



国防科技图书出版基金

# 火炮武器系统 外弹道试验 数据处理与分析

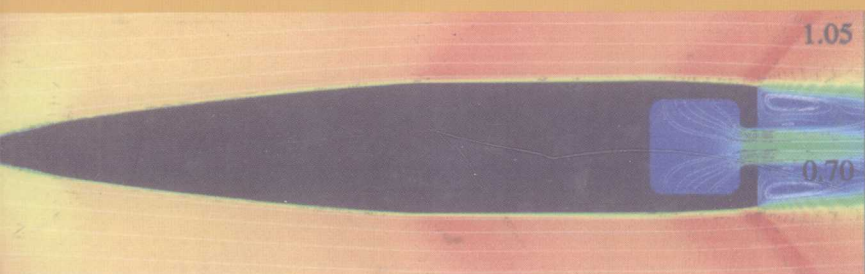
Exterior Ballistic

Test Data

Processing and

Analysis for Gun

Weapon Systems



郭锡福 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TJ012  
1019



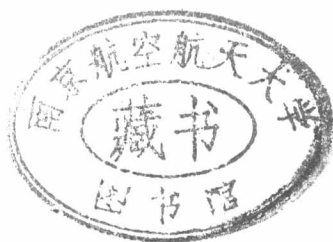
NUAA2014004663

TJ012  
1019 -1

# 火炮武器系统 外弹道试验数据处理与分析

Exterior Ballistic Test Data Processing and  
Analysis for Gun Weapon Systems

郭锡福 著



国防工业出版社

· 北京 ·

2014004663

图书在版编目(CIP)数据

火炮武器系统外弹道试验数据处理与分析/郭锡福著.

—北京:国防工业出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-118-08964-6

I. ①火... II. ①郭... III. ①火炮系统—外弹道试验—  
数据处理 IV. ①TJ012. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 239908 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)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

\*

开本 710 × 1000 1/16 印张 21 $\frac{3}{4}$  字数 351 千字

2013 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 98.00 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

8854007105

## 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。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,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,原国防科工委于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. 在国防科学技术领域中,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,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,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,由总装备部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,原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和武器装备建设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 第七届评审委员会组成人员

主任委员 王 峰

副主任委员 吴有生 蔡 镭 杨崇新

秘 书 长 杨崇新

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 才鸿年 马伟明 王小谟 王群书  
(按姓氏笔画排序)

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 巩水利

刘泽金 孙秀冬 陆 军 芮筱亭

李言荣 李德仁 李德毅 杨 伟

肖志力 吴宏鑫 张文栋 张信威

陈良惠 房建成 赵万生 赵凤起

郭云飞 唐志共 陶西平 韩祖南

傅惠民 魏炳波

# 前 言

火炮武器系统外弹道试验数据处理与分析是一门对火炮武器系统外弹道性能参数和基础参数的原始试验数据,经过科学处理,推断性能参数与基础参数的总体均值与方差的数值,对试验中出现的现象,经处理与分析,找到统计原因与弹道原因的学科。

火炮武器系统的试验是在大气环境下的实际飞行试验,弹丸在发射与飞行过程中受到各种因素的扰动,还有武器系统的特性、发射参数、弹丸的外形、质量分布特性等因素对固有状态的作用,使弹道性能参数和基础参数成为随机变量,甚至是随机过程。

火炮武器系统是战术武器直接参与对敌作战与支援步兵战斗,作战距离近、火力对抗强、反应时间短,因此要求火炮武器系统射程远、射击精度高、反应时间快、机动性好;使己方火炮先敌开火,能达到目标区,精确命中目标,歼毁目标。

火炮武器系统作为战术武器,从经济性与勤务使用考虑,外弹道试验只能是抽样试验,而且样本量不能太大。

在上述种种特定条件下,对试验数据的处理与分析就不能有随意性,想当然,凭想象,要有科学的方法,对原始试验数据经处理与分析,使得结果精确可信,为武器作战使用打下良好的基础。

外弹道试验数据处理与分析,是应用多学科知识的交叉学科,它是基础理论、工程技术、试验技术、计算机与软件技术的综合应用。外弹道试验数据处理与分析,对火炮系统的总体设计、新原理与新技术的应用、试验设备的发展、试验方案拟定都有促进作用。

火炮是一种古老的传统兵器——传统的研制方式、试验方法、数据处理与分析方法,上述方法还在现代火炮武器系统的研制中起作用,为了能在外弹道试验数据处理与分析中为提高科学技术水平起到一点作用,特编写了本书。

本书编写过程中,得到赵子华、李奉昌、王良明、朱忠领、王兆胜、高旭东、郭锐、张俊等老师及承担书稿录排工作的陈荣女士的帮助,在此一并表示衷心的感谢!

