

# 自动化控制系统中的故障诊断与预测性维护策略

杨吉武

宁夏宁东泰畅水务有限责任公司 宁夏 银川 750400

**摘要：**自动化控制系统在现代工业生产中扮演着至关重要的角色，其可靠性和稳定性直接影响生产效率和安全性。然而，随着系统复杂性的增加，故障发生的可能性也随之增大。因此，有效的故障诊断与预测性维护策略显得尤为重要。本文旨在探讨自动化控制系统中的故障诊断方法以及预测性维护策略，为提高系统可靠性和降低维护成本提供参考。

**关键词：**自动化控制系统；故障诊断；预测性维护；维护策略

## 引言

自动化控制系统通过传感器、控制器和执行器等组件实现对生产过程的精确控制。然而，故障的发生不仅会导致生产线停滞，还可能造成设备损坏、人员受伤甚至火灾等严重后果。因此，建立起完善的故障诊断与维护体系，对于保障生产安全、稳定生产具有重要意义。

### 1 自动化控制系统概述

自动化控制系统主要由传感器、控制器和执行器三部分组成。传感器负责收集被控对象的状态信息，如温度、压力、速度等；控制器根据预设的控制算法和目标值计算出控制信号；执行器则根据控制信号对被控对象进行调节，以达到期望的输出。自动化控制系统的工作原理可以分为开环控制和闭环控制两种类型，其中闭环控制通过反馈环节对输出结果进行校正，以提高系统的准确性和稳定性。

### 2 自动化控制系统故障诊断技术

#### 2.1 基于信号的故障诊断技术

基于信号的故障诊断技术在水处理厂自动化控制系统中同样发挥着关键作用，特别是在精准曝气、药剂投加、活性炭再生等关键环节的PLC（可编程逻辑控制器）故障诊断中，这种技术显得尤为重要。在精准曝气系统中，PLC负责控制曝气机的运行，以确保水中溶解氧的含量保持在适宜范围内。通过实时监测PLC的输入/输出信号，如曝气机的启停状态、曝气量设定值与实际值等，并与预设的正常状态进行比对，可以及时发现曝气系统存在的故障。例如，当曝气量实际值偏离设定值较大时，系统可以迅速发出警报，并提示可能的故障点，如曝气机故障、传感器损坏或控制线路问题。在药剂投加系统中，PLC根据水质监测数据自动控制药剂的投加量。通过对PLC输入/输出信号的细致处理和分析，如药剂投加泵的运行状态、投加量设定值与实际值等，可以准确

判断药剂投加系统是否正常工作。若投加量异常，系统可立即发出警报，并帮助操作人员快速定位故障原因，如泵故障、流量计不准确或控制逻辑错误等。此外，频率、幅值和相位等信号特征参数在水处理厂自动化控制系统的故障诊断中同样具有重要意义。频率分析可以帮助识别周期性故障，如泵或风机的振动故障；幅值分析则用于检测信号的强度变化，从而判断设备部件的磨损或损坏程度；相位分析则能够揭示信号之间的时序关系，有助于诊断复杂的系统互动故障，如多个设备之间的协调问题。为了进一步提高故障诊断的准确性，水处理厂的自动化控制系统还可以结合滤波、傅里叶变换、小波变换等高级信号处理技术。这些算法能够更有效地提取信号中的故障特征，减少噪声干扰，提高故障诊断的灵敏度和可靠性，从而确保水处理厂的稳定运行和水质安全。

#### 2.2 基于模型的故障诊断技术

基于模型的故障诊断技术是一种通过建立系统数学模型来预测正常行为，并与实际系统输出进行比较，从而检测故障的方法。这种方法要求对系统的结构和行为有深入的了解，因此通常适用于设计完善、参数明确的系统。建立系统模型的过程包括确定系统的输入输出关系、状态方程以及可能的故障模式。模型建立后，可以通过仿真或实际运行数据来验证模型的准确性。一旦模型被验证为可靠，就可以将其用于故障诊断。在实际应用中，基于模型的故障诊断技术通过比较模型预测的输出与实际系统输出之间的差异来检测故障。这种差异可能表现为时间上的延迟、幅值上的偏差或相位上的错位。通过分析这些差异，可以推断出系统故障的类型和位置。基于模型的故障诊断技术具有较高的准确率，因为它直接基于系统的物理原理和运行机制<sup>[1]</sup>。然而，这种方法的实施难度较大，需要专业的建模知识和大量的系

