

子母弹飞行动力学

Flight Dynamics of Cargo Projectile

杨殿仁 编著

国防工业出版社

09904774

TJ414
01

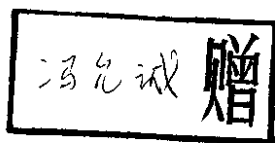
子母弹飞行动力学

杨启仁 编著

HK42119



TJ
61



国防工业出版社



C0469198

图书在版编目(CIP)数据

子母弹飞行动力学/杨启仁编著. —北京:国防工业出版社, 1999. 6

ISBN 7 118-02008-7

I. 子… II. 杨… III. 子母弹-飞行力学 IV. TJ
414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 28869 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)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10 $\frac{3}{8}$ 266 千字

1999 年 6 月第 1 版 1999 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1 1 000 册 定价:20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容明确、具体、有突出创见,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。

4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作,职责是:负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图

书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

**国防科技图书出版基金
第二届评申委员会组成人员**

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄 宁

副主任委员 殷鹤龄 高景德 陈芳允

曾 铎

秘 书 长 刘琯德

委 员 尤子平 朱森元 桑英贤

(按姓氏笔划为序) 刘 仁 何庆芝 何国伟

何新贵 宋家树 张汝果

范学虹 胡万忱 柯有安

侯 迁 侯正明 莫梧生

崔尔杰

前 言

子母弹飞行动力学是研究子母弹的运动规律及其总体性能的科学。

子母弹用于对付集群目标,作为大纵深、大面积的压制兵器,已广泛地配置于炮弹、航弹、火箭弹和导弹上,其种类繁多,用途广泛,发展迅速,成为世界各国十分关注的热点。随着新理论、新技术、新材料的蓬勃发展,各种新概念的子母弹已应运而生。但是,无论什么类型的子母弹,不管制导与否,都涉及到子母弹飞行动力学问题,即包括炮弹、航弹、火箭弹和导弹诸母弹的飞行动力学,抛射动力学,刚性尾翼或柔性尾翼的子弹飞行动力学。对它们的弹道特性、抛射规律、子弹落点分布和散布特性,以及子母弹的参数优化设计与试验测试技术等,都需要很好地进行研究,以确保子母弹具有优良的总体性能。而这方面的文献资料,特别是抛射动力学、各类子弹的飞行动力学方面的文献,无论国内外都十分罕见,甚至还是空白。本书就是在这种背景下期望做一次大胆的尝试,试图对子母弹飞行动力学的理论及其应用方面进行较系统地论述,以适应子母弹技术发展的需要。

全书共分九章。第一章概述了子母弹飞行动力学的研究对象与任务、子母弹飞行过程以及抛射弹道的特征等。

第二章介绍了炮弹、航弹、火箭弹和导弹诸母弹的飞行动力学模型。

第三章是建立子母弹抛射动力学模型,主要是以旋转炮弹(母弹)的子母弹为基础建立的。

第四章和第五章分别建立了刚性尾翼子弹飞行动力学模型和子母弹伞弹系统飞行动力学模型。

第六章进行了子母弹弹道特性分析,它包括对子母弹全弹道计算和子弹群落点分布的计算、刚性尾翼子弹的运动规律与飞行特性分析、伞弹系统的运动特性分析、飘带尾翼子弹的运动特性分析、子母弹诸参数对弹道性能的影响分析。

第七章和第八章分别为子母弹参数优化设计和子母弹射击效力参数仿真。

第九章介绍了子母弹弹道测试技术。

本书得以问世的背景和基础,是作者自 80 年代后期,在国防科技预研基金资助下,开展了子母弹抛射动力学和子弹飞行动力学方面的理论研究,随后又分别在导弹、火箭弹等子母弹的设计、研制中获得实际应用,并成功地进行了子母弹的参数优化设计和弹道性能的分析计算。在这些研究成果的基础上,再广泛地吸收国内外近期的有关研究成果,特别是一些学位论文和试验研究成果,为本书提供了许多有价值的计算曲线、试验曲线和数据资料。因此,本书具有较强的针对性,是一部将系统性、科学性、先进性和实用性融为一体的学术专著,也是群体智慧的升华。

