

现代引信技术丛书



Small Sample Reliability Test and Evaluation for High-value Ammunition Fuze

# 高价值弹药引信小子样 可靠性试验与评估

王军波 宋荣昌 董海平 王玮 © 编著

- 引信可靠性研究最新进展
- 小子样可靠性理论的应用
- 引信可靠性试验案例分析
- 引信可靠性鉴定参考指南



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 高价值弹药引信小子样 可靠性试验与评估

王军波 宋荣昌 董海平 王 玮 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

弹药可靠性是弹药研制和装备的重要指标之一。科技的发展和武器装备的需求,对武器装备的可靠性要求变得越来越高。本书以高价值弹药引信小子样可靠性试验与评估为主,主要阐述了小子样可靠性评定的方法、无信息先验分布与多层贝叶斯方法、信息融合方法、高价值弹药引信小子样可靠性综合评估方法和应用、可靠性增长理论与方法,以及引信用火工品小子样可靠性评估方法。

本书既可为炮弹和火箭弹引信的论证、设计、验收提供参考,也可供型号产品的设计人员、可靠性工程专业技术人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

高价值弹药引信小子样可靠性试验和评估/王军波等编著. —北京:国防工业出版社,2016.4

(现代引信技术丛书)

ISBN 978-7-118-10529-2

I. ①高… II. ①王… III. ①武器引信—可靠性试验  
IV. ①TJ430.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第050069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 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 710×1000 1/16 印张 11 字数 221 千字

2016年4月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 69.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

# 《现代引信技术丛书》

## 编委会

名誉主任 马宝华  
执行主任 范宁军 娄文忠  
编委会委员 (按姓氏拼音排序)  
陈慧敏 邓宏彬 冯 跃 何光林 李世中  
李晓峰 牛兰杰 申 强 宋荣昌 隋 丽  
王军波 吴炎烜 熊永家 杨 喆 张 亚  
丛书策划 王京涛  
秘 书 吴炎烜 冯 晨

## 审委会

主 任 朵英贤  
副 主 任 黄 峥 秦光泉 谭惠民 游 宁  
审委会委员 (按姓氏拼音排序)  
蔡瑞娇 陈科山 崔占忠 冯顺山 傅调平  
高春清 韩子鹏 胡景林 李长福 李世义  
刘明杰 刘小虎 牛少华 齐杏林 施坤林  
石 坚 石庚辰 宋道志 徐立文 徐立新  
伊福廷 袁 正 张菁华 邹金龙



引信是利用目标、环境或指令信息，在预定的条件下解除保险，并在有利的时机或位置上起爆或引燃弹药战斗部装药的控制系统（或装置）。弹药是武器系统的核心部分，是完成既定战斗任务的最终手段。引信作为弹药战斗部对目标产生毁伤作用或终点效应的控制系统（或装置），始终处于武器弹药战场终端对抗的最前沿。大量实战案例表明：性能完善、质量可靠的引信能保证弹药战斗部对目标实施有效毁伤，发挥武器弹药作战效能“倍增器”的作用；性能不完善的引信则会导致弹药在勤务处理时、发射过程中或发射平台附近过早炸，遇到目标时发生早炸、迟炸或瞎火，不仅贻误战机，还可能对己方和友邻造成严重危害。

从严格的学科分类意义上讲，“引信技术”并不是一个具有相对独立的知识体系的学科或专业，而是一个跨学科、专业的工程应用综合技术领域。因此，现代引信及其系统是一类涉及多学科、专业知识的军事工程科技产品。纵观历史，为了获取战争对抗中的优势，人们总是将自己的智慧和最新科技成果优先应用于武器装备的研制和发展。引信也不例外，现代引信技术的发展一方面受到武器弹药战场对抗的需求牵引，另一方面受到当代科学技术进步的发展推动。

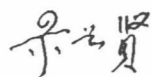
近30年来，随着人类社会进入以信息科技为主要特征的知识经济时代，作战方式发生了深刻的变化，目标环境也日趋复杂。为适应现代及未来作战需求，高新技术武器装备得到快速发展，弹药战斗部新原理、新技术层出不穷，促使现代引信技术在进一步提高使用安全性和作用可靠性的同时，朝着多功能、多选择，以及引爆-制导一体化、微型化、灵巧化、智能化和网络化的方向快速发展。

