备件需求量计算模型分析

李金国[1]，丁红兵[2]
(1. 空军第二研究所；2. 空装军械部，北京 100085)

摘要：科学合理地解决备件配置问题一直为人们所瞩目，如何科学地确定备件数量，备件需求量计算模型的选择尤其重要。按照备件的不同种类选择不同的计算模型，是本文的主要观点。

关键词：备件；计算模型；失效分布
中图分类号：E911 **文献标识码**：A

Calculation Models of Spare Part Capacity

LI Jing-guo[1]，DING Hong-bing[2]
(1. Radar Institute，Beijing 100085，China)

Abstract：Scientific and proper ration of spares has been a significant problem，and it is especially important to properly determine ration of spares and select the correct model to calculate needed amount of spares. The main view of point in this paper is to select different model based on different kinds of spares.

Keywords：spare；calculating model；failure distribution

1 引 言

提高我军现有装备的战备完好性和作战能力，是新时期我军军械工作质量建设的重要内容。备件保障工作的效果对该项目工作具有举足轻重的影响。备件配置数量的多少不仅影响装备的维修甚至影响装备的战备完好率。因此谋求装备维修备件需求与备件配置的平衡，是装备建设发展不容忽视的一项重要研究课题，也是现阶段我军装备建设不容回避、亟待解决的问题。

备件配置数量的多少是用来衡量维修保障程度的。配置数量少，就很难实施及时保障，造成装备失修；配置数量多，则会造成有限的经费的浪费。据有关资料统计，我军的备件既有相当一部分严重积压，又有一部分严重缺货。因此，科学合理地解决备件的配置问题是一项摆在我们面前的迫切任务，而备件的种类繁多，其寿命分布类型也不尽相同，如何根据备件的不同种类以及不同寿命类型选择相应的计算模型值得研究。

2 备件的分类及其寿命分布类型

[收稿日期] 1999-09-01；[修回日期] 2000-03-22
[作者简介] 李金国 (1965-)，男，河北唐山人，空军第二研究所工程师，从事雷达可靠性、保障性研究工作。

2.1 备件的分类

备件的分类方法很多，根据本文的需要只按寿命和结构属性进行分类：

按寿命分布可分为指数寿命件或随机失效件、正态寿命件、威布尔寿命件等几种典型形式。

按结构属性可分为电子件备件：其寿命分布一般按指数分布处理；机械件备件：其寿命分布一般按正态分布处理，属限寿件。机械件按寿命长短又可进一步划分为全寿件(整个服役期内除执行规定的保养外，不需翻修)、单寿件（对应一个浴盆曲线盆底长度即翻修时限)、短寿件（基层级预防维修件也叫易损件备件)；其它件备件：如橡塑件、木材、布料、纸等，一般不假定寿命分布，其寿命按经验数据给出，也可以归入限寿件。

2.2 备件的寿命分布类型及其适用范围见表 1。

表 1 备件的寿命分布类型及其适用范围

分布类型	适 用 范 围
指数分布	具有恒定故障率的部件；在耗损故障前正常使用的复杂部件或由随机高应力导致故障的部件；在一段规定的使用期内出现的故障为弱耗损型的部件，也可视为指数分布。
正态分布	轮胎磨损、变压器、灯泡、电动绕组绝缘、半导体器件、硅晶体管、直升机旋翼叶片、飞机结构、金属疲劳等。
威布尔分布	滚动轴承、继电器、开关、断路器、某些电容器、电子管、磁控管、电位计、陀螺、电动机、航空发电机、蓄电池、机械液压恒速传动装置、液压泵、空气涡轮发动机、齿轮、活门、材料疲劳等。

3 备件的计算模型

根据备件的分类、备件寿命的分布类型及其适用范围，我们可以确定备件的计算模型，从而确定备件的数量。

3.1 指数寿命件备件计算模型

装备中某项零部件所需备件的数量可按下式计算：

某部件的备件数量按式（1）确定：

$$P\ (j \le s) = \sum_{j=0}^{s} \frac{(N\lambda t)^j}{j\ !} \exp\ (-N\lambda t) \tag{1}$$

