



计算机科学与技术前沿研究丛书

机器视觉表面缺陷检测技术 及其在钢铁工业中的应用

Technology and Application of Machine Vision
Detection for Iron and Steel Surface Defect

甘胜丰 雷维新 周成宏◎著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



计算机科学与技术前沿研究丛书

湖北省自然科学基金项目“基于高斯模型和非线性降维方法的高速实时带钢图像边界检测与分类方法研究”（课题编号：2014CFB380）研究成果

机器视觉表面缺陷检测技术 及其在钢铁工业中的应用

甘胜丰 雷维新 周成宏◎著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书系“计算机科学技术前沿研究丛书”中的第一本,主要介绍计算机机器视觉技术及其在钢材表面缺陷的应用所展开的研究与应用成果。其中,自适应高斯模型边界检测、双阈值感兴趣区域检测、监督双限制连接等距映射降维方法、多级图像分类器等一系列新的计算机图像检测、识别与分析方法的提出,提高了钢材表面缺陷检测各个环节准确率,并开拓了钢材表面缺陷成因和质量缺陷溯源的发展空间。本书充实了计算机视觉和无损检测的理论基础,也为高品质钢材制造带来了活力。涓流成海,计算机科学与工业制造领域的深度交叉研究,为“中国制造 2025”的大趋势注入新能量。

图书在版编目(CIP)数据

机器视觉表面缺陷检测技术及其在钢铁工业中的应用/甘胜丰,雷维新,周成宏著. —武汉:华中科技大学出版社,2017.6

(计算机科学与技术前沿研究丛书)

ISBN 978-7-5680-2132-6

I. ①机… II. ①甘… ②雷… ③周… III. ①计算机视觉-表面缺陷-缺陷检测-研究 IV. ①TP302.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 195670 号

机器视觉表面缺陷检测技术及其 在钢铁工业中的应用

甘胜丰 雷维新 周成宏 著

Jiqi Shijue Biaomian Quexian Jiancejishu Ji Qi Zai Gangtiegongye Zhong De Yingyong

策划编辑:周晓方

责任编辑:姚 幸

封面设计:原色设计

责任校对:张 琳

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:11.5 插页:2

字 数:226 千字

版 次:2017年6月第1版第1次印刷

定 价:48.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

总序

“计算机科学与技术前沿研究”是一套以计算机科学为基础的系列丛书,是计算机科学与教育、工业和地质学等领域紧密结合、深度应用的成果展示平台。它集思维创新、学术创新、实践创新为一体,旨在为计算机科学技术在拥有更加广阔的应用空间提供一个传播的媒介。

计算机科学技术已广泛渗透到国民经济和社会生活各行各业,解决行业问题的方法众多,但对核心问题并没有限定;对问题的分析过程和结论也没有定论;允许采用更多新颖的方法对复杂问题予以更多的讨论。这就需要计算机科学与应用人员跳出计算机程序编制任务,完成更多具有完整体系构思的创造性工作,在基础理论和算法方面实现重大突破,推动我国计算机科学和信息产业的全面发展。

丛书收录了近年来较为热门的课题研究成果。这些成果与社会发展、国民经济发展息息相关,不仅具有创新性还拥有实践性和指导性。如果将丛书分开来看,或许不觉得分量之重;但如果把所有专著放在一起,就可以看出其成果之丰硕。丛书中所有成果以实践为基础,寻找合理的理论支持,并最终回归到实践,并升华了理论。将大量实践过程中产生的良好经验公式化、理论化,可以反复利用,成为推动各个领域发展的关键技术。

丛书内容大多以科研项目为依托,在项目实施过程中始终注意新技术与实践应用的有机融合,实验采用实际例证研究方法,具有较大的可信度,且易理解。但是,其中有些课题,难度较大,专著只是做了认真、有益的探索;有些项目,虽然尚有一些不足,作为中间成果,可在各个行业中推广应用,进一步完善。希望当前成果对计算机科学与应用起到良好的开拓作用,为持续研究打下了基础。

同时,丛书依据计算机科学与技术专业应用型卓越人才集成与创新特



征,以强化实践能力、创新素质为核心,根据不同类型的人才培养方案,重构课程体系和教学内容,开发了一批优质的实务课程、国际化课程和跨学科专业的交叉课程,编写和引进了一批优秀案例教材。

