

# 中国电力

# 6

# 2015

## ELECTRIC POWER



### 康宁特·携手共创碧水蓝天

大气污染和PM2.5工业源头排放治理专家

国、内外多家环保科研机构深度合作者

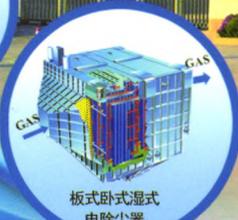
中国环境保护装备生产、技术服务企业领跑者



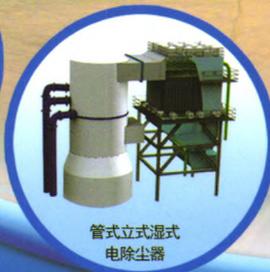
郑州康宁特环保装备科技有限公司



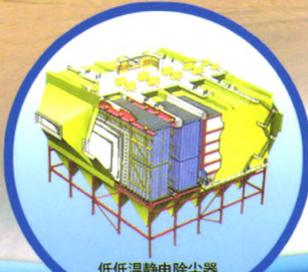
SCR蜂窝式无毒陶瓷  
脱硝催化剂



板式卧式湿式  
电除尘器



管式立式湿式  
电除尘器



低低温静电除尘器



电袋复合除尘器

### 郑州康宁特环保装备科技有限公司

地 址：河南省新密市曲梁产业集聚区风尚街  
电 话：0371—55600555/69891213  
邮 箱：zzkntb@163.com

销售热线：0371—85810862/85810866  
传 真：0371—55600999/69892113  
网 址：www.kntb.com



ISSN 1004-9649



0 6 >





# 中国电力

ZHONGGUO DIANLI  
第 48 卷第 6 期 2015 年 6 月

## 目次

### 《中国电力》杂志顾问委员会

顾 问(按姓氏笔画排序)

王久玲 王炳华 史大桢 史玉波  
李小鹏 李菊根 汪建平 陆延昌  
范集湘 周大兵 曹培奎 翟若愚

### 《中国电力》杂志编辑委员会

主任委员 舒印彪

副主任委员 吴玉生 张运洲 邓建玲

委 员(按姓氏笔画排序)

卢 强 匡尚富 刘建明 李若梅  
李俊峰 杨奇逊 辛耀中 沈国荣  
宋永华 张文亮 张博庭 张嗣兴  
陈维江 欧阳予 金耀华 周孝信  
郑健超 赵 杰 赵遵廉 胡式海  
胡兆光 袁 德 黄其励 蒋敏华  
韩祯祥 温绪庭 薛禹胜

主 编 胡兆光

副主编 李 琼

本期执行主编 辛培裕

责任编辑 杨 静 李秀平 张重实 李 博  
张 燕 张子龙 杨 娜 刘 明  
喻银凤

发行广告 杨 娜 孙 洁 李蔚君

### 风光储专栏

基于猫鼠种群算法的分散式风力发电优化配置

..... 杨琚, 张闯, 黄旭, 孙秋野 (1)

风光互补发电系统的可靠性分析 ..... 张世翔, 丁倩 (8)

风力机独立桨距角鲁棒自适应跟踪控制 ..... 崔双喜, 王维庆 (14)

利用大用户直接消纳风电的利益均衡优化模型

..... 张晨, 陈坤, 谭忠富, 董安有 (20)

大规模风电集中接入的电力系统储能容量配置策略

..... 韩勇, 郑翔宇, 彭生江, 李臻, 沈涓程, 梁才 (26)

一种基于公共直流母线的链式储能系统 ..... 金一丁 (32)

基于差分进化算法的阴影影响下光伏阵列 MPPT 控制研究

..... 林祺蓉, 王俏俏, 林祺蔚, 林琳, 董晨辉, 刘红霞 (39)

风电场风能资源储量和技术开发量估算方法

..... 刘志远, 彭秀芳, 冯莉黎 (45)

