

基于智能制造的民航产品制造质量控制体系构建

阮仕会¹ 苏鹏予²

1. 陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723213

2. 中航西飞汉中航空零组件制造有限公司 陕西 汉中 723213

摘要: 民航产品制造对质量要求严苛,传统质量控制体系存在流程僵化、数据滞后、智能应用不足等问题,难以适配行业智能化转型需求。本文立足质量控制与智能制造融合机理,分析行业现状及现存问题,遵循预防为主、技术融合等原则,构建“核心-支撑-运行-保障”四层体系,设计全流程管控及运行机制,提出分阶段实施策略与效果验证方法,为民航产品制造质量管控智能化升级提供可行方案,助力产业高质量发展。

关键词: 智能制造;民航;质量控制;体系构建

引言:民航产品是现代工业“皇冠上的明珠”,集中体现材料、电子、动力、控制等最高技术水平,科技强国的标志性领域。当前,我国民航产业向柔性化、智能化转型,传统以事后检测为核心的质量控制模式已难以满足现代产品零缺陷、高精度的管控需求。基于此,本文结合工业互联网、数字孪生等智能技术,探索构建适配行业发展的质量控制体系,破解管控瓶颈,推动产品制造质量与产业竞争力同步提升。

1 相关理论与技术基础

1.1 民航产品制造质量控制相关理论

(1) 质量控制核心内涵与原则:核心是通过全流程管控,规避制造缺陷、保障产品性能达标,遵循预防为主、全员参与、持续改进、数据驱动的原则,聚焦产品可靠性与安全性核心需求。(2) 民航产品制造质量控制的特殊性:产品结构复杂、精度要求极高,涉及多学科交叉,且研发制造周期长、成本高,对缺陷零容忍,需兼顾设计、加工、检测全链条管控。(3) 传统质量控制体系的核心框架:以事后检测为核心,由质量标准制定、过程检验、缺陷处理、质量反馈四个环节构成,依赖人工操作,管控效率和精度有限。

1.2 智能制造相关技术

(1) 工业互联网与物联网技术:实现制造设备、物料、人员的互联互通,实时采集生产过程数据,为质量管控提供数据支撑,打破信息孤岛。(2) 数字孪生与虚拟仿真技术:构建产品制造全流程虚拟模型,模拟生产场景,提前预判缺陷,优化工艺参数,降低实体试错成本。(3) 人工智能与大数据分析技术:挖掘生产数据中的潜在规律,实现缺陷精准识别、故障提前预警,提升质量管控的智能化水平。(4) 智能检测与自动化控制技术:替代人工检测,实现尺寸、缺陷等指标的精准、高

效检测,同步完成生产过程的实时调控^[1]。

1.3 智能制造与质量控制的融合机理

(1) 技术融合的核心逻辑:以全要素、全流程、全周期数据为核心纽带,将智能制造技术嵌入质量控制的设计、生产、检测、运维等全流程环节,通过智能感知、实时采集、在线传输、数字建模等手段,构建“数据采集-智能分析-精准决策-自动调控”的闭环管理体系,实现质量管控由被动响应到主动调控、由分散管理向协同联动的转变。(2) 融合对质量控制的优化作用:有效弥补传统质量控制依赖人工、事后检测、静态管控等短板,推动质量控制模式从事后检测向事前预防、事中精准管控转型,显著提升质量波动识别能力、缺陷预警精度与过程稳定性,同时降低检测成本、返工损耗与质量风险,全面质量管控效率与可靠性。(3) 融合过程中的关键支撑条件:需要建立统一规范的数据标准与接口体系、具备高性能算力、工业互联网平台与智能算法模型作为技术支撑,同时需要培养既掌握智能制造技术又熟悉质量控制规律的复合型人才,为技术落地、系统运行与持续优化提供坚实保障。

2 民航产品制造质量控制体系现状及问题分析

2.1 民航产品制造行业发展现状

(1) 行业发展规模与产业布局:我国民航产业持续扩容,核心产品研发制造能力稳步提升,形成了以京津冀、长三角、珠三角为核心的产业集群,覆盖研发、生产、检测全链条,产业集中度不断提高。(2) 制造模式的发展趋势:逐步从传统刚性制造向柔性化、智能化制造转型,呈现多品种、小批里、高精度的制造特点,数字化、协同化成为行业发展核心方向。(3) 质量控制的行业需求:随着产品性能要求不断提升,对质量管控的精准度、实时性、全流程性需求日益迫切,亟需突破传

