

西安鼓楼油饰彩画主要病害分析

王丽琴¹, 何秋菊^{1*}, 周文晖¹, 杨璐^{1**}, 马涛²

(1. 西北大学文博学院, 陕西西安 710069; 2. 西安文物保护修复中心, 陕西西安 710061)

摘要: 为了对油饰彩画进行科学保护, 对具有代表性的西安鼓楼油饰彩画病害进行了调查分析, 发现存在的主要病害有失光、褪变色、粉化、龟裂、起甲、脱落、烟熏、降尘等。结合实验室模拟实验对病害成因进行了初步探讨, 认为导致病变的内因是木基层含水率及地仗制作工艺; 外界环境因素为紫外线、温湿度、大气降尘、油烟熏及降雨等。分析结果可为彩画保护提供科学依据。

关键词: 油饰彩画; 病害; 调查; 模拟实验

中图分类号: K854.3 **文献标识码:** A

0 引言

西安鼓楼创建于明洪武十三年(公元1380年), 是我国现存明代建筑中仅次于故宫太和殿、长陵陵恩殿的一座大体量古建筑, 无论从历史价值、艺术价值和科学价值方面都属于同类建筑之冠。鼓楼建筑结构为上下两层, 装饰有朱红色的油饰柱子及和玺彩绘和旋子彩绘, 并绘有沥粉金龙, 这些装饰强化了建筑艺术美感, 反映了当时社会的政治、经济、历史发展水平, 并具有对木构件防腐、防晒、防潮等保护作用^[1,2]。

然而由于所用制作材料、工艺的局限, 油饰彩画一般只能保持50年左右的时间。木基材含水率直接影响到地仗层与油饰彩画层结构的稳定性, 含水率过高将导致地仗开裂、空鼓、剥落等。油饰彩画材料及工艺的质量问题则会引起开裂、脱落, 颜料及铜箔褪色、变色。当油饰彩画绘成后, 保存环境条件是决定其风化的主要因素。特别是暴露于大气环境中的外檐彩画, 受到温湿度周期变化、日晒雨漂、积尘污染等旷日持久的侵蚀作用而发生物理、化学或生物变化^[3,4]。这些变化先是外观形态的逐渐变异, 随之由表及里材质日趋劣化, 进而引起基质材料如木构件等的渗水、霉变、漏雨和虫害等, 最终影响建筑物的安全和稳定性, 造成古代建筑的歪闪、破坏等。因此, 对油饰彩画的主要病害进行调查及病因

进行分析, 对于深入探讨油饰彩画的风化机理及进行后续的科学保护工作具有重要意义。

1 鼓楼油饰彩画的制作材料和工艺

古建油饰彩画结构^[5]多为: 木基层 + 地仗灰层(为多层) + 颜料层。

1) 木基层。在宫殿建筑中, 如明朝的宫殿、陵寝, 多用南方特产的楠木做建筑材料。到了明后期修缮工程时, 对木材砍伐无度, 使上等木材趋于绝种。到了清朝, 宫殿或较大的敕建庙宇大量改用松木做木构件^[6]。在调查中发现鼓楼的木基层主要采用松木。

2) 地仗层。所谓地仗是用不同粒度的砖灰或瓦灰、猪血、石灰、桐油、面粉、纤维等材料配制的油灰^[7], 一道道的糊抹在木材上, 保护着木基材。它既是油饰彩画的基层, 同时又可使木构件防火防潮。经测试鼓楼上的地仗样品主要含硅、铝、铁、钾、钠等, 应是粘土作为添加材料使用时带入的, 可能含有砖灰。桐油也被证实广泛使用于鼓楼油饰彩画的地仗层和颜料层中。尽管文献中提到地仗中有使用猪血的, 但鼓楼地仗中还未证实其存在。古建筑在一些易受风吹雨淋的部位通常会披麻糊布, 增强地仗的整体性, 防止开裂。通过显微镜观察发现鼓楼彩画样品中地仗纤维为棉类^[8]。

地仗的制作方法一般按建筑的部位和工程的重要性而定, 其中一麻五灰地仗最为典型。一般工序

收稿日期: 2008-11-14; 修回日期: 2009-08-27

基金项目: 国家科技支撑计划资助(2006BAK31B01)

作者简介: 王丽琴(1961—), 女, 吉林省通榆县人, 西北大学文博学院文物保护科学系主任、教授、博导, 从事文物保护与文物分析工作, E-mail: wangliqin@nww.edu.cn

