

# 棉条在线监测系统的模型建立与理论研究

刘 昂

北京经纬纺机新技术有限公司 北京 100176

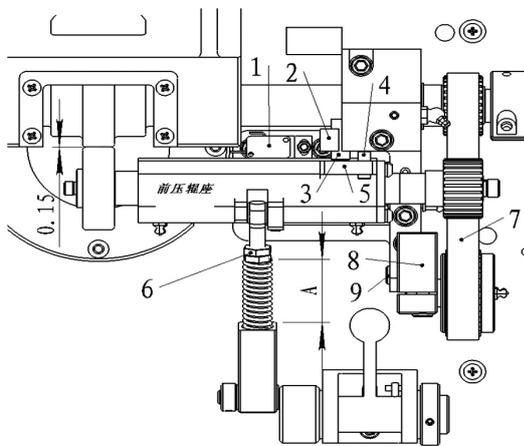
**摘要:** 为了应对纺纱厂控制用工成本以及追求产品质量的纺织行业大环境,介绍并条工序中棉条的在线监测系统的主要作用和工艺指标,并针对其特点进行模型建立过程的分析,将摆动结构等效成平移结构,使得控制算法更容易实现在线监测系统的功能。基于沈阳宏大生产的JWF1316匀整并条机,分三个模块:数据采集、指标计算和零点校准,逐一实现系统功能,并分析其现存问题以及产生的原因。

**关键词:** 在线监测;压辊间隙;检测面;支数偏差;变异系数;劲度系数;数字处理器;标定值;分段线性插值法

## 0 引言

目前,并条机的棉条质量在线监测方式依据是否对棉条产生作用分为两种,接触式与非接触式。接触式的监测方式,在部分转杯纺流程或者对自动生头有需求的场景存在弊端。本文针对非接触式在线监测方式,将实时采集数据建立合适的模型,并进行数字滤波,最终输出纺纱厂所熟知的棉条工艺指标数据。

## 1 在线监测系统基本原理



1—微动开关触头; 2—传感器座; 3—传感器; 4—前压辊座限位器; 5—前压辊座检测面; 6—调节螺母; 7—同步带; 8—张紧调节座; 9—张紧螺钉

图1 压辊及检测系统

图1为沈阳宏大匀整并条机的压辊及检测系统俯视图。经过自调匀整牵伸区的棉网受集束器和喇叭口的作用力形成均匀的圆柱纤维束,此时前压辊将纤维束紧紧压合至后压辊,而纤维束厚度的变化使前后压辊的间隙产生变化,此变化经过前压辊座的摆动传递至传感器检测端,即可实时采集到动态的、波动的数据。

在经纬NAS在线监测系统中,设定合适的报警门限,可以将各项指标计算结果与对应容许值进行对比并

及时停车,最大程度避免质量事故的发生。

## 2 模型建立

指标计算的准确性,离不开合理的模型建立。在运动系统建模过程中,对理论与实际平衡点的掌握不仅关系到在线监测系统的可靠性,并且影响了功能及应用层面的实现。

### 2.1 运动转换

很明显,图1所示的检测系统为摆动结构,作为单一部件,前压辊座的摆动是同步的,基于此理论,棉条路径所经过的压辊间隙和传感器检测端的摆角相等,我们只需要对摆角实时监测即可得到单位时间通过压辊间隙的棉条段的体积。然而,角度测量难以实现,需要进行运动转换。以下分析将摆动结构转换至平移结构的模型建立过程。

### 2.2 模型分析

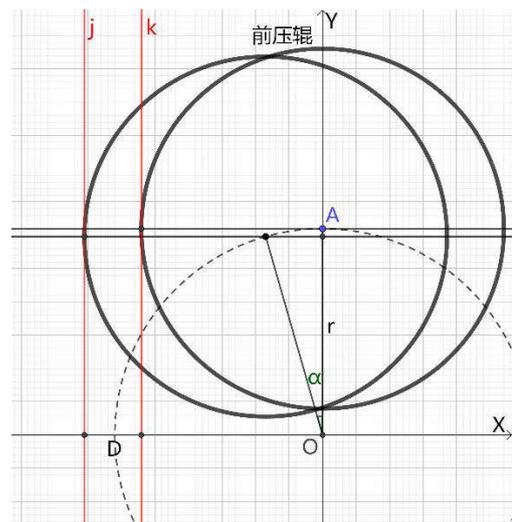


图2 前压辊侧视图

从前压辊座的两个方向看,压辊与检测端,可将整体结构简化。图2所示为前压辊侧视图,A为前压辊的

圆心，A的运动轨迹为以O为圆心，r为半径的圆做圆弧摆动运动。由图1，前压辊座被弹簧压紧，j和k是棉条支数变化过程中的两个状态，支数变化引起前后压辊的间隙变化，即线段D。假设弹簧的劲度系数相对于棉纤维足够大，则线段D即为不同状态下棉条的厚度。 $\alpha$ 是不同状态下前压辊的摆动角度。

