



# 中华人民共和国国家军用标准

FL 0112

GJB 2072—94

---

## 维修性试验与评定

Maintainability test and evaluation

1994—09—12 发布

1995—04—01 实施

---

国防科学技术工业委员会 批准

# 目 次

1 范围 .....	(1)
1.1 主题内容 .....	(1)
1.2 适用范围 .....	(1)
1.3 应用指南 .....	(1)
2 引用文件 .....	(1)
3 定义 .....	(1)
4 一般要求 .....	(2)
5 详细要求 .....	(3)
5.1 维修性试验与评定的程序 .....	(3)
5.2 维修性试验与评定计划 .....	(3)
5.3 维修性试验与评定的方法 .....	(5)
5.4 维修性数据收集处理与参数计算 .....	(7)
5.5 维修性试验与评定的管理 .....	(7)
5.6 维修性试验与评定报告 .....	(9)
附录 A 维修性试验方法(补充件) .....	(10)
附录 B 维修作业样本的选择与分配方法(补充件) .....	(34)
附录 C 测试性试验的一般方法(补充件) .....	(37)
附录 D 维修性参数估计方法(参考件) .....	(42)
附录 E 维修作业记录表格示例(参考件) .....	(49)

## 1 范围

### 1.1 主题内容

本标准规定了装备维修性试验与评定的基本要求、程序和方法。对影响维修性的综合保障各种要素也规定了定性评估的要求和方法。

### 1.2 适用范围

本标准适用于各种装备的维修性试验与评定。

### 1.3 应用指南

应用本标准时,允许进行剪裁以适应装备的特点。

## 2 引用文件

GB 4086.2	统计分布数值表 $\chi^2$ 分布
GB 4086.3	统计分布数值表 $t$ 分布
GB 4087.1	数据的统计处理和解释 二项分布参数的点估计
GB 4087.2	数据的统计处理和解释 二项分布参数的区间估计
GB 8054	平均值的计量标准型一次抽样检查程序及表
GJB 368A	装备维修性通用大纲
GJB 451	可靠性维修性术语
GJB 1909	装备可靠性维修性参数选择与指标确定要求
GJB/Z 23	可靠性和维修性工程报告

## 3 定义

除下述术语外,本标准使用的术语采用 GJB 451、GJB 1909 的定义。

### 3.1 维修性核查 maintainability verification

承制方在订购方监督下,为有助于实现装备的维修性要求,自签订合同起,贯穿于从零部件到系统的整个研制过程的维修性试验与评定工作。

### 3.2 维修性验证 maintainability demonstration

为确定装备是否达到了规定的维修性要求,由指定的装备试验机构进行或由订购方与承制方联合进行的试验与评定工作,一般在定型阶段进行。

### 3.3 维修性评价 maintainability evaluation

订购方在承制方配合下,为确定装备在实际使用、维修及保障条件下的维修性所进行的试验与评定工作。

### 3.4 维修作业 maintenance task

为使装备保持或恢复到规定状态所必须进行的全部维修活动。

## 4 一般要求

4.1 维修性的试验与评定应当有计划地进行。订购方应在维修性大纲要求中提出装备维修性试验与评定要求;承制方应制订相应的计划,并应随着研制的进展而不断地完善。适用于特定阶段的详细计划,应在实施之前经订购方同意。维修性试验与评定应与其他(特别是可靠性)试验评定工作协调,避免不必要的重复。

4.2 维修性试验与评定应考核装备满足规定维修性(含测试性)定量与定性要求的程度。

4.3 维修性试验与评定应符合订购方提出的有关维修方案、使用与维修环境、人员技术水平、测试方案(包括测试的配置与任务)和维修级别等方面的约束与要求。

4.4 系统级维修性试验与评定,一般应包括核查、验证、评价三个阶段。对不同类型装备或低层次的产品试验与评定阶段划分由订购方确定。

### 4.4.1 维修性核查

4.4.1.1 维修性核查的目的是检查与修正维修性分析的模型及数据,鉴别设计缺陷及其纠正措施,以实现维修性增长,从而有助于满足维修性要求和以后的验证。

4.4.1.2 核查可采用较少的维修性试验或维修作业时间测量、演示以及由承制方建议并经订购方同意的其他手段。应最大限度地利用与各种试验(如:研制、模型、样机、鉴定及可靠性试验等)结合进行的维修作业所得到的数据。

4.4.1.3 当合同或其他订购文件将维修性验证规定为核查的一部分时,核查应按 4.4.2 条执行。

### 4.4.2 维修性验证

4.4.2.1 维修性验证的目的是全面考核产品是否达到规定的维修性要求。验证试验应在尽可能类似于使用维修的环境中进行。验证试验通常在规定试验机构(试验场、基地)进行,并按规定进行部队维修试验。维修所需的工作条件、工具、保障设备、备件、设施和技术文件等应符合维修方案的要求。

4.4.2.2 验证试验中的维修作业应由试验机构、订购方的维修人员进行,但合同规定使用中由承制方执行的维修作业除外。维修人员应经承制方训练,其数量和技术水平应符合维修方案规定。

4.4.2.3 在验证维修性过程中,试验组应实施经批准的综合保障计划,利用规定的维修保障资源,进行维修作业,以便同时评估所提供的维修保障要素。

4.4.2.4 除非另有规定,验证所选择装备的各个组成部分的技术状态应形成文件,各组成部分和所使用的保障设备应通过物理技术状态审核确认。

4.4.2.5 验证过程应详细记录。对于各维修级别、各类维修、维修人员完成每次维修作业的总时间、各项维修活动的时间和延误时间等应分别记录。

4.4.2.6 需要由承制方或订购方完成的工作,应在验证前由试验单位提出,协商后写入试验计划中。

#### 4.4.3 维修性评价

4.4.3.1 维修性评价的目的是确定装备部署后的实际使用、维修及保障条件下的维修性;验证中所暴露缺陷的纠正情况;重点是评价基层级和中继级维修的维修性,需要时,还应评价基地级维修的维修性。

4.4.3.2 所有评价对象应为部署的装备或与其等效的样机。

4.4.3.3 维修性评价应在部队试用或实际使用中进行,需要评价的维修作业应是直接来自实际使用中的经常进行的维修工作。只有为了评价那些不可能在评价期间发生的特殊维修作业,才应通过模拟故障补充。

4.4.3.4 所有评价的维修作业均应由订购方维修人员完成,承制方人员只完成那些按合同规定在作战、使用中应由他们完成的任务。

### 5 详细要求

#### 5.1 维修性试验与评定的程序

维修性试验与评定的程序如下:

- a. 制订维修性试验与评定计划;
- b. 进行试验组织;
- c. 实施试验;
- d. 收集与处理数据;
- e. 评定试验结果;
- f. 编写试验与评定报告。

#### 5.2 维修性试验与评定计划

计划应根据产品类型、试验与评定时机及种类、检验要求等制订。

##### 5.2.1 背景材料

制订试验与评定计划应掌握以下背景材料:

- a. 定量和定性的维修性要求;
- b. 维修方案;
- c. 维修工作的环境和使用条件;
- d. 维修级别;
- e. 试验评定的产品;
- f. 需评估的保障资源;
- g. 其他。

##### 5.2.2 计划的内容

核查、验证、评价应分别制订计划,详细的计划一般应包括以下各条规定的内容:

###### 5.2.2.1 概述

一般应说明:

- a. 试验与评定的依据；
- b. 试验与评定的目的；
- c. 试验与评定的类别；
- d. 试验与评定的项目；
- e. 若维修性试验与其他试验结合进行,应说明结合的方法。

#### 5.2.2.2 组织

试验的组织工作,一般应明确:

- a. 试验评定的组织领导及参试单位；
- b. 试验人员的分工及资格、数量要求；
- c. 维修小组人员的来源及培训要求。

#### 5.2.2.3 试验场地与资源

试验的场地与资源,一般应规定:

- a. 试验场地及环境条件；
- b. 工具与保障设备；
- c. 技术文件；
- d. 备件和消耗品；
- e. 试验设备；
- f. 安全设备。

#### 5.2.2.4 实施

##### 5.2.2.4.1 准备

试验的准备工作,一般应包括:

- a. 试验组的组成；
- b. 维修人员的培训；
- c. 试验设施的准备；
- d. 保障器材的准备。

##### 5.2.2.4.2 试验

实施试验一般应明确:

- a. 试验进度；
- b. 试验方法,包括判决标准及风险率或置信度；
- c. 当模拟故障时,选择维修作业的程序；
- d. 数据获取方法；
- e. 数据分析方法与程序；
- f. 重新试验的规定。

##### 5.2.2.4.3 评定

试验结果的评定,一般应包括:

- a. 对装备满足维修性定性要求程度的评定；
- b. 对装备满足维修性定量要求程度的评定；

c. 对维修保障要素的评定(需要时)。

#### 5.2.2.4.4 试验与评定报告

计划应规定试验与评定报告的编写与交付的要求。

#### 5.2.2.5 监督与管理

计划应明确试验与评定的监督与管理的要求。监督与管理的具体要求见 5.5 条。

#### 5.2.2.6 试验经费

计划应拟订试验经费的预算与管理方法。

### 5.3 维修性试验与评定的方法

#### 5.3.1 定性的评价与演示

5.3.1.1 利用维修性核对表评定装备满足定性要求的程度。核对表由承制方根据有关规范、合同要求和设计准则等制定,并经订购方同意。核对表至少应包括以下各方面的内容:

- a. 维修可达性;
- b. 标准化与互换性;
- c. 检测诊断的方便性与快速性;
- d. 维修安全性;
- e. 防差错措施与识别标记;
- f. 人素工程要求等。

5.3.1.2 有重点地进行维修性演示。在实体模型、样机或产品上演示预计发生频率高的拆装、检测、调校等操作,重点判断:

- a. 人体、观察及工具的可达性;
- b. 操作安全性;
- c. 操作快速性,必要时测量动作的时间;
- d. 维修技术难度。

#### 5.3.1.3 有关维修性的保障要素的评定

规定人员及其使用配备的工具、设备、器材、资料等保障资源的品种、数量、质量能否保证完成维修任务。

#### 5.3.2 定量的试验与评定

维修性定量要求应通过试验完成实际维修作业,统计计算维修性参数,进行判决,其试验一般流程示例参见图 1。

##### 5.3.2.1 试验方法的选择

应根据需要验证的维修性参数、时间分布类型等选择附录 A(补充件)规定的方法,必要时,允许选用其他适宜的方法。试验方法应由订购方批准或规定。

##### 5.3.2.2 受试品的确定

维修性试验的受试品应从提交的产品中抽取并作单独试验,或直接利用定型样机同其他试验结合进行。为缩短试验时间,除主试品外,允许附加选定若干备试品。

##### 5.3.2.3 维修作业的产生

试验的修复性和预防性维修作业,应按试验与评定计划规定,由下述方法产生:

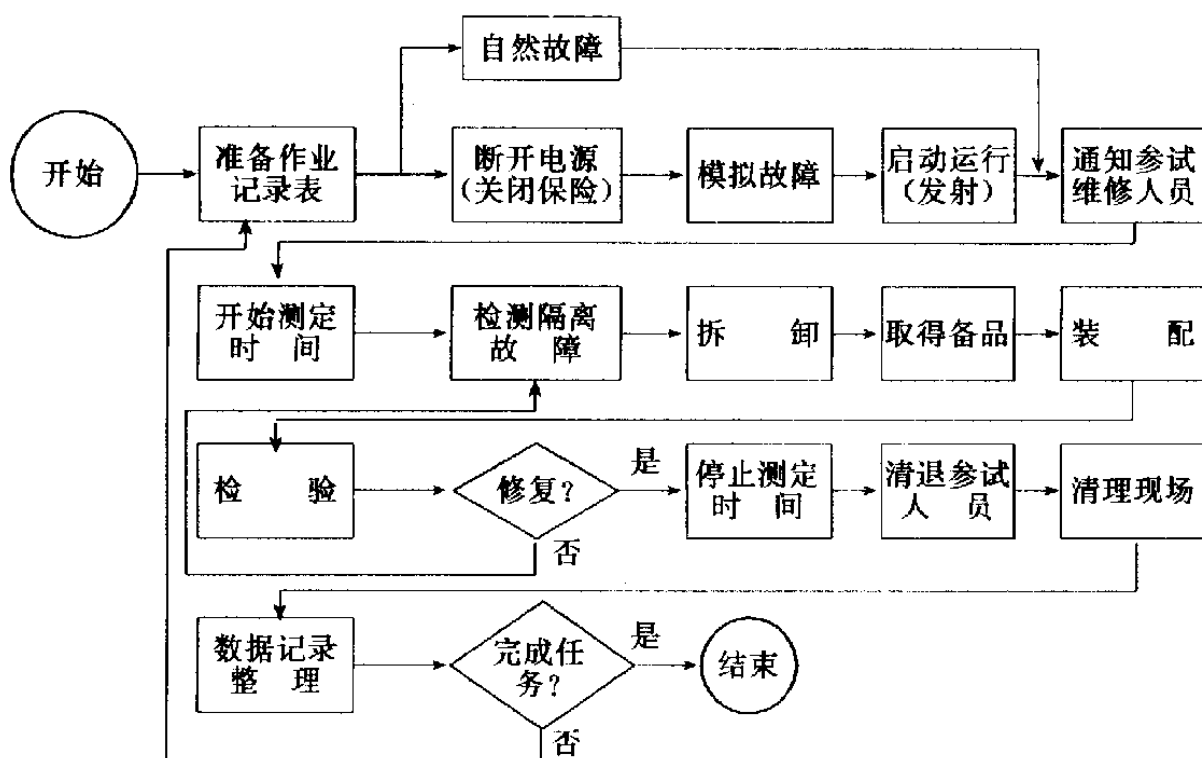


图1 维修性试验的一般流程(以修复性维修为例)

a. 自然故障所产生的维修作业。产品在规定的使用和维修条件中使用,如果能保证产生足够次数的维修作业,满足所采用的试验方法中样本量的要求时,则可优先采用这种方法。

b. 模拟故障产生的维修作业。可通过用故障件代替正常件、接入或拆除不易察觉的零件、元件、单元或电路、故意造成失调等方法,产生模拟故障。故障程度应足以代表需检验的维修作业。凡有某种潜在危险或不安全的故障,一般不得模拟;确有必要,应经批准并采取相应安全措施。

模拟故障维修作业样本分配方案,应按附录 B(补充件)所述方法制订,并经订购方同意。

进行故障模拟时,应由有经验的工程技术人员按计划进行,参试维修人员应避开现场,使其不能预先知道模拟的故障,待操作人员启动或使用受试品直到发生故障或出现故障预兆时,再通知参试维修人员到现场进行检测和排除故障。

c. 预防性维修单独试验时,其作业样本分配方案应依维修技术文件规定的预防性维修频率,按附录 B(补充件)所述方法制订。

d. 需要独特技巧、设备、试验方法的特殊维修作业,应由订购方确定,并采取相应保障措施。

#### 5.3.2.4 修复性维修

由经过训练的维修人员排除上述自然或模拟故障,完成故障检测、隔离、拆卸、换件或修复



原件、安装、调试、检验等一系列活动。

修复性维修应当：

- a. 按规定维修级别,使用所配备的备品、附件、工具和设备；
- b. 按照技术文件采用规定的程序和方法；
- c. 由专职记录员按规定表格见附录 E(参考件)进行记录；
- d. 对于不同诊断技术或方式(例如,人工测试、外部测试或机内测试)所花费的故障诊断时间分别记录。

