

文章编号:1674-8190(2020)06-774-07

云作战条件下空天信息装备体系建设

李飞¹, 王世梅², 胡剑波¹, 刘炳琪¹

(1. 空军工程大学 装备管理与无人机工程学院, 西安 710051)

(2. 空军工程大学 军政基础系, 西安 710051)

摘要: 云作战是云计算技术在军事领域带来的全新作战模式。在未来空天体系对抗中,云作战将具有作战力量聚散无形和作战行动虚实结合的优势。本文分析了空天信息装备体系的建设需求,基于云作战概念,构建了空天信息装备体系;从重视云作战制胜机理研究、提升装备融合能力、重视可靠性和安全性、坚持统筹协调等角度,探讨了云作战概念对空天信息装备体系建设的启示,深化了空天信息装备体系建设需求与实现途径的认识,对空天战场信息装备成体系建设与运用具有一定的借鉴意义。

关键词: 云计算;云作战;信息装备体系;空天作战

中图分类号: V19

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2020.06.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Construction of Aviation and Space Information Equipment System under Cloud Operations

LI Fei¹, WANG Shimei², HU Jianbo¹, LIU Bingqi¹

(1. College of Equipment Management and Unmanned Aerial Vehicle Engineering,

Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

(2. Department of Military and Political Foundation, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: Cloud operation is a new operational mode brought by cloud computing technology in the military field. In the future aviation and space information confrontation, cloud operation will have the invisible power application and the combination of virtual and real combat operations. In this paper the construction requirements of aviation and space information equipment system are analyzed. Based on the concept of cloud operation, aviation and space information equipment system is constructed. The enlightenment of the cloud operation concept to the construction of aviation and space information equipment system is discussed. The winning mechanism of cloud operation, equipment integration capability, reliability and safety, and overall coordination etc., are studied. The research deepens the understanding of the requirements and implementation methods of the aviation and space information equipment system construction, and is of certain reference significance for the construction and application of the aerospace battlefield information equipment system.

Key words: cloud computing; cloud operation; information equipment system; aviation and space operation

收稿日期:2019-12-03; 修回日期:2020-03-25

基金项目:国家社会科学基金(17BGL270); 国家社会科学基金军事学资助项目(16GJ003-128)

通信作者:李飞, lizhaodi726@163.com

引用格式:李飞, 王世梅, 胡剑波, 等. 云作战条件下空天信息装备体系建设[J]. 航空工程进展, 2020, 11(6): 774-780, 788.

LI Fei, WANG Shimei, HU Jianbo, et al. Construction of aviation and space information equipment system under cloud operations[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(6): 774-780, 788. (in Chinese)

0 引言

2013年美国空军首次提出“云作战”概念,并迅速得到美国国防部、海军及其他军种的认可,成为美国第三次“抵消战略”的核心概念之一^[1-2]。

“云作战”是一种基于云计算技术构建的高度信息化的作战概念,是大数据、云计算技术在信息化联合作战领域的新应用和新作战理念的进一步演进^[3]。由云计算概念发展而来的云作战是未来空天战场信息化战争的一种极具潜力的作战样式。空天信息装备体系是支撑空天云作战的物质基础,是发挥云作战聚散无形、虚实结合的前提。

本文在对比云计算与云作战概念的基础上,分析了空天信息装备体系的建设需求,构建了基于云作战理念的空天信息装备体系,从云作战制胜机理,提升装备融合能力、可靠性和安全性,坚持统筹协调等角度,探讨了云计算技术和云作战理念对空天信息装备体系建设的启示。

1 空天信息装备体系建设需求与研究现状

未来的空天战场是现代军队塑造有利态势,综合管控危机,遏制和打赢战争主战场^[4-5]。当前,主要军事国家纷纷制定空天发展战略,发展空天军事力量,谋求全球战略主动,为争夺空天优势展开激烈竞争。重视来自空天领域的安全威胁,加强空天作战力量建设,既为我军弯道超车、实现现代化、信息化提供了宝贵机遇,又对空天作战领域装备体系建设提出了更高的要求^[6]。

我国,高奇琦^[1]研究了美国云计算战略的发展及军方云作战概念的提出背景;时东飞等^[3]、胡悦^[7]、张天等^[8]研究了美军作战云概念及其对未来作战带来的启示;罗金亮等^[9]在跟踪“云作战”理论发展的基础上,进一步构建了云作战体系模型;方超等^[10]、李飞等^[11]研究了网络空间和空天战场“云作战”理论的运用问题;刘鹏等^[12]、李飞等^[13]则对云作战样式效能评估进行了仿真验证研究;范绍华等^[14]研究了支撑“云作战”样式的武器装备发展问题。

