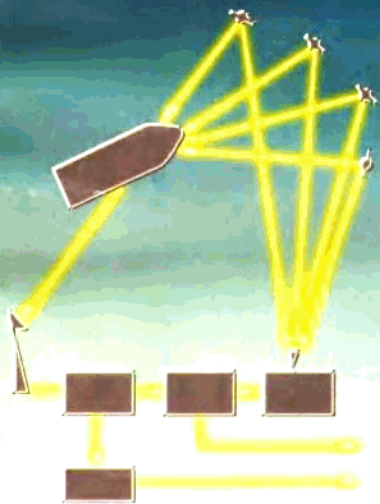


火控弹道模型 理论及应用

郭锡福 赵子华 编著



6

f

6

1

6

6

S

3 2 9 1 2 3 0 2

TJ012
08

火控弹道模型理论及应用

郭锡福 赵子华 编著



国防工业出版社



C0342091

图书在版编目(CIP)数据

火控弹道模型理论及应用/郭锡福,赵子华编著. —北京:国防工业出版社,1997.1

ISBN 7-118-01631-4

I. 火… I. ①郭… ②赵… III. 火力控制系统-弹道-数学模型-概论

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 07934 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 100044)

三河腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

开本 850×1168 1/32 印张 14½ 379 千字

1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1-1000册 定价:18.30 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

现代战争条件下,为了提高作战效能和生存能力,火炮普遍采用火控系统。但是,到目前为止,对火控弹道模型及其相关问题,尚未有系统研究。在实际问题中,大都由火控系统设计人员结合火控系统的设计任务,临时选择一些火控弹道模型。本书就是为改变这种形势而编写的。

本书作者从火控弹道模型的研究工作中体会到,除了火控弹道模型的选择之外,还有不少与火控弹道模型相关的问题,例如,弹道探测,火炮系统的精度分析与计算,火炮射击的基础知识,没有这方面的一定的知识,设计与选择合适的火控弹道模型是困难的。本书对这些问题作了阐述,把这方面的最新成果作了介绍,例如,全球定位系统(GPS)在弹道探测与火炮定位中的应用;火炮系统的精度分析与计算;在现代战争条件下,对火炮射击开始诸元精度分析与基本要求;提高火炮诸元精度的基本措施等。

本书力图编写成一本具有实用性的参考书。在火控弹道模型的有关章节中,尽可能减少公式的推导,多收集一些实际数据;在与火控弹道模型相关的内容方面,能够较全面地介绍一些基本知识及最新成果,使本书成为一本内容丰富的参考书。

本书在编写过程中,得到兵器工业总公司军品局吴景忱处长和邵允中同志以及苏哲子、周泗贤、沈书翔、沈民华高工的大力支持,得到兵器工业总公司 207 所、系统所、127 厂、674 厂、123 厂等单位有关同志的热情帮助,得到南京理工大学有关同志的支持,在此表示感谢。

本书第一、六、七、八章由郭锡福编写,第二、三、四、五章由赵子华编写,最后由郭锡福统编定稿。本书是作者首次编写的有关火

控弹道模型方面的书籍,经验不足,内容会有欠缺,错误也在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者

1995年7月10日于南京理工大学

目 录

第一章 概 论

1.1 武器火控系统的组成与作用	1
1.2 火控弹道模型的地位与作用	2
1.3 火控弹道模型发展概况	3
1.4 火控弹道模型的种类及对火控弹道模型的要求	5

第二章 弹道微分方程组

2.1 引言	8
2.2 与弹道微分方程组有关的基础知识	8
2.2.1 关于大气特性的基本知识	9
2.2.2 关于空气动力的基础知识	27
2.2.3 关于弹丸章动运动的基础知识	39
2.2.4 关于地球与地形的基本知识	47
2.3 质点弹道方程组	49
2.4 修正质点弹道方程组	52
2.4.1 无风条件下地面直角坐标系中的修正质点弹道方程组	53
2.4.2 有风条件下地面直角坐标系中的修正质点弹道方程组	57
2.5 刚体弹道方程组	59
2.5.1 坐标系与作用力	59
2.5.2 无风条件下地面直角坐标系中刚体弹道方程组	61
2.5.3 有风条件下地面直角坐标系中刚体弹道方程组	63

