

基于 INPD/AHP/TRIZ 的折叠式隔离设备设计研究

戴慧颖, 黄劲松*, 马子瑛, 简笑天
(湖北工业大学 工业设计学院, 武汉 430068)

摘要: **目的** 为了减少突发公共安全事件造成的人员伤亡, 设计一款能就地提供医疗救治环境的折叠式隔离设备, 并解决应急隔离设备在平时面临闲置的问题, 高效满足日常医疗和应急公共安全救治。**方法** 构建集成 INPD/AHP/TRIZ 的方法进行设计研究以获得解决方案, 整个设计流程以 INPD 方法为基础, 首先通过 SET 分析法, 寻找折叠式隔离设备设计机会点; 进而建立层次结构模型, 使用 AHP 对设备需求进行权重值计算和优先级排序; 再应用 TRIZ 理论工具解决需求间的冲突, 结合设计概念矩阵筛选出较好的设计概念, 形成设计方案; 最后建立设备模型, 设计中控界面, 并再次用户调研, 验证设计方案是否达到用户预期。**结果** 设计出的折叠式隔离设备, 可以快速提供一定规模的高标准医疗空间。**结论** INPD/AHP/TRIZ 设计流程, 可对用户的模糊多元诉求进行洞察, 利用不同的原理解决产品设计中的矛盾, 同时为相关临时隔离设备创新设计研究完善思路与方向。

关键词: INPD; 折叠式; 隔离设备; AHP; TRIZ; 公共安全

中图分类号: TB472 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)24-0131-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.24.015

Design of Folding Isolation Equipment Based on INPD/AHP/TRIZ

DAI Hui-ying, HUANG Jin-song*, MA Zi-ying, JIAN Xiao-tian
(School of Industrial Design, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: The work aims to design a collapsible isolation equipment that can provide on-site medical treatment environment, so as to reduce casualties caused by public safety emergencies, solve the problem of idle emergency isolation equipment in peacetime, and efficiently meet the daily medical treatment and emergency public safety treatment. The integrated INPD/AHP/TRIZ method was constructed to design and study the solution. The whole design process was based on the INPD method. Firstly, the design opportunity points of folding isolation equipment were found by SET analysis. Then a hierarchical structure model was established and AHP was used to calculate the weight and prioritize the equipment requirements. Then the TRIZ theory tool was used to solve the conflict between requirements, and the design concept matrix was combined to screen out superior design concepts and form the design scheme. Finally, the equipment model was established, the central control interface was designed, and the user survey was conducted again to verify whether the design scheme met the user's expectations. The folding isolation device could quickly provide a certain scale of high standard medical space. The INPD/AHP/TRIZ design process can provide insight into the fuzzy multiple demands of users, solve the contradictions in product design with different principles, and improve the ideas and directions for the innovative design research of related temporary isolation equipment.

KEY WORDS: INPD; folding; isolation equipment; AHP; TRIZ; public security

面向自然灾害、医疗卫生、体育赛事等公共安全事件频繁发生的现状, 政府通常采取短时间内建设集中救治中心的方案来应对大范围的突发公共安全事

件, 在缺乏有效维护的情况下, 临时隔离救治中心的寿命会极大的缩减, 过后也难以挪作他用; 而面对小范围的突发公共安全事件, 则大多依赖提前预备的医

疗资源,无法每次做到尽收尽治。因此设计一款可移动、多功能的折叠式隔离设备,满足发生公共安全事件时能快速反应、集中救治和物资保障需要,并充分考虑平时职责任务和运行成本。其能作为防止医疗系统崩溃的战略临时医疗空间储备,在某些区域发生地震、洪涝和疫情等公共安全危机时,快速提供大量物理隔离空间,及时进行救治治疗,也能作为医院的单人病房,安置在 ICU,提供隔离需求或安置在走廊,提供隐私空间或作为可移动诊所,担任基础医疗任务等。

通过收集到的文献资料发现,潘家兰^[1]针对“长三角”地区城市马拉松赛事安全问题上提出建立长久、专业的医护团队;王康博^[2]在探讨公共安全视域下我国越野跑赛的安全问题中提出在现场成立紧急的医疗站,由医护人员和急救专车组成;田冬平^[3]在社会救援组织参与灾害救助的困境研究中认为内部系统中存在物质装备不足的问题;李梦洁^[4]运用社会设计中改良后的双钻模型分析法,将流动医疗防疫工作站设计分为三部分,公共防疫工作站、流动医疗车和流动防疫医疗工作站系统,缓解定点医院的治疗压力;张璐^[5]运用模块化设计,可自由组合隔离舱、卫生间舱和医疗设备舱,满足不同场景的需求;张琬琦^[6]总结归纳出一套较为科学的公共卫生产品设计原则,并以此为指导设计了便携式紫外线消毒机、自动物资运送车等。上述文献对公共安全的研究大多专注于防控机制的优化研究和对策研究,对于保障公共安全的医疗隔离设备研究很少,主要集中于医疗工作站的设计,但是这些设备在平时就会闲置,造成资源浪费。因此通过构建 INPD/AHP/TRIZ 创新设计流程,基于可持续发展理念,以较低的成本扩充医疗资源,设计一款非公共安全事件发生时期也可继续利用的可折叠式隔离设备,并探讨设备使用的需求因素,针对冲突难点寻找突破性的解决方法,为企业及相关研发部门的决策者提供高效的产品需求排序和开发策略,完成折叠式隔离设备的功能设计和造型设计,为隔离设备的设计提供新思路。

1 INPD、AHP、TRIZ 集成设计方法

1.1 INPD

卡耐基梅隆大学的 Craig Vogel 和 Jonathan Cagan 在《创造突破性产品》中提到了解决一体化新产品开发问题的全新设计方法,书中将 INPD 方法划分为 4 个阶段,即识别机会、理解机会、概念化机会和实现机会^[7]。

