

· 系统与装置 ·

doi:10.3969/j.issn.1000-7059.2013.06.010

镀锌线新型张力控制系统研究与设计

李 洁, 孙燕京, 李振兴, 庄 严

(北京首钢自动化信息技术有限公司 传动事业部, 北京 100041)

摘要:以首钢集团某冷轧厂连续镀锌线出口段张力控制系统升级项目为背景,针对生产线出口段经常发生带钢滑落、带钢头部划伤、带钢采样长度精度差等问题,研制开发了新型张力控制系统。系统通过张力设定值自适应、正转矩自动切换、邻近段张力实际值自选择等功能模块,抑制了卷取机张力对检查站张力的影响,避免了出口段带钢滑落事故和带钢头部划伤现象的发生,提高了出口段带钢取样长度的精度,确保了镀锌生产线的连续稳定运行。

关键词:连续镀锌线;张力控制;稳定性;负荷平衡;摩擦转矩补偿

文献标志码:B **文章编号:**1000-7059(2013)06-0048-06

Research and design for new galvanized line tension control system

LI Jie, SUN Yan-jing, LI Zhen-xing, ZHUANG Yan

(Drive Division, Beijing Shougang Automation & Information Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

Abstract: The exit section tension control system of continuous galvanized line in a cold rolling mill of Shougang Group for the reconstruction project is the background of this paper. In order to solve some problems in exit section such as strip sliding, strip head scratching, and poor accuracy for strip sampling length. We develop a new type of tension control system. This system applies some control technologies such as adaptive tension setpoint, automatic switching technology for positive torque control, actual value selection for tension and so on. These functions suppress coiler tension on tension of the inspection table, avoid the strip sliding accidents and the incidence of strip head scratching, improve the accuracy of the strip sampling length, and ensure stable operation of the continuous galvanizing line.

Key words: continuous galvanized line; tension control; stability; load balancing; friction torque compensation

0 引言

首钢集团某冷轧厂1*和2*连续镀锌生产线控制系统由国外某知名公司成套供货,于2008年运行投产。这两条生产线是分别以汽车板和家电板为主要产品的现代化生产线。近两年来,为了满足日益苛刻的市场需求而不断开发新产品。在生产新产品的过程中,两条镀锌生产线出口段经常发生带钢滑落、带钢头部划伤、带钢采样长度精度差等问题,严重影响了产品的质量和产量。经过

认真细致分析,出口段张力控制系统存在严重缺陷是造成这些问题的直接原因,因此,需对出口段张力控制系统进行升级改造。

由于出口段带钢具有频繁剪切、穿带的工艺特性,致使张力变化过大,针对这种特殊工序下的大张力变化特点,2011年,我们设计了一种新型张力控制系统并投入运行。通过对实际生产中重要指标参数的采样和分析,证明了新型张力控制系统在实际生产过程中的稳定性、精确性及实用性。

收稿日期:2012-11-16

作者简介:李 洁(1971-),男,北京人,教授级高级工程师,硕士,主要从事传动和自动控制系统的设计、开发和编程调试工作。

1 问题描述

改造前后出口段的张力分布如图1所示。改造前,出口段11#张力辊(主速度辊)将两边的张力分隔开来。出口段运行时,11#张力辊与1#卷取机(或2#卷取机)之间的带钢张力 T_3 由卷取机向前拉紧而产生,卷取机能够提供足够的转矩维持检查站的带钢张力,但是当出口段进行带钢分卷和采样时,由于出口剪将带钢分断后,11#张力辊与1#卷取机(或2#卷取机)之间的带钢不再有张力,同时检查站与出口剪距离过长并与出口剪生产平台存在高度差,转向辊没有足够的力矩维持检查

站内带钢的张力,因此导致检查站内无张的带钢会直接覆盖在水平检查台上,严重时还会使得带钢因重力而产生下垂和溜钢现象。另外,出口剪剪切时,出口段需要向出口剪输送带钢,检查站内的带钢与检查台之间产生摩擦,极易划伤带钢表面,这也导致带钢定位精度差和采样长度不准等问题。在随后的穿带过程中,由于转向辊、涂油机前夹送辊、出口剪前夹送辊不能提供足够的张力以拉直带钢,因此穿带卷取时极易出现钢卷溢出边,从而影响后续包装工作。

