

现代火控理论 与应用基础

薄煜明 郭 治 钱龙军 王 军 著
李银伢 戚国庆 盛安冬 赵高鹏



科学出版社

现代火控理论与应用基础

薄煜明 郭 治 钱龙军 王 军 著
李银伢 戚国庆 盛安冬 赵高鹏

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了火控系统的定义、功能、分类,以及火控技术的发展和火控理论研究的范畴;结合作者的研究工作,着重探讨了目标航迹处理、命中分析、行进间火力控制、平稳动态误差分析、射击效能分析、校射等火控系统论证、分析与设计中必需的,以及具有通用性与指导性的概念、原理与方法。

本书主要面向从事武器火控系统和武器系统研究的科研工作者,可以为火控系统的研发建立必要的理论与应用基础,也可以为整个武器系统内部的优化提供帮助;适合导航、制导与控制学科,特别是从事火控系统研究的研究生作为教材或参考书;作为估计与随机控制理论的一个实用性分支,对从事自动控制理论与应用研究的科技人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

现代火控理论与应用基础/薄煜明等著. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-036146-2

I. ①现… II. ①薄… III. ①火控系统-研究 IV. ①E92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 293022 号

责任编辑:裴 育 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:张 倩 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

涿州印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 12 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012 年 12 月第一次印刷 印张:19 3/4

字数:388 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是在 1996 年国防工业出版社出版、郭治撰写的《现代火控理论》一书的基础上,以现代估计与控制理论为工具论述武器火力控制(简称火控)理论,结合作者近年来在武器火控系统理论和应用方面研究的最新成果撰写而成的著作。

本书主要面向武器火控系统的科研工作者,着重探讨了火控系统论证、分析与设计中具有通用性与指导性的概念、原理与方法,为火控系统的研发建立必要的理论与应用基础;有助于从事武器系统研究的科研人员了解火控系统需要的与给出的信息之特点,为整个武器系统内部的最佳匹配提供帮助。

本书的另一类主要读者是导航、制导与控制学科,特别是从事火控系统研究的硕士和博士研究生,通过本书可以了解火控的基本理论、解决问题的方法,以及前沿性的课题,为他们奠定坚实的理论与应用基础。

本书作为估计与随机控制理论的一个实用性分支,对从事自动控制方面研究的科技人员也有参考价值。

为便于阅读,建议读者具备自动控制理论与随机过程等方面的基础知识。

本书共 7 章,全书结构及章节内容安排由薄煜明、郭治、盛安冬会同全体作者共同讨论确定。第 1 章为绪论,介绍火控系统的定义、功能、分类,以及火控技术的发展和火控理论研究的范畴。该章由薄煜明主笔。第 2 章为目标航迹处理,讨论目标航迹及其测量装置的建模问题,根据目标机动性能日渐提高、目标测量装置日趋复杂的情况,对工程中常用的几种目标运动模型和测量模型进行论述和分析。对最小方差估计和卡尔曼滤波的基本概念和原理进行论述,并将标准的卡尔曼滤波推广为航迹噪声与测量噪声具有相关性的一般形式的卡尔曼滤波。针对待估计的目标状态与测量呈非线性关系时的几种非线性估计方法进行论述,并对几种多模型滤波方法进行讨论。该章由戚国庆主笔。第 3 章为命中分析,从火控需求入手,讨论弹道方程及其简化、射表及其逼近;在阐述命中方程建立与求解的基础上,重点讨论命中方程解的存在性、孤立性、连续性、可导性、稳定性、解的分布区域(允许与禁止射击区域)、解的收敛性以及最佳投影轴系等问题。该章由李银伢主笔。第 4 章为行进间火力控制,在探讨行进间火控命中问题特点的基础上,重点讨论载体姿态测量、载体运动对射击的影响、扰动的解耦与利用载体的运动改善射击效能的问题,并讨论将行进间火控问题转化为停止间火控问题求解的条件,使得前面章节所阐述的火控理论可适用于行进间的火控问题,从而带来事半功倍的效果。该章由钱龙军主笔。第 5 章为平稳动态误差分析,根据射击误差的构成与特点,应

