

doi: 10.7690/bgzdh.2014.03.009

基于分层随机抽样的技术保障装备维修性验证方法

张东, 吕艳梅, 韩宁

(军械技术研究所电子室, 石家庄 050000)

摘要: 针对装备技术水平日益复杂、后期维修保障难度日益加大的问题, 提出一种基于分层随机抽样的维修性试验样本选取方法。通过分层随机抽样来选择维修性试验样本的方法, 针对电子类技术保障装备的技术特点, 推导出试验样本数量的确定方法以及结论判定方法, 并以某型技术保障装备的维修性为例进行试验验证。结果表明: 该方法能提高样本的代表性和最终判定结论的准确性, 可对电子类技术保障装备维修性验证试验工作提供参考。

关键词: 维修性验证; 分层随机抽样; 技术保障装备

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Technical Support Equipment Maintainability Verification Method Based on Stratified Random Sampling

Zhang Dong, LYU Yanmei, Han Ning

(Electronic Lab, Ordnance Technology Research Institute, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Aiming at the complex equipment technical level, increasing difficulty in later stage maintenance, put forwards a support equipment maintainability verification methods based on stratified random sampling. Select maintenance test sampling by stratified random sampling. According to technical features of electronic technology support equipment, derivate ascertain method of test sampling numbers and evaluation judgment method. Take certain type technology support equipment maintenance as example to verify. The results show that the method can improve sampling representativeness and the final judgment results correctness. It is also a reference for electronic technology support equipment maintenance verification test.

Keywords: maintainability verification; stratified random sampling; technical support equipment

0 引言

维修性是现代武器装备的重要设计特性, 是影响技术保障装备维修保障能力的重要因素。维修性验证就是在自然故障或模拟故障条件下, 对装备的维修性指标值进行试验验证。根据试验中得到的数据, 统计计算维修性样本参数, 进而判断其维修性是否达到指标要求。维修性验证是一种严格的检验性试验评定, 通常在设计定型或生产定型前进行。笔者针对装备技术水平的日益复杂、后期维修保障难度的日益加大问题, 提出一种基于分层随机抽样的维修性试验样本选取方法。

1 基于分层随机抽样的试验样本选取方法

为保证试验的统计学决策的准确性, 所选择的修复性试验样本应尽量与实际维修作业一致。样本来源主要有 2 类: 一是装备在功能试验、可靠性试验或环境试验等各类工程试验过程中所实际发生的故障及其维修工作记录, 试验中优先选择自然故障作为样本; 二是人工模拟故障所产生的维修作业, 即当自然故障数量不能满足试验样本量的要求时, 通过人工模拟设置故障来产生试验样本。

维修性试验常用的样本抽样技术包括: 简单随机抽样、分层随机抽样、多阶段抽样、整群抽样、系统抽样和非概率抽样等。其中分层随机抽样方法有以下特点^[1]:

1) 适合于大子样的场合。一般当样本容量在 30 以上时称为大子样, 但在实践中通常将样本容量在 20 以上时也认为是大子样。

2) 试验对象总体的各构成部分结构或技术特性存在显著的不同, 尤其适用于总体各组成部分在主客观环境上差异较大的情况。

3) 分层随机抽样能提高整个总体指标估计值的精确度, 可将总体划分成各子层内部都很相似子总体, 层内各单元指标值差异小, 故子层内小样本得到的层均值代表性很强^[2]。

4) 可以同时对于总体进行参数估计。

基于以上特点, 在对某型技术保障装备进行维修性验证试验的过程中, 采用了分层随机抽样的方法进行试验样本选取。分层随机抽样方法的具体实施步骤包括:

1) 以系统(试验对象)各组成单元的主要技术特征作为第 1 次分层依据, 将试验对象划分为: 以

收稿日期: 2013-10-10; 修回日期: 2013-11-14

作者简介: 张东(1984—), 男, 河北人, 硕士, 工程师, 从事电子装备测试及维修研究。

电子和通信设备为主要组成单元的分系统和以电气、机械设备为主要组成单元的分系统。

2) 基于维修作业分析的结果进行第 2 次分层。维修作业分析所考虑的因素主要有: 维修作业对象的自身特点(维修作业可达性、可更换单元类型、数量)、维修作业实施环境(舱内作业还是外场作业)、故障诊断技术体制(BIT、ATE 还是人工诊断等)、维修作业技术特点等。例如, 以电子设备为主要组成单元的系统在基层级进行维修时, 维修作业的主要组成活动包括: 故障诊断、现场可更换单元拆卸更换和系统调试等, 其中故障诊断时间通常是影响维修时间的最大因素。这时就以故障诊断所采用的技术为主要因素进行维修作业的分层。对于以机械设备为主要组成单元的系统, 多采用人工故障诊断技术, 具有规定技术等级和经验的维修人员消耗在故障诊断上的时间差别不大, 而故障件拆卸更换时间是决定维修时间的主要因素, 应考虑以维修作业的实施环境、需要采用的维修设备、维修对象的可达性、维修对象的重量、紧固件的数量等作为维修作业分层的主要考虑因素^[3]。

