

《火力与指挥控制技术丛书》第002号

航空火力控制技术

陆彦 主编 陆彦 周志刚 夏英明 编



国防工业出版社

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开

放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

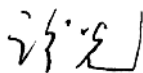
设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

序

我国火控系统研制工作开始于 50 年代,经历了由仿制到自行设计、研究发展的全过程。几十年来,我国在陆用、海用和空用火控研制方面都取得了很大成绩,也积累了不少经验和教训。当然,我们也清楚地看到,和先进国家比较我们还有很大差距。为了总结我们自己的科研成果和研制中的经验教训,为了更快地缩短与先进国家的差距,为了向广大科技人员及从事科技工作的领导干部介绍有关火控方面的知识,国防科技系统一批长期从事火控科研、生产、教学、试验的专家学者,决定编写出版一套《火力与指挥控制技术丛书》。这是一项很有意义的事情,受到了各级领导的重视和支持,受到了广大火控专业科技人员的欢迎。我深信,这一套丛书的出版必将对我国的国防现代化起到积极的推动作用。



1992 年 11 月 22 日

《火力与指挥控制技术丛书》

首届编委会

主 任	谢 光		
副主任	范学虹	曾 铎	谭庆海
	李 博	柳克俊	
委 员	孙隆和	董志荣	太史瑞
	戴轶群	朱培中	张兆华
	王克勤	郭 治	夏金柱
	么树朴	朱如玲	沃长生
	王校会	田校斌	张践山

前 言

本书对航空火力控制技术作了全面的阐述,从攻击方式、导引规律、瞄准,一直到航空火力控制系统。内容有航空火力控制原理和航空火力控制系统。航空火力控制原理主要内容:以攻击机、目标及发射或投放的武器(炮弹、导弹、炸弹或鱼雷等)三者的运动学关系为基础,根据攻击运动的要求,建立求解火力控制问题的数学模型,并进行定量的分析。航空火力控制系统包含分散式航空火力控制系统、平显火力控制系统和综合火力控制系统三部分。

全书共有六章。第一章简介航空火力控制系统的任务要求与发展概况。第二章介绍的航空火力控制的矢量方程是建立求解火力控制问题数学模型并进行定量分析的基础。第三章介绍不同的攻击方式及导引规律。第四章与第五章主要内容分别为空对空状态与空对地状态时,建立求解火力控制问题数学模型并进行定量分析,从而解决瞄准问题。第六章从发展过程介绍三种航空火力控制系统,最后提出了未来航空火力控制技术与系统的发展。

本书的第一、四、五章由陆彦编写;第二章由周志刚编写;第三、六章由夏英明编写。全书由陆彦主编。为本书提供过资料的有李时哲、周德云、彭建训、朱建民和陈根生。

由于水平所限,错误之处请读者指正。

编 者

1992 年 10 月

目 录

第一章 航空火力控制概述	(1)
1.1 航空火力控制系统的任务要求与特点	(1)
1.2 航空火力控制系统发展概况	(6)
第二章 航空火力控制的矢量方程	(14)
2.1 概述	(14)
一、矢量、矢量图、矢量方程	(14)
二、描述和解算航空火力控制问题的坐标系及其转换	(24)
三、求解航空火力控制问题的矢量方程法	(51)
2.2 航空火力控制的矢量方程	(53)
一、目标运动的修正	(53)
二、弹丸运动的修正	(64)
三、载机运动的修正	(71)
四、其它投射条件的修正	(79)
五、航空火力控制的矢量方程	(81)
2.3 矢量方程法应用举例	(86)
一、解算航空火力控制问题的条件	(86)
二、矢量图	(87)
三、矢量方程及其求解	(88)
第三章 攻击方式与导引规律	(92)
3.1 概述	(92)
3.2 追踪攻击	(94)
一、纯追踪攻击	(94)
二、前置追踪攻击	(100)
3.3 碰撞攻击	(108)
一、纯碰撞攻击	(109)

