

Trajectory Simulation and
Firing Tables Production Technique
of Long-range Simple Control Rocket

远程简易控制火箭
弹道仿真与射表编拟技术

© 王海峰 郑 斌 等编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

远程简易控制火箭 弹道仿真与射表编拟技术

王海峰 郑 斌 等编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书针对远程简易控制火箭武器系统弹道特性和部队作战使用的实际需求,系统、全面地阐述了简易控制火箭子母弹、末敏弹、整体杀爆弹等弹种的弹道仿真与射表编拟技术。全书共11章,第1章介绍了射表编拟的相关概念及发展历史,远程简易控制火箭武器系统的组成与特点;第2~7章是弹道理论建模部分,包括简易控制系统建模、火箭滑轨段运动建模、母弹自由飞建模、破甲杀伤子弹运动建模、战斗部组合体全姿态运动建模、弹伞组合体运动建模;第8章射表试验部分,介绍了野战火箭外弹道试验常用的测试设备与工作原理,优化设计了试验方案,对射表试验实施程序进行了规范;第9章模型校正部分,介绍了火箭动态推力、惯性飞行零阻系数等关键弹道参数的确定方法以及理论弹道模型的多参数综合校正方法;第10章仿真计算部分,介绍了随机仿真的基本思想、原理,给出了随机变量的生成方法,蒙特卡罗模拟打靶实施方法,模拟结果的统计分析方法;第11章射表计算部分,设计了远程简易控制火箭射表的基本格式及表载诸元计算方法,并针对现行炮兵标准射击条件的不足进行了必要的改进与完善。

本书适合大学本科以上学历、中级职务专业技术干部阅读,也可供初高级职务技术干部、指挥干部以及院校有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

远程简易控制火箭弹道仿真与射表编拟技术/王海峰
等编著. —北京:国防工业出版社,2017. 11
ISBN 978-7-118-11425-6

I. ①远… II. ①王… III. ①火箭弹道-控制系统-
系统仿真②火箭弹道-控制系统-射表-技术 IV.
①TJ013

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 257482 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)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13¼ 字数 315 千字

2017 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 68.00 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

远射程、高命中、大威力一直以来都是常规弹箭的发展方向与必然要求。现代先进科技在国防与装备建设中的广泛应用,使得常规兵器的远程精确打击能力得到了前所未有的发展,远程简易控制多管火箭武器系统就是这一发展的典型代表。在陆军作战任务中,多管火箭武器系统承担作战任务的比例处于稳定增长的趋势,远程简易控制多管火箭武器系统更是以其机动、灵活的反应能力,密集、精确的打击能力,多样、高效的毁伤能力,在炮兵武器系统中有日趋重要的作用和地位,发展前景广阔。

战争形态的变化、新型武器装备的出现以及原有武器装备的技术改造,都对射表研制提出了新的更高的要求,传统射表编拟技术与现代高新技术武器发展的要求相比,总体上存在一定的滞后。原有射表编拟技术无论从理论支撑还是实施方法上都无法满足新型弹箭的射表编拟任务需求,射表编拟工作者面临着严峻而现实的挑战。

本书是国内首次对远程简易控制这种高价值弹箭射表编拟试验与数据处理技术的全面阐述,在对远程简易控制火箭武器系统的结构组成、工作原理、发射流程、工作时序、机构动作等影响弹道特性、射表使用需求的众多因素简单交待和初步分析基础上,重点阐述远程简易控制火箭弹道理论建模、试验校模、仿真计算与射表构建等射表编拟核心技术。

本书既不同于弹道学理论著作,侧重于探讨弹箭飞行机理与普遍规律,也有别于国内为数不多的射表编拟教材,偏重于中近程单级弹道建模、无控弹箭弹道仿真、传统弹箭射击诸元确定模式下的射表编制技术。书中涉及的理论建模和试验校模思路新、途径多,内容新颖、系统。本书是在针对性的理论研究成果和射表编制工程实践基础上,对传统射表编拟技术的又一次革新与发展,书中所述理论、技术、方法均经过工程实践的检验,注重理论联系实际,具有很强的实践指导意义。

射表编拟是一门综合性很强的专业,学好这门课程、从事这项工作需要对数学、统计学、刚体力学、空气动力学、靶场试验等学科知识有充分掌握,并对炮弹、火箭、导弹、引信、火炮、火控、指控、雷达、制导与导航、气象等专业有不同程度的了解。

本书由王海峰、郑斌、张建伟、董家强、赵志明、王隼等作者共同编写。

本书是在以往及目前所做研究工作的基础上编写而成的,在撰写过程中得到了许多科研人员的关心与帮助。王智杰高级工程师、臧宏海工程师、贾波工程师对书中数据处理方法做了大量的验证工作。南京理工大学王中原教授,军械工程学院宋卫东教授,白城兵器试验中心姚志军研究员、刘国权高级工程师、冯三任高级工程师对本书进行了详细的阅审,提出了宝贵的修改意见。本书在撰写过程中,还参考和引用了国内专家、学者、工程技术人员发表的著作和论文的部分内容,特在此一并致以感谢!

