

# 电网技术



## POWER SYSTEM TECHNOLOGY

第44卷4期

Vol.44 No.4

### 中国电力科学研究院有限公司 大规模电池储能电站监控与能量管理装置

中国电科院储能与电工新技术研究所自主研发的大规模电池储能电站监控与能量管理系统(EMS)装置,基于储能电池特性(SOC、SOH、充放电倍率/能力、一致性差异、热管理),采用自适应参数调节、等效寿命评估及大数据分析等技术,可实现储能电站平滑风光功率波动、跟踪发电计划、削峰填谷、参与系统调频调压等多目标应用控制功能。

装置满足十毫秒级至分钟级多时间尺度电池储能电站快速控制需求,具备储能电站AGC与AVC功能,百兆瓦时储能电站紧急功率响应时间小于200毫秒。支持IEC61850、IEC104、MODBUS等多种通讯协议,已形成了适用于不同规模、不同类型储能电站的产品体系,并支持高级应用模块化开发。

该装置在国家风光储输示范工程、青海鲁能多能互补示范工程以及河北、青海、福建、北京等10多个兆瓦级至数十兆瓦级电池储能电站的运行控制中推广应用,有力推动了国内电池储能产业的发展及其在电网中的规模化应用。



装置实物图



现场图



软件图



国家电网  
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

单位: 中国电力科学研究院有限公司

地址: 北京清河小营东路15号

邮编: 100192

电话: (010) 82812114

ISSN 1000-3673



9 771000 367202  
万方数据



国家电网有限公司 主办

## 编辑委员会

主任: 周孝信

委员 (按姓氏笔画排序):

丁明 卫志农 王成山 王伟胜  
王益民 王海风 韦化 文劲宇  
文福拴 艾芊 毕天姝 吕运强  
刘健 刘广一 刘开培 刘玉田  
刘明波 刘建明 汤涌 孙华东  
孙宏斌 严正 李卫东 李亚楼  
李成榕 杨胜春 肖先勇 别朝红  
何正友 张东霞 张乔根 周浩  
周泽昕 段献忠 姚良忠 袁小明  
徐政 郭剑波 梅生伟 曹一家  
曹均正 盛万兴 康重庆 董新洲  
程浩忠 谢小荣 路书军 廖瑞金  
穆钢 鞠平

青年委员 (按姓氏笔画排序):

丁一 王蓓蓓 冯双磊 吕泉  
刘友波 刘敦楠 齐波 汤奕  
孙国强 李勇 李斌 李卫星  
李生虎 李建林 吴学智 张宁  
张波 张志劲 陆超 易俊  
胡伟 胡泽春 郭庆来 涂春鸣  
崔杨 焦在滨 裴玮 魏晓光

## 顾问委员会

主任: 郑健超

委员 (按姓氏笔画排序):

马伟明 王锡凡 卢强 朱英浩  
刘吉臻 汤广福 杨奇逊 严陆光  
吴复立 邱爱慈 余贻鑫 汪懋生  
沈国荣 宋永华 陆佑楣 陈清泉  
陈维江 罗安 郑宝森 顾国彪  
唐任远 黄其励 韩祯祥 程时杰  
舒印彪 薛勇胜

## 目次

### · 国家重点研发计划 ·

含大量电磁直流模型的机电-电磁暂态混合仿真技术研究  
.....陈绪江, 张星, 田芳, 张怡, 金一丁, 周孝信 (1203)

有源配电网典型暂态模型及区域分割并行仿真方法研究  
.....邓潘, 盛万兴, 刘科研, 杜松怀, 吕琛 (1211)

计及碳交易机制的电-气联合系统快速动态鲁棒优化运行  
.....郭尊, 李庚银, 周明 (1220)

基于谐波阻抗量测的多端口光伏直流配电网孤岛检测方法  
.....贾科, 朱正轩, 方煜, 杨哲, 毕天姝 (1229)

考虑山东近海不同风能天气特征的风电功率区间预测模型  
.....余洋, 董存, 王铮, 蒋建东, 王勃 (1238)

基于复转矩系数法的双馈风机次同步控制相互作用阻尼特性研究  
.....周际城, 彭晓涛, 罗鹏, 梁恺, 张政 (1247)

