

基于 AHP-TRIZ 的雪地救援装备概念设计研究

魏巍¹, 张玲玉^{1,2}, 汪顺¹, 方倩¹, 范宇¹

(1. 四川轻化工大学机械工程学院, 四川 宜宾 644000;
2. 过程装备与控制工程四川省高校重点实验室, 四川 宜宾 644000)

摘 要: 针对雪地环境救援设备缺乏的现状, 建立智能雪地救援装备功能需求指标体系, 实现雪地救援装备设计需求的量化评估, 探索结合 AHP-TRIZ 理论, 为雪地救援装备的概念设计提供理论依据。从产品功能需求方向进行研究, 通过文献研究法和调查法得出用户需求要素, 运用层次分析法(AHP), 从目标、准则、指标3个层面归纳得出雪地救援装备功能需求指标体系, 利用1~9标度法对雪地救援装备设计需求进行量化评估并完成一致性检验。结合发明问题解决理论(TRIZ)中的阿奇舒勒矛盾矩阵理论, 确定需要改善及相应恶化的参数, 对应TRIZ 39个工程参数和40项发明原理找到高效的解决方法, 化解多层次设计要素的冲突, 并实现最优配置。得出雪地救援装备在功能、外观、人机工程、技术等方面的需求, 完成雪地救援装备的概念设计。针对积雪地带恶劣环境的问题, 通过集成 AHP-TRIZ 的方法将主观判断的结果量化处理, 为雪地救援装备的设计提供方法指导, 提高设计的科学性和合理性。

关 键 词: 雪地救援; 层次分析法; 量化评估; 矛盾矩阵; 仿生设计

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2023051057

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2023)05-1057-08

Research on conceptual design of snow rescue equipment based on AHP-TRIZ

WEI Wei¹, ZHANG Ling-yu^{1,2}, WANG Shun¹, FANG Qian¹, FAN Yu¹

(1. School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Yibin Sichuan 643000, China;
2. Sichuan Provincial Key Laboratory of Process Equipment and Control Engineering, Yibin Sichuan 643000, China)

Abstract: In response to the pressing issue of insufficient rescue equipment in snowy environments, a functional requirement index system for intelligent snow rescue equipment was established to achieve a quantitative evaluation of design requirements for snow rescue equipment. The AHP-TRIZ theory was explored to provide a theoretical basis for the conceptual design of snow rescue equipment. Extensive research was conducted from the perspective of product functional requirements, which involved obtaining user requirement elements through literature research and survey methods. The analytic hierarchy process (AHP) was then employed to summarize the functional requirement indicator system for snow rescue equipment from three levels: objectives, criteria, and indicators. Utilizing the 1-9 scale method, the design requirements of snow rescue equipment were subjected to quantitative evaluation, and consistency testing was completed. Additionally, by integrating the Archishuler contradiction matrix theory from the

收稿日期: 2023-01-31; 定稿日期: 2023-05-24

Received: 31 January, 2023; Finalized: 24 May, 2023

基金项目: 四川省高校重点项目(E10501084)

Foundation items: Sichuan University Key Laboratory Project (E10501084)

第一作者: 魏巍(1997-), 女, 硕士研究生。主要研究方向为工业设计、装备设计。E-mail: 1337591360@qq.com

First author: WEI Wei (1997-), master student. Her main research interests cover industrial design, equipment design. E-mail: 1337591360@qq.com

通信作者: 张玲玉(1971-), 女, 教授, 硕士。主要研究方向为产品创新设计、装备设计、人机工程学、计算机辅助工业设计等。

E-mail: 248855045@qq.com

Corresponding author: ZHANG Ling-yu (1971-), professor, master. Her main research interests cover product innovation design, equipment design, ergonomics, computer aided industrial design etc. E-mail: 248855045@qq.com

Theory of invention problem solving (TRIZ), the study identified the parameters requiring improvement and corresponding deterioration. It further explored efficient solutions for 39 engineering parameters and 40 invention principles in TRIZ, resolving conflicts between multi-level design elements and achieving the optimal configuration. Thoroughly identifying the requirements for snow rescue equipment in terms of functionality, appearance, ergonomics and technology, etc., the study successfully accomplished the conceptual design of snow rescue equipment. In response to the challenges posed by harsh environments in snow-covered areas, the subjective judgment results were quantified and processed through the integrated AHP-TRIZ method. This approach not only provided methodological guidance for the design of snow rescue equipment but also enhanced the scientific and rational nature of the design.

