

基于储运单元的航材携行组配研究

管同傲, 侯胜利

(空军勤务学院, 江苏 徐州 221000)

摘要: **目的** 为有效提高航材保障应急准备和战时快速保障能力, 探索基于储运单元的航材携行组配新模式, 解决组配航材需求大与库存条件有限的矛盾问题。**方法** 科学设计模块化航材携行组配方案, 以组配航材需求最少为目标, 分别构建了绝对约束和宽松约束条件下的组配模块配置优化模型, 并通过Matlab软件实现模型求解自动化。同时, 引入模块配置允许偏差约束条件, 以灵敏度分析为方法手段, 合理调整组配方案中与库存条件不相适应的部分。**结果** 算例分析表明, 模块化航材携行组配方案能够使组配规模和器材需求降低58.9%, 可行性大幅提高, 文中构建的模块配置优化模型既能够严格按照航材携行标准精确组配, 又能够根据现实状况灵活应变, 具有较强的实用性、适应性。**结论** 航材携行组配模块配置优化模型能够支持组配方案的实施, 对航材携行组配模式研究的推进、提高航材保障机动性, 具有重要的现实意义。

关键词: 航材; 储运单元; 携行组配

中图分类号: TB485 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)23-0289-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.23.034

Carrying and Assembling of Air Materials Based on Storage and Transportation Unit

GUAN Tong-ao, HOU Sheng-li

(Air Force Logistics Academy, Jiangsu Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: The work aims to explore a new model based on the storage and transportation unit to solve the contradiction between the large demand and the limited inventory condition of assembling air materials and improve the ability of emergency preparation and quick support in war time. The modular air material carrying and distribution scheme was designed scientifically. In order to meet the minimum demand of assembling air materials, the optimization model of the module configuration under absolute constraints and loose constraints was constructed, and the model was solved automatically by MATLAB software. At the same time, the module configuration deviation constraint was introduced, and the sensitivity analysis was used to adjust the parts of the assembling scheme which are not suitable for the inventory condition. The example showed that the modular air material carrier assembly scheme could reduce the size of assembly and the demand of equipment by 58.9%, and greatly improve the feasibility. The module configuration optimization model constructed in this paper could not only be used strictly in accordance with the standard of air material carrier, but also be flexible according to the actual situation, and had strong practicability and adaptability. The optimization model can support the implementation of the assembling scheme, and it is of great practical significance to promote the research of the model and improve the maneuverability of air material carriers.

KEY WORDS: air material, storage and transportation unit, carrying assembly

收稿日期: 2022-02-21

作者简介: 管同傲(1997—), 男, 硕士生, 主攻航材保障决策与信息化。

通信作者: 侯胜利(1977—), 男, 博士, 副教授, 硕导, 主要研究方向为控制科学与工程。

携行航材是航空兵部队外出执行任务时,部队实施伴随保障所需携带的重要维修保障资源。随着实战化训练的不断深入推进,航材伴随保障任务也越来越重,但目前部队仍立足于平时航材保障,长期以来的研究重点都聚集于携行品种确定^[1-5]与携行数量预测^[6-11]上,满足于接到任务临时拟制清单、组配器材,极大地影响了部队的拉动速度。

为适应新时期军事斗争形势,保持全时待战、随时能战的高度戒备状态,迫切需要探索构建规模适度、响应迅速、组配科学、运转顺畅的航材任务携行体系,提高部队航材保障应急准备和战时快速保障能力。本文的研究内容是在携行航材配置理论已经相对成熟的基础上,紧盯空军未来发展前沿和战备训练需要,创新航材携行组配模式,兼顾不同机队规模和多个任务方向,依托储运单元,提前完成相关航材的提取、装箱等工作,通过科学的组配模式,优化航材任务携行体系,简化任务准备工作流程,提高部队执行任务的时效性,满足快速机动、灵活高效的应急航材保障需求。

1 航材携行组配概述

基于储运单元的航材携行组配是指针对不同作战保障需求,按照航材携行标准,将规定品种、数量的航材提前进行抽组、拆分、装箱、组套的一种预先性准备工作,从而达到“急时应急、战时应战”的目的。为解决组配规模大、器材需求多、库存水平有限的问题,本文采取模块化思想,利用储运单元对器材进行合理编组、灵活组合,科学设计便捷高效、可行实用的航材携行组配方案。

