

QFD 和 AHP 相结合的产品质量多维评估模型

胡仕成¹, 徐永东²

(1. 哈尔滨工业大学(威海) 经济管理学院, 264209 山东 威海; 2. 哈尔滨工业大学(威海) 计算机科学与技术学院, 264209 山东 威海)

摘要: 产品设计是一个将用户需求自顶向下转换为各级产品性能要求的复杂过程, 在每一级设计过程中都需要对多个选项进行评估以便选择出满足性能要求的产品. 为了得到每个产品可选项较为客观的质量权值, 首先将产品设计描述为产品结构或与树模型, 基于该模型提出一种 QFD 和 AHP 相结合的产品质量多维评估模型, 通过 QFD 将用户需求转换为各级产品的质量准则, 采用 AHP 对各级产品的多个可选项的质量进行评价, 两步结果相结合计算得出产品的各个可选项相对用户需求的质量权值. 最后通过一个仿真实例对评估模型进行了验证. 仿真实例验证了所提出评估模型的可行性和有效性.

关键词: 产品设计; 质量功能配置; 层次决策方法; 产品质量评价

中图分类号: F272 文献标志码: A 文章编号: 0367-6234(2014)11-0063-07

A QFD and AHP combined multiple dimensional evaluation model for product quality

HU Shicheng¹, XU Yongdong²

(1. School of Economics and Management, Harbin Institute of Technology at Weihai, 264209 Weihai, Shandong, China; 2. School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology at Weihai, 264209 Weihai, Shandong, China)

Abstract: To get the objective quality weight values for the alternates of each product, first, the product design is formulated as a product and/or tree model. Next, based on this model, a QFD and AHP combined multiple dimensional evaluation model for product quality is proposed. In the evaluation model, the customer requirements are transformed into the quality criteria of each level of a product by QFD and the quality of the alternates for each level of a product is evaluated by AHP, then their results are combined to compute the quality weight values for the alternatives of each level of a product. Finally, the evaluation model is demonstrated by a simulated example.

Keywords: product design; quality function deployment; analytic hierarchy process; product quality evaluation

产品设计的首要目标是所设计的产品满足用户的需求, 因此, 产品设计的主要任务是将用户的需求转换为产品的性能属性(或质量准则)^[1]. 此外, 还需要在设计过程中根据产品的质量准则对不同的设计方案进行比较从而判断产品质量的优劣性^[2]. 根据某一维质量准则很容易判断产品质

量的优劣性. 然而一个产品往往具有多维质量准则, 根据产品的多维质量准则来给出产品质量的综合评价是一个多维决策问题^[3]. 文献^[4]提出了产品质量的效用值(质量权重或质量等级)评价问题, 其基本观点是, 产品的效用值是产品满足其设计属性(或质量准则)要求的综合反映. 因此, 产品的效用值必须利用其设计属性来进行评价. 文献^[5]进一步提出了基于产品组成子件的效用值评价方法, 其基本观点是, 对产品的组成子件的设计是为了满足产品的某一个或多个属性的要求. 因此, 产品满足其设计属性的要求具体体现在

收稿日期: 2013-12-13.

基金项目: 国家自然科学基金(61172099); 山东省自然科学基金(ZR2012FM006); 威海市科技发展计划(IMZQWH010016).

作者简介: 胡仕成(1970—), 男, 副教授, 硕士生导师.

通信作者: 徐永东, ydxu@insun.hit.edu.cn.

其每个组成子件中。

质量功能配置 (quality function deployment, QFD) 是一种将用户需求 (customer requirement, CR) 转换为质量准则 (quality criteria, QC) 的有效决策工具^[6-9], 并被广泛应用于产品设计过程中的质量控制。文献[10]采用 QFD 将市场需求转化到新产品的设计开发中。文献[11]验证了 QFD 在新产品的设计中较之传统关联分析方法的优越性。文献[12]将 QFD 和神经网络相结合进行产品需求的分析。文献[13]提出了一种将 QFD 和设计结构矩阵相结合的方法用于新产品的开发。文献[14]在早期产品设计中采用 QFD 解决产品设计主观性问题。文献[15]采用 QFD 进行了产品的合作设计开发。QFD 主要依赖专家意见给出产品满足用户的需求程度, 由于在评价过程中缺乏一种科学有效的评价工具, 评价结果受主观因素影响较大, 同时, 不同专家的评价结果也难于集成和统一, 从而导致产品质量的评价结果缺乏客观公正性。层次决策方法 (analytic hierarchy process, AHP) 是一种建立在 Bayes 理论基础上的多维评价方法^[16]。它采用一种层次决策结构, 通过逐层评价最终得到由多维属性对各个对象的综合评价 (即由各种状态产生结果的概率)。由于 AHP 采用了严格的数学模型和方法, 提高了评价的科学性和正确性。AHP 已被成功应用于选择^[17-18]、评估^[19-20]、优先级排序^[21-22]和计划^[23-24]等问题的决策。为了提高评价的科学性, 尉少冲等^[25]在 QFD 实现产品开发过程采用 AHP 来确定客户需求的权重。汪洋等^[26]在 QFD 方法运用于飞机客舱内环境人机系统的设计评价中引入 AHP 方法计算人机需求的重要度。为了弥补 QFD 方法需求变换中的主观片面性, 江擒虎等^[27]将 AHP 引入 QFD 应用过程中对需求进行分析并得到不同需求的重要度。龚艳萍等^[28]将模糊 AHP 引入 QFD 应用过程中来提高确定消费者的要求权重的准确性。王晓曦等^[29]提出了一种 QFD 展开中顾客需求重要度确定的粗糙 AHP 得到顾客需求基本重要度。但这些方法主要局限在对原始用户需求通过 AHP 进行重要度判别, 没有解决在对多级产品质量权重的多级决策过程中二者如何有效结合的问题。

