

DOI: 10.3969/j.issn.1674-1951.2021.03.003

边缘计算在电力设备管理及运行维护中的应用

Application of edge computing in power equipment management and maintenance

贾滨诚

JIA Bincheng

(国网河南省电力公司新乡供电公司,河南 新乡 453000)

(Xinxiang Power Supply Company of State Grid Henan Electric Power Company, Xinxiang 453000, China)

摘要:在能源互联网高速发展的背景下,边缘计算作为一种近年来新兴的数据处理技术,可以有效提高电力设备运行维护和信息管理的效率。分析边缘计算在电力设备信息管理中承担的业务,构建了基于边缘计算的电力设备信息管理框架;研究了边缘计算在电力设备运行维护中应用的关键技术,提出了边缘网络部署方案以及边缘节点数据处理模式;结合实际生产,对边缘计算在电力设备运行维护中的典型应用进行案例分析,表明边缘计算在电力设备运行管理中有着广阔的应用前景。

关键词:边缘计算;能源互联网;电力设备运行维护;电力设备管理;云计算;新基建

中图分类号:TK 01 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2021)03-0014-06

Abstract: As an emerging data processing technology, edge computing can effectively improve the efficiency of power equipment operation and maintenance and information management in the context of rapid development of Energy Internet. By analyzing the work completed by edge computing in power equipment information management, the framework of power equipment and information management is constructed based on edge computing. By analyzing the key technology applied in the edge computing of power equipment operation and maintenance, a deployment scheme of edge network and a data processing architecture of edge nodes are proposed. Case studies are made on typical applications of edge computing in power equipment operation and maintenance. The results show that edge computing is promising in this scenario.

Keywords: edge computing; Energy Internet; operation and maintenance of power equipment; power equipment management; cloud computing; new infrastructure

0 引言

为响应“新基建”国家战略需要,2020年国家电网有限公司与中国广播电视网络有限公司合作,加大对5G基础设施的投资,随着电力设备的升级更新,网络设备逐渐拥有可以支撑边缘计算的能力^[1-2]。在能源互联网高速发展的背景下,边缘计算(Edge Computing, EC)作为一种近年来新兴的数据处理技术,可在设备数据处理、通信网络优化等多个方面服务于智能电网的发展和建设^[3-4]。

由于电网地理分布广泛,电力设备数据种类多,且对于不同电力设备,数据采集方式不同,导致电力设备运行数据具有异构、海量的特点^[5],采集存在一定困难。数据特征的多样性,导致直接采用现有数据处理模型进行分析处理较为困难^[6]。边缘计

算能够很好地解决这些问题,边缘计算是利用网络中采集和通信节点过剩的数据处理能力,在靠近实物或者数据源头的网络边缘侧,融合网络、计算、存储以及应用的分布式开发的数据处理技术^[7-9]。这种技术满足了电力行业业务数字化、实时性及安全性的要求,可以作为实际电力生产设备与智能电网的连接桥梁。

边缘计算在网络边缘直接对数据进行初步处理,完成数据流量的卸载分流,有效降低了网络中数据传输及上层云服务器的数据处理压力^[10]。边缘计算网络的组网结构相比于传统网络更加实时和灵活,支持多种物理层接口及工业协议,并且引入软件定义网络(Software Defined Network, SDN)对本地网络进行优化,适应电力设备信息管理对于低延迟的要求^[11]。随着电力设备智能化程度的提高,未来一个电力设备将与多个边缘节点交互,有效降低数据处理难度,当上级节点出现故障时,多个边

