

基于 Kano 模型的 QFD 在航空发动机涡轮叶片研制中的应用*

Application of QFD Based on Kano Model for Designing Aeroengine Turbine Blade

西北工业大学管理学院 陈晨 梁工谦
西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 傅将威

[摘要] 针对传统质量功能配置 QFD 方法在顾客需求分析中存在的问题,基于 Kano 模型提出了顾客需求分析方法。依据 SI-DI 图对用户需求分类,结合客户满意度系数,提出了新的调整系数,有效地调整了 QFD 用户需求重要度。给出了该方法在某型号航空发动机涡轮叶片研制过程中的应用实例。

关键词: Kano 模型 质量功能配置 顾客需求重要度 调整系数 涡轮叶片

[ABSTRACT] Understanding customers' needs is a challenge for quality function development (QFD), so a regulatory method for customer requirements based on Kano model is presented. Opinions on product attributes can be achieved by Kano questionnaires, and then customers' needs classification with the table SI-DI is carried out. According to CS-coefficient, a new adjustment factor is proposed, and then entire process of regulatory method in QFD implementation is presented. Finally the above method is validated by an example of aeroengine turbine blade.

Keywords: Kano model QFD Importance of customer's requirement Adjust factor Turbine blade

质量功能配置(Quality Function Deployment, QFD)作为以市场为导向,以顾客需求为驱动的产品开发设计方法,主要是将用户的需求信息合理并有效地转换成产品开发各个阶段的技术目标和作业控制规程。QFD 使用过程中,获得最终的顾客需求重要度是一个关键的步骤,它对于市场竞争力和用户满意度的提高、技术特征重要度的确定、质量屋的优化以及后续阶段的配置决策具有至关重要的作用。传统的 QFD 方法中一般假设用户满意度的增长率和用户需求重要度之间存在对应的线性关系,认为提高产品或者服务的质量就可以增加相同百分比的用户满意度,然而实际情况却非如此^[1]。

为了减少 QFD 中顾客需求之间线性关系对结果的

影响,笔者选择引入 Kano 模型来进行用户满意度和产品质量相互关系的描述。运用 Kano 模型可以更有效地细分顾客需求,其与 QFD 方法的集成为设计团队提供更准确的用户需求描述,进而达到顾客满意度最大化的目的。文中将客户满意度系数与改进后的系数 k 结合,提出新的调整系数,用来调整 QFD 用户需求重要度,在提出 QFD 实施中的用户需求重要度调整过程之后,将新方法应用于某型号航空发动机涡轮叶片的研制中,以验证方法的有效性。

1 Kano 模型

Kano 模型是日本著名的质量管理专家卡诺(Kano)博士提出的,与产品质量有关的用户满意度模型,如图 1 所示。Kano 模型以顾客满意度为依据,把顾客需求分为以下几种类型^[2]。

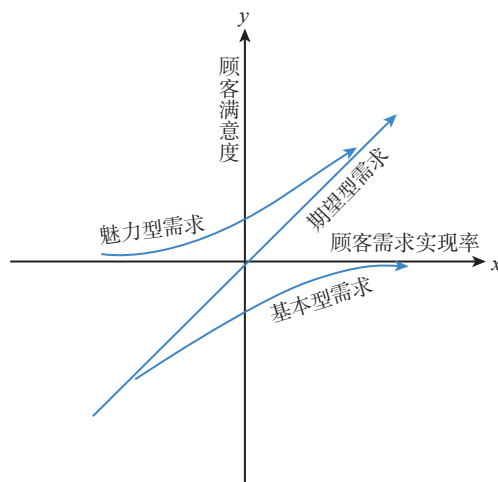


图1 Kano模型
Fig.1 Kano model

(1) 基本需求(Must-be Requirements, M)是顾客认为产品必须具备的基本的功能或者服务,其满足或者超额满足都对顾客满意度贡献不大,但是如果不具备,顾客将会非常不满意。

(2) 期望型需求(One-Dimensional Requirements, O),顾客满意度与此需求的实现程度成正比,相对应的

* 陕西省软科学基金资助项目(2011 KRM34)资助。

产品或者服务的质量越高,顾客就越满意。

(3)魅力型需求(Attractive Requirements, A)是顾客意想不到的产品特征或者服务行为,给顾客带来惊喜。当产品中不包含这类属性的时候,顾客不会不满意,但是如果具备,顾客将会非常满意,从而提高顾客的忠诚度。

