

国外维修保障理念的最新发展

Latest Development of Foreign Maintenance Support Principle

中国国防科技信息中心 栗琳 朱斌 陈龙



栗琳

中国国防科技信息中心二室主任、研究员,北京大学特聘教授、情报学博士生导师,中国国防科技信息学会“情报研究专业委员会”副主任,长期从事外军武器装备发展及维修保障情报研究,是相关研究领域的知名专家。

现代武器装备的复杂程度和信息化水平不断提高,电子设备所占的比重越来越大,依靠传统的维修理念、模式和手段难以准确快速地预测、定位并修复故障,维修效率和效益也无法得到保证。如美国 20 世纪 80 年代服役的 F-15、F-16 等战斗机属典型的信息化装备,但由于维修保障理念、手段、方法陈旧,导致其故障诊断能力低(50%~70%)、虚警率高(40%~70%)、故障不能复现率高(60%~70%)、重测合格率高(30%),飞机的使用和保障费用大

进入 21 世纪以来,信息化装备逐步成为国外装备的主体,采用信息化手段实施精确化维修、缩短维修时间、节约维修资源、提高维修效率效益成为维修领域发展和探索的重点。

大超出采购成本,占到寿命周期费用的 70%,成为影响战备完好性、使用与保障费用的主要问题,引起美、英等国军方和工业部门的重视。近年来,国外着眼于信息化装备特点,以高新技术为支撑,不断创新维修保障理念,并在武器装备上积极应用“基于状态的维修”、“基于性能的保障”、“自主式保障”等理念,取得了显著效果。

维修理念的发展历程

进入 20 世纪以来,维修理念主要经历了 4 个发展阶段,见表 1。

第一阶段从 20 世纪 30 年代开始。该时期工业界的机械化程度不高,大部分设备比较简单、可靠,除简单清洗、修理和日常润滑工作外,通常不再需要进行其他维修,因此一般采取“随坏随修”的修复性维修。

第二阶段从第二次世界大战开始。这一阶段,工业界的机械化水平提高,工业生产对机械设备的依赖程度不断增加,设备停工带来的影响越来越显著。由于机械设备故障存在

一定的规律性,强调在故障出现前即对装备进行维护或更换零件的预防性维修正式成为主流维修理念。

第三阶段从 20 世纪 80 年代开始。这一时期,复杂的机电设备成为维修的主要对象,故障的基本模式有了根本性的变化,依靠传统的故障预测手段如“浴盆曲线”等难以奏效。开始采用结合了预防性维修、视情维修、修复性维修或改进性维修等多种形式在内的预测性维修理念。

第四阶段从 21 世纪初开始。这一时期,电子信息技术得到飞速发展和广泛应用,使对维修对象状态的监控更加及时、快捷与精确,装备部件与整体的工作状态从混沌不明逐渐向透明化发展,装备状态从粗略估计逐步转变为可观测。维修技术的进步促使预测性维修逐渐走向成熟。

国外维修理念的发展热点

进入 21 世纪以来,信息化装备逐步成为国外装备的主体,采用信息化手段实施精确化维修、缩短维修时间、节约维修资源、提高维修效率效

益成为维修领域发展和探索的重点。注重实现装备实时监控、故障科学诊断预测以及保障决策自主制定的“基于状态的维修”，旨在实现维修作业与供应、运输、训练等保障功能的集成，提高整个维修保障过程的自动化与自主化程度的“自主式保障”，以及强调统一筹划、整合与协调军地双方保障资源，规划装备入役后的保障分工，实现装备全寿命周期保障效益最大化的“基于性能的保障”，逐步成为维修保障领域的发展热点并得到的大力推广。

1 “基于状态的维修”(CBM)

“基于状态的维修”是国外在 20 世纪末 21 世纪初开始大力推行的一种维修思想，目的是将以信息技术为代表的各种高新技术应用到维修的全过程，从而提高维修工作的效率与效益，实现维修方式的全面变革。“基于状态的维修”是在传统状态监控和故障诊断技术的基础上，综合了多种先进的技术(如传感器技术、人工

