

基于 AHP 与 TRIZ 的残障人轮椅设计

辜俊丽¹, 宋端树¹, 崔天琦², 韩继光¹

(1.江苏师范大学, 徐州 221116; 2.徐州市高新技术创业服务中心, 徐州 221116)

摘要: **目的** 针对轮椅无法满足残障人使用的现状, 提出集成层次分析法与发明问题解决理论的残障人轮椅创新设计。**方法** 利用调研法及亲和图法确定残障人轮椅使用需求, 并对需求进行层次分级。运用层次分析法获取分级需求重要度, 将需求重要度降序排序, 准确掌握轮椅设计的重点。建立用户需求—技术方案关系矩阵, 验证技术方案是否存在矛盾冲突并运用发明问题解决理论的发明原理寻找最优解。**结论** 依据层次分析法所得客观数据掌握设计重点, 通过发明问题解决理论解决技术措施中的冲突, 实现了残障人轮椅的创新设计, 验证了多理论结合使用的有效性与科学性。

关键词: 层次分析法; 发明问题解决理论; 残障人; 轮椅设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)24-0187-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.24.030

Design of Wheelchair for the Disabled Based on AHP and TRIZ

GU Jun-li¹, SONG Duan-shu¹, CUI Tian-qi², HAN Ji-guang¹

(1.Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China; 2.Xuzhou New & Hi-teach Service Center, Xuzhou 221116, China)

ABSTRACT: The work aims to propose the innovative wheelchair design for the disabled based on AHP and TRIZ, regarding the present situation that wheelchairs are currently unable to meet the needs of people with disabilities. The survey method and the affinity graph method were used to determine the wheelchair use needs of the disabled and grade the needs. AHP was used to obtain the importance of graded demands and sort the importance in descending order to accurately grasp the key points of wheelchair design. The user needs - technical solution relationship matrix was established to verify whether the technical solution had conflicts and the invention principle of TRIZ was applied to find the optimal solution. According to the objective data obtained by AHP, the design focus is grasped, and TRIZ solves the conflicts in the technical measures, which contributes to the realization of the innovative wheelchair design for the disabled. The realization proves the effectiveness and scientificity of the combination of multiple theories.

KEY WORDS: analytic hierarchy process; theory of inventive problem solving; the disabled; wheelchair design

随着学科的交叉发展, 研究人员提出了更多科学的设计理论, 为产品设计开发提供了理论基础, 帮助设计师切实定位用户需求, 以便提出客观的不以个人意志为依托的设计策略。当前, 国际上被证明有效且被普遍应用于产品开发的设计理论有: 层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)^[1]、Kano 模型^[2]、发明问题解决理论 (TRIZ)^[3]、质量功能布置 (Quality Function Deployment, QFD)^[4]等。这些理论在产品

开发中各有优势, AHP 可以获得用户对产品的评价数据, TRIZ 能够为产品问题提出解决方法, 多理论集成的优势互补, 可以加快产品创新设计研究的发展。

老龄化不可逆转且日趋严重, 因此老年人的日常生活以及出行问题备受大众关注^[5]。由老龄化及疾病、自然灾害等原因导致的残障人的增多带来轮椅使用需求的大量增加, 但当前轮椅设计无论是外观水平还是技术含量都普遍较低, 无法满足残障人的轮椅使

收稿日期: 2019-09-27

基金项目: 江苏省重点研发项目 (BE2016651); 徐州市科技计划项目 (KC17138)

