

# 潮湿环境下古象牙的现场提取与保护

——以三星堆遗址三号坑出土象牙为例\*

肖庆  
王冲  
谢振斌  
任俊锋  
郭建波  
郭汉中

四川省文物考古研究院  
(四川广汉三星堆博物馆)

**摘要:** 2020年10月,三星堆遗址新发现祭祀坑正式启动考古发掘工作。随着发掘工作的推进,大量象牙相继出土。由于长期埋藏于潮湿的地下环境,象牙基本处于饱水状态,保存状况较差。为了使象牙保持相对稳定的状态,在考古发掘现场针对不同象牙的发掘情况,采用高分子绷带进行固形处理,然后整体提取回实验室清理。清理完成的象牙,经过保湿杀菌处理后存放至低温高湿专用库房。三星堆遗址三号祭祀坑出土象牙的成功提取与保护,表明医用高分子绷带具有超越石膏提取法的应用优势,对类似出土遗物的现场保护工作有一定的借鉴作用。

**关键词:** 三星堆遗址;古象牙;现场保护;高分子绷带

**Abstract:** In October 2020, archaeological excavation at the newly discovered sacrificial pits of Sanxingdui site officially kicked off. As the excavation proceeds, a large number of elephant tusks have been unearthed, which are basically in a water-saturated state and poorly preserved as they have been buried in a damp underground environment for long. In order to keep them in a relatively stable state, the tusks are fixed with polymer bandages and extracted in whole for further laboratory sorting. The cleared up tusks are stored in a dedicated warehouse with low temperature and high humidity after moisturizing and sterilization. The successful extraction and preservation of elephant tusks unearthed in the No. 3 sacrificial pit of Sanxingdui site shows that medical polymer bandage has an application advantage over the gypsum extraction method, which is of reference value for field preservation of similar unearthed relics.

**Key Words:** Sanxingdui Site, Ancient elephant tusks, Field preservation at archaeological site, Polymer bandage

\* 基金项目:四川省科技计划重点研发项目“三星堆遗址出土象牙现场应急保护研究”(项目编号:2021YFS0401);四川省科技计划重点研发项目“考古出土脆弱文物保护关键技术与应用示范”;四川省科技计划重点研发项目“潮湿环境出土象牙文物保护加固研究”。

## 一 引言

三星堆遗址位于四川广汉市三星堆镇，地处成都平原腹心，其发现已有90余年历史。20世纪80年代发掘的两个祭祀坑中出土了大量精美的文物，其中整根象牙和象牙制品备受世人关注。但限于当时科技水平与社会发展状况，所能采取的保护方法和措施十分有限。30多年后，三星堆遗址再次发现6个祭祀坑，坑内发掘出大量象牙与象牙制品，象牙的现场提取与保护成了摆在我们面前的第一大难题。经前期调查表明，象牙保存状况良莠不齐，出土象牙存在多种病害，例如本体断裂、酥粉、釉层开裂和剥落等。目前，针对潮湿地区出土象牙并没有较为成熟的保护技术，也缺乏系统、完善的应急保护技术体系。出露后的象牙如不及时采取科学、有效的应急保护措施，将会快速失水并滋生微生物，最终发展为开裂、粉化、变色等不可逆病害，直至完全粉化破坏<sup>[1]</sup>。因此，及时将象牙从坑内安全提取出来，保存在一个相对稳定的环境中，给后续

保护争取时间，是考古发掘现场保护面临的首要问题。

本文以三星堆遗址三号祭祀坑出土象牙为例，对潮湿环境下古象牙的现场提取与保护方法进行了筛选，着重介绍了出土象牙保存状况、现场提取方法、实验室清理和临时保存过程。通过对提取方法和材料的优化，最终采用医用高分子绷带作为固形材料，目前已成功提取象牙96根。提取成功的象牙经过X射线探伤、实验室清理后，放置于低温高湿的象牙专用库房保存。该现场提取与保护方法，不仅适用于三星堆遗址象牙保护，对全国乃至全球相似类型文物的现场保护也具有一定的借鉴意义，其应用前景较为广泛。

