

航空器维修工程中的故障诊断与预测技术

程二俊 成大鹏

深圳航空有限责任公司西安分公司, 中国·陕西 西安 710000

摘要: 本文以航空器维修工程为主要研究对象, 着重从航空器故障的角度, 在梳理当前航空器维修工程基本情况的前提下, 重点探讨用于航空器故障维修的故障诊断与预测技术要点, 明确对航空器进行故障维修的基本思路, 验证故障诊断模型与算法、WQAR 数据技术在航空器维修工程中的应用价值, 旨在为保障航空器的安全可靠运行、提升飞行任务质量提供借鉴参考。

关键词: 航空器; 维修工程; 故障诊断; 故障预测

Fault Diagnosis and Prediction Technologies in Aircraft Maintenance Engineering

Cheng Erjun, Cheng Dapeng

Shenzhen Airlines Co., Ltd. Xi'an Branch, China Shaanxi Xi'an 710000

Abstract: This paper focuses on aircraft maintenance engineering as the primary research subject. From the perspective of aircraft faults, it reviews the current status of aircraft maintenance engineering and emphasizes key technical aspects of fault diagnosis and prediction for aircraft fault repair. The study clarifies the fundamental approach to aircraft fault maintenance, verifies the application value of fault diagnosis models and algorithms, as well as WQAR data technology in aircraft maintenance engineering, aiming to provide reference for ensuring the safe and reliable operation of aircraft and improving flight mission quality.

Keywords: Aircraft; Maintenance engineering; Fault diagnosis; Fault prediction

0 引言

故障问题是航空器执行飞行任务期间需要重点关注的内容, 在航空器维修工程中, 以保障航空器的正常运行目的, 通过合理的维修技术手段, 规避各类由于故障问题导致的运行风险, 提高设备可用性。在新时期航空器应用领域不断扩大, 应用要求不断提高的背景下, 应在航空器维修过程中, 加强对故障诊断与预测的重视, 强调保障航空器安全稳定运行对完成飞行任务的重要性。

1 航空器维修工程概况

1.1 维修检查流程梳理

现阶段航空器维修工程中, 通常将针对航空器的维修检查作业划分为以下流程: 在设备断电情况下, 拆卸航空器设备, 重点检查设备外部状态, 判断紧固件焊接以及电缆安装的牢固性与绝缘质量, 并以控制与测量设备, 对设备运行精度进行检查验证; 设备通电后, 对航空器节点与模块进行检查, 调节某些具体元素与设备, 判断航空器在正常以及特殊工作模式下是否能够正常工作; 然后需要对航空器中的继电器触点、机械元件等元素运行状态进行常规检查, 并清洗一些单独的单元与整体设备; 最后通过设备组装与配置, 对设备整体功能进行检查, 也可以对复杂工作模式下的航空器运行情况进行调试^[1]。

1.2 航空器故障类型

依据以上对航空器进行维修检查的基本流程, 明确在每一阶段均可能发现航空器的运行故障问题。例如, 在设备未通电状态下, 检查期间可能发现航空器存在烧坏电阻、磨损较为严重的连接器、不稳定的继电器触点状态的问题; 在设备通电后, 检测运行参数存在异常的情况时, 也可以证实航空器存在故障问题; 常规检查期间, 可以直接通过清洁与更换润滑剂的方式来消除潜在的故障; 最后则需要适当重复设置单独节点, 调整触点等操作, 达到排除故障的目的。

综合以往航空器维修工程的建设经验, 明确航空器运行期间具有代表性的故障, 以电子仪表故障、电气故障以及发动机故障为主。

2 航空器维修工程中的故障诊断技术

2.1 网络模型选取与调整

基于对航空器进行故障诊断的目的, 综合以往专家学者的研究经验, VGG、ResNet、MobileNet 系列的网络模型, 在移动设备故障诊断中有着较为广泛的应用。考虑航空器应用特点, 在选取用于故障诊断的网络模型时, 以降低后续针对航空器故障诊断的部署难度为目的, 要求选择轻量级网络, 搭配应用高精度、高稳定的算法, 确

