

[电抗器]

基于知识库和数据驱动的干式空心电抗器故障监测路径研究

文/郑伟 王文鹏 左建 张和平
新疆阜康抽水蓄能有限公司

干式空心电抗器是电力系统中常用的电力电容器，故障率较高，需要实施故障监测与诊断。研究了基于数据驱动和基于知识库两种典型的干式空心电抗器故障监测路径，对两种路径的优缺点进行分析比较，结合实际应用场景，提出了综合利用两种方法的建议，以实现故障监测与诊断所需的效果。

随着电力行业的不断发展和普及，干式空心电抗器广泛应用于输电和变电设备中。干式空心电抗器是变压器中一个关键的元件，主要功能是通过感应电场的作用调节电压。干式空心电抗器在使用过程中出现各种各样的故障。

干式空心电抗器故障主要包括电弧故障、过电压故障及内部绕组短路故障等多种类型。其中，电弧故障是干式空心电抗器故障频率较高的一种，主要特点是在电容器中产生电弧，造成短路和火灾等严重后果。另外，干式空心电抗器在运行过程中还出现电压过高、电感损耗等故障，导致设备损坏和工作效率下降。

为了避免干式空心电抗器故障给电力设备带来不良影响，引入大数据技术进行故障监测。一方面，利用大数据技术实时监测干式空心电抗器的状态，及时发现故障并采取有效措施进行处理，避免因故障产生的损失；另一方面，利用大数据技术建设知识库和数据驱动算法，对干式空心电抗器的故障进行预测和预警，提前采取相应的措施处理故障，进一步保障电力系统的运行安全性和稳定性。

在大数据视域下的干式空心电抗器故障监测领域，基于数据驱动和基于知识库两种方法各有独特

的优势和局限性。基于数据驱动方法以数据为基础，运用智能计算和模式识别技术进行实时监测和远程监控，具有自学习和自适应性。而基于知识库方法以专家知识为基础，建立故障诊断规则库，实现对干式空心电抗器故障的快速定位和准确定义。两种方法各具特点，在实际应用场景中如何综合利用两种方法，成为之后探索的重点。

本文研究了基于数据驱动和基于知识库的干式空心电抗器故障监测路径，并对两种方法的优缺点进行了深入分析和比较。通过综合应用两种方法的优势，大大提高干式空心电抗器故障监测的准确性和效率，保障电力系统的安全稳定运行。

基于数据驱动的干式空心电抗器故障监测路径

目前，对干式空心电抗器的电气特性、失效模式和失效机理等方面的研究已经比较深入。但是，如何利用数据技术实现干式空心电抗器故障的精准监测和快速诊断，仍然是一个亟待解决的问题。本文提出了一种基于数据驱动的干式空心电抗器故障监测路径，通过获取监测参数，应用大数据分析进行标签识别，进入专家系统进行故障诊断和定位，

基金项目：国网新源控股有限公司科技项目资助

并对故障进行失效模式和失效机理分析，最终输出设备健康状态和解决方案。路径流程如图1所示。

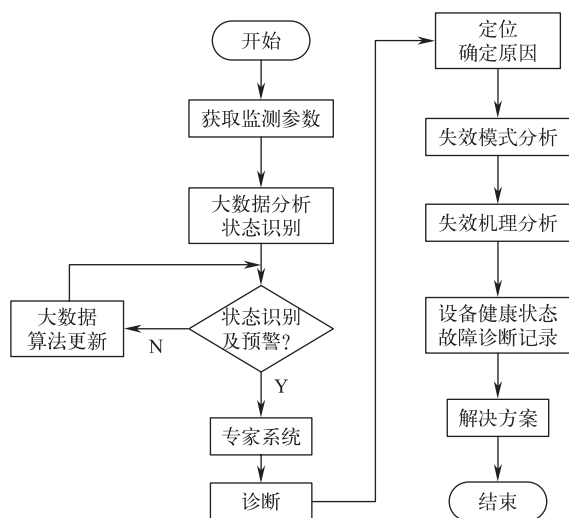


图1 基于数据驱动的干式空心电抗器故障监测流程

1. 监测参数的获取

在干式空心电抗器故障监测中，获取监测参数是非常重要的步骤。监测参数主要包括电流、电压、温度及湿度等。这些参数与干式空心电抗器的运行状态密切相关，必须保证数据的准确性和可靠性。目前，常用的干式空心电抗器监测技术标准主要包括IEC 61850、MODBUS及PROFIBUS等。

2. 标签识别

在获取监测参数之后进行标签识别。标签是指干式空心电抗器状态的特定属性，例如过载、温度过高及湿度过大等。利用大数据分析技术对监测数据进行标签识别，提高故障诊断的准确度和效率。

3. 故障诊断与定位

一旦发现异常标签，就需进入专家系统进行故障诊断和定位。专家系统是基于知识推理的计算机程序，主要特点是模拟人类专家的经验及决策过程，实现对复杂问题的快速诊断和决策。在干式空心电抗器故障监测中，专家系统利用已知数据库中的知识，对干式空心电抗器的运行状态进行快速、准确的诊断和定位，减少人工干预的成本和时间。

4. 失效分析

故障诊断和定位只是干式空心电抗器故障监测的第一步。了解干式空心电抗器故障的具体原因，必须进行失效分析。失效分析主要包括失效模式分析和失效机理分析。失效模式分析是指对故障的基

本类型进行分类和总结，以便更好地诊断和排除故障。失效机理分析是对失效的本质原因进行深入探讨和分析，包括材料的物理化学性质、结构设计和制造工艺等因素对干式空心电抗器失效的影响。

