基于作战单元任务成功性的可修复备件优化

王 睿 李庆民 阮旻智 彭英武

(海军工程大学 兵器工程系, 武汉 430033)

摘 要: 在分析作战单元任务及备件保障流程的基础上,在考虑装备系统冷备份和热备份的情况下,基于 METRIC 模型原理,建立了两级保障体制下的作战单元任务成功性评估模型. 以备件购置费用为优化目标函数,作战单元任务成功概率为约束条件,运用边际方法给出了备件优化模型的求解方法. 最后,通过实例对该方法进行了分析,优化结果符合作战单元备件配置实际情况,从而为部队装备保障指挥人员在作战单元执行任务前科学制定保障方案提供决策支持.

关 键 词: 作战单元; 备件; METRIC 模型; 任务成功性; 优化

中图分类号: E 911; TJ 761.1

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2012)08-1040-06

Optimization of repairable spare parts based on combat unit mission success

Wang Rui Li Qingmin Ruan Mingzhi Peng Yingwu

(Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: After analyzing combat unit mission and support flow of spare parts, combat unit mission success evaluation model in two-echelon support system was established based on the METRIC principle, which hot redundancy and cold redundancy of equipment systems were taken into account. The stock cost was taken as the optimization object and combat unit mission success probability was used as the restriction. Based on margin analysis method, the computation method for spare parts optimization was provided. Finally, an example was given to validate the optimization model, and the optimization results were coincident with the military practice case by analyzing. This would help equipment support commander make support decision in support concept design before mission operating.

Key words: combat unit; spare parts; METRIC model; mission success; optimizing

师旅一级作战单元作为执行作战或训练任务的主要军事实体,是当前战斗力生成的主要组织形式. 可修复备件具有需求低、费用高、保障周期长的特点,通常是装备的关键部件,是制约作战单元保障能力和任务持续能力的重要因素. 作战单元的保障系统通常分为作战单元和基本作战单元两个保障等级,如何在作战单元两级维修保障体制下基于任务成功性效能指标对作战单元的可修复备件库存进行优化配置是提高作战单元任务持续能力、降低保障机构备件采购费用的核心问题. 因此,对该问题开展相关研究具有重要意义.

目前,国内外学者在作战单元的任务成功性评估和备件优化研究方面主要分为以下方法:① 基于马尔可夫过程,文献[1]建立了作战单元任务可信度模型,文献[2]基于多维 Markov 过程建立了作战单元装备稳态可用度模型,但是由于马

收稿日期: 2011-04-08; **网络出版时间**: 2012-08-23 14:55

网络出版地址: www.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20120823.1455.007.html

基金项目: 总装预研基金资助项目(513040303)

作者简介: 王 睿(1982 -),男,吉林省吉林人,博士生, niuchenglongwangrui@gmail.com.

尔可夫存在状态空间爆炸问题,很难适用于复杂装备的建模;②基于仿真方法,文献[3-5]基于Petri 网及其扩展形式建立了作战单元任务成功性仿真评估模型,文献[6]和文献[7]基于离散事件仿真理论分别对作战单元和基本作战单元的任务持续能力仿真评估模型进行了研究,通常仿真评估模型需要结合蒙特卡洛方法对模型进行求解,需要消耗大量计算资源;③基于 METRIC 模型,METRIC 模型是由美国兰德公司基于无限总体和无限修理能力假设开发的可修复件多级管理模型[8],在此基础上通过对 METRIC 模型进行扩展,相继提出了 VARI-METRIC, Dyna-METRIC, ACIM, ASM, DRIVE 等备件管理模型[9],开发了 OPUS10, VMetric 等备件管理软件包,但是 METRIC 模型目前主要以使用可用度[10]、备件保障概率[11]等作为优化指标建立备件优化模型,并不适用于基于作战单元任务的备件优化配置. 本文在分析作战单元任务及备件保障流程的基础上,基于 METRIC 理论建立了两级备件保障机制下的作战单元任务成功性评估模型,以备件购置费用为优化指标,作战单元任务成功概率为约束条件,运用边际方法给出了模型的求解方法.

