

# 基于质量功能展开的瓦楞纸箱结构设计

范志庚

(浙江科技学院 轻工学院,杭州 310023)

**摘 要:** 从瓦楞纸箱消费者需求、设计属性、质量功能展开(QFD)矩阵分析,建立了消费者需求与设计属性排序。期间结合情景分析法、亲和图法(KJ 法)、层次分析法(AHP 法)等工具,建立基于 QFD 的产品技术质量屋,得到了最合理的产品设计质量参数需求排序。

**关键词:** 瓦楞纸箱;结构设计;质量屋;矩阵分析;优化设计

**中图分类号:** TB482.2;TB484.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2014)03-0177-05

## Structural design of corrugated boxes based on quality function deployment

FAN Zhigeng

(School of Light Industry, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** We build consumer demand and design attributes sorting by analysis of consumer demand, design properties, quality function deployment(QFD) matrix for corrugated boxes. Combining with scenario analysis, KJ method and AHP method (analytic) tools, we establish house of quality for products based on QFD and ultimately get comprehensive optimization of design.

**Key words:** corrugated boxes; structural design; house of quality(HOQ); matrix analysis; optimized design

瓦楞纸箱是商品运输包装过程中重要的承载容器。目前,有很多学者对瓦楞纸箱都进行了力学理论的实际研究,其中比较多的是对瓦楞纸箱某一参数或是某一工况的研究,或者建立 CAD 设计参数系统。然而,不同企业对瓦楞纸箱有着各种不同的质量需求。

质量功能展开(quality function deployment, QFD)是由日本学者水野滋和赤尾洋二于 1966 年首次提出的<sup>[1]</sup>。1972 年,它作为一种产品设计方法被日本三菱重工的神户造船厂成功应用于船舶的设计和制造中<sup>[2-3]</sup>。大藤正将 QFD 的原理归纳为“展开的原理”“细分化与统合化的原理”“多元化与可视化的原理”“全体化与部分化的原理”,赤尾洋一又追加了“交换的原理”和“面向重点的原理”<sup>[4-5]</sup>。丰田公司运用

---

**收稿日期:** 2014-02-25

**作者简介:** 范志庚(1979— ),男,江苏省无锡人,讲师,博士研究生,主要从事包装动力学和运输包装的教学与研究。

QFD 使汽车的防锈能力从世界几大汽车制造商中较差水平上升为目前世界最好水平之一<sup>[6]</sup>。

车阿大<sup>[7]</sup>将模糊集理论引入到 QFD 中,提出了利用模糊理论处理关系矩阵的方法。

罗玲<sup>[8]</sup>进行了瓦楞纸箱抗压强度的研究,分析了四边简支非受载边叠加转角弹性约束因子的矩形瓦楞纸板的屈曲临界载荷,建立了瓦楞纸箱力学分析模型,推导出瓦楞纸箱抗压强度计算公式。

王俊丽等<sup>[9]</sup>研究了瓦楞纸箱含水率对其力学性能的影响,结果表明:瓦楞纸箱的力学性能随纸箱含水率的增加而下降。

高博<sup>[10]</sup>等对瓦楞纸箱板成形过程仿真进行了有限元研究,在考虑瓦楞纸板材料性质的非线性和几何结构的非线性的基础上,选择了某种单瓦楞纸板,采用有限元参数化设计语言,着重从瓦楞纸板两个方向运用接触分析技术,建立了三维有限元模型,并对瓦楞纸板的压痕及折叠过程进行了有限元仿真。

在产品的设计过程中,设计人员不但要了解产品质量设计要求,还要熟悉产品后续的生产工艺,否则就不能把客户需求转化为合格的产品。瓦楞纸箱应具有较强的抵抗变形和破坏的能力,以满足商品物流防护的需要。在设计前,设计者需要了解被包装物的性状、容积尺寸、质量大小,以及产品的组织结构方式、运输堆码方式、仓库储存环境、运输道路路况和运输时间,甚至是纸箱外形结构和制作原材料等方面的信息。了解质量需求重要度就显得十分必要。

QFD 是支持并行工程的重要工具之一。并行工程是对产品及其相关过程进行并行、集成设计的一种系统化的工作模式,使开发者一开始就要考虑到整个产品生命周期中从概念形成到产品报废处理的所有要素,包括质量、成本、进度计划及用户要求等。在产品的设计阶段考虑制造问题,产品设计和工艺设计交叉进行,可使工程设计更改减少,产品开发周期缩短<sup>[11]</sup>。它能够缩减设计时间、节省成本,以优良的质量满足客户的终极需求,因此,QFD 已成为生产企业进行完全质量需求管理的重要工具和实施产品质量改进的有效工具。QFD 系统由于重在从产品设计的初始阶段就同时考虑质量保证,并且同时进行质量改进实施措施,因此,它被认为是先进生产模式及并行工程环境下质量保证与改进的最前沿研究领域,以及在该环境下面向质量需求设计的最佳工具。它对生产企业提高产品质量、缩减新产品设计周期、减少生产成本和提高顾客满意度有很大的帮助意义。

