

# 传统熔模铸造工艺的调 查和复原试制

华觉明 王安才

熔模铸造是我国三大传统铸造技术之一<sup>1)</sup>,在金属史上有着重要的历史地位。近数十年来,传统的熔模铸造工艺引用于现代生产的发展很快,成为重要的新兴工业部门。从手工业方式的、主要用于制作艺术铸件的传统工艺中,产生了并演变为现代精密铸造技术,这是科学技术合乎规律的辩证发展,也是推陈出新,古为今用的一个范例。

传统熔模铸造习称“失蜡”、“出蜡”、“走蜡”、“拨蜡”、“剥蜡”、“捏蜡”等。“失”、“出”、“走”,都说的是造型后把蜡模化去,形成铸型空腔以备浇注,与熔模的“熔”相当,指出了这种铸造工艺的本质所在。“拨”、“剥”、“捏”则说的是制作蜡模的方法。

一般来说,从构成蜡模的顺序来分,失蜡法有两种类型:

一种是“由外而内”,即先从实物翻制分块的粘土模型,在模型内贴蜡,制作型芯,然后,卸去粘土模型,修成蜡模。这种方法可称作贴蜡法,在我国较少使用。另一种是“由内而外”,即先制作型芯,再作蜡模。这种方法,为了得到蜡模外形,又因器物的不同而采取各别的措施。其一是在木板上绘制图案,刻镂纹样,用蜡片复印后,分别贴附到型芯上,再在接缝处修整,成为蜡模。制造钟、鼎等类铸件时,由于其几何形状规则,花纹较易展开为平面图形,按照图案加工花纹又比纯用手工在蜡上拨塑来得方便而正确,特别在仿制其花纹由若干相同的段落组成的古代彝器时,更能提高生产效率和保证花纹的划一。其二是把蜡片直接粘复在型芯上,先“捏”出器物的大体形相,然后仔细“拨”出各部形状及花纹,普遍用于佛像,动物等复杂铸件。前者可称为“剥蜡法”,后者称为“拨蜡法”。

在上述贴蜡、剥蜡、拨蜡这三种方法中,“拨蜡法”无疑起源最早又最典型地反映了熔模铸造的特点。它在我国传统熔模铸造工艺中,占着主要的地位。

为继承和发扬我国这一传统工艺技术,研究其历史发展,作者对北京地区的拨蜡法进行了调查,并在老艺人门殿普的指导与协助下复原试制了铜佛、龟纽印章和三连环等器件,以期得到工艺实践的感性认识与第一手资料。

各种器件铸型工艺所采用的具体技术措施在很大程度上取决于铸件重量级别。下文即以铜狮和我们复原时所做铜佛、龟纽铜印和三连环为例,按工艺流程来说明中、小型铸件的熔模铸造技术。

铜狮、铜佛、龟纽铜印和三连环的尺寸。铜狮高 1200 毫米,壁厚约 6—8 毫米,重约 140

1) 三大传统铸造技术是指陶范铸造、金属型铸造和熔模铸造,详见华觉明:《我国古代铸造技术的发展》,《全国铸造学会第一届年会论文集》,机械工业出版社,1963年。

公斤。底座另用“掰砂法”铸出,约当狮高的三分之一。铜佛最大轮廓尺寸为:75×50×200毫米,壁厚3—4毫米,重1.72公斤(图版六中图1)\*。铜印轮廓尺寸为21×16×14毫米,环的内外径分别为30毫米和24毫米(图1,2)。下面谈谈它们的具体工艺流程。



图1 龟纽铜印

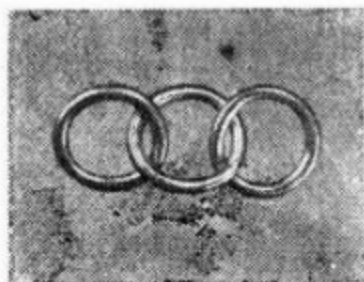


图2 三环

## 一、制 芯

制造芯骨,习称“立胎丝”。小型铸件的型芯,由于体积较小,在湿态和经烘烤后,泥芯本身的强度已足能保证不发生变形或断裂,故一般不需要芯骨,但有时在断面较小且有急剧变化或细长比较大的部位,例如图3中佛像泥芯的颈部、肩部,仍须用细铁丝局部加固。

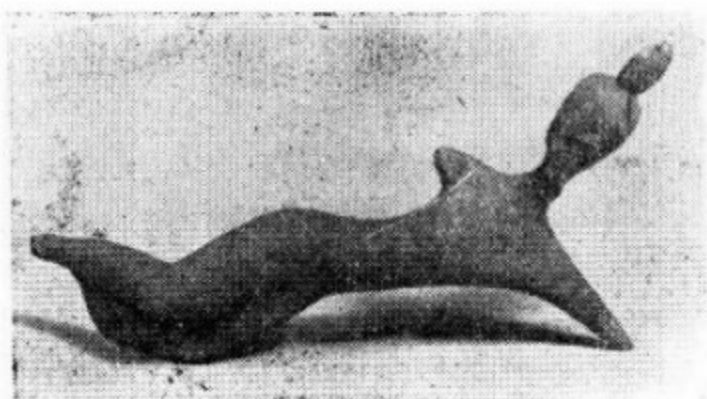


图3 佛像泥芯

铜狮的芯骨主体如图4所示,由三根黄豆条铁丝扎成,端部砸扁,磨锐固定在木板上,然后在上缠绕直径较小的黄米条铁丝,以利于挂附泥料<sup>1)</sup>。

铜像泥芯用纸浆泥一次捏成,修光。铜狮泥芯则用三层泥料组成(图4)。每层泥料的作用不同,组成也不尽相同。头茬泥须有较大的粘性和较高的强度,使能紧附在芯骨上,形成坚固的支撑骨架。二茬泥基本上塑出泥芯形象,三茬泥用于修整和找补细部。

