

基于需求和解决冲突的创新设计策略

王晨¹,赵武^{1*},王杰¹,陈领²,郭鑫¹,张凯¹

(1. 四川大学 制造科学与工程学院,四川 成都 610065;2. 隆德大学 制造与材料学院,隆德 999027)

摘要:为了使产品更好地满足用户的需求,提出一种面向用户需求的产品创新设计模型,并对车辆转向器进行创新设计。这个模型集成了用户需求获取、技术特征映射、质量功能配置和创新方案生成功能。面向用户需求的产品创新设计,首先获取用户需求并进行规范化表达,并获取相关的技术特征,再利用质量工程屋(HOQ)工具构建用户需求到技术特征的映射和权重关系。技术特征存在耦合矛盾和自有矛盾,针对不同类型的技术矛盾,分别利用发明问题解决理论(TRIZ)中相应的创新工具来解决。运用这种策略,在车辆转向器设计中,分析用户需求,通过引入新型的液压系统,实现助力转向和路感反馈。

关键词:转向器;路感反馈;质量工程屋

中图分类号:TH122

文献标志码:A

Strategy of Innovative Design Based on Requirements and Conflicts Solving

WANG Chen¹, ZHAO Wu^{1*}, WANG Jie¹, CHEN Ling², GUO Xin¹, ZHANG Kai¹

(1. School of Manufacturing Sci. and Eng., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China;

2. Dept. of Production and Materials Eng., Lund Univ., Lund 999027, Sweden)

Abstract: In order to meet the users' needs, the demand-oriented innovation design model was proposed and the process of designing the steering was demonstrated based on this strategy. The demand-oriented innovative design model integrated user demand accessing, technology feature mapping, quality function deployment and innovative solutions generation. During the design stage, designers acquire the users' requirements and the corresponding technical features, apply House of Quality (HOQ) to build the mapping of requirements to technical features, and analyze the correlation and weights, then resolve corresponding technical contradictions with the aid of theory of inventive problem solving (TRIZ). In this strategy, the steering system meets the users' needs and achieves the functions of power assisted steering and road feedback by making use of hydraulic system.

Key words: steering; road feedback; House of Quality (HOQ)

市场环境动态多变,企业需要快速响应市场需求推出有竞争力的创新产品。产品设计分为获取需求、概念设计、技术设计和详细设计4个阶段^[1]。在设计阶段,通过需求分析,获得相应的技术特征,找到并解决技术系统的冲突,从而实现创新设计。

为了提高产品竞争力,企业越来越重视各种需求分析工具和创新设计理论^[2]。然而,孤立的需求分析和创新设计方法已经不能满足复杂产品的设计需求,迫切需要建立系统化的基于用户需求的产品创新设计策略。美国 Cross 等^[3]提出了基于概念

级、基于 FBS 等一系列的产品创新设计过程模型。清华大学的马怀宇等^[4]提出了基于 TRIZ/QFD/FA 的产品概念设计过程模型。河北工业大学的苑彩云等^[5]提出了一种将 TRIZ 与 TOC 相结合的产品冲突问题解决过程构造模型的设计方法。

然而,现有的创新设计研究侧重于建立设计过程 and 解决技术问题,或停留在需求获取技术的研究上,缺少系统化的研究。因此,对用户需求进行研究,并以用户需求为中心,建立用户需求与产品技术措施的联系具有重要意义。

收稿日期:2014-12-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51435011;51175357);“863”计划资助项目(2013AA040606)

作者简介:王晨(1987—),博士生.研究方向:创新设计;知识库等研究,E-mail:mr.wangchen@foxmail.com

*通信联系人 E-mail:zhaowu@scu.edu.cn

http://jsuese.scu.edu.cn

1 以用户需求为导向的产品创新设计

面向用户需求的产品创新设计,以用户需求为出发点,通过对需求获取技术、重要度决策以及技术特征获取的研究,结合 TRIZ 创新理论,建立了面向用户需求的创新设计模型。

