

# 电网技术

## POWER SYSTEM TECHNOLOGY



第46卷4期

Vol.46 No.4

### 中国电力科学研究院有限公司 需求响应标准化检测环境

需求响应标准化检测环境主要包括需求响应信息交换测试系统、需求响应终端软硬件功能检测系统，具备专业的需求响应系统、终端检测能力以及需求响应标准验证能力。该检测环境由中国电科院自主搭建，以中国电科院主导编制的《DL/T 1867-2018 电力需求响应信息交换规范》等三项电力行业标准为基础，可以为负荷聚合商、虚拟电厂运营商、电动汽车充电网络运营商、设备制造商等市场主体提供高效、便捷的需求响应检测服务。目前，该检测环境已应用于雄安新区需求侧主动响应标准化试点中相关产品的功能、性能检测，并为相关厂商生产的需求响应终端出具了检测报告。该成果的推广应用将极大促进需求响应软硬件产品功能统一，提升需求响应产品可靠性与业务实施效率，推动需求响应试点工作规模化发展。



国家电网  
STATE GRID

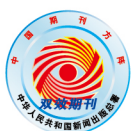
中国电力科学研究院有限公司  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

联系人：袁金斗

联系电话：010-82812771

联系邮箱：yuanjd@epri.sgcc.com.cn

ISSN 1000-3673



国家电网有限公司 主办

## 编辑委员会

主任：周孝信

委员（按姓氏笔画排序）：

丁明 卫志农 王成山 王伟胜  
王益民 王海风 韦化 文劲宇  
文福拴 艾芊 毕天姝 吕运强  
刘健 刘广一 刘开培 刘玉田  
刘明波 刘建明 汤涌 孙华东  
孙宏斌 严正 李卫东 李亚楼  
李成榕 杨胜春 肖先勇 别朝红  
何正友 张东霞 张乔根 周浩  
周泽昕 段献忠 姚良忠 袁小明  
徐政 郭剑波 梅生伟 曹一家  
曹均正 盛万兴 康重庆 董新洲  
程浩忠 谢小荣 路书军 廖瑞金  
穆钢 鞠平

青年委员（按姓氏笔画排序）：

丁一 王蓓蓓 冯双磊 吕泉  
刘友波 刘敦楠 齐波 汤奕  
孙国强 李勇 李斌 李卫星  
李生虎 李建林 吴学智 张宁  
张波 张志劲 陆超 易俊  
胡伟 胡泽春 郭庆来 涂春鸣  
崔杨 焦在滨 裴玮 魏晓光

## 顾问委员会

主任：郑健超

委员（按姓氏笔画排序）：

马伟明 王锡凡 卢强 朱英浩  
刘吉臻 汤广福 杨奇逊 严陆光  
吴复立 邱爱慈 余贻鑫 汪懋生  
沈国荣 宋永华 陆佑楣 陈清泉  
陈维江 罗安 郑宝森 顾国彪  
唐任远 黄其励 韩祯祥 程时杰  
舒印彪 薛勇胜

## 目次

### · 电力市场 ·

考虑可信度的新能源及需求响应参与英美容量市场分析思考  
.....王蓓蓓, 亢丽君, 苗曦云, 徐立中, 张思 (1233)

虚拟电厂参与日前电力市场的内外协调竞标策略  
.....孙辉, 范轩轩, 胡姝博, 彭飞翔, 刘劲松, 孙长海 (1248)

价格与激励需求响应下电动汽车负荷聚集商调度策略  
.....侯慧, 王逸凡, 赵波, 章雷其, 陈跃, 谢长君 (1259)

考虑实时调频需求的辅助服务市场机制及调度策略研究  
.....刘佳婕, 贾燕冰, 陈浩, 韩肖清, 童国锋 (1269)

山西省融合调峰辅助服务的电力现货市场建设路径演化探析  
.....邹鹏, 丁强, 任远, 李鸣镝, 常伟, 胡晓静, 孙田, 薛艳军 (1279)

