

机器视觉技术在薄膜胶缺陷检测中的应用

吕宜光, 郝明, 孙凯明, 周丽丽, 孙晶

(黑龙江省科学院智能制造研究所, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 薄膜胶作为一种关键的功能性材料, 广泛应用于多领域。然而薄膜胶在生产过程中易产生气泡、杂质、未压实和褶皱等缺陷, 这些缺陷会显著降低产品的性能与可靠性。人工检测效率低且易出错, 难以满足现代生产需求。通过分析薄膜胶的缺陷类型、成因及特征特点, 明确检测精度及效率需求。分析对不同相机类型、不同照明方式的成像特点和对不同缺陷的适用性。探讨目前主流图像处理方法在缺陷识别中的相关技术。最终选择线扫相机并搭建检测平台, 证实了机器视觉技术在薄膜胶缺陷检测应用的可行性。

关键词: 缺陷检测; 机器视觉; 薄膜胶; 工业领域

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)05-0131-04

Application of Machine Vision Technology in Defect Detection of Adhesive Films

LV Yi-guang, HAO Ming, SUN Kai-ming, Zhou Li-li, SUN Jing

(Institute of Intelligent Manufacturing, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin 150090 China)

Abstract: As a critical functional material, adhesive films are widely utilized across various industries. However, during the production process, defects such as bubbles, impurities, insufficient compaction, and wrinkles are prone to occur, significantly compromising the performance and reliability of the final products. Manual inspection, characterized by low efficiency and susceptibility to errors, struggles to meet the demands of modern manufacturing. This study analyzes the types, causes, and characteristic features of defects in adhesive films, clarifying the requirements for detection accuracy and efficiency. It further examines the imaging characteristics and suitability of different camera types and lighting methods for various defects, and explores the application of mainstream image processing techniques in defect identification. Finally, choosing a line scan camera and building a detection platform have verified the feasibility of applying machine vision technology to the defect detection of adhesive films.

Keywords: defect detection; machine vision; adhesive films; industrial field

0 引言

薄膜胶作为一种重要的功能性材料, 在工业生产和制造业中扮演着不可或缺的角色。其优异的粘接性能、光学性能和机械性能, 使其广泛应用于电子电器、汽车制造、航空航天、医疗器械等领域。薄膜胶在生产过程中会产生各种缺陷造成薄膜胶失效或性能下降等问题, 这些问题会对产品的性能造成影响。通过人工目视进行缺陷检查, 存在效率低、主观性强、易漏检误检等问题, 难以满足现代化工业生产的需求^[1]。如何高效、准确地检测出产品中的缺陷, 成为薄膜胶生产中需要解决的问题。随着机器视觉技术的快速发展, 其在工业检测中的应用逐渐成为研究热点。机器视觉技术通过图像采集、处理和分析, 其具有高效精准、非接触、实时性强的特点, 这为薄膜胶缺陷检测提供了新的解决方案。

目前国内外相关类似领域研究情况, 邓海云等针对高分子薄膜表面缺陷检测难题, 采用基于Halcon的GC-AD Combined模型, 融合Faster-RCNN与Auto-Encoder, 在有限数据下实现高精度检测^[2]。权跃文等提出基于机器视觉的光学薄膜自动化在线检测系统, 采用改进均值滤波器和Otsu阈值分割算法, 实现高效精确缺陷检测^[3]。Ban Geunwoo等设计出一种实时的小凹坑缺陷检测器(RT-SPeeDet)和一种基于图像处理和卷积神经网络(IP-CNN)方法的两阶段检测模型, 该方法用于优化薄膜制造过程中凹陷缺陷的检测, 并提出了一种多重特征图合成方法, 增强了凹坑缺陷的特征, 实现了对微弱凹陷缺陷的有效检测^[4]。Kento Nakashima等针对包装膜产品中缺陷检测, 设计一种CNN工具, 通过模板匹配提取包装膜目标部分设计紧凑型CNN模型训练, 实现高准确率检测^[5]。本文研究的薄膜胶与以上作者的研究内容在外观特性上有一定相似性, 总结其经验展开针对薄膜胶缺陷检测

*基金项目: 黑龙江省科学院科技成果转化专项 (CGZH2025ZNZZ04)