1.1 获取用户需求与技术特征

获取用户需求首先需要采集和整理用户需求,然后进行量化处理。为了更清晰了解顾客需求,采用 5W2H 的方法来获取用户的需求信息,并引入 VOC(voice of customer)表对收集的用户需求原始数据进行规整,利用 KJ 法对用户需求进行归类表达。最后引入层次分析法(analytic hierarchy process, AHP),以定量表示用户需求之间的关系。

为了建立用户需求与技术特征之间的关系,还需要根据用户需求获取技术特征。获取技术特征通常借助成熟的方法,例如:头脑风暴法、工程特征专题库、实践经验、市场相似产品技术提取等。

1.2 结构化用户需求并赋予权重

为了能够清晰表明用户需求之间的从属关系,引入 KJ 法通过聚类的方式将用户需求层次结构化,并在此基础上引入层次分析法来量化评估客户需求之间关系。层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)的核心思想是将复杂的需求进行归类分层,然后对每一个层次进行处理,得到相应的权重指标,如图 1 所示。

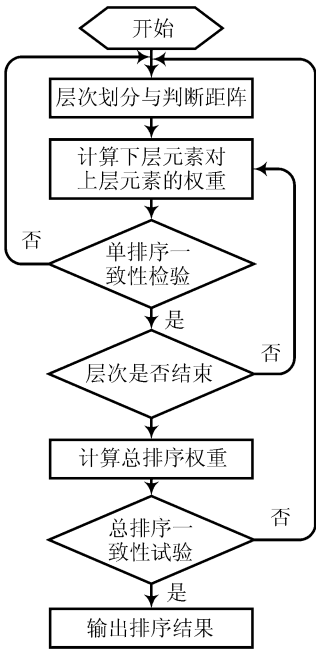


图 1 层次分析法流程图

Fig. 1 Flow chart of analytic hierarchy process

1.3 确定需求与特征的关系权重并构建 HOQ 映射

QFD 通过构建质量屋将用户需求与技术特征以矩阵的方式联系起来。在构建 HOQ (house of quality) 左墙对应天花板的过程中,通过关系矩阵的变换将用户需求,转换为工程人员使用技术特征^[6]。

其中,用户需求与技术特征之间的关系利用谢菲尔德法,组织该领域若干专家独立地对所需评判的指标进行打分,用统计方法获得判断结果^[7]。针对质量屋关系矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 中的 $m \times n$ 个决策指标,组织 a 个专家来评价,每个专家为各指标估计一组权重 $r_{ij}^1, r_{ij}^2, \dots, r_{ij}^x (1 \leq x \leq a)$,从而对质量屋中第 ij 个指标取平均估计值:

$$\bar{r}_{ij} = \frac{1}{a} \sum_{x=1}^a r_{ij}^x \tag{4}$$

1.4 发现基于需求的技术矛盾

HOQ 的相关矩阵确定了产品设计过程中技术特征之间存在的负相关性问题的,负相关正是产品设计过程中所遇到的矛盾问题。但是对于如何处理问题并未给出解决方法,因此,需要引入创新方法解决设计过程中遇到的问题。

1.5 解决技术系统的矛盾

工程人员通过解决或弱化该矛盾问题,实现创新设计^[8]。这与 TRIZ 的核心思想是一致的,矛盾问题的解决是一个间接的过程,首先对遇到的问题进行分析,然后构建矛盾问题模型,再对所建的矛盾进行分析,针对不同类型的矛盾采用不同的工具进行问题的求解,从而得到解决方案^[9]。根据负相关的技术特征,将 HOQ 屋顶分为:区域 A 和区域 B。区域 A 表示的是 2 项技术特征之间产生的冲突,而区域 B 表示的是同一项技术特征自身具有冲突,这两种类型的冲突正好对应 TRIZ 理论中的技术冲突和物理冲突。基于 HOQ 的矛盾问题解决流程如图 2 所示。

2 面向用户需求的产品创新设计过程模型的构建

在研究用户需求、技术特征以及 TRIZ 创新理论的基础上,提出了面向用户需求的产品创新设计过程模型,其中包含 4 个子模型:用户需求分析模型、技术特征分析模型、质量功能配置模型以及设计问题分析与解决模型,如图 3 所示。

