

XSP 收排线机控制系统数学模型的研究

Mathematical model research of the control system based on XSP pay-off and take-up device

李媛, 徐振越, 王四棋, 陶铁男

LI Yuan, XU Zhen-yue, WANG Si-qi, TAO Tie-nan

(大连交通大学 材料科学与工程学院, 大连 116028)

摘要: 排线精密程度是收排线机控制系统的重要性能, 由于受到各个因素的复杂性影响, 采用解析法建立控制系统的精确数学模型非常困难, 通过实验测定法建立收排线机控制系统的数学模型, 并通过 MATLAB 的 Simulink 工具仿真验证数学模型的有效性, 为以后设计各种控制方案提供参考依据。

关键词: 收排线机; 控制系统; 数学模型; 实验建立; MATLAB

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1009-0134(2009)05-0014-04

0 引言

收排线机广泛的应用于电线电缆行业, 是连续挤压生产线的主要组成部分, 其中的收排线控制系统直接影响到排线的均匀性、稳定性和排线效率。以往论文通过各种各样的机械设备, 控制方法改进排线的质量^[1,2], 虽然有一定的成效, 但是并没有系统研究整个收排线机控制系统的动态特性, 收排线机的自动化精度不高。

1 XSP800 收排线机

连续挤压工程中应用的 XSP800 收排线机的控制系统由直流收线电机和交流排线电机组成, 其中直流收线电机由直流驱动器 514 控制, 交流排线电机由变频器 FR-A740-1.5K 控制。FX1N-60MR 的 PLC 控制各个逻辑动作的进行。

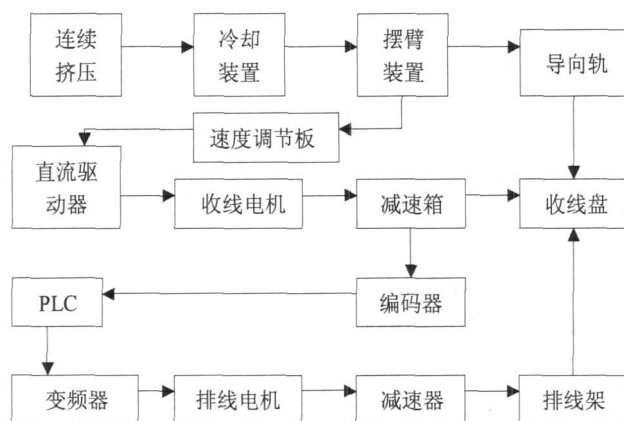


图 1 收排线过程

连续挤压产品型号不同, 排线速度不同。若挤压产品为铜扁线, 铜扁线自连续挤压机、冷却装置和摆臂后, 通过导向装置至收线盘。收线盘的旋转运动由收线直流电机控制, 排线电机的旋转运动经丝杠变成直线运动后控制收线盘的往复均匀移动。其中为了适应挤压产品的速度, 在摆臂和直流调速器之间加入速度调节板。到边界换向时, 由两侧感应开关经 PLC 控制排线交流电机的正反转, 以实现电缆在线盘上分层卷绕。整个过程如图 1 所示。

排线过程中, 收线电机的转轴上的编码器随收线电机的转速变化通过 PLC 向变频器输入不同的频率信号, 以控制排线电机的转速与收线速度保持一定的协调关系, 收线电机转一圈, 排线电机保证运动一个线宽的距离。不同规格的收线盘对应不同的排线行程。其比例如下计算:

工字轮每转一圈 要求排线架移动一个线宽的排线距 设收线工字轮转速为 $n_{收}$ 则排线移动的速度为:

$$v = n_{收} \cdot d$$

又排线架移动速度 $v = n_D \cdot S / i$, 整理得

$$n_D = \frac{n_{收} \cdot d \cdot i}{S} \quad (1)$$

式(1)中: $n_{收}$ —收线工字轮转速;

d —铜扁线的宽度;

n_D —排线变频电机转速;

S —丝杠螺距;

i —变频电机减速箱的速比。

收稿日期: 2008-11-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目

作者简介: 李媛 (1983 -) 女, 山东省淄博市人, 硕士研究生, 研究方向为塑性成型设备的自动化控制。

当生产某一定的线宽时，即铜扁线宽度固定，变频调速电机的转速 n_0 与收线工字轮的转速 $n_{收}$ 成正比，比例系数 $k=d_i/S$ 为常数。此实验所用的铜扁线规格为 $12.5\text{mm} \times 3\text{mm}$ 。