“现代引信技术丛书”共12册，较系统和客观地反映了近30年来现代引信技术部分领域的理论研究和发展的现状、水平及趋势。丛书包括：《激光引信技术》《中小型智能弹药舵机系统设计与应用技术》《引信安全系统分析与设计》《引信环境及其应用》《引信可靠性技术》《高动态微系统与MEMS引信技术》《现代引信装配工程》《引信弹道修正技术》《高价值弹药引信小子样可靠性评估与验收》《弹目姿轨复合交会精准起爆控制》《侵彻弹药引信技

术》《引信 MEMS 微弹性元件设计基础》。

这套丛书是以北京理工大学教师为主，联合中北大学及相关科研单位的教师和研究集体撰写的。这套丛书的特色可以概括为：内容厚今薄古；取材内外兼收；突出设计思想；强调普适方法；注重科技创新；适应发展需求。这套丛书已列为 2015 年度国家出版基金项目，既可作为从事兵器科学与技术，特别是从事弹药工程和引信技术的科技工程专业人员和管理人员的使用工具，也可作为高等学校相关学科专业师生的教学参考。

这套丛书的出版，对进一步推动我国现代引信技术的发展，进而促进武器弹药技术的进步具有重要意义。值此丛书付梓之际，衷心祝贺“现代引信技术丛书”的出版面世。



2016 年 1 月

近年来我国研制了多种型号精确制导弹药，这些弹药命中精度高、价格昂贵，因此对配用引信的可靠性指标要求更高。引信的高可靠性指标要求给设计和定型试验带来了两个方面问题：一方面，这些引信技术含量高、结构复杂，可靠性指标要求远大于常规弹药用引信，因此，采用原有常规炮弹引信的打靶统计的可靠性评估方法已经不适用；另一方面，由于母弹成本较高，在定型或鉴定试验时全弹飞行试验数据量较少，通常为几发，而引信的可靠性指标高于全弹，不足以验证引信的可靠性指标。因此，需要研究基于小子样方法的高价值弹药用引信可靠性试验与评估方法。该问题已成为目前精确打击弹药装备发展急需解决的技术难题之一。

目前，我国已经建立了相关国家军用标准，科研人员也对小子样可靠性相关理论进行了大量研究，但还不能用来解决高价值弹药引信面临的可靠性指标评估问题。为此，国内炮兵防空兵装备技术研究所、北京理工大学、军械工程学院等有关单位从“十一五”期间开始就进行了关于引信小子样可靠性方面的研究工作，研究成果已在某型安全与解除保险装置鉴定试验中得到试用，证明引信小子样可靠性评估方法的可行性；“十二五”期间上述单位继续开展相关方面的研究，着重于引信可靠性增长和验收试验方法两个方面。

本书是基于全体编写人员多年的教学和科研实践，以及近两个五年规划的预研成果而编写的。

本书共分7章：第1章论述小子样可靠性和高价值弹药引信小子样可靠性评估的需求，简单介绍目前的小子样可靠性评估方法和弹药验收试验方法；第2章介绍小子样可靠性评估理论和方法；第3章介绍无信息先验分布与多层贝叶斯方法；第4章介绍引信小子样可靠性试验信息融合方法；第5章介绍弹药引信小子样可靠性评估方法及其应用；第6章介绍高价值弹药引信可靠性增长问题，包括可靠性增长模型基础、弹药可靠性增长规划以及弹药引信可靠性增长试验方法；第7章介绍引信用火工品小子样可靠性评估方法及应用。

参加本书编写工作的主要有王军波（第1章和第5章5.1节、5.2节）、宋荣昌（第2章和第5章5.3节、5.4节）、董海平（第6章和第7章）、王玮（第3章和第4章）。在编写过程中，石坚研究员、蔡瑞娇教授、温玉全副教授对全书编写提出了宝贵的建议，硕士研究生陈庆森、关平、梁启海等对本书的编写也做了一定的工作，在此一并表示感谢。

