



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20160163

基于模糊理论的 QFD 用户需求分析方法研究

张付英^{1,2}, 姜向敏¹, 王宏浩¹

(1. 天津科技大学机械工程学院, 天津 300222; 2. 天津食品安全低碳制造协同创新中心, 天津 300457)

摘要: 针对用户需求信息的模糊性、离散性和不确定性, 提出了集成模糊聚类法和模糊扩展层次分析法的用户需求分析方法. 基于模糊聚类法的模糊相似矩阵和动态聚类图对搜集的含糊不清的用户需求进行归类和分级, 利用模糊扩展层次分析法对分类后的顾客需求特征进行重要度测量. 该方法可将模糊的、不确定性用户需求信息进行准确化和定量化处理, 为产品规划质量屋的构建和质量功能的瀑布式展开提供有效的用户需求分析手段. 以弹性往复密封件的需求分析为例, 说明该方法的有效性.

关键词: 产品规划; 质量屋; 模糊聚类; 模糊扩展层次分析法 (FEAHP); 弹性往复密封件

中图分类号: TH137 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2017)01-0056-06

Analysis Method of Customer Requirements for QFD Based on Fuzzy Theory

ZHANG Fuying^{1,2}, JIANG Xiangmin¹, WANG Honghao¹

(1. College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China;

2. Tianjin Food Safety & Low Carbon Manufacturing Collaborative Innovation Center, Tianjin 300457, China)

Abstract: As customer requirements are often uncertain, random and discrete, a method integrating fuzzy clustering with fuzzy extended AHP (FEAHP) was proposed. Classification and grading of ambiguous customer requirements can be done by using fuzzy similar matrix and dynamic clustering chart. Customer requirements are analyzed based on FEAHP. This method can translate the uncertain or ambiguous customer requirements into accurate and quantitative ones. It is a valid method for analysing customer requirements for building product planning house of quality, and the waterfall decomposition of QFD. Taking the elastic reciprocating seal as an example, the effectiveness of this method was illustrated.

Key words: product planning; house of quality; fuzzy clustering; fuzzy extended analytic hierarchy process (FEAHP); elastic reciprocating seals

全球市场的激烈竞争, 迫使企业开发新产品要以市场、顾客需求为导向. 质量功能展开 (quality function deployment, QFD)^[1] 是一种用户需求驱动的产品设计方法, 已广泛应用于产品改进和质量保证, 成为满足客户需求、赢得市场、提高企业经济效益的有效途径. 产品规划质量屋是质量功能展开的核心, 而用户需求分析是构建产品规划质量屋的关键环节^[2]. 由于通过调研收集的用户需求一般都是离散的、模糊的、个体间的差异较大, 很难将其直接作为 QFD 的输入, 为此国内外许多学者专注于用户需求分析的研

究. 文献[3-4]应用 KM 模型 (Kano model) 和模糊 C 均值聚类分析对用户需求进行分类处理, 文献[5]则提出了一种基于加权 Euclid 距离的模糊聚类分析算法进行用户需求分类. 但这些需求分类方法没有给出用户需求具体的分类过程. 为了将自然语言描述的用户需求量化处理, 目前广泛应用的方法是 Saaty 等^[4]提出的九分制原则, 这种方法的赋值是基于人主观的定性评估. 为了减小评估过程的主观性, 文献[3]提出用层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 进行用户需求的重要度测量; 但 AHP 评价方法无法

收稿日期: 2016-05-09; 修回日期: 2016-10-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51075300)

作者简介: 张付英 (1965—), 女, 河北赞皇人, 教授, zhufuying@tust.edu.cn

处理不确定性规模和模糊性存在的优先级属性. 为了解决上述问题, 本文提出集成模糊聚类法和模糊扩展层次分析法的用户需求分析方法, 实现用户需求的分类和重要度测量.

