

# 法门寺明代古塔塔刹修复与科学保护

曹光新

(法门寺博物馆,陕西 宝鸡 722201)

[摘要]本文针对法门寺明代铜塔刹的保存现状,在对制作技术以及病变原因研究的基础上,结合文物表现出来的物质性与非物质性关系,就如何对文物表达出来的非物质属性采取最有效的方法加以保护进行了探讨。同时,对现代修复和传统修复进行了比较研究,旨在为青铜器的保护、修复提供科学的理论依据。

[关键词]法门寺;明代古塔塔刹;保护修复

[中图分类号]K878.6 [文献标识码]A [文章编号]1005-3115(2010)18-0029-03

法门寺塔建于北魏时期,从早期的四级木塔到明代的砖塔,经历了两个建筑结构阶段。明代古塔至今历经百年风雨,是关中古道的标志性建筑。这座千年寺院和砖结构古塔在沧桑岁月中经风雨剥蚀、地震毁坏和战争动乱后,烟尘零乱,严重失修,不堪重负,至1986年坍塌一半。为保护重建法门寺古塔,从20世纪80年代中期起,经国家文物局批准,省、市、有关部门和工程技术人员经过一年的精心勘测及设计,1988年11月正式开工修复古塔,1989年11月全部竣工。在勘测中发现大量珍贵文物,这些文物对于研究考证寺塔的修建年代、结构及其建筑技术具有重要的历史价值和艺术价值。塔刹是古塔的重要组成部分,它的存在反映了当时经济、文化、铸造业和制作技术的成就。由于明代铸造的塔刹崩裂严重,已经不能使用,于是铸造了新的塔刹予以替换。2000年,工作人员对古塔塔刹进行了抢救性修复。

## 一、塔刹的制作特征与保护现状

### (一)塔刹的制作特征

塔刹为铜质材制,形状简朴凝重,位于塔的最高处,是塔顶攒尖收尾的重要部分。塔刹本身就是一座完整的古塔,这种塔上塔的造型,使塔显得更加高插云天、雄伟挺拔。塔刹位于塔身顶部,一般为须弥座形、仰莲瓣形、忍冬花叶形或素平台座。“刹”来源于梵文,意为“土田”和“国”,佛教的引申义为“佛国”。各种式样的塔都有塔刹,所谓“无塔不刹”。塔刹作为塔显著的标志,用金属或砖石制成,一般塔刹本身也如一座小覆钵塔,分为刹座、刹身、刹顶三部分。中国的塔刹和印度的塔刹不同,是佛界的象征。塔刹上装饰有各种宝物,如

莲华(仰莲、覆莲)、受花、覆钵、相轮、露盘、华盖、火焰、华瓶(宝瓶)、宝珠、日月等,在整个古塔建筑中起着画龙点睛的作用。经计算,此塔刹总重量约2吨,总高2.15米,铜塔刹由三部分组成,上半部呈宝瓶式葫芦状,下半部底座呈八棱面带8个立足形状,由覆盆、露盆和8个立足等三部分组成。覆盆和立足为整体铸造,露盆和覆盆壁厚1.5厘米,外表面分别有几个大莲花瓣和两个小莲花瓣以阳纹突出表现;立足为椭柱兽爪形。露盆覆盆莲花图案分别为10个大莲花瓣和10个小莲花瓣组成一朵莲花;莲花阳纹图案不仅使整个塔刹更具观赏性,更是塔刹铸件的筋骨,使塔刹更加坚固。整个塔刹的设计和铸造,展现了先祖高超的智慧和冶铸技术。

