

11-30-2023

## Development of Combat Concept of Intelligent Land Assault System Based on DoDAF

Can Wang

*Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China, marr1982@126.com*

Haoran Ji

*Institute of NBC Defense, Beijing 102205, China*

Qisheng Guo

*Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China*

Zhiming Dong

*Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China*

*See next page for additional authors*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation. For more information, please contact [xtfzxb@126.com](mailto:xtfzxb@126.com).

---

# Development of Combat Concept of Intelligent Land Assault System Based on DoDAF

## Abstract

**Abstract:** In view of military demand traction in the development of land assault equipment, a combat concept of land assault systems for future intelligent combat is developed. Based on the definition of relevant concepts and research boundaries, the combat concept model framework and modeling steps are proposed based on DoDAF, and the combat effect, combat process, combat nodes, resource interaction, system composition, and capability characteristics are analyzed in combination with the model description. The combat concept verification is carried out from the aspects of system combat efficiency and communication load by simulation experiments. The results show that the intelligent assault system has more agile strike links and stronger firepower strike capability than the traditional assault equipment, and the new communication load pressure is within the current technical capacity support range. It proves that the selection, allocation, and combat mode of the core executor system in the combat concept are reasonable and feasible, which has reference significance for the subsequent development of equipment.

## Keywords

DoDAF, land combat, intelligent, assault system, combat concept, modeling and simulation

## Authors

Can Wang, Haoran Ji, Qisheng Guo, Zhiming Dong, Yaxin Tan, and Ge Mu

## Recommended Citation

Wang Can, Ji Haoran, Guo Qisheng, et al. Development of Combat Concept of Intelligent Land Assault System Based on DoDAF[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(11): 2397-2409.

# 基于 DoDAF 的陆上智能突击系统作战概念系统开发

王灿<sup>1</sup>, 纪浩然<sup>2</sup>, 郭齐胜<sup>1</sup>, 董志明<sup>1</sup>, 谭亚新<sup>1</sup>, 穆歌<sup>3</sup>

(1. 陆军装甲兵学院, 北京 100072; 2. 陆军防化学院, 北京 102205; 3. 军事科学院 系统工程研究院, 北京 100141)

**摘要:** 针对陆上突击装备发展的军事需求牵引问题, 开发一种面向未来智能化作战的陆上突击系统作战概念。从界定相关概念和研究边界出发, 基于 DoDAF 提出作战概念模型框架和建模步骤, 结合模型描述分析其作战效果、作战流程、作战节点、资源交互、系统组成和能力特征, 采用仿真实验方法从系统打击效能和通信负载两个方面进行作战概念验证。结果表明, 智能突击系统相比传统突击装备具有更为敏捷的打击链路和更强的火力打击能力, 新增通信负载压力在当前技术能力支撑范围内, 证明作战概念中的核心执行者系统选型、编配及作战方式合理可行, 对于未来装备发展具有参考意义。

**关键词:** DoDAF; 陆上作战; 智能化; 突击系统; 作战概念; 建模与仿真

中图分类号: TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2023)11-2397-13

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.22-0628

**引用格式:** 王灿, 纪浩然, 郭齐胜, 等. 基于 DoDAF 的陆上智能突击系统作战概念系统开发[J]. 系统仿真学报, 2023, 35(11): 2397-2409.

**Reference format:** Wang Can, Ji Haoran, Guo Qisheng, et al. Development of Combat Concept of Intelligent Land Assault System Based on DoDAF[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(11): 2397-2409.

## Development of Combat Concept of Intelligent Land Assault System Based on DoDAF

Wang Can<sup>1</sup>, Ji Haoran<sup>2</sup>, Guo Qisheng<sup>1</sup>, Dong Zhiming<sup>1</sup>, Tan Yaxin<sup>1</sup>, Mu Ge<sup>3</sup>

(1. Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China; 2. Institute of NBC Defense, Beijing 102205, China;  
3. Institute of System Engineering, Academy of Military Science, Beijing 100141, China)

**Abstract:** In view of military demand traction in the development of land assault equipment, a combat concept of land assault systems for future intelligent combat is developed. Based on the definition of relevant concepts and research boundaries, the combat concept model framework and modeling steps are proposed based on DoDAF, and the combat effect, combat process, combat nodes, resource interaction, system composition, and capability characteristics are analyzed in combination with the model description. The combat concept verification is carried out from the aspects of system combat efficiency and communication load by simulation experiments. The results show that the intelligent assault system has more agile strike links and stronger firepower strike capability than the traditional assault equipment, and the new communication load pressure is within the current technical capacity support range. It proves that the selection, allocation, and combat mode of the core executor system in the combat concept are reasonable and feasible, which has reference significance for the subsequent development of equipment.

**Keywords:** DoDAF; land combat; intelligent; assault system; combat concept; modeling and simulation

收稿日期: 2022-06-09 修回日期: 2022-08-28

基金项目: 军队科研计划(2019ZB97, 20YJ119, 21KY013)

第一作者: 王灿(1982-), 男, 讲师, 博士, 研究方向为装备需求论证。E-mail: marr1982@126.com

## 0 引言

陆战场是联合作战的基础支撑, 陆上突击是战争最终的决定性行动。当前, 智能化战争正在由理论预见向实战形态加速演进<sup>[1]</sup>。世界各国军队积极推动智能化陆上突击装备发展和新型作战力量建设。2016—2021年, 美军及国防智库推进了“班组X”、2028年陆军多域作战机动排、“龙骑兵”班组小队等多项研究<sup>[2]</sup>。美陆军计划2025年实现有/无人协同情报编组, 2030年进行自主护卫行动, 2040年实现联合兵种机动<sup>[3]</sup>。俄军于2020年开始制定“机器人部队组建任务”路线图, 计划于2025年组建战斗机器人部队<sup>[2]</sup>。国内在“八五”期间就开展了“军用地面智能机器人”项目研究, 至今大致经历了萌芽、探索和成熟3个阶段。近年来, 以“跨越险阻”地面无人平台挑战赛为标志, 营造典型运用场景开展实战化测试, 掀起了陆上智能化无人作战系统研究热潮<sup>[4]</sup>。

当前智能化陆上突击装备发展主要面临两个挑战: 一是各类装备以独立发展为主, 作战形态与运用方式各异、彼此之间不能进行高效的协议数据交换, 难以实现协同行动; 二是无人作战系统的智能化程度不高, 控制方式以遥控型或遥操作型为主, 智能自主特征体现不够明显。为此需要加强作战概念系统开发, 前瞻探索未来作战运用方式及基本要求, 为陆上突击装备发展提供方向指引。

