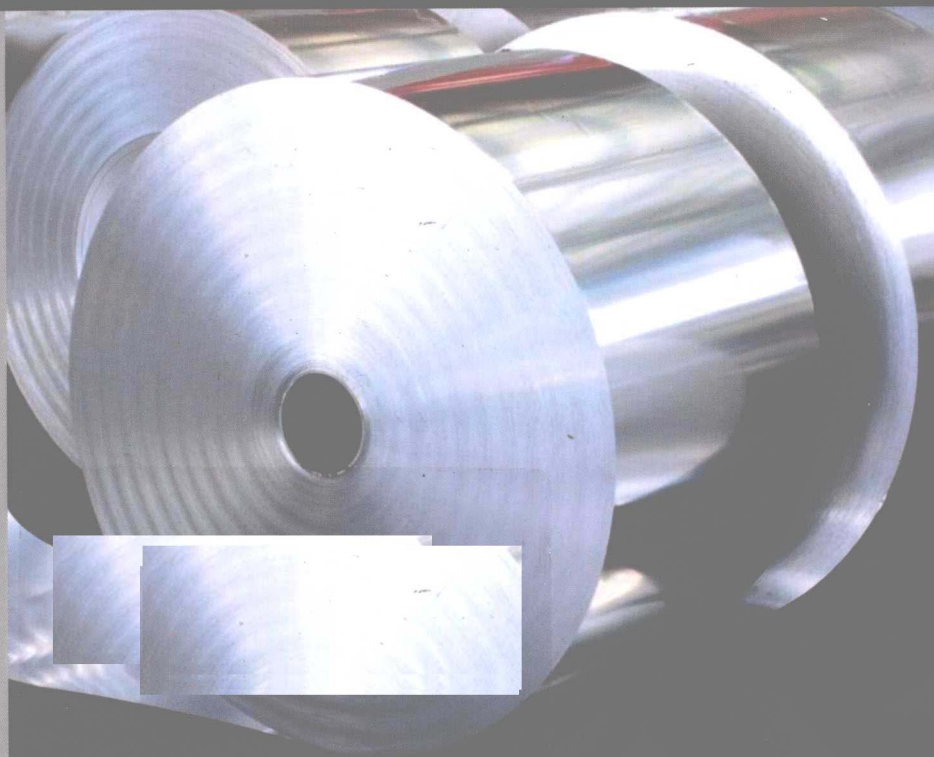




吴贵芳 徐 科 杨朝霖 著

钢板表面质量在线监测技术



科学出版社

www.sciencep.com

钢板表面质量在线监测技术

吴贵芳 徐 科 杨朝霖 著

本书由河南科技大学学术著作出版基金资助出版

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是一本介绍利用机器视觉方法对钢板的生产过程进行质量监测的专著。本书紧紧围绕钢板表面质量在线监测技术,从系统的软、硬件设计着手,针对系统的每个部分进行了探索研究。主要包括:钢板表面缺陷图像预处理技术、钢板表面缺陷区域检测技术、缺陷特征提取与选择技术以及钢板表面缺陷识别技术。

本书可供从事钢板表面质量检测的科研工作者及技术开发人员使用,也可作为相关专业的本科生及研究生的实践应用教材,以及表面检测和机器视觉等方面研究人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

钢板表面质量在线监测技术/吴贵芳,徐科,杨朝霖著. —北京:科学出版社, 2010.5

ISBN 978-7-03-027323-9

I. ①钢… II. ①吴… ②徐… ③杨… III. ①钢板-表面-质量管理
IV. ①TG335.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 072936 号

责任编辑:吴凡洁 杨 然/责任校对:刘小梅

责任印制:赵 博/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>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年5月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010年5月第一次印刷 印张:15

印数:1—2 500 字数:288 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

在受邀为吴贵芳等所编著的《钢板表面质量在线监测技术》一书作序的时候,我感到既高兴,又激动。在吴贵芳留学于韩国全北国立大学的一年时间内,我作为他的指导老师,也作为他的朋友,被他一年以来兢兢业业的工作态度和作风所打动。这一年中,吴贵芳经常会和我探讨图像处理以及钢板表面检测等方面的一些问题,这也让我更加了解了她多年的研究成果。作为从事计算机图形图像处理以及应用领域方面研究 30 多年的我来说,深知计算机图形图像处理技术正在对社会产生深远的影响,正是因为有这样一批又一批年轻学者和科研人员的不断地加入,才能将其推广到各种未知的应用领域。因此,希望年轻人能在自己的科研道路上不断开拓进取,百尺竿头,更进一步。