本文提出一种 QFD 和 AHP 相结合的产品质量多维评估模型, 通过 QFD 将用户需求转换为各级产品的质量准则, 采用 AHP 对各级产品的多个可选项的质量进行评价, 两步结果相结合计算出产品的各个可选项相对用户需求的质量权值, 从而得到产品质量较为科学正确的评价结果。

1 问题描述

复杂结构的产品设计一般要经过的过程如下: 首先, 进行产品总体结构的设计, 决定产品的主要功能和主要部件, 得到产品初步结构方案的定性化结构; 然后, 进行主要部件的详细结构的设计, 决定产品的具体功能和零部件, 将初步结构方案细化为具体的量化结构; 同时, 进行零部件的工作图设计, 确定零部件的原材料、形状、尺寸和其他的技术要求; 最后, 要对零部件的加工/装配工艺路线进行设计, 确定零部件的制造过程。因此, 复杂产品的结构模型是一个包括零部件、原材料/外购件和制造工艺的一个多级产品结构树, 称为产品的多级 BOMP (bill of material/process), 如图 1 所示。

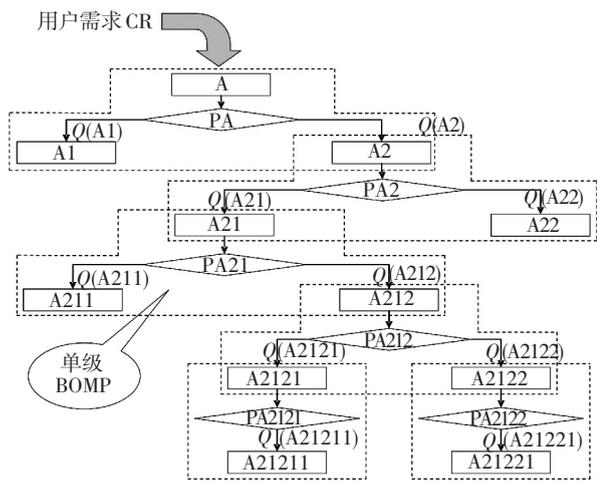


图 1 产品的多级 BOMP

在产品 BOMP 中, 每个物料 (包括自制物料和外购物料) 有一个唯一的标识码, 称为物料代码, 用“X”表示, 如 A、A1 等。物料 X 的制造工艺用“PX”表示。因此, PX 也是唯一的, 称为工艺代码。如 PA 表示由物料 A1 和 A2 制造成 A 的工艺过程。物料 X 的单位装配数量 QPA (quantity per assembly) 用 Q(X) 表示。如 Q(A1) 和 Q(A2) 分别表示制造单位 A 所需的物料 A1 和 A2 的数量分别为 Q(A1) 和 Q(A2)。

产品的多级 BOMP 是由单级 BOMP 构成, 单级 BOMP 环环相扣构成了产品的多级 BOMP。在单级 BOMP, 其每个组成物料和制造工艺可能存在多个可选。在单级 BOMP 中, 上级节点产品称之为父产品。如在图 1 中, 产品 A 在其为上级节点的单级 BOMP 中相对于 A1 和 A2 而言是父产品, 但同时产品 A2 在其为上级节点的单级 BOMP 中相对于 A21 和 A22 而言是父产品。从生成父产品的角度看, 一个具体的父产品方案是物料集和工艺集

的一种组合方案. 根据它们的组合配置可生成多个父产品. 具有这种特点的产品 BOMP 称为产品结构或树 BOX (bill of X-material/X-process), 如图 2 所示.