型芯泥料除纸浆泥外,还可使用马粪泥,泥料由粘土、马粪加水拌匀制成。马粪需经晒干、搓碎和过筛,筛由马尾编成,约当现今的40—50目筛网。由于所用粘土常常是就地取材,含砂量、胶质度变动幅度较大。所以,材料配比并无固定规范,多凭经验判断。二、三茬泥可用

• 铜佛原为传世品,其艺术形象具有唐代的风格,而其制作工艺则为明清拔蜡法的传统技法。佛像作涅槃形相,民间称之为自在观音。1977年底,我们又按照复原试制的铜像,仿制了一件精品,作为政府礼品,由邓小平同志于1978年初访问美国时赠给当时的美国总统国家安全事务助理布热津斯基博士。

1) 黄豆条铁丝、黄米条铁丝是指不同直径的铁丝,参见《元代画塑记》和有关清代匠作则例的记载。

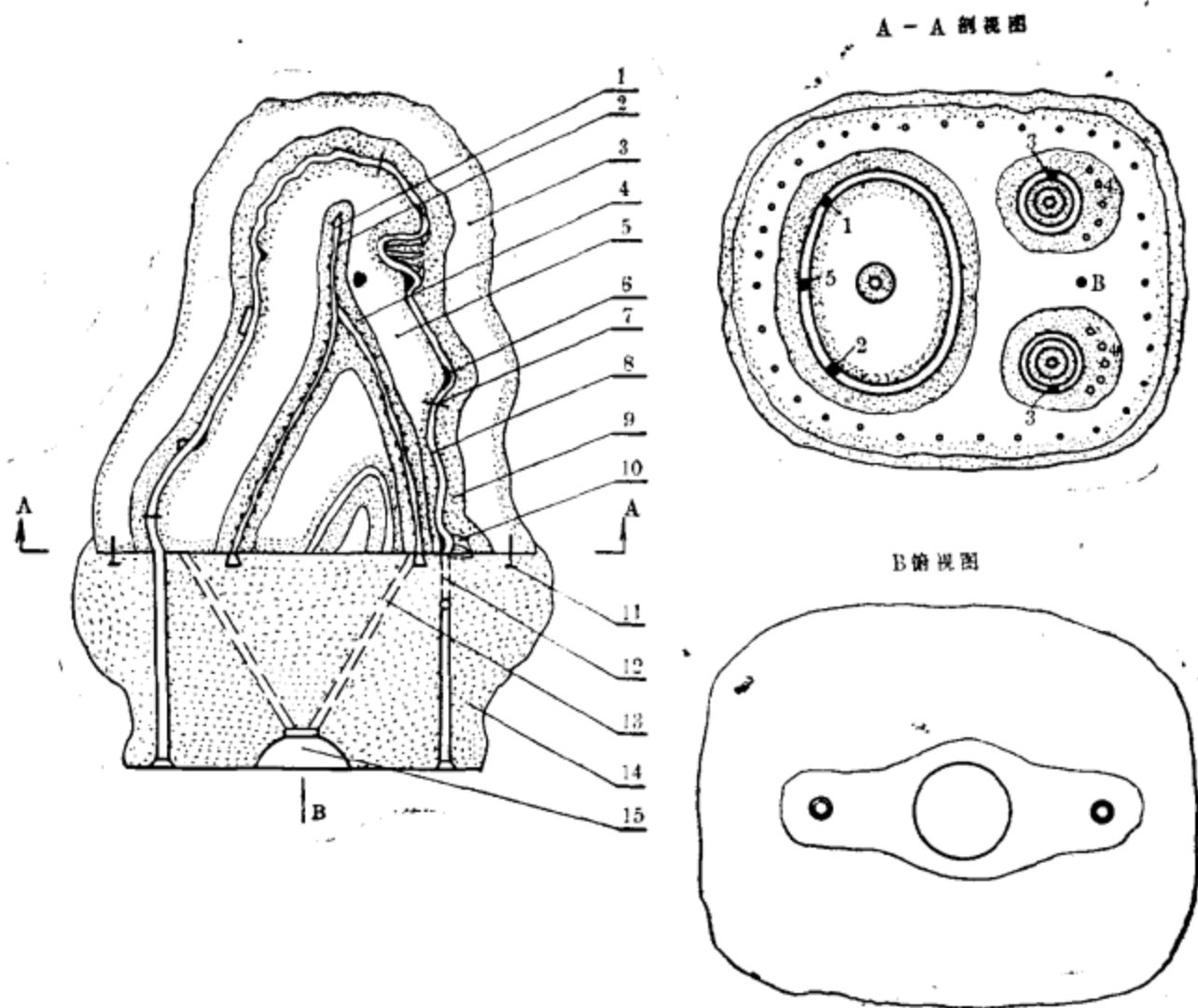


图4 铜狮铸造工艺

- 1.芯骨 2.铁丝 3.外层泥料 4.泥芯头茬泥 5. 1.2.3.4:浇道位置 5.6:冒口位置  
泥芯二茬泥 6.泥芯三茬泥 7.支钉 8.蜡模 9.  
内层泥料 10.熔模附件 11.铁钉 12.冒口 13.  
浇道 14.上半型泥料 15.浇口

