

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2021.01.012

基于 AHP 和 TRIZ 理想解的雪地救援担架优化设计

徐骁琪,程永胜

(厦门大学 嘉庚学院,福建 漳州 363105)

摘要: 针对现代多功能组合型产品创新设计的问题,提出基于层次分析法 AHP 和 TRIZ 理想解的产品优化设计方法。基于 TRIZ 的通用流程,根据创新要求进行用户调研建立用户需求系统,对产品系统进行功能分析;引入层次分析法,解决用户需求量化的问题;运用 TRIZ 理想解规则,分析系统功能的理想化水平,找出其中不符合理想解的功能指标,并运用相对应的发明原理对其优化;利用理想解特征对产品概念方案进行评价并进行方案细化。通过建立集成 AHP 和 TRIZ 方法的创新设计流程模型,以雪地救援担架为设计案例,导入理想解设计流程并提出概念设计方案,验证了该设计方法的有效性和可行性。

关键词: 层次分析法;TRIZ 理论;理想解;雪地救援担架

中图分类号: TB47

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2021)01-0068-07

Optimal design of snow rescue stretchers based on AHP and TRIZ ideal final result

XU Xiaoqi, CHENG Yongsheng

(Tan Kah Kee College, Xiamen University, Zhangzhou 363105, China)

Abstract: Aiming at the problem of innovative design of modern multifunctional combination products, a product optimization design method based on AHP and TRIZ ideal final result was proposed. This method is based on the general process of TRIZ. First, it conducts user research based on innovation requirements, establishes a user demand system, and conducts functional analysis of the product system. At this stage, the analytic hierarchy process is introduced to solve the problem of quantifying user needs; then the rules of TRIZ ideal final result are used to analyze the idealization level of system functions, and find out the functional indicators that do not meet the ideal final result, and then the corresponding invention principles are used to optimize them; finally, the ideal final result features are used to evaluate the product conceptualization and the design scheme is refined. By establishing an innovative design process model that integrates AHP and TRIZ methods, and taking the snow rescue stretchers as a design case, the ideal final result design process was introduced and a conceptual design scheme was proposed, and the effectiveness and feasibility of the design method were verified.

Keywords: analytic hierarchy process(AHP); TRIZ theory; ideal final result; snow rescue stretchers

担架是自然灾害和突发事件中应急救援必不可少的装备,它可以帮助救援人员在灾害现场或特殊环境快速转移伤员,是从遇险环境到医疗场

所之间转移伤员的重要工具。担架根据不同的结构、功能、材料特征可以分为:升降担架、走轮担架、铲式担架、负压充气垫式固定担架、真空担架、

收稿日期:2020-11-29

基金项目:福建省教育科学“十三五”规划 2020 年度立项课题(FJJKCG20-063)

第一作者简介:徐骁琪(1991—),女,泉州德化人,讲师,硕士,研究方向:产品设计创新方法等。

多功能担架、楼梯专业担架、担架推车及篮式担架等^[1]。作为救援产品,担架必须能满足不同情境下、不同路况的救援需求,在运输过程中尽量减轻伤员的痛苦,防止伤员在移动过程中受到二次伤害,并且方便救援人员进行操作。本文拟基于发生在雪地环境中的灾害对走轮担架进行优化设计。

1 TRIZ 理想解的产品创新设计策略

1.1 TRIZ 理论

TRIZ 理论是苏联专利调查员阿奇舒勒因工作需要,在阅读了海量专利之后,发现具有创意的专利都是在解决一些矛盾问题^[2],而这些矛盾的解决方法一再地被反复使用。他据此推论,大量存在的矛盾点是相同的,解决这些矛盾的原理也是客观存在的。

TRIZ 理论体系非常庞大,应用面广泛,它可以解决技术冲突问题^[3-5],产生新的创意方案^[5-6],规避或增强专利^[7],助力环保产业的研究^[8]等。针对不同情境的问题,TRIZ 提供了多种方法,如 40 个发明原理、39 个问题参数及冲突矩阵、分离原理、物场模型及标准解、科学效应与知识库等^[9]。

