



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 蔡骏 曹永兴 陈艳波 程杉  
丁力 董张卓 杜雄 苟小龙 郭成  
郭春义 郝占军 何山 侯兴哲 汲胜昌  
贾科 雷霞 雷志鹏 李更丰 李辉  
李勇 李贞强 李振华 李志军 刘健  
刘科研 刘志坚 卢啸风 吕干云 梅生伟  
朴昌浩 齐波 谭向宇 唐文虎 唐震  
王靖岳 王文林 王志新 魏钢 徐衍会  
阳同光 杨博 杨国华 杨仕友 姚伟  
张财志 张晓星 张志劲 郑涛 周超

执行委员：

安小宇 陈民武 邓军 樊启高 高一搏  
郝建 李军徽 李小鹏 李永福 李元  
凌志斌 刘铨 刘刚 刘继权 刘乾易  
刘小康 陆帅 吕世轩 马红波 马辉  
马志钦 宁文军 彭庆军 陶果 汪可  
王洪彬 王森 王少华 王彤 王小宇  
魏文斌 向月 谢旭琛 熊连松 许潇  
许寅 颜勤 杨海马 杨贺钧 杨涛  
伊力哈木·亚尔买买提 尹纯亚 尹文良  
由佳欣 张璐 张施令 张伟明 张锦议  
赵永宁 周三多 周玮 朱孟兆 左宗良

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：40.00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 电工技术

## DIAN GONG JI SHU

半月刊 1980年创刊

2025/2期(总第632期) 2025年1月25日出版

## 目次

### 自动控制

- 基于PLC的变电站地下电缆通道智能巡检系统设计  
乔歆慧 郑瑜 徐擎士等
- 机组凝结水精处理控制系统故障分析及可靠性改造  
李鹏飞 陈笑
- 基于图像识别的拆回电能表智能破拆装箱系统设计  
钟松晃 邹聪 单伟权等
- 压水堆核电站氙振荡过程中轴向功率偏差控制方法  
卢治琪
- 极早期火灾预警系统在铁路配电房的应用  
李继军
- 面向高渗透率分布式光伏发电并网的储能协同优化控制  
古刚
- 智能化无人值守卸船机系统  
陈耀明 秦建柱 黄修喜等

### 新能源系统与设备

- 负极接地光伏电站直流漏电流检测系统的改进  
杨秦川 杨昀焘
- 改进的BOOST结构太阳能收集电路及其MPPT控制\*  
郑金兵 郑明才 郑钊等
- 规模化分布式光伏对配电网电能质量影响评估方法研究  
邹丹 文哲宸 欧阳光等
- 光伏微电网直流母线电压线性自抗扰控制策略  
洪帆 祝龙记
- 基于60°坐标系下三电平逆变器VSPWM策略研究  
陈友明 党轶凌 刘万里等
- 含分布式可再生电源微电网的黑启动策略  
薛瑞斌
- 基于系统参数辨识法的电力系统惯量估计  
王鑫 苗桂喜 元亮等
- 抽水蓄能电站参与电力市场化的收益模式  
卓已峰 周站勇 杨梦思等
- 考虑电力系统调度需求不确定性的风电多参数预报分析\*  
李少华
- 新型电力系统下配电网形态研究  
陶福成 孙潇
- 新型自适应虚拟同步机控制的双馈风电机组并网研究  
邓钰祺 温家宝 罗嘉良等
- 智能光伏发电监测系统的设计与实现\*  
丁豪楠 邵桂荣 武怡晶等

### 人工智能与传感技术

- 电力IMS业务能力开放平台设计研究  
柳旭 梅增杨 白杨等
- 基于改进粒子群算法的水电站区域内新能源规划方案优化  
刘文霞 李龙源 何向刚等

74	基于多传感器深度融合光伏电站在线监控系统设计与应用	范新华
78	基于改进松鼠搜索算法的光伏阴影全局MPPT控制	刘倩 卢尚军 罗子军等
82	基于改进小波熵的配网旁路电缆绝缘故障自动检测方法	徐凯 赵诗宇 杨皓一等
85	基于深度学习的电气设备状态监测预警系统设计	尚子新 李旭鹏 朱文静等
89	基于机器视觉的拆回电能表自动分选系统设计	叶柱辉
92	基于智能传感技术的城乡电网实时监控研究	张冬谊 王曼
95	深度学习在输变电设备故障状态检测中的应用研究	樊慧文
98	基于数据驱动和知识库的水电机组振动故障诊断系统研究	王子瑒 韩宁 陈勇

