

航空发动机维修数字化管理系统研究*

武三栓¹, 常智勇², 李联辉³

(1. 中国航发南方工业有限公司, 株洲 412002;

2. 西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室, 西安 710072;

3. 北方民族大学机电工程学院, 银川 750021)

[摘要] 针对航空发动机维修业务过程的数字化管理问题, 分析了现有模式中存在的问题, 提出了航空发动机维修数字化管理系统的应用架构, 研究了系统中多 BOM 之间的演变关系以及与其他信息化系统之间的关联关系, 给出了技术状态管理、物料条码管理、数字化军检等关键功能的设计方案。

关键词: 航空发动机; 维修业务; 数字化管理系统; BOM

Research on Aeroengine Repair Digital Management System

WU Sanshuan¹, CHANG Zhiyong², LI Lianhui³

(1. AECC South Industry Co., Ltd., Zhuzhou 412002, China;

2. Key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology, Ministry of Education, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

3. College of Mechatronic Engineering, Beifang University of Nationalities, Yinchuan 750021, China)

[ABSTRACT] To solve the digital management problem in aeroengine repair business process, the shortness of existing mode is analyzed, and the application framework of aeroengine repair digital management system is put forward. Then the multi-BOM evolution relationships and the correlations between this system and other information systems are studied, and the design schemes of key function such as configuration management, material barcode management, digital army inspection are given.

Keywords: Aeroengine; Repair business; Digital management system; BOM

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2017.03.101

作为飞机的关键部件, 航空发动机是一个国家国防实力和科技水平的重要象征之一。在服役过程中, 航空发动机需经历多次维修业务活动, 这些业务活动是保证发动机服役质量的关键过程, 事关整个飞行器的飞行安全^[1-4]。航空发动机维修是一个具有战略意义且蕴藏着惊人经济效益的领域。2004 年以来, 全球航空维修市场价值已经超过了航空制造价值, 而发动机维修占整个航空维修市场 35% 以上。未来 10 年, 航空发动机维修市场的年增长率保持在 4.5%~4.7%。在这种情况下, 各大航空发动机生产厂商纷纷调整发展战略, 改变只通过销售产品或零备件获利的模式, 大力发展航空发动机维修业务, 提高市场份额^[5-8]。

航空发动机的维修业务过程涉及维修工艺设计、工装设计、维修过程管理、质量状态控制、单台份技术

状态控制、履历数据管理等多个方面, 涉及到上万个零件, 其业务流程非常复杂, 技术状态管理难度大, 精度和质量要求严格, 对工艺管理和生产管理都提出了更高要求^[9]。在这种情况下, 如何提高发动机维修质量和效率、降低维修过程出错率、缩短维修周期就成为当前必须解决的重大瓶颈问题。目前, 维修业务管理仍采用较为落后的人工管理、纸质履历模式^[9-10]。因此, 为提高航空发动机维修业务管理水平, 本文设计和开发了面向航空发动机维修阶段的业务流程控制、技术状态管理、质量管理、信息集成等需求的航空发动机维修数字化管理系统(Aeroengine Repair Digital Management System, ARDMS), 从而形成航空发动机维修过程的数字化管理新模式, 并通过在维修企业的应用验证了其可行性。

1 问题分析

航空发动机维修数字化管理系统需与 ERP(Enterprise

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51375395); 宁夏高等学校科研项目(NGY2016141)。

Resource Planning)、PDM (Product Data Management)、TDM (Telemetric Data Monitor) 等信息系统及中央仓库系统进行集成,实现信息交互、共享和重用。通过对航空发动机维修业务流程的分析,当前的人工管理、纸质履历的模式中存在的问题主要为以下 7 个方面:

(1) 技术状态管理复杂。在整个航空发动机的维护和维修过程中,需要掌握发动机物料信息,装配过程中进行了哪些贯改? 在完成服役期间进行了哪些换件? 而这些信息由于时间跨度较长,同时信息分散在各处,不易进行控制和管理。

