

瓦楞纸箱尺寸设计优化系统的开发

宋卫生, 苗红涛, 苏铁青
(河南牧业经济学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 提高瓦楞纸箱尺寸设计过程的工作效率与准确性, 缩短产品的开发周期。**方法** 以瓦楞纸箱尺寸计算为主线, 利用 PHP 语言和 Mysql 数据库设计一套从内装物排列方式优选一直到后期算出可堆码层数和堆码高度的瓦楞纸箱尺寸优化设计系统。**结果** 通过实例演算可以看出该系统可以大大减小尺寸设计过程中的计算量与分析比较时间, 大大提高工作效率。**结论** 该系统具有一定的实用价值, 但是还存在堆码强度安全系数需要经验确定, 以及尚未涉及抗跌落及缓冲性能预测等问题, 还有进一步提升的空间。

关键词: 瓦楞纸箱; 尺寸计算; 优化; 抗压强度; 排列方式

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0093-07

Development of Optimizing System for the Size Designing of Corrugated Box

SONG Wei-sheng, MIAO Hong-tao, SU Tie-qing
(Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450046, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the efficiency and accuracy through the process of size design for corrugated boxes, and shorten the development cycle of the product. With the size calculation as the main clue, the optimizing system for the size design of corrugated box from the arrangement optimizing of inner content to the calculation of the stacking layers and stacking height finally with PHP programming language and Mysql database was designed. This optimizing system could reduce the computed amount and the time for analysis and comparison in the process of size design, and improve the work efficiency greatly. This system has certain practical value, but some problems still exist, such as the safety coefficient of stacking strength to be determined by experience and the lacking of prediction of anti-drop capability and cushioning property. This system still needs to be improved.

KEY WORDS: corrugated box; size calculation; optimization; compressive strength; arrangement manner

瓦楞纸箱是一种最常见的产品储运包装形式, 尺寸设计是瓦楞纸箱设计过程中的主要内容。纸箱最佳的尺寸比例往往要考虑内装物尺寸、内装物数量、内装物排列方式、内装物摆放限制条件、内部隔衬的厚度及数量这些内部因素的影响, 又要受外箱纸板用量, 强度因素、堆码强度以及美学因素等方面的限制, 最后还要尽量和外部托盘、集装箱、卡车等储运工具的尺寸相匹配^[1-3]。针对某种内装产品或中包装来讲, 面对多样、复杂的约束条件,

在外包装瓦楞纸箱的尺寸设计过程中, 必然存在着大量繁琐、复杂的计算与比较^[4-7]。文中利用 PHP 语言和 Mysql 数据库设计了一套瓦楞纸箱尺寸优化设计系统, 旨在提高瓦楞纸箱尺寸设计过程的工作效率与准确性, 缩短产品的开发周期。

1 瓦楞纸箱尺寸优化设计系统的整体结构

系统由 Mysql 数据库、基于 PHP 语言的优化

收稿日期: 2016-05-31

作者简介: 宋卫生 (1980—), 男, 河南西华人, 硕士, 河南牧业经济学院副教授, 主要研究方向为包装工程与仿真分析。

与计算程序、参数输入窗口以及结果显示窗口等4部分组成。系统的功能模块包括：内装物(中包装)排列方式优选模块、瓦楞纸箱尺寸计算模块、瓦楞纸箱抗压强度计算模块3个模块组成。各功能模块的基本构成关系见图1。系统具有内装物排列方式

