



航空火力控制原理

HANGKONG HUOLI
KONGZHI YUANLI

主 编 程江涛

副主编 王超勇 欧阳寰

航空火力控制原理

主 编 程江涛

副主编 王超勇 欧阳寰

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以第三代战斗机火力控制原理为重点,详细阐述了从作战飞机上对空中、地(海)面目标攻击的全过程中引导、瞄准、制导等各阶段的火力控制理论。全书共分为6章,第1章为概论;第2章为常用坐标系及其转换;第3章为目标参数测量及运动规律确定;第4章为空对空攻击火力控制原理;第5章为空对面攻击火力控制原理;第6章为作战飞机的引导。

本书可以作为航空火控维修专业的教材,也可作为从事相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航空火力控制原理/程江涛主编. —北京:国防工业出版社,2017. 1

ISBN 978-7-118-11139-2

I. ①航… II. ①程… III. ①航空兵器—火控系统 IV. ①TJ

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 314246 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市德鑫印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 $\frac{1}{4}$ 字数 314 千字

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

本书依据生长干部任职教育培训要求编写,可以作为航空火控维修专业的任职基础课程教材,也可作为从事航空火力指挥与控制等相关专业工程技术人员的参考书。

本书详细阐述了从作战飞机上对空中、地(海)面目标攻击的全过程中引导、瞄准、制导等各阶段的火力控制理论。根据机载火控装备的发展,本书以第三代战斗机火控系统攻击原理为重点,融进了近年来火控理论的发展。本书在编写中力求体现以下特点:一是体现航空火控理论的基础性和科学性。航空火控原理是火控理论的一个重要分支,它是研究基于作战飞机这一武器平台的火力控制理论,具有一定的基础性和通用性,适用于各型机载火控系统。二是以满足任职岗位课程教学的需求为依据选取教材内容。随着机载火控装备的发展从机电模拟式到数字式,火力控制的解算精度和速度也随之有了较大的提高,火控模型的数学形式也发生了变化。本书以数字化火控设备为重点介绍火控理论和火控模型,适应了机载火控装备的发展。

本书共分6章。第1章概论,主要介绍航空火力控制的基本概念及机载火控系统的发展;第2章常用坐标系及其转换,重点介绍分析航空火控原理所用坐标系的定义方法,以及空对空攻击、空对面攻击和载机引导常用的坐标系;第3章目标参数测量及运动规律确定,主要介绍目标参数的测量及目标运动规律的确定;第4章空对空攻击火力控制原理,主要介绍空对空攻击的前置跟踪瞄准原理、示迹线瞄准原理,对空空导弹的发射控制、多目标攻击技术进行了定性的分析;第5章空对面攻击火力控制原理,主要介绍空对面攻击的连续计算命中点、连续计算投放点和延迟连续计算命中点瞄准原理,对空面制导武器、航空反潜武器的发射控制进行了分析;第6章作战飞机的引导,主要介绍作战飞机的远距和近距引导方法。

本书由海军航空工程学院青岛校区航空军械火控系航空火控工程教研室编写,程江涛担任主编并负责统稿,王超勇、欧阳寰担任副主编。教材的第1、4、5章由程江涛编写,第2章由欧阳寰、毕嗣民编写,第3章由王超勇编写,第6章由刘敏、金石娇编写。在教材编写过程中,校区机关、航空军械火控系领导,以及航空火控工程教研室领导和同志们给予了大量指导和帮助,提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,本书内容若有不妥之处,敬请读者批评指正。

编者
2016年1月

目 录

第1章 概论	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 机载武器系统	1
1.1.2 机载火力控制系统	1
1.1.3 航空火力控制原理	2
1.2 航空火力控制过程	2
1.3 航空火力控制系统的现状及发展趋势	3
1.3.1 航空火控系统的发展历程	3
1.3.2 航空火控系统的发展趋势	4
1.3.3 航空火力控制原理的发展	6
复习思考题	8
第2章 常用坐标系及其转换	9
2.1 坐标系的定义及转换	9
2.1.1 直角坐标系	9
2.1.2 球面坐标系	13
2.2 基本坐标系	14
2.2.1 地球坐标系	15
2.2.2 地理坐标系	15
2.2.3 飞机坐标系	17
2.3 空对空火力控制坐标系	18
2.3.1 绝对坐标系	18
2.3.2 相对坐标系	19
2.3.3 飞机速度坐标系	20
2.3.4 瞄准线坐标系和跟踪线坐标系	21
2.3.5 武器线坐标系	23
2.3.6 雷达坐标系	24
2.3.7 平显坐标系	24
2.4 空对面攻击火力控制坐标系	25
2.4.1 飞机水平坐标系	25
2.4.2 飞机航向坐标系	26
2.4.3 飞机地速坐标系	27
2.4.4 飞机坐标系	28