## 二 三号坑象牙保存现状

为了更好地发掘与保护出土文物，三星堆遗址祭祀区修建了临时保护大棚，可避免日光直接暴晒和降水侵蚀。内部的考古发掘舱安装了水暖空调、新风系统和加湿系统，可维持发掘环境的相对稳定，同时配备温湿度、二氧化氮、二氧化



图一 三星堆遗址祭祀坑分布示意图

碳、蒸发量等环境监测设备,可以根据实际需求对舱内环境进行精准调控,使舱内温度长期稳定在20~25℃,湿度70~90%。

三星堆遗址三号祭祀坑位于保护大棚中部(图一),近似长方形,长5.8、宽2.2~2.7米,发掘出土的遗物,主要以象牙和青铜器为主<sup>[2]</sup>。经前期勘探调查,对三号坑器物的埋藏环境及内部填土的理化性质进行了分析测定。三号坑内填土的含水率为20.59~22.69%,密度为1.87~1.99 g/cm<sup>3</sup>,PH值为弱碱性7.06~7.26(图二),表明该埋藏环境对象牙的保存有一定益处<sup>[3]</sup>。象牙位于铜器之上,在整个器物层上部,几乎遍布于坑内,距坑口约1.6米,整体保存状况较差。象牙尺寸和完残程度不一,完整象牙长度为1.2~1.5米,多数象牙分层开裂,存在釉层脱落现象。部分象牙裂隙被泥土充填,基本失去原有组织结构和力学强度。象牙与象牙或铜器之间叠压情况非常复杂,这给象牙的现场提取造成了很大的困难(图三)。

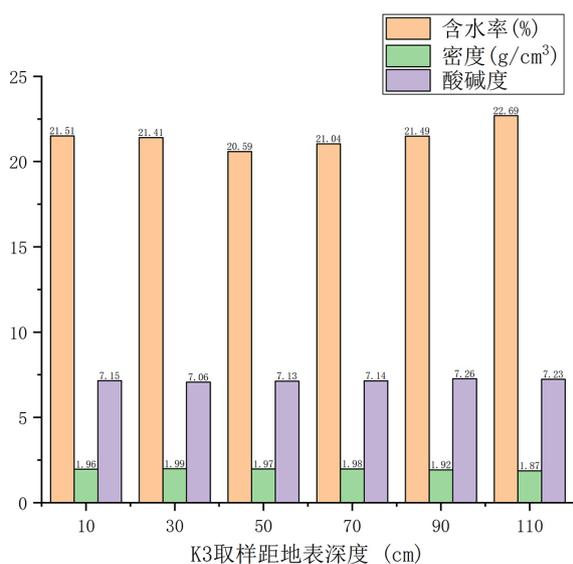
### 三 象牙的现场提取

#### (一) 提取方法与材料

考古发掘现场文物的提取应遵守文物保护基本原则,首先需对提取方法与材料加以筛选。脆弱文物的提取,常用方法有石膏提取法、环十二

烷提取法、聚氨酯泡沫提取法和薄荷醇提取法。其中,环十二烷和聚氨酯泡沫在使用过程中,存在刺激性气味以及毒性问题<sup>[4]</sup>,而此次发掘均处于密闭的考古发掘舱内,对舱内环境和工作人员的人身健康存在一定安全隐患,故首先排除。环十二烷与薄荷醇如想获得理想的加固效果,都需要对文物本体进行渗透加固,虽然两种材料均能通过升华的方式去除,但是否在象牙内部有局部残留以及对象牙后续分析检测是否存在影响都还不确定。此外,三星堆遗址出土象牙均处于饱水状态,而环十二烷和薄荷醇均有一定疏水性,渗透深度以及加固效果并不理想<sup>[5]</sup>。为了避免象牙本体被污染以及确保理想的加固效果,本次提取主要采用物理方法加固,尽量不使用加固剂进行本体渗透加固。

