

电网技术



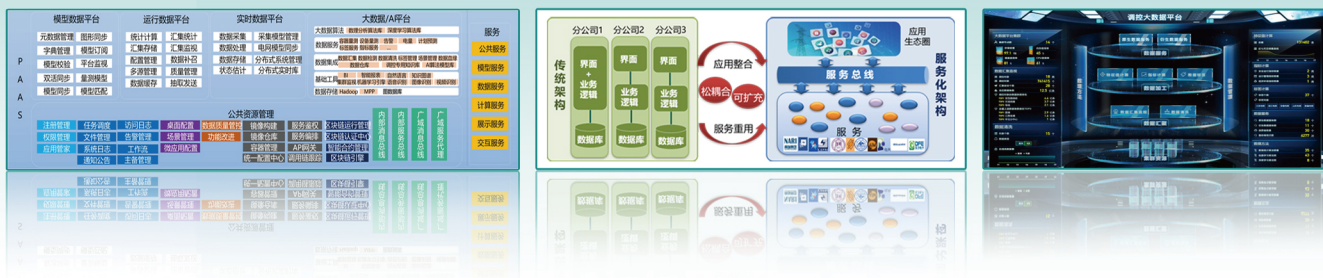
POWER SYSTEM TECHNOLOGY

第44卷12期
Vol.44 No.12

开启电力调控智慧新时代 面向电力调控领域的一体化基础支撑平台

中国电科院电力自动化研究所自主研发的面向电力调控领域的一体化基础支撑平台，综合运用成熟适用的云计算、大数据、人工智能、区块链等前沿技术，打造能源互联网智能调控支撑平台，构建能源互联网智能调控技术支撑体系，实现多集群、高性能、业务零侵入的容器化微服务架构，满足应用快速构建、敏捷交付和便捷运维的需求，实现“平台-数据-应用”全链条融合驱动，持续提升调度控制的数字化、自动化、智能化水平，全面支撑大电网安全运行、清洁能源消纳和电力市场化运作，为调控领域内外用户提供多元化服务，打造调控新业态。

平台已成功应用于国调、天津、冀北、四川、湖南、福建等电力调度控制中心，应用前景广阔，为多级调控业务信息的高效互动、智能开放提供有力支撑，是数字新基建领域数据挖掘、价值创造的重要信息共享平台。



国家电网
STATE GRID

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

单位：中国电力科学研究院有限公司

地址：北京清河小营东路15号

联系人：夏文岳

邮编：100192

电话：13581810004

邮箱：xiawenyue@epri.sgcc.com.cn

ISSN 1000-3673



9 771000 367202
万方数据



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

· 特约专稿 ·

美国加州“8·14”、“8·15”停电事件初步分析及启示

.....何剑,屠竞哲,孙为民,冀鲁豫,张一驰,张晓涵,周勤勇(4471)

· 多能源电力系统互补协调调度与控制 ·

计及节点脆弱程度的新能源消纳能力风险评估

.....李亦凡,房鑫炎,王波,蔡振华(4479)

考虑灵活性供需不确定性的储能优化配置

.....孙伟卿,宋赫,秦艳辉,李恒(4486)

小波包分解下考虑广义储能的风电功率波动平抑策略

.....李宏仲,张仪,孙伟卿(4495)

一种考虑最优状态动态恢复的风电持续调频策略

.....劳焕景,张黎,宋鹏程,赵彤,邹亮(4504)

· 可再生能源发电与综合消纳技术 ·

新能源柔直汇集系统的分层多目标安全裕度优化

.....黎上强,乔颖,徐曼,吴林林,鲁宗相,鲜文渊(4513)

计及风光不确定性的综合能源系统两层级协同优化配置方法

.....姚志力,王志新(4521)

考虑风电波动不确定性的两阶段鲁棒优化分频调度方法

.....包广清,周家武,马明,汪宁渤(4530)

基于最优RBF核主成分的空间多维风电功率降维及重构

.....李丹,杨保华,张远航,缪书唯,王奇(4539)

提升风电消纳的储热电混合储能系统经济优化配置

.....李军徽,付英男,李翠萍,邢志同(4547)

· 电力市场 ·

基于stackelberg博弈的虚拟电厂能源共享机制

.....匡熠,王秀丽,王建学,彭巧,赵红阳,王锡凡(4556)

基于概率边际电价的价格风险管理机制设计

.....路嘉琦,李强,宋少群,程鑫,崔晖(4565)

云南中长期电力市场连续挂牌交易机制应用实践

.....于旭光,李刚,刘本希,程春田,蔡华祥,陈然(4573)

考虑电网运行风险的省间转供电力交易补偿模型

.....陈磊,姜飞,叶泽,王亚莉,程思举(4583)

电力系统

多场景通用的在线能流分析关键技术研发与应用

.....潘昭光,王彬,孙宏斌,郭庆来,赵昊天(4591)