研究表明,军事装备系统早期的概念分析与体系设计评估的费用占总费用的20%,对装备全寿命周期费用和进度的影响却达85%,而且有近70%的装备建设资源分配决策发生在概念分析与

体系设计阶段^[15]。体系化的思维方式和理论方法对装备发展建设和作战运用,甚至于战争形态均具有显著影响^[16]。装备体系作为相互依赖的系统集合,任何一个组分系统的缺失都将降低整体的性能或能力。近年来,美军具有代表性的体系发展项目包括未来作战系统、海军未来远征作战体系、弹道导弹防御体系以及全球对地观测体系等^[15]。

游光荣等^[17]系统阐述了装备成体系建设的重要性;程贲等^[16]、叶国青等^[18]研究了武器装备成体系建设过程中体系框架及其优化方法;周宇^[19]借鉴了美军目前基于能力的武器装备发展理念,将武器装备体系建设问题从其能力角度抽象为组合规划问题,描述了其数学模型并进了装备体系优化研究;李际超等^[20]从体系内各装备平台战斗力贡献度的角度研究了装备体系的建设问题;李新明等^[21]则侧重研究了电子信息装备体系的建设问题。目前,装备成体系建设基本已成为装备发展领域内的共识,也已取得较多的研究成果。但是,装备体系归根结底是为战斗力服务的,武器装备体系在不同的作战背景和作战样式下可能会有不同的评价指标体系和权重。目前,结合具体作战样式的装备体系建设问题,特别是支撑空天战场“云作战”信息装备体系建设的研究还较少。

体系的思维一方面可以扬长避短,集中精力解决体系的主要矛盾,使装备成体系的作战效能以及主要战技指标能够满足任务需要,而不片面追求技术层面的“高、精、尖”;另一方面可以使装备体系协调、可持续地发展,避免急功近利。基于这一技术趋势和要求,空天信息装备的规划、研制、开发、编配使用等阶段必须从体系这一全局出发,立足于提高空天信息装备体系的核心能力——战斗力。

结构优良、信息作战能力和对抗能力卓越,可以适应空天多样化军事任务需求,顺应空天战援一体作战样式的深刻变化,具有很强鲁棒性和模块化重组能力的空天云作战信息装备体系将是实现空天安全战略、和平开发利用空天的前提,是在未来空天体系对抗、应对空天安全威胁的基础,是空天作战领域战斗力的重要体现,是制胜空天的重要支撑。

根据未来空天战场的任务需求与“云作战”概念的不断发展,空天信息装备体系的建设发展必须以栅格化信息网络为基础,以高度信息化的作战平台为载体,以远程精确硬打击与网络电磁软杀伤为进攻/防御手段,以智能、并行、高效的分布式指挥

控制流程为核心,实现多维空间作战平台的成体系融合运用。从而增强空天方向装备的整体作战效能,实现体系支撑、信息主导、聚散无形的空天云作战构想。

2 基于空天云作战的信息装备体系

云计算能够有效地实现资源的合理利用,满足弹性服务需求。目前人类社会已经进入以信息互动、移动互联网、物联网、大数据、Web2.0 为主要特征的云计算时代^[22-23]。据美国国防部预计,云计算技术的运用将使得未来六年的相关软硬件购买和运营成本降低 20%~25%^[24]。

“云作战”概念借鉴了云计算资源网络集成、高效使用和优化配置的思想,是一种基于云计算技术构建的高度信息化的作战思想。云作战的核心是在体系层面实现战场资源的动态高效指挥控制及

海量战场信息的高速、实时、分布式处理与共享,构建跨域、跨军种、分布式、网络化的云杀伤协同作战能力^[13]。基于作战云概念的未来空天作战将具有作战要素的体系化,作战行动的精准化,作战决策的智能化,无人化和有人化综合,硬打击和软杀伤结合等特点^[13]。

2.1 空天信息装备体系结构

根据空天云作战的能力要求,以及空天云作战信息装备成体系、融合式建设的需求,未来云作战信息装备体系结构如图 1 所示,主要分为作战运用层和作战资源层。其中作战运用层根据云作战流程将分为侦察感知云,指挥控制云,进攻/防御云,综合保障云;而作战资源层则是根据不同的作战方案,从空间和效能两个维度,将不同类型、数量和规模的作战资源聚合形成相应的功能作战云。

