

美国海军舰载机通用型辅助动力系统的PBL分析及启示



董冬妮*,危虹,蒋庆喜,贾治宇

航空工业中国航空综合技术研究所 航空综合环境航空科技重点实验室,北京 100028

摘要:基于性能的保障(PBL)作为近年来武器装备后勤维修保障模式的发展趋势,已应用于国内外多个军兵种、多种武器装备。美国海军舰载机通用型辅助动力系统(APU)保障模式作为PBL的先行者,实现了成功应用与推广。本文首先对PBL的概念与内涵、目标、衡量指标、合同形式等基本内容进行了梳理分析;并基于此,阐述了美国海军舰载机通用型APU的PBL模式的概况、合同形式、组织结构以及实施流程,提取可启发我国航空发动机军地联合保障模式的主要思想和关键技术点。最后,考虑我国航空发动机面临的保障难点和问题,以装备保障效能和完好率的需求为牵引,吸取借鉴美国海军先进成功经验,提出军地联合保障方案设想。

关键词:辅助动力系统;基于性能的保障;航空发动机;军地联合;综合保障

中图分类号:V267

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2020.12.010

20世纪90年代末,美国海军为了解决包括战斗机、反潜机、海上巡逻机、运输机等多型舰载机通用型辅助动力系统(auxiliary power unit, APU)面临的战备完好性问题,率先尝试开展基于性能的保障(performance based logistics, PBL),以霍尼韦尔公司作为合作的承包商,购买其提供的总体后勤保障性能,并获得了显著成效^[1-2]。近年来,国内在“军民一体化装备维修保障体系建设”的政策推动下,也开展了一系列军地联合保障的探索和尝试^[3],工业部门在部队保障体制的基础上,积极调动自身优势参与到装备后勤保障中。航空发动机是航空装备的重要组成部分,其完好性水平的高低直接影响装备整体保障效能。而随着航空装备任务的高强度、复杂化,现行的保障模式已逐渐不能满足部队保障需求,实行军地联合保障势在必行。美国海军舰载机通用型辅助动力系统的“基于性能的保障”实践,可为我国探索航空发动机军地联合保障模式提供启示与参考。

1 基于性能的保障概述

1.1 概念内涵

基于性能的保障(PBL)是指在规定的时间内,以签订

合同的方式,通过总体后勤保障包的具体形式,由PBL承包商对装备的后勤维修保障进行总体承包。使用方购买的不再是物资和服务,而是购买性能(包括可用度、降低费用、可靠性提升等)。付费方式也从航材备件计数等方法转变为按飞行小时数计费结合奖罚措施^[4-6]。

2009年5月,美国航空工业协会(AIA)研究提出未来PBL可在5个领域得到广泛应用,并将取得显著效益,它们分别是装备全生命周期保障、备件备品管理、运输设备与设施、战场勤务支援、保障信息系统。

1.2 目标

作为一种改进武器系统后勤保障的采购改革举措,美国国防采购指导手册对PBL的定义是:以集成的、付得起的、性能打包设计的供应支持方式,通过长期供应安排和清晰的权利及职责划分,改进系统战备完好性和性能指标。

将以上目标具体落实,PBL的目标包括压缩供应链、减少无价值的多余步骤、减少总拥有成本、提高武器系统的战备完好性和可靠性和减少后勤规模。

1.3 评价指标

为了衡量是否达到以上目标,需要建立评价指标体系,并

收稿日期:2020-10-15;退修日期:2020-10-27;录用日期:2020-11-15

基金项目:装备综合保障技术重点实验室稳定支持项目(61420030104)

*通信作者:Tel.:010-61659362 E-mail:dongnear@163.com

引用格式: Dong Dongni, Wei Hong, Jiang Qingxi, et al. Analysis and enlightenment of PBL for the APU installed in the US Navy's carrier based aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(12): 74-79. 董冬妮,危虹,蒋庆喜,等. 美国海军舰载机通用型辅助动力系统的PBL分析及启示[J]. 航空科学技术, 2020, 31(12): 74-79.

