

国家电网有限公司 主管
国网能源研究院有限公司
中国电机工程学会 主办
全球能源互联网研究院有限公司

中文核心期刊 中国科技核心期刊
中国科学引文数据库 (CSCD) 核心期刊
Scopus 收录期刊

ISSN 1004-9649
CN11-3265/TM

中国电力

ELECTRIC POWER



国网信通产业集团
STATE GRID INFO & TELECOM GROUP

北京国网信通埃森哲信息技术有限公司
BEIJING SGITG ACCENTURE INFORMATION TECHNOLOGY CENTER CO., LTD.



国网信通产业集团
STATE GRID INFO & TELECOM GROUP

国网思极数字科技(北京)有限公司
STATE GRID SGITG DIGITAL TECHNOLOGY (BEIJING) Co., Ltd.

创建能源数字化咨询领域国内一流智慧创新型企业

解决方案:

- ◎ 新型电力系统建设数字化咨询服务
- ◎ “双碳”战略目标实现数字化咨询服务
- ◎ 电网数字化顶层规划
- ◎ 企业发展规划
- ◎ 企业数字化转型一体化解决方案
- ◎ 企业管理咨询服务
- ◎ 数字化咨询服务
- ◎ “云大物移智边链”新技术创新应用

核心产品:

- ◎ 数字化审计平台
- ◎ 能源互联网营销服务系统 (营销2.0)
- ◎ 财务智慧共享服务平台
- ◎ 业财一体化管理系统
- ◎ 生产数字化 (保电) 管控指挥平台
- ◎ 企业级业数融合应用 (运营监控) 分析服务平台
- ◎ 电能质量监测与分析系统
- ◎ 电网谐波监测分析应用系统



5 2023

ISSN 1004-9649



《中国电力》编辑委员会

名誉主任委员 舒印彪

主任委员 欧阳昌裕

副主任委员(按姓氏笔画排序)

王成山 叶 泽 朱法华 汤广福
吴云喜 陈维江 康重庆

顾问委员(按姓氏笔画排序)

王志轩 王锡凡 史玉波 刘吉臻
杜祥琬 余贻鑫 张运洲 岳光溪
周孝信 郭剑波 黄其励 程时杰
薛禹胜

委 员(按姓氏笔画排序)

丁 磊 王伟胜 王守相 王继业
王蓓蓓 王耀华 文福拴 艾 芊
帅 永 叶 林 冯冬涵 朱金大
汤 奕 孙献斌 严干贵 李 鹏
李东东 李明节 李庚银 李美成
吴红斌 吴俊勇 别朝红 邱忠涛
何金良 余 军 沈 沉 张乃强
张明锐 陈 新 林济铿 和敬涵
周原冰 周勤勇 庞 辉 单葆国
房 方 赵 斌 荆朝霞 姚良忠
骆仲泱 袁小明 袁铁江 徐 政
徐 箭 郭庆来 郭经红 曹一家
彭勇刚 彭道刚 程浩忠 焦在滨
鲁宗相 颜 伟 潘学萍 薛安成

青年委员(按姓氏笔画排序)

于 安 于 浩 万 灿 王 灿
王 琦 王卫良 王宇飞 王晓卫
牛 耕 文云峰 孔令国 叶宇剑
付学谦 付德义 白 章 宁 剑
朱忠亮 任洲洋 华昊辰 刘含笑
许 寅 许德智 杜 炜 李云丰
李国倡 李知艺 杨知方 杨德昌
肖 浩 何锁盈 张 宁 张沈习
张洪财 陈 健 陈向荣 陈奇芳
邵成成 尚 策 金 丽 周 强
周建力 宗炫君 郝润龙 胡俊杰
钟海旺 姚 伟 郭春义 唐志远
黄碧斌 阎 洁 梁营玉 景 锐
雷顺波 廖小兵

国际顾问(以姓名英文字母为序)

Kevin DU (Canada) Laili LAI (UK)
Wei-jen LEE (USA) Hao LIU (Canada)
Kwok Lun LO (UK) Xiaofeng ZHANG (USA)
Henry ZHAO (USA) Suyan ZHOU (France)

主 编 汤广福 单葆国

副 主 编 康重庆 朱法华 方 彤

本期执行主编 李 博 方 彤

责任编辑 张重实 张子龙 蒋东方 许晓艳
杨 彪 于静茹

发行广告 孙 洁



ZHONGGUO DIANLI

第 56 卷第 5 期 2023 年 5 月

目 次

专稿

中国风光资源气候风险时空变化特征分析

..... 孙景博, 王阳, 杨晓帆, 陆峥, 何源, 巢清尘 (1)