除了以上3种需求之外,还存在其他几类需求:无关需求(Indifferent Requirements, I),表示顾客对这类属性不感兴趣;相反需求(Reverse Requirements, R),表示顾客对这个属性不仅没需求,而且还有截然不同的期望。问题型需求(Questionable Requirements, Q)意味着问卷中措辞不妥、顾客对问题有误解或者回馈有误等。在对调查结果进行统计的时候,要去除无关需求和问题型需求,当相反需求比较多的时候,说明调查表的设计出现问题,需要进一步改进之后重新调查。

为了将Kano模型集成到QFD的顾客需求重要度的调整过程中,需要对顾客需求进行分类,Kano模型为每个产品属性或者服务行为设计出调查表,如表1所示。调查表对每一项顾客需求都列出正反2个问题,对应每一个问题有5个不同的选项,据此辨别顾客需求被满足和不被满足时的不同反应^[3]。

针对某一产品属性的调查反馈,Matzler和Hinterhuber还给出了修正的Kano模型需求分类评估表,如表2所示。

表1 顾客意见调查表

| | |
|------------------|---------|
| 产品具备某功能,你的感受如何? | 1. 喜欢 |
| | 2. 理应如此 |
| | 3. 保持中立 |
| | 4. 可以忍受 |
| | 5. 不喜欢 |
| 产品不具备某功能,你的感受如何? | 1. 喜欢 |
| | 2. 理应如此 |
| | 3. 保持中立 |
| | 4. 可以忍受 |
| | 5. 不喜欢 |

表2 顾客需求分类评估表

| 某顾客需求 | 不具备某功能 | | | | | |
|-------|---------|---------|---------|---------|--------|---|
| | 1. 喜欢 | 2. 理应如此 | 3. 保持中立 | 4. 可以忍受 | 5. 不喜欢 | |
| 具备某功能 | 1. 喜欢 | Q | A | A | A | O |
| | 2. 理应如此 | R | I | I | I | M |
| | 3. 保持中立 | R | I | I | I | M |
| | 4. 可以忍受 | R | I | I | I | M |
| | 5. 不喜欢 | R | R | R | R | Q |

2 QFD 和 Kano 模型的集成

2.1 客户满意系数

客户满意系数(Customer Satisfaction Coefficient, CS Coefficient)由Berger等^[4]提出,表达了满意度究竟可以通过满足产品需求而获得提升,或者满意度仅仅可以通过满足产品需求而防止顾客不满。CS系数能够指明一个产品特性被满足的情况下客户满意程度和没有被满足的情况下客户不满程度的强度。本文利用表1和表2统计顾客需求的类型,同时对各个需求确定M,O,A,I类型所占的比例,根据以下公式计算:

满意度(Satisfaction Index, SI)

$$SI = \frac{A+O}{A+O+M+I} \quad (1)$$

不满意度(Dissatisfaction Index, DI)

$$DI = \frac{O+M}{A+O+M+I} \quad (2)$$

负号的标记代表不满意的程度。正的CS系数的变化范围在0和1之间;数值越接近1,对客户满意度影响就越大;正的CS系数越接近0,表示影响力极小。同时,我们还要充分考虑负的CS系数,越接近于-1,那么一旦产品需求没有被满足的话,它对顾客不满意度的影响力非常大;数值接近于0表示产品需求即使没有被满足也不会产生不满。

2.2 现有的集成方法

传统的QFD假设顾客需求重要度与满意度之间呈线性关系,为了减少这些线性关系对结果的影响,很多学者转入QFD和Kano模型集成的研究,主要研究成果如下:

Matzler和Hintehuber在1998年就提出将CS系数作为QFD的输入工具,但是没有具体描述将Kano模型导入QFD过程的方法。段黎明等^[5]学者采用更广泛的相关系数评判等级,引用假设检验中的权重统计测试方法对M&H方法进行了改进。

Tan和Shen^[6]则通过改进系数的引入将Kano模型集成到QFD过程中,并推导出:

$$IR_{adj} = (IR_0)^{1/k} \quad (3)$$

式中, IR_{adj} 是调整后的改进系数, IR_0 是最初的改进系数, k 是调整系数, k 值的选择是根据Kano模型中的分类确定的,对应基本需求、期望型需求和魅力型需求 k 分别取值为0.5,1,2,这样增加了基本需求的重要度,而降低了魅力型需求的重要度。

