

空天一体联合体系作战及其技术展望

张宏俊

(上海航天技术研究院, 上海 201109)

摘要: 随着体系化作战对抗维度不断拓展,多域联合程度逐步加深,空天力量正在成为决定未来战争胜负的关键。本文提出了空天一体联合体系作战概念,对空天一体联合作战体系构成和典型作战样式进行了探讨,对涉及的关键技术进行了分析,为未来空天一体联合作战体系建设提供支撑。

关键词: 空天一体; 跨域协同; 信火融合

中图分类号: TJ 76 **文献标志码:** A

DOI: 10.19328/j.cnki.2096-8655.2021.03.001

Combat and Technology Prospect of Air and Space Integrated Operation System

ZHANG Hongjun

(Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 201109, China)

Abstract: With the continuous expansion of the dimension of systematic combat confrontation and the gradual deepening of the degree of multi-domain cooperation, air and space strength is becoming the key to determine the victory of future wars. In this paper, the combat concept of the air and space integrated operation system is proposed. The composition and typical combat patterns of the air and space integrated operation system are discussed, and the key technologies involved are analyzed, which can provide support for the construction of the air and space integrated operation system in the future.

Key words: air and space integration; cross-domain collaboration; information and firepower integration

0 引言

在大国战略竞争和军事技术革命的双重驱动下,战争形态和作战样式正在发生深刻变革,未来战争将围绕空间域、信息域和认知域进一步强化体系联合作战。在战场空间域拓展中,空天力量具备广域部署、全域感知、快速响应和多元互补的特点,是联合作战体系的新型作战力量和重要组成部分,并将成为决定未来战争胜负的关键。为此,需开展空天一体联合作战体系及其技术研究,实现多域作战装备的互联集成、聚合增效和能力跨越,提升未来体系联合博弈对抗效能。

1 空天一体联合作战体系概述

空天一体联合体系作战是将天、空、地、海、网、电多个作战域分散部署的作战装备在信息利用、力

量调配、作战指挥等方面进行跨域联合,实现信息广域获取、资源跨域调度、攻防全域一体的作战理念。空天一体联合作战体系则是在该理念指导下,以信息网络为核心,以空天力量为骨干,将多域分散部署的各作战单元组成互联集成、一体攻防的联合作战体系,担负未来空天一体联合攻防作战任务,实现空天力量支撑下的全域制胜。其主要优势包括:战场态势广域感知,作战要素全域调度,信火融合效能倍增,任务架构灵活抗损。

1) 战场态势广域感知

空天一体联合作战体系的核心基础是获取和保持战场的制天权,充分利用天基系统全球部署、广域覆盖的优势,以实现陆海空战场的全天时、全天候、大范围、快响应感知监视。通过多域传感器互联组网,在探测空间上实现天、空、地、海全域覆盖,在

收稿日期:2021-05-02; 修回日期:2021-06-01

作者简介:张宏俊(1967—),男,研究员,主要研究方向为飞行器总体设计及制导控制。

探测体制上实现光学、雷达、电子侦察等多元互补,在信息处理上实现多源、异构信息深度融合。

2) 作战要素全域调度

空天一体联合作战体系可综合集成天基、空基、海基和地基等多域作战单元,将不同领域、不同空间、不同功能、不同层次的作战力量资源按照作战需求整合成为统一、全维、多能的有机整体,实现作战要素跨域互联、作战信息全域传输、作战区域多重覆盖。体系通过资源统筹与优化配置实现体系资源的高效组合和各类信息的高速交互,充分拓展作战空间。

3) 信火融合效能倍增

空天一体联合作战体系基于信息实时处理和快速分发传输,推动天基信息的综合应用,将空天信息与多域火力深度连接、融合,利用体系的信息优势增强火力打击的灵活可控性和高效集中性。例如,体系可利用天基信息实现火力装备的远程发现、远程开火,通过广域探测感知信息近实时支援远程作战,确保打击精度,提升作战效能。

4) 任务架构灵活抗损

空天一体联合作战体系采用开放兼容、灵活弹性的体系架构,并利用模块化设计、分布式协同等技术将高性能平台分解为数量众多的功能单元,各功能单元灵活基于任务自主重组实现复杂作战功能。当某一作战单元受损失能时,体系可通过架构动态重组、功能在线定义等方式实现作战功能快速恢复。