为了解决上述问题,该厂决定在出口段生产

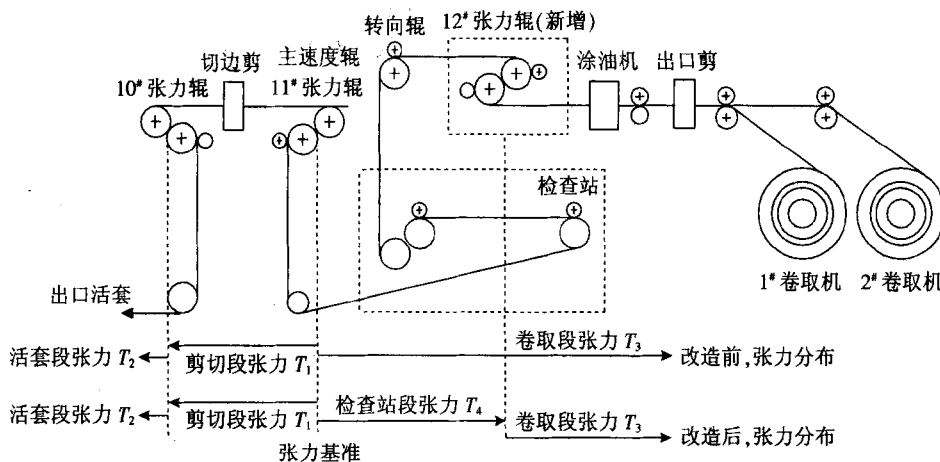


图1 1#镀锌线改造前后的张力分布对比图

Fig. 1 1#CGL tension distribution before and after reconstruction comparison chart

平台上转向辊后增加一组张力辊(12#张力辊)。对控制系统而言,就是11#张力辊与新增加的12#张力辊之间形成检查站段张力 T_4 ,12#张力辊与卷取机之间形成卷取机段张力 T_3 , T_3 和 T_4 之间的张力差就是12#张力辊所要提供的张力。

这段新增可控的带钢张力的建立,给检查站带钢提供了足够的张力,避免了检查站内带钢的表面划伤;同时,出口段进行剪切和穿带时,系统可以稳定地将带钢传送到卷取机,避免了带钢的下垂、溜钢和跑偏现象。

2 新型张力控制系统

1#和2#镀锌生产线的新型张力控制系统由传动系统、一级自动化系统、二级自动化系统和HMI画面系统构成。传动系统(包括12#张力辊1#辊和2#辊2个张力辊以及1个张力辊压辊)采用西门子公司的MasterDrive 6SE70系列逆变器控制;一级自动化系统采用西门子公司的S7-400系列PLC构建;二级自动化系统应用了Oracle数据库,由

Visual Studio 软件开发完成,主要实现设定值计算和下发,过程数据采集、跟踪、存储和管理等功能。人机界面由西门子公司WinCC软件开发而成。传动系统与一级自动化系统之间通过Profibus-DP网络通信。改造后的自动化系统如图2所示。

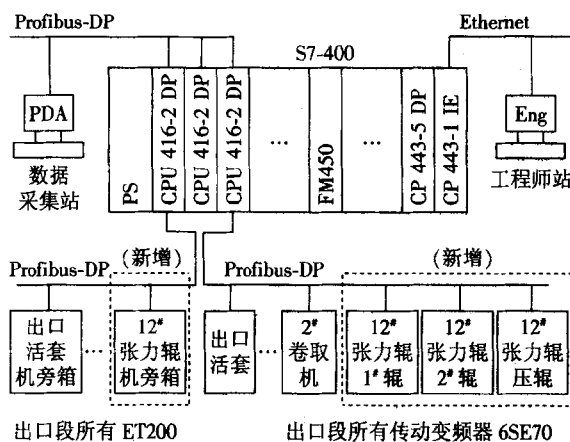


图2 改造后的自动化系统

Fig. 2 Automation system after reconstruction

3 主要控制技术

新型张力控制系统根据基于速度的张力控制而研发。它在速度调节器的基础上,将设定张力与实际张力进行比较,经过张力控制器产生速度设定 V_{tech} ,与出口段速度设定值 V_L 相加后,传送到传动系统的速度调节器上。速度调节器输出产生传动转矩并作用在驱动电动机上,形成带钢张力。同时,张力辊摩擦转矩和转动惯量转矩相加后,作

为附加转矩叠加到速度调节器之后的附加转矩接口上,形成张力控制所需要的附加转矩设定。这样,通过张力闭环控制,张力调节器产生的速度偏差作用在传动系统上,就达到精确控制张力辊所控区域内带钢张力的效果。

