

文章编号:1671-6833(2004)03-0105-04

数据包络分析法在QFD中的应用

张炎亮, 张琳娜, 赵凤霞

(郑州大学机械工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 在分析质量功能配置的基础上, 提出了一个基于数据包络分析法的质量功能配置模型. 该模型充分利用了质量屋的输入、输出信息, 权衡、优化质量屋中存在的各种矛盾和冲突, 通过分析各决策单元的生产有效性来判断和评价新产品开发或老产品改造中的技术特性, 从而帮助产品开发人员做出有效的决策, 使其所设计的产品最大程度地满足顾客的需求. 实例研究表明, 该模型是可行的和有效的.

关键词: 质量功能配置(QFD); 多目标决策; 数据包络分析(DEA)

中图分类号: F 273.2 **文献标识码:** A

0 引言

数据包络分析(DEA)是美国著名运筹学家 A·Charnes 和 W·W·Cooper 等人以相对效率概念为基础发展起来的一种效率评价方法^[1]. 众所周知, 具有单输入单输出的过程或决策单元, 其效率可简单的定义为: 输出/输入. A·Charnes 等人就是将这种思想推广到具有多输入多输出生产有效性分析上. 对具有多输入多输出的生产过程或决策单元, 其效率可类似定义为: 输出项加权和和输入项加权和, 形成了仅仅依靠分析生产决策单元(DMU)的投入与产出数据, 来评价多输入与多输出决策单元之间相对有效性的评价体系.

质量功能配置(Quality Function Deployment, QFD)是一种用于听取顾客呼声(The voice of customer)的系统化方法, 它将顾客的愿望恰如其分地转化成生产计划、产品设计、制造等各阶段的具体技术要求, 达到缩短开发周期、提高质量、降低成本的目标. QFD最初是由日本东京技术学院的 Shigeru Mizuno 博士于 60 年代末提出来的^[2], 进入 80 年代后被介绍到欧美, 引起了广泛的研究和应用. QFD 是通过质量屋(House of Quality)这一工具来有效规划产品设计的, 可将基于质量屋的规划过程分为质量屋的建立和质量屋的决策两个过程. 质量屋的建立主要是根据确定的顾客需求建立质量屋的各个部分, 其中包括技术特征及其相

关矩阵; 质量屋的决策部分则利用上述已建立的质量屋来进行有效的决策, 以使顾客对所设计的产品满意度最大. 其中质量屋决策部分中, 各矩阵优化是一个复杂的多变量、多目标决策过程, 需要权衡、优化质量屋中存在的各种矛盾和冲突, 包括各种技术特征间的对立和冲突、顾客需求与产品开发成本和时间的冲突等. 目前在 QFD 实施过程中, 主要依靠产品开发人员的经验来确定, 往往无法权衡、优化质量屋中的各种矛盾和冲突, 缺乏科学的依据, 也很难得到最优的决策结果. 因此, 如何根据质量屋的各部分信息来科学地决策质量屋的优劣是 QFD 决策过程中最为关键的问题之一.

本文在对 QFD 及其应用技术研究的基础上, 将数据包络分析引入 QFD 中的质量屋决策过程, 提出基于质量屋的多目标决策模型, 该模型充分利用质量屋中各阶段的输入、输出信息, 判断各个技术特征的 DEA 有效性, 为产品开发人员确定技术特征的目标值提供了科学的依据, 从而使所设计的产品在有限的资源约束下能最大限度地满足顾客需求.

1 质量功能配置

1.1 QFD 的概述

当前, 用户化产品已越来越成为市场需求的趋势, 愈来愈多的顾客希望能按照他们的要求和

收稿日期: 2004-03-05; 修订日期: 2004-06-18

基金项目: 河南省重点科技攻关计划项目(991140315)

作者简介: 张炎亮(1979-), 女, 安徽省涡阳县人, 郑州大学硕士研究生, 主要从事 CAD/CAM/CAQ 以及应用技术方面的研究.

偏好来生产产品. 对于企业来说, 质量的定义已经发生根本性的转变, 即从“满足设计需求”转变为“满足顾客需求”. 质量问题不再取决于企业与生产者本身的意志, 而是取决于重视顾客的呼声和懂得如何将顾客的呼声溶进生产过程. QFD 正是为了解决这个问题而提出的一种新的管理方法, 它在新产品开发和生产各环节中保证产品的质量. 同时, QFD 也是一种工具, 它能够在生产计划、产品设计、制造等各环节中将顾客的呼声溶进最终产品(或服务)中, 以期最大限度地满足顾客的需要.

