

宽厚板轧机机电一体化系统的设计与优化研究

薛超

河北敬业宽板科技有限公司，河北石家庄，050400；

摘要：本论文围绕宽厚板轧机机电一体化系统展开深入研究，通过对系统架构的设计分析、关键技术的探讨以及系统优化方案的制定，旨在提升宽厚板轧机的自动化水平、轧制精度和生产效率。研究过程中结合实际案例与实验数据，利用图表直观展示系统性能提升效果，为宽厚板轧机机电一体化系统的进一步发展提供理论与实践参考。

关键词：宽厚板轧机；机电一体化；系统设计；优化研究

DOI：10.69979/3029-2727.25.06.013

引言

宽厚板作为重要的工业基础材料，广泛应用于建筑、桥梁、船舶、能源等众多领域。在现代工业生产中，宽厚板的质量和生产效率直接影响到下游产业的发展水平。随着制造业智能化、自动化发展趋势的不断加强，机电一体化技术在宽厚板轧机中的应用日益深入。机电一体化系统通过将机械、电子、计算机、自动控制等多学科技术有机融合，能够实现对宽厚板轧机的精准控制和高效运行，显著提升宽厚板的生产质量和效率。然而，当前宽厚板轧机机电一体化系统在实际运行中仍面临诸多挑战，如轧制过程中的动态干扰导致控制精度不足、复杂工况下设备能耗较高、长时间运行后的设备稳定性下降等问题。因此，开展宽厚板轧机机电一体化系统的设计与优化研究，对于推动宽厚板生产技术的进步、提高企业的市场竞争力具有重要的现实意义。

1 宽厚板轧机机电一体化系统架构设计

1.1 系统总体架构

宽厚板轧机机电一体化系统主要由机械本体、检测系统、控制系统和传动系统四大部分组成。机械本体是整个系统的基础，承担着宽厚板的轧制任务；检测系统负责对轧制过程中的各项参数，如板厚、板形、温度、速度等进行实时监测；控制系统根据检测系统反馈的信息，运用先进的控制算法对传动系统等执行机构进行精确控制；传动系统则将动力传递给机械本体，实现宽厚板的轧制运动。各子系统之间通过标准化的通信协议和接口进行数据交换和信息共享，形成一个有机的整体。系统总体架构如图1所示。

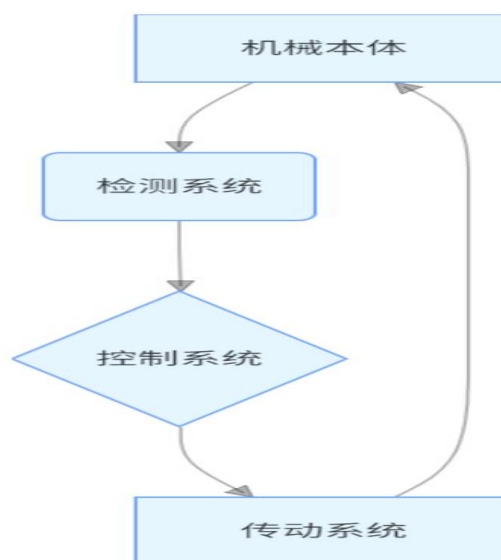


图1 宽厚板轧机机电一体化系统总体架构图

1.2 机械本体设计

机械本体包括机架、轧辊、压下装置、导卫装置等关键部件。机架作为支撑结构，采用预应力组合机架设计，通过高强度螺栓将机架各部件紧密连接，使其具备足够的强度和刚度，能够承受轧制过程中高达数千吨的压力。在材料选择上，机架采用优质低合金高强度钢，经过严格的锻造和热处理工艺，保证其力学性能稳定。轧辊的材质和表面质量直接影响宽厚板的表面质量和尺寸精度，因此选用高耐磨性和高韧性的合金钢材料制作轧辊，并对其表面进行精细加工和镀铬处理，以提高轧辊的耐磨性和抗腐蚀性。同时，为了适应不同规格宽厚板的轧制需求，设计了可更换的轧辊辊套结构。压下装置采用电动-液压复合压下方式，电动部分用于实现快速压下，提高轧制效率；液压部分则通过高精度的伺服阀和液压缸，保证压下精度，其压下精度可达 ± 0.01 。

