

馆藏出土青铜器保护中的 X 射线成像技术的应用及展望

□ 解 晋 闫文祥

摘 要：简要阐述 X 射线成像技术原理，列举文博专用探伤机在山西博物院馆藏青铜器保护中的应用实例来说明 X 射线成像技术对于提供文物制作的工艺技术信息、保存状况分析、揭露修复情况等方面的作用。在总结 X 射线成像技术在青铜器保护中应用的同时，开展对其他材质的文物的 X 射线成像的研究和应用，最后结合该技术的特点和文物保护工作的要求做出总结和展望。

关键词：X 射线 青铜 应用

一、前 言

山西博物院在建院之初接收了山西省考古所移交的太原赵卿墓及长治分水岭墓等出土的青铜器。为了祖国珍贵的文化遗产得以有效保护，结合馆藏青铜文物现状及满足科学保护、陈列展览的需要，我们选取了 155 件病害严重的馆藏青铜器，在国家级文物保护专家悉心指导下，编写完成了《山西博物院馆藏部分出土青铜器保护修复方案》。在该项目具体实施中后期和结项阶段笔者有幸加入。在对这批珍贵青铜文物进行保护时，应用 X 射线成像技术是无损分析检测工作的重要组成部分。X 射线成像技术作为文物检测的常规手段，在世界上很多发达国家得到普遍应用，随着科学技术的进步和文物保护工作的科学化进程在我国的文物科技研究中日渐得到重视和普及，这一技术对文物保护和研究提供了有力的技术支持^[1]。

二、X 射线成像技术发展简介及原理

1895 年 11 月，德国物理学家伦琴(Wilhelm Conrad Röntgen, 1845-1923) 在利用通电的克鲁克斯阴极射线管做实验室时，发现一种新型射线^[2]，因为当时不知它是何种性质射线，就称之为 X 射线。爱迪生(Thomas.A.Edison)发现了钨酸钙一类物质，在 X 射线照射下能发出可见的蓝紫色荧光，并利用这一特性研制出增感屏配合 X 光胶片使用，大大缩短了 X 光的透照时间和剂量^[3]。以上这些发明为现代 X 光成像研究奠定了基础。X 射线

照相技术，应用于文物艺术品的研究，始于 20 世纪二三十年代^[4]。它主要限于纸质的文物和艺术品。上世纪 50 年代，学者 R.J.Get tens 对佛里尔美术馆(Freer Gallery)馆藏的中国青铜器，就已经开始了 X 射线透视、化学分析和金相检验等工作。

X 射线是高速电子撞击金属靶因韧致辐射所产生的高能电磁辐射。当 X 射线在穿透物质时会因物质的吸收和散射作用而强度减弱。国内外对青铜器的 X 射线检测应用比较广泛，利用 X 光透视影像，对器物尤其是金属类文物修复前进行检测，搞清楚各类器物内部裂痕、孔洞、嵌饰、铭文等锈蚀物与硬结土掩盖下的各种情况，可作为器物对症修复的参考依据，也可对金属类文物尤其是青铜器的古代铸造工艺进行研究。山西博物院文物保护工作者采用文博专用 X 射线实时成像仪对该批青铜文物进行了试验检测。

X 射线实时成像仪的主要组成部分：X 射线发生器、高压发生器、冷却系统和控制系统。工作条件：拍摄电压：140-200KV；拍摄电流：0.5mA；拍摄距离：40cm-80cm。

