

IBC 内胆型坯初始尺寸预测与试验

朱志松, 顾菲菲, 郭东军, 严晓照
(南通大学, 南通 226019)

摘要: **目的** 鉴于壁厚控制的复杂性, 建立基于有限元型坯尺寸的预测方法。**方法** 采用 Workbench-POLYFLOW 分析软件模拟型坯吹胀的过程, 获得均匀的型坯尺寸吹胀成型的 IBC 内胆壁厚分布; 分析型坯初始尺寸对制件最终壁厚分布的影响; 确定制件壁厚的薄弱部位及其相对应的型坯位置; 调整型坯轴线方向控制点的初始尺寸, 获得改善制件最终壁厚的型坯轴线方向的初始壁厚曲线。**结果** 该曲线仿真壁厚极差为 2.27 mm, 通过大型中空成型机试生产, 确定了型坯初始壁厚实验曲线, 验证了预测型坯曲线的正确性。**结论** 该尺寸预测方法缩短了生产周期, 准确性高, 具有较好的实际应用价值。

关键词: 内胆; 挤出吹塑; 型坯尺寸; 数值模拟

中图分类号: TB485.3; TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)17-0139-05

Prediction and Experimental Verification of Initial Dimension for IBC Tank Parison

ZHU Zhi-song, GU Fei-fei, GUO Dong-jun, YAN Xiao-zhao
(Nantong University, Nantong 226019, China)

ABSTRACT: The work aims to establish a parison dimension prediction method based on finite element analogy in view of the complexity of the wall thickness control. Numerical simulation of parison inflation was analyzed by software Workbench-POLYFLOW. The wall thickness distribution was obtained in the condition of uniform parison dimension. The effect of initial parison dimension on the final wall thickness distribution was analyzed. The IBC tank thin part and its corresponding parison position were located. The initial thickness of parison axial control points was adjusted to get the initial thickness curve in parison axis direction. The simulation results showed that the range of thickness was 2.27 mm. Empirical curve of parison was determined by trial production of large blow molding machine. The result verified the reliability of the method. In conclusion, the prediction method has short production cycle, high accuracy and good practical value.

KEY WORDS: tank; extrusion blow molding; parison dimension; numerical simulation

IBC(Intermediate Bulk Container)中型散装容器是现代仓储、运输液体产品的必备工具。集装箱由内容器和金属框架组合而成, 内胆采用高分子量高密度聚乙烯吹塑成型, 强度高、耐腐蚀、卫生性好^[1]。挤出吹塑成形是 IBC 内胆成型的主要加工方式^[2]。成型过程中型坯尺寸分布将直接影响最终制

件的壁厚和力学性能。过厚的型坯会导致材料浪费并增加制件的冷却时间, 而过薄的型坯会引起吹胀破裂或制件的力学性能不足^[3-5]。由于 IBC 内胆容积较大, 型坯尺寸的分布对其最终壁厚分布和力学性能的影响尤为明显, 因此, 对 IBC 内胆型坯尺寸分布进行合理预测与控制, 不但能减少对原材料

收稿日期: 2016-03-04

作者简介: 朱志松 (1975—), 男, 江苏南通人, 高级实验师, 硕导, 主要研究方向为机械设计理论、机电一体化技术、模式识别及其应用等。

的消耗、缩短生产周期，也能为后续工艺参数优化提供指导^[6]。

1 几何模型

IBC 内胆三维模型见图 1，一般其最小壁厚不小于 2 mm，材料为高密度聚乙烯（HDPE），外形尺寸为 1150 mm×955 mm×1019 mm。IBC 内胆塑件外观形状较简单，对称，表面质量要求较高。但由于体积较大，各部分的吹胀比严重不均（IBC 内胆四周的顶角吹胀比较大），易造成最终制件的壁厚分布不均匀，机械强度不满足工程要求^[7]。

