

# 基于作战管理的有人-无人协同作战体系结构建模

赵小茹<sup>1</sup>, 杨任农<sup>1\*</sup>, 闫孟达<sup>1</sup>, 刘墨宇<sup>2</sup>, 江萧君<sup>3</sup>

(1. 空军工程大学空管领航学院, 西安, 710051;  
2. 空军工程大学装备管理与无人机工程学院, 西安, 710051; 3. 95876 部队, 甘肃酒泉, 735000)

**摘要** 为应对未来快节奏、大规模的空中战斗需求, 聚焦有人-无人协同空中作战体系结构研究, 以作战管理作为底层逻辑, 构建协同作战体系结构框架。首先梳理作战管理基本理论, 建立“任务-能力”和“能力-资源”的属性映射; 然后利用美国国防部体系架构框架视图模型, 对有人-无人作战活动从作战管理层级进行顶层设计, 依照职能属性进行时序和逻辑梳理。探究体系结构建模中包含的作战管理“嵌套”现象, 能够降低军事研究人员对作战行动的理解屏障, 为有人-无人协同空中作战建模仿真提供理论支撑。

**关键词** 有人-无人协同; 协同作战; 作战管理; 体系结构建模

**DOI** 10.3969/j.issn.2097-1915.2023.05.005

**中图分类号** E917; V323 **文献标志码** A **文章编号** 2097-1915(2023)05-0041-07

## Modeling of Cooperative Combat System Architecture of Manned-Unmanned Based on Battle Management

ZHAO Xiaoru<sup>1</sup>, YANG Rennong<sup>1</sup>, YAN Mengda<sup>1</sup>, LIU Zhaoyu<sup>2</sup>, JIANG Xiaojun<sup>3</sup>

(1. Air Traffic Control and Navigation School, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;  
2. Equipment Management and Unmanned Aerial Vehicle Engineering School,  
Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 3. Unit 95876, Jiuquan 735000, Gansu, China)

**Abstract** This paper focuses on the architecture of manned-unmanned cooperative combat system, so as to meet the needs of fast-paced and large-scale in the future. Taking battle management as the underlying logic, the architecture is constructed. Firstly, the battle management basic theory is sorted out, and the “mission-capability” and “capability-resource” attribute mapping is established. Then, the manned-unmanned activities are designed based on the combat management level, using the U. S. Department of Defense architecture framework view model. And the timing and logic are sorted out by the functional attributes. Exploring the “nesting” phenomenon of combat management contained in modeling, the barrier of military researchers' understanding of combat operations can be reduced. Meanwhile, the theoretical and simulation support can be improved.

**Key words** Manned-Unmanned coordination; Coordinated operations; Battle management; Architecture modeling

战场形势日趋复杂, 以“认知、动态与分布”为特 点的分布式体系化作战模式正在逐步成型, 通过将

收稿日期: 2023-06-12

基金项目: 中国博士后科学基金(2022M723876)

作者简介: 赵小茹(1993-), 女, 甘肃兰州人, 博士研究生, 研究方向为作战管理理论与模型, 战斗管理工程方法。E-mail: zxr\_paper@163.com

通信作者: 杨任农(1969-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为战斗管理基础理论, 智能战斗管理工程方法。E-mail: yangrn6907@163.com

引用格式: 赵小茹, 杨任农, 闫孟达, 等. 基于作战管理的有人-无人协同作战体系结构建模[J]. 空军工程大学学报, 2023, 24(5): 41-47.  
ZHAO Xiaoru, YANG Rennong, Yan Mengda, et al. Modeling of Cooperative Combat System Architecture of Manned-Unmanned Based on Battle Management[J]. Journal of Air Force Engineering University, 2023, 24(5): 41-47.

能力分解到多型武器平台协同完成任务更有利于高效执行任务。由少量高性能有人机(Manned Aircraft Vehicle)和大量自主无人机(Unmanned Aircraft Vehicle)组成的协同编组模式,成为未来空中作战样式的研究热点,能够提高空中作战的灵活性、强韧性和经济可承受性等性能。同时各国也在开展研究,美国发布《无人系统综合态势图 2017-2042》<sup>[1]</sup>肯定了无人系统与有人系统的无缝协同能够压缩作战人员的决策时间,降低风险。俄罗斯也在 2021 年提出用苏-57 有人机指挥“猎人”无人机,以忠诚僚机的作战样式完成任务。2022 年,德国慕尼黑大学在针对空中协同作战研究时<sup>[2]</sup>,对无人机系统在任务分配的时序模式进行分析,探究共享机制下任务分配原则。我国也在不断探索有人-无人协同作战在未来战争中的可能性。中航工业提出,未来六代机的作战模式尝试与无人战斗机配合,构建有人与无人共存的体系结构。由于态势变化的复杂性和任务的多样化,有人-无人协同作战存在操作混乱、协同忙乱和行动盲从的现象,所以针对有人-无人协同作战的体系结构框架设计是武器装备体系研究的前提<sup>[3]</sup>,它能够各系统空中作战能力进行有效整合,从而获得作战优势。

