

基于人工智能的航空产品交付管理信息系统架构设计

吴磊, 张志远, 毛煜, 黄星翰, 刘玉玲

成都飞机工业(集团)有限责任公司, 四川 成都

收稿日期: 2026年3月1日; 录用日期: 2026年4月2日; 发布日期: 2026年4月10日

摘要

航空产品交付管理的数字化和智能化转型是适应新形势下高质量发展的需要。本文以航空产品交付管理为研究对象, 针对航空产品交付管理的工作内容和基本特点, 提出一种“三阶五段”交付流程模型, 设计了基于人工智能的以“基础层-运营层-应用层”为内核的标准化信息系统架构。通过该信息系统架构实施应用的交装PAD系统、交付管理系统、交付管控中心为航空产品交付计划准时执行、交付问题高效处置、配套保障装备高效交付、技术状态有效管控以及用户需求及时响应提供了支撑保障, 并可为其他航空复杂产品的数字化和智能化交付提供标准化方法和技术参考。

关键词

交付管理, 数字化转型, 人工智能, 标准化, 信息系统架构

Design of an Information System Architecture Based on Artificial Intelligence for Aircraft Product Delivery Management

Lei Wu, Zhiyuan Zhang, Yu Mao, Xinghan Huang, Yuling Liu

Chengdu Aircraft Industrial (Group) Corporation Ltd, Chengdu Sichuan

Received: March 1, 2026; accepted: April 2, 2026; published: April 10, 2026

Abstract

The digital and intelligent transformation of aircraft product delivery management is essential to

文章引用: 吴磊, 张志远, 毛煜, 黄星翰, 刘玉玲. 基于人工智能的航空产品交付管理信息系统架构设计[J]. 计算机科学与应用, 2026, 16(4): 126-135. DOI: 10.12677/csa.2026.164115

meet the demands of high-quality development. This paper focuses on aircraft product delivery management and, based on the operational characteristics and requirements of this domain, proposes a “three-stage, five-phase” delivery process model and designs a standardized information system architecture based on artificial intelligence, centered on a “foundation layer-operation layer-application layer” framework. The implementation of the delivery PAD system, delivery management system, and delivery control center within this architecture provides effective support for the timely execution of delivery plans, efficient handling of delivery issues, high-efficiency delivery of support equipment, effective configuration management, and prompt response to user requirements. Furthermore, the proposed architecture offers standardized methods and technical references for the digital and intelligent delivery of other complex aircraft products.

Keywords

Delivery Management, Digital Transformation, Artificial Intelligence, Standardized, Information System Architecture

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

进入数字经济时代, 航空产品制造业以数字化、网络化、智能化变革为核心的数字化转型升级已成大势所趋。数字化转型(Digital Transformation)是深化应用新一代信息技术, 激发数据要素创新驱动潜能, 建设提升数字时代生存和发展的新型能力, 加速业务优化、创新与重构, 创造、传递并获取新价值, 实现转型升级和创新发展的过程[1], 如何通过数字化转型重塑业务流程、优化价值链、创新管理模式是当今航空制造业面临的新的课题。航空产品交付是指装备制造方完成装配和试飞验证后, 组织用户方进行出厂检查验收、权益转让、验收合格并投入使用的过程, 是交付航空产品功能/性能和实现用户需求的关键环节之一。随着航空产品及技术的迅猛发展, 用户对交付能力提出了越来越高的要求。

随着以计算机和互联网为代表的信息技术在行业应用的不断深入, 制造业正在经历以信息化与自动化深度融合为标志的新一代产业革命, 数字化转型成为当今工业制造面临的重要课题[2]-[7]。鉴于各行业在数字化转型过程中对新一代信息技术产生的迫切需求, 国内外学者在人工智能、数字孪生、大数据、云计算等信息技术的内涵定义、技术特征、工程应用等方面掀起了研究热潮。

人工智能(Artificial Intelligence)是数字化转型过程中重要技术手段之一, 国内外学者对不同视角下人工智能的定义和分类展开了深度讨论[8]-[10]。卢新来等[11]从总体历史沿革、机载导弹、机载系统及可信等角度阐述航空人工智能应用的发展特点和态势, 指出人工智能赋能航空智能的速度和程度受到航空领域内大数据可用性改善、计算机处理能力提高、机器学习方法改进这三个要素累计汇聚的制约; 张鹏[12]结合对航空教学的过程环境参数分析和图像分析, 提出了基于人工智能的航空虚拟仿真实训系统设计方法, 采用虚拟三维重构技术建立了航空虚拟仿真实训系统, 提高了航空虚拟仿真实训的视景重构能力。可见, 人工智能激烈竞争和快速发展的态势给航空领域带来了重大机遇和空前挑战。

