

盒中袋灌装阀阀口流场分析与结构优化

崔曼, 陆佳平

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 为了确定盒中袋灌装阀阀芯下降高度, 对盒中袋灌装阀进行了流体流场分析计算。用 Gambit 软件网格前处理了灌装阀通道模型, 基于标准 $k-\epsilon$ 湍流模型, 对灌装阀进行了内部流场数值模拟。计算模拟了不同阀芯下降高度对内部速度压力云图的影响, 分析了下降高度对灌装速率以及密封的影响。通过 Fluent 数值计算对灌装阀进行了流体分析, 为灌装阀的优化设计提供了理论依据。

关键词: 盒中袋; 灌装阀; 包装; CFD

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0074-04

Numerical Simulation and Structural Optimization on Valve of Bag-In-Box

CUI Man, LU Jia-ping

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To determine the bag filling valve spool box drop height, fluid flow of the filling valve of bag-in-box was analyzed and calculated. The filling valve channel model was pretreated to grid by Gambit pre-processing software. Numerical simulation of the filling valve internal flow field was carried out based on standard turbulent flow model. The influence of descent height of filling valve on pressure cloud of internal speed was calculated by simulation. The influence of descent height on filling speed and sealing effect was analyzed. Fluid analysis was carried out on filling valve using Fluent numerical calculation software. The purpose was to provide theoretical basis for optimal design of filling valve.

Key words: bag-in-box; filling valve; package; CFD

盒中袋液体灌装机是满足盒中袋包装生产而开发研究的, 而灌装是液体盒中袋产品生产中的重要工序, 灌装过程直接影响到盒中袋包装成品的品质。国内针对饮料灌装机的研究很多, 但是对盒中袋这一特殊袋型的灌装机的开发有待发展。灌装阀是灌装机的关键部件, 其设计要点是防止液体滴漏、气蚀, 提高灌装精度、灌装速度。在设计中, 阀芯下降高度的设计直接影响到灌装阀的灌装精度。文中根据 Fluent 流体分析结果选择合适的高度, 对灌装阀进行优化设计提供理论依据。

而颗粒物料容易堵塞回流管道, 而且在闭阀的时候容易夹杂果粒造成闭阀不严, 导致物料滴漏污染包装, 因此在灌装阀的设计中要注意颗粒物料的影响, 明确灌装工艺是否适宜于含颗粒的液体。盒中袋袋体包括内袋(复合软包装袋)、阀座和阀盖 3 部分(见图 1),

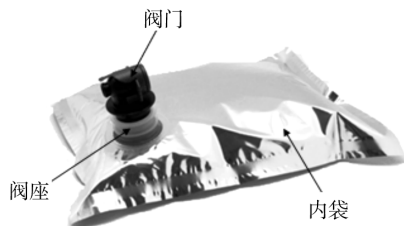


图 1 盒中袋的结构

Fig. 1 BIB structure

1 盒中袋灌装机灌装阀设计

由于设计中, 盒中袋灌装的物料可能含有颗粒,

灌装阀的设计要兼顾软包装灌装工艺, 以及灌装阀与

收稿日期: 2011-09-26; 修订日期: 2012-01-05

作者简介: 崔曼(1986—), 女, 内蒙古乌海人, 江南大学硕士生, 主攻轻工机械。

通讯作者: 陆佳平(1964—), 男, 江苏太仓人, 江南大学副教授、硕士生导师, 主要从事包装工程技术研究。

阀座的配合。

灌装阀由灌装装置、阀座导向装置构成,见图2。

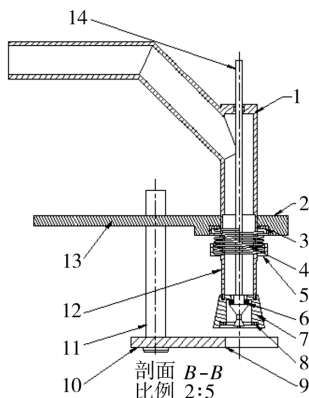


图 2 灌装阀结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of filling valve

其中,导向装置由阀座支板 9、导杆 11、对中罩 7、压簧座上 3、压簧座下 5、压簧 4 构成。汽缸带动阀座支板 9 上移,阀座与对中罩、密封圈在汽缸作用下继续上移,压紧弹簧。灌装装置由阀体上 1、阀体下 12、阀芯 14、密封圈 6 构成。工作时,阀座压紧弹簧,对中罩与阀芯、密封圈分开,液体通过。