作者简介: 辜俊丽 (1992—), 女, 江苏人, 江苏师范大学硕士生, 主攻工业设计、通用设计。

通信作者: 宋端树 (1982—), 男, 江苏人, 江苏师范大学副教授, 主要从事通用设计研究。

用需求。因此本文将应用 AHP 与 TRIZ 理论进行集成设计,为残障人轮椅创新设计提供一种新思路。

1 AHP-TRIZ 模型简介

AHP 是一种在面临多种方案选择时的系统化、数学化的决策方法,能够将与决策问题相关元素以分层结构展现,按照集合、分解、比较、评价的科学思维模式,对预选方案进行重要度排序从而进行优劣等级评价^[6]。TRIZ 是基于技术发展演化的决策问题解决工具,其核心理念是完全解决矛盾元素。TRIZ 拥有的强大的系统化问题解决创新方法体系,在新产品研发中能高效解决矛盾冲突,实现产品创新设计。

产品的创新研发中,AHP 通过评价用户需求的优劣等级,确定设计研发的方向及具体设计内容。在设计内容转化为具体设计措施时,对于可能出现的矛盾冲突,TRIZ 作为冲突解决工具,提供了有效解决方法。AHP-TRIZ 模型是集发现问题与解决问题为一体的系统理论集合,能够突破单一理论的设计局限,激发设计师的创新概念设计。

2 AHP-TRIZ 模型设计应用流程

2.1 应用 AHP 对用户需求进行评价

在产品概念设计前对产品进行用户需求的调研及 AHP 等级评价,求出用户需求的权重值并对其值按降序排序,具体流程如下。

1) 构建三阶层次结构,包括目标层、准则层以及指标层。

2) 假定判断矩阵,矩阵的特征向量的解可利用和积法得出。将矩阵中的各要素按列归一化,得到向量 $\bar{w}_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}$ ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n$)。求得归一化后矩阵同行的各数值之和,得到列向量 $\bar{w}_j$,向量 $\bar{w}_i$ 归一化后,得到特征向量 $\bar{w}_i = \bar{w}_i / \sum_{i=1}^n \bar{w}_i$ 。

3) 一致性检验,得到 $CR = CI/RI$, $CR < 0.1$ 时, $\bar{w}_i$ 可作为权向量。其中 $CI = (\lambda - n)/(n-1)$, $\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$ 为矩阵的特征值, RI 作为平均随机一致性指标,取

值由查表可知。

4) 综合权重计算,每个指标层权重值分别和与之对应的准则层权重值所得乘积,即为指标层相对于目标层的综合权重,权重数值越大,越符合选择要求。

2.2 建立用户需求—技术方案矩阵

应用 TRIZ 进行概念设计时,需要对技术措施进行分析。技术措施方案展开是指将用户需求用成熟可行的技术手段进行替换,这也是抽象化的用户需求在产品表现中具象化的必经过程^[7]。

2.3 应用 TRIZ 进行创新设计

将用户需求转化为技术措施方案后,评价技术方案之间的关联性,判断是否存在矛盾冲突。若存在矛盾,则判断其冲突类型。TRIZ 中的冲突类型分为两大类:技术冲突和物理冲突。技术冲突指系统中提升某一参数特性而引发其他参数恶化的冲突。物理冲突指对同一个工程参数有相反的需求,如要求某一元素必须存在的同时又要该元素避免存在。

TRIZ 为解决矛盾冲突引入了 40 条发明原理,发明原理是经过大量专利研究后,提炼出的最具普遍用途的规则,这些规则不局限于单一领域,且囊括了物理、化学等各个工程领域的原理,是获得冲突解所应遵循的一般规律。TRIZ 为解决技术冲突所提供的冲突解决矩阵表可以寻找到冲突对应的发明原理,从而寻求最优解。为寻求物理冲突解决方法,40 条发明原理被归纳为 4 大基本类型:空间分离、时间分离、条件分离和整体与部分的分离。空间分离是指对同一个参数的矛盾要求,在不同的空间实现;时间分离即对同一个参数的矛盾要求,在不同的时间段实现;条件分离则是对同一个参数的相反特性,在不同的条件上得到满足;整体与部分的分离是指对同一参数的相反特性,在不同的层次得到满足。物理冲突最优解的本质是矛盾双方的相互分离^[8]。分离原理和与之对应的发明原理见表 1。