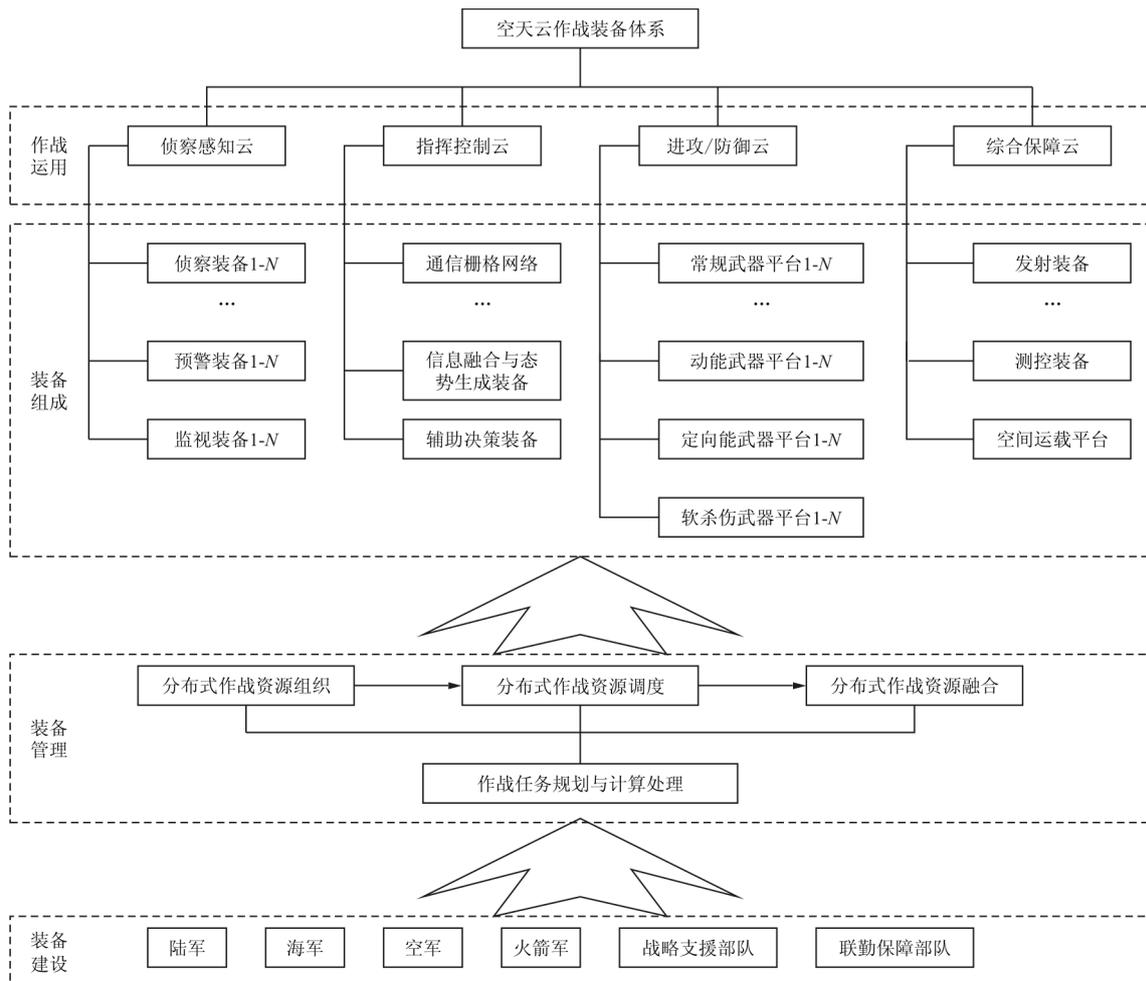


图 1 空天云作战装备体系

Fig. 1 Aviation and space equipment system for cloud operations

侦察感知云:针对作战空间的多维互动,空天云作战装备体系必须具备全域实时的态势获取能力。空天云作战将在多维空间同步展开,战场范围广、战线流动性大、部队机动频繁、情况瞬息万变,夺取作战主动权将更多地依赖于战场信息的及时获取^[25-26]。

