

以问题为导向的老旧小区火灾救援产品设计

韩军, 陈德润, 邓承凤
(武汉工程大学, 武汉 430205)

摘要: **目的** 老旧小区因建筑规划不完善, 物业管理不规范, 容易成为火灾高发地, 且不利于组织施救, 对当地居民生命财产安全形成了巨大威胁, 基于此, 进一步探索适应于这一特殊环境的火灾救援解决方案。**方法** 以问题为导向, 分析老旧小区环境混乱、配套设施不足, 以及现有救援产品针对性、适应性不强等原因, 并引入基础条件、核心功能和附属功能等影响因素, 分别从通过性、水源、行进、作业、工效和美学等方面进行定义, 并分解成若干问题微单元, 最后精确锁定、逐一破解。**结论** 以问题为导向的设计思维, 能将设计对象的本质清晰地呈现出来, 在应用于老旧小区火灾救援产品设计过程中, 将问题划分为适应配套缺陷的基本问题、保证功能实施的核心问题、促使方案完善的延伸问题等3个层次, 系统地解决各类难题, 最终获得切实可行、符合实际需求的产品方案。

关键词: 问题导向; 本质; 老旧小区; 火灾救援; 产品设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)06-0110-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.06.015

Problem-Oriented Design of Fire Rescue Products in Old Communities

HAN Jun, CHEN De-run, DENG Cheng-feng
(Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

ABSTRACT: The old community is prone to fire because of the imperfect construction planning and the non-standard community management, and it is not easy to organize rescue, which poses a huge threat to the safety of the lives and property of the local residents. Therefore, this paper aims to explore the fire rescue solution adapted to this special environment. Based on the problem-oriented analysis of the old community environment disorder, the lack of supporting facilities, and the weakness of the existing rescue products, such as their pertinence and poor adaptability, specific problems are introduced from the aspects of basic conditions, core functions and ancillary functions, etc. Then, the problem is divided, locked and solved from the aspects of trafficability, water source, travel, operation, work efficiency and aesthetics. The problem-oriented design thinking can clearly show the essence of the design object. In the design process of fire rescue products applied to old community, the problems are divided into three levels: the basic problems to adapt to the design premise, the core problems to ensure the implementation of functions, and the extension problems to promote the perfection of the scheme. All kinds of problems can be solved systematically, without excessive design, and new problems can be avoided. Finally, practical and feasible product solutions can be obtained.

KEY WORDS: problem-oriented; essence; old community; fire rescue; product design

据公安部官方微信公众号消息, 虽然 2019 年城乡居民住宅火灾只占总数的 44.8%, 但全年共造成 1 045 人死亡, 占总数的 78.3%, 其中, 老旧小区的火灾发生率及伤亡率又远远高于现代小区, 降低老旧小区的

火灾发生率, 减少因火灾而产生的人员伤亡和财产损失, 已成为我国在努力解决当今社会主要矛盾、提升人民获得感的任务中不容忽视的一个环节。在降低老旧小区火灾发生率方面, 需要全社会共同努力,

收稿日期: 2021-12-15

基金项目: 2017 年湖北省教育厅人文社会科学研究 (17Y046); 湖北省高校重点人文社科基地——生态环境设计研究中心项目

作者简介: 韩军 (1978—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为工业设计。

除必要的小区环境改造外，尤其依赖居民自身的消防意识和消防素质，并配备必要的家用消防设施，以消除火灾隐患或及时扑灭初期火灾，但如何让大众真正地重视并行动起来，一直是个社会难点。另一方面，如何有效地减少因扑救不及时或消防设备功能不足等问题所引发的火灾危害升级事故，却可以通过设计途径来解决。用设计来破解老旧小区火灾容易造成严重后果的难题，需要对其背后的诸多因素层层筛选、逐一分解、深入剖析，抓住问题的关键，认清对象的本质，进行以问题为导向的设计。

1 问题导向

“问题导向”是一种对现象背后的本质问题进行多维阐述、系统分析并有效解决的设计思维模式。合

理的设计行为必须建立在对问题的准确认知之上，围绕设计对象，分别从基本问题、核心问题和延伸问题等 3 个层次进行解析，从而厘清问题类型，定义问题性质，分解问题要素，寻求解决途径，最终完成设计任务。其中，能否对导入问题进行精准定义，决定着最终设计价值的高低。而对定义问题进行再分解的合理性，支配着解决方案的可行性。问题导向思维见图 1。

具体而言，基本问题即由设计对象所处的基础条件限制而产生的问题，基础条件包含对象作业环境、基础配套设施等。核心问题即由设计对象的核心功能缺陷而表现的问题，核心功能反映对象自身完成目标任务的方式和能力。延伸问题即由设计对象的附属功能不足而呈现的问题，附属功能关注对象能否提升内涵，形成友好的用户体验。

