军用飞机再次出动准备时间计算方法

韦 艺 康 锐 程海龙

(北京航空航天大学 工程系统工程系, 北京 100191)

摘 要: 再次出动准备时间 TAT(Turnaround Time)是衡量军用飞机作战能力的主要参数,针对如何分析计算军用飞机再次出动准备时间这一问题,从军用飞机任务类型、设计特性和使用保障资源三个方面详细分析飞机再次出动准备时间的影响因素,给出了单架飞机再次出动准备时间计算方法. 在计算 TAT时,综合了飞机的任务类型比,构建了任务类型矩阵和再次出动准备时间矩阵. 用矩阵描述再次出动准备时间工作项目之间的逻辑关系,对矩阵节点进行等级划分和拓扑排序. 通过计算结果确定关键工作项目,找出影响再次出动准备时间的关键因素,为装备设计改进和使用保障资源规划提供辅助决策.

关 键 词: 再次出动准备时间; 军用飞机; 计算; 矩阵

中图分类号: V 215. 7

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2008)12-1415-04

Calculation method for military aircraft's turnaround time

Wei Yi Kang Rui Cheng Hailong

(Dept of System Engineering of Engineering Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: The turnaround time (TAT) is one of main measurement parameter for evaluating the fight capability of military airplane. In order to solve the problem of how to analysis and compute military airplane's TAT, based on the discussion of impact factors on TAT from military airplane's mission type, design characteristics and operational support resource, a calculation method for one military aircraft's TAT was provided. While computing the TAT, the airplane's mission type percentage was integrated and mission type matrix and TAT matrix was constructed. A matrix was used to define the logic relationship between work items of turnaround activity. The elements of this matrix were ranked and ordered topologically, and the results were put in sets for computing. Based on the results critical work items of each mission type TAT were determined, and the critical impacting factors on this mission type TAT were obtained. These factors will provide auxiliary decision for improving military airplane design and operational support resources planning.

Key words: turnaround time; military aircraft; calculations; matrix

再次出动准备时间 TAT(Turnaround Time)是衡量军用飞机作战能力的主要参数,是装备设计特性和计划的保障资源的综合反映. 美国的第四代战斗机 F-22与第三代战斗机 F-15C相比,再次出动准备时间缩短了 1/3[1],由 F-15C的 25 min减少到了 18 min. 因此,缩短再次出动准备时间成为军用飞机设计的重要目标之一. 但在国内外相关研究中,如何分析计算再次出动准备时间,却没有给出详细的分析和应用方法. 如在 LCOM[2]和 Simlox[3]模型中,在对装备的使用和维修保障过程进行建模时,将再次出动准备工作作为一个事件考虑,没有对再次出动准备过程所包括的工作项目进行进一步的详细建模,不能描述再次出动准备过程中工作项目的逻辑关系. 国内外在保障系统参数体系研究中[4-8],也将再次出动准备时间纳入了装备保障性的参数体系,但没有对军用飞机的再次出动准备时间进行分解,更没有对影响再次出动准备时间的因素进行详细的分析. 针对这一问题,本文在详细分析飞机再次出动准备时间影响因素的基础上,用矩阵描述再次出动准

收稿日期: 2008-01-10

作者简介: 韦 艺 (1974-),男,贵州清镇人,博士生, weiyi@dse. buaa. edu. cn.

备工作项目之间的逻辑关系,对节点进行等级划分和拓扑排序,给出了单架飞机再次出动准备时间计算方法,在计算中考虑了飞机的任务类型比.通过确定关键工作项目,找出影响再次出动准备时间的关键因素,为军用飞机的设计改进和使用保障资源规划提供依据.

1 再次出动准备时间影响因素

军用飞机的再次出动准备时间是在预定的使用及维修保障条件下,连续执行任务的飞机从结束上次任务返回到再次出动执行下一次任务所需要的准备时间.影响再次出动准备时间有多方面的因素,包括军用飞机的设计特性、军用飞机所执行任务的类型及使用保障资源配置等几个方面.

1.1 任务类型

对军用飞机来说,特别是多用途战斗机,会有多个任务类型,例如空空格斗、空对地、侦察、巡航任务等.不同的任务类型,需要装挂不同的武器,空空格斗挂的是空空导弹,空对地挂的是空地导弹或者制导炸弹等,不同的武器装挂时间也就会不同.不同的任务类型,可能任务的持续时间也不同,空空格斗的时间会很短,而空对地作战要摧毁敌方的地面目标,飞行时间会较长.执行短时间任务,不需要挂副油箱,执行长时间任务,可能就需要挂副油箱,加油时间也会不同.表 1是美国空军某型飞机的飞行训练任务类型描述[9].不同的任务类型,再次出动准备工作项目可能不一样,工作流程可能也不一样,再次出动准备时间也就不一样,飞机的再次出动准备时间是其所有任务类型的再次出动准备时间的综合.

