

# QFD 与 FMEA 相结合的需求重要度确定方法

郭基联<sup>1</sup>, 王卓健<sup>2</sup>, 朱绍强<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 西北工业大学 航空学院, 陕西 西安 710072)

**摘要:**质量功能展开(QFD)方法与故障模式及影响分析(FMEA)技术以不同的思维方式指导产品的质量设计。通过对QFD方法与FMEA技术优缺点的分析,将二者进行技术整合,借助于QFD分析判断,挑选出对产品的用户需求至关重要的质量特性,确定其重要程度;而通过与QFD技术结合,FMEA对选出的关键部件进行故障模式及影响分析,确定其潜在影响,鉴别设计上的薄弱环节,从而将FMEA中的信息透过基于故障模式的需求重要度直接地反馈至质量层中,获得了新的、更合理的用户需求重要度排序。具体实例详细验证了该整合框架模型的有效性和优越性,说明了两者的整合应用可以充分发挥各自的优点,弥补各自的不足。

**关键词:**质量功能展开;故障模式及影响分析;需求重要度

**DOI:**10.3969/j.issn.1009-3516.2009.06.003

**中图分类号:** V21      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-3516(2009)06-0010-05

在产品设计的质质量功能展开(Quality Function Deployment, QFD)分析中,用户需求重要度的确定是十分关键的一步,对工程特性目标值的确定以及后续阶段的配置决策起着重要的作用。以需求重要度排序为基础,企业可以有目的地设计和开发产品以达到用户满意,从而获得竞争优势。

目前常用的需求重要度的确定方法主要有询问调查法和层次分析法<sup>[1]</sup>。询问调查法直接通过对用户的询问调查确定需求重要度,一般仅用于简单产品的设计分析。复杂产品的需求重要度则需要专家打分的基础上通过层次分析法确定。在复杂产品的用户需求多级展开过程中,由于专家打分的主要根据是工程经验和个人偏好,无法透彻分析不确定因素,不可能系统分析产品可能的故障模式和影响结果对需求重要度的影响,致使打分存在较大的盲目性和随意性。对此,虽然一些文献利用人工神经网络、模糊集等理论方法进行了进一步的研究,在一定程度上改善了用户意见的模糊性、主观性所带来的影响<sup>[2-3]</sup>,但由于这些方法同样没有进行系统的故障分析,不可能从根本上解决专家打分法的局限性。

故障模式及影响分析(Failure Model & Effect Analysis, FMEA)是通过对系统各组成单元潜在的各种故障模式对功能的影响及产生后果的严重程度和风险进行分析,提出可能采取的预防或改进措施,以提高产品可靠度的一种设计分析方法<sup>[4]</sup>。QFD与FMEA相结合可以对选出的关键零件进行故障模式及影响分析,确定其对系统性能的潜在影响,鉴别设计上的薄弱环节,从而使专家对不确定因素的分析更加透彻,在对重要度、相关性打分时心里有底,补偿措施的选择更具针对性。目前,由于QFD与FMEA在技术上的互补性,两者的技术整合应用已引起了该领域学者的广泛关注。文献[5]探讨了QFD与FMEA相结合的理论框架,本文拟在此基础上进一步研究其在用户需求重要度确定中的应用方法。

## 1 基于 QFD 与 FMEA 的需求重要度计算

下面直接列出 QFD 与 FMEA 的运算公式,详细方法见文献[6-8]。

### 1.1 基于 QFD 的需求重要度计算

\* 收稿日期:2009-04-27

基金项目:国防预研基金资助项目(51319080201)

作者简介:郭基联(1971-),男,浙江兰溪人,副教授,博士,主要从事装备管理研究。E-mail: guo\_jl71@yahoo.com.cn

在质量功能展开中,利用关系矩阵计算用户的需求重要度,常用的方法是独立配点法,其映射算法的公式为<sup>[6]</sup>:

$$w_j = (\sum_{i=1}^m w_i R_{ij}) / \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_i R_{ij}, (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

式中: $w_j$ 为第 $j$ 项用户需求的重要度; $R_{ij}$ 为关系矩阵 $\mathbf{R}$ 中第 $i$ 行第 $j$ 列的值; $w_i$ 为第 $i$ 项用户需求的权重值,由专家打分确定。

关系矩阵是质量层的关键部分,它表示用户需求和工程特性之间的关系。关系矩阵 $\mathbf{R}$ 的值一般采用1、3、5、7、9的关系度等级,由专家打分确定,分别表示相应的工程措施和用户需求之间存在微弱、较弱、一般、密切、非常密切的关系。