三、在文物制作的工艺技术信息方面的应用

X 射线照相可以直观地反映文物的铸造、加工、修饰等工艺信息，这对进行考古研究、文物修复等都具有重要意义^[5]。

(一) 器物制作的工艺技术信息

1. 泥质芯撑

青铜器存在泥芯撑的部位被青铜包裹不能显



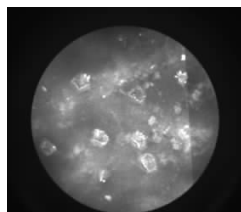
图一 甗



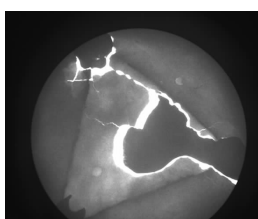
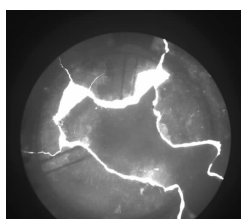
图二 甗耳部 X 射线成像



图三 鬲器底



图四 鬲器底 X 射线成像

图五 铜鼎
底部 X 射线成像图六 蟠虺纹
三环鼎的底部 X 射线成像

露,由于该部位的铜壁较周围其他部位薄,X射线穿透能力较强,实时成像上表现为有一定形状的亮区^[6]。通过X射线影像能确定其内部泥质芯撑的位置、大小和数量。

图一、图二显示了甗的耳部,可以清楚地看到四枚泥质芯撑的位置、大小和形状。

该文物泥芯是盲芯,由于外部被铜所包裹,判断起来就比较麻烦,此时可以根据X射线实时成像特征进行判断。并不是所有的青铜器在较厚的部位都加有泥质芯撑,如果不是盲芯,直接观察就可以。

2. 铜质垫片

铜质垫片会因为器物表面修饰、修复,或者浇注时被铜水遮盖等原因,肉眼无法辨识。通过X射线成像技术,可以清楚地观察到青铜文物铜质垫片的数目、位置及分布情况等信息,利于了解和分析其铸造工艺。

图三、图四显示鬲的器底,可看到器底铜质垫片的分布和位置。垫片形状为不规则的四边形和三边形。可见同一器物可以包含多种形状的铜质垫片。

3. 范缝和加强筋

经考古研究发现夏、商、周三代的青铜器皆由传统范铸技术铸造。因此,器物上都会留下范线、范缝等范铸工艺固有的特征。加强筋主要起加固器物作用,外观有时类似范线。

图五显示铜鼎底部的三条范线,形成原因为铜水沿范缝溢出,形成突起的线条,形成后未打磨。

图六显示蟠虺纹三环鼎的底部有类似加强筋性质的范线。

(二) 修饰工艺

由于文物年代久远以及合金成分、矿化程度、地下埋藏环境的不同,使出土文物大多都锈迹斑斑,纹饰和铭文模糊不清,这对修复和研究造成一定的困难。而X射线照相则可以提供有效的帮助。

1. 铭文

图七、图八显示簋器底有铭文,但由于锈蚀严重,肉眼分辨不清,借助X射线成像可以将其铭文显现出来。

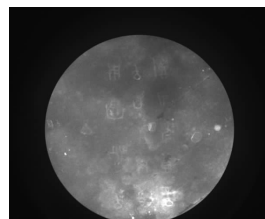
2. 锈蚀掩盖下的纹饰

出土青铜器受埋藏环境影响,表面有可能存在锈蚀和硬结物,当锈蚀或硬结物较厚时,会掩盖纹饰。导致修复人员的肉眼无法分辨纹饰和锈蚀,通过X射线成像,我们可以指导修复工作中去除锈蚀时避免伤害纹饰信息。

图九、图一〇显示三鸟形钮盖鼎器身纹饰被锈蚀和土垢覆盖,在修复前通过X射线成像可以帮助修复人员辨识锈蚀和纹饰。



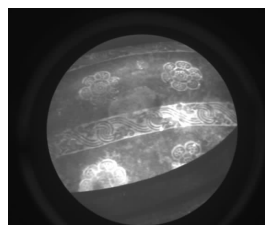
图七 簋底部模糊铭文处



图八 簋底部铭文处 X 射线成像



图九 三鸟形钮盖鼎



图一〇 纹饰处 X 射线成像

四、X 射线成像在青铜器保存状况中应用

X 射线成像在保护修复前对青铜器的保存现状调查如腐蚀情况分析,修复情况的分析,青铜器指纹档案的建立等工作中发挥重要作用。

(一) 腐蚀情况

青铜的腐蚀情况比较复杂,同一件器物上的不同部位由于埋藏环境的不同,导致其腐蚀矿化程度不同。通过 X 射线成像可以加以鉴别。由于腐蚀情况不同,通过 X 射线影像的表现形式也不一样。根据检测结果,主要表现形式有以下几种:

1. 基体不均匀腐蚀矿化

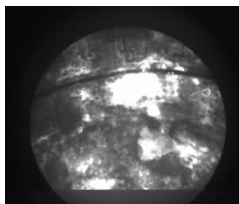
部分看上去表面状况良好的青铜器其基体的不均匀腐蚀会出乎意料的严重。有些鼎底的厚度比较均匀,也无显著的局部腐蚀现象,但从 X 射线影像中,可以看到多个不同的灰度层次,即亮区、略暗区、暗区,部分深色暗区带有散布的白色斑点,见图一—甗的器身成像亮区说明该部分腐蚀严重,暗区说明基体的腐蚀矿化程度较低。

2. 点蚀

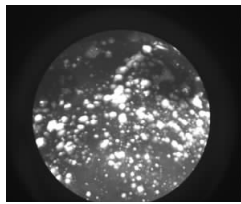
点蚀是指铜器上某一局部出现的圆形或椭圆形坑状腐蚀,坑的中部较深,边缘渐浅,大小不一,在影像中没有清晰的边界,其成因通常认为与氯离子的作用有关(图一二)。

3. 缝隙腐蚀

缝隙腐蚀的主要特征是腐蚀沿着缝隙或者暗裂隙方向发展较为迅速(图一三、图一四)。



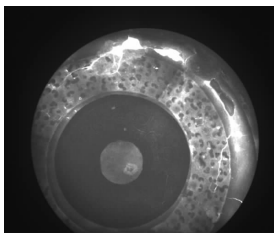
图一— 甗
的器身 X 射线成像



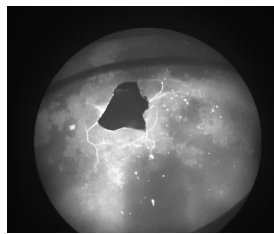
图一二 素面鼎
器身点蚀 X 射线成像



图一三 蟠虺纹豆器盖



图一四 器盖 X 射线成像



图一五 铜鼎暗裂纹

4. 暗裂纹

暗裂纹是指肉眼难以直接观察到的裂隙。如图一五为铜鼎通过 X 射线成像发现肉眼无法看到的暗裂纹。

(二) X 射线成像记录修复情况

1. 青铜器焊接、粘接修复

锡焊是中国青铜器传统修复工艺中将碎片连接起来的一种重要方法。具体焊接方式有连续焊、点焊、加芯焊等若干种。焊锡的主要成分为金属锡,锡的原子序数为 50,大于铜的原子序数 29,故焊锡对 X 射线的吸收能力强于铜,所以其在 X 射线实时成像中呈暗区。胶接区属于非金属缝隙,因此呈亮区。

连续焊是沿着青铜器原有的裂隙或者断裂方向进行焊接操作,故而焊缝的走向并不规整,在 X 射线片中表现为不规则的暗色条带(图一六)。

(1) 点焊

点焊部位受力集中,连接并不可靠,因此一般仅用于定型。在 X 射线实时成像图的白色裂隙上的暗点形状即为点焊(图一七)。

(2) 银锭扣焊接

特殊形式的点焊,在 X 射线成像上可以清楚看到燕尾形的榫接(图一八)。

(3) 粘接

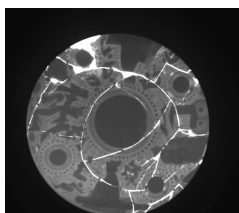
相对于焊接,使用树脂粘接青铜器,对文物本体的破坏相对较小。粘接具有良好的可逆性和可再操作性,是目前提倡的一类使用方法,其缺点是操作上复杂,且强度低。用于青铜器粘接的树脂种类非常多,本次修复使用双组份环氧树脂,相对于青铜来说,其对 X 射线的吸收非常弱,通常在片中表现为亮区。

