



Q K 2 2 4 9 4 2 4

人民邮电出版社

Compendex 核心期刊

December 2022 Vol.48, No.12



数智输配电 电亮新生活

---精益高效---

----共创共享----

上海电气输配电集团有限公司



成套设备



新能源



输配电EPC



储能



成套设备



变压器



开关柜



电缆



智能开关元件



扫一扫更了解

中国上海市宝昌路297号 (200071)

电话TEL:86-21-2230 6200

传真FAX: 86-21-2230 6200

297 Baochang Road, Shanghai, PRC(200071)

<http://www.shanghai-electric.com>

封面

ISSN 1003-6520



12>

9 771003 652220

万方数据

国家高电压计量站 主办
中国电机工程学会

2022-12

目次

电介质与电气绝缘

异构非环烷基组分加入对环烷基变压器油理化与电气特性的影响	周远翔, 刘俊, 王健一, 黄欣, 白松, 陈健宁(4679)
主动旋转式复杂环境气流场试验方法	蒋兴良, 黄亚飞, 张志劲, 胡琴, 胡建林(4688)
直流电压下绝缘子附近纤维的吸附运动行为及其对表面电荷积聚的影响	王健, 平安, 刘人耶, 肖若凡, 郭瑞, 李庆民(4697)
电缆与附件界面涂敷料的性能可靠性及选型方法研究	王霞, 姜泉旭, 崔伯男, 吴锴(4707)
基于图像处理-纹理分析的 HVDC GIL 缺陷识别方法	周瑞旭, 高文胜, 刘卫东(4719)
双极性方波场下电晕老化对环氧树脂空间电荷特性的影响	张跃, 苏淮北, 何明鹏, 吴建东, 尹毅, 梁智明(4731)
3D 打印构筑随机表面微结构调控绝缘的真空沿面闪络特性	杨雄, 宋佰鹏, 杨宁, 黄昆, 孙光宇, 张冠军(4739)
古建筑屋顶琉璃瓦件模拟雷击破坏试验研究	李京校, 李敬, 姚学玲, 房志玲, 符琳, 李如箭(4750)
基于电流积分电荷技术的神经网络-模糊聚类电缆绝缘热老化状态评估模型	聂永杰, 王威望, 李欣原, 李盛涛, 赵现平, 赵腾飞(4760)
基于超宽频带法的油纸绝缘局部放电检测方法	侯恺宁, 王强, 陆信波, 司文荣, 傅晨钊, 李清泉(4770)
重复频率微秒脉冲电压下多间隙气体开关级间绝缘子沿面闪络特性	林天煜, 李舟, 李巍, 王雨, 王宁, 杨兰均(4780)
负背景均匀电场下棒形悬浮导体的放电特性	杨冬阳, 陈坚, 肖登明, 徐真, 傅正财(4791)
交直流复合电压下热老化油纸绝缘空间电荷特性	黄欣, 周远翔, 张灵, 张云霄, 滕陈源, 薛磊(4800)
超疏水和超双疏涂层表面覆冰剪切强度及剥离强度对比	王晟伍, 李黎, 陈劲宇, 陈俊武, 邹乔戈, 谢毅(4809)
不同电压类型下油流中纤维杂质颗粒运动特性仿真研究	黄宇辰, 房俊龙, 闫伟阳(4817)