郭锡福  
2013年4月

# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第 1 章 概论                        | 1   |
| 1.1 外弹道试验数据处理与分析的重要性            | 1   |
| 1.2 外弹道试验数据处理与分析的重点             | 2   |
| 1.3 试验数据处理与分析的基本思路              | 2   |
| 1.4 试验条件控制的重要性                  | 4   |
| 1.5 火炮外弹道试验数据处理与分析技术的发展         | 5   |
| 1.6 本书研究的主要内容                   | 5   |
| 1.7 本书的特点                       | 6   |
| 第 2 章 预备知识                      | 7   |
| 2.1 引言                          | 7   |
| 2.2 内弹道学预备知识                    | 7   |
| 2.3 气象条件预备知识                    | 8   |
| 2.4 空气动力学预备知识                   | 10  |
| 2.5 外弹道学预备知识                    | 11  |
| 2.6 概率论与数理统计预备知识                | 14  |
| 2.7 误差理论预备知识                    | 30  |
| 第 3 章 射击试验数据处理与分析               | 41  |
| 3.1 引言                          | 41  |
| 3.2 火炮试验的具体试验条件控制               | 46  |
| 3.3 试验数据出现单发跳动时的数据处理与分析         | 47  |
| 3.4 单组试验数据的处理与分析                | 50  |
| 3.5 多组试验数据的处理与分析                | 60  |
| 第 4 章 飞行稳定性与射击密集度数据处理与分析        | 64  |
| 4.1 概述                          | 64  |
| 4.2 炮射无控旋转稳定弹丸飞行稳定性分析及应用        | 64  |
| 4.3 火炮系统研制过程中与射击密集度有关问题的数据处理与分析 | 89  |
| 4.4 火炮跳角与立靶密集度分析                | 106 |
| 4.5 旋转稳定弹丸机械触发引信弹道炸计算与分析        | 121 |



|       |                                           |     |
|-------|-------------------------------------------|-----|
| 第 5 章 | 与射表有关的几个问题的试验数据处理与分析                      | 134 |
| 5.1   | 概述                                        | 134 |
| 5.2   | 远程火炮初速分级研究                                | 135 |
| 5.3   | 地面火炮射表精度的分析与估算                            | 146 |
| 5.4   | 炮射子母弹子弹抛撒规律与射表诸元的分析与应用                    | 158 |
| 5.5   | 平均弹道一致性与通用射表试验数据处理与分析                     | 184 |
| 第 6 章 | 底排弹外弹道性能计算及试验数据处理与分析                      | 194 |
| 6.1   | 引言                                        | 194 |
| 6.2   | 底排装置(火箭发动机)受力分析                           | 194 |
| 6.3   | 底排药柱发射受力的测定                               | 203 |
| 6.4   | 以炮口最大径向过载为主要激励源计算底排药柱强度的依据                | 205 |
| 6.5   | 底排药柱发射强度近似计算                              | 206 |
| 6.6   | 底排药柱强度初步分析                                | 212 |
| 6.7   | 底排装置工作性能对外弹道性能的影响                         | 219 |
| 6.8   | 底排弹速度降试验数据处理与分析                           | 236 |
| 6.9   | 底排弹小射角基础试验数据处理与分析                         | 241 |
| 6.10  | 增速段的分段差分法试验数据处理与分析                        | 242 |
| 6.11  | 底排弹(复合增程弹)全射程试验数据处理与分析                    | 247 |
| 第 7 章 | 提高试验数据处理精度与分析问题准确性的措施                     | 252 |
| 7.1   | 引言                                        | 252 |
| 7.2   | 提高气象保障精度是提高试验数据处理与分析质量的关键                 | 253 |
| 7.3   | 精确完整的空气动力数据是试验数据处理与分析的重要条件                | 267 |
| 7.4   | 规范工程应用的外弹道模型                              | 284 |
| 7.5   | 全弹道飞行姿态是试验数据处理与分析的重要参数                    | 287 |
| 附录    |                                           | 306 |
|       | 符号表                                       | 306 |
| 附表 1  | $\Psi(u)$ 函数表                             | 314 |
| 附表 2  | $\Phi(v)$ 函数表                             | 317 |
| 附表 3  | $t$ 分布的双侧临界限 $t_{\alpha/2}$               | 320 |
| 附表 4  | $\chi^2$ 分布的单侧临界限 $\chi_{\alpha}^2$       | 321 |
| 附表 5  | 中间误差和均方差的区间估计表                            | 324 |
| 附表 6  | $F$ 分布的单侧临界限 $F_{\alpha}$ 表               | 325 |
| 附表 7  | $F^*$ 分布临界限 $F_{\alpha}^*$ 表              | 330 |
| 附表 8  | $Q$ 分布界限 $Q_{\alpha}$ 表                   | 331 |
| 附表 9  | 反常结果剔除的极差比 $R$ 分布的临界限 $\gamma_{\alpha}$ 表 | 331 |
| 参考文献  |                                           | 333 |