#### 5.3.2.5 预防性维修

试验过程中,应按技术文件规定进行预防性维修,并记录其所消耗的人力、物力资源和时间。

#### 5.3.2.6 测试性试验与评定

产品的测试性指标一般应与其他维修性指标一并试验与评定。其方法见附录 C(补充件)。

### 5.4 维修性数据收集、处理与参数计算

#### 5.4.1 数据收集系统

5.4.1.1 维修性试验与评定中使用的数据收集系统,应尽可能与可靠性及其他数据收集系统相结合。应详细记录需要的维修性数据,收集各种试验中的故障、维修与保障的原始数据。

5.4.1.2 承制方在核查中使用的数据收集系统及其收集的数据,应符合核查的目的,与验证、评价所采用的订购方数据系统和收集的数据内容协调一致,并应经订购方认可。

5.4.1.3 在验证与评价中,应建立维修性数据库,试验组按规定的数据库记录所需数据。同时,应使承制方能通过数据库获得所有维修性数据。对于由承制方负责承担基地级维修的装备,承制方应负责这些维修数据的收集和反馈。

#### 5.4.2 数据的区分

对试验与评定的各种维修性数据应加以区分,除特地明确不应计在内的以外,所有的直接维修停机时间或工时,都应当包括在统计计算之内。

由以下几种情况引起的维修不应计在内：

- a. 不是由于承制方提供的维修方法或技术文件造成的维修差错和使用差错；
- b. 意外损伤的修复；
- c. 明显地超出承制方责任的供应与管理延误；
- d. 使用超出正常配置的测试仪器的维修；
- e. 在维修作业实施过程中发生的非正常配置的测试仪器安装；
- f. 产品改进工作。

#### 5.4.3 统计计算、判决与估计

利用试验产生并为试验组认可的所有数据进行统计计算、判决与估计。

a. 应当选用附录 A(补充件)中适合的方法或由订购方提出或批准的其他方法,计算维修性参数和合格判据,判决受试品是否达到规定要求。

b. 必要时,可按附录 D(参考件)提供的方法或其他适合的方法,进行维修性参数的估计。

### 5.5 维修性试验与评定的管理

### 5.5.1 试验与评定组织与职责

#### 5.5.1.1 试验与评定组织

产品维修性核查由承制方组织实施,订购方派代表参加,可由双方组成领导小组。维修性验证由试验基地(场)承担时,试验评定的组织领导由基地(场)按规定实施;若维修性验证在研制单位进行时,则由订购方和承制方共同组成领导小组,由订购方派员担任组长,并根据需要设置技术、维修、保障等小组。部队试用或使用中的维修性评价,由订购方组织实施,承制方派员参加。

#### 5.5.1.2 领导小组的职责

领导小组负责按计划组织实施维修性试验与评定,并就发生的问题经协商做出相应的裁决。具体职责包括以下各条。

##### 5.5.1.2.1 检查督促并保证试验评定前满足以下条件:

- a. 受试品均符合图纸要求,不符之处已经订购方认可;
- b. 需用的技术手册应为最新版本;
- c. 获得按保障方案规定类型和数量的保障器材;
- d. 参试的使用、维修人员均应经过训练,达到规定的技术水平;
- e. 对已规定的保障资源和数据处理方法、分析技术的变动应经过批准,并纳入经过更新的试验与评定计划中。

##### 5.5.1.2.2 在维修性试验与评定过程中应当:

- a. 对试验与评定中的各项活动,进行全面监督,发现问题,及时采取措施;
- b. 审查和批准用于验证与评价的有关数据,以便确定工作时间、维修时间、停机时间及受试品的状态;
- c. 审核试验的维修作业项目设置和实施的正确性;
- d. 协调有关保障资源;
- e. 对发生的争议做出裁决;
- f. 确定维修性要求达到的程度;
- g. 编写试验与评定报告。

#### 5.5.2 试验与评定过程的控制与协调

领导小组应对试验与评定过程实施控制与协调,包括进度、费用、人员、保障资源、维修性试验与其他试验的协调等。出现的问题应按以下各条规定处理。

##### 5.5.2.1 从属故障

由受试品原发故障引起的从属故障,其修复时间应计入该次维修作业所用的时间;但从属故障为模拟故障所引起时则不应计入。若从属故障的原因被排除,则由从属故障所增加的维修时间应扣除。

##### 5.5.2.2 技术文件或保障设备器材不足

维修人员在进行作业时,如果发现并证实没有足够的、适当的技术文件或保障设备器材,应中止该项试验,采取措施解决后重新进行该项维修作业试验。

##### 5.5.2.3 设计不当或技术文件缺陷

由于设计不当,或者技术文件中的维修程序不恰当(如未在文件中作适当说明而允许进行不适当的维修),造成产品损伤或引起维修差错增加的意外维修时间,应计入总的维修时间中,当采取措施纠正设计缺陷或不恰当的维修程序后,应重新进行该项试验。

#### 5.5.2.4 维修人员等待时间

如果某项维修作业对人员的需求是间断性或分段式的,在估计维修作业所需工时,应计入维修人员在作业中的等待时间;但等待期间维修人员可执行其他维修作业者除外。

#### 5.5.2.5 试验设备引起的维修

试验设备、仪表的故障或其安装、操作不当引起的所有维修,都不应算作受试品的维修。

#### 5.5.2.6 同型拆配

试验中从其他产品或保障设备中拆卸同型零部件来更换受试品的相应件时,若保障计划中已有该件的备件,同型拆配仅作为临时措施,则此拆卸与重装时间不应计算在维修时间内;若保障计划中没有该件的备件,则应计算在内。如果采取措施消除了这种拆配,则增算的时间应扣除。

#### 5.5.2.7 检查

试验中,每次一般外观检验或定期检查,应当作为独立的预防性维修作业。检查中所进行的修理应作为独立的修复性维修作业。

### 5.6 维修性试验与评定报告

5.6.1 在核查、验证或评价结束后,应做出报告,必要时,订购方可要求做出临时报告。当维修性试验同可靠性或其他试验结合进行时,其报告中应有相应的维修性内容。

5.6.2 维修性试验与评定报告,一般应包括以下基本内容:

- a. 试验与评定计划、方案简述;
- b. 试验与评定情况(包括人员、物资利用、经费等)简述;
- c. 采集数据汇总及分析;
- d. 维修性是否达到本阶段目标的结论;
- e. 对维修保障要素及其对维修性影响的估价;
- f. 纠正措施和改进建议。

承制方向订购方提交的报告的格式和内容应符合 GJB/Z 23 的要求。

## 附录 A

### 维修性试验方法

#### (补充件)

本附录包括定量检验装备维修性指标的试验、统计计算和判决方法。

### A1 基本要求

#### A1.1 试验方法的选择

表 A1 是本附录提供的各种试验方法的汇总表。

待验证的指标和维修时间分布类型是选择试验方法的基本依据。实践表明,维修作业时间采用对数正态分布的假设在大多数情况下是合理的。当分布未知或为非对数正态时(如机内具有高度诊断能力的装备),可采用非参数法。采用序贯试验法所需样本量比固定样本量的试验可能少些,但一般只有当事先(或根据预测)已知装备维修性比合同指标好得多或差得多的情况下才使用。试验方法的选择还应考虑试验费用和延续的时间。

#### A1.2 作业样本量的确定

维修作业样本量按选取的试验方法中的统计计算确定,也可采用推荐的样本量(见表 A1)。对某些试验方案,在计算样本量之前,应对作业时间分布的方差  $\sigma^2$  作估计。方差已知时的抽样方案(“ $\sigma$ ”法)和方差未知时的抽样方案(“S”法),可参见 GB 8054。

#### A1.3 作业样本的选择

当采用故障模拟时,维修作业的样本应按附录 B(补充件)的程序进行选择。采用按比例分层抽样,可能对试验程序的有效性或代表性略有影响,但相对于方案中所需的样本量而言,其影响甚微。对于序贯试验方案,应采用简单随机抽样。

### A2 符号说明

X——有关维修时间的随机变量,如修复性维修时间、预防性维修时间、故障诊断时间或维修工时等。

$X_i$ ——随机变量 X 的第 i 次观测值。

n——样本量。

$\bar{X}$ ——X 的样本均值,  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ 。

Y——X 的自然对数,  $Y = \ln X$ 。

$\bar{Y}$ ——Y 的样本均值,  $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln X_i$ 。

$\theta$ ——Y 的期望值,  $\theta = E(Y)$ 。

$\sigma^2$ ——Y 的方差,  $\sigma^2 = E[(Y - \theta)^2]$ 。

表 A1 试验方法汇总表

编号	检验参数	分布假设	样本量	推荐样本量	作业选择	需要规定的参量
1-A	维修时间平均值	对数正态, 方差已知	见 试 验 方 法	不小于 30	自然或模拟故障	$\mu_0, \mu_1, \alpha, \beta$
1-B		分布未知, 方差已知		不小于 30		
2	规定维修度的最大修复时间	对数正态, 方差未知		不小于 30		$T_0, T_1, \alpha, \beta$
3-A	规定时间维修度	对数正态				$p_0, p_1, \alpha, \beta$
3-B		分布未知				
4	装备修复时间中值	对数正态		20	$\bar{M}_{ct}$	
5	每次运行应计入的维修停机时间	分布未知		50	自然故障	$A, T_{CMD}/N$ $T_{DD}/N, \alpha, \beta$
6	每飞行小时的维修工时 ( $M_1$ ) <sup>①</sup>	分布未知				$M_1, \Delta M_1$
7	地面电子系统工时率	分布未知		不小于 30	自然或模拟故障	$\mu_R, \alpha$
8	均值与最大修复时间的组合	对数正态			自然故障或随机(序贯)抽样	均值及 $M_{max}$ 的组合
9	维修时间平均值和最大修复时间	分布未知	不小于 30	自然或模拟故障	$\bar{M}_{ct}, \bar{M}_{pt}, \beta$ $\bar{M}_{p/c}, M_{maxct}$	
10	最大维修时间和维修时间中值	分布未知	不小于 50		$\tilde{M}_{ct}, \tilde{M}_{pt}, \beta$ $M_{maxct}, M_{maxpt}$	
11	预防性维修时间	分布未知	全部任务完成		$\bar{M}_{pt}, M_{maxpt}$	

①用于验证装备可用度 A 的一种间接试验方法

$\bar{\sigma}^2$ —— $\sigma^2$  的事前估计值。

$S^2$ ——Y 的样本方差,  $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln X_i - \bar{Y})^2$ 。

$\mu$ ——X 的期望值,  $\mu = E(X)$ ; X 服从对数正态分布时,  $\mu = \exp(\theta + 1/2\sigma^2)$ 。

$d^2$ ——X 的方差,  $d^2 = E[(X - \mu)^2]$ ; X 服从对数正态分布时,  $d^2 = \mu^2(\exp\sigma^2 - 1)$ 。

$\hat{d}^2$ ——X 的样本方差,  $\hat{d}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ 。

$\bar{d}^2$ —— $d^2$  的事前估计值。

$X_p$ ——X 的第 100p 百分位值(如  $X_{0.95}$ ——X 的第 95 百分位值)。X 服从对数正态分布时,  $X_p = \exp(\theta + Z_p\sigma)$ 。

$Z_p$ ——对应下侧概率 p 的标准正态分布分位数(见表 A2)。

表 A2 常用的正态分布分位数表

p	0.01	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.85	0.90	0.95	0.99
$Z_p$	-2.33	-1.65	-1.28	-1.04	-0.84	-0.52	-0.25	0	0.25	0.52	0.84	1.04	1.28	1.65	2.33

$\bar{M}$ ——X 的中值,  $\bar{M} = X_{0.50}$ ; X 服从对数正态分布时,  $\bar{M} = e^\theta$ 。

$\bar{M}_{ct}$ ——修复时间中值。

$\bar{M}_{pt}$ ——预防性维修时间中值。

$X_{cti}$ ——第 i 项修复性维修停机时间。

$X_{pti}$ ——第 i 项预防性维修停机时间。

$n_c$ ——修复性维修作业样本量(次数)。

$n_p$ ——预防性维修作业样本量(次数)。

$f_c$ ——在规定的期间内发生的修复性维修作业预期数。

$f_p$ ——在规定的期间内发生的预防性维修作业预期数。

$\mu_c, \mu_p, \mu_{p/c}$ ——平均修复时间, 平均预防性维修时间及平均维修时间(含修复性维修和预防性维修)。

$\bar{X}_{ct}, \bar{X}_{pt}, \bar{X}_{p/c}$ ——样本的平均修复时间、平均预防性维修时间及平均维修时间。

$\bar{M}_{ct}$ ——规定的平均修复时间。

$\bar{M}_{mct}$ ——规定的恢复功能用的任务时间。

$\bar{M}_{pt}$ ——规定的平均预防性维修时间。

$\bar{M}$ ——规定的平均维修时间。

$M_{maxct}$ ——规定的最大修复时间, 通常取第 90 或第 95 百分位(即维修度为 90% 或 95%)。

$M_{maxpt}$ ——规定的最大预防性维修时间, 通常取第 90 或第 95 百分位(即维修度 90% 或 95%)。

$\ln X_{cti}, \ln X_{ct}$ —— $X_{cti}$  及  $X_{ct}$  的自然对数值。

$\alpha$ ——承制方风险, 即受试品维修性参数的期望值小(优)于或等于可接受值而被拒绝的概率。

$\beta$ ——订购方风险, 即受试品维修性参数的期望值大(劣)于或等于不可接受值而被接受的概率。

$L(a)$ ——抽查特性函数, 即参数为 a 时的接受概率。

### A3 试验方法 1: 维修时间平均值的检验

本试验法用于维修性参数为平均修复时间, 平均预防性维修时间, 平均维修时间, 恢复功能用的任务时间的检验。也可用于平均维修工时的检验。

#### A3.1 使用条件

a. 试验 A: 维修时间服从对数正态分布, 其对数方差  $\sigma^2$  已知, 或能由以往资料得到其适当精度的估计值  $\bar{\sigma}^2$ ;

试验 B: 维修时间的分布未知, 维修时间的方差  $d^2$  已知, 或能由以往资料得到其适当精度的估计值  $\bar{d}^2$ ;

b. 维修时间平均值的可接受值  $\mu_0$  和不可接受值  $\mu_1$ , 按合同规定;

c. 同时控制承制方风险  $\alpha$  和订购方风险  $\beta$ , 其值由合同规定。

#### A3.2 试验与统计计算

a. 确定样本量

试验 A:

$$n = \left( \frac{Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}}{\ln \mu_1 - \ln \mu_0} \right)^2 \sigma^2 \dots\dots\dots (A1)$$

$\sigma^2$  可用  $\bar{\sigma}^2$  代替。当  $n$  不是整数时, 应将其归整为较大整数。如果  $n$  小于 30, 应取  $n$  为 30。

