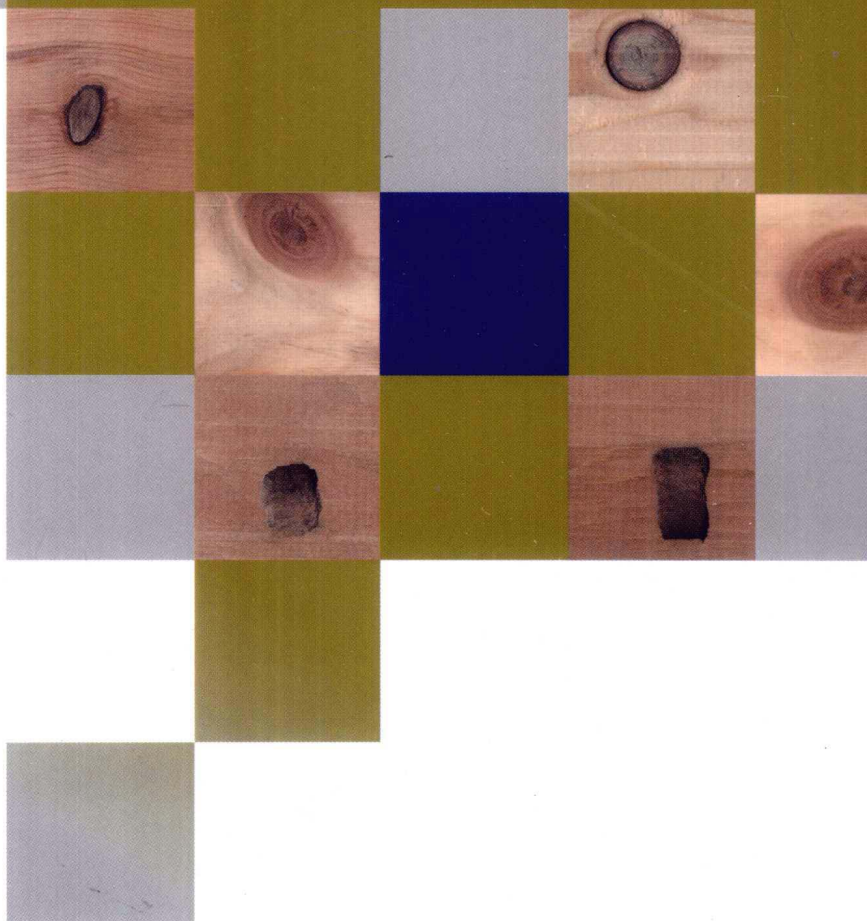


THE PATTERN RECOGNITION METHODS
OF WOOD SURFACE DEFECTS

木材表面缺陷的 模式识别方法

王克奇 白雪冰 著



科学出版社

木材表面缺陷的模式识别方法

王克奇 白雪冰 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要阐述采用图像处理与模式识别方法对木材表面缺陷进行识别的理论和技術。全书共分9章:绪论、木材表面缺陷图像识别系统、木材表面缺陷的常规分割方法及其改进、基于分形理论的木材表面缺陷分割、木材表面纹理的灰度共生矩阵参数、木材纹理的模式识别方法、基于纹理特征的木材表面缺陷分割、木材表面缺陷的识别、木材表面缺陷识别实验软件系统。书中内容对于自然纹理型事物的图像识别具有一定代表意义。

本书可作为电子电气类、林业工程类专业教师、研究生及科技人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

木材表面缺陷的模式识别方法/王克奇,白雪冰著. —北京:科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-029912-3

I. ①木… II. ①王… ②白… III. ①表面缺陷-木材识别-研究 IV. ①S781.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 000174 号

责任编辑:李秀伟 刘 晶/责任校对:郭瑞芝

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏主印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2011年1月第一次印刷 印张:10 3/4

印数:1—1 500 字数:214 000

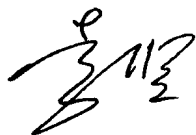
定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