最终总结的技术措施要求满足 3 项原则:(1) 技术措施是根据用户需求所提取;(2) 技术措施必须具有可实现性;(3) 一项用户需求的满足不能以损害其他需求为代价。

AHP-TRIZ 模型设计应用具体流程见图 1。

表 1 分离原理与发明原理对应关系

Tab.1 Corresponding relationship between the principle of separation and the principle of invention

分离原理	发明原理序号
空间分离	1, 2, 3, 4, 7, 13, 24, 26, 30
时间分离	9, 10, 11, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 29, 34, 37
条件分离	1, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 22, 23, 25, 27, 33, 35
整体与部分分离	12, 28, 31, 32, 35, 36, 38, 39, 40

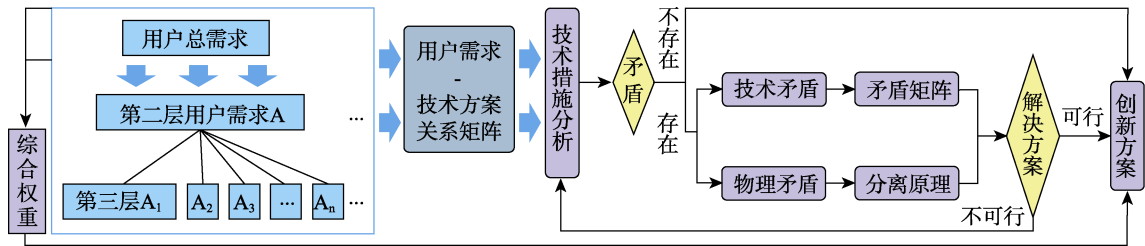


图 1 AHP-TRIZ 模型设计应用流程图
Fig.1 Design application flow chart of AHP-TRIZ model

3 AHP-TRIZ 模型在残障人轮椅设计中的应用

3.1 残障人及轮椅分类

轮椅的种类按照分类方式的不同而划分，主要有 4 种：按驱动方式分类、按大致结构分类、按使用人群分类和按主要用途分类。按驱动方式可将轮椅分为手动轮椅和电动轮椅两类；按大致结构分类，则是折叠型轮椅和固定式轮椅两类；按使用对象则划分为成人用轮椅、儿童用轮椅以及婴幼儿用轮椅；以主要用途分类，有标准型、偏瘫用、截瘫用、竞技用、爬梯型和站立轮椅 6 种。4 种分类方式下的轮椅分类见表 2。

轮椅主要用于功能障碍者或行走困难者代步，这类残障人主要可以总结为 5 类：（1）全身活动均受限

者；（2）下肢活动受限，上肢可自由活动或指关节可自由活动者；（3）暂时性下肢活动受限者；（4）可自主行动但年老体弱的易疲劳者；（5）残疾体育竞技者。根据残障类型不同，对轮椅的使用需求也不尽相同，对于同一需求的重要程度也有所不同，例如全身活动受限者需要借助外力作用来行动，对于电动驱动的轮椅需求非常小，而指关节可自由活动的下肢受限者则对电动轮椅需求大；残疾体育竞技者对于手动轮椅的移动灵活性和便捷性的需求远高于其他残障者。对于残障人轮椅的设计研究，要根据不同残障类型进行区别。由于研究类型多，所需样本量大，无法进行全部残障类型的深入研究，因此，从残障类型中人群基数比重较大的第 4 类残障人作为主要研究对象。该类残障人的生理特征为可以短时间内自主行动，肌肉力量较弱，行为较为迟缓。