* 现在首都博物馆工作; ** 为通讯联系人, 电子邮箱: yldeemail@163.com

分为捉缝灰—通灰—披麻—压麻灰—中灰—细灰—磨细钻生,从下至上灰粒越来越细,各层的配比也不同,慢慢撤去油灰的力量,使地仗层不易从木基层上脱落。这种地仗工艺多用在柱子、垫、枋等处,而在门窗装修上多用单披灰,盈联匾额上则多用一麻一布六灰等。Mazzeo R 等对鼓楼西侧采集的六个样品进行剖面显微镜观察,发现所有样品制作方法都是做两个灰层,中间夹杂一层棉纤维。

3) 颜料层。一般由胶结物和颜料组成,颜料通过胶结物粘附在地仗层上,制作成油饰和彩画。古建筑中的油饰多用于包括柱子、抱框、帮柱、门槛等下架油饰和上架椽头等,彩画多用于柱头以上、椽望以下梁架、额枋、檩替、斗拱等全部上架木构件等^[5]。

(1) 胶结物。古建油饰彩画中的胶结材料主要是一些天然的高分子材料,如桐油、白苏籽油等干性油类,动物胶、血料、鸡蛋等蛋白质类和多糖胶类、植物胶、纤维素衍生物等碳水化合物类(糖类)^[9]。热解气相色谱-质谱分析检测出鼓楼第二层东北角样品的胶结质为桐油^[8],在一处蓝色样品中还检验出动物胶。

(2) 颜料及染料。古建中常用的颜料是无机矿物颜料及人工合成颜料,也有部分人工合成染料^[10-13]。调查中咨询古建彩绘修缮师傅得知鼓楼的红色颜料大多为银朱,银朱是我国古代最早的人工合成颜料。Rocco Mazzeo 等^[8]发现铅丹存在于鼓楼红色颜料层中,表明系多层彩绘技术制成。通过结合扫描电镜能谱及 X 衍射分析表明鼓楼蓝色颜料样品为铝硅酸钠矿物(又称天然佛青、天青石、沙青),是最鲜艳的人工合成蓝色颜料,在中国古代建筑、佛教绘画上普遍使用。热裂解气相色谱及 X 射线衍射检测到鼓楼的绿色颜料中存在祖母绿。祖母绿为一种人工合成的醋酸铜-亚砷酸铜的复合物,分子式为 $[Cu(CH_3COO)_2 \cdot 3Cu(AsO_2)_2]$,为 18 世纪修复时引入的。金箔在黄色颜料样品上面,黄色层中含有硫、铅、钡及少量铬元素,推断为黄色和白色颜料的混合物。

2 主要病害及成因分析

2.1 油饰失光、颜料褪变色

调查中发现鼓楼西边及北边柱子油饰失光较为严重,表现为光泽黯淡、泛白、发灰(图 1)。图 2 为光油膜样品在室温条件下,UVB 紫外光(主波长 313nm、距样品 3cm)照射 24h 前后的紫外光谱曲线(以氯仿作为溶剂)。结果表明,光油 274.6nm 波长处的碳-碳共轭双键吸收峰随着老化时间的延长不断降低。未老化光油(曲线 a)摩尔吸光系数 ϵ 为 51550,老化

24h 后(曲线 b)摩尔吸光系数 ϵ 降低为 28197,约降低了 45%;老化 24d 后,此峰完全消失。结合上述实验结果,分析鼓楼油饰失光是由于这两面阳光辐射较为强烈,而阳光中的短波紫外线使油饰中的主要成分桐油发生光氧化反应,表面逐渐变粗糙所致。



图 1 油饰失光
Fig. 1 Gloss loss of colored oil

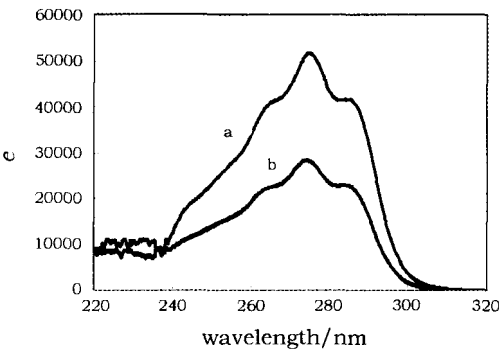


图 2 紫外光老化前后光油的紫外光谱曲线
a. 新鲜膜, b. 老化 24h 膜
Fig. 2 UV spectra of tung oil during UVB - irradiation
a. Non ageing, b. UVB ageing after 24h

