

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.04.006

QFD 质量屋及模糊回归理论在某军工产品项目开发中的应用

李文新, 潘雄, 罗帆

(总装武汉军代局 驻桂林地区军代室, 广西 桂林 541004)

摘要: 为在不确定的、模糊条件下优化产品的功能指标, 确定工程特性目标值, 将 QFD 质量屋与模糊回归理论相结合。分析 QFD、军品项目开发中的质量屋模型以及 QFD 中军方顾客需求的瀑布式分解过程, 简要论述模糊回归理论, 最后将其应用于某国有企业军品项目开发中, 能有效提高产品质量。

关键词: QFD; 质量屋; 模糊回归; 军品项目开发; 应用

中图分类号: C934 **文献标志码:** B

Research on HoQ of QFD and Fuzzy Regression Theory and Its Application on Certain Type Military Project Development

Li Wenxin, Pan Xiong, Luo Fan

(Guilin Military Representative Office, Wuhan Military Representative Bureau of General Armament Department, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to optimize equipment function index and determine the goal engineering index under uncertain and fuzzy condition. Combine HoQ of quality function development (QFD) with fuzzy regression theory. Analyze QFD, HoQ model of military project development and the waterfall-like decomposition of military's need by QFD. At last, they are applied on some military project development to improve equipments' quality.

Keywords: QFD; HoQ; fuzzy regression; military project development; application

0 引言

质量功能展开 (quality function development, QFD) 作为一种立足于在产品开发过程中最大限度地满足顾客需求的系统化、用户驱动式的质量保证与改进方法, 已被扩展应用于汽车、家电、机械、集成电路等多个行业^[1], 而将其应用于军事领域则相对较少。在现代武器装备的集成度越来越高, 综合科技知识越来越多、产品越来越系统化和复杂化的今天, 必须运用先进的质量管理理论和工具。在军品研制中, 对于顾客的需求会遇到许多模糊的表达, 需要用精确的数学表达式来表述这种模糊现象。因此, 笔者将 QFD 与模糊理论结合, 应用于军工产品项目开发中, 用于优化产品的功能指标, 从军代表角度出发, 使新开发/改进的军事产品功能指标既满足军方要求, 又能使其赶上或超过所有目标竞争企业。

1 QFD 及军品项目开发中的质量屋模型

QFD 创始于日本的三菱重工赤尾洋二, 它是一种把用户或市场的要求转化为设计要求、零部件特性、工艺要求、生产要求的多层次演绎的分析方法^[2]。具体来说, 就是把顾客的声音融入产品设计, 把基于市场的顾客需求 (用 CR 表示) 与具体的产品工

程属性 (用 DR 表示) 系统化的结合, 以提高产品的市场占有率。QFD 的核心为质量屋。DR 的权重包括绝对权重 (用 AI 表示) 和相对权重 (用 RI 表示)。美国学者 Hauser 和 Elasing 1988 年提出了质量屋 (house of quality, HoQ) 的概念。QFD 的核心内容是需求变换, 质量屋是一种直观的矩阵框架表示形式, 它提供了在产品开发中具体实现这种需求变换的工具, 从中可以确定设计过程中哪些产品质量特征对于用户需求满足是重要的以及重要程度。典型的质量屋模型如图 1。

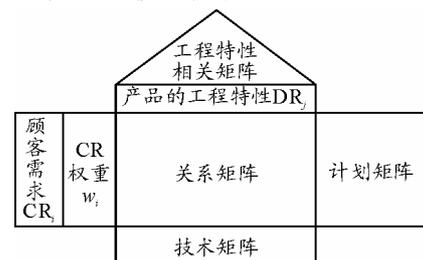


图 1 典型的质量屋模型

在军用产品项目开发的质量功能展开中, 结合图 1 质量屋模型中的相关内容论述如下^[3]: 顾客需求是用军方语言描述顾客对产品的实际需求, 使得军方需求的分布由抽象到具体。一般而言, 军方对产品的实际需求会通过一些功能指标体现出来, 分层次排列功能指标的描述, 如系统可靠性为第 1 层