1.2 AHP

层次分析法是由美国运筹学研究者 Saaty 在 20 世纪 70 年代提出的,不同影响因素之间的权重可以通过定量评价得出,避免了传统评价的主观缺陷,从而有效地获取准确和客观的用户需求^[8]。

1.3 TRIZ

TRIZ 理论是由俄罗斯学者 Genrich Aschuller 及其研究团队提取和总结的一种解决问题的方法。设计师可以将出现的问题转化为 TRIZ 标准问题后,然后利用 TRIZ 中丰富的工具求出理想的解决措施^[9]。

1.4 设备设计流程构建

将 INPD 的四个阶段作为研究折叠式隔离设备的主线,在 INPD 的第一阶段采用 SET 分析,为设备的开发提供设计切入点;在 INPD 的第二阶段使用 AHP 数字化的比较方式,将用户需求量化精准分析,有效完成多特征值的比较问题,避免了 INPD 方法中设计主观性和模糊性的缺陷,并将需求权重进行排序;在 INPD 的第三阶段中对 AHP 分析后的重点需求概念进行分析,利用 TRIZ 判断是否存在冲突问题,有则按其冲突类型,寻找对应的解决原理,将这些原理落实为详细的概念设计方案,再结合设计概念矩阵,形成具体的设备设计方案,取代了 INPD 的本阶段大多由经验或实际产生得出结果的方式;在 INPD 的第四阶段则将设备的设计方案进行建模,并对中控显示屏进行界面设计,完善折叠式隔离设备的设计。综上,通过集成 INPD/AHP/TRIZ 设计流程,将发现问题、提出问题、分析问题和解决问题形成一个系统化的方法。基于 INPD/AHP/TRIZ 的设备创新设计流程框架见图 1。

2 折叠式隔离设备产品设计研究

2.1 识别产品机会

2.1.1 SET 因素分析

INPD 方法的第一阶段是识别机会,应明确归纳产品的研究现状和社会趋势发展因素,客观清晰地发现产品目前存在的机会缺口,并对其中最理想、最有价值的产品价值缺口进行选择填补^[7]。本阶段将从社会(Society)、经济(Economy)和技术(Technology)三个不同方面的因素进行综合分析研究,见表 1。

结合表 1,可以分析折叠式隔离设备产品机会缺口得出,在社会因素方面,突发公共安全事件的影响程度不仅取决于灾害本身的类型和强度,还受到人类对各种灾害所表现出的抵御能力和脆弱性的影响,因此必须采取预防措施,并做好应急准备工作,以提高应对突发公共安全事件时的反应能力;在经济因素方面,折叠式隔离设备产品可以有助于缓解未来突发公共安全事件带来的压力,并且通过合理的设计使设备能满足日常医疗使用,做到循环利用医疗资源;在技术因素方面,可将智能监测感知技术、HEPA 过滤系统、智能平板系统等现代科学技术运用到折叠式隔离设备产品设计中,用智能化技术简便设备操作,为患者创造良好的救治空间以及为医护人员创造安全的工作环境。

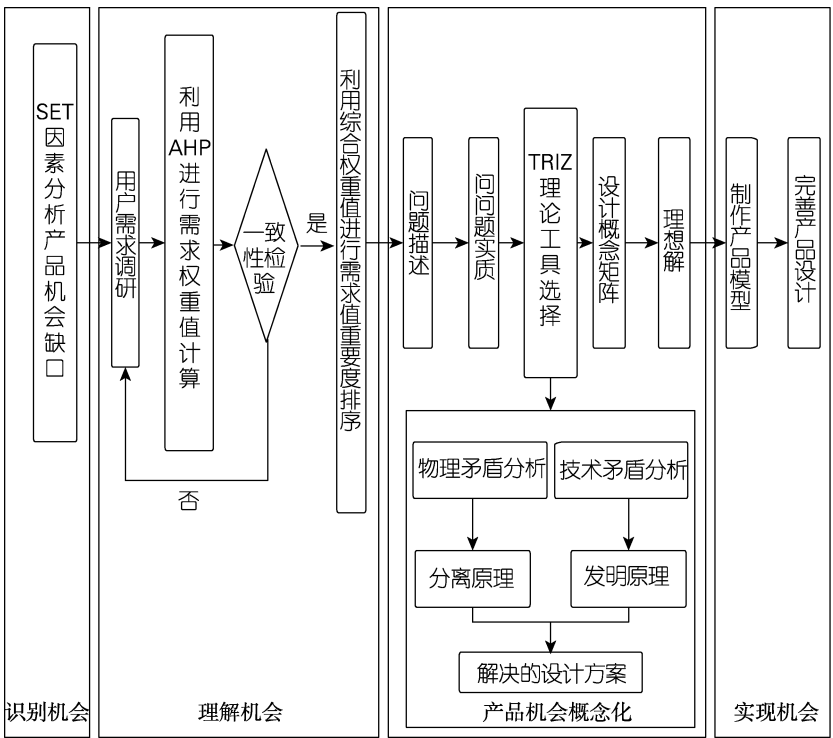


图 1 设备设计流程框架
Fig.1 Equipment design process framework

表 1 折叠式隔离设备设计 SET 分析
Tab.1 SET analysis of folding isolation equipment design

社会 (S)	经济 (E)	科技 (T)
公共安全诉求增加	减少人力成本费用	人工智能系统
市场容量不饱和	多元化领域应用	智能监测感知技术
应急医疗资源短缺	产品成本控制	智能平板系统
健康意识增强	扩大商业效应	充气膜技术
交通运输便利	工作效率提高	ILICOR-CD 消毒技术
智能掌控时代	防疫产品投资	HEPA 过滤系统