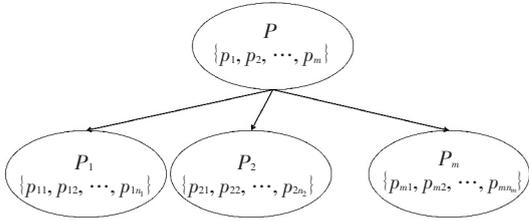


图 2 单级产品结构与或树的描述

在单级产品结构与或树中, 可不严格区别物料集和工艺集, 则物料集和工艺集统称为子件集. 如在图 2 中, 子件 P_1 (可能是一个物料) 有多种方案 $\{p_{11}, p_{12}, \dots\}$ 称为一个子件集, 子件 P_2 (可能是一个工艺) 有多种方案 $\{p_{21}, p_{22}, \dots\}$ 也称为一个子件集. 由此, 一个具体父产品方案可表示为它的子件集的一个组合, 而所有的父产品方案可表示为各个子件集的笛卡尔积. 在产品 BOX 中, P 称为父件的定义 (schema) 或对象, 它规定了父件的各种技术属性. $P(i)$ 表示父件的一个实例; 同样地, P_i 称为子件的定义或对象, p_{ij} 为子件的一个实例, 每个子件实例隐含它的装配数量 $Q(p_{ij})$. 一个单级产品 BOX 可以描述为

$$\begin{cases} P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}, \\ P_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ini}\}. \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m).$$

2 QFD 和 AHP 相结合的多维评估模型

产品满足用户需求的程度是用产品质量来量度. 质量准则 QC_t 应能体现用户需求的偏好程度 CR_t . 采用 QFD, 这一多维决策过程可描述为 QFD: $(CR_1, CR_2, \dots, CR_k) \rightarrow (QC_1, QC_2, \dots, QC_l)$. 式中: 用户需求 $CR_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 构成产品的设计输入; 质量准则 $QC_t (t = 1, 2, \dots, l)$ 构成产品的设计输出. QFD 也支持多级产品的设计过程, 在第 0 层产品的 QFD 中, 设计输入为用户需求, 设计输出为质量准则, 上层产品的设计输出 (质量准则) 作为其子件产品的设计输入 (用户需求), 从而构造多级产品对应的多级 QFD, 如图 3 所示. 多层次结构产品的设计采用自顶向下的方式逐层设计各个节点产品的单级 BOX. 因此, 通过多级 QFD 可确定各个节点产品所应达到的质量准则 (quality criteria, QC).

假设产品 P 具有多维质量准则 $QC = \{QC_1, QC_2, \dots, QC_l\}$, P 由多个子件组成, 对子件 p_{ij} 的质量

权重的评估应采用产品 P 的质量准则. 利用 $QC = \{QC_1, QC_2, \dots, QC_l\}$ 进行子件 p_{ij} 的质量权重 q_{ij} 的基于 AHP 的多维评估模型如图 4 所示, 主要分为:

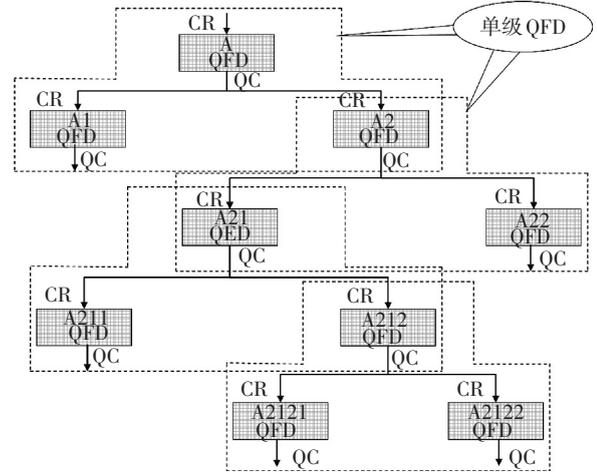


图 3 多级结构产品的 QFD

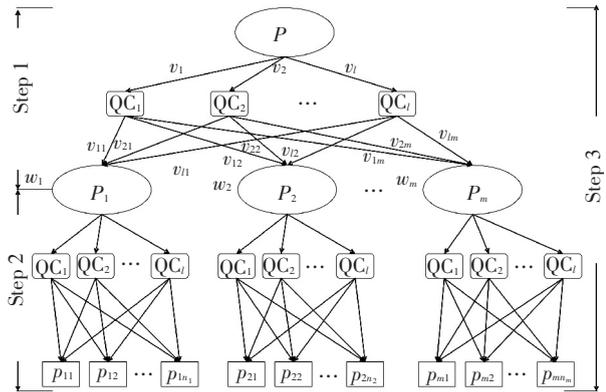


图 4 产品质量权重的 AHP 评估模型

Step 1 评估 P_i 相对于 P 的质量权重 $w_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 记向量 $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$.

