

[人工智能]

电力设备智能运维管理系统在高速铁路的研究与应用

文/李继军

中国铁路济南局集团有限公司供电部

针对高速铁路电力设备运维管理智能化升级，提出了一种基于智能技术的解决方案，即电力设备智能运维管理系统。通过对智能诊断与预测算法以及人工智能在电力设备运维中的应用进行研究，设计并实现一个完整的系统。通过实际应用案例分析，验证系统在高速铁路电力设备运维管理中的有效性和实用性。

随着高速铁路的快速发展和运维工作量的增加，电力设备作为其重要组成部分，在保障铁路安全、稳定运行方面承担着至关重要的角色。然而，传统的电力设备运维管理方式存在着诸多挑战，如运维效率低、故障处理周期长和维护成本高等问题，已经无法满足日益增长的高速铁路运输需求。因此，开发一种智能化、高效化的电力设备运维管理系统迫在眉睫。

电力设备智能运维管理系统技术原理

1. 智能诊断与预测算法

智能诊断与预测算法在电力设备智能运维管理系统中发挥着关键作用。其中，一种常用且有效的算法是支持向量机（Support Vector Machine, SVM）。SVM是一种监督学习算法，可用于分类和回归分析，主要是将数据映射到高维特征空间中，并在该空间中找到一个最优的超平面，以实现数据的最佳分类，数学表达式为

$$f(x)=w^T x+b$$

式中， x 是输入样本的特征向量； w 是超平面的法向量； b 是偏置项。

算法的目标是找到最优的 w 和 b ，使得样本点到超平面的间隔最大化，并且满足分类误差的限制

条件。

在电力设备运维管理中，智能诊断与预测算法可以通过监测电力设备的运行数据，如电压、电流和温度等参数，来进行设备状态的诊断和预测。通过训练SVM模型，将设备正常和异常状态进行分类，从而实现对设备状态的智能诊断。通过监测数据的时序变化，结合SVM算法进行趋势分析和模式识别，还可以实现对电力设备故障的预测，及时发现潜在问题并采取相应的维修措施，提高设备的可靠性和运行效率。

2. 人工智能在电力设备运维中的应用

人工智能在电力设备智能运维管理系统中的应用是一项关键技术，能够通过模拟人类智能的方式，对电力设备进行智能化的监测、诊断和预测，从而实现高效的运维管理。其中，常用的一种人工智能算法是基于深度学习的卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN）。卷积神经网络是一种深度学习模型，主要通过卷积操作和池化操作来提取特征，并通过多层神经网络实现对数据的高级抽象表示。在电力设备智能运维管理系统中，卷积神经网络通过对电力设备传感器数据进行卷积操作和池化操作，提取出不同时间和空间尺度下的特征。例如，对于电力设备的振动数据，可

以通过卷积操作和池化操作提取出不同频率和振幅的特征，以反映设备的运行状态。通过多层神经网络的连接和训练，卷积神经网络可以学习到数据中的高级抽象表示，从而实现对电力设备的智能诊断和预测。例如，通过输入电力设备的传感器数据和历史故障数据，训练卷积神经网络模型，可以实现对设备的故障类型和发生概率的预测。通过不断优化和调整卷积神经网络的参数和结构，可以提高模型的准确性和稳定性，进而实现对电力设备运行状态的准确监测和智能分析，为运维管理人员提供及时的预警和决策支持。