数字孪生(Digital Twin)技术可为智能工厂提供一套满足信息化、网络化、智能化生产需求的[13]-[15], 且能贯穿生产、管理、物流、服务等全生命周期的智能制造系统[16] [17]。江海凡等[18]提出针对数字孪生车间演化机理不清晰的问题, 探讨了从可视化、逻辑、数据三个维度构建的虚拟车间到数字模型车间、数字投影车间和数字孪生车间的演化机理; 李浩等[19]提出了工业数字孪生系统(Industrial Digital Twin

System, iDTS)的基本概念和运行模式。在航空制造领域,基于数字孪生技术的智能工厂对于提高飞机生产效率、降低生产成本、顺应市场需求变化、做到精益生产和敏捷制造等方面有重要的研究价值和应用前景[20]-[22], Singh 等[23]基于数字孪生技术构建了飞机全生命周期的信息管理框架,并详细阐述了该框架的关键步骤和核心要素,为飞机信息管理提供了有效方法。

面对海量的数据资源、庞大的数据规模,企业数据的存储、处理和分析面临巨大挑战。大数据(Big Data)与云计算(Cloud Computing)的结合具有强大计算和存储能力,能很好地解决数据存储和分析的难题。李伯虎等[24][25]阐述了云计算服务模式、云安全、高性能计算、物联网等理念和新技术对制造的变革性影响,提出一种面向服务的工厂网络化云制造新模式以及云制造系统 3.0 的基本内涵、体系架构和技术框架;吕佑龙等[26]探讨了大数据驱动下的制造过程动态优化关键技术,重点阐述了大数据集成、大数据存储、相关性分析和相关性描述等大数据分析数据方法。

此外,如何融合新一代信息技术对企业的数字化交付信息平台进行系统架构设计和技术路径研究同样非常必要。庄亚明[27]分析了数字化工厂信息系统的特征,并基于基础应用平台的交互与集成方法阐述了数字化工厂信息系统的逻辑结构和实现路径;李明凯[28]等设计并开发了一种装备数字化交付运维管理系统,可提升企业关键设备在安装、测试等过程的信息化管理能力;陈振等[29]针对飞机设计更改频繁、更改执行状态难以控制等问题,通过构建飞机设计更改执行流程管理系统提升了飞机交付时技术状态清理效率;丁炜[30]建立了大型客机协同制造过程中供应商产品交付规范管理的业务模型和信息系统,实现了对供应商交付的产品结构和技术状态的结构化管理。

当前,面向数字化和智能化转型的航空产品标准化交付信息系统的研究还未见系统性报道。基于此,本文提出一种航空装备“三阶五段”交付流程模型,设计了基于人工智能的标准化航空产品交付管理系统架构并实施应用。构建以“基础层-运营层-应用层”为内核的信息系统架构,通过该信息系统架构实施应用的交装 PAD 系统、交付管理系统、交付管控中心为航空产品交付计划准时执行、交付问题高效处置、配套保障装备高效交付、技术状态有效管控以及用户需求及时响应提供了支撑保障。

2. 问题描述

航空产品主承制单位与接装用户之间的交接过程包括交付计划制定与管控、交付技术状态核查与交底、用户对航空装备进行地面静态验收检查和空中动态飞行检查、保障装备和技术资料移交、成品履历文件验收、交付问题记录和处置、交接手续签订等多个环节。如此复杂的交接过程其基本特点是检查验收工序多、计划扰动因素多、交付问题多、用户需求多、交付技术状态复杂、保障装备项目多,复杂的交接手续及庞大的工作量对交接双方都是难度较大的挑战,各部门的高效协同和信息有效传递至关重要。缺乏规范的交付流程和信息系统支撑的航空产品交付往往存在流程断点多、信息孤岛多,交付计划波动大、风险多、预警差,用户需求响应迟钝,交付问题处置缓慢,交付技术状态管理效率低,保障装置交付齐套性差等问题,最终导致交付周期长、沟通成本高、用户满意度低,如图 1 所示。

