



深圳市电力行业协会
Shenzhen Electrical Power Trade Association

2024 No.51

09-10 月刊

深电 信息

深圳市电力行业协会 编

SHENZHEN ELECTRIC POWER INFORMATION



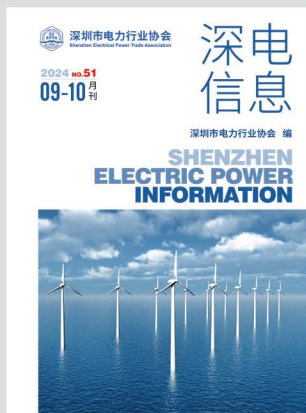
虚拟电厂：

聚荷赋能 圳创未来！



深圳市电力行业协会
Shenzhen Electrical Power Trade Association





SHENZHEN ELECTRIC POWER INFORMATION

目录

政情瞭望

- 国家发展改革委 国家能源局 国家数据局关于印发《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027 年）》的通知 04
- 国家发展改革委 国家能源局关于新形势下配电网高质量发展的指导意见 08
- 国家能源局关于印发《配电网高质量发展行动实施方案（2024—2027 年）》的通知 13
- 深圳市发展和改革委员会关于印发《深圳市支持虚拟电厂加快发展的若干措施》的通知 16

政策解读

- 国家能源局电力司主要负责同志就《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027 年）》答记者问 20

协会信息

- 深圳市电力行业协会邀协会专家一行调研广东省能源协会深圳培训基地 24
- 广东省电力行业协会一行到深圳市电力行业协会指导座谈 26
- 深圳市电力行业协会组织开展配网运维人员技能考评专项工作会议 27
- 深圳市计量质量检测研究院到深圳市电力行业协会开展调研交流 28
- 深圳市深电供电新能源有限公司来访交流..... 29
- 关于各专委会增设人员名单的公示..... 30

《深电信息》（原《深圳电力资讯》）于 2013 年 10 月创刊，它是一份面向深圳电力行业发行的会员类刊物，双月刊。

编辑委员会

主 任： 王益军
委 员： 刘 猛 陈自强 廖晓霞 屠方魁
蔡宗光 赵桂霞 符晓洪 包春霞

编辑部

主 编： 戴志勇
编 辑： 宾 赛 郑志宇 竺 军 姜 波
陈卓萍 刘敬楠 莫思佳 张一淼
文字编辑： 李福权 李 婧 涂吴曦 彭 澎
焦丰顺 徐 笑 李植鹏 崔建磊
林育艺

美术指导： 琪 琪

美术编辑： 欧 桃

校 对： 欧 桃 姜 波 张一淼

发 行： 深圳市电力行业协会

电 话： 0755 - 8893 5378

地 址： 深圳市罗湖区桂园街道深南东路
4020 号深圳市电力行业协会

邮 箱： szdlhangxie@163.com

本刊仅供深圳市电力行业协会会员单位内部研究交流。本刊所载的内容，仅代表该媒体和作者的立场和观点。

专题报道

◆ 抗击摩羯，抢修复电——与时间赛跑，全力驰援海南，深圳电力人在行动之一

筑堡垒当先锋，全力以赴复“光明”34

电达党总支积极应对台风“摩羯”及强降雨防御工作36

· 联合勘查，共克时艰——深圳供电规划设计院团队与深圳局工程部紧急应对低压台区灾情 39

◆ 抗击摩羯，抢修复电——与时间赛跑，全力驰援海南，深圳电力人在行动之二

跨海驰援！南方电网打响抗灾复电攻坚战41

· 南方电网融入和服务深圳先行示范区建设——助力深圳改革味更浓，成色更足.....46

· 新型电力系统建设：打造数字能源先锋城市 · 深圳现代能源基建再提速.....48

前沿技术

· 超级电容在电力系统中的应用及产业化进展.....52

· 构网型储能技术的现实需求.....55

优秀案例

· 能源绿色低碳转型典型案例汇编 (2024)63

· 广东深圳虚拟电厂智慧调度运行管理云平台.....65

专委会专版

· 基于抗扰动能力和结构重要性评估的新能源电网脆弱性研究.....73

· 基于优化人工蜂群算法的多机器人协同规划.....78

高交会专版

· 第 26 届高交会新能源展——新型电力系统设备升级改造技术交流会86

01

政情瞭望

Political Outlook



国家发展改革委 国家能源局 国家数据局 关于印发《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027年）》的通知

发改能源〔2024〕1128号

各省、自治区、直辖市、新疆生产建设兵团发展改革委、能源局、数据管理部门，北京市城市管理委员会，国家能源局各派出机构，有关中央企业：

为深入贯彻落实习近平总书记关于构建新型电力系统的重要指示精神和《中共中央办公厅、国务院办公厅关于深化电力体制改革加快构建新型电力系统的意见》有关要求，进一步加大工作力度，加快推进新型电力系统建设，国家发展改革委、国家能源局、国家数据局制定了《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027年）》。现印发给你们，请认真组织实施，因地制宜加快推进各项任务。

国家发展改革委、国家能源局、国家数据局

2024年7月25日

加快构建新型电力系统行动方案

（2024—2027年）

为深入贯彻落实习近平总书记关于构建新型电力系统的重要指示精神和《中共中央办公厅、国务院办公厅关于深化电力体制改革加快构建新型电力系统的意见》有关要求，进一步加大工作力度，在一些关键环节力争取得新突破，加快推进新型电力系统建设，为实现碳达峰目标提供有力支撑，制定本行动方案。

新发展理念，加快构建新发展格局，着力推动高质量发展，切实落实“四个革命、一个合作”能源安全新战略，围绕规划建设新型能源体系、加快构建新型电力系统的总目标，坚持清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的基本原则，聚焦近期新型电力系统建设亟待突破的关键领域，选取典型性、代表性的方向开展探索，以“小切口”解决“大问题”，提升电网对清洁能源的接纳、配置、调控能力。在2024—2027年重点开展9项专项行动，推进新型电力系统建设取得实效。

一、总体要求

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党的二十大精神，完整、准确、全面贯彻

二、电力系统稳定保障行动

（一）优化加强电网主网架。适应电力发展新形势需要，组织开展电力系统设计工作，优化加强

电网主网架，补齐结构短板，夯实电力系统稳定的物理基础，保障电力安全稳定供应和新能源高质量发展。

（二）提升新型主体涉网性能。针对新能源、电动汽车充电基础设施、新型储能等快速发展的实际，制修订并网技术标准和管理要求，合理提高新型主体对频率、电压扰动的耐受能力和主动支撑调节能力，加强并网检测，确保涉网性能达标，源网荷储协同提升电力系统稳定水平。

（三）推进构网型技术应用。根据高比例新能源电力系统运行需要，选择典型场景应用构网型控制技术，具备主动支撑电网电压、频率、功角稳定能力，提升系统安全稳定运行水平。

（四）持续提升电能质量。严格落实《电能质量管理办法（暂行）》，指导地方电力管理部门做好电能质量管理工作，压实各方电能质量管理责任，加强常态化管理，持续提升电力系统电能质量水平。

三、大规模高比例新能源外送攻坚行动

（五）提高在输电通道新能源电量占比。适应新能源快速发展需要，通过有序安排各类电源投产，同步加强送受端网架，提升送端功率调节能力，有效提高在输电通道新能源电量占比。

（六）开展新增输电通道先进技术应用。优选一批电力规划明确的“沙戈荒”大基地和主要流域水风光一体化基地送出通道，在保障送出通道电力供应能力的前提下，依托先进的发电、调节、控制技术，开展新型交直流输电技术应用，有效降低配套煤电比例，实现高比例或纯新能源外送。

四、配电网高质量发展行动

（七）组织编制建设改造实施方案。围绕供电能力、抗灾能力和承载能力提升，指导各省份能源主管部门编制配电网发展实施方案，明确工作目标、任务举措、项目安排、资金保障等内容，并做好与配电网规划的衔接。

（八）健全配电网全过程管理。指导各地开展新能源接网影响分析，建立配电网可开放容量定期发布和预警机制。在电动汽车发展规模较大的重点省份，组织开展配电网可接入充电设施容量研究。针对性提升新能源、电动汽车充电设施接网能力。加快健全配电网工程定额与造价管理体系，完善模块化设计、规范化选型、标准化建设，提高配电网工程建设效率和安全质量。

（九）制定修订一批配电网标准。对现有配电网技术标准进行全面梳理，按照“推动修订、加快制定、深入研究”分类形成配电网标准清单，细化责任分工、工作要求和进度安排，推动构建系统完备、科学规范、安全可靠的配电网标准体系。

（十）建立配电网发展指标评价体系。按照客观、系统、科学、可行的原则开展规划建设、运维管理、电能质量、投资效益等环节的具体指标设计，探索建立配电网发展指标评价体系，科学评价各省（区、市）和有关重点城市的配电网发展成效。

五、智慧化调度体系建设行动

（十一）加强智慧化调度体系总体设计。适应大规模高比例新能源和新型主体对电力调度的新要求，全面推进调度方式、机制和管理的优化调整。

研究新一代电力调度系统的基本定义、主要特征、分阶段实现路径、关键技术等内容，加快新型调度控制技术应用，做好调度与电力市场的衔接。

(十二) 创新新型有源配电网调度模式。重点在分布式新能源、用户侧储能、电动汽车充电设施等新型主体发展较快的地区，探索应用主配微网协同的新型有源配电网调度模式，鼓励其他地区因地制宜同步开展探索。通过完善市、县级电力调度机制，强化分布式资源管控能力，提升配电网层面就地平衡能力和对主网的主动支撑能力。

六、新能源系统友好性能提升行动

(十三) 打造一批系统友好型新能源电站。整合源储资源、优化调度机制、完善市场规则，提升典型场景下风电、光伏电站的系统友好性能。改造升级一批已配置新型储能但未有效利用的新能源电站，建设一批提升电力供应保障能力的系统友好型新能源电站，提高可靠出力水平，新能源置信出力提升至 10% 以上。

(十四) 实施一批算力与电力协同项目。统筹数据中心发展需求和新能源资源禀赋，科学整合源荷储资源，开展算力、电力基础设施协同规划布局。探索新能源就近供电、聚合交易、就地消纳的“绿电聚合供应”模式。整合调节资源，提升算力与电力协同运行水平，提高数据中心绿电占比，降低电网保障容量需求。探索光热发电与风电、光伏发电联营的绿电稳定供应模式。加强数据中心余热资源回收利用，满足周边地区用热需求。

(十五) 建设一批智能微电网项目。鼓励各地结合应用场景，因地制宜建设智能微电网项目。在

电网末端和大电网未覆盖地区，建设一批风光储互补的智能微电网项目，提高当地电力供应水平。在新能源资源条件较好的地区，建设一批源网荷储协同的智能微电网项目，提高微电网自调峰、自平衡能力，提升新能源发电自发自用比例，缓解大电网调节和消纳压力，积极支持新业态新模式发展。

七、新一代煤电升级行动

(十六) 开展新一代煤电试验示范。探索与新型电力系统发展相适应的新一代煤电发展路径。以清洁低碳、高效调节、快速变负荷、启停调峰为主线任务，推动煤电机组深度调峰、快速爬坡等高效调节能力进一步提升，更好发挥煤电的电力供应保障作用，促进新能源消纳；应用零碳或低碳燃料掺烧、碳捕集利用与封存等低碳煤电技术路线，促进煤电碳排放水平大幅下降。以合理的政策、市场机制支持煤电机组优化运行方式。

(十七) 推动新一代煤电标准建设。针对新一代煤电技术路线，推动开展煤电降碳效果核算标准制定。组织开展《大中型火力发电厂设计规范》修编工作，重点完善新一代煤电系统及设备选型标准体系，更好适应电力系统清洁低碳、灵活智能的发展要求。对行业亟需的先进性指标要求，先行研究制定文件予以规范，后续在标准修编中明确。

八、电力系统调节能力优化行动

(十八) 建设一批共享储能电站。在用好常规调节措施的基础上，聚焦新型储能优化系统调节能力。针对部分地区短期内新能源快速发展、系统调节需求快速提升的实际，科学开展调节能力需求分

析，在确保安全的前提下，布局一批共享储能电站，同步完善调用和市场化运行机制，提升系统层面的电力保供和新能源消纳能力。

（十九）探索应用一批新型储能技术。围绕不同应用场景对爬坡速率、容量、长时间尺度调节及经济性、安全性的需求，探索建设一批液流电池、飞轮、压缩空气储能、重力储能、二氧化碳储能、液态空气储能、钠离子电池、铅炭电池等多种技术路线的储能电站。通过合理的政策机制，引导新型储能电站的市场化投资运营。

九、电动汽车充电设施网络拓展行动

（二十）完善充电基础设施网络布局。以“两区”（居住区、办公区）、“三中心”（商业中心、工业中心、休闲中心）为重点，因地制宜布局公共充电基础设施，扩大高速公路充电网络覆盖范围并加强节假日充电服务保障，有效增加农村地区充电设施，逐步构建日益完善的充电基础设施网络。

（二十一）加强电动汽车与电网融合互动。充分利用电动汽车储能资源，全面推广智能有序充电。支持开展车、桩、站、网融合互动探索，研究完善电动汽车充电分时电价政策，探索放电价格机制，推动电动汽车参与电力系统互动。

（二十二）建立健全充电基础设施标准体系。加快以快充技术为代表的先进充换电技术标准制修订，探索建立车网互动相关标准，健全完善充电基础设施规划、设计、建设、运营等方面标准体系，提升标准国际化引领能力。

十、需求侧协同能力提升行动

（二十三）开展典型地区高比例需求侧响应。

在尖峰负荷问题突出或新能源消纳困难的地区实施高比例需求侧响应。依托新型电力负荷管理系统，建立需求侧灵活调节资源库，优化调度运行机制，完善市场和价格机制，充分激发需求侧响应活力，实现典型地区需求侧响应能力达到最大用电负荷的5%或以上，着力推动具备条件的典型地区需求侧响应能力达到最大用电负荷的10%左右。

（二十四）建设一批虚拟电厂。

结合电力保供、新能源发展等需求，利用当地源荷储资源，建设一批虚拟电厂。建立健全虚拟电厂技术标准体系，完善虚拟电厂的市场准入、安全运行标准和交易规则，常态化参与系统调节，提升电力保供和新能源就地消纳能力。

十一、加强组织实施

（二十五）成立工作机制。

国家发展改革委、国家能源局会同国家数据局建立健全工作机制，贯彻落实党中央、国务院决策部署，统筹推进全国新型电力系统建设，加强指导和协调，明确推进路径和重点工作，有序推进任务落实落地。研究完善配套支持措施，做好政策衔接，鼓励多元主体参与项目投资建设。

（二十六）强化责任落实。

承担新型电力系统建设具体任务的单位，要切实履行主体责任，精心组织，高质量完成技术应用、标准制修订、机制调整、模式探索等任务，配套完善支持政策。及时总结提升，形成可复制可推广可持续的工作推进模式，具备条件的加快扩大实施范围。

国家发展改革委 国家能源局关于新形势下配电网高质量发展的指导意见

发改能源〔2024〕187号

各省、自治区、直辖市、新疆生产建设兵团发展改革委、能源局，北京市城市管理委员会，国家能源局各派出机构，有关电力企业：

配电网作为重要的公共基础设施，在保障电力供应、支撑经济社会发展、服务改善民生等方面发挥重要作用。随着新型电力系统建设的推进，配电网正逐步由单纯接受、分配电能给用户的电力网络转变为源网荷储融合互动、与上级电网灵活耦合的电力网络，在促进分布式电源就近消纳、承载新型负荷等方面的功能日益显著。为推动新形势下配电网高质量发展，助力构建清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型电力系统，现提出以下意见。

一、总体要求

（一）指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的二十大精神，深入落实“四个革命、一个合作”能源安全新战略，紧扣新形势下电力保供和转型目标，有序扩大配电网投资，提高投资效益，协同推进配电网建设改造，系统推进配电网与源网荷储科学融合发展，全面提升城乡配电网供电保障能力和综合承载能力，以配电网高质量发展助力新型能源体系和新型电力系统建设，服务经济社会发展，推动实现“双碳”目标，加快中国式现代化进程。

（二）基本原则

坚持安全供电，增强保障能力。将保障电力安

全可靠供应作为首要任务，适度超前规划建设配电网，持续优化网架结构，保持合理供电裕度，缩小城乡供电差距。适当提高设防标准，协同提升重要用户应急保障水平，夯实本质安全基础。

坚持绿色发展，助力低碳转型。加快配电网建设改造和智慧升级，强化源网荷储协同发展。切实满足分布式新能源发展需要，全力支撑电动汽车充电基础设施体系建设，积极推动新型储能多元发展，全面推进能源绿色低碳转型。

坚持统筹衔接，强化规划引领。牢固树立系统思维，加强配电网规划与国家发展战略、城乡发展规划、产业发展规划在编制、实施过程中的衔接互动。深化多部门联动协作，实现源网荷储资源的科学有序配置。

坚持科学管理，促进提质增效。建立健全配电网科学发展机制，强化全过程管理。创新配电网运营管理模式，提升标准化水平，推进先进科技研发和应用，深化电力体制机制改革，进一步提高配电网质量和效益。

（三）发展目标

围绕建设新型能源体系和新型电力系统的总目标，打造安全高效、清洁低碳、柔性灵活、智慧融合的新型配电系统，在增强保供能力的基础上，推动配电网在形态上从传统的“无源”单向辐射网络向“有源”双向交互系统转变，在功能上从单一供电服务主体向源网荷储资源高效配置平台转变。

到 2025 年，配电网网架结构更加坚强清晰，供电能力合理充裕；配电网承载力和灵活性显著提升，具备 5 亿千瓦左右分布式新能源、1200 万台左右充电桩接入能力；有源配电网与大电网兼容并蓄，配电网数字化转型全面推进，开放共享系统逐步形成，支撑多元创新发展；智慧调控运行体系加快升级，在具备条件地区推广车网协调互动和构网型新能源、构网型储能等新技术。

到 2030 年，基本完成配电网柔性化、智能化、数字化转型，实现主配微网多级协同、海量资源聚合互动、多元用户即插即用，有效促进分布式智能电网与大电网融合发展，较好满足分布式电源、新型储能及各类新业态发展需求，为建成覆盖广泛、规模适度、结构合理、功能完善的高质量充电基础设施体系提供有力支撑，以高水平电气化推动实现非化石能源消费目标。

二、补齐电网短板，夯实保供基础

（一）全面提升供电保障能力。适度超前规划变配电布点，优化电网设施布局，打造坚强灵活电网网架。加快推进城镇老旧小区、城中村配电设施升级改造，严格落实城镇居民用电“一户一表”、新建居住区充电基础设施、防洪防涝等要求，有序推进高层小区一级负荷双重电源改造。加快推进农村电网巩固提升工程，完善农村电网网架结构，加强县域电网与主网联系，稳妥推进大电网延伸覆盖，因地制宜建设可再生能源局域网，持续加大边远地区、脱贫地区、革命老区农村电网建设力度。科学补强薄弱环节，系统梳理形成供电方向单一的县域配电网清单，有针对性开展供电可靠性提升改造。常态化监测摸排主（配）变重满载、线路重过载、电压越限等问题，提出针对性解决方案，消除供电卡口。在有条件的地区，结合技术经济比较，开展交直流混合配电网、柔性互联等新技术应用，探索采用配电网高可靠性接线方式。

（二）提高装备能效和智能化水平。加快老旧和高耗能设备设施更新改造，改造后须达到能效节能水平，并力争达到能效先进水平。2025 年，电网企业全面淘汰 S7（含 S8）型和运行年限超 25 年且能效达不到准入水平的配电变压器，全社会在运能效节能水平及以上变压器占比较 2021 年提高超过 10 个百分点。持续推进设备标准化建设，全面应用典型设计和标准物料，积极推广高可靠、一体化、低能耗、环保型、一二次融合设备。进一步拓展网络通信、大数据、自动控制等技术的应用范围，持续提升配电自动化有效覆盖率，逐步提升负荷控制能力。合理配置监测终端、无人巡检终端、带电作业机器人等设施设备，加快设备状态智能监测分析、

电网灾害智能感知等技术应用。创新应用数字化技术，加强配电网层面源网荷储协同调控。挖掘电力数据价值，促进电网数字技术与实体经济深度融合。建立健全数据安全管理制度，采取相应的技术措施保障数据安全。

（三）强化应急保障能力建设。合理提高核心区域和重要用户的相关线路、变电站建设标准，推进本地应急保障电源建设，统筹调配使用移动应急电源，重要用户应按要求配置自备应急电源，提升极端状态下重点地区、重点部位、重要用户的电力供应保障能力。提升电网综合防灾能力，加强对雨雪冰冻气象变化规律的研究，加快修订完善台风、冻雨覆冰、大风舞动灾害的区域分布图，差异化提高局部规划设计和灾害防控标准，增强防范应对自然灾害的能力，推进不符合要求的既有地下配电设施向地面迁移或实施防涝改造，防范森林草原火灾和人身触电事故。

三、提升承载能力，支撑转型发展

（一）满足大规模分布式新能源接网需求。结合分布式新能源发展目标，有针对性加强配电网建设，配套完善电网稳定运行手段，保障电能质量。统筹配电网容量、负荷增长及调节资源，系统开展新能源接网影响分析，评估配电网承载能力，建立可承载新能源规模的发布和预警机制，引导分布式新能源科学布局、有序开发、就近接入、就地消纳。

（二）满足大规模电动汽车等新型负荷用电需求。开展不同场景下电动汽车充电负荷密度分析，建立配电网可接入电动汽车充电设施容量的信息发布机制，引导充电设施合理分层接入中低压配电网。

加强双向互动和条件匹配分析，科学衔接充电设施点位布局和配电网建设改造工程，助力构建城市面状、公路线状、乡村点状布局的电动汽车充电基础设施网络。结合负荷特性分析，有序安排配电网升级改造，满足电采暖、电锅炉、港口岸电等电能替代设施用电需求。

（三）推动新型储能多元发展。基于电力系统调节能力分析，根据不同应用场景，科学安排新型储能发展规模。引导分布式新能源根据自身运行需要合理配建新型储能或通过共享模式配置新型储能，提升新能源可靠替代能力，促进新能源消纳。在电网关键节点、电网末端科学布局新型储能，提高电网灵活调节能力和稳定运行水平。支持用户侧储能安全发展，加强计量管理，实现应采尽采，围绕分布式新能源、充电设施、大数据中心等终端用户，探索储能融合应用新场景，支持参与电网互动。推动长时电储能、氢储能、热（冷）储能技术应用。

（四）推动电力系统新业态健康发展。基于分布式新能源的接入方式和消纳特性，建设满足分布式新能源规模化开发和就地消纳要求的分布式智能电网，实现与大电网兼容并存、融合发展。推动微电网建设，明确物理边界，合理配比源荷储容量，强化自主调峰、自我平衡能力。挖掘用户侧调节潜力，鼓励虚拟电厂、负荷聚合商、车网互动等新业态创新发展，提高系统响应速度和调节能力。大电网要为分布式智能电网、微电网接入公共电网创造便利条件，简化接网程序，双方要明确资产、管理等方面的界面，以及调度控制、交互运行、调节资源使用等方面的权利与义务。