# Contents

|                 |                                                                                              |    |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Chapter1</b> | <b>Introduction</b>                                                                          | 1  |
| 1.1             | Importance of External Ballistics Test Data Processing and Analysis                          | 1  |
| 1.2             | Emphasis of External Ballistics Test Data Processing and Analysis                            | 2  |
| 1.3             | Basic Idea of Test Data Processing and Analysis                                              | 2  |
| 1.4             | Importance of the Control on Test Conditions                                                 | 4  |
| 1.5             | Progress of Techniques for Gun External Ballistics Test Data Processing and Analysis         | 5  |
| 1.6             | The Main Topics Studying in This Book                                                        | 5  |
| 1.7             | The Characteristics of This Book                                                             | 6  |
| <b>Chapter2</b> | <b>Prior Knowledge</b>                                                                       | 7  |
| 2.1             | Foreword                                                                                     | 7  |
| 2.2             | Prior Knowledge for Interior Ballistics                                                      | 7  |
| 2.3             | Prior Knowledge for Meteorological Conditions                                                | 8  |
| 2.4             | Prior Knowledge for Aerodynamics                                                             | 10 |
| 2.5             | Prior Knowledge for External Ballistics                                                      | 11 |
| 2.6             | Prior Knowledge for Probability Theory                                                       | 14 |
| 2.7             | Prior Knowledge for Error Theory                                                             | 30 |
| <b>Chapter3</b> | <b>Shooting Test Data Processing and Analysis</b>                                            | 41 |
| 3.1             | Foreword                                                                                     | 41 |
| 3.2             | Control on Specific Test Conditions for Artillery Test                                       | 46 |
| 3.3             | Test Data Processing and Analysis when Single Shot Jumping                                   | 47 |
| 3.4             | Single Set Test Data Processing and Analysis                                                 | 50 |
| 3.5             | Multiple Sets Test Data Processing and Analysis                                              | 60 |
| <b>Chapter4</b> | <b>Data Processing and Analysis of Flight Stability and Fire Precision</b>                   | 64 |
| 4.1             | Overview                                                                                     | 64 |
| 4.2             | Analysis and Application of Flight Stability for Gun – launched Spin – stabilized Projectile | 64 |

