

# 防空导弹武器装备备件优化模型\*

苑立伟 赵英俊 陈永革

(空军工程大学 导弹学院 陕西 三原 713800)

**摘要** :根据防空导弹武器装备使用保障的特点,确定了影响备件配置的主要因素。采用装备战备可靠度和经济因素相结合的方法,研究并提出了备件优化模型。最后就其实际应用作了说明,以便于在实际装备中采用。

**关键词** :防空导弹武器装备;保障;备件;可靠度;费用;遗传算法

中图分类号:TJ761.1+3 文献标识码:A 文章编号:1009-086X(2002)05-0013-04

## Optimization model of air defence missile equipments

YUAN Li-wei ZHAO Ying-jun CHEN Yong-ge

(Air Force Univ. of Engineering, Missile Inst. Sanyuan 713800, China)

**Abstract** :According to the application and support characteristics of air defence missile weapon and equipment, the principal factors which affect the arrangement of spare parts are defined. Based on reliability and economics, an optimization model is studied and put forward. Finally, its practical application is illustrated so that it could be applied in real equipments.

**Key words** :Air defence missile weapon and equipment; Support; Spare part; Reliability; Expense; Genetic algorithm

## 1 引言

防空导弹武器装备是防空的重要力量,一般设备庞大、结构复杂。武器装备每年都有大量的器材失效、损坏,为保障战备需要,必须有足够多的备件供更换使用。如何对系统的各种器材备件进行优化配置,做到保障重点,合理使用,提高装备的战备可靠度,使有限的装备保障经费发挥出最大的效益,是当今装备保障工作的一项重大课题。本文结合防空导弹武器装备的使用特点,探讨并提出了一个装备备件优化模型。

## 2 影响装备备件配置的因素分析

防空导弹武器装备保障的主要任务就是根据装备各部件的消耗规律,科学地储备和供应所需部件。从理论上讲,装备备件越多越好,然而,用于装备保障的军费极其有限,不可能进行大量的部件储备;另一方面,如果备件储量基数超过了需求的要求,也会造成大量的资金积压而得不到有效的运用。因此,科学合理地确定装备的备件配置就必须考虑到装备战备可靠度的要求和经济因素的影响。

### 2.1 装备可靠度的影响

装备的可靠度<sup>[1]</sup>是指装备在规定的条件下、规

\* 收稿日期 2002-01-16,修回日期 2002-03-11

作者简介:苑立伟(1978-)男,河南周口人,硕士研究生,主要从事防空导弹武器装备管理及体制研究。

通信地址:713800 陕西三原 25# 研究生一队 E-mail: yuan\_lw2002@163.com

定时间内完成规定功能能力的度量,取决于组成单元的可靠性和系统的结构。防空导弹武器装备结构复杂,在拥有备件供应的条件下,其整个系统可以看作串联的“冷储备系统”。这里所谓的“冷储备系统”就是储备单元在储备期间不工作,且不会失效,其储备的长短对装备以后的使用没有影响。长期以来,人们总是认为装备保障的可靠度越高越好,有些人甚至追求完全的装备良好率。他们按照简单的线形关系分析装备可靠度与保障经费,认为经费投入越多,可靠度就必然线形增加,只要适当增加经费,完全的良好率就可以实现,这显然是一种误解。

设备件各单元相同,且寿命服从指数分布。若装备第*i*种部件具有*n*个备件,则该部件的可靠度为

$$R_i(t) = \sum_{j=0}^n \frac{(\lambda_{ind} t)^j \exp(-\lambda_{ind} t)}{j!}, \quad (1)$$

式中: $\lambda_{ind}$ ——单个备件失效率。

从式(1)中容易看出,装备部件的可靠度并非随着备件数的增加而线形递增,部件可靠度与备件数之间的关系如图1所示。

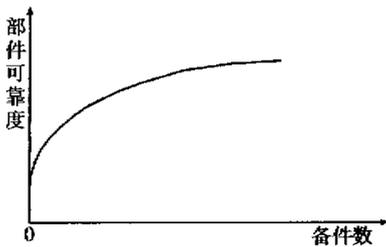


图1 部件可靠度与备件数关系图

Fig.1 Relation between reliability of parts and number of spare parts

设装备共有*m*个部件,如果忽略其它因素的影响,则武器装备的战备可靠度可表示为

$$R = \prod_{i=1}^m R_i(t). \quad (2)$$

在装备保障过程中,武器装备的战备可靠度不应低于给定的可靠度 $R_0$ ,即

$$R \geq R_0. \quad (3)$$

## 2.2 经济因素的影响

由于现阶段装备保障费用极其有限,因此在备件供应过程中就必须考虑到资金问题对保障工作的限制。在装备保障过程中,除备件本身占有资金外,还需要订货费、存储费和缺货费<sup>[1,2]</sup>。其中订货费就是定购备件时所需的手续费、电讯费、采购旅差费等,一般说订货费与订购次数有关而与订购备件数量关系不大;存储费包括备件占有资金的利息、运输费及由于技术进步而使备件性能陈旧贬值所造成的损失费用等,存储费与备件的数量及存储时间有关;缺货费是指当备件供不应求时所造成的损失费用。