基于时间卷积网络与图注意力网络的分行业日售电量预测方法  
.....顾默, 赵兵, 陈昊 (1287)

考虑配网潮流的多微网集中式交易定价策略  
.....游祥, 李华强, 陆杨, 王俊翔, 陈纓 (1297)

### · 高比例可再生能源并网 ·

基于新能源出力比例的大规模系统惯量估计  
.....任凯奇, 张东英, 黄越辉, 李驰 (1307)

风电场协同参与的电力系统发电-备用鲁棒优化运行方法  
.....张智, 周明, 朱凌志, 王智冬, 刘斯伟, 郭尊 (1316)

计及一次调频死区与限幅的高比例风电电力系统机组组合  
.....申家锴, 李卫东, 李正文, 曾辉, 郑慧聪 (1326)

考虑动态频率安全的风电参与负荷恢复优化调度  
.....荣俊杰, 周明, 李庚银 (1335)

基于有限差分运行域的风电场全风况超短期出力动态区间建模  
.....胡阳, 李倩, 房方, 郝雨辰 (1346)

考虑风速属性约简聚类的组合预测模型  
.....潘超, 李润宇, 蔡国伟, 杨雨晴, 张永会 (1355)

基于LSTM与迁移学习的光伏发电功率预测数字孪生模型  
.....史凯钰, 张东霞, 韩肖清, 解治军 (1363)

基于生成对抗网络和纵横交叉粒子群算法的光伏数据缺失重构方法  
.....殷豪, 丁伟锋, 陈顺, 王陈思, 陈嘉铭, 孟安波 (1372)

基于AEO-MRFO的固体氧化物燃料电池参数辨识  
.....陈义军, 杨博, 郭正勋, 束洪春, 曹璞璘 (1382)

### · 智能配电网故障态下先进电力电子设备主动参与防御的关键技术 ·

全直流海上风电场高压直流变压器及其换流失败故障穿越策略  
.....李磊, 李彬彬, 刘建莹, 杨明, 徐殿国, 韦甜柳, 李巍巍 (1391)

弱电网下无刷双馈风机稳定性分析及虚拟电感控制策略  
.....徐海亮, 王中行, 李志, 王艳松 (1400)

计及多因素影响柔性限流器优化配置及经济性分析  
.....郑峰, 郑泽楠, 伍仰金, 郑传良, 陈一强 (1410)

引入暂态电磁功率补偿的VSG控制策略  
.....兰征, 龙阳, 曾进辉, 吕志鹏, 何东, 侯长茂 (1421)



一种改进型多单元开关电感升压变换器的自适应电流控制方法  
.....何卓霖, 张桂东, 林伟群, 乐卫平 (1430)

· 能源互联网 ·

供用能转换促进风电消纳的综合能源系统源荷协调优化调度  
.....崔杨, 郭福音, 付小标, 赵钰婷, 韩传鼎 (1437)  
基于云边协同的电动汽车实时需求响应调度策略 .....张巍, 王丹 (1447)  
计及天然气管网压力能发电的 IES 优化调度  
.....邱彬, 张志超, 王凯, 慕会宾, 杨楨 (1457)  
基于纳什议价的多微网综合能源系统分布式低碳优化运行策略  
.....顾欣, 王琦, 胡云龙, 朱永康, 葛中心 (1464)  
虚拟电厂信息流和能量流关键线路辨识研究  
.....孟月, 张宏立, 范文慧 (1476)  
考虑孤岛融合的配电系统多源协同恢复策略  
.....罗伟, 李长城, 琚上纯, 叶永健, 黄书健, 颜文婷 (1485)