1 产品规划质量屋

产品规划质量屋是质量功能展开的核心, 其作用是将模糊的用户需求转换为工程技术人员可以理解的技术需求, 进而瀑布式分解为产品的零件特性、加工特征和质量特性, 它是一种有效的用户需求转换工具. 完整的产品规划质量屋如图 1 所示. 用户需求作为产品规划质量屋的输入, 是将市场调研收集的离散的、模糊的用户需求进行归纳总结、分类和重要度处理后列出的层次性列表, 是实施 QFD 的关键.

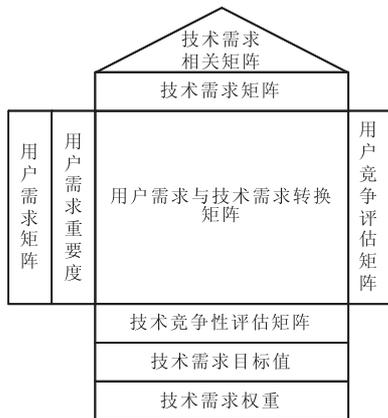


图 1 产品规划质量屋的结构

Fig. 1 Structure of product planning house of quality

2 基于模糊聚类法的用户需求分类

模糊聚类分析是数理统计中的一种多元分析方法, 它应用数学模糊集理论方法定量地确定样本的亲疏关系, 从而客观地进行分类. 基于模糊聚类法的用户需求分类就是将收集的用户需求通过建立其模糊聚类矩阵, 在一定的显著性水平下进行聚类划分, 将相似的需求参数组合在一起进行归类. 具体步骤如下:

(1) 通过市场调研获得用户需求信息, 从顾客的语言中提炼出能够说明顾客需求的具体信息.

(2) 对获取的需求信息进行归纳整理, 假设有 i 个需求特征, 从 i 个需求特征中提取出 j 个特征指标, 用 C_{ij} 来表示第 i 个顾客需求对第 j 个特征指标的取值, 从而得到顾客需求在不同特征指标下的相似

程度矩阵 $C_R = (C_{r11}, C_{r12}, \dots, C_{rij})$, 其中 $0 \leq C_{rij} \leq 1$, 值越大表示第 i 个顾客需求对第 j 个特征指标重要程度越大.

(3) 计算出不同需求特征之间的相似关系程度 r_{ij} , 构建模糊相似矩阵 R . 按照模糊集理论采用“绝对值减数法”计算, 其中 C 为 0.4, $0 \leq r_{ij} \leq 1$, 即

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 1 - C \sum_{k=1}^m |C_{rik} - C_{rjk}| & i \neq j \end{cases} \quad (1)$$

(4) 求解传递闭包矩阵 $t(R)$. 模糊集矩阵不仅要满足自反性和对称性, 而且还要满足传递性. 传递闭包矩阵, 一般采用平方法 $R \rightarrow R^2 \rightarrow R^4 \rightarrow \dots \rightarrow R^{2^k}$, 经有限次运算后, 存在一个自然数 k 可以使 $R^{2^k} = R^{2^{k+1}}$, 则 $R^* = R^{2^k}$ 就是一个传递闭包矩阵 $t(R)$.

(5) 用户需求聚类划分. $t(R)$ 中的元素可在任意水平上进行分类, 在某一 λ 水平下, 用户需求 C_{ri} 与 $C_{r(i+k)}$ 属于同类. 当 λ 从 0 到 1 变化时, 所分的组由细到粗, 逐步归并, 形成一个动态聚类图. 截矩阵 R_λ 的具体算法为: 当 $r_{ij}^* \geq \lambda$ 时, $\lambda_{ij} = 1$; 当 $r_{ij}^* < \lambda$ 时, $\lambda_{ij} = 0$, 由此可得出 R_λ . 选取适当的 $\lambda \in [0, 1]$, 由 R_λ 得出所需的用户需求分类.