在基于性能的协议(PBA)中体现。美国海军航空系统司令部条令(NAVAIRINST)对PBL的评价指标规定如下:(1)使用可用度:武器系统执行任务或者维持运行的可用时间百分比。(2)任务可靠性:武器系统任务成功百分比。(3)单位使用成本:每个武器系统单元或每飞行小时、起落数、驱动里程等的运行费用。(4)后勤规模:政府/承包商规模或者需要部署、保障和移动武器系统的后勤保障规模。用以表征后勤规模的参数,包括库存数量、设备、人员、设施、运输资产和土地等。(5)后勤响应时间:从后勤需求发出到后勤需求被满足的时长。各项保障资源都可以是对武器系统后勤保障的需求。

当然,需要根据装备实际选取合适的指标。总的来说,作为衡量保障目标的参数指标包括了顶层指标及较低层次指标。这与目前国内外航空武器装备保障效能指标体系层次划分整体思想是一致的,既包括使用可用度等顶层综合指标,又包括可靠性、维修性、保障性等特性指标。

1.4 合同形式

PBL合同主要分为两部分,一部分是根据预估费用和收益计算出的固定价格合同,另一部分是为激励供应商的成本补偿合同。总的来说,就是围绕风险和激励制订合同。对于军方要规避风险,对于承包商实现效率和经济性的最大激励^[7-8]。各类合同介绍如下。

(1) 固定价格合同

固定价格合同以总价或单价的形式签订。承包商提供合同中规定的总体后勤保障内容并达到相应要求。合同中的固定价格不随供应商的工作模式而改变,因此在固定价格类型的合同下,风险主要转移到承包商身上。这促使了承包商优化其工作模式,从而控制成本、获得更高利润,同时减轻使用部队的费用压力。

(2) 成本补偿合同

成本补偿合同用于对承包商在项目中付出的成本进行补偿,并且还包含了其应得的利润。成本补偿合同中签订的补偿费用可以是:“成本+固定费”“成本+奖励费”“成本+激励费”。确定补偿费用需要对承包商的成本报价和利润进行估计。与固定价格不同,成本补偿合同需要动态考虑使用部队需要承担的费用风险。基于以上两种基本的合同形式,还可以有具有激励和奖励性质的合同。

(3) 奖励费合同

奖励费合同旨在通过将合同项下应付的利润或费用金额与承包商的业绩挂钩,从而实现特定目标。军方可以通过衡量承包商的能力,确定是以固定的价格还是以成本补

偿的方式对承包商进行激励。通过对比权衡军方想获得的目标成本和目标费用,以及能接受的支付费用范围,进行调整优化计算,得出带有激励性质的费用合同。奖励费合同已经敲定了承包商相较于原本应得的合同费用基础上,再多加的那部分激励费用,或至少确定了激励费用的调整方式和范围。

(4) 奖励费合同

奖励费合同同样也是为了通过合同对承包商进行激励。与前面奖励费合同不同,这种激励措施不需要进行权衡计算。只要承包商达到了预期的业绩,即可在固定价格或成本的基础上,再获得一部分奖励费。

(5) 授予长期合同

此外,对于承包商来说,因为竞标、对工作模式的摸索以及不确定性因素的存在,开展PBL并不能在头几年就回本并盈利,只有在长期运营的情况下才能实现收益。因此,承包商更希望能与使用方签订长期合同。

2 美国海军舰载机通用型APU的PBL

2.1 概况

2000年6月,美军启动了第一个PBL项目——海军的辅助动力装置。为解决美海军舰载机战备完好率较低和备件短缺问题,以及提升可用度和可靠性、降低每飞行小时费用,同时维持核心建制能力的目标,美国海军库存控制中心与霍尼韦尔公司签订了通用型APU的PBL合同。