2.2 明确产品机会点

2.2.1 层次结构图

INPD 的第二阶段就是使用定性和定量的方法, 将对用户需求深层次的认知转换为确定产品属性的、可以实行的观点和想法, 也就是明确产品的机会点^[8]。通过实地访谈和网上问卷 2 种方法来了解核心用户对折叠式隔离设备的使用需求, 调查医护人员 6 人、产品设计师 10 人、医院器械采购人员 5 人和市场器械销售人员 4 人, 共 25 人, 男女人数比为 56%和 44%, 年龄主要集中 28~45 岁。经过初步归纳得到 34 条需求, 请设计相关的 5 位专家剔除不合适和概念重复的需求后, 共得到 22 条需求, 采用 KJ 法对搜集的需求进行归类与整理, 构建需求层次结构模型。第一层是目标层为折叠式隔离设备 A, 第二层是指标层为产品功能 B1、使用环境 B2、操作合理 B3 和造型色彩 B4, 第三层是方案层为对应第二层的具体可行方案。见表 2。

2.2.2 用户需求权重计算

使用 Saaty 提出的重要性等级来比较需求层次结构模型的第二层和第三层, 引入标度值, 见表 3, 一般 9 种取值分别为 1/9、1/7、1/5、1/3、1、3、5、7、9, 也可取上述各数值的中间值及其倒数^[10]。

邀请医护人员 25 人、产品设计师 12 人、医院器械采购人员 11 人和市场器械销售人员 15 人, 共 63 人, 男女人数比为 59%和 41%, 年龄主要集中 24~48 岁, 先对第二层也就是指标层两两对比, 进行集体决策并打分, 具体步骤如下。

1) 构建指标层判断矩阵, 邀请相关专家用户对层内指标进行两两判断并打分;

2) 权重计算, 对判断矩阵进行权重计算, 计算结果见表 4, 再求最大特征根 λ 为 4.097;

3) 一致性检验, 引入 I_{CI} 和 I_{CR} 来判断一致性, 其中, 式 (1) 中的 I_{RI} 见表 5。

$$I_{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.097 - 4}{3} = 0.0323$$

(1)

表 2 折叠式隔离设备层次结构模型
Tab.2 Hierarchy model of folding isolation equipment

目标层	指标层	方案层	具体需求
折叠式隔离设备 A	产品功能 B ₁	自动门锁 C ₁	自动开关门,减少手部接触
		灵活移动 C ₂	可以轻易多方向移动
		多重过滤 C ₃	送风口和排风口都有过滤装置
		故障警示 C ₄	设备运行故障时,发出警示
		折叠存储 C ₅	可以折叠存储,减少收纳体积
		智能交互 C ₆	可以通过平板等对设备进行操控、查看
		快速搭建 C ₇	最快、最短将设备搭建好
	使用环境 B ₂	医院 D ₁	应用在 ICU、医院走廊等
		方舱 D ₂	提供医疗救治空间
		社区 D ₃	提供医疗或者临时隔离空间
	操作合理 B ₃	双流道控制 E ₁	双流道控制系统,流道故障自动切换
		便携省力 E ₂	搬运、移动设备时不费力
		使用简单 E ₃	操作简单,容易掌握使用方法
		界面易懂 E ₄	控制显示屏的图标简单明了,功能清晰透彻
		紧急电源 E ₅	紧急电源控制系统,断电自动切换
		易维护 E ₆	设备容易维修、更换零件等
		耗材寿命提醒 E ₇	耗材使用寿命提醒,保证设备正常运行
	造型色彩 B ₄	结构简单 F ₁	结构尽量简单,减少成本,方便维修
		色彩干净 F ₂	色彩统一,干净明亮
		造型美观 F ₃	造型具有美观性
		材料可靠 F ₄	设备的材料要保证设备安全可靠
		体积适中 F ₅	长宽高符合人机要求

表 3 标度值及含义
Tab.3 Scale value and meaning

标度	重要程度	含义
1	同等重要	要素 <i>i</i> 和 <i>j</i> 同等重要
3	稍微重要	要素 <i>i</i> 比 <i>j</i> 稍微重要
5	明显重要	要素 <i>i</i> 比 <i>j</i> 明显重要
7	强烈重要	要素 <i>i</i> 比 <i>j</i> 强烈重要
9	绝对重要	要素 <i>i</i> 比 <i>j</i> 绝对重要
2、4、6、8	中间值	重要程度介于两者之间
倒数	倒数	要素 <i>i</i> 与要素 <i>j</i> 相比标度为 <i>X_{ij}</i> , 反之要素 <i>i</i> 与要素 <i>j</i> 相比为 1/ <i>X_{ij}</i>

表 4 指标层的权重值
Tab.4 Weight of the indicator layer

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	权重值
B ₁	1	5	2	9	0.510 4
B ₂	1/5	1	1/5	3	0.102 1
B ₃	1/2	5	1	7	0.341 6
B ₄	1/9	1/3	1/7	1	0.045 9

表 5 I_{RI}取值标准
Tab.5 RI value standard

阶数	1	2	3	4	5	6	7
I _{RI}	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32

$$I_{CR} = \frac{I_{CI}}{I_{RI}} = \frac{0.0323}{0.9} = 0.0359 < 0.1 \quad (2)$$

$I_{CR}=0.0359<0.1$,符合一致性检验要求。

接着对第三层的方案因素按照之前步骤进行权重判断并计算出其权重值,计算结果见表 6~9。CR 分别等于 0.043 0, 0.038 3, 0.074 1, 0.068 8, I_{CR} 均小于 0.1,一致性检验均合格。