3 基于模糊扩展层次分析法的用户需求重要度评价

模糊拓展层次分析法^[5](fuzzy extended AHP, FEAHP) 是将模糊理论与层次分析法相结合的系统分析方法, 用三角模糊数 (triangular fuzzy number, TFN) 的理论代替传统的层次分析法评判准则, 更能体现不同指标重要性程度的不确定性. FEAHP 对已经分类的用户需求确定相应的重要性权重. 基于模糊拓展层次分析法的用户需求重要度评价是将用户的需求评价转换为三角模糊数, 并通过这些三角模糊数建立层次分析法中的两两比较矩阵, 通过对模糊层次矩阵中重要度的分析, 可以得到用户需求的重要性权重^[6].

3.1 三角模糊数的评估过程

三角模糊集是一个函数的集合, 该函数会给集合中的每个元素分配一个 $[0, 1]$ 区间的评价等级. 模糊数是一个特殊的模糊集, 一般情况下用“大、中、小”定义一个属性的取值范围, 如 $M = \{x, \mu_N(x), x \in \mathbf{R}\}$, $\mu_N(x)$ 是 \mathbf{R} 在 $[0, 1]$ 区间上的映射^[7]. 例如, 用 n_1, n_2, n_3 分别表示最小可能值、最有可能接受值、最大可能值, 则用 (n_1, n_2, n_3) 表示三角模糊数的一个

三元组, 其中 $n_1 \leq n_2 \leq n_3$, 当 $n_1 = n_2 = n_3$ 时, 称为非模糊数. 模糊数函数 $\mu_N(x)$ 可定义为

$$\mu_N(x) = \begin{cases} (x - n_1) / (n_2 - n_1) & x \in [n_1, n_2] \\ (n_3 - x) / (n_3 - n_2) & x \in [n_2, n_3] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

模糊数用直观的数字表达决策者的定性评估^[8]. 模糊数可以通过相应的左、右函数 $N_1(y)$ 与 $N_2(y)$ 的斜率 y 来表示对应属性的权重, 如式(3)所示. $N_1(y)$ 与 $N_2(y)$ 的关系见图2.

$$N = (N_1(y), N_2(y)) = (n_1 + (n_2 - n_1)y, n_3 + (n_3 - n_2)y) \quad (3)$$

$$y \in [0, 1]$$

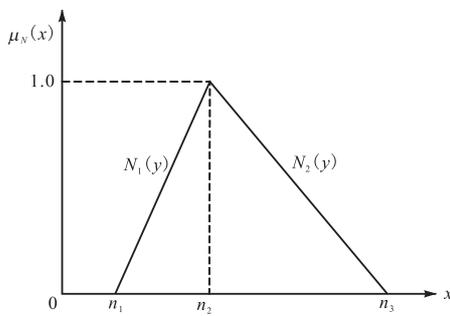


图2 三角模糊数 $N(x)$

Fig. 2 Triangular fuzzy number, $N(x)$

三角模糊数 N_1, N_3, N_5, N_7, N_9 分别表示客户的偏好程度: N_1 表示“相等”, N_9 表示“极度强烈偏好”, 用 N_2, N_4, N_6, N_8 表示对应的中间偏好程度. 各个偏好程度之间的相互关系见图3.

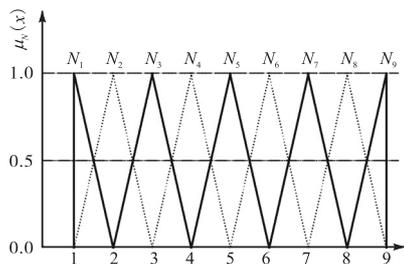


图3 三角模糊数的隶属度函数

Fig. 3 Membership function of the triangular fuzzy number

3.2 相对重要度的计算

用 $C = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)$ 表示对象层集合, $S = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_n)$ 表示目标层集合. 根据模糊扩展层次分析法的概念, 每一个对象集分别对应目标集的隶属关系用 O_i 表示. 因此, 对每一个对象的分析表示为: $N_{oi}^1, N_{oi}^2, \dots, N_{oi}^n$, 即所有的三角模糊数值可用

