

文章编号:1006-5911(2012)10-2245-08

考虑竞争性分析的产品改进质量屋中技术特性 最终优先度确定方法

余绍忠,陈姣,王晓瞰⁺

(浙江大学 管理学院,浙江 杭州 310058)

摘要:为充分而合理地考虑质量屋中的技术竞争性评估信息,进而恰当地确定技术特性的最终优先度,提出一种基于不确定语言信息的技术特性最终优先度确定方法。用非平衡不确定语言信息来表征专家给出的技术竞争性评价信息,并建立了基于竞争性评价的技术竞争优先度确定的优化模型,通过构造拉格朗日函数求解该模型;基于不确定语言信息决策理论,对实现技术特性竞争表现的改进目标进行定性和定量分析,并确定实现技术特性竞争表现改进目标的优先度;采用层次分析法对技术特性的基本优先度、规范化的技术竞争优先度和实现技术特性竞争表现改进目标的优先度进行合成,确定了技术特性的最终优先度。通过某新车型的大灯开发实例验证了所提方法的可行性和有效性。

关键词:质量功能展开;不确定语言变量;非平衡语言标度;技术特性;优先度;产品开发

中图分类号:F273.2 **文献标志码:**A

Final priority determining method of technical characteristics considering competitive analysis in house of quality for product improvement

YU Shao-zhong, CHEN Jiao, WANG Xiao-tun⁺

(School of Management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: To fully and reasonably consider competitive information of Technical Characteristics (TCs) in House Of Quality (HOQ), and properly determine the final priority of TCs, an integrated methodology for determining the final priority of TCs based on uncertain linguistic information was proposed. The unbalanced uncertain linguistic variables was used to represent technology competitive evaluation given by experts, and a optimization model for determining technology competitive priority of TCs was built, and this model was solved by utilizing Lagrange function. Based on uncertain linguistic information decision theory, the Improvement Goal of Competitive Performances (IGCP) to realize TC was analyzed in qualitative and quantitative way. Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to synthesize the Basic Priority Ratings (BPR) of TCs, the Normalized Technology Competitive Priority (NTCP) of TCs and the priority ratings of achieving the IGCP, and therefore the Normalized Priority Ratings (NPR) of TCs was determined. A new car headlight development was taken as an example to show the feasibility and effectiveness of proposed method.

Key words: quality function deployment; uncertain linguistic variables; unbalanced linguistic label sets; technical characteristics; priority; product development

0 引言

质量功能展开(Quality Function Deployment,

QFD)是顾客驱动的产品设计方法,它将顾客需求转换为产品设计开发过程的一系列技术规范,以需求为依据,确保在产品的研发、设计和制造等过程听

收稿日期:2011-08-22;修订日期:2011-11-26。Received 22 Aug. 2011; accepted 26 Nov. 2011.

基金项目:浙江省哲学社会科学规划资助项目(10CGGL20YBB)。Foundation item: Project supported by the Zhejiang Provincial Social Science Planning, China (No. 10CGGL20YBB).

到“顾客之声”,在开发初期就对产品的质量预先实施全方位保证,是系统工程思想在新产品开发和改进过程中的具体体现^[1-3]。大量实践表明,QFD能够在一定程度上缩短产品的研发周期,降低开发成本、增强内部沟通、提升产品质量、提高顾客满意度,并最终提升企业绩效^[2]。QFD的成功实施有赖于质量屋(House of Quality, HOQ)这一核心工具,而在HOQ的构建过程中,技术特性(Technical Characteristics, TCs)最终优先度的确定是关键步骤,也是HOQ最重要的输出。TCs最终优先度的确定对于HOQ的优化和后续的配置决策意义重大。基于TCs最终优先度,企业可以有的放矢地设计使顾客满意且赢得竞争优势的改进型产品。

TCs最终优先度的确定一般分为如下3个步骤^[3-6]:①根据顾客需求(Customer Requirements, CRs)最终重要度、CRs-TCs关联关系以及TCs之间的自相关关系,确定TCs的基本优先度;②根据技术竞争性分析(考虑企业的竞争表现、技术可行性与实现成本等因素)的结果对TCs基本优先度进行适当修正;③通过TCs基本优先度与技术竞争性信息的融合获得TCs最终优先度。

实际上,产品开发的早期阶段可以得到的数据和信息较为有限,且这些数据和信息多为模糊、不准确和不确定的;另一方面,限于时间和成本,设计人员很难对所有竞争性商品展开试验,以确定竞争产品的技术表现,因此QFD中的技术竞争性分析一直是其应用的难点之一^[7]。当前许多研究几乎没有考虑技术竞争性分析对TCs优先度的影响^[8-10],另有研究则引入信息论中信息熵的概念来分析本企业及其竞争对手产品的技术表现^[3]。但用信息熵处理时,所使用的对数函数误差较大,所得结果的准确性较低。

近年来,基于平衡记分卡的理念,有学者提出基于平衡记分卡的TCs最终优先度确定方法^[11]。该研究认为,HOQ中TCs最终优先度的确定不能仅考察TCs基本优先度,还必须重视对技术竞争性信息的挖掘,并掌握影响企业业绩的其他因素,包括财务业绩、员工的能力和积极性、优良的内部经营和创新过程等。该方法需要确定为实现TCs表现的改进目标所引致的决定总财务业绩的各种指标大小及其指标权重,确定实现TCs表现的改进目标所要求的内部经营中具体支持的种类数、业绩及其权重,确定为实现TCs表现的改进目标所要求的学习和成

长中各种具体方面的类数、投资量及其权重,进而线性合成得到TCs最终优先度。然而由于产品开发的模糊前端问题,要在早期设计阶段就确定如此众多的因素种类、大小及各因素权重,即使可能,也是十分困难的。其本意在于充分挖掘专家知识和经验以修正TCs基本优先度,然而产品开发时的不确定因素太多,要求专家提供如此繁多和复杂的信息比较困难,而且考虑过多的因素来修正TCs优先度,也难以保证结果的准确性和可信性。