### (二)塔刹的修复研究及病变形态

这件铜塔刹残损较为严重,当时从48米左右高的塔顶坠落地面,摔成了大小几块。为使这件残损的铜制塔刹能够完整地再现出来,工作人员以完整的宝瓶式葫芦状塔刹图片为依据,通过翻制外范对遗失的部分进行补配。所以,在复制补配的部分表面覆盖有一层薄厚不均并且夹杂有土质结垢的浅绿色做旧层,表面则是无规律分布白色石膏与锈蚀产物互相掺杂在一起后,致使表面纹饰漫漶不清。圆弧覆盆和露盆由几块铸件组成,工作人员通过锯解焊接的办法进行矫形,矫形后虽然基本恢复了破损前的空间造型,但是腹部内、外表面形成的锈蚀产物以及做旧的分布状态各自不同。在腹部表面和不足的铸接处,有一层厚约0.5厘米、凹凸不平的锡焊层,其上胶结了一层颗粒状的做旧层,其余部位则是一层较为坚硬并伴有土质结垢的浅绿色做旧层。由于这层做旧层的分布面积较大,将腹部内表面

锁形成的锈油产物以及破裂焊缝完全覆盖,因此很难观察到器物内表面的病变形态和破裂情况。由于铜塔刹外部表面未被大面积做旧层所覆盖,因此能够十分清楚地观察到竖向分布有长短不一的裂缝,致使铜塔刹的结构稳定性受到影响。仔细观察外表面所形成的裂缝,并未进行焊接处理,只是在其周围胶结了一层伴有土质结垢的做旧层,将外表面所形成的裂缝以及腹部纹饰被覆盖。在未被胶粘物和做旧层覆盖的部位,分布有大量的砖红色氧化亚铜,而且氧化亚铜与本体合金结合较为紧密,而腹部纹饰之内所形成的氧化亚铜则比较疏松,极易造成腹部纹饰的损坏。

## 二、塔刹内部结构分析

根据对铜塔刹的修复研究发现,该铜塔刹采取了修旧如旧的方法进行了修复,由于修复后未进行清洗,就直接在该器物的腹部内、外表面胶结了一层做旧层,将塔刹表面所形成的锈油产物以及破裂焊缝等修复情况完全覆盖,这对前期保存状况的调查以及制作技术进一步研究带来了困难。为此,我们利用X光无损探伤技术对内部结构进行了观察,通过X光照片可以十分清楚地看到,该铜塔刹壁薄厚不均,特别是所形成的不规则裂缝,经过铸接处与底部所形成的裂缝相衔接,这是导致腹部变形的主要原因。

## 三、塔刹病变原因分析

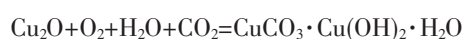
由于该铜塔刹采取泥范分铸技术进行铸造,泥范分铸技术虽然解决了器形复杂铸造的难题,但是过多的铸接关系成为影响器物保存现状主要因素。由于易发生青铜病害,而且在外力作用下极易裂缝,致使器物残缺不全,因此青铜病害的产生不但与铸造过程中所形成的微区合金成分不均有关。而且与器物所处的环境,即氧化性环境、潮湿环境、酸性环境和可溶性氯离子的存在有关。当器物处于符合上述要求的开放式环境之中后,所形成的微区组织首先通过氧化反应打破金属键的结合,使部分能量较高的金属原子脱离金属键的束缚转变为带电阳离子。由此可见,在铸造过程中形成的浇口、缺陷、气孔、浇不足以及夹杂物等部位成为高活性的反应区域。这些区域由于缺少电子,在其表面富集了大量的被氧化的金属阳离子,它们通过吸附作用使各种阴离子浸入裂缝、气孔中,引发小孔腐蚀反应的发生。在这一过程中,微孔内能量较高的铜原子首先被氧化而失去电子转变为  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Cu}^+$ 。其反应过程如下:



由于在以上两个反应中,过剩的  $\text{Cu}^{2+}$  使小孔中的溶液不能处于电中性。因此,铜离子就会通过扩散运动而进入基体合金的表面溶液中,氯离子进入到小孔溶液中,保持了孔内溶液处于电中性,从而使孔内溶液中  $\text{Cl}^-$  的浓度增高。但是生成的部分  $\text{CuCl}$  很快水解,水解后生成  $\text{CuO}$  和  $\text{HCl}$ 。



