

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2
2021

第45卷2期
Vol.45 No.2

Q K 2 1 0 0 0 6 0

中国电力科学研究院有限公司 定制化电力气象监测/预报/预警产品

支撑电网安全稳定运行和新能源高效消纳的定制化电力气象监测、预报、预警产品自2015年底发布,已陆续应用于国网设备部、国网特高压部、国网基建部、国调中心以及二十多个网省电力公司。该产品由中国电力科学研究院有限公司自主研发,可提供支撑电网安全运行的强降水、雷电、覆冰、大风、台风、舞动、风偏等预警信息,支撑新能源发展的风、光资源长期模拟数据,以及多时间尺度资源预报数据,数据的空间分辨率 $1\text{km} \times 1\text{km}$,时间分辨率15min,准确率达到国际先进水平。



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

联系人: 靳双龙

邮编: 100192

电话: 010-82814122 13661190692

邮箱: jinshuanglong@epri.sgcc.com.cn

ISSN 1000-3673



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

· 能源互联网 ·

信息物理视角下能源互联网可靠性评估方法综述

.....丁茂生, 王洪儒, 王超, 王琦, 汤奕 (425)

多能流多尺度综合安全评估关键技术研发与应用

.....薛屹洵, 潘昭光, 王彬, 孙宏斌, 郭庆来 (437)

计及电价型需求侧响应含碳捕集设备的电-气-热综合能源系统低碳经济

调度.....崔杨, 曾鹏, 王铮, 王茂春, 张节潭, 赵钰婷 (447)

基于双层优化的综合能源服务商博弈策略

.....李鹏, 马溪原, 郭祚刚, 雷金勇, 袁智勇, 何帅, 陈柏沅, 刘念 (460)

考虑热环网时延的区域 IES 分层分布式优化方法

.....夏明超, 花志浩, 陈奇芳, 张道农 (470)

基于多时间尺度的电-气-热耦合网络动态状态估计

.....刘鑫蕊, 李焱, 孙秋野, 潘奕林 (479)

面向工业园区的集中-分布式综合需求响应方法

.....徐成司, 董树锋, 张舒鹏, 刘育权, 熊文 (489)

综合考虑充电需求和配电网接纳能力的电动汽车充电站规划

.....田梦瑶, 汤波, 杨秀, 夏祥武 (498)

计及光储快充一体站的配电网随机-鲁棒混合优化调度

.....胡代豪, 郭力, 刘一欣, 张宇轩, 李相俊, 刘海峰 (507)

· 高比例可再生能源并网 ·

基于虚拟同步控制的双馈风电并网系统暂态功角稳定研究综述与展望

.....程雪坤, 刘辉, 田云峰, 赵峰, 孙大卫, 宋鹏, 张瑞芳 (518)

风机低电压穿越控制对系统暂态过电压的影响及优化

.....贾俊川, 金一丁, 赵兵, 仲悟之, 程势高, 刘涛, 徐希望, 郑帅飞 (526)

基于卷积循环神经网络的风电场内多点位风速预测方法

.....梁超, 刘永前, 周家慷, 阎洁, 鲁宗相 (534)

含风电的高维多目标安全约束机组组合问题求解方法

.....吴悔, 林舜江, 范官盛 (542)

基于偏依赖量的风功率影响因素相关性分析方法

.....庞传军, 余建明, 张波, 刘艳 (552)

含大规模面板级直流优化器的分布式光伏并网系统动态建模

.....王钦, 姚伟, 艾小猛, 方家琨, 文劲宇, 杨晓波, 谢海莲, 黄杏 (559)

相邻变压器空载合闸对光伏输出电流二次谐波分量影响的研究

.....郑涛, 王铭灏, 于吉, 陈争光, 顾琦, 文芳, 罗来龙, 陈禹志 (570)

虚拟同步发电机的输入阻抗建模及稳定性分析.....高娟, 秦岭 (578)

一种基于博弈论的多微网能源交易方法

.....刘志坚, 刘瑞光, 梁宁, 刘晓欣 (587)

· 电力系统 ·

计算资源共享的调度计划安全校核多应用并行计算调度

.....吕颖, 贾育培, 罗治强, 何春江, 嵇士杰, 于之虹, 常乃超 (596)

面向大气污染防治的电力绿色调度策略研究与实践

.....安军, 陈启鑫, 代飞, 张树森, 邬俊杰, 李岩, 柴旭峰 (605)

