

# 面向交通行业虚拟电厂设计方法研究

隋华杰

山东高速能源发展有限公司

**摘要:**以光伏及储能为主的分布式绿色能源是实现高速绿色“近零碳”交通的重要手段,本文围绕高速公路路域、物流园、收费站等场景,研究一个数字化智能能源管理系统,支持分布式资源的数字化接入,实现高速公路路域场站端的智能优化控制及控制中心端的智能监视、控制、运维。通过对分布式资源进行有效动态聚合形成虚拟电厂,高效响应电力系统要求,通过电能及调频、调压、平抑峰谷等辅助服务,直接参与电力市场交易,从而完成交通行业绿色低碳分布式能源数字系统的建设。

**关键词:**虚拟电厂;交能融合;零碳交通;电力辅助服务

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.19.065

## 一、引言

高速公路路域拥有大量适合建造光伏、风电等新能源电力的基础,及因电动车的大量普及而引入的充电桩、换电站等新型负荷。绿色能源不稳定的特性加上新型负荷用电波动,给电力系统的稳定带来挑战<sup>[1-2]</sup>。采用虚拟电厂技术,将分布式电力资源聚合,除实现对分布式发电场站的优化控制及智能运维外,还可以为电网提供电能及电力辅助服务,是保证新型电网稳定的关键核心技术,获得了越来越多的关注<sup>[3]</sup>。这里以设计一个分布式能源数字系统为目标,通过整合分布式发电、储能及可控负荷资源,针对系统的核心技术问题开展研究,使其成为交通领域绿色新型数字化能源系统的典范。

新能源发电是交通行业实现碳达峰和碳中和的重要手段,预计到2060年,我国风电、光伏等新能源发电量占比将达65%,未来的能源消费比重中,可再生能源将从能源电力消费的增量补充变为增量主体。广泛接入的新能源将改变传统电力系统未来格局,供给侧和需求侧的结构性变化将给能源电力网络的安全稳定和绿色高效带来重大挑战<sup>[4-5]</sup>。

以山东高速集团为例,为响应国家能源战略,近些年山东高速集团持续推动交通领域绿色能源的建设,这些在建及待建的项目资源,非常需要一个绿色低碳分布式能源数字系统实现统一的智能控制及运维,领衔研发全国首个零碳服务区示范项目,建设了服务区交直流混合微网设施,研发了服务区零碳智慧管控系统,并发布了零碳服务区白皮书,制定了零碳服务区、边坡光伏等标准,已建成光伏电站装机容量约300兆瓦,计划10月

底前完成项目投资立项。除这些已建及在建项目外,集团现有储能资源、计划中的重卡换电站、集团拥有的可控负荷、负荷可控的充电桩等资源都可以成为项目的基础,本研究也是前期以上相关科研项目的延伸。

项目将通过相关技术研究,力求通过核心技术问题的解决,获取正确方法并建立相应的规范及标准,从而实现采用先进的人工智能技术,打造云边协同的数字化新型电网,将分布式能源、储能及可控负荷通过数字化手段接入系统,实现场站端电网的优化运行及控制中心的智能运维。同时通过将分布式电力资源聚合形成虚拟电厂,快速响应电网要求,通过向电网提供电能及调频、调压、移峰填谷等辅助服务,参与电力及电力辅助服务市场交易,将分布式电力资源盘活,提升经济效益的同时,对实现碳中和目标具有十分重大的社会意义。

## 二、国内外发展情况:

从行业发展趋势看,国家电网研究数据表明,在能源转型背景下,全球新能源发电装机快速发展,占比大幅提升。2010—2020年,全球新能源发电装机年均增长率为20.2%,其中风电、太阳能发电装机年均增长率分别为14.1%和35.1%。截至2020年底,全球新能源装机达12.5亿kW,占总装机的比重由2010年的4.6%提高至2020年的16.8%。

