

秦始皇陵园新出土陶俑保护 修复方法的改进

——从百戏俑的保护修复谈起

刘江卫¹ 马 艳² 赵 昆³ 夏 寅⁴

(1. 3. 4. 陶质彩绘文物研究国家文物局重点科研基地 [秦始皇帝陵博物院], 陕西 临潼 710600;
2. 河南博物院, 河南 郑州 450002)

Abstract: The restoration methodes between the terracotta acrobat figurine and the Qin terracotta which are unearthed from the tomb of the earliest emperor of Qin Dynasty have got the same factors , as well as the different ones. With the progress of conservation research , the process of restoration has introduced some new thought , and new material , along with some new craft. Using these new ones to improve the original consevation and restoration methodes , we have got a better effect. Meanwhile , the data we' ve got is more detailed and comprehensive , that is caused the scientification and standardize of conservation and restoration on cultural relics.

Key words: Qin shihuang cemetery; terracotta acrobat figurine; polychrome; restoration

摘 要: 百戏俑的保护修复与早期秦始皇陵园出土陶俑的修复既有相同之处又有不同之处。随着保护研究的深入, 修复过程中引进了一些新思路、新材料、新工艺, 对原有保护修复方法进行改进与完善, 取得良好的保护修复效果。

关键词: 秦始皇陵园; 陶俑; 彩绘; 保护修复

一、早期介入, 变被动保护为主动保护

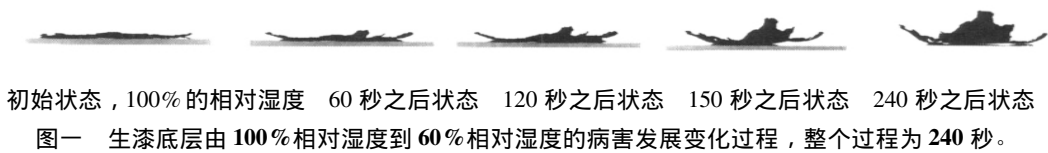
秦始皇陵园出土的陶俑有其特殊性, 其表面的彩绘是绘制在生漆层之上, 自然开放环境温度变化会造成漆层极易剥落、起翘, 从而使彩绘发生剥落。早期出土的秦俑受当时条件、保护技术等因素的制约, 无法在第一时间、第一现场及时对漆层及彩绘层采取必要的现场保护措施, 使得许多陶俑在出土一段时间内表面的漆层及彩绘层丧失殆尽, 致使许多珍贵的文物实物资料遗失, 留下遗憾。1999 年, 兵马俑开始发掘百戏俑坑, 为最大程度使秦俑出土的百戏俑得到保存, 我们通过大量的实验和研究, 采用 30% 的抗皱缩剂 (PEG200) 和 3% 的加固剂 (聚氨脂乳液) 点涂或喷涂的方法发掘现场对彩绘采取临时性联合保护处理。从后期的彩绘保护结果看, 在考古现场第一时间采取的保护措施非常有效, 对后续保护处理起到积极作用。

