

# 基于竞争性评价的质量屋中工程特性 最终重要度的确定方法

李延来<sup>1</sup> 雒兴刚<sup>1</sup> 姚建明<sup>2</sup> 焦明海<sup>1</sup>

1. 东北大学流程工业综合自动化教育部重点实验室, 沈阳, 110004

2. 中国人民大学, 北京, 100872

**摘要:** 为了以一种经济和有效的方式来实现工程特性表现的改进目标, 提出了确定工程特性最终重要度的一种集成方法。根据本企业及竞争对手产品的互补判断矩阵评价和各项工程特性表现的竞争性评价, 利用多属性决策方法建立了对应于质量功能配置团队中每一个成员的基于竞争性的工程特性重要度确定的优化模型, 并通过构造拉格朗日函数来求解该模型, 进而利用层次分析法确定质量屋中基于竞争性的工程特性重要度; 利用比例标度法和层次分析法集成的方法, 确定实现工程特性表现的改进目标的重要度; 利用层次分析法对基于顾客满意的工程特性重要度、基于竞争性的工程特性重要度和实现工程特性表现的改进目标的重要度进行合成以确定工程特性的最终重要度。

**关键词:** 质量功能配置; 质量屋; 工程特性; 重要度

**中图分类号:** F406 **文章编号:** 1004—132X(2009)19—2362—06

## Method for Determining the Final Importance Ratings of Engineering Characteristics in House of Quality Based on the Competitive Evaluations

Li Yanlai<sup>1</sup> Luo Xinggang<sup>1</sup> Yao Jianming<sup>2</sup> Jiao Minghai<sup>1</sup>

1. Key Lab of Integrated Automation of Process Industry, Ministry of Education,  
Northeastern University, Shenyang, 110004

2. Renmin University of China, Beijing, 100872

**Abstract:** For achieving the improvement goals of performances of engineering characteristics (ECs) in an economic and effective way, an integrated methodology for determining the final importance ratings of ECs was proposed. According to the competitive evaluations of performances of ECs and value evaluations of the products of a company and its competitors, a model for determining the competitive importance ratings of ECs corresponding to every member of quality function deployment team was built by using multiple attribute decision making method, and this model was solved by using Lagrange function, and then the competitive importance ratings of ECs in HOQ were determined by analytical hierarchy process (AHP). Secondly, based on the integration of scale method and AHP, the importance rating of achieving the improvement target of performances (ITOP) of every EC was determined. Lastly, based on the combination of the customer—satisfaction—based importance rating, the competitive importance rating, and the importance rating of achieving the ITOP of every EC, the final importance ratings of ECs were determined. A case study of product development of a fully automatic washing machine in a corporation was provided to illustrate the application of the proposed method.

**Key words:** quality function deployment; house of quality; engineering characteristics; importance rating

## 0 引言

质量功能配置 (quality function deployment, QFD) 是基于顾客驱动的产品设计方法, 它代表了传统方式向现代方式的转变, 是系统工程思想

在产品中的具体应用, 正在发展成为具有方法论意义的现代设计理论<sup>[1-10]</sup>。工程特性最终重要度确定是质量屋 (house of quality, HOQ) 构建过程中的一个关键步骤, 它对质量屋的构建及其展开具有至关重要的意义<sup>[11-12]</sup>。

通常情况下, 质量屋中工程特性最终重要度的确定应按以下四个步骤进行<sup>[11-13]</sup>: ①根据顾客

收稿日期: 2008—08—26 修回日期: 2009—08—25  
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70721001, 70625001, 70871020); 中国博士后科学基金资助项目 (20070420202)

需求的初始重要度、顾客需求与工程特性之间的关联关系和工程特性之间的自相关关系,确定基于顾客满意的工程特性重要度;②对本企业及其竞争对手的产品的工程特性表现进行分析,确定基于竞争性的工程特性重要度或“工程特性的技术点”;③对本企业产品的工程特性表现设定改进目标,进而确定实现工程特性表现的改进目标的重要度;④对基于顾客满意的工程特性重要度、基于竞争性的工程特性重要度(工程特性的技术点)和实现工程特性表现的改进目标的重要度进行合成,确定工程特性的最终重要度。

文献[11-12]利用比例标度法确定工程特性的技术点以表征基于竞争性的工程特性重要度,但比例标度法存在偏差较大的缺陷。文献[13]利用信息熵分析本企业及其竞争对手的产品表现,提出了确定基于竞争性的工程特性重要度的信息熵方法,但信息熵所使用的对数函数存在误差较大的缺陷,因而该方法的结果可能是不准确的。文献[14]在工程特性竞争性的分析过程中引入“控制环”和“努力—影响矩阵”两个概念以弥补技术重要度与工程特性的商业远景排序之间的“鸿沟”,其“控制环”是关于工程特性执行的可行性概念,而“努力—影响矩阵”是关于工程特性执行效率的概念。文献[15]根据工程特性表现的目标水平确定工程特性表现的改进比率,进而引入实现工程特性表现的改进目标的重要度的概念,提出了实现工程特性表现的改进目标的重要度的决定性因素,并对实现工程特性表现的改进目标的重要性进行了定性和定量分析,进而提出了基于顾客满意的工程特性重要度,实现工程特性表现的改进目标的重要度和“工程特性的技术点”的合成的工程特性最终重要度确定方法。