优化选择,瓦楞纸箱内尺寸、外尺寸以及制造尺寸的计算,瓦楞纸箱抗压强度计算3项基本功能,可以较大程度地提高瓦楞纸箱尺寸设计过程的工作效率。

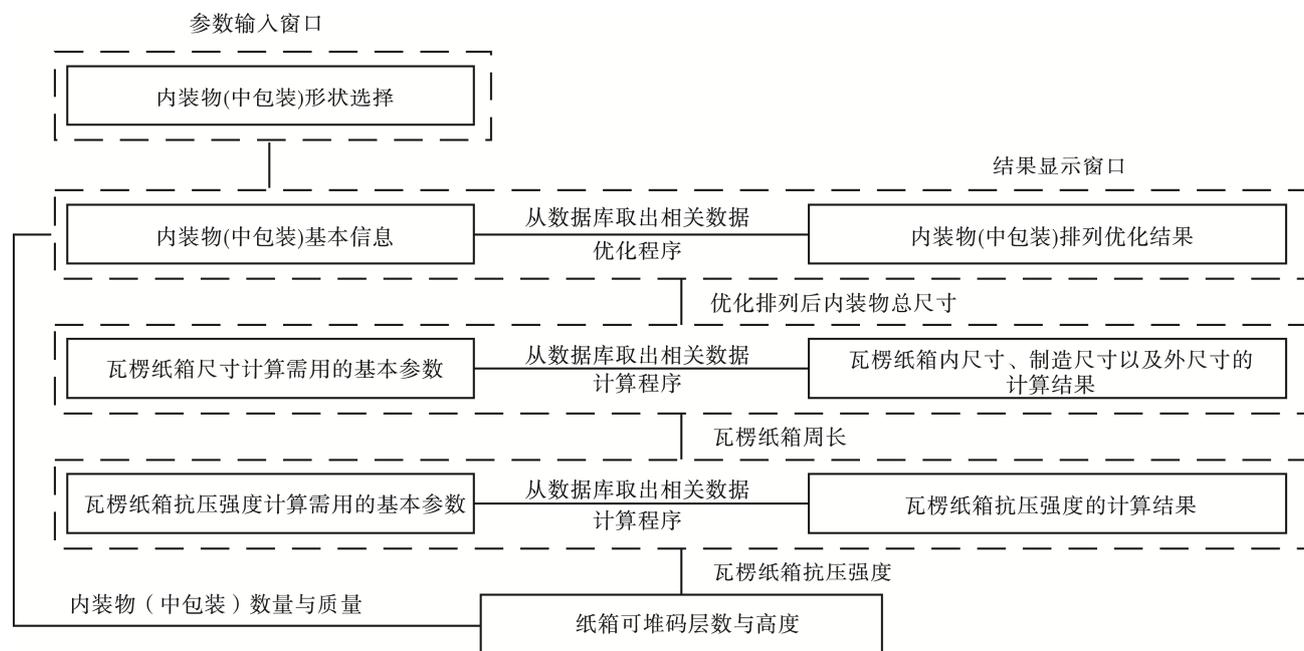


图1 功能模块之间的构成关系

Fig.1 The relationship between each functional module

2 功能模块介绍

2.1 内装物(中包装)排列方式优选模块

2.1.1 内装物(中包装)基本信息的输入

由于长方体内装物(中包装)所需输入的基本信息和圆柱体内装物(中包装)所需输入的基本信息有一定的区别,因此不宜采用一个输入窗口。当在第一个界面选择内装物形状之后,根据不同的内装物(中包装)形状进入不同的内装物基本信息输入窗口。

1) 长方体形状内装物(中包装)基本信息的输入。模块输入窗口所输入的参数可以为内装物(中包装)排列优化以及纸箱可堆码层数与高度的计算提供必要的信息。需要输入或选择的信息包括:单个内装物的质量、单个内装物的数量、单个内装物的长度、单个内装物的宽度、单个内装物的高度、内装物在箱内的最大可堆码层数、内装物是否允许倒着放以及瓦楞纸箱的选用类型。

2) 圆柱体形状内装物(中包装)基本信息的

输入。由于圆柱体形状具有轴对称的特殊性,需要输入或选择的信息包括:单个内装物的质量、单个内装物的数量、单个内装物的直径、单个内装物的高度、内装物在箱内的最大可堆码层数以及瓦楞纸箱的选用类型。

2.1.2 内装物(中包装)排列方式的优化与优化结果的输出

模块的主要功能是通过优化程序得到符合优选条件的内装物排列方式。窗口显示的内容包括:排列好的内装物在纸箱长度方向的总尺寸(简称内装物总长度)、排列好的内装物在纸箱宽度方向的总尺寸(简称内装物总宽度)、排列好的内装物在纸箱高度方向的总尺寸(简称内装物总高度)、内装物总长度与总宽度的比值(R_l)、内装物总高度与总宽度的比值(R_h)、内装物排列方向与数量、瓦楞纸板用量的面积相对增大率以及各优选结果的排列顺序ID号。由于圆柱体内装物(中包装)相对长方体内装物(中包装)形状具有轴对称的特殊性,所以其排列方式的优化流程和长方体形状内装物(中包装)优化流程也存在差异。