该合同类似于商业支持的方案,即通过承包APU的总体后勤保障的方式,由霍尼韦尔向其“提供包括大修、外场勤务工程、技术手册维修、供应链管理在内的APU及其相关部件的总体后勤保障包”。“总体后勤保障”范围包括了整个项目的执行、客户和工程支持、总资产可视化、构型和报废管理、质量保证、APU的修理和大修、可用度和可靠性增长的持续改进保证等。

针对F/A-18、S-3、P-3、C-2等型机配装的APU签订的PBL合同实施5年即取得了显著效果,维修保障效率得到了极大提高。PBL模式的实施,对于海军快速完成机队部署和关键航空任务起到了重要保障作用,该模式也拓展至美军其他装备使用与维修机构。

2.2 合同形式

美国海军与霍尼韦尔签订的合同包括一个5年的基本订货期和5个额外的一年订货期,共10年。正如前文所说,如果霍尼韦尔能很好地实现要求的性能指标,美国海军则继续以“5个额外的一年订货期”的方式续签。

美国海军舰载机通用型APU的PBL合同形式为固定价格。在每年的总费用结算中,根据劳务费、物资成本等因素的变化,会对该固定价格进行调整。该合同的固定价格约束如下。

2.2.1 单位飞行小时数付费(PBFR)

美国海军舰载机通用型APU的PBL合同的“固定价格”体现在其单位飞行小时费用是固定的,在签订合同时,订购方对该年度的飞行小时数进行预计,乘以单位飞行小时数付费(PBFR)计算得出该年度的总费用,一般每半年核算一次。

2.2.2 性能指标

(1) 可用度

美国海军舰载机通用型APU的PBL合同中可用度的含义是:规定的时间范围内及时响应并交付的申请数量,除以承包商收到的申请总数,以百分比表示。美国海军要求承包商的可用度达到90%,一旦低于该指标,按照下降的百分点计算对承包商的罚款。

这里涉及到了使用方与承包商之间的责任划分,因为外场故障件的拆除和送回工作由使用部队开展。因此,由于没有及时归还故障件造成的支援响应不及时,承包商不用承担相应的惩罚。但是,周转件和修复好的可用件运送由承包商完成,因此承包商仍应对其供应链及物流能力进行优化,减少响应时间,从而保证可用度。合同中同时对故障件归还时限进行了规定,即不能超过30天。

(2) 可靠性

通用型APU的可靠性由非计划拆除之间的平均飞行小时数(MFHBUR)表示。在PBL合同中,规定了可靠性增长的目标,承包商应采取措施提高APU的可靠性指标。并且,为了达到上述规定的可用度,间接地促使承包商提高可靠性。同样,一旦未完成规定的增长值,会对承包商进行罚款。当然,承包商也会在提高可靠性付出的成本和罚款额之间进行权衡。

(3) 收益分享

美国海军舰载机通用型APU的PBL合同的“收益分享”策略本质上是一种奖励措施。当承包商通过提高可靠性等方式实现了实际部队运行费用的节省,则使用方与承包商以50%的成本规避率对这部分节省的费用进行分享。这个措施可以实现双赢,即承包商有利可图,政府获得更高性能。

2.3 组织结构

在美国海军与霍尼韦尔公司签订的针对舰载机通用型

APU的PBL合同关系里,主要的组织结构如下。

(1) 费城海军库存控制中心(NAVICP)

位于费城的海军库存控制中心主要职责是向海军武器系统提供程序和供应支持。海军库存控制中心的传统工作模式为购买库存航材备件,并向海军武器系统提供供应支持,但之前一直存在APU维修需求积压和备件短缺等问题。实行PBL保障模式后,NAVICP从原本供应链中的一个节点,变成了“甲方”,将原本由海军库存控制中心等军方部门需要开展的供应任务,变为由供应商承担。通过合并组织机构职权、整合资源配置,以更少的整体费用和更好的后勤支持,实现供应商性能的改善和利润的增加,同时减少武器系统全寿命周期的总拥有成本,并且持续实现客户需求。

