



# 舰载机维修级别选定及关键技术分析

黎漫斯<sup>1,2</sup>, 陈春良<sup>3</sup>, 尚永爽<sup>4</sup>, 孟上<sup>1</sup>

1. 中国人民解放军海军航空工程学院科研部, 山东烟台 264001
2. 中国人民解放军 91469 部队, 北京 100841
3. 中国人民解放军装甲兵工程学院技术保障工程系, 北京 100072
4. 中国人民解放军 94973 部队, 杭州 310021

**摘要** 舰载机维修保障系统间相关因素较多, 维修复杂程度较高。提高舰载机的维修保障效能, 尤其是改进维修体制、维修方式, 已成为军事装备领域研究的热点问题之一。合理构建舰载机的维修体制, 是提高舰载机战备完好性、降低其寿命周期费用的有效途径。对比了国内外军机维修在三级维修体制与两级维修体制下的运行方式, 分析了三级维修的弊端; 借鉴国外军用飞机的维修理念, 针对中国舰载机维修保障的特点和存在问题, 探讨了舰载机实行两级维修的运行模式及相关的关键环节。

**关键词** 舰载机; 两级维修; 维修流程; 外场可更换模块

**中图分类号** TJ07, E925, E239.3

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.33.010

## Selection of the Maintenance System and Key Technology for Carrier-based Aircraft

LI Mansi<sup>1,2</sup>, CHEN Chunliang<sup>3</sup>, SHANG Yongshuang<sup>4</sup>, MENG Shang<sup>1</sup>

1. Department of Scientific Research, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, Shandong Province, China
2. Unit 91469 of People's Liberation Army, Beijing 100841, China
3. Department of Technologic Support Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China
4. Unit 94973 of People's Liberation Army, Hangzhou 310021, China

**Abstract** The maintenance support system of the carrier-based aircraft involves a high complexity of maintenance work. It is important to enhance the support effectiveness for the carrier-based aircraft, especially, to improve the maintenance system and the maintenance methods. To meet the requirements of the future integration joint combat, improve the combat readiness integrity and enhance the operational capability, the formulation of the carrier-based aircraft maintenance must keep pace with the time. It is an effective way to increase the level of operational readiness and reduce life-cycle costs by constructing a reasonable carrier-based aircraft maintenance system. The operation modes of the carrier-based aircraft under the three-level maintenance system and the two-level maintenance system at home and abroad are compared, the disadvantages of the three-level maintenance system are analyzed, and the foreign advanced concepts of the military aircraft maintenance are considered. With some issues in the carrier-based aircraft maintenance support system in mind, the mode of the carrier-based aircraft two-level maintenance and the key aspects related to the system are discussed.

**Keywords** carrier-based aircraft; two-level maintenance; maintenance procedures; line replaceable modular

### 0 引言

自飞机诞生, 其维修体制从无到有, 在探索中前进, 并逐渐趋于完善。受航空装备发展水平和样式以及维修观念等多

方面影响, 各国军机维修体制的发展状况不尽相同, 但在整体上呈现维修级别减少的趋势<sup>[1]</sup>。F-22 飞机的诞生, 预示了采用两级维修思想设计新机的可行性, 同时也起到了引发军机

收稿日期: 2013-06-04; 修回日期: 2013-07-15

基金项目: 中国人民解放军总装备部武器装备预研基金项目 (9140A27020212JB14311)

作者简介: 黎漫斯, 博士研究生, 研究方向为海军航空装备综合保障和保障系统建模分析, 电子邮箱: lixuancen@sina.com

维修体制向两级变革的导向作用<sup>[23]</sup>。实践证明,实现维修体制由三级向两级转变,是降低寿命周期费用、提高战备完好性、缩短维修时间、提高维修效率、提高战场生存性和部署机动性的有效途径<sup>[4]</sup>。

舰载机作为现代海战场的主战武器之一,其使用效率的高低直接影响现代化海战场上的整体作战能力。航空技术的进步和作战任务的增加,导致舰载机使用与传统维修体制之间的矛盾越来越突出。因此,选择适当的维修体制以保证舰载机的战术技术性能<sup>[5]</sup>,对舰载机在海上顺利高效地遂行各种作战和训练任务具有重要意义。