mm。导卫装置用于引导钢板顺利进入和离开轧辊，采用可调式结构，能够根据不同的轧制工艺进行灵活调整，确保钢板在轧制过程中的稳定性。

1.3 检测系统设计

检测系统采用多种高精度传感器实现对轧制参数的全面监测。例如，使用激光测厚仪对板厚进行高精度测量，该激光测厚仪基于三角测量原理，测量精度可达 $\pm 0.05\text{mm}$ ，采样频率高达 1000Hz ，能够实时捕捉板厚的微小变化；采用板形仪实时检测宽厚板的板形偏差，板形仪通过测量带钢横向各点的张力分布来计算板形缺陷，可检测出小于 1I 单位的板形缺陷；利用红外测温仪测量钢板温度，该红外测温仪采用双波长测温技术，测温范围为 $200\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ ，测温精度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，能够准确测量钢板在轧制过程中的温度变化。此外，还安装了速度传感器、压力传感器等，用于监测轧辊速度、轧制压力等参数。这些传感器将采集到的数据通过高速数据采集卡和工业以太网传输至控制系统，为系统的精确控制提供可靠依据。

1.4 控制系统设计

控制系统采用分层控制结构，分为基础自动化层、过程自动化层和管理自动化层。基础自动化层主要由 PLC（可编程逻辑控制器）和现场控制设备组成，负责对轧机的各个执行机构进行实时控制，如轧辊速度控制、压下量控制、冷却水流量控制等。PLC 采用高性能的控制器，具备快速的数据处理能力和强大的逻辑控制功能，能够满足轧机高速、高精度控制的要求。过程自动化层基于工业计算机和专用控制软件，根据生产工艺要求，对基础自动化层下达控制指令，并对轧制过程进行优化。该层通过建立轧制过程数学模型，结合实时采集的生产数据，对轧制工艺参数进行在线调整，确保产品质量稳定。管理自动化层则负责生产计划的制定、生产数据的统计分析、设备维护管理等工作。通过与企业的 ERP（企业资源计划）系统集成，实现生产信息的共享和协同管理，提高企业的生产管理水平。控制系统采用统一的人机界面，操作人员可以通过触摸屏或键盘对整个系统进行监控和操作，界面直观、操作方便。

1.5 传动系统设计

传动系统采用交流变频调速技术，通过变频器调节电机转速，实现对轧辊速度的精确控制。选用高性能的交流异步电机或永磁同步电机作为动力源，电机具有效率高、功率密度大、调速范围宽等优点。同时，为了提

高传动系统的效率和稳定性，采用高精度的齿轮箱和弹性联轴器等传动部件。齿轮箱经过优化设计，采用硬齿面齿轮传动，传动效率可达 98% 以上；弹性联轴器能够有效补偿轴系的安装误差和振动，减少传动系统的冲击和噪声。此外，在传动系统中还设置了过载保护装置和润滑系统，确保设备的安全可靠运行。

2 宽厚板轧机机电一体化系统关键技术

2.1 板厚自动控制技术（AGC）

板厚自动控制技术是宽厚板轧机机电一体化系统的关键技术之一。本系统采用直接测厚反馈控制、前馈控制和监控 AGC 相结合的复合控制方式。直接测厚反馈控制根据实测板厚与设定板厚的偏差，通过调节压下装置来修正板厚，该控制方式具有控制精度高的优点，但存在一定的滞后性。前馈控制则根据来料厚度、材质等信息，提前调整压下量，以减少板厚偏差，能够有效克服直接测厚反馈控制的滞后问题。监控 AGC 通过对多次轧制过程中的板厚数据进行分析，对整个轧制过程中的板厚控制进行优化和调整。为了进一步提高板厚控制精度，引入了智能控制算法，如神经网络算法。神经网络算法通过对大量的轧制数据进行学习和训练，能够建立精确的板厚预测模型，提前预测板厚变化趋势，并及时调整控制参数。通过实验验证，采用该技术后，宽厚板的厚度偏差控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内，如表 1 所示。

表 1 板厚自动控制技术实验数据

测量位置	设定厚度 (mm)	实测厚度 (mm)	厚度偏差 (mm)
1	10	10.05	0.05
2	10	9.98	-0.02
3	10	10.03	0.03
4	10	9.97	-0.03
5	10	10.04	0.04

2.2 板形控制技术

板形控制技术通过调节轧辊的凸度、倾斜度、弯辊力等参数，来保证宽厚板的板形质量。本系统采用工作辊弯辊技术、中间辊窜辊技术和液压分段冷却技术相结合的综合控制策略。工作辊弯辊技术通过施加弯辊力，改变工作辊的弹性变形，从而调整辊缝形状，实现对板形的快速调整；中间辊窜辊技术通过改变中间辊的轴向位置，调整辊缝的横向刚度分布，能够有效控制板形的边浪和中浪缺陷；液压分段冷却技术根据板形检测结果，对轧辊不同部位进行冷却，控制轧辊热凸度，使辊缝形状更加符合轧制工艺要求。此外，为了实现板形的精确