· 直流输电与直流电网 ·

兼顾电压波动抑制的级联 H 桥 STATCOM 相间电压平衡控制策略  
.....原亚雷, 钊翔坤, 徐高祥, 魏静, 周娟 (1494)  
面向换流阀状态监测用传感器节点电磁取能仿真分析与设计  
.....兰天, 蓝元良, 刘伟麟, 盛财旺, 何秦慰 (1503)  
考虑 LCC-HVDC 设备额外动作要求的协调二级电压控制方法  
.....颜伟, 胡显文, 崔惟, 曹逸凡 (1511)  
一种基于指数积分的电力电子开关恒导纳模型  
.....许明旺, 姚逸凡, 宋文达, 姚蜀军, 韩民晓 (1519)

· 电力系统 ·

基于数据相关性分析的电网故障时刻确定与故障识别方法  
.....刘晓军, 马羽中, 杨冬锋, 赵芷莹, 白尚昱 (1529)  
三回非全线平行线路零序分布参数测量方法  
.....高明鑫, 胡志坚, 倪识远, 刘妍 (1539)  
用于短期电力负荷预测的日负荷特性分类及特征集重构策略  
.....徐先峰, 赵依, 刘状壮, 李院杰, 卢勇 (1548)  
基于颜色编码的非侵入式负荷细粒度识别方法  
.....崔昊杨, 蔡杰, 陈磊, 江超, 江友华, 张驯 (1557)  
计及源荷不确定性的柔性互联配电系统两阶段电压优化  
.....蔡晖, 窦飞, 万文文, 葛乐, 汪惟源 (1566)  
基于无源与自抗扰的 Vienna 整流器控制策略研究  
.....李萍, 王久和 (1575)  
一种无延时单相并网变换器 dq 电流解耦控制方法  
.....杨达亮, 彭祖文, 刘金宝, 邵大帅, 吴宁 (1585)  
考虑谐波耦合的车网系统谐波域 SISO 阻抗建模  
.....刘洋铭, 吴思奇, 孟祥宇, 刘志刚 (1594)  
基于数字孪生的配电自动化终端设备状态评价与故障预判  
.....刘皓璐, 邵建伟, 王雪, 韩学森, 刘璇, 刘士齐 (1605)  
基于 BP 神经网络的低压配电网生命体触电识别方法研究  
.....蔡智萍, 郭谋发, 魏正峰 (1614)

· 工程应用 ·

东北电网风电惯量及一次调频实测与分析  
.....张梅, 李少林, 李丹, 秦世耀, 张弘鹏 (1624)

· 广告索引 · ..... (1632)

《工程索引》(EI) 收录核心期刊  
2015和2017年度中国“百强报刊”  
中国最具国际影响力学术期刊  
中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
全国中文核心期刊  
RCCSE 中国权威学术期刊  
《科学文摘》(SA) 收录期刊  
《文摘杂志》(AJ) 收录期刊  
中国科学引文数据库 (CSCD)  
中国期刊方阵双效期刊  
电力行业优秀科技期刊

《电网技术》(月刊)

第46卷 第4期 (总第461期)

主 管: 国家电网有限公司  
主 办: 国家电网有限公司  
编 辑: 中国电科院期刊中心  
《电网技术》编辑部  
出 版: 《电网技术》杂志社有限公司  
主 编: 郭剑波  
副主编: 汤 涌、康重庆、孙华东  
编辑部主任: 李兰欣 010-82812543  
广告发行: 韩 迪 010-82812465  
闫 颀 010-82812430  
编 辑: 010-82812523/2672/2981/2982  
网上投稿: <http://www.dwjs.com.cn>  
电力系统内部电话: 91862+后四位  
传 真: 010-82812980  
地 址: 100192 北京清河小营东路15号  
中国电力科学研究院有限公司内  
印 刷: 北京科信印刷有限公司  
北京市昌平区北清路马连店甲6号  
总发行: 北京报刊发行局  
国外发行: 中国国际图书贸易总公司  
订 阅: 全国各地邮局  
国内定价: 每期80元, 全年960元  
邮发代号: 国内 82-604 国外 1474M  
中国标准连续出版物号: ISSN 1000-3673  
CN 11-2410/TM  
广告发布登记号: 京海市监广登字 20170131 号

