

HIGH VOLTAGE ENGINEERING

# 高电压技术



Compendex 核心期刊

过电压与绝缘专题

January 2014 Vol.40, No.1

## 中国的电力 我们的事业

## 恭祝各界朋友马年大吉、万事呈祥



国家电网  
STATE GRID

中国电力科学研究院  
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

单位：中国电力科学研究院

邮编：100192

传真：(010) 62913126

地址：北京清河小营东路15号

电话：(010) 82812114

网址：www.epri.sgcc.com.cn

ISSN 1003-6520



9 771003 652145

万方数据

中国电力科学研究院 主办  
中国电机工程学会

# 2014-1

## 目 次

### 过电压与绝缘专题

地表紫外辐射对棒-板间隙正极性直流放电的影响.....舒立春, 杨占刚, 蒋兴良, 胡 琴, 邱宗奎(1)

硅橡胶电树枝通道微观形貌研究.....周远翔, 张 旭, 刘 睿, 侯 非, 张云霄, 高胜友(9)

基于 Kerr 电光效应测量的液体空间电荷产生及其分布特性.....司马文霞, 黄思思, 杨 庆, 袁 涛, 廖 磊, 施 健(16)

应用纵联差动保护防止雷击同塔双回线路同时跳闸停电.....周 浩, 邓 旭, 沈志恒, 王东举, 孙 可, 沈 扬(24)

蒙脱土改性绝缘纸的制备及其电气特性研究.....廖瑞金, 袁 磊, 张福州, 杨丽君, 汪 可, 段 炼(33)

可主动快速熄灭工频续流电弧的灭弧防雷间隙装置设计.....王巨丰, 李世民, 闫仁宝, 吴焰龙(40)

特高压直流复合支柱绝缘子均压环的优化设计.....胡建林, 吴 尧, 肖代波, 蒋兴良, 刘 健, 张志劲(46)

鸟粪导致交流输电线路塔窗-导线空气间隙放电的特性研究.....杨 庆, 董 岳, 司马文霞, 袁 涛, 欧阳沙(55)

风电场电缆集电网操作过电压的模拟试验和暂态分析.....刘学忠, 王贤宗, Li Yishan, Abdul Saboor, 尚雨辰, 张天龙(61)

XLPE 电缆绝缘水树老化的无机修复机理及试验分析.....周 凯, 赵 威, 陶文彪, 陶霏韬, 刘 凡(67)

交联聚乙烯与硅橡胶界面涂抹不同硅脂对其电荷特性的影响.....王 霞, 姚 航, 吴 锴, 柳 松, 彭嘉康, 崔 浩(74)

直流电压作用下油纸绝缘局部放电发展不同阶段的理化特性.....沙彦超, 周远翔, 聂德鑫, 伍志荣, 邓建钢, 卢理成(80)

基于 Kerr 效应的绝缘子表面 Laplace 电场光斑图像计算.....刘微粒, 付洋洋, 邹晓兵, 王新新(87)

高速气流环境中电气化铁路绝缘子表面积污分布特性.....孙继星, 徐 跃, 胡学永, 吴广宁, 高国强, 朱 翊(95)

火焰中颗粒对间隙放电特性的影响.....普子恒, 阮江军, 吴 田, 王国利, 黄道春(103)

高压交联聚乙烯电缆绝缘劣化试验分析.....王 立, 杜伯学, 任志刚(111)

真空、直流电压的电子辐射环境中聚酰亚胺材料的沿面闪络特性.....张振军, 苗 军, 王学强, 吴文斌, 杨 沛, 郑晓泉(117)

XLPE 电缆水树老化过程中半导体层缺陷的形成机理.....周 凯, 陶霏韬, 杨 滴, 陶文彪, 杨明亮(124)

采用改进层次分析法综合评估 500 kV 输电线路防雷改造效果.....段若晨, 王丰华, 顾承昱, 满玉岩, 傅正财, 刘亚东(131)

基于红外热像分析的绝缘子污闪过程中干区形成过程分析.....梁 飞, MacAlpine Mark, 关志成, 张若兵(138)

试验电压对输电线路缺陷电晕放电紫外光子计数率的影响.....万树伟, 陈 澜, 卞星明, 张 林, 王黎明, 关志成(147)

