

# 外 彈 道 學

上 冊

—外彈道學基本問題—

浦 發 編著

中國人民  
解放軍 總字一五〇部隊

1964年1月

# 外彈道學講義

## 上 冊

### — 外彈道學基本問題 —

## 目 錄

### 前 言

### 緒 論

§ 1 外彈道学的研究对象及其任务	7
§ 2 外彈道学的内容	8
§ 3 外彈道学在中国的发展	10
§ 4 基本符号与定义	10

## 第一篇 彈丸在真空中的運動

引 言	13
-----	----

### 第一章 地球对彈丸质心运动的影响

§ 1 地球的形状、大小及其自轉	15
§ 2 相对于繞定軸轉動的彈丸质心运动向量方程	16
§ 3 地球引力及其加速度	17
§ 4 慣性离心力及其加速度	18
§ 5 重力及其加速度	18
§ 6 科氏慣性力及科氏加速度	21
§ 7 地表为曲面及重力加速度向量变化時对彈道計算的影响	22
§ 8 結 論	24

### 第二章 拋物綫理論

§ 1 拋物綫彈道运动方程的組成与积分	25
§ 2 拋物綫彈道方程的討論	27
§ 3 拋物綫彈道的任意点、頂点和落点諸元	28

§ 4	等初速彈道族的性質	29
	1. 最大射程角和曲射、平射	30
	2. 安全拋物綫	30
	3. 等時綫	32
§ 5	等斜射程時，炮目高低角與彈道瞄准角的关系。林杰尔公式。剛性原理	32
§ 6	彈丸在彈道各層中的相對停留時間	35
§ 7	平均彈道高	37
§ 8	修正公式	38
	1. 對射程的修正公式	38
	2. 對飛行時間的修正公式	39
§ 9	拋物綫理論的實際應用	39

### 第三章 橢圓理論

§ 1	遠程彈丸在高空中的運動方程——橢圓彈道方程	40
§ 2	橢圓彈道方程的討論	46
	一、 $\theta_A = 0$ ;	
	二、 $\theta_A \neq 0$ 。	
§ 3	橢圓彈道任意點諸元	50
§ 4	橢圓彈道的落點和頂點諸元	51
§ 5	對科氏加速度的修正	57
	一、相對座標系法	
	二、絕對座標系法	

## 第二篇 空氣阻力

引 言	68
-----	----

### 第一章 氣象條件

§ 1	大氣構成概述	69
§ 2	空氣狀態方程與虛溫	70
§ 3	在各氣層中氣象諸元與高度的關係	72
§ 4	我國炮兵用標準氣象條件	75
§ 5	聲速及其隨高度的標準變化	78

### 第二章 空氣阻力的形成

§ 1	彈丸在空氣中運動的一般情況。空氣阻力及阻力矩的諸分量	80
§ 2	對空氣阻力試驗現象的觀察。空氣阻力的組成部份。	86
§ 3	摩阻	87
§ 4	渦阻	89

§ 5 波阻	92
<b>第三章 計算空气阻力及阻力矩諸分量的一般表达式。空气阻力定律</b>	
§ 1 作用于彈丸上的空气阻力諸分量的一般表达式	98
§ 2 作用于彈丸上的空气阻力矩諸分量的一般表达式	103
§ 3 空气阻力定律与彈形系数	106
§ 4 空气阻力加速度。彈道系数。空气阻力函数	111
§ 5 在彈道任意点上阻力加速度的計算	113
§ 6 阻力指数	116
<b>第四章 空气阻力实验</b>	
§ 1 引言	120
§ 2 射击法	121
一、水平測出两点速度法	
二、水平測出多点速度法	
三、測出彈道升弧上若干点速度法	
§ 3 切向阻力的实验結果	127
一、切向阻力与速度及彈形的关系	
二、切向阻力与章動角(或攻角)的关系	
<b>第五章 最好彈形的选择</b>	
§ 1 选择最好彈形的一般原則	133
一、彈头部母綫問題	
二、彈头部銳鈍問題	
三、彈体长度与彈帶位置問題	
四、彈尾部形状与长短問題	
§ 2 一般超音速旋轉彈丸最好彈形的选择	137
§ 3 低音速旋轉彈丸最好彈形的选择	139
§ 4 平射時最好彈形的选择	140
§ 5 滑膛尾翼彈最好彈形的选择	141
<b>第三篇 空气彈道的彈丸质心运动方程組。空气彈道特性</b>	
<b>第一章 空气彈道的彈丸质心运动方程組的組成</b>	
§ 1 基本假設	143
§ 2 确定彈丸质心运动的主要参量	144
§ 3 以時間 $t$ 为自变量的彈丸质心运动方程組	145
§ 4 以橫座标 $x$ 为自变量的彈丸质心运动方程組	149
§ 5 以切綫傾角 $\theta$ 为自变量的彈丸质心运动方程組	150

