

## 《电网技术》

### 编辑委员会

主任：刘振亚

委员（按姓氏笔画排序）：

Wei-Jen Lee 丁明 尹积军 文福拴

王敏 王成山 王相勤 王益民

Haifeng Wang (王海风) 韦化

帅军庆 伍萱 刘广迎 刘开俊

刘开培 刘玉田 刘建明 印永华

孙昕 汤涌 纪延超 吴云

吴玉生 Qinghua Wu (吴青华)

张文亮 张丽英 张启平 张运洲

张春城 张智刚 李卫东 李文毅

李向荣 李庆林 李成榕 李群湛

杜至刚 杨庆 肖世杰 肖立业

陈峰 陈月明 周浩 郑宝森

K L Lo (罗国麟) 段献忠 赵庆波

Wilsun Xu (徐文远) 索南加乐

栾军 郭剑波 康重庆 曹一家

曹均正 曹志安 黄强 程浩忠

舒印彪 葛正翔 路书军 廖瑞金

穆钢 鞠平

### 顾问委员会

主任：陆延昌

副主任：周孝信 郑健超

委员（按姓氏笔画排序）：

马伟明 王锡凡 卢强 孙才新

朱英浩 严陆光 余贻鑫 宋永华

Felix Wu (吴复立) 杨奇逊 汪槿生

沈国荣 邱爱慈 陆佑楣 陈清泉

赵遵廉 唐任远 顾国彪 黄其励

程时杰 韩祯祥 潘家铮 薛禹胜

## 目次

### · 高比例可再生能源电力系统的灵活性规划和运行 (特约专栏主编 鲁宗相、周勤勇) ·

基于站点逼近气候四维资料同化的全国风资源高分辨率回算数据集

..... 王姝, 胡莉, 吕晨, 宋宗朋, 任洲洋 (3859)  
发电系统充裕度与灵活性的随机评估

..... 马静洁, 张少华, 李雪, 周波 (3867)

基于分时能量互补的风电-光热联合外送容量优化配置方法

..... 崔杨, 张汇泉, 仲悟之, 赵钰婷, 张节潭, 王茂春 (3875)

输配协同分布式电源最大接入容量计算方法

..... 吴鸣, 徐斌, 季宇, 宋振浩, 孙丽敬, 马骏, 郑楠 (3883)

基于形态学分解的大规模风光并网电力系统多时间尺度灵活性评估

..... 詹勳淞, 管霖, 卓映君, 周保荣, 文博, 卢斯煜 (3890)

风火网混合博弈协调规划及利益分配方法

..... 常源, 刘宗歧, 黄珊, 刘文霞, 王舒 (3899)

考虑风电特性的中期-日前嵌套式机组组合优化

..... 马煜普, 乔颖, 鲁宗相, 严干贵, 舒印彪, 张智刚, 梁志峰 (3908)

面向调峰调频需求的风水火电协调优化调度

..... 葛晓琳, 金言, 夏澍, 符杨 (3917)

源-荷互动环境下含高比例风电并网的自适应线性化概率潮流计算

..... 柳志航, 卫志农, 高昇宇, 成乐祥, 谈康, 孙国强, 臧海洋 (3926)

考虑智能软开关的配电网灵活性评估及优化调度模型

..... 马望, 高红均, 李海波, 刘友波, 刘俊勇 (3935)

基于源网荷协同优化的配电网光储联合系统规划

..... 彭春华, 余愿, 孙惠娟 (3944)

主动配电网中计及灵活性不足风险的储能优化配置

..... 温丰瑞, 李华强, 温翔宇, 刘万宇, 徐浩 (3952)

储能辅助火电机组深度调峰的分层优化调度

..... 李军徽, 张嘉辉, 穆钢, 葛延峰, 严干贵, 史松杰 (3961)

电能路由器中基于 MMC 的超级电容储能系统及其改进 SOC 均衡控制

策略 ..... 陶海波, 杨晓峰, 李泽杰, 郑琼林, 游小杰, Pavel Koblirle (3970)

### · 国家重点研发计划 ·

新能源电力系统电力电量平衡问题研究

..... 李明节, 陈国平, 董存, 梁志峰, 王伟胜, 范高锋 (3979)

考虑预测误差的交直流混合微电网经济调度策略

..... 于浩, 秦文萍, 魏斌, 朱云杰, 韩肖清, 王鹏 (3987)

