

吸风输送机透过面积影响因素的分析

刘艺, 邓援超, 梁进伟, 郝雪君

(湖北工业大学, 武汉 430068)

摘要: **目的** 为满足吸风输送机对片状物料稳定输送的要求, 对吸风输送机透过面积进行分析计算。**方法** 以物料为研究对象并建立受力模型; 对透过面积建立数学模型, 分析相关参数对透过面积的影响。**结果** 为保证物料的稳定输送, 吸风输送带运行加速度、吸风箱对片状物料产生吸附力的面积、吸风箱对物料的吸附负压等需满足一定关系; 推导出吸风输送机总透过面积的计算公式, 得出了吸风输送带、吸风箱上孔半径、间距对透过面积大小及变化情况的影响。**结论** 根据吸风输送机设计需求, 选取相关参数获得相应的透过面积, 为吸风输送机的设计与优化提供了一定的依据。

关键词: 吸风输送机; 透过面积; 吸风箱; 数学模型

中图分类号: TB486+.2; TH48 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)09-0192-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.09.031

Analysis of Factors on the Penetration Area of Suction Conveyor

LIU Yi, DENG Yuan-chao, LIANG Jin-wei, HAO Xue-jun

(Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze and calculate the penetration area of suction conveyor so as to meet the requirement of stable conveying of slice material by suction conveyor. By taking the material as the search object and establishing the force model, the mathematical model of the penetration area was established to analyze the influence of the relevant parameter on the penetration area. In order to ensure the stable transportation of materials, the operating acceleration of the suction conveyor belt and the area of the absorption force generated by the suction box on the slice materials had a certain relationship with the adsorption negative pressure of the suction box on the materials. The formula for calculating the total penetration area of suction conveyor was deduced, and the influence of the radius and spacing of the holes on the suction conveyor belt and the suction box on the penetration area and variation was obtained. According to the design requirement of suction conveyor, obtaining the corresponding penetration area by selecting relevant parameters can provide a basis for the design and optimization of the suction conveyor.

KEY WORDS: suction conveyor; penetration area; suction box; mathematical model

吸风输送机作为一种真空吸气带式输送装置, 它的功能是将物料通过真空吸附在皮带上, 再将物料输送到指定位置。由于有真空吸附作用, 可以保证被输送物料可靠的固定在输送带上, 其特点是结构简单、输送平稳准确, 从而被广泛应用于包装、印刷等领域^[1-3]。

吸风输送机主要由皮带输送机和吸风箱组成, 吸风箱对物料的吸附力取决于风箱的负压和吸附面积(即下文中的有效透过面积)。目前关于吸风输送机的研究主要是风箱负压与吸附力的关系, 如赵吉斌^[4]等通过实验, 得出拉纸力与气腔流量的关系; 张肖庆^[5]建立吸附开袋模型, 通过理论计算和估算得到吸

收稿日期: 2019-01-16

作者简介: 刘艺(1992—), 男, 湖北工业大学硕士生, 主攻机械电子工程。

通信作者: 邓援超(1963—), 男, 湖北工业大学教授, 主要研究方向为机械设计理论及实用机械创新。

附力与开袋情况的参数关系；郑俊强等^[6]研究输纸带上形状为三角形、正方形、圆形的孔对侧规拉力承载性能的影响。关于吸风输送机运行中透过面积变化的研究基本没有，而运行中透过面积的变化对物料吸附力的影响是重要的。透过面积的变化受到哪些参数的影响，文中在这方面进行一些研究，为吸风输送机的设计提供一些基础。

1 吸风输送机的组成

1.1 吸风输送机输送原理

带式输送机是一种通过挠性输送带对物料进行承载和输送的运输机构^[7]。吸风输送机是在带式输送机基础上，在皮带下部增加吸风箱，同时皮带上打有许多小孔，通过对吸风箱抽真空产生负压，透过皮带上的孔将片状物料吸附在皮带上，然后将物料输送到指定位置。

1.2 吸风输送机的主要组成部件

一种吸风输送机结构见图 1，主动滚筒用于产生驱动力^[8]；吸风输送带上有一定数量的孔，孔一般为圆形、正方形或菱形；吸风箱通过真空泵吸气产生负压，吸附皮带上的物料；张紧滚筒使输送带具有足够的张力，防止输送带产生打滑^[9]。

