装备保障活动分析方法

郭霖瀚 康 锐 张侦英

(北京航空航天大学 工程系统工程系, 北京 100191)

摘 要: 借助于使用与维修工作任务分析 (O&MTA, Operation and Maintenance Tasks Analysis)的结果,在描述保障系统运行机理的过程模型基础上,提出了装备保障活动分析方法. 从使用保障和维修保障两个方面抽象出保障活动的频数和执行时间这两个基本属性,并给出了计算方法. 通过建立装备群使用任务要求与保障活动频率之间的解析关系,结合保障活动时间属性,依据保障活动之间的层次关系,进行分析汇总计算,最终得到装备保障系统的保障时间参数和保障资源使用时间参数,进而可以对保障系统进行评价,对保障资源的数量进行预测,可以为装备研制部门进行装备群保障系统设计、分析及构建保障方案提供理论指导和方法支持.

关 键 词: 后勤; 维修; 建模; 分析

中图分类号: V 215.7

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)04-0509-05

Activity-centered equipment support system analysis method

Guo Linhan Kang Rui Zhang Zhenying

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

Abstract: Equipment logistics support activities analysis mythology was presented according to operation and maintenance tasks analysis (O&MTA) output outcomes and process model describing equipment logistics support system implementing mechanisms. Equipment logistics support activities frequency and executing time two basic properties were abstracted focused on operational support activities and maintenance support activities. The parameters calculation methods were also given. Finally, the analytic function of logistics support activities frequency and equipments operation mission rates were constructed. Equipment logistics support system support time parameters and support resources employment time parameters were acquired through executing synthesis calculation via to the relations among different support activities locating on different equipment logistics support system levels. So support resources number can be predicted and equipment systems readiness characters can be evaluated. It is proved that the presented model and analysis mythology is effective infrastructure theory support for equipment logistics support development department to design, analysis, and construct support concept.

Key words: logistics; maintainability; model; analysis

装备保障系统是装备使用与维修所需各类资源的有机组合,是为达到既定的战备完好目标使所需资源相互关联相互协调而组成的一个系统[1]. 装备保障活动是保障系统实现其功能必须完成的事件序列,装备保障活动分析是根据保障系统的组成及运行机理,抽象装备保障活动的频率和时域特征,建立分析模型,进而可以评估保障系统的设计要求,预测保障资源的数量. 目前关于保障活动分析方法的研究主要集中于维修保障活动方面,文献[2]介绍了离散事件仿真方法在装备维修保障活动分析中的应用,文献[3]介绍了基于 Petri网的维修保障活动分析方法,文献[4]

收稿日期: 2008-09-16

作者简介: 郭霖瀚 (1979-),男,河南平顶山人,讲师, linhanguo@buaa.edu.cn.

介绍了基于维修流程图的装备维修活动分析方法.从这些分析方法看,它们并没有全面对装备保障活动进行分析,仅是从装备维修保障的角度去分析保障活动.文献[5]介绍了基于相似系统的分析方法,在此方法中,如果要精确地确定相似系数往往非常困难,通常要根据工程经验.文献[6]介绍了基于神经网络的分析方法,此方法中在计算前往往需要积累大量的算例才能保证计算精度.本文提出了一种保障活动解析分析方法,从使用保障和维修保障两个方面对装备保障活动进行了较为完整的分析,建立了保障活动与装备群使用任务之间的解析关系,并且实现起来较为简单,可以为工程上进行装备群保障系统设计、分析及构建保障方案提供理论指导和方法支持.

1 建模分析

从装备保障系统的定义可知装备保障系统的功能是要维持装备的正常使用,保障系统需要在装备使用时保证装备能够操作动用,在装备故障时能够及时修复装备.为实现保障系统的这些功能,就需要有相应的保障组织开展这些保障活动,装备的使用任务驱动了保障活动的执行,这些活动在执行时需要使用、消耗一定的保障资源,保障资源按照部队建制被部署在保障组织中,这些活动的完成标志着保障系统功能的正常履行.因此通过分析装备使用任务、装备、保障系统三者之间的关系,根据保障系统的运行机理可围绕保障活动开展对保障系统的分析工作.围绕保障活动建立分析模型就是在保障系统过程建模的基础上[7],根据保障活动的层次关系、保障活动的频数和执行时间这些基本属性,通过解析计算,去预测各类使用保障与维修保障资源的数量,评价保障系统是否满足战备完好性设计要求.保障活动分析模型框图如图1所示.