表 2 轮椅分类
Tab.2 Classification of wheelchair

按驱动方式		按大致结构		按使用对象		
手动	电动	折叠式	固定式	成人用	儿童用	婴幼儿用
						
按主要用途						
标准型	偏瘫用	截瘫用	竞技用	爬梯型	站立式	
						

3.2 AHP 确定需求权重

确定可自主行动但年老体弱的易疲劳者为研究对象。首先，通过问卷调查法获取该类人群的轮椅用户需求，走访康复中心、敬老院、住宅小区的该类轮椅或潜在轮椅使用者，发放问卷 68 份，同时通过面对面访谈记录受访者使用轮椅时出现的问题，以及对轮椅改进的期望。最终回收问卷 54 份，捕捉用户需求 41 项，排除非设计项以及相似需求，最终获取用

户需求 27 项。其次，用亲和图法^[9]对用户需求进行分类以及层次分级，确定用户总需求“残障人轮椅”为目标层；再次，结合专家小组意见，将总需求进行分解，获得二级需求共 5 项为准则层；最后，将问卷调查统计得到的 27 项用户多种具体要求作为三级需求，即指标层，并按二级需求要求对三级需求各项进行归类。

明确 3 个层次的各类需求后，针对准则层平和指标层，设置 AHP 调查问卷表，构造判断矩阵，将用

户需求重要度两两对比,得到二级需求相对总需求以及三级需求相对二级需求的各需求权重。选择第 4 类残障轮椅使用者、轮椅销售者以及轮椅设计师作为调研对象,请其对调研所得各项轮椅使用需求进行赋值,需求重要度两两比较进行打分,奇数数值代表两两需求相互比较,前一需求较后一需求的重要程度为:同等重要、略微重要、明显重要、重要得多、极端重要。偶数分值则为相邻尺度的中间值,数值的倒数为后者较前者的重要度^[10]。以准则层为例,判断矩阵见表 3。

根据公式计算,最后得到的特征向量为 $w = [0.272 \ 0.481 \ 0.083 \ 0.131 \ 0.034]^T$,经过检验一致性,得出其特征值 $\lambda = 5.24$, $CR = 0.054 < 0.1$,达到一致性验证要求。因此特征向量可以作为权向量,即求得第二层次用户需求权重。同理计算出指标层下各个

判断矩阵的特征向量,且一致性检验满足条件,得到第三层次用户需求权重。最终求得第三层次用户需求权重值分别和与之对应的第二层次权重值的乘积,即为第三层次用户需求相对于总需求的综合权重,对其按降序做重要度的排序,结果见图 2。

表 3 准则层判断矩阵
Tab.3 Criterion layer judgment matrix

项目	功能性	安全性	操作性	舒适性	经济性
功能性	1	1/3	5	3	7
安全性	3	1	6	4	9
操作性	1/5	1/6	1	1/2	4
舒适性	1/3	1/4	2	1	5
经济性	1/7	1/9	1/4	1/5	1

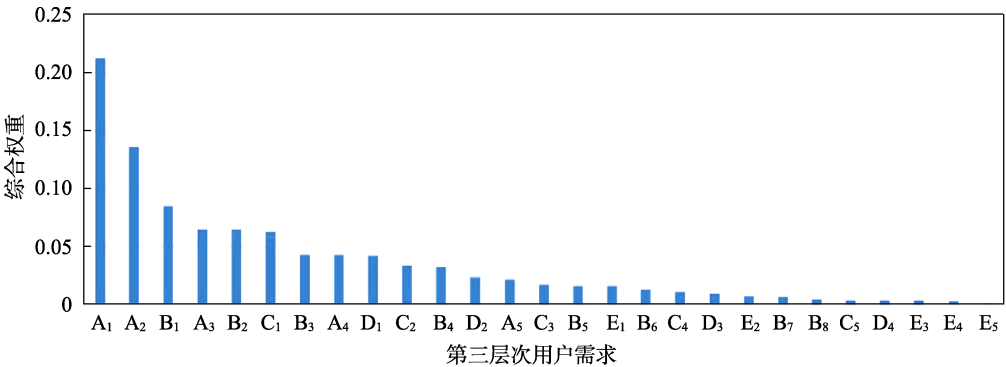


图 2 用户需求重要度排序
Fig.2 User demand importance ranking

从图 2 中可以得到,二级需求数据表明,用户对轮椅使用安全性要求远高于其他性能;其他需求重要性表现为:功能性>舒适性>操作性>经济性。因此,进行轮椅设计时,要以安全性为主;其次,设计上考虑功能完善的同时确保使用舒适性,并且尽可能兼顾操作的流畅性和经济适用性。

