

《国防科研试验工程技术系列教材》

常规兵器试验系统

试验数据的统计分析

中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

《国防科研试验工程技术系列教材》

常规兵器试验系统

试验数据的统计分析

中国人民解放军总装备部
军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

试验数据的统计分析/中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会编. —北京:国防工业出版社, 2001. 1

国防科研试验工程技术系列教材·常规兵器试验系统
ISBN 7-118-02370-1

I. 试… II. 中 III. 武器试验-实验数据-分析-教材
IV. TJ01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 41486 号

 国防工业出版社 出版发行

(北京市西城区德胜门内大街 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 14 $\frac{1}{8}$ 365 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《国防科研试验工程技术系列教材》

总编审委员会

名誉主任委员 程开甲 李元正

主任委员 胡世祥

副主任委员 段双泉 尚学琨 褚恭信 马国惠

委员 (以下按姓氏笔划排列)

王国玉 刘 强 刘晶儒 张忠华

李济生 邵发声 周铁民 姚炳洪

姜世忠 徐克俊 钱卫平 常显奇

萧泰顺 穆 山

办公室主任 任万德

办公室成员 王文宝 冯许平 左振平 朱承进

余德泉 李 钢 李长海 杨德洲

邱学臣 郑时运 聂 峰 陶有勤

钱玉民

《国防科研试验工程技术系列教材· 常规兵器试验系统》编审委员会

主任委员 马国惠

副主任委员 邱学臣 吴东满 姚炳洪 王文聪

委 员 (以下按姓氏笔划排列)

王益森 汤善斌 肖崇光 何建国

余乐斌 陈芝余 庞常战 赵 宇

钟明信 曹培贵 黄国臣 傅廷俊

主 编 姚炳洪

副 主 编 肖崇光 汤善斌 庞常战

秘 书 赵 宇

试验数据的统计分析

编著者 闫章更 魏振军

主 审 张尧庭

张尧庭

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济迅速兴起,国力竞争越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量与数量,因此,作为人才培养的基础工作——教材建设,就显得格外重要和紧迫。为总结、巩固国防科研试验的经验和成果,促进国防科研试验事业的发展,加快人才培养,我们组织了近千名专家、学者编著了这套系列教材。

建国以来,我国国防科研试验战线上的广大科技人员,发扬“自力更生、艰苦奋斗、科学求实、大力协同、无私奉献”的精神,经过几十年的努力,建立起了具有相当规模和水平的科研试验体系,创立了一系列科研试验理论,造就了一支既有较高科学理论知识、又有实践经验,勇于攻关、能打硬仗的优秀科技队伍,取得了举世瞩目的成就。这些成就对增强国防实力,带动国家经济发展,促进科技进步,提高国家和民族威望,都发挥了重要作用。

编著这套系列教材是国防科研试验事业继往开来的大事,它是国防科研试验工程技术建设的一个重要方面,是国防科技成果的一个重要组成部分,也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,是众多科技工作者用心血和汗水凝成的科技成果。编著该套系列教材,旨在从总体的系统性、完整性、实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的国防科研试验理论与实践相结合的知识体系。一是总结整理国防科研试验事业创业 40 年来的重要成果及宝贵经验;二是优化专业技术教材体系,为国防科研试验专业技术人员提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的急需;三是为国防科研试验提供有力的

技术保障;四是将许多老专家、老教授、老学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来。

这套系列教材按国防科研试验主要工程技术范畴分为:导弹航天测试发射系统、导弹航天测量控制系统、试验通信系统、试验气象系统、常规兵器试验系统、核试验系统、空气动力系统、航天医学工程系统、国防科技情报系统、电子对抗试验系统等。各系统分别重点论述各自的系统总体、设备总体知识,各专业及相关学科的基础理论与专业知识,主要设备的基本组成、原理与应用,主要试验方法与工作程序,本学科专业的主要科技成果,国内外的最新研究动态及未来发展方向等。

这套系列教材的使用对象主要是:具有大专以上学历的科技与管理干部,从事试验技术总体、技术管理工作的人员及院校有关专业的师生。

期望这套系列教材能够有益于高技术领域里人才的培养,有益于国防科研试验事业的发展,有益于科学技术的进步。

《国防科研试验工程技术系列教材》

总编审委员会

1999 年 10 月

序

常规兵器试验技术是国防科研试验技术的重要组成部分。

40多年来,我国从事常规兵器试验工作的广大科技人员发扬艰苦奋斗、科学求实、勇于创新、默默奉献的精神,经过几代人的团结奋斗,建立了具有相当规模和一定水平的常规兵器科研试验体系,造就了一支有扎实理论知识和丰富实践经验的人才队伍,圆满完成了各项常规兵器科研试验任务,为我国常规兵器事业的发展作出了重要贡献。

为了促进常规兵器试验事业的不断发展,我们组织有关专家对几代科技人员用毕生心血和汗水凝成的实践经验与理论成果进行了认真系统的整理,形成了本套教材。相信这套教材的出版,对常规兵器试验人才的培养,对高新技术兵器不断涌现的新时期试验工作的指导,都将具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