N_{oi}^j 表示. 则第 i 个对象的模糊综合隶属程度为

$$F_i = \sum_{j=1}^m N_{oi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{oi}^j \right]^{-1} \quad (4)$$

式中:

$$\sum_{j=1}^m N_{oi}^j = \left(\sum_{j=1}^m n_{1j}, \sum_{j=1}^m n_{2j}, \sum_{j=1}^m n_{3j} \right) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{oi}^j = \left(\sum_{i=1}^n n_{1i}, \sum_{i=1}^n n_{2i}, \sum_{i=1}^n n_{3i} \right) \quad (6)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{oi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n n_{1i}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_{2i}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_{3i}} \right) \quad (7)$$

根据假设, 由式(4)~式(7)计算出两组三角模糊数 $F_1 = (n_{11}, n_{12}, n_{13}) \geq F_2 = (n_{21}, n_{22}, n_{23})$, 则 N_1 与 N_2 之间的相对权重按式(8)计算.

$$V(F_1 \geq F_2) = \sup_{x \geq y} [\min(\mu_{F_1}(x), \mu_{F_2}(y))] \quad (8)$$

当 $n_{12} \geq n_{22}$ 时, $V(F_1 \geq F_2) = 1$. 当 $n_{12} < n_{22}$ 时, 有

$$V(F_1 < F_2) = hgt(F_1 \cap F_2) = \frac{n_{11} - n_{23}}{(n_{22} - n_{23})(n_{12} - n_{11})} \quad (9)$$

其中 $hgt(x)$ 称为模糊集合的高度, 且 $hgt(x) = \sup_{x \in X}(x)$.

同一目标集合下的每一属性与其他属性的相互隶属度按式(10)计算.

$$V(F \geq F_1, F_2, \dots, F_k) = V[(F \geq F_1) \text{ and } (F \geq F_2) \text{ and } \dots \text{ and } (F \geq F_k)] = \min V(F \geq F_i) \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (10)$$

如果令 $m(c_i) = \min V(F_i \geq F_k), k = 1, 2, \dots, n, k \neq i$, 则每个属性的隶属度可表示为

$$W = (w(c_1), w(c_2), \dots, w(c_n))^T \quad (11)$$

归一化后的模糊数权重表示为

$$W' = (w(c_1), w(c_2), \dots, w(c_n))^T \quad (12)$$

4 实例

为说明所提出的用户需求分类及重要度评价计算模型, 以某企业弹性往复密封件橡胶 O 型圈的研发为例说明用户需求分析的过程.

4.1 弹性往复密封件的用户需求获取及分类

弹性往复密封件广泛应用于机械装备制造行业中, 用户一般都是工程技术人员, 在密封件的使用方面都有丰富的经验^[9]. 收集用户需求特征时从密封件

的质量问题出发, 确定密封件的需求信息. 通过走访调查, 与相关密封专家、技术人员的交流等方式查找密封件失效现象及其原因, 收集相关资料, 最后将顾客需求归纳整理为 17 个特征. 用 C_{ri} 表示顾客第 i 个需求特征, 得到的客户需求特征见表 1.

表 1 密封件客户需求特征

Tab. 1 Characteristics of sealing customer requirements

特征编号	需求特征	特征编号	需求特征
C_{r1}	阻力小	C_{r10}	无爬行
C_{r2}	易于拆装	C_{r11}	耐磨
C_{r3}	稳定性好	C_{r12}	耐腐蚀性好不易变形
C_{r4}	易维护	C_{r13}	互换性好
C_{r5}	维修频率低	C_{r14}	适用高压高速环境
C_{r6}	无飞边	C_{r15}	耐高低温等恶劣环境
C_{r7}	泄露量小	C_{r16}	成本低
C_{r8}	结构简单	C_{r17}	寿命长
C_{r9}	密封性能好		

通过对这些用户需求信息的分析, 分别用密封效果 (D_1)、可靠性 (D_2)、环境适应性 (D_3)、装配性 (D_4)、经济性 (D_5)、安全性 (D_6) 六个特征指标作为一级用户需求. 根据每一个用户需求具有特征指标的程度, 在 $[0, 1]$ 区间上进行取值, 得到相对权重指标见表 2.

