

大钟寺古钟博物馆藏乾隆朝钟 铸造工艺初探

王子萱¹, 郭 聪², 程岳峰³, 马燕如⁴

(1. 山东大学文化遗产研究院, 山东青岛 266237; 2. 大钟寺古钟博物馆, 北京 100098;
3. 北京乐石文物修复中心有限公司, 北京 101300; 4. 中国国家博物馆, 北京 100006)

摘要: 乾隆朝钟作为大钟寺古钟博物馆的一级文物, 从未有人对其铸造工艺予以关注。本文通过对其铸造现象的观察, 结合便携式X射线荧光光谱检测分析数据, 对其铸造工艺特点进行梳理与总结。结果表明: 钟钮与钟身为不同合金材质分铸, 而后铸接于一体; 钟体为传统青铜材质, 钟钮及嵌补材料为铅黄铜, 内部支钉为铁质材料。钟内壁支钉与外壁嵌补现象不仅反映出清代失蜡工艺的特点, 也为清宫档案文献的记载提供实物及数据支撑。

关键词: 乾隆朝钟; 铸造工艺; 失蜡法

乾隆朝钟现存于大钟寺古钟博物馆观音殿。由于此钟通体无铭文, 故对于该钟名称及由来, 主要参考大钟寺古钟博物馆的命名及解释: 因钟体上铸有神态各异的飞龙, 钟裙铸有八个乾卦符号, 合在一起, 即“乾隆”之意。另根据钟体形制, 及其云龙纹饰的风格, 铸造工艺特征和精美程度, 断为清宫所铸, 也不无道理。在查考文献时, 发现清宫活计档中亦提到乾隆四十六年(1781年)曾下令铸造三口编钟于太庙^[1], 说明当时存在清宫下令铸钟的可能性。尽管, 该钟命名还有待进一步考证, 但为了描述方便, 本文姑且沿用大钟寺古钟博物馆的命名。

虽然大钟整体造型十分精美, 但是缺少系统的调查, 故而工艺不清, 本文拟将此次勘察中所见的一些铸造信息进行记录和梳理, 并结合便携式X荧光光谱检测数据, 对大钟的铸造工艺做一次初步的探索。

1 乾隆朝钟的形制及纹饰

乾隆朝钟通高254.20 cm, 钟钮高43.50 cm, 口径157.00 cm, 重达3 108 kg。按《中国梵钟》^[2]一文的分型方法, 该钟属于Ⅱ型八曲浅波口梵钟。大钟整体自上而下由钟钮、钟顶、钟肩、钟腰、钟裙、钟唇六个部分组成, 钟身整体自肩向下逐渐外撇, 总体形态与明永乐大钟较为相似。

钟钮遵循传统纹饰, 采用龙有九子中“性好鸣”的蒲牢造型。整体形态为双侧龙首向下俯瞰, 拱起的背部形成桥形纽, 蒲牢遒劲有力的四个前肢趴伏, 龙爪似尖刀插入钟顶之中, 龙发、龙须线条流畅, 根根分明均匀, 虽有残损, 却仍能看出原造型飘逸飞扬向上的神态。

钟身整体形状为下口微微外侈的桶形, 钟腰部以两道素面高浮雕粗弦纹夹两条细弦纹为装饰, 将钟身分为上下两部分。并各以四大块横向排列饰有腾龙祥云的长方形块, 及纵向排列四小块饰有立龙祥云长方形块间插排列予以装饰。

大钟共饰有22条高浮雕五爪金龙, 形态逼真, 栩栩如生。其中8个大长方形主体装饰区域内为腾空而起的戏珠龙纹, 其龙身为大S流线型, 须发的线条也十分细腻、飘逸、流畅。龙爪遒劲有力, 上擒祥云, 下握江山。四周空白处饰以火焰宝珠、

作者简介:

王子萱(1998-), 女, 硕士生, 研究方向为金属文物科技保护。电话: 18701013321

通讯作者:

马燕如, 女, 硕士, 研究馆员。E-mail: 1659598650@qq.com

中图分类号: K876.41

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

10-1460-06

收稿日期:

