

一种考虑部件已工作时间的 随舰备件的计算模型

海军工程大学 动力工程学院 王佩高 金家善

摘 要 讨论了现有的随舰备件箱管理及随舰备件的计算方法,针对随舰备件管理中存在备件数量不合理的问题,提出了按备件型号分类携带的备件数量计算方法;由于已工作部件的剩余寿命影响着备件的需求,开发了能综合考虑多个相同部件、不同的已工作时间以及任务时间的计算随舰备件的数量模型,并以实例计算出在正态分布状态下系统中在不同任务期间所需要的备件数量,从而验证该模型符合实际需要。

1、问题的提出

当前,随舰备件箱是海军舰艇器材保障的方法之一。但在装备保障过程中,随舰备件箱既有优点也有不足。优点是:修理装备时,哪个装备有问题就打开那一种型号装备的备件箱,既方便又不混杂;缺点是:不同型号的装备中有相同的备件(如某型舰艇中滑油泵和燃油泵就有不少相同的备件),并且

有的备件由于装备的可靠性比较高而长期不用,这都对保障资源是一种浪费;并且对于舰艇等大型复杂设备,需要携带的备件种类较多,而储备空间又十分有限,过多用不上的备件占用了大量的空间;同时,在装备的使用过程中,装备的可靠性在不断的变化,因此备件的数量也应该随之改变。本文以舰艇装备的可靠性为依据,对备件箱中备

(7)验收试验

这是全综合测试,应由客户、用户或第三方进行。此阶段应报告测试结果、进行功能配置审核、建立软件新版本、准备软件文档的最终版本。

(8)交付

此阶段是将新的系统交给用户安装运行。供应商应进行实物配置审核、通知所有用户、进行文档版本备份、完成安装与训练。

7、舰船上软件保障的注意事项

(1)保障软件维护所需设备的种类和数量方面的计划应尽早制定,以保证当软件装备舰船时能有适用的保障设备;

(2)最好使保障设备与研制时所用的设备相同,保证维护软件时的硬件及软件环境与设计时的环境相同,这样可提高软件维护的质量;

(3)保障软件维护需要专门的人员,其数量和类型与装备寿命周期预计更换软件

的次数有关;同时由于软件技术日新月异,新的生成软件的方法和程序层出不穷,懂得和会操作这种软件的人员由于知识更新等因素会不断减少,因而,在规划人力资源时要充分的重视对人员的培训;

(4)保障软件所需的备件范围非常有限,通常包括传送和储存软件的介质,如磁带、磁盘、卡片或装有固件的芯片或板卡,需要注意由于技术革新对备件可能带来的影响。

总之,要想使软件及其所构成的系统符合使用和保障要求,在软件的开发过程中就要充分考虑这些问题。

8、结束语

涉及舰船上软件的保障问题往往包含在相关的硬件的讨论中,所以在提及保障要求时,经常将软件保障问题遗忘或忽视。然而,目前的舰船软件的使用越来越广泛,且越来越受到依赖,因此,在规划舰船的装备时,要充分考虑其软件的保障问题。■

件的数量加以研究。

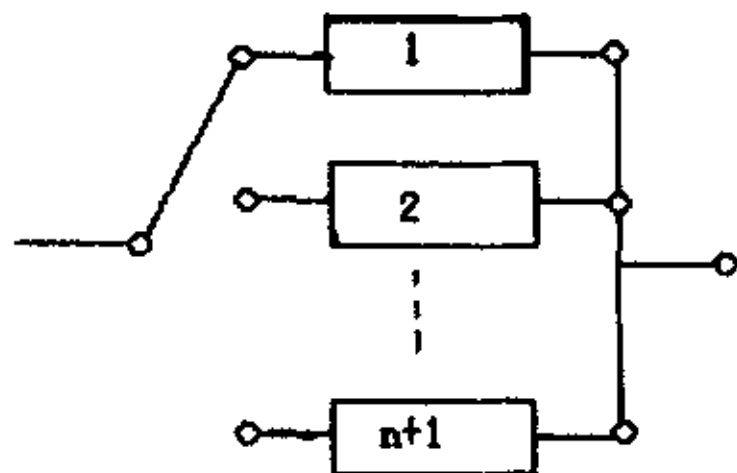


图1 非工作储备模型

2、随舰备件数量计算方法分析

2.1 不考虑装备的初始状态

2.1.1 当系统中只有单一的部件需要更换,可更换的备件有 n 个,则备件的更换过程可以看作一个冷储备系统。如图 1 所示。假设部件的寿命服从指数分布,即 $R(t) = e^{-\lambda t}$,根据冷储备系统的计算公式^[1],给出该系统的可靠度:

$$R_s(t) = \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda t)^i e^{-\lambda t}}{i!} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

