

# 电气技术

ELECTRICAL ENGINEERING

11  
2025

第26卷 第11期  
(总第314期)

## 真安型直流断路器

储能用 零飞弧

铜排



DC1500V/2P



DC3000V/2P

ISSN 1673-3800



SVRU 天津首瑞智能电气有限公司  
TianjinSVRUI Intelligent Electrical Apparatus Co., Ltd.



# 电气技术

DIANQI JISHU

主管单位 中国科学技术协会  
主办单位 中国电工技术学会

《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊  
《中国期刊全文数据库》(CJFD)全文收录期刊  
《中国学术期刊文摘》(CSAC)收录期刊  
《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊  
超星域出版平台收录期刊  
RCCSE 中国准核心学术期刊  
CACJ 中国应用型核心期刊

2000 年创刊·月刊  
第 26 卷第 11 期(总第 314 期)  
2025 年 11 月 15 日出版

## 《电气技术》第六届编辑委员会

主任委员 王秋良

副主任委员 唐 炬

委 员 (按姓氏笔画排序)

兀鹏越 马文忠 马俊鹏 王 卫 王玉琴 王春华 王洪智 元复兴 韦统振 卞星明 邓富金 付银仓 付 强  
兰志勇 刘扬洋 刘进军 刘 杰 刘 炜 刘清瑞 安志国 许 烽 许 寅 许德智 孙 涌 阳同光 严陆光  
李立毅 李 争 李 进 李建林 李崇坚 李 斌 杨津听 杨晓峰 杨爱军 杨 强 肖 迁 肖 淞 吴淑群  
宋洪磊 张文亮 张立伟 张 灵 张洪阳 张银峰 陈 俊 苑 舜 周亚宁 周远翔 周孝信 郑天文 单 晖  
赵 峰 南 寅 袁立强 耿英三 顾伟峰 顾国彪 徐丙垠 徐建军 奚大华 唐任远 黄旭虹 黄际元 黄金杰  
商立群 彭 晶 韩 杨 雷二涛 鲍海波 熊 瑞

顾 问 陆燕荪 沈烈初 孙昌基 周鹤良

社 长 闫 卓

副 社 长 王文光

主 编 王秋良

执行主编 唐 炬

副 主 编 李建林 杨晓峰 肖 淞

责任编辑 阴柳霞

地 址 北京市西城区莲花池东路 102 号天莲大厦 10 层  
邮 编 100055  
电 话 010-63256943(编辑部) 010-63256838(报道部)  
010-63256867(广告部) 010-63256817(发行部)

网 址 www.cesmedia.cn  
邮 箱 dianqijishu@126.com(编辑部)  
cesmedia@126.com(市场部)

新 媒 体 “电气技术”微信号: CES 电气  
“电工技术学报”微信号: dgjxb  
今日头条号: 电气技术  
新浪官方微博: @电气技术杂志社

出 版 单 位 《电气技术》杂志社有限公司

印 刷 廊坊市蓝海德彩印有限公司

发 行 范 围 国内外公开发行

国 内 定 价 10.00 元/期  
120.00 元/年

中国标准连续出版物号 ISSN 1673-3800  
CN 11-5255/TM

广告经营许可证 京西工商广字第 20170092 号

户 名 《电气技术》杂志社有限公司

开 户 银 行 工商银行北京礼士路支行

账 号 0200 0036 0920 1115 091

## 版权声明

向我刊投稿的作者需要保证拥有所投文章的全部版权,文章一经在《电气技术》杂志上发表,则视为作者同意将该文章的版权(包括电子出版、多媒体出版、网络出版及以其他形式出版的权利)自动转让给本刊。

本刊已许可中国知网、万方数据、重庆维普数据、超星域出版平台等机构在其系列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。上述机构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我刊上述声明。

# Electrical Engineering

(Monthly, Started in 2000)

Vol.26 No.11 (Serial No.314)