Step 2 评估 p_{ij} 相对于 P_i 的质量权重 $w_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n_i)$, 记向量 $w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ini}) (i = 1, 2, \dots, m)$; 该步评估过程和 Step 1 相似.

Step 3 评估 p_{ij} 相对于 P 的质量权重 $q_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n_i)$, 记向量 $q_i = (q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{ini}) (i = 1, 2, \dots, m)$. 该步的评价结果在前两步的基础上直接给出, $q_{ij} = w_i w_{ij}$ 或 $q_i = w_i w_i$.

以下只给出 Step 1 的具体评估过程. 评估 P_i 相对于 P 的质量权重 w_i 的方法步骤如图 4 的上半部所示. 为了清楚表示评估的步骤, 不妨将图 4 的上半部进一步用图 5 来表示. P_i 相对于 P 的质量权重 w_i 的评估又可分为:

1) 评估质量准则 $QC_t (t = 1, 2, \dots, l)$ 相对于 P 的重要性程度 v_t , 记向量 $v = (v_1, v_2, \dots, v_l)$.

由于质量准则需要反映用户的需求, 因此, 需要将 AHP 和 QFD 相结合来评价质量准则的重要性程度. QFD 是通过质量屋 (house of quality,

HOQ)来实现其决策过程的,如图 6 所示.质量准则 QC_i 满足用户需求 CR_i 的程度用 r_{ii} 来表示,该相关程度一般采用 0-1-3-9 规则^[30];0 表示不相关,1 和 -1 表示正/负弱强度,3 和 -3 表示正/负中强度,9 和 -9 表示正/负强强度. $R = (r_{ij})_{k \times l}$ 称为用户需求和质量准则之间的相关矩阵,该矩阵由专家给出.

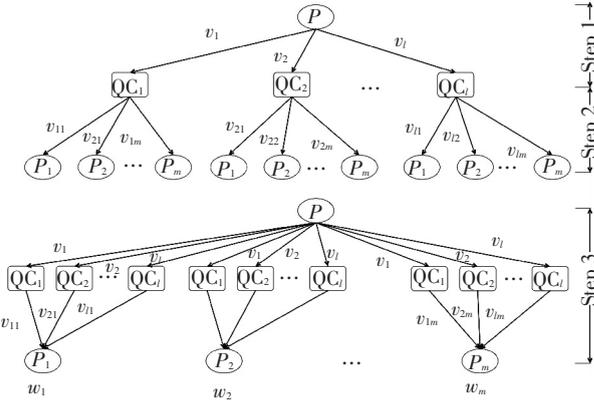


图 5 子件的质量权重的评估步骤

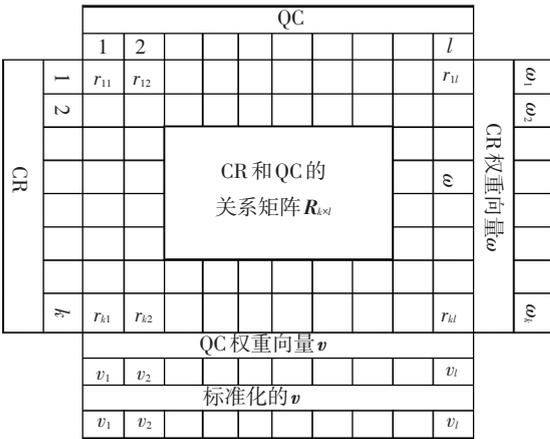


图 6 QFD 的 HOQ

对于某个产品,用户的各种需求 $CR_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 的重要性程度也有差别.如果 $k = 2$ 则很容易判断出两者的重要性程度;如果 $k > 2$ 则很难判断出它们之间比较客观的重要性程度.本文采用 AHP 的决策方法估算出它们的重要性程度.设用户需求的权重向量为 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k)$,由专家给出用户需求 $CR_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 两两重要性程度的比较矩阵 $A = (a_{ij})_{k \times k}$,根据比较矩阵 A 能估算出 $\omega_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 或向量 ω .比较矩阵 A 的形式如下

$$A_{k \times k} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kk} \end{bmatrix}$$

式中 $a_{ij} = \omega_i / \omega_j (i, j = 1, 2, \dots, k)$.因此, $a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}$,重要性量度采用 1-9 准则^[31],其意义

如表 1 所示.

