

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.191198

基于工业互联网的智慧能源服务系统架构研究

王赞^{1,2}, 陈光^{1,2}, 董晓^{1,2}, 沈国辉^{1,2}, 刘群^{1,2}, 秦俭³, 李晓光^{1,2}, 张世坤^{1,2}

(1. 南瑞集团有限公司(国网电力科学研究院有限公司), 江苏 南京 211106;

2. 北京科东电力控制系统有限责任公司, 北京 100194; 3. 国网电动汽车服务有限公司, 北京 100053)

摘要: 简述智慧能源系统及架构设计的现状与问题。提出了基于工业互联网的智慧能源服务系统, 实现多元设备泛在接入、监视控制、电动汽车有序充电、储能充放电管理等功能。首先提出基于“泛在物联网+互联网”的智慧能源服务系统的总体架构, 接着阐述了其技术架构和集成架构。最后介绍了系统的示范应用, 系统已在国网总部部署, 与营销业务、智慧车联网平台等系统互联互通, 实现数据和资源共享。在平台基础上构建电动汽车和储能设备有序充放电应用, 在北京、上海、河南等地试点, 验证了该系统的实用性和有效性。

关键词: 智慧能源; 工业互联网; 物联网; 系统架构; 示范应用

Research on the architecture of smart energy service system based on industrial internet

WANG Zan^{1,2}, CHEN Guang^{1,2}, DONG Xiao^{1,2}, SHEN Guohui^{1,2}, LIU Qun^{1,2}, QIN Jian³, LI Xiaoguang^{1,2}, ZHANG Shikun^{1,2}

(1. NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China;

2. Beijing Kedong Electric Power Control System Corporation Limited, Beijing 100194, China;

3. State Grid Electric Vehicle Service Company, Beijing 100053, China)

Abstract: The current situation and problems of smart energy system and architecture design are briefly introduced. Smart energy service system based on industrial internet is proposed, realizing functions such as wide access of multiple devices, monitoring and control, orderly charging of electric vehicles, and management of energy storage device charging and discharging. Firstly, the overall architecture of smart energy service system is constructed based on internet & ubiquitous internet of things. In the second, it focuses on expounding the technical architecture and integration architecture. Finally, the demonstration applications are introduced. The system has been deployed in the headquarters of state grid, interconnecting with the marketing business system, intelligent internet of vehicles platform and other systems, which realizes data sharing and resource sharing. On the basis of the platform, the applications of electric vehicles and energy storage orderly charging and discharging are built. The system has been deployed in Beijing, Shanghai, Henan and other places, and it is verified the practicability and effectiveness.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 52020118007D) and Science and Technology Project of State Grid Electric Power Research Institute Ltd.

Key words: smart energy; industrial internet; internet of things; system architecture; demonstration application

0 引言

我国能源消费多元化、自动化需求日益凸显, 从用户需求、技术发展、政策等方面推动智慧能源服务良好发展。

基金项目: 国家电网公司科技项目资助(52020118007D); 国网电力科学研究院有限公司科技项目资助“面向大规模电动汽车有序充电的智慧能源服务系统关键技术研究”

目前, 智慧能源尚处于起步阶段、研究成果较少。多数项目研究综合能源, 综合能源服务系统重点以分析多种能源供销流程的复杂性、耦合性为基础设计系统架构^[1-2]。文献[3-4]研究综合能源管理系统, 监管电、热(冷)、气等多种能源的生产、输送、分配、转换、存储、消费等供销一体化流程并设计系统的业务架构和应用架构。综合能源系统对电网用能设备的研究相对匮乏, 而智慧能源服务系统重点在于电网智能用能设备泛在接入、监视和能量管

理。天津大学研究智慧能源系统关键技术以及系统架构并建设示范工程^[5]。上海航天智慧能源研究院针对山东某高速收费站开展智慧能源系统运行策略研究和架构方案设计，分析智慧能源服务系统的社会效益和经济效益^[6]。以上系统接入设备种类比较单一、规模较小，缺乏电网智能用能设备的泛在接入、与上级电网协同互动、能量管理等能力，未涉及大规模电动汽车有序充电及储能等领域的研究。

