

亚洲环保

电力篇

脱硫脱硝除尘 | 环境污染防治 | 工程治理 | 环境监测 | 风电

国际标准刊号 ISSN:1818-5835

2011.

5

Desulfurization and Denitrification Technology Precipitation Technology | Environmental Pollution and Its Control | Project Control | Environment Monitor | Wind Power

江苏瑞泰科技有限公司位于长江三角洲沿海和沿江两大经济开发带交汇点的新兴港口城市—江苏张家港经济开发区国泰北路18号，是一家以特种纤维生产技术为主导的集研究、开发、中试、生产和销售为一体的高新技术企业，是中国化纤工业协会会员、中国环保工业协会会员。

PPS纤维是一种新型的特种功能型纤维材料，国家将其列入《当前国家重点鼓励发展的产业产品和技术目录》，又将其列入“十一五”、“十二五”规划重点扶持项目，属国家战略性新兴产业，符合国家发展战略需求。

公司率先实现了PPS纤维的国产化，填补了国内空白。在高性能聚苯硫醚（PPS）纤维材料产业化技术领域，独家拥有5项发明专利、5项实用新型专利，又于2010年申请并受理了7项发明专利、1项实用新型专利。研发生产的PPS纤维被认定为“江苏省高新技术产品”、“国家重点新产品”。

PPS 纤维专业制造商

江苏瑞泰科技有限公司

Jiangsu Ruitai Science and Technology Co.,Ltd.

地址：江苏省张家港经济开发区国泰北路18号

电话：0512-55399266(专线)

传真：0512-58545798 0512-58548755 (销售)

E-mail: info@jsrtkj.com

http://www.jsrtkj.com

尼鲁的喷雾干燥吸收工艺 (SDA) 简单经济的烟气净化方法

上世纪70年代后期, GEA 尼鲁公司就成功地将喷雾干燥技术运用于工业废气处理领域。1980年尼鲁公司工业型喷雾干燥吸收装置第一次被应用于发电厂燃煤锅炉的烟气处理; 1982年尼鲁公司工业型喷雾干燥吸收装置第一次被应用于危险品垃圾焚烧炉的烟气处理。二十多年来, 尼鲁公司的喷雾干燥吸收技术被广泛应用于发电厂燃煤、燃油锅炉、垃圾焚烧炉及其它工业装置的烟气处理领域。

我们可以为您提供各种规模的设备, 满足您的不同需求。到目前为止, 超过100套应用于发电厂锅炉的尼鲁喷雾干燥烟气脱硫装置及超过100套应用于城市垃圾焚烧炉和其它工业装置的尼鲁喷雾干燥烟气处理装置(除硫, 除二噁英, 除重金属)在全球范围内运行, 包括北美、欧洲和远东地区。尼鲁公司在全球干法, 半干法脱硫市场中居领先地位, 并占有较大的市场份额。

该设备具有如下特征:

- SO₂ 脱除率高, 根据不同的客户要求, 通常在 90%-95%
- 有效减少 SO₂, HCl, HF 等的排放
- 投资成本低
- 操作简单, 运行及维护成本低
- 耗水量低
- 耗电量低
- 无废水产生
- 降低重金属排放
- 系统利用率高



该设备用于发电机组的脱硫

该设备用于垃圾焚烧炉烟气处理系统

GEA Process Engineering
China Ltd

Process Engineering
Division

A company of GEA Group

GEA 技术设备(上海)有限公司

www.niro.com

www.geape.com.cn

上海公司 电话: (86) 21 6419 1318

传真: (86) 21 6459 1038/1138

北京办事处 电话: (86) 10 8526 2025/26/27/30/34

传真: (86) 10 8526 2031/2049

广州办事处 电话: (86) 20 8136 7285/32/33

传真: (86) 20 8136 7286

香港办事处 电话: (852) 2866 0009

传真: (852) 2520 0432



电厂脱硫装置流程图



用于电厂、垃圾和有害物质焚烧工厂、化工以及石化工业的烟道气体脱硫技术（FGD石灰石-石膏法、氨法和钠碱法等）



用于电厂、各种燃烧和氨化工艺、化学工艺以及钢铁工业的脱硝和催化剂技术



废水处理工艺用于处理来自金属加工行业、烟道气体净化工厂、镀锌工厂的废水，以及其它工业来源的含金属/废酸的废水



用于化工、金属加工业和镀锌工厂的废盐酸、氢氟酸/硝酸/硫酸和游离酸等的酸再生技术

模块化系统 全面的解决方案 全世界范围的应用业绩

凭借超过40年的工程经验，Steuler Anlagenbau GmbH & Co KG（史道勒公司）为用户量身定做模块化环境保护系统和具有革命意义的、可靠的处理工艺，技术涵盖了废水、废气、酸再生、固废处理各个领域，在全世界范围内拥有上千个工程业绩。

Steuler Anlagenbau（史道勒公司）在中国提供全面的解决方案。我们与中国子公司—上海史道勒博比设备工程有限公司一起，为您提供从工程设计、制造、安装到售后等一系列满足中国、德国和国际标准的优良服务。



STEULER

Anlagenbau GmbH & Co. KG

D-56203 Hoehr-Grenzhausen / Germany
Phone: +49 2624-13302 / Fax: +49 2624-13300
Email: service@steuler.de / www.steuler.de

STEULER

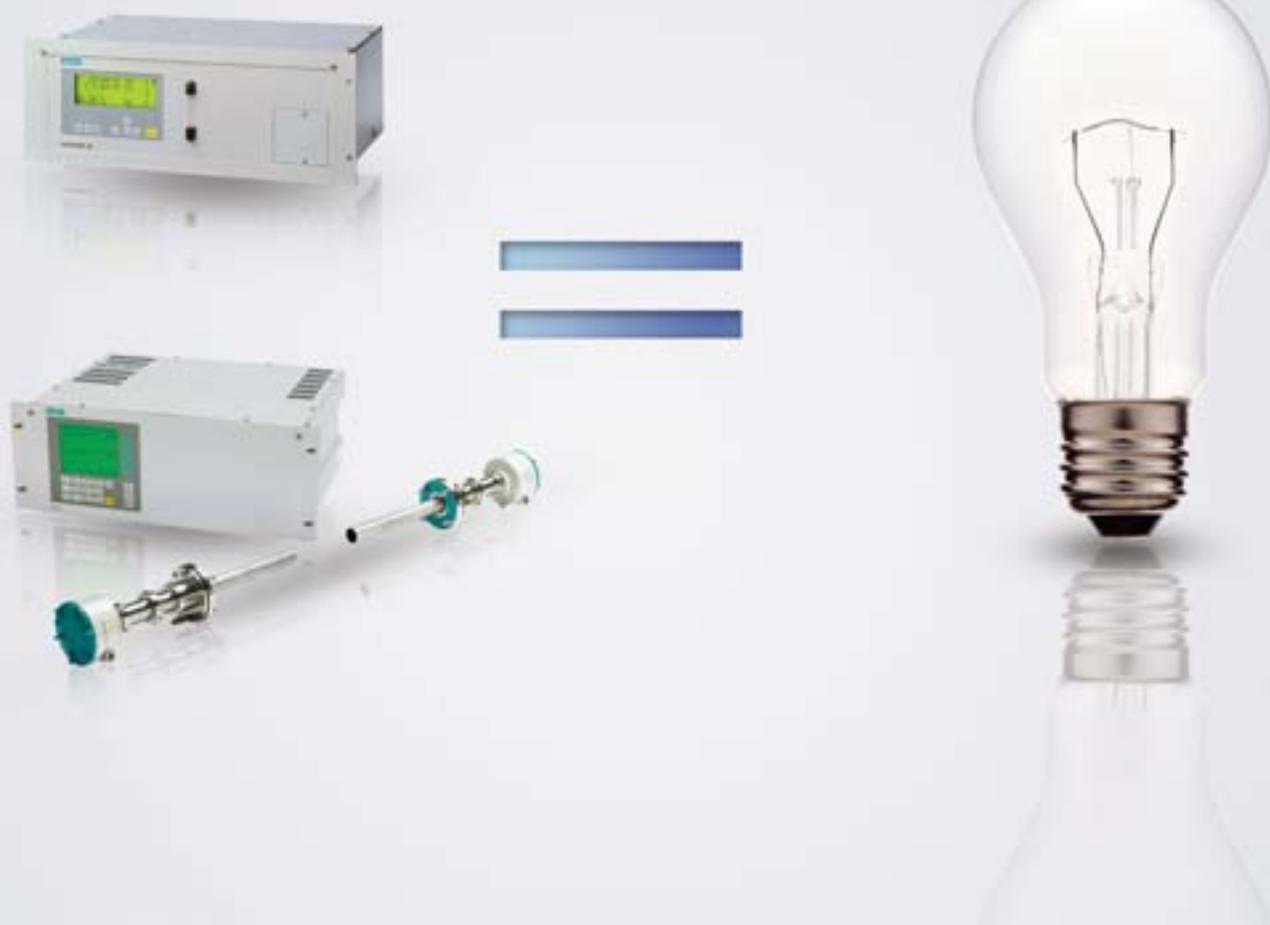
Steuler-Bobby (Shanghai)
Equipment Engineering Co., Ltd.



上海肇嘉浜路777号青松城大酒店八楼826房间
电话: 008621-64439611 008621-64433550
传真: 008621-64430902 邮编: 200032
Email: info@steuler-bobby.com/www.steuler-bobby.com

西门子气体分析仪，快速响应无干扰...

...验证高精度，高性能



气体分析仪器

在电力行业中主要应用于脱硫脱硝，排放环保监测，除尘器，过滤器优化，磨煤机监测等。

LDS 6 原位式激光分析仪，响应快速，无交叉干扰。

- 测量组分：O₂/温度，NH₃/H₂O，HCl/H₂O，HF/H₂O，CO/CO₂，H₂O等
- 探头模块化设计，球面密封法兰，极易拆装、维护，便于调整探头安装角度
- 内置标定系统，可终生不标定，动态增益控制，独特的二次谐波分析技术去除粉尘于杂质对测量影响

Ultramat 23 多组分分析仪，技术先进，操作简便。

- 多层检测器，有效消除红外交叉干扰
- 专利的微流量传感器，分析精度高，无麦克风效应
- 样品气室易于清洗，简化维护，降低维护费用
- 使用环境空气实现定期自动标定，测量长时间无漂移，不需标准气标定

咨询热线:北京:Tel:010-64764579 Fax:010-64764813 上海:Tel:021-38893506 Fax:021-38892674

网 址:www.sc.ad.siemens.com.cn

Answers for industry.

SIEMENS

同方环境股份有限公司致力于发展大气环境保护与能源综合利用产业，在烟气脱硫、脱硝、粉尘净化与资源化利用以及垃圾焚烧处理等领域通过多年的设计与实施积累了丰富的技术经验。





LONGKING
<http://www.longking.com.cn>

龙净先进的“烟气治理岛”技术，是众烟气多污染物科学治理出发，解决除尘、脱硫、脱硝突出的关键技术性问题，掌握各种污染物净化机理和相互作用，开发以多污染物协同脱除为目标的核心技术。

龙净愿以环保工程总包模式，竭诚为用户提供综合环保设备配套和烟气多污染物治理的全方位解决方案。



龙净环保股份有限公司

地址：福建省龙岩市新罗区陵园路81号
电话：0597-2290902 2206688
<http://www.longking.cn>

邮编：364000
传真：0597-2290903
E-mail: longking@public.lyptt.fj.cn

Filtrair



丹东实发工业滤布有限公司

DanDong Shifa Industry Filter Cloth Co.,Ltd



● DVF 型、DVG 型空气过滤棉



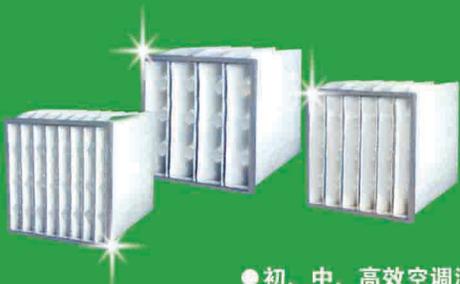
● W 型中、高效过滤器



● 高温高效过滤器



● 电泳漆 (金属漆) 过滤袋



● 初、中、高效空调滤袋

丹东实发工业滤布有限公司始建于1978年，是生产各种初、中、高效过滤棉、空调滤袋、高温高效过滤器的专业生产企业，2000年公司引进德国技术和滤材设备生产线，产品质量符合欧洲标准要求，广泛应用于汽车钢铁、石油化工、医药卫生、冶金、矿山、国防核电等行业；由于产品质量好，价格低，售后服务周到深受广大用户的好评。

厂址：丹东市振安区五龙背毛绢路815号

邮编：118005

电话：0415-4101965 2529566

传真：0415-4102748

网址：www.ddsfco.com



Shifa Industry Filter Cloth

湘电风能5MW海上风力发电机



公司目前以商业运行的2MW风力发电机组



内蒙风场



福建风场



高精度产品 . . .

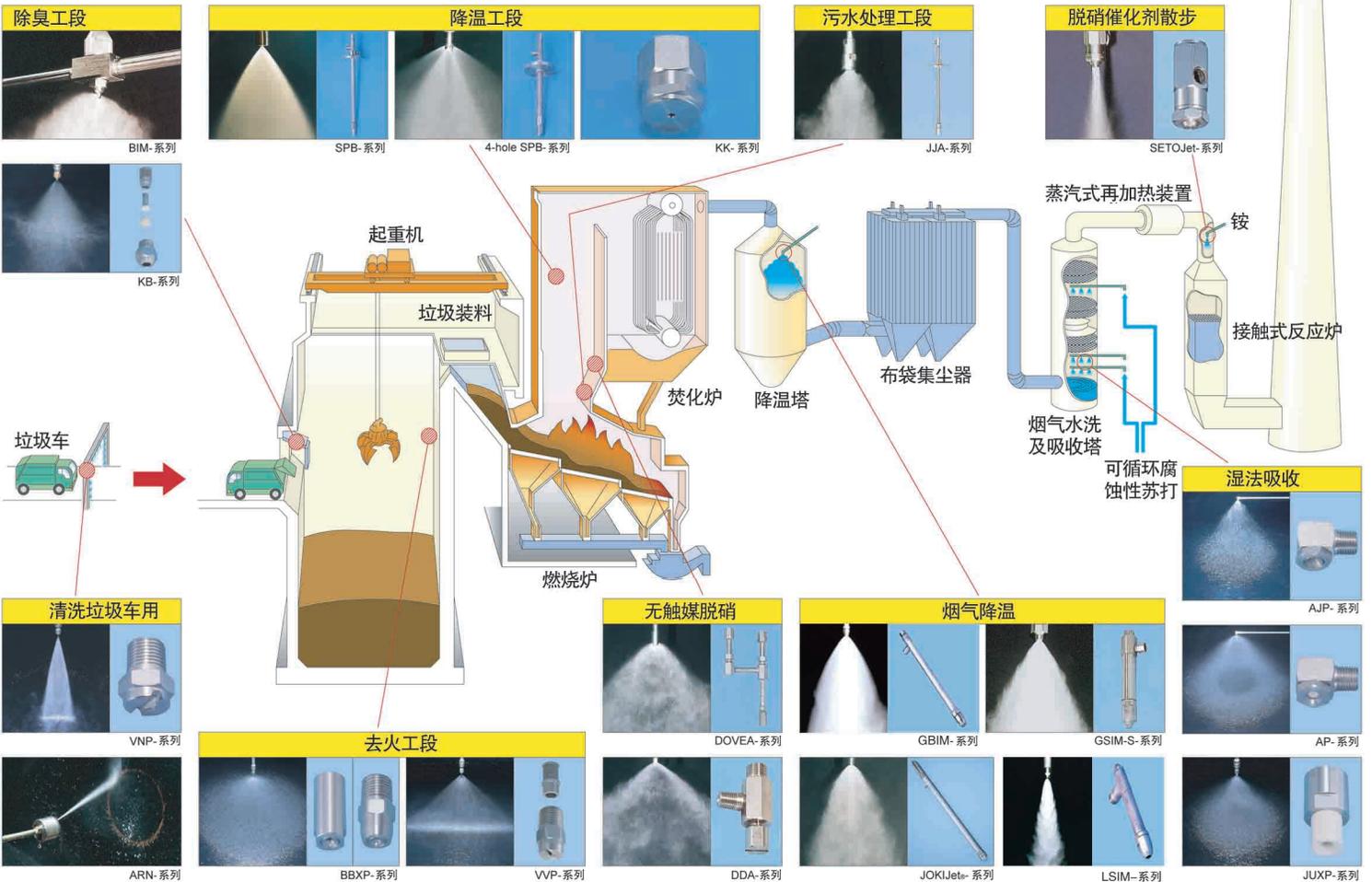


“The Mist Engineers”
H. IKEUCHI & CO., LTD.

