

融合 TRIZ 理论和 FBS 模型的担架车创新设计

杨帆, 李然*

(西南交通大学, 成都 611756)

摘要: **目的** 提出 TRIZ 理论和 FBS 模型融合的创新设计模式, 以更充分地发挥两者在产品创新设计上的特点, 形成优势互补, 基于该模式设计一款代替救护车通过狭小路段实施救援的新型担架车。**方法** 基于现有担架车产品, 运用 FBS 模型挖掘医护人员和伤者的用户需求, 并由用户需求推导分析用户行为, 进而得到担架车创新结构特征。之后, 应用 TRIZ 理论矛盾冲突矩阵对担架车结构及功能设计中出现的矛盾冲突进行分析, 找到问题解决的思路并形成方案。**结果** 根据产品创新设计模式设计出一款带有动力系统、可快速转移伤员、携带一定数量的救援物资, 并能够通过狭窄空间、可承载多人的新型担架车。**结论** 融合 TRIZ 理论和 FBS 模型的产品创新设计模式, 为产品创新设计过程中的问题挖掘与问题解决, 提供了一套系统且有效的设计思路与工具。

关键词: TRIZ 理论; FBS 模型; 理论融合应用; 担架车设计

中图分类号: TB472 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)18-0147-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.18.017

Innovative Design of Stretcher Integrating TRIZ Theory and FBS Model

YANG Fan, LI Ran*

(Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

ABSTRACT: The work aims to propose the innovative design model of TRIZ theory and FBS model to make full use of their respective characteristics in product innovation design to form a complementary advantage, and design a new stretcher based on this model to replace ambulances through narrow roads for rescue. Based on the existing stretchers in the market, the FBS model was used to explore the user needs of medical personnel and injured people, and the user behavior was derived from the user needs, and then the innovative structural features of the stretcher were obtained. After that, TRIZ theory was applied to analyze the conflicts in the structure and function design of the stretcher, find the solution to the problem and form a plan. According to the product innovation design model, a new stretcher with autonomous power system was designed, which could quickly transfer the injured, carry a certain amount of rescue supplies, and pass through a small space and carry more than one person. The product innovation design model integrating TRIZ theory and FBS model provides a systematic and effective design thinking and tools for exploring and solving problems in the product innovation design process.

KEY WORDS: TRIZ theory; FBS model; theory integration application; stretcher design

在国家创新驱动发展战略背景下, 打造具有国际竞争力的制造业需要加快自主创新步伐^[1]。实现产品创新设计的重要途径是设计理论和方法的研究与创

新, 具体手段则是研究设计过程的系统行为和基本规律^[2]。如今, 产品设计趋势向着多学科交叉与融合发展, 产品的创新问题进一步复杂化, 在面对复杂产品

收稿日期: 2023-04-28

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金(19YJC760044); 四川省高校哲学社会科学重点研究基地工业设计产业研究中心课题 2022 年共享模式下喘息服务研究与设计应用课题(GYSJ2022-05); 2022 成都市软科学研究项目(2021-RK00-00316-ZF)

的创新设计任务时,理论、方法或模型的适度与巧妙融合,才可以发挥各自的优势,以满足创新设计要求。可以说,对创新设计方法本身的创新,已逐渐成为了问题解决的关键和前提。

TRIZ 理论作为创新问题解决的科学理论体系之一,具备很高的科学性和完备性,已被广泛应用在各类产品的创新设计中^[3-4]。在实际运用中,TRIZ 理论在设计实践中还常与其他理论方法一起使用,以提升其使用效率与灵活性,是现代 TRIZ 理论发展应用的一种趋势^[5-6]。因此,本文在 TRIZ 理论应用过程中,融合 FBS 模型,并应用于担架车产品创新设计之中。

1 TRIZ 理论及其融合应用

1.1 TRIZ 理论及其特点

TRIZ 是俄文“发明问题解决理论”的首字母,是由阿奇舒勒团队从 250 多万份高水平专利中总结出来,并应用于创新问题解决的系统化理论体系^[7]。它提供了技术系统进化曲线、矛盾矩阵与发明原理、物-场分析模型等众多创新问题解决工具,帮助设计人员及工程师突破惯性思维,发现产品创新设计过程中的矛盾冲突,通过流程引导找到解决方法(如图 1 所示),从而能够更高效地完成产品创新^[8]。

