

刘畅
著

手工纸

显微图像分析

Microscopic Image
Analysis of
Handmade Paper

清华大学出版社

中国古代典籍、书画用纸多是采用传统造纸工艺手工制得的纸，即手工纸。手工纸的寿命决定了纸质文物的寿命，因此手工纸的分析是纸质文物保护的关键。我国作为造纸术的发源地，在数字化、网络化的时代，将信息技术应用于中国传统手工纸的研究十分有必要。

本书在传统工艺、中国造纸史、图像分析交叉领域开展研究，将计算机图像处理和分析技术应用于手工纸显微图像，在纸龄分析、匀度分析、成分测量等方面进行了探索，提高了分析的自动化，为纸质文物的无损或微损分析提供支撑。将理论与手工纸分析的具体问题相结合，具有较强的应用价值和推广价值。

清华大学出版社数字出版网站

WQBook  
www.wqbook.com

ISBN 978-7-302-4



9 787302 432050 >

定价：29.00元

刘畅 著

手工纸显微图像分析

Microscopic Image Analysis of Handmade Paper

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书应用计算机图像处理、图像分析技术对中国传统手工纸进行分析,在传统工艺、中国造纸史、图像分析交叉领域开展研究。首先通过文献调研、专家走访、显微实验等方式获取手工纸的基本属性,构建手工纸主宰性信息特征模型;研究纤维特征与工艺、原料、年代的关系,探索基于显微图像特征的手工纸的制作工艺或造纸原料分析方法;基于计算机图像分析理论和技术,设计了手工纸显微图像分析软件,实现无损或微损的手工纸属性自动分析,并将新技术应用于纸质文物保护领域。

本书适合计算机、科技史专业的学者,以及对纸质文物保护感兴趣的研究者参考阅读。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

手工纸显微图像分析/刘畅著. —北京:清华大学出版社, 2016

ISBN 978-7-302-43205-0

I. ①手… II. ①刘… III. ①手工纸—显微术—图像分析 IV. ①TS766 ②TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 037575 号

责任编辑:张 玥 赵晓宁

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫丰华彩印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:6.5 彩 插:1 字 数:91 千字

版 次:2016 年 7 月第 1 版 印 次:2016 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~1000

定 价:29.00 元

产品编号:068011-01

前 言

造纸术是中国古代“四大发明”中最早的一项,是中华民族对人类文明最杰出的贡献之一。两千多年来,纸作为文化载体之一,传承着中华民族文化,是华夏文明重要组成部分。许多古代纸质文物,如典籍、手稿、书画等具有重要的文化和艺术价值,是历史与社会发展的见证。两千年前发明的这项技术至今在书画、宗教、丧葬、艺术品制作等领域仍在发挥着重要作用。科学、系统地开展文物保护是国民经济和社会发展的的重要组成部分。

纸质文物保护有两大主题,即保护其载体——纸张以及载体上面的文字、图像信息。纸张的寿命决定了纸质文物的寿命,因此研究纸张是延长纸质文物寿命的关键。中国古代典籍、书画用纸是采用传统造纸工艺手工制得的纸,称为手工纸。有别于19世纪发明造纸机后,在造纸机上抄造而成的机制纸。影响手工纸寿命、性能的因素很多,主要是造纸原料、制作工艺和保存环境。文物保护首先要获取保护对象的相关属性。因此对纸张属性,如原料、成分、工艺的分析是开展文物保护的基础。

纸质文物珍贵,不可再生。文物保护学内容由三大部分组成,即文物保存环境研究、文物材料性质研究、文物修复技术研究。文物材质的研究是文物保护的基础。使用有损的分析方法获取纸张相关属性,违背了文物保护的原则,不能采用。如何利用现代科技,无损或微损分析,是当前文物保护科技工作者的研究主题。

国家文物保护科学和技术发展“十二五”规划中将“文物保护传统工艺科学化研究”列入主要任务。纸质文物保护和修复的发展离不开传统技术,而现代技术将会为传统技术提供科学的指导和依据,两者相容并举才是未来纸

质文物保护修复的发展方向。中国造纸术经历了两千多年的发展,无论是原料还是制作工艺都有较大改变。原料从麻到树皮、竹、草、木浆,制造方法也从简单到复杂,产生了丰富多样的制作工艺。但伴随着现代机械造纸技术的广泛普及,传统手工造纸日渐衰落。我国作为造纸术的发源地,在数字化、网络化的时代,将信息技术应用于中国传统手工纸的研究十分必要。