垃圾焚化炉工程用喷嘴

大型垃圾焚化炉工程用喷嘴的使用例

市政垃圾焚化炉



- 从二恶英对策用低温冷却喷雾喷嘴，污水喷雾、炉顶调温、脱硝、吸收排烟气、镇尘、清洗回收车用各种各样喷嘴。
- 备有从超微雾（10μ未滿）到粗雾（1000μ以上）各种各样喷嘴。
- 每种喷嘴都采用易维护、耐久使用、低费用设计。

雾的池内（上海）贸易有限公司

Tel: 021-61409731 Fax: 021-61234239

http://www.kirinoikeuchi.com

Add: 上海市闸北区大统路988号北区商务大厦A座1311室

E-mail: mist@kirinoikeuchi.com



testo

德图仪器—致力于未来

www.testo.com.cn

全新上市 德国原装中文版
testo 350 加强型烟气分析仪



www.testo.com.cn/testo350-1

烟气连续在线监测系统

CEMS9000



- ☑ 发散紫外连续光谱 190~380nm
- ☑ 同时测量多种气体：SO₂、NO_x、NH₃、Cl₂、BTX……
- ☑ DOAS 分析技术，排除交叉干扰
- ☑ 测量范围宽，从 ppm 到 % 级
- ☑ 测量和参比信号同时得到，基本无漂移
- ☑ 闪烁氙光源，理论寿命 31 年
- ☑ 可手动或自动标定
- ☑ 无水分干扰
- ☑ 冷干法、渗透法预处理装置可选，以适应不同应用
- ☑ DAS 数据处理与管理系统按照国家环保标准设计各项报表
- ☑ CEMS 完全符合国标 HJ/T 75-2007、HJ/T 76-2007
- ☑ CEMS 通过国家环保认证：CCAPEI-EP-2011-031

采用 AIM9000E 紫外连续光谱气体分析仪

AIM9000E 紫外连续光谱气体分析仪包含 2048 个单元的感光阵列将 190~380nm 光谱范围内的被测气体特征吸收峰全部采集，通过 DOAS 差分吸收光谱技术，处理数据并补偿各种交叉干扰，最终得出精确的被测气体浓度。



德菲仪表

豪顿 — 为全球用户提供空气和工艺气体处理应用解决方案

豪顿集团是全球空气和工艺气体处理设备的领先供应商，设计、制造和销售工业风机、鼓风机、工艺气体压缩机以及回转式热交换器。

凭借150余年的专业制造经验和对中国用户需求的深入了解，我们能够为您量身定制高效率、高可靠性的产品，并提供充分、全面的售后市场服务与技术支持。



● 能源利用

豪顿的风机主要用于电厂、冶金、钢铁等行业的锅炉配套，降低燃料消耗并减少气体排放。

● 污水处理

豪顿的单级高速离心鼓风机主要用于市政污水处理及工业废水处理中的曝气系统。

● 脱硫脱硝

豪顿的风机和回转式热交换器主要用于电厂和钢铁、石化等重工业领域中的脱硫脱硝。

● 粉尘控制

豪顿的风机也可用于诸如水泥生产等许多行业所需的大型灰尘控制系统。

豪顿华工程有限公司

地址：北京市西城区宣武门西大街129号金隅大厦12B层
电话：+86 10 6641 9988 传真：+86 10 6641 0071
网址：www.howden.com

邮编：100031
邮箱：sales@howden.com.cn

Howden、豪顿和飞轮图案为豪顿集团注册商标。
© Howden Group Limited. All Rights Reserved.



聚光科技，环境与安全综合解决方案专家

科技感知世界



废气污染源监测

"监测、运维、信息化" 三位一体

废气污染源监测解决方案、废水污染源监测解决方案、大气质量监测解决方案、水环境监测预警解决方案、数字环保信息系统、运营维护、实验室能力建设解决方案

烟气在线监测解决方案

CEMS-2000B/I系列烟气排放连续监测系统是聚光科技为满足我国日益严格的烟气污染源监测需求而推出的高端环保产品。它采用了国际先进的紫外差分吸收光谱技术(DOAS)和半导体激光调制吸收光谱技术(DLAS)，可在线监测SO₂、NO_x、O₂、HCl、HF、NH₃、粉尘、温度、压力、湿度、流量等参数。

该烟气排放连续监测系统主要应用在火力发电、垃圾焚烧、各种工业窑炉/锅炉及其它工业过程中产生污染气体的固定排放源的在线连续监测，以及烟气脱硫、脱硝系统的效率监测等领域。至今已积累了近2000项成功应用案例，为环保烟气连续监测领域提供了良好的解决方案。



亚洲环保

ASIA ELECTRIC POWER ENVIRONMENTAL
PROTECTION

国际标准刊号: 1818-5835

2011年5月

月刊 亚洲环保
Monthly ASIA ENVIRONMENTAL PROTECTION
出版日期 2011年5月
Publication Date 2011.5
编辑出版 《亚洲环保》编辑部
Editor Publication ASIA ENVIRONMENTAL PROTECTION
Editorial Department
协办 中国环境科学学会
Co-organizer Chinese Society for Environmental Sciences
编辑顾问委员会 王琳 王宝德 江德厚 田世禄 林春源
(以姓氏笔划为序) 李雄浩 李福德 李凤亭 任官平 秦保平
Editorial Advisory 朱广奇 张殿印 沈恒根 郑文聪 陈祖军
Board 陈晓秋 陈世功 裴永强 葛宁远 韩月荣
倪维斗 (中国工程院院士)
责任编辑 赵晨宏 刘淑宇
Executive Editor Zhao chenhong Liu Shuyu
校对 赵美华 姜晶伟
Proofreading Zhao Meihua Jiangjingwei
美编 邵鹏霏 高泽
Painting Editor Shao Pengfei Gao Ze
广告部 +86-10-52050199 52050388
Advertising
Department
发行部 +86-10-52050086
Publishing
Department
服务中心 +86-10-52050108
Service Center
传真 +86-10-52050266
FAX
E-mail asiaep@163.com(广告)
yzhb2008@126.com (投稿)
地址 北京市朝阳区左家庄前街1号
ADD No 1 Front Street Zuojia Zhuang Chaoyang
District, Beijing
邮编 100028
支持单位 福建龙净环保股份有限公司
Supporters 博奇电力科技有限公司
常州赛尔合金有限公司
上海市环保产业协会
广告经营许可证号 京朝工商印广登字20060086号

特别提示

- 《亚洲环保》杂志以严肃公正的态度刊登环保行业市场信息, 杂志中所刊登广告内容未经许可, 不得以任何形式转载、刊登, 如有侵权将追究其法律责任。
- 在本刊发表文章但通讯地址不详的作者请速与本刊编辑部联系, 以便奉寄样刊。
- 如发现本刊印刷装订等质量问题, 请与《亚洲环保》发行中心联系调换。

脱硫脱硝除尘技术

电袋除尘器中滤料使用寿命的研究.....	1
改性飞灰作为SCR 催化剂载体的成型方法和脱硝活性.....	5
湿法烟气脱硫工艺节能增效改进技术研究.....	10
烟气脱硫除尘一体化技术研究进展.....	13

电厂循环水处理

城市再生水在电厂循环冷却水系统中的应用.....	16
双循环多级水幕吸收塔烟气除尘脱硫性能研究.....	21

垃圾焚烧技术

工业固体废物CFB处理技术浅述.....	27
----------------------	----

环境分析监测

国际气候变化问题谈判与中国的应对.....	33
烟气排放连续监测技术的发展及应用前景.....	37

风电能源

基于清洁发展机制的北京市风电开发.....	43
-----------------------	----

环境要闻

脱硫脱硝环保行业迎来发展机遇脱硫市场稳定增长.....	47
风机制造进入微利时代.....	48

企业动态

国电清新电力环保脱硫行业的领先者(1).....	49
--------------------------	----

拟在建项目

项目信息.....	50
-----------	----

DESULFURIZATION AND DENITRATION DUSTING

Study on The Lifetime of Filter Material Used in Electricity Fiber Bag	1
De-NO _x Performance of Modified Fly Ash Supporting SCR Catalyst Under Various Molding Techniques.....	5
Study of Key Effect Factors of Energy Saving in Wet FGD System	10
Progress in Integrated Technology of Desulfurization and Dust Removal For Flue Gas	13

CIRCULATING WATER POWER PLANTS

Utilization of Municipal Recycled Water in Cycling Cooling Water System of Thermal Power Plant	16
Research on The Characteristics Of Flue Gas Dust Removal and Desulfurization Using Double-Recycling and Multi-Stage Water Film Tower.....	21

GARBAGE INCINERATION

Progress of Industrial Solid Wastes Disposing With CFB Technology.....	27
---	----

ENVIRONMENTAL MONITORING

International Negotiations on Climate Change Issues to Deal With China	33
Development and Application of Continuous Emission Monitoring Technology.....	37

WIND ENERGY

The Wind-power Development in Beijing Based on Clean Development Mechanism.....	43
--	----

ENVIRONMENT NEWS

Desulfurization and Denitrification Ushered in Opportunities For Development、Steady Growth of The Market.....	47
Fan Manufacturing Into Low-profit Era.....	48

COMPANY MOVEMENT

State Power, Electric Power Environmental Protection Desulfurization Industry Leader	49
--	----

FITTING OF CONSTRUCTION PROJECT

Project Information	50
---------------------------	----

脱硫脱硝除尘技术

电袋除尘器中滤料使用寿命的研究

李萌 韩东 车凯 高瑞海

(华北电力大学环境科学与工程学院, 河北保定 071003)

摘要: 本文就电袋除尘器在实际运行中滤袋破损问题进行了详细的分析讨论。认为滤袋破损主要是与气流分布不均造成的机械磨损、高温烧毁、氧化腐蚀、安装质量、操作管理等多方面因素有关, 并提出了有效的改进措施。

关键词: 电袋除尘器; 滤料; 使用寿命

Study on the lifetime of filter material used in electricity fiber bag

Li Meng Han Dong Che Kai Gao Ruihai

(School of Environmental Science and Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003;)

Abstract: The filter bag breakage problems for electricity bag filter in the actual operation were analyzed and discussed in this paper. It is found that the bag breakage is mainly caused by mechanical wear for uneven airflow distribution, high-temperature burned, oxidation corrosion, installation quality, operating management and so on. And then some effective measures for preventing the losing efficiency of filter bag has been put forward.

Keywords: Electricity bag filter; Filter material; Usable lifetime

1 引言

电袋除尘器是电除尘器与袋式除尘器的有机复合与创新。它的基本设想是先由前级电场收集烟气中80%以上的大颗粒粉尘,再由后级袋式除尘器捕集烟气中残余的细微粉尘。电袋除尘器具有电除尘器和布袋除尘器的众多优点,利用后级布袋除尘器,使出口烟尘排放质量浓度较易达到小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 的国家排放标准,除尘效率高。

电袋除尘技术的核心目标是保证低量排放的条件下,提高设备的可靠性,延长滤袋使用寿命。但是根据目前国内电袋除尘器应用状况所反馈的主要问题还是滤袋寿命短。例如电袋除尘器在某厂600MW机组上运行8个月后发现大面积破袋;某电厂300MW机组运行一年发现有1000多条滤袋破损;某电厂200MW机组运行4个月开始滤袋

破损逐步更换,一年零一个月全部滤袋更换等等^[1]。为此,本文将分析滤袋破损原因,并提出有效的改进措施。

2 滤料失效的技术分析

滤袋是电袋除尘器的重要组成部分,滤袋的维修费用在除尘器维修费用中所占比例非常大,因此,滤袋是决定电袋除尘器性能的最关键因素。造成滤袋损坏的主要因素有:机械磨损、高温烧毁、氧化腐蚀、安装质量、产品质量、操作、管理等多方面原因。

2.1 电除尘区与布袋除尘区之间的烟气均流问题

电除尘器为水平进气,水平出气;布袋除尘器为下部或侧面进气,上部出气;而电袋除尘器由于其结构限制,通常采取水平进气,上部出气。但在电袋复合式除尘器设计过程中,往往片重于

各项经济技术指标, 忽视内部流场的合理性^[2]。

一些制造商认为两区之间设置气流均流板将导致烟气流经均流板后粉尘损失部分电荷, 降低了带电粉尘在滤袋表面沉积后效果的特点, 烟气经过进口喇叭三层分布板和前级电场区的多次整流, 达到袋区前烟气均布性已经很好的情况, 无需在两区之间设计气流导向装置。因此, 一些已安装的电袋除尘器在电除尘区向布袋除尘区的过渡区间没有有效合理的气流导向装置, 导致一部分气流水平进入布袋区, 一部分气流从下部进入布袋区, 致使滤袋之间烟尘速度变化很大, 局部气流速度过快, 引起滤袋震动, 加速了滤袋的冲刷磨损。此外, 当粉尘硬度大, 形状不规则, 具有尖、刺、锋利边角等物理特性时, 滤袋的磨损程度也将更加严重。

2.2 温度不稳

滤料对温度十分敏感, 烟气温度超过允许限值, 在短时间内就会造成材料损坏。例如某电厂220 t/h 锅炉电除尘器改造为电袋除尘器时, 设计标准烟气温度是145℃, 最高烟气温度180℃。2003年试验期间, 锅炉排烟温度仅为138.85℃, 符合设计标准, 但是1年后再次进行试验时, 发现除尘器入口烟气温度竟达到177.75℃, 已经接近布袋区允许温度的上限, 同时发现滤袋大面积破损。过高的排烟温度, 不但影响换热, 增加排烟热损失, 而且会造成滤袋收缩变形、变硬、变脆, 加快强度耗损、减短滤袋寿命。此外, 除了温度影响外, 烟气中带有的火花对滤袋的损害也是非常严重的。

2.3 滤料在高温下氧化分解

滤料在高温下出现氧化分解是其特性之一。不同品种的滤料都有其自身的临界值, 即一定温度下含氧量值超过某极限值时, 滤料氧化分解速率急剧增加导致滤料结构很快瓦解。目前国内袋式和电袋除尘器中滤料多采用聚苯硫醚(PPS)纤维, 它是一种耐高温合成纤维, 具有稳定的化学性质, 较高的熔点(285℃)和优异的耐热性, 但是抗氧化性较差。而烟气中的氧和NO_x都是很强的氧化剂, 能氧化大多数用于过滤的纤维。在高

温(150℃)条件下活跃的氧会攻击PPS分子中的S键并与之结合, 使PPS纤维变色、变硬、变脆, 强度降低而破损, 严重时会使纤维层裂开并与基布分离。

对于电袋除尘器滤袋破损原因有的专家分析认为: 由于电除尘区电晕放电会形成一定的臭氧, 臭氧很不稳定, 在高温及一定的湿度下易与烟气中其它成分迅速反应, 特别是与NO、SO₂反应生成NO₂、SO₃等侵蚀性氧化剂, 对PPS滤料造成氧化及腐蚀损伤。但有的专家不同意臭氧观点, 认为电袋除尘器所能产生的臭氧浓度极低, 基本上不会对滤料寿命产生影响, 而烟气中氧量增加, 才是造成滤袋寿命降低的主要原因。究竟滤袋寿命与哪种因素有关还有待进一步调查, 但是控制锅炉烟气中氧和NO_x的含量在可接受的范围内是大家所共同认同的。

此外, 根据Arrhenius规则, 操作温度每升高10℃, 化学反应速度就会增大一倍, 也就是说当温度每升高10℃滤料的使用寿命就会缩短一半。因此限定滤料持续使用温度的同时需要限定瞬间高温, 过高的温度会使纤维产生热氧化过程^[3]。图1图2是PPS针刺毡滤料与烟气中氧化性气体含量与温度特性的关系。

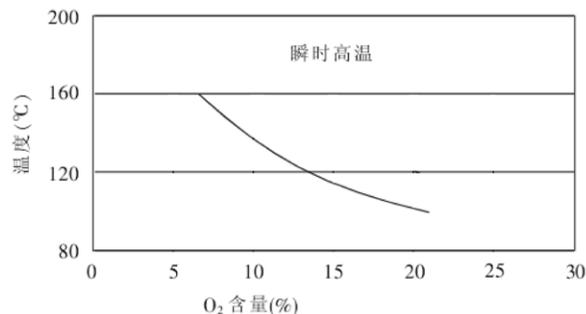


图1 温度与O₂含量对PPS滤料的影响

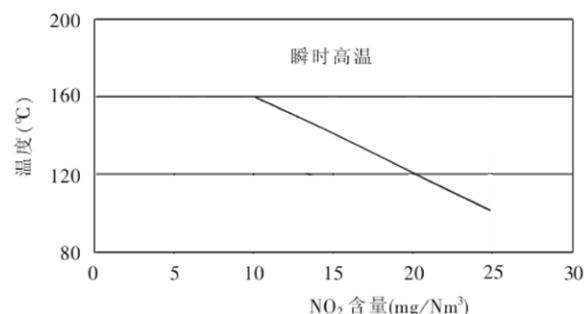


图2 温度与NO₂含量对PPS滤料的影响

2.4 滤料耐酸腐蚀性

腐蚀是滤袋损坏最常见的原因之一，各种化学滤料对酸碱都有一定的耐受程度，但是超过一定限度其强度下降，寿命缩短。由于烟气中含有多种腐蚀性物质，虽然 PPS 针刺毡滤料对 SO₂ 气体具有良好的耐腐蚀性，但在高温 NO 气体条件下，其断裂强力呈下降趋势。且随着 SO₂ 气体温度的升高，时间的延长以及 SO₂ 气体体积比的提高，PPS 针毡滤料的性能有所下降，尤其是高温能加快腐蚀效果。原因是 SO₂ 对 PPS 滤料分子的链状结构造成破坏，使 PPS 聚合链与聚合链之间产生断裂或滑移，从而使其性能下降。

2.5 设备安装和使用不当

设备的加工制作是保证除尘器性能的重要环节，制作不精会影响滤袋使用寿命。如滤袋缝线质量不合格、袋笼加工粗糙、花板变形、花板孔有偏差等因素都会造成滤袋破损。安装过程出现问题一般是由于施工混乱、操作不合理、滤袋安装不合格，出现搭桥现象，造成滤袋底部相互磨擦而损坏。

电袋式除尘器虽然性能良好，运行操作复杂程度确要高于电除尘器和袋式除尘器，其维护也是极其重要的，如果重视不够、维护管理不到位或使用不当，也会造成除尘器无法正常运行。