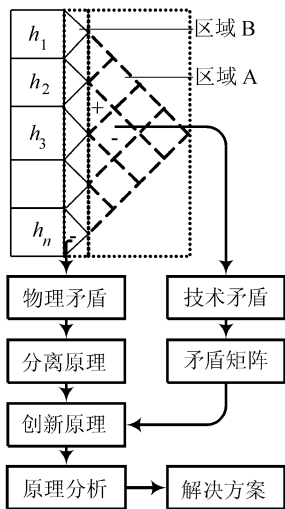


图 2 基于 HOQ 的矛盾问题解决流程
Fig. 2 Solving process of contradiction problem based on HOQ

2.1 用户需求分析模型

用户需求分析模型包含用户需求获取、用户需求整理、用户需求重要度排序以及市场竞争力分析等内容。首先,企业确定需要开发的产品,然后采用调查访问、5H2W 等方法获取用户的需求信息;然后对所获取的信息进行规范、表达和整理;最后,利用 AHP 法将需求按照 KJ 法的操作流程进行归类分层,得到各个要素之间的权重指标。

2.2 技术特征分析模型

技术特征分析模型包含技术特征的获取、技术特征的整理以及技术特征的竞争性分析等内容。首先收集能够满足用户需求的工程特征;然后,对这些工程特征进行整理,结合企业自身情况以及技术条件加以规整;最后确定所整理的每项技术特征在市场竞争能力。