用误差时空特征对武器系统的射击误差进行分析。该章由王军主笔。第6章为射击效能分析,在给出射击误差完备的战技指标集的基础上,推导连射与逐发瞄准射击体制下毁伤概率的数学表达。该章由郭治主笔。第7章为校射,在分析弹目偏差数学模型的基础上,重点讨论为提高射击精度而采用的各种闭环校射方法。该章由薄煜明、赵高鹏主笔。

感谢朱纪洪、单甘霖、胡金春、王艳霞、徐惠钢、王华、臧文利、张贤椿等,本书的很多观点与结论来源于他们同作者多年合作科研的成果;还要感谢陶德进、索晓峰、从金亮、王天雄等博士生,他们为本书的撰写搜集了大量资料,并完成了大量的书稿处理工作,为本书的顺利出版做了重要贡献。

作为学术著作,本书是按作者对火控理论的理解以及最新研究成果来选择材料、编排内容、阐述命题的,并融入了作者的观点,如火控系统的定义、火控理论研究的范畴、命中方程解的分析与容许射击区域、弹目偏差的分类及其广义马尔可夫性质、各种类型的校射等。若存在不妥之处,恳请读者不吝指正。

作 者

2012年6月于南京理工大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 火控系统及其任务	1
1.2 火控系统功能	2
1.3 火控系统分类	5
1.4 火控技术发展	6
1.5 火控理论范畴	7
参考文献	8
第 2 章 目标航迹处理	9
2.1 目标跟踪	9
2.1.1 目标跟踪的基本环节	10
2.1.2 常用术语	11
2.1.3 实例说明	14
2.2 航迹模型	17
2.2.1 多项式模型	18
2.2.2 随机模型	20
2.2.3 多模态航迹模型	31
2.3 航迹测量模型	39
2.3.1 直接测量模型	40
2.3.2 间接测量模型	42
2.3.3 观测器模型	44
2.3.4 广义差分测量模型	46
2.4 航迹滤波与预测	48
2.4.1 估计概论	48
2.4.2 最小方差估计	49
2.4.3 线性最小方差估计	50
2.4.4 递推滤波与预测	51
2.4.5 最小二乘估计算法	71
2.4.6 常用的非线性滤波算法	78
2.5 目标状态的多模型估计方法概述	85

2.5.1 多模型方法简述	85
2.5.2 定结构多模型估计	87
2.5.3 交互式多模型	89
参考文献	90
第3章 命中分析	91
3.1 命中概论	91
3.2 弹道方程与射表	94
3.2.1 弹道方程	94
3.2.2 射表	101
3.2.3 射表逼近与延拓	105
3.3 命中方程与命中方程的求解	114
3.3.1 命中方程	114
3.3.2 命中方程的求解	120
3.3.3 命中解的竞争与射击时机分析	127
3.3.4 命中问题的顺解法与逆解法	130
3.4 命中方程分析	136
3.4.1 命中方程解的存在性、唯一性和光滑性	136
3.4.2 命中方程解的收敛性分析	139
3.5 允许与禁止射击区域	157
3.5.1 允许射击条件与允许射击区域	157
3.5.2 禁止射击区域	162
参考文献	166
第4章 行进间火力控制	168
4.1 载体运动分析	168
4.1.1 载体转动	169
4.1.2 载体平移	170
4.2 载体运动参数测量	171
4.3 共轴与解耦	174
4.3.1 跟踪线与武器线共轴	174
4.3.2 解耦	176
4.3.3 驱动方式	178
4.4 载体转动的隔离	179
4.5 载体平移的利用	181
4.5.1 平移对测量方程的影响	182
4.5.2 行进与火力综合控制	183

