

航空发动机装配数字化技术应用研究

Application Research on Digital Technology of Aero-engine Assembly

中国南方航空工业(集团)有限公司 张招建 曹 斐 马江林

[摘要] 通过对航空发动机装配数字化的应用背景、流程优化、关键技术、数据集成、知识重用等方面进行了深入的研究与探索,系统地提出了装配数字化的一套合理的解决方案,对于提高装配质量水平,实现精益化装配指出了一条可行的路线。

关键词: 装配 数字化 可视化 流程优化

[ABSTRACT] Through deeply research and exploration on digitization application background, process optimization, key technologies, data integration, knowledge reuse and other aspects of aeroengine assembly, a set of reasonable solution for digital assembly, which points out a feasible route for improving assembly quality standards and realizing lean assembly.

Keywords: Assembly Digitization Visualization Process optimization

航空发动机的技术水平对于国家的科技实力乃至国家的综合国力的提高有着举足轻重的作用,他既是航空武器装备、民用飞机和巡航导弹的动力,改型后可作为舰船和坦克装甲车辆的动力,在燃机发电和其他民用产品方面也有广泛的用途,是一个国家国民经济的重要支柱产业之一。

装配作为航空发动机制造过程中的最后环节,对产品特性的形成起到关键的作用,航空发动机的装配技术涉及装配仿真、装配工艺设计、工装设计、装配过程管理、质量状态控制等多个过程,涉及到上万个零件,其业务流程复杂,装配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的要求。如何提高航空发动机装配质量和效率、降低装配出错率、缩短装配周期成为必须解决的重大瓶颈问题。

为了满足航空发动机装配技术的发展需求,我们认为需要全面、系统地研究航空发动机装配数字化技术的应用,采用精益装配的思想、利用信息化手段,探索发动机装配过程和数字化管理的新模式。从实际情况出发,不断积累经验,为航空发动机的高效优质装配积累经验。

1 精益装配数字化的总体框架

1.1 总体框架

装配数字化包括过程数字化、状态数字化和质量数字化,需要从3个维度进行考虑,第一个维度是从业务流程精益化出发,全面优化系列发动机的部件装配、整机装配、发动机的大修、排故等工艺布局,确定数字化的应用范围;第二个维度是技术维度,从部件或整机的三维模型、MBOM、装配工艺规程、可视化的装配模拟、工检合一的记录表单、整机的装配履历表单、装配知识等数字化;第三个维度是生产管理维度,从装机订单任务、发动机号、技术状态信息、整机领料表、部件检验信息、装机进度控制、过程

