

文章编号:1674-8190(2018)04-483-06

# 军民融合视角下民用飞机维修体系建设及其在国防装备保障领域的应用

王莹,马小骏

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机客户服务有限公司,上海 200241)

**摘要:** 随着科技的快速发展,国防装备复杂程度日益增高,目前,以军方的保障能力要想合理有效地独立完成其保障任务仍有难度。为了提供更好的供应保障,基于民用飞机维修体系,结合国防装备使用特点,从军民融合的视角提出民用飞机维修体系建设经验在国防装备保障领域的应用建议,将民用飞机维修体系中的客户需求分析、健康监控与管理技术、维修策略、保障模式等融入国防装备研究领域,健全完善国防装备的技术和保障模式。

**关键词:** 军民融合;民用飞机;国防装备;维修体系;后勤保障

中图分类号: V267

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2018.04.004

## Commercial Aircraft Maintenance System Construction and Its Application in Defense Equipment Logistic Support Domain from Civil-military Integration Point of View

Wang Ying, Ma Xiaojun

(Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Commercial Aircraft Corporation of China Ltd., Shanghai 200241, China)

**Abstract:** With the rapid development of science and technology, the complexity of national defense equipment is increasing. It is difficult to complete the security task reasonably and effectively by the military security capability. Therefore, this article gives an overview of commercial aircraft maintenance system, and provides recommendations for defense equipment support based on experience accumulated during commercial aircraft maintenance system construction from civil-military integration point of view. The relevant technologies of civil aircraft maintenance system, i. e., the requirement analysis, health monitoring and management technology, maintenance strategy, support mode, and so on, are integrated into the field of defense equipment investigation, which are applied to perfect the technology and support mode of defense equipment.

**Key words:** civil-military integration; commercial aircraft; defense equipment; maintenance system; logistic support

## 0 引言

军民融合是把国防和军队现代化建设融入经济社会发展体系之中,全面推进经济、科技、教育、

人才等各个领域的发展,在更广范围、更高层次、更深程度上把国防和军队现代化建设与经济社会发展结合起来,为实现国防和军队现代化建设提供丰厚的资源和可持续发展的动力。

随着科学技术的迅猛发展,国防装备技术含量和复杂程度日益增高,仅靠军方保障能力难以更好地完成保障任务。走军民融合发展之路,是世界发达国家采取的发展战略。在国防装备保障领域,军

民融合主要体现在两个方面：一是技术层面的军民两用，注重保障产品开发过程的流程化、标准化、数字化；二是保障模式趋向于集成化，强调以最经济的方式获得最佳的使用效果。

民用飞机作为高度复杂、集成的公共运输类产品，对运行安全性、可靠性、经济性有着极高的要求。经过长期的发展与沉淀，民用飞机维修保障领域积累了丰富的实践经验和大量的先进技术。如何将民用飞机维修理念、技术、方法合理地应用到国防装备保障上，并在国防装备保障领域充分利用工业资源，进一步提升国防建设成效，是军民融合背景下值得深入探讨与研究的问题。

本文从军民融合的角度提出民用飞机维修体系建设经验在国防装备保障领域的应用建议。首先，简要介绍民用飞机维修体系，并分别阐述民用飞机维修理念、维修策略、维修服务产品开发和维修规章体系；然后，研究国防装备在保障方面所存在的难题；最后，在技术方面和保障模式方面将民用飞机维修体系应用于国防装备，以期为提高和加强国防装备保障提供建议和指导。

### 1 民用飞机维修体系概述

民用飞机维修体系以客户为中心，以适航规章为约束，如图 1 所示。

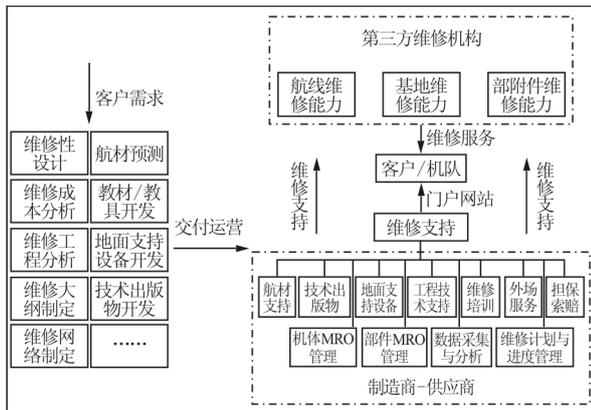


图 1 民用飞机维修体系

Fig. 1 Civil aircraft maintenance system

目前，国外航空公司，例如波音、空客、庞巴迪等倡导以“为客户提供快速、可靠、安全、低成本、网络化、信息化的服务”为目标的运行支持工作已经非常成熟和完善，建立了遍布全球的民用飞机维修体系，并拥有大量资深技术专家，具备了足够的运

