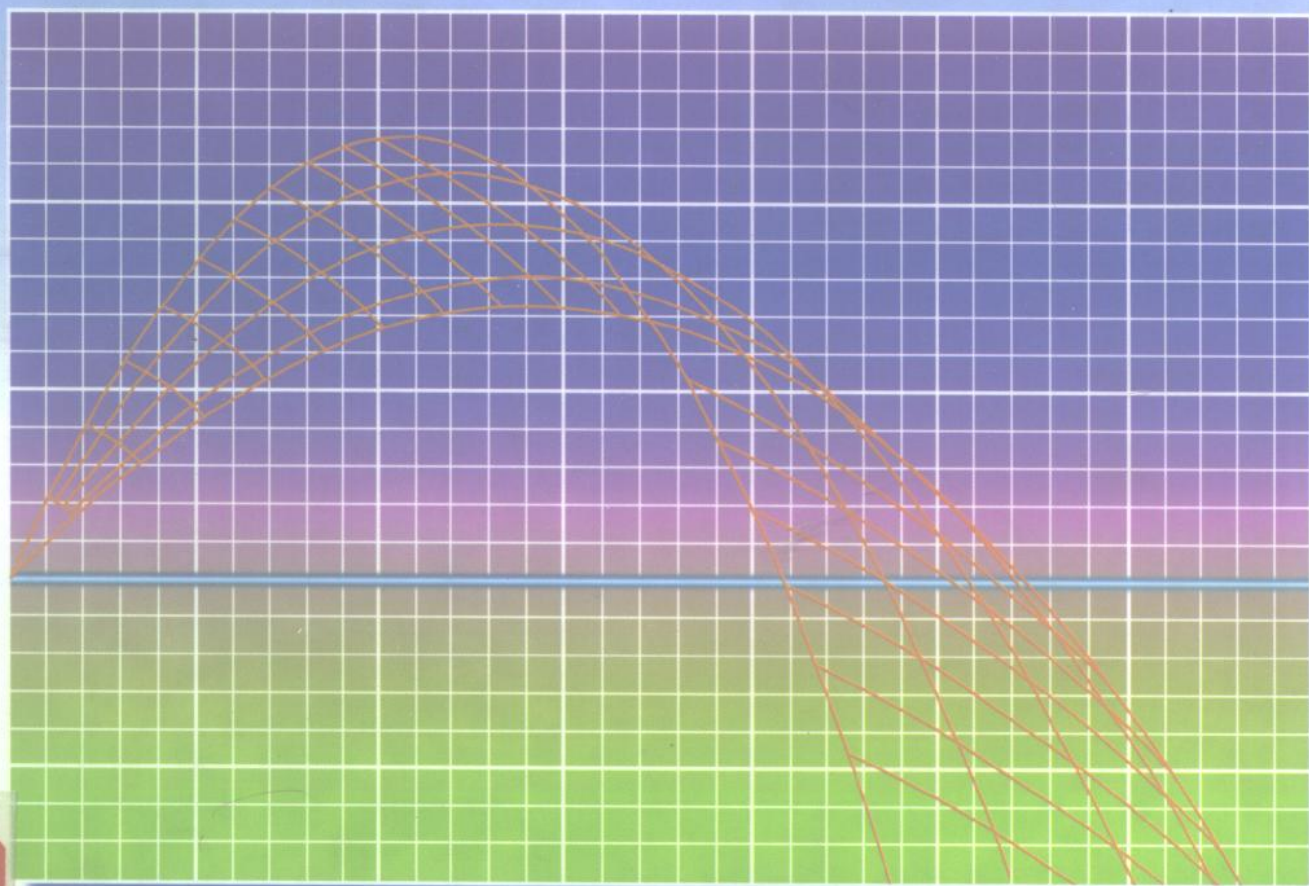


射表技术

闫章更 祁载康 著



国防工业出版社

TJ012.3

Y11

455713

射 表 技 术

闫章更 祁载康 著



国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

射表技术/闫章更,祁载康著. -北京:国防工业出版社,2000.1

ISBN 7-118-02140-7

I. 射… II. ①闫… ②祁… III. 射表-技术
IV. TJ012.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 45973 号

D39/16

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 787 × 1092 1/16 印张 17½ 396 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