指挥控制云:针对战场信息的多源庞杂,空天云作战装备体系必须具备高效、智能的信息融合处理和计算辅助决策能力。一方面,由于技术标准各异,接口格式不一,导致不同类型的装备之间,物理装备与信息系统之间,甚至同类但不同代装备之间如何有效通联、融合,成为空天作战云能否有效建立并发挥效能的瓶颈^[27]。只有将作战流程中各环节的数据有效融合,作战云才能够获得有效、可靠的数据支撑。另一方面,信息化条件下作战,不同类别不同渠道的信息剧增,信息流速加快、冗余信息泛滥、真伪信息并存,指挥决策易受干扰^[25]。指挥控制云能够发挥云计算技术所具有的更高的精确性、更快的即时性、更大的灵活性、更好的分析性等特点,通过智能识别、数据挖掘、辅助决策等功能,对海量信息去粗取精、去伪存真,确保云作战体系中的各个作战单元始终得到最急需、最准确、最有用的信息^[25]。

进攻/防御云:针对空天云作战任务多元突变的特点,云作战装备体系需要通过全域覆盖的信息栅格网络,实现对各种作战力量的离散部署、功能集中、效能融合。未来空天战场的一体化联合作战具有参战力量多元、作战任务多样、事发情况突然、信息交互频繁等特点。体系内的所有作战单元必须实现不同军种和战场域之间的无缝融合,形成横向互联、纵向贯通的一体化云作战进攻/防御体系,确保空天方向联合指挥部在下定作战决心后,根据相应的云作战任务规划聚合成进攻/防御云,实施作战行动。

综合保障云:针对空天战场信息化武器装备大量运用,作战节奏加快和装备保障行动转换迅速的特点,空天云作战装备体系必须具备能够针对不同类型的作战任务,综合运用多元保障力量,为空天云作战提供精确、高效、可靠的装备和后勤保障。空天战场综合保障的内容主要包括:气象预测、发射测控、武器装备保障和后勤物资保障等。

2.2 空天云作战装备体系的构建与运用

空天云作战装备体系的形成必须依赖于基于云的分布式作战资源管理,对分属于不同军种、部门和地域的作战资源进行管理,按照云作战的能力需求对装备资源进行动态的组织和调度。基于云计算模式和云作战能力需求的体系设计,统筹规划和分布式部署,训练使用的装备发展、建设、管理模式,有利于突破信息化装备建设过程中军兵种条块式建设的局限,避免部门利益冲突可能导致的低水平重复建设、资源浪费等现象。扁平高效的指挥控制与计算决策,将使得空天战场中集中控制、分散执行的装备运用理念加速向虚拟化的集中计算指挥,分布式的管理控制和分散式作战行动转变,使得装备体系更具弹性和鲁棒性^[28]。

空天云作战装备体系结构涉及到陆军、海军、空军、火箭军、战略支援部队和联勤保障部队等诸军种力量^[13]。平时,诸军种根据空天云作战的特点和要求,并在军委装备发展部门的统筹规划下,进行装备建设和军种内训练。在战时或者联合训练时,根据需要进行力量编成,聚合成相应的功能性作战云,由空天方向联合指挥部指挥^[13]。

云作战通过建立高效、快速、智能、安全的信息网络系统,不仅整合了网络内服务器的计算能力,而且改变了战场作战力量构成和运用方式。云作战通过指挥、控制和情报、监视与侦察网络,快速交换来自各个战场维度和作战环节的数据,以整合各个作战系统的作战力量,从而增强其效能,并获得规模效益。各功能作战云是借鉴云计算思想构建的作战网络,是云作战的行动主体,通过多维空间作战平台的高度数据共享提高整个作战体系的效能^[13]。

3 空天信息装备体系建设的启示

空天云作战通过作战云将分散的各作战平台、传感器、武器系统和各类战场数据等作战要素相互链接,整合管控战场资源,精准构建综合通用作战态势图,为作战决策提供有效智能支撑,提升作战要素间的协同能力与整体杀伤效能^[26]。

面对日益复杂的空天安全形势和诸多挑战,空天信息装备必须走体系化、融合式发展的模式,避免出现各自为战,缺乏统筹的局面。在预算有限且

空天领域信息装备、平台研发与核心装备试制研制成本大,风险高的情况下,应有所侧重和取舍。

(1) 重视未来空天云作战制胜机理的研究

装备体系建设的落脚点和出发点是装备在未来作战中的战斗力。由云计算概念发展出来的云作战理念是大数据、云计算、人工智能等信息技术发展在军事领域的表现形式。目前,云作战具有一定的超前性,作为一种新的作战模式,深入研究未来空天作战的特点规律和制胜机理,是空天信息装备体系建设过程中基于能力、需求等原则的前提。需求是装备体系建设的起点和基础,需求牵引也是武器装备信息化建设的重要驱动力。基于云作战需求的装备建设发展理念将改变以具体装备型号研制为主要内容,各军种部门自成体系的发展思维与建设模式。