行支持能力，在日趋激烈的市场竞争中形成了各具特色且适应自身发展的体系<sup>[1]</sup>。近年来，国内通过型号项目的研发已初步建立了民用飞机维修体系，但还需要进行不断探索和长期实践<sup>[2-4]</sup>。

民用飞机维修体系包括民航管理局、飞机或部附件制造商、运营人(客户)及维修机构<sup>[5]</sup>。成熟的维修体系以制造商为牵引，以实现运营商、制造商、供应商、第三方维修机构多方共赢为目标，为运营人提供全寿命、全场景、全地域以及高效、灵活、优质的服务。其中，民用飞机制造商以维修服务产品开发、维修技术支持、搭建服务网络、集成服务体系为主，在飞机交付运营后特定的航线、基地或部附件维修能力可由航空运营人、制造商、供应商或第三方机构基于飞机或部附件制造商发布的持续适航文件，例如计划维修要求、飞机维修手册、部件维修手册等在局方监管下根据自身需求独立建立。

在民用飞机制造业由“制造业”向“制造服务业”转型的背景下，各大制造商纷纷在客户服务领域“开疆拓土”，在传统维修服务的基础上持续加大客户服务的创新力度，力求为客户打造完美、可靠的客户服务整体解决方案，如图 2 所示。较为典型的服务包括“MRO 联盟”<sup>[6-7]</sup>、“飞行小时服务”<sup>[8]</sup>等，即由制造商代客户购买维修服务，或制造商利用 MRO 网络向供应商提供按小时付费服务，避免了客户与维修机构、备件供应商之间繁琐的沟通，减少客户零部件库存和资金占用，使客户将精力聚焦在主营业务上，提高飞机利用率，降低维修成本。



图 2 先进的多元化维修体系

Fig. 2 Advanced diversified maintenance system

### 2 民用飞机维修理念

民用飞机维修目前采用“以可靠性为中心的维修(RCM)”<sup>[9-12]</sup>理念，致力于寻找安全性、可靠性、经济性三者之间的平衡，从而以最低的成本维持飞机固有的安全性与运行可靠性。

民用飞机使用 MSG-3 (Maintenance Steering Group 3<sup>rd</sup> Task Force) [13-14] 分析方法制定计划维修要求,分为系统与动力装置、结构、区域、L/HIRF(Lightning/High Intensity Radiation Field) 四类分析方法,用规范化的逻辑决断程序,确定各故障影响的预防性维修对策。当初始计划维修要求交付使用后,基于 IP(Issue Paper)44[15],通过运营数据采集、故障数据统计、量化建模、工程评估等手段持续优化计划维修要求,在保证安全性和可靠性的前提下,以最少的维修时间和最小的维修成本为目标,优化维修方案。

RCM 在民用飞机上的应用主要体现在以下 3 个方面,如图 3 所示。

- ① 飞机制造商联合客户及民航局使用 MSG-3 方法制定飞机初始计划维修要求;
- ② 在飞机交付使用后,通过维修、运行数据采集分析持续优化计划维修要求;
- ③ 在全寿命周期内对飞机进行可靠性监控,发现并解决运行可靠性问题。

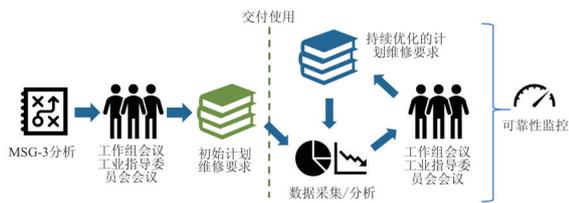


图 3 以可靠性为中心的民用飞机维修理念  
Fig. 3 Reliability centered maintenance concept of civil aircraft

