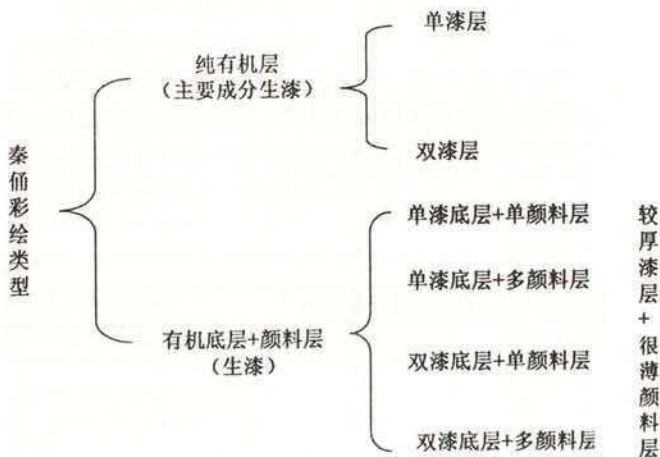


## 秦俑彩绘保护研究的新进展

秦俑在原制作时都是通体彩绘,在随后的几千年岁月中,经火烧、水淹及地下各种因素的影响,出土时,只有一些俑体表面残存彩绘,个别还较完整。但隔不久,便出现颜色蜕变、彩绘脱落问题。其中以脱落更为严重。为解决这些问题,自80年代中期至90年代初,中方做了许多工作,对彩绘的物质组成、损坏原因等方面都有了初步了解,在保护措施探索上也作过实验,虽然保护效果还不理想,但获得了不少宝贵经验。1991-92年,秦俑彩绘保护研究项目列为中国陕西省文物局与德国巴伐利亚州文保局《文物技术合作研究》的重要项目。自此,双方专家进行了卓有成效的合作。截止1995年底,完成了前期研究工作,较为系统、深入地了解了秦俑彩绘的层次结构,物质组成,损坏机理,进行了大量的保护方法试验,但尚未获得理想效果。1996-97年度,在前期研究的基础上,提出了重要的保护思路,开展了一系列的保护实验,至1998年基本完成了保护方法的实验研究工作,使该研究项目取得了重大突破。本文将简要的介绍前期研究结果,着重报告1996-1998年在保护方法方面实验研究的新进展。

### 1. 前期研究简介

秦俑彩绘的层次结构类型,就目前所看见到的情况来讲,可粗分为两类,细分为六种:



以上各种层次结构类型均含有主要成分为生漆的有机层,这是秦俑彩绘的重要特点之一。

我们对其分类的目的无非是两个:一个是研究彩绘工艺,更重要的是考虑对其保护。那么从保护的角度考虑:纯有机层和较厚有机层+很薄的颜料层保护难度大于其他类型。相对来讲,有机层越厚越难保护,颜料层越厚越易

保护。这是因为彩绘脱落主要是有机底层失水收缩造成的,有机层越薄收缩应力越大。颜料层对底层有一定的屏蔽作用,从而减缓外界对底层的影响,底层失水速率减慢,收缩变缓。

#### 1.1 分析出了彩绘的物质组成

彩绘颜料一般都是无机矿物质颜料。单色颜料成分见下表,其它间色颜料是由两种或多种颜料混合而成。

表1. 秦俑彩绘颜料成分

红色	HgS、PbCO <sub>3</sub>
黄色	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
绿色	CuCO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>
蓝色	Cu(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>
紫色	BaCuSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
白色	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> OH、PbCO <sub>3</sub>

有机层或底层的主要成分为中国生漆。

#### 1.2 查明了彩绘脱落的主要原因

颜料颗粒之间、彩绘各层之间、底层与陶体之间粘附力很微弱;特别是底层(生漆层)对失水非常敏感,在干燥过程中漆层剧烈收缩,引起漆层起翘卷曲,造成彩绘脱离陶体(图1,彩图II,1-2)。