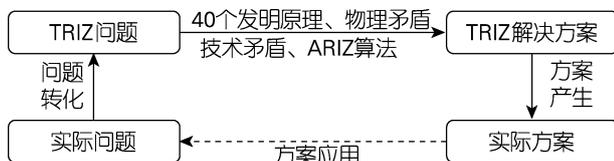


图 1 TRIZ 理论使用流程
Fig.1 Process of using TRIZ theory

TRIZ 是一种以技术为导向的理论,包含一系列分析和解决技术问题的工具方法,侧重于从技术角度解决创新问题,即解决了问题的“如何做”,而对于“做什么”和需求分析却很少涉及^[9]。此外,TRIZ 理论中的分析工具和解题原理等,要求使用者具备一定的技术与经验积累,有较高的实践门槛与学习成本^[10]。因此,引入适当的其他方法理论,将有助于提高 TRIZ 理论在解决矛盾冲突时的实际应用效率。

1.2 TRIZ 理论与其他设计方法的融合

TRIZ 理论结合其他理论方法共同解决产品创新问题,是设计研究领域的新趋势。杜冠男^[11]综合了 TRIZ 和 FBS 各自优势,构建了基于闭环关系的产品

创新设计方法,并成功应用于搓澡机设计;石元伍^[12]融合应用基于灰关联分析的质量功能展开模型和 TRIZ 理论,解决了警用无人机设计创新方面的问题;王军等^[13]利用可拓创新法发现营地手推车设计需求,并运用 TRIZ 理论解决相关矛盾冲突,为营地手推车折叠机构设计提供了一定的理论支持;张芳兰等^[14]通过 AHP 层次分析法和 TRIZ 两种理论,发现裸足矫形器的需求和痛点问题,并运用 TRIZ 理论进行解决;苏建宁等^[15]通过 AHP、QFD 和 TRIZ 三种理论的集成使用,改进了玫瑰花蕾采摘机,明显提高了采摘效率。在其他领域,Vincent 等^[16]运用 TRIZ 理论和生物学原理建立了 Bio-TRIZ 模型,使 TRIZ 矛盾解决工具在仿生设计领域更具有适用性;Lin 等^[17]以愿景导向(Vision Oriented)为基础,提出融合 TRIZ 理论矛盾矩阵和发明原理的产品创新设计方法,实现产品概念向产品方案的转化。

TRIZ 理论在设计理论创新方面展现出极强的包容性与拓展性,根据实际情况与需求特点,引入合适的设计理论或方法,不仅能够提升产品设计创新的效率与质量,也在一定程度上发挥了其他领域专家在创新中的专业性,使整个创新过程更具针对性。

2 融合 FBS 模型的 TRIZ 理论创新

2.1 FBS 模型

FBS (F 功能-B 行为-S 结构)模型是 Gero 等^[18]在 1990 年提出的,是在产品概念设计阶段使用的一种设计分析方法。FBS 模型包括行为层面和产品结构的映射关系,阐述了“功能如何转化为结构”,并提出“功能是行为对结构的产物”,产品的功能和使用者的行为均是通过具体的产品结构来实现和保障的^[19],即产品创新设计应该以使用者行为动作为出发点,挖掘产品功能结构,再通过对产品设计各个过程的层次化剖析,才能更好地使产品功能满足用户需求^[20]。该模型以产品功能为整个设计过程的起点,通过功能到行为、行为到结构的逐层推导转化,最终实现产品创新^[21]。

FBS 模型可用于建立用户需求与产品设计之间的直接映射关系,能够在功能实现过程中分析和挖掘用户的使用行为,并进一步推导得到产品预期结构(如图 2 所示),从而确保设计方案是合理、合适的,但模型本身并不提供解决产品实现和产品结构矛盾冲突的工具^[22]。

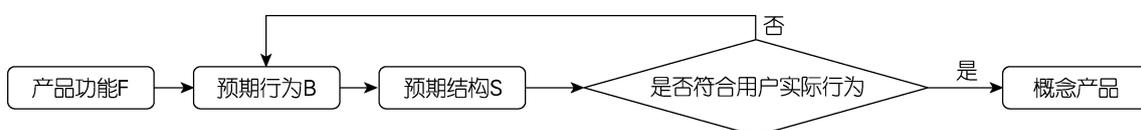


图 2 FBS 模型使用流程
Fig.2 Process of using FBS model

2.2 产品创新融合应用模式构建

FBS 模型与 TRIZ 理论在产品创新上, 前者侧重需求分析及目标指向, 后者侧重实现途径和问题解决, 如将两者合理结合起来, 构建一个融合 FBS 模型和 TRIZ 理论的产品创新模式, 实现两种理论相互弥补, 取长补短, 从而为产品创新提供更有力的支持。

如图 3 所示, 新模式在需求分析端引入了 FBS 模型, 以充分发挥它在实际问题定义与分析方面的

优势, 通过梳理和推导产品功能、用户使用行为与产品结构的关系, 挖掘用户真正需要被解决的问题及其内在矛盾, 并协助完成实际问题向 TRIZ 问题的转换, 再运用 TRIZ 问题解决工具对产品结构矛盾冲突问题进行求解, 产生新的设计方案。引入 FBS 模型的新模式, 克服了 TRIZ 理论在发现和确定用户需求方面的不足, 使产品创新在符合用户需求的前提下完成功能与结构创新, 避免产品在创新中脱离用户与市场。

