

# 基于数据驱动的机械设备故障预测与维修策略优化

杨宏运

(中海油工程技术公司 天津 300452)

**摘要:** 在机械设备生产与使用的实践中, 经过一段时间, 都会不同程度地出现服役性能下降的现象, 使用的寿命也会缩短。当前, 如何更好地对机械故障进行预测和健康管理, 成为现代机械生产企业重点关注的问题。随着传感器硬件技术的发展, 机械设备各种状态参数的获取也得到了极大改善, 同时随着计算机存储技术的进步, 可以对海量数据进行计算和存储, 所以基于数据驱动的机械设备故障预测与维修技术也逐渐得到广泛应用, 于是, 基于机械设备状态数据的监测, 为机械设备安全与平稳运行, 发挥了积极的作用。基于此, 本文对数据驱动下的机械设备故障预测与维修策略进行了详细分析, 旨在为同行提供切实可行的借鉴与参考。

**关键词:** 数据驱动; 机械故障; 维修; 故障预测; 使用寿命

## 0 引言

随着工业生产的快速发展和机械设备的普及应用, 对设备的可靠性和运行效率提出了更高的要求。机械设备故障不仅会导致生产线停机, 造成经济损失, 还可能对工作人员的安全产生潜在风险。因此, 如何及时准确地预测机械设备的故障, 并制定有效的维修策略, 成为当前工业领域亟需解决的问题。数据驱动的方法在解决机械设备故障预测和维修优化问题上具有巨大的潜力。传统的基于经验规则的维修策略往往无法适应不同设备的复杂运行状态和工作环境变化。而数据驱动的方法可以通过分析大量的设备运行数据, 挖掘出隐藏在数据背后的规律和模式, 从而实现对设备故障的准确预测和优化维修策略的制定。

数据驱动是一种以数据为核心的方法论, 通过对大量的数据进行收集、存储和分析, 以获取有关现象、规律或模式的洞察力。数据驱动的方法强调从数据中挖掘知识和信息, 以驱动问题的解决和决策的制定。在机械设备故障预测和维修优化中, 数据驱动的方法可以利用设备的运行数据、传感器数据、维修记录等信息, 通过建立数学模型或使用机器学习算法, 从中发现设备故障的预兆和影响因素, 进而制定相应的维修策略。

基于数据驱动的机械设备故障预测和维修策略优化是当前工业领域亟需解决的重要问题。通过对大

量的设备运行数据进行分析和挖掘, 可以实现对设备故障的准确预测, 并制定合理的维修策略, 从而提高设备的可靠性和运行效率。本论文旨在探索数据驱动的方法在机械设备故障预测和维修策略优化中的应用, 并提出相应的解决方案。

## 1 机械设备故障预测概念

机械设备故障预测是指利用数据和分析方法, 通过对机械设备的运行状态和行为进行监测和分析, 提前预测设备可能发生的故障或失效情况。故障预测的目标是在故障发生之前提供预警, 以便采取相应的维修或预防措施, 从而避免或减少设备故障对生产效率和安全性影响<sup>[1,2]</sup>。

**数据收集和监测:** 通过传感器、监测设备或其他数据采集手段, 获取机械设备的运行数据。这些数据可以包括设备的振动、温度、压力、电流等各种参数和信号。

**特征提取:** 从收集到的设备数据中提取有用的特征, 如频域特征、时域特征、统计特征等。这些特征可以用于描述设备的运行状态和性能。

**建立预测模型:** 利用机器学习、统计分析或其他数据分析方法, 建立故障预测模型。这些模型可以通过对历史数据进行训练和学习, 以识别故障模式和预测故障的概率。

**故障预测和预警:** 利用建立的预测模型, 对实时或近期的设备数据进行分析和预测, 判断设备是否

存在潜在的故障风险，并提供相应的预警信息。

**维修和预防措施：**基于故障预测的结果，制定相应的维修计划或预防措施，包括修复故障、更换部件、进行预防性维护等，以减少设备故障对生产的影响。

机械设备故障预测的目的是提高设备的可靠性和运行效率，减少故障停机时间和维修成本，并优化维护计划。通过提前发现设备故障的迹象，可以采取及时的措施，从而提高设备的可用性和生产效率。

## 2 机械故障的形成

机械故障是指机械设备在运行过程中发生的意外故障或失效，导致设备无法正常工作或产生不良影响。机械故障的形成通常涉及多种因素，包括但不限于磨损和疲劳、不当操作、环境因素、设计和制造缺陷等。背景中，制氮机组、冷冻机组和空压机组等机械设备在工业生产中扮演着重要的角色，用于制造氮气、提供冷却和压缩空气等。然而，由于长时间运行、复杂工况和高负荷等因素，这些机械设备容易发生故障。