基于最优三次谐波注入的改进 APOD 调制  
.....武亮亮, 唐芬, 陈鹏飞, 梁家志, 王玮, Poh Chiang Loh (1257)

IGBT 动态测试平台杂散电感提取方法  
.....唐新灵, 张璧君, 张语, 林仲康, 王亮, 潘艳, 温家良 (1267)

聚合物绝缘材料多因子老化的研究现状与发展  
.....胡一卓, 董明, 谢佳成, 何文林, 汪可, 李金忠 (1276)

### · 电力市场 ·

区域电力市场中基于发电转移权重的交易可行域计算模型研究  
.....陈紫颖, 荆朝霞, 曾鹏骁, 潘湛华 (1290)

基于链码和多阶段混合拍卖机制的微电网分布式电能交易模型  
.....王毅, 赵辉辉, 侯兴哲, 孙洪亮, 郑可, 李松浓, 叶君 (1302)

客户侧分布式储能消纳新能源的互动套餐和多元化商业模式研究  
.....薛金花, 叶季蕾, 许庆强, 崔红芬, 姬联涛 (1310)

绿色电力证书交易影响下计及输电阻塞影响的综合型能源发售电商  
竞价策略研究.....周晓洁, 彭谦, 杨睿, 韩志勇, 王淼 (1317)

基于实时电价和加权灰色关联投影的 SVM 电力负荷预测  
.....赵佩, 代业明 (1325)

基于奇异谱分析与神经网络的中期负荷预测  
.....陈浩文, 刘文霞, 李月乔 (1333)

基于时间卷积网络分位数回归的短期负荷概率密度预测方法  
.....庞昊, 高金峰, 杜耀恒 (1343)

### · 高比例可再生能源并网 ·

面向风电消纳的电-热调峰资源协同运行研究  
.....章艳, 吕泉, 张娜, 王海霞, 刘娆, 孙辉 (1350)

电网电压对称骤升下双馈风力发电系统的改进控制策略研究  
.....邹乐, 吴学光, 寇龙泽, 李威 (1360)

区域多风电场功率的分位数回归概率预测方法  
.....王钊, 王勃, 冯双磊, 王伟胜 (1368)

考虑空间相关性和天气类型划分的多光伏电站时间序列建模方法  
.....王晶, 黄越辉, 李驰, 项康利, 林毅 (1376)

适用于西北送端大电网新能源场站快速频率响应功能的入网试验方法  
.....马晓伟, 徐海超, 刘鑫, 王智伟, 褚云龙, 刘旭晨, 郭重阳, 包斯嘉 (1384)

计及变压器和线路阻抗的双馈风力发电机转子侧阻抗建模研究  
.....宋绍剑, 王铮, 刘斌, 廖碧莲, 吴永谦 (1392)

考虑直接负荷控制不确定性的微能源网鲁棒优化运行  
 ..... 朱兰, 牛培源, 唐陇军, 杨秋霖, 姬星羽 (1400)  
 面向抽水蓄能电站区域负荷频率的分阶 PID 控制研究  
 ..... 单华, 和婧, 范立新, 高从阁, 梅睿, 骆钊 (1410)

· 直流输电与直流电网 ·

模块化多电平变换器两段式模型预测控制  
 ..... 马文忠, 孙鹏, 周冠宇, 古丽帕丽·赛力江, 张子昂, 刘勇, 王玉彬 (1419)  
 基于改进 VSG 的 MMC-MTDC 受端换流器二次调频控制策略  
 ..... 陈继开, 曾强, 辛业春, 王振浩, 李国庆 (1428)  
 双端口矩阵变换器在工/低频电网互联下的电容及电压波动特性分析  
 ..... 李姝玉, 于弘洋, 葛菁, 赵国亮, 邓占锋, 徐永海 (1437)  
 高压直流换流阀晶闸管控制单元保护特性与晶闸管级仿真建模  
 ..... 叶明天, 李戈琦, 陈炫宇, 周晨晖, 庞磊, 张乔根 (1445)  
 含开关电容的有源箝位多电平逆变器  
 ..... 吴学智, 赵亚雪, 刘京斗, 刘锋, 王杰, 赵志刚, 张雪芬 (1453)

