

托裱浆糊浓度对纸张拉伸性能的影响

龚德才¹ 魏岳^{1,2} 周昱君³ 龚钰轩¹

(1. 中国科学技术大学 科技史与科技考古系, 安徽 合肥 230026;

2. 甘肃省博物馆, 甘肃 兰州 730070;

3. 诸城市博物馆, 山东 潍坊 262200)

摘要: 装裱技术是我国传统书画保护工艺, 可以使书画作品得以更好的保存与展示。对传统工艺的科学研究, 可以改进提高技术的应用水平。书画作品在展示过程中会受到拉拽作用造成损坏, 装裱过程中的托裱过程, 是将单层纸张粘合为双层, 不同浓度的浆糊对粘合后的双层纸张拉伸性能有重要影响。书画作品本身材料相对脆弱不易测量, 本文采用非接触式的数字图像相关法对托裱纸张拉伸试验中的应变进行测量, 研究得到浆糊浓度与拉伸性能之间的关系, 以更好的保护书画作品。

关键词: 装裱 浆糊浓度 数字图像相关法 应变测量

中图分类号: K854.3; K877.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6252 (2020) 04-0147-08

宣纸具有独特的润墨性, 可使书画作品墨韵清晰, 层次分明。传统书画作品一般采用宣纸作为创作载体, 以凸显出中国美学的特征。宣纸本身轻薄柔软, 会导致画面皱折不平, 容易损坏。在墨汁胶质作用下, 纸张出现褶皱, 进而产生断裂和折痕, 影响书画的展示与保存。因此, 一般采用书画装裱工艺对书画进行修复与保护。

装裱工艺与我国传统书画艺术密不可分, 是人们在长期的书画艺术实践过程中总结形成的审美性和技术性的统一和约定俗成的范式^①, 出土于长沙战国楚墓的《人物御龙帛画》发现有类似挂轴的残存物, 表明装裱工艺的雏形已经出现。唐代张彦远所著的《历代名画记》中记载:“自晋代以来, 装背不佳, 宋时范晔始能装裱”, 说明南朝宋时期宣城太守范晔已因善于裱画而闻名, 南北朝时期装裱技术已经普遍应用于书画作品。唐代时期装裱已经传入日本, 宋代产生沿用至今的“宋宣和装”, 表明至此时, 装裱已

收稿日期: 2019-12-19

作者简介: 龚德才 (1960-), 男, 江苏南京人。教授, 博导, 主要从事文物保护与研究。魏岳 (1991-), 男, 甘肃兰州人。硕士研究生, 主要研从事文物保护研究。周昱君 (1986-), 女, 山东潍坊人。文博馆员, 主要从事纸质文物、书画的保护与修复研究。龚钰轩 (1985-), 女, 江苏南京人。特任副研究员, 主要从事文物保护研究。

① 刘明《书画装裱工艺的程序和技术》,《科技经济导刊》2015年第18期,第121-122页。

是完成书画作品不可分割的部分。^①

在传统装裱过程中,托裱画芯和上复背纸的过程多使用手工所制浆糊作为粘合剂,其优点为原料获取相对容易;作为粘合剂无毒无害,并且对画芯外观没有影响,保留艺术作品的原始风貌;浆糊托裱后的画芯仍然可以揭取,在文物保护学的理念下为可逆材料。如何利用现代技术对传统工艺进行量化,使得经验化的工艺标准化,是现阶段文物保护研究方向之一。已有的研究多是针对裱糊所用材料本身性能的提升,如浆糊中添加纳米 ZnO 改善其防霉性能,添加川椒等中药成分起到抑菌作用等,^②但目前尚未有浆糊浓度对托裱后纸张拉伸性能的研究。装裱立轴书画往往是采取悬挂形式进行展示,在挂取和展示期间,不可避免会受外力拖拽,还有收卷,因此通过装裱对拉伸性能进行改善可以提高书画作品的保存和保护效果。托裱工艺对画芯拉伸强度提升是保证其观赏性的重要环节。在托裱过程中,对浆糊浓度的选择往往是根据经验而定,浆糊的浓度对托裱后的画芯拉伸性能影响尚不明确。本文使用不同浓度的浆糊托裱纸张,研究托裱后纸张的拉伸性能,揭示传统工艺的科学内涵,实现技术的不断优化与提升,将工匠的传统经验上升为科学理论。^③