在这个反应中,生成的氧化亚铜 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) 和金属周围的  $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  进一步发生反应,生成青铜器所特有的具有审美价值的碱式碳酸铜。



在反应(3)中,生成的  $\text{Cl}^-$  反过来会继续发生腐蚀作用。由于反应(2)生成氯化亚铜具有极小的溶解度,未进行水解的氯化亚铜会沉积早器表面。但  $\text{Cu}^+$  不稳定,可以被歧化为  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Cu}$ 。这可以从下列铜的电势图得到证实。



由电势图可知  $E_{\text{右}}>E_{\text{左}}$ ,  $\text{Cu}^+$  变成  $\text{Cu}$  和  $\text{Cu}^{2+}$  的歧化趋势很大。由于  $\text{Cl}^-$  的存在,生成了难溶的氯化亚铜 ( $\text{CuCl}$ ),从而降低了  $\text{Cu}^+$  浓度,也就是降低了歧化反应的趋势,但是还有部分  $\text{Cu}^+$  乃被歧化卫为  $\text{Cu}^{2+}$ ,因此歧化反应生成的  $\text{Cu}^{2+}$  便与过剩的  $\text{Cl}^-$  结合,生成具有共价性质的氯化铜 ( $\text{CuCl}$ )。由于氯化铜极易水解,水解后生成不较松散的绿色粉状碱式氯化铜  $[\text{CuCl}_2\cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 。碱式氯化铜如果在  $\text{CO}_2$  的作用下,还会继续转化为碱式碳酸铜  $[\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 。

根据腐蚀机理的研究不难知道,  $\text{Cl}^-$  的存在是造成微孔腐蚀的主要因素,但是随着腐蚀程度的不断加剧,微孔内形成的粉状锈会急剧膨胀益出小孔,在器物表面形成凹凸起的小包,最后有碱式氯化铜转化成碱式碳酸铜将其包容其中,一旦小包破裂,有害锈就会溢出,引发青铜病害的蔓延。如果小孔在腐蚀过程中相互浸透以后,便形成大面积的腐蚀区,氯化亚铜通过浸透作用,不断进入到由碱式氯化铜  $[\text{CuCl}_2\cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$  转化而成的  $[\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2]$  之中,在膨胀压力的作用下,器物表面形成的锈油产物成为层状结构,最终导致机体合金失去原有的金属性,也就是基体合金完全矿化以后,使器物表面凹凸不平。

## 四、塔刹保护方案的设计

这件铜塔刹作为特定时间和空间范围内一种有形

的历史遗产,它总是以其特有的方式,用无声的“语言”述说着自己的历史经历。因此,只有采取科学的修复方法,才能使其所蕴藏的文化内涵完整地再现出来。根据上述理念,在修复之前,首先进行详细的档案记录,也就是制作复制记录卡片,对每一残片进行拍照、现状描述和病变图的绘制。在此基础上,结合器物的保存状况和病变形态,保留复制用于加固的扒钉维持不变,然后破裂焊缝胶结的做旧层进行清洗,并对高出器壁表面凹凸不平的锡焊层进行平滑处理,使其略低于本体合金表面,最后对器物表面的有害锈进行清洗。这样既能减少干预的范围、降低修复难度,又能保持原来的修复痕迹。

