

doi: 10.7690/bgzdh.2019.09.013

## 基于情景匹配的战时备件分配模型

孙正<sup>1</sup>, 戈洪宇<sup>2</sup>

(1. 陆军工程大学石家庄校区装备指挥与管理系, 石家庄 050003;  
2. 中国人民解放军 63853 部队, 吉林 白城 137000)

**摘要:** 针对战时备件资源的稀缺性、维修历史数据的不完整性、情境因素异构性等问题, 提出一种基于情境匹配的战时备件分配方法。利用战时情境匹配相对近似度的概念, 在战时情境因素值为精确值与区间值共存的情况下, 根据公平性准则, 采用情境与分配的平均相关系数(ARC)和平均相对可分系数(ARS)2 个绩效指标, 对每个备件需求点的备件数量及所处战斗实际情况的相符程度进行度量, 通过 Matlab 软件对数值进行仿真计算。仿真结果证明了该模型的有效适用性。

**关键词:** 情景匹配; 备件分配; 平均相关系数(ARC); 平均相对可分系数(ARS)

**中图分类号:** TJ07 **文献标志码:** A

## Wartime Spare Parts Allocation Model Based on Situation Matching

Sun Zheng<sup>1</sup>, Ge Hongyu<sup>2</sup>

(1. Department of Equipment Command & Management, Shijiazhuang Campus of PLA University of Army Engineering, Shijiazhuang 050003, China; 2. No. 63853 Unit of PLA, Baicheng 137000, China)

**Abstract:** Aiming at the rare war time spare parts, incomplete maintenance history data, situation factor heterogeneity and so on. Put forward the wartime spare parts allocation model method based on situation matching. Use wartime situation matching approximation degree, based on coexistence of accurate value and interval value in wartime situation and according to fairness principle, adopt average correlation coefficient (ARC) and average relative separability (ARS) to measure the quantity of spare parts allocated for each spare parts demand point and the actual degree of conformity of the situation. Finally, the Matlab software is used to verify the numerical value, which proves the effective applicability of the model.

**Keywords:** situation matching; spare parts allocation; average correlation coefficient (ARC); average relative separability (ARS)

### 0 引言

由于现代信息化战争的发展, 战时装备维修保障模式由以往的“数量规模”向“速度效能型”转变, “精确保障<sup>[1-2]</sup>”“协同保障”和“联合保障基于相关系数距离的备件分配结果”<sup>[3-4]</sup>等保障理念相继被提出, 加快了装备保障工作的发展进程。备件分配广泛应用于众多领域, 其概念来源于工业生产制造行业, 后来又被引入到计算机科学、交通运输规划、物流、供应链等众多领域之中。其主要内涵是在现有的约束条件下, 衡量备件和任务之间的关系, 制定某种备件分配规则, 降低损失或者提高效能评价指标, 从而使整个系统表现最佳<sup>[5]</sup>。由于战时战场情形多变, 给战时备件分配决策带来了很多困难, 学者们围绕这一问题进行了大量研究。

从模型角度来说, 1968 年, 美军开发了 METRIC<sup>[6]</sup> (multiple-echelon technique for recoverable item control) 模型。该模型对飞机备件需求进行评估的同

时兼顾了军事和经济效益, 而且在其基础上又开发了多个改进版本。海湾战争后, 美国陆军研究出了 Army War Reserve Automated Process 模型<sup>[7]</sup>, 能够对战时陆军装备备件需求进行预测。文献[8]强调运用最优化方法解决后勤功能子系统内部决策优化问题, 可以为战时后勤保障提供优化方案。吴晓辉<sup>[9]</sup>分析了装备维修资源需求, 按照装备修理分工构建了装备单元维修次数预测模型, 并在其基础上构建了备件需求预测模型。根据作战任务找出地地战术导弹战时维修特点进行备件配置, 建立了伴随备件申请时机和申请数量模型。

张芳玉<sup>[10]</sup>对供应决策的影响因素进行了分析, 建立了装备备件供应运力预计和调运模型; 宋光明等<sup>[11]</sup>提出一种基于 rough 集理论的装备保障资源配置方法, 对战场环境下资源配置进行了定性分析, 给出了多种装备保障资源配置方案; 闫红伟等<sup>[12]</sup>针对战时装备抢修备件的重要度进行建模; 曹继平

收稿日期: 2019-05-04; 修回日期: 2019-06-27

基金项目: 军内预研基金资助项目(9140A27040414JB34001)