高速铁路电力设备智能运维管理系统设计与实现

1. 系统架构设计

高速铁路电力设备智能运维管理系统的系统架构主要是基于数据采集与处理、诊断预警功能与模型算法、以及远程监控与控制模块三大核心模块构建，以实现对电力设备的智能化监测、预测、管理和控制，如图1所示。数据采集与处理模块负责对电力设备产生的数据进行采集、处理和上传。通过增加定时上送、触发上送、同步对时、断点续传和历史召读等机制，确保数据的精准性、有效性、合理性和完整性。该模块采用先进的数据处理技术，包括数据清洗、转换、存储和传输，以满足系统对实时性和准确性的要求。诊断预警功能与模型算法模块主要负责对电力设备的故障和隐患进行预警和诊断。通过核心短路、接地、过电压、欠电压、失压、过电流、欠电压、缺相、错相、掉电、过载、漏电及超温等预警事件的监测和推送，及时发现异常情况并进行定位检修。同时，根据历史告警与故障信息，采用先进的预测机理与算法，对潜在的隐患事件进行预测并提醒，以防未然。远程监控与控制模块通过辅助监控、视频监控、智能识别、设备联动和视频联动等功能，实现对电力设备的远程监控和控制。该模块利用远程监控与控制机理与算法，对环境、安防和消防监控进行辅助，通过视频识别技术识别异常情况，并实现设备的联动控制和视频联动，以提升对电力设备的管理和安全性。

2. 数据采集与处理模块

在高速铁路电力设备智能运维管理系统中，数

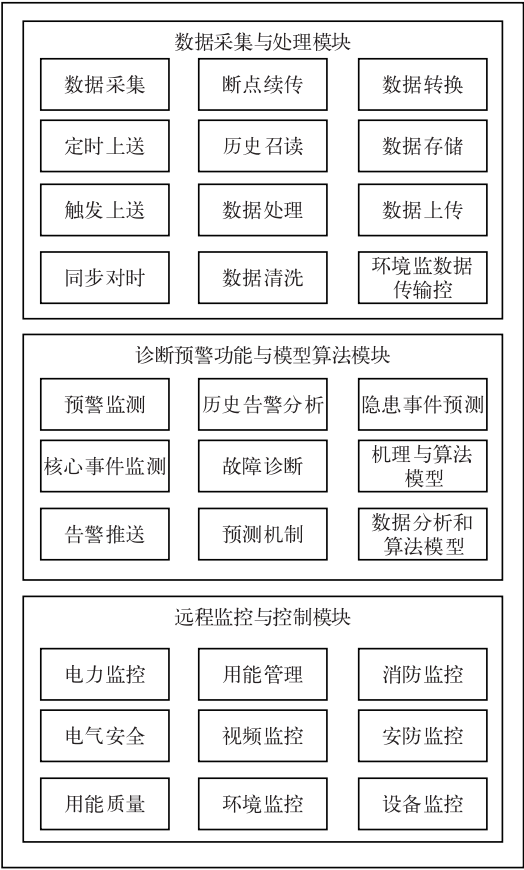


图1 高速铁路电力设备智能运维管理系统架构

据采集与处理模块主要是实现对电力设备数据的全面采集、处理和上传，以确保数据的精准性、有效性、合理性和完整性，从而为系统的智能化监测、预测、管理和控制提供可靠的数据支持。数据采集通过增加定时上送、触发上送、同步对时、断点续传和历史召读等数据上传处理机制，实现对电力设备数据的及时采集和上传。定时上送机制确保系统能够按照预设的时间间隔自动采集数据并上传，保证了数据的实时性；触发上送机制则能够根据设定的条件触发数据上传，及时响应特定事件；同步对时机确保系统内部的时间与实际时间保持一致，防止因时间误差而导致的数据不准确问题；断点续传机制能够在数据传输中断后自动恢复传输，保证数据的完整性和连续性；历史召读机制则能够实现历史数据的读取和上传，为数据分析和决策提供支持。数据采集与处理模块采用先进的数据处理技术，包括数据清洗、转换、存储和传输。数据清洗功能能够对采集到的原始数据进行筛选和清理，剔除异常数据，确保数据质量；数据转换功能能够将

原始数据转换为系统所需的格式和结构,以便后续处理和分析;数据存储功能能够将处理后的数据存储到数据库或文件中,实现数据的长期保存和管理;数据传输功能将处理后的数据通过网络传输到指定的服务器或终端设备,实现数据的远程访问和共享。