通过上述分析可知,当前研究所探讨的TCs最终优先度确定方法,或者没有充分利用技术竞争性评估信息,也没有准确反映企业改进产品的意愿和企业自身的实力,或者试图考虑过多的因素,使得处理难度加大,可行性降低。因此,本研究将主要考虑技术竞争性分析情况及实现技术改进目标的可行性等关键因素,并基于不确定语言信息决策理论,以一种高效而合理的方式来确定TCs的最终优先度。

1 预备知识

由于客观事物的复杂性和不确定性以及人类思维的模糊性,产品开发决策者难以用精确数值给出评判,往往直接用语言信息的形式反映其自身的偏好^[12-18]。直接用语言变量^[13]表征QFD中主观而不确定的信息既能合理地体现判断的模糊性,又能充分地利用决策信息。需要注意的是,语言评估标度是语言决策的基础。考虑到非平衡语言评估标度在达成群体一致性意见方面的优势^[16],本文采用文献^[16]给出的以零为中心对称、术语个数为奇数的非平衡语言评估标度集(Unbalanced Linguistic Label Sets, ULLS)进行研究:

$$S^{(k)} = \left\{ s_{\alpha}^{(k)} \mid \alpha = 1 - k, \frac{2}{3}(2 - k), \frac{2}{4}(3 - k), \dots, 0, \dots, \frac{2}{4}(k - 3), \frac{2}{3}(k - 2), k - 1 \right\}. \quad (1)$$

式中: $s_{\alpha}^{(k)}$ 表示语言术语, $s_{1-k}^{(k)}$ 和 $s_{k-1}^{(k)}$ 分别表示决策者实际使用的语言术语的下限和上限, k 为正整数,语言术语集的势为 $2k-1$,且 $S^{(k)}$ 满足下列条件:

- (1)若 $\alpha > \beta$,则 $s_{\alpha}^{(k)} > s_{\beta}^{(k)}$;
- (2)存在负算子 $\text{neg}(s_{\alpha}^{(k)}) = s_{-\alpha}^{(k)}$, $\text{neg}(s_0^{(k)}) = s_0^{(k)}$ 。

为便于计算和避免决策信息丢失,在离散语言标度集 $S^{(k)}$ 的基础上定义一个拓展的连续性语言标度集 $\bar{S}^{(k)} = \{s_{\alpha}^{(k)} \mid \alpha \in [-t, t]\}$,其中 $t(t \geq k)$ 是一个充分大的自然数。若 $s_{\alpha}^{(k)} \in S^{(k)}$,则称 $s_{\alpha}^{(k)}$ 为本原术

语;若 $s_a^{(k)} \in \bar{S}^{(k)}$, 且 $s_a^{(k)} \notin S^{(k)}$, 则称 $s_a^{(k)}$ 为虚拟术语。一般地, 虚拟术语仅出现在计算中。

定义 1 定义 $\tilde{s}^{(k)} = [s_a^{(k)}, s_\beta^{(k)}]$, 其中 $s_a^{(k)}, s_\beta^{(k)} \in \bar{S}^{(k)}$, $s_a^{(k)}$ 和 $s_\beta^{(k)}$ 分别为上下限, 则称 $\tilde{s}^{(k)}$ 为不确定语言变量。定义 $\tilde{S}^{(k)}$ 为所有不确定语言变量的集合^[15]。

定义 2 对于任意两个不确定语言变量 $\tilde{s}_1^{(k)} = [s_{\alpha_1}^{(k)}, s_{\beta_1}^{(k)}]$, $\tilde{s}_2^{(k)} = [s_{\alpha_2}^{(k)}, s_{\beta_2}^{(k)}] \in \tilde{S}^{(k)}$, $\lambda \in [0, 1]$, 其运算法则定义如下^[15]:

$$(1) \tilde{s}_1^{(k)} \oplus \tilde{s}_2^{(k)} = [s_{\alpha_1}^{(k)}, s_{\beta_1}^{(k)}] \oplus [s_{\alpha_2}^{(k)}, s_{\beta_2}^{(k)}] = [s_{\alpha_1 + \alpha_2}^{(k)}, s_{\beta_1 + \beta_2}^{(k)}];$$

$$(2) \lambda \tilde{s}_1^{(k)} = [\lambda s_{\alpha_1}^{(k)}, \lambda s_{\beta_1}^{(k)}] = [s_{\lambda \alpha_1}^{(k)}, s_{\lambda \beta_1}^{(k)}]。$$

定义 3 设 $\tilde{s}_1^{(k)} = [s_{\alpha_1}^{(k)}, s_{\beta_1}^{(k)}]$, $\tilde{s}_2^{(k)} = [s_{\alpha_2}^{(k)}, s_{\beta_2}^{(k)}] \in \tilde{S}^{(k)}$ 为任意两个不确定语言变量, 则称

$$d(\tilde{s}_1^{(k)}, \tilde{s}_2^{(k)}) = \frac{1}{2(2k-1)} (|\alpha_1 - \alpha_2| + |\beta_1 - \beta_2|) \quad (2)$$

为不确定语言变量 $\tilde{s}_1^{(k)} = [s_{\alpha_1}^{(k)}, s_{\beta_1}^{(k)}]$ 和 $\tilde{s}_2^{(k)} = [s_{\alpha_2}^{(k)}, s_{\beta_2}^{(k)}]$ 之间的分离度。其中 $(2k-1)$ 是语言评估标度集的势^[15]。