缘节点可以暂时互联,支持基本业务以保障正常的电力设备运行生产。

目前边缘计算已经应用于电力行业的多个领域。文献[12]中边缘计算与区块链技术结合,考虑源网荷储系统对实时性、可扩展性和安全性的高要求,提出了面向源网荷储系统的边缘计算应用框架。文献[13]以电缆接头为对象,研发了基于边缘计算的检测单元,针对放电过程中释放的紫外和红外信号的采集、数据传输、处理及特征辨识,对电缆的运行状态进行感知。目前,边缘计算与云计算、区块链相互协同也成为研究热点,为了更好地管理能源互联网数据。文献[14]将3种计算相结合,提出了基于边云链协同技术的能源互联网数据管理方案,为能源互联网数据共享与数据运营的实现提供技术支持。本文将边缘计算技术应用于电力设备信息管理及运行维护,构架了基于边缘计算的电力设备信息管理框架,分析了边缘计算应用于电力设备运维的关键技术,最后结合实际生产,对边缘计算在电力设备运行维护中的典型应用案例进行分析。

1 基于边缘计算的电力设备信息管理系统

为了构建基于边缘计算的电力设备信息管理系统,需要分析边缘侧所需承担的业务。整体的电力设备管理系统按照云、管、端的体系结构进行设计,以满足电力物联网及信息通信技术的发展要求。边缘计算在电力设备信息管理系统中的应用框架如图1所示。边缘侧位于云平台应用与底层物理设备之间,分为网络控制层和应用接口层。网络控制层针对下层异构的电力设备的数据采集终端网络,为其提供一致的协议互联、连接管理以及网络节点状态监测。应用接口层针对上层云平台,对数据进行初步处理,并为上层云平台提供统一且便于调用的数据接口以及通信抽象服务接口。基于边缘计算的电力设备信息管理系统可根据这一体系架构对电力设备进行全生命周期的、系统性的监测和管理。

网络边缘层以下为数据采集终端层,为整个管理系统提供数据采集服务。采集终端分布广泛,实现对电力设备的数据采集与远程控制。终端节点直接与边缘节点相连接,边缘节点将其所采集的数据进行聚合处理。

网络控制层对边缘计算节点进行组网,边缘节点网络包括传输网和接入网。传输网采用电力通信网,接入网根据实际情况选用光纤或铜芯双绞线。网络控制层为接入设备提供标准的接入协议,

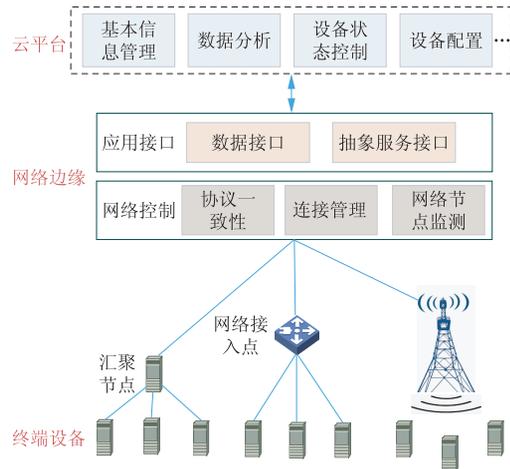


图1 边缘计算在电力设备信息管理系统中的应用框架

Fig. 1 Application framework of edge computing in power equipment information management

为边缘节点的一致性连接提供协议保障。边缘节点实现底层传感器数据的汇集与存储。由于电力设备众多,底层传感器所采集的数据量较大,采用边缘节点对数据进行汇集和存储可有效降低云平台计算和存储的压力^[12]。并且由于电力数据对于信息安全的要求性较高,数据敏感,集中存储需要承担更大的风险,一旦数据泄露或者失效,将会承担不可逆的结果,故而采用边缘节点进行存储和处理,将数据进行脱敏,在降低云计算中心节点计算压力的同时可有效提高信息安全^[15]。

