

电网技术



POWER SYSTEM TECHNOLOGY

第46卷2期

Vol.46 No.2

高性能环氧复合绝缘材料及其应用关键技术 实现特高压电力装备核心部件国产化

中国电科院牵头的国家重点研发计划项目“特高压电气设备用纳米复合绝缘材料与应用关键技术”围绕高端环氧树脂国产化及其应用的重大需求，研制出国产化高性能环氧树脂及其复合材料，提出了环氧绝缘件设计准则和协同优化方法，建立了特高压盆式绝缘子环氧浇注和饱和电抗器环氧固封的批量化制造工艺体系，掌握了环氧绝缘件细微缺陷检测与试验技术。形成了具有自主知识产权的设计、制造和运维等核心技术。

研制出国产化高性能环氧树脂，已应用于特高压盆式绝缘子和饱和电抗器，并建立了完整的配方与工艺体系，实现了特高压电力装备核心部件的国产化。



国家电网
STATE GRID

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

联系人：吴昱怡

联系电话：18811791204

联系邮箱：wuyuyi@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

· 特约专稿 ·

省间电力现货交易机制设计与探索

..... 孙大雁, 关立, 胡晨旭, 罗治强, 王德林, 于钊, 崔晖, 韩彬 (421)

碳中和目标下退役电池筛选聚类关键技术研究

..... 李建林, 李雅欣, 吕超, 赵伟, 武亦文, 马速良 (429)

· 电力市场 ·

电力系统灵活调节服务与市场机制研究综述

..... 王玲玲, 刘恋, 张镭, 熊展, 蒋传文, 关舒丰 (442)

计及主/被动需求响应下基于合作博弈的微网-配电网协调优化调度

..... 范添圆, 王海云, 王维庆, 李笑竹, 闫斯哲 (453)

碳交易机制下综合能源市场多供能主体均衡竞价策略

..... 彭春华, 张海洋, 孙惠娟, 徐锐 (463)

基于长短时记忆网络-纵横交叉算法的含高比例新能源电力市场日前电

价预测..... 殷豪, 丁伟锋, 陈顺, 张铮, 曾琮, 孟安波 (472)

数据驱动下风电-抽蓄联合参与日前-实时市场随机鲁棒竞价策略

..... 江婷, 王旭, 蒋传文, 龔开, 白冰青 (481)

考虑需求响应收益的售电商实时电价决策模型

..... 张婕, 孙伟卿, 刘唯 (492)

· 直流输电与直流电网 ·

交直流混联电网下直流输电系统运行面临的挑战及对策

..... 吕鹏飞 (503)

故障电流转移型 MMC 的通用故障电流计算方法

..... 邓伟成, 许建中 (511)

基于谱图论和图卷积神经网络的直流电网节点电压估计研究

..... 王渝红, 沈靖, 曾琦, 傅云涛, 叶葳 (521)

基于全控阻容模块的电网换相换流器方案设计及机理分析

..... 展瑞琦, 赵成勇, 海正刚, 夏嘉航 (532)

考虑抑制 MIDC 后续换相失败风险的节点差异化动态无功补偿方法研究

..... 张一凡, 唐飞, 向农, 都念纯, 胡本溪, 高鑫 (541)

特高压换流站系统的地震易损性分析..... 梁黄彬, 谢强 (551)

· 电网友好型风电控制技术 ·

计及直流链路动态耦合效应的双馈风电机组谐波阻抗模型

..... 王杨, 田旭, 高波, 肖先勇 (558)

基于局部学习和多目标优化的选择性异质集成超短期风电功率预测方法

..... 石立贤, 金怀平, 杨彪, 钱斌, 金怀康 (568)

基于 M 序列的双馈风机变流器参数辨识方法研究

..... 许饶琪, 彭晓涛, 秦世耀, 陈人杰, 王瑞明, 王靖然 (578)

全功率变换风电机组机侧换流器与交流系统间动态交互机理及对稳定性

的影响..... 刘克权, 余姣, 李天寿, 杨勇, 刘文飞, 杜文娟 (587)

双馈风机参与调频的速度控制器模糊协同控制及参数校正策略

..... 李柏慷, 张峰, 丁磊 (596)