双碳目标下的新型电力系统

特约主编寄语..... 汤奕, 鲁宗相, 周勤勇, 闪鑫, 叶宇剑 (11)

新型电力系统背景下西部送端直流电网方案构建

..... 李惠玲, 王曦, 高剑, 宋云亭 (12)

“双碳”战略背景下新型配电系统技术标准体系

..... 王金丽, 李丰胜, 解芳, 张姚, 田野 (22)

风电并网下的抽水蓄能鲁棒最优调频控制策略

..... 游文霞, 刘斌, 李世春, 李文武, 查子健, 张鹏宇 (32)

含多座抽水蓄能电站的省级电网日前计划分层递进优化算法

..... 周云海, 张智颖, 徐飞, 郭琦, 刘连德, 贾倩 (41)

计及用能权配额约束的发电商竞价策略双层优化方法

..... 薛贵元, 吴垠, 诸晓骏, 谈健, 明昊 (51)

计及碳交易和新能源不确定性的多微电网合作运行优化策略

..... 赵军, 张敏, 张世锋, 杨琦 (62)

面向双碳目标的交通网-电网耦合网络中电动汽车负荷低碳优化方法

..... 叶宇剑, 袁泉, 汤奕 (72)

电动汽车聚合下的微能源互联网优化调度策略

..... 安佳坤, 杨书强, 王涛, 贺春光, 张菁, 袁超, 窦春霞 (80)

农村光-氢-沼储能综合能源系统建模与鲁棒优化调度

..... 王瑞琪, 王新立, 郭光华, 张宇航, 周海妮, 周琪 (89)

电网

抑制母线电压跌落的热泵温度轨迹规划算法

..... 赵杨阳, 刘澜, 赵伟, 曾爽, 梁安琪, 王瀚秋, 马凯 (99)

“国家期刊奖”获奖期刊
中文核心期刊
中国期刊方阵期刊
中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊
中国科技核心期刊
RCCSE 中国核心学术期刊(A)
Scopus收录期刊
DOAJ收录期刊
英国《科学文摘》(SA, INSPEC)收录期刊
俄罗斯《文摘杂志》(AJ of VINITI)收录期刊
美国《剑桥科学文摘》(CSA)收录期刊
中国科技论文统计源期刊
中国科技文献数据库收录期刊
中文科技期刊数据库收录期刊
中国期刊网收录期刊
中国电力报刊协会优秀期刊

基于 t-SNE 降维和放射传播聚类算法的低压配电网相位识别	
..... 柳守诚, 王淳, 邹智辉, 陈佳慧, 周晗, 刘伟, 张旭	(108)
基于改进二进制粒子群算法的家庭负荷优化调度策略	
..... 张丽, 刘青雷, 张宏伟	(118)
基于混合整数线性规划的配电网在线自愈方案	
..... 李铁成, 张卫明, 臧谦, 王献志, 任江波, 周坤	(129)
压接式 IGBT 和晶闸管器件失效模式与机理研究综述	
..... 罗皓泽, 陈忠, 杨为, 谢佳, 胡迪, 官玮平	(137)
低温环境下高压断路器故障模拟	
..... 张健, 张朋, 徐惠, 宫铭辰, 王悦, 张静	(153)
分散式风储一体化系统提升海上油田群电网频率稳定性研究	
..... 苏开元, 董文凯, 邱银锋, 魏澈, 谢小荣	(163)
高可靠性三相多功能并网变换器研究	
..... 黎燕, 程馨, 黄祖梁, 杨琢	(172)

新能源

基于全状态模型的自同步电压源并网系统频率稳定分析	
..... 李振垚, 甘德强, 栾某德, 何国庆	(182)
基于皮尔逊相关系数融合密度峰值和熵权法典型场景研究	
..... 赵源上, 林伟芳	(193)

信息与通信

基于区块链的能源电力数据验证与溯源模型	
..... 李达, 郭庆雷, 王栋, 王伟贤, 周冬旭	(203)
面向能源电力区块链的跨域身份控制模型	
..... 杨珂, 王栋, 李达, 钱晓雨, 李军	(209)

中国电力

(月刊, 1956 年创刊)

第 56 卷第 5 期(总第 654 期)
2023 年 5 月 28 日出版

主管单位: 国家电网有限公司
主办单位: 国网能源研究院有限公司
中国电机工程学会
全球能源互联网研究院有限公司

编辑出版:《中国电力》编辑部

地 址: 北京市昌平区北七家镇未来科学城滨河大道 18 号“国家电网公司”园区 B315

邮政编码: 102209

电 话: 010-66603808 (编辑部)
010-66603801 (广告、发行)