定义 4 设 $\tilde{s}_1^{(k)} = [s_{\alpha_1}^{(k)}, s_{\beta_1}^{(k)}]$, $\tilde{s}_2^{(k)} = [s_{\alpha_2}^{(k)}, s_{\beta_2}^{(k)}] \in \tilde{S}^{(k)}$ 是任意两个不确定语言变量, 为对其进行比较和排序, 定义不确定语言变量 $\tilde{s}_1^{(k)} \geq \tilde{s}_2^{(k)}$ 的可能度公式为^[15-16]

$$p(\tilde{s}_1^{(k)} \geq \tilde{s}_2^{(k)}) = \min \left\{ \max \left(\frac{\beta_1 - \alpha_2}{\text{len}(\tilde{s}_1^{(k)}) + \text{len}(\tilde{s}_2^{(k)})}, 0 \right), 1 \right\}。 \quad (3)$$

其中 $\text{len}(\tilde{s}_1^{(k)}) = \beta_1 - \alpha_1$ 和 $\text{len}(\tilde{s}_2^{(k)}) = \beta_2 - \alpha_2$ 为两个不确定语言变量的长度。可能度 $p(\tilde{s}_1 \geq \tilde{s}_2)$ 满足下列特性:

$$0 \leq p(\tilde{s}_1^{(k)} \geq \tilde{s}_2^{(k)}) \leq 1,$$

$$p(\tilde{s}_1^{(k)} \geq \tilde{s}_2^{(k)}) + p(\tilde{s}_2^{(k)} \geq \tilde{s}_1^{(k)}) = 1,$$

$$p(\tilde{s}_1^{(k)} \geq \tilde{s}_1^{(k)}) = p(\tilde{s}_2^{(k)} \geq \tilde{s}_2^{(k)}) = 0.5。$$

定义 5 设 $(\tilde{s}_1^{(k)}, \tilde{s}_2^{(k)}, \dots, \tilde{s}_n^{(k)})$ 为一组不确定语言变量, 其中 $\tilde{s}_i^{(k)} \in \tilde{S}^{(k)}$ ($i=1, 2, \dots, n$), 则定义不确定语言变量的均值为

$$\tilde{s}_\mu^{(k)} = \frac{1}{n} (\tilde{s}_1^{(k)} \oplus \tilde{s}_2^{(k)} \oplus \dots \oplus \tilde{s}_n^{(k)})。 \quad (4)$$

定义 6 设 ULWA: $(\tilde{S}^{(k)})^n \rightarrow \tilde{S}^{(k)}$, 若

$$\text{ULWA}_w(\tilde{s}_1^{(k)}, \tilde{s}_2^{(k)}, \dots, \tilde{s}_n^{(k)}) = \omega_1(\tilde{s}_1^{(k)}) \oplus \omega_2(\tilde{s}_2^{(k)}) \oplus \dots \oplus \omega_n(\tilde{s}_n^{(k)}), \quad (5)$$

其中 $w = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 为不确定语言变量组 \tilde{s}_i ($i=1, 2, \dots, n$) 的指数加权向量, 且 $\omega_j \in [0, 1]$,

$\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$, 则称函数 ULWA 为 n 维不确定语言加权平均算子^[15]。

2 基于不确定语言信息的 TCs 最终优先度确定

2.1 基于不确定语言信息的技术竞争优先度确定

在技术特性基本优先度的确定方面, 目前的研究已经较为成熟^[3, 6, 11]。因此, 本文将研究重点放在 TCs 技术竞争优先度等的确定上。实际上, 技术竞争性分析往往比单纯的 CRs 重要度评判或 CRs-TCs 关联关系的确定更困难, 因为这需要专家能够准确判断对市场上多种竞争性产品的性能或参数。而现实中由于商业秘密或试验成本的问题, 一般厂商很难获得竞争对手准确而详细的技术信息^[19]。传统文献^[3]在技术竞争性分析时常用 1~5 的数字标度来进行评估, 其准确性难以保证。此外, 现有文献几乎都没有考虑参与技术竞争性评估的决策者权重。因此, 为了充分反映产品开发专家在技术竞争性分析时的模糊和不确定性, 本研究采用不确定语言变量来表征专家对本企业和竞争对手产品的竞争性评估信息, 并充分考虑决策者自身的权重。

在技术竞争性分析时, 设 QFD 团队的专家 EP_l ($l=1, 2, \dots, t$) 对所选定的竞争对手产品的技术实力进行评估。令 $u = (u_1, u_2, \dots, u_t)$ 为专家的权重向量, 其中 $u_l \in [0, 1]$ ($l=1, 2, \dots, t$), 且 $\sum_{l=1}^t u_l = 1$ 。为简便起见, 各专家的初始权重可由直观的投票表法求得^[20]。记本企业为 ENT_1 , 通过市场调查将生产同类产品的 $N-1$ 个竞争企业记为 $(ENT_2, ENT_3, \dots, ENT_n)$ 。

产品开发专家 EP_l ($l=1, 2, \dots, t$) 利用不确定语言变量 $\tilde{s}_a^{(k)} \in \tilde{S}^{(k)}$, 对本企业和竞争对手 ENT_i ($i=1, 2, \dots, n$) 所生产的同类产品的 s 项技术特性 TC_j ($j=1, 2, \dots, s$) 的竞争性表现进行评估, 并给出其语言评估值 $\tilde{r}_{ji}^{(l)} \in \tilde{S}^{(k)}$, 其中 $\tilde{r}_{ji}^{(l)}$ 以不确定语言变量的形式存在。因此, EP_l 给出的评估值构成了技术竞争性评价矩阵 $\tilde{r} = (\tilde{r}_{ji}^{(l)})_{s \times n}$ 。

专家 EP_l ($l=1, 2, \dots, t$) 给出的本企业 ENT_1 产品的技术竞争力评估值可记为

$$\tilde{Y}_1 = (\tilde{r}_{11}^{(l)}, \tilde{r}_{21}^{(l)}, \dots, \tilde{r}_{j1}^{(l)}, \dots, \tilde{r}_{s1}^{(l)})。 \quad (6)$$