木材缺陷直接影响木材品质及其使用价值，木材表面缺陷的研究对于木材的科学利用具有十分重要的意义。只有不断的创新者才是永远的领军者，王克奇教授及他的学术团队在长期的研究和实践中，运用现代图像处理和模式识别理论技术，成功地提出了木材表面缺陷诊断与计量的计算机视觉分析方法。其研究成果具有创新性、实践性和指导性。这本专著的创新价值弥足珍贵，它的出版为木材科学研究带来了新的方法和分析手段，充实了木材科学知识文库。

科学事业的每一点进步都是来之不易的，希望王克奇教授和他所率领的团队继往开来，坚持不懈地用他们的智慧与汗水，用他们前瞻的学术思想与耕读能力，为木材科学研究园地再添新的硕果，为林业事业的可持续发展贡献力量。



2010年11月

前 言

木材缺陷一直是木材学的研究内容。近年来，自然纹理的分析识别也是图像处理与模式识别领域的一个研究热点。由于木材具有自然纹理属性，因此著者在总结前人的有关木材表面缺陷识别方法的基础上，采用图像处理与模式识别的自然纹理分析与识别的方法，以虫眼、死节、活节三种常见木材缺陷为对象，对木材表面缺陷的模式识别方法进行了研究。

书中收录了著者的主要成果，包括以下内容：传统的灰度阈值分割和边缘检测技术、基于灰度-梯度共生矩阵模型和最大熵原理的二维阈值化技术、基于分形理论的木材表面缺陷分割、灰度共生矩阵的构建方法及木材表面纹理特征的噪声适应性、木材表面纹理的分类方法、基于灰度共生矩阵和模糊C均值聚类的纹理分割方法、基于数学形态学的分割图像后处理，木材表面缺陷图像分割性能评估模型、木材表面缺陷特征参数的构造、木材表面缺陷类型的分类器设计、木材表面缺陷识别实验系统。

本书第1、4、5、7、9章由王克奇编写，第2、3、6、8章由白雪冰编写，全书由王克奇统稿和审定。

限于作者水平，书中难免会有疏漏之处，恳请读者批评指正。

著 者

2010年10月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 木材缺陷	1
1.2 木材表面缺陷识别的意义	1
1.3 木材缺陷检测技术的发展现状	2
1.4 木材表面缺陷识别的研究内容	3
第 2 章 木材表面缺陷图像识别系统	5
2.1 木材表面缺陷图像识别系统的结构	5
2.2 MATLAB 软件的特点	6
2.3 木材表面缺陷实验样本库	6
2.4 木材表面缺陷的特点	9
2.5 木材表面纹理（无缺陷）实验样本库	9
2.6 小结	14
第 3 章 木材表面缺陷的常规分割方法及其改进	15
3.1 图像预处理	15
3.1.1 直方图均衡化	15
3.1.2 图像灰度变换	15
3.1.3 木材表面图像的预处理	16
3.2 木材表面图像的常规分割方法	18
3.2.1 边缘检测	18
3.2.2 阈值分割	20
3.3 改进的二维阈值分割算法	21
3.3.1 灰度-梯度共生矩阵	21
3.3.2 最大熵方法	22
3.3.3 木材表面图像二维阈值分割实验结果	24
3.4 木材表面图像分割后处理	26
3.4.1 数学形态学的基本思想和运算	26
3.4.2 基于形态学的木材表面图像分割后处理	27
3.5 小结	31

第 4 章 基于分形理论的木材表面缺陷分割	32
4.1 Mandelbrot 分形理论	32
4.1.1 分形的定义	32
4.1.2 分形维数	32
4.1.3 分形布朗运动的定义	33
4.2 基于 DFBR 场模型的图像分割	34
4.2.1 分形参数 H 计算方法	34
4.2.2 基于分形维的木材表面缺陷图像分割	36
4.2.3 木材缺陷分割算法的改进	40
4.3 小结	43
第 5 章 木材表面纹理的灰度共生矩阵参数	44
5.1 纹理分析分类的常用方法	44
5.1.1 统计方法	44
5.1.2 模型方法	46
5.1.3 数学变换方法	47
5.1.4 其他纹理分析方法	48
5.2 灰度共生矩阵及其参数体系	48
5.2.1 灰度共生矩阵	48
5.2.2 灰度共生矩阵参数	49
5.3 木材表面纹理灰度共生矩阵的建立方法	52
5.3.1 灰度共生矩阵生成步长的确定	53
5.3.2 生成方向对灰度共生矩阵特征参数的影响	56
5.4 木材表面纹理灰度共生矩阵参数分析	57
5.5 10 种木材表面纹理的灰度共生矩阵参数分布	59
5.6 小结	61
第 6 章 木材纹理的模式识别方法	62
6.1 模式识别的基本概念	62
6.2 特征选择与提取	62
6.2.1 类别可分离性判据	63
6.2.2 基于可分离判据的特征提取	64
6.2.3 基于可分离判据的特征选择	64
6.3 模拟退火法	65
6.3.1 固体退火过程	66
6.3.2 Metropolis 抽样准则	66
6.3.3 模拟退火法简介	67