电气装备及其智能运维

换流阀用阳极饱和电抗器研究综述	袁佳歆, 莫作权, 李旭哲, 季雨晴, 郑元坤, 曾吟(4829)
换流变压器阀侧套管金属法兰疲劳寿命研究	赵莉华, 蔡维哲, 王仲(4842)
兰新高铁大风区段接触网附加导线新型三角防舞器有效性分析	赵珊鹏, 葛威, 王思华, 张友鹏, 张宸瑞(4852)
机械式直流断路器换流支路用气体间隙开关方案及其诱导击穿特性	董冰冰, 陶磊, 李志兵, 张然, 徐晓东, 文韬(4863)
不同温度下聚酰亚胺薄膜陷阱特性对其绝缘性能的影响	乌江, 李帅强, 何敏恒, 邱屹搏, 张博, 王洋(4873)
变压器绕组非线性动力学模型及多次短路冲击下的振动特征	张凡, 吴书煜, 徐征宇, 赵志刚, 孙路, 汲胜昌(4882)
基于场路耦合方法的 100 kV 脉冲变压器设计与磁饱和特性	江进波, 王佳栋, 程廷强, 方春华, 刘俊, 何孟兵(4893)
1 100 kV 特高压变压器套管震后力学性能快速评估方法	朱旺, 毛宝俊, 谢强(4904)
基于电热耦合的干式直流电容器温升分布不均匀特性分析及优化	岳国华, 杜志叶, 孟圣淳, 胡今昶, 张海龙(4915)
基于神经网络的 D-S 多信息融合 GIL 局部放电联合识别方法	艾嘉伟, 牛海清, 陈泽铭, 李小潇, 曾雨萌, 庄小亮(4925)
玻璃绝缘子玻璃件缺陷的机器视觉检测方法	王昱晴, 袁田, 聂霖, 武文华, 张锦, 何秋萍(4933)

大功率电力电子与智能输配电

新型电力系统中的特高压直流输电 SLCC 换流技术	马为民, 王玲, 李明, 申笑林, 吴方劼, 徐莹(4941)
基于柔性行动器-评判器的园区综合能源系统运行优化	朱振山, 陈哲盛, 盛明鼎(4949)
基于控保协同的环形直流微网电流式单端测距保护	薛士敏, 朱晓帅, 王守相(4959)
混合十三电平逆变器的倍频调制及功率均衡方法	胡文华, 喻正炎, 邢瑞新, 丁文斌(4968)
基于偏磁模拟的换流变选相合闸励磁涌流抑制策略	韩平平, 童青洋, 王焱, 陈忠, 杨为, 胡迪(4977)
基于 E-L 模型的电力弹簧无源控制策略	鲍克勤, 吴浩强, 程启明, 陈海燕(4986)
面向电力电子变压器的高频变压器技术	张鹏宁, 向雪岩, 李伟, 李博凡, 李磊, 曹清山(4996)
基于多段式零序电压逼近的 HANPC 多电平变换器优化控制方法	杨涵棣, 张新燕, 程志江, 李静贤, 杨天翔, 田峰(5012)
基于能源路由器的配电网与综合能源微网群协同运行优化	仇书山, 毛承雄, 马春艳, 董真, 陈劲帆, 王丹(5024)
特高压混合级联直流输电系统逆变侧 MMC 的功率返送现象及有功调控策略	樊鑫, 郭春义(5037)

新能源装备及其并网

风电场内部分散式无功电压优化控制策略	王渝红, 廖逸蕻, 宋雨妍, 曾琦, 郑宗生(5047)
--------------------	------------------------------

考虑频率耦合的 VSG 虚拟阻抗优化设计 杜 燕, 朱 轲, 杨向真, 赵韩广, 高春然, 林子杰(5057)

基于限流电抗电压的柔性直流配电网故障保护方法 韦延方, 王志杰, 王 鹏, 曾志辉, 王晓卫(5068)

脉冲功率与放电等离子体

高压 SF₆ 中毛细管放电等离子体的喷射特性 李晓昂, 张宁博, 李志兵, 蒋 攀, 张 然, 张乔根(5080)

电力设备局部放电超声、特高频一体化传感技术 张国治, 鲁昌悦, 周 红, 田晗绿, 余星雨, 张晓星(5090)

超长金属丝电爆炸等离子体的轴向光辐射均匀性 姚伟博, 杨海亮, 徐海斌, 王等旺, 魏 浩, 王志国(5102)

悬浮导体电极电晕放电凝并亚微米颗粒物研究 向 来, 彭邦发, 王荣刚, 刘政妍, 姜 楠, 李 杰(5110)

2022 年总目次 (5120)

广告索引 (5150)