基于泛在电力物联网的传统系统采用“感知层、网络层、应用层”三层架构，实现数据采集与监控^[7-8]。文献[8-10]基于物联网采集控制技术，构建采集控制系统的体系架构。工业互联网系统以泛在电力物联网为基础，结合大数据、人工智能、互联网等新兴技术，构建实时、高效的数据采集控制系统，实现工业技术模型化、复用化^[11]。文献[12-13]详细介绍了工业互联网平台总体架构的设计方案，实现运行监控、运营管理等功能。传统工业互联网系统具备较强的数据采集控制能力，但是缺乏“中台”数据、业务共享能力^[14-15]，缺乏敏捷高效开发“前台”业务应用能力。

本文将工业互联网的设计理念应用于智慧能源服务系统，基于“泛在物联网+互联网”设计系统四层架构体系：终端设备层、通信网络层、云平台以及业务应用层。系统不仅具备了“泛在物联网”的设备泛在接入、远程控制能力，并且具备“互联网”的订单交易、运营管理能力。同时，将微服务技术应用于系统架构中，使系统具备数据与资源共享、快速迭代开发应用的能力。实现多种智能用能设备泛在接入、高效数据采集与处理、灵活网络建模、运行运营全面监管、批量订单管理等功能，有效支撑有序充电、储能等应用的开发与实施。

1 智慧能源服务系统

本章节研究智慧能源服务系统的架构设计方案。系统采用工业互联网技术：工业系统结合高级计算、分析、物联网传感技术以及大云物移等互联网技术，将智能终端设备、用户和数据连接融合^[16]，工业互联网即“泛在物联网+互联网”技术在工业领域的应用。本文基于“泛在物联网+互联网”构建智慧能源服务系统，实现电网智能终端设备的泛在接入、状态感知、实时监控、台区能量调度、跨台区交易等功能，为个人或者企业用户提供智能有序充电服务，为社会运营商提供能源交易平台。提升了台区源网荷储协同服务能力，优化能量控制，保障电网安全稳定运行；提升了客户侧用能效率，延缓配电网投资；聚合台区能源，辅助电网调峰调频，

促进清洁能源消纳。

1.1 系统总体架构

基于微服务技术设计系统架构，以系统中每一个独立组件作为一套微型服务进行独立部署，每一个微服务拥有独立的数据源，通过接口完成不同数据库之间的数据读写，相对于传统单体架构，有效避免了服务之间争用数据库和缓存资源所带来的资源使用不当、整个系统被拖垮的问题。微服务架构实现资源灵活组织、功能封装复用，开发敏捷高效，快速构建业务应用^[17-18]。系统部署在阿里云平台中，总体架构包括智能终端设备层、通信网络层、云平台层以及业务应用层。总体架构如图 1 所示。

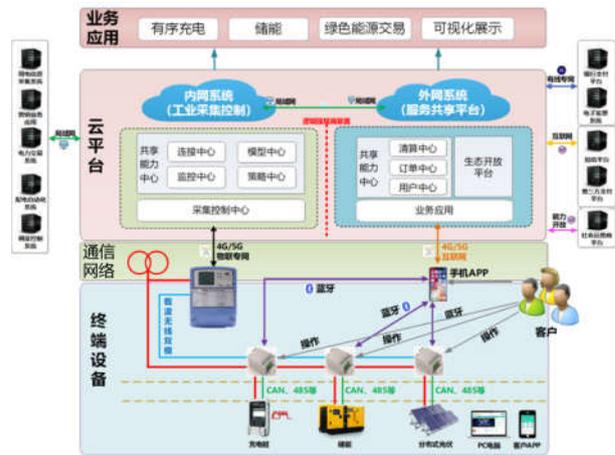


图 1 总体架构

Fig. 1 Overall architecture

系统由基于物联网的内网子系统和基于互联网的外网子系统构成。在物联网内网子系统，通过能源路由器与能源控制器将有序充电桩、储能等智能用电设备泛在接入系统；采用物联网数据采集控制技术实现智能终端设备的运行/运营数据采集、台区态势感知、电动汽车有序充电控制、储能有序充放电控制；在互联网外网子系统，采用互联网技术，建立 O2O 线上线下能源交易平台，提供用户管理、订单交易、支付结算等服务。

