

# 基于边缘计算的能源输配电实时监测与智能调控研究

徐小均<sup>1</sup> 张肚怀<sup>2</sup>

1.浙江典盛电力工程有限公司 浙江金华 321000; 2.杭州中大电器承装有限公司 浙江杭州 311100

**【摘要】**随着能源需求的不断增长和电网规模的日益扩大,能源输配电系统的复杂性和实时性要求也越来越高。边缘计算作为一种新兴的计算模式,具有低延迟、高带宽、本地化处理等优势,为能源输配电的实时监测与智能调控提供了新的解决方案。本文深入研究了基于边缘计算的能源输配电实时监测与智能调控技术,首先分析了能源输配电系统面临的挑战和边缘计算的特点,然后探讨了基于边缘计算的实时监测系统架构和关键技术,接着研究了智能调控策略及实现方法,并通过仿真实验验证了所提方法的有效性,最后对未来的研究方向进行了展望。

**【关键词】**基于边缘计算; 能源输配电实时监测; 智能调控研究

Research on real-time monitoring and intelligent regulation of energy transmission and distribution based on edge computing

Xu Xiaojun<sup>1</sup> Zhang Duhuai<sup>2</sup>

1.Zhejiang Diansheng Electric Power Engineering Co., LTD Jinhua, Zhejiang Province 321000;

2.Hangzhou Zhongda Electric Appliance Co., LTD Hangzhou city 311100

**【Abstract】**As energy demand continues to grow and the scale of power grids expands, the complexity and real-time requirements of energy transmission and distribution systems are increasing.Edge computing, an emerging computing model, offers advantages such as low latency, high bandwidth, and local processing, providing new solutions for real-time monitoring and intelligent control in energy transmission and distribution.This paper explores the real-time monitoring and intelligent control technology for energy transmission and distribution based on edge computing.It begins by analyzing the challenges faced by energy transmission and distribution systems and the characteristics of edge computing.It then discusses the architecture and key technologies of the real-time monitoring system based on edge computing.The paper further examines intelligent control strategies and their implementation methods, and validates the proposed methods through simulation experiments.Finally, it looks ahead to future research directions.

**【Key words】**edge computing; real-time monitoring of energy transmission and distribution; intelligent regulation research

## 一、引言

### (一) 能源输配电系统的重要性

能源输配电系统是连接能源生产与消费的关键环节,它负责将发电厂产生的电能安全、稳定、高效地输送到各个用户端。在现代社会中,电力已经成为不可或缺的能源形式,能源输配电系统的可靠运行直接关系到国民经济的发展和社会的稳定。无论是工业生产、商业运营还是居民生活,都离不开稳定的电力供应。一旦能源输配电系统出现故障,可能会导致大面积停电,给经济和社会带来巨大的损失。

### (二) 能源输配电系统面临的挑战

随着能源结构的多元化和电网智能化的发展,能源输配电系统面临着诸多挑战。一方面,可再生能源(如太阳能、风能等)的大规模接入,使得能源输配电系统的源端具有更强的波动性和不确定性,增加了系统运行的难度。另一方面,用户对电能质量的要求越来越高,需要能源输配电系统能够实时感知和调整,以满足不同用户的个性化需求。此外,随着电网规模的扩大,传统的集中式监测与调控方式存在数据传输延迟大、计算负担重等问题,难以满足实时性和可靠性的要求。

### (三) 边缘计算在能源输配电领域的应用前景

边缘计算是一种将计算和数据存储靠近数据源的计算模式,它可以在数据产生的本地进行实时处理和分析,减少

数据传输到云端的时间和带宽消耗,从而降低延迟,提高系统的响应速度和可靠性。在能源输配电领域,边缘计算可以应用于实时监测、故障诊断、智能调控等方面,实现对能源输配电系统的精细化管理和优化运行。例如,通过在输配电设备附近部署边缘计算节点,可以实时采集设备的运行数据,进行本地分析和处理,及时发现设备的异常情况并进行预警,同时根据系统的实时状态进行智能调控,提高能源输配电的效率和稳定性。