目前, 相关领域的研究成果比较少, 处于起步阶段。文献[2]提出了陆战分队空地一体无人作战系统装备体系构想。文献[5]探讨了基于DoDAF的陆上无人作战系统作战概念设计方法。文献[6]基于DoDAF设计了一种面向特种破袭使命的空地无人平台与特战班组协同反恐系统体系结构。现有研究在作战概念系统开发方法、新型作战系统构想方面取得了初步成果, 但存在方法和应用结合不紧密、开发方法手段不系统等问题, 缺少针对具体作战概念的建模分析与验证手段。

作战概念系统开发涉及作战、指挥、装备、技术等诸多要素, 属于复杂系统范畴。体系结构方法是复杂系统顶层设计的科学方法论, 采用体系结构方法对作战概念进行研究和描述是推动作战概念研究的有效途径。DoDAF作为世界上典型、成熟的体系结构规范, 已被广泛应用于作战概念系统开发<sup>[7-8]</sup>。

本文以陆上智能突击系统作战概念为研究对象, 基于DoDAF提出作战概念模型框架和建模步骤, 使用Rational Rhapsody进行具体建模实现, 并采用仿真实验方式基于Matlab平台对作战概念的有效性进行验证评估。

## 1 相关概念界定与研究边界

根据一些文献总结的智能化无人作战系统技术特点与发展趋势<sup>[9-10]</sup>, 以及武器装备作战概念的内涵与典型特征<sup>[11-12]</sup>, 对相关概念给出如下定义。

定义1: 陆上智能突击系统。针对未来陆上突击装备智能化、体系化发展需求, 面向陆军合成部队连级规模突击作战分队, 将坦克、装甲突击车等地面有人车辆(manned ground vehicle, MGV)与小型无人机(small unmanned aerial vehicle, SUAV)、武装型无人车辆(armed unmanned ground vehicle, AUGV)等无人作战系统基于开放式体系架构进行综合集成, 以人在环路的智能化指挥控制系统为核心, 以无线自组网的协同交互能力为基础, 以单平台的自主作战能力为支撑, 以多平台的协同作战能力为保证, 构建的具有人机互补、空地一体、功能分布化等优势 and 智能特征的武器装备体系。

基于未来10~15年智能化无人作战模式及技术发展预测, 本文提出的陆上智能突击系统采取“有人干预的局部自主”<sup>[13]</sup>指挥控制模式: 无人作战系统围绕MGV完成赋予的作战任务, 如自主性的感知、决策和行动等。MGV主要执行指挥控制、情报分析、火力打击等功能, 可在坦克或装甲突击车基础上增加智能指挥控制系统, 监督无

人系统执行任务的过程和结果,并根据外界条件变化和系统执行情况进行实时适当干预;SUAV主要执行通信中继、侦察监视、火力打击、引导打击等功能,可采取旋翼式、系留式或共轴反桨式;AUGV主要执行侦察巡逻、火力打击、引导打击等功能,可采取履带式或轮式。通过自适应协同网络赋能实现分布式功能配属,形成“1+1+1>3”的体系增能效果优势。

**定义2:** 陆上智能突击系统作战概念。陆上智能突击系统作战采用“模块化编组、离散式部署、一体化应用”的新理念。以网络信息为纽带将MGV、SUAV和AUGV模块化集成为具有较强联合性和独立作战能力的基本战斗单元,并根据战斗任务及情况变化动态调整编组方式;按照各系统投入战斗的时空序、机动能力和作用距离,在广大的空间范围内呈多点性、放射状、动态式的状态部署,并通过广泛的兵力火力机动实现打击效能的高度集中;在多维战场空间综合运用多种资源和手段,感知、机动、打击和防护同时并行展开,对目标区域实施一体化的突击、夺占与控制。

陆上智能突击系统未来将遂行联合防卫作战、登陆与抗登陆作战、城市攻防作战、联合特种作战等任务。根据未来陆战战场环境背景、主要作战样式、潜在对手武器装备的发展情况,系统在作战中将面临高强度对抗和多样化威胁。陆上突击本身面临着火力压制、精确打击、电磁干扰等高强度对抗环境,承担较大安全风险。而无人机、巡飞弹、无人战车的广泛应用极大提升了作战系统的网络弹性,增强了对抗难度,使得系统面临的威胁程度急剧增加。随着战争由联合走向混合,陆战场战与非战状态模糊、敌对与非敌对关系不确定,作战对手类型及威胁能力更加多样。陆上智能突击系统作战概念着眼于提高系统态势感知的多源性,增加指控打击链的多样性和敏捷性,并增强系统的抗毁性,从而更好地满足未来军事需求。

## 2 基于DoDAF的作战概念建模

DoDAF多视图建模方法可以为描述和研究作战概念提供有效手段。本文针对陆上智能突击系统作战概念,基于DoDAF提出作战概念模型框架和建模步骤,并进行建模实现和描述分析。

### 2.1 模型框架与建模步骤

遵循DoDAF“合目的性”原则,本文选用全景视角、作战视角、能力视角、数据与信息视角、标准视角共5类17个视图模型作为作战概念描述模型框架,如表1所示。

按照DoDAF“数据为中心”的建模思想,依据作战概念内容间的派生关系,建模过程可从定义关键元数据“能力”开始,首先明确系统开发目标和主要范围条件限制;而后定义“活动”,即设想通过什么样的活动和流程来进行资源调度进而实现预期的能力,从而确定系统主要工作过程;然后定义“资源”,分析活动流程中所产生或使用的资源对象,确定资源之间的关系,形成业务规则;然后定义系统“能力”,综合系统工作过程、资源和业务规则,确定系统应具备的能力特征;最后定义“执行者”,将能力特征与一定时间框架内的技术发展水平相匹配,确定系统的物理形态、工作域和组成结构,形成初步的系统方案。在具体建模过程中,可按照自顶向下驱动,从后向前迭代,先静态再动态最后映射的原则<sup>[14]</sup>实施。如图1所示。

**step 1:** 首先捕获作战概念愿景、目标和范围等信息,构建AV-1。采集和梳理相关权威、专业的数据资源,形成初始StdV-1。定义能力、活动、资源和执行者包含的术语,构建初始版本的AV-2。初始StdV-1、AV-2提供了一个基线,将在整个建模过程中以迭代的方式改进和扩展。

