

# 基于 DoDAF 理论的无人作战体系标准化研究

宓铁良 段方 郭育青

航天时代飞鸿技术有限公司, 北京 100094

**摘 要:** 本文基于 DoDAF 理论体系结构设计思想, 研究无人作战体系的标准规范, 综合分析无人作战体系的理论视角和模型, 提出无人作战系统标准化体系结构的设计思想及开发流程, 构建无人作战体系标准化体系结构框架, 满足未来无人作战体系协同作战需求, 为无人作战体系标准化建设提供理论基础和研究方法。

**关键词:** DoDAF 理论; 无人作战体系; 体系结构; 体系标准

## 1 研究背景

随着信息技术、大数据、人工智能等高新技术的不断革新, 现代战争模式和武器装备形式都随之发生了变化, 未来战争模式正向着陆海空天对抗一体化、武器装备无人化、军事行动协同智能化等方向发展。

陆海空天一体化协同无人作战体系, 基于开放式体系架构, 利用信息化、网络化、智能化等高新技术, 将陆海空天的无人作战单元有机结合起来, 通过信息网络将态势感知系统、指挥控制系统、网络通信系统、攻防武器装备和保障支援装备进行体系融合, 构建多维度、多粒度、分布式、一体化、网络化、智能化、可重构的协同无人作战体系, 实现陆海空天无人作战系统一体化联合作战, 达到作战效能的最大化, 成为打赢未来战争的重要支撑模式。

无人作战体系标准化是指为规范无人系统体系作战的任务使命、作战规划、装备构成、互联互通、互操作、自主协同等过程而制定的统一要求, 可以有效地支撑无人系统发展规划, 固化技术成果, 促进技术发展; 推动无人系统作战平台的融合, 提高无人作战体系的互操作性和协同作战能力; 推进模块化和开放式结构设计, 实现无人系统研制模式由定制化向标准化、模块化的转变, 发挥标准在无人系统体系作战中的指导和规范作用。

## 2 DoDAF 体系理论简介

### 2.1 体系结构

体系结构是系统各组成单元之间相互关系、约束条件和发展原则的指南, 为新系统的开发提供标准框架, 最大限度地发挥系统效能<sup>[1-4]</sup>。体系结构设计是系统体系建设的基础, 成为了系统顶层设计的关键环节, DoDAF 理论已经广泛应用于军事领域的各个环节<sup>[4-16]</sup>。无人作战系统体系结构是面向未来无人作战系统体系作战的任务需求, 由相互联系、相互作用的各种无人系统作战单元构成的无人作战体系, 具有整体性、多样性、集成性和协同性等特点。针对无人作战体系标准化<sup>[4, 16-21]</sup>建设难以适应无人作战系统发展的问题, 研究无人系统标准体系结构的构建思路及方法, 基于美国国

防部体系结构框架（DoDAF）的理论，结合无人作战体系的特点，理顺体系标准纵向、横向连接关系，确定无人作战系统标准体系结构设计的通用思路，构建无人作战系统标准体系结构模型，实现无人作战体系标准的互联互通和互操作，为无人作战体系标准化研究提供理论基础。

## 2.2 DoDAF 的核心思想<sup>[1-4]</sup>

目前，美国防部要求各个军事领域的体系结构设计，采用 DoDAF 的体系结构描述方法。DoDAF 理论体系框架经过版本 1.0、1.5 到 2.0 三个阶段的发展，设计思想完成了产品中心到数据核心的进化。DoDAF 2.0 的核心开发思想，采用数据元模型的概念、属性和关系作为构造方式，收集和整理用户所需信息的关键体系结构数据，形成数据词典存储于数据库，构建关键数据的映射体系结构模型，为用户提供分析验证数据和模型，加强用户对体系结构的理解。

## 2.3 DoDAF 的视角和模型<sup>[2-4]</sup>

DoDAF 2.0 围绕视角、模型和数据三个维度进行体系结构的描述，视角以模型为基础，而模型以数据为元素，数据是体系结构模型元素构成。DoDAF 2.0 规定了 8 种视角（如图 2.1 所示）52 个模型（如图 2.2 所示），如下：