作者简介: 孙正(1994—), 男, 山东人, 硕士, 从事装备战场抢修理论与技术研究。E-mail: 511615977@qq.com。

等<sup>[13-14]</sup>针对战场协同抢修时可能发生的抢修资源短缺和资源冲突等问题,分析了连续消耗抢修资源的特点,构建了最早抢修开始时间的救援点最少资源分配决策模型;李想等<sup>[15]</sup>从算法角度,分析了战时装备保障力量抽调的概念,考虑了抽调完成时间、风险、动用的资源点数量,针对战时装备保障力量抽调问题建立了优化模型,完善了战时维修保障资源分配决策理论;王连锋等<sup>[16]</sup>考虑了战场资源配送带有时间窗的路径问题,提出了改进的多目标粒子群优化算法,并用仿真证明了模型的合理性;Ruan J H 等<sup>[17]</sup>利用基于中值法的分配方法对资源进行了分配,分配的方法需要先将区间信息资源值转化为中值再进行求解计算。

鉴于此,在构建基于情景的战时装备的分配模型时,考虑到不同装备使用分队的装备战损率以及战损等级分布等因素对有限的备件进行分配,笔者拟提出一种基于情境的方法,为战时部队装备保障

机关对备件进行分配提供理论参考依据。

### 1 问题描述

根据战时部队维修备件保障工作实际需求及特点,笔者研究的问题可以抽象为:某次部队演习或战斗打响后发生后,从集团军后方战略仓库运送到装备使用分队备件需求点的资源,首先汇集到旅级战役级仓库;上级机关建立了  $n$  个战术级备件仓库对执行不同作战任务的装备使用分队提供备件保障,具体备件配送模式如图 1 所示。由于这些备件仓库覆盖战斗地域的战斗强度以及参战的装备、作战样式、备件的关键性、易损性、备件的需求率、获取难易程度、是否能维修、便携性、可更换性、耗损性、不同装备的结构功能因素完全不同,这些装备使用分队的备件需求也会不同;如何根据各仓库面临的具体情境,把备件仓库有限的资源分配给每个装备使用分队是急需解决的问题。

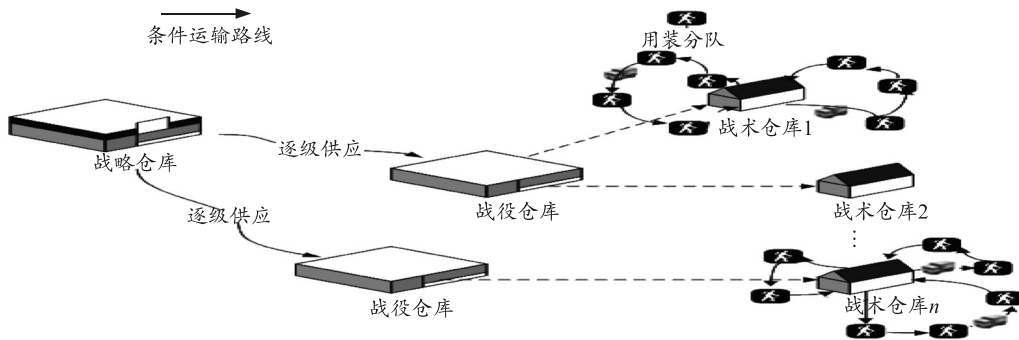


图 1 战时备件资源分配流程

## 2 方法提出

### 2.1 模型构建

笔者拟使用的相关符号定义如下:  $n$  表示战时装备使用分队的数量;  $A_j$  表示第  $j$  个装备使用分队,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $L$  为决策者在对某类备件进行分配时需要考量的不同异构情景因素;  $F_l$  为第  $l$  个异构情境因素;  $f_j^l$  表示第  $j$  个装备使用分队的第  $l$  个情境因素值;  $S_j$  表示第  $j$  个装备使用分队的情境,  $S_j = \{f_j^1, f_j^2, \dots, f_j^l\}$ ;  $Q_l$  表示当前备件仓库可用于分配的维修备件数量。决策变量  $P_j$  为每个装备使用分队分配备件的比例,  $j = 1, 2, \dots, n$ 。如果确定了每个装备使用分队分配备件的比例为  $P_j$ , 就可计算出每个装备使用分队分配的备件数量  $Q_j = P_j Q_l$ 。假设在分配过程中,装备保障机关主要侧重于考虑装备因素、任务因素、时间因素等决策情境因素,且这些因素

是具有不同属性和维度的异构情景因素。如何融合这些异构数据,对每个战术级仓库及其覆盖区域的不通用装分队所处的具体战斗情况进行测度,是进行战时备件资源分配的关键难点。笔者拟采用相对近似度测量方法,综合考虑每个用装分队所处战时实际情境与最优、最差情境之间的相对近似度,为用装分队配置数量比例与实际情境相当的备件资源。下面定义最优情境和最差情境的具体概念。