· 面向能源互联网的储能系统集成控制及运行规划关键技术 ·

- 基于安全域的区域综合能源系统储能优化配置
..... 果营, 王丹, 李思源, 贾宏杰, 李家熙, 郑玉平, 杨志宏 (604)
- 基于最小二乘支持向量机误差补偿模型的锂离子电池健康状态估计方法
..... 王萍, 张吉昂, 程泽 (613)
- 基于马尔科夫链的电动汽车聚合建模及多模式调频控制策略
..... 董锴, 蔡新雷, 崔艳林, 孟子杰, 喻振帆, 张瑞丰, 余洋 (622)
- 考虑多源信息实时交互和用户后悔心理的电动汽车充电负荷预测
..... 张美霞, 孙铨杰, 杨秀 (632)
- 考虑电能交互共享的虚拟电厂集群多时间尺度协调运行策略
..... 刘方, 徐耀杰, 杨秀, 李莉华, 傅广努, 柴梓轩 (642)

· 电力系统 ·

- 巴基斯坦“1·9”大停电事故初步分析及启示
..... 李琳, 冀鲁豫, 张一驰, 孙为民, 安学民, 屠竞哲, 何剑, 周勤勇, 江涵 (655)
- 考虑惯量中心频率偏移的自编码器暂态稳定评估
..... 赵冬梅, 王闯, 谢家康, 马泰屹 (662)
- 分布式多元随机动态场景生成及快速精准场景降维算法
..... 张辰毓, 许刚 (671)
- 城市韧性配电网建设与发展路径
..... 何维国, 王赛一, 许唐云, 沈豪栋, 苏运, 刘召杰, 熊展, 王旭 (680)
- 多电器混叠场景 NILM 负荷事件优化匹配方法
..... 杨劲男, 刘博, 栾文鹏, 王岩, 肖潇, 刘子帅, 韦尊 (691)
- 考虑多重因素的空调负荷聚合响应潜力评估及控制策略研究
..... 杨秀, 傅广努, 刘方, 田英杰, 徐耀杰, 柴梓轩 (699)
- 基于高斯求积的智能配电网三相概率潮流点估计法
..... 李钰洋, 王增平 (709)
- 计及详细源荷模型的三相独立微电网连续潮流计算方法
..... 巨云涛, 王健凯, 陈希, 林毅 (718)
- 基于相模变换的三相四线制系统故障计算方法
..... 单玉凯, 徐丙垠, 薛永端 (726)
- 基于嵌合转矩法的虚拟同步机多回路保结构稳定分析
..... 周一辰, 李沙, 李永刚, 覃露, 孙浩潮, 武健伟 (733)
- 单边限幅参与的并网 VSC 系统次同步振荡近似分析
..... 薛安成, 付潇宇, 王嘉伟, 王永杰, 乔登科, 汪云涛 (750)
- 多 VSG 功频环路间交互影响的定量分析 秦本双, 徐永海, 贾焦心 (757)
- 中压馈线分段策略的实用优化模型和方法
..... 李少石, 王主丁, 徐巍峰, 吴俊 (765)

· 高电压技术 ·

- 短空气间隙流注放电的实验观测技术综述
..... 宋辉, 孟祥麟, 盛戈锋, 江秀臣 (774)
- 负极性冲击电压下油-屏障绝缘的放电行为
..... 倪鹤立, 魏本刚, 傅晨钊, 司文荣, 贺林, 张乔根, 白蕾 (785)
- 工频-雷电冲击叠加电压检测 GIS 金属尖刺缺陷有效性研究
..... 孙昊晨, 李晓昂, 李杰, 吕玉芳, 赵科, 张乔根 (795)
- Box-in 结构对特高压换流变压器散热性能影响的仿真分析
..... 刘丛, 郝建, 李文平, 李志伟, 文豪, 程林 (803)
- 配网带电作业机器人精准作业定位方法
..... 张静, 黄国方, 刘晓铭, 单超, 王文政, 童宇辉, 许茂洲 (812)

· 广告索引 · (820)

《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2期 (总第459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

期刊基本参数: CN 11-2410/TM * 1957 * M * A4 * 399 * zh * P * ¥80.00 * 20000 * 42 * 2022-2 版权所有 未经许可不得转载及上网

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2022, Vol. 46 No. 2 (Ser. 459)

Contents

• Special Paper •

Design and Exploration of Inter-provincial Power Spot Trading Mechanism

..... SUN Dayan, GUAN Li, HU Chenxu, LUO Zhiqiang, WANG Delin, YU Zhao, CUI Hui, HAN Bin (421)

Key Technology of Retired Batteries' Screening and Clustering Under Target of Carbon Neutrality

..... LI Jianlin, LI Yaxin, LÜ Chao, ZHAO Wei, WU Yiwen, MA Suliang (429)

