

## 火控系统在航空作战中的作用——作战飞机之“魂”

## The Important Role of Fire Control System in Air Combat——Soul of Fighters

寇英信<sup>1</sup>, 李战武<sup>1,3</sup>, 陈哨东<sup>2</sup>, 周德云<sup>3</sup>(1. 空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038; 2. 光电控制技术重点实验室, 河南 洛阳 471009;  
3. 西北工业大学电子信息学院, 西安 710072)

寇英信

教授, 博士生导师, 空军高层次科技人才, 兵器科学与技术学科带头人, 军队院校育才奖银奖获得者。长期从事机载火力控制理论与技术研究、航空武器作战使用、机载光电探测与对抗专业的相关教学和科研工作。主持或参与空军以上重点科研项目 30 余项, 共获得国家科技进步二等奖 1 项, 军队科技进步一等奖 2 项, 二等奖 2 项, 三等奖 4 项, 是军队“2110 工程”重点学科专业领域建设责任人之一。主编相关飞机作战使用资料与教材 20 余部, 发表学术论文 60 余篇, 其中核心期刊 40 余篇, EI 检索 10 余篇。

## 0 引言

航空兵作战的主要目的是利用机载武器完成对目标的有效杀伤, 而完成这一任务的首要控制系统就是火控系统, 虽然目前部分三代战斗机的称法有所变化, 但是其核心、本质依然是火控系统。

经典的火控系统一般被定义为: 在引导载机至作战空域, 探测、识别、截获、跟踪目标, 控制武器弹丸按确定方向、时机、密度和持续时间投射, 制导、控制武器弹丸命中目

近年来, 随着各类航空武器装备的全面换代升级, 不同专业和不同方向对于火控系统的功能和作用的认识不尽相同。文章仅从航空兵作战使用角度来分析火控系统应该具备的功能和作用, 并说明火控系统的发展方向。首先, 从火控系统功能出发, 深刻剖析该系统的本质和作用, 以及为进一步提升作战效果, 在机载系统中的作用定位问题; 其次, 从现代作战需求出发, 提出对火控系统的全方位要求和火控系统对于提升作战效果的几个重要作用; 最后, 说明火控系统应该从指控一体化和智能化两个方向进一步发展, 才能进一步满足航空兵未来的作战需求。

关键词: 航空作战; 火控系统; 功能作用; 智能化

中图分类号: V271.4

文章编号: 1671-637X(2013)12-0001-05

标, 判定作战效果, 引导载机退出的攻击全过程中, 产生、处理、控制、传输和显示火控信息的机载电子设备<sup>[1]</sup>。这种对机载火力控制系统的定义, 仅仅是从设备的角度对火力控制系统进行了定义, 而未完全从火力控制系统存在的根本进行定义, 并且是一种基于硬件进化的定义模式, 并不能准确地反映出火控系统的本质和在作战过程中的功能和作用。火控系统的功能和作用随着战争形态的变化而变化, 深入剖析火力控制在航空作战中的作用和地位是准确理解火控本质的关键, 也是把握火控系统发展方向的前提和基础。

## 1 理解火力控制系统的本质

### 1.1 火力控制系统的功能和任务

#### 1.1.1 火力控制系统的功能<sup>[2]</sup>

结合近年来对机载火控系统在作战过程中的作用, 以及对近年来国外主要空军部队典型航空作战过程的深入分析, 可以认为火力控制系统

的本质应该是以下功能的综合。

1) 信息融合<sup>[2-3]</sup>。对通过各种方式获取的环境、态势和目标信息进行快速处理、分析, 并根据作战需求以最佳形式和状态将信息展现给飞行员和作战指挥员, 使其快速做出判断和决断。

