

doi: 10.7690/bgzd.2024.08.013

基于 DoDAF 的反无人机装备体系结构建模

唐召胜

(四川九洲电器集团有限责任公司国防先进技术研究院, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对当前反无人机作战研究热点, 以要地反无人机装备体系需求分析为输入, 基于美国国防部体系结构框架 (department of defense architecture framework, DoDAF) 标准, 采用基于模型的体系架构 (model-based systems engineering, MBSE) 设计方法, 构建反无人机装备体系, 完成体系结构建模和方法设计, 选取典型作战视角和系统视角描述模型, 给出较为全面、直观的反无人机装备体系顶层概念框架, 可为未来反无人机作战及装备发展提供思路与借鉴。

关键词: 反无人机; DoDAF; 要地防护; 装备体系; 建模

中图分类号: V279; E926 **文献标志码:** A

Architecture Modeling of Anti-UAV Equipment Based on DoDAF

Tang Zhaosheng

(Research Institute of National Defense Advanced Technology, Sichuan Jiuzhou Electronic Group Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract: Based on the department of defense architecture framework (DoDAF) standard, this paper focuses on the current research hotspots of anti-UAV operations, and takes the requirements analysis of anti-UAV equipment system in key areas as the input. The model-based architecture (based systems engineering, MBSE) design method is used to construct the anti-UAV equipment system, complete the architecture modeling and method design, and select the typical combat perspective and system perspective to describe the model. A comprehensive and intuitive top-level conceptual framework of anti-UAV equipment system is given, which can provide ideas and references for future anti-UAV operations and equipment development.

Keywords: anti-UAV; DoDAF; strategic defense; equipment system; modeling

0 引言

现代信息、通信技术不断进步, 带动无人机产业飞速发展并广泛应用。在民用领域, 无人机可实现地形测绘、电力巡线及拍照等功能, 但同时不规范的无人机应用也给航空安全、民生安全等带来影响。在军事领域, 无人机可执行各种侦察、火力引导、目标打击等作战任务, 特别是各种低慢小无人机, 具有机动灵活、突发隐蔽、成本低廉等特点, 已经成为战场上的重要袭扰手段。最近俄乌冲突中各类无人机在战场发挥了重要的作用。为应对无人机带来的各种威胁, 近年来, 世界各国纷纷发展各型反无人机作战装备和技术^[1], 但当前反无人机装备发展存在着重设备建设、轻体系研究的特点, 反无人机装备发展纷繁芜杂、缺乏顶层设计、体系化发展能力欠缺^[2]。为此, 参考美国国防部体系结构框架 (DoDAF) 标准 2.0 版, 基于模型的体系架构 (MBSE) 设计方法^[3], 从反无人机装备需求论证出发, 结合典型反无人机应用场景, 开展反无人机装

备体系结构设计, 给出反无人机装备体系的模型构建方法, 并对体系结构模型进行全面描述。

1 装备需求论证

装备需求论证是围绕目标开展需求分析与评估的过程, 是规范论证内容与控制论证质量的重要抓手, 装备需求论证要做到流程规范、灵活, 实现装备需求生成内容、方法、标准等各类论证要素有机融合^[4-5]。

如图 1 所示, 反无人机装备需求论证包括军事需求、装备需求和技术需求 3 方面^[6]。军事需求论证主要是根据反无人机任务目标和总体战略, 结合作战指挥体制、作战编成和战场环境等要素, 论证提出反无人机作战构想、指挥与协同关系、指挥活动、任务编组、作战行动、信息交互关系等, 以及联合作战对反无人机作战功能和能力指标等的要求。装备需求论证主要是围绕军事需求, 结合业务活动, 提出反无人机装备的使命任务、功能要求、