(2) 提升装备融合成作战云的能力

信息装备体系的云作战能力很大程度上取决于信息装备融合成作战云的能力。这里的融合能力,不仅包括提升其模块化、标准化、智能化水平,用于提高其在物理空间与信息空间上融合成云的能力,还包括广义上的融合能力。例如,在技术层面的成熟技术与需研发技术的统筹,既有技术与新兴技术的兼顾,又有在体系分析层面中的专家经验知识与人工智能之间的融合,是全要素、深层次、持续性的融合。通过装备融合、信息融合、时空融合等具体融合,以及资源融合、技术融合、军民融合等广义融合构建空天信息装备体系,使其能够有效支撑空天云作战的能力需求。

具备相应能力的作战云对作战装备实施主动的融合和分散,构建“聚而愈强,分而不散”的云作战体系。在确定信息装备体系中具体装备的性能指标时,应该根据云作战的需求,相应增加反映信息装备融合成作战云能力指标在性能指标体系中的比重,如数据接口的标准化程度^[29],信息装备的异构融合能力,数据融合与信息处理能力以及装备的互联、互通、互操作等信息力指标。

(3) 重视信息装备体系的可靠性和安全性

任何事物的发展都有两面性,作战云对通信网络和信息技术依赖,使得其更容易受到干扰和攻击。对信息空间的攻击将导致实体物理装备的故障,这给信息装备体系的建设及其在空天战场的作战运用提出了新的挑战^[30]。在空天信息装备体系

建设发展过程中,军民通用的、模块化的操作系统,嵌入式系统等软硬件大规模使用^[31],并且越来越依赖网络通信、数据链等技术,使其开放性日益增强,从而导致技术性的安全风险不断增加。此外,攻击者的系统漏洞发现能力与攻击技术也不断提升,使得系统安全威胁日益升级^[32-34]。因此,要把握好信息技术应用以及其可能带来的安全风险之间的平衡。加强装备接口间通信监测管控与新的网络安全防护技术的开发与应用。

(4) 平衡好独立自主与融合发展的关系

空天云作战是基于大数据、云计算等信息技术发展的一种全新的作战样式和作战理念,构建适应云作战要求的空天信息装备体系是适应世界新军事革命深入发展、战争形态加速演变的客观要求。支撑信息装备建设的关键领域和核心技术是构建网络信息体系的重要基础。当前大多国家大力发展能够大幅提升军事能力优势的颠覆性技术。同时,动用国家力量打压新兴国家的科技创新,尽可能维护其科技霸权和技术垄断地位^[35]。因此,对于核心关键技术以及有可能形成后发优势和杀手锏地位的装备技术,应该超前布局、超前谋划,将主动权掌握在自己手里。

同时,作为复杂的技术系统,核心信息装备的技术挑战不是短时间内就能够彻底解决的。支撑信息装备体系的信息技术作为一个技术支撑体系,完全掌握技术体系内的所有技术是不符合客观规律的,也存在着巨大的时间和经济成本。因此,在信息装备的建设发展上应该平衡好独立自主与利用民用信息装备产业链的关系,挖掘军民融合的巨大潜力,在核心技术上着力的同时,也应该重视和培育具有基础性和支撑性技术的协同发展。针对一些所谓的新技术、新概念,也需要增强认知力、鉴别力,避免陷入被动局面。

4 结束语

未来的信息化战争,离不开空天预警、侦察、通信等信息装备的支持,特别是信息装备技术日新月异的发展和广泛应用,空天将从信息获取、传输的上游行动,逐渐进入到信息处理、应用等中游环节,并将直接参与到火力打击的最终阶段。因此,空天信息装备成体系化地建设与发展日益迫切。