三级需求数据说明:在安全性的具体表现上,用户对材料的可靠性以及结构的稳定性最为重视;其他需求上,对自主避障、防滑、稳定制动、材料舒适性等方面要就较高,以及对上下坡是否稳定、是否具有跌倒保护装置和手推轮椅时是否能够便捷移动等方面具有一定要求。因此在进行轮椅创新设计时,需要着重以满足该类需求为基准,同时兼顾其他需求。

3.3 用户需求—技术方案关系矩阵

根据用户需求,将用户需求转化为技术措施方案,具体方案见表 4。

3.4 TRIZ 矛盾冲突解决

在残障人轮椅使用需求转化为技术方案时,发现技术方案存在一定程度的矛盾冲突,如满足不易打滑

的需求为增大抓地摩擦,但为了移动时更为便捷,需要减小摩擦,因此造成技术方案之间的物理冲突。研究发现,技术方案中存在 3 对物理冲突,具体见表 5。

根据矛盾冲突,查找 40 个创新发明原理,其中减少地面摩擦以便移动,但同时要求增大摩擦避免转弯或地面湿滑等情况出现打滑这一物理矛盾,将其称为冲突一。解决核心是:地面干燥时,小摩擦以便移动,地面湿滑时,大摩擦防止打滑,即不同时间段上适应不同地面摩擦,可以利用时间分离求解,筛选后拟采用第 11 条发明原理;此外,在轮椅上希望能有大尺寸设计以获得舒适的活动范围,与整体小尺寸设计以便携带和放置的矛盾,将其称为冲突二,该冲突是在不同的时间节点和不同使用条件下,不能获得不同的轮椅使用状态和体积大小的改变,因此可以利用时间分离与条件分离原理,对应发明原理为第 1 条和第 15 条;最后,希望以承重式材料为主以巩固轮椅的安全可靠性,与轻薄化设计以便携带之间构成物理冲突,将其称为冲突三,可以选择条件分离原理寻求帮助,发明原理第 40 条符合要求。具体发明原理阐述及冲突解决见表 4。

表 4 用户需求—技术方案转化
Tab.4 User needs translated into technical solutions

总需求	二级需求	三级需求	综合权重	用户需求—技术方案
残障人轮椅设计	安全性 A 0.481	材料可靠 A ₁ 0.444	0.214	承重式材料
		结构稳定 A ₂ 0.284	0.137	最高时速小
		不易打滑 A ₃ 0.137	0.066	抓地摩擦大；最高时速小
		上下坡稳定 A ₄ 0.09	0.043	自动刹车；限制时速
		肩部损伤小 A ₅ 0.045	0.022	排除肩部使用
	功能性 B 0.272	自主避障 B ₁ 0.317	0.086	感应装置
		稳定制动能力 B ₂ 0.243	0.066	转弯半径小；抓地摩擦大
		跌倒保护装置 B ₃ 0.163	0.044	感应装置
		跌倒报警装置 B ₄ 0.122	0.033	感应装置
		家人追踪地址 B ₅ 0.063	0.017	感应装置
		电动轮椅电力持久 B ₆ 0.046	0.013	大容量电池
		辅助工具放置 B ₇ 0.026	0.007	增加放置空间
		带动人体活动 B ₈ 0.02	0.005	机械运动装置
	舒适性 C 0.131	材料舒适 C ₁ 0.481	0.063	软硬度适中的材料
		活动空间大 C ₂ 0.259	0.034	座椅面大尺寸设计
		尺寸可调节 C ₃ 0.134	0.018	尺寸可调节设计
		材料防汗 C ₄ 0.086	0.011	防汗材料
		色彩舒适 C ₅ 0.041	0.005	色彩搭配
	操作性 D 0.083	轮椅移动便捷 D ₁ 0.52	0.043	抓地摩擦小，部件移动灵活
		易于座椅换乘 D ₂ 0.297	0.025	部件伸缩辅助
		零件易于替换 D ₃ 0.124	0.01	标准零部件；可拆卸
		便携可折叠 D ₄ 0.058	0.005	可拆卸设计；轻薄化
	经济性 E 0.034	结构简单 E ₁ 0.512	0.017	功能与结构一体化
		材料使用寿命长 E ₂ 0.222	0.008	耐磨损材料
		模块化程度高 E ₃ 0.128	0.004	可拆卸设计
		零件通用性高 E ₄ 0.09	0.003	标准零部件
		占地空间小 E ₅ 0.047	0.002	部件可折叠；整体尺寸小

