

# 基于 UXM-FAST-AHP 的电力应急救援 设施数字化改造设计

许熠莹<sup>1</sup>, 潘鹏<sup>2</sup>, 潘健<sup>3</sup>, 娄勇坚<sup>4</sup>

(1.嘉兴学院, 浙江 嘉兴 314001; 2.国网温州供电公司, 浙江 温州 352000;  
3.上海策元实业有限公司, 上海 201424; 4.嘉兴南湖学院, 浙江 嘉兴 314001)

**摘要:** 目的 物联网技术与数字化技术的发展催生了对电力应急救援设施管控的数字化改造需求。在这类功能较明确的既定目标产品开发中,更需要降低对子功能评价的主观偏差,理性科学地对各项子功能的重要性程度进行合理评价,并最终指导研发投入。**方法** 以电力应急救援物资数字化入网改造为实践对象,构建 UXM-FAST-AHP 分析模型,运用“原始+预想”用户旅程比对图,分析构筑理想的使用场景,通过功能分析技术搭建目标功能架构,在子功能集束的基础上,利用成对比较矩阵和层次分析法,降低主观评价偏差,分析各子功能的重要性程度,继而指导设计与研发投入。**结论** UXM-FAST-AHP 分析模型在既定目标产品的研发过程中也能实现清晰可靠的逻辑分析,有效地帮助既定目标产品开发过程中设计重点的梳理与评估。

**关键词:** 应急救援设施; 既定目标产品; UXM; FAST; AHP

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)06-0178-10

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.06.019

## Digital Reconstruction Design of Electric Power Emergency Rescue Facilities Based on UXM-FAST-AHP

XU Yi-ying<sup>1</sup>, PAN Peng<sup>2</sup>, PAN Jian<sup>3</sup>, LOU Yong-jian<sup>4</sup>

(1.Jiaxing University, Zhejiang Jiaxing 314001, China; 2.State Grid Wenzhou Electric Power Co., Ltd., Zhejiang Wenzhou 352000, China; 3.Shanghai Ceyuan Industrial Co., Ltd., Shanghai 201424, China;  
4.Jiaxing Nanhu University, Zhejiang Jiaxing 314001, China)

**ABSTRACT:** The development of Internet of things technology and digital technology has spawned the demand for digital transformation of electric power emergency rescue facility management and control. In the development of such targeted products with clear functions, it is more necessary to reduce the subjective deviation of sub-function evaluation, rationally and scientifically evaluate the importance of each sub-function, and finally guide the R & D investment. With the digital network access transformation of electric power emergency rescue facilities as the practice object, the UXM-FAST-AHP analysis model was built. The ideal use scenario was analyzed and built with the "original + expected" user journey comparison diagram. The target function structure was built through the function analysis technology. And the subjective evaluation deviation was reduced through the pairwise comparison matrix and analytic hierarchy process based on sub-function clustering. The importance of each sub-function was analyzed, and then guided to design and investment. The UXM-FAST-AHP analysis model can also realize clear and reliable logical analysis in the R & D process of

收稿日期: 2022-10-26

基金项目: 国网浙江省电力有限公司科技项目 (B311WZ22000A); 浙江省 2021-2022 年度产教融合“五个一批”产学研合作协同育人项目; 嘉兴学院教改项目 (85152222); 嘉兴学院时尚产业产教融合省级培育项目 (002CD1904-3-101, 002CD1904-11-2018111)

作者简介: 许熠莹 (1982—), 女, 讲师, 主要研究方向为工业设计。

通信作者: 娄勇坚 (1972—), 男, 讲师, 主要研究方向为产品结构 with 工程。

the established target products, and effectively help sort out and evaluate the design focus in development of the established target products.

**KEY WORDS:** emergency rescue facilities; established target products; UXM; FAST; AHP

浙江省地处我国东南沿海,属经济发达地区,但所处的地理气象环境极为复杂,东临太平洋、境内多山区,台风、强降雨等非常规自然灾害频发。在洪水、台风、冰雪、地震等重大自然灾害面前,往往灾害现场基础设施损坏严重<sup>[1]</sup>,电力应急抢修作业则面临着现场救援维修点多、空间范围广、救援时间紧迫、救援物资设备调度依赖人工等困难。与此同时,应急管理现代化要求数字化发展<sup>[2]</sup>不断更新、升级,党的十九届五中全会更是明确提出了“坚定不移建设数字中国,加快数字化发展”的战略要求,应急管理数字化转型成为时代的迫切需要<sup>[3]</sup>。

为此,国网温州供电公司提出了数字化救援系统方向的研究课题,希望以前线救援指挥车为载体,利用无线自组网技术搭建“空地”一体化应急救援平台,实现一张图指挥调度,一张网信息交互,一体化应急响应的数字化前线移动指挥体系。其中无线自组网是由一组带有无线收发装置的移动终端组成的多跳临时性自治系统<sup>[4]</sup>,能有效实现网络拓展或无线中继<sup>[5]</sup>。

这就要求对其中的救援设施进行数字化改造,通过无线联网将救援设施的电量、位置信息及时自测并上报,实现移动指挥中心对救援设施的远程管控与调度,提升电力应急救援能力,提高应急救援处置的工作效率。电力应急救援设施的数字化改造设计是特殊需求下的特定产品研发,属于既定目标产品的研发设计,不同于概念设计(通过对广泛需求进行比对筛选导出目标功能的设计),它是在功能目标和成本基本明确的前提下,权衡各项子功能的重要性,继而指导产品研发的投入。