2.6	简化刚体弹道方程组	65
2.6.1	无风条件下地面直角坐标系中简化刚体弹道方程组	66
2.6.2	有风条件下地面直角坐标系中简化刚体弹道方程组	67

第三章 弹道方程的解析解法

3.1	引言	70
3.2	抛物线弹道的应用	71
3.3	低伸弹道解法	76
3.3.1	弹道方程的简化	76
3.3.2	弹道任意点诸元与西亚切主要函数	77
3.3.3	弹道落、顶点诸元与西亚切辅助函数	78
3.3.4	西亚切解法的扩充	79
3.4	欧拉解法	79
3.4.1	弹道方程的简化	79
3.4.2	弹道任意点诸元公式	80
3.4.3	弹道落、顶点诸元公式	81
3.4.4	欧拉分弧解法	82
3.5	级数解法	84
3.5.1	弹道任意点诸元公式	84
3.5.2	低伸弹道的落、顶点诸元公式	85
3.5.3	分段级数解法	86
3.6	空中射击弹道的近似解法	87
3.6.1	方程组的变换	87
3.6.2	方程的积分	89
3.6.3	命中点弹道诸元的计算	90
3.6.4	高射炮对低空目标射击的计算	92
3.7	炸弹弹道解法	93
3.7.1	概述	93
3.7.2	真空中炸弹弹道解法	94
3.7.3	空气中炸弹弹道解法	95
3.7.4	炸弹弹道的级数解法	96

3.8 火控弹道模型解析表达式应用举例	97
3.8.1 小高炮火控弹道模型采用的高角简化计算方法	97
3.8.2 一种火控弹道模型的高角简化计算公式	98
3.8.3 一种简化的瞄准具用弹道计算方法	100

第四章 射表与射表编制法

4.1 概述	105
4.2 射表射击试验	107
4.2.1 射击试验准备	108
4.2.2 射击试验实施	111
4.2.3 试验数据处理	118
4.3 射表编制使用的弹道模型	135
4.4 符合计算	135
4.5 射表计算	138
4.5.1 射表格式	138
4.5.2 射表计算	148
4.6 射表排印	152
4.7 其他射表的编制特点	153
4.7.1 高原射表的编制特点	153
4.7.2 甲弹射表的编制特点	156
4.7.3 高射炮射表的编制特点	158
4.7.4 底部排气弹射表的编制特点	161
4.8 射表误差分析概述	162
4.8.1 射表误差源分析	162
4.8.2 射表误差合成与误差分析	164

第五章 射表逼近方法

5.1 概述	167
5.2 火控弹道模型使用的函数逼近方法	168

5.2.1	函数逼近的基本概念	168
5.2.2	一元线性逼近法	171
5.2.3	单变量多项式逼近法	172
5.2.4	二元函数平方逼近法	175
5.2.5	有理平方逼近法	178
5.2.6	用几个单变量函数的四则运算逼近多变量函数	182
5.2.7	一种简易的逼近式	186
5.3	逼近方法举例	187

第六章 弹道探测

6.1	概述	195
6.2	雷达在弹道探测中的应用	197
6.2.1	前言	197
6.2.2	雷达工作原理概述	198
6.2.3	弹道探测雷达实例	205
6.3	全球定位系统在弹道探测中的应用	212
6.3.1	前言	212
6.3.2	坐标系及时间系统	214
6.3.3	全球定位系统的组成	220
6.3.4	GPS 伪距导航定位原理	224
6.3.5	GPS 测量技术及应用	229
6.3.6	差分 GPS 技术	238
6.3.7	速度与时间测定	241
6.3.8	相对定位	245
6.3.9	GPS 外弹道测量系统	260
6.3.10	位置和速度的解算	270
6.3.11	GPS 用于外弹道测量举例	275
6.4	数据处理	278
6.5	炮位与弹着点预测	282
6.5.1	近似外推法	283
6.5.2	精确外推法	287