多回同相多根并联高压电力电缆电流分布及金属护套环流计算.....田金虎, 刘渝根, 赵俊光, 田大鹏, 尚龙(153)

### 高电压新技术

离子速度对霍尔推力器壁面鞘层特性的影响.....段 萍, 覃海娟, 周新维, 曹安宁, 殷 燕(160)

大气压刷形等离子体羽的放电特性.....李雪辰, 鲍文婷, 贾鹏英, 刘润甫(166)

电场强度对原油乳化液破乳脱水的影响.....陈庆国, 梁 雯, 宋春辉(173)

脱硫溶液性质对空腔雾化放电特性的影响.....李 庆, 李娇娇, 李文昭, 王巧艳, 熊焱青, 杨振亚(181)

介质阻挡放电在水处理中的影响因素分析.....侯世英, 曾 鹏, 孙 韬, 罗书豪, 张立帅, 高 晋(187)

激光触发开关触发延时及抖动特性.....殷 毅, 杨 杰, 钟辉煌, 杨建华, 罗皓飞, 洪志强(194)

脉冲电晕放电等离子体-活性炭协同去除废水中重金属离子和有机物.....屈广周, 赵良琪, 梁东丽, 曲 东, 黄懿梅, 吉普辉(201)

基于 CFDRC 的感应耦合等离子体离子数密度空间分布仿真.....赵文锋, 杨 洲, 王卫星, 吴伟斌, 肖诺骏(206)

介质阻挡放电等离子体抑制翼型流动分离的实验研究.....杨 波, 孙 敏, 白敏葭(212)

电场对溶液相变过程影响的热刺激去极化电流分析.....马亚红, 钟力生, 于钦学, 张 跃, 成 林(219)

旋转火花开关多脉冲触发系统设计.....张兴亮, 郭立红, 孟范江, 杨贵龙, 方艳超, 刘 遵(225)

根据压载水排放 D-2 标准用羟基自由基处理微藻的研究.....孟祥盈, 陈 操, 白敏冬, 孙 健, 孟凡鹏(232)

固态快前沿双指数脉冲源设计与仿真.....杨清熙, 王庆国, 周 星, 赵 敏, 张永强(237)

高温环境下线管式电极结构直流放电特性实验研究.....张佳鹏, 肖 刚, 王锡辉, 倪明江, 高 翔(242)

中性束注入器用串联高压缓冲器优化设计.....程德胜, 李 格, 谢 飞, 袁红文, 付 鹏(250)

方波 PEF 处理中负载失配情况下波形的优化.....肖健夫, 张若兵, 陈 杰, 王黎明(256)

微波等离子体炬反应区的冷模测量与仿真.....廖姗姗, 王 强, 张博雅, 王 仲, 王博然, 张贵新(262)

## 高压电器及其智能化

- 变压器式可控电抗器绕组电流分析.....田铭兴, 原东昇, 安 潇, 尹健宁(269)  
基于磁控电抗器的控制系统设计.....李和明, 刘海鹏, 尹忠东(275)  
基于半经验模型的高压限流熔断器电弧特性的计算与分析.....陈 搏, 庄劲武, 肖翼洋, 王 晨, 唐 振(282)  
高压直流换流阀用饱和电抗器的暂态电路仿真模型.....陈 鹏, 曹均正, 魏晓光, 纪 锋, 汤广福(288)  
石英砂对电磁斥力高速开断器介质恢复特性的影响.....袁志方, 庄劲武, 王 晨, 陈 搏, 江壮贤(294)  
光控真空断路器模块低功耗自具电源设计.....葛国伟, 段雄英, 廖敏夫, 邹积岩, 郑 微(300)  
真空断路器瞬态恢复电压与弧后电流相互作用仿真研究.....舒胜文, 阮江军, 黄道春(309)

## 《高电压技术》编辑委员会

名誉主任委员 陆延昌

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 王庆国 王新新 王黎明 文习山 卢新培 邬 雄 刘尚合 刘泽洪 江秀臣 阮 羚 阮江军  
杨迎建 李 剑 李立涅 李庆民 李光范 李若梅 李盛涛 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 陈家宏 陈维江 张芝涛 张乔根 邵 涛 周 浩 周远翔 郑健超 胡 毅 郝艳捧  
赵鸿飞 饶 宏 徐 政 钱宝良 高克利 唐 炬 崔 翔 宿志一 程时杰 曾 嵘 雷清泉 潘 垣 薛禹胜