随着控制技术在常规弹箭上的应用,智能弹药、灵巧弹药将得到迅猛发展,许多射表编拟问题有待深入探索,现有的理论尚需要不断完善,本书的出版仅起到抛砖引玉的作用。限于作者水平,书中难免存在错误或不足,欢迎专家、学者和广大读者不吝指正。

作 者

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	射表与射表编拟	1
1.1.1	射表	1
1.1.2	射表编拟	1
1.2	远程简易控制火箭武器系统	3
1.2.1	武器系统功能及组成	4
1.2.2	武器系统作战使用	4
1.2.3	远程简易控制火箭弹组成及工作时序	5
1.2.4	远程简易控制火箭武器系统特点	6
1.3	射表编拟需要解决的问题	7
第 2 章	火箭弹简易控制系统	8
2.1	概述	8
2.2	简易控制系统工作原理	8
2.3	姿态控制系统模型	9
2.4	距离修正系统模型	11
2.4.1	距离修正系统实质	11
2.4.2	距离修正算法	14
2.4.3	泛函系数 K_1 、 K_2 计算方法	15
第 3 章	火箭弹滑轨段运动建模	17
3.1	概述	17
3.2	参考坐标系及其相互转换	17
3.2.1	参考坐标系	17
3.2.2	各坐标系之间的关系	18
3.3	矢量形式的一般运动方程	21
3.3.1	火箭弹后定心部中心的运动方程	21
3.3.2	火箭弹绕后定心部中心的转动方程	23
3.4	作用在火箭弹上的力和力矩及其投影	25
3.4.1	重力及其力矩	25
3.4.2	推力	26
3.4.3	螺旋导轨(槽)作用于火箭弹的力及力矩	27
3.4.4	控制力及力矩	30
3.5	运动方程的投影	31

3.5.1	移动方程	31
3.5.2	转动方程	32
3.6	质心视速度	36
3.7	滑轨段各时期运动方程	36
3.7.1	闭锁期	36
3.7.2	约束期	36
3.7.3	半约束期	37
第4章	母弹自由飞行动力学建模	39
4.1	概述	39
4.2	参考坐标系及其相互转换	39
4.2.1	参考坐标系	39
4.2.2	各坐标系之间的相互关系	40
4.3	一般运动方程与其投影	45
4.3.1	质心运动方程	45
4.3.2	火箭弹绕心运动方程	47
4.4	作用在火箭上的外力和外力矩	51
4.4.1	外力	51
4.4.2	外力矩	58
4.5	视速度计算	61
4.6	自由飞行段母弹运动方程组	62
4.6.1	质心运动方程组	62
4.6.2	绕心运动方程组	63
4.6.3	联系方程	65
4.7	起始条件确定	66
4.7.1	火箭弹出炮口时速度坐标确定	66
4.7.2	浮动坐标系内起始条件	67
4.7.3	速度坐标系内起始条件	67
第5章	破甲杀伤子弹运动建模	69
5.1	概述	69
5.2	破甲杀伤子弹质点弹道模型	69
5.2.1	运动方程组	69
5.2.2	相关力与联系方程	70
5.3	初始条件	71
5.3.1	子弹散布中心的虚拟弹道初始条件	71
5.3.2	随机子弹弹道初始条件	71
5.4	子弹散布椭圆的仿真验证	73
第6章	战斗部组合体大攻角全姿态运动建模	76
6.1	概述	76
6.2	四元数法	76