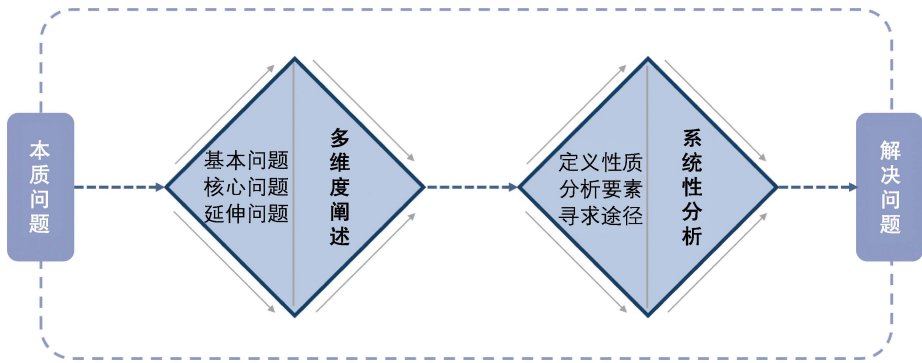


图 1 问题导向思维
Fig.1 Problem-guided mind

2 老旧小区火灾救援相关问题分析

2020 年 7 月 20 日国务院办公厅印发的《关于全面推进城镇老旧小区改造工作的指导意见》指出，老旧小区是指城市或县城（城关镇）建成年代较早、失养失修失管、市政配套设施不完善、小区服务设施不健全的居住区。其主要分布于老城区、城中村，或人口密度较大的城关镇。随着我国城市现代化进程的持续推进，老旧小区呈现出越来越多不适应社会发展的弊端，特别是在消防安全保障方面，因为自身缺陷而容易处于不稳定或受损状态^[1]。

2.1 老旧小区火灾救援基础条件问题

2.1.1 消防专用通道不畅

现在的新小区建设，必须规划消防车道，且要求宽度不小于 4 m，转弯半径不小于 6 m，以确保消防车辆能顺利进入火场区域。而在老旧小区建造时，由于缺乏整体规划及强制性的消防通道设置规范，造成相邻建筑间距过小、区内路面弯道过多等乱象，所以发生火灾时消防车辆根本无法进入，容易错过最佳的灭火时机。即使有些老旧小区路面条件达到了消防车

辆通过的条件，一些在既有建筑之间搭建的临时建筑、乱停乱放的私家车辆等^[2]，将通道空间随机隔断，因此在发生险情时，消防车辆同样无计可施。总之，老旧小区因当时建筑规划政策不健全，以及目前物业管理缺位等客观、现实问题的制约，在消防专用通道的保障方面存在非常明显的短板，这成为火灾救援基础条件薄弱最根本的原因。笔者调研了武汉市汉口区域部分老旧小区的火灾救援基础情况，见表 1。

2.1.2 消防基础设施缺乏

2019 年住建部会同发展改革委、财政部联合印发了《关于做好 2019 年老旧小区改造工作的通知》，并且国务院常务会议对推进城镇老旧小区改造进行了部署。近几年全国各地响应国家政策，稳步推进对老旧小区的环境改造工程，然而相当大比例的老旧小区不具备改造消防基础设施的条件。一方面，由于建造时的建筑施工标准落后，多数老旧小区没有设置室外高压消火栓及独立的地下高压消防管道。另一方面，受限于建筑密度大，因此几乎无法提供地下消防池和低压消火栓需要的场地。重新修建消防基础设施的可行性也非常低，不仅工程需求空间难以保证，年代较为久远的建筑地基也难以承受。老旧小区消防

表 1 新老小区环境对比
Tab.1 Comparison of new and old communities

种类/项目	老旧小区		现代小区	
道路宽度		没有消防通道，道路，狭窄小巷子为主		有安全通道，符合国家标准≥4 m
乱停乱放		没有专门停车位，车辆潮汐变化大		小区自带车位有地下车库，无乱停放问题
违章建筑		缺乏管理，居民私搭乱建		物业统一管理无乱建行为
建筑密度		单一区域小区聚集，密度大		两楼间距不小于前楼高度的1.2 倍

池、消防栓等基础设施缺乏，一旦发生火灾，只能依靠人力肩挑手扛地运水灭火，或临时起用非专业灭火设备，这样的方式除效率低下之外，还对灭火者的生命安全构成威胁。

2.2 老旧小区火灾救援产品现状问题

2.2.1 改装车灵活性不足

鉴于老旧小区火灾救援基础条件普遍薄弱且无法得以根本性解决现状，一些小区利用电动三轮车进行定制化改造，在其后部加装小型水罐和 DBX12/1.5 型单相流背负式细水灭火装置，灭火等级可达到 3A、144B 和 E 类标准（数字表示灭火级别，字母表示灭火器扑救火灾的种类，A 类指可燃固体火灾，B 类指液体火灾和熔化固体火灾，C 类指可燃气体火灾，D 类指可燃金属火灾，E 类指带电火灾），且因其体量较小，可在一般的巷道间穿行，能在一定程度上解决现存问题，见图 2（图片摘自浙江华球机械制造有限公司官网）。这种改装微型消防车在面对复杂多样的小区路况和具体作业时，其灵活性表现不足，仍存在较大的局限性，主要表现在以下方面：因电动三轮车的宽度、长度及轴距的限制，其转弯半径不小于 2 m，仍难以适应部分老旧小区的路面条件；三轮车前后重