石膏提取法是在考古发掘现场使用时间最长,技术最为成熟,应用案例最为广泛的提取方法,金沙遗址出土象牙的提取工作就采取了该方法<sup>[6]</sup>。但石膏作为现场固形材料一直存在较多问题,如提取操作复杂,固化时间较长,并且固化过程发热,石膏粉易污染发掘现场,固化后的石膏自重较大,后期易反潮和拆除困难等诸多问题,这些问题都将增加文物的安全隐患。医用高分子绷带由纤维布和聚氨酯树脂混合制成,在医学上已经逐步替代石膏模的作用,作为骨伤科医



图二 三号坑填土含水率、密度、酸碱度



图三 三号坑局部象牙叠压情况

生的主要固形材料<sup>[7]</sup>。针对考古发掘现场,高分子绷带基本解决了上述石膏提取法所面临的所有问题,其特点可总结如下:

#### 1. 安全无害

现场文物提取过程中,操作人员会与提取材料近距离接触,提取材料的安全无害才能保证操作人员的生命健康。自医学上使用以来,高分子绷带经过了大量动物实验和急慢性毒性实验,均证实医用聚氨酯材料无毒、无致畸变作用,对局部无刺激性反应<sup>[8]</sup>。

#### 2. 操作方便、固化速度快

与高分子绷带相比,传统的石膏提取法操作复杂,石膏浆体调制以及固化需花费数小时。而大量高分子绷带采用的水固化聚氨酯,使用时只需拆开包装,浸水后即可迅速固化<sup>[9]</sup>。5分钟即可固化定型,20分钟可承重,极大缩短考古现场文物提取时间。并且固化过程中,不会产生热量以及体积收缩膨胀等问题。

#### 3. 自重轻、强度高

高分子绷带自重轻,相同体积只有石膏的五分之一重,强度却为石膏的20倍以上<sup>[10]</sup>,并且固化前塑形性良好、韧性佳,能根据象牙的弯曲度较好贴合。相比之下,石膏自重较大,在发掘现场并不适合一些体量较大的遗物<sup>[11]</sup>。

#### 4. 使用与拆除过程无污染

石膏的使用过程中,石膏粉或浆体易污染提取物周边遗迹。如北周武帝孝陵的发掘过程中就曾提及,石膏污染物较难去除,并且会给现场带来盐污染<sup>[12]</sup>。此外,后期石膏模的拆除振动较大,对于石膏模内的脆弱文物将有安全隐患。而高分子绷带使用过程简便,无任何附加污染。浸水后的高分子绷带预聚体具有一定粘度,水分不易在网布上流淌。固化定型后的高分子绷带只需一把剪刀即可轻松拆除,过程中不产生粉末,不需要大型切割工具,避免振动等行为对文物造成二次伤害。

#### 5. 防水性好

高分子绷带固化后不会与水产生任何物理和化学反应,吸水率极低,不会产生类似石膏反潮

的现象。即使水下浸泡也不会软化变形,对于潮湿环境下饱水状态的古象牙提取以及固形保存十分有利。

#### 6. X射线透射性极佳

石膏固化后密度较大,对X射线吸收较强,不拆除外部石膏无法获得清晰的X光片。但是在不明确内部情况的条件下,贸然拆除固形材料可能导致内部象牙碎裂。而高分子绷带对X射线无明显吸收效应,可在不拆除固形绷带的情况下,利用X射线技术探明内部象牙的保存状况,可以给后续的清埋保护工作提供一定的指导作用。

### (二) 提取过程

#### 1. 背景分离与预处理

现场信息记录完成后,首先是将象牙本体与埋藏环境尽量分离。使用竹刀等工具清理象牙周边泥土,为确保象牙本体安全,泥土清理时不能完全掏空下部支撑土,清理至象牙本体露出三分之二即可。使用特制钢针带着纱布或棉线贯通象牙下部泥土,贯通后,纱布留至贯通处,待固形完成时再次加固象牙贯通处,以增加象牙下部受力点。由于多数象牙较长,所以尽量多增加贯通点,贯通点设置间距约10厘米。