《 高电压技术 》编辑委员会

主 任 委 员 陈维江												
副 主 任 委 员 汤广福 荣命哲 廖瑞金 曾 嵘												
委 员（以姓氏笔画为序）												
丁立健	马为民	王成山	王伟胜	王新新	王黎明	文习山	文劲宇	卢新培	司马文霞	吕运强	邬 雄	刘云鹏
刘进军	刘尚合	齐 磊	江秀臣	汲胜昌	许树楷	阮 羚	阮江军	杜伯学	杨迎建	李 剑	李 鹏	李立涅
李成榕	李庆民	李兴文	李建林	李盛涛	李清泉	严 萍	吴 锴	吴广宁	吴云喜	何金良	何俊佳	邱爱慈
谷山强	迟永宁	张乔根	张晓星	陆佳政	陈小良	陈庆国	邵 涛	周 凯	周远翔	郑健超	胡 毅	胡家兵
赵 鹏	赵争鸣	律方成	饶 宏	贺之渊	党智敏	徐 政	殷 禹	高克利	唐 炬	梅生伟	盛万兴	盛戈峰
董旭柱	蒋兴良	程时杰	雷 民	雷清泉	路书军	蔡 旭	蔡 炜	潘 垣	薛禹胜			
Chengke Zhou(UK) E. Gockenbach(Germany) J. J. Smit(the Netherlands) K. Hidaka(Japan) L. A. Dissado(UK) M. Farzaneh(Canada)												
M. Muhr(Austria) S. M. Gubanski(Sweden)												
青 年 委 员												
王 鹏	方 志	刘定新	齐 波	杜 雄	杨 庆	李 化	李 琦	何晋伟	余占清	辛焕海	宋 强	张 波
张书琦	张春朋	陈 武	陈向荣	陈来军	林 磊	胡建林	查俊伟	郭春义	高 宇	高国强	唐 波	黄兴溢
黄道春	章 程	裴 玮	戴 栋									
单 位 编 委												
上海电气输配电集团有限公司				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				
国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司												

高电压技术 (月刊, 1975 年创刊)

《工程索引》(Ei) 核心期刊	《文摘与引文数据库》(Scopus)收录期刊	《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	地 址: 湖北省武汉市珞喻路 143 号
主 办 单 位: 国家高电压计量站 中国电机工程学会	邮 政 编 码: 430074
编 辑 出 版: 中国电科院期刊中心《高电压技术》编辑部	网 址: http://hve.epri.sgcc.com.cn
主 编: 赵 鹏	电 子 信 箱: hve@epri.sgcc.com.cn
副 主 编: 高克利 李 鹏 胡 毅 何金良 文劲宇 李盛涛	印 刷: 武汉市宏达盛印务有限公司
编辑部主任: 严 梦	国 内 发 行: 中国邮政集团公司湖北省分公司
编辑部副主任: 肖 铮	邮发代号 38-24
责 任 编 辑: 曹昭君 曾文君	国 外 发 行: 中国国际图书贸易总公司 代号 M982
编 辑 部: (027) 59258041	国 内 定 价: 90.00 元/期
广 告 发 行 部: (027) 59258042	中国标准连续出版物号: ISSN 1003-6520
传 真: (027) 59835529	CN 42-1239/TM
	国际刊名代码 (CODEN): GAJIE5
	广告发布登记编号: 鄂广登准字[2019]420000029

期刊基本参数: CN42-1239/TM * 1975 * m * A4 * 400 * zh * P * ¥90.00 * 6600 * 43 * 2022-12

CONTENTS

Dielectric and Electrical Insulation

Effect of the Addition of Isomeric Non-naphthenic Components on the Physicochemical and Electrical Properties of Naphthenic Transformer Oils..... ZHOU Yuanxiang, LIU Jun, WANG Jianyi, HUANG Xin, BAI Song, CHEN Jianning(4679)

Airflow Field Test Method in Complex Environment Based on Rotation JIANG Xingliang, HUANG Yafei, ZHANG Zhijin, HU Qin, HU Jianlin(4688)

Adsorption Motion Behavior of Fibers near Insulators Under DC Voltage and Its Influence on Surface Charge Accumulation WANG Jian, PING An, LIU Renying, XIAO Ruofan, GUO Rui, LI Qingmin(4697)