试验 B:

$$n = \left( \frac{Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}}{\mu_1 - \mu_0} \right)^2 d^2 \dots\dots\dots (A2)$$

$d^2$  可用  $\bar{d}^2$  代替。当  $n$  不是整数时, 应将其归整为较大整数。如果  $n$  小于 30, 应取  $n$  为 30。

b. 试验

试验并记录其观测值  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。

c. 计算

试验 A:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln X_i \dots\dots\dots (A3)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln X_i - \bar{Y})^2 \dots\dots\dots (A4)$$

试验 B:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots (A5)$$

$$d^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \dots\dots\dots (A6)$$

#### A3.3 判决规则

试验 A: 如果

$$\bar{Y} \leq \ln \mu_0 - \frac{1}{2} \sigma^2 + Z_{1-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (A7)$$

则认为该装备符合维修性要求而接受, 否则拒绝。

试验 B: 如果

$$\bar{X} \leq \mu_0 + Z_{1-\alpha} \frac{d}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (A8)$$

则认为该装备符合维修性要求而接受, 否则拒绝。

注: 当  $\sigma, d$  未知时, 可分别以  $S, \bar{d}$  代替。

### A3.4 抽查特性函数

试验 A:

$$L(\mu) = \Phi\left(Z_{1-\alpha} + \frac{\ln \mu_0 - \ln \mu}{\sigma} \sqrt{n}\right) \dots\dots\dots (A9)$$

$\sigma$  可用  $\bar{\sigma}$  代替。

试验 B:

$$L(\mu) = \Phi\left(Z_{1-\alpha} + \frac{\mu_0 - \mu}{d} \sqrt{n}\right) \dots\dots\dots (A10)$$

$d$  可用  $\bar{d}$  代替。

### A3.5 举例

现对某装备的平均修复时间按下述条件检验: 可接受值  $\mu_0 = 30\text{min}$ , 不可接受值  $\mu_1 = 45\text{min}$ ,  $\alpha = \beta = 0.05$ 。

若修复时间服从对数正态分布, 其对数方差的事前估计值  $\bar{\sigma}^2$  为 0.5。使用试验方法 A 进行检验。由  $Z_{1-\alpha} = Z_{1-\beta} = Z_{0.95} = 1.65$ , 利用(A1)式求得样本量为:

$$n = \left(\frac{1.65 + 1.65}{\ln 45 - \ln 30}\right)^2 \times 0.5 = 33.12 \approx 34$$

假设排除了作为样本的 34 个自然(或模拟)故障后, 得到修复时间的观测值(单位 min)为:

26 14 21 30 70 69 20 21 18 65 16 35 26  
16 40 28 42 33 19 19 43 54 12 18 13 26  
10 50 21 31 42 30 46 24

把观测值代入(A3)及(A4)式得:

$$\bar{Y} = \frac{1}{34} \sum_{i=1}^{34} \ln X_i = 3.30, \quad S^2 = \frac{1}{33} \sum_{i=1}^{34} (\ln X_i - \bar{Y})^2 \approx 0.26$$

由(A7)式右端得:

$$\ln \mu_0 - \frac{1}{2} \sigma^2 + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} Z_{1-\alpha} = \ln 30 - \frac{1}{2} \times 0.5 + 1.65 \times \frac{\sqrt{0.5}}{\sqrt{34}} \approx 3.35$$

因为  $3.30 < 3.35$ , 故该装备的平均修复时间符合要求, 应予接受。

若修复时间的分布未知, 修复时间方差的事前估计值为  $\bar{d}^2 = 600$ 。使用试验方法 B 进行检验。利用(A2)式求得样本量为:

$$n = \left(\frac{1.65 + 1.65}{45 - 30}\right)^2 \times 600 = 29.04 \approx 30$$

假设排除了作为样本的 30 个自然(或模拟)故障后, 得到修复时间的观测值(单位 min)



为:

42 26 16 30 70 69 18 20 65 26 35  
 19 13 26 40 46 40 28 42 33 19 19  
 54 12 18 26 69 31 50 33

把观测值代入(A5)及(A6)式得:

$$\bar{X} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} X_i = 34.5, \quad d^2 = \frac{1}{29} \sum_{i=1}^{30} (X_i - \bar{X})^2 \approx 298.33$$

由(A8)式的右端得:

$$\mu_0 + Z_{1-\alpha} \frac{\bar{d}}{\sqrt{n}} = 30 + 1.65 \times \frac{\sqrt{600}}{\sqrt{30}} \approx 37.38$$

因为  $34.5 < 37.38$ , 故该装备的平均修复时间符合要求, 应予接受。

抽查特性函数分别由(A9)和(A10)式给出:

试验 A:

$$L(\mu) = \Phi\left(Z_{0.95} + \frac{\ln 30 - \ln \mu}{\sqrt{0.5}} \sqrt{34}\right) = \Phi\left(\frac{3.60 - \ln \mu}{0.121}\right)$$

试验 B:

$$L(\mu) = \Phi\left(Z_{0.95} + \frac{30 - \mu}{\sqrt{600}} \sqrt{30}\right) = \Phi\left(\frac{37.38 - \mu}{4.47}\right)$$

本例中试验 A 的特性曲线示于图 A1, 它给出了对应于平均修复时间各值的接受概率。如果平均修复时间  $\mu$  为 40min, 则其接受概率为 0.23。试验 B 的特性曲线示于图 A2, 如果平均修复时间  $\mu$  为 40min, 则其接受概率为 0.28。

#### A4 试验方法 2: 规定维修度的最大修复时间的检验

本试验法用于维修性参数为规定百分位最大修复时间的检验。

##### A4.1 使用条件

a. 维修时间服从对数正态分布, 维修时间的对数方差  $\sigma^2$  未知, 为确定样本量需根据以前的资料得到适当精度的估计值  $\hat{\sigma}^2$ 。

b. 规定维修度的最大修复时间(规定百分位数)T 的可接受值  $T_0$  和不可接受值  $T_1$ , 按合同规定。

c. 同时控制承制方风险  $\alpha$  和订购方风险  $\beta$ , 其值按合同规定。

##### A4.2 试验与统计计算

a. 确定样本量

$$n = \left(1 + \frac{Z_\beta^2}{2}\right) \left(\frac{Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}}{\ln T_1 - \ln T_0}\right)^2 \hat{\sigma}^2 \dots\dots\dots (A11)$$

当 n 非整数时应归整为较大的整数; 如 n 小于 30, 则应取 n 为 30。

b. 试验并记录维修时间观测值  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。

c. 计算统计量

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln X_i \dots\dots\dots (A12)$$

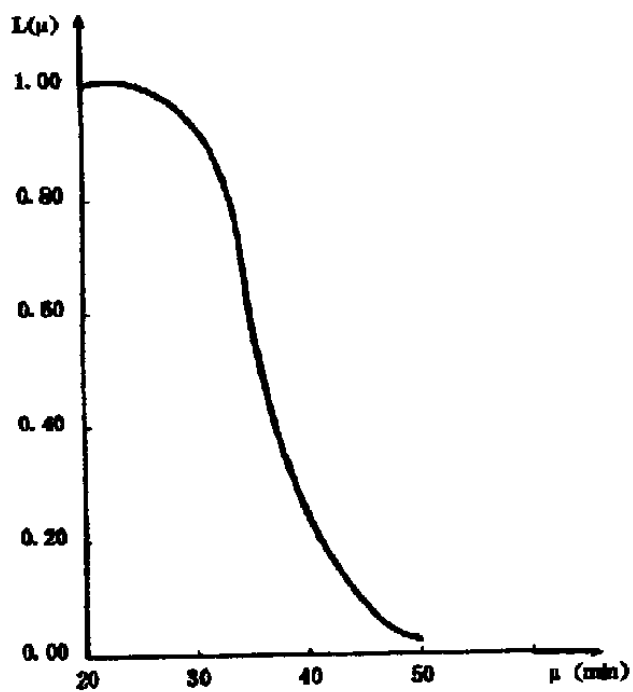


图 A1 按试验 A 作均值检验时的特性曲线

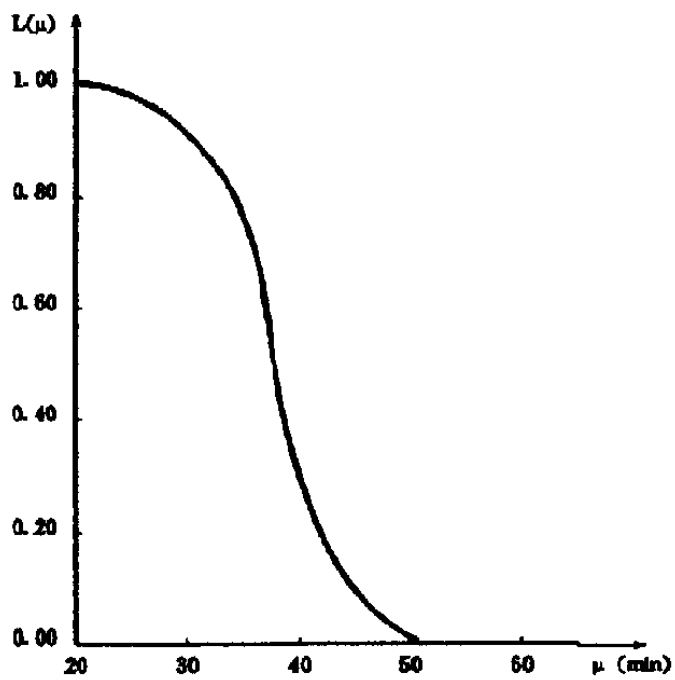


图 A2 按试验 B 作均值检验时的特性曲线

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln X_i - \bar{Y})^2 \dots\dots\dots (A13)$$

#### A4.3 判决规则

如果  $\bar{Y} + Z_p S \leq X^*$  ..... (A14)

则装备最大修复时间符合要求而接受,否则拒绝。

其中

$$X^* = \ln T_0 + Z_{1-\alpha} S \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{Z_p^2}{2(n-1)}} \dots\dots\dots (A15)$$

#### A4.4 抽查特性函数

$$L(T) = \Phi\left(\frac{X^* - \ln T}{\tilde{\sigma} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{Z_p^2}{2(n-1)}}}\right) \dots\dots\dots (A16)$$

上式中的  $X^*$  按(A15)式以  $\tilde{\sigma}$  代替  $S$  计算。

#### A4.5 举例

现对某装备的维修性按下述假设验证:

$X_{0.95}$ 的可接受值  $T_0$  为 1.5h,不可接受值  $T_1$  为 2.0h,双方风险  $\alpha, \beta$  均为 0.10,  $\sigma^2$  事前估计值  $\bar{\sigma}^2$  为 1.0。

按(A11)式求样本量  $n$ :

$$n = \left(1 + \frac{1.65^2}{2}\right) \times \left(\frac{1.28 + 1.28}{\ln 2.0 - \ln 1.5}\right)^2 \times 1.0 = 186.985;$$

取为  $n=187$

按(A15)式求临界值  $X^*$ :

$$\begin{aligned} X^* &= \ln 1.5 + 1.28S \sqrt{\frac{1}{187} + \frac{1.65^2}{372}} \\ &= 0.4055 + 0.1437S \end{aligned}$$

试验后,计算出  $S$  代入上式,然后依(A14)式判决。

本例试验的特性曲线示于图 A3,它给出了对应于维修时间的第 95 百分位各值的接受概率。若  $T$  为 1.7h,则接收概率为 0.57。

#### A5 试验方法 3:规定时间的维修度的检验

本试验适用于参数为一特别予以关注的临界维修时间或临界工时  $T$  的维修度  $M(T)$  的维修性检验。

$$M(T) = 1 - p = P(X \leq T) \dots\dots\dots (A17)$$

其中,  $p$  是维修时间(工时)大于临界值的概率。

##### A5.1 使用条件

a. 试验 A:维修时间或工时服从对数正态分布,维修时间的对数方差  $\sigma^2$  已知,或能由以往资料获得其适当精度的估计值  $\bar{\sigma}^2$ 。

试验 B:维修时间或工时的分布形式未知。

b. 维修度的可接受值  $1-p_0$  和不可接受值  $1-p_1$  按合同规定。

c. 同时控制承制方风险  $\alpha$  和订购方风险  $\beta$ , 其值按合同规定。

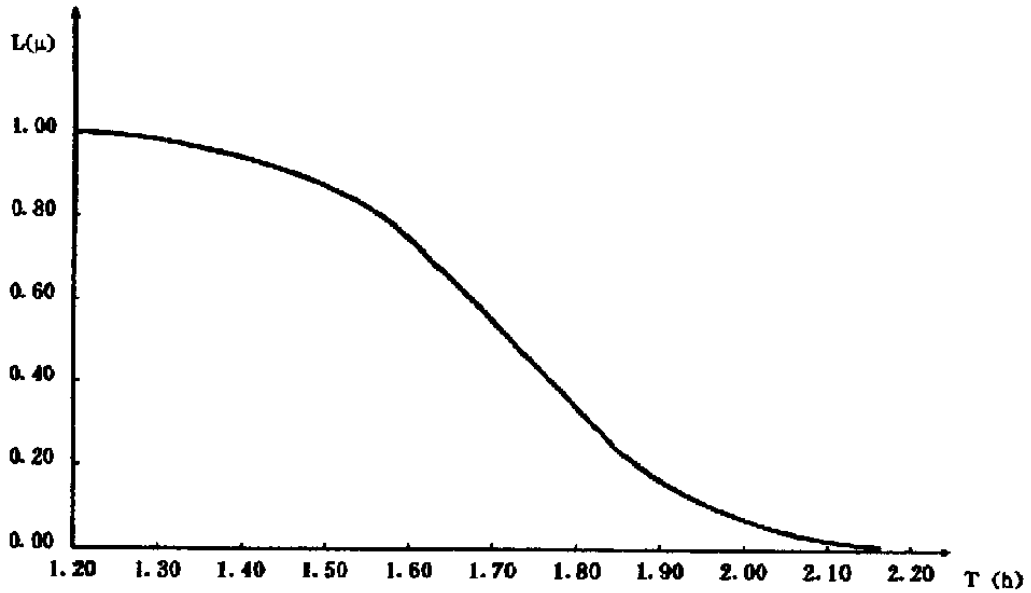


图 A3 最大修复时间检验时的特性曲线

A5.2 试验及统计计算 ( $q_i = 1 - p_i, i = 0, 1$ )

试验 A

a. 确定样本量

样本量  $n$  由下式确定

$$n = \left( \frac{Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}}{Z_{q_0} - Z_{q_1}} \right)^2 \dots\dots\dots (A18)$$

表 A3 当  $p_0$  小于 0.20 时对于  $p_0, p_1, \alpha$  和  $\beta$  规定值的抽样方案

$k = \frac{p_1}{p_0}$	$\alpha = 0.05$						$\alpha = 0.10$						$\alpha = 0.20$					
	$\beta = 0.05$		$\beta = 0.10$		$\beta = 0.20$		$\beta = 0.05$		$\beta = 0.10$		$\beta = 0.20$		$\beta = 0.05$		$\beta = 0.10$		$\beta = 0.20$	
	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D
1.5	66	54.1	54	43.4	39	30.2	51	43.0	40	33.0	29	23.2	36	31.8	27	23.5	17	14.4
2	22	15.7	18	12.4	14	9.25	17	12.8	14	10.3	10	7.02	12	9.91	9	7.29	6	4.73
2.5	13	8.46	10	6.17	8	4.70	10	7.02	8	5.43	6	3.90	7	5.58	5	3.84	3	2.30
3	9	5.43	7	3.98	6	3.29	7	4.66	5	3.15	4	2.43	4	3.09	3	2.30	2	1.54
4	6	3.29	5	2.61	4	1.97	4	2.43	3	1.75	2	1.10	3	2.30	2	1.54	1	0.824
5	4	1.97	3	1.37	3	1.37	3	1.75	2	1.10	2	1.10	2	1.54	1	0.824	1	0.824
10	2	0.818	2	0.818	1	0.353	1	0.532	1	0.532	1	0.532	1	0.824	1	0.824	0	0.227

对于给定的  $p_0, p_1, \alpha$  和  $\beta$ , 为求样本量  $n$ , 将相应的  $D$  值除以  $p_0$ , 归整为小于商的最大值。

例:  $p_0 = 0.05, p_1 = 0.20, \alpha = 0.10, \beta = 0.05$ , 则  $k = \frac{0.20}{0.05} = 4$ , 查表得  $D = 2.43$ , 则  $n = \frac{D}{0.05} = \frac{2.43}{0.05} = 48$ .

