Vol.41 No.7 Jul. 2021

物联网背景下应用于光伏发电的边缘计算设备 关键技术研究及应用

孙文文¹,何国庆¹,刘 纯¹,赵伟然²,齐力文³
(1. 中国电力科学研究院有限公司,北京 100192;2. 电力规划设计总院,北京 100120;
3. 北京国电智深控制技术有限公司,北京 102200)

摘要:随着大数据、云计算、人工智能、5G等技术的快速发展,万物互联时代加速到来,网络边缘设备的数量 和数据量都呈现快速增长态势。在此趋势下,边缘计算因具有靠近数据源、实时性好、时延短、响应快等特征,成为物联网发展的核心技术之一。基于此,介绍了边缘计算的基本概念及体系架构,探讨了边缘计算设备的关键技术;深入分析了边缘计算设备在光伏发电系统的应用场景;在某光伏电站开展示范应用,实测结 果表明,通过在光伏逆变器侧安装边缘计算设备,能够实现光伏发电的快速无功响应能力。研究成果可为后 续边缘计算在新能源发电中的应用提供参考。

关键词:物联网;边缘计算设备;光伏发电;快速无功响应 中图分类号:TM 615 文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.202104019

0 引言

2005年11月17日,国际电信联盟(ITU)发布了 《ITU互联网报告2005:物联网》,以如下形式阐述了 物联网的概念:信息世界和通信技术已经有了新的 维度,任何人、任何物体都能够在任何时间、任何地 点以多种多样的形式相连接,从而创建出一个新的 动态的网络——物联网^[1]。

2020年,受新冠肺炎疫情的影响,中国经济面临严峻考验,党中央国务院出台了投资高达34万亿元的七大新兴产业新基建计划,助推经济高质量发展。同时,国家发展改革委首次明确了新基建的概念和范围,并将物联网列为新基建中信息基础设施的重要组成部分。随着我国第五代移动通信技术(5G)正式商用,在政策、市场的双重驱动下,物联网行业即将进入创新发展期。

边缘计算是物联网发展的核心技术之一。在电 网领域,边缘计算可以对数据进行就地处理与分 析,以满足电网对设备的快速响应需求^[23]。随着我 国能源转型进程的不断推进,以风力发电、光伏发电 为代表的新能源发电装机规模不断扩大。据统计, 截至2019年底,我国新能源发电累计装机约4.15× 10⁸ kW,占全国电源总装机的21%,其中光伏发电量 为2.05×10⁸ kW,占比为10.2%;风力发电量为2.1× 10⁸ kW,占比为10.4%。但风电的"弱转动惯量"和 光伏的"零转动惯量"导致电力系统的转动惯量大幅 减少,电力系统的抗扰动能力将明显下降。同时,大

收稿日期:2020-10-15;修回日期:2021-02-01

基金项目:国家电网公司科技项目(5400-201933453A-0-0-00) Project supported by the Science and Technology Project of State Grid Corporation of China(5400-201933453A-0-0-00) 量的电力电子设备并网将导致系统的稳定机理发生 变化,这给电力系统的安全、稳定运行带来了巨大的 挑战,亟需新能源发电具备对电网的主动支撑 能力^[47]。

国家标准GB/T 19964-2012《光伏发电站接 入电力系统技术规定》[8]要求光伏电站要充分利用 并网逆变器的无功容量及其调节能力。目前,有关 光伏电站参与电网电压调节的研究主要集中于基于 无功调压设备的无功电压控制策略[9-10]和基于光伏 逆变器的无功电压控制策略[11-13]方面。文献[9]提 出了一种利用有载调压变压器与静止无功补偿装置 的复合式调节方法,将光伏发电的电压偏差控制在 允许的范围之内;文献[10]在综合考虑无功源调节 性能的基础上,提出了一种综合利用光伏逆变器、电 容器组和静止无功发生器的光伏电站无功电压协调 控制策略,用于维持光伏电站并网点的电压;文献 [11]针对光伏电站有功出力与电网负荷间的矛盾 性,引入光伏电站负载率和区域电网负荷率的概念, 建立了自上而下的光伏电站双层无功优化模型;文 献[12]以调整逆变器功率因数角且最大限度地避免 有功功率缩减为原则,提出了一种光伏电站逆变器 电压控制策略和逆变器有功 / 无功功率调整的计算 方法,解决了光伏电站并网点的电压越限问题;文献 [13]针对光伏发电并网的3种不同应用场景,提出 了一种多模式逆变器控制策略,用于抑制光伏发电 并网引起的配电网电压越限问题。在上述文献所提 控制策略中,光伏电站采用传统主从式的集中控制 体系结构,无功电压的响应时间为秒级以上,无法满 足电网对光伏电站快速无功电压响应的需求。