2 国外新型联合作战体系发展思路

国外新型联合作战体系发展主要聚焦于加强多军兵种联合作战能力,加强天基信息支援和跨域资源联合运用,实现多维探测感知和多域火力协同,并通过将系统功能分解至低成本分布式作战单元提升系统弹性重构能力。主要发展思路包括:作战概念创新牵引、天基感知全域应用、作战要素跨域协同、指控决策扁平智能和体系架构快速重构。

2.1 作战概念创新牵引

美军为保持作战优势,针对未来全域、多维、立体的高强度对抗需求,先后提出了“多域战”“马赛克战”等多种新型作战概念,通过作战概念创新牵引未来联合作战体系建设框架和发展路径^[1-6]。目前,美国的陆军、空军等多个军兵种已将“多域

战”纳入作战条令,打造多军种高效联合、多作战域深度融合的联合作战新模式,并投入大量资源推进配套项目建设和技术攻关,意图占据未来联合全域作战先发优势。美军“多域战”概念如图 1 所示。

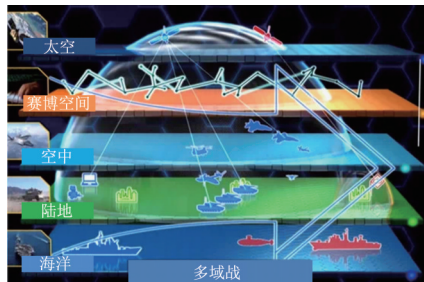


图 1 美军“多域战”概念图

Fig.1 Concept of “multi-domain battle” of the US army

2.2 天基感知全域应用

美军强调信息驱动决策,持续加强以天基探测为骨干的多维全域态势感知能力建设。为此,美国以“全球信息栅格”系统建设为契机,以实现天空地一体多域探测感知能力为牵引,以天基感知系统建设和联合运用为建设重点,先后开展了“天基传感器层”“扩散式低地球轨道太空架构”“国防空间架构跟踪层”“星链”等项目建设^[7],计划在 2030 年前后建成天基巨型星座(如图 2 所示),实现对弹道导弹等高速时敏目标全程实时探测跟踪,大幅提升空天作战全域感知、跟踪指示和效果评估能力,并为体系内各作战节点提供实时、高速的天基通信网络,确保信息和指令广域、快速传输。



图 2 天基巨型星座概念图

Fig.2 Concept diagram of the space-based giant constellation

2.3 作战要素跨域协同

美国和欧洲持续发展空军高级战斗管理系统、

导弹防御联合指控系统、海军一体化防空火控系统、未来空战系统等协同作战指挥系统,持续开展隐身战机、宙斯盾战舰、反导拦截弹、巡航导弹、无人机、预警卫星等多域平台的协同作战试验验证,推动联合作战体系作战要素跨域协同。在“联合全域作战”概念指导下,美军利用丰富的战场信息拓展作战要素自身的跨域感知和目标识别能力,协同和融合联合作战力量,参与、支援和控制其他作战域^[8-10],使联合作战部队具备在陆、海、空、天全域开展协同作战行动的能力。欧洲未来空战系统概念图如图 3 所示。



图 3 欧洲未来空战系统概念图

Fig.3 Concept diagram of the future air combat system of Europe

2.4 指控决策扁平智能

美军将智能化视为第三次抵消战略的核心支撑技术,针对智能化军事建设需求,持续开展基于先进智能推演架构的“深绿指挥辅助系统”“指南针辅助决策工具”“Alpha AI 空战模拟系统”和“指挥官虚拟参谋(Comander's Virtual Staff, CVS)”等项目,通过对海量战场数据快速、准确地判断及预测,为决策者提供作战辅助决策^[11],并以“马赛克战”、“决策中心战”概念为引领,推动联合作战从“以信息为中心作战”向“以决策为中心作战”转型,从“掌控信息优势”向“掌控决策优势”转变,牵引智能化作战转型。指挥官虚拟参谋项目概念图如图 4 所示。

2.5 体系架构快速重构

美军通过信息网络支撑、平台分散部署、模组网协同、功能在线定义、快速发射组网等技术构建动态弹性的作战体系,各平台、各模块可面向作



图 4 指挥官虚拟参谋项目概念图

Fig.4 Concept diagram of the commander's virtual staff project

战任务快速组合和动态重构,实现不同的作战任务和功能属性,通过平台分散化部署、模块化设计、快速发射和灵活动态重构提升作战体系的弹性连接、自适应匹配和抗毁伤能力^[12-14]。如美国在建的“星链”低轨通信卫星网络采用数万颗小卫星组成巨型星座,少量卫星失能可凭借星座节点的数量冗余进行链路重构,同时可使用“猎鹰”等低成本可重复使用运载火箭快速规模化发射备份卫星,实现高效费比灵活重构^[15]。猎鹰可重复使用运载火箭如图 5 所示。