智能技术、计算机技术、通信技术、网络技术)，准确地判定部件实际状态，并据此决定更换或维修的过程。

(1) 推行“基于状态的维修”是信息化装备的必然选择。

信息化装备技术先进、结构复杂，尤其是电子信息类设备所占比重大幅增加，其故障模式与间隔无明显规律可循，采用传统的预防性维修无法奏效，只有采用以状态信息采集、监控、处理为基础的预测性维修才能准确预测、定位并解决此类故障。

与以往的被动维修、预防性维修理念相比，“基于状态的维修”是一种预测性维修，可实时监控装备的状态，准确判定部件的实际状态，预测设备的初始故障和剩余寿命，在出现维修需求时才开展维修，适应信息化装备对高精度装备保障的要求，能节约不必要的维修费用，降低武器装备的寿命周期费用。此外，信息化装备本身就具备实现“基于状态的维修”的软硬件条件，如在设计时就嵌入了

高性能传感器和嵌入式诊断能力，配备高性能的信息系统有利于数据的快速传输和高效处理等，为实现“基于状态的维修”奠定了物质基础。

(2) “基于状态的维修”的本质是实现 3 种能力。

自 CBM 理念提出以来，国外针对不同类型的装备开发了一系列新的维修手段和系统。这些系统实质上都是 CBM 系统，只是先进程度和侧重点不同，其核心均是要实现 3 种能力。一是建立完善的装备状态监控能力，包括在装备上嵌入零件、部件、组件的实时状态监测传感器、数据传输与数据处理设备等；二是建立快速有效的装备故障诊断与预测能力，其核心是定义判断武器系统各部件是否运转正常的准则，能够对装备使用状态和故障特征进行可测量的量化描述，实现对故障的快速诊断和预测；三是建立科学的装备维修保障决策能力，能够迅捷、高效地调配维修资源，针对故障诊断与预测的结果迅速采取有效维修措施，预防装备可能发生的故障，并能对已出现故障的装备实施快速修复，从而实现根据装备状态和实际需要开展维修。典型 CBM 系统的功能结构见图 1。

(3) “基于状态的维修”在信息化装备中得到广泛应用。

美陆军在 AH-64D “长弓·阿帕奇”直升机上应用 CBM 理念开发了“直升机综合诊断——状态及使用监控系统”，显著提高了直升机的飞行安全，降低了使用和保障费用。据统计，如果直升机飞行频度为 900h/年，使用该系统一般能减少 24% ~ 29% 的维修费用。美空军将 CBM 用于 C-17 运输机、F-35 战斗机、E-3 预警机等装备的维修中。从目前的进展看，“基于状态的维修”能够显著提高维修效率，降低维修规模，节约维修成本。

2 “基于性能的保障”(PBL)

“基于性能的保障”(PBL)是国

表1 维修理念发展的4个阶段

特征	第一阶段 修复性维修	第二阶段 预防性维修	第三阶段 预测性维修 (初级阶段)	第四阶段 预测性维修 (高级阶段)
时间	20 世纪 30 年代	20 世纪 40 年代 至 70 年代末	20 世纪 80 年代初 至 20 世纪末	21 世纪初至今
维修对象	简单设备	机械设备	复杂机电设备	信息化设备
维修目标	恢复设备功能	保持或恢复 设备功能	以最低的费用保持 设备的可靠性、安全性	在保证设备可靠性、 安全性的同时提高 维修能力
维修观念	设备使用时间长 就会出故障，故 障后实施修理	故障规律符合 浴盆曲线，在 掌握故障规律 后定时翻修	根据故障的特点、 规律和后果综合决策， 并从全系统、全寿命的 角度综合权衡	快速获取维修需求， 实施信息化维修， 缩短维修时间、提高 维修效率、节约资源、 保护环境、提高效能
维修方式	故障后维修	定期的计划 性维修	预防性维修、视情 维修、故障探测、修 复性或改进性维修等 多种形式	基于状态的维修、 智能维修
维修方法	磨锐、防锈、换 件、原件修复	拆装和原件 修复	表面工程技术、故 障诊断技术、状态监 测技术、测试技术等	远程诊断技术、自 修复技术、再制造技 术、应急修复技术、 虚拟现实技术、绿色 维修技术等
维修理论	无维修工程理论	可靠性、维修 性工程与维修 工程	综合设备管理、以 可靠性为中心的维 修理论、全员生产 维修等	信息化维修理论