Keywords: innovation snow rescue; analytic hierarchy process; quantitative evaluation; contradiction matrix; bionics design

2022 年北京冬奥会、冬季残奥会的举办掀起了国内雪上运动的热潮。有关的调查数据表明,中国已经达到了“促进三亿人参加冰雪运动”的目标^[1]。后冬奥时代,公众参与冰雪运动的积极性提高,而随之造成的事故也日益增多。滑雪场地存在的高安全隐患问题亟待解决。目前,国内的户外雪场多数设置了游客中心医务室、雪场安全保卫人员和救援队伍,在防范阶段有较大成效。但针对突发事件,及时发现待救人员并到达事故发生地、携带转运担架与专业的医疗设备、展开滑雪损伤急救措施等方面仍存在不足。同时,安全管理工作较大程度上依赖人力,效率低下、不确定因素较多。除此之外,户外雪地事故还包括突发性低温雨雪冰冻天气造成的道路交通事故、地质等次生灾害等。从发生灾害后的应急救援角度来看,目前救援较多使用地震、火灾、矿井等领域的装备,户外雪地探测救援装备设计研究具

有现实意义。

1 救援装备设计研究现状及理论方法概述

1.1 救援装备研究现状

对于广泛意义上的应急救援装备的设计开发,国内外相关学者从不同视角进行了研究,分别从宏观、微观层面对装备的功能、色彩、布局、人因因素及方案验证等进行研究。在研究方法方面,对于需求分析阶段,采用数据库分析、设计调研、文献研究法等;对于需求确定阶段,采用感性工学、一致性检验、眼动追踪、脑电等方法;对于装备设计阶段,采用产品语义学、人机工程学、TRIZ 创新理论、色彩工学等;对于方案验证阶段,采用用户体验、模糊综合评价法等^[2-3]。国内外救援装备研究现状见表 1。

表 1 救援装备设计研究现状
Table 1 Research status of rescue equipment design

研究人	研究角度	研究方法	研究结果或结论
吴翔等 ^[4]	文献计量	数据库分析、Histcite 定位热度文献	应急救援装备的重要研究方向
BITAN 等 ^[5]	人因工程	人机工程学、行为认知分析、用户体验	设计新型救援包
李洋和程志威 ^[6]	功能优化	功能元形态学矩阵、模糊综合评价法	得到消防救援车最优设计方法
BHOSEKAR 和 IERAPETRITOU ^[7]	功能优化	映射分析, FAST 法	建立应急救援装备模块化设计准则
朱华桂 ^[8]	情景构建	需求层次理论、需求结构演化评价因子集	得到动态演化的应急需求
ALPPAY 和 BAYAZIT ^[9]	人因工程	矩阵布局、人机工程学	提高救援车辆器材布局设计效率
MA 等 ^[10]	行为心理	KANO 模型、满意度分析、模糊聚类法、	获取用户的真实需求
于魁龙 ^[11]	功能优化	模糊聚类法、模块化设计方法	实现产品功能的优化组合
WU 等 ^[12]	理论集成	感性意象与 QFD 相结合、感性工学	合理化设计过程
李晓杰 ^[13]	理论集成	AHP/QFD/TRIZ 集成创新设计模型	验证了创新模型的可行性
ZHANG 等 ^[14]	色彩学	结合遗传和蚁群算法、量化计算	确定配色方案、忽略人因因素
丁满等 ^[15]	色彩语义	模糊优化方法、粒子群算法、色度学	提供了色彩方案的量化决策依据
李付星 ^[16]	方案验证	ADAMS 运动分析、ANSYS 静力学分析	验证装备运动范围、刚度、强度

相较于广泛的应急救援装备设计研究,户外雪地救援装备设计领域的研究内容较少。目前较

为成熟的产品有 999 急救中心推出的国际雪地医疗救援专用车,该车与 999 航空医疗直升机的专

用医疗设备同型号,采用融合空、陆的方式提高救援效率,可以对现场极危重症患者采取全面的抢救治疗及安全转运措施。救援车内配备了救援相关的医疗专业医疗设备,有效提升了应对冬季雪场突发医疗事件的应急处置及医疗救援能力^[17]。

1.2 AHP 理论

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是一种将复杂决策问题系统化的方法,即将复杂决策问题的层级结构模型构建成为一种递进式的关系,并将同一层的各因素进行两两比较,然后用矩阵进行计算,最后得出结论^[18]。AHP 以定量的方法进行综合评估,以确定各层级间的相关关系,最终计算各层级的指标权重,得到各层级的相对重要程度排序。本研究通过对雪地救援装备的需求获取及需求层次体系的建立,得到了各个指标的权重,并进行了一致性验证。