• Electricity Market •

A Review of Power System Flexible Ramping Product and Market Mechanism

..... WANG Lingling, LIU Lian, ZHANG Ke, XIONG Zhan, JIANG Chuanwen, GUAN Shufeng (442)

Coordinated Optimization Scheduling of Microgrid and Distribution Network Based on Cooperative Game Considering Active/Passive Demand Response

..... FAN Tianyuan, WANG Haiyun, WANG Weiqing, LI Xiaozhu, YAN Sizhe (453)

Balanced Bidding Strategy for Multiple Energy Suppliers in the Integrated Energy Market Under Carbon Trading Mechanism

..... PENG Chunhua, ZHANG Haiyang, SUN Huijuan, XU Rui (463)

Day-ahead Electricity Price Forecasting of Electricity Market With High Proportion of New Energy Based on LSTM-CSO Model

..... YIN Hao, DING Weifeng, CHEN Shun, ZHANG Zheng, ZENG Cong, MENG Anbo (472)

Optimal Hybrid Stochastic Robust Bidding Strategy of Wind and Hydraulic Pumped Storage Jointly Participating in Day-ahead and Real-time Market Using Data-driven Method

..... JIANG Ting, WANG Xu, JIANG Chuanwen, GONG Kai, BAI Bingqing (481)

Real Time Pricing Considering Demand Response Revenue of Electricity Sellers

..... ZHANG Jie, SUN Weiqing, LIU Wei (492)

• HVDC Transmission & HVDC Grid •

Research on HVDC Operation Characteristics Under Influence of Hybrid AC/DC Power Grids

..... LÜ Pengfei (503)

General Fault Current Calculation for Fault Current Transfer MMC

..... DENG Weicheng, XU Jianzhong (511)

Voltage Estimation for DC Grid Nodes Based on Spectral Theory and Graph Convolutional Neural Network

..... WANG Yuhong, SHEN Jing, ZENG Qi, FU Yuntao, YE Wei (521)

Scheme Design and Mechanism Analysis of Line Commutated Converter Based on Fully Controlled Resistance-capacitance Module

..... ZHAN Ruiqi, ZHAO Chengyong, HAI Zhenggang, XIA Jiahang (532)

Node Differential Dynamic Reactive Power Compensation Considering Risk Restraints of Subsequent Commutation Failure of MDC

..... ZHANG Yifan, TANG Fei, XIANG Nong, DU Nianchun, HU Benxi, GAO Xin (541)

Seismic Vulnerability Analysis of UHV Converter Station System

..... LIANG Huangbin, XIE Qiang (551)

• Grid-friendly Wind Power Control Technology •

Harmonic Impedance Model of DFIG Considering Dynamic Coupling Effect of DC Link

..... WANG Yang, TIAN Xu, GAO Bo, XIAO Xianyong (558)

Selective Heterogeneous Ensemble for Ultra-short-term Wind Power Forecasting Based on Local Learning and Multi-objective Optimization

..... SHI Lixian, JIN Huaiping, YANG Biao, QIAN Bin, JIN Huaikang (568)

Parameter Identification of Doubly-fed Induction Generator Converter Based on M-sequence

..... XU Raoqi, PENG Xiaotao, QIN Shiyao, CHEN Renjie, WANG Ruiming, WANG Jingran (578)

Dynamic Interaction and Its Impact Between Machine-side Converters of Full-scale Power Conversion Wind Turbine Generator and AC Power System

..... LIU Kequan, YU Jiao, LI Tianshou, YANG Yong, LIU Wenfei, DU Wenjuan (587)

Fuzzy Cooperative Control and Parameter Correction Strategy of Speed Controller in Frequency Modulation Stage of Doubly-fed Induction Generator

..... LI Baikang, ZHANG Feng, DING Lei (596)

• Key Technologies of Integration, Control and Operation Planning of Energy Storage Systems for Energy Internet •

Optimal Allocation of Energy Storage in Regional Integrated Energy System Based on Security Region

..... GUO Ying, WANG Dan, LI Siyuan, JIA Hongjie, LI Jiayi, ZHENG Yuping, YANG Zhihong (604)

State of Health Estimation of Li-ion Battery Based on Least Squares Support Vector Machine Error Compensation Model

..... WANG Ping, ZHANG Ji'ang, CHENG Ze (613)

Aggregation Modeling Based on Markov Chain and Multi-mode Control Strategies of Aggregated Electric Vehicles for Frequency Regulation

..... DONG Kai, CAI Xinlei, CUI Yanlin, MENG Zijie, YU Zhenfan, ZHANG Ruifeng, YU Yang (622)

