

浅谈冷轧钢卷运转小车位移控制

刚晓祥¹ 陈文昊²

1. 安钢集团冷轧有限责任公司 河南 安阳 455000

2. 河南安钢南方电磁新材料科技有限责任公司 河南 安阳 455000

摘要: 本文结合冷轧工业生产实际, 阐述冷轧钢卷运转小车的功能定位与位移控制核心需求, 分析当前主流位移控制技术的特点与局限, 探讨基于激光测距、接近开关检测协同的优化方案, 为提升小车位移控制精度、降低运行故障率、推动冷轧生产线智能化升级提供参考。冷轧钢卷运转小车作为冷轧生产线的核心输送设备, 其位移控制精度直接影响钢卷输送效率、表面质量及后续工序衔接的稳定性。

关键词: 冷轧钢卷; 运转小车; 位移控制; 闭环调节; 智能化升级

引言: 在冷轧钢铁生产流程中, 钢卷运转小车承担着钢卷对中、上卷、转运等重要任务, 是连接各生产环节的“纽带”设备。随着冷轧产品向高精度、薄规格、高附加值方向升级, 对钢卷转运的稳定性、定位精度及响应速度提出了更为严苛的要求。位移控制作为运转小车运行控制的核心, 其性能直接决定了钢卷转运过程中是否出现偏移、碰撞、划伤、翻卷等问题, 进而影响生产效率与产品合格率。

当前, 传统冷轧钢卷运转小车位移控制多采用开环控制或半闭环控制方式, 受机械磨损、负载波动、环境干扰(如冷轧车间的振动、粉尘、温度变化)等因素影响, 易出现定位偏差过大、响应滞后等问题。随着工业4.0与智能制造在钢铁行业的深度渗透, 数字化、智能化技术为小车位移控制优化提供了新路径。本文基于冷轧生产实际需求, 对钢卷运转小车位移控制的关键技术、系统设计及优化方向进行探讨, 为相关设备升级与技术改进提供思路。

1 冷轧钢卷运转小车位移控制的核心需求与技术现状

1.1 核心控制需求

冷轧钢卷运转小车的位移控制需满足三大核心需求: 一是定位精度, 根据钢卷规格与工序要求, 小车停靠定位误差需控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内, 避免钢卷与后续设备对接偏差导致的生产故障; 二是动态响应, 面对不同重量(从几吨到几十吨)的钢卷负载, 小车需实现启停平稳、加速均匀, 响应滞后时间不超过 0.5s , 防止负载波动引发的位移偏差; 三是稳定性, 在长期连续运行及复杂车间环境下, 控制系统需具备抗干扰能力, 确保位移控制精度不受机械磨损、环境干扰的影响, 降低设备故障率。

1.2 主流控制技术及应用局限

目前, 冷轧钢卷运转小车位移控制主要采用三种技

术方案, 各有优劣且在不同场景中应用, 这些技术方案的特性分析基于钢铁工业自动化控制的通用理论框架^[1]:

1.2.1 开环控制方案: 以步进电机为执行元件, 通过控制器预设脉冲信号控制电机转动角度, 进而实现小车位移调节。该方案结构简单、成本低廉, 适用于对定位精度要求较低的简易生产线, 但缺乏误差反馈机制, 无法修正机械磨损、负载波动带来的定位偏差, 在高精度冷轧生产中应用受限。

1.2.2 半闭环控制方案: 在电机输出端或滚珠丝杠处加装编码器, 通过检测电机转速或丝杠位移间接反馈小车位置, 形成局部闭环调节。相较于开环控制, 其定位精度显著提升, 是当前冷轧生产线的主流方案, 但仍未直接检测小车实际位移, 当传动机构(如齿轮、导轨)出现磨损时, 易产生检测误差, 影响控制精度。

1.2.3 全闭环控制方案: 通过在小车本体或轨道上加装位移传感器等高精度位置传感器, 直接检测小车实际位移, 实时反馈至控制器并修正控制指令。该方案定位精度最高, 抗干扰能力强, 但传感器成本较高, 且对传感器安装环境、信号传输稳定性要求严格, 在粉尘、振动严重的冷轧车间需额外配备防护装置, 限制了其大规模推广。

2 冷轧钢卷运转小车位移控制系统优化设计

2.1 高精度传感检测系统设计

传感器作为全闭环控制系统的核心感知终端, 其检测精度、抗干扰能力及工业环境适配性直接决定闭环控制的稳定性与控制精度。针对冷轧车间粉尘多、电磁干扰强、温湿度波动大、设备运行振动频繁的复杂工况, 同时兼顾系统响应速度与长期运行可靠性, 本方案摒弃单一传感器检测的局限性, 采用“激光测距仪+电感式常开型接近开关”的组合检测方案, 实现转运小车位置的