Study on Reliability and Selection of Silicone Grease Used for Coating at the Interface Between Cable and Accessory WANG Xia, JIANG Quanxu, CUI Bonan, WU Kai(4707)

Defect Recognition Method of HVDC GIL Based on Image Processing-texture Analysis ... ZHOU Ruixu, GAO Wensheng, LIU Weidong(4719)

Effect of Corona Aging on Space Charge Characteristics of Epoxy Resin Under Bipolar Square Wave Electric Field ZHANG Yue, SU Huaibei, HE Mingpeng, WU Jiandong, YIN Yi, LIANG Zhiming(4731)

Tailoring the Vacuum Flashover Characteristics of Insulation by 3D Printed Random Surface Microstructures YANG Xiong, SONG Baipeng, YANG Ning, HUANG Kun, SUN Guangyu, ZHANG Guanjuan(4739)

Experimental Study on Simulated Lightning Damage to Glazed Tiles on Roofs of Ancient Buildings LI Jingxiao, LI Jing, YAO Xueling, FANG Zhiling, FU Lin, LI Rujian(4750)

Evaluation Model for Thermal Aging State of Cable Insulation Using the Current Integral Charge Measurement Technique with the Neural Network-Fuzzy Clustering Method NIE Yongjie, WANG Weiwang, LI Xinyuan, LI Shengtao, ZHAO Xianping, ZHAO Tengfei(4760)

Partial Discharge Detection Method in Oil-pressboard Insulation Based on Ultra-wideband Method HOU Kaining, WANG Qiang, LU Xinbo, SI Wenrong, FU Chenzhao, LI Qingquan(4770)

Flashover Characteristics of Stage Insulators in the Multi-gap Gas Switch Under Repetitive Microsecond Pulses LIN Tianyu, LI Zhou, LI Wei, WANG Yu, WANG Ning, YANG Lanjun(4780)

Discharge Characteristics of Rod-shaped Floating Conductor Under Negative Background Uniform Electric Field YANG Dongyang, CHEN Jian, XIAO Dengming, XU Zhen, FU Zhengcai(4791)

Space Charge Characteristics of Thermal Aging Oil Paper Insulation under AC/DC Composite Voltage HUANG Xin, ZHOU Yuanxiang, ZHANG Ling, ZHANG Yunxiao, TENG Chenyuan, XUE Lei(4800)

Comparison of Icing Shear Strength and Peel Strength Between Superhydrophobic and Superamphiphobic Coatings WANG Shengwu, LI Li, CHEN Jinyu, CHEN Junwu, ZOU Qiaoge, XIE Yi(4809)

Simulation Research on the Motion Characteristics of Fiber Impurity Particles in Oil Flow Under Different Voltage Types HUANG Yuchen, FANG Junlong, YAN Weiyang(4817)

Development, Intelligent Operation and Maintenance of Power Equipments

Review of Anode Saturable Reactor for Converter Valve YUAN Jiaxin, MO Zuoquan, LI Xuzhe, JI Yuqing, ZHENG Yuankun, ZENG Han(4829)

Research on Fatigue Life of Metal Flange of Converter Transformer's Valve-side Bushing ZHAO Lihua, CAI Weizhe, WANG Zhong(4842)

Effectiveness Analysis of New Triangle Anti-galloping Device for OCS Additional Conductors in Strong Wind Section of Lanzhou-Xinjiang High-speed Railway ZHAO Shanpeng, GE Wei, WANG Sihua, ZHANG Youpeng, ZHANG Chenrui(4852)

A Gas Gap Switch Scheme for Commutation Branch of DC Circuit Breakers and Its Induced Breakdown Characteristics DONG Bingbing, TAO Lei, LI Zhibing, ZHANG Ran, XU Xiaodong, WEN Tao(4863)

Effect of Trap Characteristics on Insulation Performance of Polyimide Film at Different Temperatures WU Jiang, LI Shuaiqiang, HE Minheng, ZHI Yibo, ZHANG Bo, WANG Yang(4873)

Nonlinear Vibration Model of Transformer Windings and Their Vibration Characteristics During Multiple Short Circuits ZHANG Fan, WU Shuyu, XU Zhengyu, ZHAO Zhigang, SUN Lu, JI Shengchang(4882)