- 1) 全景视角（All Viewpoint AV）：提供整个架构描述有关的信息；
- 2) 能力视角（Capability Viewpoint CV）：描述体系能力，实现符合企业愿景的企业目标；
- 3) 作战操作视角（Operational Viewpoint OV）：描述组织、任务或活动，以及单元之间的交换信息，传达了信息交换的类型、频率、任务和活动等；
- 4) 服务视角（Services Viewpoint SvcV）：为作战活动提供服务、互连功能，国防的流程包括作战、商业、情报和基础设施功能；
- 5) 系统视角（System View SV）：主要是自动化系统、互联互通和系统功能方面的信息；
- 6) 项目视角（Project Viewpoint PV）：提供了一种描述多个项目间组织关系的方法，每个项目负责交付单个的系统或功能，描述项目计划如何组合成具有前后承接关系的投资组合计划；
- 7) 标准视角（Standards View StdV）：是控制系统各个部分或元素间组合、交互和互依赖性的规则最小集合，包括技术标准、执行惯例、标准选项、规则和标准，形成工程规范，建立通用模块，开发产品线，确保系统能够满足特定的作战需求；
- 8) 数据与信息视角（Data and Information Viewpoint DIV）是指体系结构中信息交换的相关情况，如属性、特征和相互关系，用于描述体系结构的业务信息需求和结构化业务流程规则；



图 2.1 DoDAF 体系视角

以上八个视角，从不同角度和维度对体系结构数据进行逻辑分组，共同描述一个完整的体系结构，各视角之间存在逻辑一致性和完备性。

能力视角	作战视角	系统视角	服务视角
CV-1 构想模型	OV-1 高级作战概念图	SV-1 系统接口表述模型	SvcV-1 服务接口表述模型
CV-2 能力分类模型	OV-2 作战资源流模型	SV-2 系统资源流表述模型	SvcV-2 服务资源流表述模型
CV-3 能力实现时段模型	OV-3 作战资源流矩阵	SV-3 系统-系统矩阵	SvcV-3a 服务-系统矩阵
CV-4 能力依赖关系模型	OV-4 组织关系图	SV-4 系统功能模型	SvcV-3b 服务-服务矩阵
CV-5 能力与机构映射模型	OV-5a 作战活动分解树	SV-5a 系统功能与作战活动跟踪矩阵	SvcV-4 服务功能模型
CV-6 能力与作战映射模型	OV-5b 作战活动模型	SV-5b 系统与作战活动跟踪矩阵	SvcV-5 服务与作战活动跟踪矩阵
CV-7 能力与服务映射模型	OV-6a 作战规则模型	SV-6 系统资源流矩阵	SvcV-6 服务资源流矩阵
	OV-6b 作战状态转换模型	SV-7 系统度量矩阵	SvcV-7 服务度量矩阵
	OV-6c 作战事件跟踪模型	SV-8 系统演变表述模型	SvcV-8 服务演变表述模型
		SV-9 系统技术与技能预测	SvcV-9 服务技术与技能预测
		SV-10a 系统规则模型	SvcV-10a 服务规则模型
		SV-10b 系统状态转换模型	SvcV-10b 服务状态转换模型
		SV-10c 系统事件跟踪模型	SvcV-10c 服务事件跟踪模型
全景视角	标准视角	项目视角	数据视角
AV-1 综述和概要信息模型	StdV-1 标准概要模型	PV-1 项目与机构关系模型	DIV-1 概念数据模型
AV-2 综合字典	StdV-2 标准预测模型	PV-2 项目与实现时段模型	DIV-2 逻辑数据模型
		PV-3 项目与能力映射模型	DIV-3 物理数据模型

图 2.2 DoDAF 体系模型

DoDAF 2.0 的体系结构设计过程，共分为六个步骤：明确体系结构产品的用途；确定体系结构的范围；确定体系结构产品开发所需要的数据；收集、组织、校正和存储体系结构数据；开展支持体系结构产品设计目标的分析；设计形成产品文档，如图 2.3 所示。根据数据之间的内在含义和逻辑关系将体系结构数据模型化，以严谨而抽象化的术语精确描述体系结构数据的概念、关系和属性，成为国防部内所有体系结构数据创建和交换的规范。



