

试析陶质文物的科技检测与保护修复 ——以荆门市博物馆文物保护项目为例

邬 涵

(荆门市博物馆, 湖北荆门, 448000)

摘要 荆门市博物馆收藏的陶质文物数量较多, 其中有一部分出土后仅进行过简单清理, 存放至今已出现不同程度病害。经调查评估, 我们从中选出210件陶质文物, 以科技检测分析为基础, 制定保护修复方案, 实施了科学合理的保护与修复。本文以这批文物的保护修复项目为背景, 主要论述此类文物的科技检测分析与保护修复过程要点。

关键词 陶质文物 检测分析 保护 修复

引 言

陶质文物是人类文明的瑰宝, 具有重要的历史、艺术、科学价值。荆门市博物馆现收藏有各时代陶质文物3000多件, 来源主要为考古发掘出土, 是荆门地区重要的文化遗产。在第一次全国可移动文物普查期间, 工作人员发现一批馆藏陶质文物出现了不同程度病害。为最大限度保护好这些文物, 使其可长久保存并流传下去, 馆方联合秦始皇帝陵博物院在实际勘查、病害认知、科学检测、实验室研究的基础上, 于2015年8月编制了陶质文物保护修复方案, 并于2018年5月至2020年9月对这批文物进行了科学的保护与修复。

1 文物基本信息

此次保护修复的陶质文物共210件, 其中国家二级文物15件、三级文物108件, 年代以战国两汉时期居多(约占85%), 多为陪葬所用。这批器物器形丰富, 礼器有鼎、簠、敦、壶、钫、鬯、盘、匱、缶等, 日用器有罐、甗、杯、碗、枕、熏炉等, 模型明器有陶楼、仓、井、灶、猪圈等, 陶俑有人形俑、家禽家畜俑等, 葬具有瓮棺等。

为便于保护工作开展, 我们将这批文物按陶器的年代分布、制作工艺进行分类(表1)。素陶指一次烧成的单一颜色, 器表无其他装饰元素的陶器, 有红陶、灰陶、黑陶等。彩绘陶指在烧成的素陶上施以彩绘纹饰, 工艺特点是先烧后绘。釉陶则是先烧素坯, 再施着色剂和釉料, 经二次烧成。根据烧成后呈现黄、绿、蓝等不同颜色, 可分为单色釉和多彩釉。

这批文物中有20余件陈列于展厅, 其余陶质文物存放于库房。库房位于博物馆一楼, 室内照

明度低、潮湿、通风不佳，夏季温度高达35℃，湿度达到80%；冬季低温可至-5℃，湿度在40%左右。早年装有排风扇，近年配置除湿机一台。整体保存环境欠佳。

表1 210件馆藏陶质文物的时代及类别分布情况

时代 类别	新石器	战国	汉	六朝	隋唐	宋	明清	合计/件
素陶	3	56	74	3	0	0	5	141
彩绘陶	0	42	3	0	1	0	0	46
釉陶	0	0	3	8	1	2	9	23
合计/件	3	98	80	11	2	2	14	210

2 文物病害调查

病害调查是整个保护修复工作的基础。通过调查，发现部分陶器已经出现裂隙及大面积的表面粉化现象。很多经考古修复后的陶器再次断裂为数块，更有甚者，表面彩绘起翘脱落严重，亟须加以保护。根据调查结果，这批陶质文物的病害可分为四类（图1）。

