

doi: 10.7690/bgzdh.2014.01.012

装备使用保障性评价参数体系

肖波平, 王婷, 王乃超, 马书丽

(北京航空航天大学可靠性与系统工程学院, 北京 100191)

摘要: 针对目前使用保障性度量参数未对使用保障性度量参数进行系统研究的问题, 建立一套定性与定量相结合的军用飞机使用保障性参数体系。以军用飞机为主要研究对象, 概括归纳装备使用保障性的内涵, 运用系统工程理论, 同时对装备系统使用保障性综合要求、装备本身的使用保障特性要求、装备保障系统的使用保障特性 3 个方面进行研究, 给出了定量参数的解析算法, 并以舰载机为例给出了案例分析。分析结果证明: 该体系作为综合保障工程的必要补充, 为装备研制阶段并行开展使用保障系统的设计提供了技术支持和理论依据。

关键词: 使用保障性; 设计特性; 评价参数; 综合保障

中图分类号: TJ06 **文献标志码:** A

Evaluation Parameter System of Equipment Operational Supportability

Xiao Boping, Wang Ting, Wang Naichao, Ma Shuli

(School of Reliability & System Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: The equipment in good condition does not mean that it will be able to complete the required function. It also requires a series of coordinated and effective operational support works. This paper take the aircrafts as the main research object, uses the systems engineering theory, establishes the parameter system of operational supportability from the following three aspects: comprehensive requirements of equipment operational supportability, operational supportability feature requirements of equipment and operational supportability feature requirements of support system. Finally, an example of analysis and calculation for shipboard aircraft was provided. Analysis results show that this system provides the technical support and theoretical basis for the operational support system during the development stage as a necessary supplement to the integrated logistics engineering.

Keywords: operational supportability; design characteristic; evaluation parameter; integrated logistic

0 引言

装备保障分为使用保障和维修保障 2 大类。装备处于完好状态(即没有故障), 并不意味着就能完成规定的功能, 还需要一系列协调有效的使用保障工作^[1-2]。使用保障是为保证装备正确动用, 以便能充分发挥规定的作战性能所进行的一系列技术与管理活动, 例如使用前检查、展开和收拢、加注燃料和补充弹药以及装备的储存与运输等^[3-5]。不论装备的战术技术性能如何先进, 都要在协调有效的使用保障的基础上才能充分发挥出来。对于军用飞机这一武器系统, 其规定的功能有飞行和杀伤敌对目标等, 但如果飞机没有燃料, 即便其各部分均处于完好状态, 也无法完成飞行任务^[6]。可见, 使用保障是战斗力不可分割的组成部分。

从目前国内外综合保障工程的发展看, 对于维修保障的研究较为完善, 已有相应的成熟可用的评价体系。GJB3872《装备综合保障通用要求》对描述保障性要求的参数进行了分类和概述^[7]。由于使用保障的内容复杂, 而且各类装备对使用保障的要求不一, 所以尚没有使用保障性评价体系的系统研究, 仅提出部分时间参数。国外在保障性参数研究

中^[8-11], 将再次出动准备时间纳入了装备保障性的参数体系, 但没有对影响军用飞机使用保障性的其他因素进行分析。国内的文献也多集中在再次出动准备时间这一参数。GJBz 20205《飞机再次出动准备要求》中指出了飞机再次出动准备时间、设计武器系统再次出动准备时间、悬挂物挂卸时间等定量要求^[12]。辛文逵等^[13]对飞机装备战备完好、任务成功、保障能力评价参数进行了研究, 并分别给出了飞机装备战备完好、任务成功、保障能力评价的解析分析方法; 韦艺等^[14]从军用飞机任务类型、设计特性和使用保障资源 3 个方面详细分析了影响因素; 曲丽丽^[15]在关于使用保障性设计研究的文献中提出了使用保障时间和平均使用保障时间参数, 并给出了定义; 华远等^[16]以再次出动准备时间作为度量参数, 并通过网络计划图的时间优化来论证优化指标。但以上文献均未对使用保障性度量参数进行系统研究, 缺乏一套对使用保障性的各项影响因素进行综合评价的参数体系。