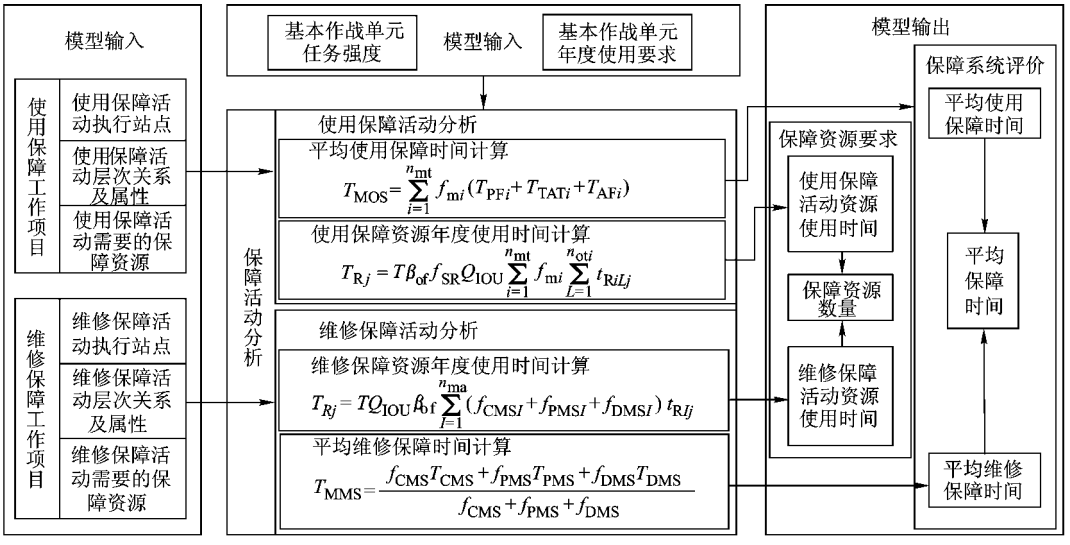


图1 以活动为中心的保障分析模型框图

1.1 模型输入

装备保障工作项目分为装备使用保障工作项目和装备维修保障工作项目.使用保障工作项目和维修保障工作项目可通过O&MTA (Operation and Maintenance Tasks Analysis)得到更加细化的保障工作流程.其中装备维修保障工作项目又分为修复性维修工作项目、预防性维修工作项目和战损维修工作项目.工作项目和保障活动是映射关系.由于保障活动是在保障组织的站点中执行,保障活动中使用保障资源,保障活动的完成反映了保障系统功能的实现,故保障活动模型可以从保障系统运行的角度完整的描述保障系统.

由于保障对象的层次关系,保障活动也是分层次的.可以将保障活动按照层次关系分为系统级的保障活动,系统级保障活动的对象是整个装备,如飞机的使用保障活动就属于系统级的保障活动,它的保障对象是飞机.此外还有外场可更换单元(LRU, Line Replaceable Unit)级保障活动和车间可更换单元(SRU, Shop Replaceable Unit)级保障活动,如某LRU的维修就属于LRU级的维修保障活动.保障活动有两个基本属性,一个是活动的频数,是指单位时间内某保障活动发生的次数;一个是保障活动的执行时间,保障活动的执行时间可以通过O&MTA的时线分析得到[8].基本作战单元[9]的任务强度和年度使用要求可以为计算使用和维修保障活动的频率提供输入数据.