|                 |                                                                                                                                  |            |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3             | Data Processing and Analysis of Issues on Fire Precision<br>Related to Gun System Development Process .....                      | 89         |
| 4.4             | Analysis of Gun Jump Angle and Vertical Target<br>Dispersion .....                                                               | 106        |
| 4.5             | Calculation and Analysis of IMF Ballistic Burst for<br>Spin – stabilized Projectile .....                                        | 121        |
| <b>Chapter5</b> | <b>Test Data Processing and Analysis of Several Issues<br/>Related to Firing Table .....</b>                                     | <b>134</b> |
| 5.1             | Overviews .....                                                                                                                  | 134        |
| 5.2             | Study on Muzzle Velocity Classification for Long – range<br>Gun .....                                                            | 135        |
| 5.3             | Analysis and Estimation of Accuracy of Firing Table for<br>Ground Gun .....                                                      | 146        |
| 5.4             | Analysis and Application of Submunition Dispensing Law and<br>Firing Table Data of Gun Boosted Cluster Bomb .....                | 158        |
| 5.5             | Test Data Processing and Analysis of Average Ballistic Match<br>and General Firing Table .....                                   | 184        |
| <b>Chapter6</b> | <b>Calculation of External Ballistic Properties and Test Data<br/>Processing and Analysis for Base Bleed Projectile .....</b>    | <b>194</b> |
| 6.1             | Foreword .....                                                                                                                   | 194        |
| 6.2             | Analysis of Chamber Force of Base Bleed<br>Unit(Rocket Engine) .....                                                             | 194        |
| 6.3             | Test Measurement of Launching Fence of Base Bleed<br>Grain .....                                                                 | 203        |
| 6.4             | Calculation Basis of Strength of Base Bleed Column with Main<br>Excitation Source of the Muzzle Maximum Radial<br>Overload ..... | 205        |
| 6.5             | Proximate Calculation of Firing Strength of Base Bleed<br>Column .....                                                           | 206        |
| 6.6             | Preliminary Analysis of Strength of Base Bleed Column .....                                                                      | 212        |
| 6.7             | Impact of Operating Performance of Base Bleed Unit on<br>External Ballistic Properties .....                                     | 219        |
| 6.8             | Test Data Processing and Analysis of Velocity Drop for Base<br>Bleed Projectile .....                                            | 236        |
| 6.9             | Test Data Processing and Analysis of Small Firing Angle Basic<br>Test for Base Bleed Projectile .....                            | 241        |
| 6.10            | Test Data Processing and Analysis of Sectional Difference                                                                        |            |

|                                                                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Method in Extended Range Segment .....                                                                                                           | 242        |
| 6.11 Test Data Processing and Analysis of All Range Test for<br>Base Bleed Projectile(Hybrid Extended Range Projectile) .....                    | 247        |
| <b>Chapter7 Measure to Improve the Accuracy of Test Data</b>                                                                                     |            |
| <b>Processing and Problem Analysis .....</b>                                                                                                     | <b>252</b> |
| 7.1 Foreword .....                                                                                                                               | 252        |
| 7.2 Improving Accuracy of Weather Support Is the Key to Improve the<br>Quality of Test Data Processing and Analysis .....                        | 253        |
| 7.3 Accurate and Complete Aerodynamic Data Is the Important<br>Condition for Test Data Processing and Analysis .....                             | 267        |
| 7.4 External Ballistic Model of Standardized Engineering<br>Applications .....                                                                   | 284        |
| 7.5 Flight Attitude of the Whole Trajectory is the Important<br>Parameter for Test Data Processing and Analysis .....                            | 287        |
| <b>Appendix .....</b>                                                                                                                            | <b>306</b> |
| Table of Symbol .....                                                                                                                            | 306        |
| Appendix 1 $\psi(u)$ Function Table .....                                                                                                        | 314        |
| Appendix 2 $\Phi(v)$ Function Table .....                                                                                                        | 317        |
| Appendix 3 Bilateral Provisional Boundaries $t_{\alpha/2}$ of $t$ Distribution .....                                                             | 320        |
| Appendix 4 Unilateral Provisional Boundaries $\chi^2_{\alpha}$ of $\chi^2$ Distribution .....                                                    | 321        |
| Appendix 5 Interval Estimation Table of Intermediate Error and Mean<br>Square Error .....                                                        | 324        |
| Appendix 6 Table of Provisional Boundaries $F_{\alpha}^*$ of $F^*$ Distribution .....                                                            | 325        |
| Appendix 7 Table of Provisional Boundaries $Q_{\alpha}$ of $Q$ Distribution .....                                                                | 330        |
| Appendix 8 Table of Provisional Boundaries $\gamma_{\alpha}$ of $R$ Distribution of Maximum<br>Difference Ratio Excluded Anomalous Results ..... | 331        |
| Appendix 9 Abnormal Results from Range than the Threshold $R$<br>Distribution $\gamma_{\alpha}$ Table .....                                      | 331        |
| References .....                                                                                                                                 | 333        |

# 第1章 概 论

## 1.1 外弹道试验数据处理与分析的重要性

本书讨论火炮武器系统射击无控弹药外弹道试验数据处理与分析。火炮武器系统全系统的研制、分系统的研制、部件的研制都要经过列项论证、方案论证、原理样机、初样机、正样机、设计定型、生产定型、列装使用,直至寿命终止,在全寿命周期之内要进行大量的射击试验。