第七章 火炮系统射击精度分析与提高射击精度的措施

7.1	概论	288
7.2	影响火炮系统射击精度的因素	289
7.2.1	火炮系统的组成	289
7.2.2	影响火炮系统射击精度的因素	290
7.3	概率误差的估算方法	292
7.3.1	单因素合成法	293
7.3.2	综合因素法	293
7.3.3	统计试验法	294
7.4	对几个影响密集度因素的分析与处理	295
7.4.1	初速散布的分析与处理	295
7.4.2	章动角(攻角)的分析与处理	303
7.4.3	阵风的分析与处理	306
7.4.4	飞行中弹丸的质量偏心、动不平衡和气动偏心散布对 落点散布影响的分析与计算	308
7.4.5	偏流散布的分析与计算	310
7.5	火炮系统的精度分析	311
7.5.1	精度分析的一般公式	311
7.5.2	火力系统密集度指标的确定	313
7.5.3	密集度指标的合理分配	314
7.6	提高火炮系统射击精度的途径	315
7.6.1	实时初速对射击精度的影响	316
7.6.2	实时章动对射击精度的影响	318
7.6.3	实时气象条件对射击精度的影响	320
7.6.4	测地与目标探测对射击精度的影响	320
7.7	火炮系统的精度试验	321
7.7.1	密集度试验	321
7.7.2	准确度试验	321
7.7.3	精度试验	322

第八章 炮兵射击基础知识

8.1 概论	324
8.2 射击准备	329
8.2.1 决定目标位置	329
8.2.2 测地准备	334
8.2.3 气象准备	336
8.2.4 弹道准备	339
8.2.5 技术准备	341
8.3 决定射击开始诸元	342
8.3.1 概述	342
8.3.2 精密法决定射击开始诸元	344
8.3.3 简易法决定射击开始诸元	347
8.3.4 成果法决定射击开始诸元	347
8.3.5 弹测法决定射击开始诸元	349
8.4 决定射击开始诸元的误差分析	349
8.4.1 概述	349
8.4.2 各项误差源分析	352
8.4.3 综合概率误差及误差比重	362
8.4.4 提高射击开始诸元精度的途径	365
8.5 射击实施概述	366
8.5.1 炸点观察	366
8.5.2 决定炸点修正量	369
8.5.3 试射与效力射	369
8.6 射击误差	373
8.6.1 概述	373
8.6.2 发射误差	374
8.6.3 将连、营的射击误差简化为单炮射击误差	375
8.6.4 连、营的射弹散布	377
8.6.5 离散误差	377
8.7 试射精度分析	379

8.8 射击效果的判定	381
8.8.1 概述	381
8.8.2 炮弹效力的数值表示法	382
8.8.3 毁伤概率的计算方法	383
8.8.4 平均弹药消耗量的计算方法	385
8.8.5 最有利火力分配条件下毁伤程度与弹药消耗量的计算	386
8.9 射击理论概述	390
8.9.1 引言	390
8.9.2 决定射击开始诸元的理论	391
8.9.3 试射和对能观察目标射击的理论	394
8.9.4 偏差法试射理论	396
8.10 射击指挥理论概述	399
附表 1 美国 1976 年标准大气(30km 以下)	402
附表 2 $C_{roc}-Ma$ 表	428
附表 3 $C_{ro43}-Ma$ 表	428
附表 4 $f(\theta_0, \theta_c)$ 表	429
附表 5 $K(kt)$ 表	432
附表 6 χ^2 分布界限值 χ^2_α 表	433
附表 7 均方差已知的极值偏差法表	435
附表 8 均方差未知的极值偏差法表	435
附表 9 方差比法表	436
附表 10 Dixon 法表	437
附表 11 概率误差判别 G_α 表	438
附表 12 倾向性检验 λ_α 表	438
符号表	439
参考文献	449

第一章 概 论

1.1 武器火控系统的组成与作用

武器火控系统是控制武器实施自动或半自动瞄准与发射的装备的总称,它是武器系统的重要组成部分。火控系统可以提高非制导武器对目标射击的快速性、准确性和适应性。在实际条件下,准确适时地确定射击诸元是火控系统的核心任务。为了达到这一目的,火控系统必须完成以下各项任务:目标搜索与识别;目标参数的测量;气象与弹道条件的测量;运载体参数的测量;武器射击诸元的计算与装定;武器射击控制;脱靶量或弹道偏差量的测量;根据偏差量计算修正量等一系列与武器射击有关的问题。