4.5.3 动态测量基线	189
4.6 行进间射击命中问题	193
参考文献	197
第5章 平稳动态误差分析	198
5.1 误差的时空特征量	199
5.1.1 时空特征量	199
5.1.2 误差的自然频率	200
5.2 目的域	202
5.2.1 目的域的由来	202
5.2.2 目的域的作用	203
5.3 离散序列对目的域的随机穿越特征量	204
5.3.1 引言	204
5.3.2 概率转移阵	204
5.3.3 随机穿越特性分析	211
5.4 连续过程对目的域的随机穿越特征量	216
5.4.1 对水平线的穿越频率	216
5.4.2 对水平直线带的穿越频率	219
5.4.3 随机穿越的概率转移速度	220
5.4.4 随机穿越的概率特性	222
5.5 首次穿越特性分析	237
5.5.1 首次待机时间	238
5.5.2 首次滞留时间	247
5.5.3 N 维马尔可夫序列首次穿越特性	252
参考文献	255
第6章 射击效能分析	256
6.1 脱靶量的定义与检测	256
6.1.1 脱靶量定义	256
6.1.2 脱靶量检测	258
6.1.3 折合弹目偏差	262
6.2 射击误差分解	262
6.2.1 射击误差的零状态	262
6.2.2 碰炸弹药与近炸弹药的射击误差	263
6.2.3 火控解算误差分解	265
6.2.4 随动误差分解	267
6.2.5 火炮误差分解	268

6.2.6 射击冲击误差分解	269
6.2.7 误差的相关性分类	271
6.3 有限历程的各态历经序列的统计特性	272
6.3.1 一阶各态历经序列的数学模型	272
6.3.2 有限历程均值与有限历程方差	273
6.4 射击误差分析	277
6.4.1 射击误差的数学模型	277
6.4.2 射击误差统计特征的完备集	280
6.4.3 射击误差的完备战技指标集	282
6.5 武器系统的命中概率	285
6.5.1 逐发瞄准武器系统的命中概率	286
6.5.2 速射武器系统的命中概率	287
6.6 武器系统的毁伤概率	288
6.6.1 几何毁伤律	288
6.6.2 毁伤概率计算式	289
参考文献	291
第7章 校射	292
7.1 概述	292
7.1.1 校射效益指数	292
7.1.2 校射程式	294
7.2 示踪瞄准	296
7.3 大闭环校射	299
7.3.1 逐发大闭环校射	300
7.3.2 点射大闭环校射	301
7.4 实时闭环校射	302
7.4.1 弹头状态方程	303
7.4.2 期望弹道	304
7.4.3 弹头控制量与实际弹道	305
7.4.4 目标运动模型	306
7.4.5 命中方程	307
7.4.6 命中方程求解	308
参考文献	308

第 1 章 绪 论

当代的陆基、车载、舰载、机载、星载的硬杀伤武器,如各种火炮(牵引炮、自行炮、坦克炮、舰炮、航炮等)、炸弹、鱼雷、水雷、战术火箭与战术导弹等,其弹头或战斗部(以下统称弹头)都有一个杀伤威力范围,为了充分发挥弹头的毁伤能力,必须及时准确地将弹头发射到敌方目标区域。因此,需要为硬杀伤武器配置一系列装置与设备,构成一个武器系统,协同执行作战任务。一个武器系统通常由三部分组成:火力系统、控制系统与运载系统。一个完备的武器控制系统应包括:火控系统、制导系统、指控系统、导航系统。现代的武器控制系统集控制、计算机、电子、光学、导航、信息与通信等先进技术于一体,它不仅是武器系统不可缺少的一部分,而且是武器系统现代化程度的标志,被誉为武器火力威力的倍增器。

武器研发的重要任务之一就是为硬杀伤武器配备先进的火控系统,因此火控理论的研究是一项重要的基础性工作,结合作者的研究工作介绍相关应用技术基础,则可为缺乏实际经验的读者降低入门的门槛。