§ 6 以纵坐标 $y$ 为自变量的弹丸质心运动方程组 .....	151
§ 7 斜角坐标系的运动方程组 .....	153

## 第二章 空气弹道的一般特性

§ 1 空气弹道由 $c$ 、 $v_0$ 、 $\theta_0$ 三个参量完全确定 .....	156
§ 2 空气弹道的不对称性 .....	158
§ 3 速度沿全弹道的变化 .....	162
一) 空气比重不变的情况 ( $H(y) = \text{常数}$ )	
二) 空气比重变化时的情况	
§ 4 空气弹道的极限水平距离 $x_m$ .....	166
§ 5 弹道高的估计 .....	167
§ 6 弹道曲率 .....	169
§ 7 最大射程角 .....	171

## 第四篇 空气弹道的近似解法

引 言 .....	174
-----------	-----

### 第一章 西亚切解法

§ 1 西亚切替代 .....	176
§ 2 在 $\theta_0 < 5^\circ$ 时, 任意点弹道诸元公式的导出和主要函数 .....	179
§ 3 在 $\theta_0 < 5^\circ$ 时, 弹道落点和顶点诸元公式的推导 .....	184
§ 4 西亚切辅助函数。直射射程表 .....	187
§ 5 西亚切解法应用范围的扩充与主要系数 $\beta$ .....	191
§ 6 应用西亚切解法的解题方案 .....	195
§ 7 西亚切解法的评价及其实际应用 .....	205

### 第二章 欧拉解法及欧拉型的分弧解法

§ 1 引 言 .....	207
§ 2 任意点弹道诸元公式的推导与奥托西亚切表 .....	208
§ 3 应用奥托西亚切表计算弹道的方案及例题 .....	217
§ 4 欧拉分弧解法的概念 .....	220
§ 5 加富尔解法 .....	222
§ 6 格·黑·姆解法 .....	225

### 第三章 级数解法

§ 1 引 言 .....	234
§ 2 任意点弹道诸元公式的导出 .....	235
§ 3 对低伸弹道的落点和顶点诸元的计算 .....	240

§ 4 分段計算法	244
§ 5 結 論	247

#### 第四章 特种解法

§ 1 引 言	248
§ 2 炸彈彈道的近似解法	249
§ 3 小瞄准角時空中射击的彈道近似解法	254
一、方程組的變換	254
二、方程組的積分	256
三、命中點諸元的計算	258
四、在地面時的应用及其与西亞切解法的关系	261

### 第五篇 空氣彈道的數值積分解法

引 言	272
-----	-----

#### 第一章 數值積分法的數學基礎

§ 1 插值与插值函数的唯一性	273
§ 2 有限差分与行的概念	276
§ 3 用各种行表示的插值函数公式	283
§ 4 插值函数的应用。正反插值	288
§ 5 数值微分及其应用	292
§ 6 数值积分	297
§ 7 一阶常微分方程的数值积分	302
一) 起始計算	
二) 三級近似	
三) 檢查計算	
四) 正常計算	
五) 准确性檢查	
§ 8 一阶联立常微分方程組或高阶常微分方程的数值积分	312
§ 9 計算准确性的要求与自变量間隔大小的确定	318
§ 10 在計算过程中間隔的改变	320

#### 第二章 应用数值积分法計算彈道

§ 1 方程組的選擇	324
§ 2 計算准确性	326
§ 3 以x为自变量的運動方程組的数值积分	326
§ 4 以t为自变量的運動方程組的数值积分	347
§ 5 以y为自变量的運動方程組的数值积分	353
§ 6 彈道表及其应用	357
附录: 麦尔登解法	363
主要參考資料	

