

棒材倍尺剪“速度滞后”与“尾部打弯”故障分析与优化

Analysis and Optimization Strategy for Resolving the “Speed Dilemma” (Lagging & Over-speeding) in Bar Dividing Shear Operation

供稿|李文文 / LI Wenwen

内容导读

棒材倍尺剪作为棒材产线的关键剪切设备，其精度和稳定性直接影响生产效率和产品质量。设备电控系统升级至西门子 PLC 1517-3PN/DP+6RA80 直流驱动后，频繁出现速度跟随滞后问题，导致剪切时轧件头部撞击剪刀引发堆钢故障。通过优化传动增益系数（提高 K_v 值）有效提升了响应速度、解决了滞后堆钢问题，却又因速度给定突增过大引发了剪切后尾部打弯的新故障。为解决这一矛盾，本研究实施了 3 重优化策略：(1) 优化通信模式：由 PROFINET RT 切换至实时性更高的等时同步通信模式，减少通信延迟；(2) 精细化控制参数：协同优化 PLC 工艺对象位置环 K_v 因子及传动装置转速调节器比例系数 K_p ，提升系统动态响应性能；(3) 引入速度限幅机制：在 PLC 控制程序中增加逻辑，对传动装置的给定速度进行动态限幅，防止速度超调。优化后，速度跟随滞后时间显著缩短（由 114 ms 降至 58 ms），彻底消除了堆钢及尾部打弯故障，设备运行稳定性和棒材成材率得到显著提升。本案例凸显了在高速轧制区域，通信实时性、控制参数精确整定与速度限幅保护对设备稳定运行的关键作用。

棒材倍尺剪是棒材生产中的关键设备，用于分段剪切棒材，在棒材生产线中起着至关重要的作用。它能够在高速轧制过程中对棒材进行精确分段剪切，以满足生产需求。在生产过程中，倍尺剪的剪切精度和稳定性直接影响产品质量和生产效率。随着技术的持续进步和创新，棒材倍尺剪也在不断改进和优化。棒材倍尺剪原传动系统采用西门子 6RA70 直流驱动装置进行控制，但随着数字化技术

的日益成熟，该装置逐渐被市场淘汰。为此，西门子公司推出新一代直流驱动产品 6RA80。鉴于 6RA70 装置停产导致备件采购困难，轧钢厂决定采用 6RA80 直流驱动调速装置对棒材倍尺剪电控系统进行升级改造。系统改造完成后，倍尺剪在剪切过程中频繁出现实际速度跟随滞后故障，轧件速度快于剪刀在轧线方向上的线速度，导致倍尺剪剪切完成后轧件切口头部撞击剪刀，造成堆钢故障频发。

作者单位：泉州闽光钢铁有限责任公司，福建 泉州 362411

通过优化运动控制器工艺对象参数,速度滞后故障得到有效解决,但又频繁出现倍尺剪剪切后剪刀撞击切口尾部的现象,进而引发尾部打弯故障,严重影响棒材成材率。进一步优化轴工艺对象增益系数(K_v),同时控制程序中新增速度限幅程序后,上述故障最终得到妥善解决。

系统改造及剪切异常故障

系统改造概况

2021年,棒材倍尺剪进行电控系统升级改造。改造前,系统采用西门子300系列可编程逻辑控制器(PLC)搭配6RA70直流传动系统(小拖大模式),PLC与传动装置通过PROFIBUS-DP协议通信;编码器、剪前热检和零位接开信号进入T400工艺控制板进行剪切逻辑计算;系统合分闸和相关安全连锁保护由S7-300 PLC控制。升级后的系统采用带工艺对象控制功能的西门子1517-3PN/DP运动控制器,搭配6RA80直流调速装置(小拖大模式)^[1];直流调速装置选用高级型控制单元(CUD)^[2],附加一个以太网通信模块(PROFINET)模块CBE20,与运动控制器间通过PROFINET协议实现通信^[3];编码器、剪前热检和零位接开信号进入PLC进行逻辑控制,同时在PLC中新增工艺对象(定位轴),通过控制命令操作工艺对象实现使能、停止、定位等运动控制,轴的基本参数及驱动装置设置均通过TIA博途软件在工艺对象的硬件组态中完成^[4]。倍尺电机沿用原有设备,其相关铭牌参数如下:直流电机型号ZFQZ-355-42,功率360 kW,电枢电压440 V,电枢电流907 A,额定转速500 r/min,励磁电压220 V,励磁电流28.7 A。