(2) 霍尼韦尔公司

霍尼韦尔公司是舰载机通用型APU的PBL主承包商,与海军直接签署合同。从而霍尼韦尔的角色从APU及其部件的“制造者”转变为“管理者”,负责整体项目实施、用户支持、工程保障、可靠性工程、质量保证、修理与大修、配置管理和提供部件等。

(3) 卡特彼勒保障勤务公司(CATLOG)

霍尼韦尔公司将库存管理、仓库管理、包装/搬运/储存与运输、全资可视、用户支持、提供服务、电子数据交换/电子商务等供应链相关业务通过子合同,外包给卡特彼勒保障勤务公司。

(4) 切里波特因海军航空基地(NADEP CP)

霍尼韦尔公司将修理与大修、工程保障、技术出版物等维修相关业务通过子合同外包给切里波特因海军航空基地。NADEP CP是海军三个维修基地之一,位于北卡罗来纳州切里波特因市的海军陆战队航空站点(在一些文献中叫作“东部机群战备完好性中心”)。

2.4 实施流程

在采用PBL前(见图1中左半边),传统的美海军舰载机通用型APU的维修基本流程是^[9]:APU故障件在部队外场级拆卸并在部队中继续级进行维修。如果超出部队中继续修理能力,则将故障件发送至离部队最近的追踪与控制节点,再汇集至追踪与控制中心,之后通过长途运输的方式统一发往国防部分发站。由国防部分发站将故障件发给海军航空基地进行基地级维修。修复好的可用件会返回给国防部分发站进行存储,最终交付至部队中继续级仓库。另外,海军库存控制中心/国防保障局/其他机队工业供应链负责向国防部分发站提供部队需要的消耗件,以及通过指定供应

点/机队工业供应链向海军航空基地提供基地级维修需要的消耗件。可以看出,整个供应链和维修保障流程过于复杂。

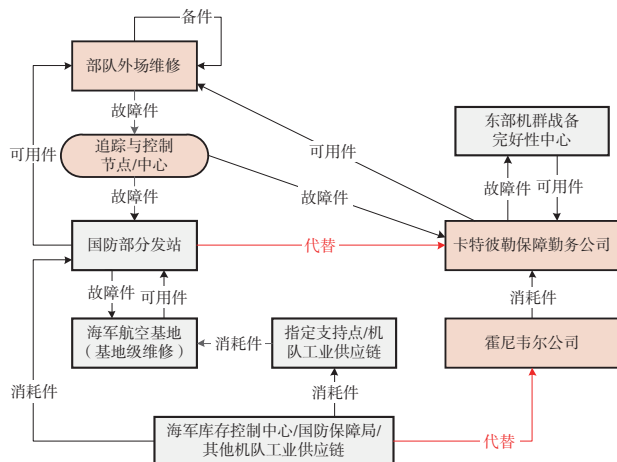


图1 美国F/A-18战斗机APU的PBL供应链示意图

Fig.1 PBL supply chain for the APU installed in the US Navy's F/A-18

签订PBL合同后,霍尼韦尔公司作为主承包商,采购并管理“辅助动力装置”维修所需的所有耗材,将维修与大修工作转包给东部机群战备完好性中心,将数据管理、库存管理、部件分发和仓库管理等维修备件供应管理工作转包给卡特彼勒保障勤务公司。在新的维修体制下,整体供应链流程如下(见图1中右半边)。

(1) 组件仍然在外场被拆除,拆下的故障件直接被发送到卡特彼勒物流仓库,而不是国防部分发站。从而,卡特彼勒作为与国防部分发站平行的实体插入到了整个供应链中。备件或修复好的可用件也由卡特彼勒直接提供给外场部队。

