

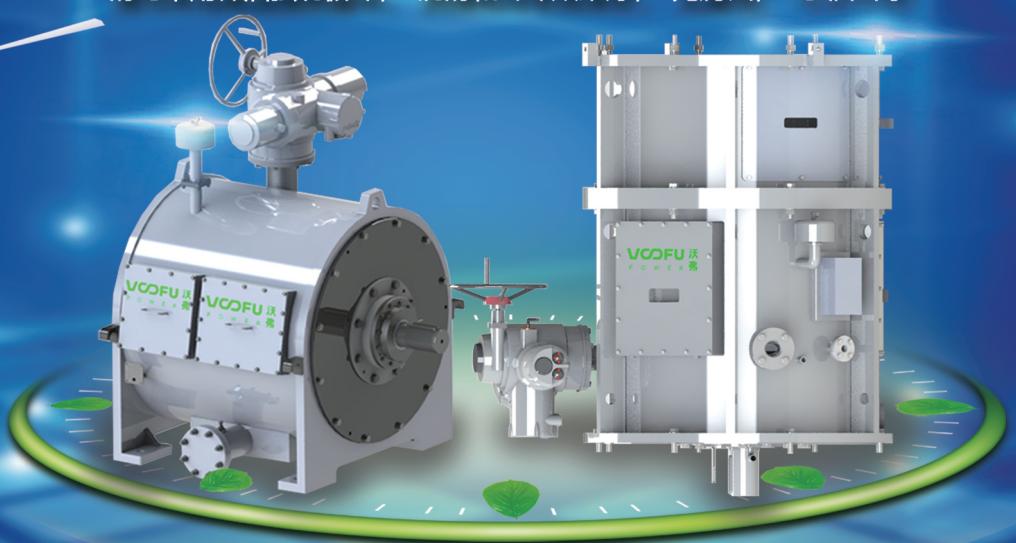
# 中国电力

VODFU  
SCIENCE

## 5000kW 油冷永磁调速器

轻载启动 ■ 无级平滑 ■ 高效节能

应用于风机、泵类离心负载调速节能技术改造。冷却和轴承润滑均采用稀油强制循环，润滑和冷却效果好，无腐蚀，可靠性高！

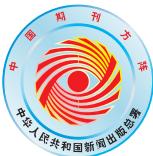


沃弗永磁科技 400 920 3811

上海公司：上海市松江区洞泾镇洞业路 55 号  
安徽公司：合肥市高新区创新产业园 A1 栋

产品荣获国家发明专利、工信部国家工业节能技术、省级“五个一百”节能推介目录，主体五年免维护。

ISSN 1004-9649





# 中国电力

ZHONGGUO DIANLI

第 53 卷第 11 期 2020 年 11 月

## 目 次

### 《中国电力》编辑委员会

名誉主任委员 舒印彪

主任委员 张运洲

副主任委员

陈维江 陈小良 蒋敏华 王成山

叶 泽 康重庆 朱法华

顾问委员(按姓氏笔画排序)

王志轩 卢 强 史玉波 刘吉臻

杜祥琬 周孝信 黄其励 韩祯祥

潘自强 薛禹胜

委员(按姓氏笔画排序)

丁 明 王继业 王锡凡 王耀华

文福拴 甘德强 司马文霞 刘建明

汤广福 孙献斌 李若梅 李明节

李庚银 邱忠涛 何金良 余 军

余贻鑫 辛耀中 汪小刚 沈 沉

宋永华 张伯明 张保会 陈 新

岳光溪 庞 辉 胡兆光 姚良忠

姚 强 徐 政 郭经红 郭剑波

曹一家 程时杰 程浩忠 翟永平

穆 钢

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) Jianhui WANG (USA)

Xiaofeng ZHANG (USA) Henry ZHAO (USA)

Suyan ZHOU (France)

主 编 汤广福 王耀华

副 主 编 康重庆 朱法华 方 彤 李 琼

本期执行主编 张重实

责任编辑 李 博 张 燕 张子龙 许晓艳

蒋东方 吴恒天 杨 彪

发行广告 孙 洁 王瑞民

### 国家“十三五”智能电网重大专项专栏：(二)电能质量及其治理技术专栏

用于低频非平稳间谐波研究的超高功率电弧炉模型

..... 林才华, 张逸, 邵振国, 林芳, 黄道姗, 林焱 (1)

