

doi: 10.7690/bgzdh.2016.12.014

舰载机飞行甲板作业流程优化研究

杨炳恒, 孙 婧, 王德心

(海军航空工程学院青岛校区六系, 山东 青岛 266041)

摘要: 为充分利用航母上有限的甲板保障设施及资源, 建立一种舰载机作业流程交通网模型。以俄航母舰载机起飞前甲板作业为研究原型, 分析了飞行甲板保障战位舰载机作业及时序, 对优化的舰载机作业时序进行拓扑化, 得到舰载机作业流程图, 并对该模型进行分析验证。验证结果证明: 该模型能对人员及设施进行合理配置和调度, 提高舰载机出动效率, 可为舰载机飞行甲板作业流程的规划提供决策依据。

关键词: 舰载机飞行甲板作业; 作业时序; 交通网

中图分类号: TJ83 **文献标志码:** A

Study on Carrier Aircraft Flight Deck Work Flow Optimization

Yang Bingheng, Sun Jing, Wang Dexin

(No. 6 Department, Qingdao Branch, Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

Abstract: For making full use of carrier aircraft deck safeguard device and resource, establish a carrier aircraft operation process traffic network model. Taking Russia carrier aircraft deck operation before flight as research prototype, analyze flight deck safeguard carrier aircraft operation and time sequence, carry out topology carrier aircraft operation time sequence, and acquire carrier aircraft operation flow chart, analyze and verify the model. The verification results show that the model can reasonably allocate and schedule worker and devices, improve carrier aircraft call out efficiency, and provide carrier aircraft flight deck operation work flow plan with decision making evidence.

Keywords: carrier aircraft flight deck operation; operation time sequence; traffic network

0 引言

舰载机飞行甲板作业流程是航母上组织舰载机飞行日当天, 在飞行甲板上所开展的一系列围绕舰载机的保障作业, 可分为直接准备、再次出动准备和飞行后 3 个阶段^[1-4]。其中直接准备阶段的保障时间直接影响了舰载机的出动准备时间, 很大程度上决定着航母舰载机的出动效率。

与岸基战斗机保障作业环境相比, 航母舰载机飞行甲板作业环境有着环境差、空间狭窄、保障设施特殊等特点; 同时, 航母常年在海上活动, 舰船摆动大, 受海洋及其气候的影响, 这些也影响着舰载机飞行甲板保障作业的顺利实施^[5-7]。因此, 如何在航母飞行甲板这样的特殊环境下, 充分利用有限的甲板保障设施及资源, 实现舰载机快速有序的飞行甲板作业是一个重要的研究课题。

外军航母发展较早, 对于航母舰载机飞行甲板作业实施有着比较成熟的经验, 以美、俄航母为例, 为了顺利地、完成航母舰载机的直接准备, 合理有效地使用甲板保障资源及设施, 舰载机作业人员把舰

载机的飞行甲板作业划分为多个小的子任务^[8-9], 这些子任务由不同的保障人员或小组负责完成, 如调运小组、舰面保障小组、弹药保障小组等。在实际作战及训练任务中, 舰载机多以多机编队的形式出动, 以形成最大的战斗力, 所以各个保障小组需要保障多架飞机; 因此, 如何对这些子任务的作业时序进行分析及合理协调, 对于舰载机飞行甲板作业时间有其重要的影响。笔者以俄罗斯“库兹涅佐夫”号航母舰载机飞行甲板作业为例, 研究分析舰载机飞行甲板作业流程的优化。

1 作业流程模型构建

1.1 保障战位舰载机作业

“库兹涅佐夫”号航母的固定翼舰载机为苏-35 飞机, 根据苏-35 飞机保障需求以及“库兹涅佐夫”号航母飞行甲板保障设施资源配置, 苏-35 飞机在由牵引车调运至飞行甲板保障站位后, 主要完成舰载机通风除潮、充氧、充氮、通电检查、加油、挂弹按路线检查飞机等子任务, 这些子任务由不同的保障人员或小组负责完成。

收稿日期: 2016-08-19; 修回日期: 2016-09-27

作者简介: 杨炳恒(1975—), 男, 山东人, 硕士, 副教授, 从事舰面保障、装备保障信息化等研究。

1.2 保障战位舰载机作业时序

舰载机作业时序是指多个子任务实施时，子任务实施的时间先后次序，作业时序是否协调会直接影响整个作业任务完成的时间，从而影响整个飞行准备阶段的时间。

如果不考虑飞行甲板保障站位的保障设施资源以及舰载机作业的统筹同步，最简单直接的保障战位舰载机作业串行时序如图 1 所示。在这种保障战位舰载机作业串行时序下，保障人员或小组按照串行作业顺序依次完成舰载机保障作业。



图 1 保障战位舰载机作业串行时序

而实际上俄“库兹涅佐夫号”号航母飞行甲板舰载机保障站点所提供的保障设施及资源有限；同时，如保障条件允许，苏-35 飞机的保障作业可同步进行，如加油时可同步完成充氮作业；一种可能的保障战位舰载机作业时序如图 2 所示。