2023-10-09 收到初稿,
2024-01-04 收到修订稿。

云纹及海水江崖，构成一幅蛟龙遨游云海的画面。钟身牌位一尺见方，纵向长方形构图，由正上方的一条盘龙及两侧各一条回首小立龙盘踞装饰，三条小龙皆为镂空、高浮雕，层叠立体高于牌位，三条龙尺寸虽小，但铸造的极为精巧、灵动。圆目龇牙，须发及龙鳞纤毫必现，大有呼之欲出之态。大钟全貌见图1。



图1 清乾隆朝钟
Fig. 1 Qing Qianlong dynasty clock

2 乾隆朝钟成分检测及铸接结构

在以往的研究文献及大钟寺古钟博物馆的介绍中，乾隆朝钟被称为大铜钟^[3]。为准确了解大钟的基体材质，同时也为其铸造工艺研究提供有效数据，利用便携式X射线荧光光谱为大钟进行了多方位无标样的成分检测。使用仪器的检测条件如下：尼通XRF/XL3能谱仪；X射线光管，靶材为银；管电压30 kV，管电流100 μ A；测试光斑3 mm。

按照自上而下顺序，依次对蒲牢、整个钟体内、外壁的各部位进行便携式X射线荧光光谱检测（表1）。

对于蒲牢分别检测了龙脸、前胸及腿三个部位的六个点位，结果显示：蒲牢基体铜含量81.63%~85.27%，锡含量1.33%~1.78%，铅含量3.28%~6.86%，而锌含量却达7.93%~9.28%，推断应是人为添加的成分，依此可判断蒲牢材质应属于杂黄铜。

整个钟身自上而下选取了钟顶、钟肩、牌位、钟腰、钟裙、钟月、钟唇、钟身内壁等多个检测点，进行无标样检测，测得铜含量69.00%~78.33%，锡含量14.29%~20.46%，铅含量4.21%~10.96%，锌含量仅0.08%~0.25%。通过检测数据可看出，钟身各部位铜、锡、铅、锌含量较相似、均衡，锌含量极少，应属于青铜材质一体混铸而成。

将蒲牢与钟身的检测数据进行比对，不难发现，大钟上部的蒲牢与下部钟身应是以不同配比的铜液分别浇注成形后，再铸接于一起的。这一点从钟顶外部

表1 乾隆朝钟基体便携式荧光分析结果
Table 1 Results of X-ray fluorescence spectrometer of the Qianlong dynasty bell matrices $w_B/\%$

分析部位		XRF				
		Cu	Sn	Pb	Zn	Fe
蒲牢基体	东侧蒲牢脸	83.49	1.77	5.13	8.14	0.30
	东侧蒲牢前胸	84.60	1.65	4.45	8.55	0.38
	东侧蒲牢腿	83.63	1.70	5.11	8.23	0.46
	西侧蒲牢脸	84.80	1.78	4.03	7.93	0.50
	西侧蒲牢前胸基体	81.63	1.60	6.86	8.44	0.80
	西侧蒲牢腿	85.27	1.33	3.28	9.28	0.31
钟顶基体	东侧钟顶	72.30	17.81	8.78	0.25	0.44
	南侧钟顶	69.48	19.84	9.83	0.15	0.29
	西侧钟顶	78.33	14.29	6.46	0.14	0.13
	北侧钟顶	69.00	19.30	10.96	0.11	0.26
钟肩基体	西北侧	71.50	19.13	8.00	0.16	0.49
	西南侧	70.56	19.97	8.13	0.18	0.27
钟身基体	西南侧上部	69.08	20.17	9.69	0.23	0.36
	西南侧下部	71.70	20.22	7.156	0.13	0.39
	西北侧钟肩下云纹	73.17	18.31	7.04	0.13	0.52
牌位基体	南侧牌位正中	76.00	17.26	6.03	0.13	0.26
钟腰基体	西南侧钟腰	73.81	20.43	4.58	0.17	0.33
钟裙基体	西南侧钟唇乾卦	71.34	22.35	5.47	0.17	0.24
钟月基体	西侧钟月	72.39	20.46	6.42	0.10	0.26
钟唇基体	钟唇下方	70.04	20.81	7.62	0.08	0.95
内壁基体	内壁	76.51	18.82	4.21	0.10	0.08

