

The background of the cover is a dark blue gradient. It features several glowing, curved lines that represent trajectories, with one prominent line curving from the bottom left towards the top right. Faint, diagonal bands of binary code (0s and 1s) are visible in the upper left and lower right areas.

弹道解算理论与应用

THE THEORY AND APPLICATION OF TRAJECTORY CALCULATION

赵新生 舒敬荣 编著

兵器工业出版社

弹道解算理论与应用

赵新生 舒敬荣 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书研究弹道解算的基本理论及应用实践。主要包括外弹道学基础知识、弹箭受力分析及弹道方程组的建立、弹道方程组的解法、非标准条件下的修正理论、刚体弹道方程及飞行稳定性理论、射表的编制和使用、弹道解算中常用的数值计算方法及决定射击诸元的基本理论和方法等,并给出了各种条件下求解弹道诸元和射击诸元的计算机程序及应用实例。

本书内容丰富、结构合理、推导严谨、叙述流畅,可作为军队院校或国防工业院校相关专业本科生和研究生的必修课或选修课教材,也可供院校教学科研人员、科研院所和机关工作人员及兵工企业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

弹道解算理论与应用/赵新生,舒敬荣编著. —北京:
兵器工业出版社,2006.5

ISBN 7-80172-554-9

I. 弹... II. ①赵...②舒... III. 枪炮外弹道学—方程解 IV. TJ012.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 017420 号

出版发行:兵器工业出版社

发行电话:010-68962596,68962591

邮 编:100089

社 址:北京市海淀区车道沟10号

经 销:各地新华书店

印 刷:解放军炮兵学院教学印刷厂

版 次:2006年5月第1版第1次印刷

印 数:1—400

责任编辑:李翠兰

封面设计:张 军

责任校对:全 静

责任印制:赵春云

开 本:787×1092 1/16

印 张:23.25

字 数:560千字

定 价:49.80元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

编委会名单

主 编：赵新生 舒敬荣

副主编：杨玉林 齐善明 崔 军 王朝晖

编 委：徐明中 崔卫兵 钟进军 刘月勤

韩永要 李 航 姜书升 李伟芬

主 审：蒋胜平 朱安国

序

为了适应现代战争的特点,提高火炮的命中精度,充分发挥火炮在未来战场上的作用,从20世纪50年代起,世界各国相继开展了炮兵指挥自动化系统的研制工作,并陆续装备部队使用。目前炮兵指挥自动化系统正朝着数字化、信息化、智能化的方向发展。炮兵指挥自动化系统的主要任务之一就是快速准确地求解射击诸元,而求解射击诸元就需要建立确定弹箭运动规律的弹道模型并用合适的方法解算该弹道模型。有关弹道解算理论与应用的研究在整个系统的研发与作战使用中具有十分重要的意义。

外弹道学是武器总体论证、设计、弹道性能评估和射击试验分析,以及火力运用的理论基础。在当今实战条件下,不仅要确定射击诸元,还要提供高精度的火控外弹道模型及其他弹道修正模型;对弹道修正弹,需要实时对弹道测试数据进行优化处理,并快速进行弹道解算,给出相应的信息和指令,以便即时准确地实施弹道修正。地面指挥系统、武器火控系统及弹载计算机所用的弹道解算软件,为确保武器有效射击起着关键性作用。

炮兵学院科研部赵新生部长、舒敬荣博士等编著的《弹道解算理论与应用》一书,是一本有关弹道解算原理与方法的著作。该书既不同于普通的外弹道学专著,也不同于一般的数值计算方法教材,而是以独特的方式,从独特的视角,将外弹道学和相关的数值计算方法有针对性地融为一体,理论与实践相结合,在给弹道解算提供坚实的理论基础的同时,也提供了大量弹道解算的应用实例,是一本理论与实践并重的好著作。该书的出版,对于我军炮兵信息化建设是一次十分有益的探索。该书内容翔实、体例新颖、结构合理、推导严谨、叙述流畅,是编著者长期知识积累和精心组织编写的结晶。值此著作出版之际,我和弹道学界的同仁对编著者表示热烈的祝贺。愿我军炮兵信息化建设事业蒸蒸日上!