**step 2:** 分析未来作战的军事威胁及能力需求,构建CV-1。分析、设计支持能力需求的典型作战活动过程和预期效果,构建OV-1。

**step 3:** 从OV-1中识别具体的作战活动、作

表1 模型框架  
Table 1 Model framework

视角类型	视图模型	概念要素	内容说明
全景视角	AV-1 概述和摘要信息	概念概述	目标、任务、计划、条件等信息
	AV-2 综合词典	军事威胁	系统应对的军事威胁
能力视角	CV-1 能力构想	综合词典	作战概念中涉及的术语定义
	CV-2 能力分类	能力需求	能力需求/缺口列项、类型、衡量指标和时间维度
	CV-6 能力-活动映射	能力特征	系统能力列项 能力项与作战活动的追溯关系
作战视角	OV-1 高级作战概念图	作战效果	系统预期实现的作战效果
	OV-2 作战资源流描述	制胜机理	系统在对抗中形成优势并导致胜利的原理
	OV-3 作战资源流矩阵	资源交互	系统作战的资源流交互情况 资源需求线中的资源内容及相关属性
	OV-4 组织关系图	系统组成	系统组件的种类、数量和比例关系以及编配信息
	OV-5a 作战活动分解树	作战流程	系统主要作战活动分解
	OV-5b 作战活动模型	作战节点	系统主要作战活动的时序关系
	OV-6a 作战规则模型		系统作战中的业务规则
	OV-6b 状态转移模型		系统作战相关节点的状态变化
数据与信息视角	DIV-1 概念数据模型	作战节点	系统作战相关节点的事件响应时序
标准视角	StdV-1 标准概览	信息结构	系统作战中的信息结构及其管理规则
	StdV-2 标准预测	引用资源	引用的条令、指南、标准等数据资源及获取方式
		关键技术	系统开发所需的关键技术

战节点，确定作战活动内容及其输入输出关系，构建 OV-5a 和 OV-5b。以作战节点为中心视角分析执行作战活动的流程 OV-6c，并为重要作战节点构建 OV-6b。

step 4: 分析作战节点连接关系，构建 OV-2。梳理资源流向、属性等信息，构建 OV-3。定义信息结构，构建 DIV-1。根据作战流程和资源交互、信息结构中推导作战规则，构建 OV-6a。

step 5: 从作战运用方式中提取能力特征，构建 CV-2。为保证能力需求的可追溯性，构建 CV-6 形成从能力到活动的映射。

step 6: 以作战运用方式和能力特征为约束，提出系统组成方案，构建 OV-4。分析关键性支撑技术，构建 StdV-2。

至此建立了作战概念体系结构描述，如果满足要求则进行集成展现。否则返回 step 1，反复迭代直到满足需要为止。

## 2.2 主要建模内容

基于上述 DoDAF 模型框架和建模步骤，对陆

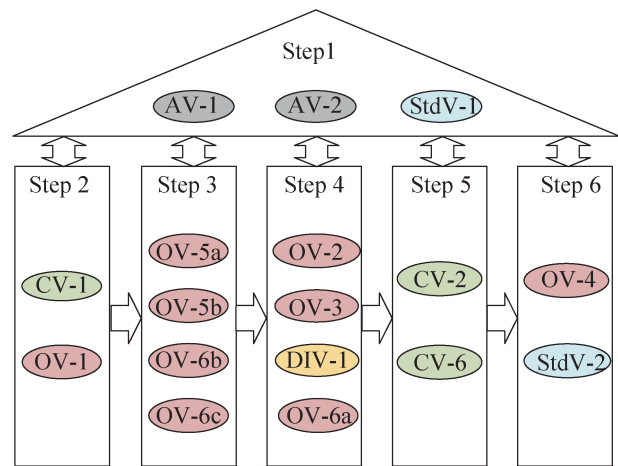


图1 建模步骤

Fig. 1 Modeling steps

上智能突击系统作战概念进行建模实现。以下结合模型对作战效果、作战流程、作战节点、资源交互、系统组成、能力特征等主要内容进行描述分析。

### 2.2.1 作战效果

图2为 OV-1 高层作战概念图，图中反映了系统的3种指控打击链。在链路1中，无人系统发现作战区域中的敌情信息，将敌情信息发送给

MGV, MGV对情报进行处理、分析和研判, 依托智能指控系统形成决策, 并下达给无人系统实施打击。该链路中无人系统在获取准确战场情报上更具优势, 可利用自身吸引发现隐藏威胁, MGV可使用自身火力对敌实施火力压制。在链路2中, 无人系统使用车载(机载)目标识别系统对目标进行识别, 在确定打击规则下无需上报直接利用自身火力实施打击。该链路中, 无人系统执行“条件-行动”的行为规则, 链路更短, 能够实现

发现即击毁的效果, 限制在于当前目标识别能力限制, 应尽量在仅有敌方力量环境下实施。在链路3中, MGV探测到敌方目标或者从情报网络中接收敌方目标情报后, 控制无人系统对目标进行打击。该链路中, 系统处于网络化作战力量体系中, 情报更为准确, 系统主要完成打击执行任务。以上3种指控打击链同步运转, 形成敏捷、弹性的分布式杀伤网, 从而实现对目标的有效毁伤。

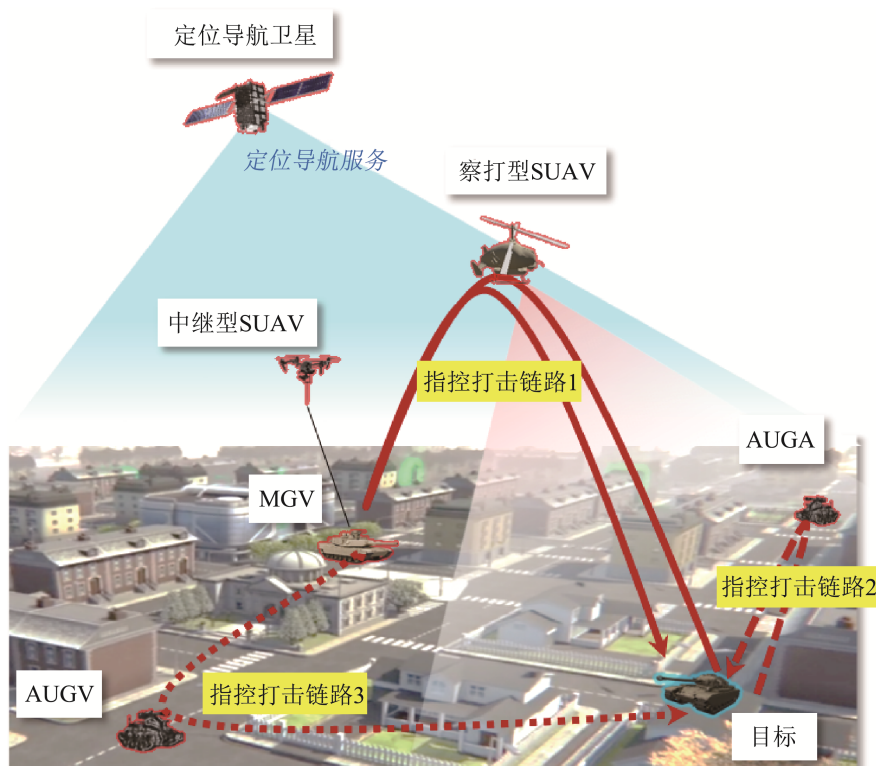


图2 高层作战概念图(OV-1)