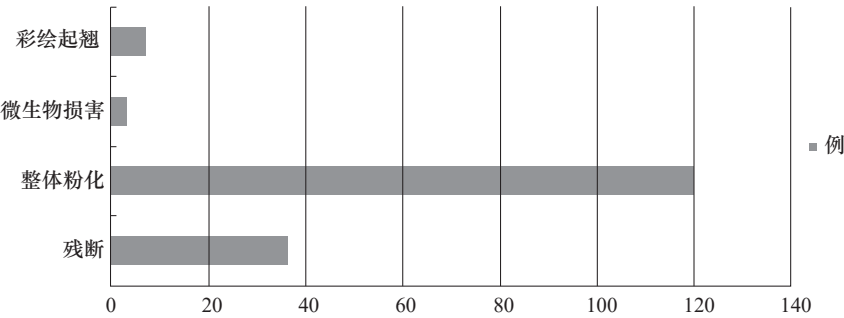


图1 荆门市博物馆陶质文物病害汇总

2.1 表面硬结物、沉积物

因文物长期埋在地下，加之发掘、保存过程中在陶质文物表面形成的各类附着物，严重影响器物观赏效果。

2.2 彩绘起翘、脱落、褪变色

彩绘陶表面的彩绘颜料，出土后环境变化剧烈、馆藏环境不佳，导致部分器物表面彩绘颜料起翘、脱落、褪变色。

2.3 残缺、裂缝

常年的地下埋藏及文物本身材质的劣化，加上文物表面受挤压、接触不当等因素的影响，使文物出现局部破损、残缺不全的情况，以及器物表面出现裂缝、裂隙等损伤的情况。

2.4 结晶盐

文物埋藏环境湿度大，陶质文物孔隙率高，导致陶质文物基体内可溶盐含量较高。出土后随着保存环境湿度的变化，可溶盐通过毛细作用在陶质文物表面反复溶解析出。可溶盐的存在对陶质文物的长期保存极为不利，特别是对彩绘陶质文物而言，其危害更大。

文物是不可再生的历史文化资源，这批珍贵的陶质文物保存现状不容乐观。这些病害不仅影响文物的外观，而且其中的有害成分严重威胁着文物本体的保存，因此采用科学技术手段对馆藏陶质文物进行保护是十分必要的。

3 科技检测分析

在本次陶质文物保护修复实施前期，馆方委托中国科学院上海硅酸盐研究所提取了部分样品进行分析检测。通过科技检测与实验研究，我们对这批陶质文物的元素成分、微观结构、烧成温度、吸水率、显气孔率和抗压强度等方面有了更加直观的了解，从而保障了保护修复技术路线的科学性与可操作性。

3.1 样品简介

陶片样品出土地包括十里铺四方村战国墓、十里铺包山墓、纪山黄付庙战国墓、十里铺土公台汉墓、纪山程新战国墓、团林汉墓、十里铺刘店汉墓，样品共35件（表2）。

表2 荆门市博物馆藏部分陶片样品

编号	样品号	文物名称	出土地点
L1	L1.1	战国彩陶鼎盖（8#）	十里铺四方村二组
	L1.2	战国彩陶簋（7#）	十里铺四方村二组
	L1.3	战国素面陶鼎（15#）	十里铺四方村二组
L2	L2.1	西汉素面陶甗（M7：16）	十里铺包山
	L2.2	战国素面陶壶（M5：4）	十里铺包山
L3	L3.1	战国素面陶鼎（M5：3）	十里铺包山
	L3.2	战国素面陶鼎（M5：12）	十里铺包山
L4	L4.1	西汉素面陶钲（M3：7）	十里铺包山
L5	L5.1	战国彩陶鬲（M32：6）	纪山黄付庙
	L5.2	战国彩陶壶（M17：1）	纪山黄付庙
	L5.3	战国彩陶壶（M18：5）	纪山黄付庙
	L5.4	战国彩陶缶（M30：3）	纪山黄付庙
	L5.5	战国彩陶鼎（M33：8）	纪山黄付庙