1　作战单元任务及备件保障流程分析

作战单元任务分解为多个基本作战单元任务,基本作战单元任务由多型装备系统提供功能支持,同型装备系统之间主要是 k/N 关系,即有 N 个工作部件,任务期间至少要有 k 个部件正常,装备系统主要由外场更换单元(LRU, Line Replaceable Unit)构成,LRU 的故障将导致装备系统的停机. 作战单元任务层次结构如图 1 所示.

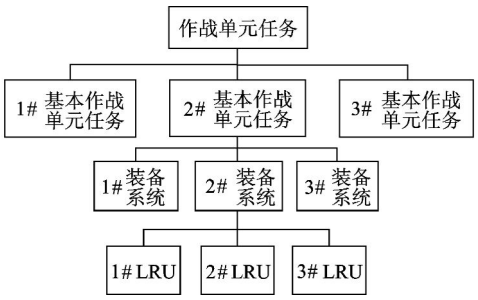


图 1　作战单元任务的层次结构

在作战单元任务执行过程中,当保障人员诊断基本作战单元的 LRU 发生故障,LRU 故障件从装备系统拆卸下来并被送到基本作战单元备件维修站点进行维修,基本作战单元备件仓库若有该 LRU 的库存,则发出代替故障的 LRU,否则将向作战单元备件仓库申请备件,后者将备件通过运输渠道补充到基本作战单元的备件仓库,LRU 故障件修复后发送到基本作战单元备件仓库作为备件进行贮存,若基本作战单元不具备 LRU 故障件的修理能力,则发送到作战单元备件维修站点进行维修,LRU 故障件修复后发送到作战单元备件仓库作为备件进行贮存. 若基本作战单元 LRU 发生故障,且此时备件仓库没有备件可以更换,则发生了一次备件短缺,从而直接影响基本作战单元任务的成功完成,作战单元备件保障流程见图 2.

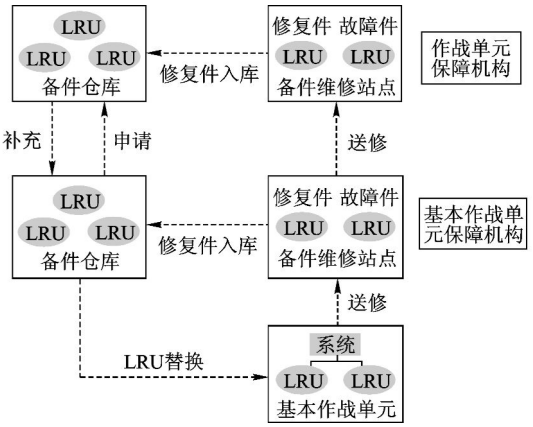


图 2　作战单元备件保障流程

2　作战单元任务成功性评估模型

2.1　模型假设条件

1) LRU 的寿命服从指数分布,且失效过程相互独立;

2) 备件的维修和运输过程相互独立,一项备件是否在基地修理与库存量或修理工作量无关;

3) 作战单元备件维修站点具有对所有 LRU 的修复能力;

4) 各保障机构执行$(s-1,s)$的连续备件保障策略,即一件 LRU 故障,立刻补充一件,送修一件;

5) 备件策略服从 FCFS(First Come First Served)即先到先服务的备件保障策略;

6) 一项 LRU 的故障将导致装备系统的停机;

7) 备件在贮存过程中不失效.

2.2　模型中的参数定义及符号说明

模型中各参数定义如下:其中下标 i 表示外场更换件 LRU 的项目编号$(i=1,2,\cdots,I)$,j $(j=1,2,\cdots,J)$表示基本作战单元保障机构编号,0 表示作战单元保障机构,$m(m=1,2,\cdots,M)$表示装备系统类型编号,所有时间参数除 T_i^{BF} 都以年为计量单位. T_{mission}:作战单元任务时间;T_i^{BF}:LRUi 平均故障间隔时间(小时);T_{ij}^{BUR}:基本作战单元保