四、强化全程管理，保障发展质量

（一）统筹制定电网规划。地方能源主管部门要加强配电网规划环节的管理，组织电网企业编制规划并督促实施。配电网规划要全面落实区域协调发展、新型城镇化、乡村振兴等国家战略任务要求，做好与新能源、电动汽车、储能等产业发展规划的联动，加强与城乡总体规划、国土空间规划的衔接。支持水电气等公共基础设施市政管廊统一规划、统一建设。充分考虑地方社会经济发展阶段和特点，坚持差异化规划配电网，提高效率效益。

（二）优化项目投资管理。电网企业要聚焦电网主业，持续加大配电网投资力度。鼓励多元主体投资配电网，创新投资方式。直接接入配电网的新能源场站、储能电站接网工程投资原则上由电网企业承担，对电网企业建设有困难或规划建设时序不匹配的接网工程，相关主体可自主投资建设，并经双方协商同意，在适当时机由电网企业依法依规进行回购。扎实开展配电网工程定额管理和造价计算，推广标准化、模块化工程，降低投资成本，优化投资结构，提高投资效益。提高配电网、特别是 10 千伏及以下配电网工程的核准或备案办理效率。

（三）协同推进工程建设。建立多部门参与的工作协调机制，压实各级责任，加强基层协调力度，高效推进项目选址选线、用地手续审批等工作，专题解决重大项目、重点区域配套电网建设改造问题，推动项目尽快落地。结合城市道路、桥梁、综合管廊等市政建设工程，协同实施架空线整治、入地等配电网升级改造。加强施工队伍、施工工艺管理，开展工程建设全过程监督管理，确保工程建设安全，提高工程建设质量。

（四）完善调度运行机制。坚持统一调度、分级管理，严肃调度纪律，确保电网安全运行。加强配电网调度智能化建设和信息安全防护系统建设，全面提升可观可测、可调可控能力，逐步构建主配微网协同的新型有源配电网调度模式。建立源网荷储协同调控机制，不断完善新能源功率调控机制，优化分布式新能源渗透率较高地区的保护控制策略，建立健全新型储能调控制度和调用机制，支持各类用户侧调节资源通过虚拟电厂、负荷聚合等方式参与市场，提高配电网调节能力、资源配置能力和自愈能力。提高状态实时感知与故障处理能力，加强分级分层控制，强化分布式电源管控能力。

（五）提升运维服务水平。加强设备巡视和维护，及时消除设备缺陷和隐患。开展精益化运维检修，优化停电计划安排，加强故障快速抢修复电管理，推广配电网故障主动抢修技术和“先复电、后修复”模式，减少停电时间、次数和影响范围。电力用户应加强自身设施的运行维护，及时消除隐患，预防事故，避免对公用电网造成影响。修订完善接网标准，强化配电网安全稳定运行基础。简化接网流程，加快接网工程建设和调试验收工作，提升服务效率。支持依托配电网发展综合能源服务。

五、加强改革创新，破解发展难题

（一）持续推进科技创新。加强有源配电网规划方法、运行机理、平衡方式，以及微电网、虚拟电厂等新模式的调度运行控制方法研究，完善相关标准，积极开展国际合作。探索新型储能优化布局及高效利用，开展充电设施高效承载技术研究，促进新主体灵活接入。支持有条件的地区在配电网技术和模式创新方面开展先行先试。

（二）健全市场交易机制。明确分布式新能源、新型储能、电动汽车充电设施、微电网、虚拟电厂等新主体、新业态的市场准入、出清、结算标准，研究设计适宜的交易品种和交易规则，鼓励多样化资源平等参与市场交易。健全多时间尺度和多层次电力市场，满足多元化需求。创新拓展新型电力系统商业模式和交易机制，为工商业电力用户与分布式电源、新型储能等主体开展直接交易创造条件。

（三）持续优化电价机制。进一步完善分时电价机制，建立健全电动汽车居民充电桩分时电价机制；电力现货市场持续运行地区，推动根据现货价格信号动态调整峰谷时段划分，改善用户用电特性。研究完善储能价格机制。在评估分布式发电市场化交易试点基础上，研究完善更好促进新能源就近消纳的输配电价机制。

（四）完善财政金融政策。发挥好中央投资引导带动作用，深入推进农村电网巩固提升工程。通过地方政府专项债券支持符合条件的配电网项目建设。建立健全边远地区电力普遍服务投资和运维成本疏导机制，鼓励地方政府采用财政补贴、财税减免等政策，引导更多资源配置到薄弱环节和重点领域。鼓励金融机构提高金融服务能力，支持分布式新能源、充电基础设施、新型储能建设。

（二）压实各方工作责任。地方能源主管部门要组织编制配电网规划，优化项目审批流程，加强配电网建设改造和运行管理，提高投资效率，控制电网造价；主动对接相关部门和基层政府，协调站址、廊道资源，保障工程顺利实施。电力企业和有关新业态项目单位是配电网建设和运营的实施主体，要主动增强服务意识、持续提升服务质量，做好项目管理、建设施工、运行维护、接网服务等工作，落实安全主体责任。国家能源局派出机构按职责分工加强监管，及时发现问题并推动解决。

（三）持续开展监管评估。地方能源主管部门、国家能源局派出机构按职责加强对配电网发展的跟踪分析和监督管理，及时评估成效、总结改进。国家发展改革委、国家能源局适时组织评估总结，对在城中村配电网改造、农村电网巩固提升以及分布式新能源接网运行、电动汽车充电基础设施接网互动、源网荷储协同运行控制等重点任务上取得显著成效的典型做法和成功经验，予以宣传推广。

国家发展改革委

国家能源局

2024年2月6日

六、加强组织保障，统筹推进工作

（一）建立健全工作机制。建立地方各级能源主管部门和价格、住建、国土等相关主管部门，能源监管机构，各类电力企业，新业态项目单位，以及重要电力用户协同合作的工作机制，因地制宜制定实施方案，全面落实配电网高质量发展各项要求。



国家能源局关于印发《配电网高质量发展行动实施方案（2024—2027 年）》的通知

国能发电力〔2024〕59 号

各省（自治区、直辖市）能源局，有关省（自治区、直辖市）及新疆生产建设兵团发展改革委，北京市城市管理委员会，各派出机构，国家电网有限公司、中国南方电网有限责任公司，有关电力企业：

为落实《国家发展改革委 国家能源局 国家数据局关于印发〈加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027 年）〉的通知》（发改能源〔2024〕1128 号）、《国家发展改革委 国家能源局关于新形势下配电网高质量发展的指导意见》（发改能源〔2024〕187 号）有关要求，深入推进配电网高质量发展重点任务落地见效，国家能源局制定了《配电网高质量发展行动实施方案（2024—2027 年）》。现印发给你们，请认真组织实施。

国家能源局

2024 年 8 月 2 日

配电网高质量发展行动实施方案

（2024—2027 年）

为落实《国家发展改革委 国家能源局 国家数据局关于印发〈加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027 年）〉的通知》（发改能源〔2024〕1128 号，以下简称《行动方案》）、《国家发展改革委 国家能源局关于新形势下配电网高质量发展的指导意见》（发改能源〔2024〕187 号，以下简称《指导意见》）有关要求，深入推进配电网高质量发展重点任务落地见效，制定本实施方案。

一、总体要求

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的二十大精神，完整、准确、全面贯彻新发展理念，加快构建新发展格局，着力推动配电网高质量发展。紧密围绕新型电力系统建设要求，加快推动一批配电网建设改造任务，补齐配电网安全可靠供电和应对极端灾害能力短板，提升配电网智能化水平，满足分布式新能源和电动汽车充电设施等大规模发展要求；加强配电网规划统筹，强化全过程管理，全面提升配电网服务保障能力；制修订一批配电网规划设计、建设运营、设备接入

标准，持续提升配电网运营效益；建立配电网发展指标评价体系，科学评估配电网发展情况。经过三年努力，安全高效、清洁低碳、柔性灵活、智慧融合的新型配电系统建设取得显著成效，为经济社会发展提供有效支撑。

二、组织编制配电网发展实施方案

各省（区、市）能源主管部门要落实《行动方案》《指导意见》和本实施方案要求，坚持因地制宜、问题导向，编制本地区配电网发展实施方案，明确工作计划和资金安排，有序推进方案实施。

（一）时间进度安排。各省（区、市）能源主管部门负责编制本地区配电网发展实施方案（模板见附件），明确工作目标、任务举措、项目安排、资金保障等内容，于2024年10月底前报送国家能源局，并于每年年初报送上年度实施进展情况。国家能源局将建立配电网发展指标评价体系，动态评估各地实施情况，指导做好配电网建设改造。

（二）工作重点。围绕供电能力、抗灾能力和承载能力提升，结合各地实际，重点推进“四个一批”建设改造任务。一是加快推动一批供电薄弱区域配电网升级改造任务。加大老旧小区、城中村配电网投资力度，着力提升非电网直供电小区的供电保障水平，结合市政改造工作同步落实配电网改造项目。系统摸排单方向、单通道、单线路县域电网，加快完成供电可靠性提升改造。二是针对性实施一批防灾抗灾能力提升项目。详细排查灾害易发、多发地区及微地形、微气象等重点区域的电力设施，差异化提高局部规划设计和灾害防范标准。三是建设一批满足新型主体接入的项目。结合分布式新能源的资源条件、开发布局和投产时序，有针对性加强配电网建设，提高配电网对分布式新能源的接纳、

配置和调控能力。满足电动汽车充电基础设施的用电需求，助力构建城市面状、公路线状、乡村点状的充电基础设施布局。四是创新探索一批分布式智能电网项目。面向大电网末端、新能源富集乡村、高比例新能源供电园区等，探索建设一批分布式智能电网项目。

（三）做好与配电网规划的衔接。配电网发展实施方案是当前推动加快补齐供电短板、更好满足新型主体发展需要的重大专项工作，2026年、2027年项目同步纳入“十五五”配电网规划。方案实施的同时，各地要按照电力发展规划编制周期，做好“十五五”及以后规划工作。

三、健全配电网全过程管理

（四）完善配电网与分布式新能源协调发展机制。结合最新情况研究并规范配电网可承载分布式光伏规模计算方法。在现有6个试点省份的基础上，各省（区、市）能源主管部门系统组织开展新能源接入影响分析，评估配电网承载力，建立配电网可开放容量定期发布和预警机制，按季度向社会公布县（市）一级电网不同区域可承载规模信息，引导分布式新能源科学布局、有序开发、就近接入、就地消纳，并分析提出进一步提升可承载规模的方案、举措和时限要求。

（五）建立健全配电网与电动汽车充电设施等协调发展机制。电动汽车发展规模较大的重点省份，要组织开展配电网可接入充电设施容量研究，引导充电设施合理分层有序接入中低压配电网，并针对性提出扩大接入容量的方案、举措和时限要求。鼓励适应虚拟电厂、智能微电网发展需要，在调度关系、权责划分等方面开展创新实践。

（六）加强配电网建设管理。国家能源局组织对配电网工程定额和费用计算规定的实施情况开展评估，分析定额执行情况，提出改进措施。适应新的发展形势，加快健全配电网工程定额与造价管理体系，进一步提升时效性、准确性，合理确定和有效控制工程造价。各地要加强配电网工程造价管理，督促相关单位做好事前、事中控制，完善模块化设计、规范化选型、标准化建设，提高配电网工程建设效率和安全质量。

四、制定修订一批配电网标准

（七）全面梳理配电网技术标准。国家能源局组织对现有配电网技术标准进行全面梳理，按照“推动修订、加快制定、深入研究”分类形成配电网标准清单，细化责任分工、工作要求和进度安排，推动构建系统完备、科学规范的配电网标准体系。

（八）重点推进“四个一批”标准研究和制修订。一是推动修订一批供电保障标准。结合标准制修订工作，合理提高核心区域和重要用户相关设施的标准要求。二是深化研究一批防灾抗灾标准。深化自然灾害致灾机理研究，总结分析历次灾害的受损情况和原因，系统评估现行技术标准适应性，加快推进配电网防灾抗灾规划设计标准制修订。三是加快制修订一批新型主体接入配电网标准。规范新型主体接网的技术要求，促进配电网和新型主体融合发展。四是适时推出一批分布式智能电网标准。适应分布式智能电网发展需求，加强规划建设、调度控制、信息安全等方面技术标准的制修订。

五、评估配电网发展情况

（九）建立配电网发展指标评价体系。围绕打造安全高效、清洁低碳、柔性灵活、智慧融合的新

型配电系统的总目标，按照客观、系统、科学、可行等原则开展规划建设、运维管理、电能质量、投资效益等环节的具体指标设计，探索建立配电网发展指标评价体系，科学评价配电网发展成效。

（十）科学评估各地配电网发展情况。2025—2027年，国家能源局运用配电网发展指标评价体系逐年对各省（区、市）和有关重点城市开展配电网发展评估，完善评估工作机制，加强指导协调，督促各地落实相关要求，补齐指标短板，推动配电网高质量发展。

六、加强组织实施

（十一）强化组织保障。国家能源局牵头成立推进新型电力系统建设领导小组，统筹做好配电网高质量发展工作。组织行业内各单位加强研究，统一工作规范；指导督促省级能源主管部门、电网企业、行业协会推动重点任务实施。地方能源主管部门建立完善与价格、住建、国土等相关主管部门，能源监管机构，各类电力企业，新业态项目单位，以及重要电力用户协同合作的工作机制，因地制宜协同推进工作，全面落实配电网高质量发展各项要求。

（十二）严格责任落实。地方能源主管部门要做好规划及实施方案编制，优化项目审批，加强配电网建设改造和运行管理，主动对接相关部门和基层政府，协调站址、廊道资源，保障工程顺利实施。电网企业要落实主体责任，按照实施方案要求，明确资金计划和项目安排，安全有序做好项目管理、建设施工、运行维护、接网服务等工作。国家能源局派出机构按职责分工加强监管，及时提出监管建议。

深圳市发展和改革委员会关于印发 《深圳市支持虚拟电厂加快发展的若干 措施》的通知

深发改规〔2024〕4号

各区政府、大鹏新区管委会、深汕特别合作区管委会、前海管理局，各有关单位：

《深圳市支持虚拟电厂加快发展的若干措施》已经市政府同意，现印发给你们，请认真贯彻执行。

特此通知。

深圳市发展和改革委员会

2024年6月7日

深圳市支持虚拟电厂加快发展的若干措施

为深入贯彻落实习近平生态文明思想，全面落实省委省政府关于构建新型能源体系有关工作部署，以及市委市政府工作安排，进一步挖掘我市分布式资源调节潜力，打造源网荷储高效互动新型电力系统，更好推动虚拟电厂加快发展，经市政府同意，特制定本措施。

一、强化关键设备产品有效供给

1. 支持虚拟电厂关键技术研发。针对基于先进感知、计量、定位的智能控制终端，基于通用大模

型的负荷功率预测，面向资源聚合商的规模化分布式资源实时感知与协同调控系统等重点研发方向支持建设一批市级重点实验室、企业技术中心、工程研究中心，经评审后给予单个项目最高不超过1000万元支持。（市科技创新局、工业和信息化局、发展改革委负责）

2. 鼓励虚拟电厂关键设备规模化量产。鼓励新能源汽车整车企业开展技术创新，开放车端V2G功能。对于V2G充电桩、分布式资源智能控制终端、分布式资源协同运行管理软件、计量通信芯片模组、计算芯片等虚拟电厂关键核心设备产业化项目，经评审后给予单个项目最高不超过1500万元支持。（市发展改革委、工业和信息化局负责）

二、提升充换电设施车网互动水平

3. 提升充电设施智能有序充电能力。新建充电基础设施应具备有序充电能力，符合相关地方标准。加快直流公共快充站升级改造，提升快充桩功率调节能力，经评审后对存量直流公共快充站智能化改造部分给予单个企业最高不超过 500 万元支持。〔市发展改革委、市场监管局、各区政府（含大鹏新区管委会、深汕特别合作区管委会，下同）负责〕

4. 强化换电基础设施响应能力。新建换电基础设施响应能力应具备有序充电能力，符合相关地方标准。鼓励存量换电站开展功率拓扑改造，将原有单向的整流电路升级为双向的储能变流器（PCS）模块，并同步升级换电站站端能量管理系统（EMS）的功率控制系统。（市发展改革委、市场监管局、各区政府负责）

5. 提升车网双向互动能力。针对公交、物流、环卫、港口拖车等典型车型，面向工业园区、社会停车场等停充一体场景，加大车网互动示范应用和持续升级，推动全市超充、快充以及交流充电设施等全部实现车网互动功能，经评审后对于具备 V2G 功能的充电设施给予单个企业最高不超过 500 万元支持。（市发展改革委、工业和信息化局、市场监管局、各区政府负责）

三、推动建筑及园区智能化改造

6. 提升分布式光伏应用水平。推动分布式光伏项目统一接入市虚拟电厂管理平台，加快推进光伏项目以虚拟电厂模式参与电力市场交易，探索建立绿电交易与碳交易市场衔接机制。（市发展改革委、国资委、各区政府、深圳供电局负责）

7. 提升建筑楼宇响应能力。梳理形成大型公共建筑资源库，推动公共机构建筑开展智能化改造，探索建筑楼宇智能化解决方案。对于开展虚拟电厂应用取得显著成效的国有企业，由市国资主管部门纳入业绩考核。鼓励其他建筑楼宇结合合同能源管理等模式积极接入市虚拟电厂管理平台。（市发展改革委、住房建设局、机关事务管理局、国资委、深圳供电局负责）

8. 创新工商业园区智慧用电方式。推动工业园区用电用能智能化改造提升，接入市虚拟电厂管理平台。支持主要园区结合大规模设备更新和消费品以旧换新，加快老旧电能表更新替换和配电设备智能化更新；鼓励园区建设可视化综合能源和环境监测系统，明确园区现有可调节资源总量。（市发展改革委、工业和信息化局、各区政府负责）

9. 加快新型储能智慧化改造。支持本地燃煤燃气电厂灵活配储，提高电源侧系统调节能力和容量支撑能力。鼓励电力企业在关键节点合理布局储能项目，提升电力安全保障水平和系统综合效率。支持用户侧储能多元化发展，探索大数据中心、通信基站、充电设施（含多功能智能杆）、工业园区等储能融合发展新场景。依法依规对特色场景先进储能智慧化改造示范项目给予支持。（市发展改革委、工业和信息化局、各区政府负责）

四、加快分布式资源有效集聚和精准响应

10. 支持加装智能控制终端。支持充电场站、建筑空调、冷站、通信基站、大数据中心、专用配电房等加装分布式资源智能控制终端，扩大市虚拟电厂管理平台接入规模，打造梯队化分布式资源调

度序列。（市发展改革委、工业和信息化局负责）

11. 鼓励建设虚拟电厂资源聚合平台。鼓励资源聚合商建设资源聚合平台，提高资源聚合响应速度和精度，并接入市虚拟电厂管理中心参与电网调控。支持资源聚合商立足本地精准响应实施效果，利用电能市场、辅助服务市场机制优化资源实时调控策略。（市发展改革委、深圳供电局负责）

12. 组织实施虚拟电厂精准响应。推动分布式资源参与各类电力市场交易，明确用户参与机制、设备接入要求、准入门槛、应用场景、组织模式和交易结算规则。在广东省市场化需求响应基础上，深圳虚拟电厂管理中心可启动针对日内、实时阶段的局部性电力供应紧张问题的精准响应，参与精准

响应用户的补贴标准不高于广东省市场化需求响应支持力度。（市发展改革委、深圳供电局负责）

五、附则

本措施执行期间如遇国家、省、市有关政策及规定调整的，从其规定。本措施与本市其他同类优惠措施，由申报单位自主选择申报，不重复资助。被资助单位应未列入失信联合惩戒黑名单以及失信被执行人名单。

本措施由市发展改革委负责解释，各责任单位应当结合分工及时制定出台实施细则或操作规程，鼓励各区政府出台协同配套措施。本措施自印发之日起实施，有效期至2025年12月31日。



02

政策解读

Policy interpretation



国家能源局电力司主要负责同志就 《加快构建新型电力系统行动方案(2024— 2027年)》答记者问

近日，国家发展改革委、国家能源局、国家数据局联合印发《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027年）》（发改能源〔2024〕1128号，以下简称《行动方案》）。为便于各方准确理解和把握政策内容，国家能源局电力司主要负责同志接受采访，回答了记者提问。

问：请介绍一下《行动方案》出台的背景和意义。

答：习近平总书记先后在中央财经委员会第九次会议和中央全面深化改革委员会第二次会议上就构建新型电力系统作出重要指示。党中央、国务院在《关于深化电力体制改革加快构建新型电力系统的意见》中，对加快推进新型电力系统建设作出部署。新形势下，加快构建新型电力系统意义重大，是助力实现“双碳”目标的关键载体、是长远保障我国能源安全的战略选择、是应对好电力转型挑战的有效举措。

近年来，国家发展改革委、国家能源局会同有关单位扎实推进新型电力系统建设，在统筹协调、明确方向、夯实基础等方面开展了系列工作。加强行业统筹，进一步明确有关单位工作分工，有序推进各项任务。针对“双碳”目标实现过程中电力系统持续发生的结构、形态、特性变化，组织开展专题研究，发布《新型电力系统发展蓝皮书》，指导电力行业转型发展。召开新形势下全国电力系统安

全稳定工作会议，印发《关于新形势下配电网高质量发展的指导意见》（发改能源〔2024〕187号）、《关于做好新能源消纳工作 保障新能源高质量发展的通知》（国能发电力〔2024〕44号）等文件，强化稳定管理、打造新型配电系统、完善新能源消纳政策措施。

为深入贯彻落实习近平总书记关于构建新型电力系统的重要指示精神和党中央、国务院有关要求，进一步加大工作力度，在关键环节取得突破，国家发展改革委、国家能源局、国家数据局在前期研究的基础上总结提炼，将有关工作考虑进一步明确为具体任务，联合印发了《行动方案》，加快推进新型电力系统建设取得实效，为实现碳达峰目标提供有力支撑。

问：《行动方案》对推进新型电力系统建设有何总体考虑？

答：新型电力系统建设时间跨度长、涵盖领域广、涉及方面多，各发展阶段侧重点不同，需统筹推进实施。《行动方案》着重从三个方面推进新型电力系统建设。一是切实落实新型电力系统建设的总体要求。围绕“清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能”二十字方针，分别从不同角度对应提出专项行动，统筹推进新型电力系统协调发展。二是力求解决近期关键问题。立足当前发展阶段，

聚焦近期新型电力系统建设亟待突破的关键领域，明确 2024—2027 年重点任务，务求尽快取得成果，服务当前电力系统转型发展实际需要。三是采用先行先试的工作方法。在各项关键领域中，选取攻关收益高、提效潜力大、引领效应强的方向开展探索，发挥好试点的引领带动作用，以“小切口”解决“大问题”。