1.3 试用过多种物理方法,结果证明对漆层脱水均不适用。

1.4 试验过多种加固方法,未获得理想效果。如单一加固剂加固、加固剂中加入一定量柔化剂等等。

### 2. 1996-1998 的研究思路

经过近十年的探索,进行了大量的实验之后,为何还不能对彩绘实施有效地保护呢?对此,我们对以往的经验进行了认真的反思和总结。认真思考彩绘脱落、损坏的原因,不难看出:保护彩绘的关键是稳定漆层。根据秦俑彩绘中漆层的特性,保护方案应该包含加固和抗皱缩两个方面的处理。

为此,我们设想了以下两个途径:

(1) 采用具有抗皱缩作用的材料置换漆层中的水分,进行抗皱缩处理,同时采用合适的加固剂加固。

(2) 用单体浸入漆层中置换水分,渗过漆层到达漆层与陶体之间,然后设法引发单体交联聚合,聚合物在漆层中减弱皱缩,在漆层与陶体之间起加固作用。

按照这些思路,安排了以下实验。



### 3. 保护实验之一

#### 3.1 抗皱缩剂的对比实验

为了找到合适的抗皱缩剂和方法, 开展了这项模拟实验, 本实验对可能有抗皱缩效果的 21 种试剂进行了对比实验, 其中 4 种试剂及方法给出了很好的抗皱缩效果。

#### 3.1.1 试样

为了使这项模拟实验的结果尽量接近真实情况, 我们选取了已经脱离陶体的原始生漆层作为试样, 它们色泽、厚度的大小约为 0.5 x 0.5mm。

#### 3.1.2 试样处理

对所有的试样分别用相应的抗皱缩剂采用浸润或滴加润湿的方法进行处理, 处理方法和试剂见表 2。

Table 2: Materials and treatment methods.

可溶于水或常态下为液体的材料, 采用浸泡法; 其它的采用滴加润湿法。其中 A1, A2, A3, A4, A13 采用了从低浓度至高浓度的浸润方法(13、60、80、100%)。

No.	Treatment Agent	Application
A1	Glycerin / Water	soaking: 30 % 5d; 60 % 7d; 80 % 10d; 100 % 10d
A2	PEG 400 / Water	soaking: 30 % 5d; 60 % 7d; 80 % 10d; 100 % 10d
A3	PEG 200 / Water	soaking: 30 % 5d; 60 % 7d; 80 % 10d; 100 % 10d
A4	D-mannit / Water	soaking: 5 % 9d; 10 %; 16 %
A5-1	Phenol / Water (1 <sup>st</sup> step)	soaking: 90 % 5d
A5-2	Formaldehyde (2 <sup>nd</sup> step)	gas over solution (30 %) 10d
A5-3	Acetaldehyde (3 <sup>rd</sup> step)	soaking: 10d
A6	Triethanolamine	dripping
A7	Gloyxal / Water 40 %	dripping
A8	hygroscopic Salt: LiCl / Water	dripping: saturated solution
A9	PEG 200 / DAP 80:20	dripping
A10	PEG 400 / DAP 80:20	dripping
A11	PEG 1500 / DAP / Water 66:17:17	dripping
A12	1,3-Propylammonium-dichloride (PAD+HCl)	dripping
A13	MEG (ethylen glycol) / Water	soaking: 30 % 7d; 60 % 10d; 80 % d; 100 % d
A14	pre-PMMA / Acetone, 50:50	dripping
A15	n-Hexadecylammonium-chloride / Acetone+ Water (20:80)	soaking
A16	Colophonium / Acetone 1:2	dripping
A17	Tetramethylammonium-hydroxide / Water	dripping
A18	Tungoil (300 C) / Ethylacetate	soaking
A19	Tungoil / Ethylacetate	soaking
A20	PEG 1500 + Glycerin 1:1	soaking



可溶于水或常态下为液体的材料,采用浸泡法;其它的采用滴加浸润法。其中 A1, A2, A3, A4, A13 采用了从低浓度至高浓度的浸润方法(13、60、80、100%)。