1.2 理想解

理想解(ideal final result)^[10-11]是 TRIZ 理论的重要方法,在创新设计中有着举足轻重的作用。一个产品或技术系统不断更新和迭代的过程就是追求理想化的过程,因为产品或系统随着使用深入和时间推移总会出现这样或那样的问题,这给了发明者、生产者不断改进的动力。

在 TRIZ 理论中,阿奇舒勒将理想度定义为:系统中有益功能的总和与系统中负向功能总和的比率。理想度的基本公式为: $I = \sum UF / \sum HF$,其中 I 表示理想度, $\sum UF$ 表示有益功能之和, $\sum HF$ 表示负向功能之和^[9]。

理想解认为完全理想的物理状态是不存在的,但是经过不断改进可以实现接近理想的状态。根据公式可以得知,无限地增大分子数值,即增大有益功能之和;无限地减少分母数值,即减小负向功能之和;或者同时增大有益功能和负向功能,但是有益功能增加的速率大于负向功能,都能增大理想度数值。在实际执行过程中,去掉负向功能、

增加有益功能,或者解决负向功能的问题冲突使其转化为有益功能,都是提高理想度的有效途径。理想解有四个特点,即消除原来系统的不足,未使原系统变得更复杂,保持系统原有的优点,未引入新的不足。^[9]当确定了创新产品或系统以后,检查其是否达到理想化的特点,若无则重新返回优化,直到系统接近理想化特征为止。

1.3 基于 AHP 的功能分析

1.3.1 系统和功能

系统是由多个子系统组成,子系统之间相互联系、相互作用、相互依靠和相互制约,^[12]系统和子系统都具有一定的功能,它们共同组合并完成一定的目标。

20 世纪初,价值工程理论首次关注了功能这一概念。功能是产品能够给予人们的某种“属性”,例如冰箱是使用来“保鲜”食物的,电风扇是给人“降温”的。在 TRIZ 理论中,按照功能的效果与期望之间的差异可分为有益功能和负面功能:有益功能是指功能载体对功能对象的作用按照期望的方向,改变功能对象的参数;负面功能包括有害功能、不足功能以及过度功能。有害功能是指对载体产生了有害的作用,不足功能是指产生的作用实际功能小于期望值,过度功能是指产生的实际功能高于期望值,过度功能虽然未带来有害效果,但也不完全符合期望。^[13]

1.3.2 基于 AHP 的系统构建和功能分析

产品不断创新和迭代的动力来源于用户需求的增长,产品的各项功能满足用户需求是一个产品成功的关键。因此在产品开发初期,围绕产品创新的目标,搜集相关的用户需求点至关重要。可通过界定功能载体是否按照期望值改变功能对象的参数来区分有益功能和负向功能,但是期望值来源于用户的需求,仅凭借设计经验无法反映用户真实需求。如带有支架的手机壳,它为有看视频或阅读需要的人带来了便利,但同时又增加了手机的重量和体积,那么它属于有益功能还是负面功能,有时候取决于用户需求。当用户对支架的需求为接近于零时,它属于过度功能。本文尝试用基于层次分析法的用户需求调研来解决这一问题。

层次分析法(AHP, analytic hierarchy process)^[14]是系统化、数学化和模型化的决策方法,它将决策问题用有序的层次结构表示,按照分解、比较、判