以JWF1316设计为例，压辊间隙在0.9mm时直线AO为竖直，而正常工作的均匀棉条一般在0.6mm±0.1mm区间波动，故前压辊圆心A的运动范围为图示第二象限。

由图2，棉条在直线j与k范围内波动，则波动范围是线段D的大小，

$$D = r \sin \alpha \tag{1}$$

此时再来分析一下，摆动角度 $\alpha$ 在检测端会引起怎样的运动，如图3所示。

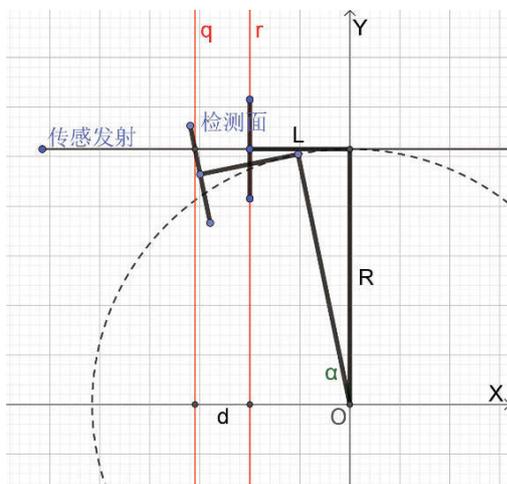


图3 检测端侧视图

同样的，O为摆动轴心，检测面即图1中的5，L和R分别为从摆动轴心到检测面沿X轴和Y轴方向的距离。传感器所检测的距离，即为从传感信号发射点到检测面的距离，线段d则是摆动角度 $\alpha$ 所产生的检测距离上的变化。

控制系统将输出棉条分成若干长宽相等矩形块，则唯一变量就是厚度D。模型建立的目标就是找到D与d之间的关系。由图3，可得到如下等式关系，

$$(d + L - R \tan \frac{\alpha}{2}) \cos \alpha = L + R \tan \frac{\alpha}{2} \tag{2}$$

化简得：

$$L(1 - \cos \alpha) + \frac{D \times R}{r} = d \cos \alpha \tag{3}$$

继续化简无论从算式推导，还是算法实现上均非易事，此时就需要对理论与实际的平衡点选择进行合理的权重分配。

下面分析一下 $\alpha$ 的摆动范围。由正常工作的均匀棉条波动范围为0.6mm±0.1mm，得到D的值域是[0.2, 0.4]，

又根据式(1)可得：

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{D}{r} \tag{4}$$

以JWF1316为例，r = 31，则 $\alpha$ 和 $\cos \alpha$ 的值域分别是[0.37°, 0.74°]和[0.99992, 0.99998]。此时在做权重倾斜方面有了明确的方向，等式(3)即可放心的进行化简，

$$\frac{D \times R}{r} = d \tag{5}$$

此时，我们成功的将摆动运动转换为平移运动，这也更符合在做控制算法时对检测数据的处理手段。

虽然理论上已经滤掉了我们不想在公式中看到的L、 $\alpha$ 等变量，但在实际应用中，还是能看到这些变量的影子，究其原因还是控制检测与设备的设计制造存在精度上的脱节。

### 3 模块化处理

在以上建立的模型下，分模块实现系统功能，这里主要讨论以下三大模块：数据采集、指标计算和零点校准。

#### 3.1 数据采集

均匀棉条持续地、匀速地经过被压紧的压辊间隙，再借助传感器测距系统，我们很容易通过模数转换得到大量的数据。为了保证数据的连续性和真实性，该系统应做到不漏测、不复测，因此系统中采用了定长采样的方案，采样长度约为3mm至4mm，估算时间间隔约0.5ms。系统所使用的32位数字处理器的数据处理周期实测约为70 $\mu$ s，时序上完全满足需求。

#### 3.2 指标计算

根据上文所述关于并条工艺对于指标计算的需求，主要用到两个指标的计算：支数偏差和条干值。

##### 3.2.1 支数偏差A%

纺纱车间对末道并条输出均匀棉条会定时进行抽样称重，样本的选取是否合适直接影响了操作人员对于设备运行状态的判断，因此有必要对全片段的输出棉条厚度进行实时监测。

来看一组真实的采样数据，在经纬NAS在线监测系统中，100个数据为333mm棉条的采样值。仅有这样的一组实时数据是无法等效成棉条厚度的，来看一下系统中使用的公式。

$$A \% = \frac{\sum (x - y)}{(y - z) \times n} \times 100 \% \tag{6}$$

x —— 实时采样值

y —— 标定值

z —— 零点值

n —— 数据个数

指标计算的最终目的并不是用来展示，而是辨识。

将异常数据识别出来并做到正确、及时的反馈是在线监测系统的主要功能，是否异常就需要定义合格数据的标准，也就是标定值。通过匀速运行采集100米均匀棉条样本后做均值处理即可获取标定值。

