

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2

2024

第48卷2期

Vol.48 No.2

中国电力科学研究院 低温室效应环保气体开关设备

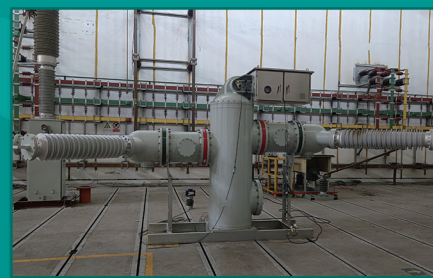
环保气体开关设备是中国电力科学研究院有限公司牵头研发的由全氟异丁腈(C4)混合气体为绝缘介质的环保型电气设备。C4气体为自主国产化合成制备,纯度99.9%为国际先进水平,实现我国C4生产从0到1的突破。攻克了C4应用于开关设备的绝缘设计和气固相容等关键技术难题,研制出特高压环保GIL、126kV环保GIS、12kV环保环网柜等系列环保设备,具有环保性能优异(温室效应下降97%)的显著优势,支撑建设电网环境保护全国重点实验室,推动电网输变电装备绿色化发展。



1100kV C4环保GIL



126kV C4环保GIS



126kV C4环保断路器



国家电网
STATE GRID

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

中国电力科学研究院

联系人: 黄印

邮箱: huangyin@epri.sgcc.com.cn

联系电话: 010-82814477/13572464694

广告

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 王伟胜 王益民
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 王成山 王锡凡 刘吉臻
汤广福 杨奇逊 严陆光 吴复立
邱爱慈 余贻鑫 汪柁生 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
薛禹胜

目 次

· 专家论坛 ·

新兴能源基础设施安全风险分析与防控体系

..... 罗魁, 郭剑波, 高飞, 李涛永, 郭秀梅, 刘锐诚, 张博, 孙旭东 (457)

支持新型储能发展的国际政策与中国发展模式探讨

..... 胡江溢, 杨高峰, 宋兆欧, 康重庆 (469)

· 新兴技术与标准 ·

电力标准数字化：概念、核心挑战、治理路线图及发展趋势

..... 马超, 宋琛 (480)

· 支撑碳达峰、碳中和的能源电力关键技术 ·

爱尔兰岛高比例新能源电力系统运行经验与启示

..... 闫景皓, 黄越辉, 卢慧, 宋子源, 李湃 (498)

基于安全限定义的新能源电力系统区间经济调度模型及算法

..... 贾婉清, 张聪, 刘乾, 王大鹏, 杨怀智, 李佳勇 (509)

考虑源荷不确定性和新能源消纳的综合能源系统协同调度方法

..... 尚文强, 李广磊, 丁月明, 杜善慧, 谭亲跃, 庞博文, 康定毅 (517)

考虑源荷互动的综合能源系统多目标双层规划

..... 李东东, 汪露璐, 王维, 林顺富, 周波 (527)

计及短路比提升与暂态过电压抑制的含高比例风电送端电网两阶段式调相机优化配置

..... 杨浩, 刘虎, 丁肇豪, 孙正龙, 刘钺, 蔡国伟, 张戈力 (540)

考虑线路序阻抗耦合的风电并网系统电压不平衡机理及抑制方法研究

..... 逢思敏, 刘其辉, 石子敬, 吴林林, 徐曼 (552)

面向多能互补的分布式光伏与电氢混合储能规划优化研究

..... 王永利, 向皓, 郭璐, 侯慧之, 陈鑫, 王欢, 刘泽强, 邢军台, 崔昌涛 (564)

考虑调控和交易模式影响的中低压分布式光伏协调配置方法

..... 刘文霞, 白亚玲, 吕笑影, 张帅, 王卓容, 张博, 鲁宇 (577)

适用小样本的并网光伏阵列故障诊断方法

..... 王梦圆, 徐潇源, 严正 (587)

基于动态指标的光伏组件健康程度诊断

..... 李智华, 张宇浩, 吴春华, 汪飞, 马浩强 (597)

计及电能质量影响的主动配电网光储容量优化

..... 王子辉, 贾燕冰, 李彦晨, 韩肖清 (607)