基于此, 笔者以军用飞机为研究对象, 考虑各种机型的特点, 运用综合保障理论和系统工程思想研究使用保障性, 概括归纳装备使用保障性的内涵,

收稿日期: 2013-08-12; 修回日期: 2013-09-09

基金项目: 国家自然科学基金“系统瞬时可利用度波动现象生成机理及抑制: 建模与分析”(61104132)

作者简介: 肖波平(1968—), 男, 江西人, 博士, 副教授, 从事综合保障工程理论、技术和方法研究。

在此基础上提炼使用保障性的各层特性，分析特性参数的影响因素，建立了符合完整性、一致性的定性与定量相结合的典型装备使用保障性参数体系。

1 使用保障性评价参数体系构建

装备系统是装备本身及其保障系统的有机组合。只有用定量与定性相结合、整体与局部相结合的系统工程思想和方法才能全面、客观地评价使用保障优劣的程度。由于使用保障涉及到装备的设计特性和保障系统中的保障设施、保障设备、人力人员等很多方面，采用一个或几个参数只能反映使用保障性的一个方面或一个局部，不足以对装备系统的使用保障性进行分析和评价，所以必须建立一个可对其进行全面度量的使用保障参数体系。

建立使用保障性评价参数体系应遵循完备性、独立性、简明性、规范性等基本原则，根据装备特点、使用要求、复杂程度等选择适用的参数。例如对军用飞机而言，应充分考虑其火力强大、机动灵活等特点。

根据参数体系的构建原则以及系统工程思想，将使用保障性评价参数体系分为目标层和特性层。目标层是装备系统的使用保障性综合参数，评价的是整个装备系统的使用保障性，从总体上反映装备系统的使用保障性水平，也可称为顶层参数。系统层采用分类的方法，分别从装备使用保障设计特性和使用保障系统设计特性 2 方面对装备使用保障性进行评价。装备使用保障设计特性是从设计角度描述装备本身的使用保障性，而使用保障系统设计特性是对使用保障系统进行评价，两者缺一不可，共同作用，影响装备系统这一整体的使用保障性水平。

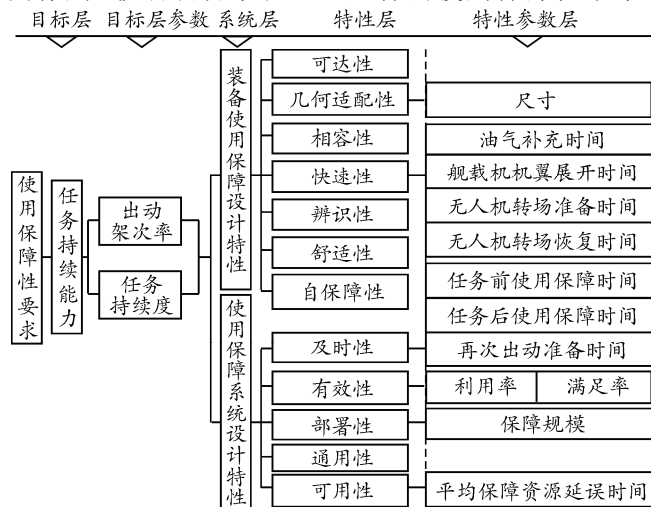


图 1 使用保障性评价参数体系

对使用保障性特性而言，既有定量的指标，也有定性的准则。在对使用保障性进行全面刻画的基础

上，还需提炼出特性参数层进行定量描述，建立一个度量标尺，以此度量使用保障状况。由此可构建军用飞机使用保障性参数体系框架，如图 1 所示。

由图 1 可见，军用飞机使用保障性的目标层参数受飞机的使用保障设计特性和保障系统使用保障设计特性 2 方面影响。参数体系中的参数完整地反映了军用飞机装备系统的特性，参数选取科学合理，具有良好的可操作性，符合参数体系建立原则。

2 使用保障性目标层参数

使用保障性以装备完好为前提，与任务息息相关，因而在综合要求层面，衡量和影响装备使用保障性能的参数主要是任务的持续能力相关参数。

2.1 出动架次率

出动架次率是飞机战斗出动强度的反映，指在一定约束条件下，给定时间内军用飞机为完成特点任务而出动的架次数。其中，一定的约束条件指飞机的作业周期、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、平均加油时间等指标保持一定的情况；给定时间指的是一段时期，一般为一个飞行日。

