

板材矫直机 智能控制及应用

刘 凯 徐宏喆 著



板材矫直机智能控制 及应用

刘 凯 徐宏喆 著



机械工业出版社

本书是作者从事板材矫直机智能控制系统研究工作的总结,系统地介绍了有关板材矫直机智能控制系统研究的最新成果,较全面地反映了这一领域的学术水平。全书共分九章,介绍了矫直机工艺参数选择方法的发展过程和研究现状;系统介绍了板材矫直机智能控制系统的相关技术;研究了矫直机智能控制系统;提出了基于激光测量的板形样本获取方法和基于激光测量的板形样本获取系统的设计与实现;分析了激光板形检测中的关键问题;研究了矫直过程知识提取的样本学习算法和矫直工艺参数选择系统的研究与实现;给出了矫直机控制系统的应用举例。

本书取材新颖,研究结合实际,注意将理论研究和工程实际结合、数值分析和实验研究结合。本书可作为高等院校机电工程专业的教师和研究生教学参考,并可供从事板材矫直机智能控制研究的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

板材矫直机智能控制及应用/刘凯,徐宏喆著. —北京:机械工业出版社,2010.5
ISBN 978-7-111-30046-5

I. ①板… II. ①刘… ②徐… III. ①板材—矫直机—智能控制
IV. ①TG333.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第039781号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:孔劲 责任编辑:孔劲 版式设计:张世琴

封面设计:姚毅 责任校对:闫玥红 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2010年6月第1版第1次印刷

169mm×239mm·12印张·230千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-30046-5

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

工业界的相关行业对原料板材的平直度提出的要求越来越高，而生产过程中板材平直度的调节由矫直环节来完成。在板材的矫直过程中，对平直度的精度起决定性作用的设备是连续式拉伸弯曲矫直机。通过对板材进行拉伸和弯曲变形，在弯曲应力和拉应力的共同作用下，使板材纵向纤维延伸，从而达到消除板材原有波浪和翘曲，提高板材平直度的目的。由于耗能小、精度高、适用范围广，连续式拉伸弯曲矫直机已广泛应用于钢带、有色金属带等薄带板材的生产中。

随着自动控制技术的发展，矫直机控制系统实现了一定程度的自动化，但现有关于矫直机自动化的研究主要集中在使用 PLC 控制电路代替工人的手工操作上。板材矫直过程中，矫直机各项工艺参数的选择是决定矫直后板材质量的核心因素。而关于矫直机工艺参数自动化选择的研究在国内尚未见到相关研究成果的发表，实际生产中通常由操作人员凭个人经验和机械矫直理论对工艺参数进行配置。这种配置方法受太多人为因素的限制（如专家个人经验积累状况，用人的肉眼对板形测量的精度等），从而很难再进一步提高板材平直度和矫直机控制的自动化程度。支持向量机、遗传算法、神经网络等人工智能算法的出现，被广泛应用于板材的生产过程中，为矫直机工艺参数的自动化选择提供了理论依据；同时通过板形检测系统和矫直机 PLC 控制电路可以从工厂实际生产过程中收集到足够多的样本，为矫直机工艺参数的智能化选择提供了实验基础。

金属板材的平直度是衡量一个国家工业化水平的标志之一，而矫直机是提高金属板材平直度的重要设备。在板材矫直过程中，多种工艺参数的选择是决定矫直后板材平直度的关键因素。工艺参数选择方法的研究热点集中在利用智能化方法实现自动化参数的选择上。随着原料板材平直度要求的提高和矫直机控制系统的不断自动化，需要一种更加精确、自动化程度更高的工艺参数选择方法来替代传统手工参数选择法。将矫直机工艺参数选择模型应用于连续式拉伸弯曲矫直机的控制过程中，可以提高控制精度且在一定程度上实现矫直机的自动化控制；同时参数选择模型的提出为操作人员提供了存储和传播其控制经验的平台，以解决矫直机的新老操作人员的更替问题。

西安理工大学机械传动研究室与中国重型机械研究院合作，在国家攻关重点科技产品试产计划的资助下，系统研究了板材矫直机智能化控制问题，取得了一系列重要研究成果，主要表现在：①提出了一种基于多光源结构光的板形检测方