1) 智能终端设备

智能终端设备作为系统终端底层，包括为了满足智慧能源服务系统功能需求而研制的能源路由器、能源控制器以及各种智能用电设备。

能源路由器是实现充电桩等用能设备启停、功率调节的控制设备，安装在客户侧用能设备附近，能源路由器采用平台层与应用层设计，平台层具备多元设备灵活接入、数据采集、远程控制设备启动/停止和功率调节等通用能力。在应用层，与客户侧智能设备进行数据传输与交换。



图4 智慧能源服务系统

Fig. 4 Smart energy service system

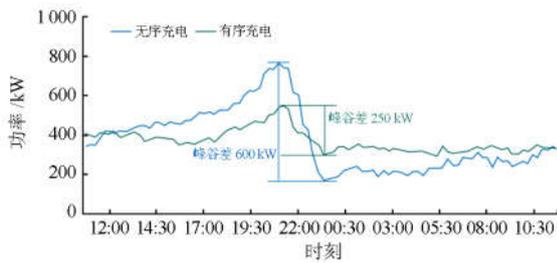


图5 实时负荷对比曲线

Fig. 5 Real-time load comparison curves

无序充电时,峰谷负荷差达 600 kW;有序充电时,峰谷负荷差降低至 250 kW,峰谷差降低达 58%,实现了削峰填谷。系统采用削峰填谷策略,降低电网高峰负荷与用户用电成本,实现企业与用户互利共赢,有效地验证了系统的实用性与经济性。

储能设备有序充放电业务的实施情况,以河南某试点为例,接入 2 座客户侧储能设备,其功率为 500 kW,容量 2 000 kWh。选取 2 个典型日开展储能有序充放电效果验证工作,第 1 日储能设备未参与有序充放电,获取台区实时负荷曲线。第 2 日储能设备参与有序充放电,根据第 1 日负荷曲线,采用削峰填谷策略、制定有序充放电计划,控制储能设备在台区负荷低谷时段充电、高峰时段放电,获取有序充放电实时负荷曲线。系统对比 2 日实时负荷曲线,如图 6 所示。

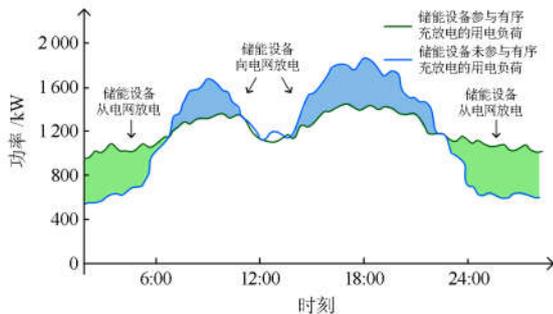


图6 实时负荷对比曲线

Fig. 6 Real-time load comparison curves

图 6 中,绿色曲线表示未配置储能有序充放电的实时负荷曲线,蓝色表示储能有序充放电的实时负荷曲线。有效地验证了削峰填谷效果,实现电网安全运行、电能高效利用,降低用电成本。

3 结论

本文提出基于工业互联网设计理念的智慧能源服务系统,开展关键技术研究。研究基于“互联网+泛在物联网”的智慧能源“云平台+微服务”系统的总体架构、技术架构、集成架构的设计方案。系统发挥电网企业能源转换枢纽作用,连接电网(大电网、微网)和多元客户侧用电设备,通过能源路由器与能源控制器,实现电动汽车、储能、分布式光伏等设备的灵活接入、数据采集和实时调控,全面监管设备运行、运营情况。

系统支持国网总部一级部署、省市分级部署。系统已在国网总部上线运行,并开展有序充电、光储充等应用业务,实现平台对多种能源的协同管理。满足消纳清洁能源、削峰填谷、调压调频等电网调节需求。

未来,力争以智慧能源服务系统为基础,深入开展分布式光伏、光储充、储能、蓄冷/蓄热电采暖、绿色能源交易、综合可视化展示、电插座、非工空调等领域研究,实现平台对多种能源的协同管理。满足用户智能化、多样化用能需求。

参考文献

- [1] 李亚楼,李芳,刘赫川.基于 PSASP 的综合能源仿真分析系统[J/OL].电网技术[2019-04-16].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2410.TM.20190307.1609.008.Html>.
LI Yalou, LI Fang, LIU Hechuan. Framework design of simulation system for integrated energy systems based on PSASP[J/OL]. Power System Technology[2019-04-16].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2410.TM.20190307.16>