期刊基本参数: CN 11-2410/TM \* 1957 \* M \* A4 \* 399 \* zh \* P \* ¥80.00 \* 20000 \* 42 \* 2022-4 版权所有 未经许可不得转载及上网

# POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2022, Vol. 46 No. 4 (Ser. 461)

## Contents

### • Electricity Market •

- Analysis and Enlightenment of Renewable Energy and Demand Response Participating in UK and US Capacity Markets Considering Capacity Credibility** ..... WANG Beibei, KANG Lijun, MIAO Xiyun, XU Lizhong, ZHANG Si (1233)
- Internal and External Coordination Bidding Strategy of Virtual Power Plant Participating in Day-ahead Power Market**  
..... SUN Hui, FAN Xuanxuan, HU Shubo, PENG Feixiang, LIU Jinsong, SUN Changhai (1248)
- Electric Vehicle Aggregator Dispatching Strategy Under Price and Incentive Demand Response**  
..... HOU Hui, WANG Yifan, ZHAO Bo, ZHANG Leiqi, CHEN Yue, XIE Changjun (1259)
- Market Mechanism and Scheduling Strategy of Ancillary Services Considering Real-time Frequency Regulation Requirements**  
..... LIU Jiadie, JIA Yanbing, CHEN Hao, HAN Xiaoqing, TONG Guofeng (1269)
- Analysis on Construction Path Evolution of Electricity Spot Market Integrating Load and Renewables Following Ancillary Services in Shanxi Province** ..... ZOU Peng, DING Qiang, REN Yuan, LI Mingdi, CHANG Wei, HU Xiaojing, SUN Tian, XUE Yanjun (1279)
- Daily Electricity Sales Forecasting by Industries Based on Time Convolution Network and Graph Attention Network**  
..... GU Mo, ZHAO Bing, CHEN Hao (1287)
- Pricing Strategy for Multi-microgrid Centralized Trading Considering Distribution Network Power Flow**  
..... YOU Xiang, LI Huaqiang, LU Yang, WANG Junxiang, CHEN Ying (1297)

### • High Share of Renewable Energy Integration •

- Large-scale System Inertia Estimation Based on New Energy Output Ratio** ..... REN Kaiqi, ZHANG Dongying, HUANG Yuehui, LI Chi (1307)
- Robust Optimal Operation Method of Wind Farms Synergetic Participation in Generation-reserve in Power Systems**  
..... ZHANG Zhi, ZHOU Ming, ZHU Lingzhi, WANG Zhidong, LIU Siwei, GUO Zun (1316)
- Unit Commitment of Power System With High Proportion of Wind Power Considering the Deadband and Limiter of Primary Frequency Response** ..... SHEN Jiakai, LI Weidong, LI Zhengwen, ZENG Hui, ZHENG Huicong (1326)
- Optimal Dispatch of Wind Power Participating in Load Restoration Considering Dynamic Frequency Security**  
..... RONG Junjie, ZHOU Ming, LI Gengyin (1335)
- Dynamic Interval Modeling of Ultra-short-term Output of Wind Farm Based on Finite Difference Operating Domains**  
..... HU Yang, LI Qian, FANG Fang, HAO Yuchen (1346)
- Combined Forecasting Model Considering Wind Speed Attribute Reduction and Clustering**  
..... PAN Chao, LI Runyu, CAI Guowei, YANG Yuqing, ZHANG Yonghui (1355)
- Digital Twin Model of Photovoltaic Power Generation Prediction Based on LSTM and Transfer Learning**  
..... SHI Kaiyu, ZHANG Dongxia, HAN Xiaoqing, XIE Zhijun (1363)
- Reconstruction Method for Missing Data in Photovoltaic Based on Generative Adversarial Network and Crisscross Particle Swarm Optimization Algorithm** ..... YIN Hao, DING Weifeng, CHEN Shun, WANG Chenen, CHEN Jiaming, MENG Anbo (1372)
- Parameter Identification of Solid Oxide Fuel Cell Based on AEO-MRFO**  
..... CHEN Yijun, YANG Bo, GUO Zhengxun, SHU Hongchun, CAO Pulin (1382)