续表			
编号	样品号	文物名称	出土地点
L6	L6.1	战国彩陶壶（M24：3）	纪山黄付庙
	L6.2	战国彩陶簋（M39：3）	纪山黄付庙
	L6.3	战国彩陶簋（M39：10）	纪山黄付庙
	L6.4	战国彩陶壶（M39：11）	纪山黄付庙
L7	L7.1	汉代素面陶鼎（M1：14）	十里铺土公台
	L7.2	汉代素面陶鼎（M3：9）	十里铺土公台
	L7.3	汉代陶井（M3：17）	十里铺土公台
	L7.4	汉代素面陶仓（M3：12）	十里铺土公台
	L7.5	汉代素面陶仓（M5：4）	十里铺土公台
	L7.6	汉代陶灶（M1：12）	十里铺土公台
	L7.7	汉代陶仓（M6：10）	十里铺土公台
	L7.8	汉代素面陶壶（M7：3）	十里铺土公台
L8	L8.1	汉代陶井（M13：13）	十里铺刘店
	L8.2	汉代陶仓（M13：21）	十里铺刘店
	L8.3	汉代陶罐（M13：12）	十里铺刘店
Z1	H11①	战国素面陶壶（M18：1）	纪山程新
Z2	H11②	战国素面陶鬲（M18：3）	纪山程新
Z3	Z3.1	汉代陶仓（M32：15）	团林
	Z3.2	汉代陶瓮（M31：1）	团林
	Z3.3	汉代陶罐（M26：4）	团林
F1	F1.1	汉代陶井（M13：13）	十里铺刘店
F2	F2.1	汉代陶罐（M13：12）	十里铺刘店

3.2 测试分析

3.2.1 EDXRF分析

采用美国EAGLE III 能量色散X射线荧光光谱仪测试文物样品的主次量化学元素组成（表3）。

表3 样品主次量化学元素组成									（单位：wt%）
编号	部位	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
L1.1	胎	1.27	4.19	18.69	62.24	2.91	1.56	0.62	7.51
L1.1	表面深色物	0.19	3.54	17.12	62.31	2.55	2.55	0.63	10.12
L1.1	最表面涂层	1.65	2.83	19.93	63.17	3.03	1.25	0.41	6.72
L2.1	胎	0.31	3.27	17.29	62.19	2.93	3.74	0.60	8.66
L2.1	表面深色物	0.57	1.16	11.82	61.84	3.08	6.45	0.70	13.37
L2.1	最表面涂层	0.87	2.49	16.88	62.75	2.84	5.96	0.42	6.79
L3.1	胎	1.32	3.51	18.92	62.42	2.71	1.57	0.66	7.89
L3.1	表面深色物	0.08	2.58	17.25	64.39	2.73	2.45	0.77	8.75
L4.1	胎	0.35	3.23	15.72	65.37	3.34	4.84	0.46	5.70
L4.1	表面深色物	0.07	2.61	15.35	61.86	3.21	8.78	0.38	6.74

续表									
编号	部位	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
L4.1	最表面涂层	0.78	3.53	15.22	58.11	3.30	9.05	0.39	8.61
L5.1	胎	0.38	3.81	17.42	64.14	3.43	3.97	0.46	5.38
L5.1	表面深色物	0.08	1.88	13.68	59.11	3.75	6.01	0.49	13.99
L5.1	最表面涂层	0.28	1.62	11.73	58.39	3.22	13.50	0.43	9.82
L6.4	胎	2.45	4.06	18.51	61.78	2.81	2.40	0.49	6.51
L7.1	胎	5.28	2.99	14.37	63.07	3.86	3.27	0.47	5.70
L8.1	胎	0.08	2.81	16.02	63.52	3.41	5.03	0.56	7.58
Z2.1	胎	0.91	3.46	17.59	64.97	3.45	1.79	0.49	6.34
F2.1	胎	1.25	2.35	13.42	65.75	3.05	8.24	0.37	4.57

