

毛巾薄膜包裹性能参数研究与优化

许宝勳^{1,2,3}, 杨建成^{1,2,3}, 蒋秀明^{1,2,3}

(1.天津工业大学 机械工程学院, 天津 300387;

2.天津市现代机电装备技术重点实验室, 天津 300387;

3.天津市机械基础及纺织装备设计虚拟仿真实验教学中心, 天津 300387)

摘要: **目的** 为了研究毛巾在给定包装尺寸参数条件下, 如何保证毛巾包装严实、无褶皱的优良效果, 对包装机的推杆推力等参数进行计算。**方法** 通过对毛巾压缩量和压缩受力进行试验分析, 得出毛巾变形量与压缩受力之间的关系; 对毛巾推入过程中负压吸附薄膜进行模拟仿真, 得出吸附压强。将薄膜裹膜运动过程进行受力分解, 分析牵引力对毛巾的影响, 并计算出最优推力。**结果** 对负压入口压强进行了优化分析, 确定负压为 0.05 MPa。同时因毛巾柔软特性, 对毛巾推动推力进行了优化分析, 试验表明, 毛巾垛要求高度在 10~12 cm 之间时, 选择推力 70.76 N; 高度在 12~20 cm 之间时, 选择推力为 58.36 N。**结论** 根据计算所得, 在以上推力下可保证薄膜的张紧, 确保毛巾包装无褶皱情况, 保证了包装效果, 提高了包装效率。

关键词: 毛巾; 负压; 包装膜; 性能参数

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)09-0102-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.09.017

Optimization of Towel Film Wrapping Parameters

XU Bao-meng^{1,2,3}, YANG Jian-cheng^{1,2,3}, JIANG Xiu-ming^{1,2,3}

(1.School of Mechanical Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China;

2.Tianjin Key Laboratory of Modern Mechanical and Electrical Equipment Technology, Tianjin 300387, China;

3.Virtual Simulation Experimental Teaching Center of Machinery and Textile Equipment Design Basis, Tianjin 300387, China)

ABSTRACT: The work aims to study how to ensure the fine effect of towel packing without wrinkle under the given size parameter of towel so as to calculate the thrust of push rod of packing machine. The relationship between the deformation of towel and the compression force was obtained by analyzing the compression capacity and compression force of towels, and the adsorption pressure was obtained by simulating the negative pressure adsorption film when the towel was pushed in. The effect of traction force on towels was analyzed and the optimal thrust was calculated by decomposing the motion process of the wrapped film. The negative pressure inlet pressure was optimized and the negative pressure was determined to be 0.05 MPa. At the same time, due to the soft characteristics of the towel, the thrust of the towel was optimized. When the height of the towel was between 10 cm and 12 cm, thrust of 70.76 N was selected. When the height was between 12 cm and 20 cm, thrust of 70.76 N was chosen. According to the calculation, under the above thrust, the tension of the film can be ensured and the towel package is free from wrinkles, thus ensuring the packaging effect and improving the packaging efficiency.

KEY WORDS: towel; negative pressure; wrap; performance parameter

收稿日期: 2019-01-15

作者简介: 许宝勳 (1991—), 男, 天津工业大学硕士生, 主攻产业用纺织品自动化生产线设计。

通信作者: 杨建成 (1962—), 男, 博士, 天津工业大学教授, 主要研究方向为纺织机械设计及其自动化。

毛巾是人们日常生活当中的必备用品,属于低价值的易耗品,市场对毛巾的需求量非常巨大。随着国外先进技术的引进,毛巾生产速度大幅度提升,但目前市场上的毛巾多为人工包装,生产效率低,人工成本高^[1]。现有的包装设备存在包装尺寸小,耗膜多、塑封效果差等问题。为了适应市场发展需求,现研发一种现代化高效的自动化塑封包装模式,代替传统的人工包装塑封模式。

目前国外先进的毛巾包装机有日本的 JENSEN-ST1000,2 条为一小包,每小时包装 10 000 条;另外台湾地区的 SPANLACE 公司的小型湿纸巾包装机,湿巾产量为每小时 18 000 包,尚无大型立体毛巾包装机塑封。

