

铝板带热连轧过程纠偏控制策略及应用研究

杨亚楠 马立勇* 张永清

(河北建筑工程学院 机械工程学院, 河北 张家口 075000)

摘要: 在对铝板带热连轧跑偏动态模型的建立以及纠偏预测函数的控制研究之后, 需对该过程纠偏控制策略进行实际应用研究, 以验证其纠偏控制方案的有效性。本文设计了铝板带热连轧纠偏控制软件系统, 并将轧制过程现场跑偏数据应用于软件系统进行纠偏控制, 控制结果表明, F1~F4 机架的纠偏控制方案准确性、快速性好, 能够有效地减小轧制力差, 防止出现轧件出现大幅跑偏。

关键词: 铝板带; 热连轧; 纠偏控制; 数据采集; 应用研究

热连轧过程中, 铝板带跑偏会对产品质量产生严重影响, 生产过程中也会造成诸多设备故障, 使设备使用寿命缩短, 甚至会出现生产安全问题。因此研究铝板带热连轧纠偏控制具有重要的实际意义。而在所有的工业控制领域中, 热连轧机的控制是最复杂的控制系统之一。在之前的研究中通过探讨跑偏和轧制力差之间的内在关系, 提出了以轧制力差为观测量的轧件纠偏控制可行方案; 针对常规 PID 控制在纠偏控制系统中存在的不足, 构建以预测函数控制技术为基础的纠偏控制系统, 将预测函数控制技术应用到 F1~F4 机架控制系统中, 对各诱因扰动下的跑偏过程进行纠偏控制, 并将控制效果与传统 PID 控制进行对比, 进而分析采用预测函数控制技术对轧件进行纠偏控制的可行性和优越性。

而对于以上铝板带热连轧过程的纠偏控制策略还需通过采集现场数据, 进行实际应用研究, 以验证该纠偏控制技术的实践应用效果, 从而对铝板带轧制的纠偏过程给予实践指导意义, 相关数据为实际生产提供可行参考。

一、纠偏控制软件的开发

在 NI Labview 2013 中, 设计纠偏控制软件和监控界面, 以实现铝板带热连轧过程的实时监控和画面显示。监控界面设计完毕, 运行程序, 可以查看变量曲线和数值的变化, 监控画面如图 1-1 所示。

监控界面中包括纠偏过程需检测和设定的各机架轧制过程参数, 如轧制力差、辊缝差、入辊横向楔形、张力、出入辊厚度、出入辊速度等。系统启动后, 从上位机读入以上数据, 然后进入纠偏控制。纠偏控制系统设置了自动模式开关。自动模式开启状态下, 系统将根据预测函数控制程序对铝板带轧制过程进行自动纠偏, 同时增设手动控制按钮, 允许工程人员手动干预; 自动模式关闭状态下, 只允许手动干预, 不进行自动纠偏。四个机架均以 $\pm 100\text{kN}$ 内为轧制力差正常范围, 若轧制力差在此范围内, 则“正常”灯亮, 若轧制力差超过此范围, 则“跑偏”灯亮。

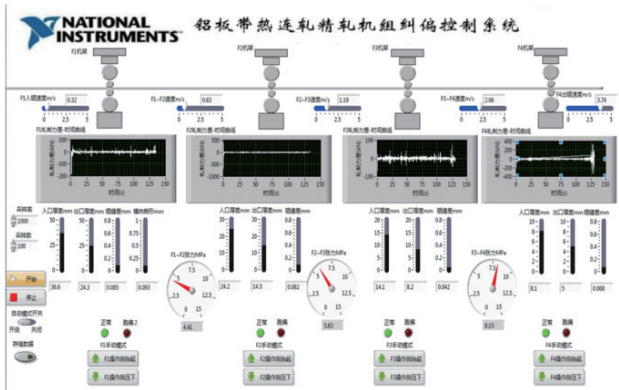


图 1-1 铝板带热连轧纠偏控制系统软件监控界面

二、热连轧过程数据采集

本研究生产数据采集来自于某铝板带生产企业, 下图 2-1 为该企业连轧生产设备。在热连轧过程中, 原材料 1235 铝合金首先通过往复粗轧, 厚度减少约 440mm, 经粗轧后的轧件进入到精轧机组, 精轧机组中的四个机架对板材连续进行一次性轧制, 板材厚度减小至 5.5mm 左右, 最后进入到卷取机中进行收卷。