一、实验

(一) 试验材料与设备

实验原料采用五星牌生宣纸,宝鼎牌精制小麦淀粉。实验仪器选用岛津 AG-Xplus 型电子万能试验机、Correlated solution, Inc. 公司 vic-3D 非接触全场应变测量系统、杭州华翰造纸检测仪器设备有限公司 HH-HD3 型纸张厚度测定仪。

(二) 样品制备与测量方法

采用传统手工方法制作浆糊,按照常规比例以 1:5 的比例将淀粉与水混合搅拌,并且加热使温度控制在 70~80℃。持续搅拌约三十分钟至淀粉成糊状,其颜色由白色逐渐变暗为半透明凝胶状时停止加热。

将浆糊分为三组,分别为不加水、浆糊与水体积比 1:1、1:9。将宣纸裁切为每张 800×600mm,依次用三种浓度的浆糊用全湿托法粘合两层宣纸并上墙绷干,使每张纸帘纹方向相同,并分组编号为 1、2、3。待样品完全干燥后揭取,选取宣纸中间部位,均布取点 20 处记录厚度。每组浓度样品依照顺帘纹和垂直帘纹方向,分别裁切为 180×40mm 长条,每个方向五件样品,分别编号为 1-5,对每件样品随机取点三处测量其厚

① 王丹波《谈书画装裱的历史与现实》,《吉林师范大学学报(社科版)》2007年第4期,第121-122页。

② 何伟俊、张金萍、陈潇俐《传统书画装裱修复工艺的科学化探讨——以南京博物院为例》,《东南文化》2014年第2期,第25-30、127页。

③ 郭桂香《培育行业科学精神 提高科技创新能力——2010年全国文物科技工作会议综述》,《中国文物科学研究》2011年第1期,第48-53页。

度。同时,选取同批次产品单层未处理宣纸设为第4组,以同样方法裁切设置为对照组。

对于物体拉伸形变的测量一般有接触法和非接触法。托裱后的画芯较为柔软,厚度较薄,接触式测量法所用的电阻应变片和引伸计会对纸张的力学性能造成较大影响,且纸张强度远低于应变片;同时由于实验机的夹具在拉伸过程中与纸张会产生相对滑动,造成一定的误差,因此接触法不适用于对纸张的拉伸形变测量。数字图像相关法(DIC, Digital Image Correlation)是一种非接触式全场变形测量技术,利用摄像机拍摄物体表面产生形变位移前后的散斑图像,通过计算机转换为数字灰度图像,进行相关性计算得到被测物体形变情况。^①该方法具有光路简单、对环境要求不高及全局测量等优点,可作为光学引伸计对拉伸过程中的形变进行测量。^②

数字图像相关法需要对被测物体进行表面散斑绘制,因此在裁剪好的纸条试件表面,用非接触全场测量系统所配套的专用滚轮刷制散斑,然后置于试验机夹具夹持,进行试验。拉伸实验开始前对试件施加一定预应力,将用于拍摄拉伸过程的相机系统置于万能试验机前,设定拍照间隔为300ms,万能试验机拉伸速度设定为10mm/min。实验环境为相对湿度 $50\pm 3\%$,温度 $25\pm 2^\circ\text{C}$ 。

二、实验数据计算及分析

纸张是一种多相复杂且非均质的高分子材料,在拉伸过程中在应力增加的初始阶段,应力和应变符合虎克定律,纸张此时表现具有弹性。在相对较短的时间内,纸张不会出现蠕变性质。^③

弹性模量的计算根据定义

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

E 为弹性模量, σ 为拉伸应力, ε 为应变。

拉伸应力 σ 根据定义可求得,

$$\text{即 } \sigma = \frac{F}{(t \cdot b)}$$

其中 F 为纸张所受拉力,为万能试验机的所施加荷载值; t 为纸张厚度,通过使用纸张厚度仪测得; b 为纸条宽度,均为40mm。

另外,根据泊松比定义

$$V = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}$$

① 袁昊《基于数字散斑相关方法的面内位移测量的研究》,北京交通大学硕士学位论文,2015年,第1-4页。

② 贾佩星、崔春丽、宋展宏、侯雅宁、滕立军、张晓川《散斑打印技术及其在纸弹性模量测试中的应用》,《包装工程》2018年第9期,第199-203页。

③ 胡开堂《纸张的结构与性能》,北京:中国轻工业出版社,2006年,第46-51页。

其中 ε_x 为垂直荷载方向应变, ε_y 为沿荷载方向应变。

将三种浓度下托裱后的试件和单层纸张利用万能试验机进行拉伸试验, 将 DIC 设备观测所得数据通过 Origin Pro 软件进行曲线拟合, 并计算得到弹性模量和泊松比的平均值及标准偏差。