根据企业实际调研得知,企业的人均手工折叠速度为 30 条/min,即 3 包/min,效率较低;按照设计,新型包装塑封机速度为 30 包/min。目前国内外现有的毛巾机械包装模式主要有 L 型、袖口式 2 种^[2-3]。设计一种新的包装机,采用立体旋转变换工位,将薄膜导边成型,最后热封的一种包装模式。其包装封边耗膜为热封重叠消耗,为整体包装耗膜的 3%,小于传统工艺的 5%,但其关键牵引及负压吸膜部分未被充分研究^[4-6]。此新型包装机立体包装结构简单紧凑、安装方便、节约膜耗,不经加热收缩也可以裹包生产,生产效率大幅提高,工作稳定可靠。

包装膜牵引推入包裹是技术难点。传统牵引模式是在夹辊上配有毛刷,生产过程中利用毛刷与薄膜之间摩擦力均匀牵引薄膜^[7]。其缺点是牵引过程中薄膜磨损,易受较大的摩擦力而变形,塑料膜不平整,影响后期包装效果^[8-9]。设计新型立体毛巾塑封包装机,相对传统胶辊薄膜牵引,新型包装机为负压薄膜牵引,减小了薄膜与牵引机构之间的摩擦^[10-11],其运动过程中负压牵引固定,无相对运动。利用 Fluent 模拟仿真确定其牵引力^[12-15],最终可以确定最佳推力。

1 工作原理

选用负压吸附带牵引传动模式,利用负压将薄膜固定于吸附块上的吸附带上,利用吸附带的旋转运动带动薄膜,达到薄膜牵引推入的目的。吸附带为柔性聚合塑脂材料,均匀分布吸附孔,通过同步带控制吸附带的运动,可以精确定位吸附孔位置,确定薄膜的传送位置。

负压吸附结构设计见图 1,薄膜经薄膜阻回机构 1 后,被薄膜断刀机构 2 断膜后,由负压吸附带牵引至指定位置。折叠好的毛巾垛被传送带传送到毛巾压缩机构 5 上,将毛巾压缩,使毛巾紧致;推杆 6 将压缩台上的毛巾推动至负压吸附块处。

柔性塑料吸附带两端分别环绕于同步轮上,压紧后,吸附带随着同步轮的转动而循环运动,塑封膜因

被吸附上带的负压孔吸附而跟随吸附带运动。推入前效果见图 2a,毛巾垛经推杆推入后的效果见图 2b。

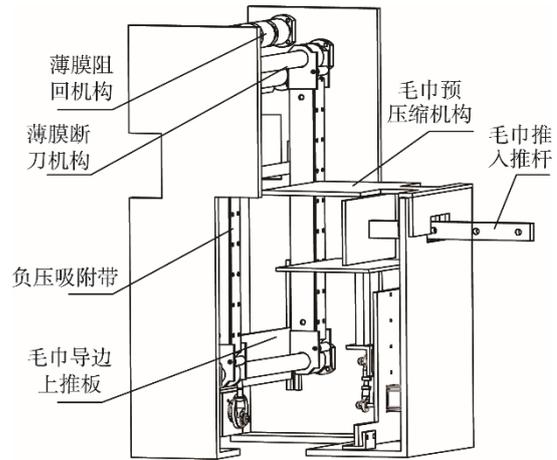


图 1 包装机推入吸附模块

Fig.1 Pushing the adsorption module of packing machine

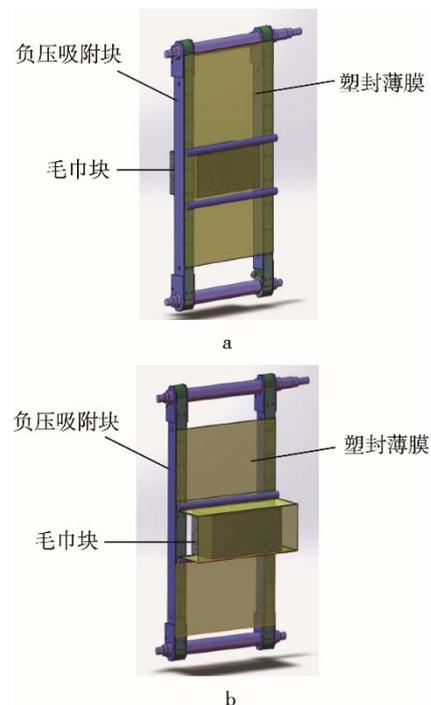


图 2 包装推入效果

Fig.2 Pushing effect of packing

2 工作分析及试验研究

毛巾包装裹膜包装效果主要由 2 部分控制:一是推杆毛巾接触产生形变,摩擦力变化;二是负压吸附带摩擦受力变化,薄膜与吸附带贴合段吸附孔数量变化。对 2 部分进行单独分析,最终确定毛巾的控制变量及参数变化对毛巾包装的影响。