2) 态势评估与态势预测。根据获得的信息对作战态势进行分析判断和预测, 能对作战状态和作战结果有一定的预见性。

3) 指挥引导和机动占位。根据威胁和态势信息解算延时或破坏敌方 OODA 闭环而促使我方完成 OODA 闭环的最佳机动, 以空间占位优势来达到态势优势。

4) 攻击决策。根据威胁和态势信息快速给出武器选用、攻击方案等决策信息。

5) 火控解算。根据选定的攻击方案和武器, 解算武器发射条件, 并给出最快实现武器发射条件的控制方法。

6) 武器制导控制。兼顾载机安

全的条件下,控制武器弹丸以最佳方式接近目标并确保足够的命中精度。

7) 客观记录和效果评估。对攻击效果进行全面有效的判断,进而为下一步行动提供依据。

以上功能实现过程的最终体现形式就是包伊德循环即 OODA (Observe-Orient-Decide-Act) 循环。包伊德认为,任何理性对抗行动都可以采用“观测-判断-决策-行动”4个阶段的不断循环进行描述。空战对抗是 OODA 循环的典型应用,如图 1 所示,敌我双方通过不断观察(Observe)来获得目标行为信息和环境信息,根据对信息理解及时调整(Orient)判断,做出应对决策(Decide),并采取相应的行动(Act)。因此,空战对抗取胜的本质在于先于敌方形成 OODA 环,实现“先敌发现”、“先敌调整”、“先敌决策”和“先敌攻击”,达到先发制人的目的。

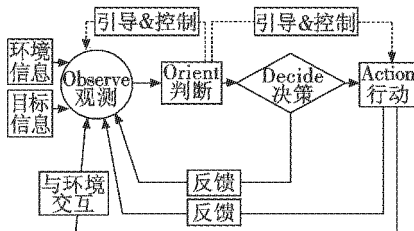


图1 空战的OODA循环

Fig. 1 OODA precession

OODA 理论从本质上说明,空战对抗中火力控制的任务是加速己方 OODA 循环的运转速度,并尽可能破坏或延缓对方形成 OODA 循环,火力控制系统就是完成这个任务的推手。

### 1.1.2 火力控制系统的任务

1) 信息层面,从“所见、所听”提取“所需”,由“已知”到“需知”的计算处理,对各传感器系统进行协同控制,根据获得信息计算武器发射点、发射区和发射时机,完成信息的融合与显示。

2) 决策层面,从“已知”到“策略”,包括进一步的信息获取、支援

配合和行动策略,给出多目标攻击、多机协同攻击过程的传感器、武器和飞机的综合管理与控制方案。

3) 行为层面,解算飞机在武器发射前、发射后的飞行控制和武器控制参数,控制飞机动力和飞行姿态,实现快速占位、准确瞄准并增加武器发射距离,完成飞机作战过程的机动动作。

## 1.2 现代机载火力控制系统与机载武器系统的辩证关系

机载武器是打击目标的执行者,脱离了机载武器系统,战斗机就失去了其存在的意义。先进的机载武器必须用先进的控制系统来操纵才能充分发挥它的作用,机载火力指挥系统就担任了这样的角色,机载武器系统与机载火控系统二者之间有着不可分割的关系。随着飞机和武器系统的发展,目前两者已融合为信息高速互连、功能密不可分的机载武器火控系统。机载火控系统对机载武器控制的目的是最大限度地发挥武器的作战效能,机载火控系统只有通过机载武器系统才能最终实现其作战价值。换言之,机载武器系统是机载火控系统的手,机载火控系统则是机载武器系统的神经中枢。

## 1.3 火力控制系统是战斗机机载设备系统之上的“系统”

早期对火力控制系统的认识和定义,是基于对火控设备的相关功能定义,其发展是基于相关设备带给作战过程发现目标距离的提升、弹道解算精度的提高、反应和响应时间的缩短、攻击距离的增加等一系列改进。但这些性能的提升从根本上来讲并不是源于火控系统本身,只是源于火控系统所依赖的航空电子设备性能的提升。如将战斗机看作一名战士,性能优良的航空电子设备相当于他拥有卓越的视力、听力,先进的飞控、动力系统相当于他拥有发达的四肢,但这并不

