

DOI: 10.3901/JME.2009.03.057

质量屋构建的研究进展*

李延来¹ 唐加福¹ 姚建明² 徐捷³

(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. 清华大学经济管理学院 北京 100084; 3. 东北大学软件学院 沈阳 110004)

摘要: 质量屋构建在质量功能配置中具有基本和战略的重要性。为了避免质量屋构建的不一致性和便于对质量屋进行使用,根据统一的质量屋构建的 10-Step 模型,该模型包括了通常使用的质量屋组成部分,逐步对质量屋中各个组成部分的研究现状进行了综述,并指出了每一步研究的不足之处。指出了质量屋构建的模糊、不分明和不完全等特性主要由以下因素来决定:质量屋构建过程存在着通常以语意数据形式的各种各样的输入信息;各项工程特性之间存在着自相关关系;顾客需求向工程特性的正常转化机制是缺乏的。针对每一步研究的不足之处,探讨了相应的研究发展方向。最后,指出了质量屋的构建研究不能满足实际设计要求,因此该研究还需要较大的突破。

关键词: 质量功能配置 质量屋 顾客需求 工程特性

中图分类号: N94

Progress of Researches on Building House of Quality

LI Yanlai¹ TANG Jiafu¹ YAO Jianming² XU Jie³

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

2. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084;

3. School of Software, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract: Building house of quality (HOQ) is of the fundamental and strategic importance in quality function deployment (QFD). To avoid inconsistent cases in building HOQ and facilitate applications of HOQ, according to a unified 10-Step model for building HOQ which contains the frequently used HOQ's elements, the update-to-date researches for all the elements are surveyed step by step, and the deficiencies in the researches of every step are pointed out. It is pointed out that the fuzzy, vague and incomplete characteristics in building HOQ arise mainly from the following aspects: the QFD process involves various inputs often in the form of linguistics data; engineering characteristics (ECs) have correlations between them; formal mechanisms for translating customer requirements into ECs are lacking. According to the deficiencies in the researches of every step, the corresponding research directions are discussed. Finally, it is indicated that the researches on building HOQ still cannot fulfill actual demands from product design, and it is urgent to make a great breakthrough.

Key words: Quality function deployment House of quality Customer requirement Engineering characteristic

0 前言*

在激烈的全球竞争中,企业必须以具有竞争性的成本和较短的交货时间设计和制造顾客所喜好的产品以超过竞争企业所生产的产品,这对其生存和

发展是极其关键的。为了应对这种情况,一部分企业采用质量功能配置(Quality function deployment, QFD)设计和制造达到或超过顾客期望的产品。QFD是顾客驱动的产品设计方法,是系统工程思想在产品具体应用,其目标是在产品设计阶段实现顾客满意^[1-6]。企业的实践表明,QFD的应用在一定程度上缩短了产品的研发周期、提高了产品的质量、增强了产品的市场穿透力和提高了顾客

* 国家自然科学基金资助项目(70721001, 70625001, 70471028)。20080321收到初稿,20080926收到修改稿

满意度, 最终企业获得了较好的经济效益^[7-36]。

通常 QFD 过程包括四个阶段: 产品规划、零部件规划、工艺规划和制造规划^[37-48]。QFD 的第一阶段, 通常称之为质量屋(House of quality, HOQ), 在 QFD 中具有基本和战略的重要性, 这是由于它是一个具有下述特征的重要阶段: 作为“顾客的声音”(Voice of customer, VOC)与“工程技术人员的声音”(Voice of technician, VOT)之间联系的“桥梁”, 使得 QFD 系统中其他阶段能够通过它展开其过程和制造等规划。此外, 由于 QFD 中其他三个阶段的结构和分析方法在本质上与质量屋是相同的, 故而这三个阶段的构建可以参照第一阶段的方法进行。

质量屋的构建包括 VOC 的收集与分析以及根据 VOC 对 VOT 进行复杂的生成与分析。质量屋构建过程中必须收集和处理大量的主观信息, 以至于该过程是复杂的、不完整和不分明的, 因而该构建过程的系统化研究是完全必要的。为此, 已经出现了许多相关研究, 然而在这些研究中有些没有包含质量屋的所有构成要素, 有些定量分析过程仍有待深入进行, 因此从这个意义来讲, 相关研究是不够完整的。另一方面, 质量屋构建过程所涉及的信息是产生于人们的主观感受和语言评价, 故而它们是相当主观和模糊的。“顾客的声音”和“工程技术人员的声音”都具有语意的模糊性和多义性, 因而必须集中注意力以处理质量屋构建过程所涉及的各种“声音”的模糊性和不分明性。而通常情况下, 处理质量屋构建中的模糊性和不分明性是一项极具挑战性的工作。基于上述两方面的理由, 以下将对质量屋构建的研究状况作全面的评述以发现其存在的主要问题及其具有可能性的解决方向。

1 QFD 的基本原理

1.1 QFD 的定义

在日本, 包括综合质量功能配置和狭义质量功能配置两部分, 统称为广义质量功能配置, 如图 1 所示。现分别介绍如下。

赤尾洋二将综合质量功能配置定义为^[46]: “将顾客需求转变为质量特性以确定产品的设计质量; 通过以系统的方式展开顾客需求与质量特性之间的关系, 并将其每一功能部分的质量进一步展开为每个零件和过程的质量要求, 进而通过上述关系网络实现产品总体质量的要求。”

水野滋把狭义质量功能配置定义为^[47]: “利用一系列的目和手段, 把形成产品质量的功能和业务按各个阶段和步骤进行具体展开。”

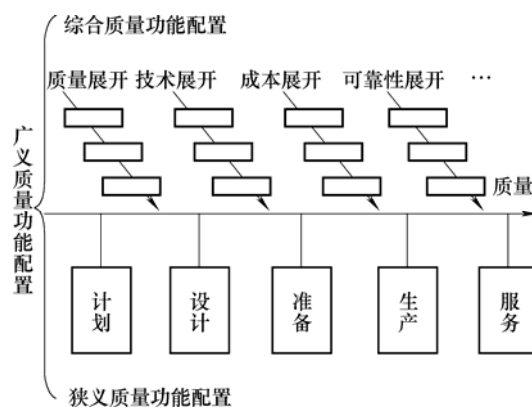


图 1 日本的综合 QFD 模式

美国供应商协会(American Supplier Institute, ASI)对质量功能配置给出了下述定义^[48]: “把顾客需求转变为企业各个阶段(研究、产品设计与开发、制造、装配和销售与售后服务)的恰当要求的一种方法。”

COHEN^[49]将质量功能配置定义为: “一种结构化的产品规划与开发方法, 该方法能够使产品开发准确地确定顾客需求, 并能根据所开发的产品与服务性能对顾客需求的满足程度进行系统的评价。”

这些定义均阐述了上述事实: QFD 能够保证在产品开发和设计过程中最大限度地满足顾客需求。由此也可以看出, QFD 的实质就是从顾客需求出发, 把顾客语言转变为工程设计人员的语言的过程。QFD 的基本目标主要有以下两个: ①识别并确定顾客需求。②决定顾客需求满足和实现的手段与方法。总之, QFD 是顾客需求驱动的产品设计方法。

1.2 QFD 的三种模式

到目前为止, 国际上 QFD 共有三种被广泛认同的模式: 日本的综合 QFD 模式、ASI 模式、目标/产品质量特征(Goal/product-quality-characteristic, GOAL/PQC)模式。其中 ASI 模式和 GOAL/PQC 模式均起源于日本的综合 QFD 模式。现将这三种模式作如下简要介绍。