南京理工大学 教授、博士生导师

徐明友

2006年4月

前 言

炮兵精确打击问题是未来作战亟待研究和解决的重要问题,其核心是提高火炮的命中概率,而快速、准确地求解射击诸元是提高火炮命中精度的首要前提。要求解射击诸元,就需要建立确定弹箭运动规律的弹道模型,并用合适的方法解算该弹道模型。有关弹道解算理论与应用的研究在信息化炮兵建设中具有十分重要的现实意义。

建立确定弹箭运动规律的弹道模型,是外弹道学的基本内容之一;解算所建立的弹道模型(该模型一般为微分方程组形式),是数值计算方法的研究范畴。在掌握这两部分基础知识后,就可以利用它们来研究决定射击诸元的理论与方法。外弹道学和相关的数值计算方法,以及决定射击诸元的理论与方法等三方面的内容正是本书的研究对象。另外,本书还给出了大量应用实例,以供读者参考,这也是本书的一个特点。

全书共分9章。第1章介绍了外弹道学的基本概念、研究对象和任务、历史、现状与发展趋势以及常用术语和符号;第2章介绍了弹道解算中常用的数值计算方法,即插值法、最小二乘曲线拟合及常微分方程的数值解法等;第3章分析了攻角为零时作用在弹箭上的力及其加速度;第4章研究了标准条件下弹箭质心运动微分方程组及弹道特性;第5章介绍了弹道解法,即精确弹道解法与近似弹道解法,还详细讨论了火箭弹和增程弹的弹道解法;第6章研究了非标准条件下弹箭质心运动微分方程组的建立及修正理论;第7章简要介绍了刚体弹道学的基本知识及飞行稳定性理论;第8章介绍了射表编制和使用的有关知识;第9章讨论了射表拟合法和弹道积分法决定射击诸元的基本理论和方法,并给出了求解弹道诸元和射击诸元的完整程序。考虑到教学和科研工作的实际需要,附录中给出了常用的炮兵兵器术语和弹道学术语、解外弹道基本问题的计算机程序实例及弹道解

算中常用数值计算方法的 C 语言源程序及应用举例。为便于教学和科研工作中查阅,书后还编有 11 个常用的附表。

本书是根据炮兵指挥、指挥自动化工程等专业《弹道解算原理与方法》课程的课程标准的要求编写的,是炮兵指挥专业高年级本科生《弹道解算原理与方法》课程的基本教材,也可作为相关专业《外弹道学》课程的基本教材,还可用作研究生教学、科研和部队科研院所及兵工企、事业单位工程技术人员的参考书。

在本书编著过程中,我国著名弹道学家、火箭专家、国家级重点学科——兵器发射理论与技术学术带头人、南京理工大学博士生导师徐明友教授给予了悉心指导,并亲自为本书作序,在此表示衷心的感谢;同时,编著中也得到了许梅生教授,张继春副教授的热情帮助,参阅了大量相关的著作和论文,出版中得到了有关部门和领导的支持,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,本书不妥之处在所难免,恳请有关专家和读者批评指正。

编 著 者

2006 年 5 月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 外弹道学的基本概念	(1)
1.3 外弹道学的研究对象与任务	(2)
1.4 外弹道学的历史、现状与发展趋势	(4)
1.4.1 外弹道学发展简史	(4)
1.4.2 外弹道学的现状与发展趋势	(7)
1.5 外弹道学的实际应用	(11)
1.6 外弹道学常用术语和符号	(12)
第 2 章 弹道解算常用数值计算方法	(17)
2.1 引言	(17)
2.2 插值法	(17)
2.2.1 线性插值	(18)
2.2.2 二次插值	(19)
2.2.3 拉格朗日插值	(20)
2.3 最小二乘法曲线拟合	(21)
2.3.1 线性拟合	(22)
2.3.2 一般多项式拟合	(24)
2.3.3 正交多项式拟合	(27)
2.4 常微分方程(组)数值解法	(31)
2.4.1 欧拉法	(31)
2.4.2 龙格—库塔法	(32)
2.4.3 阿当姆斯法	(37)
第 3 章 攻角为零时作用在弹丸上的力及其加速度	(40)
3.1 引言	(40)
3.2 重力及重力加速度	(40)
3.3 科氏惯性力及科氏加速度	(42)
3.4 空气阻力及空气阻力加速度	(42)