· 电力系统 ·

计及技术标准的高压配电网无功优化规划  
 ..... 任泓宇, 王主丁, 张永斌, 孙皓 (1463)  
 配电网持续无功优化的深度强化学习方法  
 ..... 李琦, 乔颖, 张宇精 (1473)  
 考量量测误差影响的配电网静态参数可测性估计  
 ..... 刘健, 陈鲁鹏, 张志华 (1481)  
 考虑不确定性变量模糊相关性的智能配电网概率潮流计算  
 ..... 徐双蝶, 张焰, 苏运 (1488)  
 广义 Sommerfeld 积分矩函数方法及其在接地网参数计算中的应用  
 ..... 鹿福滨, 嵇建飞, 张鹏飞, 邹军 (1499)  
 基于条件式 Wasserstein 生成对抗网络的电力变压器故障样本增强技术  
 ..... 刘云鹏, 许自强, 和家慧, 王权, 高树国, 赵军 (1505)  
 基于自抗扰 STATCOM 装置的车网耦合系统低频振荡抑制策略  
 ..... 李志远, 胡鑫焯, 吴思奇, 刘志刚 (1514)  
 频率扰动下虚拟同步电机控制型分布式电源自适应惯性控制策略  
 ..... 李美依, 黄文焘, 邵能灵, 陆昱, 唐跃中, 朱钦 (1525)  
 基于二分递推 SVD 分解的居民电器开关事件检测方法  
 ..... 林顺富, 于俊芬, 李东东, 符杨 (1534)  
 计及负荷波动及线路可靠性的两阶段风险调度  
 ..... 张简炼, 罗刚, 章立宗, 郭创新, 祁炜雯, 章剑光 (1543)

· 自动化 ·

一种应用于 500 kV 3/2 接线系统的层次性变迁 WFPN 故障诊断方法  
 ..... 黄吴楠, 陈青, 张晓彤, 孙梦璇, 高望远 (1552)  
 基于贝叶斯估计的配电网智能分布式故障区段定位算法  
 ..... 郑晨玲, 朱革兰 (1561)  
 UPFC 串联变压器匝间保护新原理研究  
 ..... 曹虹, 王兴国, 周泽昕, 柳焕章, 杜丁香, 蔡文瑞 (1568)  
 基于零序差动电流的抽能电抗器匝间保护  
 ..... 郭雅蓉, 王兴国, 柳焕章 (1576)

· 高电压技术 ·

空间谱估计测向算法计算高压直流输电线路对短波无线电测向台站  
 无源干扰影响的研究 ..... 邹军, 吴桂芳, 蒋陶宁, 汪芙平, 谭瑞娟 (1582)  
 结合放电影像观测的土壤冲击散流性能评估方法  
 ..... 班革革, 袁涛, 司马文霞, 杨鸣, 姚欣愚, 李小川 (1589)  
 运行工况下交流 GIS 绝缘子表面微金属颗粒运动诱发沿面闪络的研究  
 ..... 许渊, 刘卫东, 陈维江, 李星, 殷禹, 毕建刚, 崔博源, 牛勃 (1596)

《工程索引》(EI) 收录核心期刊  
 2015 和 2017 年度中国“百强报刊”  
 中国最具国际影响力学术期刊  
 中国百种杰出学术期刊  
 中国精品科技期刊  
 全国中文核心期刊  
 RCCSE 中国权威学术期刊  
 《科学文摘》(SA) 收录期刊  
 《文摘杂志》(AJ) 收录期刊  
 中国科学引文数据库 (CSCD)  
 中国期刊方阵双效期刊  
 电力行业优秀科技期刊

《电网技术》(月刊)

第 44 卷 第 4 期 (总第 437 期)

主 管: 国家电网有限公司  
 主 办: 国家电网有限公司  
 编 辑: 中国电科院期刊中心  
 《电网技术》编辑部  
 出 版: 《电网技术》杂志社有限公司  
 主 编: 郭剑波  
 副主编: 汤 涌、康重庆、孙华东  
 编辑部副主任: 李兰欣 010-82812543  
 广告部经理: 李慧东 010-82812429  
 发 行: 闫 颀 010-82812465  
 编 辑: 010-82812523/2672/2981/2982  
 网上投稿: <http://www.dwjs.com.cn>  
 电力系统内部电话: 91862+后四位  
 传 真: 010-82812980  
 地 址: 100192 北京清河小营东路 15 号  
 中国电力科学研究院有限公司内  
 印 刷: 北京科信印刷有限公司  
 北京市昌平区七北路马连店甲 6 号  
 总发行: 北京报刊发行局  
 国外发行: 中国国际图书贸易总公司  
 订 阅: 全国各地邮局  
 邮发代号: 国内 82-604 国外 1474M  
 中国标准连续出版物号: ISSN 1000-3673  
 CN 11-2410/TM  
 广告经营许可证号: 京海工商广字第 0168 号