随着计算机技术的高速发展,计算机图形图像技术得到了充分发展,尤其表现在其应用领域上。到目前为止,该技术已经深入地应用于工业、农业、医学、军事以及人们日常生活中的各个角落,比如,工业产品质量监测与内部探伤、农用机械、医学 CT 技术、远程疾病诊断技术、太空照相技术、军事目标跟踪技术以及日常生活中的安全视频监控技术等。而表面监测技术在工业生产自动化程度日渐提高的今天,就更显现出其优越性,它可以大大地降低人工劳动强度,利用机器视觉的方法,大大改善人工作业环境,更完整地记录数据,保证工业产品的质量。

在钢铁工业中,由于其产业特点,生产的自动化水平往往比较高,各种钢材的生产都是在高度自动化的设备下进行,但该产业的质量检测问题却一直没能得到很有效的解决。利用机器视觉的方法对钢铁板材的生产进行质量监测是一种很先进的思想,充分应用了高科技发展的成果,利用非接触式检测方法对钢板表面质量进行在线实时监测。

该书主要是围绕钢板表面在线监测技术进行讲述的。首先详细讲述了表面监测技术的相关知识,同时介绍了该技术将要应用的领域——钢板生产领域;接着针对钢板表面质量在线监测技术所依托的系统——钢板表面质量在线监测系统进行了讲解,详细分析了系统的性能需求、软件结构以及硬件结构等;接下来对系统中的一些主要技术进行了叙述,主要包括图像采集技术、图像处理技术、钢板缺陷提取技术、缺陷特征处理技术以及钢板表面缺陷的分类技术等,这些技术是钢板表面质量在线监测系统的关键性技术,每一个环节对整个系统都是至关重要的。作者这样安排该书的结构,是让读者在全面认识和了解钢板表面质量在线

监测系统的同时，能循序渐进地加深对该系统中每一关键技术的理解，使读者能尽快接受并消化其中的内容。

该书的语句通俗易懂，对关键概念给予了详细的介绍。对专业性很强的知识点均采用了深入浅出的解析方法，不仅可以加深读者的印象，还能让读者能更快地掌握其中的关键性知识。同时，大量的实验数据的列举也是该书的一大特点，在理论知识后面，均会附上相关的实验过程和实验数据，具有很强的应用性和指导性，不但对企业的相关工作人员有理论指导作用，而且对相关的科技工作者能起更进一步的实践指导作用。

该书在完成大量工作的基础上，利用实际现场的具体应用，有力地证明了钢板表面质量在线监测技术对钢铁企业的质量检测具有无可替代的作用。但随着新技术的不断出现，作者还需要不断地深入研究，将更新更好的技术应用到钢板表面质量的在线监测中来，努力解决目前尚未完满解决的问题。在作者完成该书之际，除对作者表示真诚的祝贺外，也希望作者能再接再厉，一如既往地坚持创新，争取做出更多有益于人类社会的成果。



郭勳星

2009年8月于韩国全州

前 言

一直以来,随着信息技术的高速发展和机器视觉技术的深入应用,机器视觉技术也由单纯的理论研究向实际应用领域深入,而面向具体应用领域的机器视觉系统的开发,为社会的进步做出了巨大的贡献,通过将机器植入“眼睛”与“大脑”,将人类从许多烦琐的工作中解放出来,大大降低了工人的劳动强度,提高了现代企业的生产效率。

本书的编写是在作者多年对钢板表面质量在线监测技术的研究基础上进行的。从对钢板表面质量检测领域一无所知,到成功开发出国产第一套冷轧带钢表面质量在线监测系统,并应用于实际的生产,中间每个过程都经历了探索与研究,有过痛苦的迷茫,也有过成功的喜悦,同时也积累了丰富的经验。

本书以钢板表面缺陷的检测作为研究对象,利用机器视觉的技术,构建钢板表面质量在线监测系统,以满足实际生产现场的实时监测需求,以由总到分的结构,科学合理地安排全书的内容。全书总共分为7章,主要内容和分工如下:

第1章为绪论,介绍了表面监测领域的相关知识,同时针对本书的钢板生产应用领域,介绍了我国钢板生产及质量检测现状,由吴贵芳负责撰写。

第2章针对常见的冷轧钢板与热轧钢板的表面缺陷图像以及形成原因进行了深入的研究与分析,由徐科和杨朝霖负责撰写。

第3章从软、硬件的角度对钢板表面质量在线监测系统进行设计,以实现一套功能完整、操作方便的钢板表面实时监测系统,由徐科负责撰写。

第4章~第7章研究了钢板表面质量在线监测关键技术,主要包括钢板边界的提取、边界局部搜索算法、缺陷区域检测技术、空域和频域的缺陷特征提取与特征选择技术、基于神经网络及SVM的钢板表面缺陷识别技术,并利用大量的现场数据进行了实验分析,充分解析钢板表面质量在线关键技术的每一个环节,由吴贵芳负责撰写。

在钢板表面在线监测技术的研究与本书撰写过程中,得到了北京科技大学徐金梧教授的悉心指导与帮助,以及韩国全北国立大学郭勳星(Hoon-Sung Kwak)教授的指导和建议,同时还凝聚了孙浩、佟强、李文峰、孙秀明、刘乃强等智慧的结晶,在此一并表示衷心的感谢。

作者还要感谢河南科技大学学术著作出版基金对本书的资助,以及武钢集团海南有限责任公司和济南钢铁集团有限公司提供的实验场地以及现场技术支持,感谢河南科技大学普杰信教授、刘兆魁教授等对本书提出的宝贵意见。

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，热切希望能得到各位读者对本书提出的宝贵意见和建议。

作者的 E-mail 地址是：easyfancy@126.com，欢迎不吝赐教。

吴贵芳

2009 年 5 月于中国洛阳

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 表面监测技术概述	2
1.1.1 表面监测技术的含义	2
1.1.2 表面监测技术的发展及研究现状	2
1.1.3 表面监测技术的意义	9
1.2 钢板分类及检测现状	10
1.2.1 钢板的分类	10
1.2.2 我国钢板生产及质量检测现状	11
1.3 本书的主要内容和基本结构	12
第 2 章 钢板表面缺陷图像及成因分析	13
2.1 冷轧钢板典型缺陷	13
2.2 热轧钢板典型缺陷	19
2.2.1 冶炼缺陷	19
2.2.2 轧制缺陷	25
第 3 章 钢板表面质量在线监测系统的设计	31
3.1 钢板表面质量在线监测系统的分类	31
3.2 系统的性能需求分析	32
3.2.1 冷轧钢板表面质量在线监测系统性能需求	32
3.2.2 热轧钢板表面质量在线监测系统性能需求	32
3.3 系统的硬结构设计	33
3.3.1 整体结构设计	33
3.3.2 计算机硬件系统	34
3.3.3 摄像系统的确定	34
3.3.4 照明方式	41
3.3.5 其他辅助装置	45
3.4 系统的软件结构设计	47
3.4.1 客户机软件系统	48
3.4.2 服务器软件系统	49

3.4.3 控制台软件	50
第4章 缺陷图像预处理技术	52
4.1 钢板表面边界图像	52
4.1.1 钢板表面图像有效区域的定义	52
4.1.2 钢板边界检测的意义	54
4.1.3 钢板边界检测的作用	55
4.2 简易边界搜索算法	55
4.3 灰度梯度阈值搜索算法	56
4.3.1 灰度梯度阈值搜索算法原理	56
4.3.2 实验验证	58
4.4 边界局部搜索算法	59
4.4.1 边界局部搜索算法原理及实现步骤	59
4.4.2 边界局部搜索算法实例解析	64
4.4.3 边界局部搜索算法在冷轧钢板有效区域提取中的应用	65
4.4.4 边界局部搜索算法的讨论	67
4.4.5 边界局部搜索扩展算法	69
4.5 钢板表面缺陷图像增强算法	74
4.5.1 邻域增强算法	75
4.5.2 中值滤波	76
4.5.3 直方图均衡化	77
4.5.4 频域图像增强	80
4.5.5 基于小波变换的图像增强算法	83
第5章 钢板表面缺陷区域检测技术	91
5.1 区域检测的主要过程	91
5.1.1 区域检测的流程	91
5.1.2 可疑点检测的方法	91
5.1.3 ROI 搜索	98
5.1.4 ROI 合并	105
5.1.5 钢板表面缺陷区域检测实验	109
5.2 基于数学形态学的区域检测方法	112
5.2.1 数学形态学基本理论	112
5.2.2 形态滤波及其在钢板表面缺陷检测中的应用	117
5.3 基于形态小波的区域检测方法	121
5.3.1 形态小波理论	121
5.3.2 基于形态小波的钢板表面缺陷检测	125