单机出动架次率通常采用以下模型：

$$SGR = \frac{T_{FL}}{T_{DU} + T_{MS} + T_{OS} + T_{SM}} \quad (1)$$

式中： T_{FL} 为飞机每天可以飞行的小时数； T_{DU} 为每出动架次平均飞行小时数； T_{MS} 为每出动架次的平均维修时间； T_{OS} 为每出动架次使用保障工作所需时间； T_{SM} 为每出动架次平均使用保障资源延误时间。

对舰载机而言，出动架次率是衡量航母一天能出动的舰载机架次数，是以一天为单位度量航母出动能力的参数。可以通过单机的出动架次率以及总共分配任务的舰载机数量来计算得出，即

$$SR = SGN \times n \quad (2)$$

式中 n 为任务期间平均每天被分配的舰载机数量，与任务要求有关。

2.2 任务持续度

装备系统满足规定任务持续要求的概率称为装备系统的任务持续概率。

当装备系统持续任务执行过程中，在要求的任务时间内如果没有足够数量的装备可以参与任务的执行，就会出现任务空洞，任务空洞会极大地影响装备系统的任务持续性，由前述装备系统任务持续性及任务持续概率的定义可得

$$R = P(t \geq T) = P(\sum_{i=1}^l t_{Ei} < T_E) \quad (3)$$

式中： l 为出现任务空洞的次数； t_{E_i} 为第 i 个任务空洞延续的时间； T_E 为装备系统持续任务要求的最大可接受任务空洞时间。

3 装备使用保障设计特性

装备内在的使用保障设计特性决定了其最短时间，必须在设计阶段充分考虑到使用保障性的特点和要求，使得使用保障的工作项目尽可能简化，工作量和所需工具设备尽可能少，对保障人员数量和技术等级的要求尽可能低。使用保障特性与装备类型和特点紧密相关。定性要求如表 1 所示。

表 1 使用保障设计特性定性要求

设计特性	使用保障设计特性定性要求
可达性	可达性是使用保障时接近装备部件的难易程度。对于舰载飞机，当飞机靠近甲板停放且机翼折起时，应特别考虑可达性。例如油液加注部位和设备润滑部位应便于接近。
几何适配性	几何适配性用来描述飞机的外形物理设计与存放环境的空间限制间的匹配情况。对于舰载机来说，尤其应注意其几何适配性的设计。航空母舰的机库空间有限，为了能存放更多的飞机，航空母舰要求舰载机占据的容积尽可能小。为此，舰载机的机翼往往做出可折叠的形式，以减小机翼。
相容性	需要进行使用保障的系统在飞机上的安装位置应当保证其各部件的使用保障包络面不致妨碍其他使用保障活动，各种接口的设计应满足多项使用保障工作同时进行的能力。例如各挂点可同时挂卸悬挂物，各油箱可同时加燃油。
快速性	在进行装备设计时，尽量减少使用保障工作持续时间，达到飞机型号规定的再次出动准备时间中各项时间指标。例如受油时间、受氧时间以及舰载机折叠机翼的展开时间、无人机转场准备时间和转场恢复时间等。
辨识度	为便于进行使用保障，防止操作失误，部件应有防差错措施及识别标记。例如加油接头附近应标注该型飞机允许加注的油液牌号、品级和箱体容量等。口盖应能可靠地处于打开位置，并通过系留装置与设备机件相连接以防止丢失。
舒适性	装备的使用保障性设计应采用人素工程设计准则，使在使用保障活动中达到人机安全、提高工效，充分发挥设备的效能。使用保障人员应具有良好的工作姿态、低噪声、良好的照明、合适的工具，使之能够舒适、灵活、有效地完成使用保障活动，提高使用保障工作质量和效率。
自保障性	自保障性是指装备不依赖保障设备而独立进行保障的能力。自保障技术可减少对地面保障资源的需求，提高使用保障效率。例如机载制氧系统、机载挂弹系统、机载自顶起装置等。