**磨损和疲劳：**长时间的运行和重复的工作循环会导致机械部件的磨损和疲劳。例如，制氮机组中的压缩机、冷冻机组中的压缩机和冷凝器及空压机组中的压缩机活塞、气阀等部件，在长期使用后可能出现磨损、裂纹或断裂，导致机械故障的发生。

**不合适的润滑和润滑油质量：**机械设备的正常运行需要适当的润滑。如果润滑不足或使用了低质量的润滑油，会增加机械部件之间的摩擦和磨损，导致机械故障的发生。特别是在高温和高压环境下，润滑的重要性更加突出。

**高温和过载：**制氮机组、冷冻机组和空压机组通常在高温和高负荷的工况下运行。长期处于高温状态可能导致部件膨胀、变形和热胀冷缩等问题，进而引发机械故障。过载运行也会给设备带来额外的应力和压力，加速部件的磨损和失效。

**设计和制造缺陷：**机械设备的设计和制造缺陷可能导致机械故障的发生。例如，制氮机组中的管路连接不良、冷冻机组中的制冷剂泄漏、空压机组中的部件安装不当等问题，都可能成为故障的源头。

**操作和维护不当：**不正确的操作和维护也会导致机械故障。例如，制氮机组的冷却水循环不畅导致过热，冷冻机组的冷却剂不足导致循环不良，空压

机组的滤清器未及时更换导致气路堵塞等，这些因素都可能引发设备故障。

综上所述，机械故障主要是由磨损和疲劳、润滑问题、高温和过载、设计和制造缺陷，以及操作和维护不当等因素引起的<sup>[3]</sup>。为了预防和减少机械故障，应注意定期维护和检查设备，合理使用和更换润滑油，避免过载运行，并严格按照操作规程进行操作和维护。

## 3 理论基础

在过去，机械设备故障预测主要依赖于经验规则和人工判断，往往无法准确预测复杂设备的故障模式和影响因素。然而，随着大数据和人工智能技术的发展，数据驱动的故障预测方法逐渐成为研究热点。这种方法通过分析大量的设备运行数据和维修记录，利用机器学习和深度学习算法，可以从数据中挖掘出隐藏的规律和模式，实现对设备故障的准确预测。卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)和长短期记忆网络(LSTM)等深度学习模型在图像识别、自然语言处理和时间序列分析等领域展现了强大的建模能力。这些网络模型在处理设备运行数据、传感器数据和维修记录等方面具有优势，可以学习数据中的特征表示和模式，从而实现对设备故障的预测和诊断。

### 3.1 卷积神经网络理论

卷积神经网络是一种深度学习模型，特别适用于处理具有网格结构的数据，如图像和时序数据。它模拟了视觉皮层对于视觉信息的处理方式，并通过多层卷积和池化层来提取特征。卷积层使用滤波器(也称卷积核)对输入进行卷积运算，以捕捉输入中的空间特征。池化层则用于减少特征图的维度，保留重要的特征并减少参数数量。最后，通过全连接层将提取到的特征映射到特定的输出类别。

### 3.2 循环神经网络理论

循环神经网络是一种具有记忆功能的神经网络，能够处理序列数据和时序信息。与传统的前馈神经网络不同，循环神经网络通过引入循环连接，在网络中保持了隐状态的信息流动。每个时间步的输入除了考虑当前的输入数据，还考虑了前一个时间步的输出作为输入。这种循环连接使得循环神经网络能够捕捉到序列数据中的时序关系和上下文信息，适用于处理语音识别、自然语言处理等领域。

### 3.3 长短期记忆网络理论

长短期记忆网络是循环神经网络的一种改进,旨在解决传统循环神经网络难以处理长序列时产生梯度消失和梯度爆炸问题的缺点。LSTM引入了门控机制,包括输入门、遗忘门和输出门,以控制信息的流动和记忆的保持。输入门决定了新的信息是否被加入到记忆中,遗忘门决定了之前的记忆是否被遗忘,输出门决定了记忆中的哪些信息被输出。这种门控机制使得LSTM能够更好地处理长序列,并且在时序数据建模和预测任务中取得了显著的效果。

通过理解卷积神经网络、循环神经网络和长短期记忆网络的原理,可以为后续的基于数据驱动的机械设备故障预测提供基础。这些网络模型在处理时间序列和信号数据方面具有优势,可以应用于振动数据、温度数据等设备运行数据的分析和预测。

## 4 基于数据驱动的机械故障预测与维修

### 4.1 故障诊断流程

为了解决设备故障诊断的挑战,故障诊断流程被广泛应用于工业领域。该流程旨在通过收集和分析设备运行数据,利用机器学习和数据分析技术,实现对设备故障的准确识别和分类。故障诊断流程的背景是基于大数据和人工智能技术的快速发展,这为利用数据驱动的方法来解决设备故障问题提供了新的机遇<sup>[4,5]</sup>。