注：wt表示质量分数。

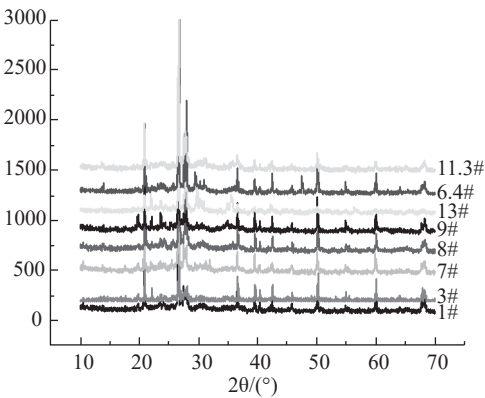


图2 样品XRD图谱

从表3可以看出：样品 L1.1、L2.1、L3.1、L4.1、L5.1表面深色物主要为 Ca、Fe元素，最表面Ca含量高，中间具有过渡层。样品 L7.1胎体风化最为严重，Na含量高，影响文物的化学稳定性，考虑样品中可能含有的可溶盐对成分分析结果的影响。

3.2.2 XRD测试

采用日本 D/max 2550V X射线衍射仪测试样品的晶相。从图2中看出：样品主要以α-SiO₂、微斜长石、ε-Fe₂O₃、钠长石以及钙长石为主。

3.2.3 烧成温度及相关物理性能分析

采用德国NETZSCH 402E 热膨胀分析仪测试样品的烧成温度，根据国标“GBT3810 陶瓷砖试验方法”测试部分样品的体积密度、吸水率和显气孔率（表4）。

表4 样品烧成温度及相关物理性能分析

编号	烧成温度/℃（±20）	体积密度/（g/cm ³ ）	吸水率/%	显气孔率/%	平均抗压强度/MPa
L2.1	950	1.88	16.2	31	83.62
L3.1	740	1.86	15.4	29	75.06
L6.2	960	1.79	19.1	34	40.20
L6.6	910	1.85	15.6	29	26.52
L7.4	850	1.82	16.5	30	44.78
L8.3	960	1.85	16.5	31	62.82
Z1.1	820	2.01	12.2	25	108.975
Z3.1	950	1.80	17.3	31	123.68
F1.1	860	1.87	16.1	30	99.42
F2.1	890	2.23	4.8	10	281.58

从表4可以看出：除样品L3.1烧成温度低于800℃之外，其他样品的烧成温度均在800~960℃。大部分样品吸水率大于15%，显气孔率在30%左右，但Z1.1的吸水率和显气孔率数值较小，F2.1的吸水率甚至小于5%。样品L6.2、L6.6、L7.4的抗压强度最小，样品风化最为严重；样品Z1.1、Z3.1、F2.1的抗压强度较大，均大于100MPa；样品F2.1的抗压强度最大。

小结：通过测试荆门地区不同出土地样品的成分、结构、烧成温度、吸水率、显气孔率和抗压强度等并对其进行分析，得出以下结论：样品烧成温度以大于800℃为主，吸水率多为15%~20%，显气孔率多大于20%，最低抗压强度小于50MPa；样品成分不均匀，尽管烧成温度高，也可导致样品吸水率和抗压强度较低；影响所采集样品酥粉的主要因素是含氯离子的可溶盐的析出。

3.2.4 表面颜料及附着物分析

通过检测分析陶质文物彩绘颜料和表面附着物的成分，可以对后续的清理、加固、黏接、补配等操作提供参考。我们从挑选出的部分器物及陶片表面采集了少量红、绿、黄、白、橘红颜料样品与黑色胎衣原料等附着物，经过拉曼光谱、扫描电子显微镜-能谱仪、便携X射线荧光光谱仪及气相色谱-质谱联用技术分析，初步判定：

红色彩绘纹饰应为朱砂，又称辰砂，其化学式为 HgS 。绿色彩绘纹饰为孔雀石或石绿，其主要成分为碱式碳酸铜，化学成分为 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 。黄色彩绘纹饰为黄赭石，也称土黄，是褐铁矿风化后的产物，化学式为 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。橘红色彩绘纹饰为铅丹，又名樟丹和红丹，化学式为 Pb_3O_4 。白色彩绘纹饰应为石膏，其主要化学成分为硫酸钙的水合物，化学式为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