装备使用保障设计特性中需要考虑的定量指标主要是指各项使用保障活动在资源满足的情况下的最少完成时间，例如受油时间、受氧时间等。

4 使用保障系统设计特性

使用保障系统必须具备反应迅速，运行有效，易于部署，通用性强和方便可用的特征，才能使装备快速形成战斗力，发挥其效能，满足平时训练和战时使用的任务要求，适应复杂多变的战场环境。使用保障系统作为一类特殊的工程技术系统，拥有其自身的系统特性。

下面逐一分析使用保障系统的 5 个特性。

4.1 及时性

及时性是使用保障系统完成保障功能的时间特性。使用保障过程的及时性由 2 部分构成：一是及时开始，使用保障系统在装备需要使用保障时，能否马上提供服务；二是及时完成，使用保障系统一旦开始执行任务，能否快速完成。

典型的及时性定量参数包括任务前使用保障时间、任务后保障时间、再次出动准备时间 (TAT) 等。

1) 再次出动准备时间 (TAT) 是指在规定的保障条件下，连续执行任务的装备从结束上次任务返回到再次出动执行下次任务所需要的准备时间。

$$TAT = \sum_{i=1}^n (T_1 + T_2 + \dots + T_i) \quad (4)$$

式中：TAT 为再次出动准备时间； T_i 为关键路径中第 i 项使用保障活动所需时间； n 为关键路径中使用保障活动项数。

2) 任务前使用保障时间是指在规定的保障条件下，装备从受领任务到出动执行任务期间完成规定的保障活动所需的时间。

3) 任务后使用保障时间是指在规定的保障条件下，装备从执行完任务返回到运至机库期间完成规定的保障活动所需的时间。

4.2 有效性

有效性是对使用保障过程中运行效率高低的描述，包含 2 部分：一是对保障资源满足使用保障需求的效率高低的描述，即满足效率；二是对保障资源被使用的效率高低的描述，即利用效率。表征使用保障系统有效性的满足效率和利用效率参数分别是保障资源满足率和保障资源利用率。

保障资源满足率是指在规定的时间内，保障资源需求能够被满足的概率。

$$R_{\text{fill}} = \min \left\{ \frac{N_{\text{ava}}}{N_{\text{req}}}, 1 \right\} \quad (5)$$

式中： R_{fill} 为保障资源满足率； N_{ava} 为规定时间内可用的保障资源数量； N_{req} 为规定时间内所需的保障资源数量。

保障资源利用率是指在规定的时间内，保障资源的实际使用时间占可用时间的比值。

$$R_{\text{use}} = T_{\text{use}} / T_{\text{all}} \quad (6)$$

式中： R_{use} 为保障资源利用率； T_{use} 为保障资源的实际使用时间； T_{all} 为保障资源的可用时间。

4.3 部署性

部署性是使用保障系统的机动灵活能力的度量。部署性常采用保障规模来表征，即单次运输人

力、备件消耗品、设备和技术资料所需的某型运输工具的数量。这里涉及的保障资源不仅包含保障装备使用的资源，而且还包括用于装备机动转场时，负责装备转场前的包装、将装备装载到运输工具、运输后从运输工具上卸载、拆除包装的保障资源。不同装备的保障规模的度量单位存在一定的差别，应结合实际情况具体提出，常用度量单位是某类运输工具的动用次数。其表达式：

$$F_{ss} = \max \left(\left[\frac{\sum_{l=1}^{n_s} N_l m_l}{M_s} + 0.5 \right], \left[\frac{\sum_{l=1}^{n_s} N_l v_l}{V_s} + 0.5 \right] \right) \quad (7)$$

式中： F_{ss} 为某类运输工具的动用次数； n_s 为保障资源种类数； N_l 为第 l 种保障资源数量； m_l 为是第 l 种保障资源重量； v_l 为是第 l 种保障资源体积； M_s 为是某种运输工具最大载重量； V_s 为是某种运输工具最大容积。

无人机系统与有人驾驶飞机的重要区别在于它不仅包括飞机本身，还包括指挥控制站，提出部署性定量要求时应将指挥控制站一并考虑在内。

4.4 通用性

通用性是使用保障系统沿用现有保障资源的程度。沿用现有保障资源、保障组织与保障流程最大程度地缩短研制周期、较少开发风险、降低费用。

关于通用性的要求，一般以百分比的形式提出，如设备、设施的沿用程度、消耗品的通用程度等。

4.5 可用性

可用性是指使用保障资源在任意随机时刻需要和开始执行任务时，处于可工作或可使用状态的程度。使用保障系统可用性与主装备的可用性概念相同，可细分为保障资源自身的可靠性、维修性，以及各个保障流程环节的可靠性、维修性问题，也包括保障组织遭受攻击后的快速重构能力。其度量的参数为平均保障资源延误时间。