故障诊断流程通过收集训练数据、进行统计分析、建立故障诊断模型和在线监测,能够在设备运行过程中实时判断设备的运行状态,并提前预测和识别可能的故障。这样,维护人员可以及时采取维修措施,避免设备故障对生产造成严重影响(见图1)。

### 4.2 故障数据采集

故障数据采集的发展是与传感器技术和物联网技术的进步密切相关的。传感器的小型化、高精度化和多样化,以及物联网的兴起,使得大规模故障数据的采集和存储成为可能。这为故障诊断和预测提供了宝贵的数据资源。

通过故障数据采集,可以实时监测设备的健康

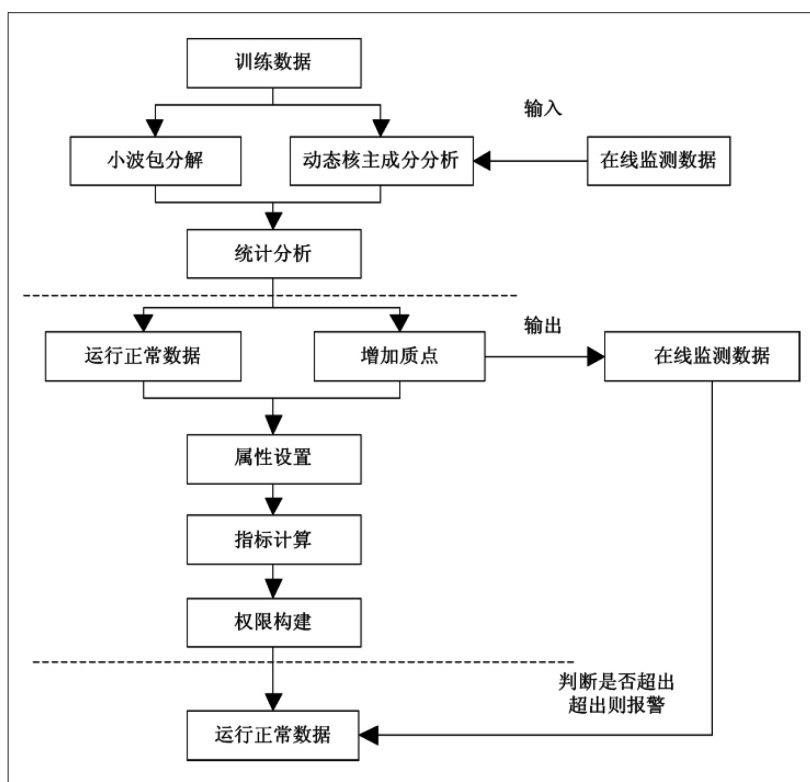


图1 故障诊断流程

状况和故障特征,及时发现和识别潜在的故障风险。这有助于提高设备的可靠性和安全性,减少故障对生产的影响。同时,采集到的故障数据还可以用于构建故障诊断模型和优化维修策略,实现设备的智能维护和运营管理。

因此,故障数据采集在现代工业领域具有重要意义,并为设备故障预测、故障诊断和维护决策提供了关键支持(见图2)。

### 4.3 模型超参数分析

超参数是在建立模型时需要人工设定的参数,如学习率、批次大小、网络层数等。通过对超参数的分析和调优,可以提高模型的性能和泛化能力。超参数分析可以通过网格搜索、随机搜索和贝叶斯优化等方法进行。在超参数分析过程中,需要设置合适的评估指标,如准确率、召回率、F1分数等,来评估模型的预测性能。通过反复调整超参数并评估模型性能,选择最佳的超参数组合,以获得最优的故障预测模型。