为此,美国国防部高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)在提出分布式空中作战概念之后,相继开展体系集成技术试验项目(System of System Integration Technology and Experiment, SoSITE)<sup>[4]</sup>、分布式作战管理项目(Distributed Battle Management, DBM)等等,设计形成灵活开放的架构,最大限度的发挥协同机制优势。2010 年,美国国防部体系结构框架(Department of Defense Architecture Framework, DoDAF)最新 2.02 版本以架构数据为核心,能够满足体系结构的快速开发,在军事研究中得到了广泛的应用<sup>[5-8]</sup>。其中,文献[5]针对空战中有人机-无人协同作战体系结构进行了研究,考虑了有人机的人因因素和无人机的自主因素研究协同作战体系结构,更多地关注作战活动的时序逻辑问题,但是对过程中指挥控制和协同作战的耦合,嵌套指挥控制关系缺乏描述。当前,战争需求更加急切和复杂,需要更加灵活和贴合的体系结构设计。

本文提出将管理学的基础理论应用于作战任务规划中,建立作战管理的基础框架,通过内核逻辑对有人-无人协同作战流程进行剖析,分析其中的要素、层次和职能需求,建立任务-能力和能力-资源的属性映射关系,厘清作战过程中指挥编队完成任务的嵌套关系,为作战模式的高效运行和决策需求的

持续保证提供了思路方法。设计一种基于作战管理的有人-无人协同作战体系结构框架,利用 DoDAF 框架将作战目标拆分、作战能力整合,从战略、战役、行动和战术逐层进行作战管理分析,完成各个子系统有效整合和轮转,从职能分析入手,快速阐明对抗样式,明晰作战流程和关键节点。

## 1 基于作战管理的体系结构建模方法

### 1.1 作战管理的基础理论

作战管理(Battle Management, BM)概念起源于美国,但是至今没有一个标准的定义<sup>[9]</sup>。本文认为,作战管理是以实践性突出的管理科学理论方法为指导,从战略、战役、行动和战术四个层级入手,用规划、组织、指挥、协同、控制五大职能和理论、方法、流程、系统和工具作为逻辑切口,瞄准大规模、高强度、快节奏和持续久的高端战争进行研究。作战管理的内容可以用霍尔三维结构表示,如图 1 所示。

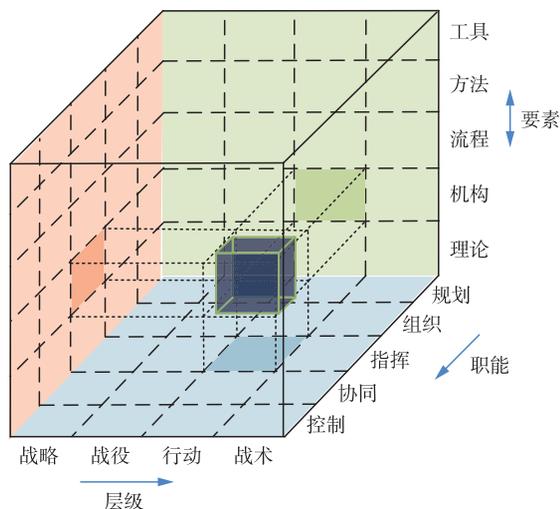


图 1 作战管理体系架构

图 1 所示层级、职能和要素三者之间存在着相互匹配和映射的关系,其中“层级-职能”和“职能-要素”的匹配图如图 2、图 3 所示。图 2 可以体现作战中“任务-能力”的属性映射。通过作战活动的层级剖析任务需求,再根据能力协同推动职能循环。战略管理层级支持军事、政治、外交等综合情报信息综合处理,确定战略目标和意图,提供开展兵力组织的能力;战役管理层级支持制定战役计划,根据作战意图分配完成任务的兵力,统计战场态势信息完成资源分配,提供确保军种兵力协同的能力;行动管理层级支持制定阶段性任务计划,提供评估作战效果的能力;战术管理层级支持制定战术规划,完成任务式指挥,提供协同兵力分配和作战效果评估的能力。每个管理层级在职能的能力保证下进入作战循环,通过规划前置,计划协同,决策先行,实