3 延长滤料使用寿命的技术分析

3.1 改善气流分布均匀性

气流分布是影响电袋除尘器整机性能、除尘设备安全以及锅炉系统安全运行的关键因素之一。由于电除尘区的气流分布与滤袋区的气流均布存在较大的差异，必须在电除尘区向布袋除尘区的过渡区间安装气流均布装置，使气流有效分配，这不仅能够实现滤袋束周边烟气低速扩散，避免局部射流对滤袋的磨损，同时也能避免由灰斗进气引起的二次扬尘以及气流分布不均引起滤袋负荷不均的情况。因此，在除尘器设计时应先用计算机模拟软件初步模拟气流分布数据后，再制作实物模型对气流分布进行测定，最终确定电除尘区向布袋除尘区的过渡区间安装合理的气流分布结构。

3.2 增加滤袋的高温保护措施

目前，对电袋除尘器滤袋的高温保护措施主要有三种：一是采取控制模式，这种措施只能在烟气超温不严重的情况下短期使用，而且措施本身并不改变烟气的温度；

二是安装紧急喷水降温装置，紧急喷水降温装置安装在锅炉出口、除尘器入口烟道总管的直管段上，这种措施是在前一种超高温避险措施采取之后一定时间里，烟气温度还在继续上升，并且达到了一个对滤袋可能造成致命损伤的温度极限时采取的积极措施。启动紧急喷水降温装置后，可以直接降低烟气温度，使其达到滤袋所能承受的温度范围；

三是布置旁路烟道，对电袋复合除尘器而言，其旁路烟道有两种：第一种是电除尘区和布袋区同时被旁路，第二种是仅布袋区被旁路。第一种旁路烟道采取外置式，旁路烟道容量可做到 100% 烟气量，但由于旁路烟道庞大，难以布置，实际工程很少采用；第二种旁路烟道布置在电除尘区顶部，通常为部分烟气量旁路。目前国内电袋复合除尘器均采用第二种旁路。这样就带来一个问题，如果没有设置紧急喷水降温装置且当锅炉出现紧急情况烟温升高时，只有部分烟气量可通过旁路烟道引出，剩余的高温烟气量仍威胁滤袋的安全，尤其是靠近电除尘区的部分滤袋。

3.3 选用合适的滤料

优质滤料的选择应在总结使用滤料经验的基础上，选用适合电厂烟尘特性的滤料，对滤料的纤维类型、结构特征、加工工艺、后处理方法等要严格要求。例如某电厂电袋除尘器中滤料选用的是日本进口纤维材料，材质为 PPS+P84，袋身采用 PTFE 线缝制，滤料经过了 PTFE(聚四氟乙烯)渗膜处理，具有良好的应用效果。

采用 PPS 作为主体材料（包括基布和底层无纺层），主要是因为其具有稳定的化学性质、优异的耐热性和长久的强度。面层加入 P84(聚酰亚胺)纤维是由于 P84 纤维具有三叶形不规则界面，提高了纤维的表面积，使其能够更有效地拦截细小的粉尘颗粒。P84 纤维在耐温、抗氧化性能等方

面均高于 PPS 纤维,但是价格确昂贵许多,如果采用该纤维为主体材料,滤袋寿命不会延长太多,成本确上升较大,采用 PPS 加入 P84 的方法不仅可以提高滤料的过滤性能还能降低成本。滤袋在后处理工序中采用 PTFE(聚四氟乙烯)渗膜处理,经过这样的处理,可以一定程度上提高产品的耐腐蚀性能,从而延长其使用寿命;另一方面,经过渗膜处理后的滤料表面更加光滑,使粉尘更容易从滤料表面脱落,有效地保证了除尘效果。

3.4 加强安装施工精细程度

(1) 滤袋、袋笼安装前,应对花板孔进行检查,将花板孔周围以及其他可能与滤袋接触的部件进行打磨,清除毛刺尖角;保证净气室内所有焊接工作全部结束,净气室打扫干净,确认没有任何焊渣、焊条、锈皮、铁屑等杂物。

(2) 检查滤袋和袋笼有无损坏,搬运滤袋和袋笼必须轻拿轻放,严禁野蛮施工,造成设备损伤。穿装时要注意滤袋缝合线应在花板椭圆孔的中间位置,且在靠近花板中心那一侧。滤袋安装完成后,要求滤袋口与花板孔上部紧密配合。

(3) 安装滤袋、袋笼时净气室内严禁带人火种。进入净气室人员不得随身携带小件物品,以防掉入花板孔或滤袋孔内。在安装完成后,必须从烟气室下面检查一下滤袋与袋笼的穿装情况,如滤袋有无超长、滤袋与袋笼有无交叉现象、滤袋之间有无搭桥现象,以及是否有漏装袋笼的现象。

3.5 加强设备的运行管理

电袋除尘器相对电除尘器和袋式除尘器运行操作复杂,应根据设备说明书、运行维护手册及各种技术数据表结合实际情况制定电袋式除尘器的运行规程。在运行中,依据实际煤种、锅炉负荷、燃烧情况、烟气特性(烟气量、烟气温度、烟气

露点温度、烟气含湿量、含尘浓度等)、粉尘性质、出灰方式等情况对除尘器运行参数积极进行调整,以适应锅炉运行工况,使除尘器保持经济、高效运行。此外还应加强锅炉运行人员与除灰运行人员联系与沟通,以便遇特殊工况及时调整电袋除尘器的运行方式。

4 结语

实践证明,在环保标准逐步提高的今天,电袋除尘器正在被广泛应用于电厂烟尘治理,并已取得显著的环境效益、经济效益和社会效益;但滤袋寿命的长短依然是制约电袋除尘器发展的重要因素。延长滤袋的使用寿命是滤袋厂家、除尘器设备生产厂家,乃至用户一致的目标。建议电袋除尘器用户加强滤料选择、高温烟气保护、气流分布等关键问题的研究、试验,以便提高除尘器可靠性与稳定性。

参考文献

- [1] 魏继平.张永红.电袋除尘应用有关问题探析,山西电力增刊1(总第152期)2009.4
- [2] 黄光禹.王德平.黄明亚等.安全阀一般要求[M].北京:中国标准出版社.2005.9
- [3] 顾海根.王冠.徐飞.冯馨瑶.袋式除尘器滤料破损原因分析及预防措施,中国环保产业协会.2009
- [4] 杨新生.电站锅炉袋式除尘器滤料使用寿命初探,电力环境保护第22卷第1期,2006.2
- [5] 郑奎照.吴燕翔.电袋复合式除尘器内有害气体对滤料的影响,全国燃煤电厂除尘技术论坛,2009
- [6] 李强.张建宏.席芊.电袋复合式除尘器在火电厂的应用,发电设备,2009.6
- [7] 雷新维.唐勇.电厂袋式除尘器滤料故障分析及处理,中国环保产业,2010.08
- [8] 龚立贤.张哲军.除尘器在火电厂中的应用及发展趋势,热电技术,2010第2期

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

《亚洲环保》编辑部

改性飞灰作为 SCR 催化剂载体的成型方法和脱硝活性

孙旭光¹, 云端¹, 张鹏¹, 郭鲁阳², 姚强¹

(1. 清华大学热能工程系, 北京 100084; 2. 山东电力研究院, 济南 250021)

摘要: 以改性飞灰为载体负载金属氧化物的 SCR(选择性催化还原)催化剂已经在实验室里取得了较好的脱硝效果, 要达到工业应用的条件, 首要解决的是载体的成型问题。对黏结法、低温烧结法和复合挤压法了 3 种典型的成型方法进行了对比。研究发现, 改性飞灰和 γ - Al_2O_3 经复合挤压成型后, 比表面积有了大幅度提高, 且强度也能够满足作工业催化剂载体的要求; 复合载体负载 CuO 后, 脱硝效率可以达到 90% 以上, 高效温度区间也较宽, 从而在应用前景上要优于单纯改性飞灰类催化剂。

关键词: 改性飞灰; 成型; 脱硝效率; 选择性催化还原

De-NOx Performance of Modified Fly Ash Supporting SCR Catalyst Under Various Molding Techniques

Sun Xuguang¹, Yun Duan¹, Zhang Peng¹, Guo Luyang², Yao Qiang¹

(1. Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Shandong Electric Power Research Institute, Jinan 250021, China)

Abstract: The low-cost SCR catalyst by using modified fly ash as a supporter of active metal oxides has achieved good results of de-NOx in the laboratory studies. The molding method of modified fly ash plays an important role in the scale-up of this technology from laboratory to industrial application is concerned. A comparison of three typical molding techniques, agglutinating, low-temperature sintering and composite extrusion, was performed. It is found

that mixed modified fly ash and γ -alumina after the extrusion process can achieve wide surface area and high intensity, which meets the requirements of industrial application. When the modified fly ash composite is used to support CuO as a SCR catalyst, the de-NOx efficiency exceeds 90% and a wide temperature window for high efficiency reduction is obtained, which has a promising prospect for industrial de-NOx.

Keywords: Modified fly ash; Molding; De-NOx efficiency; Selective catalytic reduction(SCR)

氮氧化物的排放正在被越来越多的关注, 因为由之引发的酸雨和光化学烟雾对土壤和水生态系统有严重影响^[1]。SCR(选择性催化还原)技术是目前工业燃烧装置脱硝的主流发展方向, 其核心是 V_2O_5 - WO_3 / TiO_2 催化剂^[2-4]。飞灰作为燃煤电厂的一种废弃物, 目前已被广泛应用于建筑材料和沸石类物质的合成^[5-8]。研究表明, 由于具有较

大的孔尺寸和较好的孔结构, 飞灰具有良好的催化效果, 因而适宜作催化剂的载体^[9-12]。宣小平等^[13]以改性飞灰负载 10% 氧化铜作为脱硝催化剂, 脱硝效率可以达到 90% 以上。为将飞灰基 SCR 催化剂从实验室放大并应用到电站锅炉烟气脱硝系统中, 必须对飞灰进行二次成型, 而国内对相关研究尚未见报道。

笔者针对这一现状,详细研究了黏结法、低温烧结法和挤压成型法等成型技术,并对飞灰成型后的物理化学性质进行了对比分析,试验表明,飞灰经复合挤压成型后负载 CuO 时,具有较高的脱硝效率,用改性飞灰和 γ - Al_2O_3 经复合挤压成型作为脱硝催化剂的载体时,取得了较宽的活性温度窗口,因而有很高的工业应用价值。

1 3种成型方法的研究

1.1 飞灰的黏结成型

黏结法是飞灰成型最简捷的方法,采用耐高温耐腐蚀胶将改性飞灰催化剂颗粒直接黏结在金属板(不锈钢板)上,其步骤如下:将金属表面的油、水和污垢全部清理干净,使胶黏剂能直接涂覆在洁净基体上,达到良好的黏结效果。金属表面处理至一定的粗糙度以加强黏结效果。试验中采用 $480\text{mm} \times 480\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的耐热不锈钢板($1\text{Cr}_{18}\text{Ni}_9\text{Ti}$),首先对金属表面进行喷沙处理,然后在 500°C 去除表面有机污物。将已负载催化剂的改性飞灰颗粒进行筛分,取粒径在 $150\sim 250\mu\text{m}$ 颗粒备用。采用交叉刷涂法将胶涂在不锈钢板上。将飞灰颗粒平铺于 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的橡胶板上,灰层厚度 30mm ,将不锈钢板涂过胶的一面向下压在灰层上,静置 30s ,将不锈钢板揭起,室温放置 30min 。然后放置在加热炉中,以 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升温至 300°C 进行固化处理 5h 。共采用 9 种不同的耐高温胶进行试验。

黏结成型后进行强度、物理特征和活性测试,具体结果如下:

(1) 强度测试:试验中以 0.5MPa 压缩空气在 1m 远处吹扫飞灰黏结层,模拟工业试验中的吹灰工况,用称量法测量飞灰颗粒脱落量。所用 9 种胶黏剂的飞灰脱落率均在 70% 以上(质量比),总体黏结效果较差。原因在于飞灰颗粒本身黏结性能差,颗粒本身强度低、易破碎,在受到强力气流冲击时产生破裂、剥落。

(2) 物理特性测试:对剥落的黏结成型飞灰颗粒进行比表面积测试,结果表明,比表面积有大幅度下降,黏结后 9 个催化剂颗粒样品中最大比表面积为 $11.2\text{m}^2/\text{g}$,是黏结前的 $1/5$ (改性飞灰黏

结前比表面积为 $55.5\text{m}^2/\text{g}$)。原因在于胶黏剂的浸润作用,使飞灰的微孔结构被填充,在随后固化过程中,一方面微孔结构被破坏,比表面积降低;另一方面胶黏剂也覆盖了部分催化剂表面,使有效反应面积下降。

(3) 活性测试:将从不锈钢板上剥离的颗粒收集,在实验室进行试验,脱硝效率均在 10% 以下,与黏结前催化剂的活性(最高脱硝效率可以达到 91%)有很大的差距。

根据试验结果,黏结成型法基本上无法满足载体工业化成型需要。

1.2 低温烧结成型

烧结是加热到一定温度时颗粒结合在一起的过程。颗粒通过原子的移动烧结在一起,原子移动使未烧结颗粒表面能降低。由于单位体积的表面能取决于颗粒直径的倒数,因此颗粒粒径越小,烧结就越快。

试验为保持改性飞灰的基本特性,采用低温烧结成型的方法,即通过加入活化剂来改善飞灰的烧结性能。低温烧结过程中,活化剂偏析到颗粒的接触处,在接触点形成一个低熔点相,这个较低的熔点保证了较低的扩散活化能,从而达到降低烧结温度的目的。为了使烧结后的成品具有良好的催化剂载体特征,还必须保证成品的孔隙率,因此发泡助剂的加入也是必须的。

改性飞灰低温烧结试验在专业工业陶瓷研究院实验室进行,试验中使用未负载催化剂的改性飞灰为原料,考察了飞灰粒径变化、烧结温度变化及不同添加剂的影响,烧结成型的 24 个样品均为厚度 8mm ,直径 65mm 的圆饼。烧结成型后的 24 个样品抗折强度均大于 5MPa ,此强度完全可以满足现场工业要求。但样品比表面积严重下降,经测试 24 个试验样品比表面积均低于 $4\text{m}^2/\text{g}$,尚不到改性飞灰颗粒比表面积的十分之一,已失去作为催化剂载体的最基本条件。低温烧结方法亦不能满足工业化成型要求。

1.3 复合挤压成型

要满足强度和催化剂性能要求仅依靠改性飞灰自身的烧结性能是不够的,因此必须寻求一种

骨架材料，使其与改性飞灰的混合物可以在较低的温度下牢固地结合在一起，即采用复合挤压成型技术。同时考虑到改性飞灰颗粒在成型后其物理化学特性不受影响，在其处理过程中的温度应控制低于 600℃（低温烧结试验已证实这一点）。由于改性飞灰颗粒本身低温结合性能较差，因此骨架材料本身的特性对最终成品的性能有较大的影响。通过大量的比对考察，发现拟薄水铝石（氢氧化铝干胶）可较好地符合试验要求。拟薄水铝石经过 500℃ 左右加热处理可以转变为 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ，而 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 本身就是常用的催化剂载体。试验中将拟薄水铝石与飞灰颗粒混合，加入适当的黏结剂和活化剂，通过挤压成型设备将混合物制成空心管状，然后经过养护及加热处理，形成改性飞灰- $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 复合催化剂载体，负载 CuO 后，成为可在工业试验台上使用的脱硝催化剂。工业试验时各种成分配方列于表 1。

表 1 复合挤压成型配方表

原料	质量分数/%		
	配方 1	配方 2	配方 3
改性飞灰(粒径<150 μm)	22.2	35.2	55.2
拟薄水铝石	68.2	55.2	35.2
硝酸(分析纯)	5	5	5
柠檬酸	2.5	2.5	2.5
羧甲基纤维素钠盐	1.3	1.3	1.3
蔗糖	0.8	0.8	0.8
蒸馏水	若干	若干	若干

将硝酸、柠檬酸、蔗糖及羧甲基纤维素钠盐加入 50℃ 水中，恒温状态下完全溶解作为黏结剂；将改性飞灰和拟薄水铝石混合均匀；将溶解液加入固体混合物中；先人工搅拌，然后放入捏合机中捏合 1h；取适量捏合好的原料加入双螺杆挤出机，挤出成型。挤出成品规格为 $\Phi 6 \times 1.5\text{mm}$ 的空心管，长度 60mm。挤出成型后静置 24h 进行养护，然后焙烧，除去黏结剂并使拟薄水铝石转化为 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 。焙烧时控制炉温升温速率 5℃ /min，在恒定焙烧温度 550℃ 下焙烧 4h，自然冷却至室温，然后负载 CuO。

对复合成型催化剂载体进行了物理特性测试。结果见表 2。由表可知，3 种配方成型的样品孔

容和吸水率数值接近，没有明显的差别。配

方 3 样品在焙烧后出现了明显的裂纹，已不能满足现场组装的要求。工业对比试验在配方 1 和配方 2 之间进行。

表 2 复合成型载体有关物理特性

配方	孔容/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	强度/ ($\text{N} \cdot \text{cm}^{-1}$)	吸水率/%
1	0.54	143	17.6	0.52
2	0.53	114	6.9	0.50
3	0.58	80	出现裂纹	0.52

