

从航空火力控制系统的发展看信息时代的火力控制

Fire Control in the Age of Information: From Perspective of Aviation Fire Control System Development

陈峭东^{1,2}, 邹杰^{1,2}, 刘波^{1,2}, 高劲松^{1,2}

(1. 中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471000;

2. 光电控制技术重点实验室, 河南 洛阳 471000)



陈峭东

陈峭东, 工学博士, 研究员, 洛阳电光设备研究所副总工程师, 光电控制技术重点实验室副主任。长期从事航空火力控制理论与技术研究, 参加过多型航空火控系统研制。获得省部级科研成果二等奖三项、三等奖五项, 集团级科研成果近二十项, 发表学术论文多篇。

1 对火力控制的基本认识

1.1 火力控制

火力控制是指发现并使用武器毁伤目标的活动, 火力控制同时也是为作战服务的一门科学。

在这个定义中, “毁伤目标”是火力控制的目的, 也是火力控制区别于其他活动的主要特征; “发现目标”, 即搜索、识别、跟踪、评估、选定要攻击的目标是正确使用武器的前提; “使用武器”是毁伤目标的手段, 是弹药对目标形成杀伤和破坏的必

阐述了火力控制、火力控制技术和火力控制系统的概念, 通过回顾航空火力控制系统的发展, 总结了航空火控系统的发展趋势, 分析了信息时代和网络中心战对火力控制的影响以及火力控制所面临的新形势, 提出了信息时代火力控制的特点以及新一代火力控制系统研发所应采用的新方法和新工具。

关键词: 火力控制; 航空火力控制系统; 火力控制技术; 火力控制系统

中图分类号: V243

文章编号: 1671-637X(2015)02-0001-06

要条件, 包括武器的选择、准备、瞄准、投射、制导等。火力控制是一种活动, 是由“控制”的性质决定的, 火力控制是由若干相互关联的环节组成的, 最终使武器弹药作用于目标从而实现对目标毁伤的一个过程, 活动包括准备、实施、效果(影响)评价, 即事前、事中、事后3个阶段。

火力控制之所以是一门科学, 是因为其发展有自身的客观规律, 并已形成了相关的知识体系; “为作战服务”说明了火力控制的军事属性。

火力控制的基本原理: 在一定条件下, 武器运载平台投射出的弹药经过一段时间的运动与目标相遇(命中目标)。火力控制的基本任务: 根据获得的目标及作战环境信息, 通过对武器/平台的操纵控制构成弹药命中目标的条件。

火力控制永恒的主题就是解决作战过程中平台、武器和目标三者之间的矛盾, 协调信息、机动与火力的关系, 以实现有效打击敌人、保护自己的目的。

1.2 火力控制技术

火力控制技术是根据作战实践经验和自然科学原理发展而成的关于火力控制的理论、专业知识和相关装备及其使用技能。

火力控制技术是打击平台的核心技术。不论是战斗机、坦克、战斗舰艇, 打击平台只有使用武器对目标实施有效的毁伤才能达到作战目的, 才能体现其价值, 而这必须靠火力控制技术予以保证。

火力控制技术是技术之技术。火力控制技术属于应用技术范畴, 具有多学科性, 它是综合应用控制技术、信息技术、光电技术等基础技术实现打击能力的技术。

火力控制技术也是系统技术。要实现火力控制功能, 就要涉及传感器、通信、信息处理、武器控制与制导、人机接口等设备, 同时要作战平台密切结合; 必须要考虑各相关设备的功能分配、交联关系以及具体的实现形式。

火力控制技术的效用只有通过

靶试、作战对抗演习和实战才能得到最终检验。这是因为,火力控制技术是关于毁伤目标的技术,是涉及作战全过程、作战平台全系统的技术,是通过物理效应起作用的技术。

1.3 火力控制系统

火力控制系统是实现火力控制功能的、若干相互联系和相互作用的要素组成的统一整体,这些要素包括装备和人。火力控制系统是火力控制技术的物化或载体。

火力控制系统首先是人机系统:火力控制是通过人与装备交互完成的,在整个活动中只有充分发挥人与机器的各自优势,才能取得好的效果;人起决定作用,何为目标、打不打、怎么打均由人决定;装备服从于人、服务于人,其作用是辅助决策、执行决策,装备是人的能力放大和补充。

