

## 瓦楞纸箱尺寸的优化设计

张琴, 许莉钧, 张丽, 王保升

(南京工程学院, 南京 211167)

**摘要:** 以产品为类直方体、外包装容器为瓦楞纸箱的托盘包装系统为研究对象, 提出了能同时降低包装用料成本和仓储成本的瓦楞纸箱尺寸优化设计方法。介绍了优化设计方案, 分别建立了瓦楞纸箱省料模型和托盘装载优化模型, 从瓦楞纸箱设计、托盘装载、仓储空间各个环节进行优化, 以提高托盘表面利用率和仓储空间利用率, 降低包装成本, 并给出了纸箱尺寸优化流程。

**关键词:** 瓦楞纸箱; 托盘装载; 优化

**中图分类号:** TB484.1; TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0058-04

### Optimal Design of Corrugated Box Dimension

ZHANG Qin, XU Li-jun, ZHANG Li, WANG Bao-sheng

(Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

**Abstract:** An optimal design method of corrugated box dimension was put forward to reduce the cost of packaging material and storage, in which the object of study is assumed by taking product as quasi-square and outer packaging container as corrugated box. The optimal design scheme was introduced, which was to establish material saving corrugated box model and optimized pallet load model and to carry out optimization in the processes of corrugated box design, pallet load, and storage space in turn to improve area utilization and cube utilization of pallet and reduce packaging cost. The optimization flowchart of corrugated box dimension was presented.

**Key words:** corrugated box; pallet load; optimization

包装是商品生产和制造的重点, 又是商品流通的起点。瓦楞纸箱作为绿色包装容器, 广泛用于各种商品的销售包装和运输包装<sup>[1]</sup>。瓦楞纸箱包装在流通过程中几乎都要用到托盘, 托盘作为现代物流的重要货物载体, 贯穿于各个环节, 是装卸搬运、仓储保管以及运输过程中的重要工具, 与叉车配合使用, 可以大幅度提高装卸搬运效率; 用托盘堆码货物, 可以大幅度增加仓库利用率<sup>[2-3]</sup>。作为运输包装中使用量最大的瓦楞纸箱, 其优化设计是极为重要的。以往的纸箱结构优化设计主要考虑物流成本和仓储空间利用率。文献[4]和[5]提出以货物纸箱包装和集装箱运输整体费用作为目标, 来优化设计瓦楞纸箱的结构尺寸; 文献[6]也提出了基于物流成本的包装箱尺寸优化设计; 文献[7]—[9]提出以仓储空间利用率最大为优化目标函数, 优化设计瓦楞纸箱的尺寸。以往的研究

很少有考虑纸箱多为本地化生产的因素。本课题以产品为类直方体, 外包装容器为瓦楞纸箱的托盘包装系统为对象, 研究瓦楞纸箱尺寸的优化设计, 使得包装用料和仓储的总成本达到最小, 简化了其它因素, 这对企业具有较好的实用性。

### 1 优化设计方案

产品的不同种类和特性, 以及在产品存储和流通过程中, 不同的托盘规格、仓储条件、运输工具、托盘上货物的堆码方式和托盘包装堆码方案, 都会对纸箱有不同的要求。因此必须优化产品在纸箱内的排列方式、纸箱的尺寸、纸箱在托盘上的堆码以及托盘包装在空间上的堆码方案, 使得包装用料成本、包装件的仓储成本最低; 并且包装尺寸、形状应满足必要的

**收稿日期:** 2011-07-26; **修订日期:** 2011-12-13

**基金项目:** 南京工程学院科研基金资助项目(QKJB2009007)

**作者简介:** 张琴(1979—), 女, 湖北荆州人, 硕士, 南京工程学院讲师, 主要从事包装工程的教学与研究。

约束条件,确保纸箱的强度,使纸箱能够承受储运期间的堆码载荷和运输过程中的冲击振动载荷。

由上可以看出,托盘包装系统的优化是一个多目标、多变量的优化问题。其目标函数可描述为:

$$\min\{f_k(V_m, V_t, V_s)\} \quad (k=1, 2, \dots) \quad (1)$$

式中: $V_m$  表示瓦楞纸箱结构变量; $V_t$  表示托盘装载结构变量; $V_s$  表示运输仓储变量; $f_k$  是成本目标函数。

约束:1)  $g_m(V_m, V_t, V_s) \leq 0$ ; 2)  $g_t(V_m, V_t, V_s) \leq 0$ ; 3)  $g_s(V_m, V_t, V_s) \leq 0$ 。其中: $g_s$  是运输仓储约束条件; $g_t$  是托盘装载约束条件; $g_m$  是瓦楞纸箱结构约束条件。