表 1 任务类型描述

任务类型	任务类型比 α/%
空中格斗战术训练	13.10
空对地攻击	11.70
基本战术对抗训练	12.70
空中拦截训练	10.30
空中巡航	10.50
升空战术训练(高纬度)	4.90
升空战术训练(低纬度)	18.00
对敌方的压制	11.80
超低空飞行	7.00

1.2 军用飞机的设计特性

设计特性是指与飞机使用保障相关的设计特性,是飞机的固有特性.飞机再次出动准备工作项目涉及飞机外观检查、武器弹药的装挂、油料气体的充填、任务数据的下载和加载以及各种检查工作.在装备的设计时考虑如何快捷地进行这些工作,就可以在使用中缩短再次出动准备时间.如美国的 F/A-22战斗机,其机身底部离地面只有 0.9m,几乎所有的部件或系统都在肩膀高的高度范围之内,便于地面检查人员不需要借助其它工具就能进行大部分的外观检查,飞机上有能为飞行员供氧的机载制氧系统,因此不需要地面液氧设备,还拥有 1个辅助动力装置,因此不需要地面电瓶车,采用单个加油点、单个耗材状态检查点,采用气动液压伸缩式导弹发射架,这些设计措施都能够大大缩短了飞机的再次出动准备时间.军用飞机的设计特性影响再次出动准备工作流程,如为了保证安全工作,武器装挂必须在前面的一系列检查工作完成之后才能进行.

1.3 使用保障资源

使用保障资源包括机务人员、各种使用保障设备、设施以及工具的配备.机务人员数量、专业和技术等级,保障设备、设施和工具是否齐备,保障设备的可靠性水平和装备的匹配程度等都会影响再次出动准备时间.对军用飞机来说,机务人员一般按专业划分为机械、军械、特设和航电专业,各个专业都有专属于自己的工作.再次出动准备工作的进行会受到人员编制的限制,有的工作可以并行进行,但有的工作只能串行进行.如一个机务中队只有 1名特设专业的人员,那么在进行再次出动准备时,属于特设专业的工作只能是串行进行的,特设人员在干完一项工作后才能进行下一项工作.机务人员的技术等级和工作熟练程度也会影响工作项目的完成时间.因此,使用保障资源的配置会影响再次出动准备工作项目的工作时间和工作流程.

任务类型、飞机的设计特性和使用保障资源影响再次出动准备工作项目的内容、工作时间和再次出动准备工作流程.在使用工作分析中综合考虑这三个方面的因素,就可以确定出特定任务类型的再次出动准备工作项目及其工作时间、工作项目之间的逻辑关系,分别用工作时间矩阵 T_w 和逻辑关系矩阵 R来表示.

2 再次出动准备时间计算方法

2.1 T_{TAT}的计算

综合各种任务类型的飞机再次出动准备时间 TAT的计算公式为

$$T_{TAT} = S \times T = (\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \cdots \quad \alpha_n)\begin{pmatrix} t_{at_1} \\ t_{at_2} \\ \cdots \\ t_{at_n} \end{pmatrix} \tag{1}$$

式中,$S=(\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \cdots \quad \alpha_n)$,是军用飞机的任务类型矩阵,表示有 n种任务类型,第 k种任务的任务类型比为 α_k, $0\leq\alpha_k\leq1$; $T=(t_{tat_1} \quad t_{tat_2} \quad \cdots \quad t_{tat_n})^T$是军用飞机任务类型再次出动准备时间矩阵,第 k个任务类型的再次出动准备时间为 t_{tat_k}.

2.2　t_{tat_k}的计算

军用飞机的第 k个任务类型的再次出动准备工作项目用集合表示为 $S_k=\{W_1,W_2,\cdots,W_m\}$,表示有 m个工作项目. 任务类型 S_k的再次出动准备工作项目的工作时间用矩阵表示为 $T_w=(t_{w_1} \quad t_{w_2} \quad \cdots \quad t_{w_m})^T$,工作项目之间的逻辑关系用矩阵 R表示,即: $R=[r_{ij}]_{m\times m}$ $(i,j=1,2,\cdots,m)$.

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

在逻辑关系矩阵中,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. 对逻辑关系矩阵中的节点进行等级划分和拓扑排序,其方法为:输出逻辑关系矩阵中列元数全为零的列的序号,记入集合 L_1;删除这些序号的行与列,就得到新的全为零的列,就是新的"起始节点",记入集合 L_2,依次下去就可得到整个矩阵节点的等级划分和拓扑排序 $L_1,L_2,\cdots,L_v$. L_1为起始节点集合, L_v为结束节点集合.