表 1 AHP 比较矩阵的重要性量度值

| 重要性量度值 | 重要性解释 |
|------------|--------------------------------------|
| 1 | 对象 1 和对象 2 同等重要 (equal) |
| 3 | 对象 1 比对象 2 略微重要 (weakly more) |
| 5 | 对象 1 比对象 2 很重要 (strongly more) |
| 7 | 对象 1 比对象 2 非常重要 (very strongly more) |
| 9 | 对象 1 比对象 2 绝对重要 (absolutely more) |
| 2, 4, 6, 8 | 中间值 |

根据比较矩阵 A 可估算出 k 个对象的权重向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k)$ 的值.目前最精确的估算方法是文献[32]提出的最大特征向量法 EM 为

$$A\omega = \lambda_{\max} \omega$$

式中: λ_{\max} 为矩阵 A 的最大特征值; ω 为 A 的对应于 λ_{\max} 的特征向量. ω 可直接给出

$$\omega = \lim_{k \rightarrow \infty} \left(\frac{A^k e^T}{e^k e^T} \right) \quad (1)$$

式中 $e = (1, 1, \dots, 1)$.根据文献[32]所给出的一致性指标 CI 还可评价估算误差并纠正误差.

由用户需求和质量准则之间的相关矩阵 $R = (r_{ij})_{k \times l}$ 和用户需求的权重向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k)$,可计算质量准则的最终权重向量 $v = (v_1, v_2, \dots, v_l)$ 为

$$v_t = \sum_{i=1}^k \omega_i r_{it} (t = 1, 2, \dots, l), v = \omega R \quad (2)$$

最后对所求得 v_t 进行标准化为

$$v_t = \frac{v_t}{\sum_{t=1}^l v_t} (t = 1, 2, \dots, l)$$

2) 评估 P_i 相对于 QC_i 的质量权重 $v_{ii} (t = 1, 2, \dots, l; i = 1, 2, \dots, m)$.记向量 $v_t = (v_{t1}, v_{t2}, \dots, v_{tm}) (t = 1, 2, \dots, l)$,记矩阵 $V = (v_1, v_2, \dots, v_l)^T = (v_{it})_{l \times m}$.

考虑到质量准则 QC_i ,由专家给出 P_1, P_2, \dots, P_m 两两重要性程度的比较矩阵.同理,根据这个比较矩阵可估算出 $v_{ii} (t = 1, 2, \dots, l; i = 1, 2, \dots, m)$ 或向量 $v_t (t = 1, 2, \dots, l)$ 或矩阵 V ,该步需经过 l 次循环才能完成对 l 个权重向量的评估.

3) 评估 P_i 相对于 P 的质量权重 $w_i (i = 1, 2, \dots, m)$.

在前两步的基础上,该步结果可直接给出:

$$w_i = \sum_{t=1}^l v_t v_{it} (i = 1, 2, \dots, m) \text{ 或者 } w = vV$$

通过 QFD 和 AHP 相结合,可评价出产品 P 的每个子件集 P_i 中的每个子件 p_{ij} 相对于 P 的质量权重 $q_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n_i)$.如果产

品 $P_1 = \{p_{11}, p_{21}, \dots, p_{m1}\}$, 则其质量可表示为

$$q_1 = \sum_{i=1}^m q_{i1}$$

3 实例验证

某产品 A 的单级 BOX 结构如图 7 所示, PA 表示工艺, A1 和 A2 表示两种物料. 其中可选工艺有 2 个: PA₁ 和 PA₂. A1 的可选物料有 3 个: A1₁, A1₂ 和 A1₃. A2 的可选物料有 3 个: A2₁, A2₂ 和 A2₃.

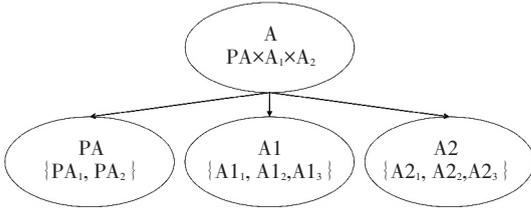


图 7 产品 A 的单级 BOX 结构

根据本文提出的 QFD 和 AHP 相结合的多维评估模型给出 PA₁ 和 PA₂ 相对于 A 的质量权重. 产品 A 的用户需求 CR 和质量准则 QC 的维度分别为 4 和 3, 工艺 PA 的用户需求 CR 和质量准则 QC 的维度分别为 3 和 3.