根据武器火控系统的任务,火控系统的一般组成与相互关系,如图 1-1 和图 1-2 所示。

火控系统的基本工作过程是:目标探测器与目标坐标探测器,

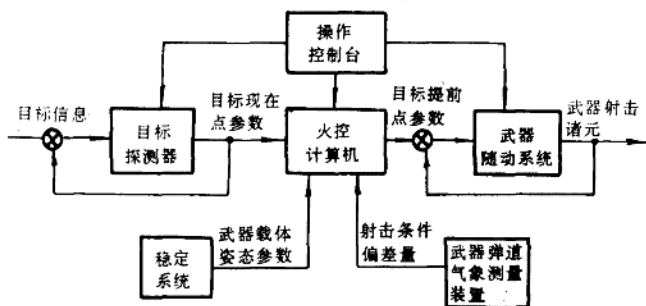


图 1-1 对活动目标射击的火控系统组成

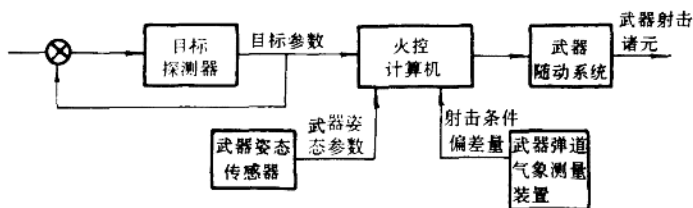


图 1-2 对固定目标射击的火控系统组成

完成搜索、识别、显示、跟踪目标与测定目标参数，并将获得的目标信息传给火控计算机；载体参数测量装置，完成载体参数测量并传给火控计算机；弹道与气象条件测量装置，测量有关参数并传给火控计算机；火控计算机根据目标信息、载体信息、弹道与气象条件，利用给定的弹道模型，计算火炮射击诸元，把计算的射击诸元通过随动系统传给火炮，使火炮按确定的射击诸元，确定炮身的仰角与方位角，并适时控制火炮射击；射击后，测定落点诸元，计算落点偏差量，再由火控计算机计算修正量，根据修正量确定下一发射弹的射击诸元，控制下一发射弹射击。

现代炮兵战斗，要求快速发现与观测目标，快速计算射击诸元，快速歼灭目标。火控是实现射击自动化，缩短反映时间，提高射击精度的重要装备，在现代炮兵战斗中，它是提高炮兵生存能力和射击效果的重要技术手段。

1.2 火控弹道模型的地位与作用

火控系统的主要作用是自动或半自动地解决在实际条件下火炮射击命中目标问题，或者说解决目标与射弹相遇问题。为解决射击命中问题，需要研究火炮和目标运动规律，以及弹丸在大气空间的运动特性，建立火控系统数学模型，求解火控系统所需各种参数，控制与指挥射击。在火控系统数学模型中，主要解决两方面问题：一是目标的运动规律，二是弹丸的运动规律。研究弹丸的运动

规律,即火控弹道模型问题。火控弹道模型研究在实际条件下的弹丸运动微分方程组,根据实际条件计算弹丸的运动规律,并把计算结果转换为火炮的射击诸元;根据射击条件偏差量计算射击诸元修正量。因此,火控弹道模型是解决命中问题,在火控系统数学模型中,它是关键问题之一。没有精确实用的火控弹道模型,就不能很好解决命中问题。根据不同的条件,火控弹道模型应是多种多样的。它可以是运动微分方程组、解析表达式和数值表,以及曲线图。

理论分析与实际计算都证明,火控弹道模型对火炮系统的射击精度与反应时间都有较大影响。火控弹道模型误差在诸元误差中占较大比例,对于地面火炮,模型距离误差占总距离误差的20%~50%,模型方向误差占总方向误差的15%~30%,可见火控弹道模型在火控系统中的地位与作用的重要性。

对某122mm火炮精密法准备射击诸元,弹道模型误差占总诸元误差的比例如表1-1所列。

表 1-1 某 122mm 火炮的诸元误差

误差名称	距离误差/(%)	方向误差/(%)
测地误差	1	17
目标位置误差	3	7
内弹道误差	19	0
气象诸元误差	37	56
弹道模型误差	40	20

1.3 火控弹道模型发展概况

火控弹道模型随着战术要求和技术水平的发展而发展。它与战术要求和技术可行性紧密相关。随着战术和技术的发展,战场上出现了各种各样的目标,特别重要的是出现了各种快速活动目标,如飞机和坦克等。由于各种战场探测器材的使用,火力对抗的加剧,为了提高生存能力,提高对目标的毁伤效果,就要求火力系统