盒中袋阀座灌装面积较大,因此灌装阀设计中,为保证灌装速度,应采用出口面积大的灌装阀阀口,并且盒中袋采用软复合袋包装。为减少灌装中冲击产生泡沫影响计量精度,同时避免过大的出口压力损坏阀座(见图1)与软包装袋的热封合连接,灌装阀的设计中,在设计出口面积大的灌装阀的同时,必须选取合适的阀芯下降高度和出流面积,从而减少对包装成品质量的影响。

2 利用 Fluent 进行仿真运算

在设计灌装阀前,首先应确定阀口的出流面积以及阀芯下降高度,选取合适的参数后,以此为基础,设计和计算后续的灌装阀参数。

2.1 灌装阀通道模型

图3为灌装阀通道模型,灌装时阀芯橡皮圆锥形阀下降,液体通过,模拟中以流体通道为模型,计算进出口压力等参数。

2.2 阀过流通道结构模型的建立与网格划分

为研究不同阀芯下降高度时阀内流场的变化,分别建立下降高度为 2, 3, 4 mm 时的流场模型,见图 4。

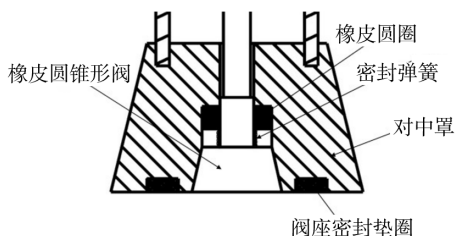


图 3 阀门的结构

Fig. 3 Structural diagram of the valve opening and closing

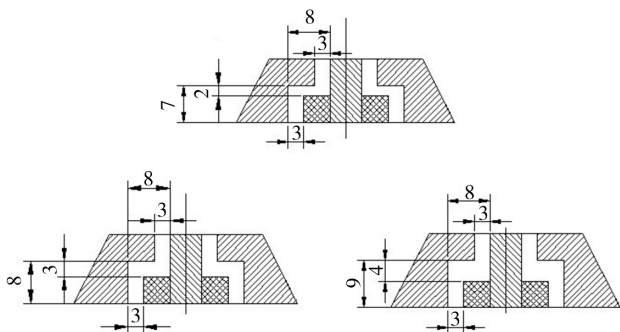


图 4 3 种下降高度的阀的过流模型

Fig. 4 Flow model diagrams of valves with three descent heights

把阀座和阀芯开启部分的结构作为求解区域,建立CFD 阀座过流模型,阀内的实际流动是三维的,但考虑到流动的特性,将阀内流动近似为二维流动,根据灌装阀内流动对称性原理,只取流动区域的一半为研究对象^[1]。

使用 Gambit 前处理软件对求解区域建模并采用四边形非结构网格进行网格划分。网格信息见图 5,

Grid Size

Level	Cells	Faces	Nodes	Partitions
0	16100	32580	16481	1

图 5 网格信息

Fig. 5 Grid information

显示有 16 100 个网格单元、32 580 个线、16 481 个网格节点。

2.3 数学模型的建立

计算模型可认为是单相流区域,所以可以结合通用的动量守恒方程、质量守恒方程与标准 $k-\epsilon$ 模型,进行耦合隐式不可压缩单相稳态二维单精度求解^[2]。

反应流场模型的动量守恒方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (1)$$

质量守恒方程^[3]为:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = S_m \quad (2)$$

标准 $k-\epsilon$ 模型的湍流动能方程 k 和扩散方程 e 的
运输方程^[4]为:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k +$$

$$G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] +$$

$$C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{K} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (4)$$

其中: G_k 是由于平均速度梯度导致的湍动能 k 的产生项; G_b 是由于浮力引起的湍动能的产生项; Y_M 代表可压湍流中脉动扩张的贡献; $C_{1\epsilon}$ 、 $C_{2\epsilon}$ 和 $C_{3\epsilon}$ 为经验常数; σ_k 和 σ_ϵ 分别是湍动能 k 和耗散率 ϵ 对应的 Prandtl 数; S_k 和 S_ϵ 是用户定义的源项; μ_t 为湍动粘度。其中, $C_{1\epsilon}=1.44$, $C_{2\epsilon}=1.92$, $C_{3\epsilon}=0.09$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\epsilon=1.3$ 。

2.4 建立求解模型

将 Gambit 生成的网格导入到 Fluent 中。求解器(Solver)选择耦合求解法;算法选择隐式算法,空间属性设置为二维空间(2D);时间属性设置为定常流动(Steady);速度属性选择为绝对速度。