采用混沌粒子群-内点法联合算法的多目标发电调度

.....张吉昂, 王萍, 程泽 (613)

计及阻塞管理的交直流柔性配电网协调优化调度方法

.....赵一奇, 郭力, 刘一欣, 李霞林 (622)

基于电力系统承载力指标的新能源装机规划方法

.....张振宇, 王文伟, 张小奇, 马晓伟, 褚云龙, 王康平, 王智伟, 苏彪 (632)

基于电压相量时序轨迹特征的电网静态稳定态势在线评估指标

.....郑恒峰, 李柏青, 刘道伟, 阴宏民, 李宗翰, 张博闻, 杨红英, 岳涵, 赵高尚, 崔岱 (640)

计及生产指标的海上油田群电力系统可靠性评估

.....张航, 王秀丽, 张启文, 宣德之, 申超领, 李雪 (649)

基于分形机理的复杂电力网络脆弱性评估及鲁棒性提升策略研究

.....陈志鹏, 谢宁, 王承民, 钱振宇 (657)

基于阻抗匹配方法的放射形配电系统电压稳定性分析方法

.....汪芳宗, 王阳田, 李凡, 宋墩文, 马世英 (665)

基于 S 变换与多维分形的电压暂降源特征识别

.....杨秀, 张彤瑶, 潘爱强, 张美霞 (672)

非理想通信条件下微电网分布式有功功率控制

.....王满商, 邓思成, 郑天文, 陈来军, 梅生伟, 李正明 (680)

一种新型三相电压型 PWM 整流器无差拍预测直接功率控制

.....李晖, 梅成林, 林明耀, 艾建 (689)

含分布式电源和电动汽车的城市电网半不变量故障分析方法

.....马子钦, 廖凯, 李波, 杨健维, 何正友 (696)

中性点不接地配电网电弧接地故障建模与分析

.....任伟, 薛永端, 杨帆, 徐丙垠 (705)

基于深度学习的智能变电站二次设备故障定位研究

.....任博, 郑永康, 王永福, 盛四清, 李劲松, 张海洋, 郑超 (713)

多负载耦合谐振式无线电能传输系统特性分析

.....李建坡, 王一钧, 杨涛, 马强, 王勇 (722)

· 直流输电与直流电网 ·

基于主动探测式的混合 MMC 直流输电系统单端量故障定位

.....宋国兵, 侯俊杰, 郭冰 (730)

含双有源全桥变换器多电压等级直流配电网潮流分析与计算

.....刘朋, 贾燕冰, 韩肖清 (741)

电网电压畸变下的单相级联 H 桥变流器无锁相环控制

.....杨达亮, 张轩, 陈爽, 陈家豪 (751)

载波交替层叠调制下三电平变流器中点自平衡能力分析与改进拓扑

.....陈鹏飞, 唐芬, 赵宇明, 吴学智, 王伟, Poh Chiang LOH (758)

含耦合电感的四管五电平整流器模型预测控制

.....朱艺锋, 岳豪, 赵海龙, 徐慧春 (768)

基于数值逼近与值集分析的多直流间换相失败预测模块参数优化研究

.....陈民权, 郝文清, 周靖皓, 甘德强 (776)

新能源经柔直孤岛送出场场景下换流站安全稳定运行区域研究

.....秦善萌, 王姗姗, 赵兵, 孙媛媛, 尹睿, 赵悦彤, 杨盼博 (785)

· 高电压技术 ·

高海拔地区±500kV 直流线路电磁环境试验研究及导线选型

.....赵录兴, 小布穷, 王炳强, 岳嵩, 高磊 (794)

计及铁心叠片规则与流-固耦合的特高压并联电抗器铁心振动计算方法

.....律方成, 郭佳熠, 程涣超, 耿江海, 刘雨濛, 潘亦睿 (802)

考虑磁通波形特征的谐波磁损耗计算方法及验证

.....赵志刚, 徐曼, 胡鑫剑, 马习纹, 张鹏 (811)

正极性长空气间隙放电先导梯级发展特性

.....王平, 刘晓敏, 律方成, 耿江海, 丁玉剑, 姚修远 (818)

基于频域反射法的 10 kV 配电电缆中间接头受潮定位

.....李蓉, 周凯, 万航, 谢敏, 刘力, 汪先进, 马骁 (825)

铁氧化物对室温硫化硅橡胶憎水迁移特性影响的试验研究

.....蓝磊, 牟霖, 王羽, 王维, 付忠祥, 黄顺勇, 黄达 (833)