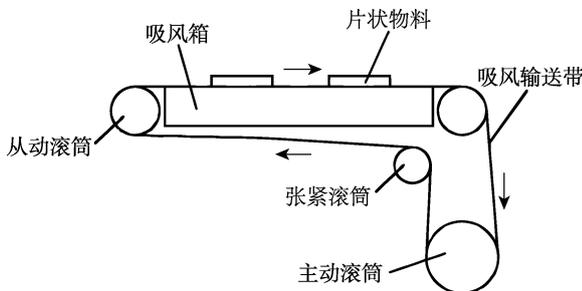


图 1 吸风输送机
Fig.1 Suction conveyor

2 物料受力分析

2.1 被输送物料的受力分析

片状物料在吸风箱上的状态见图 2。吸风输送带和吸风箱上孔与孔之间相通的面积称为透过面积^[10]。当吸风箱上有物料时，被物料覆盖而对物料产生吸附力的透过面积为有效透过面积^[11]。

以片状物料作为研究对象，建立受力模型^[12]，见图 3。设片状物料质量为 m ，物料与吸风皮带间的摩擦系数为 μ ，片状物料瞬时加速度为 a 。吸风输送带对片状物料的正压力为 F_N ，吸风箱对片状物料的吸附力^[13]为 F_p ，对片状物料产生吸附力的有效透过面

积为 A_1 ，吸风箱对物料的吸附负压为 p_0 ，片状物料受到的摩擦力为 F_f 。片状物料在整个运动过程中不能发生与吸风输送带的相对滑动，则片状物料受力必须是平衡的。

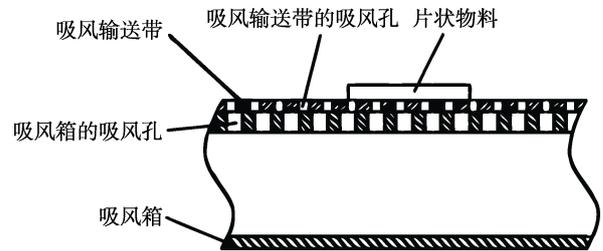


图 2 片状物料在吸风箱上的状态
Fig.2 State of slice material on suction box

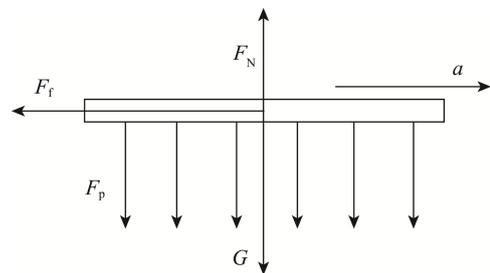


图 3 物料受力分析
Fig.3 Force analysis of materials

受力平衡方程为：

$$\begin{cases} G + F_p - F_N = 0 \\ F_f - ma = 0 \end{cases} \quad (1)$$

物料受到的摩擦力 F_f 为：

$$F_f \leq \mu F_N \quad (2)$$

吸风箱对物料的吸附力 F_p 为：

$$F_p = p_0 A_1 \quad (3)$$

联立上述公式得：

$$p_0 \geq \frac{m}{A_1} \left(\frac{a}{\mu} - g \right) \quad (4)$$

式 (4) 反映了吸风箱吸附物料负压 p_0 与片状物料质量 m 、有效透过面积 A_1 、摩擦系数 μ 、物料加速度 a 之间的关系。当片状物料在一定加速度和有效透过面积下，若要物料在输送带上不发生相对滑动，则吸风箱透过皮带上的孔对物料吸附负压要大于等于 p_0 。

2.2 有效透过面积与总透过面积的关系

吸风输送带相对于吸风箱是运动的，则吸风输送带和吸风箱上孔的总透过面积是变化的，对片状物料产生吸附力的有效透过面积 A_1 也随着改变，从而片状物料所受的吸附力也是变化的，这些变化会影响物料的稳定输送。接下来讨论在吸风输送机运行中总的透过面积的变化量是怎样的，如何调整其值。