我们更加期待读者与同行的反馈,希望这套丛书能为读者打开计算机科学技术在自身领域深度应用之门,为同行提供新的研究思路与方向。

丛书编委会

2016年8月



现代工业飞速发展,用户对上游钢铁企业供应的“板带棒线”等轧制品提出了更高的表面质量要求。为此,世界钢铁企业在提高钢材生产线的生产速度的同时,也对自身产品表面质量的控制提出了前所未有的新要求。钢铁企业为保护设备不受缺陷影响、降低返工成本、减少贸易纠纷、维护企业形象与信誉,最终保持企业核心竞争力,将表面质量设定为最重要竞争指标之一。为保障该指标,钢材表面缺陷的在线检测系统逐渐成为了现代钢铁工业中一个不可或缺的系统。

从钢铁行业发展趋势来看,如今的钢铁工业已经进入了薄利时代。针对成本控制的各类革命性新技术呼之欲出,现代化智慧工厂和生产线成为了企业迫切追求的新的目标和发展方向。这些宏观的因素给既在现代工业中占主要地位,又在未来智能制造工厂中占主导地位的钢材表面缺陷检测系统提出了三个更为紧迫且至关重要的要求:能够适应复杂的现代钢铁工业生产环境和工业环境,实现的准确度能够达到智能制造生产的水平,能够使表面缺陷信息在无人甄别的情况下直接指导生产,实现质量溯源。

虽然表面缺陷检测技术针对上述要求已经有了一定发展,但是仍然不够完善:部分关键技术还未完全转化为生产力,不能更多地结合实际生产的需要作出优化。正因如此,需要深入研究钢材表面缺陷检测技术和方法的特点,改变长期以来钢材表面缺陷在线检测系统停留在设备浅层应用层面的局面,将表面缺陷检测技术深入到钢材生产的工艺应用中,使得钢材表面缺陷在线检测系统能物尽其用。



作者以钢材表面缺陷检测基础技术与环境优化算法为核心,阐述提高检测结果可信度的方法;提升检测结果、工艺信息相关性的步骤;加强缺陷在线诊断、质量溯源的思想和理论。通过这些优化,进一步创新地提高表面缺陷检测的科学性,提高系统整体的自动化程度,进而提高附加值,提高钢材的生产能力,提升产品质量水平和设备的运行效率,为钢铁产业转型升级注入能量。

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

2016年7月



第1章 绪论	.. 1
1.1 表面质量检测概述	.. 1
1.2 钢材表面缺陷检测技术深度研究的意义	.. 4
1.3 钢材缺陷检测技术的发展现状	.. 5
1.3.1 国外研究与应用	.. 5
1.3.2 国内研究与应用	.. 12
1.3.3 机器视觉钢材表面缺陷检测的发展趋势	.. 17
第2章 钢材表面缺陷检测系统	.. 19
2.1 钢材表面缺陷检测系统结构	.. 19
2.1.1 钢材表面缺陷检测系统硬件构成	.. 19
2.1.2 钢材表面缺陷图像处理算法框架	.. 21
2.2 钢材表面缺陷图像的采集	.. 21
2.2.1 照明光源	.. 22
2.2.2 CCD	.. 24
2.2.3 检测方式	.. 27
2.2.4 钢材表面缺陷检测点位置	.. 29
2.3 钢材缺陷图像的检测	.. 32
2.3.1 图像预处理	.. 32
2.3.2 边界识别	.. 32
2.3.3 感兴趣区域检测	.. 33
2.3.4 缺陷分割	.. 34
2.4 钢材缺陷图像的识别与分析	.. 34
2.4.1 特征提取	.. 34
2.4.2 特征降维	.. 35
2.4.3 图像分类	.. 37