收稿日期: 2024-04-17; 修回日期: 2024-05-12

第一作者: 唐召胜 (1979—), 男, 四川人, 硕士。

信息交互要求、主要战技术指标、能力增量和构型选择等内容。技术需求主要提供反无人机能力发展现状、技术储备和发展趋势，为论证装备功能和能

力指标提供相关技术支持。通过对分类需求进行映射,构成需求深化-装备研制-仿真试验-部队联试的一个迭代闭环回路。

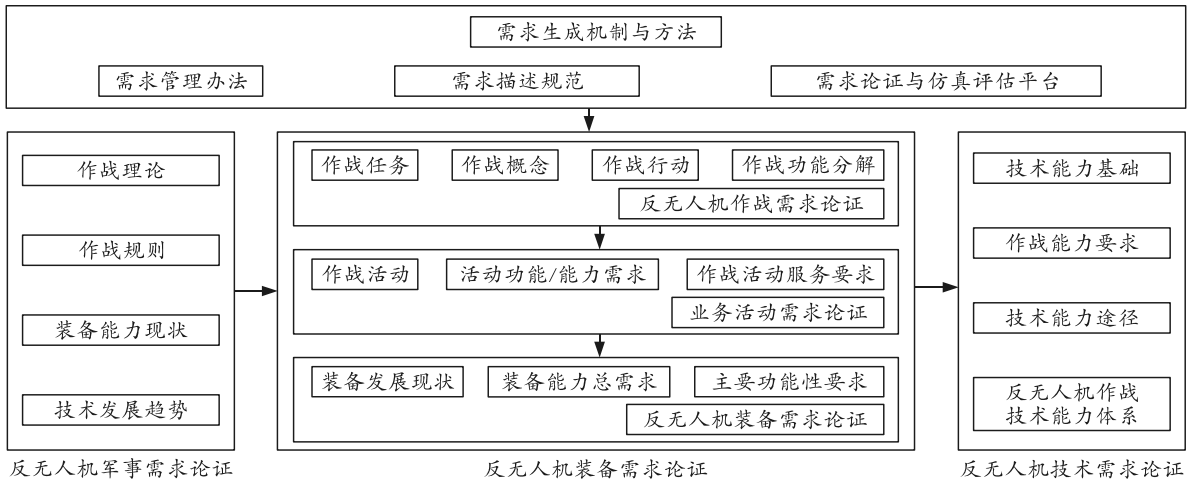


图 1 反无人机装备需求论证过程

2 装备体系结构设计

反无人机装备体系与传统侧重于某单项功能的侦察、电子对抗或火力打击等装备体系相比,涉及的 OODA 作战环要素覆盖更全面。反无人机装备体系设计将紧密围绕作战任务、能力需求、装备构型进行体系结构模型构建,如图 2 所示,基于 MBSE 体系工程设计方法,从需求分析开始,研究作战概念,结合装备能力需求,开展装备体系设计,利用装备体系仿真推演平台,采用建模工具对系统设计中的需求定义、功能分析、逻辑架构、物理架构设计进行仿真推演,将验证结果与装备体系对应,进行迭代演化与优化,反无人机装备体系设计包括需求论证、作战概念设计、体系及系统设计、验证评估等研究阶段。

反无人机装备体系设计满足要素齐全、环境多变,需要明确与反无人机的各作战单元(人员、平台、武器装备)等相互之间的交互关系^[7],形成信息交互

矩阵,梳理集成交链关系。反无人机装备体系设计框如图 3 所示,围绕反无人机使命和作战概念,结合反无人机战略目标,基于典型的反无人机任务,开展反无人机装备体系设计,对反无人机装备体系层次结构、装备运用流程优化、装备运用方法、装备效能评估等展开研究,形成反无人机装备体系解决方案,通过明确装备体系构成、交互关系、运用时序、接口关系及装备指标体系,可指导反无人机装备发展规划。