案,设计并实现了板形平直度获取系统,以此系统获得板材表面各纵向纤维条的平直度信息及板形三维信息,作为板材矫直工艺参数选取的依据。本书设计的板形平直度获取方案效率高、成本低、给出样本直观准确且分布均匀,为工业板形检测提供了一种全新的思路;②对图像处理技术进行深入研究,以提高板形测量精度和系统的实时性。板形测量系统通常应用于工业生产中,要求尽可能实时地给出板材的板形信息,由于生产中板材处于高速运动中,对图像处理技术就提出了更高的要求,文中对图像处理的相关算法进行了性能上的优化,使之能够较好地适应板形检测的实时性要求,所获得的板形信息与实际板形吻合度高,完全符合工业测量的标准;③提出了参数选择系统中样本学习问题及样本学习过程的三大特性。传统的经验公式选择法或专家系统都依赖于操作人员口述的经验知识,所获得的知识模糊而且不全面,而更准确更全面的经验知识只能从记录操作人员工作信息的样本中获取。本书提出了矫直机参数选择系统的核心问题——样本学习问题及样本学习过程三大特性,将样本学习问题描述成为一个带限制条件的函数拟合问题,为样本学习问题的解决提供了数学基础;④提出的 BIO-SVR 算法。选择支持向量机回归算法作为基础解决方案;对支持向量机回归算法进行了改进,使其能够满足样本学习过程的三大特性,提出的 BIO-SVR 算法并通过实验进行了验证。该算法完成了从样本集合中抽取经验知识的任务,揭示了工业控制方面的经验知识形式化问题的内在规律;⑤构建了一种基于 SVR-GA 混合算法的工艺参数选择模型,将 BIO-SVR 算法和遗传算法相结合,完成了参数选择的核心算法。模型通过大量样本训练好的 BIO-SVR 算法学习机作为 SVR-GA 混合算法的适应度评价函数,发挥遗传算法的全局寻优能力,寻找最优的工艺参数;⑥矫直机智能控制系统的实现及应用。经过需求分析和设计,最终在 C#.NET 平台和 Matlab6.5 软件环境下实现了矫直机智能控制系统。将此系统应用于某钢铁厂重卷线的矫直机自动化控制项目中,通过功能和性能的测试验证了系统具有良好的精确性、实用性及可扩展性,具有较高的理论意义和实用价值。

本书是作者与所指导的研究生从事板材矫直机智能控制系统研究工作的总结。著作内容主要取材于作者等人发表的学术论文和研究生学位论文,编写本书的目的在于向读者系统地介绍有关板材矫直机智能控制系统研究的最新成果,并力图反映这一领域的学术水平。本书取材新颖,研究结合实际,注意将理论研究和工程实际结合、数值分析和实验研究结合。本书可供从事板材矫直机智能控制研究的工程技术人员参考。

本书由西安理工大学刘凯和西安交通大学徐宏喆著,全书由刘凯审定。本书得到了西安交通大学高建民教授,中国重型机械研究院张勇安研究员、王社昌研究员,西安理工大学刘宏昭教授、吉晓民教授、李言教授等人的审阅,并提出了不少宝贵的修改建议,对此表示衷心地感谢。