三、结果与讨论

(一) 弹性模量

图 1 为顺帘纹方向不同浓度浆糊托裱后的试件拉伸应力应变曲线。坐标 X 轴为试件的应变, Y 轴为所受应力。取弹性变形阶段, 斜率为弹性模量。经过拟合求得各浓度试件弹性模量的平均值如表 1 所示, 经过托裱后的试件, 弹性模量并不是随着浆糊浓度的增大而增大。其在 50% 的时候达到最大, 在 100% 和 10% 的时候相对较小, 单层纸张的弹性模量最小。

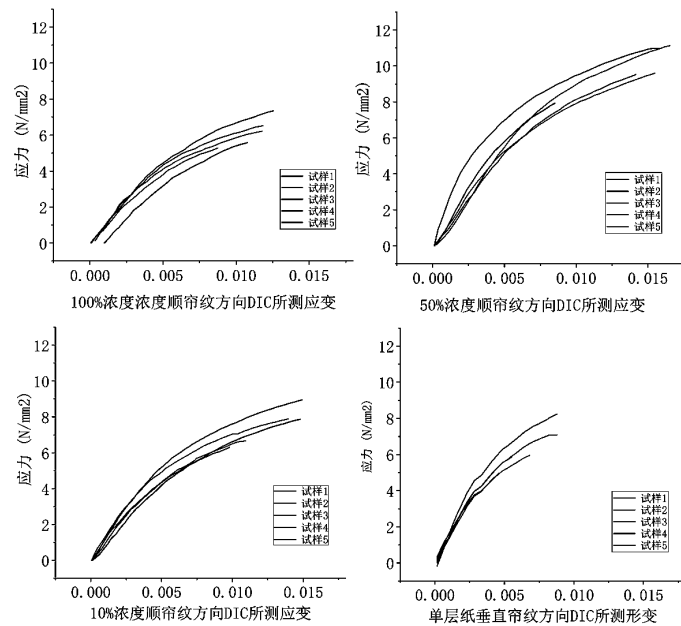


图 1 不同浓度浆糊托裱试件顺帘纹方向拉伸应力应变图

垂直帘纹方向的拉伸情况, 如图 2 所示。表 1 中同样为浆糊浓度 50% 时托裱后的试件弹性模量最大, 拉伸性能相对最好, 而在 100% 和 10% 的时候相对较小, 单层纸张弹性模量最小。

