

电网技术



POWER SYSTEM TECHNOLOGY

第45卷8期

Vol.45 No.8

国家重点研发计划项目 “±1100kV直流输电关键技术与示范” 率先创立±1100kV直流输电技术

面向我国 ±1100kV级直流输电工程设计和建设需求，项目支撑建成 ±1100kV准东—皖南直流输电示范工程，解决极高电压、超远距离、复杂环境下的过电压抑制、绝缘配合、雷电防护、电磁环境控制技术难题。突破 ±1100kV核心设备绝缘配置、结构设计和关键工艺控制技术难题，成功研制换流变压器、平波电抗器、复合支柱绝缘子样机。攻克 ±1100kV系统成套等建设关键技术，形成 ±1100kV直流输电工程成套技术方案、关键设备技术标准和直流工程设计规范。

项目研发了支撑国家能源转型的重大战略性技术，引领了国际3000~5000公里/千万千瓦级经济输电“技术无人区”的创新发展，促进了我国高端电工装备制造的技术升级和创新，推动了我国电力电子、电工材料、高端硅钢、控制保护、试验检测等工业领域的技术进步，建成了标志性的“疆电外送”工程，缓解了我国经济社会高速增长与资源环境强力约束的矛盾。



±1100kV直流输电示范工程古泉换流站



±1100kV直流输电线路



±1100kV换流站户内直流场



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：严飞

邮编：100192

电话：010-82813359

邮箱：yanfei@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

· 面向新一代电力系统和能源互联网的人工智能技术 ·

基于人工智能及信息融合的电力系统故障诊断方法
..... 宁剑, 任怡睿, 林济铿, 江长明, 张勇, 张哲 (2925)

基于双生成器生成对抗网络的电力系统暂态稳定评估方法
..... 杨东升, 吉明佳, 周博文, 卜思齐, 胡博 (2934)

基于改进一维卷积神经网络的电力系统暂态稳定评估
..... 赵恺, 石立宝 (2945)

基于BERT的电网调度语音识别语言模型研究
..... 陈蕾, 郑伟彦, 余慧华, 傅婧, 刘宏伟, 夏军强 (2955)

基于变分自编码器的主动配电网多源-荷场景生成方法
..... 王新迎, 李辉, 董骁翀, 王昊天, 孙英云 (2962)

分布式智能协同和云计算相结合的配电网故障选线新方法
..... 高峰阳, 曾林, 李昭君, 袁成, 李明明, 庄圣贤 (2969)

基于卷积块注意模型的YOLOv3输电线路故障检测方法
..... 郝帅, 马瑞泽, 赵新生, 安倍逸, 张旭, 马旭 (2979)

基于深度学习的输电线路销钉缺陷检测
..... 李雪峰, 刘海莹, 刘高华, 苏寒松 (2988)

稠密电力场景中的双目复空间立体定位与识别方法
..... 崔昊杨, 滕研策, 邹轩, 张驯, 许永鹏 (2996)

· 国家重点研发计划 ·

多能互补复合电站的优化配置及其在系统电源规划中的应用
..... 刘树桦, 王建学, 李清涛, 王秀丽, 刘子拓, 王学斌, 王若谷 (3006)

考虑通信延时的分布式电源经济优化调度策略
..... 何永菁, 王伟, 吴学智 (3015)

基于对角化LDPC压缩感知和k-近邻算法的广域系统宽频振荡监测方法
..... 冯双, 崔昊, 吴熙, 冯俊杰, 邹常跃, 赵晓斌, 汤奕 (3025)

基于APAA和改进DBSCAN算法的户变关系及相位识别方法
..... 崔雪原, 刘晟源, 金伟超, 林振智, 宣玉华, 王海波 (3034)

考虑退化成本的电池储能参与调频辅助服务市场的控制方法
..... 刘庆楷, 刘明波, 陆文甜 (3043)

不平衡数据集下基于CVAE-CNN模型的智能电表故障多分类方法
..... 高欣, 纪维佳, 赵兵, 贾欣, 黄子健, 任曷 (3052)

· 可再生能源发电与综合消纳技术 ·

基于安全域校核的含风电系统负荷恢复优化
..... 刘世超, 刘艳, 张慧, 韩思聪 (3061)