同一种泥料。配制时，一般先用温水泡开粘土，调匀成浆，然后渐次加入马粪，混合料的粘度随之改变，直至呈松散状态、不粘手即可供使用。头茬泥马粪要少一些，使略觉粘手，但以干后不发生裂纹为度。头茬泥干透后才能上二、三茬泥，防止泥芯在自重下与芯骨脱离并塌落。

型芯内加入马粪等有机物质，能改善泥料性能，降低其粘性和收缩率，避免在干燥和烘烤过程中开裂，烘烤后，形成众多孔穴，使泥芯具有良好的透气性。铜狮泥芯因为和铸型的上半部相接(图4)，气体能通过铸型逸出，不一定要特地做出通气孔道。对于全被金属液所包围的泥芯，如图5所示，可用蜡或其它可燃物质做成“肠”通至型外。用马粪作掺入料做成的泥

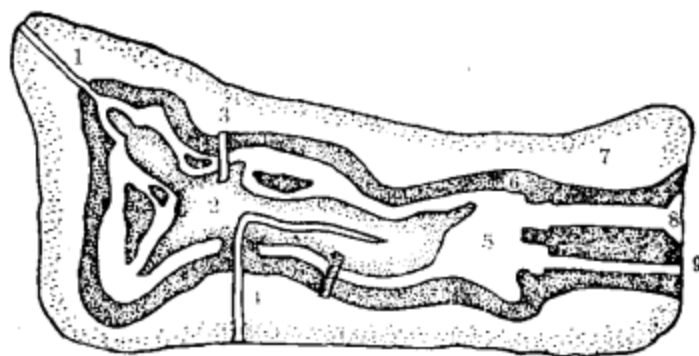


图5 铜佛铸型工艺

- 1.通气孔 2.泥芯 3.芯撑 4.蜡肠 5.蜡模  
6.纸浆泥 7.麻刀泥 8.浇口 9.冒口

芯有很好强度<sup>1)</sup>,有时,特别在铸件较薄时,为了防止浇注后金属凝固受阻,所受拉伸应力过大而将铸件拉裂,还要加入按体积计算大约占百分之二十左右的炭末,以增加型芯的退让性。

虽然加入了大量有机物质,这种以粘土为主要成份的型芯,一般的仍在室温或稍高于室温的温度范围内自然干燥,待干后用木锉修光表面,稍涮一些水,即可往上贴蜡。

## 二、蜡模制作

配制蜡料的原材料是蜡、松香和油脂。无论动物蜡(蜂蜡)或矿物蜡(石蜡),都是烷烃类的有机化合物,熔点为  $65^{\circ}\text{C}$ — $80^{\circ}\text{C}$ 。如果含杂质过多,需经净炼才能使用。松香是热硬性树脂,熔点  $80^{\circ}\text{C}$ — $100^{\circ}\text{C}$ ,由于加热冷却后发脆、变硬,能提高蜡料机械强度,防止变形和蠕变。但是,它的加入,降低了蜡料塑性,因此须加入豆油、麻油等植物油作为润滑剂。配制时,将蜡和松香加热至液态,倒入植物油搅匀,冷凝成脂块,然后反复加以拉拔。我们知道,由固体分散相和液体分散介质组成的多相系统的可塑体,其可塑性在成份一定时,决定于固体、液体的分散度及分布的均匀性。通过机械的拉拔作用,固态的蜡和松香与液态的油脂充分混合,色泽逐渐由深黄变成淡黄,成为塑性极好的蜡料。蜡料配比由蜡模尺度、形制、气温决定,一般认为,蜡与松香的比例在  $5:5$ — $7:3$  的范围内变动,油适量。我们复原试制所用蜡料为:石蜡 63%,松香 31.5%,豆油 5.5%,约当其下限。

制作蜡模时,将蜡料制成与铸件壁厚相当的蜡片,贴附在泥芯上。由于其软化温度很低,在体温下稍加压力即能变形。所以,蜡模各部和蜡片接缝处都可以手捏成形并修整,这就是“捏蜡”一词的由来。各个细部如铜佛的五官、衣纹等,用习称“压子”的紫檀木或红木做成的拨塑工具拨出(图6)。这些“压子”形状各不相同,或用于形成粗细线条,或用来拨出细部,根据拨塑者的需要而灵活使用。这一工序是铸件形象是否生动、美好的关键所在,全凭操作者的技艺而定。图7是门殿普老艺人拨塑蜡模时的情景。铜作、佛作艺人通常兼事拨