通过上述分析可知,现有研究主要存在以下不足之处:对工程特性表现的竞争性评价的分析是不全面和不准确的。在工程特性最终重要度的确定过程中,基于顾客满意的工程特性重要度是必须考察的因素之一,也必须同时考察基于竞争性的工程特性重要度和实现工程特性表现的改进目标的重要度等决定性因素。只有全面和同时考察这三种因素,才能准确地确定工程特性的最终重要度,有效地缩短工程特性改进的时间和降低工程特性改进的成本和难度,从而能够以一种高效和经济的方式实现工程特性的改进。

为此,本文提出了质量屋中工程特性最终重要度确定的集成方法。

## 1 基于顾客满意的工程特性重要度

根据文献[16-17],QFD 团队可采用顾客问卷调查、与用户面谈、研究竞争者产品和现场调查等方法确定具有不相关、正相关和负相关等三种关系所组成的顾客需求集  $CR = \{CR_1, CR_2, \dots, CR_l, \dots, CR_L\}$ 。根据已确定的顾客需求集,QFD 团队采用“头脑风暴”等方法,并综合考虑成本、时间、资源利用率和可行性等方面的要求,最终确定质量屋中的工程特性集  $EC = \{EC_1, EC_2, \dots, EC_j, \dots, EC_M\}$ 。

假定利用层次分析法将各项顾客需求的基本重要度确定为  $BIR^{cr}$ ,并确定各项顾客需求基本重要度的修正因子  $CF^{bir}$ 。基于  $BIR^{cr}$  和  $CF^{bir}$  的合成,确定各项顾客需求的最终重要度  $FIR^{cr}$ 。根据 QFD 团队中专家的经验 and 知识确定自相关矩阵  $COR_{M \times M}$  和关联矩阵  $RE_{L \times M}$ 。将工程特性  $EC_j$  与其自身的自相关关系定义为 1,则自相关矩阵  $COR$  的主对角元素  $cor_{jj}$  均变为 1,进而得到  $COR$  的修正矩阵  $CCOR = [ccor_{js}]_{M \times N}$ ,其中

$$ccor_{js} = \begin{cases} 1 & j = s \\ c_{or_{js}} & j \neq s \end{cases} \quad (1)$$

根据  $RE$  和  $CCOR$ ,可得到修正的关联矩阵:

$$CRE_{L \times M} = RE \cdot CCOR \quad (2)$$

根据  $CRE$  和  $FIR^{cr}$ ,可得到基于顾客满意的工程特性重要度

$$IR_{crs}^{ec} = FIR^{cr} \cdot CRE \quad (3)$$

对基于顾客满意的工程特性重要度进行规范化,得到规范化的基于顾客满意的工程特性重要度  $GIR_{crs}^{ec}$ 。

## 2 基于竞争性的工程特性重要度

### 2.1 工程特性的竞争性评价

将本企业记为  $Corp_1$ 。根据市场调研,QFD 团队确定生产相似产品的  $N - 1$  个竞争对手  $Corp_i (i = 2, 3, \dots, N)$ 。根据产品调研,确定本企业及其竞争对手所生产产品的关于各项工程特性的具体数值,从而可建立一个各项工程特性表现的竞争性评价矩阵  $CE^{ec} = [ce_{ij}^{ec}]_{N \times M}$ 。

工程特性一般有效益型、成本型等,其中效益型特性是指特性值越大越好的特性,成本型特性是指特性值越小越好的特性<sup>[18-19]</sup>。设  $I_h (h = 1, 2)$  分别表示效益型和成本型的工程特性。为了准确地对各项工程特性表现的数值进行规范化处理,可根据其类型按下式进行处理而得到规范化的工程特性竞争性评价矩阵  $GCE^{ec} = [gce_{ij}^{ec}]_{N \times M}$ ,其中

$$gce_{ij}^{ec} = \begin{cases} (ce_{ij}^{ec} - l_j^{\min}) / (l_j^{\max} - l_j^{\min}) & i \in N, j \in I_1 \\ (l_j^{\max} - ce_{ij}^{ec}) / (l_j^{\max} - l_j^{\min}) & i \in N, j \in I_2 \end{cases} \quad (4)$$