**定义 1** 最优情境:任意装备使用分队的各项异构实际情境均为最优值时的情境元素集合。即

$$S^* = \{f^{1*}, f^{2*}, \dots, f^{L*}\} \tag{1}$$

其中  $f^{l*} = f_{\text{best}}(f_1^l, f_2^l, \dots, f_n^l), l = 1, 2, \dots, L$ 。

**定义 2** 最差情景:任意装备使用分队的各项异构实际情境均为最差值时的情境元素集合,即

$$S_* = \{f_*^1, f_*^2, \dots, f_*^l\} \tag{2}$$

其中  $f_*^l = f_{\text{worst}}(f_1^l, f_2^l, \dots, f_n^l), l = 1, 2, \dots, L$ 。

在以上 2 个定义中，函数  $f_{\text{best}}$  和  $f_{\text{worst}}$  的解为装备使用分队获得最多备件资源与最少备件资源时的方程解。在装备执行不同任务中，根据实际情况，由于各装备使用分队的异构情境因素数值有较大差别，所以给出的最优与最差情境有可能不是部队实际所面对的情境，即可能是虚拟的情境值。

为了使模型的构建更符合实际情况，且不失一般性，下面给出如下假设条：

假设 1：任意战时所考虑的情境因素数值与导致部队备件需求数量的关系是正比例关系（若是实际分配工作中出现所考虑的实际情境因素与备件需求数量是反比关系，则可以对情境因素取倒数来避免该问题的发生）。

通过假设 1，得到 2 条推论：

推论 1：当前装备使用分队所处的战斗情境与最优情境之间的距离越小，则该装备使用分队对维修备件的需求相对越少；装备使用分队战斗情景与最优情境之间的距离越大，则战役级备件仓库对该用装分队分配的备件资源相对越多。

推论 2：当前装备使用分队所处的战斗情境与最差情境之间的距离越小，该装备使用分队对维修备件的需求相对越多；装备使用分队战斗情境与最差情境之间的相对距离越大，该用装分队会分配到更少的备件资源。

这样得出的各项异构情境因素不具备数值上的可比性，为此，应当先对所有装备使用分队的各项情境因素进行数值归一化处理，做如下定义：

定义 3 对装备使用分队  $A_j$  的情景  $S_j = \{f_j^1, f_j^2, \dots, f_j^L\}$ ，其归一化情景为

$$\overline{S}_j = \{\overline{f}_j^1, \overline{f}_j^2, \dots, \overline{f}_j^L\}。 \quad (3)$$

其中：
$$\overline{f}_j^l = \frac{f_j^l - f_{\text{best}}(f_1^l, f_2^l, \dots, f_n^l)}{f_{\text{best}}(f_1^l, f_2^l, \dots, f_n^l) - f_{\text{best}}(f_1^l, f_2^l, \dots, f_n^l)}$$

( $l = 1, 2, \dots, L; j = 1, 2, \dots, n$ )。所以最优情景转换为  $\overline{S}^* = \{0, 0, \dots, 0\}$  备件需求最小，最差情景转换为  $\overline{S}_* = \{1, 1, \dots, 1\}$  备件需求最大。

对于任一装备使用分队  $A_j$ ，其情景  $S_j = \{f_j^1, f_j^2, \dots, f_j^L\}$  与最优情景的距离可以表示为

$$D_{j1} = \text{distance}(\overline{S}_j, \overline{S}^*)。 \quad (4)$$

与最差情景距离为

$$D_{j2} = \text{distance}(\overline{S}_j, \overline{S}_*)。 \quad (5)$$

在确定了每个装备使用分队的情境与最优最差情境距离之后，可以给出情境相对近似度定义。

定义 4 装备使用分队  $A_j$  的情境  $S_j = \{f_j^1, f_j^2, \dots, f_j^L\}$  与最优最差情境的相对近似度为：

$$R_j = \frac{D_{j1}}{D_j} = \frac{\text{distance}(\{\overline{f}_j^1, \overline{f}_j^2, \dots, \overline{f}_j^L\}, \{0, 0, \dots, 0\})}{\text{distance}(\{1, 1, \dots, 1\}, \{0, 0, \dots, 0\})}。 \quad (6)$$

其中  $D_j$  为最优情境与最差情境之间的距离。

## 2.2 测度指标

### 2.2.1 距离测度指标

笔者通过对分配模型的建模发现，选择合适的距离测度函数，是构建基于情境匹配分配模型的核心问题，主要选择标准欧式距离测度函数对情境值进行相似度计算。

标准欧式距离定义 2 个装备使用分队的实际情境值之间的距离为：

$$D^{\text{staEucli}} = \sqrt{\sum_{l=1}^L \left( \frac{f_i^l - f_j^l}{S_l} \right)^2}。 \quad (7)$$

