

Research on Wartime Transportation Scheduling Algorithm of Aircraft Engine Based on AHP

Cong Li Jing Liu Yao Ren Dongxing Zhao Qinggong Yue

Military Representative Office of Air Defense Stationed in Zhuzhou Area, Zhuzhou, Hunan, 412000, China

Abstract

With the continuous development of China's aviation construction, the demand for aviation engines is constantly increasing, and the demand for various spare parts such as aviation engines is also growing. Faced with the shortage of spare parts for combat units under emergency conditions, the number of aviation engines should be replenished in time to achieve the successful completion of the mission. In view of the characteristics such as the fast pace of performing flight tasks, the complex and changeable battlefield environment, the heavy task of aviation engine support, and the difficulty of aviation engine scheduling and command decision-making, in order to achieve the goal of timely, accurate and efficient aviation engine support, an emergency aviation engine scheduling optimization model based on AHP-linear weighting method is proposed. This method is verified through examples. The results show that this method can effectively improve the problem that previous commanders relied on intuition and experience to make decisions, resulting in an unscientific scheduling plan. It can provide a scientific and reasonable decision-making basis for emergency multi-objective aviation engine scheduling.

Keywords

wartime; transportation; scheduling algorithm; AHP; aircraft engine

基于 AHP 的航空发动机应急条件下运输调度算法的研究

李琮 刘静 任耀 赵东星 岳庆功

空装驻株洲地区军事代表室, 中国·湖南 株洲 412000

摘要

随着中国航空建设的不断发展, 航空发动机的需求不断增大, 对各类航空发动机等备件需求也越来越大。面对作战单位在应急条件下备件短缺的情况, 要及时补充航空发动机数量, 实现任务顺利完成。针对执行飞行任务节奏快、战场环境复杂多变、航发保障任务繁重, 航发调度指挥决策难等特点, 为实现航发保障及时、准确、高效的保障目标, 提出了基于 AHP-线性加权法的应急航发调度优化模型, 通过示例对该方法进行了验证, 结果表明, 该方法可以有效地改善以往指挥员依靠直觉和经验决策而导致调度方案不够科学的问题, 可为应急多目标航发调度提供科学合理的决策依据。

关键词

应急; 运输; 调度算法; AHP; 航空发动机

1 引言

航空发动机调度是应急航空发动机保障的重要组成部分, 直接关乎航空单位航空发动机能否及时、精确、可靠地得到航空发动机供应。从某种程度上讲, 装备备件调度直接作用于效率、进程和结局。现代航空执行飞行任务节奏极快, 航空发动机消耗甚巨, 运输环境复杂多变, 航空发动机保障任务异常紧迫, 往往是多个储备点为多个需求点进行保障, 从而极大地增加了调运组织的难度。针对航空发动机调度相关问题, 国内外许多学者开展了针对性研究^[1-5]。上述调度优化方法能够解决局部收敛和全局优化解的问题, 但容易受到方案制定者主观影响和数据准确性的影响, 解决实际问题

中可能缺乏足够的技术支持, 使得决策者无法对航空发动机调度方案作出快速正确决策。基于此, 为解决应急短缺条件下航空发动机的调度问题, 论文提出运用层次分析法(AHP)确定不同目标函数的权重, 构建应急条件下多供需点航空发动机调度模型。

2 航发运输风险分析

为对应急军事运输过程中我方运输力量及其运载的物资或装备在各路段被敌方直接破坏或袭击的概率风险进行评估, 并为路线规划提供基础参数的支撑(其他主要的基础参数还包括路段位置、路段长度以及路段通行时间等)。路径环境风险是在敌方意图未知的情况下, 应急运输路段因敌方破坏或袭击致使运载物资或装备无法送达目的地的相对概率数值。应当注意的是, 路径环境风险以任务完成为指向, 即物资或装备受到直接袭击无法送达的风险。路径环境风险

