

数理统计方法 与军工产品质量控制

林日其 编著 史初蕾 主审



国防工业出版社

National Defense Industry Press
<http://www.ndip.com.cn>

数理统计方法与军工产品 质 量 控 制

林日其 编著
史初蕾 主审

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

数理统计方法与军工产品质量控制/林日其编著.
北京:国防工业出版社,2002.10
ISBN 7-118-02965-3

I. 数... II. 林... III. 数理统计—应用—国防工
业—工业产品—质量控制 IV. F407.486.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 081153 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京英德印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6¼ 158 千字
2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷
印数:1—3000 册 定价:23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

序

看到这本书,我很高兴。军代表同志们身处装备建设第一线,在工作繁忙的情况下,却能结合工作实践写出具有一定观点的著作,这种精神值得学习。

数理统计是现代数学的一个重要分支,它通过研究随机现象的统计规律,对客观事物作出评估和预测。由于随机现象充满于世界的各个角落、每个领域,所以数理统计的应用十分广泛。

从事军工产品质量管理工作的同志对数理统计理论和方法应该比较熟悉。我国从 20 世纪 60 年代首先在国防工业开展了统计质量控制和现代数学的应用研究。1981 年,当时的国家标准化局颁布了我国第一个《逐步检查计数抽样程序及抽样表》(GJB2828-81),这个标准是国家标准化局委托原四机部标准化所研究制定的。1986 年 10 月 18 日,原国防科工委颁布了 GJB179-86《计数抽样检查程序及表》,这个标准是应用于军工领域的。上述两个标准参考了美国国防部 1950 年 4 月颁布、1963 年修订而成的美军军用标准 MIL-STD-105D,是我国的标准化工作人员和质量工作者,在数理统计理论的指导下,根据我国产品质量管理、特别是军工产品质量管理的需要而制定的。它们的颁布实施,标志着数理统计理论和方法在我国质量管理领域的应用已经走上了规范化、标准化轨道。

20 多年来,随着数理统计理论和方法在质量管理领域的广泛应用和普及,我国产品质量管理水平和我军武器装备质量水平逐步提高。现在,国军标 GJB176-86 已修订为 GJB179A-96《计数抽样检验程序及表》,成为军队和承制单位制定军工产品制造与验收

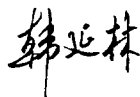
ABD68/00

收规范的重要依据,继续为军工产品质量管理发挥着巨大的作用。因此,可以说,不懂得数理统计理论就无法科学地开展军工产品质量管理工作。

驻合肥地区军事代表室编著的这本书,吸取了前人的研究成果,介绍了数理统计理论知识,结合军代表的工作实际,通过产品抽样方案设计、产品质量评估以及数理统计应用实例,对军工产品质量控制中遇到的问题进行了理论分析,提供了解决途径和方法范例。书中还总结了军事代表在质量监督工作中应用数理统计方法的研究成果和成功经验。虽然其中的一些观点可能还不十分成熟,但是对军代表的质量监督工作有一定的指导意义,对其他质量工作者也有一定的参考价值。

当前,装备质量建设任务十分繁重,质量管理形势十分严峻。加强军工产品质量监督必须从多方入手,包括促进承制单位质量管理体系建设;加强质量管理体系的监督,加强研制阶段的转段评审,严格试验考核;加强生产过程质量监督,实行首批鉴定制度,保证批生产产品质量。尤其要加强质量管理新技术、新方法和新手段的应用研究,综合利用合同约束、价格调节、技术促进、科学检测等多种手段和方法,通过机制创新、手段创新、方法创新不断改进质量工作,提高管理水平。

希望广大质量管理者和驻厂军事代表,不断开拓创新,与时俱进,进一步探索质量管理新理论和新方法,把军工产品的质量管理搞上去,为装备建设和军事斗争准备做出更大贡献。



陆军装备科研订购部部长

2002年9月6日

前 言

军事装备的质量不仅是军工企业的生命,更关系到军队战斗力的形成、发挥甚至国家的安危。军事装备质量控制是军事装备部门和军工企业共同关注的核心问题。对质量控制中数理统计方法的应用问题在 GJB9001A-2001 标准中得到了充分体现,将数理统计方法的应用看作是质量体系不可缺少的组成部分。因此,学习和研究数理统计方法对军事装备科研生产单位和装备采办管理部门都非常重要。本书以深入促进数理统计理论在军事装备生产验收中的运用,提高军事装备生产过程质量控制和检验验收的科学性和有效性为目的,注重理论的解析和方法的运用,有针对性地提出了数理统计方法在军工产品质量控制方面应用的方法和案例。

