

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

5

2022

第46卷5期

Vol.46 No.5

中電賽普

求实 公正 科学 进取



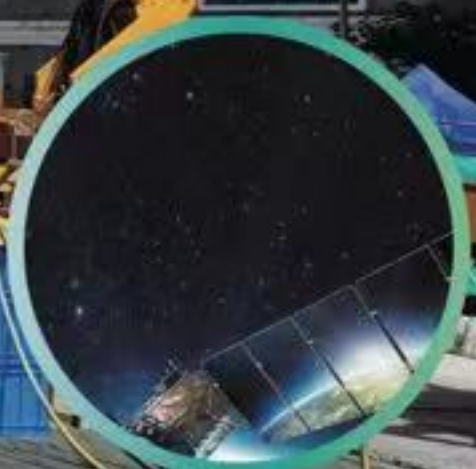
自愿性产品认证



碳中和认证



服务认证



国推认证



人员认证

10 kV 配网不停电作业服务认证

已开展国网山东省、江苏省省管产业单位的服务认证工作
助力提升供电服务能力及配网供电可靠性

依据标准

CEPRI-BS-401-01/2020 《配网不停电作业服务认证要求》

CEPRI-BS-201-01/2020 《配网不停电作业服务认证实施规则》

电网无人机巡检服务认证

已率先发放全国电网无人机巡检服务认证证书
持续推进电网无人机巡检作业标准化、规范化

依据标准

CEPRI-BS-402-01/2021 《电网无人机巡检服务要求》

CEPRI-BS-202-01/2021 《电网无人机巡检服务认证实施规则》



国家电网
STATE GRID

中电赛普检验认证(北京)有限公司

CHINA POWER CEPRI INSPECTION AND CERTIFICATION (BEIJING) CO., LTD.

中电赛普检验认证(北京)有限公司

地址:北京市海淀区小营东路15号 邮编:100192 电话:010-82812398

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 汪飏生
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 薛禹胜

目 次

· 面向新型电力系统的电力物联网关键技术

（特约专栏主编 赵鹏、许海清、栾文鹏、蒲天骄）·

智能电力物联网功能架构体系设计及创新模式探讨

..... 张晓华, 刘道伟, 李柏青, 蔡巍, 赵高尚, 卢毅, 乔颖, 杨红英 (1633)

电力物联网 5G 云-边-端协同框架与资源调度方法

..... 周振宇, 王墨, 廖海君, 汪洋, 张慧 (1641)

基于边缘智能的输电线路异常目标高效检测方法研究

..... 张鋆, 王继业, 宋睿, 张树华, 焦飞 (1652)

基于新息加权自适应 UPF 算法的智能变电站 PTP 主时钟源校准新方法

..... 李振海, 唐金锐, 熊斌宇, 李旸, 陈吕泉, 常永乐, 鲁晓天 (1662)

基于注意力机制和卷积神经网络的配电网拓扑辨识

..... 杨秀, 蒋家富, 刘方, 田英杰, 李凡, 吴裔 (1672)

· 支撑碳达峰、碳中和的能源电力关键技术 ·

电力系统碳排放流理论改进与完善

..... 汪超群, 陈懿, 文福拴, 陶媛, 迟长云, 蒋雪冬 (1683)

考虑电热柔性负荷与氢能精细化建模的综合能源系统低碳运行

..... 邓杰, 姜飞, 王文辉, 何桂雄, 张新鹤, 刘锐诚 (1692)

基于合作博弈论的风-光-水-氢多主体能源系统增益分配策略

..... 段佳南, 谢俊, 冯丽娜, 陈付山 (1703)

具有动态调节特性的光伏制氢双阵列直接耦合系统优化策略

..... 李军舟, 赵晋斌, 曾志伟, 毛玲, 屈克庆 (1712)

考虑动态时间间隔的综合能源系统双层优化调度

..... 马紫嫣, 贾燕冰, 韩肖清, 康丽虹, 任海泉 (1721)

计及碳约束下的煤矿综合能源系统多目标配置双层优化

..... 黄宏旭, 梁睿, 张小彤, 陆梦恬, 王琛, 张鹤 (1731)