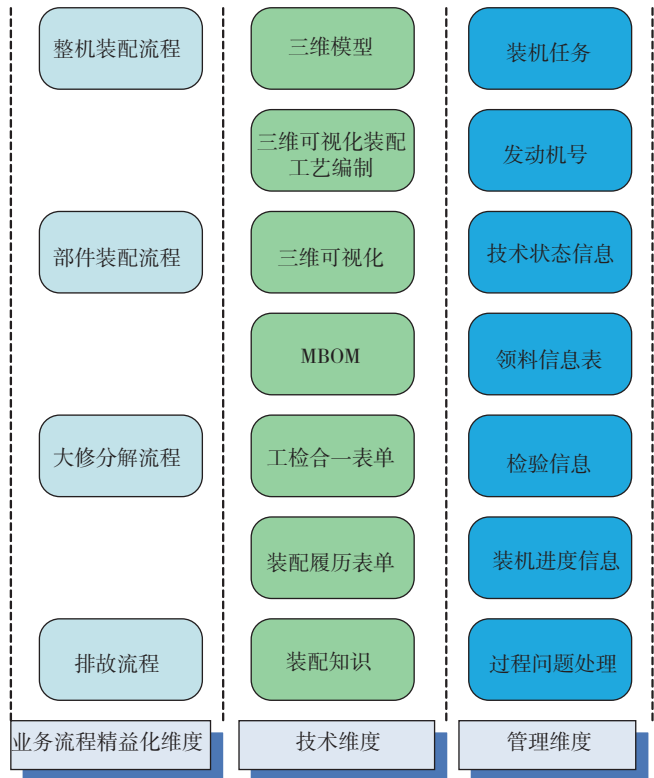


图1 精益装配数字化总体设想
Fig.1 Overall plan of lean assembly digitization

问题等反映过程的数字化,如图1所示。

基于以上的总体设想,借鉴国内、外同行的发动机生产及维修企业在装配数字化上的先进理念和作法,始终以装配任务、装配工艺的执行、技术状态控制、问题反馈及处理、知识管理、发动机履历数据的结构化、质量信息的数据分析、维护维修的数字化为目标,从3个维度来不断完善

数字化的过程,为整机 MRO 数字化系统打下基础。

1.2 研究的主要内容

以装配工艺的三维动态可视化、装配知识管理、技术状态管理等方面支持装配工艺精益化;以装配任务管理、装配流程控制、配料单管理、装配过程仿真等方面支持装配生产监控;以实物技术状态控制等方面提升产品的质量水平。

装配数字化的实现需要来自多方面的信息资源,需要一定的信息化基础,如装配工艺设计、PDM、ERP 系统的实施。研究一个方法可行、路线较优的集成方案也是项目的重点任务。

我们从发动机的数据源开始,重点研究装配流程、数据流向、过程控制、用户需要的结果。然后系统之间进行数据及信息的交换,保证信息流的顺畅。图 2 所示为装配数字化功能流程图。

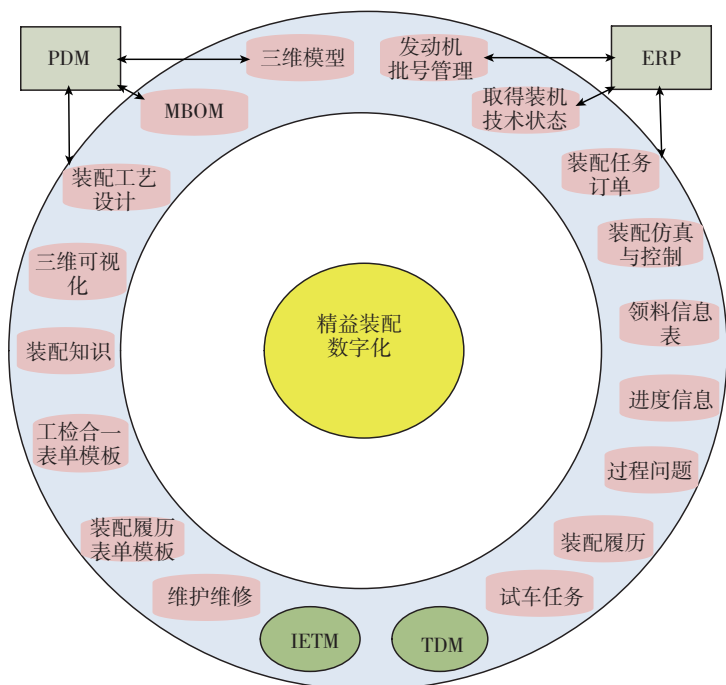


图2 装配数字化功能流程图

Fig.2 Function flow chart of assembly digitization

数据分为 2 类:

(1) 基础数据,如 PBOM、MBOM、QBOM 等,分别在结构工艺编制、装配清单、检验清单应用前产生,应用过程自动生成,由实施工具进行维护。

(2) 生产过程数据,在发动机的装配过程中产生,主要包括发动机的履历信息、生产任务信息和技术状态信息等。

其中基础数据中的 MBOM 信息由 ERP 系统获取,而零件的三维模型、二维工程图等数据由 PDM 或 CAPP 中获取。在生产过程中,系统需要与 ERP 系统通信以

获取配料信息和生产计划订单,并向 ERP 系统反馈执行状态,同时从 PDM 系统中间接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,从装配工艺清单获取对应的测量数据,并生成单台份实际装配数据。