### 1 三级维修的运行模式及问题

#### 1.1 三级维修的运行模式

当前世界大多数国家的军用飞机维修,仍采用基层级-中继级-基地级的<sup>[6]</sup>三级维修体制。维修级别之间的关系如图1所示。

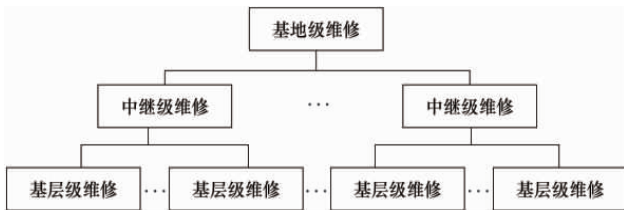


图1 维修级别关系

Fig. 1 Correlation of maintenance levels

一个基地级的维修设施、设备可同时支援几个中继级的维修设施和设备。同样,一个中继级的维修设施、设备可以支援多个基层级的设施和设备。三级维修的简单流程如图2所示<sup>[8]</sup>。



图2 三级维修体制的简单维修流程

Fig. 2 Simple maintenance procedures of three-level system

基层级维修(Organization Maintenance)指飞机的直接使用单位对其编制内飞机进行的维修,一般由飞机的使用操作人员实施维修。此维修级别中只限定完成较短时间的简单维修工作,主要包括装备日常维护、保养、检查、测试、更换较简单的部件等一般保障勤务及周期性工作。

中继级维修(Intermediate Maintenance)指基层级的上级维修单位及其派出的维修分队对飞机进行的维修,较基层级具有较高的维修能力,有数量较多和能力较强的人员及保障设备,承担基层级不能完成的工作。主要对飞机及其设备、机件的中修、大修、部分零件的修理和制作,系统、设备的测试、校验、改装及较大的周期性工作等。

基地级维修(Depot Maintenance)是利用原始设备制造商或后方建制基地的固定维修设施对飞机所进行的维修,具有最强的维修能力,能够执行修理故障装备所必要的任何工作,主要是飞机大修和大部件的修理、对装备的改进性维修、备件制造或改装等。基地级维修能完成中继级不能完成的其他复杂项目,能执行维修故障舰载机所必要的任何工作。

3个维修级别的维修要素<sup>[9]</sup>主要包括:外场可更换单元(Line Replaceable Unit,LRU)、车间可更换单元(Shop Replaceable Unit,SRU)、车间可更换子单元(Super Shop Sub-element Replaceable Unit,SSRU)。三级维修体制下舰载机维修的运行模式<sup>[2]</sup>如图3所示。

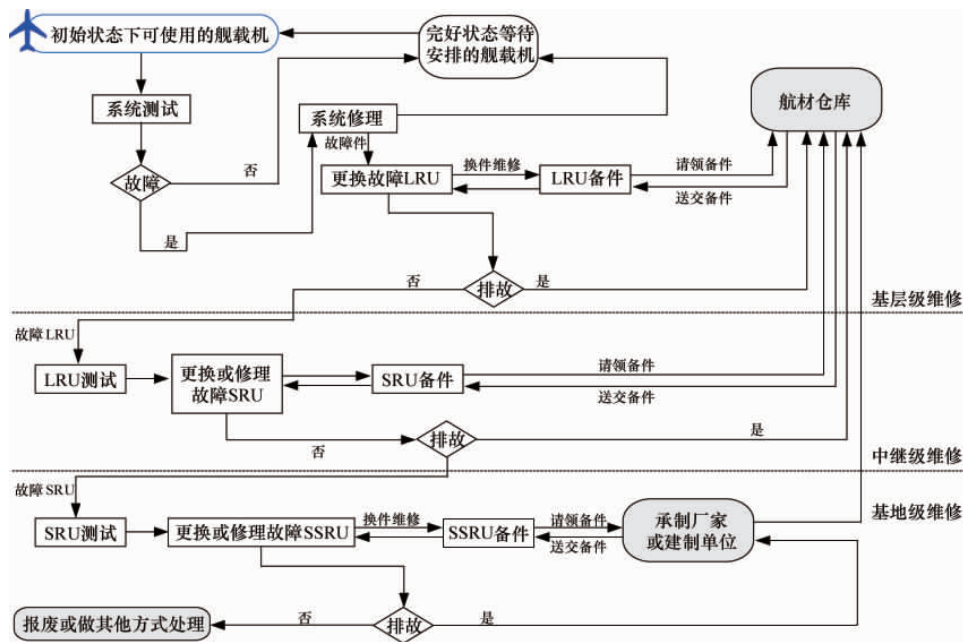
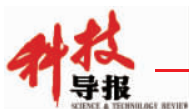