可接受的  $c$  值为 4。

当  $n$  不是整数时,应归整为较大的整数。

- b. 试验并记录各个维修作业时间  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。
- c. 计算统计量

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln X_i \dots\dots\dots (A19)$$

试验 B

- a. 确定样本量  $n$  及接收数  $c$
- 当  $0.20 \leq p_0 \leq 0.80$  时

$$n = \left( \frac{Z_{1-\alpha} \sqrt{p_0 q_0} + Z_{1-\beta} \sqrt{p_1 q_1}}{p_1 - p_0} \right)^2 \dots\dots\dots (A20)$$

当  $n$  不是整数时,应归整为较大的整数。

$$c = np_0 + Z_{1-\alpha} \sqrt{np_0 q_0} \dots\dots\dots (A21)$$

当  $c$  不是整数时,应修约为较小的整数。

当  $p_0$  小于 0.20 时,按表 A3 依据  $\alpha, \beta$  和比值  $p_1/p_0$  确定抽样方案  $(n, c)$ 。

- b. 试验并统计所得维修时间(工时)的观测值  $X_1, X_2, \dots, X_n$  中超过临界时间  $T$  的个数  $r$ 。

### A5.3 判决规则

试验 A: 当

$$\bar{Y} \leq \ln T + \left( \frac{Z_{1-\alpha}}{\sqrt{n}} - Z_{\alpha_0} \right) \sigma \dots\dots\dots (A22)$$

时,认为装备符合维修性要求而接受,否则拒绝。

(A22)式中  $\sigma$  可用  $\bar{\sigma}$  代替。

试验 B: 当

$$r \leq c \dots\dots\dots (A23)$$

时,认为装备符合维修性要求而接受,否则拒绝。

### A5.4 抽查特性函数

试验 A

$$L(p) = \Phi(Z_{1-\alpha} - \sqrt{n}(Z_{1-p_0} - Z_{1-p})) \dots\dots\dots (A24)$$

试验 B

当  $0.20 \leq P_0 \leq 0.80$  时

$$L(p) = \Phi\left(\frac{c - np}{\sqrt{npq}}\right) \dots\dots\dots (A25)$$

当  $P_0 < 0.2$  时

$$L(p) = \sum_{d=0}^c \frac{(np)^d e^{-np}}{d!} \dots\dots\dots (A26)$$

### A5.5 举例

试验 A:

例 1: 若某装备的维修时间服从对数正态分布  $\ln X \sim N(\theta, \sigma^2)$ ,  $\sigma^2$  为 0.54, 临界时间  $T$  为 80min, 其维修度的可接受值  $q_0$  为 0.90, 不可接受值  $q_1$  为 0.75, 令  $\alpha = \beta = 0.05$ , 试检验其维修性。

由(A18)式确定样本量

$$n = \left( \frac{Z_{0.95} + Z_{0.95}}{Z_{0.90} - Z_{0.75}} \right)^2 = \left( \frac{2 \times 1.65}{1.28 - 0.68} \right)^2 = 30.25,$$

归整为  $n=31$ 。

进行 31 次维修, 设其维修时间的对数样本均值  $\bar{Y} = 3.78$ 。

$$\begin{aligned} \text{而 } \ln 80 + \left( \frac{Z_{0.95}}{\sqrt{31}} - Z_{0.9} \right) \sigma &= 4.38 + \left( \frac{1.65}{5.57} - 1.28 \right) \times \sqrt{0.54} \\ &= 4.38 - 0.72 \\ &= 3.66 \end{aligned}$$

因  $3.78 > 3.66$ , 故由(A24)式判决该装备维修性不合要求被拒绝。

试验 B:

例 2:  $p_0 = 0.50, p_1 = 0.75, \alpha = \beta = 0.1$ , 分布未知, 试确定试验方案。

由表 A2,  $Z_{1-\alpha} = Z_{1-\beta} = 1.28$ 。因  $0.20 \leq q_0 \leq 0.8$ , 故利用(A20)式和(A21)式, 可得:

$$n = 1.28^2 \left( \frac{\sqrt{0.75 \times 0.25} + \sqrt{0.50 \times 0.50}}{0.25} \right)^2 = 22.819 \approx 23$$

$$c = 23 \times 0.50 + 1.28 \times \sqrt{23 \times 0.50 \times 0.50} = 14.181, \text{修约为 } c = 14。$$

其抽查特性曲线由(A25)式确定, 见图 A4。

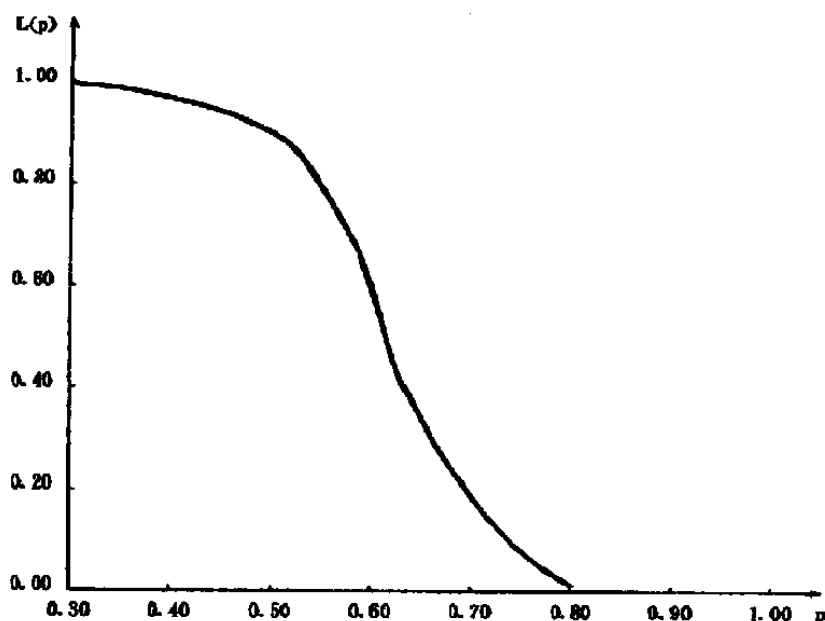


图 A4 检验临界时间维修度的抽查特性曲线

例 3:  $p_0=0.10, p_1=0.25, \alpha=0.10, \beta=0.05$ , 分布未知, 试确定试验方案。

因  $p_0 < 0.2$ , 故利用表 A3 确定抽样方案。

$$k = \frac{p_1}{p_0} = \frac{0.25}{0.1} = 2.5, \text{查表 A3 得 } D=7.02, c=10.$$

而  $n = \frac{7.02}{0.1} = 70.2$ , 归整为  $n=71$ 。

**A6 试验方法 4: 修复时间中值的检验**

本试验法适用于维修性参数为修复时间中值的维修性检验。

**A6.1 使用条件**

- a. 修复时间服从对数正态分布。
- b. 中值的不可接受值  $\tilde{M}_{ct}$  按合同提出。

**A6.2 试验与统计计算**

a. 样本量

特定为 20。

b. 试验

维修作业根据附录 B(补充件)的程序选择。

试验并记录 20 个维修作业的持续时间  $X_{ct1}, X_{ct2}, \dots, X_{ct20}$ 。

c. 计算统计量

$$\ln \tilde{M}_\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{20} \ln X_{cti}}{20} \dots\dots\dots (A27)$$

$$S^2 = \left[ \sum_{i=1}^{20} \frac{(\ln X_{cti})^2}{20} - (\ln \tilde{M}_\alpha)^2 \right] / 19 \dots\dots\dots (A28)$$

式中:  $\tilde{M}_\alpha$  —— 样本的修复时间中值。

**A6.3 判决规则**

如果  $\ln \tilde{M}_\alpha \leq \ln \tilde{M}_{\alpha_0} + 0.387S \dots\dots\dots (A29)$

则认为该装备符合维修性要求而接受, 否则拒绝。

(A29) 式中  $\tilde{M}_{\alpha_0}$  为中值的可接受值,  $\tilde{M}_{\alpha_0} = 0.37 \tilde{M}_{\alpha_1} \dots\dots\dots (A30)$

上式是在承制方风险  $\alpha$  和订购方风险  $\beta$  均为 0.05 和  $\sigma=0.55$  的条件下推导出来的。

**A7 试验方法 5: 每次运行应计入的维修停机时间的检验**

本试验方法用来检验航空等特殊装备每次运行应计入的维修停机时间, 进而达到间接检验可用度的目的。

**A7.1 使用条件**

本试验方法不需任何关于维修停机时间的分布假设。本方法的样本量(运行次数)至少应为 50。

**A7.2 每次运行应计入的维修停机时间**

由可用度的定义可得:

$$A = 1 - \frac{T_{CMD} + T_{NCMD} + T_{DD}}{T_{TO}} \dots\dots\dots (A31)$$

式中:  $A$  —— 可用度;

$T_{TO}$  —— 总活动时间,以小时计。此时间包括装备正在运行或准备运行、正在进行维修以及由于供应或管理等原因致使维修被延误的时间;

$T_{CMD}$  —— 应计入的维修停机时间,即维修人员在装备上进行作业的时间(以小时计);

$T_{NCMD}$  —— 不应计入的维修停机时间,包括:

- a. 由于技术指令、人员培训等原因造成的修理或操作失误;
- b. 杂项作业,如飞机滑行或牵引出作业区等;
- c. 意外修理或改进性质的维修工作;
- d. 由于测试仪器失调或损坏引起的维修。

$T_{DD}$  —— 延误时间,即应进行维修,但由于供应或管理等原因而延误的停机时间(以小时计)。

运行次数  $N$ (等同于样本量  $n$ )按下式计算:

$$N = \frac{T_{TO} R_{DU}}{24 L_{AO}} \dots\dots\dots (A32)$$

式中:  $R_{DU}$  —— 日利用率;每天运行的小时数;

$L_{AO}$  —— 平均运行时间;每次运行的小时数。

每次运行的  $T_{CMD}$ 要求值:

$$\frac{T_{CMD}}{N} = \frac{24 L_{AO}}{R_{DU}} - \frac{24 A L_{AO}}{R_{DU}} - \frac{T_{NCMD}}{N} - \frac{T_{DD}}{N} \dots\dots\dots (A33)$$

上式等号左方为待验证的要求值;等号右方:第一、二项中的  $L_{AO}$ 及  $R_{DU}$ 为装备在使用中的规定值,后两项为与工作环境有关的参量,应在合同中提出,或承制方根据订购方的要求来提供;可用度  $A$  应在合同中明确规定。

示例:

若已知  $A=0.75$

$R_{DU}=2\text{h}/\text{每日}$

$L_{AO}=4\text{h}/\text{每次运行}$

$\frac{T_{NCMD}}{N}=0.2\text{h}/\text{每次运行}$

$\frac{T_{DD}}{N}=1\text{h}/\text{每次运行}$

则按(A33)式求得

$$\frac{T_{CMD}}{N} = \frac{24 \times 4}{2} - \frac{0.75 \times 24 \times 4}{2} - 0.2 - 1.0 = 10.8\text{h}/\text{每次运行}$$

### A7.3 样本量(运行次数)的计算

利用中心极限定理,所需的样本量  $n$  按下式求取:

$$n = \left( \frac{Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}}{M_1 - M_0} d \right)^2 \dots\dots\dots (A34)$$

式中:  $M_1$  —— 每次运行应计入的平均维修停机时间不可接受值;



$M_0$  —— 每次运行应计入的平均维修停机时间可接受值；

$d$  —— 每次运行应计入的维修停机时间的标准差。

如果求出的  $n$  小于 50, 则应取  $n$  等于 50。

示例:

假定: 要求  $M_0=2.0$ , 经协商确定  $\alpha=\beta=0.10$ ,  $M_1-M_0=0.30$ ,  $d=1.0$ 。

查表 A2:  $Z_{1-\alpha}=1.28$ ,  $Z_{1-\beta}=1.28$ 。

应用公式(A34):

$$n = \frac{(1.28+1.28)^2}{0.3^2} = 72.818; \text{ 归整为 } n=73。$$

#### A7.4 判决规则

试验时, 测量每次运行应计入的维修停机时间  $X_i$ , 直至结束时, 将总的应计入的停机时间除以总的运行次数, 以求得  $T_{CMD}$  的样本均值  $\bar{X}$  和样本标准差  $d$  (在  $d$  未知时):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (A35)$$

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2)} \dots\dots\dots (A36)$$

若

$$\bar{X} \leq M_0 + Z_{1-\alpha} d / \sqrt{n} \dots\dots\dots (A37)$$

则符合要求;

若

$$\bar{X} > M_0 + Z_{1-\alpha} d / \sqrt{n} \dots\dots\dots (A38)$$

则不符合要求;

若  $d$  未知, 则式中的  $d$  可以  $\hat{d}$  代替。

#### A8 试验方法 6: 每飞行小时的维修工时的检验

本试验方法适用于航空装备(含分系统)对每飞行小时的维修工时(工时率)的检验。

##### A8.1 工时率的计算

$$M_i' = \frac{M_{MH}}{T} \dots\dots\dots (A39)$$

式中:  $M_{MH}$  —— 总的应计入的维修工时;

$T$  —— 总的验证飞行小时。

##### A8.2 判决规则

若

$$M_i' \leq M_i + \Delta M_i, \dots\dots\dots (A40)$$

则符合要求。

式中:  $M_i$  —— 工时率的可接受值;

$\Delta M_i$  —— 工时率容许的最大偏差。此值由订购方按工时率可接受值的百分位数提出, 或

根据预期的验证持续时间及类似装备(或分系统)的先前经验加以确定。由于不规定风险率,故  $\Delta M_T$  的提出应当适当。

### A8.3 数据来源

为确定应计入的维修工时,通常应把正式的验证试验人员在研制阶段所完成的,并以书面文件所提供的全部维修作业工时的累积数和按合同规定验证飞行小时的总数作为试验数据的基础。若研制阶段达不到验证总时数,则应在使用中继续累积其试验时数。