二、前置碰撞攻击	(113)
3.4 比例导引律	(118)
3.5 离轴发射	(121)
3.6 可攻击区	(125)
一、最大允许过载 n_{yz}	(125)
二、火控系统对进入角的限制 q_r	(127)
三、最大允许发射距离 $D_{y\max}$	(128)
四、最小允许发射距离 $D_{y\min}$	(129)
五、导弹发射包络的描述	(130)
3.7 轰炸攻击	(132)
一、水平轰炸	(134)
二、垂直面机动轰炸	(136)
三、水平面机动轰炸	(141)
第四章 空对空火力控制原理	(146)
4.1 前置计算火力控制	(146)
一、计算前置角光学瞄准具的两种结构形式	(146)
二、GG 型活动炮架的火力控制计算公式	(154)
三、WW 系统的机炮火力控制计算	(160)
4.2 示迹瞄准原理	(174)
一、示迹瞄准原理	(174)
二、真实示迹线的理论计算	(177)
三、真实示迹线的简化计算	(182)
4.3 导弹火力控制	(191)
一、概述	(191)
二、导弹的纯追踪发射	(193)
三、导弹的离轴发射	(199)
四、导弹的直线拦截攻击	(202)
五、导弹的允许发射偏差	(209)
4.4 空对地射击火力控制原理	(210)
一、空对地射击火力控制原理	(211)
二、空对地射击条件的选择	(217)
第五章 空对地火力控制原理	(221)
5.1 轰炸瞄准的基本原理	(221)

一、飞机相对目标的运动	(221)
二、投弹点与爆炸点的相互位置关系	(222)
三、轰炸瞄准	(226)
5.2 水平轰炸瞄准	(240)
一、水平轰炸瞄准方法	(240)
二、用导航系统及航迹计算系统确定目标的主坐标	(256)
5.3 非水平轰炸瞄准原理	(263)
一、俯冲轰炸	(263)
二、退出俯冲轰炸	(284)
三、上仰轰炸	(288)
5.4 连续计算命中点瞄准原理与连续计算投放点瞄准原理	(296)
一、连续计算命中点瞄准原理	(296)
二、连续计算投放点瞄准原理	(304)
5.5 空对地制导武器攻击的火力控制	(319)
一、投自动操纵炸弹的瞄准原理	(320)
二、投远距离操纵炸弹的引导方法	(326)
5.6 航空反潜和投掷鱼雷的瞄准原理	(328)
一、航空反潜	(328)
二、投掷鱼雷的瞄准原理	(333)
5.7 飞机悬挂物管理系统	(351)
一、飞机悬挂物管理系统功能	(352)
二、飞机悬挂物管理系统组成	(354)
第六章 航空火力控制系统的组成原理	(356)
6.1 概述	(356)
6.2 分散式航空火力控制系统	(359)
一、简单瞄准具	(359)
二、航空射击瞄准具	(362)
三、射击轰炸瞄准具	(383)
四、轰炸瞄准具	(385)
6.3 平显火力控制系统	(392)
一、平显火力控制系统的构成	(393)
二、平显火力控制系统的接口特征	(401)
三、平视显示/武器瞄准系统	(404)
6.4 综合火力控制系统	(413)

一、系统的功能分布与系统构型	(418)
二、综合火力控制系统的系统控制	(425)
三、综合火力控制系统的接口管理	(431)
四、综合火力控制系统的软件开发与验证	(433)
6.5 未来航空火力控制技术与系统的发展	(439)
一、综合控制技术与系统	(435)
二、人工智能控制与作战管理	(440)

第一章 航空火力控制概述

1.1 航空火力控制系统的任务要求与特点

飞机使用所携带的各种武器(机炮、火箭、炸弹、导弹等)对空中、地面、水上和水下各种运动的或静止的、可见的或不可见的目标进行搜索、识别、跟踪、瞄准和实施各种方式的攻击所必须的机载电子设备,统称为航空火力控制系统或机载武器火力控制系统。

飞机、机载电子设备和武器是决定航空武器系统作战能力的三要素。而航空火力控制系统又是机载电子设备的核心部分。它的基本任务是控制飞机火力的方向、密度、时机和持续时间。其基本功能是在引导飞机到目标或载机发现目标后,沿最佳航线接近目标、搜索、识别、跟踪目标;测量目标与载机的运动参数,进行火力控制计算,选择武器类型、控制武器的发射方式、数量和装定引信;必要时,对某些制导武器进行发射前的参数装定和发射后制导,使用雷达、连续波照射器、数传或激光照射器等火控系统导引武器命中目标。对于实现了综合化和配备了电子显示器的飞机,在作战时火控系统还可以显示必要的飞行参数,以及其它需要显示而又可能显示的状态和参数。在巡航飞行状态,可以提供飞机导航、起飞与着陆的指引和显示。显然,火控信息是目标信息、载机信息与武器信息的综合。