1) 长方体形状内装物 (中包装) 优化模块的设计思路。模块的设计基本思路见图 2a。需要说明的是, 在模块数据库中用于存储特定数量内装物在瓦楞纸箱长、宽、高 3 个方向排列数量组合的数据表并不是 1 个, 而是每个内装数量都有 1 个数据表, 比如内装是 4 个, 4 个内装物的排列数量组合数据表中就有 6 列数据, 分别是 $1 \times 1 \times 4, 1 \times 4 \times 1, 4 \times 1 \times 1, 2 \times 2 \times 1, 2 \times 1 \times 2, 1 \times 2 \times 2$, 以此类推, 不再赘述^[8]。系统需要事先完善数据库, 分别建立常用内装物数量的数据表, 然后将其相应的排列数量组合数据输入到数据表中。此外, 计算结果进行优选时, 约束条件有多个, 系统首先根据内装物是否倒着放置来判断每个结果是否符合条件。如果符合则输入窗口设置的条件, 然后判断是否符合长宽比、高宽比以及内装物在箱内最大堆码层数的约束条件。在这里长宽

比、高宽比的约束条件数据采用的是 GB/T 6543—2008《运输包装用单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱》中的相关规定, 长宽比不大于 $2.5:1$, 高宽比不大于 $2:1$, 不小于 $0.15:1$ ^[9]。优选后的结果都要按照输入窗口设定的纸箱类型, 计算面积相对增大率, 计算公式^[10]为。 $\Delta S = \frac{S - S_{\min}}{S_{\min}} \times 100\%$ 式中: ΔS 为面积相对增大率; S 为按照某优选结果的尺寸以及选择好的箱型计算出来的实际用料面积; S_{\min} 为所选箱型的最小用料面积。在结果显示窗口输出的结果按照面积相对增大率从小到大进行排序, 可以方便使用者在从众多符合条件的结果中迅速找出经济成本最低的结果。在结果显示窗口最后一列显示的是该优化结果的 ID 号, 该 ID 号用于下一步的纸箱尺寸计算。