### 电网

基于改进遗传算法含 OLTC 风电系统电压控制

..... 李生虎, 王艳艳, 雷庆坤, 钱壮 (51)

基于模糊控制的广域阻尼控制器设计

..... 孙琳, 李天然, 钱俊杰, 蔡玮, 吴华仁 (58)

基于图论的含分布式电源配电网故障恢复算法

..... 冯杰, 陈骏宇, 陈明军, 王晶 (63)

500 kV 升压站雷电反击侵入波过电压的影响因素研究

..... 王建南, 蒋昆, 骆仁意 (72)

变电站设备热力带电除冰技术研究

..... 胡霁, 邵瑰玮, 蔡焕青, 付晶, 文志科, 万丽芬 (80)

## “国家期刊奖”获奖期刊

中文核心期刊

中国期刊方阵期刊

中国科学引文数据库(CSCD)收录期刊

中国科技核心期刊

RCCSE 中国核心学术期刊(A)

英国《科学文摘》(SA, INSPEC)收录期刊

俄罗斯《文摘杂志》(AJ of VINITI)收录期刊

美国《剑桥科学文摘》(CSA)收录期刊

中国科技论文统计源期刊

中国科技文献数据库收录期刊

中文科技期刊数据库收录期刊

中国期刊网收录期刊

中国电力报刊协会优秀期刊

扩径导线结构稳定性评估体系 ..... 万建成,司佳钧,刘龙,刘臻 (86)

电动汽车共享式家用充电设施的优化运行研究  
..... 李敏,苏小林,阎晓霞,张艳娟 (94)

对企业标准 OPGW 光缆热稳定参数的分析  
..... 迟兴和,孙鹏,魏烈强,翟彬,石能森,陈斌 (102)

基于离网型风电的海水淡化系统优化设计 ... 李超,周喆,李利平 (107)

特高压工程用 145 kV 电容器组试验回路建设  
..... 成俊奇,王昊晴,李玉春,李向阳,李庆余 (113)

基于 IED 的微网关联区域保护研究  
..... 唐波,李昱,彭友仙,曹红英,陈彬 (118)

广西远景年多回直流落点相互影响分析  
..... 王巍,康义,李悝,陈前 (124)

## 发电

冷却塔排烟风洞模拟 ..... 马进,姜益善,沈凡卉,田文鑫,徐祎 (128)

大型汽轮发电机结构振动故障的分析及治理 ..... 何国安,师军 (133)

富氧燃烧电站锅炉运行监控分析  
..... 黄勇理,刘杰,柳朝晖,郑楚光 (139)

海水淡化喷嘴分布特性的实验研究  
..... 刘秋生,杨庆卫,李会雄,郝陈玉,冯永昌 (144)

国产 1 000 MW 火电机组 FCB 功能设计与实现  
..... 黄卫剑,湛志刚,万文军,尹武昌,杨铁强 (151)

S209FA 型燃机“二拖一”联合循环并汽及解汽应用研究  
..... 赵军锋,何改平 (156)

电力动态 ..... (19,117)

## 中国电力

(月刊,1956年创刊)

第48卷第6期(总第559期)

2015年6月5日出版

主管单位:国家电网公司

主办单位:国网能源研究院

中国电机工程学会

编辑出版:《中国电力》编辑部

地址:北京市昌平区北七家镇未来科  
技城北区国家电网办公区 B315

邮政编码:102209

电话:010-66603808(编辑部)

010-66603802(广告)

010-66603801(发行)

传真:010-66603578

电子信箱:ZGDL@sgeri.sgcc.com.cn

网址:www.chinapower.org

印刷:北京科信印刷有限公司

总发行:北京报刊发行局

订购:全国各邮局

国内邮发代号:2-427

国内定价:  $\frac{15.00 \text{ 元/期}}{180.00 \text{ 元/年}}$

国外发行代号:M-276

国外总发行:中国国际图书贸易总公司  
(北京 399 信箱)

