

# 美国国防部体系结构框架应用分析

张佳\*, 杨红义, 刘一哲

中国原子能科学研究院, 北京 102413

**摘要** 从体系结构方法的定义引出美国国防部体系结构框架(DoDAF)的概念,对比 DoDAF 2.0 版本的优势,说明 DoDAF 2.0 中 8 个视角 52 个模型的含义,分析了 DoDAF 2.0 框架下体系结构开发的原则和步骤。在此基础上,简要分析了 DoDAF 2.0 的应用领域,并以武器装备需求分析为例,说明了作战视角(OV)和系统视角(SV)的分析过程。

**关键词** DoDAF 2.0; 开发原则; 开发步骤; 应用分析

体系结构(architecture)是指由环境、系统单元、系统单元之间的关系、系统设计及演进的原则等共同构成的系统特性。这里的“系统”是泛指,包括硬件系统、软件系统、组织机构等“人造系统”。体系结构方法是解决大型复杂系统建设而出现的一个新的研究领域,它的主要目的是描述清楚大型复杂系统的组成部件,各部件之间的关系以及制约它们的原则和指南,以供系统决策人员、系统分析人员、系统设计人员、系统实施人员以及系统部署人员进行交流与沟通,为系统集成、信息共享提供基础和依据。体系结构框架(architecture framework, AF)是体系结构建立的基本方法,提供体系结构建立的统一原则和操作要求。体系结构框架不仅分类、组织体系结构产品信息,而且提供体系结构产品核心数据模型,为体系结构产品之间信息、数据关联提供依据和支持。在统一的体系结构框架指导下,采用体系结构设计方法去完整描述复杂系统,可以确保系统能够有效满足不同用户的使用需求,实现系统间的信息互通和共享,确保系统设计的完整性和一致性,提高系统设计质量,避免重复建设,节省建设、维

护和使用成本,实现系统间的综合集成,这些也正是越来越多国家的军队开展体系结构研究的重要原因。

目前,国防领域比较主流的是美国国防部体系结构框架(DoDAF)、英国国防部体系结构框架(MoDAF)、北约体系结构框架(NAF)、开放群组架构框架(ToGAF)。除了这些在军事领域的主要体系结构框架,还有软件系统体系结构框架(SAF)、扎克曼架构框架等。其中,美国国防部体系结构框架(DoDAF)是建立体系结构框架的代表性的标准方法。

## 1 DoDAF 概述

DoDAF 方法起源于美军 C<sup>4</sup>ISR 体系结构框架,先后经历了 1.0<sup>[1]</sup>、1.5<sup>[2]</sup>、2.0<sup>[3]</sup> 三个版本。三个版本的内容差异见表 1。

与以前版本相比,DoDAF 2.0 对体系结构数据更为关注,并使用新的方法来表示体系结构信息,其变化如下。

1) 体系结构开发过程从以产品为中心转向以数据

收稿日期:2018-12-18;修回日期:2019-02-23

作者简介:张佳,工程师,研究方向为反应堆总体设计、系统工程、软件工程,电子邮箱:zhangjiahit@163.com

引用格式:张佳,杨红义,刘一哲.美国国防部体系结构框架应用分析[J].科技导报,2019,37(13):117-123;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2019.13.018

表1 DoDAF三个版本内容差异

Table 1 Content differences between three versions of DoDAF

版本	DoDAF体系结构信息			
1.0版	运行视图	视图产品	—	核心架构数据模型
1.5版	运行视图	视图产品	—	核心架构数据模型
2.0版	运行视角	模型	视图	DoDAF元模型
比较说明	1.0版:4个视图 1.5版:4个视图 2.0版:8个视角	1.0版:26种视图产品 1.5版:29种视图产品 2.0版:52种模型	2.0版:体系结构信息的5种可视化技术(仪表盘、图形、组合图、融合式文本框、参考模型)	1.0版/1.5版:核心架构数据模型 2.0版:概念数据模型、逻辑数据模型、物理交换规范

为中心,强调体系结构数据的采集、存储和维护,而不再是以前版本中的产品开发。真正实现了以数据为中心,支持更高效和更灵活地利用与重用体系结构,同时,能更准确地提供决策数据。