为了使读者能概略地了解本书,作为绪论,本章先来阐述火控系统研究的对象、目的与范畴。

1.1 火控系统及其任务

控制武器自动或半自动地实施瞄准与发射的装备总称为武器火力控制系统,简称火控系统。为了完成火控任务,火控系统必须搜索、瞄准并跟踪目标,预测弹头与目标的相遇点,并控制武器对相遇点实施射击。火控系统通常包括:火控计算机、目标搜索与指示装备、目标跟踪与测量装备、气象与弹道条件测量装备、载体运动参数测量装备、定位定向装备、脱靶量测量装备、武器发射控制系统、载体控制系统以及通信系统。

射击诸元是指,能将弹头送达目标区域所相应的武器身管或发射轨的方位角与高低角,对具有时间引信的弹头还有引信分划,对制导武器与水中武器还可能包括飞行距离、转向角、定深和散角。准确、实时地求出射击诸元并将其赋予武器是火控系统最核心的任务之一。

为了提高瞄准、发射的快速性与准确性,增强对恶劣战场环境的适应性,充分发挥武器对目标的毁伤能力,非制导武器应配备火控系统。战术制导武器常配备简易火控系统。简易火控系统为武器提供概略的射击诸元,可明显地改善制导系

统的工作条件,减少制导系统的失误差率。

将弹头送达目标区域是武器的火控系统与制导系统共同的任务。传统意义上,这两个系统分工的界面在弹头离开身管或发射轨的那一瞬时。火控系统对弹头的控制主要是通过对武器的身管或发射轨的控制来实现的,也就是说,它在于赋予弹头以初速的方向。至于火控系统赋予弹头的飞行时间、飞行距离、转向角、定深和散角等,均是在弹头离开身管或发射轨那一瞬时前的预测值。弹头一旦离开身管或发射轨,火控系统将失去对弹头的控制。因此,火控系统的误差必须严格控制。对制导武器而言,纠正并克服发射时控制误差与预测误差导致的弹头对目标的偏离,是制导系统的任务。

随着技术的发展,介于导弹和无控弹头之间的各种智能弹药大量涌现,成为低成本精确打击的主力军。传统意义上,火控系统与制导系统以离开身管瞬间作为分界点又有了新的问题,火控与制导功能兼备的实时闭环校射火控系统应运而生。实时闭环校射火控系统是将传统火控反馈控制功能一直延伸到弹头的火控系统,兼具传统火控系统及制导控制系统的功能。

在以高技术装备的武器体系相对抗的现代战争中,火控系统是战术 C³I(指挥、控制、通信与情报)系统的一个重要终端。它搜寻并跟踪指控系统分配给它的目标,并依照指控系统的指令及指挥员发射弹头的命令实施射击。

1.2 火控系统功能

为了完成火控系统的任务,火控系统通常包括如图 1.1 所示的功能模块。

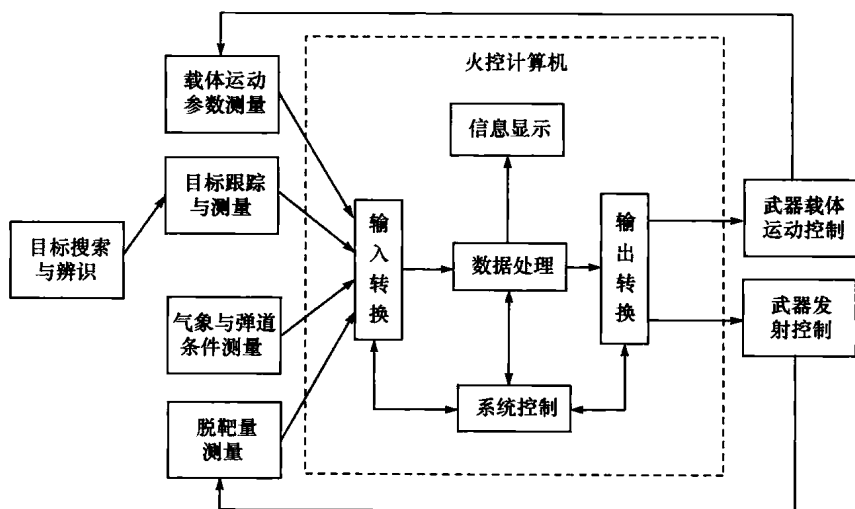


图 1.1 火控系统功能方框图

1. 目标搜索与辨识

火控系统首先根据指控系统关于目标分配的指令或指挥员的命令,在指定的方位或区域内搜索目标,一旦搜索到目标即转入目标辨识,辨明了目标的敌我属性和特性才能进行下一步的工作。