1.2 活动分析

根据模型的输入参数,要对各个层次的保障

活动进行分析计算,而后对系统级的保障时间进行汇总,进而可预测系统级保障活动的平均执行时间. O&MTA时线分析得到的时间是在规定条件下保障活动执行时间,规定条件包括保障资源准备时间,如保障资源的请领时间,但是这里认为保障资源的数量是足够的,即不存在由于保障资源数量短缺导致的等待时间. 系统级的保障时间是由其紧邻下一级的保障活动时间按照活动频率加权平均得到. 此外还可以根据活动中资源使用时间汇总出单位时间内某种资源使用时间要求,此时根据该资源在单位时间内能够工作的时间,如一个维修人员一天 8 h的工作时间,就可以计算出该类资源的需求数量.

1.3　模型输出

根据使用保障活动和维修保障活动的分析结果可以最终汇总出保障系统的保障时间,进而可以对保障系统的性能和装备系统的战备完好性进行评价;此外还可以汇总出保障资源的数量要求,作为保障资源研制要求为下一阶段保障资源设计、生产及部署提供输入条件.

2　装备保障活动分析模型

保障活动的一个关键属性就是活动的时间跨度,由于装备研制生产周期较长,装备在交付使用部门时通常是分批交付的,这样在计算基本作战单元中装备投入使用的总时间时就需要根据装备分批交付的时间和数量进行修正,如图 2所示. 如果装备在单位时间内,如一年内,分批交付的时间间隔和每批交付的数量相等的话,可推导出列装时间偏移量修正系数 β_{of}的表达式:

$$\beta_{of} = 1 - (n - 1)T_0/2TN_A \qquad (1)$$

式中,T_0是分批交付的时间间隔,d; N_A是每批交付的数量; n是交付的批次数; T是分析时间跨度.

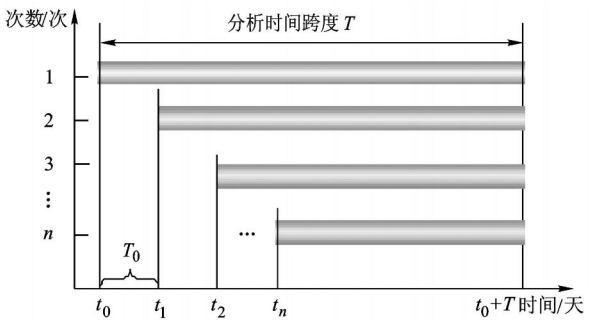


图 2　装备列装时间间隔示意图

2.1　使用保障活动分析模型

使用保障活动分析首先要确定使用保障活动的频度,使用保障活动频度跟装备使用任务频度有关,装备的使用任务频度在战时通常用每天的任务强度来表征,也叫做出动强度. 任务强度是单位时间内装备动用次数,如飞机装备是次/架·天,在平时通常用训练日的任务强度来表示. 装备的任务强度 f_{SR}可按下式进行计算:

$$f_{SR} = \begin{cases} f_{WSR} \\ f_{TSR}/T_{TD} \end{cases} \qquad (2)$$

式中,f_{WSR}是每天的战时出动强度; f_{TSR}是平时训练日任务强度; T_{TD}是训练日周期,d 由于不同的使用任务类型,如飞机装备的空空任务、空地任务等,不同使用任务类型所对应的保障活动也有所差别,根据某种资源在不同保障活动中的使用时间进而可以计算一段时间内某种资源总的使用时间:

$$T_{Rj} = T\beta_{of} f_{SR} Q_{DU} \sum_{i=1}^{n_{mt}} f_{mi} \sum_{L=1}^{n_{oti}} t_{RLij} \qquad (3)$$

式中,T是分析时间跨度; β_{of}是列装时间偏移量修正系数; f_{SR}是装备的任务强度,次/d; Q_{DU}是基本作战单元中装备数量; n_{mt}是保障使用任务种类数; f_{mi}是第 i类使用任务的任务频度百分比; n_{oti}是第 i类使用任务对应的保障活动数; t_{RLij}是第 j种资源在第 i类使用任务对应的第 L个保障活动中的使用时间. 使用保障活动阶段通常划分为:使用前准备阶段、再次出动准备阶段和任务后维护阶段. 根据不同的使用保障活动阶段和任务类型,可以得到装备的平均使用保障时间:

$$T_{MOS} = \sum_{i=1}^{n_{mt}} f_{mi}(T_{PFi} + T_{TATi} + T_{AFi}) \qquad (4)$$