图 2.3 DoDAF 体系结构开发流程

### 3 无人作战体系架构设计

#### 3.1 作战体系架构设计原则

DoDAF 视角之间没有严格的先后顺序，可以根据实际需要选择视角实现系统建模。但由于各视角之间的内在关联及相互关系，作战体系的架构设计也可按照一定的步骤进行。

1) **作战概念高层描述**，通过构建 OV-1 高层作战概念图实现。以直观的图形的形式描绘作战节点的连接关系和作战任务，便于决策者对作战概念的全局把控。

2) **作战体系建模分析**，通过构建 OV-4 组织关系图、OV-2 作战节点连接描述、OV-5 作战活动描述、OV-6b 作战状态转移描述实现、OV-6c 作战事件跟踪描述。从组成、交互、流程等角度分析作战体系，详细描绘作战任务和作战节点。

3) 作战体系逻辑自治性验证, 通过可执行模型的动态验证实现。体系架构设计的正确与否, 直接影响到各作战系统的设计和功能实现。通过模型的验证, 检验作战体系设计的逻辑正确性, 从而降低设计风险, 提高设计质量。

## 3.2 高级作战概念图

OV-1 是无人系统体系作战的一种高层级的图形描述, 给出了己方的无人作战系统(包括通信卫星、侦察卫星、察打一体无人机、察打一体隐身无人机、近程巡飞弹、远程巡飞弹、地面无人车辆等)协同任务围控敌方的交战过程等。侦察卫星和通信卫星实时监控目标区域的敌人, 将战场态势实时回传到指控中心; 察打一体无人机具有战场侦察和打击能力; 远近程巡飞弹, 可以遂遇攻击时敏目标和移动目标。未来无人系统作战体系, 实现自主智能协同执行作战任务, 如图 3.1 所示。

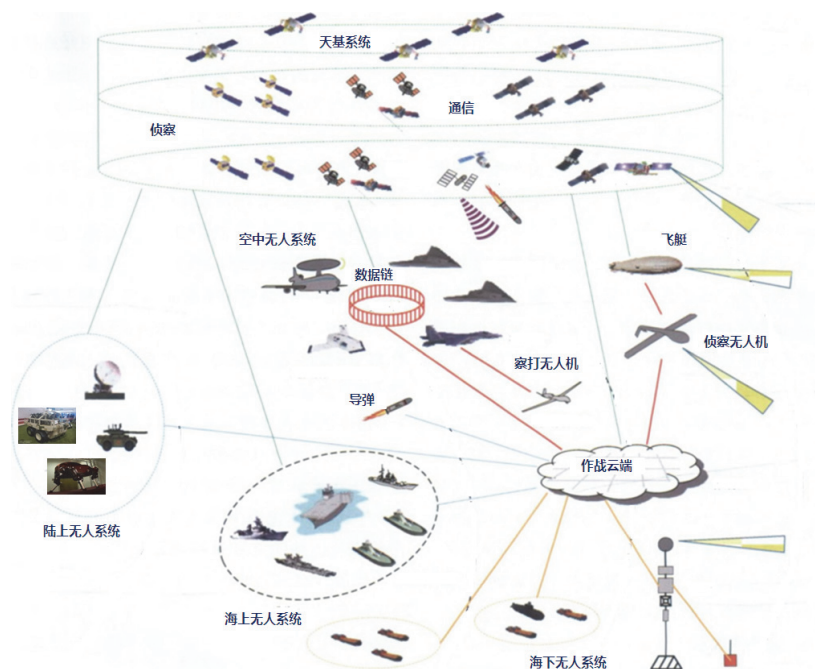


图 3.1 高级作战概念图

天基无人系统包括高轨卫星、中轨卫星和低轨卫星等, 形成定位、导航、通信、侦察、攻击于一体的天基无人作战网。其中, 高轨星座构成天基骨干网, 全面覆盖全球热点地区; 中轨卫星包括导航定位卫星、侦察卫星、通信卫星等, 具有导航授时、通信中继、远程预警探测协同等功能; 低轨卫星可对空基/地基平台进行目标指示, 具有传输时延少, 侦察信息传输快等特点, 可在临近空间进行火力投放, 实现天基武器实时攻击对方目标。

空基无人系统由浮空器和以无人机平台组成, 可以与有人平台共同组成空中作战网络。其中, 侦察无人机、浮空器与卫星平台协同探测, 形成协同探测网络; 预警机、诱饵无人机与攻击无人机组成空中协同作战体系。

