

数控细线排绕补偿系统

孙巧萍

(台州师专 临海 317000)

施青松 冯晓霞 冯国良

(浙江大学)

摘 要 分析了数控排绕细线的误差所在,提出用电容线径传感器、双线积分模糊求差来补偿累积误差的方案,解决了细线排绕的难题,并给出了电路框图和软件设计方法。

关键词 卷绕设备 细线 累积误差 补偿 电容传感器

中图分类号 TP273

在卷绕控制中,细线排绕是难度较大的一种。其难度主要表现在累计误差和张力的控制上。累计误差由两大部分组成即系统误差和线径累积误差。前者可以通过预测补偿;而后者是随机的。任何线都存在线径误差,由于工艺原因,对细线来讲,绝对误差要小得多,而相对误差却比粗线大得多,因而严重影响了卷绕产品的质量,这一直是困扰着精密排绕的一个难题。在此采用电容模糊估测方法,检测工作线径的误差累积值,使原来随机的线径误差变成可估算的误差,用来修正直线移动控制系统,取得了预期效果。

1 误差分析

排绕系统是一种二维同步的机械运动控制系统,其主要工作原理是主轴电机旋转系统带动夹具以一定的速度旋转,水平移动系统带动线架同步跟进。而水平跟进的同步精度(误差)决定着排线的质量。传统的控制方案是由主轴带上同步轮,在轮上均匀开设 n 个同步孔,每隔 $1/n$ 周的旋转行程,水平系统同步跟进相应的水平行程。假设主轴转速为 $v(t)$,工作线径为 d ,则水平移动速度 $n(t)$ 可用下式表示:

$$n(t) = v(t) \cdot d$$

设工作线径的最大误差 $\delta = 0.001\text{mm}$,则在某一槽宽为 50mm 的线圈骨架上平绕一层的最大误差用下式得到:

$$\begin{aligned} N &= \int_0^t v(t) dt = \frac{50}{d} \\ S &= \int_0^t v(t) \times (d + \delta) dt = 50 + \frac{50\delta}{d} \end{aligned} \quad (1)$$

上式中第一项即为传统控制方案中的理想水平位移;而第二项是在传统控制中没有考虑的工作线径误差. 如果设工作线径 $d = 0.05\text{mm}$, 则最大的累积误差为:

$$\Delta = \frac{50 \times 0.001}{0.05} = 1\text{mm}$$

由此发现该误差累积值和工作线径成反比, 也即当线径值 d 较大时, 误差的影响较小. 当然上面的误差估算取的是最大值. 实际的 δ 是随机的, 有时大, 有时小, 有时也可以是负值, 实际误差要小于上值.

由于这个误差存在, 使得水平排线架永远落后于实际行程(一般细线 δ 以正为主), 并使线槽两端无序叠绕, 这种误差累积超过一定值后, 在线槽中间任何部分都可能出现无序叠绕、跳绕现象, 使整个线圈排线变成乱绕, 层数越多越厉害. 一般对 0.05mm 工作线径, 槽宽 30mm 的骨架在排绕4层以上就有可能出现明显失步.

2 补偿原理

进一步分析水平位移的控制函数, 并设线径误差 $\delta(t)$ 是时间的函数, 则

$$S = \int_0^t v(t) \times (d + \delta(t)) dt = \int_0^t d \times v(t) dt + \int_0^t v(t) \times \delta(t) dt \quad (2)$$

一般误差影响水平位移的最小单位是1周, 也即1个线径单位. 设线径误差的采样频率 $f(t) = v(t)$, 则:

$$\begin{aligned} \int_0^{1/f(t)} v(t) dt &= 1 & S &= d + \int_0^{1/f(t)} v(t) \times \delta(t) dt \\ \Delta &= \int_0^{1/f(t)} v(t) \times \delta(t) dt \end{aligned} \quad (3)$$

