陶范、泥芯的制作工艺研究》，《南方文物》2016 年第 2 期。
- 25) 根据《文物保护与考古科学》官方网站消息。此外，中国社会科学院考古研究所于 1965 年设立碳十四测年实验室，稍晚于上海博物馆实验室。
- 26) 刘煜：《殷墟出土青铜礼器铸造工艺研究》第 111-114 页，广东人民出版社，2018 年。
- 27) 谭德睿：《中国青铜时代陶范铸造技术研究》，《考古学报》1999 年第 2 期。
- 28) 李济、万家保：《殷墟出土五十三件青铜器之研究》第 10 页，台湾中央研究院历史语言研究所，1972 年。
- 29) 李济、万家保：《殷墟出土鼎形器之研究》第 29-31 页，台湾中央研究院历史语言研究所，1970 年。
- 30) 陈建立：《中国古代金属冶铸文明新探》第 165 页，科学出版社，2014 年。
- 31) 华觉明：《中国古代金属技术——铜和铁造就的文明》第 120 页，大象出版社。

中国青銅時代の青銅器は初期国家文明の最も重要な成果のひとつであり、考古学における著名な研究分野である。そのためその研究水準はすでに相応の国際性と学際性を有している。特にこの半世紀近くでは、芸術史学者は青銅器の造形と装飾に注目するのみならず、造形と装飾を形成した技術的背景に踏み込んだ研究を行い、技術史学者は青銅器の製作工程を復元するのみではなく、実験鑄造による古人の製作方法の再現と古代青銅器製作技術の理解を試みている。このような研究により、青銅器研究は大幅に深化している。

一般的に言えば、現代人が商周青銅器を模倣してつくるものは全て実験的な鑄造である。実施の過程においては、技術の工程から材料の構成まで、范の製作・鑄造などそれぞれの段階における復元研究を進め、その研究に基づいて製作を行う。我々はこれを実験考古(試鑄)^{註1)}と称する。このような実験考古は、著名なものでは 20 世紀 60 年代に万家保が史語所(台湾中央研究院歴史語言研究所)で行った鑄造実験、70 年代の自然科学史研究所の鑄造実験、そして 90 年代の上海博物館による鑄造実験が挙げられる。本文ではこれらの学者が行った鑄造実験を比較し、その青銅器技術研究における意義を考察する。

1. 史語所の鑄造実験

青銅器の鑄造実験の最も早いものは、20 世紀 60 年代から 70 年代にかけて李濟と万家保が史語所で組織した活動である。李濟は殷墟で発掘をはじめてから青銅器を自身の主要な研究分野とした¹⁾。史語所が台湾に移ったのち、彼は機械学を専門とする万家保を招き、共同で青銅器製作技術研究をすすめることとなった。併せて 1967 年からはハーバード燕京研究所の支援を受け、2 ケ年計画での実験鑄造を実施した。

これ以前には、カールベック (Karlbeck) のような西方の学者が安陽出土陶范の観察に基づき、殷墟時期の青銅器は分割范法(塊范法)で鑄造されたのであり、西方の学界で認識されている失蠟法によるものではないと判断した²⁾。この考えはのちにバーナード (Noel Barnard) によって系統立てて論証されている³⁾。20 世紀 50 年代、ゲッテンス (Rutherford John Gettens) はフリア美術館に実験室を設立し、青銅器の全面的な検測と研究を行い、分割范法による鑄造技術を確認した⁴⁾。万家保はさらに殷墟の青銅器范型、原型(模)と范の製作・鑄造系統などの技術面に対し全面的に研究を進めた⁵⁾。

