

某航空兵场站机载弹药保障仿真研究

张孟月, 张玉飞, 徐钰华, 于官印

(北京航空工程技术研究中心, 南京 210028)

摘要: 航空兵场站机载弹药保障的要素和环节众多, 且相互影响、相互制约, 通常采用计算机仿真对这类系统效能进行定量评估; 文章对某航空兵场站机载弹药保障的力量构成、保障过程和特点进行了分析, 并将其抽象为一个离散事件系统, 建立了涵盖任务下达与执行、保障对象、保障资源以及保障过程等要素的建制单位离散事件仿真模型, 并在此基础上开发了仿真系统; 应用表明, 该仿真模型运行正确、可靠, 为某航空兵场站机载弹药保障效能评估提供了有力的分析工具。

关键词: 航空兵场站; 机载弹药保障; 仿真

Research on Simulation of Aerial Ammunition Support in Air Force Station

Zhang Mengyue, Zhang Yufei, Xu Yuhua, Yu Guanyin

(Beijing Aeronautical Technology Research Center, Nanjing 210028, China)

Abstract: The aerial ammunition support in air force stations involves many factors and links which influence and condition each other so that the quantitative efficiency evaluation of this type of systems is generally implemented by computer simulation. In this article, the structure of supporting force, process and characteristics of aerial ammunition support in some air force station are analyzed. The aerial ammunition support is abstracted as a discrete-event system and aerial ammunition support task models, aerial ammunition models, support resources models, support process models and a discrete-event simulation system are developed. The application shows that the models run correctly and reliably, and can supply a powerful analysis tool for efficiency evaluation of aerial ammunition support in air force stations.

Keywords: air force station; aerial ammunition support; simulation

0 引言

机载导弹、航空炸弹等机载弹药作为航空兵遂行空中进攻任务的主要武器装备, 在未来战争中地位重要、作用突出, 是直接影响航空兵部队战斗力的重要因素。作为战时机载弹药保障的重要力量, 航空兵场站能否及时、高效、精准、持续地实施机载弹药保障, 已经成为影响战争胜利的关键因素之一^[1-2]。对航空兵场站机载弹药保障效能进行客观科学的评估, 从而实现评估、反馈、决策、调整、再评估的管理闭环, 是当前军事斗争准备亟需解决的问题。

在航空兵场站机载弹药保障效能评估过程中, 由于涉及的环节和要素较多, 而且各环节和要素相互耦合, 导致系统状态的变化具有多重性和不确定性, 因此通常使用计算机仿真的方法对这类复杂系统进行定量评估^[3-6]。计算机仿真具有高可靠、无破坏、可重复实施、经济效益好等优点, 是系统评估的有效手段之一。在弹药保障仿真方面, 当前主要是针对某种装备的保障系统进行设计^[7-9], 对同时担负多种类型装备保障任务的建制保障力量的仿真研究较

少。本文对保障多种类型机载弹药的某航空兵场站进行了研究, 并基于 Flexsim 软件设计开发了某航空兵场站机载弹药保障仿真系统, 为评估其系统效能提供了有力支撑。

1 仿真需求描述

机载弹药保障是指机载弹药保障力量为空中作战提供机载弹药并保持其完好状态所采取的各种措施和进行相应活动的统称。机载弹药保障力量由具体实施保障活动的机构、人员、设备、设施等要素构成, 具有系统的一般特征。

某航空兵场站机载弹药保障主要由所属的两个保障机构具体实施, 分别担负不同类型弹药的保障任务。两个保障机构各有若干个专业中队, 共同配合完成飞机作战所需机载弹药的供应保障工作。该航空兵场站机载弹药保障的显著特点是弹药类型多、各型弹药保障过程差异大, 这些特点给资源投入决策、战斗力评估等工作带来了极大挑战。

对于保障系统中的弹药、设备、人员及设施, 只需要关注它们的特定状态以及状态变化经历的时间, 例如弹药的装箱状态、启封状态、完成测试状态、待发状态, 保障资源的分配、占用与释放状态等, 而并不关心这些状态改变的具体过程, 因此航空兵场站机载弹药保障力量具有离散事件系统的一般特征^[10-11]。本文基于商业化离散事件仿真软件 Flexsim, 开发某航空兵场站机载弹药保障离散事件仿真模型。Flexsim 软件中预置了发生器、暂存区、处理器、吸收器及合成器、分解器、路径等资源类固定实体, 分配器, 操作员, 运输机等任务执行实体, 网络节点等网