3 透过面积的计算

3.1 单独孔间的透过面积计算

在任意位置,吸风输送带与吸风箱孔间总的透过面积,是此时每一个吸风输送带的孔与吸风箱的孔透过面积之和。一般情况下,为保证吸风输送带的强度^[14],吸风输送带上的孔较小;吸风箱为钢制材料,其上的孔较大。为方便计算,从简单模型开始分析,设孔为圆形孔^[15]且吸风输送带和吸风箱上每一行的孔心在同一水平线上。首先对任意一个吸风输送带的孔与吸风箱的孔在相对运动中的面积变化进行分析,吸风输送带上孔与吸风箱上孔之间透过面积存在3种情况:第1种是吸风输送带的小孔被吸风箱的大孔

包含,见图4a;第2种是吸风输送带的小孔和吸风箱的大孔部分相交,见图4b;第3种是吸风输送带的小孔和吸风箱的大孔相离,见图4c。

设某时刻吸风箱一个孔的圆心为 $O(O_x, 0)$, 吸风输送带上一个孔的圆心为 $T(T_x, 0)$, 吸风箱上孔的半径为 R , 吸风输送带上的孔的半径为 r 。吸风箱孔和吸风输送带孔中心距为 OT , 则:

$$OT = \sqrt{(O_x - T_x)^2} \quad (5)$$

当 $OT \leq R - r$ 时,吸风输送带孔在吸风箱孔内,透过面积为小孔的面积 $A = \pi r^2$; 当 $R - r \leq OT \leq R + r$ 时,吸风输送带孔与吸风箱孔相交,透过面积为图4b中相交的阴影面积; 当 $OT \geq R + r$ 时,吸风输送带孔在吸风箱孔外,透过面积为0。

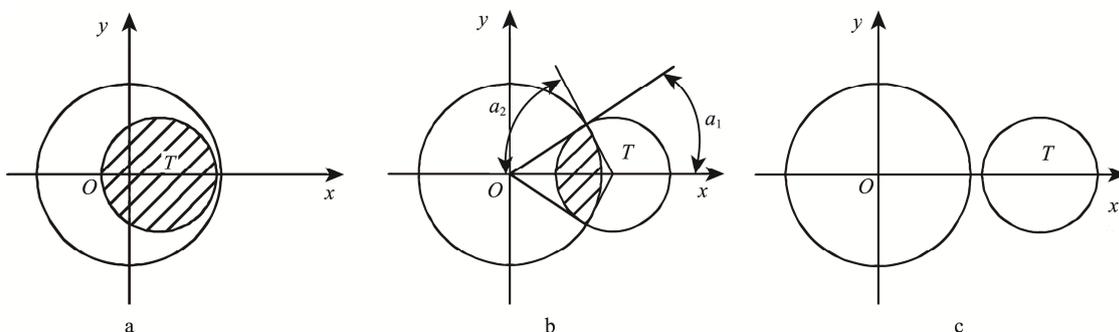


图4 相对透过面积示意

Fig.4 Schematic diagram of relative penetration area

设扇形 OAB 面积为 S_{OAB} , 扇形 ATB 面积为 S_{ATB} , 四边形 $OATB$ 面积为 S_{OATB} 。计算图4b形式的面积 A :
 $A = S_{OAB} + S_{ATB} - S_{OATB} = \alpha_1 R^2 + \alpha_2 r^2 - OT \cdot R \sin \alpha_1 \quad (6)$

其中, α_1 和 α_2 分别为:

$$\alpha_1 = \arccos \left[\frac{R^2 + OT^2 - r^2}{2R \cdot OT} \right]$$

$$\alpha_2 = \arccos \left[\frac{r^2 + OT^2 - R^2}{2r \cdot OT} \right]$$

则单个吸风输送带的孔与吸风箱的孔的透过面积为:

$$A = \begin{cases} \pi r^2 & OT \leq R - r \\ \alpha_1 R^2 + \alpha_2 r^2 - OT \cdot R \sin \alpha_1 & R - r \leq OT \leq R + r \\ 0 & OT \geq R + r \end{cases} \quad (7)$$