快速准确地毁歼目标,这就是火控系统出现的背景,也即是对火控弹道模型的战术技术要求。

战术要求与技术可行性必须结合考虑。在火控弹道模型的发展过程中,火控弹道模型与科学技术水平,目标性质,战术要求有关。影响火控弹道模型发展的科学技术背景,包括数学力学和弹道学的发展,测试手段与计算技术的发展。用于火控弹道模型的弹道微分方程在不断发展,相继出现了质点弹道方程、修正质点弹道方程、刚体弹道方程和简化刚体弹道方程。弹丸空气动力测定与计算,起始扰动的测定与计算和气象诸元的测定与计算都出现了新的方法。数学力学与计算方法的发展,推动了弹道方程组成与弹道解法的发展与完善。

弹道测试手段的发展更是迅速,测速装置、测阻力系数装置、测章动角装置、遥测系统、各种靶道的建成与使用,为精确得到所需参数提供了条件。计算机的发展,高性能、快速运算与小型化,为火控计算机的使用创造了条件。在此基础上,有可能编制精确的射表,也为其他形式的火控弹道模型的发展提供了条件。

目标的性质与火控弹道模型也有密切关系。对高机动性飞机射击,对武装直升机射击,对地面活动目标射击(如坦克和自行火炮),对远程固定目标射击,这些对火控弹道模型的共同要求是计算时间要短,精度要高,对目标的命中概率要高,但是,对具体的目标,在选择弹道模型时,又有差别。例如,对高机动性的飞机射击,在选择火控弹道模型时,计算时间与计算精度相比较,计算时间对命中概率的影响更为重要。对远程固定目标射击,则计算精度对命中概率的影响将比计算时间的影响要大。因此,目标性质将影响火控弹道模型的复杂程度。

炮兵战术、射击法则也与火控弹道模型的选择有关。炮兵战斗原则,试射与效力射的方法,要求首发命中率的高低,都是发展与选择火控弹道模型的依据。

迄今为止,世界上已出现了各种各样的火控系统。从第一次世界大战前出现的简单光学瞄准具,发展到今天的综合性多功能火

控系统,经历了从低级到高级,从简单到复杂的演变过程。有火控装置就要有火控弹道模型。与火控系统的发展相同,火控弹道模型的发展也经历了从低级到高级,从简单到复杂的发展过程。外弹道学本身的发展就是如此,从真空弹道发展到空气质点弹道,从简单质点弹道发展到修正质点弹道与刚体弹道。射表编制方法的发展也是如此,射表射击试验,射表编制用的弹道方程,射表符合计算和射表计算都在不断发展中。火控弹道模型发展的主要特点是在火控系统开始设计时,以具体的火控系统为对象,大都由火控系统的设计者,针对具体火控系统的实际要求,进行选用和改进火控弹道模型,此时并没有对火控弹道模型进行较深入的研究。

随着火控系统的发展及使用范围的扩大,要求火控弹道模型有完整系统的理论体系和方法;火控系统的设计者对火控弹道模型应当有系统全面的知识;在火控系统设计时,能够根据战术技术要求,合理选择和灵活运用火控弹道模型,改进与发展火控弹道模型;根据实际情况,处理各种火控弹道模型及与火控弹道模型有关的问题;根据战术技术要求与战场目标的特点,发展新的火控弹道模型,如弹道探测,简易弹道修正模型等。

1.4 火控弹道模型的种类及 对火控弹道模型的要求

目前火控系统使用的火控弹道模型有以下5种类型:

- (1)弹道微分方程组;
- (2)弹道诸元的解析表达式;
- (3)射表;
- (4)射表诸元的逼近表达式;
- (5)射表与弹道微分方程组联合使用。

弹道微分方程组作为火控弹道模型,可以考虑多种因素,可以提高计算精度,但是,由于弹道微分方程组比较复杂,对多种参数