

低物料残留软塑包装管形式研究

孙中振¹, 邓可仪¹, 王赞¹, 王军^{1,2}

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 中国包装总公司食品包装技术与安全重点实验室, 无锡 214122)

摘要: 采用基于 ANSYS 的有限元法, 分析了不同黏度的物料在变截面管中的流动速度分布, 不同变截面数的软塑管对出口段物料流速的影响, 以及不同管径比和不同管长比的变截面管中的物料流动速度分布。找出了控制残留量的主要因素和技术参数, 以此对现存的软塑包装管提出了一些改良措施, 为设计新的低物料残留的软塑包装管提供分析数据支持。

关键词: 物料残留; 流体分析; ANSYS; 变截面管

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)19-0066-04

New Form of Soft Plastic Tube with Low Residue

SUN Zhong-zhen¹, DENG Ke-yi¹, WANG Zan¹, WANG Jun^{1,2}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Wuxi 214122, China)

Abstract: Flow velocity distribution of materials with different viscosity in variable cross section tube was analyzed based on ANSYS. The influence of number of variable cross sections on material flow velocity of exit section was analyzed. The main factors and technical parameters to control residue quantity were founded and determined. Improvements on present plastic tube packaging were put forward. The purpose was to provide technical support to design new packaging of low residue.

Key words: material residue; fluid analysis; ANSYS; variable cross-section tube

在我国的食物和日化行业, 软塑管包装的物料残留一直是一个重要的技术问题。随着我国经济的快速发展, 目前的复合软管年生产量达 15 亿支, 物料残留的问题已引起了业内广泛的关注, 全球各大公司目前都在致力于研发低物料残留的软塑包装管形式^[1]。现在对软塑管包装的研究大多集中在封尾的研究^[2-3], 还有一些对牙膏包装专利方案的改进设计^[4-6], 但是并没有对其物料残留情况进行定量分析。在我国乃至国外现今的包装领域, 有关流体力学对物料残留的影响的研究一直鲜有人涉足, 相关问题也一直未得到解答。虽然解决此问题的方案已有很多, 但很少能应用到实际生产中去。梁永坚发明了一种由主板和压件组成的软管包装物的挤出装置, 压件能沿着主板上的平行导向沟上下滑动, 当压件向上推

压时, 在开盖的情况下, 软管包装内的膏状物便能从包装内被挤出^[7]。金立人发明了一种包括座体和软管卷轴的膏状物挤出器, 使用时, 将软管尾部固定在卷轴上, 将卷轴插入座体的孔中, 同时使软管沿狭长槽插入, 用手转动卷轴, 软管通过狭长槽时受到挤压, 从而将膏状物轻松、快速地挤出, 且能将软管内的膏状物全部挤净, 避免浪费^[8]。以上的解决方法都是基于结构上的改变对软管包装进行定性分析, 而深入其中的理论研究还很少。

文中基于流体力学和有限元软件对现有的各种形式软管包装进行探讨, 用 ANSYS 分析影响非牛顿流体物料残留的主要因素, 得出物料残留控制的关键控制参数和方法。为低物料残留的软塑包装管结构设计提供支持。

收稿日期: 2013-06-08

基金项目: 江南大学大学生创新技术项目(04201099)

作者简介: 孙中振(1989-), 男, 山东枣庄人, 江南大学硕士生, 主攻运输包装。

通讯作者: 王军(1982-), 男, 安徽巢湖人, 博士, 江南大学副教授, 主要研究方向为包装动力学。

1 物料残留的流体力学理论

一般来说,塑料软管中有物料残留,是由于其中流体在流动时受到一定的阻力作用,这个阻力来自于流体的黏性。流体依据是否遵循牛顿黏性定律分为牛顿流体和非牛顿流体。软塑包装中的流体类型多为非牛顿流体,其研究方法和牛顿流体类似,在管流中连续方程、伯努利方程以及动量方程都是适用的^[9]。

流体力学方程组是支配流体运动的普遍适应的方程式,要确定某种具体的流体运动,就要找出流体力学方程组的一种确定的解。一般来说,完善的流体力学方程组包含了连续方程、动量方程和能量方程,为使得方程的个数与其中出现的未知物理量的数目相等,通常还会加上本构方程和状态方程。在文中讨论管内物料流动的情况中,主要边界条件包括:在进口处定义所有速度分量;出口处定义压力为 0;壁面的所有速度分量定义为 0。

2 基于 ANSYS 的流体分析

利用有限元分析的原理,使用 ANSYS 软件的 FLOTRAN 单元,根据管内流动的初始条件和边界条件,通过质量、动量和能量 3 个守恒性质来计算流体的速度分布,从而避免了繁杂的微分方程求解,也可得到直观形象的矢量图解。在工业生产中,如包装行业、食品行业、化妆品行业,都为小管径、小流量、大黏度的流动场合,在这样的情况下,层流流动是更加广泛存在的,所以选择 FLUID141 单元分析^[10-11]。

