

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.07.017

输液瓶吹塑成型过程模拟与模具设计研究*

李 军,刁杰胜,刘有余*,朱协彬
(安徽工程大学 机械与汽车工程学院,安徽 芜湖 241000)

摘要:针对输液瓶吹塑成型过程厚度不均的问题,对其吹塑成型过程进行了计算机模拟研究,建立了几何二维模型,导入 ANSYS-WORKBENCH 软件,创建了模拟任务,利用网格重置技术,获得了输液瓶吹塑成型过程厚度变化规律,并对输液瓶吹塑成型过程进行了分析;同时结合吹塑工艺,提出输液瓶吹塑模具设计方案,进行输液瓶模具设计。研究结果表明:过程模拟获得了吹塑过程中厚度变化规律、吹胀压力对壁厚的影响,厚度变化范围为 0.796 mm~2.904 mm,吹胀结束后最大厚度比为 3.648:1,压力变化范围为 0.798 MPa~0.801 MPa,吹胀结束后压力大小为 0.799 MPa,对产品生产过程中壁厚控制有一定指导作用;采用 UniGraphics 三维软件进行模具设计,提高了设计效率及精度。

关键词:吹塑成型;厚度控制;模具设计;ansys workbench

中图分类号:TB482;TH122;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)07-0862-05

Process simulation of blow molding for infusion bottle and mold design

LI Jun, DIAO Jie-sheng, LIU You-yu, ZHU Xie-bin

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Anhui polytechnic University, Wuhu 241000, China)

Abstract: Aiming at the changing laws of thickness in blow molding process for infusion bottle. The process of blow modeling for infusion bottle was researched by computer simulation. The two-dimension geometry model was established. It was imported ANSYSWORKBENCH software. The simulation task was created. The blow modeling process for infusion bottle was implemented with the reset grid technology. The changing laws of thickness in blow molding process for infusion bottle was obtained and got an analysis on blow molding process for infusion bottle. Combined to the blowing condition, the design project of blowing mould of infusion bottle was proposed. The results indicate that the thickness changing of parison and the effect of inflation pressure on wall thickness are obtained in the process of blow modeling. The thickness of parison varies from 0.796 mm to 2.904 mm. The inflation pressure varies from 0.798 MPa to 0.801 MPa. The maximum ratio of thickness is 3.648:1 and the inflation pressure is 0.799 MPa after simulation of blow modeling. The results make guidance to thickness controlling in the process of product manufacturing. The mold design is engaged by UniGraphics software. The design efficiency and the design accuracy are improved.

Key words: ansys workbench; blow molding; thickness controll; mold design; ansys workbench

0 引言

输液是指由静脉滴注输入人体内大剂量的注射液,它提供患者所需的水分、电解质和营养成分,也可

以作为药物静脉给药的载体,输液包装的质量直接影响着患者安全^[1]。塑料输液瓶具有化学稳定性好、气密性好、无脱落物、质量轻、抗冲击力强、生产过程受污染的几率小等优点,稳定性好且耐高温的输液瓶极大

收稿日期:2015-01-14

基金项目:安徽省自然科学基金资助项目(1408085 ME94)

作者简介:李 军(1990-),男,安徽芜湖人,硕士研究生,主要从事吹塑模具的性能分析及优化设计方面的研究。E-mail:Lijun19901226@yahoo.com.cn

通信联系人:刘有余,男,副教授,硕士生导师。E-mail:liayou1@163.com

地改善了药品的封装质量,并延长其储存期。

聚丙烯输液瓶的形成主要采用吹塑成型方法。中空制品吹塑过程是一个十分复杂的过程,受到拉伸比、温度、吹胀比、拉伸速度、吹胀压力、吹胀速度及瓶坯的内外压力等影响^[2]。吹塑过程可以通过数值模拟的方法准确的模拟出来,国内外研究人员对此做了很多的研究工作,王志新等人基于容器外形及均匀壁厚的条件,通过建立型坯挤出、吹胀变形的数学模型并利用C语言编写了型坯设计计算系统程序,实现了型坯设计、变形仿真与计算。戴干策认为型坯的最终形状和尺寸是由熔融弹性与重力作用两者竞争决定的。徐给清基于戴干策的理论基础上通过采用“有限单元法”,从理论上计算出型坯壁厚的分布。法国的G. Marc kmann使用动力学的方法对吹塑成型进行了有限元分析。加拿大国家研究工业材料学院的D. Laroche等人分析了膨胀和松弛对型坯的影响,通过型坯在非等温下变形分析预测了部分厚度^[3]。