3.4.1	大气特性及标准气象条件	(42)
3.4.2	空气阻力及空气阻力加速度	(48)
3.4.3	底排弹的减阻	(58)
3.4.4	阻力系数的射击实验测定原理	(59)
3.5	推力及推力加速度	(60)
第4章	标准条件下弹丸质心运动微分方程组及弹道特性	(65)
4.1	引言	(65)
4.1.1	基本假设	(65)
4.1.2	弹丸质心运动的矢量方程	(65)
4.1.3	描述弹丸质心运动的主要参量	(66)
4.2	以时间 t 为自变量的弹丸质心运动微分方程组	(66)
4.2.1	地面直角坐标系内弹丸质心运动微分方程组	(66)
4.2.2	自然(速度)坐标系内弹丸质心运动微分方程组	(67)
4.3	以其他参量为自变量的弹丸质心运动微分方程组	(69)
4.3.1	以射距离 x 为自变量的弹丸质心运动微分方程组	(69)
4.3.2	以弹道高 y 为自变量的弹丸质心运动微分方程组	(69)
4.3.3	以弹道弧长 s 为自变量的弹丸质心运动微分方程组	(70)
4.4	增程弹和火箭弹的质心运动微分方程组	(70)
4.4.1	增程弹和火箭弹弹道的特点	(70)
4.4.2	增程弹和火箭弹的质心运动微分方程组	(71)
4.5	弹道特性	(73)
4.5.1	真空弹道特性	(73)
4.5.2	空气弹道特性	(76)
第5章	弹道解法	(80)
5.1	引言	(80)
5.2	精确弹道解法	(80)
5.2.1	弹道表解法	(80)
5.2.2	计算机数值积分法	(84)
5.3	近似弹道解法	(100)
5.3.1	西亚切解法	(100)
5.3.2	级数展开解法	(108)
5.4	火箭弹与增程弹弹道解法	(118)
5.4.1	火箭弹主动段弹道的近似解法	(118)
5.4.2	火箭弹被动段弹道解法——落点和顶点诸元计算	(125)
5.4.3	增程弹的弹道诸元计算	(129)

第 6 章 非标准条件下弹丸质心运动微分方程组及修正理论	(131)
6.1 引言	(131)
6.1.1 射表的标准条件	(131)
6.1.2 修正理论的意义和修正方法	(131)
6.1.3 弹道风、弹道温偏和层权	(132)
6.1.4 主要修正系数的计算和修正系数表	(134)
6.2 非标准条件时的弹丸质心运动微分方程组	(137)
6.2.1 弹道条件非标准时的弹丸质心运动微分方程	(137)
6.2.2 气象条件非标准时的弹丸质心运动微分方程	(137)
6.2.3 地形条件非标准时的弹丸质心运动微分方程	(140)
6.2.4 考虑所有非标准条件时的弹丸质心运动微分方程	(144)
6.3 弹道条件非标准时的修正计算	(145)
6.3.1 初速对射程的修正计算	(145)
6.3.2 药温对射程的修正计算	(145)
6.3.3 弹丸质量对射程的修正计算	(145)
6.3.4 装药质量对射程的修正计算	(146)
6.3.5 引信带冲帽对射程的修正计算	(147)
6.3.6 弹体不涂漆对射程的修正计算	(147)
6.4 气象条件非标准时的修正计算	(147)
6.4.1 郎日文定理	(147)
6.4.2 气温对射程的修正计算	(149)
6.4.3 气压对射程的修正计算	(151)
6.4.4 纵风对射程的修正计算	(152)
6.4.5 垂直风对射程的修正计算	(153)
6.4.6 横风对侧偏的修正计算	(155)
6.5 高角(高低)修正量和偏流的计算	(156)
6.5.1 计算高角修正量的基本方法	(156)
6.5.2 近似法计算高角修正量	(157)
6.5.3 高差 10m 的高低修正量的近似计算	(159)
6.5.4 偏流的计算	(159)
6.6 地球特性的修正量的计算	(162)
6.6.1 地球自转修正量	(162)
6.6.2 重力加速度随地理纬度变化引起的距离修正量	(167)
6.6.3 其他地球特性对射击的影响	(168)
第 7 章 刚体弹道学及弹丸飞行稳定性理论简介	(172)
7.1 引言	(172)
7.2 角运动的起因	(172)