### 3 民用飞机维修策略

民用飞机维修活动按时间可分为计划维修和非计划维修[16],按空间可分为原位维修和离位维修[17],按维修复杂度可分为 1 级、2 级、3 级维修[18],如图 4 所示,1 级包括外场可直接执行的勤务工作、航前航后检查、排故、计划维修、部附件更换、软件加载等;2 级包括部附件修理、中度结构修理、复杂的计划维修、中度改装等;3 级包括复杂的结构修理、复杂的改装、软件更改、部附件大修等。维修等级针对维修任务,同一维修单位可具备多级维修能力,因此民用飞机维修通常又可分为飞机的外场维修(Line Maintenance)、基地维修(Heavy Maintenance)以及部附件的车间维修(Shop Main-

tenance)[19-20]。

	原位维修			离位维修		
计划维修	维修活动X			维修活动Y		
非计划维修	维修活动Z			维修活动W		
	1级	2级	3级	1级	2级	3级
	航线		基地	车间		

图 4 民用飞机维修策略

Fig. 4 Maintenance strategy for civil aircraft

制造商基于制定的维修策略方可在产品研制过程中有序地贯彻运行可靠性与维修成本指标,使飞机在交付前达到较高的可靠性与维修性水平。在飞机交付运营后,层次分明的维修架构、完善的持续适航文件、完备的备件与工具设备保障、全数字化维修与工程系统、先进的健康监控与管理技术等共同保证了飞机的安全、经济、可靠地运行,如图 5 所示。

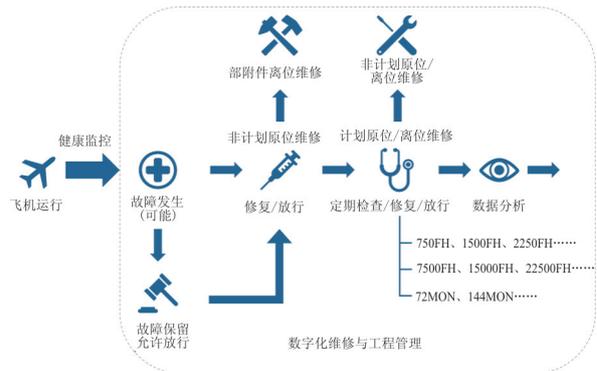


图 5 民用飞机运营过程示意

Fig. 5 Demonstration of civil aircraft operation process

### 4 民用飞机维修服务产品开发

服务产品质量是保证维修质量、提升维修效率、降低制造商运营支持成本的关键。维修服务产品包括技术出版物、备件保障、工程技术支持、地面支持设备、维修培训等。为了保证服务产品质量,缩短开发周期,民用飞机维修服务产品的开发通常基于先进的国际标准开展,例如 ASD(欧洲宇航与国防工业协会)S 系列标准等。ASD S 系列标准亦是军民融合的标志产物之一。民用飞机维修服务产品开发工作流程如图 6 所示。

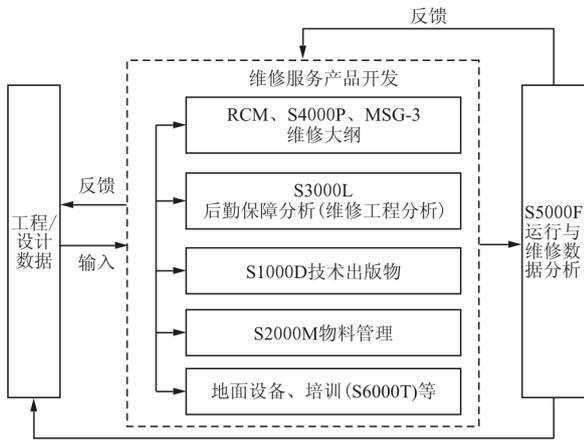


图 6 民用飞机维修服务产品开发工作流程

Fig. 6 Work flow of maintenance service product development for civil aircraft

以最重要的服务产品之一——飞机维修手册(AMM)为例,AMM不是工程数据的直接使用,而是维修工程师基于工程数据、站在维修的角度、通过系统的工程分析得到的<sup>[18]</sup>。AMM的高质量主要体现在与产品间构型的一致性、手册间参引的准确性、覆盖范围的完整性、技术内容的正确性与集成性、技术内容的外场适用性、全寿命周期更改的及时性、用户优秀的使用体验等。