问：《行动方案》重点部署了哪些任务，主要解决哪些问题，将达到哪些效果？

答：《行动方案》提出，2024—2027 年重点开展 9 项专项行动。

一是电力系统稳定保障行动。新型电力系统“双高”（高比例可再生能源和高比例电力电子设备）特性日益凸显，安全稳定运行面临较大风险挑战。针对电力系统生产结构、运行机理和功能形态转变过程中可能出现的系统稳定问题，《行动方案》提出着力优化加强电网主网架、提升新型主体涉网性能、推进构网型技术应用、持续提升电能质量，为新型电力系统建设提供安全稳定保障。

二是大规模高比例新能源外送攻坚行动。目前，在运跨省区输电通道主要输送煤电、水电等传统电力，新能源电量占比较低。随着“沙戈荒”大型风电光伏基地、水风光综合基地的有序建设，新能源外送消纳需求将进一步增加。为适应新能源快速发展需要，《行动方案》提出提高在输电通道新能源电量占比、开展新增输电通道先进技术应用，依托先进的发电、调节、控制技术，实现大规模高比例新能源外送。

三是配电网高质量发展行动。近年来，雨雪冰冻、台风、洪涝等自然灾害频发，用户供电可靠性受到影响；分布式新能源、电动汽车充电设施等新型主体大规模并网，对配电网承载力提出更高要求。针对新型电力系统对配电网在电力保供和转型方面的新要求，《行动方案》提出组织编制建设改造实施方案，健全配电网全过程管理，制定修订一批配电网标准，建立配电网发展指标评价体系，实现与源、荷、储的协调发展。

四是智慧化调度体系建设行动。随着大量新型主体接入，电力系统可控对象从以源为主扩展到源网荷储各环节，控制规模呈指数级增长，调控方式需从传统的“源随荷动”向“源网荷储融合互动”转变，调控技术手段和智能化水平亟待升级。为优化完善适应新型电力系统的调度系统，《行动方案》提出加强智慧化调度体系总体设计，着力创新新型有源配电网调度模式。

五是新能源系统友好性能提升行动。目前，风电在电力规划中参与平衡的比例较低，负荷晚高峰时段光伏参与平衡的比例基本为零，新能源可靠出力水平亟待提升。为提升新能源系统友好性能、创新风光储互补及源网荷储协同发展模式，《行动方案》提出着力打造一批系统友好型新能源电站，实现新能源置信出力提升至 10% 以上；探索实施一批算力与电力协同项目，提高数据中心绿电占比；因地制宜建设一批智能微电网项目，提升新能源发电自发自用比例。

六是新一代煤电升级行动。未来一段时期，煤电仍是我国电力可靠供应的重要支撑电源，实现碳达峰目标要加快低碳化改造，进一步提升运行灵活

性。针对新型电力系统对煤电加快转型升级的要求,《行动方案》以清洁低碳、高效调节、快速变负荷、启停调峰为主线任务,开展新一代煤电试验示范;应用零碳或低碳燃料掺烧、碳捕集利用与封存等低碳煤电技术路线,促进煤电碳排放水平大幅下降;推动新一代煤电标准建设,重点完善系统设计及设备选型标准体系。

七是电力系统调节能力优化行动。近年来,部分地区的新能源短期内快速发展,灵活调节资源与新能源在建设规模、时序上相互衔接不足,新能源消纳压力逐渐增加。针对新型电力系统调节能力需求持续增长的实际,在用好用常规调节措施的基础上,《行动方案》提出充分发挥新型储能调节能力,通过建设一批共享储能电站、探索应用一批新型储能技术,加快实现新型储能规模化应用,同步完善调度和市场化运行机制。

八是电动汽车充电设施网络拓展行动。随着我国新能源汽车发展驶入“快车道”,保有量的大幅增加对配套充电基础设施建设提出了更高要求。同时,电动汽车电池作为储能资源,为电力系统灵活调节提供了更多选择。针对电动汽车大规模充电需求及储能资源的有效利用,《行动方案》提出完善充电基础设施网络布局,加强电动汽车与电网融合互动,建立健全充电基础设施标准体系,加快推动电动汽车与能源转型融合发展。

九是需求侧协同能力提升行动。负荷侧灵活调节资源的充分调用,有助于缓解尖峰负荷问题、促进低谷时段新能源消纳。针对新型电力系统供需协同、灵活智能的建设要求,《行动方案》提出开展典型地区高比例需求侧响应,充分激发需求侧响应

活力,典型地区需求侧响应能力达到最大用电负荷的5%或以上,具备条件的典型地区需求侧响应能力达到最大用电负荷的10%左右;利用源荷储资源建设一批虚拟电厂,建立健全标准体系,完善相关规则,提升电力保供和新能源就地消纳能力。

问:如何保障《行动方案》各项任务有效落地?

答:新型电力系统建设是一项系统性工程,需要源网荷储各环节统筹推进、电力行业各方面协同配合。为推动《行动方案》落实落地,国家发展改革委、国家能源局会同国家数据局建立健全工作机制,统筹推进全国新型电力系统建设,加强指导协调,强化评估问效。针对《行动方案》提出的9项专项行动,进一步深化研究,根据需要出台专项行动的实施方案,高效有序推进各项行动落实落地。及时总结提升,形成可复制可推广可持续的工作推进模式,具备条件的加快扩大实施范围。研究完善配套支持措施,做好后续政策衔接,鼓励多元主体参与项目投资建设,增强社会各界对新型电力系统建设的参与度和支持度。

省级能源主管部门、相关企业等承担新型电力系统建设具体任务的单位,要切实履行主体责任,结合职责做好各项工作,加强沟通协调,推动解决关键问题,保障各项任务扎实开展。结合本地区、企业的发展现状和实际需求,进一步细化工作安排,制定具体工作方案。精心优选项目,扎实推动实施,尽快形成一批建设成果。推动先进成熟技术推广应用、相关技术标准制修订、调度运行及市场机制优化完善,支撑新型电力系统建设,助力电力领域新质生产力发展。

03

协会信息

Association Information



深圳市电力行业协会邀协会专家一行调研 广东省能源协会深圳培训基地

2024年10月16日下午，深圳市电力行业协会组织专家，赴广东省能源协会（以下简称“能源协会”）深圳培训基地开展特种作业电工培训基地调研交流，

广东省能源协会培训部负责人及特种作业老师参与了本次交流活动。



专家团一行参观了能源协会位于龙华区大浪街道三合科创园的特种作业培训点。能源协会培训部人员对深圳市特种作业培训的情况、培训的模式和考试的重点进行了介绍，双方就特种作业培训 VR 考前培训系统开发进行了深入探讨。旨在为我市电力行业的现场操作人员提供更多的更便利的安全操作练习途径，对人员安全技术等级具象化评价，进一步提高施工人员的安全意识，为我市电力行业安全生产保驾护航。



会议期间，双方还就两家协会日常开展的职称评审、团体标准、课题调研、专题培训、会员服务等各项业务进行了分享交流。



广东省电力行业协会一行到深圳市电力行业协会指导座谈

2024年10月15日上午，广东省电力行业协会丘浪文副秘书长、党建工作部蔡澄辉主任，规划发展部曾凯文主任，技术综合部董东华主任，规划发展部会员管理温知新主管一行到深圳市电力行业协会指导座谈。深圳市电力行业协会秘书长戴志勇，副秘书长宾赛，联络部主任郑志宇等热情接待。

会上，戴志勇秘书长详细介绍了深行协概况、发展历程、战略发展方向和年度的主要工作。省行协丘浪文副秘书长也介绍了省行协的基本情况。丘浪文副秘书长对于深行协开展的服务政府、职称评审、技能评定、团体标准等工作非常关注，双方就此展开了深入的探讨交流。会上，双方还就“第二十六届中国国际高新技术成果交易会新能源展暨新型电



力系统及设备升级改造技术交流会”的推进及相关工作内容，进行了深度的交流与沟通。

会后，戴志勇秘书长和丘浪文副秘书长约定，为进一步加深交流合作，他将带队到省行协学习回访！



深圳市电力行业协会组织开展 配网运维人员技能考评专项工作会议



2024年10月10日上午，深圳市电力行业协会（以下简称“电力协会”）邀请深圳供电局有限公司配网管理部（以下简称“局配网部”）、深圳供电局有限公司客服中心服务调度部（以下简称“客服中心服务调度部”）、深圳市华睿丰盛投资合伙企业（以下简称“华睿丰盛”）、深圳市深电供电新能源有限公司（以下简称“深供电新能源”）多家单位，在电力行业协会召开了配网运维人员技能考评专项工作会议。

电力协会秘书长戴志勇提出，配网运维人员技能考评，和协会目前正在推动的相关团体标准，具有非常密切的关联。通过定期的评价考核，可以有效提升相关专业技术人员的技能水平，提升服务形

象，可以更好地支撑生产，从而达到为生产服务的目的。局配网部三级拔尖专业技术专家李喆，客服中心服务调度部副主任曹阳，华睿丰盛市场运营部总经理助理王东方，深供电新能源运维抢修部贺志远经理，都一一做了发言。客服中心服务调度部副主任曹阳指出，评价考核应从服务安全，人生安全重点着手，提升人员整体的技能性和服务性，同时参考网公司的运维要求。

局配网部三级拔尖专业技术专家李喆组织参会单位代表，就此项工作的具体进程及安排，做了详细的分工及倒计时时间表，明确了各自的分工和职责，并确定了下次会议的时间为10月下旬。



深圳市计量质量检测研究院到深圳市电力行业协会开展调研交流

2024年9月24日上午，深圳市计量质量检测研究院（以下简称“深圳检测院”）环保检测事业部马志同副部长、伏晓林一行到深圳市电力行业协会调研交流，深圳市电力行业协会秘书长戴志勇，副秘书长宾赛，联络部主任郑志宇以及深圳供电局物资采购供应监控中心、深圳奥特迅公司、深圳新能电力开发设计院有限公司的专业技术人员和代表参加了交流活动。

会议中，双方都表示关注到在碳达峰、碳中和目标下，我国经济结构、能源结构、产业结构等都面临着深度的低碳转型要求。发展绿色产业，既是推进生态文明建设、打赢污染防治攻坚战、落实碳达峰、碳中和目标的有力支撑，也是培育绿色发展新动能、实现高质量发展的重要内容。深圳检测院马志同副部长还就智能电网的产业现状、产业分类、评价指标构建以及后续工作推进等提出了一系列问



题，电力协会戴志勇秘书长一一做了详细的解答。其中，双方就智能电网建设运营的三大块：关键元器件制造、智能电网装备制造、智能电网建设与运营进行了深入的探讨和交流。

会后，对于此次交流活动成果，双方都给与了充分肯定，并期待进一步加强沟通合作。



深圳市深电供电新能源有限公司来访交流

2024年8月11日上午，深圳市深电供电新能源有限公司（以下简称“深供电新能源”）袁培辙副总经理一行来到深圳市电力行业协会深入交流。协会戴志勇秘书长、郑志宇主任热情接待。

会议中，双方围绕新型电力系统工业园区配用电运维标准化研究情况的研究进展、未来成果预测及面临的研究壁垒等进行深入交流讨论。深供电新能源袁培辙副总分享了当前研究工作的阶段性成果，包括市场调研数据分析、省内外项目对比研究以及初步形成的标准框架等，并提出了在研究过程中遇到的技术难题、政策壁垒及市场接受度等挑战。我会戴志勇秘书长指出，运维质量的提升离不开标准化的支撑，而统一的运维标准应当从人员资质、作业内容、技术难度等多个维度进行综合考虑。只有确保标准的全面性、科学性和可操作性，才能真正实现运维工作的规范化、流程化和高效化。



戴志勇秘书长表示，深圳市电力行业协会将积极发挥桥梁纽带作用，加强与深供电新能源等企业的沟通与合作，共同推动新型电力系统工业园区配用电运维标准化的进程。他还强调要加强宣传力度，凝聚行业内外更多的共识和力量，为构建安全、高效、绿色的新型电力系统贡献力量。



深圳市电力行业协会

关于各专委会增设人员名单的公示

各有关单位：

经秘书处资格审查，现将各专业委员会增设的人员名单予以公示。此次增补旨在进一步加强各专委会的力量，提升专业水平和服务质量。具体名单详见附件。

公示期为2024年10月8日至2024年10月14日。在此期间，任何单位或个人若对公示内容持有任何意见或建议，均可向深圳市电力行业协会正式提出，来函需加盖公章，并附相关说明材料。若公示期结束后，未收到任何反馈意见，则视为各相关方对此次公示内容无异议。

联系人：陈卓萍

邮箱：szdlhangxie@163.com

联系电话：0755-88932049

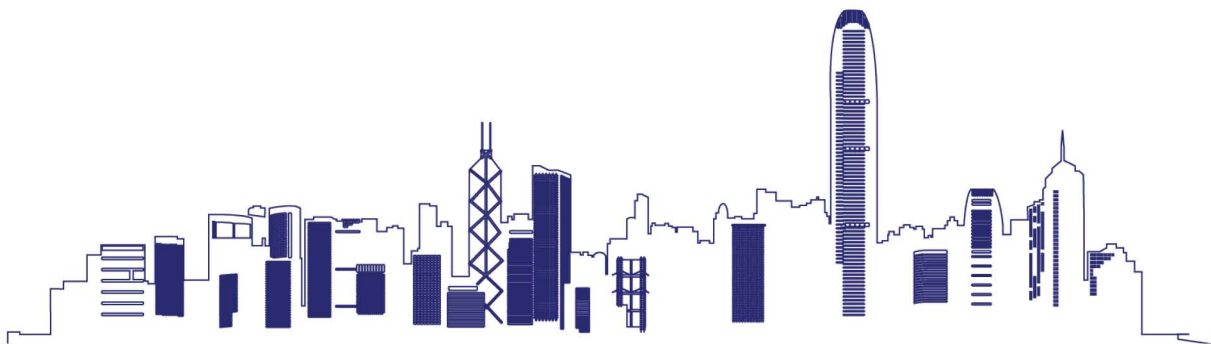
附件：深圳市电力行业协会各专委会增设人员名单



深圳市电力行业协会专委会增设人员名单

序号	专委会名称	姓名	性别	工作单位	现任职务	拟任职位
1	行业标准化专委会	张雪峰(大)	男	深圳新能电力开发设计院有限公司	二级技术专家	副秘书长
2		张胜宝	男	深圳供电局有限公司	变电管理二所副总经理	副秘书长
3		贾丹	女	深圳市华睿丰盛投资合伙企业(有限合伙) 培训中心	党建培训专员	干事
4		邢凯莹	女	深圳市华睿丰盛投资合伙企业(有限合伙) 培训中心	管理培训专员	干事
5		符智伟	男	深圳市华睿丰盛投资合伙企业(有限合伙) 培训中心	技能培训高级专员	干事
6		郑焯	女	深圳市鹏能投资控股有限公司	企业管理业务员	干事
7		彭安琪	女	深圳市华睿丰盛投资合伙企业	组织发展与业务管理业务员	干事
8		谷斌	男	深圳供电局有限公司	继电保护专责	干事
9		王从威	男	深圳供电局有限公司	继电保护专责	干事
10		钟叶斌	男	深圳供电局有限公司	变电管理二所继保部安全员	干事
11		梁嘉俊	男	深圳供电局有限公司	工程师	干事
12		刘华焯	男	深圳供电局有限公司	变电继电保护自动化班副班长	干事
13	供电专委会	钟万芳	女	深圳供电规划设计院有限公司	战略咨询顾问	副秘书长
14		崔鸣昆	男	深圳供电规划设计院有限公司	/	副秘书长
15		柯丽	女	深圳供电规划设计院有限公司	变电部主任工	副秘书长
16		舒舟	男	深圳供电局有限公司电网规划研究中心	新型配网研究部专责/三级拔尖技术专家	副秘书长
17		林育艺	男	深圳供电局有限公司	宝安供电局工程部副主管	副秘书长
18		杨锐棋	男	深圳供电规划设计院有限公司	送电部电气工程师	干事
19		杨锦涛	男	深圳市鹏能投资控股有限公司	安全监管大队业务员	干事
20	发电专委会	杨智	男	深圳新能电力开发设计院有限公司	副院长	副秘书长
21		林鹏	男	深圳新能电力开发设计院有限公司	副主任	副秘书长
22		吴夕发	男	深圳新能电力开发设计院有限公司	副主任	副秘书长
23		郁继要	男	深圳新能电力开发设计院有限公司	二级设计师	干事
24		欧莉玲	女	深圳新能电力开发设计院有限公司	二级设计师	干事
25		杨小芳	女	深圳新能电力开发设计院有限公司	主任工程师	干事
26	电力数字化专委会	赖昭阳	男	深圳供电局有限公司	三级助责	副秘书长
27		简学之	男	深圳市深鹏达电网科技有限公司	副总经理	副秘书长
28		阙鹏飞	男	深圳市深鹏达电网科技有限公司	副经理	干事
29		杨立忠	男	深圳市深鹏达电网科技有限公司	主管	干事
30		赵鲁男	男	深圳市深鹏达电网科技有限公司	主管	干事
31		李绪周	女	深圳市深鹏达电网科技有限公司	专员	干事
32		鲍重廷	男	深圳供电局有限公司	二级专责	副秘书长

33	电力装备专委会	高维杰	男	深圳供电局有限公司	一级助责	副秘书长
34		戎鹰	女	深圳市华力特企业管理有限公司	资深行政经理	干事
35		周浩	男	深圳供电局有限公司	二级专责	干事
36		卜蕙兰	女	深圳供电局	助责	干事
37	安全及用能专委会	侯杰	男	深圳龙岗供电局	配网资产部配网规划一级助责	副秘书长
38		陈烁杭	男	深圳龙岗供电局	配网资产部中压设备管理二级专责	副秘书长
39		汪建波	男	深圳龙岗供电局	配网资产部配电运行管理二级专责	副秘书长
40		杨祥勇	男	深圳供电局	专责、技术专家	副秘书长
41		龙海波	男	深圳龙岗供电局	布吉供电分局配电运维三班班长	干事
42		李宇	男	深圳龙岗供电局	营业部项目管理业务员	干事
43		唐利华	女	深圳新能电力开发设计院	运控发展部副主任	干事
44		王鹏	男	深圳龙岗供电局	项目经理	干事
45	新能及储能专委会	柳明	男	清华大学深圳国际研究生院	特别研究员	副秘书长
46		李文甲	男	南方科技大学	碳中和能源研究院助理院长	副秘书长
47		王宏	男	哈尔滨工业大学（深圳）	副教授	副秘书长
48		石宇杰	男	深圳供电局有限公司	助责	干事
49		谢涛	男	深圳供电规划设计院有限公司	初级勘察设计师	干事
50		张植华	女	深圳供电局	专责	干事
51		温倚嘉	女	深圳供电局有限公司	专责	干事
52	电力建设专委会	杨杰	男	深圳供电局有限公司	工程项目中心技经部副主管	副秘书长
53		钱玉媛	女	深圳供电规划设计院有限公司	三级技术专家	副秘书长
54		徐跃超	男	深圳供电局有限公司	工程项目管理中心党支部青年委员、项目经理	干事
55		付威	男	深圳供电局有限公司	工程项目管理中心技术专家	干事
56		李志航	男	深圳供电局有限公司	项目经理	干事
57		游旺	男	深圳供电局有限公司	工程项目管理中心专责	干事



04

专题报道

Special report



01 抗击摩羯，抢修复电

与时间赛跑，全力驰援海南，深圳电力人在行动



筑堡垒当先锋，全力以赴复“光明”

华睿丰盛支援海南抢修复电通讯稿

在抗击台风“摩羯”的抢修复电工作中，华睿丰盛党委迅速响应，组建党员突击队，充分发挥党组织战斗堡垒作用和党员先锋模范作用，带动全体抢修队员攻坚克难，在他们的努力下，医院、学校等重要场所正陆续恢复电力供应，复电捷报频传。

不惧风雨，争分夺秒

9月6日上午10时，海口小组党员突击队迅速响应指挥部指令，前往海口市大致坡中心小学、三江中学、三江镇中心小学三个居民临时安置点开展应急发电。2名党员同志冒雨勘察现场、制定施工方案，停电、验电、接线……整套流程娴熟细致、井然有序。经过几个小时的奋战，下午13时19分，三江中学、三江镇中心小学、大致坡中心小学相继成功送电，附近建筑工人和外来人员得以及时入住。

如箭在弦，全力以赴

“不到一个小时就发上电了，你们这真是深圳速度！”文昌市教育局工作人员激动地说。9月8日10时56分，文昌市教育局办公楼停电，为确保9月9日开学日文昌市教育系统正常运转，党员突击队员火速奔赴抢修点。11时51分，应急发电车到达现场，



经过1小时的奋战，12时45分，随着发电机组启动声的响起，文昌市教育局安全成功送电。

马不停蹄，连夜奋战

受台风“摩羯”影响停电后，海南师范大学桂林洋校区延期至9月9日开学，为最大限度降低对学校教学的影响，第二批刚刚抵达海口驻地的党员突击队员，来不及修整便迅速奔赴战场。9月9日凌晨5



时20分，发电车和作业人员到达抢修点，5时41分获作业许可，6时21分接入送电，仅用61分钟完成复电，在场海南师范大学负责人、老师们不禁为带电作业人员高效安全作业点赞。



疾风骤雨，见证共产党员初心如磐。台风过后，党员突击队员们化身“光明卫士”与时间赛跑，一直奔赴在电力应急抢修复电一线……（通讯员：陈绿贝 刘泽文 陈晓姣）



电达党总支积极应对台风“摩羯”及强降雨防御工作

电达公司通讯员 冯乐萍、罗创辉

2024 年 11 号台风“摩羯”强度一再升级，在台风“摩羯”及强降雨防御工作期间，电达党总支迅速行动，积极组织物流分公司支援海南抢险救灾工作。党总支迅速传达上级指示精神，明确救灾任务，动员全体成员统一思想，坚定信心，全力以赴投入到抢险救灾工作中。

迅速响应 组织支援

接到台风预警及上级指示后，电达党总支立即响应，组织精干力量，筹备支援物资。截至 2024 年 9 月 12 日，已组织 4 批人员、车辆前往海南；共计 19 人，以及 10 台车辆，其中包括 6 台随车吊、1 台工程车、2 台办公车辆和 1 台越野车，急速前往海南抢险。此外，为了确保支援行动的顺利进行，后台还有 2 名协调、调度与保障人员全力以赴提供支持，为支援海南电网完成抢修复电任务提供了坚强组织保障。

争分夺秒 及时运达

面对自然灾害的威胁，在党总支带领下，电达物流分公司迅速组织人力，高效地完成了物资准备工作。其中，第一批人员 9 人、车辆 2 台，接任务后迅速安排车辆于 9 月 7 日 5 时到达坪山闲置库区，用时 5 小时装好货，绑扎稳固，并启运，历时 35 小时，里程 720 公里，于 9 月 8 日 16 时顺利到达目的