E. Gockenbach(Germany) J. J. Smit(Holland) K. Hidaka(Japan) L.A.Dissado(UK) M. Farzaneh(Canada) M.Muhr(Austria)  
S.Grzybowski(USA) 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 长缆电工科技股份有限公司 宁波东方电缆股份有限公司 远东电缆股份有限公司

青岛汉缆股份有限公司 国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司 陶氏化学(中国)投资有限公司 博禄 / 北欧化工

## 高电压技术 (月刊, 1975年创刊)

《工程索引》(EI) 核心期刊  
《文摘杂志》(AJ) 收录期刊  
中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊  
中文核心期刊要目总览收录期刊

《科学文摘》(SA, INSPEC) 收录期刊  
日本科学技术社数据库 (JST) 收录期刊  
中国精品科技期刊  
中国科技核心期刊  
《化学文摘》(CA) 收录期刊  
《剑桥科学文摘》(CSA) 收录期刊  
RCCSE 中国权威学术期刊

主 管 单 位: 国家电网公司

地 址: 湖北省武汉市珞喻路 143 号

主 办 单 位: 中国电力科学研究院

邮 政 编 码: 430074

中国电机工程学会

网 址: <http://hve.epri.sgcc.com.cn>

编 辑 出 版: 《高电压技术》编辑部

电 子 信 箱: [hve@epri.sgcc.com.cn](mailto:hve@epri.sgcc.com.cn)

主 编: 郭剑波

印 刷: 武汉市宏达盛印务有限公司

副 主 编: 胡 毅 李光范

国 内 发 行: 湖北省邮政局 邮发代号 38-24

编辑部副主任: 严 梦

国 外 发 行: 中国国际图书贸易总公司 代号 M982

责 任 编 辑: 曹昭君 肖 铮 李 东

国 内 定 价: 69.00 元/期

英 文 编 审: 肖 铮

中国标准连续出版物号: ISSN 1003-6520  
CN 42-1239/TM

编 辑 部: (027) 59835528

国际刊名代码 (CODEN): GAJIES

广 告 发 行 部: (027) 59835518

广告经营许可证号: 420100400801

传 真: (027) 59835529

期刊基本参数: CN42-1239/TM \* 1975 \* m \* A4 \* 316 \* zh \* P \* ¥69.00 \* 6600 \* 46 \* 2014-01