## 1 UXM-FAST-AHP 分析设计模型概述

### 1.1 UXM、FAST、AHP 介绍

UXM (User Experience Map) 用户体验地图,是一种从用户角度出发,将使用者、产品、服务、系统之间复杂的交互关系与使用者的使用体验用可视化的工具进行展现,并从中分析发现问题,寻求问题原因的一种有效的逻辑分析方法。它从典型使用者个体出发,借助逻辑过程、情绪体验等可视化图形,来研究用户行为与感受,揭示人、事、物、系统(服务)之间的关系<sup>[6]</sup>。

FAST (Functional Analysis System Technology) 功能分析系统技术法,是一种用于定义、分析和理解产品功能,确定功能之间关系,关注重要功能,从而增加产品价值的系统分析方法<sup>[7]</sup>。该系统分析方法遵循自顶向下的分析顺序<sup>[8]</sup>,能够将总功能需求进行逐

层分解,化解到更细致的各项子功能中,由此能对复杂的功能进行逻辑清晰地梳理、分析和挖掘。FSAT 实践分析法是指借助 FAST 功能树<sup>[9]</sup>,以产品的基本功能为目标,以“HOW-WHY”的思考逻辑搭建产品功能系统,分析产品各项功能与各功能之间的主次关系。

AHP (Analytic Hierarchy Process) 层次分析法,是美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代初提出的一种基于层次权重的决策分析法<sup>[10-11]</sup>,以由两两相互对比的定性分析数据构成的成对比较矩阵为基础,利用层次分析模型分析多层次复杂系统中各因素之间的重要性程度,并由一致性检验来确保定性分析数据的可靠性。其两两相互对比的定性分析中通过各子功能之间的互比,能较好地避免在子功能评价中的主观性偏袒。在分别评价各子一级功能下的子二级功能之间的重要性程度的同时,还可以综合评价所有子二级功能之间的重要性程度。这种通过两层级,甚至是多层级的评价模型能对复杂产品系统的众多子功能的综合评估起到有效的作用。

近年来层次分析法、FAST 功能分析技术在概念设计中多有运用,在此基础上通过结合用户行为研究构建的系统、逻辑、理性的设计研究方法,为产品概念创新设计提供了有依可循的路径。其中宋端树等<sup>[12]</sup>在 2019 年提出的基于 AHP-FAST 的产品概念创新设计模式为此前的 FAST 功能分析结果的重要性层次化分析提供了方法。刘付勤等<sup>[13]</sup>在城市消防车概念设计中验证了该方法的有效性。周橙旻等<sup>[7]</sup>在 AHP-FAST 的产品概念创新设计模式的基础上融入了用户行为旅程的研究方法,使该模型更加完善。在对 AHP、FAST、UXM 组合的运用与研究中发现,这一组合在运用于概念产品设计研发的同时,也能通过调整组合结构运用于功能目标明确、受开发成本限制的既定目标产品的子功能重要性研究中,继而指导有限资源的分配。

### 1.2 既定目标产品与 UXM-FAST-AHP 分析模型

所谓既定目标产品可以理解为:因技术更新或特殊的功能目标/使用场景/制造工艺/运输条件等需求下,对产品的功能、成本、制造等因素有明确的目标指向。当既定目标产品的功能目标唯一时,可直接聚焦于目标功能进行设计研发,但当既定目标产品的目标功能由多层次复杂因素构成时,就需要对产品功能进行层次化权衡,从而更好地进行资源分配。

在概念设计中分析是从原始需求开始的,层次化的权重分析主要是围绕调查收集获得的需求来展开的。而在既定目标产品设计中功能目标已初步确定,

分析的对象不再是原始的需求,因此,现有的 B-AHP-FAST、AHP-FAST 的分析模型就不再适用于这种开发场景。在以用户行为和情感体验研究为基础的原始 UXM 上,构建以既定目标产品为导向的全新的使用模式;以 FAST 搭建新的产品功能层次分析架构,再经过 AHP 的层次化、权重化分析,得到既定目标产品的各项子功能的重要性程度。这样的 UXM-FAST-AHP 分析模型能有效地梳理复杂系统中的各项子功能的重要性等级,继而指导有限资源的有效投入,总流程框架如图 1。