侯智^[7]在2005年深入研究后,对 k 提出了新的修改算法,保证了 k 值的准确性。但是,Tan、Shen和侯智的研究成果没有考虑Kano模型中的其他类型需求,在其他情况下 k 值无效,这样在实际应用中有很大的局限

性。

Tontini G^[8-9] 在 2003 年和 2007 年进一步修正 Kano 模型,在其与 QFD 的集成过程中引入 CS 系数,提出新的调整系数直接作为质量屋中的顾客需求重要度:

$$\text{Adjustment factor} = 1 + \text{Max}(|\text{SI}|, |\text{DI}|) \quad (4)$$

然而,这种方法存在一个问题:当 $|\text{SI}|, |\text{DI}|$ 之间存在微小的差别时,取大原则将无法正确取舍,可能对不同类别的顾客需求赋予了相同的重要度。例如,根据 SI-DI 分类图(图 2)进行分类, $(|\text{SI}|, |\text{DI}|)$ 为 $(0.8, 0.3)$, 属于 M 区域即基本需求, $(|\text{SI}|, |\text{DI}|)$ 为 $(0.8, 0.6)$ 时,属于 O 区域即期望型需求,若根据取大原则,调整系数都是 1.8,则两类顾客需求都被赋予同样的重要度,这并没有合理有效的反映出顾客的真实意图。

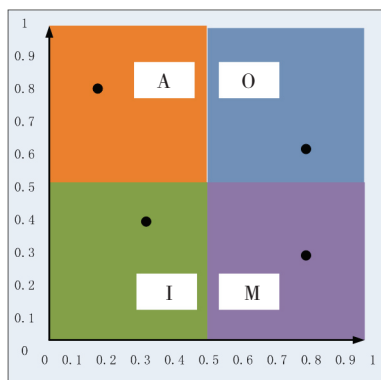


图2 SI-DI分类图

Fig.2 SI-DI classification chart

2.3 改进的方法

2.3.1 新的调整系数

针对 Tan、Shen 和 Tontini G 两种方法中各自存在的问题,本文集合 k 和 CS 系数的优势,提出了一个新的调整系数。设 $m = \text{Max}(|\text{SI}|, |\text{DI}|)$, 则本文中新的调整系数可以表示为:

$$\text{Adjustment factor} = (1 + m)^k \quad (5)$$

$$IR_{adj} = (1 + m)^k \times IR_0 \quad (6)$$

式中, IR_{adj} 是调整后的改进系数, IR_0 是最初的改进系数, k 是调整系数。Kano 指出无关需求会转化为魅力型需求,所以不可以被忽视。而且现在顾客更关注产品的创新性,仅仅依靠基本质量将无法保证良好的竞争力,魅力型需求的重要度要进一步提升。依据 R.Jrain 的改进, k 值对应于 I, M, O, A 4 种类型的需求分别取值为 0, 0.5, 1, 1.5^[10]。

改进方法将 m 与 Kano 模型耦合,通过新的调整系数把顾客需求的原始重要度转换到最终重要度,最终输入到 QFD 质量屋的顾客需求重要度矩阵中。系数 k 避免了不同类型顾客需求被赋予同一重要度的现象发生,保证了结果的可靠性,同时增大了对魅力型需求的关注