在推入推动过程中,毛巾沿推动方向形变,且毛巾垂直方向也产生形变,上下面与薄膜接触力产生变化,摩擦力发生改变。下面对毛巾受力情况进行分析。

2.1 材料和仪器

材料：选择 32 支工艺纯棉毛巾，毛巾尺寸为 33 cm×73 cm，根据包装要求的 10 条 1 组，三折叠后码垛。无压力情况下毛巾尺寸为 33 cm×1 cm×21 cm，毛巾线圈密度为 100 个/cm²；市场采购 cpp 膜，进行裹膜恒推力测试。

仪器：航宇东方 HT7311S4 测力传感器；艾普 SF-300 推力计；forsafe S800 高速摄像机。

2.2 方法

对折叠后的毛巾给予恒定压力负载，静止 2 min 和 3 min 后，测量毛巾的高度，按照设定推力对毛巾进行推动。高速摄像机拍摄毛巾横向变形量，同时传感器测量竖直方向变形产生的力度变化，然后反馈于电脑中。

2.3 试验分析

建立测试模型，设定推板推力为 F_1 ，上下压力分别为 F_2 和 F_3 ，毛巾在推力 F_1 的作用下，产生形变，在 F_1 方向产生形变的同时，竖直方向也产生变形。经测试，因推入速度快，推动时间短，毛巾上下变形量小，不影响上下压力变化。

在 F_1 作用下，毛巾水平方向的变形量受推力影响。进行力学模型简化，见图 3。

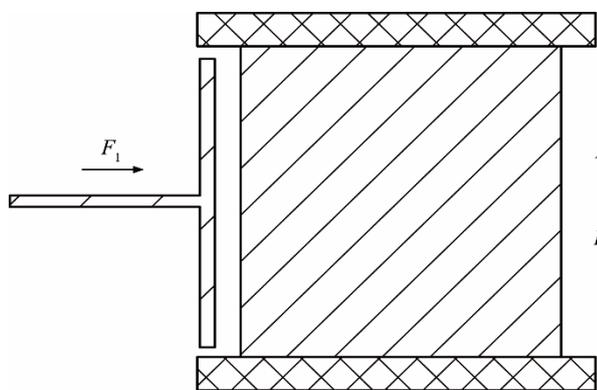


图 3 毛巾推入受力分析
Fig.3 Analysis of towel pushing force

根据实验采集到的数据绘制压力与毛巾高、宽之间的线性关系，见图 4。

由图 4 可知，毛巾的高度随着压力变化而明显变化；毛巾的宽度方向随着压力变化，变形量较小。

对毛巾松紧度及超位量问题进行实验测量，对于该次试验棉质毛巾进行归纳分析，推导出相应变化公式。

高度变化方程：

$$y = 20.2 - 0.144x + 0.005x^2 \quad (1)$$

拟合度 $R^2=0.997$ 。

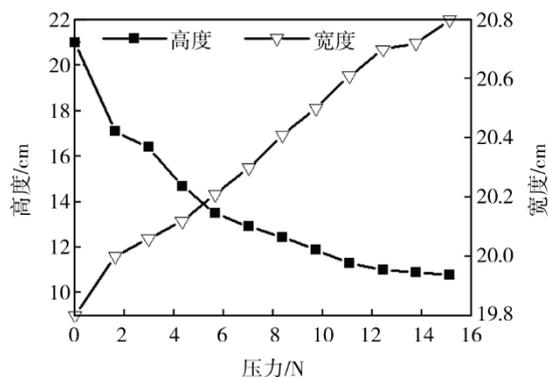


图 4 受力变形曲线
Fig.4 Stress deformation curve

宽度变化方程：

$$y_1 = 19.854 + 0.006x \quad (2)$$

拟合度 $R^2=0.986$ 。式中： x 为压缩受力(N)； y 为毛巾高度 (cm)。

根据测试得出毛巾压缩受力-高度变化关系，推导出高度随压力变化的公式为：

$$x = 144 - \sqrt{20y - 200} \quad (3)$$

包装机的供膜机构采用负压牵引技术，负压吸附带将切断好的包装膜旋转牵引至要求的包装位置。运用 Fluent 对吸附带进出口气压进行模拟运算，选择最合适的负压力，确保在负压力和推动力的合力作用下包装膜处于张紧状态，保证其能正常牵引且包装过程中不会产生褶皱，保证包装的质量效果。文中对负压吸附带吸附力进行运算分析的同时，对推杆推动毛巾整体进行受力分析。