2.4.5 飞机速度坐标系	29
2.4.6 瞄准线坐标系和跟踪线坐标系	29
2.5 载机引导坐标系	30
2.5.1 地心坐标系	30
2.5.2 大圆航线坐标系	32
2.5.3 大圆航线坐标系与地心坐标系的相互转换	35
复习思考题	36
第3章 目标参数测量及运动规律确定	38
3.1 空中目标参数的测量	38
3.1.1 目标距离的测量	38
3.1.2 目标位置的测量	39
3.1.3 目标速度的测量	40
3.1.4 目标加速度的测量	42
3.2 地(海)面目标参数的测量	42
3.2.1 应用多普勒效应测量	42
3.2.2 用惯性导航系统测量	44
3.3 目标运动规律的确定	44
3.3.1 目标运动规律的导数表达式	45
3.3.2 目标运动规律的角速度表达式	47
复习思考题	49
第4章 空对空攻击火力控制原理	50
4.1 空对空攻击的修正角	50
4.1.1 矢量在火力控制问题中的应用	50
4.1.2 用几何法解算	55
4.1.3 用矢量方程法解算	63
4.2 前置跟踪瞄准原理	71
4.2.1 基本原理	71
4.2.2 攻击曲线	72
4.2.3 攻击运动分析	75
4.2.4 可攻击区	79
4.2.5 前置跟踪火力控制系统的典型结构形式	83
4.3 示迹线瞄准原理	87
4.3.1 示迹线瞄准原理概述	87
4.3.2 示迹线瞄准原理的实现	89
4.3.3 连续计算命中线瞄准原理	90
4.4 空空导弹火力控制原理	104
4.4.1 概述	105

4.4.2	近距导弹的火力控制	110
4.4.3	中距雷达制导导弹的火力控制	113
4.5	多目标攻击火力控制	119
4.5.1	多目标攻击的基本概念	119
4.5.2	多目标攻击系统主要功能和组成	121
4.5.3	多目标攻击火控系统工作原理	122
4.5.4	多目标攻击实施流程	126
	复习思考题	127
第5章	空对面攻击火力控制原理	129
5.1	轰炸瞄准基本原理	129
5.1.1	目标相对载机的运动	129
5.1.2	水平轰炸攻击运动分析	131
5.1.3	俯冲轰炸攻击运动分析	135
5.1.4	其他轰炸方式介绍	137
5.2	连续计算命中点瞄准原理	140
5.2.1	基本原理与特点	140
5.2.2	CCIP 水平轰炸瞄准原理	141
5.2.3	CCIP 俯冲轰炸瞄准原理	142
5.3	连续计算投放点瞄准原理	144
5.3.1	基本原理与特点	144
5.3.2	CCRP 轰炸瞄准原理	145
5.4	延迟连续计算命中点瞄准原理	150
5.4.1	基本原理与特点	150
5.4.2	DCCIP 轰炸瞄准原理	151
5.5	空面制导武器火力控制原理	152
5.5.1	空地导弹的火力控制	152
5.5.2	空地反辐射导弹的火力控制	154
5.5.3	制导炸弹的火力控制	156
5.5.4	空舰导弹的火力控制	160
5.6	航空反潜武器火力控制原理	166
5.6.1	航空反潜武器系统	166
5.6.2	空投鱼雷的弹道	167
5.6.3	投掷鱼雷的瞄准原理	168
	复习思考题	177
第6章	作战飞机的引导	178
6.1	远距引导	179
6.1.1	主大圆航线坐标系和局部大圆航线坐标系	179

6.1.2 建立主要大圆航线坐标系	179
6.1.3 建立局部大圆航线坐标系	180
6.1.4 载机坐标计算	183
6.1.5 载机沿局部大圆航线飞行的保障	185
6.2 近距引导	189
6.2.1 前置碰撞点引导法	190
6.2.2 手动控制时的追踪引导法	198
6.2.3 最佳前置点引导法	200
6.2.4 综合引导法	201
复习思考题	203
参考文献	204