(2) 物料的齐套性(包括 ERP 中的缺件信息、维修现场的转工信息等)不易检查,加大了计划排产的难度。

(3) 航空发动机的维修过程中经常发生串换件,目前的管理模式对串换件信息的追溯比较困难。

(4) 寿命件的跟踪和管理难度较大,回厂返修发动机的寿命件信息的管理不够智能化,实现寿命件的换件提醒比较困难。

(5) 发动机的排故和大修工作生产节点众多,生产过程较长,涵盖了接收、分解、清洗、故检、修理、配套、装配、试车、油封等各个环节,加大了管理的难度。

(6) 维修现场的过程与质量数据繁杂且分散度高,目前的现场监控方式不够严密,且现场数据采集反馈的

及时性、准确性不够高,这些都给发动机的维修效率和质量带来了隐患。

(7) 航空发动机维修的特点要求对其装配过程必须采取高效的监控手段,进行严格的过程与质量控制和管理,但是目前缺乏有效的信息化手段对其进行有效的控制。

2 系统结构

2.1 整体架构

按照稳定性、易用性、开放性、模块独立、通用性、信息隐藏和局部化等设计原则要求,系统的整体架构如图 1 所示。

由图 1 可以看出,系统以待修发动机为输入,以修理完成的合格发动机及其技术状态数据为输出。系统的核心业务由维修管理子系统、修理管理子系统、装配管理子系统和技术状态控制子系统构成。其中,维修管理子系统涉及发动机接收、修理技术通知编写、发动机清洗、故检、集件、配料等业务;修理管理子系统涉及零件修理的工艺编制、计划调度等业务;装配管理子系统涉及发动机部装、总装、试车等业务;技术状态控制子系统实现发动机修理的物料状态、工艺状态、质量状态、贯改状态和归零状态的控制,形成数字化的发动机修理履