1.3 TRIZ 矛盾矩阵理论

发明问题解决理论(theory of invention problem solving, TRIZ)是诞生于前苏联的创新理论,国内外 TRIZ 理论的研究成果较为丰富。该理论广泛应用于工业通用技术及设备、机械工业、产品创新、功能分析等方面。TRIZ 理论体系庞大,在该雪地救援装备设计中,主要运用矛盾矩阵原理,即通过解决产品所存在的矛盾,进而使其达到新的状态。TRIZ 应用于雪地救援装备的初步设计流程为:①建立雪地救援装备首要要素之间的矛盾,构建矛盾矩阵,计算得出要素之间具有的负相关关系,确定雪地救援装备的相关技术矛盾;②针对系统中确定的欲改善的参数,以及随之恶化的参数,查找阿奇舒勒矛盾矩阵表,得到阿奇舒勒矛盾矩阵所推荐的发明原理序号^[19-20]。按照序号查找发明原理汇总表,得到发明原理,深入分析发明原理并将该其运用在雪地救援装备设计上,进行雪地救援装备创新方案设计。

1.4 基于 AHP-TRIZ 的创新设计流程

结合 AHP-TRIZ 的产品创新设计流程分为 3 个阶段:需求获取、需求转化、创意方案输出。首先,确定使用雪地救援装备的相关人群,根据问卷调查、用户访谈获取设计需求,运用 AHP 理论建立救援装备需求层次体系,并通过 1~9 标度法验证需求。其次,将所得需求结合 TRIZ 理论,构建功能矛盾矩阵,结合 TRIZ 恶化参数的解决方法分析原理,得出设计雪地救援装备的具体解。最后,将所得解运用到概念设计中。

2 雪地救援装备的用户需求获取及层次分析

2.1 场景及人群分析

通过对雪地救援装备使用场景及相关人群分析,该设备的用户调研对象为户外滑雪运动爱好者、警方或消防等施救人员、滑雪场所管理人员、厚积雪地区长居人群。采用用户访谈、调研问卷和文献分析等方法整理出用户对户外雪地救援装备的设计需求词汇,按照相关因素分析可以归类为功能、外观、人机、技术 4 个层面。

2.2 构建雪地救援装备功能需求指标体系

将有效问卷、访谈与文献结果归纳提炼后,总结出相关用户对户外雪地救援车的设计需求词汇。设计要素包含:多地形巡逻探测、配备应急处理物资、路线规划、实时环境情况可视化、抓地能力强、GPS 定位、即时通讯、图像采集识别、远程无线控制、CMF、造型仿生、易识别、交互界面、操作效率及舒适性、人机尺寸、警示信息设计、续航持久、避震、GPS 定位、安全可靠、维护方便、灵活性强共计 22 项功能需求。

按照相关因素分析,指标层可以归为 4 类,即功能、外观、人机和技術层面。对这 4 个维度作进一步解释:功能层面,即户外雪地救援装备应具备的基本搜救抢险功能;外观层面,即救援装备在救援过程中的识别特征,依据功能产生的适配造型及 CMF 语义;人机层面,即救援装备在施救过程中,施救方及被救方的主观体验感,包括人机界面交互体验感、人机尺寸匹配程度及在操作过程中的效率及舒适性、警示信息易识别性等;技术层面,即保证装备维持安全运行的可靠指标参数,包括续航能力、维护的便捷性等。对这 22 个设计需求进行分层,如图 1 所示。

2.3 利用和积法构建判断矩阵

设判断矩阵为 $A=(a_{ij})_{n \times n}$, 计算该判断矩阵特征向量的具体计算步骤如下:

将判断矩阵 A 中的元素做归一化处理,即

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

将归一化后的矩阵的同一行的各列进行相加,即

$$\bar{w}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij} \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

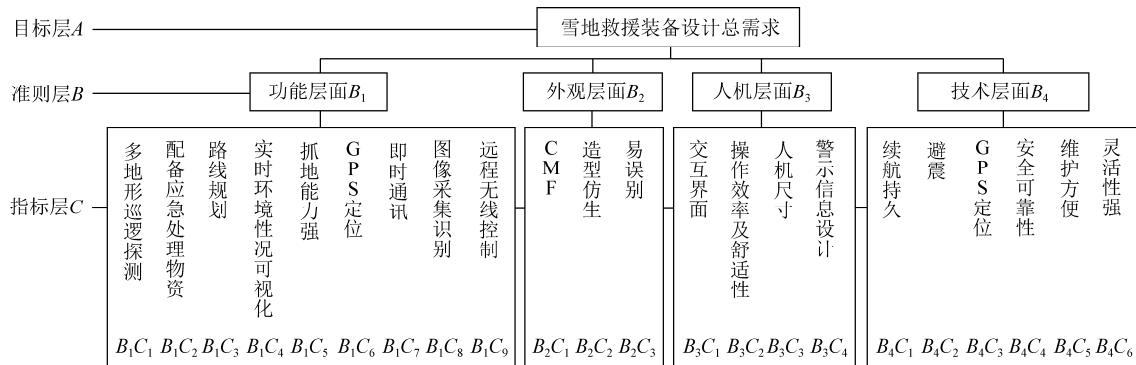


图1 雪地救援装备设计需求层次

Fig. 1 Design requirements hierarchy of snow rescue equipment

将相加后的向量除以 n 即得权重向量为

$$w_i = \tilde{w}_i / n \quad (3)$$

计算最大特征根为

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \frac{(Aw)_i}{w_i} \quad (4)$$