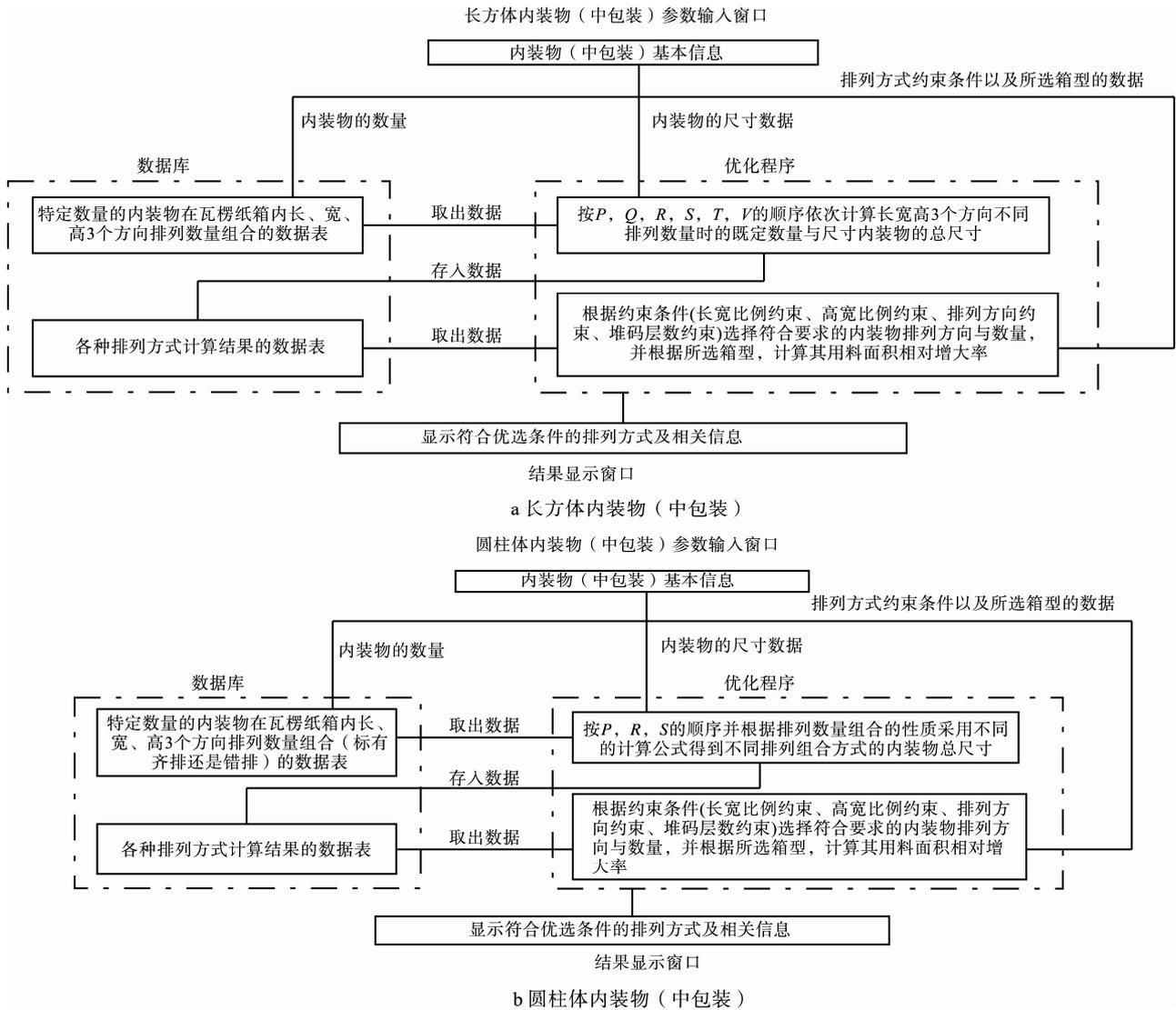


图 2 不同形状内装物 (中包装) 排列方式优选模块的设计思路

Fig.2 Design Ideas for the Optimization Module of the Arrangement Mode for Inner Contents with Different Shapes

2) 圆柱体形状内装物(中包装)优化模块的设计思路。模块的设计基本思路见图 2b。圆柱体内装物(中包装)排列方式优选模块的设计思路和长方体内装物的基本类似,不同的是排列数量组合数据表中不但包含齐列排列的数据组合,同时也包括错列排列。需要在数据表中增加两列用于标记该数据组合是齐列排列还是错列排列,这两列分别命名为“行”和“列”,对于齐列排列数据组合,在这两列表中为空值。而对于错列排列的数据组合,一列填入内装物排列的行对应外箱的尺寸方向,一列填入内装物排列的列对应外箱的尺寸方向,以便于在计算内尺寸时辨别该数据组合中哪个数据是行数,哪个数据是列数。比如 20 个内装物的排列数量组合中, $2 \times 2 \times 5$, $10 \times 2 \times 1$ 等乘积为 20 的数据排列在标记列标记为齐列排列,也就是在后面的两列中不填任何数据,而 $7 \times 3 \times 1$ 则标记为错列排列,需要在后面的两列中分别填入外箱长度和外箱宽度这样就能表示在外箱长度方向上排列 7 列,在外箱的宽度方向上排列 3 行。用 l, w, h 表示内装物的长宽高, L, W, H 表示外箱的长宽高。 P, Q, R, S, T, V 分别表示内装物相对外箱的排列方向,其中在 P 方向有 $l//L, h//H, w//W$; 在 Q 方向有 $w//L, h//H, l//W$; 在 R 方向有 $w//L, l//H, h//W$; 在 S 方向有 $h//L, l//H, w//W$; 在 T 方向有 $h//L, w//H, l//W$; 在 V 方向有 $l//L, b//H, h//W$ 。由于圆柱形内装物(中包装)具有轴对称的特征,所以在排列方向上, P, Q 是相同的, R, V 是相同的, S, T 是相同的,为了避免重复的计算,排列方向只使用 P, R, S 。在计算内装物尺寸时,首先判断该组数据是错列排列还是齐列排列,然后使用不同的公式计算内装物尺寸,齐列排列计算比较简单,不再详述。如果该组数据是错列排列,在后面 2 列中的“行”和“列”分别找到内装物排列的行所处的外箱方向,然后从前 3 列中按照找出的外箱方向取出内部的数据,这 2 个数据就是内装物错列排列时的行数和列数。接下来就能代入对应的错列排列的内装物总尺寸计算公式进行计算。