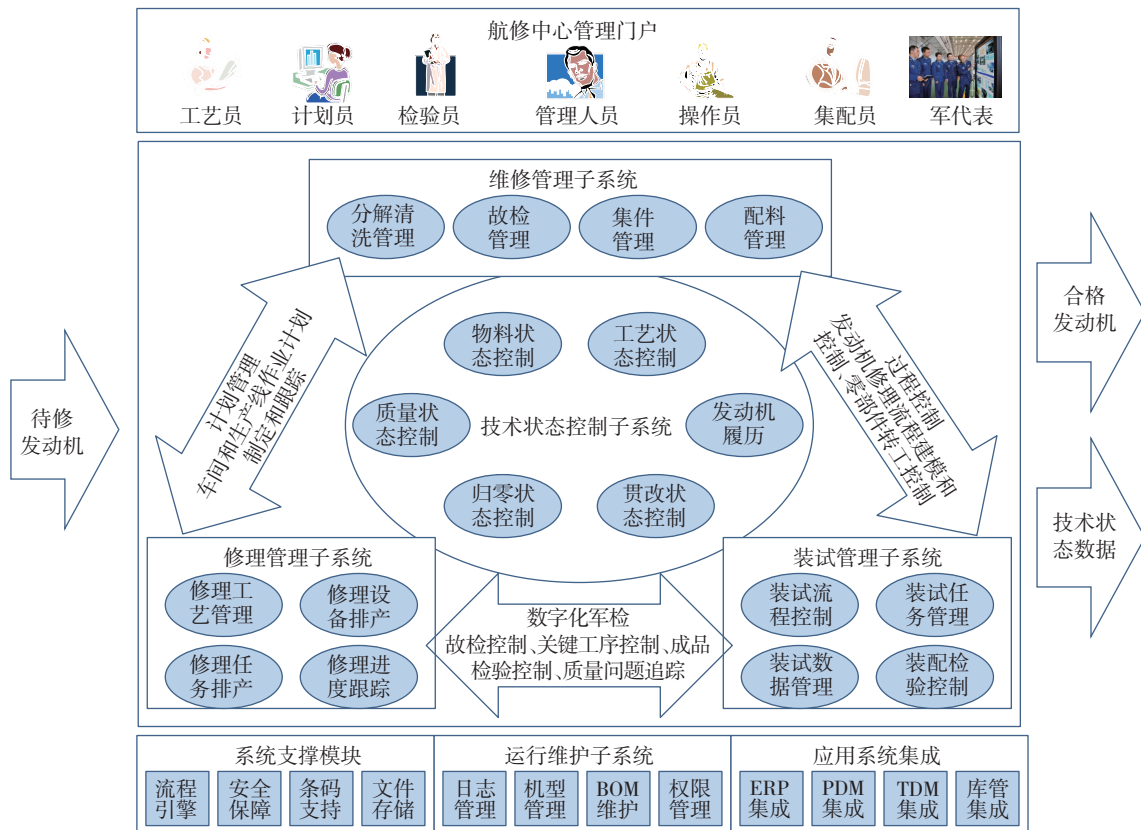


图1 航空发动机维修数字化管理系统整体架构
Fig.1 Overall framework of ARDMS

历。维修管理子系统、修理管理子系统和装配管理子系统通过计划管理、过程控制和数字化军检紧密联系,形成以发动机修理全过程管理和技术状态控制为核心的数字化管理模式。

此外,系统支撑模块主要实现流程引擎、安全保障控制、条码支持和文件存储等功能;运行维护子系统完成机型管理、用户管理、日志管理、权限管理等功能;系统集成模块实现与 ERP、PDM、TDM、中央仓库等系统的数据交换。系统的所有功能通过统一的航修中心管理门户支持各类人员的业务需求。

2.2 多BOM间演变关系

航空发动机维修数字化管理系统中 BOM (Bill of Material) 的演变关系如图 2 所示。系统以一台待修的发动机作为输入,经分解、清洗、故检后形成原始的发动机 BOM。故检后,各零部件根据故检结论的不同,分别执行使用、报废、修理、外协、换件等子流程,并以入库作为各子流程的结束。集件、配料时,分别以各部件为单位进行齐套性检查。经过总装,修理后形成的发动机 BOM 与原始 BOM 在技术状态上有显著不同。试车合格后,形成合格的发动机,否则再次进行故检,开始又