表 6 产品功能下各个方案的权重值
Tab.6 Weight of each scheme under product function

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	权重值
C ₁	1	1/6	1/2	1/6	1/7	2	4	0.056 4
C ₂	6	1	4	1	1/2	5	7	0.218 9
C ₃	2	1/4	1	1/5	1/6	3	5	0.081 8
C ₄	6	1	4	1	1/2	5	7	0.218 9
C ₅	7	2	6	2	1	8	9	0.356 9
C ₆	1/2	1/5	1/3	1/5	1/8	1	3	0.043 0
C ₇	1/4	1/7	1/5	1/7	1/9	1/3	1	0.024 1

表 7 使用环境下各个方案的权重值
Tab.7 Weight of each scheme under the service environment

B ₂	D ₁	D ₂	D ₃	权重值
D ₁	1	1/3	5	0.274 6
D ₂	3	1	8	0.657 1
D ₃	1/5	1/8	1	0.068 3

表 8 操作合理下各个方案的权重值

Tab.8 Weight of each scheme under reasonable operation

B_3	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	权重值
E_1	1	1/4	1/7	1/6	1/5	1/3	3	0.040 3
E_2	4	1	1/5	1/4	1/3	3	5	0.099 5
E_3	7	5	1	2	4	7	9	0.369 6
E_4	6	4	1/2	1	3	5	7	0.250 5
E_5	5	3	1/4	1/3	1	4	6	0.153 3
E_6	3	1/3	1/7	1/5	1/4	1	4	0.062 7
E_7	1/3	1/5	1/9	1/7	1/6	1/4	1	0.024 1

表 9 造型色彩下各个方案的权重值

Tab.9 Weight of each scheme under modeling and color

B_4	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	权重值
F_1	1	1/9	1/6	1/7	1/4	0.033 2
F_2	9	1	4	2	6	0.443 0
F_3	6	1/4	1	1/3	4	0.160 2
F_4	7	1/2	3	1	5	0.288 4
F_5	4	1/6	1/4	1/5	1	0.075 2

将折叠式隔离设备判断矩阵里的方案层的权重值分别与其对应的指标层的权重值相乘,计算出每个方案权重的综合权重值^[12],计算结果见图 2。

通过上面计算结果的排序可知:折叠式隔离设备的产品功能以折叠存储、灵活移动和故障提示为主;使用环境定位为方舱和医院;操作合理注重使用简单、界面易懂、紧急电源、便携省力和易维护;造型色彩设计以色彩干净、材料可靠为主。

2.3 产品机会概念化

2.3.1 分析矛盾问题

INPD 方法过程中的第三阶段是产品机会概念

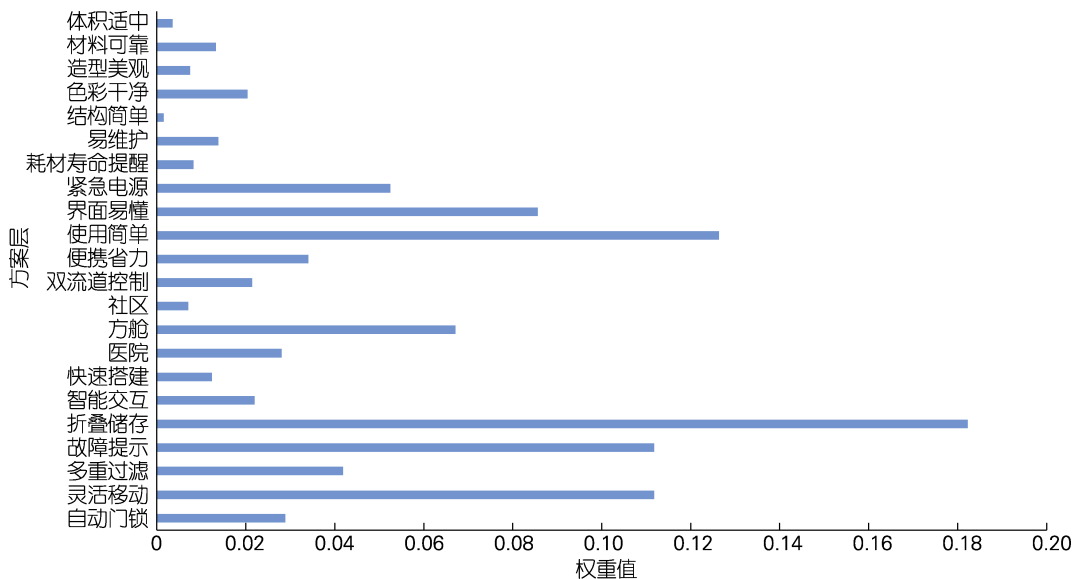


图 2 方案层的综合权重值
Fig.2 Comprehensive weight of the scheme layer

化,通过分析上述综合权重排序后得出的结果,发现重点需求之间存在 2 组技术冲突和 1 组物理冲突^[13],将序号分别命名为 a、b、c,对该 3 组冲突进行分析。

a 组根据用户需求,希望隔离设备具有折叠存储的功能,再加上设备需要长途运输,这对设备的结构稳定有较高要求,意味着可拆卸零件数量越少,对于设备维护就增加了难度,因此设备的结构稳定性与可维修性构成技术矛盾。

b 组考虑到折叠式隔离设备需要使用简单,方便相关使用人员快速上手,但其配置基本要求,设备应具有实时监测、故障提示、多重过滤和快速搭建等功能,产品功能越多,设备的复杂性也会随之增加,就会导致操作使用设备愈发困难,因此可操作性与装置的复杂性构成技术矛盾。

c 组为了设备在紧急救援下依然能继续工作,设备上除了安装必要的空调和过滤器,还要另外安装储电装置,在断电或者没电的情况下继续提供医疗救护环境,保证设备正常运行,此项设置会增加物体的重量,然而设备重点需求中又要求便携省力,需要尽可能减轻设备重量,所以构成物理矛盾,其中的矛盾在于“重量”,拟运用空间分离来解决。