6.2.1	几个相关的概念	76
6.2.2	四元数的运算规则	77
6.2.3	四元数的几何表示	78
6.2.4	空间定点旋转的四元数变换	79
6.2.5	四元数的坐标变换	81
6.2.6	用四元数表示的刚体旋转运动	81
6.2.7	用四元数建立战斗部组合体运动方程组	84
6.3	双欧拉角法	86
6.3.1	弹体姿态变化欧拉角描述方法	86
6.3.2	双欧拉方程的建立	87
6.3.3	两种欧拉角互换	88
6.4	全姿态运动的仿真与阻力特性分析	89
6.4.1	弹道仿真结果	89
6.4.2	战斗部组合体阻力特性分析	91
第7章	弹伞组合体运动建模	94
7.1	概述	94
7.2	参考坐标系及其相互转换	94
7.2.1	伞的浮动坐标系	94
7.2.2	伞的速度坐标系	94
7.2.3	伞轴坐标系	95
7.2.4	伞体坐标系	95
7.2.5	伞的相对速度坐标系	95
7.3	拉直段弹道	95
7.4	充气段弹道	98
7.5	减速下降段弹道	101
7.5.1	单质点法	101
7.5.2	双质点隔离法	101
7.5.3	质点-刚体隔离法	103
7.5.4	双刚体凯恩(Kane)法	107
第8章	射表试验	119
8.1	概述	119
8.2	射表试验常用测试仪器和测试原理	119
8.2.1	弹道速度测量	120
8.2.2	弹道坐标测量	121
8.2.3	飞行姿态测量	125
8.2.4	地面气象诸元测量	125
8.2.5	高空气象诸元测量	130
8.3	射击试验用弹量分析	132
8.4	射击方式的确定	134

8.5	试验项目	135
8.5.1	射程及密集度试验	135
8.5.2	药温试验	137
8.6	试验前期的准备	138
8.6.1	场地设施准备	138
8.6.2	参试武器准备	138
8.6.3	参试弹药准备	139
8.6.4	测试设备准备	140
8.6.5	有关数据及资料准备	140
8.7	试验实施	140
8.7.1	试验实施计划制定	140
8.7.2	参试装备、设备进场	140
8.7.3	试前演练	141
8.7.4	现场实施	142
第9章	模型校正	144
9.1	概述	144
9.2	参数辨识	144
9.2.1	推力辨识与应用	144
9.2.2	零阻系数的辨识	149
9.2.3	子弹散布椭圆及抛撒径向速度辨识	150
9.3	符合计算	151
9.3.1	无控弹符合方法	151
9.3.2	有控弹符合方法	153
9.4	气象数据的应用	158
第10章	弹道仿真	161
10.1	概述	161
10.2	随机仿真的基本思想和基本原理	161
10.2.1	随机仿真基本思想	161
10.2.2	随机仿真基本原理	162
10.3	随机变量的生成	163
10.3.1	均匀分布随机数的生成	163
10.3.2	任意分布随机变量的产生	164
10.3.3	正态分布随机变量的产生	164
10.4	仿真结果的统计处理	165
10.5	弹箭飞行随机弹道仿真	166
10.5.1	仿真系统组成	167
10.5.2	随机误差源组成	167
10.5.3	仿真流程	169

第 11 章 射表计算	170
11.1 概述	170
11.2 炮兵标准射击条件	170
11.2.1 现行炮兵标准射击条件简介	170
11.2.2 现行炮兵标准射击条件的不足	171
11.2.3 炮兵标准射击条件的改进	173
11.3 射表内容与格式	175
11.3.1 基本诸元表	175
11.3.2 表尺修正量表	176
11.3.3 开舱时间修正量表	176
11.3.4 射向修正量表	176
11.3.5 飞行任务参数修正量表	176
11.3.6 炮目高差修正量表	176
11.3.7 地球自转修正量表	176
11.3.8 遮蔽阵地射击最低表尺表	176
11.3.9 弹道层权表	177
11.4 表载诸元计算	177
11.4.1 开舱高度的确定	177
11.4.2 表尺等弹道诸元的确定	178
11.4.3 飞行任务系数等距离修正参数的确定	180
11.4.4 散布诸元的确定	180
11.4.5 表尺、开舱时间的主动段纵风修正系数的计算	181
11.4.6 表尺、开舱时间的惯飞段纵风修正系数的计算	181
11.4.7 表尺、开舱时间的子弹段纵风修正系数的计算	182
11.4.8 表尺的地面气压修正系数的计算	182
11.4.9 表尺的弹道气温修正系数计算	182
11.4.10 表尺的大气温、压交联影响修正系数计算	182
11.4.11 表尺的发动机药温修正系数计算	183
11.4.12 表尺的校正发动机药温修正系数计算	183
11.4.13 射向的主动段横风修正系数计算	183
11.4.14 射向的母弹惯飞段横风修正系数计算	184
11.4.15 射向的子弹段横风修正系数计算	184
11.4.16 飞行任务参数的主动段纵风修正系数计算	184
11.4.17 飞行任务参数的地面气压修正系数计算	184
11.4.18 飞行任务参数的弹道气温修正系数计算	184
11.4.19 飞行任务参数的发动机药温修正系数计算	185
11.4.20 飞行任务参数的表尺变化修正系数计算	185
11.4.21 炮目高差修正量计算	185
11.4.22 地球自转修正量计算方法	185