1.1 储运单元概念

储运单元是为适应各型装载平台,便于开展机械化、集装化运输而设计的一种标准化、通用化的包装单元,达到储、运、包一体化^[12-13]。航材储运单元采用前开门箱式结构,如图 1 所示,箱组装车状态不需要将箱组卸车,码放状态即可取放物资,使用便捷,适合车载物资保障,可以满足仓库储存、车辆运输、快速展开等特性要求,见图 2—3。尺寸以目前广泛使用的运输集装箱和空运托盘尺寸为依据,在此基础上进行多次等分和迭代而获得,确保组合集装时运输空间利用率最大化,可实现器材配套组合集装规划、防差错快速装箱等功能,见图 4。

利用航材储运单元的上述特点优势,可将其应用于航材伴随保障,实现携行航材单元化储运,通过各个储运单元间的相互组合,灵活组配出能够满足不同作战任务规模航材需求的航材携行战套。

1.2 基本组配规则

根据飞机力量编制情况和任务现实需求,将机队规模划分为 4 个梯度开展组配研究,分别为 2 机、4

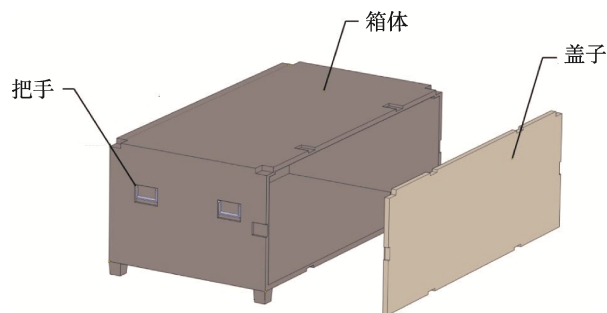


图 1 包装箱结构

Fig.1 Schematic diagram of packing box structure

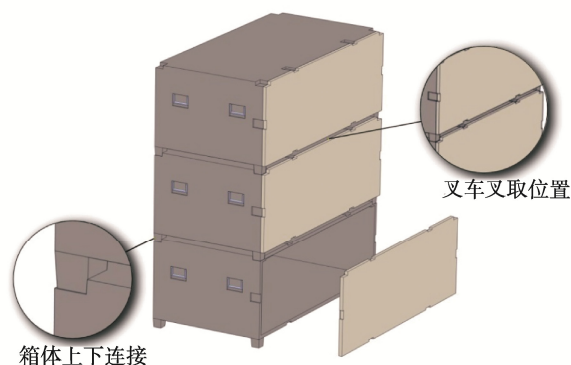


图 2 包装箱组配安装

Fig.2 Schematic diagram of packing box assembly and installation

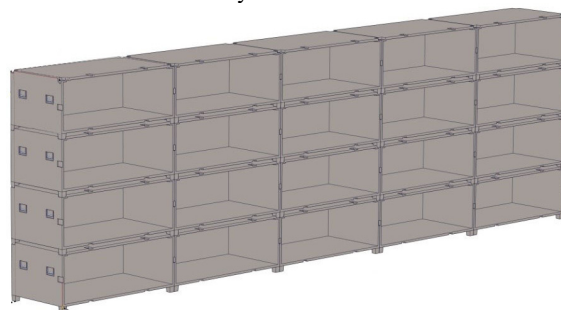


图 3 包装箱展开作为货架使用

Fig.3 Schematic diagram of unfolding the packing box as a shelf

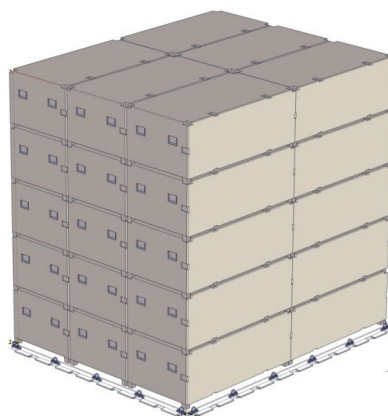


图 4 包装箱托盘运输

Fig.4 Schematic diagram of packing box and pallet transportation

机、8 机和 16 机。依据历史任务保障经验, 组配时可参考如下规则进行。

1) 2—4 机为小规模机队, 只考虑适量增加航材品种、数量作为补充, 并将 4 机携行战套作为组配基数。

2) 4—8 机达到中等规模机队, 携行量上应给予倍数增加(4 机的 2 倍), 并适量增加航材品种、数量作为补充。

3) 8 机到 16 机接近大规模机队, 便于集中保障, 携行数量上应适当降低倍数比例(4 机 3 倍), 并适量增加航材品种、数量作为补充。

其中, 小规模机队任务出动较为经常, 大中规模机队任务出动频次较少, 在考虑多点保障问题上, 应满足 2 机、4 机 6 个任务方向需要, 8 机 3 个任务方向需要, 16 机 2 个任务方向需要。

