

# 电网技术

10  
2019

## POWER SYSTEM TECHNOLOGY

第43卷10期  
Vol.43 No.10

### 《我国多类型自然条件下光伏关键技术研发、实证与应用》

我国多类型自然条件下光伏关键技术研发、实证相关产品及装置于2016年起应用于我国光伏“领跑者”基地工程项目中，为我国光伏平价上网，多类型自然条件下光伏产品安全稳定运行提供支撑。其中项目开发的光伏组件移动检测平台、光伏组件特性同步在线I-V测试装置、光伏电站效率链广域测量装置、光伏发电关键部件故障诊断和风险评估方法达到国际领先水平。该成果已推广应用于张北等其他光伏基地，应用前景广阔，对我国光伏发电效率提升，光伏行业平价上网，光伏产品性能提升具有重要意义。



国家电网  
STATE GRID

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

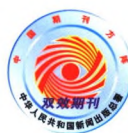
单位：中国电力科学研究院有限公司

地址：北京清河小营东路15号

邮编：100192

电话：(010) 82812114

ISSN 1000-3673



国家电网有限公司 主办



万方数据



## 《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 伍莹 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

KL 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 汪植生

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

### · 高压直流换相失败及其对电网的影响 (特约专栏主编 傅闯、郭春义) ·

#### 多馈入直流输电系统换相失败风险评估简化指标

..... 邵瑶, 周勤勇, 张健, 施浩波, 汤涌 (3453)

#### 多馈出直流系统换相失败快速判别方法

..... 尹纯亚, 李凤婷, 宋新甫, 万琪 (3459)

#### 基于交流系统非特征谐波的 HVDC 换相失败风险评估及抑制策略

..... 邵思语, 黄振琳, 刘永强, 李卓敏 (3466)

#### 考虑多因素影响换相失败预测与识别方法

..... 蔡文瑞, 杨国生, 杜丁香, 王兴国 (3477)

#### 基于阀侧电流特征的高压直流换相失败检测方法

..... 陈光侵, 傅闯, 张勇军 (3488)

#### 基于直流电流变化量的换相失败预测判别与控制系统优化

..... 周博昊, 李凤婷, 宋新甫, 尹纯亚 (3497)

#### 基于换相电压相位检测的高压直流故障恢复策略

..... 汪娟娟, 文兆新, 傅闯, 龚英明 (3504)

#### 抑制连续换相失败的直流功率控制策略

..... 汤奕, 郑晨一, 楼伯良, 华文, 王龙飞 (3514)

#### 基于混合双馈入直流输电系统有功无功协调的后续换相失败控制方法

..... 肖超, 欧阳金鑫, 熊小伏, 李梦阳, 郑迪 (3523)

#### 特高压直流多馈入系统换相失败预防协调控制

..... 李程昊, 谭阳琛, 熊永新, 詹锦, 姚伟, 艾小猛, 饶宇飞, 文劲宇 (3532)

#### 特高压直流分层接入下换相失败预防协调控制

..... 辛建波, 舒展, 谭阳琛, 王光, 姚伟, 艾小猛, 文劲宇, 程思萌 (3543)

#### 同步调相机对分层接入特高压直流输电系统的换相失败抑制作用研究

..... 沙江波, 杨硕, 郭春义, 赵成勇 (3552)

#### 控制器交互不当引发后续换相失败的机理分析

..... 刘磊, 林圣, 刘健, 孙沛瑶, 李小鹏, 何正友 (3562)

#### 改善直流因持续换相失败导致闭锁的功率指令速降措施研究

..... 张玉红, 姜懿郎, 秦晓辉, 毕振, 周勤勇 (3569)

#### 直流斩波器对抑制换相失败引发的弱送端电网暂态过电压的研究

..... 刘博, 郭春义, 赵成勇 (3578)

### · 电力市场 ·

#### 扩展的节点电价算法研究

..... 王宜元, 高峰, 康重庆, 黎灿兵, 刘乾, 韩颖慧, 等 (3587)

#### 面向居民用户精细化需求响应的等梯度迭代学习激励策略

..... 孙毅, 刘迪, 崔晓昱, 李彬, 霍沫霖, 奚巍民 (3597)