November 15, 2025

## The 6<sup>th</sup> Editorial Committee of Electrical Technology

**Director Member:** WANG Qiuliang (academician)

**Vice Director Member:** TANG Ju

### Member:

|                |                            |               |                |
|----------------|----------------------------|---------------|----------------|
| WU Pengyue     | MA Wenzhong                | MA Junpeng    | WANG Wei       |
| WANG Yuqin     | WANG Chunhua               | WANG Hongzhi  | YUAN Fuxing    |
| WEI Tongzhen   | BIAN Xingming              | DENG Fujin    | FU Yincang     |
| FU Qiang       | LAN Zhiyong                | LIU Yangyang  | LIU Jinjun     |
| LIU Jie        | LIU Wei                    | LIU Qingrui   | AN Zhiguo      |
| XU Feng        | XU Yin                     | XU Dezhi      | SUN Yong       |
| YANG Tongguang | YAN Luguang (academician)  | LI Liyi       | LI Zheng       |
| LI Jin         | LI Jianlin                 | LI Chongjian  | LI Bin         |
| YANG Jinting   | YANG Xiaofeng              | YANG Aijun    | YANG Qiang     |
| XIAO Qian      | XIAO Song                  | WU Shuqun     | SONG Honglei   |
| ZHANG Wenliang | ZHANG Liwei                | ZHANG Ling    | ZHANG Hongyang |
| ZHANG Yinfeng  | CHEN Jun                   | YUAN Shun     | ZHOU Yaning    |
| ZHOU Yuanxiang | ZHOU Xiaoxin (academician) | ZHENG Tianwen | SHAN Hui       |
| ZHAO Feng      | NAN Yin                    | YUAN Liqiang  | GENG Yingsan   |
| GU Weifeng     | GU Guobiao (academician)   | XU Bingyin    | XU Jianjun     |
| XI Dahua       | TANG Renyuan (academician) | HUANG Xuhong  | HUANG Jiyuan   |
| HUANG Jinjie   | SHANG Liquan               | PENG Jing     | HAN Yang       |
| LEI Ertao      | BAO Haibo                  | XIONG Rui     |                |

**Competent Authorities:** China Association for Science and Technology

**Sponsor:** China Electrotechnical Society

**Editor and Publisher:** Electrical Technology Press Co., Ltd.

**Printing:** Langfang Lanhaide Color Printing Co., Ltd.

**President:** YAN Zhuo

**Vice President:** WANG Wenguang

**Editor-in-Chief:** WANG Qiuliang

**Associate Editor-in-Chief:** LI Jianlin, YANG Xiaofeng, XIAO Song

**Responsible Editor:** YIN Liuxia

**Publication Number:** ISSN 1673-3800

**Address:** 10th F., Tianlian Building, #102, Lianhuachidong Road, Xicheng District, Beijing, 100055, China

**Tel:** +86-010-63256943

**E-mail:** dianqijishu@126.com

**Website:** www.cesmedia.cn

## 目次

### 新型储能调频技术

- 1 水系有机液流电池储能耦合火电机组调频技术研究与应用 ..... 刘旭华 薛晓峰 林怡玢 李刚 王晶
- 7 熔盐储能辅助火电机组调频技术应用研究 ..... 岳增刚 张凤雷 代本谦 兀鹏越 谢佳
- 11 基于面积判定法与动态门控网络的混合储能调频指令预测方法 ..... 李志鹏 姜楠 兀鹏越 孙国辉 董树鑫
- 18 超级电容储能在新型电力系统短时高频功率补充场景中的应用 ..... 李菁华 兀鹏越 李更丰 李敏 武强

### 工程教育研究

- 27 计算思维与批判性思维毕业要求观测点的课程支撑设计 ..... 段斌 周静 石金晶 旷怡
- 34 面向无线电测量技术的虚拟仿真实验教学方法 ..... 陈真佳 何雨霏 褚松坤 王立辉
- 39 人工智能赋能“电子技术”教学新活力 ..... 季利鹏 付赏 王陆平
- 43 人工智能赋能“电子类专业导论”课程改革的路径研究 ..... 康娟 王乐 孟彦龙 房双强 李晨霞
- 48 跨学科融合研究——以“物联网+智慧农业”为例 ..... 曾德斌 施明登 韩清华 陈文绪 郑良芳