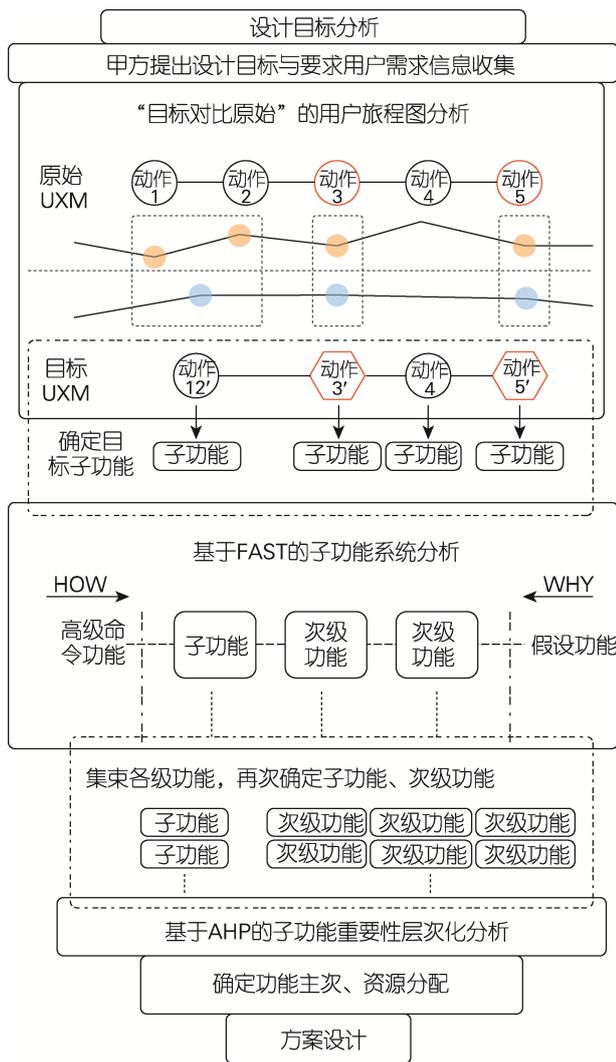


图 1 UXM-FAST-AHP 分析设计模型  
Fig.1 UXM-FAST-AHP analysis and design model

## 2 UXM-FAST-AHP 分析设计模型的研究方法与流程

### 2.1 “目标对比原始”的 UXM

常用的用户体验地图只针对用户原始使用的过程进行分析,通过绘图分析发现情绪体验低点,挖掘

痛点和机会点。“目标对比原始”UXM (如图 2) 在常规用户体验地图的基础上增加了目标产品条件,对用户使用过程进行预想与构建,并预设目标条件下用户的使用体验。针对痛点与机会点梳理目标产品的功能逻辑与功能设定,利用情绪体验调整功能到最理想的状态。该方法一方面能通过对照用户情绪体验波动验证目标功能设定的合理性,另一方面也能检验目标功能设置的逻辑是否通顺,以进一步调整功能细节。此阶段输出的目标产品的预设子功能,是下一阶段功能层次化分析的输入。

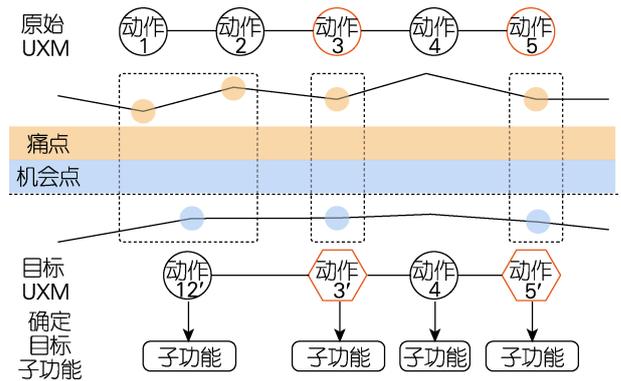


图 2 “目标对比原始”的 UXM  
Fig.2 "Target vs. Original" UXM

### 2.2 FAST 功能层次化分析与功能集束

在既定目标产品的功能逻辑基本确定的基础上,依据对目标产品的子功能预设,以树状图的形式对目标产品的功能进行 FAST 层次化分析。首先,依据各条子功能尽可能详细地分析绘制子一级、子二级功能分解图 (如图 3); 然后在此基础上,依据功能相近、硬件可集成的原则对子一级功能、子二级进行功能集束,降低系统的复杂程度 (如图 4)。集束后得到的子一级、子二级功能作为下一步层次化权重分析的输入。

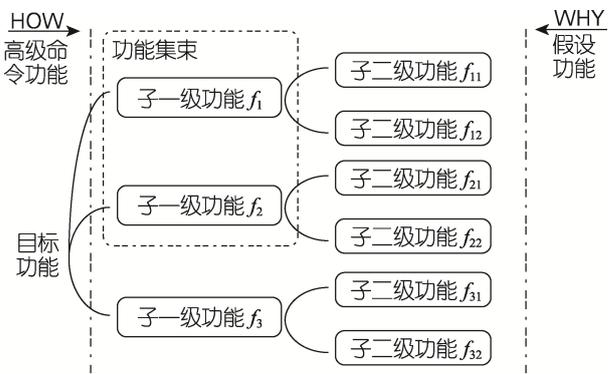


图 3 FAST 功能层次化分析模型  
Fig.3 Fast function hierarchical analysis model

### 2.3 AHP 层次化权重分析

AHP 层次化权重分析的优势在于对复杂问题进

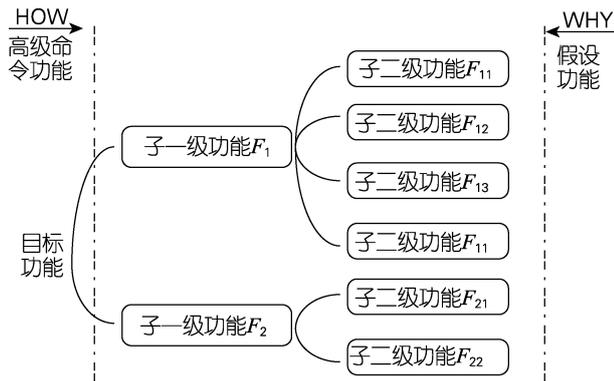


图 4 FAST 功能集束  
Fig.4 Fast function cluster

行逐层、分支、综合性的系统化分析, 分析逻辑清晰, 分析结果明了, 对设计展开能给予明确的指导建议。因此, 首先是对子一级功能进行 AHP 分析得到其权重比较, 然后对各子二级功能进行 AHP 分析得到各子一级功能下的子二级功能的权重关系, 再综合子一级层功能权重对所有子二级功能进行综合权重比较, 得到各子项功能的重要性关系。