表 2 用户需求特征的相对权重指标

Tab. 2 Relative indicators of characteristics of customer requirements

特征编号	相对权重					
	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6
C_{r1}	0.9	0.8	0.2	0.1	0.1	0.3
C_{r2}	0.7	0.3	0.3	0.9	0.5	0.2
C_{r3}	0.9	0.7	0.2	0.1	0.1	0.3
C_{r4}	0.8	0.5	0.3	0.3	0.5	0.1
C_{r5}	0.2	0.3	0.2	0.5	0.6	0.2
C_{r6}	0.5	0.5	0.1	0.3	0.1	0.1
C_{r7}	0.8	0.5	0.3	0.1	0.3	0.5
C_{r8}	0.4	0.5	0.1	0.3	0.1	0
C_{r9}	0.8	0.5	0.1	0.1	0.3	0.5
C_{r10}	0.8	0.4	0.3	0.1	0.3	0.1
C_{r11}	0.7	0.5	0.7	0	0.1	0.3
C_{r12}	0.8	0.5	0.7	0	0.1	0.2
C_{r13}	0.2	0.3	0.2	0.2	0.8	0.2
C_{r14}	0.8	0.3	0.9	0.1	0.3	0.7
C_{r15}	0.7	0.3	0.9	0.1	0.3	0.7
C_{r16}	0.2	0.3	0.2	0.2	0.8	0.3
C_{r17}	0.3	0.8	0.5	0.3	0.7	0.8

根据式 (1) 构建的弹性往复密封件的用户需求特征模糊相似矩阵 R 为

	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}	C_{r4}	C_{r5}	C_{r6}	C_{r7}	C_{r8}	C_{r9}	C_{r10}	C_{r11}	C_{r12}	C_{r13}	C_{r14}	C_{r15}	C_{r16}	C_{r17}
C_{r1}	1.00	0.16	0.96	0.48	0.12	0.48	0.64	0.44	0.68	0.60	0.56	0.56	0.16	0.24	0.20	0.20	0.12
C_{r2}	0.16	1.00	0.20	0.60	0.56	0.28	0.36	0.24	0.32	0.40	0.20	0.20	0.36	0.12	0.16	0.32	0.00
C_{r3}	0.96	0.20	1.00	0.52	0.16	0.52	0.68	0.48	0.72	0.64	0.60	0.60	0.20	0.28	0.24	0.24	0.08
C_{r4}	0.48	0.60	0.52	1.00	0.48	0.60	0.68	0.56	0.64	0.64	0.44	0.44	0.44	0.28	0.24	0.40	0.24
C_{r5}	0.12	0.56	0.16	0.48	1.00	0.40	0.24	0.44	0.28	0.28	0.08	0.08	0.80	0.00	0.04	0.76	0.28
C_{r6}	0.48	0.28	0.52	0.60	0.40	1.00	0.44	0.96	0.48	0.40	0.44	0.44	0.36	0.04	0.08	0.32	0.08
C_{r7}	0.64	0.36	0.68	0.68	0.24	0.44	1.00	0.40	0.96	0.96	0.60	0.60	0.28	0.60	0.56	0.32	0.24
C_{r8}	0.44	0.24	0.48	0.56	0.44	0.96	0.40	1.00	0.44	0.36	0.40	0.40	0.40	0.00	0.04	0.36	0.12
C_{r9}	0.68	0.32	0.72	0.64	0.28	0.48	0.96	0.44	1.00	0.92	0.56	0.56	0.32	0.56	0.52	0.36	0.20
C_{r10}	0.60	0.40	0.64	0.64	0.28	0.40	0.96	0.36	0.92	1.00	0.56	0.56	0.32	0.64	0.60	0.36	0.20
C_{r11}	0.56	0.20	0.60	0.44	0.08	0.44	0.60	0.40	0.56	0.56	1.00	1.00	0.12	0.52	0.56	0.16	0.08
C_{r12}	0.56	0.20	0.60	0.44	0.08	0.44	0.60	0.40	0.56	0.56	1.00	1.00	0.12	0.52	0.56	0.16	0.08
C_{r13}	0.16	0.36	0.20	0.44	0.80	0.36	0.28	0.40	0.32	0.32	0.12	0.12	1.00	0.04	0.08	0.96	0.32
C_{r14}	0.24	0.12	0.28	0.28	0.00	0.04	0.60	0.00	0.56	0.64	0.52	0.52	0.04	1.00	0.96	0.08	0.16
C_{r15}	0.20	0.16	0.24	0.24	0.04	0.08	0.56	0.04	0.52	0.60	0.56	0.56	0.08	0.96	1.00	0.12	0.20
C_{r16}	0.20	0.32	0.24	0.40	0.76	0.32	0.32	0.36	0.36	0.36	0.16	0.16	0.96	0.08	0.12	1.00	0.36
C_{r17}	0.12	0.00	0.08	0.24	0.28	0.08	0.24	0.12	0.20	0.20	0.08	0.08	0.32	0.16	0.20	0.36	1.00

