

文章编号: 1674-8190(2023)04-116-08

基于 S5000F 的飞机使用阶段技术状态数据 管理实施研究

聂昊宇, 赵文武

(航空工业沈阳飞机设计研究所 客户服务与技术保障部, 沈阳 110035)

摘要: 目前, 国内飞机使用阶段技术状态数据管理标准尚未形成, 在飞机使用期间, 由于技术状态数据由多个相关方管理, 未能实现统筹规划, 数据难以关联和追溯, 影响保障工作的效率和准确性。通过对 S5000F《运行数据反馈国际规范》中技术状态管理数据反馈数据规范的研究, 针对飞机交付后的实际活动, 提出飞机使用阶段的技术状态数据管理框架, 并结合飞机故障分析场景, 基于 UML(统一建模语言)方法进行数据结构化设计, 采用技术状态树和数据链接跟踪的方法, 建立技术状态数据动态可追溯管理工具, 提高故障分析决策能力。实际应用表明: 本文提出的技术状态数据管理框架可行有效, 可为飞机全寿命保障提供支持。

关键词: 飞机保障; 技术状态; S5000F; 数据管理; UML

中图分类号: V221+.91; V267

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2023.04.13

Research on technical status date management for in-service aircraft based on S5000F

NIE Haoyu, ZHAO Wenwu

(The User Service and Technical Support Department, AVIC Shenyang Aircraft Design and
Research Institute, Shenyang 110035, China)

Abstract: At present, due to lack of the domestic technical status data management standards for in-service aircraft, the data management is managed by multiple related parties and is not planed as a whole, the data is difficult to correlate and trace, so it cannot ensure efficiency and quality of aircraft logistics. Through the research on S5000F (International specification for in-service data and feedback), which provides a guide for the in-service data management. a framework of the in-service data management for aircraft is constructed, and a data model based on UML (Unified Modeling Language) is constructed as well to perform the data-structured design. A dynamic traceable tool of in service data management is built based on technical status tree and data trace. The results show that the technical status data management framework presented in this paper is feasible and can ensure full life cycle logistic support for aircraft.

Key words: aircraft logistics; technical status; S5000F; data management; UML

收稿日期: 2022-06-14; 修回日期: 2022-10-13

通信作者: 聂昊宇, 156555822@qq.com

引用格式: 聂昊宇, 赵文武. 基于 S5000F 的飞机使用阶段技术状态数据管理实施研究[J]. 航空工程进展, 2023, 14(4): 116-123.

NIE Haoyu, ZHAO Wenwu. Research on technical status date management for in-service aircraft based on S5000F[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2023, 14(4): 116-123. (in Chinese)

0 引言

军用飞机使用寿命长、技术状态不稳定、更改多,其各批次、各架次之间存在差异,交付后因使用维护、改装优化等活动,技术状态不断变化。为了更好地服务用户,需要对飞机实现全寿命保障,在最短的时间内完成各项保障服务。传统的模式难以达到目的,需要依靠全面、准确的飞机交付和使用技术状态信息,辅助开展相关工作^[1-2]。但因军用飞机交付、使用和维护由多个利益相关方管理,军用飞机使用技术状态信息分散、不能共享,长期处于不完整、追溯难的状态,增加了交付后技术状态管理的难度。

在军事项目上,欧美已逐步重视和应用技术状态管理,形成了ISO《技术状态管理指南》、MIL-STD-973《技术状态管理》等标准,并已成熟应用,处于世界先进水平^[3]。我国有关军用技术状态管理的研究开始于1987年的《军工产品质量管理条例》,条例要求承制单位建立技术状态管理制度^[4-5],1988年开始参考国外经验,研究军用标准制定,并于1998年颁布了GJB 3206—1998《技术状态管理》,通过持续改进,于2010年颁布了GJB 3206A—2010《技术状态管理》^[6]。目前国内飞机技术状态管理按GJB 3206A执行,大部分飞机主要在设计和生产阶段实施技术状态管理。在飞机使用阶段也开展了一些研究,例如,杨征山等^[7-8]研究飞机使用阶段的管理方法,提出了规划;王江三等^[9]围绕构型数据开展了飞机使用阶段部分技术状态数据管理;任世杰^[10]对使用阶段的技术状态管理方式进行了研究;赵攀等^[11]研究了飞机电子数据技术状态管理关键技术;黄维娜等^[12]提出了发动机研发全过程的产品数据管理模式;闫伟^[13]建立了飞机维护阶段的状态管理系统;Hong Sheng等^[14-16]通过预处理模型对系统零部件状态进行预测分析。上述研究均未能建立与飞机特点相适应的规范、完整方案和具体实施途径,缺乏飞机使用技术状态信息整体管理目标图像,影响保障工作的效率和质量。