# 外彈道學講義

## 上 册

### — 外彈道學基本問題 —

## 目 錄

### 前 言

### 緒 論

§ 1 外彈道学的研究对象及其任务	7
§ 2 外彈道学的内容	8
§ 3 外彈道学在中国的发展	10
§ 4 基本符号与定义	10

## 第一篇 彈丸在真空中的運動

引 言	13
-----	----

### 第一章 地球对彈丸质心运动的影响

§ 1 地球的形状、大小及其自轉	15
§ 2 相对于繞定軸轉動的彈丸质心运动向量方程	16
§ 3 地球引力及其加速度	17
§ 4 慣性离心力及其加速度	18
§ 5 重力及其加速度	18
§ 6 科氏慣性力及科氏加速度	21
§ 7 地表为曲面及重力加速度向量变化時对彈道計算的影响	22
§ 8 結 論	24

### 第二章 拋物綫理論

§ 1 拋物綫彈道运动方程的組成与积分	25
§ 2 拋物綫彈道方程的討論	27
§ 3 拋物綫彈道的任意点、頂点和落点諸元	28

§ 4	等初速彈道族的性質	29
	1. 最大射程角和曲射、平射	30
	2. 安全拋物綫	30
	3. 等時綫	32
§ 5	等斜射程時，炮目高低角与彈道瞄准角的关系。林杰尔公式。刚性原理	32
§ 6	彈丸在彈道各层中的相对停留時間	35
§ 7	平均彈道高	37
§ 8	修正公式	38
	1. 对射程的修正公式	38
	2. 对飞行時間的修正公式	39
§ 9	拋物綫理論的实际应用	39

### 第三章 橢圓理論

§ 1	远程彈丸在高空中的运动方程——橢圓彈道方程	40
§ 2	橢圓彈道方程的討論	46
	一、 $\theta_A = 0$ ;	
	二、 $\theta_A \neq 0$ 。	
§ 3	橢圓彈道任意点諸元	50
§ 4	橢圓彈道的落点和頂点諸元	51
§ 5	对科氏加速度的修正	57
	一、相对座标系法	
	二、绝对座标系法	

## 第二篇 空氣阻力

引 言	68
-----	----

### 第一章 气象条件

§ 1	大气构成概述	69
§ 2	空气状态方程与虚溫	70
§ 3	在各气层中气象諸元与高度的关系	72
§ 4	我国炮兵用标准气象条件	75
§ 5	声速及其随高度的标准变化	78

### 第二章 空气阻力的形成

§ 1	彈丸在空气中运动的一般情况。空气阻力及阻力矩的諸分量	80
§ 2	对空气阻力試驗現象的觀察。空气阻力的組成部份。	86
§ 3	摩阻	87
§ 4	渦阻	89



§ 5 波阻	92
<b>第三章 計算空气阻力及阻力矩諸分量的一般表达式。空气阻力定律</b>	
§ 1 作用于彈丸上的空气阻力諸分量的一般表达式	98
§ 2 作用于彈丸上的空气阻力矩諸分量的一般表达式	103
§ 3 空气阻力定律与彈形系数	106
§ 4 空气阻力加速度。彈道系数。空气阻力函数	111
§ 5 在彈道任意点上阻力加速度的計算	113
§ 6 阻力指数	116
<b>第四章 空气阻力实验</b>	
§ 1 引言	120
§ 2 射击法	121
一、水平測出两点速度法	
二、水平測出多点速度法	
三、測出彈道升弧上若干点速度法	
§ 3 切向阻力的实验結果	127
一、切向阻力与速度及彈形的关系	
二、切向阻力与章動角（或攻角）的关系	
<b>第五章 最好彈形的选择</b>	
§ 1 选择最好彈形的一般原則	133
一、彈头部母綫問題	
二、彈头部銳鈍問題	
三、彈体长度与彈帶位置問題	
四、彈尾部形状与长短問題	
§ 2 一般超音速旋轉彈丸最好彈形的选择	137
§ 3 低音速旋轉彈丸最好彈形的选择	139
§ 4 平射時最好彈形的选择	140
§ 5 滑膛尾翼彈最好彈形的选择	141

