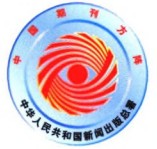


# 高电压技术



Compendex 核心期刊

特高压电气设备用纳米复合绝缘材料与应用关键技术专题

September 2019 Vol.45, No.9



高新技术企业

## ROYE®

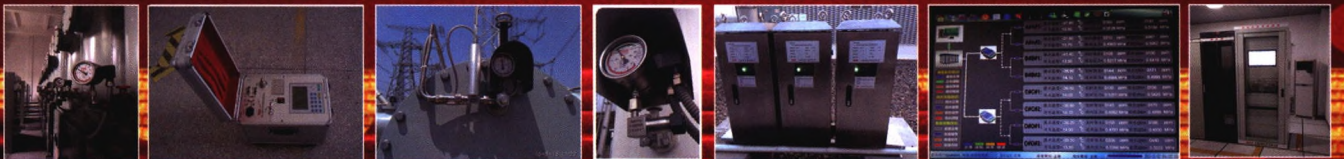
气体密度监测行业引导者

# 上海乐研电气有限公司

## SHANGHAI ROYE ELECTRICAL CO., LTD.

我们专注SF<sub>6</sub>密度继电器产品领域20多年 不断引导行业进步

乐研电气——拥有100多项专利技术 智造卓越产品！ 出口欧美，多家国际电力企业供应商



联系地址：上海市蕙北路1755弄35号

邮政编码：201802

销售直线：+86-21-39170081

电话：+86-21-39170766, 39170082, 13601816276

传真：+86-21-39170768

Email: shroye@shroye.com

网址：www.shroye.com OR www.shroye.cn



## ROYE

让电网更智慧，更坚强



## 目次

### 特高压电气设备用纳米复合绝缘材料与应用关键技术专题

- GIS 中 SF<sub>6</sub> 绝缘系统缺陷放电的“0-1”现象····· 张乔根, 李晓昂, 刘琳, 文韬, 赵军平(2689)
- 特高压 GIS 断路器用绝缘拉杆应用现状····· 陈允, 张鹏飞, 崔博源, 王宁华, 吴昱怡, 刘焱(2699)
- 基于高灵敏测量的 GIS 绝缘子表面微金属颗粒局部放电特性····· 许渊, 刘卫东, 陈维江, 杨景刚, 赵科, 刘媛(2707)
- 氧化铝-氮化硼复合环氧绝缘材料导热性能与组合物粘度关系研究····· 陈赟, 张翀, 杨威, 史晓宁, 何愈, 陈新(2715)
- DGEBA/DCPDE 双交联环氧树脂热机械性能的分子动力学模拟····· 付可欣, 谢庆, 张磊, 律方成, 赵玉顺, 黄正勇(2722)
- 环氧树脂工艺参数与交流沿面闪络的关联性····· 林川杰, 高文虹, 李琦, 李传扬, 胡军, 何金良(2732)
- 影响 GIS 支柱绝缘子闪络电压的沿面电场特征参数····· 刘琳, 李晓昂, 张锐, 文韬, 张乔根, 李志兵(2740)
- 烘箱结构对绝缘子固化过程温度场分布的影响····· 王垒, 袁端鹏, 郝留成, 阚超豪, 王波(2748)
- 盆式绝缘子用环氧/氧化铝复合体系固化动力学····· 毕全瑞, 郝留成, 袁端鹏, 张前程, 徐佩, 丁运生(2758)
- 基于 MD 模拟的 DGEBA 平均分子量对环氧树脂热机械性能的影响····· 赵云晓, 赵书涛, 谢庆, 赵玉顺, 王飞鹏, 郝留成(2766)
- 温度对工频下环氧支柱沿面闪络电压的影响····· 路士杰, 张连根, 周宏扬, 马国明, 李成榕, 崔博源, 吴昱怡(2774)

### 新能源装备及其并网

- 风机叶片雷击损伤及防护研究进展综述·····
- 陈维江, 何天宇, 边凯, 贺恒鑫, 向念文, 时卫东, 李新凯, 张石, 孙通, 李志军, 黄胜鑫, 顾建伟(2782)
- 用于风功率波动平抑的储能运行策略对比分析····· 张新松, 袁越, 郑源, 顾菊平(2797)