与一般装备制造产品相比,航空产品具有更高的复杂性和严格的行业约束,主要体现在以下几个方面:适航符合性要求严格,交付必须满足适航规范及相关标准;构型管理复杂,涉及多批次构型演变及技术状态一致性控制;多级 BOM 结构复杂,产品层级深、关联关系强;质量追溯要求高,需实现全生命周期数据可追溯。因此,航空产品交付管理不仅是流程管理问题,更是构型控制与适航合规驱动的系统工程问题。

基于此,针对航空产品交付管理的工作内容和基本特点,如何赋能新一代信息技术为航空产品交付管理的规范化、敏捷化、标准化运营提供支撑保障和技术支持,从而契合企业数字化、智能化转型发展需要是一个亟需深入研究的问题。

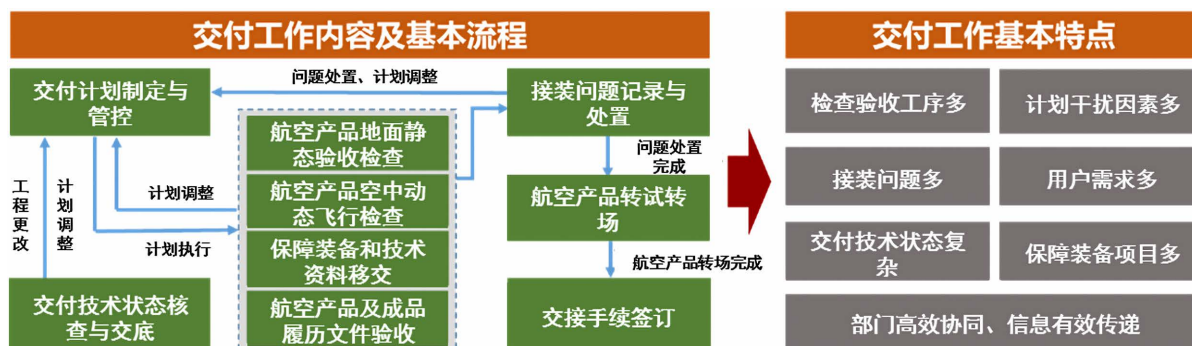


Figure 1. Workflow and key characteristics of aircraft product delivery

图 1. 航空产品交付工作内容与基本特点

3. “三阶五段”交付流程模型

构建一种航空产品“三阶五段”交付流程模型，该模型将交付过程分为交付前、中、后三个阶段以及用户调研、预先准备、交装检查、用户回访、评估优化五个环节，如图 2 所示。“三阶五段”交付流程模型的基本内涵是：主动对接用户需求并做好航空产品实物交付状态、交装资源、交付计划等工作准备，通过资源整合和统筹管理加强计划执行管控，构建交付问题快速处置流程，健全用户需求快速响应机制，并以交付结果和典型问题为导向评估管理不足、做好交装总结，持续提升流程成熟度和交付能力。

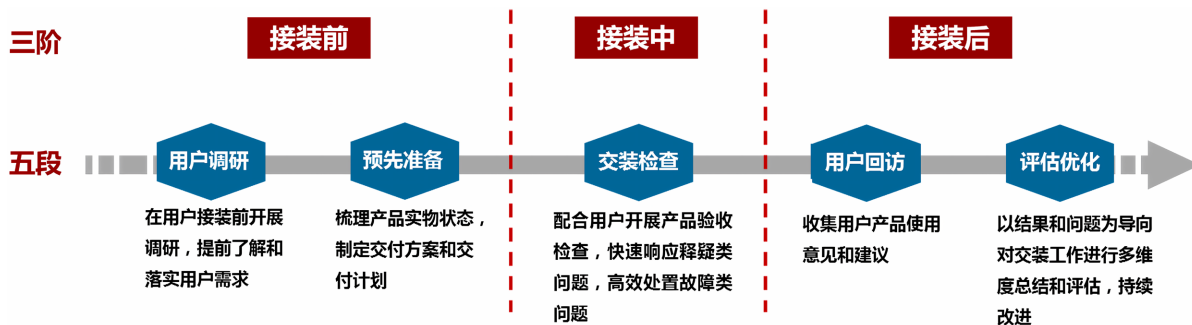


Figure 2. “Three-stage, five-phase” delivery process model for aircraft products

图 2. 航空产品“三阶五段”交付流程模型

(1) 制定用户需求管理流程和机制，包括接装前的调研需求管理、接装中的过程需求管理以及接装后的回访需求管理，及时响应用户需求，提高用户接装满意度。

(2) 接装前做好交付方案策划和航空产品实物准备，提前识别计划达成风险并制定应对措施；清理铅封航空产品遗留工作并对交付状态进行审查，基于往期发生的典型重复问题组织航空产品预检查，完成预检查问题处置。

