

中压电机故障诊断与预测维护方法综述

邢亮璞 孙赛赛 吴 煜

中广核核电运营有限公司 广东 深圳 518000

摘 要：本文围绕中压电机展开，阐述了其在工业领域的重要地位。详细介绍了中压电机故障诊断的传统与智能方法，包括振动检测、温度监测、机器学习、深度学习等。同时，探讨了预测维护的核心技术、实施流程和典型架构。最后，对中压电机故障诊断与预测维护的智能化与轻量化、数字化与可视化、国产化与标准化等发展方向进行了展望，旨在为中压电机的可靠运行和行业的持续发展提供参考。

关键词：中压电机；故障诊断；预测维护；发展方向

1 中压电机在工业领域的重要地位

中压电机作为工业领域的核心动力设备，在众多行业中发挥着不可替代的关键作用。其电压等级通常介于1kV至35kV之间，功率范围广泛，能够满足不同规模工业生产的需求。在能源行业，中压电机是发电厂中各类泵、风机等设备的主要驱动装置。例如，在火力发电厂，给水泵电机需要提供强大的动力将水输送到锅炉中，其稳定运行直接关系到发电效率和安全。在水电厂，水轮发电机组中的电机负责将水能转化为电能，中压电机的性能决定了发电的质量和稳定性。在石油和天然气开采与加工过程中，中压电机驱动着钻井平台上的钻机、炼油厂中的压缩机等关键设备，确保了能源生产的连续性。制造业是中压电机的另一大应用领域，在钢铁行业，高炉鼓风机电机、轧钢机电机等中压电机为钢铁生产提供了强大的动力支持，其性能直接影响钢铁产品的质量和产量。在汽车制造行业，中压电机用于驱动大型冲压设备、涂装生产线上的输送设备等，保障了汽车生产的高效进行。在化工行业，中压电机驱动着各种反应釜搅拌器、离心机等设备，对化学反应的顺利进行和产品的分离提纯起着至关重要的作用^[1]。在矿山、水泥、造纸等行业，中压电机也广泛应用于提升机、磨机、造纸机等设备中，是这些行业生产运营的重要基础。中压电机的可靠运行直接关系到整个工业生产系统的稳定性和效率，一旦中压电机出现故障，可能导致生产线停工，造成巨大的经济损失。因此，保障中压电机的正常运行，及时准确地诊断其故障并进行有效的预测维护，对于工业领域的发展具有极其重要的意义。

2 中压电机故障诊断方法

2.1 传统诊断方法

2.1.1 振动检测法

振动检测法是中压电机故障诊断中最常用的方法之

一。电机在运行过程中，由于转子不平衡、轴承磨损、机械松动等故障，会产生异常的振动信号。通过在电机的关键部位安装振动传感器，采集振动信号，并对其进行频谱分析、时域分析等处理，可以提取故障特征信息。例如，当转子存在不平衡故障时，振动信号中会出现以转子旋转频率为基频的振动分量，且其幅值会随着转子不平衡量的增加而增大。通过对振动信号的监测和分析，可以及时发现转子不平衡故障，并确定其严重程度。振动检测法具有非接触测量、实时性强等优点，能够有效地检测电机的机械故障，但对于一些早期的电气故障，其诊断效果可能不太理想。

2.1.2 温度监测法

温度是反映中压电机运行状态的重要参数之一。电机在运行过程中，由于铜损、铁损、机械摩擦等因素会产生热量，导致电机温度升高。当电机出现故障时，如绕组短路、轴承损坏等，会产生额外的热量，使电机温度进一步升高。通过在电机的绕组、轴承等关键部位安装温度传感器，实时监测电机的温度变化，可以及时发现电机的过热故障。例如，当绕组温度超过额定值时，可能意味着绕组存在短路或绝缘老化等问题，需要及时处理，以避免故障的进一步扩大。温度监测法具有简单直观、易于实现等优点，但对于一些局部故障，可能无法及时准确地反映出来。

2.1.3 油液分析法

对于采用油润滑的中压电机，油液分析法是一种有效的故障诊断方法。电机在运行过程中，轴承等部件的磨损会产生金属颗粒等杂质，这些杂质会进入润滑油中。通过对润滑油的取样分析，检测油液中的金属颗粒含量、大小、形状等参数，可以判断轴承等部件的磨损状态。例如，当油液中铁元素的含量明显增加时，可能意味着轴承的滚动体或滚道出现了磨损。油液分析法还

可以检测油液的黏度、水分、酸值等指标,评估润滑油的性能,为电机的维护提供参考。油液分析法能够提前发现电机的潜在故障,但需要对油液进行定期取样和分析,操作相对复杂。

