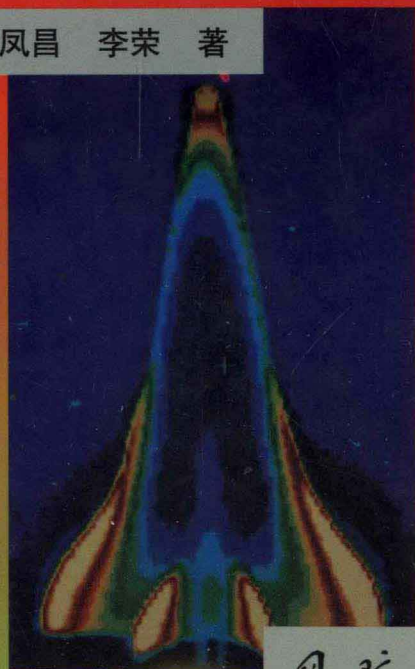


武器装备小子样试验分析与评估

Test Analysis and
Evaluation of Weapon
Systems in Small-Sample
Circumstances

唐雪梅 张金槐 邵凤昌 李荣 著



国防工业出版社

武器装备小子样试验 分析与评估

Test Analysis and Evaluation of Weapon Systems in Small-Sample Circumstances

唐雪梅 张金槐
邵凤昌 李 荣



国防工

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

武器装备小子样试验分析与评估/唐雪梅等著. —北京:国防工业出版社, 2001. 12

ISBN 7-118-02607-7

I. 武… II. 唐… III. ①武器装备-试验模型-分析②武器装备-试验模型-评估 IV. TJ01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 045362 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)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10 $\frac{1}{2}$ 270 千字

2001 年 12 月第 1 版 2001 年 12 月北京第 1 次印刷

印数:1—1500 册 定价:23.00 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。国防科技国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国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!

**国防科技国书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

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 崔士义

委 员 于景元 王小谟 尤子平 冯允成

(以姓氏笔划为序) 刘 仁 朱森元 朵英贤 宋家树

杨星豪 吴有生 何庆芝 何国伟

何新贵 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫悟生 崔尔杰

序言(一)

武器系统的试验分析与评估是武器装备研制工程中的重要环节。针对我国武器系统试验次数少,试验条件不尽相同,而试验又具有较强继承性的特点,运用科学的方法对武器系统的战技指标作出准确的分析和评估乃是论证、研制、试验、管理等部门始终关注的问题之一。本书正是针对这一迫切的军事需求,全面、深入、系统地研究了这一问题。本书的出版对提高武器装备论证、研制、试验和管理水平,使新装备尽快形成战斗力以及为相关院校的教学提供教材方面将发挥积极的作用。

作者跟踪国内外有关最新动态,在总结多年科研和教学实践的基础上,精心撰写了本著作。其内容融进了他们在小子样理论研究(Bayes 方法、Bootstrap 方法、综合序贯检验方法、分位点法、相容性检验方法等)及其在武器系统战技指标评估中的应用研究的成果,包括随机落点精度评估方法,系统的可靠性评估方法,最大射程评估方法,抛撒半径与均匀性评估方法,武器系统无损试验方法和仿真试验鉴定方法等。理论联系实际,构成了本书的特色。

本书是作者长期从事这一学科领域理论研究和工程实践所取得的丰硕果实的集中体现。本书的一些内容已直接应用于武器系统及常规兵器的试验结果分析和鉴定之中;而书中的一般原理和方法可推广应用于其它武器装备试验分析与评估。这些必将对我国武器装备试验定型的理论和方法起到促进作用,从而在节省试验经费、减少武器系统试验次数、评估武器装备性能等方面有着重大的意义。

胡世祥

2001 年 3 月

序言(二)

武器系统战技指标的试验分析与评估是论证、研究设计、试验和管理部门极为关注的问题。针对我国武器系统试验次数极少的情况,小子样试验分析与评估的理论和方法更具有明显的实际意义。因此,本书问世对于深入进行武器装备试验分析与评估有着重要且积极的作用。

