

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.08.016

基于气力输送技术的袜坯输送设备研制*

方利翔¹, 陈英豪², 任 锐¹, 吴鑫杰¹, 任杰镒¹

(1. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江伟联科技股份有限公司, 浙江 嘉兴 314500)

摘要:针对丝袜生产过程中袜坯输送自动化程度低的问题,借鉴气力输送的物料输送模式,对丝袜的输送方式进行了研究。基于风机功率公式,考虑袜坯质量、空气流速、风压、管道截面积与管道长度等关键工艺参数,建立了袜坯输送效率与风机功率、输送管道长度的理论模型;设计了丝袜输送实验,分析了袜坯运动速度、风压等参数与输袜管长度之间的关系,实现了模型参数的优化;提出了一种基于三菱 FX 系列可编程控制器以及欧姆龙 3G3MV 系列变频器的全自动丝袜输送技术,研制了实验样机,将所建模型应用于实际生产过程中;通过记录单次操作耗时,并将其与人工操作耗时对比的方式对该项技术进行了测试。研究结果表明:该技术缩短了袜坯的输送时间,能够实现袜坯的自动换向以及不良品的自动报废。

关键词:气力输送;长筒丝袜;理论模型;实验样机

中图分类号:TH138.9;TS183

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)08-0946-05

Automatic stockings conveying equipment based on pneumatic transferring technology

FANG Li-xiang¹, CHEN Ying-hao², REN Kun¹, WU Xin-jie¹, REN Jie-di¹

(1. Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Willing International Co., Ltd., Jiaxing 314500, China)

Abstract: Aiming at the problems of low degree of automation of stockings transportation in real production, a new conveying method of stockings was studied, which was based on the theory of pneumatic conveying. Transport model of transfer pipe was established based on the formula of fan power with considering the weight of stockings, air flow rates, the pressures of air and the area and the length of pipe. The experiments were designed for analyzing the relation between the speed of stockings and the length of pipe, the pressures of air and the length of pipe to optimize the models. An automatic transferring technology was proposed which was based on FX series PLC and OMRON 3G3MV series inverter. An experimental prototype was made and the models were applied in production. The technology was tested by comparing the operation time of the machine with the operation time of workers. The results indicate that this technology reduces the time spent on transferring of stockings. The function of automatic reversing of stockings is realized and the function of automatic scrapping of defective products is realized. The production efficiency has been raised.

Key words: pneumatic conveying; silk stockings; theoretical model; experimental prototype

0 引 言

织袜和缝头是长筒丝袜主要生产工艺^[1]。独立的织袜^[2]和缝头技术装备^[3]在国内业已成熟。但是,

由于丝袜具有质地柔软、表面光滑和容易破损的特点,导致实现丝袜的全自动输送变得尤为困难,这也使得织袜与缝头工序始终独立,主要依靠人力搬运实现工序衔接,效率较低。因此,有必要对织袜与缝头工序间

收稿日期:2019-11-29

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFB0309800);国家自然科学基金资助项目(51405445)

作者简介:方利翔(1995-),男,江苏镇江人,硕士研究生,主要从事自动化设备研发方面的研究。E-mail:535259835@qq.com

的袜坯全自动输送技术进行研究。

气力输送利用气流产生的力,在密闭管道内沿气流方向输送物料^[4]。目前,气力输送主要应用于工厂的除灰系统^[5]、水利水电施工工地,以及冶金、化工^[6]、建材等行业的粉状物料输送^[7]、转运工艺^[8]中。气力输送装置可分为吸气式、压气式^[9]与混合式3类^[10]。考虑袜坯的特点,研究袜坯气力输送方法,由风机在圆柱形管道内形成定向的气体流动,在保证袜坯不变形的条件下,吸入并推动袜坯沿着一定方向运动,从而达到袜坯全自动输送的目的。同时,有必要研究输送过程中袜坯的方向控制技术及其装置。

目前,国内袜坯的方向判断、输送以及不良品的报废主要依托人力完成。而国际上知名丝袜生产企业已成功将气力输送技术应用于丝袜的多工序自动生产。国外已有的丝袜自动输送技术是将气力输送的控制部分置于丝袜生产的缝头工位中,利用传感器完成对于袜坯的传输过程进行监控,利用基于可编程控制器的触摸屏技术完成操作人员与设备之间的通信。但换向操作与不良品的报废仍需人工发出指令。