统数据。此外,随着系统复杂性的增加,建模过程也可能变得异常繁琐。

### 2.3 基于知识的故障诊断技术

基于知识的故障诊断技术是一种利用专家经验和知识来构建专家系统,通过推理和判断实现对系统故障的诊断方法。这种方法结合了人工智能和机器学习领域的最新成果,能够处理复杂、不确定性的故障问题。故障树分析是基于知识故障诊断技术中的一种常用方法。故障树是一种逻辑图,用于表示系统故障的各种可能原因及其相互关系。通过构建故障树,可以系统地分析系统故障的根源,并制定相应的维修策略。神经网络是另一种强大的基于知识的故障诊断工具。神经网络具有强大的学习和分类能力,能够通过训练学习系统故障的特征和模式。一旦训练完成,神经网络就可以自动识别和分类新的故障案例,提高故障诊断的准确性和效率<sup>[2]</sup>。除了故障树和神经网络外,基于规则的专家系统也是基于知识故障诊断技术的重要组成部分。专家系统通过编码专家经验和知识,形成一系列规则,用于指导故障诊断过程。这些规则可以根据系统的具体情况进行调整和优化,以适应不同的故障场景。基于知识的故障诊断技术具有灵活性和可扩展性,能够处理复杂、多变的故障问题。然而,这种技术的实施也面临一些挑战,如知识获取和表示的困难、推理效率的问题以及系统维护的复杂性等。

## 3 自动化控制系统预测性维护策略

### 3.1 数据采集与分析

预测性维护的基石在于状态监测,这要求能够持续、实时地评估设备的运行状况。为了实现这一目标,首先需要在设备的关键部位部署各类传感器,如温度传感器、压力传感器、振动传感器等。这些传感器能够实时捕捉设备在运行过程中的各种物理和化学参数,形成海量的数据流。数据采集之后,接下来的任务是数据的处理和分析。原始数据往往包含大量的噪声和冗余信息,需要通过数据清洗、去噪和归一化等预处理步骤,将其转化为有用的信息。在这一过程中,数据质量控制和错误纠正显得尤为重要,因为任何数据的不准确都可能导致后续分析的偏差。在数据分析阶段,可以借助机器学习、统计分析等先进工具来挖掘数据中的隐藏模式<sup>[3]</sup>。例如,通过聚类分析,可以将设备的工作状态分为正常、异常或临界状态;通过关联规则挖掘,可以发现设备故障与特定运行条件之间的潜在联系。此外,特征提取和选择也是数据分析的关键步骤,它们能够帮助从原始数据中提炼出对预测性维护最有价值的信息。

### 3.2 预测模型构建

预测模型是预测性维护策略的核心组件,它基于历史数据和实时数据,通过机器学习算法来预测设备的未来状态。构建有效的预测模型需要综合考虑数据的特性、算法的选择以及模型的验证和优化。回归分析是一种常见的预测模型,它适用于那些与时间或某些连续变量密切相关的设备状态预测。例如,通过回归分析,可以预测设备随使用时间的磨损程度或性能衰退趋势。时间序列分析则更侧重于利用设备状态随时间变化的序列数据来预测其未来状态。这种方法特别适用于那些具有明显周期性或趋势性的设备状态变化。近年来,深度学习在预测性维护领域展现出了巨大的潜力。深度学习算法,如卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN),能够自动从大量复杂数据中提取高层次的特征,并构建出高度准确的预测模型。在智能制造系统中,通过部署大量传感器收集生产线的实时数据,并利用深度学习算法构建预测模型,可以实现对设备故障的提前预警,甚至预测出故障发生的具体时间和位置。在构建预测模型时,还需要注意模型的验证和优化。这通常包括使用交叉验证来评估模型的泛化能力,以及通过调整模型参数、选择不同的特征组合或集成多个模型来提高预测的准确性。

### 3.3 维护策略制定

预测模型的输出为制定维护策略提供了科学依据。对于那些预测到即将发生故障的设备,可以提前进行维护或更换部件,以避免故障的发生和由此带来的生产中断。这种基于预测性维护的策略能够显著减少非计划停机时间,提高设备的可靠性和可用性。除了针对具体故障的维护策略外,还可以根据设备的实际运行状况来优化整体的维护计划和资源分配。例如,通过分析设备的历史维护记录和当前状态,可以确定哪些设备需要更频繁的维护,哪些设备可以延长维护周期<sup>[4]</sup>。这种基于设备状态的维护计划能够更有效地利用维护资源,降低维护成本。此外,预测性维护策略还可以与其他的生产管理系统集成,如企业资源计划(ERP)系统、制造执行系统(MES)等,实现维护信息与生产信息的实时共享和协同优化。这种集成化的管理方式能够进一步提高生产效率和维护效率,降低企业的整体运营成本。

