

棉条在线检测系统的动态性能分析

贾成举

(沈阳宏大纺织机械有限责任公司,沈阳 110141)

摘要:为了提高棉条在线检测系统的精度,进一步完善自调匀整系统的效果,介绍自调匀整的主要控制方式及常见种类棉条的出条速度,通过对检测系统的瞬态分析、压辊形状对系统的影响、前压辊的振动模态分析,比较了两种在线检测系统的结构特点和动力学特征,为优化检测装置的机械结构和检测性能提供依据。

关键词:并条机;自调匀整;在线检测;模态分析;瞬态分析;压辊形状;约束

中图分类号:TS103.6 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-9634(2015)03-0047-05

Analysis of the Dynamic Performance of the Online Sliver Detection System

JIA Chengju

(Shenyang Hongda Textile Machinery Co., Ltd., Shenyang 110141, China)

Abstract: In order to improve the precision of the online sliver detection system for better auto-leveler performance, introduction is made to the main control modes of auto-levelers, and types of the outlet speed of sliver. The transient analysis of the detection system, the impact of roller profile on the system, vibration modal analysis of the front pressure roller find the structural characteristics and the dynamic characteristics of the two kinds of the online detection systems for information of optimizing the mechanical structure and the detection performance of the same.

Key Words: drawing frame; auto-leveler; online detection; modal analysis; transient analysis; roller profile; constraints

0 引言

随着电子信息技术的不断发展,当代并条机上相继采用了高性能计算机、高精度传感器、变频调速技术,这使得并条机出条速度的记录不断被刷新,目前已达到 1 100 m/min(立达 RSB D22 型并条机的车速已经达到 $2 \times 1 100$ m/min)。自调匀整的控制技术和实现手段都在不断发展,自调匀整性能在稳步提高。

由于自调匀整控制方式的多样化,在生产不同品种棉条时的输出速度差异较大。一般的开环式匀

整系统未在棉条输出端设置检测点^[1],控制系统根据喂入检测信号调节牵伸倍数后直接输出须条;为在线监测匀整效果,现代智能匀整系统增加了在线检测喇叭口,使用压力或位移传感器在线检测匀整效果^[2],因此,棉条在线检测系统的动态特性对检测系统精度至关重要。

通过对在线检测系统动态特性的对比分析,可以提高在线检测系统的精度,为进一步完善自调匀整系统的效果提供技术支持。

1 分析目的与主要内容

1.1 目的

比较两种在线检测系统的结构特点和动力学特征,给出优化检测结构的方向,提高检测精度。

收稿日期:2014-11-16

作者简介:贾成举(1980—),男,沈阳人,工程师,主要从事基于三维实体模型的虚拟样机仿真分析。

1.2 主要内容

分析的主要内容有两方面：① 分析比较两种机构对检测系统的影响；② 对检测机构进行振动模态分析。

2 检测机构模型简化

A 型检测装置的结构如图 1 所示，后压辊的位置固定，前压辊绕轴 z 转动，棉条从前、后压辊间穿过，棉条厚度的变化使得前压辊在平衡位置绕 z 轴微小振动^[3]。经牵伸后的棉条厚度变化量非常小，角度变化量 θ 很小， $\sin\theta \approx \theta$ 成立，位移传感器检测到的位移信号 $x \approx R \sin\theta \approx R\theta$ 。将系统简化为单自由度质量—弹簧—阻尼振动系统，如图 1 所示。