试验中将成型为细管状的催化剂载体重新破碎，经过筛分取粒径大小为 0.355~1.000mm 的颗粒，采用浸渍法负载氧化铜，在实验室反应床进行脱硝活性对比试验。试验中测试的样品有：① 配方 1 成品负载 10% 氧化铜（质量分数）；② 配方 1 成品负载 15% 氧化铜；③ 配方 2 成品负载 5% 氧化铜；④ 配方 2 成品负载 10% 氧化铜；⑤ 配方 2 成品负载 15% 氧化铜。

试验结果如图 1 所示（试验中维持空气流速 5200h⁻¹）。可以看出，当氧化铜的负载量相同时，配方 2 样品的脱硝效率要高于配方 1 样品，即较多的改性飞灰掺入量可以提高成型样品的催化性能。对于配方 2 的 3 个样品，负载 5% 氧化铜时，脱硝效率低于 80%，催化剂负载量明显不足。负载 10% 及 15% 氧化铜时，脱硝效率峰值均达到 96.9%。二者的脱硝效率大于 90% 的温度区间分别为 250~320℃ 和 265~320℃，负载 10% 氧化铜时的高效温度区间更宽一些。试验结果表明，复合挤压成型的改性飞灰载体负载 10% 氧化铜后，可基本满足现场工业应用的需要。

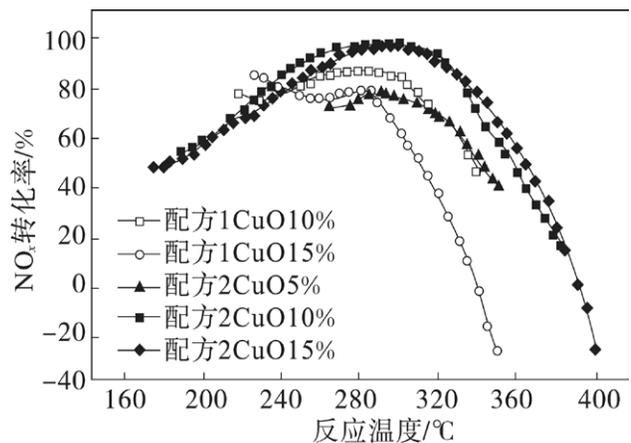


图 1 配方 1 和配方 2 不同氧化铜负载量的脱硝效果

2 复合挤压成型的改性飞灰催化剂与其他催化剂的比较

2.1 与纯改性飞灰为载体的催化剂的活性对比

将复合挤压成型的管状催化剂载体破碎成颗粒状后负载 10% 氧化铜，与纯改性飞灰载体颗粒负载 10% 氧化铜在实验室条件下进行活性对比试验，结果见图 2。当采用改性飞灰和 γ - Al_2O_3 复合成型作为 SCR 催化剂的载体时，在同样的空气流速条件下 (5000h^{-1})，与以纯改性飞灰作为载体的催化剂相比较，其能够达到的最高脱硝活性略有提高，高效活性温度区间明显宽。尤其是在低温阶段，当温度在 200°C 以上时，即有了超过 60% 的脱硝活性。由此可见，采用复合载体的催化剂，其温度特性较纯改性飞灰载体要好，有效温度区间更宽。

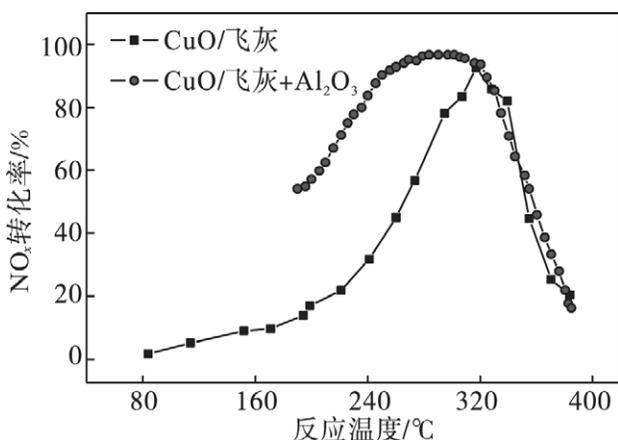


图 2 复合载体催化剂与纯改性飞灰催化剂脱硝活性比较

2.2 几种不同载体的催化剂活性对比

考虑到应用于工业现场的是成型后的催化剂，故考虑将飞灰- γ - Al_2O_3 和 γ - Al_2O_3 均制成一定形状的载体，负载 10% 氧化铜后再进行脱硝活性的评价，试验发现，上述材料成型为管状催化剂时，强度较高，且表面裂纹较少，故考虑成型为管状催化剂。两种载体催化剂与改性飞灰颗粒直接负载 10% 氧化铜后的活性进行对比，结果见图 3。试验均在空气流速 5000h^{-1} 的条件下测得。从图 3 中可以看出， γ - Al_2O_3 尽管在比表面积等物理特性方面优于改性飞灰，但是其作为载体的催化剂脱硝效率最高只有 50%，且高效温度区间很窄。飞灰- γ - Al_2O_3 为载体的催化剂脱硝活性最好，具有

较宽温度窗口，因此更适合于现场条件。

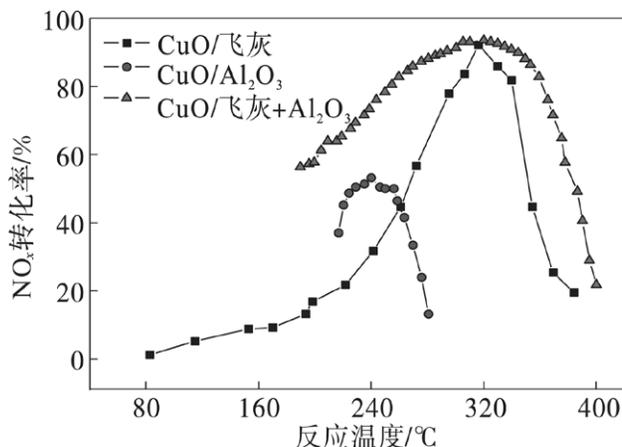


图 3 几种不同载体担载氧化铜后的脱硝活性比较

3 结论

(1) 黏结法、低温烧结法两种成型技术均不能满足脱硝催化剂工业化应用的要求。

(2) 改性飞灰和 γ - Al_2O_3 经复合挤压成型后，比表面积比单纯改性飞灰有了大幅度提高，且强度也能够满足作工业载体的要求。

(3) 改性飞灰和 γ - Al_2O_3 做为载体经复合挤压成型负载 10%CuO 后，脱硝效率可以达到 90% 以上，且高效温度区间也较宽。相比改性飞灰单独作为载体时温度特性要好，高效温度区间更宽。

(4) 用改性飞灰和 γ - Al_2O_3 经复合挤压成型后负载 CuO 作为 SCR 催化剂替代目前主流的 V_2O_5 - WO_3 / TiO_2 商用催化剂，可大幅降低经济成本，因而具有很高的工业应用价值和前景。

参考文献：

- [1]. Motonobu Kobayashi, Mitsuharu Hagi. V_2O_5 - WO_3 / TiO_2 - SiO_2 - SO_4^{2-} catalysts: Influence of active components and supports on activities in the selective catalytic reduction of NO by NH_3 and in the oxidation of SO_2 [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2006, 63(1/2): 104-113.
- [2]. Alemany Luis J, Francesco Berti, Guido Busca, et al. Characterization and composition of commercial V_2O_5 - WO_3 - TiO_2 SCR catalysts[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 1996, 10(4): 299-311.
- [3]. Djerad S, Tifouti L, Crocoll M, et al. Effect

of vanadia and tungsten loadings on the physical and chemical characteristics of $V_2O_5-WO_3/TiO_2$ catalysts[J]. Journal of Molecular Catalysis A : Chemical , 2004 , 208(1/2) : 257 - 265.

[4].Luca Lietti. Reactivity of $V_2O_5-WO_3/TiO_2$, de - NO_x , catalysts by transient methods[J]. Applied Catalysis B : Environmental , 1996 , 10(4) : 281 - 297.

[5].Zhang Yamei , Sun Wei , Yan Handong. Hydration of high - volume fly ash cement pastes[J]. Cement and Concrete Composites , 2000 , 22(6) : 445 - 452.

[6].Steenbruggen G , Hollman G G . The synthesis of zeolites from fly ash and the properties of the zeolite products [J]. Journal of Geochemical Exploration , 1998 , 62(1/2/3) : 305 - 309.

[7].Hollman G G , Steenbruggen G , Jonssen - Jurkovicova M. A two - step process for the synthesis of zeolites from coal fly ash[J]. Fuel , 1999 , 78(10) : 1225 - 1230.

[8].Mallik D , Chaudhuri S K. Air oxidation of aqueous sodium sulfide solutions with coal fly ash[J]. Water Research , 1999 , 33(2) : 585 - 590.

[9].Ojha K , Pradhan N C , Samanta A N. Treated fly ash : A potential catalyst for alkylation of phenol with tertbutyl alcohol[J]. Indian Journal of Chemical Technology , 2003 , 10(5) : 495 - 500.

[10].Ojha K , Pradhan N C. Treated fly ash : A potential catalyst for catalytic cracking[J]. Indian Journal of Engineering and Material Sciences , 2001 , 8(2) : 100 - 103.

[11].Mallick D , Khanra S , Chaudhuri S K. Studies on the potential of coal fly ash as a heterogeneous catalyst in oxidation of aqueous sodium sulfide solutions with hydrogen peroxide[J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology , 1999 , 70(3) : 231 - 240.

[12].Sur B , Mandal S , Chaudhuri S K. Fly ash : A potential heterogeneous catalyst in peroxidative degradation of aqueous dye solutions[J]. Indian Journal of Engineering and Material Sciences , 1996 , 3(3) : 119 - 123.

[13].Xuan Xiaoping , Yue Changtao , Li Shuyuan , et al. Selective catalytic reduction of NO by ammonia with fly ash catalyst[J]. Fuel , 2003 , 82(5) : 575 - 579.

国电龙源环保设计国内最大脱硝 技改工程全部投运

3月29日，由北京国电龙源环保工程有限公司设计、供货的华能国际电力股份有限公司玉环电厂4×100万千瓦烟气脱硝改造工程竣工庆典仪式在浙江玉环举行。该脱硝技改工程是国内乃至世界最大规模的烟气脱硝技改工程，也是国电龙源环保公司承担设计完成的首个百万千瓦机组烟气脱硝改造工程。这开创了国内在役百万千瓦超超临界机组脱硝改造的先河，成为国家实施节能减排战略的一个成功典范。

国电龙源环保公司秉承社会责任，在稳步推进脱硫特许经营的同时，以创先争优促技术创新，

在玉环脱硝技改工程中采用国内首个热风并经电加热的尿素热解新工艺，将氮氧化物转化为氮气和水，无害排放。2010年5月，2号机组暨全国首台百万千瓦机组脱硝改造系统一次顺利通过“168”试运行，3号、1号、4号机组脱硝系统分别于7月、11月和2011年3月通过“168”试运行，各项指标均达到或优于设计值。四台机组脱硝系统全部投入运行，预计每年可减排氮氧化物1万多吨。

国家环保部总量司副司长刘炳江、能源局副局长夏晓林等领导出席典礼。

湿法烟气脱硫工艺节能增效改进技术研究

李二欣

(华北电力大学 环境科学与工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 随着我国烟气脱硫的产业化应用,降低脱硫投资、降低运行成本已成为一个亟待共同努力解决的问题。从脱硫角度考虑电厂节能,切实可行,且潜力巨大。从脱硫塔形式,增压风机选择,烟气换热器运行,浆液 pH 值调节,烟道设计等方面,在充分考虑脱硫效率的前提下进行了节能分析。

关键词: 烟气脱硫; 节能; 控制优化; 系统改造

Study of key effect factors of energy saving in wet FGD system

Li Erxin

(Department of Environmental Engineering of North China Electric Power University(Baoding),
Hebei Baoding 071003)

Abstract: As China's industrial application of flue gas desulfurization become popular, reducing the desulfurization investment and lowering operating costs has become an urgent need to work together to solve the problem. From the perspective of desulfurization,energy saving is practicable, and has great potential. Of the desulfurization tower, booster fan selection, flue gas heat exchanger operation, slurry pH regulation,flue road design and other aspects,we take some energy-saving analysis in full consideration under the premise of desulfurization efficiency.

Keywords: FGD; Energy saving; Control Optimization;; System Transformation.

湿式石灰石-石膏烟气脱硫(Wet Flue Gas Desulfurization, WFGD)是当前主流的烟气脱硫工艺,SO₂的脱除效率一般为95%以上。WFGD工艺采用石灰石浆液作为吸收剂,在脱硫吸收塔内浆液与烟气接触并充分混合,烟气中的SO₂与浆液中的碳酸钙以及鼓入的氧化空气进行化学反应生成石膏。装置主要由吸收剂制备系统、吸收和氧化系统及石膏处理系统组成。

随着我国烟气脱硫的产业化应用,降低脱硫投资、降低运行成本已成为一个亟待共同努力解决的问题,这需要在大量工程实践中,根据我国火电厂实际情况对脱硫系统各环节进行优化设计,不断提高脱硫性能参数、降低投资、减少运行费用。若按现有技术电耗水平估算,截止到2010年2月全国6.5亿KW火电机组全面实施脱硫将耗电179

亿KWh/年,相当于多燃烧654万吨标准煤/年、增加CO₂排放1021万吨/年^[1]。从如此庞大的运行费用来讲,采取优化过程控制,合理设计等措施,能够在保证环保要求的前提下,降低能耗,给电厂带来附加效益。

1 烟气脱硫塔优化改造

现有技术大都采用“烟气低进高出同侧翻转”的垂直逆流喷淋塔形式,吸收塔进出口高差20余米,设备间的连接烟道冗长复杂,系统布置松散,烟气阻力较大(通常大于3000Pa),需增设脱硫增压风机,且烟道体积大、荷载重、支撑结构庞杂,使得现有技术造价高、电耗大、钢耗多、占地大。

U型平流喷淋吸收塔是在彻底颠覆传统吸收塔基础上做出的大胆而富有应用意义的创新设计。

该吸收塔主要由烟气进口、烟气出口、吸收

塔本体、进口和出口连接烟道等组成。进、出口连接烟道高度相当，位于吸收塔本体的同侧且基本等高的位置。吸收塔本体内部分成两个区域，上部为喷淋吸收区，下部为氧化反应浆液池；吸收区内设置有U形隔板，隔板的两个侧边分别与进出口烟道的内侧面相接，上端面与吸收塔本体的顶面相接，下端面则没于吸收塔浆液池液面以下。烟气进口、烟气出口、吸收塔本体、进口连接烟道、出口连接烟道、U形隔板及浆液池液面形成封闭的U形空间，在该U形空间内设置由若干层喷淋层构成的浆液喷淋系统^[1]。出口烟道设置有斜置式除雾器，烟气在该U形空间内与经浆液喷淋系统雾化后的吸收剂进行化学反应并实现换向，基本没有垂直高度方向上的变化。

这种U形吸收区平流吸收塔，通过改变吸收塔进出口的开孔位置，使其位于吸收塔同侧等高的位置，且其与电厂原有主体烟道系统和脱硫系统的接口处于一个基本等高的水平，省却了现有技术“垂直逆流式喷淋塔”由于吸收塔进出口和外界装置标高差异所必需的大量连接烟道；同时兼顾了装置和系统的需求，主要功能单元直接连接，系统布置顺畅，连接烟道大幅缩减，烟气阻力显著降低。部分电厂还可以利用原有主体系统的富余压头，从而可以省却功率达数千KW的脱硫增压风机。

2 增压风机节能

石灰石-石膏湿法脱硫工程中，绝大多数项目设置了增压风机，以克服脱硫系统带来的压力损失。石灰石-石膏湿法脱硫运行电耗高，增压风机是最大的用户。增压风机的合理选型和配置将直接影响今后运行的经济性^[2]。

从节能角度考虑，一般脱硫工程可供选择的方案有：动叶可调轴流式风机方案、静叶可调轴流式风机加高压变频器方案。

以两套容量为430MW的某脱硫工程为例，该工程采用两炉一塔的配置。脱硫吸收塔入口烟气流量为155万Nm³/h，烟气温度137℃。增压风机TB点烟气流量为170.5万Nm³/h（湿基，实际氧），烟温147℃。增压风机全压升为2520Pa（3025Pa，

TB点）。增压风机计算轴功率约为2635kW/台，两台共约5270kW，约占本工程脱硫电耗的49%。

采用轴功率法，对动叶可调增压风机与静叶变频调速增压风机的方案节能比较计算如下。

设风量为Q，全压为P，风机效率为 η_f ，风机有效功率为 P_c ，风机轴功率为 P_g ，则：

$$P_c = Q \times P \quad (1)$$

$$P_g = P_c \div \eta_f \quad (2)$$

当增压风机负荷为70%时，烟气流速 $Q=453\text{m}^3/\text{s}$ ，全压为 $P=1411\text{Pa}$ ，动叶可调增压风机效率为 $\eta_f=0.65$ ，静叶变频调速增压风机效率取 $\eta_f=0.85$ ，则：风机的有效功率： $P_c=639\text{kW}$ 。

对动叶可调增压风机： $P_{g\text{动}} = P_c \div \eta_{f\text{动}} = 639/0.65=983\text{kW}$

对静叶变频调速增压风机： $P_{g\text{静}} = P_c \div \eta_{f\text{静}} = 639/0.85=752\text{kW}$

考虑到变频器损失（按5%计算）： $P_{g\text{静}}' = P_{g\text{静}}/0.95=792\text{kW}$

采用静叶变频调速增压风机比动叶可调增压风机节能19.5%。

当风机负荷为100%和90%时，由于变频器的损失，静叶变频调速风机比动叶可调增压风机能耗更多。如果在该工况下对变频器采用工频旁路，则该部分能耗可以避免。

3 烟气换热器节能分析

烟气换热器（GGH）是脱硫系统的重要组成部分，通过GGH原烟气与吸收塔净化后出来的冷烟气热交换，目的是避免冷烟气在烟囪内结露，同时使烟气有更大的扩散范围。GGH投运后结垢堵塞引起压差升高造成系统阻力加大会引起能耗增加。