负压块为中空壳形铝型材，其单边束缚树脂吸附带，其结构见图 5。负压块部分尺寸为 60 cm×8 cm×8 cm，中空部分尺寸为 56 cm×6 cm×6 cm，单吸附带负压面共 20 个负压出口，孔径为 0.8 cm，横向间距为 4 cm，纵向间距为 6 cm，一对负压入口，孔径为 1.2 cm，负压入口压强为 0.2 MPa。负压块如图 2 所示成对出现，吸附薄膜于左右两侧，使薄膜平整固定于吸附模块处，为毛巾推入包裹做准备。运用 Fluent 软件

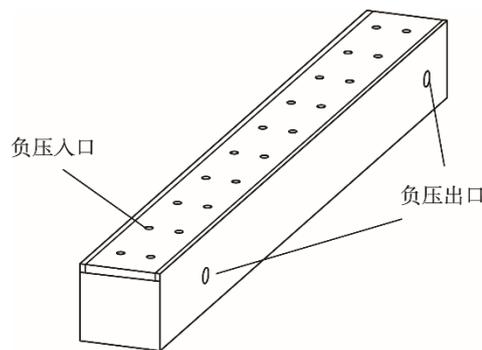


图 5 吸附槽结构
Fig.5 Structure of adsorption tank

进行模拟, 分别得出 20 个负压出口的压强。经 Fluent 进行模拟, 结果见图 6, 得到的负压出口压强数据换算成出口压力值, 结果见表 1。

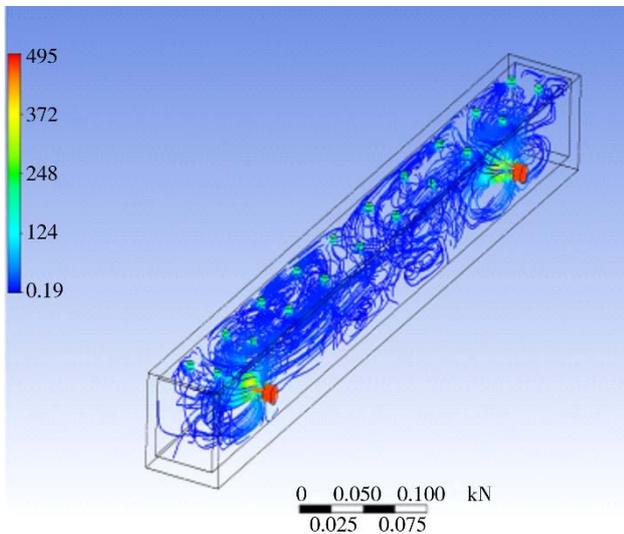


图 6 负压仿真模拟结果
Fig.6 Negative pressure simulation

表 1 不同压力出口的负压压力

Tab.1 Negative pressure at different pressure outlets

负压出口	压强/Pa	压力/N
out11	80 662.828	2.33
out12	81 085.906	2.28
out21	77 980.781	2.64
out22	78 226.586	2.61
out31	77 689.305	2.67
out32	77 548.758	2.68
out41	77 262.17	2.72
out42	77 185.31	2.72
out51	77 080.23	2.74
out52	76 823.24	2.77
out61	76 142.31	2.84
out62	75 982.61	2.86

由负压模拟结果可知, 在负压进出口流速快、压强强大, 内部气流平缓, 可保证吸附稳定性。

3 负压牵引过程的参数化分析

为保证包装膜正常吸附于吸附带上, 薄膜可被吸附带顺利向下牵引, 对临界状态进行受力分析, 得出满足条件的吸附点状态, 以及在临界点 x 方向和 y 方向上的受力条件。

由于毛巾包装机推入包裹机构上下对称, 所以取上半部分对包装膜进行受力分析。为使膜起正向作用, 同时使包装膜光滑过渡, 总推力为 F_t , 故上半部分毛巾受推力为 $F_t/2$ 。压板压紧毛巾, 压力为 F_2 和 F_3 , 摩擦因数 $\mu_1=0.3$, 其摩擦力为 f_1 , 单条吸附带提供的负压力从上至下依次为 $F_1 \sim F_n$, 薄膜与吸附带摩

擦因数 $\mu_1=0.28$, 摩擦合力为 f_2 。

其中:

$$f_2 = \mu_2(F_{11} + F_{12} + F_{21} + \dots + F_{n1} + F_{n2}) \quad (4)$$

$$\frac{F_t}{2} - \mu_1 F_n \sin \alpha > \mu_2(F_{11} + F_{12} + \dots + F_{n1} + F_{n2}) \quad (5)$$