该书理论联系实际,注重工程需求牵引,系统地论述了涉及武器装备小子样试验分析与评估的有关理论和实际问题,如小子样理论,包括 Bayes 方法,Bootstrap 方法、综合序贯检验方法、分位点法、小子样的相容性检验方法等,武器系统战技指标试验分析与评估方法,包括随机落点系统误差、子母弹抛撒半径与均匀性等指标的论证方法,并从满足作战使用要求出发建立了评估最大射程、随机落点系统误差、子母弹抛撒半径与均匀性等指标的统计模型,应用小子样理论给出了随机落点精度、系统的可靠性、最大射程、子母弹抛撒半径与均匀性、反应能力和突防能力等指标的评估方法,提供了计算武器系统最小试验量的数学模型,对武器系统无损试验方法及仿真试验鉴定方法进行了研究。全书内容新颖、详实而完整,为武器系统小子样战技指标的试验分析与评估提供了理论基础和切实可行的方法。

这本专著反映了国内外在此领域的最新理论和研究成果,也融进了作者们多年来,特别是近期的研究成果。全书内容具有系统性、先进性和较高的学术水平。由于该书的作者们有直接参与相关工程研究和分析的实践经验,使得该书的理论和方法,对工程实践具有很强的指导意义和应用价值。迄今为止,系统地论述武

器系统战技指标试验分析与评估方法的专著,在国内尚属首次。
全书结构合理,论述清楚,是一部不可多得的好书。

中国科学院 院士
国际宇航科学院 院士

谢光选

2001 年 3 月

前 言

武器系统战术技术指标的试验分析与评估是论证部门、研制部门、试验部门、管理部门和使用部门极为关注的问题。针对我国武器系统试验次数少,但试验具有继承性,而且试验条件不尽相同等特点,研究其验收试验的理论和方法更具有明显的实际意义。

作者们长期参与武器系统试验分析与评估工作。起初,为了对武器系统进行射击精度、发射和飞行可靠性等指标的评估与鉴定,开展了小子样条件下的试验分析与评估研究。从 20 世纪 80 年代以来,随着国内武器系统研制的型号增多,试验鉴定、定型方面的研究有了较大的发展。就学科而言,该书内容属于统计数学范畴,但由于它具有很强的工程背景,因此,它既以统计数学的理论为基础,又结合了武器装备的工程实践进行研究和分析。迄今为止,以武器系统为背景,系统地论述战术技术指标的试验分析与评估的专著,尚属少见。目前,不少科研单位和试验基地正在加强这方面的研究,并显示出对需求的迫切性。为了适应当前形势的需要,我们撰写了这本书,以弥补试验分析与评估这方面的不足。书中所述内容,融进了作者的最新研究结果,所阐述的问题,虽然属于试验分析与评估中的共性技术,但注意了实际应用背景。我们希望本书对于从事这方面工作的工程技术人员、高等学校教师、研究生等能有所裨益。

本书内容分为三部分:第一部分为绪论,概括地介绍了武器系统试验分析与评估的发展过程和现状;第二部分包括第 1、第 2、第 9 章,为小子样统计理论部分,其内容来源于国内外公开发表过的有关文献和书籍,也融进了作者的最新成果;第三部分包括第 3 至第 8 章,属于专题研究和应用部分,它是我们近几年来从事科研的

体会总结。

本书绪论及第 1、3、4、5、6 章由唐雪梅同志撰写,第 2、9 章和第 3.6 节由张金槐同志撰写,第 7 章由邵凤昌同志撰写,第 8 章和第 4.3 节由李荣同志撰写。本书由唐雪梅和李荣同志统稿,邵凤昌同志审定。