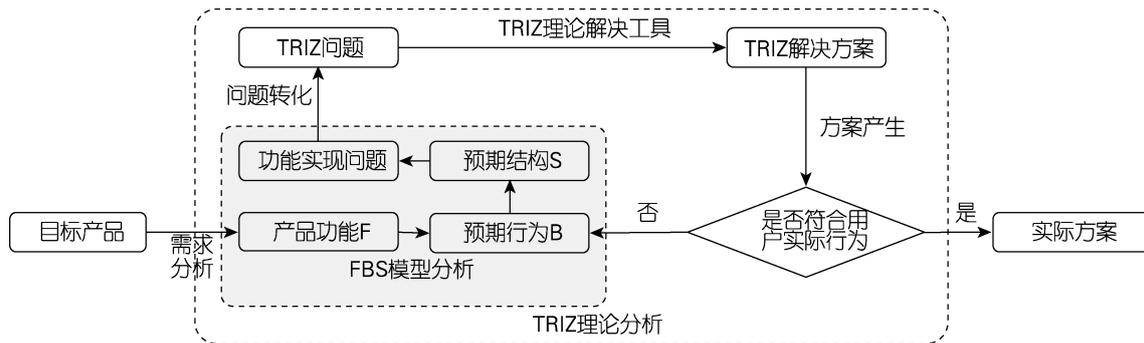


图 3 FBS 和 TRIZ 的融合应用模型
Fig.3 Integration application model of FBS and TRIZ

3 TRIZ 和 FBS 融合模型的应用

3.1 目标确定及现状分析

担架车是用于日常事故及自然灾害等不同场景下, 快速、方便、高效救治及转移伤员的器具。担架车种类繁多, 彼此间功能与结构差异较大, 但是缺少一种能够在救护车遇到堵车或因部分老旧小区、住宅区道路狭窄等问题而无法快速到达救援现场的情况下, 代替救护车前往救援地点的多功能担架车。因此, 本文将运用融合 TRIZ 理论和 FBS 模型的新模式, 指导多功能担架车的创新设计。

新方案创新在现有担架车的基础上, 综合考虑快

速通过城市道路的使用需求, 加强产品在实施救援时的辅助能力。根据新模式及其流程 (如图 3 所示), 首先分析市场上现有不同种类的担架车结构、外观、功能等因素: 市场上主要有杆机构担架车、折叠式担架车和功能性担架车等^[23], 见表 1。杆机构担架车由铝合金或钢架结构组成, 推行操作简单, 但无法折叠车体, 空间占用较大, 且不能在运输过程中携带医疗物资, 随救护车进行远距离救援; 折叠式担架车的优势是折叠后, 可放进救护车随车救援, 同时具有靠背高度调节和固定伤员的功能, 但结构相对复杂、质量偏大, 车辆方向控制也较为费力; 功能性担架车结构最为复杂, 配套设备相对齐全, 专门用于医院内部伤员转移, 运载结构不适合其他场景使用。

表 1 不同类型担架车优缺点分析

Tab.1 Analysis of the advantages and disadvantages of different types of stretchers

担架车类型	担架车图示	优点	缺点
杆机构担架车		简易钢架结构, 质量较轻, 适合短距离的伤员运输	无法折叠, 不易运输, 没有防护垫对伤员进行保护
折叠式担架车		结构简单轻便, 扶手可拆卸, 具有一定的储物功能	万向轮不易控制方向
折叠式担架车		可折叠交叉结构、缩小收纳空间, 有固定带, 可以对伤员进行固定	操作烦琐, 外观简陋, 不易控制

续表 1

担架车类型	担架车图示	优点	缺点
		可折叠推拉结构，两侧护栏防止伤员跌落；可改变伤员姿势	体积庞大，不易操作，不能携带大量医用物资
功能性担架车		结构良好，功能齐全，适合短距离运输、救治	不适合远距离运输，需要多人控制，质量过大，不轻便

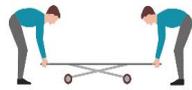
3.2 担架车的 FBS 模型推导

所有类型担架车的核心功能 F_1 是承载和转移伤员^[24]其余功能 F_2 包含：避免在救援实施过程中因搬运、颠簸对伤员造成的二次伤害；在救援过程中能够较好应对通道狭小、路面不平整的情况，具备较高的地形适用性；考虑担架车作为现场救护医疗用具，需随车携带一定量的救援物资；担架车应该易于操作，材料运用合理，结构结实安全且便于拆装和后期维护。