(3) 接装过程强化航空产品及保障装备交付计划执行，配合用户完成航空产品地面检查和飞行检查，及时回复疑问，快速处理问题，签订交接手续。

(4) 航空产品转场完成后做好交装工作总结和评估，正视不足和差距，制定改进措施并落实，持续提升交付管理能力和技术能力。

(5) 以交付质量管理为核心，构建问题快速处置模式，强化问题评估筛选，识别影响进度和质量的典型问题，开展问题回贯优化，持续提升航空产品交付质量。

4. 航空产品交付管理信息系统构建

4.1. 信息系统架构设计

本文以航空产品交付高质量、工作高效率、沟通低成本、过程显性可控、知识智能问答、风险智能决策、数据及时准确为总目标，在保障交付计划管理、交付问题管理、保障装交付、技术状态管理、用户信息管理等核心交付业务有效运营和数据贯通的基础上，配置 AI 芯片、智能计算平台、智能服务器、API 网关等人工智能算力，结合计算机视觉、自然语言处理、深度学习、RAG 等人工智能算法对交付业务数据进行分析、集成和建模，面向接装用户和交装人员工作高效开展构建智能化交付管控中心、开发智能化交付管理应用，以此提出一种以“基础层-运营层-应用层”为内核的“三维一体”人工智能航空产品交付管理信息系统架构，分别对应设施构建(含 AI 算法和算力配置)和数据采集、业务运营和数据存储、过程管控和智能交互等功能，如图 3 所示。该架构为人工智能技术深度赋能航空产品交付管理和用户接装服务指明建设方向，为加速形成高科技、高效能、高质量的新质交付力提供技术支持，从而全面提升企业交付管理能力和用户接装体验感。



Figure 3. Artificial intelligence-based information system architecture for aircraft product delivery management

图 3. 基于人工智能的航空产品交付管理信息系统架构

4.2. 基础层设备设施建设

基础层包括基础设施、AI 配置和交装 PAD 硬件系统。

(1) 通用基础设施包括算力服务器、存储设备、网络设备、安全设备等设备设施。

(2) AI 算法算力配置包括人工智能算法引擎和人工智能算力配置两部分。人工智能的应用是算法、算力、数据三者紧密结合的结果，其中算法是人工智能的工作引擎，包括神经网络、计算机视觉、自然语言处理、深度学习、语音技术、检索增强生成(RAG)等 AI 技术的嵌入和运用；算力是人工智能的基础配

置,包括对 AI 芯片、云计算、云服务、智能计算平台、智能服务器、高性能交换网络、应用程序编程接口(API)网关等进行搭建和配置。算法和算力对业务运营层提供的通用数据、业务数据等结构化数据以及图片/影像、文档/日志等非结构化数据进行分析、挖掘、建模和计算,从而实现航空产品交付管理场景的智能化应用。

(3) 交装 PAD 硬件系统是交付问题处置管理中问题记录和用户确认环节的必备设施,包括便携式移动终端(PAD)、瘦客户机、智能管理柜、工控网服务器、显示器等基本设备,其中交装 PAD 主要功能是负责交付问题结构化信息、图片、电子签名等数据的采集和数字化展示;瘦客户机主要功能是支撑工控网服务端管理系统正常运行;智能管理柜主要功能是对交装 PAD 进行存储、充电和保护;工控网服务器主要功能是对园区网下达的问题进行数据解析和接收,完成账号、角色和基础信息管理,同时可对交付问题数据进行统计和分析。