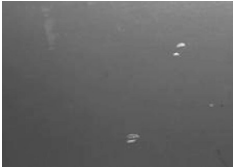
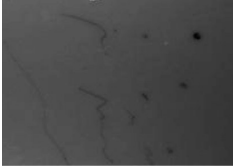


收稿日期: 2025-01-28

的研究。

1 薄膜胶的缺陷类型及检测需求

薄膜胶的常见缺陷包括气泡、杂质、未压实、褶皱等。这些缺陷主要由原材料品质、生产工艺或环境因素引起。例如,杂质由于原料污染导致,气泡可能由于涂布不均匀或溶剂挥发不完全导致,而划痕褶皱可能由机械损伤或操作不当引起。这些问题会破坏薄膜胶的致密性,显著降低薄膜胶的结合强度影响力学性能。

表1 薄膜胶表面缺陷产生原因及其特点

种类	示意图	可能形成原因
气泡		生产环境的灰尘控制不足,出料过程中混入气体或者杂质而形成气泡。
杂质		原料中混入颗粒杂质或调色不均都可能使膜表面出现暗斑。
未压实		原料融化温度不均,辊压时压力不足可能导致。
褶皱		牵引辊张力分布不均可能导致。

在检测精度上需要能够准确识别和定位毫米级的气泡、杂质等微小缺陷。在检测速度上要满足现代化工业生产的实时性检测需求,能够连续稳定运行,避免漏检和误检。能够同时检测多种缺陷类型,并具备缺陷分类能力。综上,薄膜胶缺陷检测应当满足高精度、高效率、高可靠性和多功能性等需求。

2 机器视觉检测方式与应用

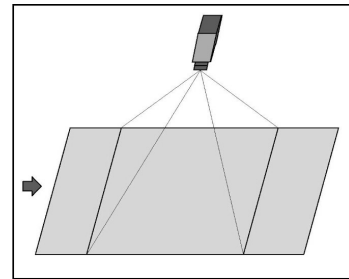
2.1 图像采集方法

图像采集是缺陷检测流程中的首要环节,它涉及对光源、相机等关键硬件设备的选择与优化配置,以及实施对缺陷特征的图像捕捉过程。合理的采集方案可放大缺陷特征,直接关乎后续图像处理的精度与效率。

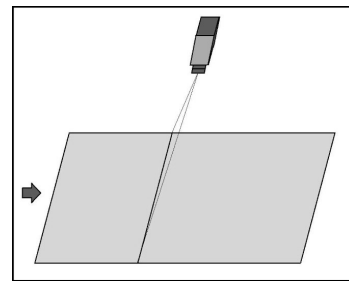
(1) 相机

工业相机分为面阵相机和线阵相机,面阵相机利用

面状感光元件直接获取二维图像信息,扫描频率较低,适合静态或低速物体的测量。而线阵相机通过线状感光元件逐行成像并拼接,虽然成像复杂,但扫描频率可达数万赫兹,更适合连续拍摄匀速运动的带状材料。成像原理如图1所示。



(a) 面阵相机成像原理



(b) 线阵相机成像原理

图1 线阵相机与面阵相机成像原理

面阵相机可一次性捕获整个场景的图像,适合静态或低速运动物体的缺陷检测。其成像速度快,能够快速获取完整的图像信息,适用于面积、形状、尺寸等缺陷的检测^[6]。然而,在高速运动物体的检测中,面阵相机可能因曝光时间较长而导致图像模糊或失真,影响缺陷识别的准确性,对于薄膜胶这种需要连续生产的卷材类产品,面阵拍摄并不适用。线阵相机通过逐行扫描的方式获取图像,适合高速运动物体或连续生产线的缺陷检测。线阵相机能够实现对产品表面缺陷的实时检测和识别,避免图像模糊问题^[7-8]。此外,线阵相机在检测细长带状物体时表现出色,能够通过多次扫描拼接出高分辨率的图像。

(2) 照明方式

光源照明在图像采集过程中占据着核心位置,采集过程中需要提供充足照明、确保图像信息完整捕捉,在缺陷检测中需要增强目标区域与背景之间的对比度,使得图像中的关键特征更加鲜明、易于辨识,合理的照明方式可有效降低自然光干扰并提升图像整体质量^[9]。照明方式主要分同轴光照明、背光照明、直接照明,在薄膜胶缺陷检测中,直接照明相较于背光照明与同轴光照明,能显著提升图像亮度与对比度,使低对比度缺陷更易识别。同时,其安装简便,光源适用性广,尤其适用于平面缺陷检测。薄膜胶表面具有一定的反光性,通过低角度打光,

