

基于质量屋的产品质量自进化过程研究

齐培娣, 严洪森, 马 美, 杨宏兵

(东南大学 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘 要: 为了实现产品质量的不断提高, 提出了一种基于质量屋的产品质量自进化的方法。该方法将实时观测到的有关产品的数据, 运用到产品的 QFD(质量功能配置)规划设计中, 依据设计结果, 生产工艺知识库获得产品生产现场的调整方案, 最后将方案运用到实际生产中, 更新观测数据, 从而形成一个闭环系统。实例结果验证了该方法的有效性和可行性。

关键词: 自进化; 质量屋; QFD 优化模型; 生产工艺知识库

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)01-0176-04

Study on Self-evolution of Product Quality Based on House of Quality

QI Pei-di, YAN Hong-sen, MA Mei, YANG Hong-bing

(Ministry of Education Key Lab. of Measurement and Control of Complex Systems of Engineering,
Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: In order to continuously improve the product quality, a new method of self-evolution of products quality based on House of Quality was brought forward in this paper. First, the real time data about products was observed in this method and then applied in QFD (quality function deployment) design of products. According to the result of design, adjusting rules of production was acquired by the knowledge base of production process. Finally, the rules were applied into real production and the observed data was refreshed. Thus, it formed a closed loop system. Case study shows that the proposed method is feasible and effective.

Key words: self-evolution; House of Quality; optimizing model of QFD; knowledge base of production process

0 引 言

目前, 产品的市场竞争日益加剧, 企业想要赢得市场, 就必须密切关注着市场需求的变化, 不断地改进自己的产品质量。因此, 谁能更快更好地生产出市场所需性能的产品, 谁就能在竞争中获胜, 赢取高利润。

以往改进产品质量的方法有单独改进产品设计的, 如基于 QFD 的产品设计开发技术^[1,2], 是产品设计过程的自进化, 使客户满意度达到最优; 也有单独改进产品生产过程的, 如 CIMS 环境下基于 CPM 的 PPCES 的研究^[3], 是生产过程的自进化, 使产品的生产过程达到最优。然而这两种改进方法, 都只是使产品质量局部达到最优, 而不是全局最优。

文中采用的基于质量屋的产品质量自进化的方

法, 是将以上两种方法结合起来, 使产品的设计与生产一体化。依照这种方法改进产品质量, 既考虑了市场需求对产品质量的要求, 也考虑了生产过程对产品质量的影响, 使产品质量达到全局最优。

1 基于 QFD 的产品设计

质量功能配置是一种用户驱动的产品开发方法, 它是系统工程思想在产品过程中的具体运用^[4,5]。而美国学者 J. R. Hauser 与 D. Clausing 于 1988 年提出的质量屋(House of Quality, HOQ)是实现 QFD 这种思想和方法论的一种有效工具, 它提供了一种将用户需求转换成产品的工程特性, 并分解到制造过程的框架和结构^[6,7], 如图 1 所示。

(1) 顾客需求, 是用顾客语言描述顾客对产品的实际需求, 是 HOQ 最基本的输入, 通过市场调查获得。

(2) 顾客需求权重, 是 QFD 规划过程中有效地分配资源和进行决策的重要依据, 一般对顾客需求权重进行归一化处理。文中采用层次分析法(AHP)求取。

收稿日期: 2008-04-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60574062); 国家 863 计划资助项目(2007AA04Z112)

作者简介: 齐培娣(1983-), 女, 山西朔州人, 硕士研究生, 主要研究领域为计算机集成制造; 严洪森, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为生产计划与调度、知识化制造、并行工程等。

