

文物保护科技研究中的 X 射线照相技术

惠明, 吴来明, 孔凡公

(上海博物馆文物保护与考古科学实验室, 上海 200050)

摘要: 阐述了 X 射线机的工作原理, 并列举软、硬 X 射线机在青铜、陶瓷、书画、漆木器等文物检测分析中的应用实例, 揭示了 X 射线照相技术在获取文物内部信息, 反映各类文物的保存状况、制作工艺、修复情况、病害现象、内部缺陷、真伪鉴别等方面的积极作用。同时, 介绍了 X 射线照相技术应用在文物检测中的经验, 并对 X 射线照相技术在文物无损检测中应用前景作了展望。

关键词: X 射线照相技术; 文物保护科技; 应用

中图分类号: G262.0434 **文献标识码:** A

1 引言

20 世纪 70 年代, 上海博物馆针对书画及漆木器等文物的无损检测和科学鉴定问题, 率先在国内应用软 X 射线机进行文物无损检测, 运用 DGX-4 型软 X 射线机进行了一系列的试验和应用, 获得了理想的效果和经验^[1]。目前, 随着文物保护“不干预”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, 越来越受到文物研究者的青睐。X 射线照相技术作为文物检测的常规手段, 不仅在世界上许多发达国家得到普遍应用, 而且在我国的文物科技研究中日渐得到重视和普及, 为文物研究提供了一个很好的技术支持。

在近年来的文物保护科技研究工作中, 经过调研相关 X 射线检测设备, 检测试验和实物分析各类质地文物样品, 获得一些工作心得、研究结果和需注意的问题, 供大家交流和商榷。

2 X 射线照相技术的基本概念和工作原理

在文物保护科学研究中, 会接触到不同材质和厚度的文物, 其内部结构及检测目的也各不相同。因此, 掌握 X 射线照相的基本原理尤为重要, 需要针对不同的文物合理地选择 X 射线的强度、能量、曝光量以及焦距等参数, 从而获得理想的检测结果及优质的影像。

2.1 X 射线的强度

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。基于 X 射线产生的机理, 通常获得的 X 射线呈现连续的能量谱线。典型的连续 X 射线谱线如图 1 所示。

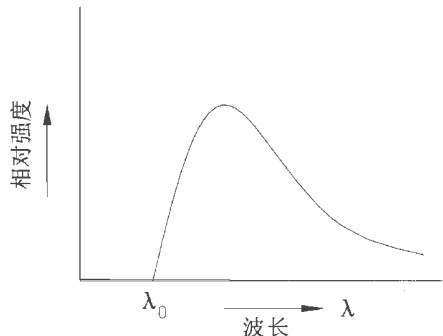


图 1 连续 X 射线谱

Fig. 1 X-ray continuous spectrum

实验表明, 连续 X 射线的总强度 I 可用下列关系式表示:

$$I = KizU^2 \quad (1)$$

式中, K 是与 X 射线管电压有关的系数, i 为管电流, Z 为靶材原子序数, U 为管电压。

从(1)式中可看出, X 射线的总强度可以通过调节 X 射线管的管电压和管电流来改变。

X 射线的强度直接影响曝光量, 从而决定底片的黑度。通常在确保能穿透物质的情况下, 不要使用过高电压来提高强度, 这会导致对比度下降, 而应该通过增加管电流或曝光时间来增加曝光量, 从而

获得最佳的对比度。

2.2 X 射线的波长

图 1 连续 X 射线的谱线中, λ_0 表示其最小波长, 通常换算可得下列关系式:

$$\lambda_0 = \frac{12.4}{U} \quad (2)$$

式中, 波长的单位为 10^{-10}m , U 的单位为 kV。

可见, λ_0 仅与 X 光机的管电压有关, 即管电压越高可获得波长越短、能量越高的 X 光量子。

因此, λ_0 仅仅是一个表征值, 表征在某一个管电压下, 可能获得的最小波长, 表征其穿透能力, 亦即线质的硬软性。 λ_0 越小, 则射线的穿透能力越强, λ_0 越大则线质越软。图 1 中连续 X 射线强度最大处的波长约为 λ_0 的 1.5 倍。

基于文物的材质、厚度、结构及检测目的多样性、复杂性, 合理地选择 X 射线源的种类及相应地调整管电压是至关重要的。射线能量太低, 则不能穿透被检物质, 能量太高又会过度穿透, 二者均不能获得理想的影像。

2.3 X 射线成像原理

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。X 射线的入射强度与透射强度关系式如下(为简化问题, 通常用窄束、单色 X 射线来讨论):

$$I_{\text{透}} = I_{\lambda} \cdot e^{-\mu T} \quad (3)$$

式中, $I_{\text{透}}$ 为透射射线强度, I_{λ} 为入射射线总强度, e 为自然对数, μ 为物质对射线的衰减系数, T 为物质的厚度。

可见, 当 I_{λ} 、 T 一定时, μ 的大小就决定了 $I_{\text{透}}$ 的大小, 而衰减系数 μ 与下列因素有关:

$$\mu \approx \lambda^3 \cdot Z_{\text{物}}^3 \cdot \rho \quad (4)$$

式中, λ 为射线波长, $Z_{\text{物}}$ 为被穿透物质的原子序数, ρ 为被穿透物质的密度。

当被检物原子序数 Z 、密度 ρ 较大时, 则需要选择波长 λ 较小, 即能量较高的射线, 使 μ 保持一个适当的值, 以获得必要的穿透射线强度; 反之, 则应选择 λ 较大即较软的射线。