本书基于信息技术对传统手工纸的原料、工艺等基本属性进行了无损或微损分析,旨在提高传统手工纸分析的标准化、自动化,为纸质文物保护和修复提供支撑。

本书的完成得到了北京科技大学科学技术与文明中心的老师们,特别是李晓岑教授的悉心指导;中国制浆造纸研究院高级工程师王菊华老师传授了很多纸张分析方面的专业知识和经验;北京联合大学的孙连英教授、彭涛博士、何宁博士在图像分析方面给予很多宝贵的意见,在此作者一并表示感谢。

由于水平所限,书中疏漏在所难免,敬请读者批评指正,本人不胜感谢。

作 者

2016年4月

摘 要

手工纸显微图像分析是传统工艺、中国造纸史和信息技术交叉领域开展的研究。研究目标是通过将数字图像处理、图像分析等计算机技术应用于中国传统手工纸研究,实现无损或微损分析,提高手工纸分析的自动化和智能化,为纸质文物保护提供新方法。

书中采用的研究方法有文献阅读、考察实践、专家走访、手工纸显微实验和计算机图像分析等。通过调研和实验,掌握了大量的造纸史料、造纸原料鉴别方法、手工纸显微图像、传统手工纸制作工艺、纸张科学分析方法等资料。这些资料构成了研究的基础数据。运用基础数据开展了3个主题研究,分别为造纸原料与纸龄相关性研究、手工纸匀度无损测量、基于图像颜色特征的成分测量。

造纸原料与纸龄相关性研究依据中国造纸史与显微图像分析两方面的知识,归纳原料种类、纤维特征和纸龄的关系。首先,根据造纸原料不断丰富历史足迹,按照年代由远及近总结出中国造纸原料的发展历程;然后,结合不同时期、具有特殊意义的造纸原料显微图像、纤维特征,建立起纤维特征、原料种类和纸龄的关系,归纳出纸龄推断的方法。研究方法已在纸质文物鉴定中进行了探索实践,具有较强的实用性和可靠性。

手工纸匀度无损测量使用手工纸显微透射图像,基于傅里叶变换理论设计了纤维分布统计模型和纸张匀度评价参数。经过模拟实验和实物实验验证了方法的有效性和可靠性。傅里叶变换匀度评价是一种无损的测量方法,在纸质文物领域具有一定的研究意义和应用价值。

中国传统手工纸造纸原料取自植物纤维,多种原料混合使用十分常见。

造纸原料的种类、配比决定了纸张的性能。传统的造纸原料成分分析依靠人工观察,费时费力。原料鉴别一般靠显微观察,显微观察前需要将观察样品染色,染色后不同的纤维颜色呈现差异。利用纤维颜色的差异,设计了 K-means 颜色聚类模型。K-means 颜色聚类模型根据图像的颜色特征将图像分割为互不相交的 K 种颜色聚类。模型分别应用于彩色纤维图像和灰度金属图像的成分测量。实验表明,当图像中颜色差异较大时,无论是彩色图像还是灰度图像,K-means 颜色聚类算法都与实际结果一致。对于颜色差异较大的图像,基于颜色特征的图像分析将是成分测量的一种新选择,是一种更简单、高效的方法。

关键词: 手工纸 图像分析 纸龄分析 匀度分析 成分测量

Abstract

Image analysis of handmade paper is a cross-field research of traditional process, history of Chinese paper and information technology. The objective of the research is to, by applying digital image processing, image analysis technology to the study of handmade paper, realize no-damage or minimal-damage measurement, improve automation and intelligence of analysis of handmade paper, and provide a new method for preservation of paper relics.

Methods used in this research include literature reviewing, inspection and practices, experts interviewing, microscopy experiments and computer analysis. Through research and experiments, plenty materials such as historical data of paper-making, identification of papermaking materials, microscopic images of handmade paper, process of making traditional

handmade paper, methods of scientific analysis of paper, are obtained. These materials provide the basis for the research and based on these, three research projects were carried out: study on the correlation between the age and the material of a paper, no-damage measurement of evenness of handmade paper, measurement of ingredients based on color features of images.

Study on the correlation between the age and the material of paper is based on the history of Chinese papermaking and the microscopic image analysis knowledge, and summarizes the correlation between types of raw materials, fiber characteristic and paper age. Based on the development of papermaking raw materials, the development of the raw materials of Chinese papermaker is summarized in chronological order; then, by virtue of microscopic images and fiber characteristics of typical raw materials of paper of different era, the correlation between fiber characteristics, raw materials and paper age is established. The new method has been used and explored in authentication of paper relics and has good applicability and reliability.

No-damage measurement of evenness of handmade paper uses microscopic transmission images of handmade paper. Based on Fourier transform theory, a statistical model of fiber distribution and paper evenness evaluation parameters are designed. Simulation experiment and paper experiment prove that the method is effective and reliable. Fourier transform analysis is a method of no-damage measurement, which has some significance and application value in the field of paper relics.