基于平均点线距的电压暂降系统级评估方法

..... 钟庆, 姚蔚琳, 许中, 周凯, 王钢 (9)

基于超级电容储能型 MMC 的控制策略

..... 李磊, 陶骏, 朱明星, 樊渊 (15)

弱电网条件下多 APF 并网交互影响分析

..... 王何, 李雨佳, 尹忠东, 汪章明, 赵海森 (23)

含大规模光伏并网的弱送端系统的电压稳定性

..... 肖峰, 韩民晓, 唐晓骏, 张鑫 (31)

综合配网谐波及三相不平衡评价指标的治理设备优化配置策略

..... 卓放, 杨泽斌, 易皓, 杨光宇, 王蒙, 阴晓晴, 朱承治 (40)

供用电双方满意的电压暂降治理增值服务策略

..... 张博, 唐钰政, 代双寅, 陈韵竹, 王盼盼, 肖先勇 (50)

对称性和波动性约束的居民负荷谐波发射水平评估

..... 张华赢, 朱明星, 时亨通, 汪清, 李鸿鑫, 高敏 (60)

### 新能源电力系统源网荷储协调运行技术专栏

考虑容量分布的电热器和蓄热器分布式优化配置方法

..... 朱子琪, 张维涛, 韩明亮, 张文松 (69)

基于灵活性裕度的含风电电力系统源荷储协调滚动调度

..... 黄鹏翔, 周云海, 徐飞, 崔岱, 葛维春, 陈晓东, 李铁, 姜枫 (78)

能源互联网多能量枢纽合作议价模型

..... 朱西平, 付迁, 李恣霖, 罗健, 王登松 (89)

计及热力系统热特性的热源容量优化配置及经济性分析

..... 许彦平, 黄越辉, 孙勇, 曹政 (97)

### 电网

直流母线过压对风电机组高电压穿越影响

..... 张光儒, 拜润卿, 朱宏毅, 杨勇, 徐宏雷, 马喜平, 董开松 (106)

西藏“十四五”电力发展重点探讨 ..... 张立锋, 何志强, 张金枝 (111)

基于随机矩阵理论和聚类算法的电能表运行状态评估方法

..... 程瑛颖, 杜杰, 周全, 张家铭, 张晓勇, 李刚 (116)

图像识别在特高压换流阀元件故障在线监测系统的应用

..... 蒋晶, 赵洋洋, 樊宏伟, 周振宇, 董朝阳, 杨青波, 王晓丽 (126)

“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)  
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

智能微型断路器抗强磁干扰技术 ..... 熊德智,陈向群,李文文,刘小平,杨茂涛,张保亮  
基于滑窗 FFT 的次同步振荡时变幅频在线监测方法 ..... 杨京,王彤,唐俊刺  
电流互感器密封失效引起的绝缘故障 ..... 李予全,寇晓适,张少峰,邵颖彪,赵永峰,朱华,张逸凡,郑含博  
基于 PSCAD/EMTDC 的大规模新能源并网电磁暂态并行仿真 ..... 曹斌,王立强,赵永飞,张秀琦  
输电线路杆塔攀爬巡视机器人研制 ..... 卫晓东,李易,李祺,梅佳,李庆梅,周立民,王志军,刘达  
基于双端行波法的电缆线路短路故障定位改进 ..... 柴鹏,周灏,张煜,赵文杰,杨潇,周苗,李明贞

## 新能源

DFIG 风电机组协同 SVG 抑制电网低频振荡方法 ..... 杨蕾,甘维公,李胜男,周鑫,和鹏,何鑫,张杰,王德林  
基于 PLC 的槽式光热太阳能追踪控制系统的研究与应用 ..... 王奔,牛洪海,徐卫峰,蔡丹,陈俊  
海上风电场无功配置优化方案 ..... 杨源,阳熹,谭江平,陈亮,辛妍丽,陈夏

## 发电

智慧化全数字技术及其在电厂中的应用 ..... 张文建,梁庚,李庚达,崔青汝  
基于 T-S 模糊模型的燃气轮机系统负荷跟踪多目标预测控制 ..... 侯国莲,戴晓燕,弓林娟,徐海鑫,张建华  
云遮挡条件下熔融盐吸热管防护的数值模拟 ..... 冯蕾,肖刚,郭磊,杨承刚,廖海燕  
低负荷吹灰对超临界锅炉水冷壁超温影响的试验研究 ..... 王洋,朱晓昕,陈铭,汪华剑,房凡,朱伟建