本书在撰写过程中得到许多科研人员的关心和帮助。首先是项目组的李奉昌教授、耿茂盛硕士、于本友高级工程师,以及参加工作的陆欣博士、阎俊硕士等,他们的研究成果构成了本书的主要内容和核心部分。此外,孙乐博士、刘荣忠博士等的学位论文,秦新焜、蒋晶明、戴樟和、刘玉琴等的有关论文,以及参考文献中作者的论著,都为本书编写提供了有益的帮助,在此,向他们表示衷心的感谢!

本书的出版还得到国防科工委的大力资助和支持,得到了有关工厂的通力协作,以及有关领导机关和学校的领导、专家、学者的热情关心和支持。庄逢甘院士、朵英贤研究员、李景云教授等对编写工作提供了富有成效的帮助。借本书出版之际,谨对这些方方面面的领导、专家、学者和朋友们的热情支持、关心和帮助,表示诚挚的谢意!

随着子母弹方兴未艾的迅猛发展,许多子母弹飞行动力学新

问题有待深入探索,现有的理论尚需不断完善,本书的出版仅仅是起到抛砖引玉的作用。如果能为子母弹的发展提供一点儿借鉴,也将令我十分欣慰。限于水平,书中存在问题在所难免,欢迎专家、学者和广大读者不吝指正。

杨启仁

于南京理工大学

内 容 简 介

子母弹飞行动力学是研究子母弹的运动规律及其总体性能的科学。

本书全面系统地介绍了子母弹飞行动力学模型,并对子母弹弹道特性进行了分析计算,而且还分别论述了子母弹参数优化设计和子母弹射击效力参数仿真。此外,还介绍了子母弹弹道测试技术等。

本书可供高等理工科院校高年级本科生、研究生作为教学参考资料,也可作为有关工程技术人员的参考书。

目 录

第一章 概论	1
§ 1.1 子母弹飞行动力学的研究对象与任务	1
§ 1.2 子母弹飞行过程的弹道特征	2
§ 1.3 子母弹的开舱与抛射简述	4
§ 1.4 子母弹的抛射弹道	9
第二章 子母弹母弹飞行动力学模型	16
§ 2.1 引言	16
§ 2.2 炮弹运动微分方程组	20
2.2.1 炮弹 3D 运动微分方程组	20
2.2.2 炮弹 6D 运动微分方程组	22
2.2.3 4D 修正质点弹道模型	26
§ 2.3 航空炸弹运动微分方程组	28
§ 2.4 火箭弹运动微分方程组	30
§ 2.5 导弹运动微分方程组	33
第三章 子母弹抛射过程的动力学模型	42
§ 3.1 引言	42
§ 3.2 子母弹抛射过程的内弹道模型	13
3.2.1 物理模型	43
3.2.2 数学模型	45
§ 3.3 抛射过程中被抛物的运动微分方程	47
3.3.1 被抛物运动坐标的确定	47
3.3.2 作用在被抛物上的力	50
3.3.3 被抛物轴向运动微分方程	76

§ 3.4	抛射过程中母弹弹体运动微分方程	56
3.4.1	母弹弹体质心运动微分方程	56
3.4.2	母弹弹体所受的力	58
3.4.3	母弹弹体绕心运动微分方程	60
3.4.4	作用于母弹弹体上的力矩	61
§ 3.5	抛射过程的内弹道能量平衡方程	65
§ 3.6	子母弹抛射过程的运动微分方程组	70
§ 3.7	起始条件的讨论	74
§ 3.8	抛射过程中子弹运动的起始条件	77
第四章	子母弹子弹飞行动力学模型	82
§ 4.1	引言	82
§ 4.2	坐标系及其坐标变换	82
§ 4.3	作用于子弹上的力和力矩	85
4.3.1	作用于子弹上的力	85
4.3.2	作用于子弹上的力矩	87
§ 4.4	子弹飞行动力学模型	89
4.4.1	质心运动微分方程	89
4.4.2	绕心运动微分方程	90
第五章	子母弹伞弹系统飞行动力学模型	92
§ 5.1	引言	92
§ 5.2	抛射段伞弹系统的动力学模型	93
5.2.1	作用于伞弹系统上的力和力矩	93
5.2.2	伞弹系统运动微分方程	93
§ 5.3	拉直段伞弹系统的运动模型	98
5.3.1	拉直过程的描述	98
5.3.2	伞弹系统的运动模型	98
5.3.3	拉直力的计算	101
§ 5.4	充气段伞弹系统的动力学模型	103
5.4.1	临界充满速度与降落伞充满条件	103
5.4.2	充气段伞弹系统质点动力学模型	111
5.4.3	开伞动载的计算	114