由于作者的水平有限，书中必然存在不少错误，敬请广大读者提出批评指正。

本研究得到了国家攻关重点科技产品试产计划资助（项目编号：2002J0261002），在此向支持本项目研究工作的单位和个人致以真诚的感谢。

刘 凯

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

1.1 研究背景和意义 1

1.2 国内外研究现状及存在的问题 2

1.2.1 矫直机工业控制现状 2

1.2.2 板形检测研究现状 4

1.2.3 目前研究中存在的问题 4

1.3 研究的主要工作及内容 5

第 2 章 板材矫直机智能控制系统的相关技术 8

2.1 连续式拉伸弯曲矫直机的原理及结构 8

2.1.1 连续式拉伸弯曲矫直机的矫直原理 8

2.1.2 连续式拉伸弯曲矫直机的组成结构 10

2.2 板形及检测技术 10

2.2.1 板形的描述方法 11

2.2.2 基于结构光的板形检测技术 14

2.3 图像采集及处理技术 16

2.3.1 基于 DirectShow 的视频采集技术 16

2.3.2 图像处理技术 18

2.3.3 图像边缘检测技术 20

2.4 智能控制技术 28

2.4.1 人工神经网络的 BP 模型 28

2.4.2 支持向量机 30

2.4.3 统计学习理论 31

2.4.4 支持向量机的原理 33

2.4.5 支持向量机的关键参数 37

2.4.6 支持向量机的特点 39

2.4.7 遗传算法 39

2.4.8 遗传算法的原理 41

2.4.9 遗传算法的特点 42

2.5 本章小结 44

第 3 章 矫直机智能控制系统 46

3.1 传统板形样本获取方法应用于智能控制的局限性 46

3.2 矫直机的智能控制系统需求 47

3.3 矫直机的智能控制系统设计 48

3.4 本章小结 50

第 4 章 基于激光测量的板形样本获取方法研究 51

4.1 参数选择系统对板形数据的要求 51

4.2 板形样本获取方法的研究 52

4.2.1 激光三角法测量技术针对线板形检测应用的改进 52

4.2.2 几种主要板形检测方法比较 54

4.2.3 板形样本的特征模式 54

4.3 样本筛选 56

4.4 板形样本获取方案 57

4.4.1 板形样本获取系统组成	58	设计	96
4.4.2 板形样本获取系统的处理 流程	60	6.1.4 板形识别模块设计	99
4.5 本章小结	62	6.1.5 系统控制模块设计	100
第5章 激光板形检测中关键问题 分析	63	6.2 板形样本获取系统的 实现	102
5.1 激光板形检测方法中边缘 检测算法的研究	65	6.2.1 图像处理模块的实现 ...	102
5.1.1 经典边缘检测算法	65	6.2.2 数据分析模块的实现 ...	105
5.1.2 Canny 边缘检测算法	69	6.3 本章小结	113
5.1.3 基于小波的多尺度边缘 检测算法	70	第7章 矫直过程知识提取的样本 学习算法研究	114
5.2 一种基于图像清晰度评价 的边缘检测算法 (ISEED) 的研究	74	7.1 样本学习	114
5.2.1 图像清晰度评价算法	74	7.1.1 样本的来源	114
5.2.2 改进的灰度差分边缘检测 算法	78	7.1.2 样本的形式化描述	116
5.2.3 改进的 Canny 边缘检测 算法	80	7.1.3 样本学习的特征	116
5.2.4 一种基于图像清晰度评价的 边缘检测算法的提出	84	7.2 样本学习问题的背景及 目标	117
5.2.5 ISEED 算法的边缘检测 结果	85	7.2.1 样本学习算法的主要 功能	117
5.3 基于 ISEED 算法的激光 板形检测方法	86	7.2.2 样本学习问题的基础解决 方案的选择	117
5.4 本章小结	86	7.2.3 样本学习问题的基础解决 方案的分析研究	121
第6章 板形样本获取系统的设计 与实现	88	7.3 基于 SVR 的样本学习算法的 分析与研究	123
6.1 板形样本获取系统详细 设计	88	7.3.1 基于 SVR 的增量式样本 学习算法	123
6.1.1 图像采集模块设计	88	7.3.2 基于 SVR 的批量样本的增 量式学习算法	124
6.1.2 图像处理模块设计	90	7.3.3 基于 SVR 的批量样本的在线 增量式学习算法	125
6.1.3 伸长率及三维数据计算模块 设计	96	7.4 算法的实现和效果 分析	127
		7.5 本章小结	131
		第8章 矫直机工艺参数选择系统的 研究与实现	132