计算得到的数据存入相应的数据表中,然后通过各种约束条件从中筛选出符合条件的数据,并显示在显示窗口中,以供工作人员进一步优选。接下来的步骤和长方体内装物(中包装)的流程相同,不再赘述。

2.2 瓦楞纸箱尺寸计算模块

2.2.1 计算瓦楞纸箱尺寸需用基本参数的输入

模块输入窗口所输入的参数可以为瓦楞纸箱内尺寸、制造尺寸以及外尺寸的计算提供必要的信息。需要输入或选择的信息包括:优化结果的 ID 号、内装物公差系数、长度方向衬格或缓冲垫总厚度、宽度方向衬格或缓冲垫总厚度、高度方向衬格或缓冲垫总厚度、长度方向内尺寸修正系数、宽度方向内尺寸修正系数、高度方向内尺寸修正系数以及瓦楞的类型^[11-13]。

2.2.2 瓦楞纸箱 3 种尺寸的计算与结果输出

模块的主要功能是根据所选内装物排列优化结果并通过计算程序得到的瓦楞纸箱的 3 种尺寸。窗口显示的内容包括:纸箱的内尺寸、最大综合尺寸、制造尺寸、外尺寸以及纸箱的周长^[14]。模块的设计基本思路见图 3。

在该模块中,需要事先将计算制造尺寸时所使用的不同箱型瓦楞纸箱的伸放量数据输入到数据库中,在这里每种箱型都要建一个数据表,数据表中包含了不同尺寸在不同瓦楞类型情况下的伸放量,在达到内尺寸之后,根据所选的瓦楞类型和箱型就能把这些数据提取出来,就可以计算制造尺寸。

2.3 瓦楞纸箱抗压强度计算模块

2.3.1 计算瓦楞纸箱抗压强度需用基本参数的输入

该模块输入窗口所输入的参数可以为瓦楞纸箱抗压强度、最大可堆码层数、堆码高度的计算提供必要的信息。需要输入或选择的信息包括:所选瓦楞类型对应的面纸和芯纸的环压强度测试值以及堆码强度安全系数。

2.3.2 瓦楞纸箱抗压强度的计算与结果输出

该模块的主要功能是根据上一步计算得到的瓦楞纸箱尺寸(周长)以及根据所选瓦楞类型从数据库中所提出的瓦楞纸箱凯里卡特常数值来计算瓦楞纸箱的抗压强度。之后可以根据在内装物基本信息输入的单个内装物质量及数量综合计算得出的纸箱抗压强度以及输入的堆码强度安全系数可以进一步计算瓦楞纸箱的最大堆码层数与堆码高度。窗口显示的内容包括:纸箱的抗压强度、最大可堆码层数、堆码高度。模块的设计基本思路见图 4。