如图 2 所示的被检物质, 假设其内部存在一异物, 其厚度为 ΔT 。

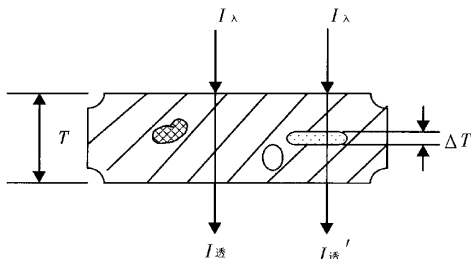


图 2 X 射线检测原理图

Fig. 2 Graph of the principle of X-ray radiography

另设异物衰减系数为 μ' , 穿过异物处的透射线强度为 $I'_{\text{透}}$, 则由式(3)可得:

$$I'_{\text{透}} = I_{\lambda} e^{-\mu(T-\Delta T) - \mu'\Delta T} \quad (5)$$

再有(5)式与(3)式相比得:

$$\frac{I'_{\text{透}}}{I_{\text{透}}} = \frac{I_{\lambda} e^{-\mu(T-\Delta T) - \mu'\Delta T}}{I_{\lambda} e^{-\mu T}} = e^{(\mu - \mu')\Delta T} \quad (6)$$

$\frac{I'_{\text{透}}}{I_{\text{透}}}$ 这个比值是形成底片影像对比度 ΔD 的基础, 可表示为:

$$\Delta D = \gamma \cdot \lg \frac{I'_{\text{透}}}{I_{\text{透}}} \quad (7)$$

式中, γ 为胶片反差因子。

将(6)代入(7)可得:

$$\Delta D = \gamma \cdot \lg e^{(\mu - \mu')\Delta T} = 0.434 \gamma \cdot (\mu - \mu') \cdot \Delta T \quad (8)$$

式(8)表明, 影像对比度(ΔD)与本体和异物衰减系数差、异物在射线束方向上的线度及胶片反差因子有关, 这些因素是能否在底片上形成影像的关键所在。当异物的原子序数比相邻区域低, 即 $\mu > \mu'$, 则 $\frac{I'_{\text{透}}}{I_{\text{透}}} > 1$, 此时在底片上形成高黑度的异物影像; 当异物的原子序数比相邻区域高, 即 $\mu < \mu'$, 则 $\frac{I'_{\text{透}}}{I_{\text{透}}} < 1$, 此时在底片上形成低黑度的异物影像; 而当 $\mu \approx \mu'$ 或 $\Delta T \approx 0$ 时, 则不能在底片上形成相应影像, 也就无法检测出异物。

由此可见, 当被检异物与本体材料的原子序数差别越大, 即衰减系数差别越大时, 则越容易检测出来, 如书画上的朱砂印章, 青铜器皿内部的气孔和缩孔等; 而当二者接近时, 则影像对比度较小, 甚至难以识别。被检异物的厚度 ΔT 也是越大越易检出, 而某些镶嵌物的厚度 $\Delta T \approx 0$, 因此无法正确识别。

2.4 X 射线照相底片对比度

通过以上的介绍, 影响射线照相对比度的因素可归纳为图 3。

优质的影像应该对比度、清晰度高, 黑度适当并且没有人造的假象。而影像质量又是辐射影像及胶片质量综合的结果。辐射影像是指射线穿透被检物质, 由于厚度差异或内部结构缺陷等引起穿透射线强度差异的分布影像。当穿透射线作用于胶片时, 辐射强度的差异会造成胶片感光的差异从而形成底片影像。胶片的反差因子决定了影像的对比度, 而胶片的颗粒度直接影响影像的分辨率。因此, 胶片的選擇也相当关键。除胶片外, 还有许多其它影像的显示、记录方法, 将另文讨论。

2.5 不同材料的透照等效系数

对于不同原子序数的一些金属材料, 在相同的射线能量下的透照等效系数见表 1。

表 1 部分金属的射线透照等效系数近似值(以钢为基准)^[2]

Table 1 X-ray penetrating equivalent coefficients approximating of some metallic elements(base on the steel)

金属	X 射线强度/kV							
	100	150	220	250	400	1×10^3	2×10^3	$(4 \sim 25) \times 10^3$
钢	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
铜	1.5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.1	1.1	1.2
锌		1.4	1.3		1.3			1.2
黄铜		1.4	1.3		1.3	1.2	1.1	1.0
铅	14.0	14.0	12.0			5.0	2.5	2.7
铝	0.08	0.12	0.18					

从表 1 可见, 在 150kV 管电压下 1mm 厚的铜相当于 1.6mm 厚的钢; 而 1mm 厚的铅相当于 14mm 厚的钢。青铜器中 Pb、Sn 的含量较高, 所以在同样的