一般情况下,可根据企业的竞争需要和技术的可行性确定  $l_j^{\max}$  和  $l_j^{\min}$ 。

## 2.2 确定基于竞争性的工程特性重要度

在矩阵  $GCE^{ec}$  中,  $X_1 = (gce_{11}^{ec}, gce_{12}^{ec}, \dots, gce_{1j}^{ec}, \dots, gce_{1M}^{ec})$  表示本企业产品的各项工程特性表现值的规范化评价;第  $i$  行  $X_i = (gce_{i1}^{ec}, gce_{i2}^{ec}, \dots, gce_{ij}^{ec}, \dots, gce_{iM}^{ec}) (i = 2, 3, \dots, N)$  表示竞争企业  $Corp_i$  所生产相似产品的各项工程特性表现值的规范化评价。

一般情况下,QFD 团队的成员主要来自于市场营销、设计、工艺、制造、计划管理、质量管理、财务、后勤和售后服务等有关部门。事实上,QFD 团队中每一个成员对本企业及其竞争对手的产品存在不同的偏好。QFD 团队中某一个成员  $Memb_k (k = 1, 2, \dots, K)$  根据互反标度对所有竞争性评价  $X_i (i = 1, 2, \dots, N)$  进行两两比较,并构造互反判断矩阵  $RCE^k = [rce_{ip}^k]_{N \times N}$ 。根据多属性决策方法<sup>[20-21]</sup>,为了使评价信息一致化,利用如下函数把所有竞争性评价  $X_i$  的综合评价值转化为互反判断矩阵形式  $\overline{RCE}^k = [\overline{rce}_{ip}^k]_{N \times N}$ ,其中

$$\overline{rce}_{ip}^k = \frac{\sum_{j=1}^M gce_{ij}^{ec} \cdot ir_{kj}^{comp}}{\sum_{j=1}^M gce_{pj}^{ec} \cdot ir_{kj}^{comp}} \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, N, p = 1, 2, \dots, N$$

$$IR_k^{comp} = (ir_{k1}^{comp}, ir_{k2}^{comp}, \dots, ir_{kj}^{comp}, \dots, ir_{kM}^{comp})$$

式中,  $IR_k^{comp}$  为对应于  $Memb_k$  的基于竞争性的各项工程特性的重要度。

一般情况下,互反判断矩阵  $\overline{RCE}^k$  和  $RCE^k$  之间往往存在一定的偏差,为此引入线性偏差函数

$$d_{ip}(IR_k^{comp}) = rce_{ip}^k \sum_{j=1}^M (gce_{pj}^{ec} \cdot ir_{kj}^{comp}) - \sum_{j=1}^M (gce_{ij}^{ec} \cdot ir_{kj}^{comp}) \quad i = 1, 2, \dots, N, p = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

为了得到合理的对应于  $Memb_k$  的基于竞争性的各项工程特性的重要度  $IR_k^{comp}$ ,上述偏差值总是越小越好,为此建立下列优化模型:

$$\min D(IR_k^{comp}) = \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^N d_{ip}^2(IR_k^{comp}) = \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^N \left\{ \sum_{j=1}^M [(rce_{ip}^k \cdot gce_{pj}^{ec} - gce_{ij}^{ec}) \cdot ir_{kj}^{comp}] \right\}^2$$

$$\text{s. t. } ir_{kj}^{comp} \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^M ir_{kj}^{comp} = 1$$

为求解此优化模型,构造拉格朗日函数

$$L(IR_k^{comp}, \zeta) = D(IR_k^{comp}) + 2\zeta \left( \sum_{j=1}^M ir_{kj}^{comp} - 1 \right)$$

式中,  $\zeta$  为拉格朗日乘子。

令  $\partial L / \partial ir_{kr}^{comp} = 0 (r = 1, 2, \dots, M)$ , 可得

$$\sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^N \left[ \sum_{j=1}^M 2(rce_{ip}^k \cdot gce_{pj}^{ec} - gce_{ij}^{ec}) \cdot ir_{kj}^{comp} \right] (rce_{ip}^k \cdot gce_{pr}^{ec} - gce_{ir}^{ec}) + 2\zeta = 0 \quad r = 1, 2, \dots, M \quad (8)$$

即

$$\sum_{j=1}^M \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^N (rce_{ip}^k \cdot gce_{pj}^{ec} - gce_{ij}^{ec}) (rce_{ip}^k \cdot gce_{pr}^{ec} - gce_{ir}^{ec}) ir_{kj}^{comp} \right] + \zeta = 0 \quad r = 1, 2, \dots, M \quad (9)$$

若令  $E_M = (1, 1, \dots, 1)$ ,  $U^k = [u_{rj}^k]_{M \times M}$ , 其中

$$u_{rj} = \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^N (rce_{ip}^k \cdot gce_{pj}^{ec} - gce_{ij}^{ec}) (rce_{ip}^k \cdot gce_{pr}^{ec} - gce_{ir}^{ec})$$

$$r = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, M \quad (10)$$

则式(10)可转化为下列矩阵形式:

$$U^k \cdot (IR_k^{comp})^T = -\zeta (E_M)^T \quad (11)$$

这里,  $U^k$  是正定矩阵。

将  $\sum_{j=1}^M ir_{kj}^{comp} = 1$  写成下述向量形式:

$$E_M \cdot (IR_k^{comp})^T = 1 \quad (12)$$

联合式(11)和式(12),求得模型最优解

$$IR_k^{comp} = \left( \frac{(U^k)^{-1} \cdot E_M^T}{E_M \cdot (U^k)^{-1} \cdot E_M^T} \right)^T \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (13)$$