#### 2. 象牙保湿与隔离污染

象牙暴露在空气中会快速失水酥粉化,所以保持水分不散失是象牙现场保护的一个重点。采用的方法是使用保鲜膜紧密贴敷象牙本体露出部分,共贴敷两层。保鲜膜贴敷主要有两个作用,一是保持象牙本体水分不散失,二是避免后续操作污染象牙。

#### 3. 固形处理

本次考古现场象牙提取所采用的高分子绷带为苏州元康医疗器械有限公司生产,型号YCP04。现场使用时根据象牙粗度,将高分子绷带裁剪成10~15厘米的长度,去离子水浸润后,立即均匀贴敷于象牙表面,至少贴敷三层,体量较大的象牙可增加绷带层数。因高分子绷带固化速度较快,贴敷时应动作迅速,同时使用木制工具压实未贴合处,只有完全贴合象牙本体,才能保证高分子绷带的固形效果。贴敷完绷带

后,立即使用预留的贯通纱布捆扎象牙,增加象牙下部支撑点的同时也增加了绷带的贴合度。对于体量较大象牙,可在绷带之上再使用竹条作为龙骨,进行加筋处理。竹条的强度高而且韧性极佳,可以随着象牙弧度任意弯曲,不仅可以增加高分子绷带的承重力,还能增强象牙的整体性。处理完成后现场等待20分钟,待高分子绷带完全固化后,即可进行下一步提取工作。

#### 4.提取与装箱

高分子绷带固化以后,再次清理象牙下部泥土,保留支撑点的同时扩大贯通处,将非支撑点部位泥土全部清理掏空。使用双手小心松动支撑土,将象牙取出后慢慢翻转象牙,使高分子绷带处于象牙下部,起承重作用。象牙取出后,放置于填有海绵的木箱内。用饱水状态的一次性高压蒸汽灭菌棉巾贴敷于象牙暴露面,并使用保鲜膜将象牙与木箱整体包裹,做补水保湿处理,包装完成的象牙送至实验室进行后续细致的清理工作(图四)。

### 四 象牙的临时保护

#### (一) X射线探伤

X射线检测作为一种无损检测技术,最早应用到文物领域,可追溯至20世纪20年代对于纸质

文物的检测分析。目前,随着文物保护“最小干预原则”的推广以及X射线检测技术的不断发展,X射线探伤以其非破坏性和直观性等优点,已经成为文物检测的一种常规手段<sup>[13]</sup>。

三星堆遗址出土象牙整体保存状况较差,部分象牙存在断裂和隐形裂隙现象。前期现场提取时,已在坑内对象牙进行了加固与固形,最大程度地确保象牙的提取与运输过程的安全。而实验室清理时需要拆除加固材料,由于对内部象牙结构的不了解,拆除过程可能会损伤象牙本体。利用X射线探伤技术可在不拆除高分子绷带、不扰动文物的情况下,探明象牙的内部情况,将其隐藏的结构信息直观地展示出来。象牙(K3XY8-1)的X射线探伤分析可直观地了解到象牙本体存在多段隐形裂隙以及尖端存在严重残缺病害,实验室清理时探伤图像可作为参考,对病害存在区域小心清理(图五)。

#### (二) 实验室清理

象牙提取后,表面还有部分泥土附着,如不及时清理,泥土易干燥结块和滋生微生物,增加清理难度。故象牙送至实验室后,需及时采取措施清理。由于象牙提取过程中经过了翻转,原表面朝下腹部朝上,原表面有高分子绷带固定,所以先清理象牙腹部泥土。在悬臂式显微镜下用竹