#### 规模化储能调频辅助服务市场机制及调度策略研究

..... 陈浩, 贾燕冰, 郑晋, 严正, 王金浩, 常潇 (3606)

#### 考虑电力市场中市场力缓解的电网规划

..... 舒隽, 韩笑, 韩冰, 李岚 (3616)

#### 考虑用电量不确定性的智能电网实时定价策略

..... 张莉, 高岩, 朱红波, 刘松涛 (3622)

#### 计及电价和电量分摊的配电网项目经济评价

..... 孙东雪, 王主丁, 商佳宜, 赵天煜, 王卫平 (3632)

· 可再生能源发电与综合消纳技术 ·

基于空间聚类统计模型的风电消纳潜力区域分析

.....赵振宇, 苑曙光, 胡明辉 (3641)

面向风电消纳的考虑热网特性及热舒适度弹性的电热联合优化调度

.....林俐, 顾嘉, 王铃 (3648)

减载风电机组变速变桨协调频率控制方法

.....胡家欣, 胥国毅, 毕天姝, 崔海波 (3656)

光伏电站接入轨道交通牵引供电系统发展现状综述

.....陈维荣, 王璇, 李奇, 韩莹, 王伟颖 (3663)

单相双 Buck 逆变器的无差拍快速重复控制

.....李冬辉, 孔祥洁, 刘玲玲 (3671)

多能互补微网集群分布式优化调度

.....周晚倩, 艾芊, 林琳, 袁帅 (3678)

考虑风光热不确定性和相变储能系统的城市建筑微网电-热联合调度

.....李艳, 胡志豪, 随权, 冯忠楠, 林湘宁, 李正天 (3687)

分布式电池储能在含高比例可再生能源不平衡配电网中的序次优化配置

.....苏向敬, 陈思利, 米阳, 符扬 (3698)

· 电力系统 ·

碳交易及模糊预算下火电企业碳减排最优策略研究

.....檀勤良, 丁毅宏, 魏咏梅, 何晴, 刘亚龙, 姚洵睿 (3707)

面向风电场-储能-输电网联合规划的机会约束 IGDT 模型

.....李昫昊, 王建学, 曹晓宇, 周保荣, 卢斯煜 (3715)

基于混沌增强烟花算法的多能源系统并网优化调度

.....雍静, 赵瑾, 邝嘉嘉, 余梦泽, 王晓静 (3725)

基于加权最小绝对值的电-气综合能源系统双线性抗差状态估计

.....郑顺林, 刘进, 陈艳波, 祁兵 (3733)

变电网运行条件下虚拟同步发电机鲁棒控制参数设计

.....吴鸣, 吕志鹏, 秦岭, 宋振浩, 孙丽敬, 赵婷, 许骥, 高娟 (3743)

基于自适应虚拟阻抗改进无功环路的虚拟同步功率解耦控制策略

.....李旭枫, 陆立民, 成乐祥, 王建华, 吕志鹏, 李文兵, 顾伟 (3752)

基于电压临界稳定状态下的无功电压分区方法

.....钟俊, 焦兴伟, 王志川 (3761)

配电网接线模式的综合效率评价

.....肖峻, 余步鑫 (3769)

电力市场环境含“源-网-荷-储”互动的主动配电网有功/无功

联合优化.....徐韵, 颜湘武, 李若瑾, 李铁, 曾辉 (3778)

集成电动汽车全轨迹空间的充电负荷建模及对配电网可靠性的影响

.....蒋卓臻, 向月, 刘俊勇, 朱嘉远, 税月 (3789)

面向变压器油中溶解气体分析的组 DBN 诊断方法

.....荣智海, 齐波, 李成榕, 朱双静, 陈玉峰, 辜超 (3800)

城市抗冰保底电网防灾综合评价指标体系研究

.....程鑫, 樊扬, 龚贤夫, 吴伟杰, 左郑敏, 段瑶, 林勇 (3808)

特高压直流输电系统抗震可靠度研究

.....姚堃, 钱江 (3816)

· 自动化 ·

基于暂态电流波形相似度识别的柔性直流配电网线路保护

.....王聪博, 贾科, 毕天姝, 赵其娟, 朱瑞 (3823)