### 技术与应用

- 53 光伏发电系统最优容配比的分析与验证方法 ..... 柯学进
- 58 无线金属氧化物避雷器在线监测系统关键技术研究 ..... 陈志刚 李向君 崔龙飞 祁峰 刘迎辉
- 64 基于非支配排序遗传算法的 10 kV 配电线路故障自动识别技术 ..... 付丽伟 高维钊 李名泰 刘轩豪 贾健宇
- 70 抽水蓄能电厂磁场断路器合闸失败故障分析及回路优化 ..... 全观铖 闫文斌 朱明岗
- 75 特高压直流数字化系统中的控制保护逻辑分析判定与反演方法 ..... 韩芳芳 刘建国 王月洋 马雯雯 马文玲
- 80 一起 500 kV 氧化锌避雷器断裂故障原因分析及处理 ..... 陈庆军 李国光 徐海

## Contents

### ***Technologies of New-Type Energy Storage for Frequency Regulation***

- 1 Research and application of aqueous organic redox flow battery storage for coal-fired power frequency regulation ..... LIU Xuhua XUE Xiaofeng LIN Yibin LI Gang WANG Jing
- 7 Application of molten salt energy storage in thermal power unit frequency regulation ..... YUE Zenggang ZHANG Fenglei DAI Benqian WU Pengyue XIE Jia
- 11 A hybrid energy storage frequency regulation instruction prediction method based on area determination method and dynamic gated network..... LI Zhipeng JIANG Nan WU Pengyue SUN Guohui DONG Shuxin
- 18 Application of supercapacitor energy storage in short-time and high-frequency power supplementation scenes in new-generation power system..... LI Jinghua WU Pengyue LI Gengfeng LI Min WU Qiang

### ***Engineering Education Research***

- 27 Curriculum support design for graduation requirement observation points in computational thinking and critical thinking ..... DUAN Bin ZHOU Jing SHI Jinjing KUANG Yi
- 34 A virtual simulation experimental teaching method for radio measurement technology ..... CHEN Zhenjia HE Yufei CHU Songkun WANG Lihui
- 39 Empowering “electronic technology” education with new vitality through artificial intelligence ..... JI Lipeng FU Shang WANG Luping
- 43 Research on artificial intelligence-empowered curriculum reform of “introduction to electronic majors” ..... KANG Juan WANG Le MENG Yanlong FANG Shuangqiang LI Chenxia
- 48 Interdisciplinary integration research: taking “Internet of Things+Smart Agriculture” as an example ..... ZENG Debin SHI Mingdeng HAN Qinghua CHEN Wenxu ZHENG Liangfang

### ***Technology & Application***

- 53 A method of analyzing and validating the optimal capacity ratio of photovoltaic power generation system ..... KE Xuejin
- 58 Research on key technologies of metal oxide arrester online monitoring system based on long range radio ..... CHEN Zhigang LI Xiangjun CUI Longfei QI Feng LIU Yinghui
- 64 Automatic identification technology of faults for 10 kV distribution lines based on non-dominated sorting genetic algorithm II ..... FU Liwei GAO Weizhao LI Mingtai LIU Xuanhao JIA Jianyu
- 70 Fault analysis and circuit optimization of field circuit breaker closing failure in pumped storage power plants ..... QUAN Guancheng YAN Wenbin ZHU Minggang
- 75 Control and protection logic analysis and inversion method in ultra-high voltage direct current digital system ..... HAN Fangfang LIU Jianguo WANG Yueyang MA Wenwen MA Wenling
- 80 Analysis and treatment of a 500 kV zinc oxide lightning arrester fracture fault ...CHEN Qingjun LI Guoguang XU Hai



# CM6系列 塑料外壳式断路器 品质匠心 全新演绎

- 全系列Ui达1000V, 加强绝缘设计, 隔离功能增强;
- 体积小巧, 分断能力增强, 相比上一代体积减少25%,  $I^2t$ 减少20%;
- CM6/CM6Z/CM6L 标准化安装尺寸, 附件多, 可视化;
- 智能互联、标配USB, 可选各类数字模块, 功能丰富。



常熟开关制造有限公司 (原常熟开关厂)

CHANGSHU SWITCHGEAR MFG. CO., LTD. (FORMER CHANGSHU SWITCHGEAR PLANT)

更多信息敬请关注: [www.riyue.com.cn](http://www.riyue.com.cn)

