

航空综合火力 控制原理

张 安 周志刚 编著



西北工业大学出版社

航空综合火力控制原理

张安 周志刚 编著

西北工业大学出版社

1997年9月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书反映了当今航空火力控制原理的最新成果,阐述了火力控制攻击全过程,包括引导、瞄准、制导的基本理论和分析、解算方法等。主要内容是航空综合火力控制问题的描述,目标位置及运动规律的确定,载机向目标区域的引导,非控武器和制导武器火力控制原理以及研究航空武器散布的基本理论。

本书可作为航空火力控制、航空武器作战效能分析等专业本科生和研究生的教材,也可作为有关专业工程技术人员的参考书。

航空综合火力控制原理

张安 周志刚 编著

责任编辑 雷 鹏

责任校对 樊 力

*

©1997 西北工业大学出版社出版发行

(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 8493844)

陕西省新华书店经销

陕西省富平县印刷厂印装

ISBN 7-5612-0990-8/TP·136

*

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:10.0625 字数:242 千字

1997 年 9 月第 1 版

1997 年 9 月第 1 次印刷

印数:1—1300 册

定价:15.00 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

序

近年来,科学技术在世界范围内取得异常迅猛的发展,并深刻改变着世界的社会经济面貌和军事斗争面貌,引发了军事领域一系列革命性的变化。世界已经进入新的军事革命时期。

面对机遇和挑战,中央军委明确提出了“两个根本性转变”的战略思想。这一战略思想的提出,对于现代化建设正处于关键时刻的我军来说,无疑是“坚冰已经打破,航道已经开通,方向已经指明”。

如何适应方兴未艾的世界军事革命的历史潮流,如何培养适应军委新时期战略方针需要的面向 21 世纪的军事工程技术人才,是摆在军事工程教育工作者面前的严肃课题。加强对国内外高新技术的跟踪研究,用高新技术改进、提高现有武器装备的效能,增强武器装备中的高技术含量,是迎接挑战的重要对策,也是提高我军现有装备水平的根本措施。

本书作者站在学科建设的前沿,着眼于新型装备发展的前景,博采众长,推陈出新,编写了《航空综合火力控制原理》一书。全书以第二代战斗机武器装备为起点,第三代为重点,着力介绍了国内外有关航空火力控制的全新理论和前沿知识,全面阐述了空中攻击过程,包括引导、瞄准、制导的基本理论,具有起点高、内容新、系统完整和信息量大的特点。本书是西北工业大学与空军工程学院进行学术交流与合作的可喜成果。

本书不仅适用于航空火力控制专业、作战效能分析专业的本

科生、研究生,同时,也可供有关科技人员参考使用。

随着军事科学技术的发展和军事武器装备的更新,我们相信,一定会有更多更高水平的军事科学技术新著不断涌现,为国防现代化建设作出新贡献。

宋殿毅

1997年6月于空军工程学院

前 言

为适应当今航空火力控制技术的迅速发展,介绍国内外有关高新技术知识,由西北工业大学电子工程系和空军工程学院航空兵器工程系合作编著、出版了《航空综合火力控制原理》一书。本书删除了第一代作战飞机装备的光学瞄准具有关内容,着眼于第二代、第三代作战飞机装备的平视显示/武器瞄准系统、航空综合火力控制系统。本书详细阐述了火力控制攻击全过程,包括引导、瞄准、制导的基本理论和分析、解算方法,重点突出了制导武器(空对空导弹、空对地导弹、制导炸弹和鱼雷等)的火力控制原理,以及研究航空武器散布的基本理论。书中内容还融进了编著者们多年来的教学经验,尽可能多地吸收了近年来学术和科研的最新成果。总之,作者力图使本书内容的系统性、知识的深广度,与国内原有的有关航空火力控制原理教材和专著相比具有较大的改进与提高。

全书共有十章。第一、二、三章为基础知识,主要介绍航空综合火力控制系统的发展概况、功能和组成等基本概念,解算航空火力控制问题的各种坐标系和两种解法。第四章讲述目标位置及运动规律的确定。第五章讲述载机向目标区域引导的原理和方法。第六、七章讲述非控武器空对空射击、空对地攻击火力控制原理。第八章讲述机载制导武器火力控制原理。第九章介绍研究航空武器散布的基本理论。第十章则概要介绍航空综合火力控制原理的发展趋势和展望。

