

集成 AHP-FAST 的城市消防车概念设计

刘付勤, 李丽凤, 刘长新
(桂林电子科技大学, 北海 536000)

摘要: **目的** 随着城市“智慧消防”概念的提出与发展,担任城市主要消防任务的消防车,其创新设计受到了更广泛的关注。传统消防车的概念设计以定性分析为主,主要依赖设计人员的主观经验,因此需要探讨一种新的设计方法来提高概念设计的客观性。**方法** 层次分析法(AHP)能以量化的手段分析需求的权重,功能技术分析法(FAST)具有强大的功能分析及求解功能。因此可以系统地集成 AHP 和 FAST 的优势并进行互补,明确消防任务各个阶段的需求及其重要程度,对需求进行功能求解。最后通过设计一款消防概念车以说明所提出的理论框架的适用性。**结论** AHP-FAST 集成理论能够有效地实现从需求分析到功能设计的准确映射,在一定程度上弥补了传统概念产品依赖主观经验进行设计的不足,提高了概念设计的科学性和有效性。

关键词: 城市消防车;概念设计;AHP;FAST

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)22-0129-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.22.017

Conceptual Design of Urban Fire Truck Integrated with AHP-FAST

LIU Fu-qin, LI Li-feng, LIU Chang-xin
(Guilin University of Electronic Technology, Beihai 536000, China)

ABSTRACT: With the proposal and development of urban “smart firefighting”, the innovative design of fire trucks as the main tool for urban firefighting tasks has received more attention. The traditional conceptual design of fire trucks is mainly based on qualitative analysis and mainly relies on the subjective experience of the designer. Therefore, it is necessary to explore a new design method to increase the objectivity of the conceptual design. The Analytic Hierarchy Process (AHP) can analyze the weight of demands by quantitative means, and the Functional Technical Analysis (FAST) has powerful function analysis and solving functions. Therefore, it is possible to systematically integrate the complementary advantages of AHP and FAST, clarify the needs and importance of each stage of the firefighting task, and perform functional solutions to the demands. Finally, a fire-fighting concept vehicle is designed to illustrate the applicability of the proposed theoretical framework. The AHP-FAST integration theory can effectively realize the accurate mapping from demand analysis to functional design, and to a certain extent, make up for the lack of traditional conceptual design relying on subjective experience, and improve the scientificity and effectiveness of conceptual design.

KEY WORDS: urban fire truck; concept design; AHP; FAST

相比于西方国家,目前我国城市公共消防设施建设相对滞后。大范围火灾发生的几率不断提高、火灾

扑救和抢险救援需求并存、应急抢险救援任务越来越重,因此开发探索新型的城市消防车引起了工业设计

收稿日期: 2021-07-20

基金项目: 广西自然科学基金资助项目(2018GXNSFBA281190); 2019 年度广西高等教育本科教学改革工程资助项目(2019JGB203)

作者简介: 刘付勤(1987—),男,广东人,博士生,桂林电子科技大学讲师,主要研究方向工业设计方法、地域文化创新设计。

通信作者: 李丽凤(1980—),女,福建人,博士生,桂林电子科技大学副教授,主要研究方向为环境设计。

师和学者的关注。

1 城市消防车设计研究现状

目前学界已经有不少关于城市消防车的设计研究,经过综合分析发现其设计路径主要包含三个方面:一是通过功能的集成创新理论来提升产品的使用性能;二是把模块化设计理念运用于消防车的功能设计之中;三是部分学者将人机工程学的原理应用于城市消防车的界面设计之中。陈奕冰,张浩,于东玖^[1]根据集成创新原理,对消防车相关的资源要素进行优化、搭配与整合,通过创造性的设计,显著提高了城市消防车的综合使用性能;石祥,赵俊朋,韩晓龙^[2]通过双车功能设计,提高了灭火系统水泵流量、增加了喷射高度并减少了作战时间;部分学者将城市消防车的单项功能进行拆分并将其转为多个模块的有机组合,进而降低了研发和制造的成本,优化了功能系统,提高了整车的实用性^[3-4];李前进^[5-6]等人认为合理布置消防器材及优化操作界面能提高消防车的使用效率,进而有助于发挥消防车的整体功能。虽然上述设计研究涵盖了城市消防车设计的关键领域,但在研究过程中缺少对用户需求的深度分析。此外,在功能的设计研究上,这些研究多以功能罗列组合为主,缺少对城市消防车功能重要程度的排序研究,因此难以实现一般意义上的集成创新。而且在研究方法上,传统研究以定性分析为主,缺乏必要的定量分析,较难获得广泛而准确的结论。

2 概念设计的概述

概念设计是从用户需求分析到概念产品生成的活动,因此产品概念设计可以被认为是由分析用户需求到生成概念产品的一系列有序的、可组织的并有目标的设计活动^[7],是新产品开发与量产的必经之路。在性质上,概念设计具有显著的实验性、前瞻性和试错性;在功能上,概念设计探索了产品的更多可能性。概念设计围绕“需求-功能-形态”展开,其中功能反映了用户和环境对需求的本质体现,功能的创新可以极大地赋予其附加值,而产品的形态则是承载其功能的物质基础。因此,消防车的概念设计要在了解用户多层次的需求信息的基础上,规划出符合需求且逻辑正确的功能系统,并通过符合视觉需求的造型、材料、装饰及合理的使用方式来呈现产品的具体形态。