### 3.1.3 评估

所有评估项目都是在体视显微镜下观察评估的。评估项目的主要关注点为抗皱缩效果。底层漆膜脆性变化、抗皱缩能力的持久性等等。评估内容选择是根据彩绘保护的实际需要而定的。处理后的外观效果也应作为重要的评估内容之一。然而,由于漆层碎片是深棕色的,处理后色调的变化情况难以分辨,因而这一重要的评估内容在这个初步的实验中并没有进行。该项内容在进一步的彩绘陶片的实验中进行了研究。

抗皱缩项目的评估方法如下:先用软纸吸干处理过的漆片表面的残余液,然后观察漆片是否平展,再给漆片表面滴水并观察其形状是否发生变化。如果处理后不平展,而且滴水后其形状发生了变化,说明处理剂及其处理没有抗皱缩效果,这样我们便给出“-”符号;相反地,就说明用此处理方法和处理剂有抗皱缩效果,便是“+”符号。利用这种现象,作为评估的依据是基于彩绘漆层对水的反应特性。秦俑彩绘漆层在其含水量的变化过程中会引起其形状的剧烈变化,(见秦俑彩绘保护项目 1995 年度研究报告)这种形状的剧烈变化即所谓的皱缩。

脆性变化项目的评估:

先使处理后的小漆片表面干燥,方法如前项所述。然后用小镊子轻触潮湿的、未处理的小漆片,再分别轻触各组已经处理过的小漆片,并相互比较其脆性。如果脆性相似,便是“+”符号。如果某个处理后的小漆片脆性被认为高于对照样,则是“-”符号,其他情况则为“+/-”符号。

长期效果的评估:

处理后的漆层的抗皱缩效果持久性如何以及处理剂蒸发后曾被增强了的抗皱缩性的底层有什么变化也是我们所关注的问题之一。为此,我们也设计了这项评估,评估方法如下:清理处理后的小漆片表面,再给该漆片表面滴加丙酮,仔细观察小漆片的变化直至丙酮完全蒸发,然后给小漆片滴水并观察之。如果漆片形状发生变化,则意味着这种试剂的耐久性不好,评估为“-”符号,反之,则为“+”。

### 3.1.4 结果讨论

所有的评估结果见表 3 (见 26 页)。

## 3.2 加固剂的对比实验

该项实验的目的是找到最适于漆层加固的加固剂。根据以往的测试结果,结合有关资料报导,我们选用了 21 种加固剂进行对比实验,通过一系列的评估对比筛选出了适于漆层加固的 3 种加固剂(见 26 页表 4)。

### 3.2.1 试样

为了使对比实验更接近真实情况,而又不至于用真实带彩绘的陶片试验,我们选取了已经脱离陶体的原始生漆层碎片作为试样,它们厚度的大小约为 0.5 x 0.5mm。

## 3.2.2 对比实验及评估

### (1) 加固剂对漆层的对比实验

为了了解不同加固剂对漆层的适应性及加固效果,而安排了这个实验。

具体做法是:将漆层碎片放在玻片上,滴加加固剂,观察反应情况,然后对下列项目进行评估对比。

是否会引起漆层卷曲

是否会造成破碎

是否会改变颜色

是否产生光泽

加固效果如何

评估符号

卷曲	破碎	加固效果	色泽	光泽
+ = 没有卷曲	+ = 无裂纹	++ = 很强	+ = 无影响	“+” = 无光泽
+/- = 有 些微卷曲	+/- = 轻微裂纹	+/- = 有一定强度	+/- = 轻微改变	+/- = 轻微光泽
-- = 卷曲严重	-- = 明显碎裂	-- = 很弱	-- = 明显改变	-- = 有明显光泽

