

现代军事抽样检验 方法及应用

XIANDAI JUNSHI CHOUYANG JIANYAN
FANGFA JI YINGYONG

闫章更 濮晓龙 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

现代军事抽样检验 方法及应用

闫章更 濮晓龙 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

现代军事抽样检验方法及应用 / 闫章更, 濮晓龙著.

北京: 国防工业出版社, 2008. 4

ISBN 978 - 7 - 118 - 05599 - 3

I. 现... II. ①闫... ②濮... III. 国防工业 - 质量检验 - 抽样调查 IV. F407.486.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 020697 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 5 1/8 字数 117 千字

2008 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 15.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

前 言

在军事技术领域中,抽样检验的理论与方法占有很重要的地位。主要表现在:

- (1) 武器、弹药等批量生产的产品验收要进行抽样检验;
- (2) 新型号武器弹药靶场试验要用抽样检验方法进行设计和生产定型;
- (3) 在武器弹药等军事装备的生产过程中,为判定一个生产“过程”是否可以被接受,也用抽样检验方法;
- (4) 在国际军事技术协作中,为保证交付产品的质量,协议书中也都规定交货时要进行抽样检验;
- (5) 其他军用产品的质量验收需要通过抽样检验进行质量把关等。

然而,在军事抽样检验中,随着高新技术的迅速发展,常规武器已日益向制导化、智能化、火力系统与信息系统一体化、多种武器用信息网络连成一体的体系化、一种平台多种武器和一种武器多种平台等方向发展。这些应用微电子技术、光电子技术、计算机技术、新材料新能源的高新技术武器的迅速发展,给“射击抽样”检验带来了一系列新问题,出现了一系列理论和实践上的难题,用传统的抽样检验方法常常难以或无法解决,已不能完全满足实际需要。对此,为了满足和适应现代武器装备抽样检验的要求,本书结

IV

合多年科研工程实践经验,总结了一套新的军事抽样检验方法。这套方法分三类:第一类是序贯网图检验,包括四种方法;第二类是复杂总体下的检验,包括两种方法;第三类是半计量检验,包括两种方法。第2章至第4章主要介绍上述检验方法的背景、方法及理论基础;第5章介绍关于序贯网图检验的区间估计;第6章结合工程实践中的典型问题讨论了具体应用方法。为方便应用,本书在写法上采用了先方法后理论的形式。这套抽样检验方法经过实践证明行之有效,希望对从事质量检验、试验鉴定、试验设计和科研、教学的军事技术工作者有所帮助。

在本书的撰写过程中,中国华阴兵器试验中心领导和有关专家给予了热情支持;茆诗松教授、傅廷俊同志在百忙中给予了多方面的指导和帮助,在此向他们表示衷心的感谢。由于作者水平所限,加之成书时间仓促,书中难免存在错误和不足,敬请广大专家、读者批评指正。

著 者
2008年1月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 引言	1
1.2 序贯网图与序贯网图检验	1
1.3 复杂总体及非简单随机样本	3
1.4 混合样本与半计量检验	4
1.5 背景材料	5
1.5.1 Wald 的序贯概率比检验	5
1.5.2 截尾序贯概率比检验	8
1.5.3 两阶段序贯概率比检验	10
第 2 章 序贯网图检验方法	12
2.1 引言	12
2.2 计数型序贯网图检验方法	13
2.2.1 背景	13
2.2.2 方法	13
2.2.3 举例	16
2.2.4 理论基础	18
2.3 计数型截尾序贯网图检验方法	27

2.3.1	背景	27
2.3.2	方法	27
2.3.3	举例	29
2.3.4	理论基础	31
2.4	计数型截尾二次序贯网图检验方法	42
2.4.1	背景	42
2.4.2	方法	43
2.4.3	举例	45
2.4.4	理论基础	45
2.5	计量型截尾序贯网图检验方法	48
2.5.1	背景	48
2.5.2	方法	48
2.5.3	举例	51
2.5.4	理论基础	54
第3章	复杂总体下的检验方法	61
3.1	引言	61
3.2	复杂总体下的计量型检验方法	61
3.2.1	背景	61
3.2.2	方法	62
3.2.3	举例	63
3.2.4	理论基础	64
3.3	复杂总体下的计数型检验方法	66
3.3.1	背景	66

3.3.2	方法	67
3.3.3	举例	68
3.3.4	理论基础	71
第 4 章	半计量检验方法	85
4.1	引言	85
4.2	简单总体下的半计量检验方法	85
4.2.1	问题	85
4.2.2	方法	86
4.2.3	举例	88
4.2.4	理论基础	90
4.3	复杂总体下的半计量检验	92
4.3.1	问题	92
4.3.2	方法	92
4.3.3	举例	94
4.3.4	理论基础	97
第 5 章	有关序贯网图的区间估计	102
5.1	引言	102
5.2	基于序贯网图检验结果的正则序区间估计	103
5.2.1	背景	103
5.2.2	方法	103
5.2.3	举例	104
5.2.4	理论基础	106
5.3	基于序贯网图检验结果的信仰区间估计	107