第 6 章 缺陷特征提取与选择技术	133
6.1 钢板表面图像模式识别基础	133
6.1.1 模式识别的基本概念	133
6.1.2 模式空间、特征空间和类型空间	134
6.1.3 特征提取和特征选择	134
6.2 典型特征的提取	136
6.2.1 空域特征的提取	136
6.2.2 频域特征的提取	146
6.3 钢板表面缺陷特征选择方法	160
6.3.1 类别可分离性判据	161
6.3.2 常见的特征选择方法的简介与分析	172
6.3.3 基于遗传算法的特征选择方法	174
第 7 章 钢板表面缺陷识别技术	181
7.1 表面缺陷识别概述	181
7.1.1 模式识别主要方法简介	181
7.1.2 分类器的设计	183
7.1.3 BP 神经网络与 LVQ 神经网络	184
7.2 基于 BP 神经网络的分类器设计	187
7.2.1 BP 网络分类器设计时应考虑的问题	187
7.2.2 缺陷识别过程	187
7.2.3 实验验证	189
7.2.4 BP 神经网络识别的不足	200
7.3 多缺陷类型下样本库的建立与特征集确定	201
7.3.1 样本库的建立	201
7.3.2 特征集的确定及实验验证	201
7.4 多缺陷类型的分类器研究	203
7.4.1 基于小样本的神经网络参数优化选择方法	203
7.4.2 基于 LVQ3 神经网络的表面缺陷识别与分析	209
7.4.3 基于支持向量机的表面缺陷识别算法研究	217
7.4.4 多缺陷类型的识别总结	222
参考文献	224

第 1 章 绪 论

随着我国新型工业化进程的全面推进,各类工业化产品在产量上已经达到了相当的规模,从数量上能够满足我国国民经济发展的需要。

以国民经济的支柱型产业——钢铁冶金工业为例,近几年来,我国钢铁工业获得了迅速的发展,已经连续 9 年保持钢产量居世界第一。2001 年全年的钢材产量为 1.8 亿 t,2002 年全年的钢材产量达到 1.9 亿 t^[1],2005 年全年的钢材产量达到了 3.49 亿 t,2006 年全年钢产量达到 4.18 亿 t,同比增长 18.48%^[2]。同时我国也是世界第一大的钢铁消费大国,消费的钢材量占全球的四分之一,根据钢铁工业协会 2003 年调研显示,仅 2003 年我国钢材消费量就为 2.7 亿 t,同时预计 2010 年将约为 3.1 亿~3.4 亿 t。此外,根据钢铁工业协会的调查和不完全统计,2005 年我国新增炼铁能力 0.94 亿 t,炼钢能力 1.1 亿 t。近年来,日本、欧洲等一些主要钢铁生产国家和地区不断地建设各种新型生产线,使钢材市场的供求关系发生很大变化。目前国际市场钢铁产品的生产能力过剩,出现供大于求的局面。据有关机构估算,目前国际钢材的生产总能力已经达到了 12 亿 t,而世界钢材实际需求量只有 10 亿 t,过剩比例达到 20%^[3]。因此国际钢铁市场的竞争将越来越激烈,如何从产品的质量中取胜,将是企业得以生存发展的关键。

虽然我国是钢铁生产大国,但是我国的各类钢材成品和半成品在质量方面却与各发达国家存在明显的差距。国内各大型冶金企业通过引进国外先进工艺和生产技术,在冶炼工艺控制、轧制工艺控制等技术方面有了大幅度的提高,产品品质方面也逐步具备世界先进水平,但由于原有生产习惯和检测模式等诸多复杂原因的综合影响,作为钢材产品质量重要组成部分的表面质量却一直没有很大的改观。与此形成鲜明对比的是:当前钢材主线产品如汽车板、家电板、不锈钢装饰板等,其表面质量对其总体质量乃至市场竞争力起着决定性作用。尤其是随着我国加入世界贸易组织,国外钢材产品大量涌入,如果不能有效地提高我国钢材产品表面质量,国内各钢铁生产企业将面临关乎存亡的严峻局面。据统计,鞍山钢铁集团(以下简称鞍钢)公司在 1996~1998 年因产品的表面质量问题导致其直接经济损失高达 583.5 万美元。而作为我国钢铁行业龙头企业的上海宝钢集团有限公司(以下简称宝钢),也曾出现因其冷轧汽车板表面质量问题而被上海大众汽车有限公司要求退货,并给予巨额经济赔偿的严重产品质量问题。

