

可变功能机械基于 KANO 模型及成本约束的功能需求分析

董雪诗^{1,2}, 贺华波^{1,2*}

(1. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211;

2. 浙江省零件轧制成形技术研究重点实验室, 浙江 宁波 315211)

摘要: 通过对现有可变功能机械产品的分析, 引入 KANO 模型对用户的需求进行分析研究, 将用户需求细化映射到功能层面, 提出一种根据调查数据来确定功能需求权重的方法. 新方法利用权重判别原则能够较为准确地确定用户对各功能的需求度; 再引入成本约束对初选方案进行评价, 最终完成对用户需求功能的取舍. 此外, 结合 FBS 理论区分产品在功能等方面的特征, 为随后的设计过程提供指导, 最后结合实例验证了上述方法的可行性.

关键词: KANO 模型; 可变功能; 需求分析; 成本约束; 功能设计

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2019) 02-0036-06

随着科技发展, 人们创造出越来越多的机械产品, 但很多现有机械产品不能很好地满足人们的需求变化; 而可变功能机械能较好地解决这个问题, 这类机械通过更换或者调整部分构件来实现不同的产品功能^[1].

在产品的设计过程中, 对于设计者来说最为关键的部分是概念设计^[2]. 目前, 机械产品概念设计的方法有很多, 涉及到行为、结构、功能等方面的诸多研究. 如 Qian 等^[3]提出了 FBS 模型, 即“功能-行为-结构”模型, 该理论将功能到结构转化过程中的行为层充分表现出来. 随后 Deng 等^[4]建立了“功能-环境-行为-结构”模型, 即 FEBS 理论. 王根华等^[5]针对构件的使用度开展研究, 提出了功能使用非均衡性理论. 李帅军等^[6]引入功能主题链等概念, 对功能组合设计进行探究. 但这些设计方法还缺少针对用户需求层面的分析. 日本教授狩野纪昭等^[7]提出了 KANO 模型, 将人们的需求分类为五个层次. 金颖磊^[8]基于 KANO 模型对用户需求因子的分析及提取开展研究, 但是缺乏准确的定量分析能力. Delice 等^[9]根据 KANO 模型及 QFD 理论, 通过分析用户需求建立了一种线性关系模型, 能更为直观地辅助设计. 陈秀兰等^[10]提出

在产品再设计时, 利用模糊聚类分析法对用户需求进行分类并评估, 不过这种方法在质量功能展开过程中存在不足. Geng 等^[11]通过使用 KANO 模型对用户满意度分析, 利用满意系数与不满意系数建立功能需求与用户满意度的函数关系, 确定合适的优化方案. 纵观这些工作可见, 目前还缺少专门针对功能需求分析进行可变功能机械产品再设计的研究.

可变功能机械作为一种多功能机械, 其实质就是为满足用户的多样化需求, 但目前市场上诸多的可变功能机械产品往往存在着功能过多或不足等问题, 从而导致用户满意度及产品实用率较低、产品成本难以控制等问题. 通过分析用户功能需求来指导设计, 能够提升用户的满意程度及产品实用率. 基于此, 本文基于 KANO 模型及成本约束对可变功能机械的功能设计方法进行研究, 以期能够更好地指导其设计, 这对现有机械产品的创新再设计具有重要的实际指导意义.

1 KANO 模型

本文基于 KANO 模型进行功能需求分类, 该模型是对用户需求进行分类及优先排序的统计工

收稿日期: 2018-04-19.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51375246).

第一作者: 董雪诗(1992-), 男, 江苏徐州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 机械设计理论与方法. E-mail: davies1210@163.com

*通信作者: 贺华波(1976-), 男, 浙江宁波人, 博士/副教授, 主要研究方向: 设计理论与方法、注塑成型与优化. E-mail: hehuabo@nbu.edu.cn

具,可以了解用户需求对满意度的影响,它体现出产品性能与用户满意度间的非线性关系。

图1为用户需求的KANO模型,描述了用户满意度与用户需求实现度间的关系。该模型将用户对产品的需求分为6个类别:基本需求、期望需求、兴奋需求、无差异需求、反向需求及问题需求。基本需求即产品本应实现的功能,期望需求即用户期望实现的功能,其实现程度和用户满意度成正比。兴奋需求通常是较为特别的需求,当该需求被满足时,用户满意度会快速上升,但若缺少也不会使用户不满意。无差异需求即该需求实不实现,对用户的满意度都不会产生多少影响;但不应忽略该需求,因为用户需求是动态的,它会随着技术、时间等因素的改变而变化。对于一些无差异需求,其反映出该需求的兴奋特征不足,通过优化变更一些功能及特征属性,可将其转化为兴奋、期望等需求,对现有可变机械产品的再设计具有重要意义。反向需求即该用户不喜欢该功能。问题需求即用户对具有或不具有某种属性时的态度都为喜欢或者不喜欢,也可能是问题本身有问题。