收稿日期:2019-12-13; 修回日期:2020-05-06。

基金项目:军队科研计划项目(KJ2013257)。

作者简介:张孟月(1974-),女,河南汝州人,硕士,高级工程师,主要从事空面武器系统方向的研究。

通讯作者:张玉飞(1984-),男,贵州思南人,硕士,工程师,主要从事空面武器系统方向的研究。

络控制模块, 创新运用这些实体模块, 可有效模拟机载弹药保障过程中保障对象的流转和有限资源被分配、占用和释放的活动^[12]。通过对该场站机载弹药保障力量及其保障活动进行模拟, 并基于蒙特卡洛仿真, 科学评估不同保障方案的效果, 对拟定保障训练方案、优化保障资源配置、选择最佳保障模式提供技术支持。

2 仿真模型建立

2.1 仿真模型框架

某航空兵场站机载弹药保障仿真建模的主要内容包括保障任务模型、机载弹药模型、保障资源模型和保障活动模型四个方面^[13], 如图 1 所示。

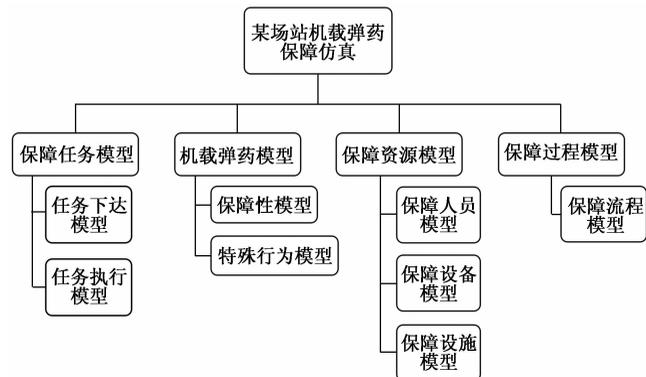


图 1 仿真模型框架

图 2 描述了框架内四种模型之间的关系。可将航空兵场站机载弹药保障力量看作是一个抽象系统^[14], 机载弹药模型和保障资源模型模拟了航空兵场站机载弹药保障力量的系统结构, 上级下达的保障任务作为系统输入激励, 在保障过程的控制下, 系统的行为响应即是保障效果。

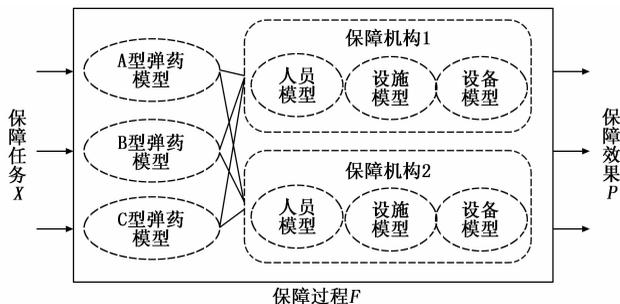


图 2 模型之间的关系

2.2 保障任务模型

保障任务模型以航空兵场站机载弹药保障机构领受的保障任务为建模描述对象, 是仿真运行的驱动力。对于任务级军事单位而言, 可将系统仿真模式设置为当任务完成时模型自动停止运行。

任务模型建模内容主要包括任务的下达和执行两个子模型。任务下达模型是以适当的形式表现任务的产生、任务内容、任务约束以及任务成功条件等内容, 是驱动仿真过程中各种活动的主要动力。在保障机构 1 和保障机构 2 的

入口模块上建立可更新的任务列表, 分别代表两个机构领受的保障任务, 其要素包含了需要保障的弹药型号、保障数量、时限要求等任务剖面, 运输装载方式、保障模式等约束条件, 以及到达指定地点数量成功条件等内容。

任务执行通过遍历查询任务列表方式进行。以保障机构 2 保障过程为例, 通过任务模型下达若干种型号的机载导弹保障任务并启动仿真模型后, 保障机构 2 的启封模块将开始查询保障机构 2 入口上的任务列表, 若任务列表中尚有某种弹药的剩余保障任务数大于 0, 那么启封模块将根据弹药保障特性, 从保障设施模型下的设备间模块申请运弹拖车资源并启动启封任务。当完成一枚导弹启封工作后, 任务列表中相应弹型的剩余保障任务数减 1, 并重复查询任务列表→开始执行保障任务→该型号弹药保障任务数减 1 的过程, 直到保障列表中所有任务条目的剩余保障任务数为 0, 此时启封模块不再申请运弹拖车资源。已启封的弹药在完成剩余保障步骤后模型将停止运行, 即完成了任务列表中所有的保障任务。