高精度连续检测与精准定位控制，为全闭环控制策略的落地提供可靠的感知支撑。

2.2 采用激光测距仪SickDS50

为满足转运小车运行过程中的高精度位置检测需求，实现小车位移的实时反馈与全闭环调节，本方案选用Sick DS50系列激光测距仪作为核心测量单元。该型号测距仪具备抗电磁干扰、防尘防水、测量精度高、响应速度快等优势，适配冷轧车间恶劣工业环境，通过非接触式激光反射测距原理，可实现对小车运行位置的实时、连续、无磨损采集，有效规避接触式检测带来的机械磨损、定位滞后等问题，保障检测数据的准确性与可靠性。具体实施步骤如下：

2.2.1 设备安装与机械固定

1. 线路接入：将激光测距仪及电感式接近开关的电源线（DC 24V）、信号线（激光测距仪电流信号线、接近开关开关量信号线）规范接入现场PLC从站IO柜。

2. 激光测距仪安装：将激光测距仪固定于小车初始位置的墙体上，选用高强度膨胀螺栓与L形不锈钢支架配合固定，支架安装需保证水平、垂直，无晃动；同时将激光反光板通过专用紧固件固定于转运小车上，保持反光板中心与激光测距仪发射端口处于同一水平线上，形成稳定对射姿态。

3. 接近开关安装：参照现场施工图纸，精准确定小车各停靠位置的基准点，在各基准点处安装L形不锈钢固定支架，将电感式常开型接近开关固定于支架预设安装孔位，紧固螺栓并做好防松处理；同时在转运小车上对应位置安装配套L形感应支架，调整接近开关与感应支架的相对位置，使两者感应距离控制在1-2cm范围内，确保小车停靠时接近开关能可靠触发，且无误感应、漏感应现象。

2.2.2 设备调试

1. 激光测距仪调试：Sick DS50激光测距仪采用4-20mA标准电流信号反馈，支持Dto模式与Wnd窗口模式两种工作模式，Dto模式是指当物体距离小于等于Q1设定距离时，Q1就会输出；当物体距离大于Q1设定距离时，Q1就会停止，Wnd模式是指当一个物体在这设定的一个范围内（FE），测距仪输出信号，离开设定距离（FE）后则测距仪停止输出。结合冷轧车间转运小车的定位需求，选用Wnd窗口模式（窗口触发模式），该模式可实现设定距离范围内的稳定信号输出，规避单一阈值触发带来的误判风险。调试时，通过测距仪自带的操作面板手动切换至Wnd模式，根据小车运行轨迹的实际量程，设定Q1（近点）与Q2（远点）对应的距离参数，其中

4mA电流信号对应100mm（近点下限），20mA电流信号对应25000mm（远点上限）；同时将Q1log与Q2log均设置为常闭状态，确保小车在Q1与Q2设定的窗口范围内时，测距仪持续输出稳定电流信号，超出窗口范围时停止输出，为PLC控制提供清晰的触发信号。调试完成后，进行多次空载测试，验证信号反馈的稳定性与准确性，误差控制在±1mm以内。

2. 接近开关调试：采用标准测试铁块对各停靠位置的接近开关进行逐一调试，将铁块缓慢靠近接近开关感应端，观察PLC从站输入模块对应的I点指示灯，指示灯亮表示接近开关触发正常、信号传输通畅；将铁块移开后，指示灯熄灭，说明接近开关复位正常。每个接近开关需重复测试5-10次，排查误触发、漏触发及信号卡顿等问题，确保接近开关在车间振动、粉尘环境下仍能可靠工作，触发响应时间不超过10ms。

3. 联动调试：将激光测距仪与接近开关进行联动调试，启动转运小车空载运行，全程监测激光测距仪反馈的电流信号及接近开关的触发状态，验证小车在各停靠位置（前极限位、初始位置、B鞍座等）时，激光测距仪的测量值与预设位置参数的偏差，同时确认接近开关触发时机与小车停靠位置的同步性，确保两者信号协同一致，为后续PLC程序编写奠定基础。

2.2.3 程序编写

本方案采用西门子博图V15.0软件进行PLC程序编写，基于S7-1500系列PLC控制器，重点实现激光测距信号的采集、缩放、位移换算及小车的精准定位控制，程序编写遵循模块化、标准化原则，便于后期调试、维护与升级，具体编写流程如下：

1. 设备组态与变量设置：打开博图软件，进入设备组态拓扑视图，找到现场对应的PLC从站及IO柜，精准配置AI电流输入模块（适配4-20mA信号），查看并记录该模块的IO地址范围；在PLC变量表中创建int类型变量（对应激光测距信号），变量地址设置在AI模块的有效地址范围内，同时定义小车实际位移值、减速触发信号、限位保护信号等相关变量，做好变量注释，确保变量含义清晰、便于追溯。

