

软包装容器底部折叠成型理论分析与参数设计

张洪军¹, 陆佳平¹, 李国华², 郭子刚²

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 江苏腾通包装机械有限公司, 南通 226361)

摘要: 以一种平底软包装容器底部的折叠成型为研究对象, 通过对包装薄膜折叠成型过程的受力分析, 建立了成型装置主要结构参数的理论关系。在基本实验的基础上, 进一步探讨了主要结构参数的影响和确定, 并通过 Pro/E 对多目标参数设计实施了进一步的优化, 形成了初步的理论设计结果, 为折叠成型装置设计提供参考。

关键词: 软包装; 折叠成型; 受力分析; 参数设计

中图分类号: TB484.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)03-0010-04

Theory Analysis and Parameters Design of Flexible Packaging Container Bottom Forming

ZHANG Hong-jun¹, LU Jia-ping¹, LI Guo-hua², GUO Zi-gang²

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Jiangsu Tengtong Packing Machinery Company Limited, Nantong 226361, China)

Abstract: The bottom of a kind of flexible packaging container folding forming was taken as the research object. By analyzing the structure characteristics of the packaging film folding forming process, the theoretic relations among the forming device major structure parameters were established. The influence of the main structure parameters was discussed and confirmed based on basic experiment. Further multi-objective optimization of the parameters design was carried out using Pro/E to get preliminary results of the theory design. The purpose was to provide reference for folding forming device design.

Key words: flexible packaging; folding forming; stress analysis; parameter design

软包装是利用柔性包装材料, 通过一定的成型工艺及包装封口技术形成的包装形式, 软包装容器及最终形式主要依赖于所用材料、成型技术和包装技术^[1], 结合包装容器成型基本原理和方法^[2-4], 构思薄膜折叠成型的平底容器。平底折叠成型过程的结构参数和薄膜张力理论分析, 对确定理论依据及成型包装机结构设计有重要意义, 同时期望通过 Pro/E 对多目标参数的设计作进一步优化, 形成设计理论, 以为折叠成型装置的设计提供基础。

1 成型基本原理与方法

软包装容器底部形状示意图见图 1, 根据底容器的结构特点, 并对现有软包装容器成型机构进行分

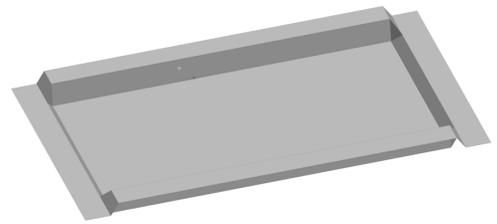


图 1 容器底部形状示意图
Fig. 1 Schematic diagram of the bottom shape of the container

析^[5-6], 确定了一种底容器预折叠成型的基本原理和方法, 见图 2。

预折叠成型装置包括一套局部为 U 型的下成型模和一套上成型模, 薄膜通过成型模强制折边, 成型模折边处为圆弧过渡。薄膜平底成型需要经过第 1

收稿日期: 2011-07-30

作者简介: 张洪军(1985—), 男, 河南开封人, 江南大学硕士生, 主攻包装机械。

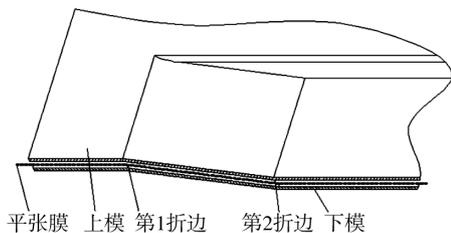


图2 预折叠成型原理

Fig. 2 Schematic diagram of the folding principle

折边和第2折边2个过程,分别由下模和上模完成,并带来薄膜张力的变化。薄膜经预折叠成型装置折叠所成的U型膜见图3。

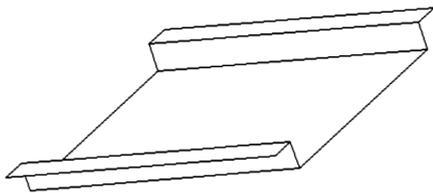


图3 U型膜

Fig. 3 U shape film

2 成型受力分析

2.1 力学模型建立

假设薄膜进入折边圆弧前后宽度保持不变,薄膜的质量忽略,将成型过程简化成2个折边过程,在第1折边和第2折边2个圆弧处对薄膜进行分析。由于第1折边和第2折边处受力相同、方向相反,故以薄膜进入第1折边圆弧处的运动情况为例进行受力分析,并建立直角坐标系 XOY ,见图4。