其中  $S_l$  表示情境因素值的标准差， $l=1, 2, \dots, L$ 。

在计算得出每个装备使用分队的情境相对近似度后，对所有数据进行归一化处理，可以得到每个装备使用分队分配的备件比例：

$$P_j = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^n R_j}。 \quad (8)$$

最后，可以得到当前决策时段为装备使用分队分配备件数量  $Q_j = P_j Q_{\text{total}}$ 。

### 2.2.2 绩效测度指标

战时维修备件的分配运输与常规民用物流大相径庭，往往更加侧重关注分配备件时的公平性与效率性，但在实际过程中却无法对分配过程是否公平进行具体度量。在战时备件分配实际中，能否为执行不同任务的用装分队分配与之战斗情景相符的备件资源，是分配过程公平的重要体现。根据公平性准则，主要提出了 2 种用于测量基于情景的备件分配方法的测度指标：情境与分配的平均相关系数 (average relevance coefficient between situations and allocations, ARC) 和平均相对可分系数 (average

relevance separability, ARS), 用以体现该模型分配的维修备件数量是否与战时实际情景相匹配。

1) 情境与分配的平均相关系数(ARC)。

定义 5 情境与分配的平均相关系数(主要为用装分队情境因素值与分配备件比例之间的平均相关系数):

$$ARC = \frac{\sum_{l=1}^L Rcoef(\{f_1^l, \dots, f_n^l\}^T, \{R_1, \dots, R_n\}^T)}{L} \quad (9)$$

其中  $Rcoef(A, B)$  表示  $A$  和  $B$  的相关系数。可以举一个简单示例来说明所给出的平均相关系数的实际含义。假设某次演习过程中有 5 个执行不同任务的用装分队 ( $A_1, A_2, \dots, A_5$ ), 装备机关对这 5 个分队分配备件时所考虑的情境因素主要是: 装备损伤比例与该分队装备总数量。如果 2 个分队的装备损伤比例相同, 那么为该分队分配的备件数量应该与各分队的装备总量相符; 若是 2 个分队的装备总数量相等, 则为其分配的备件资源数量应该与其装备损伤比例相符。若想要同时考虑 2 种以上不同情境因素, 那么不同装备使用分队分配的备件数量应该与情境因素值的平均相关系数相符。可见, 不同情景下的 ARC 系数越高, 代表装备机关分配的备件数量与该装备使用分队所面临的实际情况更加相符。

2) 平均相对可分系数(ARS)。

平均相对可分系数则是从另一方面刻画装备机关对不同用装分队分配的备件资源数量是否与实际情景相符的重要绩效指标。同样以上例为例, 这 5 个用装分队的装备损伤比例分别为  $f^l = \{f_1^l, f_2^l, \dots, f_5^l\} = \{0.6, 0.5, 0.5, 0.3, 0.3\}$ , 即有 3 种不同的损伤比例, 且不同分队的装备数量相同, 那么最后分配的结果只得出 3 种不同的分配比例, 多于或少于 3 种比例都与这 5 个分队的实际情景不相符。笔者对情境因素可分性与分配比例可分性的概念做如下定义:

定义 6 任意情境因素的可分性  $SS_l$  为所有装备使用分队不同取值的个数除以装备使用分队的总数量:

$$SS_l = \frac{\text{sumproduct}(f_1^l, f_2^l, \dots, f_n^l)}{n} \quad (10)$$

式中的  $\text{sumproduct}(A)$  函数代表  $A$  中任意 2 个不相等的因素个数。

定义 7 分配比例可分性 RS 为不同备件配置百分比的数字值个数除以所有用装分队数量:

$$RS = \frac{\text{sumproduct}(R_1, R_1, \dots, R_n)}{n} \quad (11)$$

在对上述 2 种可分性定义之后, 可以给出平均相对可分性系数的定义:

定义 8 平均相对可分系数是  $SS_l$  与 RS 的平均差:

$$ARS = \frac{\sum_{l=1}^L |SS_l - RS|}{L} \quad (12)$$

由此看出, ARS 越小, 备件分配比例与用装分队面临的实际情况越相符。

### 2.3 情景因素取值为区间时的数据处理

1) 首先对 6 种异构情境因素值进行数据归一化操作。主要是去除这 6 种情景因素的不同维度与量纲, 以便能够使用装分队的各项情境因素值进行比较计算, 对于任意用装分队的区间情境因素值, 对其归一化操作计算值为:

$$\overline{f_j^l} = \left[ \overline{(f_j^l)^{low}}, \overline{(f_j^l)^{up}} \right] = \left[ \frac{(f_j^l)^{low} - \min((f_j^l)^{low})}{\max((f_j^l)^{up}) - \min((f_j^l)^{low})}, \frac{(f_j^l)^{up} - \min((f_j^l)^{low})}{\max((f_j^l)^{up}) - \min((f_j^l)^{low})} \right] \quad (13)$$