作战飞机的攻击手段一是靠武器,二是靠火控。在摧毁目标时,武器起着巨大的作用,但是也只有把武器准确地投射到目标上,才能摧毁目标。在此过程中,火控系统是武器控制与指挥中心;同时,它还有提高本机生存率与规避危险的功能,是机载电子设备

的中心。

航空火力控制技术是将飞机、目标及武器所形成的作战态势与飞行员瞄准操作结合在一起的综合技术。它涉及到飞机、目标、武器、显示控制与人的各种因素(见图 1-1)。

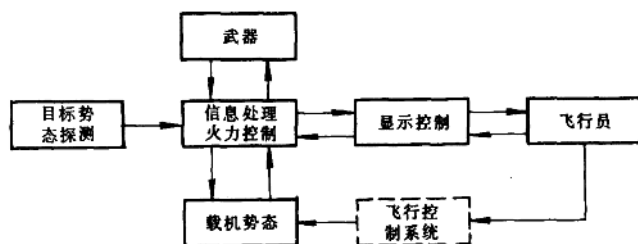


图 1-1 航空火力控制

航空火力控制系统按装备的飞机、使用的武器和战术功能分为：

(1) 歼击机火力控制系统 以空对空作战为主，兼有一定的对地攻击能力；主要配用武器是航空机关(枪)炮和空空导弹，也能粗略地引导轰炸。轰炸机炮塔的火力控制系统也属于这一类。

(2) 轰炸导航系统 它是轰炸机的基本装备，包括突防、导航和瞄准投弹设备。

(3) 攻击导航系统 用于歼击轰炸机和强歼机，以攻击地面目标为主，兼有一定的空战能力；配用武器除炸弹外还有航空机炮、火箭弹和制导武器。

(4) 飞机—武器控制系统 装备截击机。这种系统包括通信导航识别综合系统、自动飞行控制系统、火力控制雷达和指挥计算机等。

(5) 综合武器投放系统 一种数字式火力控制系统，包括多种传感器和多种处理机，兼有良好的空对空和空对地作战性能。有的系统还能“同时”搜索、跟踪和攻击几个空中目标。

按不同类型的作战飞机，所携带的不完全相同的武器和战术

功能,火力控制系统分了以上所述五类。各类火控系统的组成也不完全相同。但是不管是什么样的火控系统,一般都由以下几部分组成:

显示控制装置 是火控系统与飞行员的接口界面。它可以把瞄准攻击信号、目标和各种所需要的信息显示出来,供飞行员使用。主要显示装置有光学瞄准具、平视显示器(HUD)、多功能显示器(MFD)、头盔显示器(HMD)和雷达显示器等。主要控制装置有握杆操纵(HOTAS)、可编程开关、触敏开关和语音控制系统等。

目标参数探测器 主要用于探测目标信息(位置、距离、速度、变化速率等)。该信息用于瞄准攻击计算和飞行员瞄准攻击。主要设备包括各种火控雷达、各种光—电探测设备(电视、激光和红外)、声纳和磁探设备等。

本机参数测量设备 主要测量本机飞行与姿态参数供瞄准计算、飞行员操纵飞机和攻击时使用。主要设备有惯性导航装置、航姿系统、大气数据计算机、陀螺组件和各种仪表等。

数据传输装置 用于火控系统各部件之间的信息传递,并联接各部件。目前还有相当多的飞机上仍然采用传输电缆,而先进的飞机设备中采用数字式多路数据传输总线,包括总线控制器,远程终端和同轴电缆。西方国家使用最广泛的军用总线是 MIL—STD—1553B 总线,其次是 ARINC—429 总线、法国的 GINA 总线,而最新的 MIL—STD—1773 光纤总线和 ARINC—629 总线也开始应用于机上。