则生产同类产品的竞争企业 ENT_i ($i=1, 2, \dots, n$) 产品的技术竞争力评估值可表示为

$$\tilde{Y}_i = (\tilde{r}_{1i}^{(D)}, \tilde{r}_{2i}^{(D)}, \dots, \tilde{r}_{ji}^{(D)}, \dots, \tilde{r}_{si}^{(D)}), i = 2, 3, \dots, n. \quad (7)$$

借鉴信息论对方案属性的权重赋值规则^[21], 本文用平均差法来度量技术竞争性评估值的差异。在 QFD 的技术竞争性分析时, 如果对于技术特性 TC_j , 所有企业产品的技术竞争性评价价值差异不大, 则说明该技术特性对产品整体的竞争性评价所起的作用较小, 而且要进一步改进 TC_j 也将更加困难, 因此应该赋以较低的技术竞争优先度 (Technical Competition Priority, TCP), 记为 tcp_j ; 反之, 如果对于技术特性 TC_j , 所有企业产品的技术竞争性评价价值的差异很明显, 则说明其对产品整体的竞争性评价有重要作用, 同时进一步改进 TC_j 的可能性也较大, 因此要对 TC_j 赋以较高的竞争优先度。特别地, 如果所有企业的产品在 TC_j 上的竞争评价价值都一样, 即偏差值为 0, 则说明进一步改进的难度很大, 应给其赋以最低的竞争优先度。

记 TCs 的技术竞争优先度 $TCP = (tcp_1, tcp_2, \dots, tcp_s)$ 。对于专家 EP_l 和技术特性 TC_j , 技术竞争性评估向量 \tilde{Y}_i 与所有其他向量的平均偏差可表示为 $S_j^{(D)}(TCP)$,

$$S_j^{(D)}(TCP) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\| \tilde{r}_{ji}^{(D)} tcp_j - \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n \tilde{r}_{jq}^{(D)} tcp_j \right\| = \frac{tcp_j}{n} \sum_{i=1}^n d(\tilde{r}_{ji}^{(D)}, \tilde{r}_j^{(D)}), j = 1, 2, \dots, s. \quad (8)$$

式中: $\tilde{r}_j^{(D)} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n \tilde{r}_{jq}^{(D)}$ 为 EP_l 关于技术特性 TC_j 所给出的技术竞争性评估均值; $d(\tilde{r}_{ji}^{(D)}, \tilde{r}_j^{(D)})$ 代表 EP_l 关于技术特性 TC_j 给出的技术竞争性评估向量 \tilde{Y}_i 的评估值 $\tilde{r}_{ji}^{(D)}$ 与技术竞争性评估均值 $\tilde{r}_j^{(D)}$ 之间的离差。因此, $S_j^{(D)}(TCP)$ 代表 EP_l 关于技术特性 TC_j 的技术竞争性评估值的平均差。

根据上述分析, 需要确定技术竞争优先度的权重向量 $tcp_j (j=1, 2, \dots, s)$, 以使对于所有 TCs 和所有专家而言, 技术竞争性评价价值的平均差最大化。为此, 构造如下优化模型:

$$(M-1) : \max F(tcp) = \sum_{l=1}^t u_l \sum_{j=1}^s S_j^{(D)}(TCP) = \sum_{l=1}^t u_l \sum_{j=1}^s tcp_j \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(\tilde{r}_{ji}^{(D)}, \tilde{r}_j^{(D)}) \right).$$

s. t. $\sum_{j=1}^s (tcp_j)^2 = 1, tcp_j \geq 0. \quad (9)$

令

$$\zeta_j^{(D)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(\tilde{r}_{ji}^{(D)}, \tilde{r}_j^{(D)}), \quad (10)$$

则上述模型可变换为 (M-2):

$$(M-2) : \max F(tcp) = \sum_{l=1}^t u_l \sum_{j=1}^s tcp_j \zeta_j^{(D)}.$$

s. t. $\sum_{j=1}^s (tcp_j)^2 = 1, tcp_j \geq 0. \quad (11)$

为求解上述模型, 构造 Lagrange 函数

$$L(TCP, \lambda) = \sum_{l=1}^t u_l \sum_{j=1}^s tcp_j \zeta_j^{(D)} + \frac{1}{2} \lambda \left(\sum_{j=1}^s (tcp_j)^2 - 1 \right). \quad (12)$$

式中 λ 为 Lagrange 乘子。对方程式 (12) 求偏导, 并令下面各等式同时成立:

$$\frac{\partial(L)}{\partial(tcp_j)} = \sum_{l=1}^t u_l \zeta_j^{(D)} + \lambda \times tcp_j = 0, \quad j = 1, 2, \dots, s; \quad (13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \frac{1}{2} \left(\sum_{j=1}^s (tcp_j)^2 - 1 \right) = 0. \quad (14)$$

则其最优解为

$$tcp_j = \frac{\sum_{l=1}^t u_l \zeta_j^{(D)}}{\sqrt{\sum_{j=1}^s \left(\sum_{l=1}^t u_l \zeta_j^{(D)} \right)^2}}, j = 1, 2, \dots, s. \quad (15)$$

从式 (15) 可知, 求得的技术竞争优先度权重向量 tcp_j 为模型 (M-2) 的唯一极大值点。

规范化 tcp_j , 得到

$$ntcp_j = \frac{tcp_j}{\sum_{j=1}^s tcp_j} = \frac{\sum_{l=1}^t u_l \zeta_j^{(D)}}{\sum_{l=1}^t u_l \sum_{j=1}^s \zeta_j^{(D)}}, j = 1, 2, \dots, s. \quad (16)$$

还原可得

$$ntcp_j = \frac{\sum_{l=1}^t u_l \sum_{i=1}^n d(\tilde{r}_{ji}^{(D)}, \tilde{r}_j^{(D)})}{\sum_{l=1}^t u_l \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^n d(\tilde{r}_{ji}^{(D)}, \tilde{r}_j^{(D)})}, j = 1, 2, \dots, s. \quad (17)$$