量分布不均衡，特别是尾部加装水罐之后，前轻后重的配比关系更加明显，一定的颠簸和坡度就有可能造成翻倒；采用普通轮毂和轮胎的行进方式，遇到台阶路面则无法通行；三轮车的骑行方式较为笨拙，作业者遇到紧急状况，难以迅速、安全脱身。因此，改装微型消防车无法全方位地解决老旧小区火灾救援问题。

2.2.2 机器人适用性受限

近年来，消防领域在设备小型化、智能化开发方面取得了不少成果，消防机器人就是其中颇具代表性的一项，见图 3（图片摘自特种机器人网）。消防机器人一般与消防栓相接，充当固定水炮灭火装置的角色，其灭火效率高，能代替消防员进入危险区域进行现场侦察，以完成图像、数据等信息采集工作，从而有效地帮助消防人员进行抢险救灾工作^[3]。老旧小区因建筑密度高、街巷布局杂乱，使消防机器人难以发挥其勘测和消防效能。首先，需要在离着火点最近的消防栓上接管，而消防水带的最大连接长度为 150 m（过长的距离会造成带内阻力过大，60 m 供水长度时水带阻力损失达 0.8 MPa^[4]，此时不仅会降低消防水柱的喷射高度，还会引发水带爆裂，也就是说，消



图 2 小区微型消防车
Fig.2 Current community micro fire engines



图 3 消防机器人
Fig.3 Fire fighting robot

防机器人只能解决消防栓附近 150 m 以内的火灾问题。另外,根据消防水带国家标准,80 mm 的水带在 0.8 MPa 的最低工作压力下弯曲半径为 1 m,而消防水带内部压力可达到 1.8 MPa,在该压力下的弯曲半径远大于某些老旧小区内部道路宽度,消防机器人在这些巷道中则无法顺利完成转向,基本上只能和消防栓保持在一条直线上,适用条件很难满足,这极大地影响了作业效率。消防机器人在老旧小区所受限制过

多,无法有效解决这一类型的火灾救援问题。

3 以问题为导向的老旧小区火灾救援产品设计

在分析老旧小区火灾救援相关问题后,分别从基础条件、核心功能和附属功能等方面导入对应问题,并进行定义和分解,以寻求合理的解决方案,见图 4。

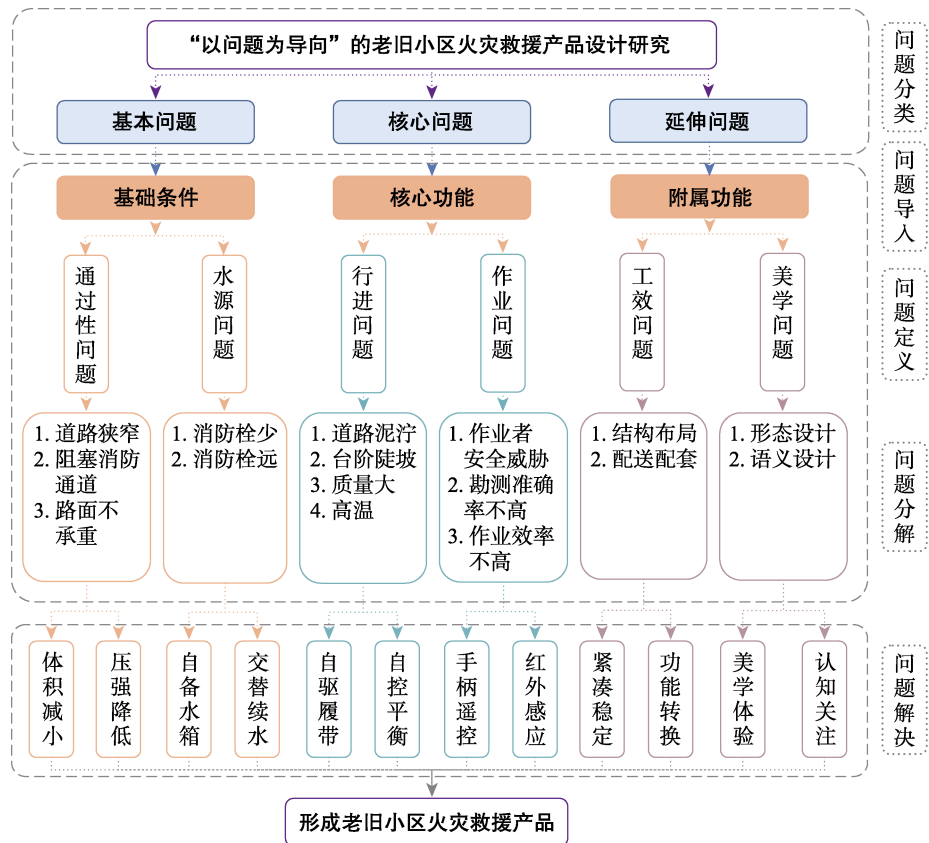


图 4 以问题为导向的设计流程
Fig.4 Problem-oriented flow chart

3.1 老旧小区基本问题导入及解决方案

由老旧小区基础条件不足所产生的基本问题,对其火灾救援产品从通过性和水源问题等方面提出要求。

3.1.1 通过性问题

老旧小区由于巷道狭窄不规范、路面强度标准低等问题,使普通消防车通过性极低,具体表现为过大的消防车体量很难进入或转弯,过大的消防车重量造成路基凹陷和地下水电管网损坏等。