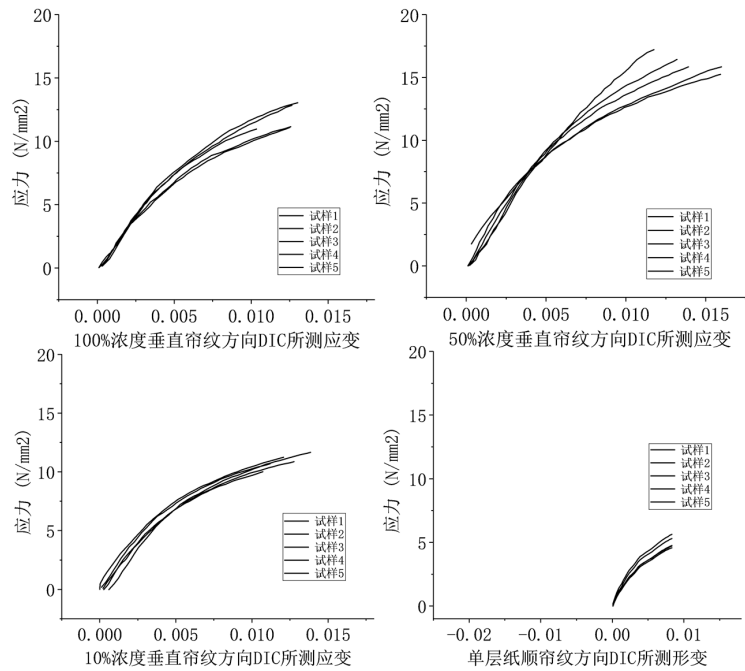


图2 不同浓度浆糊托裱试件垂直帘纹方向拉伸应力应变图

表1 不同浓度浆糊托裱后的试件弹性模量

弹性模量 帘纹方向	浆糊浓度			
	100%	50%	10%	单层纸
顺帘纹方向	957.98704 ±146.9703	1286.6989 ±83.84314	1203.51709 ±195.10471	785.63368 ±80.53711
垂直帘纹方向	1774.44013 ±132.37149	2035.72583 ±51.01648	1892.54459 ±129.66863	1414.90073 ±35.73601

弹性模量是物体本身的一种固有属性，是表征物体对抗弹性变形的能力。装裱工艺将单层纸张利用浆糊粘接为双层结构主要为提高书画作品的机械性能。同一批宣纸在不同浓度浆糊托裱后拉伸性能差别较大，原因为两层纸之间结合力的不同。经过托裱处理后的两层纸张之间由胶层相连接，在拉伸过程中胶接层受剪切应力作用。浆糊作为一种淀粉胶黏剂对纸张的粘合作用主要通过分子间形成的氢键实现。淀粉与纸张纤维中都含有大量羟基，当两者之间的距离充分接近，距离小于0.255~0.275nm时，便可形成氢键^①。浆糊与水以适当比例混合时，淀粉和纸张纤维中羟基充分接触形成氢键，胶层抗剪切能力有所提升。浆糊浓度偏高时，胶层内部缺陷迅速增加，引起胶层内聚强度下

① 王致禄、陈道义、钟云杰《聚合物胶合剂》，上海：上海科学技术出版社，1988年，第20-57页。

降,抗剪性能下降。此外胶层越厚,胶粘剂在固化时产生的收缩应力也越大,也造成胶层强度损失,使得纸张抗拉强度下降^①。当浆糊与水比例过小时,淀粉含量过低,形成氢键数量下降,胶层强度下降。

如表2所示,将不同浓度托裱后的三组样品均布取点测量其厚度。当所用浆糊浓度为50%时,托裱后的两层试件厚度最小且弹性模量越大,而10%浓度和100%浓度下托裱后的试件相对较厚。其现象与已有研究相符。

表2 不同浓度浆糊托裱后纸张厚度

浆糊浓度	厚度 (mm)	平均厚度 (mm)
10%	0.16、0.16、0.15、0.14、0.13、0.16、0.16、0.17、0.16、0.13、0.15、0.16、0.15、0.15、0.14、0.13、0.16、0.15、0.13、0.15	0.1495
50%	0.13、0.12、0.12、0.13、0.13、0.12、0.13、0.13、0.10、0.11、0.11、0.14、0.13、0.14、0.15、0.15、0.14、0.14、0.12、0.15	0.1295
100%	0.14、0.14、0.16、0.16、0.16、0.14、0.15、0.14、0.15、0.14、0.14、0.14、0.16、0.15、0.15、0.15、0.15、0.15、0.14、0.14	0.1475

(二) 泊松比

DIC设备同时可以对试件拉伸过程中垂直拉伸方向的应变进行测量,由此计算得出相应拉伸方向上的泊松比。将顺帘纹和垂直帘纹两个拉伸方向应变数据进行拟合得到图3和图4,横坐标为拉伸方向应变,纵坐标为垂直拉伸方向应变。弹性阶段曲线斜率的绝对值便为拉伸方向的泊松比。整理后得表3即两个拉伸方向的泊松比。

表3 不同浓度浆糊托裱后试件泊松比

泊松比 帘纹方向	浆糊浓度			
	100%	50%	10%	单层纸
顺帘纹方向	0.2166±0.01062	0.23959±0.02159	0.23354±0.00704	0.21947±0.01208
垂直帘纹方向	0.50472±0.03253	0.45197±0.0229	0.4669±0.03268	0.42788±0.01208