基于双树复小波变换的混合直流输电线路行波保护方法

.....陈争光, 周泽昕, 王兴国, 李岩军, 杜丁香, 詹荣荣, 王书扬 (3832)

基于 VMD-SMMG 变换的微弱行波双端测距研究

.....刘晓军, 岳爽, 赵妍, 杨冬锋 (3841)

基于单一直流源级联 H 桥变流器的配电网接地故障柔性消弧方法

.....邱伟强, 郭谋发, 郑泽胤 (3848)

《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 10 期 (总第 431 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 岷 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 \* 406 \* zh \* P \* ¥80.00 \* 20000 \* 46 \* 2019-10 版权所有 未经许可不得转载及上网

# POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2019, Vol. 43 No. 10 (Ser. 431)

## Contents

### • Commutation Failures of LCC-HVDC and Its Impact on Power Grid •

- Research on Simplified Indicators of Commutation Failure Risk Assessment for Multi-infeed HVDC Transmission Systems**  
.....Shao Yao, Zhou Qinyong, Zhang Jian, Shi Haobo, Tang Yong (3453)
- A Fast Detection Method of Commutation Failure in Multi-outfeed DC System**  
.....Yin Chunya, Li Fengting, Song Xinfu, Wan Qi (3459)
- Risk Assessment and Suppression Strategy of HVDC Commutation Failure Based on Non-characteristic Harmonics in AC System**  
.....Shao Siyu, Huang Zhenlin, Liu Yongqiang, Li Zhuomin (3466)
- Prediction and Identification Method for Commutation Failure Considering Multi-factor Influence**  
.....Cai Wenrui, Yang Guosheng, Du Dingxiang, Wang Xingguo (3477)
- Detection Method of HVDC CF Based on Characteristics of Valve-side Current**  
.....Chen Guangqin, Fu Chuang, Zhang Yongjun (3488)
- Commutation Failure Prediction and Control System Optimization Based on DC Current Variation**  
.....Zhou Bohao, Li Fengting, Song Xinfu, Yin Chunya (3497)
- HVDC Fault Recovery Strategy Based on Phase Change Detection of Commutation Voltage**  
.....Wang Juanjuan, Wen Zhaoxin, Fu Chuang, Gong Yingming (3504)
- Research on DC Power Control Strategy for Mitigating Continuous Commutation Failure**  
.....Tang Yi, Zheng Chenyi, Lou Boliang, Hua Wen, Wang Longfei (3514)
- Subsequent Commutation Failure Control Method Based on Coordination Between Active and Reactive Powers in Hybrid Dual-infeed HVDC System**  
.....Xiao Chao, Ouyang Jinxin, Xiong Xiaofu, Li Mengyang, Zheng Di (3523)
- Coordinated Control of UHVDC Multi-infeed System for Commutation Failure Prevention**  
.....Li Chenghao, Tan Yangchen, Xiong Yongxin, Zhan Jin, Yao Wei, Ai Xiaomeng, Rao Yufei, Wen Jinyu (3532)
- Coordinated Control of Commutation Failure Prevention for UHVDC Hierarchical Connection to AC Grid**  
.....Xin Jianbo, Shu Zhan, Tan Yangchen, Wang Guang, Yao Wei, Ai Xiaomeng, Wen Jinyu, Cheng Simeng (3543)
- Study on Suppression Effect of Synchronous Condenser on Commutation Failure of UHVDC System Under Hierarchical Connection Mode**  
.....Sha Jiangbo, Yang Shuo, Guo Chunyi, Zhao Chengyong (3552)
- Mechanism Analysis of Subsequent Commutation Failures Caused by Improper Interaction of Controllers**  
.....Liu Lei, Lin Sheng, Liu Jian, Sun Peiyao, Li Xiaopeng, He Zhengyou (3562)
- Research on Countermeasure via Fast Decrease of DC Power Reference to Alleviate DC Lockdown Risk Due to Continuous Commutation Failure**  
.....Zhang Yuhong, Jiang Yilang, Qin Xiaohui, Bi Zhen, Zhou Qinyong (3569)
- Research on DC Chopper in Suppressing Transient Overvoltage of Weak Sending Terminal Caused by Commutation Failure**  
.....Liu Bo, Guo Chunyi, Zhao Chengyong (3578)