图3 三级维修体制运行模式

Fig. 3 Three-level maintenance operating mode



初始状态下,舰载机处于可用状态。经基层级测试未发现故障,则将飞机返回,并等待执行作战及训练任务。检测出故障,如能修复,从仓库请领备件,以更换 LRU 的简单方式进行原位维修以排除故障;如不能修复,发往中继级送修。中继级利用自身车间内测试设备将 LRU 故障隔离到 SRU,通过请领备件,对故障件以更换或修理的方式进行维修,将不能修复的故障件送往基地维修。基地级维修人员利用更为先进的自动测试设备 (Automatic Test Equipment, ATE),将 SRU 故障隔离到 SSRU,通过更换或修理 SSRU 的方式修复故障件,最后根据实际情况对故障 SSRU 进行处理。修复备件返回航材仓库储存。

### 1.2 三级维修用于舰载机维修时存在的问题

十几年的曲折运用,使三级维修体制逐步成熟。但随着装备的不断更新,三级维修渐渐暴露出问题,主要表现在:基层级维修由于受到客观原因的限制,维修能力非常有限,其对装备简单换件与维修,使故障部件的后送增加,使人力资源、保障经费和资源投入增大、维修时间延长,导致维修效率低下;中继级维修需要占用一定数量的车间,且需要存储相应的备件,同时中继级维修需要较多的测试设备,不但增加了维修保障费用,又使得携行备品的数量增多,导致保障部队机动性差,战时容易受到攻击;在装备配备部队时,往往先配备武器装备,并未把保障装备放在与之同等重要的地位,由于前期投入的欠缺,导致维修保障工作实施困难,同时新装备的基地级维修起步较晚,许多系统还不具备大修能力;舰载机检测设备种类繁多,部分设备应用效率不高,严重影响系统可用性。

此外,相比陆基飞机,海军飞机所处海上环境复杂多变,载机平台电磁环境恶劣,使用与维修常在高温、高盐、高湿的

环境下进行;维修保障空间狭小、飞机出动强度大、人力物力资源有限、载机平台的六自由度运动等诸多不利因素都增加了飞机的保障难度,且具有其特殊性<sup>[9]</sup>。因此,无论从资源配置、经济效益还是从作战需求等方面<sup>[10]</sup>考虑,三级维修对于舰载机的维修保障已不适用。

## 2 舰载机维修保障模式构建

### 2.1 现代两级维修体制基本思想

经过反复实践与失败,美国等率先提出并成功将两级维修体制应用于军用飞机的维修保障。总结国外对两级维修体制运用的成败经验<sup>[12-15]</sup>,归纳出两级维修的中心思想如图 4 所示。



图 4 两级维修体制的简单维修流程  
Fig. 4 Simple maintenance procedures of two-level system

利用现代化技术和高效运输手段等条件,将在基层级不能修理的军机零部件直接送到基地级修理,而不经飞行作战部队的修理厂(中继级)这一环节,弱化直至取消中继级维修机构的职能;将中继级维修职能分散在基层级和基地级,增强基层级故障诊断和维修换件能力,同时加强基地级检测和修理能力。由此达到简化维修流程、减少保障资源、降低飞机的寿命周期费用、实现快速保障、提高军用飞机的生存性、机动性和提高飞机作战效能和保障效能的目的。构建两级维修体制下舰载机的维修模式如图 5 所示。