火力控制系统是信息系统:从完成火控的基本任务看,火控系统只有在知道目标和武器平台的位置和运动状态、知道平台和武器的性能时,才能确定武器命中目标的条件以及决定如何满足这个条件,才能在此基础上控制平台和武器去构成这个条件,这涉及相关信息的获取、储存、处理、分发、利用。

综上,火力控制系统的基础理论是系统论、控制论和信息论。

2 航空火力控制系统发展概述

2.1 航空火力控制系统简介

航空火力控制系统(航空火控系统)是以航空器为运载平台,使用航空武器打击目标的火力控制系统。除操控人员外,其一般组成包括:用于获取目标和武器平台信息的传感器和通信设备,用于形成战场态势和行动决策的信息处理设备和用于操纵控制武器平台的显示控制设备等。

航空火控系统萌发于第一次世界大战,在第二次世界大战时开始发展。二战结束以来,由于军用航空科学技术的迅猛发展,航空火力

控制系统也得到了迅速发展。根据国内外发展情况,业界通常把航空火控系统的发展分为4个阶段^[1]。

由于航空火控系统种类繁多,本文以典型歼击机火控系统为例介绍航空火控系统的发展。

2.2 典型歼击机火控系统介绍

2.2.1 光学瞄准阶段

20世纪60年代以前的航空火控系统以机-电式光学瞄准具为主要武器瞄准设备,配套的有改进的火控雷达与红外空中搜索装置,使用的武器有航空机炮、航空火箭、航空炸弹及红外空/空追踪导弹。其代表是F-104A飞机(1958年交付使用)装备的AN/ASG-14(MA-10)火控系统,见图1。

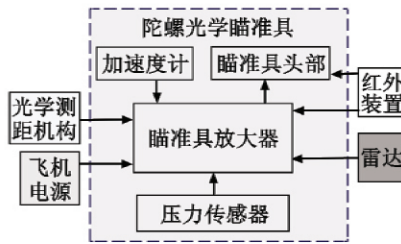


图1 F-104A飞机的火控系统框图

Fig.1 Fire control system of F-104A

2.2.2 平视显示/武器瞄准阶段

进入20世纪60年代,国外采用电子与光学技术最新成果,开始装备以瞄准攻击功能为主、兼有导航功能的平视显示/武器瞄准系统,取代了光学瞄准具与传统的机电式航空仪表。20世纪70年代初,又把惯性导航系统综合进火控系统中,构成了导航/攻击系统,增强了攻击能力。F-16A飞机(1978年交付使用)装备的航空火控系统是这一类系统的代表,见图2。

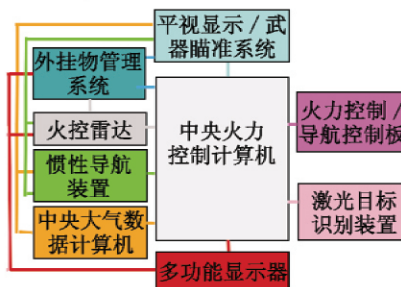


图2 F-16A飞机的火控系统框图

Fig.2 Fire control system of F-16A

2.2.3 综合火控阶段

美国从20世纪70年代末开始实施DAIS计划,研制出了综合火力控制系统。该系统由多路数据传输总线将脉冲多普勒雷达和光电探测设备组成的目标传感分系统、平视显示器和多功能显示器及握杆操纵(HOTAS)等组成的显示控制分系统、管理武器发射投放的悬挂物管理分系统以及火控任务处理计算机等分系统连接构成。其典型系统是美国F-16C飞机(1984年交付使用)装备的火力控制系统,见图3。

