

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY



第46卷1期
Vol.46 No.1



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

风电机组产品认证

对采信方：通过第三方技术质量背书，降低质控风险
对企业：提高产品运营与生产质效，强化企业投标竞争力
对行业：促进风电行业技术更新，推动风电高质量发展

依据标准

IEC RE OD 501, Ed.2, Type and Component Certification Scheme
GB/T 35792-2018 《风力发电机组合格测试及认证》
CEPRI-B-202-04/2020 《风力发电机组型式认证实施规则》



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



9 771000 367226
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

· 电力市场 ·

碳达峰目标场景下全国统一电力市场关键问题分析

..... 郑亚先, 杨争林, 冯树海, 曾丹 (1)

山西电力现货市场中长期与现货衔接问题及对策

..... 王小昂, 邹鹏, 任远, 赵兴泉, 李鸣镝, 王其兵, 李宏杰, 常伟 (20)

电力市场合规管理建设探究

..... 林新, 徐宏, 朱策, 王涛, 徐原, 王林炎, 张粒子 (28)

考虑托管式数据中心负荷调节不确定性的区间优化模型

..... 祁兵, 曹望璋, 李彬, 王京菊, 田世明, 石坤 (39)

多微网配电系统区间调度方法与市场交易策略研究

..... 赵毅, 陈雨婷, 孙文瑶 (47)

· 2021（第四届）电力市场国际峰会优秀论文 ·

国内电力现货市场用户侧结算机制研究

..... 谢旭, 刘秉祺, 喻乐, 施磊, 陈曦, 程翠 (57)

适应高比例新能源电网的甘肃双边现货市场机制设计与运行分析

..... 杨春祥, 张天宇, 张晓斌, 吴锋, 韩杰, 陈雨果 (63)

· 直流输电与直流电网 ·

基于突变电流积聚量的高压直流输电线路伪同步差动保护新原理

..... 曹虹, 周泽昕, 柳焕章, 张志, 王兴国, 杜丁香, 李勇, 金明亮 (70)

含故障限流器投入的 MMC-HVDC 系统直流短路故障电流解析计算

..... 郭美琴, 何壮, 陆辉, 程德健 (81)

含多线路直流潮流控制器的多端直流环网非瞬时断路器故障特征及控制保护策略

..... 王谱宇, 王松, 张静怡, 张小平, 郭春义 (90)

采用 VSC-HVDC 改善 LCC-HVDC 直流侧暂态特性的无功协调控制

..... 李佳, 夏勇军, 姚伟, 严才, 吴子良, 文劲宇 (101)

新能源经柔直送出系统新型孤岛鲁棒控制

..... 张梓霖, 康忠健, 赵兵, 王姗姗, 王铁柱, 尹睿, 张安琪 (111)

具备自适应重合闸能力的电容箝位式直流断路器

..... 蒋纯冰, 赵成勇 (121)

· 能源互联网 ·

计及条件风险价值下基于合作博弈的多微网协同优化调度

..... 帅轩越, 王秀丽, 吴雄, 彭巧, 章力凯, 黄屹俊 (130)

计及系统延迟的直流微电网经济运行控制策略

..... 石榴, 廖凯, 杨健维, 郑舜玮, 何正友 (138)

考虑扰动影响的微电网分布式自适应控制策略

..... 马良, 许刚, 谈元鹏 (146)

含储能和氢燃料电池的孤岛微电网混合运行模式与功率协调策略研究

..... 兰征, 刁伟业, 涂春鸣, 肖凡, 郭祺 (156)

基于纵横交叉优化的可重构电池组环流抑制策略

..... 陈思哲, 王玉乐, 陶以彬, 常乐, 孟安波, 章云 (165)

含光热电站的电-热能源系统优化运行机制

..... 杨宏基, 周明, 武昭原, 李庚银 (175)

弱电网下 VSC 型电力电子设备外环增强阻尼控制策略

..... 王姗姗, 赵兵, 吴广禄, 李建华, 曹路, 马全, 王铁柱, 周孝信 (185)

风电场次同步振荡非线性模态分解与参数辨识

..... 张虹, 徐志豪, 王迎丽, 白洋, 张茜 (195)

一种动态分层的互联网 AGC 控制策略
赵熙临, 龚楚峰, 付波, 曹娅, 龚偲立 (204)

分体式储能 VSG 功率转换系统输出电压鲁棒控制器设计
高娟, 秦岭, 茅靖峰, 张雷 (213)

面向光伏并网的动态容性补偿器及其优化控制
彭星, 姜飞, 涂春鸣, 郭祺, 戴逢哲, 范瑞祥, 邓才波 (220)