可以看出,经过计算获得得分(或百分数)实质上表示相应的某种方法对目标的总贡献,得分越高表示该方法对目标的综合贡献越大,其竞争性就越强。

## 1.2 基于 FMEA 的需求重要度计算

基于 FMEA 的需求重要度计算首先是评估各故障模式的影响程度,对故障模式进行优先性排序,以便设计人员快速有效采取对策。FMEA 的评估方式有很多,最常见的就是通过风险优先数来评估(Risk Priority Number, RPN)。风险优先数的计算公式如下<sup>[4]</sup>:

$$N_{RP} = SOD \quad (2)$$

式中: $N_{RP}$ 为风险优先数; $S$ 为严重度; $O$ 为发生度; $D$ 为难检度。严重度 $S$ 是针对故障模式会对系统或用户造成影响的严重度的评价,本文中采用1-10等级评估,分别代表了极轻微到危险且无警告之间的影响严重程度。发生度 $O$ 是指特定因素下失效的概率,采用1-10等级评估,分别代表了极低( $\leq 10^{-7}$ )到极高( $\geq 50\%$ )之间的失效概率。难检度 $D$ 是指现有设计状态下故障检测的难易程度,同样采用1-10等级评估,分别代表了极高到极低之间的设计状态下检测出潜在故障原因的机会。

同理,利用独立配点法得到基于 FMEA 的需求重要度的计算公式:

$$h_j = (\sum_{i=1}^m h_i F_{ij}) / \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m h_i F_{ij}, (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

式中: $h_j$ 为第 $j$ 项用户需求的重要度; $F_{ij}$ 为关系矩阵 $\mathbf{F}$ 中第 $i$ 行第 $j$ 列的值,表示某个工程特性对解决某个故障模式的贡献度,确定方法类同 $R_{ij}$ ; $h_i$ 为第 $i$ 项故障模式的重要度,其值采用下面公式计算:

$$h_i = N_{RP_i} / \sum_{i=1}^p N_{RP_i} \quad (4)$$

式中: $N_{RP_i}$ 为第 $i$ 项故障模式的 RPN 值,采用式(2)计算; $p$ 为故障模式的个数。

## 2 QFD 与 FMEA 相结合的综合重要度计算

### 2.1 QFD 与 FMEA 整合模式的基本思路

QFD 与 FMEA 整合模式的基本思路是:以 FMEA 的分析结果为基础,通过基于 FMEA 的需求重要度计算,将此重要度回馈到基本的 QFD 中,形成整合的 QFD。整合的 QFD 矩阵内增加了基于 FMEA 的需求重要度后,重新计算每一项需求的综合重要度,这样将可得到一个真正反映 FMEA 的 QFD 并行工程模式<sup>[5]</sup>。

### 2.2 用户需求综合重要度的计算

用户需求综合重要度的计算采取将基于 QFD 与基于 FMEA 的用户需求重要度相乘的办法,且为了统一度量,减少计算误差,先对两者进行归一化后换算成1-9级判断尺度。计算公式如下:

$$z_j = w_j h_{z_j} \quad (5)$$

式中: $z_j$ 为第 $j$ 项用户需求综合重要度( $j=1,2,\dots,n$ ); $w_{z_j}$ 为换算为1-9级判断尺度的基于 QFD 的第 $j$ 项用户需求重要度,采用式(1)计算; $h_{z_j}$ 为换算为1-9级判断尺度的基于 FMEA 的第 $j$ 项用户需求重要度,采用式(3)计算。

从式(5)可以看出,有别于传统 QFD 计算,整合模式得到的是经过 FMEA 修正的综合重要度。这一修正后的重要度会改变常规 QFD 的最终输出,从而更接近实际情况。

实际上,整合模式主要在将 RPN 更具体化,将故障模式的需求重要度反馈至修正项,也就是 FMEA 中的

信息透过重要度直接地反馈至 QFD 之内,在展开的各个阶段中,按综合重要度的不同,所有需求重要度排序的最终结果将有所差异,这个结果就可能直接地改变 QFD 的最终输出结果。

### 3 应用实例分析

以某型飞机仪表专业中的监视和记录系统作为 QFD 与 FMEA 技术整合应用的实例。该系统可对飞机投放物投放前的状态和脱钩瞬间的飞行轨迹及姿态进行视频监视和记录。系统的功能框图见图 1。

首先经过用户调查,得到该系统的总的用户需求主要是 4 类:性能需求、可靠性好、维修性好和经济性好。经过 2 次 QFD 展开,得到了表 1 第 5 列的用户需求特性,为便于说明,本例不再作更深入的 QFD 展开,即以第 1 次 QFD 展开后的用户需求特性进行重要度分析。由于此时的用户需求更适于用工程特性进行描述,在下面的分析中称为工程特性重要度。表中第 4 列为专家打分确定的用户需求权重  $w_i$  的值。

