

航空维修中飞机工程技术质量管理优化路径

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】：航空维修工程质量管理属于保证飞行安全和运行可靠的重要部分。由于机队规模增大、机型结构更加复杂、国产大飞机加入运营，传统的工程技术质量管理体系标准落地精度不高、数据利用率低、人为差错控制能力弱等缺陷愈发明显。本文从航空维修工程技术质量管理的现实问题入手，对目前体系在技术文件质量、过程监控连续性、数据驱动决策能力、系统性风险防控等各方面存在的不足进行了分析，并提出标准化和精细化双轮驱动的体系重构、数字化质量监测平台建设、人为差错系统化管理、精细化技术监督机制四条优化途径。研究表明，创建起包含技术预备、过程落实以及闭环评定在内的全面质量管控体系，并将数据引领的预测性修理同智能检测技术融合起来，可以明显加强航空维修工程技术质量管理的系统能力。

【关键词】：航空维修；工程技术质量管理；优化路径；全链条管控

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.057

1 引言

航空维修工程技术质量管理就是按照维修方案的制定、工卡的编制、故障的分析、改装的实施、技术状态的控制等环节，以保证飞机持续适航为目的的系统性控制活动。工程技术质量管理属于维修体系的技术核心部分，它直接影响到维修工作合规、可靠。长期以来，国内航空维修单位以适航规章为主导、以手册程序为框架形成了基本的管理模式，在保证飞行安全方面起到了重要作用^[1]。

但是随着我国机队规模不断增大、机型种类越来越多，再加上国产大飞机 C919 开始进入商业运营并逐步向高级别定检迈进，工程技术质量管理也遇到了新的问题。据民航华东局 2025 年通报可知，维修标准执行偏差、人员资质及能力欠缺、体系评价不健全仍是目前的主要隐患²。C919 首次由运营人维修单位独立完成高级别 C 检过程，监管方从技术合规性、流程完整性、风险可控性三个方面进行审查，发现维修单位在技术准备、工卡精细化、风险辨识上还存在较大提升空间。另外传统体系对于数据的利用以及决策的前瞻性存在着不足之处，不能够适应机队老龄化、供应链紧张等新的情况^[3]。本文从现实问题入手，提出系统的改进途径，为提高航空维修工程技术质量管理水平提供借鉴。

2 航空维修工程技术质量管理的问题分析

2.1 技术标准落地颗粒度不足

工程技术质量管理的第一要务就是把适航规章和厂家手册的要求变成可以执行、可以检查的技术文件。目前普遍存在的问题是技术标准落地的颗粒度不够。大量的维修工卡技术描述还停留在概括性的要求上，缺少对操作时序、检测精度、工具校准状态等微观技术要素的刚性约束。以 C919 首次 C 检为例，监管方将大翼结构检查、发动机燃油系统测试等关键技术项目拆分为 128 个细分工序，对每个工序的技术参数阈值以及责任人作出具体规定^[4]。该案例表明，在没有细致分解的时候，

技术标准在传递过程中会存在衰减现象，执行人员依靠个人经验来作出判断，造成质量的波动。工卡中使用的“适当”、“充分”、“完好”等模糊用词现象仍然普遍，给之后的质量检查、责任追溯带来了很大的困难^[5]。

2.2 全流程质量监控存在断点

传统管理模式下，工程技术部门编制技术文件，生产部门执行，质量部门抽查，三者之间信息传递是静态的、单向的、事后性的。工程技术支持同现场作业之间存在着时间上的差别以及信息上的差异，执行过程中出现的技术偏差或者异常情况，工程技术人员很难及时介入。由于断点式的监控方式使得质量缺陷出现时已经进入较后环节，因此造成整改成本和难度增大。定检现场技术问题反馈渠道不畅，工程技术人员对一线操作实际困难了解不多，所编制的工卡与现场作业场景不符。质量审核大多采取抽样检查的方式，覆盖面小，不能对工程技术活动全要素、全过程进行穿透式的管控。