### 电气装备及其智能运维

- 高压直流 XLPE 电缆局部放电指纹参数优化提取····· 唐炬, 宋文斌, 潘成, 杨军亭, 雷志城, 张明轩(2806)
- 12 kV 配电柱上开关一二次融合关键技术之交流电压传感器····· 李澍森, 孙志英(2818)
- 高海拔地区 750 kV 并联电抗器现场局部放电试验方法····· 何家欣, 康钧, 李江涛, 王生杰, 于鑫龙, 王理丽(2827)
- 真空灭弧 OLTC 与油灭弧 OLTC 的振动特性对比····· 王丰华, 樊家昊, 郑一鸣, 何文林, 钱勇(2834)
- 基于数据驱动的配电变压器容量在线校正方法····· 安义, 陈春, 范瑞祥, 陈琛, 邓才波(2842)
- 基于改进 FPA 算法的互联微电网优化调度模型····· 米师农, 张建成, 郭伟(2849)

### 大功率电力电子与智能输配电

- 直流系统分层接入方式下滤波器断路器的分断特性分析····· 王运超, 余占清, 季一鸣, 付殷, 牟亚, 何金良(2857)
- 背靠背变流器调节器参数及传输功率变化对阻抗稳定特性的影响及其改进控制策略····· 姜玉霞, 田艳军, 李永刚(2866)
- 一致性控制的交直流微源混联直流微电网阻抗模型及小信号稳定性分析····· 李晓晓, 王晓兰, 魏腾飞(2876)
- 改善直流配电网中 VSC 与线路交互失稳的有源阻尼策略····· 李鲁阳, 裴玮, 邓卫, 孔力(2884)
- 基于级联多电平的调频式谐振特高压试验电源····· 荆佳琦, 李欣然, 方璐(2895)

### 电介质与电气绝缘

- 不同影响因素下的导线与绝缘子覆冰特性····· 马晓红, 穆青青, 曾华荣, 南敬, 赵超, 潘哲哲(2904)
- 架空单导线雷电感电压特性····· 于建立, 耿御缤, 樊亚东, 王建国, 鲁志伟, 蔡新景(2911)
- 真空紫外辐照对硅橡胶直流击穿和沿面闪络特性的影响····· 李枕, 王威望, 李盛涛, 闵道敏, 陈林山, 李西育(2919)
- ±800 kV 特高压直流穿墙套管故障分析及设计改进····· 刘杉, 宋胜利, 卢理成, 梁曦东, 刘泽洪(2928)
- 锥形山体坡度及其电导率分层对雷击感应过电压的影响····· 张金波, 王磊, 梁仕斌, 彭晓宇, 张其林, 唐雅丽(2936)
- 局部放电作用下油浸绝缘纸板电老化特性····· 崔彦捷, 曹沛, 祝令瑜, 邓军波, 彭平, 汲胜昌(2945)
- 变压器金属材料对油纸绝缘热老化的影响····· 王灯, 张丽, 朱志平, 苏伟, 陈天生, 范圣平(2954)

### 高电压电磁效应及其特性

- 正极性操作冲击电压下流注发展过程中空间电场变化规律····· 律方成, 钦雨晨, 王平, 耿江海, 丁玉剑, 姚修远(2964)

特高压输电线路“100 Hz”纯声的天气影响因素及预测模型..... 李鹏飞, 张业茂, 张桐, 代克杰, 刘逸凡, 赵志敏(2971)  
 利用矢量递归卷积快速计算 GIS 开关操作时盆式绝缘子泄漏辐射场的方法..... 伍小刚, 张鹏飞, 朱崇铭, 邹军(2980)  
 交流输电线路可听噪声计算分析(I)—3 维分布..... 谢冀浩, 付万璋, 何旺龄, 蓝磊, 万保权, 张业茂(2990)

**脉冲功率与放电等离子体**

热等离子体处理危险废物近零排放技术..... 杜长明, 蔡晓伟, 余振棠, 宋春莲, 俞哲(2999)  
 轨道温度对电磁发射性能的影响..... 徐伟东, 刘峰, 袁伟群, 王志增, 徐蓉, 严萍(3013)  
 阴极内嵌绝缘子对真空中平行双丝电爆炸的影响..... 吕乃丞, 邹晓兵, 石桓通, 王新新(3020)