编制射表是常规兵器试验场的主要任务之一,但是,迄今为止,关于射表技术的一些论述仅在外弹道学教程及有关著作中做一些简要的介绍,这使得新从事射表技术的科技工作者在尽快熟悉射表技术和肩负起编制射表任务方面感到困难和不便,渴望有一本全面、系统论述射表技术的专门著作,这就是我们编写本书首要的指导思想。其次,我国编制射表已有 40 多年的历史,全面系统地总结射表技术的历史经验,将有助于促进射表技术的进步与发展;第三,在长期靶场实践中,我国有关科技工作者积累了关于射表技术的丰富经验,同时随着科学技术的发展,射表技术也取得了新的进展,应进一步交流这些经验和成就,以便使我国的射表技术更好地满足高技术条件下现代化战争对射表的要求。

编制射表的理论和方法依赖于外弹道学、空气动力学、应用数学、参数辨识学、统计学、计算机应用等多种学科。射表技术的具体实施则依赖于测试技术、计算机技术及试验条件。因此射表技术是随着这些科学与技术的发展在不断发展的。

1966 年以前,我国靶场测试手段只能测得弹道上的炮口和弹着点的部分数据,计算手段是算盘、计算尺及手摇式计算机。因此,编拟射表只能按所谓标准的“43 年阻力定律”、“西亚切阻力定律”采用弹道表及微分法。这样自然要投入很多人力,消耗很多弹药,周期长、精度差。

1966 ~ 1985 年间,计算手段有了大的改进。开始使用电子管计算机,随后用的是较先进的 441B、108E 晶体管计算机,编拟方法也由微分法进入到求差法。精度有了提高,投入的人力有所减少,周期也相应缩短。但由于测试手段没有多大的改变,故仍然不得不采用“43 年阻力定律”、“西亚切阻力定律”,弹道计算采用 2D 模型,因此,编拟方法在本质上没有大的改变。

1985 年,中国华阴兵器试验中心引进了 DR - 582 雷达,该雷达能测得弹道上的 2000 多个速度 - 时间数据,这就从根本上改变了仅能测得炮口和弹道点部分数据的落后状态,从而为改进射表编拟方法提供了良好条件。1985 年下半年该中心率先将此雷达应用到射表射击试验中,用雷达跟踪弹道,在获得关于弹道速度变化规律信息的基础上,对射表编拟方法进行了改进。在国内首次采用了弹丸自身的阻力系数,改进了符合方法和数据处理方法,从而提高了精度、节省了弹药、缩短了周期。可以说射表编拟方法已有了较大的改变。但是,在当时的客观条件下,能获得的只是阻力系数,尚不具备获得其它空气动力参数的条件。即便是阻力系数,从雷达数据中得到的也只能是带有某种符合性质(符合了速度、时间)的阻力系数 $C_D(M)$,由于此阻力系数还包含了攻角的影响,而当时测不出攻角,因而也就无法分离出零阻系数和诱导阻力系数。在上述情况下,改变弹道模型尚不具备条件,故在射表编制中仍不得不沿用 2D 弹道模型。

从 80 年代后期开始,中国华阴兵器试验中心与北京理工大学、洛阳跟踪与通信研究

所,共同完成了测定常规弹丸的空气动力参数的纸靶试验技术研究,并对国内获取常规弹丸气动参数的其它手段进行了应用研究,从而使该试验中心具备了改进编拟射表弹道模型的条件。随后中国华阴兵器试验中心又与北京理工大学共同完善了国际流行的4D弹道模型及动力平衡角的计算方法,对2D、4D、5D、6D等各种弹道模型进行了评估、优化,在此基础上,建立了应用4D模型的射表编拟方法,进一步提高了射表精度,更好地满足了射表模型与火控模型相统一的要求。

本书力图总结上述三阶段射表技术的历史经验,并以中国华阴兵器试验中心第三阶段射表技术为基础,介绍编拟射表的技术、理论和方法,供从事射表技术、弹道测试技术及有关技术人员参考。本书第2章的2.5、2.6节,第7章的7.6节和第11章由博士生导师祁载康教授撰写,其余各章均由闫章更高级工程师撰写。第5章由袁本信高级工程师审校,其余各章均由祁载康教授审校。在编写本书的过程中,李长青高级工程师、严平波高级工程师对编写本书的总体思想提出了许多宝贵意见。苟上会高级工程师、董满才高级工程师、梁秉中工程师等校阅了初稿部分章节。对于他们的热情支持和帮助,表示衷心感谢。