现对战争从设计、部署、运行到评估的管理闭环,确保为作战提供动态可持续的管理能力,完成能力到任务的快速映射。图中的虚线认知反馈的信

息流,能够将下一级在控制阶段的评估结果及时反应给上一级作战机构,推动实线代表的指导控制命令实时动态调整。

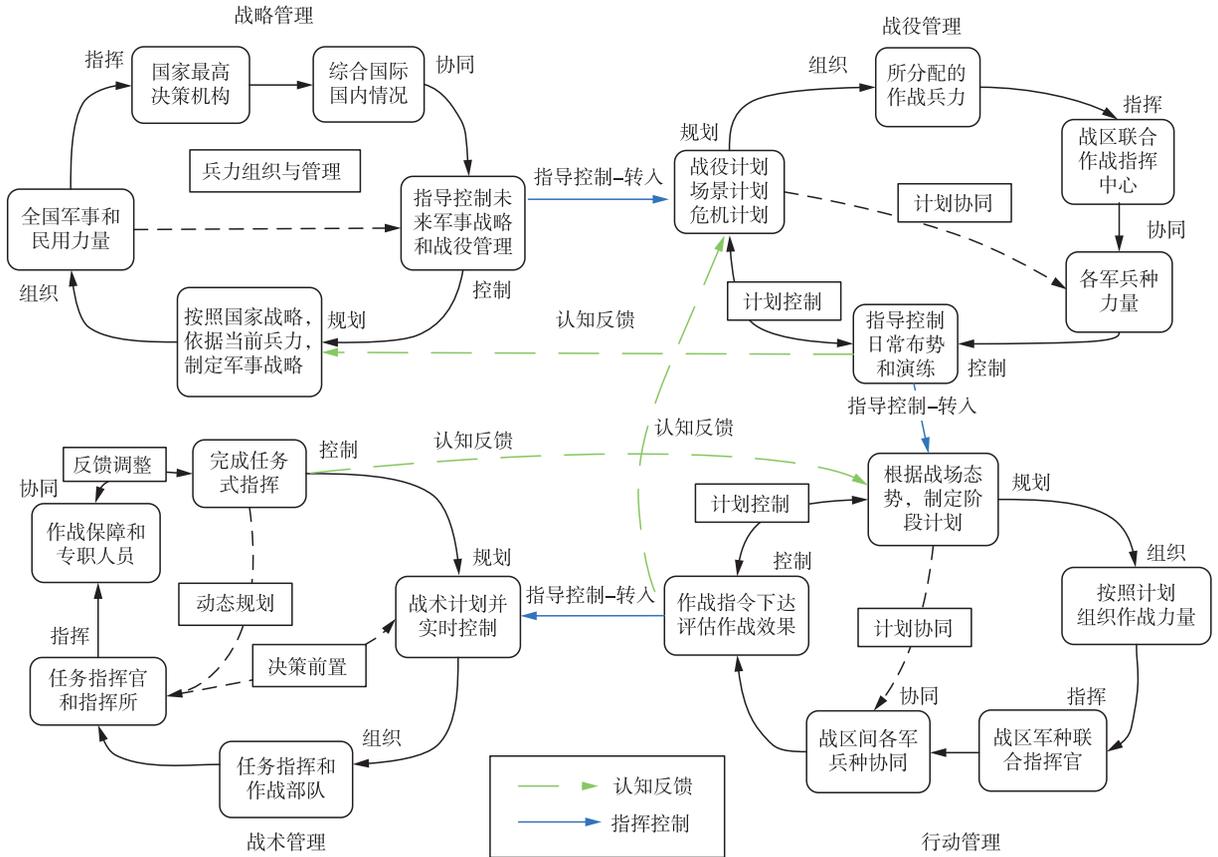


图 2 层级-职能匹配关系图

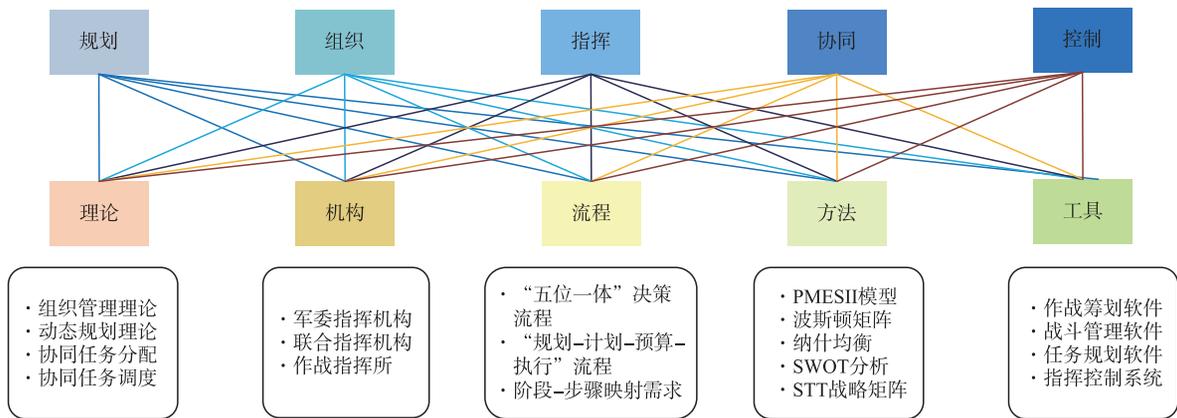


图 3 职能-要素匹配关系图

图 3 所示,“职能-要素”匹配关系能够建立“能力-资源”的属性映射。从作战意图入手,以保证任务能力需求为出发点,职能到要素的匹配关系在不同层级涵盖了多种技术。分布在理论、机构、流程、方法和工具中,支撑作战管理的职能实现。能力到资源的映射不止考虑交战活动过程,更主动设计管理作战全过程。其中“理论”资源主要涵盖作战过程中作战管理人员参与指挥控制模式中的新型组织结构创新,任务规划过程中战管人员如何提高任务规划、资源分配的智能化创新;“机构”涵盖参与作战过