2) 原有的4个视图(作战视图、系统和服务视图、技术标准视图、全视图)转变为8个特定的视角(能力视角、数据和信息视角、作战视角、项目视角、服务视角、标准视角、系统视角)。其中,系统视角与原系统视图描述相适应;独立出服务视角,更详细地描述了网络中心和面向服务的策略;增加了数据和信息视角,集中所有的数据模型,而不是散布在整个作战视图、系统和服务视图中;新增了作战视角,能够描述任何功能的规则和约束(业务、情报、作战等),而不仅仅局限于从数据关系中获取的内容;新增了标准视角,能够描述业务、商业和条令标准以及适用于解决方案的技术标准;考虑到国防部内部的能力组合管理和采办团体反馈非常重要,增加了能力视角和项目视角。采用视角描述的方式,使得不同决策人员能从不同的立场、观点和角度对体系结构进行观察、分析与研究。

3) 用“模型(model)”取代“视图产品(product)”。模型是用文字、表格与图形表征每个视角特征的结果,是体系结构开发的所有成果的代名词,是体系结构数据及其导出信息的特殊表示形式。在以数据为中心的情况下,体系结构模型不再是最终的目标,而仅为了有助于查询体系结构数据库中的信息,所有模型都是可以剪裁的;对于数据图表中数据的完整性和自我一致性的要求,比在任意特定时段、特定用户选择的产品更为关键。

4) 定义并描述了国防部(复杂体)单位体系结构(enterprise architecture, EA)。DoDAF 2.0首先定义并阐述了单位的概念。从一般意义上说,“单位”是具有

一组共同目标或单一底线的组织集合。单位可以包括军事部门、作为一个整体的国防部,或是一个组织中的一个部门、一个特定地区中的一个组织、地理上分开的通过共同管理或目的连接的组织等。国防部单位体系结构是一种体系结构的描述,是一种单位资产,用于评估与国防部使命的一致性,加强客户支持,支持能力组合管理,确保满足作战目标和战略要求。

5) 用国防部元数据模型(DoDAF meta-model, DM2)取代了支持早期版本的核心体系结构数据模型(CADM)。DM2由概念数据模型(conceptual data model, CDM)、逻辑数据模型(logical data model, LDM)和物理交换规范(physical exchange specification, PES)组成,是构成国防部体系结构框架整体的重要组成部分。DM2是一个数据模型,它提供了在体系结构工作中正常收集、组织和维护数据的高级视图。DM2也可以作为在体系结构开发和管理的联盟方法条件下重用数据的路线图。

6) 给出了体系结构的分类。国防部单位体系结构的3个主要级别是:部级、能力级和组成部门级。解决方案级不属于单位体系结构,它是为单位的任意级别提供特殊的项目解决方案,但各个级别开发出来的所有体系结构,都属于国防部体系结构联盟。

总之,DoDAF 2.0没有局限在之前的各个版本的框架之内,而是吸纳了世界各国或有关组织在体系结构框架研究上的最新成果,并进一步深化、提炼,形成了管理人员更易于理解、掌握,开发内容更灵活、理论性更强、系统性更完整、阐述更深入、创新点更多的框架文本。本版本以支持核心决策过程、开发符合用户需要与目的为根本出发点、聚焦于单位体系结构、联盟体系结构的新型体系结构框架。DoDAF 2.0是一个真正