彩绘陶的黑色胎衣原料为炭黑，颜料胶结材料为动物类胶料。白色粉末状物质为碳酸钙（ CaCO_3 ），俗称灰石、石灰石、石粉等，可能是一种表面沉积物。黑色及褐色漆皮状物质中锡含量较高，胎体和泥土附着物等杂质干扰严重，具体为何种物质不明。白色涂层状物质为纯度很高的金属锡（Sn），推测为高锡无机矿物，应是作为一种白色装饰物。

4 保护修复实施

对陶质文物进行保护修复，应全面地保存、延续文物的真实信息和历史、艺术、科学价值，确保文物安全以及增强文物的抗腐蚀能力，并以不影响今后再次保护修复为前提。在实施保护修复的过程中，所有的工作程序、处理方法，均必须遵守最小干预原则、可再处理原则、可辨识原则^[1]。本文将此次保护修复的全过程归结为六点，以下主要谈及修复过程中遇到的一些重难点事项及体会。

4.1 表面清理

表面清理是修复工作中的第一步工作，包括清除陶器表面、陶片断面及缝隙内的泥土、沉积物、附着物等。清理方法及清理材料的选择要针对不同器物 and 不同的病变而有所区别。器物表面的泥土、硬结物、结晶盐、植物残留物等一般可用竹签及手术刀等工具清除。对于彩绘陶表面主要采用机械方法和化学试剂涂敷法相结合的方式对其进行清理。前期通过扫描电镜和拉曼光谱分析可知彩绘陶表面硬结物为碳酸钙。能溶解碳酸钙的化学试剂较多，考虑到文物的安全性，我们选用5%、10%的柠檬酸溶液进行了局部实验，实验结果表明10%的柠檬酸溶液处理效果较好。用柠檬酸

溶液处理过后需用大量的去离子水将多余的酸清除干净，以防止残留的酸对陶体及纹饰造成破坏。

清理时应遵循以下要求：对于整件陶器先将其划分为若干区域，清理出标准区域之后，再以清理实验块效果为标准，清理其余的区域，划分清理区域的目的是不至于在断断续续的清理工作中将未清理与已经清理的区域混淆；对于全部是碎片的陶器，先挑选一小块进行清理，然后以此为标准清理其余碎片，以便达到整体协调统一。

4.2 脱盐

表面盐分的清除是本次保护修复中的一个难点，通过前期的拉曼光谱、扫描电镜能谱分析得知，可溶盐种类有硫酸钙、氯化钠以及硫酸镁，且含量偏高。

对于陶质较好的器物一般采用蒸馏水浸泡法脱盐，蒸馏水浸泡清洗是一种基于离子扩散机制的物理反应过程，通过定期更换蒸馏水即可达到降低器物内部可溶盐含量的目的。脱盐过程中可以采用监测水溶液电导率的变化来判断可溶盐脱除的程度。为提高效率，在实际操作中往往先将陶器放在冷水中浸泡4h，接着用手术刀将表面酥软的结晶盐层轻轻剔除，再浸泡4h，然后放在热水中继续浸泡，如此反复，直至水溶液的电导率值稳定。

脆弱陶器采用纸浆护敷法除盐，一般以纸浆等吸水性较强的物质作为吸附材料。在处理过程中，可先将棉纸撕成碎片放入去离子水中，并搅拌使之成为纸浆，再将纸浆敷在待除盐器物上，利用毛细作用使盐分从器物内部被吸附到纸浆上，待干燥后敷以新的纸浆，反复操作，去除可溶盐。对纹饰易脱落或陶质较差者，如果陶胎局部存在富集的盐分，可先使用棉签蘸去离子水或使用手术刀等工具进行清理，再使用湿敷法进行脱盐处理，直至电导率仪显示的读数稳定方可结束。