应用 TRIZ 中的冲突分析法和 39 个工程通用参数将其转化为问题模型,如表 10 所示。

针对上面提到的这些问题,应用 TRIZ 理论,可以在阿奇舒勒矩阵里找到解决方法,并将其转化为概念设计方案。

2.3.2 矛盾问题的解决

经研究上述分析,以序号一一对应,应用 TRIZ 得出解决措施。

a 组由折叠式隔离设备结构稳定性与其可维修性之间构成的矛盾,参考矩阵可知有 No.2 抽取原理、

表 10 冲突问题模型
Tab.10 Conflict problem model

冲突序号	冲突问题	改进参数	恶化参数	推荐发明原理	冲突类型
a	折叠存储易维护	13 结构稳定性	34 可维修性	2 抽取 35 改变物理/化学参数 10 预先作用 16 部分达到或超越	技术冲突
b	使用简单多种设备功能	33 可操作性	36 装置的复杂性	32 色彩化 26 复制 12 等势 17 维数变化	技术冲突
c	紧急电源便携省力	空间分离		1 分割 2 抽取 3 局部质量 13 逆向思维	物理冲突

No.10 预先作用原理和 No.16 未达到或超过的作用原理。为提高折叠式隔离设备的可维修性，依照预先作用原理和超过的作用原理，可对折叠式隔离设备的折叠杆和伸缩杆选用耐磨损程度高的玻璃纤维增强尼龙材料，提高设备的使用寿命；参照抽取原理可将折叠杆和伸缩杆都设计为可裸露结构，并定期检查零件的松动与脱落，方便后期维修。

b 组针对折叠式隔离设备的可操作性与装置的复杂性之间的矛盾，采用 No.17 维数变化原理和 No.32 色彩化原理进行创新设计。具体解决方案是将实体操作转变为软件控制，利用现代智能交互技术，在折叠式隔离设备上安装智能平板，并在平板上依据信息的重要程度给予颜色引导，通过平板操控产品的各项功

能从而提高折叠式隔离设备的用户体验。

c 组选用空间分离法中的 No.1 分割原理，该原理是将一个物体分成相互独立的部分。具体设计方案为将紧急电源部件模块化，设计拆分为四个模块，通过串联将四个模块连接在一起。根据送达地区按需置放，供电正常的地区，即可安装一个模块，以备不时之需；供电不足的地区，即可安装四个模块，提供设备长时间工作的所需电源。通过将紧急电源模块化的操作，以达到便携省力的效果。

2.3.3 设计概念矩阵

经过 TRIZ 的研究分析，再结合层次分析法中产品功能 B1 里的 6 种方案因素，绘制了共 17 种相关设计概念，形成设计概念矩阵进行筛选，见表 11。

表 11 设计概念矩阵
Tab.11 Design concept matrix

功能要求	设计概念			
自动门锁	 平移	 开合	 卷帘	
灵活移动	 万向轮	 履带	 人形足	
故障提示	 语言警示	 灯光闪烁		
折叠储存	 旋转	 折叠	 伸缩	
智能交互	 中控触摸屏	 语言输入	 手势输入	 手机 APP
快速搭建	 充气膜	 自动伸缩框架		

表 12 不同病房规范标准
Tab.12 Standard for different ward specifications

规范	病房类型	夏季		冬季		换气次数/ h^{-1}	新风量	压差控制	气流组织
		温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/%	温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/%				
GB51039—2014 《综合医院建筑设计规范》	普通病房	≤ 27		≥ 20		6	2 h^{-1} 或者 $40\text{ m}^3/(\text{人}\cdot\text{h})$		
	负压隔离病房					10~12	空气传染的特殊呼吸道患者采用全新风	-5 Pa	宜在床尾或床侧及床尾各设置一个送风口, 回风口宜在床头侧下方
GB50849—2014 《传染病医院建筑设计规范》	非呼吸道传染病房	26~27	50~60	20~22	40~45		3 h^{-1}	排风量比新风量大 $150\text{ m}^3/\text{h}$	送风口应设置在房间上部, 排风口设在房间下部, 房间排风口底部距地面不应小于 100 mm
	呼吸道传染病房	26~27	50~60	20~22	40~45		6 h^{-1}	排风量比新风量大 $150\text{ m}^3/\text{h}$	
	负压隔离病房	26~27	50~60	20~22	40~45		12 h^{-1}	-5 Pa	
《ASHRAE 170—2017 Ventilation of healthcare facilities》	负压隔离病房	21~24	≤ 60	21~24	≤ 60	12	2 h^{-1}	-2.5 Pa	天花板或侧墙高位处设置送回风口

综上所述,考虑减少设备内病原体的逸散,采用自动门锁系统,选用平移门来减少手部接触,同时搭载采用高分子阻燃篷布,可终末消毒后多次使用,有效隔离病菌及病毒;折叠式隔离设备的使用需要高机动性,设计上选择了万向轮,方便灵活移动产品和减轻搬运压力;折叠式隔离设备最重要的就是保证内部负压,被污染的空气不外泄,因此出现故障时,提示要醒目,即添加灯光闪烁和语音提示,使信息可视化;采用配备 HEPA 高效过滤的排风口,组合消灭呼吸道病原体 and MDRO 多重耐药菌等多种病菌,净化率达 99.99%以上;采用中控触摸液晶屏,智能控制温度、湿度、压差状态、换气次数等,提供舒适的医疗环境;关于实现折叠式隔离设备快速搭建以及收纳上,选择折叠结构和自动伸缩框架,展开即可变成超过 6 m^2 占地的隔离空间,因此可以减少产品体积和质量,便于运输和收纳,方便人工快速搭建。