根据层次分析法,基于竞争性的各项工程特性的重要度可由下式确定:

$$IR^{comp} = \sum_{k=1}^K (\omega_k^{ircomp} \cdot IR_k^{comp}) \quad (14)$$

$$\sum_{k=1}^K \omega_k^{ircomp} = 1$$

## 3 工程特性表现的改进目标的重要度实现

根据本企业的资源状况和改进产品的意愿,QFD 团队确定本企业产品的工程特性  $EC_j$  表现的改进目标  $ce_j^i (j = 1, 2, \dots, M)$ ,它反映的是改进后的产品在该项工程特性的目标。根据工程特性的规范化公式,可对工程特性表现的改进目标  $ce_j^i$  进行规范化处理,将规范的工程特性表现的改进目标记为  $gce_j^i (j = 1, 2, \dots, M)$ 。

根据文献[22-27],工程特性  $EC_j$  表现的改进比率可定义为

$$imr_j = gce_j^i / gce_{ij}^{ec} \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (15)$$

当本企业实现改进产品的工程特性表现的改进目标后,则产品的改进必然引起顾客需求满意度的相应提高。

工程特性表现的改进比率表明本企业产品的工程特性表现的改进程度,因而实现工程特性表现的改进目标的重要度必须考虑此改进比率的大

小。但实践发现,虽然可采用  $6\sigma$  技术、价值工程技术、系统优化技术以降低改进难度、减少总的资源需求,但实现工程特性表现的改进目标重要度的确定必须平衡下述四个关键目标:① 工程特性表现的改进比率;② 实现工程特性表现的改进目标所要求的总投入;③ 实现工程特性表现的改进目标所引起的除顾客满意之外的总产出;④ 实现工程特性表现的改进目标的总可行性。只有恰当地平衡上述四个目标,才能经济和有效地提高改进产品的质量,并能够缩短其投放市场的时间,从而提高改进产品的市场竞争力。因而,实现工程特性表现的改进目标的重要度不仅取决于工程特性表现的改进比率,同时也取决于实现工程特性表现的改进目标所要求的总投入、实现工程特性表现的改进目标所引致的除顾客满意度之外的总产出及实现工程特性表现的改进目标的总可行性。

根据文献[14-15],实现工程特性  $EC_j$  表现的改进目标的重要度可由下式确定:

$$ir_j^{ait} = \frac{imr_j \cdot feas_j \cdot (inp_j)^{-1} \cdot outp_j}{\sum_{j=1}^M [imr_j \cdot feas_j \cdot (inp_j)^{-1} \cdot outp_j]} \quad (16)$$

式中,  $feas_j$  为对实现工程特性表现的改进目标  $ce_j^i$  的总可行性进行分析而得到的结果;  $inp_j$  和  $outp_j$  分别为实现工程特性表现的改进目标  $ce_j^i$  所要求的总投入及其所引起的除顾客满意之外的总产出。

因而,实现工程特性表现的改进目标  $ce_j^i$  的重要度  $ir_j^{ait}$  能够准确度量实现工程特性表现的改进目标的重要性。根据文献[15]所提比例标度和层次分析的集成方法,分别确定  $feas_j$ 、 $inp_j$  和  $outp_j$ 。本文将实现各项工程特性表现的改进目标的重要度记为

$$\mathbf{IR}^{ait} = (ir_1^{ait}, ir_2^{ait}, \dots, ir_j^{ait}, \dots, ir_M^{ait})$$

#### 4 工程特性的最终重要度

为了准确确定各项工程特性的最终重要度,利用“捉对比较”法确定规范化的基于顾客满意的工程特性重要度、基于竞争性的工程特性重要度和实现工程特性表现的改进目标的重要度之间的相对重要性。根据层次分析法,将实现各项工程特性的最终重要度定义如下:

$$\mathbf{FIR}^{ec} = \omega_{gir} \cdot \mathbf{GIR}_{crs}^{ec} + \omega_{ircomp} \cdot \mathbf{IR}^{comp} + \omega_{irait} \cdot \mathbf{IR}^{ait} \quad (17)$$

$$\omega_{gir} + \omega_{ircomp} + \omega_{irait} = 1$$

式中,  $\omega_{gir}$  为  $\mathbf{GIR}_{crs}^{ec}$  的相对重要性;  $\omega_{ircomp}$  为  $\mathbf{IR}^{comp}$  的相对重要性;  $\omega_{irait}$  为  $\mathbf{IR}^{ait}$  的相对重要性。