3.2 运行中的透过面积分析计算

吸风箱和吸风输送带上孔分布见图5:吸风输送带上的孔半径为 r , 孔与孔的横向间距为 s_1 , 纵向间距为 d_1 ; 吸风箱上的孔半径为 R , 孔与孔的横向间距为 s_2 , 纵向间距为 d_2 。按简化模型取得: $d_1 = d_2$ 。首先分析吸风输送带上一个孔在运动过程中的面积变化。在吸风输送带连续运行中,吸风输送带上任

意一个小孔都存在圆心从吸风箱的一个孔的圆心运行到相邻孔圆心的过程。在这个过程中,吸风输送带运行的位移为 s_2 。此时,透过面积的变化趋势有2种情况:吸风输送带上的孔圆心从吸风箱孔的圆心运动到相邻孔圆心的过程中,存在透过面积为0的情况,见图6a;运动中吸风输送带上的孔存在同时与吸风箱相邻孔相交,不存在透过面积为0的情况,见图6b。以吸风箱上的一个孔圆心为原点建立坐标系,见图5,将吸风输送带与吸风箱孔圆心重合时定义为初始位置,即位移为0。对第1种情况,由式(7)可计算出由初始位置位移 $x = s_2$ 内的一个孔透过面积 A_i 。

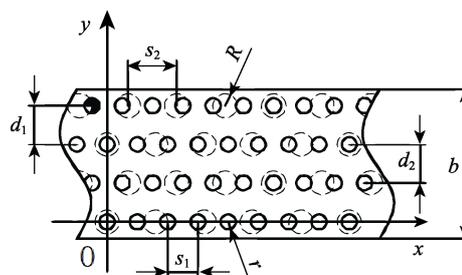


图5 吸风箱和吸风输送带上孔分布示意

Fig.5 Schematic diagram of distribution of holes in suction box and suction conveyor belt

$$A_i = f(x) = \begin{cases} \pi r^2 & 0 \leq x \leq R-r \\ \alpha_1 R^2 + \alpha_2 r^2 - xR \sin \alpha_1 & R-r < x < R+r \\ 0 & R+r \leq x \leq s_2 - R-r \\ \alpha_3 R^2 + \alpha_4 r^2 - (s_2 - x)R \sin \alpha_3 & s_2 - R-r < x < s_2 - R+r \\ \pi r^2 & s_2 - R+r \leq x \leq s_2 \end{cases} \quad (8)$$

其中： $\alpha_1 = \arccos \frac{R^2 + x^2 - r^2}{2Rx}$ ， $\alpha_2 = \arccos \frac{r^2 + x^2 - R^2}{2rx}$ ， $\alpha_3 = \arccos \frac{R^2 + (s_2 - x)^2 - r^2}{2R(s_2 - x)}$ ， $\alpha_4 = \arccos \frac{r^2 + (s_2 - x)^2 - R^2}{2r(s_2 - x)}$ 。

因吸风箱上孔的间距是定值 s_2 ，则吸风输送带位移 $x \in (0, +\infty)$ 时，一个孔的透过面积变化函数 $f(x)$ 是以 s_2 为周期的函数，所以若初始位置已知，则任意一个小孔与大孔的透过面积都可通过函数 $f(x)$ 进行计算。

吸风输送带孔和吸风箱孔的间距为定值，则皮带静止状态下，透过面积在一定范围内具有周期性。当吸风输送带与吸风箱的上横向间距关系为： $n_1 s_1 = m_1 s_2$ ，且 s_1 与 s_2 互质时， $n_1 s_1$ 为最小周期，其中 n_1 表示吸风输送带上第 $0, 1 \cdots n_1$ 个孔， m_1 表示吸风箱上第 $0, 1 \cdots m_1$ 个孔。设 $A_{\text{总}}$ 为初始位置下的最小周期上的总透过面积，即图 7a 所示阴影面积，则：

$$A_{\text{总}} = \sum_{i=0}^{n_1-1} A_i = \sum_{i=0}^{n_1-1} f(is_1) = \sum_{i=0}^{n_1-1} f\left(i \frac{m_1}{n_1} s_2\right) \quad (9)$$