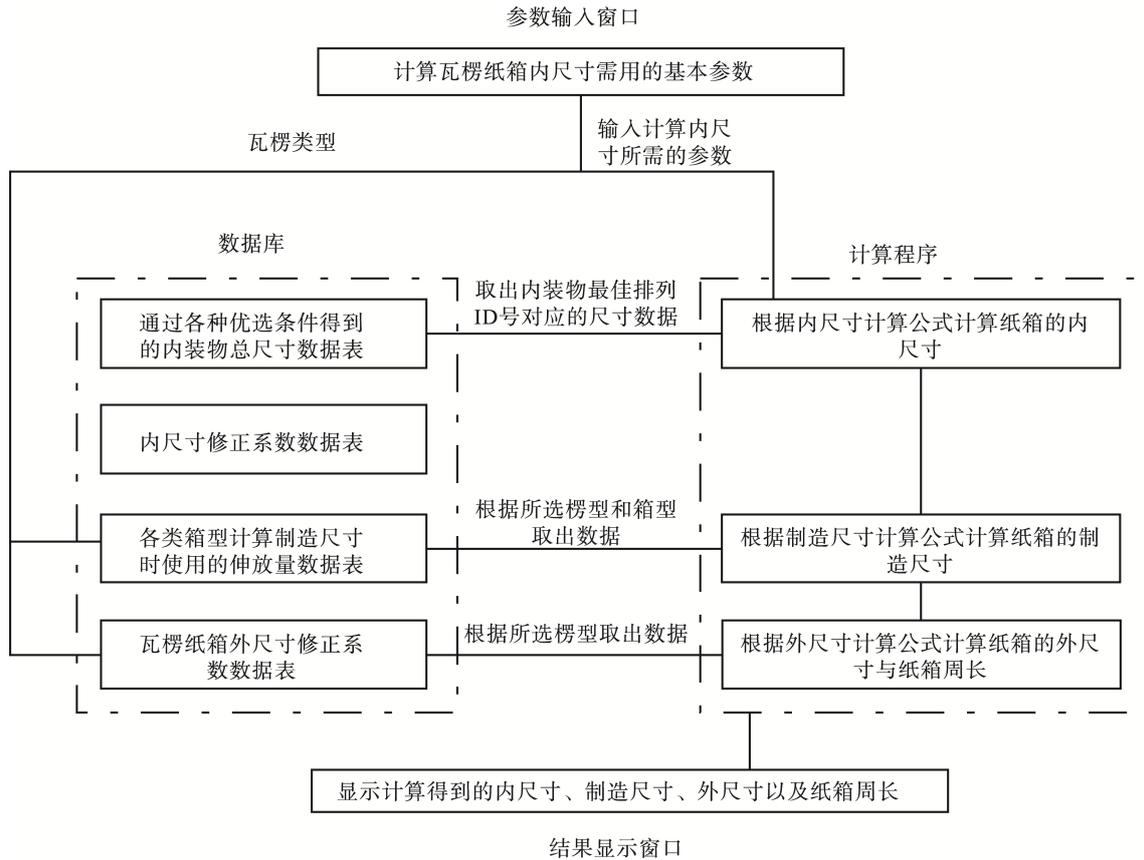


图 3 瓦楞纸箱尺寸计算模块的设计思路
Fig.3 Design ideas for the size calculation module for corrugated box