在提高产品表面质量方面,国外部分知名钢铁企业已经开始相继在生产线上使用自动监测系统,用以在线监测产品表面质量,有效地进行产品表面质量控

制。国内少数的钢铁企业如宝钢也已在其生产线上安装使用了表面自动监测系统,这些监测系统多由 CCD 光学摄像系统和强大的数字图像处理计算系统构成,能够对产品表面进行二维图像采集、记录和识别,对生产和表面质量控制起到了一定的积极作用。

那么什么是表面监测技术呢?接下来将对其进行较详细的解释。

1.1 表面监测技术概述

1.1.1 表面监测技术的含义

目前对于“表面监测技术”还没有一个完全科学的定义,但该项技术已经取得了很大的发展,并且已经应用到了许多相关的领域。从字面上理解,表面监测技术是一种与物体表面有关的监视及测量技术。因此可以认为表面监测技术就是一种与物体表面的物理状态和性能有关的物理量的监控及测量技术,如物体表面质量的监测技术、物体表面故障监测技术、物体表面温度测控技术、物体表面压力监测技术等,都属于表面监测技术的范畴。

表面监测技术可以按照不同的分类标准进行划分:

第一,按监测仪器是否接触被监测物体的表面来分,可以将表面监测技术分为接触式表面监测技术和非接触式表面监测技术。比如,基于贴片式传感器的表面张力监测技术和用温度计测量人体表面温度等的技术,都属于接触式表面监测技术;而基于图像处理的表面粗糙度监测以及基于光谱分析的高温物体表面温度监测技术等都属于非接触式表面监测技术。

第二,按被监测物体的物理形态来分,可以分为固体表面监测技术和液体表面监测技术。

第三,按被监测物体的物理特性来划分,可以分为表面温度监测技术、表面粗糙度监测技术、表面张力监测技术、表面质量监测技术等。比如,炼钢炉中的钢水温度监测技术就是其中一种液体表面温度监测技术。

1.1.2 表面监测技术的发展及研究现状

1. 表面监测技术的发展

表面监测技术^[4]发展到现在,大致经历了三个阶段,分别是人工目测与离线抽检相结合的检测阶段^[5]、单纯机电技术或光学技术的检测阶段^[6~10]以及基于光机电一体化的机器视觉检测阶段^[11~23]。

1) 人工目测与离线抽检相结合的检测阶段

从 19 世纪现代工业革命开始至 20 世纪 50 年代初,由于生产规模及生产速

度水平平均较低,表面质量检测主要采用生产过程中人工目测和离线过程中的成品抽检。到了50年代中后期,生产速度不断加快导致人眼视觉灵敏度和分辨效率降低,已经不能达到检测的要求,因此,它逐渐不能适应现代化高速生产的需要,而被更高形态的检测技术所取代。

人工目测检测方法的主要特点如下:

(1) 检测方法简单,投入成本较低。人工目测检测方法不需要投入任何先进的仪器设备,就可以在许多地方实现产品质量的检测,因此检测成本低廉。

(2) 检测有效速度范围较小。随着生产速度的不断加快,生产效率也得到了相应的提高,当生产线速度大于 3m/s 时,人工目测检测方式无法可靠捕获被检物体表面质量的细节信息,从而产生大量漏检和误检。因此,它只适合低速、低效率生产条件下的检测。

(3) 视觉灵敏度较低。利用人眼目测检测的时候,即使在较低的生产线速度下,人眼固有的感光性能、色觉反应对于许多单一材质、表面近乎于单一色度的被检物来说分辨效率也极低,而且检测的稳定性较差,检测效果受人体各方面主观情绪以及身心状态的影响。

(4) 受人体功能方面的影响。人工目测检测需要检测员在生产现场工作,然而工作环境可能是高温、粉尘、噪声、振动等恶劣环境,因此检测者极易疲劳,长时间的现场检测,对人的身体健康和心理状态都造成极大伤害。