对比实验结果见表 5 (见 27 页)。

### (2) 加固剂在潮湿陶片上的对比试验

将现代制作的陶片放入相对湿度为 84 %RH(原始彩色陶片在保护前的近似值)的环境中至不再增重,涂刷加固剂于潮湿陶片上观察结果(见 27 页表 6)。

### (3) 各种加固剂在玻片上的对比实验

将加固剂涂在玻片上,干燥后观察其结果(见 27 页表 7)。

综合以上三项试验结果,可以得出以下结论:加固剂 C1 的综合性能和对漆层的适应性最好,其次为 C5b 和 C12 等等。

## 3.3 在真实陶片上的实验

### 3.3.1 抗皱缩实验

虽然 PEG200、PEG400、甘油对漆层都有较好的抗皱缩效果,但甘油容易在彩绘表面形成一层粘潮的物质,PEG400 粘度明显大于 PEG200,因此,选定 PEG200 作为彩绘保护的抗皱缩剂。

处理方法:用敷浸方法,PEG200 浓度逐级升高(40、60、80、100%)每个梯度为 5 天。

处理带彩绘的残片 F-005a/96 和 F-003/96

彩图 II, 3. 陶片 F-003/96, 处理后。

该陶片曾用 PEG200 经过逐级提高浓度包敷处理,然后在临潼的室内环境中暴露了 4 个季节。连甲带上的红色颜料层与底层黏附良好。颜料层有部分损失。大多数甲片上的漆

No.	Shrinkage Prevention	Brittleness	Long Time Effect	Overall Appraisal	Note
A1	++	+	+/-	++	
A2	++	-	+	+	
A3	++	+/-	+	++	
A4	-	+/-	-	+/-	
A5-1	+	+/-	-	-	
A5-2	-	-	-	-	
A5-3	-	+/-	-	-	
A6	-	+/-	-	+	yellow
A7	+	+	+	-	
A8	-	+/-	-	-	
A9	+/-	+	-	+/-	yellow
A10	+/-	+	-	-	yellow
A11	-	+	-	-	yellow
A12	-	+/-	-	+	
A13	+	-	-	+/-	
A14	+	--	+	-	
A15	-	--	-	-	
A16	-	--	-	-	
A17	-	+	-	-	
A18	-	-	-	-	
A19	-	-	-	-	

Table 3: Evaluation result: A1 = A3 > A2 > A7 > A13.

综合各项评估结果,可以得出下述结论:用 A1(甘油)及相应方法, A2(PEG400)方法, A3(PEG200)方法, A7(乙二醛 40 % 水溶液)方法, 以及 A13(乙二醇)方法有保护结果。其中最好的为 A1 和 A3, 其次 A2、A7、A13。

Table 4: Consolidation agents.

No.	Consolidation Material	Solvent	PH	No.	Consolidation Material	Solvent	PH
C1	Polyurethandispersion (Kremer 7680)	Water	5-6	C12	Buthylmethacrylatdispersion (Motema WPC)	Water	6-7
C1b	Cl in Ethanol 1:2	Water / Ethanol	7-8	C13	Bologna-Cocktail	Xylene / Acetone	
C2	Colophonium + Acetone 1:2	Acetone		C14b	Beeswax C14 (fine) / Dispersion (Ultrasonic)	Water	7-8
C3	Laquergum + Glycerine	Water	5-6	C15b	Urushiol C 15	tBuOH	
C5	Polymethylmetacrylatdispersion 1:2 (Primal AC 33)	Water	7-8	C16	C14b + C13b / Beeswax (Ultrasonic) + Polyurethane (in Ethanol) 1:3	Water	7-8
C5b	Primal AC 33 in Ethanol / Dispersion	Water / Thanol	7-8	C17	Acrykleber (48 %) + Ethanol 1:9 (Kremer 360 HV)	Ethanol	
C7	Polyacrylatdispersion 1:2 (Motema Finish)	Xylene		C18	Plexisol P 550 40 % (42 %) + White Spirit 1:2	White Spirit	
C7b	Molema Finish + tBuOH	tBuOH		C19	Paraloid B 72 9 % + MTMOS 7 % in tBuOH	tBuOH	
C8	Wacker Steinfestiger OH	Ethyl-Acetate		C20	Shellac (in Borax-solution)	Water	
C9	BCP (Bologna-Cocktail) + PEG 200	organic		C21	Water-based Epoxy-Resin-Dispersion (Sikafloor 2520)	Water	
C10	Polyacrylate-microparticle-dispersion (from Sichuan)	Water					