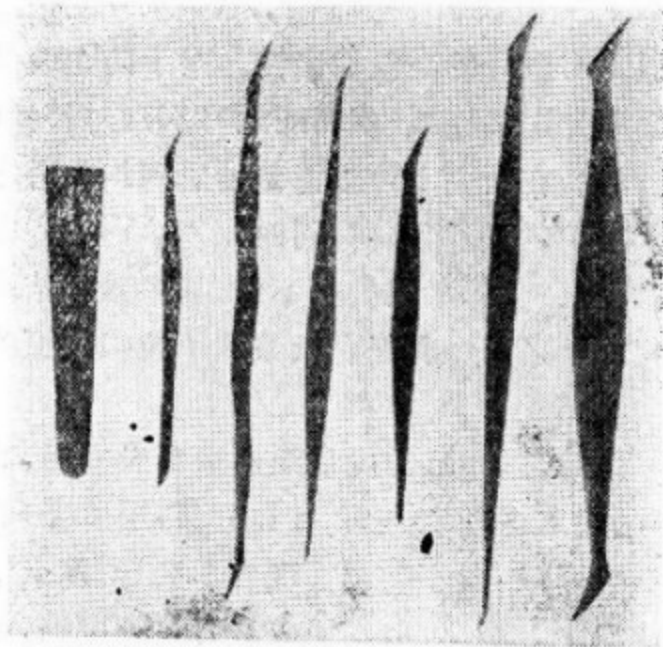


图6 拨塑蜡模所用工具



图7 门殿普在拨塑蜡模

1) 阿克肖诺夫:《铸工学》,据该书推荐,马粪在干型中的重量比为3%。



蜡和铸造的全过程，他们实际是雕塑家兼铸师，是经过多年实践练就的技艺。所用口诀如“行七，坐五，盘三半”等是和塑作一致的<sup>1)</sup>。附饰则先用手捏出大体形状，粘上后再予加工。小型铸件的浇冒口系统，有的用蜡做出浇口、冒口形状，和蜡模焊成一起，化蜡后成为浇口和冒口。有时，为防止铸型落入泥沙杂物，还在与浇冒口相对的部位（如佛像的头部）安放蜡条，化蜡后形成孔道亦即吹气孔，浇注前进行检查时可将杂物吹出，然后堵上（图版 16 中图 2,3）。

芯撑习称“支钉”，它的数量根据实际需要而定，以能支住型芯，不致发生位移为度。过多过密，不但要增加浇注后的加工量，由于它起着类似“冷铁”的作用，对铸件质量会有一定影响。芯撑位置多选择素面的突出部分。小型铸件的芯撑，用铜丝一端捶扁磨锐做成，长约为壁厚的二、三倍。大、中型铸件，可用两端锐利的铁芯撑，浇注后逐打入芯内，再镶补铜块。

此外，有些铜件型芯较小且与铸型相连，实际上成为铸型的一部分，这种型芯是不必使用芯撑的。

### 三、制型、出蜡和焙烧

中、大型的铸型，和型芯一样，都由不同材料分层制作，小型铸型则使用单一材料。构成铸型内层的泥料至关紧要，除须与型芯同样具有良好的透气性和避免产生裂纹外，还要有良好的涂挂性能。常用的有马粪泥和纸浆泥（习称“纸毛子泥”）两种。马粪泥的配制略如前述，在选料、备料时，比芯料要更细致讲究些。纸浆泥是用粘土、炉灰末、纸浆加水调成。我们在复原铜佛时用的是纸浆泥，其比例经测定为：粘土 34%，炉灰末 10%，纸浆 35% 强，水 21% 弱。由于纸浆中纸与水的重量比约为 1:39，所以，纸在泥料中只占 1% 弱，水的实际含量则达 55%。粘土用北京本地产的黄胶泥块，呈淡赭色，断口土状，分布有一些小的孔穴，粒度很细，含砂量少，粘性很大，经化验，含  $\text{SiO}_2$  52.74%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  16.05%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  6.29%，灼烧损失 11.08%，耐火度约  $1200^\circ\text{C}$ — $1300^\circ\text{C}$ ，属于易熔性普通粘土。炉灰末是经高温灼烧的煤灰和粘土的混合物，主要成份也是  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，从胶凝化学性能看，属于水硬化混合材料<sup>2)</sup>。炉灰末经过高温作用，热膨胀率大大降低，有很好的高温稳定性。对于防止铸型变形、开裂有重要的作用，强度、透气性也很好。纸浆是用加连纸（或高丽纸）经破碎后浸泡和反复捣打，使纤维质高度分离，成为浆状，掺入泥料内，在断面上可以清楚地看到均匀密布的纤维。它的作用，一是维系和联结混合料，抵制其收缩、拉裂的倾向，同时烘烤后形成稠密的孔道，使型的内层有很好的透气性。纸浆的制备，要求严格，如果捣打不透，浆中残存结块或混料时不均匀，易产生缺陷。因此，在泥料用量大时常采用马粪泥。纸浆泥干拉强度经测定为 2 公斤/厘米<sup>2</sup>，剪切强度为 10 公斤/厘米<sup>2</sup>。

为了与《天工开物》所载造型材料作比较。复原时，三连环的内层泥料采用炭末泥，其组成为：粘土 26%，砂 48%，木炭粉 7%，水 19%。砂、炭末均经 40—50 目筛分。料层厚 4—5 毫米，也得到较好的效果。炭末泥的干拉强度为 2.7 公斤/厘米<sup>2</sup>，剪切强度为 5 公斤/厘米<sup>2</sup>。

内层泥料都呈稠粥状，既利于涂挂，又不易流失。上泥时，用压子或刮刀在外按捺，在蜡

1) “行七，坐五，盘三半”是指塑像时的人体比例，以头部为基数，如为立像，通高与头高约为 7 与 1 之比，坐像和盘腿像分别为 5 与 1 之比和 3.5 与 1 之比。

2) 陈嘉福：《用煤灰制造半永久型》，《铸工》，1960 年第 4 期。

模细部以及例如铜印龟腹空隙处,尤要注意塞实,不使有气泡、孔洞存在。铜佛铸型的面料厚约 5 毫米,铜狮面料约厚 15—20 毫米,可分层涂挂,边上泥,边遍贴碎砖片,以防止泥料塌落并促其干燥。若用废范块敷贴,由于孔隙度大,吸水率高,效果更好。

外层泥料也就是铸型的背料,习称“糙泥”,由粘土和马粪或麻刀组成。所含粘土比例较内层泥料略高,俾铸型在烘烤后仍有较大强度,“不发酥”。面料稍干后,就可以敷背料,由于背料很厚,强度又大,能更好防止铸型表层生成裂纹。铜佛铸型外形见图 8。

