

# 基于深度学习的发电机设备运行状态智能检测系统研究与应用

梁云, 张鹏伟, 赵文辉

(国能锦界能源有限责任公司, 陕西 榆林 719319)

**摘要** 本文以电厂DCS系统的发电机组运行数据为基础, 筛选并构建一个包括正常运行状态、故障状态以及其他异常状态的训练样本, 基于深度学习开发发电机设备运行状态智能检测技术。通过对#1机组发电机组进行运行状态检测应用, 针对发电机运行过程中的大量实时数据与历史数据, 进行数据清洗, 去除潜在的错误数据和异常值, 通过对数据进行分析和挖掘, 提取发电机设备各类运行状态的关键特征, 基于深度学习对发电机设备运行状态智能检测算法进行训练和优化, 用于发电机设备状态分析及维护, 实现智能预测故障的发生, 确定发电机的最优维护时机, 对提高发电机组运行的稳定性, 促进电力行业发展具有重要的作用, 为保障电厂设备能够安全、可靠、有效地运行提供示范。

**关键词** 深度学习; 发电机设备; 运行状态; 智能检测技术

**中图分类号**: TM31; TP27

**文献标识码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)01-0028-03

随着国内用电需求日益增多, 电厂设备的故障率导致事故也在逐年递增。发电机作为火力发电的主要电气设备, 由于结构复杂, 其工作时各类信号干扰大、耦合性强, 出现任何重大的故障都会带来一系列的连锁反应, 从而造成严重的经济损失, 发电机设备运行状态往往会受到各种外界因素的影响, 基于规则的故障检测和基于模型的故障诊断等传统检测方法很难将这些复杂的关联关系考虑进去, 无法适应复杂多变的发电机设备故障模式, 发电机设备运行状态检测的准确性和可靠性有待提高。<sup>[1]</sup>对发电机组的运行状态进行实时监测, 开发设备状态的智能检测, 能够更好地识别出各种故障模式下的特征, 并将其与正常运行状态进行对比分析。这有助于提前预警潜在的故障, 并采取相应的维修和保养措施, 从而提高发电机设备的可靠性和运行效率。<sup>[2]</sup>

近年来, 基于大数据、深度学习、人工智能等先进算法广泛应用于电力系统设备预测性维护中, 实现设备的健康状态检测、故障智能预测等目标<sup>[3]</sup>。本文以电厂DCS系统的发电机组运行数据为基础, 筛选并构建一个包括正常运行状态、故障状态以及其他异常状态的训练样本, 基于深度学习开发发电机设备运行状态智能检测技术, 用于发电机组的运行状态检测, 智能预测故障的发生, 确定发电机的最优维护时机, 这对提高发电机

组运行的稳定性, 促进电力行业发展具有重要的作用<sup>[4]</sup>。

## 1 基于深度学习的发电机设备运行状态智能检测

### 1.1 深度学习算法

深度学习是一种基于神经网络的机器学习算法, 它通过多层神经元的连接和学习来实现对输入数据的学习和表达能力, 其优势在于其能够通过对大规模数据的训练, 自动地学习到特征表达, 并从中提取出有用的信息。相关研究表明, 深度学习在设备故障预测、健康管理和状态识别等领域具有卓越的能力<sup>[5-6]</sup>。

基于深度学习的发电机设备运行状态智能检测方法主要包括数据预处理、模型搭建和模型训练三个步骤。在数据预处理阶段, 我们需要采集大量的发电机设备运行状态数据, 并对其清洗和标注, 以确保数据的质量和准确性。然后, 在模型搭建阶段, 我们可以选择适用于发电机设备运行状态检测的深度学习模型, 如卷积神经网络(CNN)或循环神经网络(RNN), 并进行模型的构建和参数的调整。最后, 在模型训练阶段, 我们使用预处理后的数据集来训练深度学习模型, 并通过迭代和优化来提高模型的准确性和稳定性。