工作项目开始时间用矩阵表示为 $T_s=(t_{s_1} \quad t_{s_2} \quad \cdots \quad t_{s_m})^T$, t_{s_k}表示第 k个工作项目的开始时间,工作项目的结束时间用矩阵表示为 $T_e=(t_{d_1} \quad t_{d_2} \quad \cdots \quad t_{d_m})^T$, t_{d_k}表示第 k个工作项目的结束时间,则

$$T_e=T_s+T_w=(t_{s_1}+t_{w_1} \quad t_{s_2}+t_{w_2} \quad \cdots \quad t_{s_m}+t_{w_m})^T \tag{2}$$

对于起始工作项目,开始时间 t_s等于 0. 对于其它工作项目,其开始时间是其所有紧前工作项目结束时间的最大值, t_s的计算式为

$$t_{s_i}=\max\{t_{d_1}\times r_{1i},\ t_{d_2}\times r_{2i},\ \cdots,\ t_{d_m}\times r_{mi}\} \tag{3}$$

t_s和 t_d的计算顺序按照等级划分从前往后进行,即先计算 L_1集合中元素的 t_s和 t_d,然后是 L_2集合,一直到最后一个集合 L_v,这样就计算出了所有工作项目的 t_s和 t_d.

矩阵 R中行元素全为 0的行对应的工作项目是结束工作项目,即集合 L_v中的元素对应的工作项目,集合 L_v记为 $\{u_1,u_2,\cdots,u_p\}$,则军用飞机的第 k个任务类型 S_k的再次出动准备时间 t_{tat_k}的计算式为

$$t_{tat_k}=\max\{t_{d_{w_1}},t_{d_{w_2}},\cdots,t_{d_{u_p}}\} \tag{4}$$

2.3　关键工作项目的确定

对于关键工作项目,有: $t_{tat_k}=\sum_{i\in I_k}t_{w_i}$, I_k是任务类型 S_k关键工作项目集合. 关键工作项目确定采取从集合 L_v到 L_1的顺序, L_v集合中的工作项目的结束时间等于再次出动准备时间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,就确定出所有的关键工作项目. 关键工作项目的工作时间直接影响再次出动准备时间. 关键工作项目的确定可以找到影响再次出动准备的主要因素,为设计改进提供依据.

3　实例应用

某飞机有两种任务类型,空对空任务 S_1和空对地任务 S_2,空对空任务再次出动准备工作项目见表 2,空对地再次出动准备工作项目见表 3. S_1的任务类型比 α_1为 0.4, S_2的任务类型比 α_2为 0.6.

表 2　空对空再次出动准备工作项目表

序号	标识	工作项目描述	工作时间	紧前工作项目
1	A	数据下载	2	
2	B	外观检查	4	
3	C	安装阻力伞	3	
4	D	补充燃油	6	A
5	E	加载任务数据	3	A,B,C
6	F	系统通电检查	5	B
7	G	装挂空空导弹	7	D,E,F
8	H	飞行员检查	3	G
9	I	飞参自检	2	G
10	J	放飞前工作	4	H,I

任务 S_1逻辑关系矩阵为

$$R_1=\begin{pmatrix}0&0&0&1&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&1&1&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\end{pmatrix}$$

矩阵节点的等级划分和拓扑顺序为:第 1级节点 $L_1=\{1,2,3\}$;第 2级节点 $L_2=\{4,5,6\}$;第 3级节点 $L_3=\{7\}$;第 4级节点 $L_4=\{8,9\}$;第 5级节点 $L_5=\{10\}$.

由式 (2)和式 (3)分别计算出:

$$T_s=(0 \quad 0 \quad 0 \quad 2 \quad 4 \quad 4 \quad 9 \quad 16 \quad 16 \quad 19)^T$$

$T_e = (2\ \ 4\ \ 3\ \ 8\ \ 7\ \ 9\ \ 16\ \ 19\ \ 18\ \ 23)^T$

由式(4)得空对空任务 S_1的再次出动准备时间 $t_{tat_1} = \max\{t_{i_{10}}\} = 23\,\mathrm{min}$.

S_1任务的关键工作项目集合为{2, 6, 7, 8, 10}.