第 1 章 概 论

机载火力控制系统是作战飞机的重要组成部分,是机载武器系统的三大要素之一,其性能直接决定了武器弹药投射的命中精度及飞机作战效能的高低,影响到飞机的出勤率和载机自身的生存率。

本章主要介绍航空火力控制的相关概念、航空火力控制过程、航空火力控制系统发展及趋势等。

1.1 基本概念

为达到一定的作战目的,作战飞机需要携带大量的武器,并使用各种武器进行空中作战或支援陆地、海面作战。用来完成以上功能的机载设备称为机载武器系统。

1.1.1 机载武器系统

军用作战飞机上用来杀伤目标的装备,称为机载武器系统(Airborne Weapon System)。

机载武器系统的功用是正确投射武器弹药,命中、杀伤目标,完成作战任务。各类飞机的作战任务不同,其武器系统不尽相同。是否具有完善的机载武器系统,是军用作战飞机区别于其他飞机的主要特征。

机载武器弹药、悬挂/发射装置和机载火力控制系统(Airborne Fire Control System)等三部分构成了作战飞机的武器系统。机载武器系统的性能,直接决定了军用作战飞机的作战能力。

1.1.2 机载火力控制系统

机载火力控制系统(简称机载火控系统),也称为航空火力控制系统,是飞机武器系统的控制与指挥中心。概括地说,机载火控系统的功能就是用于武器的瞄准、控制和管理。

航空火力控制是对目标、飞机、武器所构成的态势进行数据信息采集、转换、计算、处理及管理,向驾驶员和武器提供决策、操纵、投射和制导信号,并与驾驶员瞄准显示及控制相结合而构成的人与信息系统的集成体。它涉及飞机、武器的控制管理以及人的显示操纵等各种因素。

在早期的军用作战飞机上,机载火控系统的定义是:跟踪瞄准目标,控制武器弹药投射方向、时机、密度和持续时间的机载电子设备。

随着军事科学技术的发展,在第三、四代军用作战飞机上,装备了机载综合火控系统和综合航电火控系统等新型机载火控系统。新型机载火控系统比起原有的机载火控系

统,其功用、功能、战术技术性能都有了极大的发展。可以对发展了的机载火控系统给出新定义:在引导载机至作战空域,探测、识别、截获、跟踪目标,控制武器弹药按确定方向、时机、密度和持续时间投射,制导、控制武器弹药命中目标,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。

飞机是机载武器系统的载体,其性能对作战能力有一定的影响。但对同一架飞机来说,攻击手段的强弱,作战能力的高低,一靠武器弹药,二靠火控系统。武器弹药的威力在杀伤目标中虽然起重要的作用,但是武器弹药准确命中目标则是杀伤目标的前提条件。因此,如果没有机载火控系统对目标的精确瞄准,没有机载火控系统对武器弹药的正确管理和对攻击过程的有效控制,武器弹药的威力也就难以发挥。所以,飞机平台、武器弹药和火控系统是形成和决定军用作战飞机作战能力的三大要素,三者缺一不可。

为了提高飞机和机载武器系统的作战效能,对火控系统提出了很多要求,这些都反映在具体的战术技术指标上。火控系统的战术技术指标包括:作战任务要求,如主要装备飞机型号,主要目标型号,主要装备武器类型和数量,空空和空面作战状态、攻击方式;战术指标,如载机特性,目标特性,配备武器特性,武器系统精度指标,火控系统精度指标,作战环境;技术指标,如系统组成,系统使用要求,系统尺寸和重量,系统可靠性、维修性、测试性、保障性要求,系统经济性要求。对于航空火力控制原理而言,主要是要保证用确定的武器、以确定的作战状态,完成空空、空面攻击方式的火力控制解算的精确性和实时性。

1.1.3 航空火力控制原理

航空火力控制原理是研究从载机上投射武器弹药攻击目标的控制规律、瞄准原理和瞄准方法的专门理论。火力控制原理随着飞机、武器弹药的战术技术性能的提高,随着新攻击方式方法涌现而不断发展。