3) 第 3 次分层通常以维修作业发生频率、维修耗时预计等为分层的主要考虑因素, 分组过程与国军标附表基本一致。笔者根据维修作业频率的差别来分层。

2 确定试验样本量

装备维修时间分布类型不同, 确定试验样本量的方法也不同。在确定了试验样本抽样的方法和原则之后, 应当根据试验对象的组成特点来确定试验样本量。根据以往经验和统计学规律, 电子类技术保障装备的维修时间分布一般符合正态分布^[4]。

设 X 为维修时间的随机变量, 且 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, μ 和 σ^2 分别为正态分布的均值和方差。 X_1, X_2, \dots, X_n 为随机变量 X 的一组样本值, 则 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ 是 μ 的极大似然估计值, 且 $\bar{X} \sim N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ 。这里又分 2 种情况讨论, σ 已知和 σ 未知^[5]。

1) σ 已知。

当 σ 已知时, $\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0,1)$ 。

令 $P\{|\bar{X} - \mu| \leq \delta\} = 1 - \alpha$, 即 $P\left\{\frac{|\bar{X} - \mu|}{\sigma/\sqrt{n}} \leq \frac{\delta}{\sigma/\sqrt{n}}\right\} = 1 - \alpha$,

可得:

$$\frac{\delta}{\sigma/\sqrt{n}} = \Phi(1 - \alpha/2) \tag{1}$$

其中 $\Phi(1 - \alpha/2)$ 为标准正态分布的 $1 - \alpha/2$ 分位点, 由式 (1) 解得:

$$n = \frac{\Phi^2(1 - \alpha/2)\sigma^2}{\delta^2} \tag{2}$$

2) 当 σ 为未知时。

当 σ 未知时, 不可能有单一固定的样本量来构成预定长度和已知置信度的置信区间, 确定样本量必须采用与 σ 已知时不同的准则。

令 $P\{|\bar{X} - \mu| \leq k\sigma\} = 1 - \alpha$

其中 k 为给定的控制置信区间的正数, 即:

$$P\left\{\frac{|\bar{X} - \mu|}{\sigma/\sqrt{n}} \leq k\sqrt{n}\right\} = 1 - \alpha \tag{3}$$

类似式 (1), 可解得:

$$n = \frac{\Phi^2(1 - \alpha/2)}{k^2} \tag{4}$$

3 试验结果判定

得到试验数据之后, 按照 GJB2027《维修性试验与评定》中的处理办法, 计算平均修复时间的单侧置信上限^[6], 如果实际的单侧置信上限小于或等于规定的时间要求, 则维修性定量指标满足要求, 否则, 不满足要求。具体的处理方法如下。

假设得到样本 X_1, X_2, \dots, X_n , 则维修时间的点估计值为

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \tag{5}$$

方差的点估计值为

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \tag{6}$$

式中: X_i 为随机变量 X 的第 i 个样本值; n 为试验样本量; \bar{X} 为样本均值; $\hat{\sigma}^2$ 为样本方差。

平均维修时间的单侧置信上限为

$$\bar{X}_u = \bar{X} + Z_{1-\alpha} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \tag{7}$$

式中: $Z_{1-\alpha}$ 为正态分布的 $1 - \alpha$ 分位点; α 为合同中约定的风险系数。

如果 $\bar{X}_u \leq \text{MTTR}$, 则判定维修性满足要求, 否则判定为不满足。

4 某型技术保障装备维修性试验

该型技术保障装备主要由底盘、方舱、供配电

系统和电子检测平台以通信平台等4部分构成。按照分层随机抽样方法的要求来选择试验样本，装备常见故障样本的分层结果如图1。

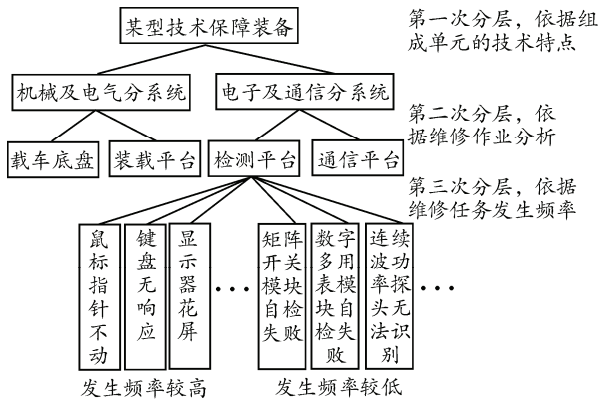


图1 某型技术保障装备维修作业样本分层

根据上述方法对试验样本集进行分类，然后按照合同要求的风险水平 α 代入式(4)计算出试验所需的样本量 n ，从各类样本集中选取相应个数的样本进行试验，记录维修时间，按照文中所述的公式对试验结果进行处理，即可得出试验结论。