吸收塔内除雾器出来的烟气所携带的石膏小颗粒是GGH堵塞结垢的重要因素。增加除雾器冲洗强度及频率对减少石膏携带量，改善GGH压差是有一定效果的。GGH吹灰装置设置上下两支吹灰器增加吹灰效果，辅以高压水冲洗，对解决GGH压差高的问题有一定帮助^[3]。

4 浆液pH值方面的节能优化

湿法脱硫系统运行中对性能和经济性影响较

大的工艺参数是浆液 pH 值。石灰石利用率、钙硫比、石膏品质等都反映在浆液 pH 值的控制上。循环泵组合投运是一般电厂都实施的节电措施,但它仅考虑电耗问题,忽略了浆液 pH 值的调节作用。要达到一定的脱硫率,除了提高液气比,还可用提升浆液 pH 值的方法,但二者的经济效益是有差别的。例如在某电厂脱硫装置做了一项试验,当机组满负荷、进口 SO₂ 质量浓度为 2300mg/m³ (烟气体积为标准状态值)时,没有增开 2 号循环泵,而是将浆液 pH 值从 5.3 提高至 5.5 来保证脱硫率,即增加了石灰石浆液量,使石灰石粉耗增加了 0.3t/h,按 220 元 /t 计,增加的脱硫剂费用为 66 元 /h。如果增开 2 号循环泵,按 0.32 元 / (kW·h) 的电价计算,增加的电费是 137.6 元 /h,比提高 pH 值多花 71.6 元 /h。因此,从经济性角度考虑,小幅提高脱硫率一般应尽量使用浆液 pH 值的调节功能。

5 烟道节能要点

烟风系统尽可能烟道短、弯头少,必要时辅以导流装置,减少烟风系统阻力,以降低大功率增压风机能耗。此外,对于输送低温原烟气的烟道和输送脱硫后的低温湿烟气的烟道,应分别根据所处的腐蚀环境选择合适的防腐材料、设计合适的排放疏水的设施。

6 其他环节节能要点

节水方面可以对脱硫系统可转动设备的冷却水采用闭式循环处理,减少水的浪费,另外可考虑将 FGD 酸性废水引入除渣系统综合处理,这样既可替代除渣系统的补水,又不影响除渣系统的水平衡,还能保证处理水的水质,并可大幅减少脱硫运行成本^[4]。

根据工况变化调整设备运行和控制方式是提高湿法脱硫系统运行经济性的重要手段^[5]。浆液循环泵是湿法脱硫浆液系统的最大耗电设备,少投运 1 台循环泵,节电效果非常显著。在实际运行中,

根据入口烟气 SO₂ 负荷调整循环泵的运行数量,是节电的一个重要举措。

据分析,脱硫能耗与锅炉系统漏风量过大有关。过大的烟气体积将造成 FGD 系统脱硫效率下降,电耗增加^[6]。因此,尽量降低锅炉本体的漏风率,加强锅炉的养护,既关系到锅炉系统的安全稳定运行,也关系到脱硫系统安全可靠运行及能耗多少。

7 总结

烟气脱硫占电厂厂用电率相当大一部分。从脱硫角度考虑电厂节能,切实可行,且潜力巨大。改变脱硫塔一般形态,采用 U 型平流喷淋吸收塔,选用合适的增压风机及调节模式,降低烟气换热器压差,合理调节浆液 pH 值以及加强脱硫节水等等,都是比较有效的节能方法。

参考文献

- [1] 徐海涛,彭祖辉. 节能与环保兼顾的二氧化硫污染控制技术 [C]. 第十届中国科协年会论文集(二), 2008 年.
- [2] 刘长东,胡达清,赵金龙,等. 变频增压风机在湿法脱硫工程中的应用 [J]. 电站系统工程,2009,25(5): 362-367.
- [3] 蔡培,杨晨. 脱硫系统烟气换热器 (GGH) 的节能改造 [J]. 中国人口、资源与环境,2008 年,第 18 卷: 787-789.
- [4] 薛建明,刘涛,许月阳,等. 湿法烟气脱硫系统节能关键影响因素 [J]. 中国电力,2009,42(8): 50-52.
- [5] 周祖飞. 影响脱硫系统运行经济性的因素及改进措施 [J]. 电力环境保护,2009,25(2): 35-37.
- [6] 周兵. 扬州发电厂简易石灰石-石膏湿法脱硫装置及其运行 [J]. 热机技术,2003,第 2 期: 28-32.

整合行业资源 促进节能减排

烟气脱硫除尘一体化技术研究进展

胡志光, 邓倩, 马苗云, 常爱玲

(华北电力大学 环境科学与工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 本文对电厂烟气脱硫除尘一体化技术进行了综述。介绍了烟气脱硫除尘一体化技术的发展现状和进展, 分析了该技术在实际应用中存在的问题, 并提出相应的解决方案。

关键词: 脱硫; 除尘; 一体化技术; 电厂烟气

Progress in integrated technology of desulfurization and dust removal for flue gas

Hu Zhiguang Deng Qian Ma Miaoyun Chang Ailing

(Department of Environmental Engineering of North China Electric Power University(Baoding),
Hebei Baoding 071003)

Abstract: In this paper, an integrated technology of desulfurization and dust removal for flue gas was reviewed. The current situation and progress for this technology were introduced and the problems in the practical application of this technology were analyzed. Solutions were proposed to solve the technical difficulties.

Keywords: Desulfurization; Dust removal; Integrated technology; Flue gas

1 前言

中国是世界上唯一一个以煤为主要能源的国家, 也是世界上燃煤污染物排放最多的国家。到2007年, 我国因燃煤所排放的SO₂达到2468万吨, 烟尘排放达到986万吨。若不采取有效的能源措施, 2020年我国的二氧化硫排放量将达到3500万^[1]。

近年来, 在烟气脱硫技术的研发过程中, 常常将烟气除尘及脱硫一体化处理, 将脱硫除尘一体化设备称为脱硫除尘器。现在越来越多的将脱硫与除尘共同考虑, 亟需在消化吸收国内外各种脱硫以及除尘技术的基础上, 寻求以简单、高效率, 又满足环保要求, 又减少投资和运行费用为目标的脱硫除尘方案。

2 脱硫除尘一体化技术发展现状及问题

脱硫除尘一体化发展过程大致经历三个阶段: 一是将除尘器与脱硫装置分为两套独立的设备设

计、安装, 脱硫装置的结构、规模、效率不受除尘功能的限制; 二是除尘、脱硫并重的分段除尘脱硫组合装置, 即在同一塔体内划分出以除尘为主的除尘段和脱硫为主的脱硫段; 三是在湿式除尘基础上发展起来的除尘脱硫一体化技术, 其脱硫和除尘在同一时间、空间内完成。

2.1 干式脱硫除尘一体化技术

干法脱硫除尘一体化技术与装备, 所选定的气体反应助剂及方法, 科学合理, 有效吸附有害气体; 所研制的脱硫专用反应器, 具备防腐和耐高温的功能; 所设计的专用袋式除尘器, 能有效形成吸附层, 适宜于处理有害气体。本系统中的除尘器已不仅去除烟气中的粉尘, 它是集脱硫和除尘于一体的袋式除尘器。烟气进入除尘器进气管, 在负压作用下, 较均匀的进入除尘器的各个室, 烟气中反应混合物在除尘器的滤袋表面吸附

形成一层预过滤层,因此,当SO₂气体通过预涂层时,就与这些药剂反应而被除去。而且经过了烟道内的反应和预过滤层的反应,除尘效率已达到了90%以上。当除尘器清灰时预过滤层脱落进入灰斗,由于飞灰的湿含量较大,为防止腐蚀管道,将不再循环利用,净化后的烟气由后排风机排入大气。

2.1.1 吸附过滤技术

此技术利用可循环再生的固定吸附材料,除去烟气中的SO₂和烟尘,水洗然后再生。该装置一般由预除尘器和吸附塔组成。该装置具有很高的脱硫除尘效率,除尘效率大于95%,脱硫效率大于80%,烟气温度低,无二次污染,可回收副产品。但要求吸附塔入口烟气含尘小于150 mg/m³,否则易堵塞和引起吸附剂中毒。而且吸附剂需经常进行再生,较不方便,且一次性投资大。

2.1.2 等离子体锅炉烟气脱硫除尘一体化技术

该技术是近几年发展的新技术,烟气中N₂、O₂及水蒸气等在经过电子束照射后,吸收大部分能量后,生成大量的反应活性极强的自由基,如·OH、·O、HO₂等,这些自由基与烟气中SO₂反应生成硫酸,然后与氨中和生成硫酸铵。

此方法优点为无设备污染及结垢现象,不产生废渣,副产品还可作为肥料使用,无二次污染物产生,脱硫率大于90%,而且设备简单,适应性较广。但是此方法脱硫靠电子加速器产生高能电子,不适用于大型企业。

2.2 湿式脱硫除尘一体化技术

湿式除尘脱硫一体化中的烟气脱硫与传统的湿法脱硫技术的脱硫机理和工艺是一致的。采用CaO或Ca(OH)₂为脱硫剂,合理配制成石灰浆后加入除尘系统的循环溶液中,在一、二级除尘的同时,对烟气进行一、二次脱硫,也获得较好的脱硫效益。与传统的湿法脱硫相比,减少了大量的设备和占地,从而使得该技术减少了技改投资而具有经济效益^[2]。

湿法烟气脱硫的工艺流程多种多样,但都具有相似的共同点:含硫烟气的预处理(如降温、

增湿、除尘),吸收,氧化,富液处理(灰水处理),除雾(气水分离),被净化后的气体再加热,以及产品浓缩和分离等。

湿法烟气脱硫除尘是目前应用最广泛的工艺,它具有以下优点:能够去除烟气中的可溶成分;气体污染物可与尘粒同时被吸收,并且中和气体内的腐蚀成分;较安全;成本较低。但存在如腐蚀、结垢、阻塞以及风机带水等问题。

2.2.1 文丘里、水膜除尘脱硫技术

我国燃煤工业锅炉和电站锅炉中有60%左右是应用文丘里、水膜除尘脱硫装置。其除尘效率约为85%~90%,脱硫效果一般比较低,不用碱液时只有10%左右,使用石灰浆也在40%以下。其脱硫主要在文丘里中完成。为了达到耐磨防腐目的,装置用麻石构筑,或在金属筒体内衬复合材料。使用石灰液时,水膜除尘器的溢流堰易堵塞。该技术投资省、占地少、工艺简单,运行费用低、固硫除尘效率低,已成为被更新换代的产品^[3]。

回收重新利用到达部分未反应的CaO,可分别在文丘里管和捕滴器内实现脱硫功能,在文丘里管喉部喷入水或石灰浆吸收剂,并且在捕滴器内设置再循环系统,增加液/气比率,从而提高吸收剂利用率和脱硫效率。

2.2.2 简易喷淋塔除尘脱硫设备

含尘气体从塔底进入,通过气流分布格栅,均匀进入塔体,液滴通过喷嘴从上而下进行喷淋。烟尘,SO₂逆流与液滴碰撞,接触、凝聚作用而除去,经除雾后外排。这类装置主要技术参数:进气速度6~9 m/s,液气比5~15 L/Nm³,阻力200~400 Pa,能耗0.004 kwh/Nm³^[4],这类装置对粉尘去除率在90%左右,脱硫率60%。

2.2.3 湿式旋风除尘脱硫技术

该装备由中心文丘里,外围旋流器组成。烟气由中心自上而下流经文丘里管,碱性溶液在文丘里内与烟气拦截碰撞,充分接触,由底部导流进入外围旋风除尘脱雾部件。其主要技术指标:脱硫50%,除尘95%,阻力小于1200Pa^[5]。

2.3 干湿结合式烟气脱硫除尘一体化技术

SHG型脱硫除尘装置的主体设备为一立式

塔,塔内兼用了干、湿结合的结构形式,其下部为旋风除尘段,中部为吸收段,装有筛板,上部是脱水段。

烟气首先进入下部的旋风除尘段,除去较大颗粒然后进入吸收段,经过布满吸收液的筛板时,烟气与吸收液充分接触,发生传质吸收,脱除SO₂并除去微细粉尘。经过除尘脱硫的烟气,在脱水段内脱水除雾,防止烟气带水,然后经出口排至烟囱。该装置的主要特点是液气比小(0.3-0.5 L/m³),塔内持液量大,气液接触充分,除尘效率可达95%以上,脱硫效率可达70%,特别适用于小型燃煤锅炉,但是整个装置成本较高^[6]。

3 脱硫除尘一体化技术的问题解决方案讨论

脱硫除尘一体化工艺研究的核心内容是在兼顾脱硫、除尘要求的前提下,进行反应器的设计和操作参数的优化^[7]。脱硫要求脱硫剂充分利用,脱硫效率达到最佳;除尘要求除尘效率高,颗粒循环率低,操作压降不能超过工艺要求。这就一方面要求要有足够的气固接触时间,保证高的脱硫和除尘效率;另一方面固体颗粒在反应器内合理的停留时间,保证较高的脱硫剂利用率和合适的操作压降。

另外一体化操作过程并不等同于单一过程的简单组合,兼顾脱硫和除尘过程的物理和化学要求,解决联合操作时两个过程的不利影响,是实现集成优化的关键^[7]。

可研究的解决方案主要有:

(1) 寻求一种高活性、高强度、使用温区宽的脱硫剂;现在研究的脱硫剂都存在脱硫精度不高,或高温易挥发等缺陷,应该寻找一种高活性、高强度、使用温区宽的脱硫剂。

(2) 研制一种能够承受高温、高压且耐腐蚀的过滤器,并能与高温煤气很好的结合;现在单相的过滤器已很难符合全方面的要求了,应该加大力度,研制出复合相的过滤器,不仅能在极端环境下工作,而且能与高效的脱硫剂进行很好的结合。

(3) 研究在净化过程中,煤气各种成分发生的反应以及存在的形式,建立相应的模型。

4 脱硫一体化发展趋势

根据我们目前了解的国内外行情来看,在电站锅炉脱硫除尘设备上,多采用石灰石法设备,设备磨损快,维护检修费用大,运行费大,发电企业难以承受。依据我国国情,电力脱硫脱销除尘一体化技术装置是实现以废治废,废物二次利用,它不仅是投资小,更直观的是运行费用低,三为一体设备建设周期短。

5 结语

除尘脱硫一体化技术具有结构简单、占地面积小、投资省和脱硫效率高等优点。通过继续完善现有技术,解决当前技术瓶颈,使该技术逐步向大中型锅炉烟气处理方向深入,可获得更大的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 王志成,曹志德,鞠春红. 锅炉烟气脱硫脱氮除尘一体化技术. 化学工程师.2005,119(8):48—50.
- [2] 黄超. 中小型燃煤炉烟气脱硫方法. 污染防治技术.2002,14.
- [3] 中国环境科学学会. 脱硫技术. 中国环境科学出版社,1995
- [4] 刘忠生,彭德强,纪树满. 燃煤工业锅炉烟气脱硫技术. 石油化工环境保护,2001,(4):34—39.
- [5] 吴晋沪,曹晏,王洋. 脱硫除尘一体化系统理论分析[J]. 化学工程 2003,31(6):64—67.
- [6] Merkel T C, Turk B S, Raghurib P, et al. As Cleaning Process for Production of Ultraclean Syngas[J]. 5th International Symposium on Gas Cleaning at High Temperature. 2002 NETL Publication, 2002.
- [7] Ishikawa K, Kamei K, Shindo K. Development of a Simultaneous Sulfur and Dust Removal Process for IGCC Power Generation System[J]. In: Schmidt E. ed, 3rd International Gas Cleaning at high Temperature, Karlsruhe, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik. 1996: 317—327.

电厂循环水处理

城市再生水在电厂循环冷却水系统中的应用

谢长血, 徐光平, 樊少斌, 戴云帆, 王建强

(北京中电加美环境工程技术有限责任公司, 北京市, 100086)

摘要: 介绍了城市再生水作为电厂循环冷却水补水水源的意义及其水质要求, 对其排污进, 回用的处理工艺选择进行了论证, 并提供了详细的设计参数。结合北京京能热电股份有限公司利用城市再生水作为循环冷却水补充水及其排污刚用处理工程投运情况进行了实例分析, 得出了城市再生水回用到电厂循环冷却水系统中是可行的, 其排污水可利用“双膜法”进行处理后回用。

关键词: 城市再生水; 电厂循环水; 节水; 排污水; 超滤; 反渗透

Utilization of Municipal Recycled Water in Cycling Cooling Water System of Thermal Power Plant

Xie Changxue, Xu Guangping, Fan Shaobin, Dai Yunfan, Wang Jianqiang

(Beijing Zhongdian jiaimei Environmental Engineering Technology Co. Ltd, Beijing 100086, China)

Abstract: The paper describes the significance of using municipal recycled water the cycling cooling water for thermal power plant and the water quality requirements, demonstrates the selection of treatment techniques for recycled wastewater, and provides detailed design specifications. A case study was carried out on the operation of the recycled wastewater treatment project owned by Beijing Jingneng Thermal Power Co. Ltd. It's feasible to recycle the municipal recycled water to the cycling cooling water system of thermal power plant, and the discharged wastewater could be recycled by the double membrane technique.