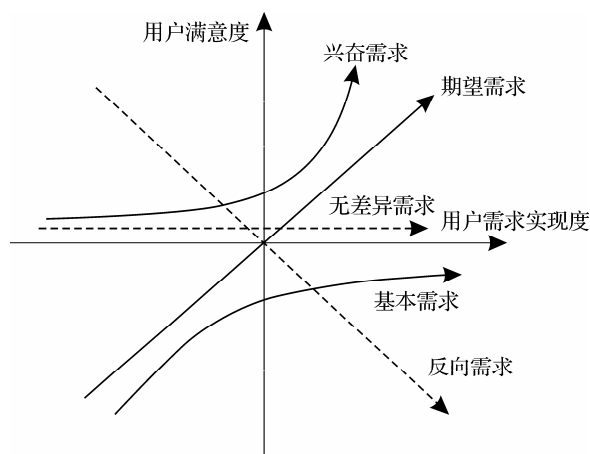


图1 用户需求的KANO模型

传统的KANO问卷需根据用户反馈、市场分析等因素制定,问卷中每个功能属性都对应着一对正反向问题,分别用来度量用户对具有或不具有该功能特性时的态度,并借助分类评估表判别需求类别。

2 需求量化分析

通过KANO模型进行调查后得到的数据,只能简单反映出用户对于某种功能需求的态度,对

于指导可变功能机械进行设计较为模糊,需要作进一步量化分析研究,此时可引入功能满意度以及提出需求权重的概念。

2.1 功能满意度分析

在KANO模型中,一般某项功能的满意度只是通过观察用户群体对哪类需求类别的选择人数较多来判断,例如,多数用户选择功能 F_1 是无差异需求,则认为该功能是用户的无差异需求。这种以归类最大值判别的方法一般只适合于判断无差异需求、反向需求及问题需求,但对于基本需求、期望需求及兴奋需求的判别较为模糊,特别是当同一个需求问题的问卷数据中存在2个及2个以上相等或相似的最大值时,这时就无法准确地进行功能的需求归类。

通过借助计算用户满意度的函数(1)式和(2)式以及表1的数据判别条件,就能较为准确地帮助设计人员对各功能进行需求归类。

计算公式如下:

$$S_i = \frac{A_i + O_i}{A_i + O_i + M_i + I_i}, \quad (1)$$

$$D_i = \frac{M_i + O_i}{A_i + O_i + M_i + I_i}, \quad (2)$$

其中, A_i 、 O_i 、 M_i 、 I_i 分别表示问卷调查中用户对某类功能不同需求类别的人数占比; i 为 n 项功能需求中的第 i 项功能($i=1,2,3,\dots,n$), n 表示用户对产品的功能需求总数; S_i 表示用户对某项功能实现时的满意度; D_i 表示用户对某项功能未实现时的满意度。

最后利用 S_i 与 D_i 的比值 μ 大小来确定功能需求归类,通过比值 μ 的大小确定其取值区间,进而能够判断出各功能的需求归类。

表1 需求分类判别表

判别条件	需求归类
$\mu < 0.8$	基本需求
$0.8 \leq \mu \leq 1.1$	期望需求
$\mu > 1.1$	兴奋需求

2.2 功能需求权重的确定

若仅仅以满意度作为可变功能机械功能需求的判别指标,明显存在一定的缺陷。因为上文中提到的 S_i 、 D_i 只是反映用户对单一功能的不同态度,并不能从产品整体上反映出用户对某功能的满意

特征. 因此, 通过对传统的问卷选项形式进行设计变更, 分别以 100、60、20、0、-20 对(3)式中的用户兴奋需求(A)、期望需求(O)、基本需求(M)、无差异需求(I)、反向需求(R)进行赋值, 问题需求在数据分析时另置判别. 提出功能需求权重 W_i 概念, W_i 为每项功能需求的用户总分值 U_i 与各项功能需求的用户总分值 U_{total} 的比值. 其公式规定如下:

(1)第 i 项功能需求的总分值 U_i :

$$U_i = a_i A + b_i O + c_i M + d_i I + e_i R, \quad (3)$$

其中, a_i, b_i, c_i, d_i, e_i 分别代表用户群体对第 i 个功能需求中兴奋需求、期望需求、基本需求、无差异需求及反向需求的选择人数; 问题需求不做计算.