考虑时空相关性的多风电场出力场景生成方法

..... 赵书强, 金天然, 李志伟, 刘金山, 李奕欣 (3997)

考虑调频能力的风电场虚拟惯量多机协同控制策略

..... 侍乔明, 王刚, 李海英, 王永平, 吴优, 付立军 (4005)

基于非交叉反馈虚拟阻抗的并网变流器低频振荡抑制方法

..... 李绍阶, 王伟, 唐芬, 吴学智, 李相俊 (4016)

多电平变换器的一维空间矢量调制技术研究

..... 吴学智, 刘锋, 刘京斗, 赵亚雪, 王杰, 刘旭 (4025)

基于 Bergeron 等值线路的机电电磁混合仿真接口模型

..... 程成, 孙建军, 官金武, 张能, 潘静, 徐斌, 曹志煌 (4034)

### · 可再生能源发电与综合消纳技术 ·

风-光-水-碳捕集多区域虚拟电厂协调优化调度

..... 孙惠娟, 蒙锦辉, 彭春华 (4040)

考虑风荷预测误差不确定性的动态经济调度

..... 易明月, 童晓阳 (4050)

- 考虑部件相关性的海上风电机组预防性维护策略  
符杨, 杨凡, 刘璐洁, 王毅, 潘捷 (4057)
- 光伏高渗透电网动态频率特性及应对措施  
郑超, 王士元, 张波琦, 吕思卓, 陈怡君 (4064)
- 一种含光伏接入的配电网谐波责任划分方法  
罗杰, 臧天磊, 符玲, 陈静 (4074)
- 峰谷时段模糊识别的一库多级式梯级水电站群短期调度方法  
刘杰, 廖胜利, 刘本希, 赵志鹏, 钟儒鸿, 李树山 (4080)

· 直流输电与直流电网 (特约专栏主编 汤广福) ·

- 混合多端直流输电系统的小干扰建模方法  
郑安然, 郭春义, 殷子寒, 赵成勇 (4087)
- 一种应用于高压直流输电的新型锁相环  
龚英明, 汪娟娟, 王子民, 傅闯 (4097)
- 基于下垂移相的三端口直流能量路由功率协调控制策略  
涂春鸣, 栗思平, 肖凡, 兰征 (4105)
- 基于结温预估的模块化多电平换流器损耗计算方法  
黄勇, 姚志, 王容, 苑宾, 齐磊 (4115)

· 电力系统 ·

- 计及线间潮流控制器的电力系统潮流优化  
吴熙, 王亮, 陈曦, 刘珂, 陶加贵, 徐晓轶, 陈轩 (4125)
- 基于网络划分的电磁环网快速解环方法  
胥威汀, 张凤, 刘翔宇, 陶宇轩, 王云玲 (4133)
- UHVDC 分层接入系统的线路后备保护优化  
薛志英, 李仲青, 王兴国, 曹虹, 谢民, 王海港, 俞斌 (4141)
- 基于直流 100 Hz 分量的交直流保护配合方法  
黄宁, 范春菊, 姜山, 苏建军, 李广磊, 孙树敏 (4150)
- 基于电气化交通网络扩展模型的主动配电网规划方法  
孔顺飞, 胡志坚, 谢任炜, 郑云飞, 郑洁云 (4160)
- 面向居民用户群的多时间尺度需求响应协同策略  
孙毅, 刘昌利, 刘迪, 谢祥颖, 卢毓东, 李彬, 马永红 (4170)
- 考虑状态概率因子和状态修正的非侵入式负荷分解方法  
文亚凤, 崔亮节, 孙毅, 祁兵, 马永红 (4178)
- 基于 PLA-GDTW 支持向量机的非侵入式负荷监测方法  
牟魁翌, 杨洪耕 (4185)
- 电压暂降波形数据分析法及其在监测系统中的应用  
胡文曦, 肖先勇, 金耘岭, 姚东方 (4193)
- 基于傅里叶同步挤压变换和希尔伯特变换的谐波间谐波检测分析  
童涛, 张新燕, 刘博文, 杨璐璐, 张家军, 高亮 (4200)
- 采用低压中点调节器实现三桥臂逆变器三相四线供电的方法  
吴学智, 王杰, 刘京斗, 赵亚雪, 刘锋, 赵志刚, 张雪芬 (4209)
- 基于模型预测控制的 SVC 与 STATCOM 协调控制器  
李帅虎, 向振宇, 彭寒梅, 李辉, 王益 (4218)