6.3.4	模拟退火法的改进	67
6.3.5	返回搜索模拟退火法的实现	68
6.4	模式分类器	70
6.4.1	最近邻分类器	70
6.4.2	K-近邻分类器	71
6.4.3	K-近邻分类器的改进	71
6.5	BP 神经网络分类器	72
6.5.1	多层感知器	73
6.5.2	BP 学习算法	73
6.5.3	BP 学习算法的改进	76
6.5.4	BP 神经网络分类器的结构设计	77
6.6	多分类器集成	79
6.6.1	多分类器集成简介	79
6.6.2	基于抽象级信息的多分类器集成	80
6.6.3	基于度量级信息的多分类器集成	82
6.6.4	集成神经网络分类器的实现	83
6.7	基于灰度共生矩阵的木材表面纹理分类	85
6.7.1	木材表面纹理灰度共生矩阵参数的选择	87
6.7.2	基于灰度共生矩阵的分类器测试结果	88
6.7.3	木材纹理图像加噪声后的分类结果	88
6.7.4	木材纹理图像加噪声并经中值滤波后的分类结果	93
6.8	小结	98
第 7 章	基于纹理特征的木材表面缺陷分割	99
7.1	纹理分割	99
7.2	木材表面图像的灰度共生矩阵参数获取	99
7.3	基于模糊聚类的纹理分割	102
7.3.1	聚类分析	102
7.3.2	数据集合的模糊 C-划分空间	103
7.3.3	模糊 C 均值聚类算法	103
7.4	木材表面缺陷图像的纹理分割实验结果	104
7.5	图像分割质量评价	109
7.5.1	图像分割评价简介	109
7.5.2	灰色关联度评估模型	110
7.5.3	木材表面缺陷分割算法的性能评价	113
7.6	小结	115

第 8 章 木材表面缺陷的识别	117
8.1 木材表面缺陷原始特征的建立	117
8.2 木材表面缺陷特征的选择与提取	121
8.2.1 木材表面缺陷的特征选择	121
8.2.2 主分量分析	121
8.3 木材表面缺陷的 BP 神经网络分类器结构设计	125
8.4 木材表面缺陷的 BP 神经网络分类结果	127
8.5 木材表面缺陷的 K-近邻分类器分类结果	129
8.6 小结	130
第 9 章 木材表面缺陷识别实验软件系统	132
9.1 MATLAB 的图形用户界面概述	132
9.2 木材表面缺陷识别实验系统 GUI 设计	132
9.2.1 实验系统功能需求描述	132
9.2.2 图形用户界面结构	133
9.2.3 回调函数的编写	136
9.3 软件使用说明	137
9.4 小结	153
总结	154
参考文献	156
致谢	158

第1章 绪 论

1.1 木材缺陷

凡是呈现在木材上能降低其质量、影响其使用的各种缺点均为木材缺陷，我国国家标准将木材缺陷分为十大类（张锁和徐峰，2001；李坚，1994）：节子、变色、腐朽、虫眼、裂纹、树干形状缺陷、木材构造缺陷、伤疤（损伤）、木材加工缺陷和变形。其中，节子又分为死节（当树枝枯死后树木仍继续生长，致使树干与树枝之间木材组织联系破坏、相互脱离或部分脱离，是枯死枝条埋藏在树干的部分）和活节（与周围正常木材有机地连接，构造正常，质地坚硬），它们在树木生长过程中是不可避免的，是木材中影响最大而又最为普遍的一种天然缺陷。虫眼是指木材受昆虫侵害而造成的一种后天缺陷，虫眼的尺寸及分布密度会在不同程度上影响木材的材质。