应用接口层可为上层云平台提供统一的数据接口,为其提供连接管理、设备管理、数据管理等多种基础服务。EC应用接口可对常用业务进行集成,并可支持多种上层云平台的快速接入,使云平台的业务请求能够灵活、快速地完成。EC节点可基于现有的物联网技术,为上层云平台提供查询通信连接状态的接口,对下一次网络连接状态进行感知和故障分析。应用接口层屏蔽了底层传感器异构的通信协议和接口,实现了不同终端与云平台的协同。上层云平台无须与具体传感设备相连,而是实现面向对象的设备管理,使上层云平台更为高效可靠^[16]。针对EC节点对于数据的存储功能,数据接口层提供的数据采集接口根据不同数据进行结构化处理,并按照不同业务对数据进行模块化存储,方便上层云平台调用。

由于EC设备提供了丰富的数据接口,上层云平台也可随之进行业务扩张,在现有数据采集系统的基础上,结合区块链技术,面向单独电力设备构建链式的信息存储结构,实现对电力设备的全生命周期管理。基于边缘计算的电力设备监测层级结构如图2所示。

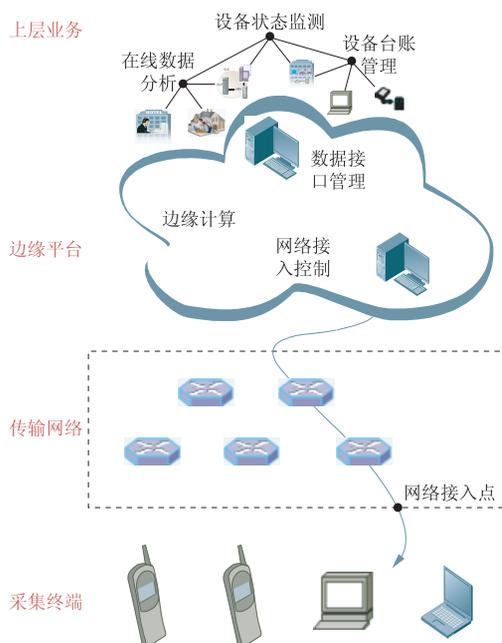


图2 基于边缘计算的电力设备监测层级结构

Fig. 2 Hierarchical structure of power equipment monitoring based on edge computing

2 边缘计算在电力设备运行维护中的关键技术

2.1 边缘网络部署方案

边缘计算在电力设备运行维护中的部署分为4个阶段,分别为硬件部署、数据部署、服务部署和应用部署^[17-18]。硬件部署阶段是对现有传输节点的升级和改造,使其具备一定的智能计算能力,为边缘计算的整体部署提供最基础的硬件条件。同时对于一些老旧网络进行扩容,减少数据传输中遇到的瓶颈链路和节点,提高网络的整体性能。数据部署阶段是基于通用信息模型(Common Information Mode, CIM)对电力设备建立标准的信息模型,包括电力设备的名称、类型、使用年限等基础属性信息,对不同的电力设备进行清晰的数据刻画。服务部署阶段需要为边缘网络制定统一的信息交互规范,在前一阶段构建的电力设备信息模型的基础上,对服务进行定义,即定义面向不同电力设备的动作指令;可参考超文本传输协议(HTTP)、扩展消息与表示协议(XMPP)等,提出边缘网络中统一的电力设备信息交互协议,为构建标准化的接口提供协议保障。应用部署阶段即形成针对上层云平台的抽象通信服务接口(ACSI),将应用业务的操作抽象为“动作+数据”模式,其中动作包括读取、更改、添加、删除,EC节点会根据业务指令,完成对电力设备的控制。

2.2 边缘数据处理

边缘存储是利用边缘节点的存储能力,将数据

进行缓存和处理,进而减轻上层云平台的数据存储压力,边缘节点数据处理模式如图3所示。边缘节点与传感器节点直接相连,相比于云平台更加靠近数据源,遇到紧急事件,边缘节点可以更快地做出决策。在现阶段,边缘节点作为云平台储存空间的补充,数据源首先将数据上传至边缘节点,边缘节点可以将数据缓存,在云平台上可随时获取边缘节点的数据,降低了云平台中心节点的存储压力。由于边缘节点的存储空间有限,边缘节点需要首先对数据进行分类,这一分类可由云平台完成;需要长期存储的数据,还按传统模式,直接上传至云端进行存储^[19];而实时性较强的数据,则在边缘节点进行缓存,并提高数据的更新频率,在云平台需要时进行上传,这样在不改变网络容量的前提下,保障了云平台数据的实时性。