Design of a 100 kV Pulse Transformer Based on Field-circuit Coupling Method and Its Magnetic Saturation Characteristics Research JIANG Jinbo, WANG Jiadong, CHENG Tingqiang, FANG Chunhua, LIU Jun, HE Mengbing(4893)

Fast Evaluation Method on Post-earthquake Mechanical Performance of 1 100 kV UHV Transformer Bushing ZHU Wang, MAO Baojun, XIE Qiang(4904)

Analysis and Optimization of Non-uniform Temperature Rise Distribution of Dry-type DC Capacitor Based on Electro-thermal Coupling YUE Guohua, DU Zhiye, MENG Shengchun, HU Jinchang, ZHANG Hailong(4915)

D-S Multi Information Fusion GIL Partial Discharge Joint Recognition Method Based on Neural Network AI Jiawei, NIU Haiqing, CHEN Zeming, LI Xiaoxiao, ZENG Yumeng, ZHUANG Xiaoliang(4925)

Machine Vision Inspection Method for Defects of Glass Insulator WANG Yuqing, YUAN Tian, NIE Lin, WU Wenhua, ZHANG Jin, HE Qiuping(4933)

High-power Electrical Electronics and Intelligent Transmission and Distribution

SLCC Converter Technology of UHVDC Transmission in New Power System MA Weimin, WANG Ling, LI Ming, SHEN Xiaolin, WU Fangjie, XU Ying(4941)

Operation Optimization of Park-level Integrated Energy System Based on Soft Actor-critic ZHU Zhenshan, CHEN Zhesheng, SHENG Mingding(4949)

Current Single-ended Ranging Protection of Ring DC Microgrid Based on Control and Protection Cooperation XUE Shimin, ZHU Xiaoshuai, WANG Shouxiang(4959)

Double Frequency Modulation and Power Balance Method for Hybrid 13-level Inverter	4968
Inrush Current Suppression Strategy of Converter Transformer Phase Selection Closing Based on Magnetic Bias Simulation	4977
Passive-based Control Strategy of Electric Springs Based on E-L Model ...	4986
High Frequency Transformer Technology for Power Electronic Transformer	4996
Optimal Control Method of HANPC Multi-level Converter Based on Multi-stage Zero-sequence Voltage Approximation	5012
Cooperative Operation Optimization of Distribution Network and Multi-microgrid Integrated Energy System Based on Energy Router	5024
Power Return Phenomenon and Active Power Control Strategy of MMC on Inverter side of the Hybrid Cascaded UHVDC Transmission System	5037
Development and Grid Entry of New Energy Equipments	
Distributed Optimal Control Strategy of Reactive Power and Voltage in Wind Farm	5047
Optimal Design of Virtual Synchronous Generator Virtual Impedance Considering Frequency Coupling	5057
Protection Method for Flexible DC Distribution Network Faults Based on Current Limiting Reactance Voltage	5068
Pulsed Power, Discharge and Plasmas	
Plasma Injection Characteristics Driven by Capillary Discharge in High Pressure SF ₆	5080
Integrated Ultrasonic and UHF Sensing Technology for Partial Discharge of Power Equipment	5090
Axial Uniformity of Pulsed Intense Flash of Extra-long Metal Wire Electrical Explosive Plasma	5102
Study on Corona Discharge Coagulation and Submicron Particles with Floating Conductor Electrode	5110
2022 Contents	(5120)