本研究利用ANSYSWORKBENCH模拟输液瓶吹胀过程^[4],结合吹塑成型工艺对模拟结果进行分析,提出模具的设计方案,进行输液瓶模具设计,并利用UniGraphics对模具进行三维造型^[5],从而对输液瓶生产过程中壁厚控制和质量改进进行指导^[6]。

1 模拟过程

1.1 简化二维模型的建立

本研究将型坯及模具的三维实体简化为二维模型。在AutoCAD,用面域指令建立型坯和模具的几何二维模型,基于吹塑成型工艺特点,在数值模拟中采用如下假设:型坯已经成型且放置在模具内;型坯聚合物熔体为不可压缩,即在型坯吹胀过程中,聚合物的体积保持不变;型坯是连续的,即在吹胀过程中遵守质量守恒定理^[7];由于吹胀时间极短,假设型坯各部分温度相等并保持不变^[8]。

几何二维模型如图1所示。

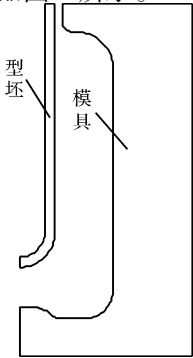


图1 几何二维模型

1.2 GAMBIT的前处理及边界条件设置

GAMBI软件的导入过程新增了自动公差修补几何功能,以保证与CAD软件接口的稳定性和保真性,使得几何质量高,并大大减轻工程师的工作量。本研究采用GAMBIT前处理软件,完成以下几个任务:划分网格、设定边界、定义介质。

在边界条件定义图中SB1和SB2的交点仅沿y方向移动,SB2和SB3的交点仅沿x方向移动,SB3受零法向速度和零切向力作用,SB4直接受到吹塑压力和作用。边界条件定义图如图2所示。

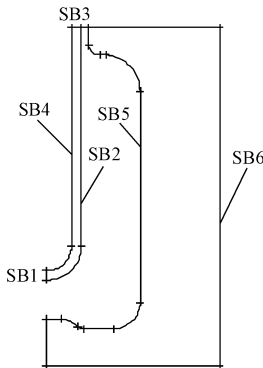


图2 边界条件定义图

SB1—对称轴;SB2—型坯的外表面;SB3—型坯的上边界面;SB4—型坯的内表面;SB5—与型坯接触的模具内表面;SB6—模具的外表面。

1.3 模拟任务的建立

在吹塑过程前,本研究先将型坯加热到玻璃化温度以上,迅速移动到模具中,在吹胀气压的作用下型坯膨胀变大并逐渐贴到模具内壁上成型^[9]。吹塑成型模拟为瞬态问题分析,本研究在ANSYSWORKBENCH建立一个有限元的瞬态问题,熔体选用广义牛顿流体模型,模型定义为粘度随剪切速率变化模型,计算过程中考虑惯性^[10]。其中材料零剪切的粘度为 10^5 Pa·s,密度为 0.98 g/cm^3 ,重力加速度 $G_x=0$ 、 $G_y=981\text{ cm/s}^2$,吹胀压力为 0.8 MPa 。型坯区域在模拟中被设置为网格重置区域,选择拉格朗日薄壳法。

1.4 后处理子任务及数值参数定义的建立

本研究建立材料点轨迹和制品厚度两个子任务,厚度计算边界SB2为开始边界,SB4为结束边界。瞬时代参数设置如表1所示。

表1 瞬时代参数

开始时间/s	结束时间/s	开始时间步/s	最小时间步/s
0	0.1	0.002	10^{-7}
最大时间步	最大时间步数	容许最大时间步	不考虑速度场预测
0.002	200	0.01	

