

doi: 10.7690/bgzd.2013.04.006

## 装备保障特性流程类指标度量与优化研究

祝华远, 赵功伟, 王利明, 纪云飞  
(海军航空工程学院青岛分院, 山东 青岛 266041)

**摘要:** 为合理规划其工作流程, 以某型飞机再次出动准备时间度量为例, 应用网络计划技术, 给出适用的装备保障特性流程类指标度量及论证优化方法。对指标所对应的工作任务进行分解, 列出各工作项目内容和相互关系, 构建逻辑关系矩阵并进行计算。确定关键路线并绘制网络计划图, 并通过网络计划图的时间优化来论证优化指标。结果表明: 该研究可为科学度量装备保障特性流程类指标提供技术方法支持, 指导装备保障特性流程类指标论证优化工作。

**关键词:** 航空装备; 保障特性; 流程类指标; 网络计划技术  
**中图分类号:** TJ02   **文献标志码:** A

### Study on Measurement and Optimization of Equipment Support Characteristic Flow Index

Zhu Huayuan, Zhao Gongwei, Wang Liming, Ji Yunfei  
(Qingdao Branch, Naval Aeronautical & Astronautical University, Qingdao 266041, China)

**Abstract:** In order to realize rationalization of working flow, taking turnaround time measurement of certain type aviation as example, one method of measuring and optimizing aviation equipment support characteristic flow index was established by using network planning techniques. By decomposing task into working items, list the contents and relation of working items and construct logistic matrix, the index was calculated. Confirm key path and draw network planning scheme, verify optimized index by time optimization of network plan scheme. The result showed that it can support technical method for scientific measurement equipment characteristics flow index, and control optimization work of support characteristics flow index verification.

**Key words:** aviation equipment; support characteristic; flow index; network planning techniques

## 0 引言

武器装备在投入使用后能否尽快形成保障能力, 本质上取决于装备系统的保障特性, 既要求主装备本身具有便于保障的设计特性, 又要求保障系统具有能够对主装备实施及时有效保障的特性<sup>[1]</sup>。表征装备本身便于保障的设计特性指标(装备保障特性指标)很多, 如战备完好性指标, 使用可用度、再次出动准备时间; 可靠性指标, 平均故障间隔飞行小时; 维修性指标, 平均修复时间、每飞行小时的直接维修工时、更换发动机时间等。对于装备保障特性流程类指标, 如再次出动准备时间、更换发动机时间等, 其包含有许多不同的工作, 而这些工作往往又必须按照一定的顺序进行, 其中有些可同时进行, 有些则需在某几项工作完成之后才能进行; 因此, 合理规划其工作流程是度量与优化工作的基础和关键。网络计划技术作为一种科学管理方法, 可广泛应用于生产计划、生产准备和设备维修等工作中, 通过对工程进度、费用、资源等进行统筹安

排, 以得到最优的计划方案<sup>[2-3]</sup>。笔者以某型飞机再次出动准备时间度量为例, 给出应用网络计划技术度量优化装备保障特性流程类指标的一般方法。

### 1 任务分解及工作项目持续时间

对指标所对应的工作任务进行分解, 是绘制网络计划图的基础。将工作任务细分成  $n$  个工作项目, 各工作项目内容和相互关系用工作项目明细表详细列出。对某型飞机再次出动准备工作任务进行分解, 并将保障人员及专业限制等约束条件转化成紧前工作项目。对于工作项目持续时间  $t$ , 采用“三时估计法”估算<sup>[4]</sup>, 以有效消除多种因素影响。

$$t = (a + 4m + b) / 6 \quad (1)$$

式(1)中:  $a$  为最快可能完成时间;  $m$  为最可能完成时间;  $b$  为最慢可能完成时间。

统计某型飞机再次出动准备各工作项目完成时间, 并由式(1)计算出每个工作项目的持续时间, 该型飞机再次出动准备工作项目明细表如表1。

收稿日期: 2012-10-23; 修回日期: 2012-11-11

作者简介: 祝华远(1975—), 男, 山东人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 从事航空装备保障与管理及装备运筹研究。

表 1 某型飞机再次出动准备工作项目明细表

序号	工作项目标识	工作项目内容	人员专业	紧前工作项目	工作项目持续时间 $t/\text{min}$
1	A	系留飞机	全部人员 7 人		1
2	B	接通电源	特设师	A	1
3	C	接通空调	航电师	A	1
4	D	机械外观检查	机械师	A	9
5	E	加燃油	机械员 A	A	15
6	F	检查进气道	机械员 B	A	9
7	G	航电外观及通电检查	航电师	B、C	6
8	H	军械外观通电检查	军械师	B、C	7
9	I	特设外观通电检查	特设师	B、C	8
10	J	飞参数据卸载	特设师	I	8
11	K	断开空调	航电师	D、E、F、G、H、J	1
12	L	断开电源	特设师	K	1
13	M	数据加载及惯导对准	航电师	L	20