在使用担架车完成对伤员救治和转移的过程中，医护人员的行为动作 B_1 主要有：(1)推；(2)拉；(3)弯腰；(4)下蹲；(5)抬起；(6)抓握，见表 2。

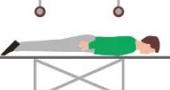
表 2 医护人员行为动作 B_1 分析

Tab.2 Analysis of behavioral action B_1 of medical and nursing personnel

动作 B_1	动作分析	动作示意
1. 推	移动担架车	
2. 拉	移动担架车	
3. 弯腰	拿取医疗物资，对伤员采取初步动作	
4. 下蹲	对伤员进行初步包扎措施	
5. 抬起	将伤员抬上担架车	
6. 抓握	担架车控制	

根据伤员受伤情况，可将伤员的行为动作 B_2 概括为：(1)平躺；(2)侧卧；(3)半卧；(4)趴，如表 3 所示。

表 3 伤员行为动作 B_2 分析
Tab.3 Analysis of behavioral action B_2 analysis of the injured

动作 B_2	动作分析	动作示意
1. 平躺	四肢受伤或人体正面受伤	
2. 侧卧	一侧受伤较为严重	
3. 半卧	身体上半部分受伤或者下半部分受伤	
4. 趴	可能由于背部受伤严重，需要平趴在床上	

整合医护人员和伤员使用担架车过程中的行为，得到主要动作有：(1)推；(2)拉；(3)弯腰；(4)下蹲；(5)抬起；(6)抓握；(7)躺；(8)趴。结合担架车功能需求，由功能到行为，再到结构进行推导，获取新方案的具体结构形式（如图 4 所示），挖掘新方案实现过程中的主要矛盾冲突。

根据推导，担架车应具有以下功能结构：转移伤员，需要具备支撑和承载结构；能够携带医疗物资，这就要求有储物空间，方便随车及时救治；保护伤员，防止伤员跌落以及转运过程中的二次伤害，需要相应的防护结构，例如四周设置围挡或保护性软垫；方便操控，随车医护人员通过抓握或其他方式可以操控车辆，因此要为抓握提供相应结构；通过性，为方便通过狭小区域以及其自身的运输转移，其结构体积及占用空间应尽量小。

而由担架车功能向结构推导时，会形成一些相互矛盾的问题。例如，携带医疗物资需要较大的储物空间，但担架车又要尽量具有较小的体量，以通过狭小区域，同时方便自身的转运；转移伤员时医护人员只能随车奔跑，这样会大大消耗医护人员的体力，且这样的转移方式不适合较长距离的伤员转移。此处形成的矛盾，将在下一阶段运用 TRIZ 理论进行分析解决。

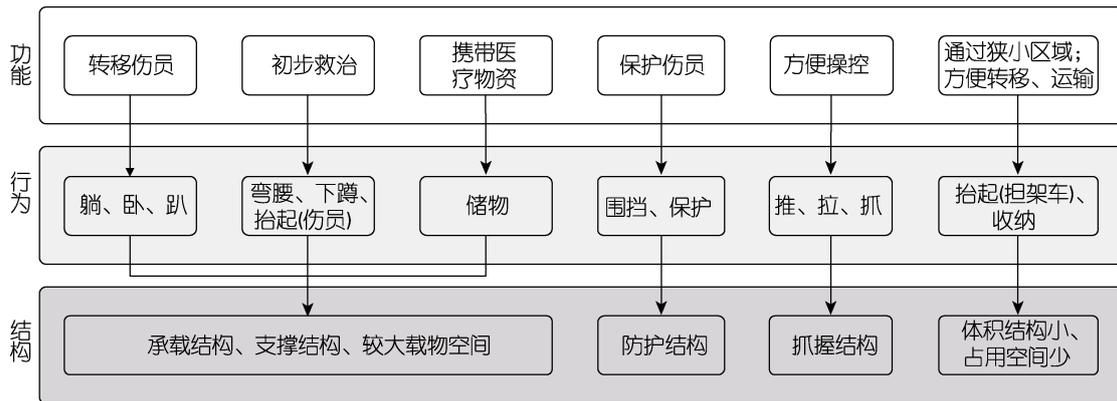


图 4 功能-行为-结构推导
Fig.4 Function-behavior-structure derivation

3.3 TRIZ 问题转化及冲突解决原理应用

3.3.1 担架车体积问题分析

如图 5 所示, 根据担架车预期功能结构分析, 担架车若要有足够的空间承载伤员、放置必要的医疗物

资, 车体应当尽量大一些, 但考虑到担架车需要装载在救护车车内, 且可以进出较为狭小的空间, 则要求所占空间不大。即在担架车这个系统中, “体积” 这一工程参数出现了相反的功能需求, 属于 TRIZ 理论中一个典型的物理矛盾^[25]。