要解决通过性问题,需要充分分析老旧小区路面条件所允许的车辆宽度,并结合随意停车等偶发性事件所导致的拥堵情况,以及路面的承重能力等因素,全面评估救援产品的尺度和质量范围。对武汉市多处老旧小区 100 条巷道进行实地调研,综合巷道本身宽度及周边停车或杂物堆放等情况,得到可通行宽度百分位情况,见表 2。

表 2 老旧小区巷道宽度百分位数值
Tab.2 Table of percentile width of old community laneways

百分位	1%	5%	50%	95%	99%
百分位数 (巷道宽度) /mm	5 073	4 055	3 040	1 326	1 059

为实现救援产品更大的适应性,以第 99 百分位数为参考值,综合考虑在巷道中通过性和必要作业体量等要求,取火灾救援产品宽度为 1 000 mm,依据黄金分割比例原则,设定其长度为 1 618 mm,计算转弯半径 R 如下。

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \tag{1}$$

a、b 分别为车体宽度和长度的一半即 500 mm、809 mm,计算转弯半径 R=951 mm<1059 mm (第 99 百分位数),能完成通行并转弯。其高度取值与宽度

相等,长高比同样符合黄金分割美学原则,且设备整体重心稳定,见图5。

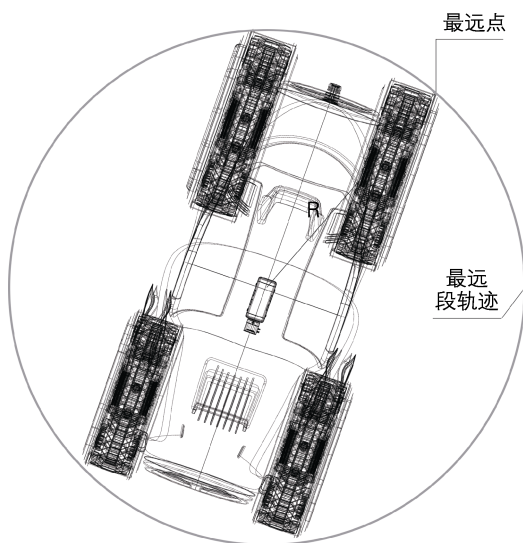


图5 转弯半径轨迹
Fig.5 Turn radius track map

在路面承重方面,多数老旧小区路面建造规格远低于目前C30混凝土施工标准,即抗压阈值 $30 \text{ MPa} \leq f_{cu}$, $k < 35 \text{ MPa}$ (“ f_{cu} ”指混凝土抗压强度,“ k ”指标标准值),仅能适应对路面压强小于 $7 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的车辆通行,目前各类标准型消防车对路面压强均高于该值。通过尽可能地减小消防车自重,并增大与地面接触面积的方式,来减小压强,以减少破坏路面的发生。结

合确定的长宽高尺寸,设计微型火灾救援车,其满载总质量约为 $1\,000 \text{ kg}$,在水平面上压力即重力 $F=G=mg$, g 取 9.8 N/kg ,即压力为 $9\,800 \text{ N}$;微型救援车与地面接触面积为 0.28 m^2 ,得压强 $P=3.5 \times 10^4 \text{ Pa}$,远低于C30混凝土的压强标准,老旧小区绝大多数路面均可承受。

3.1.2 水源问题

很多老旧小区无法达到标准型消防车通行的条件,且未能配备足够的消防栓,无法在接管允许长度范围内为现有微型消防机器人提供水源供给,而改装的微型消防车灵活度和灭火能力均显不足,现有产品无法有效解决老旧小区消防问题,因此,需要一种通过性强、能自带水罐且续水方便的消防产品,为老旧小区火灾救援提供保障。

在保证上述通过性问题所设定的尺度、总质量和压强范围内,设计储水式微型火灾救援车,其能与消防栓或大型消防车水箱连接进行充水。水罐体尺寸为 $1\,300 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$,容积为 600 L ,可装载消防水 600 kg ,使用单相流背负式细水灭火装置,工作压力 12 MPa 时流量为 40 L/min ,射程为 $30\,000 \text{ mm}$,可以确保 15 min 以上的有效消防,火势较大时,根据火场离消防栓或大型消防车距离,调配 $2 \sim 4$ 辆该火灾救援车进行交替使用,空水罐经 SN65 消防栓进行水源补给,其具体管径为 65 mm ,压力为 1 MPa ,流量为 5 L/s , 130 s 内即可补充完毕,确保持续作业。消防水罐在车体中的位置及充水接口,见图6。