2 装配数字化的技术难点

2.1 三维可视化引导

首先研究在装配现场与任务控制相关联的三维工艺可视化引导方法,针对装配任务及时关联其技术状态,实现装配工艺可视化与装配任务的同步控制^[1],保证装配人员装配操作的正确性。

2.2 多 BOM 关联方法

产品装配过程中涉及的数据主要以 BOM 的形式组织,如 MBOM、PBOM 和 QBOM 等是实现如下功能的基础:

(1) 对于不同的机型建立不同的 MBOM 模板,实现多机型的单件管理;基于 MBOM 的统一数据源,降低产品数据之间的耦合度。

(2) PBOM 实现了对装配工艺的统一管理;PBOM 和 MBOM 之间建立明确的对应关系,实现数据的统一组织。

(3) 以 QBOM 的形式组织产品装配检验信息,统一质量数据的管理;QBOM 和 PBOM 之间建立关联,实现对工序级单步检验的控制。

EBOM、MBOM、PBOM 是装配任务、分解任务、故检任务等任务节点执行所必须的信息,而随着装配任务的进行,这些任务节点相继被执行,产生实际的装配流程,而装配执行过程中的质量数据形成 QBOM,其装配历史形成装

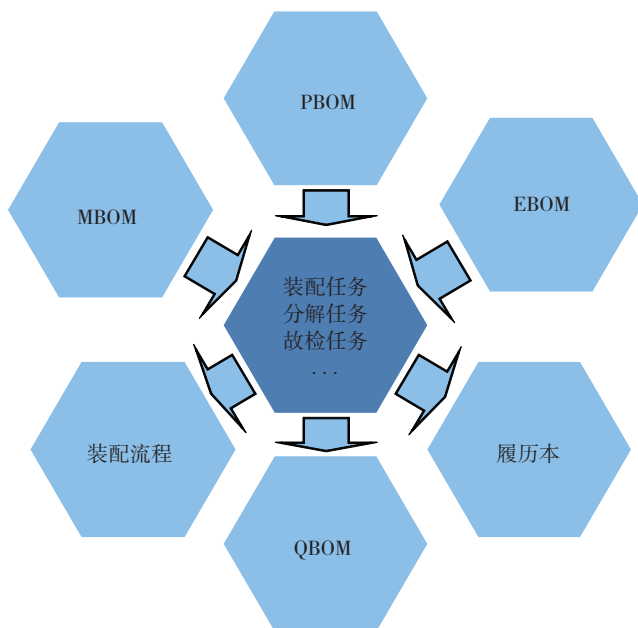


图3 多BOM的关联关系

Fig.3 Relationship of multi BOM

配履历本^[2]。

多BOM关联方法如图3所示。

2.3 数据同步技术

装配数字化系统中零件信息和加工信息分别来自ERP/SAP和CAPP系统。需要实现异构数据库之间的数据同步机制,确保装配数字化和企业其他系统之间的数据同步。

与CAPP系统的集成是装配数字化系统开发的关键,需要CAPP中工艺BOM、工艺路线、工艺简图、图号、工步信息、工装信息、技术要求等数据,并且需要与外部系统间建立数据同步方法,以保证能实时反映工艺信息的变化。