程的不同层级作战力量;“流程”包含不同尺度下作战过程的设计思路;“方法”和“工具”更多关注于实现作战管理的具体工程方法和信息系统。

### 1.2 DoDAF 概述和建模步骤

2003 年,因为适用性的增强,DoDAF1.0 版本在美国自动化指挥系统架构(Command, Control, Communication, Computer, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, C4ISR)的基础上确立,逐渐成为用于国防和航空航天行业的架构建模标准<sup>[10-11]</sup>。2015 年,美国国防部系统解释了

DoDAF2.02 版本<sup>[12]</sup>, 结合元模型 (domain meta-model, DM2) 表示核心架构数据模型, 包含概念数据模型、逻辑数据模型和物理交换范式, 以增强用户理解的方式创建体系架构。

作为适用于军事的体系架构框架, DoDAF 通过视图模型将能力、作战、服务和信息等多个子系统整合, 包含 8 类视图、52 种模型, 分别是: 全局视图 (All Viewpoint, AV)、能力视图 (Capability Viewpoint, CV)、作战视图 (Operational Viewpoint, OV)、服务视图 (Services Viewpoint, SvcV)、系统视图 (Systems Viewpoint, SV)、标准视图 (Standards Viewpoint, StdV)、项目视图 (Pro-

ject Viewpoint, PV) 和数据与信息视图 (Data and Information Viewpoint, DIV)。8 类视图的开发从对象、地点、时序、参与人员、行动动机、实施方式出发, 运用模型和数据描述, 建立体系结构视图。从开发的角度, 得到视图、模型和元模型的开发矩阵。

本文采用活动 (Activity), 能力 (Capability), 信息 (Information), 位置 (Location), 度量 (Measure), 执行者 (Performer), 资源流 (Resource), 规则 (Rule) 和条件 (Condition) 9 个元模型数据组作为综合字典, 设计了有人-无人协同空中作战体系结构, 步骤遵循图 4 所示顺序进行开发。

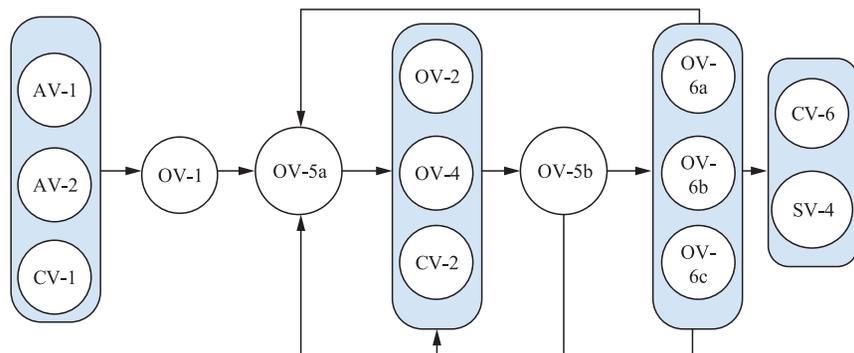


图 4 协同作战管理体系结构开发步骤

步骤 1, 依次建立 AV-1, AV-2 和 CV-1, 明晰体系架构中数据组包含元素, 提出能力的远景展望。步骤 2, 建立 OV-1 (高级作战概念图), 明确作战总体构想。步骤 3, 通过 OV-5a (作战活动分解树) 分析任务执行中的能力-任务的映射关系。步骤 4, 建立 OV-4 (组织关系图), 描述组织与执行者的逻辑关系, 建立 CV-2 (能力分类) 的基础 OV-2 (作战资源流描述), 梳理体系结构能力的分类。步骤 5, 建立 OV-5b (作战活动模型), 根据空中作战样式进行时序逻辑梳理。步骤 6, 建立 OV-6a (作战规则模型), 确定规则和约束, 对作战节点间交互进行描述得到 OV-6c (事件跟踪描述), 作为描述具体执行者状态转换说明 OV-6b 的基础。步骤 7, 最后得到 CV-6 (能力-作战活动映射), 展示具体作战活动需要的能力, 同时建立 SV-4 (系统功能描述), 对系统中包含的服务功能和模块进行描述。