故障特征提取与识别

棒材倍尺剪在启动剪切过程中,频繁出现实际速度跟随滞后的问题(如图1所示),设定速度指令发出后,实际速度滞后114 ms才开始响应;当剪刀到达剪切点(剪刀闭合位为360°)时,实际转速相比最大转速(330 r/min)已下降约100 r/min,导致剪切位时剪切线速度偏慢。轧件完成一次剪切后,由于剪刀回位迟缓,分段后的第2段轧件头部易撞击剪刀,造成轧件头部弯曲,严重时引发堆钢

故障,如图2所示。此故障在生产线恢复过钢或短时间停机重启后尤为频发。通过监控PLC系统中轴工艺对象的工艺数据块设定报警逻辑:若设定速度与实际反馈速度在50 ms内的差值占比超过80%,则判定系统速度跟随滞后,此时触发相应的报警信息。参照此报警条件,考虑通过轴工艺对象中工艺数据块的超驰速度强制提升速度给定,但实际运用中效果不佳;也可尝试调整倍尺剪剪刀的起始角度,由100°调整为85°,以延长加速时间,但仍会出现因剪刀速度偏慢造成的堆钢故障;最终通过提高工艺对象的增益系数(K_v 值),有效提升了倍尺剪的剪切响应速度。由于系统内部位置闭环,当速度跟随滞后时^[5],系统为了尽可能降低跟随误差,轴工艺对象的速度给定(启动速度由0按一定斜率给到最大速度)会自动按一定比例增加(如图3所示),导致剪刀到达剪切点时速度过快,轧件完成一次剪切后尾部被剪刀打弯(如图4所示),造成非定尺率上升。

故障原因分析

倍尺剪电控系统升级改造后,PLC 1517-3PN/DP与6RA80直流传动装置采用PROFINET通信。PROFINET基于以太网标准开发^[6],提供2种适用于自动化场合的协议(传输模式),即具备实时通信(RT)功能的PROFINET IO和支持等时同步通信