考虑节点功率储备与 GIN 中心性的主动配电网动态集群电压控制

..... 杨悦, 陈宇航, 成龙, 孙玮澳, 顾欣然, 郜佳兴, 单继忠 (618)

可再生能源高渗透下时滞孤岛微电网的负荷频率控制

..... 钱伟, 孙晓彤, 费树岷 (630)

基于半动态交通均衡的电动汽车充电负荷概率分布建模

..... 朱峻良, 武志刚, 刘嘉宁 (640)

基于相互解耦四单极接收线圈的电动汽车无线充电系统的互操作性

..... 张艺明, 沈志伟, 毛行奎, 陈凯楠, 赵争鸣 (650)

基于累积和事件段识别与改进谱聚类的锂离子电池储能系统内短路故障

检测方法 肖先勇, 陈智凡, 汪颖, 何涛, 张逢蓉 (658)

· 面向新型电力系统的电力市场设计和运营关键技术 ·

绿色电力消费与碳交易市场的链接机制研究

..... 黄国日, 尚楠, 梁梓杨, 张继宏, 余红伟 (668)

考虑攻防博弈的调频辅助服务市场博弈均衡分析

..... 陈春宇, 刘一龙, 张凯锋, 任必兴, 王云鹏, 戴雪梅 (679)

基于双重博弈的电价套餐设计方法

董雷, 倪佳炜, 张师铭, 王晓辉, 乔骥, 韩富佳 (688)

集中式电力市场下基于谱聚类与图注意力网络的电力枢纽节点设计方法研究

李天瑶, 杜哲宇, 张经纬, 龙志豪, 荆朝霞 (697)

基于多视图前景分割的电网设施三维数字化重建

刘宇航, 于雅雯, 皮谭昕, 武昕 (710)

基于马尔可夫转换场与多头注意力机制的电能质量扰动分类方法

钱倍奇, 陈谦, 李宗源, 张政伟, 牛应颢 (721)

基于重采样和混合集成学习的不平衡窃电检测

游文霞, 梁皓, 杨楠, 李清清, 吴永华, 李文武 (730)

基于局部特征深度信息的绝缘子小样本缺陷检测

白晓静, 谢雅祺, 赵淼, 吴华, 张文彪, 谈元鹏, 叶玲玲 (740)

基于多维能力和知识图谱-多层感知机的变压器运行状态画像构建方法

舒胜文, 陈阳阳, 张梓奇, 方舒绮, 王国彬, 曾静岚 (750)

· 电力系统 ·

电力电量平衡分析及其加速求解技术的发展、应用与展望

杨铃, 王建学, 杨续松, 张耀, 肖云鹏, 王秀丽 (760)

基于代价敏感支持向量机和多变量决策树的分级自适应暂态电压稳定评估

甄永赞, 阮程 (778)

基于小脑模型-模糊滑模控制的电力系统低频振荡控制策略研究

聂永辉, 曲铭锐, 周恒宇, 张瑞东, 张杰 (789)

虚拟电厂两阶段准线型需求响应优化及收益共享-风险共担决策方法

成雨阳, 高红均, 王仁浚, 高艺文, 刘俊勇 (799)

居民负荷参与电力系统调控关键技术综述与展望

祁琪, 石富岭, 陈宋宋, 王隼东, 洪登宇, 岳晓辉 (809)

价格-积分联合激励下考虑消费舒适度的居民需求响应优化策略

戴逢哲, 姜飞, 陈磊, 吴永飞, 魏文, 张开元, 孟亦超, 何桂雄 (819)

风光电源故障暂态解析及实用化短路电流峰值计算

贾科, 李英, 孔嘉靖, 毕天姝, 胡薇, 刘嘉超 (830)

基于零序信号全波形识别的小电流接地系统故障选线方法

袁嘉玮, 焦在滨 (839)

基于差动电流能量比的新能源场送出线路纵联保护

余越, 王聪博, 樊沛林, 周泽昕 (851)

基于静止无功发生器的双流制牵引供电系统控制策略

徐裕强, 解绍锋, 钟帆, 王辉, 李鲲鹏 (858)