第一种是日本的综合 QFD 模式^[46-47], 如图 1 所示。该模式以质量展开为基础, 同时进行技术展开、成本展开和可靠性展开等; 在上述展开的基础上, 以技术展开为中介进行零件功能展开。

第二种是 ASI 的四阶段模式, 简称 ASI 模式^[48], 如图 2 所示。由于 ASI 模式结构简洁, 并能充分体现 QFD 的实质, 因而已经成为实际应用的主流模式, 并且越来越多的学者采用该模式作为相关研究的基础。基于此, 本文将采用 ASI 模式进行相关研究。

第三种是 GOAL/PQC 模式^[49]。这种模式包括了 30 个矩阵, 涉及产品开发过程中的各方面信息, 具有较强的灵活性, 因而对于 QFD 系统中的各种工

作提供了良好的支撑。但它缺乏各种活动之间的严密逻辑，故其应用缺乏可操作性。

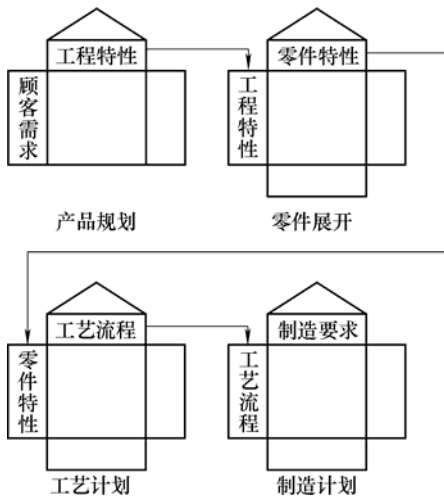


图2 ASI的四阶段模式

2 质量屋构建的研究进展

为了实现质量屋的构建一致性和便于对其进行使用，根据文献[50-53]，本文采用统一的质量屋构建的10-Step模型，该模型包括了通常使用的HOQ元素(图3)。



图3 10-Step质量屋的模型

以下将对该构建模型的每一步所包含的内容作简要介绍，并对其研究现状进行相应评述。

2.1 顾客需求的确定

质量屋构建的第一步是识别、分析和确定顾客需求的项目。

构建质量屋的企业必须准确了解产品所面向的顾客，即目标顾客。通常有三种类型的顾客：内部顾客(例如：股东、管理者和雇员等)、中间顾客(例如：批发商和零售商)和最终顾客(例如：服务接受者、个体购买者和机构购买者等)。HOQ中的顾客需求分析必须专注于最终顾客，它们可以通过已存

信息以及市场研究来识别和确定质量屋中的顾客需求。

企业确定顾客对其产品的需要是极其重要的，否则它不知道如何满足顾客并且也不了解如何在激烈的市场竞争中取胜。顾客需求的调查方法包括集中性小组、单个访谈、倾听和观察以及利用已知信息等方法^[49]。通过集中性小组和单个访谈这两种方法调查顾客需求被证明是合适和经济的。

顾客调查所确定需求项目的数量通常是较大的，有时甚至是庞大的。但在各种条件制约下，企业不可能也没有必要同时满足所有上述项目。因此企业必须通过恰当方法发现这些顾客需求中真正的项目及其相关知识，进而确定质量屋中的顾客需求。在顾客需求调查过程中，顾客通常用模糊语言来表达其需求，比如：“计算速度快”，“颜色鲜艳”等。用模糊理论处理上述概念时，需要事先确定模糊数的成员隶属度或隶属函数，而确定它们通常是不准确和困难的，这就使得模糊理论在顾客需求确定过程中的应用存在较大困难。

文献[54-61]分别提出了基于亲和图、顾客需求分类、属性层次分析、拓扑分析、神经网络、关联规则、完备信息系统和不完备信息系统等方法对顾客需求进行分析和处理，但上述方法都是基于下述研究假设：顾客需求的表述是精确、完全和分明的层次或树状结构。

通过上述分析可知，现有研究主要存在以下问题：①缺乏系统化的方法以支持整个顾客需求的分析。②所确定的顾客需求很有可能是不完整和不一致的。③不同背景的顾客需求分析师和顾客通常存在交流障碍。④没有考察来源于QFD团队的非功能性需求。

2.2 顾客需求基本重要度的确定

质量屋构建的第二步是确定顾客需求的基本重要度。顾客需求通常有不同的重要性，并且企业常常更为关注较重要的顾客需求。顾客对其需求进行评价以得到顾客需求的相对重要度，而后利用各种数学方法对上述相对重要度进行处理以确定顾客需求的基本重要度。

人们通常用诸如不重要或非常重要等语言变量来对一项顾客需求的属性重要度进行评价，而后将其评价转化为精确数值以获得顾客需求的基本重要度，其普遍采用的数字标度有1-3-5-7-9等。文献[46-50, 62-63]利用层次分析法来确定顾客需求基本重要度。文献[64-66]提出了一种群决策技术以确定基本重要度，该技术通过投票和线型规划的混合算法将决策的个体偏好转化为群体一致性。文献[67]

探讨了群体层次分析法在确定顾客需求基本重要度中的应用,进而提出了获取基本重要度的权重概率法。文献[68]提出了利用线型偏序方法获得顾客需求基本重要度的方法,但应用该方法的计算量较大,故其可行性并不大。

为了准确地刻画 QFD 的内在模糊性,文献[69]在将模糊理论引入到其中做出了开创性的贡献。文献[70]将模糊理论用于顾客竞争性分析,并结合多属性决策方法以确定所评估的顾客需求的基本重要度。文献[71]考虑到顾客需求之间存在相关性,采用对称三角模糊数来对顾客需求基本重要度进行排序。文献[52-53]利用三角模糊数获取顾客需求基本重要度。文献[72]研究了基于模糊标度层次分析法的基本重要度的确定问题。文献[73]考虑了模糊顾客需求的多粒度多语义情况,利用模糊数的集结值来确定基本重要度。

文献[74-77]提出了一种网络分析法以确定顾客需求的基本重要度。由于精确网络分析方法不能准确反映顾客需求的模糊性,文献[78-79]将模糊集引入到网络分析方法中,利用带有语义变量的模糊网络分析方法处理上述不确定和不完备信息。但网络分析法的应用主要存在以下困难:网络中各元素数目的增加将导致所要求评价的捉对比较矩阵和捉对比较问题的数量成几何倍数的增大。另外,在模糊网络分析方法过程中,QFD 团队成员通常用模糊语言来表达其需求重要性的比较,但用模糊理论处理上述概念时,需要事先确定其成员隶属度,而确定它们通常是不准确和困难的,这就使得模糊网络分析方法在基本重要度确定中的应用存在较大误差。

文献[80]将顾客需求的满意度评价转化为符合粗糙集定义的决策系统,而后根据粗糙集中相对正域的方法确定顾客需求的基本重要度。文献[81]基于粗糙集的基本原理引入了粗糙数和粗糙边界区间等两个概念,这两个概念能处理顾客需求的不分明性和主观性,并被用来确定顾客需求的基本重要度。

在顾客需求基本重要度的确定方面,常规方法(如层次分析、联合分析和精确网络分析)要求顾客对每一对顾客需求和每一对厂家进行两两比较,但试图让顾客提供这样“精确”和“重复”的信息,既耗时又不现实,故其可行性不大。模糊语言用于顾客意见的表达显示出一定的优势,但受限于顾客的知识水平和复杂的调查方法,也有可能导致顾客对调查产生厌烦和不理解情况;并且利用模糊理论处理顾客需求之间的比较时,需要事先确定成员隶属函数,而确定它们通常是不准确和困难的,这就使得模糊理论在基本重要度确定过程中的应用是不