虽然我们长期从事射表的编制,但由于水平所限,错误在所难免,请批评指正。

作 者

内 容 简 介

本书系统介绍射表技术的原理与方法。其主要内容有射表模型;射表试验;气动参数辨识;数据分析;地面炮榴弹、火箭弹、底排弹、子母弹、末制导炮弹、高炮、甲弹等武器弹药系统的射表编制;对比试验及结果评定;射表检查;射表误差及射表技术展望等。该书较系统地总结了我国射表技术的历史经验,较全面地反映了射表技术的现代面貌。书中对每一试验技术给出了实施要点,对每一编拟技术给出了具体做法,可操作性强。

本书适于从事射表编拟、兵器鉴定试验、外弹道测试的科技工作者阅读,也可供院校、研究所有关科技工作者参考。

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 弹道及弹道诸元	1
1.1.1 弹道特征点	1
1.1.2 弹道诸元	1
1.1.3 真空弹道	2
1.1.4 空气弹道	3
1.1.5 射弹散布	3
1.2 射表的用途和内容	4
1.2.1 射表的用途	4
1.2.2 射表的主要内容	4
1.3 对射表的要求	5
1.4 炮兵标准射击条件	7
1.4.1 标准气象条件	7
1.4.2 标准弹道条件	10
1.4.3 标准地球条件	11
1.5 射表编制的基本原理与射表工作程序	11
1.5.1 基本原理	11
1.5.2 射表工作程序	12
第 2 章 射表模型	14
2.1 引言	14
2.2 坐标系、动力平衡角向量及作用在弹丸上的力和力矩	14
2.2.1 坐标系	14
2.2.2 动力平衡角向量	15
2.2.3 作用在弹丸上的力	16
2.2.4 作用在弹丸上的力矩	27
2.3 旋转稳定弹丸 4D 模型	29
2.3.1 旋转稳定弹丸 4D 模型的矢量形式	29
2.3.2 旋转稳定弹丸 4D 模型的标量形式	30
2.3.3 α_c 的迭代算法	32
2.3.4 α_c 的直接算法	36
2.4 旋转稳定弹丸改进的 4D 弹道模型	37
2.4.1 引言	37
2.4.2 动力平衡角的快速解算模型	37

2.4.3 动力平衡角的快速解算模型的迭代算法	40
2.4.4 动力平衡角快速解算模型的直接算法	40
2.5 旋转弹丸简化的 4D 模型及 2D 模型	41
2.5.1 简化的 4D 模型	41
2.5.2 2D 模型	42
2.6 旋转弹丸 6D 模型	44
2.6.1 引言	44
2.6.2 6D 模型建立的基本思路	44
2.6.3 6D 模型方程组	50
2.7 旋转弹丸 5D 模型	52
2.7.1 引言	52
2.7.2 5D 模型建立的基本思路	52
2.7.3 5D 模型方程组	56
2.8 旋转弹丸各模型的比较	58
2.9 火箭弹 4D 模型	59
2.9.1 火箭的推力	59
2.9.2 空气动力数据	62
2.9.3 物理数据	62
2.9.4 火箭弹 4D 模型方程组	63
2.9.5 火箭弹简化的 4D 模型及 2D 模型	63
2.10 火箭弹 5D 与 6D 模型	64
2.11 底排弹 4D 模型	64
2.11.1 引言	64
2.11.2 质量流量模型	64
2.11.3 阻力系数下降量	67
2.11.4 底排弹 4D 弹道模型	67
2.12 子母弹射表模型	68
2.12.1 引言	68
2.12.2 子弹弹道的初始条件	69
第 3 章 射表试验	72
3.1 引言	72
3.2 射表试验准备	72
3.2.1 火炮的射击准备	72
3.2.2 弹药的射击准备	75
3.2.3 气象诸元的观测准备	76
3.2.4 其它准备	76
3.3 测速试验	76
3.3.1 目的	76
3.3.2 需测数据	76
3.3.3 测试原理	77
3.3.4 试验条件	79

