

基于可靠度的导弹维修备件需求评估方法研究

杨博文¹, 刘飞², 刘侃¹

(1. 武汉军械士官学校 地空导弹教研室, 湖北 武汉 430075; 2. 73906 部队, 江苏 南京 210028)

摘要: 通过研究装备维修过程中器件的固有可靠性和维修性, 利用系统可靠性分析方法, 建立相应的需求数学模型, 最后给出了维修备件需求的评估方法。该方法真实反映了导弹维修备件需求规律, 且可以推广到其他类似装备备件的需求使用。

关键词: 可靠性; 维修备件; 评估方法

中图分类号: TP206+.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)07-0094-02

Assessment method of missile maintenance parts needs based on reliability

Yang Bowen¹, Liu Fei², Liu Kan¹

(1. Wuhan Ordnance N.C.O Academy of PLA, Wuhan 430075, China; 2. PLA Unit 73906, Nanjing 210028, China)

Abstract: Adopt a method of spare parts needs assessment is proposed by studying the intrinsic device reliability and maintainability, using of system reliability analysis, the demand for the establishment of the corresponding mathematical model. This method can truly reflect the needs of the missile maintenance spare parts, and can be extended to other similar equipment used for spare parts demand.

Key words: reliability; spare parts; assessment method

装备维修中备件是进行装备使用和实施维修等保障任务的重要物质基础, 其保障力度对于装备的战备完好性和战斗力有着直接的影响。随着装备复杂程度不断提高, 备件的品种和数量越来越多, 备件的保障费用在装备使用保障费用中的比例也越来越大。如何在有限的保障费用下制定出科学的备件保障计划成为各级维修保障部门非常重视的问题。本文以导弹的控制箱为例, 进行其维修备件需求研究。

1 常用的备件需求预计方法

现有的备件需求预计方法利用过去的经验和类似装备的需求, 规划未来给定时间内所需备件的预计数。常用的方法如下:

(1) 直接计算法

通过装备在一定的保障期内预期的维修任务以及每次维修预期的器件消耗量, 直接计算出某种备件的需求率。

(2) 比较法

利用相似装备、相似维修事件所消耗的某种备件量, 通过一些修正来估算其他装备某种备件的需求率。

(3) 统计预计法

分析历史数据, 找出备件消耗的规律, 建立相应的预测模型, 预计未来备件的需求率。

以上的备件需求预计方法中, 前两种没有全面考虑影响装备本身可靠性的因素, 往往使预计结果与实际需求相差较远。统计预计法的结果比较接近事实, 但是它需要积累大量准确的历史数据, 当缺乏历史数据的积累, 尤其是新装备、新器件无历史数据可查时, 这种方法就无法应用, 因此存在较大局限性。

2 装备可靠度分析评估方法

2.1 装备系统可靠性概述

装备系统可靠性是指在给定条件下和规定的时间内, 武器系统的设备、部件或系统完成特定功能的概率^[1]。武器系统的部件和设备是构成系统的要素, 它们的量值误差、性能的稳定性都是可靠性问题的研究对象。

可靠度用 $R(t)$ 表示, 它是设备或部件在一定环境、使用和维修的条件下, 在规定时间内完成应有技术指标或效果的概率, 用可靠度函数来描述。可靠度函数有多种分布类型, 从对装备系统可靠性定义分析可知, 使用

技术与方法

Technique and Method

指数分布的可靠度函数,最符合武器系统的实际情况,其可靠度函数表达式为:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

式中, λ 为系统故障率; t 为任务时间。

2.2 装备系统可靠度的评估研究分析

对考核装备系统的可靠性进行评估研究,首先应对子系统进行分解,其次分析哪些设备和部件又组成了子系统。组合方式不同,计算方法不同^[2-3]。针对系统内常见的组合方式,分别给出其可靠度的计算。

2.2.1 串联系统

串联系统是指组成系统的所有子系统中任一子系统发生故障都会导致整个系统失效的系统,如图1所示。

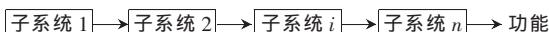


图1 串联系统模型

子系统的可靠度为 $R(t)$,根据概率的乘法法则,总可靠度为:

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} \quad (2)$$

由于各子系统的可靠度都小于1,故整个系统的可靠度会小于各子系统的可靠度,串联系统的可靠性等于各子系统可靠性的乘积。子系统越多,系统可靠性越低。

2.2.2 并联系统

并联系统是指系统由一系列平行工作的子系统组成,只有当各子系统均失效时系统才会失效,即各子系统同时发生故障的概率为各子系统故障度的乘积,如图2所示。



图2 并联系统模型

其可靠度为:

$$R(t) = 1 - (1 - R_1) \cdots (1 - R_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (3)$$

显然,并联系统的可靠度大于各子系统的可靠度。

2.2.3 混联系统

混联系统由串联系统和并联系统混合组成。目前,大部分军事装备大都采用此种设计方式。在重要子系统采用具有相同功能的部分,以避免一部分失效而使整个系统失效。求解时可先分解为串联和并联系统,分别求出子系统的可靠度,再求出总系统的可靠度。如图3所示。