Raw materials of Chinese traditional papermaking are plant fibers and mixing many types of fibers is very common. Types and percentage of raw material determine the performance of the paper. Traditional component

analysis relies on manual observation, which is time-consuming and laborious. Identification of raw materials generally relies on microscopic observation. The samples need be dyed before the microscopic observation, which makes different types of fibers shows different colors. Using fiber color differences, this thesis designed a K -means color clustering model. Images are divided into disjoint K clusters based on the color characteristics. Models were applied to measure the color fiber image and grayscale metal image. Experiments showed that when the color differences are significant, K -means clustering algorithm was consistent with the actual results for both color image and gray scale image. For images color difference between which is significant, image analysis method based on color characteristics provides a new choice for component measurement, which is more simple and efficient way.

Key Words: Handmade paper Image analysis Paper age analysis
Evenness analysis Composition measurement

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 内容和目标	3
1.2 实验数据	4
第 2 章 纸张分析方法	6
2.1 显微观察	6
2.2 红外光谱分析	7
2.3 气味分析	8
2.4 X 射线分析	8
2.5 Raman 光谱分析	9
2.6 气相色谱法	10
2.7 图像分析	10
2.8 各种方法的讨论	11
第 3 章 纤维种类与纸龄相关性研究	12
3.1 研究目标	12
3.2 中国造纸原料发展与纤维特征	13
3.2.1 汉代造纸原料与麻纤维特征	13
3.2.2 两晋南北朝时期造纸原料与皮料特征	14
3.2.3 隋唐时期造纸原料与竹料特征	18

3.2.4	宋元时期造纸原料与草料特征	20
3.2.5	明清时期造纸原料与特征	22
3.2.6	近现代造纸植物原料与特征	24
3.3	纤维特征与纸龄关系	27
3.4	纸龄分析方法	28
3.5	古纸纸龄分析实践	28
3.5.1	古纸来源	28
3.5.2	古纸检测	28
3.5.3	古纸纸龄分析	29
小结		30
第4章	基于傅里叶变换的手工纸匀度无损测量	31
4.1	研究目标	31
4.2	传统造纸工艺调研	31
4.2.1	抄纸法造纸技术	31
4.2.2	浇纸法造纸技术	35
4.3	纸张匀度测量方法	36
4.4	纸张匀度分析模型	38
4.4.1	图像获取与预处理	38
4.4.2	快速傅里叶变换	41
4.4.3	统计分析	42
4.5	实验与结果分析	43
4.5.1	匀度分析程序	43
4.5.2	模拟试验	43
4.5.3	抗张强度实物试验	43
4.5.4	图像分析实物试验	45

4.5.5	实验结果分析	47
小结		48
第 5 章	基于图像颜色特征的成分测量	49
5.1	传统原料配比测量方法	51
5.1.1	视野法	51
5.1.2	显微计数法	51
5.1.3	投影测量法	52
5.2	颜色特征分析	52
5.2.1	染色后的纤维呈色	52
5.2.2	混合原料显微图像特征	54
5.2.3	颜色空间	55
5.2.4	颜色邻近性度量	58
5.3	颜色聚类算法	59
5.3.1	阈值聚类算法	60
5.3.2	K-means 算法	62
5.4	成分自动测量方法	63
5.4.1	预处理	63
5.4.2	K-means 聚类	65
5.4.3	结果输出形式	66
5.5	彩色图像实验	67
5.5.1	彩色模拟实验	67
5.5.2	彩色实物实验	69
5.6	灰度图像实验	71
5.6.1	灰度图像来源	71
5.6.2	颜色分析实验	73

5.7 不规则古纸的面积测量	75
5.7.1 面积计算模型	75
5.7.2 不规则古纸测量实验	76
小结	77
第6章 讨论	79
6.1 研究进展	79
6.2 展望	81
参考文献	83

第1章 绪 论

纸作为文化的载体在人们日常生活中随处可见。如今使用的纸大多是机械纸,是采用现代机械化方式生产和加工的产品。追溯现代造纸技术的历史渊源,必然要研究中国传统造纸技术。中国传统造纸技术是以植物纤维为原料,经过切断、制浆、打浆,然后悬浮在某种载体中,加入或不加入辅料,用网帘过滤成形而制成的植物纤维薄片^[1]。采用传统技术人工造出的纸称为传统手工纸。传统手工纸由于制作工艺烦琐、生产时间长、耗费人力物力等原因已经逐渐淡出了人们视野,但是在书画、艺术品、民俗等领域传统手工纸作为传统文化传承的载体依然发挥着重要作用,甚至是现代机制纸不能取代的。

