

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY



第45卷1期
Vol.45 No.1



防止森林、草原及电缆火灾, 选赫兹曼科技!
提高选线正确率, 选赫兹曼科技!
需高精度小电流接地保护, 选赫兹曼科技!



高精度小电流接地故障检测技术

产品优势

- 只需取样三相CT电流, 可不停电安装不需PT等辅助设备, 安装简便快捷
- 适用中性点不接地、经消弧线圈接地电缆网、架空线路及混合配电网
- 8000欧姆及以下高阻接地故障检测98%以上准确率(通过国网漯河真型试验站检测)
- 拥有多项行业国际发明专利(证书号 第2082045号; 证书号第2406020号; 证书号WO2011/159248 A1)

选型配置

- IPC 接地保护装置
- IPS2 基础型 环网柜型
- FTU系列
- HMED-P系列 变电站型



IPC 4020/4022



IPS2 基础型
(环网柜型)



FTU系列



HMED-P系列
(变电站型)

应用案例

2017年8月, 国家电网一行领导到现场考察沈阳自贸区自动化示范项目, 分布式配电自动化系统与“相电流法”小电流接地故障检测技术得到国网领导关注。



案例一

2019年4月, 国网辽宁省朝阳供电公司66kV西郊变18套“相电流法”小电流接地故障检测装置投入运行(见“辽宁电网”公众号6月13日)



案例二

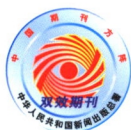
广东赫兹曼科技有限公司

地址: 广东省佛山市顺德区大良镇国泰路1号保利中辰大厦1819室

联系人: 高尚

联系电话: 13904016817

请添加赫兹曼科技
了解更多资讯 →



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 汪柵生
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 薛禹胜

目次

· 高比例可再生能源并网 ·

高比例风电电力系统考虑频率安全约束的机组组合
.....林恒光, 侯凯元, 陈磊, 夏德明, 闵勇, 秦爽, 张博闻 (1)

考虑广义储能与火电联合调峰的日前-日内两阶段滚动优化调度
.....崔杨, 周慧娟, 仲悟之, 惠鑫欣, 赵钰婷 (10)

计及抽水蓄能和火电深度调峰效益的抽蓄-火电联合调峰调用顺序及策略
.....林俐, 岳晓宇, 许冰倩, 孙勇, 魏敏 (20)

多风电场功率时间序列的时空相关性统计建模和运行模拟方法
.....管霖, 周保荣, 文博, 徐乾耀, 詹勋松, 吴亮, 卓映君 (30)

适用于高/低电压穿越的双馈风机协同控制策略及其稳定技术研究
.....甄永赞, 苏宁赛, 李美林 (39)

大功率模块化储能系统 SOC 优化均衡控制
.....闫士杰, 沈千翔, 李相俊 (49)

基于改进等效电路模型的高比能量储能锂电池系统功率状态估计
.....杨新波, 郑岳久, 高文凯, 任东生, 韩雪冰, 欧阳明高 (57)

基于主动注入的光伏直流并网系统早期故障定位方法
.....朱瑞, 贾科, 施志明, 毕天姝, 王聪博 (67)

考虑充电站吸引力的 EV 充电负荷时空分布模拟
.....曹昉, 李赛, 张姚 (75)

· 面向新一代电力系统和能源互联网的人工智能技术 ·

基于改进直流潮流算法的潮流计算收敛自动调整方法研究
.....张松涛, 张东霞, 黄彦浩, 李文臣, 陈兴雷, 汤涌 (86)

基于 GGNN 的栓母对知识图谱构建与应用
.....赵振兵, 段记坤, 孔英会, 张东霞 (98)

基于不平衡数据集成学习的大型电力变压器状态评价方法
.....韩笑, 王新迎, 韩帅, 张玉天, 王继业 (107)

电力设备多光谱图像融合及多参量影响的故障渐变规律演化预测研究
.....崔昊杨, 周坤, 张宇, 胡丰晔, 许永鹏, 秦伦明 (115)

基于深度卷积神经网络的输电线路防鸟刺部件识别与故障检测
.....缪希仁, 林志成, 江灏, 陈静, 刘欣宇, 庄胜斌 (126)

· 直流输电与直流电网 ·

聚合恒功率负荷对直流微电网稳定性影响的阻抗法分析
.....郑凯元, 杜文娟, 王海风 (134)