陆基无人作战系统包括无人侦察车、无人攻击车、无人运输车 and 仿生机器人等, 已经成为世界各国陆军关注的未来重要作战平台, 可以与天基无人系统、空间无人系统组成协同作战网络, 实现直接火力对抗和战场辅助保障。

海基无人系统由水面、水下平台组成，其中，浮标与潜标组成水面、水下情报侦察监视网络，与天基、空基侦察平台一起组成海上作战编队；水下无人潜航器、水面无人艇等平台，可以与潜艇、驱逐舰、护卫舰一起组成航母护卫力量，进行协同防御与协同攻击。

无人作战体系按照无人作战平台能力和任务，分为侦察探测、打击单元和指控单元，通过协同探测、协同攻击和自主控制，形成陆、海、空、天、网、电等一体化协同无人作战体系，突破多维感知、智能指控、人机协同等前沿技术，提升无人作战平台的战场生存、全域覆盖、隐蔽侦察、态势感知、信息交互、电子对抗、精确打击、综合保障等作战能力，为实现全域无人系统协同作战提供技术支撑，引领未来无人装备体系发展方向。

## 4 无人作战体系标准设计

无人作战体系标准化研究，围绕“加强军事力量运用，加快军事智能化发展，提高基于网络信息体系的联合作战能力、全域作战能力”的未来军事发展战略需求，依据《中国制造 2025》、《装备制造业标准化和质量提升规划》的发展规划纲要，牢固树立创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，切实发挥标准化工作对行业发展的引领和支撑作用，以满足市场要求、支撑政府监管为出发点，加大改革创新力度，促进产业转型升级，依据 DoDAF 的体系结构设计理论和开发流程，结合无人系统标准规范的实际特点，明确无人作战系统标准体系结构设计思路，构建科学、高效、协调的无人作战体系规范标准体系，为打赢未来体系化、无人化、信息化、智能化的体系对抗战，提供标准规范和纲领性文件。

### 4.1 无人作战系统标准体系结构需求及目标

瞄准未来无人作战系统体系对抗的发展需求，依据无人系统行业的发展现状，明确军事急需、支撑监管的关键标准规范，加速推进无人作战系统标准制订工作，建立健全无人系统标准体系，实现国家标准、国家军用标准、行业标准和型号工程标准全覆盖，满足未来无人系统体系对抗应用需求。无人系统标准体系结构的构建目标一般要包括以下几点：

- 1) 贯彻实施标准，规范无人系统全寿命周期研制、生产和使用维护的过程；
- 2) 编制无人系统专用规范，严格控制产品技术状态基线；
- 3) 预测装备对标准需求，标准个体变化对标准系统的影响以及对无人系统性能的影响。

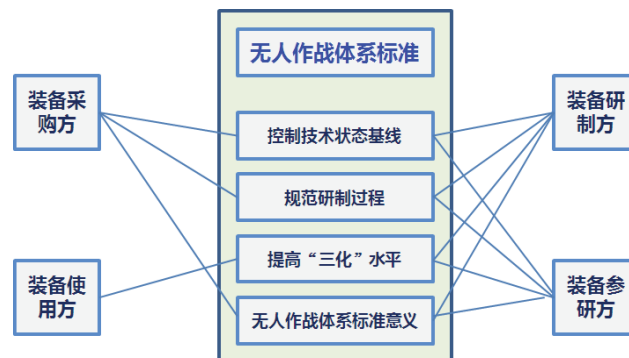


图 4.1 概述与总结信息 AV-1



## 4.2 无人作战系统标准体系结构数据词典

数据词典（AV-2）是体系结构数据概念、数据信息的存储库，包括无人系统标准体系结构的数据和表示方法的所有术语和分类。数据信息具有规范性、完整性和唯一性，依据 DoDAF 元模型的分类方式，分别从四个视角构建映射模型，形成初始词汇表，构建流程如图 4.2 所示。