2 实验原理及方案

2.1 实验原理

本文采用时域测定法分别研究收线控制系统和排线控制系统的动态性能指标，原理如图2所示：

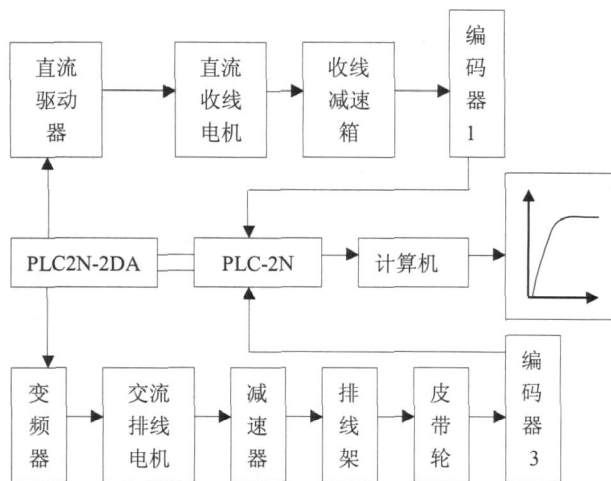


图2 实验原理图

实验中采用三菱 PLC2N，编码器 1 型号为 GB-360MB，编码器 3 型号为 GB-1024MB，通过 PLC-2N 的数模转换模块 D/A，生成电压阶跃信号分别输入到直流驱动器和变频器，然后分别检测收线电机和排线架的速度阶跃响应曲线。

转动速度可以通过给定时间内编码器输出的脉冲个数检测，所以收线速度可以直接读取其编码器给定时间内的脉冲个数，排线架的直线运动通过皮带转化为皮带轮的转动，然后读取皮带轮上的编码器在给定时间内的脉冲个数。

本次实验基于 VB 与 PLC 的通信，利用 VB 程序读取 PLC 定时检测的脉冲个数，基于 ODBC 数据源，通过 VB 中的 ADO 控件连接 Access 数据库实现数据的存储，然后在脱机状态下，计算速度、绘制曲线及处理数据。

2.2 实验注意事项

1) 过小的阶跃输入幅度会造成系统响应不明显，加大了测量误差，过大的扰动幅度又增加了非线性的影响因素，所以一般的阶跃扰动量为被控过程正常输入信号的 5% ~ 15%；

2) 阶跃信号幅值不能超过直流驱动器和变频器的输入电压范围 0 ~ 10V，实验进行时，注意排线变频器频率不能超过最大值 50Hz，否则速度变化不明显；

3) 施加扰动前应将排线过程调整到正常状态，并保持一定时间的稳定，避免在换向时加阶跃信号，保证阶跃信号前后收线和排线速度有较长时间的稳定状态。

3 实验数据处理

在工业生产中，大多数过程的过渡过程都是有自平衡能力的非振荡衰减过程，其传递函数可以用一阶惯性环节加滞后、二阶惯性环节加滞后或 n 阶惯性环节加滞后几种形式来近似^[3]。

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s} \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} e^{-\tau s} \quad (2)$$

$$G(s) = \frac{K}{(Ts + 1)^n} e^{-\tau s} \quad (3)$$

在满足精度要求的情况下，尽量选用低阶传递函数的形式。实际工作中，大量的工业过程都采用一、二阶传递函数的形式。

3.1 收线控制系统模型

实验中每 0.1 s 读取一次脉冲个数，所以， $v = \frac{60 * D}{n * 0.1} (r/min)$ ， n 是编码器每转产生的脉冲数， D 是测取的脉冲个数。数据存储在 Access 后经过 Excel 初步处理，运用 Origin 绘制阶跃响应曲线。

如图 3 为阶跃信号下的收线速度变化曲线，测得系统的响应时间为 0.7s，所以在计算各个时间值的时候，应该是图示的时间减去 0.3s。

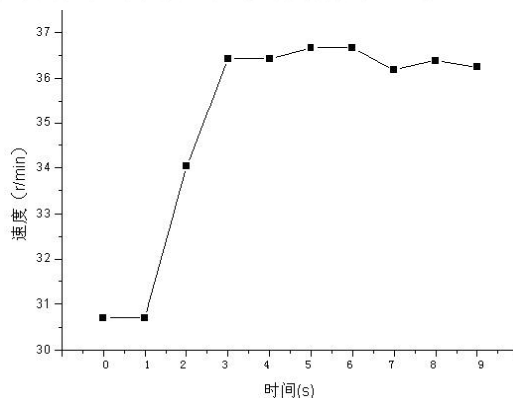


图3 收线速度变化曲线

3.1.1 一阶惯性加滞后环节拟合该过程的传递函数

阶跃响应曲线的稳态值 $y(\infty)$ 与 x_0 阶跃输入的幅值之比即为被控过程的静态放大系数

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{x_0} = 11.90 \quad (4)$$

确定被控过程时间常数 T 与滞后时间 τ 的常用方法是(两点)算法。首先将 $y(t)$ 转换成无量纲形式 $y^*(t)$,即 $y^*(t) = \frac{\Delta y(t)}{\Delta y(\infty)} = \frac{\Delta y(t)}{5.95} = \frac{y(t) - y(0)}{5.95}$