传统手工纸较现代机制纸具有保存时间长的显著特点,宣纸素有“纸寿千年”的美誉。古代书画作品有绢本和纸本之分,绢本的载体主要是绢,纸本的载体就是传统手工纸。北京故宫博物院收藏了大量的古代书画作品,用事实见证着传统手工纸的寿命。例如,(五代)杨凝式草书《神仙起居法》纸本,书写于948年。杨凝式是唐朝到宋朝书法传承的转折人物。苏轼曾称赞杨凝式为“书之豪杰”。《神仙起居法》是杨凝式草书传世作品的代表作,是后人欣赏、学习的珍品。(宋)葛长庚草书《足轩铭》书写于1226年,有195字,书法“笔势清劲爽健”,有名家风范。因为传统手工纸寿命长的特点,很多珍贵的书法、绘画作品才能保存到今天,让千年后的现代人通过文字和绘画了解古代先辈的社会、生活、文化等物质和精神世界。现代手工纸制造为了节省时间和人力常常使用火碱(氢氧化钠)、纯碱(碳酸钠)制浆,使用漂白粉(次氯酸钙)漂白。这些化学物质的使用能够大大缩减工作时间,提高工作效率,同时

带来的负作用是对植物纤维的破坏,损伤了纤维素,导致纸的寿命大大减少^[2]。

传统手工纸保存时间长的原因主要有:一是原料采用天然的植物韧皮纤维原料,如麻、构皮、桑皮、檀皮等植物韧皮纤维,这些植物韧皮特点是纤维较长、有韧性,所以造出的纸柔韧性好;二是使用石灰、草木灰等弱碱制浆,采用日光自然漂白的生产工艺。弱碱制浆和日光漂白对植物纤维的破坏性小,延长了手工纸的寿命。

中国传统造纸技术曾经推动了人类文明的发展,传统手工纸作为造纸术的成果,凝聚着劳动者的智慧,体现了不同历史时期的社会生产情况,也折射着当时人们的精神世界。中国传统手工纸作为中华传统文化的代表依然熠熠生辉。

21世纪进入到了现代化、信息化时代,信息技术迅猛发展,逐渐作为现代工具融入到各种应用领域,它悄悄地改变着人们传统的生产和生活方式。当今世界几乎所有行业都在朝着自动化、智能化方向发展。相比之下,我国传统手工纸研究的信息化步伐相对缓慢,信息技术在造纸原料分析、成分检测、制作工艺分析等方面有很大的研究空间。

本书在前人研究的基础上,应用计算机图像处理、图像分析技术对中国传统手工纸进行分析,在传统工艺、中国造纸史、图像分析交叉领域开展研究。首先通过文献调研、专家走访、显微实验等方式认识手工纸的基本属性,构建手工纸主宰性信息特征模型;其次研究纤维特征与工艺、原料、年代的关系,探索基于显微图像特征的手工纸的制作工艺或造纸原料分析方法;再次基于计算机图像分析理论和技术,设计手工纸显微图像分析软件,实现无损或微损的手工纸属性自动分析;最后开展应用研究,将新技术应用于纸质文物保护领域。

本书介绍了基于信息技术开展的传统手工纸的无损或微损分析,旨在提高传统手工纸分析的标准化、自动化,为纸质文物保护和修复提供支撑。研

究分为基础性和应用性研究两阶段。基础性研究重点在于分析手工纸显微图像特征,研究先进的分析方法,构建适用于中国传统手工纸的图像分析模型,实现原料和工艺的无损或微损分析;第二阶段将分析理论和技术应用于纸质文物领域,解决实际生产中的具体问题,开展应用性研究。

本章介绍了该书的整体研究目标、研究思路、研究方法、实验数据来源和组织结构。

1.1 内容和目标

将计算机图像分析技术应用于传统手工纸领域,探索手工纸原料和工艺的自动化分析解决方案,包括基于纤维形态和颜色特征的图像分析,统称为中国传统手工纸图像分析。

分析手工纸图像和工艺与原料的关系,需要掌握中国传统造纸工艺发展史。在梳理造纸原料演变的过程中,对造纸原料与显微图像的关系进行了研究,归纳概括出由造纸原料纤维特征推断纸张年龄的方法。

不同的造纸工艺生产的纸张匀度存在差异。传统的纸张匀度测量依靠人工目测,结果受主观影响大。本书探索纸张匀度测量的图像分析方法,基于傅里叶变换原理,设计了无损的手工纸透视图像统计模型和纸张匀度评价参数。

中国地大物博,造纸原料丰富多样,使用混合植物纤维作为造纸原料的情况十分常见。混合原料的配比直接影响了纸张的性能。因此了解原料配比情况即成分测量是纸张分析的基础工作。传统的原料成分测量依靠人工目测,费时费力。本书对纸张显微图像中不同原料染色后的呈色特征进行了分析,总结出原料的颜色特征。基于颜色特征,设计了 K-means 成分测量模型。当图像颜色差异较大时,能够实现成分自动测量。