IBC 内胆挤出吹塑成型过程可分为 3 个阶段：型坯成型、型坯吹胀、制品冷却和固化。其中，型坯吹胀阶段直接影响制件的外形、壁厚分布和力学性能，是整个成型过程的关键^[8-9]。坯吹胀阶段主要包括 3 大部分：模具闭合夹断型坯、型坯内注入压缩空气吹胀型坯、型坯紧贴模具型腔内壁包压成型中空制件吨包装内胆。IBC 内胆型坯吹胀阶段的三维模型见图 2，由于该内胆为轴对称结构，取其 1/2 最为研究对象。选取内胆桶口中心作为坐标原点，创建模具与型坯的 3D-surface 几何模型。型坯直径 $D=30\text{ cm}$ ，长度 $L=101.9\text{ cm}$ ，模具型腔尺寸

即为制件外尺寸。采用膜单元 CFD 划分网格。

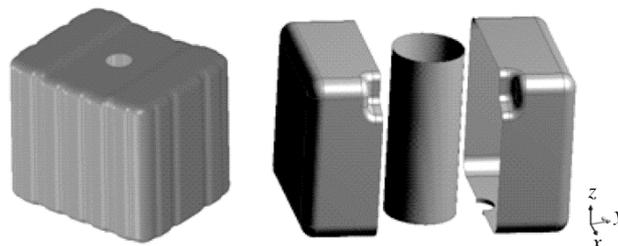


图 1 IBC 内胆三维模型 图 2 IBC 内胆吹胀模型
Fig.1 3D model of IBC tank Fig.2 Blowing model of IBC

2 均匀初始尺寸的模拟结果

定义模具闭合的渐进参数、型坯的初始和边界条件、型坯外表面与模具内表面的接触和接触特性后^[10]，对型坯内表面施加均布载荷 P 。模拟型坯吹胀阶段，在型坯初始壁厚为 2 cm 且均匀分布，压力为 0.6 MPa，粘度为 10 kPa·s，密度为 0.95 g/cm³ 的条件下进行数值模拟。为了更清晰的观测制件各部分的壁厚分布，将型坯分为 8 个部分，最后的制件壁厚分布见图 3，制件壁厚在桶口位置最大，为 17.83 mm，制件的表面中心壁厚最大，沿表面往四周壁厚逐渐减小，顶角壁厚最小，为 2.139 mm。