2.3 数据驱动的决策能力薄弱

航空维修过程中产生大量的飞参数据、故障记录以及维修工单，但是大部分数据都处于沉睡的状态。工程技术质量管理部门对于这些数据的利用大多只是停留在统计报表上，并没有对它们进行系统的挖掘和分析。飞参数据深度挖掘结合专家知识推理的方法已经被证明可以用于故障早期识别，但是在大多数维修单位的技术工程质量管理体系中还没有得到系统的应用。质量趋势分析缺少历史数据的预测模型，不能对潜在的系统性质量风险做出提前预警。技术决策支持上缺少融合多源数据的辅助工具，工程技术人员在编制维修方案、评价改装影响的时候，大多依靠个人经验及厂家的意见，缺少数据支撑。

2.4 人为差错系统性防控不足

人为差错是航空维修质量事故的重要原因。在工程技术质量管理中，人为差错是指维修人员操作失误之外的各种因素所造成的人为错误，也即工程技术人员的判断失误、设计方案的

缺陷、质量审核的疏忽。目前对于“人”的因素管理大多只停留在初始培训以及定期复训上，缺少对工作负荷、作业环境、组织文化等系统的因素进行量化评价并做出及时调整的机制。C919首次C检时，监管方要求维修单位对于当天发现的技术问题当日核查、当日闭环，这背后体现的是对于人为失误快速反应、系统性追责的需求。但是大多数单位发生质量偏差之后，只对当事人进行处罚，没有从系统上分析组织管理、工作负荷、程序缺陷等机制。

3 航空维修工程技术质量管理优化路径

3.1 标准化与精细化双轮驱动的体系重构

优化工程技术质量管理首先要从体系上解决标准落地颗粒度小、流程衔接不畅的问题。标准化建设要以适航规章为底线，以行业最佳实践为目标，创建起包含“技术准备—过程执行-闭环评估”全部环节的标准化工作矩阵。工卡标准化要对每一个维修项目的参数、检测阈值、工具精度、验收标准等进行量化，不能用模糊的语言来表述。C919首次C检时把关键技术项目拆分成细分工序，并且确定责任人，该做法应当成为工程技术质量管理的常态要求加以推广。流程标准化要创建起从适航指令接收评价、工卡编撰、技术会签、质量审核、发布执行及修订废止的标准化工作流程，每一个环节都要有清楚的时间节点、责任人员以及交付标准。

精细化管理的关键之处在于把质量控制延伸到技术执行的每一个微观环节里。对关键工序要创建“技术风险—管控措施”对应清单，事先找出高风险作业环节并制订专项技术预案。对于复合材料蒙皮损伤误判的风险，应该确定用超声探伤仪复核厚度的技术途径和判定标准，对于航电数据加载异常的风险，应该事先保存好航电系统的基准数据，并且制定出加载失败后恢复的程序。将技术控制细化到微观参数，可以很好地消除工程技术质量管理中出现的灰色地带。

3.2 数据与模型驱动的全链条质量监测平台建设

工程技术质量管理由原来的依靠经验来推动变为依靠数据推动，这是提高管理效率的重要途径。数据和模型双驱动的预测性维修质量管理体系，把多种数据融合起来，加上故障预测以及决策支援技术，可以明显提升故障预警水平和质量管控水准。从数据采集和治理角度出发，打通飞行参数数据、维修工单数据、航材消耗数据、工具设备状态数据和人员作业数据的采集渠道，创建起统一的工程技术质量管理数据中台。深航维修工程部用“智慧维修AR协作平台”把AR眼镜和AI识别技术带到维修流程当中，从而达成维修全过程可视化记载和监控的目的，借助AI模型自动识别出人为因素的风险点，把全过程影像和数据自动归档起来，创建起可以追溯的电子维修档案。这说明数字技术可以把作业现场的隐性问题变成可以量化的、可以追踪的显性数据。

模型构建与验证要以历史故障数据、飞参数据为基础，创建出针对典型系统、关键部件的故障预估模型以及质量异常识别模型。工程技术质量管理部门应当把模型嵌入日常的质量监控流程中，从而达到对技术偏差以及质量异常进行早期预警的目的。在决策支持以及反馈方面，模型所得到的预测结果以及异常识别信号应当可以自动引发工程技术质量管理的响应流程，联系到有关工卡的历史执行情况以及航材储备状况，给技术决策赋予完备的数据支撑。