要保证 AMM 开发质量,需要建立完善的技术出版物开发体系。民用飞机通常使用

ATA2200<sup>[21]</sup>或 S1000D<sup>[22]</sup>国际规范进行技术出版物(用户手册)开发,以实现高效的数据及构型管理,并提供优秀的使用体验。以基于 S1000D 标准开发为例,AMM 总体开发流程如图 7 所示。

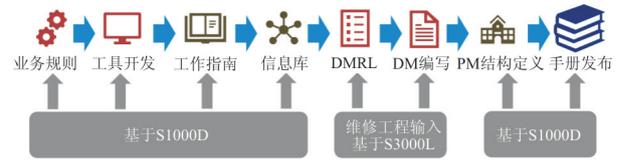


图 7 用户手册总体开发流程

Fig. 7 Overall development process of user manual

### 5 民用飞机维修规章体系

民用飞机维修质量的高低对民用飞机持续适航能力及运行可靠性具有重要影响。为了约束并控制所有利益相关方的所有维修相关活动,将维修质量落实到维修保障体系的各个环节,民用航空领域经过多年经验教训学习与积累,形成了一系列适航规章。这些适航规章规定了民用飞机在全寿命周期内主制造商、供应商、运营人及维修机构等所须遵循的最低要求,层次清晰、系统配套、内容完善。中国民航局针对民用航空器维修相关活动制定的一系列规章文件如图 8 所示。

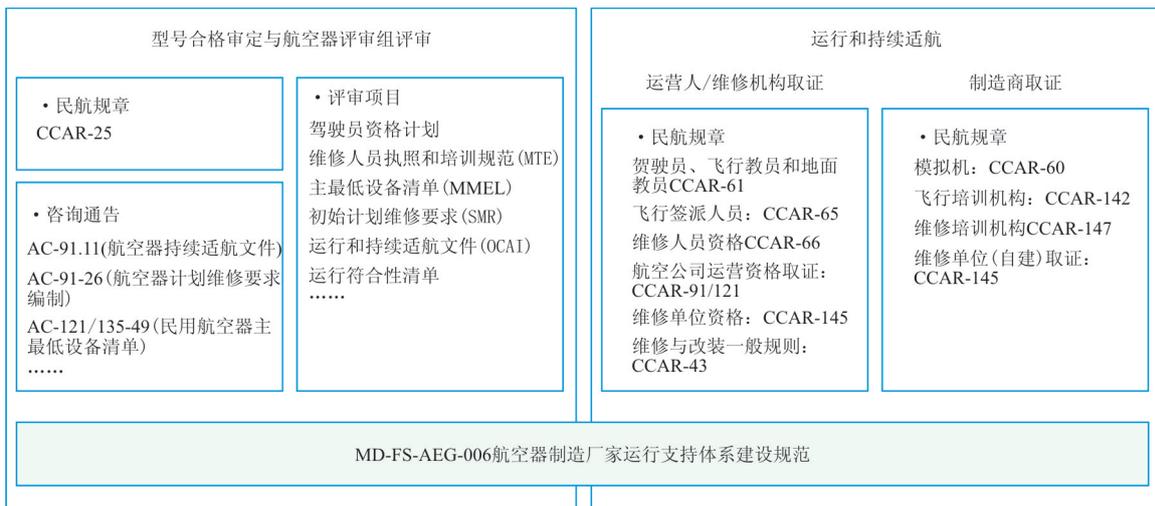


图 8 维修活动相关中国民航适航规章体系

Fig. 8 China Civil Aviation airworthiness regulations related to maintenance activities

### 6 国防装备在保障方面的难题

20 世纪 90 年代及 21 世纪初的现代化局部战

争得出一个结论:高技术战争给保障系统造成了巨大压力,优化、加强保障系统比采办新一代飞机、坦克更为重要,即使在力量悬殊的“不对称”战争中,

装备受损相对较轻的情况下,装备保障仍然是保持和恢复部队战斗力的重要因素。高度重视装备保障工作,强调装备保障在现代化战争中的重要作用,已是世界发达国家的一致共识和共同做法。

但随着以高新技术为核心的新型装备批量配发,装备体系结构正在发生较大变化,国防装备保障问题已成为各国军队面临的世界性难题。新型装备技术先进、结构复杂、价格昂贵,一方面对装备保障提出了越来越高的要求,部队形成保障能力周期较长、经费投入量大,另一方面其作用原理、损坏机理和保障特点也发生了较大变化,传统的保障模式、方式、手段、技术等需要不断创新或整合才能满足使用期望。