集成ERP系统,实现ERP系统的生产计划、配料状态和配料信息的快速传递,为排产和新建发动机任务提供数据。系统与ERP系统的接口设计方法如图4所示。

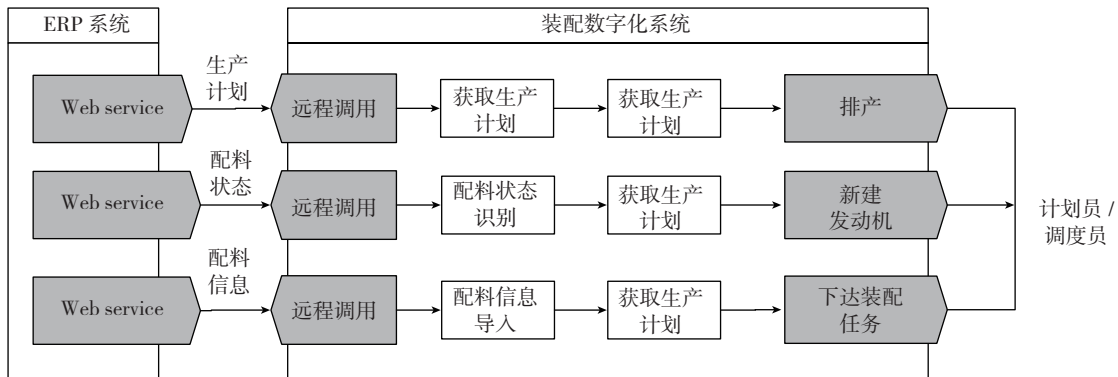


图4 与ERP系统集成

Fig.4 Integration with ERP system

3 装配流程的优化与实践

以精益管理的理念从组织流程、单元布局、精益物流3个方面进行流程优化。

3.1 以精益装配为核心,加强现场管控

以精益装配为核心,加强现场管控,对装配生产线进行优化再造,划分产品族,按型号、产量分线,设置精益装配单元,打通各单元的整个装配流程,建立责任明确、统一指挥、目标一致的装配线,加强生产组织管理能力。

3.2 配装分离,推进配送线建设,改进工作流程

以配送线建设和工作流程调整为核心进行规划,把配送线建设成为服务所有型号的枢纽,解决装配现场发动机台套过多,配套不满足装配需求,现场物流等待的问题。

3.3 推进拉动式生产,进一步改善装配现场秩序

按生产流程进行装配现场的工位细分和区域定置,形成模块化的单工位单台套工作模式;推进拉动式生产,在生产线上建设部件超市和整机超市,解决装配现场存货的问题。

4 装配工艺的可视化

4.1 三维可视化工艺

三维可视化技术的研究与应用,是基于实际的零件或部件的三维模型和装配工艺路线的模拟,不仅可以验证装配工艺的可行性、合理性,而且可以形象地培训装配人员和相关人员对工艺资料的可靠掌握,同时对装配流程有更为清晰的了解。

主要包括三维模型信息的获取,路径的规划和动画实现方法,工步播放控制,动画上传与删除等技术,快速建立二维工艺信息与工艺三维动画之间的对应关系。

基于HOOPS的三维工艺装配动画建模流程如图5所示。

三维模型信息的获取是实现装配工艺可视化首要条

件,零、部件的三维模型是必备的,如何从这些CAD环境下获取我们所需的零部件(整机)的装配模型信息,是进行装配过程动态演示首先需要解决的问题。

模型信息提取有以下3种可能的途径:

(1) 直接利用CAD软件的导出功能。

目前主流的CAD软件,如CATIA、Pro/E等都支持HSF格式的输出,可以很方便地将其导出成HSF文件。

(2) 利用CAD软件的API。

通过CAD软件提供的应用程序编程接口(API)是一种更为安全的做法,由程序供应商提供的编程接口可以保证在各版本之间的一致性以及信息的精确性,但需要对不同的CAD软件开发不同的接口,实现起来较为复杂。