记录设备 用于记录作战或训练过程中各种参数的设备,其中包括照相枪、视频磁带记录系统等。

任务计算机 主要用于数据处理,包括瞄准计算与控制、导航计算、显示控制、总线传输控制、飞行能量管理等相应的任务。它为一台专用计算机,承担着系统信息综合的任务。

作战飞行软件(OPF) 为火控系统的核心,是执行作战飞行、攻击计算、显示控制等全部功能所需要的软件模块的集合,包括执行软件、应用软件与测试软件。机上其它设备也通过软件进行管

理。

武器外挂管理系统 由于飞机携带各种类型的武器、电子战吊舱和光—电探测吊舱等外挂物,为了对种类繁多、数量庞大的外挂物进行管理,并使外挂物与机上设备通讯交联,需要设立了此系统。此外,还有相应的各种控制装置。图 1-2 示出了航空火控系统的主要分系统。

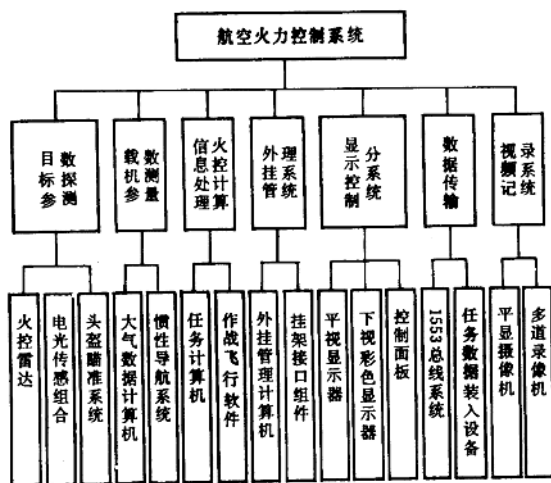


图 1-2 航空火控系统主要构成分系统

另外,按数据处理方式分,航空火力控制系统可分为三种组成方式:

(1) **分散式模拟系统** 由几种分散的、具有独立功能的或某种武器专用的设备组成。这种系统包括航空瞄准具、机载雷达、轰炸和导航计算机等。有些系统还有武器投放计算机、导弹发射计算机和专用武器控制设备等。瞄准具和雷达是核心设备,两者各有测量、计算和显示装置。瞄准具用于机炮和火箭弹的瞄准;雷达进行

引导计算和控制空空导弹的发射与制导。在这种系统中,设备的数量随载机的作战任务、装备的武器和使用的攻击方式而异。它适用于小型和专用歼击机。优点是灵活、简单、轻便、可靠。但对于战术任务广泛、武器种类繁多和使用多种攻击方式的歼击机和歼击轰炸机来说,分散式系统设备重复、重量大、可靠性低。

(2)集中控制的数字式系统 采用数字式中央火力控制计算机。所有数据处理和控制都集中在中央计算机。系统包括各种传感器、中央火力控制计算机和控制—显示装置等硬件和作战飞行程序。它的优点是只要修改作战飞行程序就可改变系统的功能。缺点是中央计算机工作负担重,要求运算速度快和存贮容量大,可靠性较差。

(3)分布集中式数字机网络系统 这是一种按分布—集中原则处理数据的数字式火力控制系统。系统中除中央计算机外,还有显示器、雷达、惯性导航和大气数据计算机等设备中的数字式数据处理机。它们通过数据传输总线联系,形成网络;除担负火力控制等作战任务的计算外,还控制总线的数据传输,完成整个系统的管理和调度。这种系统,有较高的平行处理数据的能力,能减轻中央计算机的负担,使分系统接口设备大为简化,工作可靠。