式中: 函数  $\min((f_j^l)^{low})$  能够求得  $\{(f_j^l)^{low}, j=1, 2, \dots, n\}$  的最小值; 函数  $\max((f_j^l)^{up})$  是为了求  $\{(f_j^l)^{up}, j=1, 2, \dots, n\}$  的最大值; 需要注意的是,  $\overline{f_j^l}$  为该用装分队进行数据归一化操作后的区间情境值;  $\overline{(f_j^l)^{low}}$  与  $\overline{(f_j^l)^{up}}$  表示该区间情境值的边界大小。

2) 对归一化后的区间情境因素值进行比较。因为在获取情境信息时, 无法直接对精确信息与区间信息进行直接比对。但通过给出的改进大小测度系数可以求出, 任意归一化后的区间情境因素值  $\overline{f_j^l} = [\overline{(f_j^l)^{low}}, \overline{(f_j^l)^{up}}]$  与任意同类情境因素值(不论是区间值还是精确值均可计算)的相对需求增量指数(relative demand increment, RDI):

$$RDI_{f_j^l} = \sum_{\substack{K=1 \\ K \neq j}}^n \zeta \left( \overline{f_j^l} > \overline{f_k^l} \right) = \sum_{\substack{K=1 \\ K \neq j}}^n \frac{m(\overline{f_j^l}) - m(\overline{f_k^l})}{w(\overline{f_j^l}) + w(\overline{f_k^l}) + 1}, \forall l \in \{1, 2, \dots, 6\} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{其中, } \overline{m}(f_j^l) &= \frac{1}{2}(\overline{(f_j^l)^{\text{low}}} + \overline{(f_j^l)^{\text{up}}}), \\ \overline{m}(f_k^l) &= \frac{1}{2}(\overline{(f_k^l)^{\text{low}}} + \overline{(f_k^l)^{\text{up}}}), \\ \overline{w}(f_j^l) &= \frac{1}{2}(\overline{(f_j^l)^{\text{low}}} - \overline{(f_j^l)^{\text{up}}}), \\ \overline{w}(f_k^l) &= \frac{1}{2}(\overline{(f_k^l)^{\text{low}}} - \overline{(f_k^l)^{\text{up}}}). \end{aligned}$$

从式中可以发现：用装分队的某类情境因素值的 RDI 指数增大, 会导致该分队的备件需求量增大。但当 RDI 指数为负数时, 并不意味着该用装分队对备件需求为负数, 这只代表该用装分队所需求备件的紧迫程度没有其他分队程度高, 需求相对较少。通过对 RDI 指数的定义, 可以随意比较任意 2 个情境因素(无论是精确情境因素值还是区间情境因素值)的相对大小。

3) 确定最优与最差区间情境数值。在第 2 步对 RDI 指数进行定义之后, 就可以对当前用装分队的最优与最差区间情境进行定义:

最优情境:

$$S^* = \left\{ \text{RDI}\left(\overline{f_j^1}\right)^*, \text{RDI}\left(\overline{f_j^2}\right)^*, \dots, \text{RDI}\left(\overline{f_j^6}\right)^* \right\}. \quad (15)$$

最差情景:

$$S_* = \left\{ \text{RDI}\left(\overline{f_j^1}\right)_*, \text{RDI}\left(\overline{f_j^2}\right)_*, \dots, \text{RDI}\left(\overline{f_j^6}\right)_* \right\}. \quad (16)$$

式中

$$\text{RDI}\left(\overline{f_j^l}\right)^* = \min\left(\text{RDI}\left(\overline{f_j^1}\right)^*, \text{RDI}\left(\overline{f_j^2}\right)^*, \dots, \text{RDI}\left(\overline{f_j^n}\right)^*\right),$$

$$\text{RDI}\left(\overline{f_j^l}\right)_* = \max\left(\text{RDI}\left(\overline{f_j^1}\right)_*, \text{RDI}\left(\overline{f_j^2}\right)_*, \dots, \text{RDI}\left(\overline{f_j^n}\right)_*\right).$$