基于桥臂电压控制的 MMC 直流短路主动限流方法
.....李国庆, 杨勇, 辛业春, 江守其, 王拓 (144)

考虑谐波耦合特性的 LCC-HVDC 换流站小信号建模
.....周攀, 刘天琪, 王顺亮, 马俊鹏, 张海川 (153)

基于单环定理的 HVDC 输电线路纵联保护方法
.....刘晓军, 岳爽, 杨冬锋, 王卫 (162)

适用于直流电网的故障电流主动转移型 MMC
.....蒋纯冰, 俞永杰, 王鑫, 赵成勇 (170)

一种混合型输入串联输出并联直流变压器
.....袁栋, 袁宇波, 贾勇勇, 肖小龙, 陈武, 姚金杰 (179)

电压故障下的阀冷系统主泵切换逻辑分析
.....张国华, 马根坡 (189)

· 电力市场 ·

兼容多目标调控需要的新型容量市场机制设计
.....陈政, 尚楠, 张翔 (198)

计及储能寿命与调频性能的风储联合投标模型及算法
 王浩浩, 陈嘉俊, 朱涛, 吴明兴, 陈青, 朱建全, 刘明波 (208)
 考虑风险测度的配电网精准投资项目优选模型
 王泽祺, 刘友波, 沈晓东, 于汀, 李健, 彭冬, 赵朗, 刘俊勇 (216)

· 电力系统 ·

基于 ADPSS 新一代仿真平台的大规模交直流电网数模混合仿真
 王玘, 李亚楼, 陈绪江, 张星, 穆清, 张艳, 王祥旭 (227)
 计及网络信息安全的配电网 CPS 故障仿真
 梁英, 王耀坤, 刘科研, 赵煜 (235)
 基于多源数据和模型融合的超短期母线负荷预测方法
 范士雄, 刘幸蔚, 於益军, 张伟, 李立新 (243)
 利用模糊信息粒化与支持向量机的空间负荷预测方法
 肖白, 赵晓宁, 姜卓, 施永刚, 焦明曦, 王徕 (251)
 保证重要负荷不间断供电的配电网储能规划方法
 张海波, 马伸铜, 程鑫, 龚贤夫, 卫凯 (259)
 改善虚拟同步发电机阻尼特性的设计方法
 马敏林, 杨欢, 屈子森, 辛焕海, 韩俊飞 (269)
 含抽水蓄能电站的互联电网负荷频率自抗扰优化控制研究
 杨一凡, 项雷军, 郭新华, 郑义民 (276)
 含微型同步相量测量的智能配电网信息集成方法
 王金丽, 韦春元, 段祥骏, 李运硕, 谢伟, 王康元 (284)
 基于楼宇分布式能源提升配电网韧性的智能表计优化配置方法
 曾博, 方伟, 徐豪, 孙晓燕, 张建华 (292)
 利用电流-电压导数线性度关系的小电流接地系统接地故障选线
 冯光, 管廷龙, 王磊, 薛永端, 俞小勇, 徐丙垠 (302)
 基于 Hausdorff 距离的自适应母线保护新原理
 戎子睿, 金能, 林湘宁, 邢家维, 李正天, 张培夫 (312)
 采用虚拟电压匹配的含双馈型电源电网暂降源定位
 林熙瑶, 邵振国, 张嫣 (322)
 考虑多维特征刻画的电压暂降严重程度评估方法
 胡文曦, 肖先勇, 李成鑫 (331)
 基于部分采样及混合分段的超高次谐波检测方法
 王子江, 李琼林, 蒋建东, 张华禹, 郑晨 (339)
 基于 IEWT 和噪能转移 SR-MLS 反演识别技术的低频振荡信号分析
 张虹, 王迎丽, 勇天泽, 葛得初, 白洋 (347)
 直流固态变压器环流抑制策略
 孟祥齐, 贾燕冰, 任春光, 韩肖清, 简晓强, 张佰富 (356)
 一种新型模块化多电平换流器热平衡控制策略的研究
 于源, 张铁岩, 赵琰, 高庆忠, 康迅澹 (364)