新型张力控制系统由张力控制、负荷平衡控制、摩擦转矩补偿、转动惯量补偿4个控制部分组成,如图3所示。

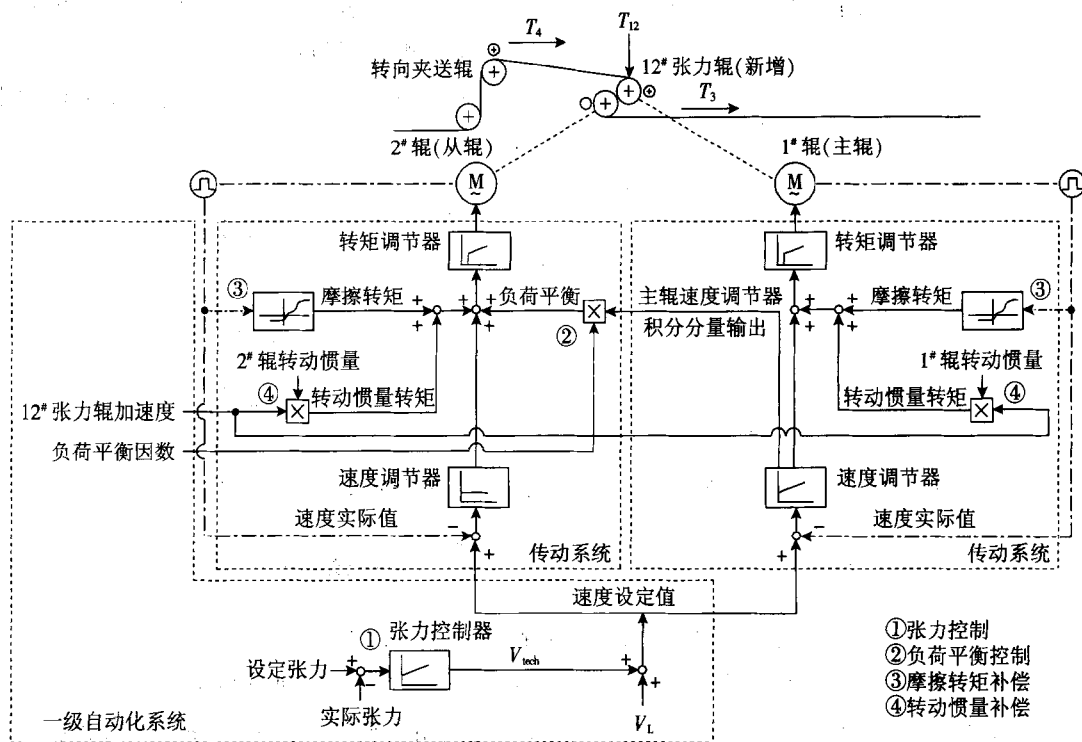


图3 新型张力控制系统结构框图

Fig.3 New tension control system structure diagram

3.1 张力控制

张力控制部分构成张力控制器,主要包括:张力设定值处理模块,正转矩自动切换模块,张力设定值自适应模块,邻近段张力实际值自选择模块,张力实际值检测、转换、计算和选择等模块以及张力调节器,如图4所示。张力控制器将设定张力与实际张力的偏差通过张力PI调节器,产生出张力形式的速度设定 V_{tech} ,与出口段线速度设定 V_L 在速度合成模块中叠加后,传送给传动系统的速度调节器,实现对带钢张力的控制。