2.5 湍流模型的选择

选择 k-epsilon(2eqn)并保留默认值。

2.6 边界条件的设定

考虑到实际的工作情况,入口边界设置为速度入口,速度为 0.15 m/s,在湍流定义方法(Turbulence Specification Method)下拉列表中,选取湍流强度与水力直径(Intensity and Hydraulic Diameter),设置湍流强度为 1,水力直径为 3。出口边界设置为出流边界条件(Outflow)并使用默认设置。其他边界设置为壁面边界,并使用默认设置^[5]。

3 模拟结果与数据分析

图 6 为不同下降高度的速度分布云图。灌装流道内最小速度为 3.04×10^{-5} m/s,最大速度为 3.71×10^{-1} m/s;入口处速度分布较为均匀,约为 $1.30 \times 10^{-1} \sim 1.67 \times 10^{-1}$ m/s,出口处速度 $1.11 \times 10^{-1} \sim$

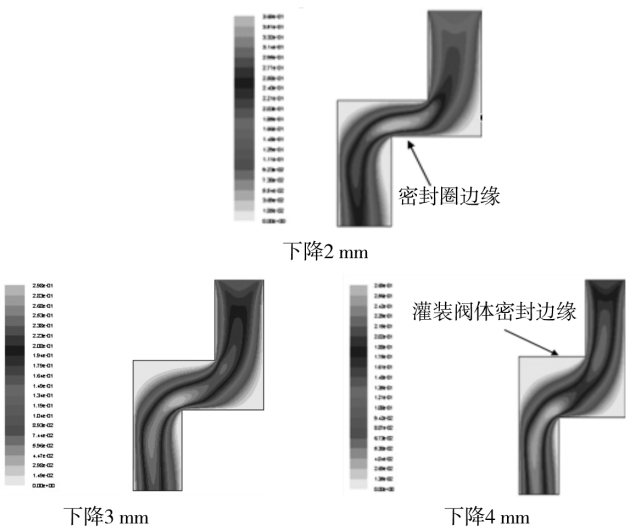


图 6 不同下降高度的速度云图
Fig. 6 Velocity clouds of different descent heights

2.59×10^{-1} m/s;通道边缘速度最小,管道中间位置速度最大。流体通过密封圈处(如图 6 箭头标注处),速度明显增大,以阀芯下降 2 mm 为例,速度为整体灌装流道内最大值 3.71×10^{-1} m/s 出现在密封圈边缘处,在密封圈拐角处形成较大的速度,易冲击腐蚀密封圈。对比阀芯下降 2,3,4 mm 三个云图,可知随着下降高度的增大,虽然最大速度仍出现在密封圈上边缘,但通道内的速度分布更为平均。应注意在阀芯下降 4 mm 时,灌装阀体密封边缘处有出现较大速度的趋势,速度为 2.78×10^{-1} m/s,可能造成冲击灌装阀阀体密封^[6]。

图 7 为不同下降高度压力分布云图,可以看到入

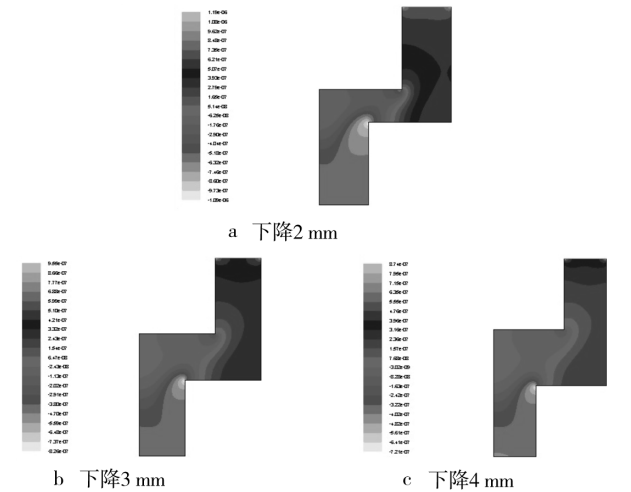


图 7 不同下降高度的压力云图
Fig. 7 Pressure clouds of different descent heights

口处至密封处压力分布均匀,约在 $6.6 \times 10^{-2} \sim 1.11$

$\times 10^{-2}$ Pa,随着下降高度增大,入口压力逐渐减小,阀芯下降 2 mm 时为 5.47×10^{-2} Pa,下降 4 mm 时约为 3.21×10^{-2} Pa。随着下降高度的增加,通道内压力分布更为平均,下降高度越小时,通道内压力越大,越容易腐蚀密封圈和阀芯材料。