当前,从研究角度分析,瓦楞纸箱的研究呈多样化的特点。但缺少系统的研究,不同顾客对瓦楞纸箱有着不同的需求,因此,需要寻求一种方法来统筹分析各种的质量需求,得出产品的最优设计方案,做好瓦楞纸箱的优化设计。因此,采用 QFD 对瓦楞纸箱进行结构设计是一项可行并且迫切需要的技术。本研究将通过对比瓦楞纸箱质量要求的市场调查,采集不同顾客的需求,寻求与之对应的技术需求;然后运用 QFD 的方法,综合设计系统的各种技术参数,并将之排序,从而确定最合理的基于质量优先度的瓦楞纸箱设计方案。

## 1 基于 QFD 的瓦楞纸箱优化设计

### 1.1 设计及客户需求参数

确定一种瓦楞纸箱的结构需要考虑很多的因素,这些因素之间既互相独立,又互相影响;既要考虑包装功能的实现,也要考虑制造的工艺(表 1)。

### 1.2 质量要素的分析

表 1 中共列出 10 项设计参数,先对这些用户要求的质量重要因素进行计分。经调查后发现,第  $i$  项技术参数的平均值为  $x_i$ ,则第  $i$  项技术参数的权数为:

$$W_i = x_i / \sum_{i=1}^n x_i$$

$$x_1=4, x_2=4, x_3=3, x_4=5, x_5=4, x_6=5, x_7=5, x_8=5, x_9=4, x_{10}=3,$$

则  $W_1=4/42, W_2=4/42, W_3=3/42, W_4=5/42, W_5=4/42, W_6=5/42, W_7=5/42, W_8=5/42, W_9=4/42, W_{10}=3/42$ 。

对上述 10 项质量需求进行研究,确定在产品设计时质量需求分别为:纸箱形状,原纸耐折度,原纸弹性模量,原纸定量,纸箱抗压强度,黏合强度,堆码高度,边压、耐破强度,钉线结合位置和手提孔的位置。

### 1.3 质量屋矩阵分析

依据客户需求和参数的重要度,判断得出矩阵房间的数值,其中◎=9,○=3,△=1。建立质量屋矩阵<sup>[11]</sup>。

列出客户需求与技术需求矩阵关系:

$$R = \begin{bmatrix} 9 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 9 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 9 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & 9 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 9 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & 9 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & 9 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 3 \end{bmatrix}$$

计算各个质量要素的重要度:

$$m_1 = \sum_{i=1}^{10} W_i R_{i1} = 9 \times 4/42 + 3 \times 4/42 + 1 \times 3/42 + 1 \times 5/42 = 56/42,$$

$$m_2 = 43/42, m_3 = 28/42, m_4 = 52/42, m_5 = 37/42, m_6 = 67/42, m_7 = 54/42, m_8 = 69/42, m_9 = 59/42, m_{10} = 21/42.$$

$$\text{各种质量要素的重要度相加 } \sum_{j=1}^{10} m_j = 495/42,$$

则各项重要度权数为:  $W_1 = 56/495, W_2 = 43/495, W_3 = 28/495, W_4 = 52/495, W_5 = 37/495, W_6 = 67/495, W_7 = 54/495, W_8 = 69/495, W_9 = 59/495, W_{10} = 21/495$ 。

按照上述权数的计算结果,将权数从大到小排列,相应可以得到技术需求的优先级。

可以发现,最优先重要的项目为边压、耐破强度,其次依序往下排列为黏合强度、钉线结合位置、纸箱形状、堆码高度、原纸定量、原纸耐折度、纸箱抗压强度、原纸弹性模量和手提孔的位置。

## 2 瓦楞纸箱概念性设计方案的选择

### 2.1 构建判断矩阵,相对重要度的计算

判断矩阵<sup>[11]</sup>表示对上一层次某一元素,本层次有关元素之间相对重要性的情况。分析上述客户需求,整理成需求层次结构,如表 2 所示。

根据上述判断矩阵,使用方根法分别计算各个判断矩阵的排序向量  $W$  和最大特征根  $\lambda_{\max}$ ,同时计算一致性指标  $CI = (\lambda_{\max} - N)/(N - 1)$ ,以及随机一致性比例  $CR = CI/RI$ ,其中,  $RI$  是判断矩阵的平均随机一致性指标,  $n$  是判断矩阵的阶数。

表 1 瓦楞纸箱客户需求及设计参数

Table 1 Customer demand and design parameters for corrugated boxes

序号	客户需求	设计参数
1	B1 结构稳定	C1 纸箱形状
2	B2 纸箱原纸性能好	D1 原纸耐折度 D2 原纸弹性模量
3	B3 纸箱物理性能强	E1 原纸定量 E2 纸箱抗压强度
4	B4 纸箱机械性能高	F1 黏合强度 F2 堆码高度 F3 边压、耐破强度
5	B5 加工工艺	G1 钉线结合位置 G2 手提孔的位置