### A8.4 机型的配置

工时率的要求必须与合同中提供的飞机机型配置相一致,如果验证阶段采用不同的机型进行飞行,则在计算总的应计入的维修工时中,增加适当的应计入工时。

## A9 试验方法 7:地面电子系统工时率的检验

本试验方法用于对地面电子系统采用故障模拟方式检验工时率。

### A9.1 使用条件

- 受试品(系统)的预计的总失效率  $\lambda_T$  已知;
- 修理作业样本量  $n$  应不小于 30;
- 承制方风险  $\alpha$  按合同规定;
- 工时率的可接受值  $\mu_R$  按合同规定。

### A9.2 工时率的计算

$$M_T = \frac{M_{MH}}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ci} + P_s}{T} \dots\dots\dots (A41)$$

式中:  $M_{MH}$  —— 总的应计入的维修工时;

$X_{ci}$  —— 第  $i$  项修理作业的工时;

$T$  —— 总工作时间  $T = n/\lambda_T$ ;

$n$  —— 修理作业样本量;

$P_s$  —— 在总工作时间  $T$  内所估计的维护保养工作的总工时。

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_{ci} + P_s}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ci} + P_s}{n/\lambda_T} = \lambda_T \cdot \left[ \bar{X}_c + \frac{P_s}{n} \right] \dots\dots\dots (A42)$$

上式除  $\bar{X}_c$  外,其它所有成分均可认为是常量(已知)。因此,当  $n$  较大时,由中心极限定理,可认为  $\bar{X}_c$  是具有方差  $\frac{d^2}{n}$  的正态分布的随机变量。

### A9.3 判决规则

若

$$\bar{X}_c \leq \frac{\mu_R}{\lambda_T} - \frac{P_s}{n} + Z_{1-\alpha} \frac{d}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (A43)$$

时,则符合要求。

若  $d$  未知,允许用样本标准差  $d$  代替。

## A10 试验方法 8:均值与最大修复时间的组合序贯试验

本试验方法用于对装备的平均修复时间与第 90 或 95 百分位的最大修复时间组合要求的维修性序贯试验。

#### A10.1 使用条件

- a. 均值不小于 10min、不大于 100min；
- b. 第 90 百分位的最大修复时间与均值之比不大于 2；第 95 百分位的最大修复时间与均值之比不大于 3；
- c. 修复时间服从对数正态分布；
- d. 风险  $\alpha$  和  $\beta$  不大于 0.16；
- e. 必须同时规定均值的不可接受值  $\mu_1$  和最大修复时间的不可接受值  $M_{\max ct}$ 。

分析表明,修复时间均值和第 90 或 95 百分位的最大修复时间的组合试验,与第 61 百分位的最大修复时间和第 90 或 95 百分位的最大修复时间的组合试验接受域基本相同。后者便于构造效果较好的组合序贯试验方案,并利用绘制的抽查特性曲线,得到抽样方案的接受概率,故可使用由后者构造的组合序贯试验方案。

#### A10.2 维修作业选择与序贯试验程序

根据附录 B(补充件)对序贯试验的要求,进行随机抽样试验。

试验中将观测到的大于不可接受值的维修作业次数进行累计,并同表(A4 和 A5 或 A6)中的判决数进行比较。

这些表是按“计数序贯抽样检验法”中的接受(拒绝)概率比制定出的,分别适用于均值(或第 61 百分位)和  $M_{\max ct}$ (第 90 百分位)或  $M_{\max ct}$ (第 95 百分位)的组合试验,并列出了接受和拒绝的判决标准。

当任一方案作出接受判决时,此试验方案即可中止,继续执行另一方案直到作出判决为止。若其中任一方案被拒绝,则装备都将被拒绝,只有两个方案(组合)均作出接受判决时,装备方被接受。

#### A10.3 抽查特性曲线

每种试验方案的抽查特性函数由下式求得:

$$L(p) = L\left\{1 - \Phi\left(\frac{\ln\mu - \theta}{\sigma}\right)\right\} \dots\dots\dots (A44)$$

式中: $L(p)$  —— 对应于每种试验方案维修时间不合格率  $p$  的接受概率;

$\mu$  —— 规定百分位的对数正态分布最大维修时间要求值;

$\frac{\ln\mu - \theta}{\sigma}$  —— 对数正态分布参量的标准正态分位数  $Z_p$ ;  $1 - \Phi(Z_p) = p$ 。

组合试验的接受概率等于两种试验方案(方案 A1 和方案 B1 或方案 B2)接受概率的乘积。

表 A4 关于试验方法 8 中方案 A1 的接受或拒绝判决标准

进行试验 的次数 n	超过 $M_{0.61}$ (或第 61 百分 位) 的观测次数		进行试验 的次数 n	超过 $M_{0.61}$ (或第 61 百分 位) 的观测次数	
	接 受	拒 绝		接 受	拒 绝
5	#	5			
6	#	6	46	10	18
7	#	6	47	10	18
8	#	6	48	11	18
9	#	7	49	11	18
10	#	7	50	11	19
11	#	7	51	11	19
12	0	7	52	12	19
13	0	8	53	12	20
14	0	8	54	12	20
15	1	8	55	13	20
16	1	9	56	13	21
17	1	9	57	13	21
18	2	9	58	14	21
19	2	9	59	14	21
20	2	10	60	14	22
21	2	10	61	14	22
22	3	10	62	15	22
23	3	11	63	15	23
24	3	11	64	15	23
25	4	11	65	16	23
26	4	12	66	16	24
27	4	12	67	16	24
28	5	12	68	17	24
29	5	12	69	17	24
30	5	13	70	17	25
31	5	13	71	17	25
32	6	13	72	18	25
33	6	14	73	18	26
34	6	14	74	18	26
35	7	14	75	19	26
36	7	15	76	19	27
37	7	15	77	19	27
38	8	15	78	20	27
39	8	15	79	20	27
40	8	16	80	20	28
41	8	16	81	20	28
42	9	16	82	21	28
43	9	17	83	21	29
44	9	17	84	21	29
45	10	17	85	22	29

续表 A4

进行试验 的次数 n	超过 $M_n$ (或第 61 百分 位)的观测次数		进行试验 的次数 n	超过 $M_n$ (或第 61 百分 位)的观测次数	
	接 受	拒 绝		接 受	拒 绝
86	22	30	96	25	30
87	22	30	97	26	30
88	23	30	98	27	30
89	23	30	99	28	30
90	23	30	100	29	30
91	23	30			
92	24	30			
93	24	30			
94	24	30			
95	25	30			

遇表中“#”的情形,尚不能判为接受。

表 A5 关于试验方法 8 中方案 B1 的接受或拒绝判决标准

进行试验 的次数 n	超过第 90 百分位的 $M_{maxct}$ 的观测次数		进行试验 的次数 n	超过第 90 百分位的 $M_{maxct}$ 的观测次数	
	接 受	拒 绝		接 受	拒 绝
			21	#	3
2	#	2	22	#	3
3	#	2	23	#	3
4	#	2	24	#	3
5	#	2	25	#	3
6	#	2	26	0	3
7	#	2	27	0	3
8	#	2	28	0	3
9	#	2	29	0	3
10	#	2	30	0	3
11	#	2	31	0	3
12	#	2	32	0	3
13	#	2	33	0	3
14	#	2	34	0	4
15	#	2	35	0	4
16	#	3	36	0	4
17	#	3	37	0	4
18	#	3	38	0	4
19	#	3	39	0	4
20	#	3	40	0	4

续表 A5

进行试验 的次数 n	超过第 90 百分位的 $M_{maxct}$ 的观测次数		进行试验 的次数 n	超过第 90 百分位的 $M_{maxct}$ 的观测次数	
	接 受	拒 绝		接 受	拒 绝
41	0	4	71	2	5
42	0	4	72	2	5
43	0	4	73	2	5
44	0	4	74	2	6
45	0	4	75	2	6
46	1	4	76	2	6
47	1	4	77	2	6
48	1	4	78	2	6
49	1	4	79	2	6
50	1	4	80	2	6
51	1	4	81	2	6
52	1	4	82	2	6
53	1	4	83	2	6
54	1	5	84	2	6
55	1	5	85	2	6
56	1	5	86	3	6
57	1	5	87	3	6
58	1	5	88	3	6
59	1	5	89	3	6
60	1	5	90	3	6
61	1	5	91	3	6
62	1	5	92	3	6
63	1	5	93	3	6
64	1	5	94	3	6
65	2	5	95	3	6
66	2	5	96	3	6
67	2	5	97	3	6
68	2	5	98	3	6
69	2	5	99	4	6
70	2	5	100	5	6

表 A6 关于试验方法 8 中方案 B2 的接受或拒绝判决标准

进行试验 的次数 n	超过第 95 百分位的 $M_{maxct}$ 的观测次数		进行试验 的次数 n	超过第 95 百分位的 $M_{maxct}$ 的观测次数	
	接 受	拒 绝		接 受	拒 绝
2	#	2	6	#	2
3	#	2	7	#	2
4	#	2	8	#	2
5	#	2	9	#	2
			10	#	2

续表 A6

进行试验 的次数 n	超过第 95 百分位的 $M_{maxct}$ 的观测次数		进行试验 的次数 n	超过第 95 百分位的 $M_{maxct}$ 的观测次数	
	接 受	拒 绝		接 受	拒 绝
11	#	2	51	#	3
12	#	2	52	#	3
13	#	2	53	#	3
14	#	2	54	0	3
15	#	2	55	0	3
16	#	2	56	0	3
17	#	2	57	0	3
18	#	2	58	0	3
19	#	2	59	0	3
20	#	2	60	0	3
21	#	2	61	0	3
22	#	2	62	0	3
23	#	2	63	0	3
24	#	2	64	0	3
25	#	2	65	0	3
26	#	2	66	0	3
27	#	2	67	0	3
28	#	3	68	0	3
29	#	3	69	0	3
30	#	3	70	0	3
31	#	3	71	0	3
32	#	3	72	0	3
33	#	3	73	0	3
34	#	3	74	0	3
35	#	3	75	0	3
36	#	3	76	0	3
37	#	3	77	0	3
38	#	3	78	0	3
39	#	3	79	0	3
40	#	3	80	0	3
41	#	3	81	0	3
42	#	3	82	0	3
43	#	3	83	0	3
44	#	3	84	0	3
45	#	3	85	0	3
46	#	3	86	0	3
47	#	3	87	0	3
48	#	3	88	0	3
49	#	3	89	0	3
50	#	3	90	0	3

续表 A6

进行试验 的次数 n	超过第 95 百分位的 $M_{\max ct}$ 的观测次数		进行试验 的次数 n	超过第 95 百分位的 $M_{\max ct}$ 的观测次数	
	接 受	拒 绝		接 受	拒 绝
91	0	3	96	1	3
92	0	3	97	1	3
93	0	3	98	1	3
94	1	3	99	1	3
95	1	3	100	2	3

#### A10.4 举例

现对某装备进行维修性组合序贯试验。该装备维修时间为对数正态分布,要求的维修时间均值  $\mu_1 = 30\text{min}$ ; 第 90 百分位最大值  $M_{\max ct} = 60\text{min}$ 。

实施步骤如下:

##### a. 进行均值检验(试验 $A_1$ )

根据方案  $A_1$  的要求,如果已知维修性较差,则应从试验 5 个样本开始,逐次试验并按表 A1 判决;如果已知维修性较好,则应至少从 12 个随机样本开始,逐次试验并按表 A1 判决。现设已知维修性较好,进行 12 次排除故障,测得维修时间观测值为:

20 14 21 30 20 21 18 16 26 16 28 19(min)

超过均值要求 30min 的观测次数为 0。查表 A4 可知,试验  $A_1$  符合要求。

如果 12 次中只有 1 次超过要求,则应继续再随机抽取 3 个样本进行检验。此 3 次观测值均未超过要求,则试验  $A_1$  仍判为合格。

##### b. 进行第 90 百分位最大修复时间的检验(试验 $B_1$ )

为了节约维修作业样本,将试验  $A_1$  的观测值,取作试验  $B_1$  的样本看待。根据方案  $B_1$  的要求为做出接受判决至少要 26 个样本,于是至少再随机抽取 14 个样本。设 14 个样本的观测值为:

19 43 54 12 18 13 26 10 60 52 30 10 31 28(min)。

现超过最大修复时间要求 60min 的次数为 0。查表 A5 可知,试验  $B_1$  符合要求。

c. 由于试验  $A_1$  和试验  $B_1$  均合格,故此项目组合序贯试验判决为合格。

#### A11 试验方法 9: 维修时间平均值和最大修复时间的检验

本试验方法用于维修性参数分别为平均修复时间(或恢复功能用的任务时间),平均预防性维修时间,平均维修时间等和最大修复时间的维修性检验。

##### A11.1 使用条件

a. 检验修复时间、预防性维修时间、维修时间的平均值时,其时间分布,方差都是未知的;检验最大修复时间时,修复时间服从对数正态分布,其方差未知。

b. 维修时间定量指标不可接受值  $\bar{M}_{ct}$  (或  $\bar{M}_{mct}$ )、 $\bar{M}_{pt}$ 、 $\bar{M}_{p/c}$ 、 $M_{\max ct}$  应按合同规定。 $M_{\max ct}$  的百分位应明确规定。



c. 只控制订购方风险  $\beta$ , 其值由合同规定。

**A11.2 试验与统计计算**

a. 确定样本量:

样本量最小为 30, 实际样本量可根据受试装备的种类, 经订购部门同意后决定; 检验预防性维修的参数时, 需另附加 30 个预防性维修作业样本。

b. 试验:

维修作业样本应根据附录 B 的程序选择。记录每一维修作业的持续时间。

c. 计算下列统计量:

$$\bar{X}_{ci} = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} X_{ci} \dots\dots\dots (A45)$$

$$\hat{d}_{ci}^2 = \frac{1}{n_c - 1} \sum_{i=1}^{n_c} (X_{ci} - \bar{X}_{ci})^2 \dots\dots\dots (A46)$$

$$\bar{X}_{pi} = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} X_{pi} \dots\dots\dots (A47)$$

$$\hat{d}_{pi}^2 = \frac{1}{n_p - 1} \sum_{i=1}^{n_p} (X_{pi} - \bar{X}_{pi})^2 \dots\dots\dots (A48)$$

$$\bar{X}_{p/c} = \frac{f_c \bar{X}_{ci} + f_p \bar{X}_{pi}}{f_c + f_p} \dots\dots\dots (A49)$$

$$\hat{d}_{p/c}^2 = \frac{n_p (f_c \hat{d}_{ci})^2 + n_c (f_p \hat{d}_{pi})^2}{n_p n_c (f_c + f_p)^2} \dots\dots\dots (A50)$$

$$X_{maxci} = \exp \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{n_c} \ln X_{ci}}{n_c} + \psi \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n_c} (\ln X_{ci})^2 - (\sum_{i=1}^{n_c} \ln X_{ci})^2 / n_c}{n_c - 1} \right]^{1/2} \right\} \dots\dots\dots (A51)$$