图 2-1 某铝板带生产企业连轧生产设备

在轧制运行实验中, 测试铝带轧件在四个机架的非对称状态, 采集 F1 机架的入辊横向楔形 $\Delta H1$ 以及精轧机各机架的轧制力差 ΔPi 、辊缝差 ΔSi 、前张力 Ti 、后张力 $Ti-1$ 。

在数据采集过程中, 同一采样点测量 5 次, 时间间隔为 0.2s, 将 5 个数值中的最大值和最小值去掉, 剩余的三个数值取平均, 平均值作为采样点的实际值。另外, 测试的精确度会受到检测环境的影响, 而轧制现场存在水、噪声、振动等干扰因素, 因此对于一些关键数据, 会将检测值和模型计算输出值进行比较, 如果两者的偏差超过规定偏差范围, 则选用模型计算输出值作为代替实际值。

三、纠偏控制算法的应用

为获得良好的对比效果, 数据集中取某卷跑偏严重的铝带作为研究对象, 获取其 4 个精轧机架的检测数据。将采集的轧制力差现场数据作为输入量, 横向楔形、辊缝差、张力现场数据为扰动量, 应用于纠偏预测函数控制软件中, 对各机架的应用效果进行分析。

(一) F1 机架纠偏控制算法应用效果

图 3-1 为 F1 机架 JP1235 铝合金轧制力差现场轧制数据。由图可知, 铝带在开卷轧制时以及 114s 后轧制力差均出现剧烈波动, 轧制 40s 左右轧制力差趋于稳定, 保持在 -150kN 左右, 整卷铝带轧制力差出现的最大值和最小值之间相差约 312kN。

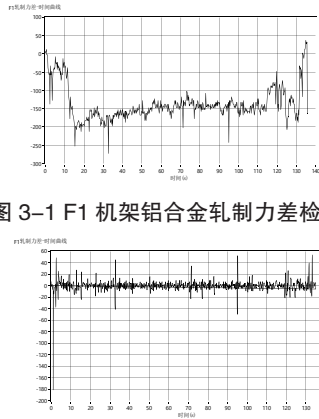


图 3-1 F1 机架铝合金轧制力差检测数据

图 3-2 F1 机架纠偏控制响应曲线

图 3-2 为 F1 机架进行纠偏控制后得到的响应曲线。由图分析, 机架在进行头部穿带时出现了一次波动, 数值达到 -181kN , 但立即得到了纠正, 整个过程轧制力差基本稳定在 $\pm 50\text{kN}$ 之间。比较图 3-1 和 3-2 可以看出, 纠偏控制系统的应用使轧件在头部穿带和尾部出辊阶段, 轧制力的波动都明显减小, 且很快得到纠正, 应用效果良好。

(二) F2 机架纠偏控制算法应用效果

图 3-3 为同一卷 JP1235 铝合金板带在 F2 机架的现场轧制数据。由图可知, 穿带时轧制力差出现阶跃扰动, 幅度达到 747kN ; 随后逐渐在 -50kN 附近趋于平稳波动; 122 秒后为尾部轧制阶段, 轧制力差也出现了阶跃扰动, 先负向增大后又反向减小, 但增大和减小幅度不大, 说明板带出现的甩尾现象并不严重。整卷铝带轧制力差出现最大值和最小值相差 747kN 。

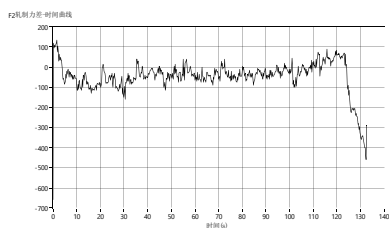


图 3-3 F2 机架铝合金轧制力差检测数据

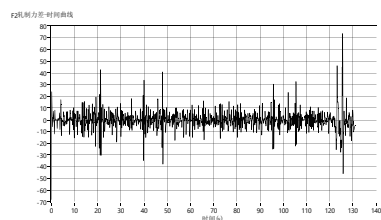


图 3-4 F2 机架纠偏控制响应曲线

图 3-4 为 F2 机架纠偏控制响应曲线。从图中可以看出, 在头部穿戴和尾部轧制阶段, 机架轧制力差的波动均得到了纠正, 整个轧制过程轧制力差平稳波动。

(三) F3 机架纠偏控制算法应用效果

图 3-5 为 F3 机架的轧制力差检测数据。由图可以看出, 铝带尾部持续 8s 轧制过程出现剧烈摆动, 这是因为失张状态放大了横向非对称诱因的扰动作用, 导致轧制力差骤然增大, 而后续轧件横向偏移增大致使轧制力差出现剧烈波动。