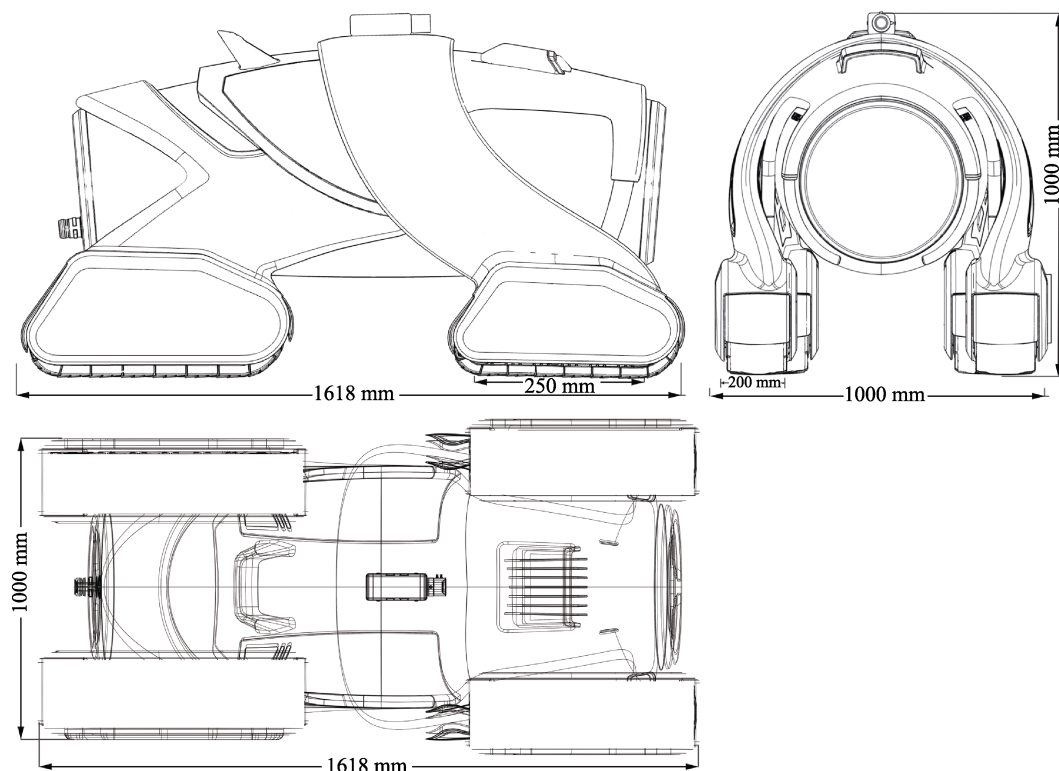


图6 方案草图
Fig.6 Scheme sketch

3.2 火灾救援产品核心问题导入及解决方案

在解决因老旧小区基础条件所产生的基本问题后，如何切实有效地发挥产品的火灾救援能力成为实现其价值的核心问题，具体涉及消防车到达火场前的行进问题及其处于火场中的作业问题。

3.2.1 行进问题

消防车行进时，需要考虑因消防水和泡沫喷洒等造成的路面湿滑甚至泥泞的状况。当遭遇台阶、陡坡等路况时，普通的轮式消防设备移动速度快，然而其对台阶、壕沟等障碍物的越障性能差，很难自如地进入火场^[5]。老旧小区巷道复杂不通畅，拐角众多，消防设备可能需要行进至离火源极近的位置才能灭火，高温下普通橡胶轮胎容易爆胎，影响施救进程。常见的履带类型有金属履带和橡胶履带，橡胶履带相对于金属履带质量较轻，且目前生产的橡胶履带大多采用高分子复合材料，具有耐高温特性^[6]。结合实际要求，设计微型火灾救援车行进轮为橡胶履带式，其与地面接触面大，附着力强，牵引力大，可以在泥泞、积水

中行走，具有良好的通过性^[7]，能在上述各种特殊环境下通行。

另外，满载的微型火灾救援车总质量高达 1 t 左右，人力难以操控，必须采用机械动力进行驱动，电力驱动因其高扭矩、低能耗、易维护、不占空间、可实现自驱动等优势而作为首选。电动机具有扭矩恒定的优势，在低速情况下可以输出更大的扭矩，确保设备在各种路面上稳定行进，工作效率更高，系统发热量小，且更加节能^[8]。遇到陡坡或阶梯路段时，微型火灾救援车背负水罐会产生重心转移，造成前后摩擦力不均，导致整体牵引力下降，在动力装置中设计小型液压杆以减震缓冲，同样由电动机提供动力，使车身高度根据环境进行自行升降。在上坡时车体前部高度降低，后部高度增加，下坡时反之，使车体倾斜角度减小，增加在坡面上的最大牵引力，见图 7。自驱动履带式火灾救援车结合可自行升降的液压杆，可以满足其抵达老旧小区任意着火点的要求，从而解决了相应的行进问题，见图 8。