图 5 猎鹰可重复使用运载火箭

Fig.5 Falcon recycle use launch vehicle

3 空天一体联合作战体系设想

3.1 空天一体联合作战体系构成

空天一体联合作战体系概念主要探索多维空间感知、一体化联合指控、多域空间对抗等技术发展应用,以天空地海一体化信息网络为基础,紧密连接分散部署的各类预警探测、攻防作战装备,构建由空天感知网、指挥控制网、攻防火力网、一体化通信链构成

的空天一体联合作战体系,实现各型装备随遇入网、即插即用,多维信息与多域火力的融合聚能,从而应

对未来全域化、多维化、体系化攻防作战。空天一体联合作战体系架构设想如图 6 所示。

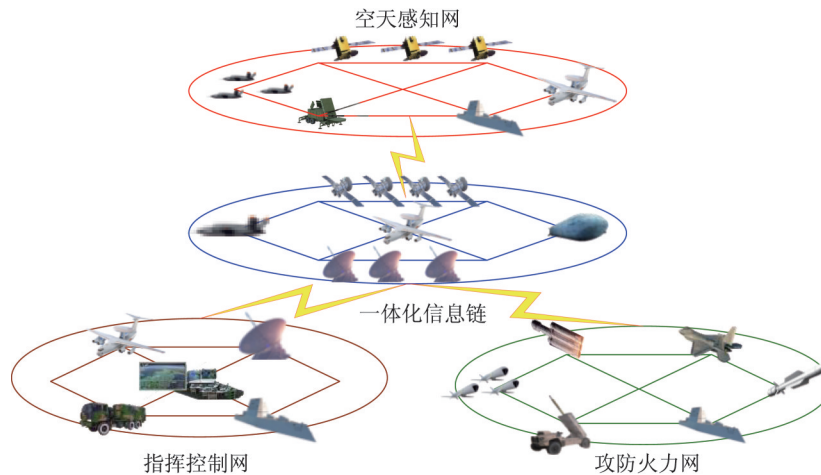


图 6 空天一体联合作战体系架构设想

Fig.6 Architecture envision of the air and space integrated operation system

3.1.1 空天感知网

空天感知网可实现天基、地基、空基和海基探测节点动态接入,形成多层覆盖、动态组网、全域协同的空天感知网。其中,高层感知网基于天基预警探测网络,形成多轨道组网、功能复用的大规模天基卫星星座,充分拓展天基传感器的探测范围与目标容量,有效提升全域感知能力;中层感知网以大型空中预警平台为核心,搭配无人集群探测单元,提升感知网络的灵活性与抗毁能力,实现对抗环境下的隐蔽式侦察;低层感知网以地、海基探测系统为基础,通过协同探测实现区域精准跟踪。

3.1.2 一体化通信链

一体化通信链可利用卫星通信中继、空基通信中继、地海基通信网络等多种手段构建覆盖各作战域的信息栅格,实现天、空、地、海四层物理域的跨域互联互通。其中,天基信息层通过多星组网星座,提供全覆盖、大容量、低延时通信网络;空基信息层通过无人机等机动通信平台,形成灵活机动的空基通信平台,实现区域通信能力补强和链路备份;地基及海基信息层重点发展新型数据链技术,实现快速大容量和高效抗干扰通信,实现基于信息栅格的资源按需接入和链路快速构建。

3.1.3 指挥控制网

指挥控制网重点执行信息处理、作战决策、资

源调配、综合控制等任务,对体系资源进行一体化高效指挥。探索“基础平台+功能插件”的开放式架构技术,基础平台提供通信链接、态势分发、数据传输等通用基础服务,指控节点之间采取网状连接,根据不同任务需求灵活采用逐级、越级、接替等指挥方式。通过开发人工智能决策辅助技术,将人类指挥艺术与人工智能指挥技术有机结合,实现人在回路、人机融合的智能指挥决策。