针对丝袜生产过程中袜坯输送自动化程度低的问题,本文借鉴气力输送的物料输送模式,对于全自动丝袜输送技术进行研究。

1 模型研究

主要涉及到的参数有:风机功率、风机流量、风压、管道截面积和管道长度。而管道输送物料产生的压损,可看作是诸多相关参数的函数。由于丝袜为柔性织品,且可视作一个整体,不存在传统气力物料传输中的传输物之间的相互作用,故管道输送物料产生的压力损失可视为一定常量,设定摩擦系数。因此,可以通过简化袜坯在管道中的运动,建立输送特征模型。

1.1 袜坯管道特征模型

在实际生产过程中,袜坯在管道内传输的时间较短,风机的输出状态改变不明显,袜坯在管道中的传输时间短,可视作匀加速运动。本研究的模型可简化为风机与一维定常流管道的组合^[11]。

风机的功率可表达为:

$$N_m = K \frac{PQ}{1\,000\eta} \quad (1)$$

式中: η —效率系数; P —风机处于额定工作状态时出口的风压; K —系统安全系数; Q —风机处于额定工作状态时出口的空气输出流量。

其中,流量的表达式为:

$$Q = vS = \frac{v\pi d^2}{4} \quad (2)$$

式中: v —管道内风速; S —管道内管横截面积; d —管道内径。

袜坯整体的运动中, R_e (雷诺数)为:

$$R_e = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (3)$$

式中: v —管道中空气流速; ρ —管道中空气密度; μ —常温常压下空气的黏性系数; d —管道当量直径。

假设袜坯的平均长度为 l_0 (测量多只袜坯的长度,取平均值 l_0 为1 m),袜坯的加速距离记为 l_1 。由于袜坯在管道内的运动时间短、运动速度快,袜坯的加速运动可简化成匀加速运动,即:

$$l_1 = \frac{1}{2}at^2 = \frac{k_1 P_u S t^2}{2m} \quad (4)$$

式中: l_1 —袜坯加速距离; a —加速度; k_1 —风压利用比例系数; m —袜坯平均质量; t —袜坯输送时间。

空气压力包括提供动力的有效风压与损失风压。其中,有效风压 P_u 可表示为:

$$P_u = \frac{2ml_1}{k_1 t^2 S} \quad (5)$$

由匀加速运动的运动特征可知,袜坯的平均运动速度为:

$$\bar{u} = \frac{l_1}{t} \quad (6)$$

袜坯的最大运动速度 $u_{\max}$ 可表示为:

$$u_{\max} = k_2 \bar{u} = k_2 \frac{l_1}{t} \quad (7)$$

式中: k_2 —速度比例系数。

风速 v 可表示为:

$$v = k_3 u_{\max} = k_2 k_3 \frac{l_1}{t} \quad (8)$$

式中: k_3 —风速比例系数。

进而损失风压 P_s 可表达为:

$$P_s = \lambda \frac{(lv^2)}{2d} \quad (9)$$

式中: l —输袜管管道总长; λ —阻力系数; v —空气流速; ρ —空气密度。

将式(2,5,7~9)代入式(1)中,可得:

$$N_m = \frac{K}{1\,000\eta} \left(\frac{2k_2 k_3 m l_1^2}{k_1 t^3} + \frac{k_2^3 k_3^3 \lambda \rho d l l_1^3}{8 t^3} \right) \quad (10)$$

2 实验与模型优化

2.1 实验条件及实验对象

实验设备主要由风机、换向管路、传感器、风速计、

风压计等组成。实验所产生的电流信号由 PLC 实时采集,所采集的数据通过 USB 总线实时传至控制系统硬盘存储。

实验对象为输袜管的长度,控制变量分别取 3 m、5 m、7 m 作为袜坯输送管的长度,进行对照实验。

实验主要工艺参数表如表 1 所示。

表 1 实验主要工艺参数

名称	参数(型号)
风机功率/kW	1.2
风机效率/(%)	65
风速/(m·s ⁻¹)	27
管道内径/cm	45
管道材料	有机玻璃
当量糙粒高度/mm	0.01
光电传感器	Omron E3S-AD36
光纤传感器	Omron E3X-A41
风速计	BENETECK GM8901
风压计	BENETECK GM520

