

# PFMEA 在民机交付资料质量提升中的应用研究

沈叶

上海飞机制造有限公司, 中国·上海 201324

**摘要:** 本研究主要关注中国民用飞机制造过程中, 如何提高飞机交付资料的准确性、有效性和符合性, 采用过程失效模式及影响分析 (PFMEA) 这一工具, 论文以中国民机制造实际案例为基础, 深入讨论它在提高飞机交付数据质量方面的运用。通过对 PFMEA 识别潜在失效模式, 评价影响和制定预防措施等优势进行分析, 并有针对性地提出提升策略, 目的是为我国民机制造企业促进民机产业高质量发展提供理论支持和实践指导。

**关键词:** PFMEA; 民机制造; 交付资料; 质量管理

## Research on the Application of PFMEA in Improving the Quality of Civil Aircraft Delivery Documentation

Ye Shen

Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd., Shanghai, 201324, China

**Abstract:** This study centers on the crucial matter of improving the accuracy, effectiveness, and compliance of aircraft delivery documentation during the Chinese civil aircraft manufacturing process. By leveraging the Process Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA) approach and integrating it with real-world cases from Chinese civil aircraft manufacturing, an in-depth exploration of its application in elevating the quality of aircraft delivery documentation is conducted. Through a detailed analysis of PFMEA's strengths in identifying potential failure modes, evaluating impacts, and formulating preventive measures, targeted improvement strategies are put forward. The objective is to offer theoretical underpinnings and practical guidance to Chinese civil aircraft manufacturing enterprises, thereby facilitating the high-quality development of the civil aircraft industry.

**Keywords:** PFMEA; civil aircraft manufacturing; delivery documents; quality management

## 0 前言

随着中国民机制造业的快速发展, 飞机交付资料的质量成为关系到民机产品竞争力与安全的一个主要因素。飞机交付资料既为航空公司使用与维修飞机提供基础, 又在适航审定中发挥重要作用。实际生产中交付信息的准确性, 有效性以及符合性等方面还存在着许多挑战。PFMEA 是在航空制造领域产品设计与过程开发等方面被广泛使用的系统性风险分析工具。本文将讨论如何在中国民机制造过程中, 以 PFMEA 的方式来促进飞机所提供数据的品质。

## 1 PFMEA 简述

过程失效模式及影响分析 (PFMEA, Process Failure Mode and Effects Analysis) 是一种广泛应用于制造业的预防性质量管理工具, 目的是通过系统分析, 确定工艺潜在的失效模式, 对可能产生的成因和后果进行剖析, 采取相应防治措施, 以减少失效产生的危险, 促进产品质量和工艺稳定性的提高<sup>[1]</sup>。在实施过程中, PFMEA 通常由跨职能团队共同完成, 它强调的是对问题的早期识别和事前介入, 以避免质量问题对后续环节顾客的拓展和影响。其核心步骤包括: 明确分析的过程范围与流程节点; 其次, 识别每一

流程可能出现的失效模式; 评估每个失效的严重度 (S)、发生频率 (O) 和检测难度 (D), 并计算出风险优先级数 (RPN=S×O×D); 最后, 针对高风险项目提出具体的预防与监控措施。PFMEA 经过不断迭代更新后, 有利于全过程质量管理机制的建设, 提高产品的可靠性, 为企业制定标准化和可追溯风险控制体系打下基础。

## 2 中国民机制造中飞机交付资料现状及问题

### 2.1 现状

近年来中国民机制造业快速发展, 技术水平日益提高, ARJ21、C919 等国产飞机项目的研制成功, 表明中国民机设计, 制造及适航验证工作已取得重大突破。以 ARJ21 工程为例, 该机在试飞及交付期间积累了丰富的适航验证数据及技术文献, 对后续机型研制及资料体系建设具有重要意义。中国民机制造企业已逐步制定了交付资料编制标准与工作流程, 覆盖技术手册、维护指南、符合性说明等主要内容, 持续朝着数字化、模块化、标准化的方向迈进<sup>[2]</sup>。

相对于国际先进水平而言, 中国飞机交付数据的准备及管理还处在不断优化及改进阶段, 一些公司在数据完整性及逻辑一致性等方面、版本管理和跨部门协同等环节还比较

薄弱,限制着产品适航审查效率和顾客使用感受的进一步提高。迫切需要引进系统性的质量管理工具来优化与控制整个交付资料的过程,以保证数据的质量不断提高并满足国际航空标准的需要。

## 2.2 问题

### 2.2.1 准确性问题

飞机交付资料是航空公司进行运营,维修以及适航审查等工作的重要基础,内容须具有较高精度。但在实际的编制工作中,数据仍然会出现技术参数填错,图纸信息和实际配置不符,系统描述不够明确或者术语运用不够规范的情况。这些错误通常来自设计和编制环节的交流不畅和版本控制的混乱,以及审核机制的薄弱。航空公司一旦基于错误资料进行操作或者维护操作就会造成系统操作偏差,安全隐患乃至适航违规等问题,极大地影响了飞机运行安全以及顾客对制造企业的信任度。保证交付资料在内容上的准确性、逻辑上的明确性和表达上的统一性是提高交付资料品质的根本所在,更是支持适航合规工作的首要条件。