### 4.4 故障预测

故障预测的过程包括数据采集、数据预处理、特征提取、模型训练和预测等步骤。首先,收集设备的运行数据,并对其进行预处理和清洗,以确保数



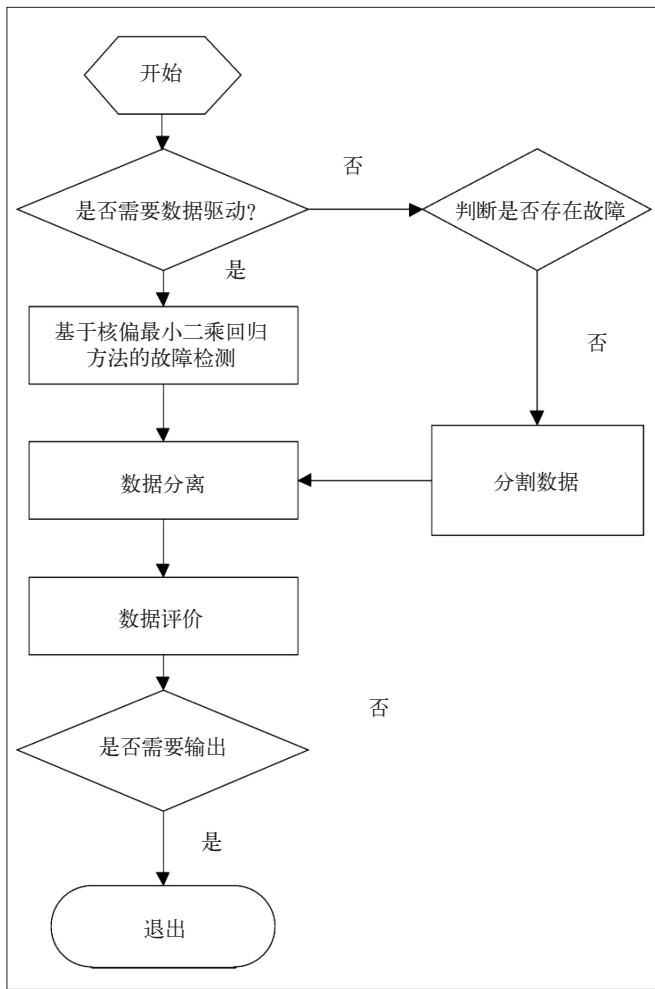


图2 基于数据驱动算法的旋转机械故障诊断流程

据的质量和可用性。其次，从预处理后的数据中提取有意义的特征，如统计特征、频域特征等<sup>[6]</sup>。再次，使用建立好的数据驱动模型对特征进行训练，并得到预测结果。最后，根据预测结果判断设备是否存在潜在故障，并采取相应的维修措施。故障预测的目标是及早发现设备潜在的故障，并采取预防性的维护措施，以避免设备故障对生产造成严重影响。通过数据驱动的故障预测模型，可以提高故障的检测率和准确性，降低维修成本和停机时间，提高设备的可用性和生产效率。

#### 4.5 数据驱动下机械设备故障维护

在数据驱动的机械设备故障维护中，基于数据分析和机器学习技术，通过对设备运行数据的监测和分析，制定合理的维护策略和计划。数据驱动的机械设备故障维护的关键是利用大量的设备运行数据进行建模和分析<sup>[7]</sup>。通过收集设备的实时数据和历史数据，建立故障预测模型，并对设备进行状态监测和评

估。根据模型预测的故障概率和风险评估，确定维护优先级和计划。例如，对于预测故障概率高的设备，可以采取预防性的定期维护措施，以降低故障的发生概率；对于预测故障概率较低的设备，可以采取修复性维护，即在故障发生时进行维修。数据驱动的机械设备故障维护可以减少计划外的设备停机时间，提高维护效率和准确性。通过及时的维护和保养，可以延长设备的使用寿命，降低维修成本，并提高设备的可靠性和生产效率。同时，通过数据驱动的分析，还可以不断优化维护策略和流程，进一步提升设备维护的效果和效率。

## 5 结语

本文基于数据驱动的方法成功地应用于机械设备故障预测与维修策略优化。通过建立准确的故障预测模型和优化维修策略，可以提高设备的可用性、降低维修成本，并优化生产计划和资源调度。这为工业生产提供了重要的技术支持，促进了设备的智能化维护和运营管理。然而，仍需要进一步研究和改进，以提高故障预测的准确性和可靠性，并推动数据驱动方法在机械设备故障预测领域的广泛应用。

## 参考文献：

- [1] 胡旭峰. 基于无监督学习的故障诊断算法研究 [D]. 济南：山东大学，2022.
- [2] 蔡长征. 数据驱动算法在旋转机械故障诊断中的应用研究 [J]. 机床与液压，2020，48(23)：218-223.
- [3] 高辉. 机械设备剩余使用寿命预测方法的研究 [D]. 济南：山东大学，2020.
- [4] 张钊. 基于深度学习与迁移学习的机械设备故障诊断方法研究 [D]. 武汉：华中科技大学，2020.
- [5] 韩卫宇. 数据驱动的复杂装备关键部件故障模式分类研究 [D]. 南京：南京理工大学，2020.
- [6] 丁静. 数据驱动的齿轮箱微小故障诊断方法研究 [D]. 重庆：重庆交通大学，2019.
- [7] 张彬. 数据驱动的机械设备性能退化建模与剩余寿命预测研究 [D]. 北京：北京科技大学，2016.

作者简介：杨宏运（1982.02-），男，汉族，河北沧州人，本科，工程师，研究方向：设备管理。