

「变频器」

森兰变频器在1 250 mm不锈钢带连退酸洗线的应用

文/希望森兰科技股份有限公司 任光法 杜俊明 罗 力

在不锈钢带连退酸洗过程中，对速度和张力的控制，决定了产品的品质；而用户对高品质、高效率的需求，使系统稳定、可靠运行成为必然要求。因此具有高性能、高可靠性的核心部件——变频器，将成为高品质不锈钢产品的重要保证。森兰变频以其20余年的技术积淀，在此领域取得突破，成功应用于1 250 mm不锈钢生产线，开创了国产变频器在工程型复杂控制系统应用的先例，在冶金连续生产中对于国产替代进口具有示范意义。

酸洗工艺过程简介

热轧不锈钢带表面覆盖着一层黑灰色氧化铁皮，厚度在 $7.5 \sim 15 \mu\text{m}$ ，甚至到 $20 \mu\text{m}$ ，为保证成品钢带的表面质量，减少后续冷轧等深加工时磨损和能耗，要去除氧化层，而利用酸与铁的氧化物发生化学反应的基本原理，清除表面的锈斑、氧化层、游离铁等污垢，并进行钝化，处理后的表面变成均匀银白色，耐腐蚀能力提高 $15 \sim 50$ 倍，此过程即为不锈钢带的酸洗钝化处理。

不锈钢带的连续酸洗是指在开卷、换卷或收卷、卸卷时，带钢连续地通过盛有酸溶液的酸洗槽而不停车，具有产能高、生产成本低等优点，也有投资高，占地面积大的缺点，可为带钢冷轧机提供优良的酸洗带卷产品。连续酸洗机组一般分为入口段、工艺段和出口段，各段可单独运行，也可协调运行；在确保机组安全、高效、稳定操作运行的同时，能够充分满足用户对带钢连续酸洗生产较高的经济、环保等指标要求。

客户现场即为1 250 mm不锈钢带连退酸洗生产线，工艺流程如图1所示，由开卷机到

入口活套为入口段，从入口活套到出口活套为工艺段，后续至收卷机为出口段。整个生产工艺流程共有50多台电动机拖动，关键工位为开卷机、牵引矫平机、张力辊（1#~9#张力辊均为双电动机构成的S辊）、入口活套、出口活套、收卷机工作在闭环矢量控制，根据工艺要求工作在速度控制或者转矩控制模式，其他如上料车、下料车、夹送辊、支撑辊、风机、破鳞机、抛丸机等要求不高可选择VF控制或开环矢量控制。

三个段的速度分别由1#、4#、9#张力辊中的一台（主机）确定，另一台或几台（从机）做转矩跟随，实现负荷均衡分配。整个系统具有穿带功能、双开卷机切换、静态建张、三段协调控制等功能，各段通过速度或转矩控制维持静态或动态的平衡。工艺段的速度对不锈钢带的酸洗品质

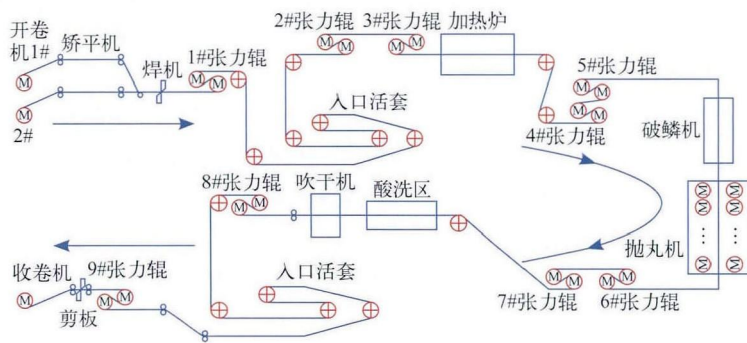


图1 连续酸洗工艺示意图

起决定作用, 过快, 酸洗深度不够, 可能成品中仍有斑迹存在; 过慢, 易发生过腐蚀和氢脆现象。而进出口活套依靠活套中的储料在换卷过程中起到缓冲作用, 保持工艺段速度不变或者微降。