2. 测距信号缩放处理：在转运小车行走控制功能块中，调用SCALE（缩放）指令，将激光测距仪反馈的4-20mA电流信号（对应int类型变量）接入SCALE指令的IN端口，根据激光测距仪的量程设定（100mm-25000mm），将HI-LIM（上限值）设置为25000mm，LO-LIM（下限值）设置为100mm，通过缩放运算将电流信号转换为实际的激光测距值，输出至OUT端口对应的

#temp1临时变量，再将#temp1临时变量赋值给小车实际位移值变量，实现检测信号与实际位移的精准对应。

3. 零点校准与位置定义：程序中加入零点校准逻辑，将转运小车手动运行至前极限位位置，此时程序读取#temp1临时变量对应的测量数据，将该数据定义为小车位移零点（基准零点），并存储至PLC内部寄存器，作为后续位移测量的基准；随后将小车手动运行至各停靠位置（初始位置、B鞍座、地辊位等），分别读取各位置对应的#temp1测量值，将其定义为各停靠位置的标准位移参数，存储至对应寄存器，形成小车运行轨迹的位置数据库。

4. 精准定位与惯性控制：考虑到转运小车电机停转后存在一定惯性，易导致小车停靠位置偏差，程序中在各停靠位置均设置前后减速触发位置，以接近开关触发位置为中心基准，向前、向后分别设定50mm的减速区间，当激光测距仪检测到小车位移达到减速触发位置时，PLC输出减速指令，控制电机去使能，降低小车运行速度，直至小车到达标准停靠位置，接近开关触发后，电机完全停转，实现小车的精准定位，有效抵消惯性带来的定位误差，确保停靠精度控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。

2.2.4 标定

1. 逐点标定：手动启动转运小车，按照标准运行轨迹，依次将小车停靠至初始位置（接钢卷位置）、B鞍座、地辊位（高度对中位）、开卷位、后极限位、前极限位，每停靠一个位置，停止小车运行，记录激光测距仪反馈的实际位移值、接近开关的触发状态，同时采用高精度卷尺（精度 $\pm 0.5\text{mm}$ ）实测小车实际停靠位置与基准点的偏差，对比激光测距仪的测量值与实测值，计算测量误差。

2. 误差校正：若某一停靠位置的测量误差超出允许范围（ $\pm 1\text{mm}$ ），或接近开关未可靠触发，需及时进行校正：对于测量误差超标的位置，通过调整PLC程序中该位置的标准位移参数，或微调激光测距仪的安装角度、反光板位置，直至测量误差控制在允许范围内；对于接近开关未可靠触发的情况，调整接近开关与感应支架的感应距离，或检查接近开关信号线连接情况，确保触发可靠。

3. 重复性标定：每个停靠位置需重复标定3-5次，验证检测系统的重复性精度，确保多次标定的测量误差波

动不超过 $\pm 0.3\text{mm}$ ；同时进行小车连续运行标定，启动小车按照标准轨迹连续运行5-10个循环，全程监测各位置的定位精度与信号反馈稳定性，排查系统长期运行中的漂移问题。

3 应用效果与改进方向

3.1 预期应用效果

将优化后的位移控制系统应用于冷轧钢卷运转小车，可实现三大提升：一是定位精度显著提升，小车停靠定位误差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内，有效避免钢卷对接偏差引发的划伤、碰撞问题，产品合格率提升0.3%-0.5%；二是运行稳定性增强，自适应算法与抗干扰设计使小车在负载波动、环境干扰下的故障率降低30%以上，减少非计划停机时间；三是智能化水平提升，数字化监控与协同架构实现位移控制的远程调试、数据追溯与动态优化，降低人工运维成本。

3.2 后续改进方向

随着人工智能与数字孪生技术的发展，冷轧钢卷运转小车位移控制可向更深层次优化结合冷轧钢卷转运设备智能化升级的研究方向^[2]：一是引入数字孪生模型，通过构建小车运行的虚拟仿真系统，模拟不同负载、干扰场景下的位移变化，提前优化控制参数，实现预测性控制；二是融合机器学习算法，基于历史运行数据训练位移偏差预测模型，主动识别潜在故障风险，实现从“被动调节”向“主动预防”转变；三是推进多设备协同控制，将小车位移控制与钢卷吊装设备、后续工序设备联动，实现全流程自动化、智能化转运。

结束语

冷轧钢卷运转小车的位移控制是保障冷轧生产效率、产品质量的核心环节，其性能直接受检测精度影响。针对传统控制技术的局限，本文提出基于高精度传感检测及精准定位控制协同的优化方案，有效提升了小车位移控制的精度、稳定性，贴合冷轧行业高精度、高效率的生产需求。

参考文献

[1]王兆义. 钢铁工业自动化控制技术[M]. 北京：冶金工业出版社，2019.

[2]李刚. 冷轧钢卷转运设备智能化升级方案探讨[J]. 冶金设备，2023（2）：45-48.