1.3 组配模块设计

为适应上述组配规则, 增强航材组配灵活性、准确性, 在组配模块设计方面, 以“体系优化、结构合理、易行有效”为原则, 采取“基数(B)+补充(S)”模块组合策略, 构建航材携行组配模块体系如图 5 所示。根据功能作用, 模块主要分为 2 类: 一是基数模块 B, 由 2 个子模块 B0、B1 构成 $B=B_0+B_1$, 是构成各级战

套的基础性模块, 发挥主体作用; 二是补充模块 S, 共有 5 种, 即 S0、S1、S2、S3、S4, 对基数变换过程中产生的差值进行修正。

2 航材携行组配方案

在航材携行组配模块体系结构下, 按照比例关系, 确定“基数(B)+补充(S)”模块组配方案, 根据机队规模, 选取相应模块进行快速组合, 形成所需航材携行战套。在合成战套基础上, 可结合具体任务, 做出适当微调; 在紧急状态下, 亦可作为先行物资, 用于应对战时或任务初期保障需求, 并等待后续补充。航材携行组配规则方式见表 1 和图 6。

“基数(B)+补充(S)”模块组合方式, 是针对航材携行配置梯度变化特点所采取的一种科学方法手段, 利用 7 种、32 个模块间的有机组合实现航材携行快速组配。组配航材需求量大与航材库存数量有限之间的矛盾问题突出, “基数”思想提高了模块通用性、融合性, 降低了模块冗余性; “补充”策略同样注重模块利用率问题, 适当增设通用补充模块, 避免重复性、盲目性补充, 多措并举缩减组配规模、减少库存需求。同时, 模块体系结构精简, 组合方式复杂性低, 提高了航材携行组配的操作性、快速性、高效性。

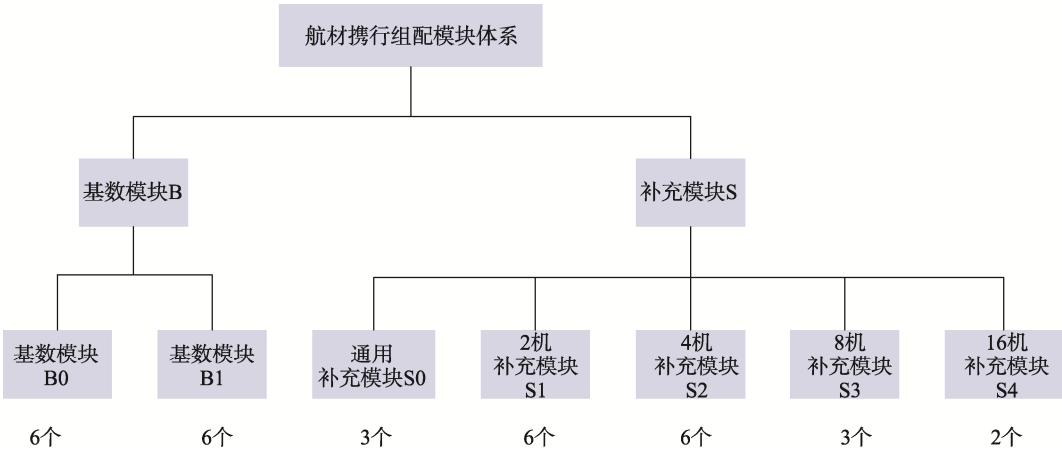


图 5 航材携行组配模块体系
Fig.5 System of air material carrying assembly module

表 1 战套组配规则
Tab.1 Matching rules for combat sets

战套名称	战套符号	组配套数	战套组配规则
2 机战套	P1	6 套	$P1=B_0+S1$
4 机战套	P2	6 套	$P2=B+S1+S2=B_0+B1+S1+S2$
8 机战套	P3	3 套	$P3=2*B+S0+S3=2*(B_0+B1)+S0+S3$
16 机战套	P4	2 套	$P4=3*B+S0+S4=3*(B_0+B1)+S0+S4$

