

# 电网技术

## POWER SYSTEM TECHNOLOGY

**5**  
**2019**

第43卷5期  
Vol.43 No.5

QK1917295

**MPC** 广州麦科凌电力装备有限公司  
国际电工 GUANGZHOU MPC POWER INTERNATIONAL CO., LTD

# 再出发

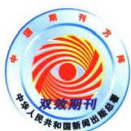
广州市迈克林电力有限公司  
更名为

**广州麦科凌电力装备有限公司**



企业精神 改善  
年年有改善，天天有改善，时刻想着改善。  
公司地址 (ADD)：广州市从化太平镇平中路339号  
邮编 (P. C.)：510990  
营销电话 (TEL)：86-20-87802755  
图文传真 (FAX)：86-20-87802754

ISSN 1000-3673



国家电网公司 主办

9 771000 367196  
万方数据



## 《电网技术》

### 编辑委员会

主任:刘振亚

委员(按姓氏笔画排序):

Wei-Jen Lee 丁明 尹积军 文福拴

王敏 王成山 王相勤 王益民

Haifeng Wang (王海凤) 韦化

帅军庆 伍萱 刘广迎 刘开俊

刘开培 刘玉田 刘建明 印永华

孙昕 汤涌 纪延超 吴云

吴玉生 Qinghua Wu (吴青华)

张文亮 张丽英 张启平 张运洲

张春城 张智刚 李卫东 李文毅

李向荣 李庆林 李成榕 李群湛

杜至刚 杨庆 肖世杰 肖立业

陈峰 陈月明 周浩 郑宝森

K L Lo (罗国麟) 段献忠 赵庆波

Wilsun Xu (徐文远) 索南加乐

栾军 郭剑波 康重庆 曹一家

曹均正 曹志安 黄强 程浩忠

舒印彪 葛正翔 路书军 廖瑞金

穆钢 鞠平

### 顾问委员会

主任:陆延昌

副主任:周孝信 郑健超

委员(按姓氏笔画排序):

马伟明 王锡凡 卢强 孙才新

朱英浩 严陆光 余贻鑫 宋永华

Felix Wu (吴复立) 杨奇逊 汪楯生

沈国荣 邱爱慈 陆佑楣 陈清泉

赵遵廉 唐任远 顾国彪 黄其励

程时杰 韩祯祥 潘家铮 薛禹胜

## 目次

### · 分布式可再生能源发电集群控制与并网消纳 ·

基于模糊C均值聚类的分布式电源集群并网逆变器输出功率置信区间估计方法..... 孙丽敬, 盛万兴, 吴鸣, 吕志鹏, 李蕊, 李冬森, 李运兵 (1495)

面向多应用需求的分布式储能优化调度..... 甘伟, 郭剑波, 李相俊, 艾小猛, 文劲宇 (1504)

基于柔性互联的独立微电网分布式优化调度方法..... 路畅, 郭力, 刘一欣, 高爽, 徐斌 (1512)

含分布式光伏的多级变压交直流混合配电网经济性评估..... 高爽, 盛万兴, 徐斌, 彭昱皓 (1520)

含高比例分布式电源接入的低感知度配电网电压控制方法..... 张宇精, 乔颖, 鲁宗相, 王玮 (1528)

考虑系统延时的微电网有功功率分布式控制策略..... 邓思成, 陈来军, 郑天文, 杨立滨, 梅生伟 (1536)

改进连续集模型预测控制策略在平抑光伏功率波动中的应用..... 张颖, 雷鸣宇, 杨子龙, 王一波, 吴鸣 (1543)

光伏并网逆变器输出电压直流分量的扰动观测抑制方法..... 杨权, 张靖, 楼冠男, 柳伟, 曹志煌, 徐斌, 顾伟 (1550)

虚拟同步机运行区域计算与参数分析..... 盛万兴, 吕志鹏, 崔健, 刘海涛 (1557)