由于水平有限，不妥之处在所难免，望读者指正。

编著者

2016年2月



<b>第1章 概述</b> .....	1
1.1 小子样可靠性评定的概念 .....	1
1.1.1 可靠性评定的概念 .....	1
1.1.2 小子样的概念 .....	2
1.2 高价值弹药引信小子样可靠性评估的概念 .....	2
1.3 高价值弹药引信小子样可靠性评估发展概况 .....	4
1.3.1 小子样可靠性技术发展概况 .....	4
1.3.2 弹药引信小子样可靠性试验与评估发展概况 .....	8
1.4 弹药引信小子样可靠性评估的途径和方法 .....	10
参考文献 .....	11
<b>第2章 小子样可靠性评定的基本方法</b> .....	13
2.1 经典方法、贝叶斯方法与Fiducial方法 .....	13
2.1.1 经典方法的区间估计 .....	13
2.1.2 贝叶斯方法的区间估计 .....	14
2.1.3 Fiducial方法的区间估计 .....	15
2.2 二项分布和正态分布的总体的可靠性评定 .....	15
2.2.1 经典方法的非随机化最优置信下限 .....	16
2.2.2 贝叶斯方法的置信下限 .....	16
参考文献 .....	18
<b>第3章 无信息先验分布与多层贝叶斯方法</b> .....	20
3.1 无信息先验分布的确定方法 .....	20
3.1.1 无信息先验分布的判定准则 .....	20
3.1.2 几种无信息先验分布的比较 .....	22
3.1.3 模糊综合评判的应用 .....	24
3.2 区间数在多层贝叶斯方法中的应用 .....	26
3.2.1 主观经验的综合方法——区间数 .....	26
3.2.2 二项分布的多层贝叶斯方法 .....	27
3.2.3 算例 .....	29

3.3 小结	31
参考文献	31
<b>第4章 引信小子样可靠性试验信息融合方法</b>	<b>33</b>
4.1 多源先验信息的融合	33
4.1.1 两总体的情况	34
4.1.2 多总体的情况	37
4.1.3 与基于可靠性增长的评估方法的比较	38
4.2 收缩估计的研究及应用	42
4.2.1 收缩估计	42
4.2.2 二项分布的收缩估计	44
4.2.3 应用——多层数据的融合	45
4.3 环境因子的研究与应用	47
4.3.1 性能指标环境因子的定义	47
4.3.2 正态分布环境因子的统计推断	49
4.3.3 成败型试验的环境因子	52
参考文献	53
<b>第5章 弹药引信小子样可靠性评估方法及应用</b>	<b>56</b>
5.1 小子样可靠性评估方法	56
5.1.1 可靠性模型的建立	58
5.1.2 数据收集	60
5.1.3 地面试验数据的处理	61
5.1.4 先验分布的确定	64
5.1.5 可靠度下限的计算	65
5.1.6 先验数据“0失效”的处理	65
5.2 小子样可靠性评估方法适用性分析	66
5.3 小子样可靠性评估方法的应用案例	67
5.3.1 某型制导炮弹机电引信小子样可靠性评估	67
5.3.2 某型制导炮弹小子样可靠性评估	74
5.3.3 某型制导火箭弹近炸引信小子样试验方案研究	84
5.4 基于风险分析的弹药引信小子样抽样方案研究	90
5.4.1 基于风险分析的小子样可靠性抽样技术	91
5.4.2 基于风险分析的某型引信验收试验可靠性抽样方案设计	91
5.4.3 基于风险分析的某型弹药验收试验可靠性抽样方案设计	94

参考文献 .....	96
<b>第6章 弹药引信可靠性增长理论与评定方法 .....</b>	<b>98</b>
6.1 可靠性增长概念及发展概况 .....	98
6.1.1 可靠性增长概念 .....	98
6.1.2 引信可靠性增长概述 .....	99
6.1.3 国内外可靠性增长的历史与现状 .....	100
6.2 引信可靠性增长模型分析及计算机模拟研究 .....	104
6.2.1 引信可靠性增长模型分析 .....	104
6.2.2 计算机模拟比较分析 .....	112
6.3 引信可靠性增长试验方案研究 .....	115
6.3.1 引信可靠性增长试验方案概述 .....	115
6.3.2 引信可靠性增长规划 .....	116
6.3.3 工程阶段引信可靠性增长试验方案 .....	118
6.4 可靠性增长跟踪管理 .....	120
6.4.1 引信试验数据的分布及经典评估方法 .....	120
6.4.2 可靠性增长的阶段信息折合及经典估计 .....	122
6.4.3 利用增长试验数据的贝叶斯可靠性评估方法 .....	124
6.4.4 数值例 .....	128
参考文献 .....	131
<b>第7章 火工品小子样可靠性评估方法及应用 .....</b>	<b>134</b>
7.1 火工品小子样可靠性评估方法及发展概况 .....	134
7.2 计量-计数综合评估方法 .....	136
7.2.1 贝叶斯火工品可靠性计量-计数综合评估方法 .....	136
7.2.2 火工品可靠性试验信息量等值计量-计数综合评估 方法 .....	139
7.2.3 刻度参数纠偏 .....	146
7.2.4 火工品的感度分布类型研究 .....	156
7.3 火工品可靠性计量-计数综合评估方法操作程序 .....	160
7.3.1 计量试验 .....	160
7.3.2 计数试验 .....	160
7.4 火工品可靠性计量-计数综合评估方法应用案例 .....	162
参考文献 .....	163