3 FAST-AHP 模型的概述

3.1 FAST 与 AHP 的概念与应用

功能是产品向用户传输的使用价值,是产品较为重要的属性。FAST (Function Analysis System Technique, 全称功能分析系统技术) 经常被用于功能分

析领域,并已在多个领域获得了有效的应用。它重视功能的系统分析,强调建立功能树图,即将产品的总体功能分解为多个子功能,进而寻求实现目标的最佳手段。FAST 以整体约束局部、以局部支持整体、以逐层分解的方式来决定产品所需的功能,见图 1。产品功能的划分方法有很多种,而 FAST 强调通过上层功能和下层功能的联系来传递两者之间的关系属性,上层功能是下层功能的目的,而下层功能是上层功能的实施手段和方法。一个上层功能可能存在着多个下层功能,重叠的下层功能可以相互间进行合并与替代。FAST 能有效避免概念设计过程中的无序性,最大程度地探究解决问题的多种方式,明确设计目标,提高设计效率。目前,FAST 在工业产品设计中获得了广泛的应用,如 WU Xiao-li 等人在自行车概念设计中对目标用户进行了深入的需求分析,并由需求建立起相应的 FAST 功能树,最后从功能树中选择理想的目标功能,进而设计出具有独特功能的自行车^[8];陈晨,孙志学,张乐^[9]基于 FAST 模型和黑箱模型对固体有机废弃物处理机的功能进行了分析,并建立了 FAST 功能树,最后得出相对应的功能解决方案,验证了 FAST 在产品中的合理应用;齐浩,陈净莲^[10]以 FAST 模型和形态矩阵为理论依据对虫情监测设备的创新设计进行了进一步分析,设计出昆虫远程测报装置,提高了设备的工作效率。

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 在处理复杂的决策问题上具有很强的实用性,在运筹学领域获得了广泛的应用。近年来,层次分析法被大量应用于工业产品设计领域,尤其是在方案评价、权重确定等问题上,层次分析法提供了较新的研究思路。杨浩,王玥然,刘畅^[11]使用层次分析法对单层单厢公交车内饰设计方案进行了可行性评估,明确了各个设计要素的权重,确保设计方案具有针对性,从而能够被用户所接受;GUO-NIU ZHU, JIE HU, HONGLIANG REN^[12]认为产品设计初期的设计概念评估在新产品设计中起着至关重要的作用,因为它在很大程度上决定了后续设计活动的方向,所以结合层次分析法与优劣解距离法对设计概念进行评估,以确

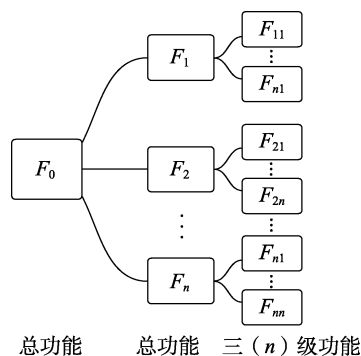


图1 FAST 功能结构

Fig.1 FAST functional structure

定候选设计方案的风险优先级；徐晓琪，程永胜，陈国强^[13]将层次分析法和模糊综合评价法进行整合，构建了房车造型设计下的多指标评价分析模型，采用定量和定性的方法，筛选出最佳的创意设计方案并将其用于产品开发；宋磊，李鹏玉，杨卓懿等人^[14]在评价游艇造型设计时，从识别性、艺术性、传达性、实用性和经济性 5 个方面构建了多层次评价指标体系，并计算分析权重向量，明确了设计的侧重点。

3.2 AHP-FAST 模型

在概念设计中，利用层次分析法可以把总需求（目标层）分解为若干个子需求（准则层），然后对设计方案（决策层）进行权重分析。从上文的文献分析中可得知，虽然层次分析法能够明确各个因素的重要程度，为决策者提供数字上的判断依据，但其无法提供设计目标的求解路径。层次分析法只能帮助研究者在已有的方案中做出选择。而 FAST 尽管无法对功能的主次做出量化排序，但因其具有强大的功能求解能力，所以能为复杂的设计过程提供多层次、多目标的分析手段，有效弥补层次分析法纵向分析求解方面的缺失。综上所述，结合层次分析法和 FAST 各自的理论强项形成具有互补优势的 AHP-FAST 模型，能为产品概念设计研究提供较新的思路。借助该模型，研究者能以量化的方式明确问题的关键部分，使功能求解目标更加集中。

3.3 基于 AHP-FAST 模型的概念设计流程

（1）用户需求信息的收集与整理。设计人员通过情景分析法、观察法、专家访谈法等获取对目标产品的原始需求信息。然后采用问卷调查法找出关联性较低的需求项并将其剔除。最后对余下的需求项进行整理、归类、合并，形成少数几个相互区别但又有一定联系的需求因子，为下一步的层次分析法做准备。

（2）建立层次分析结构。首先，需要建立目标层。目标层主要描述概念设计的总需求。其次，需要建立准则层。准则层是指为了实现目标层而需要考虑的因素、原则以及限制条件。再次，需要建立决策层。决策层的目的是实现准则层的方法和路径。最后，需要建立判断矩阵。邀请课题相关领域的专家学者，对准则层及决策层之间的因素进行两两比较，建立相对于目标层的判断矩阵。假定准则层有 n 个元素，其判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 其中 $a_{ij}=1/a_{ji}$ ，其判断矩阵中采用 1-9 的比较级别，见表 1。

