



电工技术 官方微信

主管单位：重庆西南信息有限公司  
(原科技部西南信息中心)

主办单位：重庆西南信息有限公司  
重庆市电机工程学会

编辑出版：《电工技术》编辑部

协办单位：重庆市电源学会

社长：陈伟

总编：徐书令

#### 编委会(按姓氏拼音排列)

##### 主编：

谢开贵

##### 委员：

白锐 曹永兴 陈艳波 程杉  
董张卓 杜雄 房兆源 郭成  
郝占军 何山 侯兴哲 汲胜昌  
贾科 李辉 李勇 李振华  
李志军 刘健 吕干云 梅生伟  
朴昌浩 齐波 谭向宇 唐震  
王志新 魏钢 杨博 杨国华  
杨仕友 张晓星 张志劲 郑涛  
曾宇

##### 执行委员：

安小宇 陈民武 邓军 樊启高  
郝建 李军徽 李永福 李元  
凌志斌 刘铨 刘刚 刘继权  
刘小康 马辉 马红波 马志钦  
彭庆军 陶果 汪可 王洪彬  
王小华 王小宇 谢旭琛 熊连松  
杨海马 杨涛 伊力哈木·亚尔买买提  
由佳欣 张施令 张锦议 朱孟兆

执行主编：何欣 (023)67039610

编辑部主任：陈胜 (023)67039613

编辑部：(023)63502993

E-mail: diangong@chinaet.net

市场部：(023)67039610

E-mail: matrevhx@sina.com

发行部：(023)63501714

地址：重庆市渝北区洪湖西路18号

邮编：401121

网址：www.chinaet.net

印刷：重庆紫石东南印务有限公司

发行：重庆市邮政局(国内外公开发行)

订阅：全国各地邮局

邮发代号：78-61

每期定价：30.00元 \$5.00

国际标准连续出版物号：ISSN 1002-1388

国内统一连续出版物号：CN 50-1072/TM

广告经营许可证：(渝新两江)广准字(19)第007号

版权所有 不得转载

本刊常年法律顾问：重庆百君律师事务所 刘凡强

律师办公电话：(023)67621818

地址：重庆市渝北区洪湖东路财富大道2号财富A座7楼

凡发表在本刊的文章，若没有特殊声明，均视作者同意将信息网络传播权及转授权授予本刊

如有质量问题，请与重庆紫石东南印务有限公司联系退换

地址：重庆市北碚区蔡家岗镇嘉德大道99号(盈田·蔡家工谷27-2)

邮编：400707

# EE 电力电气 电工技术 DIAN GONG JI SHU

半月刊 1980年创刊

2024/9期(总第615期) 2024年5月10日出版

## 目次

### 理论研究

- 变电站继电保护间歇性弧光接地故障识别方法 何其川
- 智能电网负荷预测的常用方法分析与选择 高雅
- 电路的量纲模型与相似性原理和对偶性原理 朱明 朱嘉慧
- 热离子增强太阳热辐射-光伏转换性能研究 王志强
- 基于Attention机制优化CNN-GRU混合神经网络的短期负荷预测技术 刘会 岳东明 苗光尧 等
- 基于孪生神经网络的变电站异物入侵检测方法 姬裕鹏 田鹏 柳杨 等
- 基于集中式控制策略的储能变流器牵制协调控制方法 焦照旭 姚艳芳 聂明珍 等
- 基于扰动观测器的电压源型逆变器负载电流前馈控制方法研究 王成悦
- 基于深度强化学习的同步发电机最优励磁控制方法 廖斌 王公展 冯宁 等
- 考虑配电网电压暂降治理经济性的DVR优化配置方法研究\* 李勇 汤迪虎 吴艺松 等
- 基于准谐振滤波器的永磁同步电机死区补偿方法研究 陈慧琴 刘小俊
- 计及需求响应的分布式光伏发电并网消纳控制方法 刘帅 罗曦 喻传权 等
- 新能源并网系统引发的复杂振荡问题及其对策研究 马超 张敏
- 新能源接入下光伏逆变器快速功率控制方法 张远照 张明 陈文 等
- 基于视觉感知的轨道交通站台间隙障碍物检测研究 杨进 潘立康 陈钢
- 基于非排序的MMC-BESS的SOC均衡策略\* 张井烁 吴迪 王在福 等

### 输配电工程

- “双碳”导向共享铁塔塔型研究\* 麻坚 许金一 徐军岳 等
- 不接地系统单相断线故障负序电流分析 唐钊
- 基于BIM的配网工程快速建模及平台设计\* 李佳 冯德志 段祥骏 等
- 基于关联规则的配电网薄弱点诊断研究 楼冯梁
- 基于漏电流的配电网电缆故障感知与老化定位\* 张雪楠 张雪寒 曹萌萌 等
- 基于改进遗传退火算法的配电网路线协调规划方法 秦舒月