11.4.23 层权计算方法 187

附录一 炮兵标准大气简表 192

附录二 射表格式 195

参考文献 201

第1章 绪 论

1.1 射表与射表编拟

1.1.1 射表

射表是部队运用武器系统作战与训练的基本文件,是身管类武器实施有效射击时所需起始诸元与目标诸元以及其他各种弹道诸元对应关系的综合性数据表册。对于地面武器及枪械而言,射表主要描述的是仰角与射程的对应关系;对于防空高炮武器而言,射表主要描述仰角与各飞行时刻弹道坐标的对应关系。无论哪种射表,其本质均是武器系统外弹道特性的全面定量描述。

射表是软装备,它作为装备的重要组成部分,主要用于人工决定射击诸元、辅助制定作战计划、进行火力部署。射表所隐含的弹道模型和相应的基础数据可用于射击指挥系统、火控系统的研制。射表还是设计瞄准具、指挥仪的依据,没有精确的射表就不可能有这些设备及其软件的良好设计。

按照弹种,射表可分为甲弹射表、榴弹射表、子母弹射表和空炸特种弹射表等;按照武器,射表可分为高炮射表、迫击炮射表、地炮射表、火箭炮射表、枪械射表等;按照弹道特征,射表可分为普通炮弹射表、火箭弹射表、火箭增程炮弹射表、底排弹射表、底排火箭复合增程弹射表、末制导炮弹射表等;按照使用区域,射表可分为地面射表和高原射表,其中地面射表是指以零海拔高度为基准的射表,高原射表也称山地射表,主要在海拔高度大于500m的高原或山地使用;按射表内容,射表包括在标准射击条件下对给定目标进行射击所需的火炮(火箭炮)仰角、射向与目标之间对应关系的基本诸元表,对非标准条件进行射角、射向修正的修正诸元表,表征距离、方向、高低密集度的散布诸元表,在不同纬度、向不同方向、对不同射程目标射击的地球自转修正量表,目标不在水平面上时对基本表中射角进行修正的炮目高低修正量表,高炮的弹道坐标表等,火箭的低空风修正量表等。

1.1.2 射表编拟

射表编拟是指射表研制的过程,是以外弹道学应用为主的综合性很强的专业活动,涉及计算数学、统计数学、刚体动力学、飞行力学、空气动力学、优化设计等基础理论与武器弹药及靶场试验技术。目前,采用理论计算与射击试验结合的方式进行射表编拟,其实质是武器系统的弹道仿真,可分为模型建立、模型校正和模型应用三个阶段。

在模型建立阶段,主要是根据武器弹药特性、战技指标要求和实际应用条件,利用数学、力学手段建立合理的数理模型。这是弹道仿真的基础,只有数理模型合适,才可能达到准确仿真的目标。理论上讲,数理模型考虑的因素越全面,其精确性越好,但在实际应用中却未必如此。数理模型考虑的因素越多,涉及的参数越多,描述的关系越复杂。在工

程应用中,很多参数获取困难或无法准确获取,考虑太多因素的模型难以实际应用;另外,因素考虑过多,参数使用不准确,各种参数交联耦合影响,反而可能破坏数理模型的精度。射表编拟所采用的数理模型与弹炮系统的种类和性质有关,对于线膛炮旋转稳定弹可以采用刚体或降阶刚体模型,对于火箭弹主要采用刚体模型,对于无旋转或微旋转的火箭惯飞段也可采用质点模型,对于高速直射武器主要采用质点模型。

理论数学模型只能定性地反映一类武器弹药的弹道特性,若要准确定量进行弹道仿真,必须进行模型校正工作。在模型校正阶段,主要是设计武器弹药的试验方案,通过实弹射击获取或修正模型中关键参数,使数理模型更准确地反映试验武器弹药的弹道特性,达到对弹道特性的准确定量描述。这一阶段是弹道仿真的核心,特别是根据武器弹药特性,获取参数个数与精度需求制定合理的试验方案尤为重要。试验样本量、测试数据质量及参数辨识与修正的方法在很大程度上决定了弹道仿真的精度。