实现以数据为中心的全新体系结构框架版本,是美国国防部体系结构框架的最新发展,同时也是体系结构技术发展的里程碑。

### 1.1 DoDAF 2.0 视角说明

DoDAF 2.0 包含 8 个视角(图 1),每个视角包含多个模型,共计 52 种(图 2)。

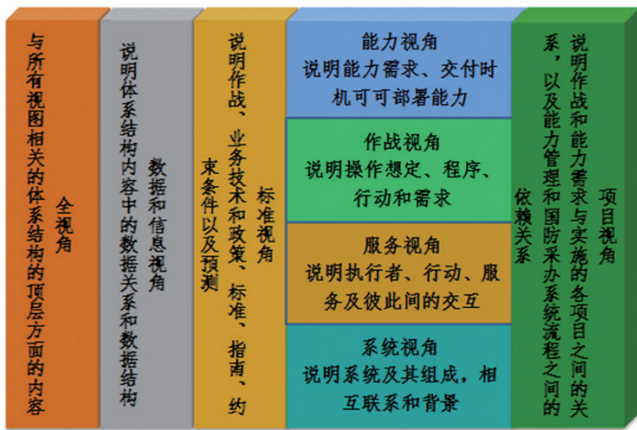


图 1 DoDAF 2.0 体系结构视角

Fig. 1 Architecture viewpoint of DoDAF 2.0

能力视角	作战视角	系统视角	服务视角
OV1 构想	OV1 顶层作战概念描述	SV1 系统接口表述模型	SvcV1 服务接口表述模型
OV2 能力分类	OV2 作战资源流描述	SV2 系统资源流表述模型	SvcV2 服务资源流表述模型
OV3 能力时段	OV3 作战资源流矩阵	SV3 系统-系统矩阵	SvcV3a 服务-系统矩阵
OV4 能力依赖	OV4 组织关系	SV4 系统功能模型	SvcV3b 服务-服务矩阵
OV5 能力到组织部署映射	OV5a 作战活动分解树	SV5a 系统功能与作战活动跟踪矩阵	SvcV4 服务功能模型
OV5b 作战活动描述	OV5b 作战活动描述	SV5b 系统与作战活动跟踪矩阵	SvcV5 服务与作战活动跟踪矩阵
OV6 能力到作战活动映射	OV6a 作战规则模型	SV6 系统资源流矩阵	SvcV6 服务资源流矩阵
OV7 能力到服务映射	OV6b 作战状态转换模型	SV7 系统度量矩阵	SvcV7 服务度量矩阵
	OV6c 作战事件跟踪模型	SV8 系统技术和技能预测	SvcV8 服务演变表述模型
		SV9 系统技术和技能预测	SvcV9 服务技术和技能预测
		SV10a 系统规则模型	SvcV10a 服务规则模型
		SV10b 系统状态转换模型	SvcV10b 服务状态转换模型
		SV10c 系统事件跟踪模型	SvcV10c 服务事件跟踪模型
全视角	标准视角	项目视角	数据和信息视角
AV1 综述与概要模型	StdV1 标准概要模型	PV1 项目与组织关系模型	DIV1 概念数据模型
AV2 综合词典	StdV2 标准预测模型	PV2 项目实现时段模型	DIV2 逻辑数据模型
		PV3 项目与能力映射模型	DIV3 物理数据模型

图 2 DoDAF 2.0 体系结构视角模型

Fig. 2 Architecture viewpoint model of DoDAF 2.0

全视角(AV)是与所有视图相关的体系结构描述的顶层概貌,提供有关体系结构描述的总体信息,诸如体系结构描述的范围和背景。能力视角(CV)是集中反映与整体构想相关的、在特定标准和条件下进行行动或达成期望效果的能力,为体系结构描述中阐述的能力提供了战略背景和相应的高层范围,方便决策者理解。数据和信息视角(DIV)是集中反映体系结构描述中的业务信息需求和结构化的业务流程规则,描述体系结构中与信息交换相关的内容,诸如属性、特征和相

互关系等。作战视角(OV)是集中反映任务或执行的活动以及彼此间必须交换的信息,传达的是信息交换支持哪些任务和活动以及信息交换的性质。项目视角(PV)是集中反映如何有序地组织诸多相关联的采购项目,提供了描述多个采办项目之间关联关系的方法,每一种采办项目都负责交付特定系统或能力。服务视角(SvcV)是集中反映为作战能力提供支撑的系统、服务策略等。标准视角(StdV)是用来管理系统各组成部分或要素的编排、交互和相互依赖的规则的最小集,目的是确保系统能满足特定的作战能力。系统视角(SV)是集中反映支撑作战能力的系统、系统之间交互关系以及系统功能等。

### 1.2 DoDAF 2.0 开发的原则

采用 DoDAF 2.0 进行体系结构开发时,应遵守以下原则。

1) 体系结构描述应清晰地支持既定目标。

2) 体系结构描述既要简洁,又要能反映其既定目标所规定的复杂程度。

3) 体系结构描述应促进而非阻碍决策过程以及执行过程中的沟通。体系结构数据的采集和各种视图的创建为决策过程提供支持,并提供一种记录,以向技术和非技术管理人员解释所做出的各项重要选择。体系结构描述的目的在于支撑决策过程,并促进执行程序和技术改进。

4) 体系结构描述应是可关联的、可比较的,能够促进体系结构的分析。除了位于组织机构最高层次的体系结构外,大多数的体系结构描述都与其他外部的流程和运行相关。当对多个流程或具体操作过程进行评价、比较或交叉引用时,应弄清楚数据的信息、来源以及传递用途。