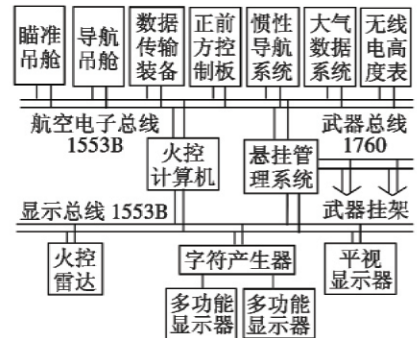


图3 F-16C飞机的火控系统框图

Fig.3 Fire control system of F-16C

2.2.4 高度综合火控阶段

自20世纪80年代开始,美国先后实施了“宝石柱”、“宝石台”计划,着手研制综合化、自动化程度更高的火控系统。该系统利用电子技术的发展成果实现了从系统数据处理的综合到系统功能域的综合,突出高性能航空武器的火力控制,同时兼具导航、通讯及电子战能力,现已装备美国的F-22飞机(2005年服役)和F-35飞机(2013年服役),见图4和图5。

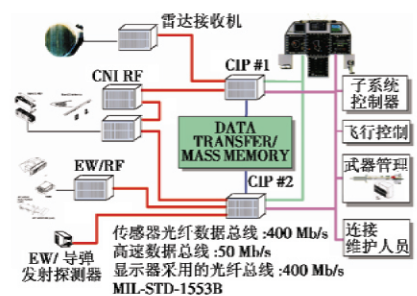


图4 F-22飞机的火控系统框图

Fig.4 Fire control system of F-22

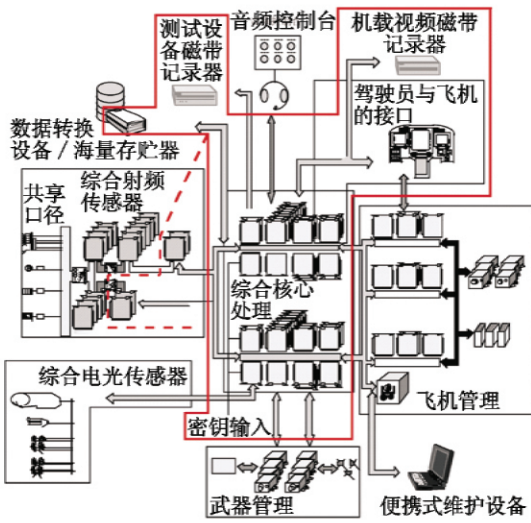


图5 F-35飞机的火控系统框图
Fig. 5 Fire control system of F-35

2.3 航空火控系统发展趋势

上述航空火控系统4个发展阶段实际上也对应着系统的4种基本结构(见图6):分布式模拟结构、分布式数字结构、联合式数字结构和综合积木式结构^[2]。从分布式模拟结构到分布式数字结构实现了火控系统的数字化,从分布式数字结构到联合式数字结构显著减少了火控系统内的互联配线、提高了互联效率,从联合式数字结构到综合积木式结构实现了火控系统的资源共享、分区管理和信息的集中处理。

技术进步推动的共同作用下,航空火控系统从最初简单的机械系统已转变为复杂的光机电信息综合系统。这是一个信息获取与处理能力不断增强,综合化、自动化程度不断提高,飞行员负担不断减轻的过程。

如果以第一次世界大战出现的机械式瞄准环为起点,不难看出,上述四代航空火控系统发展的技术主线就是:利用先进的计算和互联技术以整合机内资源为主不断提升作战平台自身的火力控制能力。随着网络的发展,特别是无线网络技术