图四 象牙现场提取步骤

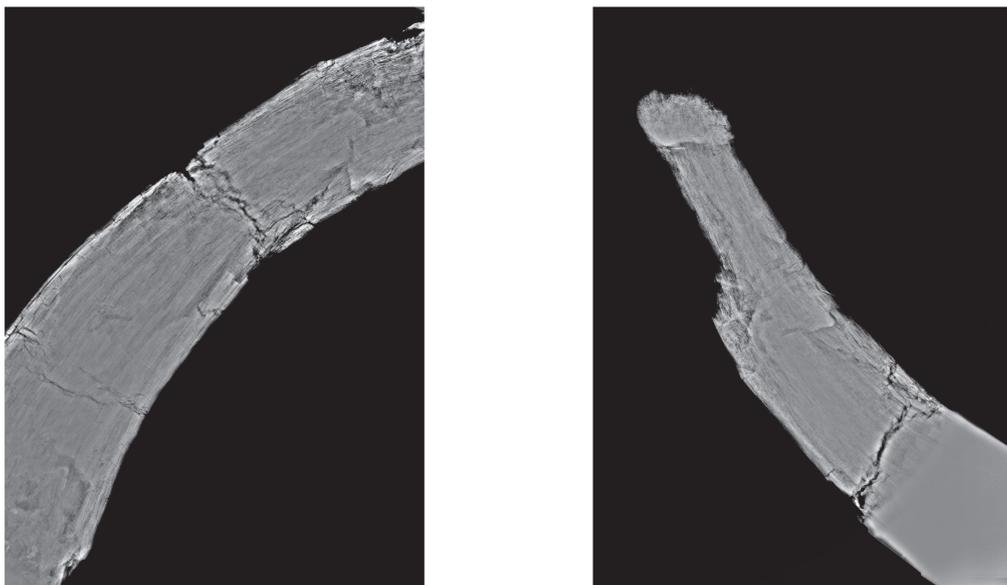


图5 象牙(K3XY8—1)X射线探伤分析

刀或手术刀小心剔除表面的泥土。若表面泥土黏结较为紧密,可采用去离子水先将泥土润湿、松软,再进行剔除。清理时,如遇局部象牙釉质层脱落,可用聚乙烯醇缩丁醛预先加固,待固化以后再清理。但预加固只能在小范围使用,大范围使用会影响后期的保护措施。腹部清理完成后,可使用剪刀剪开绷带,清理绷带下的区域,清理至腹部象牙露出三分之二后,在象牙表面喷洒敌敌畏丙酮溶液,灭杀表面的微生物,并在一定时期抑制其生长。杀菌完成后,使用坑内提取时相同的加固步骤,即腹部保鲜膜覆盖后高分子绷带固形。固化以后再次将象牙翻转,清理象牙埋藏时的表面并做杀菌处理。象牙表面清理完毕后,再次使用饱水棉巾覆盖象牙暴露区域,最后使用保鲜膜将象牙整体覆盖包裹。

### (三) 保存环境控制与日常维护

根据相关文献与前期实验,象牙在湿度90%以上的环境中失水速率较低,低温环境下,不容易滋生微生物<sup>[14]</sup>。因此象牙的临时存放采用低温高湿的保存措施,环境温度控制为5~8℃,相对湿度90%。同时,定期检查象牙保存状况,每7天更换一次表面覆盖的棉巾,做好色差和含水率的日常监测工作,并观察象牙的形态,检查是否有开裂或是微生物滋长的情况。库房用电需采

用常用电与电缆桥架接的应急电源系统,防止因电力故障而影响库房设备运行。

## 五 结语

考古发掘现场文物的安全提取是后期文物保护与修复的关键一步,提取材料的选择将直接影响提取效果。目前考古现场常用提取加固材料均有一定的疏水性(如环十二烷和薄荷醇等),在潮湿环境下加固效果与适用性欠佳。同时考虑到加固剂残留、毒性与污染等问题,此次三星堆遗址出土象牙的提取主要采用非直接接触的物理加固为主。鉴于石膏与象牙自重均较大以及石膏拆除困难和污染遗址等问题,本次现场提取首次使用了医用高分子绷带作为固形材料。高分子绷带的使用简化了现场提取的操作步骤,缩短了提取时间,减少污染的同时也省去了复杂的拆除工作,最终取得令人满意的提取效果。本案例的成功实施展示了高分子绷带作为现场固形材料的诸多优点,作为传统石膏的替代品具有较高的推广价值和实用性。但提取过程中也暴露出一些问题,如加固层数与绷带强度的量化关系、高分子绷带抗水性能等问题仍需进一步实验与研究。