5) 体系结构描述应说明如何在现有体系结构中实现数据的互操作,并采取措施保证跨视图、跨体系结构描述边界的数据集成以及各层级间数据的一致性。

6) 体系结构描述应以数据为中心,与工具无关。体系结构描述的开发可使用不同的内部规则、技术、标注和方法。

7) 体系结构数据应是可组织、可复用、可分解的,以供体系结构开发小组和决策支持分析小组使用。采集和组织用于决策过程的体系结构数据工作不应“过头”。也就是说,采集到的数据的广度和深度应足以描述主要的过程行为,却不能过分宽泛,以致模糊了该体

系结构项目的既定目标。同时,应尽可能使用与其他体系结构描述通用的数据。

8) 体系结构描述的开发应以网络中心性的原则和实践为指导,以促进和支持网络中心战略。应确保体系结构描述的开发遵循网络中心战略中概括的网络中心原则。对于体系结构描述中的跨系统或服务以及它们之间必须共享的数据,应该有清晰地描述。

### 1.3 DoDAF 2.0 开发的步骤

在进行体系结构开发时,可按照6个步骤开展(图3)。前4步主要是确定构建体系结构的目的、体系结构的范围,审定体系结构的关键特征以及确定要构建的体系结构产品。使用部门和用户在这4步中起着决定性作用,同时也要求体系结构设计人员参与。后2步是开发符合需求的体系结构产品,主要由设计人员来完成。

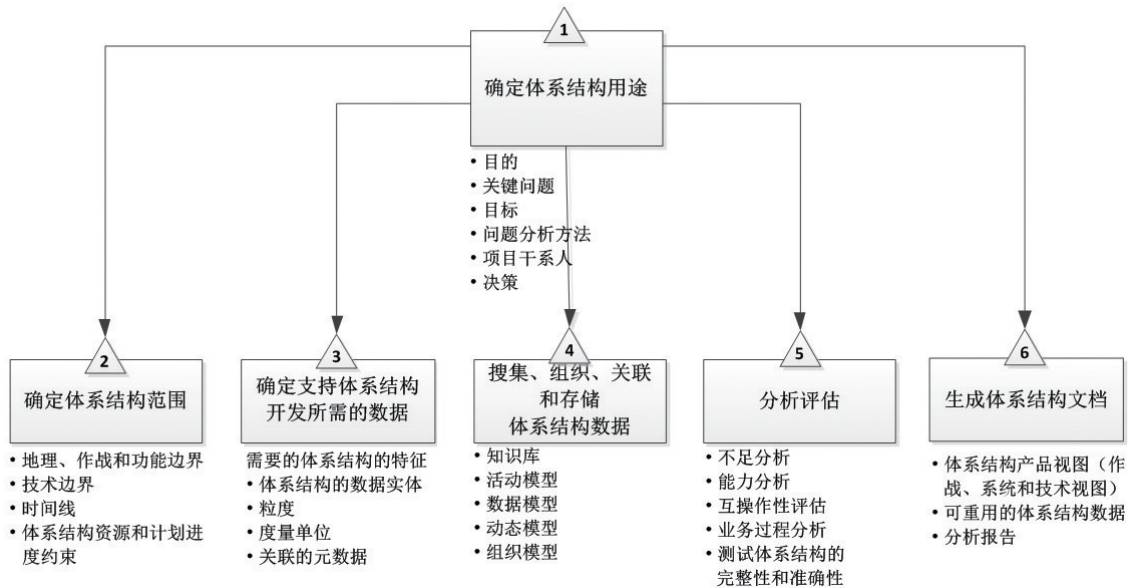


图3 体系结构开发的实施步骤

Fig. 3 Steps for architecture development

1) 确定体系结构用途。体系结构应根据设定的用途来构建。在开始描述体系结构之前,用户必须尽可能明确并详尽地说明期望利用体系结构解决与回答的问题,以及用户关心的问题 and 基本观点。此外,用户还应当给出预期的体系结构分析用途和项目所涉及的相关单位与部门。

2) 确定体系结构范围。体系结构范围包括:体系结构项目背景、使命、活动、组织机构、时间跨度、合适的粒度、作战想定、态势、地理范围、经费以及在特定时间范围内专业技术的可用性等背景,以及其他一些相关条件说明,如计划管理、可用资源、专家以及体系结构数据的可用性等。