二、保护修复方法的改进及新材料的引进

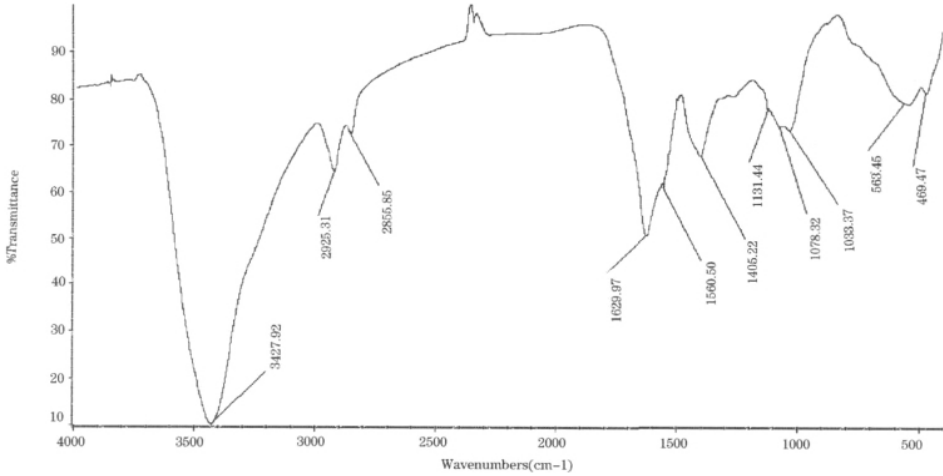
1. 清理

早期对于陶俑表面的清理规范性较差, 无严格的操作流程。清理是将待清理的无彩绘陶片放入水中浸泡, 再取出陶块表面、残断面的土垢及杂质, 这样做的弊端是: (1) 容易损伤陶质表面; (2) 造成彩绘的损失; (3) 造成陶片残断面的磨损, 直接影响到粘接成形的效果; (4) 采用未经处理的水进行清理, 会将一些对有害物质带进文物内。

百戏俑的清理则严格按照保护修复流程进行, 我们依据已制定的保护修复方案实施保护修复。清理的步骤是: (1) 确定需要清除的物质; (2) 确定清理的方法、使用的材料与器具; (3) 清理前先进行小范围清理试验, 确定清理的程度; (4) 整体先分区再清理; (5) 清理前对起翘、卷曲的彩绘进行预加固处理; (6) 依据漆



图一 生漆底层由 100 %相对湿度到 60 %相对湿度的病害发展变化过程，整个过程为 240 秒。



图二 褐色有机层的 FT-IR 分析谱图

层的特性人为地创造一个相对湿度在 90% 左右的小环境。

2. 加固

秦陵周边出土的彩绘陶俑出土前已在地下埋藏了两千多年,受地下环境因素长期作用的原因,彩绘层中的胶结成分已经老化或丧失,使彩绘层变得十分的脆弱。研究表明,环境温湿度变化与彩绘剥落有着密切的关系(图一),针对这一问题,在保护措施方面也进行过一些实验,并对一些彩绘残迹进行了保护处理,取得了一定的成效,获得了许多宝贵经验,但未能从根本上解决问题。

我们通过大量科学分析研究表明,秦始皇百戏俑的彩绘是由有机层和绘制在有机层上的颜料层构成(图二,表一),有机层呈黑褐色,经分析主要成分为中国生漆。彩绘主要使用天然矿物

颜料绘制。(表二)其损坏机理与特殊的制作层次结构、材料的特性以及出土时的环境状况有关,导致的病害类型方式大致有五种情况(图三):(1)底层与陶体分离,彩绘层与底层分离;(2)双底层与陶体分离;(3)彩绘层与底层的分离;(4)彩绘层和底层与陶体的分离;(5)彩绘层和底层与陶体的分离。特别是底层(大漆层)出土时为饱水状态(图四),对环境变化非常敏感,漆层失水后即引起漆层剧烈收

表二 彩绘颜料成分

颜色	分析结果	分子式
白色	铅白	$\text{PbCO}_3, \text{Pb}_2\text{CO}_3\text{Pb}(\text{OH})_2$
	碳酸钙(磷灰石)	$\text{Ca}(\text{PO}_4)_3\text{OH}$
	高岭土	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
黄色	黄赭石	FeOOH
	钒铅矿	$\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$
红	朱砂	HgS
	赤铁矿	Fe_2O_3
	铅丹	Pb_3O_4
紫色	汉紫	$\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$
蓝色	蓝铜矿(石青)	$2\text{Cu}_2\text{CO}_3\cdot\text{xCu}(\text{OH})_2$
绿色	孔雀石(石绿)	$\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CuCO}_3$
黑色	骨炭	$\text{CuNdCa}_3(\text{PO}_4)_2$