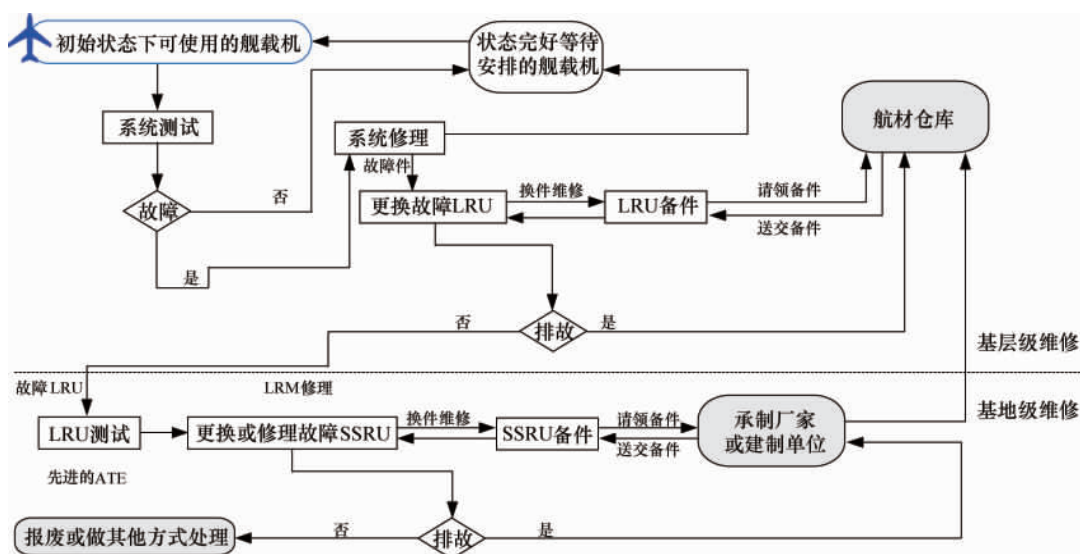


图 5 两级维修体制运行模式  
Fig. 5 Two-level maintenance operating mode

现代两级维修最为显著的特征是以外场可更换模块 (Line Replaceable Module, LRM) 代替 LRU, 基层级维修人员利用测试设备和便携式维修辅助装置 (Portable Maintenance Aid, PMA) 等技术, 将系统故障隔离到 LRM, 通过直接更换 LRM, 快速恢复系统工作, 对于拆下的故障模块, 直接送回基地进行诊断和维修; 基地级维修人员利用各种先进的自动测试设备将 LRM 的故障隔离到 SSRU, 然后进行修理, 为弱化甚至取消中继级维修提供支撑。修复的 LRM 送往航材仓库进行储备。

### 2.2 舰载机维修保障模式构建

立足于装备全系统、全寿命观点, 以未来战场联合作战需求为牵引, 可知两级维修是军机维修体制发展的必然方向<sup>[16,17]</sup>。借鉴国外先进维修理念, 结合中国海军自身维修保障能力和特点, 展望日后舰载机的作战前景, 针对舰载机现行维修保障模式暴露出的问题和缺陷, 可构建舰载机维修保障模式如图 6 所示。

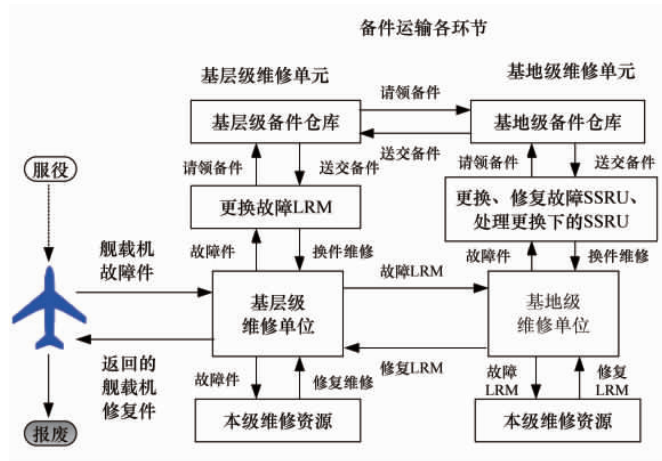


图 6 设想的舰载机两级维修运行模式  
Fig. 6 Two-level maintenance operating mode

#### (1) 基层级维修单元。

服役舰载机在使用过程中产生的故障一般先由基层级维修单位发现。对于能够在基层级采用换件修理的部件, 修理人员在实施修理前需先向备件仓库请领备件; 若备件仓库中无该型备件, 则向后方的基地级发送请领备件指令, 在备件运至基层级后再进行换件维修; 对于基层级无法修理的部件, 由其拆卸 LRM, 再由运输部队分批送往基地级维修单位处理。基地级修复 LRM 送回后, 由基层级维修单位利用本级维修资源在机上进行安装调试。