上式即为水平行进一线宽时的累积误差. 除启动和结束阶段外, 一般情况下, $v(t)$ 在 $1/f(t)$ 时间内的变化很小, 因而对误差值的影响也很小. 可以认为此时 $v(t)$ 为常数, 则:

$$\Delta = v(t) \int_0^{1/f(t)} \delta(t) dt \quad (4)$$

到此只要找出一个能反映线径变化累积的传感器就可以了, 而不必考虑某一时刻的误差值, 这也符合计算机离散控制的原理. 对于上式积分项, 自然而然想到了积分电路. 如果能将线径和电容相联系, 则工作也就大功初成了. 众所周知, 平行板电容的公式如下:^[1]

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (5)$$

如果将工作线穿过一特制的平行板就构成了一个电容型线径传感器. 将此电容作为积分电路的积分电容,^[3] 其积分电压为:

$$U_c = \int \frac{i_c}{C} dt = \int \frac{i_c \times d(t)}{\epsilon A} dt$$

上式表明积分电容上的电压和线径的积分成正比, 如果采用恒流积分:

$$U_c = \frac{i_c}{\epsilon A} \int d(t) dt \quad (6)$$

此式和标准线径积分求差, 可以作为线径误差的模糊补偿值.

3 控制方案

一般情况下线径误差的值较小, 而水平位移的分辨率大于此误差值. 为了能有效地将线径的

累积误差补偿到水平位移中去,必须用补偿的余值和新累积值相加不断和水平分辨率相比较,做到即时补偿. 其控制框图如图 1. [2]

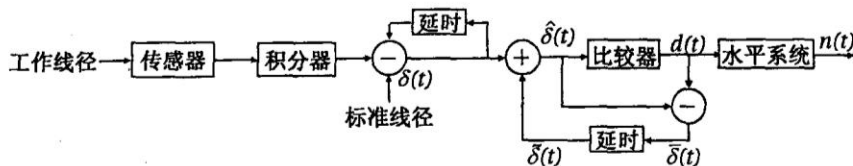


图 1 补偿原理框图

上图中:

$\delta(t)$: t 时刻估测误差值; $\hat{\delta}(t)$: t 时刻的累积误差; $\delta(t)$: t 时刻的补偿余值; $\bar{\delta}(t)$: t 时刻的剩余累积, 并作为 $t+1$ 时刻的补偿余值; $d(t)$: t 时刻的实际补偿值

$$\begin{cases} d(t) = \Delta & \hat{\delta}(t) \geq \Delta \\ d(t) = -\Delta & \hat{\delta}(t) \leq -\Delta \\ d(t) = 0 & -\Delta < \hat{\delta}(t) < \Delta \end{cases}$$

根据上述定义, 可以列出节点状态方程:

$$\begin{cases} \bar{\delta}(t) = \hat{\delta}(t-1) \\ \hat{\delta}(t) = \delta(t) + \bar{\delta}(t) \\ \bar{\delta}(t) = \hat{\delta}(t) - d(t) \end{cases}$$

根据节点方程, 可以清楚看到, 工作线径经传感器和积分器后被累计到累积误差变量 $\hat{\delta}(t)$ 中, 经过比较器后得到当前的实际补偿值, 而补偿后不足水平分辨率那部分累积误差余值, 经延时作为下次补偿的补偿余值和新误差一起进入该时刻的累积误差. 而当前补偿值 $d(t)$ 输出去修正水平系统的速度或移动.

4 电路实现

为了减少由于电容传感检测系统带来的新系统误差, 并且使线径检测更为接近真实, 实际电路中采用双线积分模糊求差电路, 即用一标准线径作为参考值, 同时和工作线径一起接受检测, 从而使检测系统的误差相互抵销. 两部分输出通过运放减法电路可以得到和线径误差的近似值. 其主要工作电路如图 2.

