

瓦楞纸箱配纸方法的研究

唐少炎, 魏星, 吴若梅, 曹小龙

(湖南工业大学, 株洲 412008)

摘要: 根据价值工程的定义和定量配比原则, 引入了纸箱配纸方法的性价比数学模型, 该模型以性价比最高为目标函数, 以增大纸箱抗压强度、降低成本、遵循箱板纸与瓦楞芯纸的定量配比原则为约束条件。以 0201 型 3 层瓦楞纸箱为例, 利用数学分析软件 Matlab, 对模型进行编程, 实现了楞型与原材料的不断组合, 性价比最高时, 得到了最佳的纸箱配纸方案。

关键词: 瓦楞纸箱; 配纸; 抗压强度; 性价比

中图分类号: TB484.1; TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)09-0027-03

Study of Paper Matching Method for Corrugated Box

TANG Shao-yan, WEI Xing, WU Ruo-mei, CAO Xiao-long

(Hunan University of Technology, Zhuzhou 412008, China)

Abstract: The conception of value engineering and ration matching principle were introduced to numerical model of corrugated box which used the best cost effectiveness as target function. The constraint conditions were made up of increasing compression strength, reducing cost, and ration matching principle of the corrugating medium and liner board. The numerical model was programmed using Matlab software with example of 0201 single box. The model can realize continue matching of flute and materials and output of optimized paper matching to achieve best cost effectiveness.

Key words: corrugated box; paper matching; compression strength; cost effectiveness

瓦楞纸箱因其质量轻强度高、便于运输、可回收等优点, 广泛应用于运输包装。随着瓦楞纸箱的应用范围越来越广, 传统的瓦楞纸箱非量化人工选纸的不科学性, 往往造成包装不足或过量, 浪费资源, 因此对瓦楞纸箱性能及成本的研究显得尤为重要。文中引入性价比的概念, 以 0201 型瓦楞纸箱为例, 建立了瓦楞纸箱配纸方法的模型。利用数学分析软件 Matlab, 对模型进行编程, 以实现瓦楞纸箱定量化配纸。

1 瓦楞纸箱的强度要求和价格分析

1.1 瓦楞纸箱强度要求

瓦楞纸板是由 2 层面纸通过胶粘剂将瓦楞芯纸和夹心纸组合在一起的复合结构材料^[1-2], 当已知内装物质量和尺寸时, 配纸方法是对具有复合结构的纸箱进行的原材料和楞型的合理组合。由于凯利卡特

公式是从纸箱原材料来预测纸箱的抗压强度, 因此, 模型选用凯利卡特公式计算瓦楞纸箱的抗压强度。

在配纸过程中, 为了保护箱内产品, 纸箱的抗压强度必须大于堆码载荷, 而且要有合理的安全系数。这一要求称为堆码强度条件^[3], 见式(1):

$$P \geq P_s \quad (1)$$

式中: P 为抗压强度; P_s 为堆码强度。

1.2 瓦楞纸箱的价格分析

瓦楞纸箱出厂价应包含纸箱原料成本价、辅助材料(粘合剂、油墨、扁丝)、设备折旧、工资、税收等等^[4]。一般厂家取值是纸箱原料成本占出厂价的 65%, 其它费用占 35%。3 层瓦楞纸板价格和 5 层瓦楞纸板价格可分别由式(2)和(3)求得, 因此由式(4)^[5]可以计算纸箱单价, 式(5)^[6]给出了面积计算方法。

$$c = (c_1 + c_{m1}\epsilon_1 + c_2) / 0.65 \quad (2)$$

收稿日期: 2011-02-18

作者简介: 唐少炎(1962—), 男, 湖南株洲人, 硕士, 湖南工业大学教授、硕士生导师, 主要研究方向为包装技术。

$$c = (c_1 + c_{m1}\epsilon_1 + c_2\epsilon_2 + c_3) / 0.65 \quad (3)$$

式中: c_1, c_2, c_3 为面纸、里纸、夹心纸的价格(元/米²); ϵ_1, ϵ_2 为瓦楞系数; c_{m1}, c_{m2} 为瓦楞芯纸价格(元/米²)。