### 1.2 发电机设备状态检测

实时检测发电机设备的运行状态, 可以及时发现

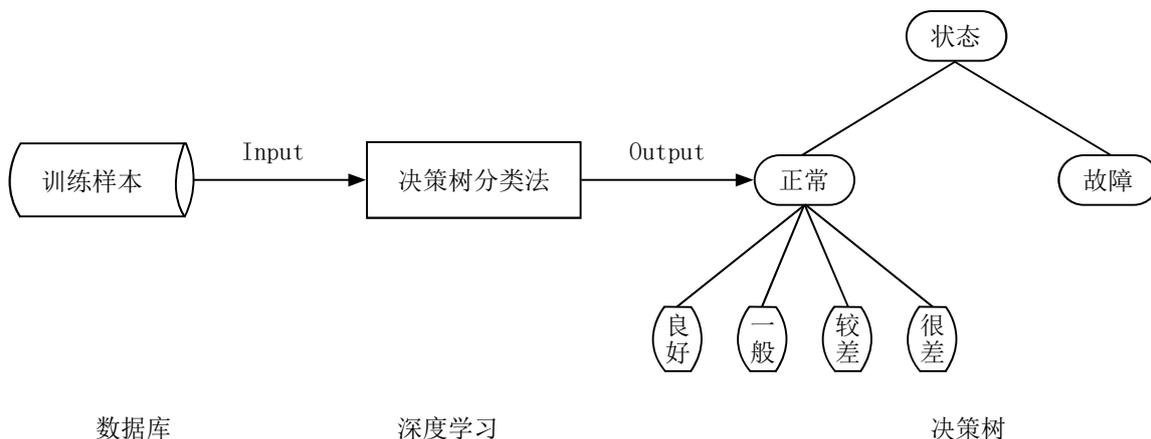


图 1 发电机设备运行状态智能检测系统决策树

故障并采取维护和更换措施，保证设备的可靠运行，降低设备故障和事故的发生率。本文从大量的历史数据中学习设备不同状态时的规律和特征。通过对大量的设备运行数据进行训练，深度学习模型可以自动地提取特征，发现设备工作过程中隐藏的异常行为，从而为发电机设备保驾护航。

### 1.3 发电机设备故障预警

在发电机设备的运行过程中，故障的发生是无法避免的。为了提前发现并及时处理这些故障，通过学习大量历史数据和故障样本，从中抽取特征，并构建故障检测模型。与传统的基于规则的故障预警方法相比，深度学习技术能够更加准确地判断设备故障的发生，并可以自动学习和适应新的故障模式。

## 2 数据挖掘与分析技术

### 2.1 样本数据集构建

在本研究中，为了提高发电机设备运行状态智能检测技术的性能，需要构建一个高质量的样本数据集，用于深度学习算法开发、训练。主要包括：

1. 以电厂 DCS 系统的发电机组运行数据为基础，筛选并构建一个包括正常运行状态、故障状态以及其他异常状态的训练样本。

2. 对采集到的原始数据进行数据清洗、归一化处理，通过数据清洗，去除潜在的错误数据和异常值，通过归一化处理，以消除数据之间的量纲差异，提高模型的训练效果。

3. 数据进行分析和挖掘，基于发电机组设备的历史数据以及现场仪表采集的实时数据，通过时域特征、频域特征和统计特征方法，提取出了一系列能够表征

发电机设备运行状态的关键特征，并将复杂的原始数据转化为具有明确含义的特征向量，使得样本数据更具有区分性和可解释性，便于后续的深度学习模型训练与优化。

### 2.2 决策树算法

本文基于决策树开发发电机设备运行状态智能检测系统算法，不需要对样本进行预先假设，计算速度快可同时处理分类和预测问题，对缺失值不敏感，满足发电机组设备的需求。过程如图 1 所示<sup>[7]</sup>。

决策树算法步骤为：

1. 将所有的训练样本数据按照状态进行样本集分类，采用 ID3 算法，计算每个状态属性的信息增益、信息熵，决策树的分支节点所包含的样本尽可能属于同一类别，即其纯度越高越好。

2. 将样本集中信息增益度最大的属性定义为决策树的第一级再次进行样本子集分类，按照步骤 1 的算法，计算样本子集的信息增益、信息熵。

3. 将样本子集中信息增益度最大的属性定义为决策树再次分类的节点，按照步骤 1、2 的算法进行分类，直至本级中所有的样本子集都为同一类别。

## 3 发电机设备运行状态智能检测系统技术

### 3.1 发电机设备运行数据处理

目前，发电机的主要状态检测参数为发电机剩余预测击穿电压，根据相关文献可知发电机剩余预测击穿电压计算公式可简化为：

$$\frac{U_b}{U_N} = 12.0 - 2.21gQ_m - 280\left(\frac{tg\delta_0}{R_1C_0}\right)^2$$