### 2.3.1 构建判断矩阵

构建子一级、子二级功能两两比较的判断矩阵, 并用表 1<sup>[12]</sup>中的标度进行量化, 得到判断矩阵  $A=(a_{ij})_{n \times n}$ , 其中  $a_{ij}=1/a_{ji}$ 。

表 1 判断标度量化值及意义

Tab.1 Judgment scale quantization value and significance

1	3	5	7	9
前者与后者影响力相同	前者比后者影响力稍强	前者比后者影响力强	前者比后者影响力明显强	前者比后者影响力绝对强

### 2.3.2 运用列向量平均值法计算权重

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

在经过一致性检验后, 可以此来判断各级子功能之间的重要性比较关系<sup>[12]</sup>。

### 2.3.3 对判断矩阵进行一致性检验

运用简便算法(和积法)计算特征向量与最大特征值, 并利用 CR 值来检验判断矩阵的一致性。和积法具体步骤为: 将判断矩阵的每一列元素进行归一化处理; 将经过归一化处理后的判断矩阵按行相加。

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$w'_i = \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad (3)$$

最后, 对向量  $W' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_n)^T$  进行归一化处理。

$$w_i = \frac{w'_i}{\sum_{i=1}^n w'_i} \quad (4)$$

得到的  $W = (w_1, w_1, \dots, w_n)^T$  即为所求特征向量的近似值:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{AW}{w_i} \quad (5)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

式中,  $n$  为矩阵阶数。RI 为平均随机一致性指标, 取值见表 2。当  $CR < 0.10$  时, 认为判断矩阵通过一致性检验<sup>[14]</sup>。

表 2 1-9 阶判断矩阵的随机一致性指标  
Tab.2 Random consistency indicators of the 1-9 order judgment matrix

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

### 2.3.4 计算子二级功能综合权重并排序

各子二级权重乘以对应子一级权重值, 获得子二级功能综合权重, 并根据综合权重值进行排序。总排序的一致性检验公式如下:

$$CR = (W_{i1}CI_1 + W_{i2}CI_2 + \dots + W_{im}CI_m) / (W_{i1}RI_1 + W_{i2}RI_2 + \dots + W_{im}RI_m) \quad (8)$$

## 3 基于 UXM-FAST-AHP 的电力应急救援设施功能分析与数字化改造设计

### 3.1 电力应急救援设施的特点

救援设施与物资是应急救援中的重要辅助, 消防、地震、电力、水利、卫生等不同部门的救援设施与物资各有其特点。电力系统救灾支援的重点应突出应急电力供给的优势, 因此, 其重点应着力于电力的临时充供补给。而临时电力供给具有会耗尽、需补充的特点, 这使得电力供给的精准高效管理成为电力应急救援的重难点。如何为救灾现场提供不间断的电力供应, 有效维护供电设备的电量续充呢? 在网络保障的前提下, 运用物联网技术进行数字化管理, 可以实现对救援设施的精准高效管控。

课题组最终聚焦于应急电能源包、应急救援灯、应急救援包三个研发切入点, 研究电力救援辅助设施的无线数字化改造设计, 实现高效管控与调度。

### 3.2 电力应急救援设施的使用 UXM

以电力应急救援人员为目标用户群体，以自然灾害条件下电力中断，并由此导致的公网通讯中断的情景为使用场景。通过需求甲方、电力救援队、通讯与产品技术专家的调查研判，运用 UXM-用户体验地图针对救援人员、救援行为、情绪体验、痛点和机会点梳理了现有应急救援过程中救援设施的调度过程。通过对情绪低点的观察思考，发现使用痛点集中在收发过程中的记录管理、使用过程中的低电/断供、寻回救援设施的盲目、充电管理的无序等四个方面。

在公网或临时自组网保持正常网络通讯的前提下，引入信息与智能化技术实现对救援设施信息化、数字化管控的设计目标。在原用户体验图的下方，增加数字化改造后电力应急救援人员使用救援设施的行为流程与情绪体验预期变化，如图 5。通过“原始+目标”对比式 UXM 发现引入信息与智能化管理技术，减少了人的重复且必要的简单工作行为 5 个，在 6 个需要决策的任务点提供必要的决策辅助信息，可使原始行为中的情绪低点得到改善。这也意味着在救援现场，调用者在紧急的情况下能更高效、更准确地判断设施的状况，从而更有效地调配和管理。