在模拟紫外光辐射对彩画颜料影响的实验中发现,银朱由红色变为黑色,群青颜色变浅,铅丹由橙红色变为赭黑色,通过 X 射线衍射分析表明赭黑色产物为 PbO_2 。除了紫外光的影响外,环境中温度、湿度、大气降尘、有害气体、微生物与水的协同作用会导致油饰彩画颜色的变化。图 3 所示为温度对油饰彩画样板色差值的影响,可见高温(50℃)下颜色的变化明显大于室温。

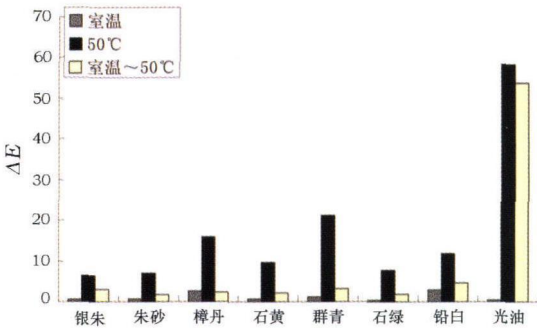


图 3 不同温度下油饰彩画样板老化 68d 后的色差值
Fig. 3 ΔE of painting after ageing for 68d under different temperature

2.2 颜料粉化、脱落

鼓楼彩画中蓝色颜料粉化、脱落非常严重,特别是易于接受风吹日晒雨淋的地方更为严重(图 4)。在模拟实验中通过对各颜料与地仗层附着力进行测试发现,群青易于脱落,银朱、朱砂、铅白等不易脱落。图 5、6 为群青、银朱颜料及其地仗基层的扫描

电镜图(SEM),对比可知群青与地仗层的结合相对要薄弱些。由古建书籍中^[6]对彩画颜料层的配比可知,群青含量最少,这是蓝色易掉的主要原因(表 1)。群青易溶于水,故吸胶性强,对基层润湿性差,附着力非常薄弱;且群青折射率很低,遮盖力弱,颜料涂层相对较厚。

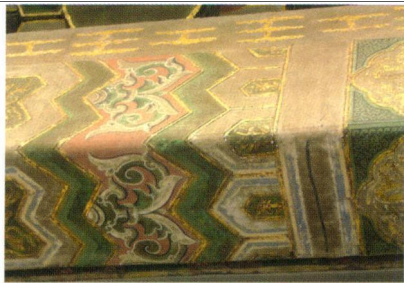


图 4 蓝色颜料粉化、脱落
Fig. 4 Powdering and spalling of blue pigments

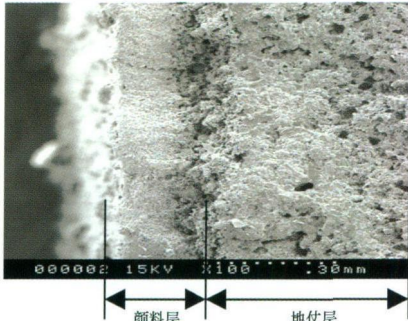


图 5 群青及地仗的 SEM 图(×100)
Fig. 5 SEM of ultramarine with plaster (×100)

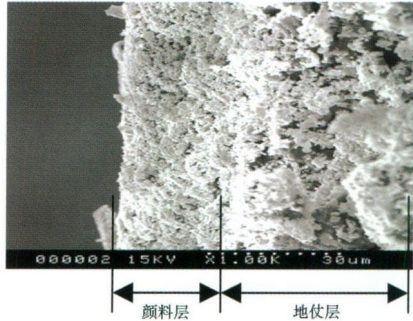


图 6 银朱及地仗的 SEM 图(×1000)
Fig. 6 SEM of mercury sulfide with plaster (×1000)

表 1 古建彩画颜料特性及胶结物质含量^[6,14]

Table 1 Characters of pigments and the contents of bindings in ancient architecture paintings

颜料	折射率	遮盖力	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	干胶量(每 100g 颜料体积中)/ $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$
银朱	2.9~3.3	强	8.1	2.03
朱砂	2.8~3.1	强	8.1	2.03
樟丹	2.4	较强	8.8	0.37
石黄	2.5~2.7	强	3.6	0.30
群青	1.5	弱	2.3~2.7	0.20~0.23
石绿	1.7~1.9	弱	3.5~4.1	0.27~0.31
铅白	1.9~2.1	较弱	6.4~6.8	0.34