本书分为四个部分,围绕数理统计方法由理论到实践逐步展开。第一部分从概率论和数理统计的基本知识入手,针对军事装备质量控制的实际情况,介绍了概率论基础、排列与组合、计数标准型抽样检验、计数调整型抽样检验等基础知识;第二部分是产品抽样方案的设计,介绍了抽样检验的基本概念,抽样方案的设计方法和步骤以及设计抽样方案应注意的问题;第三部分通过军工企业具体的产品质量控制案例,详细阐述了一元回归分析方法、二元回归分析方法和假设检验方法在军工企业质量控制中的运用;第四部分为附录,首先介绍了军工产品质量问题处理的程序和方法,然后系统介绍了军工产品质量指标评价体系的建立和评价的数学模型及其应用。相信本书的出版会对军工企业及其质量系统的管理者和检验工作者以及驻厂军代表的工作有所裨益,而这正是编

者的初衷。

史初蕾同志负责对全书进行审校,她不仅在审稿过程中做了大量工作,而且还承担了“产品质量评定指标与定量评定方法”等重要章节的编写。

本书在编写过程中,还得到了江涛博士和谢成学老师的指导,得到了张学舜、黄野、徐义根、袁佑平、王强、朱传安、王本河、胡景胜等同志的指点和帮助;王运来、何宗晶、黄涛、黄平、卫书园、孙建、吴功纯、王清华也为本书编写做了大量的工作。何招生、孙耀琪、彭庆华、杨福东四位高工对本书的编写提出了宝贵的意见和建议,张华同志为本书的文字录入付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢!

限于水平,书中会有不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

内 容 简 介

本书的目的在于促进数理统计理论在军事装备和检验验收中的应用, 增强军事装备生产过程质量控制的科学性和有效性, 确保实现军工产品实物质量的不断提高。

全书分为四个部分。

从概率论和数理统计的基本知识入手, 针对军事装备质量控制的实际情况, 介绍了概率论基础、排列与组合、计数标准型抽样检验、计数调整型抽样检验等基础知识。介绍了抽样检验的基本概念, 抽样方法的设计方法和步骤以及设计抽样方案应注意的问题。通过军工企业具体的产品质量控制案例, 详细阐述了一元回归分析方法、二元回归分析方法、假设检验方法在军工产品质量控制和统计分析中的应用。介绍了数理统计在军工产品质量评定中的应用, 论述了军工产品质量评价体系的建立和评价体系的数学模型及其应用实例。

本书的许多内容, 都是作者在军工产品质量工作中具体实践的积累和总结, 相信会对军工企业质量系统的管理者和检验工作者以及驻厂军代表的工作有所裨益。

目 录

第一部分 数理统计基础知识	1
第一章 随机事件与概率	3
§1 样本空间与事件	3
§2 事件的概率	6
§3 排列、组合及其应用	9
§4 概率的基本性质及其运算规则	11
§5 全概率公式与贝叶斯公式	12
第二章 随机变量与概率分布	14
§1 随机变量	14
§2 分布函数	14
§3 一些常用的随机变量的分布	15
§4 随机变量的数字特征	21
§5 常见分布的数学期望和方差	22
§6 矩	23
§7 协方差与相关系数	24
第三章 参数估计	26
§1 统计模型	26
§2 矩估计方法	27
§3 极大似然估计	28
§4 区间估计	30
第四章 假设检验	39
§1 假设检验的一般问题	39
§2 假设检验方法	45