本套教材共分17卷。包括:《常规兵器试验概论》、《火炮试验鉴定技术》、《弹药试验鉴定技术》、《制导武器试验鉴定技术》、《引信试验鉴定技术》、《火控试验鉴定技术》、《侦察装备试验鉴定技术》、《气象装备试验鉴定技术》、《枪械试验鉴定技术》、《枪弹、步兵榴弹试验鉴定技术》、《射表编拟技术》、《弹道参数测试技术》(上、下册)、《火炮准备与测试技术》、《弹药准备与测量技术》、《轻武器测试技术》、《试验数据的统计分析》和《可靠性试验技术》。

本套教材内容系统、注重理论联系实际,适用于大专以上学历、中级职务专业技术干部阅读。也可供初级、高级职务专业技术干部、指挥干部以及院校有关专业的师生参考。

本套教材在编写过程中,得到了有关部队、院校、设备研制生

产单位的大力支持与协助,在此表示衷心的感谢。由于本套教材涉及专业面广,包含内容多,编者水平有限,书中难免有错误或疏漏之处,诚请读者予以指正。

《国防科研试验工程技术系列教材·
常规兵器试验系统》编审委员会

2000 年 10 月

前 言

在常规兵器试验中,数据处理的主要任务是以统计理论为工具对被试品的试验数据从统计分析出发引出确切的结论。当明确给出了被试品质量指标的要求值时,统计分析是要对被试品作出是否符合质量指标要求的确切性结论;当没有给出质量指标的要求值时,统计分析是要从对被试品与标准产品(或已知产品)的性能比较中作出被试品是否符合要求的确切性结论,有时也要确定一个新产品的特征量。

由于试验带有破坏性,或者耗费过大,因此不可能对所研究的对象——总体的每个产品都进行试验,而只能随机抽取一部分(样本)进行试验以推断总体。因而总体的特征量,很少能被精确确定。然而,这种精确性依赖于抽样的大小。增加样本量将有更大的把握相信推断结果。因此应用统计推断方法时,必须注意选择适当的样本大小。当试验不带破坏性或耗费较少时,也是要寻求一个合理的样本量,而并不是样本越多越好。

统计理论在兵器试验数据处理中的应用愈来愈普及,愈来愈完善,及时总结这方面的经验是非常必要的。作为总结这方面经验的尝试,闫章更高级工程师于1990年编写了“兵器试验统计学”(内部)一书。本书是在该书的基础上修定而成的。需要指出的是,近代一些新的统计方法,如贝叶斯统计、稳健统计等在兵器试验数据分析中的应用已取得非常可喜的成果。在本书的编写中,我们曾试图全面介绍这些成果,但由于受篇幅所限并考虑到这方面的成果尚在进一步发展完善和探讨中。基于这种考虑,并根据教材编委会的意见,增加了介绍近代统计方法的内容。增加这一章,主要是为未接触过这些统计方法的读者提供一个方便。作者

认为,近代一些统计方法的应用研究仍是今后兵器试验数据分析领域中的重要课题。本书第一章至第八章由闫章更高工撰稿,第九章由魏振军教授撰写。魏振军教授进行了校订,张尧庭教授抽出了大量时间详细审阅了全稿,并提出了宝贵意见。本书的主要内容有:概念、数据分析、平均值、标准差、比率、样本容量、回归、误差等。书中给出了具体的实施步骤,并给出了理论推导,符合常规兵器试验规程的某些要求,具有统计手册的某些特性。本书可作为从事常规兵器试验的有关技术人员进行基础训练的教材,也可作为从事常规兵器试验的科技工作者进行试验设计、数据分析、结果评定时如何应用统计方法的参考。

本书的编写是在总装备部司令部作试局、军训局和基地各级领导、有关同志的热情支持和帮助下完成的,在此特向他们一并致谢。由于作者水平所限,错误在所难免,请读者批评指正。

编 者

2000年7月

目 录

第 1 章 概念	1
1.1 总体与样本	1
1.2 总体分布的近似求法	2
1.3 总体分布的描述性度量	6
1.4 统计量与自由度	9
1.5 常用分布及抽样分布	11
1.6 概率分布的分位数	28
1.7 参数估计	31
1.8 假设检验	38
1.9 产品指标与零假设	40
1.10 单边检验和双边检验	42
1.11 操作特征曲线(OC 曲线)	42
1.12 确定样本容量允许的偏差量	45
1.13 容许区间与容许限	46
第 2 章 数据分析	51
2.1 正态性检验	51
2.2 分布函数的吻合性检验	59
2.3 异常值的判定	67
2.4 倾向性分析	77
第 3 章 平均值	82
3.1 关于产品指标	82
3.2 μ 的估计	83
3.3 被试品均值 μ 与指标值 μ_0 的比较	90
3.4 两种产品均值的比较	97