收稿日期: 2010-11-26; 修回日期: 2010-12-27

作者简介: 李文新 (1985—), 男, 湖南人, 硕士研究生, 助理工程师, 从事弹药、光电产品质量监督与检验验收研究。

次要求; 工艺稳定性为第2层次要求、自动化程度为第3层次要求等。计划矩阵部分则主要包括顾客需求的相对权重(用 w_i 表示)、产品的市场竞争能力评价(即需求方对本产品的满意程度及对竞争者类似产品的满意程度评价)、产品的战略目标设定(产品开发小组针对如何满足需求提出自己的目标, 目标的设定需考虑功能指标的优先权重及竞争对手的能力)、改进率(目标/需求方对本产品的满意程度)以及修正权重(功能指标权重*改进率); 工程特征是用工程技术人员语言描述产品或服务的技术特征, 它实际上是对如何满足顾客需求的回答; 关系矩阵是工程特征与顾客需求之间关系的判断矩阵, 若该矩阵记为 $R=[r_{ij}]$, 则 r_{ij} 表示第 j 个工程特征对满足第 i 项功能指标的贡献大小; 技术矩阵主要包括工程特征的优先权重、技术竞争能力评价和技术目标设定。工程特征相关矩阵则是工程特征的自相关矩阵, 该矩阵记录了各工程特征之间相互支持或相互阻碍的关系。

质量屋中各参数的关系如式(1):

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1; \quad A_{ij} = \sum_{i=1}^m w_i R_{ij}; \quad R_{ij} = A_{ij} / \sum_{j=1}^n A_{ij} \quad (1)$$

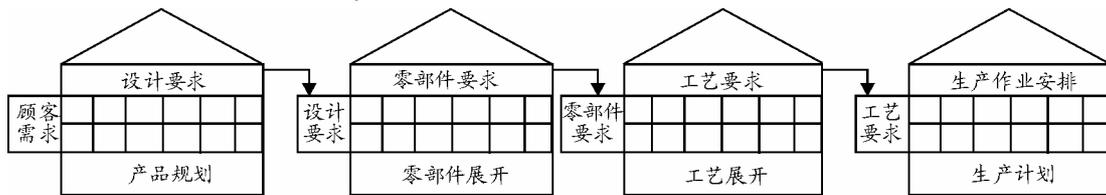


图2 QFD 的瀑布式分解过程

3 模糊回归理论

在军事产品生产中, “自动化程度高”、“系统运行稳定性高”、“系统可靠性高”等指标, 均是带有模糊性的集合。为了能更好地进行生产, 必须要用精确的数学表达式来表述这种模糊现象。建立 QFD 规划模型的关键在于根据已建立的质量屋确定功能指标与工程特性间的关联函数及工程特性间的自相关函数。模糊理论就是一个有效工具。笔者主要介绍三角模糊数和模糊线性回归的相关理论。

3.1 三角型模糊数

在介绍三角型模糊数之前, 首先要论述 L-R 型模糊数。设 L 和 R 为模糊数的参照函数, 若模糊数 \tilde{l} 的隶属函数为式(2), 则称 \tilde{l} 为 L-R 型模糊数, 记为 $\tilde{l}=(m,a,b)LR$ 。称 m 为 \tilde{l} 的均值, ab 分别为左、右基准值或扩展值。若 (L-R) 型模糊数 \tilde{l} 的隶属函数如式(3)时, 则称 \tilde{l} 为三角型模糊数, l, u 分别为上、下界, 记为 $\tilde{l}=(l,m,u)$ 。

其中, CR_i 为第 i 个顾客需求; DR_j 为第 j 个工程特性; w_i 为 CR_i 的相对重要度; R_{ij} 为 CR_i 和 DR_j 间的相关系数; A_{ij} 为 DR_j 的绝对权重; R_{ij} 为 DR_j 的相对权重; $i=1,2,\dots,m$, m 为顾客需求数; $j=1,2,\dots,n$, n 为工程特性数。