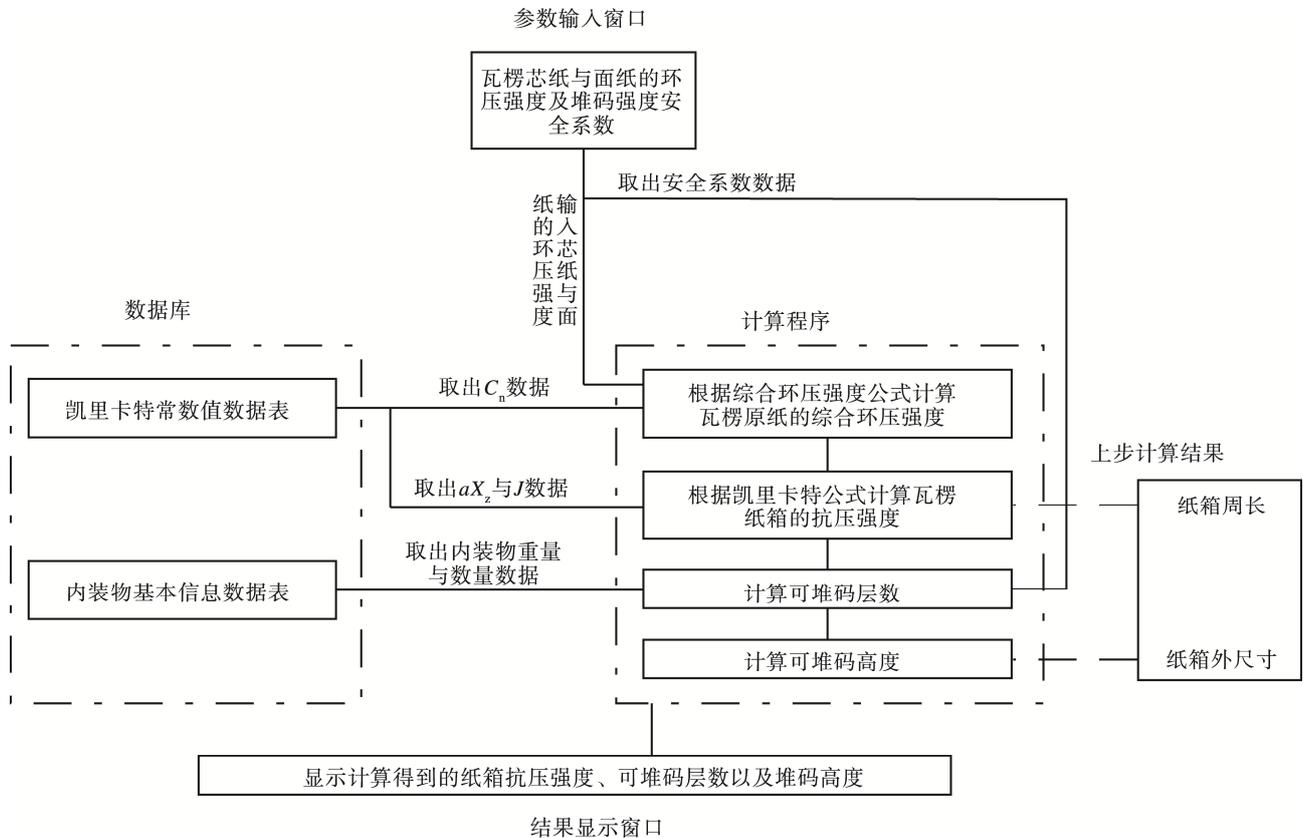


图 4 瓦楞纸箱抗压强度计算模块的设计思路
Fig.4 Design ideas for the compressive strength calculation module for corrugated box

在计算瓦楞纸箱的抗压强度时采用的是凯里卡特简易公式。在数据库中,需要事先将各种层数的瓦楞纸箱的凯里卡特常数值分别建立数据表,并将相关数据输入到数据表中。数据表中包含的信息包括:瓦楞纸板的瓦楞常数(aX_z)、瓦楞楞缩率(C_n)以及瓦楞纸板的纸箱常数(J)。其中瓦楞芯纸与面纸环压强度测试值可由自己试验测得,也可以由材料企业提供。瓦楞纸箱堆码强度的安全系数和堆码时间长短、环境湿度、在托盘上的堆码方式等多种因素有关,所以需要根据实际情况来自己设定。

3 软件运行实例

下面采用系统对实际算例进行演示。所采用算例的基本情况如下:中包装质量为 2 kg,中包装的外尺寸为 360 mm×88 mm×430 mm,准备采用 0201 箱型、C 型瓦楞作外包装箱,内装 4 个中包装,中包装在外包装箱中的摆放方向和堆码层数没特殊要求,外包装箱内不设任何缓冲衬垫,瓦楞纸板面纸横向环压强度为 360 N/(0.152 m),瓦楞芯纸横向环压强度为(150 N/0.152 m),堆码安全系数设为 2^[15]。

以上算例在优化系统计算的过程如下:首先需要在“内装物(中包装)形状选择”窗口中选择内装物(中包装)的形状,然后在“内装物基本信息”窗口中输入内装物基本信息,点击提交,在“内装物(中包装)排列方式结果”窗口中就显示出了符合约束条件的 17 种内装物的排列方式,排列顺序是安装面积相对增大率从小到大排列,综合考虑,长宽比、高宽比和面积相对增大率, ID 号为 1 和 4 的 2 种方案是最优的,但是 0201 箱型的最佳长宽高比例是 1.5:1:1,所以 ID 号为 4 的排列方式为最佳内装物排列方式,具体的排列方向和数量为内装物高度 h 与外箱长度 L 方向平行,在外箱长度方向排列 1 个,内装物宽度 w 与外箱宽度 W 方向平行,在外箱宽度方向排列 4 个,内装物长度 l 与外箱高度 H 方向平行,在外箱高度方向排列 1 个,内装物在箱长方向的长度为 430 mm,在箱宽方向的长度为 352 mm,在箱高方向的长度为 360 mm。

在“计算瓦楞纸箱尺寸需要的基本参数”窗口中的第一个输入框,也就是内装物最佳排列 ID 号中输入 4,然后在其他输入框中输入或选择相应的数据,点击提交就可以在“尺寸计算结果窗口”中得

到外箱的内尺寸、制造尺寸和外尺寸。

在“计算瓦楞纸箱抗压强度所需参数”窗口中的输入框数量会随着“计算瓦楞纸箱尺寸所需参数”窗口中所选择的瓦楞纸板类型而发生变化,如果选择单瓦楞纸板,在“计算瓦楞纸箱抗压强度所需参数”窗口中的输入框数量显示为 4 个,前 3 个为 2 层面纸和 1 层芯纸环压强度测试值的输入框,最后一个为堆码强度安全系数的输入框。如果选择双瓦楞纸板,输入框数量显示为 6 个,前 5 个分别为面纸、芯纸、夹芯纸、芯纸以及面纸的环压强度测试值输入框,最后一个为堆码强度安全系数的输入框。依次类推,不再赘述。在“计算瓦楞纸箱抗压强度所需参数”窗口中输入完相应数据后点击提交,在“抗压强度计算结果”窗口中就可以显示出关于纸箱抗压的相关数据。