代表他能够赢得胜利。正如空战过程中,拥有绝佳的装备和先进的设备,并不一定就具备作战优势;一架完整的战斗机,除了它所依赖的航空电子设备之外,还需要支配它的大脑、思想和灵魂。可以单纯地将大脑理解为机载任务计算机,而其思想和灵魂毫无疑问才是真正的火控系统<sup>[4]</sup>。

因此,对于火力控制系统的真实定位不应局限于某个设备或某个系统。真正的火力控制系统应该基于“系统”又高于“系统”。基于“系统”,是因为火力控制系统实现其功能的基础是各个分系统,只有各个分系统的强力支持,才能够将武器的作战使用效果发挥到最大,也只有将各个系统进行全面、综合、有效的“集成”,才能产生  $1+1>2$  的效果。高于“系统”,是因为火控系统面对的作战决策问题既依赖机载分系统,又必须紧密结合作战目标的特性,任何一个其他机载分系统均无法直接满足这个功能。

## 2 现代航空作战中对火控系统的要求

### 2.1 态势分析,智能判断,精确搜索

战场态势是影响作战行为和作战效果的关键因素之一。机载火控系统必须具备快速获取战场环境和对象目标精确信息的能力,并理解作战态势。为此,作战飞机需要完成对目标的快速搜索、目标识别和跟踪定位等一系列观察工作,这是 OODA 循环不可或缺的起始环节,直接影响行动的结果。

雷达、光学雷达、SAR 和 ESM 等多种传感器综合应用,为获得稳定、准确的环境信息和目标信息提供了基础。作战飞机获得信息的速度越快、越精确,则对态势的理解和作战决策就越快速、准确,从而能达成先敌攻击、先敌发射。



## 2.2 精细引导, 准确占位, 隐蔽突防

引导是作战飞机火控系统的重要功能之一, 如何在有效突破敌防空火力的基础上, 快速、高效地将作战飞机引导至目标空域, 是火控系统的重要内容。未来空战的高强度、快节奏和精确打击等作战需求对战斗引导提出了精细引导、准确占位的要求, 精细引导是指在引导过程中, 必须综合考虑目标威胁、平台性能和武器特性等一系列因素, 将作战飞机准确引导到最佳交战区域, 以快速达成武器发射条件。

战场环境的日趋复杂, 防空火力部署和打击力量日益增强, 单纯依靠速度和高度优势来完成对敌方的快速突破已难以实现。未来作战飞机隐身性能大大提升, 因此, 火控系统应根据飞机的隐身特性精细规划飞机进攻和突防路径, 采用隐身机动策略精细控制姿态, 将作战飞机隐蔽引导至突袭目标的区域, 完成对目标的有效打击。

## 2.3 依据特性, 快速计算, 择优管理

武器装备发展日新月异, 新武器、新技术层出不穷。机载武器的每一次技术革新, 必将给机载火控系统带来改变。这样, 就会给飞行员带来一个问题: 究竟用什么武器和攻击方式才能够保证高效完成作战任务。

现代计算机速度的高速发展使原有的火控弹道计算速度和精度都有了一个质的飞跃。新原理和新技术的出现, 使机载火控系统初步形成了非控武器的精确射击、制导武器的概略发射等一系列新的作战应用模式, 为武器的作战效果发挥提供了良好保障。

未来的战场上将会出现大批智能型武器, 它们集光电传感器、高速处理、人工智能于一体, 具有与人类相似的记忆、分析等综合能力, 能适

应战场环境和目标变化情况, 并迅速做出反应<sup>[5]</sup>。

针对这些不断革新的新概念武器, 如何依据它们的特性设计行之有效的火控攻击方法, 并使其与现有的火控方法及火控系统相兼容, 是航空火力控制的重要研究内容, 也是满足航空作战对火控系统需求的重要途径。

## 2.4 综合感知, 自主规避, 有效应对

空战对抗的目标绝大多数都具有高威胁性, 必须考虑规避目标的威胁, 威胁规避是空战对抗中化被动为主动的重要对抗方式。传统的威胁规避方式建立在飞行员的经验操作或航电告警设备的感知、判断上, 难以满足现代空战对威胁自主规避作战需求。