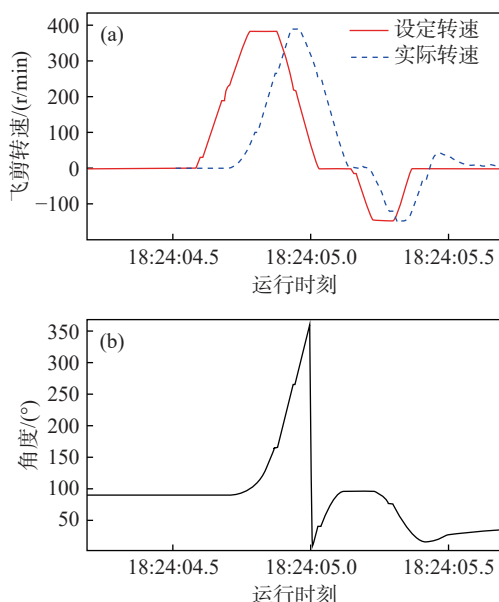


图1 飞剪速度(a)及运行角度(b)随时间变化曲线

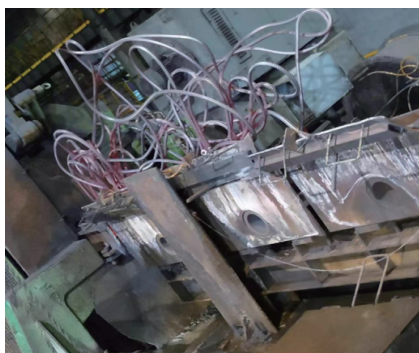


图2 剪切滞后堆钢

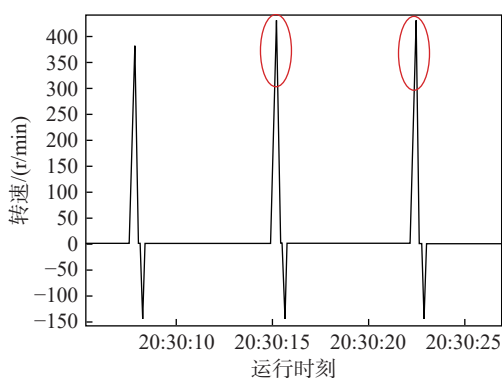


图3 自动给定速度突增

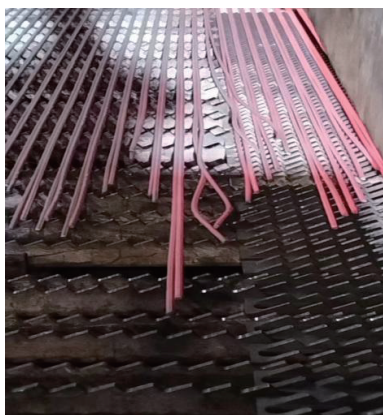


图4 尾部打弯

(IRT) 功能的 PROFINET IO, 这 2 种传输模式专为传送现场输入输出 (IO) 数据的周期性通信设计。其中, PROFINET RT 通信适用于无特殊性能和等时要求的场景, 其数据更新时间可在 0.25~512 ms 间调整, 具体取值取决于控制过程需求、设备数量及 IO 数据量; 它采用标准的以太网芯片, 无需特殊硬件支持, 但其不支持任何同步机制, 无法进行等时数据传送, 因此不适用于高精度的运动控

制场景。PROFINET IRT 通信通过带宽预留的方式进行数据交换, 可以实现等时 IO 通信^[7]。等时模式是用户程序周期、输入信号传输周期与驱动器数据处理完全同步的一种操作模式, 所有输入在同一时刻采集, 输出同步生效, IO 数据收发与计算处理均在同一周期内完成。等时模式可以确保 S7-1500 的设定值和实际值在确定时间内与驱动器完成数据交换和处理, 大幅提高运动控制精度。但倍尺剪在改造过程中, 设备调试时采用 RT 通信模式, 因此存在通信的非实时性, 造成传动响应滞后。同时, 倍尺剪采用刚性连接, 机械硬度较大, 但在轴工艺对象参数配置中, K_v 因子设置偏小, 既未考虑倍尺剪长期使用中接轴的机械磨损, 也未根据现场机械轴的刚性连接进行合理优化, 同样可能造成传动响应滞后。

解决方案

通信模式优化

利用 TIA 博途软件重新组态 1517-3PN/DP 与 6RA80 直流调速装置的通信模式, 采用 IRT 通信模式。凭借 IRT 的高精度和确定性优势, 可获得最高的控制质量^[8], 不仅可精确控制工艺对象, 还可通过时钟同步将过程响应时间发生波动的可能性降至最低。

工艺对象参数配置优化

通过在 TIA 博途轴的“控制回路”组态界面优化工艺对象控制回路参数, 将位置控制回路的 K_v 值由 1.0 调整为 1.5 (如图 5 所示), 以此有效提升驱动装置的响应速度。适当增大 K_v 值, 可以有效减小系统跟随误差, 提高定位精度, 从而获得更大的动态响应^[9]。

传动装置参数优化

在 6RA80 传动系统中, 优化驱动装置转速调节器的适配参数, 适当加大比例系数 (K_p 值), 由 2.0 调整为 2.5 (如图 6 所示), 以此获得较为理想的动态响应。

给定速度限幅

通过编辑 PLC 控制程序 (如图 7 所示), 系统根据倍尺飞剪上游末机架对应的设定速度, 计算出倍尺剪的理论设定转速。该理论设定转速被转化为

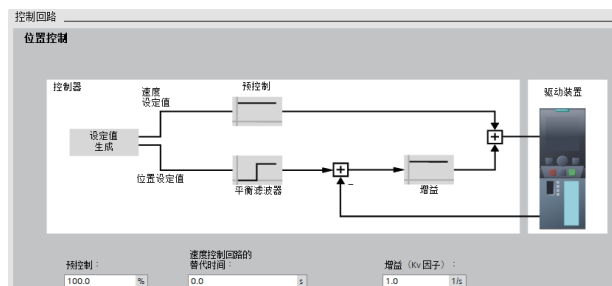


图5 位置控制参数优化界面

倍尺电机最大转速的百分比，并在此基础上增加2%的裕量。将计算所得数据通过通信发送至传动装置，作为给定速度限幅^[7]。此设计可确保即便因外部扰动导致设定速度突增，传动装置也可通过速度限