为了解决无功电压响应速度慢的问题,本文进

行了边缘计算设备关键技术研究,并将研发的边缘 计算设备在某光伏电站进行典型示范应用,实测结 果表明:通过在光伏逆变器侧安装边缘计算设备,可 以实现光伏逆变器快速参与电网无功电压响应功 能,响应时间在40 ms以内。

1 边缘计算的基本概念及体系架构

1.1 边缘计算的基本概念

边缘计算^[14-15]是在靠近物或数据源头的网络边 缘侧,融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式 开放平台(架构),就近提供边缘智能服务,满足行业 数字化在敏捷联接、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。它可以作为联 接物理和数字世界的桥梁,使能智能资产、智能网 关、智能系统和智能服务。

1.2 边缘计算的基本特点和属性

(1)联接性。联接性是边缘计算的基础属性,所 联接物理对象的多样性及应用场景的多样性需要边 缘计算具备丰富的联接功能,如各种网络接口、网络 协议、网络拓扑、网络部署与配置、网络管理与维护。

(2)数据第一入口。边缘计算作为物理世界到 数字世界的桥梁,拥有大量、实时、完整的数据,可基 于数据全寿命周期进行管理与价值创造,将更好地 支撑预测性维护、资产效率与管理等创新应用。

(3)约束性。边缘计算产品需适配工业现场相 对恶劣的工作条件与运行环境,如防电磁、防尘、抗 电压/电流波动等。在工业互联网的场景下,对边 缘计算设备的功耗、成本、空间等也有较高的要求。

(4)分布性。边缘计算的实际部署天然具备分 布式特征。这要求边缘计算能支持分布式计算与存 储,实现分布式资源的动态调度与统一管理,支撑分 布式智能,具备分布式安全等能力。

1.3 边缘计算的体系架构

边缘计算推动计算模型从集中式的云计算向分 布式的边缘计算发展,其与云计算各有所长,通过云 边协同配合,能更好地实现云计算和边缘计算的应 用价值。云边协同系统的体系架构如图1所示,包 含平台层、网络层和边缘层3层架构。其中,平台层 是整个云边协同系统体系架构的核心,位于边缘层 和网络层之上,负责全局性、长周期的数据处理与分 析,能够在长周期维护、业务决策支撑等方面发挥优 势;网络层是边缘层和平台层之间的数据传输通道, 利用移动网络、LTE电力网线专网、卫星通信网等通 信方式,将来自边缘层的信息高可靠、高速率地传输 到平台层;边缘层负责局部、实时数据的处理与分 析,并将处理结果以及主要数据上传给云平台,具备 本地数据调度管理能力,同时可与云端协同运行,接 收并执行云平台的控制指令。

平台层	运行监视 协调控制 市场交易 远程运维	智能 应用
网络层	4G/5G LTE电力 高通量 广域窄带 网线专网 卫星通信 物联网	泛在 网络
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
边缘层	[数据采集] [数据处理] [数据加密] [数据上传]	全面 感知

图1 云边协同系统的体系架构

Fig.1 Architecture of cloud-edge collaborative system

边缘计算设备具备以下三大优势。①短时延: 数据第一入口、实时处理和分析数据并不是在外部 数据中心或云平台进行,可以大幅减少延迟时间。 ②低带宽:可存储大量的临时数据,不需要全部上传 至云平台,极大地减轻了网络带宽和数据中心功耗 的压力。③高可靠性:云端或通信网络发生故障的 情况下,可实现自主控制、自主运行,进而实现终端 的安全可靠运行。

2 应用于光伏发电的边缘计算设备关键技术

2.1 一般要求

边缘计算设备安装于光伏发电并网逆变器侧, 采用嵌入式无风扇设计的低功耗、高性能计算机,内 置实时多任务软件操作系统和嵌入式组态控制软 件,将网络通信、数据处理、连续控制、离散控制、顺 序控制和批量处理等有机结合,形成了稳定、可靠的 控制系统。边缘计算设备的基本性能参数见附录中 表A1。

2.2 数据采集

边缘计算设备实时采集光伏并网逆变器、箱变 和汇流箱的数据,为了能够兼容市场上主流光伏逆变 器的通信方式,边缘计算设备的通信接口包括485、 网口和CAN这3种,具体技术要求如表1表示。