障机构 j 对 LRUi 的年平均维修时间；T_{i0}^{UR}：作战单元保障机构对 LRUi 的年平均维修时间；P_{ij}^{NRTS}：故障件 LRUi 在基本作战单元保障机构 j 不能维修的概率；T_{ij}^{OS}：基本作战单元保障机构 j 向作战单元保障机构申请交付 LRUi 的年平均订购和运输延误时间；N_{mj}：基本作战单元 j 部署系统 m 的数量；K_{mj}：基本作战单元 j 任务至少所需要系统 m 的数量；Z_{im}：每个装备系统中安装 LRUi 的数量；R_{ijm}：基本作战单元保障机构 j 的装备系统 m 外场更换件 LRUi 的年平均需求率；R_{ij}：基本作战单元保障机构 j 外场更换件 LRUi 的年平均需求率；s_{ij}：基本作战单元备件仓库 j 的外场更换件 LRUi 库存量；C_i：外场更换件 LRUi 单价(万元).

2.3 作战单元任务成功概率计算

作战单元的任务成功概率 P_0 与基本作战单元的任务成功概率 P_j 相关，基本作战单元任务之间具有一定的逻辑关系如与、或等，P_0 计算公式如式(1)所示，其中 ρ 为可靠性逻辑关系函数.

$$P_0 = \rho(P_j \mid j = 1,2,\cdots,J) \tag{1}$$

基本作战单元 j 的任务成功概率 P_j 与该基本作战单元内部装备系统的任务成功概率 P_{mj} 相关，装备系统 m 之间功能互补，具有一定的可靠性逻辑关系如串联、并联等，P_j 计算公式如式(2)所示，其中 f 为可靠性逻辑关系函数.

$$P_j = f(P_{mj} \mid m = 1,2,\cdots,M) \tag{2}$$

由于假设一项 LRU 的故障将导致装备系统的停机，装备系统最多产生一个 LRU 备件需求，装备系统的任务成功概率 P_{mj} 可近似等于装备系统的备件短缺数满足任务要求的概率，计算公式如式(3)所示，其中 N_{jm}^{BO} 为装备系统 m 在基本作战单元 j 的 LRU 库存集合 S_j 条件下的备件短缺数.

$$P_{mj}(S_j) \approx P(N_{mj}^{\mathrm{BO}} \leqslant N_{mj} - K_{mj} \mid S_j) = \sum_{i=0}^{N_{mi}-K_{mj}} P(N_{jm}^{\mathrm{BO}} = i \mid S_j) \tag{3}$$

装备系统的短缺数 N_{mj}^{BO} 的计算流程如图 3 所示，下文将根据该流程对装备系统的短缺数进行建模.

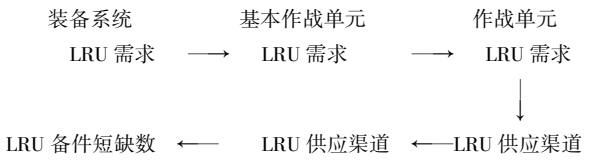


图 3 装备系统的短缺数计算流程

2.4 备件需求率计算

装备系统 m 的 LRUi 年平均需求率 R_{ijm} 与装备系统 m 的配置数量 N_{mj}、每台装备 LRUi 的安装数量 Z_{im} 以及 LRUi 的平均故障间隔时间 T_i^{BF} 相关. 当装备系统 m 为热储备时，全部装备系统工作，而为冷储备时，只有 K_{mj} 个装备工作，其余 $N_{mj} - K_{mj}$ 个装备系统停机作为备份系统. R_{ijm} 的计算式为

$$R_{ijm} = \begin{cases} \dfrac{365 \times 24}{T_i^{\mathrm{BF}}} \cdot Z_{im} \cdot K_{mj} & \text{冷备份} \\ \dfrac{365 \times 24}{T_i^{\mathrm{BF}}} \cdot Z_{im} \cdot N_{mj} & \text{热备份} \end{cases} \tag{4}$$

基本作战单元 j 的外场更换件 LRUi 的年平均需求率 R_{ij} 等于其所配置所有系统 LRUi 年平均需求率 R_{ijm} 之和：

$$R_{ij} = \sum_{m=1}^{M} R_{ijm} \tag{5}$$

作战单元的 LRUi 年平均需求率 R_{i0} 等于其所保障的所有基本作战单元发生的对本级申请补给的 LRUi 需求之和：

$$R_{i0} = \sum_{j=1}^{J} P_{ij}^{\mathrm{NRTS}} \cdot R_{ij} \tag{6}$$

2.5 备件短缺数的期望与方差的计算

$E^{\mathrm{BO}}(s)$ 为备件的期望短缺数，计算式为

$$E^{\mathrm{BO}}(s) = \sum_{x=s+1}^{\infty} (x - s) \cdot p_{\mathrm{r}}(x) \tag{7}$$