实验以风机为动力源,利用传感器实时监控输送状态并返回参数。实际输送过程中,输袜管长度不同,袜坯的运动速度亦不同,欲使袜坯的运动速度达到最大值,需要对式(7)中的速度比例系数 k_2 的值进行修正。

由实验过程中获取袜坯运动速度与 3 种不同的输袜管长度之间的关系数据共 30 组,将数据利用最小二乘法拟合,得到袜坯平均输送速度与管道长度的关系,如图 1 所示。

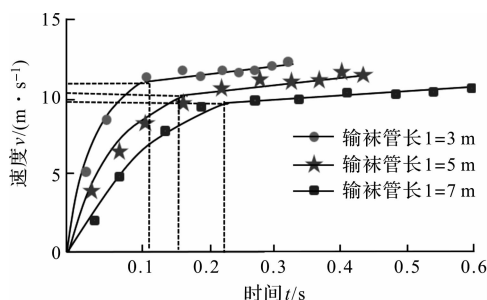


图 1 袜坯输送平均速度与管道长度的关系

由图 1 可看出:袜坯在管道中的加速时间短,加速度大,因此整个加速过程可以简化成匀加速运动;加速过程约占整个运动过程的三分之一,加速后袜坯的运动速度处于一个相对稳定状态。

根据加速运动的运动规律可以知道,袜坯的最大运动速度为稳定运动时速度的 1.2 倍,即当速度比例系数 k_2 修正为 1.2 时,袜坯的平均输送速度的理论值与期望值基本吻合,仅存在较小的系统误差。

进一步修正式(7)后,可得:

$$u_{\max} = k_2 \bar{u} = 1.2 \frac{l_1}{t} \quad (11)$$

实际输送过程中,受风机功率以及风速波动的影响,需要对式(8)中的风速比例系数 k_3 的值进行修正。

取输送管的长度为 7 m 的实验数据作为典型案例,将数据利用最小二乘法进行拟合,得到袜坯平均输送速度与管道内风速的关系,如图 2 所示。

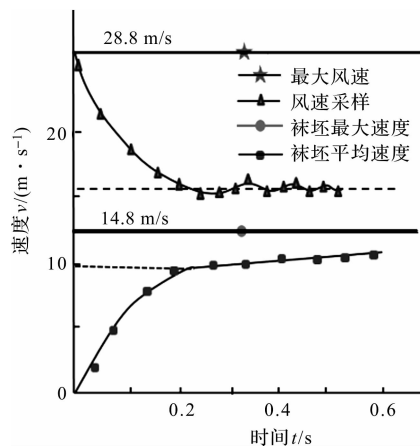


图 2 袜坯平均输送速度与管道内风速的关系

经实验计算发现,最大风速约为袜坯最大速度(此处的最大速度为 k_2 经过修正后所求出的数值)的两倍;多次计算取平均值,得到最大风速与袜坯最大运动速度的比例关系,即当风速比例系数 k_3 修正为 2.1 时,风速的理论值与期望值基本吻合,仅存在较小的系统误差。

进一步修正式(8)后,可得:

$$v = k_3 u_{\max} = 2.52 \frac{l_1}{t} \quad (12)$$

实际输送过程中,输袜管长度不同,单位时间内的风压差亦不同,欲使风压的利用率达到最高,需要对式(5)中的风压利用比例系数 k_1 的值进行修正。

实验获取单位时间内的风压差与 3 种不同的输袜管长度之间的关系数据共 30 组,将数据利用最小二乘法进行拟合,得到袜坯输送管管道内风压变化,如图 3 所示。

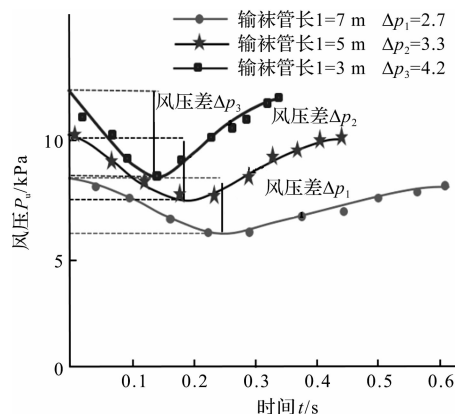


图 3 袜坯输送管管道内风压变化

风压变化为袜坯的运动提供动力,在整体的静态风压中,风压差 Δp 值所占的比例可反映风压的利用率。由实验可以得知,风压利用率约为 30%,即当风压利用比例系数 k_1 修正为 0.3 时,有效风压的理论值与期望值基本吻合,仅存在较小的系统误差。

