

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

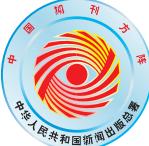
上海公司：上海市松江区洞泾镇洞业路 55 号
安徽公司：合肥市高新区创新产业园 A1 栋

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



9 771004 964209





中国电力

ZHONGGUO DIANLI
第 53 卷第 12 期 (卷终) 2020 年 12 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 瞿永平

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 许晓艳

责任编辑 李 博 张 燕 张子龙 张重实
蒋东方 吴恒天 杨 彪

发行广告 孙 洁 王瑞民

专稿

中国电力市场建设路径及市场运行关键问题

..... 马莉, 范孟华, 曲昊源, 李捷, 赵铮, 武泽辰, 陈珂宁 (1)

国家“十三五”智能电网重大专项专栏：（三）高压大功率 IGBT 及应用技术专栏

多芯片并联压接式 IGBT 中温度不均对电流分布的影响

..... 邓真宇, 陈民铀, 赖伟, 李辉, 王晓, 李金元, 杜耀婷 (10)

功率器件高温高湿高压反偏测试研究综述

..... 王延浩, 邓二平, 黄永章 (18)

4 500 V 沟槽栅 IGBT 芯片的设计与研制

..... 李立, 王耀华, 高明超, 刘江, 金锐 (30)

压接 IGBT 器件并联子模组热阻分布实验研究

..... 韩鲁斌, 梁琳, 康勇 (37)

IGBT 器件封装用有机硅凝胶宽频介电特性与温度影响

..... 毛塬, 李学宝, 项佳宇, 赵志斌, 崔翔 (45)

IGBT 模块的热设计概述

..... 刘国友, 王彦刚, 罗海辉, 齐放, 李想, 吴义伯 (55)

大功率压接型 IGBT 器件中的机械应力研究

..... 唐新灵, 林仲康, 张西子, 燕树民, 苏冰, 王亮, 韩荣刚, 石浩 (62)

城镇地区分布式多能互补能源系统关键技术专栏

多能互补系统全寿命周期优化配置方法

..... 寇凌峰, 季宇, 吴鸣, 牛耕 (75)

考虑电动汽车用户满意度的微网分层优化调度策略

..... 于会群, 尹申, 张浩, 时珊珊, 彭道刚, 蔡国顺 (83)

典型区县综合能源服务实施路径比较分析

..... 孙强, 陈倩, 潘杭萍, 雍维桢, 陈洋, 王建学 (92)

计及源荷双侧不确定性的全可再生能源系统日前经济调度

..... 余帆, 牛洪海, 李兵, 赵阳, 陈霖, 管晓晨, 杨玉 (101)

新能源电力系统源网荷储协调运行技术专栏

区域综合能源协调控制技术

..... 华光辉, 胡伟, 荆江平, 吴奕, 沙洲, 陈卫东, 许晓慧 (110)

考虑综合需求响应不确定性的电 - 气综合能源系统优化运行

..... 罗金满, 赵善龙, 封祐钧, 刘卓贤, 董文杰, 杨艳红 (119)

面向弃风消纳的电储能 - 热电分级协调优化方法

..... 杨玉龙, 李湃, 黄越辉, 王桂林, 周义刚 (127)

可再生能源消纳责任权重下的新能源合理弃电率研究

..... 高雷, 苏辛一, 刘世宇 (136)

风 - 光电站中储能系统混合最优配置及其经济性研究

..... 刘永前, 梁超, 阎洁, 张静 (143)

电网

特高压交流 GIL 出厂试验技术综述

..... 陈双, 刘焱, 卞超, 张鹏飞, 崔博源, 陈允, 徐家忠 (151)

“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

灰度纹理与油气特征融合的油纸绝缘老化状态评估

(159)

刘东超,林语,原辉,王帅,姜敏,俞华,李海涛

高压电缆早期间歇性电弧接地故障识别方法

(167)

周正雄,夏向阳,朱鹏,李明德,黄海,陈善求,夏君山,王瑞琪

特高压铁塔高空作业辅助机器人攀登系统

(177)

唐诗洋,门永生,于振,关城,许永刚

断面安全约束下发电可行域实用分析方法

(183)

周星宇,潘学萍,王正风,陈得治

采用置信度风险测度的鲁棒发电计划模型及算法

(190)

李鹏飞,侯验秋,邹佳芯,张舒捷,李洋,林济铿

高压柔性直流换流阀工业设计

(198)

乔丽,谢剑,李云鹏,郭春义

基于 COMSOL 仿真分析的环网柜湿度控制

(206)

王寅超,丁银梅,李卫彬,杨勇,王月强,汪胡根,乔飞,

王俊生,谢勇,俞佳敏,陆忠心

电磁式电压互感器保险频繁熔断抑制措施分析及 RTDS 仿真验证

(214)

桂媛,陈凡,朱勇,齐伟强,姚玉海,任志刚

基于惩罚变权的 RDA 同期线损数据质量评估模型

(223)