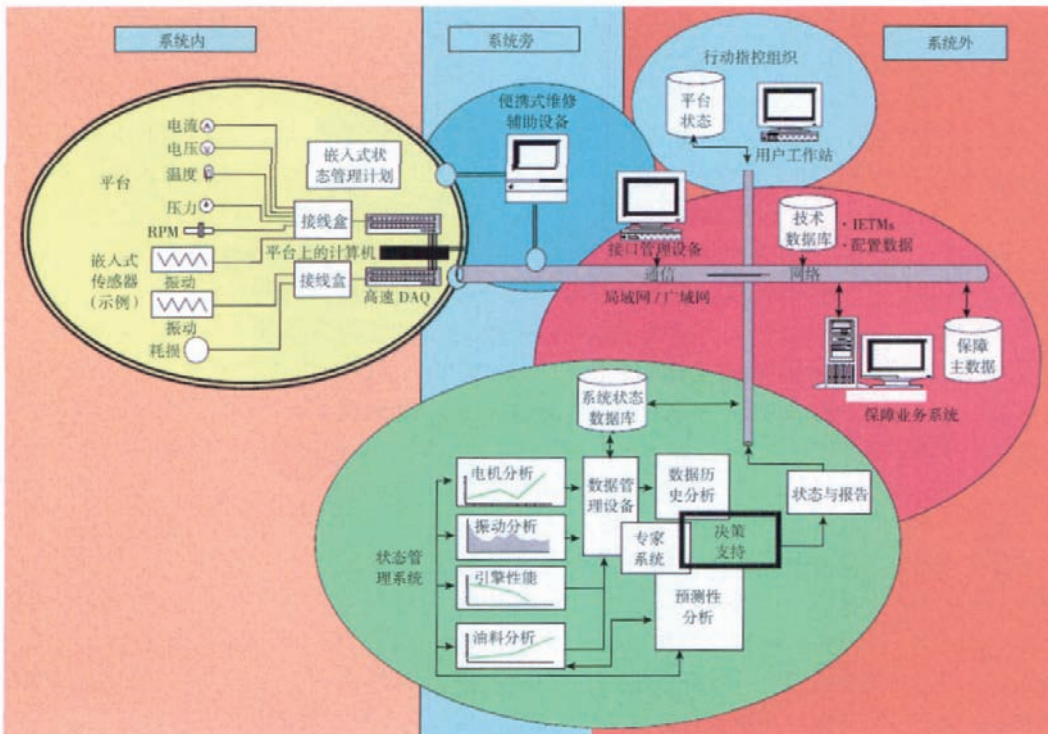


图1 典型CBM系统功能结构图

式不仅不利于提高装备的战备完好性目标,也不利于降低装备的全寿命周期费用。因此,国外提出了“基于性能的保障”,旨在从研制阶段就统一筹划、整合与协调军地保障资源,从而最大限度地提高武器装备的战备水平,降低使用与保障费用。

(2)“基于性能的保障”在信息化装备中得到广泛应用。

从目前的情况看,F-35战斗机等信息化装备已开始积极推广“基于性能

外针对具体型号装备提出的全新维修保障理念和模式,其核心是“项目办公室”通过“装备保障集成方”加强对装备全寿命保障的管理,促进军方与合同商的合作,实现优势互补与风险共担,从而在经济可承受的条件