表 5 技术措施矛盾冲突
Tab.5 Conflicts in technical measures

是何冲突	二级需求	需求—技术转化	创新原理
物理冲突	不易打滑	II 轮椅移动便捷 增大抓地摩擦 II 减小抓地摩擦	11
物理冲突	活动空间大	II 占地空间小 大尺寸设计 II 整体尺寸小	1, 15
物理冲突	材料可靠	II 便携可折叠 承重式设计 II 轻薄化设计	40

表 6 发明原理阐述及冲突解决方案
Tab.6 Description of the principle of invention and conflict solution

方案冲突	对应发明原理	原理解释	冲突解决方案
冲突一	11 事先防范	对可靠性较低的物体预设紧急防范措施。	利用传感技术，检测到转弯或者地面湿滑等情况时，自动减速或者启动刹车降速。
冲突二	1 分割原理 15 动态原则	一个完整物体分割为几个可相互独立的部分；提高物体的分割程度。 使物体特性具有可变性，使其在不同工作状态下皆为最佳状态；将单一物体分为可以相互移动的多个部分；将静态的物体变为可移动的。	将座椅、靠背等结构进行分割、重叠，运用自动化技术，使其结构可动，在使用时获得大尺寸空间与放置时折叠到小尺寸状态。
冲突三	40 复合材料	将物质由单一材料转换为复合材料。	使用硬质轻便的新型复合材料。

4 轮椅设计方案

根据 AHP 所得设计需求重要度排序以及 TRIZ 对技术措施的矛盾冲突分析所得解,进行产品的创意构思,得到第 4 类残障人轮椅设计方案,见图 3。材料可靠性可以依靠硬质轻便的复合材料提升,如钛合金。考虑到手动轮椅对肩部会造成损伤且第 4 类残障人群易疲劳,肌肉力量小,因此驱动方式为电力驱动,排除肩部使用。增设了照明装置,为残障人的夜间安全出行提供保障,示廓灯的设置给过往行人车辆以警示,注意避让。传感器等现代科技的应用在检测障碍物及路况时能自主做出减速、转向等反应,避开危险物,以保障残障人的出行安全,见图 3a。

考虑到未使用时的携带问题以及放置时占地面积不宜太大,整体设计利用折叠式结构,见图 3b,

座椅面采用柔软可弯曲的材质,椅面底部以合金材质支撑,通过折叠结构的调节,从轮椅车轮两边向中间移动,可将其折叠为原有轮椅体积的一半。为了使用的舒适性,椅面尺寸以男性身高第 95 百分位人群为基准,以提供残障者舒适的活动空间。折叠后的轮椅也可以作为助行器使用,以达到久坐后舒展身体的目的。两种使用状态见图 3c,轮椅上的扶手其高度和角度均可调节,在轮椅状态下可适应不同身高人群的电动操控感的操作距离,以保持手臂的操作舒适性。在助行器状态下可适应不同身高及不同健康状态下的人手推拉的舒适角度。轮椅的具体折叠过程及细节展示见图 3d,靠背向下翻折与椅面重合,脚踏板 90° 翻转,扶手内的内嵌手推拉杆向外展开,折叠结构向上旋转,折叠轮椅,并将踏板装置隐藏,扶手拉伸并旋转,以调节人手推拉的舒适角度,便于携带和放置。