式中: n —系统中非工作储备单元数;

λ —每个单元的故障率。

2.1.2 假设该装备中有 K 个同型号的部件,根据实际统计和理论分析,可以认为备件的需求服从泊松分布,如果不考虑装备的使用环境、管理水平和零部件对损坏的敏感性等因素,仅考虑故障率的影响,则备件需求可按下式计算^[2]:

$$P(X \leq S) = \sum_{x=0}^S \frac{(K\alpha t)^x e^{-K\alpha t}}{x!} \quad (2)$$

式中: $P(X \leq S)$ —备件可用概率,即备件满足率;

K —该型号装备中含有该类备件的数量;

α —该类备件的需求率,计算时用故障率 λ 来近似代替;

t —任务期间该备件的工作时间;

S —保障系统(备件箱)中含该备件的数量;

X —规定时间内所需的备件数量;

由公式(1)和(2)可以看到,在整个系统中,单部件的故障率为 λ ,而有 K 个相同的部

件时,其故障率为 $K\lambda$ 。而在串联系统中,如图 2 所示,串联系统的故障率等于各单元故障率之和^[2]。即 $\lambda_k = K\lambda$ 。从而公式(2)可以写为:

$$P(X \leq S) = \sum_{x=0}^S \frac{(\lambda_k t)^x e^{-\lambda_k t}}{x!} \quad (3)$$

式中: λ_k —串联系统的故障率。

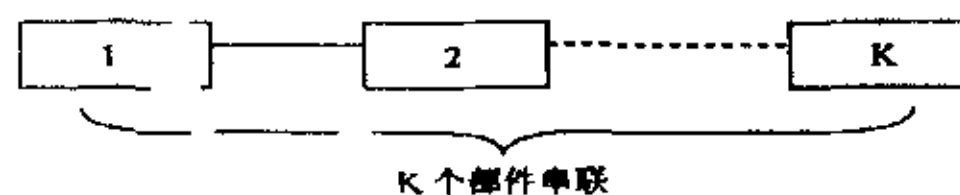


图2 同型号部件串联系统

2.1.3 考虑到不同的装备中含有相同元器件,它们的备件可以相互代替。如图 3 所示,系统中有 i 种型号的装备,每种装备中同型号的部件由 K_i 件,因此,公式(3)可改为:

$$P(X \leq S) = \sum_{x=0}^S \frac{(\sum_{i=1}^n K_i \alpha t)^x e^{-\sum_{i=1}^n K_i \alpha t}}{x!} = \sum_{x=0}^S \frac{(\lambda_m t)^x e^{-\lambda_m t}}{x!} \quad (4)$$

式中: K_i —同型号装备中含有该类备件的数量;

i —同类型装备种不同型号装备的数量;

λ_m —串联系统的故障率, $\lambda_m =$

$$\sum_{i=1}^n K_i \alpha$$



图3 不同装备中相同型号部件串联系统

2.2 考虑装备的初始状态

由于装备在运行过一段时间后,其部件的可靠性会或多或少的降低,因此,对装备的备件需求量的确定,就不能用公式(4)的计算方法来定。而是要根据装备元器件的剩余寿命来计算。

假设串联系统各部件的故障密度函数为 $f_j(t)$ ($j=1,2,\dots,m$),并且 m 个部件相互独立,各部件工作 t_0 后仍然能正常工作。则

它的剩余寿命分布函数分别为:

$$F_{j|t_{j0}}(t) = P(T_i - t_{j0} \leq t | T_i > t_{j0}) \\ = \frac{F_j(t + t_{j0}) - F_j(t_{j0})}{1 - F_j(t_{j0})} \quad (5)$$