万家保が行った鑄造実験は、上述の研究結果を参照し、初めて鑄造実験によってこれらの研究の実践と検証を行ったものである。当時の学術の動向を鑑み、彼はこの時の鑄造実験を「殷商の青銅器が分割范法を用いて鑄造されていたことを実証することを目的」とした。そのためこの鑄造実験の活動は「范型の製作を主」⁶⁾とした。合金の原料と溶解方法や設備は現代のものを用い、「銅・錫・鉛等の原料は市販のもので、溶銅と范の焼成には全て電気炉を利用」し、獣面紋鼎を鑄造した（以下、この研究は「鼎形器研究」⁷⁾と省略して記す）。鑄造実験では何度も実験を行って経験を蓄積している。例えば石膏で原型・范をつくり、低温の鉛と鉛合金を使って実験を始め、そのあとでいよいよ青銅を用いた鑄造実験を行った。史語所がかつて安陽で発掘したのは爵の原型・范が比較的多かったため、まず爵から開始し、成功を経て獣面紋鼎を鑄造した。

鑄造実験の目的に基づけば、原型・范・中子（芯）の製作と鑄造前の準備に重点を置き、鑄造実験における各段階はいずれも重視した（図1）。その各段階における要点は以下の通りである。

原型の製作：収縮率が低いことを重視し、亀裂の発生を避け、紋飾の大部分は原型に彫刻した。焼成は600℃前後で行った。

范の製作：台湾現地の粘土を主とした。耐温性と強度、および表面のきめ細やかさがあり、紋様を鮮明に写し取ることができ、通気性があることを重視した。范の紋飾は原型から転写し、土製范は800℃前後で焼成した。

中子の製作：石璋如による、中子は原型を削って製作されるとの見解⁸⁾に基づき、中子は原型を削って縮小して製作した。削り取る厚みは即ち器物の厚みである。

焼成：比較的低い加熱速度により、亀裂の発生を避けた。

鑄込み：器物の口縁部を下に向けて注湯した。鼎の湯口とガス抜口は脚の基部に設けた。

合金の配合比率：銅79%、錫18%、鉛3%とし、比率は司母戊鼎に近いものとした。溶銅温度は1200～1300℃前後である⁹⁾。

万家保の研究と鑄造実験は「最初に安陽青銅器生産の工程と技術の詳細を全面的・全体的に構築」¹⁰⁾し、殷墟青銅器の鑄造技術に対し様々な思考を呼び起こした。例えば、范の焼成、鑄込みの方法などの実践を通して、鑄造技術の多くの工程と順序について理解を深めることになった。ただし、鑄造実験の具体的な段階の説明が充実しておらず、細かな問題の考慮やその対処法については実現していない。例えば以下のようなものである。

- ・ 爵の原型製作の段階では、完全な原型ではなく、なぜ分割して製作した原型を用いたのか？
- ・ 爵の脚、持ち手、柱、帽などは、どのようにして原型を製作し、范に転写したのであろうか？
- ・ 范と中子、特に持ち手の中子はどのように位置を決めてたのであろうか？

このように多くの技術の段階で説明が不足している。この鑄造実験でモデルに選択した鼎は殷墟時期によく見られる獣面紋鼎ではあるが、殷墟で発掘されたものではない。鑄造実験で製作した製品は、口径17.1cm、通高20.4cm、重さ3.4kgであり、重量の調整は比較的良好。例えば、婦好墓出土の類似する大きさの小円鼎などもこのような重量の範囲内に収まる¹¹⁾。同時に、鑄造実験で製作した鼎の紋飾は良くなく（図2）、技術・経験が明らかに不足している。このことからみるに、殷墟青銅器にみられる芸術面での完成度は、求められる技術と経験の水準において我々の想像より遥かに高いのであろう。

2. 自然科学史研究所の鑄造実験

20世紀70年代後半、侯馬鑄銅遺跡、婦好墓、下寺楚墓、曾侯乙墓など重要な遺跡で多くの青銅器と青銅器生産に関わる遺物の出土があった。当時はちょうど中国の高等教育と科学研究が回復していたころであり、青銅器とその生産技術の研究も大きく発展を遂げた時期であった。このような研究の中では、華覚明が率いた青銅器技術の研究が豊富な学術成果を挙げ¹²⁾、現在の技術の研究に大きな影響を与えている。1976年に婦好墓が発掘されたのち、華覚明はチームを組織し、婦好墓の青銅器の技術に関する研究を行った（以下、この研究は「婦好青銅器研究」¹³⁾と省略して記す）。また、2度にわたる鑄造実験を実施した。1度目の実験では刀・戈などの工具、および円鼎1点を含む5点の器物を鑄造し（以下「試鑄簡報」と省略して記す（図3）¹⁴⁾、2度目の実験では觚を鑄造した（以下「青銅觚鑄造」と省略して記す（図4）¹⁵⁾。