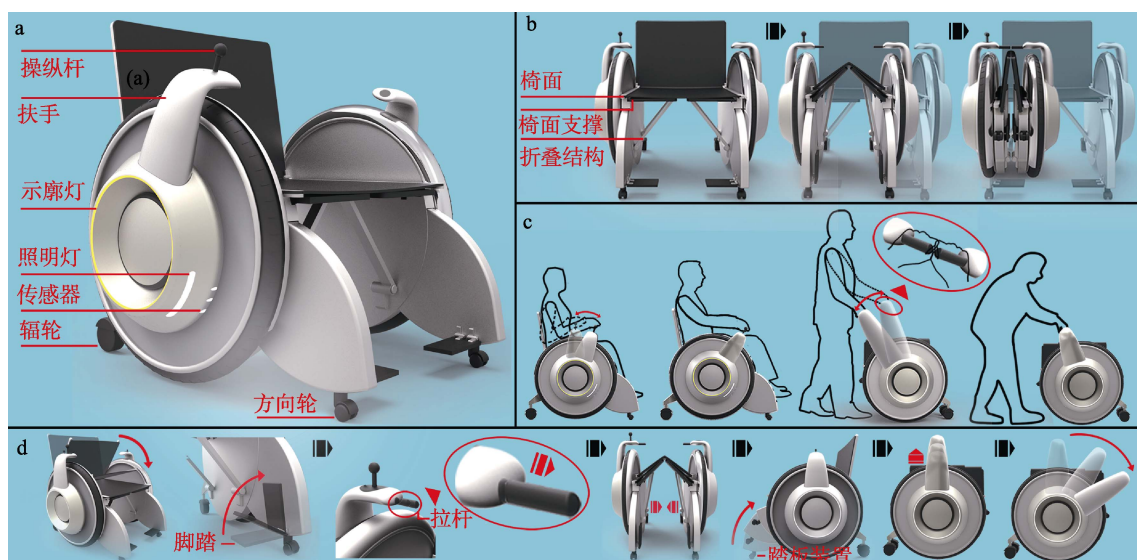


图 3 轮椅设计方案

Fig.3 Wheelchair design scheme

5 结语

通过对年老体弱这类残障人轮椅的设计,对 AHP-TRIZ 模型设计流程进行了详细阐述。其中 AHP 旨在快速掌握残障人的轮椅使用需求以及设计重点,其核心思想是将模糊的语言评价转化为客观的数据分析。TRIZ 则是对用户需求到技术措施转变时,出现的技术冲突寻找解决办法。多理论集合的优势互补填补了单一理论某些问题无法解决的缺陷,表明其他类型的残障人轮椅也可以就该思路继续深入研究。同时 AHP-TRIZ 集成设计只是众多理论交叉融合的一种方法,基于这种集成思路,接下来可以探究其他理论交叉应用于产品创新设计的合理性,以提供更多产品设计思路。

参考文献:

- [1] RUSSO R. Criteria in AHP: a Systematic Review of Literature[J]. Procedia Computer Science, 2015(55): 1123-1132.
- [2] ALEXANDER C. Solving Complex Problems and TRIZ[J]. Procedia CIRP, 2016(39): 27-32.
- [3] SHAHIN A. Integrating Kansei Engineering and Revised Kano Model with a Case Study in the Automobile Industry[J]. International Journal of Productivity and Quality Management, 2014, 13(2): 201-218.
- [4] NAHM Y E. A Novel Approach to Prioritize Customer Requirements in QFD Based on Customer Satisfaction Function for Customer-oriented Product Design[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2013, 27(12): 3765-3777.