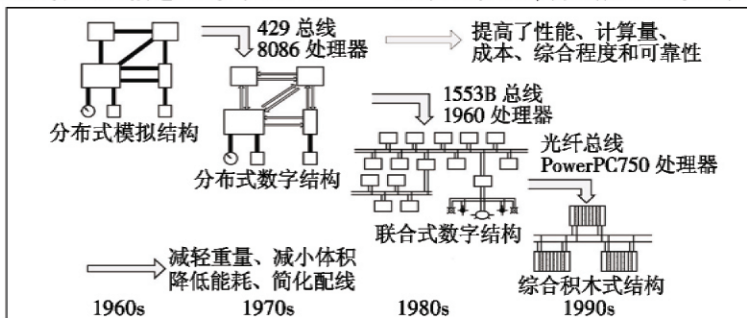


图6 航空火控系统结构的演变
Fig. 6 Evolution of airborne fire control system

表1 典型航空火控系统信息处理能力对比

Table 1 Information processing ability of typical airborne fire control system

阶段	飞机	火控系统计算设备	处理能力	总线带宽
光学瞄准具阶段	F-104	光学瞄准具	(模拟计算)	(模拟量)
平视显示/武器瞄准阶段	F-16A	中央火力控制计算机 Magic 362F	0.25MIPS	14.5 kb/s
综合火控阶段	F-16C	中央火力控制计算机 Deleo D3	0.5MIPS	1 Mb/s
高度综合火控阶段	F-22	通用综合处理机(CIP)	450MIPS	400 Mb/s
	F-35	综合核心处理机(ICP)	4000MIPS	1 Gb/s

同时,计算机处理能力和数据总线传输带宽的提高促进和支撑了系统结构的变化(见表1)。

经过4个阶段的发展,航空火控系统虽然成本不断增加,但是设备性能、计算能力、综合程度和可靠性等方面都得到了大幅度提高;相对系统实现的功能,减轻了重量、减小了体积、降低了能耗。

在军事需求牵引和

的发展以及网络化概念深入人心,以利用平台自身资源为主的火力控制已经转向利用网络节点资源的火力控制。

3 信息时代的火力控制

PC机的广泛普及、互联网的大规模入户,以及智能手机、云计算、物联网等的大量应用,标志着已进入信息时代。在军事领域,作为适应信息时代作战的网络中心战概念已经得到世界各国军方的广泛认可,成为军队转型的理论基础。信息时代的火力控制也必然从平台中心向网络中心转变。

3.1 网络化对火力控制的影响

按照观测、确定、决定、行动(OODA)环理论,可以把火力控制的过程分成目标探测、态势评估、响应决策和计划执行4个步骤。网络化对火力控制的每个步骤都能产生重大影响:通过组网可以在平台间实现协同探测,从而扩大探测范围、提高发现目标的概率和识别目标的准确度,更好地适应战场的复杂电磁环境和目标的隐身;通过组网可以在平台间实现信息共享,将来自各方的信息进行融合可以提高目标信息的完备性、准确性和可靠性,增强战场态势感知;通过组网,在平台间既可以进行有中心的决策,也可以进行分布式决策,实现攻击过程中的轨迹与火力协同;通过组网可以在攻击计划执行时实现目标跟踪、武器发射和武器制导功能的分离,提高攻击的突然性和平台的安全性。

为了成为网络中心战中的信息节点和火力节点,作为现役最先进的F-22战斗机进行了现代化改进,其中重要内容是数据链的升级。F-22原装备有两种数据链^[3],一种是Link16,只用于接收数据;另一种是特别为F-22研发的IFDL(飞行平台间数据链),用于解决F-22编队内的联合作战需要,但是不能与外部指挥控制

系统之间进行信息交换。因此,美军为 F-22 加装了机载先进战术瞄准网络数据链系统(TTNT)^[4]。TTNT 是美国研制的新一代高速、宽带、基于互联网协议(IP)的网络通信系统,这意味着可以把大型飞机如预警机作为空中路由器,从而支持战斗机、无人机及直升机在空中建组成局域网,实现信息的共享和交换。装备了 TTNT 数据链的 F-22 不仅具备超强的信息采集能力,而且还能将海量的战场情报信息和态势图像向其他作战平台高速传输实现实时共享。TTNT 系统的引入解决了 F-22 与现有信息支援体系的融合问题,但是 TTNT 在低探测概率和低截获能力方面仍旧能力不足,所以在未来的 F-22 升级改进中,美国空军决定为 F-22 配备多功能机载数据链(MADL),同时,该数据链还将配备在美国空军另外一种隐身作战飞机 B-2 轰炸机上,以实现美国空军隐身机队的互联互通^[5]。

3.2 当前火力控制面临的新挑战

当前火力控制面临的新挑战主要来自以下 3 个方面。

1) 打击目标不断更新。例如空中目标,现役战斗机不断提高包括隐身^[6]等方面的作战性能;鉴于临近空间飞行器的重要作用,其必然成为新的打击对象;作为未来空战“游戏规则改变者”的国外第六代机呼之欲出^[7-8];无人机自主作战能力不断提高,大量被使用。