根据评估模型 Step 1, 评估 PA、A1 和 A2 相对于 A 的质量权重 $w = (w_1, w_2, w_3)$, 依次给出 CR_{*i*} ($i = 1, 2, 3, 4$) 和 QC_{*t*} ($t = 1, 2, 3$) 之间的相关矩阵 $R_{4 \times 3}$, 用户需求 CR_{*i*} ($i = 1, 2, 3, 4$) 两两重要性程度的比较矩阵 $A_{4 \times 4}$ 以及 PA、A1 和 A2 相对于 QC_{*t*} ($t = 1, 2, 3$) 的两两重要性程度的比较矩阵 $A_{3 \times 3}^1$, $A_{3 \times 3}^2$ 和 $A_{3 \times 3}^3$ 分别为

$$R_{4 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 9 \\ 3 & 0 & -9 \\ 9 & 1 & -3 \\ 1 & 9 & -1 \end{bmatrix}, A_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 1 & 5 & \frac{1}{7} & 9 \\ \frac{1}{5} & 1 & 3 & \frac{1}{4} \\ 7 & \frac{1}{3} & 1 & 8 \\ \frac{1}{9} & 4 & \frac{1}{8} & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_{3 \times 3}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} & 1 & 3 \\ 4 & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}, A_{3 \times 3}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 7 & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{3} \\ 5 & 3 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_{3 \times 3}^3 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{6} & 8 \\ 6 & 1 & 5 \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix}.$$

在 Step 1 计算中, 依据式(1) 得到比较矩阵 $A_{4 \times 4}$ 的最大特征向量为 $\omega = (0.2835, 0.1859, 0.4151, 0.1156)$. 根据式(2) 得到质量准则 QC_{*t*} ($t = 1, 2, 3$) 的相对于 A 的重要性程度权重向量为 $v = \omega R_{4 \times 3} = (4.6927, 2.3060, -0.4825)$, 经式(3) 标准化后为 $v = (0.72, 0.35, -0.07)$.

在 Step 2 计算中, 依据式(1) 得到比较矩阵 $A_{3 \times 3}^1, A_{3 \times 3}^2$ 和 $A_{3 \times 3}^3$ 的最大特征向量分别为 $\omega^1 = (0.2612, 0.3767, 0.3622)$, $\omega^2 = (0.2834, 0.0918, 0.6248)$ 和 $\omega^3 = (0.2446, 0.6905, 0.0650)$. 也就是 PA、A1 和 A2 相对于 QC_{*t*} 的质量权重向量 v_i ($t = 1, 2, 3$), 从而得到质量权重矩阵为

$$V = (v_1, v_2, v_3)^T = \begin{bmatrix} 0.2612 & 0.3767 & 0.3622 \\ 0.2834 & 0.0918 & 0.6248 \\ 0.2446 & 0.6905 & 0.0650 \end{bmatrix}.$$

在 Step 3 计算中, 根据 $w = vV$ 计算 PA、A1 和 A2 相对于 A 的质量权重向量为: $w = (w_1, w_2, w_3) = (0.27, 0.26, 0.47)$. 其中 PA 相对于 A 的质量权重为 $w_1 = 0.27$.

根据评估模型 Step 2, 为了评估 PA₁ 和 PA₂ 相对于 PA 的质量权重向量 $w_1 = (w_{11}, w_{12})$, 同样需要依次给出 CR_{*i*} ($i = 1, 2, 3$) 和 QC_{*t*} ($t = 1, 2, 3$) 之间的相关矩阵 $R_{3 \times 3}$, 用户需求 CR_{*i*} ($i = 1, 2, 3$) 两两重要性程度的比较矩阵 $A_{3 \times 3}$ 以及 PA₁ 和 PA₂ 相对于 QC_{*t*} ($t = 1, 2, 3$) 的两两重要性程度的比较矩阵 $A_{2 \times 2}^1, A_{2 \times 2}^2$ 和 $A_{2 \times 2}^3$.

$$R_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} -3 & 3 & 9 \\ 1 & 9 & -3 \\ 9 & 1 & 3 \end{bmatrix}, A_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{3} & 1 & 9 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{9} & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_{2 \times 2}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 8 \\ \frac{1}{8} & 1 \end{bmatrix}, A_{2 \times 2}^2 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{6} \\ 6 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_{2 \times 2}^3 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 \end{bmatrix}.$$

矩阵 $A_{3 \times 3}, A_{2 \times 2}^1, A_{2 \times 2}^2$ 和 $A_{2 \times 2}^3$ 的最大特征向量依次为

$$\begin{aligned} \omega &= (0.5887, 0.3442, 0.0671), \\ \omega^1 &= (0.8889, 0.1111), \\ \omega^2 &= (0.1429, 0.8571), \\ \omega^3 &= (0.2500, 0.7500). \end{aligned}$$

根据和 Step 1 相似的计算步骤, 可以得到

PA_1 和 PA_2 相对于 PA 的质量权重向量 $w_1 = (w_{11}, w_{12}) = (0.17, 0.83)$.

根据评估模型 Step 3, 由 $q_1 = w_1 w_1$ 可以得到 PA_1 和 PA_2 相对于 A 的质量权重向量 $q_1 = (q_{11}, q_{12}) = (0.035, 0.235)$.