死节、活节、虫眼都是常见且有代表性的木材缺陷，它们都能破坏木材的均匀性和完整性，影响成材外观，降低木材力学性质，不利于木材的加工利用，是造成木材质量降低的主要因素。

1.2 木材表面缺陷识别的意义

我国是一个森林资源匮乏的国家，如何提高木材利用率，合理利用、保护森林资源，是我国林业科技工作者需要迫切解决的问题。木材缺陷类型、尺寸、位置、形状等特征直接影响木材产品的强度、外观和木材的利用率，直接关系到木制品的质量和企业的经济效益，因此，检测并剔除木材缺陷是木制品加工过程中的重要环节。

木材表面缺陷类型多，形状复杂，在木制品生产过程中，主要依靠人工来检测木材缺陷，由于木材生产过程具有重复性和单一性的特点，用人工检测存在着严重影响检测结果的因素。例如，在生产过程中因检测员注意力下降和长时间疲劳的影响，以及由于经验不同而造成的检测质量差异等。同时，人工检测木材缺陷效率低，不能适应现代化木材加工生产的需要。因此，研究全自动的木材表面缺陷识别系统是非常必要的。

1.3 木材缺陷检测技术的发展现状

木材缺陷检测包括表面缺陷检测和内部缺陷检测，常用的检测方法有以下几种（张锁和徐峰，2001；Forrer and Funck，1998）。

（1）人工检测。人工检测是目前国内采用最多的木材缺陷检测形式。这种方法是通过人的直观判断来确定缺陷的类型，然后用卡尺或米尺来确定缺陷的尺寸和位置。即使是同一缺陷，由不同的人来检测，检测的结果也可能不同，因此，它的主观性、随意性太大，不符合现代工业的发展趋势，终将被先进的检测技术所取代。

（2）超声波检测。超声波是指频率高于 20 000Hz、人耳听不到的机械波。超声波检测木材缺陷是利用超声波在木材中传播会发生衰减的现象，在测量出超声波速度后，根据超声波传播时间的差异，测定被测木材的缺陷。但超声波检测需要有水或油作为均匀介质，因而在实际应用中有一定的局限性。

（3）X 射线检测。X 射线检测是通过测量透过被检测木材的射线强度来判断被测木材是否有缺陷存在。但 X 射线照射后需要有硫化钙、硫化锌等物质荧光成像，因而对比度低、识别灵敏度不高，很难看清木材内部缺陷。采用 γ 射线的检测方法要用到放射性元素，防护条件要求极高，难以实现。

（4）激光扫描。激光扫描是以激光束作为光源，直接照射在扫描镜上使光束反复穿过被检测的木材，通过光电倍增系统收集从木材上反射回来的激光信号，由微机对输入的数据进行加工处理，计算缺陷的尺寸和位置。该方法的不足是识别能力有限，检测速度慢，无法适应自动化生产的需要，而且造价高，对振动环境适应性差。

（5）计算机视觉检测。计算机视觉是 20 世纪 80 年代中期发展起来的一门新兴技术，它集光学、电子学、图像处理、模式识别等技术为一体，通过模拟人的视觉功能，实现对输入图像的分析 and 理解。

目前，计算机视觉缺陷检测技术已在许多领域得到了应用（Tsai and Huang，2003），如玻璃缺陷识别、农作物病虫害及水果缺陷检测，以及钢丝绳、钢板、皮革表面缺陷检测等。

在欧美发达国家，木材表面缺陷的计算机视觉检测研究取得了一定的成果，有些已经用于实际生产，检测精度能够满足实际生产的需要，降低了工人的劳动强度。

1996 年以来，东北林业大学的戚大伟教授、曹军教授、任洪娥教授对木材缺陷灰度图像进行了研究，成功地识别出木材节子、虫眼图像，采用神经网络技术识别木材表面缺陷的类型，并达到了一定的精度。