第五章 回归分析	52
§ 1 一元线性回归直线的拟合	52
§ 2 回归直线的拟合程度	54
§ 3 回归分析中的显著性检验	58
§ 4 回归预测	60
§ 5 多元线性回归	61
第二部分 抽样方案的设计	65
第六章 抽样检验的基本概念	67
§ 1 抽样检验及其分类	67
§ 2 产品的质量指标	68
§ 3 计数抽样的基本原理	71
§ 4 两种错判概率	76
第七章 计数标准型抽样检验	80
§ 1 抽检表的用法	80
§ 2 设计标准型抽检方案的步骤	85
§ 3 现行方案套用标准型方案	86
§ 4 制定抽样方案应注意的几个具体问题	88
第八章 计数调整型抽样检验	90
§ 1 国际标准 ISO2859 概况	90
§ 2 ISO2859 主表的查法举例	93
§ 3 ISO2859 抽检特性曲线(OC 曲线)	94
§ 4 设计抽检方案的步骤	97
§ 5 二次抽检方案的设计和实施举例	99
§ 6 套改举例	100
§ 7 百分比抽检的不合理性	103
第三部分 统计方法应用案例	105
第九章 数理统计方法的一些具体应用	107
§ 1 数理统计方法应用的原则	107
§ 2 一元回归分析方法的应用	116
§ 3 二元回归分析方法的应用	122

§ 4 区间估计和假设检验的若干应用	125
第四部分 附录	141
附录 1 产品重大质量问题的处理程序和方法	143
I. 引言	143
II. 处理程序	143
III. 处理方法	145
IV. 实例研究	145
附录 2 产品质量评定指标体系与定量评定方法	158
I. 引言	158
II. 军工产品生产质量评定指标体系与定量评定方法 的目的和作用	158
III. 军工产品生产质量评定指标体系的建立	159
IV. 产品的质量定量评定数学模型	171
V. 利用层次分析法评定模型	177
参考文献	187

第 一 部 分

数理统计基础知识

第一章 随机事件与概率

在客观世界中有如下两类现象：一类是在一定条件下必然出现的现象，我们称之为确定性现象。例如，在标准大气压下，把水加热到 100°C 时水必然沸腾。又比如，对一物体施加一个常力，它必然作等加速直线运动等。还有一类现象则不然，例如，上抛一枚硬币，落下后可能出现正面，也可能出现反面；从某生产线上用同一种工艺生产出来的灯泡，其寿命，有的长，有的短；一个城市每月的交通事故数目事先也是不知道的。我们称这类现象为非确定性现象，或者叫随机性现象。

概率论与数理统计是研究随机现象的一门学科，也是现代数学的一个重要分支。概率论是对随机现象的统计规律性进行演绎的研究，着重对于客观随机现象的规律性给出数学模型，例如，给出随机变量的分布，并对其性质与相互关系进行研究；数理统计则是对随机现象的统计规律性进行归纳的研究，着重对所搜集的统计资料选择数学模型，并对所考察的问题做出估计或预测。概率论与数理统计两者虽然研究的侧重点不同，但作为同一门学科，它们之间有着密切的内在联系。可以这么说，概率论是数理统计的理论基础，而数理统计是概率论在统计学中的发展和应用。

§ 1 样本空间与事件

一、随机事件

一般说来，任一随机现象都与某一试验相联系。我们将具有

如下特征的观察或试验称为随机试验或简称试验：

- (1) 可以在相同的条件下重复进行；
- (2) 每次试验的可能结果不止一个，并且能够事先明确试验的所有可能结果；
- (3) 每次试验的结果在事先是不可预知的。

我们通常将试验用 $E_1, E_2 \cdots$ 来表示。由于随机试验有多种不同的可能结果，我们将随机试验的每一个可能出现的结果称为随机事件，简称事件，通常用大写字母 $A, B, C \cdots$ 来表示。

例 1. 设 E_1 为抛掷一枚均匀的硬币，观察正反面出现的情况。记 A 为“出现正面”， B 为“出现反面”，则 A, B 都是 E_1 的一个可能结果，均为随机事件。

例 2. 设 E_2 为观察一个产品是否为合格品，则“该产品为合格品”是 E_2 的一个可能结果，它是一个随机事件。

在每次试验中必然发生的事件称为必然事件，记为 Ω ；在每次试验中必然不发生的事件称为不可能事件，记为 V 。

随机事件是随机现象的表现。在随机事件中，不能分解的事件称为基本事件，用 ω 来表示。由若干个基本事件复合而成的事件称为复合事件。

例 3. 设 E_3 为掷一枚骰子，观察出现点数的情况。我们设 ω_i 为事件“出现的点数为 $i, i=1,2,\cdots,6$ ”， A 表示“出现的点数不超过 6”， D 表示“出现的点数大于 6”，则 $\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_6$ 均为基本事件。 A 为复合事件， A 和 D 分别为必然事件和不可能事件。