## 2 矩阵描述计算

### 2.1 构建逻辑关系矩阵 $R$

用集合  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$  表示为  $n$  个工作项目，工作项目持续时间用矩阵表示为  $T_w = (t_{w1}, t_{w2}, \dots, t_{wn})$ ，工作项目之间的逻辑关系用矩阵表示为

$$R = [r_{ij}]_{n \times n} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式 (2) 中

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{工作项目 } i \text{ 是 } j \text{ 的紧前工作项目} \\ 0, & \text{工作项目 } i \text{ 不是 } j \text{ 的紧前工作项目或 } i = j \end{cases}$$

由式 (2) 构造出该型飞机再次出动准备工作的逻辑关系矩阵  $R$ ：

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

### 2.2 节点拓扑排序

在  $R$  中，列元素全为 0 的列对应的工作项目为起始工作项目，行元素全为 0 的行对应的工作项目为结束工作项目。对  $R$  中的节点进行拓扑排序，首先输出  $R$  中列元数全为 0 的列的序号，记入集合  $L_1$ ；删除这些序号的列与行，得新的全为 0 的列，即新的“起始节点”，记入集合  $L_2$ ；依次得整个矩阵节点的拓扑排序  $L_1, L_2, \dots, L_v$ ， $L_1$  为起始节点集合， $L_v$  为结束节点集合。

由以上方法可得矩阵  $R$  中的节点拓扑排序，第一至七级节点分别为  $L_1 = \{1\}$ ， $L_2 = \{2, 3, 4, 5, 6\}$ ， $L_3 = \{7, 8, 9\}$ ， $L_4 = \{10\}$ ， $L_5 = \{11\}$ ， $L_6 = \{12\}$ ； $L_7 = \{13\}$ 。

### 2.3 指标值计算

工作项目的结束时间用矩阵表示为  $T_d = (t_{d1}, t_{d2}, \dots, t_{dn})$ ， $t_{di}$  为第  $i$  个工作项目的结束时间。设第  $i$  个工作项目的紧前工作项目有  $m$  项， $m$  项工作项目的结束时间用矩阵表示为  $T_e = (t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{em})$ ，则

$$t_{di} = t_{wi} + \max\{t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{em}\} \quad (3)$$

工作项目的开始时间用矩阵表示为  $T_s = (t_{s1}, t_{s2}, \dots, t_{sm})$ ， $t_{si}$  为第  $i$  个工作项目的开始时间。对于起始工作项目，开始时间为 0；对于其他工作项目，开始时间为其所有紧前工作项目结束时间的最大值，即

$$t_{si} = \max\{t_{d1} \times r_{1i}, t_{d2} \times r_{2i}, \dots, t_{dn} \times r_{ni}\} \quad (4)$$

矩阵  $R$  中行元素全为 0 的行对应的工作项目为结束工作项目，即集合  $L_v$  中的元素对应的工作项目有  $p$  项，集合  $L_v$  记为  $\{v_1, v_2, \dots, v_p\}$ ，其工作项目的结束时间集合为  $T_v = \{t_{d_{v1}}, t_{d_{v2}}, \dots, t_{d_{vp}}\}$ ，则再次出动准备时间

$$T = \max\{t_{d_{v1}}, t_{d_{v2}}, \dots, t_{d_{vp}}\} \quad (5)$$

$T_e$  和  $T_d$  的计算顺序按照等级划分从前往后进行，即先计算集合  $L_1$  中元素的  $T_e$  和  $T_d$ ，然后计算集合  $L_2$ ，直至集合  $L_v$ ，即可计算出所有工作项目的  $T_e$  和  $T_d$ ，计算结果如表 2 所示。

由式 (4) 计算得，工作项目开始时间矩阵

$$T_s = (0, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 10, 18, 19, 20)$$

由式 (5) 计算得，该型飞机再次出动准备时间

$$T = \max\{40\} = 40 \text{ min}$$

表 2  $T_e$  和  $T_d$  计算结果

节点名称	紧前工作项目标志	$T_e$	$T_d$
$L_1=\{1\}$			(1)
$L_2=\{2,3,4,5,6\}$	A	(1)	(2,2,10,16,10)
$L_3=\{7,8,9\}$	B、C	(2,2)	(8,9,10)
$L_4=\{10\}$	I	(10)	(18)
$L_5=\{11\}$	D、E、F、H、J	(10,16,10,8,18)	(19)
$L_6=\{12\}$	K	(19)	(20)
$L_7=\{13\}$	L	(20)	(40)

$$T = \sum_{i \in I_k} t_{wi} \tag{6}$$

式 (6) 中,  $I_k$  为一条关键路线上关键工作项目集合。

采取从集合  $L_v$  到  $L_1$  的顺序确定关键工作项目。 $L_v$  中, 结束时间等于指标值的工作项目为关键工作项目, 然后从它的紧前工作项目中找出结束时间最大的工作项目为关键工作项目。依此类推, 直至找到的关键工作项目为起始工作项目。关键工作项目的工作时间直接影响指标值, 确定关键工作项目可以找到影响指标值的主要因素, 可为指标优化提供依据。根据表 2 计算结果, 可以找出关键路线为  $I_k = \{A, B, I, J, K, L, M\}$ 。