负压入口的位置决定了负压出口处每个吸附孔负压值的不同, 其对应的负压力也不相同; 因为推力 F_t 和摩擦力 f_1 的不同, 使合力 F 于 x 方向的分量 F_{5x} 发生变化。因包装膜柔软特性, 使其在接触位置受力临界点为 $F_{n-1} > F_{5x}/2 > F_n$, 其大小决定了包装膜与吸附带接触的吸附孔数量为 $2(n-1)$ 个, 由这 $2(n-1)$ 个负压孔对上半段包装膜起约束作用。受力分析见图 7。

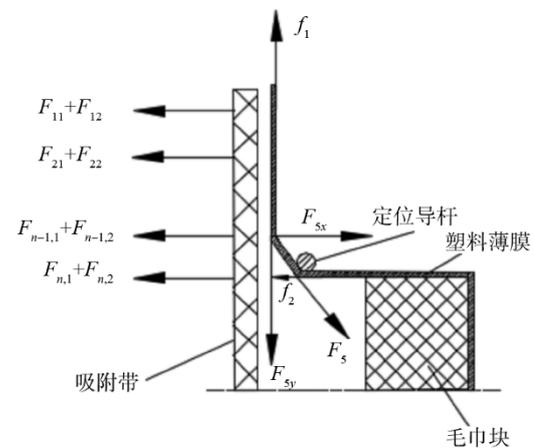


图 7 临界状态受力分析
Fig.7 Critical state stress analysis

为保证薄膜被流畅牵引向下运动且包装紧密, 对整体受力分析。在 y 轴上分量:

$$\frac{F}{2} - \mu_1 F_4 \sin \alpha > \mu_1(F_1 + F_2 + \dots + F_n) \quad (6)$$

在 x 轴上分量:

$$F_n < F_{5x} < F_{n-1} \quad (7)$$

推杆推力转换成关于高度的方程:

$$F_t = 4\mu_2 F_m \left(\cos \arctan \frac{6}{(60-y)/6+6} \right)^{-1} + \mu_1(144 - \sqrt{20y-200}) + m \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (8)$$

式中: $m=1.2 \text{ kg}$, $s=30 \text{ cm}$, $t=1 \text{ s}$ 。

计算吸附孔的数值范围:

$$n = 5 - \left(\frac{y}{6} \right) \quad (9)$$

分析计算 n 的取值范围为 (3, 4)

当 $12 \leq y \leq 20$ 时, $n=3$, $F_m=F_{11}+F_{12}+F_{21}+\dots+F_{32}$ 。

为保证临界条件:

$$\begin{cases} F_{5x} < F_{n-1} \\ (F_t - \mu_1 F_n - F_a) \sin \alpha < F_{31} + F_{32} \end{cases} \quad (10)$$

根据计算所得负压出口压力： $F_m=15.21, 58.36$ N $<F_t \leq 65.08$ N, 优化选择推力 $F_t=58.36$ N。当 $10 \leq y < 12$ 时, $n=4$, $F_m=F_{11}+F_{12}+F_{21}+\dots+F_{41}+F_{42}$ 。为保证临界条件:

$$\begin{cases} F_{5x} < F_{n-1} \\ (F_t - u_1 F_n - F_a) \sin \alpha < F_{41} + F_{42} \end{cases} \quad (11)$$

根据计算所得负压出口压力得： $F_m=20.65$ N, 70.76 N $<F_t < 74.34$ N, 优化选择推力 $F_t=70.76$ N。

4 结语

根据分析研究,对薄膜的负压牵引以及毛巾作为柔软体的推力要求,提出具体的参数要求。

1) 负压吸附带的负压牵引,根据实际使用情况以及理论计算提出负压吸附压力为 0.05 MPa,在此负压值情况下,对薄膜牵引受力分析,根据毛巾垛高度尺寸确定推杆推力,毛巾垛高度在 $10 \sim 12$ cm 之间时,选择推力为 70.76 N;高度在 $12 \sim 20$ cm 之间时,选择推力为 58.36 N,可以保证薄膜的顺利下膜以及包装时薄膜张紧,包装不起褶皱。