5 案例分析

30 架某型舰载机执行单日连续作业，日飞行数为 8 h。设该舰载机的平均受油时间为 3 min，加油中各工序时间之和为 2 min，故平均加油时间为 5 min。类似可得出各项使用保障活动的平均时间。利用时线图分析法、关键路径法等可计算其平均任务前使用保障时间为 30 min，平均任务后使用保障时间为 20 min，再次出动准备时间为 25 min。平均保障资源延误时间为 10 min，平均维修时间为 5 min，每次飞行时间为 100 min。任务周期分解如图 2。

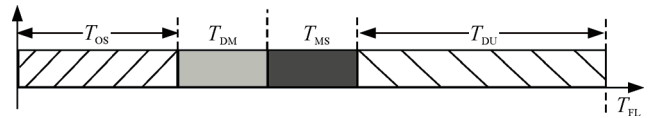


图 2 任务周期分解图

根据式 (1)、式 (2) 计算可得，单机出动架次率 $SGR = T_{FL} / (T_{DU} + T_{MS} + T_{OS} + T_{SM}) = (8 \times 60) / (100 + 25 + 10 + 5) = 3.43$ ，多机出动架次率为 $SR = SGN \times n = 102.9$ 。

6 结论

笔者在参数体系构建原则的基础上，提炼了使用保障活动的各层特性，分析特性的影响因素，建立了一套定性定量相结合的使用保障参数体系。该体系包含以任务持续度为主的目标层参数，以及对目标层产生影响的主装备使用保障设计特性和使用保障系统设计特性 2 方面，为装备使用保障性的分析和评价奠定了基础。

参考文献：

- [1] Dinesh Kumar U., Knezevic J. Supportability-critical factor on systems' operational availability[J]. International Journal of Quality & Reliability Management, 1998, 15(4): 366-376.
- [2] DoD5025.1-M. Department of Defense Directives System Procedures[S]. New York: U.S. Department of Defense, 2003.
- [3] 何成铭, 孔繁柯, 任双英. 关于装备使用保障问题的探讨[J]. 军械工程学院学报, 2001, 13(3): 12-16.
- [4] 吕卫民, 刘冬, 丁光超. 某型导弹装备使用保障能力评估[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(3): 68-70.
- [5] 李婧, 陈浩. 军用 UUV 保障训练考核系统[J]. 兵工自动化, 2012, 31(11): 1-5.
- [6] William J. Perry, Acquisition for the 21st Century: The F-22 Development Program[R]. ADA421919, 1999.
- [7] GJB3872. 装备综合保障通用要求[S].
- [8] John, C. G, Schultz, R.E. Simulation modeling for military logistics and supportability studies[C]//Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference IEEE, 1991: 485-490.
- [9] Paul D. Faas. Simulation of Autonomic Logistics System (ALS) Sortie Generation[R]. ADA413196, 2003.
- [10] Office of Secretary of Defense. Format changes for the defense acquisition executive summary(DAES) review. [R]. New York: U.S. Department of Defense, 2007.
- [11] Office of Secretary of Defense. Format changes for the defense acquisition executive summary(DAES) assessments[R]. New York: U.S. Department of Defense, 2007.
- [12] GJBz 20205. 飞机再次出动准备要求[S].
- [13] 辛文远, 冯渊. 军用飞机战备完好、任务成功、保障能力解析分析方法研究[R]. 2005.
- [14] 韦艺, 康锐, 程海龙. 军用飞机再次出动准备时间计算方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(12): 1415-1418.
- [15] 曲丽丽. 装备研制阶段保障系统评价方法研究[D]. 北京: 航空航天大学, 2008.
- [16] 华远, 赵功伟, 王利明. 装备保障特性流程类指标度量与优化研究[J]. 兵工自动化, 2013, 32(4): 21-26.