2) 新型武器即将投入战场。例如航空武器,导弹武器正向多模式组合末制导、多用途、网络使能等方向发展;以激光武器、高能微波武器、雷达武器^[9]为代表的机载新概念武器已经进行靶试试验。

3) 作战空间不断拓展。美军早已把全球作为其战场,太空、电磁频谱空间更是志在必得,临近空间和赛博空间的战场塑造已经开始。

这 3 个方面的剧变引发了对目

标的发现、定位、跟踪、瞄准、攻击以及战效评估的全新问题。

3.3 信息时代火力控制的特点

面对新的挑战,火力控制的发展必须紧紧抓住信息时代技术发展带来的机遇,用新的方法、手段解决新的问题。

1) 分布式集群火力控制。

武器装备和战场空间的网络化使得火力控制的功能在时间和空间上分布和打击效果的集成成为可能。因此,在作战过程中能够实现以完成任务为目标,实时调度、控制战场上相关资源形成战斗群,以协同作战的方式对目标实施有效打击。

2) 软/硬杀伤武器综合控制。

目前,火力控制的关注点仍然是通过毁伤目标的功能载体达到毁伤目标的目的,事实上,毁伤目标的本质是使目标失能。因此,信息时代的火力控制必须拓展到网电空间,综合使用、控制动能和非动能武器,进一步提高对目标的打击能力。EA-18G“击落”F-22 的事实已经提供了很多启示^[10]。

3) 无人平台的自主火力控制。

作战无人化已成为未来战争的一个重要发展方向,为了适应复杂战场环境,无人平台的自主性和智能化程度将不断提高。不同于有人作战平台,无人平台通过自主目标识别与截获、自主决策和自动机动攻击实现自主火力控制。

4) 定向能武器控制。

定向能武器不同于目前已应用的动能武器,其特点是“弹药”以光速运动,利于打击“时敏”目标,在作战节奏越来越快的未来战争中其作用必将凸显。对激光武器而言,火控需要高的控制精度,对高能微波武器而言,火控需要对使用的时机、频率、能量等进行周密的规划和控制。

5) 高空高速平台的火力控制。

临近空间的争夺日趋激烈,临近空间平台的高空高速性能、作战

环境与目前作战飞机有很大差别。通过规划攻击“窗口”可充分利用临近空间飞行器的特点打击时敏目标和高价值目标,快速拦截空间目标。

4 关于新一代火力控制系统的研发

随着传感器、武器与网络技术的发展,面对未来战场环境的复杂性、对抗方式的多样性、作战资源互操作性的不断提高,火力控制系统已成为获取目标信息、评估战场态势、辅助操作员完成战术决策、控制武器完成目标毁伤的复杂系统,这就要求新一代火力控制系统的研发必须采用新的方法和工具。

4.1 系统定义与描述

由于“体系结构”通过对系统部件和局部信息进行概括和抽象,在高层次上定义系统的组成结构及其交互关系,提供了一种理解、管理复杂系统的机制,因此在工程界的重视程度越来越高。结合多视图的建模思想以及在 C⁴ISR 系统建设中的经验,美军于 2003 年 8 月发布了国防部体系结构框架 1.0 版(DoDAF1.0)用于指导国防指挥控制系统设计。2009 年又发布了 DoDAF2.0 版,该版本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,描述面向服务的解决方法,体系结构发展的重点也由以产品为中心转变为以数据为中心的方法。新一代火力控制系统的研发可以借鉴 DoDAF 进行面向信息化作战的统一的系统定义和描述。

4.2 系统的互操作实现

实现作战体系中各系统间的互联、互通、互操作是网络中心战的基本要求,为此,新一代火控系统应选择开放式的系统架构,这样也可降低技术研发风险与控制成本。可通过采用面向服务的体系结构(Service-Oriented Architecture, SOA)技术对火控系统各功能进行封装,在可信的网络与服务安全协议下,实现分布式火