$V^{\mathrm{BO}}(s)$ 为备件的期望短缺数方差，计算式为

$$V^{\mathrm{BO}}(s) = \mathrm{E}[B^2(s \mid x)] - [E^{\mathrm{BO}}(s)]^2 \tag{8}$$

其中，s 为备件库存量；$p_{\mathrm{r}}(x)$ 为供应渠道备件数量的概率分布. 根据 VARI-METEIC[12] 的方法，当不知道 $p_{\mathrm{r}}(x)$ 的分布时，可以通过 $p_{\mathrm{r}}(x)$ 的方差与均值比 VMR(Variance-Mean Ratio)对分布进行近似估计. 当 VMR 小于 1 时，$p_{\mathrm{r}}(x)$ 服从二项分布；当 VMR 等于 1 时，$p_{\mathrm{r}}(x)$ 服从泊松分布；当 VMR 大于 1 时，$p_{\mathrm{r}}(x)$ 服从负二项分布. 在求出供应渠道备件数量期望 $\mathrm{E}[X]$ 和方差 $\mathrm{Var}[X]$ 的基础上，可以近似估计供应渠道备件数量的概率分布，进而计算得到备件期望短缺 $E^{\mathrm{BO}}(s \mid \mathrm{E}[X], \mathrm{Var}[X])$ 和短缺函数方差 $V^{\mathrm{BO}}(s \mid \mathrm{E}[X], \mathrm{Var}[X])$.

2.6 供应渠道期望和方差计算

作战单元的 LRU 供应渠道主要是作战单元备件维修站点在修的 LRU 的数量. 根据帕尔姆定理[9]，若备件的年平均需求率服从期望为 m 的泊松分布，且故障件的修理时间相互独立并服从期望为 T 年的同一分布，则在修的备件数量服从期望为 mT 的泊松分布. 由于任务时间 T_{mission} 可能小于作战单元维修时间，所以作战单元的在修的备件数量服从期望为 $R_{i0} \cdot \min(T_{i0}^{\mathrm{UR}}, T_{\mathrm{mission}})$ 的泊松

分布. 同理,基本作战单元的在修数量和向作战单元保障机构申请交付运输数量也可以按照该定理进行计算. 作战单元的 LRUi 供应渠道的期望 $\mathrm{E}[X_{i0}]$ 和方差 $\mathrm{Var}[X_{i0}]$ 如式(9)所示.

$$\mathrm{E}[X_{i0}] = \mathrm{Var}[X_{i0}] = R_{i0} \cdot \min(T_{i0}^{\mathrm{UR}}, T_{\mathrm{mission}}) \tag{9}$$

基本作战单元 j 对故障件 LRUi 进行维修而发生的对 LRUi 需求的比例为

$$f_{ij} = \frac{P_{ij}^{\mathrm{NRTS}} \cdot R_{ij}}{R_{i0}} \tag{10}$$

基本作战单元 j 的 LRUi 供应渠道数由三部分组成:①基本作战单元 j 备件维修站点 LRUi 的在修数量;②基本作战单元 j 向作战单元保障机构申请交付和运输 LRUi 过程的数量;③由于作战单元备件短缺而造成补给延误的 LRUi 数量. 作战单元 LRUi 的短缺造成对基本作战单元 j 的 LRUi 的更换延误概率为 f_{ij},对于作战单元保障机构的 LRUi 短缺总数来说,其造成对基本作战单元 j 的 LRUi 补给延误的 LRUi 短缺数概率服从二项分布[12]. 基本作战单元 j 的 LRUi 供应渠道的期望和方差分别为