根据上式, 可以得出任意区间情境因素值与最优、最差情境因素值的相关系数距离。

到最优情境距离:

$$\begin{aligned} D_j^* &= \text{distance}\left(\left\{\text{RDI}\left(\overline{f_j^1}\right)^*, \dots, \text{RDI}\left(\overline{f_j^6}\right)^*\right\}, \right. \\ &\quad \left. \left\{\text{RDI}\left(\overline{f_j^1}\right)^*, \dots, \text{RDI}\left(\overline{f_j^6}\right)^*\right\}\right). \end{aligned} \quad (17)$$

到最差情境距离:

$$\begin{aligned} D_{j^*} &= \text{distance}\left(\left\{\text{RDI}\left(\overline{f_j^1}\right)^*, \dots, \text{RDI}\left(\overline{f_j^6}\right)^*\right\}, \right. \\ &\quad \left. \left\{\text{RDI}\left(\overline{f_j^1}\right)_*, \dots, \text{RDI}\left(\overline{f_j^6}\right)_*\right\}\right). \end{aligned} \quad (18)$$

4) 对情境因素的相对近似度进行计算。对任意

用装分队的实际情境值与最差最优情境值的相对近似度可用下式进行定义:

$$R_j = \frac{D_j^*}{D_*^*} = \frac{\sqrt{\sum_{l=1}^6 w_l \left( \text{RDI}\left(\overline{f_j^l}\right) - \text{RDI}\left(\overline{f_j^l}\right)^* \right)^2}}{\sqrt{\sum_{l=1}^6 w_l \left( \text{RDI}\left(\overline{f_j^l}\right)_* - \text{RDI}\left(\overline{f_j^l}\right)^* \right)^2}}. \quad (19)$$

式中  $D_*^* = \sqrt{\sum_{l=1}^6 w_l \left( \text{RDI}\left(\overline{f_j^l}\right)_* - \text{RDI}\left(\overline{f_j^l}\right)^* \right)^2}$  为最优最差情境值的相对距离, 可以看出: 任意用装分队的相对近似度越大, 那么为其分配的备件数量会越多。

5) 最佳分配比例的确定。通过以上公式, 可以为每个用装分队分配最符合当前实际情境的备件比例:

$$P_j = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^n R_j}. \quad (20)$$

综上所述: 每个用装分队分配的最佳备件数量可以表示为  $Q_j = P_j \times Q_{\text{total}}$ , 其中  $Q_{\text{total}}$  表示当前阶段所能分配的备件总数量。

### 3 数据验证

战时的备件分配所考虑的每个装备使用分队所面对具体情境各有不同, 装备保障机关在实际分配工作中往往要考虑很多不同方面的因素, 例如装备战损情况、执行任务数量、后方仓库备件数量、运输道路损毁状况等。从现有文献资料来看, 笔者主要考虑 6 种不同的战时情境因素, 如表 1 所示(主要侧重于研究面对当前各项异构情境因素, 如何对有限的备件资源进行分配, 使得备件保障效能最高, 并不侧重考虑到底哪些情境因素具体需要)。

表 1 分配抢修资源时考虑情境因素

符号	情景因素及含义
$f_j^1$	装备使用分队 $A_j$ 覆盖区域内装备轻损比例
$f_j^2$	装备使用分队 $A_j$ 覆盖区域内装备中损比例
$f_j^3$	装备使用分队 $A_j$ 覆盖区域内装备重损比例
$f_j^4$	装备使用分队 $A_j$ 覆盖区域内装备抢修时间
$f_j^5$	装备使用分队 $A_j$ 覆盖区域内装备数量
$f_j^6$	装备使用分队 $A_j$ 覆盖区域内任务数量

为了验证上述模型的有效适用性, 随机生成一组数据, 对模型进行仿真验证。假设在某次战时备件分配过程中, 共有 10 个用装分队需要备件供应保

障,且每个用装分队因为情境信息获取的不完整性,所面对实际情境因素并不相同,存在精确值与区间值混合出现的情况,具体数据如表格 2 所示(表 2 给出了区间情境信息下情境因素的取值范围,且情境因素值与用装分队的备件需求量成正比例关系)

继续根据式(14)可以求得每个用装分队的情境因素相对需求增量值,结果如表 3 所示。从表 3 与表 2 的对比中来看,根据公式求得的 RDI 值与给出的初始情境取值是保持一致的,例如用装分队  $A_9$  的情境取值  $f_9^1$  在不论是在表 3 还是表 2 中,其取值均为最小值,分别为 0.38 和 -4.91;用装分队  $A_2$  的情境取值  $f_2^6$  为 -2.29,  $A_1$  的情境取值  $f_1^6$  为 -0.01,这与两者在表 2 中的区间大小关系是保持一致的。然后