3) 确定支持体系结构开发所需的数据。确定满足体系结构设计必须拥有的信息,为准确地确定需要开发的体系结构产品、产品粒度以及产品应当具有的属性,应考虑体系结构的度量标准。度量可以是定量的,也可以是定性的。如果开发人员不能确定度量指标,对高级决策人员而言,体系结构的最终设计结果就没

有多大意义。

4) 搜集、组织、关联和存储体系结构数据。依据获得的信息,确定需要构建的产品,以及构建这些产品必须获得什么样的体系结构数据,并组织利用这些数据,开发相应的体系结构产品。

5) 分析评估。分析体系结构产品是否满足体系结构用途和设计目的,并根据既定的体系结构用途和目的对不满足要求的数据和产品进行修正。

6) 生成体系结构文档。基于以上的内容,完成体系结构开发文档。

综上所述,在收集到足够的体系结构设计数据后,就可以进行体系结构产品的开发。一般情况下,应依据概述和摘要信息开始一个项目的体系结构开发,在完成对作战需求分析的基础上,进行系统分析与设计,选择配套的技术标准,并在整个开发过程中将涉及到的所有术语汇总形成综合词典。体系结构产品的开发顺序并不是按照产品序号开发的,而主要是根据产品的依赖关系确定其开发顺序。

## 2 DoDAF 应用分析

美国国防部认为 DoDAF 2.0 的应用领域广泛,所适用的架构包括:1) 国防部级整体架构;2) 部门级整体架构或专业(跨部门)级整体架构;3) 解决方案级架构(系统架构、系统族(FOS)架构、系统系(SOS)架构)。

无论是对企业架构还是系统解决方案等的决策,均需要来自多方面的信息。DoDAF 2.0 规定了 8 个视角,每个视角的分析结果都代表了构建对象的一个信息集合。在实际应用时,并不是全部视角和模型都需要建立,而是根据建模目的和范围,选择合适的视角和模型,选定相应的数据集合,进行体系结构产品的开发。

目前,DoDAF 2.0 主要应用在需求分析<sup>[4]</sup>、功能逻辑方案设计、架构设计<sup>[5-9]</sup>等方面,选取能力视角、作战视角、系统视角、数据视角等进行建模分析。还可以应用在计划管理、标准化建设等方面,如选取项目视角和能力视角,可以对哪些项目支撑能力的发展进行判断和监控,从而更好地安排项目;选取标准视角,可以对标准选用和标准规划进行系统性地思考。DoDAF 2.0 基于多视角的系统分析原理,给复杂系统的结构化分析提供了借鉴。因此,还可以衍生出新的应用,如技术体系架构设计及关键技术识别,对技术体系架构的科学描述,本质上也是对其体系结构特征的抽象。

以武器装备需求分析为例,说明选取作战视角和系统视角进行需求分析的建模过程。

武器装备需求分析的核心原则是通过作战视角将作战任务分解为作战需求,通过系统视角将作战需求分解为装备需求。

### 1) 武器装备作战需求分析。

武器装备的作战需求分析主要是描述完成作战使命需要执行哪些作战任务,需要哪些作战角色,完成作战任务过程中需要执行哪些作战活动,执行作战活动需要哪些作战节点,各作战节点为了完成各项作战活动需要传递哪些作战信息。

武器装备作战需求分析流程如图 4 所示。首先,依据武器装备的作战背景、作战方式以及作战使命,建立武器装备顶层作战概念图 OV1;确定作战中涉及的组织以及组织之间关系,建立组织关系 OV4;将作战使命分解为若干作战任务及其子任务,并提取作战活动,建立作战活动分解树 OV5a;分析作战活动的输入、输出、控制等基本信息,建立作战活动描述模型 OV5b;确定与武器装备交互的外部实体和内部实体,将这些实体定为作战节点,通过建立作战活动与作战节点之间的映射关系,建立作战节点连接描述图 OV2;描述作战节点之间的信息交互关系,建立作战节点信息交互矩阵 OV3。其次,详细分析 OV2、OV5、OV4 之间的关系,完善作战节点信息,使得 OV5 能说明一个作战活动在哪个作战节点上执行,由谁来执行;OV2 能说明一个作战节点上执行了哪些作战活动,由谁来执行;OV4 能说明一个角色在可以在哪些作战节点上执行哪些作战活动。最后,构建作战规则模型 OV6a、作战事件跟踪模型 OV6b、作战状态跟踪模型 OV6c 来验证上述视图的正确性、完整性和一致性。上述过程需要不断循环迭代,最终目标是将作战任务/活动、作战角色、作战节点及其之间的交互信息统一关联起来,得到武器装备作战需求。