VSG一次调频和转速振荡阻尼的解耦控制方案..... 颜湘武, 贾焦心 (1566)

### · 特约专稿 ·

5G通信与泛在电力物联网的融合:应用分析与研究展望..... 王毅, 陈启鑫, 张宁, 冯成, 滕飞, 孙铭阳, 康重庆 (1575)

### · 国家重点研发计划 ·

柔性直流电网直流过电压分析及控制策略研究..... 杨艳晨, 郭剑波, 王姗姗, 王铁柱, 李英彪, 赵兵, 吴广禄 (1586)

1000kV特高压变压器的GIC无功效应分析..... 刘连光, 张天, 张述铭, 王泽忠 (1593)

基于SOP的多电压等级混联配电网运行二阶锥规划方法..... 孙充勃, 原凯, 李鹏, 宋毅, 李晖, 冀浩然, 宋关羽 (1599)

基于随机生产模拟的日前发电-备用双层决策模型..... 周明, 李琰, 李庚银 (1606)

有源电力滤波器基于准比例谐振的电流协调控制策略研究..... 张茂松, 池帮秀, 李家旺, 王秀芹, 王群京, 李国丽 (1614)

### · 高比例可再生能源并网 ·

基于控制硬件在环的风电机组阻抗测量及影响因素分析..... 李光辉, 王伟胜, 刘纯, 何国庆, 叶俭, 孙建 (1624)

方向元件在光伏电站送出线路中的适应性分析..... 许冠军, 梁营玉, 查雯婷, 霍姚彤, 秦晓童, 王聪 (1632)

基于场景法的配电网有功-无功协调优化..... 郑能, 丁晓群, 管志成, 胡瑞馨, 缪辉 (1640)

采用二阶滤波的混合储能系统实时功率分配方法..... 李学斌, 刘建伟 (1650)

· 交直流互联电网仿真 ·

- 基于频率相关网络等值和时变动态相量直流模型的机电暂态仿真方法  
..... 丁平, 赵敏, 田鹏飞, 王维熙, 徐希望, 蔡靖 (1658)
- 基于 BPA-HYPERSIM 的大电网自动建模软件开发  
..... 胡涛, 朱艺颖, 李柏青, 郭强, 王薇薇, 叶俭, 刘翀, 董鹏 (1666)
- 考虑电价型需求响应的交直流混合配电网优化调度  
..... 王文超, 庞丹, 成龙, 王振浩 (1675)

· 电力系统 ·

- ±1100kV 特高压直流分层接入后受端电网稳定特性及控制措施  
..... 徐式蕴, 贺静波, 樊明荃, 林伟芳, 张健, 王超, 易俊, 等 (1683)
- 基于短时受扰轨迹的电力系统暂态稳定评估方法  
..... 安军, 艾士琪, 刘道伟, 李柏青, 邵广惠, 徐兴伟, 王震宇 (1690)
- 基于改进框架结构的扰动传播模型研究..... 毕天姝, 秦骏达 (1698)
- 应用于城市电网分区互联的柔性直流容量和选点配置方法  
..... 唐晓骏, 韩民晓, 谢岩, 王璟, 霍启迪, 田春等, 张鑫, 申旭辉 (1709)
- 基于 GAN 场景模拟与条件风险价值的独立型微网容量随机优化配置模型  
..... 李康平, 张展耀, 王飞, 姜利辉, 张晶晶, 俞伊丽, 米增强 (1717)
- 基于蓄热热泵群灵活控制的电热微网联络线功率平滑策略  
..... 戴世刚, 黄文焘, 邵能灵, 马洲俊, 李珊 (1726)
- 基于多智能体的微网群内电力市场交易策略  
..... 窦春霞, 罗维, 岳东, 齐航, 孟驰华, 张亚民, 张占强, 张博, 等 (1735)
- 电力市场中基于 Attention-LSTM 的短期负荷预测模型  
..... 彭文, 王金睿, 尹山青 (1745)