利用式(15)、式(16)得到最优最差情境的数值即:

$$S^* = [-4.91, -4.27, -5.13, -3.82, -4.12, -3.43],$$

$$S_* = [4.92, 5.73, 4.88, 5.54, 5.26, 3.53].$$

求得 RDI 值与最优最差情境因素值之后,利用式(17)、式(18),获得所有用装分队情境因素值与最优最差情境因素值的相对距离  $D_j^*$ ,以及最优最差情境间的相对距离  $D_*^*$ ,具体结果可见表 4。笔者未对所有情境因素值得权重进行考虑,所以将所有权重均设为  $W = \left[ \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6} \right]$ 。通过上述计算,最终可以求得所有用装分队与最优最差情境间的相对近似度、备件分配比例和分配数量,最终结果如表 4 后 3 列所示(设备件可供分配总量  $Q_{total}$  为 10 000 单位)。

表 2 用装分队实际情境

分队编号	$f_j^1$	$f_j^2$	$f_j^3$	$f_j^4$	$f_j^5$	$f_j^6$
	[0.3,0.6]	[0.1,0.3]	[0,0.1]	[600,2 000]	[20,100]	[5,30]
1	0.57	0.20	0.04	811	[54,56]	[13,20]
2	[0.41,0.46]	0.18	0.07	[1 910,2 000]	[53,55]	[10,11]
3	0.54	0.14	0.07	1 972	[31,35]	[10,19]
4	0.58	0.26	0.03	1 464	[24,26]	[17,20]
5	0.51	0.12	0.08	[740,800]	[48,50]	[25,31]
6	0.42	0.21	0.03	[1 501,1 620]	[86,90]	[21,26]
7	[0.40,0.43]	0.14	0.04	775	[34,36]	[19,22]
8	0.43	0.13	0.09	[805,819]	[49,51]	[8,11]
9	0.38	0.18	0.08	990	[52,55]	[25,29]
10	0.50	0.22	0.03	[1 403,1 810]	[88,90]	[6,10]

表 3 相对需求增量与最优最差情境因素值

任务分队	$f_j^1$	$f_j^2$	$f_j^3$	$f_j^4$	$f_j^5$	$f_j^6$
1	4.48	1.07	-1.38	-3.52	0.27	-0.01
2	-2.20	0.40	1.13	5.16	0.13	-2.29
3	2.69	-2.27	1.13	5.54	-2.91	-1.78
4	4.91	5.74	-5.13	1.58	-4.12	0.56
5	0.90	-4.27	3.63	-3.74	-0.61	3.53
6	-2.22	-2.40	-2.63	2.16	5.04	1.76
7	-2.31	-2.27	-1.38	-3.82	-2.66	1.30
8	-2.68	-3.60	4.88	-3.51	-0.46	-3.18
9	-4.91	-0.27	3.63	-2.12	0.05	3.53
10	1.35	3.07	-3.88	2.27	5.26	-3.43
最优情境 $S^*$	-4.92	-4.27	-5.14	-3.83	-4.13	-3.44
最差情景 $S_*$	4.91	5.72	4.87	5.53	5.25	3.52

表 4 最终分配结果

任务分队	$D_j^*$	$D_{j^*}$	$D_*^*$	$R_j$	$P_j$	$Q_j$
1	5.18	5.49	9.32	0.558	0.097	990
2	5.28	5.06	9.32	0.567	0.100	1 010
3	5.67	5.44	9.32	0.607	0.107	1 070
4	6.35	5.95	9.32	0.680	0.121	1 210
5	5.33	6.30	9.32	0.574	0.104	1 040
6	5.84	4.71	9.32	0.625	0.113	1 120
7	2.86	7.19	9.32	0.307	0.054	540
8	4.45	7.12	9.32	0.479	0.083	840
9	5.17	6.06	9.32	0.558	0.097	980
10	6.05	5.09	9.32	0.648	0.119	1 190