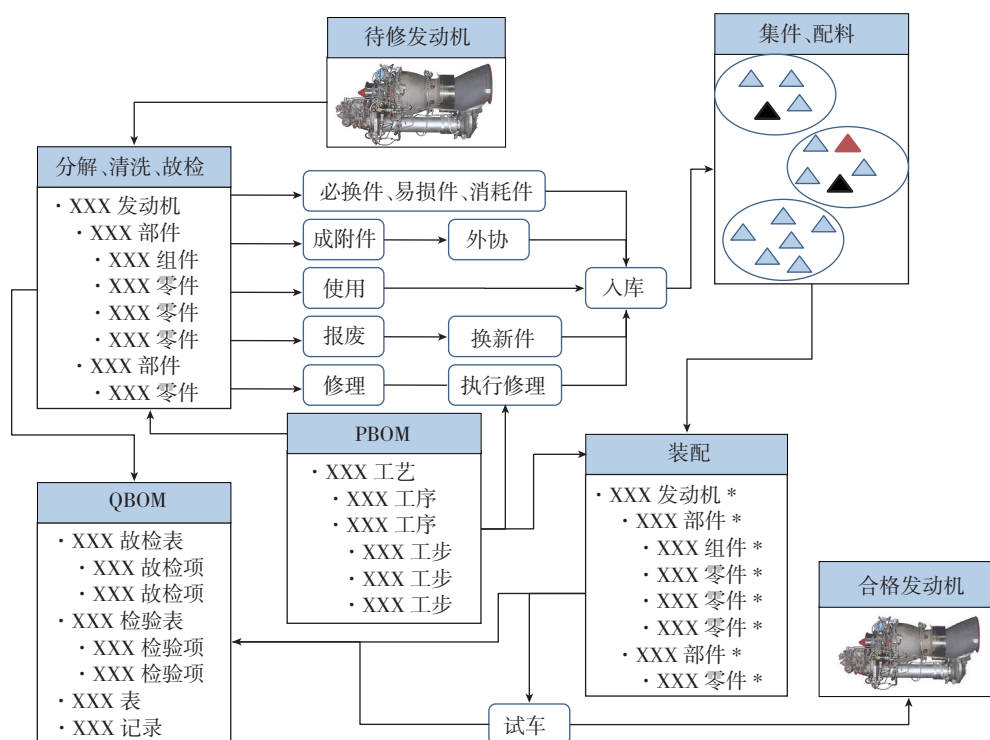


图2 多BOM间演变关系

Fig.2 Evolutionary relationships of multi-BOMs

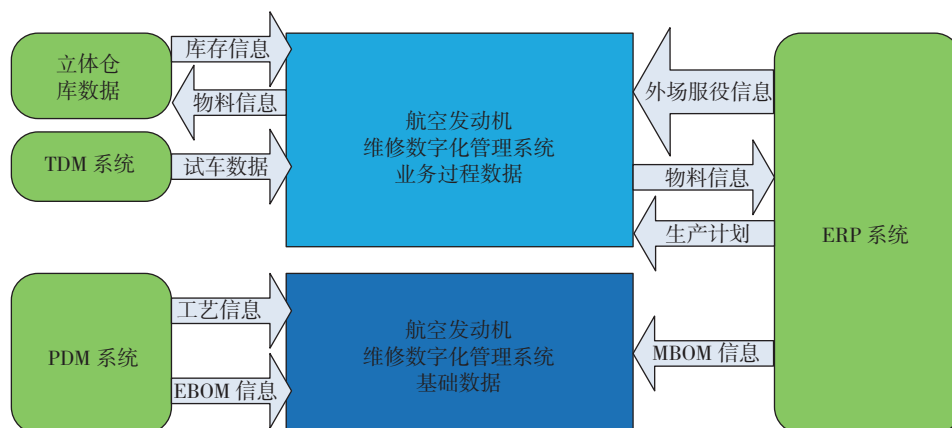


图3 ARDMS与其他信息化系统之间的关系

Fig.3 Relationships of ARDMS and other systems

一个装试循环。在发动机分解、清洗、故检、修理和装配过程中,均按照 PBOM 统一管理的工艺信息执行相应操作,产生的各种质量表单和记录则以 QBOM 的形式统一管理。

2.3 与其他信息化系统之间的关系

本系统的数据分为两类:一类是系统的基础数据,如 MBOM、PBOM、QBOM、TBOM 等,在系统实施过程中生成,由系统的实施工具进行维护;另一类数据为业务过程数据,在发动机的维修和排故过程中产生,主要包括发动机的履历信息、生产任务信息、技术状态信息等。

其中,系统基础数据中的 MBOM 信息应该由 ERP 系统获取,而用于指导生产的工艺信息以及零件的三维模型、二维工程图等数据应该从 PDM 中获取。在生产过程中,系统需要与 ERP 系统通信获取配料信息、生产计划以及返厂发动机在外场的服役情况,同时从 PDM 系统中间接地获取当前生产所需要执行的工艺信息等内容,从 TDM 系统中获取试车数据,与立体仓库交换电子订单数据,并从立体仓库中获取库存信息,如图 3 所示。

3 关键功能设计

3.1 技术状态管理

技术状态管理是指应用技术和手段对产品技术状态进行标识、控制、审核和纪实的活动。具体到本系统对于航空发动机的技术状态管理,就是通过信息化系统对于在发动机维修或者装配过程中用了什么东西,做了什么操作,产生了什么数据进行记录、控制和审核。具体而言,在航修信息化系统中所记录的内容应包含以下信息:发动机物料信息、贯改执行情况、技术文件及所使用工艺、质量表单(包括检验表、故检表、转工单)、超差、技术通知、故检归零。

(1) 物料信息管理。接收工艺员在接收发动机时填写发动机的基本信息。分解员在分解阶段填写部件的信息。故检员在故检时需要确认零件状态在生成条码的同时将零件信息录入,零件的状态包括用、抛修、报废、修、办单。用、抛修的零件入库;修的零件两种处理途径:一种办理转工单至机加线修理;一种是办理转工单至外厂修理;报废的零件需要通过 ERP 等流程申请新件。集件员在收集零件时填写报废件的替换件信息,成附件信息及消耗件(必换件、易损件)信息。在集件期间,当转工件、报废件不能及时到位时会进行换件。在此期间,将成附件、报废件、消耗件等信息录入,形成完整的物料 BOM,如图 4 所示。