この研究において注目すべきは鑄造実験チームを組織したことであるが、それはそれぞれに異なる鑄造技術の段階を考慮したものであった。華覚明は中国科学院自然科学研究所の冶金史専門家であり、青銅時代でも特に殷墟文化の青銅器の鑄造技術に理解が深い。馮富根は鄭州機械科学研究所の鑄造の専門家であり、鑄造の作業を取り仕切り、実験を主導した。王振江・白榮金は中国社会科学院考古研究所の考古発掘と文物修復の専門家であり、青銅器の形態と構造に詳しく、製陶、窯焼成、原型を製作する技術に長けていた。鑄造実験は馮富根が主導し、万家保の実験と同様に、技術研究の理論のもとに行われた。この技術研究では、万家保の研究よりも、多方面の新たな知識が取り入れられた。すでに発見されていた商周青銅器の範・中子から、「材料の主要な組成は粘土と砂であり、・・・、一般的には、原型と範の含有する泥土^{訳註2)}を多くすることにより、良好な可塑性と転写性能を持たせることができる。一方で、中子の泥土量は少なくし、時に砂粒を粗くすることで、通気性が良くなる」ことがわかってきた。西周時代の陶範からは、大型青銅器の陶範は肌土（内面）と外土（外面）に分かれることがわかってきた。紋様の製作については、浮彫の獣面紋は、「原型の表面に泥土を盛って成形し、さらに紋様を彫刻」し、地紋の雷紋は「範面に加工したか、あるいは先に原型から転写した概形をさらに整形した」。銘文は「先に原型に陰刻で文章を表し、泥土を用いて陽文を写し取り、整形したのちに中子に埋め込んだ」¹⁶⁾。

鑄型の問題はもう少し複雑である。万家保と同様に、華覚明らの研究も主に器物の表面に見える範線から鑄型の構造を判断していた。万家保は「鼎形器研究」において円鼎の外範は3分割であると考え、鑄造実験で製作した獣面紋鼎は3分割外範を用いた（図2）。華覚明の研究では、司母辛「方鼎の鑄型は中子と底部範、4分割腹部範、そして頂部範でできており」、「腹部範は耳の上端から脚の基部まで分割されない」¹⁷⁾としたが、その後の研究では、腹部範はそれぞれ6つに分割した範を埋め込んでいたとした¹⁸⁾。ただし、学者たちの方鼎鑄型に対する認識には大きな差異があり、華覚明らの鑄型に関する研究は実際、これまでの研究結果を参考にしていた。例えば、すでに「円形容器を呈する器体は、一般的には3分割であり、3分割の腹部範を用いるが、腹部に扉稜のある場合は6分割」¹⁹⁾であると考えていた。しかし、彼らが実験鑄造した殷墟孝民屯 856 号墓の獣面紋觚は2分割外範を用いている（図4）。カールベック（Karlbeck）は安陽で陶範が出土した際にすでに、青銅器の実物から観察できる範線は往々にして実際の範の分割数よりも少ない可能性があるとして指摘している²⁰⁾。孝民屯鑄銅遺跡で発見された陶範は、倍の数の分範・分段^{訳註3)}という現象が普遍的にあることを証明している²¹⁾。我々はこれを複雑な分範方式と呼ぶ。繁雑で細密な紋飾を鑄造するために用いられたものである²²⁾。したがって、万家保が実験鑄造した獣面紋鼎と馮富根が実験鑄造した獣面紋觚は、6分割、もしくは4分割の外範であり、後者はさらに分段されるものである。

