

[文章编号] 1009-1300(2003)02-0056-05

导弹武器装备备件数量计算方法研究

于 静, 吴进煌

(海军航空工程学院, 烟台 264001)

[摘 要] 基于导弹装备备件储存不合理的现状, 探讨了寿命服从指数分布、正态分布和威布尔分布的导弹部件的初始备件需求量, 以及可修复件和不可修复件的后续备件数量的计算方法. 讨论了备件保障和战备完好性的关系, 指出按战备完好性要求配置备件是科学、合理的方法.

[关键词] 导弹武器装备; 初始备件; 后续备件; 战备完好性

[中图分类号] TJ760.6⁺29

[文献标识码] A

1 引言

备件供应保障是武器装备综合保障十大要素之一, 是武器装备保障中影响费用和效能的重要工作. 备件是维修保障资源中不可缺少的组成部分, 是实施维修保障的重要物质基础. 在装备武器保障费用中有相当一部分是备件费用, 因此备件保障的状况直接影响武器装备的战略完好性和寿命周期费用. 加强备件保障是武器装备建设中不容忽视的一项重要内容.

导弹是大型复杂的高新技术产品, 是长期贮存的一次性使用的产品, 它是现代战争的主要作战武器之一, 其备件保障能力直接影响使用寿命、维护成本和能否按时发挥战斗效能. 导弹武器装备是由许许多多的部(组)件组成的, 在使用期内要经常对这些部(组)件进行修理和更换. 为了缩短导弹武器装备的修理间歇时间, 增加可正常工作的时间, 对那些易磨损易故障或因形状复杂、要求高、加工周期长且可能有故障的部(组)件, 储备合理数量的备件, 以备随时更换, 是提高导弹武器装备可用度和降低寿命周期费用的有效措施. 然而, 近几年收集的数据表明, 导弹武器装备备件储存的品种和数量还不是非常合理, 有些部(组)件价格昂贵, 但在武器装备全寿命过程中只损坏 1~2 次, 其备件却配备了不少, 不仅占用了大量的保障费用, 增加了备件库存管理费用, 而且当武器装备有所变更或其某些组元被淘汰时, 大量储存的备件就有成为“死货”的危险; 而对有些易发生故障的部(组)件, 其备件却配备的不够甚至没有配备, 一旦该件发生故障就容易导致武器装备无法使用, 也会造成巨大损失. 美军的一个材料也承认:“计算备件的需求量包含着风险和不确定因素, 虽然在预测需求量上采用了数学方法, 但目前某些备件储存过多或过少仍是常见的现象”. 备件保障的内容是确定装备使用与维修所需备件的数量和品种, 并研究它们的筹措、分配、供应、储运、调拨以及武器装备停产后的备件供应等问题, 要达到的目的是以最低的寿命周期费用实现武器装备的战备完好性.

[收稿日期] 2002-05-22

2 导弹武器装备备件的涵义及分类

导弹武器装备备件是指在导弹武器装备使用与维修中用于替换已损坏或即将损坏的零件、部(组)件的供应物资。备件既包括事先采购尚未使用的,又包括故障件修复后转入备用的。备件有大有小,可以是武器装备的各功能层次,也可以是武器装备本身,此时称为备用装备。从寿命周期过程来分,导弹武器装备备件通常可分为两种类型,即导弹武器装备的初始备件和后续备件。

导弹武器装备的初始备件是指从导弹武器装备部署到部队已具备商定的寿命周期保障能力期间,为基层级和中继级提供初始保障能力而采办的备件,也就是在武器装备部署初期(1~2年),用于保持和恢复其设计性能所必需的不可修复件和可修复件。不可修复件包括消耗性备件和部分易损坏备件,可修复件主要是提供修理周转的可更换件。该类备件是随导弹武器装备一起交付用户的备件,其费用计入装备成本。初始备件是从承制方那里采购(或者是承制方制造的或者是承制方从转承制方、供应方得到的)。

导弹武器装备的后续备件是指部队已具备商定的寿命周期保障能力后,补充基层级、中继级库存所需的备件,也就是在武器装备稳定使用阶段为恢复其设计性能所必需的可修复件和不可修复件。它以满足使用方一、二级维修所需的备件为主,包括修理周转的可更换件和修理所需的消耗备件。该类备件是承制方向使用方推荐的订货备件,作为已消耗掉的初始备件的补充件,由使用方选择订货,其费用不计入导弹武器装备成本。在武器装备的整个寿命周期内应对后续备件不断地进行估算,及时调整。