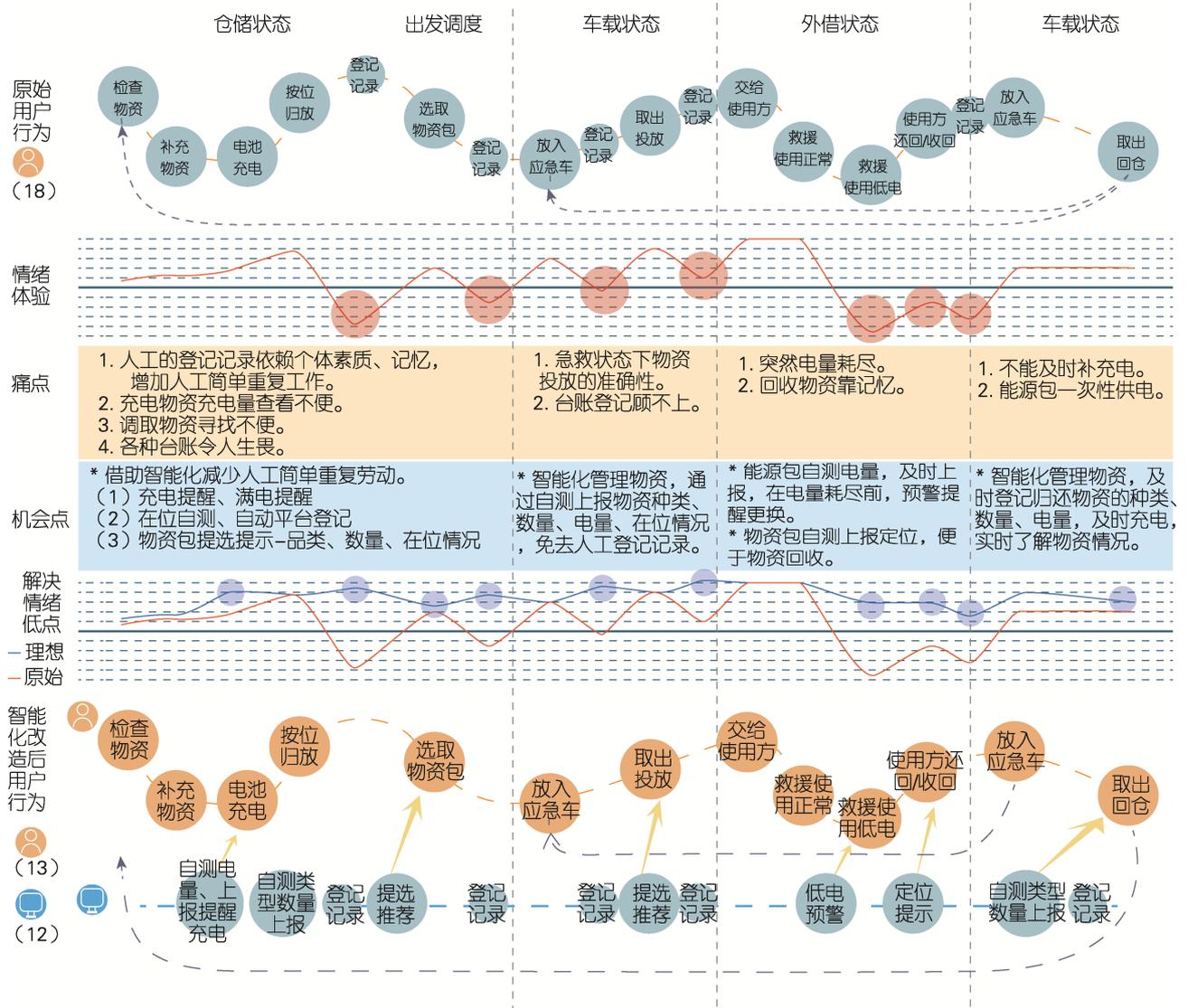


图 5 电力应急救援人员使用救援设施用户体验地图 (UXM)  
Fig.5 UXM of electric power emergency rescue personnel using rescue facilities

### 3.3 电力应急救援设施 FAST 功能层次化分析与功能集束

首先，根据 UXM 对比图中数字化改造后建构的用户行为，尽可能细致地，按照功能层次等级，对可

移动无线通讯救援设施进行功能层次化分析 (FAST 分析)，见图 6。在分析过程中运用“HOW-怎样完成”和“WHY-为何如此”的提问来辅助思考功能层次的建构。根据课题要求与 FAST 分析，救援设施实现数字化改造包括“1+3”的软硬件架构体系：“1”



是一个可移动的救援物资管控平台,它要保持在各种紧急情况下的网络畅通,并能发送信息采集指令、接收反馈数据信息。“3”是三类车载受管控的救援设施,主要包括应急电能源包、应急照明灯、应急救援包。在各种紧急情况下保持联网,在接收指令后能进行电量、位置的自测与电量位置信息的上报,由此实现救援设施的高效管控与调度。

详细的 FAST 分析涉及产品/系统的各个方面与细节,虽然全面,但不利于对功能重要性进行进一步的分析。因此,在功能细分的构建基础上,依据“是否可以在一个硬件模块上完成这两项功

能?”“是否在操作中具有逻辑顺序?”“是否在使用上具有相似性?”三个方面的判断对子功能进行集束,减少子功能的项目,降低功能权重分析的复杂程度,减少功能权重分析中的干扰。电力应急救援设施功能集束如图7所示。由于软件平台在项目中作为一个嵌入模块合并到可移动应急指挥平台的设计开发时,在集束后被归入软件模块,因此,留下进行比较分析的是应急能源包、应急照明辅助与应急救援包三类硬件产品。通过集束可以更清晰地看到其各项主要功能的分布,以及与功能相对应的产品硬件。