组网构成及数据交互

如图2所示, 整个连退酸洗控制系统采用Wincc通用监控系统、PLC控制技术和Profibus-DP现场总线相结合的控制方案, 由PLC实现控制和数据采集功能, 由Wincc组态软件实现实时监控、显示设备运行状态、数据查询等功能, 完成对设备的远程监控和故障诊断, 提高了生产线电气控制系统的自动化水平, 实现高精度、实时性好的参数测量及控制。中控室根据经验设定酸洗工艺段运行速度, 系统将自动调整入口段和出口段速度, 协调运行。

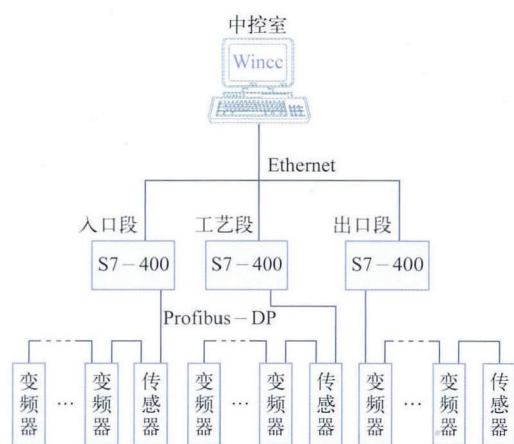


图2 控制系统组网示意图

考虑实际应用情况, 选择PLC与变频器Profibus-DP通信的数据类型为PPO4, 即除控制字、速度给定及其应答外, 读写4个过程数据, 其意义见表1。

表1 PLC与变频器间的过程数据

CW	REF	CPD1	CPD2	CPD3	CPD4
控制字	速度给定	转矩给定	未使用	未使用	未使用
SW	ACK	SPD1	SPD2	SPD3	SPD4
状态字	运行转速	运行电流	运行转矩	位置1	位置2

控制字中包含起停控制、脉冲封锁、紧急停车、故障复位、转矩/速度控制切换等功能; 状态字中包含上电就绪、运行就绪、故障、报警、当前控制方式等反馈信息。过程字中的“位置1、位置2”来源于电动机端的编码器正交计数, 用

于收、放卷的卷径计算, 方便实现高精度的恒张力控制。由通信给出的“速度给定”和“转矩给定”哪个有效, 取决于系统的需求, 当为速度控制时, “速度给定”有效, 而“转矩给定”则可以选择作为速度调节器的输出限幅; 相反, 当前为转矩控制时, “转矩给定”有效, 而“速度给定”可以作为速度限幅, 防止生产线出现飞车。

变频器的关键功能

SB70系列变频器是公司于2006年推出的通用型矢量控制产品, 其控制性能、可靠性、接口灵活性等在此次应用中得以充分展现。

1. 变频器的特点

SB70系列变频器采用转子磁场定向技术, 实现对电动机励磁电流和转矩电流的高精度解耦控制, 使电动机具有0.02%的稳态转速精度, 5%的转矩精度, 转矩响应时间在10 ms左右, 可与直流调速系统相媲美。

变频器所内置的高速脉冲输出PFO和高速脉冲输入PFI端子及功能, 可以完美的适用于系统的主从负荷分配, 具有数据精度高、抗干扰能力强、响应快(毫秒级)、无延迟等特点。

全系列变频器具有丰富的选配件, 如现场选用的是24 V电压等级的编码器接口板, 兼容多种输出类型的编码器, 具有带载能力强、抗干扰能力强的优点; 高可靠性的DP通信转换模块, 内置森兰控制功能, 便于用户参数配置组态。

2. 速度与转矩控制的选择

如前所述, 变频器接收来自PLC的控制指令和给定值, 根据参数设定和控制指令中的“转矩/速度切换”确定当前控制模式, 如图3所示。如抛丸机仅取速度指令; 收卷机则速度和转矩都要用, 空卷定位、钢带咬合后首圈、满卷切断后等均为速度控制, 正常收卷时为转矩控制, 转矩给定值来自钢带张力与当前卷径的乘积(传动比及转矩标定此处未考虑); 活套除穿带外, 一直工作在转矩控制模式; 作为开卷机, 先正向送卷, 使钢