表1 通信性能要求

Table I Requirements of communication performance	Table 1	Requirements	of	communication	performance
---	---------	--------------	----	---------------	-------------

通信性能	技术要求
通信接口种类	485,网口,CAN
通信接口数量	2路485,2路网口,2路CAN
通信接口是否支持光纤	支持
采样周期	≤1 ms
运算周期	≼500 μs
遥控周期	≤10 ms
通信波特率	250 kbit/s~2 Mbit/s可设置
是否具备数据远程维护和诊断功能	具备

2.3 数据处理

当电网电压和频率发生异常波动时,边缘计算 设备根据内嵌的控制算法,无需等待接收光伏电站 自动发电控制AGC(Automatic Generation Control) 和自动电压控制AVC(Automatic Voltage Control)指 令,自适应控制光伏逆变器的功率输出,快速支撑电 网电压和频率,实现了对光伏发电单元的状态全面 感知和数据高效处理。边缘计算设备具备一次调频 和无功电压控制功能。

(1)一次调频^[16-17]功能:当电力系统的频率偏离 额定频率时,光伏逆变器快速响应系统频率偏差,通 过控制其有功出力,降低系统的频率偏差。

(2)无功电压控制^[18-19]功能:当光伏电站并网点 的电压波动超出正常运行区间时,光伏逆变器快速 控制其无功出力,调整控制并网点电压,使其偏移和 波动保持在允许的范围内。

2.4 数据上传

边缘计算设备本体支持有线-网口和4G七模全 网通远程高速无线通信方式,将采集到的数据上传 到光伏发电监控中心。同时,边缘计算设备具有缓 存功能以及断网续传能力,确保了数据的连续性和 完整性。

2.5 数据加密

边缘计算设备的内部程序为电力分散控制系统 (EDPF-NT)+内核,与上层控制中心之间采用稀有加 密通信协议实现通信,降低了数据泄露的风险。

3 边缘计算设备的典型应用场景

目前,光伏发电系统所用逆变器类型主要有3 种^[20],分别为集中式逆变器、组串式逆变器和集散式 逆变器。本节根据每种光伏发电系统的特点,介绍 边缘计算设备的应用场景。

3.1 集中式光伏发电系统

典型的集中式光伏发电系统如图2所示,一般 采用1MW光伏发电单元,配置2台500kW光伏并 网逆变器和1台1250kV·A双分裂绕组变压器。光 伏组件所发直流电经直流汇流箱和直流配电柜2级 汇流后由逆变器集中逆变成三相交流电,最后经箱 变升压接入电网。



图2 集中式光伏发电系统

Fig.2 Centralized photovoltaic power generation system

常见的光伏并网逆变器通信协议主要包括 Modbus485、Modbus TCP、CAN 2.0通信协议,支持的 通信接口包括485、CAN接口。边缘计算设备通过高 速CAN接口与2台逆变器连接,实现数据的采集、处 理。同时,边缘计算设备将光伏并网逆变器的主要 运行数据通过环网交换机上传到光伏发电监控中心。

3.2 组串式光伏发电系统

组串式光伏发电系统的结构与集中式光伏发电 系统有所不同,其特点是分散最大功率点跟踪 MPPT (Maximum Power Point Tracking)、分散逆变。系统 主要由组件、直流电缆、逆变器、交流汇流箱、双绕组 变压器组成,如图3所示。RS-485接口具有良好的 抗噪声干扰性能、远距离传输和多站能力等优点,所 以在组串式光伏发电系统中常采用485总线方式, 采集所有光伏并网逆变器的信号并送到通信箱。边 缘计算设备与通信箱通过CAN接口连接,再通过光 纤将数据上传至监控中心。







3.3 集散式光伏发电系统

集散式光伏发电系统主要由光伏组件、直流电缆、智能汇流箱、逆变器、交流电缆和双绕组变压器组成,主要特点是分散跟踪控制、集中并网,典型的集散式光伏发电系统如图4所示。每个1MW光伏发电单元由12台智能MPPT汇流箱和1台1MW集散式逆变器组成,通过1台双绕组变压器接入电网。边缘计算设备安装于集散式逆变器侧,通过高速CAN接口与逆变器实现数据的交换。







4 边缘计算设备的示范应用

4.1 测试光伏电站的概况

本文以某光伏电站为例,介绍边缘计算设备在

4)