Fig. 2 High-level combat concept graphic (OV-1)

### 2.2.2 作战流程

基于OV-1构建OV-5b作战活动模型, 如图3所示, 反映了MGV、AUGV和察打型SUAV三种执行者的典型协同过程。模型中, 每条泳道内的活动为该执行者的作战行为, 边定义活动之间的顺序逻辑约束或者资源依赖约束。指挥控制节点是整个行动的决策节点, 按照其制定的行动方案, 有/无人系统加载方案数据后, 通过多种方式自主机动至集结地域, AUGV优先采用装载机方式

机动至集结地域以节约能源消耗, 卸载后MGV、AUGV和察打型SUAV根据任务需要构建编组, MGV获得编组指挥权。MGV实施协同突击, AUGV和察打型SUAV与MGV按照设定立体突击队形进行突击。突击过程中, 无人系统侦察获取目标情报, 融合生成区域战场情报图, MGV根据情报进行分析研判, 形成打击决策并下达给无人系统, AUGV和察打型SUAV以多种方式实施协同火力打击, 追求梯次、互补打击效果, 并对打

击效果进行毁伤评估反馈给 MGV，MGV 进行情报分析上报指挥控制节点，指挥控制节点下达返回指令，MGV、AUGV 和察打型 SUAV 各自返回。OV-5b 将智能突击行动过程进行了直观、详细呈现，对于节点行动可通过函数设置实现对参

数变化规律、无人节点行动模型、有/无人系统自主行为以及协同行为规则的描述，通过体系模型将有/无人节点、参数变化等在具体活动环节中的自主性行为信息展现出来。

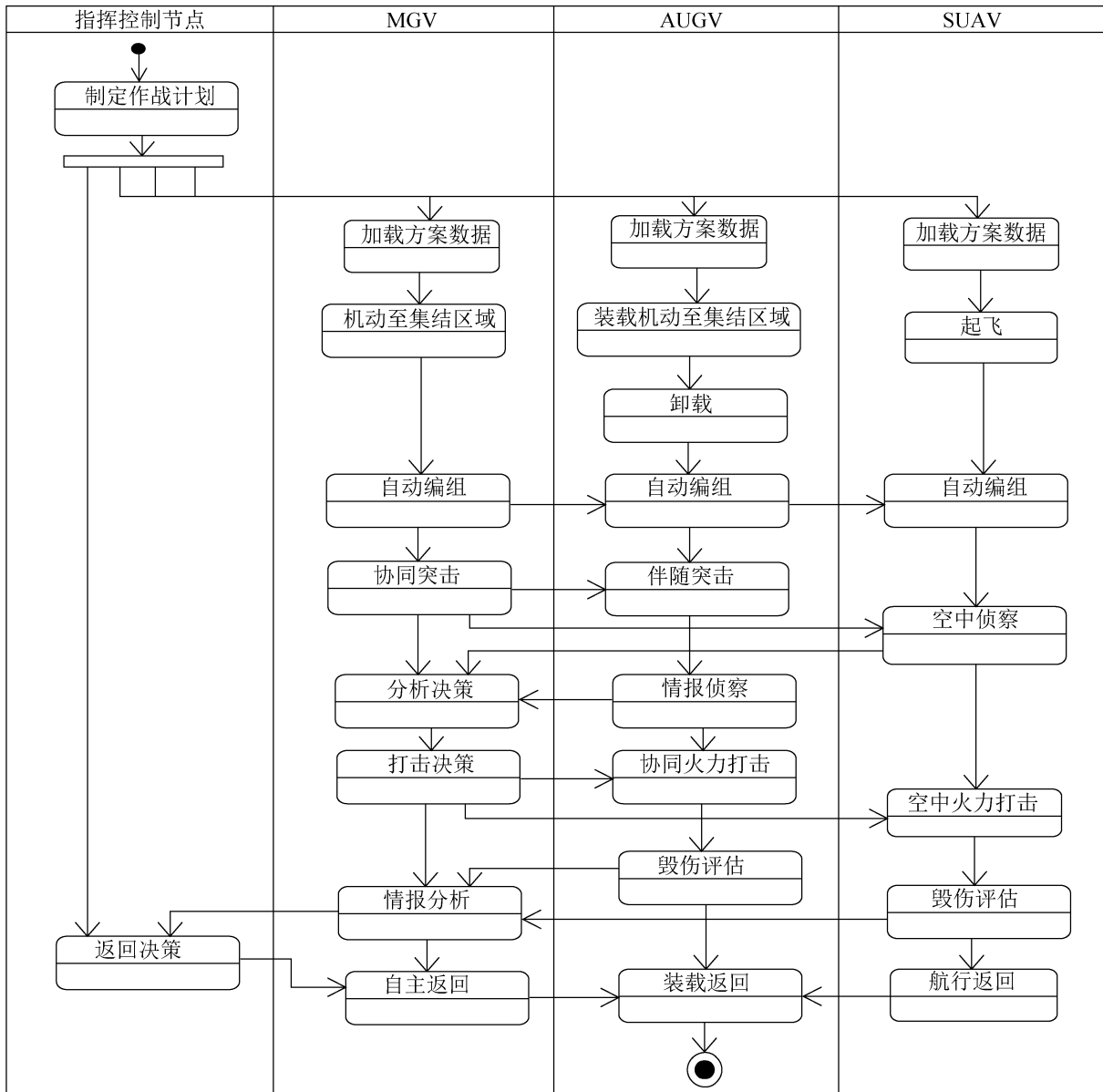


图3 作战活动模型(OV-5b)  
Fig. 3 Combat activity model (OV-5b)

### 2.2.3 作战节点

在作战活动模型基础上，为关注的作战节点构建作战状态转移模型 OV-6b，描述作战节点内部执行过程。OV-6b 可直接对应作战概念演示中

的展示画面，有助于增强对作战节点行为细节的理解。

图4反映了 AUGV 的作战状态转移模型。模型中，AUGV 在作战行动前以装载机动或自主机



动两种状态进行机动, 抵达集结地域后与 MGV、察打型 SUAV 进行编组, 进入编组状态。编组状态下与 MGV、察打型 SUAV 保持任务队形自主机动行进, 对环境进行侦察探测并对探测目标进行识别, 对探测情报进行处理, 依据接受指令发送情报或火力支援请求, 利用自身火力打击或上报火力支援请求, 完成任务后 AUGV 可解散编组返回单车机动状态。AUGV 在突击过程中可在受控

协同和自主协同两种状态间切换。

### 2.2.4 资源交互

资源交互模型可以进一步明确作战过程中的产生或使用的资源, 确定因资源需求限制所导致的业务规则约束。表 2 为 OV-3 作战信息流矩阵, 反映了部分作战节点间的信息交互需求, 通过梳理这些信息交互需求可为智能指控系统和战斗协同网系统需求论证及可行性分析等提供可追溯性。