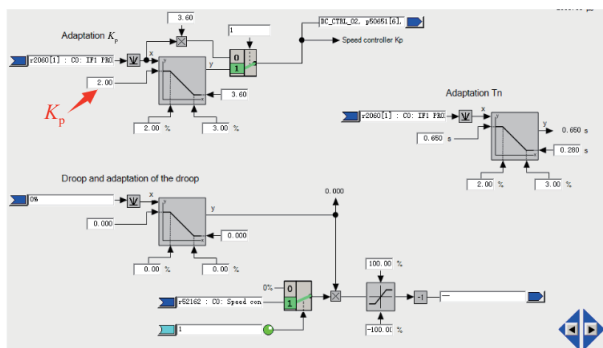


图6 转速调节器的适配参数优化界面

幅将实际转速控制在给定的范围内^[10]（如图8所示），从而避免倍尺尾部因给定速度突增被打弯。

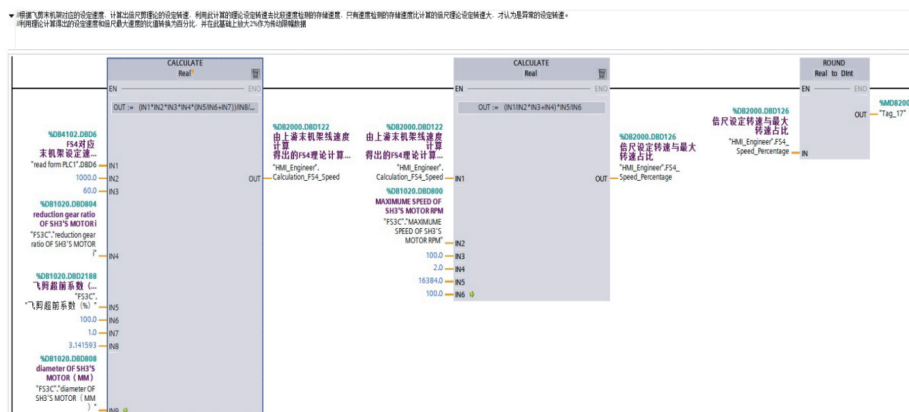


图7 给定速度程序限幅界面图

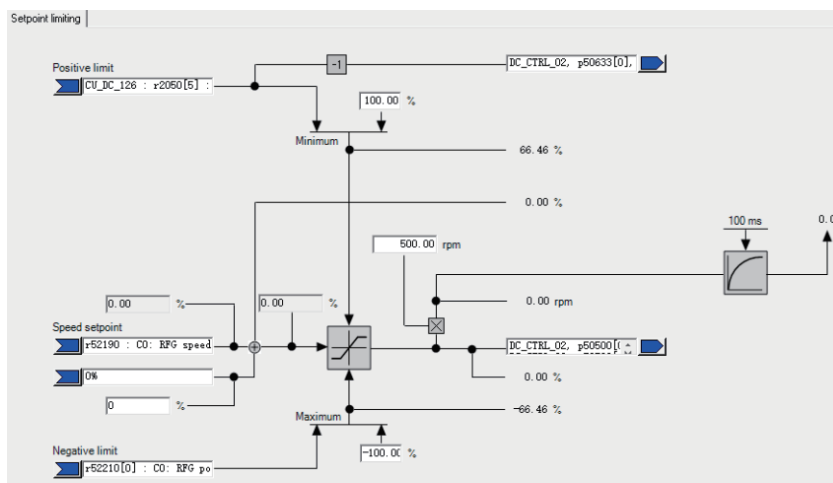


图8 传动速度给定限幅界面图

优化效果

优化后，倍尺飞剪启动剪切后速度跟随动态响

应的能力显著提升^[10]，如图9所示。设定速度给出后，实际速度滞后时间由114 ms缩短至58 ms，剪

刃到达剪切点（剪刀闭合位）时实际转速与最大转速（330 r/min）基本一致，未出现明显降速现象。同时，通过传动装置的速度限幅控制^[11]，成功解决了尾部被剪刀打弯的问题，如图 10 所示。

