

智能电网边缘计算技术应用探索

冼海玲 谢峰 张文博 李均烁 赵中杰 任晓琨

长春电子科技学院 吉林长春 130114

摘要: 智能电网快速发展,对数据处理要求更严格,边缘计算技术将计算和数据处理置于电网边缘,改善了数据传输,提高了实时性。供电网络边缘设备数据量剧增,对数据处理实时性和传输带宽要求更高,边缘计算可在电网设备附近分析数据,减少延迟、加快响应,它在负荷预测、设备管理、故障诊断等方面发挥重要作用,提升了电网智能化和高效性。随着技术标准化和政策支持,其在智能电网中的作用还会不断增强。

关键词: 智能电网;边缘计算;分布式计算;数据处理;负荷预测

传统电网应对繁杂负荷需求与分布式能源管理时,常受处理延时和信息传输瓶颈限制,边缘计算作为创新性分布式计算架构,把数据处理及分析能力推至电网边缘,化解了传统计算模式的瓶颈状况。边缘计算技术的融入,既增强电网实时性和可靠性,又为电力系统智能化管理带来新契机,随着边缘计算技术日趋成熟,它在智能电网中的运用会进一步促使电力系统朝着高效、绿色和智能化方向迈进。

1. 边缘计算在智能电网中的发展现状

1.1 边缘计算的基本概念与技术特性

边缘计算属于一种分布式计算架构形式,其把数据处理以及存储操作从以往的中心化数据中心转移至距离数据源更近之处,将计算能力配置于边缘设备上,边缘计算可大幅降低数据传输的延时,加快响应速率,还能对带宽的运用予以优化。相较于云计算,边缘计算更侧重于在本地开展数据处理工作,减轻对中心化系统的依赖程度,该技术的关键特性涵盖低延时、高实时性以及高可靠性,能够于边缘节点快速地实施数据分析与处理,尤其契合那些需要实时做出决策的应用场景。

1.2 智能电网的发展需求与边缘计算的契合性

智能电网的关键目标在于达成电力系统的自动化、数字化以及智能化,提高电力分配的效率与稳定性,随着智能电网规模拓展、设备数量增多,以往集中式的计算模式渐渐显露出难以满足实时性需求的弊端,智能电网对于数据处理能力的要求持续攀升,特别是在电力负荷调度、设备监控以及电能质量控制等方面,需要更高的实时性与计算能力。边缘计算把数据处理流程迁移至网络边缘,能够在数据产生点附

近完成处理任务,让智能电网可以实时应对变化,同时增强了系统的安全性与稳定性,契合了智能电网发展的新要求。

1.3 国内外智能电网边缘计算应用的现状与挑战

前沿的智能电网项目开始把边缘计算技术嵌入电力监控、负荷预测、电能质量管理等环节内,增强了电网的智能化程度。在应用阶段也遭遇一些挑战,主要涵盖边缘计算设备处理能力的局限、数据隐私保护方面的问题以及设备之间互联互通的难题,即便技术逐渐成熟,可在大规模部署时,怎样确保边缘计算与现存智能电网系统的兼容性并实现协同运作,依旧是一个亟须解决的棘手问题^[1]。随着技术持续进步,边缘计算的应用前景极为广阔,有望在电网的优化调度及智能管理方面发挥关键作用。

2. 边缘计算如何提升智能电网的实时数据处理能力

2.1 数据采集与边缘计算的协同作用

数据采集作为智能电网中信息流动的起始点,涉及众多传感器与智能设备的数据采集工作,凭借实时获取电网各个节点的电压、电流、频率等重要参数,为后续的系统剖析和决策提供数据依据。边缘计算把数据处理迁移到网络边缘位置,能够切实地与数据采集模块协同作业,降低数据传输的延时。有别于传统的集中式处理模式,边缘计算在数据采集端便能够开展初步的数据筛选、分析以及存储,保障数据得以高效运用,经由这种协同效应,电网可以实时应对环境与负荷的变动情况,增强整个电力系统的可靠性和稳定性,同时降低对中心服务器的依赖程度,使系统架构得到优化。

2.2 实时监控系统中的边缘计算应用

实时监控系统在智能电网里有着举足轻重的作用,承担

着对电网设备状态进行全天不间断监测的任务，以保障系统稳定顺畅地运行，边缘计算应用在实时监控系统中，能够把数据分析和决策功能推送到电网的边缘部位，缩短了中心化数据处理所耗费的时间，降低了延迟。借助边缘计算，监控系统可以迅速识别出设备出现的故障、异常波动等状况，并及时做出快速的反应，边缘计算还能够在本地区实现局部数据的存储与处理，减轻网络传输方面的压力，提高系统的可靠性。