### 2) 武器装备需求分析。

武器装备的需求分析主要是描述一个系统功能支持哪些作战活动,一个作战活动需要哪些系统功能来实现,从而提出装备功能、性能等研制需求。

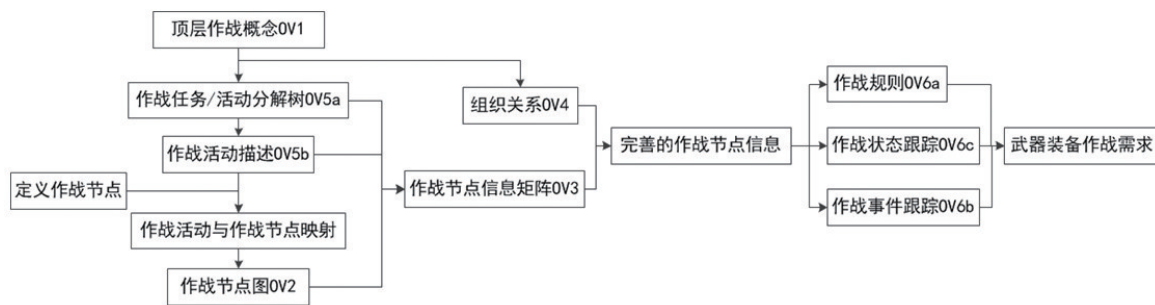


图 4 基于 DoDAF 2.0 的武器装备作战需求分析

Fig. 4 Operational requirements analysis of weapons and equipment based DoDAF 2.0

武器装备需求分析流程如图5所示。首先,依据作战活动模型OV5b,以作战活动的作战节点为对象,分析支持该作战节点的系统节点及系统,建立系统接口模型SV1;分析作战节点的功能需求,提出对系统节点的功能需求。其次,依据作战节点信息交互矩阵OV3,分析系统节点之间的信息交互,建立系统信息交互矩阵SV6。第三,建立系统功能模型SV4,并实现系统功能与作战活动的跟踪SV5a、系统与作战活动的跟踪SV5b。最后,依据图4中作战规则模型OV6a、作战事件跟踪模型OV6b、作战状态跟踪模型OV6c,建立相应的系统规则模型SV10a、系统事件跟踪SV10b、系统状态跟踪SV10c,模拟得到的系统关键性能参数,建立系统性能矩阵SV7。上述过程也需要不断循环迭代,最终目标是将作战活动及其信息交互关系映射到系统及系统间信息交互关系上,分析得到武器装备的功能、性能等方面的需求。

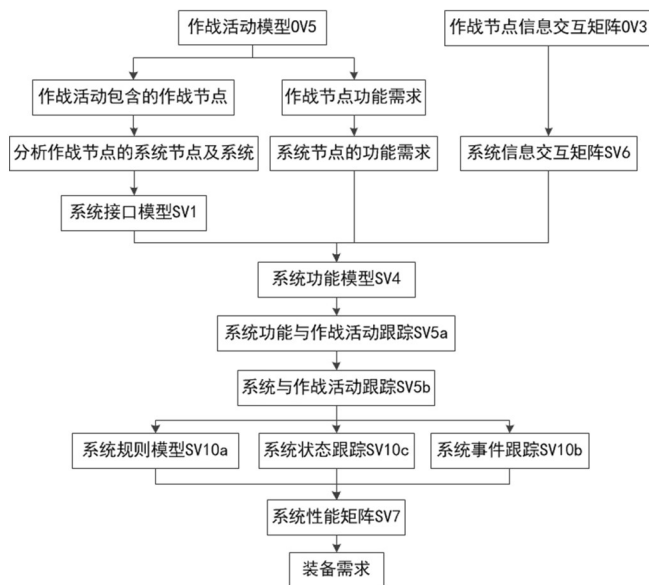


图5 基于DoDAF 2.0的武器装备功能需求分析

Fig. 5 Functional requirements analysis of weapons and equipment based DoDAF 2.0

总的来说,应用DoDAF 2.0的核心是通过能力视角、作战视角、系统视角理清“分析对象”与外部环境之间的关系、“分析对象”内部活动及其信息交互关系、“分析对象”内部活动执行时所需的功能、服务、标准,以及承载它们的实体或组织。在此基础上,借助数据和信息视角、项目视角、服务视角、标准视角、全视角等,呈现出完整的关于“分析对象”的体系结构说明。