2 QFD 中军方顾客需求的瀑布式分解过程

以 QFD 分解模型中的 ASI 模式为代表, 说明 QFD 中军方顾客需求的瀑布式分解过程。军方顾客需求的分解过程是指通过适当的分解模型, 将提取的军方需求换成产品开发与制造中各个阶段的对应技术需求信息, 使军方需求贯穿于产品开发的各个阶段。一般采用矩阵(也称质量屋)的形式, 将军方需求逐步展开, 分层地转换为技术需求(产品总体特征)、零部件特征、工艺特征和质量控制方法。在展开过程中, 上一步的输入就是下一步的输出, 构成瀑布式分解过程。QFD 从用户需求开始, 经过 4 步分解, 用 4 个矩阵, 得出产品的工艺和质量控制参数, 如图 2。

$$\mu_{\tilde{l}}(x) = \begin{cases} L(\frac{m-x}{a}), & x \leq m, a > 0 \\ R(\frac{x-m}{b}), & x \geq m, b > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{\tilde{l}}(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & x \in [l, m] \\ \frac{x-u}{m-u}, & x \in [m, u] \\ 0, & x \in (-\infty, l) \cup (u, +\infty) \end{cases} \quad (3)$$

3.2 模糊线性回归

首先介绍一下可能性线性系统。设输出变量 $Y = A_1x_1 + \dots + A_nx_n$, 其中, A_i 为对称 L-R 模糊数, $u_{A_i}(a_i) = L(\frac{a_i - \alpha_i}{c_i})$, 记 $A_i = (a_i, c_i)_L$, 其中, α_i 为中心, c_i 为扩展, 可以证明 Y 是以 $\sum_{i=1}^n \alpha_i x_i$ 为中心, 以 $\sum_{i=1}^n c_i |x_i|$ 为扩展的对称三角形 L-R 模糊数。现在讨论可能性线性回归问题: 已知输出变量 Y 与输入变量 x_1, \dots, x_n 构成可能性线性系统, 即 $Y_j = A_0 + A_1x_{j1} + \dots + A_nx_{jn}$, 其

中 $A_i = (\alpha_i, c_i)_L$ 为对称的 L-R 型模糊数，可以采用一定的方法求得 A_i 在一定拟合度下的估计。方法简要介绍如下：采集输入与输出数据 $(y_j, x_{j1}, \dots, x_{jn}), j = 1, \dots, N$ ，使得估计的模糊数 Y_j 包含在拟合度 h 以上的范围来决定模糊系数 A_i ；另一方面使估计的 Y_j 的总幅度为最小来决定 A_i ，求 A_i 的问题归结为如式 (4) 的 LP。

$$\begin{cases} y_j \leq \sum_{i=1}^n \alpha_i x_{ji} + |L^{-1}(h)| \cdot \sum_{i=1}^n c_i |x_{ji}| \\ y_j \geq \sum_{i=1}^n \alpha_i x_{ji} - |L^{-1}(h)| \cdot \sum_{i=1}^n c_i |x_{ji}| \\ c_i \geq 0, j = 1, \dots, N \end{cases} \quad (4)$$

4 QFD 模糊规划模型的应用

参考文献[4]，笔者用基于对称三角形模糊系数的模糊规划理论，来确定关联函数和自相关函数的数学方法，建立一个 QFD 模糊规划模型。该模型能帮助开发人员在不确定的、模糊条件下有效确定关联函数及自相关函数，最后，通过仿真结果帮助开发人员在不确定的、模糊条件下有效确定关联函数及自相关函数，优化产品的功能指标，确定工程特性目标值，使新开发/改进的军事产品功能指标赶上或超过所有目标竞争企业。功能指标的优化是军事代表参与科研过程质量监督工作中的重要目标，也是军品订购部队所期待的。

4.1 军品工程特征目标值的规范化

工程特性目标值的规范化是将军事产品的各工程特性目标值，转化为相应的工程特性改进水平。在具体应用中，因为工程特性有 2 种情况：一是目标值越小越好，另一种是目标值越大越好。2 种情况下的规范化的具体开展可参考文献[4]中的做法。