· 高电压技术 ·

动车组车顶高压电器箱的电场计算及优化设计
 邱浩, 李鸣霄, 王曙鸿, 王梓昂, 张彦林, 陈恒谦 (372)
 干式直流套管极板边缘电场分布及优化方法
 陈铭, 刘轩东, 张锐, 梁成军, 张乔根, 汤浩, 李金忠 (381)
 直流断路器半导体组件内母排电感对并联 IGBT 关断特性的影响及其结构优化
 刘欣, 王利桐, 梁贵书, 袁鹏, 齐磊 (389)
 经济型三相饱和铁芯故障限流器
 甘鹏程, 袁佳歆, 张朝阳, 周航, 陈凡 (399)
 信号注入法在中压电缆绝缘在线监测中的应用
 奚航, 周凯, 曾琴, 饶显杰, 刘力, 黄永禄 (409)
 基于瓦斯继电器挡板转角特性的油浸式变压器运行状态监测方法
 万书亭, 韦教玲, 吕鹏瑞, 江丹宇, 豆龙江, 马志钦 (417)
 · 广告索引 · (424)

《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 45 卷 第 1 期 (总第 446 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 岷 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
 北京市昌平区北清路马连店甲 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: 京海市监广登字 20170131 号

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2021, Vol. 45 No. 1 (Ser. 446)

Contents

• High Share of Renewable Energy Integration •

- Unit Commitment of Power System With High Proportion of Wind Power Considering Frequency Safety Constraints**
..... LIN Hengxian, HOU Kaiyuan, CHEN Lei, XIA Deming, MIN Yong, QIN Shuang, ZHANG Bowen (1)
- Two-stage Day-ahead and Intra-day Rolling Optimization Scheduling Considering Joint Peak Regulation of Generalized Energy Storage and Thermal Power**..... CUI Yang, ZHOU Huijuan, ZHONG Wuzhi, HUI Xinxin, ZHAO Yuting (10)
- Sequence and Strategy of Pumped Storage-thermal Combined Peak Shaving Considering Benefits of Pumped Storage and Deep Regulation of Thermal Power**..... LIN LI, YUE Xiaoyu, XU Bingqian, SUN Yong, WEI Min (20)
- Spatiotemporal Correlation Statistic Modeling and Simulation in Multiple Wind Farm Power Sequence**
..... GUAN Lin, ZHOU Baorong, WEN Bo, XU Qianyao, ZHAN Xunsong, WU Liang, ZHUO Yingjun (30)
- Research on Doubly-fed Induction Generators Synergetic Control Strategy and Stability Technology for High/Low Voltage Ride Through**..... ZHEN Yongzan, SU Ningsai, LI Meilin (39)
- Optimized SOC Balancing Control for High Power Modular Energy Storage System**..... YAN Shijie, SHEN Qianxiang, LI Xiangjun (49)
- Power State Estimation of High Specific Energy Storage Lithium Battery System Based on Extended Equivalent Circuit Model**
..... YANG Xinbo, ZHENG Yueju, GAO Wenkai, REN Dongsheng, HAN Xuebing, OUYANG Minggao (57)
- Incipient Fault Location for PV Collection System Based on Active Injection**
..... ZHU Rui, JIA Ke, SHI Zhiming, BI Tianshu, WANG Congbo (67)
- Temporal and Spatial Distribution Simulation of EV Charging Load Considering Charging Station Attractiveness**
..... CAO Fang, LI Sai, ZHANG Yao (75)

• Artificial Intelligence Technology Application in New Generation Power System and Energy Internet •

- Research on Automatic Power Flow Convergence Adjustment Method Based on Modified DC Power Flow Algorithm**
..... ZHANG Songtao, ZHANG Dongxia, HUANG Yanhao, LI Wenchen, CHEN Xinglei, TANG Yong (86)
- Construction and Application of Bolt and Nut Pair Knowledge Graph Based on GGNN**
..... ZHAO Zhenbing, DUAN Jikun, KONG Yinghui, ZHANG Dongxia (98)
- Ensemble Learning Method for Large-Scale Power Transformer Status Evaluation Based on Imbalanced Data**
..... HAN Xiao, WANG Xinying, HAN Shuai, ZHANG Yutian, WANG Jiye (107)
- Multi-spectral Image Fusion of Power Equipment and Multi-parameter Influence on Fault Gradual Evolution Prediction**
..... CUI Haoyang, ZHOU Kun, ZHANG Yu, HU Fengye, XU Yongpeng, QIN Lunming (115)
- Fault Detection of Power Tower Anti-bird Spurs Based on Deep Convolutional Neural Network**
..... MIAO Xiren, LIN Zhicheng, JIANG Hao, CHENG Jing, LIU Xinyu, ZHUANG Shengbin (126)