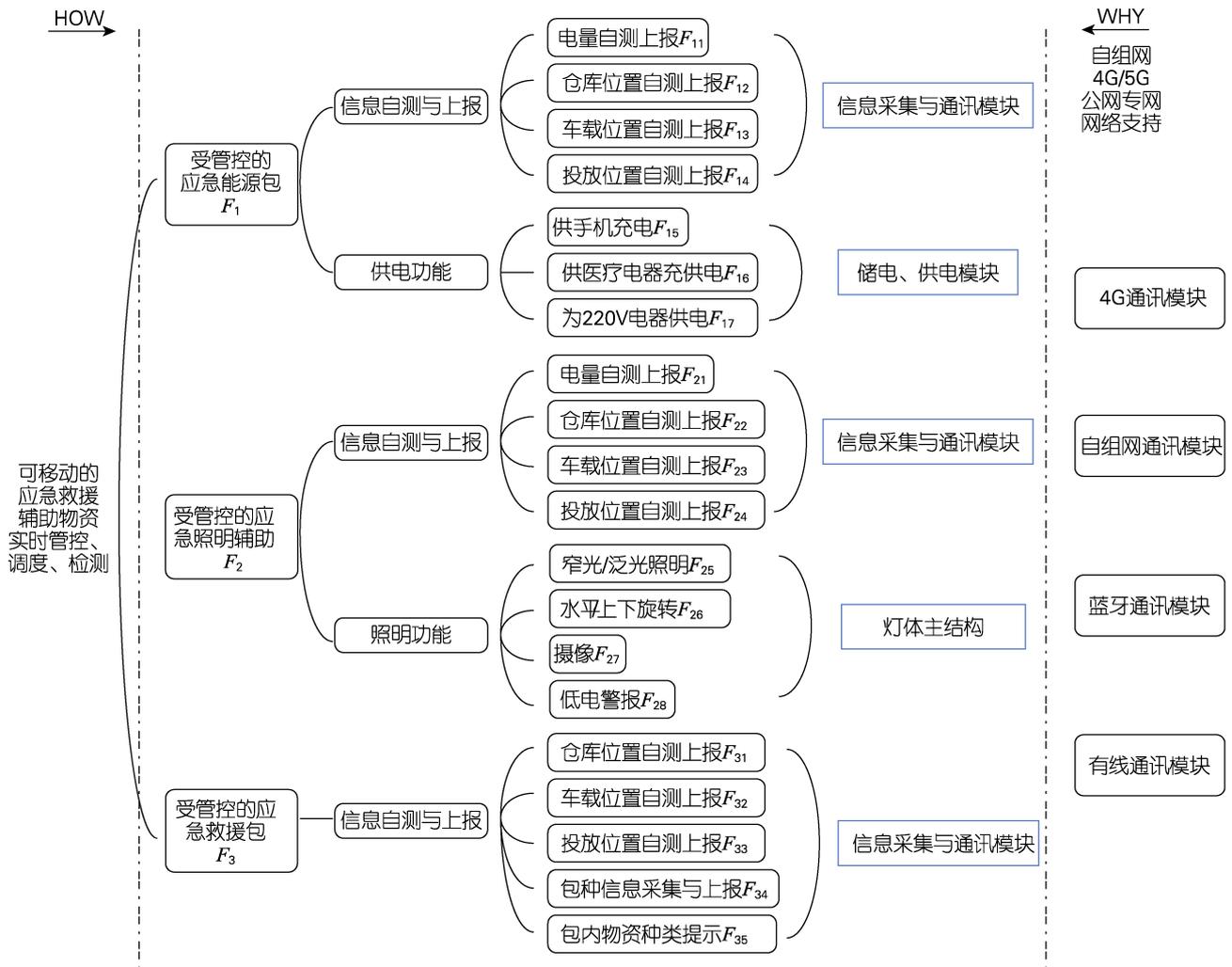


图7 电力应急救援设施 FAST 功能集束  
Fig.7 FAST cluster of electric power emergency rescue facilities

### 3.4 可移动无线通讯救援辅助设施 AHP 层次化权重分析

根据项目要求,除去明显次要的功能后,进入AHP层次化权重分析范围的主要包括:电力系统应急救援车的三种车载救援设施需求程度(A-子一级)、电能源包功能的重要性程度分析(B-子二级)、救援包功能的重要性程度分析(C-子二级)、应急照明灯

功能的重要性程度分析(D-子二级)。

分别对四个分析对象进行功能两两比较判断矩阵的构建。邀请需求甲方、电力救援队、通讯与产品技术专家进行综合研判,得出两两比较判断矩阵,并运用列向量平均值法求得各子功能的权重,运用和积法计算特征向量与最大特征值,借助RI对判断矩阵的一致性进行检验,验证数据的有效性。四组判断矩阵、权重分析与一致性检验如表3—6。

表 3 三种车载救援设施需求两两比较矩阵、权重分析与一致性检验

Tab.3 Pairwise comparison matrix, weight analysis and consistency test of three on-board rescue facilities requirements

需求	$F_1$	$F_2$	$F_3$	权重值	$AW$	特征值	$CI$	$CR$	一致性检验
$F_1$	1	2	3	0.538 96	1.624 82				
$F_2$	1/2	1	2	0.297 26	0.894 30	3.009 21	0.004 60	0.007 94	$CR < 0.1$
$F_3$	1/3	1/2	1	0.163 78	0.492 06				

表 4 电能源包的子功能两两比较矩阵、权重分析与一致性检验

Tab.4 Sub-function pairwise comparison matrix, weight analysis and consistency test of electric energy package

子功能	$F_{11}$	$F_{12}$	$F_{13}$	$F_{14}$	$F_{15}$	$F_{16}$	$F_{17}$	权重值	$W$	特征值	$CI$	$CR$	一致性检验
$F_{11}$	1	7	5	1	1	5	7	0.247 08	2.002 79				
$F_{12}$	1/7	1	1/2	1/7	1/9	1/5	1/5	0.024 86	0.177 76				
$F_{13}$	1/5	2	1	1/7	1/7	1/5		0.039 07	0.284 21				
$F_{14}$	1	7	7	1	1	5	7	0.257 87	2.080 93	7.704 24	0.11737	0.08892	$CR < 0.1$
$F_{15}$	1	9	7	1	1	7	7	0.281 16	2.333 04				
$F_{16}$	1/5	5	5	1/5	1/7	1	5	0.101 20	0.805 81				
$F_{17}$	1/7	5	1	1/7	1/7	1/5	1	0.048 76	0.344 67				