断、总和的系统思维方式,对备选方案进行优劣排序和评价。^[15] 层次分析法的使用流程,如图 1 所示。

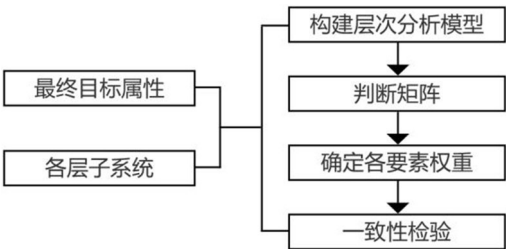


图 1 层次分析流程图

Fig.1 Flow chart of hierarchical analysis

首先,属性构建多层次分析模型;其次,进行判断矩阵构建和权重确定。将模型中的元素依照重要程度进行两两比较,并根据重要度记录比较值以 1、3、5、7、9 及其倒数,采用几何平均法、算数平均法、最小二乘法等计算权重,并将其归一化处理。最后,进行一致性检验。用 CI 表示一致性指

标: $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$, 其中 λ_{max} 为矩阵最大特征值,

计算一致性指标 $CR = \frac{CI}{RI}$ (RI 为平均一致性指

标),结果小于 0.1 即通过检验。通过层次分析法分析结果可以得知用户对于各项元素需求的期望值,并依照期望值与实际功能的比对进行功能分析,如表 1 所示。

表 1 功能分析

Tab.1 Functional analysis

功能分类		功能分析	
有用功能	实际功能	符合	期望值
有害功能	实际功能	有损于	任一期望值
过度功能	实际功能	远超过或不符合	期望值
不足功能	实际功能	小于	期望值

1.4 基于 AHP 和 TRIZ 理想解的创新设计流程

在 TRIZ 理论中,典型的过程一般分为三个步骤:问题识别,问题解决,概念验证。^[9] 本文基于 AHP 和 TRIZ 理想解的设计流程,详见图 2。由图 2 可知,第一阶段:根据课题搜集用户的需求指标,建立需求指标分析矩阵,采集相关用户对于需求指标的期望程度值,用层次分析法分析得出

各用户期望值权重,用户需求指标转换成可执行的技术指标,同样对技术指标的实际实现值进行量化,然后根据调研数据结果进行功能分析。第二阶段:分析矛盾冲突类型,选择相对应的解决方法或原理,找到 TRIZ 中相对应的解决策略,形成概念方案。第三阶段:根据理想解的特征,判断创新方案是否可行,若否,返回第二阶段,重新选择解决策略^[16-17]。

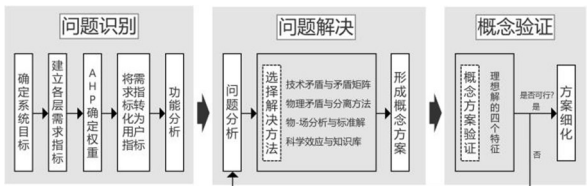


图 2 基于 AHP 和 TRIZ 理想解的设计流程

Fig.2 Design flow based on AHP and TRIZ ideal final results

2 雪地救援担架创新设计实例

2.1 雪地担架设计调研

担架是灾难救援中必不可少的救援必需用具,雪地救援担架是针对在雪地中发生的灾难如雪崩、雪地运动受伤等情况下,普通的担架无法快速行进而进行的创新设计。救援类产品的使用性能是最重要的技术指标。本文通过访谈和问卷调查,向专业救援人员以及部分用户进行调研,获取 32 项需求,排除相似性的需求,再根据亲和图法分层建立各层用户需求,如图 3 所示。系统最终目标为雪地救援担架 A,第二层子系统分别为功能性 B_1 、安全性 B_2 、稳定性 B_3 和操作性 B_4 ,第三层子系统是各项具体的用户需求。