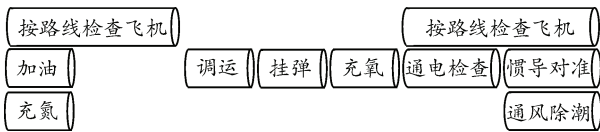


图 2 优化的舰载机作业时序

图 2 中，根据俄“库兹涅佐夫号”号航母甲板保障站点设施资源配置，苏-35 飞机在 1 号保障站点完成按路线检查飞机、加油以及充氮作业；调运至 2 号保障站点完成挂弹、充氧、通电检查、通风除潮、惯导对准以及按路线检查飞机作业，为了充分利用保障人员及设施资源，加快舰载机作业时间，部分作业可协调同步进行。

1.3 舰载机作业流程模型

笔者对优化的舰载机作业时序图 2 进行拓扑化，用有向边 $\langle V_i, V_j \rangle$ 来表示舰载机飞行甲板的一项作业活动(如舰载机加油)，用顶点 V_1, V_2, \dots, V_i 表示作业活动的时间转换点，这样就有了如图 3 所示的舰载机作业流程。

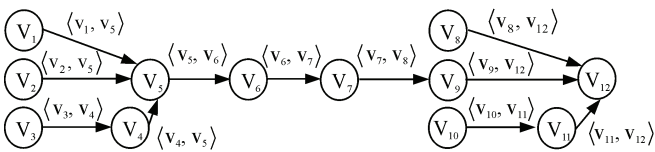


图 3 舰载机作业流程

作业流程图中边的方向是用从始点指向终点的

箭头表示的，具体在舰载机作业中表示具体作业阶段工作的开始点和结束点。如有向边 $\langle V_1, V_5 \rangle$ 可表示为按路线检查飞机的作业过程。

为了进一步研究舰载机飞行甲板作业流程的优化，笔者对舰载机作业流程图 3 进行改造，根据各舰载机飞行甲板作业完成需要的时间对 $\langle V_1, V_5 \rangle, \langle V_2, V_5 \rangle, \langle V_3, V_4 \rangle$ 等有向边进行加权，得到带权有向图 4，笔者称之为加权舰载机作业流程交通网^[10-13]。

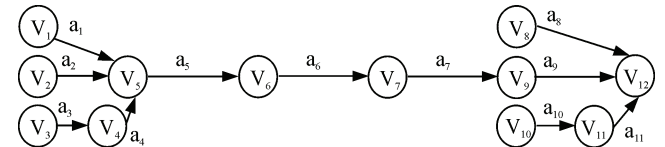


图 4 舰载机作业流程交通网

2 作业流程模型分析

2.1 舰载机作业流程交通网分析

从图 4 舰载机作业流程交通网中可以得出，有向边的权 a_i 表示该有向边代表的作业活动需要的完成时间，这样舰载机的整个作业时间可用

$$a_1 a_5 a_6 a_7 a_8, a_1 a_5 a_6 a_7 a_9, a_1 a_5 a_6 a_7 a_{10} a_{11}, \\ a_2 a_5 a_6 a_7 a_8, a_2 a_5 a_6 a_7 a_9, a_2 a_5 a_6 a_7 a_{10} a_{11}, \\ a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 a_8, a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 a_9, a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 a_{10} a_{11}$$

这 6 个时间序列表示，分析可以得出：

- 1) 整个作业任务完成需要的总时间为 6 个时间序列中最大的时间；
- 2) a_5, a_6, a_7 为整个任务的关键作业；
- 3) 减少 a_5, a_6, a_7 的作业时间可以直接减少整个舰载机任务作业的完成时间；
- 4) 同步作业阶段中时间最长的子任务作业时间，决定了同步作业时间阶段的完成时间。

作业流程交通网中串行的单一路径为关键作业，关键作业所耗费时间变化直接影响着整个舰载机作业的完成时间，提高关键作业完成效率可直接对舰载机作业流程进行时间优化。

2.2 同步作业流程分析

舰载机作业流程交通网中并行的多条路径表示为实际工作中的同步作业，下面笔者单独从图 4 中抽取出一个同步作业阶段流程交通网进行分析，其他的同步作业阶段流程可用同样的方法进行分析。

从图 5 中可以分析得出，同步作业阶段的完成时间为各个同步作业中的最大值，如图中表示的同步作业阶段的完成时间为 a_1, a_2, a_3+a_4 3 个作业时间的最大值，笔者用 TV_5 表示： $TV_5 = \max(a_1, a_2, a_3+a_4)$ 。

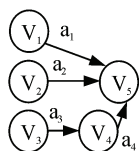


图5 一个同步作业阶段流程

笔者定义在整个作业任务实施中，作业活动 A 在最晚时刻内开始也不影响整个流程的总完成时间的时刻称之为最晚开始时间 $T\langle V_i, V_j \rangle$ 晚。同步作业阶段中某项作业的最晚开始时间，等于同步作业阶段的完成时间减去此作业阶段所需求的时间。

$\langle V_1, V_5 \rangle$ 的最晚开始时间： $T\langle V_1, V_5 \rangle$ 晚 = $TV_5 - a_1$ ；