厚度情况下, 所需的穿透电压远高于钢。因此, 对于厚度较大的青铜器应考虑采用高能 X 射线或 γ 射线仪检测。

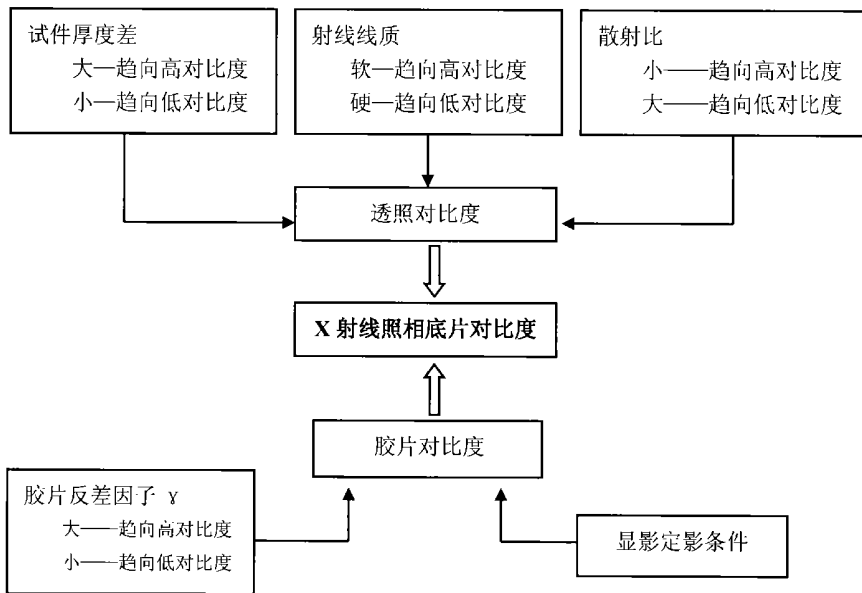


图 3 影响射线照相对比度的因素

Fig. 3 Contrast factors of X-ray radiography

3 X 射线照相技术的应用

3.1 在瓷器、漆木器、书画文物研究中的应用

由于此类文物材质原子序数相对较小, 拟选用软 X 射线机进行检测。实验采用上海新跃仪表厂生产的 DGX-6 型软 X 射线机, 该设备焦点较小, 靶材为钨, 起步电压低, 适用于拍摄精度要求高、材质相对轻的物件。

3.1.1 在瓷器研究中的应用 对瓷器进行 X 射线照相检测, 可以获得胎质情况、制坯工艺、修复痕迹或做假等信息, 为瓷器的工艺研究和鉴定提供科学的依据。

图 4 为一件清代瓷器器底残片的 X 光影像。该瓷器的壁厚较厚, 器身与圈足的影像对比度不是太明显, 在器身部位可看到有数条呈圆周形分布的因拉坯工艺形成的气孔带(标注 1 处)。

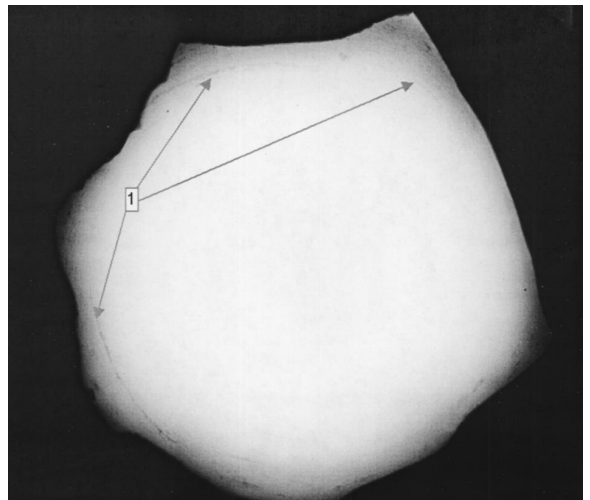


图 4 清代残瓷片厚碗底 X 光影像

Fig. 4 Radiograph image of the bottom of the remnant of the thick porcelain of Qing Dynasty

图 5 为另一件清代瓷器器底残片的 X 光影像。该瓷器的壁厚较薄, 器身与圈足的影像对比度明显, 圈足未穿透, 其余部位均已穿透。器身上见有许多断断续续呈圆周形分布的气孔(标注 1), 较有规律性, 其放大影像见图 6; 圈足中间部位的器底上, 气孔杂乱而粗大(标注 2), 与器身上的气孔情况相异。

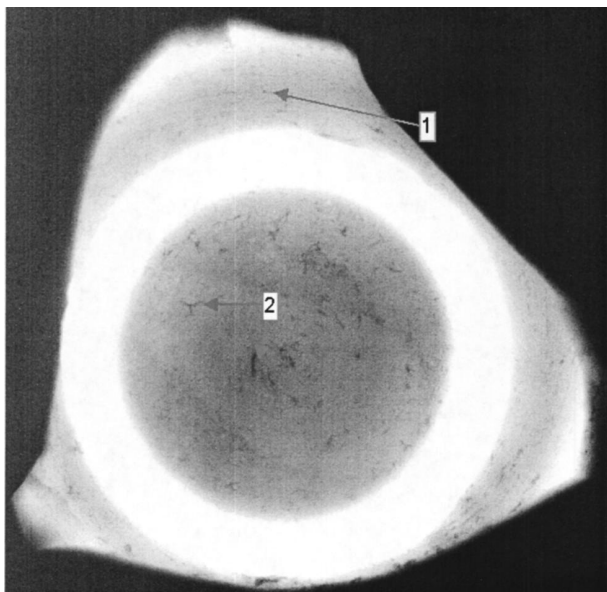


图 5 清代残瓷片薄碗底 X 光影像

Fig. 5 Radiograph image of the bottom of the remnant of the thin porcelain of Qing Dynasty