表一 褐色有机层的红外吸收光谱曲线上各个吸收峰对应的有机基团

红外吸收峰波数/cm ⁻¹	对应的有机基团
3428	-OH
2925	-CH ₂ -
2856	-CH-
1630	-CH=CH-(苯环)
1405	-CH-

缩、起翘、卷曲、龟裂等病害，造成彩绘层变形或脱离陶体。由于材料发生老化，颜料层的结合力，彩绘各层之间、底层与陶体之间的联结力都很微弱，其涨缩系数也存在明显差异，通过模拟实验，模拟了失水对漆层和颜料层造成损坏的过程^①。（图五）

根据陶俑彩绘的损害机理研究，确定解决彩绘病害加固剂须满足下列两点要求：（1）减弱或阻止因干燥引起的的皱缩。（2）加固剂应能渗至底层与陶体的表面之间，恢复底层（大漆层）与陶体之间的联结力。

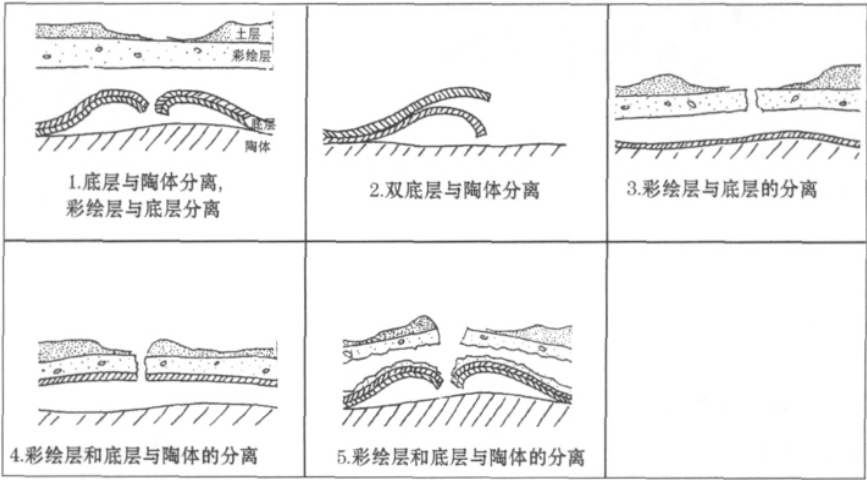
以此为基础的保护思路，根据生漆层的特性，选择加固剂进行加固，加固剂应具有抗皱缩作用，并能够置换生漆层中的水分，恢复底层和颜料层的粘结力。

我们通过实验对比研究，以往修复中使用的天然树脂和合成高分子加固剂无法渗透至底层，在底层和陶体之间起加固作用，一般的加固剂也不足以抵御漆层因失水而引起的剧烈皱缩。另

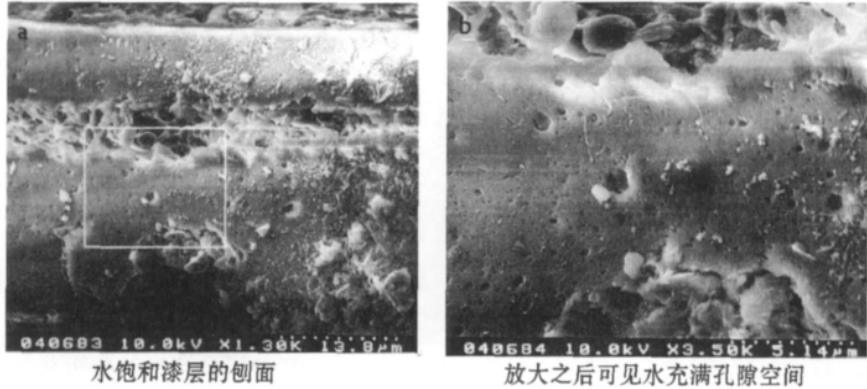
外，天然加固剂在高湿度环境下易于受到霉菌和细菌的侵蚀而变质失去加固作用^②。最终，我们确定了两种保护材料和方法来解决。一是用抗皱缩剂（聚乙二醇 PEG200）和加固剂（聚氨脂乳液）联合处理的保护方法（图六、图七），聚乙二醇的作用是在保湿的同时将漆层中的水置换出来。