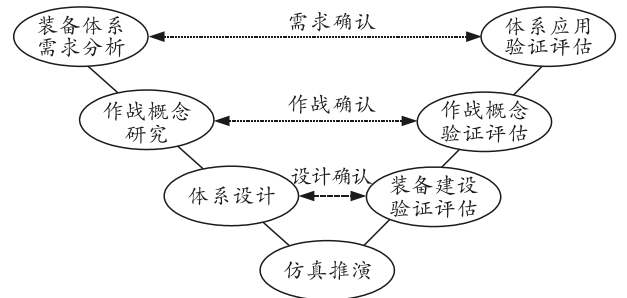


图 2 基于模型的系统工程 (MBSE) 的反无人机装备体系

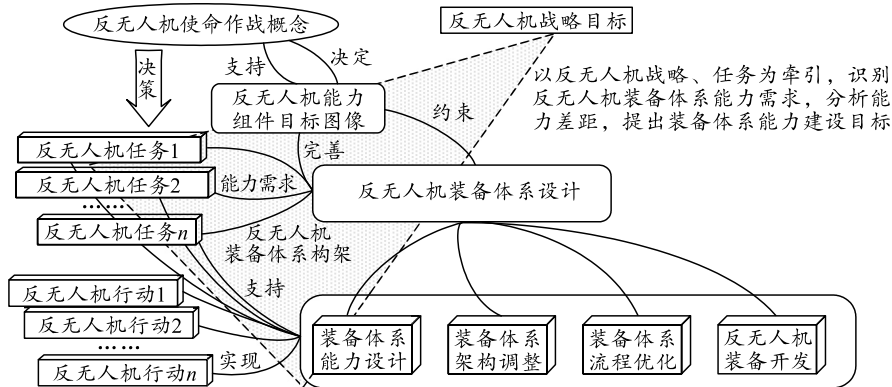


图 3 反无人机装备体系设计总体框架

3 体系结构模型构建及方法

反无人机装备体系模型构建拟选取典型的要地反低慢小无人机的应用场景，基于 DoDAF 标准说明体系分析与建模的主要过程和方法^[8]，从任务需求出发，分析和构建反无人机装备体系不同视角的描述模型、映射关联矩阵，并对构建的体系结构进行验证评估及优化，通过反复迭代、螺旋上升、逐步完善，最终建立反无人机装备体系结构模型。

从体系架构设计角度出发，围绕作战视角、系统视角等描述模型^[9]，建立反无人机装备和作战需要的概念模型，典型步骤包括：1) 构建全景视图 AV-1，描述体系结构设计的背景、目的、限制条件等概要信息；2) 构建 OV 作战视图，描述作战所需的任务与活动、作战要素以及资源流关系；3) 构建 SV 系统视图，确定作战视角模型与系统视角模型映射关系。如图 4 所示。

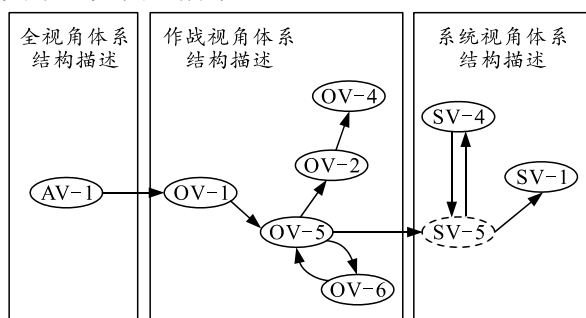


图 4 选取的体系结构视图模型及建模过程

3.1 全视角模型构建

构建概述及摘要信息模型 AV-1，AV-1 提供了对反无人机装备体系结构描述的摘要信息，限定了体系结构构建的范围，提供体系结构构建的背景，定义了体系结构工作过程，从体系结构构建过程中总结发现的成果等提供执行级别的摘要信息。反无人机装备体系 AV-1 概要内容如表 1 所示。

表 1 AV-1 概要具体内容

序号	概要	具体内容
1	背景	想定某要地遭遇敌无人机来袭威胁，指挥所在指挥中心的统一指挥下，通过多种手段，对来袭无人机进行侦察、拦截与处置，保护要地安全，系统的主要作战对象为敌方的无人机
2	目的	规划反无人机作战装备体系建设蓝图，为设计合理的反无装备发展提供指导
3	限制条件	建设过程必须依据反无人机作战部队、武器装备等发展规划，遵循相关条令法规等
4	模型	选取体系结构各视角模型共计 8 个
5	结论	设计方案通过自身评估、专家评审，基本可行