火炮射击无控弹药,其显著特点是射弹散布大,对各种射击现象的分析要以大样本量的经典统计推断理论为理论基础,更增加了试验的次数和发数,使总用弹量更多。

火炮是在自然环境下射击,自然环境下许多可测和不可测的随机因素对弹丸的飞行状态产生影响,引起弹道散布,试验数据是各种随机因素综合作用的结果。对各随机现象及异常现象的分析,经常要进行试验验证,这在火炮研制阶段是经常要做的。

与精确弹药试验用弹量相比,火炮射击无控弹药的用弹量较多,但加大样本量与经典统计推断理论要求的样本量相比,又显得用弹量较少,再加上火炮装备是一种消耗装备,不能重复使用,因此,试验量不能很大。在这种状态下,应正确、科学地利用每个数据,使试验数据处理与分析的结果能反应火炮的实际性能,为正确判断火炮性能提供可靠依据。所以,外弹道试验数据处理与分析,在火炮试验中是十分重要的。反过来说,如果进行了大量的试验,由于数据处理与分析不正确,不但浪费器材,而且由于结论不正确,原因没找准,把方向找错了造成返工,会造成更大的浪费。

因此,试验数据处理与分析有以下作用。

(1) 根据试验数据,利用各种有效的方法为火炮系统的研制提供更多可靠信息。

(2) 根据试验数据,运用经典统计推断理论,进行数据处理,正确评价战术技术指标完成的情况。

(3) 运用统计分析与弹道分析,正确解释火炮性能参数优良或不足的原因及改进措施。

(4) 运用统计分析与弹道分析,较正确地解释异常现象,找到可能的原因。

(5) 为正确合理的试验方案制定提供依据。

(6) 为改进和设计测试仪器提供依据。

(7) 利用统计推断与弹道理论提供精确的弹道模型和弹道参数,为重建弹道提供数据。

## 1.2 外弹道试验数据处理与分析的重点

本书以火炮武器系统和分系统研制试验的数据处理与分析为重点阐述内容,在研制试验中又以研制阶段,包括原理样炮、初样炮、正样炮试验为主要内容进行介绍。从试验数据内容考虑重点处理与分析战技指标完成情况、全射程及其弹着点概率误差,以及与全弹道有关的各种参数,如弹道诸元、气象条件、飞行姿态、气动力与力矩、底排装置的工作状态等。

本书这样选择重点介绍内容,是因为研制阶段出现的问题多,它是火炮研制的关键阶段,在这一阶段解决了问题,才能进入设计定型阶段,同时这一阶段处理与分析的方法也不失一般性,对于其它类型的试验数据也可参照处理与分析。

## 1.3 试验数据处理与分析的基本思路

目前见到的武器试验数据的处理与分析的方法大都是以统计推断为基础进行的,以统计分析为主,弹道分析或物理分析比较少,这样作可以评价产品性能是否达标,可以分析误差的种类及大小,但不能指出具体的弹道原因,也就无法提出具体的改进措施,只解决了问题的 1/2。

本书的射击试验数据处理与分析方法,以弹道学、概率统计、误差理论为基础,进行分层次或者利用系统工程的方法,对试验数据处理与分析,步骤如图 1-1 所示。图 1-1 为数据处理与分析流程图,试验数据处理与分析分为 5 步,下面对每一步加以说明。

### 1. 试验数据统计分析

利用概率统计、误差理论分析判断,数据是否存在粗大误差与系统误差,判断分布的类型,计算样本均值与概率误差,并与战技指标比较,判断达到战技指标的程度。从统计中判断,得到影响因素误差的类型,分布规律的变化,为弹道分析指出可能方向。统计分析是在数字特征上指出方向,它不管弹道原因。

### 2. 试验数据弹道分析

根据统计分析提供的结果,从弹道学的角度量化计算比较,找出原因,例如,预期射程组平均偏差很大( $\Delta\bar{X}_{\text{试}} \gg 5E_X$ ),射弹散布很小,从统计规律分析, $\Delta\bar{X} \gg 5E_X$ ,弹着散布很小,服从正态分布,这组弹是总体均值发生了很大变化,是系统

