

# 配电网故障诊断领域的AI技术运用

邓昊宇

广东电网有限责任公司珠海供电局 广东 珠海 519100

**摘要：**在当今数字化时代，电力供应是社会运转的基础保障，配电网的稳定运行则是这一保障的关键环节。本文聚焦配电网故障诊断领域的AI技术运用。首先阐述配电网故障诊断的基本概念，进而详细分析AI技术在其中的应用原理，包括机器学习算法与深度学习算法。同时，探讨其应用场景，如基于数据驱动故障诊断、故障预测与预警及分布式电源接入下的故障诊断。最后，展望AI技术在该领域多技术融合、模型优化改进及智能化运维体系构建的发展趋势。

**关键词：**配电网；故障诊断；领域的AI；技术运用

**引言：**随着电力系统的不断发展，配电网的规模和复杂性日益增加，其故障诊断变得愈发关键。传统故障诊断方法在面对复杂多变的故障情况时，逐渐暴露出局限性。AI技术凭借强大的数据处理和分析能力，为配电网故障诊断提供了新的思路与方法。深入研究AI技术在配电网故障诊断中的应用原理、场景及发展趋势，对提升配电网的可靠性、稳定性以及供电质量具有重要意义，有助于推动电力行业的智能化发展。

## 1 配电网故障诊断概述

配电网作为电力系统向用户供电的关键环节，其稳定运行直接关系到用户的用电体验和生产生活秩序。配电网故障诊断，旨在快速、准确地识别配电网中出现的异常状况，并确定故障的位置、类型及原因。配电网故障类型多样，常见的有短路故障，这会导致电流瞬间大幅增加，可能引发设备损坏甚至火灾；断路故障，使供电中断，影响用户正常用电；还有接地故障，不仅会影响电力传输，还可能威胁人身安全。故障诊断的目的，一方面是在故障发生后迅速定位并排除故障，减少停电时间，降低对用户的影响；另一方面，通过对故障数据的分析，提前发现潜在问题，预防故障的发生。准确的故障诊断，对于保障电力系统的可靠运行、提高供电可靠性、降低运维成本以及提升电力企业的经济效益和服务质量都具有至关重要的意义<sup>[1]</sup>。

## 2 AI技术在配电网故障诊断中的应用原理

### 2.1 机器学习算法

#### 2.1.1 决策树算法

决策树算法是基于树状结构进行决策分析的有监督学习算法。其核心原理是通过对训练数据进行特征选择和划分，构建一棵树形模型。在配电网故障诊断中，以电压、电流、功率等电气量作为特征，每个内部节点

代表一个特征测试，分支代表测试结果，叶节点代表故障类别。例如，当检测到某条线路电流突然增大，电压降低，决策树会依据这些特征按照已构建的规则，判断是短路故障还是其他类型故障。决策树算法简单直观，易于理解和解释，不需要复杂的数学计算。它能处理多分类问题，对于配电网中多种故障类型的诊断有良好的适用性。

#### 2.1.2 支持向量机算法

支持向量机（SVM）旨在寻找一个最优分类超平面，将不同类别的数据点尽可能分开。在低维空间中若数据线性不可分，通过核函数将数据映射到高维空间，从而找到一个能最大化分类间隔的超平面。在配电网故障诊断里，把正常运行数据和各类故障数据看作不同类别，利用SVM进行分类。比如，将不同故障时的电压、电流波形数据作为输入，SVM通过学习这些数据特征，找到区分不同故障类型的超平面。SVM对小样本数据具有良好的学习能力，能有效避免过拟合问题，泛化性能强。在配电网故障诊断中，面对样本数量有限但故障特征复杂的情况，SVM能够准确地对故障进行分类，提高诊断的准确性，为后续故障处理提供可靠依据。

#### 2.1.3 贝叶斯网络算法

贝叶斯网络是一种基于概率推理的有向无环图模型，它用节点表示变量，边表示变量之间的依赖关系，通过条件概率表来描述变量间的概率关系。在配电网故障诊断中，将故障原因（如设备老化、雷击等）、故障现象（如电压异常、保护装置动作等）等作为变量构建贝叶斯网络。当出现故障现象时，根据贝叶斯公式，结合先验概率和条件概率，推理出各种故障原因的后验概率，从而确定最有可能的故障原因。例如，当检测到某区域电压骤降且重合闸动作失败，贝叶斯网络可综合

考虑线路老化、短路故障历史概率等因素，计算出导致该故障的最可能原因。贝叶斯网络能很好地处理不确定性信息，充分利用领域知识和历史数据，不仅能给出故障诊断结果，还能给出每个结果的概率，为运维人员制定维修策略提供更全面的参考信息。