3.2 作战视角模型构建

1) OV-1 高层作战概念图。

OV-1 高层作战概念图支持用户使用图形和文字方式描述高层作战的概念和意图，主要通过图元、图标、图形等可视化建模元素及文字方式直观描述反无人机作战的主要作战样式及行动方式。典型的反无人机作战概念将采用多手段一体联合应对来袭无人机，在无人机侦察方面，将结合雷达、光学、无线电侦察甚至声学等多传感器手段，发现和定位来袭无人机。当对无人机敌我属性、类型或意图进行识别判断后，将采取无线电干扰或低空防空武器等软硬结合的手段处置无人机。所有的行动将在反无人机指挥控制系统的统一指挥下，协同兵力和探测侦察处置手段，实现对无人机的高效处置处理。反无人机作战系统的各个作战单元和作战目标，以及它们之间的信息和数据的交互情况，高层作战概念如图 5 所示。

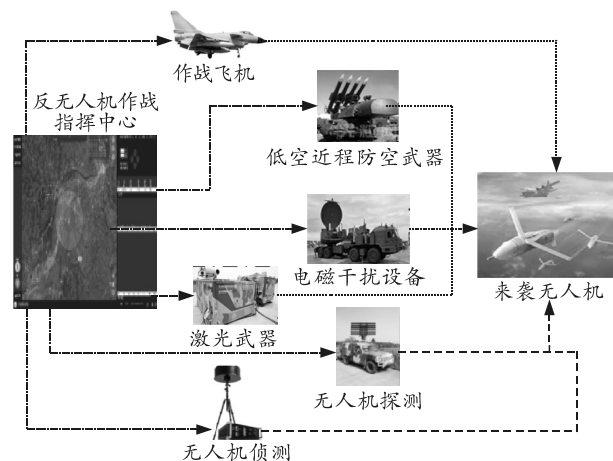


图 5 反无人机 OV-1 高层作战概念

2) OV-2 作战资源流描述。

OV-2 作战资源流描述通过需要线描述作战资源流以及资源将要部署的位置区域。资源流不仅包括信息流，还包括人员和物资流。资源流中的资源是被产出或消耗的数据、信息、执行者、物资或人员类别。OV-2 是用来描述资源流的逻辑模式。OV-2 反无人机活动子图如图 6 所示，涉及探测、侦察、指控、处置等多要素，反无人机处置流程为各类探测侦察单元获取无人机的属性、类型、位置等信息，送入指挥中心，指挥中心根据上级或本级决策，对目标进行处置，处置方式包括利用链路压制与毁伤、欺骗等电子干扰手段以及利用防空武器对无人机进行摧毁。

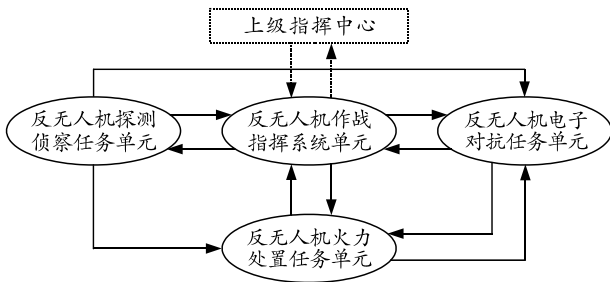


图 6 OV-2 作战资源流描述

3) OV-4 组织关系。

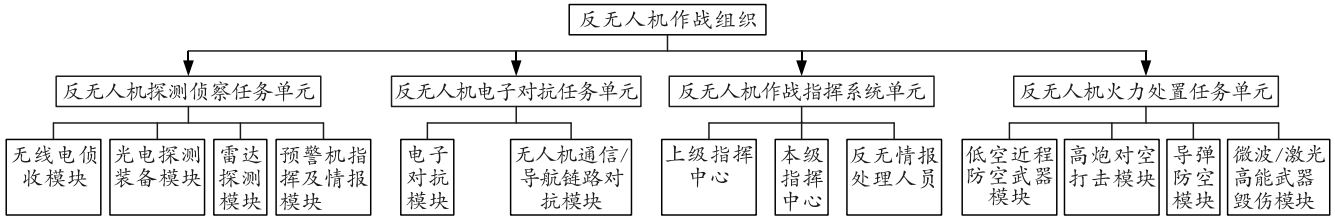


图 7 OV-4 组织关系

4) OV-5 作战活动。

OV-5 作战活动模型支持用户使用图形和文字的方式描述作战能力、活动(或任务)、活动之间交换的输入和输出信息流(I/O)，以及与这个架构范围之外的其他活动之间交换输入和输出信息流。主要由作战活动图组成，也可以包括作战活动层次图，其作战活动子图如图 8 所示。