#### 5 应用实例

为了验证所提质量屋中工程特性最终重要度

确定的集成方法,这里引用了某企业全自动洗衣机的产品设计实例进行研究。

#### 5.1 确定规范化的基于顾客满意的工程特性重要度

为了有效开展产品设计工作,该企业成立了一个 QFD 团队,该团队共包括 11 名成员,他们来自以下各部门:市场营销(1 名)、设计(2 名)、工艺(2 名)、制造(2 名)、计划管理(1 名)、质量管理(1 名)、财务(1 名)和售后服务(1 名)。根据市场调研及用户反馈,确定质量屋中的主要顾客需求如下:彻底地洗净( $CR_1$ )、短的洗涤时间( $CR_2$ )、安静地洗涤( $CR_3$ )、彻底地漂洗( $CR_4$ )、不损坏衣物( $CR_5$ )。根据 QFD 团队对该产品的专家经验和知识,确定了五项工程特性:洗净比( $EC_1$ )、衣物磨损率( $EC_2$ )、洗衣时间( $EC_3$ )、漂洗比( $EC_4$ )和噪声水平( $EC_5$ ),这些工程特性分别以 %、%、min、% 和 dB 来进行度量。QFD 团队根据其经验和知识确定顾客需求与工程特性之间的关联关系矩阵以及工程特性之间的自相关矩阵。根据式(1)~式(3),确定了基于顾客满意的工程特性重要度;对基于顾客满意的工程特性重要度进行规范化处理,得到了规范化的基于顾客满意的工程特性重要度。将本企业记为  $Corp_1$ ;根据调查确定生产相似产品的 4 个竞争企业,将其记为  $Corp_2$ 、 $Corp_3$ 、 $Corp_4$  和  $Corp_5$ 。QFD 团队对本企业及其竞争对手的产品关于每项工程特性进行严格的测试,建立了一个本企业及其竞争对手产品的各项工程特性表现的竞争性评价矩阵。根据这些数据,QFD 团队建立了全自动洗衣机的质量屋(图 1)。

#### 5.2 确定基于竞争性的工程特性重要度

如图 1 所示,  $EC_1$  和  $EC_4$  是效益性指标,  $EC_2$ 、 $EC_3$  和  $EC_5$  是成本型指标。因此,对于 5 个企业所生产的产品,  $EC_1$  和  $EC_4$  的规范化数值可利用式(4)的第一式得到,  $EC_2$ 、 $EC_3$  和  $EC_5$  的规范化数值可利用式(4)的第二式得到。5 个企业所生产产品的规范化的工程特性竞争性评价如表 1 所示。

事实上,QFD 团队中每一个成员对本企业及其竞争对手的产品存在不同的偏好。QFD 团队中某一个成员  $Memb_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 11$ ) 根据利用 1-3-5-7-9 的互反标度对所有竞争性评价  $X_i$  进行两两比较,并构造互反判断矩阵  $\mathbf{RCE}^k = [prce_{ip}^k]_{N \times N}$ 。对应于这 11 个顾客,一共得到一一对应的 11 个互反判断矩阵  $\mathbf{RCE}^1, \mathbf{RCE}^2, \dots, \mathbf{RCE}^{11}$ 。

自相关矩阵	工程特性	$EC_1$	$EC_2$	$EC_3$	$EC_4$	$EC_5$	
	$EC_1$	1.00	-0.20	-0.14	0.10	0	
	$EC_2$	-0.25	1.00	0	0	0	
	$EC_3$	-0.08	0	1.00	-0.26	0	
	$EC_4$	0.15	0	-0.31	1.00	0	
	$EC_5$	0	0	0	0	1.00	
顾客需求	顾客需求的最终重要度	关联关系矩阵					
	$CR_1$	0.25	0.36	-0.22	-0.13	0.29	0
	$CR_2$	0.16	-0.35	0	0.53	-0.12	0
	$CR_3$	0.18	-0.30	0	-0.08	-0.14	0.47
	$CR_4$	0.24	0.33	-0.10	-0.07	0.50	0
	$CR_5$	0.17	-0.15	0.44	-0.09	-0.25	0.07
		规范化的基于顾客满意的工程特性重要度					
		0.385	0.171	0.122	0.227	0.095	
工程特性的竞争性评价							
		$EC_1$ (%)	$EC_2$ (%)	$EC_3$ (min)	$EC_4$ (%)	$EC_5$ (dB)	
$Corp_1$		96.7	2.9	40.1	97.0	21.7	
$Corp_2$		96.2	3.9	35.1	97.5	18.8	
$Corp_3$		98.1	3.7	34.8	98.5	33.5	
$Corp_4$		95.8	4.5	42.8	99.0	20.8	
$Corp_5$		97.0	4.1	37.6	97.6	25.5	
$l_j^{min}$		95.0	2.0	30.0	95.5	17.5	
$l_j^{max}$		99.0	5.0	50.0	99.5	37.5	