### 第三篇 空气彈道的彈丸質心運動方程組。空气彈道特性

#### 第一章 空气彈道的彈丸質心運動方程組的組成

§ 1 基本假設	143
§ 2 确定彈丸質心運動的主要參量	144
§ 3 以時間 $t$ 为自变量的彈丸質心運動方程組	145
§ 4 以橫座标 $x$ 为自变量的彈丸質心運動方程組	149
§ 5 以切綫傾角 $\theta$ 为自变量的彈丸質心運動方程組	150

§ 6 以纵座标 $y$ 为自变量的彈丸质心运动方程組 .....	151
§ 7 斜角座标系的运动方程組 .....	153

## 第二章 空气彈道的一般特性

§ 1 空气彈道由 $c$ 、 $v_0$ 、 $\theta_0$ 三个参量完全确定 .....	156
§ 2 空气彈道的不对称性 .....	158
§ 3 速度沿全彈道的变化 .....	162
一) 空气比重不变的情况 ( $H(y) = \text{常数}$ )	
二) 空气比重变化时的情况	
§ 4 空气彈道的极限水平距离 $x_0$ .....	166
§ 5 彈道高的估計 .....	167
§ 6 彈道曲率 .....	169
§ 7 最大射程角 .....	171

## 第四篇 空气彈道的近似解法

引 言 .....	174
-----------	-----

### 第一章 西亚切解法

§ 1 西亚切替代 .....	176
§ 2 在 $\theta_0 < 5^\circ$ 时, 任意点彈道諸元公式的导出和主要函数 .....	179
§ 3 在 $\theta_0 < 5^\circ$ 时, 彈道落点和頂点諸元公式的推导 .....	184
§ 4 西亚切輔助函数. 直射射程表 .....	187
§ 5 西亚切解法应用範圍的扩充与主要系数 $\beta$ .....	191
§ 6 应用西亚切解法的解題方案 .....	195
§ 7 西亚切解法的评价及其实际应用 .....	205

### 第二章 欧拉解法及欧拉型的分弧解法

§ 1 引 言 .....	207
§ 2 任意点彈道諸元公式的推导与奥托西亚切表 .....	208
§ 3 应用奥托西亚切表計算彈道的方案及例題 .....	217
§ 4 欧拉分弧解法概念 .....	220
§ 5 加富尔解法 .....	222
§ 6 格·黑·姆解法 .....	225

### 第三章 級数解法

§ 1 引 言 .....	234
§ 2 任意点彈道諸元公式的导出 .....	235
§ 3 对低伸彈道的落点和頂点諸元的計算 .....	240

§ 4 分段計算法	244
§ 5 結 論	247

#### 第四章 特种解法

§ 1 引 言	248
§ 2 炸彈彈道的近似解法	249
§ 3 小瞄准角時空中射击的彈道近似解法	254
一、方程組的變換	254
二、方程組的積分	256
三、命中點諸元的計算	258
四、在地面時的应用及其与西亞切解法的关系	261

### 第五篇 空氣彈道的數值積分解法

引 言	272
-----	-----

#### 第一章 數值積分法的數學基礎

§ 1 插值与插值函数的唯一性	273
§ 2 有限差分与行的概念	276
§ 3 用各种行表示的插值函数公式	283
§ 4 插值函数的应用。正反插值	288
§ 5 数值微分及其应用	292
§ 6 数值积分	297
§ 7 一阶常微分方程的数值积分	302
一) 起始計算	
二) 三級近似	
三) 檢查計算	
四) 正常計算	
五) 准确性檢查	
§ 8 一阶联立常微分方程組或高阶常微分方程的数值积分	312
§ 9 計算准确性的要求与自变量間隔大小的确定	318
§ 10 在計算过程中間隔的改变	320

#### 第二章 应用数值积分法計算彈道

§ 1 方程組的選擇	324
§ 2 計算准确性	326
§ 3 以x为自变量的運動方程組的数值积分	326
§ 4 以t为自变量的運動方程組的数值积分	347
§ 5 以y为自变量的運動方程組的数值积分	353
§ 6 彈道表及其应用	357
附录: 麦尔登解法	363
主要參考資料	

## 前 言

随着我国炮兵技术迅速发展的需要，对外弹道学以及其他许多炮兵技术科学，提出了越来越多的新的要求。以前所编的几本外弹道学教程就难以满足，这是编写本教程的主要原因。

本教程拟分三册出版：上册讨论外弹道学基本问题；中册研究炮弹的飞行稳定性理论和一般问题解法；下册研究射表编制（包含射表编制所必需的修正理论等）和枪炮弹药的外弹道设计。中、下册中所包含的内容，就是外弹道学特殊问题。