$\langle V_2, V_5 \rangle$ 的最晚开始时间： $T\langle V_2, V_5 \rangle$ 晚 = $TV_5 - a_2$ ；

$\langle V_3, V_4 \rangle$ 的最晚开始时间： $T\langle V_3, V_4 \rangle$ 晚 = $TV_5 - a_3 - a_4$ ；

$\langle V_4, V_5 \rangle$ 的最晚开始时间： $T\langle V_4, V_5 \rangle$ 晚 = $TV_5 - a_4$ 。

因此，在求得了同步作业阶段各作业的 $T\langle V_i, V_j \rangle$ 晚后，甲板作业指挥员可以在制订舰载机作业任务时，根据舰载机状态、人员配置及设施的情况合理的协调保障人员或小组作业时序，编制最为合理的舰载机飞行甲板作业流程，使人员和装备得到最大的利用效率，保障整个舰载机飞行甲板作业的快速顺利实施，提高舰载机出动效率。

2.3 作业流程模型验证

利用构建的模型对舰载机出动时的作业流程规划进行验证分析，在没有利用模型优化时，保障 4 架机一个批次飞行，直接准备时间需要 $T_{总1} = T_{检查飞机} + T_{通风除潮} + T_{充氧} + T_{充氮} + T_{调运} + T_{加油} + T_{挂弹} + T_{通电检查} + T_{惯导对准} + T_{检查飞机}$ （参见图 1），在使用模型进行优化后，直接准备时间可在 $T_{总2} = T_{检查飞机} + T_{调运} + T_{充氧} + T_{挂弹} + T_{通电检查} + T_{惯导对准}$ （参见图 2）内完成，显然 $T_{总1}$ 大于 $T_{总2}$ ；因此，利用模型优化作业流程可减少直接准备的时间，提高保障效率。同时，通过模型分析，可以得到关键活动序列，检查飞机 → 调运 → 充氧 → 挂弹 → 通电检查 → 惯导对准，指挥员要特别关注这些子任务的最晚开始时间和完成时间，否则会影响整个作业任务的执行总时间。

3 结论

通过对俄航母苏-35 舰载机飞行甲板作业流程模型的建立及分析，可以得出：

1) 作业流程模型中串行的单一路径作业活动所需时间，直接影响整个任务的执行总时间；

2) 要提高作业流程交通网中同步作业阶段的完成时间，需要减少耗时最长子任务作业的工作时间；

3) 同步作业阶段中子任务作业在最晚开始时间前，开始启动不会影响同步作业阶段的完成总时间。

在实际的舰载机飞行甲板作业流程规划中，可以利用笔者提出的模型对整个作业进行分析研究，从而对人员及设施进行合理配置和调度，提高舰载机出动效率。

参考文献：

- [1] 张勇, 周益. 美国舰载航空甲板运动准则[J]. 中国舰船研究, 2012, 7(1): 7-11.
- [2] 周晓光, 冯百胜, 张原. 基于闭排队网络的舰载机出动架次率分析[J]. 兵工自动化, 2014, 33(4): 79-83.
- [3] Maegegor M H, Grover W D. OPTimized k-shortest Paths algorithm for faeility restoration. Software Praectice and ExPerience, 1994, 24(9): 823-828.
- [4] EPPstein D. Finding the k shortest Paths. SIAM Journal on ComPuting, 1999, 28(2): 652-673.
- [5] Gliu K G Ramakrishnan. A*Prune: An algorithm for finding k shortest Paths subject to multiple constraints[Z]. Proceeding sof the INFO-COM 2001 Confereee, IEEE, Anehorage, Alaska, 2001, 743-74.
- [6] F-22 aircraft progress in achieving engineering and manu-facturing development goals[R]. GAO/NSIAD-98-67, 1998.
- [7] 张帅, 唐金国, 孙媛, 等. 舰载机有限可修复备件库存模型[J]. 兵工自动化, 2015, 34(3): 10-12.
- [8] Angelyn J. Sortie generation capacity of embarked airwings[R/OL]. ADA359178, 1998[2010-05-21]. <http://www.cna.org/documents/279801110.pdf>.
- [9] Angelyn J, Maureen A W, Colleen M K, et al. USS Nimitz and carrier airwing nine surge demonstration [R/OL]. 998[2010-08-12]. <http://www.cna.org/documents/2797011110.pdf>.
- [10] 杨炳恒, 毕玉泉, 徐伟勤. 一种舰载机调运作业流程优化模型[J]. 舰船科学技术, 2011, 33(1): 118-121.
- [11] Hershberger J, Maxely M, Suriz S. Finding the K shortest Paths: A new algorithm and implementation[R]. ALENEX Baltimore, 2003.
- [12] 杨炳恒, 韩峰, 王海东. 舰载机机库调运作业路径[J]. 舰船科学技术, 2012, 34(8): 141-143.
- [13] Robert M, Stammer A. Database approach to aircraftcarrier airplan production[D]. Monterey: Naval PostgraduateSchool, 1992.