(5) 检测结果的有效性。由于人工目测方式是以检测人员主观印象作为检测标准的,故而很难形成产品横向和时间纵向上的检测一致性。

但是由于人工目测检测方法具有方法简单、检测成本低廉等特点,目前国内许多生产企业仍采用人眼直接检测的方法对产品质量进行检测,这样也导致许多产品的质量难以得到保证。

2) 基于单纯机电技术或光学技术的检测方式

这一阶段的主要特征是各类高灵敏度检测器件在产品表面质量检测乃至整个无损检测领域的广泛应用,从其实现机理上看,主要包括涡流检测、漏磁检测、磁气检测、光学检测、电容检测、浸透检测和超声波检测等。下面分别针对涡流检测和漏磁检测方法进行介绍。

(1) 涡流检测。涡流检测就是运用电磁感应原理,用正弦波电流激励探头线圈,当探头接近金属表面时,线圈周围的交变磁场在金属表面产生感应电流。对于平板金属,感应电流的流向是与线圈同心的圆形,形似旋涡,称为涡流。同时涡流也产生相同频率的磁场,其方向与线圈磁场方向相反。涡流通道的损耗电阻以及涡流产生的反磁通,又反射到探头线圈,改变了线圈的电流大小及相位,即改变了线圈的阻抗。因此,探头在金属表面移动,遇到缺陷或材质、尺寸等变化时,涡流磁场对线圈的反作用不同,引起线圈阻抗发生变化,通过涡流检测仪器

测量出这种变化量就能鉴别金属表面有无缺陷或其他物理性质变化。

影响涡流场的因素有很多，诸如探头线圈与被测材料的耦合程度，材料的形状和尺寸、电导率、磁导率以及缺陷等。因此，利用涡流原理可以解决金属材料探伤、测厚、分选等问题。

涡流检测适用于导电材料探伤，常见的金属材料可分为两大类：非铁磁性材料和铁磁性材料。前者为钢、铁及其合金，后者为铜、铝、钛及其合金和奥氏体不锈钢，它们的本质差别是材质磁导率远大于 1 或者接近于 1。图 1.1 是利用涡流对板坯进行探伤检测的典型原理图。

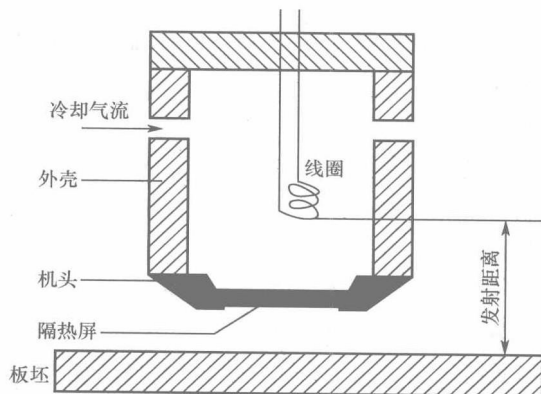


图 1.1 涡流检测原理

涡流检测的主要优点如下：对小的缺陷具有较高的敏感性；可以检测表面和接近表面的缺陷；检测速度较快，可以实现实时检测；设备简单，准备工作少，接口性好；检测方式为非接触式检测，测试探头不需要接触被测物；可检查形状尺寸复杂的导体。

涡流检测的主要缺点如下：只能检测导体；被测表面必须易于让测试探头接近；要求的技巧性较高；抛光表面或粗糙表面可能影响检测结果；检测的穿透深度有限。

(2) 漏磁检测。漏磁检测法于 20 世纪 80 年代开始研制，并应用于工业生产，但是早期的产品检测灵敏度不高，主要原因是磁传感器灵敏度不够。90 年代以后研制成功了“MGS+ α ”磁传感器，其灵敏度极高，可检测出 $5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ 的微小内部缺陷。“MGS+ α ”传感器漏磁检测系统于 1991 年 3 月在日本钢管公司（NKK）福山制铁所投入使用，进入了实用化阶段。漏磁检测法的检测原理如图 1.2 所示。