目标搜索与辨识可以由人工或借助观测器材完成,火控系统中常用的观测器材有:雷达、光学器材、微光夜视仪、红外热像仪、电视跟踪仪、声测机、声呐等。对固定目标还可使用地图、航空、卫星照片等。搜索到目标后,应进一步对目标的类型(车辆、飞机、舰船、导弹、设施、人员等)、型号、数量及敌我属性进行辨识。目标辨识应尽量自动化,在现有条件下,敌我辨识最有效的工具是电子敌我识别器。

2. 目标跟踪与测量

完成目标的搜索和识别后即可对目标进行跟踪与测量。具有较高精度的观测器材都可以用来测量目标位置参数。对于静止的目标,只需测量其位置参数;对于运动的目标,除了要测量其位置参数外,还需测量其运动参数。火控系统中所需的目标运动参数,如速度或加速度,主要靠估值理论,利用目标位置参数的实测值来加以估计,所以必须高精度地跟踪目标,不断地测量目标坐标。

一些特殊的应用场合,火控系统也常利用一些特殊手段来测量运动参数。例如,坦克主动防护系统会采用多普勒效应测量目标相对观测器材之纵向速度,等速圆弧运动假定的火控系统可利用测速陀螺测量目标相对观测器材的角速度等。

3. 气象与弹道条件测量

气温、气压、风速、风向等气象条件参数和弹头初速、药温、弹重等弹道条件参数均会对实际弹道产生影响,必须及时测量,并在求解射击诸元时予以考虑。

弹重偏差标于弹药之上,其余参数通常使用温度计、气压计、风速计、弹头初速测量仪测得。气象雷达与弹头初速测量雷达是目前较为先进的气象与弹道条件测量设备。由于气象条件是对全弹道起作用的,所以要测量不同高度的气象参数。

4. 载体运动参数测量

运载火控与火力系统的车辆、飞机与舰船如果处于运动之中,它们的平移参数(升沉、横移与纵移及其速度)与转动参数(偏航、俯仰、横滚及其角速度)既恶化了观测条件又改变了弹道条件,如不采取隔离与修正举措,势必严重影响射击效果。

利用三轴陀螺系统可以实时地测出偏航、俯仰与横滚三个角速度。在测出上述角速度的同时,令观测轴与武器身管或发射架相对载体做一量值相等方向相反的运动,则载体的转动即与整个射击过程隔离开来。利用无线电或卫星定位装置、

加速度计等可以测知载体的平移量,并在计算射击诸元时考虑其影响。对于振动式的平移,则应采取各种减振举措予以抑制。

为统一指挥分散配置的武器,载体导航系统应不断地向火控系统提供武器位置与基准方位信息,此即武器的定位与定向。

5. 脱靶量测量

由于难以控制的未知与随机因素的广泛存在,出现弹目偏差是难以避免的,这种偏差称为脱靶量。凡是能够观测并估计出脱靶量的观测器材都可用于脱靶量测量。炮兵校射雷达可在其波瓣有效区域内估测出弹头的落点,是一种先进的脱靶量测量工具。相控阵雷达可利用电子扫描实现高速多目标跟踪,可以用于脱靶量测量。摄像设备如能将目标与弹头同摄于一个视场之中,可以采用图像处理技术求取脱靶量。