蒲牢龙爪嵌入钟身处的挫磨修整痕迹也可看出端倪。

同时，从钟顶内侧也能观察到两部分衔接处原预设了4个大小、形制一致的圆孔，内里嵌铸有4个规整的铁柱体，检测分析可知其铁含量在96%以上（图2）。而预留圆孔周边隆起的台基处铜含量约69.81%，锡含量约为20.30%，铅含量约9.01%，其合金比例与钟身内壁材质配比相一致（表2）。

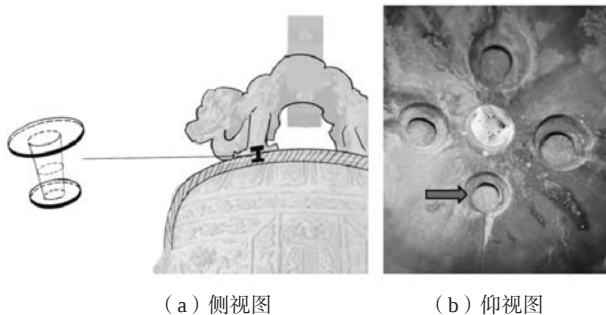


图2 钟顶内部观察到的蒲牢与钟身铸接处的铁柱体

Fig. 2 The iron pillar where the paulownia and the body of the bell are cast, as seen from the inside of the top of the bell

表2 钟顶内部铁柱体基材便携式荧光分析结果
Table 2 Results of X-ray fluorescence spectrometer
of the iron columnar substrates inside bell tops $w_B/\%$

名称	分析部位	XRF			
		Fe	Cu	Sn	Pb
内嵌铁柱处	钟顶内铁柱体1	98.16	1.55	-	0.04
	钟顶内铁柱体2	94.16	5.02	-	0.16
	钟顶内铁柱体3	96.78	2.64	-	0.11
	钟顶内铁柱体4	97.00	2.28	-	0.10
	钟顶内嵌合铁柱的高台1	0.40	64.60	22.8	11.63
	钟顶内嵌合铁柱的高台2	0.36	75.02	17.8	6.39

由此推测：钟顶内侧的铁柱体应是预留铸接口后，为避免铸接时铜液流失，将事先准备好的铁柱体从钟体内侧嵌入圆孔中，作为铁塞子，再于钟顶外侧浇注铜液以完成蒲牢与钟体的铸接过程。其原理应是利用了铁质材料熔点高于青铜材料的特性，失蜡法铸造中往往使用铁钉作为支钉，想必理通此法。

3 钟身内壁支钉排布现象

对于明清时期大型钟鼎的铸造，《天工开物·冶铸》^[4]中记载：“凡造万钧钟与铸鼎法同，掘坑深丈几尺，燥筑其中如房舍，埏泥作模骨，用石灰、三和土筑，不使有丝毫隙拆。干燥之后以牛油、黄蜡附其上数寸。……然后春筛绝细土与炭末为泥，涂埧以渐而加厚至数寸，使其内外透体干坚，外施火力炙化其中油蜡，从口上孔隙熔流净尽，则其中空处即钟鼎托体之区也。”此处所述即传统失蜡工艺铸造钟鼎之法，而此过程中，为了保证将蜡模和内芯、外范固定，往往需要在蜡胎中插入支钉（铁钉）。在《清宫内务府造办处档案总汇》中也看到了相应的记载：“乾隆五十四年（1789）铸造的黄铜大狮子一对时，用料清单中就有使用了铁条267斤1两；铁钉145斤14两^[5]。”华觉明先生认为这些铁条用于加固和捆扎铸型，铁钉用作芯撑^[6]。

在乾隆朝钟内壁能明显观察到了大量使用支钉的现象，初步统计约有80余处，虽然部分支钉仍埋于钟体内部，没有完全暴露，但就目前所见的痕迹，还是可以了解其分布的一些规律。这些支钉直径大约在2 cm左右，外圆内方，较为规整，每个支钉大小、形制基本一致（图3）。用白色纸条对可见支钉进行标注，以凸显其分布规律，发现它们大致可以分为上、中、下三组支钉群，对应大钟外侧的钟肩、钟腰、钟裙三个部分。钟肩内部支钉群排布为倒三角形，最高处距钟唇170 cm；钟腰部分支钉群呈水平横向排布，最高处距钟唇99 cm；钟裙部分就目前所见未发现明显的排列



