

文章编号: 1003-7837(2006)02-0141-03

## 反光膜卷张力控制系统的建模分析

王宏斌, 王钦若, 王煦芳, 周玉

(广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510090)

**摘要:**通过对车牌半成品自动生产线中反光膜收放卷张力控制系统的各部分进行机理分析,给出了控制系统中的张力模型、料卷实时卷径模型、张力臂受力模型以及放卷过程中动力学模型,为以后控制策略的选择提供了理论依据和设计参考。

**关键词:**反光膜; 卷; 张力; 数学模型

**中图分类号:** O231 **文献标识码:** A

在车牌半成品的自动生产线中,反光膜收放卷的张力控制是极为重要的。铝板要进行正常的贴膜,必须使膜卷保持恒定的张力。张力过大会造成膜的塑性变形,影响贴膜效果,或者将膜拉断;张力过小,不仅会造成料膜跑偏,还可能使贴膜操作无法正常进行<sup>[1]</sup>。

本文从反光膜卷张力控制系统的结构出发,建立了控制系统各主要环节的数学模型。

### 1 反光膜卷张力控制系统

#### 1.1 张力控制系统概述

反光膜卷张力控制系统的结构如图1所示。反光膜卷张力控制系统由膜卷放卷张力控制与底纸卷收卷张力控制两个部分组成。由于这两部分采用相似的控制结构,且放卷部分直接关系到贴膜的质量,对控制精度要求较高。所以本文以放卷部分为原型,对张力控制系统模型进行分析。

张力检测臂和与之相连的角度传感器构成了一个间接张力检测系统,张力臂的位置变化将间接体现张力的变化。放卷时,控制器根据张力检测电压值与平衡位置的给定电压值的偏差,控制交流伺服电动机经减速机构带动反光膜卷跟随铝带的牵引速

度,实现放卷过程的恒张力控制。

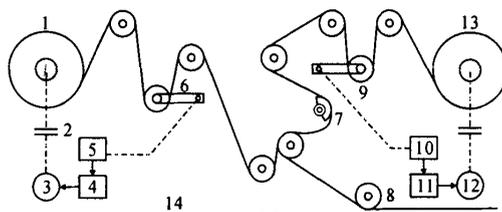


图1 反光膜卷张力控制系统示意图

1—底纸卷; 2—传动机构; 3—收纸变频电机; 4, 11—控制器; 5, 10—角度传感器; 6, 9—张力检测臂; 7—反光膜导向; 8—压膜胶辊; 12—放卷伺服电机; 13—反光膜卷; 14—铝带

Fig. 1 Scheme of the reflective film's tension control system

#### 1.2 张力模型

在张力控制系统中,当收放卷环节的线速度与贴膜部分的牵引线速度不同步时,会产生张力的变化。根据张力模型(图2),张力与线速度差的关系模型<sup>[2]</sup>为:

$$T_i = A\sigma_i = \frac{AE}{L} \int (v'_{i+1} - v_i) dt. \quad (1)$$

式(1)中:  $T_i$  为料膜在两机架间所受的拉力;  $A$  为料

收稿日期: 2006-04-03

作者简介: 王宏斌(1981-),男,浙江东阳人,硕士生。

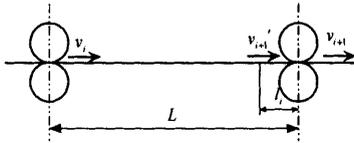


图2 张力模型示意图  
Fig.2 Scheme of the tension model

膜的横截面积; \$E\$ 为料膜的弹性模量; \$L\$ 为两相邻机架间的距离; \$v\_1\$ 为放卷的线速度, \$v\_2 = v\_1 = v\_0\$ 为铝带的牵引速度. 对式(1)求拉氏变换:

$$T(s) = \frac{AE[V(s) - V_0]}{Ls} \quad (2)$$

### 1.3 料卷实时卷径模型

在反光膜卷张力的控制系统中,料卷是明显的扰动量,因为随着贴膜的进行,放料料卷的卷径逐渐减小,而收料料卷的卷径逐渐增大,线速度 (\$v = \omega \cdot r\$) 不断变化. 当收放料卷的线速度与主线速度不同步时,料膜张力就会产生变化. 为了保持料膜的线速度不变,就必须实时对收放料卷的转速进行控制,其转速为:

$$n = \frac{v}{\pi D} i \quad (3)$$

式(3)中: \$i\$ 为传动比, \$D\$ 为膜卷的卷径. 由式(3)可知,转速 \$n\$ 与卷径 \$D\$ 成反比. 说明对转速的控制要依赖于收放料卷的实时直径,而这就涉及到收放料卷径的实时计算问题. 由于反光膜卷的张力控制部分没有配置线速度检测或卷径检测装置,无法直接获取卷径的大小,因此必须利用某些工艺参数进行实时计算. 根据卷绕系统的特点,利用料膜的厚度和卷绕方程推导出实时卷径的模型(推导过程略):

$$R(s) = -\frac{\delta}{2\pi} \omega(s) \quad (4)$$

式(4)中: \$R(s)\$ 为料卷半径的拉氏变换; \$\delta\$ 为料膜厚度; \$\omega(s)\$ 为角速度的拉氏变换.

### 1.4 张力臂受力模型

本系统中,张力臂和与之相连的角度传感器(电位计)构成了一个检测系统,力臂的位置变化反映了张力的变化,而张力的变化又反映了放卷线速度与给定主线速度之间的不同步,不同步引起的力臂角度偏差的电压信号反馈到控制系统,并通过控制器给出一个相应的控制量,对线速度的不同步做出相应的调节,实现了恒张力控制,使系统处于稳定的工

作状态. 以张力臂和弹簧为受力分析对象,其受力示意图如图3所示.

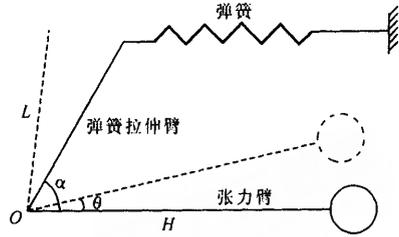


图3 张力臂受力分析示意图  
Fig.3 Scheme of the tension arm's acting force

设平衡位置张力为 \$T\_0\$, 弹簧形变为 \$x\_0\$, 弹性系数为 \$k\_0\$; 张力臂与弹簧拉伸臂间的角度为 \$\alpha\$; 设任意时刻的张力为 \$T\$, 张力臂的摆角为 \$\theta\$; \$L\$ 为弹簧拉伸臂的长度, \$H\$ 为张力臂的长度, \$O\$ 为支点.

张力臂和弹簧受到三个力矩: 两个反光膜张力对力臂的张力矩和一个弹簧拉伸产生的力矩, 力矩的平衡方程为:

$$T_0 \cdot H + T_0 \cdot (H + 2r) = k_0 \cdot x_0 \cdot L \sin \alpha \quad (5)$$

$$T \cdot H + T \cdot (H + 2r) = k_0 \cdot (x_0 + L \sin \theta) \cdot L \sin \alpha \quad (6)$$

由式(5)和式(6)可推出 \$\theta\$ 和 \$T\$ 的函数关系:

$$\theta = \arcsin \left[ \frac{x_0}{T_0 L} (T - T_0) \right] \quad (7)$$

由张力臂摆角 \$\theta\$ 引起电位计摆角 \$\theta'\$, 从而得到电位计检测电压 \$u\$. 其中 \$u = k \cdot \theta'\$, \$k = \frac{u\_{max}}{120}\$ 为线性系数, 由电位计自身参数决定.

### 1.5 放卷过程的动力学模型

放卷装置的力学模型如图4所示. 反光膜由牵引辊送出, 其线速度为机械的工作速度 \$v\_c\$, 放卷筒的线速度为 \$v\_1\$, 放卷时的张力为 \$T\_1\$ [1]. 根据放卷筒的受力关系, 可建立如下的动态力矩平衡方程:

$$\frac{d}{dt} (J_1 \omega_1) = T_1 r_1 - M_{R1} - M_{F1} \quad (8)$$

式(8)中: \$T\_1\$ 为转离放卷筒后反光膜的张力; \$M\_{R1}\$ 为作用在放卷筒上的等效制动力矩; \$M\_{F1}\$ 为作用在放卷筒上的摩擦力矩; \$r\_1\$ 为放卷筒的半径; \$\omega\_1\$ 为放卷筒的角速度; \$J\_1\$ 为放卷筒的转动惯量 (\$J\_1 = J\_{1P} + J\_{10}\$); \$J\_{1P}\$ 为放卷筒上反光膜材料的转动惯量; \$J\_{10}\$ 为放卷筒芯轴的转动惯量 [3].