准确的。所有上述方法都是基于对单个顾客需求的评价或任意两个顾客需求的比较评价,而没有同时从顾客需求的所有方面出发以确定其基本重要度。粗糙集能够提供更深刻地洞察顾客的真实感知并能被用来对顾客需求进行优先排序,也具有对主观和不明信息进行集合分析的能力,但它所要求的数据必须使离散化的。

总之,现有研究或者仅仅考察顾客需求重要性评价的模糊性,或者仅仅针对顾客需求重要性评价的不分明性进行分析,而没有针对具有顾客需求重要性评价的模糊性和不分明性进行全面和同时的数学处理。

2.3 顾客需求的竞争性分析

质量屋构建的第三步是对本企业及其竞争对手所生产相似产品进行关于每一项顾客需求的竞争性分析。通过上述竞争性分析,可以确定顾客需求基本重要度的修正因子。

大部分文献采用比例标度法确定每一项顾客需求的“卖点”,但比例标度法的误差有时较大。为了克服其较大的误差,文献[52-53]利用信息熵的方法对竞争企业的产品表现排序进行处理以确定基于竞争性信息的顾客需求重要性,即基本重要度修正因子。

文献[50]提出了基本重要度修正因子确定的一种方法,现简要总结如下:首先,对于每一项顾客需求,确定本企业及其竞争企业的产品表现排序;其次,QFD 团队对上述排序进行比较以及确定本企业产品表现的改进目标以得到本企业产品表现的改进比率,进而与其他调整因素(例如“卖点”)合成得到基本重要度的修正因子。

文献[80]通过引入顾客需求竞争位次的计划改进增量、实际改进增量和可能性因子等概念来表征企业改进产品竞争力的意愿,并提出了基本重要度修正因子的确定公式。

针对竞争性信息的模糊性,文献[82]提出了一种基于模糊竞争性信息的基本重要度修正因子的确定方法,该方法包括对模糊表现评价矩阵进行模糊比较、竞争性位置的确定、竞争重要度排序算法的应用以及重要度的去模糊化和正规化等处理步骤。

卡诺模型阐明了顾客需求的满意度与产品或服务的表现之间的关系,并且准确地刻画了顾客需求的本质特征^[83-84]。因此,为了必须更深入地了解“顾客声音”的特性,并且从它们中获取有价值的信息,文献[85-89]分别提出了基于卡诺模型的基本重要度修正因子的确定方法,从而以一种经济的方式实现全面的顾客满意。文献[90]基于卡诺模型中的顾客

需求分类原理,提出了实现顾客需求满意度改进比率的重要性概念,并在此基础上确定了基本重要度的修正因子。

总体来看,基本重要度修正因子确定的现有研究主要存在以下问题:①没有考察顾客需求的竞争性评价通常具有不一致、模糊和不完全的特征。②没有综合考虑影响基本重要度修正因子确定的各种因素:基于模糊或精确的竞争性信息的顾客需求重要性、顾客需求满意度的改进比率和实现顾客需求满意度改进目标的重要性。

2.4 顾客需求最终重要度的确定

质量屋构建的第四步是通过顾客需求基本重要度及其修正因子的合成确定顾客需求的最终重要度。一般情况下,更大的基本重要度以及更大的修正因子的顾客需求应被给予更大的关注。

最初的研究均利用顾客需求基本重要度及其修正因子的乘积作为顾客需求的最终重要度,但该方法未能准确考察顾客需求基本重要度及其修正因子的相对重要性,故而其结果有时是不准确的。因此,近期的研究均采用顾客需求基本重要度及其修正因子的加权和形式来准确确定顾客需求的最终重要度。

在顾客需求最终重要度的确定方面,现有研究没有根据具体的市场竞争环境提出顾客需求基本重要度及其修正因子的相对重要性确定方法。

2.5 工程特性的产生

质量屋构建的第五步是产生工程特性,即 QFD 团队通过一定的方法并以具有可量度和操作性的技术术语的方式来满足顾客需求,进而产生质量屋中的工程特性集合。

文献[2]利用因果分析法产生质量屋中的工程特性。文献[49]利用亲和图方法对工程特性进行分析和处理。但这两种方法均未实现量化。文献[77]利用网络分析方法,提出了由顾客需求筛选与精化、工程特性获取与转化和工程特性优化与决策等三个过程构成的映射方法,进而建立了顾客需求与工程特性之间映射关系的理论模型,从而产生质量功能配置中的工程特性。但网络分析法的应用主要存在以下困难:网络中各元素之间相关关系的增加将导致所要求评价的捉对比较矩阵和捉对比较问题的数量成几何倍数的增大,这使其可行性在某种情况下并不大。

文献[91]利用头脑风暴法产生关于工程特性的大量想法,而后对它们进行精炼以产生质量屋中的工程特性。但头脑风暴法的最主要缺陷是其程序的主观性和非正规性,头脑风暴法的另外一个缺陷是

没有一个恰当方法来检查所解决问题的相关方面是否被考虑全面。作为产生质量屋中的工程特性的方法,头脑风暴法的这些缺陷对其可用性造成了严重限制。

文献[92]提出了产生备选工程特性的系统方法,该方法共包括六个步骤:最初的五个步骤试图根据给定的顾客需求获得“依赖于顾客需求的工程特性备选集”,第六步则产生“非依赖于顾客需求的工程特性备选集”,最后两种类型的工程特性备选集的有机合成构成了备选工程特性的最终集合。该方法仅仅产生备选工程特性的最终集合,但它不能产生质量屋中的工程特性。

文献[90]提出了质量屋中工程特性产生的粗糙集方法。该方法首先提出了工程特性筛选集的产生方法,并引入了顾客需求和筛选集中的工程特性之间广义关联的概念;其次,利用粗糙集的有关方法,确定顾客需求和筛选集中的各项工程特性之间的广义关联关系;再次,引入相应于每一项顾客需求的广义关联关系的强度阈值概念,进而通过集合运算产生质量屋中的工程特性集;最后,为了与实践应用相融合,并在此基础上设计相应的算法。

在工程特性产生过程中,QFD 团队成员通常用模糊语言来表达其要求,用模糊理论处理上述要求时,需要事先产生其成员隶属函数,但确定它们通常是不准确和困难的,这就使得模糊理论在工程特性产生过程中的应用存在较大误差。

通过上述分析可知,工程特性产生的现有研究主要存在着不准确、可行性不大以及不尽合理等问题,而这些问题是制约工程特性能否合理、准确和可行产生的关键所在。

2.6 关联关系和自相关关系的确定

质量屋构建的第六步是确定各项工程特性之间的自相关关系。通常情况下,各项工程特性之间可能存在相互阻碍、相互促进或不相关等三种关系,简称为自相关关系。工程特性被确定之后,QFD 团队必须确定各项工程特性之间的如下关系:当一项工程特性发生变化时,该变化对其他的工程特性产生多大的影响。而上述影响的程度与方向能够对研发产品的投入产生严重的影响。特别地,如果某一项工程特性对其他工程特性产生负面影响,那么该项工程特性极有可能是工程瓶颈,并且它要求专门的规划或技术的突破。换句话说,自相关矩阵能够告诉 QFD 团队需密切注意和合作的工程特性,以及不需要上述工作的项目。

质量屋构建的第七步是确定顾客需求与工程特性之间的关联关系。关联关系是识别每一项顾客需

求与每一项工程特性之间关系或耦合强度的一种手段。关联关系的确定是质量屋过程中的一个关键步骤,这是因为 QFD 最后的分析结果依赖于上述关联关系的强度与方向。通常情况下,顾客需求与工程特性之间可能存在相互阻碍、相互促进或不关联等三种关系,简称为关联关系,因而也将其相应地划分为三种类型:正关联关系、负关联关系和非关联关系。

