

# 基于 DoDAF 的潜艇作战系统体系结构设计

程 飞,许 涛,张加林

(江苏自动化研究所 二部,江苏连云港 222006)

**摘要:**在分析美国国防部体系结构框架 DoDAF 的基础上,以潜艇作战系统为实例,对体系结构建模方法和设计步骤进行研究,最后,对建立的动态模型进行了验证。

**关键词:**DoDAF;作战系统;体系结构;潜艇

**中图分类号:**TP391.9

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2012)03-0080-05

潜艇作战系统作为典型的 C<sup>4</sup>ISR 系统,体系结构复杂,研制周期长、成本高,这些特点决定了其必需在系统工程理论和方法指导下进行研制,以确保最终实现的系统能满足潜艇作战需求。从系统体系结构入手进行潜艇作战系统项目论证、系统分析、软件研制、交付与维护等生命周期过程可以简化系统的复杂度,缩短研制周期,提高系统开发效率。

目前,我军系统体系结构的研究还处在初始阶段,国内潜艇作战系统体系结构设计普遍采用“从系统到设备再到协议”的方法,整个系统只是设备的简单组合,没有从系统工程的角度对整个作战系统进行顶层设计,缺乏顶层规划,开发过程中缺乏统一的方法论和规范作为指导,造成相关各方对系统、协议理解不一致,导致系统研制周期进度延长、成本增加等问题。随着计算机技术、潜艇情报侦察探测技术、武器系统的发展及当前新型潜艇战术使命任务的变化,国内潜艇作战系统功能越来越强大,系统越来越复杂,研制过程中涉及的单位也越来越多,这种系统体系结构设计方法远远不能满足潜艇作战系统的发展需求,易造成后期设计变更、协议变更较频繁,且系统可扩展性、可重用性、稳健性不强。

体系结构框架,作为一种用于信息系统体系结构开发、描述和集成的统一方法,利用统一的体系结构框架设计复杂系统体系结构,能有效降低系统复杂度,提高相关人员对系统的理解一致性,提高目标系统的可扩展性、可移植性、可复用性等。美军一直在开展信息系统体系结构的相关研究工作,并取得了多项成果。其中 DoDAF(国防部体系结构框架,department of defense architecture framework)发展成为目前应用最广泛的一种体系结构框架。本文重点分析了 DoDAF 体系结构建模过程、建模方法以及模型间的相互逻辑关系,并以潜艇作战系统为例,说明了该建模方法的具体应用,并对设计的体系结构模型进行了验证。

## 1 DODAF 体系结构设计方法

### 1.1 DoD 体系结构框架

海湾战争后,为了规范各军兵种、国防部各局军事信息系统体系结构设计方法,美军在 2003 年和 2007 年分别颁布了《DoD 体系结构框架》1.0 版(简称 DoDAF 1.0)、《DoD 体系结构框架》1.5 版(DoDAF 1.5),并规定其为一切军事信息系统集成的框架。DoDAF 1.0 是指导国防部各任务领域开发体系结构的指南,为国防部体系结构的开发、描述、集成定义了一种通用方法。DoDAF 体系结构采用作战视图、系统视图、技术视图三视图结构,分别从作战需求和应用、系统设计以及技术三个视角来描述 C<sup>4</sup>ISR 系统体系结构。

2009 年 8 月美军发表了 DoDAF 2.0 版,该版本扩展了前面版本的开发成就,提供关于网络中心的体系结构信息,支持国防部网络中心战略。DoDAF 2.0 版删除了技术标准视图,用范围更广的标准视图来替代,包括了运作、业务、技术、政策、标准指南、约束和预测。同时增加了能力视图、服务视图、项目视图及数据和信息视图。

DoDAF 体系结构视图主要由全视图(AV)、作战视图(OV)、系统视图(SV)和技术标准视图(TV)组成,其组成关系如图 1 所示<sup>[1]</sup>。

系统体系结构视图的每一个视图都描述体系结构的一定属性。其中,作战视图描述为完成国家使命所要求的任务及活动、作战要素和信息交换的一组图形及文字产品,使命包括作战使命和公务过程;系统视图是描述提供或支持功能的系统和互通的一组图形及文字产品,功能包括作战功能和公务功能;技术标准视图是管理系统部件或零件的排列、交互和互相依赖的最小一组规则。