2 仿真结果分析

2.1 厚度分析

型坯吹胀过程可以分为 2 个连续阶段:型坯与模具未接触的自由吹胀阶段,型坯与模具从接触到吹塑件形成的约束吹胀阶段^[11]。吹胀过程中厚度随时间的变化如图 3 所示。

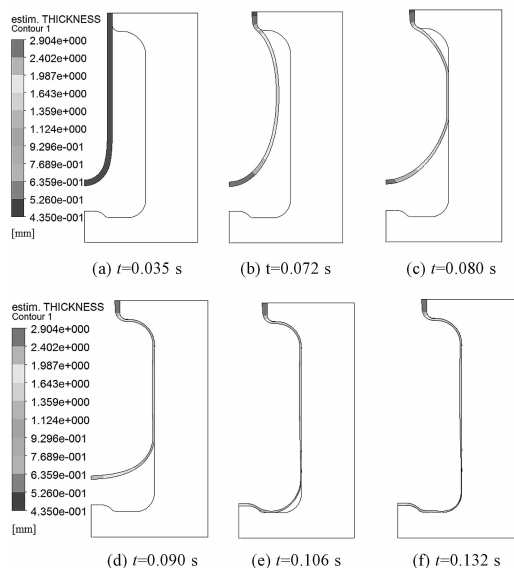


图 3 不同时刻厚度变化图

由图 3(a)可知,在 $t = 0.035$ s 时刻,型坯各部位厚度相等,为 2.904 mm。型坯的颈部与模具接触后,厚度不随时间变化。型坯一旦贴近模具型腔内壁时,型坯就结束了变形或只发生很小的变形,型坯的吹胀比较小,型坯壁厚最厚。

如图 3(b)所示,在 0.072 s 时刻,型坯厚度 1.124 mm ~ 2.904 mm 范围内,型坯厚度发生变化,模腔部位的型坯开始吹胀,厚度变小,型坯与模具接触前厚度变化速度一样,厚度变化一致。

如图 3(a)、3(b),在 0.035 s、0.072 s 时刻,型坯与模具未接触,各处型坯变化同步,为自由吹胀阶段,型坯变形速度相同。

如图 3(c~f)所示,在 0.080 s、0.090 s、0.106 s、0.132 s 时刻,型坯厚度在 0.526 mm ~ 2.904 范围内,为型坯与模具的接触变形,各处型坯变化不在同步,为约束吹胀阶段,型坯变形速度相同。

如图 3(d)、3(e)所示,在 0.036 s、0.044 s 时刻,厚度在 0.930 mm ~ 2.904 mm 范围内,随着模腔部位的型坯吹胀结束,型坯底部吹胀进行,型坯底部厚度为 1.124 mm,所以当底部结构复杂程度在一定范围内,其厚度能够保持相同,未接触部位型坯继续吹胀,厚度变小。

如图 3(f)所示,在 $t = 0.078$ s 时刻,型坯吹胀过

程结束,厚度最大为 2.904 mm,最小为 0.796 mm,比例 3.648:1。壁厚较大的地方出现在型坯先贴近模具型腔内壁的地方,厚度最小地方出现在模具拐角处,为拐角处的厚度变化,对于未与模具接触的型坯,仍处在变形阶段,使得剩下的少量型坯要参与整个拐角变形,发生了较大的变形,型坯吹胀比增大,型坯壁厚变薄,制件拐角部位壁厚大大减小^[12]。导致整个制件的壁厚均匀性大大降低。

2.2 压力分析

不同时刻压力分布图如图 4 所示。

如图 4(a~c)所示,在 0.035 s、0.072 s、0.080 s 时刻,压力为 0.798 MPa,型坯各处所受的压力相同,吹胀比基本相等,型坯在与接触模具前厚度变化相等。

如图 4(d)、4(e)所示,在 0.090 s、0.106 s 时刻,压力在 0.798 MPa ~ 0.800 MPa 范围内,压力随型坯厚度变小压力变大,随着吹胀过程的进一步进行,型坯厚度不在变化,压力也保持在一个稳定范围内^[13-14]。