期刊基本参数: CN 11-2410/TM \* 1957 \* M \* A4 \* 400 \* zh \* P \* ¥80.00 \* 20000 \* 46 \* 2020-04 版权所有 未经许可不得转载及上网

# POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2020, Vol. 44 No. 4 (Ser. 437)

## Contents

### • National Key Research and Development Program of China •

- Electromechanical-electromagnetic Hybrid Simulation Technology With Large Number of Electromagnetic HVDC Models**  
..... CHEN Xujiang, ZHANG Xing, TIAN Fang, ZHANG Yi, JIN Yiding, ZHOU Xiaoxin (1203)
- Methods of Transient Model and Parallel Simulation of Region Segmentation in Active Distribution Network**  
..... DENG Pan, SHENG Wanxing, LIU Keyan, DU Songhuai, LÜ Chen (1211)
- Fast and Dynamic Robust Optimization of Integrated Electricity-gas System Operation With Carbon Trading**  
..... GUO Zun, LI Gengyin, ZHOU Ming (1220)
- Islanding Detection Method of Multi-port Photovoltaic DC Distribution Network Based on Harmonic Impedance Measurement**  
..... JIA Ke, ZHU Zhengxuan, FANG Yu, YANG Zhe, BI Tianshu (1229)
- Wind Power Interval Forecasting Model Considering Different Wind Energy Weather Characteristics in Shandong Offshore Areas**  
..... YU Feng, DONG Cun, WANG Zheng, JIANG Jiandong, WANG Bo (1238)
- Study on Sub-synchronous Control Interaction Damping Characteristics of Doubly-fed Induction Generator Based on Complex Torque Coefficient Method**  
..... ZHOU Jicheng, PENG Xiaotao, LUO Peng, LIANG Kai, ZHANG Zheng (1247)
- Improved APOD Modulation Based on Optimal Third Harmonic Injection**  
..... WU Liangliang, TANG Fen, CHEN Pengfei, LIANG Jiazhi, WANG Wei, Poh Chiang Loh (1257)
- Stray Inductance Extraction Method of IGBT Dynamic Test Platform**  
..... TANG Xinling, ZHANG Bijun, ZHANG Yu, LIN Zhongkang, WANG Liang, PAN Yan, WEN Jialiang (1267)
- Status and Progress in Multi-factor Ageing Research for Polymer Insulation Materials**  
..... HU Yizhuo, DONG Ming, XIE Jiacheng, HE Wenlin, WANG Ke, LI Jinzhong (1276)

### • Electricity Market •

- Calculation Model of Feasible Domain for Regional Power Market Based on Generation Shift Key**  
..... CHEN Ziyang, JING Zhaoxia, ZENG Pengxiao, PAN Zhanhua (1290)
- Distributed Electricity Transaction Mode in Microgrid Based on Chaincode and Multi-stage Hybrid Auction Mechanism**  
..... WANG Yi, ZHAO Huihui, HOU Xingzhe, SUN Hongliang, ZHENG Ke, LI Songnong, YE Jun (1302)
- Interactive Package and Diversified Business Mode of Renewable Energy Accommodation With Client Distributed Energy Storage**  
..... XUE Jinhua, YE Jilei, XU Qingqiang, CUI Hongfen, JI Liantao (1310)
- Power Price Marketing Strategy of Comprehensive Energy-based Electricity Sales Company Participating in Electricity Market Competition Under Ubiquitous Environment of Internet of Things**  
..... ZHOU Xiaojie, PENG Qian, YANG Rui, HAN Zhiyong, WANG Miao (1317)
- Power Load Forecasting of SVM Based on Real-time Price and Weighted Grey Relational Projection Algorithm**  
..... ZHAO Pei, DAI Yeming (1325)
- Medium-term Load Forecast Based on Singular Spectrum Analysis and Neural Network**  
..... CHEN Haowen, LIU Wenxia, LI Yueqiao (1333)
- A Short-term Load Probability Density Prediction Based on Quantile Regression of Time Convolution Network**  
..... PANG Hao, GAO Jinfeng, DU Yaoheng (1343)