3 导弹武器装备初始备件的计算

初始备件的配置是导弹武器装备备件配置的一个重要阶段,是新武器装备投入部队使用所必需的,是确定后续备件的重要依据和基础。初始备件的确定工作由承制方会同使用方共同实施,主要任务是确定各维修级别所需备件的清单,清单中应包括备件的名称、备件数量、备件库存量等^[1]。初始备件的配置一般保证1~2年的初期使用要求,因为主要备件从订购到收到的周期一般为1~2年。如果初期库存量不足不仅影响使用,还将使战斗力的形成时间推延,是十分不利的。确定备件数量首先要建立备件计算模型。20世纪70年代美军曾下达指令必需采用数学模型确定备件的数量,可见数学模型在确定备件数量时的重要作用。目前建立的计算备件数量的数学模型有:指数分布模型、正态分布模型、威布尔分布模型和二项分布模型^[2]。

3.1 指数寿命件备件需求量计算

据统计,寿命服从指数分布的部件约占全部部件的90%,下面给出指数寿命件备件初始需求量的计算模型。

若武器装备中某部件的寿命服从指数分布,该部件的备件需求量可按下式确定:

$$P = \sum_{j=0}^s \left[\frac{(n-t)^j}{j!} \exp(-n-t) \right] \quad (1)$$

式中: P 为武器装备中某部件的备件保障概率; j 为递增变量,从0开始逐一递增至某一 s 值,使得式(1)右边的值 P ; s 为所需备件数量; n 为武器装备中该部件的件数; t 为该部件的失效率(假定备件在存放期内无失效); t 为武器装备累积工作时数,对不同情况分别处理:

(1) 对不可修复件, t 取初始保障期(1 ~ 2 年) 内装备累积工作时数(h) 或备件更新周期内装备累积工作时数(h); (2) 对可修复件又分两种情况: 基层级更换后, 送中继级或基地级修复, 此时 t 取修理周转期内装备累积工作时数(h); 在基层级对该部件进行修复, 此时当满足该部件的平均故障间隔时间(MTBF) 远大于该部件的平均修复时间(MTTR) 时, 在至少准备一个供换件修理的情况下, t 取该件的 MTTR(h)。

当 $nt > 5$ 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

$$S = nt + u_p \sqrt{nt} \tag{2}$$

式中 u_p 为正态分布分位数, 可从 GB4086.1 统计分布数值表正态分布中查出. 与常用的备件保障概率 P 对应的 u_p 值如表 1 所示.

表 1

P	0.90	0.95	0.99	0.995
u_p	1.28	1.65	2.33	3.09

3.2 正态寿命件备件需求量计算

若已知正态寿命件的均值 E 、标准差 σ 、更换周期 t (如果是磨损寿命, t 用工作时数计算; 如果是腐蚀、老化寿命, t 可以用日历时数近似), 则在满足备件保障概率 P 的条件下, 该备件的需求量 S 为

$$S = \frac{t}{E} + u_p \sqrt{\frac{2t}{E^3}} \tag{3}$$

式中: S 为所需备件数; u_p 为正态分布分位数, 可从 GB4086.1 统计分布数值表正态分布中查出, 见表 1.

从式(3) 很容易导出式(2), 只需按正态分布近似计算指数分布的条件, 将 $E = 1/n$, $\sigma^2 = 1/(n)^2$ 代入式(3) 即可.

3.3 威布尔寿命件备件需求量计算

若已知威布尔寿命件的形状参数为 k , 尺度参数为 E , 位置参数为 θ , 更换周期为 t , 则在满足备件保障概率 P 的条件下, 该备件的需求量 S 为

$$S = \left[\frac{u_p k}{2} + \sqrt{\left(\frac{u_p k}{2} \right)^2 + \frac{t}{E}} \right]^2 \tag{4}$$

式中: S 为所需备件数; u_p 为正态分布分位数, 可从 GB4086.1 统计分布数值表正态分布中查出, 常用的见表 1; E 为平均寿命, $E = \theta \times (1 + 1/k)$ (假定位置参数 $\theta = 0$); k 为变异性数, $k = \sqrt{\text{Var}(\theta)} / E$. 对指数分布, $k = 1$, 对威布尔分布, $k = \sqrt{\frac{(1 + 2/k)}{(1 + 1/k)}} - 1$.

根据现场数据求威布尔分布参数(k, E) 的方法及分布表见 IEC61649—1997 威布尔分布拟合优度检验及置信区间、置信下限.

4 导弹武器装备后续需求量的计算

后续备件的配置主要是在初始备件的基础上, 根据导弹武器装备自身情况、所处的环境条件等, 有针对性地对需要量大的备件进行补充.