4.3. 运营层功能模块构建

运营层主要指支撑业务开展的交付管理信息化系统,主要包括交付计划管理、交付问题管理、保障装备交付管理、交付技术状态管理、用户信息及需求管理五大应用模块。

(1) 交付计划管理模块包括年度/月度计划管理模块、交付进度节点管理模块、交付作业计划管理模块以及交付工作日志管理模块。

(2) 交付问题管理模块包括交付问题处置管理模块、交装疑问咨询管理模块、交付问题评估管理模块以及交付问题优化管理模块。

(3) 保障装交付管理模块包括保障装交付清单管理模块、保障装应发台账管理模块、保障装配套发运管理模块以及保障装交接证明管理模块。

(4) 交付技术状态管理包括交付技术状态清理模块、交付技术状态审查模块、交付遗留项目台账管理模块以及交接备忘录台账管理模块。

(5) 用户信息及需求管理模块包括调研与回访管理模块、接装用户信息管理模块、接装用户需求管理模块以及用户办公用品管理模块。

同时,该模块结合航空产品构型管理要求,实现不同批次、不同构型状态下的技术状态一致性控制,确保交付产品满足适航性和配置基线要求。

4.4. 应用层强化数据赋能

应用层包括智能化交付管控中心构建和智能化交付管理应用。智能化交付管控中心主要将业务数据进行可视化展示,强化交付过程管理的透明化;同时将经过 AI 技术处理的数据辅助交付管理者进行风险决策和指标预警,具体包括航空产品交付态势预测、计划完成情况感知、问题处置情况推送、交付风险智能决策、交付指标智能预警等功能。智能化交付管理应用是在航空产品交付模式、流程架构、接装标准、接装问题、交装方案管理的基础研究下,结合交装知识库,辅以人工智能模型的训练策略和反馈学习,探索构建以交付方案智能生成、接装指南智能引导、问题处置方案智能生成、典型问题智能评估、接装标准智能优化的交付专业 AI 模型和应用功能。

5. 实施与应用

5.1. 交装 PAD 系统助力问题快速处置

基于航空产品检查验收工序及标准、交付问题一般处置流程、结构化描述规则以及分级分类原则,构建了面向接装现场航空产品检查引导及交付问题处置实时记录和图片采集的交装 PAD 软硬件系统,如

图 4 所示。将航空产品检查验收工序及标准进行分解，并在工控网端的交装 PAD 上进行数字化展示，辅助引导接装用户开展航空产品检查工作。对接装用户提出的问题，使用交装 PAD 现场记录问题基本信息并采集故障照片，将问题信息传回至园区网交付管理信息系统，发起处置方案制定、计划制定、资源调拨、处置执行、检验核查等线上流程，最后提请用户对问题处置情况进行确认，若满足处置需求，则使用交装 PAD 采集用户电子签名归零问题处置流程。与此同时，鉴于航空产品交付涉及敏感技术数据和用户信息，交装 PAD 系统在设计过程中重点强化了数据安全与保密机制，主要包括：

- (1) 数据传输安全：采用专用工控网络与加密通信协议，防止数据泄露；
- (2) 终端安全管理：交装 PAD 设备采用专用加固终端，禁止外接存储设备；
- (3) 访问控制机制：基于角色权限管理(RBAC)，实现用户分级授权访问；
- (4) 数据存储安全：关键数据在服务器端集中存储，并进行加密保护；
- (5) 操作审计追踪：对用户操作全过程进行日志记录，实现可追溯管理。