基于改进的多目标量子遗传算法的高速服务区综合能源管理

..... 王颢, 赵微微, 林少军, 柯吉, 吴浩 (1742)

考虑风光出力不确定性的电力系统调峰能力及经济性分析

..... 赵书强, 吴杨, 李志伟, 韦子瑜, 连金达 (1752)

支撑虚拟电厂互动的信息通信关键技术研究展望

..... 李彬, 郝一浩, 祁兵, 孙毅, 陈宋宋 (1761)

· 电力市场 ·

基于分时容量电价的新型电力现货市场设计

..... 夏清, 杨知方, 赖晓文, 张媛, 向明旭, 孟繁林 (1771)

面向高比例可再生能源电力系统的容量补偿机制研究

..... 刘硕, 于松泰, 孙田, 司良奇, 董晓亮, 秦亚斌 (1780)

单侧放开市场中基于 Stackelberg 均衡分析的最低效率损失需求响应激励
机制设计..... 陈中瑶, 林凯颖, 王蓓蓓, 徐立中, 张思, 郑亚先 (1790)

多能源市场环境下综合能源服务商的需求响应策略研究

..... 吴彪, 张少华, 王睨, 刘帅 (1800)

· 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 ·

面向配电网接地故障暂稳态协同调控的 UPQC 优化运行方法

..... 涂春鸣, 贾文慧, 郭祺, 侯玉超, 姜飞, 肖凡, 王鑫 (1810)

基于零序电流分布的有源配电网接地故障定位.....周放歌, 肖仕武 (1820)
利用零序电流相位变化特征的灵活接地系统故障选线方法
.....刘朋跃, 邵文权, 弓启明, 郭智刚, 李昆霖, 闫峰 (1830)
电网不平衡下的 Vienna 整流器网压重构控制策略
.....向文凯, 郭强, 肖葱葱, 陈岚, 陈建宏 (1838)

· 能源互联网 ·

基于广义多能流模型的综合能源系统多阶段规划
.....龚萍, 朱永强, 蔡钦钦, 夏春妮, 俞子聪, 夏瑞华 (1849)
含广义储能虚拟电厂—气—热三阶段协同优化调度
.....王瑞东, 吴杰康, 蔡志宏, 刘国新, 张宏业, 蔡锦建 (1857)
基于改进 DDPG 的多能园区典型日调度研究
.....蒋明喆, 成贵学, 赵晋斌 (1867)
计及需求响应不确定性的电—气耦合配网系统动态分布鲁棒优化
.....曾捷, 童晓阳, 范嘉乐 (1877)
基于 FCM 与高斯隶属度的光伏组件健康状态诊断
.....吴春华, 俞薛颖, 李智华, 汪飞, 马浩强 (1887)
基于智能电表集总数据的家庭电动汽车充电行为非侵入式辨识与负荷预测
.....周润, 向月, 王杨, 夏世威, 刘友波, 刘俊勇 (1897)

· 电力系统 ·

新能源机组低电压穿越控制参数对机端工频过电压的影响
.....周莹坤, 谢恒, 孙华东, 徐式蕴, 赵兵, 张怡, 常喜强, 张健 (1907)
限幅参与的双馈风电接入的系统次同步振荡近似阻抗分析
..王永杰, 薛静玮, 魏鑫, 付潇宇, 乔登科, 汪云涛, 郭鹏程, 薛安成 (1917)
考虑数据和模型不确定性的短期风电功率概率预测
.....余建明, 庞传军 (1926)
大规模风电汇集系统小干扰稳定性研究综述
.....王一珩, 杜文娟, 王海风 (1934)
考虑输电潮流约束的时序生产模拟及新能源消纳能力评估
.....朱俊澎, 施凯杰, 李强, 于若英, 夏俊荣, 袁越 (1947)
典型敏感设备电压暂降耐受能力自动测试系统研究
.....何英杰, 支文浩, 张义坤, 邱继浪, 焦乾明, 刘进军 (1956)
基于瓦斯继电器挡板动作时长特性的变压器重瓦斯故障程度识别方法
.....万书亭, 张泽翰, 吕鹏瑞, 韦教玲 (1965)
基于 CNN-BiLSTM 与 DTW 的非侵入式住宅负荷监测方法
.....林顺富, 詹银枫, 李毅, 李东东 (1973)
考虑簇间重叠关系的负荷曲线多重聚类集成算法
.....孙玉芹, 王松雷, 黄冬梅, 孙园, 胡安锋, 孙锦中 (1982)
PWM 控制的双向 LLC 谐振变换器
.....赵清林, 吴娜, 王德玉, 张纯江, 王子博 (1990)

