# 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

国防工業出版社
National Defense Industry Press

# 现代军事抽样检验方法及应用

闫章更　濮晓龙　著

国防工業出版社

·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

※

国防工業出版社出版发行
(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** 5⅞ **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



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

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 引　　言

在军事技术领域中，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

$$H_0:q \geqslant q_0,\ H_1:q \leqslant q_1 \qquad (q_0 > q_1)$$

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

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

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 $q_2,q_3,\cdots,q_{m+1}$,将检验的假设拆分为如下 $m+1$ 对假设

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

其中 $q_2>q_3>\cdots>q_{m+1}$ 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”。

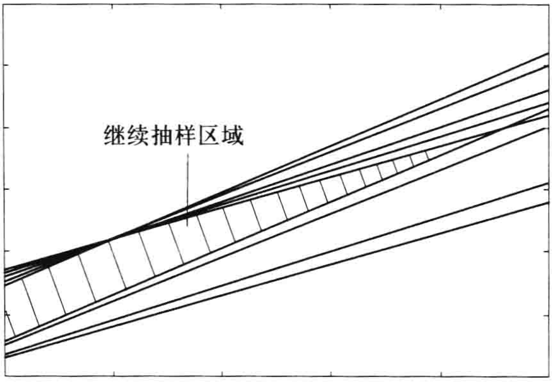


图 1.1　序贯网图检验示意图

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 $\bar{p}\geqslant\bar{p}_0$。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。

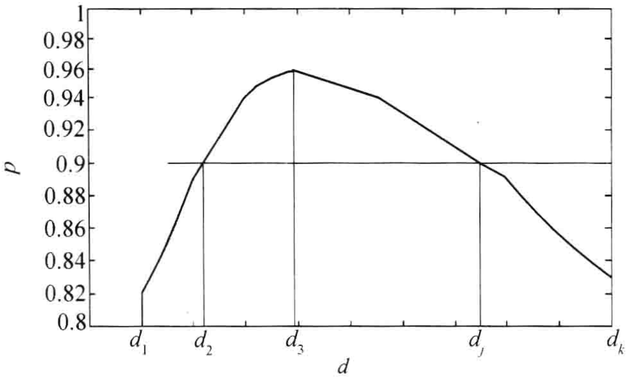


图 1.2 导弹命中率随射距离变化图

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 $x_1, x_2, x_3, \cdots$ 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：

$$H_0:\theta = \theta_0,\ H_1:\theta = \theta_1 \qquad (\theta_0 < \theta_1) \tag{1.1}$$

瓦尔德提出用如下检验统计量对两个假设进行检验：

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

判断准则(从 $n=1$ 开始)为：

(1) 若 $\Lambda_n \geqslant b$，则停止抽样并拒绝原假设 $H_0$ 接受备择假设 $H_1$；

(2) 若 $\Lambda_n \leqslant a$，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 $\alpha,\beta$，根据瓦尔德的理论，则有

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

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

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

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

$$N = \min\{n:\Lambda_n \leqslant -b \text{ 或 } \Lambda_n \geqslant b\} \tag{1.5}$$

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

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

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

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

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

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

则判断准则为：从 $n=1$ 开始，

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

（2）若 $S_n \leqslant sn-h$，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。

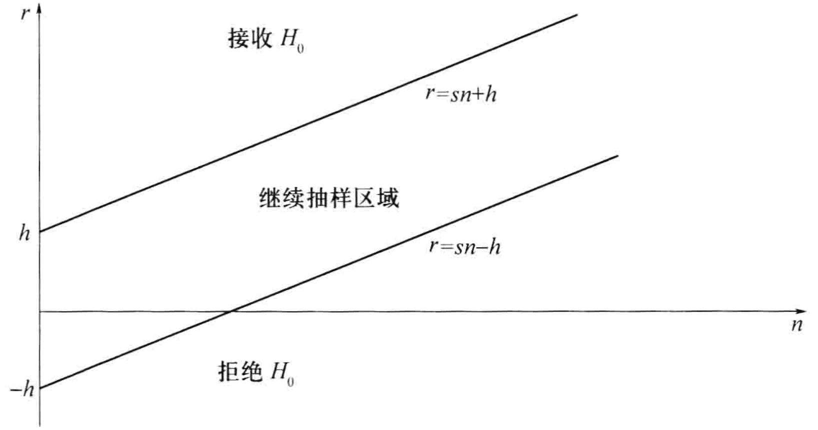


图 1.3　序贯概率比检验

### 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 $n$ 发时的成功次数，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 $n_t$，规定抽样最多进行到 $n_t$ 必须停止，并确定一个合格判定数 $r_t$，整个检验过程可描述如下：

从 $n=1$ 开始，当 $n<n_t$ 时：

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

(2) 若 $S_n \leqslant sn-h$，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 $n=n_t$ 时：

(1) 若 $S_{n_t} \geqslant r_t$，则拒绝备择假设 $H_1$ 接受原假设 $H_0$；

(2) 若 $S_{n_t} < r_t$，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 $n=n_t$ 时，若 $S_{n_t} < r_t$ 必须拒绝原假设，因此，如果

$$S_{n_t-1} < r_t - 1,\ S_{n_t-2} < r_t - 2,\ \cdots$$