该问题处置模式解决了纸质处置单据管理繁琐、费时费力以及故障图片采集困难的问题，提升了问题处置效率，降低了沟通成本，为后续质量分析提供了可靠有效的详实数据。

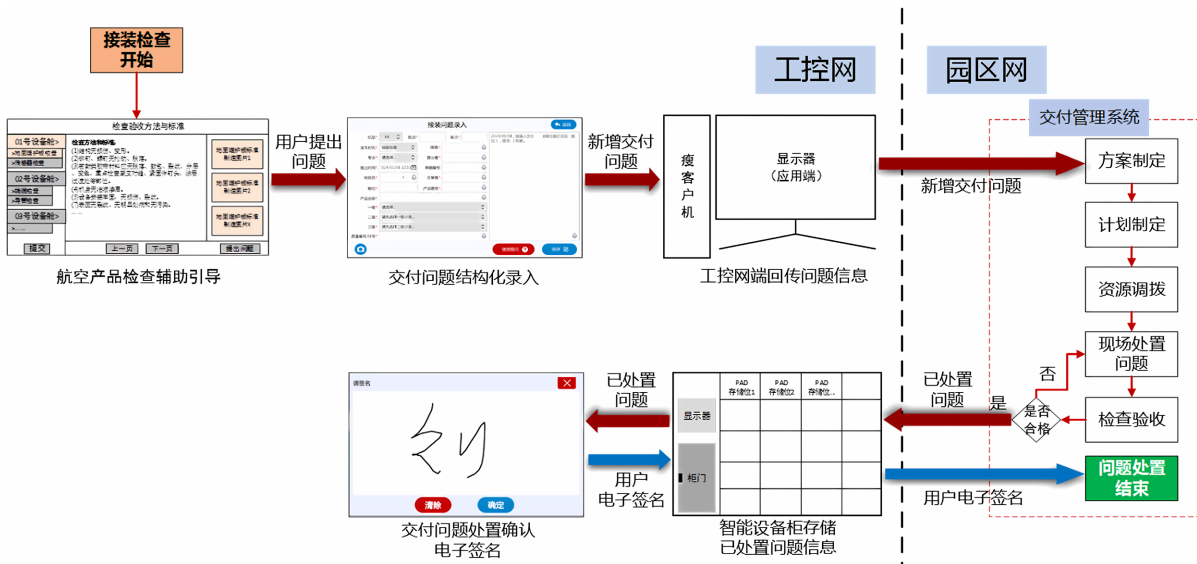


Figure 4. Inspection guidance and delivery issue handling process for aircraft products
图 4. 航空产品检查引导及交付问题处置模式

5.2. 交付管理系统支撑业务规范运营

园区网交付管理信息化系统主要包括交付计划管理、交付问题管理、保障装备交付管理、交付技术状态管理、用户信息及需求管理五大应用模块。

(1) 交付计划管理模块中，年度/月度计划管理模块用于航空产品年度/月度交付数量计划下达和实际情况记录。交装进度节点管理模块用于每个航空产品交付过程中关键节点状态管理。交付作业计划管理模块以“交付工作包 - 作业计划细目”的“父 - 子”项的管理思路构建交付作业计划线上管控系统，用于航空产品每日作业计划的下达与执行情况反馈。交付工作日志管理模块用于记录交付过程中的每日实际工作内容以及交付问题。

(2) 交付问题管理模块中，问题处理模块结合交装 PAD 系统共同构建，详见第 5.1 节。接装疑问咨询管理模块用于实现用户接装疑问的提出以及专家回复相关数据的流转和交互。交付问题评估管理模块

是从“重复性”、“安全性”、“处置周期”等评估维度提取重复次数、影响程度、处置周期等数据识别重复典型问题，从而筛选出典型交付问题并形成数据库。交付问题优化管理模块用于对筛选出的典型交付问题发起根因分析、举一反三、措施制定、效果评价等改进流程。

(3) 保障装交付管理模块中，保障装交付清单管理模块用于建立保障装的名称、型号、数量、价格等交付信息。保障装应发台账管理模块用于建立保障装应发数量、时间、用户、目的地等信息台账。保障装配套发运管理模块用于管理保障装配套和发运工作，实时记录保障装缺配数量、缺配原因、预计到货时间等信息。保障装交接证明管理模块用于实现对保障装交接证明文件的建账管理，包括交接时间、双方交接人、交接型号、数量等信息。

(4) 交付技术状态管理模块中，交付技术状态清理模块用于对缺装项、故障项、待执行的工程更改项等装机实物情况进行清理，确定实物状态和交付技术状态的差异性。交付技术状态审查模块是在交付技术状态清理模块的数据上，明确交付阶段待执行工作的周期、方法、物料和责任人等要素。交付遗留项目台账管理模块用于对产品交付后未归零的制造依据和手续进行台账管理。交接备忘录台账管理模块对产品交付后未执行的实物工作进行台账管理。

(5) 用户信息及需求管理模块中，调研与回访管理模块用于对每次开展的用户调研、用户回访活动的时间、地点、人员、事项等信息结构化管理。接装用户信息管理模块用于对接装用户的姓名、职务、所属单位等信息结构化管理。接装用户需求管理模块用于对用户接装中所提需求进行分级分类、紧急程度、解决措施、责任人、落实情况等信息的落实和管理。用户办公用品管理模块用于接装用户日常所需的办公用品台账管理和流程审批。

5.3. 交付管控中心辅助进度态势感知

智能化交付管控中心包括航空产品交付态势预测、计划完成情况感知、问题处置情况推送、交付风险智能决策、交付指标智能预警等功能。

(1) 航空产品交付态势预测是集成了交装进度节点管理模块数据，通过数据转换和建模对各型装备交付的用户单位、地区、数量、时间进行可视化展示，同时对未来的交付趋势进行预测，辅助交付计划的提前调整。