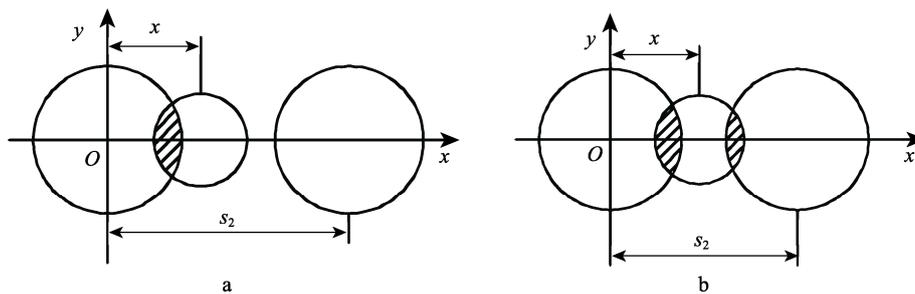


图 6 小孔位移 x 后的位置
Fig.6 Position of the hole after displacement of x

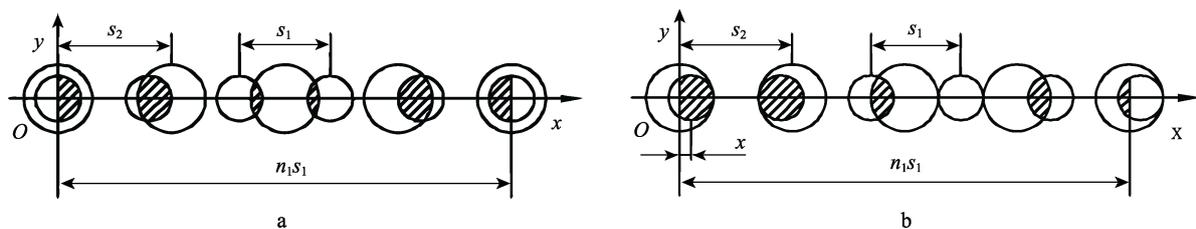


图 7 最小周期内的总透过面积
Fig.7 Total penetration area in minimum cycle

令 $c_i \equiv im_1 \pmod{n_1}$ ，其中 $i \in (0, n_1-1)$ ，则 c_i 中的值取 $0, 1 \cdots n_1-1$ 。 $f(x) = f(x+s_2)$ ，于是：

$$A_{\text{总}} = f\left(\frac{c_0}{n_1} s_2\right) + f\left(\frac{c_1}{n_1} s_2\right) + \cdots + f\left(\frac{c_i}{n_1} s_2\right) = \sum_{i=0}^{n_1-1} f\left(\frac{i}{n_1} s_2\right) \quad (10)$$

吸风输送带上的孔在最小周期上由初始位置位移 x 后的透过面积为 f_z ，图 7b 所示阴影面积为其透过面积：

$$f_z = \sum_{i=0}^{n_1-1} f\left(\frac{i}{n_1} s_2 + x\right) \quad (11)$$

由式 (11) 可以计算出任意位移后一个 $n_1 s_1$ 内的透过面积的值，若吸风输送机上一共有 a 个 $n_1 s_1$ ，则吸风输送带由初始位置运动 x 位移后，整个吸风输送机上的总透过面积 $f_{\text{总}}$ 为：

$$f_{\text{总}} = a f_z \quad (12)$$

对于第 2 种情况，与第 1 种情况的分析方法类似，不再进行讨论。

3.3 各参数对透过面积的影响

吸风输送带一个孔位移 s_2 中，透过面积变化趋势的 2 种情况见图 8。图 8a 为第 1 种情况，其中 $x_1=R-r$ ， $x_2=R+r$ ， $x_3=s_2-R-r$ ， $x_4=s_2-R+r$ ， $x_5=s_2$ 。图 8b 为第 2 种情况，其中 $x_1=R-r$ ， $x_2=s_2/2$ ， $x_3=s_2-R+r$ ， $x_4=s_2$ 。根据图 8 两种情况的变化趋势，可以得出一个最小周期里的透过面积变化情况。 R, r, s_1, s_2 的变化对一个 $n_1 s_1$ 内的透过面积的影响如下。