式中：P —需要备件时能得到的概率，也称保障概率；

S —装备中某零部件所需备件数量；

N —装备中某零部件的机用件数；

λ —装备中某零部件的失效率，$10^{-6}/h$，(假定备件在存放期内无失效)；

t —可按不同情况分别处理，例如：

①对消耗件或不修复件等一次性备件，t 用初始保障期（也就是装备部署到部队的初期，一般为 1～2 年）内装备累积工作时数（h）；

②对可修复件又分两种情况：1）基层级更换，后送中继级或基地级修复，此时 t 按修理周转期（故障件拆除后，经过修理又返回的时间）内装备累积工作时数（h）计算，一般可以比初始保障期短很多，例如 3～6 个月。2）在基层级对该件进行修复，此时当满足该件的平均故障间隔时间远大于该件的平均修复时间时，t 即用平均修复时间代替修理周转期内装备累积工作时数。

当 $N\lambda t > 5$ 时，可以用正态分布近似计算，这时备件需求量的计算式简化为[2]：

$$S = N\lambda t + u_P\sqrt{N\lambda t} \tag{2}$$

式中 u_P 为正态分布分位数，可从 GB

4 086.1 统计分布数值表　正态分布中查出。与常用的 P 对应的 u_P 值如表 2 所示：

表 2　保障概率与正态分布分位数的关系表

P	0.9	0.95	0.99	0.995
u_P	1.28	1.65	2.33	3.09

3.2　正态寿命件备件计算模型

已知正态寿命件均值为 E，标准差为 σ，更换周期（部件故障后，能够得到该件的时间）为 t，需要备件时能得到备件的概率 P 条件下，单项件（装备中需用该部件，但只有一个）备件需求量 S_N[3]：

$$S_N = \frac{t}{E} + u_P\sqrt{\frac{\sigma^2 t}{E^3}} \tag{3}$$

利用式（3）可以很容易导出式（2），只需按正态分布近似计算指数寿命件备件的条件，将 $E=\frac{1}{N\lambda}$，$\sigma^2=\frac{1}{(N\lambda)^2}$ 代入式（3）即可。

3.3　部件寿命服从威布尔分布的备件数量的确定

已知：

①某部件寿命分布为 3 个参数威布尔分布：

$F(t)=1-\exp\{-[(t-t_0)/a]^{\beta}\}\quad t\geq t_0,a>0,\beta>0$

②机用数为 N 个（即一部装备中需用该部件 N 个）；

③需要该部件时，能得到它的概率为 P，并设此事件（即“部件故障时能得到满足”）服从正态分布；

④单部装备累积工作时间为 T；

⑤共有装备 M 部；

⑥该部件可修复，修复率为 μ（当 $\mu=0$ 时，表示该部件不可修）；

在单部装备累积工作时间 $\leq T$，备件满足率为 P，需为 M 部装备提供该备件的个数 S 的计算模型如下[2]：

$$S=\left[L\cdot(1-\mu)\cdot\frac{T}{m}+\mu_P\sqrt{L\cdot\frac{T}{m}(1-\mu)\left\{\mu+(1-\mu)\cdot\frac{\sigma^2}{m^2}\right\}}\right] \tag{4}$$

式中：

$L=M\cdot N$（见已知条件②和⑤）；

m，σ^2：与 $F(x)$ 所对应的均值和方差（见已知条件①）；

$$m=a\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)+t_0$$

$$\sigma^2=a^2\left[\Gamma\left(1+\frac{2}{\beta}\right)-\left(\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)\right)^2\right]$$