2.3 机载弹药模型

机载弹药模型是对保障对象的建模, 包括对其可靠性、维修性、保障模式等保障性参数进行描述, 并能够通过所给参数, 模拟弹药故障、修理等活动。

作战飞机通常可以挂载多种型号弹药, 每种弹药的保障过程、保障内容都不尽相同, 因此, 本文在建模过程中, 采用面向对象的方法, 将机载弹药的可靠性、保障性等参数绑定在弹药模型上。通过对 Flexsim 中的临时实体进行改造, 加入各环节保障时间、装载方式、可靠性、维修性参数等相关信息标签, 以及通过标签表建立的各种保障流程, 构建起用于保障仿真的机载弹药模型。在仿真过程中, 保障资源将根据绑定在弹药实体上的属性标签值进行相应的保障活动。这些标签条目在运行过程中可以读或写, 也可以动态地加入新的条目。总之, 与弹药相关的信息都可以记录在弹药模型上。从面向对象的角度出发, 这种将信息封装到实体上的方式还有更多的用处, 可以在机载弹药模型上建立一些函数, 通过函数来完成更为复杂的功能, 比如在本系统中, 实现了根据给定完好率自动选择保障模式的仿真应用, 为保障资源优化提供了决策支持。

2.4 保障资源模型

保障资源模型主要用于对各种保障资源的分类、定量、配置和优化, 以及设备工作过程的模拟, 通常考虑的资源包括人员、设备、设施等。

2.4.1 人员模型

机载弹药保障离不开各类指挥员和操作人员, 是战斗力的重要组成部分, 其数量和能力对系统保障效能有极大的影响。人员模型开发主要包括三个方面的内容: 单兵模型、建制模型和任务分配模型。

单兵模型是通过 Flexsim 模块库中的操作员进行改造实现的, 加入所属专业、熟练程度等属性标签。

建制模型的开发过程采用了资源池的概念。在仿真开

始前为两个保障机构下属的每个中队添加足够数量的单兵模型,形成保障机构 1 和保障机构 2 两个建制模型下若干个中队人员池。中队模型领受任务后,自动将任务分配至相关人员,并形成作业组。

任务分配模型共分三步走。首先,将各中队人员按工作需要分为多个作业组,并指定每个组的人员数量,在模型重置时,自动将中队所属保障人员逐一指派到具体岗位,形成精确到每个保障人员的详细任务分配列表。第二步,建立人员联系方式。任务分配到具体人员后,在模型中建立一个树结构,其节点内容是每个保障人员在内存中的地址(即指针),模型中任何代码只需要根据这个指针便可与对应人员建立起联系。第三步,将保障活动关联的任务分配器通过指针动态地与保障人员建立连接。在 Flexsim 仿真环境中,一个或多个保障活动需要调用人员或运输设备时,通常与一个任务分配器进行连接。任务分配器相当于一个任务中转站,模拟了实际保障活动中的指挥员角色。保障活动进行时,仅需调动分配器即可完成操作员调度,从而实现任务的精准分配。

2.4.2 设备模型

保障设备是指机载弹药保障过程中使用的装备、设备、仪器、仪表及专用工程车辆等。本研究涉及的机载弹药保障设备,主要是在航空兵场站机载弹药保障活动中使用的装卸搬运、检测维修、技术准备和外场供应等设备,是执行保障任务的物质基础。

设备模型主要内容包括建立各型设备实体模型和设备数量控制模型。设备实体模型主要通过对 Flexsim 软件预置的复合处理器、操作员以及可视化模块进行改造获得,以完成对实际使用的运输、检测等设备的模拟。为后续评估设备数量对系统效能的影响,要求参与仿真的设备数量是动态可控的,本文中,价值昂贵、数量较少且使用过程中位置不变的设备,直接将足够数量的设备预置到模型中,通过控制设备是否激活来控制数量;对于数量较多,且仿真时数量变化较大,不宜在模型开发时预置到模型内的设备,通过建立保障资源列表的方式,在仿真运行初始化时动态产生。

2.4.3 设施模型

保障设施包括库房、工房、道路、消防设施等,但影响保障效能的主要是库房、工房和道路。库房、工房对保障效能的影响主要是其面积及桁吊等附属设施,道路的影响主要是距离和路况。