模块化多电平铁路功率调节器接入的机车混跑车网耦合系统稳定性分析

刘熠, 王跃, 李鹏坤, 冯伯乐, 武鸿 (869)

· 直流输电与直流电网 ·

柔性直流换流站供电无源交流线路电压单环控制策略研究

郭贤珊, 李云丰, 厉璇 (879)

构网型柔性直流系统阻尼环节控制策略优化研究

黄勇, 马秀达, 张进, 刘杰, 卢宇, 赵峰, 李文锋, 李探 (889)

一种体现构网型控制特征的柔性直流机电暂态改进建模方法

丁平, 安宁, 万凯遥, 李亚楼, 田鹏飞, 蔡靖 (897)

选择型直流输电控制系统实用机电暂态建模与参数校核方法

吴国阳, 宋新立, 李霞, 戴汉扬, 彭忠, 张艳浩, 李慧, 肖龙 (904)

· 工程应用 ·

基于零序无功电流柔性调控的配电网覆冰线路不停电在线融冰方法

张彬隆, 郑泽胤, 郭谋发 (913)

相间间隔棒对紧凑型输电线路脱冰跳跃响应影响研究

黄增浩, 杨旗, 李昊, 赵林杰, 曾华荣, 张志强, 覃甘简 (923)

· 广告索引 · (932)

《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48卷 第2期 (总第483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

闫岫 010-82812430

编辑: 010-82812523/2672/2933/2982/2542

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

2024, Vol. 48 No. 2 (Ser. 483)

Contents

• Expert Point •

Safety Risk Analysis and Prevention Control System for Emerging Energy Utilization Infrastructure

..... LUO Kui, GUO Jianbo, GAO Fei, LI Taoyong, GUO Xiumei, LIU Kaicheng, ZHANG Bo, SUN Xudong (457)

Preliminary Discussion on the Supporting Policies and the China's Development Model of the New Energy Storage

..... HU Jiangyi, YANG Gaofeng, SONG Zhaoou, KANG Chongqing (469)

• Emerging Technologies and Standards •

Digital Transformation of Standards in Electric Power Field: Concept, Core Challenges, Governance Roadmap and Development Trend

..... MA Chao, SONG Chen (480)

• Key Technologies of Power and Energy Systems for Supporting Peak Carbon Dioxide Emissions and Carbon Neutrality •

Operating Experience and Insights From High Penetration Renewable Energy Power Systems in the Irish Island

..... YAN Jinghao, HUANG Yuehui, LU Hui, SONG Ziyuan, LI Pai (498)

Model and Algorithm of Interval Economic Dispatch of Power Systems Incorporating Renewable Energy Based on Security Limits Method

..... JIA Wanjing, ZHANG Cong, LIU Qian, WANG Dapeng, YANG Huaizhi, LI Jiayong (509)

Collaborative Scheduling for Integrated Energy System Considering Uncertainty of Source Load and Absorption of New Energy

..... SHANG Wenqiang, LI Guanglei, DING Yueming, DU Shanhuai, TAN Qinyue, PANG Bowen, KANG Dingyi (517)

Multi-objective Bi-level Planning for Integrated Energy Systems Considering Source-load Interaction

..... LI Dongdong, WANG Lulu, WANG Wei, LIN Shunfu, ZHOU Bo (527)

Two-stage Optimal Configuration of Condenser for High-proportion Wind Power Sending-end Power Grid Considering Short Circuit Ratio Increase and Transient Overvoltage Suppression

..... YANG Hao, LIU Hu, DING Zhaozhao, SUN Zhenglong, LIU Cheng, CAI Guowei, ZHANG Geli (540)

Voltage Imbalance Mechanism and Suppression of Wind Power Integration System Considering Sequence Impedance Coupling of Transmission Lines

..... PANG Simin, LIU Qihui, SHI Zijiang, WU Linlin, XU Man (552)

Research on Planning Optimization of Distributed Photovoltaic and Electro-hydrogen Hybrid Energy Storage for Multi-energy Complementarity

..... WANG Yongli, XIANG Hao, GUO Lu, HOU Huihui, CHEN Xin, WANG Huan, LIU Zeqiang, XING Juntao, CUI Changtao (564)