## 1.1 小子样可靠性评定的概念

### 1.1.1 可靠性评定的概念

可靠性理论大约起源于20世纪30年代，最早研究的问题涉及机器维修、更换理论以及材料的疲劳寿命。但可靠性理论从第二次世界大战开始才受到重视，即从40年代由于处理战场上电子产品所面临的问题而开展起来的。60年代，因航空、航天技术的发展，可靠性研究水平得到了进一步提高。可靠性理论和技术经过几十年的发展，至今已经成为一门完整的、综合性很强的应用学科。

可靠性是：“系统在规定的条件下，规定的时间内，完成规定功能的能力。”如果在可靠性的定义中用概率定量地描述“能力”，即为可靠度，或狭义可靠性。

可靠性是产品的基本质量目标之一，是一项重要的质量标志，也是影响产品质量的最活跃的因素，已经成为工业企业和国防部门的经济、军事效益的基础及竞争的焦点。从可靠性学科的形成过程可以看到，可靠性理论、技术的发展与武器装备的复杂化和高质量要求密不可分。大量的工程实践说明，可靠性是武器装备的倍增器。

可靠性评定是根据产品的可靠性结构（系统与单元间的可靠性关系）、寿命模型及试验信息，利用概率统计方法，给出产品可靠性特征量的区间估计，如可靠性下限、平均故障间隔时间（MTBF）下限、失效率上限、环境因子上限等。其中，复杂系统可靠性下限的估计问题是一个重要研究方向，也是本书研究的主要问题。

产品的可靠性评定是对产品可靠性进行定量控制的手段，它贯穿于产品的

整个寿命周期，既可以在产品研制的任一阶段进行，也可以结合抽样理论对批量生产的产品制定批抽样方案。可靠性评定的意义在于：

(1) 科学而先进的可靠性评定方法为充分利用各种试验信息奠定了理论基础。这对于减少试验费用、缩短研制周期、合理安排试验项目等具有重要意义。

(2) 通过评定，检验产品是否达到了可靠性要求，并验证可靠性设计的合理性。

(3) 评定工作会促进可靠性与环境工作的结合。在可靠性评定中，要定量计算不同环境对可靠性的影响，要验证产品抗环境设计的合理性。

(4) 通过评定，发现产品的薄弱环节，为改进设计和制造工艺指明方向，从而加速产品研制的可靠性增长过程。

(5) 通过评定，可以了解有关元器件、原材料、整机乃至系统的可靠性水平，为新产品的研制开发提供依据。

可见，可靠性评定是衡量产品可靠性是否达到预期设计目标和促进产品可靠性增长的重要方法。所以，研究可靠性评定方法是十分必要的。但需要指出的是：可靠性是产品的固有属性，高可靠性的产品来自于设计、生产和管理，而不是靠评定得来的。

### 1.1.2 小子样的概念

工程中的“小子样”问题与经典统计学中的“小样本”问题并不是同一个概念：经典统计学中的“小样本”问题是相对于大样本问题（当样本量  $n \rightarrow \infty$  时，研究统计量的性质）而言的，是指在样本量  $n$  为有限时统计量的性质（固定样本问题）；工程中的“小子样”问题则是样本量  $n$  为很小的数时（大多数情况下样本量  $n < 10$ ，甚至更小）的有关统计问题和统计方法，这与固定样本问题有一定的联系，但两者有明显的区别。本书研究的是工程中的“小子样”问题。

## 1.2 高价值弹药引信小子样可靠性评估的概念

科技的发展和武器装备的需求，对武器装备的可靠性要求变得越来越高。武器装备的设计、研制和生产过程决定其固有可靠性，评估和检验只是验证的过程，并不能改变或提高装备的固有可靠性。为了提高武器装备可靠性和保证武器装备的高可靠性要求，只有在装备的设计、研制、生产等决定性的寿命阶段中，采用可靠性增长的各项技术来进行管理和实现各种工程改进，才能将可