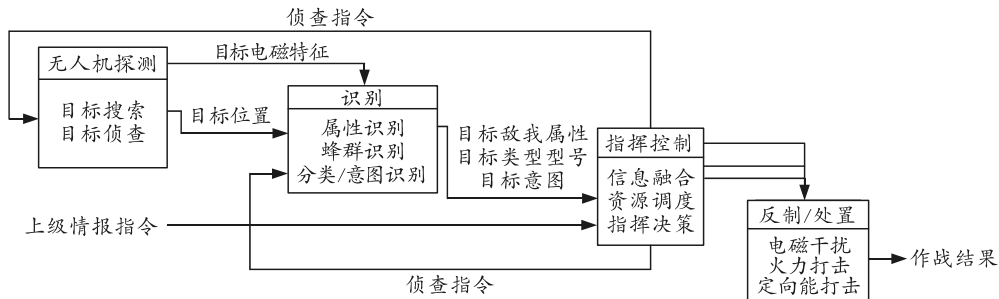


图 8 反无人机作战活动子图

5) OV-6b 作战状态转换描述。

OV-6b 作战状态转换描述支持用户用图形和文字的方法描述体系领域内有关对象为中心的视图，以表示一个对象在多种状态间的演进过程。OV-6b 基于对象状态转换网(object state transition network, OSTN)的反无人机作战状态转换如图 9 所示。

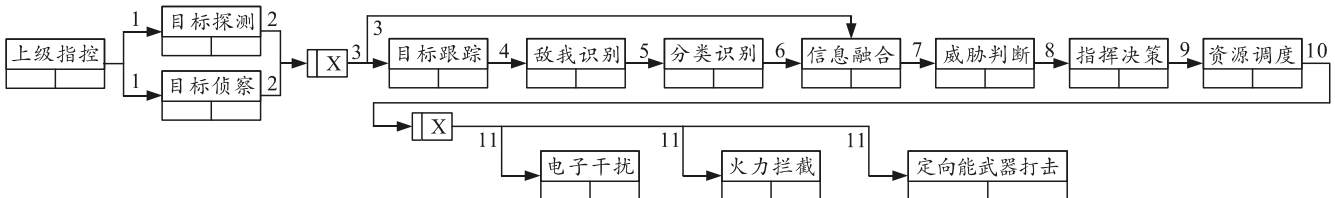


图 9 OV-6b 作战状态转换描述

3.3 系统视角模型构建

1) SV-1 系统接口模型。

SV-1 模型是在 OV-1 模型的基础上，对反无人机作战装备系统的组成、接口等进行分析后构建的。通过 SV-1 模型可搭建要地反无人机作战和系统体系结构之间的桥梁。SV-1 模型主要用于确定、

标识反无人机作战体系中探测识别、指挥控制、处置处理等各个系统及其子系统之间的接口与作战资源之间的交互关系、资源流向等，SV-1 系统接口描述支持用图形和文本来描述对作战节点表示的组织 and 人员实施支持的系统节点和驻留在这些节点上的系统。

2) SV-4a 系统功能描述。

SV-4a 系统功能描述以图形和文本的形式概述了系统功能以及它们之间的系统数据流。它是 OV-5 的 SV 对应物，主要包括 SV-4a 系统功能分解模型和 SV-4a 系统数据流模型。SV-4a 反无人机作战系统功能描述如图 10 所示。

