2019年第三届全国大学生军事数学建模竞赛题目

A题舰载机出动能力研究

舰载机是航母最重要的作战装备，其出动能力是舰载机的核心能力之一。分析舰载机出动能力，规划舰载机出动架次，合理高效利用各种训练资源制定切实可行的舰载机飞行训练计划，提升舰载机作战训练水平对于推进我海军舰载机作战能力生成以及构建航母作战体系具有重要意义。

舰载机出动能力是指合理配置并高效使用母舰资源，维持一定的舰载机出动架次，保障舰载机在一定条件下执行各种飞行任务的能力，一般用出动架次率来衡量。

舰载机出动架次是指舰载机(固定翼飞机和旋翼机)以完成任务为目的，从飞行甲板上起飞到着舰的一个循环过程，舰载机出动架次关系如图1。一般情况下，舰载机起飞后，无论在空中停留多长时间，只要还未着舰，就是一架次，只有舰载机着舰后，该架次才视为结束。

舰载机出动架次率指的是在一定约束条件下，给定时间内航母舰载机为完成特定任务而出动的架次数。其中，一定的约束条件是指舰载机的作业周期、数量、完好率，及飞行员数量、武器装载计划、平均挂弹时间、加油小组数、平均加油时间、维修能力等指标保持一定的情况；给定时间指的是一段时间，一般为一个飞行日。

根据分析，影响出动架次的主要因素，主要分为七大类：舰载机数量因素、飞行员因素、故障率因素、出动回收因素、保障作业因素、维修作业因素和弹射器因素。根据“尼米兹”为期4天的高强度演习数据（见表1），舰载机只考虑 F/A-18C 为例，基于如下假设：

(1) 忽略飞行员执行飞行任务前后的任务简报时间，考虑该时间可在飞行员空余时间内进行，不影响舰载机出动架次。

(2)“尼米兹”有四部弹射器，但 4 号弹射器经常被甲板作业占用，因此仿真时假设弹射器数量为三部，每1min能够同时弹射出动 2 架舰载机。甲板每次只能安排一架舰载机降落回收，回收时间为1.5min。甲板上有16个保障机位和15个临时停机位，在执行出动任务时，准备出动的舰载机可以在跑道和临时停机位上等待出动，但是在回收时，跑道必须被清理出来，舰载机只能停放在保障机位和临时停机位上。

(3) 高强度演习时几乎没有出现缺少维修备件的情况，因此假设 4 天演习中的备件是充足的，维修能力只受到维修时间和同时维修位置数量的影响。

(4) 虽然弹药的调运是弹药作业中重要的一步，但是在演习中，舰载机的挂弹作业主要受到挂弹小组数量的限制，因此忽略弹药从机库调运至甲板的过程。

(5) 忽略舰载机存在复飞、出动前故障和需要基地维修的情况。

问题：

(1) 根据表1演习数据，假定初始状态下，机库中完好的舰载机数量为 3 架，机库中故障的舰载机数量为 6 架，甲板上等待出动的舰载机数量为 13 架，保障位上等待保障的舰载机数量为 14 架。F/A-18C舰载机进行空中截击的作业周期为1小时30分钟，进行近距空中支援的作业周期为1小时45分钟。假定两类任务出动飞机架次是一样多的；机库中的6架舰载机可以进行中继级维修；飞机在飞行中不发生故障；一架舰载机由一位飞行员驾驶；以演习4天（96小时）为限，计算F/A-18C舰载机最大出动架次。

(2) 在飞机故障率的假设下，对问题(1)进行分析讨论。

(3) 舰载机的配套资源主要包括保障作业资源和维修作业资源，其中保障作业中弹药的供应和调度是最主要的因素，维修作业中备件的供应和调度是最重要的因素。根据给定的数据，建模分析讨论如何优化调度过程中的保障作业资源和维修作业资源，并给出你们的作业调度方案。