No.	Rolling	Cracks	Adhesion	Colour	Gloss	Conclusion
C1	+	+	++	+	+	very good
C1b	+/-	+	+/-	+	+/-	good
C2	+	+/-	+	+	-	good
C3	-	-	-	+	+	bad
C5	+/-	--	+	+	-	bad
C5b	+/-	--	+	+	+/-	ordinary
C7	-	+	+/-	+	+/-	good
C7b	+/-	+	+	+	+/-	good
C8	+/-	-	-	+/-	-	very bad
C9	-	+/-	+/-	+	+	good
C10	+	-	+/-	+	-	ordinary
C12	+	-	+	+	-	good
C13	+/-	-	-	+	+	ordinary
C14b	+/-	-	+	+(some white)*	+	good
C15b	+	+	--	-	-	very bad
C16	+/-	-	+	+	+	bad
C17	-	+	-	+	-	bad
C18	+	+	+	+	+	very good
C19	+/-	+	+	+	+/-	good
C20	-	-	-	+/-	--	very bad
C21	-	+/-	+/- slowly**	+	-	bad

Table 5: Comparison tests on the separate ground layer flakes.

\* : The colour of the laquer flake was slightly white.

\*\* : The epoxy-resin hardens very slowly.

由上表可以看出：该实验结果最好的是 C1>C18>C7b

Table 6: Conclusion of the experiments on damp terracotta pieces.

C3 > C1 = C5b = C9 = C13 = C14b = C20

No.	Colour	Gloss
C1	+	+
C1b	+/-	+/-
C2	-	-
C3	++	++
C5	+/-	+/-
C5b	+	+
C7	+/-	+/-
C7b	-	+/-
C8		
C9	+	+
C10	-	+/-
C12	+/-	+/-
C13	+	+
C14b	+	+
C15b	--	+
C16	-	+
C17		+/-
C18	+	-
C19	-	+
C20	+	+
C21	-	+

Table 7: Conclusion of the experiments on glass pieces.

评估结果：C1 = C2 = C5b = C12 = C19

No.	Appearance
C1	+
C1b	+
C2	- (not dry)
C3	-
C5	-
C5b	
C7	-
C7b	+/- (brittle)
C8	-
C9	+/-
C10	+
C12	+
C13	-
C14b	-
C15b	--
C16	-
C17	+/-
C18	+/-
C19	+
C20	-
C21	+

层平展且与陶的黏附性良好。个别甲片上的漆层有轻微其翘。这种处理取得的抗皱缩效果较好，颜料层及漆层稳定。但是该陶片看上去仍有些潮湿，表面残留有颗粒较细的土壤，这对外观效果有一定的影响。

彩图 II, 4. 陶片 F-005a/96, 处理后。

该陶片曾用 PEG200 经过逐级提高浓度包敷处理，然后在临潼的室内环境中暴露了 4 个季节。连甲带上的红色颜料层与底层黏附良好。虽出现了一些很细的裂纹，但没有卷曲。甲片上的漆层大部分很平展，但与陶的黏附力较弱。这种处理所取得的抗皱缩效果显著。该陶片外观潮湿。

用这种方法处理过的彩绘残片，取得了很好的抗皱缩效果，但于陶的黏附力较弱，正如前文所述，保护过程必须包括加固和抗皱缩两个环节。于是我们又用以下方法对一些彩绘残片进行了处理，取得了较好的保护效果。