【作者简介】李琮(1984-), 男, 中国湖南湘潭人, 硕士, 工程师, 从事航空发动机装配试车和运输物流研究。

值的计算不包含敌方蓄意破坏的成分,也不将自身客观风险(如危险品运输等)和主观风险(如驾驶技术、心理因素和安全因素等)列为考虑要素。

对环境风险值的计算而言,还应满足以下要求:①成功率相关性。②费用相关性。③时间依赖性。④重要度相关性。⑤因素的相对性。⑥动态性。

3 应急多目标航发调度模型构建

3.1 应急多目标航发调度问题描述

论文涵盖了航空发动机的储存发运、航空发动机的供应时间、航空发动机的运输成本、航空发动机需求点的重要性等。基于不确定性,我们运用大量思考来创造限制并创建紧急情况下的多用途航空发动机交付模型。

先设有 n 个航空发动机储备点,设每个航发储备点的安排供应量为 s_i ,最大供应量为 s'_i ,其中 $i=1,2,\dots,n$ 。另设航发需求点有 m 个,设需求点的期望需求量为 d'_j ,因航发储存短缺实际安排获得 $d_j, j=1,2,\dots,m$,设需求点的对应重要度权重值为 e_j 。为便于表示,将航发从储备点 s_i 到 d_j 的时间记作 t_{ij} ,航发需求点 d_j 的目标期望时间值为 t_j 。从储备点 s_i 运输至需求点 d_j 的航发数量记作 x_{ij} ,设其单位航发调度成本为 c_{ij} ,则航发调度成本表示为 $c_{ij}x_{ij}$,将航发从储备点通过物流成功运送到需求点的概率为 p_{ij} ,允许最低运输成功概率 p_0 ;其中 d_j, t_j 为不确定区间数。

3.2 紧急多目标空中调度问题的思考

①在任何特定的航空发动机位置,航空发动机存储容量可能都不够;②只考虑常态化的运输方式;③航发期望需求量为确定数;④航发运输时间为统计平均数,即确定数;⑤算法只针对同一类型的航发,考虑航发数量;⑥输送成功率可以预测,且经过敌方雷达覆盖区时成功率较低。

3.3 建立应急多目标航发调度模型

确定目标函数:

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}(t_{ij} - t_j) \quad (1)$$

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij}x_{ij} \quad (2)$$

$$\max \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m p_{ij}x_{ij} \quad (3)$$

$$\max \sum_{j=1}^m \frac{e_j d_j}{d_j} \quad (4)$$

其中,式(1)为以使得航发运输总体时间最短的公式;式(2)为使得航发运输总体成本最低的;式(3)为使得航发运输综合成功率最大的公式。式(4)为使得重要目标点

优先得到满足成都最大的公式。

4 应急多目标航发调度模型求解过程

4.1 确定运营目标和限制

根据不同情况的实际需要,确定模型的目标函数及相关参数。为了使计算更容易,记目标函数:

$$f_1(x) = \min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij}x_{ij} \quad (5)$$

$$f_2(x) = \min \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}(t_{ij} - t_j) \quad (6)$$

$$f_3(x) = \max \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m p_{ij}x_{ij} \quad (7)$$

$$f_4(x) = \max \sum_{j=1}^m \frac{e_j d_j}{d_j} \quad (8)$$

4.2 运用线性加权法,构建新的目标函数

线性加权法将目标函数的各个子函数赋予不同的权值,形成一个总的目标函数,为了精准找到不同子函数的精确权值,我们可以运用 AHP 层次分析法来进行权值分析。通过两两进行比较,即可得到子函数相应权值,因要考虑应急重要节点的航材需求量的满足,因此只对费用、延迟时间、成功率进行 AHP 层次分析。制定多目标函数 $f_k(x)$ (其中 $k=1, 2, 3, 4$),且相应子函数的权重系数分别是 ω_k ,此时考虑重要战场位置的航发满足程度直接决定战斗胜利的原因,可设置为 $f_4(x)$ 权值最高,因此直接设置 $\omega_4=100$,可构建新的目标函数 $U(x)$:

$$U(x) = \sum_{k=1}^3 \omega_k f_k(x) + 100 f_4(x) \quad (9)$$

4.3 求解

根据式(1)至式(9),结合具体的约束条件,将相关模型录入编制好的 MATLAB 程序,计算函数 $U(x) = \sum_{k=1}^3 \omega_k f_k(x)$ 进行求解,求得最优解 x' 。