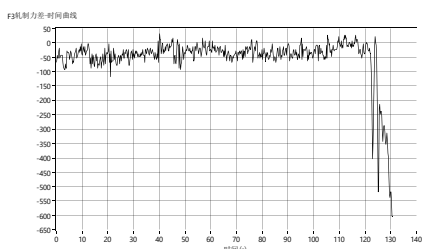


图 3-5 F3 机架铝合金轧制力差检测数据

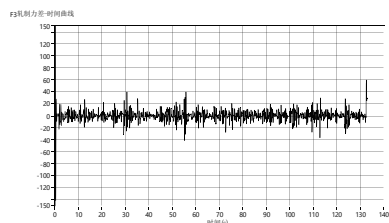


图 3-6 F3 机架纠偏控制响应曲线

图 3-6 为 F3 机架应用纠偏控制系统得到的响应曲线。纠偏系统将整个轧制过程中轧制力差维持在 $\pm 60\text{kN}$ 范围内, 尾部的后 8s 轧制过程也未出现大幅震荡, 轧件未发生跑偏。

(四) F4 机架纠偏控制算法应用效果

图 3-7 为 F4 机架轧制力差检测数据。由图可知, 轧制力差在 125s~136s 时出现大幅波动, 波动幅度超过 1000kN , 甩尾现象非常严重。

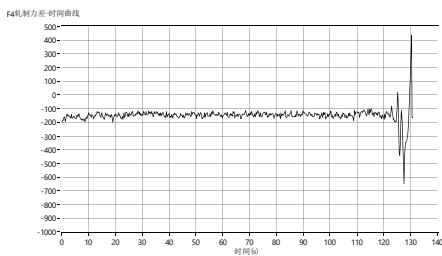


图 3-7 F4 机架铝合金轧制力差检测数据

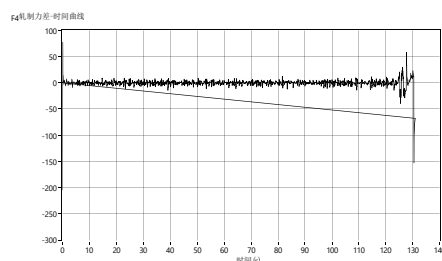


图 3-8 F4 机架纠偏控制响应曲线

对 F4 机架进行纠偏控制, 轧制力差响应曲线如图 3-8 所示。对比两图可知, 在 125s~136s 轧制阶段, 轧制力差的波动控制在 $\pm 50\text{kN}$ 之间, 仅在最后 2s 超过 100kN , 预测函数纠偏控制系统起到了良好的效果。

由上述可知, 基于预测函数控制的铝板带热连轧纠偏控制系统在以现场数据为输入和扰动时, 能够快速、稳定、准确地减小各机架的轧制力差, 以防止出现轧制过程中出现大幅的跑偏现象。验证了研究所建立的纠偏控制系统和所使用的预测函数控制策略的有效性。

四、结论

本文设计了纠偏控制软件系统, 并采集了轧制过程各类生产数据, 利用所设计的纠偏软件系统对现场数据进行纠偏控制, 控制结果表明, F1~F4 机架的纠偏控制方案准确性、快速性好, 能够有效地减小轧制力差, 防止出现轧件出现大幅跑偏。

参考文献:

- [1] 翟雪芳. 铝板热轧过程中的跑偏分析及控制技术 [J]. 有色金属材料与工程, 2016, 37 (02): 40-46.
- [2] 凌智, 王京, 张飞, 宗胜悦. 铝板带热连轧纠偏控制的研究与应用 [J]. 冶金自动化, 2015, 39 (03): 10-14.
- [3] 石树正, 马立勇, 付卓等. 铝板带热连轧过程纠偏预测函数控制建模及数值模拟 [J]. 锻压技术, 2015, 40 (08): 24-29.

基金项目: 2021 年河北省高等学校科学技术研究自筹资金项目 (ZC2021225); 2022 年度河北建筑工程学院教育教学改革与实践项目 (2022JY125); 2022 年度河北建筑工程学院教育教学改革与实践项目 (2022JY002)。

作者简介: 杨亚楠 (1991-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为铝合金板带轧制、铝合金材料力学行为。