2.1 不同黏度的物料在同一变截面管中的层流分析

将建立的模型进行网格划分,设置边界条件:进口速度 $v=2\text{ m/s}$,垂直于进口速度方向上的速度分量为 0,所有边界上的速度为 0,出口压力为 0。建立流体性质,输入密度 0.5 kg/m^3 ,力学黏度分别为 $0.05\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 和 $0.1\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。设置迭代次数为 20,结果见图 1。

对比图 1 可知,随着物料黏度的不断增长,相同位置,尤其是出口段的物料流速越来越快。从分布图可以看出,在出口段的中轴位置,物料流速最快,而靠近壁面的位置流速迅速减小。在进口段到过渡段的位置,即变截面上,靠近壁面的物料流速为 0。

2.2 不同截面数的变截面管中物料流动层流分析

以第 1 组有限元分析中黏度为 $0.05\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 的物

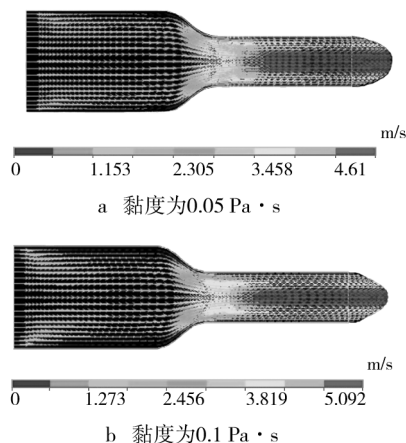


图 1 物料黏度分别为 $0.05\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 和 $0.1\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 流速分布

Fig. 1 Velocity distribution of materials with viscosity $0.05\text{ Pa}\cdot\text{s}$ and $0.1\text{ Pa}\cdot\text{s}$

料管作为对照,控制总管长不变,在原管上增加一个截面,流体性质和进口段速度不变,作流速分析。新尺寸为:进口段长为 4 cm ,高为 4 cm ,中间段长为 4 cm ,高为 3 cm ,出口段长为 3 cm ,高为 2 cm ,2 个过渡段长分别为 2 cm 和 1 cm 。如此,保证了总长度与标准尺寸变截面管总长度相等,都为 14 cm ,也保证了出口段管径与标准尺寸变截面管相等,都为 2 cm 。新管内流体速度分布和速度等值线结果分别见图 2—3。