7.2.1	起始扰动	(172)
7.2.2	风	(173)
7.2.3	弹丸本身的不对称性	(173)
7.2.4	重力导致的弹道弯曲	(174)
7.3	坐标系及其转换关系	(174)
7.3.1	地面坐标系 $O-xyz$	(174)
7.3.2	理想弹道坐标系 $O-x_1y_1z_1$	(174)
7.3.3	速度坐标系 $O-x_2y_2z_2$	(175)
7.3.4	第一弹轴坐标系 $O-\xi_1\eta_1\zeta_1$ 和第二弹轴坐标系 $O-\xi_2\eta_2\zeta_2$	(176)
7.3.5	弹体坐标系 $O-\xi\eta\zeta$	(180)
7.4	作用在弹丸上的力和力矩	(181)
7.4.1	重力	(181)
7.4.2	有攻角时的空气动力和空气动力矩	(181)
7.4.3	与自转和角运动有关的空气动力和力矩	(184)
7.4.4	推力、喷管导转力矩和推力偏心力矩	(188)
7.4.5	常用的获取气动力系数的方法	(192)
7.5	弹丸刚体运动方程组的建立	(194)
7.5.1	地面坐标系内弹丸刚体运动微分方程组	(194)
7.5.2	降阶的刚体运动方程组	(201)
7.5.3	用于射弹散布计算和稳定性分析的刚体弹道模型	(203)
7.6	稳定飞行原理及飞行稳定性理论概述	(209)
7.6.1	稳定飞行的原理及飞行稳定的必要条件	(209)
7.6.2	飞行稳定条件	(212)
7.7	动力平衡角和偏流产生的原因及追随稳定条件	(213)
7.7.1	动力平衡角和偏流产生的原因	(213)
7.7.2	追随稳定条件	(214)
第8章	射表编拟和使用简介	(215)
8.1	有关射表的基本知识	(215)
8.1.1	射表的作用与用途	(215)
8.1.2	标准射击条件	(215)
8.1.3	射表的内容与格式	(217)
8.1.4	射表体系	(219)
8.2	射表编拟方法简介	(220)
8.2.1	概述	(220)
8.2.2	确定射表编拟方法时应考虑的几个问题	(221)
8.2.3	射表编拟过程	(222)
8.2.4	射表编拟的一般程序	(223)
8.3	射表的使用	(225)