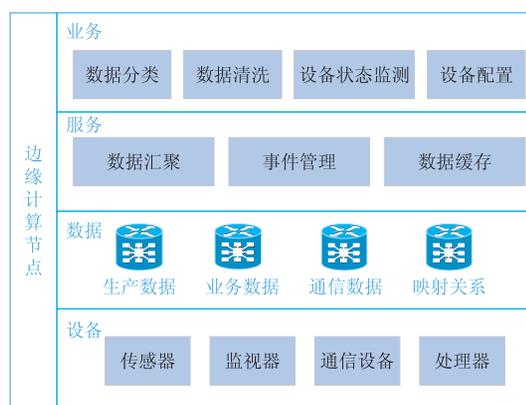


图3 边缘节点数据处理模式

Fig. 3 Data processing mode of edge nodes

未来,随着边缘节点智能化水平的提高,边缘节点将成为云平台决策的补充。采用边缘计算技术对电力设备数据进行动态监测示意如图4所示。边缘节点除了对数据进行缓存外,还可按照云平台所授予的权限对数据进行处理。边缘节点通常与数据采集终端直接相连,如遇数据异常,可向云平台进行报警,提醒操作人员进行分析处置。此外,边缘节点还可对数据进行脱敏,隐去数据结构中敏感的部分,与行业外进行充分合作,进一步挖掘数据价值,这对能源企业转型具有重大意义^[16]。

3 边缘计算在电力设备运行维护中的应用案例

3.1 设备动态监测

针对电力设备的安全运行,利用边缘节点的缓存与决策能力,实现对电力设备的运行状态、维护情况以及周围环境信息的全方位监测^[20-21]。在云计算背景下,对每一台电力设备实现全方位监测,需要耗费大量的网络容量。而在电力通信网中首先

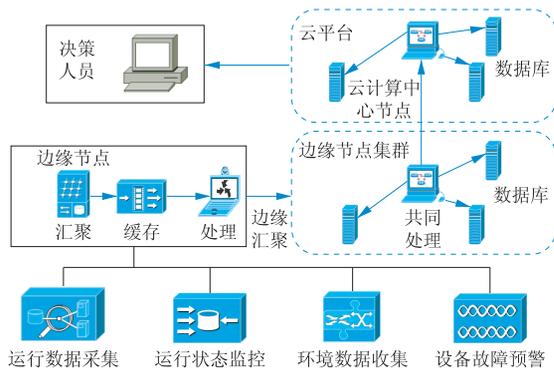


图4 采用边缘计算技术对电力设备动态监测示意

Fig. 4 Dynamic monitoring on power equipment using edge computing technology

要保证继电保护业务的正常传输,无大量冗余容量分配给电力设备监测,所以在云计算背景下对电力设备实时监测难度较大,经济效益较差^[22]。而依托边缘计算技术,边缘节点相比于云计算中心节点,所连接的电力设备少,可针对单一设备进行监测和管理。在此基础上,可以设置边缘节点数据异常阈值,如温度超高异常、湿度超高异常、表面变形异常、应力变化异常等。一旦边缘节点数据异常,边缘节点可向云平台快速发出预警,给予管理人员更多的判断和处置时间。并且,随着边缘节点智能化程度的提高,可由多个边缘节点互联,形成边缘节点集群,当一个边缘节点所监测的设备出现故障时,集群内节点共同动作,完成备用线路或者设备切换。