王方雨,刘文颖,陈鑫鑫,王维洲,行舟

技术经济

新型城镇化下城区能源变革路径分析与探索:以苏州市吴中区为例

(232)

朱婵霞,奚巍民,孙强,陈杰军,谢典,陈倩,孙志凰

区域能源互联网的发展现状与政策建议

(241)

霍沫霖,郭磊,张哲

新冠肺炎疫情对 2020 年电力消费影响及趋势研究

(248)

刘青,吴陈锐,张春成,吴姗姗,王向,汲国强

电动汽车换电站参与电力市场辅助服务的经济效益研究

(258)

李捷,杨冰

节能与环保

低低温除尘器和海水脱硫可凝结颗粒物有机组分排放特征研究

(263)

刘晓敏,王乐乐,黄见勋,黄荣廷,许积庄,孔凡海,谢建南,

李津津,杨林军,张发捷,何川

烟气污染物协同治理中的负协同效应串联作用现象

(270)

高沛荣,晏志仁,杨君,马骁骅,翟鸣秋

330 MW 空冷机组乏汽余热利用系统热压机性能分析及调整

(277)

黄治坤,岑岭山,李智华,李扬,王恩镇,张攀

发电

大型汽轮发电机组非典型故障分析

(284)

张学延,屈杰,何国安,朱蓬勃,姜广政,潘渤

基于逆向分段解耦的单顺阀切换过程流量特性建模及优化

(293)

曲晓荷,庄严飞,张兴,武海澄,张剑,李达

中国电力

(月刊,1956 年创刊)

第 53 卷第 12 期(总第 625 期)

2020 年 12 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 Contribution

Construction Path and Key Operation Issues of Electricity Market in China MA Li, FAN Menghua, QU Haoyuan, LI Jie, ZHAO Zheng, WU Zechen, CHEN Kening (9)

Special Columns on Smart Grid Key Projects of the 13th Five-Year Plan: (3)High Voltage Large Power IGBT and its Application Technology

Influence of Uneven Temperature on Current Distribution in Paralleled Multi-Chips Press Pack IGBT DENG Zhenyu, CHEN Minyou, LAI Wei, LI Hui, WANG Xiao, LI Jinyuan, DU Yaoting (17)

A Review of Reverse Bias Test for Power Device in High Temperature, High Humidity and High Voltage Conditions WANG YanHao, DENG Erping, HUANG Yongzhang (29)

Design and Development of 4 500 V Trench Gate IGBT LI Li, WANG Yaohua, GAO Mingchao, LIU Jiang, JIN Rui (36)

Thermal Resistance Distribution Experiment of Parallel Sub-Module in Press-Pack IGBT Device HAN Lubin, LIANG Lin, KANG Yong (44)

Broadband Dielectric Properties and Temperature Effects of Silicone Gel for IGBT Device Encapsulation MAO Yuan, LI Xuebao, XU Jiayu, ZHAO Zhibin, CUI Xiang (54)

A Review of Thermal Design for IGBT Module LIU Guoyou, WANG Yangang, LUO Haihui, QI Fang, LI Xiang, WU Yibo (74)

Mechanical Stress Analysis in High Power Press Pack IGBT TANG Xinling, LIN Zhongkang, ZHANG Xizi, YAN Shumin, SU Bing, WANG Liang, HAN Ronggang, SHI Hao (74)

Key Technologies for Distributed and Multi-energy Complementary Energy System in Urban Areas

Optimal Configuration of Multi-Energy Complementary System Considering Full Life Cycle KOU Lingfeng, JI Yu, WU Ming, NIU Geng (82)

Optimization Strategy of Microgrid Hierarchical Scheduling Considering Electric Vehicles User Satisfaction Degree YU Huiqun, YIN Shen, ZHANG Hao, SHI Shanshan, PENG Daogang, CAI Guoshun (91)

Comparative Analysis of Integrated Energy Service Implementation Paths in Typical Districts and Counties SUN Qiang, CHEN Qian, PAN Hangping, YONG Weizhen, CHEN Yang, WANG Jianxue (109)

Economic Dispatch of Fully Renewable Energy System Considering Uncertainty of both Energy Source and Load YU Fan, NIU Honghai, LI Bing, ZHAO Yang, CHEN Pei, GUAN Xiaochen, YANG Yu (109)

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

Coordinated Control Technology for Regional Integrated Energy HUA Guanghui, HU Wei, JING Jiangping, WU Yi, SHA Zhou, CHEN Weidong, XU Xiaohui (118)

Optimal Operation of Integrated Electricity-Gas System Considering Uncertainty of Integrated Demand Response LUO Jinman, ZHAO Shanlong, FENG Youjun, LIU Zhuoxian, DONG Wenjie, YANG Yanhong (126)

Method on Hierarchical Coordinated Optimization of Electrical Energy Storage and Thermoelectric Power for