(3) 利用产品模型数据转换标准STEP。

STEP作为国际标准得到了广泛的应用,对CAD软件导出的STEP文件进行解析并由此得到零件模型是一种可行的方法。

为了使系统可以适用于不同CAD平台上的装配模型,本文采用直接从CAD系统中导出HSF格式文件或通

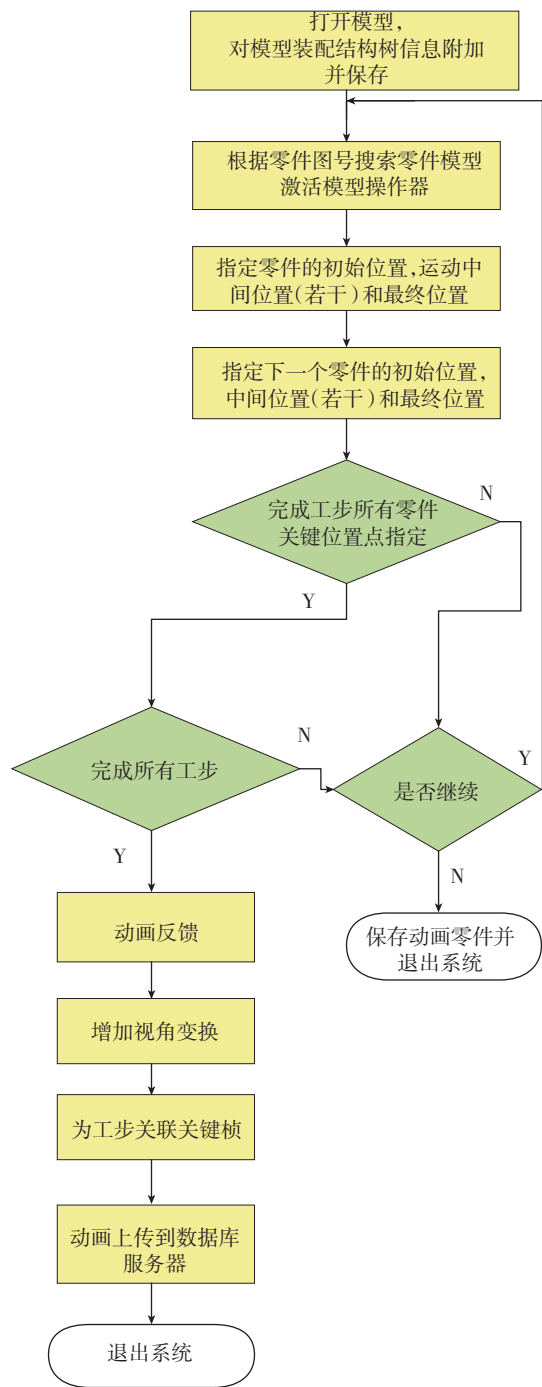


图5 基于HOOPS的三维工艺装配动画建模流程

Fig.5 Flow chart of 3D assembly visualization based on Hoops

过 STEP 中间格式转换为 HSF 格式文件作为系统的零件模型。

4.2 三维装配可视化动画演示

为了更详细地表示装配过程,使装配人员能够有针对性的查看自己关心的装配操作细节,又能对整个工序的装配过程总体把握,提出了工步级动画播放的需求。

装配工艺可视化是以工序为单位生成工艺动画文件,要实现动画播放的工步级别控制^[3],需要解决 2 个主要问

题:

(1)动画的按帧区间播放。

可通过重载 HOOPS/MVO 库中动画播放函数,或者添加新的方法,实现按指定帧区间播放动画。

(2)工步与动画帧区间的关联。

根据装配工艺,为每个工步指定播放区间,赋予动画工步关键帧信息,并将关键帧信息和动画一起保存到服务器中。

5 装配电子履历

5.1 全履历信息电子化

要实现装配履历电子化,装配履历数据个性化定制与存储是必备的。

装配履历表种类多样,采用 Microsoft Office InfoPath 为不同种类的装配履历表定制电子履历表模板,将履历表模板发布到对应表单库,形成对应关系,实现装配履历数据个性化定制。