本书的第一、二、三、六、七章由周志刚教授编写,第四、五章由

张安副教授编写,第八章由朱培申教授编写,第九章由高晓光教授编写,第十章由张安副教授、朱培申教授共同编写。朱培申教授为本书体例结构、章节安排、内容选编和审查定稿作了大量工作,高晓光教授提供了她在莫斯科航空学院进修期间所做工作资料,为本书能尽量吸收国外先进技术创造了有利条件,于雷副教授、陈大庆副教授也参加了本书编写大纲制定、书稿讨论及部分章节的编著工作,张安副教授负责审查统稿并联系出版工作。

本书从立项、编写、审查到出版,自始至终都得到了空军工程学院宋殿毅院长的支持和关心,西北工业大学张滋烈教授、佟明安教授为本书的编著提出了许多宝贵意见和建议,在此一并表示深切的谢意。

希望本书的出版有助于我国航空火力控制技术的发展。由于编著者水平所限,书中难免有疏漏和错误之处,恳请读者批评指正。

编著者

1997年6月于西安

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 航空火力控制系统	1
1.1.3 航空火力控制系统的发展	2
1.1.4 航空火力控制原理	4
1.2 航空综合火力控制系统简介	4
1.2.1 系统的形成	4
1.2.2 系统的功能	5
1.2.3 系统的技术特点	6
1.3 航空综合火力控制原理简介	7
1.3.1 航空火力控制原理的发展	7
1.3.2 本书内容简介	8
第 2 章 坐标系的选取与转换	9
2.1 直角坐标系及其转换	10
2.1.1 直角坐标系	10
2.1.2 直线运动坐标系的转换	10
2.1.3 转动坐标系的转换	12
2.1.4 用四元数法进行坐标系变换的简介	17
2.2 描述和解算航空综合火力控制问题的坐标系	21

2.2.1	基本坐标系	21
2.2.2	描述和解算航空射击火力控制问题的坐标系	26
2.2.3	描述和解算轰炸火力控制问题的坐标系	35
2.2.4	描述和解算引导问题的坐标系	43
2.2.5	描述和解算可控武器制导问题的坐标系	55
第3章	火力控制问题的基本解法	60
3.1	几何法	60
3.2	矢量方程法	63
3.2.1	矢量、矢量图、矢量方程	63
3.2.2	矢量方程法	73
第4章	目标位置及运动规律的确定	75
4.1	空中目标位置、速度、加速度的测量	75
4.1.1	用雷达跟踪装置进行测量	76
4.1.2	用目视光学装置进行测量	77
4.2	地面目标位置、速度的测量及风速、风向的测量	80
4.2.1	应用多普勒效应测量地速的原理	80
4.2.2	应用惯性导航系统测量地速的原理	83
4.3	目标运动规律的滤波及外推	84
4.3.1	引言	84
4.3.2	离散型卡尔曼滤波与外推算法	86
4.3.3	综合火力控制系统的 $\alpha-\beta-\gamma$ 滤波	91
4.3.4	目标运动状态方程和观测方程	94
4.4	目标运动规律表达式	95
4.4.1	导数表达式	95
4.4.2	目标运动视准装置角速度表达式	98

第 5 章 载机向目标区域的引导	100
5.1 引言	100
5.2 飞机导航系统	102
5.2.1 惯性导航系统	102
5.2.2 无线电导航系统	104
5.2.3 多普勒导航系统	106
5.2.4 卫星导航系统	107
5.2.5 无线电定向原理	108
5.3 载机向空中目标空域的引导	109
5.4 载机向地面目标空域的引导	119
5.4.1 主要大圆航线坐标系和局部大圆航线坐标系的建立	119
5.4.2 载机坐标的计算	121
5.4.3 载机沿经过中间地标的局部大圆航线飞行的保障	123
第 6 章 非控武器空对空射击火力控制原理	127
6.1 前置跟踪瞄准原理	127
6.1.1 前置跟踪射击	127
6.1.2 前置跟踪射击火力控制系统的典型结构形式	146
6.1.3 WW 类系统火力控制原理	153
6.1.4 GG 类系统火力控制原理	177
6.2 示迹线瞄准原理	182
6.2.1 基本原理与特点	183
6.2.2 真实示迹线的理论计算	186
6.2.3 真实示迹线的工程计算	190