其中, $(Aw)_i$ 为向量 Aw 的第 i 个分量。

$C.I.$ 用于检验一致性, 即检验数据之间是否存在逻辑性, 若能通过检测, 意味着矩阵是成立的, 即存在解释价值。

计算一致性比率 $C.R.$ 。当 $C.R. < 0.1$ 时, 认为判断矩阵的一致性可接受; 当 $C.R. > 0.1$ 时, 判断矩阵需作适当修正^[18]。在该层次分析法的应用中, 采用 1~9 标度法完成判断矩阵的一致性检验见表 2。判断矩阵的标度方法见表 3, 记为 $R.I.$ 。此时

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (5)$$

表2 判断矩阵 a_{ij} 的标度方法Table 2 Scaling method of judgement matrix a_{ij}

标度	含义
1	A 与 B 因素相比, A 与 B 同等重要
3 或 1/3	A 与 B 因素相比, A 略重要于 B 或 B 略重要于 A
5 或 1/5	A 与 B 因素相比, A 明显重要于 B 或 B 明显重要于 A
7 或 1/7	A 与 B 因素相比, A 强烈重要于 B 或 B 强烈重要于 A
9 或 1/9	A 与 B 因素相比, A 极端重要于 B 或 B 极端重要于 A
2, 4, 6, 8 或 1/2, 1/4, 1/6, 1/8	上述两相邻判断的中间值

表3 1~9 标度判断矩阵的一致性指标

Table 3 Consistency index of 1~9 scale judgment matrix

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46	1.49

对于 n 阶矩阵, 独立重复 $n(n-1)/2$ 次随机地从 1~9 等自然数中取值。

指数标度判断矩阵为

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

查找相应的 $R.I.$ 。

分别制定准则层与指标层的判断矩阵, 再由 10 位专家对每个项目进行评分, 取得每项的算术平均值, 进一步得到各层级指标权重: 目标层(A)对应的准则层(B_1, B_2, B_3, B_4)的权重值分别为 0.512 4, 0.079 0, 0.169 2, 0.239 3。其中最大特征根为 4.106, 根据 $R.I.$ 表查到对应的 $R.I.$ 值为 0.882, 因此 $C.R. = C.I./R.I. = 0.04 < 0.1$, 通过一致性检验。准则层的判断结果见表 4。

表4 指标准则层判断结果

Table 4 Judgment result of criterion level

准则层	功能层面	外观层面	人机层面	技术层面	特征向量	权重值(%)
功能层面	1.000	7	2.0	3.000	2.546	51.236
外观层面	0.143	1	0.5	0.333	0.393	7.906
人机层面	0.500	2	1.0	0.500	0.841	16.924
技术层面	0.333	3	2.0	1.000	1.189	23.934

功能层面($B_1C_1, B_1C_2, B_1C_3, B_1C_4, B_1C_5, B_1C_6, B_1C_7, B_1C_8, B_1C_9$)的权重值分别为 0.252 4, 0.133 0, 0.054 7, 0.025 5, 0.120 9, 0.034 6, 0.044 0, 0.085 5, 0.249 5。其中最大特征根为 9.482, 根据 $R.I.$ 表查到对应的 $R.I.$ 值 1.451, 因此 $C.R. = C.I./R.I. = 0.041 < 0.1$, 通过一致性检验。在功能层面, $B_1C_1, B_1C_2, B_1C_3, B_1C_5, B_1C_8, B_1C_9$ 权重值相对较大。

外观层面(B_2C_1, B_2C_2, B_2C_3)的权重值分别为 0.163 4, 0.297 0, 0.539 6。其中最大特征根为 3.009, 根据 $R.I.$ 表查到对应的 $R.I.$ 值为 0.525, 因此 $C.R. = C.I./R.I. = 0.009 < 0.1$, 通过一致性检验。在外

观层面, B_2C_2 和 B_2C_3 权重值相对较大。

人机层面(B_3C_1 , B_3C_2 , B_3C_3 , B_3C_4)的权重值分别为 0.094 3, 0.151 5, 0.199 4, 0.554 9。其中最大特征根为 4.108, 根据 $R.I.$ 表查到对应的 $R.I.$ 值为 0.882, 因此 $C.R.=C.I./R.I.=0.041<0.1$, 通过一致性检验。在人机层面, B_3C_4 权重值相对较大。