- 09.008.html.
- [2] 王丹, 孟政吉, 贾宏杰. 面向新型城镇的能源互联系统规划关键技术研究及展望[J/OL]. 电力系统自动化: 1-13[2019-06-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20190611.1747.008.html>.
WANG Dan, MENG Zhengji, JIA Hongjie. Research and prospects of key technologies for energy interconnection system planning for new-type towns[J/OL]. Automation of Electric Power Systems: 1-13[2019-06-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1180.TP.20190611.1747.008.html>.
- [3] 余晓丹, 徐宪东, 陈硕翼, 等. 综合能源系统与能源互联网简述[J]. 电工技术学报, 2016, 31(1): 1-13.
YU Xiaodan, XU Xiandong, CHEN Shuoyi, et al. A brief review to integrated energy system and energy internet[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(1): 1-13.
- [4] 曾鸣, 杨雍琦, 刘敦楠, 等. 能源互联网“源-网-荷-储”协调优化运营模式及关键技术[J]. 电网技术, 2016, 40(1): 114-124.
ZENG Ming, YANG Yongqi, LIU Dunnan, et al. “Generation-grid-load-storage” coordinative optimal operation mode of energy internet and key technologies[J]. Power System Technology, 2016, 40(1): 114-124.
- [5] 王成山, 王丹, 李立涅. 需求侧智慧能源系统关键技术分析[J]. 中国工程科学, 2018, 20(3): 132-140.
WANG Chengshan, WANG Dan, LI Licheng. Key technology analysis of demand-side smart energy system[J]. Engineering Sciences, 2018, 20(3): 132-140.
- [6] 李立涅, 张勇军, 陈泽兴. 智能电网与能源网融合的模式及其发展前景[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(11): 1-9.
LI Lijun, ZHANG Yongjun, CHEN Zexing. Merger between smart grid and energy-net: mode and development prospects[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(11): 1-9.
- [7] 王毅, 陈启鑫, 张宁, 等. 5G通信与泛在电力物联网的融合: 应用分析与研究展望[J]. 电网技术, 2019, 43(5): 1575-1585.
WANG Yi, CHEN Qixin, ZHANG Ning, et al. Fusion of the 5G communication and the ubiquitous electric internet of things: application analysis and research prospects[J]. Power System Technology, 2019, 43(5): 1575-1585.
- [8] 葛磊蛟, 汪宇倩, 戚嘉兴, 等. 面向城市能源互联网的电力物联网内涵、架构和关键技术[J]. 电力建设, 2019, 40(9): 91-98.
GE Leijiao, WANG Yuqian, QI Jiaying, et al. The content, frameworks and key technologies of power internet of things for urban energy internet[J]. Electric Power Construction, 2019, 40(9): 91-98.
- [9] 李苏秀, 刘林, 王雪, 等. 泛在电力物联网商业模式理论体系与设计架构[J/OL]. 中国电力: 1-9[2019-10-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3265.TM.20190904.1235.004.html>.
LI Suxiu, LIU Lin, WANG Xue, et al. Theoretical framework and architecture design of e-IoT business model[J/OL]. ELECTRIC POWER: 1-9[2019-10-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3265.TM.20190904.1235.004.html>.
- [10] 吴鸿亮, 游维扬, 董楠. 电网工程核心物理架构经济映射[J]. 中国电力, 2018, 51(3): 80-87.
WU Hongliang, YOU Weiyang, DONG Nan. Economic mapping of core physical architecture of power projects[J]. Electric Power, 2018, 51(3): 80-87.
- [11] 张丹, 沙志成, 赵龙. 综合智慧能源管理系统架构分析与研究[J]. 中外能源, 2017, 22(4): 7-12.
ZHANG Dan, SHA Zhicheng, ZHAO Long. Analysis and study on architecture of integrated smarter energy management system[J]. Sino-Global Energy, 2017, 22(4): 7-12.
- [12] WANG Yi, ZHANG Ning, ZHUO Zhenyu, et al. Mixed-integer linear programming-based optimal configuration planning for energy hub: starting from scratch[J]. Applied Energy, 2018, 210: 1141-1150.
- [13] 沈苏彬, 杨震. 工业互联网概念和模型分析[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2015, 35(5): 1-10.
SHEN Subin, YANG Zhen. Analysis on the concepts and models of the industrial internet[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2015, 35(5): 1-10.
- [14] 裴志江, 邹起辰, 谢超. 基于可信计算的工业控制系统[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(5): 1283-1289.
PEI Zhijiang, ZOU Qichen, XIE Chao. Industrial control system based on trusted computing[J]. Computer Engineering and Design, 2018, 39(5): 1283-1289.
- [15] CHEN Lixing, CHEN Zhong, HUANG Xueliang, et al. A study on price-based charging strategy for electric vehicles on expressways[J]. Energies, 2016, 9(5): 385.
- [16] 陈静, 李宗帅. 基于工业控制计算机的移动机器人控制系统设计[J]. 机械与电子, 2018, 36(7): 60-63.
CHEN Jing, LI Zongshuai. Design of mobile robot control system based on industrial control computer[J]. Machinery & Electronics, 2018, 36(7): 60-63.
- [17] 赵晋松, 张朝阳, 顾巍峰, 等. 基于工业互联网的智能电厂平台架构[J]. 热力发电, 2019, 48(9): 101-107.
ZHAO Jinsong, ZHANG Chaoyang, GU Weifeng, et al. Platform architecture of intelligent power plant based on