## 五、塔刹的保护修复

### (一)清洗

由于前期已对该塔刹进行了结构性修复,为了使其稳定性不变,在维持原状的前提下,首先使用 2A 溶液对表面做旧层进行浸润,浸润后,这层伴有土质结垢的做旧层成为薄膜状脱离依附层,从而使原始依附层呈现银白色。这说明破裂焊缝使用低溶点金属进行复制和焊接。为此,根据熔点较低的特性,采取机械方法对腹部内表面凹凸不平的焊接层进行打磨处理,使其达到修复方案的设计要求。对塔刹表面的做旧层被清洗后,器物表面无规律分布的钙、镁沉积盐和有害锈成为影响塔刹保存现状和审美要求的潜在因素。为了有针对性地解除这些结构和分布状态不同的锈蚀产物,首先取样进行了定性分析。根据分析结果,有害锈主要分布在腹部外表面纹饰之内,其余部位虽然存在有害锈,但呈点状分布。因此,在清洗之前,首先选取任一区域作为实验区,确定出清洗的标准以后,对于塔刹表面的胶粘物用 2A 溶液进行擦拭即可达到清洗目的,塔刹表面所形成的钙、镁沉积岩和土质结垢等比较坚硬,且与塔刹壁结合较为紧密,无法利用 2A 溶液进行清洗,如果直接采用机械方法清洗时会对塔刹造成伤害,因此选择了结合性能较强的六偏磷酸钠 $[\text{Na}_4(\text{PO}_4)_6]$ 溶

液进行浸润。进过浸润后,这层较为坚硬的钙、镁沉积岩和土质结垢较为疏松,然后利用手术刀进行清洗,取得了比较满意的效果。由于腹部表面纹饰之内所产生的有害锈,使用手术刀进行清洗难以奏效,因此利用微型牙科钻进行清洗,并利用 2A 溶液进行擦拭,达到了清洗有害锈目的。

### (二)脱盐及粘接

经过清洗后的塔刹残件,仅仅在视角效果上达到了审美要求,但是真正诱发青铜病害的氯离子并不能依靠简单的清洗而清除,还需要进一步通过脱盐处理时,考虑到保留到内部乃然保留范土,如果直接采取浸泡的办法进行脱盐,不但会使范土所蕴藏的基本信息丧失,而且在浸润的条件下,通过吸附作用, $\text{Cl}^-$ 进入范土所形成的微孔体系之中,会造成青铜合金的二次腐蚀。为了避免上述现象的发生,采取局部脱盐的办法,也就是利用纸张的吸附作用进行脱盐,并且使用电导率仪对纸张中  $\text{Cl}^-$  含量进行检测,直至用于脱盐的纸张中不含  $\text{Cl}^-$  为止。

### (三)缓蚀与封护

经过清洗和恢复结构稳定性之后的塔刹,在开放性环境中极易受到各种腐蚀介质的侵袭。为了阻断各种腐蚀介质给塔刹带来新的病害,根据苯并三氮坐在常温下与铜合金易发生螯合作用在青铜合金表面形成了一层线型结构的保护膜,而且这层保护膜在常温、常压下,具有一定的蒸汽压,而且易在塔刹表面形成晶体,为了防止 BTA 的升华而降低其缓蚀效果,我们最后用浓度为 1.5% 的丙稀酸树脂 (paraloidB72) 对表面进行封护,来进一步阻止 BTA 的升华。

通过对塔刹产生病变的原因、病变类型和制作技术的研究,使我们认识到青铜器的保护修复必须以科学分析为依据,在修复前,要对器物的保存状态、制作技术、病害类型等进行认真研究,并将研究结果以及器物的质地、保存状态、时代背景等信息进行详细的档案记录,在修复过程中将文物所表达出来的物质性和非物质性有机统一起来,达到双向保护的目的。

### [参考文献]

- [1]陕西省考古研究院,法门寺博物馆,宝鸡市博物馆,扶风县博物馆.法门寺考古发掘报告[M].北京:文物出版社,2007.
- [2]祝鸿范.青铜病的发生与小孔腐蚀的关系[J]文物保护与

考古科学,1998,(1).

[3]陈景富编著.法门寺[M].西安:三秦出版社,1988.

[4]法门寺博物馆.法门寺博物馆建馆二十周年学术论文集(第1辑)[C].西安:三秦出版社,2008.