基于微软 Share Point 平台,为各种履历表建立独立的表单库,用于存储电子履历表单(见图 6)。

对电子履历表的操作主要包括查看、新建、修改、删除。基于 MOSS 平台,通过一系列 Web Services 来支持互操作和远程调用。

根据电子履历表的数据源和对数据操作的要求不同,可采用即时生成和普通存取 2 种方式。

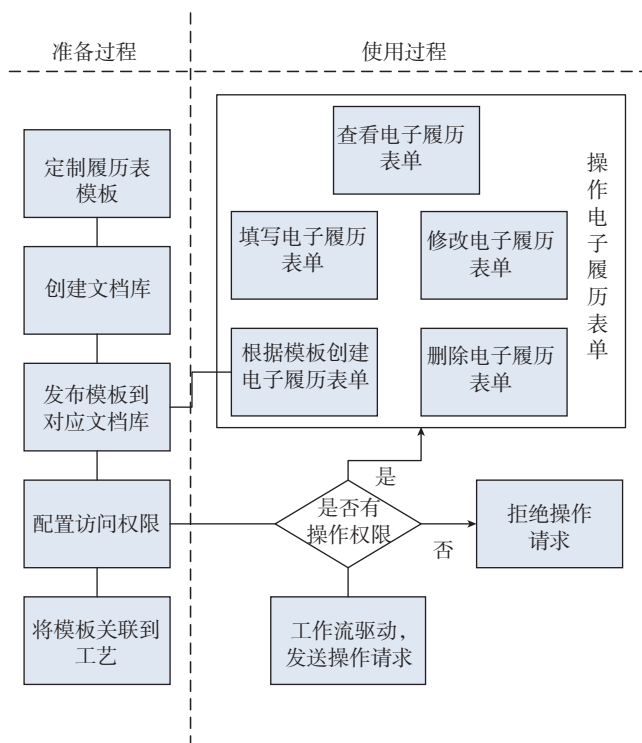


图6 装配履历信息电子化实现方案

Fig.6 Electronic program of assembly history information

(1)即时生成。

有多种履历表如故障检验表、检验表、配料单等,其数据源为已有信息化系统的数据库,此类表单在装配流程中只进行查看操作。接到此类表单操作请求时,调用 Web Services,根据履历表模板在文档库中自动生成表单,并使用数据库中的数据一次性填充,最后返回该表单链接,供使用人员下载查看。一次请求之后,文档库中的表单就不再具有意义,可通过应用程序定时处理这些表单。

(2)普通存取。

多数履历表单需要在装配现场进行新建、修改等操作,接到此类表单操作请求时,调用 Web Services,根据履历表模板在文档库中创建或查询履历表单,返回该表单链接;使用人员下载到本地完成操作,并通过 InfoPath 将履历表发布到对应文档库。

5.2 电子履历状态管理

在电子履历产生过程中,管理控制电子履历的技术状态指标主要有以下 2 种。

(1)自动识别参数错误。

在电子化履历本中,由于所有的电子履历参数都通过 InfoPath 表单与 SQL Server 表相结合进行了结构化设计,这样可以对每个相对应的参数进行设定,设定这个参数的格式、小数点后位数、可允许值范围等,操作人员如果填入错误的参数就会报警提示,如果参数测量没有错误则说明装

配精度要求不够,就会强制要求操作人员进行再装配,在检验合格后才可以再次填入电子化履历中。通过这种方式来防止操作人员在填写装配信息时犯错。

(2)装配履历时间轴式管理。

我们把 1 台发动机从计划下达到生产装配,到投入使用,到回厂检修,到使用报废等过程叫做 1 台发动机的生命时间轴。为了清楚的了解这台发动机在某个时间段的状态,可以通过查询得到当时发动机的装配状态;也可以查询某个零部件在什么时间段装配到发动机的那个部位上,之后这个零部件又在哪些时间段内经历了什么检查或换装,让一个发动机可以与时间进行赛跑,清楚了解它的行程。具体示意图如图 7 所示。

5.3 履历本管理

产品履历本是产品在装配的过程中生产,是多方面的信息的集合,这里主要研究合成、发布、离线等几种状态。

(1)履历本合成。

在各个单位体进行装配过程中,会产生数个 InfoPath 表单,这些表单是分散在各个单元体的检验表中的,都是一个独立的 XML 文件,在发动机交付给用户前,还需要对电子履历的各个检验表、装配表、领料表和和各种其他的装试表单进行合成,生成一个 PDF 文件,并在 PDF 文件中进行目录排版等,方便单台份电子履历的查询和验证。