4.3 加固

表面清理、脱盐过程结束后，为了防止后续的拼对黏接、补全等保护修复过程引起陶器表面胎层的剥落，需先对陶器进行加固处理。利用陶器的多孔性或网状结构，依靠浸润渗透作用，使加固剂进入文物内部与本体相互作用、相互结合，经固化后整体强度得以提高。根据国内外对众多加固材料的研究，本次选取Paraloid B72溶液或Primal AC33乳液作为加固材料^[2]。经过不同浓度的对比试验，实施时使用2%的AC乳液加固陶器彩绘，3%的B72溶液加固内壁及封护断面。

根据这批陶质文物的类别与保存状况差异可采取不同的加固方法。对于质地强度较好的素陶，采用浸泡渗透法加固；对于彩绘陶及脆弱陶器，可灵活采用喷涂、点涂、包裹敷浸等工艺进行加固。针对酥粉陶的加固，考虑到酥粉陶吸水率与孔隙率较大、较为酥松等性质，可采用整体浸泡和减压渗透法进行整体加固。

4.4 黏接与拼对

黏接是利用黏接剂将已破碎的陶质文物恢复原有造型的过程。对于黏接剂的选择及黏接剂的工艺，国内外已经进行了大量研究^[3]。结合这批陶器的病害程度、自身强度及保存环境，我们选用Paraloid B72、合众AAA胶（改性环氧树脂）、聚乙烯醇缩丁醛作为本次修复的黏接剂^[4]。根据三者的综合性能表现，选取聚乙烯醇缩丁醛作为陶质疏松的陶器的黏接剂，合众AAA胶黏接质地坚硬的陶器，B72作为断面处理的隔离剂。

器物在黏接前应先对断面进行处理，一是对残断面进行渗透加固，二是对黏接剂与黏接面进行隔离，便于以后需要时再打开残断面。清理茬口时，用棉签蘸取适量的乙醇擦洗黏接面，使黏接面保持清洁，以保证黏接效果达到最佳。清洗干净后，在茬口断面用B72试剂涂刷断口作为可再处理层，注意涂刷试剂应尽量薄，如涂刷的厚度较厚会影响到黏接的效果，致使陶片对接处的缝隙较宽。待残断面试剂固化后，再使用黏接剂黏合陶片，可根据文物的实际情况施加一定外力使其黏接效果达到最佳。黏接时，在断口两边预先黏接纸胶带，防止黏接剂溢出后污染陶器表面。

拼对的方法有三种：一是由下至上拼合；二是由上至下拼合；三是局部拼接，整体合拢。在遇自重较大，黏接面较小的情况时，可制作支撑物予以辅助。对于病害严重，碎片较多的部位，一般应先进行试拼接，并记录好相应的顺序号。如有条件，还可考虑使用VR虚拟现实技术，即先将全部的碎片进行3D扫描，录入系统，再通过平台操作界面尝试虚拟状态下的拼接复原，从而获取最佳拼对方案。

黏接、拼对结束后，可在器物内外壁用玻璃纤维布、沙箱等材料予以撑垫和固定，防止陶片脱落。

4.5 补缺与作色

本次补缺根据实际情况分为两类，一类是对较大面积的陶胎缺失部位进行补全；另一类是针对陶胎缝隙或小面积缺失部位进行填充。前者所用材料为牙科硬石膏，后者所用材料为颜色相近的陶粉。操作时要将补缺的材料调和均匀呈糊状，如使用陶粉还需与黏接剂调配成腻子且用手术刀填补。对于面积较大的缺失部位，例如缺失的器耳、器足等，可采用模范翻制法进行补配。最后用手术刀、砂纸等工具进行修整、打磨，使补缺处表面平整且与邻近面的接缝相吻合。