## 电力自动化

102	基于集成学习的微电网系统源网荷储协同控制方法	朱宇鹏 张成玉 方帅
105	基于大数据技术的电力设备运行状态监测与故障预警系统	姚海峰
109	基于面保护原理的智能分布式煤矿供电防越级跳闸系统的研究*	雷富坤
114	基于零序电压差启动的10 kV线路断线故障识别及保护方法*	刘昶 郭金坤 蒋濛等
120	基于无线传输的长距离回路电阻数字化测试技术	刘佳雨 魏钢 吴学颖等
123	新能源全景监视与精益控制技术的研究与应用*	戴光武 李龙龙 赵青春等
128	一种基于嵌入式的配网FTU单插件自动测试系统	马雷 双中豪 常远等
131	配电网5G通信架构及其时延可靠性研究	尹世超
134	适用于智能软开关配电系统的MMC多模态直接控制策略	董梅

## 电力设备

140	基于GAN-LSTM网络的齿轮箱健康状况评估*	马亮 蓝志超
146	智能电网质量分析装置设计及实现研究	蔡启兵 徐京生 魏伟等
149	MT250型电动操作机构结构原理及典型故障	刘谊露 姚晓山 杨光等
152	电力变压器直流电阻不平衡故障分析	李双双 郭文红 张晓明等
155	基于半导体冷凝的开关柜水分子含量抑制*	王法 何军 冯杰等
160	电力杆塔部件故障概率评估的知识图谱方法*	魏敏 林世忠 尚文迪
167	近电安全警示装置的防误设计与动态分区警示方法	郑中廷 黄建阳 杨利斌等
171	相控阵检验技术在低压转子检测中的应用	秦金光
175	立体三角卷铁芯变压器磁场分布规律研究*	冷红魁 王耀强 雷涌等
178	一起500 kV变压器呼吸器漏油分析	董超群 苗亚楠 李夏等
181	红外焦平面探测器海量数据的UDP高速传输设计*	陈雅轩 陈仁 白伟

## 系统解决方案

185	离散型制造业结构化工艺任务表单设计方法	赵云峰 夏宁 杨晓云等
188	110 kV变电站综合自动化设计研究	周耀辉 张斌 代立君等
192	粤港澳大湾区城际与城轨信号系统互联互通方案研究	朱云波
195	220 kV变电站区外故障母线动作波形特征解析	王世祥 钟叶斌
198	智能变电站监控后台改造自动校核技术	王健 滕井玉 欧靖等
201	地区电网适应新型电力系统发展的探讨和建议	罗九根
204	基于数据驱动的火电厂关键辅机设备故障诊断技术	肖琦 林杰
207	电力系统韧性预防能力及提升策略研究	刘乾晖 赵开联 杨乔丹
213	工业用户中断和错时可调节潜力评估指标体系构建*	陶岩 睢媛媛 南钰等
216	基于EEMD与小波阈值的配电线路单相接地故障诊断	鲁一凡 钟睿丰
219	关于变电站直流接地故障处理方法的探讨	沙晟田 刘宇浩 杨宝林等
222	考虑蓄电池容量配置的直流变电站失压补偿方法	张校宾

# ELECTRIC ENGINEERING

(Automatic Control) No.2

## CONTENTS

### Automatic Control

- 1 Design of Intelligent Inspection System for Underground Cable Channel of Substation Based on PLC ..... QIAO Xinhui ZHENG Yu XU Qingshi et al
- 4 Fault Analysis and Reliability Transformation of Condensate Precision Treatment Control System of Unit ..... LI Pengfei CHEN Xiao
- 7 Design of Intelligent Dismantling and Packing System of Energy Meter Based on Image Recognition ..... ZHONG Songhuang ZOU Cong SHAN Weiquan et al
- 10 Axial Power Deviation Control Method During Xenon Oscillation Process in Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plants ..... LU Zhiqi
- 13 Application of Very Early Fire Warning System in Railway Power Distribution Room ..... LI Jijun
- 16 Energy Storage Collaborative Optimization Control for High Penetration Distributed Photovoltaic Power Generation Grid Connection ..... GU Gang
- 19 Research on Intelligent Unattended Ship Unloader System ..... CHEN Yaoming QIN Jianzhu HUANG Xiuxi et al