2.3.4 设备内部医疗规范要求

由表 12 可以得到设计折叠式隔离设备内部符合医疗规范的相对应的取值:

温湿度:在夏季时设计温度为 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 60%,冬季时设计温度为 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 40%,这样的设计取值既能满足一般隔离救治的需求,也能够满足负压救治的需求。

换气次数及新风量:设置送风量以满足 6 次/h 和 12 次/h 两种工况,同时新风换气次数应该能够满足 2 次/h、3 次/h、6 次/h 和全新风等 4 种工况的需求。

压差控制:虽然没有明确规定非呼吸道传染病房和呼吸道传染病房之间的压力差应为多少,但规定了新风流量大于 $150\text{ m}^3/\text{h}$ 所产生的压力差应为 -5 Pa。因此,设计折叠式隔离设备与外界压力差为 -5 Pa。

气流组织:一般的病房对气流组织没有特殊的要求,一般都是上送上回(排)的气流组织方式。如果有感染源,则采用上送下排(回)。因此,在设计折叠式隔离救护设备的空调系统时,选择采用上送下排(回)的气流组织形式。

3 实现产品机会

3.1 构建产品模型

INPD 方法的最后一个阶段是实现产品机会^[14]。依据折叠式隔离设备的功能设计概念,结合医护人员、市场医疗器械销售人员、医院器械采购人员的建议,根据层次分析法中综合权重值中方案因素的重要度排序以及应用 TRIZ 理论产生的所得解,进行折叠式隔离设备最终方案的设计研究。折叠式隔离设备产品效果见图 3~6。

3.2 中控界面设计

在设计中控界面时,考虑到医护人员的工作环境及用户需求,方便医护人员的操作,页面的总体布局偏简约,见图 7~9,字体偏大,图标通俗易懂。为追求简洁的视觉效果要求在中控界面色彩设计上不宜

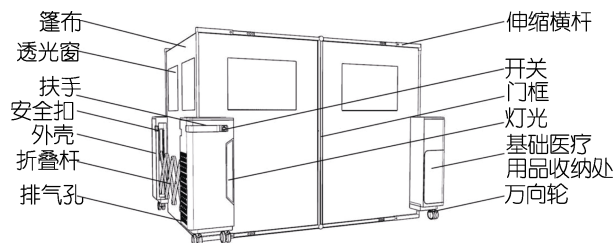


图3 折叠式隔离设备结构(1)

Fig.3 Schematic diagram of folding isolation equipment (1)

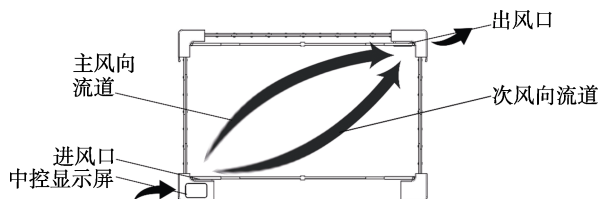


图4 折叠式隔离设备结构(2)

Fig.4 Schematic diagram of folding isolation equipment (2)

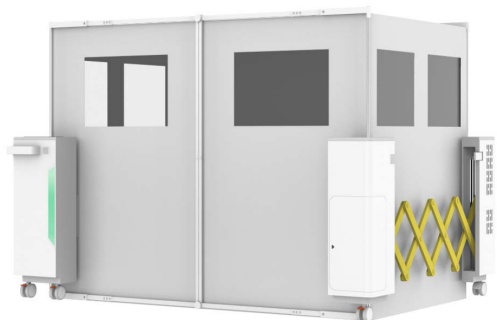


图5 折叠式隔离设备(斜侧展开效果)

Fig.5 Effect picture of folding isolation equipment (oblique expansion effect)



图6 折叠式隔离设备(正面闭合效果)

Fig.6 Effect picture of folding isolation equipment (front closure effect)

使用过多颜色,因而主体采用白或蓝色调,用红、绿、黄高纯度颜色来突出显示关键信息。在中控按键的功能信息传达方面,用具象的图形来显示,并附带简洁中文含义,减少用户的记忆和学习时间。

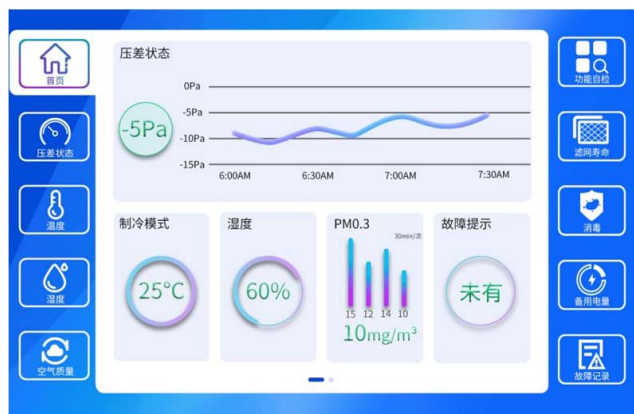


图7 界面(首页)

Fig.7 Interface (home page)



图8 界面(压差状态)

Fig.8 Interface (differential pressure state)



图9 界面(功能自检)

Fig.9 Interface (function self-check)

为验证上述方案的可行性,需要对第三类目标用户需求群体中加权系数较高的用户需求进行调查和评价。根据评估结果形成用户评价反馈图^[17],如图10所示,其中共发放531份调查问卷,回收有效问卷526份。设计师126人,医护人员95人,设计类研究生184人和普通消费者121人,男女人数比为48.22%和51.78%。将调查数据代入SPSS, Ceonbach's α 为0.848>0.6,说明该问卷具有较高可靠性。采用因子分析法,使用KMO和Bartless对11个指标的结构