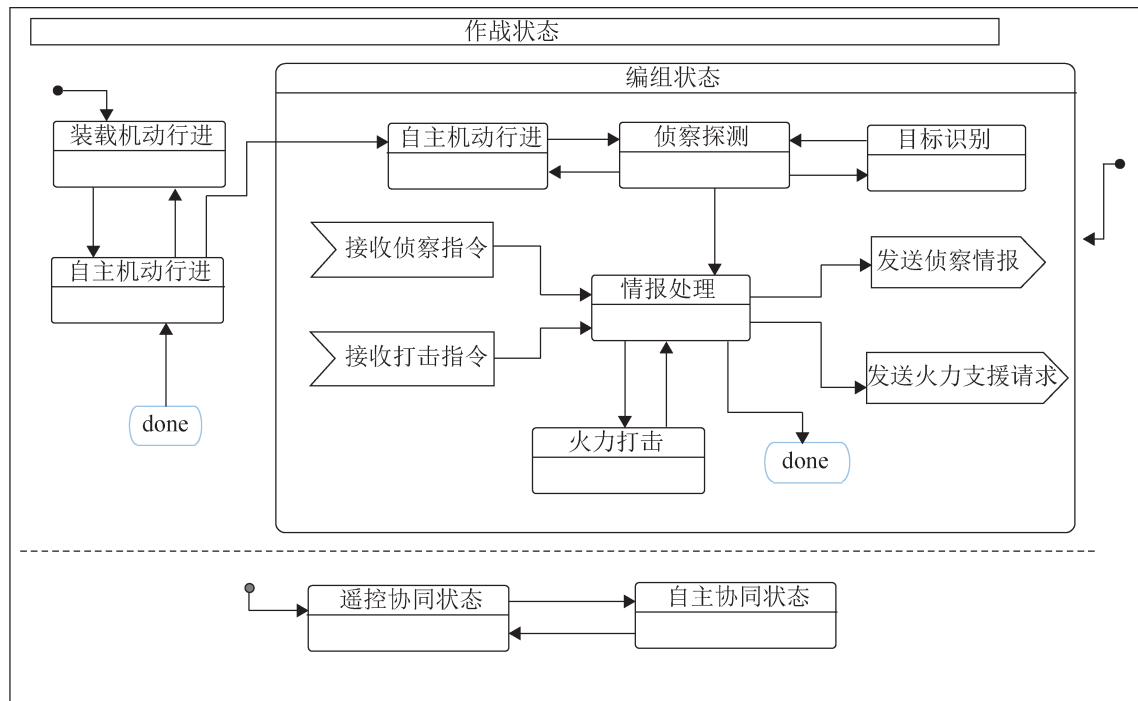


图 4 AUGV 作战状态转移模型(OV-6b)  
Fig. 4 AUGV combat state transition model (OV-6b)

表 2 作战信息流矩阵 (OV-3)  
Table 2 Combat information flow matrix (OV-3)

资源流名称	资源流类型	来源节点	指向节点	带宽需求/Mbps
DataFlow01	数据流	指控	MGV	≥200
DataFlow02	数据流	MGV	AUGV	≥200
DataFlow03	数据流	AUGV	MGV	≥100
DataFlow04	数据流	MGV	指控	≥100
DataFlow05	数据流	AUGV	指控	≥50
CtrlFlow01	控制流	指控	MGV	≥1
CtrlFlow02	控制流	MGV	AUGV	≥2

由表 2 可知, MGV 与 AUGV 之间的数据流需要较大的通信带宽, 而由于 AUGV 不需要实时操纵, 因此降低了 MGV 的控制负载。

### 2.2.5 系统组成

OV-4 组织关系图主要反映系统中装备的种类、数量和比例关系以及编配信息, 如图 5 所示。

按照当前通信、控制和人工智能技术发展情况，对能力支撑性适当预测提升。将中继型 SUAV 设计为系留式以增大通信带宽并作为 MGV 的组分系统，对 MGV，AUGV，察打型 SUAV 按照 1: 2: 1 比例进行配置，形成以智能指挥控制系统为基础，以自适应战斗协同网为依托，以地面力量为核心的立体突击作战系统。系统可作为排级作战单元进一步向上集成。

### 2.2.6 能力特征

能力模型提供系统需求生成的落地指标，同时也是对作战视图模型的必要补充，有助于克服基于已知推理未知的认识局限性。通过对各个环节的能力需求进行梳理分析，将能力特征分为侦察探测、数据处理、科学决策和行动打击能力 4 个大类 17 个指标项，形成如图 6 所示的 CV-2 能力分类模型。

在具体建模过程中，应对能力项进行进一步

定义，例如，定义数据分布处理能力为对于复杂任务 MGV、AUGV 和 SUAV 通过对计算任务“分解-组合”方式利用各自承载的计算资源完成数据计算任务的能力，从而在后续系统开发中考虑计算设备的分布式任务处理能力，以满足该项能力需求。

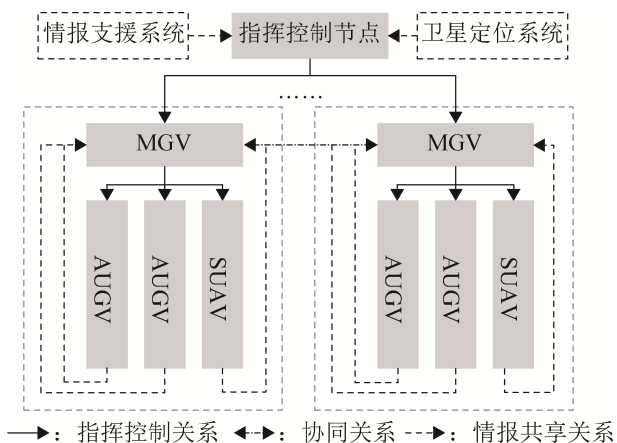


图 5 组织关系图(OV-4)  
Fig. 5 Organization relationship (OV-4)