方法：敷渗方法

第一步：聚氨酯乳液(PU): PEG200: H<sub>2</sub>O=12.5: 40: 47.5, 3 天

第二步：PEG200: H<sub>2</sub>O=60: 40, 3 天

第三步：PEG200: H<sub>2</sub>O=80: 20, 3 天

第四步：纯 PEG200, 3 天

用此方法处理的陶片为 F-002/96、F-006/96; F-008/96 第一步处理中的加固剂为聚丙烯酸酯乳液，其他步骤与 F-002/96 相同。

彩图 II, 5. 陶片 F-002/96, 处理之后。

用聚氨酯乳液(PU)+PEG200 混合液逐级提高浓度包敷处理之后，在临潼的室内环境中暴露了 4 个季节。彩绘层的黏附性很好。外观新鲜纯净。漆层平展，色调自然，有些泛光的区域可能是加固剂的不均匀聚集造成。漆层紧紧贴在陶体上，黏附性很好。因此这种处理结果是成功的。

彩图 II, 6. 陶片 F-006/96, 处理之后。

该陶片曾用聚氨酯乳液(PU)+PEG200 混合液逐级提高浓度包敷处理之后，在临潼的室内环境中暴露了 8 个季节。经观察底层和袍部色彩自然，且无卷曲，与陶的粘接力较强。腰带上和袍部漆层出现了许多细小裂纹。漆层表面有些许泛光点，可能是加固剂的不均匀聚集造成。该陶片外观干燥，抗皱缩剂和加固剂的效果在这一实验中得到了充分的体现。我们认为这种方法在陶片上取得了成功。

彩图 II, 7. 陶片 F-008/96, 处理之前。

出土时，该陶片上的漆层较为完整、较厚，不久便发生皱缩、卷曲，出现较大裂缝。

彩图 III, 8. 陶片 F-008/96, 处理之后。

该陶片曾用聚丙烯酸酯乳液(Motema WPC)+PEG200 混合液逐级提高浓度包敷处理之后，在临潼的室内环境中已暴露了 2 年。漆层大部分平展，与陶体的粘合力很强，但也出现裂缝。参比该陶片在处理前的状态，保护的效果是显著的。由此看来，即使对严重开裂的漆层，这种方法也可以使其粘接于陶上并且很平展。

在取得初步成果的基础上，我们又通过对这种加固剂和抗皱缩剂联合敷渗的方法进行进一步优化。目的在于减少陶质对 PEG200 的吸收，简化处理过程，防止加固剂在彩绘表面形成不均匀聚集等等。

优化的方法为：

第一步：使陶片处于饱水状态。

第二步：PU: PEG200: H<sub>2</sub>O=2.5: 30: 67.5, 2 天

第三步：PEG200: H<sub>2</sub>O=60: 40, 2 天

第四步：纯 PEG200, 1 天

用这种方法处理一批彩绘陶俑，已经在自然室内环境中暴露了 4 个多月，保护效果良好。

彩图 III, 9. 陶片 F-007/98, 处理之后。

彩图 III, 10. 陶片 F-003/98, 处理之后。

彩图 III, 11. 陶片 F-012/98, 处理之后。

彩图 III, 12. 陶片 F-013/98, 处理之后。

### 3.4 结论

(1) 针对秦俑彩绘中的漆层，聚乙二醇(PEG)具有良好的抗皱缩作用。

(2) 在一系列实验中，我们发现若用一种纯的浸润剂与潮湿漆层接触，漆层中的水分与该种浸润剂的交换将不协调。这种情况下漆层将会皱缩和卷曲，与漆层自然干燥的现象相似。根据漆层对水的反应特征，只有运用逐级升高抗皱缩剂浓度的方法，置换过程才可以安全进行。用这种方法处理秦俑彩绘，实现了彩绘漆层中的水分与抗皱缩剂的安全交换。

(3) 平均分子量为 200u 的 PEG(PEG200)在渗透速率和置换稳定性方面表现出了最好的效果。同时，与加固剂联用时也表现出了最好的协同效应。

(4) 两种化学结构不同的聚合物乳液在联用保护处理中产生了相似的加固作用。相比之下，聚氨酯(PU)乳液(Kremer 7680)比聚丙烯酸酯乳液(Motema WPC)有更好的加固效果。