式中:  $\psi = Z_p - Z_p \left[ \frac{1}{n} + Z_p^2 / 2(n-1) \right]^{1/2}$ , 当 n 很大时, 可取  $\psi$  等于  $Z_p$ 。

**A11.3 判决规则**

对修复时间的平均值, 如果

$$\bar{X}_{ci} \leq \bar{M}_{ci} - Z_{1-\beta} \frac{\hat{d}_{ci}}{\sqrt{n_c}} \dots\dots\dots (A52)$$

则平均修复时间(或恢复功能用的任务时间)符合要求而接受, 否则拒绝。

对平均预防性维修时间, 如果

$$\bar{X}_{pi} \leq \bar{M}_{pi} - Z_{1-\beta} \frac{\hat{d}_{pi}}{\sqrt{n_p}} \dots\dots\dots (A53)$$

则平均预防性维修时间符合要求而接受, 否则拒绝。

对平均维修时间, 如果

$$\bar{X}_{p/c} \leq \bar{M}_{p/c} - Z_{1-\beta} \sqrt{\frac{n_p (f_c \hat{d}_{ci})^2 + n_c (f_p \hat{d}_{pi})^2}{n_p n_c (f_c + f_p)^2}} \dots\dots\dots (A54)$$

则平均维修时间符合要求而接受,否则拒绝。

对最大修复时间,如果

$$X_{maxct} \leq M_{maxct} \dots\dots\dots (A55)$$

则最大修复时间符合要求而接受,否则拒绝。

**A12 试验方法 10 最大维修时间和维修时间中值的检验**

本试验方法适用于维修性参数分别为最大修复时间  $M_{maxct}$ ,最大预防性维修时间  $M_{maxpt}$ ,或修复时间中值  $\bar{M}_{pt}$ ,预防性维修时间中值  $\bar{M}_{pt}$ 的检验。

**A12.1 使用条件**

- a. 维修时间的分布未知。
- b. 指标的可接受值按合同规定, $M_{maxct}$ 和  $M_{maxpt}$ 取 95 百分位。
- c. 只控制订购方风险, $\beta=0.25$  或  $0.10$  按合同规定。

**A12.2 试验与统计计算**

- a. 样本量特定为 50。
- b. 试验:  
维修作业样本应根据附录 B 中的程序选择。
- c. 统计 50 个维修作业中超过规定时间(按百分位要求)的作业次数  $r$ 。

**A12.3 判决规则**

若

$$r \leq C \dots\dots\dots (A56)$$

则认为该装备符合要求而接受,否则拒绝。其中可接受数  $C$  由表 A7 查得。

表 A7 可接受数  $C$ ——50 个维修作业中超过时间要求的作业允许次数

C β	百分位数	50 百分位 (验证中值)	95 百分位 (验证最大值)
	0.25		22
0.10		20	0

**A13 试验方法 11:预防性维修时间的专门试验**

本试验方法是用于检验平均预防性维修时间或最大预防性维修时间(要求完成全部预防性维修任务)的一种特定方法。

**A13.1 使用条件**

- a. 不考虑对维修时间分布的假设;
- b. 平均预防性维修时间的可接受值  $\bar{M}_{pt}$ 或最大预防性维修时间的百分位和可接受值  $M_{maxpt}$ 按合同规定。

**A13.2 试验与统计计算**

样本量应包含在规定的期限内的全部预防性维修作业,例如在其间的每次日维护,周维护,年预防性维修或其他类型的预防性维修作业的平均时间  $\bar{X}_{pj}$  以及每类维修作业的频数  $f_{pj}$ 。

a. 按下式计算平均预防性维修时间的样本均值  $X_{pt}$

$$X_{pt} = \frac{\sum_{j=1}^m f_{pj} X_{pj}}{\sum_{j=1}^m f_{pj}} \dots\dots\dots (A57)$$

式中:  $m$  ——全部预防性维修的类型数。

b. 按下法确定在规定百分位上实际完成预防性维修任务的最大预防性维修时间  $X_{maxpt}$

将已进行的  $n$  个预防性维修时间  $X_{pj}$  按最短到最长的量值顺序排列。统计在规定百分位上的  $X_{maxpt}$ 。例如规定百分位为 90,当  $n$  等于 35 时应选取排列在第 32(即  $90\% \times 35 = 31.5 \approx 32$ ) 位上的维修时间作为  $X_{maxpt}$ 。

**A13.3 判决规则**

对平均预防性维修时间,若

$$X_{pt} \leq M_{pt} \dots\dots\dots (A58)$$

则符合要求而接受,否则拒绝。

对最大预防性维修时间,若

$$X_{maxpt} \leq M_{maxpt} \dots\dots\dots (A59)$$

则符合要求而接受,否则拒绝。

**附录 B**  
**维修作业样本的选择与分配方法**  
(补充件)

**B1 维修作业样本的选择**

- a. 优先采用装备在规定条件下鉴定试验时发生的自然故障所进行的维修作业；
- b. 当自然故障所进行的维修作业次数不足以保证试验方法所需的样本量时,可用模拟故障所进行的维修作业次数补足；
- c. 为缩短试验时间,经承制方与订购方商定也可采用全部由模拟故障所进行的维修作业作为样本。采用模拟故障时,在什么部位,排除什么故障,仍应合理地分配到各有关的零部件上,以便验证整机的维修性。

**B2 维修作业样本的分配**

当采用自然故障所进行的维修作业次数满足规定的试验样本量时,就不需要进行分配。只有采用模拟故障所进行的维修作业才需进行分配。

维修作业样本的分配属于统计抽样的应用范围,是以装备的复杂性、可靠性为基础的。如果采用固定样本量试验法检验维修性指标,可运用按比例分层抽样法进行维修作业分配。如果采用可变样本量的序贯试验法进行检验,则应采用按比例简单随机抽样法。

**B2.1 维修作业按比例分层抽样的分配法(见表 B1)**

表 B1 以某雷达设备为例说明这种方法的应用,其步骤如下:

- a. 列出设备的组成单元(在表 B1 的第(1)栏)。该雷达包括天线、发射接收机、频率跟踪器、雷达位置控制器和偏移角指示器等；
- b. 将各单元细分到需维修的产品层次(见第(2)栏)。这一层可以是组件、模块、印制电路板或单个零件；
- c. 列出需维修的产品层次的维修作业(见第(3)栏)。根据具体结构可以是调试、拆卸、更换、修复等工作；
- d. 估计每项维修作业的维修时间  $M_{c_{ij}}$  或  $M_{p_{ij}}$ (见第(4)栏)。 $M_{c_{ij}}$  或  $M_{p_{ij}}$  根据工程分析、维修性预计或经验数据估计；
- e. 列出每项需维修的产品的故障率  $\lambda_i$  或预防性维修的频率  $f_i$ (见第(5)栏)。 $\lambda_i$  由可靠性试验或预计数据估计。 $f_i$  按预防性维修大纲规定。对不同的维修级别(如基层级、中继级、基地级)只列出相应维修级别所能排除的故障的故障率  $\lambda_i$  和所作预防性维修工作的频率  $f_i$ ；
- f. 列出需修产品层次中每项产品的数目  $Q_i$ (见第(6)栏)；
- g. 列出每项需修产品的工作时间的加权系数  $T_i$ 。对开机时全程工作的产品  $T_i$  等于 1；非全程工作的产品  $T_i$  等于其工作时间与全程工作时间之比(见第(7)栏)；

表 B1 维修作业样本的分配方法(示例)

某型雷达

组成单元	需维修的产品	维修作业	估计的维修时间 $M_{eti}$ (或 $M_{pi}$ ) (h)	故障率 (或频率) $\lambda_i$ (或 $f_i$ ) ( $1/10^6h$ )	产品数量 $Q_i$	工作时间系数 $T_i$	样本分组	各组的故障率 $Q_i\lambda_iT_i$	相对发生频率 $C_{pi} = \frac{Q_i\lambda_iT_i}{\sum Q_i\lambda_iT_i}$	固定样本 $n=50$		可变样本
										分配的预选样本量 $N_i = 4nC_{pi}$	分配的验证样本量 $n_i = nC_{pi}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
天线	天线	R/R(A)	1.0	105	1	1.0	1组, 作业 A	105	0.177	35	9	00-17
发射接收机	IF-A	R/R(A)	0.3	23	1	1.0	2组作业 A、B、C、D、E	106	0.179	36	9	18-35
	IF-B	R/R(B)	0.3	21	1	1.0		A=23	A=0.039	A=8	A=2	
	放大器	R/R(C)	0.4	21	1	1.0		B=21	B=0.035	B=7	B=2	
	调制器	R/R(D)	0.4	18	1	1.0		C=21	C=0.035	C=7	C=2	
	电源	R/R(E)	0.4	23	1	1.0		D=18	D=0.031	D=6	D=1	
	发射机	R/R(F)	1.2	10	1	1.0	3组作业 F	10	0.017	3	1	36-37
频率跟踪器	频率跟踪器	R/R(A)	0.6	400	1	0.7	4组作业 A	280	0.472	94	23	38-84
		R/C晶体(B)	1.1	20	4	0.7	5组作业 B	56	0.094	19	5	85-93
雷达位置控制器	雷达位置控制器	R/R(A)	0.5	35	1	0.8	6组作业 A	28	0.047	10	2	94-97
偏移角指示器	偏移角指示器	R/R(A)	0.5	10	1	0.8	7组作业 A	8	0.014	3	1	98-99
合计								593	1.00	200	50	

注:①R/R表示拆卸和更换;

②R/C表示检查和更换;

③本表仅供说明,表中数据均为假设;

④采用序贯试验法时要删去第(11)和(12)栏。

⑤当本表用于预防性维修作业分配时第(9)栏和第(10)栏应分别为  $Q_i f_i T_i$  和  $C_{pi} = \frac{Q_i f_i T_i}{\sum Q_i f_i T_i}$ 。

h. 维修作业样本分组。在同一单元之内将维修活动相似和估计维修时间接近(相差不大于25%)的维修作业样本并成一组,以便从中随机选择维修作业。在本例中因各维修作业估计维修时间差异较大,将发射接收机和频率跟踪器都分成两组(见第(8)栏)。

i. 计算各组的故障率( $Q_i\lambda_iT_i$ )(见第(9)栏)。

j. 计算各组的故障相对发生频率( $C_{pi}$ )(见第(10)栏)。

$$C_{pi} = \frac{Q_i\lambda_iT_i}{\sum_{i=1}^m Q_i\lambda_iT_i} \dots\dots\dots (B1)$$

式中： $m$  —— 分组数目。本例  $m=7$ 。

k. 计算分配预选维修作业样本量  $N_i$ 。总的预选样本量  $N$  一般为试验样本量  $n$  的 4 倍，确定预选样本是为正式试验提供足够的、可选择的样本源，保证抽样具有较高代表性。每个预选样本都应作上标记或编号以供选用。本例设固定试验样本量  $n$  为 50，则总的预选样本  $N$  为 200。将总的预选样本量  $N$  再分配到各组，得各组的预选样本量  $N_i$ 。（见第(11)栏）。

$$N_i = 4nC_{pi} \dots\dots\dots (B2)$$

l. 计算分配验证样本量  $n_i$ （见第(12)栏）。

$$n_i = nC_{pi} \dots\dots\dots (B3)$$

正式试验时所需的试验样本应从预选样本中选取。每个预选样本只用一次。

m. 当某一维修作业样本组内有两个以上的部件或模块时，可按上述方法在组内进行再分配，如本例第二组，见第(11)和(12)栏。

n. 若某项维修作业被分配给某特定单元，而该单元又包含若干部件或模块，且各部件和模块的故障模式又各不相同，则可随机选择其中一个部件或模块进行模拟故障的维修作业。

**B2.2 按比例简单随机抽样分配法**

当采用可变样本量的序贯试验法进行维修性试验时使用本分配法。

本法是根据故障相对发生频率  $C_{pi}$  乘 100 所确定的累积范围（见表 B1 第(13)栏），利用 00~99 均匀分布的随机数表，在整个维修作业样本中随机抽取。例如当随机数是 39 时，从表 B1 可见 39 在第四组累积范围 37~83 中。故从第四组频率跟踪器抽取，实施拆卸和更换频率跟踪器的维修作业。

**B3 故障模式的选择**

在模拟故障时，故障模式的选择，应根据故障模式和影响分析(FMEA)中确定的故障模式的相对发生频率乘 100 所确定的累积范围，进行随机抽样确定。见表 B2。

表 B2 故障模式选择(示例)

(1) 维修作业	(2) 故障模式	(3) 影 响	(4) 相对发生频率	(5) 累积范围
接收机拆卸 和更换	1. 元件超差	1. 噪声	0.20	00~19
	2. 元件短路或开路	2. 接收机不工作	0.35	20~54
	3. 调谐失灵	3. 不能改变频率	0.45	55~99

## 附录 C

### 测试性试验的一般方法

#### (补充件)

本附录规定了装备测试性的试验验证方法。

测试性试验一般应与维修性试验同时进行,也可以单独进行。

#### C1 定义

##### C1.1 故障检测率( $r_{FD}$ ) fault detection rate

在规定的时期内和规定的条件下测试设备能够检测出的故障数  $N_{FD}$  与故障总数  $N$  之比,以百分数表示。计算公式如下:

$$r_{FD} = \frac{N_{FD}}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (C1)$$

##### C1.2 故障隔离率( $r_{FIL}$ ) fault isolation rate

在规定的时期内由测试设备正确地隔离到小于或等于规定的可更换单元数的故障数  $N_{FIL}$  与同一时间内检测到的故障总数  $N_{FD}$  之比,以百分数表示。计算分式如下:

$$r_{FIL} = \frac{N_{FIL}}{N_{FD}} \times 100\% \dots\dots\dots (C2)$$

式中符号的下标中  $L$  代表隔离组内可更换单元的最大数,它反映对有故障的可更换单元的分辨能力。 $L=1$  表示能查出故障在哪一个可更换单元; $L=2$  表示能查出故障在哪一个或二个可更换单元中; $L=3$  则表示能查出故障在哪一个或二个或三个可更换单元中。余此类推。

公式(C2)对不同的  $L$  可以计算出不同的故障隔离率。对测试设备验证时,应明确在规定的  $L$  值时的故障隔离率  $r_{FIL}$ 。例如  $L=3$  时验证  $r_{FIL3}$ 。

##### C1.3 虚警率( $r_{FA}$ ) false alarm rate

在规定的时间内发生的虚警数与同一时间内故障指示总数之比。计算公式如下:

$$r_{FA} = \frac{N_{FA}}{N_F + N_{FA}} \dots\dots\dots (C3)$$

式中: $N_{FA}$  —— 在规定时间内虚警(无故障报为有故障)次数;