第3章 钢材目标图像边界检测方法	.. 39
3.1 常见边界信号与典型钢材边界	.. 39
3.2 基于线阵 CCD 边界检测的实现方法	.. 42
3.2.1 固定阈值法	.. 42
3.2.2 对比度匹配法	.. 43
3.2.3 钢材边界跟踪	.. 46
3.3 基于面阵 CCD 边界直线检测的典型方法	.. 47
3.3.1 基于相位编组的直线检测算法	.. 47
3.3.2 基于链码的直线检测算法	.. 49
3.3.3 基于最小特征根的直线检测算法	.. 51
3.3.4 基于 Hough 变换的直线检测算法	.. 52
3.3.5 其他直线检测算法	.. 54
3.4 钢材边界检测效果评价方法	.. 55
3.5 多约束点记录 Hough 的钢材直线检测与跟踪方法	.. 56
3.5.1 基于点记录的 Hough 直线检测算法	.. 56
3.5.2 多约束条件下的钢材边界判定准则	.. 57
3.5.3 边界搜索区域的建立	.. 59
3.5.4 边界跟踪	.. 60
3.5.5 边界图像恢复	.. 60
3.6 基于高斯模型的动态钢材边界检测方法	.. 61
3.6.1 边界检测的高斯模型	.. 61
3.6.2 图像非均匀分布下的动态边界检测方法	.. 66
3.6.3 钢材边界跟踪	.. 69
3.7 边界稳定检测的辅助装置	.. 69
3.8 工业应用与探讨	.. 72
第4章 钢材表面缺陷图像检测方法	.. 74
4.1 钢材表面缺陷图像检测流程	.. 74
4.2 缺陷位置的感兴趣区域搜索	.. 75
4.2.1 灰度标准化钢材表面感兴趣区域搜索方法	.. 75
4.2.2 双阈值感兴趣区域提取方法	.. 78
4.2.3 基于形态灰度包络的感兴趣区域提取	.. 82
4.3 缺陷图像降噪方法	.. 85
4.3.1 图像中的噪声	.. 85
4.3.2 图像滤波器	.. 86

4.4	缺陷图像边缘分割方法	.. 87
4.4.1	基于 Prewitt 算子的边缘检测方法	.. 87
4.4.2	分水岭分割算法	.. 88
4.4.3	最大熵分割方法	.. 89
4.4.4	图像分割方法的工业应用	.. 91
4.5	缺陷标记与合并	.. 94
第 5 章	钢材表面缺陷视觉图像及特征提取	.. 96
5.1	钢材表面缺陷	.. 96
5.2	热轧板带材表面典型缺陷、形貌及图像	.. 97
5.2.1	热轧表面缺陷及其工业要求	.. 97
5.2.2	缺陷图像与形貌	.. 98
5.3	冷轧钢材表面典型缺陷、形貌及图像	.. 104
5.3.1	酸洗/冷连轧钢材表面缺陷及其工业要求	.. 104
5.3.2	缺陷图像与形貌	.. 104
5.4	棒线材表面典型缺陷、形貌及图像	.. 106
5.4.1	棒线材缺陷及其工业要求	.. 106
5.4.2	缺陷图像与形貌	.. 107
5.5	表面缺陷常用特征与计算方法	.. 109
5.5.1	形状特征	.. 109
5.5.2	颜色特征	.. 112
5.5.3	位置特征	.. 114
5.5.4	质心特征	.. 115
第 6 章	钢材表面缺陷图像的降维	.. 117
6.1	钢材表面缺陷图像特性分析	.. 117
6.2	钢材表面缺陷典型降维方法	.. 119
6.2.1	线性降维方法	.. 119
6.2.2	非线性降维方法	.. 120
6.2.3	典型降维方法对表面缺陷图像的适应性分析	.. 124
6.3	基于监督双限制连接的图像降维方法	.. 130
6.3.1	S-Isomap 算法	.. 130
6.3.2	dbl-Isomap 算法	.. 131
6.3.3	监督双限制连接 Isomap 算法	.. 132
6.3.4	两类 roll-swiss 降维特性	.. 133
6.3.5	增量样本降维算法	.. 136