图 1 全自动洗衣机的质量屋

表 1 规范化的工程特性竞争性评价

	$EC_1$	$EC_2$	$EC_3$	$EC_4$	$EC_5$
$gce_{1j}^{ec}$	0.42	0.70	0.49	0.38	0.79
$gce_{2j}^{ec}$	0.30	0.37	0.75	0.50	0.94
$gce_{3j}^{ec}$	0.78	0.43	0.76	0.75	0.20
$gce_{4j}^{ec}$	0.20	0.17	0.36	0.88	0.84
$gce_{5j}^{ec}$	0.50	0.30	0.62	0.53	0.60

下面仅给出对应于成员  $Memb_1$  的基于竞争性的各项工程特性的重要度  $IR_1^{comp}$  确定过程。对于  $Memb_1$ , 要求其利用 1-3-5-7-9 的互反标度对本企业及其竞争对手的产品进行两两比较, 并给出互反判断矩阵

$$RCE^1 = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 2 & 6 & 3 \\ 1/7 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1/5 \\ 1/2 & 3 & 1 & 2 & 2 \\ 1/6 & 2 & 1/2 & 1 & 1/4 \\ 1/3 & 5 & 1/2 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

利用式(13) 计算得到对应于成员  $Memb_1$  的基于竞争性的各项工程特性的重要度

$$IR_1^{comp} = (i_{11}^{comp}, i_{12}^{comp}, i_{13}^{comp}, i_{14}^{comp}, i_{15}^{comp}) = (0.173, 0.228, 0.107, 0.326, 0.156)$$

依照相同的方法, 可得到对应于其他 10 个成员的基于竞争性的各项工程特性的重要度  $IR_k^{comp}$  ( $k=2, 3, \dots, 11$ ), 其处理过程省略, 其结果见表 2。

表 2 相应于 11 个成员的基于竞争性的工程特性重要度

	$EC_1$	$EC_2$	$EC_3$	$EC_4$	$EC_5$
$IR_1^{comp}$	0.173	0.228	0.107	0.336	0.156
$IR_2^{comp}$	0.185	0.212	0.105	0.323	0.175
$IR_3^{comp}$	0.167	0.216	0.121	0.340	0.156
$IR_4^{comp}$	0.188	0.234	0.119	0.281	0.178
$IR_5^{comp}$	0.178	0.224	0.083	0.370	0.145
$IR_6^{comp}$	0.169	0.241	0.095	0.332	0.163
$IR_7^{comp}$	0.192	0.213	0.088	0.365	0.142
$IR_8^{comp}$	0.184	0.214	0.108	0.339	0.155
$IR_9^{comp}$	0.176	0.234	0.119	0.303	0.168
$IR_{10}^{comp}$	0.187	0.238	0.111	0.319	0.145
$IR_{11}^{comp}$	0.191	0.221	0.103	0.329	0.156

利用层次分析法和诹对比较法, 确定对应于  $Memb_k$  的基于竞争性的工程特性重要度的相对重要性:

$$\omega_1^{icomp} = \omega_8^{icomp} = \omega_9^{icomp} = \omega_{10}^{icomp} = \omega_{11}^{icomp} = 0.08$$

$$\omega_2^{icomp} = \omega_3^{icomp} = \omega_4^{icomp} = \omega_5^{icomp} = \omega_6^{icomp} = \omega_7^{icomp} = 0.10$$

根据式(14), 将基于竞争性的各项工程特性重要度确定为

$$IR^{comp} = (i_{r_1}^{comp}, i_{r_2}^{comp}, i_{r_3}^{comp}, i_{r_4}^{comp}, i_{r_5}^{comp}) = (0.181, 0.224, 0.106, 0.331, 0.158)$$

### 5.3 确定实现工程特性表现的改进目标的重要度

(1) QFD 团队根据资源状况、技术可行性和改进产品的意愿确定本企业产品中各项工程特性表现的改进目标, 它们反映的是改进后的产品在各项工程特性表现的改进目标。对其进行规范化处理后, 根据式(15) 将 5 项工程特性表现的改进比率确定为

$$IMR = (imr_1, imr_2, imr_3, imr_4, imr_5) = (1.786, 1.000, 1.667, 1.864, 1.051)$$

(2) QFD 团队利用头脑风暴法确定洗衣机质量改进项目的关键投入为: 协作商的竞争力、产品的改进时间、财务支持和后勤支持, 并利用层次分析法确定这些投入的相对重要性。采用比例标度法确定实现每项工程特性表现的改进目标所要求的各项投入大小, 利用诹对比较法确定各项投入的相对重要性。基于加权的形式, 确定实现五项工程特性表现的改进目标所要求的总投入。

(3) QFD 团队确定该改进项目所引起的除顾客满意之外的主要产出如下: 企业收益的增加、可靠性的提高和利益相关者的收益增加, 利用诹对比较法来确定这些产出的相对重要性。采用比例标度法确定实现每项工程特性表现的改进目标所引起的除顾客满意之外的三项主要产出大小, 基于加权的形式, 确定实现五项工程特性表现的改进目标所引起的除顾客满意之外的总产出。