$$\begin{aligned}\mathrm{E}[X_{ij}] = {} & R_{ij}(1 - P_{ij}^{\mathrm{NRTS}}) \cdot \min(T_{ij}^{\mathrm{BUR}}, T_{\mathrm{mission}}) + \\ & R_{ij} \cdot P_{ij}^{\mathrm{NRTS}} \cdot \min(T_{ij}^{\mathrm{OS}}, T_{\mathrm{mission}}) + \\ & f_{ij} \cdot E^{\mathrm{BO}}(s_{i0} \mid \mathrm{E}[X_{i0}], \mathrm{Var}[X_{i0}])\end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}\mathrm{Var}[X_{ij}] = {} & R_{ij}(1 - P_{ij}^{\mathrm{NRTS}}) \cdot \min(T_{ij}^{\mathrm{BUR}}, T_{\mathrm{mission}}) + \\ & R_{ij} \cdot P_{ij}^{\mathrm{NRTS}} \cdot \min(T_{ij}^{\mathrm{OS}}, T_{\mathrm{mission}}) + \\ & f_{ij} \cdot (1 - f_{ij}) \cdot E^{\mathrm{BO}}(s_{i0} \mid \mathrm{E}[X_{i0}], \mathrm{Var}[X_{i0}]) + \\ & f_{ij}^2 \cdot V^{\mathrm{BO}}(s_{i0} \mid \mathrm{E}[X_{i0}], \mathrm{Var}[X_{i0}])\end{aligned} \tag{12}$$

当装备系统是冷备份时,可以通过 $\mathrm{E}[X_{ij}]$ 和 $\mathrm{Var}[X_{ij}]$ 根据 2.5 节的方法确定基本作战单元 j 的 LRUi 的备件期望短缺数 $E_{ij}^{\mathrm{BO}}(s_{ij})$. 当装备系统是热备份时,备件需求随着备件短缺数的增加而减少,备件需求率趋于 0. 文献[13]中提出,若 LRUi 的 T_i^{BF} 大于 1 a 时,可以忽略备件需求数减少的影响,备件期望短缺数 $E_{ij}^{\mathrm{BO}}(s_{ij})$ 的计算方法与冷备份相同. 反之,则需要对基本作战单元的备件供应渠道数量进行修正,修正算法为

$$p'_{\mathrm{r}}(x) = \begin{cases} k \cdot p_{\mathrm{r}}(x) & x \leqslant s_{ij} \\ k \cdot p_{\mathrm{r}}(x) \cdot a & s_{ij}+1 \leqslant x \leqslant s_{ij} + Z_{im} \cdot N_{mj} \end{cases} \tag{13}$$

$$a = \frac{(Z_{im} \cdot N_{mj})!\,(Z_{im} \cdot N_{mj})^{s_{ij}}}{(Z_{im} \cdot N_{mj} - x + s_{ij})!\,(Z_{im} \cdot N_{mj})^{x}}$$

其中,$p_{\mathrm{r}}(x)$ 是在热备份备件需求条件下利用冷备份的供应渠道概率分布计算方法的供应渠道概率分布函数,k 是归一化系数.

基本作战单元 j 的装备系统 m 对 LRUi 备件短缺数占该作战单元 LRUi 备件短缺数的比例为

$$f_{ijm} = \frac{R_{ijm}}{R_{ij}} \tag{14}$$

基本作战单元 j 的 LRUi 的短缺造成对基本作战单元 j 装备系统 m 的 LRUi 的更换延误概率为 f_{ijm},对于基本作战单元 j 的 LRUi 短缺总数来说,其造成对装备系统 m 的 LRUi 的短缺数概率服从二项分布. 基本作战单元 j 的装备系统 m 的 LRUi 短缺数的期望和方差分别为

$$E_{ijm}^{\mathrm{BO}}(s_{ij}) = f_{ijm} E_{ij}^{\mathrm{BO}}(s_{ij}) \tag{15}$$

$$\begin{aligned}V_{ijm}^{\mathrm{BO}}(s_{ij}) = {} & f_{ijm} \cdot (1 - f_{ijm}) \cdot E_{ij}^{\mathrm{BO}}(s_{ij}) + \\ & f_{ijm}^2 \cdot V_{ij}^{\mathrm{BO}}(s_{ij})\end{aligned} \tag{16}$$

