

飞机工程技术质量隐患成因及管控策略

李海青 张敏

石家庄海山实业发展总公司 河北 石家庄 050208

【摘要】：飞机维修及工程技术管理中出现的质量隐患，属于造成飞行安全问题的根本原因。本文以飞机工程技术质量管理方面的工作为基础，对质量隐患产生的原因进行了系统的分析，主要从设计源头信息传递失真、维修现场工艺执行偏差、人员技能与标准匹配不足、外场环境因素干扰四个方面进行分析。根据全面质量管理的思想，提出了以过程方法为基础的隐患识别机制，主要介绍了故障模式与影响分析（FMEA）、根本原因分析（RCA）、统计过程控制（SPC）等先进的质量管理工具在飞机工程技术质量控制中应用的情况。创建起“预防—检测—纠正—改进”的闭环管理机制，形成工程技术全过程质量隐患的管控策略。经过实践证明，把科学的质量管理工具融入飞机工程技术工作流程中，可以明显提高隐患的发现率和管控的精确度，减少差错事件的发生，给航空装备维修保障质量打下良好的基础。

【关键词】：飞机工程技术；质量隐患；成因分析；管控策略；质量管理工具

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.108

1 引言

飞机工程技术质量是航空装备完好率、飞行安全的保证。飞机维修、改装、大修和工程技术管理过程中质量隐患的出现，一般都不是由于某一个操作失误，而是由系统性问题长期积累而形成的^[1]。由于机队规模的不断扩大、技术越来越复杂、维修越来越深入，传统的依靠经验判断、事后补救的质量管理模式已经不能满足新形势下保障的要求^[2]。

质量隐患是在一定的条件下，可能造成质量缺陷或者安全事故的因素，具有隐蔽性、累积性、突发性等特点。与显性质量问题直观可查不同的是，隐患常常隐藏在工程技术流程的各个环节之中，需要用系统的方法和工具去识别和挖掘^[3]。

2 飞机工程技术质量隐患的主要成因

2.1 工程技术源头的信息链断裂

飞机制造企业技术数据包、维修手册、适航指令等技术资料属于现场工程技术活动的基本输入。技术信息经过多级转化，在总工程师室、车间技术组、一线作业班组之间每一步都会产生信息的衰减或者失真。设计更改的传递不及时、手册版本更新没有同步、外场服务通告落实不到位等状况，成了工程技术质量隐患的主要来源。以某型飞机起落架大修工艺规程中关于内筒镀铬层厚度控制要求为例，在技术传递过程中如果出现遗漏情况，会造成镀层不合格零件装机，造成结构安全风险。技术信息链是否完整、准确、及时，是决定工程技术质量好坏的第一要素^[4]。

2.2 维修现场工艺执行的偏差累积

飞机维修工程包含机械、电气、航电、复合材料等诸多专业，每一项工作都存在一定的工艺标准和操作规程。实际操作中个体技能差别、工装设备状况改变、作业环境条件变动等都会造成工艺参数出现偏差。发动机叶片无损检测中渗透检测显像时间、紫外线强度等参数如果超出工艺规定的范围，就会造

成裂纹漏检。偏差常常是微不足道的、一次很难察觉到的，但是多次作业的累积会使它变成质量隐患。同一机型、同一工序上反复出现的相同偏差，就是系统性问题，是由工艺设计、培训体系或者质量监控机制的缺陷造成的^[5]。

2.3 人员技能与标准要求不匹配

新型飞机大量使用复合材料、数字化系统，对维修工程技术人员的专业能力提出了更高的要求。部分一线技术人员知识结构、技能水平不能跟上装备的更新，造成对技术标准理解不同，执行过程中出现“凭经验操作”而不是“按工艺施工”的现象。质量检查环节中，检验人员发现问题能力依靠的是对技术文件的了解程度。培训覆盖面小、考核机制不健全、技能复训时间过长等问题，造成人员能力的不足，使其成了质量隐患的主要承载者。但是能力不足并不一定和责任心有关，而是由组织在人才培养、能力建设方面存在系统性问题所造成的。

2.4 外场环境因素的干扰

飞机工程技术作业环境复杂多变，在野外伴随保障条件下，温度、湿度、洁净度、照明等环境参数很难达到工艺要求。环境因素和质量隐患之间不是简单的因果关系，而是呈现出交互作用的特点，即不良环境加重了人员的疲劳，降低了操作的精确度，从而导致差错的发生。寒冷地区复合材料修补时如果固化温度控制不好，修补强度会明显降低。对这类隐患的控制要从工程技术方案上考虑环境容差，在现场设置有效的环境监控和补偿措施。