2. 青铜器补配

补配是指使用金属或者树脂材料修补青铜器上缺损的部位。可用于青铜器补配的材料甚多,本次修复中使用的主要有:铸铜、环氧树脂、铜皮。



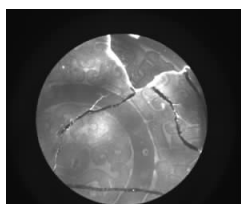
图一六 连续焊



图一七 点焊和胶粘



图一八 银锭扣焊接



图一九 铸铜补配



图二〇 环氧树脂补配



图二一 铜皮补配

(1) 铸铜

本次修复中的铸铜补配要求成分与原器物成分基本一致,但由于腐蚀情况的差异,导致补铸块与原器物在X射线成像上的不一致。补配块通过环氧胶与原器物连接(图一九)。

(2) 环氧树脂

树脂补配在本次修复中用于缺损不大、受力较小的部位,一些腐蚀矿化严重的青铜器使用树脂补配也较多(图二〇)。

(3) 铜皮补配

铜皮补配的操作简便,本次修复中应用该方法在一些隐蔽位置,鼎的底部无纹饰处有小面积残缺,使用铜皮补配(图二一)。

五、小 结

(一) 对青铜器的X射线成像解读十分关键,首先要对所拍摄文物有一定的了解,其次对文物的结构有一定的了解,最重要是对文物本体物质的密度、组成有一定的认识。随着对青铜了解的深度增加,解读的难度会下降而深度会增加。

(二) X成像技术在文物研究中优缺点并存,最大的优点是无损分析,这对珍贵文物的分析检测是十分重要的。但其存在辐射改变热释光数据的缺点。所以在分析陶瓷类文物检测流程中,确保先做热释光检测,再做X射线成像。

(三) 在文物研究中X光成像的作用可以帮助了解文物的内部(外表不可见)结构,帮助了解文物质地的区别、文物组成材料质地的区别、因腐蚀等因素造成的区别、文物内部破损状况、文物的修复

状况、文物的作伪及完善文物档案。

(四) 通过对X射线影像的分析,可以掌握青铜器的保存现状,为制定科学、合理的保护修复方案提供依据,有助于对文物进行保存现状研究、从而实施科学化的保护修复。

随着文物保护最小干预理念的确立、现代检测技术的发展和经济基础的不断提高,X射线照相技术以其非破坏性和直观性等优势,越来越受到文物保护研究者的青睐。

[1] 丁忠明、吴来明、孔凡公《文物保护科技研究中的X射线照相技术》,《文物保护与考古科学》2006年第1期,38~46页。

[2] 李衍《工业射线照相的历史》,《无损探伤》2002年第5期,1~5页。

[3] 郑震《工业用 γ 射线影像板的金属增感与色心研究》,《天津理工大学》2004年。

[4] 于群力《X射线照相技术在文物辨伪中的应用个例》,中国化学会应用化学会学科委员会《文物保护与修复纪实——第八届全国考古与文物保护(化学)学术会议论文集》,2004年5月。

[5] 胡东波、吕淑贤《应用X射线成像对晋侯墓地出土青铜器铸造工艺的研究》,《古代文明(辑刊)》,2013年,55~81页。

[6] 刘煜《圈足上的镂孔:试论商代青铜器的泥芯撑技术》,《南方文物》2014年第3期,110~116页。

(作者工作单位:山西博物院)