(2) 作为霍尼韦尔的分包商,卡特彼勒除了负责储存APU特定的组件和消耗品,还负责与东部机群战备完好性中心的往返运输。东部机群战备完好性中心接收由卡特彼勒送来的故障件,并对其进行维修,修复好的可用件仍返回给卡特彼勒,由卡特彼勒提供给外场部队。

(3) 此外,霍尼韦尔负责APU的消耗品管理。大量用于支持东部机群战备完好性中心开展APU维修的耗材,从国防保障局管理层转移到了霍尼韦尔的控制部门。

可以看出,基于PBL合同,原先军地多个部门的职责任务被有效整合,流程清晰明确。随着近年来美军航空装备采办逐渐向数字工程转型^[10],保障效能也将进一步提高。

3 我国航空发动机军地联合保障模式的启示

我国航空发动机在部队使用保障方面,现行的传统保障模式面临诸多问题。传统保障模式下(见图2中上半边),外场部队承担部队级维修任务,通过制订维修计划,由战区或军方维修部门规划整机修理和附件修理任务,并通过制订年度和应急采购计划,由战区或军方航材采购部门实现整机和附件的采购。发动机外场使用部队不仅要向战区或军方机关提交部队级维修申请和航材采购申请,由战区或军方机关调配计划,还要与工业部门联系,协调技术支持/供应等事宜。在此保障模式下,大修、排故、备件合同签署、审批流程长,导致备件不能及时到位,排故时效性差,大修发动机不能及时出厂,造成外场缺发。总体上,对使用方而言,保障费用的效费比低,保障成本高,难以满足部队保障需求。

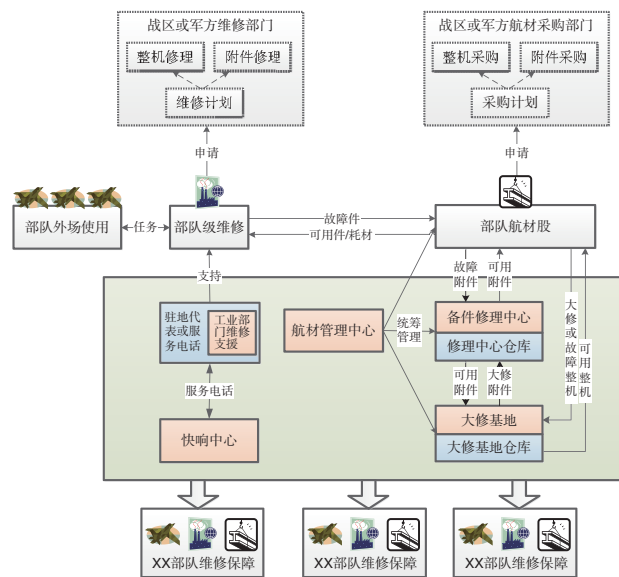


图2 我国航空发动机军地联合保障模式方案

Fig.2 China's aero-engine military and civilian integration logistics scheme

基于我国航空发动机面临的保障难点和问题,聚焦备战打仗,提升装备保障效能和完好率,在保持部队核心作战能力的基础上,吸取借鉴美军先进成功经验,提出军地联合保障方案设想。对保障任务、保障资源、保障手段、保障组织各方面进行重新规划^[11-12](见图2中下半边)。军方用户与工业部门签订军用航空发动机军地联合保障合同,采用年度飞行小时结算的方式,实现工业部门深度参与/军地联合保障的新模式。责任主体从军方牵头转移到工业部门抓总,三方分工合作方案设计。

在军地联合保障模式中,工业部门承担外场维修支援、备件修理和整机大修、航材管理等任务。

(1) 军地联合保障模式下的外场维修支援

工业部门承担外场维修支援任务,如果部队提出现场排故技术支援,则快响中心将在24h内组织技术力量与修理资源到达现场,或者通过视频网络/服务电话提供远程技术支持服务。