光伏电站主动支撑能力方面的应用,光伏电站的拓 扑结构见附录中图 A1。该光伏电站的装机容量为 84 MW,包括42个2 MW 光伏发电单元,单个光伏发 电单元由4台500 kW 光伏逆变器和1台2000 kV·A 双绕组分裂变压器组成。整座光伏电站含6条汇集 支路,每条支路由7个光伏发电单元并联后通过1回 35 kV 电缆集电线路接入110 kV变电站35 侧母线, 然后通过1回110 kV线路送出。

边缘计算设备接入示意图如图5所示。图中, P、Q分别为光伏发电有功功率、无功功率;P_{set}、Q_{set}分 别为光伏发电有功功率设定值、无功功率设定值。 每个光伏发电单元安装1台边缘计算设备,分别控 制4台光伏逆变器,实时监测光伏逆变器的输出电 压、电流、有功功率、无功功率和故障等信息,并将主 要数据上传至光伏电站监控中心。同时,边缘计算 设备能够根据实时采集的电网电压和频率大小,直 接通过内嵌的控制算法判断此时需采取的操作,自 适应控制光伏逆变器的有功功率和无功功率,从而 大幅缩短了网络延时,使得响应更加迅速,控制时 间达到毫秒级,从而实现对每台逆变器的状态实时 感知和信息高效处理,快速支撑电网的安全、稳定 运行。





equipment access

4.2 电压扰动的实现方式

在光伏电站正常运行期间,根据电网安全运行 要求,35 kV母线的电压运行范围为34.5~37.3 kV。 在试验期间,为了保证35 kV母线的电压不越限,通 过切除1条光伏支路制造电压扰动的方式进行光伏 逆变器就地无功电流响应测试。具体为:支路2的 28台光伏逆变器吸收(发出)无功功率230 kvar,通 过切除支路2制造电压扰动,实现光伏电站无功电 压试验扰动源,测试支路4的无功电流响应时间,测试点为图A1中的点A。

发生电压扰动后,电压瞬时降低(升高),光伏逆 变器不再接收平台层的控制指令,由边缘计算设备 直接控制发出(吸收)无功功率,快速支撑电网电压。 50 ms后电网电压恢复到正常水平,从此时刻开始, 光伏逆变器不再受边缘计算设备控制,而是由平台 层进行统一控制,协调光伏电站内各逆变器的无功 出力,维持光伏电站并网点的电压/无功功率在正 常运行范围内。

4.3 实测结果分析

(1)电压瞬时升高。

支路2的28台逆变器无功出力均为-230 kvar, 切除支路2,光伏电站35 kV母线电压从初始值 36.45 kV瞬时升高,最大至36.95 kV。光伏逆变器 检测到电压异常,快速输出无功电流,经40 ms后 35 kV母线电压恢复至36.45 kV。图6为电压异常 升高后光伏逆变器无功电流响应曲线。图中,U₁ 为基波电压正序分量;I_q为光伏逆变器输出的无功 电流。





光伏逆变器无功电流响应滞后时间和调节时间 的具体定义如下。

a. 响应滞后时间(0.03~0.045 s):自 35 kV 母线 电压异常升高开始到光伏逆变器稳定输出无功电流 所需的时间。

b. 调节时间(0.03~0.07 s):自35 kV 母线电压异 常升高开始至光伏逆变器输出无功电流变化量达 到无功电流稳态值与初始值之差的90%所需的 时间。

(2)电压瞬时降低。

支路2的28台逆变器无功出力均为230 kvar, 切除支路2,光伏电站的35 kV母线电压从初始值 37.3 kV瞬时降低,最低至36.83 kV。自35 kV母线 电压降低,光伏逆变器快速输出无功电流,经40 ms 后电压恢复至37.3 kV。图7为电压异常降低后光伏 逆变器的无功电流响应曲线。



图 7 电压和无功电流响应曲线(电压瞬时降低工况)



5 结论

本文对应用于光伏发电的边缘计算设备关键技 术进行研究,得出以下结论:

(1)研发的边缘计算设备具备数据采集、处理和 上传功能,实现了对光伏发电的状态实时感知和数 据高效处理,且可应用于风电场、分布式发电等,具 有广阔的推广应用前景;

(2)电网的实际电压扰动实测结果表明,通过 在光伏逆变器侧安装边缘计算设备,光伏逆变器 可以快速参与电网无功电压响应,主动支撑电网的 电压。

附录见本刊网络版(http://www.epae.cn)。

参考文献:

[1] 钱志鸿,王义君. 物联网技术与应用研究[J]. 电子学报, 2012,40(5):1023-1029.