下面说明张力控制器的几个主要功能模块。

(1) 张力设定值处理

由于二级系统下发的张力设定 T_{setp} 是相对张力设定(即单位面积张力),因此需要转换为绝对张力设定 T_{setp1} 后,才能送入正转矩自动切换模块。

$$T_{setp1} = T_{setp} WH \quad (1)$$

式中, W 为带钢宽度; H 为带钢厚度。

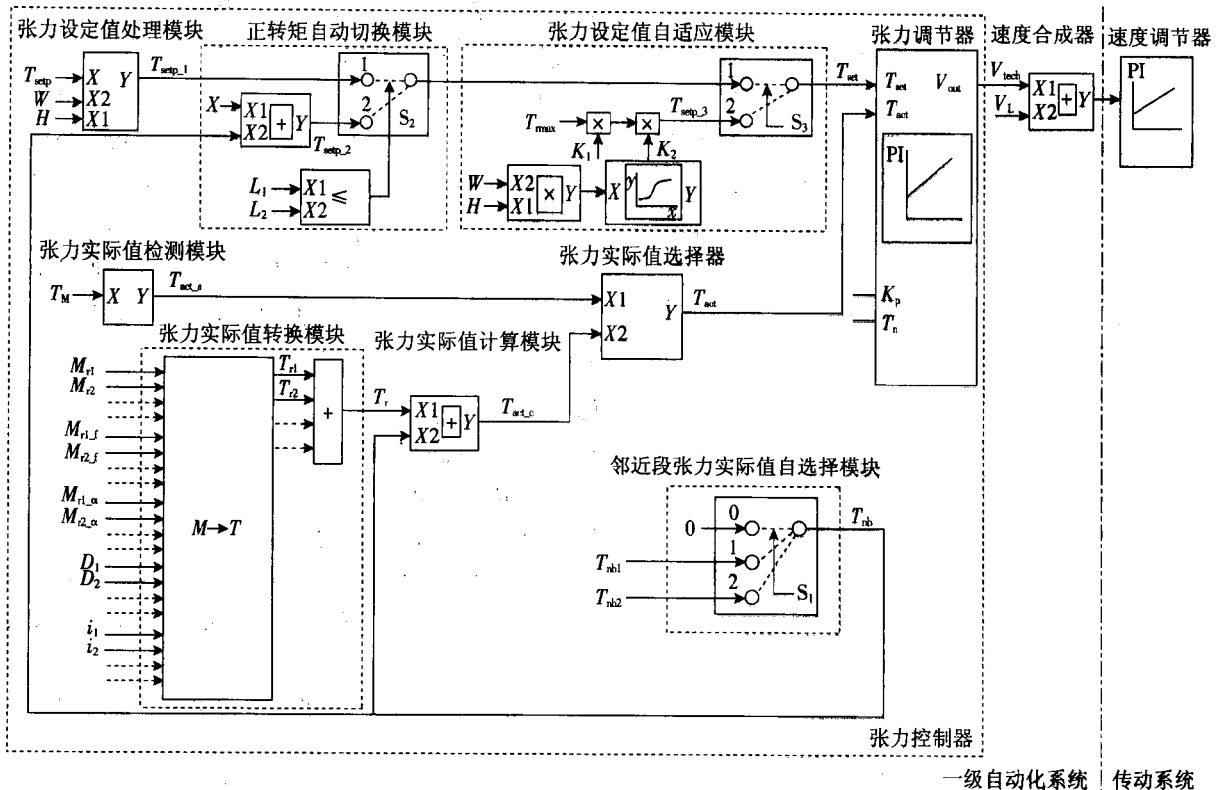
(2) 正转矩自动切换

由张力控制原理和图1可知:

$$T_{12} = T_4 - T_3 \quad (2)$$

在出口段进行分卷剪切前,如果 $T_4 > T_3$,则12号张力辊就会处于正转矩输出状态,不会造成带钢溜钢下垂;但是,如果 $T_4 < T_3$,即 $T_{12} < 0$,则12号张力辊就会处于负转矩输出状态,此时,在带钢分切一瞬间,卷取机段张力 $T_3 = 0$, $T_{12} = T_4 > 0$,则12号张力辊要从负转矩输出状态切换为正转矩,在此过程中,很容易造成带钢溜钢下垂。

为此,在张力控制器中设计了正转矩自动切换模块,如图4所示,此模块中设置了2个通道,通过比较带钢剩余长度 L_1 与设定长度 L_2 ,对切换



T_{setp} —工艺下发的设定张力; $T_{setp,1}$ —张力设定值处理模块产生的设定张力; $T_{setp,2}$ —正转矩自动切换模块产生的设定张力; $T_{setp,3}$ —张力设定值自适应模块产生的设定张力; T_{set} —设定张力; L_1 —带钢剩余长度; L_2 —带钢设定长度; K_1 —张力辊作用在带钢上的张力设定修正系数; K_2 —带钢规格调整系数; T_{max} —最大张力; T_M —张力计读取值; $T_{act,a}$ —实际张力检测值; $T_{act,c}$ —实际张力计算值; T_{act} —实际张力; M_{r1}, M_{r2} —1#辊、2#辊电动机的转矩实际值; $M_{r1,f}, M_{r2,f}$ —1#辊、2#辊摩擦转矩; $M_{r1,g}, M_{r2,g}$ —1#辊、2#辊转动惯量转矩; D_1, D_2 —1#辊、2#辊辊径; i_1, i_2 —1#辊、2#辊机械传动比; T_{r1}, T_{r2} —1#辊、2#辊作用在带钢上的张力; T_r —1#辊和2#辊作用在带钢上的张力之和; T_{nb1}, T_{nb2} —1#卷取机、2#卷取机段带钢张力; T_{nb} —邻近段实际张力; $S_1 \sim S_3$ —切换信号。