## 节能与环保

W 火焰锅炉 SCR 分区混合动态调平技术及应用 ..... 许剑,罗志,周鑫,李文杰,黄少波,常磊,王晓冰,牛国平,张广才  
燃煤发电机组超低排放改造前后汞排放规律对比研究 ..... 王宏亮,许月阳,薛建明,刘涛,管一明  
凝结水精处理再生废水减量及资源化研究 ..... 王园园,高艳锋,胡大龙,孟龙,李健博,李俊苑,王璟,李昭

## 中国电力

(月刊, 1956 年创刊)  
第 53 卷第 11 期(总第 624 期)  
2020 年 11 月 5 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.chinapower.org  
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: 50.00 元/期  
600.00 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: ISSN 1004-9649  
CN 11-3265/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。

## MAIN CONTENTS

### Special Columns on Smart Grid Key Projects of the 13th Five-Year Plan: (2)Power Quality Analysis and Control Technology

- An Ultra-high-power Electric Arc Furnace Model for Low-Frequency Non-stationary Inter-harmonics Studies ..... LIN Caihua, ZHANG Yi, SHAO Zhenguo, LIN Fang, HUANG Daoshan, LIN Yan (8)  
A System Assessment Method for Voltage Sag Severity Based on Average Point-To-Line Distance Index ..... ZHONG Qing, YAO Weilin, XU Zhong, ZHOU Kai, WANG Gang (14)  
Control Strategy for MMC Based on Super-Capacitor Energy Storage ..... LI Lei, Jun TAO, ZHU Mingxing, FAN Yuan (22)  
Analysis on Interactive Influences among Multiple APFs Connected to Weak-structured Power System ..... WANG He, LI Yujia, YIN Zhongdong, WANG Zhangming, ZHAO Haisen (88)  
Voltage Stability of Weak Sending-end System with Large-Scale Grid-connected Photovoltaic Power Plants ..... XIAO Feng, HAN Minxiao, TANG Xiaojun, ZHANG Xin (39)  
Optimal Allocation Strategy for Power Quality Control Devices Based on Harmonic and Three-Phase Unbalance Comprehensive Evaluation Indices for Distribution Network ..... ZHUO Fang, YANG Zebin, YI Hao, YANG Guangyu, WANG Meng, YIN Xiaoqing, ZHU Chengzhi (49)

- Value-added Service Strategy of Voltage Sag Governance for Mutual Satisfaction of Power Supply Companies and Power Users ..... ZHANG Bo, TANG Yuzheng, DAI Shuangyin, CHEN Yunzhu, WANG Panpan, XIAO Xianyong (59)  
Assessment on Harmonic Emission Level of Residential Loads with Symmetry and Volatility Constraints ..... ZHANG Huaying, ZHU Mingxing, SHI Hengtong, WANG Qing, LI Hongxin, GAO Min (68)

### Coordinated Operation Technique Between Generation, Network, Load, Storage of New Energy Power System

- Optimal Distributed Configuration of Electric Heater and Heat Storage Considering Capacity Distribution ..... ZHU Ziqi, ZHANG Weitao, HAN Mingliang, ZHANG Wensong (77)  
Source-Load-Storage Coordinated Rolling Dispatch for Wind Power Integrated Power System Based on Flexibility Margin ..... HUANG Pengxiang, ZHOU Yunhai, XU Fei, CUI Dai, GE Weichun, CHEN Xiaodong, LI Tie, JIANG Feng (88)  
Model of Multi-energy Hub Cooperative Bargaining in Energy Internet ..... ZHU Xiping, FU Qian, LI Zilin, LUO Jian, WANG Dengsong (96)  
Optimal Capacity Allocation of Heat Power Supply and Its Economic Analysis Considering Thermal Characteristics of Heat Energy System ..... XU Yanping, HUANG Yuehui, SUN Yong, CAO Zheng (105)