8.4 射表误差初步分析	(228)
第9章 决定射击诸元理论及程序设计	(230)
9.1 引言	(230)
9.2 射表拟合法决定射击诸元	(230)
9.2.1 射表数据的拟合处理	(230)
9.2.2 射表拟合法决定射击开始诸元的一般步骤和方法	(233)
9.3 弹道积分法决定射击诸元	(237)
9.3.1 引言	(237)
9.3.2 非标准条件下弹丸质心运动微分方程组	(238)
9.3.3 弹道条件非标准时有关参数的求取	(239)
9.3.4 气象条件非标准时有关参数的求取	(240)
9.3.5 地形条件非标准时有关参数的确定	(243)
9.3.6 阻力函数 $G(v, C)$ 的处理方法	(244)
9.3.7 偏流的简化计算	(244)
9.3.8 射击诸元的求取	(244)
9.3.9 弹道积分法决定射击诸元的一般步骤	(247)
9.4 决定弹道与射击诸元程序设计	(249)
9.4.1 引言	(249)
9.4.2 标准条件下求取弹道诸元程序设计	(249)
9.4.3 非标准条件下求取弹道诸元程序设计	(260)
9.4.4 计算目标开始(装定)诸元程序设计	(271)
附录	(287)
附录 A 常用炮兵兵器术语和弹道术语	(287)
附录 B 解外弹道基本问题的计算机程序实例	(294)
附录 C 弹道解算常用算法 C 语言源程序及应用举例	(304)
1 插值	(304)
1.1 一元全区间不等距插值	(304)
1.2 一元全区间等距插值	(306)
1.3 一元三点不等距插值	(308)
1.4 一元三点等距插值	(310)
1.5 二元三点插值	(313)
1.6 二元全区间插值	(316)
2 最小二乘曲线拟合	(319)
3 常微分方程(组)数值解法	(324)
3.1 全区间积分的定步长龙格-库塔法	(324)
3.2 积分一步的变步长龙格-库塔法	(327)
3.3 全区间积分的阿当姆斯预报-校正法	(331)

附表		(337)
附表 1	饱和水蒸气气压 $P_b - t$	(337)
附表 2	虚温随高度变化的 $T_v - y$	(338)
附表 3	气压函数 $\pi(y) - y$ 数值	(339)
附表 4	空气密度函数 $H(y) - y$	(340)
附表 5	音速 C 随高度变化的数值	(340)
附表 6	1943 年阻力定律 $C_{x0M3} - v_{Tv}$ 数值	(341)
附表 7	西亚切阻力定律 $C_{x0\pi} - v_{Tv}$ 数值	(341)
附表 8	$\sqrt{\frac{T_{v0n}}{T_v}} - y$ 数值	(342)
附表 9	$G(v_{Tv}) - v_{Tv}$ 数值(1943 年阻力定律)	(343)
附表 10	$H_{Tv}(y) - y$ 数值	(348)
附表 11	以 $v_0, C_b \sqrt{Y}$ 为表头的直射射程系数 K 值	(352)
参考文献		(355)

第 1 章 概 述

1.1 引 言

为了适应现代战争的特点,提高火炮的命中精度,充分发挥火炮在末末战场上的作用,从 20 世纪 50 年代起,世界各国相继开始了炮兵指挥自动化系统的研制工作,并陆续装备部队使用。目前炮兵指挥自动化系统正朝着数字化、信息化、智能化的方向发展。炮兵指挥自动化系统的主要任务之一就是快速准确地求解射击诸元,而求解射击诸元就需要建立确定弹丸运动规律的弹道模型并用合适的方法解算该弹道模型。因此,有关弹道解算原理与方法的研究在整个系统中就具有十分重要的意义。

要建立确定弹丸运动规律的弹道模型,就需要掌握外弹道学的基本知识;要解算所建立的弹道模型(该模型一般为微分方程组形式),就需要了解数值计算方法的相关内容;在掌握这两部分基础知识后,就可以利用它们来研究决定射击诸元的理论与方法。因此,外弹道学、相关的数值计算方法以及决定射击诸元的理论与方法等三方面的内容就是本书研究的范畴。

1.2 外弹道学的基本概念

自从利用火药发射的武器——枪炮发明以后,尤其是将它应用于战争之后,就产生了如何使由枪炮发射出去的弹丸准确命中目标的问题。而要解决这个问题,就需要知道弹丸在枪炮管中以及出枪炮管后是如何运动的。

通常把研究弹丸运动及与此运动有关问题的科学总称为弹道学。

由于在弹丸运动的不同阶段受力情况不同,运动规律自然也不相同。弹丸从发射后开始运动的瞬间到命中目标直至静止的瞬间为止,粗略地可分为如下五个时期:

(1)约束期:弹丸从运动的瞬间起到前定心部与身管解除约束的瞬间止。这一时期内,弹丸的运动严格地受到身管的约束。

(2)半约束期:从约束期结束的瞬间起到后定心部与身管解除约束的瞬间止。这一时期内,弹丸的前定心部已能自由运动,但后定心部仍受到身管的严格约束。

(3)后效期:从半约束期结束的瞬间开始到火药燃气对弹丸的作用力为零的瞬间止。在这期间内作用在弹丸上的力除了重力和空气动力外,还有火药燃气对弹丸的作用力。这时的弹丸已不受身管的约束,可以任意运动。

(4)自由飞行期:从后效期结束的瞬间起到弹丸命中目标的瞬间止。这一时期内弹丸仅受到重力和空气动力的作用,完全和自由刚体的运动规律一样。

(5)对目标的作用期:从弹丸命中目标的瞬间起到对目标的作用结束,停止运动的瞬间止。

这一时期内弹丸受到目标的约束。

一般把研究前两个时期弹丸运动规律的学科称为内弹道学;把研究后效期弹丸运动规律的学科称为中间弹道学;把研究对目标作用期内弹丸运动规律的学科称为终点弹道学;而外弹道学则是主要研究自由飞行期内弹丸的运动规律及与运动规律有关的科学。值得提出的是,尽管各学科都在研究弹丸的运动规律,但研究的侧重点是各不相同的。比如,内弹道学主要是通过研究火药燃烧规律,分析影响膛内弹丸运动的受力情况,着重寻找弹丸运动过程中火药燃气压力和弹丸速度的变化规律;而外弹道学则把重点放在确定弹丸质心的位置和弹丸的飞行姿态上,等等。

弹丸在空中的运动规律和自由刚体的运动规律完全一样,包含着弹丸的质心运动规律和围绕质心的运动规律两部分。在特定条件(即基本假设)下,两种运动规律可以分别进行研究。研究弹丸质心运动规律的目的在于确定某时刻 t 弹丸质心所处的空间位置 (x, y, z) 和速度 v (包括大小和方向);研究弹丸围绕质心运动规律的目的在于确定弹丸稳定飞行的条件和寻找出提高射击密集度的可能途径。正因为如此,外弹道学就可分为质点弹道学与刚体弹道学两大部分。

所谓质点弹道学就是指在一定的假设下,略去对弹丸运动影响较小的一些力和全部力矩,把弹丸当成一个质点,研究其在重力、空气阻力和火箭推力作用下的运动规律。质点弹道学的作用在于研究在此简化条件下的弹道计算问题,分析影响弹道的诸因素,并初步分析形成散布和产生射击误差的原因。

所谓刚体弹道学就是指考虑弹丸所受的一切力和力矩,把弹丸当做刚体,研究其围绕质心的运动(也称角运动)及其对质心运动的影响。刚体弹道学的作用在于解释飞行中出现的各种复杂现象,研究稳定飞行的条件、形成散布的机理及减小散布的途径,还可以用于精确计算弹道。

外弹道学分成这两部分,也可以看作是研究问题的两个步骤,这是历史形成的。外弹道学发展初期,人们只会计算弹丸在重力作用下的运动规律,即真空弹道。后来进一步考虑了空气阻力的影响,出现了各种近似解法。目前,由于电子计算机的出现和普及,这些近似解法虽然部分地失去了原来的作用,但是这种简化条件下的运动方程在一定的条件下仍然有其积极作用,特别是在建立数字式射击指挥仪的数学模型中,近似的解析解法又发挥出了比过去更加重要的作用。由于质点弹道具有模型简单和计算速度快的特点,所以质点弹道学的作用至今仍然没有减退。