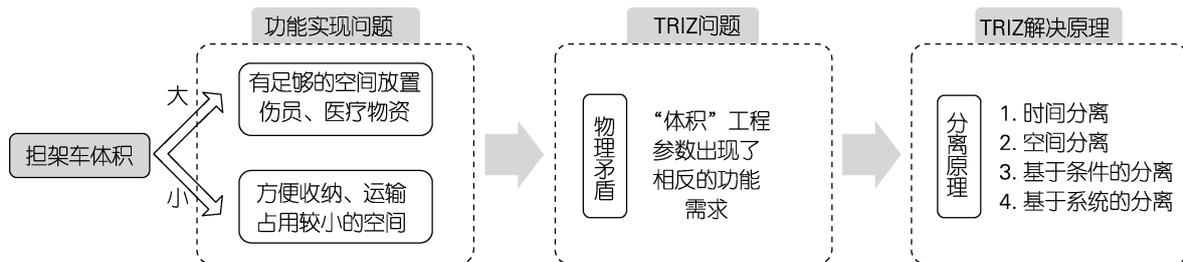


图 5 担架车物理矛盾图示
Fig.5 Physical contradiction diagram of stretcher

TRIZ 理论为物理矛盾的解决提供了时间分离、空间分离、基于条件分离、基于系统分离四种分离原理。其中, 时间分离原理的使用条件是: 先确定矛盾的需求在整个时间段中, 是否都在沿着某个方向变化, 如果在时间段的某一段, 矛盾的一方可以不按一个方向变化, 则可以运用时间分离原理来解决问题^[26]。担架车在安置、运送伤员以及运送物资时, 都是在运动状态下, 而对担架车的收纳、运输等都是在相对静止的状态下完成的, 两种状态在时间上是彼此分离的。因此, 担架车的“体积”参数在担架车的使用过程中不按一个方向变化, 则可以运用时间分离原理解决问题。

适用于时间分离原理的物理矛盾解决方法见表 4^[26]。其中, 原理 9、10、11、16、19、21 需要对担架车预先采取措施且需要担架车完成除救援外的多余动作, 但是担架车的使用需要高效、便捷且有针对性, 所以并不适用; 担架车在行驶过程中需要避免大幅度的震动以保护伤员, 所以排除发明原理 18; 气动和液压结构会增加担架车的质量, 故排除原理 29; 担架车材料必须坚固耐用, 不会涉及再生与膨胀, 故排除原理 34 和 37。

表 4 时间分离原理
Tab.4 Time separation principle

原理	编号
时间分离原理	发明原理 9: 预先反作用
	发明原理 10: 预先作用
	发明原理 11: 预先应急措施
	发明原理 15: 动态化
	发明原理 16: 不足或超额行动
	发明原理 18: 机械振动
	发明原理 19: 周期性动作
	发明原理 20: 有效作用的连续性
	发明原理 21: 紧急行动
	发明原理 29: 气动与液压结构
	发明原理 34: 抛弃与再生
	发明原理 37: 热膨胀

相比之下, 发明原理 15 动态化提供的解决思路有: 将物体分成彼此相对移动的几部分; 使不动的部分成为动的^[26], 使问题解决更具针对性和高效性。因此, 如图 6 所示, 设计担架车部分组件可以相对移动, 以满足不同使用状态下的功能需求, 从而解决担架车

“体积”参数带来的矛盾问题。

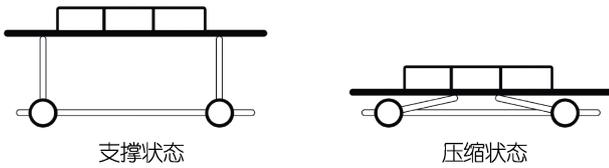


图6 动态化原理应用图示
Fig.6 Diagram of dynamic principle application

3.3.2 担架车转运问题分析

在救援过程中,传统担架车需要 1~2 名医护人员

随车,通过前拉后推的方式控制担架车,如果救援距离较长,会大大消耗医护人员的体力。利用 TRIZ 理论建立担架车使用“物-场”模型^[26](如图 7 所示),并通过改变场的类型来改变物之间的作用关系。

将医护人员和担架车之间的“机械场”替换为“电场”,从而消除担架车对医护人员的有害作用(随车奔跑会消耗体力):在担架车上安装电动装置,从而使担架车搭载自主动力系统,医护人员只需通过操作杆就可以对担架车的方向进行控制;同时在车体上安装脚踏板,可以搭载 1~2 名医护人员,既能节省医护人员的体力,也能够更快到达救援现场(见图 8)。