(5) 经过这套保护方法处理过的彩绘残片有的已经在临潼的自然室内环境中暴露了 2 年多，最短的也已经暴露了近 4 个月，这些残片彩绘状态良好，生漆层仍保持稳定。因可以说，这套保护方法已经在实验室取得了成功。

### 4. 单体渗透，引发聚合的保护实验

1996/97 年度便开始的这项实验，在对 20 多种单体进行聚合性质的模拟实验后，选择出了适用的单体，(一种可以溶于水的甲基丙烯酸甲酯)。对于引发剂、UV 光引发等多种方法的实验，选定了电子束(EB)辐射引发聚合的方法。该方法处理过的彩绘陶片，达到了理想的保护效果(详见 ROGNER 的报告; 彩图 III, 13)。目前，我们已在西安附近找到了这种仪器设备，即将开展进一步实验研究，以完善这种保护方法。

### 5. 总结论

经过几年努力，我们初步完成了几年前提出的实验思路，在两条重要的保护途径上，均获得了成功。但这只是实验室阶段成果，还有许多问题需要深入研究，要将这些成果转化为实际应用的保护技术还要做大量工作。



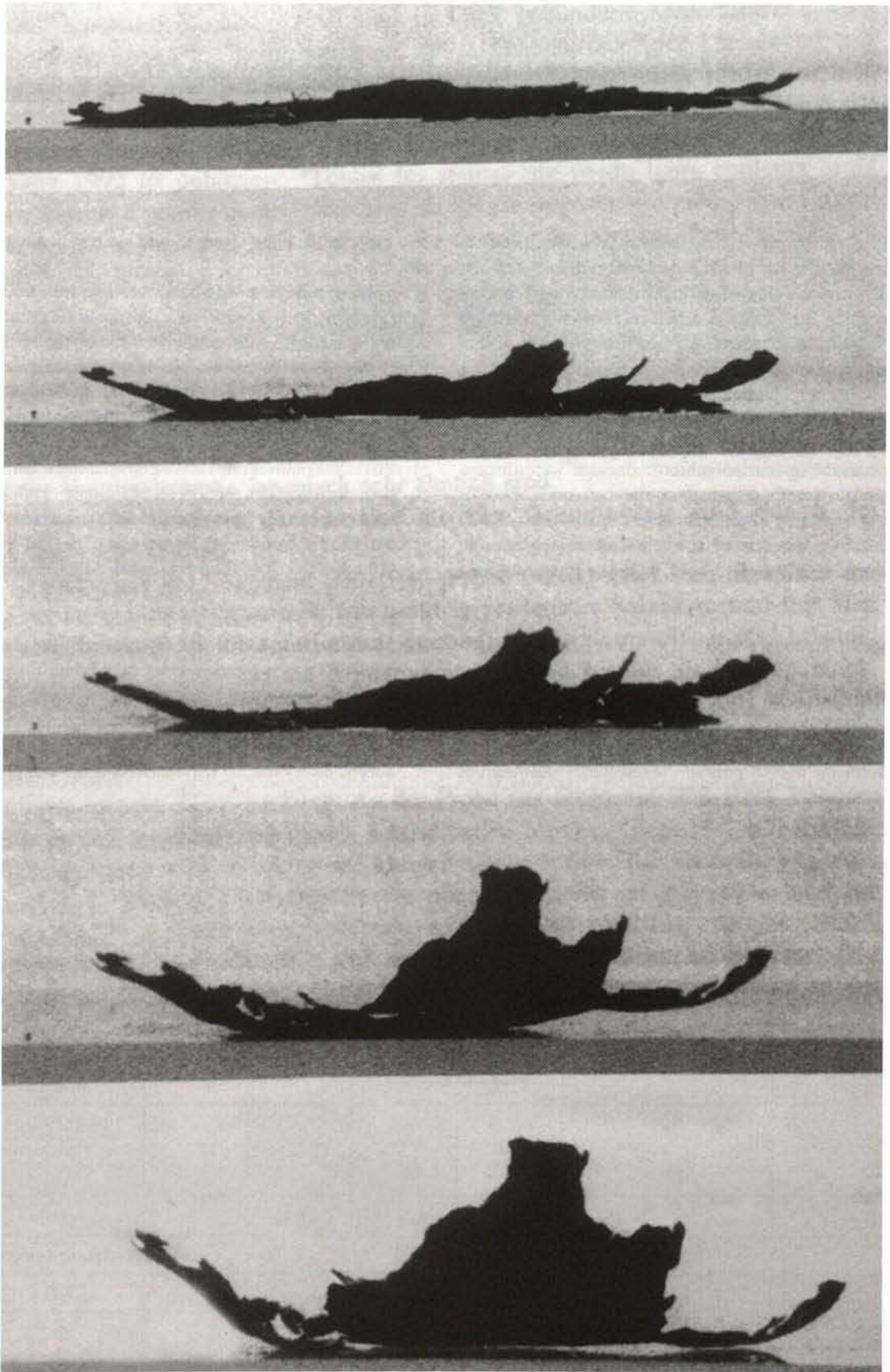


Fig. 1. This set of five photos shows the movement of the lacquer layer during the drying process. This lacquer layer (has peeled off from the terra cotta) was taken from a box (100 % RH) to an open room (60 % RH). It happened in four minutes. (Photos: Cristina Thieme)

1: The phase of the beginning: 100 % RH; 2: The phase after 1 minute, under 60 % RH; 3: After 2 minutes; 4: The phase after four minutes; 5: After five minutes

图 1. 这组 5 张照片是对湿度变化非常敏感的漆层在干燥过程中发生的运动。这块漆片(已从陶体上脱落)从相对湿度 100 % 的保湿箱中取出, 放到 60 % (RH) 的室内环境中, 反应过程为 4 分钟。(摄影: 蒂美)

1) 湿度 100%(RH)时的初始状态; 2) 湿度 60%(RH)下, 一分钟后的状态; 3) 两分钟后; 4) 两分半钟后; 5) 四分钟以后的状态。

## New Developments in the Conservation of the Polychromy of the Terracotta Army

This paper (see colour plates II, III) is on the progress of research on the conservation of the polychromy of the terracotta warriors which was carried out by the Museum of the Terracotta Warriors, and the Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege. A large amount of work has been done on this project:

- (1) The structure of the paint layer was investigated.
- (2) The components of pigments were analysed. Chinese lacquer was considered the main component of the ground layer.