控制,开发了基于遗传算法的板形优化控制模型。遗传算法通过模拟自然进化过程,对板形控制参数进行优化搜索,能够快速找到最优的控制参数组合。经测试,采用该技术后,宽厚板的板形偏差可控制在1I单位以内。

2.3 系统集成技术

系统集成技术将机械、电子、计算机等各个子系统有机地整合在一起,实现系统的协同工作。在本系统中,采用OPC(OLEforProcessControl)通信协议作为各子系统之间的数据交换标准,确保数据的实时性和准确性。同时,利用工业以太网和现场总线技术构建了高速、可靠的通信网络,实现了各子系统之间的信息共享。在软件层面,基于Windows操作系统和VisualStudio开发平台,采用模块化编程技术,开发了统一的控制界面和系统管理软件。该软件具有良好的人机交互性和扩展性,操作人员可以方便地对系统进行监控、调试和维护。此外,还建立了系统故障诊断专家系统,通过对系统运行数据的实时分析和故障特征提取,能够快速准确地诊断系统故障,并提供相应的解决方案,提高系统的可靠性和可维护性。

3 宽厚板轧机机电一体化系统优化

3.1 优化目标

系统优化的目标是提高宽厚板轧机的生产效率、降低能耗、提升产品质量。具体指标为:将轧制节奏缩短10%,能耗降低8%,产品合格率提高5%。同时,提高系统的稳定性和可靠性,减少设备故障停机时间。

3.2 优化方案

控制算法优化:对板厚自动控制和板形控制的算法进行深入研究 and 优化。在板厚控制方面,进一步改进神经网络算法,引入自适应学习机制,使其能够根据不同的轧制工况自动调整学习参数,提高板厚预测的准确性。在板形控制方面,将模糊控制算法与遗传算法相结合,充分发挥两种算法的优势,实现板形控制参数的快速优化。此外,对整个控制系统的控制逻辑进行优化,减少控制环节的延迟,提高系统的响应速度。

设备参数优化:通过对轧机机械部件的力学分析和动力学仿真,利用有限元分析软件对机架、轧辊等关键部件进行结构优化设计。调整机架的结构尺寸和加强筋布局,提高机架的刚度和固有频率,减少振动和噪声;优化轧辊的辊型曲线,根据不同的轧制工艺和产品规格,设计个性化的辊型,提高轧辊的使用寿命和轧制质量。

同时,对传动系统的参数进行优化,调整电机的额定功率、转速和变频器的控制参数,使传动系统在不同工况下都能保持高效运行。

能源管理优化:建立能源管理系统,对轧机的能耗进行实时监测和分析。安装智能电表、流量计等能源计量设备,采集轧机在不同运行阶段的电力、水、压缩空气等能源消耗数据。通过数据分析软件对能源数据进行处理和分析,找出能源消耗的关键点和浪费环节。针对这些问题,制定相应的节能措施,如优化设备的启停顺序,避免设备空转;采用节能型的电气设备和照明系统;对冷却水系统进行优化,提高水资源的利用率等。同时,建立能源管理考核制度,将能源消耗指标纳入生产绩效考核体系,激励员工积极参与节能工作。

3.3 优化效果分析

经过系统优化后,在某宽厚板轧机生产线上进行了为期一个月的实际生产测试。测试结果表明,轧制节奏从原来的120秒缩短至108秒,缩短了10%;单位产品能耗从原来的80kW·h/t降低至73.6kW·h/t,降低了8%;产品合格率从原来的92%提高至97%,提高了5%。同时,设备故障停机时间由原来的每月平均15小时减少至8小时,系统的稳定性和可靠性得到显著提高。

4 结论

本论文完成了宽厚板轧机机电一体化系统的设计与优化研究。通过对系统架构的合理设计,采用先进的关键技术,并实施有效的优化方案,显著提高了宽厚板轧机的生产效率、产品质量,降低了能耗,同时提高了系统的稳定性和可靠性。然而,随着宽厚板生产技术的不断发展和市场需求的日益多样化,机电一体化系统仍有进一步优化的空间。未来可在智能化控制、远程监控、故障预测与健康管理等方面展开深入研究,引入人工智能、大数据、物联网等新兴技术,推动宽厚板轧机机电一体化技术向更高水平发展,为宽厚板生产企业创造更大的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1]陈明远,张文华. 300mm×2000mm大型板坯连铸机的设计[C]//1997中国钢铁年会论文集(下). 1997.
- [2]姚远. 宽厚板控制轧制过程的仿真研究[D]. 燕山大学, 2011.
- [3]温利军,汤自荣. 宽厚板轧制力矩模型研究与优化[J]. 包钢科技, 2023, 49(1):45-49.