3. 粘接工艺的改进实验

百戏俑的粘接应遵循的原则：第一，最小干预；第二，有效干预；第三，可逆性，适合大型陶器的粘接。选择粘接剂的标准是：（1）粘接剂的内聚力和粘接剂与被粘表面的结合力。（2）粘接剂的强度应该能够使残破的部分重新结合在一起，并能承受搬动、运输等作业。秦陶俑高度约在 166 ~ 202 厘米，重量约 120 ~ 200 公斤，所以在粘接时要充分考虑其存在的力学支撑问题。（3）陶胎的主要成分为有硅、铝、钙、铁、钾、钠等元素；烧成温度为 755℃ 至 990℃，平均为 914℃；体积密度平均为 1.83%；吸水率平均为



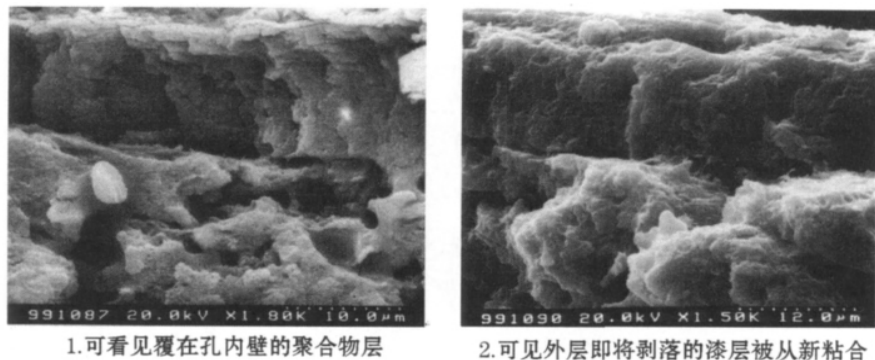
图三 彩绘层损坏类型



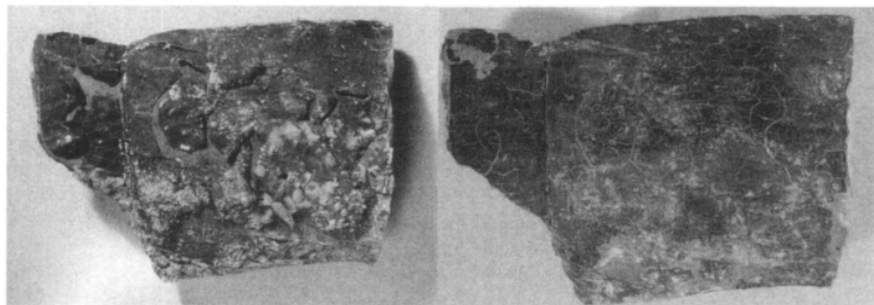
图四 漆层含水扫描电镜照片



图五 失水、再用水湿润、再失水示意图



图六 采用聚乙二醇 PEG200 和聚氨脂乳液保护处理后扫描电镜照片



图七 保护处理前后对比

17%；显气孔率平均为 31.3%；抗压强度平均为 57.95MPa；洛氏硬度平均值为 55.76。胶粘剂在自身的强度应略低于粘接面强度，避免在外力作用下陶体导致新的断裂面产生。（4）胶粘剂在使用过程中和胶接完成后的时段内的收缩要小。（5）粘接剂应该与被粘材料的热膨胀系数相似，尤其是在冷热变换快的环境中。

可能符合以上标准的常用粘接剂有：聚甲基丙烯酸树脂（ParloldB72）、环氧树脂（618E—51）（表三），通过试验测试符合使用要求的粘接方法。（表四）

单纯使用环氧树脂的粘接力均大于陶质部分，容易对陶基体造成新的损伤。而使用环氧树脂 618（E—51）+10% ParloldB72 的粘接是从粘接面处断裂，达到粘接强度的要求，且耐老化性较强，其他物理力学机械性能较理想。

百戏俑在粘接之前对粘接面使用了涂刷隔离层的处理方法。采用涂刷隔离层目的是：（1）改善粘接层面的内聚强度。（2）使文物的粘接有“可再操作”。因为文物保护修复中所使用的