8.1 基于 SVR - GA 混合算法的 总体框架	132	8.4.3 样本库及样本库管理模块的 设计与实现	152
8.2 基于 SVR - GA 混合算法的 分析与研究	134	8.4.4 知识库及知识库管理模块的 设计与实现	154
8.2.1 染色体编码与解码	134	8.4.5 样本学习模块的设计与 实现	156
8.2.2 初始群体的生成	135	8.4.6 参数选择模块的设计与 实现	158
8.2.3 个体适应度的评估 检测	135	8.4.7 信息查询模块的设计与 实现	159
8.2.4 遗传算子	137	8.4.8 人机交互界面子模块的设计 与实现	160
8.2.5 混合算法的运行参数	139	8.5 本章小结	162
8.3 矫直机工艺参数选择系统的 需求分析和总体设计	140	第 9 章 矫直机智能控制系统的 应用	163
8.3.1 工艺参数选择系统的 功能	140	9.1 控制系统的应用环境	163
8.3.2 工艺参数选择系统的 需求	141	9.2 板形检测系统应用效果 分析	165
8.3.3 参数选择系统的静态组成 模型的设计	141	9.3 工艺参数选择系统的应用 效果及性能分析	167
8.3.4 参数选择系统的动态流程 的设计	142	9.3.1 工艺参数选择系统应用 效果	167
8.3.5 参数选择的状态分析	144	9.3.2 SVR - GA 混合算法的性能 结果分析	171
8.3.6 参数选择系统的数据流 分析	145	9.4 矫直机控制系统的 验证	176
8.4 参数选择模型原型系统的 详细设计与实现	146	9.5 本章小结	176
8.4.1 原型系统的实现环境及 分层架构的实现	146	参考文献	178
8.4.2 公共数据结构的设计与 实现	148		

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景和意义

板形是金属板材质量控制的重要质量指标，其板形控制技术是现代高精度板材生产工艺的关键技术。板形识别与板形控制技术的自动化和智能化实现是现代工业控制领域中的前沿性研究课题。

当前各个工业行业对原料板材的平直度提出的要求越来越高，而板材生产过程中板材平直度的调节由矫直环节来完成。在板材的矫直过程中，对平直度的精度起决定性作用的设备是连续式拉伸弯曲矫直机。连续式拉伸弯曲矫直机通过对板材进行拉伸和弯曲变形，在弯曲应力和拉应力的共同作用下，使板材纵向纤维延伸，从而达到消除板材原有波浪和翘曲，提高板材平直度的目的。由于能耗小、精度高、适用范围广，连续式拉伸弯曲矫直机已广泛应用于钢带、铜带、铝带等薄带材的生产中。

随着自动控制技术的发展，矫直机实现了一定程度的自动化，但现有关于矫直机自动化的研究主要集中在使用 PLC 控制电路代替工人的手工操作^[1-3]上。板材矫直过程中，矫直机的各项工艺参数的选择是决定矫直后板材质量的核心因素。而关于矫直机工艺参数自动化选择的研究在国内尚属空白，实际生产中通常由操作人员凭个人经验和机械矫直理论对工艺参数进行配置^[4]。这种配置方法受太多人为因素限制（如专家个人经验积累状况，肉眼对板形测量的精度等），从而很难再进一步提高板材平直度和矫直机自动化程度。

通过参加国家攻关重点科技新产品试产计划“拉伸弯曲矫直机工艺控制专家系统”，研究和分析了多种板形描述方法、测量技术、图像采集和处理技术以及智能控制技术，针对传统金属带板形检测和描述方法在实际工业自动化应用中的诸多局限，提出了一种适用于工业智能控制的直观的板形描述方法，并在改进传统的基于光学原理的板形测量技术的基础上，设计了一套可以应用于实际工业生产中的板形样本实时在线获取系统，给出了系统的软/硬件解决方案。通过该系统，我们从工厂实际生产过程中收集到足够多的样本，为自动化参数选择系统的实现提供了实验基础。该系统以获取可用于金属带质量智能控制的板形样本为目的，为了消除工作中振动带来的误差而提出的改进型激光三角投影测量方法，结合基于 DirectShow 的视频采集，以及相应的图形图像处理技术，完成了对金属

带表面缺陷参数的自动化检测与计算,并通过构建合理的神经网络,实现对金属带表面缺陷参数进行分析和识别,给出适用于智能控制和对板形表面形态以及变化趋势直观描述的板形样本数据。