(2) 军地联合保障模式下的维修保障

航空发动机使用部队在外场执行作训任务,并承担部队级维修工作。由工业部门的备件修理中心负责对故障附件进行修理,由工业部门的大修基地负责对发动机整机的大修工作。

(3) 军地联合保障模式下的航材管理

军地联合保障模式下的航材管理包括部队航材股负责存放外场需要的发动机可用件(包括整机和附件),以及接收外场维修拆卸下的故障件。在工业部门的备件修理中心设立专门的修理中心仓库,用以存储需要维修的故障附件、修理好的可用附件以及周转件。在工业部门的大修基地设立专门的大修基地仓库,用以存储需要大修的发动机整机、修理好的发动机整机以及整机周转件。以上三者之间形成直接的航材供应传递关系,由工业部门的航材管理中心统一管理调配。可以看出,在军地联合保障模式下,外场部队只需要与工业部门直接联系,由工业部门统筹各项工作。整个保障流程得到了简化,涉及的相关部门的数量减少,减轻了战区和军方机关、使用部队的工作量。工业部门也可以以同样的方式同时支持多个发动机使用部队,协调各方资源,使保障效率更高。

4 结束语

PBL以提高武器装备战备完好性和性能指标为牵引,优化保障模式,在美军各型装备得到了广泛应用并取得显著效果。本文借鉴美军推行PBL的成功经验,提出适用于我国航空发动机军地联合保障模式的方案设想,从外场维修支援、备件修理和整机大修、航材管理等方面对工业部门职责进行规划,有助于在保持部队核心作战能力的基础上,提升装备保障效能和完好率。

AST

参考文献

- [1] 龚立东, 张宝珍. 美军实施基于性能的保障(PBL)过程中的问题和改进对策[J]. 航空维修与工程, 2015(9):36-38.
- Gong Lidong, Zhang Baozhen. Problems and countermeasures in the implementation of performance-based logistics(PBL) in the

weapon systems of USA[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2015(9):36-38.(in Chinese)

- [2] 王萍, 张宝珍. F-35持续保障面临的挑战[J]. 测控技术, 2018, 37(S1):303-305.

Wang Ping, Zhang Baozhen. Challenges of F-35's intelligent sustainment[J]. Measurement & Control Technology, 2018, 37(S1):303-305.(in Chinese)

- [3] 杨王锋. 航空装备军民一体化保障研究[J]. 航空科学技术, 2015(6):1-4.

Yang Wangfeng. Research on civil-military integration support of aeronautical equipment[J]. Aeronautical Science & Technology, 2015(6):1-4.(in Chinese)

- [4] 张宝珍, 于晓伟, 尤晨宇. 美军航空装备新型保障模式的发展及应用[C]// 航空保障设备发展:2017年首届航空保障设备发展论坛, 2017.

Zhang Baozhen, Yu Xiaowei, You Chenyu. The development and practices of new weapon system product support strategy of US Military forces[C]// Development of Aviation Support Equipment, 2017.(in Chinese)

- [5] 张宝珍. 美军产品保障的过去、现在和未来[J]. 航空维修与工程, 2015(8):16-20.

Zhang Baozhen. The past, present and future of product support for US military materials[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2015(8):16-20.(in Chinese)

- [6] 张宝珍, 沈辉. 美军武器装备全寿命保障及落实[C]// 2019航空装备服务保障与维修技术论坛暨中国航空工业技术装备工程协会年会, 2019.

Zhang Baozhen, Shen Hui. Life-cycle sustainment planning and implementation of US weapons systems[C]// 2019 Aviation Equipment Service Support and Maintenance Technology Forum, 2019.(in Chinese)

- [7] 辜希, 洪益群, 曾繁雄. 美国武器装备采办要览[M]. 北京:航空工业出版社, 2004.

Gu Xi, Hong Yiqun, Zeng Fanxiong. Overview of US weapon equipment acquisition[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2004. (in Chinese)

- [8] 关进辉, 蔡德咏, 陈鹤, 等. 合同商在美军装备保障中的作用及对我国军民融合的启示[C]// 2019航空装备服务保障与维修技术论坛, 2019.