2.3 边缘计算在负荷预测与调度中的应用

负荷预测和调度作为智能电网管理的关键环节，与电网的稳定性及效率紧密相关，边缘计算技术在此过程中赋予了高效的数据处理以及实时响应能力，运用边缘计算，电网系统可依据实时采集的负荷数据，迅速分析并预估电力需求的变化情况，进而对电网调度策略做出调整。这种分布式的计算架构，既提高了负荷预测的准确性，又加快了调度决策的执行进度^[2]。边缘计算还能在多个电力控制点展开数据的局部剖析，让电网调度更具灵活性，规避了因过度依赖中心系统而产生的延迟和瓶颈状况，保障电网的稳定运行。

3. 边缘计算在智能电网设备管理中的应用探索

3.1 设备状态监测与边缘计算的结合

设备状态监测作为智能电网运行的核心环节，实时了解设备的运行状况，对提升电网的安全性与可靠性意义重大，边缘计算把计算处理工作推至设备边缘，能够在本地对设备状态进行实时监测，及时察觉到设备发出的异常信号，电网中的诸如变压器、开关、线路等设备，可借助内置的传感器实时采集运行数据，再由边缘计算节点迅速处理，进而分析设备的健康状态。设备状态监测并非仅仅局限于常规的数据记录，更能凭借边缘计算技术，达成设备状态的预测性分析，切实有效地避免潜在的故障和事故发生，提升电网的运维效率以及可靠性。

3.2 智能电表与边缘计算的高效协同

智能电表作为现代电网里关键的数据采集终端设备，

可实时监测用户的电力消耗情形，边缘计算和智能电表相融合，能够在用户一端实现数据采集、预先处理以及初步分析等工作，降低了将数据上传至中心系统的必要性，进而减轻带宽压力，同时增强数据处理的实时性。凭借这种高效的协同模式，智能电表不光能及时呈现用户的电力使用状况，还可以对电力质量实施实时监控，发现电力方面的异常问题并在本地作出回应。这种结合方式提高了电网的智能化程度，使电力分配得到优化，并且为用户提供更为精准的用电数据，对电网管理者开展精细化调度以及负荷预测工作有所助益。

3.3 边缘计算在设备故障诊断与预警中的应用

设备故障诊断与预警作为智能电网保障自身安全稳定运行的关键环节，边缘计算可借助在设备运行现场开展数据处理与分析，实时判断设备的健康状态，及时察觉潜在的故障隐患，依靠安装于电网设备上的传感器，边缘计算节点能够对设备的运行数据加以剖析，辨识出异常波动或者潜在故障的征兆^[3]。故障诊断并非只局限于对设备的传统监测方式，还能运用边缘计算技术进行深层次的数据分析，像是对振动、温度、负荷等多个维度的数据进行综合考量分析，进而提前预估设备的故障风险，给出预警信息，防止重大事故的发生。

4. 边缘计算在电力系统优化与智能调度中的潜力

4.1 边缘计算在电力负荷预测中的作用

边缘计算把计算以及数据处理工作从以往的集中式系统迁移至电网边缘，能够在靠近数据源之处实时处理数据，减少了延迟时间，同时提升了响应速率，在开展电力负荷预测时，边缘计算技术可对历史负荷数据、气象状况信息以及电网的运行状态进行实时分析，以实现高效的负荷预测，这一操作流程能够缓解数据传输方面的瓶颈问题，保障电网调度人员能够在最短时间内获取精准的负荷预测信息，切实有效地优化电网的负荷分配方案以及调度策略。见表 1。

表 1 智能电网负荷预测与调度相关数据

区域	负荷预测 (MW)	实际负荷 (MW)	预测误差 (MW)	系统负荷波动 (MW)	调度优化时间 (秒)	数据来源
北京	3,500	3,460	40	180	45	北京电力公司
上海	4,200	4,150	50	200	42	上海电力公司
广州	3,800	3,750	50	190	50	广东电力公司
深圳	2,600	2,580	20	150	43	深圳电力公司
成都	2,900	2,880	20	160	47	成都电力公司
杭州	3,100	3,080	20	170	44	浙江电力公司