### • Electricity Market •

- Analysis of Extended Locational Marginal Price**  
.....Wang Xuanyuan, Gao Feng, Kang Chongqing, Li Canbing, Liu Qian, Han Yinghui, et al (3587)
- Equal Gradient Iterative Learning Incentive Strategy for Accurate Demand Response of Resident Users**  
.....Sun Yi, Liu Di, Cui Xiaoyu, Li Bin, Huo Molin, Xi Weimin (3597)
- Research on Market Mechanism and Scheduling Strategy of Frequency Regulation Auxiliary Service of Large-scale Energy Storage**  
.....Chen Hao, Jia Yanbing, Zheng Jin, Yan Zheng, Wang Jinhao, Chang Xiao (3606)
- Transmission Planning Considering Market Power Mitigation in Electricity Market**  
.....Shu Jun, Han Xiao, Han Bing, Li Lan (3616)
- Real-time Pricing Strategy Based on Uncertainty of Power Consumption in Smart Grid**  
.....Zhang Li, Gao Yan, Zhu Hongbo, Liu Songtao (3622)
- Economic Evaluation of Distribution Network Projects With Electricity Price and Consumption Allocation Involved**  
.....Sun Dongxue, Wang Zhuding, Shang Jiayi, Zhao Tianyu, Wang Weiping (3632)

### • Renewable Energy Generation and Integration •

- Analysis of Wind Power Accommodation Capacity Area Based on Spatial Clustering Statistical Model**  
.....Zhao Zhenyu, Yuan Shuguang, Hu Minghui (3641)
- Optimal Dispatching of Combined Heat-power System Considering Characteristics of Thermal Network and Thermal Comfort Elasticity for Wind Power Accommodation**  
.....Lin Li, Gu Jia, Wang Ling (3648)