- (3) 工程特性,是用工程技术人员的语言描述产品或服务的技术特征。如果顾客需求是目标,则工程特性就是手段。
- (4) 顾客需求—工程特性的关系矩阵,是顾客需求与工程特性之间关系的判断矩阵。通常以“弱关系”、“中等关系”、“强关系”等语言术语来描述顾客需求与工程特性之间的相关程度。
- (5) 工程特性之间的自相关矩阵,表征了改善某一工程特性对其他工程特性所产生的影响。通常以“强正相关”、“弱负相关”等语言术语来表达这种自相关性。
- (6) 工程特性权重,可由每个工程特性满足各个顾客需求的总和来获得。在不考虑开发资源的情况下,权重大的工程特性将首先被改进。
- (7) 经验数据,一般包括技术难度、开发成本、开发周期等信息,应用者可根据需要进行取舍。
- (8) 工程特性目标值,确定工程特性目标值是一个复杂的优化过程。利用以上参数,可确定一个 QFD 规划模型,利用单纯形法优化模型得到工程特性的最优解作为目标值。
- (9) 技术基准评估,是指从技术的角度对本公司产品和竞争者产品进行评估。通常以“很满意”、“满意”、“不满意”等语言术语来评价结果。

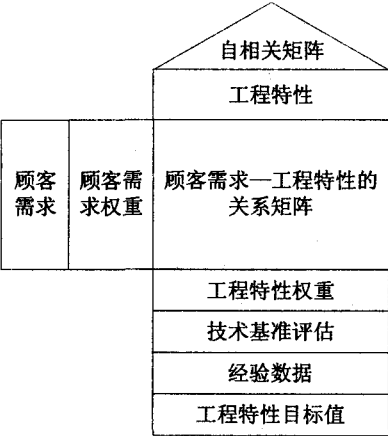


图 1 质量屋的简化形式

2 基于质量屋的产品质量自进化过程

基于质量屋的产品质量自进化过程,是产品的设计与生产的一体化,如图 2 所示。它将产品生产现场的数据实时地采集并处理,转化为产品的工程特性值,通过质量屋模型提供的手段检测这些值。如果经检测产品的工程特性达不到要求的满意度,则通过质量屋提供的优化模型进行优化,得到当前生产状况下的最优工程特性值,并将最优值输入质量屋中存储(以备下

次循环使用)。这些新的最优工程特性值可用来指导生产工艺知识库发出指令来调整生产现场,直到当前的工程特性值无限接近最优值为止。

在通常情况下,现场的工程特性值总是能满足要求,只有当激励发生,导致质量屋模型或生产现场的某些原始参数发生变化时,才可能使原来的工程特性不满足要求的满意度,从而触发上述自进化过程的发生。其中,激励机制 1 用来表示生产设备、技术水平、工人水平等的提高,激励机制 2 主要表示顾客需求权重、顾客需求—工程特性的关系矩阵、工程特性之间的自相关矩阵等发生变化的情况。产品质量的自进化过程实际上运用了控制理论中的闭环控制思想,以满足顾客最大需求为目标,通过对产品工程特性值的反馈调整,使得产品的质量不断地进化。

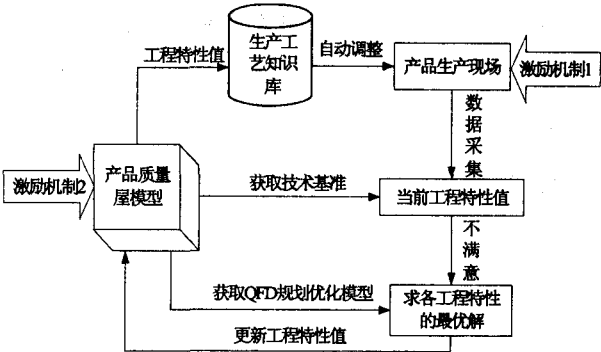


图 2 产品质量自进化的基本框架

从图 2 中可以看出,该系统主要有三大核心部分:质量屋模型、生产工艺知识库和生产现场。质量屋模型主要用于产品的设计,生产工艺知识库是产品设计与生产的纽带,这两部分是软件部分;生产现场是硬件部分,文中不作详细介绍。

2.1 QFD 产品设计

质量屋的建立,主要是通过市场调查与分析,结合企业的各种资源情况,来确定质量屋的各个部分。QFD 优化模型根据已建好的质量屋就可以建立一个以顾客满意度最大为目标,以开发成本和技术限制为约束的 QFD 规划优化模型。