4.2 关联函数与自相关函数的确定

根据文献[4]中的模糊线性回归模型，给定一组精确数据，在一定拟合度准则下，寻找一组模糊系数，使模糊线性回归模型的拟合最好。然后，求出每个模糊系数的隶属函数，通过相关的目标函数和约束条件，得出关联函数的线性规划模型 LP_1 和自相关函数的线性规划模型 LP_2 ，通过对 2 个模型 LP_1 和 LP_2 的求解，可以得到各关联函数欲自相关函数的模式表达式。最后通过忽略展值的影响，可得到关联函数、自相关函数的精确表达式。

4.3 目标函数的建立

功能指标满意度函数是由各个功能指标满意度

组成的多变量函数，该函数总计了每个功能指标的满意水平，以得到功能指标总的满意度，它应由每个功能指标构成。参考文献[4]，根据“工程特性目标值确定过程是在开发预算的约束下，确定一组工程特性改进水平，使新开发/改进的产品功能指标满意度与各竞争企业的产品功能指标度比较最大化”的指导思想，建立相关的目标函数 S 。在选择适当的约束条件，即可最后得到 QFD 的规划模型 LP。如果目标函数 $S' > 0$ ，表明在现有开发预算约束下新开发/改进的产品顾客满意度将超过所有竞争企业。如果 $S' < 0$ ，表明在现有开发预算约束下新开发/改进的产品顾客满意度与各竞争企业比较差距最小。笔者论述的基于模糊回归的 QFD 模型为线性规划，模型最后的求解可以利用 Mathprogram 软件完成。

4.4 具体应用

对某国企研制的一种枪榴弹，建立质量屋模型如下：质量屋中包含 6 个功能指标，6 个工程特性分别记为 CR_1 、 CR_2 、 CR_3 、 CR_4 、 CR_5 、 CR_6 以及 DR_1 、 DR_2 、 DR_3 、 DR_4 、 DR_5 、 DR_6 。共有 3 类公司的同类产品进行比较，分别记为 Co_1 (本企业)、 Co_2 、 Co_3 (国内同行竞争对手)。功能指标权重、各竞争企业功能指标满意水平及工程特性目标值、工程特性系数均由开发小组通过调查或进行试验获得。产品规划 HoQ 如图 3。

功能特性	机械结构	弹药口径	尾管与枪管配合长度	生产工艺	锥形罩锥角	装药密度	自相关矩阵					
	机械结构	弹药口径	尾管与枪管配合长度	生产工艺	锥形罩锥角	装药密度						
机械结构				•	•		计划矩阵					
弹药口径			•									
尾管与枪管配合长度		•										
生产工艺	•				•							
锥形罩锥角	•			•								
装药密度						•						
功能指标	相对权重	关系矩阵						计划矩阵				
		本企业	国内同行企业1	国内同行企业2	最小值	最大值						
纵火性能	0.225					•	3.6	3.6	3.8	1	5	
最大射程	0.175		•	•			4.0	4.0	4.0	1	5	
破甲深度	0.125					•	3.8	4.2	4.6	1	5	
立靶、地面密集度	0.175						4.2	3.6	3.9	1	5	
初速	0.125	•					4.8	3.8	4.2	1	5	
可靠性	0.175			•			4.4	3.8	4.6	1	5	
评价参数	g	mm	mm	PT	(°)	kg/m ³	设计矩阵					
本企业	780	40	78	3.8	58	1 640						
国内同行企业1	820	80	74	4.0	56	2 120						
国内同行企业2	740	60	82	4.2	54	1 600						
最小值	340	40	70	1	40	1 620						
最大值	920	80	86	5	60	2 200						
成本(万元)	0.04	0.03	0.01	0.06	0.01	0.03						

图 3 产品规划质量屋

重要工程特征参数解释如下:

1) 机械结构的单位为 g, 为产品的机械总重量, 决定了产品的适装枪械类型。2) 弹药口径评价参数的单位为 mm, 一定程度决定射程。3) 尾管与枪管配合长度: 单位为 mm。配合长度的大小一定程度上影响枪榴弹获得最大的枪口动能, 同时影响枪榴弹飞离枪口时受到的干扰程度。4) 生产工艺的评价参数为 PT, 即为 Manufacture Technical for Electric Unit, 是生产制造工艺水平综合评估, 一定程度可通过质量统计报告反映。5) 锥形药形罩锥角: 采用锥形罩时的威力和破甲稳定性均较好, 生产工艺较为简单, 单位为°, 一般取 40°~60°。锥角过大造成射流速度提高, 破甲深度增加, 但破甲稳定性较差; 锥角过小则导致破甲深度下降。6) 装药密度: 单位