---

<b>A Strategy of Frequency Control for Deloaded Wind Turbine Generator Based on Coordination Between Rotor Speed and Pitch Angle</b> .....	Hu Jiabin, Xu Guoyi, Bi Tianshu, Cui Haibo (3656)
<b>Review on the Development Status of PV Power Station Accessing to Traction Power Supply System for Rail Transit</b> .....	Chen Weirong, Wang Xuan, Li Qi, Han Ying, Wang Weiyong (3663)
<b>Deadbeat and Fast Repetitive Control for Single-phase Dual-buck Inverter</b> .....	Li Donghui, Kong Xiangjie, Liu Lingling (3671)
<b>Distributed Optimal Dispatch of Interconnected CCHP Microgrids</b> .....	Zhou Xiaoqian, Ai Qian, Lin Lin, Yuan Shuai (3678)
<b>Microgrid Joint Electro-thermal Scheduling for Phase Change Energy Storage System of Urban Buildings Considering Uncertainty of Wind, Light and Heat</b> .....	Li Yan, Hu Zhihao, Sui Quan, Feng Zhongnan, Lin Xiangning, Li Zhengtian (3687)
<b>Sequential and Optimal Placement of Distributed Battery Energy Storage Systems Within Unbalanced Distribution Networks Hosting High Renewable Penetrations</b> .....	Su Xiangjing, Chen Sili, Mi Yang, Fu Yang (3698)
<b>• Power System •</b>	
<b>Research on Optimal Strategy of Carbon Emission Reduction for Thermal Power Enterprises Under Carbon Trading and Fuzzy Budget</b> .....	Tan Qinliang, Ding Yihong, Wei Yongmei, He Qing, Liu Yalong, Yao Xunrui (3707)
<b>A Chance-constrained IGDT Model for Joint Planning of Wind Farm, Energy Storage and Transmission</b> .....	Li Yunhao, Wang Jianxue, Cao Xiaoyu, Zhou Baorong, Lu Siyu (3715)
<b>Multi-energy System Optimal Dispatch Based on Chaos Enhanced Firework Algorithm in Grid Connection</b> .....	Yong Jing, Zhao Jin, Huan Jiajia, Yu Mengze, Wang Xiaojing (3725)
<b>Bilinear Robust State Estimation Based on Weighted Least Absolute Value for Integrated Electricity-gas System</b> .....	Zheng Shunlin, Liu Jin, Chen Yanbo, Qi Bing (3733)
<b>Robust Control Parameter Design for Virtual Synchronous Generator Under Variable Operation Conditions of Grid</b> .....	Wu Ming, Lü Zhipeng, Qin Ling, Song Zhenhao, Sun Lijing, Zhao Ting, Xu Ji, Gao Juan (3743)
<b>Power Decoupling Control Strategy in Virtual Synchronous Generator With Improved Reactive Power Loop Based on Adaptive Virtual Impedance</b> .....	Li Xufeng, Lu Limin, Cheng Lexiang, Wang Jianhua, Lü Zhipeng, Li Wenbing, Gu Wei (3752)
<b>Reactive Voltage Partition Method Based on Voltage Critical Steady State</b> .....	Zhong Jun, Jiao Xingwei, Wang Zhichuan (3761)
<b>Comprehensive Efficiency Evaluation on Connection Modes in Distribution Networks</b> .....	Xiao Jun, She Buxin (3769)
<b>Joint Optimization of Active and Reactive Powers in Active Distribution Network With “Generation-grid-load-energy storage” Interaction in Power Market Environment</b> .....	Xu Yun, Yan Xiangwu, Li Ruojin, Li Tie, Zeng Hui (3778)
<b>Charging Load Modeling Integrated With Electric Vehicle Whole Trajectory Space and Its Impact on Distribution Network Reliability</b> .....	Jiang Zhuozhen, Xiang Yue, Liu Junyong, Zhu Jiayuan, Shui Yue (3789)
<b>Combined DBN Diagnosis Method for Dissolved Gas Analysis of Power Transformer Oil</b> .....	Rong Zhihai, Qi Bo, Li Chengrong, Zhu Shuangjing, Chen Yufeng, Gu Chao (3800)
<b>Study on Comprehensive Evaluation Index System for Disaster Prevention of Urban Ice-resistant Secure Power Grid</b> .....	Cheng Xin, Fan Yang, Gong Xianfu, Wu Weijie, Zuo Zhengmin, Duan Yao, Lin Yong (3808)
<b>Research on Seismic Reliability of UHVDC Transmission System</b> .....	Yao Kun, Qian Jiang (3816)
<b>• Automation •</b>	
<b>Protection for Flexible DC Distribution System Based on Transient Current Waveform Similarity Identification</b> .....	Wang Congbo, Jia Ke, Bi Tianshu, Zhao Qijuan, Zhu Rui (3823)
<b>Traveling Wave Protection for Hybrid HVDC Transmission Lines Based on Dual-tree Complex Wavelet Transform</b> .....	Chen Zhengguang, Zhou Zexin, Wang Xingguo, Li Yanjun, Du Dingxiang, Zhan Rongrong, Wang Shuyang (3832)
<b>Research on Weak Traveling Wave Location Based on VMD-SMMG Transform</b> .....	Liu Xiaojun, Yue Shuang, Zhao Yan, Yang Dongfeng (3841)
<b>Flexible Arc-suppression Method Based on Single-DC-source Cascaded H-bridge Converter for Earth Fault in Distribution Networks</b> .....	Qiu Weiqiang, Guo Moufa, Zheng Zeyin (3848)

---

**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





# ——值得信赖的电力系统价值伙伴

益和电气集团股份有限公司始于1985年，公司占地面积200000平方米，注册资金1.1亿元，员工1000余人。现发展成为集智能研发、智能制造、智能科技、智慧服务、清洁能源、资本运作等为一体的现代化企业集团。可为客户提供电力工程的EPC（一站式）业务，投资承建工商业分布式光伏电站。

主要产品为126-252kV组合电器、40.5kV及以下高低压开关柜、12-40.5kV户内及户外断路器、箱式变电站、环网柜及智能配套组件等系列产品。



板材智能化加工系统



开关柜智能化生产线



用户变电站电能远控中心



## 益国利民 和谐共赢

### 益和电气集团股份有限公司

地址：山东省青岛市西海岸新区淮河西路717号

邮编：266510

电话：0532-58517159

http://www.yihe.cn

邮箱：yihedianqijituan@126.com