根据弹性往复密封件的模糊相似矩阵, 计算其传递闭包矩阵, 迭代 5 次后计算得到模糊等价矩阵 $t(R)$. $t(R)$ 中的元素可在任意水平上进行分类. 当在

某一 λ 水平下 $\lambda_{ij} = 1$ 时, 则用户需求 C_{ri} 与 C_{rj} 属于同类. 当选取 $\lambda = 0.96$ 时, 进行适当的行列变换后的截矩阵 R_λ 为

	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}	C_{r4}	C_{r5}	C_{r6}	C_{r7}	C_{r8}	C_{r9}	C_{r10}	C_{r11}	C_{r12}	C_{r13}	C_{r14}	C_{r15}	C_{r16}	C_{r17}
C_{r1}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{r3}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{r2}	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{r4}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{r5}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{r6}	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{r7}	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_{r8}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C_{r9}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C_{r10}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C_{r11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
C_{r12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
C_{r13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
C_{r14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
C_{r15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
C_{r16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
C_{r17}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

当 λ 取不同值时得到的动态聚类图如图4所示. 聚类划分后将17个顾客需求分成10类: $\{C_{r1}, C_{r3}\}$, $\{C_{r2}\}$, $\{C_{r4}\}$, $\{C_{r5}\}$, $\{C_{r6}, C_{r8}\}$, $\{C_{r7}, C_{r9}, C_{r10}\}$, $\{C_{r11}, C_{r12}\}$, $\{C_{r14}, C_{r15}\}$, $\{C_{r13}, C_{r16}\}$, $\{C_{r17}\}$.

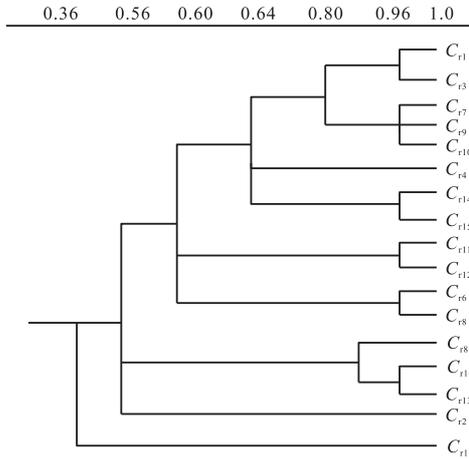


图4 用户需求动态聚类图

Fig. 4 Dynamic clustering figure of the user requirements

依据图4所示的模糊动态聚类图,将用户的需求分类总结,转化为容易识别的用户需求层次图如图5所示,其中 C_i 表示顾客需求特征, S_i 为顾客需求属性.