· 高电压技术 ·

- 覆冰状态下防雷绝缘子电位分布与提高电场均匀性措施  
吴伟, 蒋正龙, 王博闻, 胡建平, 谢鹏康, 彭永晶 (4225)
- 电场对运行支柱绝缘子积污规律的影响分析  
武剑, 朱俊宇, 郑凯, 张志劲, 蒋兴良 (4231)
- 基于光电离模型的球电极表面雨滴起晕电压计算  
王胜辉, 王新宇, 邓畅宇, 律方成, 刘云鹏 (4239)

· 工程应用 ·

- 巴西美丽山 II 期特高压直流工程换流阀运行试验等效性研究  
高冲, 盛财旺, 周建辉, 李景波, 张静, 张娟娟 (4246)
- 美丽山二回直流工程投运后巴西电网安全稳定问题研究  
屠竞哲, 张健, Victor Teixeira, 潘艳, 张进, 段昊, 易俊 (4255)

《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 43 卷 第 11 期 (总第 432 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: 张文亮  
副主编: 郭剑波 汤涌  
编辑部副主任: 李兰欣 010-82812543  
广告部经理: 齐华 010-58386112  
发行: 闫嶝 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  
北京市昌平区七北路马连店甲 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: 京海工商广字第 0168 号

期刊基本参数: CN 11-2410/TM \* 1957 \* M \* A4 \* 404 \* zh \* P \* ¥80.00 \* 20000 \* 48 \* 2019-11 版权所有 未经许可不得转载及上网

# POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2019, Vol. 43 No. 11 (Ser. 432)

## Contents

### • Flexibility Planning and Operation for Power Systems With High Share of Renewable Energy Generations •

- A Hindcast Dataset on Domestic Wind Energy Resource in Fine Resolution via Observation-nudging Climate Four-dimension Data Assimilation Method**..... Wang Shu, Hu Ju, Lü Chen, Song Zongpeng, Ren Zhouyang (3859)
- Stochastic Assessment of Adequacy and Flexibility of Power Generation Systems**..... Ma Jingjie, Zhang Shaohua, Li Xue, Zhou Bo (3867)
- An Optimization Method to Determine Power Delivery Capacity of Combined Wind-CSP System Based on Time-sharing Energy Complementation**..... Cui Yang, Zhang Huiquan, Zhong Wuzhi, Zhao Yuting, Zhang Jietan, Wang Maochun (3875)
- Transmission-distribution-network-coordinated Calculation Method of Maximum Integration Capacity of Distributed Generations**..... Wu Ming, Xu Bin, Ji Yu, Song Zhenhao, Sun Lijing, Ma Jun, Zheng Nan (3883)
- Multi-scale Flexibility Evaluation of Large-scale Hybrid Wind and Solar Grid-connected Power System Based on Multi-scale Morphology**..... Zhan Xunsong, Guan Lin, Zhuo Yingjun, Zhou Baorong, Wen Bo, Lu Siyu (3890)
- Coordinated Planning and Profit Distribution of Wind Power, Thermal Power and Grid Based on Mixed Game Theory**..... Chang Yuan, Liu Zongqi, Huang Shan, Liu Wenxia, Wang Shu (3899)
- Medium-Day Nested Unit Commitment Optimization Considering Wind Power Characteristics**..... Ma Yupu, Qiao Ying, Lu Zongxiang, Yan Gangui, Shu Yinbiao, Zhang Zhigang, Liang Zhifeng (3908)
- A Coordinated Optimization Scheduling of Wind-hydro-thermal Power System Based on Requirement of Peak Load and Frequency Regulation**..... Ge Xiaolin, Jin Yan, Xia Shu, Fu Yang (3917)
- Adaptive-linearized Probabilistic Power Flow Calculation for Power Grid Integrated With High Proportion Wind Power in Source-load Interactive Environment**..... Liu Zhihang, Wei Zhinong, Gao Shengyu, Cheng Lexiang, Tan Kang, Sun Guoqiang, Zang Haixiang (3926)
- Flexibility Evaluation and Optimal Dispatch Model of Distribution Network Considering Soft Open Point**..... Ma Wang, Gao Hongjun, Li Haibo, Liu Youbo, Liu Junyong (3935)
- Planning of Combined PV-ESS System for Distribution Network Based on Source-network-load Collaborative Optimization**..... Peng Chunhua, Yu Yuan, Sun Huijuan (3944)
- Optimal Allocation of Energy Storage Systems Considering Flexibility Deficiency Risk in Active Distribution Network**..... Wen Fengrui, Li Huaqiang, Wen Xiangyu, Liu Wanyu, Xu Hao (3952)
- Hierarchical Optimization Scheduling of Deep Peak Shaving for Energy-storage Auxiliary Thermal Power Generating Units**..... Li Junhui, Zhang Jiahui, Mu Gang, Ge Yanfeng, Yan Gangui, Shi Songjie (3961)
- A Modified SOC Equalization Control Strategy of MMC Based Super Capacitor Energy Storage System in Electrical Energy Router Application**..... Tao Haibo, Yang Xiaofeng, Li Zejie, Zheng Qionglin, You Xiaojie, Pavel Kobrle (3970)
- National Key Research and Development Program of China •**
- Research on Power Balance of High Proportion Renewable Energy System**..... Li Mingjie, Chen Guoping, Dong Cun, Liang Zhifeng, Wang Weisheng, Fan Gaofeng (3979)
- Economic Dispatch of Hybrid AC/DC Microgrid Considering Prediction Error**..... Yu Hao, Qin Wenping, Wei Bin, Zhu Yunjie, Han Xiaoqing, Wang Peng (3987)
- Wind Power Scenario Generation for Multiple Wind Farms Considering Temporal and Spatial Correlations**..... Zhao Shuqiang, Jin Tianran, Li Zhiwei, Liu Jinshan, Li Yixin (3997)
- Coordinated Virtual Inertia Control Strategy of Multiple Wind Turbines in Wind Farms Considering Frequency Regulation Capability**..... Shi Qiaoming, Wang Gang, Li Haiying, Wang Yongping, Wu You, Fu Lijun (4005)
- Low Frequency Oscillation Suppression Method of Grid-connected Converter Based on Non-cross Feedback Virtual Impedance**..... Li Shaojie, Wang Wei, Tang Fen, Wu Xuezhi, Li Xiangjun (4016)
- Research on One-dimensional Space Vector Modulation Technology of Multilevel Converter**..... Wu Xuezhi, Liu Feng, Liu Jingdou, Zhao Yaxue, Wang Jie, Liu Xu (4025)
- An Interface Model of Electromechanical and Electromagnetic Hybrid Simulation Based on Equivalent Circuit of Bergeron Line**..... Cheng Cheng, Sun Jianjun, Gong Jinwu, Zhang Neng, Pan Jing, Xu Bin, Cao Zhihuang (4034)
- Renewable Energy Generation and Integration •**
- Coordinated Optimization Scheduling of Multi-region Virtual Power Plant With Wind-power/Photovoltaic/Hydropower/Carbon-capture Units**..... Sun Huijuan, Meng Jinhui, Peng Chunhua (4040)
- Dynamic Economic Dispatch Considering Uncertainties of Wind Power and Load Forecast Error**..... Yi Mingyue, Tong Xiaoyang (4050)
- Preventive Maintenance Strategy for Offshore Wind Turbines Considering Component Correlation**..... Fu Yang, Yang Fan, Liu Lujie, Wang Yi, Pan Jie (4057)
- Dynamic Frequency Characteristics and Countermeasures of Power Grid With Highly Penetrated Photovoltaics**..... Zheng Chao, Wang Shiyuan, Zhang Boqi, Lü Sizhuo, Chen Yijun (4064)
- A Method of Harmonic Responsibility Determination for Power Distribution Network Including Photovoltaic System**..... Luo Jie, Zang Tianlei, Fu Ling, Chen Jing (4074)

---

**A New Short-term Scheduling Method for System of One Reservoir With Multi-level Stations Based on Fuzzy Identification of Peak-valley Time Period**..... Liu Jie, Liao Shengli, Liu Benxi, Zhao Zhipeng, Zhong Ruhong, Li Shushan (4080)

• **HVDC Transmission & HVDC Grid** •

**Small-signal Modeling Method of Hybrid Multi-terminal HVDC System**

.....Zheng Anran, Guo Chunyi, Yin Zihan, Zhao Chengyong (4087)

**A Novel Phase-locked Loop for HVDC**..... Gong Yingming, Wang Juanjuan, Wang Zimin, Fu Chuang (4097)

**A Coordinated Power Control Strategy of Three-port DC Energy Router Based on Droop Phase-shift**

..... Tu Chunming, Luan Siping, Xiao Fan, Lan Zheng (4105)