## CONTENTS

### Overvoltage and Insulation

- Effect of Terrestrial Solar UV Radiation on Positive DC Discharge of Point-plane Gap..... SHU Lichun, YANG Zhangang, JIANG Xingliang, HU Qin, QIU Zongkui(1)
- Study on Micromorphology of Electrical Trees in Silicon Rubber..... ZHOU Yuanxiang, ZHANG Xu, LIU Rui, HOU Fei, ZHANG Yunxiao, GAO Shengyou(9)
- Generation and Distribution Characteristics of Space Charge in Liquid Dielectric Based on Kerr Electro-optic Effect..... SIMA Wenxia, HUANG Sisi, YANG Qing, YUAN Tao, LIAO Lei, SHI Jian(16)
- Applying Longitudinal Differential Protection Against Simultaneous Lightning Outage for Double-circuit Transmission Lines on Same Tower..... ZHOU Hao, DENG Xu, SHEN Zhiheng, WANG Dongju, SUN Ke, SHEN Yang(24)
- Preparation of Montmorillonite Modified Insulation Paper and Study on Its Electrical Characteristics..... LIAO Ruijin, YUAN Lei, ZHANG Fuzhou, YANG Lijun, WANG Ke, DUAN Lian(33)
- Arc-quenching Lightning Protection Gap for Fast Extinction of Power Frequency Arcs..... WANG Jufeng, LI Shimin, YAN Renbao, WU Yanlong(40)
- Optimization for Grading Rings of UHV DC Composite Post Insulators..... HU Jianlin, WU Yao, XIAO Daibo, JIANG Xingliang, LIU Jian, ZHANG Zhijin(46)
- Discharge Characteristics of Tower-line Air Gap of AC Transmission Line Caused by Bird Streamer..... YANG Qing, DONG Yue, SIMA Wenxia, YUAN Tao, OUYANG Sha(55)
- Simulating Experiment and Transient Analysis on Switching Surges in Cable Collection Grid of Wind Power Plant..... LIU Xuezhong, WANG Xianzong, Li Yishan, Abdul Saboor, SHANG Yuchen, ZHANG Tianlong(61)
- Method and Mechanism of the Inorganic Rejuvenation for Water Tree Aged XLPE Cables..... ZHOU Kai, ZHAO Wei, TAO Wenbiao, TAO Xiantao, LIU Fan(67)
- Effect of Different Coating Silicone Grease on Space Charge Characteristics at XLPE/SR Interface..... WANG Xia, YAO Hang, WU Kai, LIU Song, PENG Jiakang, CUI Hao(74)
- Partial Discharge Process in Transformer Oil and Electrical Insulation Paper Under DC Stress..... SHA Yanchao, ZHOU Yuanxiang, NIE Dexin, WU Zhirong, DENG Jiangang, LU Licheng(80)
- Calculation of Light Spot Image Produced by Laplace Electric Field on the Surface of Insulator Based on Kerr Effect..... LIU Weili, FU Yangyang, ZOU Xiaobing, WANG Xinxin(87)
- Characteristics of Pollution Distribution on Insulators Nearby Electrified Railroad in High-speed Aerosol..... SUN Jixing, XU Yue, HU Xueyong, WU Guangning, GAO Guoqiang, ZHU Yi(95)
- Influence of Particles in Flame on the Characteristics of Gap Discharge..... PU Ziheng, RUAN Jiangjun, WU Tian, WANG Guoli, HUANG Daochun(103)
- Test and Analysis of Insulation Deterioration of XLPE Power Cable..... WANG Li, DU Boxue, REN Zhigang(111)
- Surface Flashover Characteristics of Polyimide During Electron Beam Irradiation Under DC Voltage in Vacuum..... ZHANG Zhenjun, MIAO Jun, WANG Xueqiang, WU Wenbin, YANG Pei, ZHENG Xiaoquan(117)
- Mechanism of Defects Formation in Semicon Layers of Water-tree Aged XLPE Cables..... ZHOU Kai, TAO Xiantao, YANG Di, TAO Wenbiao, YANG Mingliang(124)
- Comprehensive Evaluation of 500 kV Transmission Line Lightning Protection Effect Based on Improved Analytic Hierarchy Process..... DUAN Ruochen, WANG Fenghua, GU Chengyu, MAN Yuyan, FU Zhengcai, LIU Yadong(131)
- Formation of Dry-band in the Process of Pollution Flashover Based on Infrared Thermal Image Analysis..... LIANG Fei, MacAlpine Mark, GUAN Zhicheng, ZHANG Ruobing(138)
- Effect of Applied-voltage on UV Photon Number of Corona Discharge from Transmission Line Defect..... WAN Shuwei, CHEN Lan, BIAN Xingming, ZHANG Lin, WANG Liming, GUAN Zhicheng(147)
- Circulating Current in Sheaths and Current Distribution on Same-phase Parallel Multi-cable of Multi-circuit Power Cable Lines..... TIAN Jinhu, LIU Yugen, ZHAO Junguang, TIAN Dapeng, SHANG Longlong(153)