$N_F$  —— 在同一时间内正确故障报警次数。

#### C2 故障检测率和隔离率的试验验证

系统或分系统的故障检测和隔离能力通常采用模拟故障的方法进行验证。

##### C2.1 模拟故障的样本量 $n$

样本量参照维修性试验的样本量确定。

##### C2.2 模拟故障的分配和模拟

样本的分配和模拟故障与维修性试验中维修作业样本分配和故障模拟相同。

##### C2.3 试验程序

测试性与维修性试验同时进行,检测、隔离故障的时间应计入维修性试验的时间之中。单独进行时应专门记录。

C2.3.1 将要模拟的故障依次编号,按编号依次进行模拟故障的检测和隔离。

C2.3.2 将试验结果记入表 C1

表 C1 系统测试性试验统计表

故障号	故障检测			基层级隔离				中继级隔离				基地级隔离			
	2A	2B	2C	3A	3B	3C	3D	4A	4B	4C	4D	5A	5B	5C	5D
	能立即确定故障	有某种迹象,但不能立即确定故障	故障未被查出	机内测试	外部测试装置	手工测试	隔离内更单元数	机内测试	外部测试装置	手工测试	隔离内更单元数	机内测试	外部测试装置	手工测试	隔离内更单元数
1															
1															
1															
2															
2															
2															
⋮															
n-1															
n-1															
n-1															
n															
n															
n															

表 C1 的填写方法如下:

a. 针对每一个模拟的故障,在 2A~2C 的适当栏中划“√”。例如能立即确定故障,则在 2A 栏中划“√”。

b. 如果在基层级(或中继级、基地级)隔离时使用了机内的测试装置,则针对每一模拟故障,在表 C1 的 3A(4A 或 5A)栏内划“√”,并在相应的 3D(4D 或 5D)栏内标明机内测试的隔离组内可更换单元数。如果在基层级(中继级、基地级)隔离过程中没有或不能采用机内测试,则使相应的 3A(4A,5A)和 3D(4D,5D)栏保持空白。



c. 如果采用了外部专用测试装置来进行基层级(中继级、基地级)隔离,则针对每一模拟故障在 3B(4B,5B)栏划“√”,并在相应的 3D(4D,5D)栏内标明其隔离组内可更换单元数。如果没有用外部测试装置,则使相应的各栏保持空白。

d. 如果采用了手工方法(利用通用检测仪表)和规程规定的程序来进行基层级(中继级、基地级)隔离,则针对每一模拟故障在 3C(4C,5C)栏内划“√”;如果用了通用检测仪表使用规程未规定的程序,则在相应的 3C(4C,5C)栏内划“○”;以上两者都要在相应的 3D(4D,5D)栏内标明隔离组内可更换单元数 L。可能同一栏内既要划“√”又要划“○”,这说明为了实现对故障的唯一隔离(使  $L=1$ ),规程规定的程序和规程未规定的程序都是需要的。

## C2.4 数据的处理

C2.4.1 利用汇集在表 C1 上的试验结果,计算故障检测率  $r_{FD}$  和故障隔离率  $r_{FI}$  的点估计:

a. 故障检测率  $r_{FD}$

$$r_{FD} = \frac{N_{FD}}{n} \dots\dots\dots (C4)$$

式中:  $N_{FD}$  —— 在 2A 栏内的“√”数;

$n$  —— 模拟的故障总数。

b. 故障隔离率  $r_{FI}$

欲求机内测试或外部专用测试装置或手工检测的  $r_{FIL}$ ,只要找出相应栏内的隔离组内可更换单元数小于等于 L 的“√”数  $N_{FIL}$  除以检测出的故障总数  $N_{FD}$  即得。

$$r_{FIL} = \frac{N_{FIL}}{N_{FD}} \dots\dots\dots (C5)$$

例如求机内测试装置基层级的故障隔离率  $r_{FI3}$ ,应先在 3D 栏中找到隔离组内可更换单元数为 1,2,3 时相对应的 3A 栏中的“√”数  $N_{FI3}$ ,再除以检测出的故障总数  $N_{FD}$ 。即基层级机内测试的故障隔离率  $r_{FI3}$  为:

$$r_{FI3} = \frac{N_{FI3}}{N_{FD}} \dots\dots\dots (C6)$$

式中:  $N_{FI3}$  —— 隔离组内可更换单元为 1、2、3 时对应的 3A 栏中的“√”数之和。

同理利用表 C1 的统计结果可以求出外部专用测试装置或手工检测的基层级,中继级,基地级隔离的故障隔离率。当计算手工检测使用规程未规定程序的故障隔离率时,应统计相应的“○”数,作为  $N_{FIL}$  代入(C5)式进行计算。

C2.4.2 计算故障检测率  $r_{FD}$  和故障隔离率  $r_{FI}$  的区间估计

令  $r_{FD}$  或  $r_{FI}$  的真值为  $P$ ,点估计值为  $\hat{P}$ 。当  $0.1 < \hat{P} < 0.9$  时, $P$  的置信度为  $1-\alpha$  的单侧置信上限  $P_U$  或下限  $P_L$  为:

$$P_U = \hat{P} + Z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{\hat{P}(1-\hat{P})}{n}} \dots\dots\dots (C7)$$

$$P_L = \hat{P} - Z_{\alpha} \sqrt{\frac{\hat{P}(1-\hat{P})}{n}} \dots\dots\dots (C8)$$

当  $\hat{P} \leq 0.1$  或  $\hat{P} \geq 0.9$  时, $P$  的置信度为  $1-\alpha$  的单侧置信限分别为:

$$P_U = \begin{cases} \frac{2\lambda}{2n - K + \lambda} & \text{当 } \hat{P} \leq 0.1 \text{ 时} \\ \frac{n + K + 1 - \lambda'}{n + K + 1 + \lambda'} & \text{当 } \hat{P} \geq 0.9 \text{ 时} \end{cases} \dots\dots\dots (C9)$$

式中:

$$\lambda = \frac{1}{2} \chi_{1-\alpha}^2(2K+2);$$

$$\lambda' = \frac{1}{2} \chi_{\alpha}^2[2(n-K)];$$

$n$  —— 样本量;

$K$  ——  $n$  次试验中成功的次数;

$\chi_{\alpha}^2(\nu)$  —— 自由度为  $\nu$  的  $\chi^2$  分布的下侧  $\alpha$  分位数, 见 GB 4086.2-83。

$$P_L = \begin{cases} \frac{2\lambda}{2n - K + 1 + \lambda} & \text{当 } \hat{P} \leq 0.1 \text{ 时} \\ \frac{n + K - \lambda'}{n + K + \lambda'} & \text{当 } \hat{P} \geq 0.9 \text{ 时} \end{cases} \dots\dots\dots (C10)$$

式中:

$$\lambda = \frac{1}{2} \chi_{\alpha}^2(2K);$$

$$\lambda' = \frac{1}{2} \chi_{1-\alpha}^2[2(n-K)+2]。$$

### C2.5 判决规则

对  $P$  值越高系统测试性越好的情况(如故障检测率, 机内测试的故障隔离率), 按下式判决:

若  $P_L \geq P_s \dots\dots\dots (C11)$

则接受, 否则拒绝。

式中:  $P_s$  ——  $P$  的不可接受值。

对  $P$  值越小系统的测试性越好的情况(如手工检测的故障隔离率等), 按下式判决:

若  $P_U \leq P_s \dots\dots\dots (C12)$

则接受, 否则拒绝。

## C3 虚警率的验证

### C3.1 数据源

利用在订购方监督下由可靠性试验、性能试验得出的虚警数据对虚警率进行验证。为此应由订购方和承制方共同确定需利用的数据源。先由承制方确定这类数据的程序, 作为维修性验证的一部分提交订购方批准。

### C3.2 验证方法

首先由订购方和承制方商定验证过程中的系统累积工作时间  $T$ 。 $T$  应以工作性能试验时间为主, 尽可能利用可靠性试验期间的工作时间。一般虚警率的验证应在承制方可靠性验证结束时结束。

a. 计算预期的虚警率  $N_p$ 。

$$N_P = N_F \tau_{FAS} / (1 - \tau_{FAS}) \dots\dots\dots (C13)$$

式中： $\tau_{FAS}$  —— 规定的虚警率。

b. 试验测得正常故障报警次数  $N_F$  和虚警数  $N_{FA}$

c. 判决

按图 C1, 确定预期虚警数  $N_P$  与实测虚警数  $N_{FA}$  的交点。

若此交点落在接受区内, 则符合要求, 接受。

若此交点在落在拒绝区内, 则不符合要求, 拒绝。

上述判决的置信度可达 0.75。

当判明拒绝后, 承制方应查明并纠正故障检测和隔离系统中引起高虚警率的设计缺陷, 并向订购方报告分析和纠正的结果。如果承制方完成了必要的设计更改并提供了改进的证据, 则订购方可以接受该系统。在最后接受之前, 还需对虚警率进行有限的试验。这种试验可与系统的最后试验一起进行。

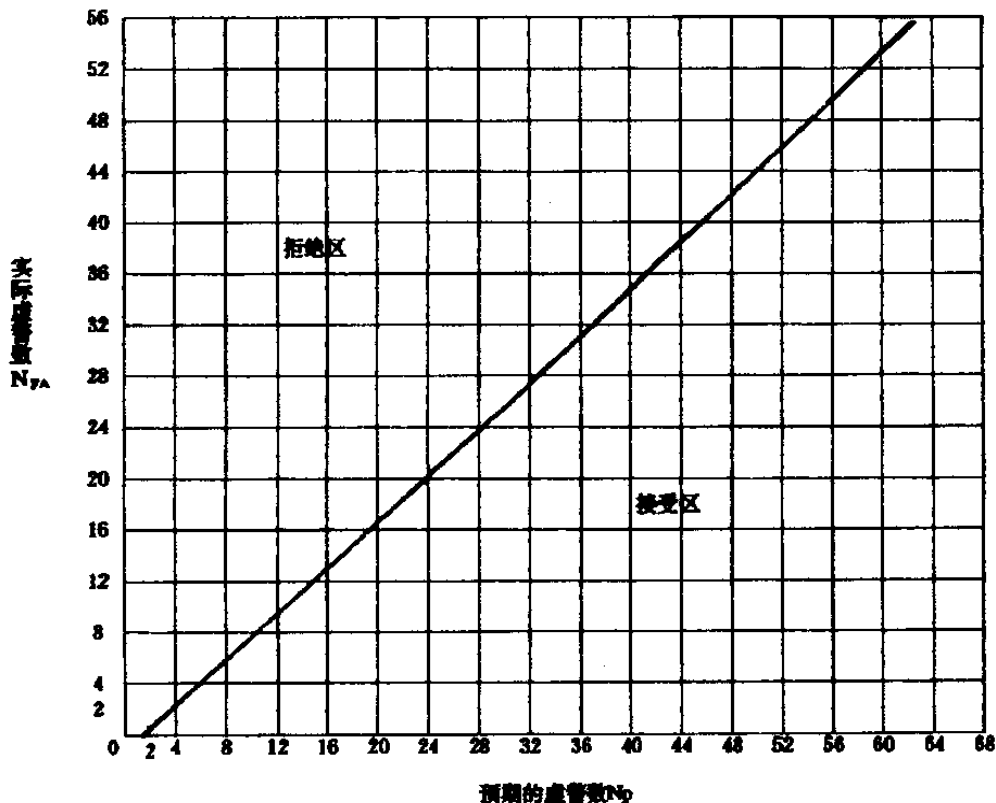


图 C1 虚警率的判决

**附录 D**  
**维修性参数估计方法**  
(参考件)

本附录提供装备维修性参数的点估计和区间估计的方法。

参数估计可利用相应的验证试验数据进行。如有必要,可单独做评估试验。

本附录中所使用的未加注明的符号均见附录 A(补充件)。

**D1 估计方法 1 装备维修时间的对数均值和对数方差的估计**

本估计方法用于求维修时间的对数均值和对数方差的点估计和区间估计。

**D1.1 使用条件**

维修时间服从对数正态分布。

**D1.2 试验方法**

根据具体情况适当选定维修作业样本量  $n$ , 并记录每次维修作业时间  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。

**D1.3 点估计**

$\theta$  和  $\sigma^2$  的点估计分别为:

$$\hat{\theta} = \ln \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln X_i \quad \dots \dots \dots (D1)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln X_i - \ln \bar{X})^2 \quad \dots \dots \dots (D2)$$

**D1.4 区间估计**

置信度为  $1-\alpha$  的  $\theta$  的两种区间估计分别为:

a. 单侧置信上限:  $\theta_U = \hat{\theta} + \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha}(n-1) \quad \dots \dots \dots (D3)$

置信区间:  $[0, \theta_U]$ 。

b. 双侧置信下、上限:

$$\theta_L = \hat{\theta} - \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2}(n-1), \theta_U = \hat{\theta} + \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2}(n-1) \quad \dots \dots \dots (D4)$$

置信区间:  $[\theta_L, \theta_U]$ 。

置信度为  $1-\alpha$  的  $\sigma^2$  的两种区间估计分别为

a. 单侧置信上限:  $\sigma_U^2 = \frac{(n-1)\hat{\sigma}^2}{\chi_{\alpha}^2(n-1)} \quad \dots \dots \dots (D5)$

置信区间:  $[0, \sigma_U^2]$ 。

b. 双侧置信下、上限:

$$\sigma_L^2 = \frac{(n-1)\hat{\sigma}^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)}, \sigma_U^2 = \frac{(n-1)\hat{\sigma}^2}{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)} \quad \dots \dots \dots (D6)$$

置信区间:  $[\sigma_L^2, \sigma_U^2]$ 。

**D1.5 举例**

设置信度  $1-\alpha=0.95$ , 求下列 34 次维修时间的对数均值和对数方差的估计。

26 14 21 30 70 69 20 21 18 65 16 35 26  
16 40 28 42 33 19 19 43 54 12 18 13 26  
10 50 21 31 42 30 46 24。

$\theta$  和  $\sigma^2$  的点估计分别为:

$$\hat{\theta} = \frac{1}{34} \sum_{i=1}^{34} \ln X_i = 3.30$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{33} \sum_{i=1}^{34} (\ln X_i - 3.30)^2 = 0.26$$

又  $t_{1-\alpha}(n-1) = t_{0.95}(33) = 1.6924$ ,  $t_{1-\alpha/2}(n-1) = t_{0.975}(33) = 2.0345$

代入(D3)和(D4)式得  $\theta$  的两种置信区间分别为:

- 单侧置信上限:  $\theta_U = 3.45$ , 置信区间  $[0, 3.45]$ 。
- 双侧置信下、上限:  $\theta_L = 3.12$ ,  $\theta_U = 3.48$ , 置信区间:  $[3.12, 3.48]$

又  $\chi_{\alpha}^2(n-1) = \chi_{0.05}^2(33) = 20.867$ ,

$$\chi_{\alpha/2}^2(n-1) = \chi_{0.025}^2(33) = 19.047,$$

$$\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1) = \chi_{0.975}^2(33) = 50.725,$$

$$33\sigma^2 = 33 \times 0.26 = 8.58.$$

代入(D5)和(D6)式得  $\sigma^2$  的两种置信区间分别为:

- 单侧置信上限:  $\sigma_U^2 = \frac{8.58}{20.867} = 0.41$ , 置信区间:  $[0, 0.41]$ 。
- 双侧置信下、上限:  $\sigma_L^2 = 0.17$ ,  $\sigma_U^2 = 0.45$ , 置信区间:  $[0.17, 0.45]$ 。