进一步修正式(5)后,可得:

$$l_1 = \frac{1}{2}at^2 = 0.15 \frac{P_u St^2}{m} \tag{13}$$

$$P_u = 6.67 \frac{ml_1}{t^2 S} \tag{14}$$

雷诺数 R_e 为:

$$R_e = \frac{\rho v d}{\mu} = 1.032 \times 10^5 > 2\,000。$$

据此可判断管道内气体的状态为紊流状态。管道选用材质为有机玻璃,查莫迪图得阻力系数 λ 取 0.019 1。

2.2 优化后的相关参数

经实验,笔者针对模型的相关参数进行了优化。优化后的参数能够更好地对系统进行描述,使得理论值与期望值基本吻合。

优化后的主要工艺参数表如表 2 所示。

表 2 优化后的主要工艺参数

名称	参数
风机功率/kW	1.6
风机效率/(%)	65
风速/(m·s ⁻¹)	33.67
管道内径/cm	45
袜坯平均运动速度/(m·s ⁻¹)	13.33
平均输送时间/s	0.25
袜坯最大运动速度/(m·s ⁻¹)	16

由表 2 可以看出,采用气力对袜坯进行输送,不仅平均输送的速度可以达到 13.3 m/s,平均输送所用时间也缩短到 0.25 s。

3 测试与结果分析

3.1 设备样机

笔者将经实验优化后的模型应用至实际生产过程中,制作了长筒丝袜自动输送装备样机。样机主要由风机、换向管路、压板、检测管路等组成。笔者选用欧姆龙 3G3MV 系列变频器以及三菱 FX 系列的 PLC 实现装置的运动控制,选用 SONCEBOZ 步进电机与 2H504 系列步进驱动器实现袜坯送出动作。

自动输送设备结构示意图如图 4 所示。

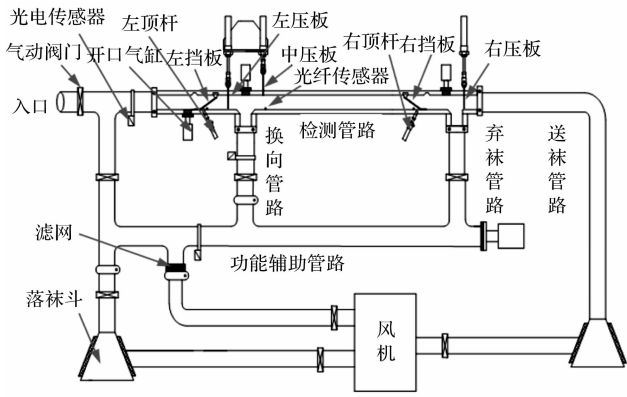


图 4 长筒丝袜自动输送设备结构示意图

图 4 中:采用简易装置替代实际管路作为演示,将阀门、通气孔以及光电传感器等安装在管道合适位置,利用橡皮塞以及密封圈实现管道内的密封;利用气压控制阀门、顶杆、挡板以及通气口的动作,实现工作时气路的调节;将相应的左、中、右压板设置在检测管道中,利用气压控制压板的上下往复运动。其中,左压板与右压板用于实现气路的转换,丝袜方向检测的实现则由中压板承担完成。