图4 新型张力控制系统张力控制原理图

Fig. 4 New tension controller principle chart

信号 S_2 进行赋值,从而选取相应的张力设定。当 $L_1 > L_2$ 时,选取张力设定模块发送的设定张力;当 $L_1 \leq L_2$ 时,选取设定张力 $T_{setp,2}$,此值在邻近段张力设定(见后文)的基础上叠加了一个张力修正 X ,即 $T_{setp,2} = T_{nb} + X$ 。根据现场实际测试, X 的取值范围为 $0 \sim 3$ kN。

正转矩自动切换模块的增加,实现了从负转矩到正转矩的自动切换,从而有效地避免了带钢下垂和向后溜钢的现象发生。

(3) 张力设定值自适应

在出口段分卷剪切和穿带过程中,由于卷取机段张力的消失,原有的检查站张力要靠12#张力辊独自实现,使12#张力辊的输出转矩增加,因此,有可能出现12#张力辊电动机输出额定转矩也无法达到检查站段张力设定值的情况。

为此,在张力设定值自适应模块中,设置了2个通道,通过带钢分切信号对切换信号 S_3 赋值,

进行张力设定值通道切换,以选取适当的张力设定。正常运行时,设定张力选取通道1的值;在带钢剪切时,设定张力选取通道2的值 $T_{setp,3}$,这样就使得12#张力辊电动机在出口段带钢剪切和穿带过程中,始终处于非满负荷运行状态,提高了电动机的使用寿命。下面是 $T_{setp,3}$ 的确定过程。

12#张力辊2个辊子的辊径 D 和机械传动比 i 相同,在不考虑转动惯量和摩擦转矩的影响时,12#张力辊电动机在输出额定转矩时作用在带钢上的张力可视为最大张力 T_{max} ,即

$$T_{max} = \frac{2i(M_{r1rate} + M_{r2rate})}{D} \quad (3)$$

式中, M_{r1rate} 和 M_{r2rate} 分别为12#张力辊1#辊和2#辊电动机的额定转矩,可以由 $M_{rate} = 9550P_{rate}/n_{rate}$ 计算, M_{rate} , P_{rate} , n_{rate} 分别为电动机的额定转矩、额定功率和额定转速。

由此,带钢剪切时的张力设定

$$T_{\text{setp}_3} = K_1 K_2 T_{\text{rmax}} \quad (4)$$

式中, K_1 通过现场测试, 取值范围为 0.7 ~ 0.8; K_2 与带钢规格相关, 根据带钢的宽度 W 和厚度 H 得到带钢的截面积, 找出带钢规格的最大值和最小值, 绘制出带钢规格和调整系数 K_2 的关系曲线, 生产最小规格时, K_2 取 0.5, 生产最大规格时, K_2 取 1.0。

这样, 在出口段分卷剪切和穿带过程中, 电动机不再出现满负荷运行状态。

(4) 张力实际值转换

张力实际值转换模块主要实现将张力辊作用在带钢上的张力转矩实际值转换为张力实际值。由电动机的输出转矩公式可知电动机的输出总转矩由张力转矩 M_T 、摩擦转矩 M_f 和转动惯量转矩 M_α 组成, 即:

$$M = M_T + M_f + M_\alpha \quad (5)$$

$$\text{其中, } M_T = \frac{TD}{2i} \quad (6)$$

上述式中, T 为作用到带钢上的张力。则 12# 张力辊作用于带钢上的张力

$$T_r = T_{r1} + T_{r2} = \frac{2i_1(M_{r1} - M_{r1f} - M_{r1\alpha})}{D_1} + \frac{2i_2(M_{r2} - M_{r2f} - M_{r2\alpha})}{D_2} \quad (7)$$

上式中, 辊径和机械传动比是已知的工艺参数, 摩擦转矩和转动惯量转矩可以通过现场试验测得, 这样, 就可以将 12# 张力辊作用到检查站段上带钢的张力实际转矩值转换为张力实际值^[1]。