使光线以较低的角度照射薄膜胶表面,减少直接反射进入相机的光线,如图2所示,平整表面反光无法进入镜头,亮度较低,划痕等不平表面反光进入镜头,图像亮度较高。采用高角度直射光平整部位反光强、图像亮度高,而不平整部位反光杂乱、亮度较低,如图3所示。

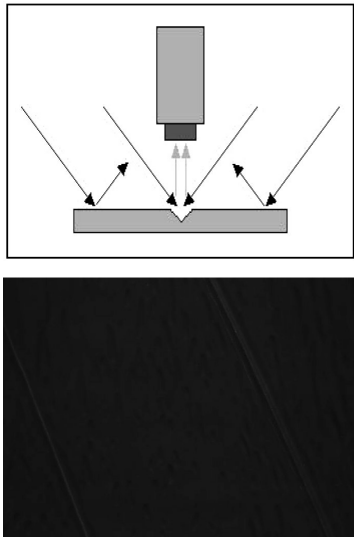


图2 低角度照射

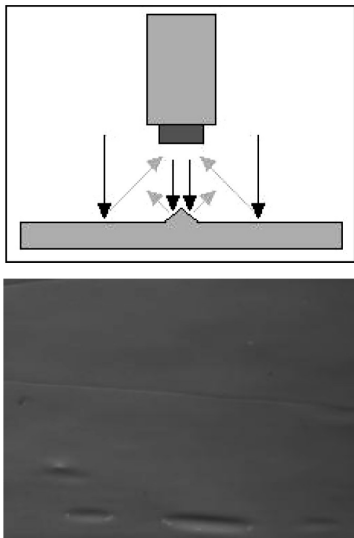


图3 高角度照射

综上所述,无论是低角度直射光还是高角度直射光在检测中都发挥着突显缺陷特征的作用。低角度直射光更适用于划痕褶皱、未压实等缺陷检测。而高角度直射光则更适用于表面异物例如气泡等。在实际应用中需根据检测对象、检测需求及光源适用性等因素综合考虑,选择合适的照明方式与光源类型,以达到最佳的检测效果。

2.2 图像处理方法

传统图像处理方法依赖基于人工设计的缺陷特征的提取算法,如边缘检测、纹理分析和形态学处理等,通过预定义的处理流程和阈值参数对图像进行处理和分析。传统方法具有算法透明、计算效率高、对硬件要求较低的

特点,适用于缺陷类型单一、背景简单的场景^[1-10]。例如在检测规则形状的划痕或杂质时,传统方法能够快速定位并识别缺陷,且易于调试和优化。然而,传统图像处理方法具有算法简单、计算量小的优点,但对复杂缺陷的识别能力有限。常见的处理流程如图4所示。

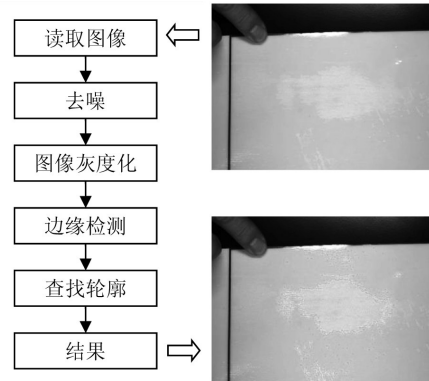


图4 传统图像处理流程

随着计算机技术和深度学习技术的快速发展,基于深度学习的缺陷检测方法因其强大的特征学习和提取能力,以及在处理多类别、复杂尺寸图像任务的优异性能,已成为缺陷检测领域的研究热点^[11]。与传统机器视觉方法相比深度学习通过构建神经网络模型,能够自动学习图像中的特征,无需再设计复杂的特征提取算法,常用的深度学习模型包括卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)等,识别流程如图5所示。此外,深度学习能够同时识别多种缺陷类型,并显著提高检测速度和精度,减少对人工经验的依赖。但同时深度学习通常需要大量的标注数据进行训练,且对计算资源和硬件性能要求较高。