采用同样的过程可以评估物料 $A1$ 的可选物料 $A1_1$ 、 $A1_2$ 和 $A1_3$ 以及物料 $A2$ 的可选物料 $A2_1$ 、 $A2_2$ 和 $A2_3$ 相对于产品 A 的质量权重分别为(具体过程省略)

$$q_2 = (q_{21}, q_{22}, q_{23}) = (0.13, 0.11, 0.08),$$

$$q_3 = (q_{31}, q_{32}, q_{33}) = (0.15, 0.03, 0.17).$$

这样,根据可选工艺和物料之间的组合,就可以估算产品实例的质量权值,比如可选工艺 PA_1 、可选物料 $A1_1$ 和 $A2_1$ 组合而成的产品 A 的一个实例的质量权值为 $0.315(q_{11} + q_{21} + q_{31})$. 根据产品实例的质量权值,在产品的设计过程中可以选择出符合质量要求的设计方案.

4 结 语

针对产品质量的评价,本文提出了一种 QFD 和 AHP 相结合的产品质量多维评估模型.和其他模型相比,本文所提出的评估模型是通过产品的多维质量准则对产品组成子件的评价实现对产品质量的评价,同时,在评价过程中采用了有坚实数学理论基础的 AHP 评价方法将多个专家的评价结果进行集成和统一,因此,本文所提出的评估模型较之一般评估模型能够得到产品比较科学正确的评价结果.仿真实例验证了本文所提出的评估模型的可行性和有效性.

参 考 文 献

- [1] 陈国权. 并行工程管理方法与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [2] CHANDRASEGARAN S K, RAMANI K, SRIRAM R D, et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems[J]. Computer-Aided Design, 2012, 45(2): 204-228.
- [3] 沙磊. 面向敏捷虚拟企业建立过程的多维决策支持方法[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2003.
- [4] STARKEY C V. Basic Engineering design[M]. London: Enward Arnold, 1988.
- [5] DOWLATSHAHI S. Product design in a concurrent engineering environment: an optimization approach[J]. International Journal of Production Research, 1992, 30(8): 1803-1818.
- [6] GOVERS C P M. What and how about quality function deployment (QFD) [J]. International Journal of Production Economics, 1996, 46: 575-585.
- [7] 柴邦衡. 设计控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [8] AKAO Y. QFD: quality function deployment-integrating customer requirements into product design [M]. New York: Productivity Press, 2004.
- [9] COHEN L. Quality function deployment: how to make QFD work for you[M]. Boston: Addison-Wesley, 1995.
- [10] VAIRAKTARAKIS G L. Optimization tools for design and marketing of new/improved products using the house of quality [J]. Journal of Operations Management, 1999, 17(6): 645-663.
- [11] PULLMAN M E, MOORE W L, WARDELL D G. A comparison of quality function deployment and conjoint analysis in new product design[J]. Journal of Product Innovation Management, 2003, 19(5): 354-364.
- [12] YAN W, KHOO L P, CHEN C H. A QFD-enabled product conceptualization approach via design knowledge hierarchy and RCE neural network [J]. Knowledge-Based Systems, 2005, 18(6): 279-293.
- [13] HUNG H F, KAO H P, JUANG Y S. An integrated information system for product design planning [J]. Expert Systems with Applications, 2008, 35(1): 338-349.
- [14] RAHARJO H, BROMBACHER A C, XIE M. Dealing with subjectivity in early product design phase: a systematic approach to exploit quality function deployment potentials [J]. Computers & Industrial Engineering, 2008, 55(1): 253-278.
- [15] WANG C H, CHEN J N. Using quality function deployment for collaborative product design and optimal selection of module mix [J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 63(4): 1030-1037.
- [16] SAATY T L, VARGAS L G. Diagnosis with dependent symptoms: bayes theorem and the analytic hierarchy process[J]. Operations Research, 1998, 46(4): 491-502.
- [17] GHODSYPOUR S H, OBRIEN C. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming [J]. International Journal of Production Economics, 1998, 56-57: 199-212.
- [18] WONG J K W, LI H. Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems[J]. Building and Environment, 2008, 43(1): 108-125.
- [19] PILAVACHI P A, CHATZIPANAGI A I, SPYROPOULOU A I. Evaluation of hydrogen production methods using the analytic hierarchy process [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2009, 34(13): 5294-5303.
- [20] XU G, YANG Y, LU S, et al. Comprehensive