在撰写过程中,曾得到单位领导和同事们的支持和帮助,另外国防工业出版社吴芝萍编审也付出了辛勤的劳动,在此一并表示谢意。

写作内容如此广泛的书,作者虽尽了努力,但由于学识水平有限、经验不足,错误在所难免,诚恳希望同行专家和读者提出批评和指正。

作 者

目 录

绪论	1
第 1 章 小子样统计方法	6
1.1 Bootstrap 和 Bayes Bootstrap 方法	7
1.2 小样本场合下相容性检验	11
1.2.1 任意分布的相容性检验方法	12
1.2.2 小样本情况下正态分布的相容性检验	14
1.2.3 指数分布数据的有效性检验	18
1.2.4 小样本情况下指数分布的相容性检验	19
1.3 不确定样本的统计分析	20
1.4 极值分布分位点估计法	25
1.5 小样本场合下的区间估计	31
1.5.1 区间估计的一般方法	32
1.5.2 区间估计的分位点法	35
1.5.3 小样本场合下的区间估计	38
1.6 试验量的预报	41
1.6.1 根据先验信息预测所需的试验量	42
1.6.2 根据试验分析结果确定后续试验所需的试验量	47
参考文献	53
第 2 章 Bayes 统计分析方法	55
2.1 Bayes 统计分析的基本思想	55
2.2 验前信息的获取和表示	57
2.2.1 验前信息的获取	57
2.2.2 无信息可利用时的验前分布	59

2.2.3 利用共轭分布确定验前分布	62
2.3 Bayes 估计	68
2.4 Bayes 假设检验	71
2.5 经验 Bayes 方法	73
参考文献	82
第 3 章 武器系统精度评估方法	83
3.1 武器系统精度的基本概念	83
3.1.1 武器系统精度的基本概念	83
3.1.2 精度评定样本的选取原则	87
3.2 落点密集度的评估方法	87
3.2.1 综合序贯检验方法	88
3.2.2 Bayes 检验方法	97
3.2.3 Bayes 序贯决策方法	106
3.2.4 落点密集度的估计方法	114
3.3 落点系统误差的评估方法	116
3.3.1 纵、横向落点系统误差的分别评定方法	117
3.3.2 落点的系统误差纵、横向综合评定方法	120
3.3.3 Bayes 检验方法	122
3.3.4 落点系统误差的点估计和区间估计	123
3.4 命中精度 CEP 的评估方法	126
3.4.1 命中精度评定方法	126
3.4.2 命中精度 CEP 点估计与区间估计	128
3.5 射击准确度和射击精度的评估方法	130
3.5.1 射击精度和射击准确度的估计方法	131
3.5.2 射击精度和准确度的评定方法	135
3.6 命中概率估计	138
3.6.1 命中长方形域概率的一致无偏最小方差估计	139
3.6.2 命中圆域的概率估计	142
参考文献	145
第 4 章 系统可靠性评估方法	146

4.1 成败模型的可靠性评估方法	146
4.1.1 经典统计方法	147
4.1.2 Bayes 方法	156
4.2 指数寿命型可靠性评定	163
4.2.1 指数分布参数的经典评估方法	164
4.2.2 指数分布下的 Bayes 评估方法	167
4.3 Weibull 分布的评估方法	175
4.3.1 Weibull 分布参数的极大似然估计方法	176
4.3.2 Weibull 分布 Bayes 可靠性评估方法	177
4.3.3 可靠性评估的 Bayes Monte-Carlo 仿真步骤	186
4.4 系统可靠性综合评定方法	188
4.4.1 成败型系统试验数据的折算	188
4.4.2 成败型系统可靠性评定	195
4.4.3 指数寿命系统试验数据的折算	195
4.4.4 指数型系统可靠性评估方法	201
4.4.5 成败型和指数型组成的混合系统试验数据 的折算	202
4.4.6 混合系统可靠性评估	206
参考文献	206
第 5 章 最大飞行距离的评估	208
5.1 试验最大飞行距离的计算	208
5.1.1 最大飞行距离的基本概念	208
5.1.2 试验最大标准飞行距离的计算方法	211
5.1.3 试验最大标准飞行距离的计算	212
5.2 最大标准飞行距离的估计方法	213
5.2.1 最大标准飞行距离的 T 统计估计法	213
5.2.2 最大标准飞行距离的 Bayes 估计方法	215
5.2.3 应用 Bootstrap 方法估计最大标准飞行距离	221
5.3 最大标准飞行距离的评定方法	222
参考文献	224