**《高电压技术》编辑委员会**

名誉主任委员 郑宝森

主任委员 张文亮

副主任委员 郭剑波 汤涌 关志成 李成榕 廖瑞金

委员 (以姓氏笔画为序)

丁立健	马为民	王成山	王庆国	王新新	王黎明	文习山	文劲宇	卢新培	包家立	司马文霞	邬雄	刘云鹏
刘尚合	刘泽洪	江秀臣	闫克平	阮羚	阮江军	杨迎建	李剑	李鹏	李立涅	李兴文	李庆民	李若梅
李建林	李盛涛	杜伯学	严萍	吴锴	吴广宁	何金良	何俊佳	邱爱慈	邹积岩	陆佳政	陆家榆	陈小良
陈庆国	陈维江	张芝涛	张乔根	邵涛	周浩	周远翔	郑健超	胡毅	郝艳捧	赵鹏	赵鸿飞	律方成
饶宏	徐政	高克利	唐炬	梅生伟	崔翔	宿志一	董旭柱	蒋兴良	程时杰	曾嵘	雷民	雷清泉
蔡炜	潘垣	薛禹胜										

Chengke Zhou(UK) E. Gockenbach(Germany) J. J. Smit(Holland) K. Hidaka(Japan) L. A. Dissado(UK) M. Farzaneh(Canada)  
 M. Muhr(Austria) S. M. Gubanski(Sweden)

**特约顾问**

伍志荣 李勇伟 李锐海 杨黎明 张勤 吴根范 周文俊 梁曦东 舒立春

**单位编委**

上海华普电缆公司 宁波东方电缆股份有限公司 苏州工业园区海沃科技有限公司 陶氏化学(中国)投资有限公司  
 国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司 长缆电工科技股份有限公司 武汉新电电气股份有限公司

**高电压技术** (月刊, 1975 年创刊)

《工程索引》(EI) 核心期刊	《科学文摘》(SA, INSPEC) 收录期刊	《化学文摘》(CA) 收录期刊
《文摘杂志》(AJ) 收录期刊	日本科学技术社数据库 (JST) 收录期刊	《剑桥科学文摘》(CSA) 收录期刊
中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊	RCCSE 中国权威学术期刊	中文核心期刊要目总览收录期刊
中国科技核心期刊		

主管单位: 国家电网有限公司  
 主办单位: 国家高电压计量站  
 中国电机工程学会  
 编辑出版: 中国电科院期刊中心《高电压技术》编辑部  
 主编: 郭剑波  
 副主编: 胡毅 赵鹏 高克利  
 专题主编: 张乔根  
 编辑部主任: 严梦 编辑部: (027) 59835528  
 责任编辑: 曾文君 曹昭君 广告发行部: (027) 59258041  
 组稿编辑: 曹昭君 传真: (027) 59835529  
 地址: 湖北省武汉市珞喻路 143 号  
 邮政编码: 430074  
 网址: <http://hve.epri.sgcc.com.cn>  
 电子邮箱: [hve@epri.sgcc.com.cn](mailto:hve@epri.sgcc.com.cn)

印刷: 武汉市宏达盛印务有限公司  
 国内发行: 中国邮政集团公司湖北省分公司  
 邮发代号 38-24  
 国外发行: 中国国际图书贸易总公司 代号 M982  
 国内定价: 69.00 元/期  
 中国标准连续出版物号: ISSN 1003-6520  
 CN 42-1239/TM  
 国际刊名代码 (CODEN): GAJIE5  
 广告发布登记编号: 鄂工商广登[2017]25 号



微信二维码:

期刊基本参数: CN42-1239/TM \* 1975 \* m \* A4 \* 336 \* zh \* P \* ¥69.00 \* 6600 \* 38 \* 2019-09



# High Voltage Engineering

(Monthly, since 1975)

Vol. 45, No.9 (Ser. 322)