3.智能诊断与预测模块

高速铁路电力设备智能运维管理系统的智能诊断与预测模块通过数据分析和算法模型,模块具备多种诊断预警功能,能够实时监测电力设备的各项参数,并对关键预警事件进行监测和推送,具体流程如图2所示。通过设置合理的阈值和报警规则,一旦检测到异常情况,系统将立即发出预警信息,确保故障能够在最短的时间内被发现和定位,从而及时采取检修措施,避免事故的发生。智能诊断与预测模块通过分析历史告警与故障信息,建立相应的预测模型和算法,对潜在的隐患进行预测并提醒,及时扼杀隐患的萌芽。例如,系统可以根据历史数据分析得出某一设备在特定条件下容易发生的故障类型和频率,然后通过预测算法对未来可能出现的故障进行预测,并提前发出警示,以便进行预防性维护和检修。在实现诊断预警功能和隐患事件预测的过程中,智能诊断与预测模块采用了多种机理和算法。其中包括基于规则的故障诊断算法、数据挖掘与机器学习算法以及人工智能算法等。通过这些算法的应用,系统能够实现大量数据的快速分析和处理,从而提高预测的准确性和可靠性,为电力设备的智能运维管理提供有力的支持。

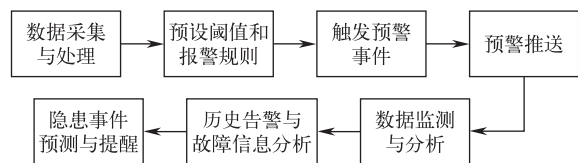


图2 高速铁路电力设备智能运维管理系统的智能诊断与预测流程

智能诊断与预测模型的建立通常包括以下步骤。

1) 数据采集。收集电气设备的运行数据,包括电流、电压、温度和振动等参数,以及设备的历史维修记录等信息。

2) 数据清洗和处理。对采集的数据进行清洗

和处理,包括缺失值处理、异常值处理和数据转换等,以确保数据质量。

3) 特征提取。从处理后的数据中提取特征,例如设备运行状态的统计特征、频域特征和时域特征等。

4) 模型建立。选择合适的机器学习算法或深度学习模型,利用提取的特征建立预警模型,例如支持向量机(SVM)、随机森林(Random Forest)和神经网络等。

5) 模型训练和验证。使用历史数据对模型进行训练,并使用验证集进行模型性能评估和调优。

6) 模型部署。将训练好的预警模型部署到实际的电气设备监测系统中,实时监测设备运行数据,并进行预警。通过建立智能诊断与预测模型,可以帮助企业实现对电气设备的智能监测和预警,及时发现潜在的故障隐患,降低设备维护成本,提高设备可靠性和安全性。

当涉及到智能诊断与预测模型时,有几种常见的模型和方法可以用于预测电气设备的故障或隐患,以下是其中一些常见的模型和方法。

1) 基于统计的模型。这种模型通常使用设备历史数据的统计特征来进行预测。例如,可以计算设备运行参数的均值、方差、峰度和偏度等统计量,然后利用这些统计特征建立预警模型。这种模型简单易懂,但对于复杂的电气设备故障预测可能表现不佳。

2) 支持向量机(SVM): SVM是一种常见的监督学习算法,可以用于分类和回归任务。在电气隐患预警中,SVM可以通过对设备运行数据进行训练,建立一个能够区分正常和异常状态的模型。当新的数据输入时,模型可以预测设备是否存在潜在的故障隐患。

3) 随机森林(Random Forest)。随机森林是一种集成学习方法,通过构建多个决策树来进行预测。在电气隐患预警中,可以利用随机森林模型来分析设备的多个特征,从而预测设备的故障概率。

4) 神经网络。深度学习中的神经网络模型在智能诊断与预测中也有应用。通过构建多层神经网络,可以对设备的复杂特征进行学习和预测,从而实现更精准的故障预测。

这些模型和方法都可以用于智能诊断与预测,

但在实际应用中需要根据具体情况选择合适的模型，并结合领域专家的知识 and 经验进行模型的建立和优化。同时，还需要考虑数据采集的质量、特征工程的有效性以及模型的实时性等因素，以确保预测模型的准确性和实用性。