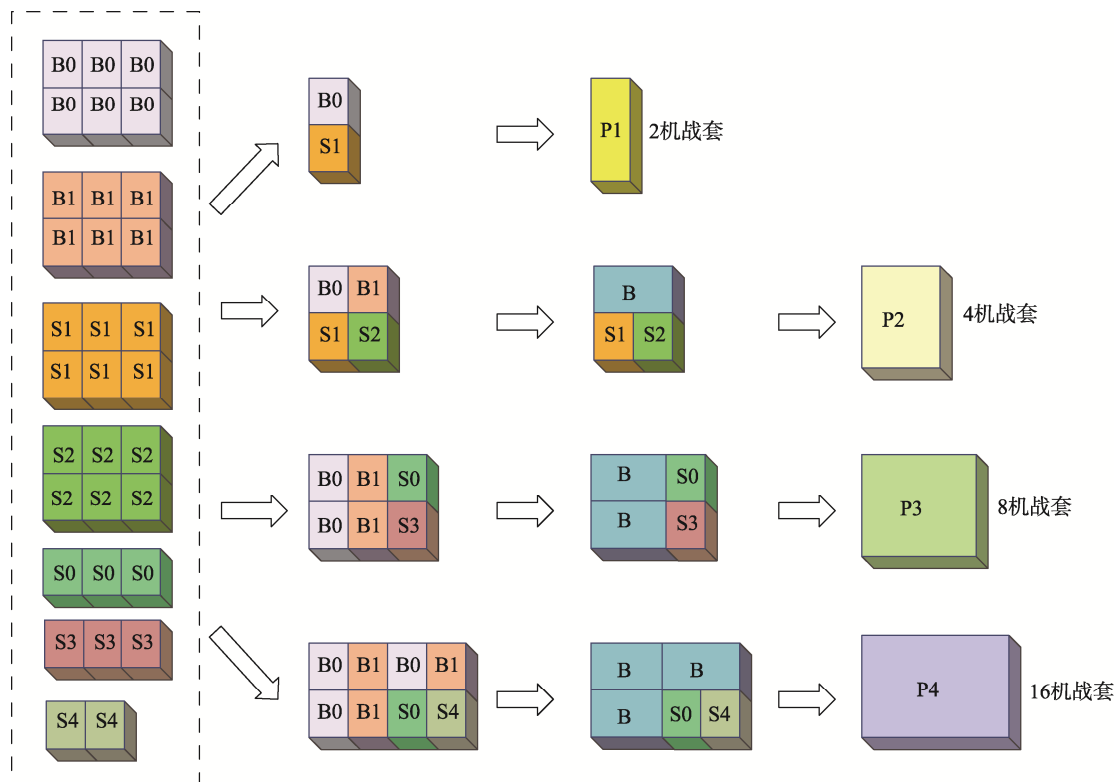


图6 航材携行组配方案示意图

Fig.6 Schematic diagram of air material carrying assembly

3 航材携行组配模块配置

在上述航材携行组配方案中,关键在于解决两个问题,一是模块配置问题,合理确定组配方案中底层子模块的航材配置,使模块按规则组合形成的各级航材战套与对应携行标准相一致,并保证组配航材需求量最少;二是装载问题,即根据航材及包装箱规格大小,充分利用航材储运单元空间进行装载,使所需储运单元数量最少。关于航材装载算法之前已有相关较为成熟的研究^[14-16],文中这里不再另做研究,主要针对第一个问题,建立模型进行求解。

3.1 模型参数

为便于模型理解,对后文中用到的一些参数含义进行说明: p_1 为2机航材携行标准数量; p_2 为4机航材携行标准数量; p_3 为8机航材携行标准数量; p_4 为16机航材携行标准数量; b 为基数模块B航材配置数量; b_0 为基数子模块B0航材配置数量; b_1 为基数子模块B1航材配置数量; s_0 为通用补充模块S0航材配置数量; s_1 为2机补充模块S1航材配置数量; s_2 为4机补充模块S2航材配置数量; s_3 为8机补充模块S3航材配置数量; s_4 为16机补充模块S4航材配置数量; Q 为组配航材需求量。

3.2 模型构建

组配航材需求量越少,库存要求越低,组配难度

越小、规模越精简、经济性越好。组配航材需求量等于所有模块航材配置数量之和,以组配航材需求量最少为目标函数,见式(1)。

$$\min Q = 6(b_0 + b_1 + s_1 + s_2) + 3(s_0 + s_3) + 2s_4 \quad (1)$$

根据表1各级战套组配规则,建立变量间的相互关系及约束条件。考虑到约束条件的严格程度会影响组配方案的现实可行性,区分绝对约束和宽松约束建立数学模型。

1) 绝对约束条件。绝对约束条件下,模块按规则组合生成的各级战套必须完全符合对应航材携行标准,不允许上下偏差的存在,低于标准会影响作战航材保障率,高于标准会扩大保障规模、影响保障机动性。

$$\begin{cases} b_0 + s_1 = p_1 \\ b + s_1 + s_2 = p_2 \\ 2b + s_0 + s_3 = p_3 \\ 3b + s_0 + s_4 = p_4 \\ b = b_0 + b_1 \\ b, b_0, b_1, s_0, s_1, s_2, s_3, s_4 \in N \end{cases} \quad \text{s.t.} \quad (2)$$