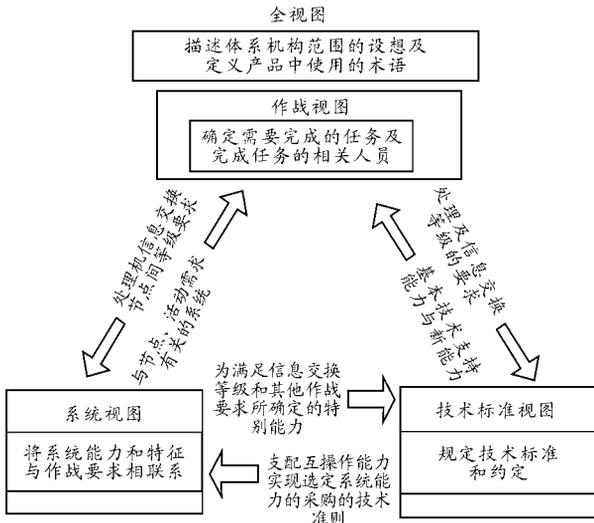


图1 DoDAF 三视图关系

## 1.2 作战体系结构设计

作战体系结构设计的任务是描述系统支持的作战概念,包括完成作战任务的活动、作战要素、人员/组织之间的相关信息交换,定义交互信息的类型、频度、支持的作战活动以及信息种类,揭示作战能力和互操作性方面的需求。与之对应的作战视图产品集如图2所示。

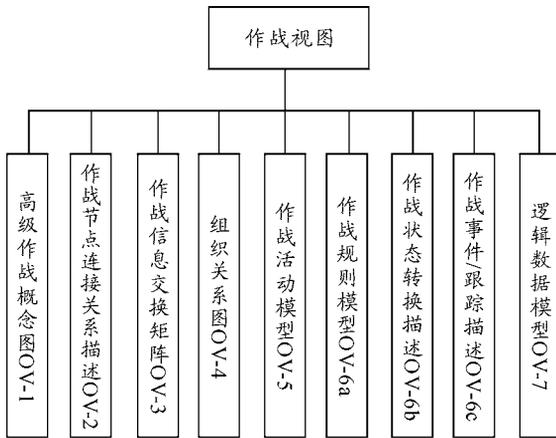


图2 作战视图产品集

作战体系结构设计步骤:

- 1) 获得或建立作战概念,确定作战任务、作战节点及其指挥关系,与之相关的视图产品有OV-1、OV-4;
- 2) 分析作战任务执行过程,即作战过程描述,与之相关的视图产品有OV-5、OV-6;
- 3) 作战节点连接关系及信息交互描述,与之相关的视图产品有OV-2、OV-3、OV-7。

## 1.3 系统体系结构设计

系统体系结构设计的主要任务是对支持或提供作战功能的各个系统内部结构和运行规则及其系统间互连和互操作关系的描述,与之对应的系统视图集如图3所示。

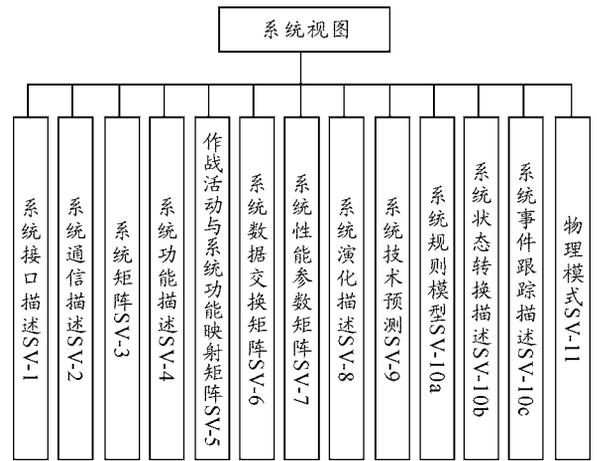


图3 系统视图产品集

系统体系结构设计步骤:

- 1) 基于作战体系结构设计的作战模型,明确系统所需的功能和数据流,确定子系统的功能分配及其与作战活动之间的对应关系。与之相关的视图产品有SV-4、SV-5;
- 2) 描述系统内部的运行规则及状态,生成的视图产品有SV-10a,对应于作战体系结构中的OV-6a;描述系统间的交互关系(主要是信息交互顺序),生成的视图产品有SV-10c,对应于作战体系结构中的OV-6c;
- 3) 分析确定系统间连接关系、信息交互内容及数据模型,生成的视图产品有SV-1、SV-3、SV-6和SV-11;
- 4) 分析确定节点内系统间以及与其它节点的互连方式及系统软、硬件特征和性能,生成的视图产品有SV-2、SV-7;
- 5) 分析系统研制进度及技术发展对系统研制带来的影响,生产的视图产品SV-8、SV-9。SV-8主要明确系统开发过程和各阶段的主要工作和关键成果,SV-9主要关注在现有技术和未来新兴技术对体系结构和系统研制的影响。
- 6) 描述每个子系统的内部状态,生成的视图产品是SV-10b,本阶段是系统体系结构模型验证的基础。

## 1.4 技术体系结构设计

技术体系结构设计的主要任务是建立系统研制、开发过程中必须遵守的技术和标准规范,以规范和约束系统体系结构设计的实现选择。与之对应的系统视图共两种产品,如图4所示,技术标准视图主要反映管理者对系统研制开发的关注点。

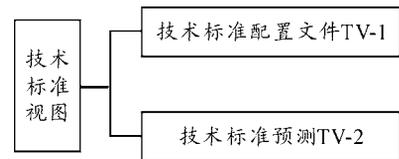


图4 技术标准视图产品集

技术标准配置文件描述使用于体系结构实现的标准和协议,它由一系列标准组成,这些标准控制系统的实现和体系结构的运行;标准技术预测包含与技术标准配置文件(TV-1)列出

的与技术有关的标准和协议的预期变化,列出了与体系结构覆盖的系统有关正在出现的或正在演进的技术标准。该产品给系统设计者提供系统、系统组成单元、数据格式等有关方面的不同时间段的技术标准特征。

## 2 潜艇作战系统体系结构设计

潜艇作战系统作为配置在潜艇作战平台上的以指控系统为核心,包括各种不同类型及用途的侦察探测传感器系统、导航传感器系统、通信系统、战术数据链系统、某些种类的杀伤性武器及其发射装置、水声电子对抗器材及发射装置的具有对敌作战功能的综合体,主要用于执行警戒、跟踪、目标识别、数据处理、威胁估计及控制武器完成对敌作战<sup>[2]</sup>。

本节在分析潜艇作战系统体系结构的基础上,按基于DoDAF体系结构建模步骤进行系统建模,最后对建立的体系结构模型进行验证。

### 2.1 作战体系结构分析

潜艇作战系统的典型作战流程是:使用侦察探测传感器系统对作战海区目标进行侦查、搜索、探测、跟踪、测量水声环境参数,并利用战术数据链接收指挥平台的目标指示信息、情报信息及命令信息;利用导航传感器系统提供潜艇导航参数、航行状态及姿态信息;对获取的情报信息进行综合处理,对处理结果进行目标识别、威胁估计、战术决策,确定并指示对抗目标及武器分配,进行武器通道组织并控制武器系统打击敌方目标或与敌进行战术对抗。

根据以上潜艇作战流程描述,可形成潜艇作战系统高级作战概念图,如图5所示。

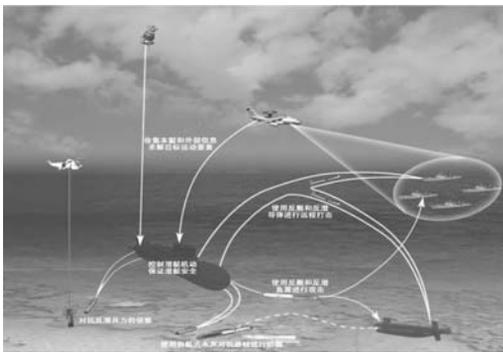


图5 潜艇作战系统高级作战概念图 OV-1

潜艇指挥所作为全艇最高指挥部位,是整个作战系统的协调者和组织者。通用潜艇作战系统指挥关系图如图6所示。

由潜艇典型作战流程描述、高级作战概念图及组织关系图可知,潜艇作战活动主要包括战场环境探测与监视、情报综合处理、战术决策、武器控制几大部分,图7给出了潜艇作战活动顺序图。