$$y^*(t) = \frac{\Delta y(t)}{\Delta y(\infty)} = \frac{\Delta y(t)}{5.95} = \frac{y(t) - y(0)}{5.95}$$

对应的阶跃响应无量纲形式为

$$y^*(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau \\ 1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}}, & t \geq \tau \end{cases} \quad (5)$$

为了确定参数 T 和 τ ,在图上选取了两个不同时刻 t_1 和 t_2 以及对应的 $y^*(t_1)$ 和 $y^*(t_2)$,其中 $t_2 > t_1 > \tau$,代入上式得

$$\begin{cases} y^*(t_1) = 1 - e^{-\frac{t_1-\tau}{T}} \\ y^*(t_2) = 1 - e^{-\frac{t_2-\tau}{T}} \end{cases}$$

由以上方程可解出

$$\begin{cases} T = \frac{t_2 - t_1}{\ln[1 - y^*(t_1)] - \ln[1 - y^*(t_2)]} \\ \tau = \frac{t_2 \ln[1 - y^*(t_1)] - t_1 \ln[1 - y^*(t_2)]}{\ln[1 - y^*(t_1)] - \ln[1 - y^*(t_2)]} \end{cases}$$

为了计算方便,选 $y^*(t_1)=0.39$ $y^*(t_2)=0.632$,代入上式得

$$\begin{cases} T = 2(t_2 - t_1) \\ \tau = 2t_1 - t_2 \end{cases} \quad (6)$$

当 $y^*(t_1)=0.39$ 时, $t_1=1.4s$,

$y^*(t_2)=0.632$ 时, $t_2=1.9s$ 。

代入(6)式得 $T=1.00$ $\tau=0.9$

计算出 T 、 τ 后,还应用式(5)的计算结果与实测曲线进行比较,以检验所得模型的准确性。 t_3 、 t_4 和 t_5 时刻的计算结果如下:

$$t_3 < \tau, y^*(t_3) = 0$$

$$t_4 = 0.8T + \tau, y^*(t_4) = 0.55$$

$$t_5 = 2T + \tau, y^*(t_5) = 0.865$$

而实际测量曲线得 $y^*(t_4)=0.39$, $y^*(t_5)=0.92$,计算结果与实测值的差距不大,所以所求得的一阶惯性加滞后环节传递函数基本满足要求,传递函数如

下:

$$G(s) = \frac{11.90}{s+1} e^{-0.9s}$$

3.1.2 二阶惯性加滞后环节拟合该过程的传递函数

其增益 K 仍可以按(4)式计算,延迟时间 τ 取 $0.7s$ 。在时间轴上截去纯滞后 τ ,化为无量纲形式的阶跃响应 $y^*(t)$,式(2)截去纯滞后并化为无量纲形式后,可用下式表示:

$$G(s) = \frac{1}{(T_1s+1)(T_2s+1)} \quad (T_1 > T_2)$$

与上式对应的单位阶跃响应为

$$y^*(t) = 1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}}$$

根据上式,可以利用阶跃响应曲线上两个点的数据 $[t_1, y^*(t_1)]$ 、 $[t_2, y^*(t_2)]$ 确定 T_1 和 T_2 。一般可选取 $y^*(t_1)=0.4$ 和 $y^*(t_2)=0.8$ 两个点,即可得到方程组:

$$\begin{cases} \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t_1}{T_1}} - \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t_1}{T_2}} = 0.6 \\ \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t_2}{T_1}} - \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t_2}{T_2}} = 0.2 \end{cases}$$

由上式可以求得近似解:

$$\begin{cases} T_1 + T_2 \approx \frac{1}{2.16}(t_1 + t_2) \\ \frac{T_1 T_2}{(T_1 + T_2)^2} \approx \left(1.74 \frac{t_1}{t_2} - 0.55 \right) \end{cases} \quad (7)$$