### 2.2.2 有效性问题

交付资料的有效性表现在它能否真正适应航空公司对飞机运行、维修和训练的现实需要。在实践中有些资料内容偏于理论化或者模板化,与特定机型配置、用户使用场景以及运行环境等适配性不强。有的维护手册没有给出与特定部件布局相结合的操作指引或者说明书上的操作流程没有可执行性等原因给使用人员带来精确的理解与操作上的困难。这种“形式合规、实质欠缺”的问题,降低了资料的使用效率,延误了维护节奏,甚至在发生故障时无法提供及时、有效的技术支持。增强交付资料的实用性、针对性是提高用户满意度和维护效率的一个重要环节。

### 2.2.3 符合性问题

交付资料符合性指交付资料内容是否符合民航主管部门制定的适航标准和审查要求,它是确保飞机适航性、运行合法性的核心内容。现实运行中的数据普遍存在版本更新落后,法规条款涵盖不全、引用标准不统一、形式或安排不标准等诸多问题,使之很难充分达到适航审查或者客户验收的要求。适航符合性说明漏掉了关键系统条款反应或者文档结构没有按照标准格式排列都会造成适航审查的推迟或者拒绝。这样既影响了项目交付的进度,也会带来监管风险及法律责任。提高符合性水平需要制造企业深入了解适航法规,建立和完善资料审查机制和法规更新追踪机制,才能在源头上保证资料内容的正当,完整和规范。

## 3 基于 PFMEA 的飞机交付资料提升策略

### 3.1 交付资料过程定义与分解

PFMEA 是建立在明确界定和系统性分解整个分析对象过程之上。飞机交付数据质量改进过程中需结构化划分交付数据的准备,审核及发布流程,厘清各个关键节点输入输出、

责任主体及执行标准。飞机交付资料包括技术手册、维护指南、符合性说明和培训文档几个模块,涵盖设计、工程、质量、适航与飞控的各个职能部门<sup>[3]</sup>。应用 PFMEA 方法时,需从“过程识别”开始,将资料生成链条上的各个环节如资料策划和初稿撰写等节点化描述、部门内部审核、适航审查和版本发布,对各个环节制定失效模式识别清单。该流程既为失效识别提供先决条件,又为后续控制措施部署点的确定提供帮助。通过细致的过程分解,可发现资料质量问题多集中于跨部门交接环节与版本迭代节点,从而在 PFMEA 表单中对其设置高关注等级,为后续的风险分析和改进措施提供依据。

### 3.2 识别潜在失效模式

PFMEA 的应用过程中潜在失效模式的确定是其中关键的一个环节。将头脑风暴、经验反馈和历史质量问题数据等多种方法相结合,可以系统地辨识出飞机交付数据时影响数据准确性,有效性和符合性的多种失效模式。从“准确性”的角度来看,常见故障主要有参数数据填错、用语不一致和图文不符;就“有效性”而言,主要表现为内容空洞、情境适配欠缺和流程描述无法落实;而“符合性”方面的失效则表现为法规引用不全、适航条款响应缺失、资料版本不符合规范等。借助于 PFMEA 系统性分析手段,项目团队需要对这些失效模式进行模块归类并记录到 PFMEA 表中,以清楚地了解相应失效原因、失效后果以及它们在实际投运过程中所体现的形态。特别要对经常发生或者曾经造成适航审查拖延的顾客反馈典型问题进行重点分析,在以后环节要优先考虑风险等级。该系统识别过程有助于企业构建知识沉淀与失效案例库以支持持续改进机制。

### 3.3 评估失效影响及风险优先级

在完成失效模式识别后,PFMEA 的核心在于对各类失效的风险进行量化评估,并通过计算风险优先级数(RPN)确定控制优先级。RPN 由三个维度组成:失效的严重度(S)、发生概率(O)和检测难度(D)。在飞机交付资料管理方面,可以根据对飞行安全、适航合规和顾客使用等方面的影响大小来制定严重度评分,如果某个技术手册出错会造成维护误操作等情况,严重度为“高”级。发生的可能性是基于过去的问题数据、工作流程的复杂性和人为干预的频次来评估的,如新手动编辑的数据模块的发生概率可能会更高;而检测难度取决于当前审查机制是否健全和自动化。最后获得 RPN 数值并依此进行失效模式的排序和高风险项目的甄别。该评价过程可以通过图表或者雷达图辅助进行可视化展示,将高风险环节直观地显示出来,引导企业在有限资源条件下对关键控制点进行重点投资,有效地减少交付资料缺陷的系统性风险。