随着智能变电站的推广及图像处理技术的发展,未来可以依托边缘节点对设备的监控视频进行处理^[23-24]。若将视频传输至云端,相比于传感器所采集的数据,网络中所传输的数据量将会几何级数的增长,实现难度较大^[25]。而边缘节点则为视频处理提供了一个很好的方法,边缘节点将处理结果上传至云端,边缘节点集群对处理结果进行印证和补充,云端根据边缘节点或集群的反馈进行决策制定,有效提高了云端设备或者运行监测人员的决策效率。

3.2 电力设备检测数据流计算模式

电力设备数据具有数据量大的特点,并且某些对时间敏感的数据,传统的“先存储后处理”方式不仅延长了数据的处理时间,还增加了数据处理的压力,浪费了数据的时间价值^[26-28]。而流计算技术是将数据按照时间进行分组,动态地对数据进行处理,在这一时刻数据到达时,前一时间段的数据已经处理完毕,结合这一时刻数据继续进行处理,这样最大限度地保留了数据的时间价值,对故障预警这类实时性要求较高的业务有较好表现。这一技

术目前最大的难点就是针对不同设备、不同业务需要选定不同的处理时间窗口以及数据实时性的要求^[29-30]。随着处理器的小型化,可能会出现一个边缘节点针对一个电力设备甚至多个边缘节点针对一个电力设备的情况。针对相同的设备,边缘节点可以选用相同的时间窗口。目前主流流计算采用Hadoop提供的Pig扩展框架,这一框架支持采用JSON(JavaScript Object Notation)或可扩展标记语言(Extensible Markup Language, XML)进行存储与操作,可以与基于CIM构建的电力设备信息模型进行无缝对接,大大简化了数据结构一致性的流程。并且,未来边缘节点即传感器,数据采集与处理实现“零延时”,这也扩展了流计算的应用空间,而在边缘节点与云平台之间,传输的也只是边缘节点的处理结果。例如某一电力设备的边缘节点经过流计算发出设备故障预警,在网络中只需传输一个故障预警信号,无须传输大量的冗余数据。对于上传云端需要长期存储的数据,经过Pig扩展框架处理之后,采用了统一的存储格式,降低数据噪声,进而提高下一步数据挖掘的可操作性。

4 结束语

本文研究了边缘计算在电力设备管理及运行维护中的应用,构建了基于边缘计算的电力设备信息管理框架,并研究了边缘计算在电力设备运行维护中应用的关键技术,最后结合实际案例,对边缘计算在电力设备运行维护中的实际应用进行了分析。虽然尚存在一些关键问题亟待解决,如未形成边缘计算在电力设备检测领域应用的相关标准等,但未来随着技术以及标准体系的不断完善,边缘计算将会成为能源供应向能源服务转变的一大重要助力。

参考文献:

- [1] 国家电网有限公司. 国家电网公司举办“数字新基建”重点建设任务发布会暨云签约仪式[EB/OL]. (2020-06-16) [2020-10-05]. https://www.sohu.com/a/402204652_253235?_trans_=000014_bdss_dkwhfy.
- [2] 冯优. 重磅! 靴子落地! 中国广电与国家电网联手杀入5G泛在电力物联网稳了[EB/OL]. (2019-12-20) [2020-10-05]. <http://chuneng.bjx.com.cn/news/20191220/1030023.shtml>.
- [3] 张晶, 叶筠英, 李彬, 等. 智能电网标准国际化战略研究[J]. 供用电, 2020, 37(3): 3-9.
ZHANG Jing, YE Yunying, LI Bin, et al. Research on the internationalization strategy of smart grid standards [J].