但从国内外研究进展来看,还没有一种办法能全面、准确地检测出各种木材缺陷。这是由于以上识别方法均基于木材图像的灰度特征,而木材属于纹理型事物,各种缺陷和正常木材之间的根本区别在于纹理的不同,所以,基于灰度特征的方法对木材缺陷的分割精度不高、识别能力有限。若要提取木材的纹理特征,所要求的图像处理分析和模式识别的算法更复杂,特征因子之间的耦合程度更高,提取更困难。因此,需要对基于纹理特征的木材表面缺陷分析识别方法进行深入研究。

基于以上分析,结合图像处理和模式识别技术,研究木材表面缺陷的图像分割和模式识别方法,将为提高木材表面缺陷的分割精度和识别准确率打下理论和技术基础,其成果对锯材等级自动分选、提高木材利用率、提高锯材的商品价值和实现木材加工自动化具有非常重要的意义。同时,该技术也将为木材学研究提供先进的手段,并丰富图像处理领域关于自然纹理分割与识别的方法。

1.4 木材表面缺陷识别的研究内容

对木材表面缺陷识别的研究应包括以下主要内容。

(1) 制备试验用死节、活节、虫眼三种木材表面缺陷样本,通过成像系统形成数字图像,分析木材表面缺陷的特征。

(2) 研究对木材表面图像进行预处理的方法,包括图像变换、图像增强、图像滤波、边缘锐化等,以得到适合分析的木材表面图像。

(3) 研究适合于对木材表面图像进行缺陷分割的方法,包括传统的阈值分割、边缘检测、改进的二维阈值分割。

(4) 分析木材表面纹理的特征,确定木材表面纹理的描述和识别方法。

(5) 在(4)的基础上,研究基于纹理特征的木材表面缺陷分割方法。

(6) 研究对木材表面缺陷图像进行分割后处理的方法,以得到闭合缺陷区域。

(7) 确定分割性能评价方法,并以此来评价图像分割质量。

(8) 计算木材表面缺陷区域的纹理特征和几何形状特征,研究适合于对木材表面缺陷类型进行识别的方法。

研究内容及过程如图 1-1 所示,其中,木材表面纹理描述和缺陷分割是研究的重点和难点。

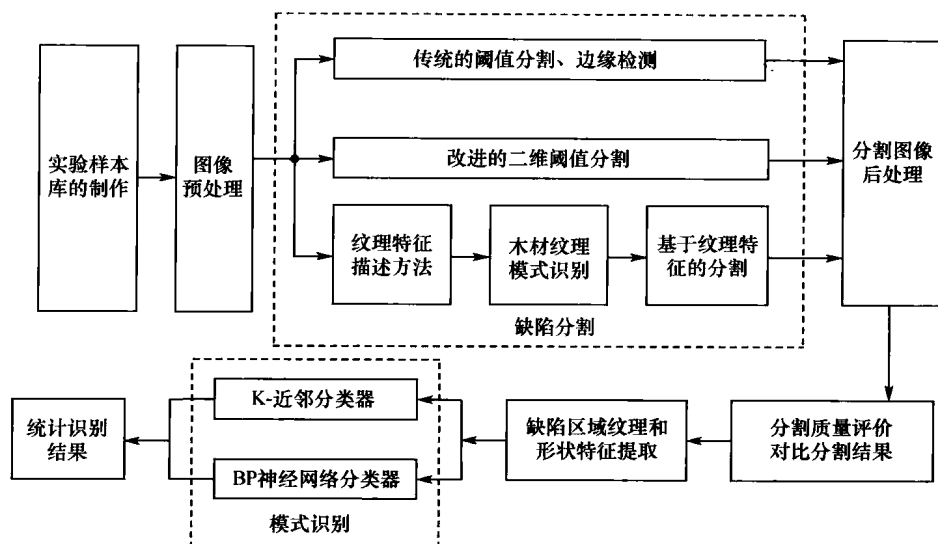


图 1-1 木材表面缺陷识别的研究内容和过程

第2章 木材表面缺陷图像识别系统

2.1 木材表面缺陷图像识别系统的结构

木材表面缺陷图像识别系统的结构如图 2-1 所示。其基本工作过程是,通过 CCD 摄像机将木材样本转化为模拟视频信号,然后将模拟视频信号输入图像采集卡,由卡上的采样电路和 A/D 转换器,将模拟图像信号转化为数字信号,存储在采集卡上的图像存储器中,由程序读入计算机内存,进而完成图像存储或预处理运算;通过提取图像特征,分割木材表面缺陷,计算缺陷尺寸、位置等几何特征和纹理特征,对缺陷类型进行识别。该系统的优点是速度较快,缺点是受光照影响大,如用光照箱,应调节光亮度和光谱特性。图 2-1 所示虚线部分是通过数字化扫描仪采集缺陷图像,直接送入计算机系统进行分析识别。因此,该系统有两种工作方式。