共高频交流母线的电能路由器直流端口控制策略

.....蔡伟谦,沈瑜,李凯,文武松,聂金铜,袁立强,张春朋,赵争鸣(4600)

基于动态规划与最优流模式的微网孤岛重构

.....张熙,程小华,曾君,刘俊峰,曹金声(4608)

考虑安全裕度的微电网两阶段鲁棒规划

.....孙可,张全明,王蕾,李宏仲,吕梦琳,胡哲晟(4617)

火电机组灵活性改造规划及运行综合随机优化模型

.....徐浩,李华强(4626)

中压配电网规划中计及多因素影响供电分区划分方法

.....陈哲,王主丁,黄河,韩俊,高松(4636)

考虑网络动态重构的配电系统两阶段灵活性提升优化调度方法	武忠山, 秦超, 余贻鑫 (4644)
一种考虑功率不确定性影响及配电网灵活性需求的区间优化调度方法	刘丽军, 张嫣, 徐启峰 (4654)
智能配电网柔性互联研究现状及发展趋势	祁琪, 姜齐荣, 许彦平 (4664)
考虑可靠性的海上油田互联电力系统结构优化研究	龙高翔, 于庆广, 李雪, 刘宇铭, 蒋之成 (4677)
基于 Wasserstein 距离的多电压暂降事件同源检测方法	肖先勇, 桂良宇, 李成鑫, 张华赢, 李鸿鑫, 汪清 (4684)
基于随机森林的电力系统暂态稳定评估与紧急控制策略	王彤, 刘九良, 朱劲璇, 王增平, 秦红霞, 张岩, 张璇 (4694)
典型综合能源系统仿真与规划平台综述	王梦雪, 赵浩然, 田航, 陈健, 吴秋伟 (4702)
基于免疫机制的广域阻尼控制器设计	聂永辉, 徐晗桐, 蔡国伟, 高磊, 赵妍, 吴奉瞳 (4713)
考虑时域特性的异构温控负荷联合调控策略	孙毅, 黄绍模, 李泽坤, 李彬, 牟明亮, 张旭东, 李飞 (4722)
基于布莱克曼窗 S 变换与数据库查询的电能质量扰动识别与分类新方法	李建文, 秦刚, 李永刚, 董继, 孙伟 (4734)
3 种高压直流同步触发控制的对比分析	吴秋媚, 傅闯, 龚英明, 文兆新, 汪娟娟 (4744)
模块化多电平换流器电磁暂态模型研究综述	陈武晖, 吴明哲, 张军, 余浩, 梁定康 (4755)
基于牛顿插值的 LCL 型并网逆变器机侧电流反馈延时补偿策略	贺诗明, 熊健 (4766)

· 自动化 ·

基于谐波注入的柔性直流系统接地极线路故障测距方法	李斌, 孙强, 何佳伟, 李晔 (4773)
两台电力电子变压器并列运行时直流侧接地方式的研究	李潇, 范春菊, 姜山, 王圣辉, 金甚达 (4783)
基于多层卷积神经网络的串联电弧故障检测方法	褚若波, 张认成, 杨凯, 肖金超 (4792)
基于 MPPT 梯形电压扰动的直流微电网新型孤岛检测方法	陈晓龙, 杨志颖, 李永丽, 李斌, 李博通 (4799)
双馈风机短路电流二次谐波产生机理及其对变压器保护的影响	郑涛, 李菁, 颜景娴, 王兴国, 王文焕, 赵宏程 (4808)

· 高电压技术 ·

抑制发电厂短路电流引起地网电位差的措施分析	周红斌, 宋伟, 周万竣, 卢晓强, 张波 (4816)
分段绝缘等措施用于减小直流输电工程接地极电流对油气管道影响的试验研究	白锋, 曹方圆, 李雄, 陆家榆, 何堃, 赵录兴, 黄流建 (4822)
昌吉—古泉±1100kV 特高压直流输电线路跨越长江时对通航船舶的电磁影响	李燕雷, 谢莉, 赵江涛, 黄朝霞, 陆家榆, 黄克闪, 等 (4830)
C ₄ F ₇ N/N ₂ 混合气体在极不均匀电场下的局部放电特性	张晓星, 叶凡超, 张国治, 田双双, 李祎, 张季 (4838)
一种具有延伸浮空 P 基区结构的 CSTBT 器件特性分析及关键参数优化	孙海峰, 蔡江, 张红玉 (4845)

第 44 卷 (2020) 总目次	(1)
General Catalogue of Vol.44, (2020)	(13)
· 广告索引 ·	(28)

《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 44 卷 第 12 期 (总第 445 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
 编辑部副主任: 李兰欣 010-82812543
 广告部经理: 李慧东 010-82812429
 发 行: 闫 颀 010-82812465
 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
 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
 广告经营许可证号: 京海市监广登字 20170131 号