度,即对顾客满意度提升贡献大的需求赋予更多的重要度。

2.3.2 调整过程

在 Kano 模型与 QFD 集成的基础上,对顾客需求进行分类和重要度的调整,并给出相应的 QFD 实施中调整过程,如图 3 所示。

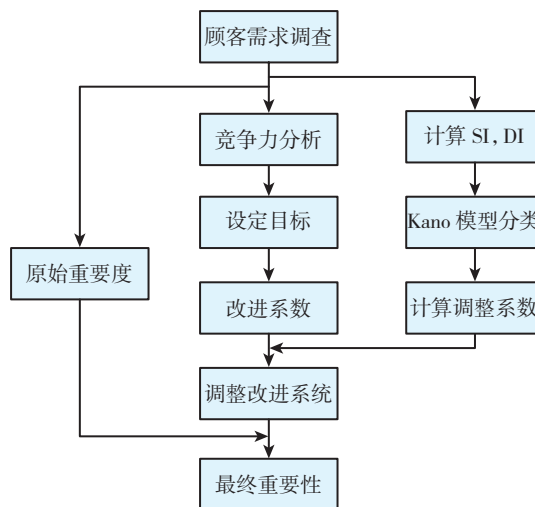


图3 顾客需求重要度的调整过程

Fig.3 Integrated process model to decide final importance of attributes

步骤 1: 确定原始的顾客需求重要度。

步骤 2: 用户需求分类。依据问卷调查计算 CS 系数,按照 Kano 分类图进行分类。

步骤 3: 竞争力分析。将本单位与竞争对手的产品竞争力作对比分析,找出各自有缺点,并确定本单位产品的发展目标,竞争力指标主要分为 1, 3, 5, 7, 9 共 5 个等级。

步骤 4: 确定改进系数。将产品发展目标与现有竞争力水平进行对比,确定原始改进系数。

步骤 5: 调整改进系数。根据调查结果计算 CS 系数,并依据分类确定 k , 由此得出新的调整系数,将改进系数和调整系数带入式(5)计算,得到调整后的改进系数。

步骤 6: 计算最终顾客需求重要度。将调整后的改进系数与原始重要度相乘,可得最终的顾客需求重要度。

3 改进的方法在航空发动机涡轮叶片研制中的应用

复杂空心涡轮叶片是现代高性能航空发动机的关键零件,被誉为“皇冠上的明珠”,其设计规划中涉及到许多复杂的信息,且由于涡轮叶片本身的特殊性以及保密等原因,设计者难以识别完全有效的信息,无法运用 QFD 方法将顾客需求有效地转化为产品特性。因此,本

文对某型号高推重比航空发动机涡轮叶片应用新的方法,更细致的辨别出顾客真实的需求,进而反馈到涡轮叶片的研制过程中,提高涡轮叶片的性能。

根据历史资料和项目经验,在专家团的指导下,可以将对某型号高推重比航空发动机涡轮叶片的需求分为以下几个特性:W1 能够承受高温高压,W2 叶片重量轻,W3 尺寸精度高,W4 研制周期短,W5 冷却效率高,W6 使用寿命长,W7 安全可靠性好,W8 可维护性好,W9 经济性好。考虑到航空发动机保密性和不同用户对这些需求特性重要度要求不同等原因,本文借鉴德尔菲法,征询航空发动机涡轮叶片相关专家的意见,并对这些意见进行整理归纳,得出顾客需求的原始重要度^[11]。本次调查共发放问卷 50 份,实收 46 份,根据调查结果计算出 SI,DI 并根据分类图进行顾客需求分类,得出表 3。

由调查结果可得出,用户的基本需求包括能够承受高温高压、叶片重量轻、尺寸精度高、安全可靠性好,而研制周期短和可维护性好是魅力型需求。假设在某型号航空发动机涡轮叶片项目中,研制单位 X 的主要竞争对手为:国内研制同类产品的单位 Y 和国外研制同类产品的单位 Z,根据历史经验和专家意见,得出各单位

的竞争能力。在竞争力分析的基础上,确定某型号高推重比航空发动机涡轮叶片的竞争力目标,计算出改进系数,得到改进后的顾客需求重要度及其百分比,如表 4 所示。

根据本文的改进方法,将每一项顾客需求对应的 k 值和调整系数代入式(6)计算,得到调整之后的改进系数,从而获得最终的顾客需求重要度及其百分比,如表 5 所示。

根据可视化的计算结果可知,相对重要度比较高的

表3 SI, DI以及顾客需求分类表

| 序号 | 顾客需求特性 | 原始重要度 | SI | DI | 分类结果 |
|----|----------|-------|------|------|------|
| 1 | 能够承受高温高压 | 5 | 0.19 | 0.94 | M |
| 2 | 叶片重量轻 | 5 | 0.44 | 0.56 | M |
| 3 | 尺寸精度高 | 4 | 0.44 | 0.63 | M |
| 4 | 研制周期短 | 3 | 0.81 | 0.19 | A |
| 5 | 冷却效率高 | 4 | 0.81 | 0.56 | O |
| 6 | 使用寿命长 | 4 | 0.88 | 0.63 | O |
| 7 | 安全可靠性好 | 5 | 0.31 | 0.94 | M |
| 8 | 可维护性好 | 3 | 0.75 | 0.44 | A |
| 9 | 经济性好 | 3 | 0.81 | 0.56 | O |