大多数文献通常采用比例标度来表示顾客需求与工程特性之间的关联关系以及各项工程特性之间自相关关系的强度。质量屋优化过程所应用的比例标度对工程特性的重要度产生直接和巨大的影响,因此关联关系和自相关关系标度的方案选择是 QFD 应用过程的关键。文献[49]在所发表研究成果中随机选择了三十个应用比例标度方法的案例,并对它们所选择的标度进行相应的检验,而其检验结果则表明:所有案例都没有提供它们选择其标度方案的足够理由,也没有展示其选择的科学基础。因此,利用标度法确定关联关系和自相关关系有时是缺乏系统性和不精确的。

文献[62]提出了关联关系和自相关关系确定的摆动算法,并认为在确定关联关系和自相关关系过程中应充分利用 QFD 团队中的专家经验和知识。由于所使用的摆动算法仍没有摆脱直接指定权重和两两比较的弱点,故其误差较大。文献[68]利用线性偏序方法来抽取产品规划过程中参与者的知识,以确定关联关系和自相关关系,尽管该方法能够在一定程度上减轻设计者和工程师的巨大负担,但由于计算相当复杂,故其可行性并不大。

一部分文献应用了田口方法、设计试验和经验来获取质量屋中的关联关系和自相关关系,例如:文献[93]利用大量的试验数据,提出了确定顾客需求与工程特性之间的关联关系以及各项工程特性之间自相关关系的非线性规划方法,文献[94]提出了基于田口方法的获取关联关系和自相关关系的多特征映射方法。由于这些方法的应用须依赖于大量的相关试验数据,因而与试验相关的时间和成本将成为应用的根本障碍。

文献[74-77]利用网络分析方法建立了顾客需求与工程特性之间映射关系的网络模型,并据此模型分别提出了基于网络分析过程的关联关系确定方法和基于网络分析过程的自相关关系确定方法。由于精确网络分析方法不能准确反映顾客需求与工程特性之间关联关系以及工程特性之间自相关关系的模糊性,文献[95]将模糊集引入到网络分析方法中,利用带有语义变量的模糊网络分析方法处理上述关

系中的不确定和不完备信息。但网络分析法的应用主要存在以下困难:网络中各元素之间相关关系的增加将导致所要求评价的捉对比较矩阵和捉对比较问题的数量成几何倍数的增大;另外,在模糊网络分析方法过程中,QFD 团队成员通常用模糊语言来表达其需求,但用模糊理论处理上述概念时,需要事先确定其成员隶属度或隶属函数,而确定它们通常是不准确和困难的,这就使得模糊理论在关联关系和自相关关系确定过程中的应用存在较大困难。

鉴于关联关系和自相关关系是模糊和不精确的,文献[96]首次将带有对称三角型模糊系数的模糊回归模型引入 QFD 系统中以确定其关联关系和自相关关系。而后,文献[97-98]将对称三角模糊数扩展为非对称三角模糊数和梯形模糊数,并将最小二乘回归集成到模糊线性回归模型里,提出了两组混合的非对称模糊线性规划模型来确定产品质量规划屋中的关联关系和自相关关系,最后该文还指出下述研究方向:为了克服模糊线性回归的缺点和获得具有变化多样性的系数,应考虑使用非线性模糊回归模型。文献[99]基于非线性随机规划方法来确定工程特性与顾客需求之间的关联关系以及各项工程特性之间的自相关关系。文献[100]提出了基于模糊逻辑的关联关系确定方法,但没有提出自相关关系的确定方法。文献[101]分别提出了基于模糊专家系统的关联关系确定方法和基于模糊专家系统的自相关关系确定方法,进而通过去模糊化的处理以获得模糊关联关系和模糊自相关关系的期望值输出。然而,上述文献所使用的数据量是较少的,并且缺乏大量的相关数据以及确定其所使用模糊数的隶属度是困难的和不精确的,因而其研究结果在某些情况下是不可靠的。

为了进行产品质量规划,文献[102]充分利用 QFD 团队成员的知识和经验将顾客需求与工程特性之间的关联关系离散化,并在确定关联关系的过程中根据工程特性值获取其相关成本和顾客满意度的数值,进而利用动态规划方法在有限的备选方案中确定最优方案。由于该方法必须确定大量的离散化数值,故其可行性并不大。

为了挖掘 QFD 团队中的专家经验和知识,文献[103-104]利用粗糙集这一知识发现和挖掘的有力工具确定关联关系和自相关关系,但在应用粗糙集来确定关联关系和自相关关系的精度方面还有几个问题尚待解决:①知识分层的粒度与上述精度之间的关系是线性的,还是非线性的?如何对知识分层的粒度与该精度之间的关系进行敏感性分析?②知识库的完备性与上述精度之间的关系是线性

的,还是非线性的?如何对知识库完备性与该精度之间的关系进行敏感性析?

通过上述分析可以看出,目前的研究未能全面考察顾客需求与工程特性之间的关联关系以及各项工程特性之间自相关关系的模糊和不分明等特性,并且也未能充分利用 QFD 团队中的专家经验和知识。

2.7 工程特性初始重要度的确定

质量屋构建的第八步是确定工程特性初始重要度。每一项工程特性的初始重要度是所有与之相关联的顾客需求对其全面影响的融合,因而工程特性初始重要度反映顾客需求所引致的工程特性重要性。

最初的研究仅仅考虑工程特性基本重要度的两个决定因素:顾客需求最终重要度和顾客需求与工程特性之间的关联关系,而没有考察工程特性之间的自相关关系,故其结果在某些情况下是不准确的。为了更为准确地确定工程特性的初始重要度,相关研究均认为工程特性初始重要度是由顾客需求的最终重要度、顾客需求与工程特性之间的关联关系以及工程特性之间的自相关关系等三个因素共同决定的。

文献[101]利用模糊专家系统和模糊数的期望值等方法获得关联关系和自相关关系,通过顾客需求重要度和关联关系的“加权求和”确定每项工程特性的重要性,并基于工程特性之间的自相关关系确定每项工程特性的来源于其他工程特性的影响值,最后基于每项工程特性的重要性和影响值的合成确定工程特性的初始重要度。

文献[105]提出了三个步骤的工程特性初始重要度的确定方法:首先,进行有效和一致的数据获取的合成;其次,基于上述结果,通过求解一组非线性规划来确定工程特性的模糊重要度;最后,利用模糊期望值算子对上述模糊重要度进行精确化处理来确定工程特性的初始重要度。

在工程特性初始重要度的确定方面,现有研究没有考虑关联关系和自相关关系之间的相对重要性以及相对于每项顾客需求的自相关关系的强度限值。

2.8 工程特性的竞争性分析

质量屋构建的第九步是确认竞争企业、工程特性的竞争性分析以及对工程特性表现设定目标并对该目标进行可行和效率分析。

工程特性的竞争性分析就是对本企业及其竞争对手所生产的相似产品的工程特性表现进行比较。上述竞争性分析主要是通过市场调查来完成,但它

是 QFD 应用过程中的一个艰难的任务。对工程特性进行认真的技术评价和比较以获得可靠的竞争性评价价值,而这些评价价值代表着工程特性表现的比较结果。

文献[53]利用信息理论中熵的概念分析本企业及其竞争对手的产品表现,提出了基于竞争性的工程特性重要性确定方法。该方法的理论基础为:如果所有企业的某项工程特性的产品表现是相同的,它隐含着巨大的市场机会,这是因为一个小的改进将引致一个较大的竞争优势。但在某些情况下,该方法的结果可能是不准确的。