由欧洲航空航天与防务工业协会(ASD)联合美国航空航天工业学会(AIA)共同制定的S5000F《运行数据反馈国际规范》^[17],于2016年首次发布,2019年发布了2.0版本,提供了可参考的思路。本文对该规范进行研究,结合飞机交付、使用和大修

等活动,提出技术状态数据管理框架和管理要素;针对飞机故障分析场景,应用构建飞机技术状态树、多级数据链接方法,建立技术状态管理工具,并进行实践验证。

1 S5000F规范中技术状态反馈研究

1.1 飞机运行阶段技术状态反馈关键目标和关键活动

飞机运行阶段技术状态信息管理的独特性,是对每架飞机的实物技术状态的变化进行控制管理和追溯,以确保保障工作的完成。

通常开展技术状态管理工作主要包括技术状态标识、技术状态控制、技术状态记实和技术状态审核等,但在S5000F规范中重点关注以下4项关键活动:1)建立装备运行技术状态树;2)技术状态项标识要求;3)技术状态项位置标识要求;4)有效性管理。

1.2 信息要求分析

S5000F提出了基于信息流的信息反馈流程,涉及多个相关方之间的技术状态反馈。交付时产品制造商负责提供产品交付技术状态和交付前对产品技术状态更改的内容,用户负责反馈产品运行使用期间的技术状态、提供产品所需的技术状态以及用户主导的修改内容,维护维修商负责提供产品维修的技术状态^[18]。技术状态管理信息流如图1所示。

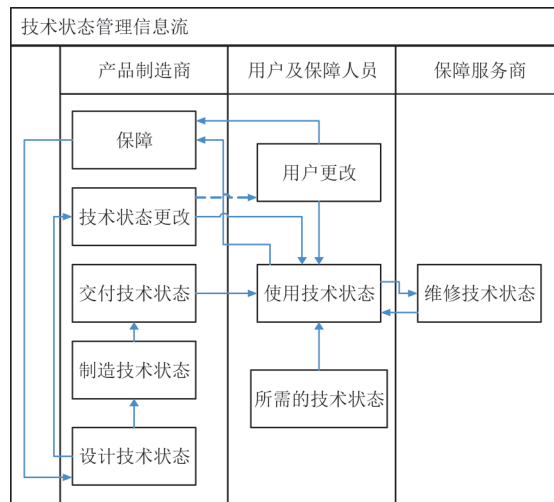


图1 技术状态管理信息流

Fig. 1 Information flow of configuration management

运行阶段技术状态信息管理的内容范围包括:1) 产品的交付技术状态信息;2) 制造商对技术状态的更改内容;3) 产品运行使用维护技术状态;4) 产品所需的技术状态信息;5) 用户修改信息;6) 产品软件信息。

1.3 适用性分析

业内早已对装备使用阶段技术状态管理的重要性和意义达成了共识,但一直缺少实施落地的标准规范。S5000F 规范从顶层整体、系统地提供了装备使用技术状态管理的总体视图和设计方法参考,尤其进一步对装备使用阶段重要环节的技术状态数据管理要素定义提出了实施的指引,并

提出使用 UML(统一建模语言)建模技术,重点采用用例视图、类图进行建模的设计方法和工具,实现了技术状态信息管理的结构化设计,为飞机使用技术状态信息管理实施落地提供了思想和指南。

2 飞机使用阶段的技术状态数据管理框架

为支撑飞机技术故障工程支援、飞机故障诊断和技术状态设计更改等飞机保障活动,基于飞机技术状态信息辅助工作和 S5000F 的思想,结合实际进行适应性完善改进,建立军用飞机技术状态管理框架,如图 2 所示。