· 广告索引 · (840)

《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 2 期 (总第 447 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

国内定价: 每期 80 元, 全年 960 元

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

广告发布登记号: 京海市监广登字 20170131 号

期刊基本参数: CN 11-2410/TM * 1957 * M * A4 * 415 * zh * P * ¥80.00 * 20000 * 47 * 2021-2 版权所有 未经许可不得转载及上网

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2021, Vol. 45 No. 2 (Ser. 447)

Contents

· Energy Internet ·

- Review of Reliability Assessments for Energy Internet Based on Cyber Physical Integration**
..... DING Maosheng, WANG Hongru, WANG Chao, WANG Qi, TANG Yi (425)
- Security Assessment Module in Integrated Energy Management System: Development and Application**
..... XUE Yixun, PAN Zhaoguang, WANG Bin, SUN Hongbin, GUO Qinglai (437)
- Low-carbon Economic Dispatch of Electricity-gas-heat Integrated Energy System With Carbon Capture Equipment Considering Price-based Demand Response** CUI Yang, ZENG Peng, WANG Zheng, WANG Maochun, ZHANG Jietan, ZHAO Yuting (447)
- Game Strategy of Integrated Energy Service Providers Based on Bi-level Optimization**
..... LI Peng, MA Xiyuan, GUO Zuogang, LEI Jinyong, YUAN Zhiyong, HE Shuai, CHEN Baiyuan, LIU Nian (460)
- Distributed Hierarchical Optimization for Area Integrated Energy Systems Considering Heat Transmission Delay of Thermal Loop Network**
..... XIA Mingchao, HUA Zhihao, CHEN Qifang, ZHANG Daonong (470)
- Interaction and Joint State Estimation of Electric-gas-thermal Coupling Network** LIU Xinrui, LI Yao, SUN Qiuye, PAN Yilin (479)
- Centralized-distributed Integrated Demand Response Method for Industrial Park**
..... XU Chengsi, DONG Shufeng, ZHANG Shupeng, LIU Yuquan, XIONG Wen (489)
- Planning of Electric Vehicle Charging Stations Considering Charging Demands and Acceptance Capacity of Distribution Network**
..... TIAN Mengyao, TANG Bo, YANG Xiu, XIA Xiangwu (498)
- Stochastic/Robust Hybrid Optimal Dispatching of Distribution Networks Considering Fast Charging Stations With Photovoltaic and Energy Storage** HU Daihao, GUO Li, LIU Yixin, ZHANG Yuxuan, LI Xiangjun, LIU Haifeng (507)

· High Share of Renewable Energy Integration ·

- Review of Transient Power Angle Stability of Doubly-fed Induction Generator With Virtual Synchronous Generator Technology Integration System** CHENG Xuekun, LIU Hui, TIAN Yunfeng, ZHAO Feng, SUN Dawei, SONG Peng, ZHANG Ruifang (518)
- Impact Analysis and Performance Optimization of LVRT Control of Wind Turbine on Transient Overvoltage of Power System**
..... JIA Junchuan, JIN Yiding, ZHAO Bing, ZHONG Wuzhi, CHENG Shigao, LIU Tao, XU Xiwang, ZHENG Shuaifei (526)
- Wind Speed Prediction at Multi-locations Based on Combination of Recurrent and Convolutional Neural Networks**
..... LIANG Chao, LIU Yongqian, ZHOU Jiakang, YAN Jie, LU Zongxiang (534)
- Solution for Multi-objective Security Constrained Unit Commitment With Wind Power** WU Hui, LIN Shunjiang, FAN Guansheng (542)
- Correlation Analysis of Factors Affecting Wind Power Based on Partial Dependence** PANG Chuanjun, YU Jianming, ZHANG Bo, LIU Yan (552)
- Dynamic Modelling of Distributed PV Grid-connected System With Large Scale of Panel Level DC Optimizers**
..... WANG Qin, YAO Wei, AI Xiaomeng, FANG Jiakun, WEN Jinyu, YANG Xiaobo, XIE Hailian, HUANG Xing (559)
- Research on the Impact of No-load Closing of Adjacent Transformer on the Second Harmonic Current Components of Photovoltaic Power**
..... ZHENG Tao, WANG Minghao, YU Ji, CHEN Zhengguang, GU Qi, WEN Fang, LUO Lailong, CHEN Yuzhi (570)
- Input Impedance Modeling and Stability Analysis for Virtual Synchronous Generator** GAO Juan, QIN Ling (578)
- Energy Trading Method of Multi-microgrids Based on Game Theory** LIU Zhijian, LIU Ruiguang, LIANG Ning, LIU Xiaoxin (587)