效度检测,近似卡方为2 020.828,显著性为0.000,说明问卷数据效度良好。问卷数据显示11项用户需求评价中有9项在8分以上,达到用户预期。但易维护和使用简单两项低于8分,需对其进行改进,具体如下:开设检修口,可对设备内部零部件进行更换,对内部机械结构进行检测维修等;在设备上印上搭建使用步骤图,用简单的图示指引设备整体开启操作,其次在篷布的4个角和支撑杆的4个角印上一一对应的颜色,方便固定篷布的方位,简化搭棚布的操作。

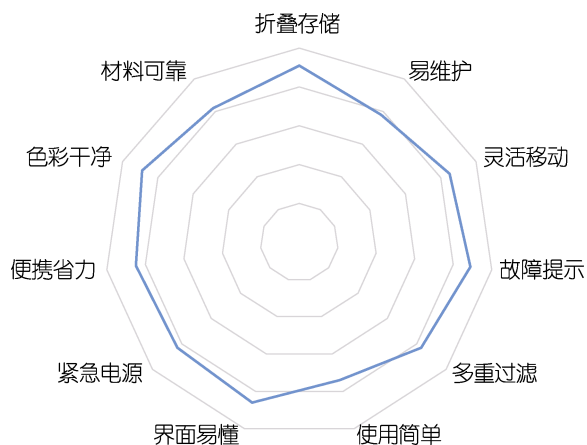


图10 用户评价反馈

Fig.10 User evaluation feedback graph

4 结语

公共安全问题是一种客观的现象,各种自然灾害、传染病等都曾经在人类的历史长河中屡见不鲜,对人民的生命造成极大的威胁。要将隐患当作事故来处理,做好防范与应变的准备工作,才能最大限度地防止或降低突发公共安全事件的危害。综合运用INPD、AHP和TRIZ各个方法的特点,来加快折叠式隔离设备的设计速率,提高折叠式隔离设备的设计质量。文中用INPD指导设计过程,AHP量化用户需求来确定设计要素,再借助TRIZ理论解决折叠存储与可维修、使用简单与多种设备功能、紧急电源与便携省力的矛盾冲突,完成折叠式隔离设备的创新设计。最终的设计方案可以快速响应突发公共安全事件,为患者提供及时有效的医疗服务,快速搭建,投入使用;平时可以解决医院床位不足问题,或者折叠收纳存储,或者作为移动诊所,提供基础医疗场所。但文中缺乏对折叠式隔离设备机械传动结构及人机交互方式的研究,尚需在今后的研究中进一步完善,使折叠式隔离设备的使用效率更高,操作更智能。

参考文献:

[1] 潘家兰. “长三角”地区城市马拉松赛事公共安全问题

及其应对策略[D]. 南京: 南京体育学院, 2022.

PAN Jia-lan. Public Security Problems and Counter-measures of Urban Marathon in the Yangtze River Delta Region[D]. Nanjing: Nanjing Sport Institute, 2022.

[2] 王康博. 公共安全视域下我国越野跑赛事安全问题及其应急救援预案研究[D]. 南京: 南京体育学院, 2022.

WANG Kang-bo. Research on Safety Problems and Emergency Rescue Plans of Cross-country Running Events from the Perspective of Public Safety[D]. Nanjing: Nanjing Sport Institute, 2022.

[3] 田冬平. 生态系统理论视角下社会救援组织参与灾害救助的困境研究[D]. 河南: 河南农业大学, 2022.

TIAN Dong-ping. Study on the Dilemma of Social Relief Organizations Participating in Disaster Relief from the Perspective of Ecosystem Theory[D]. Henan: Henan Agricultural University, 2022.

[4] 李梦洁. 社会设计理念下的流动防疫医疗工作站设计研究[D]. 辽宁: 鲁迅美术学院, 2022.

LI Meng-jie. A Study on the Design of Mobile Epidemic Prevention and Medical Workstation under the Concept of Social Design[D]. Liaoning: LuXun Academy of Fine Arts, 2022.

[5] 张璐. 智能可移动防疫工作站设计研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2022.

ZHANG Lu. Research on the Design of Intelligent Mobile Epidemic Workstation[D]. Jilin: Jilin University, 2022.

[6] 张琬琦. 疫情视角下的公共卫生产品设计研究[D]. 山东: 青岛理工大学, 2022.

ZHANG Wan-qi. Research on Public Health Product Design from Epidemic Perspective[D]. Shandong: Qingdao University, 2022.

[7] 胡康, 邱杰, 艾险峰. 基于iNPD与AHP的老年人陪护产品创新设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 179-186.

HU Kang, QIU Jie, AI Xian-feng. Innovation Design of the Elderly Accompanying Products Based on iNPD and AHP[J]. Packaging engineering, 2019, 40(24): 179-186.

[8] 师新莉. 基于INPD方法的渣土车造型设计与研究[D]. 山西: 太原理工大学, 2021.

SHI Xin-li. Design and Research on modeling of Dump Truck Based on INPD method[D]. Shanxi: Taiyuan University of Technology, 2021.

[9] 唐雪艳, 李翠玉. 融合SET/AHP/TRIZ的老年电动代步车创新设计研究[J]. 机械设计, 2021, 38(S2): 113-117.

TANG Xue-yan, LI Cui-yu. Research on Innovative Design of Elderly Electric Scooter with SET/AHP/TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(S2): 113-117.

[10] 辜俊丽, 宋端树, 崔天琦, 韩继光. 基于AHP与TRIZ的残障人轮椅设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 187-193.