5. 输出设备健康状态和解决方案

在完成失效分析之后，输出干式空心电抗器的健康状态和解决方案。健康状态包括设备健康程度评估及维护建议等方面。解决方案是针对干式空心电抗器故障的性质和严重程度提供各种可能的解决方案。通过输出健康状态和解决方案，为电力系统的运行和维护提供有效的支持和指导。

基于数据驱动的干式空心电抗器故障监测路径是科技化、智能化的解决方案，对干式空心电抗器的运行状态进行实时监测和快速故障诊断。该方案具有逻辑性强、内容丰富等特点，提高电力系统的运行效率和安全性。在未来的研究中，进一步完善该方案的技术细节和操作流程，更好地满足电力系统的实际运行需求。

基于知识库的干式空心电抗器故障监测路径

基于知识库的干式空心电抗器故障监测方案包括数据获取、数据预处理及特征提取、筛选有效特征数据、故障预测诊断模型、故障诊断知识库和数据库更新等步骤。路径流程如图2所示。

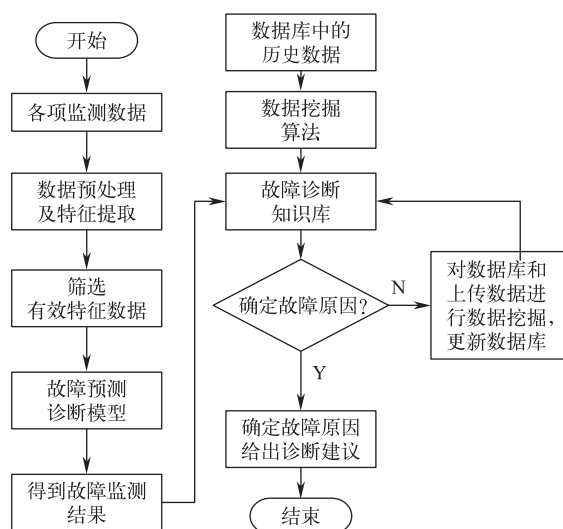


图2 基于知识库的干式空心电抗器故障监测路径流程

1. 数据获取

干式空心电抗器的故障监测需要获取各项监测数据，例如温度、湿度、频率、电压和电流等。还

需要通过传感器或传递设备采集监测数据并进行处理。

2. 数据预处理及特征提取

对获取的原始数据进行预处理和特征提取。预处理包括清洗数据，处理缺失或异常数据，同时进行数据的归一化。特征提取是将原始数据转换为有意义的特征，这些特征将成为后期故障监测和诊断的关键特征。例如，温度和湿度可用于计算周围环境的温湿度，电压和电流可以用于计算功率因数等。

3. 筛选有效特征数据

在提取特征后，对特征数据进行筛选，选择有助于故障监测和诊断的特征。常用的特征筛选方法包括过滤式、包裹式和嵌入式方法。

4. 故障预测诊断模型

在筛选有效特征数据之后，基于机器学习、深度学习等算法建立故障预测诊断模型。模型的任务是预测干式空心电抗器故障并诊断故障原因。预测模型需要训练和验证，以确保准确性和可靠性。

5. 故障诊断知识库

一旦预测模型发现干式空心电抗器出现故障，则将结果输入至故障诊断知识库中，搜索其中的匹配项，确定故障原因。故障诊断知识库是包含了干式空心电抗器常见故障及其处理方案的数据库，通过前期收集和整理干式空心电抗器的历史故障和处理事例而得到的。

6. 数据库更新

故障诊断知识库需要不断更新，保证准确性和时效性。当出现新的干式空心电抗器故障时需要更新故障诊断知识库，将新出现的故障及其处理方法加入到知识库中。

两种路径对比分析

基于数据驱动的干式空心电抗器故障监测路径是基于统计学的方法，通过收集干式空心电抗器大规模的监测数据，并利用机器学习、深度学习等算

法进行分析处理，实现对干式空心电抗器故障的预测和诊断。基于知识库的干式空心电抗器故障监测路径则是基于专家的经验 and 知识，通过建立故障诊断知识库，将干式空心电抗器的常见故障及其处理方法整理记录下来，帮助操作人员在干式空心电抗器出现故障时快速诊断并处理故障。

基于数据驱动方法的优势在于，通过大数据的分析处理，可以比较全面、准确地监测干式空心电抗器的故障，并且能够实时监测和远程监控，避免人为因素的干扰；另外，利用大数据的优势，对于新的故障类型可以通过机器学习和深度学习算法进行自学习和自适应，实现持续性优化。基于知识库方法的优势在于，由于依靠专家经验与知识库，故障诊断的可靠性更高，并能针对复杂情况进行确切管理，具有较好的通用性，不但适用于干式空心电抗器故障的监测，而且适用于其他领域的故障监测与诊断；另外，由于直接解决实际问题，在使用过程中操作人员的参与度比较高。

结束语

干式空心电抗器是电力系统中常用的电力电容器，因容量大、体积小和效率高等优点广泛应用于电力系统中。然而，由于工作环境恶劣、电力负荷变化较大等因素的影响，干式空心电抗器的故障率较高。为了确保电力系统的安全性和稳定性，对于干式空心电抗器的故障监测与诊断尤为重要。通过对干式空心电抗器故障监测路径的比较分析可知，基于数据驱动方法和基于知识库方法各自具有一定的优势和劣势。基于数据驱动方法能够实时监测和远程监控，并且对新的故障类型具有自学习和自适应的能力，但是可能出现误差；而基于知识库方法具有经验丰富、可靠性高和适应范围广的优点，但是需要专业经验和知识库的支持。因此，在实际应用场景中，根据不同的要求来综合利用这两种方法，成为今后继续探索的重点。EA

(收稿日期：2023-05-17)