基于ECBO-VMD-WKELM的风电功率超短期多步预测
..... 李青, 张新燕, 马天娇, 马涛, 王衡, 尹红升 (3070)

面向配电侧户用光伏无功激励奖励的纳什议价方法
..... 张释中, 裴玮, 马腾飞, 李淑锋, 王方胜, 唐成虹 (3079)

基于I-V特性灰色关联分析的光伏阵列健康状态评估
..... 丁坤, 陈富东, 翁帅, 张经纬, 冯莉, 李元良, 陈曦晖, 陈翔 (3087)

基于差异化需求响应模型预测控制的微网时域滚动优化调度
..... 孙惠娟, 张乐乐, 彭春华 (3096)

基于双向接口变换器的混合微电网交直流母线电压统一控制策略
..... 赵多, 贾燕冰, 任春光, 张佰富 (3105)

· 直流输电与直流电网 ·

基于多目标优化的电网直流承载规模评估方法
..... 李华取, 彭晓涛, 覃琴, 姚良忠, 张健, 郭强 (3115)

计及直流控制特性的混合多馈入直流系统交互作用因子计算方法
李清, 王拓, 毛焱祖, 李章允, 辛业春, 江守其 (3125)

柔性直流输电系统低频振荡机理及抑制策略
张杨, 林卫星, 邓才波, 刘汉军, 刘普, 高添 (3134)

城市配电网直流化改造对象综合决策欧阳森, 杨墨缘 (3145)

特高压换流站三柱四绕组结构换流变压器谐波抑制研究
陈生栋, 孙海峰 (3155)

考虑多频率谐波动态的模块化多电平换流器建模及耦合特性分析
刘天琪, 周攀, 王顺亮, 马俊鹏, 张海川 (3164)

基于谐波状态空间的模块化多电平换流器直流侧改进建模
刘小林, 王顺亮, 马俊鹏, 刘天琪, 彭光强 (3173)

换流站 750kV 交流滤波器合闸涌流及其抑制方法
何春应, 陈晓慧, 朱晓光, 邓军波, 张冠军, 马飞越, 倪辉 (3181)

· 电力市场 ·

跨省区水电参与现货市场的机制和交易策略
邓玉敏, 石峰, 夏清, 龚思宇, 易江文, 汪洋 (3190)

电力交易平台数据指标监视技术与应用
黄龙达, 庄卫金, 龙苏岩, 庄晓丹, 黄文渊 (3200)

基于 WCVaR 的区域综合能源运营商交易策略研究
许思颖, 王旭, 蒋传文, 胡嘉凯, 刘晓林, 李磊, 陈春逸 (3207)

基于金融输电权和金融储能权混合拍卖的电力市场风险管理模型
韩冬, 何宇婷, 何红玉, 任恒宇, 龚科福 (3219)

· 电力系统 ·

新一代特高压交直流电网仿真平台设计方案
陈国平, 李柏青, 李明节, 李亚楼, 许涛, 贺静波 (3228)

华中电网动态稳定特性演化规律及防控体系构建
王斌, 徐友平, 党杰, 李文锋, 马世俊, 王莹 (3238)

基于多求和不等式输出反馈 Lyapunov 判据的时变时滞电力系统二次调频控制
周一辰, 覃露, 李永刚 (3247)

面向并发多业务的宽带电力线载波通信跨层资源分配算法研究
杨挺, 何子阳, 孙兆帅, 蔡绍堂, 李丰君 (3257)

变电站国产化站控层服务协议设计
窦仁晖, 任辉, 姚志强, 常乃超, 徐歆, 张琦兵, 盛福 (3268)

小电阻接地系统高阻接地故障纵联差动保护
任伟, 薛永端, 徐丙垠, 李钰琪 (3276)

基于 UMEC 的双芯 Sen 变压器电磁暂态模型
卜亮, 韩松, 周超, 冯金铃 (3283)

· 高电压技术 ·

人工冲击下输电线路杆塔暂态特性测试方法研究
康鹏, 张北华, 李志忠, 王森, 时卫东, 吉宏亮, 申巍, 沈海滨 (3291)