统管控瓶颈,实现质量管控的智能化升级。

2.2 现有质量控制体系运行现状

(1) 现有体系的构成与运行流程: 主要由质量标准、过程检验、缺陷处置、质量审核等模块构成,运行流程以“事前标准制定-事中人工检验-事后缺陷整改”为主,依赖传统管控模式。(2) 现有体系的应用成效: 基本满足常规产品质量管控需求,有效降低了重大质量缺陷发生率,保障了民航产品的基本可靠性,为行业发展提供了基础支撑。(3) 典型企业质量控制实践案例: 国内核心民航制造企业已逐步引入数字化检测设备,建立了专属质量管控台账,但整体仍以传统管控为主,智能化应用处于初级阶段。

2.3 现有体系存在的问题及成因分析

(1) 质量管控流程僵化,协同性不足: 各环节管控脱节,设计、加工、检测环节信息不互通,流程调整滞后,难以适应柔性制造需求。(2) 数据采集不全面,质量分析滞后: 数据采集局限于关键节点,缺乏全流程实时数据,多依赖事后数据复盘,难以实现缺陷提前预警。(3) 智能技术应用不深入,管控精度不足: 智能检测、大数据分析等技术多为浅层应用,未实现与质量管控全流程深度融合,管控精度难以满足现代化产品需求。(4) 问题成因分析: 技术层面缺乏成熟的融合技术方案;管理层面管控模式固化,协同机制不完善;人才层面缺乏兼具智能制造与质量管控能力的复合型人才。

2.4 智能制造背景下质量控制体系的改进需求

(1) 技术层面: 需引入先进智能检测、数字孪生等技术,构建全流程数据采集与分析体系,提升管控智能化水平。(2) 管理层面: 优化管控流程,建立跨环节协同机制,打破信息孤岛,实现质量管控的全流程闭环管理。(3) 标准层面: 完善智能制造与质量控制融合的相关标准,统一数据接口、质量指标,规范管控流程^[2]。

3 基于智能制造的民航产品制造质量控制体系构建

3.1 体系构建的指导思想、原则与目标

(1) 指导思想: 以民航产品高质量发展为核心,立足行业发展需求与智能制造发展趋势,以数据为纽带,融合工业互联网、数字孪生等智能技术,打破传统质量管控壁垒,构建全流程、智能化、协同化的质量控制体系,全面提升产品制造质量与可靠性,助力民航产业转型升级。(2) 构建原则: 坚持预防为主、全员参与,聚焦缺陷零容忍要求;坚持技术融合、创新驱动,推动智能制造技术与质量管控深度融合;坚持标准引领、贴合实际,适配AS9100等国际民航质量标准;坚持协同高效、动态优化,兼顾体系稳定性与柔性适配能力。

(3) 构建目标: 短期实现质量管控数据化、关键环节智能化,降低人为检测误差,缺陷检出率提升30%以上;中期建成全流程闭环管控体系,实现事前预防、事中调控、事后改进的无缝衔接;长期打造行业领先的智能化质量管控标杆,全面满足现代化民航产品的质量需求,适配多品种、小批里制造模式。

3.2 体系整体框架设计

(1) 核心层: 质量目标与标准体系,明确各环节质量指标、管控要求,适配AS9100标准,作为体系运行的核心准则,规范质量管控全流程。(2) 支撑层: 智能制造技术支撑体系,整合工业互联网、数字孪生、智能检测等技术,构建数据采集、分析、决策的技术支撑平台,为体系运行提供技术保障。(3) 运行层: 全流程质量管控体系,覆盖产品设计、制造、装配、检测全环节,实现各环节质量管控的协同联动,形成闭环管理。(4) 保障层: 组织与资源保障体系,完善组织架构、配备专业人才、升级检测设备、健全管理制度,确保体系稳定高效运行。

3.3 各子体系详细设计

(1) 质量目标与标准体系设计: 结合民航产品性能要求,分解各级质量目标,明确设计、制造等各环节质量阈值: 适配AS9100标准,完善质量手册、程序文件,规范质量管控流程,实现与国际民航质量标准接轨,确保质量管控的规范性与权威性。(2) 智能制造技术支撑体系设计: 搭建工业互联网数据采集平台,实现生产设备、物料、检测数据的实时采集与互联互通: 运用数字孪生技术构建虚拟仿真模型,优化工艺参数、预判制造缺陷;引入智能检测设备,实现尺寸、缺陷等指标的精准检测,提升检测效率与精度;搭建大数据分析平台,挖掘数据价值,为质量决策提供支撑。(3) 全流程质量管控体系设计: 设计阶段融入质量管控,开展仿真验证与风险评估,制造阶段实现实时监控,动态调整工艺参数;装配阶段强化工序衔接,严控装配精度,检测阶段实行全流程检测,确保缺陷早发现、早处置,实现各环节质量管控无缝衔接。(4) 组织与资源保障体系设计: 建立专项质量管控小组,明确各部门职责;培育兼具智能制造与质量管控能力的复合型人才,开展专项培训;升级智能检测、数据处理等设备,保障技术支撑;健全质量考核、奖惩等制度,规范体系运行。