第 7 章 非控武器空对地攻击火力控制原理	206
7.1 轰炸火力控制原理	206
7.1.1 基本知识	206
7.1.2 连续计算命中点瞄准原理	224
7.1.3 连续计算投放点瞄准原理	230
7.1.4 延迟连续计算命中点瞄准原理	240
7.2 空对地射击火力控制原理	242
7.2.1 空对地射击 CCIP 瞄准原理	243
7.2.2 空对地射击条件的选择	246
第 8 章 机载制导武器火力控制原理	251
8.1 引言	251
8.2 空对空导弹火力控制	252
8.2.1 空对空导弹的飞行路线	252
8.2.2 近距导弹的火力控制	254
8.2.3 中距雷达制导导弹的火力控制	259
8.2.4 多目标攻击原理	271
8.2.5 空对空导弹发射区的计算	282
8.3 空对面制导武器的火力控制	289
8.3.1 空对面制导武器简介	289
8.3.2 空对地导弹的发射控制	290
8.3.3 反坦克导弹的发射控制	291
8.3.4 反辐射导弹的发射控制	292
8.3.5 反舰导弹的发射控制	294
8.3.6 制导炸弹的投放	294

第 9 章 航空武器的散布	296
9.1 散布的概念及意义	296
9.2 散布的特征	297
9.3 散布产生的原因	301
9.4 研究散布的方法	303
第 10 章 航空综合火力控制原理的发展趋势	306
参考书目	309

第 1 章 概 论

1.1 基本概念

1.1.1 机载武器系统

军用作战飞机上用以攻击、摧毁目标的装备,称为机载武器系统(Airborne Weapon System)。

装备有机载武器系统是军用作战飞机的主要特征。机载武器系统由机载武器弹丸、火力控制系统和悬挂/发射装置组成。其作用是对目标进行探测、识别、跟踪、瞄准和攻击,使投射的武器弹丸能命中目标,直接完成作战任务。机载武器系统的性能和质量,直接决定了军用作战飞机的作战能力,事实证明,在现代战争中,空中对抗实际上就是机载武器系统的对抗。

1.1.2 航空火力控制系统

对目标进行探测、识别、跟踪、瞄准,控制武器弹丸投射方向、时机、密度和持续时间的机载电子设备,称为航空火力控制系统(Airborne Fire Control System),简称为火控系统。

航空火力控制系统的组成和工作原理,随着军用作战飞机战术需求的提高和科学技术的进步而不断拓宽和发展。

航空火力控制系统的基本组成包括目标参数测量装置、载机参数测量装置、火力控制计算机、瞄准显示装置、操纵控制部件以

及外挂物管理系统、视频记录系统等。

航空火力控制系统的基本工作原理是：机载火力控制系统和地面指挥系统、导航系统协同工作，将载机引导至目标空域，使机载目标探测跟踪设备截获目标；由目标参数测量装置和载机参数测量装置，测定目标、载机相对位置、运动参数以及环境条件，连同装定的武器弹道参数一并送入火力控制计算机，根据确定的攻击方式及瞄准原理进行火力控制计算，将所得瞄准信息和操纵控制信息在瞄准显示装置上显示给飞行员，同时向外挂物管理系统、武器投射控制装置发出指令，使武器处于瞄准目标状态；待满足投射条件时，由飞行员人工或由武器投射控制装置自动地发出投射信息，将武器弹丸投射出去；对某些可控武器进行制导，直至命中目标。

1.1.3 航空火力控制系统的发展

1.1.3.1 瞄准具

60年代以前，火力控制系统这一称呼还不普遍，统称为瞄准具，英美称 Sight，前苏联则称 ПРИЦЕЛ。后来美国将“瞄准具+雷达”称为火力控制系统，因此可以说瞄准具是第一代火力控制系统。早期的瞄准具是机械固定环瞄准具(Iron Sight)，它只是一个简单的机械装置，靠飞行员心算瞄准，之后有了半自动、自动的机电式光学瞄准具，按照其功能又区分为射击瞄准具(Gun Sight)、轰炸瞄准具(Bombing Sight)。采用机械、机电、电子模拟计算机完成火力控制计算，瞄准显示装置为视准式光学系统或望远镜光学系统，用普通的膜盒式传感器测量载机飞行高度、速度，采用外基线光学测距或雷达测量目标距离，可以和红外线观察仪、雷达等交联工作，实现夜视或复杂气象条件下对目标的瞄准。

1.1.3.2 平视显示/武器瞄准系统

60年代末到70年代，应用计算机技术和光电技术，出现了将

火力控制计算、显示计算由一台计算机完成,从而取代光学瞄准具与传统的航行仪表的既可观察到外界目标景物,又可观察到仪表指示、瞄准标志的平视显示/武器瞄准系统(HUD/WAS, Head Up Display/Weapon Aiming System),在歼击机、强击机、战术轰炸机上广泛装备。进而又把惯性导航系统(Inertial Navigation System)与火力控制系统综合在一起,形成了以射击为主的导航/攻击系统(NAS)和以轰炸为主的导航轰炸系统(NBS)。它们可以称之为第二代火力控制系统,装备在第二代军用作战飞机上使用。