随着武器性能的不断提高, 威胁规避逐渐成为现代航空火力控制的重要研究课题, 威胁规避必须建立在精准的威胁感知基础上, 为此, 战斗机首先必须装备具备综合感知能力的传感器进行态势感知, 对威胁源进行快速预测和评估, 与此同时, 火控系统必须根据威胁感知迅速给出规避方法, 实现威胁规避的自主化和智能化, 此外, 良好的机动性能和电子对抗能力也是实现威胁规避的重要前提。

## 3 火控系统的发展对提高航空作战效果的作用

火控系统对于战斗机而言, 是其中枢神经、作战行动的控制中心和体现战斗能力的有效依托。现代的机载火控系统性能提高不仅仅依靠装备设备的更新换代, 更在于作战思想的更新和升华, 正是这种思想决定着战斗力的强弱。火控系统的发展能够有效促进战斗机战斗力的提升, 主要表现在以下几个方面。

### 3.1 尽可能“远”地发现目标

火控系统的重要功能之一是发

现目标。要尽可能远地发现目标, 就需要综合传感器探测管理与信息处理。要从综合态势信息感知与目标预测入手, 尽可能早地知道目标的运动趋势, 及时对传感器进行方位和能量管控, 确保在第一时间发现目标。

就现有的技术和方法手段而言, 高性能的火控雷达基本能够满足较远距离发现三代机及其以下目标的能力; 但对于四代机以及之后的作战飞机, 由于飞机隐身能力的全面提升, 单纯依靠某一种传感器实现对该类目标的探测是不现实的。因此, 火控系统可以根据 RWS 信息、无线电雷达信息、光电传感器信息和数据链态势信息的多通道进行融合处理, 确保“先敌发现”<sup>[6]</sup>能力。

### 3.2 尽可能“快”地攻击目标

从空战 OODA 可以看出, 快速行动 (Action) 是加速 OODA 环运转速度的落脚点, 也是空战取胜的重要条件。要快速达成有效行动, 必须快速完成观测、调整和决策环节。在观测能力一定的情况下, 只有加速调整和决策环节才能达成行动的快速性, 为此, 要求火控系统必须具体发展大容量和高速的任务支撑系统, 能够实时给出有效判断和优化决策, 以最优的方式进行接敌瞄准, 同时, 要求尽量缩短武器准备时间, 实现“瞄准即发射”, 确保“先敌发射”能力。在某些特殊情况下, 适当延缓或终止对方 OODA 的循环进程, 也是自身“快”地攻击目标的一种体现。

### 3.3 尽可能“准”地命中目标

在分秒必争、锱铢必较的空战战场上, 火控系统的精度直接影响武器命中精度, 最终影响作战效能。火控系统的高精度对航空武器准确命中目标具有决定性的作用。提高各类传感器的精度以确保火控系统输入信息的精度要求是完成对目标精确攻击的前提, 导航定位和弹道



解算精度也是保证攻击精度的主要条件,而科学合理的决策模型和算法能提升目标运动趋势预测判断的准确度。综合上述各种因素,可以保证对目标的精确攻击和有效杀伤。

### 3.4 尽可能“狠”地毁伤目标

为达成好的攻击效果,从以下几个方面对火控系统进行深入研究。

1) 从平台到协同作战火力指挥控制。

多机协同空战的目的是通过多机之间的信息、战术、火力的相互支援和协同,提高我方载机的探测、跟踪和攻击能力<sup>[7]</sup>。按照协同内容和协同方式,可以将协同空战分为信息协同、火力协同和战术协同3种方式。以双机协同攻击为例3种协同方式的示意图见图2。