技术层面(B_4C_1 , B_4C_2 , B_4C_3 , B_4C_4 , B_4C_5 , B_4C_6)的权重值分别为 0.128 8, 0.066 3, 0.095 6, 0.180 2, 0.054 6, 0. 474 6。其中最大特征根为 6.366, 根据 $R.I.$ 表查到对应的 $R.I.$ 值为 1.25, 因此 $C.R.=C.I./R.I.=0.059<0.1$, 通过一致性检验。在技术层面, B_4C_6 权重值相对较大。

3 TRIZ 矛盾矩阵理论运用于雪地救援装备设计

3.1 构建功能矛盾矩阵

利用 AHP 对各层指标的权重进行了计算, 得出了在雪地探测救援装备的设计和开发中, 须注重产品功能层面的创新, 并建立主要设计元素和

需求元素的矛盾, 从而构造矛盾矩阵。其中, 重点改进问题包括: 多地形巡逻探测、配备应急处理物资、路线规划、抓地能力强、图像采集识别、远程无线控制、造型仿生、易识别、警示信息设计、灵活性强, 见表 5。

3.2 冲突描述与 TRIZ 转化

通过上述步骤得到了较有权威性的产品核心改善因素, 再对 B_1C_1 - B_1C_5 , B_1C_5 - B_4C_6 和 B_1C_9 - B_2C_3 三对负相关关系进行分析, 得出雪地救援装备的技术冲突, 并将其特征转换为 TRIZ 问题。雪地救援装备技术要求之间存在着 1 对强负相关和 2 对一般负相关, 分别为抓地能力强和灵活性、多地形巡逻探测和抓地能力强、远程无线控制和外观易识别。

在对应的冲突描述中, 为进一步确定技术系统应改善的特性, 对上述负相关矛盾可具体分类为: 功能层面的设计-多地形巡逻探测、抓地能力、远程无线控制的问题; 外观层面的设计-对救援装备的易识别性问题; 技术层面的设计-救援装备的灵活性问题。所对应的恶化参数见表 6。

表 5 户外雪地救援装备功能矛盾矩阵

Table 5 Function contradiction matrix of outdoor snow rescue equipment										
功能要素	B_1C_1	B_1C_2	B_1C_3	B_1C_5	B_1C_8	B_1C_9	B_2C_2	B_2C_3	B_3C_4	B_4C_6
B_1C_1	-			负相关						正相关
B_1C_2	-	-								
B_1C_3	-	-	-							
B_1C_5	-	-	-	-						强负相关
B_1C_8	-	-	-	-	-					
B_1C_9	-	-	-	-	-	-		负相关		
B_2C_2	-	-	-	-	-	-	-			
B_2C_3	-	-	-	-	-	-	-	-	强正相关	
B_3C_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
B_4C_6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注: -表示功能要素之间无明显正负相关关系

表 6 户外雪地救援装备冲突描述

Table 6 Description of outdoor snow rescue equipment conflicts		
达到目的	待改善的参数	随之恶化的参数
解决多地形巡逻探测问题	NO.9 速度	NO.37 监测与测试的困难程度
	NO.24 信息损失	NO.33 可操作性
解决外观易识别问题	NO.12 形状	NO.32 可制造性
解决远程无线控制的问题	NO.27 可靠性	NO.19 运动物体消耗的能量

针对上述系统中确定的欲改善的参数与随之恶化的参数, 通过查找阿奇舒勒矛盾矩阵, 从矛盾矩阵中获得雪地救援装备的原理序号, 进一步得出雪地救援装备的设计方向^[21], 见表 7~9, 即多地形巡逻探测问题可用的发明原理有 NO.3, NO.34, NO.27, NO.16 和 NO.22; 外观易识别问

题可用的发明原理有 NO.1, NO.32, NO.17 和 NO.28; 远程无线控制问题可用的发明原理有 NO.21, NO.11, NO.27 和 NO.19。

3.3 户外雪地探测救援装备功能设计

3.3.1 巡逻探测功能的发明原理

在该户外雪地探测救援创新设计中, 解决问

题 1 多地形巡逻探测的问题, 可用的发明原理序号共 5 个, 分别是 3, 34, 27, 16, 22。与发明原理相对应为局部质量、抛弃与再生、廉价替代品、部分超越和变害为利。

表 7 多地形巡逻探测问题的 TRIZ 转化
Table 7 TRIZ transformation of multi-terrain patrol detection problem

		恶化的参数	随之恶化的参数
		NO.37 监测与测试的困难程度	NO.33 可操作性
改善的参数	NO.9 速度	3, 34, 27, 16	-
	NO.24 信息损失	-	27, 22