(2) 贯改执行管理。贯改信息作为整个大修过程中最为关注的技术状态信息之一,系统将通过以下方式

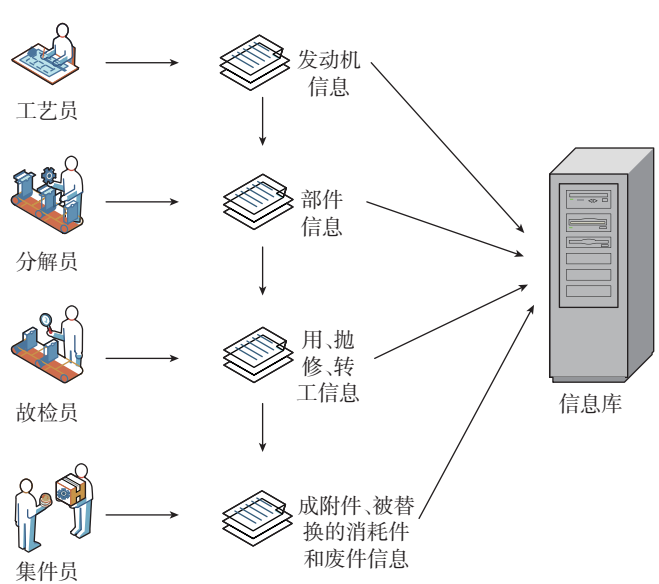


图4 物料信息管理

Fig.4 Material information management

对其进行管理。

- 机型贯改信息的生成。系统将建立机型贯改信息库,由实施人员在进行机型实施的过程中,录入所有该机型中需要执行的贯改。包括贯改编号、名称、贯改文件、备注信息、贯改对应的物料编号及备注等。

- 发动机贯改信息的生成。工艺员接收发动机后,填写接收文档,同时将该发动机对应机型所可能执行的所有贯改信息展示出来,由工艺员根据外场履历本依次去掉所有已经执行过的贯改信息,由此确定所有需要在大修发动机上执行的贯改。

- 贯改的执行。当操作员执行一项贯改时,操作员调出贯改确认界面,选择所执行的贯改信息,并打卡确认(对于需要检验员确认的贯改,将加入检验员打卡操作),系统将自动记录贯改的执行人、执行时间、检验者。

- 贯改的检查。系统提供一个统一的贯改检查窗口,用于展示所有的已执行和未执行的贯改,由管理人员随时查阅。

(3) 质量表单管理。系统随着整个维修发动机各个生产任务的逐步展开,记录了发动机的各项质量表单,并对于有需要的重要表单进行结构化存储,如图 5 所示。

3.2 条码管理

条码技术(Barcode Technology)是在计算机的应用实践中产生和发展起来的一种自动识别技术。它是为实现对信息的自动扫描而设计的,是一种实现快速、准确而可靠的采集数据的有效手段。条码技术的应用解决了数据录入和数据采集的瓶颈问题,为现代物流及供应链管理提供了有效的技术支持。

在 ARDMS 中,物料信息的管理是整个系统信息化管理的一个重要方向,为了能够有效解决管理物料的流向、统计物料的集件信息、实现快捷的物料清点、减少系统用户的数据输入量,我们将条码系统引入到整个系统内。

整个条码在系统中的管理包含以下几个方面:条码的编码、条码的生成、条码信息的管理等,为此我们设计了相应的物料条码应用方案,对其约定如下:

- 一个条码只对应一类物料,对于相关重件进行单件管理;对于小件可一次管理多件。
- 使用物料号作为系统中物料所对应的唯一标识。
- 系统中存储的数据应支持根据条码在系统中查询出条码所对应物料的物料名称、物料图号、批次号或单件号、所属发动机、所属部件。