下确保型号装备在寿命周期内实现预定的战备完好性目标(表2)。

(1)传统保障模式已不能满足信息化装备的维修保障需求。

信息化装备的维修保障不仅强调战备完好性的提高,而且同样重视

通过降低维修保障费用来提高装备的经济可承受性。在传统保障模式下,主要存在以下问题。在维修方面,维修规模大、维修级别多、维修费用高,而装备整体的可用性只有75%~80%,部件的可用性也很低;在供应方面,供应规模大、供应链复杂不连续、资产可视能力非常有限、高优先权部件的用户等待时间过长,有的甚至长达12天;在保障模式方面,保障规模(人员和设备)过大,无法保障快速兵力投送,职能性保障机构种类过多,建制基地的保障基础设施不断老化。此外,随着信息化装备的日趋复杂,传统的保障模

式的保障”。按照美军的计划,到2016年F-35批量生产时,空军、海军和海军陆战队以及包括英国、荷兰、土耳其、意大利等国在内,都将在全面的PBL环境中运行,其中既包括维护、修理和大修,还包括飞机升级、供应链管理 and 人员培训等内容。美军希望通过PBL合同来满足上述所有售后需求,并计划通过PBL这种保障模式将售后服务占飞机总成本的比例由传统的60%降至50%,而且要使F-35机队在服役7~8年时,后期可用度达到90%。虽然F-35战斗机目前实施的多数PBL项目都是基于硬件层面的,也有基于某个分系统的,但在未来的研发阶段,随着更多的分系统合同商参与研发,预计F-35战斗机将在2012年实现整架飞机的单一PBL合同。

(3)“基于性能的保障”取得了显著的经济和军事效益。

“基于性能的保障”明显提高了装备维修保障的效益和水平。F/A-18战斗攻击机出动架次率管理系统的响应时间从实施前的42.6天变

表2 传统保障模式与“基于性能的保障”的比较

传统保障模式	“基于性能的保障”模式
基于业务的采购——购买个别零部件或修理活动	基于能力的采购——购买装备整体性能
·传统的综合保障管理 ·以个别保障要素为重点	·全寿命周期系统管理,由项目主任负责 ·以面向系统的总体性能目标为重点
传统的烟囱式组织机构	项目主任或产品保障主任领导的PBL小组
多个保障来源	全面综合的保障链
多个联络点	单一联络点
法规、政策、经费障碍	更少的障碍,且有不断降低的趋势
以单件产品为中心	以整个武器系统为中心
传统的目标/要求	比传统目标/要求更高,并且是基于与重要任务有关的目标,如规定的战备完好性、可用性、战斗转换时间、每年的费用等
采用传统的建制保障程序	签订“基于性能的协议”

成2天(本土)/7天(本土以外地区)。美军在2000~2005年由于推行“基于性能的保障”总共节省了150亿美元的使用与保障费用。由于这种保障方式取得了很好的效果,美军推行的范围越来越广,力度越来越大。在2002年时采用这种方式的项目还只有57个,到2005年底就达到了143个,到2006年7月份更是达到了215个,预计随着信息化装备的不断增加,采用“基于性能的保障”的项目还会进一步增加。

3 “自主式保障”(AL)

“自主式保障”(AL)是美军在开发第四代战斗机F-35时提出的一种创新性维修保障理念,它通过一个实时更新的信息系统,将任务规划、维修训练和维修保障作业等各种要素集成起来,对武器系统的状态进行实时监控,根据监控结果自主确定合适的维修方案,在装备使用期间预先启动维修任务规划和维修资源调配,在最佳时机进行维修,确保武器平台保持良好的状态。实现“自主式保障”后,装备的几乎全部诊断测试、维修和保障活动都将实现自动化,从而最大程度地减少人力和消除人为差错,高效保障装备的作战部署。

(1)“自主式保障”的核心是实现整个保障过程的一体化。“自主式保障”旨在借助现代信息技术等高新技术,将保障诸要素综合起来形成一种无缝的保障系统,使飞机能以最低的费用达到规定的战备完好性,其核心能力主要体现在以下方面。