• HVDC Transmission & HVDC Grid •

- DC Microgrid Stability Affected by Aggregated Constant Power Loads Based on Impedance Method**
..... ZHENG Kaiyuan, DU Wenjuan, WANG Haifeng (134)
- Active Current-limiting Method of MMC to Handle DC Short-circuit Based on Bridge Arm Voltage Control**
..... LI Guoqing, YANG Yong, XIN Yechun, JIANG Shouqi, WANG Tuo (144)
- Small Signal Modeling of LCC-HVDC Station With Consideration of Harmonic Coupling Characteristics**
..... ZHOU Pan, LIU Tianqi, WANG Shunliang, MA Junpeng, ZHANG Haichuan (153)
- Single Ring Theorem Based Pilot Protection Method for HVDC Transmission Lines**
..... LIU Xiaojun, YUE Shuang, YANG Dongfeng, WANG Wei (162)
- Fault Current Actively Transferring Modular Multilevel Converter in DC Grid**
..... JIANG Chunbing, YU Yongjie, WANG Xin, ZHAO Chengyong (170)
- An ISOP Hybrid DC Transformer**..... YUAN Dong, YUAN Yubo, JIA Yongyong, XIAO Xiaolong, CHEN Wu, YAO Jinjie (179)
- Switching Logics of Main Pumps of Converter Valve Cooling System Considering Voltage Faults**
..... ZHANG Guohua, MA Genpo (189)

• Electricity Market •

- Design of Capacity Market Mechanism With Multi-objective Regulation**..... CHEN Zheng, SHANG Nan, ZHANG Xiang (198)
- Joint Bidding Model and Algorithm of Wind-storage System Considering Energy Storage Life and Frequency Regulation Performance**..... WANG Haohao, CHEN Jiajun, ZHU Tao, WU Mingxing, CHEN Qing, ZHU Jianquan, LIU Mingbo (208)
- Risk Constrained Investment Portfolio Model for Distribution Network Projects With Efficiency Optimization**
..... WANG Zeqi, LIU Youbo, SHEN Xiaodong, YU Ting, LI Jian, PENG Dong, ZHAO Lang, LIU Junyong (216)

• Power System •

- Digital-analog Hybrid Simulation of Large-scale AC-DC Power Grids Based on ADPSS Next-generation Simulation Platform**
..... WANG Pin, LI Yalou, CHEN Xujiang, ZHANG Xing, MU Qing, ZHANG Yan, WANG Xiangxu (227)