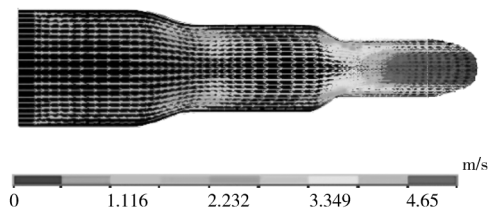


图 2 新管内流体速度分布

Fig. 2 Fluid velocity distribution of new tube

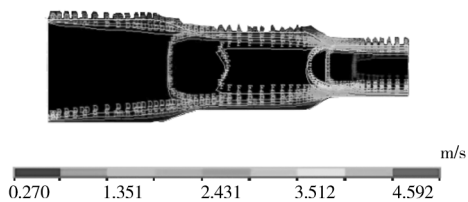


图 3 新管内流体速度等值线

Fig. 3 Fluid velocity contours of new tube

对比图 2 和 3,相同长度的管,在变截面数增加的情况下,进口段和出口段的物料流动速度相应减小,而过渡段与变截面段的物料流动速度相应增大。通

过观察速度等值线分布,可以看出,靠近壁面和变截面段的物料速度趋于 0。

2.3 不同管径比的变截面管中物料流动层流分析

对管径比分别为 5 : 2 和 6 : 2 的软塑管进行流体分析,结果见图 4—5(x 为沿管径到底部的距离)。

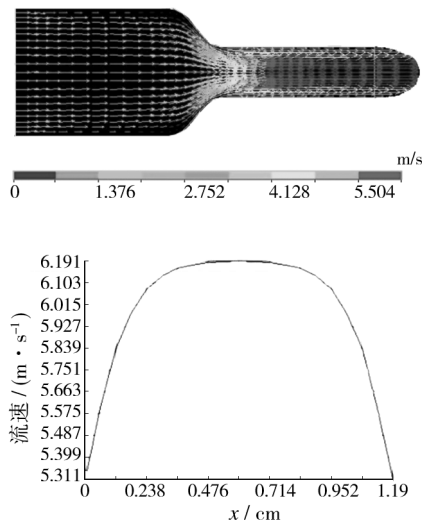


图 4 管径比为 5 : 2 的管出口段速度分布

Fig. 4 Exit section velocity distribution with diameter ratio 5 : 2

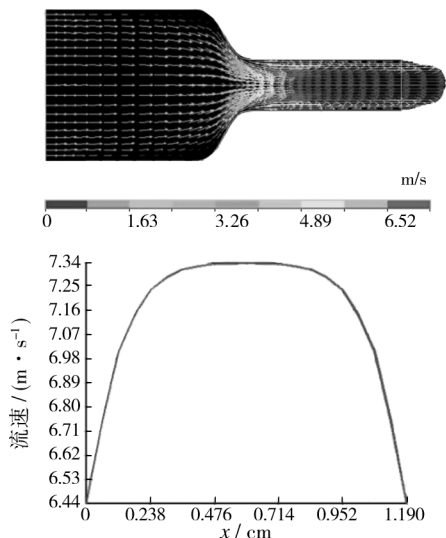


图 5 管径比为 6 : 2 的管出口段速度分布

Fig. 5 Exit section velocity distribution with diameter ratio 6 : 2

2.4 不同管长比的变截面管中物料流动层流分析

对进出口不同管长比分别为 6 : 2 和 6 : 3 的软塑管进行流体分析,结果见图 6—7。

由图 6 和图 7 可知,进口段长度与出口段长度之比越大的管形式,管中物料残留越少。相应地,随着管长比的增大,物料在出口段的最大流动速度也相应

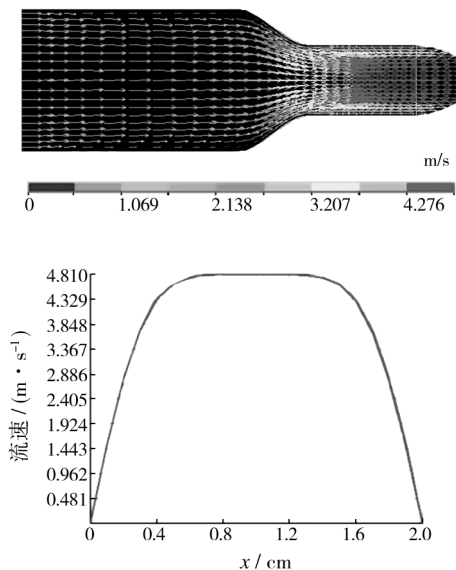


图 6 管长比 6 : 3 的管出口段速度分布

Fig. 6 Exit section velocity distribution with tube length ratio 6 : 3

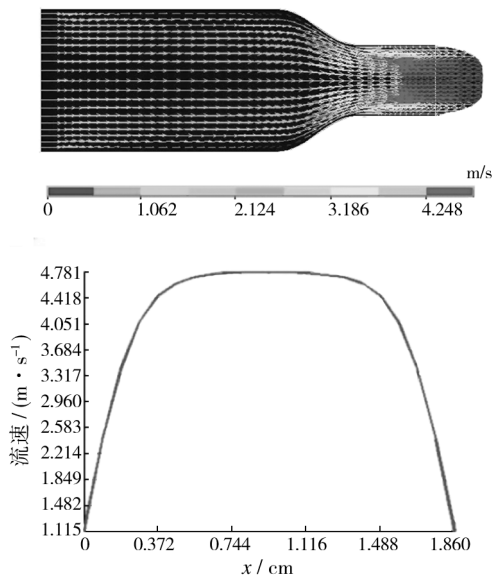


图 7 管长比 6 : 2 的管出口段速度分布

Fig. 7 Exit section velocity distribution with tube length ratio 6 : 2

减小。

3 低残留软塑管的形式设计探究

针对其产品特点设计软塑管包装。从对变截面管的有限元分析可以看出,软塑管出口处的管径突变是物料残留最大的原因。为减小变截面对物料流动的影响,提出了 2 种新的外形结构来改变原有的突变形式,见图 8。