3.3.5 数据处理	80
3.4 选配装药量试验	84
3.4.1 目的	84
3.4.2 需测数据	84
3.4.3 试验方法	84
3.4.4 说明	85
3.5 测定跳角试验	85
3.5.1 目的	85
3.5.2 需测数据	85
3.5.3 测试原理	85
3.5.4 实施要点	90
3.5.5 数据处理	91
3.6 确定弹重修正系数和药温修正系数的射击试验	91
3.6.1 目的	91
3.6.2 需测数据	91
3.6.3 原理	91
3.6.4 实施要点	92
3.6.5 数据处理	92
3.6.6 说明	93
3.7 测定落点弹道诸元的射击试验(射程、密集度试验)	93
3.7.1 目的	93
3.7.2 需测数据	93
3.7.3 落点坐标的测量	93
3.7.4 实施要点	94
3.7.5 数据处理	95
3.8 立靶试验	97
3.8.1 目的	97
3.8.2 测试数据	97
3.8.3 背景	97
3.8.4 实施要点	97
3.8.5 数据处理	99
3.9 确定表定初速的射击试验	99
3.9.1 目的	99
3.9.2 需测数据	99
3.9.3 试验方法	99
3.10 测定弹丸空间坐标的射击试验	101
3.10.1 目的	101
3.10.2 需测数据	101
3.10.3 测试原理	101
3.10.4 实施要点	104
3.10.5 数据处理	105
3.11 测定弹丸刚体弹道参数的纸靶试验	106

3.11.1	目的	106
3.11.2	需测数据	106
3.11.3	原理	106
3.11.4	实施要点	110
3.11.5	试验条件问题	111
3.11.6	数据处理	111
3.11.7	说明	112
3.12	试验中气象诸元的观测	112
3.12.1	地面气象诸元的观测	112
3.12.2	高空气象诸元的观测	112
3.13	分组试验	115
3.13.1	引言	115
3.13.2	射击试验中的两类误差与标准化射程的中间误差	115
3.13.3	分组试验的必要性与组数及一组发数的确定	116
3.13.4	绍文准则	119
3.13.5	分组试验的统计模型	121
3.14	射击试验的计算机模拟	122
3.14.1	引言	122
3.14.2	统计模型	122
3.14.3	弹着点的随机模拟方法	123
第 4 章	试验数据的统计分析	129
4.1	引言	129
4.2	中心位置和离散度的估计方法	129
4.2.1	中心位置的估计方法	129
4.2.2	离散度的估计方法	130
4.3	正态性检验	131
4.3.1	名词术语	131
4.3.2	偏度检验法	132
4.3.3	峰度检验法	133
4.3.4	无方向检验法	135
4.3.5	概率纸检验法	139
4.4	异常值的判定	139
4.4.1	σ 已知, μ 未知时的极值偏差法	139
4.4.2	σ 和 μ 均未知时的极值偏差法	141
4.4.3	极差比法(Dixon 准则)	143
4.4.4	使用剔除准则时应注意的事项	145
4.4.5	分组试验时大误差异常值的判定	145
4.5	倾向性分析	146
4.6	有效数字及舍入法则	148
第 5 章	气动参数辨识	151
5.1	引言	151