一种新型的风电功率爬坡段识别方法

- ..... 匡洪海, 王建辉, 张翰超, 朱国平, 张曙云 (1752)

- 基于多调频资源协调控制的西北送端大电网新能源快速频率响应参数设置方案  
..... 孙晓强, 刘鑫, 程林, 段乃欣, 褚云龙, 柯贤波, 程松, 等 (1760)
- 含大规模新能源集中外送型电网高频第三道防线配置方法  
..... 岳涵, 邵广惠, 孙铭泽, 刘洋, 窦安麟 (1766)

- 基于结构熵权法与故障树的智能变电站保护系统扰动度在线评估方法  
..... 王洪彬, 徐亨, 童晓阳, 刁兴华, 郭升, 郑永康 (1772)

- 减小电压暂降深度的三相重合闸时序研究  
..... 梁振锋, 张清, 张惠智, 樊占峰, 宋国兵 (1781)

- 一种直流配电网线路故障测距新方法  
..... 杨亚超, 黄纯, 汪星耀, 刘鹏辉, 汤涛 (1787)

- 基于无源性理论的 MMC 电容电压观测器设计  
..... 夏超英, 李晶, 于佳丽 (1795)

- 基于智能多代理属地管理系统的有序用电模式  
..... 王伊宁, 丁坚勇, 田世明, 卜凡鹏, 陈俊艺 (1802)

- 基于经验模态分解与同态加密的用电数据隐私保护  
..... 李元诚, 张攀, 郑世强 (1810)

- 邻近基波/谐波的间谐波检测算法..... 段晨, 杨洪耕 (1818)

- 双移相变频控制的隔离型双向 AC/DC 变换器控制策略  
..... 周一雄, 秦文萍, 王祺, 任春光, 韩肖清 (1826)

· 高电压技术 ·

- 高压直接地极对埋地油气管道腐蚀影响的等效电流研究  
..... 白锋, 李雄, 曹方圆 (1834)

- 水分侵入压接界面对复合绝缘子的影响  
..... 杨昌建, 徐驰, 晏年平, 贾志东, 王希林 (1841)

- 电磁斥力机构能量转换效率分析  
..... 张修雅, 袁召, 陈立学, 朱哲晓, 何俊磊, 何俊佳 (1849)

- 桥式混合励磁型饱和铁心故障限流器性能分析  
..... 冷华, 钟永恒 (1856)

《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 43 卷 第 5 期 (总第 426 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: 张文亮

副主编: 郭剑波 汤 涌

编辑部副主任: 李兰欣 010-82812543

广告部经理: 齐 华 010-58386112

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 \* 370 \* zh \* P \* ¥80.00 \* 20000 \* 46 \* 2019-05 版权所有 未经许可不得转载及上网

# POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2019, Vol. 43 No. 5 (Ser. 426)

## Contents

### · Key Technologies for Integration and Consumption of Clustered Distributed Renewable Energy Generation ·

- Estimation Method of DG Clusters Grid-connected Inverter's Output Power Confidence Interval Based on Fuzzy C-means Algorithm**.....Sun Lijing, Sheng Wanxing, Wu Ming, Lü Zhipeng, Li Rui, Li Dongsen, Li Yunbing (1495)
- Distributed Energy Storage Optimization Scheduling for Multiple Application Requirements**  
..... Gan Wei, Guo Jianbo, Li Xiangjun, Ai Xiaomeng, Wen Jinyu (1504)
- Distributed Optimal Dispatching Method for Independent Microgrids Based on Flexible Interconnection**  
..... Lu Chang, Guo Li, Liu Yixin, Gao Shuang, Xu Bin (1512)
- Economic Evaluation of Multi-voltage Hybrid AC/DC Distribution Networks With High Penetration of Photovoltaics**  
..... Gao Shuang, Sheng Wanxing, Xu Bin, Peng Yuhao (1520)
- Voltage Control for Partially Visible Distribution Networks With High DG Penetration**  
.....Zhang Yujing, Qiao Ying, Lu Zongxiang, Wang Wei (1528)
- Active Power Distributed Control of Microgrids Considering System Time Delays**  
..... Deng Sicheng, Chen Laijun, Zheng Tianwen, Yang Libin, Mei Shengwei (1536)
- An Improved Predictive Control Strategy of Continuous Control Set Model for PV Power Fluctuation Damping**  
.....Zhang Ying, Lei Mingyu, Yang Zilong, Wang Yibo, Wu Ming (1543)
- A Disturbance Suppression Method for DC Component in Output Voltage of Photovoltaic Grid-connected Inverter**  
..... Yang Quan, Zhang Jing, Lou Guannan, Liu Wei, Cao Zhihuang, Xu Bin, Gu Wei (1550)
- Operation Area Calculation and Parameter Analysis of Virtual Synchronous Generator**  
.....Sheng Wanxing, Lü Zhipeng, Cui Jian, Liu Haitao (1557)
- Decoupling Control of Primary Frequency Regulation and Rotational Speed Damping of VSG**  
..... Yan Xiangwu, Jia Jiaoxin (1566)

### · Special Paper ·

- Fusion of the 5G Communication and the Ubiquitous Electric Internet of Things: Application Analysis and Research Prospects**  
..... Wang Yi, Chen Qixin, Zhang Ning, Feng Cheng, Teng Fei, Sun Mingyang, Kang Chongqing (1575)

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

- Analysis and Control Strategy of DC Overvoltage in MMC-HVDC Grid**  
..... Yang Yanchen, Guo Jianbo, Wang Shanshan, Wang Tiezhu, Li Yingbiao, Zhao Bing, Wu Guanglu (1586)
- Analysis of GIC Reactive Power Response of 1000kV UHV Transformer**  
..... Liu Lianguang, Zhang Tian, Zhang Shuming, Wang Zezhong (1593)
- A Second-order Cone Programming Method for Hybrid Multiple Voltage Level Distribution Networks Based on Soft Open Points**  
.....Sun Chongbo, Yuan Kai, Li Peng, Song Yi, Li Hui, Ji Haoran, Song Guanyu (1599)
- A Day-ahead Power Generation-reserve Bi-level Decision-making Model for Power System Based on Probabilistic Production Simulation** ..... Zhou Ming, Li Yan, Li Gengyin (1606)
- Study on Quasi-PR Current Coordinated Control for Active Power Filter**  
.....Zhang Maosong, Chi Bangxiu, Li Jiawang, Wang Xiuqin, Wang Qunjing, Li Guoli (1614)

### · High Share of Renewable Energy Integration ·

- Impedance Measurement and Influence Factors Analysis for Wind Turbines Based on Control-hardware-in-the-loop**  
..... Li Guanghui, Wang Weisheng, Liu Chun, He Guoqing, Ye Jian, Sun Jian (1624)
- Adaptability Analysis of Directional Relay for Transmission Line Out-sending from Photovoltaic Power Plant**  
..... Xu Guanjun, Liang Yingyu, Zha Wenting, Huo Yaotong, Qin Xiaotong, Wang Cong (1632)
- Coordinated Optimization of Active Power and Reactive Power in Distribution Network Based on Scenario Method**  
..... Zheng Neng, Ding Xiaoqun, Guan Zhicheng, Hu Ruixin, Miao Hui (1640)
- Real-time Power Distribution Method Adopting Second-order Filtering for Hybrid Energy Storage System**  
.....Li Xuebin, Liu Jianwei (1650)