若 m，σ^2 未知，可用其估计值 $\hat{m}$，$\hat{\sigma}^2$ 代之；

u_P：查正态分布表，使 $\Phi(u_P)=P$（见已知条件③）；

μ：见已知条件⑥；

$[\ [x]]$：表示不小于 x 的最小整数。

4　模型举例

4.1　指数分布件计算举例

例 1　某型装备有同型闸流管 20 只，闸流管失效率 λ 为 10^{-4}次/h。在 2 年保证期内，每年累积工作 5 000 h。求在保障水平大于或等于 90 %条件下，需多少备件？

解：因闸流管是不修复件，属第一种情况，t 按保证期内累积工作时间计算，即 t = 2 ×5 000 = 10 000 h，N = 20 只，$\lambda=10^{-4}$次/h。将条件 $N\lambda t=20$，$P\geq0.9$，代入式（1）迭代运算后，得 $S=26$ 只，即需备 26 只闸流管。

例 2　按例 1 数据，用式（2）近似计算备件需求量

解：由例 1，$N\lambda t=20$，对应 $P=1-\beta=0.9$ 的 $u_P=1.28$

将数据代入式（2）得：

$S = 20 + 1.28\sqrt{20} = 25.72$

取整得 $S = 26$ **与例** 1 **相同。**

但是当 $N\lambda t$ **很小时，用式**（2）**计算误差较大，例** $N\lambda t = 0.15$，$\beta = 0.01$，**用式**（1）**计算** $S = 2$，**用式**（2）**计算** $S = 1.05$，**所以对于小** $N\lambda t$，**建议还是用式**（1）**计算。**

4.2 正态寿命件计算举例

已知某正态寿命件的平均寿命 $E = 10^3$h，**方差** $\sigma^2 = 200^2\text{h}^2$，**更换周期** $t = 2 \times 10^4$h，**求对应** $P = 0.95$（**相当式**（3）**中** $u_P = 1.65$）**时的备件数** S_N：

解：
$$S_N = \frac{2 \times 10^4}{10^3} + 1.65\sqrt{\frac{4 \times 10^4 \times 2 \times 10^4}{10^9}} = 21.5 \approx 22$$

即需要 22 **个备件。**

4.3 威布尔分布件计算举例

已知某雷达 $M = 5$ **部，某威布尔寿命件的机用数为** $N = 3$ **个，**$\gamma = 2$，$\alpha = 1\ 000$h，$t_0 = 0$，**单部雷达的工作时间** $T = 5\ 000$ h，**备件的修复率** $\mu = 0.90$，**备件的保障度** $P = 0.95$（**相当式**（4）**中** $u_P = 1.65$），**并设此事件**（**即"备件故障时能得到满足"**）**服从正态分布，求共需备件** S **多少？**

解：

查 Γ **函数值表**

$\gamma = 2$，$\Gamma^-(1 + 0.5) = 0.886\ 2$，$\Gamma^-(1 + 1) = 1.000$　$L = M \cdot N = 15$

则 $m = 1\ 000 \times 0.886\ 23 = 886.2$

$\sigma^2 = 1\ 000^2 \times [1 - 0.886\ 2^2] = 1\ 000^2 \times 0.214\ 6$ **代入式**（4）

$$S = \left[\left[15 \times (1 - 0.9) \times \frac{5\ 000}{886.2} + 1.65\sqrt{15 \times \frac{5\ 000}{886.2}(1 - 0.9)\left\{0.9 + (1 - 0.9) \times \frac{1\ 000^2 \times 0.2\ 146}{886.23^2}\right\}}\right]\right] = 14$$

即需要备件 14 **个。**

备件的计算模型只是一个抽象化的数学关系式，计算的准确程度取决于实际统计数据的精确度。为此，针对不同装备的不同部件的数据统计和调研工作依然很繁重。模型的验证可以采用解析方法与仿真方法对比进行。

[参考文献]

[1] 徐序森等. 装备维修工程学 [M]. 北京：国防工业出版社，1994.

[2] 杨秉喜，李金国等. 备件供应规划要求 [R] 北京：空军第二研究所，1998.

[3] GJBz 20 447，军用雷达备件概算 [S].