- (3) The key reasons for the polychrome damage were discovered: the adhesion of the pigment particles to one another is very weak; especially the ground layer is very sensitive to the loss of water. It shrinks extensively when drying, causing a detachment of the ground layer from the terracotta base and a rising of the pigments.
- (4) Several physical drying-methods were tested, but were proved not fit for conservation.
- (5) Various methods of consolidation were tested, but not found appropriate.

Based on previous research, the key to the conservation of the paint layers is to steady the ground lacquer layer. The conservation methods for the polychromy of the terracotta must include

two aspects: the paint layers should not shrink and must be consolidated.

Applying a monomer to penetrate into the ground layer, so that a polymerised reaction can take place, the consolidation between the lacquer layer and the terracotta base ensues.

The following two experiments were carried out from 1996-1998.

- (1) 21 consolidation agents and 19 agents preventing shrinkage were tested and evaluated. Polyurethane dispersion (PU) and PEG 200 (anti-shrink) were considered as better conservation shrinkage prevention agents. Some original fragments with polychrome layers were treated stepwise with PEG 200 and PU dispersion after application of the last treatment step (100 % PEG 200). The fragments could be exposed to the environment for two years and the stability of the preserved polychrome layers did not change.
- (2) 20 monomers were tested. By means of these experiments, suitable monomers were determined. Various polymerising methods were tested (such as starter UV, etc.) The EB polymerisation method was finally selected, the fragment was treated with the monomer PLEX 6803-20 (water-soluble acrylic ester) and EB polymerised. It showed perfect results.