从而,其密度函数分别为:

$$f_{j|t_{j0}}(t) = \frac{f_j(t + t_{j0})}{1 - F_j(t_{j0})} \quad (6)$$

则系统的故障率函数为:

$$\lambda_m(t) = \sum_{j=1}^m \lambda_j(t) = \sum_{j=1}^m \frac{f_j(t)}{1 - F_j(t)} \\ = \sum_{j=1}^m \frac{\frac{f_j(t + t_{j0})}{1 - F_j(t_{j0})}}{1 - \int \frac{f_j(t + t_{j0})}{1 - F_j(t_{j0})} dt} \quad (7)$$

由[1]可知,如果单元非指数分布,考虑到任务时间远远小于平均故障间隔时间,可以假设任务期间内的故障率不变,可用平均

故障率函数代替备件的需求率,代入(4)式,得:

$$P(X \leq S) = \sum_{x=0}^s \frac{(\overline{\lambda_m(t)}t)^x e^{-\overline{\lambda_m(t)}t}}{x!} \quad (8)$$

式中: $\overline{\lambda_m(t)} = \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} \lambda_m(t) dt$, 串联系统

在任务期间的平均故障率:

$\lambda_m(t)$ —该类备件串联系统的故障率函数,在此用来近似代替需求率 α ;

2.3 仿真应用举例

假设系统中有 4 个规格型号都相同部件分别属于两种不同的装备,原本相同的部件应该服从同样的寿命分布,由于工作条件的不同,因此寿命分布也不尽相同。在此假设分别服从 $N(1000, 200^2)$ 和 $N(1200, 200^2)$ 的正态分布,依据公式(5)到(7)进行仿真,如图 4-8 中所示。