(4) 为了准确地确定各项实现工程特性表现

的改进目标的总可行性,首先利用比例标度法确定实现工程特性表现的改进比率所需要的各种投入的可行性。利用“加权和”的形式,确定各项实现工程特性表现的改进目标的总可行性。

(5) 利用式(16),将实现各项工程特性表现的改进目标的重要度确定为

$$IR^{alt} = (ir_1^{alt}, ir_2^{alt}, ir_3^{alt}, ir_4^{alt}, ir_5^{alt}) = (0.195, 0.227, 0.164, 0.146, 0.268)$$

### 5.4 确定工程特性的最终重要度

利用捉对比较法,确定基于顾客满意的工程特性重要度、基于竞争性的工程特性重要度和实现工程特性表现的改进目标的重要度等因素的相对重要性(表3)。

表3 工程特性最终重要度的影响因素的相对重要性

	基于顾客满意的工程特性重要度	基于竞争性的工程特性重要度	实现工程特性表现的改进目标的重要度
相对重要性	0.465	0.346	0.189

根据式(17),将各项工程特性的最终重要度确定为

$$FIR^{ec} = (fir_1^{ec}, fir_2^{ec}, fir_3^{ec}, fir_4^{ec}, fir_5^{ec}) = (0.278, 0.199, 0.126, 0.248, 0.149)$$

为了本企业产品在竞争性的相关市场中能够获得成功,QFD团队必须给予那些拥有更大的最终重要度的工程特性更多的关注和资源,并且工程特性的最终重要度将被转移到对部件特性的要求上。

## 6 结论

产品规划质量屋中工程特性最终重要度的确定是质量屋应用于产品改进的一个基本问题。为了以一种高效和经济的方式实现工程特性的改进,本文提出了工程特性最终重要度确定的集成方法。首先根据本企业及其竞争对手产品的互补判断矩阵评价和各项工程特性表现的竞争性评价,利用多属性决策方法建立了基于竞争性的工程特性重要度确定的优化模型,并通过拉格朗日函数求解了优化模型;对基于顾客满意的工程特性重要度、基于竞争性的工程特性重要度和实现工程特性表现的改进目标的重要度进行合成以确定工程特性的最终重要度。所提方法应用于某企业的全自动洗衣机的产品设计中,由于这种方法准确地确定了工程特性的最终重要度、有效地缩短了工程特性改进的时间和降低了工程特性改进的成本和难度,从而使该企业能够以一种高效和经济的方式实现其产品改进设计,并最终较大程度上提高了其改进产品的市场竞争力。

### 参考文献:

- [1] Akao Y, Mazur G H. The Leading Edge in QFD: Past, Present, and Future[J]. International Journal of Quality & Reliability Management, 2003, 20(1): 20-35.
- [2] 徐宣国,李向阳,李辉,等. 基于资源观的虚拟企业组建决策支持系统的构架[J]. 中国机械工程, 2007, 18(11): 1312-1316.
- [3] 王美清,唐晓青. 一种面向产品规划过程的组合质量屋[J]. 北京航空航天大学学报, 2004, 30(7): 652-656.
- [4] Takai S, Ishii K. Integrating Target Costing into Perception-based Concept Evaluation of Complex and Large-scale Systems Using Simultaneously Decomposed QFD[J]. Transaction of the ASME, 2006, 128(11): 1186-1195.
- [5] 林志航,车阿大. 质量功能配置研究现状及进展——兼谈对我国QFD研究与应用的看法[J]. 机械科学与技术, 1998, 17(1): 119-121, 144.
- [6] 车阿大,杨明顺. 质量功能配置理论及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2008.
- [7] 杨明顺,林志航. QFD中顾客需求重要度确定的一种方法[J]. 管理科学学报, 2003, 6(5): 65-71.
- [8] Leary M, Burvill C. Enhancing the Quality Function Deployment Conceptual Design Tool[J]. Journal of Mechanical Design in the ASME, 2007, 127(7): 701-707.
- [9] 李延来,唐加福,姚建明,等. 质量屋中顾客需求改进重要度的确定方法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(11): 110-118.
- [10] Sakao T. QFD-centred Design Methodology for Environmentally Conscious Product Design[J]. International Journal Production Research, 2007, 45(21): 4143-4162.
- [11] Chan L K, Wu M L. Prioritizing the Technical Measures in Quality Function Deployment[J]. Quality Engineering, 1998, 10(3): 467-479.
- [12] Chan L K, Wu M L. Quality Function Deployment: a Comprehensive Review of Its Concepts and Methods[J]. Quality Engineering, 2002, 15(1): 23-35.
- [13] Chan L K, Wu M L. A Systematic Approach to Quality Function Deployment with a Full Illustrative Example[J]. Omega, 2005, 33(1): 119-139.
- [14] Chan T K, Raghavan V. Incorporating Concepts of Business Priority into Quality Function Deployment[J]. International Journal of Innovation Management, 2004, 8(1): 21-35.