图 4 所示步骤顺序帮助开发体系结构的逻辑思路, 视图之间存在相互约束和协同, 需要将迭代反复的贯穿整个开发过程。文章后续根据作战管理在有人-无人协同战斗过程的特点, 构建了相关模型视图, 能够体现作战管理概念理论在实际作战体系中的具体过程。

## 2 有人-无人协同作战管理体系结构建模

有人-无人协同作战具有多层次交叉、多职能耦合、多要素参与的特点, 本文以作战管理概念为基础, 对协同空中作战任务进行分析, 关注指挥控制关键层级和作战活动动态规划, 建立体系结构模型, 对作战活动视图进行重点分析。

综合字典 AV-2 等同于结构中的数据资源存储库, 能够给出结构建模所有术语的定义。为保证视图模型建立过程中的一致性和连续性, 本文建立的综合字典主要根据作战任务类型和作战管理层级, 利用 DM2 的 9 个元模型数据完成对体系结构建模的描述, 分别是活动、能力、信息、位置、度量、执行者、资源流、规则和条件。

在有人-无人协同执行空中作战任务时, 大部分数据组元素都包含指挥控制和协同配合能力, 所以指挥机构的作战任务规划能力是任务完成的关键环节。

### 2.1 高级作战概念图

高级作战概念图 OV-1 能够以图像和文字的形式直观地描述有人-无人协同空中作战的全局构想。按照战略、战役、行动和战术管理 4 个层级划分, 建立体系架构、作战主体和外部系统之间的互联关系,

如图 5 所示。其中,要素包含战略层级的指挥机构和外部信息保障系统,战役层级的指挥机构,战区指

挥所和战术层级地面指挥所、预警机、执行任务的空中编队。

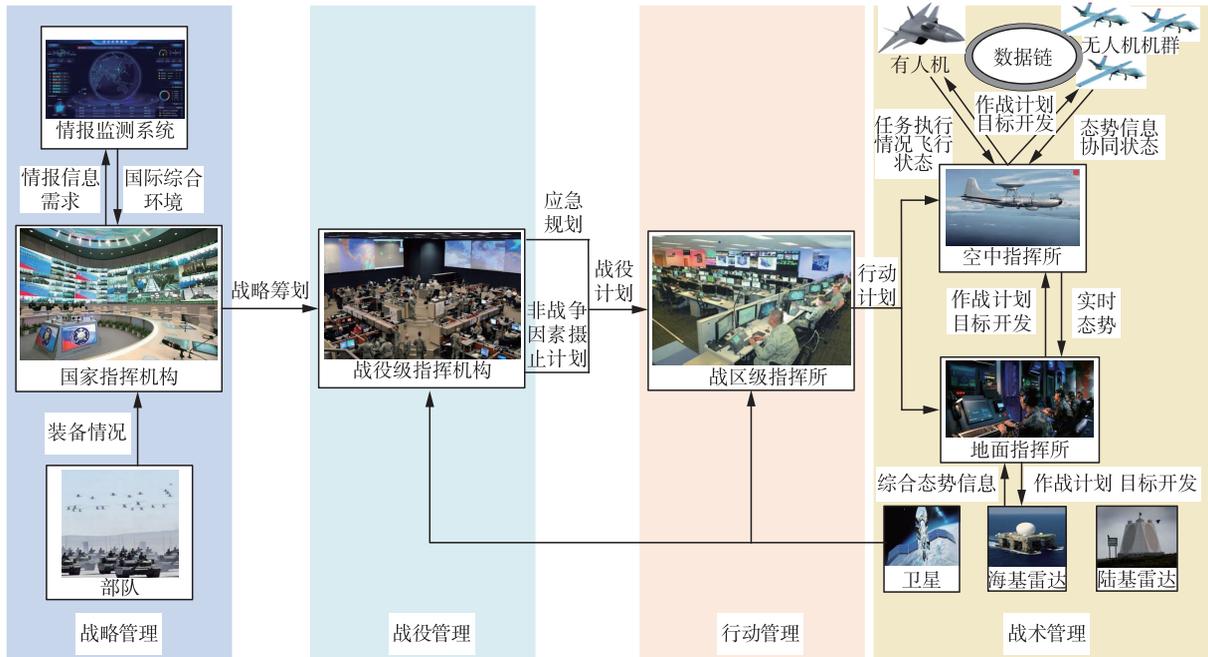


图 5 高级作战概念图 OV-1

根据图 5 可知任务和信息协同,有人和无人配合执行空中作战任务过程中,从确定战略目标,制定战役计划,设计行动计划,到完成每日任务规划的体系节点和职能要素,进而可以规划完成协同侦察、协同探测、协同攻击等多个任务。