(2)履历本发布。

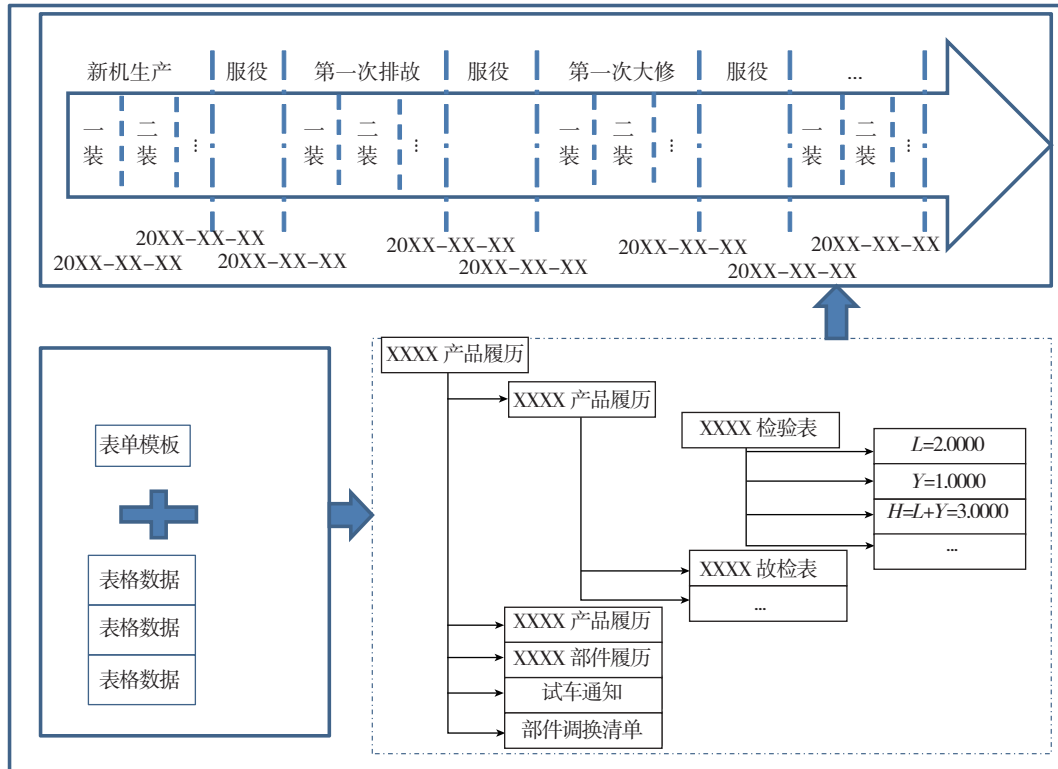


图7 产品履历展示表

Fig.7 Time axis of product record information

电子履历在合成后,还需要附加其他一部分履历中无法体现的部分,如工具、备件等清单,然后进行多方检验验证后进行电子签名确认,并对电子履历进行发布,本阶段的电子履历状态被冻结,不可修改。

(3) 离线履历本。

对发动机的装配履历信息进行打包,形成脱离本系统的发动机离线履历本,便于与其他系统之间的数据集成与同步,实现发动机数据的共享和归档。方便数据在离线的安全环境中进行解读和查询,主要为用户单位提供外场服务。