(2)用户对第 i 项功能的需求占有所有功能需求的权重, 即功能需求权重 W_i :

$$W_i = \frac{U_i}{U_{\text{total}}} = \frac{U_i}{\sum_{i=1}^n U_i}. \quad (4)$$

因为无差异需求、反向需求及问题需求较易判断, 所以这里功能需求权重主要针对基本需求、期望需求、兴奋需求判断, 可以较为直接地反映出用户对 n 个功能需求中第 i 个功能的需求程度, 更好地指导接下来的设计.

3 一种基于功能需求分析的可变功能机械再设计方法

通过上文对功能需求、满意度及需求权重的分析, 可以得出不同功能对系统中功能权重排序及用户满意度大小的影响, 在再设计时应以功能需求权重为主, 满意度为辅指导设计, 尽可能提升产品整体的实用率和满意度. 即对于各功能重要度排序时, 首先需要保证产品中用户的基本需求不变或者变化较小, 进而通过对期望需求、兴奋需求的排序, 确定优先需要保留的功能, 进而指导设计.

功能需求权重的引入能够更好地指导可变功能机械产品设计, 其基本设计流程如图 2 所示. 通过前期走访对用户需求进行获取, 将用户需求细化映射到功能层面, 设计针对性问卷进行调查, 并对调查数据进行量化分析, 确定需求满意度及权重, 生成初步设计方案, 引入成本约束进行评价, 最后通过结合 FBS 理论, 区分产品在功能等方面

的特征, 以更好地指导完成最终设计.

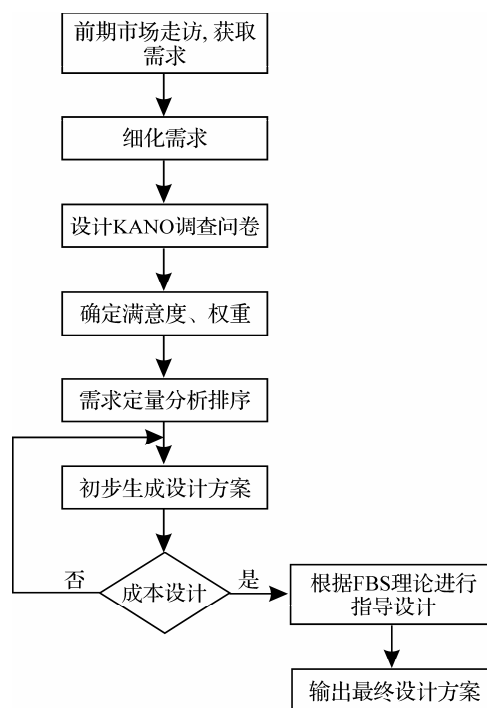


图2 设计流程图

3.1 功能需求与实际功能耦合性分析原则

在可变功能机械产品再设计过程中, 如用户的功能需求数与产品实际功能数耦合性高, 则对于提升产品功能利用率及用户满意度具有重要作用. 耦合性分析原则如下:

(1)当用户功能需求数小于实际功能数时, 可以通过适当减少功能数, 进而对产品进行优化设计, 降低成本, 提升功能利用率;

(2)当用户功能需求数等于实际功能数时, 通过需求权重比较, 确定功能优先等级顺序, 进而确定优先保留的功能及有待改进的功能. 排序原则如下: ①基本需求保持不变或较小变化; ②对于兴奋需求、期望需求进行着重考虑; ③若出现功能需求权重相似或相近的功能需求时, 再依据满意度大小进行比较, 满意度大的功能排序靠前.

功能优先序排序情况例如:

$$F_2 > F_1 > F_3 > \cdots > F_i,$$

其中, F_i 表示第 i 个子功能, 功能优先序从左至右依次递减.

最后, 将功能优先序映射到结构设计上, 即将“需求参数”映射到产品构件中, 进而指导设计;

(3)当用户需求功能数大于实际功能数时, 通

过需求权重比较, 确定功能优先等级顺序, 原则同(2)相似, 不做详细分析. 通过确定优先保留的功能及有待改进的功能, 筛选出一组最为满足需求及实用性的功能, 并引入成本约束, 在再设计过程中综合考量进行设计.