· 高电压技术 ·

一种基于改进的 WGAN 模型的电缆终端局部放电识别准确率提升方法
.....傅尧, 周凯, 朱光亚, 王子健, 王国栋, 王子康 (2000)
1000kV 输电线路耐张塔带电作业电位转移电流脉冲波形特征参数研究
.....吴田, 付道睿, 彭勇, 黎鹏, 刘凯, 方春华 (2009)
复合绝缘子替代瓷绝缘子对 500kV 输电线路悬垂绝缘子串风偏性能影响
.....张志劲, 姬雅晴, 许军, 王晓杰, 蒋兴良 (2017)
基于磁流体理论的气吹灭弧装置性能研究
.....李庆一, 王巨丰, 张懿议, 王嫵蕾, 陈宇宁, 杨子童, 谭思源, 王晓蕾 (2025)

· 广告索引 · (2032)

《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 5 期 (总第 462 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: $\frac{\text{ISSN } 1000-3673}{\text{CN } 11-2410/\text{TM}}$

广告发布登记号: 京海市监广登字 20170131 号

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2022, Vol. 46 No. 5 (Ser. 462)

Contents

• Key Technologies of Power Internet of Things for the New Power System •

Discussion on the Functional Architecture System Design and Innovation Mode of Intelligent Power Internet of Things

.....ZHANG Xiaohua, LIU Daowei, LI Baiqing, CHAI Wei, ZHAO Gaoshang, LU Yi, QIAO Ying, YANG Hongying (1633)

5G Cloud-edge-end Collaboration Framework and Resource Scheduling Method in Power Internet of Things

.....ZHOU Zhenyu, WANG Zhao, LIAO Haijun, WANG Yang, ZHANG Hui (1641)

Research on Efficient Detection Technology of Transmission Line Abnormal Target Based on Edge Intelligence

.....ZHANG Jun, WANG Jiye, SONG Rui, ZHANG Shuhua, JIAO Fei (1652)

A Novel Calibration Method for the Master PTP Clock in Smart Substations Using New Information Sequence Weighting and Adaptive Unscented Kalman Particle Filter Algorithms

.....LI Zhenhai, TANG Jinrui, XIONG Binyu, LI Yang, CHEN Lüquan, CHANG Yongle, LU Xiaotian (1662)

Distribution Network Topology Identification Based on Attention Mechanism and Convolutional Neural Network

.....YANG Xiu, JIANG Jiafu, LIU Fang, TIAN Yingjie, LI Fan, WU Yi (1672)

• Key Technologies of Power and Energy Systems for Supporting Peak Carbon Dioxide Emissions and Carbon Neutrality •

Improvement and Perfection of Carbon Emission Flow Theory in Power Systems

.....WANG Chaoqun, CHEN Yi, WEN Fushuan, TAO Yuan, CHI Changyun, JIANG Xuedong (1683)

Low-carbon Optimized Operation of Integrated Energy System Considering Electric-heat Flexible Load and Hydrogen Energy Refined Modeling

.....DENG Jie, JIANG Fei, WANG Wenye, HE Guixiong, ZHANG Xinhe, LIU Kaicheng (1692)

Synergistic Gains Allocation for Multi-stakeholder Wind-solar-hydro-hydrogen Energy System Based on Cooperative Game Theory

.....DUAN Jia'nan, XIE Jun, FENG Li'na, CHEN Fushan (1703)