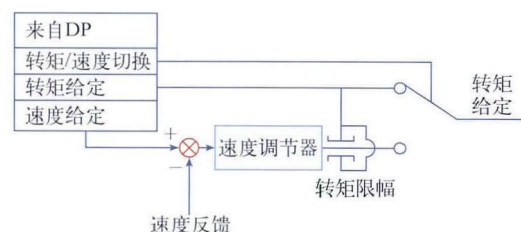


图3 转矩/速度切换图

带延伸至牵引矫直机，焊接后，转为反向速度控制，并加以转矩限幅，在正常运行时，因速度给定和当前速度反向，速度调节器工作在饱和的转矩限幅状态，使开卷处的张力值保持恒定，限幅转矩的计算与收卷处原理相同；应用最多的张力辊，被选作主机的工作在速度控制模式，其他工作在转矩控制模式，只是转矩的来源略有区别。

3. 主从控制及负荷分配

对于入口段、工艺段和出口段中速度控制的3个主机全程采用速度控制，而其从机选择转矩控制。主机的PFO端子输出本机的“转矩给定”，从机的PFI端子接收数据，作为从机的“转矩给定”，实现负荷分配，PFO与PFI采用双绞线连接，如图4所示。5#S辊与4#S辊实际距离很近，仍认为是刚性连接，因此5#S辊也作为4#的从机。

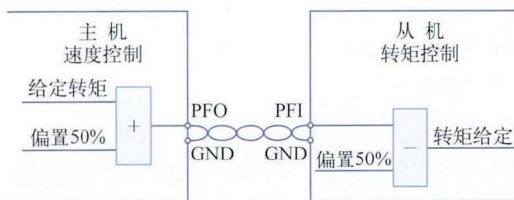


图4 主从控制负荷分配图

因PFO和PFI只能传输无符号数据，利用变频器自身特有的“算术单元”进行加减运算，灵活实现了主、从机有符号数与无符号数的相互转换；应用中，综合考虑控制精度和要传递数据的最大最小值，确定是否需要增加一级“算术单元”对数据进行缩放；此项目中，电动机的负载转矩小于80%的额定转矩，变频器用于模拟输入输出的转矩量是以2.5倍的电动机额定转矩标定，因此80%的负载转矩时对应的变频器的转矩模拟量为32%。

现场情况

1. 编码器的抗干扰处理

由于连退酸洗生产线设备众多，在现场布线时，很难将功率部分与信号部分分开，尤其是速度反馈的编码器信号线常常与电动机电缆一起，且距离有的超过100 m，不可避免地受到干扰。

现场也出现了开卷机反馈异常的现象，在静态建张时，转矩不稳定，不时出现掉张现象，再反向绷紧重新建张；运行过程中，也有掉张现象出现，造成钢带抖动。造成这种现象的原因是电动机电缆中的高频共模对编码器造成了干扰，



图5 调试阶段现场图片

会形成高频的无序脉冲，在变频器识别时会有速度跳变，致使磁场定向不准，转矩失控。现场的处理措施，重新处理电动机和变频器的功率电缆屏蔽两端接地，编码器反馈电缆进行可靠的单端接地，并增加加强隔离整形的接口转换板；整改后，速度反馈跳变和系统掉张现象消失，达到令客户满意的控制效果。

2. 共直流母线设计

在项目沟通的前期，有采用统一整流直流供电的方案，且变频器本身具有共直流母线接口。鉴于合作方系统集成商的考虑，仍然采用传统的交流配电加制动单元的方案。

从实际现场来看，后一种方案虽然实施简便，但能耗极大，造成不必要的浪费，且输入谐波高，对电网污染大。

后续的设计，可以考虑有源前端整流，实现单位功率因数，且满足能量双向流动；或者采用多脉波不控整流配小功率的能量回馈或者制动单元即可；这样既降低了能耗，又降低了谐波污染。

结束语

经过紧张而有序的调试，1 250 mm不锈钢带连退酸洗线项目顺利投运，各项指标达到设计要求，系统自动化程度高，整体运行平稳，得到了业主的高度赞赏。

此项目为公司积累宝贵的工程型复杂应用的实践经验，开创了国产变频器在板材连续生产应用的先例，因其特有的经济性、自主性、可扩展性，在冶金连续生产中对于国产替代进口具有借鉴示范意义。EA

(收稿日期：2016.05.30)

(编辑：白文亭)