華覚明と馮富根の研究と繰り返し行った実験鑄造により、研究チームは鑄造技術の理論と実践を見事に結合させた。表1には、チームが技術研究と鑄造実験の技術段階について議論した内容を示している。鑄造実験の重点はやはり鑄造前の原型・範の準備段階にあるのであった。それでもやはり、馮富根らの実験鑄造は多方面の経験を総合し、かつ、多くの段階において進歩を実現した。例えば、範を製作する段階ではほぞ（榫卯）を付けておくよう注意し、合わせ型の固定を強化した。また、理論研究では出土した商周陶範の原料が粘土と砂であると考えた。鑄造実験では範の材料の配合比率を特に重視し、侯馬鑄銅遺跡の地下8mから泥土、社科院考古研究所の地下7mから細粒砂を採取し、「日光に晒し、破碎し、篩にかけ、混ぜ合わせ、定量の水分を加え、硬さを調整したのち、さらに反復して叩きつけと練りを行い、長時間浸潤させて定性を高める必要がある」とした。そして「何度も実践し、ついに理想の泥土の配合比率にたどり着いた」²³⁾。その後、青銅觚を実験鑄造した際には、

表1 自然科学史研究所研究チームの認識した鑄造工程

	「婦好青銅器研究」	「試鑄簡報」	「青銅觚鑄造」
技術段階	陶範製作材料の選択と準備	原型の製作 泥土の選出と準備	泥土の準備と加工
	原型・範・中子の製作	範と中子の製作	
	鑄型の乾燥・焼成・組み立て	鑄型の乾燥と焼成	陶範の陰干し 陶範の焼成・中子の製作・銘文の製作
	溶解と鑄込み	溶解と鑄込み	金属の溶解と鑄込み
	型ばらし（脱範）と調整・研磨		

さらに明確に、泥土に30%の細粒砂、20%のシャモットを加えている。その中心的な目的は土製范の収縮率を低下させることであり、陶范を焼成する際には、温度を800℃に設定し、作業中の温度は950℃まで上げた。

鑄造は経験値が極めて重要な仕事であるため、この鑄造実験の間にも経験上の進歩と成果が得られた。例えば、原型には離型剤を用い、方鼎の鑄込みでは脚にそれぞれ2つの湯口とガス抜き口を設けた。特に、実践中の模索の末にたどり着いた、先に范を製作し、あとで中子を整えるという方法は、殷墟で新たに出土した范・中子の研究でも確認された²⁴⁾。実験鑄造を何度も繰り返すなかで、経験的に獲得、あるいは浮かび上がった難点には、范と中子の湿度と収縮率のコントロール、范の焼成と予熱、湯と鑄込み温度という問題がある。このような経験は、我々が今日鑄造実験を行ううえでもやはり重視すべき点であろう。

3. 上海博物館の鑄造実験

20世紀90年代、上海博物館は馬承源館長の支援のもと、「中国青銅時代陶范鑄造技術研究」を発起し、譚徳叡が主導して、技術研究と鑄造実験を行った。上海博物館は中国古代青銅器の所蔵においては重鎮的な存在であり、青銅器研究、とりわけ技術研究には非常に強い力量をもつ。1960年、上海博物館は文物保護・考古科学実験室を設立したが、これは国内の考古学・博物館関係の機構のなかで最も早く設立された文物保護と科技考古の実験室である。さらに1989年、上海博物館は『文物保護と考古科学』を創刊したが、これも国内で最も早い科技考古の期刊誌である²⁵⁾。ゆえに、上海博物館が行う青銅器技術研究と鑄造実験は、良好な学術的基盤をもって進められた。

