

基于多源数据融合的航空电源车故障诊断模型构建

符 鹤¹ 徐爱民² 高 萌³

摘 要：随着航空设备的复杂性不断增加，航空电源车的故障诊断成为保障飞机安全运行的关键。本文提出了一种基于多源数据融合的航空电源车故障诊断模型，旨在通过融合振动频谱、温升曲线与历史维修数据，提升故障诊断的准确性和实时性。针对某型飞机电源车的电压波动特征，利用随机森林算法对400组实测数据进行特征提取和处理。通过对数据的深度分析，构建了一个高效的故障诊断系统，其中过载预警的精度达到了89.7%。该系统能够实时监测电源车的状态，提前预警潜在故障，显著提高了故障诊断的可靠性，为航空设备的维护和管理提供了新的技术支持。

关键词：航空电源车；故障诊断；多源数据融合；振动频谱；过载预警

引言

随着航空技术的不断发展，飞机系统变得越来越复杂，航空电源车作为飞机运行中至关重要的部件，其故障不仅影响飞机的安全性，还可能造成严重的经济损失。传统的故障诊断方法通常依赖于单一的监测数据，而这种方法的局限性使得早期故障难以被准确诊断。为了提高故障诊断的准确性和实时性，本文提出了一种基于多源数据融合的航空电源车故障诊断模型。该模型综合考虑了振动频谱、温升曲线和历史维修数据，通过数据融合技术进行多角度分析，进而提升故障诊断的精度和预测能力。特别是利用随机森林算法对大量实测数据进行训练，成功构建了一个高效、可靠的故障诊断系统，能够实时监测电源车的状态并对过载等潜在故障进行早期预警，从而为航空设备的安全维护提供有力的技术支持。

一、航空电源车故障诊断模型设计

（一）多源数据融合的理论框架

多源数据融合技术是通过将来自不同传感器或数据源的信息进行综合分析，从而得到更为准确和全面的诊

断结果。在航空电源车故障诊断中，电压波动、振动频谱、温升曲线以及历史维修数据等多种数据源均具有重要的参考价值。每种数据源从不同角度反映了电源车的工作状态和潜在故障风险，单一数据源的分析往往无法全面捕捉故障信息。通过融合这些多源数据，可以有效增强诊断系统的鲁棒性和准确性，提升故障预测的精度。因此，基于多源数据融合的故障诊断方法在电源车的健康监测中具有重要应用意义。

（二）航空电源车电压波动特征分析

电压波动是航空电源车运行中常见的现象，它往往是电源系统发生故障的前兆。电压波动特征的分析能够帮助识别电源车是否处于过载状态或存在其他潜在故障。通过对电压波动数据的时域和频域分析，可以提取出电源车工作过程中出现的异常波动模式，这些模式通常与电源系统的负载变化、内部故障等因素密切相关。为了精确地捕捉这些波动特征，本文采用了高频采样和先进的信号处理方法，从电压波动数据中提取出反映故障征兆的特征值，进而为故障诊断提供依据。

（三）诊断系统架构设计

为了实现基于多源数据融合的航空电源车故障诊断，本文设计了一个集成化的诊断系统架构。系统的核心是通过传感器采集振动、温度、电压等多种数据，并通过数据融合模块对这些数据进行预处理和特征提取。融合后的数据将被送入故障诊断模型进行分析，最终通过预测结果实现故障预警。系统架构分为数据采集、数据处理、特征提取、模型训练与应用等几个模块，确保了数据从采集到处理的每个环节都能得到有效管理和优化。诊断系统的设计目标是提高数据处理的实时性和准确性，

作者简介：

- 1.符鹤（1978-），男，汉族，籍贯：湖南，本科学历，专业研究方向：航空维修。
- 2.徐爱民（1978-），男，汉族，籍贯：湖南，本科学历，专业研究方向：航空维修。
- 3.高萌（1989-），女，锡伯族，籍贯：辽宁，本科学历，工作单位：长沙五七一二飞机工业有限公司，专业研究方向：航空维修。

为电源车故障的预警提供可靠保障^[1]。

二、特征提取与数据预处理

（一）振动频谱特征提取

振动频谱分析是航空电源车故障诊断的重要手段。振动数据能够反映出电源车在运行过程中可能出现的机械故障，如零部件松动、轴承损坏等。通过将振动信号转化为频谱图，可以有效识别出异常振动模式，这些模式通常是故障发生的先兆。在本研究中，采用快速傅里叶变换（FFT）对采集到的振动信号进行频域分析，提取出频谱中的特征值，如峰值频率和幅值等，以此作为诊断模型的输入特征。这些特征能够准确反映电源车的运行状态，帮助判断是否存在故障。