· Power System ·

- Security Check of Scheduling Plan Based on Shared Computing Resources**
..... LÜ Ying, JIA Yupei, LUO Zhiqiang, HE Chunjiang, JI Shijie, YU Zhihong, CHANG Naichao (596)
- Power Green Dispatch Strategies for Air Pollution Prevention and Control**
..... AN Jun, CHEN Qixin, DAI Fei, ZHANG Shusen, HAO Junjie, LI Yan, CHAI Xuzheng (605)
- Multi-objective Dispatching Adopting Chaos Particle Swarm Optimization Cooperated With Interior Point Method**
..... ZHANG Ji'ang, WANG Ping, CHENG Ze (613)
- Coordinated Optimal Scheduling Method of AC/DC Flexible Distribution Network Considering Congestion Management**
..... ZHAO Yiqi, GUO Li, LIU Yixin, LI Xialin (622)
- Renewable Energy Capacity Planning Based on Carrying Capacity Indicators of Power System**
..... ZHANG Zhenyu, WANG Wenzhuo, ZHANG Xiaoqi, MA Xiaowei, CHU Yunlong, WANG Kangping, WANG Zhiwei, SU Biao (632)
- On-line Evaluation Index of Grid Static Stability Situation Based on Timing Trajectory Characteristics of Voltage Phasors**
..... ZHENG Hengfeng, LI Baiqing, LIU Daowei, YIN Hongmin, LI Zonghan, ZHANG Bowen, YANG Hongying, YUE Han, ZHAO Gaoshang, CUI Dai (640)
- Reliability Evaluation of Offshore Oil Power System Considering Production Indexes**
..... ZHANG Hang, WANG Xiuli, ZHANG Qiwen, XUAN Dezhi, SHEN Chaoling, LI Xue (649)
- Vulnerability Evaluation and Robustness Improvement Strategy of Complex Power Network Based on Fractal Mechanism**
..... CHEN Zhipeng, XIE Ning, WANG Chengmin, QIAN Zhenyu (657)

Voltage Stability Analysis Method for Radial Distribution System Based on Impedance Match Concept

..... WANG Fangzong, WANG Yangtian, LI Fan, SONG Dunwen, MA Shiying (665)

Voltage Sag Source Feature Identification With S Transform and Multidimensional Fractal

..... YANG Xiu, ZHANG Tongyao, PAN Aiqiang, ZHANG Meixia (672)

Distributed Active Power Control of Microgrids Under Non-ideal Communication

..... WANG Manshang, DENG Sicheng, ZHENG Tianwen, CHEN Laijun, MEI Shengwei, LI Zhengming (680)

A Novel Dead-beat Predictive Direct Power Control of Three-phase PWM Rectifier LI Hui, MEI Chenglin, LIN Mingyao, AI Jian (689)

Cumulant Failure Analysis of Urban Power Grid With Distributed Generation and Electric Vehicles

..... MA Ziqin, LIAO Kai, LI Bo, YANG Jianwei, HE Zhengyou (696)

Modeling and Analysis of Arc Grounding Faults in Isolated Neutral Distribution Network... REN Wei, XUE Yongduan, YANG Fan, XU Bingyin (705)

Fault Location of Secondary Equipment in Smart Substation Based on Deep Learning

..... REN Bo, ZHENG Yongkang, WANG Yongfu, SHENG Siqing, LI Jinsong, ZHANG Haiyang, ZHENG Chao (713)

Transmission Characteristic Research on Multi-loads Wireless Power Transfer via Magnetic Coupling Resonance

..... LI Jianpo, WANG Yijun, YANG Tao, MA Qiang, WANG Yong (722)

· **HVDC Transmission & HVDC Grid** ·

Single-ended Fault Location of Hybrid MMC-HVDC System Based on Active Detection SONG Guobing, HOU Junjie, GUO Bing (730)

DAB-based Power Flow Analysis and Calculation for Multi-voltage Grades DC Distribution Network

..... LIU Peng, JIA Yanbing, HAN Xiaoqing (741)

Single-phase Cascaded H-bridge Converter Control Without Phase-locked Loop Under Distorted Grid Voltage Conditions