适用于第一、二代军用作战飞机上各类射击瞄准具、轰炸瞄准具和平视显示/武器瞄准系统的火力控制原理,通常称为瞄准原理。

航空火力控制原理是机载火力控制系统原理论证、结构设计、制造工艺、检验验收、维护使用的理论基础。其研究的主要内容包括:

(1) 分析不同载机用不同武器弹药,以不同攻击方式、方法攻击不同目标过程中,载机、武器弹药、目标的相对位置和运动学特性,建立起描述攻击运动的数学模型,导出瞄准原理公式和方程;

(2) 选取正确的解法,代入具体攻击条件,进行火力控制计算,确定达到瞄准状态的瞄准修正量和操纵控制信息;

(3) 分析火力控制规律,研究和确定正确的瞄准方法。

1.2 航空火力控制过程

各种机载火控系统攻击目标各有侧重,但基本功能是搜索、识别、跟踪和瞄准目标,引导载机接敌占位,控制导弹、航空火箭弹、炮弹、航空炸弹、航空鱼雷、航空水雷、航空深弹等弹药的投射和制导。

机载火控系统的工作过程通常可分为以下几个步骤:

1. 载机引导

根据载机类型、携带武器弹药种类和攻击方式,将载机引导到能够发现目标的空域,具备发现目标条件。

2. 火力控制

固定翼飞机作战,由机载电子设备探测、识别、截获、跟踪目标,并将测得的目标位置、距离及其变化率、角速度、方位角等参数,连同载机参数测量设备测得的本机飞行条件、运动参数和装定的武器弹道参数、攻击方式一起送入火控计算机进行火控解算,输出瞄准和操纵信息给瞄准显示设备,飞行员据此操纵载机或直接将控制信息输给自动飞行控制系统,使飞机迅速、准确地进行瞄准,逐渐满足有效使用武器弹药条件,同时向外挂物管理系统、武器投射控制装置自动发出投射信息,满足投射条件时由飞行员或武器投射控制装置自动发出投射信息,控制武器弹药按确定方向、时机、密度和持续时间投射。

反潜直升机反潜,通常是投放声纳浮标或吊放声纳,战术计算机或战术员控制直升机搜索水下潜艇,发现并跟踪目标,连续测出其距离、速度、方向及深度,经过火控计算机,按预定程序计算出攻击目标的位置、攻击范围、载机位置、鱼雷、深水炸弹投放参数及攻击时机,显示在显示器上,由战术员或自动飞行控制系统进行攻击。

3. 制导、控制武器弹药命中目标

投射非控武器弹药或发射后不管的精确制导武器后,载机即可脱离。但是对于雷达、激光半主动寻的、电视图像制导的空对空、空对地导弹,巡航导弹,制导炸弹等,投射后载机还需继续跟踪瞄准目标,制导、控制武器弹药直至命中目标后方可脱离。

4. 判定作战效果,引导载机退出

根据攻击效果和携带武器弹药确定是否再次攻击,否则引导载机退出攻击。

1.3 航空火力控制系统的现状及发展趋势

半个多世纪以来,随着科学技术的发展,以及飞机和武器装备性能的不断发展,航空火控系统的功能、性能、结构、技术不断发展。

1.3.1 航空火控系统的发展历程

概括起来,航空火控系统经历了四个发展阶段:瞄准具、平视显示/武器瞄准系统、综合火控系统、综合航空电子系统。

1. 光学瞄准具阶段

自1911年墨西哥革命战争中首次在飞机间用手枪对射以来,军用飞机从早期的侦察、通信任务迅速扩展成武器投射平台。

20世纪60年代以前,早期飞机上装备的是固定环瞄准具,后来为适应武器增加,随着技术进步,发展成半自动光学瞄准具,这就是各类射击瞄准具、轰炸瞄准具、射击-轰炸瞄准具等。后来,将和雷达交联工作的瞄准具称为火力控制系统。

各型瞄准具大都采用机械或机电解算装置或电子模拟计算机,采用视准式或望远镜

式的光学显示器,适应的武器有航空机枪、航炮、航空火箭、航空炸弹及红外制导空空近距导弹等。由于系统精度低,显示信息少,适用武器种类和攻击方式有限,在老旧的作战飞机上使用瞄准具,目前基本已被淘汰。