QFD 的过程由产品规划、零件、子系统配置、工艺规划阶段和生产规划 4 个阶段组成如图 1 所示, 这 4 个阶段是一个相关的并行过程.

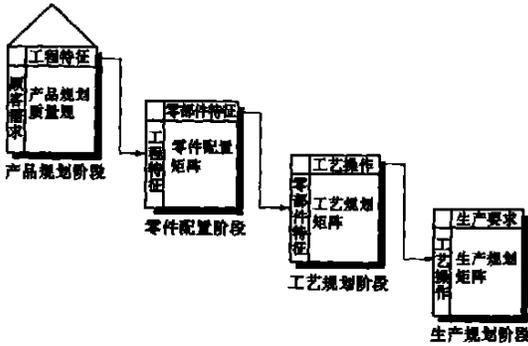


图 1 QFD 的瀑布式分解过程

Fig. 1 ASIF of QFD

QFD 的分析过程:

(1) 调查分析顾客需求. 顾客需求是质量功能配置的最基本的输入, 它的获取要通过各种市场调查方法和各种渠道搜集顾客需求, 然后进行汇集、分类和整理, 并用加权来表示顾客需求的相对重要度.

(2) 顾客需求的瀑布式分解过程. 采用矩阵(也称为质量屋)的形式, 将顾客需求逐步展开, 分层地转换为产品工程特性、零件特性、工艺特性和质量控制方法. 在展开过程中, 上一步的输出就是下一步的输入, 构成瀑布式分解过程.

1.2 QFD 的数据包络分析模型

质量屋中的顾客需求规划矩阵主要是对竞争者同类产品进行顾客竞争性评估. 假设顾客对产品有 n 方面的要求, 每个方面即可以被看作一个决策单元(Decision Making Unit, 简记为 DMU), 每个决策单元都有 m 种类型的“输入”, 以及 s 种类型的“输出”, 如图 2 所示. 图中 x_{ij} 为第 j 个决策单元对第 i 种类型输入的投入量(产品的技术特性指标); y_{rj} 为第 j 个决策单元对第 r 种类型输出的

产出量(顾客需求的评价目标值); v_i 为对第 i 种类型输入的一种度量(“权”); u_r 为对第 r 种类型输出的一种度量(“权”). 而且 $x_{ij} > 0, y_{rj} > 0, v_i \geq 0, u_r \geq 0 (i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n)$. x_{ij} 及 y_{rj} 均为已知的数据, 可根据相关资料或预测得到, v_i 及 u_r 为“权”变量.

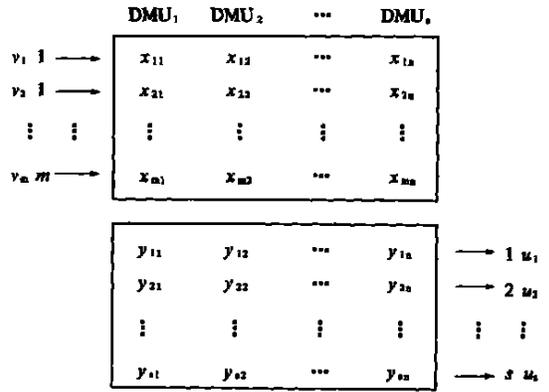


图 2 数据包络分析法框图

Fig. 2 Frame of DEA

记 $X_j = [x_{1j} \dots x_{mj}]^T, Y_j = [y_{1j} \dots y_{sj}]^T (j = 1, \dots, n)$, 则可用 (X_j, Y_j) 表示第 j 个决策单元 DMU_j. 对应于权系数 $v = [v_1 \dots v_m]^T, u = [u_1 \dots u_s]^T$, 每个决策单元都有相应的效率评价指标: $h_j = \frac{u^T Y_j}{v^T X_j} (j = 1, 2, \dots, n)$. 总可以适当选择权系数阵 v 和 u , 使其满足 $h_j \leq 1 (j = 1, 2, \dots, n)$. 令 $t = 1 / [v^T X]$, $\omega = tv, \mu = tu$;