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2020, Vol. 44 No. 12 (Ser. 445)

Contents

• Special Paper •

Preliminary Analysis and Lessons of California Power Outage Events on August 14 and 15, 2020

..... HE Jian, TU Jingzhe, SUN Weimin, JI Luyu, ZHANG Yichi, ZHANG Xiaohan, ZHOU Qinyong (4471)

• Complementary Coordinated Dispatching and Control of Multi-energy Power System •

Risk Assessment of New Energy Consumption Capacity Considering Node Vulnerability

..... LI Yifan, FANG Xinyan, WANG Bo, CAI Zhenhua (4479)

Energy Storage System Optimal Allocation Considering Flexibility Supply and Demand Uncertainty

..... SUN Weiqing, SONG He, QIN Yanhui, LI Heng (4486)

Wind Power Fluctuation Smoothing Strategy With Generalized Energy Storage Under Wavelet Packet Decomposition

..... LI Hongzhong, ZHANG Yi, SUN Weiqing (4495)

Wind Power Sustained Frequency Regulation Strategy With Dynamic Optimized State Recovery Behavior

..... LAO Huanjing, ZHANG Li, SONG Pengcheng, ZHAO Tong, ZOU Liang (4504)

• Renewable Energy Generation and Integration •

Hierarchical Multi-objective Safety Margin Optimization of Renewable Energy Island Collecting Delivery System by VSC-HVDC

..... LI Shangqiang, QIAO Ying, XU Man, WU Linlin, LU Zongxiang, XIAN Wenyuan (4513)

Two-level Collaborative Optimal Allocation Method of Integrated Energy System Considering Wind and Solar Uncertainty

..... YAO Zhili, WANG Zhixin (4521)

Two-stage Frequency Division Robust Optimal Dispatching Method Considering Wind Power Fluctuation Uncertainty

..... BAO Guangqing, ZHOU Jiawu, MA Ming, WANG Ningbo (4530)

Dimension Reduction and Reconstruction of Multi-dimension Spatial Wind Power Data Based on Optimal RBF Kernel Principal Component Analysis

..... LI Dan, YANG Baohua, ZHANG Yuanhang, MIAO Shuwei, WANG Qi (4539)

Economic Optimal Configuration of Hybrid Energy Storage System for Improving Wind Power Consumption

..... LI Junhui, FU Yingnan, LI Cuiping, XING Zhitong (4547)

• Electricity Market •

Virtual Power Plant Energy Sharing Mechanism Based on Stackelberg Game

..... KUANG Yi, WANG Xiuli, WANG Jianxue, PENG Qiao, ZHAO Hongyang, WANG Xifan (4556)

Price Risk Management Mechanism Based on Probabilistic LMP

..... LU Jiaqi, LI Qiang, SONG Shaoqun, CHENG Xin, CUI Hui (4565)

Practice of Continuous Listing Trading Mechanism in Medium- and Long- Term Electricity Market in Yunnan Province

..... YU Xuguang, LI Gang, LIU Benxi, CHENG Chuntian, CAI Huaxiang, CHEN Ran (4573)

Compensation Model of Inter-provincial Transfer Electricity Transaction Considering Grid Operation Risk

..... CHEN Lei, JIANG Fei, YE Ze, WANG Yali, CHENG Siju (4583)

• Power System •

Key Technology Research, Development and Application of General Online Energy Flow Analysis for Multi-scenarios

..... PAN Zhaoguang, WANG Bin, SUN Hongbin, GUO Qinglai, ZHAO Haotian (4591)

DC Port Control Strategy for Electric Energy Router With High Frequency AC Link

..... CAI Weiqian, SHEN Yu, LI Kai, WEN Wusong, NIE Jintong, YUAN Liqiang, ZHANG Chunpeng, ZHAO Zhengming (4600)

Microgrid Island Reconfiguration Based on Dynamic Programming Method and Optimal Flow Pattern

..... ZHANG Xi, CHENG Xiaohua, ZENG Jun, LIU Junfeng, CAO Jinsheng (4608)

Two-stage Robust Planning for Microgrid Considering Security Margin

..... SUN Ke, ZHANG Quanming, WANG Lei, LI Hongzhong, LÜ Menglin, HU Zhesheng (4617)

Planning and Operation Stochastic Optimization Model of Power Systems Considering the Flexibility Reformation

..... XU Hao, LI Huaqiang (4626)

Power Supply Area Division Method With Multiple Factors' Influence for Medium Voltage Distribution Network Planning

..... CHEN Zhe, WANG Zhuding, HUANG He, HAN Jun, GAO Song (4636)

Two-stage Optimal Dispatching Method for Distribution System Flexibility Improvement Considering Dynamic Reconfiguration

..... WU Zhongshan, QIN Chao, YU Yixin (4644)