为简便起见, 记技术特性 TC_j 规范化的技术竞争优先度权重向量为

$$NTCP(TC_j) = (ntcp_1, ntcp_2, \dots, ntcp_j, \dots, ntcp_s). \quad (18)$$

2.2 实现技术特性竞争表现的改进目标的优先度

(1) 实现技术特性竞争表现的改进目标的优先

度概念

根据本企业 ENT_1 在技术竞争性分析中的表现,可设定本企业产品技术特性 TC_j 竞争表现的改进目标 \tilde{r}_j^{TPG} ($j=1,2,\dots,s$)。改进目标的设定需要 QFD 团队充分考虑企业自身的资源状况和技术实力,以及改进产品的意愿,要做到既合理又有竞争力。多数情况下, \tilde{r}_j^{TPG} 应该不低于专家对当前产品技术竞争表现的估计值,以展现公司改进产品和提高竞争力的意愿。考虑到产品开发时的模糊性和不确定性,TCs 竞争表现的当前评估值及目标值适用不确定语言变量的形式来表达。因此,根据不确定语言变量的分离度公式(式(2)),定义 TCs 竞争表现的改进度

$$tpid_j = \frac{d(\tilde{r}_j^{TPG}, \tilde{r}_{j1})}{\sum_{j=1}^m d(\tilde{r}_j^{TPG}, \tilde{r}_{j1})}; \quad (19)$$

$$\tilde{r}_{j1} = \sum_{l=1}^l u_l \tilde{r}_{jl}^{(l)}, j = 1, 2, \dots, s。$$

最近的研究认为,产品开发时要确定 TCs 的最终优先度,不能只考查 CRs 最终重要度和 CRs-TCs 功能关系,还需要考虑影响企业业绩的其他动因^[6,11]。在实际的产品开发中,技术专家面对一系列待改进的技术目标,一方面需要在有限资源约束下确定实现 TCs 竞争表现改进目标的优先顺序,以合理地分配资源;另一方面,上述的 $tpid_j$ 只能说明企业改进 TCs 竞争力程度的大小,而在现实中要确定实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度,不仅要考虑改进程度的大小,还需考虑改进的可行性和技术难度等综合因素。因此,本文还将重点考查以下因素:①技术竞争特性表现的改进度;②实现 TCs 表现的改进目标的可行性。这些因素都是在产品开发专家对本企业及竞争对手产品进行技术竞争性分析的基础上确定的。只有恰当地平衡上述因素以及技术竞争优先度 $NTCP(TC_j)$ 和技术特性的基本优先度 $BPR(TC_j)$,才能经济而高效地提高产品质量和顾客满意度。类似于文献[11],本文给出实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度的定义:

定义 7 实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度取决于 TCs 竞争表现的改进度和实现该改进目标的可行性两个综合因素。且有:①TCs 竞争表现改进目标的改进度越大,实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度就越大;②实现 TCs 竞争表现改进目标的

可行性越大,实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度就越大。

(2)实现技术特性竞争表现的改进目标的可行性

QFD 团队在设定好 TCs 竞争表现的改进目标后,还需衡量其实现的可行性程度。为实现成功的产品开发,QFD 团队必须预先对实现 TCs 竞争表现改进目标的可行性进行分析和评估,以降低产品开发失败的风险。为捕捉可行性评估过程的模糊性和不确定性,这里采用不确定语言变量进行描述。因此,实现 TCs 竞争表现改进目标的可行性可表示为 $\tilde{f}e_j^{TC} \in \tilde{S}^{(k)}$ 。例如,假设 QFD 团队成员选用 ULLS 集 $S^{(5)} = \{s_{-4}^{(5)} = \text{极低}, s_{-2}^{(5)} = \text{很低}, s_{-1}^{(5)} = \text{低}, s_{0.4}^{(5)} = \text{稍低}, s_0^{(5)} = \text{一般}, s_{0.4}^{(5)} = \text{稍高}, s_1^{(5)} = \text{高}, s_2^{(5)} = \text{很高}, s_4^{(5)} = \text{极高}\}$ 来评估实现 TCs 竞争表现改进目标的可行性,则可能会给出 $\tilde{f}e_1^{TC} = [s_1^{(5)}, s_4^{(5)}], \tilde{f}e_2^{TC} = [s_{0.4}^{(5)}, s_1^{(5)}]$ 之类的评估值。

进而,根据式(2)和式(3),对上述 TCs 竞争表现改进目标的可行性进行比较和排序,并将求得的排序向量归一化,即可得到 TCs 竞争表现改进目标的可行性向量

$$FE^{TC} = (fe_1^{TC}, fe_2^{TC}, \dots, fe_j^{TC}, \dots, fe_s^{TC})。 \quad (20)$$

(3)实现技术竞争表现改进目标的优先度

由上述分析,可以确定实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度。为简便起见,将实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度定义为

$$pr_j^{TPG} = tpid_j \times fe_j^{TC}。 \quad (21)$$

上述的实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度计算公式,充分反映了企业改进产品的某些或全部顾客需求的意愿和自身实力等因素。

规范化的实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度可表示为

$$npr_j^{TPG} = \frac{pr_j^{TPG}}{\sum_{j=1}^s pr_j^{TPG}}。 \quad (22)$$

进一步,可将规范化的实现 TCs 竞争表现改进目标的优先度表示为

$$NPR^{TPG} = (npr_1^{TPG}, npr_2^{TPG}, \dots, npr_j^{TPG}, \dots, npr_m^{TPG})。 \quad (23)$$

2.3 技术特性最终优先度的确定

技术特性最终优先度可通过综合 TCs 基本优先度向量 $BPR(TC_j)$ 、规范化的 TCs 技术竞争优先度 $NTCP(TC_j)$ 以及规范化的实现 TCs 竞争表现改