September 30, 2019

## CONTENTS

### Special Issue on Key Technology of Nano-composite Insulation Material and Application for UHV Electrical Equipment

- “One-Zero” Phenomenon of Discharge Induced by Defects in SF<sub>6</sub> Insulation Systems in GIS ..... ZHANG Qiaogen, LI Xiao’ang, LIU Lin, WEN Tao, ZHAO Junping(2689)
- Application Status of Insulation Pull Rod for 110 kV GIS Circuit Breaker ..... CHEN Yun, ZHANG Pengfei, CUI Boyuan, WANG Ninghua, WU Yuyi, LIU Yan(2699)
- Partial Discharge Characteristics of Metal Particles on Spacer Surface in GIS Based on High Sensitivity Measurement ..... XU Yuan, LIU Weidong, CHEN Weijiang, YANG Jinggang, ZHAO Ke, LIU Yuan(2707)
- Study on the Relationship Between Thermal Conductivity and Viscosity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BN Epoxy Composite Insulating Materials ..... CHEN Yun, ZHANG Chong, YANG Wei, SHI Xiaoning, HE Yu, CHEN Xin(2715)
- Molecular Dynamics Simulation of Thermomechanical Properties of DGEBA/DCPDE Double-Crosslinked Epoxy Resin ..... FU Kexin, XIE Qing, ZHANG Lei, LÜ Fangcheng, ZHAO Yushun, HUANG Zhengyong(2722)
- Correlation Between Epoxy Resin Process Parameters and AC Flashover ..... LIN Chuanjie, GAO Wenhong, LI Qi, LI Chuanyang, HU Jun, HE Jinliang(2732)
- Characteristic Parameters of Electric Field Along the Surface Affecting the Flashover Voltage of GIS Pillar Insulators ..... LIU Lin, LI Xiao’ang, ZHANG Rui, WEN Tao, ZHANG Qiaogen, LI Zhibing(2740)
- Effect of Oven Structure on Insulator Temperature Field Distribution During Curing Process ..... WANG Lei, YUAN Duanpeng, HAO Liucheng, KAN Chaohao, WANG Bo(2748)
- Curing Kinetics of Epoxy/Alumina Composite System for Basin Insulator ..... BI Quanrui, HAO Liucheng, YUAN Duanpeng, ZHANG Qiancheng, XU Pei, DING Yunsheng(2758)
- Effect of Average Molecular Weight of DGEBA Based on MD Simulation on Properties of Crosslinked Epoxy Resin ..... ZHAO Yunxiao, ZHAO Shutao, XIE Qing, ZHAO Yushun, WANG Feipeng, HAO Liucheng(2766)
- Effect of Temperature on Flashover Voltage of Epoxy Column at Power Frequency ..... LU Shijie, ZHANG Liangen, ZHOU Hongyang, MA Guoming, LI Chengrong, CUI Boyuan, WU Yuyi(2774)

### Development and Grid Entry of New Energy Equipments

- Review of Research Progress in Lightning Damage and Protection of Wind Turbine Blades ..... CHEN Weijiang, HE Tianyu, BIAN Kai, HE Hengxin, XIANG Nianwen, SHI Weidong, LI Xinkai, ZHANG Shi, SUN Tong, LI Zhijun, HUANG Shengxin, GU Jianwei(2782)
- Comparative Analyses on Operation Strategies of Energy Storage Systems for Mitigating Wind Power Fluctuations ..... ZHANG Xinsong, YUAN Yue, ZHENG Yuan, GU Juping(2797)

### Development, Intelligent Operation and Maintenance of Power Equipments

- Optimal Extraction of Partial Discharge Fingerprint Parameters of HVDC XLPE Cable ..... TANG Ju, SONG Wenbin, PAN Cheng, YANG Junting, LEI Zhicheng, ZHANG Mingxuan(2806)
- Key Technology of Primary and Secondary Fusion of AC Voltage Sensor on Overhead Pole Mounted Switch in 12 kV Distribution Network ..... LI Shusen, SUN Zhiying(2818)
- On-site Partial Discharge Test Method of 750 kV Shunt Reactor in High Altitude Area ..... HE Jiabin, KANG Jun, LI Jiangtao, WANG Shengjie, YU Xinlong, WANG Lili(2827)
- Vibration Characteristic Comparison Between Vacuum Arcing On-load Tap-changer and Oil Blast On-load Tap-changer ..... WANG Fenghua, FAN Jiahao, ZHENG Yiming, HE Wenlin, QIAN Yong(2834)
- On-line Correcting Method of the Distribution Transformer Capacity Based on Data-driven ..... AN Yi, CHEN Chun, FAN Ruixiang, CHEN Chen, DENG Caibo(2842)
- Optimal Scheduling Model of Interconnected Microgrids Based on Modified FPA Algorithm ..... MI Shinong, ZHANG Jiancheng, GUO Wei(2849)