铜狮制型工艺要复杂一些。在下半型做好后,俟泥稍干,取去木板,翻转半型,按图 4 所示位置安放浇口棒,做出冒口(气孔),其直径约为 50—70 毫米。铸型分型面上插一圈铁钉,连接上、下两个半型不致脱开。上半型全用“糙泥”,下端略裹住下型。待做出浇口杯(高约 160 毫米,直径约 250 毫米),拔出木棒,稍事修补,铸型即告完成。

铸型阴干后加热化蜡,铜狮出蜡如图 9 所示,先在地上挖坑,槽中注水,以备存蜡。将铸



图 8 铜佛铸型

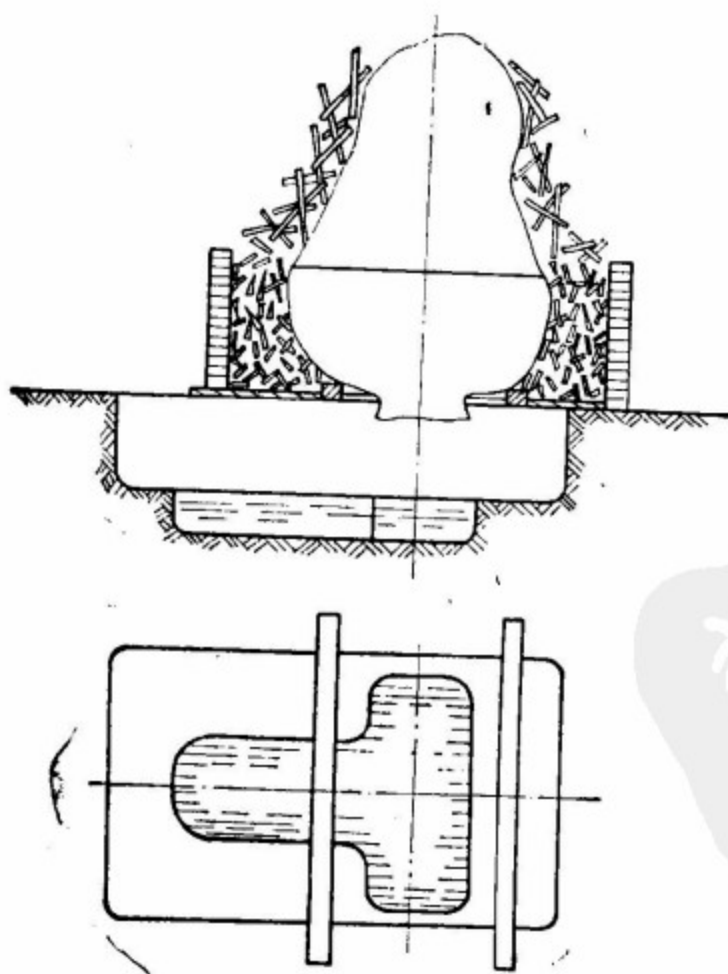


图 9 铜狮铸型的出蜡

型倒置铁条上,四周砌墙高约 700 毫米,先填入碎木柴,烧热浇口杯,再架上长木柴,使型由下而上依次受热,蜡遂顺次熔融流出,滴落坑内。无论铸型大小,都要注意这个加热顺序,否则蜡流不畅,势必更多渗入型中,影响铸型质量,甚至在内沸腾,使型表遭到破坏。蜡料一般可回收 50%—60%。

铸型是在窑内焙烧的。如图 10 所示,用砖将铸型垫起约 400 毫米,周围先砌墙高约 700 毫米。点火后,加入木炭或煤使燃,然后边加煤炭至图示高度,约当铸型的三分之一处,边砌砖,窑顶留出圆孔,直径约 600—700 毫米。上复铁板,窑的底部做出三个高约 100 毫米,长约 80 毫米的火眼,供通风和窥视用。

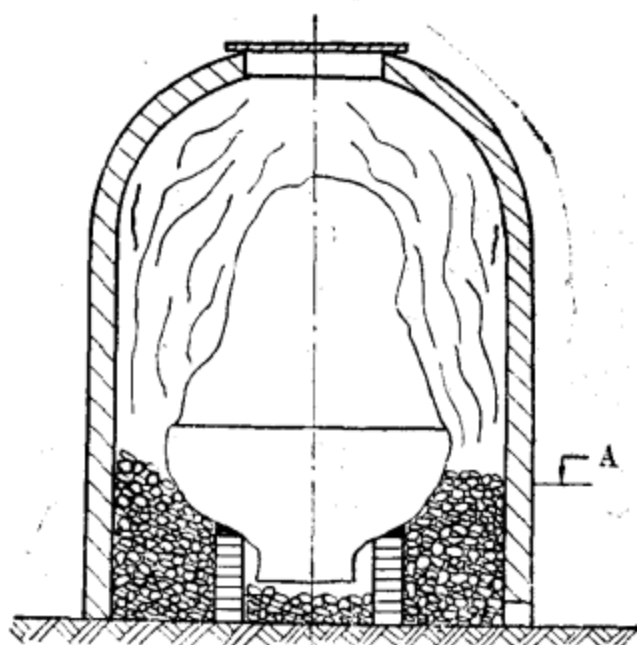


图 10 铜狮铸型的焙烧

铸型焙烧质量取决于温度的控制。早先多采用荆条根部烧成的疙瘩炭作燃料,取其火力温和、持久,也有用煤块的。烘烤时,俟窑底燃料已燃,火苗上腾,即将火眼堵住部分,使缓慢升温。待铸型通体烧红,把火眼完全封住,约一小时左右,再扎出少许通风孔,使保持一定的燃烧速度,直至出窑。所有这些措施都是为的既保证具有必要的焙烧温度,达到焙烧铸型的工艺要求,又控制窑温,不使烧坏铸型。整个烘烤过程约需 8—12 小时,顶温估计在  $800^{\circ}\text{C}$  左右。经过焙烧,铸型的强度、耐火性、高温稳定性和透气性均大为提高,又由于铸型是在还原性气氛中加热的,有机物质被炭化,保存了相当数量的微细炭粒,浇注时形成还原性气体保护层,使铸件表面质量良好。