### Novel HV Technology

- Effect of Ion Velocity on the Characteristics of Wall Sheath in Hall Thruster..... DUAN Ping, QIN Haijuan, ZHOU Xinwei, CAO Anning, YIN Yan(160)
- Discharge Characteristics of a Brush-shaped Plasma Plume Under Atmospheric Pressure..... LI Xuechen, BAO Wenting, JIA Pengying, LIU Runfu(166)
- Effect of Electric Field Strength on Crude Oil Emulsion's Demulsification and Dehydration..... CHEN Qingguo, LIANG Wen, SONG Chunhui(173)
- Influence of Desulfurizing Liquid Property on Atomization Corona Discharge Characteristics..... LI Qing, LI Jiaojiao, LI Wenzhao, WANG Qiaoyan, XIONG Yanqing, YANG Zhenya(181)
- Analysis on Influential Factors of Dielectric Barrier Discharge on Water Treatment..... HOU Shiying, ZENG Peng, SUN Tao, LUO Shuhao, ZHANG Lishuai, GAO Jin(187)
- Triggering Delay and Jitter of Laser Triggered Gas Switch..... YIN Yi, YANG Jie, ZHONG Huihuang, YANG Jianhua, LUO Haofei, HONG Zhiqiang(194)
- Simultaneous Removal of Heavy Metal Ions and Organic Compounds in Wastewater by Pulsed Corona Discharge Plasma Combined with Activated

Carbon .....	QU Guangzhou, ZHAO Liangqi, LIANG Dongli, QU Dong, HUANG Yimei,JI Puhui(201)
Simulation on the Spatial Distribution of ICP Ion Number Density Based on CFDRC .....	ZHAO Wenfeng, YANG Zhou, WANG Weixing, WU Weibin, XIAO Nuojun(206)
Experimental Investigation of Airfoil Flow Separation Control by Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator .....	YANG Bo, SUN Min, BAI Mindi(212)
Thermally-stimulated Depolarization Current Analysis on the Phase Transition of Biological Solution Under Electric Field .....	MA Yahong, ZHONG Lisheng, YU Qinxue, ZHANG Yue, CHENG Lin(219)
Design of Multi-pulse Trigger System for Rotated Spark Switch .....	ZHANG Xingliang, GUO Lihong, MENG Fanjiang, YANG Guilong, FANG Yanchao, LIU Luo(225)
Treatment of Microalgae in Ballast Water Using Hydroxyl Radical in Accordance with the D-2 Ballast Water Discharge Standard .....	MENG Xiangying, CHEN Cao, BAI Mindong, SUN Jian, MENG Fanpeng(232)
Design and Simulation of Solid State Pulser with Fast Rise Time and Double-exponential Waveform .....	YANG Qingxi, WANG Qingguo, ZHOU Xing, ZHAO Min, ZHANG Yongqiang(237)
Experimental Study on the DC Discharge Characteristics of Wire-to-cylinder Electrode Configuration at High Temperature .....	ZHANG Jiapeng, XIAO Gang, WANG Xihui, NI Mingjiang, GAO Xiang(242)
Optimization and Design of the Series High Voltage Snubber for Neutral Beam Injector .....	CHENG Desheng, LI Ge, XIE Fei, YUAN Hongwen, FU Peng(250)
Rectangular Pulse Optimization on Mismatched Loads in PEF Process Based on Pulse Transformer and Magnetic Switch .....	XIAO Jianfu, ZHANG Ruobing, CHEN Jie, WANG Liming(256)
Cold-model Experimental and Simulation Research of Reaction Zone of a Microwave Plasma Torch .....	LIAO Shanshan, WANG Qiang, ZHANG Boya, WANG Zhong, WANG Boran, ZHANG Guixin(262)

### High Voltage Apparatus and Its Intelligentization

Analysis on Winding Current of Controllable Reactor of Transformer Type .....	TIAN Mingxing, YUAN Dongsheng, AN Xiao, YIN Jianning(269)
Design of Control System Based on Magnetically Controlled Reactor .....	LI Heming, LIU Haipeng, YIN Zhongdong(275)
Calculation and Analysis of High-voltage Current-limiting Fuse's Arc Characteristics Based on Semi-empirical Model .....	CHEN Bo, ZHUANG Jinwu, XIAO Yiyang, WANG Chen, TANG Zhen(282)
Transient Circuit Simulation Model of Saturable Reactors for HVDC Converter Valves .....	CHEN Peng, CAO Junzheng, WEI Xiaoguang, JI Feng, TANG Guangfu(288)
Influence of Silica Sand on Dielectric Recovery Characteristic of High-speed Electro-magnetic Repulsion Isolators .....	YUAN Zhifang, ZHUANG Jinwu, WANG Chen, CHEN Bo, JIANG Zhuangxian(294)
Design of Low Power Self-supplying Power Source Module of Fiber-controlled Vacuum Interrupter Module .....	GE Guowei, DUAN Xiongying, LIAO Minfu, ZOU Jiyan, ZHENG Wei(300)
Interaction Between the Transient Recovery Voltage and Post Arc Current in Vacuum Circuit Breaker .....	SHU Shengwen, RUAN Jiangjun, HUANG Daochun(309)