在模型应用阶段,利用修正后的数理模型,根据实际需要进行计算。对于射表计算而言,主要是进行表尺、飞行时间、最大弹道高、落角、落速、散布特性等基本诸元及射击条件偏差时修正诸元的计算。需要指出的是,射表只是弹道仿真模型应用的一种形式,随着计算机技术的发展和应用,弹道模型可以直接应用到火控系统、指控系统中,更可以应用到武器装备的训练、教学及研究中。

我国射表编拟技术的创新发展,伴随着常规兵器发展过程。射表编拟技术发展大体可分为四个阶段。一是苏制射表阶段,建国后至 20 世纪 60 年代,我军武器装备主要由苏联提供或仿制苏联,射表也是苏联的射表或按苏联射表编拟方法编拟的射表。1957 年以前中国没有自己的射表,一直沿用外国射表。二是质点弹道阶段,新中国第一个常规兵器试验基地——白城靶场成立后,非常注重外弹道基础理论与射表编拟技术。1956 年,靶场弹道专家陈光宇带领技术人员开展“苏联射表在中国使用误差的研究”项目,对苏联射表及射表编拟方法在我国寒区、热区、高原地区、平原地区的适用性进行了系统研究,并于 1962 年形成研究成果,自此中国有了自己的射表编拟方法,开始了自主射表研制,并逐步建立了我国外弹道及射表试验方法体系。受试验条件、测试技术与计算能力的限制,这一阶段的射表编拟技术以质点弹道方程、43 年阻力定律为基础,依赖大量射击试验数据修正模型以确保射表编拟精度。数据处理也只能借助弹道表及算盘、手摇计算机等简单的计算工具。1964 年 10 月,我国射表编拟采用了第一套 441B 晶体管电子计算机,数据处理能力大幅提升。三是刚体弹道阶段,随着测试手段的发展,计算能力的提升,射表试验与编拟技术不断完善。特别是 20 世纪 90 年代,宋丕极、宋书明等外弹道专家研究出了地面榴弹射表编拟新方法,独创性地建立了降阶刚体外弹道模型,并将参数微分与微分修正的辨识技术应用到射表编拟中,从雷达测速数据中提取出弹丸自身阻力系数。这项研究成果是我国射表编拟方法上的重大突破,提高了射表精度与弹道计算速度,弹箭射击支撑点由过去的 6 个减少为 3 个,科研试验用弹量减少 50% 以上。四是多级复杂弹道阶段,进入 21 世纪以来,在计算机技术、弹道测试技术、控制理论及控制系统元器件、数学、力学进步的基础上,在新的军事需求牵引下,装备技术得到了长足发展。多种增程手段、飞行控制技术在常规弹箭上组合应用,使我军常规弹箭的射程和精度都有了显著提高。为适应装备技术发展,射表编拟技术从单纯刚体弹道模型发展到有发动机工作、底排药剂燃烧、控制力间或作用的复合弹道模型,从单一弹箭参数辨识、符合校模发展到多参数辨识、

综合符合校模技术,并有效利用了数值流场仿真技术、光电雷遥多体制组网测试技术、高精度弹道气象保障技术、大型计算机并行运算技术等先进手段,大幅降低了弹药消耗,提高了射表编拟精度,实现了射表编拟从简单质点弹道模型到复杂高精度弹道建模,从平原好用到高原适用,从“打”为主“画”为辅到“画”为主“打”为辅的突破发展。

1.2 远程简易控制火箭武器系统

野战多管火箭是一种能瞬时提供密集火力,对大面积目标进行有效杀伤的武器,早在19世纪就已经开始使用。作为压制武器,其射速快、威力大、火力猛、射程远、机动性好,容易短时间内形成大面积强大火力密度,既能歼灭和压制敌有生力量和各种战斗兵器,又能对付敌集群坦克和装甲车辆。很长时间以来,火箭武器受到了世界各国的青睐,在炮兵压制武器中占有相当大的比例,子母弹和制导技术的发展更为火箭武器开辟了广阔的应用前景。随着现代战争作战形态和样式变化,火箭武器的地位与作用日趋重要。