材料都有时间上的期限，随着所使用材料的老化，就要进行再次的保护修复。由于陶质文物的孔隙多，粘接剂容易在粘接表面产生渗透，而现在常用的粘接剂粘附性好，又不容易溶解，可逆性几乎没有。而在待粘接面涂底胶处理是一个可以提供可逆操作的途径，为再次保护修复打开文物粘接处时对文物粘接面的损伤降低到最低。（3）拼接时可以有效保护粘接面。

秦始皇陵园出土的陶俑体形都很大，粘接时的固定有较大难度，粘接过程中出现一点差错，就会给下一步的粘接带来错位的情况。早期秦始皇陵园出土的陶俑在粘接过程中为了便于粘接成型，普遍采用石膏固定成型的方法，这样做的缺点：（1）对文物表面造成污染；（2）同时将盐分带进文物里，对文物的保存不利。百戏俑的粘接成形过程中没有采用石膏固定的方法，而是采用机械方法施压固定。

三、文物信息资料的获得与整理归档更加科学化、规范化

修复百戏俑的过程中，资料的获得与整理归

档更加科学化、规范化，记录方法更加全面、详细，资料的获得手段更加多样化。比早期秦始皇

陵园出土的陶俑在科学分析与资料记录方面相比更加完善。

表三 采用的粘接剂的特性

粘接剂类型	商品牌号	组分配方	基本特性
聚甲基丙烯酸树脂	ParloidB72	ParloidB72: 乙酸乙酯 (5 : 100 与 30 : 100)	热塑性聚合物，可逆性好，无色透明，粘度低，渗透性好，具有较强的耐水、耐热性，根据不同的需要可作为加固剂或者粘合剂使用。
环氧树脂	环氧树脂 (618E - 51)	618 双酚 A 环氧树脂: 650 低分子聚酰胺 (6 : 4)	属三向交联结构的热固性聚合物，环氧树脂结构中具有极强的羟基与醚键，能与被粘物表面产生较强的分子间作用引力，同时环氧基团可与某些无机表面形成化学键，因此粘接力强，对多种材料具有良好的粘附性，应用广泛，固化反应无副反应产生，所以收缩率低，体积改变很小。绝缘性能好，耐酸、碱、油等介质，抗菌能力强，工艺简便。缺点是低温下 (10℃ 以下) 固化不完全，耐湿热性能不强。

表四 采用粘接剂强度测试结果

类型	拉力 P (N)	面积 a (mm ²)	拉伸强度 σ (N/mm ²)
ParloidB72	60	238	0. 252
	65	238	0. 273
	58	238	0. 244
环氧树脂 618 (E - 51)	364	188	1. 936
	370	188	1. 968
	368	188	1. 957
环氧树脂 618 (E - 51) + 10% ParloidB72	310	182	1. 703
	316	182	1. 736
	321	182	1. 764

四、结语

从几年前修复过的百戏俑目前的保存状况看，考古现场采用 30% 的抗皱缩剂 (PEG200) 和 3% 的加固剂 (聚氨脂乳液) 点涂或喷涂的方法保护处理，使百戏俑的彩绘得到了最大程度的保存。而根据修复材料特性和陶俑材料特点确定的百戏俑粘接材料和方法是修复方法的又一突破，使保护工作更加稳妥。保护过程文物信息资料的获得与整理归档是文物研究中不可分割的重要部分，日趋得到更多的关注。我们只有不断吸收新知识、新理念、新方法，不断以科学的保护修复理念完善适用的技术手段，才能使珍贵的彩

绘陶质文物得到科学有效的保护。

① 布楞斯多福·艾默林·佩策特(主编：《秦始皇陵兵马俑》Bayerisches and Landesamt fur Denkmalpflege/Deutsches Nationalkomitee von ICOMOS，Muenchen 2001; 巴伐利亚州文物保护局报告集《秦始皇陵兵马俑》2001 年。

② 张志军 《秦始皇兵马俑文物保护研究》，陕西人民出版社，1998 年。

(责任编辑：黄林纳)