Guan Jinhui, Cai Deyong, Chen He, et al. Effect of contractors in equipment support of U. S. forces and its enlightenment to Chinese civil-military inosculation[C]// 2019 Aviation Equipment Service Support and Maintenance Technology Forum, 2019.(in Chinese)

- [9] 赵方庚, 施红星, 潘双喜. 美海军装备保障逆向物流系统运作及启示[J]. 国防交通工程与技术, 2014, 12(5):7-10.
Zhao Fanggeng, Shi Hongxing, Pan Shuangxi. On the operation and inspiration of the reverse logistics system in equipment support of the US Navy[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2014, 12(5):7-10.(in Chinese)
- [10] 刘亚威. 美军航空装备采办正向数字工程转型[J]. 航空科学技术, 2019, 30(6):81-82.
Liu Yawei. U. S. military aviation equipment procurement is transforming into digital engineering[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(6):81-82.(in Chinese)
- [11] 安徽, 牟忠威, 施广生. 基于性能的保障(PBL)在装备上的应用探索研究[C]// 2019 航空装备服务保障与维修技术论坛, 2019.
An Hui, Mu Zhongwei, Shi Guangsheng. Exploration and research on application of PBL in equipment[C]// 2019 Aviation Equipment Service Support and Maintenance Technology Forum, 2019.(in Chinese)
- [12] 张绍芳, 刘侃, 朱爱平. 美军基于性能保障模式在弹炮武器中

的应用[J]. 中国航天, 2015(9):44-47.

Zhang Shaofang, Liu Kan, Zhu Aiping. Application of PBL in artillery and ammunition weapons[J]. Erospace China, 2015 (9):44-47.(in Chinese) (责任编辑 皮卫东)

作者简介

董冬妮(1992-)女, 硕士, 工程师。主要研究方向: 综合保障。

Tel: 010-61659362 E-mail: dongnear@163.com

危虹(1965-)女, 硕士, 研究员。主要研究方向: 综合保障。

Tel: 010-84380375 E-mail: rainbowwei@tom.com

蒋庆喜(1985-)男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 维修工程。

Tel: 010-61659023 E-mail: 0502jiang@163.com

贾治宇(1982-)女, 博士, 高级工程师。主要研究方向: 综合保障。

Tel: 010-61659034 E-mail: jiazhiyu301@163.com

Analysis and Enlightenment of PBL for the APU Installed in the US Navy's Carrier Based Aircraft

Dong Dongni*, Wei Hong, Jiang Qingxi, Jia Zhiyu

Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Aero Combined Environment, AVIC China Aero-Tolytechnology Establishment, Beijing 100028, China

Abstract: Performance based logistics (PBL) as the development trend of weapon logistics mode in recent years, has been applied to many kinds of weapons in the world. As the forerunner of PBL, the logistics mode of PBL for the APU installed in the US Navy's carrier-based-aircraft has been successfully applied and popularized. In this paper, the concept and connotation of PBL, objectives, measurement indicators, contract forms and other basic contents are analyzed. Based on this, this paper describes the general situation, contract form, organizational structure and implementation process of the PBL mode of the US Navy, and extracts the main ideas and key technical points that can enlighten the logistics of China's aero-engine. Finally, taking the requirements of equipment support efficiency and operational readiness as the traction, drawing lessons from the advanced successful experience of the U.S. Navy, this paper puts forward the idea of military and civilian integration logistics scheme.

Key Words: APU; PBL; aero-engine; military and civilian integration; logistics

Received: 2020-10-15; **Revised:** 2020-10-27; **Accepted:** 2020-11-15

Foundation item: Stable Support Project for Key Laboratory of Equipment Integrated Support Technology(61420030104)

*Corresponding author. Tel. : 010-61659362 E-mail: dongnear@163.com