进目标的优先度 $NPR^{TPG}(TC_j)$ 获得。然而,上述 3 个因素之间的相对重要性也不同。为了准确确定各项顾客需求的重要度,利用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)^[22] 确定这 3 个因素的相对重要性,则 TCs 的最终优先度为

$$FPR(TC_j) = \omega_a \times BPR(TC_j) + \omega_b \times NTCP(TC_j) + \omega_c \times NPR^{TPG}(TC_j) \quad (24)$$

式中 $\omega_a + \omega_b + \omega_c = 1$, ω_a 为 $BPR(TC_j)$ 的相对重要度, ω_b 为 $NTCP(TC_j)$ 的相对重要度, ω_c 为 $NPR^{TPG}(TC_j)$ 的相对重要度。

3 实例研究

这里引用某新车型的车前大灯开发实例说明本文所提方法的应用过程。在本研究中, QFD 团队的产品开发专家确定了大灯开发的 5 项主要技术特性: ① 灯具性能 (TC_1); ② 外观造型设计 (TC_2); ③ 附加功能 (TC_3); ④ 灯具结构设计 (TC_4); ⑤ 材料 (TC_5)。邀请 3 位直接参与新车型开发, 且对同类车型都较为熟悉的产品开发专家 $EP_l (l=1, 2, 3)$ 参与技术竞争性分析过程, 专家 EP_l 的权重由投票表决法求得, 分别为 $\nu = (0.35, 0.30, 0.35)$ 。限于篇幅, 这里仅给出其中的重要结果。

3.1 技术竞争优先度的确定

由文献[11]的方法求得 5 项 TCs 的基本优先度 $BPR(TC_j) = (0.234, 0.158, 0.196, 0.211, 0.202)$ 。在竞争车型市场上, 本企业 (ENT_1) 确定了 3 家主要竞争对手, 分别记为 ENT_2, ENT_3 和 ENT_4 。本研究选择粒度最大的 $S^{(5)} = \{s_{-4}^{(5)} = \text{极差}, s_{-2}^{(5)} = \text{很差}, s_{-1}^{(5)} = \text{差}, s_{0.4}^{(5)} = \text{稍差}, s_0^{(5)} = \text{一般}, s_{0.4}^{(5)} = \text{稍好}, s_1^{(5)} = \text{好}, s_2^{(5)} = \text{很好}, s_4^{(5)} = \text{极好}\}$ 供专家分析用。继而, QFD 团队的 3 位专家 $EP_l (l=1, 2, 3)$ 利用 $S^{(5)}$ 对本企业及竞争对手的产品关于上述 5 项技术特性的竞争性表现进行评估, 共得到 3 个技术竞争性评价矩阵 $\tilde{r} = (\tilde{r}_{ji}^{(l)})_{5 \times 4} (l=1, 2, 3)$, 如表 1~表 3 所示。

表 1 产品开发专家 EP_1 给出的技术竞争性评价矩阵

	ENT_1	ENT_2	ENT_3	ENT_4
TC_1	$[s_0^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_2^{(5)}, s_1^{(5)}]$
TC_2	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_2^{(5)}, s_1^{(5)}]$
TC_3	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_2^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_0^{(5)}]$
TC_4	$[s_2^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_2^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_2^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$
TC_5	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$

表 2 产品开发专家 EP_2 给出的技术竞争性评价矩阵

	ENT_1	ENT_2	ENT_3	ENT_4
TC_1	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_2^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_1^{(5)}]$
TC_2	$[s_0^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$
TC_3	$[s_2^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$
TC_4	$[s_2^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_2^{(5)}]$
TC_5	$[s_0^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$

表 3 产品开发专家 EP_3 给出的技术竞争性评价矩阵

	ENT_1	ENT_2	ENT_3	ENT_4
TC_1	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_2^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]$
TC_2	$[s_0^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_2^{(5)}]$
TC_3	$[s_2^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_2^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$
TC_4	$[s_2^{(5)}, s_0^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$
TC_5	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_1^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_2^{(5)}]$

根据 3 位产品开发专家的权重, 用 ULWA 算子 (式 (5)) 将表 1~表 3 集结为总的技术竞争性评价矩阵, 如表 4 所示。

表 4 总的技术竞争性评价矩阵

	ENT_1	ENT_2	ENT_3	ENT_4
TC_1	$[s_{0.38}^{(5)}, s_{1.65}^{(5)}]$	$[s_{0.35}^{(5)}, s_{2.35}^{(5)}]$	$[s_{1.35}^{(5)}, s_{2.14}^{(5)}]$	$[s_{1.35}^{(5)}, s_{2.33}^{(5)}]$
TC_2	$[s_{0.02}^{(5)}, s_{0.61}^{(5)}]$	$[s_0^{(5)}, s_{0.61}^{(5)}]$	$[s_{0.47}^{(5)}, s_{1.35}^{(5)}]$	$[s_{1.14}^{(5)}, s_{2.7}^{(5)}]$
TC_3	$[s_{2.4}^{(5)}, s_{2.35}^{(5)}]$	$[s_{1.7}^{(5)}, s_{0.47}^{(5)}]$	$[s_{0.47}^{(5)}, s_{1.44}^{(5)}]$	$[s_{0.02}^{(5)}, s_{0.79}^{(5)}]$
TC_4	$[s_{1.65}^{(5)}, s_{0.61}^{(5)}]$	$[s_{0.44}^{(5)}, s_{1.65}^{(5)}]$	$[s_{1.14}^{(5)}, s_{2.35}^{(5)}]$	$[s_{0.26}^{(5)}, s_{1.33}^{(5)}]$
TC_5	$[s_{0.47}^{(5)}, s_{1.65}^{(5)}]$	$[s_{0.12}^{(5)}, s_{0.79}^{(5)}]$	$[s_{0.79}^{(5)}, s_2^{(5)}]$	$[s_{0.38}^{(5)}, s_{1.65}^{(5)}]$