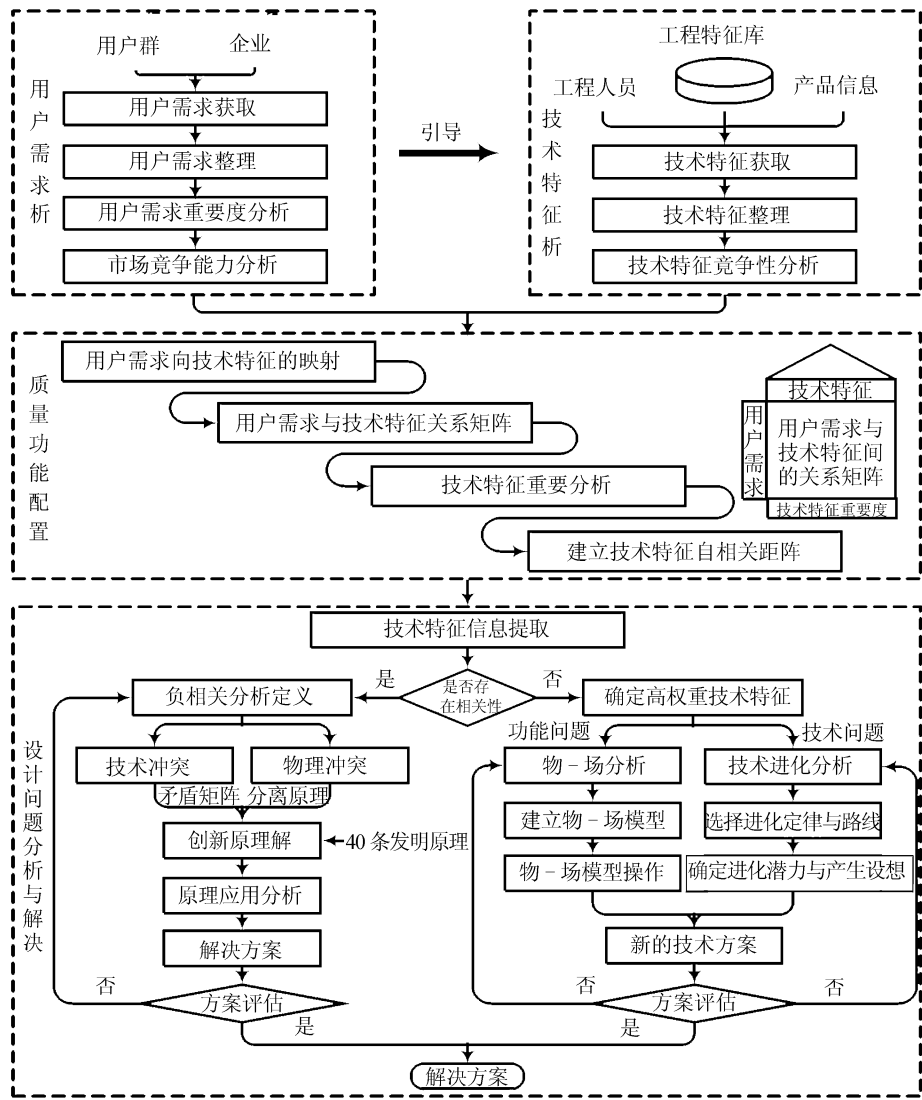


图 3 面向用户需求的创新设计模型

Fig. 3 Innovative design model based on requirements

2.3 质量功能配置模型

质量功能配置模型将用户需求与技术特征以矩阵的方式联系起来,构建需求到技术的映射关系,加快新产品开发的速度。该模型包含用户需求向技术特征的映射、构建矩阵、技术特征的重要度排序以及技术特征的自相关性等。首先,将用户需求向技术特征进行映射,然后通过组织若干专家对所需评判的指标进行打分,确定用户需求与技术特征之间的关系,从而确定技术特征的重要度;最后对技术特征之间的相关性进行分析。

2.4 设计问题分析与解决模型

设计问题分析与解决模型包含技术特征的提取、相关性分析、问题分析以及解决方法等内容。首先,对技术特征信息进行提取,包括:自相关矩阵中负相关特征和重要度较高特征;然后对所提取的内容进行分析,对于负相关信息,主要分析其属于技术矛盾还是物理矛盾,而对于重要度较高的技术特征,则采用物-场分析模型或则技术进化理论对其进行分析;最后在分析的基础上,根据技术矛盾、物理矛盾、进化理论以及物-场模型等不同创新方法解决问题的流程,

将设计中的问题解决,并将创新方案应用于产品设计中,从而开发出满足用户需求的创新产品。

3 车辆需求分析与创新设计

3.1 转向器用户需求获取与处理

以新型线控车辆转向器的研究开发为例,基于用户需求,以 QFD 与 TRIZ 理论为工具,对转向器进行创新性设计,进而验证创新设计策略的有效性。

转向器分为机械转向器和动力转向器。车辆的转向器需要良好的操纵性与稳定性,同时能够传递路面实时情况,以方便驾驶人员做出正确的驾驶决策^[10]。为了保证车辆转向的安全可靠,不仅要求转向装置零部件有足够的强度、刚度和可靠的寿命,还应有一定的灵敏度并实现对路面的感应。

获取汽车转向器的用户需求,主要方法为:采用 5W2H 法与汽车用户交流,将交流结果记入 VOC 表,并进行规范化表达。用 KJ 法对所统计的用户需求进行聚类分析,将用户所提出的需求按照相似程度进行归类。经过对转向器用户需求的整理和归类,将其分为 3 个层次,如图 4 所示。