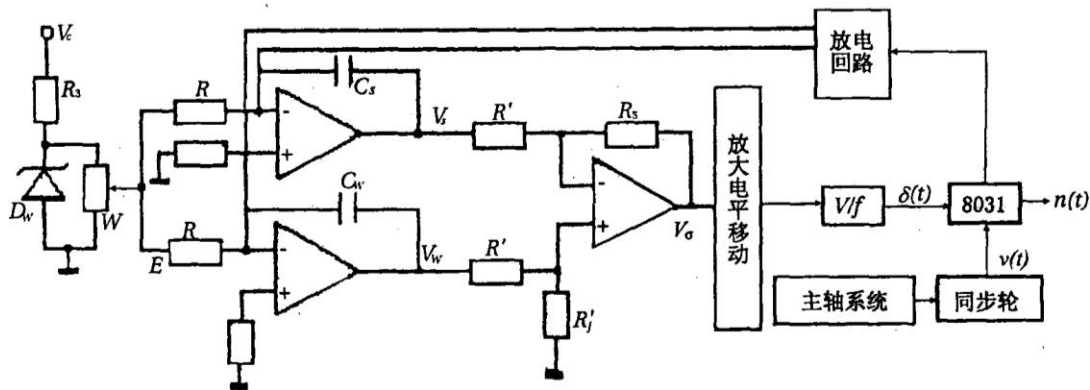


图 2 误差采样电路图

根据电路图, 有:

$$V_{\delta} = -V_s \times \frac{R_f}{R'} + (1 + \frac{R_f}{R'}) \times V_w \times \frac{R_f'}{R' + R_f'}$$

若设 $R_f' = R_f, R' = R$ 则:

$$V_{\delta} = \frac{R_f}{R} \times (V_w - V_s) = E \times \frac{R_f}{\epsilon A R^2} (\int d_w dt - \int d_s dt) = K (\int d_w dt - \int d_s dt) \quad (7)$$

只要调节 R_f 和 R 及基准电压 E , 就可以得到与线径误差 $\delta(t)$ 成正比的误差估测值. 从图中看出还增加了一级电平放大及位移电路, 主要用来解决 $\delta(t)$ 信号的放大和负值电平转换, 以便 v/f 转换电路的工作, 同时使 K 值调节更为方便. 其它工作均由单片机 8031 来完成.

5 软件设计

这里主要分析步进系统的软件设计. 平滑控制水平位移实际需要控制两个值: 一是步进电机转速, 二是步进位移值及方向. 假设标准参数线径为 d , 这样可以计算出每个采样周期内的水平位移并将其转换成步进的控制脉冲数, 从而得出步进的控制速度. 设同步轮有均匀分布的同步孔 n 个, 步进丝杆螺距为 l , 则可用下列公式计算位移和步进转速.

$$S = \frac{d}{n} \quad n(t) = \frac{d}{n \times T} \quad (8)$$

式中 T 是由 8031 定时器设定的计时值, 一般步进电机转一周需 240 个脉冲, 则将上式转换成步进脉冲速度(频率)为:

$$S = \frac{240d}{n \times l} = N + \alpha$$

$$F(t) = \frac{240d}{n \times l \times T} \quad (9)$$

式中 N 为商, α 为余数. 将式(9)改成步进周期:

$$T(t) = \frac{n \times l \times T}{240d} = \frac{n \times l}{240d} \times T \quad (10)$$

根据式(10), 可以画出步进控制及水平补偿的软件框图见图3、图4.

6 结束语

线径误差是不可避免的, 但根据实际使用要求可以进行补偿, 使这种误差减小到工程允许范围内. 上述方法可以达到这个要求. 线径误差是微量变化, 电路制作调试都要很精心, 在实际使用中应注意几个方面.

(1) 电容线径传感器制作工艺要求很高. 实际上, 线穿过特制的平行板构成的电容由三部分组成, 即: 空气部分, 线部分, 保护层部分, 这三部分的电容率 ϵ 是不相同的, 因此电容量和线径成串联关系. 其关系式如下:

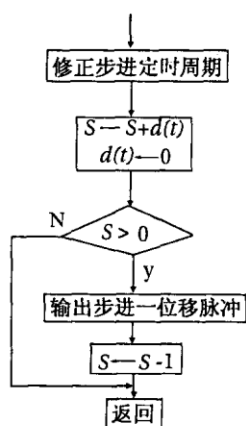


图3 水平控制中断图

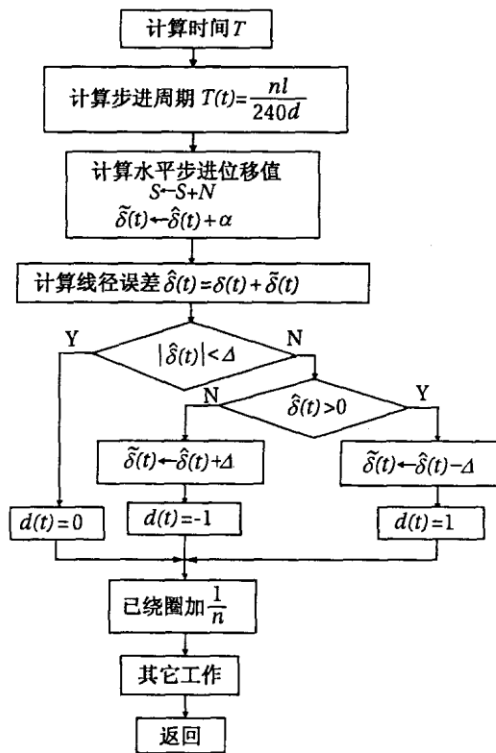


图4 同步中断程序图

$$C = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon_3 A}{\epsilon_2 \epsilon_3 d_1 + \epsilon_1 \epsilon_3 d_2 + \epsilon_1 \epsilon_2 d_3}$$

这三项在实际工作中的影响是不一样的。

首先,对空气部分的间距 d_1 不能大于其它两部分之和,最好采用电容率 ϵ 大的材料来填充构成传感器,如金红石、 BaTiO_3 等,其工艺要求较高,否则线径变化将被其掩盖掉。

第二,如果是带有绝缘层的金属导线,则第二部分的 $d_2 = 0$ 。主要由绝缘层来决定线径的变化,而这部分也是线径误差的主要部分,这也是采用双线积分模糊求差的原因。

第三,如果是纯金属线,则第二部分和第三部分的 d_2 、 d_3 均为 0,此时电容的变化主要由第一部分来决定。电容的变化量也反映了金属线径的变化,但此时的电容量较大,对线径变化不敏感,希望第一部分介质材料的电容率 ϵ 要小一些才有效。

(2) 比例系数 K 的测定是一项复杂而细致的工作,比例系数不准,不但没有补偿效果,反而会使系统比无补偿时更坏。不同材料的线,其电容率 ϵ 是不同的,因此每种材料的比例系数在工作时都要重新测试。一般常用的材料其比例系数可事先测好,固化在机器中作为机器工作时的参考系数。由于工艺上的不一致性,两台同样的机器,其传感器和电路不可能完全一样,因此,在外界电路上加了微调。微调一般采用精密电阻,调节基准电压或放大倍数。

(3) 线径检测电路在设计、调试时一定要注意电路的对称性,包括器件、连线。对传感器的引出线要采用屏蔽线且两传感器引线长度要相等,尽可能避免电路误差和干扰。

(4) 系统在检测软件中要加入抗干扰数字滤波措施,避免干扰等不明原因引起的跳跃式误差,排除过补偿及失控情况。

(5) 如果要增加传感器灵敏度,可以采用桥式输入电路,但此时线径仅和电容成正比,和输出电压成反比,且为非线性。在 $\delta(t)$ 变化很小时,在其变化范围内,可以认为它是线性的。

卷绕工作中其绕制形式、绕制材料是多种多样的,在实际工作中已接触到几十种之多。因此绕线设备针对不同的应用,根据其特点来进行适当变化,细线的精密排绕设备也同样如此。

参 考 文 献

- 1 波因顿 A J. 应用物理学. 上海:上海科学技术文献出版社,1983.337
- 2 吴沛容编. 动态系统的计算机控制. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1991.58
- 3 黄贤斌等编. 传感器实际应用电路设计. 成都:电子科技大学出版社,1997.6

Digital control compensation system of winding thin wire in order

Sun Qiaoping

(Taizhou Teachers College Taizhou 317000)

Shi Qingsong Feng Xiaoxia Feng Guoliang

(Zhejiang University)

Abstract The paper analyzes accumulated error of digital control winding thin wire in order. It brings forward the scheme of compensating accumulated error in integrating double wires simultaneously with capacitive sensor. It also solves problem of winding thin wire in order and gives the circuit diagram and the software designing.

Key words winding device thin wire accumulated error compensation capacitive sensor