式中: p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 为常量。

2) 宽松约束条件。由于器材库存水平有限,绝对约束条件下的模块配置往往易与库存条件相冲突,组配航材需求量高于库存量,组配方案实施难度大,因此,按照“宁多勿少、能退不补”的原则,保证军事效益和组配效率,将约束条件进一步放宽,仅将航材

携行标准作为边界下限, 从而求取组配模块最低要求配置。

$$\text{s.t.} \begin{cases} b_0 + s_1 \geq p_1 \\ b + s_1 + s_2 \geq p_2 \\ 2b + s_0 + s_3 \geq p_3 \\ 3b + s_0 + s_4 \geq p_4 \\ b = b_0 + b_1 \\ b, b_0, b_1, s_0, s_1, s_2, s_3, s_4 \in N \end{cases} \quad (3)$$

3.3 模型求解

通过对模型观察分析发现, 航材携行组配模块配置优化问题可以归结为整数规划问题, 求解该类问题可调用 Matlab 2021b 中的 linprog() 函数, 输入相关数据, 按照逻辑关系, 通过编程实现逐项器材模块配置优化模型求解自动化。

3.4 灵敏度分析

在绝对约束条件和宽松约束条件下, 分别可求得航材携行组配模块的理想配置和最低配置。为增强模型的可变性、适应性, 为决策者提供更多可选择的配置方案, 使模块配置能够依据现实情况做出最优调整, 文中在宽松约束模型中引入模块配置允许偏差上限条件, 见式 (4)

$$\delta \leq \delta_{up} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \delta_1 = b_0 + s_1 - p_1 \\ \delta_2 = b + s_1 + s_2 - p_2 \\ \delta_3 = 2b + s_0 + s_3 - p_3 \\ \delta_4 = 3b + s_0 + s_4 - p_4 \\ \delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 \end{cases} \quad (5)$$

式中: δ_1 、 δ_2 、 δ_3 、 δ_4 分别为 2 机、4 机、8 机、16 机标准偏差, 即各级战套配置与航材携行标准的差值; δ 为模块配置偏差, 即 2 机、4 机、8 机、16 机标准偏差之和; δ_{up} 为模块配置允许偏差上限值。

以 δ_{up} 作为灵敏度分析的变化参数, 以航材携行组配模块最低配置的模块配置偏差 δ 作为 δ_{up} 的最大值 δ_{max} , 使 δ_{up} 由 0 逐渐增加至 δ_{max} , 并求解相应允许偏差范围内的最优模块配置, 与此同时, 观察模块配置偏差数 δ 和组配航材短缺数 γ 的变化趋势。

$$\gamma = \max[(Q_{obj} - C), 0] \quad (6)$$

式中: Q_{obj} 为模型最优目标函数值, 即当前约束条件下的组配航材需求最小值; C 为器材库存量。灵敏度分析流程见图 7。图 7 中, i 表示组配方案中第 i 项航材; n 表示组配方案航材总项数; δ_i^{up} 表示第 i 项航材的模块配置允许偏差上限; δ_i^{max} 表示 δ_i^{up} 的最大值, 即组配模块最低配置的模块配置偏差。