(5) 邻近段张力实际值自选择

在计算 12# 张力辊所控制的检查站段带钢的实际张力时, 要考虑带钢在剪切、穿带和正常运行过程中, 邻近段张力 (即 1#, 2# 卷取机段张力) 对检查站段张力的影响。为此, 系统设计了邻近段张力实际值自选择模块, 如图 4 所示, 对于邻近段张力的选取, 设置了 3 个通道。依据生产线的运行状况对切换信号 S_i 赋值, 以选取正确的邻近段张力, 保证实际张力计算的准确性。具体如下: 1# 卷取机投入 (穿带完成) 时, 邻近段实际张力 T_{nb} 选取 1# 卷取机段带钢张力 T_{nb1} ; 2# 卷取机投入 (穿带完成) 时, T_{nb} 选取 2# 卷取机段带钢张力 T_{nb2} ; 带钢在进行剪切和穿带过程中, 1#, 2# 卷取机都没有投入, 没有邻近段张力, $T_{nb} = 0$ 。

(6) 实际张力计算和选择

实际张力计算模块将 12# 张力辊作用在带钢

上的实际张力 T_r 与邻近段实际张力 T_{nb} 叠加, 作为检查站实际张力计算值 T_{act_c} , 即

$$T_{\text{act}_c} = T_r + T_{nb} \quad (8)$$

另外, 在张力控制器中设置了现场张力计输入接口和实际张力计算值输入接口。如果现场安装了张力计, 则通过张力实际值选择模块将张力计的反饋值 T_M 作为张力实际值 T_{act} 传送给张力调节器, 即 $T_{\text{act}} = T_{\text{act}_a} = T_M$; 否则, 将张力实际值计算模块的输出值 T_{act_c} 传送给张力调节器, 即 $T_{\text{act}} = T_{\text{act}_c}$ 。

3.2 负荷平衡控制

新型张力控制系统的负荷平衡控制采用强制等比例方式, 即设置张力辊中一个辊为主辊, 另外一个辊为从辊, 从辊电动机按照主辊电动机的负荷比例进行控制, 这样两辊电动机的负荷比例基本一致。

负荷平衡控制功能的实现如图 3 所示, 主辊和从辊的传动装置都采用各自的速度环控制, 主辊传动装置的速度调节采用比例积分调节器, 而从辊传动装置的速度调节采用比例调节器。主辊传动装置速度调节器输出的积分分量与负荷平衡因数的乘积作为从辊传动装置的附加转矩给定。在实际生产运行中, 工艺生产要求主辊与从辊电动机的输出功率百分比一致, 此时, 负荷平衡因数取值为 1.0, 如果需要主辊与从辊电动机的输出功率百分比不相同, 则可以调整负荷平衡因数使之不等于 1.0。

3.3 摩擦转矩补偿

摩擦转矩补偿用于补偿张力辊自身机械阻力产生的摩擦转矩所带来的机械转矩损失, 以得到更好的张力辊速度输出特性, 实现稳定的张力控制。摩擦转矩补偿在传动控制系统中实现, 如图 3 所示。在 12# 张力辊传动装置的调试中, 通过实际测试, 得到每个张力辊的摩擦转矩补偿曲线, 即电动机转速与摩擦转矩的关系曲线。这样, 根据张力辊中每个辊的实际运行转速, 就可以把相应的摩擦转矩作为转矩附加值叠加到转矩给定上, 从而实现张力辊摩擦转矩补偿控制。

3.4 转动惯量补偿

在张力辊的升降速过程中, 张力辊的转动惯量会带来张力扰动, 为避免张力振荡, 在张力辊动态工作时进行转动惯量补偿。转动惯量补偿在传动控制系统中实现, 如图 3 所示。

根据张力辊的转动惯量转矩公式:

$$M_{\alpha} = J\alpha \quad (9)$$

式中, M_{α} , J , α 分别为张力辊的惯性转矩、转动惯量和角加速度。 J 可以通过现场测试得到, α 可以通过工艺参数计算出来。惯性转矩作为转动惯量补偿转矩叠加到转矩给定上, 从而实现张力辊的转动惯量补偿控制。