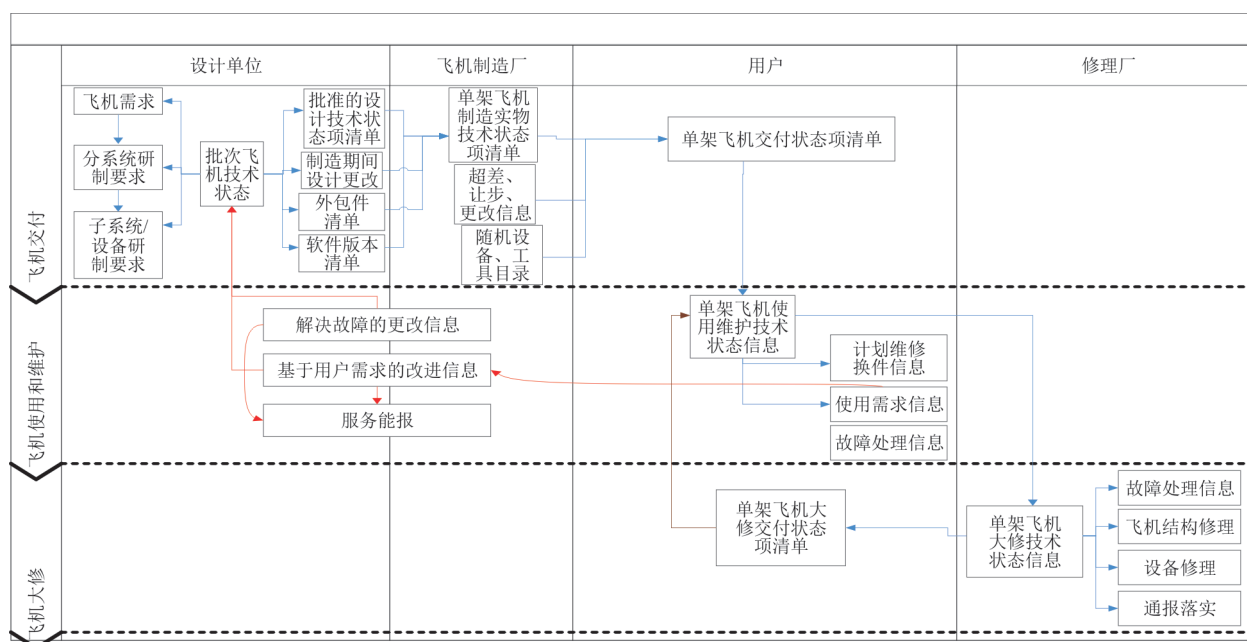


图 2 飞机技术状态管理框架

Fig. 2 Framework of configuration management for aircraft

飞机技术状态管理的主要内容框架包括：

1) 在飞机交付阶段,飞机技术状态管理的主要内容框架包括:运行阶段初始的交付技术状态信息由制造方和设计方提供。在飞机使用阶段技术状态信息主要由用户提供,制造方和设计方在此期间提供与设计、制造变化相关的信息,飞机大修厂应提供大修期间改变的状态信息。

2) 按照飞机服务保障阶段,实现飞机使用期间的技术状态信息的全过程管理。以交付阶段飞机设计单位的批次飞机技术状态、飞机制造厂

飞机交付技术状态项清单、使用维护阶段的单架飞机使用维护技术状态信息、飞机大修阶段的单架飞机大修技术状态信息为主线,对飞机交付、使用维护和大修期间的飞机技术状态信息进行管理和关联。

3) 基于飞机需求建立技术状态信息有效性管理。交付阶段建立飞机各级研制需求与批次飞机技术状态中覆盖的 LRU(现场可更换单元)级技术状态信息的追溯和管理,建立制造阶段各类需求变更与单机飞机制造实物技术状态新的追溯和管理。使用阶段建立飞机故障更改、用户需求与飞

机技术状态信息追溯和管理。

4) 以单架飞机交付技术状态树为中心,对单机设计阶段的功能系统、制造阶段的装机零部件实物信息、装机软件、装机外包件、生产超差/让步、设计更改、随机工具,使用阶段的维修、故障处理、更改、通报执行等,大修阶段的修理、通报执行等重要信息,进行集成管理。

以设计单位视角,需要关注飞机交付使用阶段技术状态信息管理的要素,主要包括:

飞机交付阶段技术状态信息,作为管理的起点包括但不限于如表 1 所示的信息;飞机使用期间技术状态信息,包括但不限于如表 2 所示的信息;飞机大修技术状态信息,包括但不限于如表 3 所示的信息。

表 1 飞机的交付技术状态信息内容
Table 1 Information list of aircraft as-delivered configuration