实际上，公式（6）的分子上也有零点值，只不过

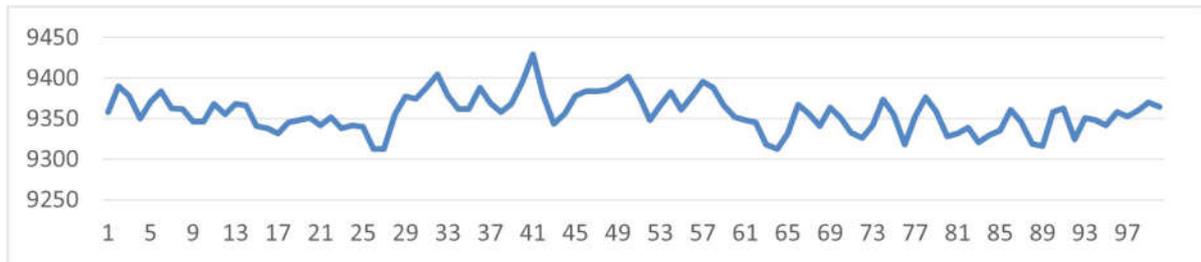


图4 100个采样数据

### 3.2.2 条干值

条干值可通过平均差不匀率U%或变异系数CV%来表示。

$$U\% = \frac{2 \times (\bar{x} - \bar{x}_L) \times n_L}{n \times \bar{x}} \times 100\% \quad (7)$$

$\bar{x}_L$  —— 以下均值

$n_L$  —— 以下个数

公式（7）中的这两个数值是在代码实现过程中不希望看到的，因为只有采集到了每个计算周期的所有数据后，才能计算出以下均值和以下个数，这就需要评估算法控制系统所需存储数据的大小。来看一下百米棉条的数据量，这是计算条干值的最大计算长度，由图3得知333mm可切割成100个棉条矩形块，每米就是300个数，那么百米即3万个数据。这里的数据是2字节大小，因此百米棉条需要存储60000字节的数据，即58.6Mbyte，嵌入式系统常用内部存储器是很难到兆级的。

$$CV\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (8)$$

公式（8）面临的是累加问题，且从第一项就出现了均值 $\bar{x}$ ，但经过一系列算式推导将均值提取到根号以外，即可得到如下公式：

$$CV\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}{n-1}} \times 100\% \quad (9)$$

和公式（6）中x的含义不同，公式（7）（8）（9）中的x是减掉零点值后的值，也就是在进行变异系数公式的计算时，也离不开零点值。

改变采样的长度，亦可求得1米条干值和5米条干值，用于仿真纺纱厂日常操作。

分子反映的是动态变化量，因此被消掉了，而分母上的零点值则直接影响了支数偏差的大小。在图3中，传感发射点即为检测端的零点。之所以称之为“检测端的零点”，是因为在压辊一侧还有一个零点，即后压辊在竖直方向上的切线，这两个零点在模型中是要求对齐的。

### 3.3 零点校准

零点值在以上两项指标计算中举足轻重，故应设计合理的功能模块寻零——零点校准。在经纬NAS在线监测系统中，使用了量程2mm，输出范围±10V的传感器，精度14位的ADC模块。

#### 3.3.1 零点校准的目标

- 无棉条的压辊间隙足够小，如图1所示的0.15mm，此举的目的是保证均匀的工作棉条能被等效成上文所述的等长等宽的矩形块；

- 正常输出棉条（实测0.6mm）的工作区域处于在线监测系统的检测中心位（模拟量0V对应数字量8192）。

以JWF1316在线监测系统为例，有下实测表格：

表1 零点校准实测数据

	1#	2#	3#	4#
0.3mm	4465	3894	4093	3886
0.6mm	8192			
0.9mm	12320	12920	12464	12699
零点	337	-834	-179	-621

#### 3.3.2 零点值差异原因分析

之所以各机台零点值存在差异，分析原因有如下三点：

- 1) 基于分段线性插值法测量零点值的方法是静态的，由于加工精度造成的压辊圆度误差，导致了零点值存在误差。

- 2) 在JWF1316的在线监测结构中，并未设计上文所述的传感发射点与后压辊竖直切线对齐的保障手段。

- 3) 在JWF1316的在线监测结构中，压辊间隙为0.9mm时前压辊摆动角度 $\alpha$ 为0，若设计成0.6mm时 $\alpha = 0$ ，即可进一步减小公式（3）中所提及的误差。

#### 4 结语

各大纺织机械设备开发团队从未放弃对在线监测系统的资源投入，这种投入不仅仅针对熟条，从原棉到成纱到处可见在线监测系统的身影。随着用工成本以及对产品质量追求的提升，这种投入也会越发的显示其在回报率方面的优势，纺纱厂也倾向于其设备向自动化和智能化方向的发展。基于上述分析，若能持续优化棉条在线监测系

统，在线监测相对于离线检测的作用会更进一步。

#### 参考文献

- [1]沈阳宏大，JWF1316型并条机产品说明书
- [2]张俊，匠人手记：一个单片机工作者的实践与思考[M].北京航空航天大学出版社.
- [3]结城浩【日】，程序员的数学[M].人民邮电出版社.