表4 顾客需求重要度调整(传统方法)

| 顾客需求特性 | 分类结果 | 原始重要度 | 竞争力分析 | | | 目标 | 改进系数 | 调整后的重要度 | 相对重要度 /% |
|----------|------|-------|-------|------|------|----|------|---------|----------|
| | | | 本单位 X | 单位 Y | 单位 Z | | | | |
| 能够承受高温高压 | M | 5 | 7 | 5 | 9 | 9 | 1.29 | 6.45 | 13.53 |
| 叶片重量轻 | M | 5 | 5 | 5 | 7 | 7 | 1.40 | 7.00 | 14.69 |
| 尺寸精度高 | M | 4 | 5 | 5 | 7 | 7 | 1.40 | 5.60 | 11.75 |
| 研制周期短 | A | 3 | 7 | 7 | 7 | 7 | 1.00 | 3.00 | 6.29 |
| 冷却效率高 | O | 4 | 7 | 5 | 9 | 7 | 1.00 | 4.00 | 8.39 |
| 使用寿命长 | O | 4 | 7 | 5 | 9 | 9 | 1.29 | 5.16 | 10.83 |
| 安全可靠性好 | M | 5 | 7 | 5 | 9 | 9 | 1.29 | 6.45 | 13.53 |
| 可维护性好 | A | 3 | 3 | 5 | 7 | 5 | 1.67 | 5.00 | 10.49 |
| 经济性好 | O | 3 | 3 | 7 | 3 | 5 | 1.67 | 5.00 | 10.49 |

表5 顾客需求重要度调整(改进方法)

| 顾客需求特性 | 原始重要度 | Kano 分类 | $m=\max(SI , DI)$ | 改进系数 | 调整系数 | 调整后的改进系数 | 调整后重要度 | 相对重要度 /% |
|----------|-------|---------|----------------------|------|------|----------|--------|----------|
| 能够承受高温高压 | 5 | M | 0.94 | 1.29 | 1.39 | 1.79 | 8.95 | 11.36 |
| 叶片重量轻 | 5 | M | 0.56 | 1.40 | 1.25 | 1.75 | 8.75 | 11.10 |
| 尺寸精度高 | 4 | M | 0.63 | 1.40 | 1.28 | 1.79 | 7.16 | 9.09 |
| 研制周期短 | 3 | A | 0.81 | 1.00 | 2.44 | 2.44 | 7.32 | 9.29 |
| 冷却效率高 | 4 | O | 0.81 | 1.00 | 1.81 | 1.81 | 7.24 | 9.19 |
| 使用寿命长 | 4 | O | 0.88 | 1.29 | 1.88 | 2.43 | 9.72 | 12.34 |
| 安全可靠性好 | 5 | M | 0.94 | 1.29 | 1.39 | 1.79 | 8.95 | 11.36 |
| 可维护性好 | 3 | A | 0.75 | 1.67 | 2.32 | 3.87 | 11.61 | 14.74 |
| 经济性好 | 3 | O | 0.81 | 1.67 | 1.81 | 3.02 | 9.06 | 11.50 |

需求是可维护性好、使用寿命长、经济性好、能够承受高温高压、安全可靠性好、叶片重量轻,这些是该型号涡轮叶片在研制过程中需要改进和重点关注的需求。综合专家意见,此分析结果较为贴近该型号涡轮叶片的实际需求情况,与国外航空发动机涡轮叶片发展趋势一致。在航空发动机性能不断提高的大环境下,中国的发动机涡轮叶片行业必须跟国际接轨,运用现代化管理的方式,不仅要关注涡轮叶片基本质量,更要关注其可维护性和使用寿命,重视涡轮叶片的再制造,延长使用总寿命,减少一次性报废,从而带来更多的经济效益。

4 总结

本文在顾客需求分类中引入 SI, DI 和 Kano 模型,并在需求重要度的调整过程中引入新的改进系数,通过该方法不但可以加深研制人员对顾客需求本质的理解,而且可以平衡传统 QFD 方法中改进比例和满意度增加比例之间的非线性关系,优化了产品的资源配置。并将新方法应用于某型号高推重比航空发动机涡轮叶片的研制改进过程,为该型号涡轮叶片的研制人员提供新的研究思路与途径。