信息	飞机交付技术状态管理的要素
批准的技术状态信息	飞机的技术状态项列表 飞机所有的已识别的可互换件
基线	飞机产品基线,应包括飞机的各级需求、批次技术状态等文档
产品交付的实物技术状态	安装在飞机上的所有技术状态项的序列号、寿命、维修性、让步、使用限制等信息 外包件 软件,包括可执行代码版本、需要加载的初始数据、可执行代码部署的硬件设备信息
制造期间的修改内容	飞机制造期间用户提出的修改内容的技术状态项列表
制造期间的让步信息	未达到设计状态的技术状态项目列表,使用限制、让步解决时限或解决条件
随产品交付的未安装的技术状态项信息	随飞机交付的设备信息

表 2 飞机的使用技术状态信息内容
Table 2 Information list of aircraft operational configuration

信息	飞机使用技术状态管理的要素
维修信息	计划性维修和紧急维修工作涉及的产品技术状态变化信息,如飞机串换件、维修等信息
通报信息	解决飞机故障、实现用户新需求,执行飞机服务通报信息
使用限制	使用期间出现的使用限制信息
任务使用技术状态信息	因飞机执行任务的需要,执行任务涉及的技术状态项信息,新安装或从产品拆除的设备信息

表 3 飞机的大修技术状态信息内容
Table 3 Information list of aircraft
overhauled configuration

信息	飞机大修技术状态管理的要素
大修期间的修改内容	飞机大修期间因问题处理、待料待用等修改的技术状态项列表
大修期间的让步	飞机大修期间因超差等引起的让步信息
大修期间故障修理信息	飞机大修期间发现故障的维修信息、串换件信息
大修期间执行通报信息	大修期间执行飞机服务通报信息

3 军用飞机使用技术状态应用实践

3.1 模型设计

以军用飞机故障处理活动为例,采用 UML 语言类图建立技术状态数据模型。军用飞机复杂故障处理活动涉及的技术状态信息管理内容包括:查询故障飞机的使用技术状态信息、形成故障对飞机功能影响分析结论、更改飞机技术状态、制定和落实飞机服务通报等一系列活动,以保证故障处理工作闭环。通过分析,采用 S5000F 标准中的 UoF(功能单元)建立思想,将全过程涉及处理和调用的信息,分解成 9 个相关的类数据模型,以实现

信息结构化管理,如表4所示。

表4 UoF(功能单元)数据信息说明
Table 4 UoF(Unit of function) data description

数据模型名称	类型	描述
故障信息	类	定义故障信息
故障处理	接口	将故障信息与故障处理的相关信息相关联
故障影响分析结论	类	说明故障影响分析情况
飞机使用维护活动信息	类	说明飞机使用维护活动情况
飞机设计技术状态信息	类	定义飞机设计技术状态信息
单机使用维护技术状态信息	类	定义单机使用维护技术状态信息
技术状态更改信息	类	定义技术状态更改信息
服务通报信息	类	定义服务通报主要信息
飞机需求	类	定义飞机需求主要信息

各个数据模型之间的关系和信息要素设计,如图3所示。

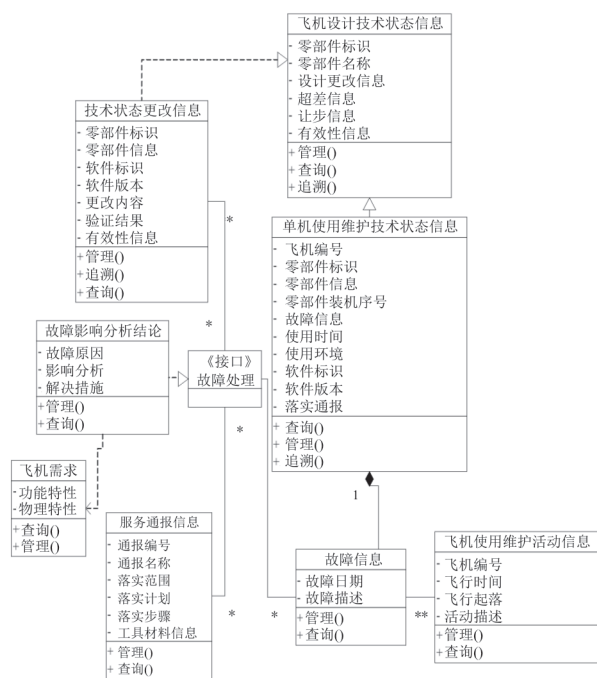


图3 军用飞机复杂故障处理UoF(功能单元)模型

Fig. 3 UoF model of handling critical failure for military aircraft

故障信息类直接与飞机使用维护活动信息、单机使用维护技术状态信息、故障处理接口相关。单机使用维护技术状态信息在继承飞机设计技术状态信息的基础上定义了使用维护阶段特有的信息。技术状态更改信息依赖于飞机设计技术状态信息,并与故障处理类相关。故障影响分析结论