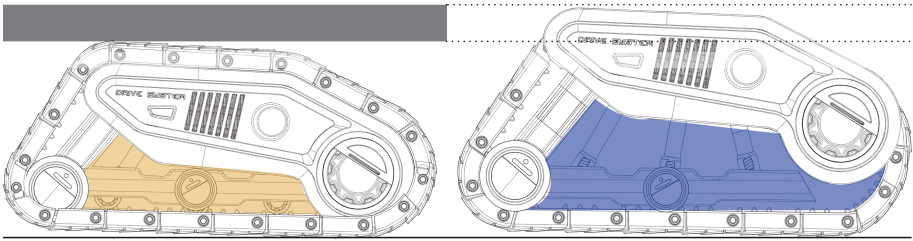


图 7 履带升降
Fig.7 Schematic diagram of crawler lifting



图 8 自驱动履带
Fig.8 Self-driving track



图 9 探测装置安装效果
Fig.9 Detection device installation effect

3.2.2 作业问题

对于较为复杂的火情，需要在浓烟或杂物遮挡中对火源进行精准地勘测和定位，以制定最为有效的救援策略。消防员在此类环境中凭借经验判断，固然也能保证一定的准确率，但高热辐射的影响使误判的几率更大，且有安全隐患。

设计的微型火灾救援车带有热感检测和水炮装置，运用了图像型火源定位技术，包括可见光视频火源探测和红外视频火源探测^[9]，可以自行进行火源、火情勘测，根据温度探测值与辐射量对照，并过滤虚假火源，见图 9。检测装置通过 TCP/IP 无线网络与

控制台上位机通信，采用无线传输设备接收手动控制器的控制信息，并以无线图传设备及无线网络回传图像^[10]，将锁定的火源坐标数据传至手持控制器上，火势状况分析和趋势预测均可清晰呈现，由操作员在安全地点遥控操作，从而引导救援车行进至最佳距离，精准发射水炮，及时扑灭中心火源，消除二次复燃隐患。水炮设置于车顶，亦可由手柄控制，通过转盘与车体内部增压装置连接，车体转盘可在 160°范围内水平旋转，水炮在上下方向可从 85°调节至-5°，以适应各种停放坡度下的喷射角度，并可控制水炮流速，全面覆盖有效范围内所有的着火点，水炮为伸缩式结

构,启动前呈隐藏状态,见图 10。感应装置及遥控方式使微型火灾救援车有更广泛的作业范围、更高效的作业方式、更安全的作业条件。

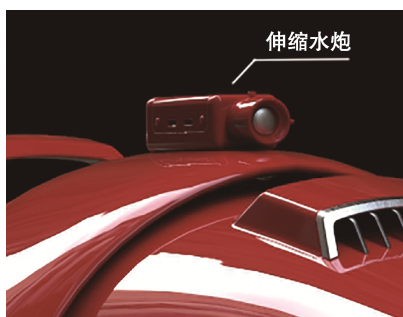


图 10 水炮效果
Fig.10 Water cannon

3.3 火灾救援产品延伸问题导入及解决方案

火灾救援车在解决基本问题和核心问题后,需要综合考虑设置必要的附属功能,以使其更加完善,发挥更大的价值,具体可从工效、美学角度进行设计。

3.3.1 工效问题

基于使用功能,将典型结构运用到设备中去,以确定形体轮廓^[11],微型火灾救援车体量最大的部件即为水罐,经吊架固定在车体中部,造型为两端收窄的圆柱体,便于自动快速更换。水罐前端为空心结构的耐火石棉纤维,可应对碰撞与高温。整个动力机构分布在履带行进轮内,即使在水罐满载状态下,综合重心也处于整车偏下 1/3 处,确保了火灾救援产品的稳定性。车体上部设有喷淋装置和消防套装接口,前者可对全车进行喷淋降温,当车体处于高热辐射环境时,工作环境温度会急剧上升,为减少高温对车体工作的不利影响^[12],喷淋装置使水雾与周围热空气的热交换速率加快,水雾蒸发效率越高,降温范围越大,降温效果越明显^[13],这可以有效保护零部件不受损。火灾环境是一个复杂的、多状况共存的动态系统,仅依靠单一功能并不能完成救援任务^[14],因此可根据不同需求选择消防套装,救援前可使用火源探测装置进行火情确认,消灭明火时启动水炮设备,当明火被扑灭后,则置换成排烟装置,及时排除燃烧产生大量的有毒烟雾,一方面便于消防员排查火情,另一方面可以减轻对附近居民身心造成的危害,使火灾救援任务能够圆满完成,见图 11。

在配套方面,微型火灾救援车需要依赖大中型消防车作为专用运输补给车。在专用消防车内配备固定底板,设置 4 个自锁装置,可根据履带位置自行调整方位,以防止运送途中因颠簸产生碰撞,见图 12。在专用消防车上层设置隔板,放置水带、遥控设备,以及配套的探测设备、排风设备、检修装备和备用件等,以最大化利用有限空间,见图 13。专用运输补



图 11 排烟装置安装效果
Fig.11 Installation effect of smoke exhaust device



图 12 自锁装置
Fig.12 Self-locking device



图 13 消防车内部效果
Fig.13 Effect diagram in fire truck

给车抵达火场附近后,其侧门板打开形成坡道,微型火灾救援车自行从车内开出,并行进至火场展开灭火作业,并可以多次返回补充水源,最大化地实现自给自足。人性化的配套设施设计,为微型火灾救援车在实现救援全流程的准备、保障和维护等工作中提供了有效支持。