#### (2) 基地级维修单元。

基地级维修的主要工作有两类: 一类是维修从基层级接收的 LRM; 一类是维修由基层级更换下来的航空备件。当基层级航空备件库积累了一定数量更换下来的故障部件后, 分批送到基地级维修。对于基层级更换下的 LRM, 基地级维修单位利用本级维修资源将故障隔离到 SSRU, 通过更换 SSRU 对其进行修理。

### 3 实施两级维修所需的关键技术

两级维修是一项复杂的系统工程, 涉及多方面因素, 其实现过程需基于相关技术成熟的条件。若舰载机的保障体制由三级改为两级, 由于减少了维修级别, 简化了维修流程, 则相应的维修技术、维修手段、维修任务、物流运输、人员管理等关键技术均应有所提高和改变, 以适应维修体制的改变, 包括一些技术性工作在装备论证和设计之初便应考虑充分。

#### 3.1 测试诊断技术

如今, 智能化技术、虚拟仪器技术、VXI (VMEbus Extension for Instrumentation)、PXI (PCI Extension for Instrumentation) 等已在军用测试领域采用, 并朝着通用、多功能、抗干扰、小型化和模块化的目标发展; 机内自检设备 (Built-In Test, BIT) 的出现, 能够将大部分故障准确地隔离到 LRU 或 LRM; 智能 BIT 和高性能 ATE 的研制成功以及人工智能的应用, 提高了维修效率并改进了测试性<sup>[18]</sup>。测试技术和测试仪器的发展, 使得故障判断更加准确, 减少了不必要的更换和维修, 大大减轻运输保障负担和基地级维修工作量, 促使两级维修的发展步伐加快。

#### 3.2 用 LRM 逐渐取代 LRU

LRM 是在 LRU 的基础上, 对不同的电子元件从功能或者结构等方面进行科学归类后通过不同方式组合构成的。从某种意义上说, LRM 是现代两级维修体制的物质基础。在舰载机的设计和论证阶段, 就要充分考虑到提高基层级的维修换件能力, 将传统设计思想中的 LRU 集成化、通用化、模块化。若在对舰载机的检测过程中发现故障, 则在基层级利用 BIT 和 PMA 等将故障直接隔离在 LRM, 由基层级维修人员直接将故障 LRM 拆下, 换上完好 LRM, 使舰载机快速恢复到可用状态。换下的故障 LRM 将被直接送往基地级进行更深层次的测试和修复性维修。与更换 LRU 相比, 通过这种在基层级直接更换故障 LRM 使故障舰载机快速恢复战斗力的维修方式, 具有大大简化基层级换件维修工作、缩短故障舰载机停飞等待时间、提高系统可靠性、减少备件总类与数量、节省维修保障资源、降低全寿命周期费用、提高舰载机基层级的维修保障效能等多方面优点。

#### 3.3 实施视情维修

舰载机采用两级维修体制后, 将大量安装 BIT 和 ATE<sup>[19]</sup>, 为适应两级维修的高效性和安全性要求, 以及降低飞机维修保障费用, 对不同特性的航空装备采用适合的维修保障方式<sup>[20]</sup>。经分析得出两级维修体制下舰载机的维修方式如图 7 所示。

实行两级维修后, 对于机上大部分电子设备、发动机部件等, 在基层级存在视情维修、定时维修和事后维修这 3 种维修方式, 以视情维修为主; 在基地级, 以修复性维修为主<sup>[21]</sup>。