### • Key Technologies of Active Participation and Defence for the Advanced Power Electronics in Smart Distribution Networks •

- Ride-through Strategy Under Commutation Failure of High-voltage DC/DC Transformer for All DC Offshore Wind Farms**  
..... LI Lei, LI Binbin, LIU Jianying, YANG Ming, XU Dianguo, WEI Tianliu, LI Weiwei (1391)
- Stability Analysis and Virtual Inductance Control Strategy of BDFIG-based Wind Turbines During Weak Grid Condition**  
..... XU Hailiang, WANG Zhongxing, LI Zhi, WANG Yansong (1400)
- Optimal Configuration and Economic Analysis of Flexible Current Limiter Considering Influence of Multiple Factors**  
..... ZHENG Feng, ZHENG Zenan, WU Yangjin, ZHENG Chuanliang, CHEN Yiqiang (1410)
- VSG Control Strategy With Transient Electromagnetic Power Compensation**  
..... LAN Zheng, LONG Yang, ZENG Jinhui, LÜ Zhipeng, HE Dong, HOU Changmao (1421)
- Adaptive Current-mode Control of Improved Multi-cell Switched-inductor Boost Converter**  
..... HE Zhuolin, ZHANG Guidong, LIN Weiqun, LE Weiping (1430)

### • Energy Internet •

- Source-load Coordinated Optimal Dispatch of Integrated Energy System Based on Conversion of Energy Supply and Use to Promote Wind Power Accommodation** ..... CUI Yang, GUO Fuyin, FU Xiaobiao, ZHAO Yuting, HAN Chuanding (1437)
- Real-time Demand Response Scheduling Strategy for Electric Vehicles Based on Cloud Edge Collaboration** ..... ZHANG Wei, WANG Dan (1447)