依赖于故障处理类,并与飞机需求类相关。服务通报信息类与故障处理类相关。

3.2 技术状态数据相关模型实现

技术状态数据相关模型实现的关键工作:

1) 建立全机使用技术状态树:应用飞机产品结构,采用模板表单的方式,建立飞机设计、使用维护技术状态数据模型。依赖设计阶段的批次技术状态技术文档、设计和生产阶段的技术状态项清单(如飞机物料清单)、使用维护期间的LRU换件信息、设计状态更改等信息集合,按照功能级和物理级两大层级建立技术状态树,技术状态分解结构如图4所示,视情进行多级分解,分解至LRU级技术状态项为止,并对涉及到零部件标识、装机序列号、软件标识、软件版本、安装位置等基本信息,让步、超差、落实通报、维护换件、修理等技术更改涉及的零部件、软件标识、软件版本、时间等信息,LRU对应的飞机各级需要条目的链接信息进行管理和控制。

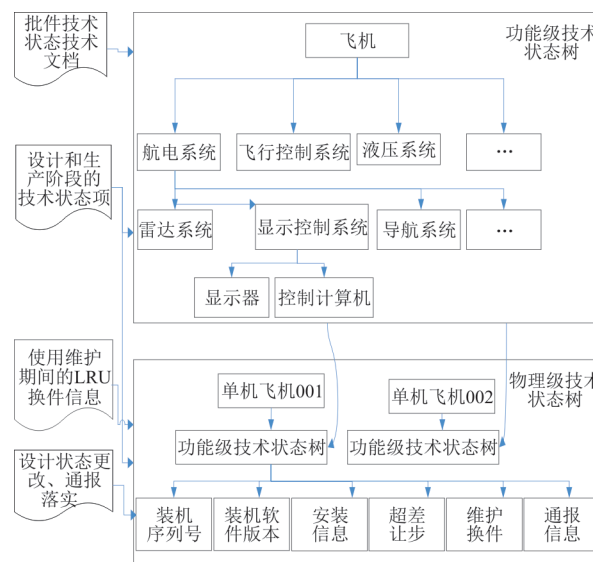


图4 全机使用阶段技术状态树分解结构

Fig. 4 Configuration breakdown structure of in-service aircraft

2) 建立飞机技术状态数据动态可追溯管理工具,其主要功能有:

飞机技术状态数据管理:实现飞机技术状态项模板定义,技术状态标识和飞机设计、交付、使用维护各阶段特有技术状态信息项定义,技术状态数据结构化、条目化管理。

飞机技术状态数据变更:实现技术状态更改

审签流程审签。在技术状态更改时,相关管理人员能够对更改的有效性进行审核。

数据版本管理:实现技术状态数据更改版本记录和技术状态基线标识管理。在技术状态数据变更时,能够记录时间、人员、原因等关键信息。在设计、交付、使用期间重大更改时,按照需要对技术状态项进行基线标识。

信息导入:实现飞机需求、飞机批次技术状态等文档信息的导入、条目化管理。

技术状态数据追踪管理:实现需求条目信息、飞机批次技术状态条目、单机技术状态数据条目、技术状态变更管理数据条目间的数据条目链接和上下游关联数据条目的多级跟踪^[19]。

3.3 项目应用实践

1) 制定产品需求、飞机交付技术状态、飞机故障信息、故障处理分析、技术状态更改、服务通报的信息模板,模板示例如图5所示,在飞机技术状态数据动态可追溯管理工具中进行定义,并内置

信息模板间的关联关系。

ID	名称/项	规格/项名称	规格/项名称	系统	子系统
1	1 航电系统	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX
3	1.1 显控	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX
4	1.1.1 平显	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX
5	1.1.1.1 显示器	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX
6	1.1.1.2...	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX
2	1.2 雷达	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX
7	1.3...	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX
8	2 飞控系统	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX

图5 飞机交付技术状态信息模板

Fig. 5 Template of aircraft as-delivered configuration

2) 收集和整理数据,以飞机级、系统、分系统需求、飞机批次技术状态等关键性文件,飞机设计、交付、使用维护技术状态清单,使用期间的技术状态更改信息为核心,对相关的众多文件、表格数据、数据库信息、图纸模型、软件程序等多种类型数据,进行收集和梳理。基于飞机技术状态数据动态可追溯管理工具建立各项信息的存储库,实现信息的集中管理,实施过程如图6所示。

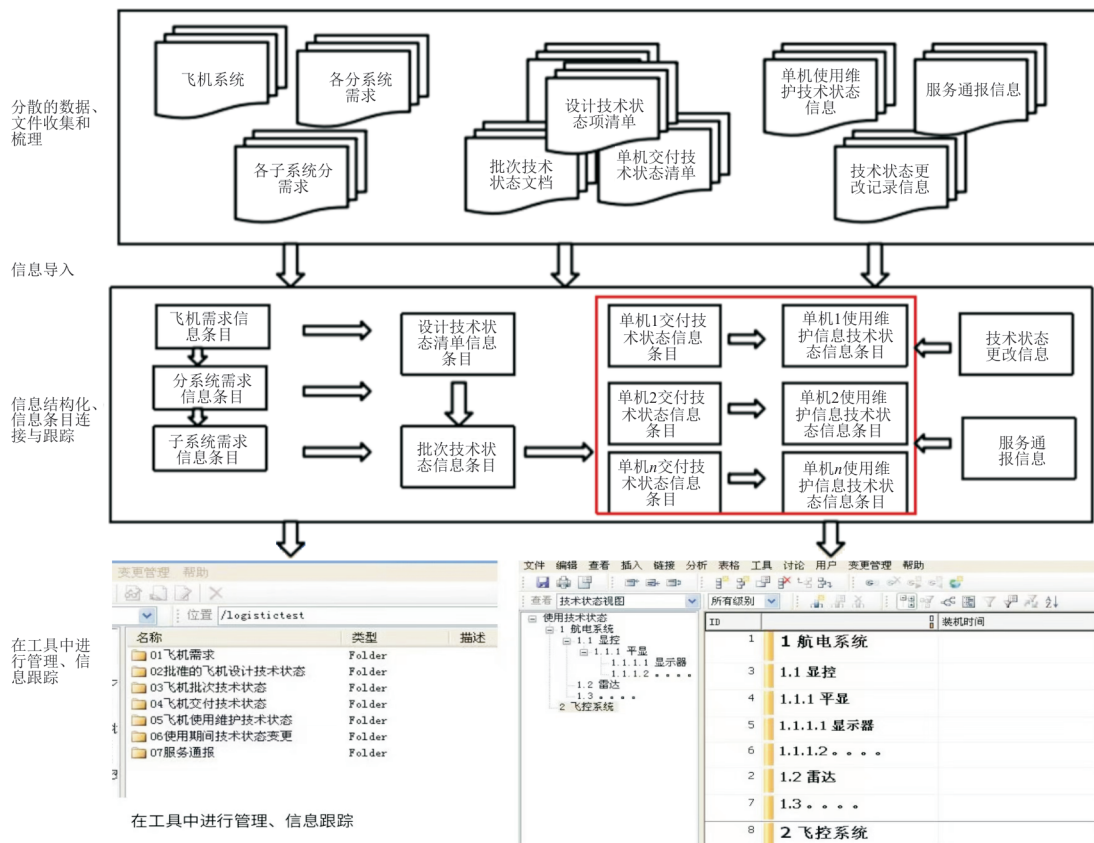


图6 动态可追溯管理工具实施流程

Fig. 6 Implementation process of dynamic traceable tool

3) 将收集的信息导入飞机技术状态数据动态可追溯管理工具,形成结构化技术状态数据视图,如图 7 所示。基于条目化管理建立需求、技术状态、单机使用技术状态、使用阶段技术状态更改信息的链接关系。