靠性工作连成一体并贯穿于装备的整个寿命周期中。

为适应“打赢一场高技术条件下局部战争”的需要，我国近年来引进并仿制了末制导炮弹、炮射导弹、激光制导炸弹、远程多管简易控制火箭弹，研制的精确制导弹药有各种口径末制导炮弹、弹道修正弹、末敏弹、巡航导弹等多种型号高价值弹药。这些弹药配用的引信，可靠性指标要求更高，且高于全弹的可靠性指标。目前，我国积极研制末制导弹药和远程多管简易控制火箭弹，某些型号已设计定型即将装备部队。这些弹药具有射程远、精度高、威力大、反应快、机动性好等特点，特别适合于我国国情，是今后重点研制、生产的武器装备之一。由于大量采用了先进的光电探测技术、自动控制技术以及计算机技术等，这类弹药的结构比常规弹药要复杂得多，高新技术含量也高得多。当然，这些弹药的成本也比常规弹药高出几十倍，甚至上百倍。由于全弹的价格昂贵，所以不能为了验证引信的可靠性水平而大量进行全弹靶试。

引信是武器系统的终端，是弹药的“大脑”。各种作战平台对目标的最终作用大都通过引信来实现。因此，引信需要具有很高的安全性和可靠性。引信的基本功能是利用目标信息、环境信息、指令信息、制导信息及发射平台信息等，在预定的条件下，对弹丸或战斗部实施炸点控制、点火控制甚至于姿态控制；而在其他条件下，如平时和发射时，实施安全与解除保险控制，确保弹药安全。由此可见，引信作为战斗部中的敏感子系统，其可靠性与安全性直接影响到战斗部的毁伤效能。性能良好的引信，不仅能保证战斗部乃至武器系统的安全性，而且能使战斗部充分发挥毁伤目标的最大威力和最佳效果。

对于这些精确制导弹药引信，由于价格昂贵，生产批量小，而且试验是破坏性的，这就决定了在进行可靠性评定时，只能抽取少量样品进行相关试验。但是，目前尚没有专门针对高价值、高可靠度要求的国家军用标准可供使用。在相关的国家军用标准中使用最多的是计数法。这类方法具有简便、直观的优点，对价值较低且大批量生产的武器装备很适合；缺点是估计值保守并且试验所需的样本量大，不适用于高价值、小批量的情况。例如，某型号火箭弹每发造价近百万元，设计要求置信水平为0.9时的可靠度下限为0.9，按现行军标中的计数法，这需要22发的无失效试验，如果出现1发失败，则所需要的试验量为38发。如此高的试验费用，无论是鉴定试验还是批验收试验都是无法承受的。一种妥协的做法是在鉴定试验中按较低的可靠性指标验收，以避免大样本量所带来的高费用，再在生产和使用中积累数据来验证武器装备的可靠性指标是否达到设计要求。这种做法要冒很大的风险，直接影响精确制导弹药这类高技术武器的研制、生产和装备部队的过程。

因此，仅利用全弹的可靠性试验数据，无法评估引信的可靠性水平是否达



到指标要求。而可靠性指标是引信在设计定型与验收时最重要的一个战术技术指标。可靠性评估是引信设计定型与验收过程中的关键环节，如果由于试验费用或其他因素的影响，在没有对引信可靠性水平做出较为准确的判断之前，就通过了技术鉴定和验收，并投入批量生产并装备武器系统，将会给生产厂家和部队使用带来巨大的风险。这是目前在引信领域广泛存在的高可靠性要求与过大的试验量之间的矛盾，是制约当前武器弹药系统研究发展的因素之一。为节省研制经费，缩短研制周期，降低生产厂家和部队使用中存在的风险，为引信的批量生产和装备武器系统提供保证，寻求一套适合于引信可靠性评估的小样本方法成为目前迫切需要解决的技术难题。