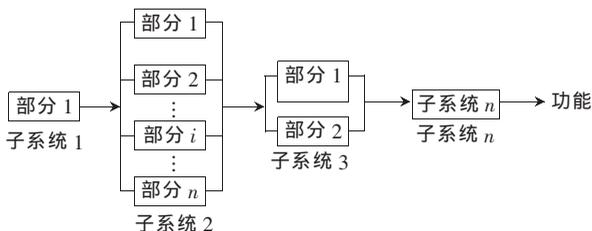


图3 混联系统模型

2.2.4 备份系统

系统中各工作子系统失效时,处于备份的另一子系统即行替换,该系统称为备份系统。与并联系统不同之处在于前者为备份过程,后者为同机工作。

在有 n 个子系统组成的系统中,1个子系统在工作,其他 $n-1$ 个在备用,且在备用期内不失效。当子系统可靠度 $R_i(t)$ 均一致,且子系统故障的发生是随机的,则系统可靠度为:

$$R(t) = [1 + \frac{\lambda t}{1!} + \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \cdots + \frac{(\lambda t)^n}{n!}] e^{-\lambda t} = \sum_{k=0}^n \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (4)$$

根据式(1)得到 $\lambda t = -\ln R_i(t)$,则:

$$R(t) = \sum_{k=0}^n \frac{[-\ln R_i(t)]^k}{k!} R_i(t) \quad (5)$$

对于有 m 个子系统同时工作,另有 n 个子系统备用时,当一个工作子系统失效后由 n 中的一个替换,则系统的可靠度为:

$$R(t) = \sum_{k=0}^n \frac{(m\lambda t)^k}{k!} e^{-m\lambda t} = \sum_{k=0}^n \frac{[-m\ln R_i(t)]^k}{k!} e^{-m\lambda t} \quad (6)$$

3 评估实例

某型反坦克导弹武器系统控制箱有5块电路板,分别是大小视场电路板、伺服光栏电路板、相敏整流电路板、点火时序电路板和微机组件电路板。控制箱工作过程为串联系统,其可靠度为:

$$R(t) = R_{\text{视场}} \times R_{\text{伺服}} \times R_{\text{相敏}} \times R_{\text{点火}} \times R_{\text{微机}}$$

若要计算整个控制箱维修需求的可靠度,首先应预测各个电路板的可靠度,而电路板可靠度的求得是在构成电路板的元器件或部件的各自可靠度的基础上。因此,必须统计得到各电路板的元器件和部件可靠度,或是维修过程中统计电路板的可靠度。一套控制箱在5年内经过多次维修保障,其各电路板的可靠度统计如表1所示。

表1 控制箱各电路板可靠度

部件名称	$R_{\text{视场}}$	$R_{\text{伺服}}$	$R_{\text{相敏}}$	$R_{\text{点火}}$	$R_{\text{微机}}$
可靠度	0.967	0.863	0.638	0.874	0.926

该控制箱的可靠度为:

$$R(t) = R_{\text{视场}} \times R_{\text{伺服}} \times R_{\text{相敏}} \times R_{\text{点火}} \times R_{\text{微机}} =$$

$$0.967 \times 0.863 \times 0.986 \times 0.874 \times 0.926 = 0.6659 = e^{-\lambda t}$$

若点火时序电路板有1块备用电路板,则大小视场电路转换为 $m=1, n=1$ 的备份系统,将其代入式(6)中,该电路板的可靠度为:

$$R'_{\text{点火}} = \sum_{k=0}^n \frac{[-m\ln R_i(t)]^k}{k!} e^{-m\ln R_i} = [1 + (\frac{\ln 0.874}{1})^1] e^{\ln 0.874} = 0.9917$$

若有2块备用电路板,则转换为 $m=1, n=2$ 的备份系统,该电路板的可靠度为:

$$R''_{\text{点火}} = \sum_{k=0}^n \frac{[-m\ln R_i(t)]^k}{k!} e^{-m\ln R_i} = [1 + (\frac{-\ln 0.9917}{1})^1 +$$

$$\left(\frac{-\ln 0.9917}{2!}\right)^2 e^{\ln 0.9917} = 1$$

公式说明点火时序电路板需要 2 块备用电路板,则满足该电路可靠度为 1。同理,当各电路板可靠度为 1 时,需要备件电路板如表 2 所示。很显然,当各个电路板可靠度为 1 时,整个控制箱的可靠度同样为 1。

表 2 一套控制箱维修时需要备用电路数量

电路板名称	大小视场	伺服光栏	相敏整流	点火时序	微机组件
备用板数量	1	2	3	2	1

一套控制箱在 5 年内维修使用时,需要的大小视场电路板、伺服光栏电路板、相敏整流电路板、点火时序电路板和微机组件电路板数量分别为 1、2、3、2 和 1。如果有 n 套控制箱维修使用,其需要备用为一套控制箱所需备用板数量的 n 倍。

将装备系统可靠度理论与具体装备维修保障结合,

解决了精确求解装备备件数量难的问题。通过研究装备维修过程中装备系统各个子系统的固有可靠性和维修性,利用系统可靠性分析方法,建立了相应的需求数学模型,并给出了维修备件需求的预计方法,所得到的备件需求率预计值较准确地反映了装备维修的实际情况。

参考文献

- [1] 潘吉安.可靠性维修性可用性评估手册[M].北京:国防工业出版社,1995.
- [2] 李源,杨建军.防空武器系统的可靠性评估方法研究[J].航空计算机,2007,37(6):42-44.
- [3] 黄轶州.GO 法在武器装备系统可靠性分析中的应用研究[D].石家庄:军械工程学院,2008.

(收稿日期:2010-10-09)

作者简介:

杨博文,男,1981 年生,讲师,主要研究方向:装备技术保障、武器系统运用工程研究。

电子技术应用
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.chinaAET.com