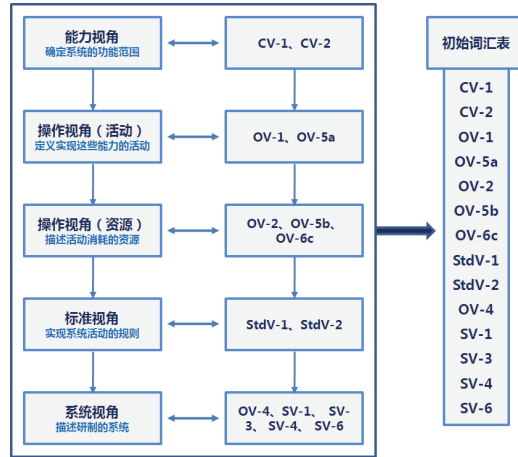


图 4.2 初始词汇表构建流程

## 4.3 无人作战系统标准体系架构的视角描述

根据无人作战体系标准的任务目标及范围，标准体系架构主要从五个层面进行设计，包括能力视角、操作视角（活动）、操作视角（资源）、标准视角、系统视角，各个视角之间是互相关联、相互支撑的。无人作战系统标准体系架构模型如下：

### 4.3.1 能力视角

针对无人作战系统标准体系结构的构建需求及使用意图，明确体系结构能力的战略背景和顶层需求，基于无人系统的作战任务和使用，以及无人系统对标准系统的任务要求，无人作战体系标准一般应具备以下几项能力：涵盖无人系统研制所有的现有标准；预测无人系统研制需要新编及修订的标准；型号专用规范技术可进行传递及分解；标准技术指标相互关联，构建的能力分类模型 CV-2，如图 4.3 所示

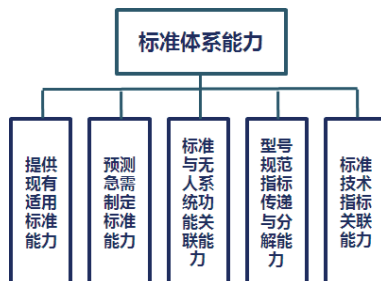


图 4.3 标准体系能力分类 CV-2

#### 4.3.2 操作视角（活动）

通过对 CV-2 的分析和活动概念形式化定义，描述活动目标和关键活动节点，生成 OV-I；根据任务目标的要求，分析任务目标的活动分解对应关系，生成 OV-5a。无人作战体系标准任务目标有控制技术状态基线、规范研制过程、提高“三化”水平、验证标准指标对无人系统性能的影响，对每项任务目标进行活动分解，并定义其关键活动，完成活动分解树 OV-5a 的模型，如图 4.4 所示。

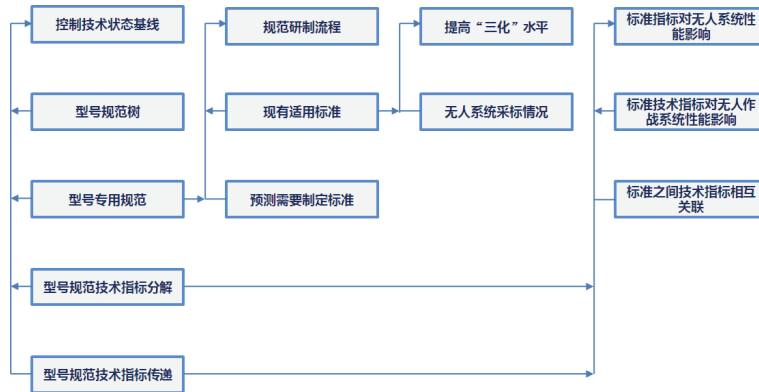


图 4.4 活动分解树 OV-5a

#### 4.3.3 操作视角（资源）

资源架构各模型开发流程，首先，分解高层任务节点活动，开发相关的信息流，描述活动节点信息单元和它们之间的资源交换，生成资源流的描述 OV-2，如图 4.5 所示；接着，描述系统功能体系结构，产生活动顺序事件和时序描述，定义活动节点的状态行为，把事件映射到活动体系结构，开发活动数据模型，生成 OV-6，反复迭代操作，根据内部逻辑关系逐步建立完善的模型。