其次对支持向量机(Support Vector Machine, SVM)算法、遗传算法、神经网络等人工智能算法进行较深入的研究,为矫直机工艺参数的自动化选择提供了理论依据;提出了一种基于改进 SVM 与遗传算法的矫直机参数选择模型。该模型完成了样本学习和参数选择两大功能:一方面,模型从大量样本中获取用于选择参数的知识,并将知识用支持向量机的形式存储;另一方面,模型根据存储的知识,为矫直机当前待矫直的板材选择一组最佳工作参数。为了达到更高的学习精度,模型对经典 SVM 算法进行了修改,以满足实际工厂样本收集和学习过程的三个特性。本书最终根据此模型设计并实现了用于连续式拉伸弯曲矫直机的参数选择系统,为操作人员提供了存储和传播其控制经验知识的平台,并在一定程度上实现了矫直机的半自动化参数控制。

1.2 国内外研究现状及存在的问题

1.2.1 矫直机工业控制现状

作为决定板材平直度的关键设备,矫直机的调节控制问题一直都备受关注。国内外专家学者们对此问题进行了大量研究工作。

早期的研究主要集中在机械领域,大量机械专家通过研究板材在拉伸张力和弯曲张力的共同作用下应力与应变之间关系,提出了矫直理论以及矫直机的工艺参数选择方法。然而矫直理论只是一种机械力学理论,对矫直机的调节控制只能起指导作用,不能直接应用于实际生产过程中。西门子等公司使用 PLC 控制电路实现了矫直机的电气化,使研究人员可以直接获得精确的数字化的矫直过程信息,从而使自动控制理论成为矫直机调节控制研究的一个热点。PID 控制算法是工业自动化控制中最常用也是最经典、最有效的控制算法之一,华南理工大学提出了一种基于 PLC 的自适应 PID 算法并将该算法应用于矫直机的闭环控制系统中^[5]。中国重型机械研究院提出了一种多辊棒材矫直机预控参数在线自动整定方法,该方法采用人机界面实现矫直辊压下量及转角预控参数的高精度自动调整,能有效提高金属棒材生产成品的矫直精度。但是,这些研究并没有考虑到矫直机工艺参数自动调节的问题。

随着专家系统、模糊数学、神经网络等智能化方法的出现,关于矫直机调节控制研究的热点正逐渐转移到通过智能化方法实现矫直机的自动化控制上。沈阳工业大学在 2003 年提出的薄板矫直专家系统,借助计算机模仿学习熟练技工的

经验和知识,运用概率统计理论建立专家系统知识库。这个专家系统的知识库代表了该领域内专家的知识和经验,凡是用到薄板矫直的地方都可无限制地、自动地增强知识库。专家系统的使用可达到提高加工质量和效率、降低生产成本的目的。无锡电力电容器有限公司也在2003年提出对于矫直机控制问题这样一个具有大滞后、时变、非线性三大特点的控制问题,可以采用在PID控制系统上,添加模糊控制理论的方法建立智能控制系统。从系统的运行效果来看,系统稳定可靠,操作方便,能够满足矫直机生产的各项性能指标和工艺要求。北京科技大学机械工程学院在2007年提出了基于神经网络的连续热镀锌线矫直机工艺参数设定模型。模型针对冷轧宽板材连续热镀锌生产线上的矫直机,结合对矫直变形过程的力学分析和现场实测数据统计与分析的结果,从板形良好的钢卷中择取有代表性的生产数据作为训练样本,将良好的操作经验转化为数学模型,利用BP网络模型的自适应和自学习优势设定板材拉矫过程中的工艺参数。此模型能准确地预设矫直机工艺参数,使用效果基本满足工厂生产的要求。这些研究的不足在于上述研究是依据PID等经典自控算法进行闭环控制的,仍然尚未解决矫直机的工艺参数自动调节问题。

智能化自动控制系统的核心是利用智能化算法获得矫直机工艺参数与板材矫直后板形的关系。在这方面国内外研究人员也做了一定的研究工作:北京科技大学信息工程学院使用基于支持向量机回归的批处理增量学习方法对板材的板形信息进行预测^[6]。该方法与传统的预测方法相比,提高了预测的精度,具有良好的应用潜力。瑞典厄勒布鲁大学的Thomas Uppgard提出了一种利用多重线性回归方法对矫直后板材板形信息进行预测的方法,并将该方法的预测效果和神经网络的预测效果进行比较,证明了该预测方法具有更好的性能。英国威尔士大学的Morris通过对矫直过程板形信息研究,揭示了板材矫直后残余应力、伸长率等基础板形信息和矫直过程之间的复杂关系,为进一步利用智能化算法获得矫直机工艺参数与板材矫直后板形的关系提供了理论。然而这些实验研究,并不能实际应用到我国的工业化生产中。