基本作战单元 j 的装备系统 m 的备件短缺数等于其所安装的所有类型 LRUi 的备件短缺数,其期望和方差为

$$E_{jm}^{\mathrm{BO}}(S_j) = \sum_{i=1}^{I} E_{ijm}^{\mathrm{BO}}(s_{ij}) \tag{17}$$

$$V_{jm}^{\mathrm{BO}}(S_j) = \sum_{i=1}^{I} V_{ijm}^{\mathrm{BO}}(s_{ij}) \tag{18}$$

根据供应渠道备件数量概率分布的估计方法,通过基本作战单元 j 的装备系统 m 的备件短缺数的期望 $E_{jm}^{\mathrm{BO}}(S_j)$ 和方差 $V_{jm}^{\mathrm{BO}}(S_j)$ 可以得到装备系统 m 的备件短缺数 N_{jm}^{BO} 的概率分布函数,进而通过 2.3 节的方法计算得到作战单元的任务成功概率.

3　备件优化模型及优化算法

3.1　备件优化模型

基于作战单元任务成功性的备件库存优化模型可表述为在满足作战单元的任务成功概率达到 P_m 的前提下,使得作战单元的备件费用最低. 备件库存优化模型为

$$\left.\begin{aligned} \min \quad & \sum_j \sum_i C_i s_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & P_0 \geqslant P_m \end{aligned}\right\} \tag{19}$$

3.2　优化算法

边际方法作为国外多个著名的备件优化软件的核心算法对备件库存进行优化,如 OPUS, VMetric 等. 本文采用边际方法对备件优化模型进行求解.

边际方法的核心是边际效益的递减规律,模型的求解利用备件库存的增加所产生的作战单元任务成功概率的增量与增加备件所需要的投资费用之比 $\Delta_{ij}(s_{ij})$ 作为边际效益值,如式(20)所示.

$$\Delta_{ij}(s_{ij}) = [P_0(s_{ij}+1) - P_0(s_{ij})]/C_i \tag{20}$$

在对所有作战单元的所有类型备件均增加一个备件之后,寻找 $\Delta_{ij}(s_{ij})$ 最大的作战单元的备件 s_{ij} 或 s_{0j} 增加一件备件,其它库存保持不变,并进入下一次迭代计算,直到作战单元任务成功概率达到规定值 P_m,迭代过程结束,此时的各作战单元的库存方案即为优化后的备件方案. 基于边际方法的作战单元备件优化算法流程如图 4 所示.

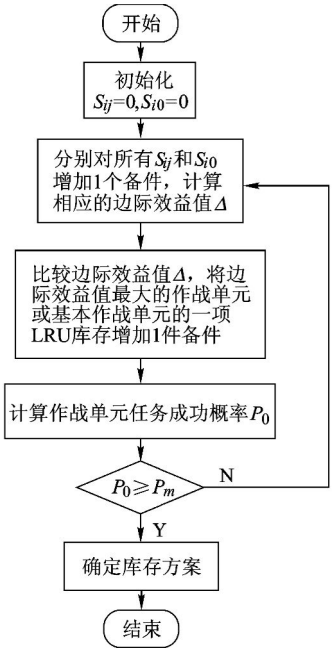


图 4 备件优化算法流程

4 应用实例

作战单元下辖 3 个基本作战单元(J_1, J_2, J_3),每个作战单元配有 3 型装备系统(M_1, M_2, M_3),每型装备系统配置有 3 类 LRU 部件(LRU1, LRU2 , LRU3),不同型装备系统之间为串联关系,基本作战单元任务之间为串联关系,作战单元的装备结构关系如图 1 所示. 每个基本作战单元的每型装备系统的配置数量 N_{mJi}、任务要求 K_{mJi} 和装备系统安装的 LRUi 部件数量 Z_{im} 如表 1 所示. LRU 部件的可靠性、维修性、保障性和费用信息如表 2 所示.