表1 97年美国高强度演习中的统计数据

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 参数 | | 演习数据 |
| 1 | 舰载机数量 | F/A-18C 舰载机数量 | 36 架 |
| 2 | 出动  回收 | 弹射时间 | 1min |
| 3 | 回收时间 | 1.5min |
| 4 | 飞行员登机检查时间 | 5min |
| 5 | 保障  作业 | 保障机位数量 | 16 个 |
| 6 | 加油小组 | 6 个 |
| 7 | 挂弹小组 | 3 个 |
| 8 | 加油时间 | 14min |
| 9 | 挂弹时间 | 8min |
| 10 | 系留飞机 | 1min |
| 11 | 充氧、充氮、换胎总时间 | 5min |
| 12 | 母舰机动时间 | 8min |
| 13 | 武器安检 | 5min |
| 14 | 维修  作业 | 舰员级维修比例 | 10% |
| 15 | 舰员级维修时间 | 30min |
| 16 | 舰员级同时维修位置数量 | 2 个 |
| 17 | 中继级维修时间 | 3h15min |
| 18 | 中继级维修位置数量 | 1个 |
| 19 | 升降机往返时间 | 5min |
| 20 | 飞行员 | 飞行员人数 | 79 个 |
| 21 | 飞行员每天飞行时间限制 | 6.5 小时 |
| 22 | 飞行员每天飞行次数限制 | 3 次 |
| 23 | 故障率 | 舰载机在天空出现设备故障率 | 20% |