2. 平视显示/武器瞄准系统

20 世纪 60 年代到 70 年代,发展了平视显示/武器瞄准系统(Head Up Display/Weapon Aiming System)。系统主要包括驾驶员显示组件(PDU)、电子组件(EU)、驾驶员控制板(PCP)和武器输入板(WIP)等部件,用一台数字计算机完成火控计算和显示计算,和雷达、惯导、大气数据计算机等设备进行交联工作。

平视显示/武器瞄准系统既能完成火控计算和显示计算,又能完成起飞、着陆、故障判断等信息处理;既能显示火控信息,又能显示载机姿态、参数等信息,同时还能看到外界景物,实现了系统间的资源共享,从客观上促进了火控系统 with 武器、导航、仪表、雷达、通信等系统的综合。平视显示/武器瞄准系统的出现,表明了机载火控系统从机械、机电解算装置或电子模拟计算机,到数字计算机的飞跃,从机电显示到电子显示的飞跃。

后期还出现了将惯性导航系统和火控系统综合,构成了攻击/导航系统(Attack/Navigation System)。攻击方式有所增加,适用武器增多,系统精度明显提高。目前还有数量不少的作战飞机装备平视显示/武器瞄准系统。

3. 综合火控系统

20 世纪 70 年代至 80 年代,随着计算机技术的发展,信息传输方式由点对点导线传输发展成为多路数据总线传输,发展了将脉冲多普勒雷达和光电探测设备组成的目标探测分系统,惯导和大气数据计算机等组成的导航和载机信息传感分系统,平视显示器等和握杆操纵系统组成的任务显示/控制分系统,以及外挂物管理分系统、视频记录系统、数据传输系统等等多台微型计算机,以火控计算机为管理中心,用标准多路数据总线联网,功能覆盖了引导、瞄准、控制攻击全过程的综合火控系统。其具有全天候、全方位作战能力,适用武器种类多达二三十种,攻击方式十余种以上,系统精度和可靠性、维修性都大大提高。目前第三代作战飞机上大都装备综合火控系统,其典型代表有美国的 F-15、F-16、F-18,俄罗斯的 Cy-27、Cy-30,法国的“幻影”-2000,英国的“狂风”7 等飞机装备的火控系统。

4. 综合航空电子系统

自 20 世纪 80 年代开始,在保持火控系统功能条件下,系统结构发生了很大的变化,发展为综合航空电子系统。它是在综合火控系统的基础上,进一步将通信导航识别分系统、作战飞机的 C³I 系统(典型的分系统是联合战术信息分配系统和全球定位/导航星系统)、飞控分系统(能根据火力控制信息,自动飞行到投射武器弹药所需要的飞行剖面上并自动投射武器弹药)、电子战分系统(能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)以及各种非航空电子系统进行综合,使它们在作战的各个阶段上都与火控系统处在最佳匹配状态,形成统一控制、统一管理 with 统一显示的高度综合化、数字化、自动化与智能化的电子系统。

1.3.2 航空火控系统的发展趋势

1. 尽最大努力满足作战需求,不断提高系统战术技术性能

不断提高机载武器系统、火控系统的战术技术性能,使系统具备采用多种武器、多种

作战方式、多种攻击方法,适应多种战争环境的高精度攻击能力。

机载精确制导武器已取代非控武器(航炮、航空火箭、航空炸弹)而成为主战武器。机载精确制导武器包括攻击空中目标的空空导弹,攻击地面、水面、水下目标的空地导弹和精确制导弹药。

空战将以“超视距、多目标攻击、发射后不管”为主要作战方式,近距格斗要实现先敌升火,对地面(水面)目标攻击要实现防区外精确打击。

先敌发现、先敌攻击和首攻歼敌对整个空战进程具有重大的意义。在空中预警和指挥机或指挥自动化系统指挥下作战,具有自动识别目标、威胁判断、确定攻击目标优先权及指出友机正在攻击的目标等特点。强调在战争开始阶段依靠先进的中远距空空导弹交战,而较少地依靠格斗。实施多目标攻击需要采用发射后不管的空空导弹。未来的中远距空空导弹均采用组合制导方式,即在弹道前段采用惯性或指令/惯性制导,末段采用雷达主动制导或红外寻的制导。应用高度数字化和固态化毫米波技术,是解决末段主动制导问题较好的技术途径,具有广阔的使用前景。为了实现多目标攻击,火控雷达必须具有边跟踪边搜索能力,并能以高分辨力的“敌情估计”状态工作,以识别密集目标。