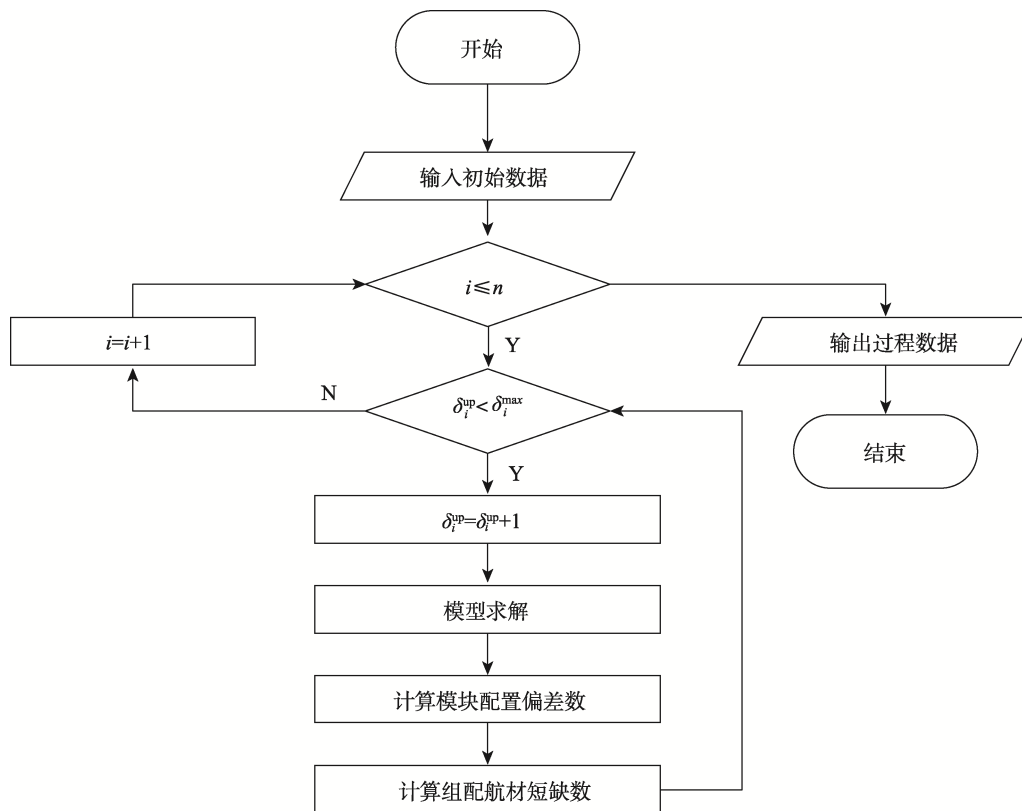


图 7 灵敏度分析流程
Fig.7 Sensitivity analysis process

4 算例分析

以某型飞机航材携行组配为例,根据作战任务需求,分别测算出 2 机、4 机、8 机、16 机的航材携行标准,部分器材见表 2。在此基础上,利用建立的航材携行组配模块配置优化模型,计算航材携行组配模块配置及需求量。

首先,根据表 2 航材携行标准,在绝对约束条件下,求解航材携行组配模块的理想配置。为说明模块组配方式的优越性,文中将组配方案优化结果与独立组配方式进行对比,见表 3。独立组配方式是指 4 级、17 个战套组配独立进行、互不交叉。由表

可得,独立组配方式虽然简单但结构组成不合理,冗余成分多,器材利用率低,组配完成共需 6 项器材 224 件,库存动用多,组配规模大,现实条件支撑困难;模块组配方式能够克服以上缺点,组配完成仅需 6 项器材 92 件,组配规模和器材数量缩减 58.9%,航材携行组配方案科学性、经济性、实用性优势显著。

同时,从表中可以发现,器材 4 和器材 6 的库存量较少,无法满足组配要求,共造成 5 件组配航材短缺。为解决上述矛盾问题,在宽松约束条件下,可求得航材携行组配模块的最低配置。组配模块配置发生变化的部分见表 4—5。

表 2 部分航材携行标准
Tab.2 Standard for carrying of partial air materials

序号	携行数量/件			
	2 机	4 机	8 机	16 机
1	0	1	2	5
2	0	0	1	1
3	3	7	13	25
4	1	1	1	2
5	1	1	3	3
6	0	0	0	1

表 3 航材携行组配模块理想配置
Tab.3 Ideal configuration of air material carrier assembly module

航材序号	b_0	b_1	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4	库存数	组配航材需求量	
									模块组配	独立组配
1	0	1	0	0	0	0	2	43	10	22
2	0	0	1	0	0	0	0	5	3	5
3	3	3	1	0	1	0	6	156	57	149
4	0	0	1	1	0	0	1	7	11	19
5	1	0	0	0	0	1	0	10	9	27
6	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2

表 4 航材携行组配模块最低配置
Tab.4 Minimum configuration of air material carrier assembly module

航材序号	b_0	b_1	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4	组配航材需求量
1	1	0	0	0	0	0	2	10
3	3	4	0	0	0	0	4	50
4	1	0	0	0	0	0	0	6

表 5 战套配置及模块配置偏差
Tab.5 Combat sets configuration and module configuration deviation

航材序号	战套配置数				模块配置 偏差数
	2 机	4 机	8 机	16 机	
1	1	1	2	5	+1
3	3	7	14	25	+1
4	1	1	2	3	+2