式中,f_{mi}是第 i种任务的任务频度百分比; T_{PFi}是第 i种任务的任务前准备时间; T_{TATi}是第 i种任务的再次出动准备时间; T_{AFi}是第 i种任务的任务后维护时间. 任务前准备时间、再次出动准备时间、任务后维护时间可以通过 O&MTA方法中的时线分析方法获得.

2.2　维修保障活动分析模型

维修保障活动的执行频率对于不同类型的维修保障活动,其确定方法不同,修复性维修保障活动的频率 f_{CMS}与保障对象的使用要求、故障率、故障模式频数比和误拆率等因素有关,可按下式进行计算:

$$f_{CMS} = A_{OR} \sum_{k=1}^{N_{QP}} \left[\theta_k \sum_{l=1}^{N_{FMk}} \alpha_{lk} (\lambda_k + \mu_{kl}) \right] \qquad (5)$$

式中,A_{OR}是装备的使用要求,h/y,如飞机基本作战单元的使用要求为 1 000 h/y; N_{QP}为被分析的维修保障活动中包含的保障对象数; θ_k是被分析的

第 k个保障对象的运行比;$N_{\mathrm{PM}k}$是被分析的的第 k个保障对象的故障模式数;α_{lk}是被分析的第 k个保障对象的第 l种故障模式频数比;λ_k 是被分析的第 k个保障对象的故障率;μ_{kl}是被分析的第 k个保障对象的第 l种故障模式由于非故障因素导致的修理次数,如由于虚警导致的误拆除. 预防性维修保障活动的频率 f_{PMS}可由于预防性维修工作的周期直接确定,但是预防性维修活动周期通常有 3种表述方式,以日历时间为单位的表述方式,以装备工作时间为单位的表述方式,以装备使用次数为单位的表述时间,如下式所示:

$$f_{\mathrm{PMS}} = \max\{[A_{\mathrm{OR}J}/\min(T_{\mathrm{PMD}J})], J = 1, 2, 3\} \tag{6}$$

式中,$A_{\mathrm{OR}J}$是第 J种维修周期单位使用要求;$T_{\mathrm{PMD}J}$是第 J种维修周期单位预防性维修工作的间隔期,这里需要注意的是年度使用要求的单位要与预防性维修工作的间隔期保持一致,通常预防性维修间隔期的取值是最小预防性维修间隔期的整数倍,故取频数最大值作为预防性维修保障活动的频数. 战损维修保障活动的频率确定可以近似用战损率替代,战损率可以通过损坏模式分析得到. 由于对某个保障对象的维修保障活动可能会在保障组织中的多个站点完成,这时维修时间 T_{MS}要用站点之间的运输时间来进行修正,如下式:

$$T_{\mathrm{MS}} = T' + T_{\mathrm{S}} \tag{7}$$

式中,T是在站点内完成保障活动需要的时间;T_{S}是站点间的运输时间. 维修保障活动的修正时间可以在进行 O&MTA 时通过时线分析加以考虑,此外在进行时线分析时还要考虑保障资源的准备时间,如备件在外场的请领时间,此时认为这些资源的数量是足够的.