- |     |                                   |               |
|-----|-----------------------------------|---------------|
| 87  | 配网一停多用方式下构建多方协同配合作业的集中检修模式安全风险探究* | 罗 鹏 赵 红 张怀密 等 |
| 91  | 基于鲸鱼算法的配电网无功补偿经济性优化配置方法           | 李青杉 陈 星 郑 杰 等 |
| 95  | 输电线路异物入侵多维度检测及预警系统                | 王先强 陆建锋 刘晓鹏 等 |
| 98  | 一种高效接地故障泄漏电流检测系统设计*               | 胡崇焱 罗运国 刘修理 等 |
| 101 | 主动配电网规划理论和工程建设实践分析                | 徐 超           |

## 电气设备

- |     |                                 |               |
|-----|---------------------------------|---------------|
| 104 | 变电运行中电气误操作事故原因及应对措施             | 王子琪 许书赫 廖 海   |
| 107 | 变压器直流电阻测试仪校准装置的研制               | 林 勇           |
| 110 | 电动汽车充电站电气系统设计*                  | 高 健 赵宏或 张琛琪 等 |
| 113 | 基于DA-Xception算法的电容式电压互感器状态异常识别  | 姜瀚书 李雨田 吴广昊 等 |
| 118 | 基于电流的静止无功补偿装置电容器过电压保护           | 丁 力 陈建松       |
| 122 | 单相智能电表防窃电功能研究和探讨                | 周美娜 徐京生 满阳阳   |
| 124 | 基于分布式多总线的智能充电柜充电管理系统设计          | 程祖奇           |
| 128 | 关于电流互感器角比差分析的探讨                 | 陈旭东           |
| 130 | 基于红外热成像技术的变电设备热故障识别方法           | 曹李伟           |
| 133 | 极性辨别法在干式变压器局部放电测量中的应用           | 王军鹏 李卫星       |
| 135 | 基于接地电阻测量仪的数据管理系统设计*             | 马俊深 林来鑫 陈梓荣 等 |
| 139 | 基于热点温度仿真的光伏电站变压器容量优化            | 窦鹏飞           |
| 142 | 基于图像识别和物联网技术的开关柜智能终端研究          | 邱 舵 庞杰锋 郭魏凯   |
| 146 | 移动电源车联合供电控制方法研究                 | 石雪倩 瞿仕波 廖伟雄   |
| 148 | 一款基于国产MCU的SF <sub>6</sub> 传感器设计 | 钱 荣 徐 杰 李小虎 等 |
| 152 | 一起110 kV断路器防跳回路的故障排查与分析         | 陈淑芝 赵双石 王 慧 等 |
| 156 | 一种带电带负荷更换非承力线夹方法                | 谭程凯 肖溢鹏 刘欣宇   |
| 159 | 锂离子电池储能电站安全问题与解决策略分析            | 秦 睿 陈思思 匡卫洪 等 |
| 162 | 准确测量GIS产品极限低温下的气体泄漏             | 周淑兰           |

## 高压与绝缘技术

- |     |                            |               |
|-----|----------------------------|---------------|
| 165 | 35 kV线路避雷器并联保护间隙设计研究       | 邱续东           |
| 168 | 一起特高压线路过电压保护断路器位置开入异常的分析   | 张 伟           |
| 170 | 特高压变电站电气设备油坑阻燃层轻量化结构设计     | 侯纪勇 周振洲 宗海迎 等 |
| 174 | 北方地区某换流站阀外冷系统室外换热设备防冻措施研究* | 崔 鹏 陈昊阳 陆洪建 等 |
| 177 | 某柔性直流换流站电阻器电阻值数据异常分析       | 王婷乐 高 强 毕小鹏   |

## 智能通信技术

- |     |                            |               |
|-----|----------------------------|---------------|
| 179 | 基于“北斗+物联网”的电力工程智慧安全监测研究与应用 | 李乐乐 高兴国 李 斌 等 |
| 183 | 基于CKKS全同态加密的用电数据隐私计算       | 周宁慧 郑琨琪       |
| 188 | 配电通信网建设与技术看                | 刘 佳           |

## 发电厂

- |     |                               |               |
|-----|-------------------------------|---------------|
| 191 | 核机组中蒸汽凝结引发的水锤事件分析与处理          | 郝 毅           |
| 195 | 安全壳打压试验泄压过程气体流场研究与优化          | 郭裕丰 王志永 王洪凯   |
| 198 | 基于RCC-M规范建造的核电站一回路水压试验工艺优化研究* | 程 钢 刘伯欢 冉 威 等 |
| 201 | 格栅除污机保护拒动缺陷分析与处理              | 孟繁海 吴 俊 李豪仁 等 |
| 204 | 基于关联规则的火电厂热工保护用机电系统故障分析方法     | 刘振琦           |
| 207 | 水泊渡水电站电气一次设计                  | 何锴君 何 科       |