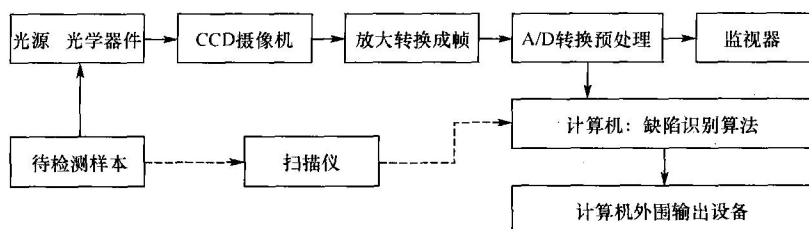


图 2-1 木材表面缺陷图像识别的结构

该系统中, CCD 摄像机选用美安力 MY600-830F 1/3 in* 彩色摄像机; 图像采集卡为天敏 SDK-2000; 扫描仪采用爱普生公司 Perfection 4490 Photo 扫描仪, 其光学分辨率为 3600×7200dpi。具体实验设备如图 2-2~图 2-4 所示。

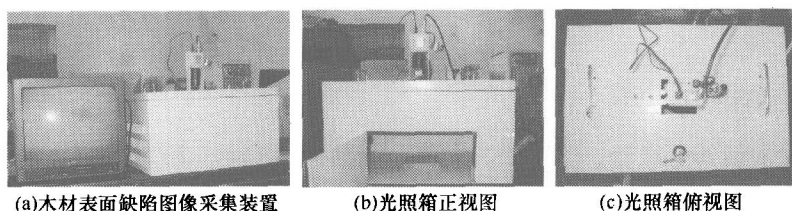


图 2-2 木材表面缺陷成像系统

* 英寸, 1in=0.0254m。

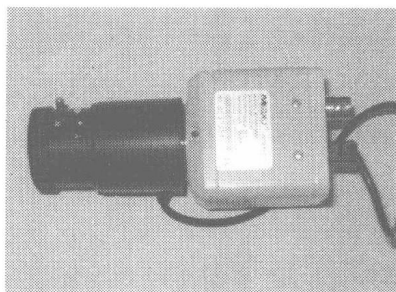


图 2-3 MY600-830F CCD 摄像机

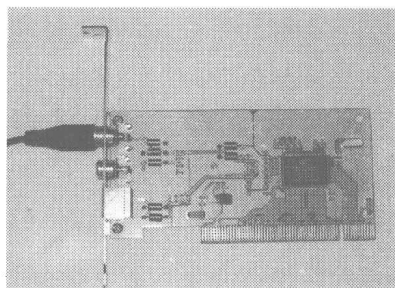


图 2-4 天敏 SDK-2000 图像采集卡

2.2 MATLAB 软件的特点

各种理论方法都要用相应的程序来实现,本研究采用中文 Windows XP 为开发平台,以 MATLAB 7.0 作为编程工具。MATLAB 在数值计算、数据处理、自动控制、信号处理、神经网络、优化计算、模糊逻辑、小波分析、图像处理、统计分析等众多领域有着广泛的应用。MATLAB 语言具有编程效率高、用户使用方便、扩充能力强、交互性好、语句简单的特点,尤其适合于矩阵和数组运算,具有强大的绘图功能。使用 MATLAB 可以大大提高编程的效率,快速实现研究中的新构想。

MATLAB 集成了很多特定领域的工具箱,与图像处理及分析研究相关的有图像处理工具箱、小波工具箱和数字信号处理工具箱、优化工具箱等(王家文和曹宇,2004)。图像处理工具箱包括了很多图像处理的功能函数,使我们可以方便地从各个方面对图像的性质进行深入的研究。在 MATLAB 中可用两种数据类型来存储图像:双精度型和 8 位无符号整数型,各种命令对不同的数据类型做不同的处理。MATLAB 支持的图形图像文件的格式包括:JPEG、BMP、TIFF、GIF、PCX 和 PSD 等。