Optimization Strategy of Photovoltaic Hydrogen Production Dual Array Direct Coupling System With Dynamic Regulation Characteristics

.....LI Junzhou, ZHAO Jinbin, ZENG Zhiwei, MAO Ling, QU Keqing (1712)

Two-layer Dispatch Model of Integrated Energy System Considering Dynamic Time-interval

.....MA Ziyan, JIA Yanbing, HAN Xiaoqing, KANG Lihong, REN Haiquan (1721)

Two-stage Multi-objective Deployment Optimization of Coal Mine Integrated Energy System Considering Carbon Emission Constraints

.....HUANG Hongxu, LIANG Rui, ZHANG Xiaotong, LU Mengtian, WANG Chen, ZHANG Ge (1731)

Integrated Energy Management of Highway Service Area Based on Improved Multi-objective Quantum Genetic Algorithm

.....WANG Biao, ZHAO Weiwei, LIN Shaojun, KE Ji, WU Hao (1742)

Analysis of Power System Peaking Capacity and Economy Considering Uncertainty of Wind and Solar Output

.....ZHAO Shuqiang, WU Yang, LI Zhiwei, WEI Ziyu, LIAN Jinda (1752)

Key Information Communication Technologies Supporting Virtual Power Plant Interaction

.....LI Bin, HAO Yihao, QI Bing, SUN Yi, CHEN Songsong (1761)

• Electricity Market •

Electricity Market Design Based on Temporal Pricing of Renewable Capacity

.....XIA Qing, YANG Zhifang, LAI Xiaowen, ZHANG Yuan, XIANG Mingxu, MENG Fanlin (1771)

Capacity Compensation Mechanism for Highly-proportional Renewable Energy Power Systems

.....LIU Shuo, YU Songtai, SUN Tian, SI Liangqi, DONG Xiaoliang, QIN Yabin (1780)

Design of Demand Response Incentive Mechanism Considering Lowest Efficiency Loss Based on Stackelberg Equilibrium Analysis in Unilateral Liberalization Market

.....CHEN Zhongyao, LIN Kaiying, WANG Beibei, XU Lizhong, ZHANG Si, ZHENG Yaxian (1790)

Equilibrium Strategy Analysis of Demand Response for Integrated Energy Service Provider Participating in Multi-energy Market Transaction

.....WU Biao, ZHANG Shaohua, WANG Xian, LIU Shuai (1800)

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

UPQC Optimal Operation for Transient-and Steady-state Coordinated Regulation of Grounding Fault in Distribution Network

.....TU Chunming, JIA Wenhui, GUO Qi, HOU Yuchao, JIANG Fei, XIAO Fan, WANG Xin (1810)

Grounding Fault Location of Active Distribution Network Based on Zero Sequence Current Distribution

.....ZHOU Fangge, XIAO Shiwu (1820)

Fault Line Detection of Flexible Grounding System Based on Phase Variation Characteristics of Zero-sequence Current

.....LIU Pengyue, SHAO Wenquan, GONG Qiming, GUO Zhigang, LI Kunlin, YAN Feng (1830)

Network Pressure Reconfiguration Control Strategy for Vienna Rectifier Under Unbalanced Power Grid

.....XIANG Wenkai, GUO Qiang, XIAO Huihui, CHEN Lan, CHEN Jianhong (1838)

• Energy Internet •

Multi-stage Planning Based on Generalized Multi-energy Flow Model for Integrated Energy System

..... GONG Ping, ZHU Yongqiang, CAI Qinqin, XIA Chunni, YU Zicong, XIA Ruihua (1849)

Three-stage Collaborative Optimal Scheduling of Electricity-gas-heat in Virtual Power Plant With Generalized Energy Storage

..... WANG Ruidong, WU Jiekang, CAI Zhihong, LIU Guoxin, ZHANG Hongye, CAI Jinjian (1857)

Typical Daily Scheduling if Improved DDPG Multifunctional Industrial Park.....