5 案例分析

假设目标区域内分布有 4 个航发供应点,分别为 S_1, S_2, S_3, S_4 ,航发总储备量为 200,其中, $S_1=40, S_2=65, S_3=50, S_4=45$ 。本地区分布为飞机发动机需求准备 5 台(假设从飞机发动机交付到需要的时间是一个不确定的时间),每支任务单位上报航发期望需求量,航发期望需求量可以大于航发最大供应量。其中, $D_1=70, D_2=60, D_3=55, D_4=65, D_5=65$;设定 5 支任务单位战略重要度分别为 5、4、7、2、9(重要度高为 9,最低为 1)。允许最低运输成功率 $p_0=0.8$ 。应急航发供应过程中的 c_{ij}, t_{ij}, p_{ij} 。

设航发储备点到需求点的目标期望时间是 1,1,2,1,2;则其延误时间如表 1 所示。

表 1 应急航发供应过程中成本、延误时间和道路畅通概率明细

	S_1			S_2			S_3			S_4		
	c_{ij}	$t_{ij}-t_j$	p_{ij}	c_{ij}	$t_{ij}-t_j$	p_{ij}	c_{ij}	$t_{ij}-t_j$	p_{ij}	c_{ij}	$t_{ij}-t_j$	p_{ij}
D_1	5	2	0.4	4	0	0.8	4	3	0.9	6	0	0.7
D_2	4	2	0.8	3	3	0.8	4	-1	0.8	3	-1	0.9
D_3	5	3	0.9	2	4	0.6	3	0	0.8	5	2	0.6
D_4	3	4	0.8	5	2	0.8	5	2	0.9	4	3	0.8
D_5	4	2	0.9	6	1	0.3	2	1	0.6	3	4	0.9

5.1 建立模型

目标函数模型可以为:

$$f_1(x) = 4x_{12} + 5x_{13} + 3x_{14} + 4x_{15} + 4x_{21} + 3x_{22} + 5x_{24} + 4x_{31} + 4x_{32} + 3x_{33} + 5x_{34} + 3x_{42} + 5x_{43} + 4x_{44} + 3x_{45}$$

$$f_2(x) = 2x_{12} + 3x_{13} + 4x_{14} + 2x_{15} + 3x_{22} + 2x_{24} + 3x_{31} - x_{32} + 2x_{34} - x_{42} + 3x_{44} + 4x_{45}$$

$$f_3(x) = 0.8x_{12} + 0.9x_{13} + 0.8x_{14} + 0.9x_{15} + 0.8x_{21} + 0.8x_{22} + 0.8x_{24} + 0.9x_{31} + 0.8x_{32} + 0.8x_{33} + 0.9x_{34} + 0.9x_{42} + 0.8x_{44} + 0.9x_{45}$$

$$f_4(x) = 0.067x_{12} + 0.127x_{13} + 0.031x_{14} + 0.138x_{15} + 0.071x_{21} + 0.067x_{22} + 0.031x_{24} + 0.071x_{31} + 0.067x_{32} + 0.127x_{33} + 0.031x_{34} + 0.067x_{42} + 0.031x_{44} + 0.138x_{45}$$

约束条件为:

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} &\leq 70 \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} &\leq 60 \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} &\leq 55 \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} &\leq 65 \\ x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} &\leq 65 \\ x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} &\leq 40 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} &\leq 65 \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} &\leq 50 \\ x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} &\leq 45 \\ x_{11} + x_{23} + x_{25} + x_{35} + x_{41} + x_{43} &= 0 \\ x_{ij} &\geq 0 \end{aligned}$$

5.2 计算目标函数权重系数

编写一个 MATLAB 函数,分三步求解目标函数的权重系数。

①创建目标函数计算过程的层次分析过程模型。

②创建一个顺序矩阵。通过对比较各因素的重要性,按照 1~9 的等级,可以计算出目标函数。

③求得 $f_1(x)$ 权重系数为 $\omega_1=0.1946$, $f_2(x)$ 权重系数为 $\omega_2=0.5374$, $f_3(x)$ 权重系数为 $\omega_3=0.2680$ 。