首先, 利用式 (10) 求得 $\zeta_j^{(l)}$ 值为:

$$\begin{aligned} \zeta_1^{(1)} &= 0.067, \zeta_2^{(1)} = 0.100, \zeta_3^{(1)} = 0.167, \\ \zeta_4^{(1)} &= 0.138, \zeta_5^{(1)} = 0.058; \\ \zeta_1^{(2)} &= 0.076, \zeta_2^{(2)} = 0.056, \zeta_3^{(2)} = 0.114, \\ \zeta_4^{(2)} &= 0.108, \zeta_5^{(2)} = 0.038; \\ \zeta_1^{(3)} &= 0.092, \zeta_2^{(3)} = 0.033, \zeta_3^{(3)} = 0.117, \\ \zeta_4^{(3)} &= 0.063, \zeta_5^{(3)} = 0.039. \end{aligned}$$

继而, 已知专家 EP_l 的权重为 $\nu = (0.35, 0.30, 0.35)$, 可由式 (17) 求得规范化的技术竞争优先度权重向量 $NTCP(TC_j) = (ntcp_1, ntcp_2, ntcp_3, ntcp_4, ntcp_5) = (0.185, 0.150, 0.315, 0.242, 0.107)$ 。

3.2 实现技术特性竞争表现改进目标的优先度

(1) 确定技术特性竞争表现的改进度

QFD 团队根据企业的资源状况、技术能力和改进产品的意愿, 确定了大灯各项技术特性竞争表现的改进目标 $\tilde{r}_j^{TPG} = \{\tilde{r}_1^{TPG}, \tilde{r}_2^{TPG}, \tilde{r}_3^{TPG}, \tilde{r}_4^{TPG}, \tilde{r}_5^{TPG}\} =$

$\{[s_2^{(5)}, s_4^{(5)}], [s_1^{(5)}, s_2^{(5)}], [s_{-0.4}^{(5)}, s_{0.4}^{(5)}], [s_0^{(5)}, s_1^{(5)}], [s_1^{(5)}, s_4^{(5)}]\}$ 。

根据式(2),技术特性竞争表现的改进度为:

$$d(\tilde{r}_1^{TPG}, \tilde{r}_{11}) = 0.209, d(\tilde{r}_2^{TPG}, \tilde{r}_{21}) = 0.132,$$

$$d(\tilde{r}_3^{TPG}, \tilde{r}_{31}) = 0.264, d(\tilde{r}_4^{TPG}, \tilde{r}_{41}) = 0.181,$$

$$d(\tilde{r}_5^{TPG}, \tilde{r}_{51}) = 0.160。$$

根据式(19),得到规范化的技术特性竞争表现的改进度向量 $TPID = (tpid_1, tpid_2, tpid_3, tpid_4, tpid_5) = (0.221, 0.139, 0.279, 0.191, 0.169)$ 。

(2)确定实现技术特性竞争表现的改进目标的可行性

QFD 团队对本企业的资源状况、供应商能力、自身技术实力,以及技术特性改进后可能的投入产出情况等进行分析,继而给出了实现技术特性竞争表现改进目标的可行性评估值。在本研究中,专家评估的实现各项技术特性竞争表现改进目标的可行性为:

$$FE_j^{TC} = \{[s_1^{(5)}, s_4^{(5)}], [s_{-0.4}^{(5)}, s_{0.4}^{(5)}], [s_0^{(5)}, s_2^{(5)}], [s_{-1}^{(5)}, s_0^{(5)}], [s_1^{(5)}, s_2^{(5)}]\}。$$

为比较上述以不确定语言变量表示的实现技术特性竞争表现改进目标的可行性向量,根据定义 4,构造可能度矩阵

$$P = \begin{bmatrix} 0.500 & 1.000 & 0.800 & 1.000 & 0.750 \\ 0.000 & 0.500 & 0.143 & 0.778 & 0.000 \\ 0.200 & 0.857 & 0.500 & 1.000 & 0.333 \\ 0.000 & 0.000 & 0.222 & 0.500 & 1.000 \\ 0.250 & 1.000 & 0.667 & 0.000 & 0.500 \end{bmatrix}。$$

将可能度矩阵 P 的元素行加总,有

$$p_1 = 4.050, p_2 = 1.421, p_3 = 2.890,$$

$$p_4 = 1.722, p_5 = 2.417。$$

将上述值归一化,得到技术特性竞争表现改进目标的可行性向量

$$FE^{TC} = (fe_1^{TC}, fe_2^{TC}, fe_3^{TC}, fe_4^{TC}, fe_5^{TC}) = (0.324, 0.114, 0.231, 0.138, 0.193)。$$

(3)确定实现技术特性竞争表现改进目标的优先度

根据式(22)和式(23)确定实现技术特性竞争表现的改进目标的优先度向量

$$NPR^{TPG} = (npr_1^{TPG}, npr_2^{TPG}, npr_3^{TPG}, npr_4^{TPG}, npr_5^{TPG}) = (0.339, 0.075, 0.306, 0.125, 0.155)。$$

3.3 技术特性最终优先度的确定

(1)用 AHP 法确定 $BPR(TC_j)$, $NTCP(TC_j)$ 和

$NPR^{TPG}(TC_j)$ 三个因素的相对重要度

$$\omega = (\omega_a, \omega_b, \omega_c) = (0.474, 0.321, 0.205)。$$

(2)根据式(24)确定规范化的技术特性最终优先度向量 $FPR(TC_j) = (fpr_1, fpr_2, fpr_3, fpr_4, fpr_5) = (0.240, 0.138, 0.257, 0.203, 0.162)$ 。