3.1.4 攻防火力网

攻防火力网是在多维探测感知信息支撑下,通过天空地一体化全域信息网络将多域火力节点与多维信息深度铰链,形成网络化互联、作战域衔接、分布式部署的攻防火力网。各火力节点通过一装多能、协同攻防和弹性重构技术的综合运用,充分发挥空天一体多域多维打击优势。一装多能技术以实现多任务、多功能应用为方向,具备对各类目标的高效打击能力;协同攻防技术以发展分布式自主集群技术为核心,具备在线任务规划、分布智能协同能力;弹性重构技术以发展在线动态组网、模块化搭载等技术为方向,具备攻防火力按需定义、作战链路动态重构能力。

3.2 空天一体联合作战体系典型作战样式

3.2.1 基于动态架构的灵活作战

基于资源弹性适应、动态组合重构的空天对抗

样式,是指空天一体联合作战体系在部分节点单元受损失能后,通过资源灵活调配、架构动态重构、节点应急快速补充等方式实现面向任务的作战体系重构,快速恢复体系作战功能。如天基探测单元节点故障失能时,指挥控制网生成资源动态重构方

案,就近灵活调度其他天基探测单元、空中探测单元或地面探测单元进行应急部署,填补原有天基探测单元节点受损带来的能力缺失,实现作战链路重构闭环。基于资源动态组合的应急重构如图 7 所示。

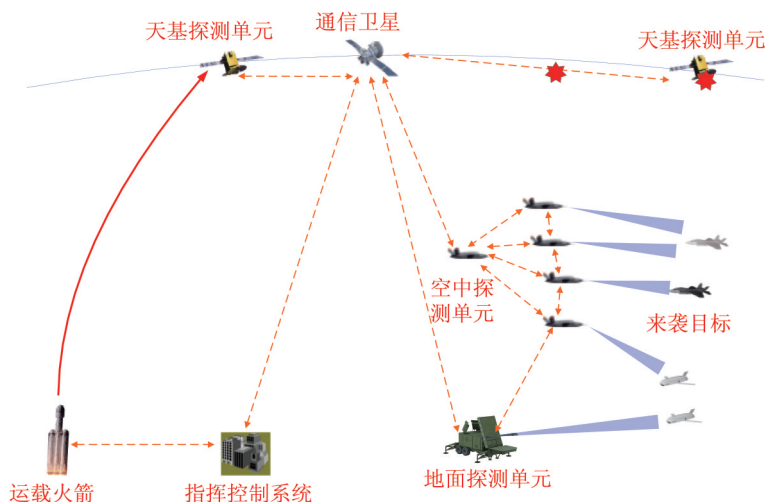


图 7 基于资源动态组合的应急重构

Fig.7 Emergency reconstruction based on dynamic combination of resources

3.2.2 基于立体信息的远程交战

基于立体信息的远程交战样式,是指空天一体联合作战体系依托天、空基等探测单元的远程情报支援,充分拓展精确打击远界,对目标实施尽远打击,如图 8 所示。天基探测单元实施广域侦察监视,指挥控制网基于广域战场态势和智能辅助决策,根据目标特征在攻防火力网中选取应对手段和装备进行打击作战,在立体信息支援下确保远程作战火力投送精准高效。

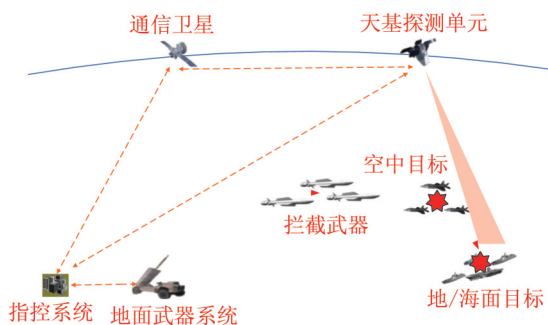


图 8 基于天基信息支援的远程交战

Fig.8 Remote battle based on space information support

3.2.3 基于分布式协同的集群作战

基于分布式协同的集群作战样式是指空天一

体联合作战体系在复杂任务环境下通过攻防火力网的分散部署、集群协同和灵活重组,形成即时所需的自适应作战能力,如图 9 所示。空中集群探测单元可实施分布式侦察感知,指挥控制网进行信息融合和资源调配,根据目标类型进行多平台分布式在线自主决策,实施多对多分布式杀伤。