（3）层次单排序及其一致性检验。根据上述判断

矩阵及公式 $W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}}$ 求出其权重，并得出特征向

量 $W=[W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ 及最大特征根 λ_{max} 。由于判断矩阵的数值是人为输入，可能存在逻辑上的错误，从而

表 1 判断矩阵标度定义
Tab.1 Scale definition of judgment matrix

标度	重要性	含义
1	同样重要	两要素对指定准则的重要程度一样
3	略微重要	前者要素比后者略微重要
5	明显重要	前者要素比后者明显重要
7	强烈重要	前者要素比后者强烈重要
9	绝对重要	前者要素比后者绝对重要
2, 4, 6, 8	中间值	两相邻判断的中间值
标度倒数	反向比较	要素 i 对要素 j 的重要性比较为 a_{ij} ，则要素 j 对要素 i 的重要性比较为 a_{ji}

表 2 平均随机一致性指标
Tab.2 Mean random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI 值	0	0	0.52	0.89	1.12	1.24	1.36	1.41

导致出现不一致的情形。因此，为了确认层次单排序的有效性，需要对判断矩阵进行一致性检验。根据公式 $CI=(\lambda_{max}-n)/n-1$ ， $CR=CI/RI$ ，当 $CR<0.1$ 时，说明判断矩阵构建较为合理，否则需要重新调整，见表 2。

（4）层次总排序及其一致性检验。总排序是为了获得某元素对总目标的综合权重值。其一致性参数计算如下： $CR=(W_1CI_1+W_2CI_2+\dots+W_mCI_m)/(W_1RI_1+W_2RI_2+\dots+W_mRI_m)$ ，若总排序一致性 $CR<0.1$ ，则表示通过总排序一致性检验。

（5）构建产品功能树。上述步骤已经完成了对准则层和决策层各要素的权重排列。在这一阶段，可以对需求项的重要程度进行排列以便进行取舍，并将需求属性的词汇更改为功能属性的词汇。接着利用 FAST 原理，建立产品功能树，将总功能分解到多个层级的子功能上并寻求总功能的设计方法，整个过程要保持需求及功能逻辑的一致性。

4 城市消防车设计实践

本课题以城市消防车为设计目标，通过整个设计程序完成对 AHP-FAST 模型的实证研究。

4.1 消防车需求信息的收集整理

本研究采用故事板法得出消防车的使用需求。故事板法早在 20 世纪 30 年代就已经被美国迪斯尼公司用于动画创作中，该方法一般以时间为线索，具有逻辑性、系统性和画面感强的特点^[15]。在设计初始阶段，故事板能够将抽象的设计需求具体化，方便客户、专家等项目参与人员理解。故事板法能够积极促进情境交流，将情境、氛围、感觉与产品的使用过程相联系，以便发现新的问题并获得新的需求。本研究在头脑风暴的基础上，采用预测和模拟等手段绘制了多个具有逻辑关联的“细节情节”，见图 2。研究人员在画面

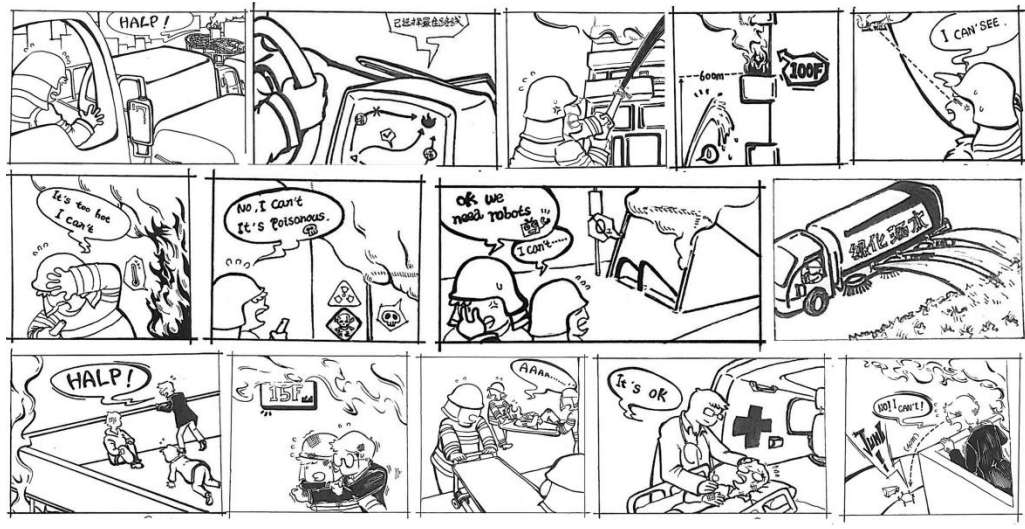


图 2 未来城市消防故事板叙述
Fig.2 Storyboard of fire fighting of city in the future

表 3 原始需求及得分表
Tab.3 Original requirements and score sheet

编号	需求描述 (得分)	编号	需求描述 (得分)	编号	需求描述 (得分)
1	造型独特 (3.26)	10	高空救援 (5.56)	19	医护人员 (5.07)
2	色彩醒目 (3.94)	11	超高空救援 (5.69)	20	修理道路 (3.51)
3	Logo 设计 (3.35)	12	火源定位 (5.06)	21	绿化洒水 (4.53)
4	材料环保 (4.15)	13	火情反馈 (5.46)	22	清洁马路 (4.49)
5	近地灭火 (5.06)	14	批量救援 (5.41)	23	修剪绿化带 (4.35)
6	机器人灭火 (5.51)	15	风向测量 (4.23)	24	消防宣传 (3.57)
7	高空灭火 (5.82)	16	执勤休息 (3.96)	25	供电 (3.6)
8	超高空灭火 (5.9)	17	药物配备 (5.15)		
9	近地救援 (5.19)	18	应急送医 (5.36)		