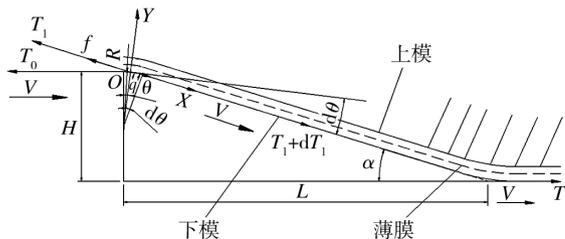


图4 受力分析模型

Fig. 4 Stress analysis model

图4中, α 为成型角,即斜面与水平面的夹角, R 为折边圆弧半径, T_0 为进入折边圆弧前薄膜的张力,

T_1 为转过 θ 角时薄膜的张力,转过 $(\theta+d\theta)$ 角时薄膜的张力为 (T_1+dT_1) , q 为折边圆弧处单位长度薄膜所受的径向力, f 为薄膜与折边圆弧接触处的摩擦力, u 为其摩擦系数。

2.2 薄膜受力分析

在折边圆弧处建立力矩平衡方程^[7]:

$$(T_1+f)R=(T_1+dT_1)\cos(d\theta)R \quad (1)$$

即:

$$(T_1+qRd\theta u)R=(T_1+dT_1)\cos(d\theta)R \quad (2)$$

当 $d\theta \rightarrow 0, \cos d\theta \rightarrow 1$ 时,得:

$$\frac{dT_1}{d\theta}=quR \quad (3)$$

在 θ 角处建立径向受力平衡方程:

$$qRd\theta=(T_1+dT_1)\sin d\theta \quad (4)$$

当 $d\theta \rightarrow 0, dT \rightarrow 0, \sin d\theta \rightarrow d\theta$ 时,得:

$$T_1=qR \quad (5)$$

由式(3)和(5)可得:

$$\frac{dT_1}{T_1}=ud\theta \quad (6)$$

由边界条件解得成型角与薄膜张力的关系为:

$$T_1=T_0e^{u\alpha} \quad (7)$$

$$\alpha=\frac{1}{u}\ln(T_1/T_0) \quad (8)$$

由式(4)和(7)可得:

$$q=\frac{T_0}{R}e^{u\alpha} \quad (9)$$

因此,经过2次折边成型后薄膜所受到的张力 T 为:

$$T=2T_1=2T_0e^{u\alpha} \quad (10)$$

3 参数分析与讨论

3.1 参数基本关系分析

成型角 α 和折边圆弧半径 R 是2个重要的结构参数。由于结构尺寸的限制, α 不能太小,但是薄膜预折叠前后的拉伸变形量不能过大,决定了 α 不能太大,事实上 α 越小,薄膜预折叠前后所受到的拉力差 dT_1 越小,就越不易变形。同时,由式(7)和(9)可知,薄膜在进入下模的斜面处所受的张力 T_1 与下模折边圆弧半径 R 无关,而在折边圆弧处,单位长度薄膜所受的径向力 q 与 R 有关,当 R 趋于0时, q 将趋于无穷大。在 q 达到一定值时可以导致薄膜被划破,所以折边圆弧半径 R 不能太小。对于结构而言, R 是不大

于高度 H 和长度 L 所确定的圆半径,同时由式(9)可知 α 和 R 是有关联的。

α 和 R 这 2 个参数既独立又关联,为了合理设计,以常用的 PA/PE(80 μm)复合薄膜材料为例,通过实验数据和结构讨论来获得 α 和 R 的范围。通过拉伸试验获得了薄膜不同变形量所对应的张力及张力比,见表 1。