## 7 民用飞机维修体系在国防装备保障领域的应用启示

为了满足现代高技术战争的需要,国防装备须具有快速出动能力和高战备完好性。民用飞机完备的维修体系充分保障了其运行的安全性、可靠性与经济性,所积累的成功经验对进一步改善我国国防装备保障水平具有很高的借鉴价值。

### (1) 技术方面

①在装备研制初期,开展充分的客户需求分析,准确捕获可靠性、维修性、测试性、保障性、经济性等方面的需求,在装备研制全过程对各项需求进行严格控制,确保各项需求得到有效落实。

②重视健康监控与管理技术的应用,一方面当装备故障受损时,地面能够快速反应,有效降低装备停场时间;另一方面,通过地面数据分析,能够主动预测故障的发生,从而降低非计划维修频次,提升可用性。

③全面推行综合后勤保障(ILS)工作,基于先进的国际标准,通过制定和全面实施综合后勤保障计划,开展后勤保障分析,确定装备的保障方案,科学合理地规划地面保障设备、备件供应、人员及人力、人员培训及训练设备、技术出版物等,确保在交付装备的同时,交付各种保障资源,以满足用户规定的战备完好性要求,降低使用和保障费用。

④推行以可靠性为中心的维修(RCM)理念,使用RCM分析方法制定并优化维修计划,争取以最低的维修费用维持要求的迅速出动能力与战备完好性。

⑤采用交互式电子技术出版物、数字化维修与管理平台等手段提升国防装备保障效能。

### (2) 保障模式方面

①对不同研制期装备,依据设计特点优化保障策略,当装备设计具备较高的可靠性、维修性、测试性后,可逐步由3级维修过渡至2级维修,即基层级和基地级。

②保障模式应遵循结构合理、规模适度、配置适当、平战结合、军民一体的原则,对装备实施全方位保障,在保留核心维修能力的基础上,应稳步加大工业方在装备保障中承担的份额。

③建立备件共享体系,实施全寿命周期多级、横向供应策略,有效降低库存成本。

④与“飞行小时服务”类似,可使用“基于性能的后勤”(PBL)策略,由军方向制造商或供应商购买性能,以达到共赢。

⑤建立层次清晰、系统配套、内容完善的法规制度体系,确保装备维修保障工作有法可依、有章可循。

## 8 结束语

为了加强和完善国防装备维修保障体系,针对当前国防装备保障方面存在的问题,本文从军民融合的视角提出了民用飞机维修体系建设经验在国防装备保障领域的应用建议,并在技术和保障模式两个方面为其提供了建议和指导:在技术方面,将民用飞机维修体系中的客户需求分析、健康监控与管理技术、先进国际标准、以RCM的维修理念以及数字化管理等引入国防装备,完善国防装备技术研究;在保障模式方面,将民用飞机的维修策略、保障模式、备件供应规划、PBL策略、标准的制度体系等融入国防装备领域,健全发展国防装备的保障模式。

### 参考文献

- [1] 唐桂平. 民用飞机制造商客户服务标准体系介绍[J]. 航空标准化与质量, 2014(2): 6-9.  
Geng Guiping. Introduction of customer service standard system for civil aircraft manufacturers [J]. Aeronautic Standardization and Quality, 2014(2): 6-9. (in Chinese)
- [2] 杨王锋. 国产民机运行支持管理规范体系研究[J]. 航空维修与工程, 2016(12): 34-37.  
Yang Wangfeng. Research on operation support management specification system of domestic civil aircraft [J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2016(12): 34-37. (in Chinese)