图3 单个支钉
Fig. 3 Single spike

规律，其最高点距钟唇20 cm处。

钟肩处倒三角形排布的支钉群由三排支钉组成（图4），边长均约35 cm，可视为等边三角形，各排间距为10 cm。此外，与该组支钉分布相对立一侧的钟体位置也发现了类似的支钉群布局，但只显现出半个三角形。按照工艺逻辑推理，在同等高度的相应位置也应该有类似的支钉排布，目前虽无法证实，然而就观察到的支钉排布规律而言，这应该是工匠有意为之。



图4 钟肩部三角形支钉群
Fig. 4 Triangular spike group in bell shoulder

支钉在钟腰部呈三排水平均匀分布之势，环绕钟体一周（图5）。各排间隔在20 cm左右，同排支钉以三个支钉为一组，每组支钉间隔约30 cm（图6），同组中各支钉间隔约为13 cm（图7）。



图5 三排水平排列支钉
Fig. 5 Three rows of horizontally aligned spikes



图6 组与组间距
Fig. 6 Group to group spacing



图7 同组支钉间隔
Fig. 7 Nail spacing in the same group

钟裙向下至钟唇，由于钟壁较厚，几乎看不到有规律排列的支钉群、组现象，只是偶尔可见数目约十余个支钉星罗排布其内。但是，从工艺逻辑的角度推理，这个区域也应该会有不少支钉存在，这一猜想只能寄期望于日后有机会通过某些技术手段来证实这一推测。

统观钟内壁支钉分布状况，可以明悉，当时工匠们排布支钉的工艺逻辑，以及他们娴熟掌握固定内芯和外范，保证型腔流畅的这种技法。而也对几处因腐蚀膨胀、撑破内壁表面的支钉进行了便携式荧光能谱检测，确定其含铁量约为95%（表3）。这也为古文獻记述失蜡法中的铁钉的应用方式提供了相应的物证。

表3 内部支钉基体便携式荧光分析结果
Table 3 Results of X-ray fluorescence spectrometer
of the internal staple matrices $w_B/\%$

名称	分析部位	XRF			
		Cu	Fe	Pb	Sn
内部支钉	内壁支钉基体	4.35	94.87	0.33	0.10

4 钟身外侧嵌补现象

除了上述钟体内壁的支钉痕迹以外，大钟外壁密集的嵌补现象也十分引人关注。

清代传统失蜡法铸造中往往会因繁复、细腻的花纹造型，浇道、冒口的设置，水分的蒸发，有机物的

燃烧等在浇注过程中形成大量的气体；加之其外范几乎无缝隙，排气孔较少，部分的气体无法溢出，使其逐渐的集聚在器表，从而形成大量砂眼、缩孔等铸造缺陷^[7]。而针对这些缺陷，就需要通过嵌补的方式予以修整。清宫活计档中称其为“补钉”或“嵌补丁”。《清宫内务府造办处档案总汇》曾记载：乾隆四十六年（1781）制造口径四尺的铜缸两口，铸后修补用了“嵌补丁”3 472块，用嵌补匠近700工^[8]。可见当时的大型铜件铸造后会有许多缺陷，周身遍布补钉，需要大量的工匠完成后期的补缀、修整工作。

乾隆朝钟外壁的嵌补现象，恰好印证了上述文献的记载。数以万计的补缀铜片可谓星罗棋布、错综复杂。从钟肩至钟唇，无论是素面的钟体，还是凸凹有致，修饰细密的龙身、龙爪、龙头等浮雕处，皆能发现毫无排列规律的长方形或接近正方形的铜片补缀痕迹（图8），有些并列排布，有些互成犄角之势，甚至还有不少是相互叠加，密集而杂乱。显然是随着原有的铸造缩孔或缺陷的分布就势而为的。



图8 铜片补缀痕迹
Fig. 8 Copper patch casting marks

钟顶部至今还保留有大大小小的砂眼、缩孔，并没有进行嵌补，应该是因其高高在上，无人能观，于是省工省料之举。大钟内壁也无任何嵌补现象，非常符合失蜡法铸造气孔往往集中于器表的特征。