4 结语

文中以瓦楞纸箱尺寸计算为主线,设计了一套从内装物排列方式优选一直到后期算出可堆码层数和堆码高度的瓦楞纸箱尺寸优化设计系统。从算例可以明显看出,该系统可以大大减小尺寸设计过程中的计算量与分析比较的时间,大大提高工作效率,具有一定的实用价值。不足之处有:堆码强度安全系数还无法详细确认,只能根据实际情况,依靠经验大致估算;对于瓦楞纸箱的力学性能也只能根据理论方式预测其抗压性能,对于其抗跌落及缓冲性能还未涉及。

参考文献:

- [1] 张琴,许莉钧,张丽,等.瓦楞纸箱尺寸的优化设计[J].包装工程,2012,33(7):58—61.
ZHANG Qin, XU Li-jun, ZHANG Li, et al. Optimal Design of Corrugated Box Dimension[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(7): 58—61.
- [2] 许美娟,赵书凯,贾大伟,等.民机部件APU门运输用瓦楞纸包装箱的优化设计[J].包装工程,2016,37(11):83—87.
XU Mei-juan, ZHAO Shu-kai, JIA Da-wei, et al. Optimal Design of the Corrugated Board Packaging Box for Civil Aircraft Component[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(11): 83—87.
- [3] 吴艳芬.基于剖析图法的瓦楞纸箱尺寸设计[J].北京印刷学院学报,2016,24(2):26—30.

- WU Yan-fen. Packaging Size Design of Corrugated Paper Based on the Profile Method[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2016, 24(2): 26—30.
- [4] 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.
- [5] 陈淑荣, 曹国荣, 郑宣. 基于托盘标准尺寸的瓦楞纸箱尺寸设计方法研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2014, 6(1): 56—59.
- CHEN Shu-rong, CAO Guo-rong, ZHENG Xuan. Research on Size Design of Corrugated Box Based on Standard Pallet Dimension[J]. China Printing and Packaging Study, 2014, 6(1): 56—59.
- [6] 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] 王斐, 母军. 瓦楞纸箱抗压强度的研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 133—138.
- WANG Fei, MU Jun. Research Progress On Compressive Strength of Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 133—138.
- [8] 李洪贵, 苏婷, 张新昌. 一种异形多边形瓦楞纸箱的抗压性能研究[J]. 包装工程, 2013, 34(13): 52—55
- LI Hong-gui, SU Ting, ZHANG Xin-chang. Compressive Properties of an Irregular Polygonal Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(13): 52—55.
- [9] GB/T 6543—2008, 运输包装用单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱[S].
- GB/T 6543—2008, Single Corrugated Boxes and Double Corrugated Boxes for Transport Packages[S].
- [10] 吴萍, 高铭悦. 易碎品容器的瓦楞纸板包装设计研究[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 74—79.
- WU Ping, GAO Ming-yue. Packaging Design of Corrugated Paperboard for Fragile Container[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(1): 74—79.
- [11] 张书彬, 冯学正. 瓦楞纸箱抗压强度的试验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 10—11.
- ZHANG Shu-bin, FENG Xue-zheng. Experiment Research of Corrugated Box's Compression Strength[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 10—11.
- [12] ALLAOUI S, ABOURA Z, BENZEGGAGHF M L. Effects of the Environmental Conditions on the Mechanical Behavior of the Corrugated Cardboard[J]. Composites Science and Technology, 2009, 69(1): 104—110.
- [13] SINGH J, OLSEN E, SINGH S P, et al. The Effect of Ventilation and Hand Holes on Loss of Compression Strength in Corrugated Boxes[J]. Journal of Applied Packaging Research, 2008(6): 227—238.
- [14] 孙诚. 包装结构与模切版设计(第2版)[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014.
- SUN Cheng. Packaging Structural & Die-cutting Plate Design (Version 2)[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2014.