(下转第 2386 页)

时间最短,计算效率十分高。体单元模型的计算耗时最长,可以预见如果扩展到完整三维零件,模型网格数量将十分巨大,所需时间更为冗长。使用壳单元模型计算时间居中,能够接受。

表5 不同三维模型计算时间

模型	不考虑橡皮垫的模型	体单元模型	壳单元模型
时间 $t$ (h)	1/3	9	2

## 5 结论

(1)橡皮成形中橡胶介质的摩擦作用能一定程度减小回弹,这使得橡皮弯边过程有别于其他弯曲过程。

(2)在橡皮成形回弹预测中,使用壳单元或体单元来描述橡皮垫的变形,均能获得较准确的计算结果。不考虑橡皮垫影响的数值模型则误差较大。

(3)综合计算效率与计算精度两方面,橡皮垫简化为壳单元,是解决复杂橡皮成形件数值模拟比较理想的方法。

## 参考文献:

- [1] 航空制造工程手册总编委员会. 飞机钣金工艺[M]. 北京:航空工业出版社,1992.
- [2] Sala G. A Numerical and Experimental Approach to Optimise Sheet Stamping Technologies: Part II - Aluminium Alloys Rubber-forming[J]. Materials & Design, 2001, 22(4): 299-315.
- [3] Dirikolu M H, Akdemir E. Computer Aided Modelling of Flexible Forming Process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 148(3): 376-381.
- [4] Palaniswamy H, Ngaile G, Altan T. Optimization of Blank Dimensions to Reduce Springback in the Flexforming Process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 146(1): 28-34.
- [5] 陈磊,白颖,邱超斌. 铝合金板料橡皮成形数值模拟研究[J]. 航空科学技术, 2007(6): 32-35.
- [6] 胡世光,陈鹤峥. 板料冷压成形的工程解析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.

(编辑 王艳丽)

(上接第2367页)

- [15] 李延来,唐加福,姚建明,等. 质量屋中工程特性改进重要度的确定方法[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(7): 1381-1387, 1394.
- [16] Karsak E E. Robot Selection Using an Integrated Approach Based on Quality Function Deployment and Fuzzy Regression [J]. International Journal of Production Research, 2008, 46(3): 723-738.
- [17] 李延来,唐加福,姚建明,等. 质量功能展开中工程特性确定的粗糙集方法[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(2): 386-392.
- [18] Tang J F, Fung R Y K, Xu B. A New Approach to Quality Function Deployment Planning with Financial Consideration[J]. Computer and Operation Research, 2002, 29(11): 1447-1463.
- [19] 杨明顺,林志航. 具有离散和连续型技术特征的质量屋优化模型[J]. 机械工程学报, 2004, 40(3): 110-114.
- [20] 徐玖平,吴巍. 多属性决策的理论与方法[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [21] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [22] Sireli Y, Kauffmann P, Ozan E. Integration of Kano's Model into QFD for Multiple Product Design [J]. IEEE Transaction on Engineering Management, 2007, 54(2): 380-390.
- [23] 李延来,唐加福,姚建明,等. 质量功能展开中选择工程特性的多目标决策方法[J]. 计算机集成制造系统 2008, 14(7): 1363-1369.
- [24] Ramanathan R, Jiang Y F. Incorporating Cost and Environmental Factors in Quality Function Deployment Using Data Envelopment Analysis[J]. Omega, 2009, 37(2): 711-723.
- [25] 古莹奎,黄洪钟,孙占全. 质量屋在产品生命周期设计中的应用[J]. 中国机械工程, 2003, 14(24): 2134-2137.
- [26] 崔勇,孙枫. 基于模糊群决策的质量屋方案选择模型[J]. 中国机械工程, 2007, 18(7): 807-811.
- [27] Zhai L Y, Khoo L P, Zhong Z W. A Rough Set Enhanced Fuzzy Approach to Quality Function Deployment [J]. International Journal of Advance Manufacturing Technology, 2008, 37(3): 613-624.

(编辑 苏卫国)

作者简介:杨伟俊,男,1983年生。北京航空航天大学机械工程及自动化学院博士研究生。主要研究方向为板材成形工艺及数值模拟。发表论文2篇。李东升,男,1965年生。北京航空航天大学机械工程及自动化学院教授、博士研究生导师。李小强,男,1979年生。北京航空航天大学机械工程及自动化学院博士后研究人员。

作者简介:李延来,男,1971年生。东北大学流程工业综合自动化教育部重点实验室博士后研究人员。主要研究方向为产品研发、质量工程和运作管理等。雒兴刚,男,1971年生。东北大学流程工业综合自动化教育部重点实验室副教授。姚建明,男,1974年生。中国人民大学商学院讲师。焦明海,男,1973年生。东北大学信息科学与工程学院讲师。