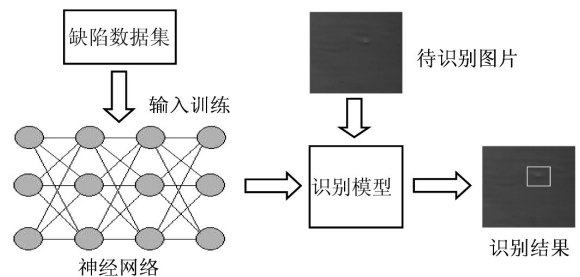


图5 深度学习检测流程

综上所述,传统方法在简单场景下具有高效、低成本的优势,而深度学习方法则在复杂场景中展现出更强的适应性和检测性能。实际应用中,可根据具体需求选择合适的方法,或结合两者的优势以实现更高效的缺陷检测。

2.3 实验环境




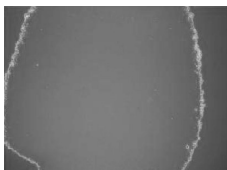




基于上述最优方法选择设备搭建试验台,实验台主要由线扫相机、条形光源、支架、往复式运动台、计算机以及电源组成。将薄膜胶样本固定于往复式运动台托盘,模拟生产中连续卷材的运动过程。通过调整安装于支架

两侧的线扫相机与条形光源获得最佳取像角度。实验台外观如图6所示,实验结果如表2所示。



图6 试验台

表2 实验结果

缺陷类型	原图	结果
气泡		
杂质		
未压实		
褶皱		

3 结束语

机器视觉技术在薄膜胶缺陷检测中展现了巨大的应用潜力。通过传统图像处理与深度学习的结合,能够实现高效、精准的缺陷检测,为薄膜胶检测提供了新的解决方案。未来,随着技术的进一步发展,机器视觉将在工业检测领域发挥更加重要的作用。

参考文献:

- [1] 罗东亮,蔡雨萱,杨子豪,等.工业缺陷检测深度学习方法综述[J].中国科学:信息科学,2022,52(6):1002-1039.
- [2] 邓海云,陈新辉.基于Halcon深度学习的高分子薄膜表面缺陷检测[J].机电工程技术,2024,53(7):153-157.
- [3] 权跃文,谢有浩,姜阔胜.基于机器视觉的光学薄膜表面缺

陷在线检测系统[J].滁州学院学报,2023,25(2):13-17.

[4] Geunwoo B, Joonhyuk Y. RT-SPeeDet: Real-Time IP-CNN-Based Small Pit Defect Detection for Automatic Film Manufacturing Inspection[J]. Applied Sciences, 2021, 11(20): 9632-9632.

[5] Nakashima K, Nagata F, Otsuka A, et al. Defect detection in wrap film product using compact convolutional neural network[J]. Artificial Life and Robotics, 2021, 26(3): 1-7.

[6] 唐艺明.基于机器视觉的轴承表面微小缺陷检测技术[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2023,41(4):102-105.

[7] 钟多根,李阳.线扫相机应用于长尺寸连接器的视觉检测[J].智能机器人,2018(1):33-34.

[8] 陈星寰.基于深度学习的定转子表观缺陷识别方法研究[D].无锡:江南大学,2022.

[9] 张恒瑞,林森,钟建平,等.基于机器视觉的液晶屏扩散板表面缺陷检测方法[J].工业控制计算机,2024,37(10):1-3.

[10] 孟宪国,黄俐,苏玉东.基于机器视觉的车辆轮对擦伤在线检测系统研究[J].自动化技术与应用,2022,41(6):133-137.

[11] 郝明,孙凯明,张建平,等.基于红外热成像的钢包监测系统的设计[J].自动化技术与应用,2024,43(6):32-34,111.

[12] 汤力,梁国迪,王菁,等.基于机器视觉技术的表单图像缺陷矫正及自动识别方法[J].自动化技术与应用,2024,43(10):52-55,138.

[13] 王海泉,郭修远,李辉,等.刀具磨损检测技术综述[J].自动化技术与应用,2024,43(7):1-6.

[14] 赵丰,张兴会,高慧敏,等.基于卷积神经网络的表面缺陷检测方法综述[C]//中国高科技产业化研究会智能信息处理产业化分会.第十四届全国信号和智能信息处理与应用学术会议论文集,2021:4.

作者简介:吕宜光(1989-),男,助理研究员,研究方向:计算机技术与应用。

通信作者:郝明(1978-),男,副研究员,研究方向:工业自动化。