Chairman of Editorial Committee		CHEN Weijiang				
Vice Chairmen of Editorial Committee		TANG Guangfu	RONG Mingzhe	LIAO Ruijin	ZENG Rong	
Members of Editorial Committee						
DING Lijian	MA Weimin	WANG Chengshan	WANG Weisheng	WANG Xinxin	WANG Liming	WEN Xishan
WEN Jinyu	LU Xinpei	SIMA Wenxia	LÜ Yunqiang	WU Xiong	LIU Yunpeng	LIU Jinjun
LIU Shanghe	QI Lei	JIANG Xiuchen	JI Shengchang	XU Shukai	RUAN Ling	RUAN Jiangjun
DU Boxue	YANG Yingjian	LI Jian	LI Peng	LI Licheng	LI Chengrong	LI Qingmin
LI Xingwen	LI Jianlin	LI Shengtao	LI Qingquan	YAN Ping	WU Kai	WU Guangning
WU Yunxi	HE Jinliang	HE Junjia	QIU Aici	GU Shanqiang	CHI Yongning	ZHANG Qiaogen
ZHANG Xiaoxing	LU Jiazheng	CHEN Xiaoliang	CHEN Qingguo	SHAO Tao	ZHOU Kai	ZHOU Yuanxiang
ZHENG Jianchao	HU Yi	HU Jiabing	ZHAO Peng	ZHAO Zhengming	LÜ Fangcheng	RAO Hong
HE Zhiyuan	DANG Zhimin	XU Zheng	YIN Yu	GAO Keli	TANG Ju	MEI Shengwei
SHENG Wanxing	SHENG Gehao	DONG Xuzhu	JIANG Xingliang	CHENG Shijie	LEI Min	LEI Qingquan
LU Shujun	CAI Xu	CAI Wei	PAN Yuan	XUE Yusheng		
Chengke Zhou(UK)	E. Gockenbach (Germany)	J. J. Smit (the Netherlands)	K. Hidaka (Japan)	L. A. Dissado (UK)		
M. Farzaneh (Canada)	M. Muhr (Austria)	S. M. Gubanski (Sweden)				
Young Members of Editorial Committee						
WANG Peng	FANG Zhi	LIU Dingxin	QI Bo	DU Xiong	YANG Qing	LI Hua
LI Qi	HE Jinwei	YU Zhanqing	XIN Huanhai	SONG Qiang	ZHANG Bo	ZHANG Shuqi
ZHANG Chunpeng	CHEN Wu	CHEN Xiangrong	CHEN Laijun	LIN Lei	HU Jianlin	ZHA Junwei
GUO Chunyi	GAO Yu	GAO Guoqiang	TANG Bo	HUANG Xingyi	HUANG Daochun	ZHANG Cheng
PEI Wei	DAI Dong					
Competent Authorities	State Grid Corporation of China			Publication Number	ISSN 1003-6520	
Sponsors	National Center for High Voltage Measurement			CODEN	GAJIE5	
	Chinese Society for Electrical Engineering			Add	Wuhan 430074, China	
Editor and Publisher	High Voltage Engineering Editorial Department of CEPRI			Website	http://hve.epri.sgcc.com.cn	
Editor in Chief	ZHAO Peng			E-mail	hve@epri.sgcc.com.cn	
Director	YAN Meng			Tel	86-27-59258041, 59258042	
Editor in Charge	CAO Zhaojun			Fax	86-27-59835529	

海沃科技
HIGHVOLTAGE

致力高压试验 专注特种电源

苏州工业园区海沃科技有限公司是一家专注于生产特种交直流试验电源及其衍生产品、致力于高压试验技术及服务的高新技术企业, 为广大电力用户提供高压试验及检测的完备解决方案。

变压器感应耐压及局放试验



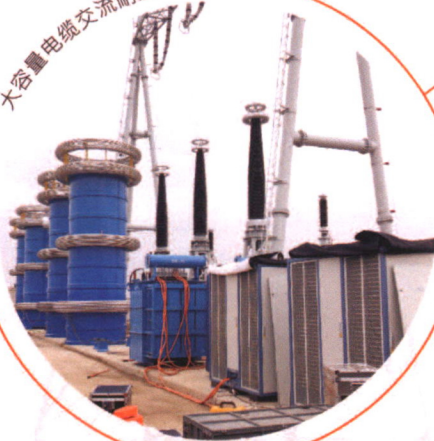
GIS交流耐压试验



直流互感器现场校验



大容量电缆交流耐压试验



配电变压器短路冲击试验



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

邮编: 215122

电话: 0512-67619935/82277687

服务热线: 400-838-9858

传真: 0512-67619936/82277685

网址: www.hvtec.com