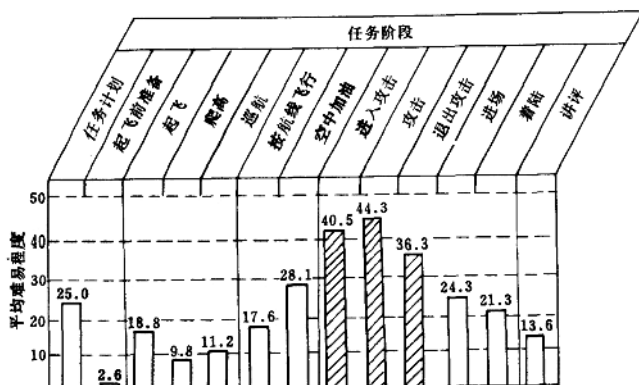


图 1-3 火控系统在整个飞行任务中的作用

航空火力控制系统是用于攻击过程的主要系统。由于攻击过程为敌我生死存亡的关键时刻,情况瞬息万变,时间短暂,所以在此阶段困难最大,如图 1-3 所示。

1.2 航空火力控制系统发展概况

通常把航空火控系统发展分为四个阶段(图 1-4)。

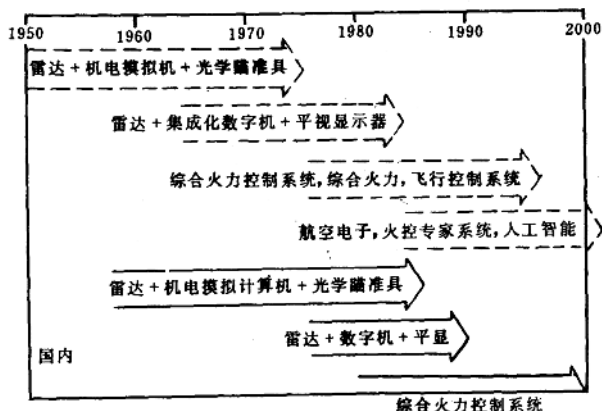


图 1-4 国内外火控系统发展过程及趋势

第一阶段 光学瞄准具(60 年代以前)。在这阶段机载武器主要为机枪、火箭、炸弹以及后增加的空中追踪导弹。火控系统主要是机电式光学瞄准具和与之配套使用的、改进了的雷达与红外空中搜索装置等。

第二阶段 平视显示器火控系统(60 年代末~70 年代)。进入 60 年代以来,国外开始装备具有导航与瞄准功能的平视显示/武器瞄准计算系统(HUD/WACS),以取代光学瞄准具与传统的航行仪表。在 70 年代初进而又把惯性导航系统综合进火控系统中,构

成了攻击/导航系统(Attack/Navigation System),增强了攻击能力。

第三阶段 综合武器火力控制系统(70年代~80年代)。该系统是由脉冲多卜勒雷达(PD雷达)与光——电传感器组成的目标探测分系统、惯导与大气数据计算机组成的本机信息传感分系统、HUD/HOTAS与多功能显示器组成的任务显示控制分系统、管理武器发射与投放的外挂物管理分系统以及任务计算机分系统等由串行数字多路数据传输总线综合而成的综合武器火力控制系统。其典型的代表有美国的F-16、F-18等,法国的幻影2000以及英国的狂风等飞机。在上述的显示与控制分系统中的HOTAS(握杆操纵)技术实质是把武器、雷达、显示等许多最重要的控制器安装在战斗机的驾驶杆和油门杆上,以保证飞行员作战时双手不离开操纵杆去控制武器、雷达与显示开关。对于显示与控制分系统追求的最主要目标之一是飞行员在战斗的一瞬间平视瞄准与握杆操纵。

第四阶段 综合化、自动化与智能化航空电子系统(80年代后期开始)。该系统不仅包括了第三阶段中的全部分系统,而且进一步综合了:①通讯导航识别分系统,即作战C³I系统。典型的系统是联合战术信息分配(JTIDS)系统和全球定位/导航星(GPS/Navstar)系统。JTIDS把精确的目标数据通知作战飞机,并把飞机引导到目标区域,座舱中的多功能显示器上显示出地面防空导弹危险区包线,引导飞机避开危险达到最佳攻击位置及攻击航线。GPS/Navstar则把作战飞机所处的本机位置告诉飞机(精度优于16m)。②飞行控制分系统接收火控系统信息,自动飞行投放武器所需要的作战飞行剖面。③电子战分系统,在作战时对威胁进行综合与分类,自动选择最佳干扰方式和最佳干扰时机。④各种非航空电子系统的管理与控制(如推力控制)使之在作战瞬间处于与火控系统有最佳匹配状态。综上所述,航空电子系统综合化是把整个航空电子各分系统综合成统一控制、管理与显示的航空电子系统。在作战时,整个航空电子系统处于火力控制状态,因此火力控制系统变成抽象概念。而导航飞行时,全部航空电子系统(包括火控系