图 7 为一件现代瓷器残片的 X 光影像。该瓷片材质非常致密和均匀, 未见各种气孔。图 7 中还能看到器底表面上的文字(标注 1)和花纹(标注 2)。

上述瓷器 X 光照相检测结果, 反映了几种瓷器



图 6 图 5 上“标注 1”处的局部放大影像

Fig. 6 Magnified radiograph image of “label 1” in Fig. 5

在胎体内部结构特征上的差异, 更深层次地反映了它们在坯体制作工艺上的不同。古代瓷器制胎采用转盘拉坯工艺, 在器身胎体中留下呈圆周分布的气孔, 而器底胎体通常为锤击泥板, 故其中的气孔呈杂乱分布; 对于采用模具灌浆制坯工艺制作的现代瓷器, 胎体材质结构致密均匀, 则很少有气孔。即便是采用拉坯工艺制作的古瓷器或复制品, 也会因为各个窑口所使用的材料不同、拉坯手法的差异等原因, 造成其材质结构或气孔分布等内部特征的差异, 为人们作出科学鉴定提供参考佐证。这方面的研究工作已经有了开展^[3], 但还需要积累大量的检测数据和经验才能用于作出更为准确的判断。

另外, 目前古瓷器造假的情况时可遇到, 其中多有经过修补者, 也有采用真瓷底上接上假瓷身者(称为接底)^[4], 器物表面被修补得肉眼不易察觉。运用 X 射线照相技术, 可以清晰地反映这些假瓷器的修补情况, 避免对器底部位的肉眼观察、热释光测年、X 射线荧光检测成分等所形成的整体判断假象。因此, 结合其他检测手段, X 光照相技术将是瓷器科学鉴别的一种非常有效的检测手段。

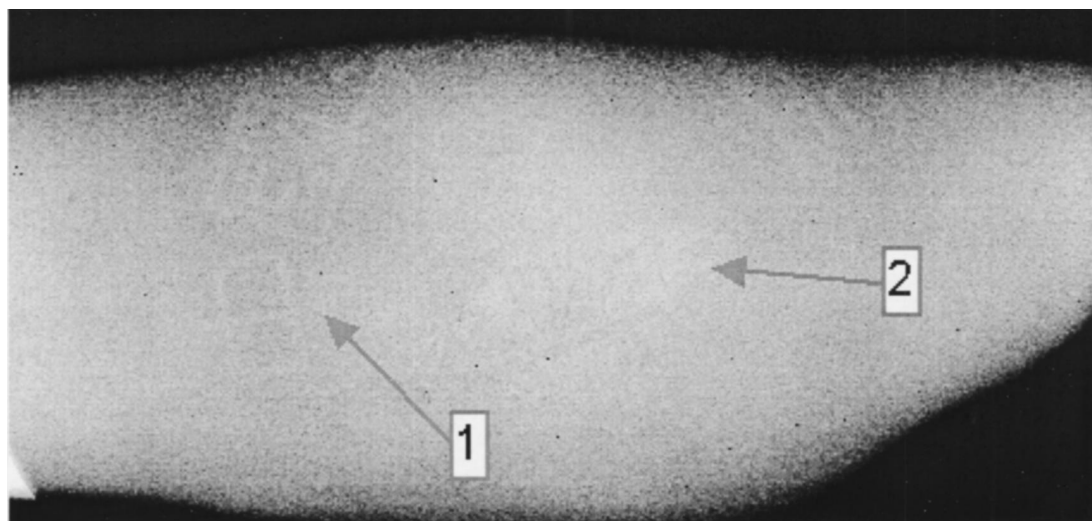


图 7 现代瓷器残片 X 光影像

Fig. 7 Radiograph image of the remnant of the modern porcelain

3.1.2 在书画研究中的应用 上海博物馆在 20 世纪 70 年代尝试应用软 X 射线照相术研究书画文物,

成功地对馆藏王羲之《上虞帖》进行了真伪鉴别^[1]。这一技术手段, 可以使书画上的颜料、印章、污迹下

的图象、覆盖物情况等显现得更为清晰,为正确鉴定判断提供科学依据。

图 8 为一幅中国画中一只猫的 X 光透照影像,原画被污染而画面不清。从影像中灰度对比的深浅可判断猫的胡须(标注 1)、眼睫毛(标注 2)的颜料、脸部及颈部(标注 3)等图象。而且,从眼睫毛颜料右边比左边要深,可以分辨其是以从右到左的顺序来运笔勾画的。