1) 当 R, r, s_1 保持不变，改变 s_2 时，不影响一个

n_1s_1 内的透过面积的大小及极值。如当 $r=2.5$, $R=4$, $s_1=7$, $s_2=13$ 时, n_1s_1 内的总透过面积的变化见图 9a; 当 $r=2.5$, $R=4$, $s_1=7$, $s_2=15$ 时, n_1s_1 内的总透过面积

的变化见图 9b。由图 9 可以看出, 随着 s_2 的改变, n_1s_1 内的总透过面积的极值相同, 位移 s_2 内的透过面积的变化周期不同但都为 s_2 。

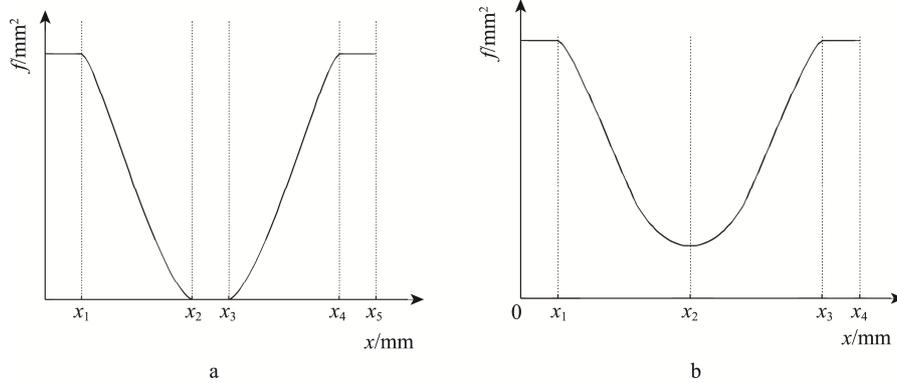


图 8 s_2 位移内小孔透过面积的变化
Fig.8 Variation in the penetration area of small holes in s_2 displacement

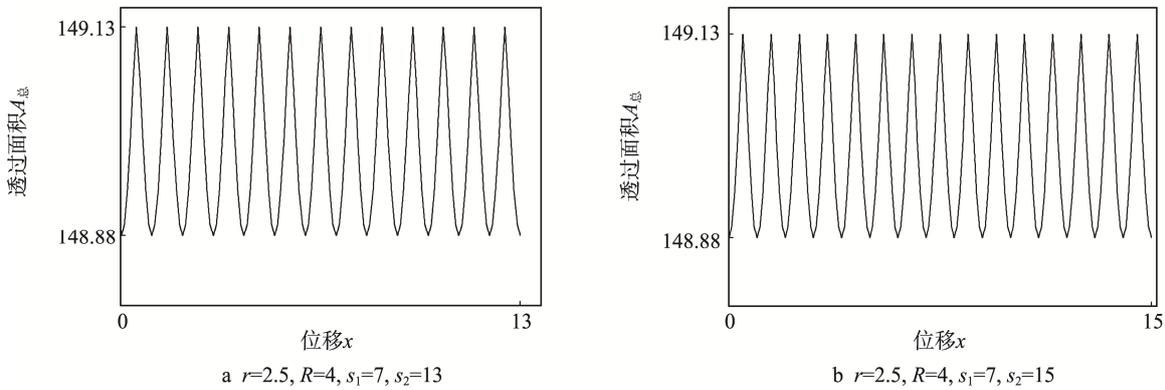


图 9 s_2 改变对透过面积的影响
Fig.9 Effect of s_2 change on the penetration area

2) 当 R, r, s_2 保持不变, 改变 s_1 时, 不影响一个 n_1s_1 内的透过面积的大小及极值。如当 $r=2.5$, $R=4$, $s_2=13$, $s_1=7$ 时, n_1s_1 内的总透过面积的变化见图 9a; 当 $r=2.5$, $R=4$, $s_2=13$, $s_1=9$ 时, n_1s_1 内的总透过面积的变化见图 10。由图 10 和图 9a 可以看出, 随着 s_1 的改变, n_1s_1 内的总透过面积的变化规律相同, 变化周期均为 s_2 。