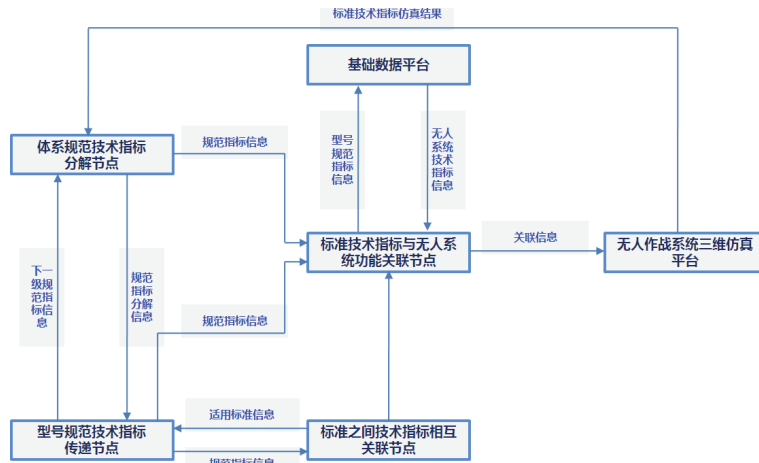


图 4.5 活动资源流描述 OV-2

#### 4.3.4 标准视角

标准体系的标准视角主要研究能力视角、操作视角及系统视角等构建时应遵循的政策、标准、指南、约束条件和术语等，确保对体系结构的理解、研制和集成一个统一的标准。标准视角是用来管控系统各组成部分或要素的编排，相互依赖的规则最小集，确保系统能够满足特定的一组操作要

求；以工程规范为基础，确立通用的标准规范，提供技术系统的实施指南，包括技术标准、执行惯例、标准选项、规则和规范，组成管控系统和系统服务要素的文件。首先，识别和遴选现有标准和新编标准中适用体系结构设计的部分标准，列出无人作战体系遵从标准规范、条例要求和规章制度等，生成 StdV-1，如图 4.6 所示；其次，未来某个时间段内可能发布的标准、条例条令，当前标准可用性的预测、新编标准对当前体系产生的影响，生成 StdV-2，如图 4.7 所示。



图 4.6 标准概要模型 StdV-1

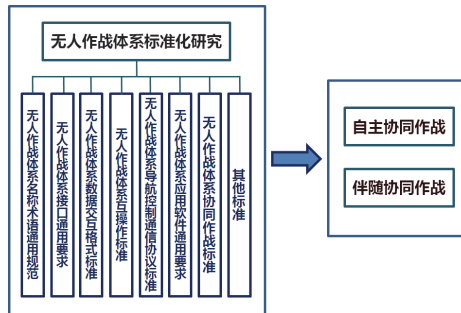


图 4.7 标准预测模型 StdV-2

#### 4.3.5 系统视角

系统视角各模型开发流程如下：首先，定义实现各个活动的系统功能，完成活动向系统功能的映射，定义系统功能间的关联，得到系统功能行为、数据模型等全方位的描述，生成 SV-4；接着，分析支持体系结构的系统节点，定义系统节点中的子系统，分配子系统和接口，描述系统顶层结构，生成 SV-1，如图 4.8 所示，通过 SV-1 模型可将无人作战体系和系统体系结构联系起来，描述了无人作战体系中侦察、指控、作战等各个系统及其子系统之间的接口和作战资源交互关系，并且标识它们之间的信息流；其次，进一步描述节点内系统和系统的互连关系，构建 SV-3；再次，描述系统间的信息交换矩阵，以及系统之间的交互信息，构建 SV-6；然后，描述系统的软、硬件特征和性能，构建 SV-7 并更新 AV-2；最终，考虑系统技术预测和系统演进描述，构建 SV-8/SV-9。