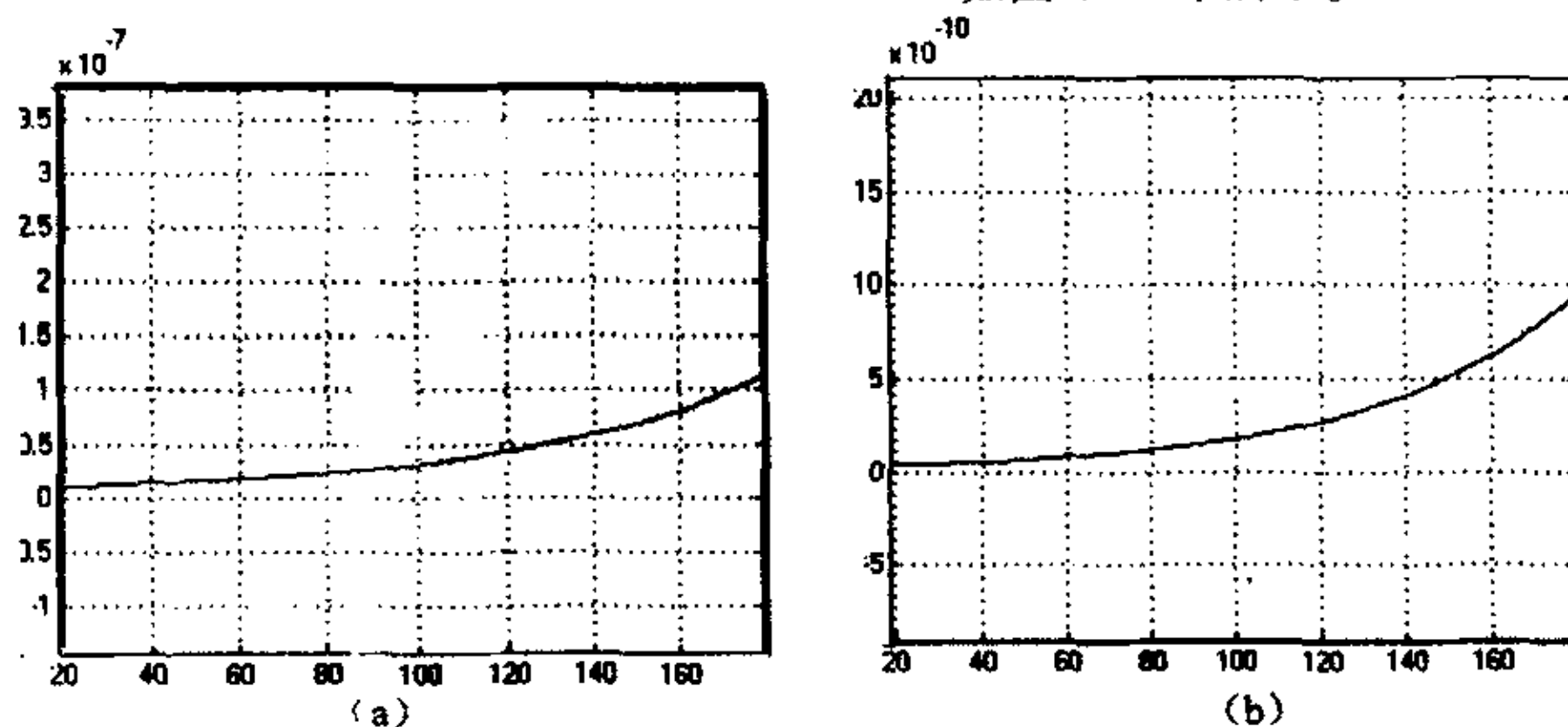


图 4 在单个部件全新情况下的平均故障率函数 a 为 $N(1000, 200^2)$, b 为 $N(1200, 200^2)$

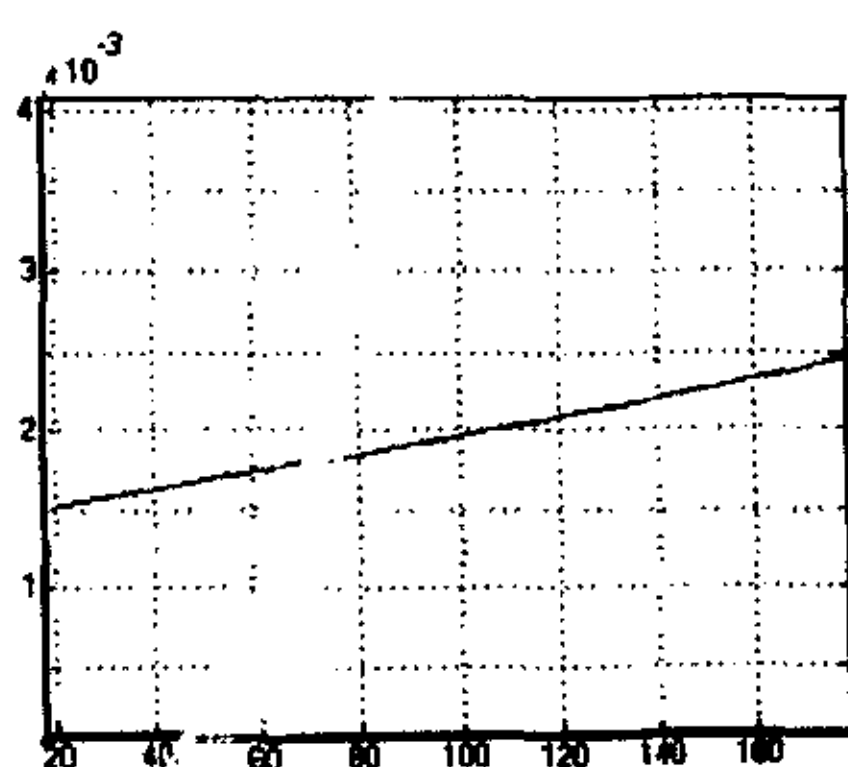


图 5 单部件服从 $N(1000, 200^2)$ 运行 800h 以后的平均故障率函数

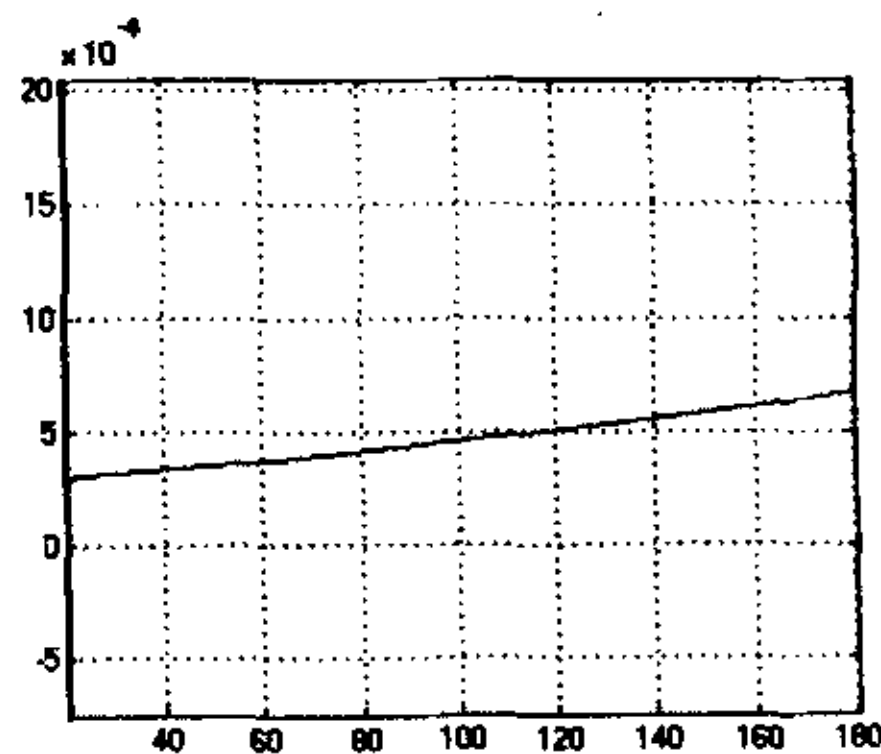


图 6 单部件服从 $N(1200, 200^2)$ 运行 800h 以后的平均故障率函数

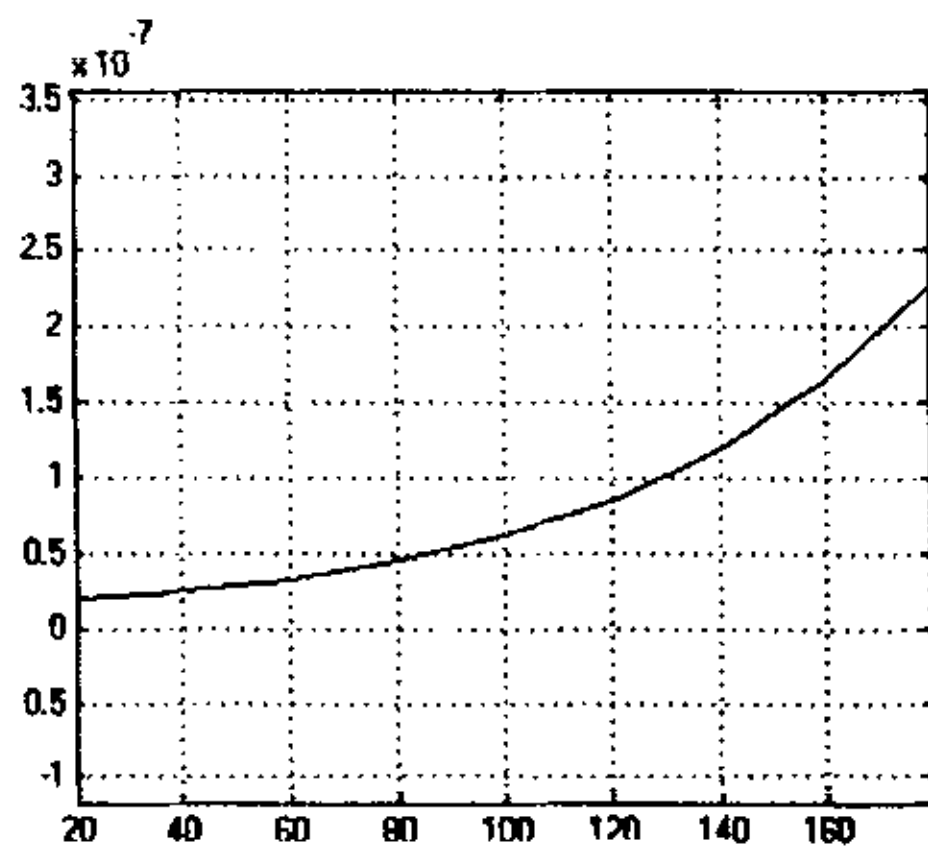


图7 在4个部件全新情况下串联系统的平均故障率函数

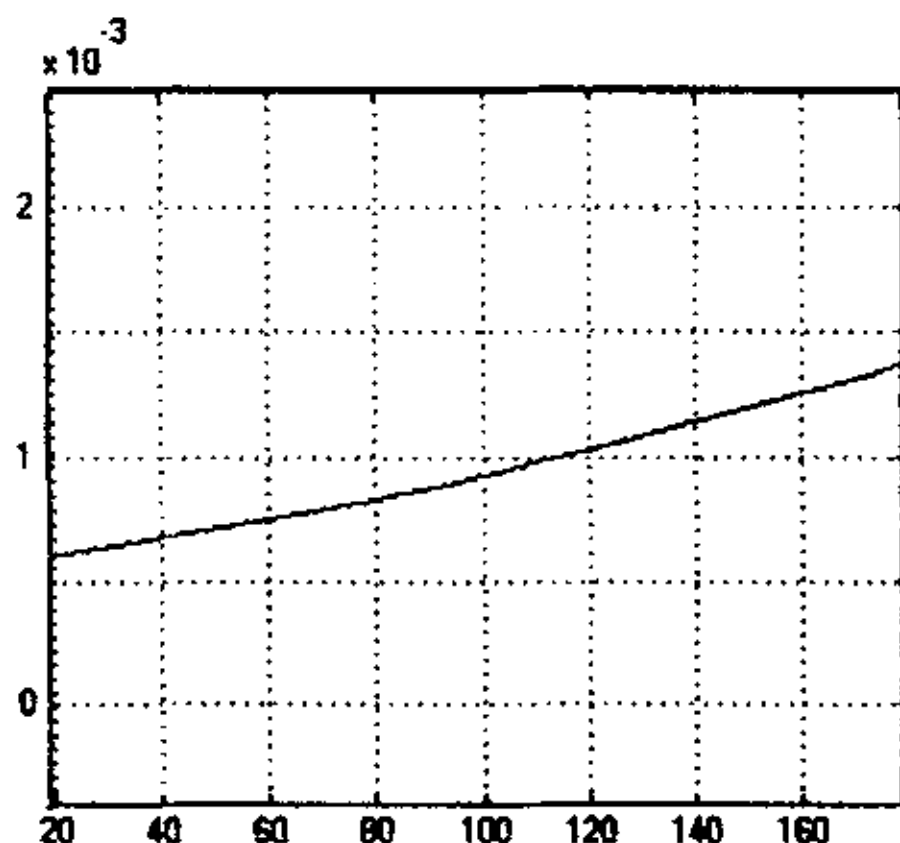