铜佛铸型焙烧后,断面呈砖红色,外层疏松,孔洞及部分麻纤维的痕迹清晰见到,内层较致密。

#### 四、熔化、浇注与铸后加工

和现代熔模铸造一样,为使金属液能很好地充填铸型,传统熔模铸造也是趁热浇注的。铸型出窑温度约  $300^{\circ}\text{C}$ — $400^{\circ}\text{C}$ ,随即埋置浇注坑内,逐层填土捣实,复以铁板(浇注时取走)。此时型内仍是通红的,浇注时铸型内部温度估计仍在  $200^{\circ}\text{C}$  以上。

为了保证铸型在一定预热温度下浇注(如时间间隔过长,铸型在坑内将急剧降温,并且还会吸收水分,以致严重影响铸件质量),熔化、浇注必须和铸型焙烧、出窑紧密配合。这时,

现场成员是最多的,例如铜狮浇注时,工地有工人近三十名。因此,各项工序必须有良好的组织和配合。

传统铸造业制作艺术铸件,多选用含锌铜基合金(黄铜)。由于锌能降低熔点,增加金属液的流动性,提高其抗拉强度。在熔化时,锌的蒸气压力高,有利于除气,铸造性能和加工性能都较好。青铜只在个别场合,如铸钟和仿制古铜器时采用。

铜锌合金又分熟铜和生铜。生铜含杂质(习称“脆”)多,性脆,加工时易崩裂成坑。但由于价廉,铸造性能也好,所以,用得较多。

但鍍金铸件要求尽可能低的含锡量,因为锡与汞相结合使汞不能挥发,影响鍍金件色泽,所以须用质量好的含锡少的金属料相配。

铸造铜狮所用熔化设施如图 11 所示,地坑深约 500 毫米,上置炉条若干根,四周砌墙。砂罐(即通常所用粘土质熔铜坩埚)排成两行,埋置木炭内。坑的两端各用长方形木制风箱一具鼓风。铜料分两批加入,全部化开后用碱土造渣,稍加搅拌以去除杂质,均匀成分,并借以覆盖表面,防止金属在高温下剧烈氧化。然后,继续升温至铜液亮若镜面(约 1050—1150°C),即可扒去渣滓供浇注用。整个熔化过程约需两小时左右。

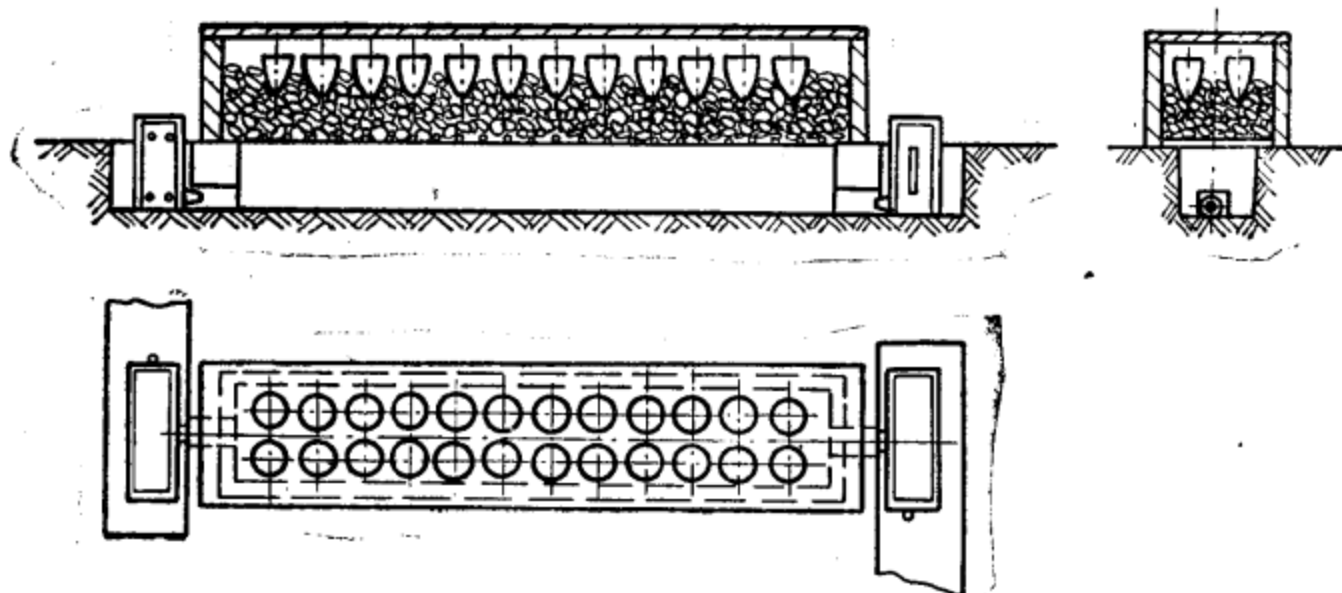


图 11 铸造铜狮的熔化设施

大、中型铸件所用浇包习称“抬盆”,外壳铁制,直径约 700 毫米,深约 500 毫米,两侧穿梁,内搪火泥。使用前要烘干、烤透,以去除水份、挥发物,并进行预热。小型铸件用浇勺浇注。浇注时,须注意挡渣,不断流。浇注速度要适当慢一些,以利于铸件方向性凝固。