众所周知,无控火箭的散布远大于火炮弹丸的散布,特别是在最大射程附近,火炮弹丸的方向散布中间误差约为射程的 $1/2000$,而火箭的方向散布中间误差达到射程的 1% 。这主要是由于火箭出炮口速度低,易受起始扰动、推力偏心和风等干扰因素的随机影响,在主动段末形成角散布所致。为了减小这种角散布,理论上应该把弹箭在发射中形成起始扰动的机理和过程搞清,做到能有效地计算起始扰动大小和给出减小起始扰动的措施。然而在发射过程中弹在定向管内或发射架上以及出炮口以后的运动受火药燃烧情况,燃气的膨胀情况,发射装置的刚度,地面支撑情况,定向器的运动和振动情况,发射管的弯曲度,波纹度,弹炮间隙,高低机和方向机空回,定心部位置的选择,弹箭质量,重心位置,偏心情况,动不平衡,外形尺寸公差,推力偏心,前一发弹发射后发射装置的余振对后一发弹的影响等随机因素的交叉影响,使得在理论上研究起始扰动太过复杂和繁琐。经过大量简化后的模型又与实际情况相差太大,同时由于试验和测试手段的缺乏,没有专用的测试仪器,仅仅研究测试起始扰动的仪器本身就是个难题,使试验费用高,实施难。这就使关于发射过程形成弹箭起始扰动的研究十分困难,大多数研究多在理论假设上探讨,缺乏对假设正确性和结论正确性本身的实验验证,无法认定理论研究结果本身的正确性,更难用于实践。这使人们不得不转移方向,在适度减小起始扰动的同时不刻意去研究起始扰动的形成机理,而是改用主动的方法去减小起始扰动和其他扰动对弹道的影响。简易控制火箭就是在这种思路下产生的,通过在主动段内对火箭姿态实施简易控制,削弱起始扰动的影响,提高野战火箭射击密集度。

目前,这种方法已成为重要的散布控制技术,并在实际中收到了令人信服的效果,这种简易控制火箭弹也成为火箭武器的重要发展方向之一,俄罗斯的70km“旋风”武器系统就是典型的例子。该火箭的简易控制装置由姿态控制系统和距离修正系统两部分组成。火箭主动段采用一个二自由度陀螺(液浮陀螺),在发射前其高速旋转,在发射后弹箭受到起始扰动或其他扰动具有摆动角速度时,陀螺就能敏感这个角速度而形成控制指令,根据摆动角速度大小和方位,启动沿弹体前部径向布置的四个射流小喷管中相应的两个,使其喷气,由喷气所产生的反作用力形成力矩反对弹体摆动,将弹轴(推力作用线)稳定在起始段基准弹道线上,从而减小速度方向偏离射击方向,最终减小火箭散布。此外,

该火箭采用加速度传感器敏感火箭加速度,积分获得主动段末速度大小,据此自动修正引信装定时间,控制火箭开舱抛撒子弹的时间,进一步减小开舱点距离散布。姿态控制装置只在临界段内工作,因此工作时间很短,不到 3s,而且是开环控制;距离修正系统也只是通过改变开舱时间减小射程散布。整个控制系统比导弹控制系统简单,故称为简易控制,但这对提高火箭射击精度效果明显。

此种武器系统性能介于导弹与无控火箭之间,其射击精度比无控火箭有了大幅度提高,但仍达不到导弹的精度,也不具备直接导向目标的能力。它仍然受气象、药温等环境条件的影响,射击时需要瞄准,并做各种环境条件的修正。因此,其射击方法仍与无控火箭类似,需要使用射表。

1.2.1 武器系统功能及组成

远程简易控制火箭武器系统是一种可发射远程简易控制火箭弹的多管火箭武器系统,主要用于摧毁战术作战区域内集结的有生力量、武器装备和防御工事,尤其是对付自行火炮、火箭炮、自行高炮、防空导弹阵地上的技术装备、独立及集群坦克装甲车辆等高机动性目标。俄罗斯“旋风”系统、美国 HIMARS 系统、北约 MLRS M270A1 系统、以色列 MAR-350 系统均是此类远程多管火箭武器系统。

远程简易控制火箭武器系统由远程多管火箭炮、远程简易控制火箭弹和配套保障设备组成。远程多管火箭炮用于发射远程简易控制火箭弹,可以完成火箭弹的齐射、成组发射和单发射击,定向管可以携带火箭弹。远程简易控制火箭弹是武器系统的主要作战单元,通过配置的简易控制装置使其射击密集度和精度远远优于无控火箭弹,并可配装多种类战斗部,用于直接对不同类目标进行有效杀伤,实现火箭弹的远程精确打击。配套保障设备包括运输装填车、指挥车、侦查车、气象车、测地车、检测维修车等,用于发射前准备和保障。运输装填车用于给火箭炮装卸弹药、运输以及必要时储存火箭弹。指挥车装有自动化指挥系统,既可以作为营指挥所,也可以作为连指挥所,通过组网连接实现逐级指挥及越级指挥。