式(1)所示的数学模型的建立及求解都很复杂,因此,将其简化成纸箱用料最省、仓储空间利用率最大等多个单目标函数问题,分别进行优化,以包装容器的强度以及结构尺寸要求为约束条件。

## 2 瓦楞纸箱省料模型的建立

在计算纸箱内外尺寸和制造尺寸之前,要先确定内装物的排列数目、排列方向和尺寸比例<sup>[10]</sup>。

1) 排列数目。单件瓦楞纸箱装量  $n$  按(2)式计算。

$$n = n_l \times n_b \times n_h \quad (2)$$

式中: $n_l$  表示纸箱长度方向上的内排列数目; $n_b$  表示纸箱宽度方向上的内排列数目; $n_h$  表示纸箱高度方向上内排列数目。

2) 排列方向。按纸箱长( $L$ )、宽( $B$ )、高( $H$ )和内装物长( $l$ )、宽( $b$ )、高( $h$ )的相对方向,对于同一排列数目,可以有P型、Q型、R型、S型、T型和V型共6种排列方向,见表1。

表1 纸箱的排列方向

Tab.1 Array orientation of corrugated box

排列方向	平行于 $L$	平行于 $B$	平行于 $H$
P	$l$	$b$	$h$
Q	$b$	$l$	$h$
R	$b$	$h$	$l$
S	$h$	$b$	$l$
T	$h$	$l$	$b$
V	$l$	$h$	$b$

3) 省料模型的建立。纸箱的形状是以两边长度

的比值( $L/B, H/B$ )来确定的。以纸箱用料面积为目标函数,假设体积一定,利用多元函数的有限定条件微分求极值,可得到长宽高之比  $L : B : H$  的最佳比例<sup>[11]</sup>,各型号瓦楞纸箱的最佳比例见表2。

表2 纸箱的最佳尺寸规格

Tab.2 Optimum dimension of corrugated box

纸箱代号	比例	纸箱代号	比例	纸箱代号	比例
0201	2 : 1 : 2	0202	2 : 1 : 3	0203	2 : 1 : 4
0204	1 : 1 : 2	0205	1 : 2 : 2	0206	3 : 3 : 1
0313	2 : 1 : 1	0305	4 : 4 : 1	0404	1 : 1 : 2
0402	2 : 2 : 1	0510	1 : 2 : 1	0511	2 : 3 : 2
0620	1 : 1 : 1	0712	1 : 1 : 2	0761	4 : 2 : 1

通常实际设计的瓦楞纸箱的外形尺寸比与相应最小面积的尺寸比是不相符的,纸箱的实际用料面积( $S$ )比最小用料面积( $S_{\min}$ )大,其相对增长百分率为:

$$\Delta S = \frac{S - S_{\min}}{S_{\min}} \times 100\% \quad (3)$$

在瓦楞纸箱结构设计时,为了节省用料,一般要求  $\Delta S < 10\%$ 。

建立瓦楞纸箱结构优化设计的数学模型如下。

目标函数为  $\min(\Delta S)$ 。约束条件包括:1)  $\Delta S < 10\%$ ; 2)  $a \leq L/B \leq b, c \leq H/B \leq d$ ; 3) 箱高/底面周长  $< 0.5$ ; 4)  $|L_0 - L| \leq e \times L_0, |B_0 - B| \leq e \times B_0$ 。其中, $L, B$  和  $H$  分别为纸箱长、宽和高, $L_0$  和  $B_0$  分别为标准纸箱的长和宽,而  $a, b, c, d, e$  根据实际情况选取数值。

纸箱用料优化可采用全面搜索的方法,得到不同内装物数量、箱型条件下省料的纸箱尺寸。

## 3 瓦楞纸箱的抗压强度与堆码条件

根据 Kellicutt 经验公式,瓦楞纸箱的抗压强度为:

$$P_c = 1.86 \times \left( \frac{a_{xz}}{Z/4} \right)^{2/3} \times P_x \times Z \times J \quad (4)$$

式中: $P_c$  为纸箱的抗压强度(N); $a_{xz}$  为楞常数; $Z$  为纸箱周长(cm); $P_x$  为瓦楞纸板的综合环压强度(N/cm); $J$  为纸箱常数。