5.3.1	背景	107
5.3.2	方法	107
5.3.3	举例	108
5.3.4	理论基础	108
第 6 章	应用	111
6.1	武器总毁伤效能的检验方法	111
6.1.1	问题	111
6.1.2	指标值的确定	111
6.1.3	检验方法	115
6.2	导弹“平均”命中精度和可靠性的检验方法	116
6.2.1	问题及思路	116
6.2.2	指标模型	116
6.2.3	检验方法	117
附录 A	计数型序贯网图检验方案程序	123
附录 B	计数型截尾序贯网图检验方案程序	128
附录 C	计数型二次序贯网图检验方案程序	135
附表 1	100 组截尾序贯网图检验方案	144
附表 2	与附表 1 对应的 100 组检验方案判断 准则	150
附表 3	100 组二次序贯网图检验方案	161
附表 4	与附表 3 对应的 100 组检验方案判断 准则	167
参考文献		178

第 1 章 概 论

1.1 引 言

在军事技术领域,各种战术导弹、炮弹、火箭弹,各种火工品等武器的质量验收或鉴定,一般都是采用实弹射击的方法,即对给定的武器系统在要求的条件下进行实弹射击试验,同时观测每一次射击结果,通过对观测结果的统计分析,给出被试产品的质量是否满足指标要求的具体结论。这一过程称为“射击抽样”检验。

高新技术的迅速发展给“射击抽样”检验带来了一系列新问题,为了满足和适应现代武器装备抽样检验的要求,本书给出了一套新的军事抽样检验方法。这些方法分三类,第一类是序贯网图检验;第二类是复杂总体下的检验;第三类是半计量检验。本章主要介绍上述检验方法的基本概念。

1.2 序贯网图与序贯网图检验

本书给出的序贯网图检验方法是以所建立的序贯网图理

论为基础的。所谓序贯网图,它是基于 Wald 的序贯概率比检验而建立的概念:

假定对成功率 q 进行检验,实际中通常遇到的检验的假设为

$$H_0:q \geq q_0, H_1:q \leq q_1 \quad (q_0 > q_1)$$

这里 q_0, q_1 是两个指标值,已知。在统计学处理中,通常将上述假设写成

$$H_0:q = q_0, \quad H_1:q = q_1 \quad (q_0 > q_1)$$

因为两者的检验方法在理论上是等价的。

在 q_0, q_1 之间插入 m 个点 $q_2, q_3, \dots, q_{m+1}$,将检验的假设拆分为如下 $m+1$ 对假设

$$\begin{aligned} H_{0,1}:q &= q_0, & H_{1,1}:q &= q_2 \\ H_{0,2}:q &= q_2, & H_{1,2}:q &= q_3 \\ &\vdots & &\vdots \\ H_{0,m}:q &= q_m, & H_{1,m}:q &= q_{m+1} \\ H_{0,m+1}:q &= q_{m+1}, & H_{1,m+1}:q &= q_1 \end{aligned}$$

其中 $q_2 > q_3 > \dots > q_{m+1}$ 是 m 个待定的取值于 (q_1, q_0) 的参数,对这 $m+1$ 组假设,同时使用 Wald 的序贯概率比检验理论作 Wald 检验的平行线,将这些平行线画在同一张图纸上,其图形是一个网格形状。将其进行优化处理形成一个封闭区域,图 1.1 所示为插入 5 个点的封闭区域。由于这种网格形状的图中的每一对直线都是 Wald 序贯检验的平行线,故称之为序贯网图。利用序贯网图可建立新的检验规则,从而对原来的假设做出判断,称为“序贯网图检验”。

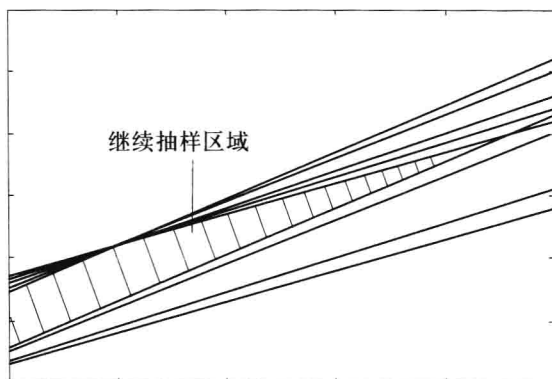


图 1.1 序贯网图检验示意图

关于序贯网图检验,要讨论很多问题,如:

- 插入几个点?
- 如何选择插入的点的位置?
- 每一组的序贯概率比检验的参数怎样确定?
- 检验的实际风险如何?
- 怎样才能使得序贯网图检验达到最优?