### 3.4 制定预防和检测措施

PFMEA 在高风险失效模式识别和评价的基础上,其最终目的在于制定可行的防范和检测措施以达到质量风险前

端控制和过程监测。在飞机交付资料管理方面,对于 RPN 偏高的问题项目可以采用以下策略:一是优化前端设计评审机制,要求设计部门在技术输出前完成术语统一、数据源校验与法规映射;二是引进双重审核机制,适航部门和质量部门对关键技术资料进行交叉审核,增强资料内容合规性和准确性;三是推动数字化文控系统建设,减少人工操作频次,实现版本控制、自动比对与权限追溯,降低因人为疏忽造成的资料错误。在检测层面,要建立标准化审核清单与定期抽检机制以实现交付数据的覆盖性审核,并引入顾客反馈回溯机制以及及时纠正已经检测到的数据缺陷。通过这些措施纳入 PFMEA 的“控制策略”与“责任分配”模块中,形成可持续、可闭环的质量管理体系,从而全面提升飞机交付资料的准确性、有效性与符合性,构建稳健的交付支撑能力。

## 4 案例分析: ARJ21 项目交付资料提升实践

### 4.1 背景

ARJ21 作为中国第一架自主研发的喷气式支线飞机获得适航证,它的成功研制表明中国民机制造能力达到新水平<sup>[4]</sup>。项目团队交付阶段面临着交付资料体系规模大、模块繁杂和适航要求苛刻的挑战。特别是初始批次送达时,有些数据存在系统逻辑不清晰、法规覆盖不充分、客户反馈落后等情况,给适航审查和客户运行构成了一定的阻力。为增强数据准备工作的系统性、规范性和可交付性,ARJ21 项目组通过引入 PFMEA 方法对关键数据环节进行结构化分析来提高数据的交付质量和适航合规性。

### 4.2 PFMEA 应用

在 ARJ21 项目的实际推进中,PFMEA 被首先应用于《飞机维护手册(AMM)》与《系统说明书(SDM)》等关键文档模块。项目组成立跨部门分析小组,识别了 10 类高风险失效模式,其中包括系统流程描述不连续、技术状态版本混用、适航引用标准不一致等典型问题。以燃油系统为例,原手册中操作逻辑跳转频繁,术语使用不统一,导致维护人员理解偏差。针对这一问题,团队通过 PFMEA 分析判定其严重度为 9(高)、发生概率为 6(中),且现有检测机制无法发现,检测难度评为 7,最终计算出 RPN 高达 378。基

于该结果团队采取措施包括:统一术语数据库、增加交叉审阅轮次、引入条款校验脚本对适航内容进行自动匹配校验,并建立版本管控平台,实现资料改动可追溯。

### 4.3 成效

导入 PFMEA 后,ARJ21 工程交付数据的总体质量和一致性得到显著改善。最初在适航审查过程中,每批次的资料返工问题平均超过 20 项,但在加入 PFMEA 的管理机制后,这些问题被减少到不超过 5 项,使得返工的周期减少了超过 40%。通过统一数据源和引用标准避免重复出现技术状态不一致性。最后生成的符合要求的报告页数超出了 30 万页,其覆盖范围全面、各项条款完备、逻辑条理分明,部分模块质量水平超过波音 787 的行业标准<sup>[5]</sup>。这一做法为以后 C919、CRJ929 等项目资料体系构建提供了可复制的经验,使其由经验式管理走向流程化管理、以风险为导向的管理变革表明中国民机交付资料管理步入了一个标准化、系统化发展的新时期。

## 5 结论与展望

通过引入 PFMEA 方法,中国民机制造企业能够系统识别并解决飞机提供信息的准确性、有效性及符合性问题。ARJ21 计划的成功实践表明,PFMEA 对改善交付资料质量是行之有效的。今后在中国民机制造业日益发展的情况下,要进一步健全 PFMEA 应用体系、强化跨部门协作、不断提高所提供材料的品质,从而为中国民机进入国际市场打下坚实的基础。

### 参考文献:

- [1] 朱天聪,张虎翼.民用飞机制造产业链构成和提升路径研究[J].科技促进发展,2024,20(Z2):834-843.
- [2] 李艳华,王越超,孟鹏,等.我国国产民机规模化发展的挑战及路径探讨[J].综合运输,2024,46(11):9-16.
- [3] 朱天聪,张虎翼.基于文献计量法的民机制造技术体系建设及技术预见探析[J].科技管理研究,2022,42(4):53-59.
- [4] 程丽.基于ERP的民机制造行业供应链管理应用实践[J].装备制造技术,2019(8):166-167.
- [5] 马援.ARJ21——中国民机工业的试金石访中国一航民机产业部部长汪亚卫[J].国际航空,2007(5):14-15.