### 3 结论

DoDAF是一种适用于系统级、部门级的体系结构建设的方法,从能力需求、业务活动、配套服务、实体系统、数据支撑、标准支撑等多角度对所建设的体系结构产品进行分析。目前已经广泛应用于国外军民系统,并在国内开始推广使用。实践证明<sup>[10]</sup>,DoDAF方法能有效实现信息的结构化、可重用,给组织带来巨大信息优势和利益优势。

### 参考文献(References)

- [1] DoD Architecture Framework Working Group. The department of defense architecture framework (DoDAF) version 1.0 volume [R]. Washington: DoD, 2003.
- [2] DoD Architecture Framework Working Group. The department of defense architecture framework (DoDAF) version 1.5 volume [R]. Washington: DoD, 2007.
- [3] DoD Architecture Framework Working Group. The department of defense architecture framework (DoDAF) version 2.0 volume [R]. Washington: DoD, 2009.
- [4] 梁涛, 付勉. 基于DoDAF的武器装备需求描述[J]. 船舶电子工程, 2012, 32(3): 8-10.  
Liang Tao, Fu Mian. Requirement description of materiel based on DoDAF[J]. Ship Electronic Engineering, 2012, 32(3): 8-10.
- [5] 谢志航, 冷洪霞. DoDAF及其在美军武器装备体系结构开发中的应用[J]. 国防科技, 2011, 32(4): 25-31.  
Xie Zhihang, Leng Hongxia. DoDAF and its apply to U.S army weapon and equipment system-of-systems architecture development[J]. National Defense Science and Technology, 2011, 32(4): 25-31.
- [6] 马颖亮, 黄定东, 王保乳. 基于DoDAF的“宙斯盾”防空作战体系结构[J]. 兵工自动化, 2012, 31(2): 9-13.  
Ma Yingliang, Hang Dingdong, Wang Baoru. AEGIS air defense system architecture based on DoDAF[J]. Ordnance Industry Automation, 2012, 31(2): 9-13.
- [7] 郭颖辉, 郭继周, 詹武. 装备技术体系结构设计方法[J]. 指挥控制与仿真, 2015, 37(4): 100-104.  
Guo Yinghui, Guo Jizhou, Zhan Wu. Technology architecture design method of weapon system-of-system[J]. Command Control & Simulation, 2015, 37(4): 100-104.
- [8] 曹红霞, 杨润亭. 基于DoDAF的机载相控阵雷达系统体系结构建模[J]. 现代雷达, 2014, 36(11): 49-53.  
Cao Hongxia, Yang Runting. System modeling for airborne phased-array radar based on DoDAF[J]. Modern Radar, 2014, 36(11): 49-53.

- [9] 从帅军, 任迪, 周晓纪. 面向航天器的体系结构框架设计及应用[J]. 指挥控制与仿真, 2015, 37(4): 92-99.  
Cong Shuaijun, Ren Di, Zhou Xiaoji. Design and application of architecture framework faced on spacecraft[J]. Command Control & Simulation, 2015, 37(4): 92-99.
- [10] 周毅书, 周剑雄, 刘裕等. 企业云服务体系结构设计框架[J]. 计算机系统应用, 2014, 23(8): 47-52.  
Zhou Yishu, Zhou Jianxiong, Liu Yu, et al. Framework to enterprise cloud service architecture design[J]. Computer Systems & Application, 2014, 23(8): 41-52.

## Application analysis of US Department of Defense architecture framework

ZHANG Jia\*, YANG Hongyi, LIU Yizhe

China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China

**Abstract** This paper introduces the concept of DoDAF based on the definition of architecture, discusses the advantages of DoDAF 2.0, explains the meanings of 52 models in 8 viewpoints of DoDAF 2.0, and analyzes the principles and steps of architecture development under DoDAF 2.0. Then it briefly analyzes the application fields of DoDAF 2.0, and explains the operational viewpoint (OV) and system viewpoint (SV) by taking weapons and equipment requirement analysis as an example. Through comprehensive review and analysis, the paper provides a reference for application of DoDAF 2.0 in different fields.

**Keywords** DoDAF 2.0; development principles; development steps; application analysis ●



(编辑 徐丽娇)