2.3 龟裂、起甲、空臃和脱落

油饰彩画层的龟裂、起甲、空臃和脱落并不是孤立的现象,是一系列相互关联的发展过程。

1) 龟裂、起甲。龟裂会产生龟裂纹,又称激炸纹、鸡爪纹,指彩画表面呈现出的裂纹,随着进一步发展则呈小片(状似鱼鳞)状翘起,称为起甲。鼓楼彩画表面都不同程度地出现了龟裂、起甲(图 7),在实验室温湿度交替以及降雨反复交替模拟实验中彩画样板表面也出现了龟裂纹。

温湿度交替变化以及反复的降雨等因素使彩画在温度升高或表面湿度增大时产生膨胀,而温度或湿度降低时产生收缩。然而,彩画层、地仗层和木质基层组成材料间存在着热膨胀系数的差异,这种反复循环所产生的应力,最终将导致彩画表面出现龟裂纹,进一步演化成起甲,甚至脱落。

2) 空臃。是指地仗层与支撑体、地仗层之间及地仗层与油饰彩画层间由于黏结性能减弱甚至完



图 7 龟裂、起甲
Fig. 7 Cracking, Peeling

全丧失而导致的分离现象。有以下几种情况:一种指油饰彩画层空臃,即以小疱状臃起;另一种是地仗层空臃,即油饰彩画层连同地仗层一起与木构件剥离;第三种是地仗灰层之间的空臃,即各灰层之间出现剥离。前两种空臃可能是由于环境温湿度交替变

化引起不同的收缩膨胀应力引起,地仗灰层之间的空臆多是由于上层胶结物质加入过多,使上层胶结力太大将下层牵起。在对鼓楼病害调查中发现,其西侧油饰彩画出现了大面积空臆现象。实验室模拟老化过程中观察到:分别以单披灰和一麻五灰地仗工艺制作的油饰彩画模拟样板在经过相同的老化时间后,地仗都有不同程度的空臆;但一麻五灰地仗样板空臆程度明显要小于单披灰地仗样板(图 8)。可

见由于麻的拉伸作用,一麻五灰地仗工艺比单披灰地仗工艺油饰彩画稳定性好。

3) 脱落。油饰彩画从地仗层上或油饰彩画连同地仗层从木基层上脱落下来,露出地仗层甚至木骨外露,称为油饰彩画的脱落。由于油饰彩画层龟裂、起甲或空臆,进一步恶化就会产生剥落,先是四周起翘脱离地仗层,最后逐渐蔓延至中心,直至脱落。

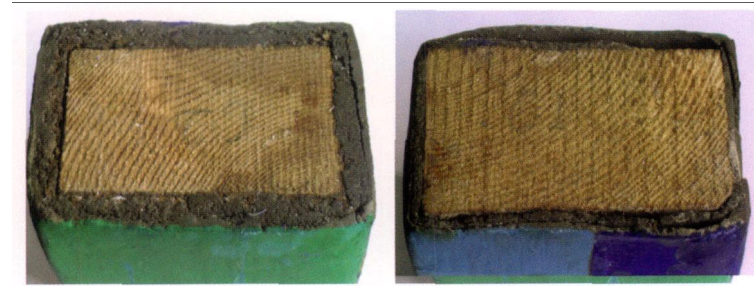


图 8 不同地仗制作工艺样板空臆比较
a. 一麻五灰, b. 单披灰
Fig.8 Separating with two plaster techniques
a. One flax and five plaster, b. Single plaster



图 9 裂缝
Fig.9 Cracking

2.4 裂缝

鼓楼中出现的裂缝的彩画多为单披灰地仗(图 9)。不同地仗结构的油饰彩画,其抗风化能力是不同的。在实验室高低温、低高湿老化过程中观察到:木基层含水率均为 25% 的单披灰模拟样块,老化 35 天后出现了宽约 1.5mm 的裂缝,

而一麻五灰样块未见开裂。老化 84 天后,单披灰样板裂缝宽度发展为 4.5mm,而一麻五灰样块仍未见开裂(图 10b)。可见一麻五灰地仗样板比单披灰地仗样板稳定性好,这是一麻五灰地仗常使用在易于受到风吹日晒雨淋的外檐的主要原因。

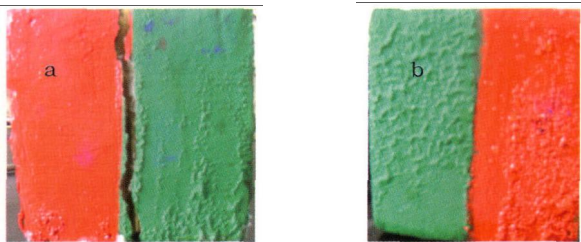


图 10 25% 含水率的不同地仗制作工艺油饰彩画样老化 84 天后开裂程序的比较
a. 单披灰, b. 一麻五灰
Fig.10 Cracking of painting and colored drawing with two plaster techniques after 84 day ageing
a. Single plaster, b. One flax and five plaster