瓦楞纸箱的堆码强度计算公式为:

$$P = k \times m \times (h/H - 1) \quad (5)$$

式中: $k$  为安全系数,是由货物的储存期和储存

条件决定的;  $h$  为堆码高度(mm);  $H$  为纸箱的高度(mm);  $m$  为每件包装件的质量(kg)。

为了保护纸箱内装物, 必须要求  $P_c \geq P$ , 这就是堆码强度条件。

#### 4 托盘装载优化模型的建立

处理好托盘的表面利用率和托盘上产品堆码高度之间的关系, 才能提高仓储空间利用率<sup>[12]</sup>。因此, 在优化仓储空间利用率之前, 需要先对托盘的表面利用率进行优化。

托盘表面利用率是指纸箱占用托盘表面积的分率, 可表示为:

$$P_p = \frac{S \times n}{S_p} \times 100\% \quad (6)$$

式中:  $P_p$  为托盘表面利用率;  $S_p$  为托盘底面积( $\text{mm}^2$ );  $n$  为托盘上单层堆码的纸箱个数;  $S$  为单件纸箱底面积( $\text{mm}^2$ )。

仓储空间利用率指纸箱堆垛的空间利用率, 可表示为:

$$P_s = \frac{N_p(HN_s + T_p)}{H_m} \times P_p \quad (7)$$

式中:  $P_s$  为仓储空间利用率;  $H_m$  为仓储空间最大有效堆码高度(mm);  $N_p$  为堆码的托盘个数;  $H$  为瓦楞纸箱的外部高度(mm);  $N_s$  为托盘上堆码瓦楞纸箱的层数;  $T_p$  为托盘厚度(mm)。

建立托盘转载优化的数学模型如下: 目标函数为  $\max(P_s)$ , 约束条件为  $P_c \geq P$ 。

在仓储空间利用率的优化中, 货物在托盘上的堆码与很多因素有关, 如托盘载荷、托盘包装高度、允许堆码托盘个数、货物承载情况及产品自身要求等<sup>[13]</sup>。

单独考虑仓储空间利用率最大的优化方法是: 根据纸箱在托盘上不同的堆码方式以及托盘包装在空间上的堆码方案, 采用单因素全面搜索的方法, 得到不同堆码方式的纸箱尺寸, 选出最优方案。

同时考虑包装用料和仓储空间利用率双因素优化的方法是: 从包装用料单因素优化结果中再次搜索到考虑双因素的优化结果。

#### 5 尺寸优化流程

瓦楞纸箱尺寸优化设计的流程见图 1。

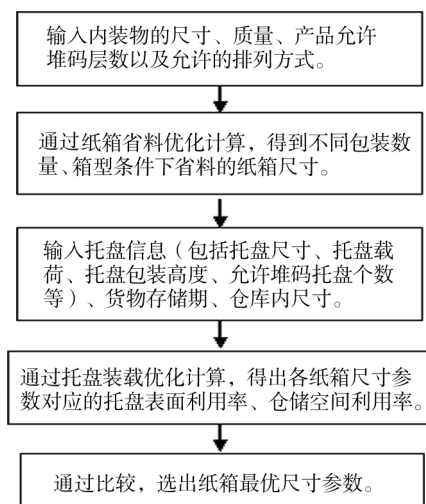


图 1 尺寸优化流程

Fig. 1 Optimization flowchart of corrugated box dimensions

该流程图代表主要设计思路, 在实际程序实现中有所调整和细化。

#### 6 应用实例

产品参数设置: 长度 100 mm, 宽度 60 mm, 高度 80 mm, 质量 0.8 kg, 允许排列方式为立放, 产品允许堆码层数 10 层。

托盘选用 GB/T 4892—2008 中的标准托盘, 尺寸为 1 200 mm × 1 000 mm, 托盘包装高度 2 200 mm, 厚度 20 mm, 允许载荷 2 000 kg, 允许堆码托盘个数为 5 个, 预备货物储存期 30~100 d。

货仓内部高度 2 197 mm。

优化方案为: 纸箱长度、宽度和高度方向产品件数分别为 3、2 和 4, 纸箱的内尺寸为 305 mm × 125 mm × 323 mm, 纸箱外尺寸为 318 mm × 138 mm × 338 mm, 每箱总质量 19.2 kg, 每层瓦楞纸箱数量 30 件, 纸箱堆码层数 6 层, 托盘堆码个数为 1 个, 托盘表面积利用率 100%, 仓储空间利用率为 93.2%。

#### 7 结语

提出的优化方法可以使纸箱企业在学习产品包装以及包装品存储和流通过程中, 降低包装用料成本, 并且获得较高的托盘表面积利用率和仓储空间利用率, 这对生产具有一定的实际指导意义。