表 1 PA/PE(80 μm)复合膜拉伸变形量与对应的张力

Tab. 1 PA/PE (80 μm) composite membrane tensile deformation and corresponding load

组别	1	2	3	4	5	6
0.1%变形量时的张力 T_1/N	0.185 4	0.189 4	0.204 7	0.192 3	0.190 5	0.192 3
0.01%变形量时的张力 T_0/N	0.170 7	0.174 0	0.188 7	0.176 9	0.175 2	0.173 9
T/T_0	1.086 2	1.088 8	1.084 9	1.086 8	1.087 1	1.105 7

3.2 成型角 α 及折边圆弧半径 R 的影响

一般地,薄膜的拉伸变形量不应超过 0.1%,因而薄膜在进入下模斜面后所受的张力与薄膜在进入折边圆弧前所受的张力之比 $T_1/T_0 \leq 1.1$ 。

由 PA/PE(80 μm)复合薄膜材料与镜面不锈钢板测定摩擦系数的试验得,二者之间的摩擦系数 $\mu = 0.206$,分别取拉伸变形量不超过 0.1%所对应的 T_1/T_0 值 1.01, 1.02, \dots , 1.10, 计算 α 及对应的 R 值,见表 2。

表 2 α 及对应 L/H 的值

Tab. 2 α and corresponding L/H value

T_1/T_0	α/rad	$\alpha/(\text{°})$	$e^{\mu\alpha}$	L/H
1.01	0.05	2.77	1.010	20.69
1.02	0.10	5.51	1.021	10.37
1.03	0.14	8.22	1.029	6.92
1.04	0.19	10.91	1.040	5.19
1.05	0.24	13.57	1.051	4.14
1.06	0.28	16.21	1.059	3.44
1.07	0.33	18.82	1.070	2.93
1.08	0.37	21.41	1.079	2.55
1.09	0.42	23.97	1.090	2.25
1.10	0.46	26.51	1.099	2.00

紧凑的结构设计通常要求 $2 \leq \frac{1}{\tan \alpha} = \frac{L}{H} \leq 8$,由表 2 可知,满足要求的成型角 α 的取值范围应为 0.28

$\leq \alpha \leq 0.46$,即 $16.21^\circ \leq \alpha \leq 26.51^\circ$ 。

由表 2 及式(9)可知, α 的取值对 T_1 及径向力 q 的影响甚微,而折边圆弧半径 R 的取值对径向力 q 的大小起决定作用。由式(9)可知,半径 R 越大, q 则越小,因此取 R 为结构所允许的最大值,由下模的斜面高度 H 与长度 L 的值可以确定 R 所允许的范围为 $1 \text{ mm} \leq R \leq 51 \text{ mm}$ 。

通过实验及参数讨论获得了成型角 α 和折边圆弧半径 R 的取值范围,为了取得其最佳的设计参数,即在 $16.21^\circ \leq \alpha \leq 26.51^\circ$ 的范围内,找到折边圆弧半径 R 的最大取值,还要通过 Pro/E 的多目标设计研究功能,对 α 和 R 在取值范围内进行优化。