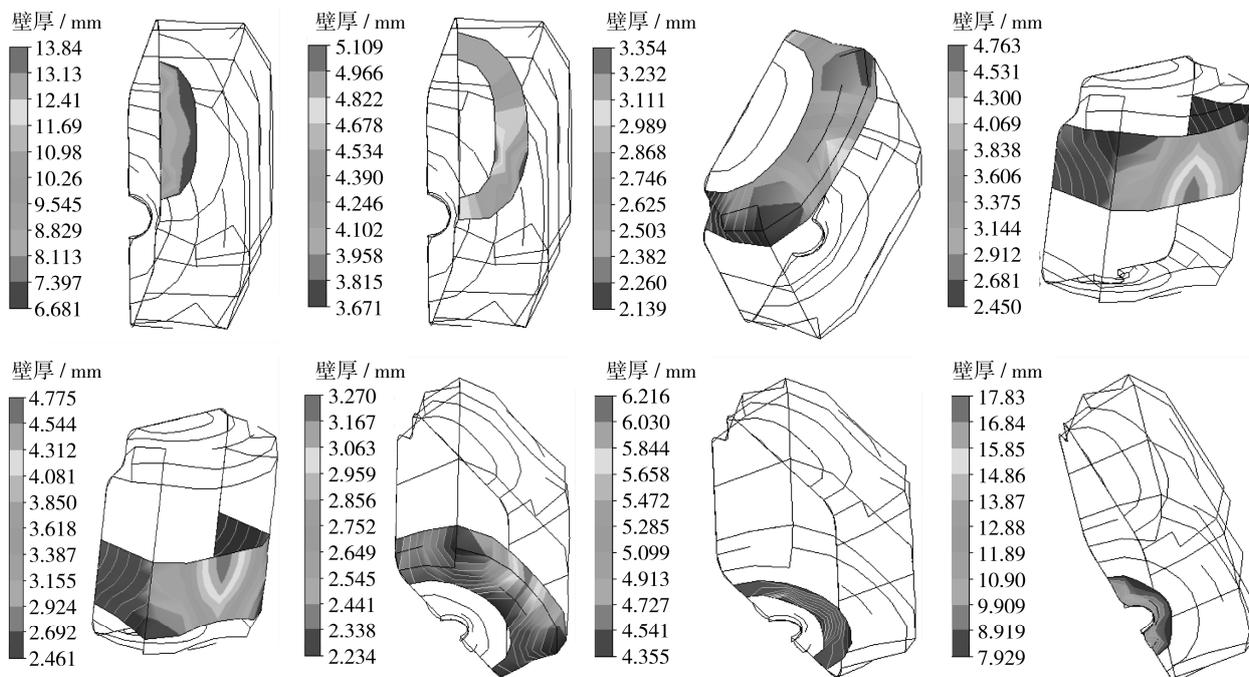


图 3 制件各部分壁厚分布
Fig.3 Thickness distribution

3 型坯初始尺寸预测

3.1 型坯初始尺寸对制件壁厚的影响

由模拟结果可知,在型坯初始尺寸均匀分布的情况下,制件壁厚分布极差为 15.691 mm,制件壁厚分布严重不均匀。为了获取型坯轴线方向各部分型坯尺寸对最终成型制件各部分的壁厚影响,现将型坯分成 5 个部分,其 z 轴坐标分别为 10, 35, 66.9, 91.9, 101.9 cm,根据制件各个部位的吹胀比调节型坯初始尺寸,设置对应型坯壁厚分别为 1, 1.5, 1, 1.2, 1 cm,型坯初始尺寸如图 4 所示再次进行模拟仿真,然后观察制件壁厚分布的变化。

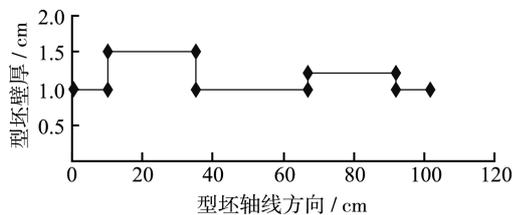


图 4 型坯初始尺寸
Fig.4 Initial size of parison

制件最终壁厚分布见图 5, 相较均匀型坯尺寸下的制件壁厚分布,采用图 4 所示的型坯初始尺寸下得到的制件壁厚分布明显均匀很多,制件的最大壁厚为 5.504 mm,最小壁厚为 0.763 mm,极差为 4.741 mm,而均匀壁厚型坯下得到的制件极差为 15.691mm。因此,型坯初始尺寸对吹胀完毕后的制件壁厚分布有较大影响,合理调整此参数能大幅改善制件壁厚分布的均匀性^[11-12]。

3.2 顶角部位型坯定位

由上述分析可知,吹胀结束后壁厚分布最薄弱部位为制件顶角位置,则确定制件顶角部位相对应的型坯位置对改善制件最终壁厚有重要意义。如图 6 所示,通过 imprint faces 命令将型坯分为 8 个区间,编号为 1—8,每个区间长度分别为 H_1 — H_8 。调节每个区间的长度,各区间坐标见表 1,分别对 4 个型坯区间水平进行吹胀仿真模拟,以确定制件顶角部位相对应的型坯位置。图 7 为型坯吹胀结束后,各个型坯区间水平下型坯区间 3,6 相对应的制件位置。最后通过模拟比较可知,制件顶角部位相对应的型坯位置在 28~51 cm, 73.9~87.9 cm 处。