根据某种资源在每一类任务中的使用时间进而可以计算一段时间中某种资源总的使用时间:

$$T_{\mathrm{R}j} = TQ_{\mathrm{DU}}\beta_{\mathrm{of}}\sum_{I=1}^{n_{\mathrm{ma}}}(f_{\mathrm{CMS}I} + f_{\mathrm{PMS}I} + f_{\mathrm{DMS}I})\,t_{\mathrm{R}Ij} \tag{8}$$

式中,n_{ma}是维修保障活动个数;$f_{\mathrm{CMS}I}$是第 I种修复性维修保障活动的频数;$f_{\mathrm{PMS}I}$是第 I种预防性维修保障活动的频数;$f_{\mathrm{DMS}I}$是第 I种战损维修保障活动的频数;$t_{\mathrm{R}Ij}$是第 j种资源在第 I种维修保障活动中的使用时间. 根据维修对象的层次不同,装备的平均维修保障时间可通过紧邻装备下一层的 LRU 的平均维修保障活动时间和装备自身直接维修保障活动时间计算得到,故系统的平均维修保障时间为:

$$T_{\mathrm{MMS}} = \frac{f_{\mathrm{CMS}}T_{\mathrm{CMS}} + f_{\mathrm{PMS}}T_{\mathrm{PMS}} + f_{\mathrm{DMS}}T_{\mathrm{DMS}}}{f_{\mathrm{CMS}} + f_{\mathrm{PMS}} + f_{\mathrm{DMS}}} \tag{9}$$

式中,f_{CMS}是装备的年修复性维修频数;f_{PMS}是装备的年预防性维修频数;f_{DMS}是装备的年战损维修频数;T_{CMS}是装备的平均修复性维修时间;T_{PMS}是装备的平均预防性维修时间;T_{DMS}是装备的平均战损维修时间.

3 应用案例

某飞行团基本作战单元中有 24架歼击机,每架歼击机的年度使用要求为 600飞行小时,出动强度为飞行日 2次/架·d,飞行日周期为每周 3 d 已知使用保障活动和维修保障活动的频率和执行时间,其中挂弹和加油属于使用保障活动,每次出动任务都需要挂弹和加油,它们分别需要挂弹车和加油车保障资源,挂弹车和加油车每天工作时间为 16 h,油滤定时更换是预防性维修保障活动,其预防性维修间隔期为 100飞行小时,大气数据机修复性维修更换属于修复性维修保障活动,这里认为这些维修活动都是紧邻装备的下一级的保障活动,该修复性维修活动需要检测仪保障资源,检测仪每天可以工作 8 h. 通过建模分析可得到机群的年度平均保障时间和保障设备数量要求. 具体数据详见表 1. 将上述数据代入式(3)、式(4)、式(8)、式(9)得到歼击机基本作战单元的平均使用保障时间为 0.6 h,每次出动的平均维修保障时间为 2.34 h,需要挂弹车 1台,加油车 2台,检测仪 3台.

表 1 保障活动分析数据表

保障活动名称	保障活动频率/(次·(架·d)$^{-1}$)	保障活动时间/h	保障设备名称	设备工作强度/(h·d^{-1})
挂弹	0.86	0.2	挂弹车	16
加油	0.86	0.6	加油车	16
油滤定时更换	0.02	24		
大气数据机修复性维修更换	0.51	2	检测仪	8

4 结束语

本文提出了装备保障活动的解析分析方法,借助于 O&MTA 的结果,根据保障活动的运行机理,从使用保障和维修保障两个方面抽象出保障活动的频数和执行时间这两个基本属性,并给出了计算方法,依据保障活动之间的层次关系,通过分析汇总计算,最终得到保障系统的保障时间参数和保障资源使用时间参数,进而可以对保障系统进行评价,对保障资源的数量进行预测,可以为

工程上进行装备保障系统设计分析评价提供理论指导和方法支持.

参考文献 (References)

[1] 马绍民,章国栋. 综合保障工程 [M]. 北京:国防工业出版社, 1995: 20 - 21
Ma Shaomin, Zhang Guodong. Integrated support engineering [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1995: 20 - 21 (in Chinese)

[2] Raymond R Hill, Miller J O, Gregory A McIntyre. Applications of discrete event simulation modeling to military problems[C]// Brett A Peters, Jeffrey S Smith, Mederos D J. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. Arlington: Crystal Gateway Marriott, 2001: 780 - 788

[3] 徐宗昌,朴允华,刘义乐. 基于 Petri网的维修保障系统建设方案研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(8): 141 - 144
Xu Zongchang, Piao Yunhua, Liu Yile. Research on a petri-net-based method to establish the maintenance support system [J]. System Engineering-Theory & Practice. 2004, 24(8): 141 - 144 (in Chinese).