控功能的互操作能力。同时,为提高火力控制系统分布式工作环境下的可靠性和抗毁伤能力,应采用低延迟、高吞吐量、实时性可控的分布式实时数据发布机制。对此,对象管理组织 OMG 提出的数据分发服务 (Data Distribution Service, DDS) 规范可用于系统设计,此规范已应用于美军的 F-35 战机的研发。

4.3 软件开发

火力控制系统作为信息系统,其功能的实现越来越依赖软件,由此火控软件的规模不断增大、结构日趋复杂。考虑到通用性、系统安全性和信息安全性,新一代火力控制系统的软件开发应基于通用的计算架构,以便在不同军用系统间实现功能可移植与性能可度量。在此方面,美国制定了未来机载能力环境 (Future Airborne Capability Environment, FACE) 技术标准^[11],用于开发和验证基础软件组件和应用组件,建立能够根据基础软件工程原理和实践经验及时地获得适购的跨平台能力。

为便于软件复用,缩短系统研制周期,实现火控功能、控制逻辑分离,便于火力控制系统的升级、扩展与外场维护,应用软件插件技术,实现火力控制软件按功能封装,也是新一代火力控制系统软件设计中的一种新技术。

4.4 系统工程过程

与目前采用较多的瀑布式的结构化设计方法不同,基于图形化的统一建模语言 (UML) 和系统建模语言 (SysML) 的模型驱动开发方法^[12]提供了一种全新的迭代式系统设计流程(见图7),它允许用户创建一个可视化的、图形化的系统模型,清晰、准确地反映指定系统预期的功能和行为,通过模型执行进行早期的、频繁的需求验证和确认,确保所设计的系统是正确、完整的和无二义性的。基于 UML 和 SysML 的设计工具包括 SCAD、TAO 和 HarmonySE 等软件。

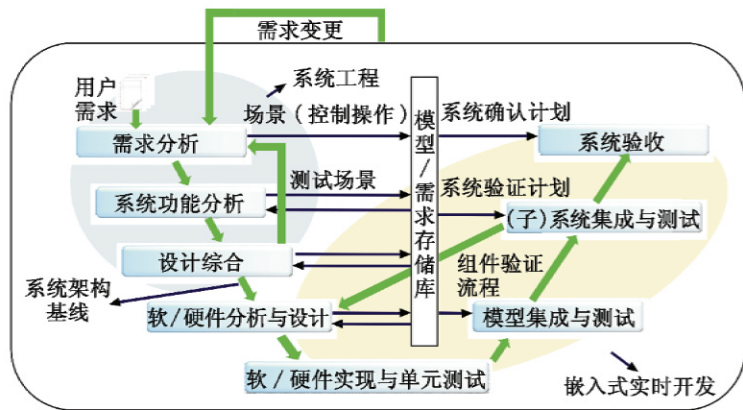


图7 “V”型系统研发流程图

Fig. 7 V-shape flow chart of system R & D

“V”型系统研发流程包括自顶向下的系统设计过程和自底向上的系统综合过程,覆盖了系统开发的各个阶段。基于模型驱动的“V”型系统研发方法在系统或产品开发过程中已逐渐被接受和应用,将是新一代火力控制系统研发的主要方法。

5 结束语

火力控制是作战过程不可或缺的环节,火力控制技术是武器装备的核心技术,火力控制系统是武器装备的重要组成部分。信息时代的火力控制充满了机遇和挑战,只有深刻认识信息化、网络化的本质,把握其发展规律,充分利用信息化、网络化带来的正能量,才能实现技术的赶超和装备的跨越发展。

参考文献

[1] 周志刚. 航空综合火力控制原理 [M]. 北京:国防工业出版社, 2008. (ZHUO Z G. Principle of aviation integration fire control [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008.)

[2] MOIR I, SEABRIDGE A. 军用航空电子系统 [M]. 吴汉平,译. 北京:电子工业出版社, 2008. (MOIR I, SEABRIDGE A. Military avionics systems [M]. Translated by WU H P. Beijing: Publishing House of Elec-

tronics Industry, 2008.)