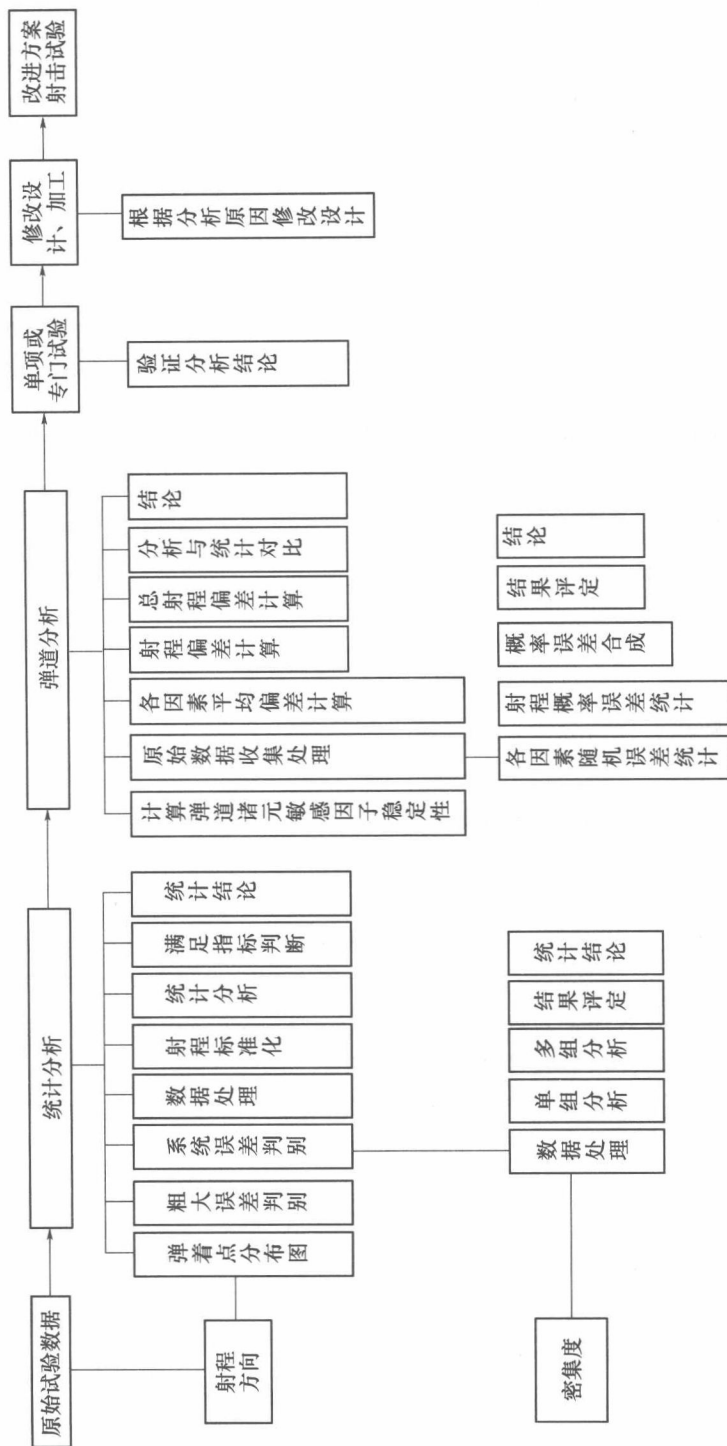


图1-1 射击试验数据处理与分析流程图

误差引起的,相当于存在常量系统误差。弹道分析知,最大可能是某一总体参数选择不合理造成的。例如,对于普通杀爆弹,影响总体均值的是  $\bar{v}_0$ 、 $\bar{\theta}_0$  和弹形。从这 3 方面分析,并进行计算。

$$\Delta \bar{X}_{\text{计}\alpha_i} = \frac{\partial \bar{X}}{\partial \alpha_i} \Delta \bar{\alpha}_i$$
$$\Delta \bar{X}_{\text{计}} = \sum_1^3 \frac{\partial \bar{X}}{\partial \alpha_i} \Delta \bar{\alpha}_i$$