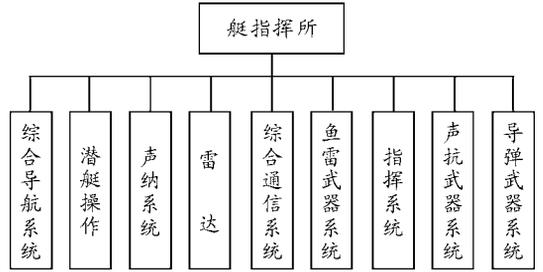


图6 指挥关系图 OV-4

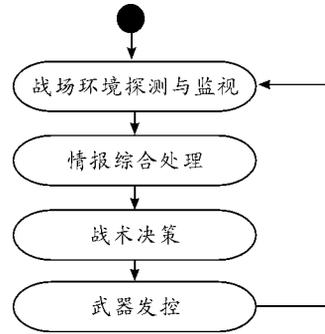


图7 作战活动顺序图 OV-5

作战事件跟踪描述用于提供作战节点间信息交换的时间顺序检查,有助于定义节点接口关系,并确保特定作战节点具有必要的信息,以便在正确的时间完成赋予它的作战活动。由于潜艇作战过程比较复杂,本例中以情报综合处理为例说明作战事件跟踪描述方法,如图8所示。

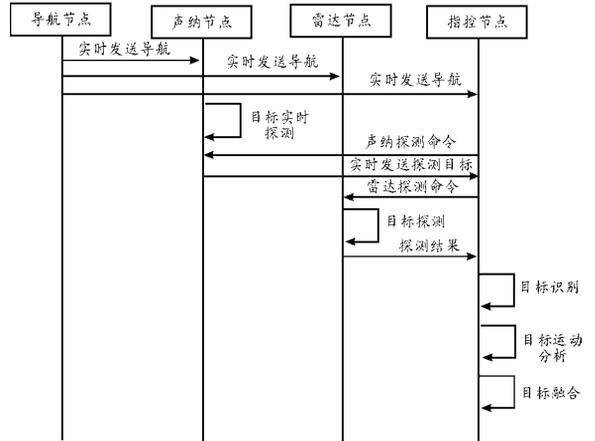


图8 情报综合处理事件跟踪描述 OV-6c

作战节点间的信息交互与连接关系通过OV-2、OV-3、OV-7视图描述,其主要目的是依据整个系统的动态模型描述作战节点之间的信息连接关系,重点反映作战体系结构指挥流和信息流。OV-2、OV-3分别以图形化和矩阵化方式表达节点信息交互关系,而OV-7则对节点间的指挥流和信息流做进一步的详细设计,描述它们的具体数据内容和特征。图9给出了潜艇作战系统的OV-2视图。

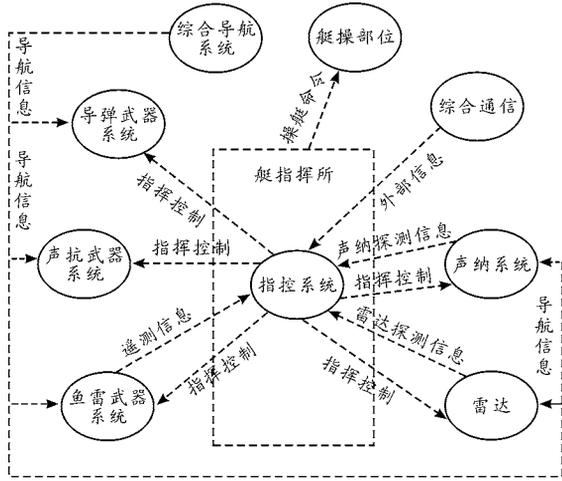


图9 潜艇作战系统作战节点连接描述(OV-2)

## 2.2 系统体系结构建模

作战体系结构分析完毕后,即完成了作战任务对系统需求的分析、描述,为系统总体设计奠定了基础。

根据作战系统体系结构分析,首先需要确定潜艇作战系统中各子系统的功能分配、部署及它们和作战活动的关系,本过程需要建立系统视图SV-4、SV-5,图10给出了潜艇作战系统的简要系统构成和功能分配情况。

导航系统	声纳系统	雷达	通信系统
综合导航	声纳探测	雷达探测	无线电通信 战术情报 数据交换
指挥控制系统	鱼雷武器系统	声控武器系统	导弹武器系统
全艇资源综合管理 艇运动要素解算 综合决策控制 辅助武器综合控制 态势综合显示 情报综合处理	鱼雷发控系统 系统训练	声抗发控系统 系统训练	导弹航路规划 导弹武器发控系统 系统训练