等离子体喷射触发型 SF₆ 间隙开关触发寿命试验研究
朱浩, 李志兵, 李晓昂, 张然, 王永兴, 董冰冰 (3298)

基于广义 S 变换和奇异值分解的局放信号降噪优化方法
张梦楠, 李春茂, 刘凯, 陈祖祥, 安钊 (3305)

基于最佳分段和改进半物理模型的特高压并联电抗器顶层油温预测
谭风雷, 陈昊, 何嘉弘 (3314)

基于油色谱数据的变压器故障征兆新优选策略
张育杰, 冯健, 李典阳, 王善渊 (3324)

· 工程应用 ·

巴西美丽山水电送出系统安控协控系统调试方案与现场试验
雷霄, 常忠蛟, 张进, 庞广恒, 王华伟, 郑彬, 周亦夫, 王薇薇 (3332)

巴西高压直流输电工程特点分析及启示刘云 (3340)

移相变压器应用于输电线路在线融冰方法与仿真研究
杨旗, 班国邦, 谢百明, 曾华荣, 文屹, 马晓红, 谈竹奎, 黄欢 (3349)

· 广告索引 · (3356)

《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 45 卷 第 8 期 (总第 453 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
 广告发行: 韩 迪 010-82812465
 闫 頔 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 * 431 * zh * P * ¥80.00 * 20000 * 48 * 2021-8 版权所有 未经许可不得转载及上网

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2021, Vol. 45 No. 8 (Ser. 453)

Contents

• Artificial Intelligence Technology Application in New Generation Power System and Energy Internet •

- Power System Fault Diagnosis Based on Artificial Intelligence and Information Fusion**
.....NING Jian, REN Yirui, LIN Jikeng, JIANG Changming, ZHANG Yong, ZHANG Zhe (2925)
- Transient Stability Assessment of Power System Based on DGL-GAN**..... YANG Dongsheng, JI Mingjia, ZHOU Bowen, BU Siqi, HU Bo (2934)
- Transient Stability Assessment of Power System Based on Improved One-dimensional Convolutional Neural Network**
..... ZHAO Kai, SHI Libao (2945)
- Language Model for Speech Recognition of Power Grid Dispatching Based on BERT**
..... CHEN Lei, ZHENG Weiyang, YU Huihua, FU Jing, LIU Hongwei, XIA Junqiang (2955)
- Multi-source-load Scenario Generation of Active Distribution Network Based on Variational Autoencoder**
..... WANG Xinying, LI Ye, DONG Xiaochong, WANG Haotian, SUN Yingyun (2962)
- New Fault Line Selection for Distribution Network Based on Distributed Intelligent Collaboration and Cloud Computing**
..... GAO Fengyang, ZENG Lin, LI Zhaojun, YUAN Cheng, LI Mingming, ZHUANG Shengxian (2969)
- Fault Detection of YOLOv3 Transmission Line Based on Convolutional Block Attention Model**
.....HAO Shuai, MA Ruize, ZHAO Xinsheng, AN Beiyi, ZHANG Xu, MA Xu (2979)
- Transmission Line Pin Defect Detection Based on Deep Learning**.....LI Xuefeng, LIU Haiying, LIU Gaohua, SU Hansong (2988)
- Binocular Complex Space Stereo Positioning and Recognizing Method in Dense Power Scenario**
..... CUI Haoyang, TENG Yance, ZOU Xuan, ZHANG Xun, XU Yongpeng (2996)