地完成交货；第二批人员于 9 月 9 日 0 时到达目的地，历时 27 小时，里程 700 公里，顺利到达目的地完成交货；第三批人员于 9 月 8 日 14 时装车、启运，历时 31 小时，于 9 月 9 日 15 时到达目的地，里程 740 公里，顺利到达目的地完成交货；第四批人员 4 人、车辆 3 台于 9 月 12 日 1 时装车、启运，预计最早于 9 月 13 日 15 时到达目的地，里程 750 公里。在台风“摩羯”带来的极端天气条件下，支援队伍面临严峻挑战，但他们以高度的职业精神和顽强的意志，确保每一项任务的顺利进行。

矢命必达 力保安全

电达物流分公司的支援队伍在到达海南后，全力以赴投入抢修复电工作，他们组织有序，快速将支援物资送达最需要的地方。据悉，截至目前，此次行动已运送导线达 105.4 吨，包括重要的架空绝缘线和钢芯铝绞线，以及 50 吨抽水机，还有瓷套跌落式开关 13 组，交流无间隙金属氧化物避雷器、复合外套 3 只，单相费控电能表计量表箱 22000 只等物资。这些物资对于灾区恢复供电和排水具有至关重要的作用，充分体现了电达物流在关键时刻对社会责任的担当。

目前，抢险复电物资配送工作正在紧张有序地进行中，电达党总支及物流分公司全体成员将继续努力，确保救灾工作顺利进行。



支援物资筹备及运输现场



支援物资筹备现场

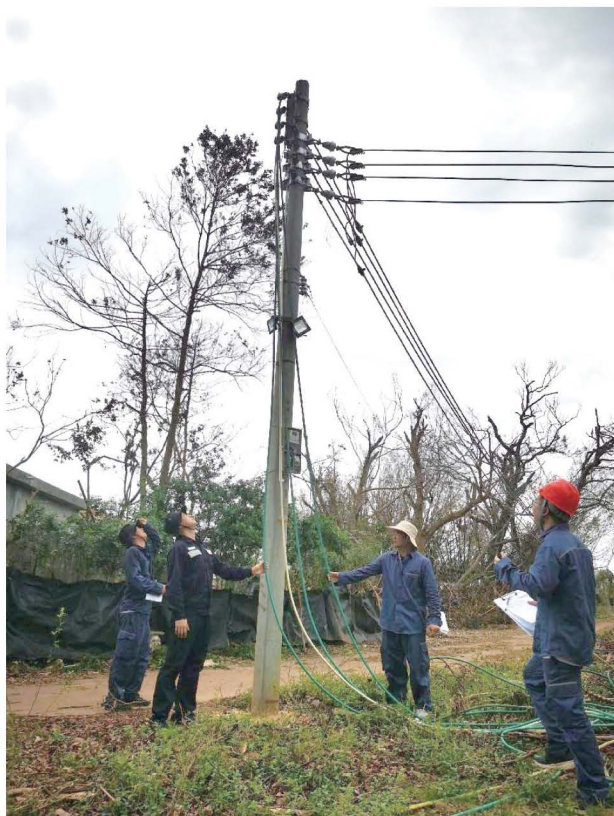


支援物资装车现场

联合勘查，共克时艰

——深圳供电规划设计院团队与深圳局工程部紧急应对低压台区灾情

2024年9月14日在深圳局工程部肖俊阳科长的带领下，深圳局工程部团队与深圳院团队迅速集结，对受“摩羯”台风影响严重的低压台区进行了深入的现场勘查。面对空旷树木地区倒杆、断线等严峻灾情，两支专业团队紧密协作，展现出高度的专业素养和应急响应能力。



勘查过程中，肖俊阳科长与深圳院团队成员们不畏艰难，细致入微地检查每一处受损点，精准评估灾情影响，为后续抢修工作提供了宝贵的现场数

据和决策依据。他们深知，每一次的细致勘查都是对灾区人民光明恢复的承诺，每一份准确的数据都是重建家园的基石。





此次联合勘查行动，不仅体现了深圳局与深圳院之间的高效协同与深厚友谊，更彰显了电力行业在应对自然灾害时的团结一致与责任担当。我们坚信，在全体电力工作者的共同努力下，灾区的电力设施将迅速恢复，为人民群众的生产生活提供坚强的电力保障。（深圳院配电部 汪国娣 供稿）



02 抗击摩羯，抢修复电

与时间赛跑，全力驰援海南，深圳电力人在行动



跨海驰援！ 南方电网打响抗灾复电攻坚战

台风“摩羯”登陆后，南方电网公司迅速行动，全力抢修复电。在海南文昌、广东徐闻等地，一幕幕紧急复电的场景接连上演，生动诠释了公司“人民至上”的坚定信念和保民生的责任担当。面对史上最强秋台风“摩羯”带来的严重灾害，南方电网公司坚持责任为先，发挥央企优势，迅速组织多支应急队伍跨海驰援，连夜开展抢修复电工作。截至目前，南方电网公司累计投入抢修人员2万余人，抢修车辆3600多辆，应急发电车685台，应急发电机1720台，全力以最短时间抢修复电、尽最大努力降低损失。

深圳供电局第一时间，组建深圳支援海南抢险救灾总队，分两批次总共743人。第一批382人、



第二批361人，发电车50辆、工程车190辆，赴海南进行抢险支援。同步配置了41台柴油发电机，29台抽水机，35台气体检测仪，56台烘干设备机，18台抽风设备等应急物资。

经过十余小时的跋涉，深圳供电局供应链中心灾后首批驰援海南人员与南网兄弟公司驰援队伍一起于海口顺利会师。（黄羽 摄）



9月7日凌晨，深圳供电局支援海南抢修救灾队前往文昌中医院点亮第一盏灯。（韦腾飞 摄）



9月7日清晨，深圳供电局驻海口应急支援队与消防互相协作，利用推土机开路，应需了解城区线路故障情况，优先勘察居民临时安置点情况。（杨兴驰 摄）



9月7日上午，赶在台风过境、大雨来临前，深圳供电局支援海南抢修救灾队（文昌）第一时间出动，就文城片区线路故障情况进行勘察。（林小新 摄）



9月7日上午，深圳供电局支援海南抢修救灾队（文昌）赶在台风“摩羯”过境前前往“八一·益园小区”，现场勘察当地环网柜倾倒情况，及时确定修复方案。（刘旭东 摄）



9月7日15时，深圳供电局支援海南抢修救灾队前往文昌市文城镇政府，通过发电恢复供电。（韦腾飞 摄）



9月7日18时，深圳供电局支援海南抢修救灾队连夜开展用户排查故障，并制定落实临时供电方案，响应举办考试紧急用电需求，及时“充电”、供电。（高翔、孔德昕 摄）



9月7日18时，已停电26小时的海府骏发名字小区迎来了来自深圳的供电蜀黍，在发电接入工作许可后，23时，该小区已重现“光明”。（叶杰、欧华邦 摄）

南方电网融入和服务深圳先行示范区建设

助力深圳改革味更浓，成色更足

信息来源：《中国能源报》（2024 年 08 月 26 日 第 07 版）

深圳“获得电力”指标领跑全国，全市度电产值高达 30.66 元，供电可靠性世界领先……本月，迎来《中共中央国务院关于支持深圳建设中国特色社会主义先行示范区的意见》公布 5 周年，深圳经济特区建立 44 周年。南方电网公司全面发挥能源电力央企对“双区”建设的战略支撑作用，加快构建安全、可靠、绿色、高效、智能的现代化电网，服务中国式现代化深圳实践。

永葆初心本色，扛牢保供责任

——满意度连续 13 年名列前茅

能源保障和安全事关国计民生，是须臾不可忽视的“国之大者”。5 年间，深圳成为全国第五个最高负荷突破 2000 万千瓦、供用电量双双突破千亿千瓦时的城市。南方电网坚决扛牢电力安全保供政治责任，践行“人民电业为人民”企业宗旨。

强电网，为城市发展筑牢“压舱石”。深圳北部群山间，条条银线横贯东西。这项被誉为央企十大超级工程之一的广东目标网架工程，为深圳电网“加码”200 万千瓦的供电能力，约占全市最高用电负荷 1/10。

5 年间，南方电网在深投产变电站总数突破 300 座，变电站布点密度全国领先；建立适应前海管理模式的公司工作机制，实施《深圳前海高品质供电引领区建设方案》，在河套落地“紫荆花”型高品

质供电接线，积极服务深港融合发展大局；实现深汕合作区独立自主供电，满足其未来 10 年发展用电需求；建成高质量自愈配电网和 10 个高品质供电引领区，人民群众用电用能更有保障。

保供电，在保供电大考中做顶梁柱。在深圳，南方电网建成坚强局部电网，全网“一盘棋”打赢“9.7”极端特大暴雨复电攻坚战；圆满完成庆祝中华人民共和国成立 70 周年、庆祝中国共产党成立 100 周年、深圳经济特区建立 40 周年庆祝大会等特级保供电任务。高质量发展和高水平安全良性互动。

优服务，架起惠民利企“同心桥”。“在社区网格员帮助下，我很快就办好‘一户多人口’电价优惠业务。”近日，家住宝安区的邱女士在社区党群服务中心一站式享受“家门口”电力服务。

这是南方电网深圳供电局（以下简称“深圳供电局”）联合政府推出的社区服务“十办”新举措之一。5 年间，南方电网与深圳市政府联手，2172 个工业园区从“一园一表”变为“一企一表”，每年可为 6 万余家企业减少用电成本超 30 亿元；全面推广“一网通办”“免证免跑”等联合服务模式，客户办电“一次都不跑”；完成全市 150 个城中村供用电安全整治，人均供电容量增长逾 65%，供电能力超花园小区平均水平，打造居民供用电安全整治工程范例。

截至目前，深圳供电服务连续 13 年在全市公共服务满意度评价中位居前列。2022 年以来，南方电

网累计为深圳重大项目送电 625 万千伏安，相当于全市送电总容量的三分之一，支撑深圳经济社会高质量发展。

擦亮绿色底色，助力“双碳”目标

——绿电交易金额居广东前列

实现“双碳”目标，能源是主战场，电力是主力军。南方电网大力推进以数字化绿色化协同促进新型能源体系和新型电力系统建设，促进经济社会发展全面绿色低碳转型。

在供给侧，加快建设新能源消纳项目，新增本地 300 万千瓦清洁供电能力；积极谋划 1000 万千瓦级市外清洁电力，推动海上风电送深等项目实施，为深圳“十四五”释放 30% 的碳排空间；深圳清洁能源装机比重 79.6%，非化石能源发电量占全社会用电量的一半；向香港输送 100% 清洁电力，约占香港总用电量 1/4。电网擦亮高质量发展的绿色底色。

在用户侧，深圳上线居民低碳用电“碳普惠”应用，超 80 万户家庭开通碳账户，累计减碳量约 2.6 万吨，引导市民绿色生活；锻造国际领先的“光储直柔”技术，因地制宜打造近零碳示范项目；率先在全国上线“绿电历”，成立深圳市绿电绿证服务中心，构建绿电绿证服务体系。

“客户对绿色用能的要求愈发严格，如果没有绿电绿证消费的相关证明，我们需要支付更多代价才能拿到订单。深圳绿电绿证服务能帮助我们更好地应对市场变化。”华生电机（广东）有限公司相关负责人说。

2023 年深圳市场化用户参与绿电直接交易购买绿电电量 5.9 亿千瓦时，占全省的 23.4%，交易金额

超 1600 万元，绿电交易金额全省最高。

绘就创新春色，发展向“新”而行

——全面建成超大城市数字电网

作为国企改革“双百企业”，深圳供电局连续三年获评国企改革“双百行动”“标杆企业”，不断把改革新红利转化为发展新动力，“智”造能源电力科技创新高地。

5 年来，深圳供电局建设国家级创新平台，成功申报两项国家重点研发计划项目；联合港澳机构扎实推进 2 项港澳揭榜项目，深化粤港澳电力科技创新合作；联合南网产业投资集团在河套成立深圳南方电网深港科技创新有限公司，引进港澳地区能源产业链初创企业入孵。

创新活力释放，新质生产力加速培育。当前，深圳加快建设全球数字能源先锋城市和新型储能产业中心。南方电网以更大力度布局前瞻性战略性新兴产业：在深全面建成超大城市数字电网，促进实体经济和数字经济深度融合。打造规模化车网互动系列示范工程，发布国内首份《车网互动规模化应用与发展白皮书》，开展大规模车网互动应用。与华为公司联合建设全网首个全液冷超充示范站，服务全市建设“超充之城”。打造国内虚拟电厂管理、技术、应用标杆，带动百余家企业进入相关产业链……

党的二十届三中全会发出进一步全面深化改革的动员令，吹响推进中国式现代化的新号角。南方电网将继续以一往无前的奋斗姿态把改革推向前进，服务和支撑深圳谱写出先行示范区建设更加壮丽的新篇章。

新型电力系统建设： 打造数字能源先锋城市·深圳现代能源基建再提速

信息来源：广东省能源局官网

编者按：党的二十大报告强调：“要积极稳妥推进碳达峰碳中和，深入推进能源革命，加快规划建设新型能源体系”，这为新时代我国能源电力高质量跃升式发展指明了前进方向，提出了更高要求。新型电力系统是新型能源体系的重要组成和实现“双碳”目标的关键载体。广东落实党中央决策部署，积极践行“双碳”战略，凝聚各方合力，大力推进能源转型发展，推动构建新型电力系统。广东省能源局联合南方网、粤学习客户端推出“新型电力系统建设”系列报道，深入挖掘各地在推动能源结构转型、技术创新应用、绿色低碳发展等方面的生动实践与显著成效，展现广东作为能源革命先锋的蓬勃活力与坚定决心。今天我们推出第二篇《打造数字能源先锋城市 深圳现代能源基建再提速》。

近年来，深圳全力打造世界一流数字能源先锋城市和新型储能产业中心，擦亮超充之城、电力充储放一张网、虚拟电厂等名片，助力广东新型电力系统和新型能源体系建设。

从点亮一盏灯到驱动一辆车，生活处处都有能源的影子。能源是城市的发动机，是城市韧性的重要保障。深圳紧紧围绕“保安全、促发展”的主题主线任务，加快一批现代能源基础设施建设，构建安全稳定的能源供应体系。

——供电能力不断提升，“圳”的可靠

过去一年，深圳不断完善多元化能源供应格局，进一步提升电网供电能力和供电可靠性，全市用户平均年停电时间少于 10 分钟，基本建成全国首个坚强局部电网，新改扩建 22 座变电站，新增主变容量突破 800 万千伏安，创近十年来新高；累计建成福田中心区、环深圳湾等 10 个高品质供电引领区；完

成 308 个城中村供用电安全专项整治，合计新增供电容量 78.1 万千伏安，相当于新增 19 万套 100 平方米商品房供电能力，满足超 95 万名居民用电需求；完成 2172 个园区转供电改造，实现了从“一园一表”到“一企一表”的转变，大幅降低了企业的用电成本；建成国内接入类型最全、直控资源最多、应用场景最广的虚拟电厂管理中心，实时可调负荷达 60 万千瓦。深圳稳步推进市外清洁电力送深工程、市内清洁高效电源项目建设，截至目前本地电源总装机容量已超过 2000 万千瓦，能源绿色高质量发展步伐坚实。

——国际航行船舶保税 LNG 加注，“圳”的清洁

天然气是一种清洁、高效的能源，相较于传统油料船舶，LNG（液化天然气）动力船舶硫氧化物减排近 100%，氮氧化物减排 85% 以上，开展国际航行船舶保税 LNG 加注业务试点对深圳绿色航运发展以及“双碳”目标实现具有重要意义。经过两年

左右时间准备，深圳市顺利完成华南地区首船国际航行船舶保税 LNG 加注，深圳港成为全球第四、华南首个具备 LNG 加注服务能力的枢纽港。目前深圳市拥有 LNG 加注公司、保税 LNG 储罐、LNG 加注

船和具备 LNG 反输功能的码头，已实现国际航行船舶保税 LNG 加注业务常态化开展，为建设全球 LNG 加注中心奠定了坚实的基础。



国际航行船舶保税 LNG 加注现场图

——新能源汽车充电，“圳”的快速

自 2023 年 6 月底深圳正式启动建设世界一流“超充之城”开始，“一杯咖啡，满电出发”的“深圳速度”在这座城市里再次频频出圈。截至 2024 年 7 月 30 日，深圳市已建超充站 483 座，已经初步构建遍布全城的超充服务网络，成为全国首个实现超充站数量超过加油站数量、充电枪数量超过加油枪数量的城市，累计建成新能源汽车充电桩 36.3 万个、车网互动站 144 座、综合能源补给站 37 座。积极推广应用液冷超充、柔性充电堆等新技术，为不同场景下的充电需求提供差异化解决方案。

“和市面上普通的 60 千瓦充电桩相比，这款 600 千瓦全液冷极速超充

桩的充电速度最快为普通桩的 10 倍。最快的时候可以实现一秒一公里的速度。日常在超充桩上，只充电 5 分钟，续航里程就接近 250 公里”，正在给车子充电的市民张先生说。屏幕显示，此时充电已超过 80%，电池数据符号快速增长，直观展示着它的“超充”速度。



光储超充、车网互动一体化示范站——深巴新能源深康站



光储超充、车网互动一体化示范站——福田区委站

基于全市域级、全自主可控、精细建模的统一时空信息平台(BIM/CIM),深圳率先打造国内首个“电力充储放一张网”,在i深圳App上线超级快充专区,可为市民提供“一键找桩、一键充电”的一站式服务。用户可以根据指引授权位置信息,快速浏览附近的充电站分布情况,根据页面显示的地理位置、忙闲情况、是否接受欧标、充电收费标准、停车费标准和配套设施等信息,选择前往最合适自己的充电站,解决车主找桩难、充电难问题,真正实现一杯咖啡、满电出行。同时,强化与电动汽车、充换电设施运营商等数据互联互通,打造更加智慧的政府监管平台,助力建设源网荷储友好互动的新型电力系统。

——首个虚拟电厂管理平台,“圳”的智慧

深圳建成国内首个网地一体虚拟电厂管理平台,在全国范围内率先实现实体化、市场化、常态化运作虚拟电厂管理平台。平台打破与电网调度的实时互动壁垒,实现可调节负荷的实时观测和调控,具备资源接入、运行监视、调令分解、调度系统交互、电网拓扑、电碳检测、低碳调度等功能,已成为国

内接入类型最全、直控资源最多、应用场景最广的虚拟电厂。

深圳持续支持虚拟电厂高质量发展,印发《深圳市虚拟电厂落地工作方案(2022—2025年)》《深圳市虚拟电厂精准响应管理办法》《深圳市虚拟电厂精准响应实施细则》《深圳市支持虚拟电厂加快发展的若干措施》等多项文件。目前,深圳虚拟电厂管理平台管理资源规模已超过275万千瓦,最大可调节能力超60万千瓦(相当于一台大型燃气机组)。



某新能源汽车充电界面 图源:晶报

05

前沿技术

Special report

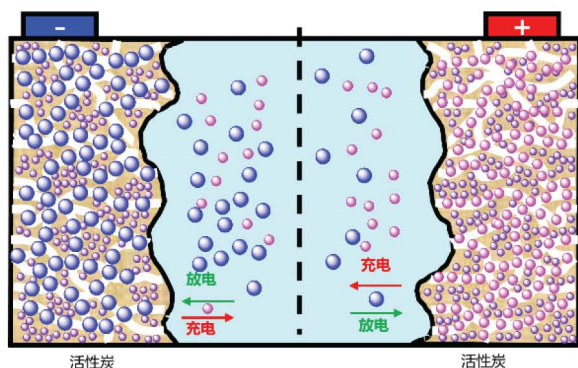


超级电容在电力系统中的应用 及产业化进展

在碳达峰碳中和的“双碳”目标引领下，我国加快构建清洁、低碳、安全、高效的新型能源体系，积极发展清洁能源，推进新型电力系统建设。伴随着风力发电、光伏储能等绿色能源在发电侧占比不断攀升，如何解决和快速响应新能源并网带来的高频次频率波动、提升调峰调频储能设备寿命、降低维护成本、提升安全性等课题日益受到重视。

电化学储能作为一种高效、安全、绿色的能源转换方式，在支撑新型电力系统建设过程中正发挥着积极的作用，能有效实现“源—网—荷—储”整体协调开发、资源高效利用。

超级电容器，其单体结构和原理如下图所示，作为一种介于电容器和二次电池之间的新型储能装置，主要以离子在正负极间的吸-脱附来存储和释放电能，因此，其具备功率密度高、充放电速度快、循环寿命长、安全性能高、使用温度范围广、维护成本低等优异特性，能够在发电侧、电网侧、用户侧等多个应用场景下进一步提升电网的运营效率、降低运营成本。



超级电容单体结构及其原理图

比如，在发电侧，超级电容储能系统可提供有功支撑，解决绿色发电系统的惯量支撑，实现一次调频的快速响应，同时面对火电机组爬坡速率慢等问题，超级电容储能系统可通过短时高功率输出，提高火电机组的二次调频性能；在电网侧，超级电容可作为独立调频储能电站提供无功支撑，解决电网惯量特性，在一次调频和二次调频做到及时响应，同时在弱电网环境下，超级电容可通过实现构网型储能，为新能源送端、受端提供无功容量，提高新能源接入的稳定性；在用户侧，超级电容储能系统可以提升电压敏感型负荷的用电稳定性，提高产品良率，同时若将超级电容储能系统接入大型耗电负载，通过超级电容高效率的短时充放电特性，也能为负荷的频繁启停节约大量电能。



应用于一次调频系统



八面50MW静止调相机



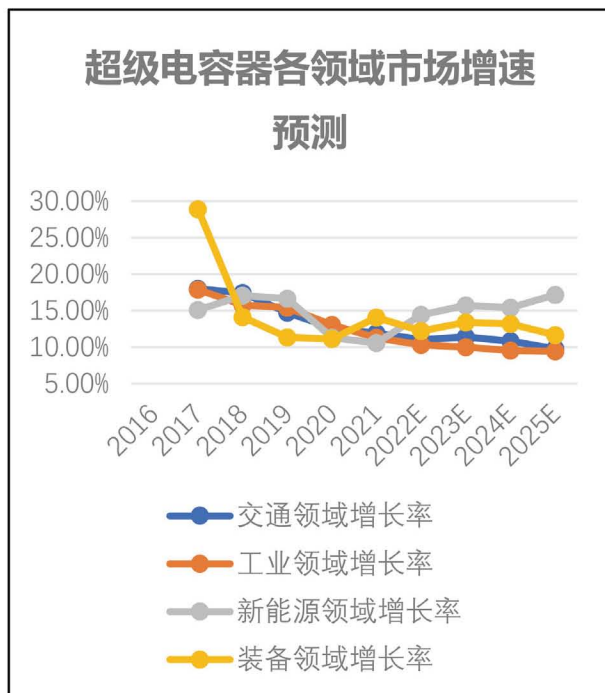
70MW静止调相机



火电机组超级电容调频储能

超级电容储能系统在电网中的应用

超级电容器通过十余年不断的技术创新，已经在基础研究、关键材料国产化、单体制备和系统集成、示范应用和投产运行等方面取得了重要进展，其上下游产业链已较为完善，体系规模正逐渐增加。据中商产业研究院统计，2023 年底，我国超级电容市场规模已达到 226 亿元人民币，预计在 2026 年可达到 333.4 亿元人民币，从 2017 年至 2026 年复合增长率约为 12.6%，展现出超级电容蓬勃的发展前景和持续增加的市场需求。在具体应用领域中，超