- Distribution & Utilization, 2020, 37(3): 3-9.
- [4] 吕聪敏, 熊伟. 基于 5G 切片和 MEC 技术的智能电网总体框架设计[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(8): 54-60.
LÜ Congmin, XIONG Wei. Research on the framework of smart grid based on 5G slicing and MEC technology [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(8): 54-60.
- [5] 张徐亮, 万里冰, 钱伟中, 等. 基于区块链的电力大数据安全保障体系[J]. 华电技术, 2020, 42(8): 68-74.
ZHANG Xuliang, WAN Libing, QIAN Weizhong, et al. Security assurance system for electric power big data based on blockchain technology [J]. Huadian Technology, 2020, 42(8): 68-74.
- [6] 孟安宁. 对应用于智能电网的电力大数据分析技术的研究[J]. 电力设备管理, 2020(8): 27-28.
MENG Anning. Research on power big data analysis technology applied in smart grid [J]. Electric Power Equipment Management, 2020(8): 27-28.
- [7] REN J K, YU G D, HE Y H, et al. Collaborative cloud and edge computing for latency minimization [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68(5): 5031-5044.
- [8] 王云泽, 王秋瑾, 马欣欣. 基于区块链技术的能源互联网交易方案设计[J]. 华电技术, 2020, 42(8): 83-89.
WANG Yunze, WANG Qiujin, MA Xinxin. Design of energy internet trading system based on blockchain technology [J]. Huadian Technology, 2020, 42(8): 83-89.
- [9] 喻小宝, 郑丹丹. 区块链技术在能源电力领域的应用及展望[J]. 华电技术, 2020, 42(8): 17-23.
YU Xiaobao, ZHENG Dandan. Application and exploration of blockchain technology in energy and electricity [J]. Huadian Technology, 2020, 42(8): 17-23.
- [10] NING H S, LI Y F, SHI F F, et al. Heterogeneous edge computing open platforms and tools for internet of things [J]. Future Generation Computer Systems, 2020, 106: 67-76.
- [11] WANG S F. Edge computing: Applications, state-of-the-art and challenges [J]. Advances in Networks, 2019, 7(1): 8.
- [12] 许志成, 彭志超, 杨怡, 等. 基于边缘计算+区块链技术的源网荷储系统架构[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(9): 25-30.
XU Zhicheng, PENG Zhichao, YANG Yi, et al. Source-grid-load-storage system architecture based on edge computing and blockchain technology [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(9): 25-30.
- [13] 曹培, 徐鹏, 高凯, 等. 基于边缘计算的电缆接头运行状态智能传感与监测[J]. 高压电器, 2020, 56(9): 26-32.
CAO Pei, XU Peng, GAO Kai, et al. Intelligent sensing and monitoring of cable joints' state based on edge computing [J]. High Voltage Apparatus, 2020, 56(9): 26-32.
- [14] 鄢晶, 高天露, 张俊, 等. 边云链协同技术在能源互联网数据管理中的应用及展望[J]. 华电技术, 2020, 42(8): 41-47.
YAN Jing, GAO Tianlu, ZHANG Jun, et al. Application and prospect of edge-cloud-chain collaboration technologies for energy [J]. Huadian Technology, 2020, 42(8): 41-47.
- [15] LIU Y, PENG M, SHOU G, et al. Towards edge intelligence: Multi-access edge computing for 5G and Internet of Things [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(8): 6722-6747.
- [16] 杨健. 基于边缘计算信息安全防护技术的研究[J]. 自动化与仪表, 2020, 35(9): 101-104.
YANG Jian. Research on information security protection technology based on edge computing [J]. Automation & Instrumentation, 2020, 35(9): 101-104.
- [17] MIAO Y M, WU G X, LI M, et al. Intelligent task prediction and computation offloading based on mobile-edge cloud computing [J]. Future Generation Computer Systems, 2020, 102: 925-931.
- [18] CAO K Y, LIU Y F, MENG G J, et al. An overview on edge computing research [J]. IEEE Access, 2020, 8: 85714-85728.
- [19] ZHAO O Y, LIU X C, LI X, et al. Privacy-preserving data aggregation scheme for edge computing supported vehicular ad hoc networks [J]. Early View, 2020, 45(4): 129-136.
- [20] 王凌, 吴楚格, 范文慧. 边缘计算资源分配与任务调度优化综述 [J/OL]. 系统仿真学报: 1-11. (2020-09-21) [2021-01-15]. <https://doi.org/10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0584>.
WANG Ling, WU Chuge, FAN Wenhui. A survey of edge computing resource allocation and task scheduling optimization [J/OL]. Journal of System Simulation: 1-11. (2020-09-21) [2021-01-15]. <https://doi.org/10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0584>.
- [21] 顾志祥, 孙思宇, 孔飞, 等. 燃气冷热电分布式能源系统设计优化综述[J]. 华电技术, 2019, 41(3): 8-13, 42.
GU Zhixiang, SUN Siyu, KONG Fei, et al. Design optimization summary of CCHP distributed energy system driven by gas [J]. Huadian Technology, 2019, 41(3): 8-13, 42.
- [22] 孙东磊, 杨思, 许易经, 等. 电网设备状态检修的时变决策模型 [J/OL]. 电力系统及其自动化学报: 1-11. (2020-09-22) [2021-01-15]. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000581>.
SUN Donglei, YANG Si, XU Yijing, et al. Time varying decision model for condition based maintenance of power grid equipment [J/OL]. Proceedings of the CSU-EPSA: 1-11. (2020-09-22) [2021-01-15]. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000581>.