如图 4(f)所示,在 0.132 s 时刻,压力在 0.798 MPa ~ 0.801 MPa 范围内,最小压力是最大压力的 99.63%。

吹塑过程结束后,型坯各处压力差保持在很小压力范围内。整个吹胀过程,压力大小变化不大,基本上保持在一定的范围内。结合厚度分析,压力的改变对厚度的影响不大。但是可以通过改变压力来改变吹塑过程所用的时间,适当增大吹塑压力,型坯充满型腔所需的时间缩短,从而提高吹塑效率。通常情况下吹胀压力一般低于 1 MPa^[15]。

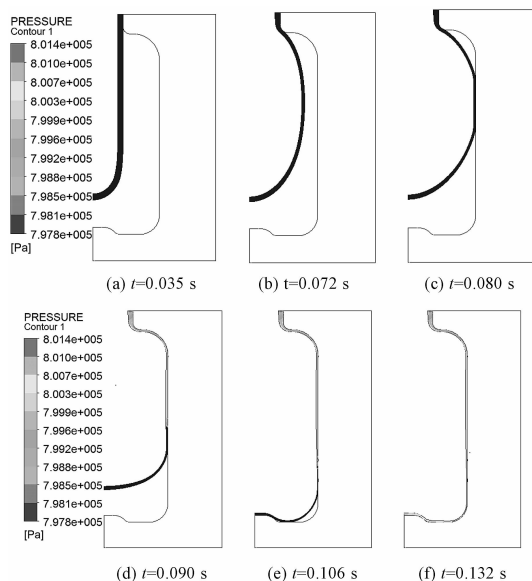


图 4 不同时刻压力分布

3 模具结构设计

聚丙烯输液瓶是一种薄壁容器,最薄处为 0.1 mm

~0.3 mm,材料为 pp,收缩率为 16%。PP 输液瓶吹制的压力为 10 kg ~ 16 kg,吹塑成型的输液瓶要求表面光滑,无任何破损和小孔,成型饱满,无明显的合模线等^[16]。吹塑模具分型面的选择需要考虑到模具的加工等。此模具不能存在倒扣结构,在结合模具安装结构。把模具分成 5 部分。模身分为 2 部分,考虑到加工工艺性,选择竖直中心面为分型面,模口也分为 2 部分,模底单独为一部分。通过 UG8.0 三维软件辅助模具设计,1 模 1 腔简化模具与产品的关系如图 5 所示。

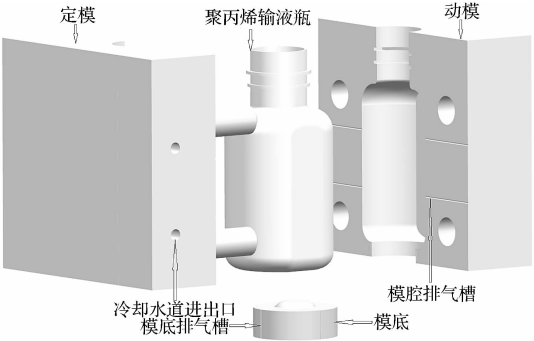


图 5 简化的 1 模 1 腔模具与产品的关系

模具整体分为定模和动模两部分且为对称结构。它们通过定位销和螺钉连接在一起,模具由固定板、移动底板、动定模板、输液瓶接料装置 4 部分组成。模具工作过程如下:移动底板带动模具装置自左向右快速定位移动,第一个输液瓶模具到达管坯挤出工位,机头下降挤出符合吹塑要求长度的管坯;动、定模合模抱住管坯,管坯夹具移动至夹持工位夹住管坯;切刀移动切断管坯,管坯挤出装置向上移动,切刀回位;移动底板继续移动,合模后的模具移动到对应的管坯吹塑工位进行吹胀管坯,第二个模具移动到管坯挤出工位进行挤出管坯,合模后再移动到吹胀工位进行吹胀管坯,依此规律后面的模具分别进行挤出管坯、合模、吹胀管坯;冷却定型后,在切除多余管坯刀具装置作用下,切除多余部分的管坯,开模取件时,定模保持不动,移动控制底板分开,动模沿导柱向右运动,当限位螺钉起限位作用时,输液瓶产品与模具脱开。1 模 12 腔模具结构二维图如图 6 所示。