3.4 体系运行机制设计

(1) 协同管控机制: 建立跨部门、跨环节协同小组,打破信息孤岛,实现设计、制造、检测等环节的信息共享与协同联动,提升管控效率。(2) 数据驱动机

制：以全流程采集的数据为核心，通过大数据分析实现质量状态研判、缺陷预警与工艺优化，推动质量管控从经验驱动向数据驱动转变。（3）风险预警与改进机制：建立质量风险数据库，实时监测质量指标，提前预警潜在风险；针对质量缺陷，开展根源分析，制定改进措施，形成“发现-分析-改进-验证”的闭环改进机制。

（4）考核与评价机制：制定科学的质量考核指标，涵盖缺陷检出率、管控效率等内容；定期开展体系运行评价，结合考核结果优化体系设计，确保体系适配行业发展与产品质量需求。

4 体系实施策略与效果验证

4.1 体系实施的前期准备

（1）技术准备：开展现有制造设备智能化升级，替换老旧检测设备，引入智能传感器、数字孪生仿真系统等核心产品，确保设备满足数据采集与实时管控需求；推进工业互联网、质量管控系统与生产系统的集成，打通数据接口，实现各系统数据互联互通，消除信息孤岛，为体系顺畅运行筑牢技术基础。（2）人才准备：制定复合型人才培养计划，针对现有员工开展智能制造技术、质量管控标准（含AS9100D）等专项培训，提升员工综合能力；通过校企合作、高端人才引进等方式，吸纳兼具智能制造与民航质量管控经验的专业人才，组建专项实施团队，明确岗位职责，保障体系实施落地。

（3）制度准备：结合体系构建要求，完善质量管控、设备管理、数据安全、人才考核等相关管理制度，细化各环节操作规范；适配AS9100D标准，修订质量手册与程序文件，明确体系实施的流程、责任与考核标准，确保体系实施有章可循、有据可依。

4.2 分阶段实施策略

（1）试点实施阶段：选取民航产品核心零部件制造、关键检测环节作为试点，搭建小型化智能化质量管控场景，试运行体系核心模块，重点测试数据采集、智能检测与协同管控功能，记录运行过程中的问题并及时优化调整，形成可复制、可推广的试点经验。（2）全面推广阶段：在试点经验成熟的基础上，将体系逐步推广至产品设计、制造、装配、检测全流程，覆盖企业所有生产单元，完成全系统集成与调试，实现质量管控的全

流程智能化、协同化，确保体系与企业生产经营深度融合。（3）优化完善阶段：建立体系运行监测机制，定期收集体系运行数据，分析运行效果与存在的不足，结合行业技术发展、产品质量需求变化，持续优化体系框架、运行机制与技术支撑，推动体系动态升级，确保体系始终适配企业发展需求^[3]。

4.3 体系实施效果验证

（1）验证指标设计：围绕质量、效率、成本三大核心维度，设计科学的验证指标，质量层面包括缺陷检出率、质量合格率、缺陷整改率等；效率层面包括检测效率、生产协同效率、工艺调整响应速度等；成本层面包括质量管控成本、缺陷损失成本、设备运维成本等，全面衡量体系实施成效。（2）实证分析：选取国内某民航产品制造企业作为实证对象，对比体系实施前后的各项验证指标，结合企业生产实践案例，分析体系在核心零部件制造、全流程检测等环节的应用效果，验证体系的可行性与实用性。（3）验证结果分析与优化建议：对实证数据进行整理分析，总结体系实施带来的质量提升、效率优化、成本降低等成效，明确体系运行中存在的薄弱环节；针对数据采集精度、协同管控效率等潜在问题，提出针对性优化建议，进一步完善体系设计，提升体系运行效能，为民航产品制造企业质量管控体系升级提供参考。

结束语

本文围绕智能制造与民航产品制造质量控制的深度融合，完成体系构建、机制设计与实施验证，有效弥补了传统管控体系的短板，实现了从事后检测向全流程智能化管控的转变。该体系兼具规范性与实用性，可为行业企业提供参考。

参考文献

- [1]许亚磊,陈小东,徐湖洋.航空装备制造质量安全风险因素耦合分析[J].航空标准化与质量,2024,(05):32-37.
- [2]侯德飞,张永红,李守伟,等.基于区块链技术的航空装备质量溯源系统[J].南京航空航天大学学报,2024,56(04):731-740.
- [3]刘旭东.智能制造技术在航空附件制造中的创新应用研究[J].科技资讯,2025,23(04):62-64.