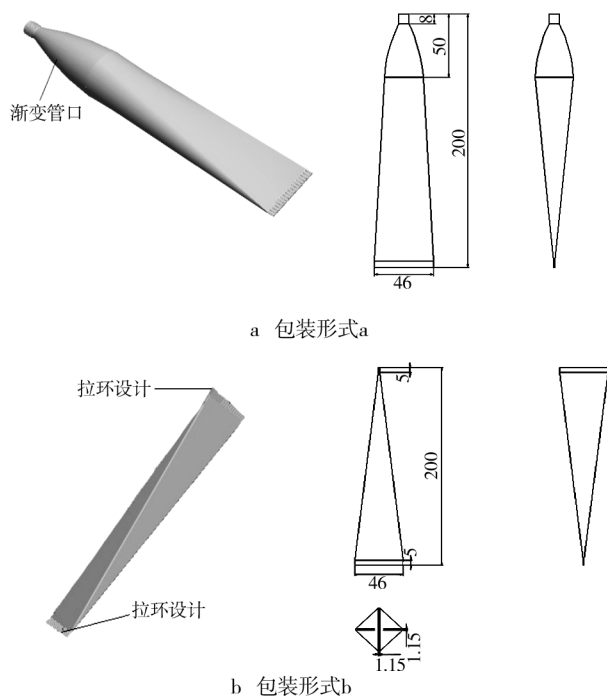


图8 低残留软管包装形式

Fig.8 Low residue tube packaging form

方案 a 是通过延伸常见软塑管的“突变”管径,使其成为“渐变”形式,利用平缓的管径变化来延缓变截面对物料的阻碍作用,使残留变少,见图 8a。方案 b 不考虑软塑管的形式对物料残留的影响,而是直接采用新式开口形式,同时采取两相交平面瓶身,使得消费者更加方便将内容物挤干净。该设计将常见软塑管的出口段改造成扁口,且扁口方向与封口处垂直,成为四面体形状。采用双头拉口设计,其形式与外观尺寸见图 8b。文中只是简单提出 2 种包装软管形式,而对于软管的加工工艺、造型细节未做深入研究。

4 结语

建立了一个简单的变截面管的二维模型,利用 ANSYS 的有限元法进行物料在管内的流动分析,对比不同黏度物料、不同变截面数、不同管径比和管长比对管内物料残留的影响,指出了影响软塑管内物料残留的几项因素,并根据分析结果提出了 2 种低物料残留的软管形式。对软管的流体力学各类方程,以及非牛顿流体的物料残留原理等理论分析,还需要进行进一步探讨,从而为包装形式的研究提供理论依据。

参考文献:

- [1] 邓煜东. 国内软塑包装原材料的现状和发展趋势[J]. 塑料包装, 2003(13): 11-14.
DENG Yu-dong. Situation and Development Trend of Soft Plastic Packaging Materials for Domestic[J]. Plastics Packaging, 2003(13): 11-14.
- [2] 卢勉军. 软管封尾机的现状与改进[J]. 包装工程, 1999, 20(6): 43-47.
LU Mian-jun. Application and Innovative of Auto Tube Filling and Colsing System[J]. Packaging Engineering, 1999, 20(6): 43-47.
- [3] 成全, 陆志猛, 刘国东, 等. QDFM-125 型超声波软管封尾机变幅杆的改进设计[J]. 包装工程, 2009, 30(11): 7-9.
CHENG Quan, LU Zhi-meng, LIU Guo-dong, et al. Improved Design of Amplitude Transformer of QDFM-125 Ultrasonic Tail Sealing Machine[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(11): 7-9.
- [4] 赵鹏, 曹乐. 牙膏包装发展探讨[J]. 包装工程, 2010, 31(4): 117-119.
ZHAO Peng, CAO Le. Discussion of the Development of Toothpaste Packaging[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(4): 117-119.
- [5] 王宁. 浅谈牙膏包装设计[J]. 牙膏工业, 2006(2): 30-31.
WANG Ning. Research on Design of Toothpaste Packaging[J]. Toothpaste Industry, 2006(2): 30-31.
- [6] 邢继先. 易挤净膏状物包装袋: 中国, 200520122991[P]. 2007-02-14.
XING Ji-xian. Easy Squeeze of Bags for Paste: China, 200520122991[P]. 2007-02-14.
- [7] 梁永坚. 软管包装物的挤出装置: 中国, 93232868. 7[P]. 1994-09-14.
LIANG Yong-zhen. Extrusion Device of Tube Packaging: China, 93232868. 7[P]. 1994-09-14.
- [8] 金立人. 软管包装膏状物挤出器: 中国, 200420051838. 5[P]. 2005-08-24.
JIN Li-ren. Extrusion Device of Tube Packaging for Paste: China, 200420051838. 5[P]. 2005-08-24.
- [9] 于萍. 工程流体力学[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
YU Ping. Engineering Fluid Mechanics[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [10] 张红霞, 杜永胜. ANSYS 软件在流体力学教学中的应用研究[J]. 广东化工, 2010, 37(2): 152-153.
ZHANG Hong-xia, DU Yong-sheng. Research of ANSYS Software in Fluid Mechanics Teaching[J]. Guangdong Chemical Industry, 2010, 37(2): 152-153.
- [11] 丁毅, 陈立民. 基于 CFX-ANSYS 的灌装头斜 T 型管接头的流固耦合分析[J]. 包装工程, 2011, 32(15): 85-87.
DING Yi, CHEN Li-min. Flow-structure Interaction Analysis for the Inclined T-tube Joint of Filling Head Based on CFX-ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15): 85-87.