不管是基本问题还是特殊问题中的内容，均比过去有所增加并且吸取了一些新的研究成果和教学经验。

为了使理论与实际联系比较紧密起见，本教程中特别重视了理论的实际应用，并且附有必要的例题和习题。

对于一些易于误解、混淆或者稍加延伸就可以获得新的结论的地方，常常附有一些思考性的问题，以帮助读者加深有关部份的理解。

本书初稿曾由外弹道组诸同志进行过集体审查，提出了一些宝贵的修改意见，特此表示谢意。

由于编者的水平关系和时间仓促，缺点和错误在所难免，希望使用本书的同志，不断给予宝贵的指示，以便再版时更正。

编 者

1963.10

# 緒 論

## § 1 外彈道学的研究对象及其任务

自从利用火药发射的武器——枪炮发明以后，尤其是将它们应用于战争以后，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。而解决这个问题，需要知道弹丸在枪炮管中（即在火药气体作用下）以及出枪炮管后是如何运动的。

研究弹丸运动的科学，总称为弹道学。

在火药气体作用下的弹丸运动，是由所谓内弹道学来研究。

至于外弹道学，则系研究弹丸在空中的运动以及与此运动有关问题的科学。

所谓“弹丸在空中的运动”以及“与此运动有关问题”是指的什么呢？现在就来讨论这些问题。

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。枪炮管轴綫与水平面间的夹角，叫做仰角。根据无数次的实践經驗证明：在弹丸大小、形状、重量和所用推送弹丸的发射药种类和重量等一定的条件下，弹丸所能飞达的距离  $X$  和仰角  $\varphi$  間有一定的函数关系（图0.1）。

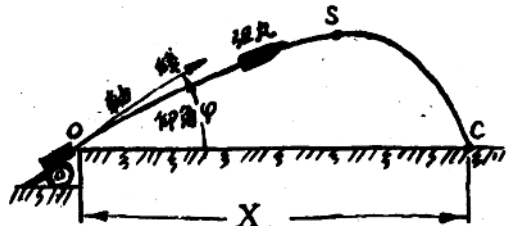


图0.1

这种表示仰角与射距离間函数关系的表，就是目前火炮进行射击时常用的射表的雛型。

最早的射表是用純实验的方法进行編制的。但是由于技术的进步，射距离越来越远，用純实验法編制射表，不但困难费时，而且耗費鉅大。

为了解决上述困难，需要总结經驗，寻求出弹丸质心在空中运动的规律（理論）。当弹丸运动速度較小，空气与弹丸間的相互作用——空气阻力較小可以略去不計时，弹丸仅在重力一个力作用下的运动，可以由所谓“拋物綫理論”来描述。由于技术的发展，速度漸大，空气阻力也漸增而不能忽视。弹丸在重力和空气阻力两个力同时作用下的运动，就由先后出現的、各种近似的和准确的空气弹道解法来解决。这样，外弹道学就因为編制射表的实际需要而迅速地发展起来。

最初的炮弹均为球形。球形是一个中心对称体，无所谓顛倒、翻轉，也就不會出現什么飞行稳定不稳定的问题。但后来为了在不增大口径的条件下增大弹丸的威力和减小空气阻力，而将弹丸逐步改为“銳头柱状”或水滴形，也就是逐渐发展成为目前所採用的所谓长圆形弹丸（图0.2）。由于长圆形弹丸的出現，而产生了弹丸在空中飞行顛倒、翻轉（即有弹丸圍繞其质心的运动）致使射击不准确的問題，也就是出現了长圆形弹丸在空气中飞行稳定不稳定的問題。

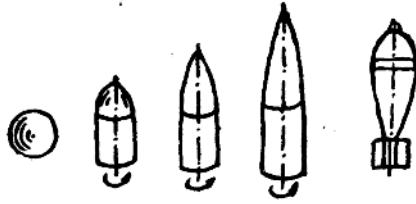


图0.2

所謂飞行稳定，系指彈丸在飞行中彈头始終向前，且其几何軸綫与速度向量綫的夹角很小。

(註)