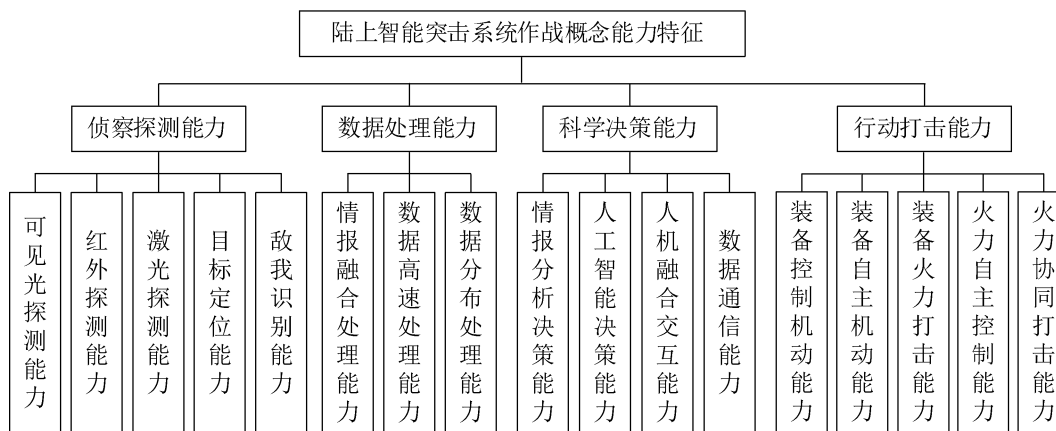


图 6 能力分类模型(CV-2)  
Fig. 6 Capability taxonomy model (CV-2)

## 3 作战概念验证

作战概念验证可以分为逻辑验证和效能验证两种方式，其中逻辑验证主要是对模型之间的逻辑结构合理性进行验证，发现模型之间的不一致和冲突点，可以通过 Rhapsody 语法检查，可执行模型转换<sup>[14]</sup>，或者构建可执行体系结构<sup>[15-16]</sup>等方法

实现。上述方法主要能够发现模型内部冲突，初步分析模型内的数据、资源流动，但无法形成对概念有效性的直接有力验证结论。

本文所提出的陆上智能突击系统作战概念属于作战样式的超前设计，其核心是实现同等有生力量规模下作战资源的分布式配置，构建网络中心的作战资源配置体系。这种分布式力量配置相

对于集中式配置具有更好的灵活性,但同时带来更高的技术挑战和数据处理负载。一种较为可信的验证方法是从作战概念模型中抽取关键要素和核心特征,依照当前装备一般性能指标设定验证对象性能指标,基于典型陆上突击作战场景构建测试任务集,通过数值计算模拟的方法考察新型体系结构带来的作战效能增量、通信负载压力等指标,从而形成对作战概念的验证结论。

### 3.1 仿真验证案例

仿真验证案例描述为:陆上智能突击系统执

行指定地域突击作战任务,MGV、AUGV和SUAV发现目标后对敌实施打击。其中,AUGV和SUAV处理的数据需传输至MGV决策,而后传回AUGV和SUAV执行决策并完成打击;若MGV忙,则AUGV和SUAV自身决策能力实施打击;若首次打击未能摧毁目标则校正参数循环实施第二轮打击。建立如图7所示的仿真验证模型,系统节点数量以及连通关系等与前述体系结构模型一致。仿真实验以传统的双车编组突击为对比对象,在静态火力值总和和相等的情况下考察不同模式在不同任务条件下的动态打击效能情况。

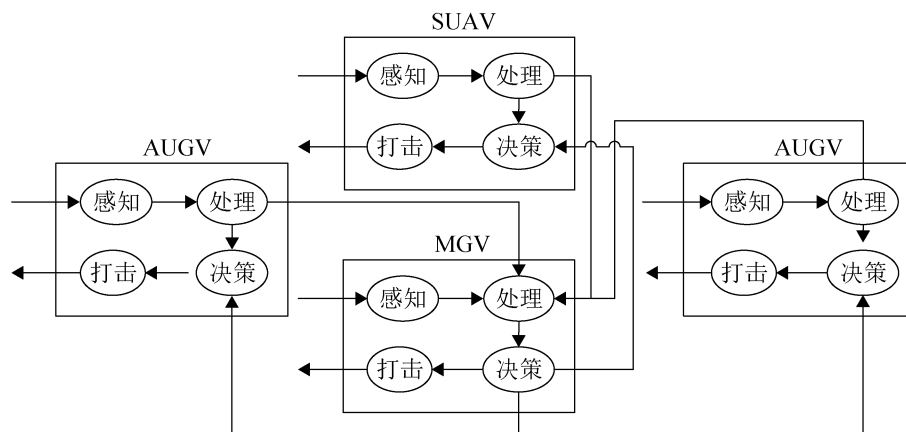


图7 仿真验证模型

Fig. 7 Simulation verification model

验证案例设置的参数包括各节点打击毁伤能力参数和目标相关参数。根据已知的MGV、AUGV和SUAV的火力配备能力,将MGV火力值设为10,打击速度设为4;AUGV火力值设为6,打击速度设为3;SUAV火力值设为3,打击速度设为5。为了形成合理的对比效果,将对对比装备单车打击火力值设为10,打击速度设为4,即采用双车编组方式突击,火力值总和与陆上智能突击系统相同。对于不同类型目标,其探测数据流转速度和毁伤概率均不同。其中数据流转速度受数据体量、传输带宽、处理能力等因素影响,毁伤概率受防护强度、命中精度等因素影响。对作战概念中的目标相关参数进行提取抽象,形成参数设置如表3所示。

表3 目标参数设置

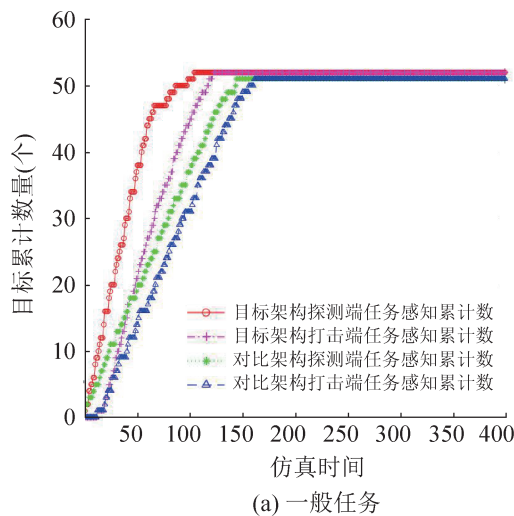
Table 3 Target parameter setting

目标	感知速度	传输速度	处理速度	决策速度	毁伤概率/%	毁伤火力
1	3	2	3	1	70	3
2	5	3	3	1	50	4
3	4	4	4	1	60	5
4	5	5	4	1	40	6

针对典型陆上突击作战场景构建案例测试任务集,任务集为对应典型场景的一种可能任务出现情况,以系列“目标-出现时间”方式进行描述。本文构建2个任务集,分别为包含25个事件目标的一般任务集和包含50个事件目标的密集任务集,任务类型随机涵盖4种目标任务类型,出现时间跨度从1时刻到20时刻,示例描述如表4所示。

表 4 测试任务数据集  
Table 4 Test task data set

目标类型	出现时间
1	1
1	2
3	5
4	5
1	7
2	8
2	8
1	8
...	...