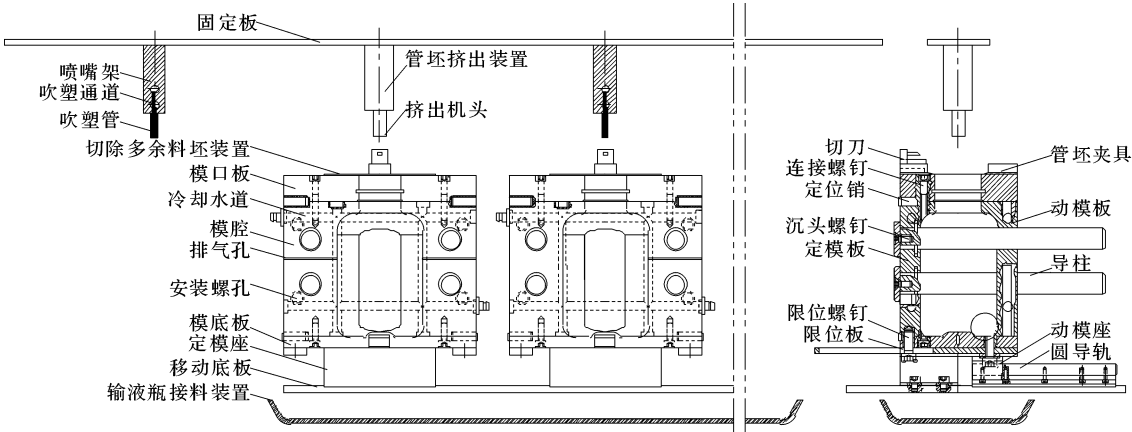


图 6 模具结构图

4 模具排气槽设计

4.1 模具排气槽设计

输液瓶制品吹胀成型过程中,如果排气不畅会使模腔内储存气体,随着吹制输液瓶体积增大,模腔内气体被压缩,模腔内气压增大。当其气体压力等于或大于吹气压力时,就会使吹胀型坯难以紧贴型腔,从而导致输液瓶形成缺陷。所以需要在模具模腔中设置排气槽,以便及时排除吹胀过程中的储存的气体。在定模、动模的分模面上加工 2 条排气槽,在模底的分型面上加工 4 条排气槽。排气槽的深度根据生产工艺条件、制品的容积和壁厚等进行选择,宽度根据制品的容积大小选择,并通过实践不断测试得到。如果深度过大,

会导致产品上有排气槽的突出印记,影响产品的美观性,如果太浅,吹胀过程中排气不畅,导致制件成型不全或不饱满,情况严重会导致破瓶等现象,从而直接影响输液瓶的质量。

4.2 模具的冷却

吹塑模具的冷却直接影响制品的质量和生产效率。输液瓶在模具中吹塑成型时,通过模具带走熔融塑料的热量,故在吹塑工艺过程中要求模温尽可能低些。使输液瓶冷却定型。良好的冷却效果可以使吹塑周期缩短,得到尺寸稳定、收缩变形小的输液瓶产品。冷却效果的好坏主要有模具本身的导热系数和模具冷却水道的设置。其中导热系数主要与材料有关,输液瓶模具的定模和动模的材料为铝合金,模底的材料为

黄铜,其导热效果都很好。模具冷却水道设置是关键,通过在模具上加工直径为 8 mm 的深孔和打入堵头从而形成两条一样的冷却水道。冷却水道进出口分别为管螺纹,与管螺纹接头连接,通入的冷却水流水道带走热量,从而降低模具的温度。进而使输液瓶冷却。在 1 模 1 腔的定模、动模上加工的冷却水道分布如图 7 所示,