中充分提取“人—消防车—环境”的信息，挖掘情境中的隐形需求，从而了解未来城市消防执勤中的核心要素。采用焦点小组访谈法，邀请 5 位职业为消防员或工业设计师的被测试者，收集其对未来城市消防车的离散型功能需求，并经过初步整理后获得原始需求 25 项。采用问卷调查法，设计 7 级李克特量表问卷，将每个原始需求指标划分为 7 个评价等级，数字越大，需求项目越重要。然后将设计好的 110 份问卷，发放给工业设计专业背景的被测试者，回收有效问卷 110

份。研究人员对问卷中的需求项进行得分统计，见表 3。经过进一步讨论，将得分较低的编号项目，即 1、2、3、4、15、16、20、24、25 的九项需求项，进行剔除，剩余 16 项。最后对相关性较强的需求项进行聚类分析，形成灭火、救援、效率、城建、应急医疗五项需求。

4.2 建立以消防车设计为目标层的层次分析结构

根据上述需求分析，可建立层次分析结构，见图 3。

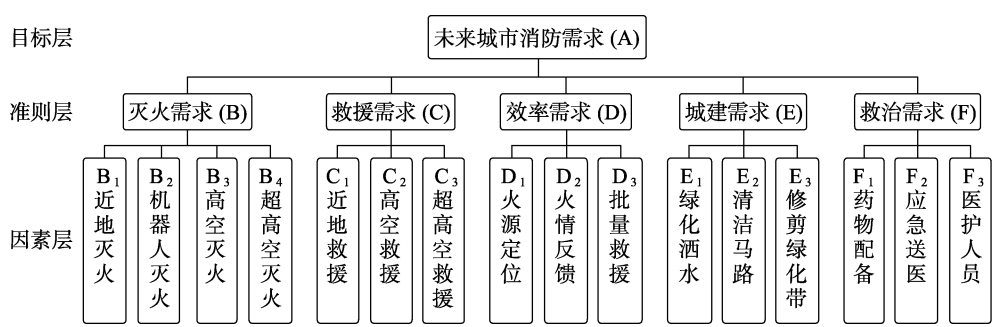


图 3 未来城市消防需求层次分析结构
Fig.3 Hierarchical analysis structure of future urban fire protection needs

4.3 建立各因素的判断矩阵

为了增加评价过程的客观性,由工业设计师、消防人员及技术人员形组成的专家小组共同进行判断矩阵的构建。所有判断矩阵如下:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 8 & 4 \\ 1/2 & 1 & 3 & 5 & 4 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 5 & 2 \\ 1/8 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/4 \\ 1/4 & 1/4 & 1/2 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 4 & 2 & 1 & 1/2 \\ 5 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 \\ 3 & 1 & 1/2 \\ 4 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 \\ 3 & 1 & 3 \\ 2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 1 & 3 \\ 1/2 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1/4 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

4.4 层次单排序及一致性检验

对于矩阵 A , 归一化最大特征向量 W^T 为:
 $W_A=(0.422\ 1\ 0.291\ 2\ 0.150\ 6\ 0.038\ 7\ 0.097\ 3)^T$ 。对其一致性 CR 求解: $\lambda_{max}=(\sum(Aw/w))/n=5.202\ 3$, $\lambda_{max}=(\sum(Aw/w))/n=5.202\ 3$, $RI=1.120\ 0$, $n=5$, $CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=(5.202\ 3-5)/(5-1)=0.050\ 6$, $CR=CI/RI=0.050\ 6/1.120\ 0=0.045\ 2<0.1$ 。

同理, 可求得其他层次的指标权重:

$$W_B=(0.072\ 5\ 0.169\ 7\ 0.285\ 4\ 0.472\ 3)^T$$

$$W_C=(0.122\ 0\ 0.319\ 6\ 0.558\ 4)^T$$

$$W_D=(0.157\ 1\ 0.593\ 6\ 0.249\ 3)^T$$

$$W_E=(0.297\ 0\ 0.539\ 6\ 0.163\ 4)^T$$

表 4 一致性比例
Tab.4 Consistency ratio

矩阵	A	B	C	D	E	F
CR	0.0452	0.0191	0.0176	0.0516	0.0088	0.0088

$$W_F=(0.297\ 0\ 0.539\ 6\ 0.163\ 9)^T$$

所有一致性比例结果,见表 4。其值均远小于 0.1,证明判断矩阵可信度较高。

4.5 层次总排序及一致性检验

进一步计算出各层元素对目标层的综合权重,结果见表 5。

总排序一致性推导过程: 未来城市消防需求
 $(A)CR=(0.422\ 115\ 0\times0.017\ 000\ 0+0.291\ 203\ 0\times0.009\ 100\ 0+0.150\ 634\ 0\times0.026\ 800\ 0+0.038\ 739\ 4\times0.004\ 600\ 0+0.097\ 309\ 0\times0.004\ 600\ 0)/(0.422\ 115\ 0\times0.890\ 000\ 0+0.291\ 203\ 0\times0.520\ 000\ 0+0.150\ 634\ 0\times0.520\ 000\ 0+0.038\ 739\ 4\times0.520\ 000\ 0+0.097\ 309\ 0\times0.520\ 000\ 0)=0.021\ 500\ 0<0.1$, 总排序通过一致性检验。