条码上显示的内容包括物料的名称、物料图号、批次号或单件号、所属发动机、所属部件等信息。系统将

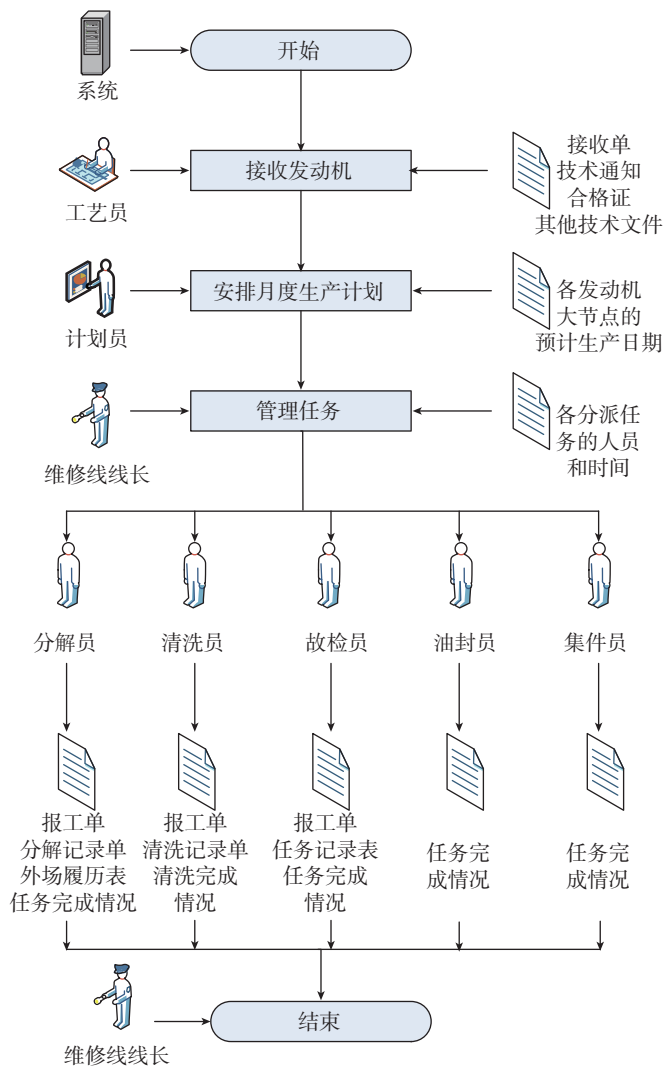


图5 质量表单管理

Fig.5 Quality table management

在以下几个方面进行条码的生成操作:

- 故检完成后,标注为“用”、“抛修”、“转工”的物料直接进行条码的生成。
- 故检过程中,标注为“废”的物料在用于替换废件的新件入库时进行条码的生成操作。
- 仓库批量采购的新件,在进入车间入库时,进行条码的生成操作。
- 对于转工完成,需要入库的物料,如果条码在转工过程中已经损毁,则在入库时补打条码。

3.3 数字化军检

数字化军检的主要内容包括:成品检验验收、固定项目提交、技术文件控制、质量问题处理与跟踪等。数字化军检通过对修理过程中的关键节点控制,实现了对发动机修理全过程的数字化质量监督。

成品验收流程如图 6 所示。首先,由总装检验员向军代表提交成品检验。系统暂停,等待军代表处理。军代表进行电子履历本的审查,并检查发动机的外观质量,当这两项都合格以后,通过总装军检;否则,军代表将处理意见反馈给总装检验员,等待总装检验员再次处理。

军代表在系统中完成总装军检任务的步骤如下:

- (1) 进入首页后,看“我的任务”中是否有“为发动机审查检验试车”项,若有,则点击进入“检验试车审批”。
- (2) 审查装配履历本信息,也可以根据需要选择查看换件信息。
- (3) 审批试车通知单。
- (4) 当前述工作完成以后,军代表在“检验试车审

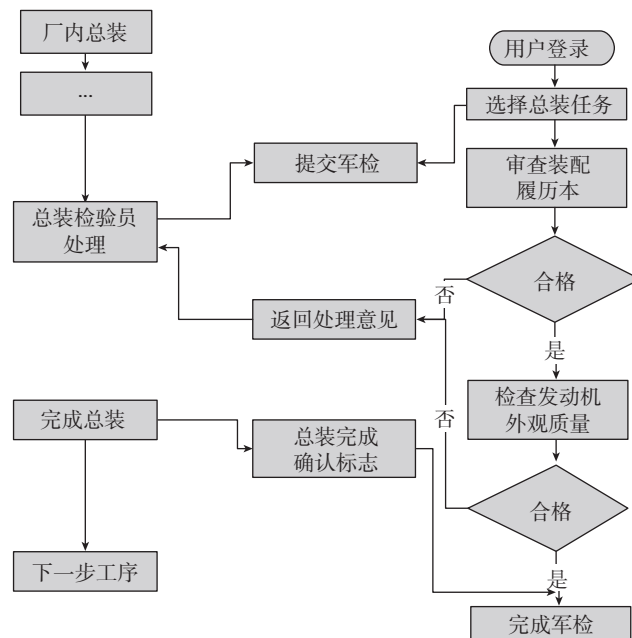


图6 成品验收流程

Fig.6 Approval process of finished product

批”页面中选择“同意”,就可以完成对检验试车的审批,同时系统自动在军检首页中生成一项新的任务“为发动机判断是否满足质量要求”。

(5)军代表在现场完成对发动机实物质量的检查。

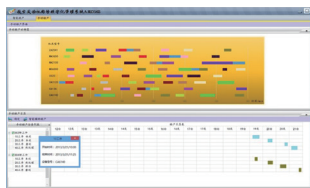
(6)实物质量合格以后,军代表进入系统,选择“为发动机判断是否满足质量要求”的任务,对发动机质量给予确认。这一步工作完成以后,整机在装配车间的任务才全部完成,发动机可以进入下一步试车工序。