2.1.4 电气参数测量法

电气参数测量法是通过测量中压电机的电压、电流、功率等电气参数,来判断电机的运行状态和故障类型。例如,当电机绕组出现短路故障时,电流会明显增大,功率因数会降低;当电机存在气隙偏心故障时,电压和电流的波形会发生畸变。通过对电气参数的实时监测和分析,可以及时发现电机的电气故障。电气参数测量法具有测量方便、实时性强等优点,但对于一些复杂的故障,如转子断条等,仅通过电气参数测量可能难以准确诊断。

2.2 智能诊断方法

2.2.1 基于机器学习的方法

基于机器学习的中压电机故障诊断方法主要包括特征提取、模型训练和故障分类三个步骤。首先,从电机的振动信号、温度信号、电气参数等多源数据中提取故障特征,如频谱特征、时域特征等。然后,选择合适的机器学习算法,如支持向量机(SVM)、决策树、神经网络等,构建故障诊断模型,并使用已知故障类型的样本数据对模型进行训练。最后,将待诊断电机的特征数据输入到训练好的模型中,实现故障的分类和识别^[2]。例如,利用支持向量机对中压电机的轴承故障进行诊断,通过提取振动信号的频谱特征作为输入,训练得到的支持向量机模型能够准确地识别轴承的正常状态、内圈故障、外圈故障和滚动体故障等不同类型的故障。基于机器学习的方法能够自动学习故障特征和模式,具有较高的诊断准确率,但需要大量的标注样本数据进行模型训练,且模型的泛化能力有待提高。

2.2.2 基于深度学习的方法

深度学习是机器学习的一个分支,它通过构建深度神经网络模型,自动从大量数据中学习高级特征表示。在中压电机故障诊断中,常用的深度学习模型包括卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体长短期记忆网络(LSTM)等。卷积神经网络具有强大的特征提取能力,能够直接处理原始的振动信号或图像数据,自动提取其中的故障特征。例如,将电机的振动信号转换为时频图像,然后输入到卷积神经网络中进行训练和诊断,可以有效地识别电机的故障类型。循环神经网络及其变体适用于处理时间序列数据,能够捕捉电机运行过程中的时序特征,对于诊断具有时序特性的故

障,如转子断条等,具有较好的效果。基于深度学习的方法不需要手动提取特征,能够自动学习数据的内在规律,但需要大量的计算资源和训练时间。

2.2.3 多传感器信息融合方法

中压电机的故障往往具有复杂性和多样性,单一的传感器可能无法全面准确地反映电机的运行状态。多传感器信息融合方法通过将来自不同传感器的信息进行综合处理和分析,能够充分利用各种传感器的优势,提高故障诊断的准确性和可靠性。例如,将振动传感器、温度传感器、电流传感器等的数据进行融合,综合考虑电机的机械、电气和热等多方面的信息,可以更准确地判断电机的故障类型和位置。多传感器信息融合方法可以采用数据层融合、特征层融合和决策层融合等不同层次融合策略,根据具体的应用场景和需求选择合适的融合方法。

3 中压电机预测维护方法

3.1 预测维护的核心技术

中压电机预测维护的核心技术是一个有机整体,主要由状态监测技术、故障诊断技术和剩余寿命预测技术构成。状态监测技术是预测维护的基石,它借助在电机关键部位安装的各类传感器,如振动传感器、温度传感器、电流传感器等,实时精准地采集电机的运行数据,涵盖振动频率与幅值、温度变化、电气参数波动等。这些丰富的基础数据为后续分析提供了坚实支撑^[3]。故障诊断技术则发挥“医生”作用,运用前文所述的多种故障诊断方法,对采集到的数据进行深度剖析。通过分析数据特征,能够敏锐察觉电机的故障隐患,精准确定故障类型,如转子不平衡、绕组短路等,以及故障发生的具体位置。剩余寿命预测技术是在故障诊断基础上的进一步延伸。它综合电机的历史运行数据、故障特征以及预先建立的退化模型,运用科学算法预测电机的剩余使用寿命,为制定合理的维护决策,如安排维修时间、准备备件等提供关键依据,保障电机稳定运行。

3.2 预测维护实施流程

中压电机预测维护的实施流程通常包括数据采集、数据预处理、特征提取、故障诊断、剩余寿命预测和维护决策等步骤。首先,通过传感器实时采集电机的运行数据,并将数据传输到数据采集系统中。然后,对采集到的数据进行预处理,包括滤波、去噪、归一化等操作,以提高数据的质量。接着,从预处理后的数据中提取故障特征,为故障诊断和剩余寿命预测提供输入。利用故障诊断方法对提取的特征进行分析,判断电机是否存在故障,并确定故障的类型和严重程度。如果电机存