### 2.2 组织关系图

组织关系图 OV-4 能够描述作战过程中控制节点和执行者的组织结构、组织元素和组织关系等信息

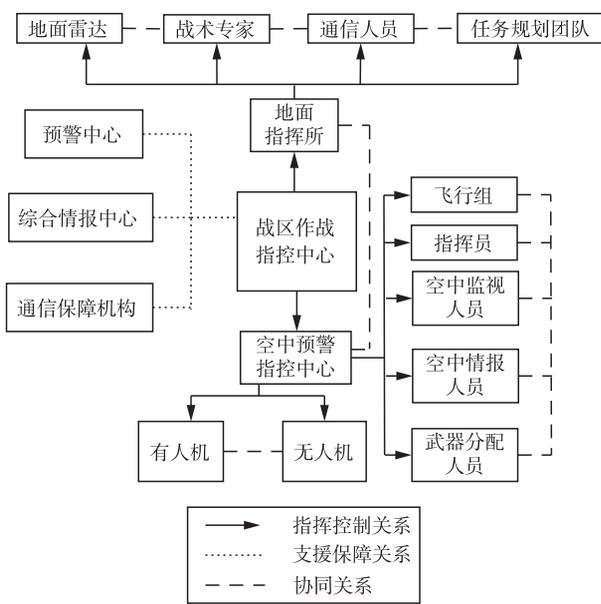


图 6 组织关系图 OV-4

### 2.3 作战资源流图

作战资源流图 OV-2 主要描述资源流在作战活动中进行交换和传递的过程。如图 7 所示,图中包

息,如图 6 所示。其中组织元素包括空中、地面和机上等参战力量,组织关系包括协同关系、指控关系和其他关系。图中给出有人-无人协同作战中执行者和控制节点的组织关系图。根据综合字典中执行者数据组描述,在作战过程中,执行者能够提供地面保障能力、情报预警能力、通信保障能力、空中指挥能力和空中协同作战能力,通过组织关系连接线标注,由支援保障关系、协同关系和指挥控制关系组成。

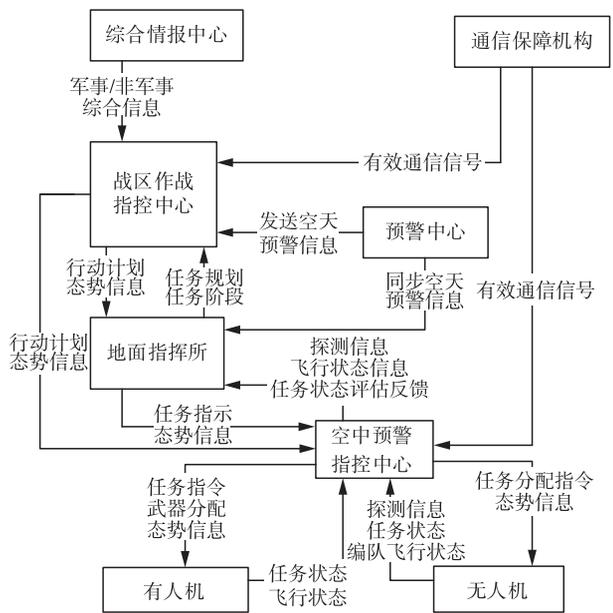


图 7 作战资源流图 OV-2

含作战过程中指令信息、信号数据和执行者的演进模式。其中,综合情报中心、通信保障机构主要为战区作战指挥控制中心提供信息,预警中心需要同步

态势预警信息给各级指挥机构,根据战区下发行动计划,地面指挥所将规划的任务分配给空中预警指控中心,再进一步将任务指令信息传递给作战飞机编队,图中用资源需求线表示了资源的流向和互换。

### 2.4 作战活动模型

作战活动模型 OV-5b 能够呈现任务执行中操作节点的输入和输出,围绕作战管理职能循环建立模型,初步描述典型作战活动之间的流程。如图 8 所示,作战操作节点之间通过资源流推进任务执行,

职能的循环嵌套其中。观察图 8 可以发现,作战活动的职能属性并不是分离独立的,存在一定的重叠和耦合关系,是由于作战过程的高复杂和快节奏,需要反复确认态势信息,实时跟进任务规划,时序进行会有所重合。同时,因为作战任务分平时和战时,性质决定了执行的重点不同,所以职能和作战活动的耦合性与复杂性也有所区别,平时耦合低、复杂性低,重训练,战时耦合高、速度快,更重实战与速度。