## 二、边缘计算概述

### (一) 边缘计算的定义与特点

边缘计算是指在靠近数据源的网络边缘侧,融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放平台,就近提供边缘智能服务,满足行业数字化在敏捷连接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。其主要特点包括:

**低延迟:**由于数据处理在本地进行,无需将大量数据传输到云端,大大减少了数据传输的时间,从而实现了低延迟的响应。

**高带宽:**边缘计算可以在本地对数据进行预处理和筛选,只将必要的数据传输到云端,减轻了网络带宽的压力,提高了数据传输的效率。

本地化处理:能够在数据产生的源头附近进行处理和分析,减少了数据在传输过程中的安全风险,同时也提高了系统的可靠性和稳定性。

分布式架构:边缘计算采用分布式架构,由多个边缘节点组成,这些节点可以协同工作,共同完成数据处理和分析任务,具有较强的扩展性和容错性。

## (二) 边缘计算与云计算的关系

边缘计算和云计算是两种互补的计算模式。云计算具有强大的计算能力和存储能力,适合处理大规模的数据分析和复杂的计算任务;而边缘计算则侧重于在数据产生的本地进行实时处理和分析,能够快速响应本地的需求。在实际应用中,边缘计算可以将处理后的数据上传到云端进行进一步的分析和存储,同时也可以从云端获取全局的信息和指令,实现边缘与云端的协同工作。例如,在能源输配电系统中,边缘计算节点可以实时监测设备的运行状态,进行本地的故障诊断和预警;而云计算平台可以对多个边缘节点上传的数据进行综合分析,制定全局的优化调控策略。

## (三) 边缘计算在能源领域的应用现状

目前,边缘计算在能源领域已经得到了一定的应用。在智能电网方面,边缘计算可以用于分布式能源的接入和管理,实现对可再生能源的实时监测和优化调度;在能源计量方面,边缘计算可以对智能电表采集的数据进行本地处理和分析,实现用电信息的实时监测和异常检测;在能源设备运维方面,边缘计算可以对设备的运行数据进行实时监测,提前发现设备的故障隐患,实现预测性维护。然而,边缘计算在能源输配电实时监测与智能调控方面的应用还处于发展阶段,需要进一步深入研究和完善相关技术。

## 三、基于边缘计算的能源输配电实时监测系统架构

### (一) 系统总体架构设计

基于边缘计算的能源输配电实时监测系统总体架构主要包括感知层、边缘层、网络层和云平台层。

### (二) 边缘计算节点设计

数据采集与预处理:与感知层设备进行通信,实时采集设备的运行数据,并对数据进行预处理,如数据清洗、去噪、归一化等,以提高数据的质量。

本地分析与决策:运用机器学习、深度学习等算法对预处理后的数据进行本地分析,实现故障诊断、状态评估、负荷预测等功能。根据分析结果,边缘计算节点可以自主做出决策,如发出预警信号、调整设备的运行参数等。

数据传输与同步:将处理后的关键数据通过网络层上传到云平台,同时接收云平台下发的指令和配置信息,实现边缘与云端的协同工作。为了保证数据的一致性和完整性,边缘计算节点需要具备数据同步和容错机制。

安全防护:采用加密、认证、访问控制等安全技术,保障边缘计算节点的数据安全和系统安全,防止数据泄露和恶意攻击。

### (三) 数据采集与传输技术

数据采集技术:为了准确获取能源输配电设备的运行状态,需要采用高精度、高可靠性的传感器和监测终端。传感器可以根据监测对象的不同,选择合适的类型,如电流传感

器、电压传感器、温度传感器、振动传感器等。监测终端负责将传感器采集的数据进行采集、转换和传输,同时具备一定的数据处理和存储能力。

数据传输技术:在网络层,根据实际需求选择合适的数据传输技术。对于实时性要求较高的数据,可以采用5G无线网络进行传输,5G具有高速率、低延迟、大容量等特点,能够满足实时监测的需求;对于一些对实时性要求相对较低的数据,可以采用LoRa等低功耗广域网技术进行传输,以降低通信成本和功耗。此外,为了保证数据传输的可靠性,可以采用数据重传、纠错编码等技术。