使彈丸飞行稳定的方法有二：旋轉法与尾翼法。

为了研究旋轉彈丸飞行稳定的問題而建立了所謂旋轉理論；为了研究尾翼彈丸飞行稳定性的問題而建立了所謂摆动理論。由于此二理論的建立与发展，为解决长圓形彈丸在空气中飞行稳定、减小散佈等問題，創造了越来越有利的条件。

人类对自然規律的認識越深刻，利用自然規律为人类服务就越好。外彈道学也是这样。到今天，枪炮彈丸的外彈道設計，业已逐渐摆脱那种盲目的状态：或者按照一定的战术—技术要求（如給定射距离、距离与方向散佈、枪炮口径等），根据外彈道学理論来进行所謂外彈道設計，找出最恰当的彈重与初速；或者利用外彈道学上以及其他有关炮兵科学上的新成就来設計新型的火炮彈药，促使战术—技术条件的改变。这样，就在外彈道学发展的基础上，逐步建立並正在不断完善着所謂火炮彈药的外彈道設計理論。

根据上面的討論知道，外彈道学研究的对象中：

- 1) 所謂“彈丸在空中的运动”，是指的彈丸质心运动和圍繞其质心运动—旋轉和摆动；
- 2) 所謂“与此运动有关諸問題”，是指彈丸在空气中运动所产生的空气阻力和外彈道学中的各种应用—射編編制、彈道設計等。

同样，根据上面的討論知道，外彈道学的任务：主要为解决射表編制、飞行稳定性和彈道設計諸問題，而这些問題又都是炮兵科学中的重要問題。可見外彈道学是炮兵科学中重要的基础科学之一。它們在整个发展过程中是相互联系相互促进的：由于炮兵实践的需要，促进了外彈道学的发展与完善；同样，外彈道学的发展与完善，反过来加速了炮兵科学和技术的进一步提高。

## § 2 外彈道学的内容

彈丸在空中的运动，包含彈丸的质心运动和圍繞质心的运动。在一般情况下，这两个运动是互相影响而不能分开的。

然而对于飞行稳定的彈丸來說，彈軸与速度方向間的夹角（即所謂章動角）很小，质心运动与圍繞质心运动的相互影响不大，因此可以将它們分开来研究。

註：參閱中册第一篇第一章 § 2。

研究彈丸的質心運動時，我們首先作了章動角 $\delta = 0$ 的假設。這樣，彈丸的質心運動就可以簡化為僅受一個與速度方向相反的空氣阻力 $\bar{R}$ 和一個鉛直向下的重力 $\bar{q}$ 等兩個力作用下的質心的平面運動（圖0.3）。

空氣阻力與空氣的性質有關。而空氣的性質又隨所謂氣象諸元（如氣壓、氣溫等）的變化而變化。為了使問題簡化，在外彈道學中又引進了所謂“炮兵標準氣象條件”的假設（無風，氣壓、氣溫等僅是高度的某種函數）。這樣，空氣阻力就簡化為僅是高度 $y$ 和彈丸質心運動速度 $v$ 的函數。

另外，又引進了地球表面為平面、重力大小和方向不變且鉛直向下以及科氏加速度為零等假設。

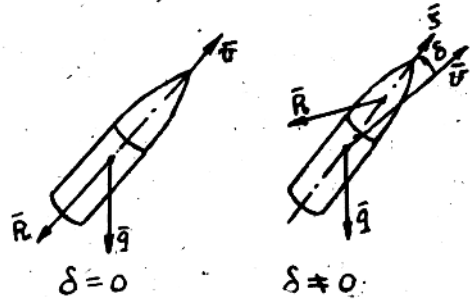


圖0.3

以上諸假設，就是所謂外彈道學基本假設。在此基本假設下來研究彈丸質心的平面運動問題，就是一般所說的“外彈道學基本問題”。

在外彈道學基本問題以外的諸外彈道學問題，均包含在所謂“外彈道學特殊問題”中。

本教程的上冊將專門研究外彈道學基本問題。

在外彈道學基本問題中，共分五篇來研究。

第一篇，研究彈丸在真空中的運動，這是彈丸運動的最簡單情況。本篇計分三章：在第一、二章中簡單討論地球對彈丸質心運動的影響，也就是簡單討論有關地球物理方面的知識；在第二章中研究在一個重力作用下的彈丸運動，也就是拋物線理論；第三章研究地表為曲面、重力大小和方向變化的條件下的彈丸運動——橢圓理論，同時研究一下科氏加速度對彈道影響的修正。