4.6 需求权重分析

4.6.1 一级需求权重分析

在灭火、救援、效率、城建及救治五项需求的需求权重分析中,灭火及救援的需求程度最高,因此可将其归类为用户对产品的基本需求。灭火与救援需求反应了产品的基本功能,效率需求的权重次之。通过进一步分析得知,在城市消防执勤过程中,提高效率对灭火及救援具有重要的意义,而救治需求较低,反映了未来城市消防车可能存在某些辅助功能,其有助于消防车基本功能的发挥。由于城建需求的权重非常小,

表 5 综合权重的结果
Tab.5 Synthetic weight result

准则层及其权重	决策层		综合权重	排序
	因素	权重		
灭火需求 (B) 0.4221	B1 近地灭火	0.0725	0.0306	10
	B2 机器人灭火	0.1697	0.0716	6
	B3 高空灭火	0.2854	0.1205	3
	B4 超高空灭火	0.4723	0.1994	1
救援需求 (C) 0.2912	C1 近地救援	0.122	0.0355	9
	C2 高空救援	0.3196	0.0931	4
	C3 超高空救援	0.5584	0.1626	2
效率需求 (D) 0.1506	D1 火源定位	0.1571	0.0237	12
	D2 火情反馈	0.5936	0.0894	5
	D3 批量救援	0.2493	0.0376	8
城建需求 (E) 0.0387	E1 绿化洒水	0.297	0.0115	15
	E2 清洁马路	0.5396	0.0209	13
	E3 修剪绿化带	0.1634	0.0063	16
救治需求 (F) 0.0973	F1 药物配备	0.5396	0.0525	7
	F2 应急送医	0.1634	0.0159	14
	F3 医护人员	0.297	0.0289	11

通过分析发现目前市面有大量其他装备可满足其需求,以及综合考虑成本等因素,将权重最小的城建需求归类为不必要需求。结合具体的权重值进行综合考虑,在未来城市消防车的概念设计中,上述需求应当被满足的优先级为:灭火需求>救援需求>效率需求>救治需求。

4.6.2 二级需求权重分析

二级需求权重能够更清晰地反映产品整体需求与局部功能之间的关系,决定了概念设计的最终形态。准则层灭火需求中的方案层权重及综合权重大小排序为:超高空灭火>高空灭火>机器人灭火>近地灭火。对消防人员而言,垂直高空灭火一直是消防任务执行过程中的难题。该权重排列顺序反映了概念设计的前瞻性,体现了对未来城市消防活动中最具难度与挑战性阶段的痛点的挖掘。目前的城市消防车尚不能够完全适应高空和超高空的灭火作业,而近地灭火的难度较低,目前已有较成熟的消防技术和消防产品能够予以应对。除了垂直空间的灭火难题外,未来城市中有易燃易爆、毒性、高温、缺氧、浓烟等恶劣环境的灭火需求亟待被满足。在准则层救援需求中的方案层中,超高空救援和高空救援的需求权重要远大于近地救援需求,该数据反映出除了垂直高空灭火外,实施救援也是一项重要的需求。在救援活动中,火灾高度越高,救援任务越困难,该痛点越急需被克服。对效率需求中的方案层进一步分析后发现,火情反馈的

需求权重较大,意味着消防人员需要及时了解火情的变化。另外,对于公共场所等特殊环境,若能实施批量化救援也可以大大提高救援效率。火源定位能够让消防车更快地到达火灾现场,满足了执勤的效率需求。值得注意的是,从药物配备、应急送医等需求可以看出,火灾的发生可能会导致居民或消防人员受到意外伤害,而传统消防车未能很好地满足该领域的需求。

4.7 构建消防车功能树

根据一级权重和二级权重分析得出的结果,可以暂时将准则层中的“城建需求”及其下属因素层的相关个体予以剔除,从而突出设计重点,见图4。

4.8 方案设计

结合需求权重及功能树的综合分析,充分考虑消防车的形态和功能的匹配关系,进行概念设计表现,见图5。

首先,在灭火功能方面,概念设计充分考虑了各高度楼层及特殊环境的灭火需求。消防车保留了传统手持灭火枪和车载灭火枪,可以完成一般高度的灭火工作。在有毒、高温、缺氧等恶劣的火灾环境中,可通过消防机器人来进行智能灭火及火情信息的采集。消防机器人突破了普通消防人员的能力限制,有效保障了消防人员的人身安全,并提高了消防车的全方位灭火能力。对于普通高空火灾,可以借助云梯等工具进行灭火,而无人机能够突破高度的限制满足更高楼