由表中数据可以看出,当拉伸方向为沿顺帘纹方向,浆糊浓度为50%时泊松比相对最大,而浓度为100%和10%的时候泊松比相对较小。当拉伸方向为沿垂直帘纹方向,泊松比在浆糊浓度为50%时最小,100%和10%的时候泊松比相对较大。相互垂直的两个方向上,泊松比呈现出相反的变化趋势,不同浓度下,沿垂直帘纹方向的泊松比

^① 杨玉昆、廖增琨、余云照、卢凤才《合成胶粘剂》,北京:科学出版社,1980年,第115-130页。

均大于顺帘纹方向泊松比。

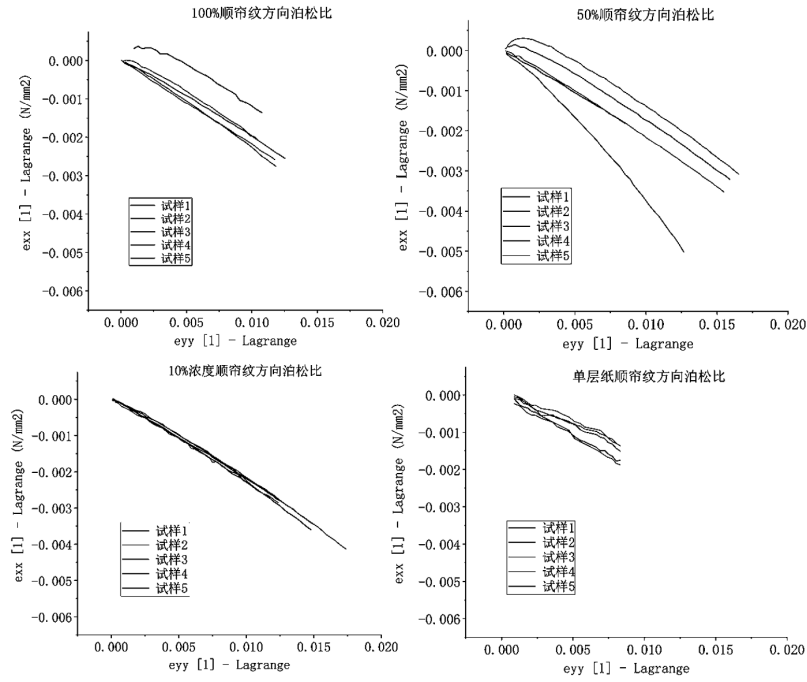


图3 顺帘纹方向不同浓度浆糊托裱试件后泊松比

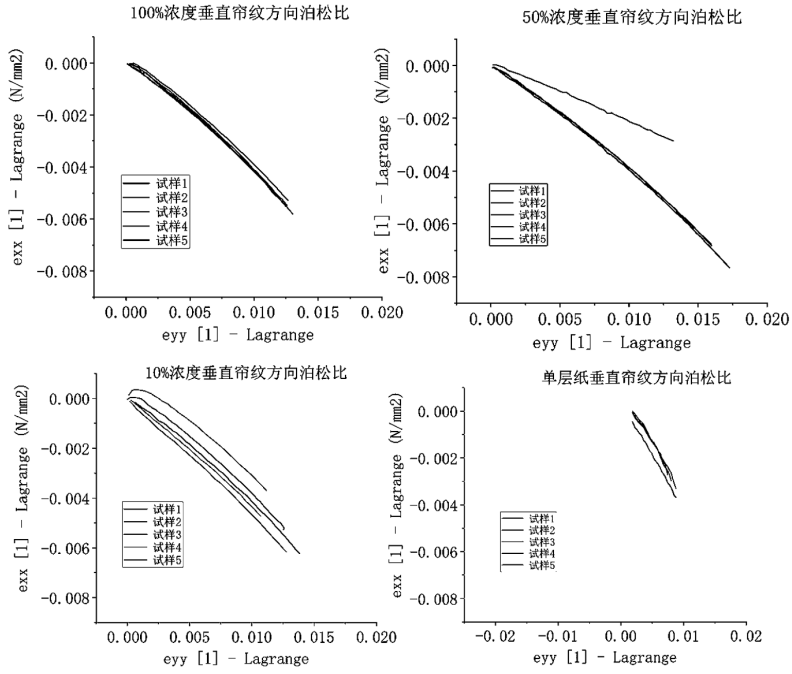


图4 垂直帘纹方向不同浓度浆糊托裱画芯后泊松比