传 真: 010-66603578

网上投稿: www.electricpower.com.cn

印 刷: 北京科信印刷有限公司

总 发 行: 北京市报刊发行局

订 购: 全国各邮局

国内邮发代号: 2-427

国内定价: $\frac{50.00 \text{ 元/期}}{600.00 \text{ 元/年}}$

国外发行代号: M-276

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司
(北京 399 信箱)

中国标准连续出版物号: $\frac{\text{ISSN } 1004-9649}{\text{CN } 11-3265/\text{TM}}$

广告登记号: 京昌市监广登字 20190011

声明

本刊已与相关数据库合作, 许可在其数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文, 该数据库著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意本刊上述声明。

ELECTRIC POWER

Vol. 56 No. 5 May 2023

MAIN CONTENTS

Special Contribution

- Analysis of Spatial and Temporal Variation Character of Climate Risks of Wind and Solar Resources in China
..... SUN Jingbo, WANG Yang, YANG Xiaofan, LU Zheng, HE Yuan, CHAO Qingchen (10)

New Power Systems Under the Dual Carbon Target

- Scheme Construction for Sending End DC Grids in Western China Under the Background of New Power System
..... LI Huiling, WANG Xi, GAO Jian, SONG Yunting (21)
- Research on Technical Standard System of New Distribution System Under Double-Carbon Strategy
..... WANG Jinli, LI Fengsheng, XIE Fang, ZHANG Yao, TIAN Ye (31)
- Robust Optimal Frequency Regulation Control Strategy for Pumped Storage in Grid-Connected Wind Power Systems
..... YOU Wenxia, LIU Bin, LI Shichun, LI Wenwu, ZHA Zijian, ZHANG Pengyu (40)
- Hierarchical Progressive Optimization Algorithm for Day-Ahead Planning of Provincial Power Grid with Multiple Pumped Storage Power Stations..... ZHOU Yunhai, ZHANG Zhiying, XU Fei, GUO Qi, LIU Liande, JIA Qian (50)
- Bi-level Optimization Method for Bidding Strategy of Power Suppliers Considering Energy-Consuming Right
..... XUE Guiyuan, WU Yin, ZHU Xiaojun, TAN Jian, MING Hao (61)
- Optimization Strategy of Multi-microgrid Cooperative Operation Considering Carbon Trading and Renewable Energy Uncertainties..... ZHAO Jun, ZHANG Min, ZHANG Shifeng, YANG Qi (71)
- Electric Vehicle Charging Demand Low Carbon Optimization in Traffic-Grid Coupling Networks Towards “Dual Carbon” Goal..... YE Yujian, YUAN Quan, TANG Yi (79)
- Optimal Scheduling Strategy for Micro Energy Internet Under Electric Vehicles Aggregation
..... AN Jiakun, YANG Shuqiang, WANG Tao, HE Chunguang, ZHANG Jing, YUAN Chao, DOU Chunxia (88)
- Modeling and Robust Optimal Dispatch of Rural Integrated Energy System Considering PV-Hydrogen-Methane Energy Storage Characteristics..... WANG Ruiqi, WANG Xinli, GUO Guanghua, ZHANG Yuhang, ZHOU Haini, ZHOU Qi (98)

Power System

- Heat Pump Temperature Trajectory Planning Algorithm for Bus Voltage Sag Suppression
..... ZHAO Yangyang, LIU Lan, ZHAO Wei, ZENG Shuang, LIANG Anqi, WANG Hanqiu, MA Kai (107)
- Phase Identification of Low Voltage Distribution Network Based on t-SNE Dimension Reduction and Affinity Propagation Clustering Algorithm
..... LIU Shoucheng, WANG Chun, ZOU Zhihui, CHEN Jiahui, ZHOU Han, LIU Wei, ZHANG Xu (117)
- Home Load Optimization Scheduling Strategy Based on Improved Binary Particle Swarm Optimization Algorithm
..... ZHANG Li, LIU Qinglei, ZHANG Hongwei (128)
- Online Self-Healing Scheme of Distribution Network Based on Mixed Integer Linear Programming
..... LI Tiecheng, ZHANG Weiming, ZANG Qian, WANG Xianzhi, REN Jiangbo, ZHOU Kun (136)
- Review on Failure Mode and Mechanism of Press-Pack IGBT and Thyristor Devices
..... LUO Haoze, CHEN Zhong, YANG Wei, XIE Jia, HU Di, GUAN Weiping (152)
- Fault Simulation of High-Voltage Circuit Breaker in Low-Temperature Environment
..... ZHANG Jian, ZHANG Peng, XU Hui, GONG Mingchen, WANG Yue, ZHANG Jing (162)
- Study on Using Distributed Wind-Storage Integrated System to Improve Frequency Stability of Offshore Oilfield Power Systems..... SU Kaiyuan, DONG Wenkai, QIU Yinfeng, WEI Che, XIE Xiaorong (171)
- Research on High Reliability Three-Phase Multi-function Grid-Connected Converter
..... LI Yan, CHENG Xin, HUANG Zuliang, YANG Zhuo (181)