关于以上这些问题的讨论,将在第 2 章给出具体结果。

1.3 复杂总体及非简单随机样本

在导弹等一些高新技术武器的战术技术指标中,有些是不同试验条件下的“平均性”指标,试验检验的目的是检验“平均”指标是否满足要求。

例 1.1 某型导弹对给定边长为 $2a$ 的矩形目标的命中率是随距离而变化的(见图 1.2),试验的目的是检验不同射距

离的“平均”命中率 $\bar{p}$ 是否满足 $\bar{p} \geq \bar{p}_0$ 。这里 $\bar{p}_0$ 是“平均”命中率的指标值。这种情况涉及的总体不再是一个单一总体,也不是多个单一总体的简单混合,因为命中率不仅随射距离而变化,而且是一条非线性关系曲线,称为复杂总体。

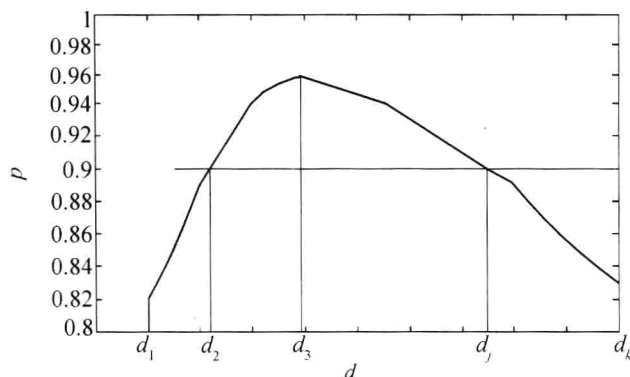


图 1.2 导弹命中率随射距离变化图

复杂总体试验要在不同条件下进行,取得的样本虽相互独立,但分布不同,不再是统计学中的“简单随机样本”,而是“非简单随机样本”。基于“非简单随机样本”的检验称为复杂总体下的检验。

1.4 混合样本与半计量检验

在导弹等高新技术武器的一组试验数据中,由于存在可靠性问题,常常是既有计数数据,又有计量数据,它们是“混合”在一起的。例如,在将导弹的飞行可靠性考虑在内的一组命中率试验中,有些导弹可能命中目标或落在目标附近,从而

可以计量脱靶量,但在这一组导弹中,有的可能因出现故障中途飞行失败,此时则无法计量脱靶量,只能记录故障数的个数,即计数。这样,在这一组导弹的试验中,计量和计数数据混合在一起,形成“混合样本”。基于“混合样本”的检验,称为半计量检验。

1.5 背景材料

本书给出的第一类检验方法以 Wald 序贯概率比检验 (SPRT)、截尾序贯概率比检验 (Truncated SPRT) 及 C. Stem 两阶段序贯概率比检验为背景。下面用计数型检验介绍其基本思想。

1.5.1 Wald 的序贯概率比检验

设 $x_1, x_2, x_3, \dots$ 为依时间先后顺序得到的一系列样本,其共同密度由 $f_\theta(x)$ 表示,现要对如下两个假设进行检验:

$$H_0: \theta = \theta_0, H_1: \theta = \theta_1 \quad (\theta_0 < \theta_1) \quad (1.1)$$

瓦尔德提出用如下检验统计量对两个假设进行检验:

$$\Lambda_n = \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{f_{\theta_1}(x_i)}{f_{\theta_0}(x_i)} \right), \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1.2)$$

判断准则(从 $n=1$ 开始)为:

- (1) 若 $\Lambda_n \geq b$, 则停止抽样并拒绝原假设 H_0 接受备择假设 H_1 ;
- (2) 若 $\Lambda_n \leq a$, 则停止抽样并拒绝备择假设 H_1 接受原假设 H_0 ;

(3) 若 $a < \Lambda_n < b$, 则说明在此时尚不能做出判断, 需要再抽取一个样品进行检验。

其中常数 $a < 0, b > 0$ 称为此序贯概率比检验的停止边界, 它们由对两类风险的要求确定。若要求厂方风险和用户方风险分别为 α, β , 根据瓦尔德的理论, 则有

$$b = \ln\left(\frac{1 - \beta}{\alpha}\right), \quad a = \ln\left(\frac{\beta}{1 - \alpha}\right) \quad (1.3)$$

在实践中, 人们一般总是要求双方风险是相等的, 为简便起见, 下面也作这样的要求, 即假定 $\alpha = \beta$, 此时有

$$b = \ln\left(\frac{1 - \alpha}{\alpha}\right), \quad a = \ln\left(\frac{\alpha}{1 - \alpha}\right) = -b \quad (1.4)$$