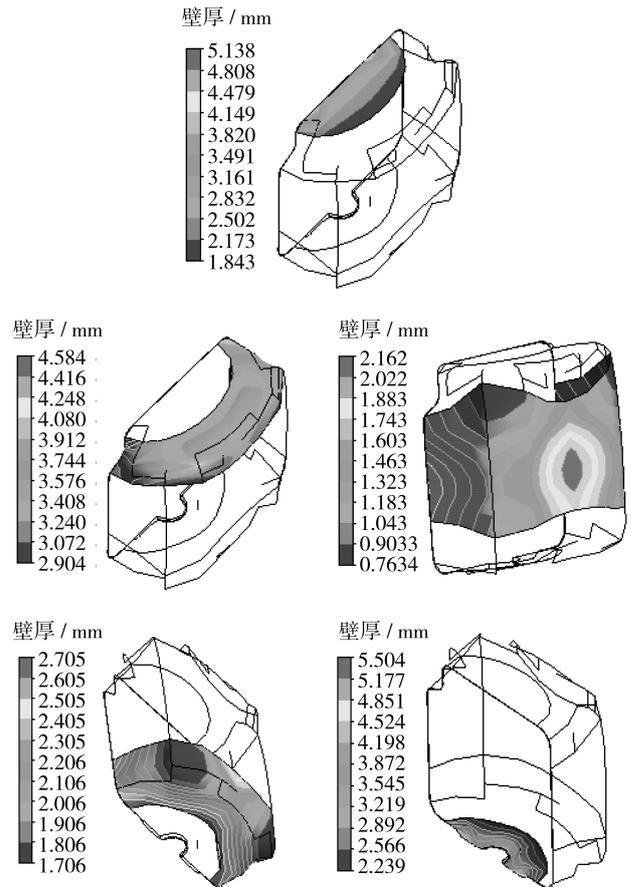


图 5 制件壁厚分布
Fig.5 Thickness distribution

表 1 型坯各区间坐标
Tab.1 Parison interval coordinates

区间	水平坐标/cm							
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8
1	12	19	35	47	66.9	81.9	89.9	101.9
2	10	15	33	48	67.9	85.9	91.9	101.9
3	8	15	30	48	72.9	87.9	93.9	101.9
4	8	14	28	51	73.9	87.9	93.9	101.9

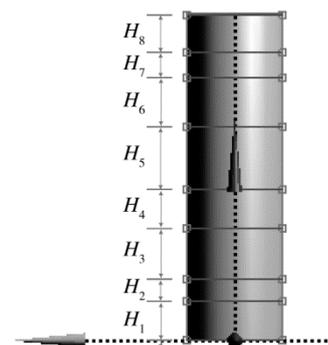


图 6 型坯分区间
Fig.6 Parison interval

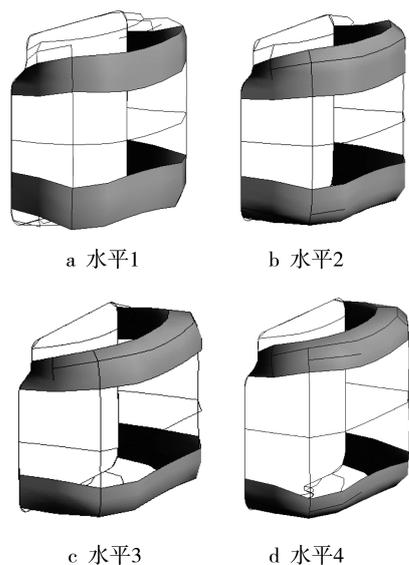


图7 型坯区间3, 6对应的制件位置
Fig.7 Corresponding position to parison interval 3, 6

3.3 45个控制点确定型坯壁厚曲线

分析制件壁厚薄弱部位的对应型坯位置, 调整型坯初始尺寸。分别通过8个控制点、24个控制点、45个控制点进行壁厚调整并进行模拟试验。结果表明45个控制点下的型坯曲线模拟结果的制件壁厚分布优于8个控制点和24个控制点的型坯曲线。以45个控制点为例, 分别采用图8中的曲线1和曲线2进行模拟分析, 最终制件壁厚见图9。

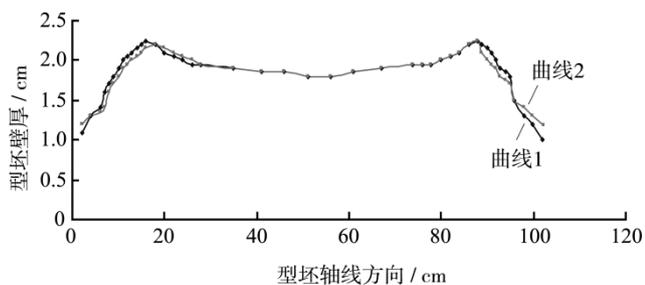


图8 45个控制点型坯曲线
Fig.8 Parison curve with 45 control points

型坯壁厚曲线1下的最终制件壁厚分布见图9a, 壁厚最大为4.942 mm, 最小为2.285 mm, 制件90%以上的壁厚主要分布在2.550~4.411 mm之间。从图9b可以看到型坯壁厚曲线2下的最终制件壁厚分布最大为4.888 mm, 最小为2.590 mm, 制件90%以上的壁厚主要分布在2.590~4.429 mm之间, 因此, 选择曲线1作为最终的IBC内胆型坯预测曲线。