舰载机作为海军战斗机, 面临任务量大、列装数目不足等问题, 现阶段还不能完全满足日益增长的海军作战需求<sup>[22]</sup>。因此, 应在保证飞行安全的基础上, 尽可能减少不必要的停飞维修检查工作, 提高舰载机的战备完好率和可出动架次

率。实施视情维修,在设备处于工作状态时,便可进行在线的无损检测,较少干扰正常的飞行任务,大大减少停飞检查修理的次数。

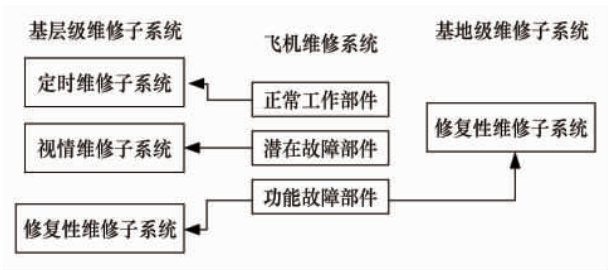


图7 舰载机在两级维修下的维修方式  
Fig. 7 Maintenance mode of the aircraft in two-level maintenance

### 3.4 合理的任务分配

合理的维修任务分配是提高维修能力和维修效率的前提。两级维修条件下的维修任务分配包括对任务的分配工作,维修资源的分配和管理,维修制度的落实和相关的调度、协调工作等<sup>[23]</sup>。对舰载机实行两级维修体制后,将取消中继级,基层级的任务将以“简单高效”为特点,而基地级的任务将变得更加复杂。由于基层级和基地级的任务特点不同,因此基层级的主要发展方向是提高故障检测率和故障隔离率、使换件维修更简便易行,缩短故障舰载机恢复战斗力的时间;基地级的发展方向是不断提高其核心技术水平,提高排除复杂、疑难故障的能力。基地级完成维修任务的能力高低也将直接决定维修保障效能的高低。

### 3.5 科学合理的备件储备

两级维修体制中以换件维修为主的基层级维修更加依赖备件的稳定可靠供应。立足于提高舰载机的备件完备率,借鉴美国等的成功经验,结合备件库的建设现状,分析备件库存建设中存在的问题。应用计算机、通讯、现代控制理论和现代图形等技术对备件的存储、使用、调拨等相关信息进行全面掌控<sup>[24]</sup>,建立备件库存信息系统,并开发舰载机备件信息管理系统。该系统应该具备图形化的操作界面,友好的人机交互模式,完成对舰载机维修所需备件数据信息的集中管理。应实现对当前库存备件的质量管理,对各维修部门的备件使用进行实时监控,对未来的备件使用量进行预测,对数量下降较多的备件进行报警,辅助生成备件调整计划,估算备件库补充备件的时机和数量,备件信息可以随时进行存档、查询,符合网络化等要求的功能,相关单位可以远程共享备件库数据,同时数据传输要进行加密处理。

### 3.6 高效安全的物流运输

高效的物流运输保障了维修任务的顺利完成,是军队的机动能力、后勤供应能力的集中体现<sup>[25]</sup>。两级维修体制下,基层级直接和基地级沟通,比三级维修体制更依赖物流运输环节;由于基层级和基地级间的距离远大于三级维修体制下基层级和中继级间的距离,因此维修运输成本更高。舰载机主

要遂行海上作战和训练任务,其基层级保障主要在海上实施,所以对于舰载机的故障件送修和修复件运输的保障比陆基飞机保障更为复杂和困难。两级维修体制下的物流运输应做到:加大空中运输力量的作用;充分利用商业运输力量;发展军事物流科学技术;按需供应,精确保障;加强物流信息的规范化和管理等。

### 3.7 增强维修人员的维修能力和素质

采用两级维修后,对基层级和基地级的维修设备和维修人员提出了新的要求<sup>[26]</sup>。基地级成为核心维修技术力量,维修设备的自动化、信息化和智能化水平更高,需要投资的人力、物力、财力力度更大,要求维修人员具有更高的专业技术水平和沟通协作能力,并且能够快速完成大量复杂故障部件的修理。另外,还应注重三级维修体制改为两级之后维修人员心理的适应性。