中国标准连续出版物号:  $\frac{\text{ISSN } 1004-9649}{\text{CN } 11-3265/\text{TM}}$

广告经营许可证号:京宣工商广字第 8004 号

### 声明

本刊已与相关数据库合作,许可在其数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文,该数据库著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意本刊上述声明。

# ELECTRIC POWER

Vol.48 No.6 Jun. 2015

## MAIN CONTENTS

### Security Column

- Optimal Configuration for Distributed Wind Generation Based on Cat and Mouse Swarm Algorithm ..... YANG Jun, ZHANG Chuang, HUANG Xu, SUN Qiuye (31)
- Reliability Analysis on Wind and Solar Hybrid System ..... ZHANG Shixiang, DING Qian (13)
- Robust Adaptive Tracking Control of Individual Pitch for Wind Turbines ..... CUI Shuangxi, WANG Weiqing (19)
- Optimization Model of Wind Power Accommodation for Interest-Balancing with Large Consumer ..... ZHANG Chen, CHEN Kun, TAN Zhongfu, DONG Anyou (25)
- Configuration of Energy Storage in Power System with Wind Power Integration ..... HAN Yong, ZHENG Xiangyu, PENG Shengjiang, LI Zhen, SHEN Weicheng, LIANG Cai (31)
- Research on the Cascaded Energy Storage System Based on Common DC Bus ..... JIN Yiding (38)
- Research on MPPT Control of Partially Shaded Photovoltaic Array Based on Differential Evolution Algorithm ..... LIN Qiyong, WANG Qiaoqiao, LIN Qiwei, LIN Lin, Dong Chenhui, LIU Hongxia (44)
- Estimation Method for Total Reserve and Technical Exploitation Amount of Wind Farm ..... LIU Zhiyuan, PENG Xiufang, FENG Lili (50)

### Generation Technology

- Voltage Control to Wind Power System with On-Load Tap Changer Based on Improved Genetic Algorithm ..... LI Shenghu, WANG Yanyan, LEI Qingkun, QIAN Zhuang (71)
- Design of Wide Area Damping Controller Based on Fuzzy Control ..... SUN Lin, LI Tianran, QIAN Junjie, CAI Wei, WU Huaren (62)
- Research on Graph Theory-Based Service Restoration Algorithm of Distribution Network Containing Distributed Generation ..... FENG Jie, CHEN Junyu, CHEN Mingjun, WANG Jin (71)
- Research on Influencing Factors of Lightning Back-Strike Intruding Overvoltage of 500 kV Substation ..... WANG Jiannan, LUO Renyi (79)
- Research on Thermal Deicing Method for Live Substation Equipment ..... HU Ji, SHAO Guiwei, CAI Huanqing, FU Jing, WEN Zhike, WAN Lifan (85)
- Evaluation System for Structural Stability of Expanded Diameter Conductor ..... WAN Jiancheng, SI Jiajun, LIU Long, LIU Zhen (93)
- The Optimal Strategy of Level 2 Sharing Residential EVSE for Electric Vehicles ..... LI Min, SU Xiaolin, YAN Xiaoxia, ZHANG Yanjuan (101)
- Analysis on Thermal Stability Parameters of OPGW Cable in Enterprise Standard ..... CHI Xinghe, SUN Peng, WEI Lieqiang, ZHAI Bin, SHI Nengsen, CHEN Bin (112)
- Optimal Design of Seawater Desalination System based on Stand-alone Wind Power ..... LI Chao, ZHOU Zhe, LI Liping (112)
- Development of Electrical Life Test Circuit of 145 kV Capacitors Switch for UHV Projects ..... CHENG Junqi, WANG Haoqing, LI Yuchun, LI Xiangyang, LI Qingyu (117)
- Research of Associated Zone Protection for Microgrid Based on IED Technology ..... TANG Bo, LI Yu, PENG Youxian, CAO Hongying, CHEN Bin (127)
- The Analysis of Multi-Infeed HVDC's Interactive Effect in Guangxi Power Grid Long-Term Plan ..... WANG Wei, KANG Yi, LI Kui, CHEN Qian (127)