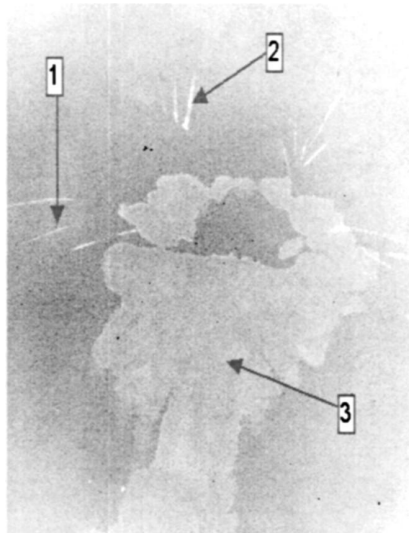


图 8 中国画中猫的 X 光影像

Fig. 8 Radiograph image of the cat in the Chinese painting

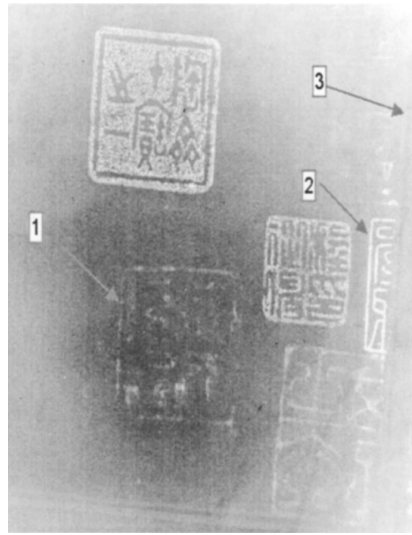


图 9 唐代印章的 X 光影像

Fig. 9 Radiograph image of the seal of Tang Dynasty



图 10 图 9 中“标注 1”处模糊印章放大影像

Fig. 10 Magnified radiograph image of “label 1” in Fig. 9

3.1.3 在漆木器研究中的应用 X 射线在不破坏器物的情况下,能够观察到器物的内部结构和保存现状,也可探索部分器物的制作工艺、病害程度等情况,还可通过内部信息的提取和分析来获得鉴别真伪的依据。

图 11 为出土明代小木人的 X 光透照影像。可以清晰地看到,木雕残缺的右手臂与身体是以榫头插接

方式加工结合起来的,图 12 放大图象中清晰反映了衔接插孔的结构、榫头孔的深度和大小等信息。另外,图象中亮白线条显示的是木雕身上微凸的衣领及腰带,做工精细,在影像放大的情况下更容易看清。同时还可以看到,木雕内部的木质比较致密和均匀,没有发现其他病害情况。

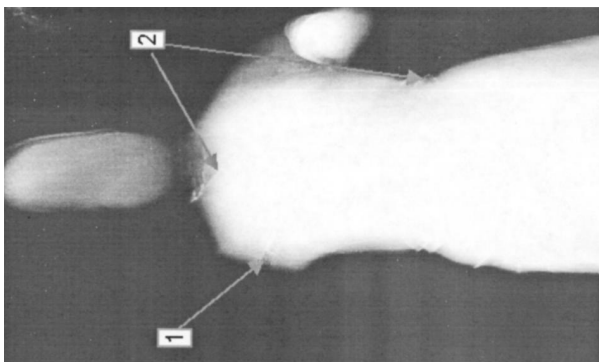


图 11 明代小木人 X 光透照影像

Fig. 11 Radiograph image of the small wooden man of Ming Dynasty



图 12 图 11 中“标注 1”处放大图

Fig. 12 Magnified radiograph image of “label 1” in Fig. 11

图 13 为一件唐代木雕残片的 X 光透照影像。该木雕由于霉菌的侵蚀已经出现表面粉化。X 射线检测发现木雕的木质疏松,内部开裂较为严重,保存状况较差,但无虫蛀孔洞(标注 1),检测结果

为进一步制订和实施保护处理方案提供了参考依据。另外,标注 2 处的亮白区域是未完全脱落的涂金部分,从其分布可以推断木雕当初应全身经过涂金处理。

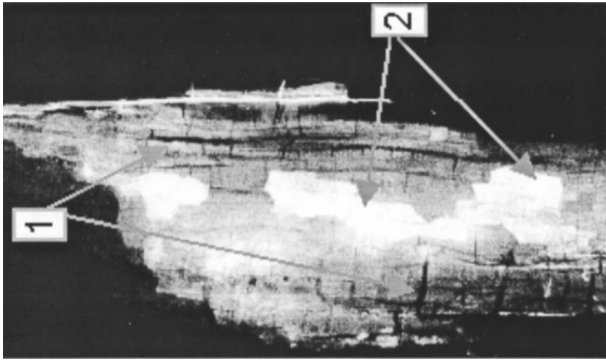


图 13 唐代木雕残片的 X 光透照影像

Fig. 13 Radiograph image of the remnant of the woodcarving of Tang Dynasty



图 14 战国时期曲折雷纹鼎照片

Fig. 14 Photo of the Ding with zigzag thunder pattern Warring States

3.2 在金属文物研究中的应用

在金属文物中, 青铜器是最多也是最重要的一类。古代青铜器主要含有铜(Cu)、锡(Sn)、铅(Pb)等重金属元素。这些元素对 X 射线的吸收能力都很强(表 1), 故宜选用硬 X 射线进行检测。国内外对青铜器的 X 射线检测应用比较广泛, 上海博物馆采用 2515 型的工业 X 射线机也进行了许多检测实验。

图 14~16 为战国时期(公元前 475 年—前 221 年)曲折雷纹鼎的照片和 X 光透照影像。从中可得到以下几点信息:

(1) 商周青铜器的主要铸造方法是陶范法, 为了稳定和支撑内、外范, 控制器物壁厚, 往往会引入垫片以满足这一需要^[5]。此鼎身上使用的小垫片数量较多。

(2) 鼎足及鼎耳中呈高黑度影像, 并存在泥芯支钉孔。可判断耳、足是空心的, 铸造时采用了下泥芯整体浇注的方法, 体现了当时高超的铸造工艺水平。

(3) 从整张 X 光底片上, 可清晰地看到一条沿着鼎腿向上的白线, 这是陶范铸造时留下的分范线。

(4) 对 X 光底片也可作数字扫描, 利用图像技术处理在一定的清晰度范围内放大观察, 来判别更为细小的内部信息。如图 16 中, a 处为垫片产生的影像, b 处是铜器局部腐蚀引起的影像。

图 17 为春秋早期铁刃铜内戈 X 光图片。标注 1 处是铁刃嵌铸于青铜内中联接情况: 铁上存在两条细裂纹并已有严重腐蚀; 不规则形状的铁部分可以防止铁刃脱落, 其尾部还有一个冷隔孔。标注 2 的比较明亮整体部分, 是外观可见的青铜部分。标注 3 处是深度腐蚀的铁刃部分, 铁基体已基本腐蚀殆尽, 从 X 光底片上已很难看到影像。该戈经进一步检验证明是人工冶铁。

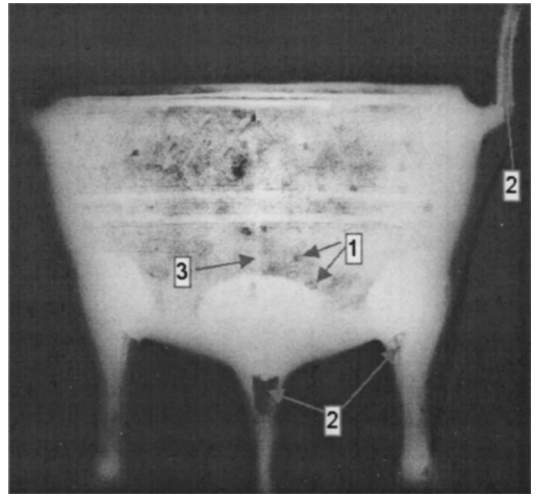


图 15 战国时期曲折雷纹鼎 X 光透照影像

Fig. 15 Radiograph image of the Ding with zigzag thunder pattern Warring States

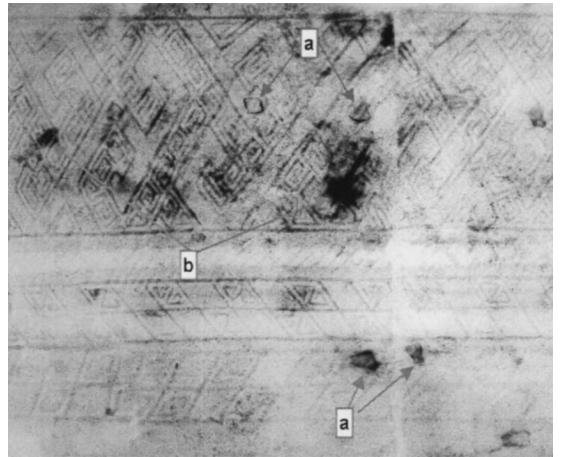


图 16 战国时期曲折雷纹鼎 X 光透照影像局部放大

Fig. 16 Magnified radiograph image of the Ding with zigzag thunder pattern Warring States

(Several spacers scattered over the body of this vessel)

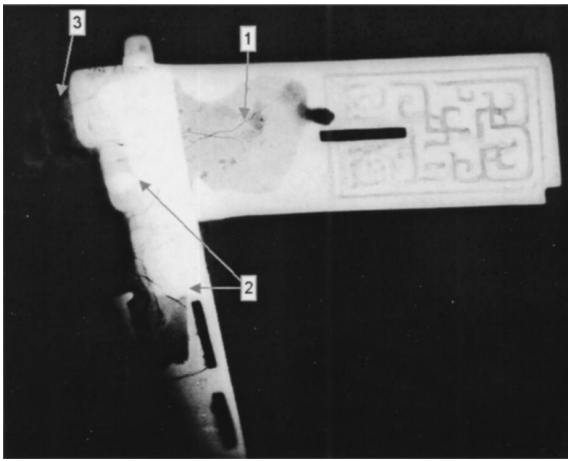


图 17 春秋早期铁刃铜内戈 X 光透照影像

Fig. 17 Radiograph image of the bronze Ge with man-made iron blade Early Spring and Autumn

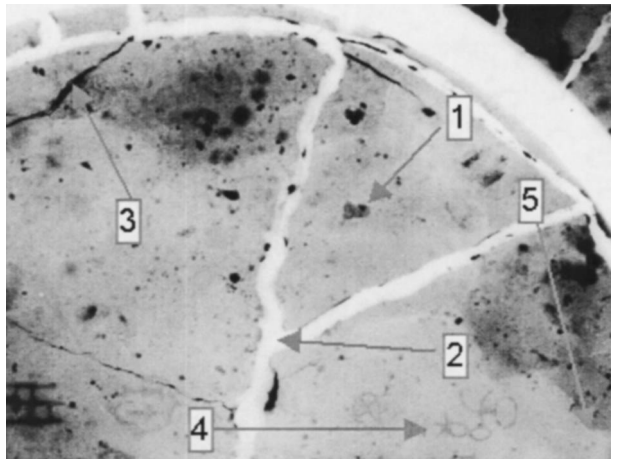


图 18 西周铜盘底部局部 X 光透照影像

Fig. 18 Radiograph image of the bottom of the bronze Pan Western Zhou

图 18 为一件西周青铜盘的局部 X 光图片。此盘经过修复处理,使得许多信息被覆盖,但在 X 光底片影像上可以展现得一目了然。其中,标注 1 处是铸造垫片;标注 2 处等明亮线条是修复时使用的铅锡焊料;标注 3 处是仍存在的部分裂纹;标注 4 处是铸造的铭文;标注 5 处是青铜基体局部成片腐蚀而形成的分界线影像。