QIAN Zhihong, WANG Yijun. IoT technology and application [J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(5):1023-1029.

- [2] 康重庆,姚良忠.高比例可再生能源电力系统的关键科学问题 与理论研究框架[J].电力系统自动化,2017,41(9):1-11.
 KANG Chongqing, YAO Liangzhong. Key scientific issues and theoretical research framework for power systems with high proportion of renewable energy[J]. Automation of Electric Power Systems,2017,41(9):1-11.
- [3] 文云峰,杨伟峰,汪荣华,等.构建100%可再生能源电力系统 述评与展望[J].中国电机工程学报,2020,40(6):1843-1856.
 WEN Yunfeng, YANG Weifeng, WANG Ronghua, et al. Review and prospect of toward 100% renewable energy power systems[J]. Proceedings of the CSEE,2020,40(6):1843-1856.
- [4] 文云峰,杨伟峰,林晓煌.低惯量电力系统频率稳定分析与 控制研究综述及展望[J].电力自动化设备,2020,40(9): 211-222.

WEN Yunfeng, YANG Weifeng, LIN Xiaohuang. Review and prospect of frequency stability analysis and control of low-inertia power systems [J]. Electric Power Automation Equipment, 2020,40(9):211-222.

- [5] 俞智鹏,汤奕,戴剑丰,等. 基于有功自适应调整的光伏电站无 功电压控制策略[J]. 电网技术,2020,44(5):1900-1907.
 YU Zhipeng,TANG Yi,DAI Jianfeng, et al. Voltage / var control strategy of PV plant based on adaptive adjustment of active power[J]. Power System Technology, 2020, 40(5):1900-1907.
- [6] ISLAM M, MITHULANANTHAN N, HOSSAIN M J. Dynamic voltage support by TL-PV systems to mitigate short-term voltage instability in residential DN[J]. IEEE Transactions on

Power Systems, 2018, 33(4): 4360-4370.

[7] 葛延峰,孙颖,韩子娇,等. 永磁同步风电机组的主动支撑控制 及其在弱电网下的适应性分析[J]. 智慧电力,2020,48(4): 62-69.

GE Yanfeng, SUN Ying, HAN Zijiao, et al. Active support control strategy of permanent magnet synchronous wind turbine and its adaptability analysis under weak grid [J]. Smart Power, 2020, 48(4):62-69.

- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.光伏发电站接入电力系统技术规定:GB/T 19964—2012[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [9]费丽强,赵娜. 基于 OLTC 和 SVC 的光伏并网发电电压控制技术研究[J]. 电网与清洁能源,2012,28(5):50-53.
 FEI Liqiang, ZHAO Na. Voltage control technology of photovoltaic grid-connected power generation base on OLTC and SVC[J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering,2012,28(5):50-53.
- [10] 刘双,张建周,王汉林,等.考虑多无功源的光伏电站两阶段无 功电压协调控制策略[J].电力系统自动化,2017,41(11):120-125,168.

LIU Shuang, ZHANG Jianzhou, WANG Hanlin, et al. Two-stage reactive power and voltage coordinated control strategy for photovoltaic power station considering multiple reactive power sources[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41 (11):120-125, 168.

- [11] 王贤,刘文颖,夏鹏,等.光伏电站参与电网主动调压的无功优 化控制方法[J].电力自动化设备,2020,40(7):76-83.
 WANG Xian,LIU Wenying,XIA Peng, et al. Reactive power optimization control method for PV station participating in active voltage regulation of power grid[J]. Electric Power Automation Equipment,2020,40(7):76-83.
- [12] 高鹏程,王蕾,李立生,等. 基于光伏逆变器调节的配电网电压 控制策略[J]. 电力自动化设备,2019,39(4):190-196.
 GAO Pengcheng, WANG Lei, LI Lisheng, et al. Voltage control strategy based on adjustment of PV inverters in distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(4):190-196.
- [13] 蔡永翔,唐巍,张璐,等.基于光伏逆变器无功调节的低压配电 网多模式电压控制[J].电力系统自动化,2017,41(13):133-141.
 CAI Yongxiang,TANG Wei,ZHANG Lu, et al. Multi-mode voltage control in low distribution networks based on reactive power regulation of photovoltaic inverters[J]. Automation of Electric Power Systems,2017,41(13):133-141.
- [14]边缘计算产业联盟,工业互联网产业联盟.边缘计算参考架构
 3.0 [R / OL]. [2020-10-15]. http://www.ecconsortium.org / Uploads / file / 20190225 / 1551059767474697.pdf.
- [15] 边缘计算产业联盟,工业互联网产业联盟.边缘计算与云计算 协同白皮书[R / OL].[2020-10-15].http://www.ecconsortium. org / Uploads / file / 20190221 / 1550718911180625.pdf.
- [16] 赵大伟,马进,钱敏慧,等.光伏电站参与大电网一次调频的控制增益研究[J].电网技术,2019,43(2):425-435.
 ZHAO Dawei, MA Jin, QIAN Minhui, et al. Research on control gain for photovoltaic power plants participating in primary frequency regulation of large power grid[J]. Power System Technology, 2019, 43(2):425-435.
- [17] 吴俊鹏,杨晓栋,翟学,等.并网光伏电站的一次调频特性分析
 [J]. 电测与仪表,2016,53(19):88-92.
 WU Junpeng, YANG Xiaodong, ZHAI Xue, et al. Analysis on primary frequency regulation of grid-connected PV station in power system
 [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2016,53(19):88-92.
- [18] 陈世慧,阮大兵.光伏发电有功功率预测及其在电网频率控制