CPS Fault Simulation of Distribution Network Considering Network Information Security	LIANG Ying, WANG Yaokun, LIU Keyan, ZHAO Yu (235)
Multi-source Data and Hybrid Neural Network Based Ultra-short-term Bus Load Forecasting	FAN Shixiong, LIU Xingwei, YU Yijun, ZHANG Wei, LI Lixin (243)
Spatial Load Forecasting Method Using Fuzzy Information Granulation and Support Vector Machine	XIAO Bai, ZHAO Xiaoning, JIANG Zhuo, SHI Yonggang, JIAO Mingxi, WANG Yao (251)
Distribution Network Energy Storage Planning Ensuring Uninterrupted Power Supply for Critical Loads	ZHANG Haibo, MA Shentong, CHENG Xin, GONG Xianfu, WEI Kai (259)
Design Method for Improving Damping Characteristics of Virtual Synchronous Generator	MA Yilin, YANG Huan, QU Zisen, XIN Huanhai, HAN Junfei (269)
Active Disturbance Rejection Controller Optimization of Load Frequency in Interconnected Power Grid With Pumped Storage Power Station	YANG Yifan, XIANG Leijun, GUO Xinhua, ZHENG Yimin (276)
Information Integration Method of Intelligent Distribution Network With Micro Synchronous Phasor Measurement	WANG Jinli, WEI Chunyuan, DUAN Xiangjun, LI Yunshuo, XIE Wei, WANG Kangyuan (284)
Optimal Allocation of Smart Energy Meters for Improving Distribution Network Resilience Based on Distributed Energy Resources in Buildings	ZENG Bo, FANG Wei, XU Hao, SUN Xiaoyan, ZHANG Jianhua (292)
Grounding Fault Line Selection of Non-solidly Grounding System Based on Linearity of Current and Voltage Derivative	FENG Guang, GUAN Tinglong, WANG Lei, XUE Yongduan, YU Xiaoyong, XU Bingyin (302)
A Novel Criterion of Adaptive Busbar Protection Based on Hausdorff Distance Algorithm	RONG Zirui, JIN Neng, LIN Xiangning, XING Jiawei, LI Zhengtian, ZHANG Peifu (312)
Sag Source Positioning of Power Grid With Doubly Fed Power Supply Based on Matching Typical Mode of the Virtual Voltage	LIN Xiyao, SHAO Zhenguo, ZHANG Yan (322)
Voltage Sag Severity Assessment Method Considering Multi-dimension Characterization	HU Wenxi, XIAO Xianyong, LI Chengxin (331)
A Measurement Method of Supraharmonics Based on Partial Sampling and Hybrid Segmentation	WANG Zijiang, LI Qionglin, JIANG Jiandong, ZHANG Huayu, ZHENG Chen (339)
Analysis of Low Frequency Oscillatory Signals Based by IEWT and Energy Transfer SR-MLS Inversion Recognition Techniques	ZHANG Hong, WANG Yingli, YONG Tianze, GE Dechu, BAI Yang (347)
DC Solid State Transformer Circulation Current Suppression Strategy	MENG Xiangqi, JIA Yanbing, REN Chunguang, HAN Xiaoqing, LIN Xiaoqiang, ZHANG Baifu (356)
Thermal Balance Control Method of Modular Multilevel Converters	YU Yuan, ZHANG Tieyan, ZHAO Yan, GAO Qingzhong, KANG Xunhan (364)
• High Voltages •	
Electric Field Calculation and Optimization of High Voltage Apparatus Box on Car Roof of Electric Multiple Unit	QIU Hao, LI Mingxiao, WANG Shuhong, WANG Ziang, ZHANG Yanlin, CHEN Hengqian (372)
Electric Field Distribution and Optimization Method at Screen Edge of RIP DC Bushing	CHEN Ming, LIU Xuandong, ZHANG Rui, LIANG Chengjun, ZHANG Qiaogen, TANG Hao, LI Jinzhong (381)
Influence of Stray Inductance in the Semiconductor Module of DC Circuit Breaker on Turn-off Characteristics of Parallel IGBTs and Optimization Design of Busbar Structure	LIU Xin, WANG Litong, LIANG Guishu, QIU Peng, QI Lei (389)
An Economical Three-phase Fault Current Limiter	GAN Pengcheng, YUAN Jiaxin, ZHANG Zhaoyang, ZHOU Hang, CHEN Fan (399)
Application of Signal Injection Method in On-line Insulation Monitoring	XI Hang, ZHOU Kai, ZENG Qin, RAO Xianjie, LIU Li, HUANG Yonglu (409)
A Method for Monitoring Operation Status of Oil-immersed Transformer Based on the Baffle Angle Characteristic of Gas Relay	WAN Shuting, WEI Jiaoling, LÜ Pengrui, JIANG Danyu, DOU Longjiang, MA Zhiqin (417)