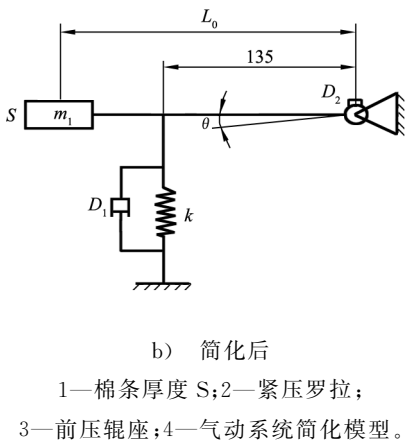
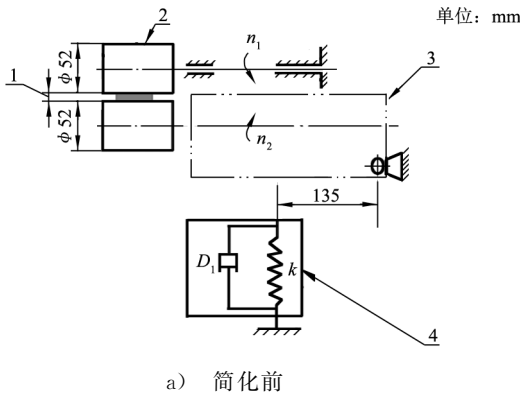
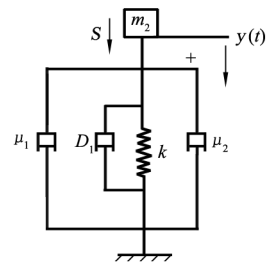
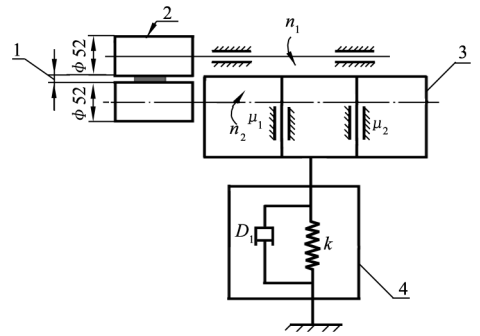


图 1 A 型检测装置示意

B 型检测装置的结构见图 2。与 A 型的分析方法完全相同，忽略掉摩擦阻尼，仅考虑气缸附加的粘性阻尼。

3 检测系统的瞬态分析

瞬态响应为系统在某一输入信号的作用下输出量从初始状态到稳态的响应过程。系统性能指标在时域和频域内都可以提出，时域内体现得更直观，因



1—棉条厚度 S; 2—紧压罗拉;
3—前压辊座; 4—气动系统简化模型。

图 2 B 型检测装置示意

为一般储能元件收到输入信号时不能立即反应，表现出一定的过渡过程^[4]。时域分析性能指标是以系统对单位阶跃信号输入的瞬态相应给出。在这里，由于气动系统阻尼的复杂可变性，给出系统有可能存在的 3 种阻尼形式，以 B 型检测装置为例。

3.1 欠阻尼

当 $0 < \zeta < 1$ 时，称为欠阻尼。二阶系统的单位阶跃响应是以 $\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$ 为角频率的衰减振荡，图 3 为单位阶跃响应图。运动规律可描述为：

$$x_{aa}(t) = \left[1 - \frac{e^{-\zeta \omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t + \arctan \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}) \right] \cdot 1(t)$$

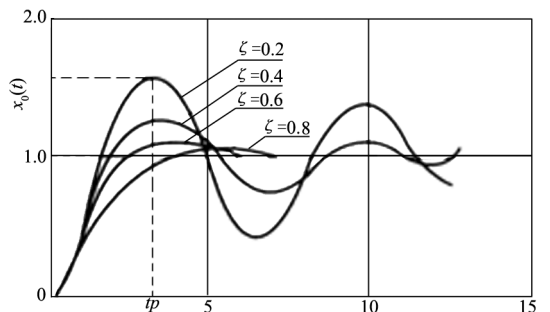


图 3 欠阻尼二阶系统的单位阶跃响应

求解时域分析性能指标:

a) 峰值时间 t_p : 响应曲线从零时刻到达峰值的时间, 即响应曲线从零上升到第 1 个峰值点所需要的时间。

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}$$

当 ζ 很小时, $t_p \approx \frac{\pi}{\omega_n}$

从上节稳态分析可知:

$$\omega_{n(A型)} = \frac{k}{2.945}$$

$$\omega_{n(B型)} = \frac{k}{5.037}$$

$\omega_{n(A型)} > \omega_{n(B型)}$, 所以 A 型比 B 型首先到达峰值。

b) 最大超调量 M_p : 单位阶跃输入时, 响应曲线的最大峰值与稳态值的差, 通常用百分数表示。

$$M_p = x_0(t_p) - 1 = e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

$$\zeta(A型) = \frac{c}{3.457 \cdot 8\sqrt{k}}$$

$$\zeta(B型) = \frac{c}{4.488 \cdot 6\sqrt{k}}$$

$\zeta(A型) > \zeta(B型)$, 所以 $M_p(A型) < M_p(B型)$ 。

c) 调整时间 t_s : 响应曲线达到并一直保持在允许误差范围内的最短时间。以进入 $\pm 5\%$ 的误差范围为例^[6]。

$$\frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} = 5\%$$

$$t_s = \frac{-\ln 0.05 - \ln \sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta\omega_n}$$

当阻尼比 ζ 较小时, 有

$$t_s = \frac{-\ln 0.05 - \ln \sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta\omega_n} \approx \frac{3}{\zeta\omega_n} = \frac{3}{n}$$

因为 $n_{(A型)} > n_{(B型)}$, A 型检测装置的调整时间比 B 型短, 响应速度较 B 型快。

3.2 临界阻尼

当 $\zeta=1$ 时, 称为临界阻尼, 响应曲线如图 4。由图可见, 系统没有超调。

3.3 过阻尼

当 $\zeta > 1$ 时, 称为过阻尼, 响应曲线如图 5。由图 5 可见, 系统未超调, 且过渡时间较长。一般二阶系统都有正阻尼, 此时系统是稳定的。这种情况对应气缸内的摩擦阻尼和粘性阻尼增大后, 此时系统在给定位移阶跃信号下, 运动非常缓慢, 甚至很快停

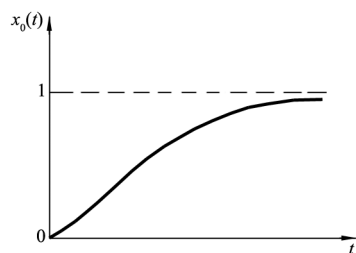


图 4 临界阻尼二阶系统的单位阶跃响应

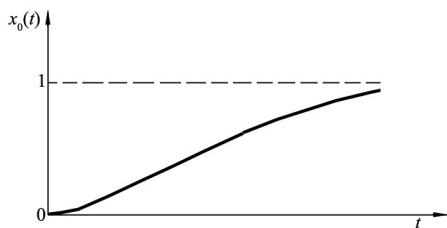


图 5 过阻尼二阶系统的单位阶跃响应

在某个位置, 并没有到达平衡点, 这是因为前压辊不断克服较大的阻尼, 系统的能量大都损耗在克服阻尼上。

通过比较两种结构的时域性能指标可以看出, A 型检测装置的响应速度比 B 型快, 超调量较小, 系统是稳定的。

4 压辊形状对监测系统的影响

棉条经过压辊的瞬间, 棉条与压辊可以近似为线面接触, 如图 6 所示, 黑色区域为棉条, 可得棉条的截面积:

$$S_{(t)} = L \cdot X_{(t)}$$

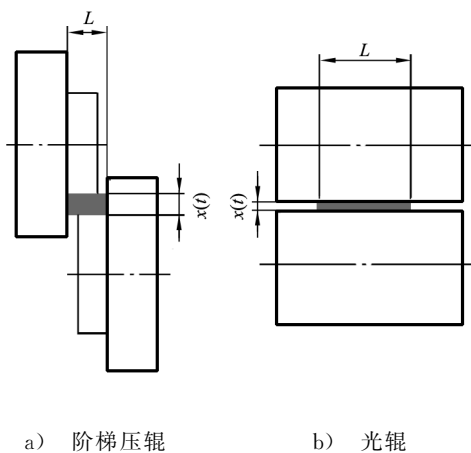


图 6 压辊形状的影响

其中:

$S_{(t)}$ —— 棉条的截面积;

L —— 棉条的宽度, 对于光辊, 棉条的宽度不受束缚, 可自由膨胀, 所以 $L_{A型}$ 较大, 而阶梯压辊限定

了棉条宽度 $L_{B型}$ 。

所以 $L_{A型} > L_{B型}$ 。

任意两个时刻的棉条厚度差：

$$\Delta X_{A型} = \Delta S / L_{A型}$$

$$\Delta X_{B型} = \Delta S / L_{B型}$$

因此, $\Delta X_{A型} < \Delta X_{B型}$ 。

棉条截面相等的前提下,通过阶梯压辊的棉条变化量较光辊大,也意味着同样的棉条阶梯压辊的输入信号更强而更容易被检测到。

棉条截面相等的前提下,棉条厚度的变化量与棉条宽度成反比;为保证检测的准确性,必须保证棉条宽度精确。对于光辊,棉条的宽度是自由膨胀形成的,不精确;但是,这种结构对光辊的加工和安装精度要求不严格,即使光辊沿轴向窜动,对宽度的影响也不大。对于阶梯压辊,棉条的宽度是靠压辊间的阶梯形成的,压辊台面的加工误差、轴向的窜动都会使 L 值发生变化,直接影响检测信号的准确性^[7]。

综上,对于检测系统而言,阶梯压辊更有利于信号的检测,但对其机械加工精度和安装精度要求较高。光辊结构棉条的宽度是自由膨胀形成的,故检测精度不高、信号较弱;但是,对其机械加工精度和安装精度要求不高。

表 1 无约束状态下的振动模态列表

A 型前压辊			B 型前压辊		
模式号	频率/(rad · s ⁻¹)	频率/Hz	模式号	频率/(rad · s ⁻¹)	频率/Hz
1	0	0	1	0	0
2	0	0	2	0	0
3	0	0	3	0	0
4	0	0	4	0	0
5	0	0	5	0	0
6	0	0	6	0	0
7	11 475	1 826	7	9 866	1 545
8	12 074	1 921	8	13 000	2 042
9	12 964	2 062	9	14 063	2 210
10	15 400	2 450	10	15 177	2 412
11	19 963	3 176	11	18 658	2 966

5.2 有约束时模态分析

加上约束后,A型检测装置为摆臂悬臂结构,B型检测装置为平动结构,平动结构的频率远大于摆臂结构,摆臂结构对刚体刚度的削弱较大,见表2。

综上所述,A型和B型检测装置的前压辊结构相似,但约束形式不同,前者为转动,后者为平动。通过仿真分析可知:未添加约束之前,两者的振动频

5 前压辊的振动模态分析

在系统分析时,将研究对象看成一个系统进行研究,在理论计算中将分析对象简化为一个具有质量的实体,实体的振动是一致的,这对分析和把握整个系统的特性很有必要。事实上,质量实体本身也有弹性刚度,在对刚体结构进行优化或者考察装置中某个具体部位的振动形式时,就有必要对结构进行模态分析。

所谓模态就是零部件的振动形式,刚体结构在不同方向的振动频率不同,也对应着不同的振动形式。当刚体结构确定时,振动形式只与刚体的约束形式有关,不同的约束形式对刚体的刚度影响程度不同,有的增强刚度,有的削弱刚度。

5.1 无约束时模态分析

无约束时模态分析去掉整个气动部分,只考虑前压辊刚体结构的特性。

不加约束时,B型检测装置去掉导轨,只是分析振动刚体的振动模态。6个自由度上无任何约束,故无振动;从第7个模态到第11个模态可以看出,两者的振动频率很接近,说明两个结构的原始特征很相近,这与事实相符合,验证了模拟是正确的,见表1。