6 装配的知识重用

6.1 故障知识库

由于航空发动机结构的高度复杂性及其故障发生的不可预见性,为了给故障诊断提供足够的参考信息,我们将故障相关信息按照发动机结构制作成故障知识库(见图8)。

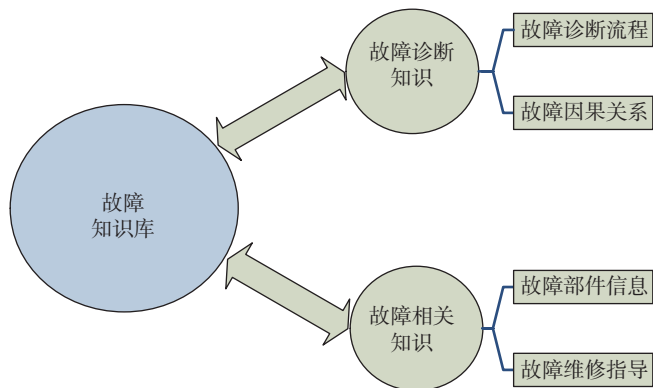


图8 故障知识库

Fig.8 Fault knowledge base

在故障知识库中,我们将故障知识分为故障诊断知识和故障相关信息。故障诊断知识直接描述故障诊断流程和故障因果关系,故障诊断知识以故障模式为单位,以故障数和经验故障树的形式存在,故障诊断知识形式单一,结构清楚,直接定义了诊断流程,是故障诊断的框架信息。

故障相关信息围绕故障部件展开,描述部件相关信息,丰富了诊断过程的解释,辅助用户对诊断过程的理解,能提高故障诊断过程中诊断的正确率。故障诊断知识和故障相关信息一起构成故障知识,并由故障知识库存储和管理。

6.2 故障树模型

利用专家的经验知识建立故障树模型并存储在数据库中,通过专家知识和模型推理等方法对故障进行识别和诊断。故障树采用方法有以下3种:

(1)故障树从顶事件(故障)开始逐级分析,逻辑严密,

逐层查找。

(2)对引起故障的原因以及故障的等级一目了然。引起故障的因素从故障树上可以一览无余,检查排除时可以根据情况选择检查方法,提升效率。

(3)故障树可以作为维修人员维修的帮助文档,也可以作为装配人员的学习教材,同时也是对排除故障的经验积累。

由故障现象及故障编码对应专家系统中的一组故障树模型,故障诊断过程如图9所示。

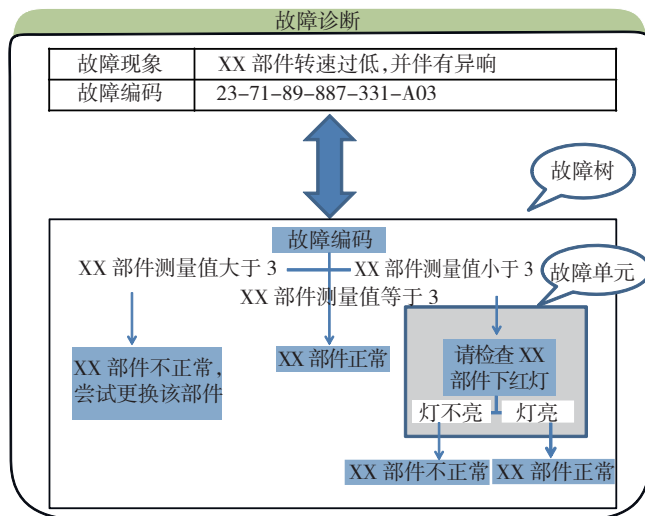


图9 故障现象与对应的故障树模型

Fig.9 Fault phenomenon and corresponding fault tree model

7 结束语

本文通过对发动机装配数字化技术应用的梳理与分析,提出了一套航空发动机装配执行过程数字化管理方法,探讨了可定制的装配执行过程模型,实现了 workflow 引擎驱动的装配执行过程控制;建立了装配工艺与检验规则的关联关系;通过工序级检验规则,实现了装配质量信息的现场采集;装配工艺的可视化引导,实现了提示信息、警示信息等装配经验的共享;建立基于动态表单模板的装配履历信息模型,实现装配履历信息的自动归集与管理。为实现航空发动机数字化装配过程的信息化、智能化打下了基础。

参考文献

- [1] 孙茉莉,常智勇,莫蓉.航空发动机装配数字化关键技术研究.中国机械工程,2008,19(2):201-203.
- [2] 徐延锋,常智勇,石源,等.基于VRML-OpenGL的装配可视化及其原型系统研究.中国制造业信息化,2006.
- [3] 徐延锋.航空发动机装配数字化关键技术研究[D].西安:西北工业大学,2006.

(责编 小城)