本文在研究云作战理论的基础上,进行了空天

云作战信息装备体系建设的需求分析,构建了基于云作战的空天信息装备体系,初步探讨了信息装备体系运用过程中云作战能力生成机理。空天信息装备的优劣决定了未来空天战场的主动权和主导权,在信息装备成体系建设与发展过程中,应更加重视云作战制胜机理研究,不断提升装备体系融合能力,更加重视可靠性和安全性,平衡好独立自主与融合发展的关系。本文深化了空天信息装备体系建设需求与实现途径的认识,对空天战场信息装备成体系建设与运用具有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 高奇琦. 美国的云计算战略及其对军事和国际关系的影响[J]. 美国研究, 2015, 29(2): 52-67.
GAO Qiqi. America's cloud computing strategy and its influence on military and international relations[J]. American Studies Quarterly, 2015, 29(2): 52-67. (in Chinese)
- [2] 戴锋, 魏亮, 吴松涛. 三论“云作战”[J]. 中国军事科学, 2015(1): 135-146.
DAI Feng, WEI Liang, WU Songtao. A third round of study on “cloud operations”[J]. China Military Science, 2015(1): 135-146. (in Chinese)
- [3] 时东飞, 蔡疆, 黄松华, 等. 美国空军“战斗云”作战理念及启示[J]. 指挥信息系统与技术, 2017, 8(3): 27-32.
SHI Dongfei, CAI Jiang, HUANG Songhua, et al. Operational concept and enlightenment of united states air force combat cloud[J]. Command Information System and Technology, 2017, 8(3): 27-32. (in Chinese)
- [4] 霍大军. 网络化集群作战研究[M]. 北京: 国防大学出版社, 2013: 92.
HUO Dajun. Network cluster operation study[M]. Beijing: National Defence University Press, 2013: 92. (in Chinese)
- [5] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 中国的军事战略[M]. 北京: 人民出版社, 2015.
The State Council Information Office of the People's Republic of China. China's military strategy[M]. Beijing: People's Publishing House, 2015. (in Chinese)
- [6] 田安平, 张建业. 中国空天安全战略构想[M]. 北京: 解放军出版社, 2016: 5-10.
TIAN Anping, ZHANG Jianye. Thought of China air safety strategy[M]. Beijing: Chinese People's Liberation Army Publishing House, 2016: 5-10. (in Chinese)
- [7] 胡悦. 美国空军“作战云”发展现状与展望[J]. 现代导航, 2017, 8(1): 74-78.
HU Yue. Air force “combat cloud” development and prospect[J]. Modern Navigation, 2017, 8(1): 74-78. (in Chinese)
- [8] 张天, 黄志永, 王永亮. 作战云: 信息化空中作战体系的高阶形式[J]. 空军军事学术, 2016(3): 32-34.
ZHANG Tian, HUANG Zhiyong, WANG Yongliang. Cloud operation: high mode of information air operation system[J]. Air Force Military Academy, 2016(3): 32-34. (in Chinese)
- [9] 罗金亮, 宿云波, 张恒新. “作战云”体系构建初探[J]. 火控雷达技术, 2015, 44(3): 26-30.
LUO Jinliang, SU Yunbo, ZHANG Hengxin. Research on system construction of combat cloud[J]. Fire Control Radar Technology, 2015, 44(3): 26-30. (in Chinese)
- [10] 方超, 戴锋. 网络空间“云作战”模型及仿真分析研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2016, 30(3): 40-47.
FANG Chao, DAI Feng. Model and simulation analysis of network “cloud operation”[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2016, 30(3): 40-47. (in Chinese)
- [11] 李飞, 胡剑波, 康大明. 基于“作战云”概念的空天作战体系建模[J]. 空军工程大学学报(军事科学版), 2017, 17(4): 8-11.
LI Fei, HU Jianbo, KANG Daming. Air operation system modeling based on “cloud operation”[J]. Journal of Air Force Engineering University (Military Science), 2017, 17(4): 8-11. (in Chinese)
- [12] 刘鹏, 戴锋, 闫坤. 基于复杂网络的“云作战”体系模型及仿真[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(6): 6-11.
LIU Peng, DAI Feng, YAN Kun. System model and simulation of “cloud operations” based on complex network[J]. Command Control & Simulation, 2016, 38(6): 6-11. (in Chinese)
- [13] 李飞, 胡荣, 胡剑波, 等. 空天云作战指挥控制效能评估[C]// 第六届中国指挥控制大会论文集. 北京: 中国指挥与控制学会, 2018: 352-357.
LI Fei, HU Rong, HU Jianbo, et al. Research on command and control effectiveness evaluation of aerospace cloud operations[C]// Proceedings of the 6th China Conference on Command and Control. Beijing: CICC, 2018: 352-357. (in Chinese)
- [14] 范绍华, 谭凯家. 基于“云作战”样式的武器装备发展探析[J]. 国防, 2019(3): 17-20.
FAN Shaohua, TAN Kaijia. Analysis of weaponry development based on “cloud operation”[J]. National Defense, 2019(3): 17-20. (in Chinese)
- [15] 葛冰峰. 基于能力的武器装备体系结构建模、评估与组合决策分析方法[D]. 长沙: 国防科技大学, 2014.
GE Bingfeng. Capability-based modeling, evaluation, and portfolio decision analysis approaches for system-of-arms architecture[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2014. (in Chinese)
- [16] 程贲, 鲁延京, 周宇. 武器装备体系优化方法研究进展[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(1): 85-90.
CHENG Ben, LU Yanjing, ZHOU Yu. Research progress on weapon system-of-systems optimization methods[J].

- Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(1): 85-90. (in Chinese)
- [17] 游光荣, 初军田, 吕少卿, 等. 关于武器装备体系研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2010, 24(4): 15-22.
YOU Guangrong, CHU Juntian, LÜ Shaoqing, et al. Study on weapon system[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2010, 24(4): 15-22. (in Chinese)
- [18] 叶国青, 姜江, 陈森, 等. 武器装备体系设计问题求解框架与优化方法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(11): 2256-2263.
YE Guoqing, JIANG Jiang, CHEN Sen, et al. Design optimization of weapon system of systems based on collaborative multidisciplinary decision-making[J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(11): 2256-2263. (in Chinese)
- [19] 周宇. 基于能力的武器装备组合规划问题与方法[D]. 长沙: 国防科技大学, 2013.
ZHOU Yu. The problems and approaches for capabilities-based armaments portfolio planning[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2013. (in Chinese)
- [20] 李际超, 杨克巍, 张小可, 等. 基于武器装备体系作战网络模型的装备贡献度评估[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2016, 13(3): 1-7.
LI Jichao, YANG Kewei, ZHANG Xiaoke, et al. Equipment contribution degree evaluation method based on combat network of weapon system-of-systems[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2016, 13(3): 1-7. (in Chinese)
- [21] 李新明, 杨凡德. 电子信息装备体系及基本问题研究[J]. 装备学院学报, 2013, 24(6): 1-4.
LI Xinming, YANG Fande. Research on the electronic information equipment systems of systems and the basic problem[J]. Journal of Academy of Equipment, 2013, 24(6): 1-4. (in Chinese)
- [22] 卫莹. 着力推进云计算技术作战应用的战略思考[J]. 军事运筹与系统工程, 2015, 29(4): 5-7.
WEI Ying. Strategy thought of developing cloud computing operation applications[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2015, 29(4): 5-7. (in Chinese)
- [23] 姜茸, 马自飞, 李彤, 等. 云计算技术安全风险评估研究[J]. 电子技术应用, 2015, 41(3): 111-115.
JIANG Rong, MA Zifei, LI Tong, et al. Study on security risk assessment for technology of cloud computing[J]. Application of Electronic Technique, 2015, 41(3): 111-115. (in Chinese)
- [24] United States Department of Commerce. The DoD cloud computing strategy [EB/OL]. [2019-12-03]. <https://media.defense.gov/2019/Feb/04/2002085866/-1/-1/1/DOD-CLOUD-STRATEGY.PDF>.
- [25] 郑崇璞. 面向体系作战能力的海军指挥信息系统建设[J]. 指挥信息系统与技术, 2013(6): 19-21, 58.
ZHENG Chongpu. Navy command information system construction based on systematic fighting capacity[J]. Command Information System and Technology, 2013(6): 19-21, 58. (in Chinese)
- [26] 樊县林, 孙健. 发展的数据链与协同作战能力[J]. 指挥信息系统与技术, 2017, 8(6): 5-11.
FAN Xianlin, SUN Jian. Data link development and cooperative operational capability[J]. Command Information System and Technology, 2017, 8(6): 5-11. (in Chinese)
- [27] 张雪松, 苏辛, 王燕敏. 军事信息系统互操作能力评估方法研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2016, 11(6): 649-654.
ZHANG Xuesong, SU Xin, WANG Yanmin. Study on evaluation method for military information systems interoperability[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2016, 11(6): 649-654. (in Chinese)
- [28] 范晋祥, 陈晶华. 未来空战新概念及其实现挑战[J]. 航空兵器, 2020, 27(2): 15-24.
FAN Jinxiang, CHEN Jinghua. New concepts of future air warfare and the challenges for its realization[J]. Aero Weaponry, 2020, 27(2): 15-24. (in Chinese)
- [29] 张建东, 时洋洋, 田海宝, 等. 基于 Petri 网理论的 FC-AE-1553 性能分析[J]. 西北工业大学学报, 2010, 28(3): 388-392.
ZHANG Jiandong, SHI Yangyang, TIAN Haibao, et al. Applying DSPN (deterministic and stochastic petri nets) to performance analysis of FC-AE-1553 integrated avionics bus system[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2010, 28(3): 388-392. (in Chinese)
- [30] FAWZI H, TABUADA P, DIGGAVI S. Secure estimation and control for cyber-physical systems under adversarial attacks[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2014, 59(6): 1-21.
- [31] 李飞, 胡荣, 胡剑波. 信息物理融合系统在航空电力系统中的应用思考[C]// 第八届中国航空学会青年科技论坛论文集. 北京: 中国航空学会, 2018: 753-758.
LI Fei, HU Rong, HU Jianbo. Research on the application of cyber physical systems in aviation electric power system [C]// Proceeding of 8th Youth Science and Technology Forum. Beijing: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, 2018: 753-758. (in Chinese)
- [32] 张恒. 信息物理系统安全理论研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
ZHANG Heng. Research on security theory for cyber-physical systems[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015. (in Chinese)
- [33] 王卯宁, 朱建明. 基于贝叶斯假设检验的 CPS 控制层攻击检测方法[J]. 信息安全研究, 2017, 3(7): 633-637.
WANG Maoning, ZHU Jianming. Research on Bayesian (下转第 788 页)