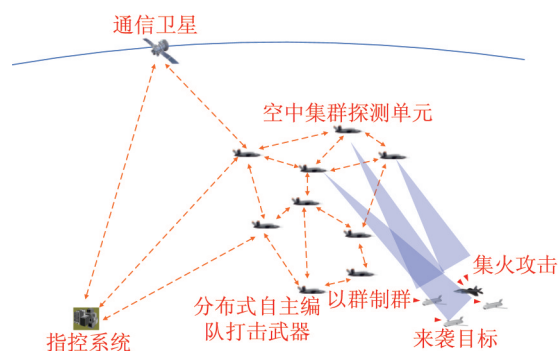


图 9 基于分布组网协同的集群作战

Fig.9 Cluster combat based on distributed networking cooperation

4 空天一体联合作战体系关键技术

为适应空天一体联合作战体系发展,可发展以下技术。

4.1 基于异构模型的联合体系设计与验证技术

基于异构模型的联合体系设计与验证技术是构建空天一体联合作战体系的基础技术,重点采用需求建模、大数据分析、数据特征挖掘、架构拓扑优化等技术完成联合作战体系架构设计、优化,发展数字孪生、不确定性/涌现性建模、智能反演建模、电磁/网络空间建模等先进建模技术,构建各类装备和作战要素的数字、半实物模型。其难点在于需求建模完整逼真程度、体系架构动态适应能力、异构数据智能交互和跨域异构仿真标准构建等方面。

4.2 资源一体化智能管控与体系灵活重构技术

资源一体化智能管控与体系灵活重构技术主要发展分布式作战管理控制技术,面向战场态势和作战任务,构建作战要素资源池,基于当前及未来作战需求预判,利用面向任务的资源智能匹配模型,对空天一体联合作战的探测、指控、火力、干扰等各类资源进行一体化综合管控,实现作战要素统一筹划、快速调度、灵活适配,满足多元作战任务需求,提升作战要素资源利用效率。作战资源一体化智能管控和体系灵活重构的难点在于要素高效智能匹配、资源弹性精准管控、低成本快速生产与发射、体系架构灵活快速重构。

4.3 多域联合协同探测跟踪技术

信息的广域多维获取是空天一体联合作战的基础,通过将天、空、地、海等多域预警探测装备进行组网和一体化调度,控制多域预警探测装备进行组网探测、协同引导、接力跟踪、联合定位,发展分布式计算、数据特征挖掘、智能关联识别等技术对多维探测信息融合处理,实现对各类目标的全域多维联合预警探测。其难点在于实现多类探测装备的联合组网运用、探测信息高效分发交互、探测资源自适应灵活调度。

4.4 多域互联动态组网通信技术

针对未来天空地多域作战要素互联互通需求,采用分层路由组网通信、基于软件定义网络组网通信等手段,构建天空地一体的通信网络,并对通信设备形态、信息交换传输标准、入网组网协议、使用模式规则等进行标准化处理,各节点单元可通过统一的入网协议和入网标准快速随遇动态入网,满足

各节点间信息互联互通需求。其难点在于实现动态自主组网、低延迟大容量数据传输、数据传输格式协议标准化、强干扰对抗条件下的可靠通信等。

4.5 异构信息高效融合与精准分发技术

多源异构探测信息的高效融合、精准分发是发挥联合探测空间覆盖、体制互补等综合优势的关键。发展多源海量信息智能快速处理、多源异构信息时空配准、多源异构信息特征映射与关联融合、基于多维特征的目标智能检测与识别、信息精准匹配与快速分发等技术,实现对天、空、地、海多域分布的多传感器光学、雷达、电子侦察等多体制异构信息高效融合和目标智能识别,并快速精准分发至指挥控制系统与作战装备,大幅提升联合作战战场态势感知与信息获取能力。其难点在于海量信息的智能快速处理、异构信息融合架构设计、异构信息高效融合算法开发、目标信息精准生成与快速分发。

4.6 智能化态势认知与辅助决策技术

针对复杂战场环境下的态势准确判别、快速精准决策需求,采用仿生智能算法、分布估计算法、人工智能分析、智能博弈对抗等技术,通过对多维异构战场信息进行融合处理和智能关联分析,从海量战场情报信息中提取重要信息,形成作战情报,实现对战场态势的智能感知,并辅助指挥员高效完成作战决策。其难点在于事件关联推理、态势聚焦生成、态势推演预测、智能辅助决策等问题。