3.3.2 美学问题

消防设备是特殊行业产品,设计师通常只注重其使用效能,忽略了其形态美感,从而使其与大众审美需求相去甚远。对火灾救援车进行形态设计,遵循形式美法则,曲面流畅自然,统一风格中有变化,两侧支架运用镂空元素,在确保结构强度的前提下进行轻量化设计,并打破面的整体感和沉闷感,体现出灵动感和通透感。在主体与悬挂之间运用形体穿插方式,增加了形态的丰富性和律动感,体现其韵律。主体形态采用黄金分割比例,协调而自然,整体效果模拟科

幻影视中准备降落的运输机，充满现代感和科技感。在色彩设计中采用火警专用红为主体色，以黑色和白色为调节色，以安全色结合对比色，对比中有调和，能快速引起周围人群的警觉，主动让出通道。该火灾救援产品将形态、功能、结构、语意有机融合，整体布局紧凑，配合科技元素，给人带来安全感。整体与局部、局部与局部之间的和谐统一，体现出机械稳重与稳定的特性^[15]，见图 14。

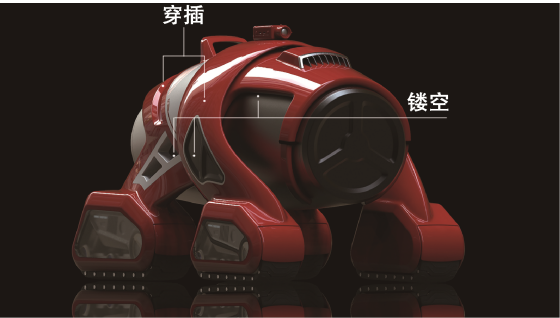


图 14 老旧小区火灾救援机器人
Fig.14 Old community fire rescue robot

虽然火灾救援设备与人们生活难有交集，但仍属于公共产品的组成部分，注重其美学属性展现，可以增强大众对消防行业的认知度和关注度，进而提升人们的消防意识，其价值不容忽视。

3.4 设计评价

将方案进行动画展示，并完成 3D 打印模型制作，运用用户评价法，将通过性、水源补给能力、行进性、作业能力、功效性和美学性等 6 方面的问题作为评价标准，每项满分设置为 10 分，邀请 10 名消防队员进行体验，对设计方案和现有设备进行对比评价，分别计算各项内容得分，得到比较序列，见表 3。

设理想方案参考序列为 $X_0=\{10,10,10,10,10,10\}$ ，其综合得分为 60 分；现有设备比较序列为 $X_1=\{4.7, 3.4,4.6,4.3,5.6,2.7\}$ ，其综合得分为 25.3 分；本方案比较序列为 $X_2=\{7.6,8.1,7.5,8.5,8.9,9.2\}$ ，其综合得分为 49.8 分。

本设计方案在 6 个方面的得分远高于现有相关设备，更加接近理想设计方案，能有效解决现有老旧小区存在的消防需求问题，符合设计预期。

表 3 设计评价
Tab.3 Design evaluation results

	现有设备							本方案						
	通过性	水源补给	行进性	作业能力	功效性	美学性	得分	通过性	水源补给	行进性	作业能力	功效性	美学性	得分
消防员 1	6	2	3	4	6	3	24	8	9	8	10	10	10	55
消防员 2	4	4	5	4	5	3	25	7	8	8	8	8	8	47
消防员 3	5	2	2	5	5	5	24	8	7	8	8	9	10	50
消防员 4	2	7	2	3	6	2	22	9	7	7	9	10	7	49
消防员 5	4	3	5	4	7	3	26	6	8	8	7	9	9	47
消防员 6	5	3	6	5	7	2	28	7	9	6	10	9	10	51
消防员 7	5	2	6	3	7	2	25	9	8	8	7	7	9	48
消防员 8	7	4	5	4	3	4	27	7	7	7	8	8	10	47
消防员 9	3	2	6	5	4	2	22	8	10	8	9	10	9	54
消防员 10	6	5	6	6	6	1	30	7	8	7	9	9	10	50
平均值	4.7	3.4	4.6	4.3	5.6	2.7	25.3	7.6	8.1	7.5	8.5	8.9	9.2	49.8

4 结语

老旧小区火灾救援产品因其作业环境的特殊性，涉及诸多问题，将其按照基本问题、核心问题和延伸问题进行分类，并分别对应于基础条件、核心功能和附属功能进行定向导入，将问题重新定义，逐一分解，各个突破，最终形成能解决实际问题的火灾救援产品方案。以问题为导向的老旧小区火灾救援产品设计，围绕本质问题进行分析，使每个环节的解决思路都有据可循，方案恰到好处，不遗留问题，也不至于功能过剩，为在今后相当长时间内仍会存在的、火灾

频发又无法以常规方法施救的老旧小区，提供高效、周全的灭火救援服务，从而保障当地市民的生命财产安全。

参考文献：

[1] 董大旻, 冯顺伟. 基于投影寻踪模型的小区消防脆弱性评估[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(9): 33-38.
DONG Da-min, FENG Shun-wei. Evaluation of Community Vulnerability to Fire Hazards Based on Projection Pursuit Model[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(9): 33-38.