3.2 成本约束

可变功能机械产品再设计时, 其成本主要包括固定成本和可变成本. 本文中的固定成本定义为在可变功能机械产品再设计时与功能变更不相关的成本, 例如管理成本、平台成本等. 可变成本定义为对可变功能机械产品进行功能变更时所能影响的成本. 例如对家用多功能榨汁机进行再设计时, 对于榨汁机上组合套件等功能的选取有较多的可能性, 若设计人员期望在满足用户需求的同时, 尽可能提升使用寿命及稳定性等, 就会影响再设计产品的成本, 形成可变成本.

在此引入成本约束, 用来保证通过需求分析后的可变机械产品再设计方案能够被用户接受. 为便于估算, 在一般变更时, 对于固定成本部分假设其保持相对不变, 然后根据功能的不同选择对可变成本进行估算, 取值范围规定为 0~1, 取值越大, 代表该功能的可变成本越高, 数值由设计人员根据产品实例、产品设计知识库及市场调查等确定. 当总成本 P 在同类相似产品成本价格的 135% 以内时, 可以被用户群体较大程度接受.

3.3 对串并联系统的不同设计原则

对于可变功能机械, 从其功能实现的行为过程角度分析, 可以将系统过程分为串联系统和并联系统.

在再设计过程中, 较为容易实现的是并联系统中功能的变更, 因为其各功能间变更影响较小. 而串联系统中功能变更时, 对单个功能元件的变

表 2 多功能工具刀各功能需求数据和满意度

功能需求	用户群体	基本需求 M	期望需求 O	兴奋需求 A	无差异需求 I	反向需求 R	问题需求 Q	S_i	D_i
小刀	P	52	32	20	5	0	1	0.477	0.771
	H	107	8	0	4	2	0	0.067	0.966
十字改锥	P	70	29	1	10	0	0	0.273	0.900
	H	65	20	3	28	5	0	0.198	0.733
大一字改锥	P	58	27	18	7	0	0	0.409	0.773
	H	82	28	10	1	0	0	0.314	0.909
小一字改锥	P	32	45	5	28	0	0	0.455	0.700
	H	59	20	10	32	0	0	0.248	0.653
开瓶器	P	34	63	2	9	2	0	0.602	0.898
	H	65	17	0	18	19	2	0.170	0.820
开罐器	P	27	42	29	7	5	0	0.676	0.657
	H	70	35	3	6	6	1	0.333	0.921
钳子	P	46	32	16	16	0	0	0.436	0.709
	H	61	32	22	3	3	0	0.458	0.788
剪刀	P	35	21	39	15	0	0	0.545	0.509
	H	58	33	25	5	0	0	0.479	0.752
剥线槽	P	18	31	53	8	0	0	0.764	0.445
	H	30	51	31	5	4	0	0.701	0.692
开红酒器	P	29	40	39	2	0	0	0.718	0.627
	H	23	12	9	56	21	0	0.210	0.350
锉刀	P	32	12	2	49	15	0	0.147	0.463
	H	35	23	39	21	3	0	0.525	0.492
穿线器	P	15	10	1	61	23	0	0.126	0.287
	H	36	42	15	11	15	2	0.548	0.750

动可能继发其前后行为过程的变化,变更影响较大,后期需进行变更传播分析。

4 实例验证

为验证以上方法在对可变功能机械产品再设计时的作用及可行性,本文以一款多功能工具刀为例进行验证。

图3为一种多功能工具刀,该工具通过调整构件可以实现多种功能转换。但是不同用户需求群体对于多功能工具的功能需求也不相同,过多的功能反而会增加消费成本。以普通家庭用户群P和户外爱好者用户群H为例,在前期初步调查基础上,确定需求较多的功能并制作问卷开展调查。通过走访校园及周边居民区,共发放问卷300份,回收有效问卷231份,其中家庭用户问卷110份,户外爱好者问卷121份。对问卷数据进行筛选并计算满意度,相关数据见表2。



图3 多功能工具刀

选取普通家庭用户群P进行权重分析,通过对

表3进行分析,此时的实际功能数小于需求功能数,则需要根据设计原则进行可变功能机械功能变更,以功能权重排序为主,满意度排序为辅,通过该原则综合筛选用户最为需要的产品功能。其中,基本需求保留小刀、大一字螺丝刀、开瓶器、钳子、小一字螺丝刀和十字改锥。基于前文中判别原则,锉刀、穿线器为无差异需求,在对家庭用户的再设计中不予考虑。同时,为了尽可能提升用户满意程度,需要着重对期望需求和兴奋需求进行实现,保留剥线槽、开红酒器、开罐器功能。但基于成本约束,目前功能较多,为了达到较为经济的目的,这里通过FBS理论指导将剥线器、小一字螺丝刀、开瓶器和开罐器4种功能进行组合设计,以满足最终评价。