5.2 C-K 法	151
5.3 应用弹丸速度测量数据对阻力系数的辨识	156
5.3.1 径向速度与切向速度的换算关系式	157
5.3.2 应用 2D 弹道模型对阻力系数的辨识	159
5.3.3 应用 4D 弹道模型对零阻系数的辨识	165
5.4 应用弹丸空间坐标测量数据对阻力系数的辨识	167
5.5 应用弹丸飞行姿态测量数据对力矩系数的辨识	169
5.5.1 角运动两臂模型	169
5.5.2 8 个未知参数的 C-K 法辨识	172
5.5.3 8 个未知参数的图解法辨识	175
5.5.4 力矩系数计算	177
5.5.5 例	177
5.5.6 起始扰动攻角 α_D 的近似表达式	179
5.6 应用转速测量数据对滚转阻尼力矩系数的辨识	180
5.6.1 滚转方程	180
5.6.2 用转角测量数据对 C_p 的辨识	181
5.6.3 用转速测量数据对 C_p 的辨识	182
5.7 用速度测量数据对零阻、诱导阻力系数的辨识	182
5.7.1 阻力方程	182
5.7.2 辨识方法	183
5.8 用质心坐标数据对升力、马格努斯力系数的辨识	184
5.8.1 质心坐标方程	184
5.8.2 C_k 及 C_{ym} 的 C-K 法辨识	186
5.9 应用改变弹丸重心位置的方法对升力、马格努斯力系数的辨识	187
5.10 应用速度测量数据对底排弹减阻系数的辨识	189
5.11 应用坐标测量数据对底排弹减阻系数、升力系数、马格努斯力 系数的辨识	191
第 6 章 地面炮榴弹射表的编制	195
6.1 引言	195
6.2 采用的模型	195
6.3 试验项目	195
6.4 符合计算和射距离标准化	196
6.4.1 符合计算的基础数据	196
6.4.2 符合方法	199
6.4.3 射距离标准化	202
6.5 符合系数曲线制作	202
6.5.1 手工作图法	202
6.5.2 计算机拟合法	203
6.5.3 多装药号曲线的制作	203
6.6 射表计算	204

6.6.1 计算说明	204
6.6.2 射表计算的基础数据	204
6.6.3 基本诸元的计算	205
6.6.4 修正诸元的计算	206
6.6.5 公算偏差的计算	207
6.6.6 炮目高差为 Δy 时高低修正量的计算	210
6.6.7 高角修正量表的计算	211
6.6.8 地球自转修正量的计算	213
6.6.9 图解式射表的编制	213
6.7 几个有关问题的试验验证	214
6.7.1 符合系数与射表模型	214
6.7.2 不同模型所编射表的一致性比较	216
6.7.3 对两种试验方案的评估	218
第7章 其它武器弹药的射表编制	223
7.1 引言	223
7.2 野战火箭炮射表编制特点	223
7.2.1 火箭炮射表任务书	223
7.2.2 火箭炮射击准备	223
7.2.3 火箭弹射击准备	224
7.2.4 试验项目	224
7.2.5 测试内容	225
7.2.6 数据处理	225
7.2.7 采用的模型	225
7.2.8 符合计算	225
7.2.9 射表计算	226
7.3 甲弹射表的编制特点	227
7.3.1 引言	227
7.3.2 采用的模型	227
7.3.3 试验项目	227
7.3.4 符合方法	227
7.3.5 射表计算	228
7.4 高炮射表的编制特点	228
7.4.1 引言	228
7.4.2 采用的模型	229
7.4.3 试验项目	229
7.4.4 符合方法	229
7.4.5 射表计算	229
7.5 子母弹射表的编制特点	233
7.5.1 引言	233
7.5.2 子弹弹道特性	233
7.5.3 散布椭圆参数辨识	233

7.5.4 子弹落点散布范围的平均值的计算	236
7.5.5 中心子弹落点散布特征量的计算	236
7.5.6 符合方法	236
7.5.7 射表计算	236
7.6 迫击炮射表的编制特点	237
7.7 底部排气弹射表的编制特点	237
7.8 末制导炮弹射表的编制特点	237
7.8.1 末制导炮弹的基本工作原理	237
7.8.2 末制导炮弹弹道特点	238
7.8.3 末制导炮弹的结构组成	239
7.8.4 末制导炮弹射表的编制特点	241
第8章 对比试验及结果评定	243
8.1 引言	243
8.2 射程的对比试验及结果评定	243
8.2.1 对被试品的要求	243
8.2.2 试验射角和装药	243
8.2.3 结果评定	243
8.2.4 说明	247
8.3 密集度对比试验结果评定	247
8.4 修正量的计算	248
8.4.1 距离修正量的计算	249
8.4.2 密集度修正量的计算	249
第9章 射表检查	250
9.1 编拟射表过程中的射表检查	250
9.1.1 检查方法	250
9.1.2 审查框图	251
9.2 射表的射击检查	251
9.2.1 按射表试验的方法进行射击检查	251
9.2.2 按部队使用射表的方法进行射击检查	251
9.2.3 射击检查结果评定	251
9.3 说明	255
第10章 射表误差	256
10.1 确定基础射程的误差	256
10.1.1 确定试验射程的中间误差	256
10.1.2 确定初速的中间误差	256
10.1.3 确定射角的中间误差	257
10.1.4 确定气象诸元的中间误差	257
10.1.5 气动参数的中间误差	257
10.1.6 当日误差	257