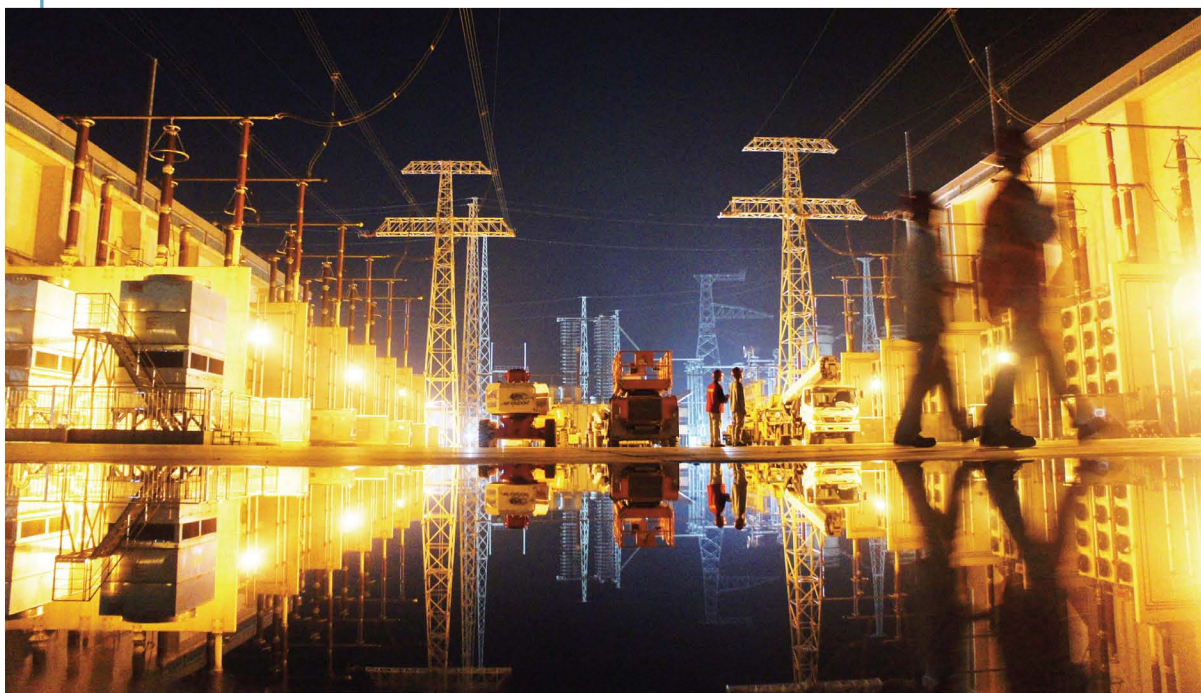
级电容在新能源（储能、汽车）、轨道交通、工业及特殊装备等场景下显示出较大的增长潜力，截止至 2025 年底，超级电容在新能源、交通运输、工业领域等领域中的应用市场增速预计分别达到 17%、10%、10%。

随着超级电容储能产品技术愈加成熟、产业链不断完善、应用场景愈加丰富，国家和各省市对超级电容研究和产业化支持力度在近两年也更为凸

显。比如，由国家发展改革委和国家能源局发布的《“十四五”新型储能发展实施方案》中强调大力发展包括超级电容储能在内的新型储能技术，实现构建新型电力系统和实现双碳目标的重要性；由工业和信息化部发布的《首台（套）重大技术装备推广应用指导目录（2024 年版）》中首次将超级电容储能系统列入其中，表明了对超级电容技术的认可和支持，有助于推动该技术的进一步发展；另外，2024 年开始，各省市相继发布了促进超级电容储能技术装备研究和发展的政策文件，大力推进技术研究纵深和产业化多领域应用，比如，河南省发布的《印发河南省加快制造业“六新”突破实施方案的通知》，强调重点发展大容量超级电容储能设备；合肥市发布的《合肥市新型储能发展规划（2023-2027 年）》提出“开展超级电容 + 电化学储能 + 火力发电机组”等试点项目；菏泽市发布的《菏泽市碳达峰工作方案》提出探索包括超级电容在内的多元化储能方式，

解决新能源发电的波动性问题；厦门市发布的《厦门市新型储能产业高质量发展行动计划（2024-2026 年）》提出要开展超级电容储能研究，促进技术成果落地，加强短时高频储能技术等核心技术攻关能力；重庆市发布的《重庆市未来产业培育行动计划（2024-2027 年）》通知表明要加强探索超级电容储能技术的应用。以上政策的关注和扶持，为超级电容产业的可持续性发展提供了明确指引和强大助力。

综上所述，超级电容储能系统作为一种环境友好（采用生物质原材料）、功率密度高（离子物理吸附）、循环寿命长（可达 100 万次以上）、安全性能优异（不着火、不爆炸）的新型储能装备，在电力系统应用中能够实现毫秒—秒级响应，满足电网侧日趋增加的调频需求，降低维护成本，提升电力能源的使用效率，为高效、绿色、安全的新型电力系统建设添砖加瓦。



构网型储能技术的现实需求

禾望电气 - 魏佳昕

引言

随着全球经济快速发展，人类对能源的消耗持续增加，化石能源逐渐枯竭和环境污染日趋严重等问题促使能源结构不断革新，新能源在总体能源中的占比不断增加。2018年国际可再生能源机构（International Renewable Energy Agency, IRENA）发布的《全球能源转型：2050 路线图》指出，为实现 2050 年全球碳排放目标，全球可再生能源发电比例将由 26% 增长至 2050 年的 55%。作为发展中大国，中国在 2020 年提出“2030 年前碳达峰，2060 年前碳中和”的“双碳目标”，这也是中国能源发展的政策基础。



图 1 九大陆上清洁能源基地和五大海上风电基地

“双碳”目标的确定，为未来电力系统中高比例的新能源发展趋势奠定了基调。然而，当前以风力、光伏为主的靠天吃饭的新能源，因其资源禀赋特性，所能提供的功率存在间歇性、波动性和随机性的问题，其大规模接入无疑会增加电力系统电力平衡调节带来很大的挑战。此外，新能源机组按照最大功率方式发电，不会主动响应系统内负荷和电源的变化引起的频率问题；系统中的频率基本靠以火电机组为代表的同步机电源进行调节。同步电源对系统频率的调节主要表现在惯量响应和一次调频两方面。其中惯量响应是遏制电网频率偏离额定值的趋势，由同步机的转子的机电能量转换所提供的惯量来表征；一次调频则是减小电网频率与额定频率的偏差，通过同步机的调速器实现。随着电网中新能源占比的升高，系统中由同步机提供的物理惯量不可避免会下降，可用于一次调频的备用能量也会越发捉襟见肘。

而电化学储能作为一种能改善电力系统电能时空分布的灵活资源，可有效补充新能源大规模并网带来的电力平衡和频率调节问题。相比传统的调相机，电化学储能因具备毫秒级的快速响应能力、布局灵活、经济性好等优势，逐渐成为了电力系统用来应对电力平衡和安全稳定运行等难题的重要资源。

此外，以风力、光伏为主的新能源，以及平滑新能源出力的储能基本都是借助电力电子装备将其电能传输到电网。而当前的这些装备普遍采用的是基于锁相同步跟随电压、控制机组输出电流来实现目标输电功率的跟网型控制方式并网。在跟网型控制方式下，新能源和储能均是受控电流源，其稳定运行的前提是系统中有其它电源提供稳定的交流电压供其跟随。受控电流源意味着高输出阻抗，高输出阻抗一方面会削弱系统中的以同步机为代表的电压源对系统电压的控制和调节能力，在系统中新能源占比升高时，这种削弱作用将越发明显，随之而来的问题便是系统的电压稳定性下降；高输出阻抗

另一方面会导致系统中新能源及储能和同步电源之间的受控特性相互影响，带来向次同步振荡、高频谐振等威胁系统安全稳定运行的问题。

采用构网型控制，让新能源机组和储能成为系统中的电压源，有望解决高比例新能源并网带来的系统运行稳定性问题。所谓构网型控制，是指让电力电子装备按照传统火电机组的同步机方式，以功率同步取代锁相同步，用电压控制覆盖电流控制，使装备在系统中表现为受控电压源。电力电子装备采用构网型控制时，本身就是个电压源，会自动对所接入的并网点电压进行调节，而非依赖其它同步电源；其模拟同步机的转子运动特性的运行方式会使其在电网频率变化时自发做出支撑响应。

为解决上述问题，使一部分 IBR 以电压源形式与电网连接，模拟同步发电机的惯量和阻尼特性，为电网提供电压和频率支撑，该控制方式称为构网型（grid-forming, GFM）控制。

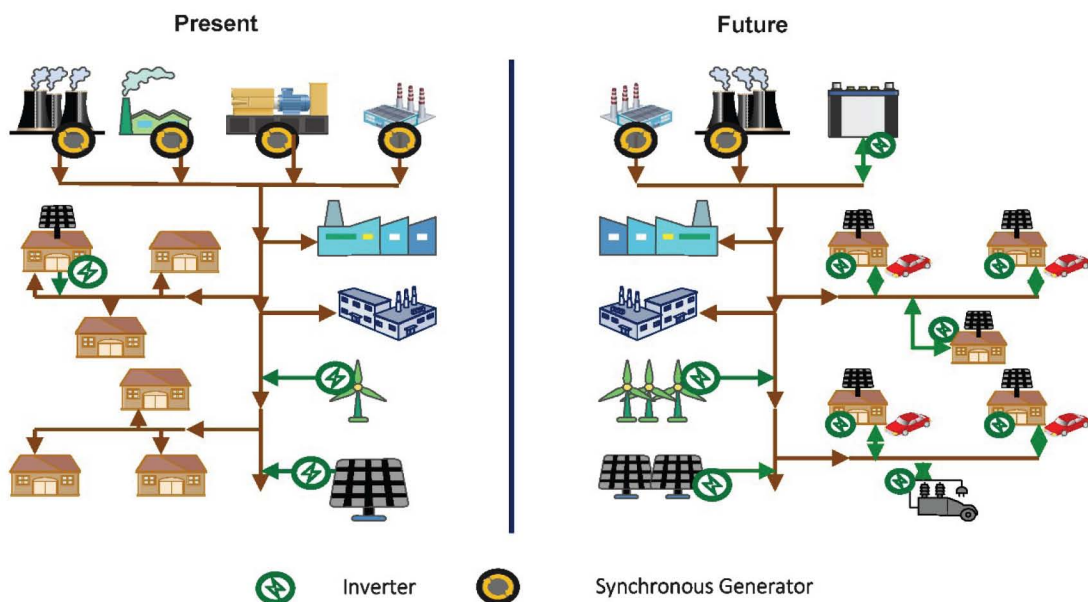


图 2 电力系统形态变化

与传统的依赖电网电压才能稳定运行的并网变流器不同的是，构网型变流器通过引入高级的控制算法建、提供惯量响应、具备电网故障穿越能力等来保证系统的稳定性，即便在没有稳定的电网电压存在的时候也能独立并保持自身的类电网运行特性。构网型

变流器的这些优良的特性能为系统中的负载提供稳定可靠的电源，使其成为一项能将新能源集成到电网的重要技术。相比光伏和风电，构网型储能变流器由于在直流侧具有能量缓冲而更易于模拟同步发电机特性。

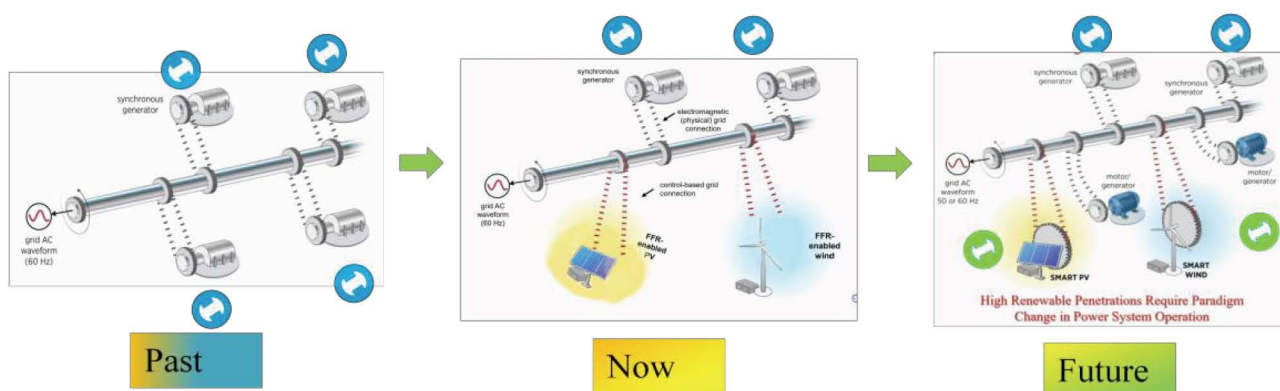


图3 新能源大规模发展背景下的构网需求

1、构网技术应用场景

1.1 孤岛供电

孤岛供电是当前构网控制技术的重要应用领域，包括海岛 / 海上平台供电、偏远地区孤网供电等实际场景。孤岛失去与大电网的联接，缺乏必要的调频资源和无功补偿，易受到负荷运行的影响，电压和频率的波动幅度大，难以稳定运行。为解决上述问题，孤网中的变流器宜进行构网控制，通常采用下垂控制或 VSG 控制策略。构网型变流器对孤网工作模式有良好的适应性，能实现孤岛的局部电压和频率控制，提升孤岛供电的可靠性。此外，针对孤岛运行时的负荷不平衡或波动带来的电能质量问题，以及多变流器并联时的功率分配等问题，国内外学者提出了相应的改进控制策略，包括正 / 负序阻抗解耦、二次频率 / 电压控制等方法。

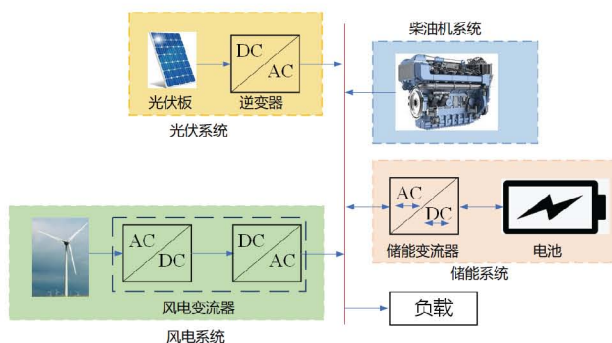


图4 微电网孤岛结构

1.2 新能源并网

以风电、光伏为代表的新能源机组多以变流器为接口并网，存在接入功率波动大、无功补偿功率大、连接弱交流系统易不稳定等问题。采用构网型变流器可以平抑频率和电压波动，为高比例新能源系统提供必要的惯性阻尼响应。

1.3 储能系统

储能系统在电网中的作用包括：为系统提供有功或无功支撑、提高新能源并网能力、参与调峰调频、故障期间短时供电等。随着新能源渗透率的提高，储能系统有助于改善新能源出力波动性带来的不稳定问题，同时也有助于减少弃风弃

光现象、提高新能源利用率。储能系统主要通过电力电子接口并网，其响应性能与变流器控制策略有关。采用构网控制技术来控制储能变流器，可以提高新型电力系统的稳定性。

1.4 柔性直流输电

柔性直流输电是基于电压源型变流器、全控型开关器件和 PWM 技术的新型直流输电技术。相比于传统高压直流输电技术，柔性直流输电具有响应速度快、功率控制灵活、无需外加换相电压、谐波水平低等优势，因此得到了广泛应用。随着柔性直流输送容量的增大，应当考虑使其参与系统频率调节，为电网的安全稳定运行做出贡献。目前柔性直流输电系统受端变流器多采用跟网控制，不能为系统提供灵活的调频响应，当连接弱电网时还容易出现严重的稳定问题。鉴于构网型变流器具备一次调频能力和惯性特性，可将其应用到柔性直流输电系统，以改善系统电压和频率稳定性。

2、发展构网型储能变流器作用

2.1 支撑新型电力系统的可靠稳定运行

相较于常规发电机组，构网型储能能在过载能力和控制灵活性方面更具优势。从“被动跟网”到“主动构网”，构网型储能系统不仅能为电网提供稳定

的电压源，还可主动平抑电网中各类大小扰动，缓解电力系统的暂态电压、频率等稳定问题，有效提升新能源消纳能力。不少专家认为构网型储能“新能源电站 + 储能 + 合适的算法控制”模式建立以后，将具有与火电厂类似的功能。

储能变流器采用构网式电压型控制策略，依托下垂控制或功率同步控制等模式，可模拟传统同步机的电压、频率主动调节特性。构网式电压型控制策略被普遍采用后，有望对“高比例新能源”电力系统的频率、电压等提供稳态和暂态下的主动实时支撑能力，从而支持以新能源为主体的新型电力系统的有效构建。

在构建新型电力系统中引入构网控制技术，可以有效提升系统短路电流水平，提高系统强度；为系统提供阻尼和惯性，改善系统频率稳定性；当系统失步解列时快速响应，提升系统的第一摇摆周期稳定性，主动支撑系统恢复；削弱电力系统间谐波和不平衡电压带来的影响。

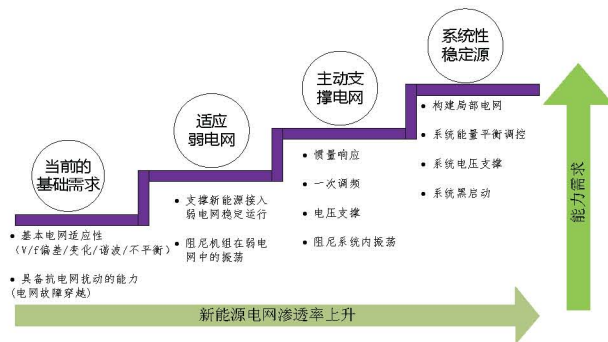


图5 构网控制技术在未来电力系统中的作用

2.2 引领储能系统产业向高能量密度发展

伴随储能电芯单体容量愈来愈大，储能系统单机容量亦在同步扩大。储能电芯容量从 100Ah 发

展到目前主流的 280Ah，并继续朝 300+Ah，甚至 560Ah 方向发展，能量密度和循环寿命不断提升；储能系统带电量从 40 尺不到 2.5MWh 的风冷系统，发展到目前主流的 20 尺 3.72MWh 产品，并继续向 20 尺 5MWh+ 液冷系统，乃至浸没式储能系统发展，能量密度提升 200%。

以此对应，储能变流器的容量与系统架构也随之不断改变。目前，主流储能变流器厂家普遍采用 1725kW、1500kW 等额定容量的储能变流器，配合 3000~3600kVA 左右的变压器组成功率单元。为匹配 5MWh+ 电池舱的应用，未来储能变流器厂家预计将单机 2500kW 额定功率的储能变流器，配合 5000kVA 左右的变压器使用，从而提升整站的功率密度。