### Power System

- Wind Tunnel Simulation Experiment on Cooling Tower Emissions ..... MA Jin, JIANG Yishan, SHEN Fanhui, TIAN Wenxin, XU Yi (143)
- Analysis and Treatment on Structural Vibrations in Large Turbo-Generators ..... HE Guoan, SHI Jun (138)
- Operational and Monitoring Analysis of Oxy-Fuel Combustion Power Plants ..... HUANG Yongli, LIU Jie, LIU Zhaohui, ZHENG Chuguang (143)
- Experimental Study on Distribution Characteristics of Desalination Nozzles ..... LIU Qiusheng, YANG Qingwei, LI Huixiong, HAO Chenyu, FENG Yongchang (150)
- Design and Implementation of FCB Function for Domestically-made 1 000-MW Units ..... HUANG Weijian, ZHAN Zhigang, WAN Wenjun, YIN Wuchang, YANG Tieqiang (155)
- Application of Steam Combination and Decomposition on S209FA Gas Turbine "2 on 1" Combined Cycle ..... ZHAO Junfeng, HE Gaiping (160)

ELECTRIC POWER (Monthly) Vol.48 No.6 (Ser. 559) Jun. 2015

Competent Authorities: State Grid Corporation of China

Sponsors: State Grid Energy Research Institute

Chinese Society for Electrical Engineering

Editor and Publisher: Editorial Department of Journal

Editor-in-Chief: HU Zhao-guang

Publication Number: ISSN 1004-9649

General Distribution: Beijing Office of Postal Service

Distributed Abroad: China International Book Trading Corporation,

P.O. Box 399 Beijing, China

Add: Tower B, SGCC, Future Science & Technology Park, Beijing 102209, China

Web Site: <http://www.chinapower.org>

E-mail: [ZGDL@sgeri.sgcc.com.cn](mailto:ZGDL@sgeri.sgcc.com.cn)

Tel: +86-10-66603802, 66603801

Fax: +86-10-66603578

# 脱硫废水零排放技术——蒸发结晶

## FGD 废水处理现状

石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺是国内燃煤电厂的主流工艺，脱硫过程中产生的废水中重金属、SS 和 COD 较高，特别是高含盐量使得处理后的废水回用难度很大，目前所采用的深度处理方法都不是理想，无法实现脱硫废水真正的零排放。

- **常规处理法**：通过氧化、中和、沉淀、絮凝等方法去除脱硫废水中的重金属及污染物，形成的泥饼送到灰场堆放，处理后的废水  $Cl^-$  离子浓度很高容易产生二次污染。
- **深度处理—排入渣水系统**：常规处理后的脱硫废水排入电厂水力排渣系统，废水中的重金属与碱性的渣水发生反应，渣水处理系统的过滤作用可以截留废水中的杂质以及渣水与脱硫废水中和反应生成的固体物质，达到去除脱离废水中杂质的目的。但是脱硫废水中的高浓度氯离子对渣水系统的金属管道有腐蚀。
- **深度处理—烟道气蒸发**：脱硫废水经过雾化后喷入烟道，利用高温烟气使废水中的杂质蒸发结晶，并在电除尘器中随着烟尘一起脱出，但是有些污染物还是随着烟气排入大气，同时该方法对除尘系统产生腐蚀，对原有系统运行也有一定影响。
- **深度处理—反渗透**：常规处理后的脱硫废水，经过微滤（MF）预处理后进入反渗透系统，该方法处理分离出来的净水水质较好，但是过程产生的浓水如何有效利用或无害处置是一个不好解决的问题。