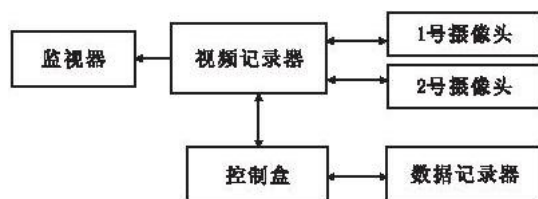


图 1 系统功能框图

Fig. 1 System's function frame

表 1 用户需求描述与展开

Tab. 1 Description and deployment of consumers' requirements

序号	总的用户需求	用户需求(1次展开)	用户需求权重 $w_i$	工程特性
1	性能需求	体积小	0.063	采用集成电路
		重量轻	0.063	采用新材料
		图像清晰	0.063	高分辨率
		飞行参数采集实时	0.063	传输速度快
2	可靠性好	可靠性高	0.125	降额设计 余度设计
		使用寿命长	0.125	耐久性设计
3	维修性好	易拆卸	0.125	拆卸工时短
		故障易隔离	0.125	故障隔离率高
4	经济性好	价格低	0.125	高速 CMOS 工艺
		维修成本低	0.125	人工时费用低 材料费低

表 2 是该系统的故障模式及影响分析表(完整的 FMEA 表格较大,这里只列出核心部分内容)。对每个故障模式的风险优先数进行打分和计算,得到 RPN 值,然后根据式(4)得到故障模式的重要性  $h_i$ 。

表 2 故障模式及影响分析表

Tab. 2 Failure mode and effects analysis

序号	产品	故障模式	影响分析	S	O	D	$N_{RP}$	故障模式的重要性 $h_i$
1	控制盒	a. 电源开关失效	...	8	3	2	48	0.143
		b. 记录开关失效	...	7	3	2	42	0.125
		c. 信号灯不指示	...	4	4	1	16	0.048
2	摄像头	a. 图象不清晰	...	6	6	1	36	0.107
		b. 无信号输出	...	8	4	1	32	0.095
3	视频记录器	a. 无信号输出	...	8	6	1	48	0.143
		b. FLASH 卡失效	...	6	3	1	18	0.054
4	监视器	黑屏	...	8	6	1	48	0.143
5	数据记录器	采集模块、故障/ 记录介质故障	...	8	6	1	48	0.143

根据专家打分确定的关系矩阵可得到基于 QFD 的工程特性重要度  $w_{z_j}$ 、基于 FMEA 的工程特性重要度  $h_{z_j}$ ,最后得到综合重要度  $z_j$ 。计算结果见表 3。

表 3 综合重要度的计算

Tab. 3 Calculation of integrated importance

用户需求	设计需求				
	$w_{z_j}$	$w_{z_j}$	$h_{z_j}$	$z_j$	$z_j$
	(1-9 标度)	(归一化)	(1-9 标度)		(归一化)
采用集成电路	9	0.1500	9	95.4	0.370
采用新材料	5.267	0.0745	5.614	29.568	0.112
高分辨率	2.6	0.0368	6.532	16.984	0.066
传输速度快	2.6	0.0368	1	2.6	0.010
降额设计	8.467	0.1198	5.918	50.107	0.194
余度设计	8.467	0.1198	1	8.467	0.033
耐久性设计	4.2	0.0594	3.766	15.818	0.061
拆卸工时短	7.933	0.1123	1	7.933	0.031
故障隔离率高	4.2	0.0594	1	4.2	0.016
高速 CMOS 工艺	4.2	0.0594	3.462	14.54	0.056
维修人工费用低	7.933	0.1123	1	7.933	0.031
材料费低	4.2	0.0594	1	4.2	0.016

从表 3 可以看出,传统 QFD 计算出来的工程特性重要度经过 FMEA 的修正,已经发生了改变。如余度设计与降额设计在传统 QFD 中的工程特性重要度一样,而经过 FMEA 修正后,余度设计与降额设计的工程特性重要度发生了较大改变。从图 2 可以明显地看出区别,图中白色柱形代表传统 QFD 下的工程特性重要度,黑色柱形代表综合重要度。