### 3.8 其他关键环节

军用飞机维修体制向两级过渡是维修体制发展的必然趋势,与之相关的理论方法研究和工程实践方面有许多值得研究的问题,先进的测试技术、传感器技术、数据链技术、IETM技术<sup>[27]</sup>等的发展都会对舰载机的两级维修产生不同程度的积极影响。

## 4 结论

分析了国内外军用飞机维修保障工作在传统三级维修体制和现代两级维修体制下的运行模式。航空技术的进步和作战任务的增加必然会导致舰载机的使用和传统维修体制之间的矛盾越来越突出。因此,与时俱进的选择适当的维修体制,适时变化以提高舰载机的战备完好性、降低其寿命周期费用势在必行。两级维修是美军经过长期反复论证试验才确定下来的一种保障思想,实践表明,实施两级维修可以简化维修流程,实现快速保障,提高舰载机的战备完好性;减少保障资源配置,降低舰载机的寿命周期费用;高效利用保障资源,降低对维修人员技术要求;改进舰载机保障线的部署,增强机动性;促进维修性及维修技术的改进和革新。所以,有必要将两级维修体制思想引入中国舰载机的维修保障体系中,参考其可取之处并将其应用到中国海军航空兵的舰载机维修保障工作中。

### 参考文献 (References)

- [1] 张凤鸣,郑东良,吕振中.航空装备科学维修导论[M].北京:国防工业出版社,2006.  
Zhang Fengming, Zheng Dongliang, Lü Zhenzhong. Introduction to scientific aviation equipment maintenance [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.
- [2] 卢永吉,王远达,刘扬,等.军用飞机两级维修职能研究[J].飞机设计,2008,28(5):76-80.  
Lu Yongji, Wang Yuanda, Liu Yang, et al. Aircraft Design, 2008, 28(5): 76-80.
- [3] Wang Y D, Xia Q, Xiao B P. Research on key technology of aircraft two