图10 潜艇作战系统简要系统构成和功能分配SV-4

其中,SV-4主要描述系统完成的功能、内部子系统构成以及作战功能在子系统上的分配;SV-5描述系统对能力的映射或系统功能对作战活动的映射。

一个体系结构的许多关键特征只能在定义和描述该体系结构的动态特性后才能被发现,DoDAF采用三类模型充分描述体系结构的多个动态行为和性能特征,分别是SV-10a、SV-10b、SV-10c,它的设计内容主要是作战节点内部系统的运行规则、状态变换和动态逻辑关系。为了简化问题描述,图11给出了指控系统状态转换描述SV-10b视图,图12给出了鱼攻/对抗系统事件跟踪描述SV-10c视图。

SV-3采用矩阵形式表示,详细的描述SV-1的接口特征,可以帮用户快速了解SV-1给出的接口特性,表1给出了潜艇作战系统简要互连矩阵,由于系统内部各节点间交换数据量较

大,本文中不再对SV-6进行描述。

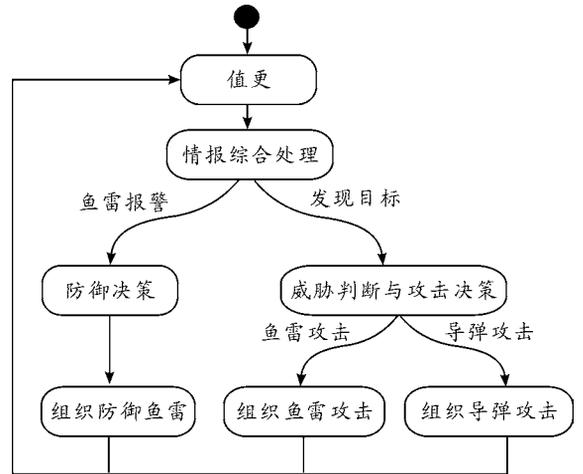


图11 指控系统状态转换描述SV-10b

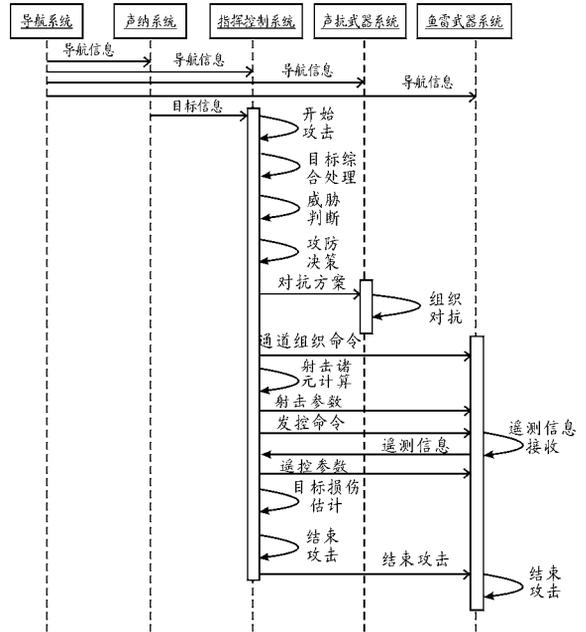


图12 鱼攻/对抗系统事件跟踪描述SV-10c

SV-2的设计内容是描述系统的通信网络以及配置细节,主要是交换信息必需线路的物理部分,图13给出的是潜艇作战系统通信描述SV-2。

## 2.3 体系结构模型验证

体系结构设计完成后,体系结构设计得正确与否直接影响到系统设计及实现质量,因此需要对体系结构设计模型进行验证。通过体系结构模型验证活动,可以及早发现并改进体系结构设计中的不足,能够降低设计风险,提高设计质量,保证系统的研制进度。模型验证的主要内容是验证体系结构的行为与系统用户期望的行为是否一致,即系统功能是否满足系统规格说明书的要求、系统性能指标能否达到系统技术规格书的要求等<sup>[3]</sup>。