1.1.3.3 综合火力控制系统

70年代到80年代,形成了第三代火力控制系统。将由脉冲多普勒雷达和红外激光等光电传感器组成的目标探测系统,惯性导航系统和大气数据计算机、无线电高度表等组成的引导和载机信息传感系统,平视显示器、下视显示器、多功能显示器、握杆操纵(HOTAS)组成的任务显示控制系统、管理武器弹药投射的外挂物管理系统以及任务计算机、数据传输系统、视频记录系统等,用串行数字多路数据总线联网组成综合火力控制系统(Integrated Fire Control System)。

80年代后期以来,在综合火力控制系统的基础上,更进一步将联合战术分配系统、全球定位/导航星系统等组成的通讯导航识别系统,即作战C³I(Command Communication Control and Information)系统,飞行控制系统,电子战系统,非航空电子系统(如推力控制)等综合在一起,使之在作战阶段处在最佳匹配状态,形成了统一控制、管理与显示的高度综合化、自动化、数字化、智能化的航空电子系统(Avionics)。该系统的功能仍以火力控制为核心,在对目标实施攻击时,系统处于火力控制状态,导航飞行时,又转而处于导航状态。因此原有的火力控制系统的概念和内涵有了很大的扩展,以致其界面变得模糊和抽象了,从功能上说是综合火力控制系统,而从技术学科范畴上说则是航空电子系统。

第三代军用作战飞机上大都装备综合火力控制系统。航空电子系统仍在发展之中,下个世纪的第四代军用作战飞机上将主要装备这种航空电子系统。

1.1.4 航空火力控制原理

航空火力控制原理通常称为瞄准原理,是分析研究从载机上投射武器弹丸攻击目标的控制规律、瞄准原理、瞄准方法的专门理论。随着飞机、武器的战术技术性能的提高,随着攻击方式方法的发展,该理论也获得了发展,它是航空火力控制系统原理论证、结构设计、制造工艺、检验测试、效能评定、维护使用的理论基础。其内容包括:

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

(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) 掌握火力控制规律,确定正确的瞄准方法。

1.2 航空综合火力控制系统简介

1.2.1 系统的形成

本世纪 70 年代以来,随着航空航天技术、电子技术、自动控制技术,尤其是计算机技术的飞速发展,促使军用作战飞机、航空武器装备发展到了一个崭新的阶段,出现了第三代超音速战斗机并陆续服役使用,其代表机型有美国的 F-14, F-15, F-16, 俄罗斯的米格-27, 米格-29, 米格-31, 苏-27, 法国的幻影 2000 等。第三代超音速战斗机与第二代战斗机相比较,最大飞行马赫数仍为

2.0 左右, 升限也没有大变化, 但突出了中低空、亚跨音速的机动能力, 即突出了所谓格斗性能, 其爬升率、盘旋半径、稳定和瞬时盘旋角速度、加速性都有大幅度提高。为适应格斗性能要求, 机载武器系统也有很大的改进和发展。

(1) 机载武器配备了速射航炮和第三代的中、远程拦射导弹和近距格斗导弹;

(2) 机载火控雷达为具有下视能力、多目标跟踪能力以及故障隔离和自检能力的第三代雷达;

(3) 机载火力控制系统从第二代的平视显示/武器瞄准系统(HUD/WAS)发展为第三代的综合武器火力控制系统(IWFCS), 或称综合火力控制系统(IFCS)。

综合火力控制系统在从第二代的平视显示/武器瞄准系统发展而成的过程中, 着重贯彻和体现了综合化、数字化、自动化的设计思想。其综合化是指:

信息综合——资源共享、信息的综合使用, 快速与综合的总线传输;

功能综合——统一控制、管理与显示, 关键功能的重选与降级处理;

硬件综合——硬件功能的合理分配及余度技术, 分布式微机系统的重构;

软件综合——软件接口的统一调度, 软件模块设计, 支持软件、应用软件与执行软件的一体化和标准化设计;

检测综合——系统对全部分系统、各种功能与模块进行统一检测, 故障隔离、显示与处理。

1.2.2 系统的功能

作为新一代的综合火力控制系统, 其功能比以往的火力控制范畴有了较大的扩展和外延; 包括了载机向目标空域的引导, 使载