4 主要结构参数优化

4.1 建立模型与特征参数

在 Pro/E 中建立下模的斜坡模型,见图 5。

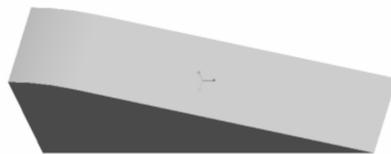


图 5 斜坡模型

Fig. 5 Slope model

点击分析测量距离工具,建立折边圆弧直径参数特征 ANALYSIS_DIAMETER_1 及成型角的角度参数特征 ANALYSIS_ANGLE_1。

4.2 参数优化与结果

点击分析-多目标设计研究工具图标,在主表中以折边圆弧半径 R 和底面长 L 为设计变量,其中 $12 \text{ mm} \leq L \leq 24 \text{ mm}$, $1 \text{ mm} \leq R \leq 51 \text{ mm}$ 。以折边圆弧直径参数特征 ANALYSIS_DIAMETER_1 及成型角的角度参数特征 ANALYSIS_ANGLE_1 为设计目标。设定计算实验数目为 1 000,得到所设置范围内 1 000 个角度与直径的数值,在创建的 2 个衍生表 1、衍生表 2 中分别设置约束条件: $16.21^\circ \leq \text{ANALYSIS_ANGLE_1} \leq 26.51^\circ$, $\text{NANALYSIS_DIAMETER_1}$ 最大,取直径最大的方案,得到优化后的模型及其参数见图 6。

由图 6 可以看出,优化后的模型折边圆弧半径为 25.46 mm,成型角为 17.39° ,底面长为 23.05 mm,均

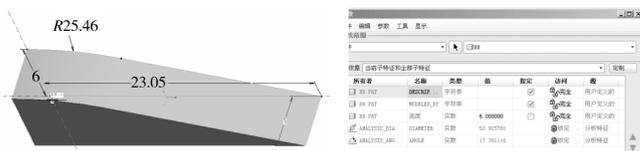


图6 优化结果

Fig. 6 Optimization results

在规定范围内。圆整后取折边圆弧半径 R 为 25 mm,底面长 L 为 23 mm,成型角 α 为 17.4° 。

5 结论

成型工艺理论及参数设计对成型装置及包装机械设计具有重要作用。在形成基本成型方案的基础上,通过对包装薄膜折叠成型过程的受力分析,探讨了成型装置成型角 α 和折边圆弧半径 R 等主要结构参数的理论关系;借助包装材料的基本试验,为主要结构参数设计提供了基本的依据,同时进一步探讨了结构参数对折叠过程中薄膜受力的影响,其中折边圆弧半径 R 对薄膜径向受力影响较大,成型角 α 影响甚小;通过 Pro/E 的多目标设计研究功能进一步对主要结构参数 α 和 R 在取值范围内进行了优化,获得了 2 个参数的最佳设计值为 $R=25\text{ mm}$, $\alpha=17.4^\circ$ 。

参考文献:

- [1] 潘松年. 包装工艺学[M]. 北京:印刷工业出版社,2007.
PAN Song-nian. Packaging Technology [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2007.
- [2] 魏娜,孙诚,尹兴,等. 功能型折叠纸盒作业线的研究[J]. 包装工程,2006,27(1):132-133.

WEI Na, SUN Cheng, YIN Xing, et al. Research of Working Score of Functional Folding Carton[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 132-133.

- [3] 尹兴,孙诚,魏娜,等. 任意四棱台折叠纸盒作业线设计条件分析[J]. 包装工程,2006,27(2):141-143.
YIN Xing, SUN Cheng, WEI Na, et al. Analysis on the work Score Design of the Discretional Rectangle-terrale Folding Carton[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 141-143.
- [4] 宋宝丰. 包装容器结构设计与制造[M]. 北京:印刷工业出版社,2007.
SONG Bao-feng. The Structure Design and Manufacturing of Packaging Container[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2007.
- [5] 刘崇文. 包装机托模装置:中国,03222173. 8[P]. 2004-06-30.
LIU Chong-wen. The Mould Device of Packaging Machine :China, 03222173. 8[P]. 2004-06-30.
- [6] 许林成. 包装机械原理与设计[M]. 上海:上海科技出版社,1988.
XU Lin-cheng. Principle and Design of Packaging Machine[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1988.
- [7] 章辉. 翻领成型器力学性能研究[D]. 无锡:江南大学,2007.
ZHANG Hui. Study on the Mechanical Properties of Forming Shoudler[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [8] 佟河亭,李超. Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 机构运动仿真与动力分析[M]. 北京:人民邮电出版社,2009.
TONG He-ting, LI Chao. Mechanism Motion Simulation and Dynamic Analysis of Pro/e Wildfire 4.0 [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2009.