有些器物因形状特殊,透照位置受到限制,往往会使影像严重变形,需要仔细分析判断,或采用特殊

的方法。图 19 为青铜鬲的局部放大 X 光图片。标注 1 处明显是其内部细微的裂纹;标注 2 处反映出双壁重叠花纹,紊乱而难以分辨。图 20 为青铜盘壁局部 X 光图片。由于盘壁弧度较大,定向 X 射线机拍摄的影像上产生扭曲、变形,致使难以识别和判断。上述问题可通过两种途径来解决,其一是采用周向 X 射线机(阳极棒)伸入器物内腔,胶片紧贴外壁;其二是将胶片沿器物弧度紧贴内壁,定向 X 射线机从外侧进行照射^[6],尽可能得到不变形的影像信息。

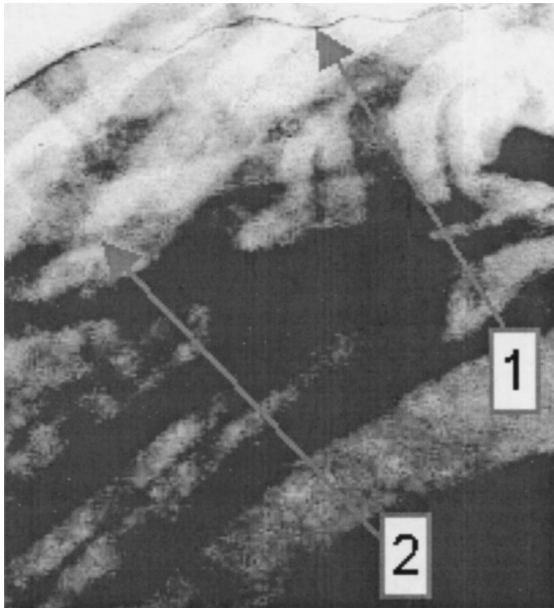


图 19 青铜鬲局部放大 X 光透照影像

Fig. 19 Magnified radiograph image of part of the bronze He

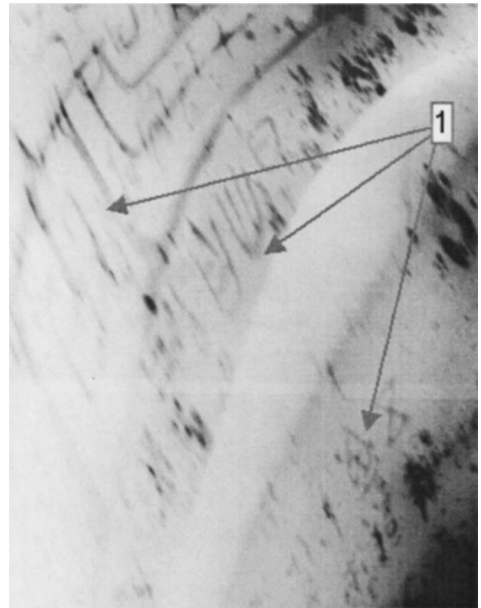


图 20 青铜盘壁局部 X 光透照影像

Fig. 20 Radiograph image of the partial bronze Pan

从以上 X 光透照影像中,可发现许多表面难以看到的有用信息,这就给 X 光照相术在青铜器研究中提供了一个很广的应用空间。并且通过器物的铸

造工艺特点等内部信息,为辨别器物真伪提供了有力证据。台北故宫博物院张世贤先生就通过 X 光照相技术,从毛公鼎内部垫片的有无及分布情况来

进一步证实毛公鼎为西周所铸^[7]。

通过以上应用实例表明, X 射线照相技术作为一种无损分析方法, 在文物保护和科技考古研究工作的积极作用基本可归纳如下几点:

(1) 揭示文物的制作工艺特征、内部缺陷分布特征; (2) 可提取文物表面被覆盖或污染的文字、纹饰等信息^[8]; (3) 反映和记录文物修复前、后的内部详细情况; (4) 提供文物各种内部信息, 作为鉴别真伪的参考依据^[9]; (5) 辅助了解文物内部病害的发展状况; (6) 寻找难以打开的组合和连接方式; (7) 帮助考古现场提取物的探测检查, 指导清理方法; (8) 古代化石的探测分析^[10]。

4 X 射线照相技术应用中需注意的问题

X 射线照相技术虽然以无损性、直观性而受到文物研究者的青睐。但作为一种检测手段, 还存在着方法本身的一些局限性和值得注意的问题:

(1) 对于 X 光照射过的陶瓷器, 包括陶范, 其热释光特性将会改变或消失。因此, 如需进行热释光检测, 必须在 X 光检测之前取样^[11];