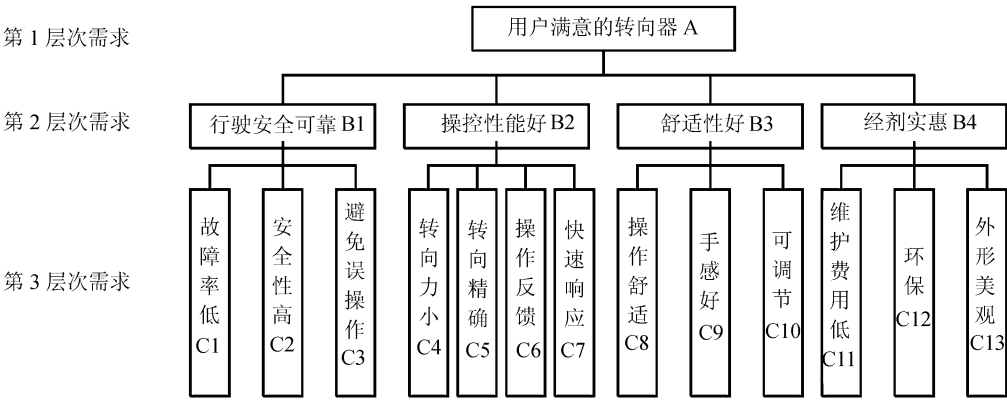


图 4 转向器需求层次 KJ 结构图

Fig.4 The KJ structure of steering requirements hierarchy

经过对转向器用户需求的整理和归类,用层次分析法(AHP)对获取的需求信息进行分析处理,为了获得第3层的用户需求之间的关系,需要对第1层次和第2层次建立判断矩阵。

汽车转向器用户需求第1层次的判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}。$$

汽车转向器用户需求第2层次的判断矩阵:

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix};$$
$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix};$$
$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 2 \\ 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/2 & 3 & 1 \end{bmatrix};$$
$$B_4 = \begin{bmatrix} 1 & 6 & 3 \\ 1/6 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 2 & 1 \end{bmatrix}。$$

通过对上述矩阵求解,可得到汽车转向器用户需求层次单排序结果,其结果如下所示:

$$\mathbf{W}_A = [0.423\ 6, 0.2271, 0.227\ 1, 0.122\ 3]^T;$$
$$\mathbf{W}_{B_1} = [0.400\ 0, 0.400\ 0, 200\ 0]^T;$$
$$\mathbf{W}_{B_2} = [0.078\ 1, 0.199\ 8, 0.522\ 3, 0.199\ 8]^T;$$
$$\mathbf{W}_{B_3} = [0.581\ 5, 0.109\ 5, 0.309\ 0]^T;$$
$$\mathbf{W}_{B_4} = [0.666\ 7, 0.111\ 1, 0.222\ 2]^T。$$

在获取汽车转向器用户需求的层次单排序之后,为了验证各判断矩阵中重要程度分析判断的逻辑是否合理,还需要对判断矩阵的一致性进行检验,其检验结果如表 1 所示。

表 1 判断矩阵的一致性检验

Tab.1 Checking the consistency of judgment matrix

指标	$\lambda_{\max}$	CI	RI	CR
A	4.010 4	0.003 5	0.90	0.003 9
B ₁	3.000 0	0	0.58	0
B ₂	4.043 5	0.014 5	0.90	0.016 1
B ₃	3.003 7	0.001 9	0.58	0.003 6
B ₄	3.000 0	0	0.58	0

表 1 中反映的各判断矩阵的 CR 值均小于 0.1,因此用户需求之间的重要程度的判定逻辑是合理的,由此可得出汽车转向器用户需求的总排序。其结果如表 2 所示。

表 2 用户需求权重

Tab.2 Weight of user requirement

序号	需求内容	权重	序号	需求内容	权重
C1	故障率低	0.169 4	C8	驾驶操作舒适	0.132 1
C2	碰撞时人安全	0.169 4	C9	方向盘手感好	0.024 9
C3	避免误操作	0.084 7	C10	方向盘可调节	0.070 2
C4	转向省力	0.017 7	C11	运行费用低	0.081 5
C5	转向精确	0.045 4	C12	环保	0.013 6
C6	有操作反馈	0.118 6	C13	外形美观	0.027 6
C7	响应速度快	0.045 4			

在获取用户需求之后,以用户需求为导向获得对应的技术特征。根据头脑风暴法、工程特征库以及质量要素表等方法,结合每项用户需求可得到对应的技术特征的集合。用户需求到技术特征映射内容的分析和总结,可得基于用户需求的汽车转向器的技术特征,如表 3 所示。

表 3 汽车转向器技术特征展开

Tab.3 Deployment of Automotive steering technology characteristics

序号	需求内容	序号	需求内容
h1	材料强度	h8	传动比例
h2	结构布局	h9	路感
h3	尺寸参数	h10	结构布局
h4	转向特性	h11	调节装置
h5	助力装置	h12	能量供应
h6	助力特性	h13	排放指标
h7	装配精度	h14	表面装饰