刚体弹道学的发展对于改善弹丸飞行稳定性和揭示产生散布的机理起着重要的作用,特别是对于减小火箭散布起着更加重要的作用。由于刚体弹道方程能够精确地描绘弹丸的运动,因而用刚体弹道方程进行数学模拟在一定程度上能起到与射击实验同等的作用。数学模拟可用于检验设计效果,发现某些规律和现象,对于节约经费和时间能起到显著效果。而且随着理论模型的进一步完善,这方面的作用会更加显著。另外,随着电子计算机运行速度的提高,刚体弹道在编拟射表中的应用范围也在逐步扩大。

1.3 外弹道学的研究对象与任务

如上所述,外弹道学是研究弹丸在空中的运动规律及与此运动有关问题的科学。它是炮

兵科学的重要基础学科之一。其理论基础虽属理论力学和数学的范畴,但它不是一门纯理论的科学,而是一门实用性很强的应用科学。

要掌握外弹道学的研究对象及任务,必须先弄清“弹丸在空中的运动规律”以及“与此运动有关的问题”指的是什么。下面就来说明这些问题。

一般枪炮的发射,总是在使枪炮管仰起一定角度的条件下进行的。枪炮管轴线与水平面间的夹角,叫做仰角。实践经验证明:在弹丸大小、形状、质量和所用推送弹丸的发射药种类和质量等条件给定的情况下,弹丸所能飞达的距离与仰角有一定的函数关系。这种表示仰角与射距离间函数关系的表格,就是目前火炮进行射击时常用的射表的雏形。最早的射表是用纯实验的方法编制的。但是由于技术的发展,射距离越来越远,用纯实验的方法编制射表,不仅困难费时,而且耗费巨大。

为了解决上述困难,需要总结经验,寻求弹丸质心在空中的运动规律(理论)。当弹丸运动速度较小,空气与弹丸间的相互作用、也即空气阻力较小可以略去不计时,弹丸仅在重力作用下运动,此时可由所谓的“抛物线理论”来描述。由于技术的发展,弹丸速度逐渐增大,空气阻力也逐渐增大到不能忽视的程度。弹丸在重力和空气阻力两个力同时作用下的运动,由先后出现的各种近似的和较准确的空气弹道解法来解决。自从大型数字电子计算机出现后,考虑影响弹丸运动因素的全面性、与实际情况的一致性和所需诸气动系数的准确性等,则成为进一步提高计算弹丸质心运动准确性的关键。而这些问题目前也均已解决。由此可见,外弹道学最初是由炮兵对于编制射表的实际需要而逐渐发展起来的。

最初的炮弹均为球形或近似球形。球形是一个中心对称体,无所谓颠倒与翻转,也就不会出现飞行稳定与不稳定的问题。但后来为了要在不增大口径的前提下来增大弹丸的威力和减小空气阻力(因而增大射程),而将弹丸逐步改为“水滴形”(如尾翼式迫击炮弹)和“锐头圆柱形”,也就是逐渐发展成为目前所采用的长圆形弹丸。由于长圆形弹丸的出现,因而产生弹丸在空中飞行时可能颠倒、翻转致使射击不准确的问题,也就是出现了长圆形弹丸在空中飞行稳定与不稳定的问题。

所谓飞行稳定,主要是指弹丸在飞行过程中弹头始终向前,而且其几何轴线与速度矢量线间的夹角(称为攻角)很小的情况。使弹丸飞行稳定的方法有二:旋转法与尾翼法。为了研究旋转弹丸飞行稳定性问题而建立和发展了所谓的旋转理论;为了研究尾翼弹丸的飞行稳定性问题而建立和发展了所谓的摆动理论。这两种理论的创立和发展,为解决长圆形弹丸在空中稳定飞行、减小散布等问题,创造了越来越有利的条件。

人类对自然规律的认识越深刻,则能更好地利用自然规律为人类服务。外弹道学也是如此。如今,枪炮弹丸的外弹道设计,业已摆脱以前那种盲目的状态;或者按一定的战术技术要求(如给定射程、距离与方向中间误差、枪炮口径等),根据外弹道学理论进行外弹道设计,找出最恰当的弹重和初速等;或者利用外弹道学上以及其他有关炮兵科学上的新成就来设计新型的火炮弹药,促使战术技术指标的改变。这样,在外弹道学发展的基础上,逐步建立并正在不断完善着所谓火炮弹药的外弹道设计理论。