保对航空器运行期间各类异常情况的梳理与分析^[2]。在以上列举的网络模型中, MobileNet 系列模型更能够满足航空器故障诊断的需求, 从应用算法的角度, 进一步选择 MobileNetV2 网络模型, 保障针对航空器故障诊断的精度效果。

在确定用于故障诊断的网络模型后, 还需要基于航空器故障诊断的具体要求, 对网络模型进行适当调整, 确保其符合航空器的运行特点。这一过程中, 主要引用学习率优化的策略, 控制模型训练期间的学习率指标变化, 并选择合适的优化器, 引入损失函数, 通过损失函数的梯度信息来对网络模型参数进行不断更新, 让网络模型处于不断优化状态, 以此提升网络模型的收敛速度, 提高模型精度。

为实现对航空器故障问题的诊断分析, 引入贝叶斯网络的条件概率机制, 在定义航空器的故障节点与级别后, 构建针对航空器故障的概率模型, 将所有概率模型整合后, 计算获得针对航空器的初步故障概率:

$$\hat{P}(s_i) = \frac{n_i}{N} \quad \hat{P}(u_j|s_i) = \frac{k_j}{n_i} \quad \hat{P}(u_j|u_i) = \frac{l_j}{k_i}$$

在以上公式中, $P(s_i)$ 代表系统 s_i 的故障概率; $P(u_j|s_i)$ 代表系统 s_i 下, 子系统 u_j 发生故障概率的条件概率; $P(u_j|u_i)$ 代表子系统 u_i 下, 设备 u_{ij} 发生故障的条件概率; N 代表航空器发生故障的总数; n_i 代表系统 s_i 的故障次数; k_j 代表子系统 u_j 在 s_i 下发生故障的次数; l_j 代表设备 u_{ij} 在 u_i 下发生故障的次数。

2.2 灰色关联度分析

由于贝叶斯网络难以准确衡量航空器设备之间的关联性与共性故障的可能性, 在构建航空器与故障诊断的网络模型后, 还需要应用灰色关联度的分析方法, 对航空器的故障问题进行补充与完善^[3]。实际进行灰色关联度分析时, 需要先依据以下公式来计算分析航空器设备在历史数据中发生故障的频率, 将计算结果作为对航空器故障进行灰色关联度分析的基础数据:

$$x_i^{(g)} = \frac{P_i}{T}$$

在以上公式中, $x_i^{(g)}$ 代表设备 i 的故障频率; P_i 代表设备 i 中观测到的故障次数; T 代表观测周期内的总次数。

考虑航空器设备之间故障频率存在数量级差异, 在获得以上基础数据后, 还需要对数据进行标准化处理。对将标准化处理后的数据设置向量, 从而计算针对航空器故障频率数据的差异矩阵。依据差异矩阵中每个元素对应的设备之间的故障频率差值, 在引入区分系数指标的前提下, 为保障分析结果的稳定性, 让区分系数取值为 0.5, 则可以依据以下公式, 计算每对航空器设备之间的灰色关联度:

$$\xi_j^{(g)} = \frac{\Delta_{\min}^{(g)} + \rho\Delta_{\max}^{(g)}}{\Delta_j^{(g)} + \rho\Delta_{\max}^{(g)}}$$

在以上公式中, $\xi_j^{(g)}$ 代表灰色关联度; $\Delta_{\min}^{(g)}$ 代表差异矩阵中的最小值; $\Delta_{\max}^{(g)}$ 代表差异矩阵中的最大值; $\Delta_j^{(g)}$ 代表设备标准化处理后的故障频率。