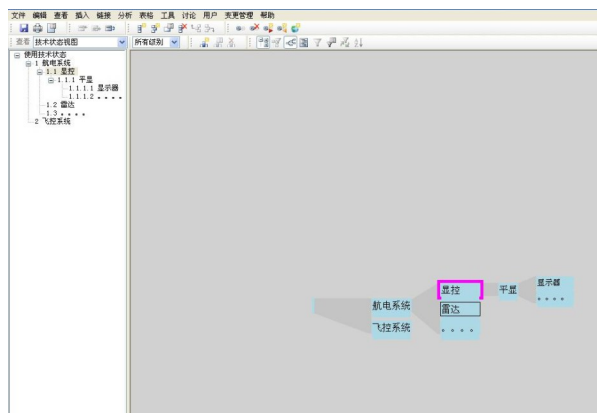


图 7 动态可追溯管理工具实现的单机技术状态视图
Fig. 7 Aircraft configuration view of dynamic traceable tool

当飞机出现故障时,识别引起故障的故障件标识信息,通过使用工具检索单机交付技术状态和使用维护技术状态信息,应用工具实现的链接跟踪矩阵(如图 8 所示),快速追踪到故障涉及的技术状态项信息,并通过建立的信息链接矩阵层层追溯到飞机级、系统级、分系统级功能需求的具体功能点,准确实现故障对系统功能、飞机技术状态影响分析。

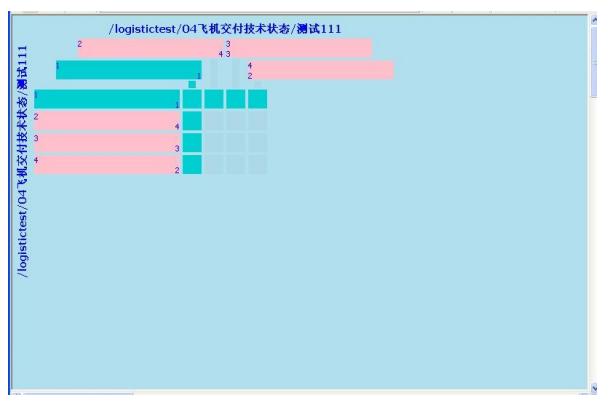


图 8 工具实现的技术状态信息链接跟踪矩阵界面
Fig. 8 Configuration traceable matrix of tool

同时,在故障处理时,对技术状态更改信息、飞机服务通报信息进行收集和管理,并与单机建立关联追溯,快速跟踪故障处理的进度,从而提高故障处理的服务效率。实施效果对比如表 5 所示。

表 5 实施效果对比

Table 5 Comparison of implementation effect

对比内容	实施前	实施后
效率	故障发生后,需要进行讨论、梳理、汇报、多人分工等,需要多环节,较长时间	基于技术状态数据分析,快速基于工具开展分析,中间环节缩短,时间较快
准确度	故障分析信息来源依赖于相关方记录、记忆,难以保证全部信息完整	大多数数据均来自于工具数据库的完整有效数据,提高了准确度、完整程度

4 结 论

1) 飞机使用技术状态数据管理应用本文提出的管理框架、构建的数据模型、建立的技术状态数据动态可追溯管理工具,在飞机保障工作中实现了飞机故障处理服务效率和准确度的提高。

2) 本文提出的飞机使用阶段技术状态管理框架对行业内应用飞机技术状态数据开展全寿命保障工作有借鉴意义。

参 考 文 献

- [1] 刘春辉. 技术状态管理在新机大修中的应用[J]. 航空维修与工程, 2015(10): 31-36.
LIU Chunhui. Application of technical state management in the new A/C overhaul[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2015(10): 31-36. (in Chinese)
- [2] 牛蕴轩, 陈云翔. 军用飞机使用阶段技术状态管理研究[J]. 航空维修与工程, 2011(2): 47-49.
NIU Yunxuan, CHEN Yunxiang. Research on military aircraft configuration management in the application phase[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2011(2): 47-49. (in Chinese)
- [3] GONZALEZ P J. A guide to configuration management for intelligent transportation systems[R]. United States: Department of Transportation, 2002.
- [4] 周宇云, 杨东日. 技术状态管理在武器装备科研生产中的应用分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2018, 13(4): 486-490.
ZHOU Yuyun, YANG Dongri. Application analysis of configuration management in equipment research and production[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2018, 13(4): 486-490. (in Chinese)
- [5] 白赓, 贾大伟. 航空制造业实物技术状态管理分析与应用[J]. 中国信息化, 2020(8): 95-98.
BAI Yi, JIA Dawei. Analysis and research on actual configuration management in aviation industry[J]. Informatization-Research of China, 2020(8): 95-98. (in Chinese)
- [6] 中国人民解放军总装备部. 技术状态管理: GJB 3206A—2010[S]. 北京: 中国人民解放军总装备部, 2010.
General Equipment Department of PLA. Configuration management: GJB 3206A—2010[S]. Beijing: General Equip-