### Power System

- Influence of Converter DC Bus Overvoltage on Wind Turbine High Voltage Ride Through Capabilities ..... ZHANG Guangru, BAI Runqing, ZHU Hongyi, YANG Yong, XU Honglei, MA Xiping, DONG Kaisong (125)  
Discussion on Focus of Power Development in Tibet during the 14th Five-Year Plan ..... ZHANG Lifeng, HE Zhiqiang, ZHANG Jinzhi (138)  
Evaluation Method for Running State of Electricity Meters Based on Random Matrix Theory and Clustering Algorithm ..... CHENG Yingying, DU Jie, ZHOU Quan, ZHANG Jiaming, ZHANG Xiaoyong, LI Gang (125)  
Application of Image Recognition in On-Line Monitoring System of UHVDC Valve Element Faults ..... JIANG Jing, ZHAO Yangyang, FAN Hongwei, ZHOU Zhenyu, DONG Chaoyang, YANG Qingbo, WANG Xiaoli (132)  
Anti-strong Magnetic Interference Technology of Intelligent Miniature Circuit Breaker ..... XIONG Dezh, CHEN Xiangqun, LI Wenwen, LIU Xiaoping, YANG Maotao, ZHANG Baoliang (138)  
Subsynchronous Oscillation Time-varying Amplitude Frequency On-Line Monitoring Method Based on Sliding Window FFT ..... YANG Jing, WANG Tong, TANG Junci (146)  
Insulation Fault Caused by Current Transformer Seal Failure ..... LI Yuquan, KOU Xiaoshi, ZHANG Shaofeng, SHAO Yingbiao, ZHAO Yongfeng, ZHU Hua, ZHANG Yifan, ZHENG Hanbo (174)  
Electromagnetic Transient Parallel Simulation of Large-Scale New Energy Grid Connection Based on PSCAD/EMTDC ..... CAO Bin, WANG Liqiang, ZHAO Yongfei, ZHANG Xiuqi (161)  
Development of Climbing Inspection Robot for Power Towers ..... WEI Xiaodong, LI Yi, LI Qi, MEI Jia, LI Qingmei, ZHOU Limin, WANG Zhijun, LIU Da (167)  
Short-Circuit Fault Location for Power Cables Based on Improved Two-Terminal Traveling Wave Method ..... CHAI Peng, ZHOU Hao, ZHANG Yu, ZHAO Wenjie, YANG Xiao, ZHOU Miao, LI Mingzhen (174)

### New Energy

- Method of DFIG Cooperating with SVG to Suppress Low-Frequency Oscillation in Power Systems ..... YANG Lei, GAN Weigong, LI Shengnan, ZHOU Xin, HE Peng, HE Xin, ZHANG Jie, WANG Delin (201)  
Research and Application of Parabolic Sun-tracking System Based on PLC ..... WANG Ben, NIU Honghai, XU Weifeng, CAI Dan, CHEN Jun (194)  
Optimization of Reactive Power Configuration for Offshore Wind Farms ..... YANG Yuan, YANG Xi, TAN Jiangping, CHEN Liang, XIN Yanli, CHEN Xia (201)

### Generation Technology

- Intelligent Full-Digital Technology and Its Applications in Power Plant ..... ZHANG Wenjian, LIANG Geng, LI Gengda, CUI Qingru (211)  
Multi-objective Predictive Control of Gas Turbine System Based on T-S Fuzzy Model ..... HOU Guolian, DAI Xiaoyan, GONG Linjuan, XU Haixin, ZHANG Jianhua (226)  
Numerical Simulations on the Protection of the Molten Salt Thermal Tube under Cloud Occlusion ..... FENG Lei, XIAO Gang, GUO Lei, YANG Chenggang, LIAO Haiyan (226)  
Experimental Studies on the Influence of Soot Blowing on the Overheating of Water Wall Pipes under Low Loads in Supercritical Boilers ..... WANG Yang, ZHU Xiaoxin, CHEN Ming, WANG Huajian, FANG Fan, ZHU Weijian (233)

### Energy Conservation and Environmental Protection

- SCR Zone-Based Hybrid Dynamic Leveling Technology and Its Application for W-Flame Boiler ..... XU Jian, LUO Zhi, ZHOU Xin, LI Wenjie, HUANG Shaobo, CHANG Lei, WANG Xiaobing, NIU Guoping, ZHANG Guangcai (242)  
Comparative Study on the Characteristics of Mercury Emission from Coal-Fired Plants before and after Ultra-Low Emission Retrofitting ..... WANG Hongliang, XU Yueyang, XUE Jianming, LIU Tao, GUAN Yiming (251)  
Study on Reduction and Recycling of the Regenerated Wastewater from Condensate Polishing ..... WANG Yuanyuan, GAO Yanfeng, HU Dalong, MENG Long, LI Jianbo, LI Junwan, WANG Jing, LI Zhao (256)