经由以上公式计算得到的灰色关联度, 可以作为后续对航空器设备间故障共线关联性的量化依据, 作为后续对航空器故障诊断的有效参考。

2.3 深层特征提取结构

为保障对航空器故障诊断结果的精度效果, 应通过深层特征提取结构引入注意力机制, 以模仿人类视觉与认知系统结构的方式, 计算输入与输出间的相似度权重, 进而通过权重加权处理, 让模型依据航空器故障诊断的输出需求, 关注输入模型数据的不同区域, 以便实现对不同类型航空器运行数据的精准分析。

这一过程中, 主要考虑引入 ECA 注意力机制。该机制需要对输入为 $[C, H, W]$ 的特征图进行全局平均池化处理, 将特征图转变为 $[C, 1, 1]$ 的向量。待向量被输入至网络模型后, 可以得到特征图中领域通道的权重值。再通过归一化权重处理的方式, 计算原有输入特征图与通道特征向量的乘积, 即可得到加权处理后的特征图。同时, 还需要引入自适应函数, 确定网络模型中权重计算的 k 值大小。

在实际应用注意力机制时, 需要将输入特征分别在水平与垂直方向上平均池化, 在自适应函数的帮助下, 增强输入特征跨通道的交互能力。将得到的输入特征网络模型经过拼接降维处理, 再分别按照水平与垂直方向对网络模型进行升维处理, 则可以得到水平注意力特征图与垂直注意力特征图, 再将特征图加权至输入特征上后, 即可得到最终的输出特征。

2.4 故障分类诊断

经由以上操作, 确保从网络模型中输出的针对航空器故障的结果, 还需要综合考虑航空器的故障特征, 明确模型输出数据对应的故障类型。为达到以上目的, 要求对航空器故障的维修优先级进行计算。

依据事先确定的贝叶斯网络值数量及与灰色关联度值, 采用对数变换方法, 以保障维修优先级的合理性与准确性为目的, 对贝叶斯网络直接进行归一化预处理。整理归一化处理后的贝叶斯网络值与灰色关联度后, 可以在网络模型中自动生成针对故障设备的维修优先级与维修方案。在确定维修器故障优先级后, 对维修器中涉及到的各类设备进行综合排序, 从中选择优先级最高的设备, 在维修工程中进行优先维修。依据确定的维修目标, 则需要进一步在维修方案中训练相应的语言模型, 以便从维修期的

历史维修数据中, 调取与相应故障相关的维修措施与方法, 直接依靠网络模型自动生成更为具体的维修方案。

为达到以上目的, 在计算维修优先级时, 考虑现阶段常用于故障维修优先级计算的方法, 以用 BERT、RoBERTa、DistilBERT 和 Electra 文本相似模型为代表。依据航空器的运行特点, 需要从以上模型中, 通过对比实验的方法。优选更适合用于计算优先级的模型。这一过程中, 应事先依据计算得到的维修优先级, 确定文本相似度阈值的选择规则, 对设备维护优先级与设备故障描述的文本进行相似度匹配, 从中提取出二者的关键实体与关系。并判断二者文本相似度是否满足阈值。若满足, 则需要依据提取到的关键实体与关系, 从历史数据中找寻与故障相关的新的故障描述, 进而将新的故障描述与文本相似度进行匹配, 最终得到更合理的航空器维修方案。

3 航空器维修工程中的故障预测技术

3.1 WQAR 数据采集与处理

除针对航空器的故障诊断外, 还要求在航空器维修工程中引入故障预测技术, 对航空器运行期间涉及到的各项参数进行实时监控, 在获取航空器各项运行数据后, 深入挖掘这些变化数据之间的关系, 依据分析结果, 预测分析各类可能影响航空器运行效果的指标是否发生变化。为达到以上目的, 规划在针对航空器的故障预测过程中, 引入 WQAR, 对航空器运行期间的数据变化情况进行预测分析。

WQAR 是在快速存储记录器 (QAR) 基础上, 对飞机飞行数据进行记录的数据形式, 这种数据会以特定的形式存储在快速存储记录器中, 供给后续对数据的读取、译码以及分析处理。这种数据形式可以更系统的反映出飞机的飞行状态, 以及各类零部件的性能状况, 且其内部的不同参数之间也存在一定的关联关系, 可以将这种数据形式与故障诊断的模型方法结合起来, 更好地满足航空器维修工程的建设需求。