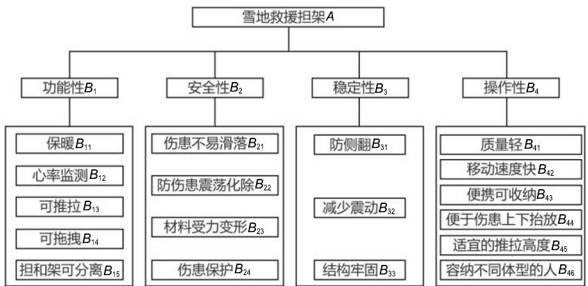


图 3 雪地救援担架层次分析

Fig.3 Hierarchical analysis of snow rescue stretchers

邀请雪地担架的潜在用户包括救援队员、医护人员以及雪地灾难的亲历者 100 名,发放 AHP 问

卷调查表,获得调研数据并构建判断矩阵,采用几何平均法计算权重:首先求判断矩阵中每一行各评价数值的乘积 M_i , $M_i = \prod_{j=1}^m b_{ij} (i = 1, 2, \cdots, m)$, 式中 b_{ij} 表示判断矩阵中第 i 行第 j 各元素, m 表示判断矩阵阶数(即判断矩阵每行元素数量);然后求判断矩阵各行的几何平均值,用 a_i 表示,

$a_i = \sqrt[m]{M_i} (i = 1, 2, \cdots, m)$,最后将所得结果进行归一化处理获得相对权重: $W_i = a_i / \sum_{i=1}^m a_i$ 。目标层判断矩阵,如表 2 所示;功能性准则判断矩阵及权重见,如表 3 所示。剩余安全性、稳定性、操作性的相对权重依照此方法求得,不再一一列表。

表 2 目标层判断矩阵
Tab.2 Target layer judgment matrix

A	B_1	B_2	B_3	B_4	权重
B_1	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	0.11
B_2	3	1	1	2	0.34
B_3	3	1	1	2	0.34
B_4	2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0.22

表 3 功能性准则判断矩阵及权重
Tab.3 Functional criteria judgment matrix and weight

B_1	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{15}	权重
B_{11}	1	4	2	2	$\frac{1}{2}$	0.25
B_{12}	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	0.06
B_{13}	$\frac{1}{2}$	3	1	1	$\frac{1}{3}$	0.14
B_{14}	$\frac{1}{2}$	3	1	1	$\frac{1}{3}$	0.14
B_{15}	2	5	3	3	1	0.41

按照层次分析法的要求对所得结果进行一致性检验,一致性检验结果如表 2,CR 值均小于0.1,一致性检验通过,说明所获得数据的有效性。最后将各单独的用户需求指标权重乘以上一层需求指标的权重,得到各项用户需求指标的综合权重,并排序,然后根据传统担架的技术标准、设计经验

等将各项用户需求指标根据技术实施的经验转换成技术指标,如表 4 所示。接着邀请专业的担架生产相关技术人员对各技术指标的可实现性与期望值进行比对,依照理想解的规则对各项功能进行划分。

表 4 用户需求综合权重及相对应的技术指标

Tab.4 Comprehensive weight of user demand and corresponding technical indexes

最终目标	二级需求	三级需求	综合权重	用户需求-技术指标转换	排序
雪地救援 担架设计 A	功能性 B_1	保暖 B_{11}	0.020	保暖材料	10
		心率检测 B_{12}	0.005	心率检测器	14
		可推拉 B_{13}	0.011	推拉结构	12
		可拖拽 B_{14}	0.011	拖拽结构	12
		担和架可分离 B_{15}	0.033	可拆分结构	8
	安全性 B_2	伤患不易滑落 B_{21}	0.033	伤患稳定装置	8
		防伤患震落 B_{22}	0.115	避震装置	3
		骨架受力变形 B_{23}	0.070	硬度高的骨架材料	5
		伤患保护 B_{24}	0.193	柔暖的包裹材料	2
	稳定性 B_3	防侧翻 B_{31}	0.045	降低滑行高度,增大横向面积	6
		减小震动 B_{32}	0.106	避震装置	4
		结构牢固 B_{33}	0.262	结构不易松动或变形	1
	操作性 B_4	质量轻 B_{41}	0.025	质量不能过重	9
		移动速度快 B_{42}	0.038	借助外力时可移动速度快	7
		便捷可收纳 B_{43}	0.011	可缩放和折叠结构	12
		便于伤患抬放 B_{44}	0.016	担架可升降	11
		推拉高度适宜 B_{45}	0.004	推拉高度可伸缩结构	15
		容纳不同体型 B_{46}	0.006	足够大的担架平躺空间	13