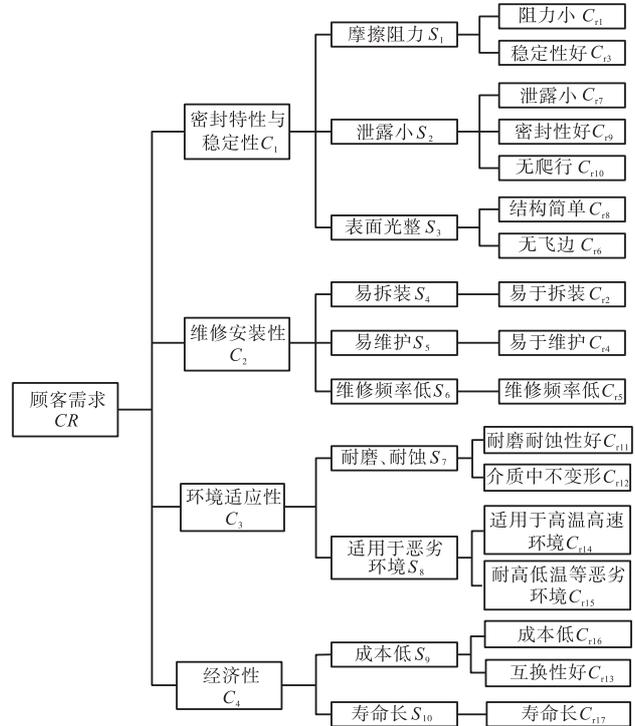


图5 用户需求层次分类图

Fig. 5 Hierarchy of customer requirements

4.2 弹性往复密封件的用户需求重要度计算

应用模糊扩展层次分析法对已经分类的二级用户需求确定相应的重要性权重. 应用三角模糊数的评价原则对4个一级用户需求特征 C_1, C_2, C_3, C_4 进行两两对比评价,构建的模糊评价矩阵如表3所示. 模糊综合程度的权重应用式(2)、式(3)和模糊集的迭代运算公式求得.

表3 用户需求的两两比较矩阵

Tab. 3 Pairwise comparison of categories of customer requirements

	C_1	C_2	C_3	C_4	W'_c
C_1	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	(2/3, 1, 3/2)	(5/2, 3, 7/2)	0.42
C_2	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2)	(3/2, 2, 5/2)	0.21
C_3	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	0.28
C_4	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	0.09

由式(4)一式(7)计算可得

$$F_1 = (5.67, 7, 8.5) \otimes (1/23.4, 1/18.83, 1/15.15) = (0.24, 0.37, 0.56)$$

$$F_2 = (3.57, 4.5, 5.67) \otimes (1/23.4, 1/18.83, 1/15.15) = (0.15, 0.24, 0.37)$$

$$F_3 = (2.83, 5, 6.5) \otimes (1/23.4, 1/18.83, 1/15.15) = (0.12, 0.27, 0.43)$$

$$F_4 = (2.09, 2.33, 2.73) \otimes (1/23.4, 1/18.83, 1/15.15) = (0.09, 0.12, 0.18)$$

由式(8)一式(10)计算 F_i 与 F_j 之间的相对权重得

$$V(C_1 \geq C_2) = 1, V(C_1 \geq C_3) = 1, V(C_1 \geq C_4) = 1$$

$$V(C_2 \geq C_1) = \frac{0.24 - 0.37}{(0.24 - 0.37)(0.37 - 0.24)} = 0.5$$

$$V(C_2 \geq C_3) = 0.89, V(C_2 \geq C_4) = 1$$

同理可得: $V(C_3 \geq C_1) = 0.66, V(C_3 \geq C_2) = 1, V(C_3 \geq C_4) = 1, V(C_4 \geq C_1) = 0.32, V(C_4 \geq C_2) = 0.2, V(C_4 \geq C_3) = 0.29$.