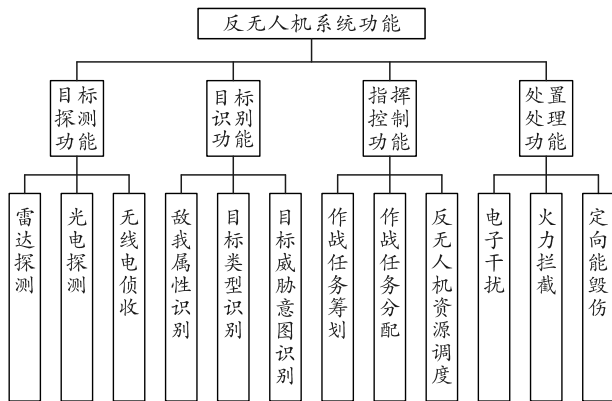


图 10 SV-4a 系统功能描述

4 结论

装备体系建模与仿真是体系论证和建设开发的前提，笔者针对当前反无人机装备发展存在的体系能力薄弱现状，基于典型的要地反无人机装备建设需求，提出一种基于 MBSE 的装备体系设计与建模方法。给出了反无人机装备体系任务的描述模型，设计了基于 DoDAF 框架下反无人机装备体系架构，从全视角、作战视角、系统视角进行了反无人机作

战装备体系结构的描述，给出了反无人机作战装备体系的建模过程和建模方法，可为我国开展新型反无人机作战装备建设规划、现役装备改进、反无人机装备体系运用及效能评估等提供支撑。

参考文献：

[1] 蔡亚梅, 姜宇航, 赵霜. 国外反无人机系统发展动态与趋势分析[J]. 航天电子对抗, 2017, 33(2): 59-64.

[2] 宋琦. 基于 DoDAF 的装备体系结构建模方法[J]. 国防科技, 2013(12): 56-61.

[3] 杜国红, 陆树林, 郑启. 基于 MBSE 的作战概念建模框架研究[J]. 指挥控制与仿真, 2020(6): 14-20.

[4] 高斌, 贺庆. 军事信息系统的体系需求论证方法分析[J]. 电讯技术, 2021(6): 674-680.

[5] 刘玉文, 廖小兵, 蒋明, 等. 反无人机技术体系基本框架构建[J]. 四川兵工学报, 2015(10): 18-20.

[6] 聂玉宝, 徐先云, 胡鹏. 反无人机网电对抗作战视图研究[J]. 航天电子对抗, 2019(1): 49-52.

[7] 李大喜, 张强, 李小喜, 等. 基于 DoDAF 的空基反导装备体系结构建模[J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(5): 1036-1041.

[8] 孙鹏, 孙金标, 陈治湘, 等. 基于 DoDAF 的空中智能化作战概念体系设计[J]. 指挥控制与仿真, 2021(10): 22-28.

[9] 杜国红. 美军作战概念开发特点及启示[J]. 国防科技, 2020(8): 52-56.

(上接第 26 页)

[3] Zhao G, Wang Y, Wang J. Intrusion detection model of Internet of Things based on LightGBM[J]. IEICE Transactions on Communications, 2023, 106(8): 622-634.

[4] JIA Y, ZHONG F, ALRWAI A, et al. FlowGuard: an intelligent edge defense mechanism against IoT DDoS attacks[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(10): 9552-9562.

[5] 项睿涵, 潘巨龙, 李玲艺, 等. 一种物联网入侵检测和成员推理攻击研究[J]. 传感技术学报, 2024, 37(2): 317-325.

[6] Wei Y, Jang-Jaccard J, Sabrina F, et al. Ae-mlp: A hybrid deep learning approach for ddos detection and

classification[J]. IEEE Access, 2021, 9: 146810-146821.

[7] Sharmila B S, Nagapadma R. Quantized autoencoder (QAE) intrusion detection system for anomaly detection in resource-constrained IoT devices using RT-IoT2022 dataset[J]. Cybersecurity, 2023, 6(1): 41.

[8] Islam M M, Nooruddin S, Karray F. Internet of Things: Device Capabilities, Architectures, Protocols, and Smart Applications in Healthcare Domain[J]. IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, 2023, 10, (4): 3611-3641.

[9] Kumar G R, Govekar N S, Karthik A, et al. Real-Time Monitoring and Anomaly Detection in Hospital IoT Networks Using Machine Learning[C]//2023 International Conference on Artificial Intelligence for Innovations in Healthcare Industries (ICAIIHI). IEEE, 2023, 1: 1-8.