4.1 嵌补的工艺方式

数量如此多的嵌补痕迹背后的嵌补工艺由来已久。早在伊朗苏萨艾克罗波雷斯寺庙遗址出土的纳皮尔·阿苏女王铜像上已经可以见到该工艺^[9]。至希腊时期的青铜雕像上就有长方形的嵌补凹槽（图9）^[10]，最晚于公元前6世纪至前5世纪在埃及青铜雕像以及希腊青铜雕像上均得到了非常广泛的应用。这种工艺形式流传了上千年，直至清末还有此类现象，在乾隆朝钟上的铸造缺陷和嵌补手法就与之一致。同时文献记载



图9 希腊博物馆藏青铜雕像（公元前340-前330）表面铜片补缀痕迹

Fig. 9 Bronze statue in the Hellenic Museum (340-330 B.C.) with traces of patination on the surface of the bronze flakes

和出土文物实例都可以印证中西方文化互动的源远流长，嵌补工艺应用于青铜文物修补步骤中技艺娴熟。

乾隆朝钟表面大量的嵌补工艺是如何实施的，这在钟唇底部找到了答案：通过补缀的方式修整大钟表面，先用硬质工具在需要补缀地方的周边凿方形或长方形凹槽，然后再将厚度、尺寸与凹槽一致的铜片嵌于其中，使铜片与器表紧密贴合。

针对上述过程，在整个大钟的下方，还发现了当时匠人只开凿却未嵌进铜片的长方形凹槽（图10），在凹槽旁还有长条形的刻划印记，印记内可以发现砂眼。这一线索证实了长方形凹槽为嵌补沙眼所凿，同时也还原了这一失蜡法嵌补工艺的过程。



图10 钟唇未嵌补凹槽

Fig. 10 Unrepaired grooves in bell lip

4.2 嵌补的材料

为了保证铜片锤击后，能够牢靠镶嵌于凹槽之中，同时易于后期打磨。对于嵌补处材料的选择也需要嵌补工匠斟酌。故而，使用科学检测手段可以印证嵌补材料与基体的差异。从便携式X射线荧光光谱的检测结果来看，这些部位的嵌补材料为杂黄铜，铜含量76.61%~84.87%；锡含量1.61%~3.21%；较基体平均19.27%的锡含量明显减少，铅含量5.53%~10.33%，锌

含量5.35%~8.17%，故可以推测，钟身基体与嵌补处不属于同一批材料。而各部位嵌补材料间的合金比例较为相似，可以判断是同一批嵌补材料。

表4 大钟钟身基体与嵌补处便携式荧光分析结果对比

Table 4 Comparison of X-ray fluorescence spectrometer between the base of the bell body and the restoration casting area

$w_B/\%$

分析部位	XRF				
	Cu	Fe	Pb	Zn	Sn
南侧	76.61	0.60	9.76	7.22	3.21
钟肩花瓣嵌	84.87	0.46	6.07	5.35	1.91
补块	83.25	0.83	6.04	7.01	1.76
西北侧	82.50	0.83	5.53	8.17	1.61
钟身嵌补处	79.76	0.49	10.12	6.08	1.72
牌位嵌补处	82.77	0.55	5.67	7.09	2.73
钟腰嵌补	82.17	0.80	6.57	6.99	2.17
钟裙	80.97	0.56	7.85	7.16	2.02
嵌补材料（平均值）	81.61	0.64	7.20	6.88	2.14
钟身基体（平均值）	72.35	0.35	7.36	0.15	19.28

文献也可以说明，修补工作是失蜡法工艺更为耗时、耗工的一道程序^[11]，乾隆五十四年（1789）铸造一对黄铜烧古狮子，用了拨蜡匠1 048.5工、上泥匠1 124工、铸匠628工、鑿匠5 189工、大锉匠746.5工、鑿花嵌补匠3 760工、锉刮匠3 016.5工、磨匠1 411工^[12]。可以发现，嵌补、锉刮、打磨所用工匠人数远远超过前期铸造所需的工匠数量。