10.1.7 其它误差	258
10.1.8 一次射击结果的基础射程的误差	258
10.1.9 模型误差	260
10.1.10 符合系数曲线制作误差	260
10.2 表射程误差的合成	260
第 11 章 射表技术展望	261
11.1 引言	261
11.2 气动参数辨识技术的广泛应用	261
11.3 符合计算的全面化	262
11.4 射表模型与火控模型的统一	262
11.5 气象修正的精确化与气象诸元观测精度的提高	263
11.6 遥测技术在可制导兵器射表技术中的应用	263
11.7 统计理论在可制导兵器等新型弹射表编制中的广泛应用	264
11.8 统计试验法(蒙特卡洛法)在射表技术中的广泛应用	264
参考文献	265

第1章 概 论

1.1 弹道及弹道诸元

射表中,关于弹道诸元有一些专用或习惯术语,本节结合弹道知识予以简要介绍。

1.1.1 弹道特征点

弹道是在弹丸脱离炮口飞到弹着点或落点的过程中,质心所经过的路线。如果弹丸在真空中运动,弹道是比较简单的。但当弹丸在空气中运动时,由于空气动力等因素的作用,其弹道是一条复杂的曲线。在同一条件下的射弹,由于弹丸本身条件和气象条件的不同,其弹道差别往往很大。

在射表编制和弹道学的研究中,弹道上的一些特征点有着特别重要的意义,这些特征点是:

起点——弹丸脱离炮口瞬间质心所在的位置。在实际弹道问题的处理中,常取炮口“+”字线中心位置作为起点。

顶点——全弹道中最高的一点。

升弧——弹丸离开起点后处于上升状态的弹道。

降弧——弹丸处于下降状态的弹道。

落点——在降弧段上位于同起点具有相同高度的一点。

1.1.2 弹道诸元

所谓弹道诸元,是指弹丸在飞行时各个时刻所对应的质心坐标、速度、倾角(速度向量与水平面之夹角)等。对于弹道特征点,其弹道诸元有一些常用的术语如下。

一、起点诸元(见图 1.1)

初速——弹丸在起点处的速度。

炮口水平面——通过起点的水平面。

射线——通过初速向量的方向线,亦即弹丸脱离炮口瞬间的弹道切线。

仰线——弹丸射出前的炮身轴线。

射面——通过仰线的铅直面。

仰角——仰线与水平面之夹角。

射角——射线与水平面之夹角。

炮目高低角——起点和目标之连线与炮口水平面之夹角。

跳角——仰线与射线之夹角。

瞄准角(高角)——仰角与炮目高低角之差。

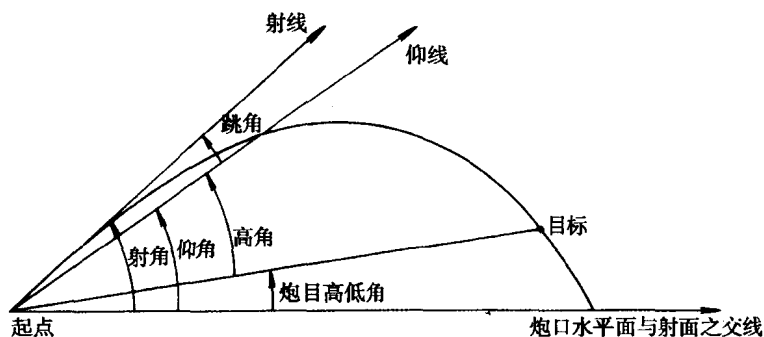


图 1.1 起点诸元

二、落点诸元(见图 1.2)