表3 空对地再次出动准备工作项目表

序号	标识	工作项目描述	工作时间	紧前工作项目
1	A	数据下载	3	
2	B	外观检查	4	
3	C	安装阻力伞	3	
4	D	补充燃油	7	A
5	E	加载任务数据	3	A, B, C
6	F	系统通电检查	5	B
7	G	加挂副油箱	5	D, E, F
8	H	装挂空地导弹	8	D, E, F
9	I	飞行员检查	3	F, G
10	J	飞参自检	2	F, G
11	K	放飞前工作	4	H, I

任务 S_2逻辑关系矩阵为

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0&0&0&1&1&0&0&0&0&0&0\\ 0&0&0&0&1&1&0&0&0&0&0\\ 0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0\\ 0&0&0&0&0&0&1&1&0&0&0\\ 0&0&0&0&0&0&1&1&0&0&0\\ 0&0&0&0&0&0&1&1&0&0&0\\ 0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&0\\ 0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&0\\ 0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1\\ 0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1\\ 0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0 \end{pmatrix}$$

矩阵节点的等级划分和拓扑顺序为:第1级节点 $L_1 = \{1, 2, 3\}$;第2级节点 $L_2 = \{4, 5, 6\}$;第3级节点 $L_3 = \{7, 8\}$;第4级节点 $L_4 = \{9, 10\}$;第5级节点 $L_5 = \{11\}$.

由式(2)和式(3)分别计算出:

$T_s = (0\ \ 0\ \ 0\ \ 3\ \ 4\ \ 4\ \ 10\ \ 10\ \ 18\ \ 18\ \ 21)^T$

$T_e = (3\ \ 4\ \ 3\ \ 10\ \ 7\ \ 9\ \ 15\ \ 18\ \ 21\ \ 20\ \ 25)^T$

由式(4)得空对地任务 S_2的再次出动准备时间 $t_{tat_2} = \max\{t_{i_{11}}\} = 25\,\mathrm{min}$.

S_2任务的关键工作项目集合为{1, 4, 8, 9, 11}.

由式(1)得:

$$T_{TAT} = (\alpha_1\ \ \alpha_2)\begin{pmatrix} t_{tat_1} \\ t_{tat_2} \end{pmatrix} = \alpha_1 t_{tat_1} + \alpha_2 t_{tat_2} =$$

$$0.4 \times 23 + 0.6 \times 25 = 24.2\,\mathrm{min}$$

从计算结果可以得到该飞机的再次出动准备时间为24.2 min. 武器装挂是再次出动准备关键工作项目,是影响再次出动准备时间的主要因素,可以通过改进飞机的挂架设计或者改进挂弹车来缩短飞机的再次出动准备时间.

4 结束语

本文从军用飞机的任务类型、设计特性和使用保障资源三个方面详细分析了影响军用飞机再次出动准备时间的主要因素,给出了单架飞机再次出动准备时间的计算方法,在计算中考虑了飞机的任务类型比. 通过该方法可确定出关键工作项目,找出影响飞机再次出动准备时间的关键因素. 在飞机的设计过程中,通过改进与飞机的再次出动准备工作项目密切相关的设计特性,或者改进保障设备、工具及提高保障人员的技术水平,从而缩短关键项目的工作时间和飞机的再次出动准备时间,最终提高飞机的出动强度,增强战斗力.

参考文献 (References)

[1] William J Perry. Acquisition for the 21st century: the F-22 development program[R]. ADA421919, 1999

[2] Kirk B Pettinggill. Analysis of the efficacy of the logistics composite model in estimating maintenance manpower productive capacity[R]. ADA412672, 2003

[3] Simlox User's Reference Part1-Model Description[M]. Version 2.0. [S.l.]: SystemAB Inc, 2004: 7 - 8

[4] Paul D Faas. Simulation of autonomic logistics system (ALS) sortie generation[R]. ADA413196, 2003

[5] John C G, Schultz R E. Simulation modeling for military logistics and supportability studies[C]// Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference. St. Louis, MO, USA: IEEE, 1991: 485 - 490

[6] 焦健,王自力. 军用飞机使用可用度仿真论证[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(1): 112 - 116
Jiao Jian, Wang Zhili. Operational availability demonstration of military airplane based on simulation[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32(1): 112 - 116 (in Chinese)

[7] 孟雪松,章引平. 浅谈航空装备保障性参数体系[J]. 航空装备标准化与质量, 1997, 3: 40 - 44
Meng Xuesong, Zhang Yingping. Study on aeronautic materiel supportability parameters system[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 1997, 3: 40 - 44 (in Chinese)

[8] 张涛,张建军,郭波,等. 装备使用阶段维修保障能力评估指标体系研究[J]. 装甲兵工程学院学报, 2005, 19(1): 7 - 10
Zhang Tao, Zhang Jianjun, Guo Bo, et al. Study on index system for maintenance support capability assessment of equipment in application phase[J]. Journal of Armored Force Engineering Institute, 2005, 19(1): 7 - 10 (in Chinese)

[9] Orsagh R F, Allen E C, Schoeller M, et al. A mission-based logistics and maintenance support environment[C]// Proceedings of the 2003 Aerospace Conference. [S.l.]: IEEE, 2003, 8: 3749 - 3754

(责任编辑:娄 嘉)