前出の鑄造実験と同様に、鑄造前の范型の製作は研究と実験において重要な作業である。譚徳叡は、陶范が備えていなければならない基本的な性能は、1. 可塑性・転写性があること、原型から外しやすいこと、2. 強度と硬度が十分であること、3. 耐火度が十分であること、4. 収縮・膨張率が低いこと、5. ガスの発生量が低いこと、6. 十分な退讓性があること、7. 充填性能が十分にあること、と結論づけた。主に化学成分の検測を通して古陶范と原生土、土器等とを対比した。検測により、古陶范は強度が高く、ガスの発生量が少なく、耐火度が十分であり、膨張・収縮率が低いなどの積極的要素を備えており、同時に古陶范の通気性が不良であるという消極的要素をも見出した。さらに、「各地の古陶范の焼成温度は850～920℃」と考えた。実際のところ、殷墟の陶范の焼成温度の測定数値は大部分が550～600℃であったが²⁶⁾、実験中、「850℃より低い温度で焼成した陶范を用いた場合、鑄造の失敗率は高まり、850℃より高い場合、成功率は上昇する」という結果を得た。現在からみると、通気性の不良と焼成温度の高さという2つの結論は、どちらも実際の状況と大きな相違がある。高温焼成で高成功率の実験結果は、陶范の材料に問題があった可能性がある。

しかしながら、研究課題チームは「実験が証明するように、古陶范は、化学成分分析ないしX線回折分析のみでは判別できないSiO₂の含有量の高い物質を含んでいる可能性があり、この物質が范の充填性能を変化させている」²⁷⁾ことに特に注意を払っていた。しかし鑄造実験の作業中にもし細砂を加えていれば、鑄造製品には広範囲で気孔、引け巣、紋飾の不鮮明化などの鑄造欠陥現象が生じ得たであろう。この研究では、論証と実験を通して植物珪酸体（プラントオパール）を加える必要があるとした。この点はこの研究によって提示された重要な視点である。

鑄造実験で用いた范の「古陶范と配合組成が一致する」材料とは、上海現地の原生土・シャモット・植物灰（馬糞・藁（稲草）・麦わら・木炭灰など）であり、その比率は50：30：20とし、水分を加えたのち、泥土を練り、寝かせた。范の材料のなかでも内面の顆粒は比較的細かく、外面の外土は植物繊維を比較的多く加えた。外范を製作する際、離型剤には熏油烟^{訳註4)}、もしくは草木灰を用いた。

課題チームは何度も実験を行い、爵、觶のような一度の鑄込みで完成する器物を鑄造し、さらに、鴟卣のような接合技術を要する器物をも完成させており、極めて高い水準を示している。熟練した作業のもと、爵、觶など一度の鑄造で完成する製品の製作にかかる作業時間は約50日であり、工程と作業量は表2に示す通りである。

鑄込みが終わり、製品が「容易に范から外れ、かつ表面に光沢がみられる」ことで范の材料の配合が成功したことがわかる。同時に、「外した陶范は内部表面が浅黒褐色、断面は浅磚紅色を呈し、古陶范と相似する」と述べる。ただし、実

際には自然科学史研究所が実験鑄造した范の表面とは異なり、浅磚紅色というのも、実際の発掘した陶范にみられる浅灰色とは異なる。あるいは、鑄造実験での陶范の焼成温度が850℃であったことが関係しているのではないだろうか。課題チームは実験を通して、范鑄技術には陶范の充填性能が良く、陶范が緩やかに乾燥し、叩きが十分で、陶范が陶化にはおよんでいないことなど、いくつかの鍵があると結論付けた。

上海博物館の鑄造実験は、初めて系統研究を行い范の成分と材料の配合比率を検測し、初めてまとまった数量の製品を鑄造したものである。鑄造製品は充填性と型ばらしの性能がよく、実験作業が高水準で行われたことを証明した。まとめれば、彼らの鑄造実験の重点は、やはり陶范の製作にあったのである。

表2 上海博物館による爵、觶の実験鑄造の工程と作業量（数字は日数）

工程	銘文爵	雷紋觶
原型の製作	11	10
外范への転写	9	8
原型から外し、陰干し乾燥	5	6
中子の製作	6	6
湯口の製作	6	6
予備組み立て	1	4
予備焼成	1	
紋飾の彫刻	0.5	6
組み立てと焼成	5-7	7
溶解と鑄込み	2	1
鑄込み後	1	1
合計	49.5	55