文献[106]在工程特性竞争性的分析过程中引入了“控制环”和“努力—影响矩阵”两个概念以克服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。

QFD 团队对工程特性的表现设定相应的改进目标^[107]。在本质上,某一工程特性的表现目标代表着其表现水平:在相关市场中,为了本企业产品与其竞争对手产品的比较过程中具有竞争力,该项工程特性必须达到某一表现水平。文献[90]根据每项工程特性表现的目标水平,确定其改进比率,进而引入了实现工程特性改进目标的重要性的概念,并提出了实现工程特性表现的改进目标的重要性的决定性如下因素:工程特性表现的改进目标的大小、实现工程特性表现的改进目标所要求的投入、实现工程特性表现的改进目标所引致的回报以及实现工程特性表现的改进目标的可行性(即必须对实现工程特性表现的改进目标进行风险和效率分析),最后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。

总体来看,工程特性竞争性分析的现有研究主要存在以下问题:①没有考察工程特性表现的竞争性评价通常所具有不一致、模糊和不完整的特征。②没有综合考虑影响工程特性竞争性分析结果的两种因素:基于模糊或精确的竞争性信息的工程特性重要性和实现工程特性表现的改进目标的重要性。

2.9 工程特性最终重要度的确定

质量屋构建的第十步是确定工程特性的最终重要度。工程特性最终重要度将被转移到 QFD 的部件展开阶段,并在该阶段将其转化为对部件特性的要求。

文献[73]提出了基于网络分析过程的一个通用网络模型,该模型以系统的方式考察了其构件之间以及每个构建内部的关系并最终确定了工程特性的

最终重要度。特别的是,对于一个快速多变的市场,该文献将新产品研发风险、竞争性评价以及反馈信息合并到该网络模型中以帮助 QFD 团队对他们的主观判断和经验进行系统和准确的定量分析。但该模型对工程特性竞争性评价的处理是不全面的。

工程特性最终重要度是工程特性优先排序的全面量度。那些具有较大的初始重要度、更大的“技术点”和更大的实现工程特性表现的改进目标的重要性是 QFD 团队的工作重点,工程特性的最终重要度必须反映上述内容。为此,文献[90]根据顾客需求所映射的工程特性初始重要度、“技术点”和实现工程特性表现的改进目标的重要性的合成,提出了工程特性最终重要度确定的一种方法。该方法利用比例标度法对基于竞争性信息的工程特性重要性进行分析,但由于比例标度法具有偏差较大的特点,故而该方法的最终结果在某些情况下是不准确的。

文献[108]考察了影响工程特性排序的工程特性初始重要度、成本、可执行性以及环境后果等各种因素,基于数据包络分析的工程特性最终重要度确定方法。但该方法主要存在以下缺点:一是忽略了对工程特性竞争性评价的有关分析。二是该方法的计算是相当复杂的。

在工程特性最终重要度的确定方面,现有研究主要存在以下问题:①没有全面和综合考虑以下各种影响因素:工程特性的初始重要度、基于模糊或精确的竞争性信息的工程特性的重要性和实现工程特性表现的改进目标的重要性。②缺乏根据具体市场的竞争特性对这三种因素的相对重要性的研究。

3 质量屋构建特性及未来的研究工作

通过上述的分析与阐述,质量屋构建中内在的模糊、不分明和不完全等特性主要是由以下方面决定。

(1) 质量屋的构建过程包括以语义数据的形式各种各样的输入,例如:人们的主观感受、关于市场竞争的比较或顾客需求重要度的评价。而这些输入都是高度主观、不分明和模糊的。因此,利用某一种能够直接使用自然语言进行推理和处理的数学工具来处理这些输入是更为合理的。

(2) 顾客需求(通常为定性信息)向工程特性(通常为定量信息)的正常转化机制是缺乏的。实际上,一个质量屋包含多项顾客需求,每一项顾客需求将被转化为多项工程特性的要求,并且与之相反,某一项工程特性则可能影响多项顾客需求。在总体上,这些顾客需求倾向于以一种主观、定性和非技术的

方式实现工程特性的转化,而这种转化应以更定量和技术化的术语来表达。因此,根据顾客需求确定工程特性的项目以及顾客需求与工程特性之间的关联关系是模糊、不完全和不分明的。

(3) 各项工程特性之间存在着自相关关系。由于产品规划过程具有某种不确定性,并且可用于产品规划的数据通常是有限和不精确的,因而各项工程特性之间的自相关关系通常是不能被完全理解的,并且准确识别产品规划过程中的自相关关系是困难的,特别是研发一种完全创新的产品时。因此,自相关关系具有某种程度的模糊性和不分明性。

(4) 由于定性的顾客需求向定量的工程特性的正常转化机制是缺乏的,因而质量屋的构建成本和时间是难以控制的。在质量屋的构建过程中,必须充分发挥和挖掘 QFD 团队的经验和知识以降低构建成本和缩短构建时间,但这些经验和知识通常是模糊、不分明和不完全的。

质量屋的构建涉及大量的模糊、不分明和不完全等特性的知识和信息,包括 QFD 团队中专家的知识、经验、产品质量的知识、顾客需求的偏好等。因为对这些知识、信息的处理和利用贯穿于构建的全过程,所以质量屋的构建必须对这些知识和信息的处理和描述方法进行重点研究。质量屋的构建是一个模糊、不分明和不完全的过程,虽然现有研究在很大程度上能够克服其模糊性、不分明性和不完全性,但这里认为对质量屋构建的 10-Step 模型中的每一步还可能分别进行如下深入研究。

(1) 顾客需求的确定方面(步骤 1)。可将顾客需求的确定过程分为顾客需求的获取、顾客需求表述的抽取和顾客需求表述的合成等三个阶段。在顾客需求的获取阶段,可利用结构性访谈和头脑风暴法来产生初步的粗糙的功能性需求(来自于顾客),进而利用使用状况对它们进行详细阐述。在顾客需求表述的抽取阶段,可利用规范表述的语句来抽取精炼的功能性需求和非功能性需求。在顾客需求表述的合成阶段,可根据概念层次对顾客需求之间的关系进行分析以产生顾客需求表述的合成规则,进而利用这些规则对精炼的功能性需求和非功能性需求进行合成以确定质量屋中的顾客需求。

(2) 顾客需求基本重要度的确定方面(步骤 2)。由于顾客需求重要性评价同时具有模糊性和不分明性,可考虑采用模糊粗糙理论中的期望值算子获得顾客需求重要性评价的期望评价,进而通过简单的数学处理确定顾客需求的基本重要度。

(3) 顾客需求的竞争性分析方面(步骤 3)。由于顾客需求的竞争性评价通常具有不一致、模糊和不

完全的特征,可考虑采用拓扑理论来消除这些特征以获取一致、清晰和完整的评价结果。为了准确确定基本重要度的修正因子,可综合考虑其以下两种影响因素:基于模糊或精确的竞争性信息的顾客需求重要性和实现顾客需求满意度改进目标的重要性,并可采用层次分析法确定这些因素的相对重要性。

(4) 顾客需求最终重要度的确定方面(步骤4)。由于不同的产品所处的市场竞争环境可能相差较大,可根据具体的市场环境确定顾客需求基本重要度及其修正因子的相对重要性。一般而言,如果产品处于激烈的市场竞争环境,则基本重要度修正因子的相对重要性将被认为是大于0.5;如果产品处于缓慢增长的市场竞争环境,则顾客需求基本重要度被认为是更重要的,其相对重要性是等于或小于0.5。为了准确确定顾客需求基本重要度及其修正因子的相对重要性,可将市场竞争程度的等级划分为详细,这取决于QFD团队中专家的经验以及产品所处市场的特性。