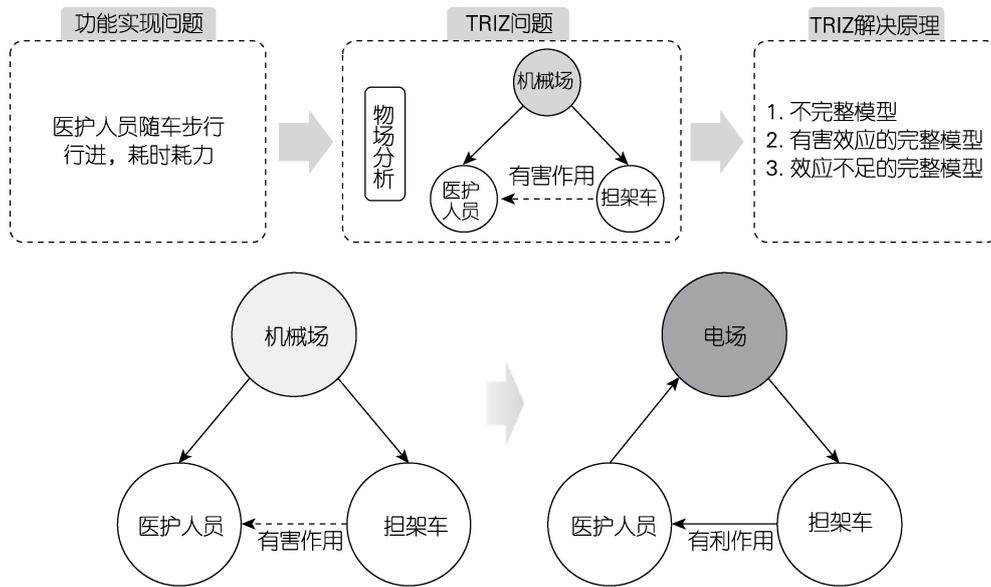


图7 “物-场”分析及解决方案
Fig.7 "Object-field" analysis and solution

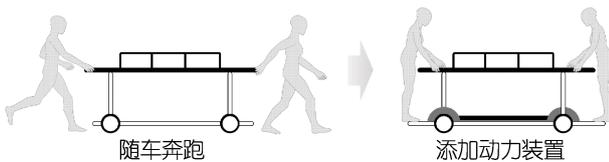


图8 “电场”替换“机械场”示意图
Fig.8 Schematic diagram of "electric field" replacing "mechanical field"

3.3.3 担架车质量问题分析

在上述解决担架车转运问题的过程中,为了节省救援时间,在担架车后轮处安装电动装置形成两轮驱动,并搭载电池板作为其动力来源,但是这样就增加了担架车的质量,不方便担架车的转移。为了消除这样的矛盾,根据 TRIZ 理论,选取发明原理中的“原理 1:分割”对问题进行求解:可以将车载电池进行模块化处理,即根据救援距离的不同安装不同数量的电池,从而做到最大程度的轻量化。

3.4 设计方案

根据问题分析以及推导的解决思路,担架车方案

结构逐渐清晰。在担架车床体部分和承载部分加装折叠支架,使担架车在不同的使用情况下呈现不同的形态,使担架车的上下两部分可以折叠,方便医护人员将伤员抬上或抬下担架车,同时在收纳和运输担架车时可以压缩担架车所占用的空间大小。具体实现方式为:在支撑支架上方和床体连接处设置滑块和卡扣装置,当两根支柱向内旋转时,上方卡扣连接处向两侧移动松开滑块,滑块向内移动即可实现床体向下折叠;当调整好床体高度后,卡扣向内夹住滑块即可固定,使担架车床体保持当前高度,这样就实现了担架车床体部分不同高度的开合(如图 9 所示);在担架车床体的不同部分安装软性保护垫,对伤员的重要部位进行有效保护,避免在运输过程中对伤员造成二次伤害。

如图 10 所示,在担架车的下半部分安装承载板,增加担架车的承重能力,用于放置医疗物资;在担架车后轮安装驱动电机,实现担架车的两轮驱动,同时在承载板里嵌入蓄电池板,作为担架车的动力来源,可以实现伤员以及医护人员的快速转移运输;模块化电池设计可以使担架车根据行驶距离决定携带电池

的数量, 从而尽量减轻车辆移动时的质量; 在担架车前后两侧安装脚踏板, 方便承载和运输医护人员, 可以有效地解决医护人员随车奔跑浪费体力、时间的问题, 并在床体部分的前后两端安装把手和控制系统, 使医护人员可以对担架车进行方向和速度的操控。设

计效果及场景展示如图 11 所示, 通过创新设计的新款担架车方案, 具备良好的通过性与救助功能, 可以快速穿越城市内救护车无法通过的街道; 或者当遇到堵车、车祸等紧急情况时, 担架车也可轻松通过车辆之间的间隙, 代替救护车快速到达救援现场实施救治。