5 结语

综上所述，乾隆朝钟钟身的高浮雕工艺、流线型设计，支钉的使用及排布，杂密的嵌补工艺，其制作工艺精细程度，能够侧面印证《天工开物》等古代失蜡法铸造的文献记载，可以看出，乾隆朝钟极高规格和下令铸造之人的身份地位。同时结合科学检测数据，证明了钟体整体成分的一致性，铁支钉的确定性，嵌补与本体材料成分的差异性。这些现象都较为符合失蜡法铸造的造型特点，从而可以证明其为失蜡法工艺铸造。

乾隆朝钟虽然有不少铸造缺陷，但无论从铸接方法、纹饰制作、支钉使用以及后期嵌补手法等方面都反应了清代以失蜡法进行大型铸件铸造水平。该钟的铸造过程也可以侧面印证清宫则例中对于大型户外铸造铜器的制造方式。通过上述观察和比对及科学检测，对乾隆朝钟的铸造工艺有粗浅的认识，为初步了解乾隆朝钟的铸造工艺提供了翔实的数据。

参考文献:

- [1] 中国第一历史档案馆, 香港中文大学文物馆. 清宫内务府造办处档案总汇 (第45册) [M]. 北京: 人民出版社, 2005.
- [2] 孙机. 中国梵钟 [J]. 考古与文物, 1998 (5): 3-11.
- [3] 大钟寺古钟博物馆. 北京古钟 [M]. 北京: 北京燕山出版社, 2006.
- [4] 宋应星. 天工开物 [M]. 上海: 商务印书馆, 1937.
- [5] 中国第一历史档案馆, 香港中文大学文物馆. 清宫内务府造办处档案总汇 (第51册) [M]. 北京: 人民出版社, 2005: 562.
- [6] 华觉明. 华觉明自选集 (上) [M]. 郑州: 大象出版社, 2017.
- [7] 张俊丰. 铸钢件气孔缺陷的分析及预防研究 [J]. 山西冶金, 2023, 46 (7): 238-239.
- [8] 中国第一历史档案馆, 香港中文大学文物馆. 清宫内务府造办处档案总汇 (第45册) [M]. 北京: 人民出版社, 2005.
- [9] PETER M. The casting process of the statue of queen Napir-Asu in the Louvre [J]. Journal of Roman Archaeology Supplementary Ser. 2000 (39): 11-18.
- [10] 邵安定, 英梅建军, 陈坤龙, 等. 秦始皇陵出土青铜水禽的铸造工艺及其文化联系 [J]. 美术大观, 2023 (1): 58-69.
- [11] 欧阳玉榕, 周文丽. 从造办处档案看乾隆朝清宫室外铜器的制造技术 [J]. 广西民族大学学报 (自然科学版), 2021, 27 (1): 46-54.
- [12] 中国第一历史档案馆, 香港中文大学文物馆. 清宫内务府造办处档案总汇 (第51册) [M]. 北京: 人民出版社, 2005.

Preliminary Exploration of Dazhongsi Ancient Bell Museum Qianlong Dynasty Bell Casting Process

WANG Zi-xuan, GUO Cong, CHENG Yue-feng, MA Yan-ru

(1. Institute of Cultural Heritage, Shandong University, Qingdao 266237, Shandong, China; 2. Dazhongsi Ancient Bell Museum, Beijing 100098, China; 3. Beijing Leishi Cultural Relics Restoration Center Co., Ltd., Beijing 101300, China; 4. National Museum of China, Beijing 100006, China)

Abstract:

The Qianlong clock, as a first-class cultural relic of the Ancient Bell Museum of Dazhong Temple, has never had its casting process paid attention to. Through the observation of the casting phenomenon and the analysis data of portable X-ray fluorescence spectrometry, the characteristics of the casting process were sorted out and summarized. The data showed that: the knobs and the bell were cast separately in different alloy materials and then cast together. The body of the clock was made of traditional bronze, the knobs and inserts were made of lead brass, and the internal studs were made of iron. The phenomenon of inner wall pinning and outer wall fixing not only reflects the characteristics of the lost-wax process in the Qing Dynasty but also provides physical and data support for the records of the Qing Palace archives.

Key words:

Qianlong dynasty bell; casting process; lost-wax casting