4.7 信息火力一体化综合运用技术

信息火力一体化综合运用技术是将多维信息与多域火力进行深度连接、一体化协同运用,实现多域火力基于多维信息的聚能增效。通过采用跨域协同交战、信息攻防与多域火力一体化综合运用、传感器和火力资源智能优化配置等技术,可实现空天地海多维信息、多域火力的在线匹配,利用信息制权增强多域火力打击的灵活可控和协同高效,凭借跨域精准火力打击促进信息制权优势扩大,实现感知信息网、多域火力网的同步增效。其难点在于多域作战资源智能快速匹配、信息精准高效传输、信息火力综合运用。

4.8 空天网电全维博弈信息制权技术

空天一体联合作战中信息权的控制将成为空天网电全维博弈对抗制胜的关键。通过发展采用电磁环境自主扫描认知、电磁对抗智能博弈、战场频谱智能管控、软硬杀伤一体化控制等技术,夺取并保持战场信息获取、传输与利用优势,实现空天网电全域信息制权。其难点在于电磁环境智能认知、实时感知与快速智能博弈、软硬一体信息攻防和信息攻击综合防御等。

5 结束语

空天一体联合作战体系是应对未来空天威胁的骨干支撑和推动空天作战力量建设的重要方向,是一个高技术密集的复杂的巨系统,需要基于空天信息网络的预警探测、指挥控制、攻防火力等多维系统的跨域联合,有效提升空天一体联合作战效能。此外,需注重联合作战体系顶层设计,以核心技术为支撑,增强原始创新、集成创新能力,加强关键技术攻关,重点实现空天一体多域互联动态组网通信技术、异构信息高效融合与精准分发技术等核心技术的全面突破,为空天一体联合作战体系建设和发展夯实基础。

参考文献

- [1] 刘朔邑,李博.美军“多域战”概念探析[J].国防科技,2018(6):108-112.
- [2] 文予.从“多域战”到“全域战”:对美军作战概念转型的理论思考[J].知远防务评论,2020(3):57-70.

- [3] 李昌玺,于军,徐颖,等.联合作战条件下战场态势感知体系构建问题研究[J].中国电子科学研究院学报,2018(6):680-684.
- [4] 陈彩辉,缪珊珊.美军“联合全域作战(JADO)”概念浅析[J].知远防务评论,2020,15(10):917-921.
- [5] 孙全,高雅,陈宇威,等.全域作战理论下陆军防空反导装备发展思考[J].空天防御,2018(3):1-4.
- [6] 李磊,蒋琪,王彤.美国马赛克战分析[J].战术导弹技术,2019(6):108-114.
- [7] 郑翔平,张礼,何炼坚,等.面向协同作战的无中心战术组网技术[J].电子信息对抗技术,2020(1):35-39.
- [8] 杨中英,王毓龙,赖传龙.无人机蜂群作战发展现状及趋势研究[J].飞航导弹,2019(5):34-38.
- [9] 吴勤.美军分布式作战概念发展分析[J].军事文摘,2016(13):44-47.
- [10] 付强,王刚,范成礼,等.防空反导智能指控系统作战需求研究[J].火力与指挥控制,2020(2):28-31.
- [11] 李宪港,李强.典型智能博弈系统技术分析及指控系统智能化发展展望[J].智能科学与技术学报,2020(3):36-42.
- [12] 赵双,张雅声,戴桦宇.基于快速响应的导航星座重构构型设计[J].空间控制技术与应用,2018(4):26-33.
- [13] 刘磊.面向武器装备体系发展的体系演化建模与探索分析方法研究[D].长沙:国防科学技术大学,2012.
- [14] 郑作亚,薛庆昊.基于网络信息体系思维的天地一体通导遥融合应用探讨[J].中国电子科学研究院学报,2020(8):710-714.
- [15] 张晓帆.“星链”三发,又用四手箭,成最大商业卫星编队[J].中国航天,2020(2):65-68.



作者简介:

张宏俊,男,汉族,1967年10月生,湖北枝江人。西北工业大学飞行器控制、制导与仿真专业毕业,硕士研究生学历。现任上海航天技术研究院院长,我国飞行器总体设计、制导控制专家。

现担任多个国家级专家组首席专家、成员,中国系统仿真学会常务理事等职务。曾获国家发明专利20余项,国家科技进步奖二等奖1项,国防科技一等奖1项、二等奖4项、三等奖3项。享受国务院政府特贴,入选新世纪百千万人才工程国家级人选。曾获航天工业总公司“航天奖”、上海市第三届十大“青年科技英才”、上海市“领军人才”奖、上海市劳动模范等荣誉称号。