$$C = cs \quad (4)$$

式中: C 为纸箱单价; c 为瓦楞纸板价格; s 为纸箱展开面积。

$$s = (L + W + 0.06) \times 2 \times (W + H + 0.04) \quad (5)$$

式中: L, H, W 分别为纸箱的长、宽、高(m); 0.06 为长和宽方向上的修边量; 0.04 为舌边。

2 瓦楞纸箱配纸方法的研究

2.1 性价比模型的引入

价值工程^[7]把“价值”定义为“对象所具有的功能与获得该功能的全部费用之比”:

$$v = f/c \quad (6)$$

式中: v 为价值; f 为功能; c 为成本。

瓦楞纸箱的性价比与价值工程中的“价值”的含义相类似,本质是一致的,因此,瓦楞纸箱性价比表示为:

$$V = P/C \quad (7)$$

式中: V 为瓦楞纸箱性价比(千克/元); P 为瓦楞纸箱抗压强度(kg); C 为单个纸箱原材料成本(元)。

2.2 约束条件

当箱型和箱形确定以后,瓦楞纸箱定量化配纸即为合理组合瓦楞纸板原材料和楞型,以最低的成本达到强度要求^[8]。配纸方法首先得到满足强度要求的纸箱抗压强度,找到最接近堆码强度时纸箱的组合及其抗压强度 P_1 和价格 C_1 。原材料和楞型组合最合理时,纸箱提高了强度,同时降低了成本,因此纸箱抗压强度满足 $P \geq P_1$, 价格满足 $C \leq C_1$ 的要求。

根据瓦楞纸板配纸原则,即控制箱板纸与瓦楞芯纸的定量比在 2:1 之内。当面纸定量/芯纸定量 ≤ 1 时,面纸会严重变形,出现搓板状表面,影响外观质量和印刷效果;当面纸定量/芯纸定量 ≥ 2.5 时,瓦楞芯纸会由拱形结构变成矩形,影响瓦楞纸板的厚度与抗压强度^[9]。

2.3 数学配纸模型

配纸时,不少低级别的纸物理性能不一定低于高级别的纸,高级别的纸只是在适印性方面具有优势,而芯纸和里纸不需要印刷,因此可以考虑用低级别的

纸代替高级别的纸^[10]。尽可能减少箱板纸和瓦楞芯纸的规格,比如面纸和里纸一致,瓦楞芯纸和夹心纸一致等,这样可以降低纸张的损耗、管理费用和仓储成本。根据上述内容,低级别的纸可以代替高级别的纸作为芯纸和里纸,芯纸可以代替箱板纸作为夹心纸,此时瓦楞纸箱物理强度并没有降低,但是减少了成本。瓦楞纸箱数学配纸模型的表示方法为:

$$\begin{aligned} \max V &= P/C \\ \text{s. t. } P &\geq P_1 \geq P_s \\ c &\leq c_1 \\ 1 &\leq w_1/w_2 \leq 2, 1 \leq w_3/w_2 \leq 2 \end{aligned} \quad (8)$$

式中: V 为瓦楞纸箱的性价比; P 为纸箱抗压强度; C 为单个纸箱原材料成本; P_1 为大于堆码强度的最小抗压强度; c_1 为抗压强度为 P_1 的纸箱单价; w_1, w_2, w_3 分别为面纸、芯纸、里纸的定量。

应用 Matlab 软件建立纸板楞型、箱板纸和瓦楞芯纸环压强度、原料价格数据库,并输入纸箱周长、面积、堆码强度等基本参数。程序模型找到约束条件下的 P 和 C , 选择性价比 V 最大时的楞型、箱板纸、瓦楞芯纸组合即为纸箱配纸方案。Matlab 程序实现以上步骤的流程见图 1。

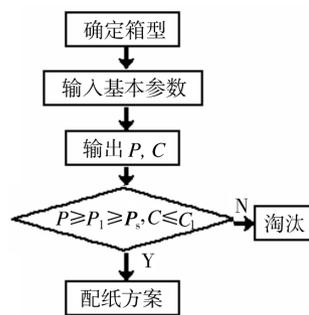


图 1 配纸方法流程

Fig. 1 Flowchart of paper matching method

2.4 实例分析

某火腿肠每只质量为 140 g, 每箱要求装 18 只。根据测量和计算, 纸箱的尺寸为 281 mm × 197 mm × 73 mm, 纸箱毛重为 2.65 kg; 根据物流环境条件, 安全系数 K 确定为 4, 所用瓦楞纸箱的堆码强度为 180 kg。纸箱配纸信息数据参数见表 1^[3]。