---

|   |  |
|---|--|
| <b>IES Optimal Dispatching Considering Pressure Energy Generation of Natural Gas Pipeline</b>   | ..... QIU Bin, ZHANG Zhichao, WANG Kai, MU Huibin, YANG Zhen (1457)                        |
| <b>Distributed Low-carbon Optimal Operation Strategy of Multi-microgrids Integrated Energy System Based on Nash Bargaining</b>                | ..... GU Xin, WANG Qi, HU Yunlong, ZHU Yongkang, GE Zhongxin (1464)                        |
| <b>Research on Key Line Identification of Information Flow and Energy Flow in Virtual Power Plant</b>   | ..... MENG Yue, ZHANG Hongli, FAN Wenhui (1476)  |
| <b>Multi-source Cooperative Restoration Strategy for Distribution System Considering Islanding Integration</b>                                | ..... LUO Wei, LI Changcheng, JU Shangchun, YE Yongjian, HUANG Shujian, YAN Wenting (1485) |
| <b>• HVDC Transmission &amp; HVDC Grid •</b>  |  |
| <b>Clustered Voltage Balance Control Strategy of Cascaded H-bridge STATCOM With Suppressing DC Voltage Fluctuation</b>                        | ..... YUAN Yalei, ZHAO Xiangkun, XU Gaoxiang, WEI Jing, ZHOU Juan (1494)                   |
| <b>Design and Analysis of Electromagnetic Induction Based Energy Harvester for Smart Sensor Node Employed in HVDC Converter</b>               | ..... LAN Tian, LAN Yuanliang, LIU Weilin, SHENG Caiwang, HE Qinwei (1503)                 |
| <b>Coordinated Secondary Voltage Control Considering Additional Action Requirements of LCC-HVDC Equipment</b>                                 | ..... YAN Wei, HU Xianwen, CUI Wei, CAO Yifan (1511)                                       |
| <b>A Constant Admittance Model of Power Electronic Switch Based on Exponential Integral</b>   | ..... XU Mingwang, YAO Yifan, SONG Wenda, YAO Shujun, HAN Minxiao (1519)                   |
| <b>• Power System •</b>   |  |
| <b>Fault Time Determination and Identification in Power Grids Based on Data Correlation Analysis</b>  | ..... LIU Xiaojun, MA Yuzhong, YANG Dongfeng, ZHAO Zhiying, BAI Shangmin (1529)            |
| <b>Zero Sequence Parameters Measurement of Triple-circuit Non-full-line Parallel Transmission Lines</b>                                       | ..... GAO Mingxin, HU Zhijian, NI Shiyuan, LIU Yan (1539)                                  |
| <b>Daily Load Characteristic Classification and Feature Set Reconstruction Strategy for Short-term Power Load Forecasting</b>                 | ..... XU Xianfeng, ZHAO Yi, LIU Zhuangzhuang, LI Longjie, LU Yong (1548)                   |
| <b>Non-intrusive Load Fine-grained Identification Based on Color Encoding</b>   | ..... CUI Haoyang, CAI Jie, CHEN Lei, JIANG Chao, JIANG Youhua, ZHANG Xun (1557)           |
| <b>Two-stage Voltage Optimization of Flexible Interconnected Distribution System Considering Source and Load Uncertainty</b>                  | ..... CAI Hui, DOU Fei, WAN Wenwen, GE Le, WANG Weiyuan (1566)                             |
| <b>Control Strategy of Vienna Rectifier Based on Passivity-based and Active Disturbance Rejection Controller</b>                              | ..... LI Ping, WANG Jiuhe (1575)   |
| <b><i>d-q</i> Current Decoupling for Single-phase Grid-connected Converter Based on Non-delay</b>   | ..... YANG Daliang, PENG Zuwen, LIU Jinbao, SHAO Dashuai, WU Ning (1585)                   |
| <b>SISO Equivalent Impedance Modeling of Vehicle Network System in Harmonic Domain Considering Harmonic Coupling</b>                          | ..... LIU Yangming, WU Siqi, MENG Xiangyu, LIU Zhigang (1594)                              |
| <b>State Evaluation and Fault Prediction of Distribution Automation Terminal Equipment Based on Digital Twins</b>                             | ..... LIU Haolu, SHAO Jianwei, WANG Xue, HAN Xuesen, LIU Xuan, LIU Shiqi (1605)            |
| <b>Research on Recognition Method of Living Body Shock in Low-voltage Distribution Network Based on BP Neural Network</b>                     | ..... CAI Zhiping, GUO Moufa, WEI Zhengfeng (1614)   |
| <b>• Engineering Applications •</b>   |  |
| <b>Measurement and Analysis of Wind Power Inertia Response and Primary Frequency Regulation Characteristics in Northeast China Power Grid</b> | ..... ZHANG Mei, LI Shaolin, LI Dan, QIN Shiyao, ZHANG Hongpeng (1624)                     |

---

**Sponsor:** State Grid Corporation of China

**In Cooperation with:** China Electric Power Research Institute (CEPRI)

**Chairman of Editorial Committee:** Zhou Xiaoxin

**Editor-in-Chief:** Guo Jianbo

**Editor and Publisher:** Power System Technology Press

**Director of Editorial Board:** Li Lanxin

**Publication Number:** ISSN 1000-3673

**CODEN:** DIJIES      **Devey#:** 621.31

**Address:** China Electric Power Research Institute, Qinghe, Beijing 100192, China

**Tel/Fax:** 86-10-82812980

**E-mail:** pst@epri.sgcc.com.cn      <http://www.dwjs.com.cn>

**Agent of Subscriptions Abroad:** China International Book Trading Corporation (GUOJISHUDIAN) P.O.Box 399, Beijing, China