3.2 用户需求向技术特征的映射

在获取用户需求之后,以用户需求为导向获得对应的技术特征。构建汽车转向器的质量屋包括:建立用户需求与技术特征关系矩阵、建立技术特征自相关矩阵和确定技术特征重要度。而技术重要度则是将用户需求重要度与每项技术特征中的重要度值相乘后求和获得。构建车辆转向器的质量屋的过程如表 4 所示。

汽车转向器的质量屋反映了:1)转向器技术特征之间的负相关问题;2)重要度较高的转向器技术特征。转向器系统存在物理冲突的技术特征是转向特性的设定,技术冲突则是助力装置与能量供应。通过对比技术特征重要度,可知应该提高的技术特征为:结构布局和路感。

3.3 转向器问题解决

车辆转向器系统的问题属于技术冲突,适合利用 TRIZ 理论进行创造性求解^[11]。在汽车转向器的设计过程中,助力装置与能量供应之间存在负相关性,原因在于助力装置的引入导致能耗增加,而助力装置又是转向器整体中必要部分^[12]。对系统而言,引入助力装置改善的参数是方便性,而恶化的参数为能量损失,通过查询 TRIZ 矛盾矩阵,可得推荐的发明原理:抽取原理、周期性作用原理、反向作用原理。

结合发明原理、周期性作用原理和现有的转向装置,可采用电动助力装置辅助转向器进行转向,在电机与转向机构之间加入电磁离合器。当需要转向时,输入控制信号使离合器吸合,传递扭矩;而不转向时离合器处于分离状态,降低能耗。

对结构布局进行分析时,依据提高理想化水平定律中的“向流体或场传递的路线”,建立其物-场模型,引入新的介质 S₃为液力实现连接,该方式既实现了执行机构与方向盘之间的机械连接,又满足了结构布局要求^[13]。其改进的物-场模型如图 5 所示。

表4 车辆转向器设计阶段质量屋

Tab.4 HOQ of automobile steering in design stage

			客户 需求 权重	汽车转向器技术特征													
				材料 强度	结构 布局	尺寸 参数	转向 特性	助力 装置	助力 特性	装配 精度	传动 比例	路感	界面 布局	界面 调节	能量 供应	排放 指标	表面 装饰
汽车转向器 客户需求	安全	故障率低	0.169 4	5.0	0.5	2.6	—	2.5	—	—	2.0	2.0	—	—	—	—	—
		碰撞安全	0.169 4	3.6	5.0	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		低误操作	0.084 7	—	2.0	—	5.0	—	3.5	3.5	3.0	5.0	—	—	—	—	—
	操控	转向省力	0.017 7	0.5	0.5	0.5	5.0	5.0	5.0	5.0	—	0.5	—	—	—	—	—
		转向精确	0.045 4	1.0	—	5.0	5.0	1.2	1.2	5.0	5.0	1.0	—	—	—	—	—
		操作反馈	0.118 6	—	4.0	—	3.0	0.5	0.5	3.0	—	5.0	0.5	—	3.0	—	—
	舒适	响应速度	0.045 4	—	0.5	3.0	5.0	3.0	3.0	3.0	4.0	2.0	—	—	—	—	—
		操作舒适	0.132 1	—	3.0	3.0	2.5	1.0	1.0	1.0	—	3.0	2.0	2.0	—	1.2	3.0
		手感	0.024 9	1.5	—	1.0	1.8	—	—	0.5	—	2.0	5.0	—	—	—	1.8
	经济	可调节	0.070 2	—	5.0	1.5	—	—	—	—	3.0	—	5.0	5.0	—	—	—
		低成本	0.081 5	—	—	—	—	3.0	3.0	1.0	—	—	—	—	5.0	—	—
		环保	0.013 6	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5	—	—	5.0	—
外形美观		0.027 6	0.5	1.6	0.5	—	0.5	0.5	—	—	—	1.5	0.5	—	—	5.0	
技术权重重要度			—	1.57	2.4	1.56	1.7	1.15	1.15	1.33	1.21	1.95	0.85	0.63	0.76	0.23	0.58
技术重要度比率			—	0.095	0.145	0.094	0.103	0.07	0.07	0.081	0.073	0.118	0.051	0.038	0.046	0.014	0.035