小型铸件浇注后稍待片刻即可出模,中型铸件要冷却 6—8 小时。由于造型材料中含有大量有机物质又经高温焙烧,稍加捶击,型和芯就碎裂、脱落。铸件表面一般比较光洁,很少有粘砂现象。经金属液的高温烘烤,铸型表层厚约一毫米灼烧成灰色,和出土铸范类似。

铸件经清理、去除浇口、冒口、通气孔和芯撑后,还要用锉、鑿进行表面加工。这是一件十分细致费时的工作。因为传统拔蜡法所得坯件虽比较光洁,但和成品仍有相当距离,并非象有些人所设想的一铸即得。毛坯只铸出基本的形相和花纹,铸件的艺术形象在相当程度上要靠表面加工的精鑿细剔来得到。以铜佛为例,除通体须剔除毛刺、飞边并予修整外,飘带、发纹、附饰和脸部都要经过精细的再加工。铸件经鑿、锉切削后,表面有许多划痕,还需用磨炭磨光,然后着色或鍍金。整个过程至此遂告完成。



我国手工业技术历来具有因地制宜、因器制宜的传统,各个地区在铸造各类器物时在技术和用料方面有许多特点和变化,例如,南方多用稻草代替麻刀作掺入料,苏州地区将稻草和泥拌匀,烧透后碾碎,作为铸型内层涂料中的熟料,等等。

本文所述北京地区的拔蜡铸造工艺,代表明清时期拔蜡法的具体作法。它和春秋战国以来的传统失蜡法是一脉相承的,有着许多共同点。因此,我们通过调查特别是复原试制实践,取得了对传统失蜡工艺的感性认识,在这基础上来鉴别早期失蜡器件和研究其工艺演变,就有很大的得益。例如 1978 年出土的浙川楚墓铜禁的蜡模焊接遗迹和拔蜡法焊接蜡模焊痕相似,隋代董钦造佛像衣纹、飘带与复原试铸的佛像附饰在做法和风格基本一致。同时,明清拔蜡法工艺在清内务府匠作则例及大内档案中都有类似记载,所用原材料又与明《宣德鼎彝谱》以及《元代画塑记》的记述相同,相互得到印证,由此还可大体推知更早时期失蜡法的工艺与用料。作为较为完善的发展型式的明清拔蜡法,是从先秦、汉唐的早期拔蜡法发展而来的,必然保存着早期作法的一些基本特征,而从早期做法或器件中又可看到后期发展的某些先兆或萌芽。这说明传统工艺的调查与复制实践,对技术史研究来说,是一种重要而有效的研究方法,所得资料之翔实与可靠程度是文献考证所不能取代的,今后仍值得加以提倡。