**Honorary Chairman of Editorial Committee** LU Yanchang

**Chairman of Editorial Committee** ZHANG Wenliang

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

#### Members of Editorial Committee

DING Lijian	MA Weimin	WANG Qingguo	WANG Xinxin	WANG liming	WEN Xishan	LU Xinpei
WU Xiong	LIU Shanghe	LIU Zehong	JIANG Xiuchen	RUAN Ling	RUAN Jiangjun	YANG Yingjian
SUN Caixin	SUN Yuanzhang	YANG Qixun	LI Licheng	LI Qingmin	LI Guangfan	LI Ruomei
LI Jian	LI Licheng	LI Qingmin	LI Guangfan	LI Ruomei	LI Shengtao	YAN Ping
WU Kai	WU Guangning	HE Jinliang	HE Junjia	QIU Aici	ZOU Jiyan	LU Jiazheng
LU Jiayu	CHEN Jiahong	CHEN Weijiang	ZHANG Zhitao	ZHANG Qiaogen	SHAO Tao	ZHOU Hao
ZHOU Yuanxiang	ZHENG Jianchao	HU Yi	HAO Yanpeng	ZHAO Hongfei	RAO Hong	XU Zheng
QIAN Baoliang	GAO Keli	TANG Ju	CUI Xiang	SHU Zhiyi	CHENG Shijie	ZENG Rong
LEI Qingquan	PAN Yuan	XUE Yusheng				
E. Gockenbach (Germany)	J. J. Smit (Holland)		K. Hidaka (Japan)		L. A. Dissado (UK)	
M. Farzaneh (Canada)	M. Muhr (Austria)		S. Grzybowski (USA)		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
	China Electric Power Research Institute	<b>CODEN</b> GAJIE5
<b>Editor and Publisher</b>	Chinese Society for Electrical Engineering	<b>Add</b> Wuhan 430074, China
	High Voltage Engineering Editorial Department	<b>Web Site</b> http://hve.epri.sgcc.com.cn
<b>Editor in Chief</b>	GUO Jianbo	<b>E-mail</b> hve@epri.sgcc.com.cn
<b>Director</b>	PENG Chunzheng	<b>Tel</b> 86-27-59835528, 59835518
<b>Editors in Charge</b>	CAO Zhaojun	<b>Fax</b> 86-27-59835529

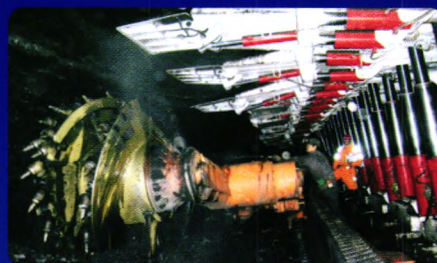
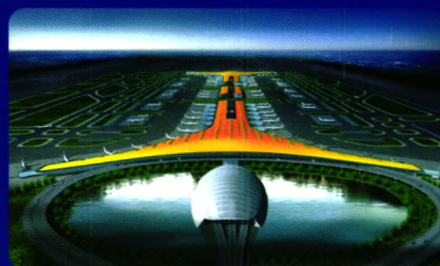




塑造汉河品牌

真诚服务社会

主要典型业绩



为您提供  
全系列电线电缆附件  
全套解决方案的  
制造供应服务商

奥运鸟巢	水立方	上海世博会
首都国际机场	央视大楼	广州亚运会
地铁、轻轨	高速铁路	神华集团
青岛奥帆中心	中国海油	上海东海风电

<http://www.hanhe-cable.com>

万方数据

**青岛汉缆股份有限公司**  
QINGDAO HANHE CABLE CO.,LTD.

地址：青岛崂山区九水东路628号 邮编：266102  
电话：0532-88817999 88817418 FAX：0532-88817558  
E-mail:hanhe2@hanhe-cable.com

国内统一连续出版物号:CN42-1239/TM 国内定价:69元/期