率很接近,说明两个结构的原始特征很相近,这与事实相符合;加上约束后,摆动结构对刚体刚度的削弱较大,平动结构的频率远远大于摆臂结构。从材料力学的角度出发能够更形象的解释这种现象,平动结构相当于简支梁,抗弯刚度较大,摆动结构相当于悬臂梁。

表 2 加约束条件后的振动模态列表

A 型前压辊(立轴约束)			B 型前压辊(导辊约束)		
模式号	频率/(rad · s ⁻¹)	频率/Hz	模式号	频率/(rad · s ⁻¹)	频率/Hz
1	1 693	269	1	6 175	982
2	3 340	531	2	9 873	1 571
3	6 838	1 088	3	10 727	1 707
4	9 577	1 524	4	13 143	2 091
5	10 091	1 605	5	14 580	2 320

6 结论

6.1 从系统的角度出发,小阻尼情况下 A 型检测装置的共振频率和阻尼比大于 B 型;对于瞬态阶跃信号的响应速度较快、超调量较小;气动系统的阻尼和弹性是变化的,但只要阻尼非负系统未超调则仍然稳定。

6.2 位移传感器监测系统对压辊的加工精度和材料的热膨胀性能要求比较高;而乌斯特监测系统压辊只起到输送棉条的作用,对监测系统影响非常小。

6.3 阶梯压辊更有利于信号的检测,也对机械加工精度和安装精度要求较高;而光辊结构,棉条的宽度是自由膨胀形成的,检测精度不高、信号较弱,但是对机械加工精度和安装精度要求不太严格。

6.4 根据模态分析,A 型检测的结构形式对本身刚度削弱的程度要大于 B 型,振动剧烈的位置集中在

检测片上,应尽量减小检测片的质量,提高其刚度。

参考文献:

- [1] 秦贞俊. 现代棉纺纺纱新技术[M]. 上海: 东华大学出版社, 2008: 44-59.
- [2] 祝伯荣. 自调匀整装置[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1986: 101-115.
- [3] 陈立善. 自调匀整装置在并条机上的应用[J]. 棉纺织技术, 1994, 22(2): 71-73.
- [4] 栾爱燕. 高速并条机自调匀整装置的研制[D]. 青岛: 青岛大学, 2005.
- [5] 段学闯. 基于自适应控制和模糊控制的并条机自调匀整系统的研究[D]. 上海: 东华大学, 2012.
- [6] 康强, 苏玉恒. 在线检测技术在纺纱中的应用[J]. 河南纺织高等专科学校学报, 2006, 18(2): 24-26.
- [7] 郭月洋, 陈瑞琪. 棉纺设备自调匀整系统发展方向的探讨[J]. 棉纺织技术, 2002, 30(5): 29-32.

• 笔耕园

带有 DOI 的参考文献著录格式

DOI(digital object identifier, 数字对象标识符)是国际上用来永久且唯一标志数字资源的编码,具有对资源进行永久命名标志、动态解释链接的特征,被誉为互联网上的条形码。DOI 代码结构分前缀和后缀 2 部分,中间用“/”分开;前缀以小圆点分为 2 部分:特定代码 10 和 DOI 的 4 位数字为注册机构代码,后缀是表示资源唯一性的本地代码。目前,很多中外期刊的论文都注册了 DOI,为了方便作者引用,综合国内外文献讨论结果,结合本社办刊经验,推荐著录带有 DOI 文献的格式如下。

1 有页码情况举例

[1] …… * * * * 大学学报, 2011, 41(1): 1-5. doi:

10.3969/j.issn.1001-0505.2011.01.001.

2 无页码情况举例

[2] …… J Geophys Res, 2010, 115, D11111. doi: 10.1029/2009JD012266.

3 在线优先出版且有 DOI 情况举例

[3] …… Mon Wea Rev, 2009. doi: 10.1175/2009MWR2950.1.

值得注意的是,一旦论文最终印刷出版,DOI 所指向的论文的初级版本将被最终版本取代,这时应按最终版本进行规范著录。

《纺织器材》编辑部