从仿真角度看,主要研究两种设施,一是库房,二是道路。库房模型主要考虑其容量和吊装方式。道路模型包含诸多因素,包括道面状况、距离等,从离散事件系统角度出发,都可以归结到运输时间变量。可通过设置模型中两个网络节点之间的虚拟距离来模拟道路距离,结合速度限制设置,就可以模拟出运输时间。

2.5 保障活动模型

保障活动模型是对航空兵场站机载弹药保障机构在领

受保障任务后,调动保障资源,按照相关规定要求实施保障作业,完成保障任务的一系列过程的模拟。保障活动建模的核心是保障流程模型。在进行机载弹药保障过程中,必须严格按照工作流程进行操作。建立保障流程模型主要包含两方面工作:一是流程的建立与决策,二是流程的执行与控制。

保障流程与弹药类型有关,因此将保障流程作为弹药模型对象的属性,具体实现方法是将流程作为标签表与弹药模型进行绑定。以机载导弹保障流程为例,流程模型主要包括导弹实体产生、装配、测试、加油等模型。

1) 导弹实体产生:假设在库房已预置足够数量的导弹,即导弹是成批到达的,在仿真初始化时,根据预设资源参数产生相应种类和数量的弹药实体。

2) 装配模型:将部分与弹体分离存放的部件重新与弹体进行组装,可利用 Flexsim 的合成器实现。

3) 测试模型:在技术准备过程中,若导弹被检测为不合格时,将被转移至修理房进行修理,然后进行下一枚导弹测试。由于测试过程步骤较多,且涉及检测不合格需修理的问题,可用 Flexsim 内置的复合处理器实现。

4) 加油模型:对导弹的性能状态完好进行确认后,交付作战使用前需要加注燃料。可抽象为时间延迟,用 Flexsim 的处理器模块实现。

战场态势瞬息万变,弹药保障流程也不能一成不变,因此,为兼顾仿真的方便和实际情况的逼真模拟,可在弹药模型上建立多套保障流程模板,仿真时可以指定某一种保障流程,也可以根据给定条件自动选择相应的流程。

3 仿真系统实现与应用

3.1 仿真系统实现

在仿真模型的基础上,开发了系统控制模块、数据统计及显示模块,实现了某航空兵场站机载弹药保障仿真系统,其结构如图 3 所示。

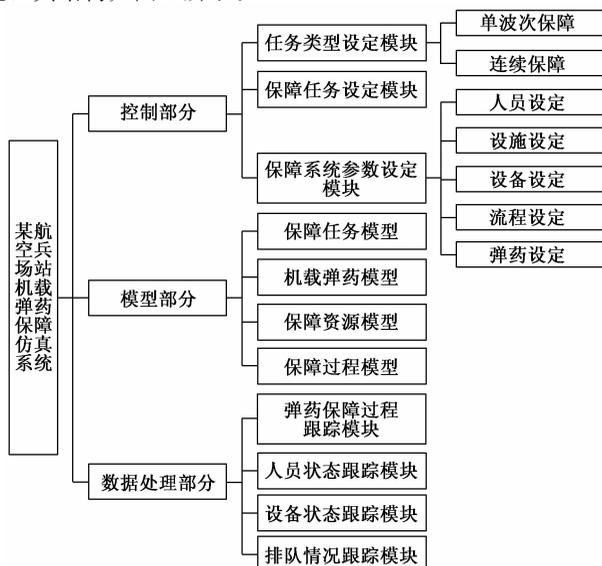


图 3 某航空兵场站机载弹药保障仿真系统

控制模块模拟了导演部的功能, 包括作战进程控制(单个波次、多个波次)、下达机载弹药保障任务和保障部队保障资源的配置方案等内容。

数据处理部分根据弹药模型在内存中的地址值引用到对应的弹药, 进而跟踪各枚弹药实时位置, 极大方便系统运行效率监控。由于仿真通常是运行多次后取其统计值, 所以模型运行过程中把完成保障的弹药上的保障时间结果暂时写入全局表中, 仿真完成后可导入其他程序进行分析。多次仿真后对仿真结果进行统计处理, 可得到比较可信的评估结果。

3.2 仿真应用

3.2.1 问题提出

为满足机载弹药装备日常和作战保障作业需求, 加强保障设备精细化、规范化、标准化建设, 提高设备列装效益, 需对高价值设备的配备数量及比例进行定量研究。

现有某型导弹保障过程中需要使用的 3 种测试设备, 由于该类型设备价值较高, 通常每种设备在每个场站仅配发 1 至 2 台, 则共有 8 种配备方案, 见表 1。