通过上述工作，实现对陆上智能突击系统作战概念的仿真验证准备。在具体实施中可根据系统所面对典型场景特点进行差别设置。

### 3.2 打击效能分析验证

使用上述 2 个任务测试数据集对两种模式下的火力打击效能进行实验评估。首先考察“感知-打击”链路反应速度，图 8 所示为一定时间内进入系统探测、打击流程的目标累计数量对比。

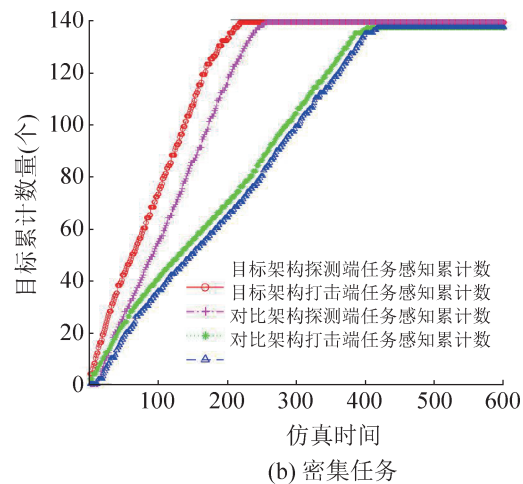


图 8 任务完成能力对比

Fig. 8 Task completion ability comparison

从实验结果看，陆上智能突击系统对目标发现性能更好，火力打击响应速度更快，总体任务完成时间更短。而传统模式中从发现到打击过程的同步性更优，但探测、打击反应速度滞后，完成总体任务时间较长。尤其对于海量密集任务，陆上智能突击系统的目标响应速度优势更加突出。说明分布式作战体系在打击目标数量多、出现时间集中、时敏性要求高的作战任务中打击效能优势更为明显。

接下来考察不同模式下的火力投放能力，基于前述典型测试任务集得到火力投放量统计，图 9

所示为一定时间内火力值累计情况对比。

实验结果表明，陆上智能突击系统火力投放更加集中，能够在更短时间内完成总体火力投放。可见通过分布协同方式火力输出节点更多，在总体输出火力相等情况下，其火力打击链路更敏捷，火力投放弹性更好，与目标出现时间窗口更为贴合，尤其在密集任务中火力投放优势更加明显。该结果与前述打击反应速度分析一致，再次验证了陆上智能突击系统火力打击效能的优越性。

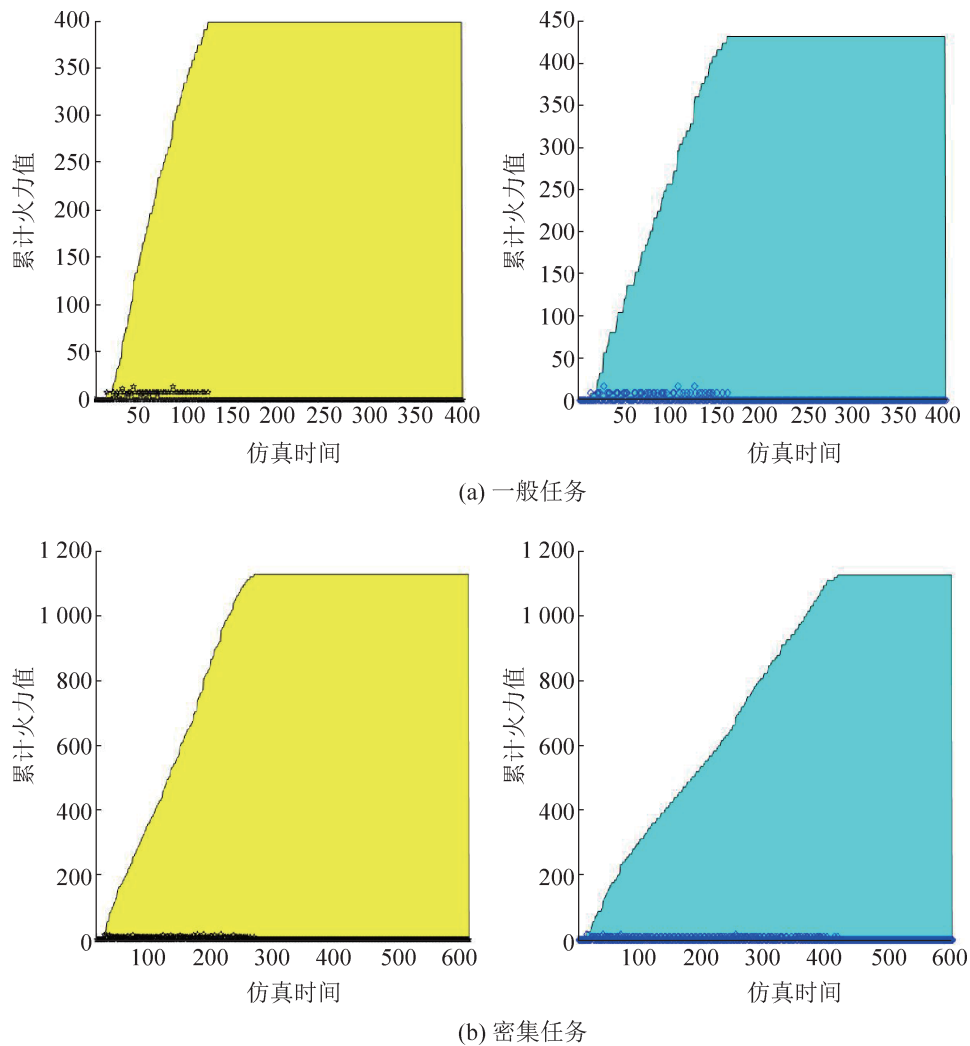


图9 火力投放能力对比

Fig. 9 Firepower capability comparison

### 3.3 通信负载分析验证

通信能力限制是作战概念中需要考虑的重要因素, 智能突击系统具有更为敏捷的打击链路, 更好的火力打击能力, 但也相应的将带来额外通信负载, 特别是不同节点之间的目标数据迁移将会占用较大通信带宽。

对于前述测试任务数据集生成仿真评估结果, 对其通信压力进行分析, 设定MGV对于AUGV和SUAV的常规通信控制负载为0.1, 数据迁移时的传输负载为0.5, 分别分析前述两组测试任务集中产生的通信负载情况, 如图10所示。

从测试结果可以看出, 智能突击系统在针对

零散目标打击任务下产生的数据迁移负载数量较少, 未形成影响体系稳定的通信负载。对于密集任务其产生的通信负载相对于其在目标打击能力上的提升也在可接受范围内。此外, 在具体系统研制开发中可通过引入适当负载均衡算法实现整体负载的削峰均衡。

通过前述仿真实验从火力打击和通信负载2个指标对陆上智能突击系统作战概念有效性进行了验证。在实际作战概念系统开发中应根据核心关注点确定评估指标, 具体设计仿真验证方法。对于超前作战概念, 采用数据仿真方法是一种有效的分析验证手段。