为了说明笔者提供的方法具有更好地分配效

果,现将分配结果与文献[17]所提出的基于中值法

的结果进行比对, 两者分配结果如图2所示。

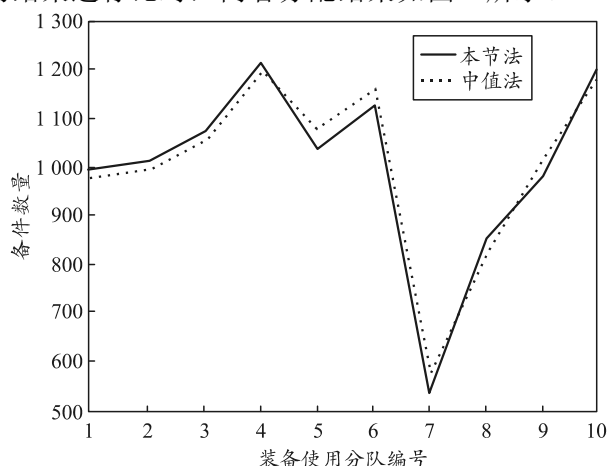


图2 文中方法与基于中值法的分配方法结果对比

文献[17]中的方法因为不能直接处理带有区间情境因素数值的结果进行运算, 需要先将区间值转化为中值再进行求解计算, 所以图2为采用中值法求得的分配结果。从2种方法的分配对比结果来看, 笔者提出的区间情境因素下的备件分配方法能够比较精确地分配与各用装分队实际情境相符合的备件, 同时也克服了文献[17]中不能直接处理区间数据运算的弊端, 大大提高了模型的有效适用性, 也更加贴近战时备件分配工作实际。但该模型仍有许多不完备之处, 例如各情境因素之间的权重系数如何评估, 后续可结合AHP分析法对各情境因素权重确定做进一步探究。

#### 4 结束语

笔者针对战时备件资源数量的不足性、战时数据的不完整性、影响因素的异构性等, 在战时情境因素取值为区间值与精确值共存的情况下, 计算了标准欧式距离测度函数下的备件分配比例, 提出了基于情境的战时备件分配方法; 同时针对战时备件分配比例容易出现分配不均的现象, 构建情境与分配的平均相关系数(ARC)和平均相对可分系数(ARS)2个绩效指标, 计算出每个装备使用分队分配的备件比例与其情境的相符程度。实验结果发现: 基于情境的战时备件分配方法能够较好地针对战时情境信息资源为区间值与精确值共存的情况, 为战时备件实施精确分配提供了一个有效的计算模型, 提高了备件分配工作的效率与精确性, 同时与基于中值法的分配方法相对比, 克服了中值法中不能直接处理区间数据运算的弊端, 提高了模型的有效适用性, 更加贴近战时备件分配工作实际。

#### 参考文献:

- [1] Office of Force Transportation, United States Department of Defence. Operation sense and respond logistic: Coevolution of an adaptive enterprise capability[J]. Concept document, 2004, 33(4): 220-222.
- [2] ROBERT S T, MAHYAR A A, RONALD G M. Sense and Respond Logistic-Integrating Prediction, Responsiveness and Control Capabilities[J]. RANDG488, 2006, 26(2): 16-17.
- [3] 关冰兵, 何海宁, 李长海. 基于信息系统的体系作战装备联合保障建设初探[J]. 装备学院学报, 2012, 23(6): 37-40.
- [4] 秦翔宇, 关冰兵. 试论装备联合保障体系的运行机制[J]. 装备学院学报, 2013, 24(5): 50-53.
- [5] 王力. 铁路集装箱中心站关键资源调度优化理论与方法[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [6] SHERBROOKE. A multi-echelon technique for recoverable item control[J]. Operations Research, 1968, 16(2): 122-141.
- [7] U.S. Government Accountability Office. Defense logistic: Actions Needed to Improve the Availability of Critical Items during Current and Future Operations[R]. ADA435981, 2005.
- [8] MICHAEL E. Train, Certify, Alert, Deploy Implications of a New Mobilization Model for the Army National Guard[R]. ADA423329, 2004.
- [9] 吴晓辉. 地地战术导弹旅战时装备维修资源优化配置研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2012.
- [10] 张芳玉. 战役通用装备维修资源保障方法研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2006.
- [11] 宋光明, 曹继平, 宋建社, 等. 基于 Rough 集理论的装备维修保障资源优化配置[J]. 计算机工程, 2007, 33(4): 220-222.
- [12] 闫红伟, 康建设, 赵纳新. 战时装备维修备件重要度模糊综合评定方法[J]. 武器装备自动化, 2007, 26(2): 16-17.
- [13] 曹继平, 宋建社, 郭军. 一种战时装备维修保障资源优化调度算法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(15): 3390-3394.
- [14] 曹继平, 宋建社, 朱昱. 战场抢修多需求点多资源优化调度研究[J]. 兵工学报, 2008, 29(8): 995-1000.
- [15] 李想, 杨英杰, 绳慧. 战时装备保障力量抽组多目标优化模型研究[J]. 指挥控制与仿真, 2011, 33(5): 54-57.
- [16] 王连锋, 宋建社, 王正元. 带硬时间窗的战场物资配送车辆路径优化[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(4): 770-776.
- [17] RUAN J H, WANG X P, SHI Y. Scenario-based allocating of relief medical supplies for large-scale disasters[J]. ICIC Express Letters, 2013, 7(2): 471-478.