根据上而的讨论知道,外弹道学研究对象中所谓“弹丸在空中的运动规律”是指弹丸质心运动和围绕质心的运动(即旋转和摆动);所谓“与此运动有关的问题”是指弹丸在空中运动时所形成的空气动力和外弹道学中的各种应用,如射表编制和弹道设计等。

同时根据上而的讨论知道,外弹道学的主要任务是:解决有关射表编制、飞行稳定性和弹

道设计等问题。当然在武器弹药的设计、研制和定型鉴定过程中有关弹道性能的试验、研究和数据的分析处理等,必须应用全部的外弹道理论知识来进行,才能获得最好的效果。甚至在实验空气动力学的研究上,应用先进的弹道靶道和试验设备进行实弹或其模型的射击试验,由外弹道逆运算获得不次于风洞实验的全部数据,已经成为空气动力试验方法的另一重要分支。

外弹道学是炮兵科学的重要基础学科之一。发射武器的主要性能如射程、精度、威力和机动性能等,无一不与外弹道学理论及其应用密切相关。为了充分发挥炮兵在实战中的威力,除了需要上述的射表外,其他如瞄准镜(具)与现代化的自动化指挥系统的设计,也均需要以外弹道学理论为基础。

导弹弹道的无控段和火箭弹弹道的被动段的受力情况与枪炮弹丸弹道的受力情况完全一致。因此,它们在无控段或被动段的运动理论与枪炮弹丸的外弹道学理论也完全一致。至于导弹有控段和火箭主动段的飞行理论,虽然也是外弹道学中的一个分支,但为了研究上的方便,将分别在有关的专著(导弹飞行力学与火箭外弹道学)中讨论。

总之,外弹道学是通过研究弹丸的运动规律,而后利用这些运动规律去完成弹道设计、射表编制和提高射击密集度等任务。

外弹道学是炮兵射击学的重要专业基础学科,在确定火炮射击诸元和对射击现象进行分析时,都离不开外弹道学的理论和实践。在地面火炮的射击指挥系统中,不管是射击诸元计算器,还是比较完善的技术射击指挥系统与战术射击指挥系统中都离不开外弹道学的基本理论,尤其是由外弹道学建立起来的弹道数学模型更是其中关键问题之一。在火炮等兵器系统的设计中,外弹道学又是整个武器系统设计中的重要环节和主要基础。

从研究方法或手段来看,外弹道学的研究是从理论和试验两个方面来进行的,二者之间紧密联系,互相促进。外弹道涉及的学科和技术比较多,概括起来,它是以物理学、高等数学、理论力学和空气动力学为主要基础;以计算机、计算方法、风洞实验、外弹道试验为主要手段来研究和解决问题的。此外,外弹道学还要牵涉到气象学、内弹道学、中间弹道学、终点弹道学、制导技术、测试技术、系统工程、射击指挥系统、火炮和弹药等一系列学科和技术。许多新学科、新技术的产生都要影响到外弹道学的发展。

1.4 外弹道学的历史、现状与发展趋势

1.4.1 外弹道学发展简史

一、外弹道学的起源与发展

外弹道学是一门古老的学科。史前人投掷的第一块石头可以认为是外弹道现象最早的例子。古代人类所谓的弹道学,实际上大部分内容是研究投掷现象的,它属于外弹道学的范畴。英文名词“ballistics”来源于拉丁语“ballista”,它的意思是指古代的投掷装置,像投掷器、矛和弩炮等。

古希腊的机械师也研究了投掷装置,像投石机、弩炮和弓箭等,希腊语称它们为“ballein”或“ballo”。公元前3世纪,亚历山大(Alexandria)和拜占庭(Byzantium)时代的哲学家费朗(Philon)写了一本有关投掷机设计、制造和使用技术的书籍,名为“βελοπομικα”,它即是最早的