3 基于质量管理工具的隐患识别与分析方法

3.1 故障模式与影响分析（FMEA）在工程技术流程中的应用

FMEA 属于一种预防性的质量手段，它经由对可能出现的故障模式加以识别，进而判定这些故障模式的严重程度，发生频率以及可探测性，从而得出风险排序，最后制定出相应的预

防措施。在飞机制造工程技术流程中,使用 FMEA 时要遵照如下步骤执行,即选定分析对象(某个机型的大修工序或者改装项目),列出流程中的全部可能的故障模式,评价每一个故障模式对后续工序和最终产品的影响,找出原因并判定现行的控制办法,算出风险优先数(RPN),就高 RPN 的项目给出改进意见。

以某型运输机起落架收放系统调试为例,用 FMEA 分析可知,收放作动筒密封圈装配位置偏移的故障模式严重度为 9(高),发生频度为 4,可探测度为 3, RPN=108。目前的控制措施只有“目视检查密封圈是否到位”,不能有效地探测装配位置偏移。改进措施是增加密封圈装配定位工装,将装配后气密试验压力由原来的 1.0MPa 提高到 1.2MPa。故障模式出现率下降到原来的 80%。FMEA 的核心价值就是把质量控制从结果检验提前到过程设计阶段,对工程技术流程的改进有着十分重要的现实意义。建立飞机工程技术 FMEA 数据库,对知识进行积累、共享,使新项目可以借鉴以往的经验教训,具体如下表 1 所示。

表 1 飞机工程技术常用质量管理工具及应用场景对照

工具名称	核心功能	适用场景	在飞机工程技术中的应用示例
FMEA	预防性识别潜在故障	新工艺设计、工序改进	起落架收放系统调试风险分析
RCA	分析质量问题的根本原因	质量事件调查、重复性故障分析	某型发动机滑油压力波动根本原因查找
SPC	监控过程稳定性和能力	关键工艺参数控制、质量趋势分析	发动机叶片榫头磨削尺寸过程控制
5Why	追根溯源,系统思考	简单问题的深度剖析	维修记录填写错误的原因链分析
SIPOC	识别流程的输入与输出	流程优化、接口管理	航材入库检验流程的规范化

3.2 根本原因分析(RCA)在质量事件调查中的应用

质量隐患发展成具体事件的时候,RCA 是寻找源头、防止再发生的有效手段。RCA 的核心就是区分近因和根因,不能只看问题表象而忽视根本原因。在实践当中一般会从人、机、料、法、环、测这六个方面来展开系统的排查工作。以一次航电设备接口烧蚀事件为例,认为是操作人员没有按照规程来连接插头造成的。运用 RCA 进一步追问:为什么未按规程?由于新员工没有对本型号插头做专门的培训。培训为什么没有开展?由于培训计划中缺少此项内容,因此无法进行。为什么会被遗漏呢?由于工艺文件变更之后没有同步更新培训大纲。因此,

根因锁定在变更管理流程缺陷上,并不是操作失误造成的。因此采取的纠正措施就是修订变更管理程序,建立培训需求和工艺变更的联动机制。RCA 重视用数据说话,现场勘查、实物检测、模拟复现等手段不能缺少,结论要以事实为基础。

3.3 统计过程控制(SPC)在关键工艺参数监控中的应用

SPC 就是对过程数据进行统计分析,判断工艺过程是否处于受控状态,提前预警异常趋势,防止不合格品产生。在飞机工程技术方面,轴承压入力、紧固件拧紧力矩、复合材料固化温度这些重要的工艺参数都可以用 SPC 来加以控制。具体操作为确定关键质量特性、抽样检测、绘制控制图、计算过程能力指数(Cpk)。当 Cpk 大于等于 1.33 时,说明过程能力是充足的,反之则需要改进工艺或者设备。利用 SPC 技术把工程质量由“事后检验”变成“过程预防”。以某型飞机起落架轮轴承压装工序为例,连续采集 12 组压入力数据,得到均值一极差控制图,发现有 2 个点超出控制界限。经检查可知,压装工装磨损造成配合间隙增大。及时修复工装之后,压入力趋于稳定,防止由于轴承安装不正确造成的起落架故障。SPC 不但是一个技术手段,更是管理哲学,它把信任和依赖放在首位。