4.2 分布式能源管理与边缘计算的结合

分布式能源管理系统能协调诸多分布式能源资源运行,保障电网稳定与运行效率,边缘计算融入分布式能源管理,可将数据处理移至近能源源头节点,降低对集中式数据中心依赖,增强系统灵活性与实时性。在分布式能源管理中应用边缘计算,对太阳能等分布式能源数据实时采集分析,实现对能源流向、存储、分配优化控制。凭借边缘计算,分布式能源管理可更好适应多变的能源状况,有效整合能源资源,减少传输损耗,同时边缘计算推动能源体系向更智能、高效方向发展。

4.3 智能调度系统中的边缘计算优势

智能调度系统凭借实时获取电网的各种数据,开展分析并做出决策,保障电力系统高效运转,边缘计算的加入,给予智能调度系统更高效的数据处理本领,让调度决策能在本地迅速得出,无需依赖远程数据中心。边缘计算可于电网的各个节点处开展数据分析与预测工作,对电网负荷以及设备运行状态等实施实时监控并进行调度优化,缩短了信息传递的延时,增强了电网的稳定性与响应能力^[4]。借助边缘计算,智能调度系统能够灵活地应对突然出现的电力需求变化,保证电力供应的连贯性与稳定性。

5. 智能电网边缘计算技术的未来发展趋势与挑战

5.1 未来智能电网的技术演进方向

随着边缘计算、物联网、人工智能等各类技术被广泛运用,电网能够达成实时的数据采集和分析工作,给出更为精准的负荷预测,实现故障的检测与修复功能,其自动化程度会逐渐上升,依靠智能化的调度系统,电力供应可依据实时需求作出动态的调整改变。分布式能源的应用数量会进一步增加,电网不再仅仅是单一的供电系统,还会演变成一个能够双向互动的能源平台,日后的智能电网会把绿色能源、数字化技术以及高效的储能方案相融合,以此来推进能源转型,优化资源的利用状况,增强电力系统整体的运行效率与稳定性。

5.2 边缘计算面临的技术难题与解决方案

边缘计算于智能电网内的运用遭遇了若干技术困境,关键涵盖数据处理能力的局限、设备兼容性难题以及网络安全隐患,鉴于边缘设备一般资源匮乏,处理能力欠佳,在高

负荷的电网环境下,边缘计算或许会受到限制,各厂商的设备可能出现接口不匹配的状况,致使数据共享和处理的效率降低,要处理这些问题,边缘计算的硬件设备需增强处理能力,系统架构设计应重视模块化与开放性,以利于设备之间的互联互通。

5.3 推动边缘计算技术普及的关键因素

边缘计算技术的推广要从多方面进行。增强硬件设备性能很关键,投入计算能力强的边缘设备,能支撑复杂电网数据处理任务,标准化和互联互通协议构建是技术推广基础,统一标准促设备数据交换协作,确保系统稳定。政策支持与行业规范制定是推动技术推广重要因素,政府应出政策促边缘计算在能源行业应用,行业技术创新和合作也重要,跨行业合作推动边缘计算与智能电网深度融合^[5]。

6. 结语

智能电网和边缘计算技术相融合,为电力系统的智能化与高效运作赋予新的发展驱动力,边缘计算凭借对数据处理的优化以及实时响应能力的增强,推进了电网设备监测、负荷预估和故障判断等多方面的创新性应用。随着硬件性能得以提升且技术标准趋于完备,边缘计算技术有希望在更为广阔的电力范畴达成应用,促使电力系统朝着更智能、更绿色且更高效的方向迈进。

参考文献:

- [1] 任浩,陈伟,李圆智.基于边缘计算的智能电网实时网络安全监测技术研究[J].信息记录材料,2025,26(04):141-143.
- [2] 徐健,肖勇才,林泽键,等.基于同态加密的智能电网隐私保护异常检测技术[J/OL].计算机技术与发展,1+3-11[2025-04-27].
- [3] 徐川川.智能电网中继电保护系统的动态适应性研究[J].家电维修,2025,(02):143-145.
- [4] 倪子华.主动配电网调控边缘计算终端研发与应用[D].浙江大学,2022.DOI:10.27461/d.cnki.gzjdx.2022.002152.
- [5] 曾宪武,包淑萍.物联网与智能电网关键技术[M].化学工业出版社:202003.352.

作者简介: 冼海玲(2003.02—),女,汉,广东省肇庆市,本科,研究方向:电气工程及其自动化。