**D2 估计方法 2 维修时间平均值和方差的估计**

本估计方法用于求维修时间平均值  $\mu$  的点估计和区间估计及方差  $d^2$  的点估计。

**D2.1 使用条件**

试验 A: 维修时间服从对数正态分布。

试验 B: 维修时间的分布未知。

**D2.2 试验方法**

根据具体情况适当选定维修作业样本量  $n$ , 在试验 B 的区间估计中要求  $n \geq 30$ 。记录每次维修作业时间  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。

**D2.3 点估计**

$\mu$  的估计值取为:

$$\hat{\mu} = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \dots \quad (D7)$$

$$d^2 \text{ 的估计值取为} \quad \hat{d}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \dots \quad (D8)$$

**D2.4 区间估计**

$\mu$  的置信度为  $1-\alpha$  的两种区间估计分别为:

试验 A:

当  $\sigma^2$  已知,  $\theta$  未知时

a. 单侧置信上限:  $\mu_U = \exp(\ln \bar{X} + \frac{1}{2}\sigma^2 + \frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{1-\alpha}) \dots\dots\dots (D9)$

置信区间:  $[0, \mu_U]$ 。

b. 双侧置信下、上限:  $\mu_L = \exp(\ln \bar{X} + \frac{1}{2}\sigma^2 - \frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{1-\alpha/2}),$

$\mu_U = \exp(\ln \bar{X} + \frac{1}{2}\sigma^2 + \frac{\sigma}{\sqrt{n}}Z_{1-\alpha/2}) \dots\dots\dots (D10)$

置信区间:  $[\mu_L, \mu_U]$ 。

当  $\theta$  已知,  $\sigma^2$  未知时

a. 单侧置信上限:  $\mu_U = \exp[\theta + \frac{(n-1)\hat{\sigma}^2}{2\chi_{1-\alpha}^2(n-1)}] \dots\dots\dots (D11)$

置信区间:  $[0, \mu_U]$

b. 双侧置信下、上限:  $\mu_L = \exp[\theta + \frac{(n-1)\hat{\sigma}^2}{2\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)}],$

$\mu_U = \exp[\theta + \frac{(n-1)\hat{\sigma}^2}{2\chi_{\alpha/2}^2(n-1)}] \dots\dots\dots (D12)$

置信区间:  $[\mu_L, \mu_U]$ 。

(D11)和(D12)式中  $\hat{\sigma}^2$  由(D2)式计算。

试验 B:

a. 单侧置信上限:  $\mu_U = \bar{X} + \frac{d}{\sqrt{n}}Z_{1-\alpha} \dots\dots\dots (D13)$

置信区间:  $[0, \mu_U]$

b. 双侧置信下、上限:

$\mu_L = \bar{X} + \frac{d}{\sqrt{n}}Z_{\alpha/2}, \mu_U = \bar{X} + \frac{d}{\sqrt{n}}Z_{1-\alpha/2} \dots\dots\dots (D14)$

置信区间:  $[\mu_L, \mu_U]$

当  $d^2$  未知时, 可用  $\hat{d}^2$  代替。

## D2.5 举例

维修时间的数据见 D1.5。置信度  $1-\alpha=0.95$ , 求维修时间平均值  $\mu$  和方差  $d^2$  的估计值。

(1)  $\mu$  和  $d^2$  的点估计分别为:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{34} \sum_{i=1}^{34} X_i = 30.82 \quad \hat{d}^2 = \frac{1}{33} \sum_{i=1}^{34} (X_i - 30.82)^2 = 294.73$$

(2) 试验 A 同上的维修数据, 设其服从对数正态分布时。

假定已知  $\sigma^2=0.36$ , 求  $\mu$  的区间估计

因为  $\ln \bar{X} = 3.30$  又  $\sigma^2 = 0.36$ ,  $Z_{1-\alpha} = Z_{0.95} = 1.65$ ,  $Z_{1-\alpha/2} = Z_{0.975} = 1.96$ ,  $n = 34$ , 代入

(D9)和(D10)式得  $\mu$  的两种置信区间分别为:

a. 单侧置信上限:  $\mu_U = 38.47$ , 置信区间:  $[0, 38.47]$

b. 双侧置信下、上限： $\mu_L = 26.67, \mu_U = 39.65$ , 置信区间： $[26.67, 39.65]$

假定已知  $\theta = 3.5$ , 求  $\mu$  的区间估计

由 D1.5 知  $\hat{\sigma}^2 = 0.26$ 。

又  $\chi_{\alpha}^2(n-1) = \chi_{0.95}^2(33) = 20.867, \chi_{\alpha/2}^2(n-1) = \chi_{0.025}^2(33) = 19.047,$

$\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1) = \chi_{0.975}^2(33) = 50.725$

代入(D11)和(D12)式得  $\mu$  的两种置信区间分别为：

a. 单侧置信上限： $\mu_U = 40.56$ , 置信区间： $[0, 40.56]$ 。

b. 双侧置信下、上限： $\mu_L = 36.05, \mu_U = 41.47$ , 置信区间： $[36.05, 41.47]$ 。

(3) 试验 B 同上的维修时间数据, 设其分布未知时。

由于  $\bar{X} = 30.82, d^2 = 294.73, d = 17.17, Z_{1-\alpha} = Z_{0.95} = 1.65, Z_{1-\alpha/2} = Z_{0.975} = 1.96, n = 34$ , 代入(D13)和(D14)式得  $\mu$  的两种置信区间分别为：

a. 单侧置信上限： $\mu_U = 35.68$ , 置信区间： $[0, 35.68]$ 。

b. 双侧置信下、上限： $\mu_L = 25.05, \mu_U = 36.59$ , 置信区间： $[25.05, 36.59]$ 。

### D3 评估方法 3 规定百分位维修时间的估计

本评估方法用于求规定百分位维修时间的点估计和区间估计。

#### D3.1 使用条件

维修时间服从对数正态分布, 维修时间的对数均值和对数方差都未知。

#### D3.2 试验方法

根据具体情况适当选定维修作业样本量  $n$  (在区间估计时  $n \geq 30$ ), 并记录完成每次维修的时间  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。

#### D3.3 点估计

$X_p$  的点估计取为：

$$\hat{X}_p = \exp(\hat{\theta} + Z_p \hat{\sigma}) \dots\dots\dots (D15)$$

$\theta$  和  $\sigma$  分别由(D1)和(D2)式确定。

#### D3.4 区间估计

$X_p$  的置信度为  $1-\alpha$  的两种区间估计分别为：

a. 单侧置信上限：

$$X_{pU} = \exp\{\ln \bar{X} + (Z_p + Z_{1-\alpha}) \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{Z_p^2}{2(n-1)}} \sigma\} \dots\dots\dots (D16)$$

置信区间： $[0, X_{pU}]$ 。

b. 双侧置信下、上限：

$$X_{pL} = \exp\{\ln \bar{X} + (Z_p + Z_{\alpha/2}) \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{Z_p^2}{2(n-1)}} \sigma\},$$

$$X_{pU} = \exp\{\ln \bar{X} + (Z_p + Z_{1-\alpha/2}) \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{Z_p^2}{2(n-1)}} \sigma\} \dots\dots\dots (D17)$$

置信区间： $[X_{pL}, X_{pU}]$ 。

**D3.5 举例**

维修时间数据见 D1.5, 设置信度  $1-\alpha=0.95$ , 求维修度为 0.90 的最大维修时间估计值。

由 D1.5 知  $\ln \bar{X} = \hat{\theta} = 3.3$

又  $\hat{\sigma}^2 = 0.26$ , 即  $\hat{\sigma} = \sqrt{0.26} = 0.51$ ,

而  $Z_P = Z_{0.90} = 1.28$

代入(D15)式得  $X_{0.90}$  的点估计为

$$X_{0.90} = \exp(3.3 + 1.28 \times 0.51) = 52.1$$

另外  $Z_{1-\alpha} = Z_{0.95} = 1.65$ ,  $Z_{1-\alpha/2} = Z_{0.975} = 1.96$

代入(D16)和(D17)式得  $X_{0.90}$  的两种置信区间分别为:

(1) 单侧置信上限  $X_{PU} = 63.36$ , 置信区间:  $[0, 63.36]$ 。

(2) 双侧置信下、上限  $X_{PL} = 41.26$ ,  $X_{PU} = 65.73$ , 置信区间:  $[41.26, 65.73]$ 。

**D4 估计方法 4: 维修度的估计**

本估计方法用于求临界时间  $T$  的维修度  $q = P(X \leq T)$  的点估计和区间估计。

**D4.1 使用条件**

试验 A: 维修时间服从对数正态分布, 维修时间的对数均值及对数方差未知。

试验 B: 维修时间的分布未知。

**D4.2 试验方法**

样本量  $n$  酌情选定。

试验 A: 记录维修时间  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。

试验 B: 统计  $n$  次维修时间中不超过  $T$  的次数  $m$ 。

**D4.3 点估计**

在两类试验中,  $q$  的估计值分别为

试验 A:  $\hat{q} = \Phi(u)$  ..... (D18)

式中:  $u = \frac{\ln T - \hat{\theta}}{\hat{\sigma}}$  ..... (D19)

$\hat{\theta}$  和  $\hat{\sigma}$  分别由(D1)和(D2)式确定。

试验 B:  $\hat{q} = m/n$  ..... (D20)

**D4.4 区间估计**

在各类不同的试验中,  $q$  的置信度为  $1-\alpha$  的两种不同的区间估计分别为:

试验 A:

a. 单侧置信下限:  $q_L = \Phi\left(\frac{2n(n-1)u - f(1-\alpha)}{n[2(n-1) - Z_{1-\alpha}^2]}\right)$  ..... (D21)

置信区间:  $[q_L, 1]$ 。

b. 双侧置信下、上限:  $q_L = \Phi\left(\frac{2n(n-1)u - f(1-\alpha/2)}{n[2(n-1) - Z_{1-\alpha/2}^2]}\right)$   
 $q_U = \Phi\left(\frac{2n(n-1)u + f(1-\alpha/2)}{n[2(n-1) - Z_{1-\alpha/2}^2]}\right)$  ..... (D22)

置信区间:  $[q_L, q_U]$ 。



式中:  $f(\gamma) = Z_\gamma \sqrt{2n(n-1)[2(n-1) + nu^2 - Z_\gamma^2]} \dots\dots\dots (D23)$

试验 B:

a. 单侧置信下限:  $q_L = q(m, n, \alpha) \dots\dots\dots (D24)$

置信区间:  $[q_L, 1]$

b. 双侧置信下、上限:

$q_L = q(m, n, \alpha/2), q_U = q(m+1, n, 1 - \alpha/2) \dots\dots\dots (D25)$

置信区间:  $[q_L, q_U]$ 。

式中:  $q(m, n, \alpha) = [1 + \frac{n-m+1}{m} F_{1-\alpha}(2(n-m+1), 2m)]^{-1} \dots\dots\dots (D26)$

式中:  $F_{1-\alpha}(v_1, v_2)$  为 F 分布的分位数。q 的置信区间也可由 GB 4087.2 直接查出。

#### D4.5 举例

维修时间数据见 D1.5, 估计 50min 的维修度  $q = P(X \leq 50)$ , 取置信度  $1 - \alpha = 0.90$ 。

试验 A: 维修时间服从对数正态分布

因为由 D1.5 知  $\theta = 3.30, \sigma = 0.51$ ,

所以,  $u = \frac{\ln 50 - 3.3}{0.51} = 1.2$ 。

从而 q 的点估计为,  $q = \Phi(1.2) = 0.88$ 。

另外, 由 (D23) 式  $f(1-\alpha) = f(0.9) = Z_{0.9} \sqrt{2 \times 34 \times 33(2 \times 33 + 34 \times 1.2^2 - Z_{0.9}^2)} = 504.27$

$$\frac{2n(n-1)u - f(1-\alpha)}{2[2(n-1) - Z_{1-\alpha}^2]} = \frac{2 \times 34 \times 33 \times 1.2 - 504.27}{34(2 \times 33 - 1.28^2)} = 1.08。$$

代入 (D21) 式得,

单侧置信下限:  $q_L = \Phi(1.08) = 0.8599$ 。

单侧置信区间:  $[0.8599, 1]$ 。

由 (D23) 式  $f(1-\alpha/2) = f(0.95) = Z_{0.95} \sqrt{2 \times 34 \times 33(2 \times 33 + 34 \times 1.2^2 - Z_{0.95}^2)} = 502.22$

代入 (D22) 式, 可得

双侧置信下、上限:  $q_L = 0.8461, q_U = 0.9306$ 。

置信区间为  $[0.8461, 0.9306]$ 。

试验 B: 维修时间的分布未知

由于 D1.5 的 34 个数据中不超过 50 的次数  $m = 30$ , 所以 q 的点估计  $q = \frac{30}{34} = 0.88$

将  $m = 30, n = 34, d = 0.1$  代入 (D26) 式, 可得:

$$q(m, n, \alpha) = q(30, 34, 0.1) = [1 + \frac{5}{30} F_{0.9}(2 \times 5, 2 \times 30)]^{-1} = 0.78$$

$$q(m+1, n, 1-\alpha/2) = q(31, 34, 0.95) = [1 + \frac{4}{31} F_{0.05}(2 \times 4, 2 \times 31)]^{-1} = 0.96$$

$$q(m, n, \alpha/2) = q(30, 34, 0.05) = [1 + \frac{5}{30} F_{0.95}(2 \times 5, 2 \times 30)]^{-1} = 0.75$$

由 (D24) 和 (D25) 式得 q 的两种置信区间分别为:

a. 单侧置信下限:  $q_L = 0.78$ 。

置信区间： $(0.78, 1)$ 。

b. 双侧置信下、上限： $q_L = 0.75, q_U = 0.96$ 。

置信区间： $(0.75, 0.96)$ 。

**附 录 E**  
**维修作业记录表格示例**  
(参考件)

表 E1 修复性维修作业记录表(示例)      年    月    日

编号	单元、零部件 名称	自然或模拟 故障	工 具	排除故 障人数	诊断	修复	校验	合计	工 时	备 注	
					小                      时						
验证负责人意见											月 日
订购方意见											月 日

表 E2 预防性维修作业记录表(示例)      年    月    日

编号	单元、零部件 名称	作业名称	维修 级别	材 料 与备件	设 备 与工具	参加 人数	实际维 护时间	工 时	备 注		
验证负责人意见											月 日
订购方意见											月 日

**附加说明：**

本标准由中国人民解放军总后勤部军械供应部提出。

本标准由总后勤部军械供应部标准化办公室归口。

本标准由军械工程学院负责起草；军标中心、航天第一研究院、兵器标准化所、二炮第一研究所、装甲兵装备技术研究所、装甲兵工程学院、海军装备修理部、西安军代处、中船总可靠性中心、航空 301 所、空军第一研究所、空军第五研究所、电子标准化所参加起草。

本标准主要起草人：甘茂治、傅光甫、王林书、崔创福、周正伐、朱慧明、任 谦、张红春、虞聘全、张爱博、马绍民、鲍承昌、卢新玲、林典伦、冯显廷、何志波、林学栋。

计划项目代号：2JX04。