2. 采用多传感器综合探测系统

为了使航空火控系统具有超视距、多目标攻击的能力,就必须及时获得全面和准确的战场信息。从信息战角度出发,要获得完整准确的作战信息,就应该采用先进的预警、通信、指挥、控制系统(C^3I 、 C^4ISR 、 C^4KISR 系统)以及空空、空地数传和空地一体化作战指挥控制系统,采用先进数字计算机和多路数据总线,提高火控信息采集、计算、处理、传输的精度、速度和容量。

现代作战飞机都采用多传感器系统,如雷达、前视红外、红外搜索跟踪装置、激光测距机/指示器、惯导装置、大气数据计算机、全球定位系统(GPS)、电子支援设备和敌我识别等提供信息。

为了利用多传感器的综合效应来提高系统的效率,需要采用多传感器数据融合技术,它把来自不同传感器和各种信息源的数据与信息进行关联、相关和组合,进行多级别、多方面、多层次的处理,从而产生新的更精确的信息,它可以扩大探测的时间、空间覆盖范围,提高探测的置信度,发挥隐蔽、高精度、高分辨力和快速的特性,改善系统的可靠性,减轻飞行员工作负荷,提高本机的作战能力。在先进的F-16C/D、F-15E、F-18C/D和F-22战斗机上都已采用了数据融合技术。

3. 进一步综合化、自动化、智能化

现代空战中,随着双方飞机性能的不断提高(如超声速巡航、隐身、非常规机动等),存在着攻击机会减小、瞄准时间缩短和命中概率降低等问题。这些都与战斗机的火控系统、飞行控制系统和驾驶员的操纵能力密切相关,为了减轻驾驶员在复杂而艰巨的飞行攻击过程中的工作负担,采用先进的预警、通信、指挥、控制系统及空空、空地数传系统,把火控系统和飞行控制系统组合成综合火力/飞行控制系统以及把火控系统和飞行控制、推力控制系统综合成综合飞行火力/推力控制系统。这些综合系统的核心是具有火力控制、飞行控制和推力控制程序的大容量、高速数字计算机和数据总线。在驾驶员选定的工作状态下,由机载多传感器测得的目标运动参数、飞行状态参数以及驾驶员的输入指令,通过数据总线传输到计算机进行火控计算,并将火控解传输给自动飞行、推力控制系统,使战

战斗机自动沿所确定的航线接近目标和到达武器投射位置进行攻击,进一步提高自动化的程度。高速、大容量、高性能计算机,例如美国 F-22 上的通用综合处理机,它是 32 位精简指令(RISC)并行通用处理系统,运算速度为 40 亿指令/s,235 亿次浮点运算/s,采用高速率、低损耗、大容量的光纤数据总线,例如美国 F-22 飞机采用的 1773 光纤总线,数据传输率比电子总线要高达万倍至亿倍;光传操纵、话音控制合成和综合平板显示等技术的应用,使得火控系统与机载其他子系统的综合化、自动化将达到更高水平,使人工智能的实现成为可能。

国外使引导、瞄准和攻击全过程自动化的自动机动攻击系统已趋成熟。利用人工智能技术和专家系统的智能机载武器火力与指挥控制系统,已在积极开发之中,这种智能化的火控系统将进一步提高飞行和作战的自动化程度,提高系统的可靠性,为飞行员提供决策咨询、目标自动识别和分类、威胁判断、告警、对策处理、实施攻击等,大大减轻了飞行员的工作负担,从而使未来作战飞机的性能得到惊人发展。

4. 进一步提高人机工效,提高系统的可靠性、维修性

采用先进座舱显示技术、双杆操纵(HOTAS)技术、自动操纵控制技术,减轻飞行员工作负担,使火力控制操作更加快速、准确、可靠,提高人机工效。采用机内自检(上电自检、周期自检、维修自检)、系统重构、功能降阶、冗余设计、容错设计、防差错设计、故障记录等,当系统一旦发生故障,立即发出告警信号,根据实际故障情况进行降级处理及系统重构,使系统恢复全部或部分功能,大大提高系统的可靠性、维修性。