- industrial internet[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(9): 101-107.
- [18] 薛飞, 李刚. 能源互联网的网络化能源集成探讨[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(1): 9-16.
XUE Fei, LI Gang. Discussion on networking energy integration for energy internet[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(1): 9-16.
- [19] CAI Hui, CHEN Qiyu, GUAN Zhijian, et al. Day-ahead optimal charging/discharging scheduling for electric vehicles in microgrids[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(3): 93-107. DOI: 10.1186/s41601-018-0083-3.
- [20] 杨方, 白翠粉, 张义斌. 能源互联网的价值与实现架构研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3495-3502.
YANG Fang, BAI Cuifen, ZHANG Yibin. Research on the value and implementation framework of energy internet[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(14): 3495-3502.
- [21] 李君, 邱君降, 窦克勤. 工业互联网平台参考架构、核心功能与应用价值研究[J]. 制造业自动化, 2018, 40(6): 103-106.
LI Jun, QIU Junjiang, DOU Keqin. Research on the reference architecture, core function and application value of industrial internet platform[J]. Manufacturing Automation, 2018, 40(6): 103-106.
- [22] XING Qiang, CHEN Zhong, ZHANG Ziqi, et al. Charging demand forecasting model for electric vehicles based on online ride-hailing trip data[J]. IEEE Access, 2019, 7: 137390-137409.
- [23] CHEN Zhong, ZHANG Ziqi, ZHAO Jiaqin, et al. An analysis of the charging characteristics of electric vehicles based on measured data and its application[J]. IEEE Access, 2018, 6: 24475-24487.
- [24] 严俊, 严凤. 峰谷分时电价背景下的居民电动汽车有序充放电策略[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(15): 127-134.
YAN Jun, YAN Feng. An orderly charging and discharging strategy for residential electric vehicles based on peak-valley electricity tariffs[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(15): 127-134.
- [25] S-HAGHIGHI A, SEIFI A R. An integrated steady-state operation assessment of electrical, natural gas, and district heating networks[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2016, 31(5): 3636-3647.
- [26] WAN C, JIAN Z, SONG Y, et al. Photovoltaic and solar power forecasting for smart grid energy management[J]. CSEE Journal of Power & Energy Systems, 2016, 1(4): 38-46.
-
- 收稿日期: 2019-09-30; 修回日期: 2019-12-05
作者简介:
王赞(1966—), 男, 硕士, 主要研究方向为智慧能源电力系统技术, 电网规划; E-mail: wangzan@sgepri.sgcc.com.cn
陈光(1982—), 男, 硕士, 主要研究方向为智慧能源电力系统技术, 电网规划; E-mail: chenguang_kd@163.com
董晓(1990—), 女, 硕士, 主要研究方向为能源互联网技术、综合能源管理。E-mail: dongxiao_kd@163.com
(编辑 周金梅)