Coordinated Configuration Method of Medium- and Low-voltage Distributed Network With Distributed PV Considering Influence of Regulation and Trading Modes

..... LIU Wenxia, BAI Yaling, LYU Xiaoying, ZHANG Shuai, WANG Zhuorong, ZHANG Bo, LU Yu (577)

Simultaneous Fault Diagnosis of PV Array Operation Considering Small Sample Sizes

..... WANG Mengyuan, XU Xiaoyuan, YAN Zheng (587)

Health Diagnosis of Photovoltaic Modules Based on Dynamic Health Criteria

..... LI Zhihua, ZHANG Yuhao, WU Chunhua, WANG Fei, MA Haoqiang (597)

Optimal Capacity Configuration of Photovoltaic and Energy Storage System in Active Distribution Network Considering Influence of Power Quality

..... WANG Zihui, JIA Yanbing, LI Yanchen, HAN Xiaoqing (607)

Power Reserve and GIN Centrality of Buses Considered Dynamic Cluster Voltage Control of Active Distribution Networks

..... YANG Yue, CHEN Yuhang, CHENG Long, SUN Weiao, GU Xinran, GAO Jiaxing, SHAN Jizhong (618)

Load Frequency Control of Islanded Microgrids With Time-delay Under High Penetration of RESs

..... QIAN Wei, SUN Xiaotong, FEI Shumin (630)

Electric Vehicle Charging Load Probability Distribution Modeling Based on Semi-dynamic Traffic Equilibrium

..... ZHU Junliang, WU Zhigang, LIU Jianing (640)

Interoperability of Electric Vehicle Wireless Charging System Based on Decoupled Four-monopole Receiving Coil

..... ZHANG Yiming, SHEN Zhiwei, MAO Xingkui, CHEN Kainan, ZHAO Zhengming (650)

Internal Short Circuit Fault Detection in Li-ion Battery Storage System Based on CUSUM Event Segment Identification and Improved Spectral Clustering Algorithm

..... XIAO Xianrong, CHEN Zhifan, WANG Ying, HE Tao, ZHANG Fengrong (658)

• The Key Technologies of Electricity Markets Design and Operation for New Power System •

Research on the Linkage Mechanism Between Green Power Consumption and the Carbon Market

..... HUANG Guori, SHANG Nan, LIANG Ziyang, ZHANG Jihong, YU Hongwei (668)

Equilibrium of Frequency Control Ancillary Service Market Based on Attack-defense Game

..... CHEN Chunyu, LIU Yilong, ZHANG Kaifeng, REN Bixing, WANG Yunpeng, DAI Xuemei (679)

Designing of Electricity Price Package Method Based on Dual Game

..... DONG Lei, NI Jiawei, ZHANG Shiming, WANG Xiaohui, QIAO Ji, HAN Fujia (688)

Power Hub Nodes Design Based on Spectral Clustering and Graph Attention Network Under Integrated Power Markets

..... JI Tianyao, DU Zheyu, ZHANG Jingwei, LONG Zhihao, JING Zhaoxia (697)

3D Digital Reconstruction of Power Grid Facilities Based on Multi-view Foreground Segmentation

..... LIU Yuhang, YU Yawen, PI Tanxin, WU Xin (710)