- analysis of human behaviour during aircraft evacuation situations using the AASK v3.0 database[J]. Aeronautical Journal, 2003(3): 219-231.
- [23] GALEA E R, FLNNEY K M, DIXON A J P, et al. The AASK database V4.0: aircraft accident statistics and knowledge, a database to record human experience of evacuation in aviation accidents[C]// The Fourth Triennial International Fire and Cabin Safety Research Conference. Lisbon: IEEE, 2004: 1-10.
- [24] GALEA E R. Computer based simulation of aircraft evacuation and its application to aircraft safety[C]// Proceedings of 1998 International Aircraft Fire and Cabin Research Conference. London: IEEE, 1998: 8-15.
- [25] MCLEAN G A, CORBETT C L. Access-to-egress III: repeated measurement of factors that control the emergency evacuation of passengers through the transport airplane type-III over-wing exit[R]. Oklahoma City: Civil Aerospace Medical Institute, 2004.
- [26] 李涛, 王晓强, 黄艳平. 应急滑梯撤离速率数值模拟及试验验证[J]. 舰船电子工程, 2017, 37(10): 75-79.
LI Tao, WANG Xiaoqiang, HUANG Yanping. Numerical simulation and test verification of the evacuation rate of the emergency evacuation slide[J]. Journal of Ship Electronic Engineering, 2017, 37(10): 75-79. (in Chinese)
- [27] 中国民用航空局. 应急撤离滑梯、轻便梯、轻便梯滑梯以及滑梯救生筏: CTSO-C69c[S]. 北京: 中国民用航空局, 2019.
Civil Aviation Administration of China. Emergency evacuation slides, ramps, ramp/slides, and slide/rafts: CTSO-C69c[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2019. (in Chinese)
- [28] MUIR H, COBBETT A. Influence of cabin crew during emergency evacuations at floor level exits[R]. US: CAA, 1996.

作者简介:

王鹏飞(1994—),男,硕士研究生。主要研究方向:民用飞机客舱疏散仿真。

刘龙权(1976—),男,博士,副教授。主要研究方向:民用飞机客舱安全及智能逃生、纤维增强复合材料结构强度、纳米点阵材料制备技术及力学增强。

(编辑:丛艳娟)

(上接第 780 页)

- hypothesis test-based detection method of CPS control layer attacks[J]. Journal of Information Security Research, 2017, 3(7): 633-637. (in Chinese)
- [34] MCMILLIN B. Complexities of information security in cyber-physical power systems [C] // Proceedings of 2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition. Seattle: IEEE, 2009: 1-2.
- [35] United States Department of Commerce. Order activating suspended denial order relating to Zhongxing Telecommunication Equipment Corporation and ZTE Kangxun Telecommunications LTD [EB/OL]. [2019-12-03]. https://www.commerce.gov/sites/commerce.gov/files/zte_denial_order.pdf.

作者简介:

李飞(1986—),男,博士,讲师。主要研究方向:空天作战与装备体系建设。

王世梅(1988—),女,硕士,助教。主要研究方向:军事装备实战化训练。

胡剑波(1965—),男,博士,教授、博导。主要研究方向:装备维修保障与评估、智能控制理论与应用。

刘炳琪(1995—),男,硕士研究生。主要研究方向:质量竞争力评价、装备维修保障与评估。

(编辑:丛艳娟)