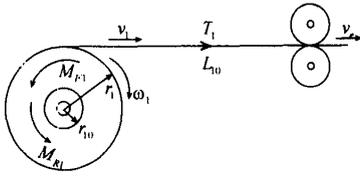


图 4 放卷装置的力学模型

Fig. 4 Dynamics model of the unwinding equipment

设反光膜底纸的密度为  $\rho$ , 宽度为  $b$ , 放卷筒的芯轴半径为  $r_{10}$ , 则:

$$\begin{aligned} J_{1P} &= \int_{r_{10}}^{r_1} r_1^2 dm \\ &= \int_{r_{10}}^{r_1} [\rho b \cdot (2\pi r_1 dr_1)] \cdot r_1^2 \\ &= \frac{1}{2} \pi b \rho (r_1^4 - r_{10}^4), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{dJ_1}{dt} = \frac{d(J_{1P} + J_{10})}{dt} = 2\pi b \rho r_1^3 \frac{dr_1}{dt}. \quad (10)$$

设反光膜底纸的厚度为  $\delta$ , 卷出量为  $l_1$ , 根据面积相等, 在  $dt$  时间内:

$$ds_1 = 2\pi r_1 dr_1 = \delta dl_1,$$

则:

$$dr_1 = \frac{\delta}{2\pi r_1} dl_1, \quad (11)$$

$$\frac{dr_1}{dt} = \frac{\delta}{2\pi r_1} \cdot \frac{dl_1}{dt} = \frac{\delta}{2\pi r_1} v_1, \quad (12)$$

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{d(v_1/r_1)}{dt} = \frac{1}{r_1} \cdot \frac{dv_1}{dt} - \frac{v_1}{r_1^2} \cdot \frac{dr_1}{dt}. \quad (13)$$

将式(9), (10), (11), (12)代入式(8)得:

$$\begin{aligned} M_{R1} &= T_1 r_1 - M_{F1} - \frac{d}{dt} (J_1 \omega_1) \\ &= T_1 r_1 - M_{F1} - \\ &\quad \left\{ \left( K_1 + \frac{1}{2} \pi b \rho r_1^4 \right) \cdot \frac{1}{r_1} \cdot \frac{dv_1}{dt} + \right. \\ &\quad \left. \frac{3b\rho\delta}{4} v_1^2 r_1 - K_1 \frac{\delta v_1^2}{2\pi r_1^3} \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

式(14)中:  $K_1 = J_{10} - \frac{\pi b \rho}{2} r_{10}^4$  为常数;  $v_1$  为反光膜材料在脱离放卷筒时的线速度。

通过上面的分析, 可以知道: 放卷过程的张力控制实际上就是一个转矩控制系统, 根据式(12)可以进行放卷过程的转矩平衡调节。

## 2 结 论

对反光膜卷张力控制系统建立了具体的数学模型, 为以后的具体应用控制策略提供了理论依据。基于实际系统模型, 本系统最终选用模糊控制手段, 该控制方法已经成功应用于车牌半成品自动生产线中, 系统运行情况良好。

### 参考文献:

- [1] 王翔. 车牌半成品自动生产线的反光膜卷张力模糊控制研究及网络控制系统设计[D]. 广州: 广东工业大学, 2004.
- [2] 孙一康. 带钢热连轧数学模型基础[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979.
- [3] 王峰. 浅析幅状材料传送中的张力控制[J]. 轻工机械, 1998(3): 19-21.

## Modeling analysis for unwinding aluminum cingulum's tension control system

WANG Hong-bin, WANG Qin-ruo, WANG Xu-fang, ZHOU Yu

(Automation Faculty of Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

**Abstract:** This paper presents a mechanism analysis of unwinding aluminum cingulum's tension control system based on the semi-products of the vehicle license plate product line. It presents the mathematical model of tension, real-time radius of aluminum cingulum, pressure of tension arm and dynamic model of unwinding process. The model provides theory and design reference for future control strategies.

**Key words:** unwinding aluminum cingulum; coil; tension; mathematical model