..... JIANG Mingzhe, CHENG Guixue, ZHAO Jinbin (1867)

Dynamic Distributionally Robust Optimization of Integrated Electric-gas Distribution System Considering Demand Response Uncertainty

..... ZENG Jie, TONG Xiaoyang, FAN Jiale (1877)

Health State Diagnosis of Photovoltaic Modules Based on FCM and Gaussian Membership

..... WU Chunhua, YU Xueying, LI Zhihua, WANG Fei, MA Haoqiang (1887)

Non-intrusive Identification and Load Forecasting of Household Electric Vehicle Charging Behavior Based on Smart Meter Data

..... ZHOU Run, XIANG Yue, WANG Yang, XIA Shiwei, LIU Youbo, LIU Junyong (1897)

• Power System •

Influence of Renewable Energy Low Voltage Ride-through Control Parameters on Overvoltage

..... ZHOU Yingkun, XIE Heng, SUN Huadong, XU Shiyun, ZHAO Bing, ZHANG Yi, CHANG Xiqiang, ZHANG Jian (1907)

Approximate Impedance Analysis of Subsynchronous Oscillation Engaged Limiters in Power System Connected With DFIG-based Wind Power

..... WANG Yongjie, XUE Jingwei, WEI Xin, FU Xiaoyu, QIAO Dengke, WANG Yuntao, GUO Pengcheng, XUE Ancheng (1917)

Short-term Wind Power Probabilistic Prediction Considering Data and Model Uncertainties.....

..... YU Jianming, PANG Chuanjun (1926)

Research on Small Signal Stability Analysis of Large-scale Wind Power Collection System

..... WANG Yijun, DU Wenjuan, WANG Haifeng (1934)

Time Series Production Simulation and Renewable Energy Accommodation Capacity Evaluation Considering Transmission Network Power Flow Constraints

..... ZHU Junpeng, SHI Kaijie, LI Qiang, YU Ruoying, XIA Junrong, YUAN Yue (1947)

Research on Automatic Test System for Voltage Sag Tolerance of Typical Sensitive Equipment

..... HE Yingjie, ZHI Wenhao, ZHANG Yikun, QIU Jilang, JIAO Qianming, LIU Jinjun (1956)

Recognition for Transformer Heavy Gas Fault Degree Based on Gas Relay Baffle Operating Time Characteristic

..... WAN Shuting, ZHANG Zehan, LÜ Pengrui, WEI Jiaoling (1965)

Non-intrusive Residential Load Monitoring Method Based on CNN-BiLSTM and DTW

..... LIN Shunfu, ZHAN Yinfeng, LI Yi, LI Dongdong (1973)

Multiple Clustering Integration Algorithm for Load Curves Considering Overlapping Relationships Between Clusters

..... SUN Yuqin, WANG Songlei, HUANG Dongmei, SUN Yuan, HU Anduo, SUN Jinzhong (1982)

Bidirectional LLC Resonant Converter With PWM Control.....

..... ZHAO Qinglin, WU Na, WANG Deyu, ZHANG Chunjiang, WANG Zibo (1990)

• High Voltages •

Accuracy Improvement of Cable Termination Partial Discharging Recognition Based on Improved WGAN Algorithm

..... FU Yao, ZHOU Kai, ZHU Guangya, WANG Zijian, WANG Guodong, WANG Zikang (2000)

Characteristic Parameters of Pulse Waveform of Potential Transfer Current for Live Working on Tension Tower of 1000kV Transmission Line

..... WU Tian, FU Daorui, PENG Yong, LI Peng, LIU Kai, FANG Chunhua (2009)

Influence of Composite Insulator Replacing Porcelain Insulator on Wind Deflection Performance of Suspension Insulator String of 500kV Transmission Lines.....

..... ZHANG Zhijin, JI Yaqing, XU Jun, WANG Xiaojie, JIANG Xingliang (2017)

Performance of Air-blowing Arc-quenching Device Based on MHD Theory

..... LI Qingyi, WANG Jufeng, ZHANG Yiyi, WANG Yanlei, CHEN Yuning, YANG Zitong, TAN Siyuan, WANG Xiaolei (2025)

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