# ELECTRIC ENGINEERING

(Electric Power) No.9

---

## CONTENTS

### Theoretical Research

- 1 Identification Method for Intermittent Arc Grounding Faults in Substation Protective Relays ..... HE Qichuan  
4 Analysis and Selection of Common Methods for Smart Grid Load Prediction .....GAO Ya  
7 Dimensional Models of Electric Circuits and Principles of Similarity and Duality .....ZHU Ming ZHU Jiahui  
16 Performance Study of Thermal Ion-enhanced Solar Thermal Radiation-Photovoltaic Conversion .....WANG Zhiqiang  
20 Short-Term Load Prediction Technology Based on Attention-CNN-GRU Hybrid Neural Network .....  
..... LIU Hui YUE Dongming MIAO Guangyao et al  
24 Substation Foreign Object Intrusion Detection Method Based on Siamese Neural Network .....  
..... JI Yupeng TIAN Peng LIU Yang et al  
29 A Coordinated Control Method for Energy Storage Inverters Based on Centralized Control Strategy .....  
..... JIAO Zhaoxu YAO Yanfang NIE Mingzhen et al  
32 Disturbance Observer-based Load Current Feedforward Control Method for Voltage Source Inverters .....  
..... WANG Chengyue  
35 Optimal Excitation Control Method for Synchronous Generators Based on Deep Reinforcement Learning .....  
..... LIAO Bin WANG Gongzhan FENG Ning et al  
38 Optimal Configuration of DVRs Considering the Economy for Voltage Sag Mitigation in Distribution Networks\* .....  
..... LI Yong TANG Dihu WU Yisong et al  
43 Study on Dead Time Compensation Method for Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Quasi Resonant  
Filter .....CHEN Huiqin LIU Xiaojun  
48 Absorption and Consumption Control Method for Grid Integration of Distributed Photovoltaic Generations  
Considering Demand Response .....LIU Shuai LUO Xi YU Chuanquan et al  
51 Study on Complex Oscillation Problems Caused by Grid Connection Systems of New Energy Sources and  
Countermeasures ..... MA Chao ZHANG Min  
54 Fast Power Control Method for Photovoltaic Inverters Facilitating Integration of New Energy Generations .....  
.....ZHANG Yuanzhao ZHANG Ming CHEN Wen et al  
57 Study on Visual Perception-based Obstacle Detection in Platform Gap of Rail Transit .....  
..... YANG Jin PAN Likang CHEN Gang  
59 SOC Balancing Strategy Based on Non-ordered MMC-BESS\* ..... ZHANG Jingshuo WU Di WANG Zaifu et al

### Power Transmission and Distribution Engineering

- 62 A Study on "Dual-Carbon" Oriented Shared Tower Types\* .....MA Jian XU Jinyi XU Junyue et al  
68 Negative Sequence Current Analysis of Single-phase Disconnection Fault in Ungrounded System ..... TANG Zhao  
71 BIM-based Rapid Modeling and Platform Design of Distribution Network Engineering\* .....  
.....LI Jia FENG Dezhi DUAN Xiangjun et al  
77 Association Rules-based Diagnosis of Vulnerabilities in Distribution Networks ..... LOU Fengliang  
81 Fault Perception and Aging Location of Distribution Network Cables Based on Leakage Current\* .....  
..... ZHANG Xuenan ZHANG Xuehan CAO Mengmeng et al  
84 Modified Genetic Annealing Algorithm-based Coordinated Path Planning for Distribution Networks ..... QIN Shuyue  
87 Study on Safety Risk of Centralized Maintenance Mode of Constructing Multi-party Cooperative Operation Under  
One-outage-multi-use Mode of One-outage Distribution Network\* ..... LUO Peng ZHAO Hong ZHANG Huaimi et al  
91 Whale Algorithm-based Economic Optimal Allocation of Reactive Power Compensation in Distribution Networks .....  
.....LI Qingshan CHEN Xing ZHENG Jie et al  
95 Multidimensional Detection and Warning System of Foreign Object Intrusion in Transmission Line .....  
.....WANG Xianqiang LU Jianfeng LIU Xiaopeng et al  
98 A Highly Efficient Detection System of Leakage Currents of Grounding Faults\* .....  
..... HU Chongyi LUO Yunguo LIU Xiuli et al  
101 Analysis of Planning Theory and Engineering Construction Practice of Active Distribution Networks .....XU Chao