2.2 功能分析

据上述调研结果的排序, B_{12} 、 B_{45} 、 B_{46} 虽然没有带来有害作用,但是用户期望值均低于 0.01,说明用户对这些功能没有需求,它的实际功能远高于期望值,属于过度功能,对这几项技术指标进行裁减。另外,技术指标 B_{23} 和 B_{41} 属于用户期望值较高的指标,然而其中一个指标对另外一个指标会产生有害作用, B_{23} 使用硬度高的骨架材料可能导致产品重量变大,不符合 B_{41} 质量轻的用户需求。技术指标 B_{33} 和 B_{43} 、 B_{45} 也存在一个指标对另一个指标具有损害作用的情况, B_{43} 可缩放或折叠结构、可升降的结构可能导致结构松动。用户期望值指标 B_{42} 移动速度快需要优化,因普通担架在雪地中无法快速行进,原因是传统滚轮式的担架在雪地上无法行走,而人力担架在雪地上行走缓慢,所以该技术指标实际值与用户的期望相差甚远,属于不足功能需要优化。

2.3 矛盾分析与问题解决

根据 TRIZ 理论,已知的两个技术参数,当某

一技术参数中的特性会引起另一技术参数恶化,矛盾就产生了,因此选用冲突矩阵与发明原理来解决问题^[8]。首先将具有冲突的技术问题转化为 TRIZ 标准问题:即 39 个通用技术参数, B_{41} 技术参数为 2 号通用参数“静止物体的重量”, B_{23} 技术参数为 13“对象的稳定性”; B_{33} 技术参数为 13“对象的稳定”, B_{43} 、 B_{45} 均为 33“操作流程的方便性”。依次建立冲突矩阵,并查询相对应发明原理,如表 5 所示,选择合适的发明原理作为解决方案,第一对冲突选择以具有高强度、轻质量的复合材料钛合金作为解决方案,第二对冲突改变金属材料的物理特性,增加摩擦力,以减小收缩、折叠或升降结构上的稳定性。

当技术系统的“参数属性”不明显的情况下,采用上述矛盾矩阵不能发挥作用,因为有时候矛盾是不可见的,但它又不会消失,对于结构属性明显的问题可以采用物-场分析法^[9]。针对上文功能分析所指出的,用户需求指标 B_{42} 可移动速度快,存在实际速度远不符合实际情况的问题,但

是没有明显的参数属性,因此采用物-场分析法。首先建立物-场模型:具有静质量的物质有担架、人或者雪地摩托等(一切可以通过施力移动担架的物质),分别用 S_1 、 S_2 表示,其中 S_1 为受力体, S_2 为施力体,两物质中间产生的为机械场,用 F_1 表示,为施力体向受力体施加的拉力,他们之间的互相作用存在效力不足的情况,如问题物-场模型,如图 4 所示。根据 TRIZ 原理 76 个标准解解

法,由于担架的滚轮架在雪地上行走会产生较大的摩擦力,从而抵消了施力体对其施加的拉力,导致移动速度过慢,针对这种效应不足的情况采用 S2.1.1 标准解:引入物质向串联复合物-场模型转换,见图 5 所示。引入物质雪橇板,在担架上加入雪橇板适应雪地行走,减小摩擦力,让担架能在雪地上快速行走。