表 5 应急照明灯的子功能两两比较矩阵、权重分析与一致性检验

Tab.5 Sub-function pairwise comparison matrix, weight analysis and consistency test of emergency light

子功能	$F_{21}$	$F_{22}$	$F_{23}$	$F_{24}$	$F_{25}$	$F_{26}$	$F_{27}$	$F_{28}$	权重值	$AW$	特征值	$CI$	$CR$	一致性检验
$F_{21}$	1	9	7	1	1	3	3	1	0.200 15	1.711 90				
$F_{22}$	1/9	1	1/3	1/7	1/5	1/3	1/5	1/9	0.022 27	0.182 74				
$F_{23}$	1/7	3	1	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	0.038 94	0.314 18				
$F_{24}$	1	7	5	1	1	3	3	1	0.185 68	1.589 46	8.486 14	0.069 45	0.049 25	$CR < 0.1$
$F_{25}$	1	5	3	1	1	5	3	1	0.183 30	1.581 90				
$F_{26}$	1/3	3	3	1/3	1/5	1	1/3	1/5	0.057 44	0.481 14				
$F_{27}$	1/3	5	5	1/3	1/3	3	1	1/5	0.092 59	0.804 62				
$F_{28}$	1	9	5	1	1	5	5	1	0.219 62	1.934 06				

表 6 救援包的子功能两两比较矩阵、权重分析与一致性检验

Tab.6 Sub-function pairwise comparison matrix, weight analysis and consistency test of rescue package

子功能	$F_{31}$	$F_{32}$	$F_{33}$	$F_{34}$	$F_{35}$	权重值	$AW$	特征值	$CI$	$CR$	一致性检验
$F_{31}$	1	1/5	1/7	1/5	1/3	0.042 40	0.217 77				
$F_{32}$	5	1	1/3	1	1	0.159 29	0.823 16				
$F_{33}$	7	3	1	5	7	0.519 65	2.890 83	5.280 73	0.070 18	0.062 66	$CR < 0.1$
$F_{34}$	5	1	1/5	1	3	0.177 06	0.957 08				
$F_{35}$	3	1	1/7	1/3	1	0.101 60	0.521 34				

通过对子二级功能的两两比较,基本能看出各子功能下的子二级功能的重要性排序,这为单个类别产品在开发过程中的资源分配提供了依据。继续将子二级功能权重结合子一级权重进一步综合分析所有子二级功能之间的重要性等级并进行排序,如表 7。计算总排序的一致性检验  $CR=0.073\ 65 < 0.1$ ,说明数据有效。

依据分析结果,遴选前 25%的功能要素,应急能源包的“供手机充电”“投放位置自测上报”“电量自测上报”,应急救援包的“投放位置自测上报”,

应急救援灯的“低电警报”等救援设施电量、定位管理与手机充电使用需求被认为是最重要的 5 项功能。对应的软硬件模块包括:充电接口、定位模块、测电模块、通讯模块等硬件模块,以及一个可链接到中央控制平台的、三种救援设施可通用的软件模块。鉴于此,在产品初步研发成本为 25 万的限制条件下,将智能硬件与软件模块的研发成本预算调整为本项目核心研发的主要开支,并在定位、测电、通讯模块开发中选择效率高、性能稳定的电器元件,在其他部件的开发中尽可能降低开发成本。

表7 各子功能之间的重要性排序  
Tab.7 Importance ranking among sub-functions

子一级功能及权重	子二级功能	子二级功能权重	综合权重	排序
$F_1$ (0.538 96)	$F_{11}$	0.247 08	0.133 17	3
	$F_{12}$	0.024 86	0.013 40	17
	$F_{13}$	0.039 07	0.021 06	14
	$F_{14}$	0.257 87	0.138 98	2
	$F_{15}$	0.281 16	0.151 54	1
	$F_{16}$	0.101 20	0.054 54	8
	$F_{17}$	0.048 76	0.026 28	12
$F_2$ (0.297 26)	$F_{21}$	0.200 15	0.059 50	6
	$F_{22}$	0.022 27	0.006 62	20
	$F_{23}$	0.038 94	0.011 58	18
	$F_{24}$	0.185 68	0.055 19	7
	$F_{25}$	0.183 30	0.054 49	9
	$F_{26}$	0.057 44	0.017 07	15
	$F_{27}$	0.092 59	0.027 52	11
	$F_{28}$	0.219 62	0.065 28	5
$F_3$ (0.163 78)	$F_{31}$	0.042 40	0.006 94	19
	$F_{32}$	0.159 29	0.026 09	13
	$F_{33}$	0.519 65	0.085 11	4
	$F_{34}$	0.177 06	0.029 00	10
	$F_{35}$	0.101 60	0.016 64	16

### 3.5 电力应急救援设施设计

#### 3.5.1 自测通信模块与三种救援设施的整合设计分析

应急电能源包、救援灯、救援包都为目前市面上已有且较为成熟的产品，在对其进行无线通讯与数字化管控改造中，将自测与通讯功能以模块化的方式进行集成最为适合。根据重要性权重分析的结果，将测电、定位、通讯作为主要核心因素，对该模块进行分析，如图8，考虑到资金与人力的最优优化组合，在三种不同的救援设施中将测电、定位、通讯模块的电器元件和同源的程序代码归到同一自