- level maintenance system [C]/Reliability and Maintenance Symposium, Orlando, USA, May 21-24, 2013.
- [4] 王瑞朝, 王远达, 郭俊强, 等. 军用无人机两级维修保障系统研究[J]. 飞航导弹, 2009(11): 53-56.  
Wang Ruizhao, Wang Yuanda, Guo Junqiang, et al. Cruise Missile, 2009 (11): 53-56.
- [5] 左洪福, 蔡景, 王华伟. 维修决策理论与方法[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008.  
Zuo Hongfu, Cai Jing, Wang Huawei. Maintenance decision theory and methods[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2008.
- [6] 刘栋, 何宝民, 费川, 等. 军用航空装备维修级别的选定与评估[J]. 航空维修与工程, 2011, 56(1): 73-75.  
Liu Dong, He Baomin, Fei Chuan, et al. Aviation Maintenance & Engineering, 2011, 56(1): 73-75.
- [7] 蔡丽影, 贾希胜, 吕岳卿, 等. 我军核心维修能力的内涵研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2011, 22(5): 16-20.  
Cai Liying, Jia Xisheng, Lü Yueqing, et al. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2011, 22(5): 16-20.
- [8] 徐廷学. 装备综合保障工程理论与方法[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2009.  
Xu Tingxue. Theory and method of equipment integrated support project [M]. Beijing: Weaponry Industry Publishing House, 2009.
- [9] 阮旻智, 李庆民, 彭英武, 等. 多指标约束下舰载装备维修级别建模与优化[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(5): 954-960.  
Ruan Minzhi, Li Qingmin, Peng Yingwu, et al. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(5): 954-960.
- [10] 冯强, 曾声奎, 康锐. 基于多主体的舰载机综合保障过程建模方法[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(1): 211-216.  
Feng Qiang, Zeng Shengkui, Kang Rui. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(1): 211-216.
- [11] 李晓峰, 屈轶. 美国空军航空装备维修保障体制现状及启示[J]. 航空维修与工程, 2010(2): 38-40.  
Li Xiaofeng, Qu Yi. Aviation Maintenance & Engineering, 2010(2): 38-40.
- [12] 王远达, 宋笔锋, 姬东朝. 修理级别分析方法修理级别分析方法[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(4): 1-19.  
Wang Yuanda, Song Bifeng, Ji Dongchao. Fire Control and Command Control, 2008, 33(4): 1-19.
- [13] 魏效燕, 刘晓东. 基于 AHP 方法的军用飞机修理级别分析[J]. 航空维修与工程, 2006(2): 22-24.  
Wei Xiaoyan, Liu Xiaodong. Aviation Maintenance & Engineering, 2006 (2): 22-24.
- [14] 郭俊强, 王远达, 王瑞朝. 现役军机简化维修体制的论证方法研究[J]. 飞机设计, 2009, 29(5): 73-77.  
Guo Junqiang, Wang Yuanda, Wang Ruizhao. Aircraft Design, 2009, 29 (5): 73-77.
- [15] 高崎. 炮兵武器系统维修保障及其决策方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.  
Gao Qi. Research on maintenance support methods and decision-making methods of artillery weapon system [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2006.
- [16] 卢永吉, 王远达, 侯健. 军机维修体制发展方向及关键技术研究[J]. 飞机设计, 2008, 28(4): 73-76.  
Lu Yongji, Wang Yuanda, Hou Jian. Aircraft Design, 2008, 28(4): 73-76.
- [17] 郭俊强, 王远达, 刘刚. 基于 BP 神经网络的军机两级维修保障效能评估[J]. 航空维修与工程, 2010(1): 33-35.  
Guo Junqiang, Wang Yuanda, Liu Gang. Aviation Maintenance & Engineering, 2010(1): 33-35.
- [18] 王小林, 郭波, 程志君. 测量导致设备性能退化条件下的剩余寿命建模分析[J]. 弹箭与制导学报, 2011, 31(4): 180-183.  
Wang Xiaolin, Guo Bo, Cheng Zhijun. Journal of Projectiles Rockets Missiles and Guidance, 2011, 31(4): 180-183.
- [19] 尚永爽, 吴忠德, 王星博. 威布尔分布下竞争性故障装备的可靠性分析[J]. 光电与控制, 2012, 19(8): 90-92.  
Shang Yongshuang, Wu Zhongde, Wang Xingbo. Electronics Optics and Control, 2012, 19(8): 90-92.
- [20] 梁旭, 李行善, 张磊, 等. 支持视情维修的故障预测技术研究[J]. 测控技术, 2007, 26(6): 5-8.  
Liang Xu, Li Xingshan, Zhang Lei, et al. Measurement and Control Technology, 2007, 26(6): 5-8.
- [21] 尹晓虎, 温熙森, 钱彦岭. 复杂维修系统的动力学行为仿真[J]. 兵工学报, 2008, 29(5): 588-591.  
Yin Xiaohu, Wen Xisen, Qian Yanling, et al. Acta Armamentarii, 2008, 29(5): 588-591.
- [22] Saranga H, Kumar U D. Optimization of aircraft maintenance/support infrastructure using genetic algorithms-level of repair analysis[J]. Annals of Operations Research, 2006, 143: 91-106.
- [23] Zhou B, Dvoryanchikova A, Lobov A. et al. Application of the generic modeling method for system of systems to manufacturing domain [C]/IECON 2011-37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2011: 352-358.
- [24] 李伟. 依托第三方军事物流优化装备维修库存管理研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2008, 19(4): 30-33.  
Li Wei. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2008, 19(4): 30-33.
- [25] 王树礼, 倪明仿, 邓伟. 关于军事物流系统优化的研究[J]. 装甲兵工程学院学报, 2005, 19(4): 1-4.  
Wang Shuli, Ni Mingfang, Deng Wei. Journal of Armored Force Engineering Institute, 2005, 19(4): 1-4.
- [26] 李刚. 军事装备保障人力资本配置模式研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.  
Li Gang. Human capital allocation model of military equipment support [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2008.
- [27] 姜巍巍, 马绍力, 徐定海, 等. 基于 IETM 的舰船装备维修保障信息的收集要求[J]. 舰船科学技术, 2010, 32(4): 99-102.  
Jiang Weiwei, Ma Shaoli, Xu Dinghai, et al. Ship Science and Technology, 2010, 32(4): 99-102.

(编辑 四恬)

## 《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿: www.kjdb.org。