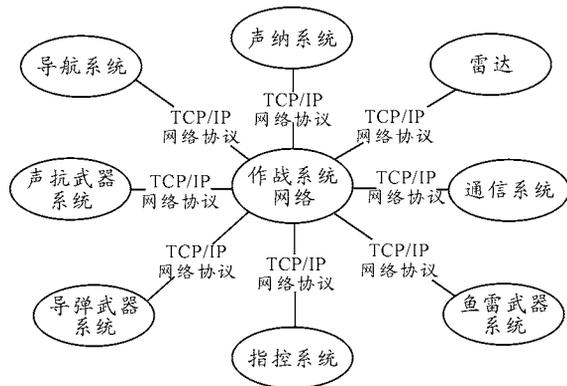


图 13 潜艇作战系统通信描述 SV-2

表 1 系统互连矩阵 SV-3

	导航系统	声纳系统	雷达	通信系统	指控系统	鱼雷武器系统	声抗武器系统	导弹武器系统
导航系统		☆	☆		☆	☆	☆	☆
声纳系统	☆				★			
雷达	☆				△			
通信系统					◇			
指控系统	☆	★	△	◇		○	○	○
鱼雷武器系统	☆					○		
声抗武器系统	☆					○		
导弹武器系统	☆					○		

(责任编辑 周江川)

通过采用信息驱动的方式对体系结构的动态行为鱼攻逻辑进行了验证,验证结果表明声纳首先发现目标,把目标信息发送给指控系统,指控系统经过情报综合处理、威胁判断,确定要攻击的目标后,解算要攻击的目标运动要素,得到目标要素后,进行武器通道组织并计算射击诸元,最后由鱼雷武器系统控制鱼雷发射,完成整个鱼攻过程,本文设计的体系结构模型动态行为逻辑符合预期设计要求。

### 3 结论

本文采用基于 DoDAF 的方法对潜艇作战系统体系结构进行分析建模,并对生成的体系结构模型进行了评估验证,验证结果表明,该方法在潜艇作战系统研制过程中是合理可行的。采用基于 DoDAF 方法对复杂系统体系结构进行分析建模,并通过验证、评估等手段对建立的体系结构模型不断迭代,以保证最终采用过的体系结构模型完整、高效、健壮。这种方法不仅是有效解决复杂大系统研制周期长、成本高等问题的重要途径,也是保证系统之间可集成、可互操作,实现高效一体化的基本措施。本文不但能为相关军事信息系统体系结构建模提供参考,同时,也可为政府、企业信息化建设的规划和顶层设计提供借鉴。

### 参考文献:

- [1] 罗雪山,罗哀鸣. 军事信息系统体系结构技术[M]. 北京:国防工业出版社,2010.
- [2] 岳增坤,陈炜,夏学知. 基于 DODAF 的体系结构模型设计与验证[J]. 系统仿真学报,2009,21(5):1406-1414.
- [3] 赵正业. 潜艇火控原理[M]. 北京:国防工业出版社,2003.

(上接第 79 页)系统之间的协同动作等。解决好各类系统之间的协同动作,可提高炮兵的整体作战能力,最大限度地发挥整体效能。因此,基于信息系统的炮兵要充分发挥指挥信息系统的优势,提高火力协调的科学程度、自动化程度;要优化火力协调信息链路,提高炮兵信息系统对指挥控制、情报侦察、武器装备的综合集成及互联互通能力;要加强火力协同通信网络化建设,提高其抗毁能力,确保火力协调的稳定不间断。

指挥信息系统的核心设备是微机和各种数字化通信设备。这些设备科技含量高,要正常运作,不仅依赖硬件系统,同时也依赖运行于硬件设备之上的软件系统。由于计算机系统软、硬件及通信网络本身具有的脆弱性和不可避免的缺憾,因此,无论是平时和战时,都应配备专门的各系统软、硬件维护保障人员,建立软硬多重防护机制,加大数据保密力度,研究系统防护措施,制定多重防护方案,并反复进行对抗演练,完善系统防护机制,还要适时进行人工干预,防止出现系统性错误,保证系统的软、硬件和数据安全。同时也要强化人工协调等传统协调手段

的训练和使用,在我信息系统受到敌攻击破坏后,能够及时采取应急措施,避免出现火力协调盲区,从而影响火力打击效果和造成误伤。

### 参考文献:

- [1] 刘伟. 信息化战争作战指挥研究[M]. 北京:国防大学出版社,2009.
- [2] 戴修航. 一体化联合作战炮兵组织对地联合火力协调的主要方式[J]. 炮学杂志,2006(1):31-34.
- [3] 盛斌,于启峰,于祥英. 信息化条件下陆军战役军团进攻作战火力协调应把握的问题[J]. 射击学报,2006(4):35-37.
- [4] 赵磊,陈庆龙,巩珏. 基于改进蚁群算法的炮兵火力优化分配模型[J]. 兵工自动化,2011(4):18-19.

(责任编辑 鲁进)