现在对第 j_0 个决策单元进行效率评价. 简记 DMU _{j_0} 为 DMU₀. $[X_{j_0} \ Y_{j_0}]$ 为 $[X_0 \ Y_0], h_{j_0}$ 为 $h_0, 1 \leq j_0 \leq n$. 在各决策单元的效率评价指标不超过 1 的条件下, 选择权系数 u 及 v , 使 h_0 最大. 于是考虑带有非阿基米德无穷小量 ϵ 的模型 (P_{1 ϵ}) 构成如下的最优化模型:

$$(P_{1\epsilon}) \begin{cases} \max & \mu^T Y_0 = V_{P_{1\epsilon}} \\ \text{s.t.} & \omega^T X_j - \mu^T Y_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ & \omega^T X_0 = 1 \\ & \omega \geq \epsilon [e^-]^T, \mu \geq \epsilon [e^+]^T \end{cases}$$

(P_{1 ϵ}) 对偶规划模型为

$$(D_{1\epsilon}) \begin{cases} \min & [\theta - \epsilon [e^-]^T S^- + \epsilon [e^+]^T S^+] = V_{D_{1\epsilon}} \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ & \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ & \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n); S^+ \geq 0; S^- \geq 0 \end{cases}$$

其中: S^+ 和 S^- 分别代表输出和输入量距离各个

目标的目标偏差量 $[e^-]^T = [1 \ 1 \ \dots] \in E_m$, $[e^+]^T = [1 \ 1 \ \dots] \in E_s$, 利用此模型, 可以一次判断出 DMU_{j_0} 是 DEA 有效, 还是仅为弱 DEA 有效, 或者是非 DEA 有效. 判断方法如下: 设 ϵ 为非阿基米德无穷小量, 并且规划问题 $(D_{1\epsilon})$ 的最优解为 $\lambda^0, S^{-0}, S^{+0}, \theta^0$, 则有: ①若 $\theta^0 = 1$, 则 DMU_{j_0} 为弱, DEA 有效; ②若 $\theta^0 = 1$, 并且 $S^{-0} = 0, S^{+0} = 0$, 则 DMU_{j_0} 为 DEA 有效.

在实际应用中, 只要取 ϵ 足够小(例如取 $\epsilon = 10^{-6}$), 就可以使用单纯形方法求解规划问题 $(D_{1\epsilon})$, 从而得到各个决策单元的最优解 λ^* , S^{-*}, S^{+*}, θ^* , 并根据上述原理判断各决策单元是否 DEA 有效. 优化得到的技术特征 DEA 有效性表示各个技术特征所需的相对改进程度. DEA 有效, 则表示新产品或改进产品的技术特征目标值保持不变; 对于非 DEA 有效的产品, 可适当地调整技术特征的性能指标并进一步计算出 DEA 相对有效面‘投影面’, 从而可以把非 DEA 有效地决策单元转化为 DEA 有效, 此投影的值就是产品的技术特征目标值的改变量^[3~3].

3 实例

消费者在购买冰箱时, 应用 QFD 方法进行产品决策, 在产品决策质量屋中确定了两项技术特征(输入): ①冷冻室大; ②制冷速度快; 两个顾客

需求(输出): ①冷冻室有效容积; ②制冷速度; 根据上述顾客需求和技术特性, 我们将分析冰箱 4 个决策单元 (DMU_i), 即输入功率、冷冻室有效容积、冷冻能力和制冷速度, 从而判断其有效性. 已知条件如表 1 所示.

表 1 某冰箱厂 DEA 数据分析表

Tab. 1 The DEA data table of certain refrigerator factory

系数	DMU ₁	DMU ₂	DMU ₃	DMU ₄
输入 1	2	3	4	3.5
输入 2	3	1	5.2	3.5
输出 1	1	2	2.5	4.3
输出 2	1.2	3.2	2.8	2.7

先对 DMU_1 分析, 建立如下面目标决策模型:

$$\begin{cases} \min & \theta - \epsilon(S_1^+ + S_2^+ + S_1^- + S_2^-) \\ \text{s.t.} & 2\lambda_1 + 3\lambda_2 + 4\lambda_3 + 3.5\lambda_4 + S_1^- = 2\theta \\ & 3\lambda_1 + \lambda_2 + 5.2\lambda_3 + 3.5\lambda_4 + S_2^- = 3\theta \\ & \lambda_1 + 2\lambda_2 + 2.5\lambda_3 + 4.3\lambda_4 - S_1^+ = 1 \\ & 1.2\lambda_1 + 3.2\lambda_2 + 2.8\lambda_3 + 2.7\lambda_4 - S_2^+ = 1.2 \\ & \lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0, \lambda_3 \geq 0, \lambda_4 \geq 0 \\ & S_1^+ \geq 0, S_2^+ \geq 0, S_1^- \geq 0, S_2^- \geq 0 \end{cases}$$

在计算机上用单纯形法解此目标模型, 令 $\epsilon = 10^{-6}$, 可求得最优解为 $\theta^* = 1, \lambda_1^* = 1$ 即可判定 DMU_1 为 DEA 有效. 类似地, 分别对上述各决策单元建立相应的线性规划模型, 求得各个评价结果见表 2.