表 1 作战单元装备系统配置参数

配置参数	装备系统 M_1	装备系统 M_2	装备系统 M_3
K_{mJ1}/N_{mJ1}	2/4 冷备份	2/3 冷备份	1/3 冷备份
K_{mJ2}/N_{mJ2}	3/4 热备份	3/4 热备份	2/4 热备份
K_{mJ3}/N_{mJ3}	2/4 热备份	3/3 热备份	2/4 热备份
Z_{1m}	4	3	3
Z_{2m}	3	4	3
Z_{3m}	2	3	2

表 2 LRU 部件可靠性、维修性和保障性信息参数

备件	T_i^{BF}	T_{i1}^{BUR}	T_{i2}^{BUR}	T_{i3}^{BUR}	T_{i0}^{UR}	P_{i1}^{NRTS}
LRU1	3 100	0.008 2	0.009 6	0.008 8	0.013 7	0.73
LRU2	4 680	0.013 7	0.013 2	0.014 2	0.021 9	0.7
LRU3	5 500	0.019 7	0.018 9	0.019 2	0.030 1	0.79
备件	P_{i2}^{NRTS}	P_{i3}^{NRTS}	T_{i1}^{OS}	T_{i2}^{OS}	T_{i3}^{OS}	C_i
LRU1	0.71	0.69	0.008 2	0.008 8	0.009 6	15
LRU2	0.72	0.75	0.011	0.009 3	0.010 4	20
LRU3	0.75	0.77	0.014 8	0.014 2	0.013 7	30

作战单元的任务时间 $T_{mission}$ 为 4 d,上级要求作战单元完成任务成功的概率达到 0.99. 运用边际方法法对备件优化模型进行求解,经过 27 轮迭代优化计算,得到作战单元各级备件优化配置如表 3 所示,此时,作战单元的任务成功概率达到 0.991,备件采购费用为 510 万元. 基于边际方法的备件迭代优化过程如图 5 所示.

表 3 任务目标为 0.99 时作战单元各级备件优化配置

保障机构	LRU1	LRU2	LRU3
基本作战单元 J_1	2	2	1
基本作战单元 J_2	4	3	2
基本作战单元 J_3	3	2	1
作战单元	3	2	1

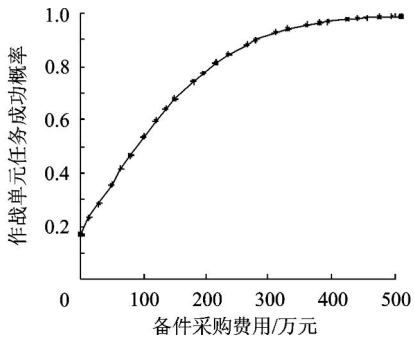


图 5 基于边际方法的备件迭代优化过程曲线

根据边际方法原理,图 5 中每个点代表了作战单元某一任务成功概率所对应的备件采购费用最低的备件库存方案,任务成功目标越高,备件采购费用也同步增加. 可以根据任务的重要程度选择适当的任务成功概率值作为目标值. 在图 5 中选择任务成功概率 0.957 所对应的备件优化保障方案,备件采购费用为 360 万元,比任务成功概率为 0.991 的备件采购费用减少了 150 万元,而任务成功概率却相对只减少 0.034,可见前者在任务时间为 4 d 时的效费比较好.

将任务时间从 4 d 调整为 15 d,分别对 2 个备件保障方案进行任务成功性评估,如图 6 所示. 作战单元的任务成功概率随着时间呈递减的过程,在第 11 d 之后作战单元的任务成功概率趋于稳定. 任务目标 0.957 的保障方案比任务目标0.991 的保障方案在任务初期下降的快,在任务结束时

的任务成功概率为 0.819 6,比后者降低了 0.118 4,说明任务目标为 0.991 的保障方案在较长的任务时间里的任务持续能力较强,结果符合实际.

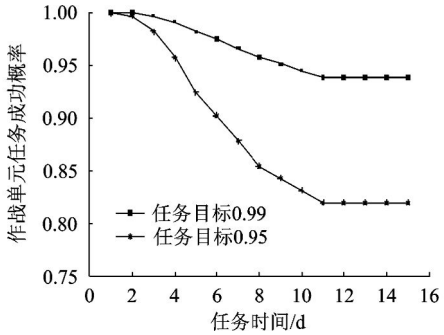


图 6　备件保障方案评估曲线

5　结 束 语

针对作战单元任务及备件保障的特点,研究了基于作战单元任务成功性的可修复备件优化方法,相比传统的 METRIC 模型,该方法可以对作战单元在不同任务周期时间的任务成功性进行评估并对备件进行优化配置. 通过实例说明该方法可以在保证作战单元任务完成的前提下大大降低备件采购费用,达到作战单元的任务效能和保障费用最佳匹配,从而为部队装备保障指挥人员在作战单元任务前科学制定保障方案提供决策支持.