(2) 已知紫外线对纸张的老化有加速作用, 而 X 射线波长更短, 线质更硬, 因此, 对古代书画的检测, 虽然检测中照射时间很短, 但是否会造成一定的破坏作用还有待进一步试验论证。

(3) X 射线照相法, 只是科学检测手段中的一种, 在对文物进行科学的研究、检测中, 往往需要结合其它检测分析手段同时进行。

(4) X 光底片只能反映平面的二维影像, 对空间三维实物检测有着一定的局限性。对于一个容器, 往往双壁的影像产生在同一张底片上, 增加了辨别信息的难度。另外, 对于弧度较大的器物, X 光底片反映的信息有一定的失真现象。虽然可以通过采取底片紧贴器物内、外壁拍摄的措施来获取单壁的影像, 但在条件许可的情况下, 最好采用棒阳极周向 X 光机进行拍摄, 但此方式尚未见有在文物检测中应用的报道。

5 结 语

综上所述, X 射线照相技术在文物保护与科技考古研究工作中已经获得不少的应用。随着该检测技术的不断发展与完善, 以及文物工作者对此技术的深入开发与利用, 相信作为无损检测手段之一的 X 射线照相技术, 在促进文物保护事业发展中的贡献会有长足发展。

参考文献:

- [1] 祝鸿范、周庚余. 用软 X 射线无损检测研究文物[A]. 见: 上海博物馆文物保护科学论文集[C]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1996: 395-404.
ZHU Hong-fan, ZHOU Gen-yu. Nondestructive testing to identify antiques by soft X-ray[A]. In: A Collection of the Shanghai Museum Thesis on Science of Conservation[C]. Shanghai: Shanghai Scientific Technological Literature Publishing House, 1996: 395-404.
- [2] 张天鹏. 射线检测[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2001: 138.
QIANG Tian-peng. The testing of radiat[M]. Kunming: Yunnan Scientific Technological Publishing House, 2001: 138.
- [3] 岳志勇. X 光片古瓷无损鉴定的新技术[N]. 中国文物报, 2000 年 10 月 11 日, 第 3 版.
YUE Zhi-yong. Radiography—a new technique of nondestructive testing on ancient porcelain[N]. China Cultural Relics News, 2000-10-11(3).
- [4] 张整顿. 文物仿制做假新手法鉴识[N]. 中国文物报, 2004 年 3 月 10 日, 第 7 版.
ZHANG Zheng-dun. A new way of identification of faking cultural relics[N]. China Cultural Relics News, 2004-3-10(7).
- [5] 黄 龙. 中国古代范型技术概论[A]. 见: 上海博物馆文物保护科学论文集[C]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1996: 111-114.
HUANG Long. A brief study on pattern and mold techniques in ancient China[A]. In: A Collection of the Shanghai Museum Thesis on Science of Conservation[C]. Shanghai: Shanghai Scientific Technological Literature Publishing House, 1996: 111-114.
- [6] Andrew Oddy. Introduction—recent and future development in conservation[A]. In: The art of the conservator[M]. London: British Museum Press, 1992: 16-19.
- [7] 张世贤. 从毛公鼎的真伪鉴别展望中国古器物学的研究(上)、(下)[J]. 文物保护与考古科学, 1994, (2): 39, 1995, (1): 44.
ZHANG Shi-xian. Forecast on Chinese antiquarianism study from Mao-Gong Ding's identification[J]. Sci Conserv Archaeol, 1994, 6(2): 39-42, 1995, 7(1): 44-47.
- [8] 北京在学考古文博院, 山西省考古研究所. 天马——曲村遗址北赵晋侯墓地第六次发掘[J]. 文物, 2001(8): 4-21.
The School of Archaeology and Museology, Beijing University, The Institute of Archaeology of Shanxi Province. The 6th Season of Excavation of the Graveyard of Marquis of Jin at the Tianma-Qucun Site[J]. Cultural relics, 2001(8): 4-21.
- [9] Paul Cradlock. Spotting the fakes[A]. Science and the past[M]. London: British Museum Press, 1991: 151-154.
- [10] 杨军昌、韩汝玢. X 光照相技术在文物及考古学研究中的应用[J]. 文物保护与考古科学, 2001, (1): 55-60.
YANG Jun-chang, HAN Ru-bin. The application of X-rays photography in the study of cultural relics and archaeology[J]. Sci Conserv Archaeol, 2001, 13(1): 55-60.
- [11] David A. Scott. Nondestructive testing[A]. In: Copper and bronze in art corrosion, cobrants, conservation[M]. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2002: 392-394.

X – ray radiography in scientific conservation

DING Zhong – ming, WU Lai – ming, KONG Fan – gong

(The Research Laboratory for Conservation and Archaeology, Shanghai Museum, Shanghai 200050, China)

Abstract: The article is about the soft and hard practical applications of the X – ray radiography machine in the analysis of various materials such as bronze vessels porcelain and pottery, calligraphy and painting, carpentry, and etc. Acquiring information from the internal parts of an artifact reveals its condition, manufacturing techniques, conservation details, internal defects and authenticity. The article also relates the experience of using the X – ray radiography when studying artifacts and discusses the areas of concern when using this technology on cultural objects. Its suggestion of preventive measures helps to promote safety of object during the use of the X – ray radiography technology.

Key words: X – ray radiography; Scientific conservation; Application