第二篇，研究彈丸在空氣中運動時所受的空氣阻力。空氣阻力本是彈丸空氣動力學研究的範圍，本篇僅僅簡單敘述在外彈道學中必需的有關部份。本篇計分五章：第一章討論與空氣性質密切相關的氣象條件，這一部份本是炮兵氣象學研究的對象，這里僅是簡單引述研究空氣阻力所必需的一些知識；第二章研究空氣阻力形成的物理本質，為計算空氣阻力尤其是最好彈形選擇打基礎；第三章研究計算空氣阻力及其力矩的一般表达式、空氣阻力定律與空氣阻力的計算；第四章研究用射擊法測定空氣阻力的方法以及一些實驗結果；第五章根據第二章和第四章研究的結果以及其他一些要求（如威力、穩定性、勤務處理等），討論了最好彈形如何選擇的問題。

第三篇，在已知重力和空氣阻力的基礎上組成彈丸質心運動的各種微分運動方程組，並根據這些運動方程組的性質，一般地討論一下空氣彈道的一些特性。

第四篇，研究上述微分運動方程組的各種類型的近似積分法。本篇計分四章，分別研究西瓦切解法及其應用；歐拉解法及歐拉型的分弧解法；級數解法以及一些特種解法——空中射擊和炸彈彈道解法等。

第五篇，研究了外彈道學中最一般和最準確的解法——數值積分法。本篇中祇研究較成熟的、利用差分理論的克雷洛夫解法。第一章首先討論數值積分法的數學基礎；第二章研究如何利用數值積分法中的基本理論來解彈丸質心運動微分方程組的問題。並在最後附帶地討論一下美國

的麦尔登解法。

外彈道学的特殊問題，分別在中冊和下冊中討論。

中冊中主要討論彈丸圍繞質心運動（即一般所謂的飛行穩定性理論）和將質心運動與圍繞質心運動同時求解的一般問題解法。

下冊討論射編制和彈道設計，射表編制除應用前面所學的理論（主要為質心運動解法）外，還需要在非標準條件下考慮那些非標準條件對彈丸質心運動影響的修正理論。

中、下冊的詳細篇章，將在各該冊中來說明，這裡就不再一一贅述了。

### § 3 外彈道学在中国的发展

火炮、火箭武器，均為我國所首先發明，並且首先應用於抗擊外族侵略的自衛戰爭中，例如在十二世紀中葉（我國宋朝）就曾應用了所謂霹靂炮（戰鬥火箭的一種）抵抗了金人的侵略。至十三世紀，我國並曾鑄造了180斤的鐵炮，而且，竹制的步兵發射武器得到了廣泛的應用。這些武器的發明和應用，比歐洲各國約早100年以上。

由於火炮（和火箭）的廣泛使用，必然會積累起若干有關外彈道學方面的實際知識：如前述的仰角和射距離的關係，以及射距離與發射藥間的關係和射距離與彈重間的關係等等。

但是由於長期的封建統治，尤其是當帝國主義勢力侵入我國後，帝國主義和封建王朝（包括蔣介石的封建統治在內）成為壓在我國人民頭上的兩座大山。由此造成我國人民妄自菲薄和迷信洋人的自卑思想，成為我國科學文化和其他一切事業向前發展的絆腳石。

自從中國共產黨和毛主席領導全國人民在1949年將“蔣家王朝”和帝國主義勢力趕出大陸後，中國人民不僅在政治上、經濟上而且在科學文化上均獲得了解放。在短短的幾年內外彈道學和其他科學一樣，在黨和政府的正確領導和無比關懷下，已經獲得了顯著的進展：不僅在有關院校和研究機關內，成立了若干外彈道學教研室和相應的研究單位，培養了不少有關專業人才；而且在科學研究上，也獲得了一定的成績，如炮兵用標準氣象條件的確定，旋轉彈丸起始條件的分析以及計算旋轉彈丸偏流偏差的新方法等等。