注: -表示“改善的参数”和“随之恶化的参数”无明显关联

表 8 外观易识别的 TRIZ 转化
Table 8 TRIZ transformations of easy to identify appearance

		恶化的参数
		NO.32 可制造性
改善的参数	NO.12 形状	1, 32, 17, 28

表 9 远程无线控制的 TRIZ 转化
Table 9 TRIZ transformation of remote wireless control

		恶化的参数
		NO.19 运动物体消耗的能量
改善的参数	NO.27 可靠性	21, 11, 27, 19

3-局部质量。此原理体现在 2 个方面: ①使产品的不同部分执行不同的功能; ②最大限度地利用组成对象的每个部分。这一原理有助于彻底解决问题。

34-抛弃与再生。①应去掉已经完成任务或后期没有持续利用价值的部件; ②立即修复一个物体中消耗的部分。此原理对该问题的彻底解决贡献有限。

27-廉价替代品。对于特性相似的物品, 在耐用性和成本上做折中处理。在满足最基础的耐用性需求条件下, 用低成本物体代替价格更为昂贵的物体。这一原理有助于解决矛盾问题。

16-部分超越。主要体现在如果不能达到百分之百的效果, 那么尽量接近就会使得问题迎刃而解。此原理对该问题的彻底解决贡献较大。

22-变害为利。利用不利因素(尤其是对环境的不利影响), 将不利因素结合起来, 从而降低劣势因素。此原理对该问题的彻底解决贡献较大。

综合分析以上发明原理, 局部质量、廉价替代品、部分超越、变害为利是具有价值的发明原理。

解决方案: 将体积较大的救援装备具有巡逻探测的功能转化为救援装备的一部分脱离整体, 具备巡逻探测功能。如果整个大型的救援装备难以实现巡逻功能, 可简化为配以体积较小、活动及操控更方便的具备巡逻探测功能的无人机于救援装备上。使组成救援装备的各部分, 单独具备功能, 各自发挥作用。

3.3.2 外观易识别功能的发明原理

解决问题 2 外观易识别的问题, 可用的发明原理序号共 4 个, 分别是 1, 32, 17, 28。与发明原理相对应为分割、改变颜色、维数变化、机械系统的替代。

1-分割。将整个对象划分为不同的部分, 以便每一部分都能轻松地装配在一起。这一原理有助于从根本上解决问题。

32-改变颜色。①更改对象或环境的颜色; ②更改对象的透明度或可见性; ③使用色彩添加剂, 以便可以观察到不易观察到的对象或过程^[22]。这一原理部分内容有助于彻底解决问题。

17-维数改变。将一个处于低维的或静止的物体, 转变为一个在高维中移动或固定的物体, 或使物体倾斜, 改变方向, 使物体从一种单一的结构转变为一种多层次的结构。此原理对问题的彻底解决贡献有限。

28-机械系统的替代。即用视觉、听觉、嗅觉、电场、磁场和电磁场等系统来实现与对象的交互。该原理在一定程度上对彻底解决问题有较大贡献。

综合分析以上发明原理, 分割、改变颜色、机械系统的替代是具有价值的发明原理。

解决方案: 户外雪地环境中以白色为主, 且在阳光下, 冰面有较高的反光率。为使救援车易于识别, 车身整体采用具有警示作用的橙色, 功能件部分配以黑色, 增加车体的分割程度。同时, 为减少冰雪面反光带来的视觉干扰, 采用磨砂度较高的涂层。车身两侧及顶部采用倾斜面, 增加其识别性。

3.3.3 远程无线控制功能的发明原理

解决问题 3 远程无线控制的问题, 可用的发明原理序号共 4 个, 分别是 21, 11, 27, 19。与发明原理相对应为快速、预先防范、廉价替代品、周期性作用。

21-快速。借助速度, 以最快的速度完成有害的操作, 帮助实现目的。该原理对问题的解决有较大贡献。

11-预先防范。利用时间先后顺序,采用事先准备好的应急措施。该原理对问题的解决有较大贡献。

27-廉价替代品。即使用较为低廉、易得的产品去取代价格昂贵、实施不便的产品。该原理对问题的解决有较大贡献。

19-周期性循环作用。①由连续动作向周期运动(脉冲)的转变;②当操作具有循环周期性时,则使其运动频率发生改变;③利用不连续的脉冲来完成其他功能。该原理对问题的解决有较大贡献^[22]。

综合分析以上发明原理,4条原理对问题的解决均具有一定价值。

解决方案:救援车行驶速度受限于雪面路况,利用低空中行驶速度相对更快的无人探测机侦察现场并传输信息,雪地面上的救援装备提前配以准备好的应急设施,从单一救援形式转化为2种形式的周期性配合,将对救援装备的控制问题转化为无人机控制的问题,更易实现远程探测功能。