### High-power Electrical Electronics and Intelligent Transmission and Distribution

- Breaking Characteristics of AC-filter Breaker for UHVDC with Hierarchical Connection to AC Grid ..... WANG Yunchao, YU Zhanqing, JI Yiming, FU Yin, MOU Ya, HE Jinliang(2857)
- Influence of Back-to-back Converter Regulator Parameters and Transmission Power Variation on Impedance Stability and Improved Control Strategy ..... JIANG Yuxia, TIAN Yanjun, LI Yonggang(2866)
- Impedance Model of AC/DC Microsource Hybrid DC Microgrid Based on Consistency Control and Small Signal Stability Analysis ..... LI Xiaoxiao, WANG Xiaolan, WEI Tengfei(2876)
- Active Damping Strategy for Improving VSC and Line Interaction Instability in DC Distribution Network ..... LI Luyang, PEI Wei, DENG Wei, KONG Li(2884)
- Power Supply for UHV Frequency Tuned Resonant Tests Based on Cascaded Multilevel ..... JING Jiaqi, LI Xinran, FANG Lu(2895)

### Dielectric and Electrical Insulation

- Ice-covered Characteristics of Conductor and Insulator Under Different Influence Factors ..... MA Xiaohong, MU Qingqing, ZENG Huarong, NAN Jing, ZHAO Chao, PAN Zhezhe(2904)

Lightning Induced Voltage Characteristics of Overhead Single Wire ..... YU Jianli, GENG Yubin, FAN Yadong, WANG Jianguo, LU Zhiwei, CAI Xinjing(2911)

Influence of Ultraviolet Irradiation in Vacuum on DC Breakdown and Surface Flashover Characteristics of Silicone Rubber ..... LI Zhen, WANG Weiwang, LI Shengtao, MIN Daomin, CHEN Linshan, LI Xiyu(2919)

Failure Analysis and Design Improvement of  $\pm 800$  kV HUVDC Wall Bushings ..... LIU Shan, SONG Shengli, LU Licheng, LIANG Xidong, LIU Zehong(2928)

Influence of Mountain Topographic Slope and Stratified Conductivity Structure on Lightning Induced Voltages ..... ZHANG Jinbo, WANG Lei, LIANG Shibin, PENG Xiaoyu, ZHANG Qilin, TANG Yali(2936)

Electrical Aging Characteristic of Oil Immersed Pressboard Under Partial Discharge Activity ..... CUI Yanjie, CAO Pei, ZHU Lingyu, DENG Junbo, PENG Ping, JI Shengchang(2945)

Influence of Metal Material of Transformer on Oil-paper Insulation After Thermal Aging ..... WANG Deng, ZHANG Li, ZHU Zhiping, SU Wei, CHEN Tiansheng, FAN Shengping(2954)

**High Voltage Electromagnetic Effects and Their Characteristics**

Variation Law of Spatial Electric Field During the Development of Streamer Under Positive Switching Impulse Voltage ..... LÜ Fangcheng, QIN Yuchen, WANG Ping, GENG Jianghai, DING Yujian, YAO Xiuyuan(2964)

Weather Factors and Prediction Method for "100 Hz" Pure Tone of UHV AC Transmission Lines ..... LI Pengfei, ZHANG Yemao, ZHANG Tong, DAI Kejie, LIU Yifan, ZHAO Zhimin(2971)

Approach for Fast Calculating Radiation Field Leaking from Basin-type Insulator of GIS Under Switcher Operation Using Vector Recursive Convolution ..... WU Xiaogang, ZHANG Pengfei, ZHU Chongming, ZOU Jun(2980)

Calculation and Research of Audible Noise of AC Transmission Lines ( I ) — Three-dimensional Distribution ..... XIE Gonghao, FU Wanzhang, HE Wangling, LAN Lei, WAN Baoquan, ZHANG Yemao(2990)

**Pulsed Power, Discharge and Plasmas**

Near-Zero-Emission Technology for Hazardous Wastes Disposal by Thermal Plasma ..... DU Changming, CAI Xiaowei, YU Zhentang, SONG Chunlian, YU Zhe(2999)

Effect of Electromagnetic Launch Performance Under Different Temperatures of the Rails ..... XU Weidong, LIU Feng, YUAN Weiqun, WANG Zhizeng, XU Rong, YAN Ping(3013)