今天整個世界形勢，雖然已處於東風壓倒西風而且繼續壓倒西風的時代。但是帝國主義的本性是不會改變的，因而只要帝國主義還存在，就有侵略戰爭的土壤。因此，我們必須反透修正主義，加倍提高警惕，努力攀登炮兵科學的頂峯，作好準備，堅決徹底地消滅一切敢於發動侵略戰爭的帝國主義。

### § 4 基本符号与定义

**射出点：**在彈丸被火藥氣體推送出炮口後的短距離內，火藥氣體繼續對彈丸起作用。在彈丸與火炮失去力學上聯繫的瞬間、彈丸質心所在的位置，叫做射出點。

因為此時彈丸質心到炮口斷面的距離很小，為方便計，一般近似地取炮口中心作為射出點。

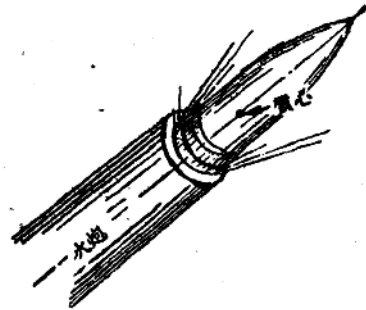


图0.4



射出点为计算弹道的起点。一般用“0”来表示。

**炮口水平面** 通过射出点所画的水平面，叫做炮口水平面。如图0.5中的 $xoz$ 平面所示。对一般火炮而言，均假设炮口中心对地面的高度为零。

**射击面** 通过弹丸飞离炮口瞬间的速度向量线的铅直面，叫射击面。在外弹道学基本问题中所研究的弹丸质心运动轨迹，是始终位于射击面内的平面轨迹。如图0.5中射击面 $xoy$ 内的虚线所示。实际弹道常常偏离射击面，如同图中的实线所示。

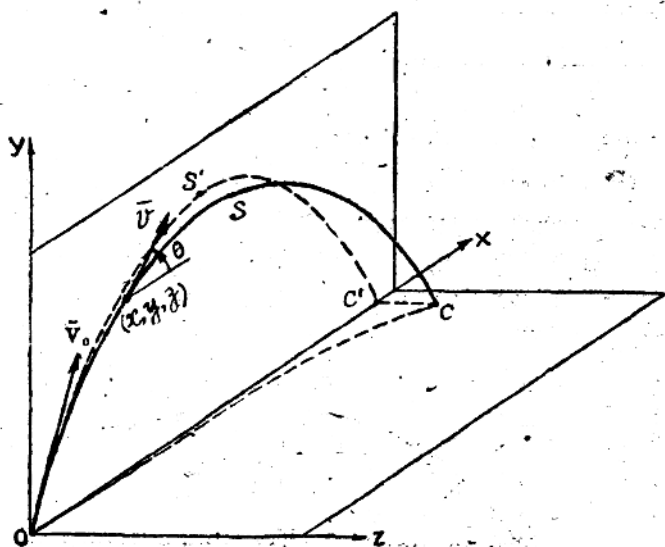


图0.5

**坐标系** 为了研究弹丸质心在空中的运动常采取以射出点0为原点的右手直角坐标系。本平轴 $ox$ 为射击面与炮口水平面的交线， $oy$ 轴在射击面内并垂直于 $ox$ 轴， $oz$ 轴在炮口水平面内并垂直于射击面（如图0.5中的 $o-xyz$ 所示）。

**弹道顶点** 弹道的最高点，叫弹道顶点，并用“S”表示之。自弹道顶点到炮口水平面的距离，叫**最大弹道高**。常用 $y$ ，或 $Y$ 表示。

**弹道落点** 弹丸自炮口飞出后，再回到炮口水平面上的一点，叫弹道落点，并用“C”表示之。

**升弧和降弧** 自射出点0到弹道顶点S间的一段弹道弧段叫升弧，即 $\widehat{OS}$ ；自顶点S到落点C间的一段弹道弧段叫降弧，即 $\widehat{SC}$ 。

**弹道诸元** 表示弹丸飞离射出点 $t$ 秒时间后所到达空中任意点的坐标 $(x, y, z)$ 和该点的速度大小 $v$ 和方向倾角 $\theta$ ，叫做弹道任意点诸元。至于在射出点0、顶点S和落点C的诸元，分别称为射出点诸元、顶点诸元和落点诸元，并用下标“o”、“s”和“e”来表示，如表0.1所示。