6.4 工业应用	.. 138
第7章 钢材表面缺陷的分类	.. 141
7.1 典型的图像分类方法	.. 141
7.2 多级钢材表面缺陷分类方法	.. 144
7.2.1 主观评价机制	.. 145
7.2.2 主分类器	.. 147
7.2.3 三级钢材表面缺陷分类系统	.. 148
7.3 应用实例	.. 149
7.3.1 热轧生产线的冷轧用热轧带钢表面缺陷图像分类	.. 149
7.3.2 酸洗冷连轧无取向硅钢表面缺陷图像分类	.. 152
7.3.3 结论	.. 154
第8章 钢材表面缺陷成因诊断的探索	.. 155
8.1 钢材表面缺陷成因诊断的思想	.. 155
8.2 周期性缺陷诊断方法	.. 156
8.2.1 周期性缺陷周期算法	.. 156
8.2.2 周期性缺陷成因位置报警软件	.. 158
8.3 诊断与分析软件	.. 159
8.3.1 影响缺陷的工艺数据主成分分析方法	.. 159
8.3.2 缺陷评级	.. 161
8.4 小结	.. 162
总结	.. 164
参考文献	.. 166
致谢	.. 174

第 1 章

绪 论

1.1 表面质量检测概述

现代制造企业对产品外观表面质量要求日益严格,表面质量不仅影响产品本身外观形象,更有可能影响产品本身的功能特性,给企业造成重大损失。典型的产品表面质量检测方法包括:目视检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测等。这些检测方法有各自特点及其适用范围。

只要用视觉所进行的检查项目都属于视觉检测范围。现代目视检测融入了对物品的观察评价,形成了一种表面质量检测方法,其过程主要是用人的眼睛或借助于光学仪器对工业产品表面观察或测量。目视检测在早期的质量控制过程中占主要地位,有相关标准、检测规程和工艺执行卡。目视检测的优点:通过培训,人工易于理解和掌握;不受或很少受被检产品的材质、结构、形状、位置、尺寸等因素的影响;无需复杂的检测设备器材;检测结果具有直观、真实、可靠、重复性好等特点。但是缺点也较为明显:不能发现物品表面上非常细微的缺陷;观察过程中由于受到表面照度,颜色的影响容易发生漏检现象;对人员的工作状态要求较高。

磁粉检测是对导磁金属材料制成的工件,进行磁化至饱和程度。若材料表面和内部非常均匀,没有缺陷,则在其内部将产生均匀分布的磁力线。如果工件表面或近表面区域存在裂纹、夹渣或气孔等缺陷时,这些缺陷会阻碍磁力线的通过,产生漏磁现象,使缺陷两侧的表面产生一对磁极(N极、S极)的局部磁场。



若在被检工件的表面上撒放磁铁粉或磁铁粉悬液,磁粉就会被漏磁场所吸附,产生磁粉集聚,在合适的光照下形成目视可见的磁痕,从而显示出非连续性的位置、大小、形状和严重程度,其原理如图 1-1(a)所示。磁粉检测的优点包括:能直观显示出缺陷的位置、形状、大小和严重程度;具有很高的检测灵敏度,可检测微米级宽度的表面缺陷;采用合适的磁化方法可以检测到工件表面的各个部位,减少工件几何形状和尺寸大小的限制,检测过程如图 1-1(b)所示。其缺点在于:退磁困难;需要人工辅助;难以进行快速批量检测。

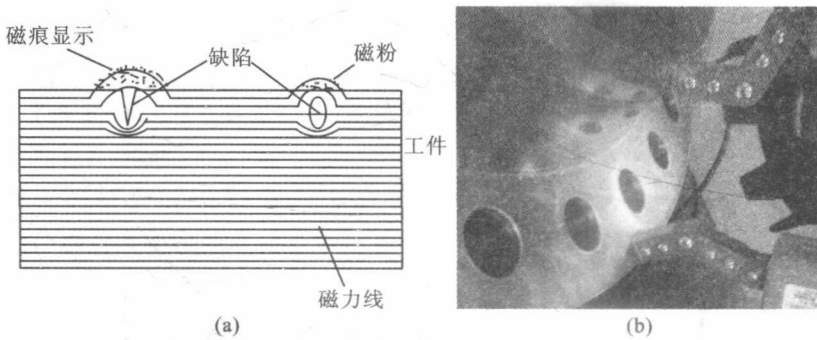


图 1-1 磁粉检测原理与工件的磁粉检测

渗透检测的基本原理如图 1-2(a)所示,利用毛细现象使渗透剂渗入表面开口缺陷,经清洗去除表面上多余渗透剂,保留缺陷中的渗透剂,并利用显像剂的毛细作用吸附出缺陷中的余留渗透剂,从而达到检验缺陷的目的。其中,着色渗透检测采用无味航空煤油、滑油、荧蒽等组成的渗透剂,配合清洗剂、显像剂作为检测耗材,如图 1-2(b)所示。渗透检测优点:磁粉检测仅可检测铁磁性材质,而渗透检测还可以检测非金属材料,检测范围大大高于磁粉检测的检测范围。但也有其局限性:由于多孔性材料的缺陷图像显示难以判断,渗透检测并不适合多孔