基于模糊 C 均值聚类和样本加权卷积神经网络的日前光伏出力预测研究
吕伟杰, 方一帆, 程泽 (231)

基于谐波线性化的单相变换器改进镜像频率阻抗建模与稳定性分析
周恒, 吴思奇, 李国荣, 刘志刚 (239)

· 电力系统 ·

考虑频率安全的电力系统规划与运行优化研究综述与展望
张程铭, 柳璐, 程浩忠, 陆建忠, 张建平, 励刚 (250)

基于线路负载率特征的主网“源-网-荷”协调性评估
竺炜, 尹军, 路广才, 郑超 (265)

基于混合整数二阶锥规划的送端交流电网解列方法
陈浩, 陈艳波, 武超, 张璞, 叶希, 颀孙旭 (274)

基于 NExT-DMD 的电力系统机电振荡参数提取
高吟, 蔡国伟, 杨德友, 王丽馨 (284)

计及 VSC 运行方式与故障恢复优化的交直流混合配电网可靠性评估
张璐, 余顺江, 王辰, 唐巍, 张筱慧 (292)

英国电气协会 G5/5 工程导则评述
宋晓庆, 陶顺, 徐永海, 马喜欢, 闫亚楠 (301)

基于动态模式分解的发电机惯量及阻尼系数评估方法
杨德友, 邵致远, 王博 (311)

三角形连接异步电动机分相投入策略研究
贺岩松, 杜钦君, 赵正阳, 罗永刚, 李存贺, 高绪忠 (320)

阻容分压器高精度测量技术与试验
董巍, 叶子阳, 孙泽来, 庞辉, 高冲, 周建辉 (328)

基于合成概率法的光学电流互感器运行可靠性
肖燕, 李军, 庞福滨, 许婧 (336)

输电线路风荷载耦联机制的气弹性风洞试验研究
汪大海, 项旭志, 张志强, 章东鸿, 汪伟 (343)

· 自动化 ·

基于改进零序导纳法的单相接地故障选线原理
梁晓明, 武守远, 贾春娟, 杨永鑫, 张振宇, 罗翔 (353)

基于改进 GoogleNet 的小电流接地系统故障选线方法
郝帅, 张旭, 马瑞泽, 文虎, 马旭, 安倍逸, 李嘉豪 (361)

基于目标检测的电网涉鸟故障相关鸟种智能识别
邱志斌, 朱轩, 廖才波, 况燕军, 张宇, 石大寨 (369)

电网自动电压控制精细规则自动发现技术研究
高泽明, 程伦, 胡文平, 李铁成, 李晓明, 杨潇, 汤磊 (378)

· 工程应用 ·

特高压直流工程在极端工况严重故障下功率振荡及抑制策略优化研究
李跃婷, 朱艺颖, 许涛, 刘翀, 贺静波, 雷霄, 王薇薇, 金一丁, 王峰渊, 陈晓刚 (387)

换流阀相变乳液换热性能及其工程应用研究
周建辉, 王航, 刘杉, 魏晓光, 贺之渊, 谯耕 (395)

大规模感应电动机实时仿真简化方法及初始化问题研究
刘翀, 朱艺颖, 郭强, 胡涛, 王薇薇, 王峰渊, 陈晓刚 (404)

保信主站远方操作许可安全管控系统研制与应用
刘明慧, 汤震宇, 曹翔, 胡绍谦 (412)

· 广告索引 · (420)

《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1期 (总第458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：ISSN 1000-3673
CN 11-2410/TM
 广告发布登记号：京海市监广登字 20170131 号

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2022, Vol. 46 No. 1 (Ser. 458)

Contents

• Electricity Market •

Key Issue Analysis in National Unified Power Market Under Target Scenario of Carbon Emission Peak

..... ZHENG Yaxian, YANG Zhenglin, FENG Shuhai, ZENG Dan (1)

Problems and Solutions of Medium & Long-term Trading Connected With Electricity Spot Market in Shanxi Province

..... WANG Xiaolang, ZOU Peng, REN Yuan, ZHAO Xingquan, LI Mingdi, WANG Qibing, LI Hongjie, CHANG Wei (20)

Construction of Compliance Management in Electricity Market

..... LIN Xin, XU Hong, ZHU Ce, WANG Tao, XU Yuan, WANG Linyan, ZHANG Lizi (28)

Interval Optimization Model Considering Uncertainty of Load Regulation for Colocation Data Center

..... QI Bing, CAO Wangzhang, LI Bin, WANG Jingju, TIAN Shiming, SHI Kun (39)

Region Dispatch Method and Market Trading Strategy for Multi-microgrid Distribution System..... ZHAO Yi, CHEN Yuting, SUN Wenyao (47)