表 2 DEA 评价结果输出表

Tab. 2 The output of DEA evaluating result

名称	对应 C ² R 模型最优解	评价结论
输入功率	$\theta^* = 0.608 \ 9, \lambda_2^* = 0.294, \lambda_4^* = 0.095 \ 7, S_2^{-*} = 1.197 \ 4$	非 DEA 有效
冷冻室有效容积	$\theta^* = 1, \lambda_2^* = 1$	DEA 有效
冷冻能力	$\theta^* = 0.725 \ 8, \lambda_2^* = 0.632 \ 8, \lambda_4^* = 0.287 \ 1, S_2^{-*} = 2.136 \ 5$	非 DEA 有效
制冷速度	$\theta^* = 1, \lambda_4^* = 1$	DEA 有效

由上表可知, 输入概率和冷冻能力为非 DEA 有效, 进一步, 可对各非有效的产品进行 DEA 投影分析:

“输入功率”的输入指标 X_2 原始指标数据为 3, 则在 DEA 的相对有效面上的‘投影’为 $\theta^* X_2 - S_2^{-*} = 0.608 \ 9 \times 3 - 1.197 \ 4 = 0.629 \ 3$;

“冷冻能力”的输入指标 X_2 原始指标数据为 5.2, 则在 DEA 的相对有效面上的‘投影’为 $\theta^* X_2 - S_2^{-*} = 0.725 \ 8 \times 5.2 - 2.136 \ 5 = 1.637 \ 7$.

表 1 中冷冻室有效容积和制冷速度满足顾客的需求, 对应的技术特征目标值只要维持现状即可, 而冰箱的输入功率和冷冻能力则要经过技术

改善, 分别降低上述两项技术特征的性能指标. 因此决策者可以根据 DEA 的相对有效面上的‘投影’来改进产品的技术特征, 在有限的资源约束下使得设计和制造的产品能真正地满足顾客的需求^[4].

4 结论

本文提出了一个 QFD 多目标决策模型的一般形式. 该模型体现了 QFD 乃至并行工程的目标, 即提高产品质量、降低成本、缩短产品的生产周期, 为 QFD 质量决策的实施提供了一个优化模型, 确定各个技术特征的 DEA 有效性, 使决策者能够按自己的思路用自己熟悉的方式给出关于回

题的真实要求,从而生产出令顾客满意的产品.在机械产品质量分析与控制过程中,此方法的应用前景也十分广泛.笔者正在对此方法进行进一步的应用拓展性研究,以便使之能较广泛地应用到典型的机械产品质量分析与控制中.

参考文献:

[1] CHARNES A, COOPER WW, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *Eur J Oper Res*, 1978, 2(6): 429~444.

[2] KRAUSE F L, ULBRICH A, WOLL R. Methods for quality driven product development[J]. *Annals of the CIRP*, 1993, 42(1): 151~154.

[3] 车阿大, 林志航. 质量功能配置的多目标规划模型[J]. *计算机集成制造系统 CIMS*, 1998, 4(6): 26~30.

[4] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1988.

[5] 陈以增, 任朝辉. 基于 QFD 的产品多目标规划模型[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2003, 24(1): 20~26.

An Application of Data Envelopment Analysis to QFD

ZHANG Yan-liang, ZHANG Lin-na, ZHAO Feng-xia

(College of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: We put forward a model of quality function deployment (QFD) on the base of analyzing the QFD. QFD uses a systematical approach to create quality design by deploying "the voice of customers" at each phase of product planning, design, manufacturing and marketing. The model uses the input and output information in almost part of the House of Quality (HOQ) and judges product validity of every criteria unit, which aims at helping the product development team make decision effectively to maximize customer satisfaction with limited resources. A case shows that this model is reasonable and effective.

Key words: quality function deployment (QFD); multiple criteria decision analysis; data envelopment analysis (DEA)