(2) 计划完成情况感知是集成了交付作业计划和交付工作日志数据，详细展示在接装备已完成的工作包及完成时间、进行中的工作包、未完成的工作包以及总体交付进度。

(3) 问题处置情况推送是将处置周期超过 3 天的交付问题相关信息提取至管控中心展示，警醒责任单位并督促其加快处置速度。

(4) 交付风险智能决策是集成超期作业计划和超期未处置问题相关数据，通过 AI 算法分析和挖掘后，将交付风险按照高风险、中风险和低风险的分层分级方法进行数据统计和可视化展示，辅助管理者开展风险决策。

(5) 交装指标智能预警是集成了各模块中关于交装周期、交付问题、交接备忘等数据，按月进行数据统计，并通过与预警值的对比实现指标预警。

6. 结果与讨论

6.1. 交付效率与质量指标对比分析

为验证所提出的基于人工智能的航空产品交付管理信息系统架构的实际应用效果，选取某型号航空产品交付项目作为典型应用案例，对系统上线前后的关键绩效指标进行对比分析，并对系统运行性能进

行测试评估。选取系统上线前后各 6 个月的交付数据进行统计分析，关键指标包括交付周期、问题处置周期、计划准时完成率以及保障装齐套率，结果如表 1 所示。

Table 1. Comparison of key performance indicators before and after system implementation
表 1. 系统应用前后关键指标对比

指标	系统上线前	系统上线后
交付周期	40/天	28/天
问题处置周期	5.8/天	3.2/天
计划准时完成率	82%	93%

由表 1 可以看出，通过交装 PAD 系统与交付管理系统的协同应用，问题处置周期显著缩短近 45%；基于交付管控中心的进度感知与预警机制，交付计划准时完成率明显提升；整体交付周期缩短约 30%，显著提升了交付效率。

6.2. 典型应用场景分析

以某批次航空产品交付为典型应用场景，在交付检查阶段共记录问题 47 项。对比分析表明，传统模式下问题流转主要依赖纸质单据，平均闭环时间为 3~5 天，而在本系统模式下，通过交装 PAD 实时录入与系统流程驱动相结合，问题平均闭环时间缩短至 1~2 天。同时，系统运行过程中 85% 以上问题能够实现当日响应，60% 以上问题可在 48 小时内完成闭环处理。结果表明，该系统在缩短信息传递链路、提升多部门协同效率以及加快问题处置响应速度方面具有显著优势。

7. 结论

本文以航空产品交付管理为研究对象，提出一种“三阶五段”交付流程模型，设计了一种以“基础层 - 运营层 - 应用层”为内核的人工智能航空产品交付管理信息系统架构，分别对应设施构建(含 AI 算法和算力配置)和数据采集、业务运营和数据存储、过程管控和智能交互等功能。基础层完成基础设施配置、AI 算法和算力配置及交装 PAD 系统构建，助力交付问题快速处置；以交付管理信息系统为主的运营层支撑航空产品交付核心业务规范管理；应用层强化数据应用与赋能，基于 AI 技术构建了智能化交付管控中心和智能化交付管理应用。本文提出的基于人工智能的航空产品交付管理信息系统架构可为任何一种航空复杂产品的数字化和智能化交付提供标准化方法和技术参考。下一步工作将在交付专业 AI 模型的数据学习和智能交互方面开展进一步研究与应用。

参考文献

- [1] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 信息化和工业化融合 数字化转型 价值效益参考模型: GB/T 23011-2022 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [2] Loonam, J., Eaves, S., Kumar, V. and Parry, G. (2018) Towards Digital Transformation: Lessons Learned from Traditional Organizations. *Strategic Change*, **27**, 101-109. <https://doi.org/10.1002/jsc.2185>
- [3] Reis, J., Amorim, M., Melão, N. and Matos, P. (2018) Digital Transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research. In: Rocha, Á., Adeli, H., Reis, L.P. and Costanzo, S., Eds., *Trends and Advances in Information Systems and Technologies*, Springer, 411-421. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0_41
- [4] Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D. and Antunes Marante, C. (2020) A Systematic Review of the Literature on Digital Transformation: Insights and Implications for Strategy and Organizational Change. *Journal of Management Studies*, **58**, 1159-1197. <https://doi.org/10.1111/joms.12639>