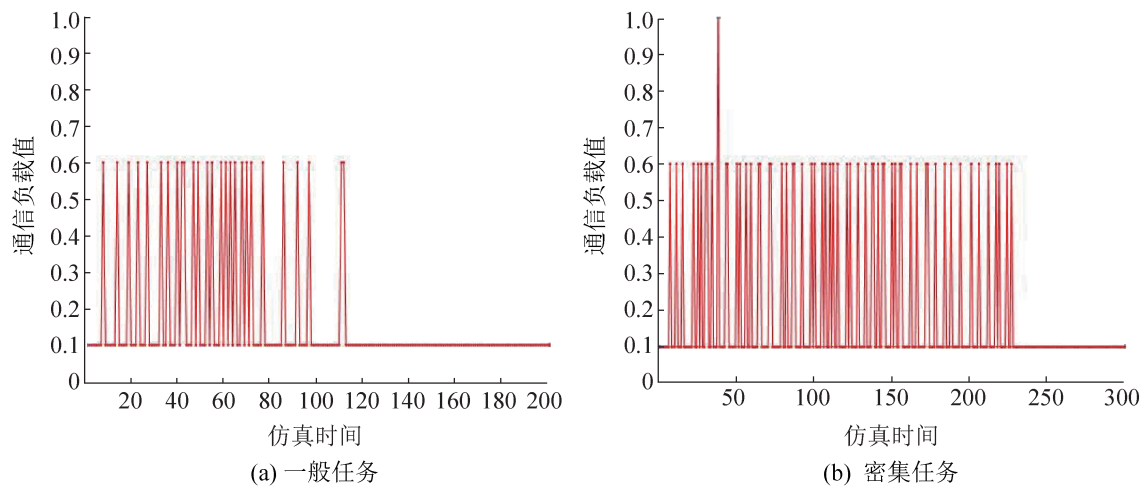


图10 仿真测试中的通信负载情况

Fig. 10 Communication load in simulation testing

## 4 结论

本文针对陆上突击装备发展的军事需求牵引问题,进行了智能突击系统作战概念系统开发。基于DoDAF提出了作战概念模型框架和建模步骤,并进行了建模实现。结合模型对作战效果、作战流程、作战节点、资源交互、系统组成和能力特征等主要内容进行了描述分析。采用仿真实验方法从系统打击效能和通信负载两个方面进行了作战概念验证。实验结果表明,陆上智能突击系统相对于传统作战力量具有更强的作战效能,新增通信负载压力在当前技术能力支撑范围内,证明作战概念中的核心执行者系统选型、编配和作战方式合理可行,对于未来装备发展具有参考意义。不足之处在于体系结构建模对节点自主性和网络弹性特性的刻画不够细致,需要研究基于Agent、基于复杂网络等建模方法,这也是下一步的研究重点。

### 参考文献:

- [1] 胡晓峰. 战争工程论-走向信息时代的战争方法学(修订版)[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [2] 龚旻, 卜昭鹏, 陈梅, 等. 陆战分队空地一体无人作战系统装备体系构想研究[J]. 无人系统技术, 2021, 4(1): 71-78.  
Gong Min, Bu Zhaopeng, Chen Mei, et al. Construction Strategy Study on Air-ground Unmanned Operation

System for Land Combat Units[J]. Unmanned Systems Technology, 2021, 4(1): 71-78.

- [3] 姚红霞. 美陆军无人系统发展规划及建设情况研究[J]. 现代军事, 2017(9): 86-91.
- [4] 张宇. 地面无人作战系统作战效能试验评估研究[D]. 北京: 陆军装甲兵学院, 2020.  
Zhang Yu. Research on Operational Effectiveness Test Evaluation of Ground Unmanned Combat System[D]. Beijing: Army Armored Force Academy, 2020.
- [5] 张宇, 郭齐胜. 基于DoDAF的地面无人作战系统作战概念设计方法[J]. 火力与指挥控制, 2021, 46(5): 52-57, 63.  
Zhang Yu, Guo Qisheng. Operational Concept Design Method Based on DoDAF for Ground Unmanned Combat System[J]. Fire Control & Command Control, 2021, 46(5): 52-57, 63.
- [6] 周菁, 杨鸣坤, 王磊, 等. 基于DoDAF的有/无人协同作战系统总体结构设计[J]. 兵工自动化, 2021, 40(1): 3-7.  
Zhou Jing, Yang Mingkun, Wang Lei, et al. Overall Architecture Design of Manned/Unmanned Cooperation Special Combat System Based on DoDAF[J]. Ordnance Industry Automation, 2021, 40(1): 3-7.
- [7] 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, 43(5): 22-28.  
Sun Peng, Sun Jinbiao, Chen Zhixiang, et al. Design of Conceptual System for Air Intelligent Operations Based on DoDAF[J]. Command Control & Simulation, 2021, 43(5): 22-28.
- [8] 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, 42(3): 14-20.  
Du Guohong, Lu Shulin, Zheng Qi. Research on Operation Concept Modeling Framework Based on MBSE[J]. Command Control & Simulation, 2020, 42(3): 14-20.

- [9] Fahey K M, Miller M J. U. S. Department of Defense. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2017-2042 [R]. [S.l.]: U.S. Department of Defense, 2017.
- [10] 赵先刚. 无人作战研究[M]. 北京: 国防大学出版社, 2021.
- [11] 郭齐胜, 樊延平, 穆歌, 等. 陆军武器装备需求论证理论与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [12] 麻广林, 谢希权, 高明洁. 新型装备作战概念设计框架[J]. 军事运筹与系统工程, 2012, 26(1): 5-13.
- [13] 王鹏. 陆军无人作战体系构成、运行模式及发展思路[J]. 军事学术, 2021(5): 12-15.
- Wang Peng. Structure, Operation Mode and Development Idea of Army Unmanned Combat System [J]. Military Art Journal, 2021(5): 12-15.
- [14] 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.
- Wang Xinyao, Cao Yunfeng, Sun Houjun, et al. Modeling for Cooperative Combat System Architecture of Manned/Unmanned Aerial Vehicle Based on DoDAF [J]. Systems Engineering and Electronics, 2020, 42(10): 2265-2274.
- [15] 陈岩, 李志准, 谭贤四, 等. 基于xUML的DoDAF可执行体系结构开发与验证[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(1): 152-158.
- Chen Yan, Li Zhihui, Tan Xiansi, et al. Design and Validation for DoDAF Executable Architecture Based on xUML[J]. Journal of System Simulation, 2014, 26(1): 152-158.
- [16] 胡建鹏, 黄林鹏. 基于P-DEVS的可执行体系结构建模与仿真方法[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(2): 283-291.
- Hu Jianpeng, Huang Linpeng. Modeling and Simulation of Executable Architecture Based on P-DEVS[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(2): 283-291.