根据式(11),每个特征属性的最小权重表示为 $m(C_1) = \min V(F_1 \geq F_2, F_3, F_4) = \min(1, 1, 1) = 1$, 类似有 $m(C_2) = 0.5, m(C_3) = 0.66, m(C_4) = 0.2$. 因此, C_1, C_2, C_3, C_4 之间的权重可表示为 $W_c = (1, 0.5, 0.66, 0.2)^T$, 归一化后权重为 $W'_c = (0.42, 0.21, 0.28, 0.09)^T$.

用同样的方法可求出顾客需求属性 $S_i (i = 1, 2, 3, \dots, 10)$ 的权重值为 $W_s = (0.332, 0.467, 0.212, 0.097, 0.345, 0.558, 0.68, 0.32, 0.316, 0.648)^T$, 归一化后权重为 $W'_s = (0.139, 0.196, 0.089, 0.02, 0.072, 0.117, 0.19, 0.009, 0.028, 0.058)$.

按式(13)计算的客户需求的权重指标如表4所示. 该表可直接作为建立弹性往复密封 QFD 的用户需求输入.

$$W = W'_c \times W'_s \quad (13)$$

表4 顾客需求权重指标

Tab. 4 Importance weights of customer requirements

顾客需求特征	顾客需求属性
工作特性与稳定性 C_1 (0.42)	摩擦阻力 S_1 (0.139)
	泄漏小 S_2 (0.196)
	表面光整 S_3 (0.089)
维修、安装 C_2 (0.21)	易拆装 S_4 (0.020)
	易维护 S_5 (0.072)
	维修频率低 S_6 (0.117)
环境适应性 C_3 (0.28)	耐磨、耐腐蚀 S_7 (0.190)
	适用于恶劣环境 S_8 (0.09)
经济性 C_4 (0.09)	成本低 S_9 (0.028)
	寿命长 S_{10} (0.058)

5 结 语

通过对弹性往复密封件顾客需求特性分析,将收集的17个顾客需求原始特征归类为10个技术特征,赋予了相应的权重指标,并以此作为弹性往复密封件质量功能展开(QFD)中产品规划质量屋顾客需求的输入,为质量屋的瀑布式展开提供准确的理论和数值分析基础.

从系统性角度对机械产品顾客需求进行定性和量化分析,给出了较为完整的计算分析模型及计算

方法.

在量化分析方面,提出模糊集理论和模糊层次分析法的混合模型,将顾客对产品的需求特征转化为研发技术人员可直接应用的具体数值模型.

通过弹性往复密封件的用户需求分析实例,验证了该方法的有效性.该方法对其他机械产品的研发设计有一定的参考价值.

参考文献:

- [1] Sun J, Kalenchuk D K, Xue D, et al. Design candidate identification using neural network-based fuzzy reasoning[J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2000, 16(5): 383-396.
- [2] 李朝玲, 高齐圣. 质量功能展开中基于二元语义的顾客需求重要度的确定[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(6): 1202-1206, 1214.
- [3] Shahin A, Chan J F L. Customer requirements segmentation (CRS): A prerequisite technique for quality function deployment (QFD) [J]. Total Quality Management and Business Excellence, 2006, 17(5): 567-587.
- [4] Wang C H, Hsueh O Z. A novel approach to incorporate customer preference and perception into product configuration: A case study on smart pads[J]. Computer Standards and Interfaces, 2013, 35(5): 549-556.
- [5] 刘普寅, 吴孟达. 模糊理论及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1998.
- [6] Liao C N, Kao H P. An evaluation approach to logistics service using fuzzy theory, quality function development and goal programming[J]. Computer and Industrial Engineering, 2014, 68: 54-64.
- [7] Chan F T, Kumar N. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach[J]. The international Journal of Management Science, 2007, 35(4): 417-431.
- [8] Kwong C K, Bai H. Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach[J]. Department of Industrial and Systems Engineering, 2003, 35(7): 619-626.
- [9] 彭兵, 肖凤亮, 李翔宇. 橡胶密封制品[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.

责任编辑: 常涛