## 2.2 深度学习算法

### 2.2.1 人工神经网络

人工神经网络（ANN）是一种高度复杂且具有强大适应性的计算模型，其结构模仿人类大脑神经元的连接方式。它由输入层、隐藏层和输出层构成，各层之间通过权重连接。在配电网络故障诊断中，输入层接收各种电气量数据，像实时采集的电压、电流、功率值等，这些原始数据被传递至隐藏层。隐藏层内包含多个神经元，每个神经元利用激活函数对输入数据进行非线性变换，这种变换能够将原始数据从简单的线性关系映射到复杂的非线性空间，从而提取出更深层次、更具区分性的故障特征。例如，通过对大量故障样本数据的学习，隐藏层神经元可以识别出不同故障类型所对应的独特电气量变化模式。最终，输出层根据隐藏层提取的特征，输出诊断结果，判断故障类型、位置以及严重程度。

### 2.2.2 卷积神经网络

卷积神经网络（CNN）以其独特的卷积层、池化层和全连接层架构，在处理高维数据方面展现出卓越的性能。在配电网络故障诊断场景中，对于随时间变化的一维电气量数据，如电压、电流的时间序列，或者将配电网络运行状态转化为的图像化数据，CNN都能发挥优势。卷积层通过卷积核在数据上滑动，自动对局部数据进行特征提取。比如在分析故障发生时的电压电流波形，卷积核能够敏锐捕捉到波形的局部变化特征，像波形的突变点、峰值异常等，这些都是判断故障类型的关键信息。池化层紧跟其后，对卷积层提取的特征进行降维操作，减少数据量和计算复杂度，同时保留对故障诊断最关键的特征，避免模型过拟合。最后，全连接层将池化后的特征进行整合分类，输出故障类型判断结果。

### 2.2.3 循环神经网络

循环神经网络（RNN）的核心优势在于其能够处理具有时间序列特征的数据，这与配电网络中电气信号随时间连续变化的特性高度契合。RNN内部具有独特的记忆单元，通过循环结构，它可以将当前时刻的输入数据与上一时刻的隐藏状态相结合进行分析。在配电网络故障预测与诊断中，RNN可以对历史电压、电流数据进行学习，挖掘数据中的时间依赖信息。如果连续监测到电压值持续下降且偏离正常波动范围，结合历史数据变化

趋势，RNN能够预测出可能即将发生的故障类型，提前为运维人员提供预警。对于时间序列相关性强的故障数据，RNN能够有效捕捉数据中的长期依赖关系，为配电网络的故障诊断和预测提供有力支持，帮助运维人员及时采取应对措施，保障配电网络的稳定可靠运行<sup>[2]</sup>。

## 3 AI技术在配电网络故障诊断中的应用场景

### 3.1 基于数据驱动的故障诊断

在配电网络运行过程中，各类传感器持续采集海量的电气数据，如电压、电流、功率因数等。基于数据驱动的故障诊断，就是利用AI技术挖掘这些数据背后的潜在信息。通过机器学习算法中的聚类分析，将正常运行数据与故障数据区分开来，构建正常运行模式和不同故障类型的特征模型。当配电网络实时运行数据输入诊断系统时，系统会将其与已建立的特征模型进行比对。一旦数据偏离正常模式，模型便能迅速判断可能存在故障，并进一步利用分类算法，如决策树、支持向量机等，精确分析故障类型和位置。这种基于数据驱动的方式，无需依赖大量的先验知识和复杂的数学模型，能够快速适应配电网络结构和运行状态的变化，大大提高故障诊断的准确性和及时性，尤其在面对新型故障时，凭借数据挖掘的能力，能及时发现并诊断出以往未曾出现过的故障。

### 3.2 故障预测与预警

故障预测与预警是保障配电网络可靠运行的关键环节。AI技术通过对配电网络的历史运行数据、设备状态监测数据以及环境数据等多源信息进行深度分析，构建故障预测模型。以时间序列分析算法为例，它能捕捉电气量随时间的变化趋势，通过分析历史数据预测未来时刻的电气参数。若预测值超出正常范围，便可能预示着故障即将发生。深度学习中的循环神经网络（RNN）及其变体长短期记忆网络（LSTM）在故障预测方面表现出色。它们可以学习历史数据中的长期依赖关系，对设备的运行状态进行持续监测和评估。一旦预测到潜在故障，系统会及时发出预警信号，运维人员可以提前安排检修维护，更换潜在故障部件，避免故障的实际发生，有效减少停电时间，提高供电可靠性，降低运维成本。