因此,袜向错误的袜坯可由换向管路与检测管路配合完成,不良品的报废与回收则由落袜斗与弃袜管路配合实现。

3.2 生产对比实验

笔者通过记录设备的单次操作耗时,并将之与人工操作耗时对比的方式来测试该设备的生产效率,共进行了两组测试。

(1)第一组测试。

针对方向正确的袜坯进行套袜操作,无换向操作耗时对比如图 5 所示。

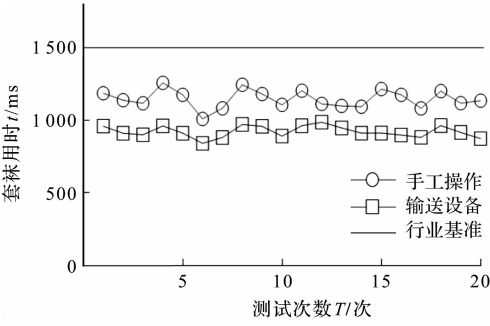


图 5 无换向操作耗时对比

图 5 中,在进行无换向操作时,输送装备单次操作的平均耗时少于手工操作的平均耗时,输送装备的加工效率高于人工操作,效率提升了约 23%。

(2)第二组测试。

针对实际生产中杂乱的袜坯进行套袜操作,两组

测试的区别在于无换向操作中无袜坯的方向均为正确的,可以直接对袜坯进行操作,而有换向操作中袜坯的方向是杂乱的,需要判断袜坯方向后采取相应措施再对袜坯进行操作。

有换向操作耗时对比如图 6 所示。

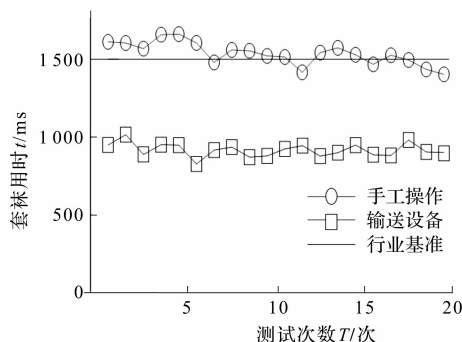


图 6 有换向操作耗时对比

图 6 中,在需要换向的前提下,输送装备套袜操作耗时明显少于手工操作耗时;

将设备的操作耗时与人工操作耗时对比后发现,长筒丝袜自动输送技术能够更好地达到预期的生产效率,设备效率较人工操作提升约 51%。

4 结束语

针对丝袜生产过程中袜坯输送自动化程度低的问题,本文借鉴气力输送的物料输送模式,对于全自动丝袜输送技术进行了研究,并研制了实验样机,对样机的工作效率进行了测试,结果表明,无换向时,生产效率比手工操作提高了约 23%,有换向时,生产效率提高了约 51%。

目前,该丝袜输送技术应用于实际生产过程中,满足长筒丝袜自动输送设备的性能指标要求。

参考文献 (References):

- [1] 沙伟中. 介绍日本长袜生产工艺[J]. 针织工业, 1985(2): 4-6, 11.
- [2] 朱耀麟, 刁先举. 嵌入式针织丝袜机花型数据提取算法[J]. 针织工业, 2018(4): 14-16.
- [3] 晨 锡. 东北袜业园引进意大利电脑缝头机[J]. 纺织服装周刊, 2010(27): 29.
- [4] 赵 军, 胡寿根, 王晓宁, 等. 气力输送管路系统的流动特性与节能研究[J]. 流体机械, 2005(12): 1-4, 56.
- [5] 杨东武. 转炉干法除尘粗灰气力输送系统设计及应用[J]. 冶金动力, 2019(9): 1-4.
- [6] 耿东方, 唐迎迎. 高压聚乙烯粒料气力输送系统结构设计及稳定性研究[J]. 化学工程与装备, 2019(3): 219-221.
- [7] 叶远涛. 粉体密相输送系统选型及设计研究[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(23): 79.
- [8] 陈宜民, 杨 辉. 漫谈气力输送系统[J]. 力学与实践, 2004(3): 92-93.
- [9] 李湘钊. 压气式气力输送系统与吸气式气力输送系统的应用分析[J]. 苏州大学学报工科版, 2004(1): 60-64.
- [10] 蒋存刚. 气力输送的发展进程[C]. 2012 全国散料装卸输送高峰论坛暨新技术、新设备交流研讨会论文集, 杭州: 中国设备管理协会, 2012.
- [11] 宋 平. API1000 主管道安装关键技术[J]. 压力容器, 2019, 36(7): 73-78.

[编辑: 方越婷]

本文引用格式:

方利翔, 陈英豪, 任 锐, 等. 基于气力输送技术的袜坯输送设备研制[J]. 机电工程, 2020, 37(8): 946-950.

FANG Li-xiang, CHEN Ying-hao, REN Kun, et al. Automatic stockings conveying equipment based on pneumatic transferring technology[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2020, 37(8): 946-950.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>