表 1 三型设备不同的配备方案

	设备 1	设备 2	设备 3
方案 1	1	1	1
方案 2	2	1	1
方案 3	1	2	1
方案 4	1	1	2
方案 5	2	2	1
方案 6	1	2	2
方案 7	2	1	2
方案 8	2	2	2

该型导弹需要执行表 2 所示的 8 个保障环节, 且各环节序贯进行。各环节保障所需时间分布、所需使用的保障设备数量及测试结果的不合格率如表 2 所示, 其中需要研究的 3 种设备分别用于综合测试、部件 1 和部件 2 测试。假定人员数量充足、操作熟练。库容充足。

表 2 某型导弹保障流程参数

流程环节	环节时间分布/分钟	设备数量	测试不合格率
启封装配	正态分布(20,2)	1	—
综合测试	正态分布(60,6)	表 1	0.05
部件 1 测试	正态分布(60,6)	表 1	0.01
部件 2 测试	正态分布(60,6)	表 1	0.01
部件 3 测试	正态分布(30,3)	1	0.01
部件 4 测试	正态分布(20,2)	1	0.01
燃料加注	正态分布(30,3)	1	—
战斗设置	正态分布(10,2)	1	—

3.2.2 仿真结果

对于部队作战保障而言, 任务完成时间是优先考虑的目标。设第 1 种配备方案情况下完成 N 枚弹药保障的时间为 T_1 , 第 i 种配备方案情况下完成 N 枚弹药保障的时间为 T_i , 则不同配备方案条件下完成 N 枚该型弹药保障需要的

相对时间可表示为:

$$t_i = T_i/T_1$$

考虑到人员熟练程度、设备故障等因素, 弹药保障的各环节时间服从正态分布。本文基于蒙特卡罗方法对每种方案均进行多次仿真, 并对结果进行统计分析。

将不同配备方案条件下保障 40 枚该型弹药的时间与方案 1 条件下的保障时间的比值绘制成曲线, 如图 4 所示, 曲线位置越靠下, 表明完成相同任务所需的时间越短。

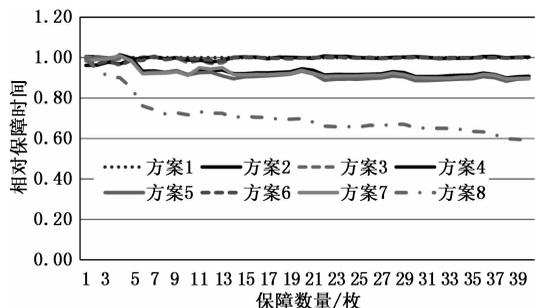


图 4 保障 40 枚某型导弹时间曲线

从图 4 可以看出:

1) 仅增加某一种或两种设备, 对总的保障时间影响很小, 只有三种设备同时增加时总的保障时间才会明显缩短。因此制定设备购置计划时, 为避免设备闲置, 若增加其中一种设备数量, 另外两种也应相应增加订货。究其原因, 主要是综合测试和部件 1 测试、部件 2 测试 3 个环节所需的时间相当, 由于保障流程是序贯进行, 耗费时间最多的环节就是系统的瓶颈所在。

2) 虽然综合测试与部件 1、部件 2 测试环节所需时间相当, 但综合测试环节检测结果为不合格的概率要远大于部件 1 和部件 2 测试环节, 因此, 若仅增加三种设备中的一种, 则增加综合检测设备数量时保障时间更短。

4 结束语

本文从分析某航空兵场站机载弹药保障力量组成要素及其保障过程特点出发, 开发了基于 Flexsim 的某场站机载弹药保障离散事件仿真模型, 并针对具体问题进行了应用。目前该模型已在作者参与的多个研究项目中得到应用, 通过对弹药模型和保障资源进行适应性的调整, 也可应用于其它类似的保障系统。

参考文献:

- [1] 刘奇志, 胡世军, 丁明, 等. 空军军事运筹学 [Z]. 北京: 中国人民解放军空军, 2006.
- [2] 田德红, 何建敏, 齐洁, 等. 航空弹药动态调运决策优化建模与仿真研究 [J]. 西北工业大学学报, 2018, 36 (6): 1236-1242.
- [3] 杨英杰, 于永利, 张柳, 等. 基于仿真的装备维修保障系统探索性分析方法研究 [J]. 军械工程学院学报, 2014, 26 (4), 1-4.
- [4] 付东, 方程, 王震雷. 作战能力与作战效能评估方法研究 [J]. 军事运筹与系统工程, 2006, 20 (4): 35-39.

(下转第 149 页)