3.3 面向系统性防控的人为差错管理体系优化

人为差错的防控要由个体行为管理上升为系统的风险控制。事前预防方面要创建工程技术人员资质能力评定及动态授权体系，除了最初的培训和定期复训之外，还要以工作样本为基础的能力验证手段，对技术人员应对复杂问题时的分析判断能力加以检验。东航技术自主研发的QEC错漏装检测机器人具有高精度视觉系统、智能化算法，可以完成发动机30分钟内全部图像采集及智能分析工作，对10毫米以上的错漏装问题检出率达到90%以上。该种智能检测技术思路也适用于工程技术质量审核环节，把重复性、高精度的技术审核工作部分交给智能系统来执行，可以有效地减少人工审核由于视觉疲劳、注意力分散造成的漏检风险。

事中控制上要创建多层次的技术会签、质量复核体系。重大改装的工程技术方案、超手册修理方案、关键适航指令的执行计划应实行三级技术评审制度，即方案编制人自审、同专业技术人员交叉审查、质量工程师独立审核，逐级把关。复核时要采用统一的检查单，对适航规章、厂家手册以及已有的案例一项一项地进行确认。事后闭环上要创建以归因分析为基础的人为差错回溯体系。当出现由于人为原因造成的质量偏差时，要从系统角度对组织管理、作业环境、工具设备、工作负荷等深层次的致因进行分析，据此修订工程技术质量管理程序和培训内容，如表1所示。

表1 航空维修工程技术质量管理优化路径要素矩阵

优化维度	关键措施	适用环节	预期成效
体系标准化	量化技术参数、推行三级技术评审、细化工序分解	工卡编制、技术会签	消除技术管控“灰色地带”
数据驱动监控	构建多源数据中台、部署故障预测模型、实施智能预警推送	状态监控、质量审核	异常响应提速30%以上

人为差错防控	实施能力动态授权、嵌入智能审核辅助、开展系统化归因分析	技术评估、质量复核	人为差错率显著下降
精细化监督	制定专项监察清单、开展穿透式检查、落实当日问题闭环	技术准备、过程执行	技术问题当日核查闭环

3.4 融合规章与数据的精细化技术监督机制

工程技术质量管理的最终归宿就是监督和检验。精细化技术监督机制的关键之处就是把规章标准的刚性约束同数据推动的动态监管融合起来。从监督依据上来说，应该创建技术监督的清单化管理方式，参照 C919 首次 C 检时制订专项监察技术清单的做法，把“手册程序执行合规性”“关键工序技术参数符合性”这些监督重点一个一个地列出来，使得每一个监督工作都有相应的法律依据、技术标准和质量阈值。从监督方式

上来说，应该实行以人、机、料、法、环五个技术要素为依据的穿透式检查，在审核文件形式完整性的同时还要检验其与实际维修作业场景的契合度。在监督节奏上要依靠数字化手段来达成技术问题的快速闭环，对现场出现的工卡偏差、技术参数争议或者工艺异常等状况，在当日内完成原因剖析并作出方案调整，把修正后的技术要求传递给生产现场。

4 结论

航空维修工程技术质量管理工作是保证飞行安全、运行可靠的关键部分。传统管理模式在标准化程度、数据利用水平、人为差错控制、监督精细化程度等各方面都存在着转型升级的需要。本文提出的四个优化路径即标准化和精细化双轮驱动的体系重构、数据和模型驱动的全链条质量监测平台建设、面向系统性防控的人为差错管理体系优化、融合规章和数据的精细化技术监督机制，彼此互相支持、互相促进，共同形成工程技术质量管理提升的综合解决方案。未来由于人工智能、数字孪生等新技术的应用，工程技术质量管理工作的会更趋向于智能化、预测性。

参考文献：

- [1] 杨振.论通用航空维修系统工程技术管理[J].航空维修与工程,2024(9):108-111.
- [2] 刘梦悦,李河甫.浅谈风险评估和基于风险的机队管理工程决策[J].航空维修与工程,2025(1):98-101.
- [3] 陈泽兵.人工智能在民用航空器维修与适航技术中的应用探究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(003):000.
- [4] 刘博溟,马永强,安徽.基于民航分析我国航空武器装备服务保障发展方向[J].航空维修与工程,2024(S1):190-194.
- [5] 王晓东.飞机结构雷击损伤及维修策略探究[J].安家,2024(9):0043-0045.