说明：

（一）由于整体的舰载机出动架次过程极其复杂，包括作业周期内的飞行员作业、出动、保障和维修等多个步骤。具体分析如下：

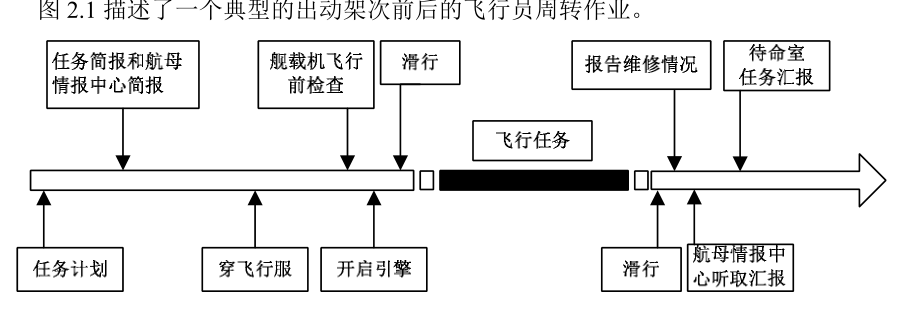


图1 飞行员作业周期

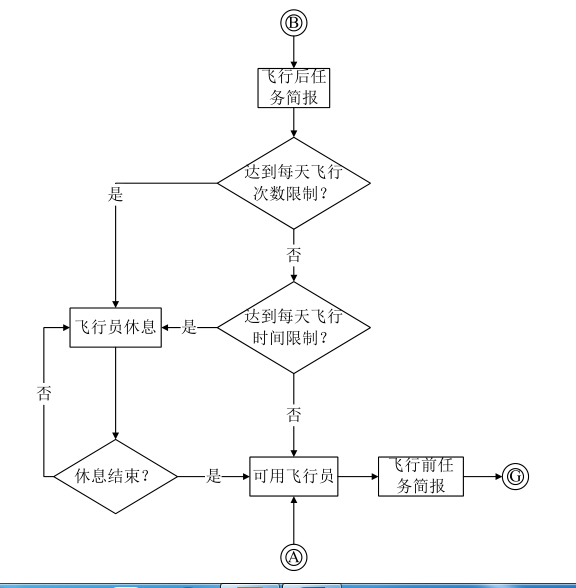


图2 飞行员作业流程图

（二）图2的具体解释如下：

(1) 当一架舰载机回收后，将飞行员听取维修简报、航空母舰情报中心听取汇报和

任务汇报三个任务简化归纳为飞行后任务简报作业。

(2) 执行完飞行任务后，判断其是否达到每天飞行次数限制，如果达到，则该名飞

行员在当天的剩余时间休息，第二天允许其再次执行飞行任务。

(3) 如果执行完飞行任务后，没有达到每天飞行次数限制，则判断其是否达到每天

飞行时间限制，如果达到，则该名飞行员在当天的剩余时间休息，第二天允许其再次执

行飞行任务。

(4) 如果执行完任务后，既没有达到飞行次数限制，也没有达到时间限制，则该名

飞行员当天还可以再次执行飞行任务。

(5) 当飞行员被分配飞行任务后，将任务计划、任务简报和穿飞行服三个任务简化

归纳为飞行前任务简报作业。

(6) 图2中 A 表示出动前检查舰载机出现故障后离机的飞行员，B 表示执行完飞

行任务后离机的飞行员，G 表示执行完飞行前任务简报的飞行员。

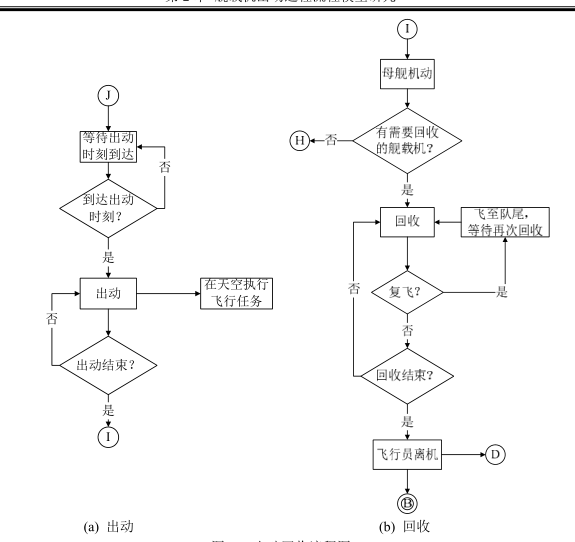


图3 出动回收流程图

（三）当所有的舰载机出动前准备工作都完成后，在指定的出动时刻进行出动，流程如图3(a)所示。

(1) 等待出动时刻的到达。

(2) 按照顺序进行出动。

(3) 当计划出动的舰载机全部出动完毕，出动作业结束。

(4) 图 3(a)中 I 表示出动结束，J 表示开启引擎等待出动的舰载机。

一般来说，弹射一架飞机将花费 30 到 60 秒。当所有计划出动的舰载机出动完毕后，进行舰载机回收作业，流程如图 3(b)所示。

(1) 进行母舰机动。