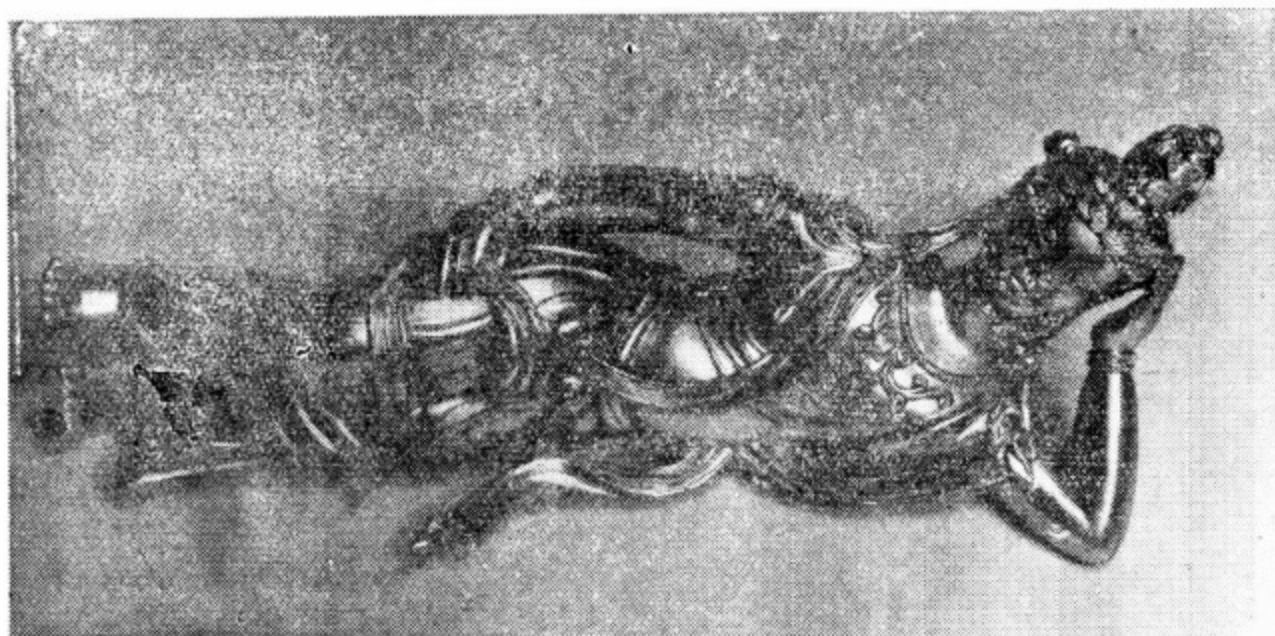


图1 铜佛

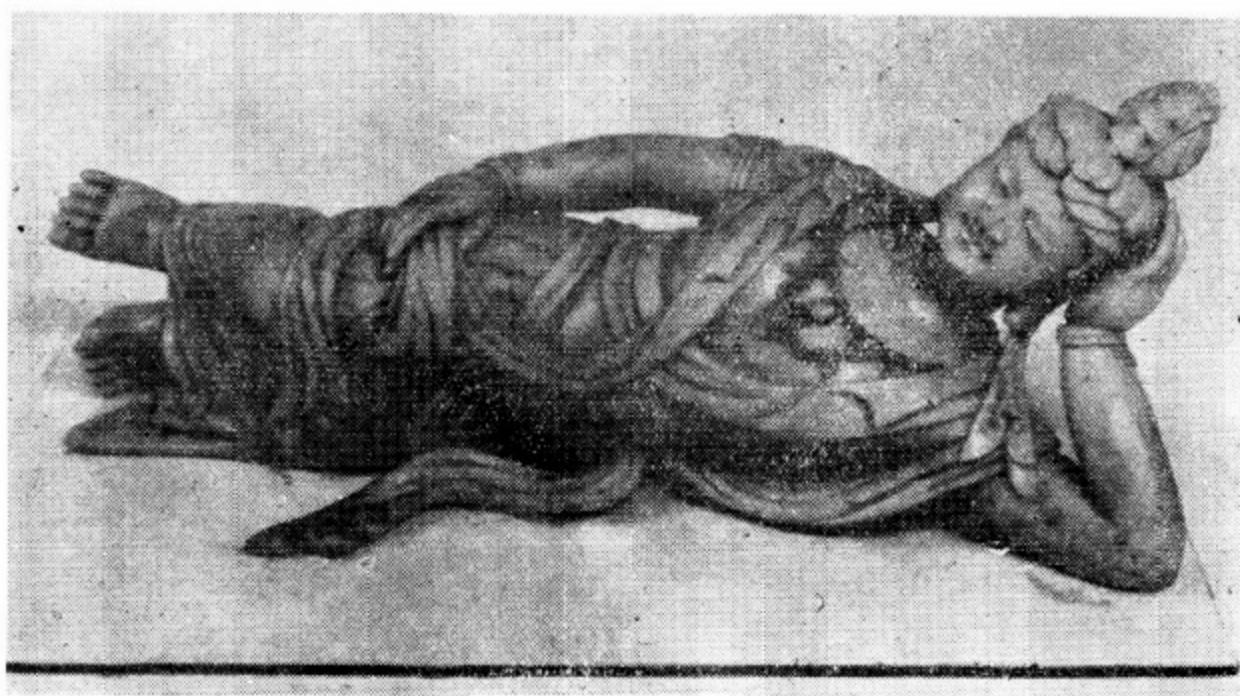


图2 佛象蜡模

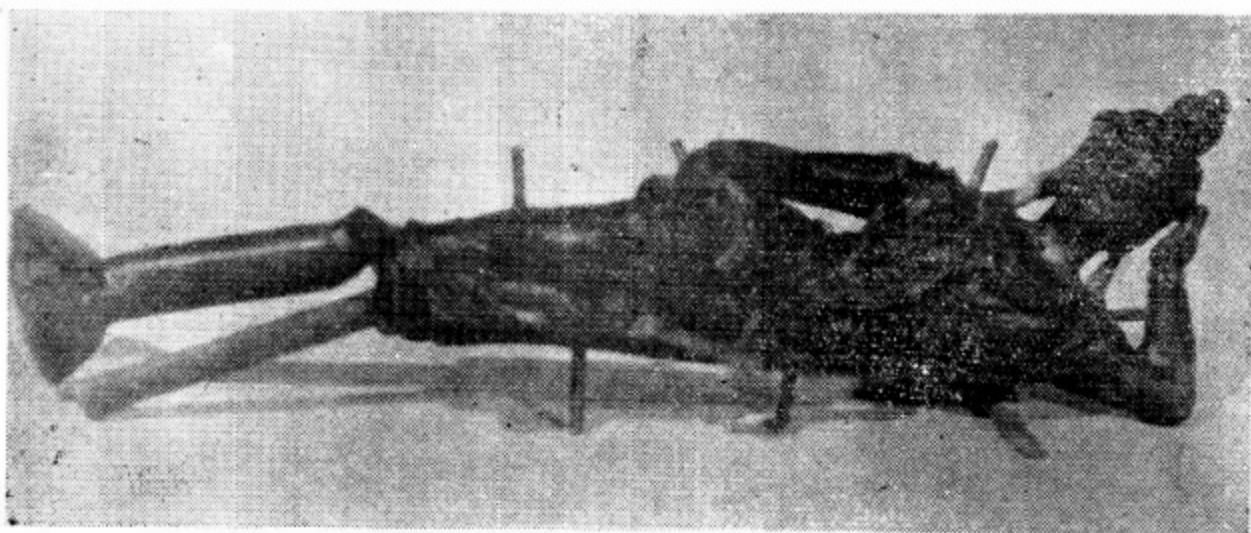


图3 加蜡制浇冒口的铜佛蜡模