- Chinese)
- [3] 汤小平. 浅谈民机制造商运行支援体系和能力建设[J]. 航空维修与工程, 2017(7): 20-21.  
Tang Xiaoping. Discussion of operation support system and capability building for civil aircraft manufacturers[J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2017(7): 20-21. (in Chinese)
- [4] 董鹏. 民机运行支持体系内容及适航要求的研究[J]. 航空维修与工程, 2017(7): 67-69.  
Dong Peng. Research on content and airworthiness requirement for operation support system of civil aircraft[J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2017(7): 67-69. (in Chinese)
- [5] 王银坤. 中国通用航空维修管理体系建设研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2013.  
Wang Yinkun. Research on the construction of general aviation maintenance management system in China[D]. Guanghan: Civil Aviation Flight University of China, 2013. (in Chinese)
- [6] 董苏光. 航空公司的MRO发展策略[J]. 航空维修与工程, 2010(7): 16-17.  
Dong Suguang. MRO strategy of air transportation enterprise[J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2010(7): 16-17. (in Chinese)
- [7] 任明仑, 杨旭, 付杰. 面向运维服务的装备MRO知识管理系统研究[J]. 合肥工业大学学报, 2014, 37(12): 1505-1512.  
Ren Minglun, Yang Xu, Fu Jie. Research on MRO knowledge management system for equipment operation and maintenance service[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2014, 37(12): 1505-1512. (in Chinese)
- [8] 赵红竹. 对供应商航材支援合作模式和策略的初步研究[J]. 航空维修与工程, 2014(5): 82-85.  
Zhao Hongzhu. Research on the cooperation model and policy of supplier spares support[J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2014(5): 82-85. (in Chinese)
- [9] Deshpande V S, Modak J P. Application of RCM to a medium scale industry[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2002, 77(1): 31-43.
- [10] 贾希胜. 以可靠性为中心的维修决策模型[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.  
Jia Xisheng. Reliability centered maintenance decision model[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. (in Chinese)
- [11] 陈叶菁, 龚时雨. 以可靠性为中心的维修思想[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(6): 60-62.  
Chen Yejing, Gong Shiyu. The idea of reliability center maintenance[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2006, 32(6): 60-62. (in Chinese)
- [12] 武禹陶, 贾希胜, 温亮, 等. 以可靠性为中心的维修(RCM)发展与应用综述[J]. 军械工程学院学报, 2016, 28(4): 13-21.  
Wu Yutao, Jia Xisheng, Wen Liang, et al. A review of reliability centered maintenance(RCM): development and application[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2016, 28(4): 13-21. (in Chinese)
- [13] ATA. MSG-3 Operator/manufacturer scheduled maintenance development[S]. American: ATA, 2015.
- [14] 孙滨, 梁刚, 谈云峰. MSG-3在民用航空器维修大纲制定中的应用[J]. 航空工程进展, 2016, 7(2): 259-264.  
Sun Bin, Liang Gang, Tan Yunfeng. Application of MSG-3 in developing maintenance program of civil aircraft[J]. Advanced in Aeronautical Science and Engineering, 2016, 7(2): 259-264. (in Chinese)
- [15] EASA. IP44 Evolution/optimization guidelines IMRBPB issue paper 44(Issue 3)[S]. Europe: EASA, 2007.
- [16] 左洪福, 蔡景, 吴昊, 等. 航空维修工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.  
Zuo Hongfu, Cai Jing, Wu Hao, et al. Aeronautical maintenance engineering[M]. Beijing: Science Press, 2016. (in Chinese)
- [17] 陈志英, 陈光. 航空发动机维修性工程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.  
Chen Zhiying, Chen Guang. Aeroengine maintainability engineering[M]. Beijing: Beihang University Press, 2013. (in Chinese)
- [18] AIA/ASD. S3000L International procedure specification for Logistic Support Analysis (LSA) Issue 1. 1[S]. Europe: ASD/AIA, 2014.
- [19] 吴昊. 民用飞机规划维修技术理论及应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.  
Wu Hao. Research on theory and application of civil aircraft maintenance planning[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009. (in Chinese)
- [20] 贾宝惠, 于灵杰, 蔺越国, 等. 基于AHP-SPA方法的民机修理级别确定综合分析模型[J]. 航空学报, 2017, 38(11): 221130-221130.  
Jia Baohui, Yu Lingjie, Lin Yueguo, et al. Comprehensive analysis model for determination for civil aircraft repair level based on AHP-SPA method[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2017, 38(11): 221130-221130. (in Chinese)
- [21] ATA/A4A. Specification 2200 information standards for aviation maintenance[S]. America: ATA/A4A, 2012.
- [22] AIA/ASD. S1000D international specification for technical publications utilizing a common source database issue 4. 1[S]. Europe: AIA/ASD, 2012.

#### 作者简介:

王莹(1984—),女,学士,工程师。主要研究方向:民用飞机客户服务。

马小骏(1962—),男,博士,研究员级高级工程师。主要研究方向:民用飞机客户服务。

(编辑:马文静)