## 参考文献:

- [1] 刘国东,祝锡晶.瓦楞纸箱尺寸优化设计的算法分析[J].包装工程,2007,28(12):121-123.  
LIU Guo-dong, ZHU Xi-jing. A Lgorithm Analysis of Corrugated Case Dimension Optimum Design[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12): 121-123.
- [2] 雒洁,郭彦峰,王家民.托盘包装的现状与发展趋势[J].包装工程,2005,26(4):99-100.  
LUO Jie, GUO Yan-feng, WANG Jia-min. The Current State and Development Trend of Pallet Package [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(4): 99-100.
- [3] 付云岗,郭彦峰,周炳海.托盘物流及其发展趋势[J].包装工程,2006,27(6):229-230.  
FU Yun-gang, GUO Yan-feng, ZHOU Bing-hai. Development Trend of Pallet Distribution[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 229-230.
- [4] 柴培英,王德忠,彭国勋.优化设计瓦楞纸箱结构尺寸降低货物流通整体费用[J].中国包装,1992,12(3):67-71.  
CHAI Pei-ying, WANG De-zhong, PENG Guo-xun. Optimum Designing of the Construction of Corrugated Box and Decreasing the Total Expenses of Cargo Distribution [J]. China Packaging, 1992, 12(3): 67-71.
- [5] 张文民,曹凤君,邢晓敏.瓦楞纸箱包装设计的分析和计算[J].齐齐哈尔大学学报,2001,17(2):73-75.  
ZHANG Wen-min, CAO Feng-jun, XING Xiao-min. Analyse and Calculate on the Packing Design of Corrugated Box[J]. Journal of Qiqihar University, 2001, 17(2): 73-75.
- [6] 王岭松,王东爱,李宗民.基于物流成本的包装箱尺寸优化设计[J].包装工程,2006,27(1):121-122.  
WANG Ling-song, WANG Dong-ai, LI Zong-min. Optimizing the Size of Packing Box Based on the Cost of Logistics[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 121-122.
- [7] 张伟,郭彦峰.瓦楞纸箱运输包装设计[J].包装工程,2002,23(1):25-27.  
ZHANG Wei, GUO Yan-feng. Design of Corrugated Board Box Transport Package System [J]. Packaging Engineering, 2002, 23(1): 25-27.
- [8] 王岭松,王东爱.瓦楞纸箱尺寸的优化设计[J].包装工程,2004,25(3):177-178.  
WANG Ling-song, WANG Dong-ai. Optimizing the Size of Carton [J]. Packaging Engineering, 2004, 25(3): 177-178.
- [9] 李小丽,郭彦峰.瓦楞纸箱在运输包装系统中的应用与设计[J].包装工程,2006,27(3):126-128.  
LI Xiao-li, GUO Yan-feng. Application and Design of Corrugated Case in Transport Packaging System [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 126-128.
- [10] 缪敏,戴跃洪.瓦楞纸箱结构设计及其优化方法[J].包装工程,2006,27(4):153-156.  
LIAO Min, DAI Yue-hong. Structural Design of Corrugated Box and Its Optimization Methods [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 153-156.
- [11] 甘纯刚,赵燕,卢杰,等.瓦楞纸箱结构优化的CAD系统[J].包装工程,2006,27(5):155-158.  
GAN Chun-gang, ZHAO Yan, LU Jie, et al. Structural Optimization CAD System of Corrugated Paper Case [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 155-158.
- [12] 雒洁.托盘包装系统的优化设计[D].西安:西安理工大学,2005.  
LUO Jie. Optimum Designing of Pallet Package System [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2005.
- [13] 孟唯娟,孙诚,黄利强,等.托盘装载优化系统的研究与开发[J].包装工程,2010,31(1):54-56.  
MENG Wei-juan, SUN Cheng, HUANG Li-qiang, et al. Research and Development of Pallet Loading System [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1): 54-56.
- [7] 高辉,胡良平.如何正确处理正交设计与均匀设计定量资料[J].中西医结合学报,2008,6(8):873-877.  
GAO Hui, HU Liang-ping. How to Correctly Process Quantitative Data with Design of Orthogonality or Uniform [J]. Journal of Chinese Integrative Medicine, 2008, 6(8): 873-877.
- [8] GB/T 4857.2-1992,包装、运输包装件温湿度调节处理 [S].  
GB/T 4857.2-1992, Packaging-Transport-Temperature and Humidity Conditioning [S].
- [9] 陈希荣.瓦楞纸箱的配纸优化系统设计[J].全球瓦楞工业,2007(6):74-78.  
CHEN Xi-rong. Paper Choosing in Box Production [J]. Global Corrugated Industry, 2007(6): 74-78.

~~~~~  
(上接第50页)