Accommodation of Curtailed Wind Power YANG Yulong, LI Pai, HUANG Yuehui, WANG Guilin, ZHOU Yigang (135)

Study on Reasonable Curtailment Rate of Renewables under Certain Renewable Energy Consumption Quota Obligation GAO Lei, SU Xinyi, LIU Shiyu (142)

Optimal Configuration and Economic Study of Hybrid Energy Storage System in Wind and Solar Power Plants LIU Yongqian, LIANG Chao, YAN Jie, ZHANG Jing (150)

Power System

A Review of UHV AC GIL Ex-factory Test Technology CHEN Shuang, LIU Yan, BIAN Chao, ZHANG Pengfei, CUI Boyuan, CHEN Yun, XU Jiazhong (158)

Aging State Evaluation of Oil-Paper Insulation Based on Fusion of Gray Texture and Oil Gas Features LIU Dongchao, LIN Yu, YUAN Hui, WANG Shuai, JIANG Min, YU Hua, LI Haitao (197)

Identification Method for Incipient Intermittent Arc Ground Fault of High-Voltage Cables ZHOU Zhengxiong, XIA Xiangyang, ZHU Peng, LI Mingde, HUANG Hai, CHEN Shangju, XIA Junshan, WANG Ruiqi (176)

A Climbing System of Aerial Work Assistance Robot for UHV Tower TANG Shiyang, MEN Yongsheng, YU Zhen, GUAN Cheng, XU Yonggang (182)

A Practical Method for Analyzing Feasible Generation Region under Security Constraint of Key Transmission Line Section ZHOU Xingyu, PAN Xueping, WANG Zhengfeng, CHEN Dezhi (189)

Model and Algorithm of the Robust Generation Schedule Based on Confidence Risk Measurement LI Pengfei, Hou Yanqiu, Zou Jiaxin, Zhang Shujie, LI Pai, LIN Jikeng (197)

Industrial Design of High Voltage Flexible DC Converter Valve QIAO Li, XIE Jian, LI Yumpeng, GUO Chunyi (222)

Humidity Control of RMU Based on COMSOL Simulation Analysis WANG Yinchao, DING Yinmei, LI Weibin, YANG Yong, WANG Yueqiang, WANG Hugen, QIAO Fei, WANG Junsheng, XIE Yong, YU Jiamin, LU Zhongxin (213)

Analysis and RTDS Simulation on Suppression Methods for TV Fuses Frequently Blown GUI Yuan, CHEN Fan, ZHU Yong, QI Weiqiang, YAO Yuhai, REN Zhigang (222)

Evaluation Model of Synchronous Line Loss Data Quality Based on Penalty Variable Weight RDA WANG Fangyu, LIU Wenying, CHEN Xinxin, WANG Weizhou, XING Zhou (231)

Technology and Economics

Energy Transition Path for Urban Areas under New-type Urbanization: A Case Study on Suzhou City Wuzhong District ZHU Chanxia, XI Weimin, SUN Qiang, CHEN Jiejun, XIE Dian, CHEN Qian, SUN Zhihuang (240)

Development Status and Policy Suggestions for District Energy Integration HUO Molin, GUO Lei, ZHANG Zhe (247)

Impact of COVID-19 on China's Total Electricity Consumption in 2020 and Its Trend LIU Qing, WU Chenrui, ZHANG Chuncheng, WU Shanshan, WANG Xiang, JI Guoqiang (257)

Study on Economic Benefits of Electric Vehicle Battery Swapping Station Participating in Power Market Auxiliary Service LI Jie, YANG Bing (269)

Energy Conservation and Environmental Protection

Study on the Emission Characteristics of Organic Components in Condensable Particulate Matter from Low-Low Temperature Electric Precipitator and Sea Water Desulfurization LIU Xiaomin, WANG Lele, HUANG Jianxun, HUANG Rongting, XU Jizhuang, KONG Fanhai, XIE Jiannan, LI Jinjin, YANG Linjun, ZHANG Fajie, HE Chuan (269)

Serial Negative Synergy Effects in Synergistic Treatment for Flue Gas Pollutants GAO Peirong, YAN Zhiren, YANG Jun, MA Xiaohua, ZHAI Mingqiu (276)

Performance Analysis and Adjustment of Thermocompressor in Exhaust and Waste Heat Utilization System of 330 MW Air Cooling Unit HUANG Zhikun, CEN Lingshan, LI Zhihua, LI Yang, WANG Enzhen, ZHANG Pan (283)

Generation Technology

Case Analysis of Several Atypical Faults of Large Turbo-Generator Set ZHANG Xueyan, QU Jie, HE Guoan, ZHU Pengbo, JIANG Guangzheng, PAN Bo (300)

Modeling and Optimization for Single-Sequential Valve Switching Process Based on Reverse Segment Decoupling QU Xiaohua, ZHUANG Yifei, ZHANG Xing, WU Haicheng, ZHANG Jian, LI Da (300)