3、构网型与跟网型机组实验数据对比

3.1 并、离网运行能力

构网型控制的机组既可以并网运行，也可以在自身能力范围内组建微离网运行，而传统的跟网型机组只能并网运行。

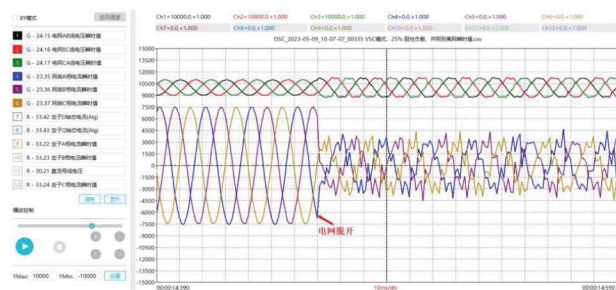


图 6 基于仿真平台输出跟网型变流器波形

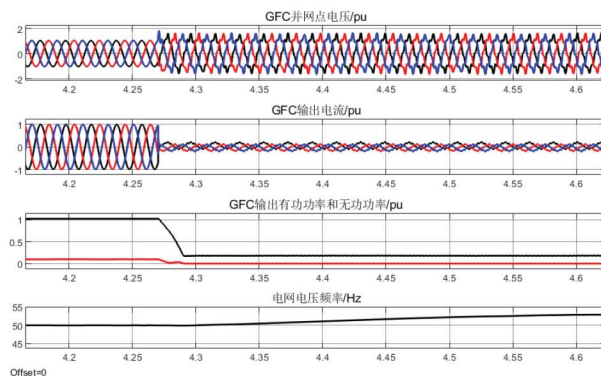


图 7 基于 MATLAB 输出跟网型变流器波形

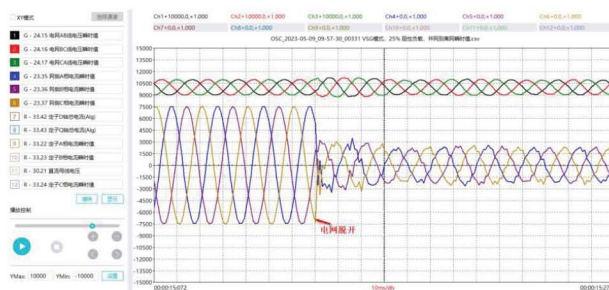


图 8 基于仿真平台输出构网型变流器波形

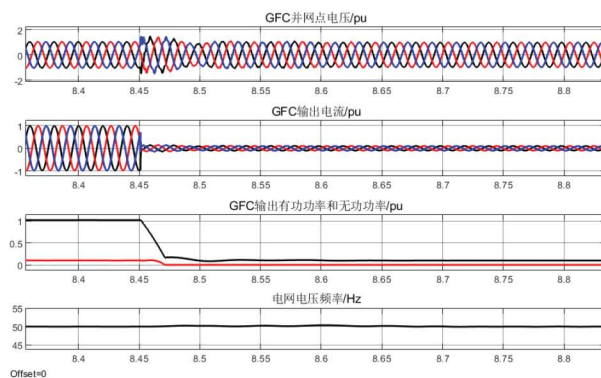


图 9 基于 MATLAB 输出构网型变流器波形

3.2 弱电网适应能力

构网型机组的低幅值、强阻尼、几乎不受运行工况的宽频阻抗输出特性使其对弱电网具有天然的适应优势。

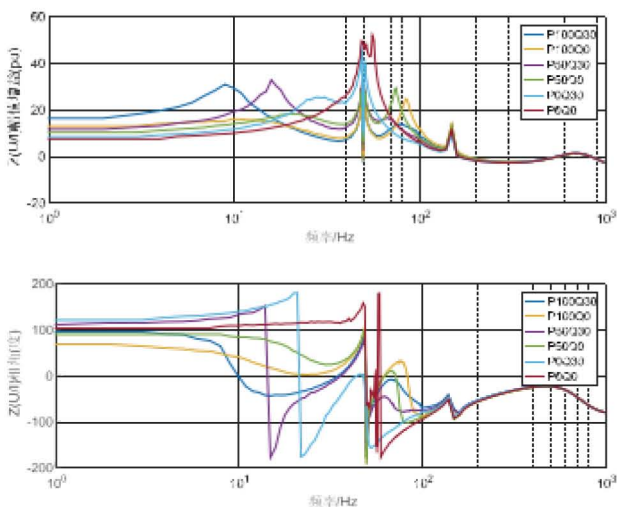


图 10 跟网型变流器阻抗分析结果

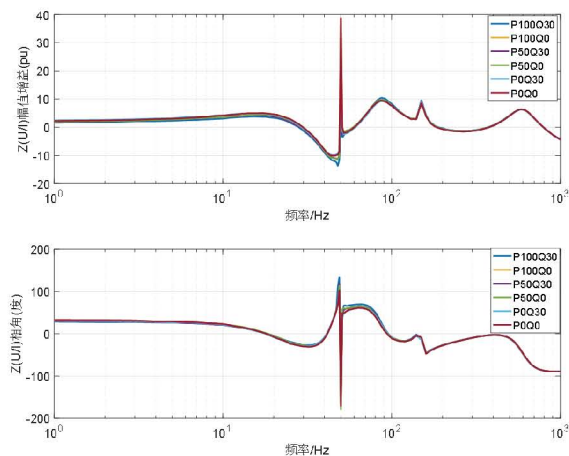


图 11 构网型变流器阻抗分析结果

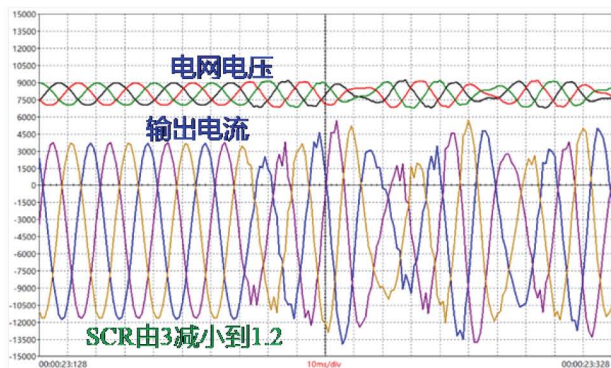


图 12 跟网型变流器弱电网适应能力

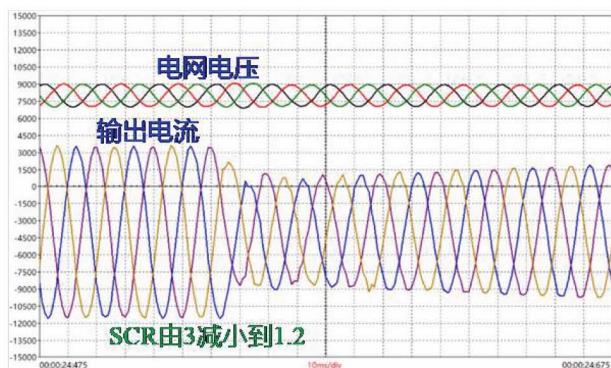


图 13 构网型变流器弱电网适应能力

3.3 电网暂态支撑能力

构网型机组的电压源输出特性使其在电网故障时能主动做出支撑，响应快，支撑强。

(1) 低电压故障穿越

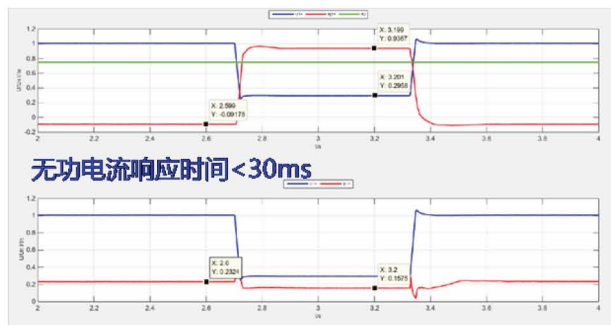


图 14 跟网型低电压穿越过程波形

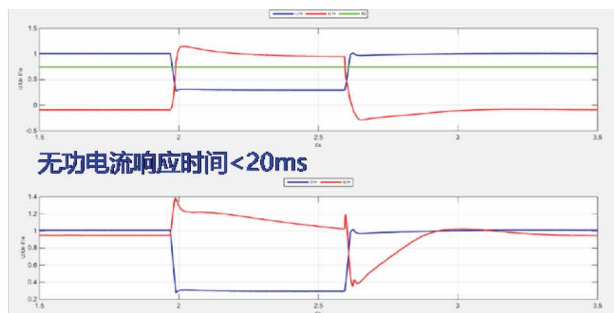


图 15 构网型低电压穿越过程波形

(2) 高电压故障穿越

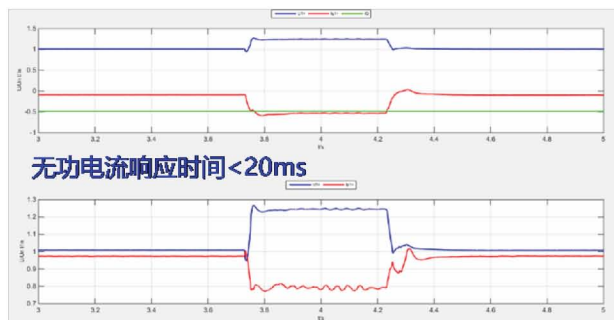


图 16 跟网型高电压穿越过程波形

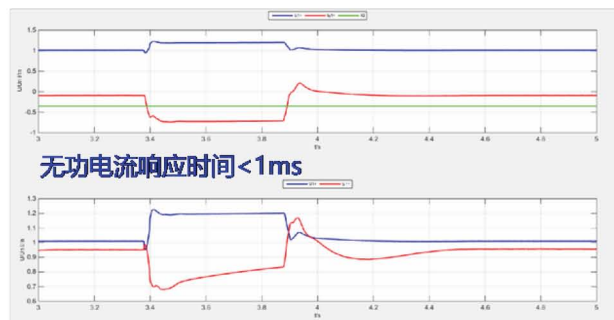


图 17 构网型高电压穿越过程波形

3.4 结论

根据上述对比可以看出, 用构网型代替跟网型控制, 可使系统中的新能源和储能虚拟传统电力系统中火电机组同步机的方式运行, 为未来高比例新

能源、高比例电力电子装置的新型电力系统的运行方式向现在成熟稳定的同步电源为主的模式看齐奠定基础。而构网功能的实现离不开输入侧能量的强力支撑, 相比新能源发电装置, 储能的能量特性更容易满足这一要求。

构网型储能技术的提升促进了新能源发电装备产业的健康发展, 促进了新能源发电机组的及时优化定型, 显著提升其电网适应性, 提高能源利用效率、减少环境污染、推动新能源技术的发展, 符合国家能源转型战略。另外对于深圳市和广东省的储能产业发展将起到积极推动作用。

参考文献:

- [1] 周京华, 李津, 章小卫, 等. 一种构网型储能变流器控制方法以及装置 :202310797712 [P][2024-10-09].
- [2] 王新宝, 葛景, 韩连山, 等. 构网型储能支撑新型电力系统建设的思考与实践 [J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(5):172-179.
- [3] 石文辉, 屈姬贤, 罗魁, 李钦淼, 何永君, 王伟胜. 高比例新能源并网与运行发展研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(6):12.DOI:10.15302/J-SS-CAE-2022.07.006.



06

优秀案例

Excellent case



能源绿色低碳转型典型案例汇编 (2024)

国家能源局
电力规划设计总院
2024年5月

前言 Foreword

党的二十大报告提出，积极稳妥推进碳达峰碳中和，加快推动能源结构调整优化，加快规划建设新型能源体系，指明了我国能源高质量发展的方向。加快能源绿色低碳转型，是落实党中央重大决策部署，实现碳达峰碳中和的关键，也是建设新型能源体系的重要举措。

近年来，我国能源生产和消费革命深入推进，清洁能源快速发展，能源结构持续优化，新技术新模式新业态蓬勃发展，涌现了一批绿色低碳转型发展的优秀案例，为新型能源体系建设提供了有益探索，奠定了实践基础。开展能源绿色低碳典型案例征集工作，发掘总结能源转型的成功经验，发挥示范引领作用，以点带面促进发展，对加快规划建设新型能源体系具有重要意义。

本次能源绿色低碳转型典型案例面向全国范围公开征集，涵盖了能源生产供应、加工转化、终端消费等各个环节。为深入把握不同场景下绿色低碳转型的思路方法，将案例分为四类，分别是绿色能源供给新模式类、城市（乡镇）能源增绿减碳类、能源产业链碳减排类、用能企业（园区）低碳转型类。对于案例本身，要求在理论方法、技术装备、运行模式等方面具有较强的创新性，在实际运行中已取得明显成效，对同类场景具有较强示范推广价值。

征集通知发布后，得到了社会各界的积极响应，各方积极踊跃申报，经省级能源主管部门初审，共收到 150 余个案例。为公平公正、科学规范开展评选工作，国家能源局制定了评选办法，组建了专家组，委托电力规划设计总院作为独立第三方组织答辩评选工作。然后，组织相关省级能源主管部门、国家能源局派出机构和评选专家组进一步开展现场或网络核查，对拟推荐案例向全社会进行了公示，接受社会各界监督。最终，23 个案例收录为能源绿色低碳转型典型案例。

为推广典型案例的有益实践和成功经验，国家能源局组织电力规划设计总院和案例申报单位，编写了《能源绿色低碳转型典型案例汇编（2024）》，以供交流与借鉴。同时，欢迎社会各界对能源绿色低碳转型典型案例征集工作提出宝贵意见，共同推动我国能源高质量发展。



广东深圳虚拟电厂智慧调度运行管理云平台

案例概览

参与单位：深圳供电局有限公司

建设内容：建成网地一体虚拟电厂智慧调度运行管理云平台，打造以虚拟电厂为核心的源网荷互动体系。

技术特点：突破海量异构资源数据采集及安全防护技术、考虑多重不确定性的虚拟电厂调节能力预测技术、耦合市场环境下虚拟电厂交易决策与内部效益分配技术，自主研发“瀚海”系列虚拟电厂成套硬件终端。

实施成效：依托平台实体化、市场化、常态化运作虚拟电厂管理中心，接入分布式资源超 265 万千瓦、调节能力超 56 万千瓦。2023 年调节电量约 128.5 万千瓦时，直接减少碳排放约 1074.3 吨。

一 基本情况

（一）单位简介

深圳供电局有限公司是南方电网公司直接管理的全资子公司，兼具省级电网公司和城市供电局双重定位。

（二）案例背景

深圳市新能源汽车推广全球领先，分布式光伏、电化学储能等新兴业态实现创新发展。为提高新能源接入承载能力和供需平衡能力，充分发挥本地负荷侧资源优势，保障能源安全，推动能源清洁低碳转型，深圳供电局打造以虚拟电厂为核心的源网荷互动体系。

（三）实施情况

2021 年，依托南方电网虚拟电厂“灯塔”项目，建成网地一体虚拟电厂调度运行管理云平台。2022 年，深圳市发改委和南方电网深圳供电局联合挂牌深圳虚拟电厂管理中心。接入分布式资源超 265 万千瓦、调节能力超 56 万千瓦，基本形成数据采集密度高、接入负荷类型全、直控资源多、应用场景丰富的源荷互动管理平台体系。

二 做法实践

深圳虚拟电厂管理实践按照以下思路开展：积极开展海量负荷侧资源接入调度运行的可观、可测、可控、可用的四大关键技术研究；和政府形成合力，因地制宜从政策、机制、体制方面共同构建新型能源体系；高质量管理团队有序推进虚拟电厂生态构建，引领负荷侧资源进入电网调控和电力市场，不断提高虚拟电厂实用化水平，增强能源供需友好互动能力；贡献实践经验，围绕虚拟电厂构建的标准体系，发布企标、地标，参与国标，促进虚拟电厂良性发展；积极主动协调国家、省相关部门支持虚拟电厂参与区域、省、市各类交易，打造虚拟电厂资源参与市场交易和协同控制的先行示范，探索实现虚拟电厂可持续发展，推动能源技术和发展模式创新。

（一）强化联合技术攻关

依托南方电网虚拟电厂“灯塔”项目，建成网地一体虚拟电厂调度运行管理云平台，创新性解决了海量资源接入调度的安全防护难题，实现调度系统与用户侧可调节资源的双向通信，以及调度对虚拟电厂资源“站-线-变-户”关系设备级接入、分钟/秒级实时监测，可接收并跟随 96 点发电曲线，验证虚拟电厂参与电能量、辅助服务市场的可行性。储备虚拟电厂关键技术，推动计量芯片、智能终端等关键设备国产化，为用户资源通过虚拟电厂参与市场交易和电网运行提供坚强保障。

（二）有效制定虚拟电厂系列政策

2022 年 5 月以来，先后制定《深圳市虚拟电厂落地工作方案（2022-2025 年）》《深圳市虚拟电厂精准响应实施细则》，形成“顶层规划+专项扶持+组织实施”工作体系，提出 10 余项重点保障举措，为虚拟电厂在深落地应用提供政策保障。

（三）设立专项管理机构

由深圳政府挂牌设立虚拟电厂管理中心，负责开展用户注册、资源接入、调试管理、接收和执行调度指令、响应监测、效果评估等工作。成立专属客户服务小组 90 个，通过“线上培训 + 实战演练”模式，培养高质量响应用户。

（四）建立健全标准规范

推动南方电网成立新型电力系统负荷侧资源灵活调控技术标准化工作组，协同印发虚拟电厂企标，申请国标 / 行标各 1 项、团标 4 项、企标 6 项。编制有序充电与车网互动、分布式光伏接入、终端授信及安全加密技术等三项深圳虚拟电厂地方标准。

三 实际成效

（一）应用场景不断丰富，融合城市特色发展

资源规模不断扩大

自 2021 年起，虚拟电厂接入资源类型愈加丰富，包括 5G 基站、数据中心等信息通信基础设施、充换电场站、建筑楼宇、工业园区、储能系统等资源。截至 2023 年底，资源接入容量跃升至 2021 年的 14 倍。



图 1 资源接入容量与可调能力增长情况

应用场景持续创新

积极推动虚拟电厂本地化精准响应，创新解决局部电网重载、过载、断面阻塞等实际问题。2023 年组织开展精准响应 33 次，调节电量 125.8 万千瓦时，运营商获得收益超过 450 万元。实现虚拟电厂参与调频技术验证。实现虚拟电厂参与跨省备用市场结算运行，为虚拟电厂参与辅助服务市场提供可行的样本。

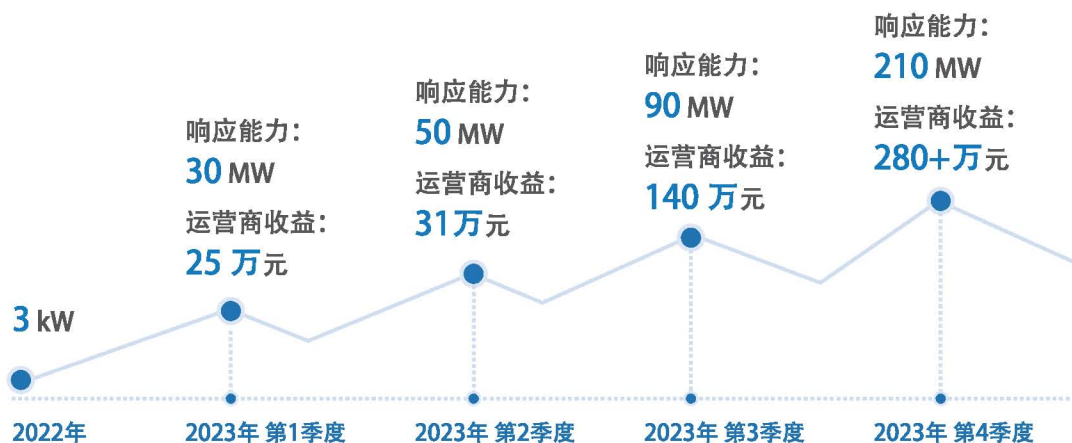


图 2 运营商实际响应能力及响应收益情况

虚拟电厂与智慧城市融合发展的趋势显现

以虚拟电厂为媒介，积极探索建立以各类分布式资源为主体的电力充储放一张网，实现了各类资源与 BIM/CIM 平台的精准化定位和建模，开展了极端情况下分布式资源调度预演，助力打造能源安全韧性城市典型范例。

(二) 形成带动作用，助力数字智慧城市构建

一是电网企业能源生态链主效应显现，聚合虚拟电厂产业链各类资源，在上游培育高负荷园区、南网电动、深圳能源等能源消费和供给的主要企业；在中游逐步提升虚拟电厂调度运行管理云平台服务能力，不断扩大资源接入规模；在下游建立电力公司、售电公司及高负荷用户的顺畅交易渠道，培育交易市场。



图3 虚拟电厂产业链示意图

二是通过虚拟电厂产业链上、中、下游各类资源聚合，推动 ICT 企业布局虚拟电厂新赛道，支持能源企业拓展虚拟电厂核心设备生产制造，实现“设备+服务”“场景+技术”高效融合，提升深圳新能源产业集群发展能级，助力构建数字能源先锋城市。

（三）科研创新成果丰富，社会及经济效益显著

一是形成了涵盖精准量化评估、高效聚合、低碳调度、市场运营、软硬件开发、接入规范等虚拟电厂成套技术理论体系，为虚拟电厂落地实施提供坚实基础。



发明专利42项

42 Invention Patents





瀚海系列



瀚海ZDMC-001
安全加密模组
Security Encryption Module



瀚海YHJKZD-001
间接型终端
Inter-control Terminal



瀚海YHZKZD-001
直控型终端
Direct-control Terminal



瀚海JCXT-001
虚拟电厂响应性能测试装置
VPP Response Performance Test Device



软件著作权3项

3 Software Copyrights



图 4 科研创新成果示意图

二是当前建设规模所创收的社会经济价值显著，已受到社会各界关注。项目成果获中国电机工程学会认定，整体处于国际领先水平，获得 2023 年南方电网科技进步奖一等奖。



图 5 社会经济效益示意图

四 典型经验

（一）找准虚拟电厂在新型能源体系下的角色定位

积极推动新型电力系统从“源随荷动”到“源荷互动”升级，深入挖掘海量资源的灵活调节潜力，最大化提升可调资源的使用效率和全社会能效水平，积极探索打造“新型电源”低成本解决方案，推动各类用户从能源服务消费者转变为能源服务生产者，为低碳、安全、经济运行的城市电网提供可推广的经验，不断丰富新型能源体系的主要内涵和主体范围。

（二）强化有为政府和有效市场的高效协同

合理授权虚拟电厂管理中心，充分调动电网企业和产业链上下游企业的工作积极性，营造全市广泛参与的虚拟电厂发展环境。通过虚拟电厂管理政策和地方标准的配合协同，强化深圳新能源汽车密度和充电桩密度全球领先的优势条件，先行示范打造车网互动新范例。

（三）打造可落地、可持续、可推广的虚拟电厂商业模式

充分调动各类用户主体的主观能动性，以市场化的本地虚拟电厂精准响应补贴打造模式推广新兴行业。积极争取各级部门支持和指导，实现“跨区市场、省内市场、深圳市场”的叠加赋能和“需求响应市场、辅助服务市场、电能量市场”的相互补充。

07

专委会专版

Professional Committee Edition



基于抗扰动能力和结构重要性评估的新能源电网脆弱性研究

陈 喆

(深圳供电局有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 基于改进的加权节点数来计算节点及线路的差异性, 以此作为节点结构重要性评估指标; 针对新能源接入后的随机扰动性, 引入节点电压及故障影响度来作为节点抗扰动能力评估指标。由此, 融合抗扰动能力和结构双向指标, 完成新能源电网脆弱性的综合评估。通过仿真实验, 验证了上述方法可精准辨识电网中的脆弱点, 且可基于脆弱性的综合排序完成针对性防控, 可为新能源电网平稳运行提供支撑。

关键词: 抗扰动能力; 网络结构; 电网脆弱性; 综合性排序

中图分类号: TM732

文献标志码: A

文章编号: 1003-0506(2022)03-0259-05

Research on vulnerability of new energy grid based on anti-disturbance capacity and structural importance assessment

Chen Zhe

(Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: This paper calculates the differences of nodes and lines based on the improved weighted number of nodes, which is used as the assessment index of node structure importance; moreover, considering the random disturbance of new energy, the node voltage and fault influence degree are introduced as the assessment indexes of node anti-disturbance capacity. Therefore, the comprehensive assessment of the vulnerability of new energy grid is completed by integrating anti-disturbance capability and structural bidirectional indexes. The simulation results showed that the above method can accurately identify the vulnerable points in the power grid, and can complete the targeted prevention and control based on the comprehensive ranking of vulnerability, so as to provide support for the smooth operation of the new energy grid.

Keywords: anti-disturbance capacity; network structure; power grid vulnerability; comprehensive ranking

电网系统发展为人生产生活提供了基础的电能支撑, 是高能耗、高污染治理的关键领域, 是引领新能源革命的重要力量, 目前, 能源、环境问题日益严峻, 而电力因市场需求量大、覆盖范围广亟待能源创新, 驱动新能源电网的建构。风能、太阳能、潮汐能等新能源等作为可再生能源, 具有节能、环保的优势性, 以其为应用发展的新能源电源并网运行, 可缓解煤炭、石油等发电的高能耗、高污染问题, 促使电网趋向绿色生态发展。但是因为新能源电网出力的随机波动性, 促使电网结构、运行方式发生改变, 造

就了电网脆弱性, 一旦评估防控不当则可能造成大规模停电事故, 甚至影响整个电网系统的安全平稳运行, 为此, 新能源电网并入的大趋势下, 准确识别及评估电网脆弱性至关重要。

从本质上看, 电网脆弱性是电网正常运行状态下, 在遭遇局部扰动或结构改变时, 局部或全部母线可确保正常输电能力逐渐减弱的特征, 根据现有研究分析, 吴晨等^[1]应用复杂网络理论, 基于支路有功潮流界定线路效能权值, 以此评估电网脆弱性。目前, 研究中关于电网脆弱性评估已有众多研

收稿日期: 2021-08-18; 责任编辑: 郭海霞 DOI: 10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.03.043

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目资助(2018YFB0905300)

作者简介: 陈 喆(1989—), 女, 广东揭阳人, 研究方向为信息管理与信息系统。

引用格式: 陈喆. 基于抗扰动能力和结构重要性评估的新能源电网脆弱性研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(3): 259-263.