[4] 聂成龙,朱小冬,何应德. 基于维修流程框图的维修时间仿真研究 [J]. 计算机仿真, 2004, 22(3): 41 - 47
Nie Chenglong, Zhu Xiaodong, He Yingde. Maintenance flow diagram based maintenance time simulation [J]. Computer Simulation. 2004, 22(3): 41 - 47 (in Chinese)

[5] 陈永龙,王玉泉,李世英. 使用保障资源的确定方法探讨 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2003, 17(3): 59 - 62
Chen Yonglong, Wang Yuquan, Li Shiying. Journal of armored force engneering institute [J]. 2003, 17(3): 59 - 62 (in Chinese)

[6] 陈军,陈永革,王程. 基于神经网络的装备保障资源评估 [J]. 军事交通学院学报, 2008, 10(4): 46 - 48
Chen Jun, Chen Yongge, Wang Cheng. Evaluation of equipment support resources based on neural network [J]. Journal of Academy of Military Transportation, 2008, 10(4): 46 - 48 (in Chinese)

[7] 张柳,于勇利,康锐. 企业建模技术在装备维修保障系统模型框架中的应用 [J]. 中国机械工程, 2005, 16(15): 1363 - 1365
Zhang Liu, Yu Yongli, Kang Rui. Applications of enterprise modeling methodology on materiel maintenance support system model framework [J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(15): 1363 - 1365 (in Chinese)

[8] Benjamin S Blanchard. Logistics engineering and management [M]. New Jersey: Prentice Hall, 2004: 496 - 510

[9] 郭霖瀚,康锐. 基本作战单元修复性维修过程建模仿真 [J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(1): 27 - 31
Guo Linhan, Kang Rui. Base qperational unit corrective maintenance process modeling and simulation [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(1): 27 - 31 (in Chinese)

(责任编辑:娄　嘉)

(上接第 504页)

4 结　论

根据模拟月壤的颗粒形态和粒径级配,结合分形几何理论和图像分析法,以圆形度、横纵比、表面粗糙度、分形维数为指导,提出一种模拟月壤颗粒群系统的离散元建模方法. 利用量纲分析和三轴压缩实验的离散元双轴实验模拟,确定土颗粒的细观模型参数.

以轮-土作用离散元分析为切入点,分析月球重力环境下,土颗粒的动态行为和模拟月壤的可行驶性,探讨滑转率对可行驶性的影响作用以及车轮行驶过程中土壤推力的变化规律,推导出宏观土壤推力的细观表达式,为月壤/模拟月壤可行驶性的定量分析提供理论和技术参考.

参考文献 (References)

[1] 郑永春,欧阳自远,王世杰,等. 月壤的物理和机械性质 [J]. 矿物岩石, 2004, 24(4): 14 - 19
Zheng Yongchun, Ouyong Ziyuan, Wang Shijie, et al. Physical and mechanical properties of lunar regolith [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2004, 24(4): 14 - 19 (in Chinese)

[2] Falconer K J. Fractal geometry: mathematical foundation and application [M]. Willey: Newyork, 1990

[3] Li Wen, Gao Feng, Jia Yang. Tractive performance analysis on radially deployable wheel configuration of lunar rover vehicle by discrete element method [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 21(4): 66 - 72

[4] 徐挺. 相似方法及其应用 [M]. 北京:机械工业出版社, 1995: 40 - 47
Xu Ting. Similar method and application [M]. Beijing: China Machine Press, 1995: 40 - 47

[5] 张克健. 车辆地面力学 [M]. 北京:国防工业出版社, 2002: 125 - 126
Zhang Kejiang. Vehicle-terramechanics [M]. Beijing: National Defence Press, 2002: 125 - 126

(责任编辑:张　嵘)