欧洲因其能源结构的特殊性以及对气候变化的关注,分布式绿色能源的应用与发展起步比较早。为解决高比例新能源发电的接入带来的电网稳定性问题,欧洲20世纪末就提出了通过数字化技术,整合分布式能源资源,形成虚拟电网来提供电网所需要的稳定性这样一个概念,并于2000年在荷兰、德国等5国启动了全球首个虚拟电厂项目。在随后的十几年间,欧洲各国围绕虚拟电厂启动了一系列研发项目,到2013年虚拟电厂进入大规模商业应用阶段。美国自2000年开始,主要从建立实时的电网需求响应入手解决新能源接入的问题,2009年为应对金融危机,强化了以分布式绿色能源接入为主的智能电网概念,目前包括Tesla等在内的多家商业公司正和电力公司开展虚拟电厂的测试,探索新的商务模式。

我国虚拟电厂起步于“十三五”计划期间,全国可参与虚拟电厂的资源体量庞大,可调负荷资源超过5000万千瓦,虚拟电厂也随基础资源的快速发展而受到重视。技术层面看,分布式能源项目普遍存在技术水平低,缺乏标准化的信息模型,可靠性难以保证,系统安装维护工作量大等问题<sup>[6]</sup>。很多靠简单的预置逻辑进行

运行控制，难以实现运行优化。通过人工智能的方法实现运行优化，用云原生技术及云边智能协同的方法解决系统规模及安全稳定性问题，支持对电力市场及电力系统的接口与响应，在国际上也属于非常前沿的研究领域，对掌握新型电网的核心技术，实现“双碳”目标，确保国家能源安全都有重大意义。

具体到本文的研究，交通行业下绿色电网面临的主要问题及需要突破的关键技术为：

(1) 针对常规控制方法存在问题，研究采用深度强化学习（Deep Reinforcement Learning，简称DRL）技术，在充分考虑电网的“源-网-荷-储”多时间尺度与多维度影响因素的前提下，在保证安全稳定运行和高品质电能质量的同时，以经济性为目标实现对系统运行的最优化控制。

(2) 针对路域内电网控制测量点多、终端设备差异性大、分布面广、数据量大等特点，需要研究采用云计算及边缘智能相结合的方法，保证系统响应的实时性，同时解决系统规模弹性问题。

(3) 针对交通行业电网参与设备多，网架及系统拓扑变动大，安装维护工作量大、成本高的问题，需要研究如何采用标准化的信息模型，实现设备的即插即用及拓扑自动发现与自动成图等关键技术难题，从而大幅度降低系统的安装维护成本。

(4) 因参与终端设备来自不同供应商，类型混杂并缺少统一接口，需要研究兼容性强的适配技术，从而快速完成系统的集成。

(5) 电力市场及电力系统接口的响应问题：实现市场接口及调度接口，根据接口请求及资源的有效聚合迅速实现对接口指令的响应。

### 三、架构设计

项目计划围绕高速公路路域、物流园、收费站等场景，实现一个数字化智能系统，支持分布式资源的数字化接入，实现场站端的智能优化控制及控制中心端的智能监视、控制、运维，通过对分布式资源进行有效动态聚合形成虚拟电厂。

底层在智慧物联网（AIoT）技术体系下，需要通过传感器或同第三方设备或系统接口的方式，解决海量、异构数据的有效接入问题，从而实现对场站端系统的监视及控制。

边缘智能侧，除通过物联网（IoT）网关及前置单元完成信息集成及标准模型的转换外，重点是研究需要研究和云端配合的边缘计算处理单元如何承载基于深度学习的智能运行模型，通过和端设备及系统互动，实现实时高效的系统运行优化。

云端主要由平台服务（Platform as a Service，PaaS）及软件应用服务（Software as a Service，

SaaS）组成。其中PaaS重点解决数据存储、数据分析、人工智能模型训练及模型下发等平台型服务。SaaS提供快速软件应用构建方法，从而支持场站端配用电网的人机界面、系统运行状态分析监测、系统设备状态监测、虚拟电厂服务等各种维持电网优化运行维护的软件应用<sup>[7-10]</sup>。