(2) 判断是否有等待回收的舰载机，如果没有，跳过回收作业，例如第一次出动之后没有需要回收的舰载机。

(3) 如果有等待回收的舰载机，舰载机在天空排队回收。

(4) 回收的舰载机如果存在复飞的情况，则飞至队尾，等待再次回收。

(5) 直至所有等待回收的舰载机都完成回收，飞行员离机。

(6) 图3(b)中I 表示出动结束，B 表示执行完飞行任务后离机的飞行员，H 表示出动之后没有需要回收的舰载机。

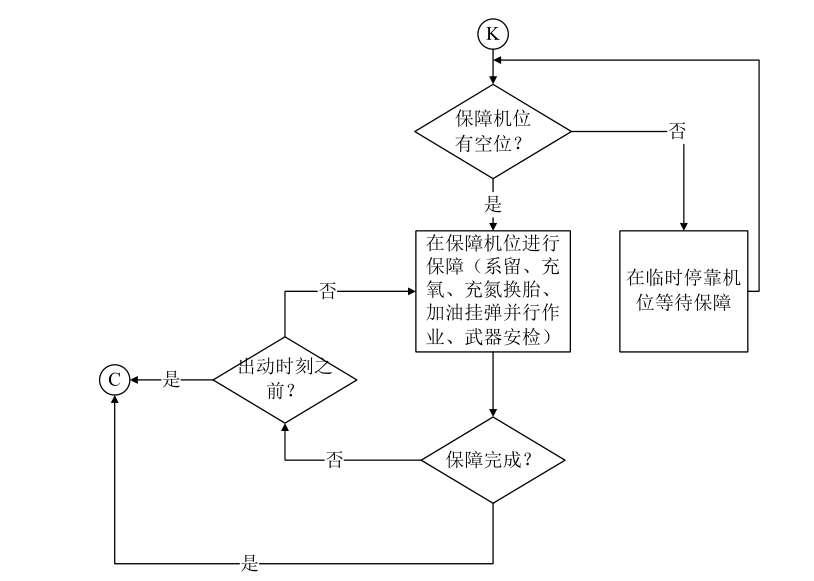


图4 保障流程

（四）舰载机回收检查完毕后，进行保障作业，流程如图4所示。

(1) 如果保障机位有空位，在舰载机调运至保障机位进行保障，保障作业包括：系

留、充氧、充氮、换胎、加油、挂弹和武器安检，其中加油和挂弹作业可以并行。

(2) 如果保障机位没有空位，则在临时停靠机位等待保障，直至有可用的保障机位。

(3) 进行保障作业时，需要时刻判断是否到达出动时刻，如果到达，则保障作业暂停，出动回收作业结束后继续。

(4) 图 4中 C 表示到达出动时刻之前，K 表示等待保障舰载机。

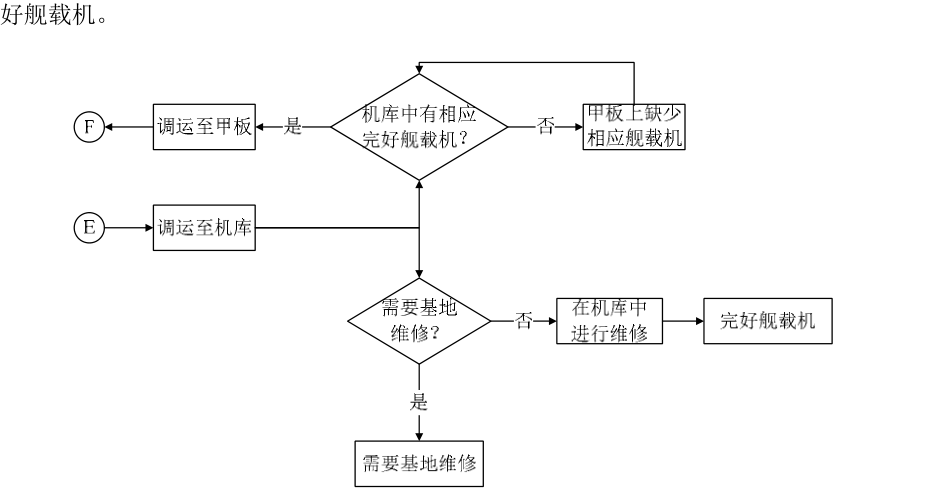


图5 维修作业流程

（五）维修流程具体为：

(1) 需要中继级维修的舰载机通过升降机调运至机库。

(2) 判断故障的舰载机是否需要进行基地维修，如果是，则在机库中停留等待运回基地维修。

(3) 如果故障的舰载机不需要进行基地维修，则在机库中进行中继级维修。

(4) 当有故障的舰载机运至机库时，判断飞行甲板上是否缺少相应的舰载机，如果缺少并且机库中有相应完好的舰载机，则将所需的舰载机通过升降机运至甲板。

(5) 图 5中 E 表示需要在机库中进行维修的舰载机，F 表示从机库中运上来的完

好舰载机。

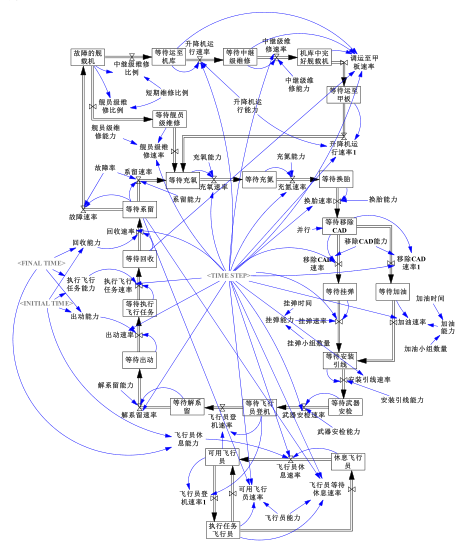


图6 舰载机出动架次关系流图

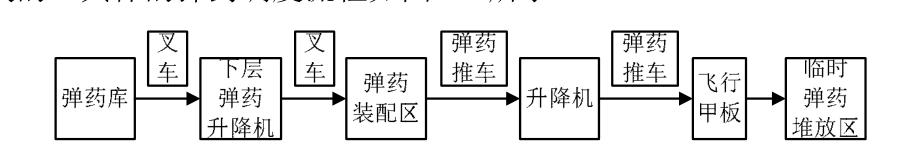


图7 弹药调度流程图



图8 备件调度流程图