5.4.4	充气段伞弹系统刚体动力学模型	117
§ 5.5	减速段和末敏子弹稳态扫描段伞弹系统 的动力学模型	124
5.5.1	伞弹系统力学模型	125
5.5.2	伞弹系统运动学分析	125
5.5.3	伞弹系统受力分析	130
5.5.4	用凯恩(Kane)方法建立伞弹系统动力学模型	131
第六章	子母弹弹道特性分析	141
§ 6.1	引言	141
§ 6.2	子母弹的全弹道计算	142
6.2.1	子母弹弹道模型及其应用	142
6.2.2	子弹群落点分布的计算方法	145
§ 6.3	子弹的运动规律与飞行特性	150
6.3.1	子弹抛射点诸元值的确定	150
6.3.2	子弹运动规律	153
6.3.3	子弹非线性飞行稳定性	155
6.3.4	子弹落点分布随抛射高度的变化	156
§ 6.4	伞弹系统运动特性	156
6.4.1	抛射段运动特性	156
6.4.2	拉直段运动特性	162
6.4.3	充气段运动特性	165
6.4.4	减速段和稳态扫描段的运动特性	168
§ 6.5	飘带尾翼子弹的运动特性	182
6.5.1	飘带尾翼子弹的气动力学特点	183
6.5.2	飘带气动力学特性及其影响因素分析	185
§ 6.6	子母弹诸参数对弹道性能影响的分析	203
6.6.1	母弹射角的影响	205
6.6.2	母弹转速的影响	207
6.6.3	母弹起始扰动的影响	209
6.6.4	抛射药量的影响	211
6.6.5	抛射高度的影响	213
6.6.6	小结	214

第七章 子母弹参数优化设计	216
§ 7.1 引言	216
§ 7.2 参数优化设计的一般原则	220
§ 7.3 田口方法参数优化设计概述	225
7.3.1 输出特性值及其计算	225
7.3.2 田口方法参数设计的原理和方法	231
§ 7.4 子母弹参数优化设计	235
7.4.1 子母弹抛射条件的参数优化	235
7.4.2 子母弹子弹与抛射条件的参数优化	246
第八章 子母弹射击效力参数仿真	253
§ 8.1 引言	253
§ 8.2 子弹落点分布的性质	253
§ 8.3 射击误差的数学模型	254
8.3.1 武器系统的构成	254
8.3.2 射击误差的分析	255
8.3.3 目标队形及火力配置	259
§ 8.4 毁伤规律与射击效力评定	260
§ 8.5 仿真的实现	261
8.5.1 随机数的产生	261
8.5.2 子弹落点坐标的模拟	262
8.5.3 射击效力的计算	263
8.5.4 计算精度与仿真次数的确定	263
§ 8.6 子母弹射击效力的参数仿真优化	264
8.6.1 仿真优化方法	264
8.6.2 仿真优化算例分析	265
第九章 子母弹弹道测试技术	267
§ 9.1 引言	267
§ 9.2 子母弹弹道测试技术	269
9.2.1 测试内容与方法概述	269
9.2.2 用天幕靶测试抛射弹道的末段速度	272
9.2.3 雷达测试技术	276