### 3 确定关键路线并绘制网络计划图

网络计划图是在网络图上标注时标和时间参数的进度计划图, 实质上是有时序的有向赋权图<sup>[5]</sup>。

#### 3.1 确定关键路线

在网络计划图中, 从始点开始, 按各工作项目的顺序, 连续不断地达到终点的一条通路称为线路。其中, 完成各工作项目需要时间最长的线路称为关键路线, 关键路线上的工作项目称为关键工作项目。

对于关键工作项目, 有

#### 3.2 绘制网络计划图

根据分析和计算, 绘制该型飞机再次出动准备网络计划图如图 1 所示。

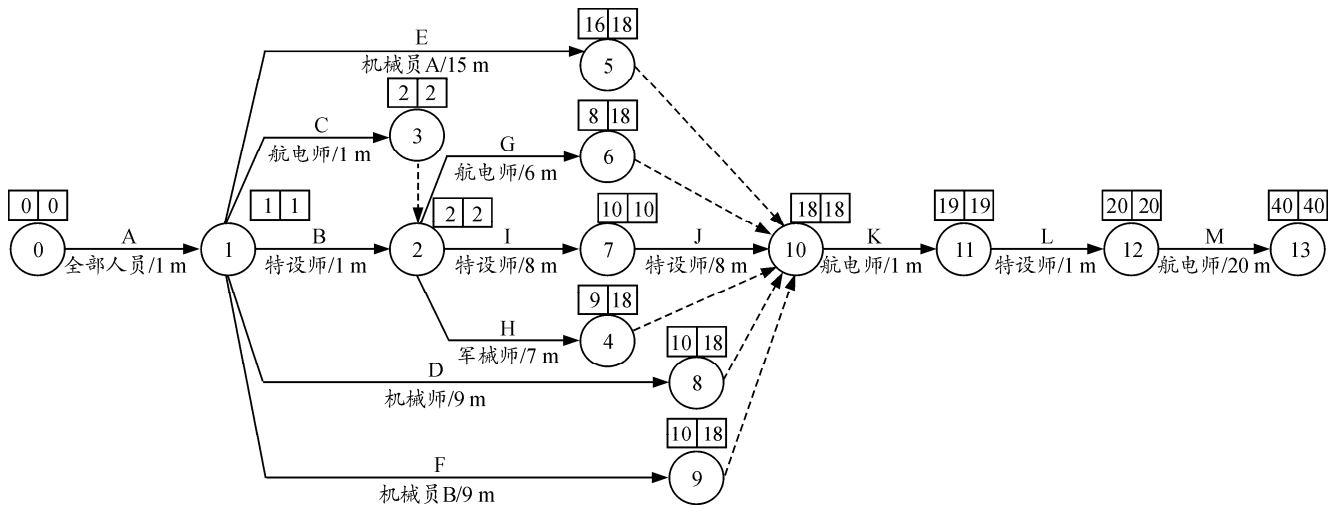


图 1 某型飞机再次出动准备网络计划

### 4 指标论证优化

在加快转变装备战斗力生成模式, 深化涉及维修专业设置、维修内容优化、组织体系变革等的航空维修保障模式改革下, 可通过网络计划图的时间优化来论证优化指标。因完成任务的总时间取决于关键路线的长短, 故时间优化应以缩短关键路线的持续时间为中心展开, 主要方法和措施<sup>[6-7]</sup>如下。

#### 4.1 降低关键工作项目持续时间

降低关键工作项目持续时间, 主要措施有: 深入贯彻以可靠性为中心的维修, 优化维修工作内容, 减少关键工作项目的工作量; 增加关键工作保障人员编配数量; 提升关键工作保障人员业务技术水平。如强化业务技术训练, 着力提升机组特设师的业务

技术水平, 将图 1 中特设师完成工作项目  $I$  (特设外观通电检查) 和工作项目  $J$  (飞参数据卸载) 的持续时间各缩短 1 min, 则该型飞机再次出动准备时间指标可调整为 38 min。

#### 4.2 改进工作组织方式

在不影响装备维修安全, 系统收集保障实践数据并科学估算各工作项目持续时间等的前提下, 改进工作组织方式, 主要措施有: 将关键路线上原来串行的相关工作项目调整为并行或交叉进行; 非关键工作保障资源支援关键工作 (在非关键工作项目可机动的时间内, 将富余的保障资源, 保障人员、保障装备等支援关键工作项目, 以缩短关键路线的持续时间)。

(下转第 26 页)