### 四、云边协同的应用架构研究方法讨论

项目涉及的系统具备大量电网接入能力，数据接入量大、分布广、具备大量并行处理要求。同时作为电网监控系统，对其可靠性及容灾性能有很高的要求。项目研发中将考虑采用先进的边缘计算及云原生应用技术，打造弹性、高可靠性及实时性兼容的系统。

项目将寻找先进的开源架构，可提供灵活的数据接入接口支持。架构本身提供常用的边缘信息处理服务，可以方便的支持包括人工智能模型在内的智能算法。

为解决云边协同、弹性及高可靠性问题。项目将基于容器编排技术，研究如何和边缘智能协同，很好的解决应用部署、管理、资源分配等一系列云原生应用中的问题。

#### (3) 信息模型及接入兼容性的研究

系统需要对系统中的物理装置、装置及系统承载的功能进行信息建模，使这些信息模型成为各个智能应用的基础。这个信息模型需要考虑分布式资源的实时动态的聚合与控制。信息模型将以国际标准为基础，对场站端配用电网中特有的装置及功能进行扩充。

(4) 接口的适配性问题：因终端设备供应商，类型混杂多样，并缺少统一接口，需要研究兼容性强的适配技术，从而快速完成系统的集成。准备参考先进的边缘智能框架，通过配置而非代码编辑的方法，快速支持兼容各种设备接入。

(5) 电力市场及电力系统接口的响应问题：需要解决如何快速、准确的根据分布式资源的现状，及时动态的响应市场交易信息及根据电力系统的状态进行调整。因条件的动态快速变化，除需要研究海量实时数据处理技术外，还需要考虑资源模型的动态特性，于此同时需要研究聚合及响应算法的优化方法。

### 五、交通行业虚拟电厂构建步骤

以这个架构为基础，打造完整的分布式能源智能解决方案，形成真正意义上的虚拟电厂，这里提出五个步骤：

(1) 电网的优化运行问题：针对路域电网常规控制方法存在问题，研究采用深度强化学习在充分考虑电网的“源-网-荷-储”多时间尺度与多维度影响因素的前提下，在保证安全稳定运行和高品质电能质量的同时，以经济性为目标实现对系统运行的最优化控制。除考虑采用并优化最先进的深度强化学习之外，还要重点

解决模型的实用化问题。因此需要结合新能源场站配用电网的实际情况，对影响参数及优化目标进行符合实际应用的筛选、取舍，通过仿真及实际实施的过程，达到持续优化的效果。

(2) 数字化场站端配用电网云边协同问题：针对路域电网控制测量点多、终端设备差异性大、分布面广、数据量大等特点，需要研究采用云计算及边缘智能相结合的方法，保证系统响应的实时性，同时解决系统规模弹性问题。为化解算力和实时性的矛盾，需要研究云边协同分析的方法，对人工智能模型训练及优化这样一些实时性要求不强，但对计算资源要求较高的任务可以由云端的PaaS负责实现，然后将训练及优化的模型，送至边缘的微网控制器，由控制器通过和端部设备接口，确保执行的实时性，对路域配用电网完成运行优化，从而实现完整的云边协同的控制优化过程。

(3) 系统模型标准化问题：针对分布式能源场站端配用电网参与设备多，网架及系统拓扑变动大，安装维护工作量大、成本高的问题，需要研究如何采用标准化的信息模型，解决设备的即插即用及拓扑自动发现与自动成图等关键技术难题，从而大幅度降低系统的安装维护成本。