在直流磁场作用下，被检测钢板磁化并接近饱和状态。此时在缺陷部位有几

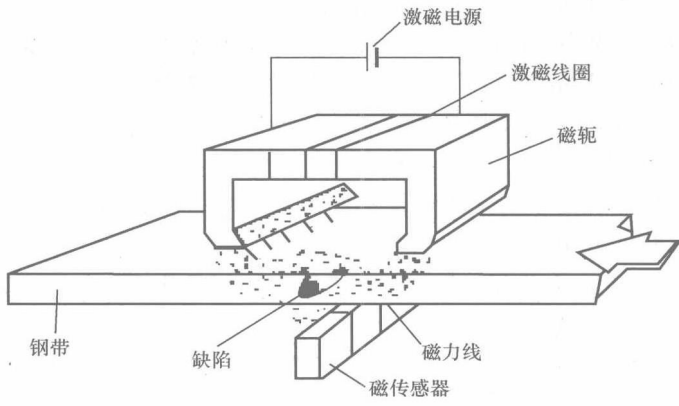


图 1.2 漏磁检测法检测原理

乎与缺陷的体积成比例的磁力线向外泄漏，通过磁传感器可以把泄漏的磁力线检测出来，同时也可以测定钢板上的缺陷大小。图 1.3 是漏磁检测的系统组成。

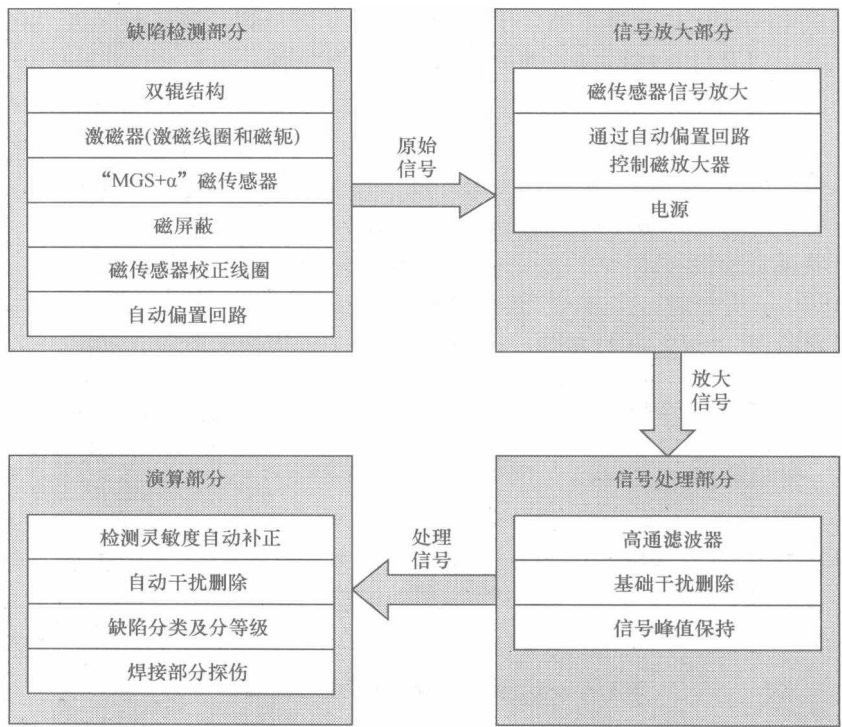


图 1.3 漏磁检测的系统组成

漏磁检测法的主要优点如下：不仅能检测表面缺陷，还能检测内部微小缺陷；检测精度高，可检测到 $5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ 的微小内部缺陷；造价比较低廉。

漏磁检测法的主要缺点如下：不能检测表面粗糙度；由于该方法采用磁原理来检测缺陷，只能用于金属材料的检测，不能用于非金属材料的检测；无法对缺陷进行准确的识别。

在这一阶段中，这些方法不但能检测表面缺陷，而且绝大多数还能检测内部微小缺陷，并且有些方法的检测精度较高，可检测到 $5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ 的微小内部缺陷。但这些方法可检测出的缺陷定量描述参数和缺陷种类都十分有限，无法综合评估产品的表面质量状况。

3) 基于光机电一体化机器视觉检测技术

随着 20 世纪 60 年代激光技术、CCD (charge coupled device) 技术^[24~27] 的相继问世和随后的计算机技术的飞速发展，光机电一体化技术作为当代光电子技术的先导，以先进的制造技术为基础，融合微电子、自动化、计算机和信息管理等相关技术而形成了一个崭新的综合性高新技术领域，是信息化与工业化相结合的未来发展方向。

光机电一体化检测技术结合了光学仪器的非接触测量和灵敏度高、响应速度快等优点，以及计算机数据处理的快速和灵活等特性，可广泛应用于工业生产线上对产品的在线测量、检测和定位等方面，成为工业自动化生产中不可缺少的一个环节。目前，光机电一体化检测技术在工业生产线上的应用相当广泛，涉及了冶金、机械、电子、印刷、纺织和交通等许多行业，对提高这些行业的产品质量和生产效率、降低生产成本等都起到了重要的作用。