Chen Zhe. Research on vulnerability of new energy grid based on anti-disturbance capacity and structural importance assessment[J]. China Energy and Environmental Protection, 2022, 44(3): 259-263.

究,其中,沈青文等^[2]根据经济性及电压质量的双重考量,来建构电网运行脆弱性的评价指标体系,并据此优化设计配置模型;孙珂等^[3]基于电网运行的潮流分布,透过节点和支路在电网中的重要度量化,测评电网结构脆弱评价指标。可见,现有研究已经从不同视角、采用不同方法来评估电网脆弱性,对于本文研究具有一定参考价值,但是,也存在较多不足,多数集中在电网运行结构、元件、线路等单一因素来评价电网脆弱性,缺失全面性。而新能源大规模并网下改变了电网运行结构、让其遭受更多的扰动,运行环境变得更加复杂多变。

本文着眼于风能、光能等可再生新能源并网的大趋势,基于抗扰动性及结构重要性的综合性评估,来更全面、准确地辨识电网脆弱性,以推进新能源电网安全稳定运行,助力电力行业的绿色发展。

1 新能源电网脆弱性评估的指标

1.1 抗扰动能力评价指标

在风、光等新能源并网的电力系统中,因新能源发电功率的波动容易引发其他节点注入功率的随机波动,在超出或小于约束值时,会带来节点电压、支路潮流等状态变量的变化^[4],造成电网扰动或故障,进而影响整个电网的运行稳定性。例如新能源并入会打破以往保护设备的配合关系,减弱保护灵敏度甚至出现拒动,新能源并入对电网继电保护影响如图1所示。以k1故障点为例,在DG接入之前,由系统为该故障点提供短路电流,但DG接入后,其与系统共同为故障点提供电流,但QF1处的保护仅可感知系统提供的短路电流,在其他条件既定下,该电流会因DG的接入而降低甚至是拒动,同理k2、k3、k4故障点保护也存在同样问题。

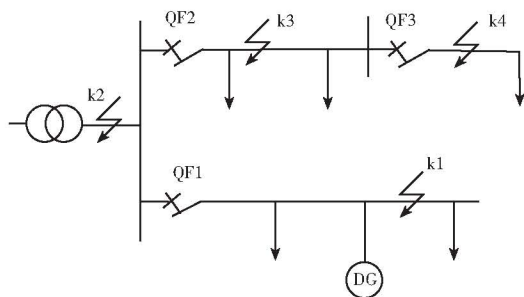


图1 新能源并入对电网继电保护影响

Fig. 1 Impact of new energy integration on power grid relay protection

故而,仅从电网结构评估脆弱性存在片面性,本文将抗扰动能力重要性引入电网脆弱性评估之中,结合灵敏度分析方法能够正确反馈新能源接入时电网产生随机扰动过程中各状态变量的变化,选用牛顿—拉夫逊法潮流计算,结合电压与无功功率之间的耦合关系,计算节点电压敏感度指标:

$$S_{Ni} = \sum_{j=1}^n \left| \frac{\partial V_i}{\partial Q_j} \right| \quad (1)$$

式中, $\frac{\partial V_i}{\partial Q_j}$ 为节点*i*的电压对节点*j*的无功的灵敏度;*n*为新能源接入电网的节点数量。

同时,大规模新能源接入时电网受到扰动,此时,系统内的电气元件故障会造成节点失负荷^[5],所以,在评价电网抗扰动能力时,依据风险理论量化节点失负荷后的影响性,也即节点故障影响度指标:

$$T_{Ni} = \omega_i P \frac{S_i}{S_B} \quad (2)$$

式中,*P*为新能源并入电网的节点故障率, $P = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$ (λ 、 μ 分别为失效率、修复率); ω_i 为负荷等级加权系数;*S_B*为电网的功率基准值;*S_i*为节点*i*的视在功率^[6]。

1.2 结构重要性评价指标

新能源变并入电网会触发出力波动,尤其在输出功率产生随机波动时,会改变支路潮流流向,进而影响电网的整体结构,但其对于电网结构脆弱性的影响是一个非确定性问题,需转换为确定性问题予以量化分析。从构成上看,电网系统构成复杂,涉及诸多负荷节点、输电线路。为此,目前研究多根据复杂网络理论,基于节点重要度来进行电网拓扑结构建模,以辨识电网脆弱环节及状况^[7],且脆弱性评估中单一以节点或线路的介数、差异性界定网络结构熵,有失全面性、客观性。本文融合节点和线路的差异性,来计算加权的网络结构熵,以实现基于结构重要性的新能源电网脆弱性评估。因节点度直接表征其在电网结构中的重要性,节点差异性以节点度的分布进行测算,公式为:

$$D_i = [1 - P(k_i)] \times N \quad (3)$$

式中, $P(k_i)$ 为节点度数为*k_i*的概率;*k_i*为节点度;*N*为节点数量。

同时,针对以往节点度计算方法不能准确反映等同度数的节点重要性,故而,对*k_i*计算方法进行改进:

$$k_i = \frac{P_i}{P_{ad}^2} \sum_{j \in V_{ad}} P_j \quad (4)$$

式中, P_i 为节点 i 连接边的数量; $\overline{P^2}$ 为节点的平均度数; V_{ad} 为节点 i 连接的全部节点数量; P_j 为与节点 i 相邻的节点度。

节点度还与负荷等级密切相关, 高负荷等级的重要性较高, 故而, 本文在式(4)基础上进一步改进节点度:

$$k_{Ni} = k_i \omega_i \frac{S_i}{\sum_{j=1}^n S_j} \quad (5)$$

式中, ω_i 为负荷等级的加权系数; S_i 为节点 i 的视在功率; S_j 为与节点 i 相邻节点的视在功率。

复杂网络理论是将电网拓扑结构简化为点线图进行建模, 以透过节点、线路之间的相互关系, 识别脆弱环节。建模时, 节点度为 k_i , 此时, 选定某一线路时, 节点被选择连接的概率为 k_i , 此时将全部输电线路视为无向有权边, 以节点领域内的电抗值作为各线路的权重, 用于描述线路的差异性:

$$L_i = k_i D_i \sum W_{ij} \quad (6)$$

式中, $\sum W_{ij}$ 为电抗值。

据此, 基于节点和线路差异性, 即可用下式确定结构重要性:

$$I_i = \frac{B_i}{\sum_{i=1}^n B_i} = \frac{(k_i \sum W_{ij} + 1) \times [1 - P(k_i)]}{\sum_{i=1}^n (k_i \sum W_{ij} + 1) \times [1 - P(k_i)]} \quad (7)$$

式中, $B_i = (D_i + L_i)/2$, 为综合节点和线路差异性得出的中间量。

综上所述, 新能源电网结构重要性评估过程如图2所示。

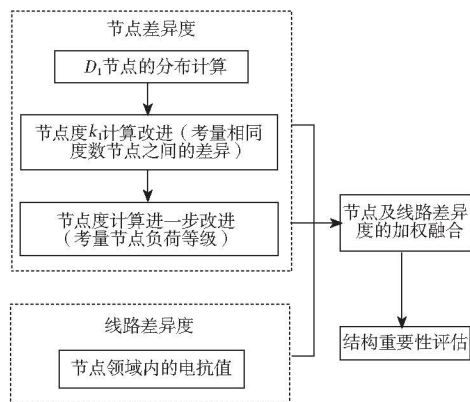


图2 新能源电网结构重要性评估过程

Fig. 2 Assessment process of structural importance of new energy grid

2 新能源电网脆弱性评估模型的构建

基于上述抗扰动能力及结构重要性评估指标的融合, 通过各指标赋权可得出综合性评价结果, 以此构建的新能源电网脆弱性评估模型如图3所示。

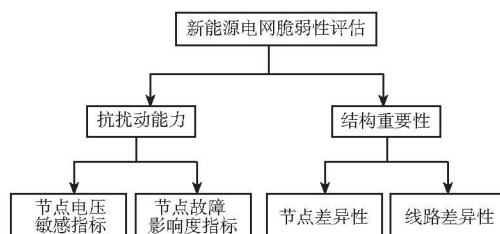


图3 基于抗扰动能力和结构重要性的新能源电网脆弱性评估模型

Fig. 3 Vulnerability assessment model of new energy grid based on anti-disturbance capacity and structural importance

因抗扰动能力和结构重要性评估指标的量纲不同, 直接赋权容易影响脆弱性评价的准确性, 故而, 选用 min—max 标准化方法进行归一化处理:

$$x^* = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (8)$$

式中, x_{\min} 、 x_{\max} 分别为指标集的最小值、最大值; x 为目前指标值。

同时, 本文将采用 AHP 法赋予各指标不同的权值, 以建构基于抗扰动能力和结构重要性的电网脆弱性评估模型为:

$$VI_{Ni} = \alpha_1 S_{Ni} + \alpha_2 T_{Ni} + \alpha_3 D_i + \alpha_4 L_i \quad (9)$$

式中, α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 分别为抗扰动能力和结构重要性各评价指标的权重。

3 新能源电网脆弱性评估方法的仿真分析

3.1 仿真的算例

为验证基于抗扰动能力和结构重要性评估的新能源电网脆弱性评估的有效性, 本文选用 IEEE33 节点配电网标准算例进行仿真分析, 其配设 33 个节点、32 条支路、5 条联合支路, 并将源节点(节点①)设为平衡节点, 圆圈内的数字为节点, 未带圆圈的数字为支路, 基准电压为 12.66 kV, 基准功率为 10 MVA。网络拓扑结构如图4所示。

仿真时, 以风电新能源并入为例, 利用变压器和 110 kV 输电线路在节点②电源中接入额定容量为 0.6 MW 的风电机组, 电网功率基准值设定为 100

MVA,风电机组切入、切出及额定风速分别为 3、25、13.5 m/s,风轮直径为 54 m,额定电压为 690 V。

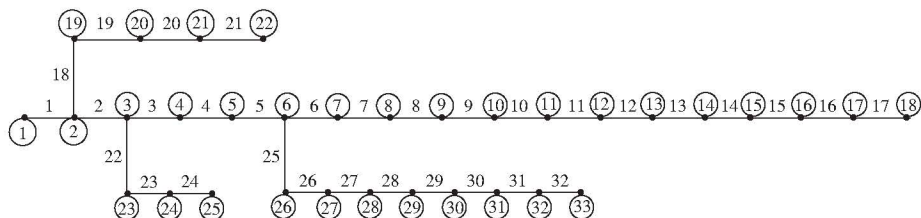


图 4 IEEE33 节点配电网络拓扑结构

Fig. 4 Topology structure of IEEE33 node distribution network

3.2 新能源电网各脆弱性评估结果

利用 Matlab 仿真软件对新能源电网脆弱性指标进行评估计算,所得结果如图 5 所示。

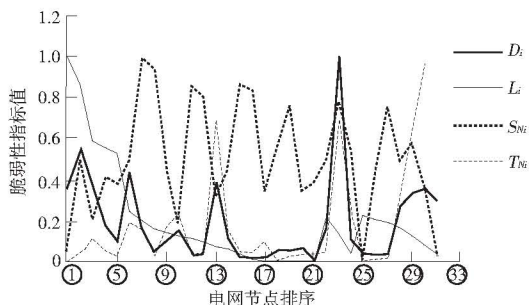


图 5 新能源电网各节点脆弱性评估指标的计算结果

Fig. 5 Calculation results of vulnerability assessment indexes of each node of new energy grid

结合图 5 可知,选用不同评价指标测算得出的新能源电网脆弱性排序存在既定差异,这是因为各指标评估重点各异,影响了各节点脆弱性排序,诸如节点②基于 T_{Ni} 指标测算,其脆弱性仍然较高,节点②通过 S_{Ni} 指标测算,其脆弱性较小。这是因为节点③虽然处于网络拓扑结构的末端,但负荷等级较高,节点的视在功率、加权节点度数较高,且电网内电气元件故障对其影响较大,故而,脆弱性较高;而节点②虽位于网络前端,但是,因为新能源接入节点及位置变化,使其负荷优先级下降、受扰动性减弱,脆弱性得以优化。可见,单一评价指标在进行新能源电网脆弱性评估时存在一定的片面性。

3.3 新能源电网脆弱性综合评估结果

而为进一步验证基于抗扰动能力和结构重要性综合性评估的可行性,通过仿真计算得出脆弱性排序在前 10 的节点见表 1。可见,以单一评价指标及综合评价指标下,电网脆弱性排序前 10 的存在相同

节点,如节点②、③、④、⑤,只是排序不同。

表 1 不同评价指标下新能源电网脆弱性排序节点排序

Tab. 1 Ranking of vulnerability nodes of new energy grid under different assessment indexes

脆弱性排序	抗扰动能力指标	结构重要性指标	综合性指标
1	⑤	①	②
2	②	②	⑤
3	②⑥	③	③
4	②⑦	④	①
5	③	⑤	④
6	④	⑥	②⑤
7	②⑤	⑦	⑦
8	⑨	②⑤	⑥
9	①①	⑧	⑧
10	①⑩	②⑥	①①

由表 1 可知,以抗扰动能力为评价指标,电网脆弱性最大的为节点⑤,这是因为该节点连接线路多、度数高,节点故障影响,性较大;以结构重要性为评价指标,电网脆弱性最大的为节点①,这源于该节点位于电网馈线的最前端,是网络中不同节点最短路径经过最多的节点,也即节点度数较大,结构重要性较大,一旦发生故障,极易引发连锁反应,造成整个电网的大规模故障。而融合抗扰动能力与结构重要性综合指标,对新能源电网脆弱性评估可得,大致排序趋同,亦存在一定差异,最脆弱的为节点②,该节点邻近源节点①,其节点度数、有功注入功率、负荷需求、电抗值等相对较高,是网络中供传输电的关键节点,对于新能源电网脆弱性影响较大,而且,该节点在单一体指标评估中脆弱性也位于前列,显然,综合性评价指标仅考量了节点的网络结构重要性,而且反映出新能源接入后带来的随机扰动影响性,如节点②接入新能源电源后,扰动性产生了就近影响,节点①①、⑦、⑧的脆弱性下降,这证明综合性评价指标具有应用的可行性。

同时,为检验上述脆弱性评估方法的应用性,本文以华北地区某电网为实例,其风能资源丰富,以西北风主风向,风速可达 $5.4 \sim 8.0 \text{ m/s}$,太阳能资源丰富,年照可达 $2\,800 \sim 3\,200 \text{ h}$,太阳总辐射为 $1\,600 \sim 1\,800 \text{ kWh/m}^2$ 。基于该资源优势,该电网的风电装机容量、光伏电装机容量分别为 760 万 kW 、 155 万 kW ,并网分别为 730 万 kW 、 115 万 kW 。结合上述评价指标体系,利用 AHP 方法计算得出各脆弱性指标权重见表2。

表2 华北某新能源电网脆弱性评估指标权重
Tab.2 Weight of vulnerability assessment index of
a new energy grid in North China

一级指标	权重	二级指标	权重
抗扰动能力	0.218	节点电压敏感度	0.052
		节点故障影响度	0.055
结构重要性	0.202	节点差异性	0.049
		线路差异性	0.051

由表2可知,一级指标中抗扰动能力是华北某电网脆弱性的主要影响因素,而二级指标中,对电网脆弱性影响由大至小依次为节点故障影响度、节点电压敏感度、线路差异性、节点差异性。将最终计算得出的2018—2020年华北某新能源电网脆弱性评估值与实际值比较可得表3。显然,该期间电网处于中轻度脆弱状态,评估值与实际值的相对误差及绝对误差控制在8%以下,上述脆弱性评估指标在实际应用中可实现新能源电网状态的准确评估,应用优势明显。

表3 华北某新能源电网脆弱性评估结果
Tab.3 Vulnerability assessment results of a new
energy grid in North China

年份	脆弱性评估值	脆弱性实际值	绝对误差	相对误差/%
2018	51.22	47.11	4.11	8.7
2019	46.69	45.03	1.66	3.7
2020	37.05	38.66	1.61	4.2

4 结语

风能、光能等新能源因具有高效、清洁的特质,在提升发电能效的同时,可缩减化石能源损耗及污染,是电网绿色发展的主流趋势,但是,大规模新能源的并入会改变电网结构和各支路潮流,影响电网电压稳定性、功率平衡,造成随机扰动性及结构脆弱性。为此,而上述研究基于节点和线路的差异性

建构结构重要性评估指标,并融合节点敏感度、节点故障影响度建构抗干扰性重要性评估指标,从而融合抗干扰性、结构重要性双重指标,综合测评新能源电网的脆弱性,其摒弃了单一以结构重要度评价电网脆弱性的做法,在评价指标及方法上均有改进,可更客观、真实地反映新能源并入对电网系统运行安全稳定性的影响,对于合理规划新能源应用、促成电网绿色发展具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] 吴晨,韩海腾,祁万春,等.基于改进线路效能的电网脆弱性辨识方法研究[J].电力工程技术,2018,37(5):64-68.
Wu Chen,Han Haiteng,Qi Wanchun,et al. Research on power grid vulnerability identification method based on improved line efficiency [J]. Electric Power Engineering Technology,2018,37(5):64-68.
- [2] 沈青文,程若发,付鑫.一种计及脆弱性指标的分布式电源优化配置方法[J].电力建设,2020,41(3):54-61.
Shen Qingwen,Cheng Ruofa,Fu Xin. A distributed power optimization configuration method that takes into account the vulnerability index [J]. Electric Power Construction,2020,41(3):54-61.
- [3] 孙珂,曹阳,陈天一,等.大电网脆弱性评估的潮流系数分析方法[J].电力电容器与无功补偿,2021,42(1):101-107.
Sun Ke,Cao Yang,Chen Tianyi,et al. Power flow betweenness analysis method for vulnerability assessment of large power grids [J]. Power Capacitors and Reactive Power Compensation,2021,42(1):101-107.
- [4] 李小伟,陈楚.负荷预测在配网规划中的研究及应用[J].能源与环保,2021,43(3):143-147.
Li Xiaowei,Chen Chu. Research and application of load forecasting in distribution network planning [J]. China Energy and Environmental Protection,2021,43(3):143-147.
- [5] 李万智,白小奇,施念,等.考虑储能可靠性的高海拔地区变电站用储能配置研究[J].能源与环保,2020,42(12):130-136.
Li Wanzhi,Bai Xiaoqi,Shi Nian,et al. Study on station-used energy storage configuration for substation in high altitude area considering energy storage reliability [J]. China Energy and Environmental Protection,2020,42(12):130-136.
- [6] 周依希,李晓明,瞿合祚.基于反熵—AHP二次规划组合赋权法的电网节点综合脆弱性评估[J].电力自动化设备,2019,39(7):133-140.
Zhou Yixi,Li Xiaoming,Qu Hezuo. Comprehensive vulnerability assessment of power grid nodes based on anti-entropy-AHP secondary planning combined weighting method [J]. Electric Power Automation Equipment,2019,39(7):133-140.
- [7] 王孝琳,郝超超,李晓明,等.含分布式电源的配电网脆弱性分析[J].电测与仪表,2019,56(6):38-43.
Wang Xiaolin,Hao Chaochao,Li Xiaoming,et al. Vulnerability analysis of distribution network with distributed power sources [J]. Electrical Measurement and Instrumentation,2019,56(6):38-43.

基于优化人工蜂群算法的多机器人协同规划

张林

(深圳供电局有限公司, 深圳福田, 518001)

摘要 为了提高人工蜂群算法在多机器人路径规划中的性能, 本文提出了优化人工蜂群算法。提出了一种新的环境建模方法, 将障碍物边缘平滑化; 分析了人工蜂群算法原理, 改进了新食物源的生成方法, 提出了自适应的搜索因子, 兼顾了大范围搜索和算法收敛速度; 改进了机器人路径点的表示方法, 使用位置夹角表示机器人路径点, 减少了位置参数; 使用加权方式将路径长度、路径平滑度、路径安全性综合为目标函数。仿真实验结果表明改进在多机器人路径规划中不仅耗时较少, 而且路径也短, 且随着机器人数量的增加, 耗时和路径长度的差距越来越大。

主题词 多机器人 协同规划 优化人工蜂群算法 自适应搜索因子

Vehicle Anti-collision System Based on Self-adaptive obstacle recognition

Zhang Lin

(Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd. ShenZhen futian 518001, China)

Abstract: To improve property of Artificial Bee Colony algorithm in multi-robot path planning, optimized Artificial Bee Colony Algorithm is proposed. A new environment model is given, which makes barrier border smooth. Principle of Artificial Bee Colony algorithm is analyzed, adaptive searching factor is raised to improve new food source generation method, which balances searching range and convergence rate. Robot path point is improved by location angle, and by this way location parameter is lessen. Path length, path smoothness and path safety is synthesized to a goal function by weight. Simulation trial shows that path length and time cost of improved algorithm is superior to primary algorithm. And with robot quantity increasing, the gap of the two algorithms is bigger and bigger.