## 四、基于边缘计算的能源输配电实时监测关键技术

### (一) 数据预处理技术

由于感知层采集的数据可能存在噪声、缺失值、异常值等问题,需要进行数据预处理,以提高数据的质量和可用性。数据预处理技术主要包括:

数据清洗:去除数据中的噪声和异常值,可以采用滤波算法(如均值滤波、中值滤波等)对数据进行平滑处理,同时利用统计方法检测和剔除异常值。

数据归一化:将不同量纲的数据进行归一化处理,使其映射到相同的区间内,以便于后续的分析 and 处理。常用的归一化方法有最小-最大归一化、Z-score归一化等。

数据降维:对于高维数据,可以采用主成分分析(PCA)、线性判别分析(LDA)等降维方法,减少数据的维度,降低计算复杂度,同时保留数据的主要特征。

### (二) 故障诊断技术

基于边缘计算的故障诊断技术可以在本地实时对能源输配电设备的故障进行检测和定位。常用的故障诊断方法包括:

基于专家系统的故障诊断:建立故障诊断专家系统,将领域专家的知识 and 经验以规则的形式存储在知识库中。边缘计算节点根据采集到的设备运行数据,运用推理机进行推理和判断,确定设备是否存在故障以及故障的类型和位置。

基于机器学习的故障诊断:利用机器学习算法(如支持向量机、决策树、神经网络等)对历史故障数据进行训练,建立故障诊断模型。边缘计算节点将实时采集的数据输入到训练好的模型中,进行故障诊断和分类。

基于深度学习的故障诊断:深度学习算法具有强大的特征提取和模式识别能力,可以自动学习数据中的复杂特征。例如,采用卷积神经网络(CNN)对设备的振动信号、图像等数据进行分析,实现故障的准确诊断。

### (三) 状态评估技术

状态评估技术可以对能源输配电设备的运行状态进行全面、准确的评估,为设备的维护和运行提供依据。常用的状态评估方法包括:

基于模糊综合评价的状态评估:将设备的运行状态指标进行模糊化处理,建立模糊评价矩阵,运用模糊综合评价方法对设备的状态进行评估,得到设备的状态等级。

基于层次分析法的状态评估:将设备的状态评估指标进行分层,确定各指标的权重,然后通过逐层比较和计算,得到设备的综合状态评估结果。

基于神经网络的状态评估:利用神经网络对设备的状态

评估指标和状态等级之间的关系进行建模,通过训练神经网络,实现对设备状态的准确评估。

## 五、基于边缘计算的能源输配电智能调控策略及实现方法

### (一) 智能调控目标与原则

基于边缘计算的能源输配电智能调控的目标是实现能源的高效、安全、稳定输送和分配,提高能源利用效率,降低能源损耗。在调控过程中,应遵循以下原则:

**实时性原则:**能够实时感知能源输配电系统的运行状态,并根据实时状态进行快速调控,以满足系统的实时需求。

**安全性原则:**确保能源输配电系统的安全稳定运行,避免因调控不当引发安全事故。

**经济性原则:**在满足系统运行要求的前提下,优化能源的分配和利用,降低运行成本。

**协调性原则:**实现能源输配电系统中各个环节的协调运行,提高系统的整体性能。

### (二) 智能调控策略研究

**负荷预测与优化调度:**边缘计算节点可以根据历史负荷数据和实时监测数据,运用时间序列分析、神经网络等算法进行负荷预测。根据负荷预测结果,结合能源供应情况和电网的运行约束,制定优化调度策略,合理分配能源资源,实现负荷的平衡和优化。

**电压无功调控:**实时监测能源输配电系统的电压和无功功率,通过调节变压器分接头、投切无功补偿装置等手段,对电压和无功功率进行调控,保证电压质量和系统的无功平衡。边缘计算节点可以根据本地的监测数据,自主进行电压无功的局部调控,同时与云平台进行协同,实现全局的电压无功优化。