表 2 需求层次结构

Table 2 Demand hierarchical structure

A	B1	B2	B3	B4	B5
B1	1	5	5	5	1
B2	1/5	1	5	5	1
B3	1	1/5	1	5	1
B4	1/5	1	1/5	1	1
B5	1	1	1	1	1

将矩阵中各行元素按行相乘, 得出:  $K_1=125, K_2=5, K_3=1, K_4=1/25, K_5=1$

计算各个  $K_i$  的  $n$  次方根:  $\bar{W}_1 = \sqrt[5]{K_1} = 2.627, \bar{W}_2 = 1.380, \bar{W}_3 = 1, \bar{W}_4 = 0.525, \bar{W}_5 = 1, W_1 = \bar{W}_1 / \sum_{i=1}^5 \bar{W}_i = 0.402, W_2 = 0.211, W_3 = 0.153, W_4 = 0.080, W_5 = 0.153$

即所求特征值为  $W = [0.402, 0.211, 0.153, 0.080, 0.153]$

计算判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$ , 即:

$$AW = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 5 & 5 & 1 \\ 1/5 & 1 & 5 & 5 & 1 \\ 1 & 1/5 & 1 & 5 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.402 \\ 0.211 \\ 0.153 \\ 0.080 \\ 0.153 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.775 \\ 1.609 \\ 1.150 \\ 0.555 \\ 0.999 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 1/5 \sum_{i=1}^5 \frac{AW_i}{W_i} = 7.1, CI = (\lambda_{\max} - N)/(N - 1) = 0.7$$

当  $n=5$  时,  $RI=10$ , 则  $CR=CI/RI=7\%$ , 小于  $10\%$ , 满足一致性。

## 2.2 确定排序向量及一致性检查

同理,  $C, D, E, F, G$  参数判断矩阵见表 3~表 7。

表 3 C 参数判断矩阵表

Table 3 Parameter C judgment matrix

B1	C1	W
C1	1	1

由表 3 得出,  $\lambda_{\max}=1, N=1, CI(1)=0, RI(1)=0, CR=CI/RI=0$ , 小于  $10\%$ , 满足一致性。

表 4 D 参数判断矩阵表

Table 4 Parameter D judgment matrix

B2	D1	D2	W
D1	1	1	0.5
D2	1	1	0.5

由表 4 可知,  $\lambda_{\max}=2, CI(2)=0, RI(2)=0, CR=CI/RI=0$ , 小于  $10\%$ , 满足一致性。

表 5 E 参数判断矩阵表

Table 5 Parameter E judgment matrix

B3	E1	E2	W
E1	1	1/5	0.167
E2	5	1	0.833

由表 5 可知,  $\lambda_{\max}=2, CI(3)=0, RI(3)=0, CR=CI/RI=0$ , 小于  $10\%$ , 满足一致性。

表 6 F 参数判断矩阵表  
Table 6 Parameter F judgment matrix

B4	F1	F2	F3	W
F1	1	1	1/5	0.226
F2	1	1	5	0.431
F3	5	1/5	1	0.312

由表 6 可知, $\lambda_{\max}=3.63,CI(4)=0.315,RI(4)=5,CR=CI/RI=6.3\%$ ,小于 10%,满足一致性。

表 7 G 参数判断矩阵表  
Table 7 Parameter G judgment matrix

B5	G1	G2	W
G1	1	1/3	0.25
G2	3	1	0.75

由表 7 可知, $\lambda_{\max}=2,CI(5)=0,RI(5)=0,CR=CI/RI=0$ ,小于 10%,满足一致性。

2.3 对目标层次的总排序和总一致性进行检查

1) $CI = \sum_{i=1}^5 BiCI(i) = 0.025,RI = \sum_{i=1}^5 BiRI(i) = 0.4,CR=CI/RI=6.25\%$ ,小于 10%,满足一致性

要求。

2)目标权重总排序,见表 8。

表 8 目标权重总排序  
Table 8 Total sort of target weights

B	C1	D1	D2	E1	E2	F1	F2	F3	G1	G2
B1	0.402	1								
B2	0.211		0.5	0.5						
B3	0.153				0.167	0.833				
B4	0.08						0.226	0.431	0.312	
B5	0.153								0.25	0.75
权重	0.402	0.105 5	0.105 5	0.025 6	0.127 4	0.018 1	0.034 5	0.025	0.038 3	0.114 7
排序	1	4	5	8	2	10	7	9	6	3

2.4 质量需求权重顺序

通过分析和确认,得到瓦楞纸箱结构设计的质量需求权重顺序,如表 9 所示。

表 9 质量需求排序  
Table 9 Quality needs sorting

技术需求	权重	排序
纸箱形状	0.402 0	1
纸箱抗压强度	0.127 4	2
手提孔的位置	0.114 7	3
原纸耐折度	0.105 5	4
原纸弹性模量	0.105 5	5
钉线结合位置	0.038 3	6
堆码高度	0.034 5	7
原纸定量	0.025 6	8
边压、耐破强度	0.025 0	9
黏合强度	0.018 1	10