6. 数据处理

现代火控系统由计算机来完成数据处理工作。这种计算机称为火控计算机,俗称指挥仪。这是火控系统数据处理的核心与中枢,其任务是存储有关目标、脱靶量、气象条件、弹道条件、武器载体的所有数据与信息;估算目标的位置与运动参数;根据弹道方程或存储于火控计算机中的射表求解命中点坐标;计算射击诸元并根据实测的脱靶量修正射击诸元;评估射击效果等。其目的是输出控制指令给武器随动系统,输出操纵指令给自动驾驶仪,并依照显示设备的要求输出数据与信息。

7. 武器发射控制

武器发射控制有两个任务:控制武器到达正确的射击位置;按指挥员命令与指控系统指令规定的方式实施射击。

为了赋予武器射击诸元,通常用电液式或机电式随动系统分别控制武器的方位角与高低角,使之与火控计算机的输出值相一致。如果有设置在弹头上的射击诸元,如引信分划(等价于弹头飞行时间)、飞行距离、转向角、定深与散角等,既可用数字通信方式,在弹头发射前输给弹内控制舱中的存储器,当然,也可考虑使用随动系统在发射前装定。当武器与其载体完全或部分固连时,如机载火炮、火箭与炸弹,其身管或发射轨完全与飞机固连,此时,火控计算机输出信息应传输给自动驾驶仪,驱动武器的载体向能使弹头命中目标的方向运动。

火控系统只是在求得射击诸元并将其赋予武器后,才给出允许射击的信息,而不形成射击的命令。在火控计算机给出允许射击的信息后,再按指挥员命令与指控系统指令规定的方式实施射击。

8. 信息显示与系统控制

为了充分发挥指挥与操作人员的主观能动性,火控系统中设置有信息显示与系统控制面板。它能直观形象地显示数据处理结果,简捷快速地输入与更新信息,以保证指挥与操作人员可以很方便地干预整个火控系统的控制流程。

9. 信息传输

火控系统各个部分之间以及它同外部的信息传递由有线或无线的、数字或模拟的信息传输与通信设备来完成,它们将火控系统连成一个整体,并成为战术 C³I 系统的一个有机组成部分。

为了便于火控系统扩充设备、增加功能、升级换代、向下兼容,火控系统必须是一个采用标准接口、规范网络的开放式的系统。作为 C³I 系统连接起来的整个战场上统一的武器体系的一个终端,火控系统内部通信与外部通信都必须服从整个武器体系所采用的计算机网络所规定的通信协议。

一个实用的火控系统所具有的功能模块的种类与规模是根据其所控制的武器性能与使用环境来设计与装备的。例如,用于停止间射击的武器,其火控系统就无须具有载体运动参数测量的功能;为了减轻重量、降低造价,某些山炮往往不配置武器随动系统,而由炮手按火控计算机给出的射击诸元在火炮上直接装定;由于既能跟踪快速目标又能同时观测高速弹头的设备技术复杂,价格昂贵,过去的高炮系统多不进行脱靶量测量,因而不能自动校射;用于近程反导弹的转管火炮与多联装火炮的火控系统,为了确保弹头的命中率,大多进行脱靶量自动检测,构成自动校射的大闭环火控系统。为了发挥不同观测器材的特点,确保在各种环境中均能获取所需信息,并提高它们在战场上的机动性,经常把多种观测器材组装在同一载体之中,构成相应的侦察车、侦察飞机、空中系留平台等装备。气象观测站(车、船)更集各种气象观测器材于一身,以完成大范围内的气象观测与通报任务。这些载有多种器材的侦察或观测车、船与飞机虽在承担火控系统任务,却自成一体独立于火控系统。为充分利用电子数字计算机的功能,可用同一部计算机分时完成火控、指控、制导与导航的任务。上述分析表明,从功能模块上界定火控系统的范围是容易的,但在硬设备上划定火控系统的界限是困难的。至于火控系统的用户,则完全可以根据管理与使用的方便划定火控系统的范畴,并隶属不同的单位,不宜也不可能做出统一的规定。