以上の鑄造実験活動をまとめると、実験によって進展が得られたことは明らかである。青銅器の鑄造は実践しなければ工程の具体的な段階を理解することが難しく、まさに万家保が指摘するように「殷商青銅器という、これほど成熟した工業製品は、必然的に一定の長い時間において進化し、結実したものである。青銅の溶解、錫・鉛・銅の冶煉（製・精錬）、青銅合金の製造と、鑄造に必要な坩堝・原型・炉などの必要条件は明らかにすでに揃っていた。各々の条件が成立する過程には、一定の試行錯誤と失敗、改善という苦難の歴史が含まれる」²⁸⁾。青銅器の鑄造実験も同様であり、実験作業の進展も実際は我々の青銅器技術に対する研究の進展である。

上述の鑄造実験では全て小型の器物を鑄造しており、大型の青銅器の鑄造には至っていない。大型製品について、万家保は牛方鼎では重さが110kg前後となり、必要とされる溶銅は150～200kg以上と想像した。「大鼎を鑄造する際には、数個の坩堝で溶かした青銅を1つの鑄物に注入するゆえに、各坩堝の青銅成分が均一になるよう温度が適切かどうかや鑄込みの順序をコントロールせねばならない」。このため、「着火時刻、鑄の緩急、原料の配合、注入のタイミングと温度、坩堝の注入順序」など、経験を有する人間が作業を組織し、指揮を執る必要がある²⁹⁾。歴代の鑄造実験では、課題チームのメンバーが理論、実践と知識が豊富で、なおかつ繰り返し何度も実験鑄造をしたうえで技術の難易度を実感するに至った。殷墟文化後期は青銅時代の最高峰の域まで発展し、大邑商の青銅鑄造業の発達の水準、技術は卓越していた。

華覚明、陳建立等、鑄造実験の経験のある学者が皆認めるように、「模擬実験は青銅器鑄造技術を検証する重要な手段の1つである」³⁰⁾。華覚明氏はさらに「不正確で科学性に乏しい復元研究は正確な知識を得る妨げになるだけでなく、反対に、誤った結論を導き、混乱を招く」³¹⁾ことを強調した。将来の鑄造実験では、より多くの、より古代の工人の技術水準に近い鑄造製品が生み出されることを期待する。

註

- 1) 李濟「記小屯出土之青銅器」『中国考古学報』第3冊、1948年。
- 2) Karlbeck, Orvar, Anyang Moulds, Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities, pp39-60, No.7 1935, Stockholm.
- 3) Barnard, Noel. Bronze Casting and Bronze Alloys in Ancient China. The Australian National University and Monumenta Serica, 1961.
- 4) Gettens, Rutherford John, The Freer Chinese Bronzes, Volume II, Technical Studies. Smithsonian

Institution, Washington, 1969.