在作战单元执行任务过程中,任务的强度、装备系统结构以及保障机构的维修时间、运输时间等可能会随着任务进程发生变化,从而会对备件配置方案的制定产生影响,因此需针对上述问题作进一步研究.

参考文献(References)

[1] 董岳, 于永利, 张柳,等. 装备作战单元任务可信度评估方法[J]. 军械工程学院学报,2009,21(6):10 - 13
Dong Yue, Yu Yongli, Zhang Liu, et al. Estimation on mission dependability of equipment combat unit [J]. Journal of Ordnance Engineering College,2009,21(6):10 - 13(in Chinese)

[2] 李羚玮,张建军,张涛,等. 作战单元装备稳态可用度评估模型及其求解算法研究[J]. 兵工学报,2010,31(6):110 - 123
Li Lingwei,Zhang Jianjun,Zhang Tao,et al. Study on model and algorithm for stationary availability evaluation of combat unit [J]. Acta Armanentarii,2010,31(6):110 - 123(in Chinese)

[3] 聂成龙,张柳,于永利,等. 多阶段任务系统任务持续能力仿真模型研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(3):729 - 732
Nie Chenglong, Zhang Liu, Yu Yongli, et al. Research to PMS mission sustainability simulating models [J]. Journal of System Simulation,2008,20(3):729 - 732(in Chinese)

[4] 封会娟,于永利,张柳,等. 聚合级装备作战单元机动防空任务可靠性仿真[J]. 系统仿真学报,2010,22(7):1728 - 1732
Feng Huijuan, Yu Yongli, Zhang Liu, et al. Mission reliability simulation of aggregated equipment combat units for mission of mobile aerial defense [J]. Journal of System Simulation,2010,22(7):1728 - 1732(in Chinese)

[5] 刘芳,赵建印,郭波. 基于 EOOPN 的作战单元任务成功性评估仿真模型[J]. 兵工学报,2007,28(4):481 - 486
Liu Fang,Zhao Jianyin,Guo Bo. Mission success evaluation model based on EOOPN for the division-brigade combat units[J]. Acta Armanentarii,2007,28(4):481 - 486(in Chinese)

[6] 章文晋. 任务驱动的综合保障建模框架研究[D]. 北京:北京航空航天大学系统工程系,2003
Zhang Wenjin. Study on mission-driven integrated logistical support modelling framework [D]. Beijing: Department of System Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003(in Chinese)

[7] 郭霖瀚,康锐. 基本作战单元任务持续性仿真度量模型研究[J]. 系统仿真学报,2009,21(2):325 - 329
Guo Linhan,Kang Rui. Individual operational unit sustainability simulation measure model research [J]. Journal of System Simulation,2009,21(2):325 - 329(in Chinese)

[8] Sherbrooke C C. METRIC: A multi-echelon technique for recoverable item control [J]. Operations Research, 1968, 16(2): 122 - 141

[9] Sherbrooke C C. Optimal inventory modeling of system: multi-echelon techniques[M]. 2nd ed. Boston: Artech House, 2004, 74 - 81

[10] Hoong Chuin Lau, Huawei Song, Chuen Teck See, et al. Evaluation of time-varying availability in multi echelon spare parts systems with passivation[J]. European Journal of Operational Research,2006,170(1):91 - 105

[11] 王乃超,康锐. 基于备件保障概率的多级库存优化模型[J]. 航空学报,2009,30(6):1043 - 1047
Wang Naichao,Kang Rui. Optimization of multi-echelon repairable item inventory systems with fill rate as objective[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica,2009,30(6):1043 - 1047(in Chinese)

[12] Sherbrooke C C. VARI-METRIC: Improved approximation for multi-indenture, multi-echelon availability models[J]. Operations Research,1986,34(2):311 - 319

[13] Kaplan A. Incorporating redundancy considerations into stockage models [J]. Naval Research Logistics,1989,36:625 - 638

(编　辑:娄　嘉)