### New Energy Systems and Equipment

- 22 Improvement of DC Leakage Current Detection System for Negative-Grounded Photovoltaic Station ..... YANG Qinchuan YANG Yunxi
- 25 Improved BOOST Structure Solar Energy Collection Circuit and Its MPPT Control\* ..... ZHENG Jinbing ZHENG Mingcai ZHENG Zhao et al
- 29 Research on Evaluation Method of Large-scale Distributed PV on Power Quality of Distribution Network ..... ZOU Dan WEN Zhechen OUYANG Guang et al
- 32 Linear Active Disturbance Rejection Control Strategy of DC Bus Voltage in Photovoltaic Microgrid ..... HONG Fan ZHU Longji
- 37 Research on VSVPWM Strategy for Three-Level Inverters Based on 60-Degree Coordinate System ..... CHEN Youming DANG Yiling LIU Wanli et al
- 43 Black-start Strategy of Microgrid with Distributed Renewable Power Supply ..... XUE Ruibin
- 47 Inertia Estimation of Power System Based on System Identification ..... WANG Xin MIAO Guixi YUAN Liang et al
- 50 Revenue Model of Pumped Hydro Storage (PHS) Participation in the Electricity Market ..... ZHUO Yifeng ZHOU Zhanyong YANG Mengsi et al
- 54 Multi-parameter Forecast Analysis of Wind Power Considering the Uncertainty of Power System Dispatching Demand\* ..... LI Shaohua
- 57 Research on Distribution Network Form Under New Power System ..... TAO Fucheng SUN Xiao
- 60 The Novel Adaptive Virtual Synchronous Control of Doubly-fed Induction Generator Wind Turbines ..... DENG Yuqi WEN Jiabao LUO Jialiang et al
- 63 Design and Implementation of PV Module Monitoring System Based on Spread Spectrum Communication\* ..... DING Haonan SHAO Guirong WU Yijing et al

### Artificial Intelligence and Sensing Technology

- 66 Research on the Design of the Power IMS Service Capability Open Platform ..... LIU Xu MEI Zengyang BAI Yang et al
- 71 Optimization of New Energy Planning Scheme in Hydropower Station Area Based on Improved Particle Swarm Algorithm ..... LIU Wenxia LI Longyuan HE Xianggang et al
- 74 Design and Application of Online Monitoring System Based on Multi-Sensor Deep Fusion Photo Voltaic Power Station ..... FAN Xinhua
- 78 Global MPPT Control of PV Shadows Based on Improved Squirrel Search Algorithm ..... LIU Qian LU Shangjun LUO Zijun et al
- 82 Automatic Detection Method for Insulation Faults of Distribution Network Bypass Cables Based on Improved Wavelet Entropy ..... XU Kai ZHAO Shiyu YANG Haoyi et al
- 85 Design of an Electrical Equipment Condition Monitoring and Early Warning System Based on Deep Learning ..... SHANG Zixin LI Xupeng ZHU Wenjing et al
- 89 Design of Automatic Sorting System Based on Machine Vision ..... YE Zhuhui
- 92 Research on Real-Time Monitoring of Urban and Rural Power Grid Based on Intelligent Sensing Technology ..... ZHANG Dongyi WANG Man

- 95 Research on the Application of Deep Learning in Fault State Detection of Power Transmission and Transformation Equipment ..... FAN Huiwen
- 98 Research on Hydro-generator Vibration Fault Diagnosis System Based on Data-Driven and Knowledge Base ..... WANG Ziyang HAN Ning CHEN Yong