图7 在4部件中, $N(1200, 200^2)$ 运行800h和400h, $N(1000, 200^2)$ 运行600h和200h以后的串联系统的平均故障率函数

根据不同任务期间的平均故障率密度,我们可以得到在不同任务时间装备所需的备件数量。为了进一步说明需求率和备件数的关系,将不同需求率的备件数列于表1。

从表中可以看到,在较短的任务期间,装备可以不需要随舰配件,但在单部件经过长时间工作(剩余寿命很少)的情况下,装备是需要携带备件的。我们还可以看到,在综合考虑相同部件的随舰备件后,随舰备件的需求量可以大大减少;同时,在部件工作了一段时间后,随舰备件的需求量要比不考虑工作时间要多。通过本文提出的计算模型,应用计算要可以很容易的计算出装备在各种状态下的备件需求量。这样的计算结构

既考虑了装置的可靠性又减少备件占用的空间和降低了装备的全寿命周期的维修费用。

表1 不缺货概率 P 不小于 0.95 时
4种情况下的备件需求量

任务时间	80h	160h
各个单部件在全新情况下	0	0
各个单部件在工作 $N(1000, 200^2)$ 800h以后情况下	1	3
4个部件在全新情况下	0	0
4个部件各工作不同时间情况下	0	1

本文是在没有考虑系统中的冗余设备和设备的重要性的前提下展开讨论的,对于这两种情况,设备的备件需求计算需要另外的计算模型,我们将在以后的工作中加以研究。

3、结论

从以上实例中我们可以知道,只有更合理更准确的配备备件箱中的备件,才能达到费用少,而可靠性也不降低的效果。因此,我们可以考虑对备件箱进行一些改进:

同类型装备的相同型号的备件合装在一起;

在精确化、信息化备件管理的前提下,有的备件由于在某一任务时间段里可靠性比较高,几乎不发生故障,因此可以不配带;

根据舰艇装备工作时间的长短,把备件箱分为几个级别,如分为3级:

初级——舰艇刚出厂或装备刚经过修理;

中级——装备全寿命的中期;

高级——可靠性指标比较低或剩余寿命很少的情况下。

在不同级别的备件箱里装有不同的数量的备件,以便配给装备处于不同状态的舰艇使用。■