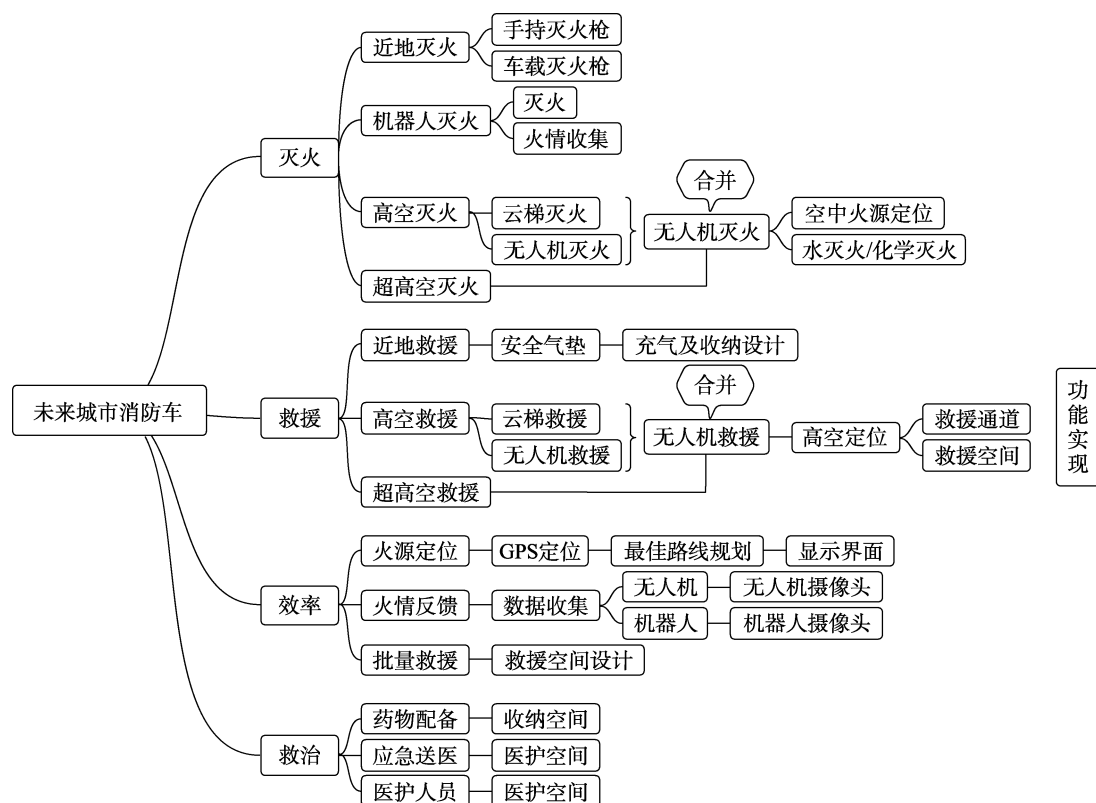


图4 消防车功能树

Fig.4 Hierarchical analysis structure of future urban fire protection

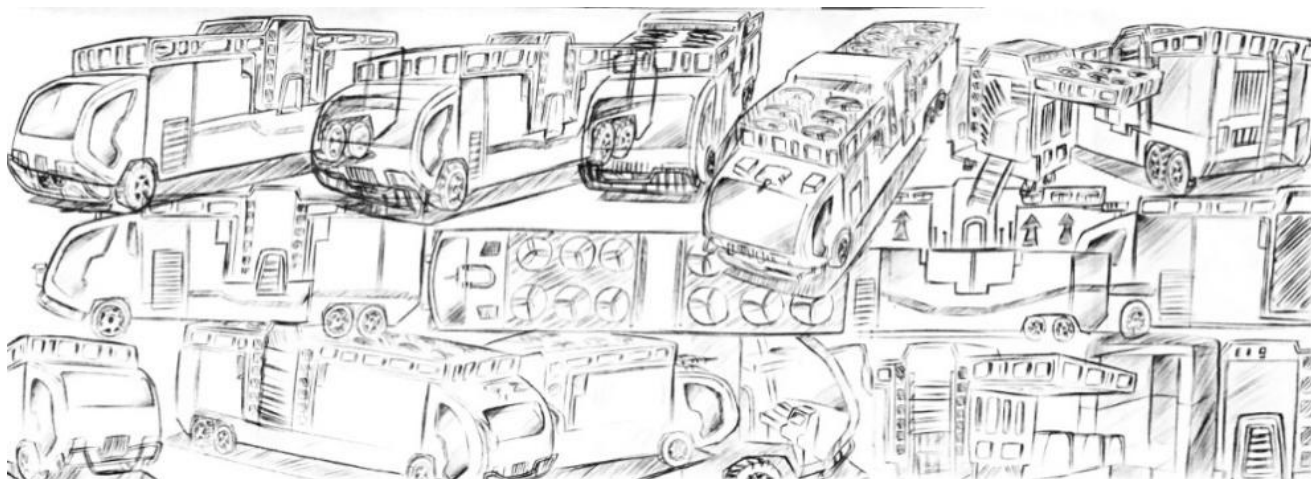


图 5 消防车概念草图

Fig.5 Fire truck concept sketch



图 6 灭火场景概念图

Fig.6 Scene of fire extinguishing

层的灭火需求，因此在 FAST 功能树分析时，将这两项功能进行合并，直接采用无人机解决高空和超高空灭火问题。在整体构造上，T 字形无人机被放置于消防车顶部，方便升降。另外在无人机内部增加摄像功能，用于空中火源定位，以实现精确灭火，见图 6。