(上接第18页)

$$\alpha = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

即我方无人机攻击目标分配如表4。

表4 目标分配

| 我方机号 | 目标一 | 目标二 |
|-------|-----|-----|
| UAV 1 | 2 | 6 |
| UAV 2 | 1 | 4 |
| UAV 3 | 3 | 5 |

与算例中的目标分配结果相同。

5 结论

针对当前无人机自主化程度不高、空战能力不强等特点，笔者在考虑空中敌机对我方无人机威胁的同时，增加了地面目标的威胁，选择火力不是很强的攻击目标，较全面地反映了当前态势下目标威胁的情况，并在基于态势的基础上进行了无人机协同作战的目标分配。算例和仿真分析表明两者的目标分配方案一致。该方法能够较好地解决当前无人机协同作战的目标分配问题，对发挥无人机编队优势，提高参战无人机的作战效能具有借鉴作用。

参考文献：

[1] Shima T, Schumacher C. Assignment of Cooperating UAVs to Simultaneous Task using Genetic Algorithms[C] //AIAA Guidance, Navigation and control Conference and Exhibit ,2005. USA: AIAA, 2005.

5 结束语

笔者首先给出了通过分层随机抽样来选择维修性试验样本的方法，提高了试验样本的可信度和判定结论的准确性；然后针对电子类技术保障装备的技术特点，推导了试验样本数量的确定公式以及结果判定方法，为电子类技术保障装备维修性验证试验工作提供了依据。

参考文献：

[1] 王伟龙,等. 维修性验证试验中样本问题[J]. 兵工自动化, 2007, 26(10): 75-76.
 [2] 张守玉,等. 基于随机加权法的装备平均维修时间验证研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2009, 20(3): 100-103.
 [3] 王江为. 装备维修器材保障系统模型[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(2): 80-82.
 [4] 于录,等. 维修性试验中试验样本量的确定方法的研究[J]. 战术导弹技术, 2008(3): 29-32.
 [5] 甘茂治,等. 军用装备维修工程学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 97-98.
 [6] 闫雪梅, 李建中, 孙丽萍. 基于序贯网图理论的维修性试验样本量确定方法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(12): 57-60.
 [7] 刘跃峰, 张安. 有人机/无人机编队协同任务分配方法[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(3): 584-588.
 [8] 彭辉, 沈林成, 朱华勇. 基于分布式模型预测控制的多UAV协同区域搜索[J]. 航空学报, 2010(3): 594-600.
 [9] 郭文强, 高晓光, 任佳, 等. 基于图模型自主优化的多无人机多目标攻击[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(3): 574-578.
 [10] 李春涛, 胡盛华. 基于动态逆的无人机飞行控制律设计[J]. 兵工自动化, 2012, 31(5): 1-4.
 [11] 曲长文, 何友, 马强. 应用多属性决策的威胁评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2000(5): 26-29.
 [12] 田涛, 王月星, 周德云. 基于多目标攻击目标选择与战术决策研究[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(4): 374-376.
 [13] 浦鹏, 张金春, 孙玺菁. 多机协同多目标分配战术决策研究[J]. 战术导弹技术, 2007, 28(2): 57-61.
 [14] 高文正, 丁全. 多机协同攻击中的多目标分配算法[J]. 电光与控制, 2003, 10(4): 10-18.
 [15] 董彦非, 冯惊雷, 张恒喜. 多机空战仿真协同战术决策方法[J]. 系统仿真学报, 2002(6): 723-725.
 [16] 张雪梅. 无人作战飞机攻击地面目标的研究与应用[D]. 西安: 西北工业大学硕士学位论文, 2007.
 [17] 王红伦. 多机空战模拟系统研究[M]. 西安: 西北工业大学, 1995: 79-122.
 [18] 朱宝鑫, 朱荣昌, 熊笑非. 作战飞机效能评估[M]. 2版. 北京: 航空工业出版社, 2006: 58-69.
 [19] 丁琳. 多无人作战飞机协同攻击多目标的研究与应用[D]. 西安: 西北工业大学硕士学位论文, 2005.
 [20] 谢希权, 李伟仁. 单机多目标攻击逻辑的对策型决策[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(7): 28-31.