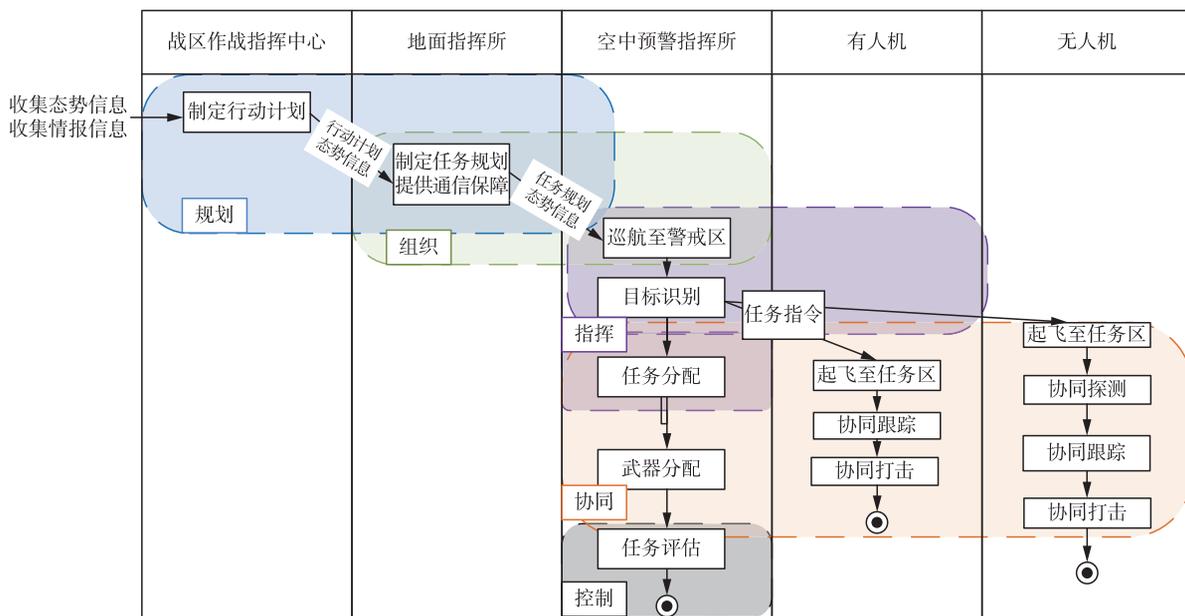


图 8 作战活动模型 OV-5b

作战活动模型描述的是活动之间的关系和依赖关系,能够为后续的事件跟踪描述(OV-6c)提供认知基础,利于进一步地表示作战子系统之间的交互过程,对作战活动推演细化。

### 2.5 事件跟踪描述

事件跟踪描述 OV-6c 一般采用时序图,以任务为中心对作战活动进行细致描述。如图 9 所示,协同空中作战活动呈现了以规划、组织、指挥、协同和控制为循环的作战状态转换过程。

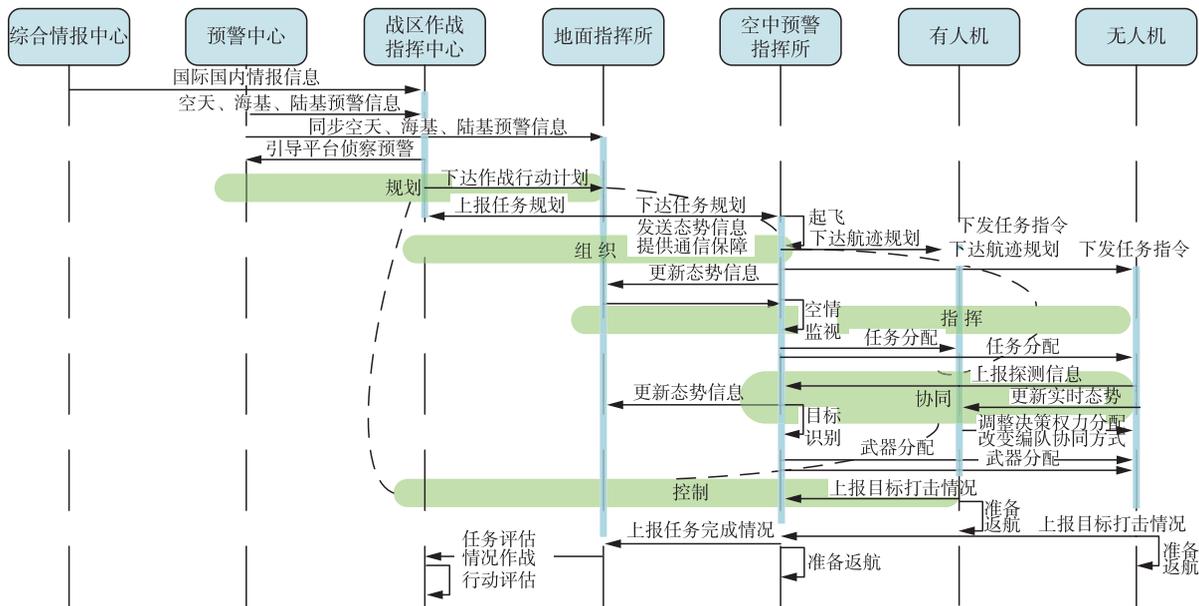


图 9 事件跟踪描述 OV-6c

遵循图2所示的作战管理层级-职能匹配图,作战任务的执行<sup>[13]</sup>能够通过职能5项的循环分解描述如下。

规划阶段,行动管理层级的战区作战指挥中心接收上级准备作战的决心后,收集情报和预警信息,制定作战行动计划,分解具体任务交给地面指挥所。以任务为中心,地面指挥所制定任务规划下发具体的作战平台,完成作战规划。