表 5 冲突矩阵
Tab.5 Conflict matrix

恶化的参数	改善的参数	发明原理	解决方案
13 对象的稳定性	2 静止物体的重量	26 复制	选择第 40 号发明原理,使用复合材料钛合金。钛合金硬度高,质量轻,并且具有良好的耐腐蚀、耐热性能,能适应各种极端环境。
		39 惰性环境	
		1 分割	
		40 复合材料	
13 对象的稳定性	33 操作流程的方便性	32 改变颜色	选择第 35 号发明原理,在折叠或伸缩结构的固定金属件上采用磨砂工艺,或使用橡胶等材质包裹,增加摩擦力,防止折叠或伸缩结构容易松动,影响使用时结构的稳定性。
		35 物理或化学参数改变	
		30 柔性壳体或薄膜	

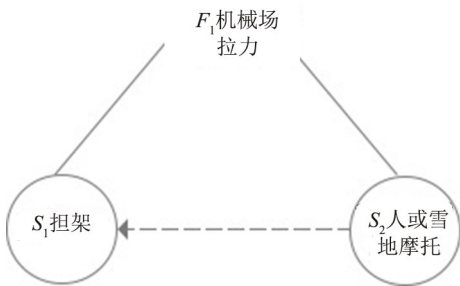


图 4 问题物-场模型
Fig.4 Subjectmatter-field model

雪橇板代替原来的滚轮行走使担架在雪地移动速度加快,用钛合金作为骨架材质以增加强度、减轻重量,担架的可收缩和折叠结构部件通过增加摩擦力加强了结构的牢固性。对照理想解的四个特征对新方案进行检验,该方案解决了原系统中功能实际值与用户期待值不相符的技术指标,并且没有使系统变得更复杂或引入新的不足,同时保留了担架原来的性能优点,根据理想度公式:
$$I = \frac{\sum UF}{\sum HF}$$
,得到理想度值更高,因此可以进一步细化方案。

2.5 方案细化

根据上文对雪地救援担架的用户期望和实际功能的匹配调研,对不符合理想解的技术指标进行优化,对照发明原理和效应库,具体优化方案如下:裁剪 B_{12} 、 B_{45} 、 B_{46} 技术指标;优化 B_{23} 和 B_{41} 技术指标,根据 40 号发明原理,使用符合材料钛合金;优化 B_{33} 和 B_{43} 、 B_{45} 技术指标,根据 35 号发明原理在金属折叠结构中采用磨砂工艺以增加摩擦力; B_{42} 技术指标,采用 S2.1.1 标准解:引入物质雪橇板,向串联复合物-场模型转换;其余技术指标 B_{13} 、 B_{14} 、 B_{15} 采用现有的担架把手、悬挂拖

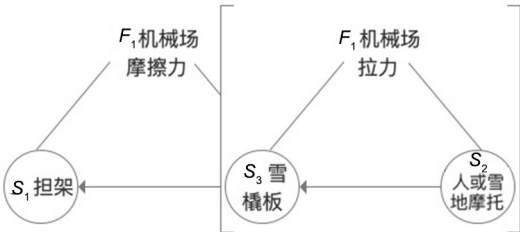


图 5 物-场模型解决方案
Fig.5 Matter-field model solution

2.4 方案评价

利用理想解改进以后的雪地救援担架,采用

拽绳、担架面和担架可拆分结构; B_{11} 、 B_{22} 、 B_{24} 采用现有担架中的睡袋和安全绳结构; B_{43} 、 B_{44} 采用现有担架的折叠和升降结构; B_{45} 、 B_{46} 根据现有担架尺寸(长*宽*高)为 195 cm * 56 cm * (60-82) cm; B_{22} 采用现有担架面的减震层结构。根据各项技术指标转换结果,方案细化模型,如图 6 所示。

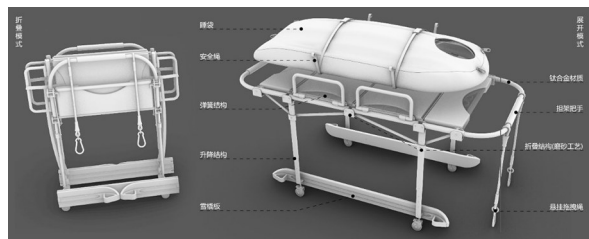


图 6 雪地救援担架方案细化模型

Fig.6 Scheme refinement model of snow rescue stretchers

参考文献:

- [1] 许世虎, 鲁红雷. 便携式救援担架优化设计[J]. 机械设计, 2014, 31(4): 114-116.
- [2] AL'TSHULLER G, SHULYAK L, RODMAN S. The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity[M]. Worcester: Technical Innovation Center, Inc., 1999.
- [3] 张乐, 孙志学, 胡成朵, 等. TRIZ 理论在老人购物车设计中的应用研究[J]. 机械设计, 2017, 34(12): 126-128.
- [4] 曹卫彬, 焦瀚博, 刘姣娣, 等. 基于 TRIZ 理论的红花丝盲采装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 76-82.
- [5] 艾险峰, 胡康, 周红宇, 等. 基于 TRIZ 的工业设计创新流程研究[J]. 机械设计, 2015, 32(11): 105-109.
- [6] 吴卫东, 闫双颖, 李德根, 等. 基于 TRIZ 轮式机器人驱动轮的研究[J]. 机械设计, 2011, 28(5): 34-37.
- [7] 江屏, 张瑞红, 孙建广, 等. 基于 TRIZ 的专利规避设计方法与应用[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(4): 914-923.
- [8] 尚杰, 鄂力铁. 基于 TRIZ 理想化方法的环保产业发展路径优化研究[J]. 生态经济, 2009, 25(5): 37-39.
- [9] 赵洁, 石磊, 丁丽娜. 创新思维与 TRIZ 创新方法[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017: 299-300.
- [10] VINODH S, KAMALA V, JAYAKRISHNA K. Integration of ECQFD, TRIZ, and AHP for innovative and sustainable product development[J]. Applied Mathematical Modelling, 2014, 38(12): 2758-2770.
- [11] ROBIN R. Sustainable product-service systems[J]. Futures, 2000, 32(4): 289-299.
- [12] 冷崇杰, 项辉宇, 张媛. 基于 TRIZ 理想解的全自动洗衣机自清洁结构创新设计优化[J]. 机械设计与研究, 2015, 31(4): 158-160, 164.
- [13] 韩旭, 储昭卫, 姚威. TRIZ 理论与实战精要[M]. 北京: 清华大学出版社, 2019: 125-127.
- [14] ROSLI M, ARIFFIN M, SAPUAN S, et al. Integrated AHP-TRIZ innovation method for automotive door panel design[J]. International Journal of Engineering and Technology, 2013, 5(3): 3158-3157.
- [15] 杨静. 基于 AHP-TRIZ 的产品概念创新设计方法研究[J]. 机械设计与制造工程, 2017, 46(7): 97-101.
- [16] 吕桂志, 任工昌. 基于功能分析 TRIZ 中理想解的建模[J]. 机械设计与制造, 2009(4): 41-43.
- [17] 王伟, 李文强, 李彦, 等. 基于理想解-裁剪法的水面油污清洁器设计[J]. 工程设计学报, 2014, 21(4): 355-361.

(责任编辑: 王圆圆)

3 结论

TRIZ 相关理论认为,解决创新问题的困难程度取决于对问题描述的标准化程度。因此引入层次分析法,搜集用户需求的相关数据,把用户需求量化,使得在系统功能分析时,对各项功能的分类有理可依,在概念设计初期问题识别的过程更客观;同时,雪地救援担架的设计过程其实也是对知识重用的过程,在设计过程中许多组件、构建都重用、引用或参考了已有的产品设计成果。因此,基于知识重用对救援担架在极端状况下扩展设计,让设计过程具有科学理论框架作为指导,是接下来研究的方向。经过 TRIZ 理论对雪地救援担架的创新设计,使其更能适应在雪地这一特殊环境中的救援需求,同时该方法还可以扩展运用在更多具有多功能组合型的产品优化设计中。