代入 $t_1=1.4s$ 和 $t_2=2.3s$,方程无实数解,所以该控制系统传递函数不适合有延迟的二阶惯性环节。

3.2 排线控制系统模型

图3为排线架上的皮带轮在阶跃信号下的速度相应变化曲线。

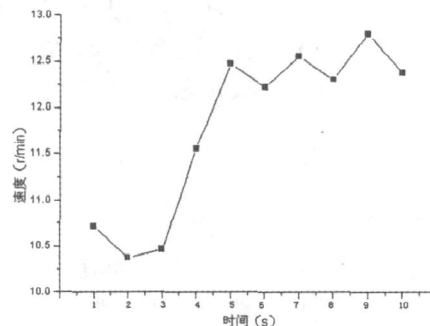


图3 排线速度变化曲线

控制系统模型建立同收线控制系统。

3.2.1 一阶惯性加滞后环节拟合该过程的传递函数

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{x_0} = 3.6$$

当时 $y^*(t_1)=0.39$ 时, $t_1=2.57s$,

$y^*(t_2)=0.632$ 时, $t_2=3.02s$ 。

代入 (9) 式得 $T=2(t_2-t_1)=0.9$ $\tau=2t_1-t_2=2.12$

经验证, 所求得的一阶惯性加滞后环节传递函数基本满足要求, 传递函数如下:

$$G(s) = \frac{3.6}{0.9s + 1} e^{-2.12s}$$

3.2.2 二阶惯性加滞后环节拟合该过程的传递函数

$y^*(t_1)=0.4$, $y^*(t_2)=0.8$ 时, $t_1=2.4s$, $t_2=3.2s$ 。代入方程 (7) 无解。

经计算方程无实数解, 所以该控制系统传递函数不是有延迟的二阶惯性环节。

4 Simulink动态仿真

将实际控制系统抽象为数学模型后, 利用 Matlab7.4.0 中的 Simulink 工具箱进行系统模型的实际仿真, 通过计算机的运算处理, 把实际控制系统的特点、性能表现出来, 再用于指导实际系统^[4]。

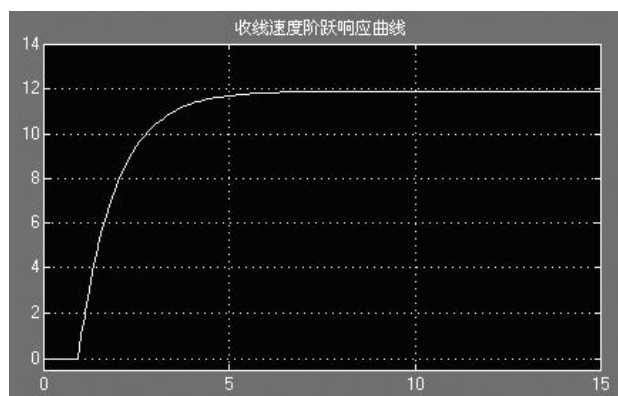


图4 收线控制系统仿真曲线

根据收线控制系统的一阶传递函数, 在 Simulink 仿真窗口下仿真阶跃响应曲线如图 4 所示。

同理根据排线控制系统的一阶传递函数, 仿真阶跃响应曲线如图 5 所示。

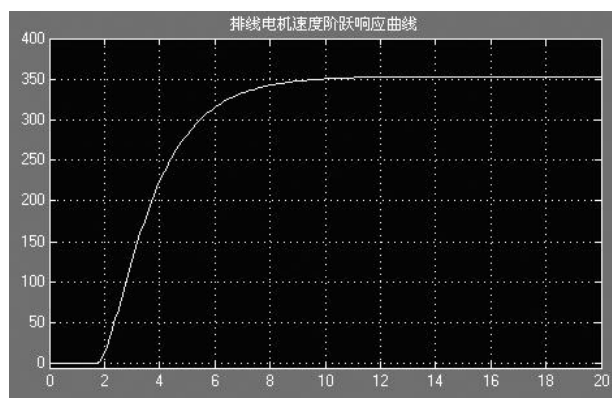


图5 排线控制系统仿真曲线

仿真曲线符合实际的控制系统, 验证了控制系统数学模型的有效性。

5 结语

收排线机控制系统的数学模型建立后, 根据收排线过程的动态特性, 就可以进行调节器参数的整定, 合理的设计控制方案。换向过程各个参数的分析, 可以为以后的控制系统程序设计提供参考。

参考文献:

- [1] 荣道民, 黄启耀. 电缆护套生产线收线机排线换向改造[J]. 中国设备工程. 2002, (8): 20-21.
- [2] 黄友锐, 魏庆农. 龙门收排线机的 PLC 控制[J]. 自动化与仪表. 2000, 15(2): 59-60.
- [3] 王再英. 过程控制系统与仪表[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 139-144.
- [4] 杨立. 计算机控制与仿真技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 232-236.