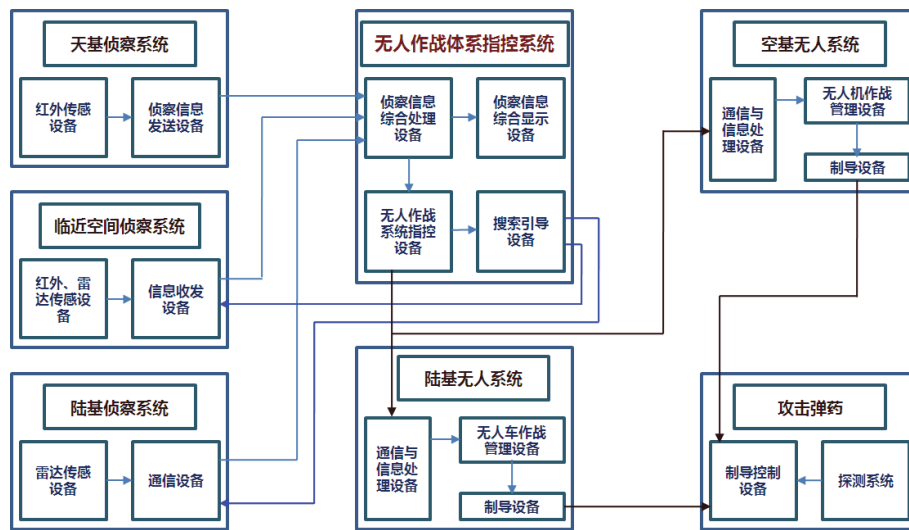


图 4.8 无人作战体系接口描述 SV-1

## 5 总结

无人作战体系标准化研究，面向未来无人系统自主协同和伴随协同体系作战的发展需求，结合无人系统研制企业的技术积累，基于 DoDAF 理论体系，采用多视角和多层次分析的建模方法，构建系列化的无人作战体系标准研究模型，指导无人作战系统标准化、规范化的体系建设，规范无人系统行业技术、生产、管理和经营的健康有序发展，支撑无人系统自主协同和伴随协同作战发展需求，保障未来无人作战体系快速形成聚合作战能力。

## 参 考 文 献

- [1] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.0 Volume 1: Definitions and Guidelines. U.S.: Department of Defense, 2003.
- [2] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 2.0 Volume 1: Definitions and Guidelines. U.S.: Department of Defense, 2009.
- [3] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 2.0 Volume 1: Definitions and Guidelines. U.S.: Department of Defense, 2009.
- [4] 任文明, 郑朔昉; 基于 DoDAF 的飞机标准系统体系结构设计; 中国标准化, 2016 (07): 59-64。
- [5] 黄广连; 分布式作战体系自同步构建方法研究; 国防科学技术大学博士学位论文; 2007 (12)。
- [6] 戎光, 刘新发, 夏惠诚; 基于 DoDAF 的大型舰艇编队防空反导系统作战体系结构; 舰艇电子对抗; 2012 (12): 22-25。
- [7] 王静, 徐瑞, 吴沉寒, 杨大韬; 基于 DoDAF 的远程目指系统作战体系结构; 指挥控制与仿真; 2014 (2): 51-55。
- [8] 王媛, 李皓, 赵科莉; 一种基于 DoDAF 的指挥控制系统原型迭代设计方法; 船舶科学技术; 2017 (1): 132-136。
- [9] 梁杰, 谭跃进, 占国熊, 何舒; 基于 DoDAF 人因视角的武器装备体系结构建模方法; 火力与指挥控制; 2017 (2): 1-5。

- [10] 彭耿,周少平,刘磊;基于 DoDAF 的侦察卫星支援对海打击作战视角研究;火力与指挥控制;2017(4): 71-74。
- [11] 李大喜,张强,李小喜,许勇,杨建军;基于 DoDAF 的空基反导装备体系结构建模;系统工程与电子技术;2017(5): 1036-1041。
- [12] 张春明,许腾,章华平;基于 DoDAF 的岛礁区海军合同作战体系结构框架;指挥信息系统与技术;2017(10): 20-24。
- [13] 刘丽君,涂天佳;基于 DoDAF 作战视角的无人直升机协同对海作战建模分析;电子技术与软件工程;2018(3): 129-131。
- [14] 李文俊,杨学强,纪伯公;基于 DoDAF 的装备保障信息系统集成体系结构设计;装甲兵工程学报;2018(5): 95-103。
- [15] 赵永,杨丽筱,李为民,肖金科;DoDAF 的空地信息下地空导弹混编作战体系结构模型;火力与指挥控制;2018(8): 56-61。
- [16] 刘翔宇,姜海洋,赵洪利,杨海涛;基于 DoDAF-OODA 的天基信息支援作战视角研究;兵器装备工程学报;2019(2): 33-38。
- [17] 邝兵;标准化战略的理论与实践研究;武汉大学博士学位论文;2011(5)。
- [18] 傅晓晴;产品型号标准化研究;天津大学硕士学位论文;2012(11)。
- [19] 田博文;新兴产业技术标准化过程研究-基于物联网产业的考察;华中科技大学博士学位论文;2015(4)。
- [20] 史琪琪,陈寒松,胡方珍;我国舰船装备标准化管理体制研究;船舶标准化工程师;2018(3): 11-15。
- [21] 赵明,史琪琪,刘震;国外海军舰船装备标准化管理体制研究;船舶标准化工程师;2018(4): 4-14。