**分布式能源接入调控:**随着分布式能源(如太阳能、风能等)的大规模接入,需要对其进行有效的调控。边缘计算节点可以实时监测分布式能源的输出功率和运行状态,根据电网的需求和分布式能源的特性,制定接入调控策略,实现分布式能源的稳定接入和高效利用。

### (三) 智能调控实现方法

**边缘计算与云计算协同调控:**边缘计算节点负责实时监测和局部调控,云计算平台负责全局优化和决策。边缘计算节点将本地的监测数据和调控结果上传到云平台,云平台根据全局信息进行综合分析和优化,制定全局的调控策略,并将指令下发到边缘计算节点执行。通过边缘计算与云计算的协同工作,实现能源输配电系统的智能调控。

**多智能体系统调控:**将能源输配电系统中的各个设备(如发电机、变压器、开关等)看作智能体,每个智能体具

有一定的自主决策能力。边缘计算节点作为智能体的协调者,负责智能体之间的信息交互和协同工作。多智能体系统可以根据系统的实时状态,通过智能体之间的协商和合作,实现能源输配电系统的智能调控。

## 六、仿真实验与结果分析

### (一) 仿真实验环境搭建

为了验证基于边缘计算的能源输配电实时监测与智能调控方法的有效性,搭建了仿真实验环境。仿真实验采用MATLAB/Simulink软件搭建能源输配电系统模型,包括发电机、变压器、输配电线路、负荷等元件。同时,在模型中部署边缘计算节点和云平台,模拟实时监测与智能调控过程。

### (二) 实验方案设计

设计了不同场景下的仿真实验,包括正常运行场景、故障场景、负荷波动场景等。在正常运行场景下,验证实时监测系统的准确性和智能调控策略的有效性;在故障场景下,测试故障诊断和智能调控的响应速度和准确性;在负荷波动场景下,考察智能调控策略对负荷变化的适应能力。

### (三) 实验结果分析

**实时监测结果:**实验结果表明,基于边缘计算的实时监测系统能够准确、及时地采集能源输配电设备的运行数据,数据预处理技术有效提高了数据的质量。故障诊断技术的准确率达到了较高水平,能够在短时间内检测出设备的故障并定位故障位置。状态评估技术可以对设备的运行状态进行全面、准确的评估,为设备的维护和运行提供了可靠的依据。

**智能调控结果:**在智能调控方面,负荷预测与优化调度策略能够根据负荷变化合理分配能源资源,降低了能源损耗;电压无功调控策略有效保证了电压质量和系统的无功平衡;分布式能源接入调控策略实现了分布式能源的稳定接入和高效利用。与传统的集中式调控方式相比,基于边缘计算的智能调控方式具有更低的延迟和更高的响应速度,能够更好地适应能源输配电系统的实时性要求。

## 结语

尽管本文在基于边缘计算的能源输配电实时监测与智能调控方面取得了一定的研究成果,但仍存在一些不足之处。例如,边缘计算节点的计算能力和存储能力有限,对于一些复杂的分析和处理任务可能无法满足要求;边缘计算与云计算的协同工作机制还需要进一步优化,以提高系统的整体性能;在实际应用中,还需要考虑边缘计算节点的部署成本和维护问题等。

## 参考文献

- [1]节能降耗技术在电力输配电线路中的应用[J].靳程越;徐靖.自动化应用,2023(52)
- [2]电力输配电线路中的节能降耗技术研究[J].霍永飞.电气技术与经济,2023(10)
- [3]电力输配电线路中的节能降耗技术应用探究[J].唐星.流体测量与控制,2023(06)
- [4]电力输配电线路中的节能降耗技术研究[J].周劲松.自动化应用,2023(22)