(5) 工程特性集的产生方面(步骤5)。因为QFD团队中专家的知识和经验是不完全、不分明和非精确的,所以可采用模糊粗糙推理、实例推理、关联规则挖掘等知识发现工具来挖掘这些知识和经验以准确产生质量屋中的工程特性集。

(6) 关联关系和自相关关系的确定方面(步骤6和步骤7)。由于顾客需求与工程特性之间的关联关系以及各项工程特性之间自相关关系具有模糊性和不分明性,因而可利用模糊粗糙理论中的回归模型处理模糊和不分明的产品规划数据。为了提高模型的精度和准确度,可考虑应用田口方法和设计试验等获取检验数据,从而提高模型的精度和可靠性。

(7) 工程特性初始重要度的确定方面(步骤8)。为了准确确定工程特性的初始重要度,可根据QFD团队中的专家经验和知识确定相对于每项顾客需求的自相关关系的强度限值,进而利用“捉对比较法”确定关联关系和自相关关系之间的相对重要性。

(8) 工程特性的竞争性分析方面(步骤9)。由于工程特性表现的竞争性评价通常具有不一致、模糊和不完整的特征,可考虑采用拓扑理论来消除这些特征以获取一致、清晰和完整的评价结果。为了对工程特性进行准确的竞争性分析,必须综合考虑以下两种影响因素:基于模糊或精确的竞争性信息的工程特性重要性和实现工程特性表现的改进目标的重要性。

(9) 工程特性最终重要度的确定方面(步骤10)。为了准确确定工程特性的最终重要度,必须全面和

综合考虑以下影响因素:工程特性的初始重要度、基于模糊或精确的竞争性信息的工程特性的重要性和实现工程特性表现的改进目标的重要性,并根据具体市场的竞争特性来确定这三种因素的相对重要性。

对于质量屋的构建问题,在今后的研究中,还应进一步充分考虑各方面的变动因素,引入更具有知识挖掘能力的数学工具,使得质量屋的构建更为精确,并能够不断地降低构建的成本和缩短相应的时间,从而提供一个更为强有力的产品设计工具。

4 结论

(1) 质量屋在质量功能配置中具有基本和战略的重要性,这是由于它具有下述特征:识别和确认顾客需求以及对生产相似产品的企业进行竞争性分析,进而将上述顾客需求转化为对工程特性的恰当要求,从而满足企业竞争的需要;质量屋作为“顾客的声音”与“工程技术人员的声音”之间联系的“桥梁”使得质量功能配置系统中其他阶段能够通过它展开其过程和制造等规划;质量功能配置系统中其他三个阶段的结构和分析方法在本质上与质量屋是相同的。在质量屋构建过程中必须收集和大量处理模糊、不完整和不分明的大量主观信息,这是一项极具挑战性的工作。

(2) 为了避免质量屋的构建不一致性和便于其使用,本文根据统一的质量屋构建的10-Step模型,逐步地对质量屋的各个组成部分的研究现状进行了综述,并分析了质量屋构建中的模糊、不分明和不完全等特性的决定因素,并根据此模型探讨了未来的研究方向。质量屋的构建研究不能满足实际设计要求,因此该研究还需要较大的突破。

(3) 事实上,质量屋的构建已成为一个日益重要的产品设计研究方向,其中有很多值得深入探讨的科学问题和企业的实际应用问题。通过深入研究质量屋的构建方法,并将其应用于我国企业的产品设计实践,可为提高企业的产品设计水平提供相应的理论指导和实践支持。

参 考 文 献

- [1] PRASAD B. Reviews of QFD and related deployments techniques[J]. *Journal of Manufacturing Science Engineering in the ASME*, 1998, 17(3): 221-234.
- [2] 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): 1 186-1 195.
- [3] 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.
- [4] SAKAO I. A QFD-centered design methodology for environmentally conscious product design[J]. *International Journal of Production Research*, 2007, 45(18): 4 143-4 162.
- [5] BOVEA M D, WANG B. A redesign methodology for developing environmentally conscious products[J]. *International Journal of Production Research*, 2007, 45(18): 4 057-4 072.
- [6] CARIAGA I, EI D T, OSMAN H. Integrating value analysis and quality function deployment for evaluating design alternatives[J]. *Journal of Construction Engineering and Management in the ASCE*, 2007, 133(10): 761-770.
- [7] ZHENG L Y, CHIN K S. QFD based optimal process quality planning[J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2005, 26(7-8): 831-841.
- [8] FUNG R Y K, TANG J F, TU Y L, et al. Product design resource optimization using a non-linear fuzzy quality function deployment model[J]. *International Journal of Production Research*, 2002, 40(3): 585-599.
- [9] CHEN L H, KO W C. Fuzzy linear programming models for new product design using QFD and FMEA[J]. *Applied Mathematical Modeling*, 2009, 33(2): 633-647.
- [10] CHANG C L. Application of quality function deployment launches to enhancing nursing home service quality[J]. *Total Quality Management & Business Excellence*, 2006, 17(3): 287-302.
- [11] LIU X Q, INUGANT P, NOGUCHI K. Technical target setting in time-stamped quality function deployment[J]. *Total Quality Management & Business Excellence*, 2006, 17(2): 149-177.
- [12] MOSKOWITZ H, KIM K J. QFD optimizer: a novice friendly quality function deployment decision support system for optimizing product designs[J]. *Computers and Industrial Engineering*, 1997, 32(2): 641-655.
- [13] HAUSER J R, CLAUSING D. The house of quality[J]. *Harvard Business Review*, 1988, 66(3): 63-73.
- [14] REICH Y, LEVY E. Managing product design quality under resource constraints[J]. *International Journal of Production Research*, 2004, 42(13): 2 555-2 572.
- [15] CHANG C L, CHENG B W. To establish a continuing care system of discharge planning by QFD[J]. *Total Quality Management & Business Excellence*, 2003, 14(8): 903-918.
- [16] ASHAYERI A, DEGREVE J. Observational study in a semicontinuous polymer process[J]. *Quality Engineering*, 2004, 16(4): 551-565.
- [17] GONZALEZ M, QUESADA G B. Improving product design using quality function deployment—the school furniture case in developing countries[J]. *Quality Engineering*, 2004, 16(1): 45-56.
- [18] IRANMANESH S H, SALIMI M H. An investigation of rank reversal when using fuzzy importance levels in QFD analysis[J]. *International Journal of Reliability, Quality & Safety Engineering*, 2003, 10(2): 185-203.
- [19] FINKELSTEIN M S. On the performance quality of repairable systems[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2003, 19(1): 67-72.
- [20] CHEN L H, WENG M C. An evaluation approach to engineering design in QFD processes using fuzzy goal programming models[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 172(1): 230-248.
- [21] CHAN L K, WU M L. Quality function deployment: A literature review[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(3): 463-497.
- [22] PARTOVI F Y. An analytic model for locating facilities strategically[J]. *Omega*, 2006, 34(1): 41-55.
- [23] 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.
- [24] KARSAK E E. Fuzzy multiple objective programming framework to prioritize design requirements in quality function deployment[J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2004, 47(2): 149-163.
- [25] CHEN L H, WENG M C. A fuzzy model for exploiting quality function deployment[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2003, 38(6): 559-570.
- [26] HSIAO S W. Concurrent design method for developing a new product[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2002, 29(1): 41-55.
- [27] HALOG A, SCHULTMANN F, RENTZ O. Using quality function deployment for technique selection for optimum environmental performance improvement[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2001, 9(5): 387-394.
- [28] LOWE A, RIDGWAY K, ATKINSON H. QFD in new production technology evaluation[J]. *International Journal*