3.4 户外雪地救援装备概念设计方案呈现

基于上述 AHP-TRIZ 理论模型,从功能、外观、人机、技术角度出发,得出巡逻探测、外观易识别、远程无线控制等设计点,对户外雪地救援装备进行概念设计。

在功能上,通过远程控制体积较小、灵活性较高的无人机,代替大型救援装备,以此达到完成日常巡航功能、降低能量损耗的目的。在勘测到出现事故时,对事故发生地进行拍摄并传输信息,救援车获取信息后,拟定施救方案,及时赶到救援现场,进而完成施救。具体各功能部件设计如图2所示。

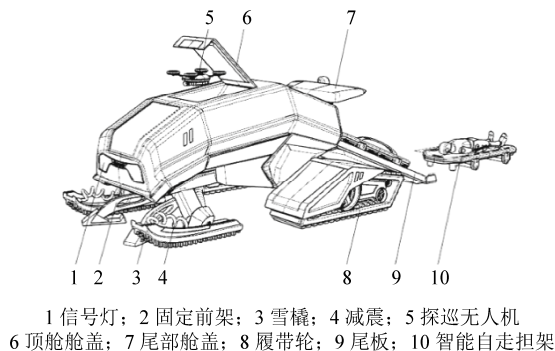


图2 雪地救援装备各功能部件

Fig. 2 Functional components of snow rescue equipment

在外观上,利用仿生设计的原理,模仿提炼北极熊“趴”的姿势。在色彩上,车身整体采用具有警示作用的橙色,与黑色车架形成强烈分割,

增加其外观识别性。如图3所示。



图3 雪地救援装备效果图

Fig. 3 Design sketch of snow rescue equipment

在人机上,结合受伤人员实际需求,救援装备中配备救援担架,通过开启后舱舱门,放置尾板,可转运受伤人员。救援装备中配有简易医疗设备,在对伤员进行转运的同时可尽早施救。如图4所示。



图4 顶舱开启效果图

Fig. 4 Design sketch of top cabin opening

在技术上,后轮传动采用履带轮,能够行驶于雪地与冰面等恶劣路面,避免车辆在雪地行驶时打滑,从而使得医疗转运更具安全可靠。同时,前雪橇配备气动避震和空气悬挂,使车内的震动幅度降低,避免受伤人员受到二次伤害。该装备可使用于恶劣积雪环境,为冰雪运动爱好者或厚积雪地区长居人群提供安全保障。

4 结束语

户外冰雪运动的兴起和大众对自然灾害防范意识提高使得雪地安全的重要性日益凸显。该设计从户外雪地救援装备的使用情境入手,以功能、外观、人机、技术4个方面展开需求分析,运用 AHP、1~9 标度法定量地分析了雪地救援装备的设计需求,并解决要素之间的主要矛盾,使得设计过程更加科学,为户外雪地救援装备的设计提供了需求分析依据,TRIZ 理论中的矛盾冲突矩阵为该装备的设计提供了指导。不足之处在于:

前期通过调研分析可获得大量的需求描述,虽然判断矩阵具有一定的规范性,但不能彻底地解决判断矩阵内部元素设定的主观性。同时,由于课题中雪地救援装备涉及的设计要素较多,在对需求进行层次划分时,全面且清晰的分类并建立合理的需求体系较为困难。

参考文献 (References)