GU Jun-li, SONG Duan-shu, CUI Tian-qi, HAN Ji-guang. Design of Wheelchair for Disabled Based on AHP and TRIZ[J]. Packaging engineering, 2019, 40(24): 187-193.

[11] Cheung, Ming. Design Thinking in Healthcare: Innovative Product Development Through the iNPD Process[J]. The Design Journal, 2012, 15(3): 299-324

- [12] 苏晨, 肖沂鑫. 基于 INPD 和 TRIZ 的激光照排印刷机设计研究[J]. 塑料工业, 2019, 47(S1): 20-24.
SU Chen, XIAO Yi-xin. Design of Laser Phototype Printing Machine Based on INPD and TRIZ[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(S1): 20-24.
- [13] 吴安琪, 韩宇翔, 叶文涛, 王添羽. 基于 AHP/QFD/TRIZ 的景区共享代步车创新设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(S1): 151-160.
WU An-qi, HAN Yu-hong, YE Wen-Tao. Research on Innovative Design of Shared Mobility Scooter in Scenic Area Based on AHP/QFD/TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(S1): 151-160.
- [14] 陈宁峰, 章彰, 戴宇轩. 基于 INPD 与熵权法的居家适老护理床设计[J]. 包装工程, 2022, 43(14): 107-114+138.
CHEN Ning-feng, ZHANG Zhang, DAI Yu-xuan. Study on Design of Aging Care Bed Based on INPD and Entropy Weight Method[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(14): 107-114+138.
- [15] NADERZADEH M, ARABALIVEIK H, MOHAMMAD R, et al. Comparative Analysis of AHP-TOPSIS and Fuzzy AHP Models in Selecting Appropriate Nanocomposites for Environmental Noise Barrier Applications[J]. Fluctuation & Noise Letters, 2017, 16(4): 1-20.
- [16] DARBOGAST D, BUTLER P, FAULKES E, et al. Using Social Design to Visualize Outcomes of Sustainable Tourism Planning: A Multiphase, Transdisciplinary Ap-Proach[J]. International Journal of Contemporary Hospitality Management, 2020, 32(4).
- [17] 苏建宁, 魏晋. 基于 AHP/QFD/TRIZ 的玫瑰花蕾采摘机设计[J]. 机械设计, 2020, 37(8): 121-126.
SU Jian-ning, WEI Jin. Design of Rosebud Picker Based on AHP/QFD/TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37 (8): 121-126.
- [18] Al'tshuller G S. The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity[M]. Technical innovation center, Inc., 1999.
- [19] Hsieh H T, Chen J L. Using TRIZ Methods in Friction Stir Welding Design[J]. International Journal of Advanced Manufacturing, 2010, 46: 1085-1102.
- [20] Wang D, Yu H, Wu J, et al. Integrating Fuzzy Based QFD and AHP for the Design and Implementation of a Hand Training Device[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2019, 36(4): 3317-3331.

责任编辑: 陈作

(上接第 49 页)

- [21] NOTARI A. Temperature Dependence of COVID-19 Transmission[J]. Science of The Total Environment, 2021, 763: 144390.
- [22] WANG M, JIANG A, GONG L, et al. Temperature Significantly Change COVID-19 Transmission in 429 Cities[J]. Medrxiv, 2020, 2: 127-136.
- [23] LUO W, MAJUMDER M S, LIU D, et al. The Role of Absolute Humidity on Transmission Rates of the COVID-19 Outbreak[J]. MedRxiv, 2020, 2: 112-117.
- [24] VAN ROMPAY T, VAN OOIJEN I, GROOTHEDDE S, et al. (Not to be Taken) with a Grain of Salt: Enhancing Perceived Saltiness by 3D-printed Surface Textures[J]. Food quality and Preference, 2021, 93: 104279.
- [25] DEWEY J. Art as Experience[M]. England: Penguin, 2005: 101.
- [26] XI W, GONG H, WANG Q. How Hand Gestures Influence the Enjoyment in Gamified Mobile Marketing[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2019, 127: 169-180.
- [27] 覃京燕, 安燕琳, 卢星晖, 等. 具身与离身认知在多模态交互环境下的交互语法研究[J]. 包装工程, 2019, 40(12): 134-139.
QIN Jing-yan, AN Yan-lin, LU Xing-hui, et al. Study on Interaction Grammar of Embodied and Disembodied Cognition in Multi-modal Interaction Environment[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(12): 134-139.
- [28] BRADLEY M, LANG P J. The International Affective Digitized Sounds (IADS): Stimuli, Instruction Manual and Affective Ratings: NIMH Center for the Study of Emotion and Attention[J]. Journal of Behavioral Therapy and Experimental Psychiatry, 1999, 25: 49-59.
- [29] REN X, YU B, LU Y, et al. HealthSit: Designing Posture-based Interaction to Promote Exercise During Fitness Breaks[J]. International Journal of Human-computer Interaction, 2019, 35(10): 870-885.
- [30] BROOKE J. SUS-A Quick and Dirty Usability Scale[J]. Usability Evaluation in Industry, 1996, 189(194): 4-7.
- [31] LEWIS J R. The System Usability Scale: Past, Present, and Future[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2018, 34(7): 577-590.
- [32] HAUKE J, KOPSSOWSKI T. Comparison of Values of Pearson's and Spearman's Correlation Coefficients on the Same Sets of Data[J]. Quaestiones Geographicae, 2011, 30(2): 87-93.
- [33] 张厚粲, 徐建平. 现代心理与教育统计学[M]. 第 3 版. 北京: 北京师范大学出版社, 2009.
ZHANG Hou-can, XU Jian-ping. Modern Psychology and Educational Statistics[M]. 3rd ed. Beijing: Beijing Normal University Press, 2009.

责任编辑: 蓝英侨