**Calculation Method of Modular Multilevel Converter Power Loss Based on Junction Temperature Estimation**

.....Huang Yong, Yao Zhi, Wang Rong, Yuan Bin, Qi Lei (4115)

• **Power System** •

**Optimal Power Flow Considering Interline Power Flow Controller**

..... Wu Xi, Wang Liang, Chen Xi, Liu Yu, Tao Jiagui, Xu Xiaoyi, Chen Xuan (4125)

**Electromagnetic Loop Network Fast Breaking Method Based on Network Partition Algorithm**

.....Xu Weiting, Zhang Feng, Liu Xiangyu, Tao Yuxuan, Wang Yunling (4133)

**Transmission Line Backup Protection Optimization in UHVDC Hierarchical Access System**

..... Xue Zhiying, Li Zhongqing, Wang Xingguo, Cao Hong, Xie Min, Wang Haigang, Yu Bin (4141)

**Coordination Method Between AC and DC Protections Based on DC Side 100 Hz Component**

.....Huang Ning, Fan Chunju, Jiang Shan, Su Jianjun, Li Guanglei, Sun Shumin (4150)

**Planning Method of Active Distribution Network Based on Expansion Model of Electrified Traffic Network**

..... Kong Shunfei, Hu Zhijian, Xie Shiwei, Zheng Yunfei, Zheng Jieyun (4160)

**A Multi-time Scale Demand Response Collaborative Strategy for Residential User Groups**

..... Sun Yi, Liu Changli, Liu Di, Xie Xiangying, Lu Yudong, Li Bin, Ma Yonghong (4170)

**Non-intrusive Load Decomposition Method Considering State Probability Factors and State Corrections**

..... Wen Yafeng, Cui Liangjie, Sun Yi, Qi Bing, Ma Yonghong (4178)

**Non-intrusive Load Identification Method Based on PLA-GDTW Support Vector Machine**

.....Mou Kuiyi, Yang Honggeng (4185)

**Voltage Sag Waveform Data Analysis Method and Its Application in Monitoring System**

.....Hu Wenxi, Xiao Xianyong, Jin Yunling, Yao Dongfang (4193)

**Analysis of Harmonic and Inter-harmonic Detection Based on Fourier-based Synchrosqueezing Transform and Hilbert**

**Transform**..... Tong Tao, Zhang Xinyan, Liu Bowen, Yang Lulu, Zhang Jiajun, Gao Liang (4200)

**Three-phase Four-wire Power Supply Method for Three-phase Three-leg Inverter Using Low-voltage Neutral Point Regulator**

..... Wu Xuezi, Wang Jie, Liu Jingdou, Zhao Yaxue, Liu Feng, Zhao Zhigang, Zhang Xuefen (4209)

**SVC and STATCOM Coordination Controller Based on Model Predictive Control**

..... Li Shuaihu, Xiang Zhenyu, Peng Hanmei, Li Hui, Wang Yi (4218)

• **High Voltages** •

**Study on Potential Distribution of Lightning Protection Insulator and Measures Improving Electric Field Uniformity Under Ice Coating**.....Wu Wei, Jiang Zhenglong, Wang Bowen, Hu Jianping, Xie Pengkang, Peng Yongjing (4225)

**Analysis of Influence of Electrical Field on Pollution Accumulation Law for Working Post Insulators**

..... Wu Jian, Zhu Junyu, Zheng Kai, Zhang Zhijin, Jiang Xingliang (4231)

**Calculation of Corona Inception Voltage Based on Photoionization Model With Raindrops on Spherical Electrode Surface**

..... Wang Shenghui, Wang Xinyu, Deng Changyu, Lü Fangcheng, Liu Yunpeng (4239)

• **Engineering Application** •

**Research on Operational Test Equivalence for Converter Valve in Brazil Belo Mountain UHVDC Phase II Transmission Project**

.....Gao Chong, Sheng Caiwang, Zhou Jianhui, Li Jingbo, Zhang Jing, Zhang Juanjuan (4246)

**Study on Brazilian Power System Stability After Belo Monte Bipole II HVDC Project Into Operation**

..... Tu Jingzhe, Zhang Jian, Victor Teixeira, Pan Yan, Zhang Jin, Duan Hao, Yi Jun (4255)

---

**Sponsor:** State Grid Corporation of China

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

**Chairman of Editorial Committee:** Liu Zhenya

**Editor-in-Chief:** Zhang Wenliang

**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