组织阶段,根据行动管理层级确定军种级别作战力量的分配,空军部队会根据空中态势的分析和任务的分解组织地面保障力量、空中指挥及协同作战力量,以支持后续指挥、监控和任务执行后评估等作战环节。

指挥阶段,在“组织”职能进行中,“指挥”职能开始发挥作用,地面指挥所根据任务的性质和规划的内容,将下达任务分配指令、协同侦察指令、空域划分指令等作战指令,指挥空中预警指挥机起飞,根据对空中态势的监控和评估指导,指挥空中作战平台起飞参与作战任务,并伴随整个作战活动过程。

协同阶段,由于空中作战节奏快,所以预警机在空中发挥指挥控制和作战管理的作用,通过空中有人机和无人装备之间规划系统进行数据共享和互操作,当战场态势出现不确定因素或者突发情况时,预警机可以授权有人机进行决策,同时根据无人机的智能等级调整决策交互方式,实现多机空中配合和调度,发挥空中作战能力。

控制阶段,主要完成作战任务的评估和再规划决策。预警机在空中能够得到实时的态势信息和任务执行反馈,通过空中监视汇总上报地面指挥所,由地面任务规划人员给出评估判断任务是否完成,下发飞机返航指令,再汇总情报及战术情况上报任务评估情况,进行作战行动评估,判断是否进行下一轮作战职能循环。

### 3 结语

本文以作战管理为理论基础,运用 DoDAF 体系结构框架,建立有人-无人协同空中作战的体系结构模型。首先根据作战管理层级、职能和要素的三维架构,建立“任务-能力”属性映射和“能力-资源”的属性映射;其次针对协同空中作战特点和流程分析,构建部分全景和作战视图模型,利用作战管理概念分析战斗过程,探究持续作战内核。构建体系结构框架有助于理顺作战活动实时需求和目标,更方便地统一作战执行人员的认知,更高效地掌握作战活动、能力和状态,为开展大规模、快节奏、高强度的

高端战争提供辅助。

### 参考文献

- [1] KEVIN M F, MARY J M. Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042 [R]. USA Department of Defense: The Office of The Secretary of Defense, 2018.
- [2] GUNAR R, AXEL S. A Prototype to Support Mission-Planning with Shared Unmanned Systems in Multi-User Manned-Unmanned Teaming Applications [C]// American Institute of Aeronautics and Astronautics SCITECH 2022 Forum. San Diego: AIAA, 2022:1-12.
- [3] 王宁,陈浩,黄健. 有人机/无人机协同系统研究现状 [C]//第十届中国指挥控制大会论文集. 北京:指控大会会议,2022:13-18.
- [4] 王怿,严江江,陈晓东,等. 美军体系综合技术和试验(SoSITE)项目概况及启示[C]//第三届中国指挥控制大会论文集. 北京:指控大会会议,2015:122-126.
- [5] 王新尧,曹云峰,孙厚俊,等. 基于 DoDAF 的有人/无人机协同作战体系结构建模[J]. 系统工程与电子技术,2020,42(10):2265-2274.
- [6] 乔心,李永宾,葛小凯. 基于 DoDAF2.0 的多机协同探测系统体系结构设计[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2017,18(1):20-26.
- [7] 高波,孙剑玮,贾成功,等. 基于 DoDAF2.0 的电子自卫防御体系结构建模方法研究[J]. 光电技术应用,2019,34(6):59-63.
- [8] 孙鹏,孙金标,陈治湘,等. 基于 DoDAF 的空中智能化概念体系设计[J]. 指挥控制与仿真,2021,43(5):22-28.
- [9] 赵国宏. 从俄乌冲突中杀伤链运用再看作战管理系统[J]. 战术导弹技术,2022(4):1-16.
- [10] ZHAN Z J, WANG Y H, LI B F, et al. Architecture Design of Air-Sea Joint Combat System Based on DoDAF[C]// Proceedings of the AI in Optics and Photonics Conference. Beijing: SPIE Proceedings, 2019: 113-420.
- [11] YANG W J, YUAN C X, ZHAO J, et al. Research on Weapon and Equipment Requirement Analysis Method Based on DoDAF[C] // Proceedings of the International Conference on Virtual Reality and Intelligent System. Jishou: IEEE, 2019: 317-319.
- [12] DoD Architecture Framework Group. DoD Architecture Framework Version 2. 02 Change Volume-V VolumeIV: Overview and Concepts[R]. Washington D. C.: USA Department of Defense, 2015: 20-26.
- [13] 杨任农,张滢. 对任务规划系统建设的认识和建议[J]. 指挥与控制学报,2017,3(4):286-288.

(编辑:张建业)