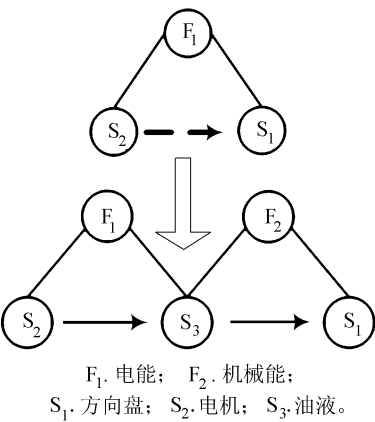


图5 路感的物-场模型

Fig.5 S-Field model of road feedback

3.4 产生新型线控转向器设计方案

在上述分析的基础上,结合技术特征,产生车辆转向器的整体设计方案,如图6所示。该创新方案的原理为:当驾驶人员转动方向盘时,转矩传感器和转角传感器测量操作信号,并传递给主控制器ECU(electronic control unit),ECU对信号进行分析与处理,然后输出信号控制离合器和电机,电机带动转向横拉杆运动,从而实现操作意图。在此过程中,横拉杆的移动将会打破感知油缸中油液的平衡,通过伺

服阀的调节,对路感油缸产生一定的阻力,从而产生操作感。同时,车轮受到来自路面的作用力,产生摆动,该动作通过转向横拉杆传递给感知油缸,感知油缸将油液压入路感油缸中,从而对方向盘做功,形成路感。