(4) 设备及接口混杂供应商及类型的接口问题：因参与终端设备来自不同供应商，类型混杂并缺少统一接口，需要研究兼容性强的适配技术，从而快速完成系统的集成。

(5) 电力市场及电力系统接口的响应问题：需要解决如何快速、准确的根据分布式资源的现状，及时动态的响应市场交易信息及根据电力系统的状态进行调整。因条件的动态快速变化，除需要研究海量实时数据处理技术外，还需要考虑资源模型的动态特性，与此同时需要研究聚合及响应算法的优化方法。

## 六、结论

高速公路路域光伏资源及配套的储能，加上服务区、收费站的分布式光储资源及相关的可控负荷资源，形成了具有特色的负荷特征。交通领域作为碳排放大户，需要一个数字化的智能平台，实现资源的接入及监控，场站端的优化控制，及整个分布式系统的智能运维，具备参与电力市场交易的手段，为交通领域“碳达峰、碳中和”提供有效解决方案。拟采用先进的人工智能技术、分布式并行计算技术、云计算及边缘智能协同技术，以及信息模型技术，针对新一代场站电网及虚拟电厂面临的一系列重大技术问题，提供理论上先进，实际中可行的解决方案。

本研究创新点包括：作为交能融合建设的一部分，建成高速绿色低碳分布式能源数字系统，成为全国有引领效应的示范项目；针对核心技术问题，探索基于人工

智能的场站端控制优化、系统的智能运维及资源有效聚合基础上的电力市场及电力系统的动态优化响应；在分布式能源自发自用基础上，探索如何通过数字化手段，盘活闲置及利用率水平不高的资源，通过直接参与电力市场交易，探索效益提升的新模式。

本研究相关成果可支持分布式新能源及可控负荷的接入，提供场站配用电网的优化控制及系统的智能运维，在此基础上通过对资源及负荷的聚合，可以通过向电网提供电能及电力辅助服务的方式，直接参与电力市场交易，提升现有系统的价值，盘活集团资产。最终形成的绿色低碳分布式能源数字系统方案将成为具备影响力的示范项目，为制定相关标准提供实际数据，在达成“双碳”目标的基础上，提高资产的利用率，在全国范围内起到引领示范作用。通过研发具备核心技术的边缘智能及云服务后台以及具备优秀性价比和投资回报率的整体解决方案，具备很强的市场竞争力及很高的推广价值。

## 参考文献

- [1] 贾利民, 师瑞峰, 吉莉, 等. 我国道路交通与能源融合发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(3): 10.
- [2] 陈丽, 徐展, 徐峰达, 等. 交通枢纽节点的交能融合系统建设路径研究[J]. 低碳世界, 2022, 12(10): 130-132.
- [3] 关舒丰, 王旭, 蒋传文, 等. 基于可控负荷响应性能差异的虚拟电厂分类聚合方法及辅助服务市场投标策略研究[J]. 电网技术, 2022(003): 046.
- [4] 陈张宇, 刘东, 刘浩文, 等. 基于精细化需求响应的虚拟电厂优化调度[J]. 电网技术, 2021, 45(7): 9.
- [5] 孟月, 张宏立, 范文慧. 虚拟电厂信息流和能量流关键线路辨识研究[J]. 电网技术, 2022(004): 046.
- [6] 赵建立, 向佳霓, 汤卓凡, 等. 虚拟电厂在上海的实践探索与前景分析[J]. 中国电力, 2023, 56(2): 13.
- [7] 邓亮亮. 基于云计算PaaS模式SDP平台的研究与实现[D]. 华南理工大学[2023-08-06].
- [8] 张亮, 武秋阳, 方圆, 等. 物联网, 云计算在智能电网信息通信调度中的运用初探[J]. 移动信息, 2022(11).
- [9] 徐加, 任宁. 一种基于物联网与云计算技术的智慧能源管理平台系统: CN202210130570.7[P]. CN202210130570.7[2023-08-06].
- [10] 李东华, 方秀才, 蒋海, 等. 一种基于物联网与云计算技术的智慧能源管理平台: CN202111301720.8[P]. CN202111301720.8[2023-08-06].