- of Production Economics, 2001, 67(2): 103-112.
- [29] KIM S H, JANG D H, LEE D H, et al. A methodology of constructing a decision path for IT investment[J]. Journal of Strategic Information Systems, 2000, 9(1): 17-38.
- [30] DUHOVNIK J, KUSAR J, TOMAZEVIC R, et al. Development process with regard to customer requirements[J]. Concurrent Engineering Research and Applications, 2006, 14(1): 67-82.
- [31] DEVADASAN S R, KATHIRAVAN N, THIRUNAVUKKARASU V. Theory and practice of total quality function deployment: A perspective from a traditional pump-manufacturing environment[J]. TQM Magazine, 2006, 18(2): 143-161.
- [32] PINTO M. Data representation factors and dimensions from the quality function deployment (QFD) perspective[J]. Journal of Information Science, 2006, 32(2): 116-130.
- [33] HANUMAIAH N, RAVI B, MUKHERJEE N P. Rapid hard tooling process selection using QFD-AHP methodology[J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 2006, 17(3): 332-350.
- [34] HAGHIAC H A, HAQUE I. Quality function deployment as a tool for including customer preferences in optimizing vehicle dynamic behavior[J]. International Journal of Vehicle Design, 2005, 39(4): 311-330.
- [35] CHEN Y Z, FUNG R Y K, TANG J F. Fuzzy expected value modeling approach for determining target values of engineering characteristics in QFD[J]. International Journal of Production Research, 2005, 43(17): 3 583-3 604.
- [36] LIU S T. Rating design requirements in fuzzy quality function deployment via a mathematical programming approach[J]. International Journal of Production Research, 2005, 43(3): 497-513.
- [37] KOBAYASHI H. Strategic evolution of eco-products: A product life cycle planning methodology[J]. Research in Engineering Design, 2005, 16(1): 1-16.
- [38] BHATTACHARYA A, SARKAR B, MUKHERJEE S K. Integrating AHP with QFD for robot selection under requirement perspective[J]. International Journal of Production Research, 2005, 43 (17): 3 671-3 685.
- [39] 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.
- LIN Zhihang, CHE Ada. Progress of research of quality function deployment[J]. Mechanical Science and Technology, 1998, 17(1): 119-121, 144.
- [40] 檀润华. 产品创新设计中若干问题研究进展[J]. 机械工程学报, 2003, 39(9): 11-16.
- TAN Runhua. Progress of some problems in product design for innovation[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(9): 11-16.
- [41] 解建喜, 宋笔锋, 刘东霞. 飞机顶层设计中的模糊质量功能配置方法[J]. 机械工程学报, 2003, 39(9): 165-170.
- XIE Jianxi, SONG Bifeng, LIU Dongxia. Method of fuzzy quality function deployment in aircraft top-level design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(9): 165-170.
- [42] 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.
- WANG Meiqing, TANG Xiaoqing. Combined house of quality oriented product planning[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004, 30(7): 652-656.
- [43] 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.
- YANG Mingshun, LIN Zhihang. Optimization model of HOQ considering continuous and discrete technical characteristics[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(3): 110-114.
- [44] 唐加福, 张艳娥, 陈以增. 供应商参与下的产品部件设计方案选择模型[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(5): 619-624.
- TANG Jiafu, ZHANG Yane, CHEN Yizeng. Model of parts design scheme selection for supplier involved new product development[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(5): 619-624.
- [45] 任朝晖, 宋乃慧, 李小彭, 等. 质量功能配置方法中模糊信息建模[J]. 机械工程学报, 2007, 43(5): 64-68.
- REN Zhaohui, SONG Naihui, LI Xiaopeng, et al. Method of fuzzy information in quality function deployment[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(5): 64-68.
- [46] YOJI A. New product development and quality assurance—quality deployment system[J]. Standardization and Quality Control, 1972, 25(2): 7-14.
- [47] YOJI A. Quality function deployment: integrateing customer requirements into product design[M]. London: Massachusetts Production Press, 1990.
- [48] American Supplier Institute. Quality function deployment (service QFD): 3-Day workshop[M]. Dearborn, MI: ASI Press, 1994.

- [49] COHEN L. Quality function deployment—how to make QFD for you[M]. Reading, MA : Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- [50] 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.
- [51] CHAN L K, WU M L. Prioritizing the technical measures in quality function deployment[J]. *Quality Engineering*. 1998, 10(3): 467-479.
- [52] CHAN L K, KAO H P, NG A, et al. Rating the importance of customer needs in quality function deployment by fuzzy and entropy methods[J]. *International Journal of Production Research*, 1999, 37(11): 2 499-2 518.
- [53] 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
- [54] TSENG M M, JIAO J X. Computer-aided requirement management for product definition: A methodology and implementation[J]. *Concurrent Engineering: Research and Application*, 1998, 6(2): 145-160.
- [55] HUAGE P L, STAUFFER L A. A method for eliciting knowledge form customers[J]. *Design and Methodology*, 1993, 53(1): 73-81.
- [56] YAN W, CHEN C H, KHOO L P. A radical basis function neural network multicultural factors evaluation engine for product concept development[J]. *Expert System*, 2001, 8(5): 219-232.
- [57] CHEN C H, KHOO L P, YAN W. A strategy for acquiring customer requirement patterns using laddering technique and ART2 neural network[J]. *Advance Engineering Information*, 2002, 16(3): 229-240.
- [58] JIAO J X, ZHANG Y Y. Product portfolio identification based on association rule mining[J]. *Computer-Aided Design*, 2005, 37(3): 149-172.
- [59] GUINTA L R, PRAIZLER N C. The QFD book: The team approach to solving problems and satisfying customers through quality function deployment[M]. New York: Amacom Press, 1993.
- [60] 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.
LI Yanlai, TANG Jiafu, YAO Jianming, et al. Method of determining the importance ratings of customer requirements' improvements for house of quality[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2007, 43(11): 110-118.
- [61] 李延来, 唐加福, 蒲云, 等. 质量功能配置中顾客需求的排序算法[J]. *计算机集成制造系统*, 2007, 13(6): 1 196-1 203, 1 240.
LI Yanlai, TANG Jiafu, PU Yun, et al. Sorting algorithm of customer requirements in quality function deployment[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2007, 13(6): 1 196-1 203, 1 240.
- [62] ARMACOST R L, COMPONATION P J, MULLENS M A, et al. An AHP framework for prioritizing customer requirements in QFD : An industrialized housing application[J]. *IIE Transactions*, 1994, 26(4): 72-79.
- [63] PARK T, KIM K J. Determination of an optimal set of design requirements using house of quality[J]. *Journal of Operations Management*, 1998, 16 (5): 569-581.
- [64] BAAYAAKAAZK G, FEYZIOAALU O. Group decision making to better respond customer needs in software development[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2005, 48(2): 427-441.
- [65] 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.
- [66] LIU C H, WU H H. The development of a model to explain group decision-making processes: an application of fuzzy methodology[J]. *International Journal of Management*, 2007, 24(3): 489-498.
- [67] 孔造杰, 郝永敬. 用权重概率综合系数法确定 QFD 中用户要求重要性[J]. *计算机集成制造系统*, 2001, 7(2): 65-67, 72.
KONG Zaojie, HAO Yongjing. Determine the importance of customer requirement in QFD using importance-probability comprehensive coefficient Method[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2001, 7(2): 65-67, 72.
- [68] HAN C H, KIM J K, CHOI S H. Prioritizing engineering characteristics in quality function deployment with incomplete information : A linear partial ordering approach[J]. *International Journal of Production Economics*, 2004, 91(3): 235-249.
- [69] KRASLAWSKI A, KOIRANEN T, NYSTROM L. Concurrent engineering — robust design in fuzzy environment[J]. *Computers and Chemical Engineering*, 1993, 17(Supp.): S447-S452.
- [70] WASSERMAN G S. On how to prioritize design requirements during the QFD planning process[J]. *IIE Transactions*, 1993, 25(3): 59-65.