（二）温升曲线特征提取

电源车在工作过程中，温度的变化能够直观反映出设备的负荷状况以及是否存在过热故障。温升曲线特征提取的过程包括温度数据的采集和曲线的拟合分析。通过对温度随时间变化的趋势进行分析，可以得到设备在不同工作负荷下的温度响应特性。故障往往会导致温升曲线出现异常波动，例如过载时温度上升过快，或者某些部件由于损坏无法有效散热，导致温升异常。在本研究中，我们对温升曲线进行数据预处理，去除噪声，提取出关键特征，如温升速率和峰值温度等，作为故障诊断的依据^[2]。

（三）历史维修数据的利用

历史维修数据为故障诊断提供了宝贵的经验和数据支持。通过对历史维修记录的分析，可以了解电源车在不同工作条件下的故障类型、发生频率以及维修方法等信息。这些历史数据不仅有助于识别常见的故障模式，还可以用于建立故障预测模型，提高诊断系统的准确性。在本文的研究中，我们对历史维修数据进行了系统化整理和清洗，将缺失值进行补充，并对异常数据进行了筛查。通过将处理后的历史维修数据与其他实时数据进行融合，进一步提高了故障诊断模型的预测能力。

（四）数据融合与特征选择

数据融合技术在多源数据的集成中起到了至关重要的作用。由于来自不同传感器的数据具有不同的采样频率、量纲和噪声特性，单独使用某一类数据往往难以提供全面的诊断信息。因此，通过有效的数据融合方法，可以将多种数据源的优势结合起来，从而提高故障诊断的准确性。为了进一步优化诊断模型，我们采用了特征选择技术，从融合后的数据中筛选出最具诊断价值的特征。这一过程不仅减少了数据的维度，提升了计算效率，

还避免了冗余信息对诊断模型的影响，确保了数据融合的质量和准确性。

三、故障诊断模型构建与算法应用

（一）随机森林算法概述

随机森林算法是一种基于集成学习思想的强大工具，广泛应用于分类与回归问题的求解，尤其在处理复杂的多维数据和解决高维度特征空间中的过拟合问题时，表现出色。其基本思想是通过构建多个决策树，并将这些树的输出进行汇总来提高模型的准确性和稳定性。每棵决策树都是在数据的随机子集上训练得到的，同时在每次分裂时，随机选择特征进行划分，这种随机性有助于增强模型的泛化能力，减少了单一决策树可能存在的过拟合问题。对于电源车故障诊断问题，随机森林算法展现了良好的适应性，能够在振动频谱、温升曲线、历史维修记录等多种不同类型的传感器数据上进行有效分析。这使得随机森林在处理航空电源车故障诊断时，能够充分利用多源数据，提升诊断的准确性和鲁棒性。随机森林的强大之处在于其高效的训练方式和强大的预测能力，特别适合用于大规模数据集的故障诊断任务^[3]。即使在数据集存在噪声或部分缺失的情况下，随机森林依然能够提供较为稳定的结果，是航空电源车这种复杂系统故障诊断的重要工具。

（二）数据集的划分与训练

为了确保故障诊断模型的高效性与准确性，本研究从400组实测数据中抽取了包括振动频谱、温升曲线、历史维修记录等多种类型的数据样本。首先，数据集经过预处理，包括去除异常值、数据标准化等步骤，确保每组数据的质量和一致性。随后，为了提升模型的可靠性和泛化能力，数据集按照80%作为训练集，20%作为测试集的比例进行划分。训练集的设计确保了足够的数据量来训练模型，并覆盖了不同的故障状态，以便模型能够学到不同故障模式的特征。测试集则用于评估模型在未见数据上的表现，确保模型具备较强的泛化能力。为了进一步提升模型的鲁棒性和防止过拟合，训练过程中还采用了交叉验证方法，通过对不同训练数据集的多次验证来优化模型的参数选择。通过这一系列步骤，确保了模型能够在不同数据集上表现出较好的预测能力，最终形成了一个高效且精准的故障诊断系统。训练过程中，我们还利用了特征选择技术，筛选出了对故障诊断最为重要的特征，进一步提升了模型的计算效率和精度。