4. 远程监控与控制模块

高速铁路电力设备智能运维管理系统中，远程监控与控制模块主要包括辅助监控功能，能够对环境、安防和消防等方面进行监控。通过传感器和监控设备，实时监测环境参数，如温度、湿度和气压等，以及安防设施的状态，如门窗状态、防盗报警等，保障电力设备的安全。同时，还能对消防设备进行监控，及时发现火灾隐患，提高事故应急处理能力。远程监控与控制模块具备视频监控和智能识别功能，能够通过摄像头对设备及周围环境进行实时监测。基于图像识别技术，系统可以识别烟火告警、人员着装、人员倒地、离岗、睡岗、开关位置、油位和指示灯等情况，并实现智能报警和告警推送，及时处理异常情况。远程监控与控制模块还实现了设备联动和视频联动功能。通过联动照明、风机、空调器等设备，可以实现设备的自动控制和调节，提高能效和节能水平。同时，视频联动功能可以实现调度遥控开关、告警事件等与监控视频的联动，方便运维人员进行远程监控和控制，快速响应异常情况^[5]。在监控与控制机理与算法方面，模块采用了先进的图像处理算法、模式识别算法和人工智能算法等。通过这些算法的应用，系统能够对大量视频数据进行高效处理和分析，实现智能识别和智能控制，为电力设备的远程监控和控制提供了可靠的技术支持。

高速铁路电力设备智能运维管理系统应用案例分析

1. 案例概况

以济莱高铁为例，在济莱高速铁路段（里程约120 km）引入电力设备智能运维管理系统后，系统应用了先进的数据采集与处理、智能诊断与预测、远程监控与控制等核心功能，有效提升了电力设备的运维管理水平。在该案例中，系统实时监测了电力设备的各项参数，包括电压、电流和温度等，通过数据分析和算法模型，能够准确诊断和预测核心

短路、接地、过电压、欠电压、过电流及漏电等关键预警事件，并及时推送预警信息给运维人员。通过远程监控与控制模块，运维人员可以远程查看设备状态，进行视频监控，实施设备联动等操作，从而及时发现和解决潜在故障隐患，保障高速铁路的安全稳定运行。

2. 系统应用效果评估

根据表1所示数据，高速铁路电力设备智能运维管理系统的应用效果显著，各项指标均实现了大幅提升。在故障发现和处理方面，系统通过实时监控和智能预警，将故障发现时间从24 h缩短至2 h，故障处理时间也从48 h缩短至8 h，显著提高故障处理的及时性和效率。同时，运维人员数量减少46.6%，有效降低人力成本。系统应用后设备故障率下降60%，运维成本降低41.6%，进一步提升运维的经济效益。最为重要的是，系统可用性高达99.5%，保证系统的稳定运行和持续监控能力。

表1 系统应用效果

指标	应用前	应用后	提升比例 (%)
故障发现时间/h	24	2	91.67
故障处理时间/h	48	8	83.33
运维人员数量	15	8	46.6
设备故障率 (%)	5%	2%	60
运维成本/ (万元/年)	120	70	41.6
系统可用性 (%)	85%	99.5%	16.47

结束语

高速铁路作为现代交通的重要组成部分，高速铁路运行的安全性和稳定性至关重要。电力设备智能运维管理系统的引入，有效降低设备故障率，缩短故障处理时间，为高速铁路的安全运行提供有力保障。同时，系统通过优化运维流程、降低运维成本，进一步提升高速铁路的经济效益和社会效益。展望未来，随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，电力设备智能运维管理系统将在高速铁路领域发挥更加重要的作用。EA

(收稿日期：2024-04-11)

参考文献

[1] 钟灏标. 基于AI的电厂设备智能运维系统分析[J]. 集成电路应用, 2022, 39(5): 206-207.