然后与  $\Delta \bar{X}_{\text{试}}$  比较。

弹道分析物理原因,找出影响因素,为修改设计提供依据。

### 3. 单项或专门试验

在弹道分析找出原因之后,要进行验证性试验,证明分析的正确性,也可能从各种射击现象上明确了分析的正确性,可以不作验证性试验,或属小概率事件,不作验证性试验。

### 4. 修改原设计

根据分析找出的原因,修改原方案。

### 5. 对修改后的方案进行实际射击试验

改进后的方案试验,收集试验数据,进行新一轮分析。不论试验结果是好是坏,都要进行数据处理与分析。

## 1.4 试验条件控制的重要性

火炮武器系统的研制试验、定型试验、验收试验及各种专门的试验与实际作战对目标射击有很大的区别。区别的根本原因是试验目的不同。上述试验的主要目的是检验火炮系统是否达到了战技指标要求,或通过试验确定火炮系统达到的性能水平,以及各因素对性能的影响程度。为了能对火炮系统的性能作出正确评价,试验时对评价火炮性能有影响或干扰对火炮性能正确评价的因素,必须严格控制,使其影响减小到最低限度。因此,根据不同的试验目的严格控制试验条件。

在火炮系统设计时,所有的弹道、射击、气动力以及火炮弹药理论都是线性范围的理论,检查火炮的性能也应当在这些理论范围内。因此,试验条件应当控制在这些理论允许的范围内。

同类型火炮系统,在同一条件下,比较其性能才有意义。由于上述原因,地面火炮系统试验时要严格控制试验条件。

火炮试验是在自然环境下进行的,大气条件的变化是随机过程,有许多不确定的随机因素影响实时弹道,而且目前对弹丸飞行过程中所感知的实时气象诸元的测量方法并不完善,会产生较大误差。



火炮成组或多发射击过程,每发弹的火炮条件与弹道环境并不相同,而且这种差别也有随机性。因此,射击试验条件控制也是为了减小气象和火炮随机性影响的措施。具体的射击试验条件控制见第3章。

## 1.5 火炮外弹道试验数据处理与分析技术的发展

随着兵器基础理论、兵器装备、兵器性能的发展以及各种测试器材的研制和使用,外弹道试验数据处理与分析技术在不断发展。

以火炮试验数据处理与分析为例,在20世纪50年代以前,榴弹炮、加农炮的主要战技指标是最大射程及其地面射击密集度,测量的主要器材是弹着点坐标,初速、弹重、膛压、地面气象诸元与空中气象诸元等测量仪器。主要数据处理是试验射程与方向的试验平均值与射程和方向概率误差。有些技术人员,形象地说“阵地听一声响,目标附近打一个洞”。

到了20世纪60—70年代以后,由于火炮技术的发展、火炮性能的提高,出现了最大射程超过30km的远程加榴炮,提高初速、弹形减阻、底排减阻、火箭增速,射程有较大提高,射击密集度也有一定改善,此时测试器材出现了多普勒弹道雷达、跟踪雷达、激光测距机、红外测距机,气象测量仪器也有改进,缩短了测量时间及气象诸元的测量精度。在试验数据处理与分析方面,充分利用概率统计知识,初步使数据处理与分析走上统计推断的轨道。但是,当时的数据处理与分析的目的,主要是评价达到战技指标的程度。

到了20世纪80—90年代以后,各种新型弹箭的出现,弹丸的结构与弹道更复杂,要求测量弹道上更多参数,要了解与掌握弹丸在弹道上的运动状态,并能正确处理与分析这些随机量,此时弹道测量、数据处理与分析的目的是正确获取与处理弹道上大量的信息作为主要任务,在这种要求下,出现了各种数据处理与分析方法,为改进设计、提高装备的性能服务。

## 1.6 本书研究的主要内容

本书以火炮研制阶段的射程与方向及其概率误差的试验数据的处理与分析为重点研究内容,利用统计分析弹道分析相结合的方法,不但分析试验数据的外在表现,而且由表及里,找到主要影响因素的误差源,为火炮性能改进与提高找到具体因素与措施。为达到此目的,本书分为7章,第2章为预备知识;第3章为射击试验数据的处理与分析;第4章~第6章为专题试验数据处理与分析;第7章为提高试验数据处理精度与分析问题准确性的措施。

第2章包括数据处理与分析所需要的内弹道学、气象学、空气动力学、外弹道学、概率统计、误差理论方面的基础知识,为数据处理与分析提供理论依据与