5.3 综合运用线性加权法,求得目标函数最小值

根据式(5)至式(8),对目标函数(9)求最大值,根据算得的权值进行线性加权求和计算,求结果的最大值,而 $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 求极小值,因此在 $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 前加负号,求得 $U(x)=-\omega_1 f_1(x)-\omega_2 f_2(x)+\omega_3 f_3(x)+100f_4(x)$ 。将相关数值分别代入,得: $U(x)=5.028x_{12}+10.383x_{13}+0.557x_{14}+12.208x_{15}+6.579x_{21}+4.685x_{22}+1.243x_{24}+4.993x_{31}+6.64x_{32}+12.358x_{33}+1.27x_{34}+6.861x_{42}+0.9x_{44}+11.354x_{45}$ 。

5.4 求解

通过 MATLAB 求出最优解 $x^{(0)}=(0, 0, 5, 0, 35, 65, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 50, 0, 0, 0, 15, 0, 0, 30)$ 。 $x_{11}=0$, $x_{12}=0$, $x_{13}=5$, $x_{14}=0$, $x_{15}=0$, $x_{11}=0$, $x_{21}=65$, $x_{22}=0$, $x_{23}=0$, $x_{24}=0$, $x_{25}=0$, $x_{31}=0$, $x_{32}=0$, $x_{33}=50$, $x_{34}=0$, $x_{35}=0$, $x_{41}=0$, $x_{42}=15$, $x_{43}=0$, $x_{44}=0$, $x_{45}=0$ 。从而可以看出重要度最低(为2)

的4号任务单位航发获得量为0,而重要度第二低的(为4)的2号任务单位仅获得航发15台,其余任务单位基本得到了充分满足,如表3所示。

表3 计算结果

任务单位序号	优先级	航发需求 / 获得量	完成率
1	5	65/70	92.86%
2	4	15/60	25%
3	7	55/55	100%
4	2	0/65	0%
5	9	65/65	100%

6 结论

针对应急情况航发调度决策过程中存在的多种客观情况,指挥人员很难短时间进行决策,而战机稍纵即逝,急需计算机算法来快速得出参考意见。该算法以航发调度为案例,构建多目标函数数学模型,目标是高优先级任务单位优先获得、尽量降低运输成本和延误时间、优化航发运输成功率。通过 AHP 层次分析法来计算各个目标函数的权重系数,变定性为定量,防止人为指挥的主观误差的干扰。该目标函数将任务单位满足程度直接设置为 100 的最大权值,是综合考虑应急条件战术紧迫性的需要。在航发储备点总数量充足的情况下,任务单位满足程度目标函数为常数,不会影响到其余函数的正常调度作用,在非应急情况下也有较强的参考作用。该算法能够较好的应对航发储存不足时、多供应点和多任务单位之间的调度任务, MATLAB 软件计算权重系数并求出目标函数的解以获得最佳运输方案。

从运算数据上来看,所用方法能够处理应急和平时多因素影响下的航发调度,算法结果也显示其调度的有效性,可以给参谋人员提供较好的建议数据。论文算法虽然考虑多种因素,而应急可能会面临其它各类突发状况影响航发调度的状况,因此人为的调整也显的非常重要。同时,该算法如果要用程序语言编程的话,寻找最优解也要考虑循环次数和算法复杂度的影响,论文建议采用差分进化算法降低算法复杂度。

参考文献

[1] 吴波.多目标多约束应急物资调度优化的仿真研究[J].计算机仿真,2013,30(4):435-438.
 [2] 文家燕,闻海潮.基于GWO-NSGA-II混合算法的露天矿低碳运输调度[J].河北软件职业技术学院,2023,49(2):94-100.
 [3] 张桂臻.基于改进蚁群算法的多车型供应链物流运输调度建模研究[J].广州航海学院学报,2021,29(4):53-58.
 [4] 李旭阳,蔡延光.改进的和声搜索算法求解带时间窗的物流运输调度问题[J].电子世界,2021(12):77-81.
 [5] 王冲,茅云生.基于遗传算法的船舶分段运输调度方法[J].上海交通大学学报,2017(3):338-343.
 [6] 甘应爱,田丰.运筹学[M].北京:清华大学出版社,2005.