• Excellent Papers of the Fourth Electricity Market International Summit in 2021 •

Settlement Mechanism for Demand Side in Domestic Spot Market

..... XIE Xu, LIU Bingqi, YU Le, SHI Lei, CHEN Xi, CHENG Cui (57)

Mechanism Design and Operation Analysis of Bilateral Spot Market in Gansu Province Under High Renewable Energy Integration

..... YANG Chunxiang, ZHANG Tianyu, ZHANG Xiaobin, WU Feng, HAN Jie, CHEN Yuguo (63)

• HVDC Transmission & HVDC Grid •

Principle of Pseudo-synchronous Differential Protection Based on Sudden Current Accumulation for HVDC Transmission Lines

..... CAO Hong, ZHOU Zexin, LIU Huanzhang, ZHANG Zhi, WANG Xingguo, DU Dingxiang, LI Yong, JIN Mingliang (70)

DC Fault Current Analytical Calculation of MMC-HVDC System Including Fault Current Limiter

..... MAO Meiqin, HE Zhuang, LU Hui, CHENG Dejian (81)

Characteristics and Control & Protection Strategy of a Multi-line CFC Integrated M²TDC Grid Under Non-instantaneous Open-circuit Faults

..... WANG Puyu, WANG Song, ZHANG Jingyi, ZHANG Xiaoping, GUO Chunyi (90)

Reactive Power Coordinated Control for Improving Transient Characteristics of DC Side of LCC-HVDC Using Parallel VSC-HVDC

..... LI Jia, XIA Yongjun, YAO Wei, YAN Cai, WU Ziliang, WEN Jinyu (101)

New Island Robust Control for Renewable Energy Generation Sent Through Islanded MMC-HVDC

..... ZHANG Zilin, KANG Zhongjian, ZHAO Bing, WANG Shanshan, WANG Tiezhu, YIN Rui, ZHANG Anqi (111)

Capacitor-clamping DC Circuit Breaker With Adaptive Reclosing Capability..... JIANG Chunbing, ZHAO Chengyong (121)

• Energy Internet •

Cooperative Optimal Scheduling of Multi-microgrids Based on Cooperative Game Considering Conditional Value at Risk

..... SHUAI Xuanyue, WANG Xiuli, WU Xiong, PENG Qiao, ZHANG Likai, HUANG Yijun (130)

Distributed Economic Optimal Operation Control Strategy for Islanded DC Microgrids Considering System Delay

..... SHI Liu, LIAO Kai, YANG Jianwei, ZHENG Shunwei, HE Zhengyou (138)

Distributed Adaptive Control Strategy for Microgrids Considering Disturbance Effects..... MA Liang, XU Gang, TAN Yuanpeng (146)

Research on Hybrid Operation Mode and Power Coordination Strategy of Island Microgrid With Energy Storage and Hydrogen Fuel Cell

..... LAN Zheng, DIAO Weiye, TU Chunming, XIAO Fan, GUO Qi (156)

Circulation Suppression Strategy for Reconfigurable Battery Packs Based on Crisscross Optimization

..... CHEN Sizhe, WANG Yule, TAO Yibin, CHANG Le, MENG Anbo, ZHANG Yun (165)

Optimal Operation of Electro-thermal Energy Systems With Concentrated Solar Power Plant

..... YANG Hongji, ZHOU Ming, WU Zhaoyuan, LI Gengyin (175)

Outer-loop Improved Damping Control Strategy for Weak Grid-tied VSC Devices

..... WANG Shanshan, ZHAO Bing, WU Guanglu, LI Jianhua, CAO Lu, MA Quan, WANG Tiezhu, ZHOU Xiaoxin (185)

Modal Identification of Subsynchronous Oscillation Caused by New Energy Grid Connection

..... ZHANG Hong, XU Zhihao, WANG Yingli, BAI Yang, ZHANG Qian (195)

AGC Control Strategy of Interconnected Power Grid Based on Dynamic Stratification

..... ZHAO Xilin, GONG Chufeng, FU Bo, CAO Ya, GONG Sili (204)

Output Voltage Robust Controller Design for the Power Converter System in the Assembled VSG

..... GAO Juan, QIN Ling, MAO Jingfeng, ZHANG Lei (213)

Dynamic Capacitive Compensator for Photovoltaic Connection and Its Optimal Control

..... PENG Xing, JIANG Fei, TU Chunming, GUO Qi, DAI Fengzhe, FAN Ruixiang, DENG Caibo (220)

Prediction of Day-ahead Photovoltaic Output Based on FCM-WS-CNN..... LÜ Weijie, FANG Yifan, CHENG Ze (231)