• National Key Research and Development Program of China •

- Optimal Configuration of Multi-energy Complementary Composite Power Plant and Its Application in Generation Expansion Planning**
..... LIU Shuhua, WANG Jianxue, LI Qingtao, WANG Xiuli, LIU Zituo, WANG Xuebin, WANG Ruogu (3006)
- Economic Dispatch Strategy for Distributed Generators Considering Communication Delays**
..... HE Yongjing, WANG Wei, WU Xuezhi (3015)
- Monitoring Method of Wide-band Oscillation Based on Compressed Sensing of Diagonalizable LDPC and k-nearest Neighbour Algorithm**
..... FENG Shuang, CUI Hao, WU Xi, FENG Junjie, ZOU Changyue, ZHAO Xiaobin, TANG Yi (3025)
- Consumer-transformer Relationship and Phase Identification Based on APAA and Improved DBSCAN Algorithm**
.....CUI Xueyuan, LIU Shengyuan, JIN Weichao, LIN Zhenzhi, XUAN Yuhua, WANG Haibo (3034)
- Control Method for Battery Energy Storage Participating in Frequency Regulation Market Considering Degradation Cost**
..... LIU Qingkai, LIU Mingbo, LU Wentian (3043)
- Multi-classification Method of Smart Meter Fault Types Based on CVAE-CNN Model Under Imbalanced Dataset**
..... GAO Xin, JI Weijia, ZHAO Bing, JIA Xin, HUANG Zijian, REN Bing (3052)

• Renewable Energy Generation and Integration •

- Load Restoration Optimization of Wind Power Integrated System Considering Security Region Examination**
.....LIU Shichao, LIU Yan, ZHANG Hui, HAN Sicong (3061)
- Multi-step Ahead Ultra-short Term Forecasting of Wind Power Based on ECBO-VMD-WKELM**
..... LI Qing, ZHANG Xinyan, MA Tianjiao, MA Tao, WANG Heng, YIN Hongsheng (3070)
- Nash Bargaining for Reactive Power Incentive and Reward of Photovoltaic in Distribution Network**
..... ZHANG Shizhong, PEI Wei, MA Tengfei, LI Shufeng, WANG Fangsheng, TANG Chenghong (3079)
- Health State Evaluation of Photovoltaic Array Based on I-V Characteristics and Grey Relational Analysis**
..... DING Kun, CHEN Fudong, WENG Shuai, ZHANG Jingwei, FENG Li, LI Yuanliang, CHEN Xihui, CHEN Xiang (3087)
- Time-domain Rolling Optimal Scheduling of Microgrid Based on Differential Demand Response Model Predictive Control**
..... SUN Huijuan, ZHANG Lele, PENG Chunhua (3096)
- Unified Control Strategy of AC/DC Bus Voltage in Hybrid Microgrid Based on Bidirectional Interfacing Converter**
.....ZHAO Duo, JIA Yanbing, REN Chunguang, ZHANG Baifu (3105)

• HVDC Transmission & HVDC Grid •

- Assessment of DC Load-carrying Capacity of Power Grid Based on Multiple-objective Optimization**
..... LI Huaqu, PENG Xiaotao, QIN Qin, YAO Liangzhong, ZHANG Jian, GUO Qiang (3115)
- Multi-infeed Interaction Factor Calculation of Hybrid Multi-infeed HVDC System Considering DC Control Characteristics**
..... LI Qing, WANG Tuo, MAO Chizu, LI Zhangyun, XIN Yechun, JIANG Shouqi (3125)
- Low-frequency Oscillation Mechanism and Suppression Strategy of Flexible HVDC Transmission System**
..... ZHANG Yang, LIN Weixing, DENG Caibo, LIU Hanjun, LIU Pu, GAO Tian (3134)
- Comprehensive Decision for DC Transformation Objects of Urban Distribution Network**..... OUYANG Sen, YANG Moyuan (3145)
- Harmonic Elimination for Three-limb Four-winding Converter Transformer in UHVDC Converter Station**
.....CHEN Shengdong, SUN Haifeng (3155)
- Modular Multilevel Converter Modeling and Coupling Analysis Considering Multi-frequency Harmonic Dynamics**
..... LIU Tianqi, ZHOU Pan, WANG Shunliang, MA Junpeng, ZHANG Haichuan (3164)
- Modeling for DC Side Impedance of Modular Multilevel Converter Based on Harmonic State Space**
..... LIU Xiaolin, WANG Shunliang, MA Junpeng, LIU Tianqi, PENG Guangqiang (3173)

Inrush Current and Suppression of Switching 750 kV AC Filter in Converter Station

..... HE Chunying, CHEN Xiaohui, ZHU Xiaoguang, DENG Junbo, ZHANG Guanjun, MA Feiyue, NI Hui (3181)

· Electricity Market ·**Mechanism Design and Trading Strategy of Trans-provincial Hydropower Participating in Spot Market**