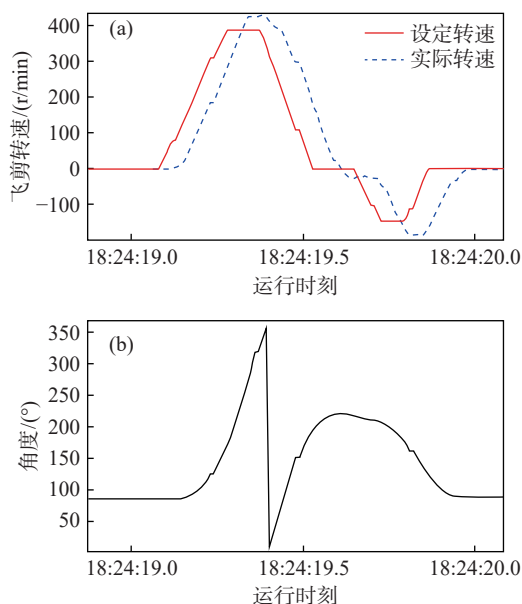


图 9 优化后飞剪动态响应速度 (a) 及运行角度 (b) 随时间变化曲线

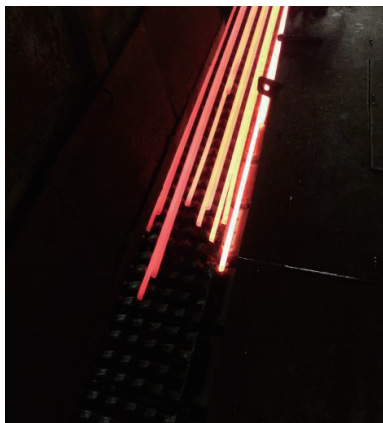


图 10 尾部剪切

结束语

自 2021 年升级改造完成后，棒材倍尺剪一直受

速度滞后、剪切尾部打弯等故障困扰，轧制速度越快，故障越频发，严重影响成材率。通过本文优化措施，以上问题最终得到有效解决。在实际生产中，未再出现倍尺剪切速度滞后造成的堆钢和剪切完成后尾部打弯的故障，不仅提高了棒材成材率，还保障了设备的稳定运行。因此，在轧钢产线高速区域，设备通信的实时性、精准性以及传动系统的快速响应能力对设备的稳定运行至关重要。

参考文献

- [1] 西门子公司. SIMATIC DCM 参数手册. 德国：西门子公司，2015
- [2] 西门子公司. SIMATIC DCM 操作说明. 德国：西门子公司，2015
- [3] 张雪亮，王薇，王广辉. 深入浅出西门子运动控制器 S7-1500T 使用指南. 2 版. 北京：机械工业出版社，2022
- [4] 向晓汉. 西门子 S7-1500PLC 完全精通教程. 2 版. 北京：化学工业出版社，2018
- [5] 张闯. SIMADYN D 升级为 SL150 的研究. 冶金自动化，2024，48(S1)：345
- [6] 李鹏飞，周爱琴. 西门子 6RA80 直流装置在长轴冷床主从控制中的应用. 冶金自动化，2018，42(1)：58
- [7] 苑军武. 6RA80 全数字直流调速系统在转炉倾动中的应用及调试方法. 冶金自动化，2021，45(S1)：281
- [8] 马亚峰，牛剑. ABB 传动系统在定尺剪中的应用. 金属世界，2019(5)：64
- [9] 韩香慧，张笑虹. 高速线材生产自动化控制的改进与提高. 金属世界，2009(4)：29
- [10] 余琼. 高速线材自动控制系统. 金属世界，2010(4)：72
- [11] 张大志，翁国杰，李忠富，等. 宽带钢热连轧生产线自动控制系统综合设计及应用. 金属世界，2006(5)：12

作者简介：李文文（1990—），男，江西省南昌人，冶金自动化工程师，2013 年毕业于九江学院自动化专业。主要研究方向：电气自动化。主要从事轧钢电气传动和自动化控制系统的应用和维护工作，以第一作者发表论文 3 篇，获第一作者实用新型专利 3 项授权。通信地址：福建省泉州市安溪湖头镇；E-mail: zongyuqitian@163.com。