5. 先进的电子对抗措施

现代战争突出的特点之一,是广泛地综合运用各种电子对抗手段。海湾战争已有力地证明,没有先进的电子对抗技术装备,就没有作战的主动权。先进的电子对抗技术装备将是一体化综合电子对抗系统。它是电子情报侦察告警、电子干扰(即电子战中通常所说的软杀伤)和实体摧毁(即电子战中通常所说的硬杀伤)综合为一体的综合系统。其中电子情报侦察告警、电子干扰技术已比较成熟,实体摧毁采用的反辐射导弹、激光武器和微波武器已经投入使用。

隐身技术也属于电子对抗范围。随着隐身技术的发展和运用,反隐身技术也得到迅速发展,对付隐身飞机和隐身导弹的探测技术、信息处理技术及攻击方式正在发展中。

1.3.3 航空火力控制原理的发展

航空火力控制原理着重研究军用飞机作战过程中,攻击飞机(也称载机)、目标和武器弹药三者的相对位置和运动学、动力学特性,建立攻击引导、武器发射/投放的数学模型,导出原理公式进行解算,分析控制规律,研究和确定正确的瞄准、操纵方法。

随着军事科学技术的发展,在第三、四代军用作战飞机上,装备了综合火控系统和综合航空电子系统。虽然研究它们仍然需要分析攻击过程中载机、武器弹药、目标的相对位置和运动学特性,建立起数学模型,导出原理公式进行解算,分析火力控制规律,研究和确定正确的瞄准、操纵方法,但是比起以往的航空火力控制原理,其内容和方法有了很大的扩展和不同,主要特点如下:

1. 分析研究的范围涵盖了攻击全过程

现代航空火力控制原理的分析研究范围,涵盖了引导载机至作战空域,探测、识别、跟

踪、瞄准目标,控制武器弹药按确定方向、时机、密度和持续时间投射,制导、控制武器弹药命中目标,判定作战效果,引导载机退出等各阶段的攻击全过程。要分析研究各个阶段中载机、武器弹药、目标的相对位置和运动学特性,建立起描述引导、火控、制导的数学模型。

2. 以各类精确制导弹药为主战武器装备

21 世纪初飞机作战的主要样式是“以实施多目标攻击、发射后不管的中、远程导弹进行超视距攻击为主,大离轴角发射近距格斗导弹实现先敌开火,用激光、电视制导炸弹、巡航导弹和空对地导弹、空对舰导弹对地面、水面目标实现防区外精确打击”。各类精确制导弹药已成为主战武器装备,它们的制导原理、攻击方式多样,控制指令、显示信息复杂,导致了允许发射区确定、攻击区确定、发射条件判断、形成火控指令等火力控制问题的解算更加复杂,因此要着重研究以各类精确制导弹药为主战武器的火力控制问题。而以往的航空火力控制原理主要适应航炮、航箭、航弹等非控武器,因为它们的射程短、散布大、威力小,已退居次要地位。

3. 火力控制问题更加复杂,精度要求不断提高

在武器弹药性能提高、射程和投射后的飞行时间均比以往大大增加的同时,系统采用脉冲多普勒雷达和光电探测设备组成的目标探测分系统,惯导和大气数据计算机等组成的导航和载机信息传感分系统,以及进一步采用通信导航识别分系统、作战飞机的 C³I 系统等,应用多源数据融合技术,充分发挥多种探测手段的优势,实现空、天、海、地全方位信息融合,空地一体化作战指挥控制,因而目标的机动运动、载机速度和姿态的变化、风速风向的变化等随机因素的影响已不容忽视,于是火力控制问题变得更加复杂,解算需要考虑的变量增加,目标运动规律的预测、外推,目标、载机运动参数测量数值的滤波处理等,都要求比较精确。因此对载机、武器弹药、目标的相对位置和运动学方程,火力控制方程、原理公式等的处理精度都大大提高。