上述有关矫直机的控制问题,经历了三个阶段的研究和发展,从最初单纯的机械力学理论研究,到自动化控制理论研究,再到基于智能化算法的矫直机参数调节方法的研究。当前的研究热点仍集中在基于智能化算法的矫直机控制方法上。

本书正是一种基于智能化算法的矫直机控制方法的研究,该方法以支持向量机学习理论为基础,结合工厂生产的实际情况,对矫直机控制所产生的板材质量的影响,实现矫直机的工艺参数选择和自动化控制。研究的技术路线包括:分析原有矫直机的原理,采集原有矫直过程中的流程,与相关矫直专家共同寻找最佳的与人工智能相关的技术依据,设计新的工艺参数,建立板材属性信息和板材出

入口平直度信息,按照人工智能的参数选择算法,计算出一组适合当前板材矫直的工艺参数,调节矫直机 PLC 控制电路,PLC 控制电路产生相应的控制信号,对矫直机进行控制。

1.2.2 板形检测研究现状

传统的以人工方式检测带钢板形的方法不能满足大规模的工业自动化生产发展的需要。与之相应的自动化带钢板形检测技术主要分为接触式检测和非接触式检测。接触式检测方法的检测信号由检测设备通过与带钢的直接接触给出,信号比较容易处理,测量精度较高,但其缺点在于设备结构复杂而且造价高昂,其检测设备还容易对带钢表面产生损伤,带来新的技术缺陷。非接触式检测方法,通过电磁探伤技术或多媒体技术实现对带钢板形的检测,不直接接触带钢表面。但其缺点在于对检测信号的分析与处理过程比较复杂,精度不易控制,使其成为非接触式检测方法的技术难点。

目前国际上常用的板形检测方法包括:涡流检测法、红外检测法、漏磁检测法和计算机视觉检测法。由于采用涡流、红外和漏磁等检测技术的局限性,其检测出的板形缺陷种类和定量描述参数并不能满足用户对产品品质的要求。随着激光技术、CCD 成像技术和计算机技术的发展,机器视觉识别技术已在工业检测上得到了很广泛的应用。与其他检测技术相比,机器视觉识别技术^[7]所表现出的技术特性包括:系统构成相对简单、对环境依赖性小、成本低廉、方便安置和部署等优势,已在工业检测领域逐步成为主流的解决方案。

针对工业生产中对板形检测的需求,国际上许多公司都生产了自己的板形仪和检测设备,比如瑞典的 ABB 公司、德国的西门子公司和乐可公司,以及日本的川崎公司和三菱公司等。但是由于西方国家的技术封锁,截至目前我国还没有成熟的自动化板形检测设备。各带钢生产厂家主要进口瑞典 ABB 等国外公司的板形检测仪。从国内板形检测仪研究的近况来看,西安建筑科技大学成功研制了无滑环分段辊式板形仪,燕山大学成功研制的磁弹变压器差动输出式冷轧带材板形仪也投入了实际的生产应用。但是,在矫直机工艺参数选择方面未能实现自动调节。

1.2.3 目前研究中存在的问题

通过以上文献回顾,目前在板材矫直机智能控制研究方面存在以下尚未解决的问题和不足:

- 1) 尽管国内在板形测量系统的研发方面做了不少的工作,但是基本上都是仿制国外成熟的板形测量系统,或者是对板材测量系统的部分改进。至今在工业应用领域仍未广泛使用具有独立知识产权的高精度板形测量系统。

2) 基于智能化算法的矫直机参数调节方法的研究主要集中在基于各种规则的专家系统研究上,专家系统通过询问专家所获取知识的方式操作难度大,所获取的知识覆盖率不高,而对于知识获取的效率不高。而从样本中提取知识的方法学研究甚少,已有的研究多是基于模糊控制和神经网络等技术,所获取的知识精度不能满足矫直机参数自动调节的需求。