一是利用先进的自主式保障信息系统,在军方与地方、前方与后方、装备与基地之间构建数字化分布式信息环境,实现各种相关信息在军地各部门之间的顺畅流通与实时共享,从而实现状态监控、故障诊断、维修规划、备件申请、人员协调、维修实施等各个环节的融合。

二是通过先进的机载自主式保障系统,在飞行过程中自动完成数据

收集、状态监控、故障诊断、寿命预测和状态管理等,实时判定并隔离即将发生的故障,实时向地面的保障机构报告需要开展的维修,在飞机着陆前完成维修任务规划与维修资源调配,缩短维修周期,提高出动架次率。

三是通过缩减保障环节,优化保障资源,调整保障基础设施,构建响应迅速的一体化保障体系,确保军地各部门、各部队之间各种保障资源共享与调配渠道的顺畅,在最大程度地缩减保障规模的同时以最低的费用实现所需的战备完好率。

(2)“自主式保障”能更好地满足信息化装备的整体保障需求。

与传统保障模式相比,“自主式保障”能够更好地满足信息化装备的整体保障需求。传统保障系统是一种被动反应式系统,从状态数据收集到故障诊断和预测整个过程的自动化、智能化水平较低,而且为维持高战备完好率,必须要准备大量的维修备件、保障设备和人员,严重制约了保障效率和效益的发挥。“自主式保障”的优势突出表现在3个方面。

一是故障通报及时,提高了保障的针对性和保障效率,降低了保障的成本。自主式保障系统能将大多数任务关键和飞行关键故障在机上实时检测和隔离出来,预测即将发生的故障和部件的剩余使用寿命,自动进行备件的订购和跟踪,保证了根据装备的实际需要实现“即时”保障,大幅度降低保障成本。

二是故障诊断准确,自动化程度高。自主式保障系统依靠机载自主式保障系统可自动进行诊断并做出维修决策,地面维修人员仅需完成最后的部件拆卸、更换等简单的维修工作,从而最大程度地缩短了地面诊断与维修时间,提高了维修的效率。

三是提高了保障的快速反应能力和保障系统灵活性,更好地满足了全球作战需要。飞机在空中飞行时,机载自主式保障系统就可将检测到

的飞机故障自动报告给地面保障系统,通知其准备好维修所需的备件、维修人员和维修设备,缩短了再次出动准备时间,提高了出动架次率。

(3)F-35战斗机的自主式保障系统已进入试运行阶段。2007年,F-35战斗机的承包商洛·马公司开通了试运行版的自主式保障系统,该系统由3部分组成。

一是“联合分布式信息系统”,由分布于平台、部队和保障基地的各种嵌入式计算设备和数据库构成,能够在平台、部队、原始设备制造商、保障资源供应商、修理基地和库存控制点之间实现实时的资产可视化和信息共享,可对各种事件(如“状态预兆与健康管理系统”做出的故障预测)做出响应,制定装备使用、维修和训练日程,评估维修资源需求和任务要求的合理程度等。

二是“状态预测与健康管理系统”(PHM),由成员系统、区域管理器和平台管理器组成。成员系统可通过嵌入各组件的监控程序自动检测装备故障,并报告给相应区域管理器。区域管理器汇总各分系统故障信息,融合后传给平台管理器。平台管理器汇总整个平台的故障信息和维修需求,并提交给基地保障信息系统。

三是各种功能性管理系统,主要包括动态资源管理器、弹药和供应系统、训练管理和保障系统、维修管理系统、技术数据仓库等。动态资源管理器主要用于飞行日程、训练日程和维修日程的安排与协调;弹药和供应系统主要用于对各种零备件进行申请、协调与管理;训练管理和保障系统主要用于确定训练需求,保留飞行员和维修人员训练记录并对训练资产进行管理;维修管理系统主要用于生成维修命令,管理维修记录;技术数据仓库主要储存各种数据并实时更新数据。

(责编 良辰)