### • High Share of Renewable Energy Integration •

- Cooperative Operation of Power-heat Regulation Resources for Wind Power Accommodation**  
..... ZHANG Yan, LÜ Quan, ZHANG Na, WANG Haixia, LIU Rao, SUN Hui (1350)
- Improved Control Strategy for a Double-fed Generation System Under Grid Voltage Symmetric Swell**  
..... ZOU Le, WU Xueguang, KOU Longze, LI Wei (1360)
- Probabilistic Forecasts Based on Quantile Regression for Regional Wind Farms**  
..... WANG Zhao, WANG Bo, FENG Shuanglei, WANG Weisheng (1368)
- Time Series Modeling Method for Multi-photovoltaic Power Stations Considering Spatial Correlation and Weather Type Classification**  
..... WANG Jing, HUANG Yuehui, LI Chi, XIANG Kangli, LIN Yi (1376)
- A Test Method for Fast Frequency Response Function of Renewable Energy Stations in Northwest Power Grid**  
..... MA Xiaowei, XU Haichao, LIU Xin, WANG Zhiwei, CHU Yunlong, LIU Xuchen, GUO Chongyang, BAO Sijia (1384)
- Research on Rotor Side Impedance Modeling of DFIG Wind Turbine Considering Transformer and Line Impedance**  
..... SONG Shaojian, WANG Zheng, LIU Bin, LIAO Bilian, WU Yongqian (1392)
- Robust Optimal Operation for Micro-energy Grid Considering Uncertainties of Direct Load Control**  
..... ZHU Lan, NIU Peiyuan, TANG Longjun, YANG Qiulin, JI Xingyu (1400)
- Research on Fractional Order PID Control of Regional Load Frequency of Pumped Storage Power Station**  
..... SHAN Hua, HE Jing, FAN Lixin, GAO Congchuang, MEI Rui, LUO Zhao (1410)

### • HVDC Transmission & HVDC Grid •

- A Two-stage Model Predictive Control for Modular Multilevel Converters**  
..... MA Wenzhong, SUN Peng, ZHOU Guanyu, SAILIJIANG Gulipali, ZHANG Ziang, LIU Yong, WANG Yubin (1419)

---

**Secondary Frequency Regulation Control Strategy of MMC-MTDC Converter Based on Improved VSG**

..... CHEN Jikai, ZENG Qiang, XIN Yechun, WANG Zhenhao, LI Guoqing (1428)

**Analysis of Capacitance and Voltage Fluctuation Characteristics of Two-port Matrix Converter Under Power/Low Frequency Interconnection**

..... LI Shuyu, YU Hongyang, GE Jing, ZHAO Guoliang, DENG Zhanfeng, XU Yonghai (1437)

**Protection Characteristics of Thyristor Control Unit and Simulation Model of Thyristor-level for HVDC Converter Valve**

..... YE Mingtian, LI Geqi, CHEN Xuanyu, ZHOU Chenhui, PANG Lei, ZHANG Qiaogen (1445)

**Active Clamped Multilevel Inverter With Switched Capacitors**

..... WU Xuezhi, ZHAO Yaxue, LIU Jingdou, LIU Feng, WANG Jie, ZHAO Zhigang, ZHANG Xuefen (1453)

**• Power System •****Reactive Power Optimization Planning of High-voltage Distribution Networks With Technical Standards Being Considered**

..... REN Hongyu, WANG Zhuding, ZHANG Yongbin, SUN Hao (1463)

**Continuous Reactive Power Optimization of Distribution Network Using Deep Reinforcement Learning**

..... LI Qi, QIAO Ying, ZHANG Yujing (1473)

**Estimation of Static Parameters Testability for Distribution Network Considering the Effect of Measurement Errors**

..... LIU Jian, CHEN Lupeng, ZHANG Zhihua (1481)