- [2] 伍晗, 任常兴, 张欣, 等. 基于火灾隐患排查的消防安全小区管理[J]. 消防科学与技术, 2020, 39(3): 409-412.
WU Han, REN Chang-xing, ZHANG Xin, et al. Research on Fire Safety Community Management Mode Based on Fire Hazard Check[J]. Fire Science and Technology, 2020, 39(3): 409-412.
- [3] 刘满禄, 李铭浩, 敖天翔, 等. 危险环境消防侦察机器人视轴规划算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(23): 217-222.
LIU Man-lu, LI Ming-hao, AO Tian-xiang, et al. Line of Sight Planning Algorithm of Dangerous Environment Fire Reconnaissance Robot. Computer Engineering and Applications, 2018, 54(23): 217-222.
- [4] 张建中, 郝允梁, 刘海洋, 等. 基于 STM32 单片机的智能消防机器人的设计与应用[J]. 电子技术应用, 2017, 43(11): 120-123.
ZHANG Jian-zhong, HAO Yun-liang, et al. Design and Application of Intelligent Fire-Fighting Robot Based on STM32[J]. Application of Electronic Technique, 2017, 43(11): 120-123.
- [5] 王宇, 吴智恒, 刘泓滨, 等. 一种机器视觉的灾后救援机器人系统设计[J]. 机械设计与制造, 2017(8): 239-241.
WANG Yu, WU Zhi-heng, LIU Hong-bin, et al. Development of Wheel-Track Robot Based on Machine Vision[J]. Machinery Design & Manufacture, 2017(8): 239-241.
- [6] 张响亮, 张华, 熊根, 等. 基于 RecurDyn 的履带式消防机器人设计与爬梯运动学仿真[J]. 机械传动, 2020, 44(6): 89-95.
ZHANG Xiang-liang, Zhang Hua, Xiong Gen, et al. Design and Simulation of Tracked Fire Fighting Robot Based on RecurDyn[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2020, 44(6): 89-95.
- [7] 叶利民. 消防灭火机器人火场应用技术[J]. 消防科学与技术, 2017, 36(4): 501-503.
YE Li-min. The Application Technology of Firefighting Robot in Fire[J]. Fire Science and Technology, 2017, 36(4): 501-503.
- [8] 吴毅, 许益民. 一种消防机器人液压控制系统的改进方案[J]. 机床与液压, 2016, 44(22): 90-92.
WU Yi, XU Yi-min. An Improved Scheme for the Hydraulic Control System of a Fire Robot[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2016, 44(22): 90-92.
- [9] 董非, 杨卫军, 李丹, 等. 基于红外热像仪的火源定位方法[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(3): 394-397.
DONG Fei, YANG Wei-jun, LI Dan, et al. Thermal Infrared Camera Based Fire Source Tracking Algorithm[J]. Fire Science and Technology, 2019, 38(3): 394-397.
- [10] 汪名飞, 丑武胜, 樊嘉欣. 多功能巡检救援机器人系统设计与定位导航[J]. 机械设计与制造, 2018(11): 233-236.
WANG Ming-fei, CHOU Wu-sheng, FAN Jia-xin. System Design, Navigation and Localization of a Multifunctional Inspection and Rescue Robot[J]. Machinery Design & Manufacture, 2018(11): 233-236.
- [11] 刘靓静, 马彧. 机械设备造型设计的结构性分析[J]. 包装工程, 2018, 39(12): 203-207.
LIU Liang-jing, MA Yu. Structural Analysis of Mechanical Equipment Modeling Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(12): 203-207.
- [12] 孙宁, 裴文良, 闵桂元, 等. 消防灭火机器人设计及应用[J]. 消防科学与技术, 2018, 37(7): 942-944.
SUN Ning, PEI Wen-liang, MIN Gui-yuan, et al. Design and Application of Fighting Robot[J]. Fire Science and Technology, 2018, 37(7): 942-944.
- [13] 谢玮, 张玉春, 张文斌, 等. 受限空间细水雾降温效果的实验研究[J]. 工程热物理学报, 2019, 40(12): 2873-2878.
XIE Wei, ZHANG Yu-chun, ZHANG Wen-bin, et al. Experimental Study on Cooling Effect by Fine Water Mist in Confined Space[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2019, 40(12): 2873-2878.
- [14] 葛世荣, 朱华. 危险环境下救援机器人技术发展现状与趋势[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(5): 1-8.
GE Shi-rong, ZHU Hua. Technical Development Status and Tendency of Rescue Robot in Dangerous Environment[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(5): 1-8.
- [15] 冯清华, 卢颖. 基于设计几何学的工程机械形态设计方法探究[J]. 包装工程, 2016, 37(20): 79-83.
FENG Qing-hua, LU Ying. Shape Design Method of Construction Machinery Based on Design Geometry[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(20): 79-83.