3) 目前所采用的智能化算法,在矫直机精度控制方面的研究大多忽略了工厂实际环境对控制方法的影响,研究工作仅仅停留在定性分析层面,很少涉及到机械工艺参数等定量调节层面的研究,不易将矫直机工艺参数智能控制理论应用于实际板材矫直生产过程中。

4) 国内实际使用的矫直机控制系统多为手动控制系统,至今尚无成熟的矫直机自动控制体系。

1.3 研究的主要工作及内容

基于上述存在的问题和不足,本研究在国家攻关重点科技新产品试产计划(2002J0261002)“拉伸弯曲矫直机工艺控制专家系统”资助下,以国产连续式拉伸弯曲矫直机系统为对象,重点研究了板形检测技术和支持向量机等智能化学学习算法,结合矫直机现场工作过程要求,提出了一种基于激光三角测量法的改进型实时板形在线检测方案;提出了一种批量样本的在线增量式学习算法(简称 BIO-SVR 算法);根据板形在线检测方案和 BIO-SVR 算法构建了矫直机的控制系统模型与检测体系;将该体系应用于某钢铁厂的重卷线上,结合实际测试数据,对检测体系的正确性进行应用与验证。

本研究工作主要包括以下内容:

1) 通过查阅大量与板形检测技术和智能化学学习理论相关的文献资料,结合国内外相关领域专家就板形检测和矫直机工艺参数选择问题进行了深入的探讨,为项目的开展打下了扎实的理论基础。

2) 针对板材在线检测要求,在前人研究的基础上,综合各种检测方案的优缺点,提出一种基于激光三角测量法的改进型实时在线板形检测方案。以此获得板材表面各纵向纤维条的平直度信息及板形三维信息,作为板材矫直工艺参数选取的依据。

3) 研究和运用多种图形图像处理技术,包括图像的噪声过滤、灰度化、边缘检测、轮廓提取等,提取出图像中的光条信息,并对其进行量化,改进了 Canny 算法,构建了适用于板材板形检测分析的图像处理流程。

4) 在对多种智能化样本学习算法比较的基础上,对传统的支持向量机回归算法进行改进,提出 BIO-SVR 算法。鉴于矫直机工作现场的检测流程要求样本

学习算法必须具有增量性、批量性及在线性的特点,对传统支持向量机的回归算法进行改进,提出了一种批量样本的增量式在线学习算法,即 BIO-SVR 算法。

5) 构建了一种基于 SVR-GA 混合算法的工艺参数选择系统,将 BIO-SVR 算法和遗传算法相结合建立了一种新的参数选择的核心算法。经过大量样本训练后的 BIO-SVR 算法学习机,作为 SVR-GA 混合算法的适应度评价函数,发挥了遗传算法的全局寻优能力,建立了最佳的工艺参数。

6) 设计和实现了矫直机智能控制系统,并将该系统应用于工业化生产之中,通过实测数据对系统进行了验证,证明所开发的系统能够满足实际生产的需要。

本书的章节安排如下:

第1章 绪论:介绍了选题的背景和意义,以及矫直机工艺参数选择方法的发展过程和研究现状。

第2章 板材矫直机智能控制系统的相关技术:对矫直机智能控制系统的相关原理和技术进行研究,包括拉伸弯曲矫直机的相关原理、板形及检测技术、图像采集及处理技术、支持向量机算法和遗传算法等。

第3章 矫直机智能控制系统:本章研究了矫直机控制系统的相关原理和技术,以及板形的表示方法和检测技术。通过对传统矫直机控制方法的分析,提出了矫直机自动化控制问题,然后给出了矫直机自动化控制系统的三个主要功能,并设计了自动化控制系统的总体框架。

第4章 基于激光测量的板形样本获取方法研究:结合智能控制对样本参数选取的要求,以及对传统板形检测方法的研究,并结合工业应用需求提出了一种适用于矫直工艺参数智能选取的板形样本获取方案。