根据表 4—5 可得, 在最低要求条件下, 6 项器材的组配需求总数为 80, 模块配置偏差总数为 4, 组配航材短缺总数为 1。由此可见, 航材携行组配模块最低配置会导致各级战套航材配置数量偏多, 机动性能有所损失, 但组配航材需求量得到了降低, 库存适应性更强, 经济性更高。

为在组配模块理想配置与最低配置之间得到一个合理配置, 针对全部器材模块理想配置方案中与库存条件不相适应的部分, 通过灵敏度分析对该部分器材组配模块配置进行迭代处理。以组配模块理想配置为起点, 逐步放宽该部分器材的模块配置偏差约束条件限制, 观察航材携行组配方案的模块配置偏差总数 $\sum_{i=1}^n \delta_i$ 和航材短缺总数 $\sum_{i=1}^n \gamma_i$ 变化。Matlab 2021b 生成的迭代变化曲线见图 8。

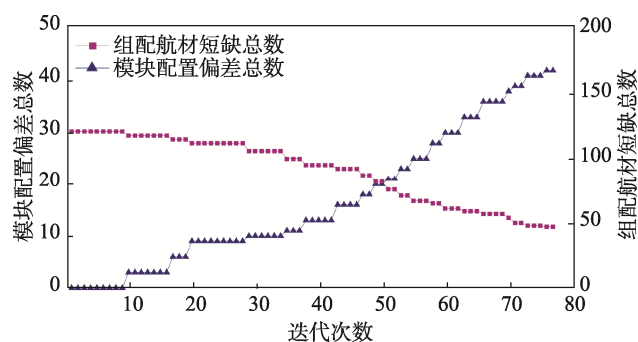


图 8 灵敏度分析迭代曲线

Fig.8 Iterative curve for sensitivity analysis

由图 8 可知, 随着模块配置偏差约束条件的放宽, 偏差值越来越大, 短缺航材越来越少, 曲线上的每一个波动点均可生成一个新的组配模块配置方案, 决策者可根据现实状况选取松紧适度的约束条件, 对模块配置方案做出调整或制定库存补充计划。尤其是曲线末端, 航材携行组配模块配置已达到最低, 但依然存在少部分器材有所短缺, 这些器材因库存水平过低, 成为制约航材携行组配完成的瓶颈, 这类器材应重点关注, 对库存进行补充加强, 从而优化航材资源分布结构、提高航材战备能力。

5 结语

以促进航材保障敏捷化、机动化、高效化为牵引, 利用储运单元创新航材携行组配模式并展开相关研究。以模块化为思想, 科学设计航材携行组配方案, 并构建航材携行组配模块配置优化模型, 为组配方案的实施提供模型支持。算例表明, 该模型能够优化组配模块配置, 满足组配方案要求, 减少组配航材需求, 同时, 具有良好的可调节性, 能够灵活调整组配方案, 更好地适应现实库存状况。文中在航材携行组配模式研究方面进行了大胆的探索和尝试, 为适应空军发展

建设要求、提高备战打仗能力做出理论上的贡献, 但在方案设计上还存在一定的局限性, 需要继续完善和进一步优化。

参考文献:

- [1] 刘信斌, 李继军, 王甫红. 基于携行度的歼击机携行器材品种确定[J]. 空军装备研究, 2017, 11(4): 10-14.
LIU Xin-bin, LI Ji-jun, WANG Fu-hong. Determination of Fighter Carrying Equipment Based on Carrying Degree [J]. Air Force Equipment Research, 2017, 11(4): 10-14.
- [2] 崔国伟, 王正, 张登滨, 等. 场站转场条件下备件携行品种研究[J]. 设备管理与维修, 2016(12): 115-117.
CUI Guo-wei, WANG Zheng, ZHANG Deng-bin, et al. Study on the Carrying Varieties of Spare Parts under the Condition of Station Transfer[J]. Plant Maintenance Engineering, 2016(12): 115-117.
- [3] 刘信斌, 乔丽, 李昊, 等. 歼击机携行器材品种确定模型研究[J]. 论证与研究, 2018, 34(2): 36-41.
LIU Xin-bin, QIAO Li, LI Hao, et al. Study on The Model for Determining The Type of Equipment Carried by Fighter [J]. Demonstration and Research, 2018, 34(2): 36-41.
- [4] 张帅, 唐金国, 俞金松, 等. 基于属性的舰载机航材备件品种确定方法[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(7): 87-91.
ZHANG Shuai, TANG Jin-guo, YU Jin-song, et al. Research on Determining Methods of Carrier-Based Aviation Spare Variety Based on Attribute Analysis[J]. Fire Control & Command Control, 2015, 40(7): 87-91.
- [5] 张闯, 刘福胜, 单志伟, 等. 一体化装备保障备件品种确定方法[J]. 装甲兵工程学院学报, 2018, 32(3): 30-34.
ZHANG Chuang, LIU Fu-sheng, SHAN Zhi-wei, et al. Determination Method of Spare Parts Variety of Integrated Equipment Support[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2018, 32(3): 30-34.
- [6] 毕钊, 侯胜利. 高原驻训航材有寿件需求预测研究[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51(1): 178-185.
BI Zhao, HOU Sheng-li. Research on Demand Forecast of Longevity Parts of Aviation Materials in Plateau Training[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2021, 51(1): 178-185.
- [7] 刘海涛, 邵松世, 张志华. 基于任务的 k/n(G)系统舰船备件需求预测[J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43(8): 2189-2196.