必须指出, 该序贯概率比检验到做出接受或拒绝决定时, 具体要抽取的样本量是不确定的, 其实际样本量

$$N = \min\{n: \Lambda_n \leq -b \text{ 或 } \Lambda_n \geq b\} \quad (1.5)$$

是一个随机变量, 通常称之为停时。

对成功率而言, 上述陈述可以具体化和简洁化。用 x_i 表示每一发武器的成功情况, $x_i = 1$ 表示该发武器成功, $x_i = 0$ 表示该发武器未成功, 则

$$x_i \sim b(1, q)$$

其中 q 为成功率, 于是式(1.1)的检验问题可写为

$$H_0: q = q_0, H_1: q = q_1 \quad (q_0 > q_1) \quad (1.6)$$

通常, 称 $D = p_1/p_0 = (1 - q_1)/(1 - q_0)$ 为鉴别比。则检验统计量式(1.2)可写为

$$\Lambda_n = \sum_{i=1}^n x_i \ln\left(\frac{q_1(1 - q_0)}{q_0(1 - q_1)}\right) + n \ln\left(\frac{1 - q_1}{1 - q_0}\right), n = 1, 2, 3, \dots$$

判断准则保持不变但可以用如下形式写出,令

$$S_n = \sum_{i=1}^n x_i$$

为试验到第 n 发时的成功次数,记为

$$h = b / \ln \left(\frac{q_0(1 - q_1)}{q_1(1 - q_0)} \right), s = \ln \left(\frac{1 - q_1}{1 - q_0} \right) / \ln \left(\frac{q_0(1 - q_1)}{q_1(1 - q_0)} \right) \quad (1.7)$$

则判断准则为:从 $n = 1$ 开始,

(1) 若 $S_n \geq sn + h$, 则停止抽样并拒绝备择假设 H_1 接受原假设 H_0 ;

(2) 若 $S_n \leq sn - h$, 则停止抽样并拒绝原假设 H_0 接受备择假设 H_1 ;

(3) 若 $sn - h < S_n < sn + h$, 则说明在此时尚不能做出判断,需要进一步抽取样本。

整个检验可用图 1.3 表示。

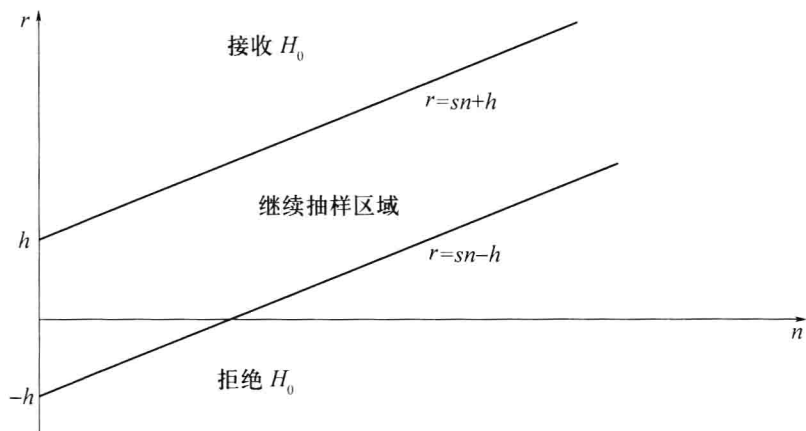


图 1.3 序贯概率比检验

1.5.2 截尾序贯概率比检验

截尾序贯概率比检验的一个代表作是国际电工委员会的一项标准——IEC1123,对服从两点分布的随机变量(如成功率),其思路如下:

对检验问题式(1.6),令 $S_n = \sum_{i=1}^n x_i$ 为试验到第 n 发的成功次数,采用式(1.7)的记号,判断准则为:在序贯概率比检验中取一个最大样本量 n_1 ,规定抽样最多进行到 n_1 必须停止,并确定一个合格判定数 r_1 ,整个检验过程可描述如下:

从 $n=1$ 开始,当 $n < n_1$ 时:

(1) 若 $S_n \geq sn + h$,则停止抽样并拒绝备择假设 H_1 接受原假设 H_0 ;

(2) 若 $S_n \leq sn - h$,则停止抽样并拒绝原假设 H_0 接受备择假设 H_1 ;

(3) 若 $sn - h < S_n < sn + h$,则说明在此时尚不能做出判断,需要进一步抽取样品。

当 $n = n_1$ 时:

(1) 若 $S_{n_1} \geq r_1$,则拒绝备择假设 H_1 接受原假设 H_0 ;

(2) 若 $S_{n_1} < r_1$,则拒绝原假设 H_0 接受备择假设 H_1 。

整个检验可用图 1.4 表示。

事实上,上述过程还可以简化。由于在 $n = n_1$ 时,若 $S_{n_1} < r_1$ 必须拒绝原假设,因此,如果

$$S_{n_1-1} < r_1 - 1, S_{n_1-2} < r_1 - 2, \dots$$