其次，则是救援功能方面。对于常见的近地火灾，以安全气垫救援为主，并在车身上设计了气垫及充气装备的收纳空间。由于高空的限制和浓烟的影响，消防人员难以摸清高层火灾中被困者的具体位置和生存状况，而无人机能克服高度的限制，因此高空和超高空火灾以无人机实施救援为主。先将无人机升至事故位置进行准确定位，然后可伸缩的逃生管道在需要救援的具体位置准确停靠。为了便于被困者进入逃生管道，在产品尾端设置了可旋转的踏板。另外，如果被困者集中在楼顶等待救援，无人机则可以直接停靠

在楼顶，从而使被困人员从无人机大门进入机舱内部并逃离火灾现场，见图 7。

最后，为了提高消防任务的执勤效率，对消防车的操作界面进行了可视化设计。消防人员可借助智慧城市交通网络和城市消防信息管理系统，选择最佳的行驶路线到达火灾现场。无人机及机器人采集的火情数据能够及时传输到显示器中，方便工作人员精准实施灭火及救援工作。此外，消防人员可借助反馈信息了解救援任务的工作进度，以便适时做出调整，提高效率。大型工业级无人机在内部空间大小和力量等方面相对于小型无人机具有明显的优势，这一优势主要体现在对被困人员的集体救援上。在救治功能上，消防车对应急药物、担架等医用物品的收纳空间进行了设计，驾驶室后排安置了小型救护空间，出勤时候可以安排医护人员随行，以满足突发的急救需求，见图 8。

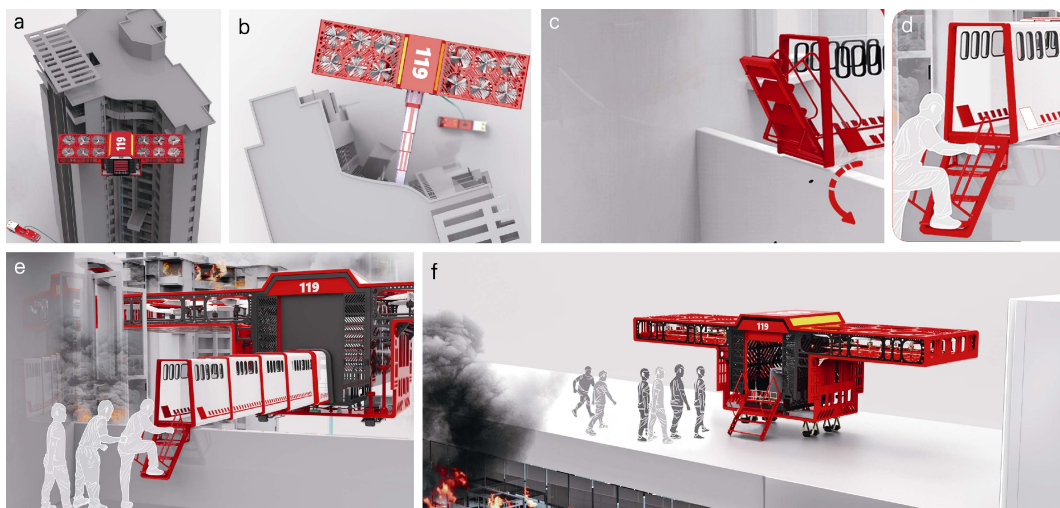


图7 无人机救援场景概念图
Fig.7 Scene of fire rescue by a drone

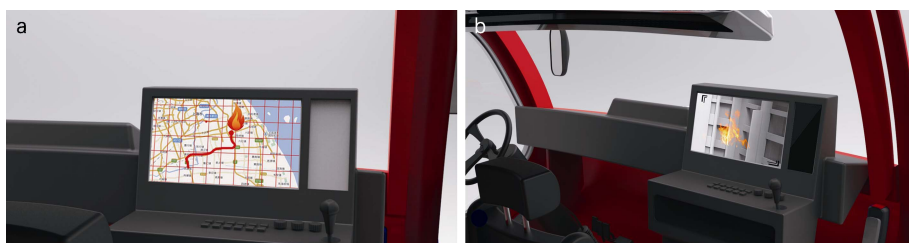


图8 火源定位及火情反馈
Fig.8 Fire source location and fire feedback

5 结语

本文探究了层次分析法和 FAST 的结合应用。首先,该组合方法在一定程度上能有效捕捉用户的核心需求,增加了设计的靶向性。其次,在需求分析的基础上通过深入的功能分析,明确了设计目标,提升了设计效率,为产品概念设计提供了较新的思路。最后,在理论应用部分,通过定量分析的方法来量化需求项的重要程度,并以深入的功能设计提高了未来城市消防车概念设计的科学性和有效性。在科学性方面,层次分析法通过运算将专家组的判断数据转换为设计要素的权重值,改变了传统设计中专家直接通过赋值来获得权重的做法,较大幅度地降低了人为主观因素的影响,突出了定量分析的优势。在有效性方面,层次分析法与 FAST 的结合体现了由分析需求到满足需求的过程,符合设计实践活动的一般规律,因此可将该理论视作解决一般设计问题的工具。尽管 AHP-FAST 模型为消防车概念设计提供了较新的思路,但在实证研究过程中仍然存在一些局限性,例如层次分析法中的准则层和因素层的各个要素未能全面概括消防车的设计特点。在未来研究中将进一步参考消防车设计领域专家的建议,以增加研究的完整性。其次,在未来的设计中可增加仿真分析以增强消防车设计结果的可用性。

参考文献:

- [1] 陈奕冰, 张浩, 于东玖. 基于集成创新理论的城市主战消防车设计[J]. 包装工程, 2019, 40(18): 118-122.
CHEN Yi-bing, ZHANG Hao, YU Dong-jiu. Design of Urban Fire Trucks Based on Integrated Innovation Theory[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(18): 118-122.
- [2] 石祥, 赵俊朋, 韩晓龙. 一款小型多功能城市主战消防车的研究和应用[J]. 消防技术与产品信息, 2015(9): 6-8.
SHI Xiang, ZHAO Jun-peng, HAN Xiao-long. Research and Application of a Small Multi-functional Urban Fire Fighting Vehicle[J]. Fire Technology and Product Information, 2015(9): 6-8.
- [3] 郑凯恒, 路鹏, 王姝懿, 方丹. 基于模块化设计理念的城市消防车优化设计[J]. 设计, 2020, 33(7): 129-131.
ZHENG Kai-heng, LU Peng, WANG Shu-yi, Fang Dan. Optimal Design of Urban Fire Trucks Based on Modular Design Concept[J]. Design, 2020, 33(7): 129-131.
- [4] 习宁刚, 张晓钟, 罗丹, 陈云. 基于模块化的云梯消防车协同设计研究[J]. 机械设计与制造, 2013(02): 29-31.
XI Ning-gang, ZHANG Xiao-zhong, LUO Dan, CHEN Yun. Research on Collaborative Design of Ladder Fire

- Truck Based on Modularization[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2013(2): 29-31.
- [5] 李前进, 崔金一, 孙传革, 张志兵, 郑宏权. 基于 JACK 的主战消防车人机工程仿真研究[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(6): 847-850.
- LI Qian-jin, CUI Jin-yi, SUN Chuan-ge, ZHANG Zhi-bing, ZHENG Hong-quan. Research on Man-machine Engineering Simulation of Main Battle Fire Truck Based on JACK[J]. Fire Science and Technology, 2019, 38(6): 847-850.
- [6] 刘小霞, 王小平, 杨延璞, 王淑侠. 基于人机工程学的消防车器材布局优化设计研究[J]. 图学学报, 2012, 33(5): 109-113.
- LIU Xiao-xia, WANG Xiao-ping, YANG Yan-pu, WANG Shu-xia. Research on the Optimization Design of Fire Truck Equipment Layout Based on Ergonomics [J]. Journal of Graphics, 2012, 33(5): 109-113.
- [7] 马加齐. 协同产品创新中概念设计过程建模及关键技术研究[M]. 北京: 知识产权出版社, 2018.
- MA Jia-qi. Research on Conceptual Design Process Modeling and Key Technologies in Collaborative Product Innovation[M]. Beijing: Intellectual Property Press, 2018.
- [8] XIAO-Li WU, CHEN H J, ZHUANG K, et al. Design and Analysis of Bike Based on Function Analysis System Technique Method[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013.
- [9] 陈晨, 孙志学, 张乐. FAST 法在家用智能固体有机废弃物处理机概念设计中的应用[J]. 机械设计, 2017, 34(1): 110-113.
- CHEN Chen, SUN Zhi-xue, ZHANG Le. Application of FAST Method in the Conceptual Design of Household Intelligent Solid Organic Waste Disposer[J]. Mechanical Design, 2017, 34(1): 110-113.
- [10] 齐浩, 陈净莲. 基于 FAST 法的虫情监测设备设计研究[J]. 工业设计, 2021(2): 53-54.
- QI Hao, CHEN Jing-lian. Research on the Design of Insect Monitoring Equipment Based on FAST Method[J]. Industrial Design, 2021(2): 53-54.
- [11] 杨浩, 王玥然, 刘畅. 基于感性需求分析的单层单厢公交车内饰设计与评估[J]. 装饰, 2018(12): 74-77.
- YANG Hao, WANG Yue-ran, LIU Chang. Design and Evaluation of Single-layer Single-box Bus Interior Design Based on Perceptual Demand Analysis[J]. Decoration, 2018(12): 74-77.
- [12] GUO-NIU ZHU, JIE HU, HONGLIANG REN. A Fuzzy Rough Number-based AHP-TOPSIS for Design Concept Evaluation Under Uncertain Environments[J]. Applied Soft Computing Journal, 2020, 91.
- [13] 徐骁琪, 程永胜, 陈国强. 基于 AHP 法的房车造型评价方法及应用研究[J]. 机械设计, 2020, 37(6): 140-144.
- XU Xiao-qi, CHENG Yong-sheng, CHEN Guo-qiang. Research on the Evaluation Method and Application of Touring Car Model Based on AHP Method[J]. Mechanical Design, 2020, 37(6): 140-144.
- [14] 宋磊, 李鹏玉, 杨卓懿, 等. 基于 AHP 法的游艇造型设计模糊综合评价方法[J]. 船舶工程, 2020, 42(12): 30-34.
- SONG Lei, LI Peng-yu, YANG Zhuo-yi, YU Fu-lin, CHEN Zhe. Fuzzy Comprehensive Evaluation Method for Yacht Modeling Design Based on AHP Method[J]. Ship Engineering, 2020, 42(12): 30-34.
- [15] 焦月. 基于故事板法的移动终端产品交互设计研究[D]. 青岛理工大学, 2018.
- JIAO Yue. Research on Interactive Design of Mobile Terminal Products Based on Storyboard Method[D]. Qingdao Technological University, 2018.