参考文献

- [1] Tan K C, Pawitra T A. Integrating SERVQUAL and Kano's model into QFD for service excellence development. *Management Service Quality*, 2001, 11(6): 418-430.
- [2] Kano N, Seraku K, Takahashi F, et al. Attractive quality and must be quality. *Japanese Social Quality Control*, 1984, 14(2):39-48.
- [3] Matzler K, Hinterhuber H H, Bailon F, et al. How to delight your customers. *Journal of Product&Brand Management*, 1996(2): 6-17.
- [4] Berger V, Blauth R, Boger D, et al. Kano's methods for understanding customer defined quality. *Center for Quality Management*, 1993, 2(4):2-36.
- [5] 段黎明,黄欢. QFD 和 Kano 模型的集成方法及应用. *重庆大学学报*, 2008, 31(5):515-519.
- [6] Tan K C, Shen X X. Integrating Kano's model in the planning matrix of quality function deployment. *Total Quality Management*, 2000, 11(8):1141-1151.
- [7] 侯智,陈世平. 基于 Kano 模型的用户需求重要度调整方法研究. *计算机集成制造系统*, 2005, 11(12):1785-1790.
- [8] Tontini G. Integrating the Kano model and QFD for designing new products. *Total Quality Management*, 2007, 18(6):599-612.
- [9] Tontini G. Development of customer needs in the QFD using a modified Kano model. *Journal of Academy of Business and Economics*, 2003, 2(1):103-115.
- [10] Jain R. Integration of Kano's model into quality function deployment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, 53: 689-698.
- [11] 张美璐,白思俊,郭云涛. 基于熵的 QFD 在航空武器研制中的作用. *工业工程*, 2007, 10(4):96-99.

(责编 深蓝)

(上接第 82 页)

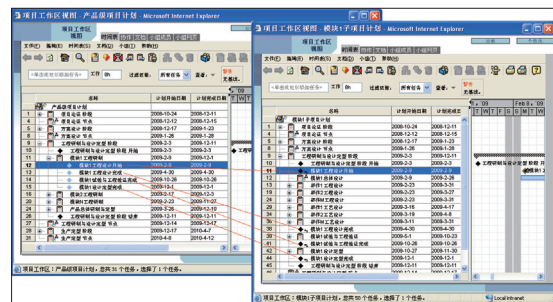


图10 层次化的项目阶段-关卡结构的实现

Fig.10 Achievement of hierarchical stages-toll-gate structures

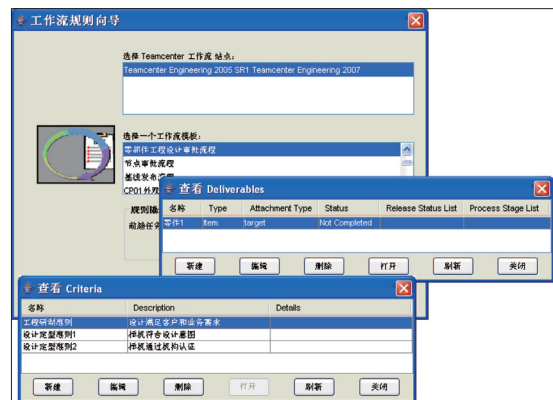


图11 定义工作流程、任务交付物及关卡准则映射的实现

Fig.11 Achievement of defining working process, deliveries and toll-gate structures

7 结论

本文提出了通过门径系统的阶段-关卡方法进行复杂机械产品研制项目管理的途径。复杂机械产品研制项目门径系统通过阶段关卡定义、交付物分解结构、工作分解结构、组织分解结构及项目进度安排,可以实现对复杂机械产品开发过程从信息、功能、组织及行为等多个方面进行阶段化的完整描述,并且通过关卡对项目风险进行有效控制。结合在项目管理与产品数据管理集成环境中的应用示例,为门径系统在复杂机械产品研制项目管理中的实施与应用提供了可供参考的方法和步骤。

参考文献

- [1] 罗伯特.G.库伯. 新产品开发流程管理. 3版. 刘崇献,刘延,译. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 蒲欣,李纪珍. 西方公司研发项目管理流程在中国的适应性研究. *科学学与科学技术管理*, 2008(8):29-35.
- [3] 李清,马宁宇,陈禹六,等. 航空产品集成开发团队运行模式研究. *计算机集成制造系统 CIMS*, 2001(11):64-65.
- [4] 张根保,刘英,刘佳,等. 现代质量工程. 2版. 北京:机械工业出版社,2007.

(责编 夏宛)