- 5) 蘇榮譽は万家保の青銅器技術研究について系統的に論述している。蘇榮譽「論万家保先生对殷墟青銅器鑄造技術的研究」、姜振寰主編『技術傳播与文化遺產』105-125頁、中国科学技術出版社、2013年。
- 6) 李濟、万家保『殷墟出土五十三件青銅器之研究』19頁、台湾中央研究院歷史語言研究所、1972年。
- 7) 李濟、万家保『殷墟出土鼎形器之研究』15頁、台湾中央研究院歷史語言研究所、1970年。
- 8) 石璋如「殷代的鑄銅工藝」『中央研究院歷史語言研究所集刊』第26本127頁、1955年。
- 9) 「鼎形器研究」は溶銅の温度の表記が一致しない。16頁では「1200℃」、20頁では「1300℃」と記される。
- 10) 蘇榮譽「論万家保先生对殷墟青銅器鑄造技術的研究」、姜振寰主編『技術傳播与文化遺產』105-125頁、中国科学技術出版社、2013年。
- 11) 中国社会科学院考古研究所『殷墟婦好墓』42頁、文物出版社、1980年。
- 12) 蘇榮譽他『中国上古金属技術』山東科学技術出版社、1995年および、華覚明『中国古代金属技術——銅和鉄造就的文明』大象出版社、1999年。
- 13) 華覚明他「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古学集刊(1)』244-272頁、中国社会科学出版社、1981年。
- 14) 馮富根他「商代青銅器試鑄簡報」『考古』1980年第1期。
- 15) 馮富根他「殷墟出土商代青銅觚鑄造工藝的研究」『考古』1982年第5期。
- 16) 華覚明他「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古学集刊(1)』244-272頁、中国社会科学出版社、1981年。
- 17) 華覚明他「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古学集刊(1)』244-272頁、中国社会科学出版社、1981年。
- 18) 馮富根他「司母戊鼎鑄造工藝的再研究」『考古』1981年第2期。
- 19) 華覚明他「婦好墓青銅器群鑄造技術的研究」『考古学集刊(1)』244-272頁、中国社会科学出版社、1981年。
- 20) Karlbeck, Orvar, Anyang Moulds, Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities, pp39-60, No.7 1935, Stockholm
- 21) 中国社会科学院考古研究所安陽工作隊「2000～2001年安陽孝民屯東南地股代鑄銅遺跡發掘報告」『考古学報』2006年第3期。
- 22) 張昌平他「二里岡文化至殷墟文化時期青銅器范型技術的發展」『考古』2010年第8期。
- 23) 馮富根他「商代青銅器試鑄簡報」『考古』1980年第1期。
- 24) 岳占偉他「殷墟陶模・陶范・泥芯的制作工藝研究」『南方文物』2016年第2期。
- 25) 『文物保護・考古科学』公式HPによる。このほか、中国社会科学院考古研究所は1965年に炭素14年代測定実験室を、上海博物館の実験室より少し遅れて設立している。
- 26) 劉煜『殷墟出土青銅礼器鑄造工藝研究』111-114頁、広東人民出版社、2018年。
- 27) 譚德叡「中国青銅時代陶范鑄造技術研究」『考古学報』1999年第2期。
- 28) 李濟、万家保『殷墟出土五十三件青銅器之研究』10頁、台湾中央研究院歷史語言研究所、1972年。
- 29) 李濟、万家保『殷墟出土鼎形器之研究』29-31頁、台湾中央研究院歷史語言研究所、1970年。
- 30) 陳建立『中国古代金属冶鑄文明新探』165頁、科学出版社、2014年。
- 31) 華覚明『中国古代金属技術——銅和鉄造就的文明』120頁、大象出版社、1999年。

訳註

- 1) 以下、原文の「試鑄」は「鑄造実験」、もしくは「実験鑄造」と訳す。
- 2) 原文の「泥」、「泥料」、「泥片」、「泥土」はいずれも「泥土」と訳した。簾海萍「上海博物館における陶范実験研究」(本書Ⅱ-3)で述べられるように、「泥」は「(水分の有無に関わらず)極めて細微な顆粒の集合体」を指す。
- 3) 原文では、垂直方向の分割を「分范」、水平方向の分割を「分段」としており、訳文でもそれを用いる。
- 4) 原文のまま。油性離型剤の一種とみられる。

(大平理紗・丹羽崇史 訳)



图1 以爵形器为例的试铸操作环节（注6李济、万家保文献：第22、23页）

1. 雕刻模型 2. 以泥片印在模上制范 3. 上身之范制好后自模上脱开 4. 足底的范及上身的范 5. 钮范之制作 6. 烧成后的整套范及心型 7. 心型及上身范之组合 8. 再组合足部的范 9. 组合后再以湿泥填补空隙 10. 熔铜自爵足之顶端铸入 11. 铸好后将范打破取出铸件 12. 修整打磨

图1 爵形器を例とした鑄造実験の各段階（註6李濟・万家保文献22・23頁）

1. 原型を彫刻する 2. 原型から泥土に転写し范をつくる 3. 上半部の范を成形したのち原型から外す 4. 脚と底部の范及び上半部の范 5. 鈕范の製作 6. 焼成後の全体の范一式と中子 7. 中子と上半部范の組み合わせ 8. 再度脚部の范を組み合わせる 9. 組み合わせたのち、すきまに泥土を補填する 10. 脚の頂端部から注湯する 11. 鑄込みののち范を破碎して製品を取り出す 12. 調整・研磨する