## 4 实践案例

### 4.1 数控机床PLC故障诊断案例

某配备820数控系统的加工中心出现工作台分度盘不回落的故障。该故障导致加工中心无法正常工作,影响了生产进度。

4.1.1 故障诊断过程：

初步检查：技术人员首先检查了加工中心的PLC输入/输出状态，发现工作台分度盘的回落由接近开关SQ25、SQ28检测。通过对比PLC输入/输出状态与拷贝清单，发现SQ28检测工作台分度盘旋转到位（对应PLC输入接口I10.6）为“1”，表明工作台分度盘已旋转到位；但SQ25检测工作台分度盘回落到位（对应PLC输入接口I10.0）为“0”，表明工作台分度盘未回落。

深入排查：进一步检查发现，PLC输出接口Q4.7（控制电磁阀YV06动作）为“0”，表明KA32继电器未得电，导致YV06电磁阀不动作。通过手动操作YV06电磁阀，发现工作台分度盘能够正常回落，排除了电磁阀本身的问题。

故障处理：经过仔细排查，发现KA32继电器损坏，导致无法驱动YV06电磁阀动作。更换KA32继电器后，进行测试，工作台分度盘能够正常回落，故障得以解决。

4.1.2 附表：

表1：故障排查表

| 检查项目    | 检查结果          |
|---------|---------------|
| PLC输入状态 | SQ25：0，SQ28：1 |
| PLC输出状态 | Q4.7：0        |
| 继电器状态   | KA32：未得电      |
| 电磁阀状态   | YV06：未动作      |
| 故障原因    | 继电器KA32损坏     |
| 处理措施    | 更换继电器KA32     |

4.1.3 效果评估

通过及时的故障诊断和处理，加工中心迅速恢复了正常工作，避免了生产进度的延误。同时，此次故障处理也为技术人员积累了宝贵的经验，提高了类似故障的处理效率。

4.2 智能制造系统中的预测性维护案例

某汽车制造企业通过引入预测性维护系统，对其生产线上的数控机床进行了实时监测和预测性维护。该生产线包括多台数控机床，用于加工汽车发动机的关键零部件。

4.2.1 预测性维护过程：

数据采集：在每台数控机床上部署了多种传感器，包括温度传感器、振动传感器和压力传感器等，用于实时监测机床的运行状态。传感器收集的数据通过工业物联网（IIoT）技术传输到云端数据中心进行存储和分析。

数据分析与预测：利用机器学习算法对收集到的数据进行分析，建立预测模型，预测机床的未来状态。预测模型考虑了机床的历史运行数据、当前运行状态以及

环境因素等多种因素，提高了预测的准确性。

维护决策与执行：根据预测模型的输出，技术人员制定了相应的维护计划。对于预测到即将发生故障的机床，提前进行维护或更换部件。例如，某台机床的振动传感器数据异常，预测模型显示其存在潜在故障风险。技术人员及时对该机床进行了检查和维护，发现轴承磨损严重，并及时更换了轴承。

4.2.2 附表：

表2：设备状态监测与预警维护表

| 设备编号 | 监测参数 | 正常范围     | 实时监测值 | 预测结果   | 维护措施           |
|------|------|----------|-------|--------|----------------|
| M1   | 温度   | < 80°C   | 75°C  | 正常     | 无              |
| M2   | 振动   | < 0.5g   | 0.6g  | 潜在故障预警 | 检查并紧固螺丝，监测振动趋势 |
| M3   | 压力   | 10-15bar | 8bar  | 潜在故障预警 | 调整压力传感器，检查气路   |
| M4   | 温度   | < 80°C   | 85°C  | 故障预警   | 更换冷却系统，检查热源    |

4.2.3 实施效果：

实施预测性维护后，该汽车制造企业的设备故障率显著降低，生产效率提高了15%。同时，由于提前对潜在故障进行了处理，避免了因故障导致的生产中断和额外维修成本。据统计，企业在过去一年内节省了约200万元的维修成本。此外，预测性维护还提高了企业的生产灵活性和竞争力。由于能够实时掌握设备的运行状态和预测未来的故障风险，企业可以更好地安排生产计划和资源分配，确保生产线的稳定运行。

结语

自动化控制系统中的故障诊断与预测性维护策略对于提高系统可靠性和降低维护成本具有重要意义。通过采用先进的故障诊断技术和预测性维护策略，可以及时发现并解决问题，确保系统的稳定运行。未来，随着物联网、大数据和人工智能等技术的不断发展，预测性维护将在自动化控制系统中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]赵圣奎.自动化控制系统中的故障检修模式分析[J].电子技术,2024,53(11):118-120.
- [2]马渊.自动化控制系统故障报警技术及应用研究[J].信息系统工程,2020,(07):69-70.
- [3]史树辉,岳帅志,曹文刚.仪表自动化控制系统故障及其维护研究[J].中国仪器仪表,2024,(12):65-68.
- [4]孙云飞.工业自动化控制DCS系统维护技术分析[J].新型工业化,2022,12(08):84-87.