3) 当 r, s_1, s_2 保持不变, 改变 R 时, 一个 n_1s_1 内的透过面积的极值发生变化。如当 $r=2.5$, $s_2=13$, $s_1=7$, $R=3$ 时, n_1s_1 内的总透过面积的变化见图 11; 当 $r=2.5$, $s_2=13$, $s_1=7$, $R=4$ 时, n_1s_1 内的总透过面积的变化见图 9a。由图 11 和图 9a 可以看出, R 的增大会使 n_1s_1 内透过面积增大而变化量减小。

4) 当 R, s_1, s_2 保持不变, 改变 r 时, 一个 n_1s_1

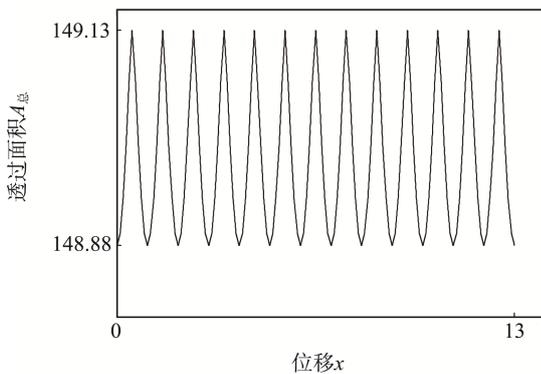


图 10 s_1 改变对透过面积的影响
Fig.10 Effect of s_1 change on the penetration area

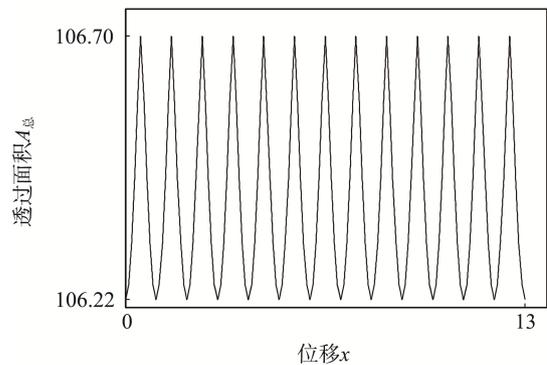
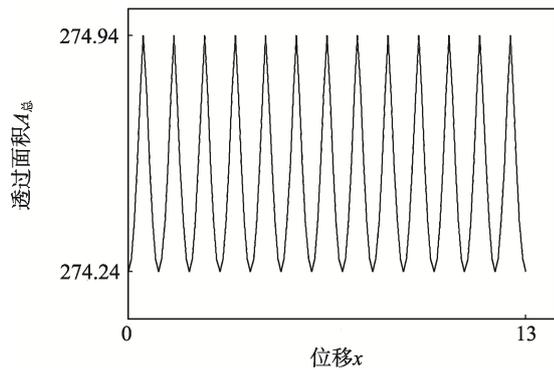


图 11 R 改变对透过面积的影响
Fig.11 Effect of R change on the penetration area

图 12 r 改变对透过面积的影响Fig.12 Effect of r change on the penetration area

内的透过面积的极值也发生变化。如当 $R=4$, $s_2=13$, $s_1=7$, $r=2.5$ 时, n_1s_1 内的总透过面积的变化见图 9a; 当 $R=4$, $s_2=13$, $s_1=7$, $r=3$ 时, n_1s_1 内的总透过面积的变化见图 12。由图 12 和图 9a 可以看出, r 的增大会使 n_1s_1 内透过面积和变化量增大。

根据 R , r , s_1 , s_2 的改变对一个 n_1s_1 内的透过面积的影响, 可以推导出在运行时整个吸风输送机上的透过面积变化情况, 所以, 可以通过选取合理的相关参数获得较好的透过面积变化, 从而满足吸风输送机稳定输送的要求。

4 结语

通过对物料的受力分析, 得出了影响吸附负压 p_0 大小的相关参数; 建立吸风输送机的透过面积和关键结构参数的数学模型, 推导出了某位移下总透过面积的计算公式; 分析影响透过面积及其变化的相关参数, 得出了各参数的变化与透过面积的变化规律。研究对吸风输送机透过面积的设计提供了支撑, 为吸风输送机设计与优化提供了一定的依据。