2.1.1 相关参数定义

- (1) 顾客需求 $CR = \{CR_i\}_{1 \times m}$, m 为顾客需求的数目;
- (2) 工程特性 $EC = \{EC_j\}_{1 \times n}$, n 为工程特性的数目;
- (3) 顾客需求权重 $W = \{w_i\}_{1 \times m}$, $0 < w_i < 1$, $\sum_{i=1}^m w_i = 1$;
- (4) 工程特性自相关矩阵 $P = \{p_{jk}\}_{n \times n}$, $p_{jk} \in (-1, 1]$, 由于自相关矩阵是对称阵,所以 $p_{jk} = p_{kj}$, EC_j 与

其本身相关程度最大,所以 $p_{jj}=1$, 当 $j \neq k$ 时, $p_{jk} < 0$ 表示 EC_j 与 EC_k 存在冲突, $p_{jk} > 0$ 表示 EC_j 与 EC_k 相互协调, $p_{jk}=0$ 表示 EC_j 与 EC_k 之间相互独立;

(5) 顾客需求与工程特性之间的关系矩阵 $U = \{u_{ij}\}_{m \times n}$, 当 $u_{ij}=0$ 时, 表示 CR_i 与 EC_j 之间不存在关系, 当 $u_{ij}=1$ 时, 表示 CR_i 与 EC_j 之间存在弱关系, 当 $u_{ij}=3$ 时, 表示 CR_i 与 EC_j 之间存在中关系, 当 $u_{ij}=9$ 时, 表示 CR_i 与 EC_j 之间存在强关系;

(6) 工程特性的改进率 $X = \{x_j\}_{1 \times n}$, $1 \leq x_j \leq x_{\max}$;

(7) 工程特性成本 $C = \{c_j\}_{1 \times n}$;

(8) 顾客需求的改进率 $Y = \{y_i\}_{1 \times m}$ 。

2.1.2 建立目标函数

文中采用加权函数, 把多目标最大化转化为单目标最大化, 即顾客对产品的满意度可表示为顾客需求改进率与其相应权值乘积之和。所以目标函数为:

$$S = \sum_{i=1}^m w_i y_i \quad (1)$$

将式(1)写成矩阵形式为 $S = YW^T$, 由于已知 $y_i = \sum_{j=1}^n u_{ij} x_j$ ($i = 1, 2, \dots, m$), $x_j = \sum_{k=1}^n p_{kj} x_k$ ($j = 1, 2, \dots, n$), 所以可推得

$$y_i = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{k=1}^n u_{ik} p_{kj} \right) x_j \quad (2)$$

上式转化成矩阵形式为 $Y = X(UP)^T$, 于是目标函数可以写作 $S = X(WUP)^T$, 再对矩阵 $(WUP)^T$ 进行归一化处理可得

$$R_{n \times 1} (WUP)^T / f((WUP)^T) \quad (3)$$

其中函数 $f((WUP)^T)$ 为矩阵 $(WUP)^T$ 中各元素之和, 最后得出优化模型的目标函数为:

$$\text{Max } S = XR \quad (4)$$

2.1.3 约束条件

工程特性目标值的改进不仅要考虑一定的资金成本约束, 还要综合工程特性的物理极限。所以有以下两种约束:

(1) 成本约束: $\sum_{j=1}^n c_j \left(x_j - \sum_{k=1, k \neq j}^n p_{kj} x_k \right) \leq B$, 其中 B 为产品改进的总预算。