2) 在高速生产时,以设定的推力推动毛巾包裹,减少了能耗,同时避免了毛巾因剧烈推挤产生形变。提升了生产效率,同时保证了包装要求。

3) 设计的新型毛巾立体包装塑封机,具有包装整齐且呈“长方体”的外观特点,包装效率高,减少了薄膜用量,且使用的负压吸附牵引装置节约能耗。该类型包装机将在市场上被广泛接受并进一步推广。

参考文献:

- [1] 朱亮. 高速制袋机的热封系统研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2012.
ZHU Liang. Research on Heat Sealing System of High Speed Bag Making Machine[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2012.
- [2] 郭爱莲. 无捻毛巾的生产及产品性能评价[D]. 天津: 天津工业大学, 2005.
GUO Ai-lian. Production of Flawless Towels and Evaluation of Product Performance[D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2005.
- [3] 刘荣清. 纱线加捻与产品开发[J]. 上海纺织科技, 2003(1): 55—56.
LIU Rong-qing. Yarn Twisting and Product Development[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2003 (1): 55—56.
- [4] 罗丽亚, 张可清. 供膜包装机构及物品供膜包装方法: 中国, CN102001474A[P]. 2011-04-06.
LUO Li-ya, ZHANG Ke-qing. Film Packaging Mechanism and Article Film Packaging Method: China, CN102001474A[P]. 2011-04-06.
- [5] 方志英. 薄膜立式旋转牵引装置: 中国, 201830079228.3[P]. 2018-09-14.
FANG Zhi-ying. Film Vertical Rotary Traction Device: China, 201830079228.3[P]. 2018-09-14.
- [6] 胡新颖, 李华帅. 热收缩薄膜包装印前制作分析[J]. 今日印刷, 2018(9): 66—68.
HU Xin-ying, LI Hua-shuai. Pre-press Production Analysis of Heat Shrinkable Film Packaging[J]. Print Today, 2018(9): 66—68.
- [7] 佚名. 先进的薄膜牵引装置[J]. 国外塑料, 2006(1): 52.
Anon. Advanced Film Traction Device[J]. World Plastics, 2006(1): 52.
- [8] 饶建国. 一种薄膜牵引系统: 中国, 201720218242.7 [P]. 2017-11-28.
RAO Jian-guo. Film Traction System: China, 201720218242.7[P]. 2017-11-28.
- [9] 张玉霞. 吹塑薄膜技术进展[J]. 塑料包装, 2007(3): 38—46.
ZHANG Yu-xia. Development of Blown Film Technology[J]. Plastics Package, 2007(3): 38—46.
- [10] 张玉霞, 刘伟. 微层技术在吹塑薄膜中得到应用[J]. 塑料包装, 2012, 22(2): 59—60.
ZHANG Yu-xia, LIU Wei. Microlayer Technology is Applied in Blown Film[J]. Plastics Packing, 2012, 22(2): 59—60.
- [11] 王雯瑶. 塑料拉伸辅机中二次牵引装置的结构特点与创新[J]. 橡塑技术与装备, 2017, 43(8): 46—48.
WANG Wen-yao. Structure Characteristics and Innovation of the Secondary Drawing Device of Plastic Tensile Auxiliary Machine[J]. Plastics Technology and Equipment, 2017, 43(8): 46—48.
- [12] 喻巍岭, 冯煜东, 周晖, 等. 微型拉瓦尔喷管的流体仿真分析和优化[J]. 真空与低温, 2018, 24(4): 246—250.
YU Wei-ling, FENG Yu-dong, ZHOU Hui, et al. Fluid Simulating Analysis and Optimization of Micro Laval Nozzle[J]. Vacuum and Cryogenics, 2018, 24(4): 246—250.
- [13] 陈艳霞. ANSYS Workbench15.0 有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
CHEN Yan-xia. ANSYS Workbench15.0 Finite Element from the Introduction to Proficiency[M]. Beijing: China, Publishing House of Electronics Industry, 2015.
- [14] 李赫, 张志, 任源, 等. 基于 FLUENT 的菊花热风干燥流场特性仿真分析[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 133—138.
LI He, ZHANG Zhi, REN Yuan, et al. Simulation Analysis of Flow Field Characteristics of Chrysanthemum Drying Based on FLUENT[J]. Food and Machinery, 2018, 34(10): 133—138.
- [15] 江涛, 吴崇友, 伍德林. 基于 Fluent 的联合收割机风筛选流场仿真分析[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(3): 26—29.
JIANG Tao, WU Chong-you, WU De-lin. Simulation Analysis of Wind Screen Flow Field for Combine Harvester Based on Fluent[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(3): 26—29.