（三）模型性能评估与优化

在故障诊断系统中，模型的性能评估是一个至关重

要的步骤，它决定了诊断结果的可靠性与可操作性。本研究通过多个性能指标来评估所构建的模型，包括准确率、精度、召回率和F1分数等。在实际应用中，过载故障的精准预警是本研究的核心目标，因为过载故障通常对电源车的运行安全构成较大威胁，因此系统必须能够在过载故障发生前及时发出警报。实验结果表明，经过训练与优化后的随机森林模型，在过载预警的准确率上达到了89.7%，表现出较高的诊断精度。为了进一步提升模型的性能，本研究还采用了特征选择与参数优化技术，去除了冗余特征并优化了模型的超参数，从而提高了计算效率，减少了不必要的计算开销。在优化过程中，特征选择帮助筛选出对故障诊断最为重要的特征，而参数优化则使得随机森林算法在精度与计算效率之间达到了良好的平衡。这些优化措施显著提高了模型在多种故障模式下的准确性，并使得其在实际应用中具有较强的实时性和可靠性，能够有效地支持电源车的故障诊断工作^[4]。

（四）故障诊断模型的应用

构建的故障诊断模型不仅在实验环境中表现优异，而且已经成功应用于实际电源车的故障诊断与健康监测中。在实际应用中，模型能够实时接收电源车的传感器数据，如振动频谱、温升曲线等，并通过训练好的随机森林算法进行快速分析。这使得模型能够及时识别电源车可能存在的故障，尤其是在过载故障的早期阶段。当系统检测到异常时，能够立即向维修人员发出警报，提醒他们采取相应的维护措施，以防止故障进一步加剧，确保电源车的正常运行。通过与传统的故障诊断方法相比，本系统在准确率、实时性和适应性方面均表现出明显优势，尤其在过载故障的早期预警能力上，显著减少了维护成本和故障导致的停机时间。在一些极端工况下，系统能够灵敏地捕捉到微小的故障信号，并及时作出反应，避免了传统方法可能出现的延迟和误报问题。通过这种智能化的故障诊断系统，电源车的维护成本得到了有效降低，安全性也得到了显著提高，体现了该系统在航空电源车管理中的巨大应用潜力。

四、实验结果与总结

（一）实验设计与数据来源

本研究的实验设计基于实际应用场景，采集了某型航空电源车在不同工作状态下的振动、温升等多源数据，并结合历史维修数据进行了分析。实验数据来自于400组不同环境下的实际测量数据，涵盖了正常运行、过载、设备故障等多种状态。实验设计主要分为数据采集、数

据处理、特征提取和模型训练四个阶段。通过精心设计的实验方案，我们能够全面评估故障诊断模型在各种实际运行情况下的表现，验证其在不同工况下的诊断能力和预测效果。同时，实验还考虑了不同环境变量对电源车运行状态的影响，确保诊断系统的普适性和适用性。

（二）模型测试与结果分析

通过对构建的故障诊断模型进行测试，我们得出了电源车故障诊断的关键性能指标。测试结果表明，基于随机森林的模型能够准确地识别过载故障和其他潜在故障，尤其在处理过载预警时，模型的准确率达到89.7%。这一结果与传统的单一数据源故障诊断方法相比，具有显著优势。此外，实验还表明，结合振动频谱、温升曲线和历史维修数据进行数据融合，能够大大提高故障诊断的精度和鲁棒性。通过对不同类型故障的分类，模型展示了较强的辨识能力和较低的误报率^[5]。

结论

本文提出了一种基于多源数据融合的航空电源车故障诊断方法，通过结合振动频谱、温升曲线和历史维修数据，采用随机森林算法进行故障预测与诊断。通过实验验证，模型在故障诊断，特别是在过载故障预警方面，表现出较高的准确性和实时性，准确率达到89.7%。该方法充分利用了多种数据源的优势，增强了系统的鲁棒性和诊断精度，为电源车的健康管理提供了有效的技术支持。尽管如此，未来研究可以进一步探索更多传感器数据的融合，应用深度学习等更先进的算法，以进一步提升故障诊断的精度和系统的适应性。通过本研究，可以为航空设备的维护提供新的思路，推动故障诊断技术在航空领域的应用发展。

参考文献

- [1]李清波, 张懋慧, 罗英, 等. 基于等效电路模型融合电化学原理的锂离子电池荷电状态估计[J]. 储能科学与技术, 2024, 13(9): 3072-3083.
- [2]李炜, 周丙相, 蒋栋年. 基于深度学习序贯检验的电源车故障诊断方法[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(4): 11.
- [3]马智杰, 许少波. 基于模糊诊断的航空电源车综合故障诊断技术[J]. 电视技术, 2022(003): 046.
- [4]曾杰, 呼贝贝. 基于无纸记录仪的航空电源车故障诊断技术[J]. 中国科技期刊数据库 工业A, 2022(7): 5.
- [5]李海琼. 汽车电源系统常见故障诊断分析[J]. 内燃机与配件, 2020(4): 3.