..... DENG Yumin, SHI Feng, XIA Qing, GONG Siyu, YI Jiangwen, WANG Yang (3190)

Research and Application of Data Monitoring Technologies on Electricity Trading Platform

..... HUANG Longda, ZHUANG Weijin, LONG Suyan, ZHUANG Xiaodan, HUANG Wenyuan (3200)

WCVaR-based Transaction Strategy of Regional Integrated Energy System Operators

..... XU Siying, WANG Xu, JIANG Chuanwen, HU Jiakai, LIU Xiaolin, LI Lei, CHEN Chunyi (3207)

Risk Management Model for Electricity Market Based on Hybrid Auctions of Financial Transmission and Storage Rights

..... HAN Dong, HE Yuting, HE Hongyu, REN Hengyu, GONG Kefu (3219)

· Power System ·**New Generation UHVAC/DC Power Grid Simulation Platform Design Scheme**

..... CHEN Guoping, LI Baiqing, LI Mingjie, LI Yalou, XU Tao, HE Jingbo (3228)

Evolutional Features and Defense System Construction of Central China Power Grid Dynamic Stability

..... WANG Bin, XU Youping, DANG Jie, LI Wenfeng, MA Shijun, WANG Ying (3238)

Secondary Frequency Modulation Control of Power System With Time-varying Delay Based on Lyapunov Criterion of Multi-summation

Inequality Output Feedback ZHOU Yichen, QIN Lu, LI Yonggang (3247)

Research on Cross-layer Resource Allocation Algorithm for Concurrent Multi-service in Broadband Power Line Carrier Communication

..... YANG Ting, HE Ziyang, SUN Zhaoshuai, CAI Shaotang, LI Fengjun (3257)

Design of Domestic Service Protocol for Substation Control Level

..... DOU Renhui, REN Hui, YAO Zhiqiang, CHANG Naichao, XU Xin, ZHANG Qibing, SHENG Fu (3268)

Longitudinal Differential Protection of High Resistance Grounding Faults in Low-resistance Grounding System

..... REN Wei, XUE Yongduan, XU Bingyin, LI Yuqi (3276)

Electromagnetic Transient Model of Two-core Sen Transformer Based on UMEC

..... BU Liang, HAN Song, ZHOU Chao, FENG Jinling (3283)

· High Voltages ·**Transient Characteristics Measurement of Transmission Line Towers Under Artificial Impacts**

..... KANG Peng, ZHANG Zhaohua, LI Zhizhong, WANG Sen, SHI Weidong, JI Hongliang, SHEN Wei, SHEN Haibin (3291)

Experimental Study on Trigger Life of SF₆ Gap Switch Triggered by Plasma Jet

..... ZHU Hao, LI Zhibing, LI Xiao'ang, ZHANG Ran, WANG Yongxing, DONG Bingbing (3298)

Noise Reduction Optimization of Partial Discharge Signal Based on Generalized S Transform and Singular Value Decomposition

..... ZHANG Mengnan, LI Chunmao, LIU Kai, CHEN Zuxiang, AN Zhao (3305)

Prediction of UHV Shunt Reactor Top Oil Temperature Based on Optimal Segmentation and Improved Semi-physical Model

..... TAN Fenglei, CHEN Hao, HE Jiahong (3314)

New Feature Selection Method for Transformer Fault Diagnosis Based on DGA Data

..... ZHANG Yujie, FENG Jian, LI Dianyong, WANG Shanyuan (3324)

· Engineering Applications ·**System Commissioning Plan and Test of Master Control for Brazil Belo Monte Hydropower Transmission System**

..... LEI Xiao, CHANG Zhongjiao, ZHANG Jin, PANG Guangheng, WANG Huawei, ZHENG Bin, ZHOU Yifu, WANG Weiwei (3332)

Analysis on Brazilian HVDC Projects Situation and Its Inspiration

..... LIU Yun (3340)

Deicing Method and Simulation of Phase-shifting Transformer for on-load Transmission Lines

..... YANG Qi, BAN Guobang, XIE Baiming, ZENG Huarong, WEN Yi, MA Xiaohong, TAN Zhukui, HUANG Huan (3349)

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