3.5 多总体均值的比较	119
第 4 章 标准差	126
4.1 关于产品指标	126
4.2 总体标准差 σ 的估计	127
4.3 被试品标准差 σ 与 σ_0 的比较	136
4.4 两种产品标准差 σ_A 与 σ_B 的比较	141
4.5 多总体标准差的比较	150
4.6 容许区间和容许限	154
第 5 章 比率	156
5.1 关于产品指标	156
5.2 总体比率 p 的估计	157
5.3 p 的置信区间估计	161
5.4 大样本下 p 的置信区间估计	167
5.5 比率 p 与 p_0 的比较	171
5.6 大样本下比率 p 与 p_0 的比较	175
5.7 两个比率的比较	177
第 6 章 样本容量	185
6.1 μ 估计中的样本容量确定	186
6.2 μ 与 μ_0 比较中的样本容量确定	191
6.3 μ_A 与 μ_B 比较中的样本容量	197
6.4 σ 的估计与比较中的样本容量确定	206
6.5 比率估计中的样本容量确定	214
6.6 比率比较中的样本容量确定	217
6.7 容许区间确定中的样本容量确定	220
第 7 章 回归	223
7.1 回归直线的估计与相关性检验	224
7.2 采用回归直线进行预测	233
7.3 两条回归直线的比较	239
7.4 回归曲线的估计	243
7.5 数据平滑	255

第 8 章 误差	266
8.1 误差的基本概念	266
8.2 有效数字及计算法则	272
8.3 误差的估计与评定	275
8.4 误差的传递与误差的合成	279
8.5 误差的分配	284
8.6 测量数据的处理	285
第 9 章 近代统计方法简介	291
9.1 贝叶斯统计	291
9.2 稳健统计	313
9.3 统计决策论	333
9.4 SAS 系统	342
附录 统计数值表	348
附表 1 正态分布函数表	348
附表 2 $\Phi(\beta)$ 函数表	351
附表 3 为近似计算 T 函数的 $u(h)$ 和 $v(h)$ 系数表	358
附表 4 T 函数表	364
附表 5 χ^2 分布分位数表	373
附表 6 T 分布分位数表	376
附表 7 F 分布分位数表	378
附表 8 正态分布容许限的系数 $\lambda(n, \beta, \gamma)$ 表	390
附表 9 正态分布容许区间的系数 $\lambda(n, \beta, \gamma)$ 表	392
附表 10 柯尔莫哥洛夫(Колмогоров)检验的 临界值 $D_{n\alpha}$ 表	394
附表 11 D_n 的极限分布函数数值表	396
附表 12 G_n 分布的临界值 β_α 表	397
附表 13 异常值的极值偏差法临界值 q_α 表	398
附表 14 异常值的极差比法检验临界值 r_α 表	399
附表 15 $\eta = S_\delta^2/S^2$ 的临界值 η_α 表	400
附表 16 T 化极差的临界值表	401

附表 17	极差系数 d_n 和极差分布的分位数表	405
附表 18	G 分布分位数表	406
附表 19	二项分布参数 p 的双边置信区间表	414
附表 20	二项分布表	418
附表 21	超几何分布表	424
附表 22	σ_A 和 σ_B 比较中子样大小的确定用表	428
附表 23	比率 P 的反正弦函数换算表	429
附表 24	相关系数临界值 ρ_α 表	430
后记		431
参考文献		432

第1章 概 念

在常规兵器试验中,数据分析的理论基础是统计学。尽管从事常规兵器试验的技术工作者,一般都具有概率统计的基础知识,但在讨论如何对数据进行统计分析时,首先结合兵器试验的实际,对统计学的一些基本概念进行较系统的回顾,仍然是必要的。概念是准确应用统计方法的基础。

1.1 总体与样本

1.1.1 总体

一个统计问题有它明确的研究对象,研究对象的全体称为总体,总体中的每个成员称为个体。例如,研究某批军工产品的质量指标时,这批产品的全体就是总体,每个产品就是个体。然而在统计研究中,人们关心总体仅仅是关心其每个个体的一项(或几项)数量指标和该数量指标在总体中的分布情况。这时,每个个体具有的数量指标的全体就是总体。由于在样本中每个个体的出现是随机的,所以,相应的数量指标的出现也带有随机性。从而可以把这种数量指标看作一个随机变量,因此随机变量的分布就是该数量指标在总体中的分布。这样,总体就可以用一个随机变量及其分布来描述。例如,研究某批炮弹的射程时,关心的数量指标就是射程 X ,那么,此总体就可以用随机变量 X 表示,或用其分布函数 $F(x)$ 表示。类似地,在研究武器弹药系统的性能时,若关心的数量指标是炸点坐标,我们用 X 和 Y 分别表示炸点的横坐标和纵坐标,那么此总体就可用二维随机变量 (X, Y) 或其联合分布函数 $F(x, y)$ 来表示。总体按其个体数目是有限或无限分为有限总体