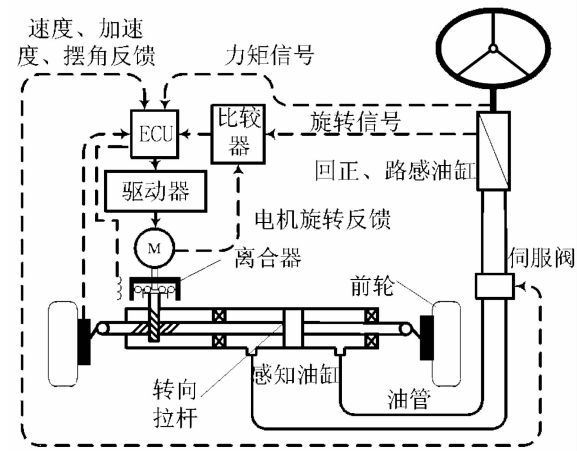


图6 车辆转向器的创新方案

Fig.6 Innovative steering design of combine-harvester

确定转向器的设计方案后,依据设计需求和领域知识,设计感知油缸、路感油缸以及液力回路,并建立转向器虚拟样机,如图7所示。

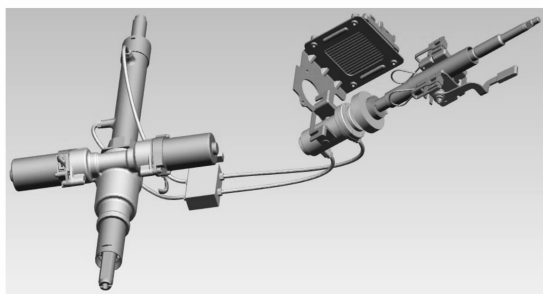


图 7 车辆转向器的 3 维模型

Fig. 7 3D model of steering system

通过对客户需求 C1—C13 的调查反馈,在重要程度较高的若干个需求上,新型线控转向器具有较明显的优势,如图 8 所示。

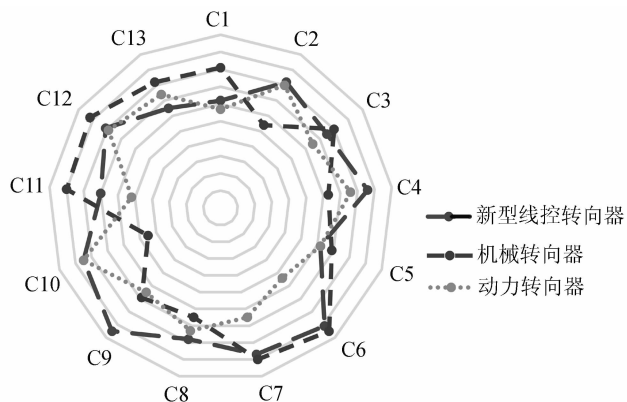


图 8 客户需求满意度对比

Fig. 8 Comparison of customer demand satisfaction

4 结 论

为了更好地满足用户需要,并实现创新设计,通过建立技术特征与用户需求的联系,发现系统中存在的矛盾冲突,再利用创新方法有针对性的解决问题,并由此构建了面向用户需求的产品创新设计模型。以转向器设计为例,验证了面向用户需求的产品创新设计策略的可行性。然而,在面对种类繁杂的技术特征时操作性欠佳,还需要更进一步研究。

参考文献:

[1] Tan Runhua. Progress of some problems in product design for innovation[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(9): 11–16. [檀润华. 产品创新设计若干问题研究进展[J]. 机械工程学报, 2003, 39(9): 11–16.]

[2] Li Yan, Li Xianglong, Zhao Wu, et al. Research on product creative design with cognitive psychology[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005(9): 1201–1207. [李彦, 李翔龙, 赵武, 等. 融合认知心理学的产品创新设计方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005(9): 1201–1207.]

[3] Cross N. Design Thinking: Understanding how designers

think and work[J]. Design Studies, 2011, 32(2): 608–609.

[4] Ma Huaiyu, Meng Mingchen. Model of the conceptual design process based on TRIZ/QFD/FA[J]. Journal of Tsinghua University Science and Technology, 2001, 41(11): 56–59. [马怀宇, 孟明辰. 基于 TRIZ/QFD/FA 的产品概念设计过程模型[J]. 清华大学学报, 2001, 41(11): 56–59.]

[5] Cai Yunhuan, Ying Meiliu, Run Huatan. Study on improvement design of products based on TOC and TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2006, 23(10): 17–21. [苑彩云, 刘英梅, 檀润华. 基于 TOC 和 TRIZ 的产品改进设计研究[J]. 机械科学与技术, 2006, 23(10): 17–21.]

[6] Akao Y, Mazur G H. The leading edge in QFD: past, present and future[J]. International Journal of Quality and Reliability Management, 2003, 20(1): 20–35.

[7] Chong Y, Chen C. Customer needs as moving targets of product development: A review[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 48(1): 395–406.

[8] Jackson M, Ekman S. The need for “new” innovation product development approach[J]. International Seminar and Workshop of Engineering Design Integrated Product Development, 2006, 37(1): 43–48.

[9] Li X, Zhao W, Zheng Y, et al. Innovative product design based on comprehensive customer requirements of different cognitive levels[J]. The Scientific World Journal, 2014(1): 1–11.

[10] Azadi S, Azadi M, Zahedi F. NVH analysis and improvement of a vehicle body structure using DOE method[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2009, 23(11): 2980–2989.

[11] Huang Chengxiang, Wu Jun, Huang Qiang. Study of computer test and control system for automobile hydraulic assistance steering gear[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2001, 33(1): 96–99. [黄成祥, 吴军, 黄强. 汽车液压助力转向器计算机测控系统的研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2001, 33(1): 96–99.]

[12] Matsunaga N, Im J, Kawaji S. Control of steering-by-wire system of electric vehicle using bilateral control designed by passivity approach[J]. Journal of System Design and Dynamics, 2010, 4(1): 50–60.

[13] Han Zhenyu, Shi Zhanglin, Gong Xiaojia. Test-bed system of the power steering-gear[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2000, 32(4): 96–99. [韩震宇, 石章林, 龚晓嘉. 动力转向总成试验台测控系统[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2000, 32(4): 96–99.]

(编辑 黄小川)