中的应用[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(20):125-129. CHEN Shihui, RUAN Dabing. Prediction of photovoltaic power and its application in power grid frequency control[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(20):125-129.

- [19] KAWABE K, TANAKA K. Impact of dynamic behavior of photovoltaic power generation systems on short-term voltage stability [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2015, 30 (6):3416-3424.
- [20] 吴琼,董国伟,谢小军.光伏电站集中式、组串式和集散式逆变 设计方案对比[J]. 电气应用,2017,36(16):72-79.

作者简介:



孙文文(1990-),男,工程师,硕士,研 究方向为可再生能源发电及其并网技术 (E-mail:sunwenwen@epri.sgcc.com.cn); 何国庆(1981-),男,教授级高级工程 师,硕士,研究方向为新能源发电与并网技 术(E-mail:heguoqing@epri.sgcc.com.cn)。 (编辑 陆丹)

Research and application of key technologies for edge computing equipment used in photovoltaic power generation under background of IoT

SUN Wenwen¹, HE Guoqing¹, LIU Chun¹, ZHAO Weiran², QI Liwen³

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;

2. China Electric Power Planning & Engineering Institute, Beijing 100120, China;

3. Beijing Guodian Zhishen Control Technology Co., Ltd., Beijing 102200, China)

Abstract: With the rapid development of technologies such as big data, cloud computing, artificial intelligence, 5G, and so on the era of the Internet of Everything is speeding up, and the number of network edge equipment and the data volume are growing rapidly. In this trend, edge computing has become one of the core technologies for the development of the Internet of Things due to its features of close proximity to data sources, good real-time performance, short time delay, fast response, and so on. Based on this, the basic concept and system architecture of edge computing are introduced, and the key technologies of edge computing equipment are discussed. The application scenarios of edge computing equipment in photovoltaic power generation system are deeply analyzed. The demonstration application is carried out in a photovoltaic power station. The measured results show that the fast reactive response capability of photovoltaic power generation can be achieved by installing edge computing equipment on the side of photovoltaic inverter. The research results can provide reference for the subsequent application of edge computing in new energy power generation.

Key words: Internet of Things; edge computing equipment; photovoltaic power generation; fast reactive power response

附录

表 A1 基本性能参数 Table A1 Basic performance parameters

参数		取值或性能	
	工作温度	-40~80 °C	
工作工业会数	工作湿度	5~95% RH	
工作环境参数	存储温度	-50~100 °C	
	抗震性能	1G@IEC-68-2-6,正弦波, 5~500 Hz, 1 Oct./min, 1 hr/axis	
	外壳	电解亚铅镀(SECC)金属板(1 mm)	
扣提供外会数	重量	250 g	
机械特性参数	尺寸	77 mm×111 mm×26 mm	
	安装方式	壁挂安装	
	报警工具	内建蜂鸣器	
可告州幺岁	温度监控	内建温度传感器,可用于温度监控	
可菲性参数	看门狗	硬件看门狗(WDT)监控	
	平均无故障工作时间	大于 3×10 ⁵ h	
	电磁干扰	EN 55022 ClassA	
安全认证参数	由磁敏感度	EN 61000-4-2 (ESD) Level 2,	
	电概取恋皮	EN 61000-4-4 (EFT) Level 2, EN 61000-4-5 (Surge) Level 2	



Fig.A1 Topology structure of photovoltaic power station