9.2.4 经纬仪测试技术	280
9.2.5 CCD 测试技术	284
9.2.5 模拟测试技术	285
§ 9.4 数据处理分析	291
9.4.1 以直接计算法求取阻力系数	292
9.4.2 以多段样条法求取阻力系数	293
9.4.3 高速摄影测试数据处理	298
§ 9.5 光电测试技术的新进展	300
主要符号表	306
参考文献	314

第一章 概 论

§ 1.1 子母弹飞行动力学的研究对象与任务

子母弹是由母弹和子弹组成一体的。其中,母弹包括炮弹、火箭弹、火箭弹和导弹诸弹种,子弹包括刚性尾翼的子弹和柔性尾翼(降落伞或飘带尾翼)的子弹。

子母弹飞行动力学是研究子母弹的运动规律及其总体性能的科学。《美国大百科全书》关于弹道学的定义指出^[1],弹道学是研究包括炮弹、炸弹、导弹和火箭弹等飞行器的运动和总体性能的科学。并指出,外弹道学的研究包括航空和航天诸飞行器的性能。因此,子母弹飞行动力学也可称为子母弹外弹道学。

按照上述定义,子母弹外弹道学的研究对象和任务,不仅包括箭弹子母弹的运动规律,而且还包括研究箭弹子母弹的总体性能,从而也纠正了长期以来把外弹道的研究任务仅局限于研究箭弹的运动规律而与总体性能无关的偏见。

子母弹飞行动力学包括母弹、抛射(撒)和子弹的飞行动力学三个部分。母弹飞行动力学为抛射(撒)点以前的弹道性能计算分析提供理论依据,并为抛射动力学模型和抛射弹道提供初始条件。针对不同性质的目标,选用不同的母弹,采用不同的开舱、抛射方式,使用不同的稳定装置和不同性能的子弹等,将可产生不同效果的子弹弹道(抛射弹道或二次弹道)特性。针对上述各种不同情况,将有不同的抛射动力学和子弹飞行动力学模型及其不同的弹道特性。可见,子母弹飞行动力学的主要任务是研究母弹飞行、抛射过程和子弹飞行这一全弹道的子母弹运动特性和总体性能的计算分

析方法,各作用因素的影响规律,子母弹总体参数优化设计等。其具体任务可归纳如下:

(1)母弹(炮弹、航弹、火箭弹和导弹)弹道计算与弹道性能分析,子母弹抛射点诸元的确定;

(2)在具体开舱、抛射条件下分析子母弹系统的受力情况;

(3)针对一定的开舱、抛射条件,建立抛射动力学模型及其求解方法;

(4)针对不同的子弹(稳定装置为刚性的或柔性的子弹),建立子弹飞行动力学模型及其求解方法与飞行稳定性分析;

(5)抛射过程子弹大攻角非线性气动力与飞行稳定性研究;

(6)抛射过程伞弹系统受力研究;

(7)柔性尾翼(降落伞、飘带等)气动力研究;

(8)研究抛射过程中各作用因素对子弹弹道性能的影响;

(9)优化方法在子母弹参数优化设计中的应用;

(10)子母弹全弹道数字仿真(含弹道性能和射击效率的参数仿真等);

(11)子母弹飞行动力学的试验原理、试验技术与数据处理方法的研究。

鉴于母弹飞行动力学(炮弹、航弹和火箭的外弹道学及导弹飞行力学)研究已有不少专门论著,子母弹飞行动力学的研究重点,无疑地就是围绕抛射弹道有关问题来开展,而这方面的研究又恰恰是该领域的薄弱环节甚至还是空白。

§ 1.2 子母弹飞行过程的弹道特征

子母弹主要用于对付集群目标。一枚母弹将装载少则几枚多则数百枚的子弹。子母弹飞行过程是由一种母弹(炮弹、航弹、火箭弹和导弹中之一)内装许多子弹,当母弹飞达预定的抛射点时,经过母弹开舱、抛射全部子弹,直至子弹群撒布在预定的目标区域,击中敌人的集群目标。