Key words: Multi-robot, collaborative planning, optimized artificial bee colony algorithm, adaptive searching factor

引言

相比于单个机器人，多机器人系统^[1]具有诸多优势：当某一机器人出现故障时，机器人系统依然具有协调完成任务的能力，鲁棒性很强；通过机器人之间的协调，可以完成更加复杂多样的任务，效率很高；相比于制造复杂且功能强大的机器人，功能简单的多机器人成本更低，因此研究多机器人系统具有诸多的现实意义。多机器人的导航问题是多机器人系统重要的研究方向，研究多机器人路径规划问题是实现多机器人自主导航的关键。

根据机器人对工作环境的了解情况，可以将机器人路径规划分为全局路径规划和局部路径规划^[2]。全局路径规划成熟的方法包括栅格法^[3]、自由空间法^[4]、构型空间法^[5]等，栅格法解决路径规划问题简单直观，但栅格大小的选取牵扯到存储量和信息分析率，因此使用受到一定限制；自由空间法适用于障碍物较少的情况，当障碍物增加时算法复杂度增加且不易实现；构型空间法缺点是当机器人紧邻障碍物时，无法保证机器人安全性。局部路径规划成熟的方法包括人工势场法^[6]、神经网络法^[7]等，人工势场法解决机械臂路径规划具有较好效果，但是存在局部极小值和目标不可达问题；神经网络算法有点是鲁棒性强、学习能力强，但是存在数据量的要求；

本文为了研究多机器人路径的协同规划问题，受栅格法启发提出了新的环境建模法；将人工蜂群算法的新食物源生成方法、机器人路径表示方法进行改进，实现了多机器人路径短、平滑、安全且耗时少的目标。

1 环境建模方法

对于已知环境的建模问题，当前使用最多的是栅格建模法，就是将工作环境划分为一定大小的栅格，只要栅格中存在障碍物（不论大小）就将其视为障碍物栅格。这种建模方法存在空间开销、计算速度与分辨率的矛盾。

本文提出的环境建模方法为：在工作环境中建立直角坐标系，但是不划分栅格，通过给出障碍物的顶点来区别障碍物，如图1中所示，对于圆形障碍物将其简化为一个圆点，同时给出其障碍范围。但是当机器人从顶点之间穿过时，在现实中就是机器人与障碍物相撞，为了解决这一问题，本文将障碍物的顶点进行连线，不允许机器人规划出的路径穿过连线，从而避免机器人与障碍物相撞。

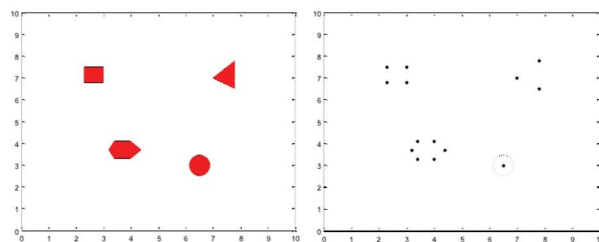


图1 环境中障碍物表示方法

但是这种障碍物表示方法会增加机器人路径规划时间，也会使机器人产生运算压力，因此考虑将所有障碍物包裹在一个圆形区域内，也就是将每个障碍物都看成适当大小的圆形障碍物，如图2所示。

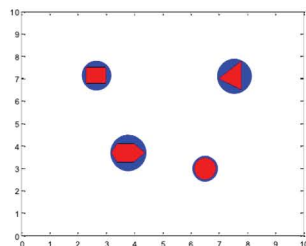


图2 障碍物表示方法

2 人工蜂群算法

2.1 蜂群采蜜模型

在蜂群采蜜过程中，可以分为三个组成要素和两种基本行为。三个组成要素包括食物源、雇佣蜂和非雇佣蜂，其中非雇佣蜂包括观察蜂和侦察蜂。两种基本行为是招募蜜蜂采蜜、放弃食物源。蜂群觅食的过程是：每只雇佣蜂对应一处蜜源，同时在此蜜源附近搜索新蜜源，若发现新蜜源后则放弃原蜜源；雇佣蜂将蜜源信息以摇摆舞的形式传递给观察蜂，观察蜂根据蜜源远近、花蜜丰富程度等选择蜜源；侦察蜂发现某处蜜源采集次数多而接近枯竭时就放弃此处蜜源。从数学的角度讲，雇佣蜂负责搜索局部极值，观察蜂负责选择全局极值，侦察蜂负责摆脱局部极值。

在蜜蜂采蜜过程中，两种基本行为对应两种反馈机制。当雇佣蜂发现一处花蜜丰富的蜜源时，会以摇摆舞的方式吸引蜜蜂前来采蜜，此处蜂蜜越丰富则前来采蜜的蜜蜂越多，因此招募蜜蜂采蜜行为是一种正反馈机制。但是若某一蜜源经过反复采集面临枯竭而得不到更新时，侦察蜂就会放弃此处蜜源，转而寻找其他食物源，这是一种负反馈机制。

2.2 人工蜂群算法模型

首先给出人工蜂群算法^[8,9]的五个策略，而后给出算法步骤。

(1) 初始化策略。算法的初始化就是给出初始食物源位置，记为 (x_1, x_2, \dots, x_N) ，其中 N 为食物源数量， $x_n, n \in [1, N]$ 是一个位置坐标，初始化方法为

$$x_{ni} = rand(0,1) \times (ub_i - lb_i) + lb_i \quad (1)$$

式中 ub_i 、 lb_i 分别为 x_{ni} 可以取得的最大值和最小值， $rand(0,1)$ 为 $(0,1)$ 之间的随机数。

(2) 食物源评价策略。食物源评价策略是对每个食物源给出综合评价并进行比较，从而保留花粉密度大、离蜂巢近的食物源。在人工蜂群算法中食物源适应度函数为

$$fitness(x_n) = \begin{cases} \frac{1}{1 + f(x_n)} & f(x_n) \geq 0 \\ 1 + |f(x_n)| & f(x_n) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中 $f(x_n)$ 为相对于食物源 x_n 的目标函数值，且 $n \in [1, N]$ 。

(3) 雇佣蜂搜索策略。雇佣蜂会记忆蜜源丰富的食物源传递给观察蜂，同时在此食物源附近搜索新的食物源，发现更加优质的食物源后，雇佣蜂就会抛弃原食物源。其搜索过程为

$$x'_m = \begin{cases} ub_i & x_m + \varepsilon_m(x_m - x_{ki}) > ub_i \\ lb_i & x_m + \varepsilon_m(x_m - x_{ki}) < lb_i \\ x_m + \varepsilon_m(x_m - x_{ki}) & else \end{cases} \quad (3)$$

式中 x'_m 为新食物源坐标， x_m 为当前食物源坐标， ub_i 、 lb_i 分别为 x'_m 可以取得的最大值和最小值， x_{ki} 为随机选取的异于 x_m 的另一食物源， ε_m 为搜索系数且 $\varepsilon_m \in (-1,1)$ 。当雇佣蜂发现新的食物源 x'_m 后，就会比较新旧食物源的适应度值，选择并保留适应度大的食物源，放弃适应度小的食物源。

(4) 观察蜂选择策略。雇佣蜂通过摇摆舞将食物源信息传递给观察蜂，观察蜂根据这些信息计算每个食物源的适应度 $fitness(x_n)$ ，再根据食物源适应度计算选择每个食物源的可能性 $probability(x_n)$ ，计算公式为

$$probability(x_n) = \frac{fitness(x_n)}{\sum_{n=1}^N fitness(x_n)} \quad (4)$$

如果此值大于某一阈值，则观察蜂选择此处食

物源，否则放弃。

(5) 侦查蜂觅食策略。侦查蜂觅食策略为当经过最大采蜜次数的循环后，某一食物源依旧没有得到改善更新，就会认为此处食物源经过多次采集已经枯竭，侦查蜂就会放弃这些食物源而随机产生食物源，这种觅食策略可以增加食物源多样性，使算法跳出局部极值。侦查蜂的下一食物源 x_m^{k+1} 选择策略表达式为

$$(5) \quad x_m^{k+1} = \begin{cases} \text{rand}(0,1) \times (ub_i - lb_i) + lb_i & \text{trial} > \text{limit} \\ x_m^k & \text{trial} < \text{limit} \end{cases}$$

式中 trial 为优化次数或更新次数， limit 为允许的最大选择次数。

通过以上对人工蜂群算法^[10]的分析，给出算法步骤如下。

Step1: 初始化参数。给出食物源数目 N 、最大循环次数 MaxLoop 、优化限制次数 limit ；

Step2: 产生初始食物源；

Step3: 雇佣蜂觅食。在每个食物源附近搜索并计算食物源适应度值，选择优质食物源放弃劣质食物源；

Step4: 观察蜂选择。观察蜂对雇佣蜂传递回的食物源信息进行比较，计算选择每个食物源的可能性，对于最大可能性最大（最优值）的食物源，分配蜜蜂前去采蜜；

Step5: 侦查蜂觅食策略。若经过 limit 次选择最优食物源仍得不到更新，则随机产生一食物源，从而达到了摆脱局部极值的目的；

Step6: 若循环次数达到上限而没到达目标点，则路径规划失败，算法结束；若多机器人均到达目标点则规划成功，算法结束。

3 优化人工蜂群算法

本节主要对新食物源的生成方法和机器人路径点的表示方法进行改进，而后以路径最短、平滑和安全等三个方面作为优化目标给出了目标函数。

3.1 新食物源生成方法改进

在人工蜂群算法中，侦查蜂对附近区域食物源的搜索方式如式（3）所示，也就是根据记忆中的两个食物源，在 $(-1,1)$ 范围内随机产生一个因子进行搜索，在算法运行的前期，如此大的搜索范围可以使得侦查蜂在更大范围内搜索全局最优值，但是在算法后期，如此大的搜索范围使算法无法快速收敛到全局最优。

因此可以随着算法的推进，自适应的改变搜索系数 ε_m 的值，使其在算法前期保持较大搜索范围，在算法后期逐渐减小其搜索范围，使其能够快速收敛至全局最优。自适应搜索系数 ε_m 表达式为

$$\varepsilon_m = \exp\left(\frac{\text{Loop}}{\text{MaxLoop}}\right) \times \text{rand}(-1,1) \quad (6)$$

式中 Loop 为算法的当前迭代次数， MaxLoop 为算法的最大迭代次数。由上式可以看出，随着算法的进行，搜索范围最终缩小为原来的 $1/e$ 。

3.2 机器人路径点的表示方法

机器人路径由机器人路径点连接而成，在栅格法中，使用机器人所在栅格坐标表示机器人路径点，本文以路径平滑度作为优化的一个目标，使用坐标

的方法难以对路径平滑度进行表示，因此本文提出了使用下一位置相对于当前位置的夹角表示机器人路径点，如下图所示。

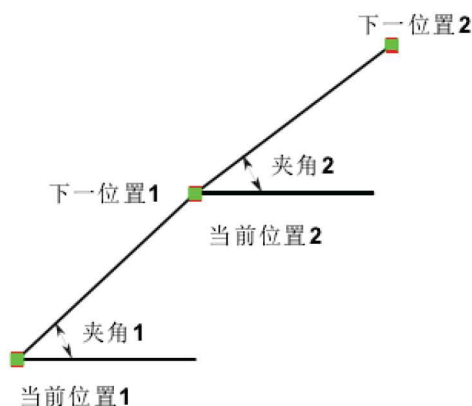


图3 机器人路径点表示方法

图中绿色方块表示机器人位置，规定机器人步长恒定为 $StepLen$ ，夹角1和夹角2就可以用来表示机器人当前位置点。将此方法转化为机器人坐标表示的方法为

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + StepLen \times \cos \theta_k \\ y_{k+1} = y_k + StepLen \times \sin \theta_k \end{cases} \quad (7)$$

式中 (x_k, y_k) 为机器人当前路径点坐标， (x_{k+1}, y_{k+1}) 为下一路径点坐标。 θ_k 为下一位置相对于当前位置夹角。

此方法将坐标表示的横纵坐标两个变量转化为夹角一个变量，简化了表示方法，减少了算法的计算过程，提高了路径规划的实时性。

3.3 目标函数及食物源评价策略

本文将路径总长度、路径平滑性、路径安全性作为优化的三个目标，使用综合加权的方法将三个

目标转化为一个目标。路径平滑性使用夹角的差值表示，路劲安全性使用机器人到障碍物距离倒数表

示。最终优化目标 Obj 为

$$\begin{aligned} Obj = & \sum_{i=1}^N \left[w_1 \times dis(\mathbf{x}_i, \mathbf{G}_i) + w_2 \times \sum_{k=1}^Z \frac{1}{dis(\mathbf{x}_i, \mathbf{B}_k)} \right] \\ & + w_3 \times \sum_{i=2}^{Step} |\theta_i - \theta_{i-1}| \end{aligned} \quad (8)$$

式中 w_1 、 w_2 、 w_3 分别表示距离、安全性、平滑性权重， $dis(\mathbf{x}_i, \mathbf{G}_i)$ 表示当前位置与目标点距离， $dis(\mathbf{x}_i, \mathbf{B}_k)$ 表示当前位置与障碍物距离， Z 为障碍物数量， $Step$ 为机器人步数。

在机器人路径规划中，机器人之间互为动态障碍物，若进行食物源评价时，若两机器人路径出现重合点，要分析是否到达此重合点，若是则将适应度值置0重新进行路径规划，否则按照式(2)计算适应度值。

4 仿真实验验证

仿真软件为 Matlab，计算机配置为 Intel Core i5 处理器、主频 2.6GHz、8G 内存。设置的验证试验包括两个方面：一是验证改进人工蜂群算法相对于标准算法的用时短，二是验证改进算法的平滑性和路径长度优于标准算法。机器人起点和目标点随机产生。

参数设置。仿真的循环次数为 1000，种群大小为 20。在第一次验证试验中，对 3 个机器人进行路径规划，工作区域中含有 4 个不同大小的障碍物，使用建模方法将其转换为适当大小的圆形障碍物，分别使用改进人工蜂群算法和标准算法对其进行路径规划如下图所示。

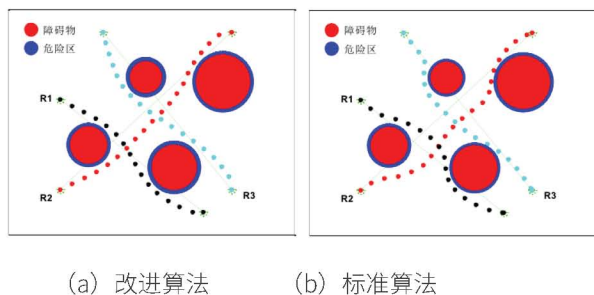


图4 两种算法的规划结果

从图中可以看出,改进算法的路径平滑度明显优于标准算法,这是由于本文提出的建模方法中障碍物边缘处圆滑,使机器人没有急转弯。此次试验主要对比算法消耗的时间,将路径规划任务重复10遍,统计10次路径规划所用时间,如表1所示。

表1 算法消耗时间统计

算法次数	改进算法耗时 (s)	标准算法耗时 (s)
1	2.588	11.015
2	2.646	10.986
3	2.562	10.865
4	2.857	10.741
5	2.714	10.935
6	3.148	10.097
7	2.856	10.266
8	2.737	10.692
9	2.962	10.958
10	3.011	11.214
平均值	2.822	10.777

通过以上数据可以看出,改进算法与标准算法耗时查究较大,主要有三点原因:一是机器人路径点的改进,将横纵坐标两变量转化为夹角一个变量,减少了算法运算时间;二是对搜索因子的改进在算法后期使算法快速收敛,极大减少了算法收敛时间;三是改进算法路径相对平滑且路径较短,也就是说改进算法进行路径规划循环次数比标准算法要少。这种耗时上的差距会随着机器人数量的增加而逐渐

拉大。

第二次试验试验验证路径平滑度和路径长度,参数设置与试验一不变。规划三个机器人在四个障碍物环境中的路径,起始点分别为(2,2) (2,9) (7,1),相应的目标点分别为(8,9) (9,4) (2,6)。分别使用改进算法和标准算法进行路径规划,得到的结果如下所示。

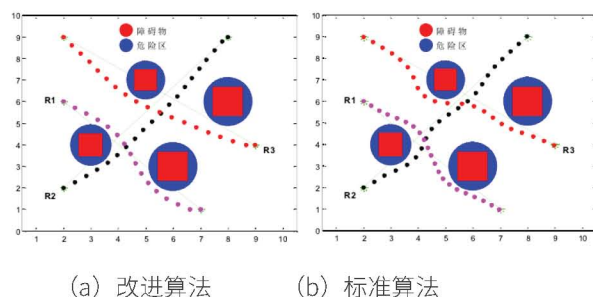


图5 两种算法的规划结果

从图中明显的可以看出改进算法的路径平滑度优于标准算法。统计去10此规划出的路径长度,如下表所示。

表2 路径长度统计

算法次数	路径长度	路径长度
1	25.7128	23.8001
2	25.7128	23.7998
3	25.7129	23.7997
4	25.7128	23.7998
5	25.7128	23.8011
6	25.7129	23.7992
7	25.7128	23.7983
8	25.7129	23.7996
9	25.7128	23.7992
10	25.7128	23.8007
平均值	25.7128	23.7998

从表中可以看书,改进算法的路径长度短于标准算法,主要原因包括两方面:一是环境建模方法

使路径平滑, 少走了弯路; 二是搜索因子前期大范围的搜索保证了全局最优的发现。

5 结论

通过以上分析可以得出以下结论: (1) 本文提

出的环境建模方法使障碍物边缘处平滑, 保证了路径的平滑性; (2) 搜索因子的改进既保证了前期的大范围搜索, 又减少了算法收敛时间; (3) 机器人路径点表示方法减少了参数, 节约了算法时间, 也更适用于本文提出的环境建模方法。

参考文献

- [1] 吴军, 徐昕, 王健, 等. 面向多机器人系统的增强学习研究进展综述 [J]. 控制与决策, 2011, 26(11):1601-1610.
- [2] 余勇. 基于改进蚁群算法的移动机器人路径规划研究 [J]. 机械传动, 2016(7):58-61.
- [3] 柴寅, 唐秋华, 邓明星, 等. 机器人路径规划的栅格模型构建与蚁群算法求解 [J]. 机械设计与制造, 2016(4):178-181.
- [4] 王丹. 自由漂浮空间机器人路径规划研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [5] 蔡佐军, 孙德宝, 秦元庆, 等. 基于构型空间法的机器人路径规划研究 [J]. 计算机与数字工程, 2006, 34(4):88-90.
- [6] 张殿富, 刘福. 基于人工势场法的路径规划方法研究及展望 [J]. 计算机工程与科学, 2013, 35(6):88-95.
- [7] 魏明明. 进化脉冲神经网络的路径规划研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2013.
- [8] 宁爱平, 张雪英. 人工蜂群算法的收敛性分析 [J]. 控制与决策, 2013(10):1554-1558.
- [9] 邱剑锋. 人工蜂群算法的改进方法与收敛性理论的研究 [D]. 合肥: 安徽大学, 2014.
- [10] 王艳娇. 人工蜂群算法的研究与应用 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.

基金项目: 教育部重大创新工程培育资金资助项目 (708045)

作者简介: 张林 (1987-), 男, 江苏徐州人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为机器人控制技术研究、输变电领域技术研究与管理。



08

高交会专版

High tech Fair Special Edition





第26届
高交会新能源展

新型电力系统设备 升级改造技术交流会

N+专题。多位院士专家高交会论剑。
国网南网+五大六小悉数出席。
四新技术闪亮登场。

中国电力设备高质量发展指数封顶。

中国电力科学研究院院长高克利，国家电网有限公司原总工程师张启平，国家电网公司原安全总监、现任中国电力设备管理协会安全总师兼安全专业委员会主任委员张建功等专家将在各个会议上发表主旨演讲，并担任会议主席。

科技引领发展 · 产业融合聚变

🕒 2024年11月14-15日（会期2天）

📍 深圳国际会展中心（宝安）2号馆二层会议室

会议安排

- **会议时间：**
2024年11月14-15日（会期2天）
- **会议地点：**
深圳国际会展中心（宝安）2号馆二层
- **报到时间：**
2024年11月13日
- **报到地点：**
深圳市宝安区沙井街道沙井路118号维纳斯皇家酒店
（电话：0755-27218888）
- **住宿标准：**
448元/标间、大床房（天·间）

会议简介

习近平总书记指出：“加快构建清洁低碳安全高效的能源体系，是我国能源革命的主攻方向。”建设以新能源为主体的新型电力系统，既是能源电力转型的必然要求，也是实现碳达峰、碳中和目标的重要途径。为响应国家关于构建新型电力系统的重要部署，落实国务院《能源重点领域大规模设备更新实施方案》精神，进一步构建以新能源建设为主体的新型电力系统领域产学研深度融合多方位交流平台，推进新时代新型电力系统高质量发展，中国电力设备管理协会联合深圳市电力行业协会、上海市计量协会、广东省能源协会等行业协会，定于2024年11月14—16日在深圳高交会新能源产业展期间举办系列技术交流活动。

组织架构

主办单位：

中国电力设备管理协会

联合主办：

深圳市电力行业协会
上海市计量学会
广东省能源协会

协办单位：

各省电力协会（ONC中心）
东莞市电力行业协会
佛山市电力行业协会

承办单位：

智能输配电设备产业技术创新战略联盟

参会人员

- 1.行业主管部门领导；
- 2.本协会副理事长单位集团公司领导及理事单位、会员单位代表；
- 3.联合主办、协会、承办单位领导及代表（每单位两人）；
- 4.能源相关行业企业代表（每单位两人）；
- 5.“四新”推荐目录入选单位代表（每单位两人）；
- 6.纳入中国电力设备指数的企业代表（每单位两人）；
- 7.行业专家学者、科技工作者、科研院所及高校师生；
- 8.电力工程建设、设计、研发等相关单位；
- 9.新闻媒体以及其他相关行业代表。

请于11月5日前将回执发至邮箱 kjrbxm@163.com

展会安排

- **展会时间：**
2024年11月14-16日（会期3天）
- **会议地点：**
深圳国际会展中心（深圳市宝安区福海街道展城路一号）



会议日程

论坛	内容
11月14日上午	主旨会议 新型电力系统及设备升级改造（新技术、新装备） <ul style="list-style-type: none">领导致辞专家主旨演讲指数发布四新技术典型交流
11月14日下午	平行专题会议 <ul style="list-style-type: none">第五届大湾区新型电力系统发展海上新能源发展（安全与消防）
11月15日上午	平行专题会议 <ul style="list-style-type: none">海上新能源发展（安全与消防）清洁气体替代SF6
11月15日下午	闭门会议 <ul style="list-style-type: none">组委会工作总结及未来规划

注册费用

1.会议注册费

会议注册费：非会员2200元/位，会员1800元/位（含会议资料费、正餐费，住宿和交通费用自理。）缴费后，请用微信扫码识别下方二维码进行入场登记（11月14-16日展期当天收费，请提前登记），获得电子票后截图保存，现场可扫电子票二维码或身份证入场。



2.汇款信息

参会款项请汇入本次活动承办方指定账户。

- 账户名称：厦门红电控股有限公司
- 开户行：中国建设银行厦门自贸试验区兴港支行
- 账号：3515 0110 2295 0927 9108

3.参展费用

普通展位市场价	15,800 元 / 9m ²
协会优惠价	12,640 元 / 9m ²

按每个标准展位 9 平方米计，报名单位可享受协会提供的成本价优惠参展。有参展需求的单位可以私信协会秘书处，或通过各省市 ONC 中心（电力协会）报名参加，详细内容请见附件。

展区规划

科技巨头产业链、专精特新及新质生产力、人工智能与机器人、电子信息与大数据、高端装备制造、高端医疗器械、医药及医学检验、节能环保和绿色低碳、环境水务、未来科技与智慧城市、智能建造、半导体显示与集成电路、智慧农业与数字乡村、新能源产业、低空经济与空天、智慧交通、新材料、科研院所、创新创业与金融服务等22个专业展。中国电力设备管理协会负责主办的新能源产业馆为2号馆，共有展览面积2万平方米。展区展位规划如下图所示：

第二十六届中国国际高新技术成果交易会展区规划图



时间：2024年11月14-16日

地点：深圳国际会展中心(宝安)



中国国际高新技术成果交易会
CHINA HI-TECH FAIR
2024.11.14-16 深圳国际会展中心(宝安)

2号馆

电子电器
节能环保
新材料
新能源产业



注：已标注企业名称的展位为已预定展位

会议赞助

有意赞助会议的单位，请与会务组联系。

联系方式及报名附件下载

主办方：黎林烽 13718505892（微信同号）
承办方：张建琛 13959279108（微信同号）
邮箱 kjrboxm@163.com



新型电力系统及设备升级改造技术交流会参会回执




第26届高交会新能源展意向单位参展报名回执






深圳市电力行业协会

 深圳市深南东路4020号(518001)

 0755-88932049 88935670

 szdlhangxie@163.com

 www.szepta.org.cn



协会微信公众号
(服务号)



协会微信公众号
(订阅号)