目前,针对潮湿环境出土象牙并没有较为成熟的保护技术,也缺乏系统、完善的应急保护技

术体系。古象牙的现场提取与清理只是象牙保护工作的一部分,对于古象牙的长久保存与展示利用才是亟需解决的难题,如何解决这个难题,是文物保护工作者的一大挑战。

附记:郭汉中、王冲、任俊峰、杨平、马勤松、王荔、张跃芬、蔡秋彤、李思凡、朱莉萍、郭建波等参与了出土象牙现场提取和实验室清理工作,他们对本文的写作提供了帮助,在此表示感谢。

注释:

- [1] a.樊华:《金沙与三星堆出土象牙结构和组分研究》,第14页,硕士学位论文,成都理工大学,2006年;  
b.汪灵:《金沙与三星堆古象牙及其矿物学意义》,《矿物岩石地球化学通报》编辑委员会编:《中国矿物岩石地球化学学会第11届学术年会论文集》,第134~135页,2007年。
- [2] 四川省文物考古研究院、上海大学文学院:《三星堆遗址三号祭祀坑出土铜顶尊跪坐人像》,《四川文物》2021年第3期。
- [3] a.于群力、杨秋颖:《文物病害与保存环境》,《文博》2005年第1期;  
b.Leif Steguweit, Rotten ivory as raw material source in European Upper Palaeolithic, *Quaternary International*, vol.361 (2015) .
- [4] 罗宏杰等:《环十二烷在文物保护中的应用进展》,《中国材料进展》2012年第11期。
- [5] a.唐小红等:《考古出水脆弱遗存的临时加固提取技术探索——以“南海I号”为例》,《广西民族大学学报(自然科学版)》2019年第2期;  
b.杨忙忙等:《用环十二烷提取秦陵陪葬坑中的铠甲及相关问题探讨》,《考古与文物》2005年第3期。
- [6] 肖磷等:《金沙遗址出土古象牙的现场清理加固保护》,《文物保护与考古科学》2004年第3期。
- [7] a.鲍俊杰等:《医用聚氨酯材料研究进展》,《聚氨酯》2007年第9期;  
b.陈后平等:《医用高分子绷带在Ponseti法治疗先

天性马蹄足中的应用(附47例报告)》,《贵州医药》2012年第7期;

c.张言伟等:《手法复位高分子绷带前后托对胫腓骨骨折的治疗效果研究》,《中国社区医师》2019年第19期。

- [8] a.Gabriel Amitai,et al.,Polyurethane-based leukocyte-inspired biocidal Materials,*Biomaterials*, vol.30:33 (2009);  
b.Brzeska Joanna,et al.,The influence of synthetic polyhydroxybutyrate on selected properties of novel polyurethanes for medical applications. Part I. Polyurethanes with aromatic diisocyanates in hard segments,*Polimery*,vol.55:01 (2010) .
- [9] 詹中贤:《单组分湿固化聚氨酯热熔胶黏剂的研制》,《化学与粘合》2008年第3期。
- [10] 谢伟娟:《玻纤高分子医用绷带的发展概况及性能特点》,《玻璃纤维》2002年第4期。
- [11] 容波等:《考古发掘现场出土脆弱遗迹提取方法研究述评》,《文物保护与考古科学》2016年第3期。
- [12] [德]H·V·雷可夫基文,侯改玲编译:《考古发掘工地石膏封护提取文物的方法及实践》,《考古与文物》2000年第6期。
- [13] 周华等:《射线探伤无损检测方法在文物考古现场应用最新进展》,《敦煌研究》2013年第1期。
- [14] a.同[3] a;  
b.旦辉:《成都金沙出土象牙物理化学性质及赋存环境研究》,第45页,硕士学位论文,成都理工大学,2006年。

(编辑 周羿杨)