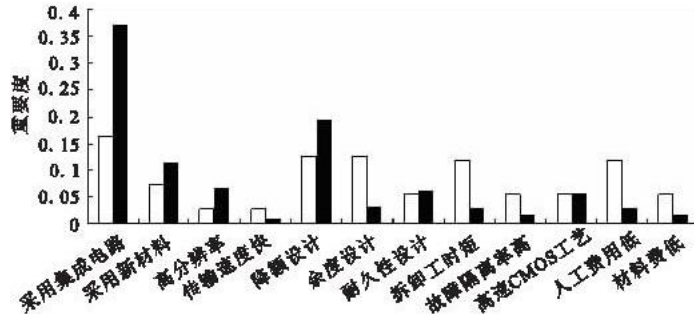


图 2 工程特性重要度的对比

Fig. 2 Importance contrast of engineering characteristics

从图 2 可以清楚地看到,重要度变化最大的是采用集成电路和余度设计。进一步分析原因:采用集成电路的重要度大大提高了,这是因为采用集成电路对解决故障模式图像不清晰、无信号输出提供了较好的解决方法,因此在此监视和记录系统设计的过程中,应多采用集成电路设计。与此同时,余度设计的重要度有较大幅度的降低,究其原因主要是余度设计对解决故障模式作用很小,因此在设计过程中可适当少考虑使用余度设计技术;相反,由于降额设计可有效降低监视器的黑屏、数据记录器的线路板故障,其重要度有所上升,应在设计中予以更多考虑。

## 4 结论

QFD 与 FMEA 的结合可以弥补各自的局限性。它们以不同的思维方式指导质量设计,其目的都是为了保证和提高产品质量。二者有机结合,可以借助于 QFD 分析判断,挑选出那些对产品的用户需求至关重要的质量特性,确定其重要程度,再详细配置到功能级、子系统级。而通过与 QFD 技术结合,FMEA 分析对选出的关键零件进行故障模式及影响分析,确定其对系统安全、任务成功、系统性能、维修性要求等的潜在影响,鉴别设计上的薄弱环节,做到从全局的角度出发,有的放矢,使产品各部分的 FMEA 更加具有系统性。对不确定因素的分析更加透彻,补偿措施的选择更具针对性。

## 参考文献:

- [1] John Terninko. QFD 步步通[M]. 北京:克劳士质量管理研究所,1995.  
John Terninko. QFD Step by Step[M]. Beijing: CROSS Quality Management Institute, 1995. (in Chinese)
- [2] 车阿大,林志航,高国军. 改进的质量功能配置-模糊质量功能配置[J]. 系统工程理论与实践,1998,18(4):131-134.  
CHE Ada, LIN Zhihang, GAO Guojun. Improved QFD - Fuzzy QFD[J]. System Engineering Theory & Practice, 1998, 18(4): 131 - 134. (in Chinese)
- [3] 杨明顺,林志航,陈 琨. 模糊质量功能配置中多粒度多语义语言信息的处理[J]. 信息与控制,2003,32(1):8-11.  
YANG Mingshun, LIN Zhihang, CHEN Kun. Treatment of Muti - granularity and Muti - semantic Linguistic Information for Fuzzy QFD[J]. Information & Control, 2003, 32(1): 8 - 11. (in Chinese)
- [4] 周海京. 故障模式及影响分析与故障树分析[M]. 北京:航空工业出版社,2003.  
ZHOU Haijing. Failure Model & Effect Analysis and Failure Tree Analysis[M]. Beijing: Aviation Industry Press,2003. (in Chinese)
- [5] 李跃生. QFD 与 FMEA 的结合性分析模型[C]//第二届中国质量学术论坛会议论文集. 北京:中国质量学术论坛,2005:42-45.  
LI Yuesheng. The Combination Models of QFD and FMEA [C]//Papers of Conference for the Second Chinese Quality Academic Forum. Beijing:CQAF,2005:42-45. (in Chinese)
- [6] Yoji Akao. Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Cambridge[M]. MA:Productivity Press, 1990.
- [7] 熊 伟. 质量机能展开[M]. 北京:化学工业出版社,2005.  
XIONG Wei. Quality Function Deployment[M]. Beijing:Chemistry Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [8] Hunter M R. Listening to the Customers Using QFD [J]. Quality Progress, 1994, 27(4): 55 - 59.

(编辑:姚树峰,徐敏)

## Acquisition Method for Consumers' Requirements Importance Based on Combination of QFD and FMEA

GUO Ji - lian<sup>1</sup>, WANG Zhuo - jian<sup>2</sup>, ZHU Shao - qiang<sup>2</sup>

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** Based on the basic introduction of Quality function deployment (QFD) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), the virtues and limitations of QFD and FMEA are analyzed. According to the complementarity of QFD and FMEA, the frame model which measures consumers' requirements based on combination of QFD and FMEA is developed. The important quality characteristics for consumers' requirements can be selected by QFD, the failure mode and the effect of key parts can be analyzed by FMEA. Thus the Consumer's Requirements Importance based on FMEA is directly fed back to the House of Quality, and a more reasonable sequence of Consumer's Requirements Importance is acquired. Finally, the usability and advantage of the frame mode are verified through a calculation example.

**Key words:** Quality Function Deployment (QFD); Failure Mode and Effects Analysis (FMEA); Consumers' Requirements Importance