- [1] 沈杰群. “带动三亿人参与冰雪运动”将成北京冬奥会最重要遗产[N]. 中国青年报, 2022-02-18.
SHEN J Q. Driving 300 million people to participate in ice and snow sports will become the most important heritage of the beijing winter olympics[N]. China Youth Daily, 2022-02-18 (in Chinese).
- [2] 潘雅璇. 基于 TRIZ 进化理论的救援机器人产品设计[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
PAN Y X. The product design of rescue robot based on the TRIZ evolution theory[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2019 (in Chinese).
- [3] 董炳艳, 张自强, 徐兰军, 等. 智能应急救援装备研究现状与发展趋势[J]. 机械工程学报, 2020, 56(11): 1-25.
DONG B Y, ZHANG Z Q, XU L J, et al. Research status and development trend of intelligent emergency rescue equipment[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2020, 56(11): 1-25 (in Chinese).
- [4] 吴翔, 许桂苹, 夏雅琴. 突发事件应急产品现状及趋势研究[J]. 包装工程, 2020, 41(8): 63-79.
WU X, XU G P, XIA Y Q. Current situation and trend of emergency products in emergencies[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(8): 63-79 (in Chinese).
- [5] BITAN Y, RAMEY S, MILGRAM P. Ergonomic design of new paramedic response bags[J]. Applied Ergonomics, 2019, 81: 102890.
- [6] 李洋, 程志威. 基于功能分析法的小型消防车设计[J]. 制造业自动化, 2018, 40(2): 88-91.
LI Y, CHENG Z W. Design of a minitype firefighting truck based on function analysis[J]. Manufacturing Automation, 2018, 40(2): 88-91 (in Chinese).
- [7] BHOSEKAR A, IERAPETRITOU M. Modular design optimization using machine learning-based flexibility analysis[J]. Journal of Process Control, 2020, 90: 18-34.
- [8] 朱华桂. 突发灾害情境下应急需求动态演化研究[J]. 学海, 2015, (1): 164-168.
ZHU H G. Research on the dynamic evolution of emergency demand in the context of sudden disasters[J]. Academia Bimestris, 2015, (1): 164-168 (in Chinese).
- [9] ALPPAY C, BAYAZIT N. An ergonomics based design research method for the arrangement of helicopter flight instrument panels[J]. Journal of Process Control, 2015, 51: 85-101.
- [10] MA M Y, CHEN C W, CHANG Y M. Using Kano model to differentiate between future vehicle-driving services[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2019, 69: 142-152.
- [11] 于魁龙, 李军, 张宇等. 基于模糊聚类的保障装备模块化设计[J]. 装甲兵工程学院学报, 2015, 29(1): 18-24.
- YU K L, LI J, ZHANG Y, et al. Modularization design of support equipment based on fuzzy clustering[J]. Journal of Armored Forces, 2015, 29(1): 18-24 (in Chinese).
- [12] WU X L, HONG Z, LI Y J, et al. A function combined baby stroller design method developed by fusing Kano, QFD and FAST methodologies[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2020, 75: 102867.
- [13] 李晓杰, 梁健, 李海泉. 基于 AHP/QFD 与 TRIZ 的地震救援机器人设计[J]. 机械设计, 2021, 38(11): 121-128.
LI X J, LIANG J, LI H Q. Design of earthquake rescue robot based on AHP/QFD and TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(11): 121-128 (in Chinese).
- [14] ZHANG X L, QIN H K, ZHOU X L, et al. Comparative evaluation of color reproduction ability and energy efficiency between different Wide-Color-Gamut LED display approaches[J]. Optik, 2021, 225: 165894.
- [15] 丁满, 孙伟, 徐江, 等. 考虑色彩意象不明确的产品色彩模糊优化设计[J]. 机械工程学报, 2011, 47(12): 185-190.
DING M, SUN W, XU J, et al. Product color fuzzy optimum design considering color image uncertainty[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2021, 47(12): 185-190 (in Chinese).
- [16] 李付星. 滩涂作业自移动平台的结构设计与仿真分析[J]. 机械设计, 2019, 36(9): 132-138.
LI F X. Structural design and simulation analysis of beach operation self-mobile platform[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(9): 132-138 (in Chinese).
- [17] 魏彦芳, 巩秀静, 王红雨, 等. 开展空地一体化雪地救援新模式探讨与分析[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2017, 12(8): 781-782.
WEI Y F, GONG X J, WANG H Y, et al. Discussion and analysis on the new mode of snow rescue with air-ground integration[J]. China Journal of Emergency Resuscitation and Disaster Medicine, 2017, 12(8): 781-782 (in Chinese).
- [18] 张炳江. 层次分析法及其应用案例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014: 10-16+48-61.
ZHANG B J. Analytic hierarchy process and its application case[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014: 10-16+48-61 (in Chinese).
- [19] 高常青. TRIZ: 产品创新设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018: 77-80.
GAO C Q. TRIZ: product innovative design[M]. Beijing: China Machine Press, 2018: 77-80 (in Chinese).
- [20] DELGADO-MACIEL J, CORTÉS-ROBLES G, SÁNCHEZ-RAMÍREZ C, et al. The evaluation of conceptual design through dynamic simulation: a proposal based on TRIZ and system dynamics[J]. Computers & Industrial Engineering, 2020, 149: 106785.
- [21] 李梅芳, 赵永翔. TRIZ 创新思维与方法: 理论及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 3-8.
LI M F, ZHAO Y X. TRIZ innovative thinking and methods[M]. Beijing: China Machine Press, 2016: 3-8 (in Chinese).
- [22] 刘训涛, 曹贺, 陈国晶. TRIZ 理论及应用[M]. 北京: 北京大学出版社, 2011: 74-101.
LIU X T, CAO H, CHEN G J. TRIZ theory and its application[M]. Beijing: Peking University Press, 2011: 74-101 (in Chinese).