1.3 火控系统分类

火控系统按其控制的对象分类,有:火炮火控系统、火箭火控系统、导弹火控系

统、鱼雷火控系统、水雷火控系统、炸弹火控系统等。就火炮火控系统而言,又可分地炮、高炮、坦克、舰炮、航炮等火控系统。

火控系统按其服役的军种分类,有:地面火控系统、舰船火控系统、航空火控系统、航天火控系统。

火控系统按控制的目标函数分类,有:首发命中体制的火控系统、全射击过程毁伤体制的火控系统。

例如,某型坦克装备了首发命中体制的坦克火控系统,首先该火控系统是坦克火控系统,同时,该火控系统按控制的目标函数分类是首发命中体制的火控系统。

1.4 火控技术发展

对武器射击的控制,由最初使用的准星与表尺,发展到较复杂的射击瞄准具,都是依靠眼睛观测、手动操作的。自动化的火控系统直到第二次世界大战才首先在高炮射击控制中得到应用。当时的高炮火控系统采用了雷达和光学搜索与跟踪目标,机电式模拟计算机进行数据处理,随动系统驱动火炮,并用同步传动装置将上述各个部分连成一个自动化的防空综合体。战后,电子数字计算机逐步取代了机电式模拟计算机,使火控系统的功能大为提高,从仅能控制单个武器或多个相同武器对同一目标用同一诸元射击,发展为可控制不同类型的众多武器有计划地对多个目标用不同诸元射击,如控制高炮与导弹同时对高速的导弹与悬停的武装直升机进行射击。

代表火控系统发展前沿的领域目前有两个:一是集火控、指控、制导、导航为一体的武器综合控制系统,构成一个具有标准接口、规范通信协议的分布式计算机网络是发展武器综合控制系统的前提,而为了实现上述综合控制,一系列网络终端设施、系统软件与应用软件有待向此分布式计算机网络上移植或重新开发;二是实时闭环校射火控系统。随着制导武器、武装直升机、无人机在当代的战场上广泛而大规模地使用,发展反制武器系统已成为一项急迫的任务。由于目标速度快、机动灵活,打击的精确度和时效性要求大幅度提高,需要在发射后继续对飞行中的弹头进行控制,以满足精确打击要求。这又给火控理论、技术、结构与工艺上带来一系列难题,有待解决。

火控系统性能的改进与提高在很大程度上取决于吸收、消化与应用先进的控制、计算机、光电、通信技术;反过来,火控系统的需求也促进了上述诸种相关技术的进步。火控系统作为多种技术产品的综合体,为了利于改型换代、更新部件、扩展功能、向下兼容,必须贯彻标准、执行规范。近期内,在火控领域中可望得到广泛应用并能促进火控系统功能得到明显提高的技术有:图像处理技术,它不仅可以提高测量精度,而且可以从中得到有关目标的更多信息;分布式计算机网络与并行数

据处理技术,它不仅可以消除单 CPU 的瓶颈阻塞现象,提高计算速度,而且使信息流程更趋合理;计算机的多媒体技术,它可以使人机界面更加友好,为指挥员与操作人员改变火控信息流程提供了方便;定位定向技术,在武器分散配置条件下,欲实现统一集中指挥,为既分散又运动的武器系统实时地指示其位置与基准方向是一项重要任务,卫星定位技术、无线电定位技术、各种陀螺仪在火控系统中均有可能广泛使用;脱靶量测量技术,这是实现闭环校射的技术保证,相控阵雷达、光电图像处理技术均可用于脱靶量测量;热成像技术,这是提高夜间作战能力的重要技术保障;随机穿越特征量控制技术,它为射击门与空域窗的实现提供了基础性的保证;智能控制技术,它可能提高火控系统的数据处理与状态控制的质量;冗余控制与容错控制技术,它从控制技术的角度出发,为提高系统的可靠性提供了有效的技术途径。