Sponsor: State Grid Corporation of China

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

Chairman of Editorial Committee: Zhou Xiaoxin

Editor-in-Chief: Guo Jianbo

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

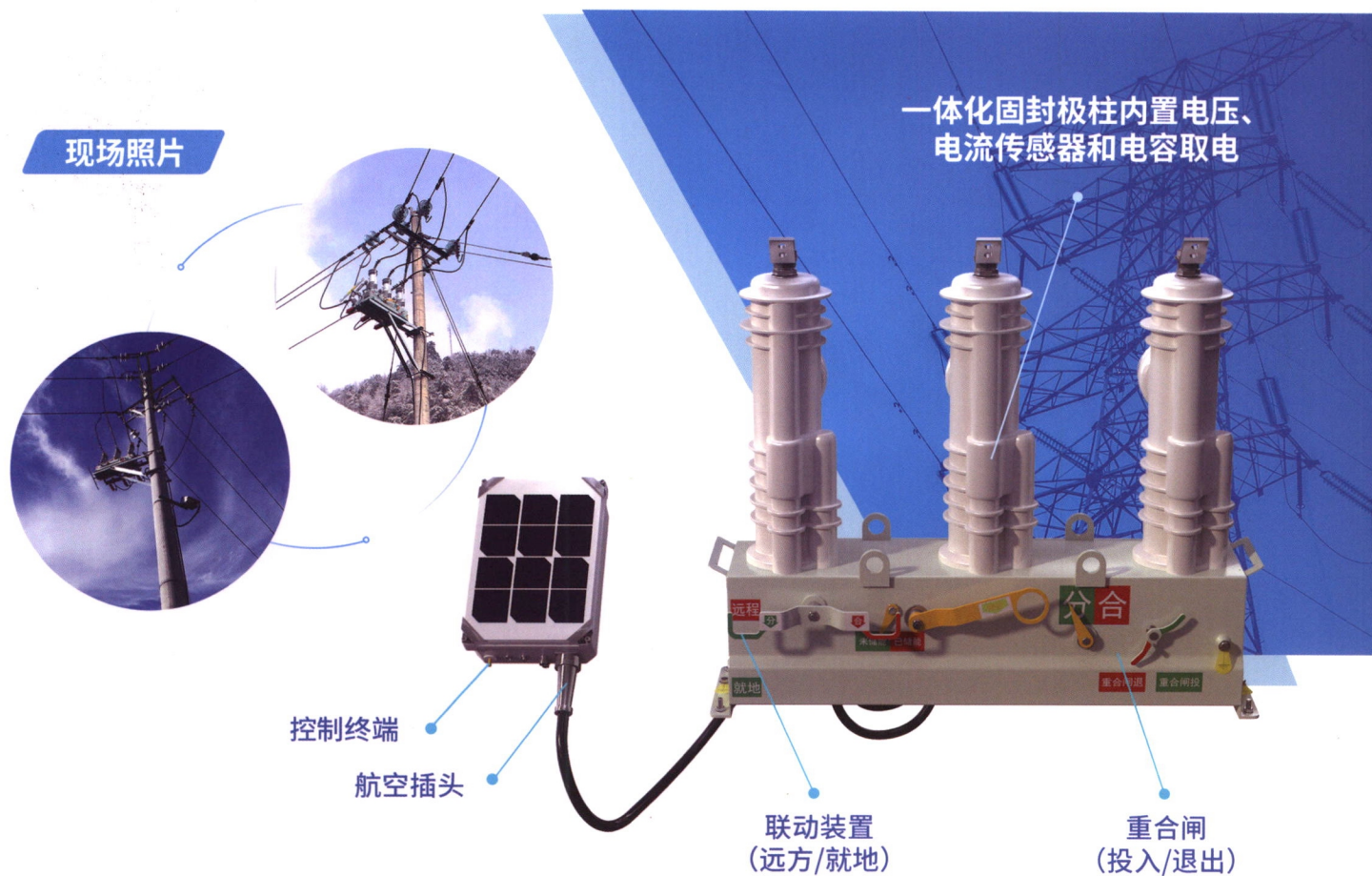
E-mail: pst@epri.sgcc.com.cn http://www.dwjs.com.cn

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

创新能源互联网 >>>

一二次深度融合智能柱上开关

一二次融合智能柱上开关由开关本体（户外真空断路器）、控制终端（馈线终端）及配套软件组成，深度融合了电流、电压传感器、电容取电模块、线损采集模块等关键技术。主要适用于三相交流50Hz、额定电压12kV和24kV的户外配电系统，用于线路分段、联络、分支、用户分界等场合，在配电线路中起分断、控制、保护和线损采集的作用。



产品特点

- 一体化固封小型化设计
- 超低功耗设计
- 可靠的选择性保护
短路故障和接地故障的选择性保护
- 内置电容取电模块
解决电磁式PT的铁磁谐振和易被雷击损坏等问题
- 内置高精度交流电压电流传感器
- 防远方误合闸的联动控制
- 分布式单相接地故障诊断
- 科学的定值管理
- 定值自动匹配
- 安装免调试运行免维护

上海宏力达信息技术股份有限公司

地址：上海市徐汇区古美路 1528 号 A3 幢 8 楼 电话：021-33266008 手机：13817032270
传真：021-33266088 邮箱：zhangxl@holystar.com.cn

www.holystar.coam.cn