参考文献:

- [1] 张明秋, 胡国胜. YB55A 透明纸小包机负压吸风带输送装置设计与应用[J]. 机械工程师, 2012(1): 116—117. ZHANG Ming-qiu, HU Guo-sheng. Development and Application of Vacuum Suction Belt Conveying Equipment in YB55A Cellophaner[J]. Mechanical Engineer, 2012(1): 116—117.
- [2] 潘杰, 马静君. 真空吸气带变速的输纸技术[J]. 出版与印刷, 2003(1): 36—37. PAN Jie, MA Jing-jun. Vacuum Suction with Variable Feed Technology[J]. Publishing & Printing, 2003(1): 36—37.
- [3] 赵小平, 黄康生, 周国煜. 高性能真空带输纸装置[J]. 印刷技术, 1997, 17(10): 24—25. ZHAO Xiao-ping, HUANG Kang-sheng, ZHOU Guo-yu. High Performance Vacuum Tape Feed Device[J]. Printing Technology, 1997, 17(10): 24—25.
- [4] 赵吉斌, 王仪明, 张选生. 印刷机真空输纸装置的输纸特性实验研究[J]. 机械科学与技术, 2005, 24(6):

666—669.

ZHAO Ji-bin, WANG Yi-ming, ZHANG Xuan-sheng. Experimental Research on Paper-conveying Feature for the Suction-tape Feed Table of Press[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2005, 24(6): 666—669.

- [5] 张肖庆. 袜子自动化装袋技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014. ZHANG Xiao-qing. Research on the Automatic Bagging Technology of Socks[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [6] 郑俊强, 何林, 唐正强. 负压孔型对真空输纸性能的影响研究[J]. 机械设计与制造, 2016(4): 118—121. ZHENG Jun-qiang, HE Lin, TANG Zheng-qiang. The Research on the Impact of Aperture Shape on the Suction-tape Feeding Performance[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(4): 118—121.
- [7] 刘点点. 带式输送机动态特性仿真分析与实验研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2018. LIU Dian-dian. Simulation Analysis and Experimental Research on Dynamic Characteristics of Belt Conveyor[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2018.
- [8] 马武, 霍明明. 带式输送机传动滚筒参数化设计及稳定性研究[J]. 煤矿机械, 2018, 39(9): 23—25. MA Wu, HUO Ming-ming. Study on Parametric Design and Stability of Transmission Drum of Belt Conveyor[J]. Coal Mine Machinery, 2018, 39(9): 23—25.
- [9] 王稳. 张紧滚筒动力学特性计算与分析[J]. 煤矿机械, 2013, 34(2): 29—31. WANG Wen. Calculation and Analysis of Tension Pulley's Dynamic Characteristic[J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34(2): 29—31.
- [10] 蒋扬峰. “Sydney”餐巾纸折叠机的研发[D]. 杭州: 浙江大学, 2012. JIANG Yang-feng. Research and Development for “Sydney”Napkin Folding Machine[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [11] 韩丽娜. 真空带输纸装置的性能研究及参数化设计[D]. 西安: 西安理工大学, 2008. HAN Li-na. Properties Research and Parametric Design of Vacuum Belt Paper-conveying Device[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2008.
- [12] 李廷. 多层皮革/布料数控裁剪机真空吸附系统研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012. LI Ting. Research on Vacuum Adsorption System of CNC Cutting Machine for Multi-layered Cotton Material/Leather Material[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2012.
- [13] 郑俊强. 柔性纸币的平整化技术研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016. ZHEN Jun-qiang. The Research on Flexible Banknote's Levelling Technology[D]. Guiyang: Guizhou University, 2016.
- [14] 刘广勇. 钢丝绳芯输送带绳芯断裂原因分析[J]. 煤矿机械, 2015, 36(7): 311—312. LIU Guang-yong. Rope Breaking Analyze of Steel Cord Conveyor[J]. Coal Mine Machinery, 2015, 36(7): 311—312.
- [15] ZHANG Y P, LI S S, WANG M X. Main Vacuum Technical Issues of Evacuated Tube Transportation[J]. Physics Procedia, 2012, 32: 743—747.