Power Quality Disturbances Classification Based on Markov Transition Field and Multi-head Attention	QIAN Beiqi, CHEN Qian, LI Zongyuan, ZHANG Zhengwei, NIU Yinghao (721)
Class Imbalanced Electricity Theft Detection Based on Resampling and Hybrid Ensemble Learning	YOU Wenxia, LIANG Hao, YANG Nan, LI Qingqing, WU Yonghua, LI Wenwu (730)
Few-shot Insulator Defect Detection Based on Deep Information of Local Features	BAI Xiaojing, XIE Yaqi, ZHAO Miao, WU Hua, ZHANG Wenbiao, TAN Yuanpeng, YE Lingling (740)
Construction Method for Transformer Operating State Portrait Based on Multi-dimensional Capability and Knowledge Graph-multilayer Perceptron	SHU Shengwen, CHEN Yangyang, ZHANG Ziqi, FANG Shuqi, WANG Guobin, ZENG Jinglan (750)
• Power System •	
Development, Application and Prospect of Power and Energy Balance Analysis and Its Speedup Computation Technologies	YANG Qian, WANG Jianxue, YANG Xusong, ZHANG Yao, XIAO Yunpeng, WANG Xiuli (760)
Hierarchical Self-adaptation Transient Voltage Stability Assessment Based on Cost-sensitive SVM and Multivariate Decision Tree	ZHEN Yongzan, RUAN Cheng (778)
Control Strategy of Low-frequency Oscillation Suppression in Power System Based on CMAC-FSMC	NIE Yonghui, QU Mingrui, ZHOU Hengyu, ZHANG Ruidong, ZHANG Jie (789)
Optimal Strategy for Two Stage Customer Directrix Load Based Demand Response and Profit Sharing - Risk Sharing Decision-making Method for Virtual Power Plant	CHENG Yuyang, GAO Hongjun, WANG Renjun, GAO Yiwen, LIU Junyong (799)
Review and Prospect of Key Technologies for Residential Loads Participating in Power System Dispatch and Control	QI Qi, SHI Fuling, CHEN Songsong, WANG Weidong, HONG Dengyu, YUE Xiaohui (809)
Optimization Strategy of Residential Demand Response Considering Consumption Comfort Under Price-score Joint Incentive	DAI Fengzhe, JIANG Fei, CHEN Lei, WU Yongfei, WEI Wen, ZHANG Kaiyuan, MENG Yichao, HE Guixiong (819)
Fault Dynamic Behaviors Analysis and Practical Peak Short-circuit Current Calculation of Wind and Solar Power Sources	JIA Ke, LI Ying, KONG Jiajing, BI Tianshu, HU Wei, LIU Jiachao (830)
Faulty Feeder Detection in Small Current Grounding System Based on Complete Waveform Recognition of Zero-sequence Signals	YUAN Jiawei, JIAO Zaibin (839)
Pilot Protection Based on Energy Ratio of Differential Current for Outgoing Line From Renewable Power Plants	YU Yue, WANG Congbo, FAN Peilin, ZHOU Zexin (851)
Control Strategy of Double-current Traction Power Supply System Based on Static Var Generator	XU Yuqiang, XIE Shaofeng, ZHONG Fan, WANG Hui, LI Kunpeng (858)
Stability Analysis of Locomotive Mixed Running Vehicle-grid Coupling System With Access of Modular Multilevel Converter-railway Static Power Conditioner	LIU Yi, WANG Yue, LI Pengkun, FENG Bole, WU Hong (869)
• HVDC Transmission & HVDC Grid •	
Control Strategy of Flexible HVDC Station Supplying Passive AC Line Under Single Voltage Control Loop	GUO Xianshan, LI Yunfeng, LI Xuan (879)
Optimization of Damping Control Strategy for Grid-forming VSC-HVDC	HUANG Yong, MA Xiuda, ZHANG Jin, LIU Jie, LU Yu, ZHAO Zheng, LI Wenfeng, LI Tan (889)
An Improved Electromechanical Transient Modeling Method of VSC-HVDC Embodying the Characteristics of Grid-forming Control	DING Ping, AN Ning, WAN Kaiyao, LI Yalou, TIAN Pengfei, CAI Jing (897)
Practical Electromechanical Transient Modeling and Parameter Calibration for HVDC Control System Based on Selection	WU Guoyang, SONG Xinli, LI Xia, DAI Hanyang, PENG Zhong, ZHANG Yanhao, LI Hui, XIAO Long (904)
• Engineering Applications •	
Online Ice-melting Method Based on Flexible Regulation of Zero-sequence Reactive Current for Ice-covered Lines in Distribution Networks Without Power Outages	ZHANG Binlong, ZHENG Zeyin, GUO Moufa (913)
Influence of Phase-to-phase Spacers on Ice-shedding Jumping of Compact Transmission Lines	HUANG Zenghao, YANG Qi, LI Lao, ZHAO Linjie, ZENG Huarong, ZHANG Zhiqiang, QIN Ganjian (923)

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