- [5] Koumas, M., Dossou, P. and Didier, J. (2021) Digital Transformation of Small and Medium Sized Enterprises Production Manufacturing. *Journal of Software Engineering and Applications*, **14**, 607-630. <https://doi.org/10.4236/jsea.2021.1412036>
- [6] 任超, 张帅, 张菲. 面向数字化的航空制造企业生产管控模式分析[J]. 中国管理信息化, 2020, 23(20): 77-79.
- [7] 高毅, 明振东, 张雅霏, 等. 航空公司数字化转型现状及标准内容研究[J]. 标准应用研究, 2023(S1): 139-144.
- [8] US Department of Defense (2019) Summary of the 2018 Department of Defense Artificial Intelligence Strategy. Department of Defense.
- [9] Nilson, N.J. (1974) Artificial Intelligence. In: Rosenfeld, J.L., Ed., *Information Processing 74: Proceedings of the IFIP Congress 1974*. (North-Holland Publishing Company, 778-801.
- [10] 雷宏杰, 姚呈康. 面向军事应用的航空人工智能技术架构研究[J]. 导航定位与授时, 2020, 7(1): 1-11.
- [11] 卢新来, 杜子亮, 许赞. 航空人工智能概念与应用发展综述[J]. 航空学报, 2021, 42(4): 525150.
- [12] 张鹏. 基于人工智能的航空虚拟仿真实训系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2021(9): 112-115.
- [13] 常笑, 贾晓亮, 刘恬. 数字孪生与设计知识库驱动的飞机装配生产线设计及应用[J]. 航空制造技术, 2020, 63(20): 20-28.
- [14] Atluru, S., Huang, S.H. and Snyder, J.P. (2011) A Smart Machine Supervisory System Framework. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **58**, 563-572. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3405-4>
- [15] 郭飞燕, 刘检华, 邹方, 等. 数字孪生驱动的装配工艺设计现状及关键实现技术研究[J]. 机械工程学报, 2019, 55(17): 110-132.
- [16] Schleich, B., Anwer, N., Mathieu, L. and Wartzack, S. (2017) Shaping the Digital Twin for Design and Production Engineering. *CIRP Annals*, **66**, 141-144. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.040>
- [17] Ferguson, S., Bennett, E. and Ivashchenko, A. (2017) Digital Twin Tackles Design Challenges. *World Pumps*, **2017**, 26-28. [https://doi.org/10.1016/s0262-1762\(17\)30139-6](https://doi.org/10.1016/s0262-1762(17)30139-6)
- [18] 江海凡, 丁国富, 张剑. 数字孪生车间演化机理及运行机制[J]. 中国机械工程, 2020, 31(7): 824-832.
- [19] 李浩, 王昊琪, 刘根, 等. 工业数字孪生系统的概念、系统结构与运行模式[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(12): 3373-3390.
- [20] 陶飞, 张萌, 程江峰, 等. 数字孪生车间——一种未来车间运行模式[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(1): 1-9.
- [21] Schroeder, G.N., Steinmetz, C., Pereira, C.E. and Espindola, D.B. (2016) Digital Twin Data Modeling with Automationml and a Communication Methodology for Data Exchange. *IFAC-PapersOnLine*, **49**, 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.115>
- [22] 杜宝瑞, 王勃, 赵璐, 等. 航空智能工厂的基本特征与框架体系[J]. 航空制造技术, 2015(8): 26-31.
- [23] Singh, S., Shehab, E., Higgins, N., Fowler, K., Erkoyuncu, J.A. and Gadd, P. (2021) Towards Information Management Framework for Digital Twin in Aircraft Manufacturing. *Procedia CIRP*, **96**, 163-168. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.070>
- [24] 李伯虎, 张霖, 王时龙, 等. 云制造-面向服务的网络化制造新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 1-7, 16.
- [25] 李伯虎, 柴旭东, 侯宝存, 等. 云制造系统 3.0-一种“智能+”时代的新智能制造系统[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(12): 2997-3012.
- [26] 吕佑龙, 张洁. 基于大数据的智慧工厂技术框架[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(11): 2691-2697.
- [27] 庄亚明. 数字化工厂信息系统结构研究[J]. 计算机与应用化学, 2005, 22(8): 696-698.
- [28] 李明凯, 刘鑫, 徐亮. 装备数字化运维管理系统设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2022, 35(12): 139-140.
- [29] 陈振, 丁晓, 章文, 等. 飞机设计更改执行流程管理系统的设计与实现[J]. 航空制造技术, 2018, 61(21): 90-93, 99.
- [30] 丁炜. 大型客机协同制造供应商交付规范系统设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2016.