第5章 激光板形检测中关键问题分析:本章主要对一种基于 Sobel 算法的激光板形检测方法的原理和主要算法进行了分析和研究,并对这种检测方法在实际应用中出现的问题进行了分析。针对模糊图像边缘检测存在的问题,通过对 Canny 边缘检测算法的研究,改进了 Canny 算法中边缘阈值选择的算法,并对其中边缘的细化算法也进行了改进。

第6章 板形样本获取系统的设计与实现:采用面向对象的开发方法,给出了系统中各个功能模块的实现类图,并对每个类进行了详细设计,给出了类中关键方法的代码片段,实现了系统的原型。

第7章 矫直过程知识提取的样本学习算法研究:在全面分析实际生产环境对参数选择算法的影响的基础上,对经典的支持向量机回归算法进行改进,提出了满足样本学习过程三大特点的 BIO-SVR 算法,并将 BIO-SVR 算法与遗传算法相结合得到了矫直机工艺参数选择算法。

第8章 矫直机工艺参数选择系统的研究与实现:构建了一种基于 SVR-

GA 混合算法的总体框架,对 SVR - GA 混合算法进行了详细的分析与研究,给出了 SVR - GA 混合算法运行的关键参数。根据第 5 章提出的基于 BIO - SVR 算法的矫直机工艺参数选择算法,设计了矫直机参数选择系统静态分层模型和动态流程模型,并在 C#. NET 平台和 Matlab6.5 软件环境下实现了矫直机参数选择模型的原型系统。

第 9 章 矫直机智能控制系统的应用:将矫直机参数选择模型应用于某钢铁厂重卷线的矫直机自动化系统中,将系统所得的参数和标准参数进行对比分析,验证系统的功能与性能。

第2章 板材矫直机智能控制系统的相关技术

本章将对矫直机智能控制系统的相关原理和技术进行研究,包括拉伸弯曲矫直机的相关原理、板形及检测技术、图像采集及处理技术、支持向量机算法和遗传算法等。

2.1 连续式拉伸弯曲矫直机的原理及结构

各种金属板材是工业各行业的主要原料,衡量板材好坏最重要的因素是板形(板材平直度),因此板形控制技术是板材生产过程中的核心技术^[8]。由于板材在生产过程中受到温度不均、变形不均等诸多因素的影响,板材表面往往出现波浪和翘曲等板形缺陷。为了改善板形,需要在板材生产线后添加矫直机对板材进行矫直,以提高板材平直度。

现代矫直机品种很多,规格更多,按照工作原理基本可以分为反复弯曲式矫直机、旋转弯曲式矫直机、拉伸矫直机、拉弯矫直机和拉伸弯曲矫直机等几类。连续式拉伸弯曲矫直机出现于20世纪60年代,在出现后不久就被广泛应用于钢、铜、铝等薄带材的生产中。在矫直过程中,矫直机首先对板材施加较小的拉力,使板材保持带张力状态;然后为板材添加一定弯曲张力,使板材发生塑性弯曲变形,从而造成板材纵向方向的延伸,板材表面的波浪和翘曲等缺陷就在延伸过程中被缩小或消失。由于此种矫直机同时使用了拉伸张力和弯曲张力,且在更换板材的时候不需要停机,故被称为连续式拉伸弯曲矫直机^[9]。

2.1.1 连续式拉伸弯曲矫直机的矫直原理

早期的拉伸矫直机所采用的矫直原理是在板材两端施加一定拉力的方法迫使板材纵向拉伸,从而使平直度下降。拉力作用下的板材形变分为弹性形变和塑性形变,当拉力撤销后弹性形变将消失,而塑性形变则会保留下来,所以只有塑性形变可以提供板材永久性的纵向延伸^[10-12]。

如图2-1所示,拉伸张力 σ 从零开始逐渐增大。在初期板材只发生弹性形变,这时拉伸张力和形变量之间保持线性关系;当 $\sigma > \sigma_e$ 后,板材同时发生弹性形变和塑性形变,拉伸张力和形变量之间呈现非线性关系;随着拉伸张力进一步增大,板材形变量在经历一定的振荡后也逐渐增大,直到 $\sigma = \sigma_b$ 时形变量达到最大;进一步增大拉伸张力,板材将出现断裂。形变量 ϵ_e 是弹性变形和弹塑