文物补缺必须做到有据可循，或依据其残存部位的形状，或参考同时期的相同器物。某些残缺，尤其是立体部位，如陶俑的手足、动物的饰件、器皿的耳足等，必须有确凿的参照物才可补配。所谓确凿的参照物，就是与残缺部位形状完全一致的未残缺部位。如三足鼎缺一足，另二足就是确凿的参照物；再如一件虎座飞鸟的左翅残缺，则此物的右翅也是确凿的参照物。若一件器物本体上无参照物，也可从同时期相同器物上寻找，但在实际操作中一般未作补配要求。

考虑到博物馆展陈的需要，最终决定对一些彩绘陶的补缺区域进行作色。作色用的颜料，一般有矿物颜料、有机颜料、丙烯合成颜料等，须具备不易褪色、遮盖效果好、附着力强等特点。结合前期的检测分析，我们对部分彩绘陶使用了矿物颜料，其余则用丙烯合成颜料。对陶质文物作色须遵循可辨识原则，上色之后的颜色与器物自身的颜色应有一定的对比度，最好稍淡于陶器自身的颜色，做到“远看一致，近观有别”。

4.6 资料归档

在实施过程中，须重视文字、图片资料的收集和整理。修复期间，应及时记录修复日志，包括修复对象、操作流程、所用材料等方面，以及当天的工作总结。对于图片资料的收集，不仅要拍摄文物修复前和修复后的对比照片，还要对实施过程中的每步操作进行拍照存档，从表面清理到补配上色，任何一个环节都不能遗漏。在操作中脱落的土垢和颜料也要注意收集，保留样品并编号。做好以上工作，主要是为了在修复完成后，能顺利编写出文物保护修复报告，同时也是为了保存文物所有的已知修复信息，为以后查证提供便利，为文物保护科研提供珍贵的第一手资料。

结 语

保护修复工作结束后,工作重心就转移到文物的预防性保护方面。对于完成保护修复的陶质文物应妥善保管,避免病害复发。一是注意控制温湿度,一般室内温度应控制在15~25℃,相对湿度45%~60%,温湿度日变化不超过5%。二是注意防控和阻挡紫外光,陈展时应使用不辐射紫外线的光源,如有条件,最好使用光导纤维照明。三是防止有害气体、灰尘的侵害,库房和展厅应尽快加装空气过滤设备,减少空气中的有害气体和灰尘。

陶质文物的保护修复是一项系统性较强的工作,其操作步骤前后关联,环环相扣。在修复过程中我们也遇到了一些问题,如修复过程中对器物表面处理程度的把控,对不同陶质所需修复材料的选用,以及对部分器物的补色意见存在分歧等。后经多次与同行专家交流讨论吸取经验,修复人员结合陈展需求,分别从形、色、饰三个方面针对这些问题进行了一一修正。总体而言,经过两年多的科学保护与修复,这批馆藏陶质文物的病害情况得到了较好治理,保存状况也得到了改善,尤其是对彩绘陶的保护修复,使表面原本模糊不清的彩绘颜料层显露出来,彩绘形貌得以恢复,达到了比较理想的效果。

致谢:本课题在保护修复中得到秦始皇帝陵博物院容波研究员的指导和帮助,在测试过程中得到中国科学院上海硅酸盐研究所赵静副研究员、李强博士的协助,在此一并致以谢忱。

参 考 文 献

- [1] GB/T 30239-2013陶质文物彩绘保护修复技术要求[S]. 北京:中国标准出版社,2013.
- [2] 王丽琴. 彩绘文物颜料无损分析鉴定和保护材料研究[D]. 西安:西北工业大学,2006.
- [3] 兰德省,周铁,夏寅,等. 古代陶质文物粘接剂筛选初步研究[C]//秦始皇帝陵博物院. 秦始皇帝陵博物院(2013). 西安:三秦出版社,2013:445-457.
- [4] 管蓉,鲁德平,杨世芳. 玻璃与陶瓷用胶黏剂及粘接技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.