2.4.1 设置基本参数

确定纸箱为 0201 型 3 层纸箱, 打开 Matlab 新建一个 m 文件, 输入基本参数纸箱周长 95.6 cm, 面积 0.333 6 m², 堆码强度 180 kg, 提取表 1 所示数据。

表 1 纸箱配纸信息数据

Tab.1 Paper matching parameters of corrugated box

纸张分类	定量 /(g·m ⁻²)	环压强度 /kg	单价 /(元·米 ⁻²)
牛皮 面纸	140	16.94	0.602
	150	18.61	0.645
	170	21.50	0.714
	170	19.76	0.663
	175	22.80	0.735
	175	20.50	0.612 5
	200	25.44	0.63
	200	27.92	0.80
	230	32.11	0.862 5
	250	34.89	0.787 5
瓦楞 芯纸	100	9.00	0.275
	105	10.10	0.378
	120	12.10	0.432
	140	15.20	0.54
	150	19.00	0.546
	170	23.71	0.595
	180	22.30	0.63

2.4.2 Matlab 分析

根据基本参数和数据库,数学配纸模型不断进行纸板原材料和楞型的组合,得到各个组合的抗压强度和纸箱单价,找到符合模型约束条件的性价比 V ,得到最优解 $\max V$,最后得到原材料和楞型的组合,实现程序片段如下:

```

...
for i = 1:AJC_Length
temp1 = find(P(:,i)>=Ps);
[Min mm]= min(P(temp1,i));
temp2 = temp1(mm);
temp3 = find(C(temp1)<=C(temp2));
eval(['P',num2str(i),'= P(temp1(temp3),i)
]);
eval(['C',num2str(i),'= C(temp1(temp3),i)
]);
eval(['AJC',num2str(i),'= AJC(i,:)'])
[Max index] = max(P(temp1(temp3),i) ./C
(temp1(temp3),i))
end
...

```

2.4.3 配纸结果

经过不断的筛选,配纸结果见表 2。满足约束条

表 2 配纸结果

Tab.2 Results of paper matching

楞型	最高性 价比 /(千克·元 ⁻¹)	配纸 定量 /(g·m ⁻²)	配纸 环压 /kg	纸箱抗 压强度 /kg	纸箱 单价 /元
A	143.22	250	34.89		
		170	23.71	195.47	1.276
		250	34.89		

件的抗压强度-性价比图见图 2,可以明显看到性价比最高点,此时该配纸方案最合理。

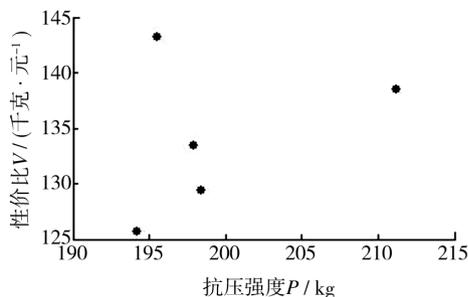


图 2 性价比结果输出

Fig. 2 Output of cost-effective results

3 结语

根据价值工程的定义和定量配比原则,建立了数学配纸模型。模型得到了约束条件下的性价比,并且成功地找到了最优解。

配纸模型避免了传统配纸的有限性和经验性,能够根据不同产品的设计要求,准确地找到配纸方案,不仅提高了纸箱的抗压强度,而且降低了生产成本。由于 5 层和 3 层瓦楞纸箱的配纸原理是相同的,因此,该数学模型为 5 层瓦楞纸箱配纸提供了参考。同时,数学配纸模型是建立配纸 CAD 系统的基础,是友好的界面操作程序能够运用到实际生产中的必要条件。

参考文献:

- [1] A A V V. Monograph about Corrugated Board. GIFCO, Pavia(in Italian),1993.(余不详)
- [2] BIANCONLINI M E,BRUTTI C. Numerical and Experimental Investigation of the Strength of Corrugated Board Packages[J]. Packaging Technology and Science, 2003,16:47-60.