- LIU Hai-tao, SHAO Song-shi, ZHANG Zhi-hua. Task Based Demand Forecasting of Warship Spares for k/N(G) System[J]. Systems Engineering and Electronics, 2021, 43(8): 2189-2196.
- [8] LI Xiong, ZHAO Xiao-dong, PU Wei. Battle Damage-Oriented Spare Parts Forecasting Method Based on Wartime Influencing Factors Analysis and E-Support Vector Regression[J]. International Journal of Production Research, 2020, 58(4): 1178-1198.
- [9] 翟亚利, 张志华, 邵松世. 考虑维修因素的随舰备件配备方案研究[J]. 海军工程大学学报, 2019, 31(3): 84-88.
- ZHAI Ya-li, ZHANG Zhi-hua, SHAO Song-shi. Warship Equipment's Spare Demand in Consideration of Maintenance[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2019, 31(3): 84-88.
- [10] 宋传洲, 王瑞奇, 刘天庆, 等. 基于 XGBoost- GRA-DEMATEL 面向任务携行航材消耗预测方法[J]. 航空兵器, 2021, 28(4): 88-96.
- SONG Chuan-zhou, WANG Rui-qi, LIU Tian-qing, et al. A Mission-Oriented Aircraft Spare Parts Carried Consumption Prediction Method Based on XGBoost-GRA-DEMATEL[J]. Aero Weaponry, 2021, 28(4): 88-96.
- [11] 刘信斌, 李乐喜, 周扬. 歼击机携行器材数量预测模型研究[J]. 空军装备研究, 2018, 12(5/6): 27-31.
- LIU Xin-bin, LI Le-xi, ZHOU Yang. Research on Prediction Model of Number of Equipment Carried by Fighter [J]. Air Force Equipment Research, 2018, 12(5/6): 27-31.
- [12] 耿小川. 基于现代物流业的箱码应用[J]. 中国质量技术监督, 2014(3): 64-65.
- GENG Xiao-chuan. Application of Box Code Based on Modern Logistics Industry[J]. China Quality Supervision, 2014(3): 64-65.
- [13] 丘尔. 集装箱单元化储运——生产企业物流的发展方向[J]. 中国物资流通, 2001(6): 27.
- QIU Er. Unit Storage and Transportation-the Development Direction of Logistics in Production Enterprises[J]. China Materials Distribution, 2001(6): 27.
- [14] 刘硕, 崔崇立, 宗彪. 基于混合遗传算法的航材集装箱装载问题研究[J]. 物流科技, 2018, 41(9): 123-127.
- LIU Shuo, CUI Chong-li, ZONG Biao. Research on Aviation Material Container Loading Based on Hybrid Genetic Algorithm[J]. Logistics Sci-Tech, 2018, 41(9): 123-127.
- [15] 袁福帅, 余震, 朱浩涛, 等. 基于改进遗传算法的航材装载优化[J]. 包装工程, 2021, 42(23): 249-258.
- YUAN Fu-shuai, YU Zhen, ZHU Hao-tao, et al. Air Material Loading Optimization Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(23): 249-258.
- [16] 倪彬, 崔崇立, 徐常凯, 等. 航材包装单元多隔层集装箱装载优化研究[J]. 包装工程, 2020, 41(17): 267-271.
- NI Bin, CUI Chong-li, XU Chang-kai, et al. Optimization of Multi-Compartment Container Loading for Air Material Packaging Unit[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(17): 267-271.

责任编辑: 曾钰婵