Improved Mirror Frequency Impedance Modeling and Its Stability Analysis for Single-phase Converter Based on Harmonic Linearization

..... ZHOU Heng, WU Siqi, LI Guorong, LIU Zhigang (239)

• Power System •

- Review and Prospects of Planning and Operation Optimization for Electrical Power Systems Considering Frequency Security**
..... ZHANG Chengming, LIU Lu, CHENG Haozhong, LU Jianzhong, ZHANG Jianping, LI Gang (250)
- Main Grid Source-grid-load Coordination Evaluation Based on Line Load Rate Characteristics**
..... ZHU Wei, YIN Jun, LU Guangcai, ZHENG Chao (265)
- A Method for Splitting Sending-end AC Power Grid Based on Mixed Integer Second-order Cone Programming**
..... CHEN Hao, CHEN Yanbo, WU Chao, ZHANG Pu, YE Xi, ZHUANSUN Xu (274)
- Extraction of Power System Electromechanical Oscillation Parameters Based on NExT-DMD**
..... GAO Han, CAI Guowei, YANG Deyou, WANG Lixin (284)
- Reliability Evaluation of AC/DC Hybrid Distribution Network Considering VSC Operation Mode and Fault Recovery Optimization**
..... ZHANG Lu, YU Shunjiang, WANG Chen, TANG Wei, ZHANG Xiaohui (292)
- Commentary on G5/5 Engineering Guideline of British Electrical Association**
..... SONG Xiaoqing, TAO Shun, XU Yonghai, MA Xihuan, YAN Ya'nan (301)
- Evaluation of Generator Inertia and Damping Coefficient Based on Dynamic Mode Decomposition**
..... YANG Deyou, SHAO Zhiyuan, WANG Bo (311)
- Research on Phase Separation Input Strategy of Triangle Connection Asynchronous Motor**
..... HE Yansong, DU Qinjun, ZHAO Zhengyang, LUO Yonggang, LI Cunhe, GAO Xuzhong (320)
- Measurement Technology and Tests for High Precision RC Voltage Dividers**
..... DONG Wei, YE Ziyang, SUN Zelai, PANG Hui, GAO Chong, ZHOU Jianhui (328)
- Operation Reliability of Optical Current Transformer Based on Synthetic Probability** XIAO Yan, LI Jun, PANG Fubin, XU Jing (336)
- Wind Tunnel Testing on Coupling Mechanism of Wind-induced Vibration of Transmission Tower-line System**
..... WANG Dahai, XIANG Xuzhi, ZHANG Zhiqiang, ZHANG Donghong, WANG Wei (343)

• Automation •

- Fault Line Selection Principle of Single-phase-to-ground Fault Based on Improved Zero-sequence Admittance**
..... LUAN Xiaoming, WU Shouyuan, JIA Chunjuan, YANG Yongxin, ZHANG Zhenyu, LUO Xiang (353)
- Fault Line Selection Method for Small Current Grounding System Based on Improved GoogleNet**
..... HAO Shuai, ZHANG Xu, MA Ruize, WEN Hu, MA Xu, AN Beiyi, LI Jiahao (361)
- Intelligent Recognition of Bird Species Related to Power Grid Faults Based on Object Detection**
..... QIU Zhibin, ZHU Xuan, LIAO Caibo, KUANG Yanjun, ZHANG Yu, SHI Dazhai (369)
- Research on Automatic Discovery Technology of Fine Rules for Automatic Voltage Control in Power Grid**
..... GAO Zeming, CHENG Lun, HU Wenping, LI Tiecheng, LI Xiaoming, YANG Xiao, TANG Lei (378)

• Engineering Applications •

- The UHVDC Power Oscillation Under Severe Faults in Extreme Conditions and Its Suppression Optimization Strategy**
..... LI Yueting, ZHU Yiyi, XU Tao, LIU Chong, HE Jingbo, LEI Xiao, WANG Weiwei, JIN Yiding, WANG Fengyuan, CHEN Xiaogang (387)
- Heat Transfer Performance and Engineering Application of Phase Change Dispersion for Cooling System in the Convert Valve**
..... ZHOU Jianhui, WANG Hang, LIU Shan, WEI Xiaoguang, HE Zhiyuan, QIAO Geng (395)
- Simplification and Initialization of Large-scale Induction Motor in Real-time Simulation**
..... LIU Chong, ZHU Yiyi, GUO Qiang, HU Tao, WANG Weiwei, WANG Fengyuan, CHEN Xiaogang (404)
- Research and Application of Remote Operating Permission Security Control System of Protection Information Master Station**
..... LIU Minghui, TANG Zhenyu, CAO Xiang, HU Shaoqian (412)

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