- ment Department of PLA, 2010. (in Chinese)
- [7] 杨征山, 薛丹, 季春生. 航空复杂系统技术状态管理方法研究[J]. 航空标准化与质量, 2016(4): 33-39.
YANG Zhengshan, XUE Dan, JI Chunsheng. Study on configuration management method for UAero complicated systems [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2016(4): 33-39. (in Chinese)
- [8] 薛丹, 朱爱峰, 杨征山. 航空复杂系统技术状态管理方法研究[J]. 航空标准化与质量, 2019(2): 24-29.
XUE Dan, ZHU Aifeng, YANG Zhengshan. Study on configuration management method for aero complicated systems [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2019(2): 24-29. (in Chinese)
- [9] 王江三, 朱威仁, 王福新. 飞机使用保障中的技术状态管理方法研究[J]. 航空工程进展, 2020, 11(4): 549-555.
WANG Jiangsan, ZHU Weiren, WANG Fuxin. Research on configuration management approach of aircraft in operational and support stage [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(4): 549-555. (in Chinese)
- [10] 任世杰. 技术状态管理在飞机使用过程中的实现[J]. 装备制造技术, 2011(3): 125-127.
REN Shijie. The realization of configuration management in aircraft use [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2011(3): 125-127. (in Chinese)
- [11] 赵攀, 刘看旺, 刘雅星, 等. 大型飞机电子数据技术状态管理关键技术研究与应用[J]. 航空科学技术, 2016, 27(8): 63-67.
ZHAO Pan, LIU Kanwang, LIU Yaxing, et al. Research and application on key technology of electronic data configuration management for large aircraft [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27(8): 63-67. (in Chinese)
- [12] 黄维娜, 石小江, 许多. 航空发动机研发全过程的产品数据管理思考[J]. 航空动力, 2018(4): 48-52.
HUANG Weina, SHI Xiaojang, XU Duo. Consideration of product life cycle data management for the research & development of aero engine [J]. Aerospace Power, 2018(4): 48-52. (in Chinese)
- [13] 闫伟. 飞机维修技术状态管理系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
YAN Wei. Design and implementation of the aircraft maintenance configuration management system [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2018. (in Chinese)
- [14] HONG Sheng, ZHU Juxing, BRAUNSTEIN L A, et al. Cascading failure and recovery of spatially interdependent networks [J]. Journal of Statistical Mechanics Theory & Experiment, 2017(10): 103208.
- [15] HONG Sheng, LYU Chuan, ZHAO Tingdi, et al. Cascading failure analysis and restoration strategy in an interdependent network [J]. Journal of Physics a Mathematical and Theoretical, 2016, 49(19): 195101.
- [16] HONG Sheng, YUE Tianyu, LIU Hao. Vehicle energy system active defense a health assessment of lithium-ion batteries [J]. International Journal of Intelligent Systems, 2020(10): 1-19.
- [17] ASD/AIA. International specification for in-service data feedback; S5000F[S]. Europe: ASD/AIA, 2019.
- [18] 冯蕴雯, 路成, 薛小锋, 等. S5000F介绍及在民用飞机运行可靠性分析反馈中的应用[J]. 航空工程进展, 2020, 11(2): 147-166.
FENG Yunwen, LU Cheng, XUE Xiaofeng, et al. Introduction of S5000F specification and its application on operational reliability analysis and feedback of civil aircraft [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(2): 147-166. (in Chinese)
- [19] 伍庆龙, 张天强, 杨钊. 基于DOORS的动力系统需求开发及管理分析[J]. 汽车文摘, 2020(3): 5-9.
WU Qinglong, ZHANG Tianqiang, YANG Fang. Analysis of requirement development and management of power train based on DOORS [J]. Automotive Digest, 2020(3): 5-9. (in Chinese)

作者简介:

聂昊宇(1984—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机保障数据管理。

赵文武(1979—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机保障。

(编辑:马文静)