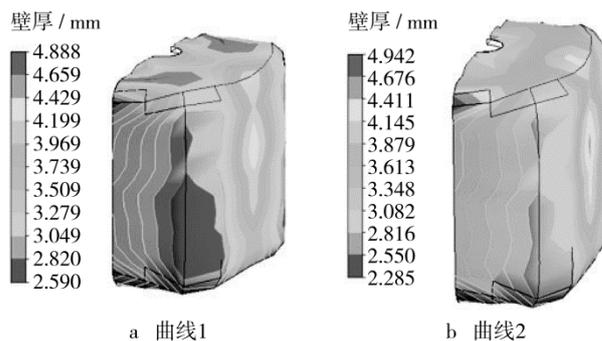


图9 制件壁厚分布
Fig.9 wall thickness distribution of IBC tank

4 型坯曲线实验验证

采用模拟得到的型坯初始壁厚曲线进行实验, 得到的IBC内胆在型坯直径方向切面的制件壁厚相对均匀, 而型坯轴线方向上的壁制件厚呈现上薄下厚的现象。这种现象的发生是由于型坯在向下打料过程中重力的作用产生下部坯料堆积增厚^[13-14], 因此, 调整型坯初始壁厚曲线, 相对提高型坯上部尺寸, 减小下部尺寸并调整打料速度、型坯温度等参数, 进行多次试验, 最终确定型坯初始壁厚曲线。模拟曲线和实验曲线见图10, 在图中可以看到模拟得到的曲线在制件的2个顶角处的型坯壁厚相差不大, 而实验得到的曲线中, 制件的2个顶角处的型坯壁厚相差较大, 并且型坯上部的壁厚尺寸普遍大于相对应的模拟得到的曲线。实验得到的型坯壁厚的最大值在模拟得到的型坯壁厚最大值的上端。

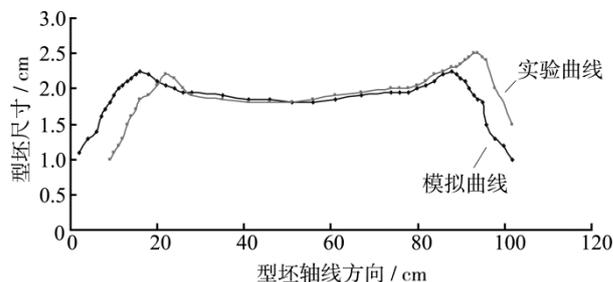


图10 模拟曲线与实验曲线
Fig.10 Simulation curve and empirical curve

5 结语

模拟和实验结果表明调整制件初始型坯尺寸改善IBC内胆制件壁厚分布的均匀性是可行有效的, 得到的型坯壁厚曲线与模拟预测得到的型坯壁

厚曲线相比,在型坯轴线方向上呈现右移趋势,并且制件的上顶角对应的型坯壁厚大于制件下顶角的型坯壁厚,这是由于型坯在挤出过程中受到离模膨胀和重力的作用^[15]。另外,试验中曲线控制点数和拟合光滑程度也会对制件壁厚控制产生重要影响。

吹塑成型 CAE 分析能有效模拟 IBC 内胆成型过程,初步预测型坯初始尺寸。与传统加工调试相比缩短了试验周期,大大节约了原材料的消耗,对于大型中空工业制件具有较大的经济意义。

参考文献:

- [1] 赵晓鹏. 中型散装容器的发展[J]. 集装箱化, 2008, 19(2): 29—31.
ZHAO Xiao-peng. The Development of Intermediate Bulk Containers[J]. Containerization, 2008, 19(2): 29—31.
- [2] 邱建成. 大型工业塑料件吹塑技术[M]. 北京: 机械工程出版社, 2009.
QIU Jian-cheng. Blow Molding Technology of Large Industrial Plastic Parts[M]. Beijing: Mechanical Engineering Press, 2009.
- [3] ATTAR A, BHUIYAN N, THOMSON V. Manufacturing in Blow Molding: Time Reduction and Part Quality Improvement[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 204(1/3): 284—289.
- [4] HUANG G Q, HUANG H X. Optimizing Parison Thickness for Extrusion Blow Molding by Hybrid Method[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 182(1/3): 512—518.
- [5] 万敏, 黄红花, 崔鹏, 等. 中型散装容器的安全性现状和安全检测技术要求[J]. 包装工程, 2013, 36(5): 115—118.
WAN Min, HUANG Hong-hua, CUI Peng, et al. Safety Present Situation of Medium-sized Bulk Containers and Technical Requirements for Its Safety Testing[J]. Packaging Engineering, 2013, 36(5): 115—118.
- [6] 李道喜, 李能文, 明浩, 等. 改善挤出吹塑制件壁厚均匀性的几种方法[J]. 精密成型工程, 2012, 4(1): 54—57.
LI Dao-xi, LI Neng-wen, MING Hao, et al. Several Methods of Improving the Homogenization of Extrusion Blow Molding Products Thickness[J]. Journal of Net Shape Forming Engineering, 2012, 4(1): 54—57.
- [7] 黄虹, 邱方军, 王海民, 等. 塑料油箱单管坯挤出-两型腔吹塑的成型工艺[J]. 塑料, 2010, 39(2): 48—50.
HUANG Hong, QIU Fang-jun, WANG Hai-min, et al. The Forming Technology for Double-Cavity Blow Molding Based on Single Parison of Plastic Fuel Tank [J]. Plastics, 2010, 39(2): 48—50.
- [8] 王树辉. 塑料挤出吹塑中空成型设备坯壁厚优化设计[J]. 科学时代, 2012(24): 12—13.
WANG Shu-hui. Optimization Design of Parison Wall Thickness for Plastic Extrusion Blow Molding Equipment[J]. Kexue Shidai, 2012(24): 12—13.
- [9] 张升军. 挤出吹塑成型机理的数值模拟研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2010.
ZHANG Shen-jun. The Numerical Simulation Research of the Extrusion Blow Molding Mechanism[D]. Nanchang: Nanchang University, 2010.
- [10] 顾菲菲, 朱志松, 严晓照. 吨包装内胆挤出吹塑成型型坯吹胀的数值模拟[J]. 现代塑料加工应用, 2013, 25(1): 46—49.
GU Fei-fei, ZHU Zhi-song, YAN Xiao-zhao. Numerical Simulation of Parison Inflation in Extrusion Blow Molding of IBC Tank[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2013, 25(1): 46—49.
- [11] 尹健晖, 罗飞, 蔡文远, 等. 中空吹塑成型机壁厚控制系统的研究[J]. 工程塑料应用, 2005, 33(10): 58—60.
YIN Jian-hui, LUO Fei, CAI Wen-yuan, et al. Development of Wall Thickness Control System in Hollow Blow Molding Machine[J]. Engineering Plastics Application, 2005, 33(10): 58—60.
- [12] 廖昌明, 黄汉熊. 挤出吹塑中型坯成型研究的进展[J]. 中国塑料, 2000, 14(4): 11—15.
LIAO Chang-ming, HUANG Han-xiong. Progress in Study on Parison Forming in Extrusion Blow Molding [J]. China Plastics, 2000, 14(4): 11—15.
- [13] 肖永清. 中空吹塑成形技术探讨[J]. 塑料包装, 2014, 24(6): 10—13.
XIAO Yong-qing. Hollow Blow Molding Technology [J]. Plastic Package, 2014, 24(6): 10—13.
- [14] 杜巧连, 陈旭辉. 挤出吹塑机型坯壁厚计算机控制系统设计[J]. 机械制造, 2015, 53(4): 26—29.
DU Qiao-lian, CHEN Xu-hui. Computer Control System Design of Parison Wall Thickness for Extrusion Blow Molding Machine[J]. 机械制造, 2015, 53(4): 26—29.
- [15] 周国发, 王梅媚, 张宇. 熔体挤出速度对共挤吹塑型坯离模膨胀影响的数值模拟[J]. 中国塑料, 2014(7): 65—71.
ZHOU Guo-fa, WANG Mei-mei, ZHANG Yu. Numerical Simulation of the Influence of Melt Extrusion Velocity on the Parison Die Swell of Coextrusion-blow-molded Parisons[J]. China Plastics, 2014(7): 65—71.