- [71] KHOO L P, HO N C. Framework of a fuzzy quality function deployment system[J]. *International Journal of Production Research*, 1996, 34(2): 299-311.
- [72] KWONG C K, BAI H. A fuzzy AHP approach to the determination of importance weights of customer requirements in quality function deployment[J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2002, 13(1): 367-377.
- [73] 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.
YANG Mingshun, LIN Zhihang. Method to determine importance of customers' requirement in QFD[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2003, 6(5): 65-71.
- [74] PARTOVI F Y. An analytic model to quantify strategic service vision[J]. *International Journal of Service Industry Management*, 2001, 12(5): 476-499.
- [75] KARSAK E E, SOVER S, ALPTEKIN S E. Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach[J]. *Computer & Industrial Engineering*, 2002, 47(1): 171-190.
- [76] PARTOVI F Y, CORREDOIRA R A. Quality function deployment for the good of soccer[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 137(3): 642-656.
- [77] 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]. *Computer & Industrial Engineering*, 2008, 55(1): 253-278.
- [78] KAHRAMAN C, ERTAY T. A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 171(1): 390-411.
- [79] TBAAYAAKAAZKAN G, ERTAY T, KAHRAMAN C, et al. Determining the importance weights for the design requirements in the house of quality using the fuzzy analytic network approach[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2004, 19(1): 443-461.
- [80] 李延来, 唐加福, 蒲云, 等. 质量功能展开中顾客需求最终重要度的确定方法[J]. *计算机集成制造系统*, 2007, 13(4): 791-796.
LI Yanlai, TANG Jiafu, PU Yun, et al. Method of determining the final importance ratings of customer requirements in quality function deployment[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2007, 13(4): 791-796.
- [81] 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.
- [82] LAI X, XIE M, TAN K C, et al. Ranking of customer requirements in a competitive environment[J]. *Computer & Industrial Engineering*, 2008, 54(2): 202-214.
- [83] KANO N, SERAKU N, TAKAHASHI F, et al. Attribute quality and must-be quality[J]. *The Journal of Japanese Society for Quality Control*, 1984, 14(1): 39-48.
- [84] MATZLER K, HINTERHUBER H H, BAILOM F, et al. How to delight your customer[J]. *Journal of Product and Brand Management*, 1996, 5(1): 6-18.
- [85] LEE M C, NEWCOMB J F. Applying the Kano methodology to meet customer requirements: NASA's microgravity science program[J]. *Quality Management Journal*, 1997, 4(1): 95-106.
- [86] LEE Y C, SHEU L C, TSOU Y G. Quality function deployment implementation based on fuzzy Kano model: an application in PLM system[J]. *Computer & Industrial Engineering*, 2008, 55(1): 48-63.
- [87] CHEN L H, KO W C. A fuzzy nonlinear model for quality function deployment considering Kano's model[J]. *Mathematical & Computer Modeling*, 2008, 48(3): 581-593.
- [88] TAN K C, SHEN X X. Integrating Kano's model in the planning matrix of quality function deployment[J]. *Total Quality Management*, 2000, 11(8): 1141-1151.
- [89] TAN K C, XIE M, SHEN X X. Development of innovative products using Kano's model and quality function deployment[J]. *International Journal of Innovation Management*, 1999, 3(3): 271-286.
- [90] 李延来. 基于粗糙集的产品规划质量屋构建研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
LI Yanlai. Research of building product planning house of quality[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.
- [91] BOSSERT J L. Quality function deployment: a practitioner's approach[M]. Milwaukee, WI: ASQC Quality Press, 1991.
- [92] KIM H K, LEE M S, KIM K J. A systematic method for generating engineering characteristic candidates in quality function deployment[J]. *International Journal of industrial Engineering*, 2007, 14(2): 179-187.
- [93] DAWSON D, ASKIN R G. Optimal new product design using quality function deployment with empirical value functions[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 1999, 15(1): 17-32.
- [94] KUMAR P, BARUA P B, GAINDLAR J L. Quality

- optimization (multi-characteristics) through Taguchi's technique and utility concept[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2000, 16(2): 475-485.
- [95] ERTAY T, KAHRAMAN C, RUAND D. Quality function deployment implementation based on analytic network process with linguistic data: An application in automotive industry[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2005, 16(1): 221-232.
- [96] KIM K J, MOSKOWITZ H, DHINGRA A, et al. Fuzzy multicriteria models for quality function deployment[J]. *European Journal of Operational Research*, 2000, 121(2): 504-518.
- [97] FUNG R Y K, CHEN Y Z, TANG J F. Estimating the functional relationships for quality function deployment under uncertainties[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2006, 157(1): 98-120.
- [98] FUNG R Y K, CHEN Y Z, TANG J F. A fuzzy expect value-based goal programming for product planning using quality function deployment[J]. *Engineer Optimization*, 2005, 37(6): 633-647.
- [99] CHEN Y Z, CHEN L. A non-linear possibilistic regression approach to model functional relationships in product planning[J]. *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 2006 28(4): 1 175-1 181.
- [100] RAMASAMY N R, SELLADURAI V. Fuzzy logic approach to prioritize engineering characteristics in quality function deployment[J]. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2004, 21(9): 1 012-1 023.
- [101] KWONG C K, CHEN Y Z, CHAN D S K. A methodology of determining aggregated importance of engineering characteristics in QFD[J]. *Computer & Industrial Engineering*, 2007, 53(4): 667-679.
- [102] LAI X, XIE M, TAN K C. Dynamic programming for QFD optimization[J]. *Quality and Reliability Engineering International*, 2005, 21(8): 769-780.
- [103] 李延来, 唐加福, 姚建明, 等. 质量功能展开中关联关系确定的粗糙集方法[J]. *计算机集成制造系统*, 2007, 13(8): 1 650-1 657.
- LI Yanlai, TANG Jiafu, YAO Jianming, et al. Rough set method of determining relationships in quality function deployment[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2007, 13(8): 1 650-1 657.
- [104] 李延来, 唐加福, 姚建明, 等. 质量功能展开中自相关关系确定的粗糙集方法[J]. *系统工程理论与实践*, 2008, 28(2): 52-60.
- LI Yanlai, TANG Jiafu, YAO Jianming, et al. Method for determining relationships in quality function deployment based on rough set[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2008, 28(2): 52-60.
- [105] CHEN Y Z, FUNG R Y K, TANG J F. Rating technical attributes in fuzzy QFD by integrating fuzzy weighted average method and fuzzy expected value operator[J]. *European Journal of Operational Research*, 2006(174): 1 553-1 566.
- [106] CHAN T K, RAGHAVAN V. Incorporating concepts of business priority into quality function deployment[J]. *International Journal of Innovation Management*, 8(1): 21-35.
- [107] 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): 1 447-1 463.
- [108] 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.

作者简介: 李延来, 男, 1971 年出生, 在站博士后。主要从事产品设计、质量工程和运作管理等方面的研究。

E-mail: lyl_2001@163.com