二、样本空间

在随机试验 E 下，由所有基本事件的全体构成的集合称为样本空间，记为 Ω 。例如，在上面例 1 中 E_1 的样本空间为 $\Omega = \{A, B\}$ ，例 3 中的样本空间为 $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_6\}$ 。基本事件又称为样本空间中的样本点，随机事件是样本空间的子集。我们注意到 Ω 本身为必然事件。

三、事件的关系及其运算

在同一随机试验下定义的事件可以有种种关系，并可以进行种种运算（即按一定方式，由已给的一些事件而产生新事件）。下面我们就来讨论这个问题。

1. 事件的包含（有利于）

若事件 B 中每一个样本点都包含在 A 中，即事件 B 发生时， A 必然发生，我们就称事件 A 包含事件 B ，记作 $A \supset B$ 或 $B \subset A$ 。因此，当事件 A 包含事件 B 时，说明 A 比 B 容易发生。

2. 事件的互斥（不相容）

当两个事件没有公共的样本点时，称这两个事件是互斥事件。或称不相容事件。

3. 事件的乘积（交）

两事件 A, B 的积 C 是一个新事件，当且仅当 A, B 同时发生时事件 C 才发生，记为 $C = A \cap B$ 或 AB 。从事件作为样本空间中的集合这个角度来看，两事件的积就是它所相应的集合的交。特别是，当事件 A 与 B 不能同时发生（即两集合的公共部分为空集）时， AB 为不可能事件 V ，而事件 A 与事件 B 是互斥事件。

4. 事件的和

事件 A 与 B 中至少有一个发生，这一事件称为事件 A 与 B 的和。它是由事件 A 与 B 的所有样本点构成的集合，记为 $A \cup B$ 或 $A+B$ 。

5. 对立事件（事件的逆）

事件 A 的对立事件是指一个新事件 C ，当且仅当 A 不发生时 C 才发生。通常记之为 $C = \bar{A}$ ，又称 $\bar{A}$ 为 A 的逆事件。用样本点集合的语言来说，对立事件 $\bar{A}$ 是由不属于 A 的一切样本点所构成的。

6. 事件的相等

如果事件 A 包含事件 B ，且事件 B 也包含事件 A ，即 $A \supset B$ 且 $B \supset A$ ，则称事件 A 与 B 相等，记作 $A = B$ 。此时事件 A 、

B 中所含的样本点完全相同。

事件之间的运算满足如下的一些规律:

- (1) 否定律 $\overline{\overline{A}} = A, \overline{\Omega} = V, \overline{V} = \Omega$
- (2) 交换律 $A + B = B + A, A \cdot B = B \cdot A$
- (3) 结合律 $(A + B) + C = A + (B + C), (A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$
- (4) 分配律 $(A + B) \cdot C = A \cdot C + B \cdot C$
 $A \cdot B + C = (A + C) \cdot (B + C)$
- (5) 吸收律 $A \cdot (A + B) = A, A + (A \cdot B) = A + B$
 $A \cdot \Omega = A, A \cdot V = V$
 $A + \Omega = \Omega, A + V = A$
- (6) 等幂律 $A + A = A, A \cdot A = A$
- (7) 对偶律 $\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}, \overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$

例 4. 事件 A_k 表示第 k 次取到合格品 ($k=1,2,3$)。试用 A_1, A_2, A_3 的运算式表示下列事件:

- (1) 三次都取到了合格品;
- (2) 三次中至少有一次取到合格品;
- (3) 三次中恰有两次取到合格品;
- (4) 三次中最多有一次取到合格品。

解: (1) $A_1 A_2 A_3$

$$(2) A_1 \cup A_2 \cup A_3$$

$$(3) A_1 A_2 \overline{A_3} + A_1 \overline{A_2} A_3 + \overline{A_1} A_2 A_3$$

$$(4) A_1 \overline{A_2} \overline{A_3} + \overline{A_1} A_2 \overline{A_3} + \overline{A_1} \overline{A_2} A_3 + \overline{A_1} \overline{A_2} \overline{A_3}$$

§ 2 事件的概率

在一次试验中, 指定的事件 A 可能发生, 也可能不发生, 带有一定的偶然性。但是在一次试验中, 不同的事件发生的可能性