### 3.3 分布式电源接入下的故障诊断

随着分布式电源，如太阳能光伏、风力发电等在配电网络中的广泛接入，配电网络的结构和运行特性发生了显著变化，传统故障诊断方法面临挑战。AI技术为解决这一问题提供了新途径。在分布式电源接入的配电网络中，故障时的电流、电压特性变得更加复杂。机器学习算法可以对这些复杂的电气量特征进行学习，建立故

障诊断模型。深度学习算法则能够处理分布式电源接入带来的海量、高维数据。卷积神经网络（CNN）可以对故障时的电气量波形图像化数据进行分析，提取故障特征，实现快速准确的故障诊断。AI技术能够适应分布式电源接入后配电网络的不确定性和复杂性，提高故障诊断的可靠性和适应性，保障含分布式电源配电网络的安全稳定运行<sup>[3]</sup>。

#### 4 AI 技术在配电网络故障诊断中的发展趋势

##### 4.1 多技术融合

未来，AI技术在配电网络故障诊断中将朝着多技术融合的方向发展。一方面，不同的AI算法将相互结合，取长补短。例如，将机器学习算法中的决策树与深度学习算法中的人工神经网络融合，决策树可对数据进行初步分类和特征筛选，为神经网络提供更有价值的数据输入，而神经网络凭借强大的非线性处理能力，进一步挖掘深层次的故障特征，提升诊断的准确性和效率。另一方面，AI技术将与物联网、大数据、云计算等技术深度融合。物联网实现对配电网络设备运行状态的实时感知和数据采集；大数据技术提供海量数据存储和高效分析处理能力，为AI模型训练提供丰富的数据支持；云计算则为AI模型的部署和运行提供强大的计算资源，实现故障诊断的快速响应和大规模应用。多技术融合能够打造更智能、更高效的配电网络故障诊断系统。

##### 4.2 模型优化与改进

持续的模型优化与改进是AI技术在配电网络故障诊断中的关键发展趋势。一方面，针对现有模型存在的问题，如过拟合、泛化能力弱等，研究人员将不断改进算法结构和参数调整方法。例如，在深度学习模型中引入正则化技术，减少模型对训练数据的过度依赖，提高模型的泛化能力，使其在不同工况下都能准确诊断故障。另一方面，开发新的模型和算法也是趋势所在。结合配电网络故障诊断的独特需求，探索基于量子计算、强化学习等新兴技术的诊断模型，以实现更精准、快速的故障诊断。此外，随着硬件技术的发展，利用更强大的计算芯片，如GPU、TPU等，加速模型训练和推理过程，进

一步提升模型性能，满足配电网络日益增长的智能化故障诊断需求。

##### 4.3 智能化运维体系构建

构建智能化运维体系是AI技术在配电网络故障诊断领域的重要发展方向。通过AI技术与配电网络运维流程的深度融合，实现运维工作的智能化管理。基于AI的故障诊断和预测结果，智能化运维体系能够自动生成最优的运维策略，包括设备检修计划、备件采购方案等。同时，利用智能机器人、无人机等设备，实现对配电网络设备的自主巡检和维护，减少人工操作带来的风险和误差。此外，通过建立运维知识库和专家系统，将AI分析结果与专家经验相结合，为运维人员提供决策支持，提升运维工作的科学性和准确性。智能化运维体系的构建将全面提升配电网络的运维效率和可靠性，降低运维成本，保障电力系统的稳定运行<sup>[4]</sup>。

##### 结束语

综上所述，AI技术在配电网络故障诊断领域的应用，已然成为提升电力系统可靠性与稳定性的关键力量。从基于数据驱动的精准诊断，到故障预测预警实现防患未然，再到应对分布式电源接入挑战，AI技术正全方位革新着配电网络运维模式。未来，随着多技术融合的深入、模型的持续优化以及智能化运维体系的完善，AI技术必将在配电网络故障诊断中发挥更为重要的作用，为电力行业的智能化发展注入源源不断的动力，让稳定、高效的电力供应惠及千家万户。

##### 参考文献

- [1]赵洋.智能诊断方法在电力变压器故障识别中的应用研究[J].西安工程大学,2023.145-146.
- [2]赵元鹏.配电网故障诊断方法研究与实现[J].西安石油大学,2022.156-157.
- [3]吴茜.建筑电气实验平台故障智能诊断技术研究[J].北京建筑大学,2023.18-179
- [4]田秀梅.人工智能在电力系统故障诊断中的应用[J].电子技术,2018,38(01):131-132.