引信小子样可靠性评估技术已在某制导炮弹、火箭弹引信用安全起爆装置鉴定试验中得到试用，初步证明引信小子样可靠性评估方法的可行性。但也暴露出了两个方面问题：一是 GJB 573A—1998《引信环境与性能试验方法》的试验项目不能满足高价值弹药用引信的模拟动态试验项目要求，基于小子样可靠性评估的模拟动态试验项目、样本量、试验方法和数据采集等需要与动态飞行试验数据一起进行研究和规划设计，确定一套适用于高价值弹药用引信可靠性试验与评价的方法。二是小子样可靠性评估研究成果只能降低试验样本量，并不能提高引信的可靠性。目前的引信研制过程主要追求性能指标的实现，很少考虑可靠性增长问题，更没有可靠性增长的模型和试验与评定方法，只有到设计定型时才考虑可靠性指标的评定问题，但此时的引信可靠性已经固定下来，为此，提高引信的可靠性迫切需要研究引信可靠性增长模型，确立一套基于可靠性增长的引信可靠性设计与试验方法。

### 1.3 高价值弹药引信小子样可靠性评估发展概况

#### 1.3.1 小子样可靠性技术发展概况

小子样问题直接来源于工程实践，且主要是在武器装备和航空、航天领域中。有关的研究从第二次世界大战时就已经开始，由于项目内容涉及机密，所以，国外十几年来有关项目研究的情况很难见到。从公开发表的理论研究的结果来看，主要的研究内容和研究方向在如下三个方面。

##### 1. 贝叶斯（Bayes）方法与多源信息融合

小子样问题的难点在于现场试验数据量太小，远不能达到可靠性评定所需要的信息量。此时，利用现场试验之外的信息，就成为必然的选择。由于贝叶斯方法能够使用先验信息，所以在现场数据量较小时，贝叶斯方法较经典统计方法的优势是明显的。



对贝叶斯方法的研究已经非常广泛且结果丰富，目前，理论研究的主要问题是：如何综合利用多种来源的先验信息，即多源信息融合的问题。这包含两方面的情形：一方面是指先验信息是多（异）总体的；另一方面是指先验信息具有多种数据形式，如未知参数的点估计、区间估计，以及总体的分位数等。

## 2. 自助（Bootstrap）方法与系统仿真

Bootstrap 方法是 Efron 于 1979 年提出的一种统计计算方法，这是一种与模拟方法、排列方法、刀切（Jackknife）方法等十分相似的重抽样方法，本质是利用最少的模型假设模拟出统计过程相应的性质。目前研究的主要方面是寻找一种可靠方便的经验方法来计算置信区间。由于 Bootstrap 方法是基于已有样本的重复再抽样，所以适合于小子样问题，该方法广泛应用于仿真技术中。

20 世纪 80 年代以来，仿真技术越来越广泛地应用于武器系统研制中。从可靠性评定的角度来看，仿真试验可以提供大量信息，弥补了外场飞行试验的不足。如果有一个好的仿真模型，就可以大幅度减少外场飞行试验的数量。例如，英国“警犬”地空导弹利用仿真试验和靶场飞行试验相结合，只发射 92 发就完成了该项研制任务。美国利用大系统半实物仿真，结合靶场试验：“爱国者”防空导弹用弹量从 141 枚减少到 101 枚，约节省了 28.4%；“尾刺”导弹从 185 枚减少到 114 枚，约节省了 38.4%；“响尾蛇”空空导弹由 129 枚减少到 35 枚，约节省了 72.9%。

贝叶斯小子样评估是充分利用各种信息来源，对仿真信息、飞行试验和其他试验信息进行分析、比较和综合，对武器系统性能给出置信水平比较高的评估结果。

## 3. 可靠性多级综合

可靠性多级综合是指：当系统的可靠性结构是一种多级结构（如系统—分系统—部件—元件等）时，利用下一级单元的试验数据和可靠性结构，对上一级的可靠性进行评估，自下而上地反复这一过程，直到得到系统的可靠性评估。

对于某些大型复杂系统，如运载火箭、远程导弹等，系统级的试验数据往往很小，甚至是零试验数据，但分系统、部件、元件级的试验数据是较大的，所以特别适合于使用可靠性多级综合的方法。对于可靠性多级综合问题，国际上统计界的三大学派（经典、贝叶斯、Fiducial）都在研究，有关的方法有上百种之多，如 L-M 法、极大似然（MML）法、H 法、AO 法、极大似然估计与序贯压缩综合法（CMSR）法等。

国内开展小子样试验技术研究起步于 20 世纪 60 年代初。当时，为了对战略武器进行诸如射击精度、落点系统误差、命中概率、发射和飞行可靠性等战