测通信模块。

由于三种救援设施的使用场景不尽相同，自测通信模块集成的方式也有所不同。应急电能源包考虑产品的整体性要求，自测通信模块需要与电池组进行模块化集成，采用嵌入式模块的方式与现有的电能源包形成一个完整的形体，设计中还要充分考虑用户对手机充电的需求。应急救援灯因其整体电路控制与密封性的需求，该模块需要与救援灯原有的电路与控制器进行整合。应急救援包种类多、更换频率高，综合考虑成本与使用的便利性，自测通信模块不适合直接集成在包内，因而将其作为独立外置设备实行统一管

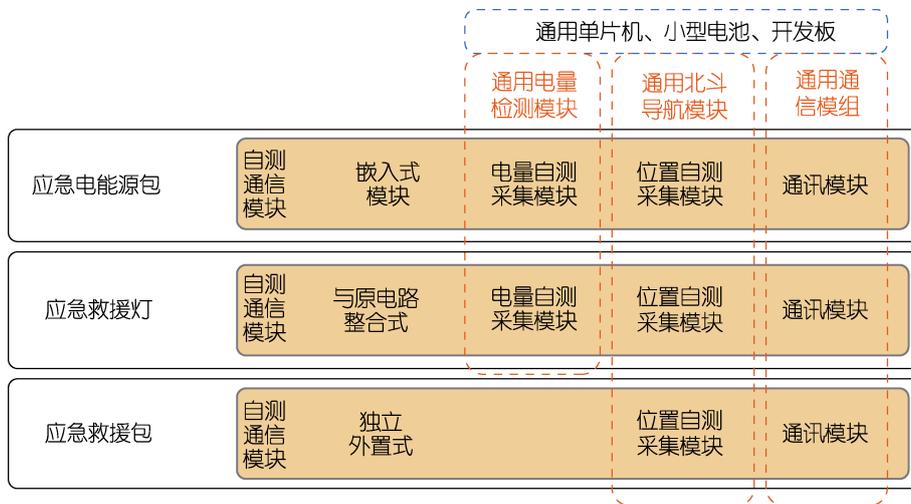


图8 三种救援设施的自测通信模块分析

Fig.8 Analysis of self-test communication module of three kinds of rescue facilities

理, 在调用时再配置到救援包中。

### 3.5.2 应急电能源包设计提案

基于 UXM-FAST-AHP 系统分析结果, 该项目主要集中于智能硬件与软件模块开发, 在产品壳体开

发中需尽可能降低成本。最终, 确定选择以现有应急照明灯外箱为产品外壳进行改造设计, 并合理设置充电接口与测电、通讯功能, 应急电能源包设计方案如图 9。



图 9 应急电能源包设计方案  
Fig.9 Design scheme of emergency electric energy package

## 4 结语

针对具有一定复杂性的既定目标产品的设计, 构建 UXM-FAST-AHP 分析模型, 从“目标对比原始”用户旅程 UXM 中梳理既定目标的细化功能与流程, 能更有效地检验目标功能的必要性和逻辑的合理性, 从而进行优化; 在 FAST 中搭建目标功能架构, 并通过功能集束获得需要评价的各层功能, 既能尽可能仔细地梳理产品的功能, 又能对复杂系统进行对应制造的合理简化; 利用 AHP 分析法能实现在降低主观评价偏差的基础上, 分析各层功能的重要性程度, 继而指导设计与研发投入。通过实践验证了 UXM-FAST-AHP 分析模型在既定目标产品的设计分析阶段具有较好的可实施性。

物联网与数字化技术的发展为应急救援革新带来了新的可能性, 电力应急救援设施的数字化改造还只是基础层面的改进, 应急救援中的数字化改造还有很多值得探究的领域。此外, 本文在 AHP 对结果评估和优选的深入运用方面尚有不足, 还值得进一步研究与尝试。

### 参考文献:

[1] 张学华, 王捷, 范春波, 等. 基于北斗与移动互联网

的应急救援系统设计[J]. 消防科学与技术, 2017, 36(6): 813-816.

ZHANG Xue-hua, WANG Jie, FAN Chun-bo, et al. Design of Emergency Rescue System Based on BDS and Mobile Internet[J]. Fire Science and Technology, 2017, 36(6): 813-816.

[2] 马兴瑞. 加快数字化发展[J]. 智慧中国, 2021(S1): 40-43.

MA Xing-rui. Accelerate the Development of Digitalization[J]. Wisdom China, 2021(S1): 40-43.

[3] 王佳. 论数字化防汛应急管理的挑战与对策——以浙江省为例[J]. 现代管理, 2021(8): 833-838.

JIA wang. On the Challenges and Countermeasures of Digital Flood Control Emergency Management—Taking Zhejiang Province as an Example[J]. Modern Management, 2021(8): 833-838.

[4] MACKER J P, CORSON M S. Mobile Ad Hoc Networking and the IETF[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 1998, 2(3): 7-9.

[5] 王方伟, 张运凯, 丁振国, 等. 无线自组网的拓扑控制策略研究进展[J]. 计算机科学, 2007, 34(10): 70-73. WANG Fang-wei, ZHANG Yun-kai, DING Zhen-guo, et al. Research Development of Topology Control Strategies for Wireless Ad Hoc Networks[J]. Computer Science, 2007, 34(10): 70-73.

(下转第 204 页)