为 kg/m³, 保证战斗部的纵火性能。

参考文献[4]中的模型, 计算出各竞争企业产品的功能指标满意水平: $S_1=0.78, S_2=0.65, S_3=0.82$ 。将竞争企业产品的工程特性目标值规范化:

$$X_1 = (0.24, 0.53, 0.64, 0.87, 0.68, 0.68)$$

$$X_2 = (0.24, 0.36, 0.32, 0.87, 0.65, 0.48)$$

$$X_3 = (0.36, 0.67, 0.68, 0.89, 0.75, 0.8)$$

取 $h=0.5$, 将有关计算结果及质量屋中相应数据分别代人规划模型 LP₁、LP₂, 利用 Mathprogram 软件共求解 6 次线性规划模型, 可依次确定关联函数与自相关函数系数的求解结果。计算结果及质量屋中的有关数据代人模型 LP₃, 得到产品的 QFD 规划模型, 利用 Mathprogram 软件求解该模型, 得到最终优化结果, 如表 1。其中, $y_1 \sim y_6$ 为 6 个功能指标的达成水平, $x_1 \sim x_6$ 为功能特性的改进水平。

表 1 优化结果

max S	功能指标						功能特性					
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0.13	0.44	1.96	2.02	1.15	0.90	1.12	0.24	0.20	0.78	0.08	0.36	0.74

进一步分析可知: 根据所求得的工程特性改进水平, 可最终确定改进产品的各工程特性最优目标值为(820, 40, 76, 3.8, 54, 1 700)。因为目标函数数值 $\max S'=0.13>0$, 所以改进产品的功能指标满意水平将超过所有竞争企业, 其值为 $\max S+S_1=0.13+0.78=0.91$ 。

5 结束语

QFD 作为一个转化顾客需求到设计要求、零部件特性、工艺要求、生产要求等各个方面的分析方法, 结合模糊理论或粗糙集理论, 能有效提高产品

质量。

参考文献:

- [1] 段黎明, 黄欢. QFD和Kano模型的集成方法及应用[J]. 重庆大学学报, 2010, 31(5): 515-518.
- [2] 岑咏霆. 模糊质量功能展开[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1999: 1-2.
- [3] 邵家骏. 质量功能展开概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.
- [4] 张健. 国有中小型机电制造类企业军事项目管理研究[D]. 天津: 天津大学硕士学位论文, 2008.
- [5] 梁晓峰. 一种定量的因果分析法在某产品质量分析中的应用[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(7): 141-144.

(上接第 13 页)

在锥套的正下方设计有深度调节板, 深度调节板共有多件, 每件厚度相差 L mm。在调试的时候根据拔弹力的数值来调整调节板的厚度, 从而来限制锥套的下

降高度。模具增力角为 θ , 那么根据计算可以将紧口槽深度控制到 $L \tan \theta$ 。当 L 值为 0.1 mm, θ 角度为 15° 时, 同一批次药筒和弹丸紧口后拔弹力实验结果如表 1。

表 1 实验数据表

组	1	2	3	4	5	6	7	8	9
力/kN	27.8	26.75	28.6	25.9	26.3	26.7	26.91	27.2	27.35

从表 1 中可以看出, 拔弹力最大差值不到 3 kN, 一致性较好。故可以确定, 在同一批次产品紧口中, 只要准确定位紧口槽的位置, 并控制好紧口槽的深度, 那么拔弹力就可以得到有效的控制。

3 结论

使用结果证明, 该紧口装置设计先进、上下料方便, 紧口力便于自动调整, 拔弹力一致性好, 偏差在允许范围内, 提高了弹药的品质, 保证了杀伤

力。是一台比较理想自动化紧口设备, 具有一定推广价值。

参考文献:

- [1] 王泽山, 等. 火药装药设计原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [2] 陈国光, 等. 弹药制造工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
- [3] 何存兴, 等. 液压传动与气压传动[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000.