An Interval Optimal Scheduling Method Considering the Influence of Power Uncertainty and the Flexibility of Distribution Network

..... LIU Lijun, ZHANG Yan, XU Qifeng (4654)

Research Status and Development Prospect of Flexible Interconnection for Smart Distribution Networks

..... QI Qi, JIANG Qirong, XU Yanping (4664)

Structural Optimization of Offshore Oilfield Interconnected Power System Considering Reliability	LONG Gaoxiang, YU Qingguang, LI Xue, LIU Yuming, JIANG Zhicheng (4677)
Multiple Voltage Sag Events Homology Detection Based on Wasserstein Distance	XIAO Xianyong, GUI Liangyu, LI Chengxin, ZHANG Huaying, LI Hongxin, WANG Qing (4684)
Transient Stability Assessment and Emergency Control Strategy Based on Random Forest in Power System	WANG Tong, LIU Jiuliang, ZHU Shaoxuan, WANG Zengping, QIN Hongxia, ZHANG Yan, ZHANG Xuan (4694)
Review of Typical Simulation and Planning Platforms for Integrated Energy System	WANG Mengxue, ZHAO Haoran, TIAN Hang, CHEN Jian, WU Qiuwei (4702)
Design of Wide-area Damping Controller Based on Immune System	NIE Yonghui, XU Hantong, CAI Guowei, GAO Lei, ZHAO Yan, WU Fengtong (4713)
Joint Control Strategy of Heterogeneous Temperature Control Load Considering Time Domain Characteristics	SUN Yi, HUANG Shaomo, LI Zekun, LI Bin, MU Mingliang, ZHANG Xudong, LI Fei (4722)
Recognition and Classification New Method of Power Quality Disturbances Based on Blackman Window S Transform and Database Query	LI Jianwen, QIN Gang, LI Yonggang, DONG Ji, SUN Wei (4734)
Comparative Analysis of Three Kinds of HVDC Synchronous Firing Control Systems	WU Qiumei, FU Chuang, GONG Yingming, WEN Zhaoxin, WANG Juanjuan (4744)
Review of Electromagnetic Transient Modeling of Modular Multilevel Converters	CHEN Wuhui, WU Mingzhe, ZHANG Jun, YU Hao, LIANG Dingkan (4755)
Time Delay Compensation Based on Newton Interpolation for Inverter-side Current Feedback of LCL-type Grid-tied Inverter	HE Shiming, XIONG Jian (4766)
• Automation •	
Fault Location for Grounding Electrode Line of MMC DC System Based on Harmonic Injection	LI Bin, SUN Qiang, HE Jiawei, LI Ye (4773)
DC Side Grounding Mode of Two Power Electronic Transformers in Parallel Operation	LI Xiao, FAN Chunju, JIANG Shan, WANG Shenghui, JIN Shenda (4783)
A Series Arc Fault Detection Method Based on Multi-layer Convolutional Neural Network	CHU Ruobo, ZHANG Rencheng, YANG Kai, XIAO Jinchao (4792)
Novel Islanding Detection for DC Microgrid Based on MPPT Trapezoidal Voltage Disturbance	CHEN Xiaolong, YANG Zhiying, LI Yongli, LI Bin, LI Botong (4799)
Second Harmonic Generation Mechanism of Short Circuit Current of DFIG and Its Impact on Transformer Protection	ZHENG Tao, LI Jing, YAN Jingxian, WANG Xingguo, WANG Wenhuan, ZHAO Hongcheng (4808)
• High Voltages •	
Measures to Reduce the Ground Potential Difference due to Short Circuit Current in Power Plants	ZHOU Hongbin, SONG Wei, ZHOU Wanjun, LU Xiaoqiang, ZHANG Bo (4816)
Experiments on Reducing the Influence of Grounding Electrode Current on Oil and Gas Pipelines in HVDC Project in Sectional Insulation and Other Measures	BAI Feng, CAO Fangyuan, LI Xiong, LU Jiayu, HE Kun, ZHAO Luxing, HUANG Liujian (4822)
Electromagnetic Effects on Watercrafts in Yangtze Waterways Caused by Overcross Changji-Guquan ±1100kV UHVDC Transmission Lines	LI Yanlei, XIE Li, ZHAO Jiangtao, HUANG Zhaoxia, LU Jiayu, HUANG Keshan, et al (4830)
Partial Discharge Characteristics of C₄F₇N/N₂ Mixture in Highly Non-uniform Electric Field	ZHANG Xiaoxing, YE Fanchao, ZHANG Guozhi, TIAN Shuangshuang, LI Yi, ZHANG Ji (4838)
Characteristics and Key Parameters Optimization of Carrier Enhanced EFP CSTBT	SUN Haifeng, CAI Jiang, ZHANG Hongyu (4845)

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

Associate 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