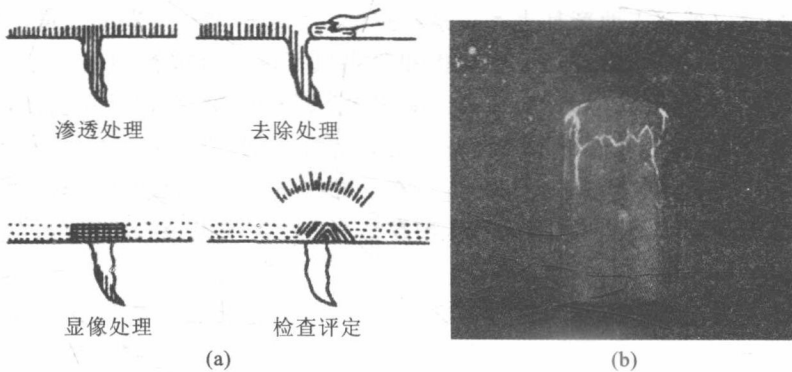


图 1-2 渗透检测原理与工件的渗透检测

性材料表面缺陷;渗透剂成分毒副作用及其残留;检测过程难以在线及批量化。

涡流检测原理及探测仪如图 1-3 所示,利用电磁感应原理,将载有正弦波电流激励线圈接近金属表面时,线圈周围的交变磁场在金属表面感应涡流,也产生一个与原磁场方向相反的相同频率的磁场,反射到探头线圈,导致检测线圈阻抗的变化,改变了线圈的电流大小及相位。当探头在金属表面移动,遇到缺陷或材质、尺寸等变化时,使得涡流磁场对线圈的反作用不同,引起线圈阻抗变化,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。涡流检测的优越性主要包括:对小裂纹和其他缺陷的敏感性;检测表面和近表面缺陷速度较快,灵敏度较高;不接触工件。其不足之处在于:不适用于形状复杂的零件;只能检测导电材料表面缺陷;检测结果易受到材料本身及其他因素的干扰。

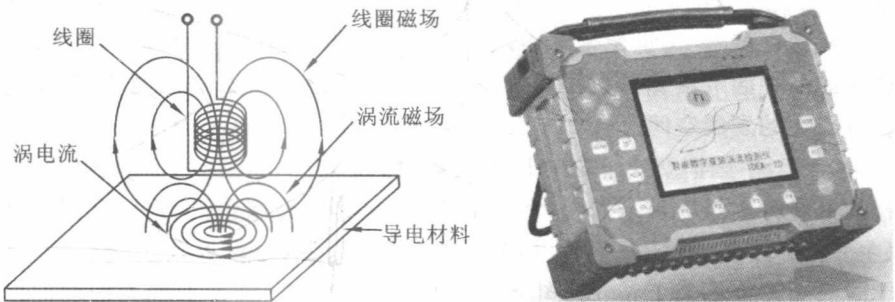


图 1-3 涡流检测原理及探测仪

机器视觉是表面质量检测近年发展的一个重要方向,拥有广阔的行业应用领域,涵盖电器、机械及器材制造业、汽车、烟草、印刷包装、半导体、电子及其他相关领域。这些领域与国民经济的发展和人均收入的增长水平密切相关。机器视觉主要是采用计算机来模拟人的视觉功能,从客观事物的图像中提取信息,进行处理并加以理解,最终用于实际检测、测量和控制。因此,在理论上,机器视觉可以覆盖所有的人工检测过程。机器视觉技术经过长期的发展,在国内外都得到了广泛应用,典型的机器视觉在表面质量检测方向应用包括:半导体及电子制造的表面质量检测,国外企业已大量配备此类检测系统;微型零件表面质量检测;制药过程中的药品表面形貌检测;印刷、钢铁带状、线装产品的表面缺陷检测等。