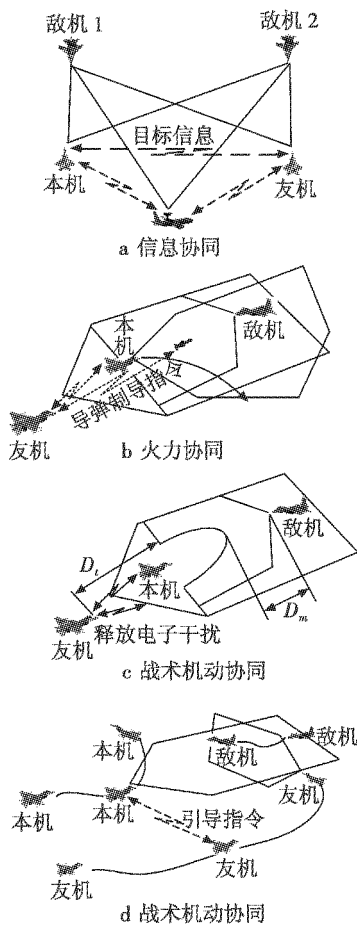


图2 空战的协同与指挥

Fig.2 Cooperated air combat style  
在多机协同空战中,信息协同

是前提,战术协同是手段,火力协同是目的<sup>[8]</sup>。

信息协同要实现高效的信息共享,而传统的语音通讯远不能满足协同攻击对信息量的要求,数据链技术的发展为协同攻击的实现提供了有力的保障。信息的协同主要包括早期预警、指挥控制中心的信息分发、战斗机之间的信息传输、协同目标定位和协同态势感知等。

火力协同是指对武器的互操作,主要包括协同武器发射和协同武器制导。火力协同以信息协同为基础和前提,以对目标实施硬摧毁(火力打击)为最终目标。

战术协同是指采用一定的作战战术和协同攻击方式来更好地达到火力打击的目的。战术协同主要包括编队飞行控制、协同占位、电子干扰支援和具体空战战术执行等。

2) 从单目标到多目标的攻击决策控制。

多目标攻击的重要性这里不再赘述,其要求就是火控系统能够满足同时攻击多架目标,既可以是单机多目标攻击,也可以是协同配合下的多机多目标攻击。

3) 从平台传感器到信息网络综合的火力与指挥控制高度融合。

飞机武器火力与指挥控制系统是新型飞机的主要功能系统,是第四代机载火力控制系统,也是第四代作战飞机重要的作战指挥控制系统。可进一步加强战斗决策与协同作战行动,更大地发挥主动作战能力和实施武器发射控制,在该层次范围内达到最大战斗效果。

新一代的作战飞机不但是武器平台,还是重要的传感器平台,除了自身需要遂行给定的任务之外,还是整个作战对抗体系的重要信息来源。为了适应未来的作战需求,除已有的各种能力,火力与指挥控制系统还必须具有使作战飞机可以成为多个网络节点的能力,必须具有

承担信息对抗使命的能力以及更强的辅助决策和攻击能力。

在现代作战环境和作战要求下,指挥控制与火力控制功能的划分不是绝对的,而是在执行过程中融为一体的。火力控制系统与指挥控制系统的高度融合,是现代作战形式的变化对这两大系统提出的新要求。

## 4 结论

火控系统的发展对于航空作战的作用和地位毋庸置疑,与指挥控制系统的进一步融合将会使未来作战模式发生深刻变革。在实际作战过程中,作战飞机既要成为预警指挥体系下完成中心任务的关键节点,又具备在一定范围内完成关键的编队行动作战指挥能力。为了更加有效地发挥武器的作战效果,其发展应该从以下几个方面重点考虑<sup>[9-11]</sup>。

### 4.1 以火控与指挥综合系统为核心思想升级核心硬/软件设备

火控系统核心硬件设备的升级不应局限于探测设备能力的提升、解算速度的提高和控制能力的提升,更应进一步考虑在信息处理、过程决策、机动控制、武器制导的全过程中引入火控系统和指挥系统综合化的核心思想。这是因为:

1) 作战环境的复杂性,进一步需要火力控制系统与指挥控制系统的协同作用,以提高占位机动的隐蔽性;