落速——弹丸到达落点时的速度。

落点弹道切线——通过落点的弹道切线。

落角——落点弹道切线与炮口水平面之夹角。

射程(射距离)——落点和起点之间距离。

横偏——落点到射面的距离。

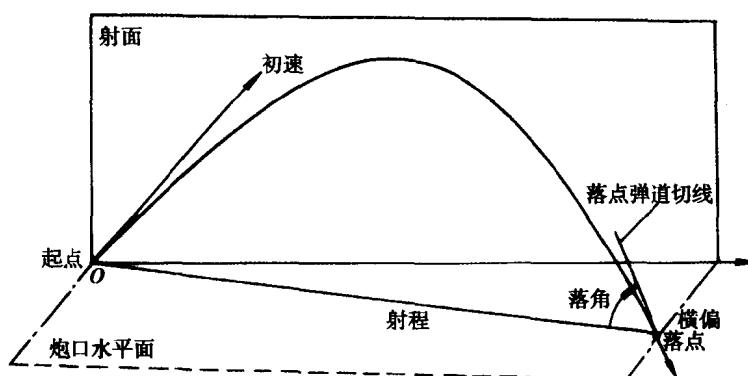


图 1.2 落点诸元

三、顶点诸元

最大弹道高——弹道顶点到炮口水平面的高度。

1.1.3 真空弹道

弹丸在真空条件下运动的弹道称为真空弹道。在真空中,弹丸仅受重力的影响,其弹道特点是:

- (1)全弹道是一条对称于过顶点垂线的抛物线;
- (2)全弹道位于射击面内;

(3)当射角小于 45° 时,射程随射角的增大而增大,射角为 45° 时射程最大;射角为 90° 时射程为零,此时射高最大,弹丸飞行时间也最长;

(4)落速等于初速,落角等于射角,在弹道顶点速度最小;

(5)弹道与弹丸本身特性无关。

尽管真空飞行时的弹道理论相当简单,但值得注意的是,对于初速小于 250m/s 的迫击炮,“真空弹道理论”已相当精确。

1.1.4 空气弹道

弹丸在空气中运动的弹道称为空气弹道,与真空弹道相比较空气弹道的特点是:

(1)升弧段长度大于降弧段长度,降弧比升弧弯曲;

(2)最大弹道高不在全弹道中央,而靠近落点一侧;

(3)落速小于初速,落角大于射角;

(4)全弹道的最小速度点并不在弹道的最高点,而在降弧的某一点上;

(5)最大射程角并不都是 45° 。例如对于初速较大的现代弹丸远程火炮最大射程角一般大于 45° ,甚至达 50° 左右。

空气弹道是相当复杂的,其复杂性主要是由于弹轴与速度向量(弹道切线)间存在着一个随时间变化的夹角(称为攻角)引起的。由于这个攻角的存在,出现了形式复杂的空气动力系和力矩系(见第2章),此时弹丸的运动不再是简单的质点运动,而是复杂的空间刚体运动,除了质心运动外,弹轴还将围绕质心作角运动。当攻角很小时,弹丸围绕质心角运动对质心弹道的影响是比较小的,但当攻角较大时,其影响就非常明显,严重时将使弹丸偏离正常弹道,甚至出现近弹或翻筋斗等不稳定现象。在设计弹丸时为了解决上述问题,一般采取在弹丸尾部安置尾翼或借助火炮膛线和弹带使弹丸出炮口后高速旋转等办法。

1.1.5 射弹散布

用同一门火炮在相同的诸元和射击条件下发射同一批弹丸,这些射弹将不会落在同一点上,即使事先对各发炮弹都仔细进行了挑选,各发弹的弹道也不会重叠在一起,而是形成一定的弹道束,落在一定的范围内,这种现象叫射弹散布。

大量射击试验结果的统计分析证明射弹散布服从正态分布。假定 X 表示射距离,则 X 服从正态分布,即

$$X \sim N(\mu, \sigma^2)$$

式中 μ 是 X 的均值; σ^2 是其方差;而 σ 称为标准差。

通常在射表中表示散布特性的参数不用 σ ,而用 E , E 与 σ 的关系为

$$E = 0.6745\sigma$$

称 E 为公算偏差(见图1.3),公算偏差也叫中间误差、密集度、概率误差或偶然误差等。

从图1.3可以看出在分布中心两侧各4个公算偏差的范围内,落弹概率几乎为