2.3 木材表面缺陷实验样本库

实验中制备了红松、落叶松、白桦、水曲柳、柞木 5 种木材的共 150 块木材表面缺陷样本,其中,死节、活节、虫眼各 50 块(每个材种各 10 块),形成实验样本库。缺陷样本实物如图 2-5 所示。

由于笔者课题旨在对木材表面缺陷的识别方法进行研究,所以笔者采用扫描仪直接扫描木材样本,以获取木材表面缺陷的图像。这种方法使成像和数字化过

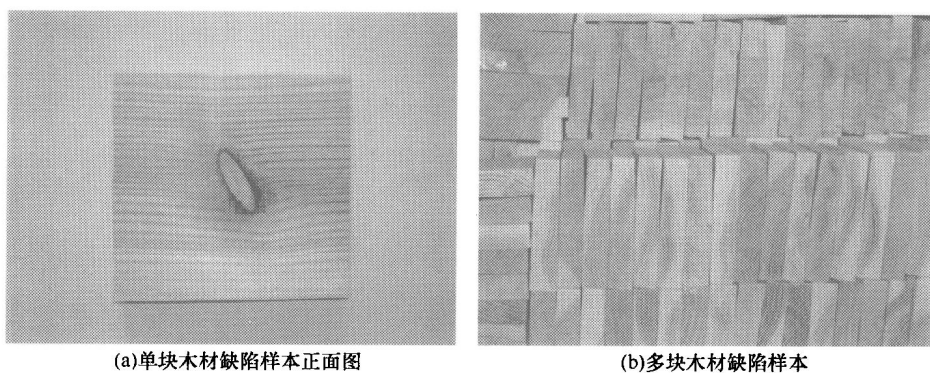


图 2-5 木材表面缺陷实际样本

程一次完成，且光照均匀，不受杂散光影响；缺点是速度慢，无法实现在线应用，仅适合于理论研究。木材表面图像的尺寸为 512×512 像素，转换为灰度图像后，灰度为 256 级。部分实验样本的数字图像如图 2-6 所示。