Keywords: Municipal recycled water; Power plant cycling water; Water saving; Discharged wastewater; Ultra-filtration; Reverse osmosis

0 引言

我国水资源十分缺乏, 且分布不均, 北方地区尤为匮乏。火力发电厂是用水大户, 其用水量占全部工业用水量的 40% 左右。火电厂中水冷机组的循环水占整个火电厂用水的 80% 以上, 因此, 循环水的节水对于整个电厂的节水而言意义重大。循环水的节水通常采用高浓缩循环水处理技术, 通过“加酸+an 阻垢剂”方式提高循环水的浓缩倍率来实现。一般地区火电厂的循环水浓缩倍率大于 3, 缺水地区火电厂的循环水浓缩倍率大于

4.5。虽然采用循环水高浓缩倍率运行可以减少排污损失, 但机组补充水量很大, 无论是抽取地下水, 还是从江河、湖泊取水用以补水, 均占用宝贵的水资源。如果利用城市再生水(城市污水处理厂出水)替代, 则可节约宝贵的水资源, 具有良好的经济效益、环境效益和社会效益, 且符合国家产业政策要求。

1 城市再生水补入循环冷却水系统的水质要求

1.1 城市再生水达标排放水质

城市再生水规定的排放水质标准应该达到 GB

18918_2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》二级标准或 GB 8978—1996《污水综合排放标准》中的一级标准^[1]，如表1所示。

表1 城市再生水主要污染物控制指标

Tab.1 Main pollution control index of municipal recycled water

基本控制项目	水质控制指标		
	GB 18918—2002 中一级标准 B 标准	GB 18918—2002 中二级标准	GB 8978—1996 中一级标准
COD _{Cr} (化学耗氧量)/(mg·L ⁻¹)	60	100	100
BOD ₅ (生化需氧量)/(mg·L ⁻¹)	20	30	30
悬浮物含量/(mg·L ⁻¹)	20	30	70
动植物油含量/(mg·L ⁻¹)	3	5	10
石油类含量/(mg·L ⁻¹)	3	5	5
阴离子表面活性剂含量/(mg·L ⁻¹)	1	2	5
总有机碳(TOC)含量/(mg·L ⁻¹)	—	—	20
氨氮(以N计)含量/(mg·L ⁻¹)	8(15)*	25(30)*	15
总磷(以P计)含量/(mg·L ⁻¹)	1	3	0.5(磷酸盐)
色度(稀释倍数)	30	40	50
pH值	6~9	6~9	6~9
粪大肠杆菌含量/(个·L ⁻¹)	10 000	10 000	500

注：*括号外数据为水温大于12℃的控制指标，括号内数据为水温不大于12℃时的控制指标。

1.2 城市再生水回用循环冷却水系统的水质标准

根据中国电力工程顾问集团公司发布的《再生水深度处理设计导则》^[2]，城市二级污水处理厂出水经深度处理后的再生水用于工业循环冷却水，其水质要求应满足表2中的水质控制指标。但是，当凝汽器等换热器为铜管时，NH₃-N含量应小于1 mg/L。

表2 直接补入循环水系统的再生水水质指标

Tab.2 Quality index of recycled water added to the cycling water system

项目参数	水质控制指标
pH值(25℃)	7.0~8.5
悬浮物含量/(mg·L ⁻¹)	≤10
浊度/NTU	≤5
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	≤5
COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	≤30
铁含量/(mg·L ⁻¹)	≤0.5
锰含量/(mg·L ⁻¹)	≤0.2
Cl ⁻ 含量/(mg·L ⁻¹)	根据凝汽器等换热器管道材质要求确定
碳酸盐硬度/(mg·L ⁻¹)	按照设计的浓缩倍率值确定
NH ₃ -N含量/(mg·L ⁻¹)	≤5
总磷含量(以P计)/(mg·L ⁻¹)	<1
游离氯含量/(mg·L ⁻¹)	维持补水管道末端0.1~0.2
石油类含量/(mg·L ⁻¹)	≤5
细菌总数/(个·mL ⁻¹)	<1 000

2 技术方案及论证

2.1 城市再生水回用循环冷却水系统存在的问题

城市再生水中的残留污染物对发电厂安全生产构成危害的主要是有机物、氨氮、含盐量和碳酸盐硬度等^[3-10]。正常的污水厂二级处理出水COD_{Cr}一般在60~100 mg/L之间，氨氮含量在10~25 mg/L之间。这些指标均不能满足发电厂用水的最低标准，需要进行深度处理后才能回用。

城市再生水往往比当地天然水含有更多的溶解性盐类，补入电厂循环水冷却水系统后，这些溶解盐分经浓缩后会导致循环冷却水系统结垢和腐蚀。为此，采用再生水作为补充水的循环水系统浓缩倍率不宜过高，控制在3.5倍之内。

2.2 排污水回用处理面临的问题

采用城市再生水作为循环冷却水补充水源的循环水排污成分复杂，处理难度大，主要表现在：

(1) 再生水残留的有机物容易在循环水系统中产生大量的粘泥，滋生微生物，这些物质会随循环水排污而带出来。

(2) 为控制粘泥和滋生微生物，需要添加大量的杀菌剂，使循环水排污水含有残余的杀菌剂成分。

(3) 为控制循环水系统内设备及管道结垢，需要添加水质稳定剂，使循环水排污水水质成分变得更加复杂。

(4) 再生水残留的氨氮容易在循环水系统中反硝化，消耗循环水的碱度，容易导致循环水排污偏酸性。

(5) 城市再生水往往比当地天然水含有更多的溶解性盐类，其循环水的排污水含盐量较高，有些电厂的排污水含盐量达到了4000 mg/L以上。

2.3 排污水回收再利用的技术方案论证

鉴于采用城市再生水作为循环冷却水补充水源的循环水排污比采用地下水系统的排污成分更复杂，在选择工艺路线时既要考虑先进的膜处理工艺，又要兼顾方案的成熟可靠性和经济性。

针对排污水含盐量高的特点，应考虑脱盐处理措施。目前，用于脱盐的设备主要有反渗透设备、离子交换器、盐水蒸发浓缩器。盐水蒸发浓缩器

因单位造价太高,很少采用。离子交换器虽然成熟可靠,但再生用酸碱量大,运行费用高,也不常使用。

反渗透作为成熟的脱盐工艺,具有运行稳定可靠、模块化设计、占地面积小、易实现自动控制等特点,已被广泛应用。反渗透需要严格的预处理,以保证其进水水质和使用寿命。在预处理工艺选择上,根据目前工程实际应用情况,以超滤工艺为最佳。由于循环水的补充水采用的是城市再生水,其残留的有机物和循环水滋生的微生物对超滤运行的影响较大,为此,在采用城市再生水作为循环冷却水补充水源的电厂,其循环水的排污水处理工艺上必须考虑超滤的前处理和自身保护措施,如设置机械加速澄清池、多介质过滤器、超滤前置保安过滤器、超滤进水杀菌、超滤反洗、化学加强反洗及化学清洗等措施,以保证超滤的进水水质和使用寿命。

根据实际工程经验,笔者推荐一种先进、可靠、经济可行的工艺,如图1所示。图1中超滤系统含超滤本体、反洗系统和化学加强反洗系统等。

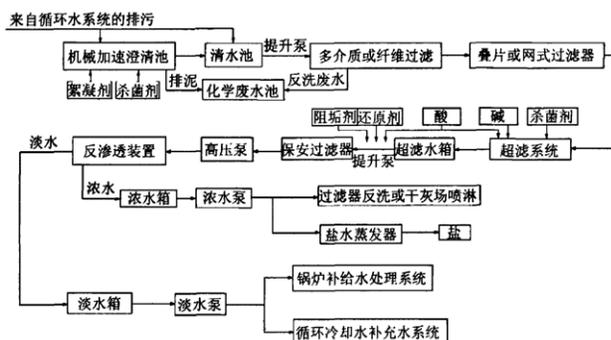


图1 循环水排污回用处理工艺流程图

Fig. 1 Diagram of treatment techniques for recycled water

2.4 设计参数的选择

考虑到再生水经浓缩后的排污水具有成分复杂、易结垢和堵塞膜系统等特点,在系统设计中,参数的选择尤为重要。

预处理设施宜选择“机械加速澄清池+多介质过滤器或高效纤维过滤器”,或单独采用“多介质过滤器或高效纤维过滤器”工艺,并配合加絮凝剂(如聚合铝或聚合铁)和杀菌剂(如次氯酸钠)联合处理。机械加速澄清池的上升流速不大于0.60 mm/s;多介质过滤器的运行流速宜不大

于10 m/h;高效纤维过滤器的运行流速不大于20 m/h。

超滤系统配置:(1)超滤前应设置保护过滤器,宜选择自清洗过滤器;(2)超滤膜宜选择有大量应用业绩的进口超滤膜,膜材质宜选择PVDF(聚偏氟乙烯)或PES(聚醚砜);(3)压力式超滤膜的膜通量宜不大于60 L/(m²·h);(4)超滤运行周期宜选择28 min,即每30 min反洗1次,反洗1次耗时2 min;(5)超滤系统应设置反洗,超滤反洗按每30 min进行1次;(6)超滤系统应设置化学加强反洗,反洗频率按每天1~2次进行,采用碱氯洗和酸洗分别进行1次5~10 min的浸泡清洗;(6)超滤系统应设置化学清洗,每1~3个月进行1次,采用碱洗、碱氯洗、酸洗3步清洗。

反渗透系统配置:(1)选择抗污染膜作为反渗透膜;反渗透膜通量不宜大于20 L/(m²·h);(2)根据反渗透进水情况设置加酸、加阻垢剂、加还原剂、加非氧化性杀菌剂(根据实际需要设置)等加药系统;(3)反渗透的化学清洗周期根据进水情况和反渗透运行情况设置,根据污染物有针对性地进行化学清洗,清洗周期不宜大于3个月。

2.5 循环水排污回用处理系统产水回用点的选择

循环水排污经反渗透脱盐后,其产水水质较好,接近~级除盐水。如果将产水用作锅炉补给水除盐系统的生水水源,可以极大地延长一级除盐和混床的再生周期,降低酸碱耗量,给电厂带来良好的经济效益。循环水排污回用处理系统产水在满足锅炉补给水除盐系统的水量需求后,如还有剩余,建议将剩余的产水补入循环水系统,以实现循环水系统的旁流脱盐。

2.6 循环水排污回用处理系统产生的废水处理

循环水排污一般采用双膜法,产生的主要废水有预处理系统的排泥或反洗水、超滤的反洗水、反渗透浓水。

预处理系统的排水、超滤的反洗水可以进到澄清池进行再处理后回收,也可以送入电厂工业废水集中处理系统中进行回收处理。

反渗透浓水处理方式有以下几种:在水质达标情况下,用作过滤器的反洗水;如果电厂采用

水力进行冲灰，可以将反渗透浓水和超滤预处理系统的排泥或反洗水用以冲灰；如果电厂采用干法除灰，建议将反渗透浓水进行二次浓缩，将二次浓缩后的浓水用于干灰加湿或煤场喷淋，如果干灰加湿或煤场喷淋仍消耗不掉，建议在资金允许的情况下，用盐水蒸发器处理二次浓缩后的浓水。

3 工程实例分析

3.1 工程概况

以北京京能热电股份有限公司循环水排污回用处理工程(2006年投产)为例进行分析。工程日处理排污水量1.44万t；电厂循环水补充水源为北京市石景山区的再生水，再生水的主要水质指标：COD_{Cr}为24.0~30.0 mg/L、悬浮物含量为1.5~2.9 NTU、含盐量为697 mg/L；循环水浓缩倍率为2.2倍；循环水排污的主要水质指标：COD_{Cr}为5.6~6.6 mg/L；悬浮物含量为15~20 NTU；含盐量为1560 mg/L(平均值)。

循环水排污回用处理工艺：循环水排污—机械加速澄清池—多介质过滤器—叠片过滤器—压力式超滤—超滤产水箱—升压泵—保安过滤器—高压泵—反渗透—淡水箱；超滤设备：4套，单套出力128 m³/h，回收率90%；反渗透设备：2套，单套出力132 m³/h，回收率70%~75%；反渗透产水的去向：首先满足锅炉补给水处理系统用水需求，多余部分直接补入循环冷却水系统。

3.2 运行情况调查

投产3年以来，电厂循环水一直稳定在浓缩倍率为2.0~2.5倍下运行，循环水系统未发现结垢、腐蚀现象。其循环水排污的回用处理系统自2007年2月投入运营以来，通过1年的运行跟踪得出，澄清过滤系统运行稳定，对有机物的去除率能达到20%~35%，进入超滤的有机物COD_{Cr}为17.4~19.8 mg/L，相当于COD_{Mn}为5.8~6.6 mg/L。

3.2.1 超滤系统

超滤膜配置：超滤膜选用美国KOCH公司的V1072.35.PMC，膜通量为60 L/(m²·h)。

2008年超滤运行数据如表3所示。根据表3

数据，可得出超滤运行期间超滤产水SDI变化如图2所示。从图2可以看出，在长达1年的运行中，超滤产水的SDI值总体在0.5~1.25之间波动，SDI值稳定在1.0左右，说明超滤产水完全能满足反渗透入口水的水质要求。

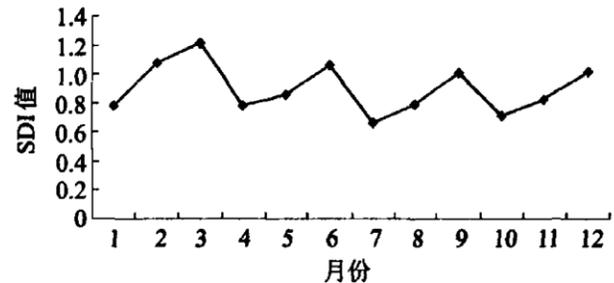


图2 运行期间超滤产水SDI变化情况
Fig. 2 SDI diversification of ultra-filtration water during

运行期间超滤压差TMP变化如图3所示。从图3可以看出，在长达1年的运行中，超滤运行压差TMP平均3个月就达到设计值(1.5 MPa)，应该停机进行化学清洗，清洗后的TMP能恢复到清洗前的水平，化学清洗周期为3个月。

超滤对有机物的去除率统计如图4所示。从图4可以看出，在长达1年的运行中，超滤入口水COD_{Mn}为5.8~6.6 mg/L，平均为6.05 mg/L，出口水COD_{Mn}为5.35~6.00 mg/L，平均为5.45 mg/L，超滤去除COD_{Mn}约为10%，说明超滤对COD的去除率较低，COD的去除需要依靠前面的混凝过滤过程。

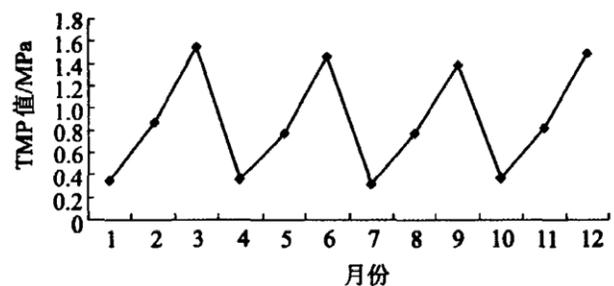


图3 运行期间超滤压差TMP变化情况
Fig. 3 TMP diversification of ultra-filtration pressure difference during operation

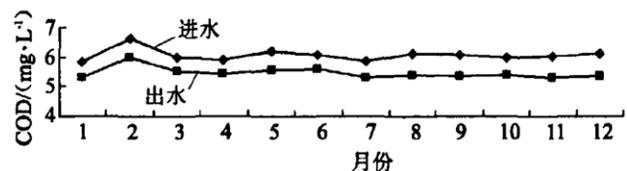


图4 超滤对有机物去除情况
Fig. 4 The organic removal for ultra-filtration

3.2.2 反渗透系统

(1) 反渗透膜配置。每套反渗透设计处理 132 t/h, 按一级 2 段 (20: 12) 排列, 单套采用美国 DOW 公司的 BW30—365FR 抗污染膜 192 支, 膜通量为 18 L/(m²·h)。

(2) 2008 年反渗透运行情况。由于反渗透进水的 SDI 约为 1, 且反渗透选用通量低, 反渗透膜为抗污染膜, 反渗透运行稳定, 脱盐率保持在 97.5% 以上, 产水量基本维持在 115 ~ 132 t/h, 段间压差平均 3 个月上升 0.15 MPa, 1 年总共进行 4 次化学清洗。从清洗循环液的颜色和垢样分析, 反渗透污染主要体现在有机物污染, 清洗后反渗

透的段间压差能恢复到原来的水平, 产水量也能恢复到设计值。

4 结论

以城市污水处理厂的出水经深度处理后作为火电厂机组循环冷却水系统的补充水, 从而替代自然水, 在技术上和工程上都能实现, 城市再生水经深度处理后回用已经成为解决火电厂建设中水源短缺问题的重要途径。

利用城市再生水作为循环冷却水的电厂, 其循环水排污水具有高含盐量、高污染等特性, 回收工艺宜采取“预处理 + 双膜法 (即超滤膜 + 反渗透膜)”处理工艺。

表 3 超滤系统进出水水质测试数据日期
Tab.3 Water quality test data of inlet and outlet water for ultra-filtration system

日期	超滤入口			超滤出口				超滤压差/ MPa	备注
	流量/(t·h ⁻¹)	浊度/NTU	COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	流量/(t·h ⁻¹)	浊度/NTU	COD _{Mn} 含量/(mg·L ⁻¹)	SDI		
2008年1月	135	0.92	5.80	121	0.20	5.30	0.78	0.35	—
2008年2月	132	0.96	6.60	118	0.15	6.00	1.08	0.87	—
2008年3月	124	0.98	6.00	109	0.16	5.50	1.21	1.55	清洗
2008年4月	140	0.89	5.90	126	0.18	5.45	0.78	0.36	清洗后
2008年5月	135	0.91	6.21	121	0.16	5.54	0.86	0.78	—
2008年6月	131	0.93	6.05	117	0.17	5.61	1.06	1.46	清洗
2008年7月	139	0.79	5.87	125	0.13	5.30	0.66	0.32	清洗后
2008年8月	134	0.86	6.10	120	0.17	5.40	0.79	0.78	—
2008年9月	127	0.91	6.06	114	0.19	5.35	1.01	1.39	清洗
2008年10月	137	0.90	6.00	126	0.18	5.37	0.71	0.37	清洗后
2008年11月	135	0.89	6.01	121	0.16	5.32	0.82	0.82	—
2008年12月	131	0.96	6.09	117	0.17	5.35	1.02	1.49	—

参考文献

- [1] 水质标准汇编组, 中国标准出版社第二编辑室. 水质标准汇编 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [2] 中国电力工程顾问集团公司. 再生水深度处理设计导则 [JES]. 北京: 中国电力工程顾问集团公司, 2005.
- [3] 冯敏. 水污染控制技术 [M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [4] 张葆宗. 反渗透水处理应用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [5] 郑大琼, 任钟淳, 王念慎. 为防止水锤现象火

- 电厂循环水系统设计的改进 [J]. 电力建设, 2003, 24(7): 18, 20.
- [6] 王文兵. 电厂循环水处理技术的发展趋势 [J]. 电力建设, 2000, 21(10): 43, 44, 47.
- [7] 吴楠. 发电机组循环冷却水水质的稳定处理 [J]. 电力建设, 2005, 26(11): 20, 21, 24.
- [8] 徐明. 海水用于电厂循环冷却系统的探讨 [J]. 电力建设, 2002, 23(5): 12, 13.
- [9] DL 5000—94 火力发电厂化学专业设计技术规程 [S].
- [10] DL 5000—2000 火力发电厂设计技术规程 [S].