New Energy

- Frequency Stability Analysis Based on Full State Model in Autonomous-Synchronization Voltage Source Interfaced Power System..... LI Zhenyao, GAN Deqiang, LUAN Moude, HE Guoqing (192)
- Research on Typical Scenarios Based on Fusion Density Peak Value and Entropy Weight Method of Pearson's Correlation Coefficient..... ZHAO Yuanshang, LIN Weifang (202)

Information and Communication

- Research on Electric Power Data Verification and Traceability Method Based on Blockchain Technology
..... LI Da, GUO Qinglei, WANG Dong, WANG Weixian, ZHOU Dongxu (208)
- A Cross-Domain Identity Control Model for Electric Blockchain
..... YANG Ke, WANG Dong, LI Da, QIAN Xiaoyu, LI Jun (216)

ELECTRIC POWER (Monthly) Vol.56 No.5 (Ser.654) May 2023

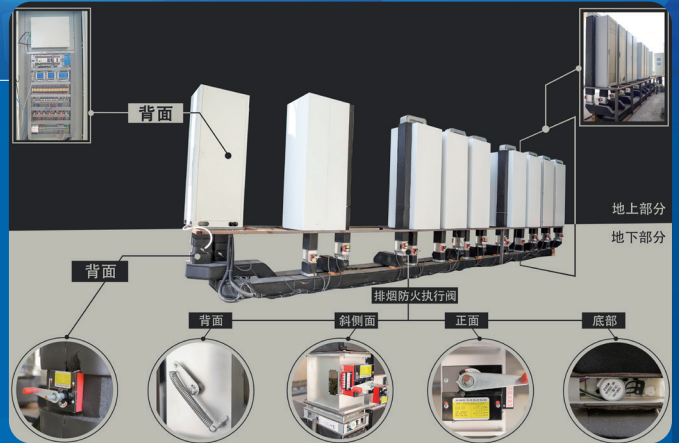
Competent Authorities: State Grid Corporation of China
Sponsors: State Grid Energy Research Institute Co., Ltd.
Chinese Society for Electrical Engineering
Global Energy Interconnection Research Institute Co., Ltd.
Editor and Publisher: Editorial Department of Journal
Editor-in-Chief: TANG Guangfu, SHAN Baoguo
Publication Number: ISSN 1004-9649

General Distribution: Beijing Office of Postal Service
Distributed Abroad: China International Book Trading Corporation,
P.O. Box 399 Beijing, China
Add: Tower B, SGCC, Future Science Park, Beijing 102209, China
Web Site: <http://www.electricpower.com.cn>
Tel: +86-10-66603801
Fax: +86-10-66603578

精准送风系统

01 总体情况

精准送风技术能实现精准控温、温度均衡。该技术由空调系统、管道系统和控制系统等组成，采用双备份独立工业空调作为冷（热）源，柜体内外风道将冷（热）风精准送达柜内设备区，构成封闭内循环系统。通过柜内分布式温、湿度传感器实时监控柜内温、湿度分布，并根据运行环境温度及温差，控制空调工作模式，实时调节送风温度及风量，防范凝露发生。该技术仅需对柜体及管道组成的闭合空间进行调节，效率高，能耗低。



02 适用场景

- 1) 适用于 110~500kV 户内及半户内变电站 GIS 配电装置；
- 2) 适用于夏季温度较高或湿度较大区域。



专利创新 03

本产品已授权实用新型专利 4 项。

04 产品特点

- 1) 实现智能控制柜温度精准控制，上下温差最低可控制在 3℃ 以内；
- 2) 控制柜内绝对湿度，防范凝露发生；
- 3) 空调系统主机双冗余自动切换，可靠性高；
- 4) 管道系统按间隔模块化标准设计，现场安装简易；
- 5) 针对多面柜体及管道组成的密闭空间进行智能控制，较单柜空调方案能耗降低 40% 以上。



地址：浙江省杭州市江干区解放东路45号高德置地A楼中塔41-43层
电话：0571-51100966/0571-51100967 / 13867102034