在军事上,由于缺货造成的损失往往难以用经济标准来衡量,同时,由于各种随机因素的影响,又不能保证装备绝对不会缺货,因此,一般认为,在时期 $[0, T]$ 内,第*i*类备件的需求量不超过储备量的概率为

$$P\{D_i(T) \leq Q_i + L_i\} = \sum_{k=0}^{Q_i + L_i} P_{ik}(T), \quad (4)$$

式中: $Q_i$ ——在时期 $[0, T]$ 内第*i*类备件定购数;

$L_i$ ——定购前第*i*类备件的库存量;

$P_{ik}(T)$ ——在时期 $[0, T]$ 内对第*i*类备件需求量为*k*的概率。

设 $D_i(T)$ 是强度为 $a_i$ 的泊松过程<sup>[3,4]</sup>,相应地,备件需求发生的随机时刻为强度为 $a_i$ 的泊松流。则

$$P_{ik}(T) = (a_i T)^k \exp\left(-\frac{a_i T}{k!}\right), \quad (5)$$

式中: $k = 1, 2, \dots$ 。

各种备件不发生缺货的概率为

$$P\{D_i(T) \leq Q_i + L_i, i = 1, 2, \dots, m\} = \prod_{i=1}^m \left[ \sum_{k=0}^{Q_i + L_i} P_{ik}(T) \right]. \quad (6)$$

在装备保障过程中,备件的存储量符合最低保障要求的概率应不低于给定的概率 $P_i$ ,即

$$P\{D_i(T) \leq Q_i + L_i\} \geq P_i. \quad (7)$$

在满足式(7)条件下,时间间隔 $[0, T]$ 内用于装备备件的总费用为

总费用 = 备件费用 + 订货费 + 存储费, 其中,备件费用与定购备件的多少呈线形关系

$$C_g = \sum_{i=1}^n Q_i c_i, \quad (8)$$

式中:  $c_i$ ——第  $i$  类备件的单件费用。

订货费随着定购次数的增加而增加,一次定购备件的数量越多  $[0, T]$  内定购的次数就越少,因此定购费也相应地减少。设装备备件在时间间隔  $0, T$  内的需求量为常数,则订货费为

$$C_o = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{D_i(T)}{Q_i} c_{oi} \right], \quad (9)$$

式中:  $c_{oi}$ ——第  $i$  类备件一次订货费。

另一方面,存储费却随着一次定购数量的增加而增加,随定购次数的增加而减少。 $n$  类备件在时期  $0, T$  内的存储费为

$$C_s = \sum_{i=1}^n [(Q_i + L_i) d_i T - 0.5 a_i d_i T^2], \quad (10)$$

式中:  $d_i$ ——单位时间内一备件的存储费用。

综上所述,备件所需的总费用为

$$C = C_g + C_o + C_s. \quad (11)$$

显然,备件的总费用不应超过在该时间间隔内装备的使用保障费用  $C_0$ , 即

$$C \leq C_0. \quad (12)$$

装备第  $i$  类备件的配置数与总费用的关系如图 2 所示。

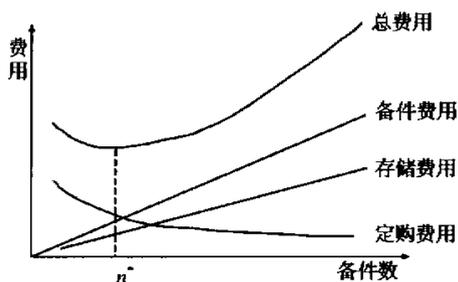


图 2 装备备件费用-数量关系图

Fig.2 Relation between cost and number of spare parts

由上可知,合理地确定出定购备件数量,可以用于装备备件的总费用达到最少。

### 3 备件优化模型

装备在保障过程中要同时考虑到战备可靠度和费用两个因素,而达到一定的战备可靠度是装备保

障所要达到的根本目的。在保障经费有限的情况下,为保证作战训练的正常进行,装备的战备可靠度必须满足式(3)的要求;同时,装备备件配置的费用也不能超过装备保障经费的限制。考虑到以上两个方面,为使有限的装备保障经费发挥出最大的效益,本文提出了以下模型:

$$\begin{aligned} & \max(R/C) \\ & \text{s. t.} \\ & \begin{cases} R \geq R_0; \\ C \leq C_0; \\ P\{D_i(T) \leq Q_i + L_i\} \geq P_i, \quad i=1, 2, \dots, n. \end{cases} \end{aligned} \quad (13)$$