双循环多级水幕吸收塔烟气 除尘脱硫性能研究

田立江^{1,2} 王丽萍^{1,2} 张洁^{1,2} 王春³

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221116; 2. 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 徐州 221116; 3. 中环中国工程有限公司, 南京 210008)

摘要: 以改进后的双循环多级水幕塔对烟气进行除尘脱硫性能的研究, 利用双循环不同 pH 值控制的优点和多级水幕的效果, 增加气液接触面积和传质动力, 提高 SO₂ 吸收效果。在正交实验的最佳运行工况基础上, 实验从烟气流量、上下两段 pH、L/G 和 SO₂ 进气浓度等方面进行单因素研究。结果表明, 除尘效率维持在 98% 以上, 进气 SO₂ 浓度在 5000mg/m³ 以下时, 脱硫率在 93% 以上。上段 pH 值为 6、下段 pH 值为 5、L/G 在 15 左右的脱硫效率和运行工况最佳, 无结垢现象发生。改进后的吸收塔具有良好的应用前景, 实验结果对于现场脱硫设备的调试和运行有很好的参考价值。

关键词: 双循环; 多级水幕; 吸收塔; 除尘脱硫

Research on the characteristics Of flue gas dust removal and desulfurization using double - recycling and multi - stage water film tower

Tian Lijiang^{1,2} Wang Liping^{1,2} Zhang Jie^{1,2} Wang Chun

(1、 School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology , Xuzhou 221116 ; 2、 Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering , Xuzhou 221 1 16 ; 3、 Jiangsu Suyuan Environmental Protection Engineering Co.Ltd. , Nanjing 210008)

Abstract: : The characteristics of flue gas dust removal and desulfurization using modified double - recycling and multi—stage water film tower were studied . In order to increase the SO₂ removal efficiency , the experiment in - creased the contact probability of liquid and flue gas through using different pH control and multi - stage water Single factor ' s research on the flue gas velocity , pH of up and down tower , ratio of liquid and flue gas and inlet SO₂ concentration was carried out . The result shows that the dust removal efficiency is higher than 98% and SO₂ removal efficiency keeps more than 93% if the inlet SO₂ concentration keep less than 5000 mg/m³. There is neither CaSO₃ ' s aggradation nor CaSO₄ ' s aggradation under the best pH condition of 6 and 5 differently , and 15 of L/G. It has favorable future of application , and also has considerable reference worthiness to debugging and running of spot equipment for desulfurization.

Keywords: Double - recycling ; Multi - stage water film ; Absorption tower ; Dust removal and desulfurization

国家环保总局统计的数据表明, 2006 年烟尘排放量 1088.8 万 t, 其中, 工业烟尘排放量 864.5 万 t, 废气中 SO₂ 排放量 2588.8 万 t, 比 2005 年增加 1.5%。中国国民经济和社会发展“十一五”规划纲要明确提出, 到 2010 年, 全国 SO₂ 排放总量

将比“十五”期末减少 10%, 总量必须控制在 2 295 万 t, SO₂ 减排工作任务艰巨, 形势严峻。由于 SO₂ 有 50% 左右来自于燃煤, 燃料燃烧是烟气的主要来源, 而我国工业、采暖锅炉的燃料仍以煤炭为主, 因此对于燃煤系统的烟尘和 SO₂ 排放

控制显得尤为关键。目前除尘技术成熟,脱硫措施也很多,技术可靠、应用最广泛的是石灰石/石膏法,但该工艺存在易结垢、易腐蚀和维护费用高等问题,现场应用受到一定限制^[1, 2]。常用除尘脱硫一体化技术包括湿式、干湿结合和干式三大类,其中湿法除尘脱硫一体化装置应用最广泛,但同样存在结垢、腐蚀等问题^[3]。

本研究所用除尘、脱硫一体化技术核心也是石灰石/石膏法,而为了解决结垢、腐蚀等问题,脱硫塔在常规湿法脱硫塔的基础上加以改进,采用两段式多级水幕进行除尘脱硫,一方面,设计尽量减少塔内构件,只有圆锥体和塔壁导流装置,无堵塞出现,上、下段采取不同pH控制,下段高pH有效提高CaCO₃溶解度,上段低pH有利于SO₂吸收;另一方面,采用多级水幕,增强塔内液体和气体的紊流程度,提高气液接触面积,强化气液接触,最终提高吸收剂对SO₂的吸收效果^[4, 5]。

1 实验装置与测试仪器

实验装置主体的脱硫塔采用8mm厚有机玻璃制作,脱硫塔总高2.4m,吸收塔上段有效高度为1m,下段有效高度为0.6m,吸收塔直径为300mm。除雾器高度为200mm,中心圆锥水平直径为200mm。下段储液池液位高度<400mm,上段储液池液位高度为200mm左右。设计的脱硫塔双

循环多级水幕塔具有内部结构简单、阻力小、无堵塞、不易结垢、CaCO₃利用率高、接触反应面积大和脱硫率高等优点。同时脱硫循环浆液在进入脱硫塔后通过垂直管道直接向脱硫塔内的中心圆锥进行喷射浆液,产生水幕和液滴,避免采用雾化喷头,防止堵塞和腐蚀,也减少了投资费用。实验流程简图如图1所示。

SO₂测试采用碘量法(HJ/T 56-2000),仪器设备包括KC-6120型综合采样器、MODEL868型酸度计、BT00-300M型蠕动泵、B90-D型强力电动搅拌机等。

2 实验结果与讨论

2.1 设备除尘性能测试

实验烟气采用粉煤灰和空气进行模拟,粉煤灰的比重在1.95—2.36之间,松干密度在450—700 kg/m³范围内,比表面积在220—588 kg/m³之间。通过扫描电镜可以观察到粉煤灰的绝大部分粒径范围,从1μm到400μm不等,小颗粒粉煤灰表面为表面光滑的球形颗粒,较大颗粒的粉煤灰(>250/μm)形状不规则。

从实验和图2的数据分析可以看出,双循环多级水幕塔除尘效果非常好,当进口烟尘浓度从1000 mg/m³增加到8000 mg/m³时,出口烟尘浓度仅从1.7 mg/m³上升至93.1 mg/m³,除尘效率维持在98%以上,其原因可以用烟气在塔内的运动

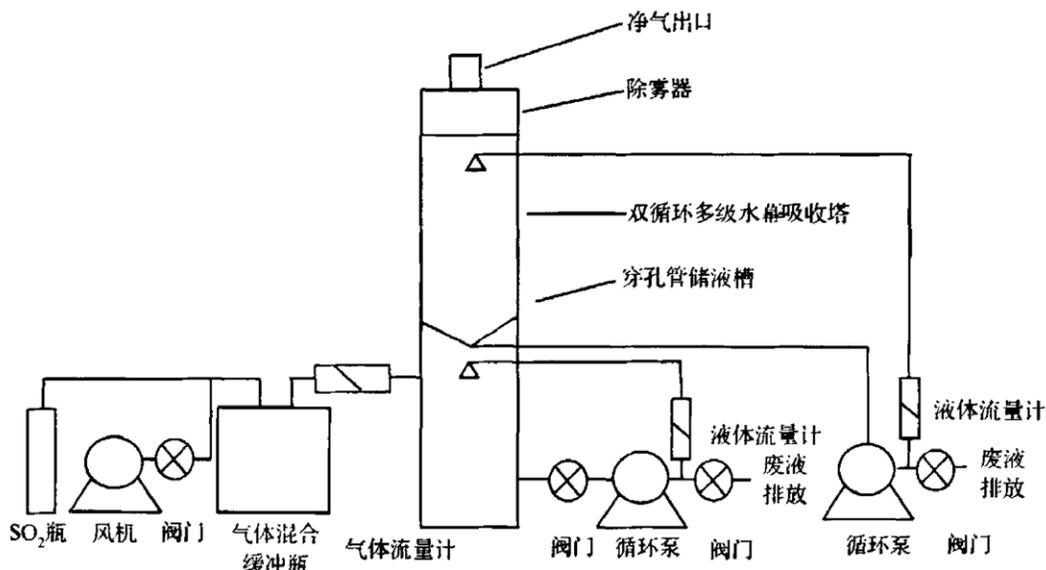


图1 双循环多级水幕塔烟气脱硫流程简图

Fig. 1 Schematic flow chart of double-recycling and multi-stage water film tower for flue gas desulfurization

与液体的接触来解释。烟气在切向进入塔下段时首先与塔内壁的水膜接触，再旋转向上与中心锥体和水幕接触，通过上段贮液槽底部的导流管时又与导流管内壁溢流下的液体进行接触，进入塔的上段后依次与中心锥体和水幕进行多次碰撞(碰撞次数与水幕级数有关)，烟气复杂的运动途径，使粉尘不断与塔内壁水膜、水幕、中心锥体和导流管发生惯性碰撞作用，有效提高粉尘捕集效果。

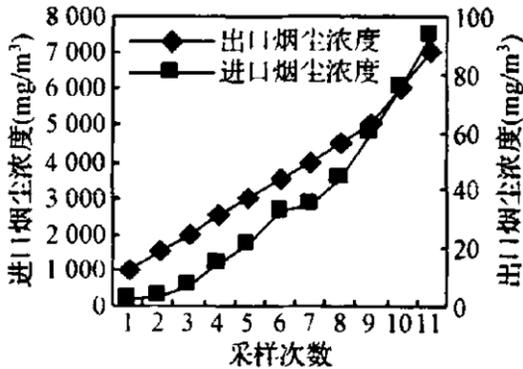


图2 烟气进出口浓度关系图

Fig. 2 Relationship between inlet and outlet flue gas dust concentrations

2.2 脱硫剂选择及脱硫产物利用

本实验采用天津市燕山矿业有限公司提供的石灰石粉作为脱硫剂，颗粒细度为600目(远远高于脱硫要求的细度)，样品的主要成分(质量分数)为：CaO 54.10%，MgO 0.68%，Al₂O₃ 0.58%，Fe₂O₃ 0.22%，SiO₂ 1.20%，烧失量 42.44%，合计

99.22%。石灰石中CaO含量达到54.10%，也即CaCO₃的含量达到了96.54%，脱硫剂品质较好，能够满足脱硫的要求。

由于石灰石细度很高，实验通过调试确定上、下循环新鲜石灰石补充浆液浓度为10%，此时对于上循环浆液的补充量较大，上循环未反应完吸收液和反应产物可通过溢流管直接流入下循环，经过下循环的中心圆锥体和塔壁导流板后进入循环浆液池，保证上循环浆液在储液槽中的停留时间在10 min左右，一方面可以减少上循环池的固体物浓度，防止结垢；另一方面相对较高pH的浆液对下循环浆液pH起到调节作用，减少下循环的新鲜液补充量。流入下循环的反应产物和下循环池中的反应产物通过强制氧化系统的氧化形成品质较好的石膏(实验暂未进行具体研究)，由渣浆泵抽出沉淀，上清液作为吸收液的补充用水，白色晶体状的石膏可以进行商用。

2.3 脱硫正交实验结果与讨论

为验证双循环多级水幕塔脱硫性能，实验首先利用SPSSV13.0软件进行正交实验设计。以SO₂脱除率和CaCO₃利用率为评价指标，由此组成6因素5水平2指标的正交实验表L₂₅⁵₂，如表1所示，拟获得双循环多级水幕塔去除SO₂的优化条件。

表1 正交实验因素及水平表
Table 1 Table of orthogonal factors and levels

水平	因素					
	烟气流量(A) (m ³ /h)	pH 上(B)	pH 下(C)	L/G 上(D) (L/m ³)	L/G 下(E) (L/m ³)	SO ₂ 进口浓度(F) (mg/m ³)
1	55	4.0~4.1	4.0~4.1	10	10	1 000
2	70	4.8~5.0	4.8~5.0	12	12	1 500
3	85	5.4~5.6	5.4~5.6	15	15	2 000
4	100	5.9~6.1	5.9~6.1	18	18	2 500
5	115	6.9~7.1	6.9~7.1	20	20	3 000

通过实验测试，利用极差分析法对实验结果进行分析。某个因素的极差定义为该因素的最大水平平均值与最小水平平均值之差，极差小说明该因素影响小，为次要因素；极差大说明该因素的水平改变时对实验指标的影响大，即为主要因素。通过分析，分别以SO₂脱除率和CaCO₃利

用率为评价指标遴选出的实验最佳方案分别为A₁B₅C₃D₄E₃F₃和A₁B₁C₁D₅E₅F₁。

比较分别考虑脱硫率和石灰石利用率时正交实验遴选出的实验最佳方案A₁B₅C₅D₄E₃F₃和A₁B₁C₁D₅E₅F₁可以发现，除A(模拟烟气流量)因素相同之外，其余5个因素均不相同，如何寻找一

个对2个指标均较好的共同方案对于塔的运行尤为重要。为此,选用多指标分析方法中的综合平衡法进行分析,即对各个因素不同水平与指标的关系进行进一步的测试和分析,即单因素实验研究内容。

2.4 单因素实验结果与分析

单因素实验主要从空塔气速、上下段pH值、上下段L/G和进口SO₂浓度4个方面对脱硫率的影响进行分析,在正交实验基础上对双循环多级水幕塔脱硫运行状况进行研究,为在遴选出的实验最佳方案A₁B₃C₃D₄E₃F³和A₁B₁C₁D₅E₅F₁中寻求该塔的最佳运行工况提供可靠的数字依据。

2.4.1 空塔气速与脱硫率

空塔气速与脱硫率间变化关系实验,确定吸收塔上段pH维持在6,下段pH维持在5,上、下段的L/G都维持在20,因实验设计的有效塔高较低,且保证实验脱硫过程气液接触和反应时间,实验设定的空塔气速较小,在此以风量代替空塔气速进行数据分析,风量从60m³/h变化至30m³/h。实验测试结果如图3所示。

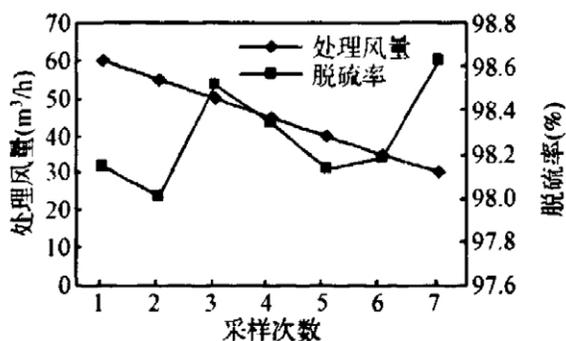


图3 空塔气速与脱硫率之间的关系

Fig. 3 Relation between flue gas velocity and SO₂ removal rate

从图3可以看出,在此实验条件下,空塔气速虽然在逐渐降低,但是脱硫率并没有显著变化,规律也不明显,维持在98.01%—98.63%。出现这种情况的原因是L/G设置为20,塔内液体处于剧烈湍流状态,与含硫烟气充分混合;而且,上、下段的pH值远远满足Ca/S>1的要求,可以确保吸收液有效成分含硫废气的高效吸收。所以,可认为此实验条件下,空塔气速在测试范围内变化对于脱硫率无任何影响^[5]。