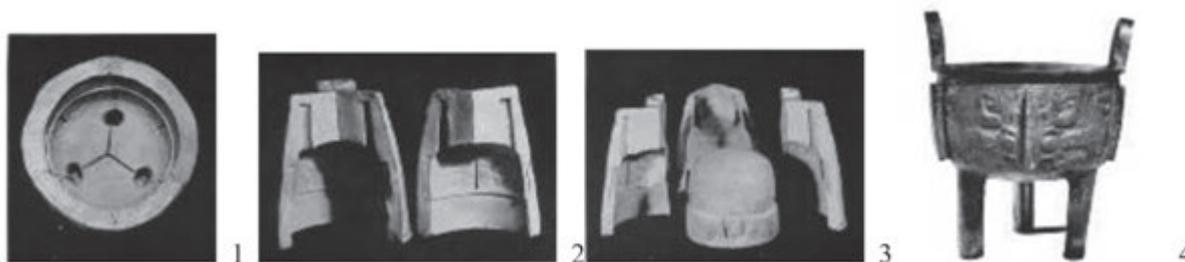


图2 鼎形器的试铸（注7李济、万家保文献：第17-20页）

1. 鼎形器外范合范情况 2. 鼎形器的外范 3. 鼎形器外范和芯范 4. 试铸的鼎形器

图2 鼎の鑄造実験（註7李濟・万家保文献17-20頁）

1. 鼎の外范と范を組み合わせた状況 2. 鼎の外范 3. 鼎の外范と中子 4. 実験鑄造した鼎



图3 圆鼎的试铸（注15 冯富根等文献：图版拾贰）

1. 制作花纹 2. 脱范 3. 装配范型

图3 円鼎の鑄造実験（註15 馮富根他文献：図版拾貳）

1. 紋様の製作 2. 原型からの型外し 3. 組み立てた范型

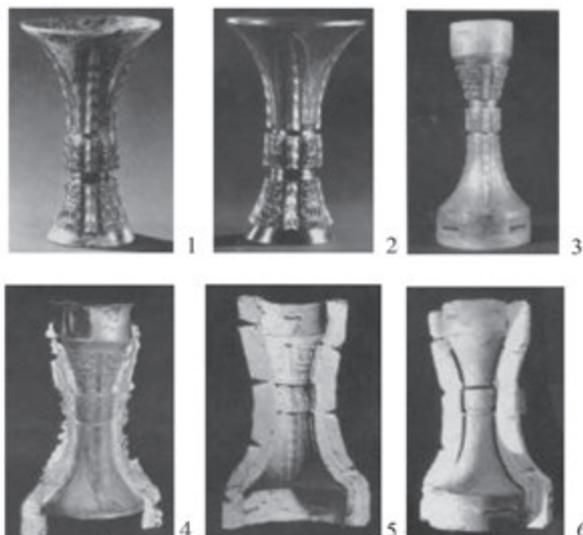


图4 觚的试铸（注15 冯富根等文献：图版拾贰）

1. 殷墟出土的青铜觚 2. 试铸青铜觚 3. 金属模
4. 开范后的铸件 5. 泥质外范 6. 外范及芯范

图4 觚の鑄造実験（註15 馮富根他文献：図版拾貳）

1. 殷墟出土の青銅觚 2. 実験鑄造した青銅觚 3. 金属原型
4. 范を開いた後の製品 5. 泥土の外范 6. 外范と中子



图5 上海博物馆试铸的青铜器（注27 谭德睿论文：图版拾叁）

1. 范料中加植物硅酸体（左）与不加植物硅酸体（右）所铸雷文觶比较，
2. 范料中加植物硅酸体（前排）与不加植物硅酸体（后排）所铸铜爵比较，3. 爵复制品

图5 上海博物館が実験鑄造した青銅器（註27 譚德睿論文図版拾參）

1. 范の材料に植物珪酸体を加えたもの（左）、加えないもの（右）の鑄造した雷紋觶の比較
2. 范の材料に植物珪酸体を加えたもの（前列）、加えないもの（後列）の鑄造した銅爵の比較
3. 爵複製品