## Power Automation

- 102 A Collaborative Control Method of Source Network Load and Storage for Microgrid Systems Based on Ensemble Learning ..... ZHU Yupeng ZHANG Chengyu FANG Shuai
- 105 Power Equipment Operation Status Monitoring and Fault Warning System Based on Big Data ..... YAO Haifeng
- 109 Research on Intelligent Distributed Coal Mine Power Supply Anti-override Trip System Based on the Area-protection of Principle\* ..... LEI Fukun
- 114 Fault Identification and Protection Method of 10 kV Line Break Based on Zero Sequence Voltage Difference Starting\* ..... LIU Chang GUO Jinkun JIANG Meng et al
- 120 Digital Testing Technology for Long Distance Loop Resistance Based on Wireless Transmission ..... LIU Jiayu WEI Gang WU Xueying et al
- 123 Research and Application of New Energy Panoramic Monitoring and Lean Control Technology\* ..... DAI Guangwu LI Longlong ZHAO Qingchun et al
- 128 A Single Plug-in Automatic Test System for FTU Based on Embedded System ..... MA Lei SHUANG Zhonghao CHANG Yuan et al
- 131 Research on 5G Communication Architecture and Delay Reliability of Distribution Network ..... YIN Shichao
- 134 A Unified Direct Control Strategy for MMC Based on Soft Open Point Interconnection System ..... DONG Mei

## Electrical Equipment

- 140 Gearbox Health Evaluation Based on GAN-LSTM Network\* ..... MA Liang LAN Zhichao
- 146 Design and Implementation of Quality Analysis Device for Smart Grid ..... CAI Qibing XU Jingsheng WEI Wei et al
- 149 Structure Principle and Typical Fault of MT250 Electric Operating Mechanism ..... LIU Yilu YAO Xiaoshan YANG Guang et al
- 152 Fault Analysis of Unbalanced DC Resistance of Power Transformer ..... LI Shuangshuang GUO Wenhong ZHANG Xiaoming et al
- 155 Research on Water Molecular Content Inhibition of High-voltage Switch Cabinet Based on Semiconductor Condensation\* ..... WANG Fa HE Jun FENG Jie et al
- 160 Method for Evaluating Fault Probability of Power Transmission Tower Components Based on Knowledge Graph\* ..... WEI Min LIN Shizhong SHANG Wendi
- 167 Anti-mistouch Design and Dynamic Warning Zone Division for Near-electricity Warning Devices ..... ZHENG Zhongting HUANG Jianyang YANG Libin et al
- 171 Phased Array Technology in the Application of Low-pressure Rotor Inspection ..... QIN Jinguang
- 175 Study on Magnetic Field Distribution Law of Three-dimensional Triangular Roll Iron Core Transformer\* ..... LENG Hongkui WANG Yaoqiang LEI Yong et al
- 178 Analysis of Oil Leakage Analysis of 500 kV Transformer Respirator ..... DONG Chaoqun MIAO Yanan LI Xia et al
- 181 Design of UDP High-speed Transmission of Massive Data for Infrared Focal Plane Array Detectors\* ..... CHEN Yaxuan CHEN Ren BAI Wei

## System Solution

- 185 Design Method of Structured Process Task Forms for Discrete Manufacturing Industries ..... ZHAO Yunfeng XIA Ning YANG Xiaoyun et al
- 188 Research on the Integrated Automation Design of 110 kV Substation ..... ZHOU Yaohui ZHANG Bin DAI Lijun et al
- 192 Research on Interconnection Scheme of Intercity Railway and Urban Rail Transit Signaling System in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area ..... ZHU Yunbo
- 195 Analysis of the Waveform Characteristics of a 220 kV Transformer Substation Busbar External Fault ..... WANG Shixiang ZHONG Yebin
- 198 Research on Automatic Verification Technology for the Transformation of Supervision Control System in Intelligent Substation ..... WANG Jian TENG Jingyu OU Jing et al
- 201 Discussion and Suggestion on Regional Power Grid Adapting to the Development of New Power System ..... LUO Jiugen
- 204 Data-driven Fault Diagnosis Technology for Key Auxiliary Equipment in Thermal Power Plants ..... XIAO Qi LIN Jie
- 207 Research on Preventive Ability and Promotion Strategy of Power System Toughness ..... LIU Qianhui ZHAO Kailian YANG Qiaodan
- 213 Evaluation Index System Construction of Interruption and Time-shift Adjustment Potential for Industrial Users\* ..... TAO Yan SUI Yuanyuan NAN Yu et al
- 216 Diagnosis of Single-phase Grounding Faults in Distribution Lines Based on EEMD and Wavelet Threshold ..... LU Yifan ZHONG Ruifeng
- 219 Discussion on Methods for Handling DC Grounding Fault in Substation ..... SHA Shengtian LIU Yuhao YANG Baolin et al
- 222 Voltage Loss Compensation Method for DC Substation Considering Battery Capacity Configuration ..... ZHANG Xiaobin