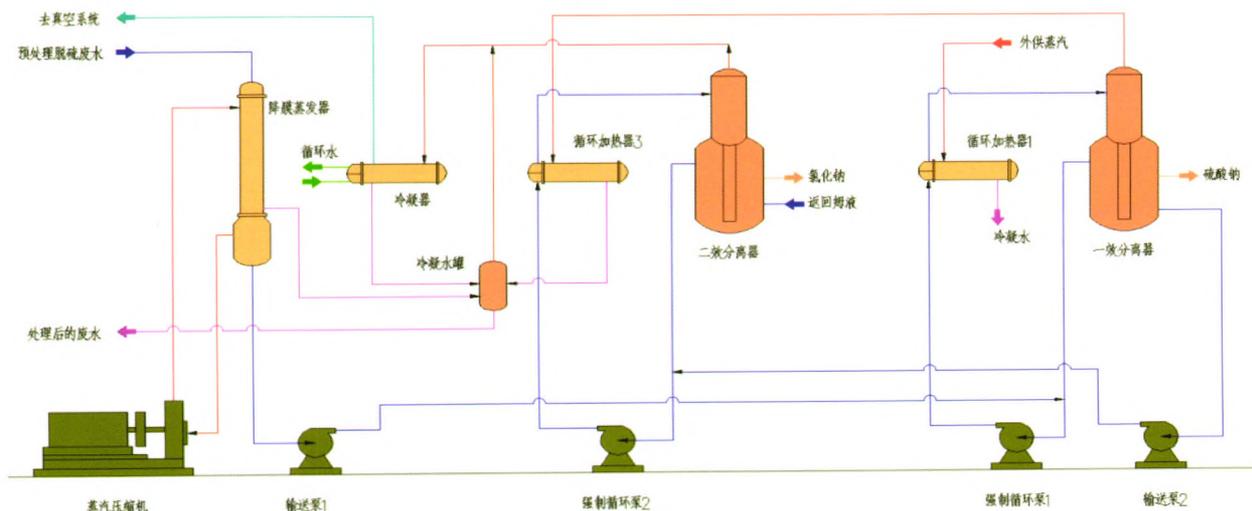
## MVR 蒸发结晶工艺—FGD 废水零排放技术

**工艺原理**：常规处理法 + 软化处理 + 蒸发结晶

**软化处理**：脱硫废水首先经过常规处理，然后再使用苏打水对废水进行软化处理，使废水中的  $CaCl_2$  和  $MgCl_2$  转化为  $NaCl$ ， $CaSO_4$  转化为  $Na_2SO_4$ ，软化过程中产生的碳酸钙可返回 FGD 吸收系统重复使用。

**蒸发结晶系统**：经过上述处理后，废水首先经预热器加热升温后进入降膜蒸发器进行蒸发浓缩，废水在此被蒸发出大部分水分，剩余的高盐份残液进入二效强制循环加热器和结晶器进一步闪蒸水分，使得废水中的硫酸钠和氯化钠以晶浆的状态从结晶器排出，再经过离心机分离得到硫酸钠和氯化钠的晶体，离心机分离出的母液返回蒸发结晶系统。降膜蒸发器中蒸发出的二次蒸汽经过蒸汽压缩机压缩后再重新返回降膜蒸发器做为加热热源重复适用，无需外部提供蒸汽。二效蒸发所用的蒸汽来自外部，这部分蒸汽仅占蒸发所需蒸汽的 5% 左右，因此蒸发蒸发结晶系统非常节能。

采用 MVR（蒸汽机械再压缩）技术对脱硫废水进行蒸发结晶处理，蒸发后的废水冷凝液水质好、可完全回收利用，蒸发结晶后形成的盐作为副产品可以出售，真正做到废水零排放。系统每年只需化学清洗一、二次，运行费用很低。



辽宁省轻工设计院有限公司

地址：沈阳市皇姑区泰山路 46 号

邮编：110131

联系人：殷勤 13704051166

E-mail: [yinqin@vip.163.com](mailto:yinqin@vip.163.com)