4 应用示例

针对维修业务流程的实际需求,借助信息化技术开发出了 ADEMS。该系统是在航空发动机维修业务流程模型研究的基础上结合工作流、结构化表单等技术,实现对维修业务的过程管理控制和电子履历的生成,已在某航空发动机维修企业进行了应用。系统运行界面示例如图 7 所示。



(a) 计划员添加维修发动机



(b) 计划员排产



(c) 工人执行维修工序并填写记录

图7 系统运行界面应用示例

Fig.7 Application example of system operation interface

5 结束语

航空发动机的维护维修工作是全寿命周期过程中至关重要的环节,如何提高发动机维修质量和效率、降低维修过程出错率、缩短维修周期成为当前必须解决的重大瓶颈问题。

为解决上述问题,满足未来发动机维护工作的需求,在航空发动机维修企业建立一套完善的信息化系统,形成发动机排故、维修、大修流程管理和数据集成的数字化新模式,能够为航空发动机高效优质维修工作打下良好基础。

参考文献

[1] 孙永全,任和,郭建英,等.多种故障/维修分布的客运飞

机组成单元可用性评定方法[J].机械工程学报,2014,50(16):54-61.

SUN Yongquan, REN He, GUO Jianying, et al. Availability assessment for passenger aircraft subsystem with different lifetime and repair-time distribution[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(16):54-61.

[2] 李联辉,莫蓉,常智勇,等.面向全寿命周期技术状态管理的航空发动机 AMRO 支持系统[J].计算机集成制造系统,2013,19(12):3087-3098.

LI Lianhui, MO Rong, CHANG Zhiyong, et al. Aero-engine AMRO support system for whole lifecycle configuration management[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(12): 3087-3098.

[3] 苏春,周小荃.基于半马尔科夫决策过程的风力机状态维修优化[J].机械工程学报,2012,48(2):44-49.

SU Chun, ZHOU Xiaoquan. Condition-based maintenance optimization for wind turbines based on semi-markov decision process[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(2):44-49.

[4] 孙惠斌,常智勇.航空发动机装配技术状态数据模型研究[J].航空制造技术,2009(16):74-78.

SUN Huibin, CHANG Zhiyong. Study on configuration data model of aeroengine assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(16):74-78.

[5] NODEM F I D, KENNE J P, GHARBI A. Production planning and repair/replacement switching policy for deteriorating manufacturing systems[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 57(5-8): 827-840.

[6] 王建民,任良全,张力,等. MRO 支持技术研究[J].计算机集成制造系统,2010,16(10):2018-2025.

WANG Jianmin, REN Genquan, ZHANG Li, et al. Maintenance repair and overhaul/operations support technology[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(10):2018-2025.

[7] 李联辉,莫蓉,常智勇,等.基于平衡权重和改进 TOPSIS 的航空发动机装配任务优先度评价方法[J].计算机集成制造系统,2015,21(5):1193-1201.

LI Lianhui, MO Rong, CHANG Zhiyong, et al. Priority evaluation method for aero-engine assembly task based on balanced weight and improved TOPSIS[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(5):1193-1201.

[8] 谢庆华,卢涌,梁剑,等.基于状态的航空发动机维修成本组合预测[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2007,8(4):391-395.

XIE Qinghua, LU Yong, LIANG Jian, et al. Combination forecasting model of aero-engine maintenance costs based on statistic rough sets theory[J]. Journal of PLA University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2007, 8(4):391-395.

[9] 付克亚,李本威.航空发动机维修模糊综合决策方法[J].航空发动机,2007,33(4):55-58.

FU Keya, LI Benwei. Fuzzy comprehensive decision method of aeroengine maintenance[J]. Aeroengine, 2007, 33(4):55-58.

[10] 张学斌,陈云翔,王超,等.军用航空发动机大修能力评估方法[J].火力与指挥控制,2016,41(1):37-40.

ZHANG Xuebin, CHEN Yunxiang, WANG Chao, et al. Method on military aircraft engine overhaul capacity evaluation[J]. Fire Control & Command Control, 2016, 41(1):37-40.

通讯作者:武三栓,高级工程师,研究方向为航空发动机维修技术,Email:wyq383@sohu.com。(责编 古京)