4 质量隐患管控的实施策略

4.1 构建“三级预防”质量管控体系

根据实践,飞机工程技术质量隐患控制应该形成一个三级预防体系。第一级为源头预防,在工程设计、工艺准备阶段利用 FMEA、设计评审等方式识别并消除隐患;第二级为过程预防,采用 SPC、标准化作业、防错装置等方式对生产活动进行实时监控,及时发现异常并加以纠正;第三级为事后预防,当质量事件发生之后,使用 RCA 进行深入分析,把改进措施标准化,防止同类隐患再次出现。三级预防逐级前进,构成闭环,贯穿于工程技术质量管理工作全过程。三级预防的深度和强度要和隐患风险级别相适应,不能过度控制,体现质量管理的经济性原则。

4.2 建立隐患数据库并实施动态更新管理

将工程技术工作中的安全隐患分类编码后输入到隐患数据库中。隐患数据应该包括隐患描述、发现途径、风险等级、涉及的机型或者系统、可能造成的后果、控制措施、责任单位等内容。数据库是组织过程资产,应该为新的工程技术项目风险分析服务。经由数据挖掘,可以找出高频的隐患种类以及薄弱之处,从而给质量改善给予指引。数据库维护要持续投入,隐患状态的改变(已经消除、降低、提高)要及时更新,保证数据的时效性。隐患数据的保密管理同样不能小视,对于需要保密的事项必须严格遵守规定的权限逐层把关,防止出现泄密事件的发生。

4.3 推行质量闭环管理(PDCA 循环)

PDCA 循环是质量管理通用的思路,在隐患管控中也适用。

计划(Plan)阶段根据隐患评估结果制定管控方案,确定责任人及完成时间;执行(Do)阶段落实改进措施,即修订工艺文件、培训人员、配备工装等;检查(Check)阶段验证措施有效性,用测量数据或者过程指标来判断隐患是否消除;处理(Act)阶段将有效的措施标准化,纳入常规的质量管理体系中,并寻找新的改进机会。PDCA的关键在于循环不止、螺旋上升。对已经消除的隐患要定期复查是否再现,对不能彻底解决的隐患要启动新一轮循环。PDCA机制要依靠各级管理者主动参与才能形成持续改进的文化氛围。

4.4 强化质量信息沟通与隐患报告机制

创建通畅的质量信息交流途径,促使一线技术人员积极反映质量隐患。在实践当中推行了质量信息快速响应系统,一线操作人员发现异常可经由专用平台即时上报,质量管理部门依照指定时限展开分析并给出处理结果。对报告有价值隐患的人实行正向激励,消除“报喜不报忧”的文化障碍。隐患报告的匿名化处理属于保护报告人的一种方法。另外定期召开质量形

势分析会,对隐患统计数据及典型案例进行通报。信息透明化可以使各个部门一起面对系统性的问题,避免出现各自为政、碎片化的管理。

5 结论

飞机工程技术质量隐患的产生原因多种多样,既有技术传递系统性上的问题,又有现场操作上的失误,还有人员能力以及环境等各方面的原因。传统的质量管理模式重在事后纠正,不能有效地防止隐患的产生。本文提出用FMEA、RCA、SPC等先进的质量控制方法对隐患进行识别和控制,创建起“三级预防”体系,创建起隐患数据库,推行PDCA循环,改善质量信息交流途径,塑造起涵盖工程技术全过程的隐患控制闭环。实践证明,把科学的质量管理工具融入工程技术流程之中,可以有效地提高隐患的识别率,降低差错的发生率,给航空装备维修保障质量提供强有力的支撑。伴随着大数据、人工智能等新技术的发展,质量隐患的预测性识别将会成为现实,飞机工程技术质量管理也将提高到新的高度。

参考文献:

- [1] 唐志强.飞机维修工程中的可靠性技术应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(003):000.
- [2] 郭飞燕,肖世宏,肖庆东,等.面向性能保障的新一代飞机结构装配质量控制技术[J].机械工程学报,2024,60(16):412-428.
- [3] 刘锐.激光技术在飞机结构损伤修理中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(003):000.
- [4] 张桂书,程胜,万佳佳,等.民用飞机复合材料构件损伤失效分析在批产质量优化中的探索[J].复合材料科学与工程,2025(5).
- [5] 涂思敏,陈振华,章俊燕,等.飞机平尾夹芯蜂窝复合材料结构的超声智能检测技术[J].复合材料科学与工程,2025(10).