因此,得到技术特性的最终优先排序为

$$TC_3 > TC_1 > TC_4 > TC_5 > TC_2。$$

可见, TC_3 附加功能和 TC_1 灯具性能两项技术特性对顾客满意的潜在贡献最大,应该在后续的产品开发过程中予以重点关注,投入更多资源。

相比 TC_s 基本优先度的排序 $TC_1 > TC_4 > TC_5 > TC_3 > TC_2$, 经过技术竞争性分析,以及对 TC_s 竞争表现的改进目标和改进可行性进行综合考虑后, TC_s 的优先排序得以适当调整,“附加功能”(TC_3)由第四上升到第一,说明其对顾客满意的潜在贡献最大,而且改进的机会和可行性也很高,应在新车型开发时优先保证实施。将大灯 TC_s 优先度的排序结果反馈给项目组,排序结果也得到项目组专家的认可。

4 结束语

为高效合理地获得不确定信息环境中 TC_s 的最终优先度,本文提出基于不确定语言变量的技术竞争优先度确定方法。借助近年来最新发展的语言信息决策理论,直接进行“词计算”,可以有效避免决策信息的丢失。该方法首先用不确定语言变量表征专家的判断,建立基于竞争性评价的技术竞争优先度确定的优化模型,并通过构造拉格朗日函数求解此模型,得到 TC_s 技术竞争优先度。为充分利用技术竞争性分析的结果,给出不确定信息环境下实现 TC_s 竞争表现的改进度和可行性的概念及其计算公式,进而提出实现 TC_s 竞争表现改进目标的优先度概念及其求解公式。借助 AHP 法对 TC_s 的基本优先度、规范化的技术竞争优先度和实现 TC_s 竞争表现改进目标的优先度进行合成,确定了 TC_s 的最终优先度。在某新车型的大灯设计中的实例研究表明,该方法是可行、有效的。进一步地,可将语言变量用于 QFD 中后续质量屋如技术特性—零部件质量屋的构建等过程,以更有效地利用 QFD 分析过程中的各种信息,提高决策准确性。

参考文献:

[1] CHAN L K, WU M L. Quality function deployment: a litera-

- ture review[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(3):463-497.
- [2] HOUSER J R, CLOUSING D. The house of quality[J]. *Harvard Business Review*, 1988, 66(3):63-73.
- [3] CHAN L K, WU M L. A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example[J]. *Omega*, 2005, 33(2):119-139.
- [4] TANG J F, FUNG R Y K, XU B D, et al. A new approach to quality function deployment planning with financial consideration[J]. *Computer and Operation Research*, 2002, 29(11):1447-1463.
- [5] TEMPONI C, YEN J, TIAO W A. House of quality: a fuzzy logic-based requirements analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 1999, 117(2):340-354.
- [6] LI Yanlai, TANG Jiafu, YAO Jianming, et al. Progress of researches on building house of quality[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2009, 45(2):280-293 (in Chinese). [李延来, 唐加福, 姚建明, 等. 质量屋构建的研究进展[J]. *机械工程学报*, 2009, 45(2):280-293.]
- [7] CARNEVALLI J A, MIGUEL P C. Review, analysis and classification of the literature on QFD—types of research, difficulties and benefits[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 114(2):737-754.
- [8] CHEN L H, KO W C. Fuzzy linear programming models for NPD using a four-phase QFD activity process based on the means-end chain concept[J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 201(2):619-632.
- [9] LIU C H, WU H H. A fuzzy group decision-making approach in quality function deployment [J]. *Quality and Quantity*, 2008, 42(4):527-540.
- [10] ZHANG Z F, CHU X N. Fuzzy group decision-making for multi-format and multi-granularity linguistic judgments in quality function deployment[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(5):9150-9158.
- [11] LI Yanlai, YAO Jianming, JIAO Minghai. Methodology for determining the final importance ratings of engineering characteristics in house of quality based on BSC[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2010, 46(4):177-185 (in Chinese). [李延来, 姚建明, 焦明海. 基于 BSC 的质量屋中工程特性最终重要度确定方法 [J]. *机械工程学报*, 2010, 46(4):177-185.]
- [12] WANG S Y. Constructing the complete linguistic-based and gap-oriented quality function deployment[J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(2):908-912.
- [13] ZADEH L A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning (Part I) [J]. *Information Sciences*, 1975, 8(3):199-249.
- [14] HERRERA F, MARTINEZ L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2000, 8(6):746-752.
- [15] XU Z S. Uncertain linguistic aggregation operators based approach to multiple attribute group decision making under uncertain linguistic environment [J]. *Information Sciences*, 2004, 168(1/2/3/4):171-184.
- [16] XU Z S. An interactive approach to multiple attribute group decision making with multigranular uncertain linguistic information[J]. *Group Decision and Negotiation*, 2009, 18(2):119-145.
- [17] LIU Y, FAN Z P. A method for group decision-making based on multi-granularity uncertain linguistic information[J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(5):4000-4008.
- [18] HERRERA F, HERRERA-VIDEVA E, MARTINEZ L. A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2008, 16(2):354-370.
- [19] ZHAI L Y, KHOO L P, ZHONG Z W. A rough set based QFD approach to the management of imprecise design information in product development[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2009, 23(2):222-228.
- [20] BODILY S E. A delegation process for combining individual utility functions [J]. *Management Science*, 1979, 25(10):1035-1041.
- [21] XU Y J, DA Q L. Standard and mean deviation methods for linguistic group decision making and their applications [J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(8):5905-5912.
- [22] SAATY T L. Decision-making with the AHP: why is the principal eigenvector necessary[J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 145(1):85-91.

作者简介:

- 余绍忠(1973—),男,浙江淳安人,博士研究生,研究方向:质量管理、创业与创新管理, E-mail: ajxt2917@yahoo.com.cn;
- 陈 姣(1984—),女,四川内江人,硕士研究生,研究方向:教学质量管;
- 王 晓 墩(1984—),男,甘肃天水人,博士,研究方向:质量管理,通信作者, E-mail: wxt84@163.com。