4 应用效果

新型张力控制系统在生产中运行稳定, 效果良好, 不但解决了镀锌生产线出口段在带钢剪切和穿带过程中出现的带钢下垂和溜钢现象, 而且

张力控制精度均达到工艺要求。提高了成品合格率, 降低了生产成本, 大大提高了生产时效。

改造后出口段的 PDA 波形如图 5 所示。图 5(a) 中, 出口段在恒速(226 m/min)运行时, 新型张力控制系统(12#张力辊所控制的检查站区域)的张力控制精度为 $-0.1\% \sim 0.65\%$, 能够满足工艺要求的静态张力控制精度($\pm 2\%$); 图 5(b) 中, 出口段在降速(线速度从 255 m/min 降到 95 m/min)运行时, 新型张力控制系统的张力控制精度为 $-4.11\% \sim 2.84\%$, 能够满足工艺要求的动态张力控制精度($\pm 5\%$)。

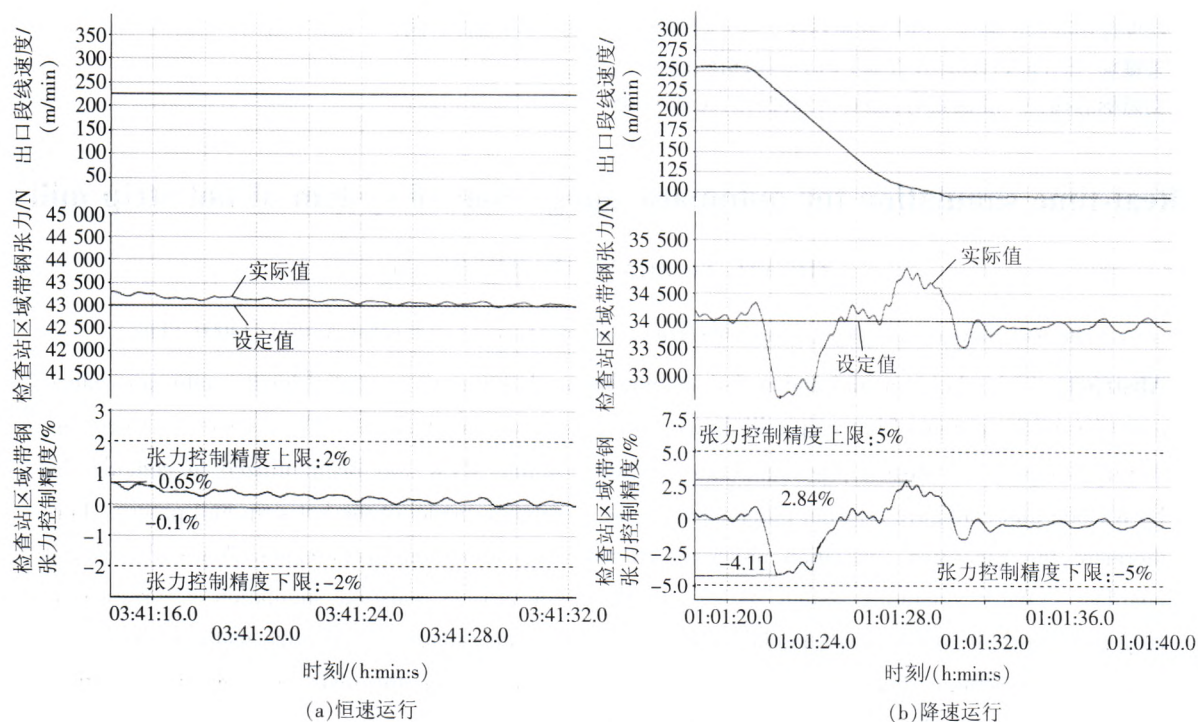


图5 改造后出口段 PDA 波形

Fig. 5 PDA waveforms of exit section after reconstruction

5 结束语

在两条镀锌线出口段控制系统改造项目中, 我们开发的新型张力控制系统通过张力设定值自适应、正转矩自动切换、邻近段张力实际值自适应、张力辊负荷平衡、摩擦转矩补偿和转动惯量补偿等模块, 提高了张力控制精度, 抑制了邻近段(卷取机)张力对检查站张力的影响, 避免了出口段溜钢事故的发生, 同时提高了出口段带钢取样

长度的精度, 确保了镀锌生产线的连续稳定运行。新系统投入后成材率提高了 0.4%, 为公司创造了很好的经济效益。

参考文献:

- [1] 张小平, 秦建平. 轧制理论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.

[编辑: 薛 朵]

欢迎订阅《冶金自动化》杂志