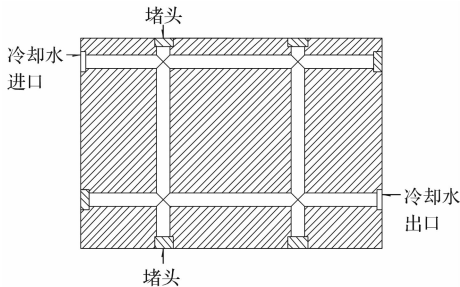


图 7 模具冷却水道剖面图

5 结束语

本研究采用 ANSYSWORKBENCH 软件和网格重置技术模拟型坯吹胀过程,得到型坯在吹塑过程中厚度随时间的变化规律,从而对输液瓶生产中壁厚控制有一定指导作用,有利于减小输液瓶产品普遍存在的壁厚问题;结合吹塑工艺分析,提出输液瓶吹塑模具设计方案,并利用 UniGraphics 辅助模具三维模型设计,缩短模具设计周期,提高模具设计效率。

本研究的模拟过程没有考虑温度,吹胀速度等因素的变化对吹塑过程的影响,拟在下一步研究中,综合考虑对吹塑过程有影响的全部关键因素,从而得到更加准确模拟过程和分析结果,进而对模具设计更加准确指导,达到对输液瓶产品质量更加有效的控制。

参考文献 (References):

- [1] 张英. 国内塑料输液包装市场现状及发展前景[J]. 石化技术, 2011, 26(1): 63-66.
- [2] 王海民. 挤出吹塑成型中压力的变化对中空工业制件壁厚的影响[D]. 重庆: 重庆理工大学材料科学与汽车工程学院, 2012.
- [3] 陆永胜, 张先明, 贾毅. 模拟技术在吹塑型坯中的研究发展[J]. 现代塑料加工应用, 2003, 15(4): 56-58.
- [4] 许京荆. ANSYS 13.0 Workbench 数值模拟技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [5] 展迪优. UG NX 8.0 模具设计教程[M]. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [6] 单云峰, 王万良. 中空吹塑型坯壁厚多点控制研究[J]. 机电工程, 2009, 26(2): 26-30.
- [7] DAVER F, DEMIREL B, SUTANTO J. An integrative simulation approach to weight reduction in poly(ethylene terephthalate) bottles[J]. **Journal of Applied Polymer Science**, 2012, 126(SUPPL. 2): E433-E439.
- [8] ZIMMER J, CHAUVIN G, STOMMEL M. Experimental Investigation and Numerical Simulation of Liquid Supported Stretch Blow Molding[J]. **POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE**, APR 2015, 55(4): 933-944.
- [9] COSSON B, CHEVALIER L, REGNER G. Simulation of the stretch blow moulding process: From the modelling the microstructure evolution to the end-use elastic properties of polyethylene terephthalate bottles[J]. **International Journal of Material Forming**, 2012, 5(1): 39-53.
- [10] 秦升学, 丁凯, 任莉新, 等. 塑料容器等温吹塑成型计算机模拟[J]. 包装工程, 2011, 32(19): 78-81.
- [11] SALOMELAY M, MENARY G H, ARMSTRONG C G. Experimental investigation of stretch blow molding, part2: analysis of process variables, blowing kinematics, and bottle properties[J]. **Advances in Polymer Technology**, 2012, 32(S1): E436-E450.
- [12] WAWRZYNIAK P, DATTA J. Stretch blow molding machines used for manufacturing PET bottles[J]. **Przemysł chemiczny** jul, 2015, 94(7): 1110-1113.
- [13] 王明哲. 基于 CAE 早餐杯密封盖模具的开发[J]. 包装与食品机械, 2014(2): 47-49.
- [14] 卫金凯, 刘雅辉, 刘淑梅. 一条可换模仁式样京注塑模具设计[J]. 轻工机械, 2015, 33(4): 24-26.
- [15] 黄虹, 李能文, 龙婷, 等. 基于吹胀压力参数优化中空制件厚度均匀性研究[J]. 塑料, 2011, 40(2): 59-61.
- [16] 娄晓. 聚丙烯输液瓶吹塑模具设计[J]. 机电信息, 2014(15): 139-141.

[编辑: 张豪]

本文引用格式:

李军, 刁杰胜, 刘有余, 等. 输液瓶吹塑成型过程模拟与模具设计研究[J]. 机电工程, 2016, 33(7): 862-866.

LI Jun, DIAO Jie-sheng, LIU You-yu, et al. Process simulation of blow molding for infusion bottle and mold design[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2016, 33(7): 862-866.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>