1.2.2 武器系统作战使用

远程简易控制火箭武器系统作为战术兵团主要装备,通常以火箭旅编配,如,俄罗斯“旋风”火箭旅由指挥所、3~4 个独立火箭营和(战斗、技术和后勤)保障分队组成,而其中的独立火箭营又由营指挥所、3 个火箭炮连和营保障分队组成。远程简易控制火箭武器系统作战使用时主要执行以下任务:

- (1) 消灭行进间和阵地上、弹药库里的敌方进攻性武器;
- (2) 毁伤敌方侦察-攻击系统的地面据点;
- (3) 消灭敌方军、师后备部队集结区域内的有生力量、坦克分队和机械化步兵分队;
- (4) 消灭部队和装备的指挥所;
- (5) 摧毁防空(反导)武器;
- (6) 摧毁在降落和待命区域进行火力支持的直升机;
- (7) 消灭在着陆、装载或卸载区域内的战术空降兵或海军登陆兵;
- (8) 摧毁铁路枢纽、车站、港口、渡口、燃料库、弹药库或其他资源库。

远程简易控制火箭武器系统最基本的作战使用方式是齐射、分组射击和单发射击。可简单描述为:需要投入的火力数量在发射阵地展开布置、做好射击数据的全面装定后,瞄准并将火箭弹按齐射、分组射击和单发射击从火箭炮中发射出去。执行火力射击任务时需要投入的火力数量取决于目标规模、特性及重要性,也取决于射程、射击方式、射击任务以及可利用的射击时间和射击条件等。射击方式取决于射程、弹药种类、引信种类、装定方式,以及目标特性和目标位置,同时还要考虑火箭弹对目标的最大毁伤等。

1.2.3 远程简易控制火箭弹组成及工作时序

远程简易控制火箭弹是远程简易控制火箭武器系统的打击子系统,执行直接杀伤目标功能。以“旋风”武器系统为例,远程简易控制火箭弹主要由简易控制舱、战斗部和火箭部组成。简易控制舱主要由电子时间装置、简易控制系统组件、安全起爆机构组成。针对不同作战目标,简易控制火箭武器配备了不同的战斗部,比较典型的“旋风”武器系统就配备了破甲杀伤子母战斗部、末敏子母战斗部及整体杀爆战斗部等。火箭部主要由火箭发动机、稳定尾翼和电点火器组成。简易控制舱在弹道主动段执行姿态控制和距离修正功能,使简易控制火箭弹密集度和精度远高于无控火箭弹;子母战斗部主要用于打击分散在较大范围的集群目标,整体战斗部主要用于攻击军事、工业设施类目标;火箭发动机提供飞行动力和惯飞段初速。

虽然战斗部的种类不同,但在战斗部或战斗部组合体与火箭部分离前火箭弹的工作流程与作用模式是相同的。发射前通过弹上控制舱电连接器与火炮上插拔机构实现弹炮电气对接,由火控机给每发火箭弹的电子时间装置输入计算好的战斗部与火箭部分离(或战斗部开舱抛撒)前的飞行时间。从按下“发射”按钮后对输入的时间进行自检,之后向战斗部的安全起爆机构给出解除第一道保险的指令和火箭部电点火具的启动命令。在推力达到一定水平后火箭弹开始运动,并从定向管中飞出。火箭弹开始运动后电子时间装置开始计算距离战斗部分离的剩余时间,并向校正发动机延时电点火具给出电信号。火箭弹飞出定向管,稳定翼张开,同时校正发动机开始工作。校正发动机产生推力,推力的作用方向和时间由在主动段内飞行时的火箭弹轴向与初始起飞姿态之间的偏差决定。在弹道主动段上不断地测量火箭弹的轴向加速度,安全起爆机构受过载作用而机械解除第二道保险,并做好从电子时间装置接收指令的准备。在弹道主动段末端,按照测得的加速度确定速度,将该速度与发射前装定的预测速度对比,计算出战斗部分离时间的修正量。在经过修正的设定时间达到后,电子时间装置给出战斗部分离(开舱抛撒)的信号。此后,不同战斗部按照不同的工作时序和机构动作继续飞行,直至战斗部起爆,攻击目标。

破甲杀伤子母战斗部采用直接开舱抛撒结构,主要由壳体组件、中心药管、子弹舱、互联电缆及安全执行机构组成。安全执行机构接受电子时间装置发出的开舱抛撒指令引爆中心药管,当开舱压力达到一定值时,战斗部壳体沿预制的纵向应力槽均匀裂开,使战斗部定时开舱,抛撒出子弹。子弹被抛出后,飘带迅速打开,引信保险机构解除保险,子弹按一定轨迹飞行,当遇到障碍物时,子弹引信作用,子弹爆炸。