## Electrical Equipment

- 104 Reasons and Countermeasures for Electrical Misoperation Accidents in Operating Substations ..... WANG Ziqi XU Shuhe LIAO Hai  
107 Development of a Calibration Device for Transformer DC Resistance Testers ..... LIN Yong  
110 Design of Electrical Systems for Electric Vehicle Charging Station\* ..... GAO Jian ZHAO Hongyu ZHANG Chenqi et al  
113 Abnormal State Identification of Capacitor Voltage Transformer Based on DA-Xception Algorithm ..... JIANG Hanshu LI Yutian WU Guanghao et al  
118 Current-based Capacitor Overvoltage Protection of Static Var Compensator ..... DING Li CHEN Jiansong  
122 Research and Discussion on the Anti Stealing Function of Single-phase Intelligent Electricity Meters ..... ZHOU Meina XU Jingsheng MAN Yangyang  
124 Management System Design of Smart Charging Cabinet Based on Distributed Multi-bus ..... CHENG Zuqi  
128 Discussion on Analysis of Angular Ratio Difference of Current Transformers ..... CHEN Xudong  
130 Infrared Thermography-based Identification of Thermal Faults of Substation Equipment ..... CAO Liwei  
133 Application of Polarity Discrimination Method in Partial Discharge Detection of Dry-type transformers ..... WANG Junpeng LI Weixing  
135 Design of Data Management System Based on Grounding Resistance Measuring Instrument\* ..... MA Junshen LIN Laixin CHEN Zirong et al  
139 Optimization of Transformer Capacity in Photovoltaic Power Stations Based on Hotspot Temperature Simulation ..... DOU Pengfei  
142 Study on Intelligent Terminal of Switchgear Based on Image Identification and Internet of Things Technology ..... QIU Duo PANG Jiefeng GUO Weikai  
146 Study on Joint Power Supply Control Method for Mobile Power Vehicles ..... SHI Xueqian QU Shibo LIAO Weixiong  
148 Design of an SF<sub>6</sub> Sensor Based on Domestic MCU ..... QIAN Rong XU Jie LI Xiaohu et al  
152 Troubleshooting and Analysis of Anti-trip Circuit of 110 kV Circuit Breakers ..... CHEN Shuzhi ZHAO Shuangshi WANG Hui et al  
156 A Method for Replacing Non-load-bearing Clamps with Maintained Power Load ..... TAN Chengkai XIAO Yipeng LIU Xinyu  
159 Analysis of Safety Issues and Solutions for Lithium-ion Battery Energy Storage Power Stations ..... QIN Rui CHEN Sisi KUANG Weihong et al  
162 Accurate Determination of Gas Leakage for GIS Products Under Extremely Low Temperature ..... ZHOU Shulan

## High Voltage and Insulation Technology

- 165 Study on Shunt Protection Gap Design of 35 kV Line Arrester ..... QIU Xudong  
168 Analysis of Tripping Position Anomaly of Ultra-high Voltage Line Overvoltage Protection Circuit Breaker ..... ZHANG Wei  
170 Lightweight Structure Design of Oil Pit Flame Retardant Layer for Electrical Equipment in Ultra-high Voltage Substation ..... HOU Jiyong ZHOU Zhenzhou ZONG Haijiong et al  
174 Development of Antifreeze Heating Device for outdoor Heat Exchanger of Valve Cooling System\* ..... CUI Peng CHEN Haoyang LU Hongjian et al  
177 Analysis of Abnormal Resistance Data of Resistors in a VSC-HVDC Converter Station ..... WANG Tingle GAO Qiang BI Xiaopeng

## Intelligent Information and Communications Technology

- 179 Research and Application of Power Engineering Smart Safety Monitoring Based on “Beidou+IoT” ..... LI Lele GAO Xingguo LI Bin et al  
183 Power Data Privacy Calculation Based on CKKS Fully Homomorphic Encryption ..... ZHOU Ninghui JIA Kunqi  
188 Construction and Technological Plan of Distribution Communication Network ..... LIU Jia

## Power Plant

- 191 Analysis and Treatment of Water Hammer Events Caused by Steam Condensation in Nuclear Power Units ..... HAO Yi  
195 Optimization of Gas Flow Field During Pressure Relief Process of Containment Pressure Test ..... GUO Yufeng WANG Zhiyong WANG Hongkai  
198 Optimization of Hydrostatic Testing Process for Nuclear Power Plant Primary System by RCC-M Code\* ..... CHENG Gang LIU Bohuan RAN Wei et al  
201 Analysis and Treatment for Protection Inaction of Grille Remover ..... MENG Fanhai WU Jun LI Haoren et al  
204 Association Rules-based Fault Analysis for Electromechanical Systems Used in Thermal Protection of Thermal Power Plants ..... LIU Zhenqi  
207 Primary Electrical Design of Shuipodu Hydropower Station ..... HE Kaijun HE Ke