Electric Vehicle Charging Load Prediction Considering Multi-source Information Real-time Interaction and User Regret Psychology

..... ZHANG Meixia, SUN Qianjie, YANG Xiu (632)

Multi-time Scale Coordinated Operation Strategy of Virtual Power Plant Clusters Considering Power Interactive Sharing

..... LIU Fang, XU Yaojie, YANG Xiu, LI Lihua, FU Guangnu, CHAI Zixuan (642)

• Power System •**Preliminary Analysis and Lessons of Blackout in Pakistan Power Grid on January 9, 2021**

..... LI Lin, JI Luyu, ZHANG Yichi, SUN Weimin, AN Xuemin, TU Jingzhe, HE Jian, ZHOU Qinyong, JIANG Han (655)

Transient Stability Assessment of Auto Encoder Considering Frequency Shift of Inertia Center

..... ZHAO Dongmei, WANG Chuang, XIE Jiakang, MA Taiyi (662)

Distributed Multivariate Random Dynamic Scenario Generation and Fast & Accurate Scenario Simplified Algorithm

.....ZHANG Chenyu, XU Gang (671)

Construction and Development Path of the Urban Resilient Distribution Network

..... HE Weiguo, WANG Saiyi, XU Tangyun, SHEN Haodong, SU Yun, LIU Zhaojie, XIONG Zhan, WANG Xu (680)

Optimal Load Events Matching of NILM in Multi-appliance Operation Scenario

..... YANG Jiman, LIU Bo, LUAN Wenpeng, WANG Yan, XIAO Xiao, LIU Zishuai, WEI Zun (691)

Potential Evaluation and Control Strategy of Air Conditioning Load Aggregation Response Considering Multiple Factors

.....YANG Xiu, FU Guangnu, LIU Fang, TIAN Yingjie, XU Yaojie, CHAI Zixuan (699)

Three-phase Probabilistic Load Flow for Smart Distribution Network Based on Gauss-quadrature-based Point Estimate Method

.....LI Yuyang, WANG Zengping (709)

Continuous Power Flow Calculation Method for Three-phase Isolated Microgrid Considering Detailed Source and Load Models

.....JU Yuntao, WANG Jiankai, CHEN Xi, LIN Yi (718)

Three-phase Four-wire System Fault Computing Method Based on Phase-model Transformation

.....SHAN Yukai, XU Bingyin, XUE Yongduan (726)

Stability Analysis of Multi-loop Guarantee Structure of Virtual Synchronous Machine Based on Chimeric Torque Method

..... ZHOU Yichen, LI Sha, LI Yonggang, QIN Lu, SUN Haochao, WU Jianwei (733)

Approximate Analysis of Sub-synchronous Oscillation for Grid-connected VSC System Induced by Unilateral Limit

.....XUE Ancheng, FU Xiaoyu, WANG Jiawei, WANG Yongjie, QIAO Dengke, WANG Yuntao (750)

Quantitative Analysis on Interactive Influences Among Power-frequency Loops of Multi-VSG

..... QIN Benshuang, XU Yonghai, JIA Jiaoxin (757)

Practical Optimization Models and Methods for MV Feeder Segmentation Strategies LI Shaoshi, WANG Zhuding, XU Weifeng, WU Jun (765)

• High Voltages •**Overview of Experimental Observation Technology for Short Air Gap Streamer Discharge**

.....SONG Hui, MENG Xianglin, SHENG Gehao, JIANG Xiuchen (774)

Discharge Behaviors of Oil-barrier Insulation Under Negative Impulse Voltages

..... NI Heli, WEI Bengang, FU Chenzhao, SI Wenrong, HE Lin, ZHANG Qiaogen, BAI Lei (785)

Research on the Effectiveness of Detecting Metal Spike Defects in GIS Under Lightning Impulse Superimposed Power Frequency Voltage

..... SUN Haochen, LI Xiaolang, LI Jie, LÜ Yufang, ZHAO Ke, ZHANG Qiaogen (795)

Simulation Analysis of Box-in Structure Influence on Heat Dissipation Performance of UHV Converter Transformer

..... LIU Cong, HAO Jian, LI Wenping, LI Zhiwei, WEN Hao, CHENG Lin (803)

Precise Positioning for Live Working on Distribution Line

..... ZHANG Jing, HUANG Guofang, LIU Xiaoming, SHAN Chao, WANG Wenzheng, TONG Yuhui, XU Maozhou (812)

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