4.1 不可修复件的计算

对不可修复件, 确定备件数量的计算方法如下:

$$S = \frac{N \cdot n \cdot T_{OP}}{T_{BR}(1 - \mu)} \quad (5)$$

式中： S 为所需备件数； N 为武器装备总数； n 为每套武器装备上该部件的件数； T_{OP} 为供应保障计划时效期； T_{BR} 为该部件的平均维修更换间隔时间， $T_{BR} = (\frac{1}{T_{BR_{pt}}} + \frac{1}{T_{BR_{ct}}})^{-1}$ ； $T_{BR_{pt}}$ 为预防性维修更换间隔时间； $T_{BR_{ct}}$ 为修复性维修更换间隔时间； μ 为备件废品率。

4.2 可修复件的计算

对可修复件，其修复后将归入周转备件继续使用，可按下式确定备件数量：

$$S = \frac{N \cdot n \cdot T_{OP}(1 - \mu)}{T_{BR}(1 - \mu)} \quad (6)$$

式中 μ 为修复后可继续使用的百分数，其它参数同上。

5 备件保障和战备完好性的关系

战备完好性是指当要求武器装备投入作战时，武器装备准备好能够执行任务的能力。战略完好性的概率度量称为战略完好率 (P_{OR})。目前部队中使用的武器装备完好率的统计公式为

$$P_{OR} = k/n \quad (7)$$

式中： k 为武器装备完好数； n 为武器装备总数。

P_{OR} 与使用可用度 (A_o) 可以按一定的置信水平转换，即

$$CL = \sum_{i=0}^{n-k} \binom{n}{i} (A_o)^{n-1} (1 - A_o)^i \quad (8)$$

式中： CL 为置信水平。所以常用使用可用度 (A_o) 作为战备完好性的度量参数。

在计算 A_o 之前，首先定义备件保障度。备件保障度 (A_s) 是指在规定条件下，武器装备在任一随机时刻需要备件时能得到所需备件的概率，其计算公式为

$$A_s = \frac{T_{MUT}}{T_{MUT} + T_s} \quad (9)$$

式中： A_s 为备件保障度； T_{MUT} 为武器装备平均可用时间； T_s 为备件平均供应时间。

武器装备使用可用度 (A_o) 的计算公式为

$$A_o = \frac{T_{MUT}}{T_{MUT} + T_{MDT}} \quad (10)$$

式中： A_o 为武器装备使用可用度； T_{MUT} 为武器装备平均可用时间； T_{MDT} 为武器装备平均不能工作时间。

若令 $T_{MDT} = T_{MDT} + T_s$ ，其中 T_{MDT} 表示除去备件供应时间 T_s 后的其它保障延误时间和故障修复时间，那么

$$A_o = \frac{T_{MUT}}{T_{MUT} + T_{MDT} + T_s} = \frac{1}{1 + \frac{T_{MDT}}{T_{MUT}} + \frac{T_s}{T_{MUT}}} = \frac{1}{[1 + \frac{T_{MDT}}{T_{MUT}}][1 + \frac{T_s}{T_{MUT}}] - \frac{T_{MDT}T_s}{T_{MUT}^2}}$$

通常情况下， $T_{MUT}^2 \gg T_{MDT}T_s$ ，可忽略高阶小项 $\frac{T_{MDT}T_s}{T_{MUT}^2}$ ，则有

$$A_o = \frac{1}{[1 + \frac{T_{MDT}}{T_{MUT}}][1 + \frac{T_s}{T_{MUT}}]} = \frac{T_{MUT}}{T_{MUT} + T_{MDT}} \frac{T_{MUT}}{T_{MUT} + T_s} = A_o A_s. \quad (11)$$

由此可见,备件保障度直接影响了武器装备的使用可用度,亦即直接影响了武器装备的战备完好性.备件保障的立足点是保障武器装备的战备完好性和满足保障费用的约束,从这一点出发,按战备完好性要求配置备件是科学的、合理的方法.

6 结束语

备件保障一直是影响武器装备保障的重要因素,导弹武器装备备件保障是现在导弹部队面临的亟待解决的重要课题,它是解决提高可用性要求和减少后勤保障费用之间的矛盾的有效措施.从保障武器装备的战备完好性和满足保障费用约束这两个要求出发,合理地武器装备配置备件是武器装备保障的一项重要内容.

[参 考 文 献]

- [1] 马绍民.综合保障工程[M].北京:国防工业出版社,1995.
- [2] 李金国,等.将备件配置要求纳入装备设计的几点考虑[Z].军用标准化,2000,(5).
- [3] 杨秉喜,张义芳.初始备件需求量计算模型及其在地面雷达中的应用示例[Z].军用标准化,2000,(6)
- [4] 陈去翔,等.飞机初始航材备件确定方法研究[A].第三届全军武器装备综合保障研讨会论文集[C],2000.
- [5] 备件供应规划要求[Z].空军第二研究所等,1998.

Research on a Calculating Method for Missile Weapon and Equipments Spares Quantity

Yu Jing, Wu Jinhuang

(Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China)

Abstract: The spares of missile weapon and equipments are not reasonably stored. In view of this present condition, a method is discussed to calculate the quantities of initial spares whose life follow exponential distribution, normal distribution and Weibull distribution, and to calculate the quantities of follow-on spares which are repairable and irreparable. Also the relationship between spares support and operational readiness is presented, and a conclusion is drawn that RBS is a scientific and reasonable method.

Keywords: missile weapon and equipment; initial spares; follow-on spares; operational readiness