4 结论

综合速度和压力云图,欲提高灌装速率并降低对密封圈的冲击,3 mm 是合适的下降高度^[7],对密封圈的冲击以及对阀体的冲击都在合适的范围内,这个下降高度为灌装阀初设计提供了理论参数。在计算模拟时考虑到灌装阀的对称性,将灌装阀通道简化为 2D 的模型,在灌装阀总体参数设计完成后,还应进行 3D 建模,再次计算模拟整体设计尺寸对灌装速度和密封性的影响,这部分会在后续工作中继续研究^[8]。

参考文献:

- [1] 孙智慧,姚炳兴.等压灌装阀阀座流道流场分析及结构优化研究[C]//2007 年全国包装与食品工程学术年会论文汇编,2007:240—247.
SUN Zhi-hui, YAO Bing-xing. Pressure Filling Valve Seat of Flow Field Analysis and Structural Optimization[C]//2007 Annual Conference of the National Packaging and Food Engineering Compilation of Papers, 2007:240—247.
- [2] KARUNAKUMARI L. Experimental and Numerical Study of a Rotating Wheel Air Classifier[J]. AICHE Journal, 2005, 51(3):780.
- [3] 杨庆良. 涡流空气分级机流场的数值模拟与测量研究

[D]. 北京:北京化工大学,2008.

YANG Qing-liang. Turbo Air Classifier Flow Field Numerical Simulation and Measurement[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2008.

- [4] 牟春宇. 基于 CFD 的旋风除尘器分离效率的数值模型研究[D]. 无锡:江南大学,2008.
MU Chun-yu. Based on the Separation Efficiency of the Cyclone in the CFD Numerical Model[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [5] 许林成,赵治华,王治,等. 包装机械原理与设计[M]. 上海:上海科学技术出版社,1988.
XU Lin-cheng, ZHAO Zhi-hua, WANG Zhi, et al. Packaging Machinery Principles and Design [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1988.
- [6] PASCALL M A, RICHTSMEIER J. Non-destructive Packaging Seal Strength Analysis and Leak Detection Using Ultrasonic Imaging[J]. Packing Technology and Science, 2002, 15:275—285.
- [7] 孙俊兰,姜大志. O-Sepa 选粉机流场分析及其对性能的影响[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2008, 21(4):38—41.
SUN Jun-lan, JIANG Da-zhi. Study of Flow and Performance on O-Sepa Separator[J]. Journal of Yancheng Institute of Technology (Natural Science), 2008, 21(4):38—41.
- [8] 蒋焕新. GWZ 型食用油灌装机的 PLC 控制[J]. 包装工程, 2006, 27(6):194—195.
JIANG Huan-xin. The PLC Control of GWZ Type of Edible Oil Filling Machine [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6):194—195.

(上接第 43 页)

- [6] 李绍雄,刘益军. 聚氨酯胶粘剂[M]. 北京:化学工业出版社,1998.
LI Shao-xiong, LIU Yi-jun. Polyurethane Adhesives [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998.
- [7] 赵有中,王国梁,陆企亨. 常温涂布无溶剂聚氨酯复膜胶及其制备方法和用途:中国, CN101280167A[P]. 2007.
ZHAO You-zhong, WANG Guo-liang, LU Qi-ting. Preparation and Application of the Solventless Polyurethane Adhesives for Laminating at Normal Temperature: CN, 101280167A[P]. 2007.
- [8] 田丽云,沈峰,刘稳娣. 一种无溶剂型双组份聚氨酯胶粘剂及其制备方法:中国, 101597470[P]. 2008.
TIAN Li-yun, SHEN Feng, LIU Wen-di. The Prepara-

tion of Two-component Polyurethane Adhesives without Solvent: CN, 101597470A[P]. 2008.

- [9] 罗雨婷,罗瑞雪. 我国塑料软包装发展存在的问题及解决措施[J]. 包装学报, 2011, 3(2):37—39.
LUO Yu-ting, LUO Rui-xue, SUN Lin-yu. Problems and Solutions in Soft Plastic Package Development in China [J]. Packaging Journal, 2011, 3(2):37—39.
- [10] 张竞,褚庭亮. 环保胶粘剂发展现状的研究分析[J]. 中国印刷与包装研究, 2011, 3(3):9—14.
ZHANG Jing, CHU Ting-liang. Research and Analysis on Development of Environment Friendly Adhesives[J]. China Printing Materials Market, 2011, 3(3):9—14.