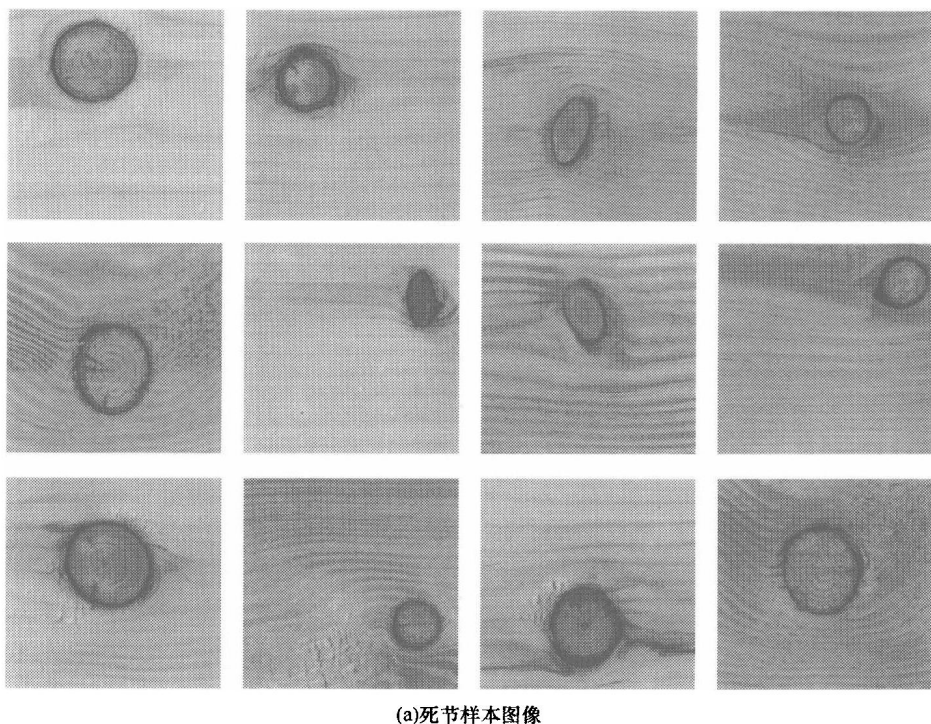
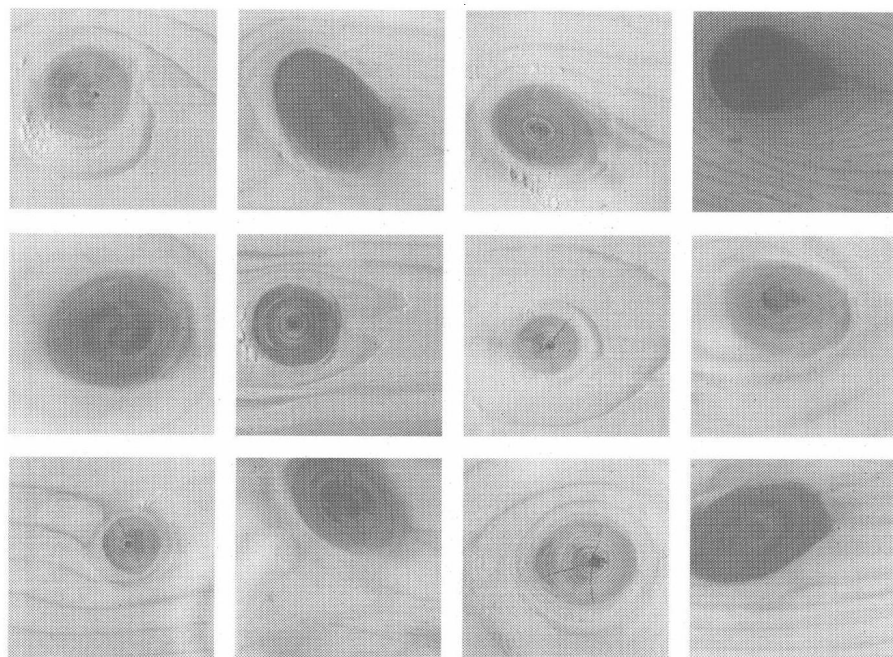
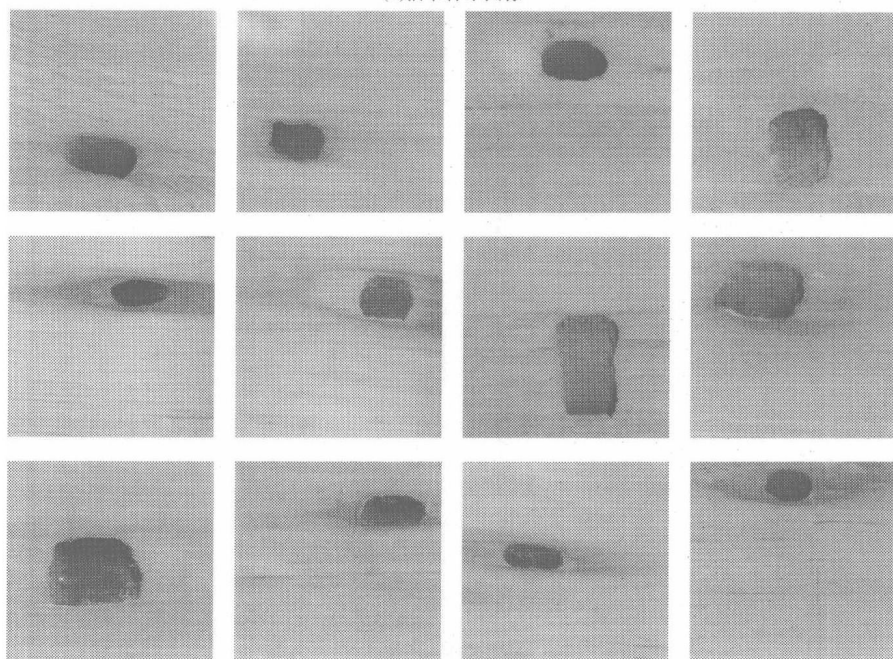


图 2-6 木材表面缺陷样本图像



(b)活节样本图像



(c)虫眼样本图像

图 2-6 (续)