由于现代工业自动化生产速度和产量都在提高,人工检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测等方法不再适应检测产品表面质量。人工检测在速度和精度上难以定量,在表面质量定性过程中容易对产品表面质量造成漏检、漏判,尤其是变形较小、畸变不大的夹杂缺陷漏检。磁粉检测、渗透检测、涡流检测在许多行



业和生产现场都有局限性,难以满足工艺条件、材料性能、成本、产能条件等要求。机器视觉表面质量检测能够快速检测目标,并通过智能算法来满足复杂环节对表面质量检测的要求,能够采集、分析、传递数据、判断结果,有明显与自动化技术高度融合的趋势。因此,机器视觉表面质量检测技术的应用与研究将具有显著意义。

1.2 钢材表面缺陷检测技术 深度研究的意义

21 世纪将是一个经济全球化和科学技术迅猛发展的世纪。作为经济发展的基础产业和战略产业——钢铁工业,特别是中国的钢铁工业将面临新的挑战 and 新的机遇。虽然 21 世纪全球钢铁总产量将缓慢增长,但结合高科技和涉及新兴产业的品种的产量却呈大幅增长。对于经济迅速发展的中国而言,其钢铁工业将有更大的发展空间。

2005 年,中国消费 1.6 亿吨以上的钢材;2010 年,消费近 2 亿吨钢材,其中板材的消费将逐年增长。如今,钢铁产能严重过剩,高端钢铁制品、高附加值产品(主要指轿车板、冷轧硅钢片、冷轧不锈钢薄板、镀锌板,以及厚度小于 2 mm 热轧薄板和厚度小于 1 mm 冷轧薄板、高质量线材等)成为了主要的利润增长点,是“十三五”期间我国大型钢铁企业发展的重点。

由于对高端钢材需求量的提高,使得对钢材质量要求也有极大的提高,特别是对钢材表面质量的要求与日俱增。2008 年全球金融危机后,在激烈的市场竞争条件下,良好的产品表面质量越发体现了企业形象,而且能减少由于质量异议带来的巨大经济损失。为此,多家大型钢厂引进了基于机器视觉的钢材表面缺陷检测技术,其目的是能够实现对钢材表面缺陷的记录、显示和识别,能够直观、及时的获得轧制前的表面缺陷信息,提前减少异常表面缺陷对轧制过程的影响;获得成品表面缺陷信息,为前工序提供设备异常信息,为客户提供成品品质状态。

但是无论在装备上,还是在理论研究上,国内基于机器视觉的钢材表面缺陷检测技术都非常薄弱。据统计,这类技术国内市场全部由国外公司占领,并且多数此类设备在维护和使用方面均无法满足实际生产的需要。在相当的一段时间内,我国的钢材表面缺陷技术装备水平还难以发生根本性改变。以硅钢片为例:为提高硅钢片的产量和质量,满足国民经济发展的需要,许多钢厂引进了多台基于机器视觉表面缺陷实时在线检测系统用于成品脱碳退火机组,其目的是能直观、及时的获得成品表面缺陷信息,为前工序提供设备异常信息,为客户提供成



品质状态。但成品硅钢带表面缺陷分布区域较为集中,缺陷形态变化较大,系统配置的决策树算法无法实现对成品硅钢带表面缺陷的高水平分类。以热轧钢材为例:能否对钢材图像边界的良好判定,也是另外一个制约钢材表面缺陷检测技术发展的重要因素,钢材在长时间运行之后,其边界磨损钢材载体,以至于钢材与钢材载体之间的图像难以区分、钢材边界图像的不稳定。以高速线材为例:高速的轧制过程容易导致连续性小型轧制缺陷,并具有周期性,能否迅速判断缺陷的周期、产生周期缺陷的位置,才能将损失降到最低。因此检测出缺陷但不能判定其周期性难以缓解其损失程度,仍然需要大量人员在产品末端进行抽检。总体来说,现有表面缺陷检测系统对人工的要求程度依然较高,无法提高生产效率和产品质量、产品的竞争力。为此,钢铁企业急需针对现有问题进行改进,获得适合于钢材表面缺陷的检测和处理方法。