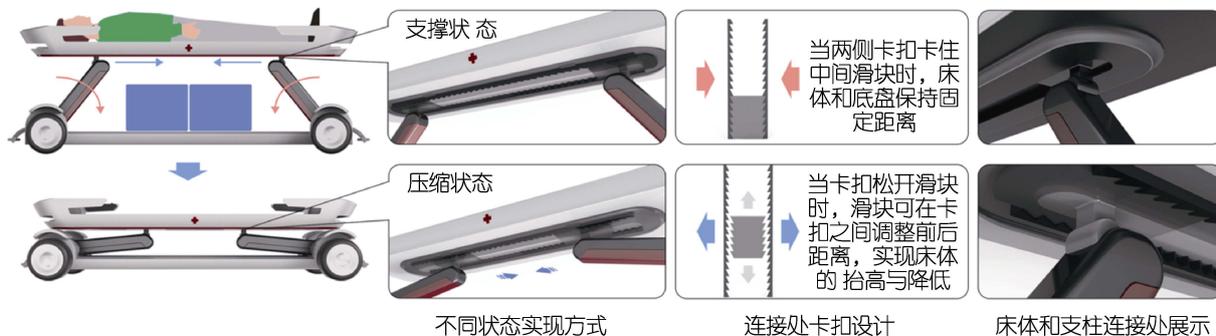


图 9 不同使用状态示意图
Fig.9 Schematic diagram of different usage states

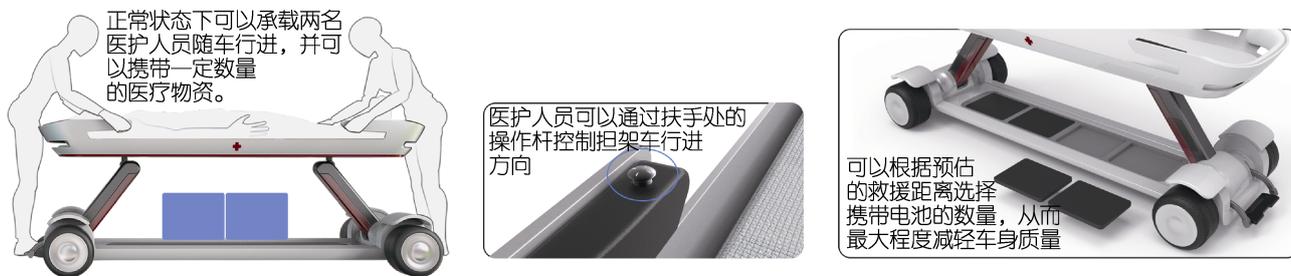


图 10 使用方式及模块化电池示意图
Fig.10 Schematic diagram of usage method and modular battery



图 11 担架车设计效果图及场景展示
Fig.11 Stretcher design effect and display of usage scenario

4 结语

多理论融合运用能够为产品创新提供更多的思路和方法, 可更为高效、有针对性地处理原本难以解决的复杂问题。研究以担架车设计为例, 融合 TRIZ 理论和 FBS 模型, 构建新的设计方法, 指导其功能结构的创新设计, 运用 FBS 模型挖掘医护人员和伤员的用户需求并将其转换为设计问题, 再通过 TRIZ 理论提供的问题解决方法与工具, 逐步推导得到方案, 设计出一款可应对多场景的新型担架车。融合

FBS 模型与 TRIZ 理论的产品创新模式, 充分发挥了前者在产品需求分析及目标指向方面的优势, 找到了一套实用且高效的问题解决流程和具体实现途径, 也为其他产品设计理论方法的创新实践研究, 提供了一定程度的借鉴和参考。

参考文献:

[1] 周济. 智能制造—“中国制造 2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273-2284.
ZHOU Ji. Intelligent Manufacturing—Main Direction