2.5 烟熏、油污和降尘

在对鼓楼保存现状调查中发现靠近回民街的北面油饰彩画烟熏、油污污染非常严重。这是由于回民街夜市所用燃料中有大量未充分燃烧的碳粒、油质颗粒飘落到油饰彩画表面,与颜料层紧紧粘在一起,使油饰彩画受到污染。烟熏轻者依稀可见彩画图案,重者漆黑一片,看不到一点色彩。随着时间的延长,彩画上的油污吸附沉积一层厚厚的灰尘,灰尘

进入颜料层与颜料结合在一起,很难清理干净。如此一来,会使油饰彩画失去光泽及原有颜色,变得暗淡、混浊(图 11)。

2.6 霉变

调查发现鼓楼部分彩画表面出现白色霉菌。霉变的内因与油饰彩画的制作材料有关,外因是炎热、潮湿的大气环境及降尘等的影响。霉菌以彩画颜料中的有机黏合剂(猪血、动物胶等)为营

养基,在适宜温湿度条件下迅速繁衍生长,分解颜料层的动物胶和地仗中的纤维材料,引起了周围颜



图11 烟熏、油污、灰尘

Fig. 11 Smoke and dust

料的起甲、裂缝及脱落(图12)。且大量斑斑点点的霉菌死体附着在彩画上,严重污染了油饰彩画的色彩。

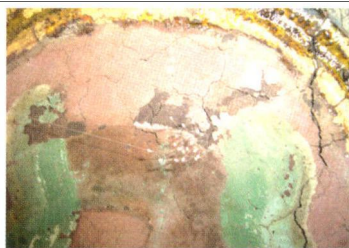


图12 霉菌

Fig. 12 Mould

2.7 生物及其分泌物对油饰彩画的危害

1) 鸟粪对油饰彩画的污染。鸟类常在古建筑的梁、枋等处停歇,粪便会落于古建筑的油饰彩画之上,严重影响油饰彩画的观赏性。在西安鼓楼四周,有很多燕子,其粪便严重污染油饰彩画(图13)。



图13 鸟粪

Fig. 13 Soil of birds

2) 昆虫对油饰彩画的危害。油饰彩画的地仗层一般由麻、血料、油料等组成,这些物质及其水解产物是昆虫的食料。同时一般古建具有冬暖夏凉的特点,温差变化小,为昆虫的生长发育提供了适宜场所。除了直接的取食对油饰彩画产生危害外,昆虫

的活动同样会碰撞磨擦彩画,对油饰彩画产生危害。其次成虫的鳞粉及排泄物撒落在彩画表面,蒙上一层污垢,影响彩画的清晰度,排泄物中的水分、有机物与彩画地仗成分、颜料等起化学反应,引起局部彩画褪变色,甚至导致颜料层起甲、脱落。

2.8 人为破坏

鼓楼上所钉挂钩的两侧产生了约60cm长的裂缝(图14)。这种破坏导致了整个地仗层及油饰彩画层的开裂,而且随着时间的延长,裂缝会逐渐发育,严重影响油饰彩画的外观及安全。同时具有油饰彩画的古建筑多为旅游景点,游客会有意或无意地产生人为破坏。



图14 人为破坏

Fig. 14 Damage from mankind

3 结论

根据对西安鼓楼病变调查及实验室模拟实验得出以下结论:

1) 西安鼓楼油饰彩画主要病害有失光、褪变色、粉化、龟裂、起甲、脱落、烟熏、降尘等类型。

2) 导致病变的内因有木基层含水率及地仗制作工艺,外因为紫外线、温湿度、大气降尘、油烟熏及降雨等因素综合作用的结果。

分析结果可为彩画保护提供科学依据。

参考文献:

- [1] 蒋广全. 历代帝王庙保护修缮工程的油饰彩画设计[J]. 古建园林技术, 2004, (3): 28-33.
JIANG Guang-quan. Design of painting and colored drawing in restoration engineering of royal temples in dynasty [J]. Trad Chin Architect Gard, 2004, (3): 28-33.
- [2] 曹春平. 闽南传统建筑彩画艺术[J]. 福建建筑, 2006, (1): 43-47.
CAO Chun-ping. The architectural colored drawings in south area of Fujian province [J]. Fujian Architect Constr, 2006, (1): 43-47.
- [3] 王天鹏, 马剑, 李昭君. 人工光照对中国古建筑油饰彩画影响的初步研究[J]. 照明工程学报, 2005, 16(4): 15-19.
WANG Tian-peng, MA Jian, LI Zhao-jun. Preliminary study on the effects of artificial lighting on paint and colored drawing of Chinese classical architecture [J]. China Illum Eng J, 2005, 16(4): 15

- 19.
- [4] Perez - rodriguez J L, Maqueda C, Jimenez De Haro M C, *et al.* Effect of pollution on polychromed ceramic statues[J]. *Atmos Environ*,1998,32(6):993-998.
- [5] 田永复. 中国园林建筑施工技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002:306-349.
TIAN Yong - fu. *Construction technology of Chinese architecture and gardens* [M]. Beijing: Press of Chinese Architectural Industry, 2002:306-349.
- [6] 文化部文物保护科研所编. 中国古建筑修缮技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1996:268-290.
Institute of relic conservation of Ministry of Culture. *Restoration technology of traditional Chinese architecture* [M]. Beijing: Press of Chinese Architectural Industry, 1996:268-290.
- [7] 马瑞田. 中国古建彩画[M]. 北京:文物出版社,1996:94.
MA Rei - tian. *Painting and colored drawing of Chinese ancient architecture* [M]. Beijing: Relic Press, 1996:94.
- [8] Rocco Mazzeo, Darinn Cam, Giuseppe Chiavari, *et al.* Analytical study of traditional decorative materials and techniques used in Ming Dynasty wooden architecture. The case of the Drum Tower in Xi'an, P. R. of China[J]. *J Cult Herit*, 2004, (5):273-283.
- [9] 和 玲. 艺术品保护中的高分子化合物[M]. 北京:化学工业出版社,2003:131.
- HE Ling. *Polymers in conservation of arts* [M]. Beijing: Press of Chinese Chemical Industry, 2003:131.
- [10] 黄雨三. 古建筑修缮维护营造新技术与古建筑图集[M]. 合肥:安徽文化音像出版社,2000:94-103.
HUANG Yu - san. *New restoration and reconstruction technology of traditional Chinese architecture with pictures* [M]. Hefei: Culture Press of Anhui, 2000:94-103.
- [11] 边精一著. 中国古建筑油漆彩画[M]. 北京:中国建材工业出版社,2007:66.
BIAN Jing - yi. *Painting and colored drawing of Chinese ancient architecture* [M]. Beijing: Chinese Architectural Material Industry Publishing House, 2007:66.
- [12] 尹继才. 颜料矿物[J]. 中国地质, 2000, (5):45-47.
YIN Ji - cai. *Mineral pigment* [J]. *Chin Geol*, 2000, (5):45-47.
- [13] 周国信. 丝绸之路古颜料考(I) [J]. 现代涂料与涂装, 1996, (2):37-40.
ZHOU Guo - xin. *Study on ancient pigments on The Silk Road* [J]. *Mod Paint Fin*, 1996, (2):37-40.
- [14] 涂料工艺编委会编. 涂料工艺(上册) [M]. 北京:化学工业出版社,1997:1-10.
Paint technology editor committee. *Paint technology (Volume 1)* [M]. Beijing: Chemical industry Publishing House, 1997:1-10.

Primary deterioration problems of paintings and colored drawings of the Xi'an Drum Tower

WANG Li - qin¹, HE Qiu - ju¹, ZHOU Wen - hui¹, YANG Lu¹, MA Tao²

(1. College of Culture and Museology, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. Xi'an center for the conservation and restoration of cultural heritage, Xi'an 710061, China)

Abstract: In order to conserve paintings and colored drawings scientifically, an investigation has been carried out on representative paintings and colored drawings of Xi'an Drum Tower. It has been shown that the main deterioration problems are gloss loss, color fading or changing, powdering, cracking, peeling, falling, smoke damage, dust, etc. Preliminary deterioration causes were discussed based on simulation experiments. The results indicated that wood moisture content and plastering techniques were the internal causes leading to deterioration. External environmental factors include ultraviolet radiation, temperature and humidity, atmospheric dust, smoke and rain, etc. The results provide scientific bases for the protection of paintings and colored drawings.

Key words: Painting and colored drawing; Deterioration; Investigation; Simulation experiments

(责任编辑 潘小伦)