1.5 火控理论范畴

控制武器的射击诸元,使其发射或投掷的弹头能进抵预测的命中点的理论称为火控理论。

火控系统虽然是多种高技术及其产品的综合体,但火控理论却不能也不应是控制理论、计算理论、电子理论、光电理论、信息与通信理论的剪辑与堆砌。火控理论与任何其他理论一样,有着它自己所独有的研究命题与范畴,并在这特定的命题与范畴内形成一套已经用于指导火控系统设计及研制的理论体系。上述关于火控理论的定义,不但明确了火控理论的核心命题与主要研究范畴,而且明确了它与邻近学科有关理论的差异。举例说,仅仅控制武器的姿态角使之与火控计算机输出的射击诸元相一致,这是随动系统设计理论所讨论的课题;控制弹头与目标相遇,这是制导理论所研究的领域;给定命中点计算火炮的射击诸元,则属于弹道学所研究的范畴。各种目标坐标、弹道与气象条件测量装置的设计理论均不属于火控理论。就是火控计算机本身也属火控系统的选件,其工作原理同样不属于火控理论。

根据前述的火控理论的定义,火控理论应该包含三方面的内容:目标、弹头与武器载体信息的处理;观测装置、武器与载体的控制策略;火控系统总体优化。

弹头应进抵的那个命中点乃是发射弹头瞬时预测的、在未来瞬时目标与弹头的相遇点。这点既在航迹上又在弹道上。为了获得这个命中点的信息,必须对收集到的有关目标与弹头的信息做相应的处理,以期得到武器射击诸元。在这方面的理论内容有:①目标信息(目标类型、型号、数量、敌我、位置、运动参数)的辨识与提取。当前有两个重要课题:目标图像辨识、跟踪与运动参数的提取;战场目标信息融合,即将多传感器测得并用各种不同形式提供的有关同一个目标的信息归纳

在一起,并以此为依据判断目标的性质,决定目标的运动状态。②目标航迹的建模与目标状态的滤波及预测。③弹道方程或射表的处理。即将弹道方程或射表转换成利于求解命中点的形式。④命中方程的建立、分析与求解。⑤武器载体的运动对射击扰动的分析与补偿;利用武器载体的运动改善射击条件。⑥脱靶量建模与估计。⑦射击诸元校正算法。

目标与脱靶量的原始信息来源于观测装置的跟踪与测量,火控计算机作为信息处理的终端,它计算的射击诸元要通过武器随动系统赋予武器本身,它计算出的载体运动指令要输给载体导航系统。这表明,火控理论作为自动控制理论的一个特定分支,它应包括:①火控系统内的控制系统(目标跟踪控制系统、武器随动系统)的校正与补偿;②武器载体对火控系统的扰动与武器随动系统对目标跟踪控制系统的扰动,以及对扰动的解耦;③基于射击需求的武器载体运动控制策略。

火控系统作为一种实时的、多传感器、多被控量的武器控制系统,还存在着总体优化理论,这包括:①火控系统射击效能指标体系的建立与分析。②射击体制的论证。例如,首发命中条件论证;整个射击过程毁伤条件论证。这方面,当前的一个重要课题是射击门与未来空域窗的分析与论证。③武器校射理论。实时闭环校射是当前一个重要研究课题。④精度分析与匹配。⑤火控系统反应时间分析与设计。⑥火控系统人机界面的分析与设计。除了控制面板之外,当有人参与目标跟踪时,有人的跟踪特性分析与设计问题,具体言之,当用头盔瞄准具时,应研究人眼与颈部的跟踪特性,而当用操纵杆等录入目标数据时,应研究人手的操纵特性。

现代战争对武器系统性能的要求越来越高,现代科技的发展也使武器系统的性能日益提高。火控系统在开拓与发挥武器系统性能上起着关键的作用,可以断言,火控系统在武器系统中的作用与地位将与日俱增。然而,作为火控系统核心的火控计算机,由于超大规模集成电路的集成度与运算速度的突飞猛进,它本身却可能微缩成若干模块而分置于相关系统之中,也就是说,火控计算机作为一个完整的实体将会消亡。

参 考 文 献

郭治. 1996. 现代火控理论. 北京: 国防工业出版社.