2) 现代作战的快速性,进一步提升火力控制系统对智能决策系统的迫切需求,以降低操作人员的负荷度;

3) 武器攻击的准确性,进一步需要火力控制系统和武器控制系统的深度耦合,以提高武器发射的有效性;

4) 效果评估的客观性,需要进一步增加火力控制系统对作战效能评估的信息量,以提高作战效能评估的真实性。

## 4.2 火控系统应该朝着智能化方向快速发展

这里的智能化主要体现在4个方面<sup>[8]</sup>:1)信息探测的智能化,火控系统要有能力从战场复杂的电磁环境中探测到攻击需要使用的有用信息,并对信息进行分析处理,智能地判断并过滤干扰信号,提取出准确可靠的信息;2)攻击决策方面,火控系统要有能力根据已经获得的信息做出战术层面的决策,如隐蔽接敌、协同机动、目标分配、武器选用等,用来提示飞行员甚至执行自动控制;3)威胁规避的智能化,智能判断自身威胁并进行规避,如自动控制载机机动以摆脱敌方雷达信号或导弹的跟踪;4)攻击效果评估的智能化,智能分析判断打击效果,提示飞行员是否需要进行二次攻击等等。

## 4.3 总结

航空火控系统的不断发展创新表明,现代空战日新月异的变化需要火控系统的支撑,航空火控系统的定义只有在航空作战中才能够充分地体现出来。世界军事革命风起

云涌,武器装备正呈现出信息化、智能化、一体化和隐身化的发展趋势,火控系统必须面对机遇和挑战,在分析未来发展需求的基础上,明确发展领域,拓展发展空间,以实现其跨越式的发展。

## 参考文献

- [1] 寇英信. 先进战斗机任务系统顶层设计关键技术研究[D]. 西安: 空军工程大学, 2008.
- [2] 周志刚. 航空综合火力控制原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [3] 杨成梧. 机载多传感器信息融合技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2005.
- [4] 季晓光, 高晓光, 李波. 新一代战斗机综合传感器自适应火控攻击技术[J]. 火力指挥与控制, 2009, 34(12): 19-21.
- [5] CURRY T D, LI H S, ZHAO L, et al. Fire control electronics integration in virtual battlefield [C]//IEEE/ASME International Conference on Advanced

Intelligent Mechatronics, Suntec Convention and Exhibition Centre, Singapore, 2009: 1713-1719.

- [6] SUN T Y, TSAI S J, LEE Y N, et al. The study on intelligent advanced fighter air combat decision support system[C]//Information Reuse and Integration, IEEE International Conference, 2006: 39-44.
- [7] 高劲松, 陈哨东. 国外隐身战斗机超视距空战[J]. 电光与控制, 2011, 18(8): 17-20.
- [8] 徐安. 先进战斗机双机协同隐身空战战术决策方法与建模[D]. 西安: 空军工程大学, 2012.
- [9] 魏铁涛, 屈香菊. 多机协同与多目标分配任务规划方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35(8): 917-924.
- [10] 邵咏松, 翟文军. 新一代战斗机综合火控系统的发展[J]. 电光与控制, 2011, 18(7): 60-63.
- [11] 张安, 陈伟, 李相民. 战斗机智能火力与指挥控制系统的发展和关键技术[J]. 电光与控制, 2006, 13(4): 1-5.

**Abstract:** In recent years, with the complete upgrade of different kinds of aviation weapon equipment, different academies may have different definitions on the functions of the fire control system. In this paper, the function of the fire control system in air combat is discussed with its future development direction. First, the nature of fire control system and its functions are analyzed in detail, and the role of it in the airborne system is discussed. Second, the demand to the fire control system is proposed considering the operational requirements, and the effect of the system on improving the operational effectiveness is presented. Finally, the conclusion is proposed that the integration of command and control and the intelligent fire control system should be developed jointly to meet the demand of future combat.

**Key words:** air combat; fire control system; function; intelligent system