- evaluation of coal-fired power plants based on grey relational analysis and analytic hierarchy process [J]. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2343-2351.
- [21] WANG Y M, CHIN K S. A new data envelopment analysis method for priority determination and group decision making in the analytic hierarchy process [J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 195(1): 239-250.
- [22] BERRITTELLA M, LA FRANCA L, ZITO P. An analytic hierarchy process for ranking operating costs of low cost and full service airlines [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2009, 15(5): 249-255.
- [23] SCHWEICKARDT G, MIRANDA V. A two-stage planning and control model toward economically adapted power distribution systems using analytical hierarchy processes and fuzzy optimization [J]. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2009, 31(6): 277-284.
- [24] LI B, CHANG X. Application of analytic hierarchy process in the planning of energy supply network for electric vehicles [J]. *International Journal of Energy Procedia*, 2011, 12: 1083-1089.
- [25] 尉少冲, 李淑娟, 李言. 用层次分析法(AHP)确定 QFD 中客户需求权重 [J]. *机械设计与制造*, 2005, 6: 170-172.
- [26] 汪洋, 余隋怀, 杨延璞. 基于 QFD 和 AHP 的飞机客舱内环境人机系统评价 [J]. *航空制造技术*, 2013, 8: 86-91.
- [27] 江擒虎, 胡文超, 年陈陈. AHP-QFD 综合模式在行星齿轮减速器多目标优化设计中的应用 [J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2012, 35(10): 1306-1311.
- [28] 龚艳萍, 赵志刚. 用模糊层次分析法确定 QFD 中消费者要求权重 [J]. *价值工程*, 2006, 7: 81-83.
- [29] 王晓敏, 熊伟. 质量功能展开中顾客需求重要度确定的粗糙层次分析法 [J]. *计算机集成制造系统*, 2010, 16(4): 763-771.
- [30] CHUANG P T. Combining the analytic hierarchy process and quality function deployment for a location decision from a requirement perspective [J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2001, 18(11): 842-849.
- [31] TUNG S L, TANG S L. A comparison of the saaty's AHP and modified AHP for right and left eigenvector inconsistency [J]. *European Journal of Operational Research*, 1998, 106(1): 123-128.
- [32] SAATY T L, HU G. Ranking by eigenvector versus other methods in the analytic hierarchy process [J]. *Applied Mathematics Letters*, 1998, 11(4): 121-125.

(编辑 张红)

(上接第 62 页)

参考文献

- [1] 韩伟一, 王铮. 负权最短路问题的新算法 [J]. *运筹学学报*, 2007, 11(1): 111-120.
- [2] 韩伟一. 经典 Bellman-Ford 算法的改进及其实验评估 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2012, 44(7): 74-77.
- [3] BELLMAN R E. On a routing problem [J]. *Quarterly of Applied Mathematics*, 1958, 16(1): 87-90.
- [4] CHERKASSKY B V, GEORGIADIS L, GOLDBERG A V, et al. Shortest-path feasibility algorithm: an experimental evaluation [J]. *ACM Journal of Experimental Algorithmics*, 2009, 14(2): 1-37.
- [5] HUNG M S, DIVOKY J J. A computational study of efficient shortest path algorithms [J]. *Computer & Operations Research*, 1988, 15(6): 567-576.
- [6] LEWANDDOWSKI S. Shortest paths and negative cycle detection in graphs with negative weights [R]. Stuttgart: Technical Report, Stuttgart University, 2010.
- [7] CHERKASSKY B V, GOLDBERG A V. Negative-cycle detection algorithm [J]. *Mathematical Programming*, 1999, 85(2): 277-311.
- [8] CHERKASSKY B V, GOLDBERG A V. Shortest paths algorithms: theory and experimental evaluation [J]. *Mathematical Programming*, 1996, 73(2): 129-174.
- [9] YEN J Y. An algorithm for finding shortest routes from all source nodes to a given destination in general networks [J]. *Quarterly of Applied Mathematics*, 1970, 27: 526-530.
- [10] 段凡丁. 关于最短路径的 SPFA 快速算法 [J]. *西南交通大学学报*, 1994, 29(2): 202-212.
- [11] GOLDBERG A V, RADZIK T. A heuristic improvement of the Bellman-Ford algorithm [J]. *Applied Mathematics Letters*, 1993, 6(3): 3-6.
- [12] TARJAN R E. Shortest paths [R]. Murray Hill, NJ: AT&T Bell Laboratories, 1981.
- [13] GLOVER F, KLINGMAN D D, PHILLIPS N V. A new polynomially bounded shortest path algorithm [J]. *Operations Research*, 1985, 33(1): 65-73.
- [14] GLOVER F, KLINGMAN D D, PHILLIPS N V, et al. New polynomial shortest path algorithms and its computational attributes [J]. *Management Science*, 1985, 31(9): 1106-1128.

(编辑 张红)