在实际应用这种数据形式时, 需要在航空器维修工程范围内设置无线局域网或 4G/5G 的移动通信网络, 确保能够将航空器运行器在的空行数据下传至地面的数据处理中心, 由处理中心的相应软件来自动对航空器的数据进行下载和处理。整个过程无需依靠人工, 可以有效实现航空器维修工程故障诊断与预测的自动化。而若工程现场的移动通信网络不可用, 也可以经由人工拆除外置的存储卡后, 获取航空器的飞行数据。

3.2 关键部件与异常监控

WQAR 数据可以用于对航空器关键部件与异常情况的监控。以航空器的发动机故障为例, 发动机是航空器的重要核心设备, 依靠 WQAR 对航空器中发动机设备的运行数据进行实时采集, 进而对采集到的数据进行监测和分析, 依据分析情况来构建针对航空器发动机性能减退与故

障预警的模型, 经由模型来预测发动机中关键部件可能出现故障的时间与概率。这一过程中, 要求构建的模型可以支持对航空器发动机振动、温度、压力、燃油流量、滑油消耗等关键参数变化情况的监测。若监测期间发现某项参数出现异常变化情况, 系统会自动触发相应的故障预警机制, 由维修工程人员提前制定针对相应故障的维修方案, 避免因发动机故障而影响航空器整体的运行稳定性和效果。

3.3 剩余使用寿命预测

在获得航空器运行期间的各项运行参数变化情况后, 则可以基于保障航空器运行安全稳定的目的, 重点对航空器的剩余使用寿命进行预测分析。在获取航空器飞行期间的各项运行参数与分析结果后, 可以对历史数据的规律进行深入分析, 并以构建数据验证模型的方式, 建立针对航空器中某项具体故障部件的失效预测模型, 以便提前发现相应部件存在的潜在故障问题, 在提前干预各项故障的同时, 也可以对相应部件的剩余使用寿命进行预测分析, 进而将其与针对航空器的维修计划有机结合起来, 便于在临近使用寿命期时, 对相应的部件进行更换, 以此来降低航空器飞行期间存在的不良稳定因素。

而考虑该类数据形式, 在实际应用期间也存在一定的限制问题, 在后续对航空器的维修作业中, 应进一步提高数据可靠性, 并探索将各类先进技术与该数据形式有机结合的思路方法, 并强调消除数据传输期间的信息屏障, 避免出现数据壁垒以及协作不畅等问题。而由于这种形数据形式对维修作业人员的技术要求较高, 也应注重构建更专业的维修人员队伍来保障针对航空器的维修作业效果。

4 结语

综上所述, 故障诊断与预测技术的应用, 可以有效提升航空器维修工程的建设发展质量。考虑当前航空器运行期间常见的故障情况, 对航空器故障进行诊断, 应事先选取符合航空器运行特点与要求的故障诊断模型架构, 进而通过对航空器运行数据的实时监控与数据处理分析, 判断异常数据对应的故障类型。而在故障预测期间, 实时监测的数据也可以作为对航空器关键部件与异常情况进行监控、剩余使用寿命预测分析的参考依据。

参考文献:

- [1] 宋丽琴. 航空器仪表电子设备故障与维修研究[J]. 设备管理与维修, 2024,(18):95-97.
- [2] 刘晓宇. 航空器仪表电子设备维修管理探析[J]. 中国设备工程, 2023,(S1):75-77.
- [3] 吴长乐. 基于管制员视角的航空器襟翼故障处置分析[J]. 民航学报, 2023,7(02):38-41.

作者简介: 程二俊 (1991.03-), 男, 陕西韩城人, 汉族, 本科, 助理工程师, 研究方向: 从事航空器维修研究。