..... YANG Daliang, ZHANG Xuan, CHEN Shuang, CHEN Jiahao (751)

Neutral-point Potential Self-balancing Analysis and Improved Topology of Three-level Converter With APOD Modulation

..... CHEN Pengfei, TANG Fen, ZHAO Yuming, WU Xuezhi, WANG Wei, Poh Chiang LOH (758)

Model Predictive Control of Four-tube Five-level Rectifier With Coupled Inductors ZHU Yifeng, YUE Hao, ZHAO Hailong, XU Huichun (768)

Parameter Optimization of Commutation Failure Preventions Between Multiple DC Links Based on Numerical Approximation and Value Set

..... CHEN Minquan, HAO Wenqing, ZHOU Jinghao, GAN Deqiang (776)

Study on the Safe and Stable Operation Area for the Converter Station Under the Scenarios of Renewable Energy Generation Sending Through Islanded MMC-HVDC QIN Shanmeng, WANG Shanshan, ZHAO Bing, SUN Yuanyuan, YIN Rui, ZHAO Yuetong, YANG Panbo (785)

· **High Voltages** ·

Experimental Research and Conductor Selection on Electromagnetic Environment of $\pm 500\text{kV}$ DC Transmission Line at High Altitude

..... ZHAO Luxing, XIAO Buqiong, WANG Bingqiang, YUE Song, GAO Lei (794)

Calculation of UHV Shunt Reactor Core Vibration Considering Core Lamination Rules and Fluid-solid Coupling

..... LÜ Fangcheng, GUO Jiayi, CHENG Huanchao, GENG Jianghai, LIU Yumeng, PAN Yirui (802)

Calculation and Verification of Harmonic Magnetic Loss Considering Magnetic Flux Waveform Characteristics

..... ZHAO Zhigang, XU Man, HU Xinjian, MA Xiwen, ZHANG Peng (811)

Stepped Propagation Characteristics of Leader for Positive Discharge in Long Air Gaps

..... WANG Ping, LIU Xiaomin, LÜ Fangcheng, GENG Jianghai, DING Yujian, YAO Xiuyuan (818)

Moisture Location of 10kV Cable Joints in Medium Voltage Distribution Grid Based on Frequency Domain Reflection

..... LI Rong, ZHOU Kai, WAN Hang, XIE Min, LIU Li, WANG Xianjin, MA Xiao (825)

Effect of Iron Oxides on Hydrophobicity Migration of Room Temperature Vulcanized Silicone Rubber

..... LAN Lei, MU Lin, WANG Yu, WANG Wei, FU Zhongxiang, HUANG Shunyong, HUANG Da (833)

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

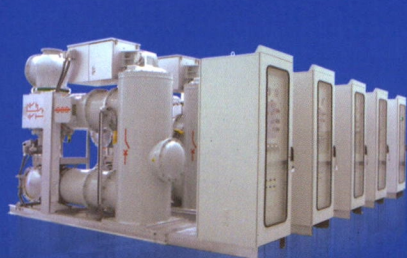
E-mail: pst@epri.sgcc.com.cn <http://www.dwjs.com.cn>

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



——值得信赖的电力系统价值伙伴

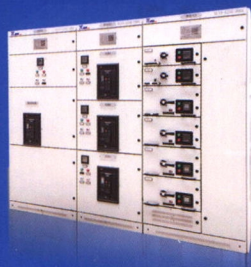
青岛益和电气集团股份有限公司坐落于国家产业建设示范新区——青岛西海岸新区，公司始建于1985年，30多年来一直专注于252kV及以下电力电气成套设备的研发、生产和销售（电网及发电系统电气成套设备主要供应商之一），为用户提供智能化电气设备、电力工程施工、变电站智能运维和智慧能源管理服务。



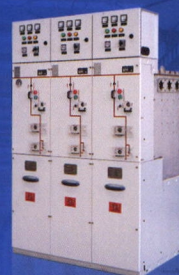
组合电器



标准化定制手车柜



标准化定制低压柜



标准化定制环网柜



箱式变电站



开关柜智能化生产线



板材智能化加工系统



焊接机器人



变电站智能运维远控中心



微网智慧能源管理系统

青島益和電氣集團股份有限公司

地址：山東省青島市西海岸新區淮河西路717號

郵編：266510

電話：0532-58517159

http://www.yihe.cn

郵箱：yihedianqijituan@126.com