### · Topics of AC / DC Interconnected Power Grids Simulation ·

- An Electromechanical Transient Simulation Method Based on Frequency-dependent Network Equivalent and Time-varying Dynamic Phasor DC Model**..... Ding Ping, Zhao Min, Tian Pengfei, Wang Weixi, Xu Xiwang, Cai Jing (1658)
- Development of Automatic Modeling Software for Large-scale Grid Based on BPA-HYPERSIM**  
..... Hu Tao, Zhu Yiyi, Li Baiqing, Guo Qiang, Wang Weiwei, Ye Jian, Liu Chong, Dong Peng (1666)
- Optimal Dispatch Approach for Hybrid AC/DC Distribution Networks Considering Price-based Demand Response**  
..... Wang Wenchao, Pang Dan, Cheng Long, Wang Zhenhao (1675)

---

· Power System ·

- Stability and Control of Receiving-end Power System After Hierarchical Connection of  $\pm 1100$  kV UHVDC**  
.....Xu Shiyun, He Jingbo, Fan Mingjian, Lin Weifang, Zhang Jian, Wang Chao, Yi Jun, et al (1683)
- A Power System Transient Stability Assessment Method Based on Short-time Disturbed Trajectories**  
..... An Jun, Ai Shiqi, Liu Daowei, Li Baiqing, Shao Guanghui, Xu Xingwei, Wang Zhenyu (1690)
- Research on Disturbance Propagation Model Based on Improved Framework**..... Bi Tianshu, Qin Junda(1698)
- Capacity and Siting Configuration Method of VSC-HVDC Applied to Urban Power Grid Partition Interconnection**  
.....Tang Xiaojun, Han Minxiao, Xie Yan, Wang Jing, Huo Qidi, Tian Chunzheng, Zhang Xin, Shen Xuhui (1709)
- Stochastic Optimization Model of Capacity Configuration for Stand-alone Microgrid Based on Scenario Simulation Using GAN and Conditional Value at Risk**.....Li Kangping, Zhang Zhanyao, Wang Fei, Jiang Lihui, Zhang Jingjing, Yu Yili, Mi Zengqiang (1717)
- A Fluctuation Suppression Strategy of Tie-line Power Based on Flexible Control of Heat Pumps With Water Tanks in Combined Heat and Power Microgrid**..... Dai Shigang, Huang Wentao, Tai Nengling, Ma Zhoujun, Li Shan (1726)
- Multi-agent System Based Electricity Market Trading Strategy Within Microgrid Groups**  
..... Dou Chunxia, Luo Wei, Yue Dong, Qi Hang, Meng Chihua, Zhang Yamin, Zhang Zhanqiang, Zhang Bo, et al (1735)
- Short-term Load Forecasting Model Based on Attention-LSTM in Electricity Market**.....Peng Wen, Wang Jinrui, Yin Shanqing (1745)
- A Novel Wind Power Climbing Section Identification Method**  
.....Kuang Honghai, Wang Jianhui, Zhang Hanchao, Zhu Guoping, Zhang Shuyun (1752)
- Parameter Setting of Rapid Frequency Response of Renewable Energy Sources in Northwest Power Grid Based on Coordinated Control of Multi-frequency Regulation Resources**  
..... Sun Xiaoqiang, Liu Xin, Cheng Lin, Duan Naixin, Chu Yunlong, Ke Xianbo, Cheng Song, et al (1760)
- A Configuration Method of High Frequency Third Defensive Line for Power-integrated-exporting Grid With Large-scale Renewable Energy** ..... Yue Han, Shao Guanghui, Sun Mingze, Liu Yang, Dou Zilin (1766)
- The Online Disturbance Degree Assessment Method of Protection Systems in Intelligent Substation Based on the Structure Entropy Weight Method and Fault Trees**..... Wang Hongbin, Xu Heng, Tong Xiaoyang, Diao Xinghua, Guo Sheng, Zheng Yongkang (1772)
- Study on Three-phase Reclosing Sequence to Reduce Voltage Sag Depth**  
.....Liang Zhenfeng, Zhang Qing, Zhang Huizhi, Fan Zhanfeng, Song Guobing (1781)
- A Novel Line Fault Location Method for DC Distribution Network**  
..... Yang Yachao, Huang Chun, Wang Xingyao, Liu Penghui, Tang Tao (1787)
- Design of Capacitor Voltages Observer for MMC Based on Passivity Theory**.....Xia Chaoying, Li Jing, Yu Jiali (1795)
- An Orderly Power Utilization Mode Based on Intelligent Multi-agent Apanage Management System**  
..... Wang Yining, Ding Jianyong, Tian Shiming, Bu Fanpeng, Chen Junyi (1802)
- Privacy Protection of Power Consumption Big Data Based on Empirical Mode Decomposition and Homomorphic Encryption**  
.....Li Yuancheng, Zhang Pan, Zheng Shiqiang (1810)
- An Algorithm for Detecting Interharmonics Adjacent to Fundamental/Harmonic Components**..... Duan Chen, Yang Honggeng (1818)
- A Dual-phase-shift Plus Variable Frequency Control Strategy of Isolated Bidirectional AC/DC Converter**  
.....Zhou Yixiong, Qin Wenping, Wang Qi, Ren Chunguang, Han Xiaoqing (1826)