其中，剩余预测击穿电压  $U_b$ 、额定电压  $U_N$ 、最大局

部放电量  $Q_m$ 、绝缘电阻  $R_1$ 、电容  $C_0$ 。根据经验公式即可获得发电机剩余预测击穿电压,由于发电机使用过程中存在绝缘老化问题,式中的最大局部放电量  $Q_m$ 、绝缘电阻  $R_1$ 、电容  $C_0$  发生变化,需要定期测量,影响发电机组正常工作;同时,由于发电机组的工作环境复杂和信息传输技术的限制,采集到的数据通常噪声点以及缺失值,对需要对异常数据进行识别和修复等数据处理。

基于深度学习算法中的聚类方法,对原始数据流进行初步的聚类分析,对异常数据进行识别,利用神经网络进行异常数据的去除和缺失数据的填补,能够更好地为发电机故障诊断提供可靠的数据保障。项目通过神经网络算法取 50 组数据,通过采用神经网络技术结合模糊数学,建立老化数学模型进行预测绝缘的剩余击穿电压分析,即可实现电机设备运行状态智能检测与在线分析。

### 3.2 发电机设备运行状态智能算法训练

基于对发电机设备运行时产生的大量历史、实时数据进行收集、处理、分析、建模来实现的,对预测发电机设备运行状态可通过决策树学习训练专家策略库,根据分级对应的策略对设备进行维护<sup>[8]</sup>,具体流程主要包括以下步骤。

1. 数据获取:通过 DCS、PI 数据库获得发电机设备运行数据。

2. 数据处理:包括数据预处理和特征提取,对数据进行过滤和整理,识别数据中工况信息,剔除非重要变量,通过特征提取数据供模型训练使用。

3. 模型训练:选择适当深度学习模型,利用经处理后的数据进行训练,获得在不同运行状况时的预测的模型。

4. 状态检测:通过读取 DCS、PI 数据库中发电机运行数据,并通过训练好的模型智能判断发电机设备运行状态。

5. 策略制定:根据电机设备运行状态,智能分析维护和维修策略,同时进行故障诊断,决定发电机维护和保养策略。

## 4 基于深度学习的发电机设备运行状态智能检测系统应用

本次研究主要针对国能锦界能源有限责任公司 #1 发电机测试应用,基于发电机设备的历史数据、检修数据、实时数据进行训练,将击穿电压作为神经网络

的单一输出来评估发电机设备运行状态,通过建立具有模糊输出的 3 层 BP 神经网络对发电机组设备运行状态进行评估。

项目基于虚拟仪器技术开发,实现设备状态分析功能、绝缘劣化趋势分析功能和设备维护等功能。可以实时显示发电机的基础信息、实时监测参数、设备状态信息,通过对发电机在线检测与智能分析,可在线分析剩余预测击穿电压,同时系统智能分析设备运行状态与设备绝缘状态,实现发电机设备状态分析及维护。

## 5 结论

基于深度学习的发电机设备运行状态智能检测系统通过在线监测实现对发电机设备状态分析及维护应用,通过对大量历史数据的学习和分析,识别出发电机设备运行中的异常状态,为设备维护与更换提供科学依据。通过现场应用表明:本文通过对发电机运行过程中的大量实时数据与历史数据,基于挖掘数据中隐含信息、智能分析,实现发电机设备状态分析及维护。项目涉及的技术也可以在电厂其他设备中推广应用,为保障电厂设备能够安全、可靠、有效地运行提供示范。

由于目前在发电机故障诊断场景中还存在数据质量、异常样本匮乏等客观因素的限制,人工智能技术在发电机组的状态分析中应用还不够成熟,其在发电机组中的应用还需进一步优化。

## 参考文献:

- [1] 李杰其,胡良兵.基于机器学习的设备预测性维护方法综述[J].计算机工程与应用,2020,56(21):11-19.
- [2] 王艺莹.电动机监测技术在发电厂辅机状态监测中的应用[J].商业故事,2018(22):159.
- [3] 刘力宇,崔江.基于深度学习的发电机整流器诊断系统研究[J].微特电机,2020,48(04):39-42.
- [4] 李春林,熊建斌,苏乃权,等.深度学习在故障诊断中的应用综述[J].机床与液压,2020,48(13):174-184.
- [5] 高锦.大数据挖掘分析在电力设备状态评估中的应用[J].南方农机,2020,51(10):158.
- [6] 江秀臣,盛戈皞.电力设备状态大数据分析的研究和应用[J].高电压技术,2018,44(04):1041-1050.
- [7] 高起栋.基于数据挖掘技术的火电厂设备状态监测系统[J].工业技术创新,2017,04(06):24-27.
- [8] 刘敏,叶小舟,徐泽华.基于神经网络的核电厂 DCS 设备剩余寿命预测方法[J].电子技术应用,2021,47(S01):185-191.