**Probabilistic Power Flow Calculation in Smart Distribution Networks Considering Fuzzy Correlation Between Uncertainty Variables**

..... XU Shuangdie, ZHANG Yan, SU Yun (1488)

**Moment Functions for Sommerfeld Generalized Integral and Its Application in the Evaluation of the Grounding Grid Parameter**

..... PANG Fubin, JI Jianfei, ZHANG Pengfei, ZOU Jun (1499)

**Data Augmentation Method for Power Transformer Fault Diagnosis Based on Conditional Wasserstein Generative Adversarial Network**

..... LIU Yunpeng, XU Ziqiang, HE Jiahui, WANG Quan, GAO Shuguo, ZHAO Jun (1505)

**A Strategy of Low Frequency Oscillation Suppression for Vehicle-grid Coupling System Based on STATCOM With ADRC**

..... LI Zhiyuan, HU Xinxuan, WU Siqi, LIU Zhigang (1514)

**Adaptive Inertial Control Strategy for Inverter Interfaced Distributed Generator Based on Virtual Synchronous Generator Under Frequency Disturbances**

..... LI Meiyi, HUANG Wentao, TAI Nengling, LU Yu, TANG Yuezhong, ZHU Qin (1525)

**Method of Switching Events Detection of Residential Appliances Based on Binary Recursive SVD Decomposition**

..... LIN Shunfu, YU Junsu, LI Dongdong, FU Yang (1534)

**Two-stage Risk Dispatching Considering Load Fluctuation and Line Reliability**

..... ZHANG Jianlian, LUO Gang, ZHANG Lizong, GUO Chuangxin, QI Weiwen, ZHANG Jianguang (1543)

**• Automation •****A Fault Diagnosis Method for 500 kV One-and-a-half Connection System Based on Hierarchical Transition WFPN**

..... HUANG Wudi, CHEN Qing, ZHANG Xiaotong, SUN Mengxuan, GAO Wangyuan (1552)

**Distribution Network Fault Segment Location Algorithm Based on Bayesian Estimation in Intelligent Distributed Control Mode**

..... ZHENG Chenling, ZHU Gelan (1561)

**A Novel Protection Principle for Turn-to-Turn Fault of UPFC Series Transformer**

..... CAO Hong, WANG Xingguo, ZHOU Zexin, LIU Huanzhang, DU Dingxiang, CAI Wenrui (1568)

**Shunt Reactor With Auxiliary Winding System Inter-turn Protection Based on Zero Sequence Differential Current**

..... GUO Yarong, WANG Xingguo, LIU Huanzhang (1576)

**• High Voltages •****Study on Calculation of Passive Interference of HVDC Transmission Line to Short-wave Radio Direction Station With Spatial Spectral Estimation Direction Finding Algorithm**

..... ZOU Jun, WU Guifang, JIANG Taoning, WANG Fuping, TAN Ruijuan (1582)

**Evaluation Method of Impulse Discharge Performance of Ground Electrode Based on Soil Discharge Image**

..... BAN Gege, YUAN Tao, SIMA Wenxia, YANG Ming, YAO Xinyu, LI Xiaochuan (1589)

**Study on the Development of Surface Flashover Induced by the Motion of Micro-metal Particle on the Surface of AC GIS Spacers Under Operation Condition**

..... XU Yuan, LIU Weidong, CHEN Weijiang, LI Xing, YIN Yu, BI Jianguang, CUI Boyuan, NIU Bo (1596)

---

**Sponsor:** State Grid Corporation of China

**In Cooperation with:** China Electric Power Research Institute (CEPRI)

**Chairman of Editorial Committee:** Liu Zhenya

**Editor-in-Chief:** Zhang Wenliang

**Editor and Publisher:** Power System Technology Press

**Associate Director of Editorial Board:** Li Lanxin

**Publication Number:** ISSN 1000-3673

**CODEN:** DIJIES      **Devey#:** 621.31

---

**Address:** China Electric Power Research Institute, Qinghe, Beijing 100192, China

**Tel/Fax:** 86-10-82812980

**E-mail:** pst@epri.sgcc.com.cn    <http://www.dwjs.com.cn>

**Agent of Subscriptions Abroad:** China International Book Trading Corporation (GUOJISHUDIAN) P.O.Box 399, Beijing, China