由上式,在满足限制条件下,使  $R/C$  达到最大的备件配置即是我们要求的备件储备量。

### 4 模型算法

以上模型如果用于结构较简单的构件,可以用单纯形法、梯度法或动态规划法直接进行求解。但是,我们知道导弹武器装备的结构异常复杂,若考虑到导弹武器装备所有的器件,对上式进行计算将是非常复杂的,甚至可以说是不可能的。即便是我们采取了可靠性分配的方法,将整个武器装备划分为若干个独立的模块,确定出各个模块所应达到的战备可靠度之后,直接运用传统的方法进行求解仍然十分复杂。现在,解决此类问题比较有效的方法是遗传算法<sup>[5,6]</sup>。

遗传算法 GA (Genetic Algorithm) 的基本思想是达尔文的进化论和 Mendel 的遗传学说。它本质上是一种把自然界优胜劣汰、适者生存的进化机制,和同一种群中个体与个体间的随机信息交换机制相结合的搜索算法。GA 将问题的所有可能解构成一群“染色体”,并把它们置于问题的“环境”中,根据适者生存的原则,从中选取适应“环境”的“染色体”进行复制,通过交换两种基因操作产生出新一代具有更大适应性的“染色体”群,由此一代一代地不断进化,最后收敛于一个最适应“环境”的个体上,求得问题的最优解。遗传算法的实现过程如图 3 所示。

#### 4.1 问题的表达

将染色体定义为装备各种备件数的有序表,如

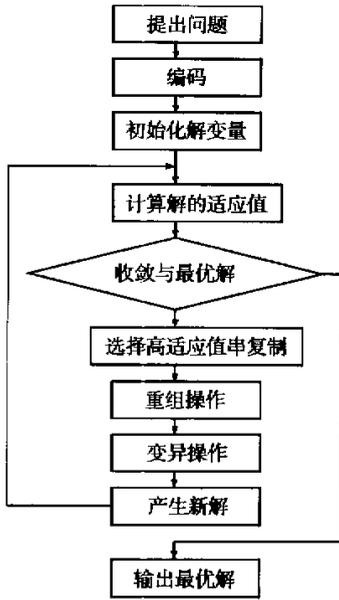


图 3 GA 的实现过程

Fig.3 Realization procedure diagram of GA

第  $k$  个染色体可表示为  $V_k = [ Q_{1k}, Q_{2k}, \dots, Q_{mk} ]$ ; 其中  $Q_{ik} (i=1, 2, \dots, m)$  为第  $i$  种备件的备件数。染色体的初始种群可用在  $[0, N]$  之间产生随机数的方式产生,  $N$  为各种部件备件数的上限。由问题的约束条件, 检验染色体的合法性, 直至产生  $pop\_size$  个合法染色体。

### 4.2 适应值

由于问题求解的目的是使装备  $R/C$  最大, 故将  $R/C$  作为适应值。由式 (2) 和式 (11),

$$R = \prod_{i=1}^m R_i(t);$$

$$C = \sum_{i=1}^n Q_i c_i + \sum_{i=1}^n \left[ \frac{D_i(t)}{Q_i} c_{oi} \right] + \sum_{i=1}^n [(Q_i + L_i) d_i T - 0.5 a_i d_i T^2].$$

利用  $R/C$  对合法染色体进行评估, 并令非法染色体的适应值为零。

### 4.3 交叉算子

采用单点交叉法, 令交叉率  $\rho_c = \alpha$ , 断点位置在

$[1, m]$  中随机产生。

### 4.4 变异算子

采用随机摄动作为变异, 即对于一个用于变异的基因, 用一个随机数来代替, 令变异率  $\rho_b = \beta$ , 则平均有  $m \times pop\_size \times \beta$  个基因要发生变异, 采用转轮法确定要变异的基因。

### 4.5 选择策略

根据各个体适应值, 将双亲和后代按适应值的大小顺序排序, 选择前  $pop\_size$  个染色体作为新一代种群。

### 4.6 终止条件

给定繁殖代数, 当繁殖代数达到该值时遗传终止, 此时适应值最大的染色体即为所求的解。

## 5 结 束 语

本文基于装备战备可靠度和经济两个方面, 研究了防空导弹武器装备备件优化问题, 得到了装备备件优化模型, 为定量研究备件优化配置提供了一些思路。装备备件优化问题是一个十分复杂的重要问题, 除受本文提出的两个主要因素的影响外, 还受到许多随机因素的影响。为研究问题的方便, 本文所建立的备件优化模型对实际问题进行了许多简化, 今后仍需不断完善。

### [参 考 文 献]

[1] 钱平. 维修工程基础[M]. 三原: 空军导弹学院, 1990.

[2] 陈学楚. 装备系统工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.

[3] 盛聚, 谢式干, 潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.

[4] 朱均辉, 王三喜, 姚超, 等. 装甲车辆备件存储量优化模型及其遗传算法[A]. 军事斗争准备与军事系统工程[C]. 北京: 军事科学出版社, 2001. 84-87.

[5] 张雷, 郑泽席, 宋万德. 一种基于遗传算法的决策支持系统建模方法[J]. 空军工程大学学报, 2000, 1(3): 27-29.

[6] 张文修, 梁怡. 遗传算法的数学基础[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.