· High Voltages ·

- Equivalent Current Study on the Corrosion Effect of HVDC Grounding Electrode on Buried Oil and Gas Pipeline**  
.....Bai Feng, Li Xiong, Cao Fangyuan (1834)
- Research on Influence of Moisture Immersing Into Composite Insulator's Crimping Interface**  
..... Yang Changjian, Xu Chi, Yan Nianping, Jia Zhidong, Wang Xilin (1841)
- Study of Energy Conversion Efficiency of Electromagnetic Repulsion Mechanism**  
.....Zhang Xiuya, Yuan Zhao, Chen Lixue, Zhu Zhexiao, He Junlei, He Junjia (1849)
- Analysis of Bridge-type Hybrid-biased Saturated Core Fault Current Limiter's Performance**.....Leng Hua, Zhong Yongheng (1856)

---

**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





国家电网  
STATE GRID

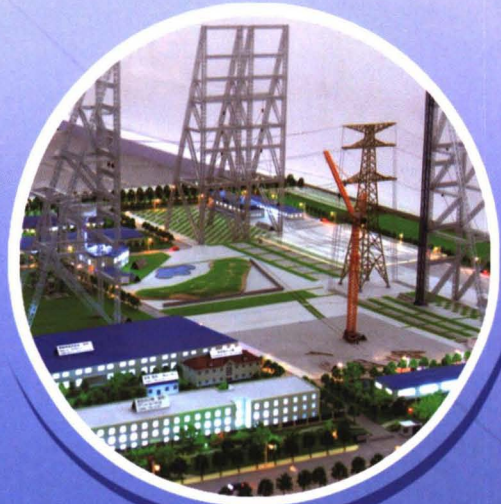
中国电力科学研究院有限公司  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

# 输变电工程研究所

输变电工程研究所是中国电力行业内从事输变电工程机械力学领域科研、技术服务和试验检测的专业研究机构，是全国架空线路标准化技术委员会、中国电机工程学会输电专业委员会、中国钢结构协会塔桅钢结构分会的挂靠单位。

输变电工程研究所主要业务范围包括杆塔结构研究与试验检测，导地线与金具研究、产品研发与试验检测，输电线路微风振动、次档距振荡、舞动防治，地基基础研究与试验检测，输变电构筑物及重要电气设施抗震减振研究、产品研发与试验检测，输电线路状态监测与评估技术研究，输变电工程施工技术和工艺研究、施工装备及工器具研究、设计技术研究等。

输变电工程研究所将继续秉承“努力超越、追求卓越”的企业精神，坚持“中国的电力、我们的事业”的企业理念，以先进的技术、精良的设备、丰富的经验、科学的管理提供更优质的服务，努力为我国的电力事业作出更大的贡献。



地 址：北京市西城区广安门南滨河路33号华亨大厦（100055）

联系人：李军辉

电话：010-58386104

网址：[www.epri.sgcc.com.cn](http://www.epri.sgcc.com.cn)