第 6 章 武器系统其它性能指标的评估方法	225
6.1 子母弹抛撒半径与均匀性的评估方法	225
6.1.1 子弹散布中心、半径、均匀性的定义	225
6.1.2 子弹野值的处理方法	226
6.1.3 子母弹散布中心、半径、均匀性指标的确定 方法	228
6.1.4 子母弹抛撒均匀性评定的随机加权法	233
6.1.5 子母弹抛撒半径评定的随机加权法	236
6.1.6 子弹抛撒均匀性评定的其它方法	237
6.2 快速反应能力的评定方法	242
6.3 突防能力的评估方法	244
6.3.1 反导系统发现概率	245
6.3.2 反导系统可发射概率	246
6.3.3 反导系统可制导概率	246
6.3.4 拦截杀伤战斗部模型	246
6.3.5 突防概率估计	249
参考文献	249
第 7 章 武器系统的无损试验方法	251
7.1 不同环境下武器系统性能及故障特性	251
7.2 失效模式分析及故障树建立	254
7.2.1 失效模式分析	254
7.2.2 故障树建立	257
7.3 检测数据的分析与建模	261
7.3.1 Bootstrap 方法和 Bayes Bootstrap 方法	262
7.3.2 约翰逊经验分布方法	263
7.4 环境试验后分系统性能的适应性检验方法	264
7.4.1 最大似然比检验	265
7.4.2 非参数检验	266
参考文献	273
第 8 章 系统仿真在武器系统试验评估中的应用	275

8.1	系统仿真的意义	275
8.2	仿真模型的校核、验证与确认(VV&A)	276
8.2.1	仿真模型 VV&A 概述	276
8.2.2	仿真模型校核与验证(V&V)方法	279
8.2.3	仿真试验结果的可信度	292
8.3	仿真试验结果的运用	293
8.3.1	静态仿真数据的分析	294
8.3.2	动态仿真数据的分析	295
	参考文献	299
第 9 章	Bayes 方法的稳健性	300
9.1	问题的提出	300
9.2	无信息验前分布的稳健性	301
9.3	运用边缘分布的稳健性分析	302
9.3.1	正态变量期望值的验前分布的选择	303
9.3.2	二项变量参数的验前分布比较	304
9.3.3	验前分布的似然估计	304
9.4	验后稳健性分析	306
9.5	稳健性检验	310
9.5.1	共轭验前分布的稳健性检验	311
9.5.2	ϵ 污染验前分布族验前分布似然估计的稳健 性检验	312
9.6	验前分布的最优检验	314
9.7	应用示例	316
	参考文献	319

Contents

Introduction	1
Chapter 1 Statistics Methods in Small Sample	
Situation	6
1.1 Bootstrap and Bayes Bootstrap Methods	7
1.2 Consistency Test Methods in Small Sample	
Situation	11
1.2.1 Consistency Test Methods of Any	
Distribution	12
1.2.2 Consistency Test Methods of Normal Distri	
bution in Small Sample Situation	14
1.2.3 Validity Test for Data of Exponential	
Distribution	18
1.2.4 Consistency Test Methods of Exponential	
Distribution in Small Sample Situation	19
1.3 Statistics Analysis Methods with Uncertain	
Samples	20
1.4 Estimation Methods of Percentiles of Extremum	
Distribution	25
1.5 Interval Estimation in Small Sample Situation	31
1.5.1 General Methods of Interval Estimation	32
1.5.2 Percentiles Method of Interval Estimation	35
1.5.3 Interval Estimation in Small Sample	
Situation	38