- [23]赵羽,杨洁,刘森,等.面向视频监控基于联邦学习的智能边缘计算技术[J].通信学报,2020,41(10):109-115.
ZHAO Yu, YANG Jie, LIU Miao, et al. Federated learning based intelligent edge computing technique for video surveillance [J]. Journal on Communications, 2020, 41(10):109-115.
- [24]牛腾翥.某电厂发电设备可靠性建模及状态预测[J].华电技术,2019,41(6):27-32.
NIU Tengyuan. Reliability modeling and state prediction of generating equipment in a power plant [J]. Huadian Technology, 2019, 41(6):27-32.
- [25]AUSIELLO G, CRESCENZI P, KANN V, et al. Complexity and approximation [M]. Berlin: Springer Publishing Company, 2003:268-288.
- [26]赵宇峰,雷晟,张国钢,等.基于容器的电力设备仿真云平台设计与开发[J/OL].计算机工程:1-8.(2020-09-01)[2021-01-15].<https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0058324>.
ZHAO Yufeng, LEI Sheng, ZHANG Guogang, et al. Design and development of electrical equipment simulation cloud platform based on containerization technology [J/OL]. Computer Engineering: 1-8. (2020-09-01)[2021-01-15]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0058324>.
- [27]曾强.WebGIS在智能电网大数据可视化中的应用与分析[J].华电技术,2020,42(2):17-21.
ZENG Qiang. Application and analysis of WebGIS in big data visualization of smart grid [J]. Huadian Technology, 2020, 42(2):17-21.
- [28]冯斌,张又文,唐昕,等.基于BiLSTM-Attention神经网络的电力设备缺陷文本挖掘[J].中国电机工程学报,2020,40(S1):1-10.
FENG Bin, ZHANG Youwen, TANG Xin, et al. Power equipment defect record text mining based on BiLSTM-Attention neural network [J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(S1):1-10.
- [29]蔡冰.电力大数据的多数据流实时处理技术分析[J].自动化与仪表,2020,35(9):11-15.
CAI Bing. Analysis of multi data stream real time processing technology for power big data [J]. Automation & Instrumentation, 2020, 35(9):11-15.
- [30]胡泉,尚策,程浩忠,等.综合能源系统能流计算方法述评与展望[J].电力系统自动化,2020,44(18):179-193.
HU Xiao, SHANG Ce, CHENG Haozhong, et al. Review and prospect of calculation method for energy flow in integrated energy system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(18):179-193.

(本文责编:张帆)

作者简介:

贾滨诚(1996—),男,河南洛阳人,工学硕士,从事电力系统通信,能源互联网信息通信支撑技术等相关方面的研究工作(E-mail:552406443@qq.com)。