5 结论

通过应用KANO模型对可变功能机械的功能需求情况进行分析,根据市场走访调查、资料查阅及用户心理等方面的综合了解,设计并完善问卷,进行特定群体的问卷调查。对调查数据进行分析,计算出用户满意度、需求分类、各功能需求权重等,并以需求权重为主,满意度为辅,结合功能设计、串并联分析及成本约束等原则,对现有产品进行变更再设计,让优化结果能提升用户满意度,并具有较高实用性。由于用户群体广阔,所以需针对不同群体进行特定调查,从而为产品的设计开发提供更为全面的指导。进一步将研究如何更为准确

表3 普通用户群体P的功能需求分析表

功能需求	μ	需求归类	W_i	满意度排序	权重排序
小刀	0.619	基本需求	0.092	6	5
十字改锥	0.303	基本需求	0.063	10	10
大一字螺丝刀	0.529	基本需求	0.089	9	6
小一字螺丝刀	0.649	基本需求	0.075	7	9
开瓶器	0.670	基本需求	0.091	4	7
开罐器	1.029	期望需求	0.114	3	3
钳子	0.615	基本需求	0.087	8	8
剪刀	1.071	期望需求	0.114	5	3
剥线槽	1.714	兴奋需求	0.147	1	1
开红酒器	1.145	兴奋需求	0.134	2	2
锉刀		无差异需求			
穿线器		无差异需求			

地将具体需求转化为设计参数, 拓展和完善该理论和方法.

参考文献:

- [1] 余远文, 邓益民. 基于赋权有向图的可变功能机械关键行为状态的识别[J]. 机械科学与技术, 2014, 33(7): 1023-1026.
- [2] Deng Y M, Zhu Y W. Function to structure/material mappings for conceptual design synthesis and their supportive strategies[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 44(11/12):1063-1072.
- [3] Qian L, Gero J S. Function-behavior-structure paths and their role in analogy-based design[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis & Manufacturing, 2009, 10(4):289-312.
- [4] Deng Y M, Tor S B, Britton G A. Abstracting and exploring functional design information for conceptual mechanical product design[J]. Engineering with Computers, 2000, 16(1):36-52.
- [5] 王根华, 邓益民, 邹长武. 可变功能机械非均衡功能使用构件重要度分析[J]. 机械设计与研究, 2015(6):1-3.
- [6] 李帅军, 贺华波, 邓益民. 基于功能主题链和功能本体的创新组合设计初探[J]. 工程设计学报, 2016, 23(2): 124-129.
- [7] Kano N, Seraku N, Takahashi F, et al. Attractive quality and must-be quality[J]. Journal of the Japanese Society for Quality Control, 1984, 4(2):147-156.
- [8] 金颖磊. 基于 KANO 模型的用户需求因子表征及提取方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(7): 22-26.
- [9] Delice E K, Güngör Z. A new mixed integer linear programming model for product development using quality function deployment[J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 57(3):906-912.
- [10] 陈秀兰, 李仁旺, 吴新丽, 等. 面向大批量定制的客户需求满意度评价方法研究[J]. 浙江理工大学学报, 2013, 30(2):237-244.
- [11] Geng X, Chu X, Xue D, et al. A systematic decision-making approach for the optimal product-service system planning[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(9):11849-11858.

Functional requirement analysis for adaptable-function machines based on KANO model and cost constraint

DONG Xue-shi^{1,2}, HE Hua-bo^{1,2*}

(1.Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Zhejiang Provincial Key Lab of Part Rolling Technology, Ningbo 315211, China)

Abstract: Through the analysis of existing adaptable-function mechanical products, the KANO model is introduced to analyze users' functional requirements and to map such requirements to the functional level. A method based on the survey data is proposed to determine the functional requirement weights. The method adopts the weight judgment principle to determine the degree of users' requirement for each function more accurately. The cost constraint is also employed to evaluate the initial plan and eventually to determine the functions of the adaptable-function mechanical products. In addition, the FBS (Function-Behavior-Structure) design model is also used to distinguish the features of product functions, so as to guide the completion of the subsequent design process. Finally, an example is given to verify the feasibility of the above method.

Key words: KANO model; adaptable function; requirement analysis; cost constraint; functional design

(责任编辑 章践立)