末敏子母战斗部是将敏感器技术和爆炸成形弹丸(EFP)技术合成应用的新型战斗部,末敏子弹药能在目标区上空自动探测、识别并攻击目标,专门用于攻击集群装甲目标的顶部装甲,是一种以多对多的反集群装甲和火炮的有效武器。末敏子母战斗部主要由

末敏子弹筒、降落伞舱、高度计、分离机构和抛撒机构组成。末敏子弹筒内装填多枚末敏子弹,每枚末敏子弹由降落伞系统、双频谱目标位标器、安全起爆机构、起爆管和 EFP 战斗部组成。当电子时间装置给出分离信号后,分离装药作用使前端(控制舱组件和末敏子母战斗部)与后端(火箭部)空中分离。前端在经过一段时间大攻角飞行的快速减速后,末敏子母战斗部的降落伞系统开始启动,使其进入稳定下降状态。之后前端的控制舱组件分离,且末敏子母战斗部上的高度计开始工作。当末敏子母战斗部降落到预定高度时,抛撒机构作用,末敏子弹从子弹筒中被抛出并有序散开。抛出后末敏子弹独立作用,弹上降落伞系统启动,使其弹轴与铅垂轴呈固定角度,并以稳定的降落速度和稳定的绕铅垂轴旋转速度稳态下落,与弹轴平行的目标位标器光轴对地面开始由外向内做近似阿基米德螺旋线形状的扫描。当扫描发现并识别目标后,目标位标器给出起爆指令,EFP 战斗部起爆后形成金属射流以每秒上千米的速度从顶部击毁攻击目标。通常,末敏子弹扫描探测区域大于 10000m^2 。若扫描区域内有目标,则信息融合控制单元进行目标识别定位和起爆决策,发出起爆 EFP 战斗部信号;若扫描区域内没有目标,则末敏子弹自毁。

整体杀爆战斗部由杀爆舱、降落伞舱、分离机构、延时开伞机构和起爆机构组成。当火箭弹飞行至预定目标上空,电子时间装置给出分离信号后,分离机构作用,杀爆战斗部组合体(杀爆战斗部与控制舱)与火箭部分离,延时开伞机构计时。由于失去了稳定装置,战斗部组合体压心前移,所以战斗部组合体先进行大攻角飞行,快速降速。当飞行到给定时间,飞行速度降低到预定范围时,降落伞释放并张开。战斗部组合体在降落伞作用下调整飞行姿态,向目标下落。当战斗部组合体碰击目标时,触发起爆机构,引爆战斗部,摧毁目标。

1.2.4 远程简易控制火箭武器系统特点

远程简易控制火箭武器系统具有如下特点:

(1) 射程远、弹道高。远程简易控制火箭弹通常为大口径火箭弹,火箭发动机装药多,工作时间长,最大速度高,可为箭体飞行提供足够动能,最大弹道高与射程远远超出一般弹箭。目前,国际上有射程超过 150km 、弹道高达到 50km 的弹箭。射程远使在多区域攻击大纵深目标而又能避开对方回击成为可能。

(2) 弹道分级多,机构动作复杂。远程简易控制火箭弹弹道由母弹飞行段、战斗部组合体飞行段与子弹飞行段三大部分组成。母弹飞行段又可分为主动段和惯飞段,主动段按与火箭炮的相互作用又可分为闭锁段、约束段、半约束段和自由飞行段,按有无控制作用又可分为调姿控制段和无控飞行段;战斗部组合体飞行段包括刚体大攻角减速飞行和弹伞二体飞行;子弹飞行段包括飘带或翼片稳定的子弹飞行,弹伞结合的子弹飞行,对于末敏子弹又可分为减速减旋段、减速下降段、稳态扫描段和爆炸攻击段。

(3) 精度高。简易控制火箭一方面通过主动段初期姿态控制系统的调姿作用,大幅减少火箭弹起始扰动的影响,另一方面通过距离修正系统对火箭发动机散布引起的落点偏差进行修正,使密集度显著提高,可以达到甚至优于地炮榴弹水平。武器系统自身密集度好,一方面为提高命中目标概率提供了条件,另一方面也要求与之配套的射表具有较高精度,使武器系统达到较高的射击准确度。

(4) 火力密度高,压制能力强。武器系统多为多管武器,具备多弹药短时间内齐射能力,且通常携带子母战斗部,火力覆盖面积大,如“旋风”武器系统单炮 12 发齐射用时