机器视觉检测技术^[28~30] 是光机电一体化检测技术的一个发展阶段，开始于 20 世纪 70 年代中期。在 30 多年来的发展历程中，经历了三种形式的发展：激光扫描器阶段、线阵 CCD 摄像头阶段和面阵 CCD 摄像头阶段，如图 1.4 所示。

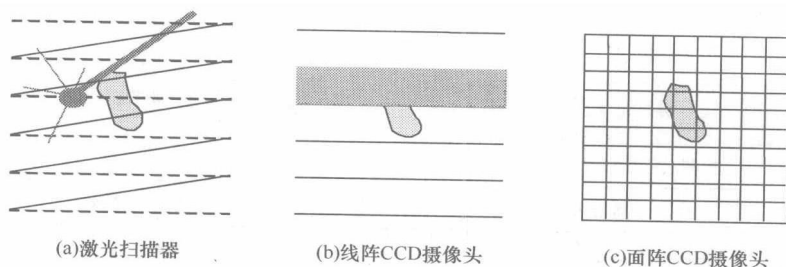


图 1.4 机器视觉检测技术的三种扫描形式

激光扫描器通过点扫描的方式来扫描二维表面。20 世纪 70 年代中期，日本川崎公司开始研制了镀锌板在线检测装置，先后采用了斜交激光扫描系统和平行

激光扫描系统进行钢板表面检测,并针对特定的缺陷(周期缺陷)的信号处理问题采用了自相关技术和分形分析方法。1988年,德国 SICK 光电公司研制成功了平行激光扫描检测装置,其检测原理为:低功率 He-Ne 激光器发出的激光经过反射镜投射到一个高精度的多面体棱镜表面,通过多面体棱镜的旋转运动产生垂直于钢板运动方向的横向扫描,光线经多面体棱镜反射,通过远心光路系统投射到钢板表面,被钢板表面的反射和散射光线接收装置接收后由光电倍增器完成光电转换,传输至上级计算机系统,完成图像的信号处理和识别任务。检测图像机理如图 1.5 所示。

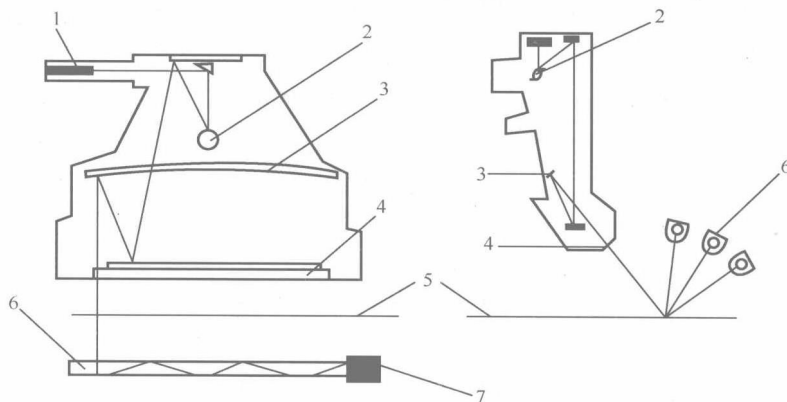


图 1.5 激光扫描检测原理

1. 激光或白色光源; 2. 旋转棱镜; 3. 抛物面镜; 4. 扫描光线出射窗; 5. 钢板;
6. 光接收棒; 7. 光电倍增管

与上一代检测技术相比,激光扫描检测可以显著提高缺陷检测灵敏度、检测的实时性和数字信号处理结构的通用性,但随着应用研究的逐步深入,国内外学者逐步认识到该技术的局限性:对于微小的或低对比度的缺陷和某些非缺陷表面特征的分辨能力不足;其专用的光学系统结构复杂,可维护性和可升级性较差,这些均限制了激光扫描检测技术在工业生产在线检测领域的进一步实用化和工程化。

因此,激光扫描器是机器视觉检测技术中应用比较早的一种技术。这一代的表面监测系统的扫描速度和分辨率非常低,并且光学和机械装置极不可靠。

线阵 CCD 摄像头以及面阵 CCD 摄像头是随着 CCD 摄像技术的发展而产生的,目前这两种方法都还在不断地发展并得到广泛应用。线阵 CCD 芯片是一种可以极高速线扫描的电子元器件,具有 100%填充因子、曝光可控、低压时钟等特点^[25]。线阵 CCD 摄像头扫描二维表面目标时,是通过逐行的线扫描方式来获