文中将通过善图像分割、边界检测、图像特征提取与分类的基础理论,对钢材表面缺陷检测的实际生产过程进行指导,具有更加重大的意义:

(1) 进一步提高基于机器视觉表面缺陷检测系统的国产化程度。国内钢材多采用欧美国家的检测系统,国内仅能研发此类系统的辅助系统,对其内部算法的深入研究能深化系统的现场使用水平,并为系统的完全国产化提高基础。

(2) 进一步提高检测的置信度,弱化主观判断,即使是在检测环境恶劣的现场也能获得翔实的缺陷数据,从而降低工作枯燥度和对人身危害程度,最终确保钢铁产业平稳运行。

(3) 进一步提高检测的科学性,为工业的标准化生产提供准确的数据信息,为生产提供控制信号,提高生产系统整体的自动化程度,最终突破制约产业转型升级的关键技术,完善人员结构配置。

(4) 提高检测的一致性,保护设备不受缺陷影响,并降低返工成本。在高端钢材生产过程中,如果前工序不能在线检测出某些严重的表面缺陷,那么缺陷可能引起后续设备故障,或者被引入至后工序,这可能导致整批产品的降级、重加工,甚至报废。

1.3 钢材缺陷检测技术的发展现状

1.3.1 国外研究与应用

一方面,钢铁工业飞速发展及各领域对钢材等轧制品表面质量的要求日益



严格,另一方面,钢材生产速度逐渐提高,人工视觉对钢材的检查不能满足要求,需要研究能够可靠地、在线地检测表面缺陷的方法。国外自 20 世纪 80 年代后期开始,机器视觉表面缺陷检测技术的广泛应用迅速覆盖了钢材表面质量检测这个方向。1989 年,国外科研人员采用了多种机器视觉的钢材表面缺陷检测方式,其中接触式的方式有磁粉检测或渗透检测,它们是以可见光、紫外线或激光的摄像头为数据采集单元,采集钢材经过磁粉或液体渗透工艺过程后的图像,然后进行缺陷图像分析,其中激光扫描方式具有高速的特点,可检测速度达 6 000 ft/min 的钢材,此类方法能够获得直观的图像但缺乏实用性;接触式的方法有超声扫描、涡流检测等,它们独立成为一个单独的系统,无需其他辅助工艺,也不含摄像单元,由超声或由电磁感应直接成像。相对接触式的摄像检测方式来说,此类方法需要由超声或电磁感转化为光学图像,因此其结果需要专业工程人员去判断缺陷是否存在,缺乏直观性。

鉴于接触式检测的高速和成像直观的优点,以及非接触式检测方式的独立性,基于通用计算机或专用处理器的光学检测方法受到广泛的关注,其优势不仅在缺陷图像的清晰显示,而且能够通过计算机程序设置自动分类规则和算法,完全代替人工视觉进行钢材表面缺陷的统计。作为机器视觉在金属表面缺陷领域应用的第一代研究者 Piironen 在 1990 年提出一种能够检测并且分类金属带材的表面缺陷的在线自动化视觉金属检测系统,其总体结构的框架如图 1-4 所示,其中,图像采集单元由线阵 CCD 和基于明视场照明及冷却装置组成,成像单元为图像处理硬件,缺陷分析单元是基于统计学和形态处理方法的识别软件。随着微电子技术和工业摄像头的发展,这种视觉检测结构成为了钢材表面缺陷检测的主要结构,并在每个部分都有深入的发展。

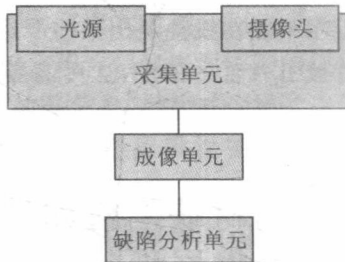


图 1-4 机器视觉钢材表缺陷检测基本框架结构

使用 EI 检索,采用(((Surface defects) WN All fields) AND ((Defect detection) WN All fields))方式检索文献,统计国际机器视觉钢材表面缺陷检测的相关论文,其历年文章发表数量如图 1-5 所示。