[3] 钱锟. 美国第四代战斗机机载数据链系统的现状与未来 [J]. 国际航空, 2008 (5): 12-15. (QIAN K. Data link system of the 4th generation fighter in USAF [J]. International Aviation, 2008 (5): 12-15.)

[4] 卢建川. 机载协同数据链系统现状与未来 [J]. 国际航空, 2010 (7): 40-42. (LU J C. Status and future of U. S. military multi-aircraft cooperative data link [J]. International Aviation, 2010 (7): 40-42.)

[5] 温杰. 填补通信“代沟”——美国空军着手解决“五代到四代”数据共享问题 [J]. 国际航空, 2014 (7): 16-19. (WEN J. USAF dedicated to solving 5th-to-4th fighter communication problem [J]. International Aviation, 2014 (7): 16-19.)

[6] 高劲松,陈峭东. 国外隐身战斗机超视距空战问题 [J]. 光电与控制, 2011, 18 (8): 17-20. (GAO J S, CHEN S D. Beyond-visual-range air combat of foreign stealth fighters [J]. Electronics Optics & Control, 2011, 18 (8): 17-20.)

[7] 高劲松,陈峭东. 国外六代机发展情况研究 [J]. 飞航导弹, 2014 (1): 54-59. (GAO J S, CHEN S D. On development of foreign sixth-gen fighters [J]. Aerodynamic Missile Journal, 2014 (1): 54-59.)

- [8] MAJUMDAR D. 美国空军和海军或将各自发展下一代战斗机[J]. 温杰, 译. 国际航空, 2014(11): 30-31. (MAJUMDAR D. U. S. air force and navy may pursue respective next-generation fighters [J]. Translated by WEN J. International Aviation, 2014(11): 30-31.)
- [9] 高劲松, 邹庆元, 丁全心. 对国外有源相控阵雷达武器效应的分析[J]. 红外与激光工程, 2007(s2): 549-542. (GAO J S, ZOU Q Y, DING Q X. Primary analyzing weapons-effect of foreign AESE radar [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007(s2): 549-542.)
- [10] 高劲松, 陈晓风, 鄢玲丹. EA-18G “击落”F-22 对未来空战的影响[J]. 国际航空, 2009(10): 29-30. (GAO J S, CHEN X F, YAN L D. How EA-18G killed F-22 [J]. International Aviation, 2009(10): 29-30.)
- [11] FELIZ E. Common face[J]. Avionics Magazine, 2012(3): 36-38.
- [12] 蒲小勃. 现代航空电子系统与综合[M]. 北京, 航空工业出版社, 2013. (PU X B. Modern avionics system and integration [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2013.)

Abstract: Concepts of fire control, fire control technology and fire control system are discussed. The development trend of aviation fire control system is given by reviewing its history. Analysis is made to the influences of information age and network centric warfare on fire control, and the new conditions which the fire control is confronted with, are investigated. Characteristics of fire control in the information age are figured out, and new methods and new tools adopted in new-generation fire control system research and development are presented in the end.

Key words: fire control; aviation fire control system; fire control technology; fire control system

下 期 要 目

传感网协同环境下容错目标检测和定位策略
模糊推理在光电跟踪设备摩擦补偿中的应用
网络化舰艇编队的协同防空效能分析
定向战斗部在空空导弹上的应用分析
基于 SCKF 算法的空间机动目标跟踪研究
一种激光陀螺惯导仪表信号采集电路设计
机载多跳波分复用网络时间确定性分析方法
多旋翼无人机执行机构故障重构技术研究
多特征融合的高分辨率遥感图像海陆分离

多特征自适应融合的高分辨率遥感影像变化检测
双平面法标定的双目视觉三维测量系统
基于简化平方根容积卡尔曼滤波的跟踪算法
采用总线的民用飞机客舱照明系统
基于 QAR 数据的民航飞机侧滑角估算方法
用 VAPS XT 与 OpenGL 进行三维视景开发
基于改进时间序列方法的 HRG 输出建模预测
多无人机编队自主协同控制架构
红外焦平面阵列坏元检测算法



请扫描二维码
关注我刊