力差打下基础。

图 5b 表示油墨受压差作用而被注射的状态。当网版与承印物脱离时,这个区域形成一个较网板上表面大气压低,的低压区域。在这个压差的作用下,网孔犹如注射器一样,将油墨注出网孔。考虑到网孔壁对油墨的摩擦作用,油墨将发生层流,即在网孔中心位置的油墨,速度较高,而靠近网孔壁区域的油墨,由于阻力的作用,速度较低,从而形成了凹面。

图 5c 表示油墨的黏附态。随着网版的进一步分离和非粘附表面积的进一步扩大,这个压差迅速减小,黏附力逐渐起主要作用。考虑到丝网上油墨粘附层内产生一个拉伸应力,该力与油墨的内聚力相平行,但方向相反,成了一种剪切应力。剪切应力比正应力更易于破坏油墨体,故油墨的分裂发生在丝网表面的粘附层,而承印面的粘附层未形成剪切拉伸,故不发生分裂。

图 5d 仍主要表示分离过程,这时不再有压差的存在,而不断的剪切使油墨从丝网的边缘不断地分裂,最后成墨丝状而完全分离,完成油墨的转移。

4 结语

丝网印刷被称为万能印刷,承印材料广泛、墨层厚实、成本低廉,在纺织、包装、防伪等行业有着重要的应用^[5-6]。由于这些优点,使得它在完成传统的图文复制的基础上,更赋予了印刷的现代制造功能,例如显示器等平板显示器件、PCB 电路板等电路器件的

印制。在这些现代制造中,丝网印刷业已作为一道工序,融入到它们的制造工艺过程中,既减少了工艺复杂度,又降低了成本。当然,这些专业化领域应用的不断开拓,要求丝网印刷不断向更精更细的方向发展^[7]。加大对丝网印刷技术的研究,理解其油墨转移的机理,掌握其科学合理的工艺过程,对于提高其印刷质量有着非常重要的意义。

参考文献:

- [1] 黄天甫. 丝网印刷[M]. 武汉:测绘出版社,1992.
 - [2] 李俊锋,唐正宁. 用 Poiseuille 理论确定网印中的最佳网距[J]. 包装工程,2009,30(6):67-69.
 - [3] 李俊锋,朱旭耀. 网印图像的扩大变形及补偿[J]. 包装工程,2009,30(2):99-101.
 - [4] RIEMER D E. Analytical Engineering Model of the Screen Printing Process: Part I[J]. Solid State Technology, 1988(8):12-14.
 - [5] 郑德海,郑军明. 丝网印刷工艺[M]. 北京:印刷工业出版社,1994.
 - [6] 曹振英,丘淙. 丝网印刷技术问答[M]. 北京:印刷工业出版社,1890.
 - [7] 李婧伟,唐正宁. 基于印制电路板精细丝网印刷过程的数学模型研究[J]. 包装工程,2008,29(2):49-59.
-
- (上接第 29 页)
- [3] 张艳伟,崔国华,王磊磊. 瓦楞纸箱纸板抗压及堆码强度计算研究[J]. 中国包装,2008(3):77-78.
 - [4] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 第 1 版. 北京:印刷工业出版社,2006.
 - [5] 瓦楞纸箱价格计算方法[EB/OL]. (2011-01-17). <http://wenku.baidu.com>. (余不详)
 - [6] 薛叶玲,卢立新. 卡夫饼干运输包装纸箱抗压性能与配纸置优化的研究[D]. 无锡:江南大学,2009.
 - [7] 陈康,吉庆霞,焦莉莉,等. 基于层次分析法的水质稳定药剂配方的性价比模型及其应用[J]. 华东理工大学学报,2009,35(1):62-65.
 - [8] 周媛. 瓦楞纸板的结构增强与配比技术研究[D]. 无锡:江南大学,2007.
 - [9] 李广才. 合理设计提高瓦楞纸箱抗压强度[J]. 印刷技术,2010(5):33-34.
 - [10] 陈希荣. 瓦楞纸箱的配纸优化系统设计[J]. 出口商品包装,2007(6):74-78.