4. 技术内容和研究方法 with 部队不断采用的新技术、新装备相适应

当代综合火控系统和综合航空电子系统普遍采用了先进座舱显示技术、操纵控制技术、电传控制技术,具有先进的电子对抗装备和措施,采用机内自检(上电自检、周期自检、维修自检)、系统重构、功能降阶、冗余设计、容错设计、防差错设计等提高系统的可靠性、维修性、检测性,具有综合化、数字化、自动化与智能化的特点。火力控制问题研究技术内容,要与不断采用的新技术、新装备相适应,要与系统战术技术指标的不断提高相适应。在研究方法上,以往火力控制问题的解法,以几何法和向量方程法为主。几何法物理概念清楚,浅显易懂,但推导不严密。向量方程法推导严密,但物理概念不易直接引出。总的看几何法和向量方程法更适合用于非控武器火力控制问题求解。在第三、四代军用作战飞机上,以各类精确制导弹药为主战武器装备,因此火力控制问题的解法,除了应用向量方程法之外,已逐渐采用计算机模拟法。虽然目前由于受到计算机速度的限制,计算实时性还比较差,但是适于求解可控武器复杂的火力控制问题,则是其突出的优点。

随着计算机技术和计算技术的发展,将来用计算机直接解算火控方程、弹道微分方程、滤波方程、控制方程等而无须对方程进行任何近似和简化处理,则完全是可能的。

本书主要研究军用作战飞机引导载机至作战空域,探测、识别、跟踪、瞄准目标,控制武器弹药按确定方向、时机、密度和持续时间投射,制导、控制武器弹药命中目标,判定作

战效果,引导载机退出的各个阶段的攻击全过程中,攻击目标的控制规律、瞄准原理和瞄准方法,是进行机载火控系统和航空电子系统维护使用工作的理论基础。

复习思考题

1. 查阅相关文献,进一步理解机载武器系统、机载火控系统的概念和内涵。
2. 简述机载火控系统的工作过程。
3. 归纳机载火控系统各发展阶段的特点。
4. 当前航空火力控制原理具有的特点是什么?

第2章 常用坐标系及其转换

为描述载机、目标、武器弹药的相对位置和运动学、动力学特性,建立攻击引导、武器投放的数学模型,就必然要选取适当的坐标系。同一火力控制问题,选取不同的坐标系来描述,其位置坐标和运动学、动力学方程是不同的,但是对于某一确定的火力控制问题而言,绝不会因为所选取的坐标系不同而得到不同的结果。因此,从这个意义上讲,坐标系的选取可以是任意的。坐标系如何选择和飞机上的具体火力控制设备无关,但是选择不同的坐标系,所得到的载机、目标、武器弹药的位置坐标和运动学、动力学方程的形式不同,数学模型不同,求解的方法和难易程度也不同,甚至还会影响到具体火控系统的结构、机构不同,因此应根据具体的攻击引导、火力控制问题,选取恰当的坐标系。

本章主要介绍航空火力控制原理中涉及的主要坐标系,包括空对空攻击、空对面攻击和载机攻击引导所使用的主要坐标系的定义和作用,以及坐标变换的原理和方法。

2.1 坐标系的定义及转换

由于载机、武器弹药均在空中飞行,即在三维空间中做攻击运动,因此通常选用三维直角坐标系进行研究;而在飞机导航中应用较普遍的是球面坐标系。下面分别对这两种坐标系进行介绍。

2.1.1 直角坐标系

1. 直角坐标系的定义

直角坐标系($OXYZ$)是指坐标原点为 O , OX 、 OY 、 OZ 三轴相互垂直的右旋坐标系。

在这里,定义惯性坐标系为与惯性空间固连或相对于惯性空间作等速直线平移的直角坐标系;非惯性坐标系为相对于惯性空间作加速度运动的直角坐标系。

所谓惯性坐标系是指静止不动的、或仅做等速直线运动而无转动、无加速度运动的参照系。只有在惯性坐标系中,牛顿力学和运动学定律才是严格成立的。由于物质的运动是永恒的,同时也很难找到一个仅作等速直线运动而无加速度运动的物体,因此真正的惯性坐标系只在理论上存在。如果忽略地球围绕太阳的公转和地球的自转运动,那么可以近似认为原点取在地心上、与地球固连的地球坐标系是惯性坐标系。但在研究远距引导、导航问题时,又必须计入地球转动的影响,在这种情况下,地球坐标系又成为非惯性坐标系。总之,关于惯性坐标系,也就是牛顿力学定律的适用范围,应当视具体情况而确定,使研究问题既得以简化,又能保证必要的准确度。

2. 直线平移坐标系的转换

图2-1-1所示的 $(OXYZ)_1$ 、 $(OXYZ)_2$ 为两个直角坐标系, $(OXYZ)_1$ 相对于惯性坐标