- Of "Made in China 2025"[J]. *China Mechanical Engineering*, 2015, 26(17): 2273-2284.
- [2] 蒋雯. 产品创新设计理论与方法综述[J]. *包装工程*, 2010, 31(2): 130-134.
JIANG Wen. Survey on Innovation Design Theories and Methods of Products[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(2): 130-134.
- [3] LAU D K. The Role of TRIZ as an Inventive Tool in Technology Development and Integration in China[C]. *Proceedings of 2004 International Conference on the Business of Electronic Product Reliability and Liability (IEEE Cat. No.04EX809)*. Shanghai, China. IEEE, 2004: 157-161.
- [4] 丁俊武, 韩玉启, 郑称德. 创新问题解决理论——TRIZ 研究综述[J]. *科学学与科学技术管理*, 2004, 25(11): 53-60.
DING Jun-wu, HAN Yu-qi, ZHENG Cheng-de. Innovative Problem Solving Theory—A Summary of—TRIZ Research[J]. *Science of Science and Management of S&T*, 2004, 25(11): 53-60.
- [5] 郑称德. TRIZ 理论及其设计模型[J]. *管理工程学报*, 2003, 17(1): 84-87.
ZHENG Cheng-de. Theory and Design Process of TRIZ[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2003, 17(1): 84-87.
- [6] 张亚强, 张东生. 国内 TRIZ 研究主题的进展——基于学术论文的内容分析[J]. *科技管理研究*, 2014, 34(21): 187-191.
ZHANG Ya-qiang, ZHANG Dong-sheng. The Progress of Research Topics on Domestic TRIZ Study: A Content Analysis Based on Academic Papers[J]. *Science and Technology Management Research*, 2014, 34(21): 187-191.
- [7] 彭慧娟, 成思源, 李苏洋, 等. TRIZ 的理论体系研究综述[J]. *机械设计与制造*, 2013(10): 270-272.
PENG Hui-juan, CHENG Si-yuan, LI Su-yang, et al. The Overview of TRIZ's Theoretical Systems[J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2013(10): 270-272.
- [8] AL'TSHULLER G S, SHULYAK L, RODMAN S. *The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity*[M]. Worcester, Mass: Technical Innovation Center, 1999.
- [9] 檀润华, 马建红, 张换高, 等. 基于 QFD 及 TRIZ 的概念设计过程研究[J]. *机械设计*, 2002, 19(9): 1-4.
TAN Run-hua, MA Jian-hong, ZHANG Huan-gao, et al. Study on the Conceptual Design Process Based on QFD and TRIZ[J]. *Machine Design*, 2002, 19(9): 1-4.
- [10] 陈敏慧, 蒋艳萍, 吕建秋. TRIZ 国内外研究现状、存在问题及对策研究[J]. *科技管理研究*, 2015, 35(1): 24-27.
CHEN Min-hui, JIANG Yan-ping, LYU Jian-qiu. The Research Actuality of TRIZ and the Existing Problems and Countermeasures Research[J]. *Science and Technology Management Research*, 2015, 35(1): 24-27.
- [11] 杜冠男, 熊艳, 曾雪蕾, 等. 基于 TRIZ 和 FBS 的闭环设计方法[J]. *机械设计*, 2013, 30(9): 1-7.
DU Guan-nan, XIONG Yan, ZENG Xue-lei, et al. Closed Loop Design Method Based on TRIZ & FBS[J]. *Journal of Machine Design*, 2013, 30(9): 1-7.
- [12] 石元伍, 郑孝成. 关于 GQFD-TRIZ 集成方法在警用无人机设计中的应用研究[J]. *图学学报*, 2019, 40(2): 296-302.
SHI Yuan-wu, ZHENG Xiao-cheng. Application Research on GQFD-TRIZ Integration Method in Police UAV Design[J]. *Journal of Graphics*, 2019, 40(2): 296-302.
- [13] 王军, 孙帅. 基于可拓创新法和 TRIZ 理论的营地手推车折叠机构设计[J]. *图学学报*, 2021, 42(5): 866-872.
WANG Jun, SUN Shuai. Design of Folding Mechanism of Camping Stroller Based on Extension Innovation Method and TRIZ Theory[J]. *Journal of Graphics*, 2021, 42(5): 866-872.
- [14] 张芳兰, 刘龙吉, 姚宛彤. 面向关键用户需求的踝足矫形器定制化设计方法[J]. *图学学报*, 2021, 42(5): 841-848.
ZHANG Fang-lan, LIU Long-ji, YAO Wan-tong. Customized Design Method of Ankle-Foot Orthosis Oriented to the Needs of Key Users[J]. *Journal of Graphics*, 2021, 42(5): 841-848.
- [15] 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 Rose Buds Picking Machine Based on AHP/QFD/TRIZ[J]. *Journal of Machine Design*, 2020, 37(8): 121-126.
- [16] VINCENT J F V, BOGATYREVA O A, BOGATYREV N R, et al. Biomimetics: Its Practice and Theory[J]. *Journal of the Royal Society, Interface*, 2006, 3(9): 471-482.
- [17] LIN C C, LUH D B. A Vision-Oriented Approach for Innovative Product Design[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2009, 23(2): 191-200.
- [18] GERO J S. Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design[J]. *AI Magazine*, 1990, 11(4): 26-36.
- [19] GERO J S, KANNENGIESSER U. The Situated Function-Behaviour-Structure Framework[J]. *Design Studies*, 2004, 25(4): 373-391.
- [20] 张丙辰, 胥巧巧, 杨俞玲, 等. 基于 FBS 模型扩展的儿童玩教具创新设计研究[J]. *包装工程*, 2021, 42(12): 121-127.
ZHANG Bing-chen, XU Qiao-qiao, YANG Yu-ling, et al. Design of Children's Teaching Aids Based on Expansion of FBS Model[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(12): 121-127.