在故障,则进一步利用剩余寿命预测技术预测电机的剩余使用寿命。最后,根据故障诊断结果和剩余寿命预测结果,制定合理的维护决策,如安排维修时间、更换零部件等。

3.3 典型预测维护系统架构

一个典型的中压电机预测维护系统犹如一个精密有序的智能工厂,由数据采集层、数据传输层、数据处理层、故障诊断与剩余寿命预测层和用户界面层协同运作,共同保障电机的稳定运行。数据采集层如同敏锐的“触角”,在电机的关键部位精心安装各类传感器,如能感知微小振动的振动传感器、精准捕捉温度变化的温度传感器等,实时不间断地采集电机的运行数据,为系统提供最原始的“情报”。数据传输层则像高效的“信使”,采用有线或无线通信技术,迅速且准确地将采集到的数据传送到数据处理中心,确保信息的及时传递。数据处理层如同严谨的“数据管家”,对传输过来的数据进行细致的预处理,如滤波去噪、归一化等,并进行妥善存储,为后续深入分析奠定基础。故障诊断与剩余寿命预测层作为系统的“智慧大脑”,运用先进算法和模型,深度剖析处理后的数据,精准实现故障诊断和剩余寿命预测。用户界面层则为用户打造友好的交互窗口,方便查看电机状态、诊断结果和维护建议等信息,实现对系统的便捷管理与控制。

4 中压电机故障诊断与预测维护发展方向

4.1 智能化与轻量化

随着人工智能技术的不断发展,中压电机故障诊断与预测维护将朝着智能化的方向发展。未来的故障诊断系统将具备更强的自主学习和自适应能力,能够自动识别电机的故障模式和特征,实现故障的精准诊断和预测。智能化的维护决策系统将根据故障诊断结果和电机的运行状态,自动生成最优的维护方案,提高维护效率和质量。为了满足工业现场对设备便携性和灵活性的要求,中压电机故障诊断与预测维护设备将朝着轻量化的方向发展。采用新型的传感器技术和微处理器技术,减小设备的体积和重量,降低设备的功耗,提高设备的可靠性和稳定性。

4.2 数字化与可视化

数字化是中压电机故障诊断与预测维护的重要发展趋势。通过建立电机的数字化模型,实现对电机运行状

态的实时模拟和预测,为故障诊断和维护决策提供更准确的依据。利用大数据技术对电机运行过程中产生的大量数据进行存储、管理和分析,挖掘数据中的潜在价值,为电机的优化运行和维护提供支持^[4]。可视化技术能够将电机的运行状态、故障诊断结果和维护建议等信息以直观的图形、图表等形式展示给用户,使用户能够更清晰地了解电机的运行情况。未来的故障诊断与预测维护系统将更加注重可视化设计,提供更加丰富和直观的可视化界面,提高用户的操作体验和决策效率。

4.3 国产化与标准化

目前,我国在中压电机故障诊断与预测维护领域的技术和设备主要依赖进口,存在成本高、技术受制于人等问题。因此,推动中压电机故障诊断与预测维护技术和设备的国产化具有重要的战略意义。国内企业和科研机构应加大研发投入,加强自主创新,突破关键技术瓶颈,开发出具有自主知识产权的高性能故障诊断与预测维护设备和系统。建立统一的中压电机故障诊断与预测维护标准体系,规范设备的研发、生产、安装和使用等环节,提高设备的兼容性和互换性,促进产业的健康发展。通过国产化和标准化的推进,降低中压电机故障诊断与预测维护的成本,提高我国工业领域的自主保障能力。

结束语

中压电机作为工业领域关键设备,其故障诊断与预测维护意义重大。本文阐述了传统与智能诊断方法,介绍预测维护的核心技术、实施流程与典型架构。展望未来,中压电机故障诊断与预测维护将朝着智能化与轻量化、数字化与可视化、国产化与标准化等方向发展。这有助于提升电机运行可靠性,降低维护成本,推动工业领域持续健康发展。

参考文献

- [1]李华.《电机故障诊断技术的研究与应用》[J].自动化技术与应用,2021,40(1):1-7.
- [2]王磊.《预测维护技术在电机维护中的应用研究》[J].电机与控制应用,2020,47(6):128-134.
- [3]霍琳,胡正宇,徐海,张磊,盖迪.基于机器学习的异步电机故障诊断方法[J].兵器装备工程学报,2024,45(08):18-25.
- [4]王新跃,韦玉柱,马伟东,等.低压电动机故障及保护措施探析[J].电气技术与经济,2023(8):163-165,177. DOI:10.3969/j.issn.1673-8845.2023.08.054.