由于工程特性之间存在相关性, 所以 EC_j 的改进率 x_j 包括两部分: 一部分是其他相关工程特性改进引起 EC_j 的改进, 大小为 $\sum_{k=1, k \neq j}^n p_{kj} x_k$; 另一部分则是由于改进 EC_j 所引起的, 大小为 $x_j - \sum_{k=1, k \neq j}^n p_{kj} x_k$ 。因此, 由于单纯 EC_j 改进而发生的费用, 基于文献[4]可修正为:

$$c_j \left(x_j - \sum_{k=1, k \neq j}^n p_{kj} x_k \right)。$$

(2) 自变量约束: $1 \leq x_j \leq x_{\max}$ 。

这里假设 l 为工程特性的当前值, l^* 为工程特性的改进值, l_{\max} 为工程特性的最大值, l_{\min} 为工程特性的最小值。那么, 当工程特性值越大越好时有 $x_j = l^* / l$, $x_{\max} = l_{\max} / l$; 当工程特性值越小越好时有 $x_j = l / l^*$, $x_{\max} = l / l_{\min}$ 。所以上述自变量约束是正确的。

2.2 生产工艺知识库

将一些有用的数据及信息组合而形成有意义的知识簇, 再将所有的知识簇集合在一起就构成了知识库。知识库不仅仅是数据库, 它还具有定性的知识推理能力和定量的计算能力。可见, 知识库是由数据层、推理层、决策层以及一些必要数据组成的存储单元。生产工艺知识库就是收集描述产品质量及其生产工艺的全部数据和信息, 并将这些数据和信息进行提取和融合, 进而得到所需的知识库。文中的生产工艺知识库系统是由数据层、推理层、决策层、零部件库及工艺资源库等组成, 如图 3 所示。

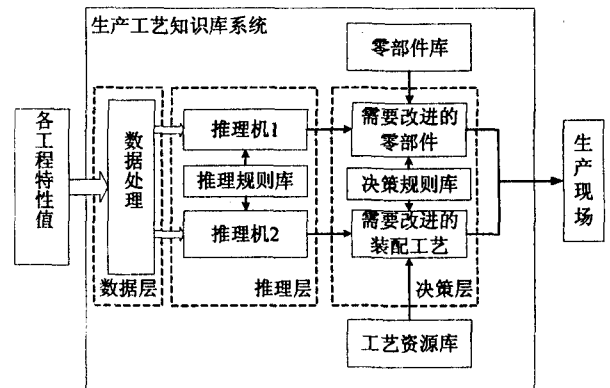


图 3 生产工艺知识库系统

由图 3 可知, 生产工艺知识库从质量屋中获取最新工程特性值, 由数据层对得到的特性值进行处理, 并通过推理层经过一系列的定量及定性推理, 结合当前的零部件库及工艺资源库信息。最终, 由决策层获取改进的产品生产工艺流程, 用于指导和改善该产品的现场生产流程。其中, 零部件库包含产品加工所需的所有零部件信息, 工艺资源库包含了完成一个产品生产所需的所有工艺信息, 如机床信息、刀具信息、冲压设备信息等等。

3 应用实例

某汽车公司由于顾客需求发生变化, 需要改进某型号汽车。采用基于质量屋的产品质量自进化的方法来获取生产现场需要改进的零部件及装配工艺。

3.1 QFD 产品设计

根据由市场调查所得到的顾客反馈意见,确定了当前质量屋模型中的 5 个顾客需求为:①汽车噪声小(CR_1);②加速性良好(CR_2);③节省汽油(CR_3);④安全性好(CR_4);⑤座位舒适(CR_5)。

根据以上顾客需求确定了 5 个工程特性:①减少排气系统噪声(EC_1);②增大发动机马力(EC_2);③减少发动机每公里耗油量(EC_3);④提高刹车装置控制力(EC_4);⑤加大座位空间(EC_5)。

根据相关信息建立质量屋,并求取 QFD 规划优化模型。文中在 Visual C#.NET 编程环境下,使用数据库 SQL Server 2000 及 ADO.NET 技术,构建质量屋模型和 QFD 优化模型,并运用单纯形法实现了该模型的优化,优化前后工程特性值的对比如表 1 所示。

具体步骤如下:

- (1) 确定质量屋的各组成部分,并构建相应的质量屋。
- (2) 利用质量屋对当前的工程特性值进行质量评估。若设 error 是误差率(即当前工程特性值与技术基准值之差的绝对值,再与技术基准值的比值),则质量评估规则为:当 $error \leq 0.1$ 时,技术评估结果为“满意”;当 $error > 0.1$ 时,技术评估结果为“不满意”。
- (3) 建立 QFD 优化模型,用单纯形法获取最优工程特性值,并用该值去替换原质量屋中的工程特性值。
- (4) 对优化后的工程特性值在进行质量评估,评估结果是“满意”,说明此优化结果可以作为生产工艺知识库的输入。若评估结果为“不满意”,则重新转到步骤(3)。

表 1 优化前后工程特性值对比

EC_1 (分贝)	EC_2 (马力)	EC_3 (加仑)	EC_4 (千克)	EC_5 (米 ³)
90	65	0.038	20	0.16
60	89.7	0.03258	25	0.2096

3.2 生产工艺知识库

根据表 1 中的值,生产工艺知识库就可以做出决策,及时调整生产现场。由于实际生产车间的工艺流程有待获取,所以知识库中的推理层与决策层均采用了 if-then 规则,所得到的推理结果如图 4 所示。

在实际生产中,知识库中的规则比本例中的要复杂得多,推理结果也详细得多。企业可以根据自身情况,建立一个更加完善的生产工艺知识库,完成产品质量的自进化过程。

从本例中可以看出,利用质量屋使产品设计达到最优,而利用生产工艺知识库又可使产品生产过程达

到最优,由此实现了产品质量全局最优。当激励发生时,系统可以自动获取最优调整方案,从而实现了产品质量的自进化。

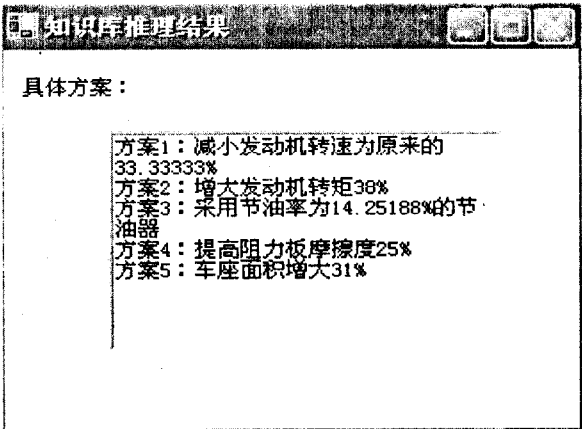


图 4 现场调整方案

4 结束语

当今市场需求瞬息万变,企业必须在资源有限的情况下,以最快的速度改进产品质量,来适应市场的需求。文中所提出的基于质量屋的产品质量自进化的方法为企业达到这一目的提供了一种有效方法。该方法将产品的设计和生产两个环节融为一体,借鉴控制论中反馈控制的思想,寻求产品质量的全局最优来满足顾客对产品的满意度。面对更为复杂的企业生产环境,文中生产工艺知识库的设计和建立尚待进一步完善,这将是下一步需要进行的工作。

参考文献:

[1] 沈维蕾,谢峰,柴畅.基于 QFD 的产品开发设计技术的研究[J].组合机床与自动化加工技术,2004(4):15-16.

[2] John J J,Jeffrey K L,Chelsea C W. Key factors in the successful application of quality function deployment[J]. IEEE Transactions on Engineering Management,2001,48(1):81-95.

[3] 郭红,刘胜辉,陈旭.CIMS 环境下基于 CPM 的 PPCEs 的研究与开发[J].计算机应用研究,2001(5):27-29.

[4] 陈以增,唐加福,侯荣涛,等.基于质量屋的产品设计过程[J].计算机集成制造系统,2002,8(10):757-761.

[5] Chan L,Minglu W U. Quality function deployment: A literature review[J]. European Journal of Operational Research, 2002,143(3):463-497.

[6] 陈桦,曹岩.快速动态响应协同产品设计理念及其过程管理[M].北京:科学出版社,2006:81-82.

[7] 宋乃慧,任朝晖,闻邦椿,等.质量功能展开的模糊信息建模过程[J].东北大学学报:自然科学版,2007,28(10):1466-1467.