Influence of Insulated Cathode on Electric Explosion of Parallel Double Wire in Vacuum ..... LÜ Naicheng, ZOU Xiaobing, SHI Huantong, WANG Xinxin(3020)

**Honorary Chairman of Editorial Committee** ZHENG Baosen

**Chairman of Editorial Committee** ZHANG Wenliang

**Vice Chairmen of Editorial Committee** GUO Jianbo TANG Yong GUAN Zhicheng LI Chengrong LIAO Ruijin

**Members of Editorial Committee**

DING Lijian	MA Weimin	WANG Chengshan	WANG Qingguo	WANG Xinxin	WANG Liming	WEN Xishan
WEN Jinyu	LU Xinpei	BAO Jiali	SIMA Wenxia	WU Xiong	LIU Yunpeng	LIU Shanghe
LIU Zehong	JIANG Xiuchen	YAN Keping	RUAN Ling	RUAN Jiangjun	YANG Yingjian	LI Jian
LI Peng	LI Licheng	LI Xingwen	LI Qingmin	LI Ruomei	LI Jianlin	LI Shengtao
DU Boxue	YAN Ping	WU Kai	WU Guangning	HE Jinliang	HE Junjia	QIU Aici
ZOU Jiyan	LU Jiazheng	LU Jiayu	CHEN Xiaoliang	CHEN Qingguo	CHEN Weijiang	ZHANG Zhitao
ZHANG Qiaogen	SHAO Tao	ZHOU Hao	ZHOU Yuanxiang	ZHENG Jianchao	HU Yi	HAO Yanpeng
ZHAO Peng	ZHAO Hongfei	LÜ Fangcheng	RAO Hong	XU Zheng	GAO Keli	TANG Ju
MEI Shengwei	CUI Xiang	SU Zhiyi	DONG Xuzhu	JIANG Xingliang	CHENG Shijie	ZENG Rong
LEI Min	LEI Qingquan	CAI Wei	PAN Yuan	XUE Yusheng		
Chengke Zhou(UK)	E. Gockenbach (Germany)	J. J. Smit (Holland)		K. Hidaka (Japan)		L. A. Dissado (UK)
M. Farzaneh (Canada)	M. Muhr (Austria)	S. M. Gubanski (Sweden)				

<b>Abstracted / Indexed in</b>	Ei Compendex	Abstracts Journal
	Science Abstracts (INSPEC)	Cambridge Scientific Abstracts
	Chemical Abstracts	Japan Science & Technology Agency
<b>Competent Authorities Sponsors</b>	State Grid Corporation of China	<b>Publication Number</b> ISSN 1003-6520
	National Center for High Voltage Measurement Chinese Society for Electrical Engineering	<b>CODEN</b> GAJIE5 <b>Add</b> Wuhan 430074, China
<b>Editor and Publisher</b>	High Voltage Engineering Editorial Department of CEPRI	<b>Web Site</b> <a href="http://hve.epri.sgcc.com.cn">http://hve.epri.sgcc.com.cn</a>
<b>Editor in Chief</b>	GUO Jianbo	<b>E-mail</b> hve@epri.sgcc.com.cn
<b>Director</b>	YAN Meng	<b>Tel</b> 86-27-59835528, 59835518
<b>Editor in Charge</b>	ZENG Wenjun	<b>Fax</b> 86-27-59835529



# 苏州工业园区海沃科技有限公司



变压器感应耐压及局放试验系统



高电压串联谐振试验系统



高电压直流高压发生装置



绝缘电阻表

## 致力—高压试验 专注—特种电源



干式空心电抗器匝间绝缘缺陷检测系统



电容电感测试仪



便携式直流高压发生器



阻性电流测试仪



便携式串联谐振试验系统



水内冷发电机专用泄漏电流测试仪



异频接地阻抗测试仪



水内冷兆欧表

# 海沃科技 HIGHVOLTAGE

苏州工业园区海沃科技有限公司  
SUZHOU INDUSTRIAL PARK HIGHVOLTAGE TECHNOLOGY CO.,LTD.

地址：苏州工业园区泾茂路285号  
电话：0512-67619935/82277687  
传真：0512-67619936/82277685

邮编：215122  
服务热线：400-838-9858  
网址：www.hvtec.com