- [5] 任毅臻. 人口老龄化背景下我国养老模式研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
REN Yi-zhen. Research on China's Pension Model under the Background of Population Aging[D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [6] ROSLI M U. Integrated AHP-TRIZ Innovation Method for Automotive Door Panel Design[J]. International Journal of Engineering and Technology, 2013, 5(3): 3158-3157.
- [7] 吴俭涛, 李婷. KJ-AHP-QFD 结合的两用清扫车外观设计提案研究[J]. 包装工程, 2016, 37(16): 77-82.
WU Jian-tao, LI Ting. The Appearance Draft Design of Dual-sweeper Based on the Combined KJ-AHP-QFD[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(16): 77-82.
- [8] 姚莉娟. 基于 TRIZ 理论的产品创新设计研究及应用[D]. 广州: 广东工业大学, 2015.
YAO Li-juan. Research and Application of Product Innovation Design Based on TRIZ[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2015.
- [9] 何月雯, 周丰. 基于 KJ 法及 KANO 模型的产品功能设计方法研究[J]. 轻工机械, 2015, 33(3): 113-118.
HE Yue-wen, ZHOU Feng. Research on Product Function Design Method Based on KJ and KANO[J]. Light Industry Machinery, 2015, 33(3): 113-118.
- [10] 李江泳, 姚湘. 基于贝尔品牌形象模型的产品造型意象研究[J]. 包装工程, 2014, 35(20): 29-32.
LI Jiang-yong, YAO Xiang. Product Modeling Imagery Modeling Design Based on Biel Model[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(20): 29-32.

(上接第 167 页)

- Li He-sen. Experience Wireless Headset Innovative Design[J]. Zhuangshi, 2013(2): 89-90.
- [5] 吴冬俊. 产品集成创新设计的应用法则[J]. 机械设计, 2013, 30(11): 112-113.
WU Dong-jun. Application Principles of Product Integrated Innovation Design[J]. Mechanical Design, 2013, 30(11): 112-113.
- [6] 李和森. 基于人机工程的手持检测器造型设计[J]. 机械设计, 2014, 31(1): 120-121.
LI He-sen. Design of Handheld Detector Shape Based on Man-machine Engineering[J]. Mechanical Design, 2014, 31(1): 120-121.
- [7] 丁尚春. 浅谈设备布置中的人机工程学[J]. 石油化工安全环保技术, 2005(5): 3-6.
DING Shang-chun. Ergonomics in Equipment Layout[J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology, 2005(5): 3-6.
- [8] 晏群, 庄德红. 数字机床人机界面及造型设计研究[J]. 机械设计, 2013, 30(11): 111-113.
YAN Qun, ZHUANG De-hong. Research on Human-machine Interface and Modeling Design of Digital Machine Tools[J]. Mechanical Design, 2013, 30(11): 111-113.
- [9] 叶东海. 基于材料特性的消防队员上体防护装甲设计研究[J]. 机械设计, 2014, 31(1): 114-115.
YE Dong-hai. Research on the Design of Protective Armor for firefighters Based on Material Properties[J]. Mechanical Design, 2014, 31(1): 114-115.
- [10] 叶钢. 医用塑料及其加工[J]. 国外塑料, 2007(5): 86-91.
YE Gang. Medical Plastics and Their Processing[J]. Foreign Plastics, 2007(5): 86-91.
- [11] 关键. 医用塑料的选材[J]. 工程塑料应用, 2001(29): 36-39.
GUAN Jian. Selection of Medical Plastics[J]. Application of Engineering Plastics, 2001(29): 36-39.
- [12] 王华斌. 产品竞争力系统性结构分析研究[J]. 机械设计, 2014(3): 97-101.
WANG Hua-bin. Analysis of Systematic Structure of Product Competitiveness[J]. Mechanical Design, 2014(3): 97-101.