2.4.2 上、下段pH与脱硫率

对于两段式脱硫塔,研究上、下2段不同的pH值变化对脱硫率的影响非常关键。为此,在实验中分别对上、下段的pH进行了测试和分析。在对上段pH进行研究时,实验条件为:下段pH为5,L/G为20,烟气量为55m³/h。对下段pH进行研究时,实验条件定为:上段pH为6,L/G为20,烟气量仍为55m³/h。结果如图4所示。

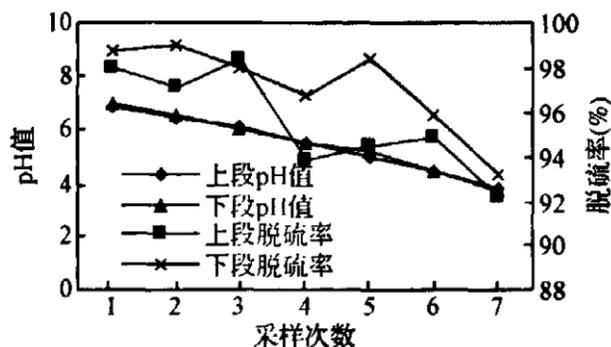


图4 上、下段pH变化与脱硫率间的关系

Fig. 4 Relationship between up and down cycle's pH and SO₂ removal rate

从图4可以看出,随着上段pH从6.9降到3.9,脱硫率变化明显,从98%下降到92%。脱硫率降低的主要原因是:上段pH降低,吸收液中的有效成分CaCO₃的量也相应减少,吸收动力降低,发生有效化学反应的几率也相应降低。下段pH从7.0下降至3.8,脱硫率从99%下降到93%。脱硫率下降的原因与上段脱硫率下降的原因一样^[6,7]。但比较图4中2条脱硫曲线的变化趋势可以看出,上、下段pH变化与脱硫率之间的关系明显不同。其原因分析如下:对于下段,当pH值在5以上时,脱硫率的降低趋势比较缓和,而当pH下降到5以下,脱硫率的降低趋势就更加明显,其原因是当pH在下降的过程中,上段吸收液中CaSO₃、Ca(HSO₃)₂所形成的缓冲溶液具有一定的抗冲击能力。当新鲜液添加量减少时,吸收液中的SO₃²⁻会继续吸收SO₂成为HSO₃⁻,所以吸收液中的HSO₃⁻量就会不断增加,相应的缓冲能力会越来越弱。当溶液中SO₃²⁻全部转变为HSO₃⁻时,溶液就失去缓冲能力,脱硫率会急剧下降,也即图4中出现的变化曲线^[7-9]。

上段pH与脱硫率关系曲线变化比较小,主要原因是进入吸收塔的烟气首先与下段的吸收液

进行作用，由于SO₂浓度较大，吸收过程的推动力也相应较大，经过下段吸收液吸收后的气体才通过穿孔管进入上段，此时的浓度已经有所降低，对上段造成的冲击已经不大，反应推动力的变化也不大，所以脱硫率的下降趋势也比较平缓^[6, 8]。

2.4.3 上、下段 L/G 与脱硫率

处理风量、pH 变化与脱硫率之间的关系实验中，所用 L/G 是在正交实验时确定的最佳值。众所周知，L/G 越小，所需动力也就越小，经济性也越明显，所以在确保脱硫率的前提下，选择的 L/G 越小越好。因此，为了验证吸收塔在其他 L/G 条件下的脱硫率，实验对上、下段 L/G 分别进行了实验，以期找到经济的运行方式。上段 L/G 比与脱硫率实验条件：上段 pH 为 6，下段 pH 为 5，风量为 55 m³/h，

下段 L/G 为 20。下段 L/G 比与脱硫率实验条件：上段 pH 为 6，下段 pH 为 5，风量为 55 m³/h，上段 L/G 为 20^[4]。

分析图 5 可以看出，在其他条件不变的情况下，随着 L/G 的降低，脱硫率都在不断降低，特别是 L/G 降到 10 左右时效率最低，但仍保持在较高水平。效率降低的主要原因有 2 个方面，一个是因为循环液体量减少，吸收液在塔内的湍流程度受限，形成的水幕效果不是很好，导致气液接触几率降低，液相吸收系数降低，最终导致脱硫率下降^[5,6]。另一个原因就是，吸收塔在设计时未对低循环量可能出现的流态问题进行充分考虑，导致在低循环量运行时出现水幕布置不均、局部区域气流短路等现象。

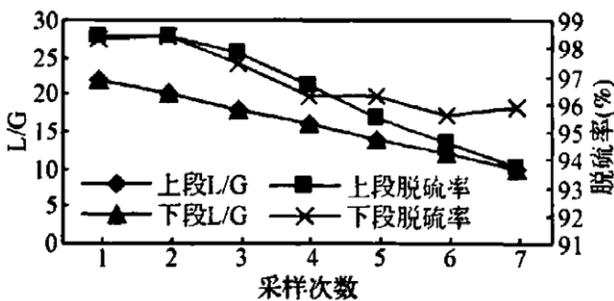


图 5 上、下段 L/G 与脱硫率间的关系

Fig.5 Relationship between up and down cycle's L/G and SO₂ removal rate

2.4.4 进口 SO₂ 浓度与脱硫率

改进后的双循环多级水幕塔在运行过程中表现出较高的脱硫率和缓冲能力，特别是当流量在大范围波动时脱硫率未出现大的变化。为了验证该吸收塔对于不同浓度 SO₂ 的处理能力，实验在不改变 L/G、pH 和风量的前提下，将 SO₂ 浓度从 1000~5000 mg/m³，测试脱硫率的变化情况，实验结果如图 6 所示。

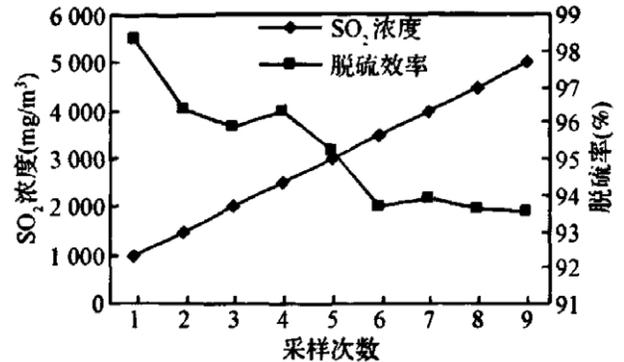


图 6 SO₂ 浓度变化与脱硫率之间的关系

Fig.6 Relation between SO₂ concentration and SO₂ removal rate

从图 6 可以看出，随着 SO₂ 浓度从 1000 mg/m³ 增加到 5000 mg/m³，脱硫率也在不断降低，从 98.38% 下降到 93.53%。脱硫率下降的原因可以利用气液相吸收过程双膜理论中的吸收反应总传质速率方程 $N_A = K_{AC}(P_{AC} - P'_A) = K_{AL}(C'_A - C_{AL})$ 进行理论分析。在实验条件不变的情况下，随着气相 SO₂ 浓度的增加，推动力 $(P_{AC} - P'_A)$ 相应增加，但是吸收液吸收动力 $(C'_A - C_{AL})$ 不变，此时吸收反应受液膜控制，致使吸收液吸收 SO₂ 的阻力增大，单位体积吸收液负荷升高，单位时间内消耗的 CaCO₃ 量增加，吸收液的 pH 也相应降低。为维持液相 pH 不变，需向吸收液中添加更多的新鲜液，但是由于 CaCO₃ 的溶解速度在固定 pH 条件下为定值，此时吸收液中 CaCO₃ 处于过饱和状态，而气液接触面积不变，液相总传质吸收系数 K_{AL} 变。因此，CaCO₃ 溶解度受限导致 SO₂ 气体的吸收反应受限，SO₂ 去除效率降低，但仍保持在较高水平，能够满足处理要求^[4,8]。

通过以上各因素对脱硫率指标和石灰石利用率指标的影响综合分析，得出双循环多级水幕吸收塔最佳操作条件是 A₄B₄C₂D₃E₃F₁ 可以看出，用综合平衡法分析出的最佳实验方案，在已

做 25 组正交实验中并未出现, 按最佳操作条件 $A_4B_4C_2D_5E_5F_1$ 进行验证, 除尘效率 >99%, 脱硫率为 97.8%, 石灰石利用率高于 95%, $Ca/S < 1.05$ 。

3 结论

通过 $L_{25}5^6$ 正交实验, 结果利用极差分析法进行分析, 得出 2 个最佳实验方案, 即 $A_1B_5C_5D_4E_3F_3$ 和 $A_1B_1C_1D_5E_5F_1$ 。选用综合平衡法对 2 个方案进行深入分析, 得出最佳实验方案为 $A_1B_4C_2D_5E_5F_1$ 。同时得出以下结论:

(1) 双循环多级水幕塔的上、下段 pH 值分别控制在 6 和 5, 脱硫率最高; 在满足出口 SO_2 浓度的前提下, 可以适当降低上、下段 pH 值, 可以分别控制在 5 ~ 6 和 4 ~ 5;

(2) L/G 越大, 塔内吸收液实现理想流态, 但是动力费用也越高; 本实验 L/G 在 10 时脱硫率维持在 93% 以上; L/G 数值的选择要兼顾动力费用和脱硫要求。

(3) 双循环多级水幕塔对空塔气速和 SO_2 浓度具有较强的抗冲击能力。空塔气速变化时脱硫率维持在 98.01%—98.63%, 表明在浓度不变的前提下, 吸收塔对于空塔气速的波动具有抗冲击能力。当 SO_2 浓度从 1000 mg/m^3 增加到 5000 mg/m^3 时, 脱硫率仍维持在 93% 以上, 出口 SO_2 浓度为 350 mg/m^3 , 表明该吸收塔对不同 SO_2 浓度烟气具有很强的处理能力。

参考文献

[1] 侯庆伟, 石荣桂, 李永臣, 等. 湿法烟气脱硫系统的 pH 值及控制步骤分析. 山东大学学报 (工学版), 2005, 35(5): 34-40

[2] 苏大雄, 钱枫. 石灰湿法脱硫过程中 pH 条件对结垢的影响研究. 环境污染与防治, 2005, 27(3): 198-200

[3] 何朝晖, 程斌, 胡将军. 燃煤锅炉除尘脱硫一体化技术现状及发展. 湖北化工, 2003, (4): 32-33

[4] 黄波, 王育滨. 石灰石 / 石膏湿法烟气脱硫的影响因素及调试运行注意事项. 东方锅炉, 2005, (3): 9-16

[5] R. Pisani Jr., D. de Moraes Jr. Removal of sulfur dioxide from a continuously operated binary fluidized bed reactor Using inert solids and hydrated lime. Journal of Hazardous Materials, 2004, B109: 183-189

[6] Changga Wu, Soon-Jai Khang, Tim C. Keener, et al. A model for dry sodium bicarbonate duct injection flue gas desulfurization. Advances in Environmental Research, 2004, 8: 655-666

[7] 张启玖, 张瑞明. 石膏湿法脱硫中吸收塔石膏浆液 pH 及液位调节分析. 华北电力技术, 2005, (10): 25-27

[8] Pavel Tesarek, Jaroslava Drchalova, Jiri Kolisko, et al. Flue gas desulfurization gypsum: Study of basic mechanical, hydric and thermal properties. Construction and Building Materials, 2007, 21: 1500-1509

[9] 杨剑, 董凌燕, 刘清才, 等. 烟气脱硫石灰石活性测试装置设计研究. 环境工程学报, 2007, 1(1): 97-98

许继集团牵手国能风电集团 涉足生物质发电

日前, 许继集团与国能风力发电集团在河南许昌签署协议, 双方在共赢发展的基础上, 正式结成战略合作伙伴。此次合作的成功将为双方下一步在生物质发电领域的合作奠定良好基础。

据介绍, 国能风力发电有限公司是由中国电科院和龙基电力公司共同投资设立的, 掌握了兆瓦级垂直轴风电机组的核心技术; 许继集团是国家电力装备行业大型骨干和龙头企业。根据双方达成的战略合作协议, 许继集团和国能风力发电集团将在垂直轴大功率兆瓦级风力发电领域进行深层次合作。许继将为国能提供风机主控系统、变流器系统及相配套电气产品。

垃圾焚烧技术

工业固体废物 CFB 处理技术浅述

陈继辉

(中冶赛迪工程技术股份有限公司 赛迪技术动力研究室, 重庆 400013)

摘要: 环境问题以及由煤、石油、天然气等化石燃料逐年递减所引起的能源替代问题使循环流化床燃烧技术逐渐在工业固体废弃物的回收和利用方面扮演越来越重要的角色。综述了采用循环流化床锅炉燃烧石油焦、油页岩、煤矸石、煤泥、水煤浆、污泥、纸厂废弃物、皮革加工废弃物和废轮胎等工业固废物的国内外研究和应用现状, 指出了目前存在的问题及努力的方向。

关键词: 工业固体废物; 循环流化床; 燃烧

Progress of Industrial Solid Wastes Disposing with CFB Technology

Chen Jihui

(Utilities Department, CISDI Engineering Co., Ltd., Chongqing 400013)

Abstract: With the problems of environment and energy replacement, circulating fluidized bed (CFB) technology is playing a more important role on reclaiming and reusing industrial wastes. The present state of industrial wastes such as petroleum coke, oil shale, sewage sludge, gangue, PDF (packaging-derived fuel), RPF (Refuse Paper and Plastics Fuel), leather waste, etc., combusting in CFB boilers were reviewed. The existing problems and the research tendency were also discussed.

Keywords: Industrial solid wastes; Circulating fluidized bed; Combustion

0 前言

石油焦、油页岩、煤矸石、煤泥、水煤浆、污泥、纸厂废弃物、皮革加工废弃物和废轮胎等废弃物是各种工业生产中所产生的, 产量巨大。随着环保要求的提高, 如何合理地处理这些工业废弃物已经引起全社会的广泛关注, 煤、石油、天然气等化石燃料的不断减少所引起的替代能源寻找问题使人们对这些工业废弃物的转化利用产生了浓厚的兴趣^[1-3]。

在众多的能源转换技术中, 直接燃烧是高效利用各种工业废弃物资源最为切实可行的方式之一。与煤相比, 这些工业废弃物具有热值普遍不高、污染物含量高、成分复杂等特点, 不适合采用传

统的燃烧方式。循环流化床 (Circulating Fluidized Bed, CFB) 燃烧技术由于在替代燃料、处理各种废弃物和保护环境三方面具有其它燃烧技术所无可比拟的独特优势而逐渐受到各国的关注^[4]。因此, 工业固体废弃物在 CFB 锅炉里燃烧的研究与应用现状对其进一步的开发利用以及解决能源和环境问题都将具有十分重要的指导意义。对国内外采用循环流化床锅炉燃烧各种工业固体废弃物的现状进行介绍, 并对未来进行了展望。该文所说的各种工业固体废物是工业生产过程中产生的, 不包括生活废弃物 (即城市生活垃圾)。

1 石油焦 CFB 处理技术

石油焦是石油炼制过程的产物, 主要用于制

作电极和燃料。因为石油焦用于生产电极炭棒所产生的环境问题,将其作为CFB锅炉的燃料是其产量大幅增加后最合适的出口^[5-6]。

研究发现,石油焦的高固定碳含量和低挥发份使其燃烧特性介于烟煤和无烟煤之间^[6],更接近于贫煤。石油焦的含硫量很高(为2%—7%)。目前采用CFB技术主要还是以石油焦和煤的混

烧为主。研究发现,一/二次风比、焦煤比、过量空气系数和Ca/S比的增加都会对降低二氧化硫的排放产生积极作用^[7]。而且,燃烧存在一个和普通燃煤CFB锅炉类似的最佳脱硫床温(-8500C)。腐蚀和结焦是燃烧石油焦锅炉特别需要注意的问题。石油焦中的硫、氮、钒、镍等元素,是造成锅炉受热面腐蚀的主要原因^[8]。研究发现,增加石灰石的入炉量不仅可以增强脱硫的效果,而且还可以扑捉钒于灰渣中。

从上世纪80年代初开始,美国、法国、芬兰、日本、瑞典、土耳其、俄罗斯、印度等国家就先后利用CFB燃烧技术处理石油焦,也获得了许多宝贵运行经验。美国佛罗里达州的300MWe、法国Provence250MWe、FW公司Niseo125MWe、我国上海石化热电总厂2台310 t/h和中石化集团镇海分公司2台220 t/h等燃烧石油焦CFB锅炉的运行经验都说明,CFB锅炉对于燃用像石油焦这样的低挥发份、高硫份的固体燃料来说是可行的,并具有明显的优越性(尤其是在气体排放方面),但循环回路内床料的成团、堵塞以及飞灰含碳量偏高的问题还有待解决^[9-11]。

2 污泥CFB处理技术

污泥主要是指工业污水和生活污水在处理过程中产生的浆状垃圾,含有大量的病菌、重金属和多氯联苯等有害物质。随着经济的快速发展和人口的迅速增长,污泥的产生量正急剧增加^[12-14]。如何合理地处理总量巨大的污泥,实现其减量化、无害化和资源化,已经成为一个非常重要且迫切需要解决的环保问题。综合现有各种处理技术,采用CFB技术的焚烧法是目前处理污泥的首选。然而,污泥的高水分、低热值特性决定了其不利于单独进行燃烧。将经过干燥的污泥与其他高热

值燃料混合,在CFB锅炉里燃烧进而产生热水、蒸汽或继续转化为电能的方法是污泥处理的重要方向。

2.1 污泥与煤在CFB锅炉里的混烧

污泥与煤在CFB锅炉里混烧是目前人们关注的重点。研究发现,不仅污泥与煤混烧后的着火特性良好,燃烧效率较高(95%左右),而且燃尽特性也优于污泥单独燃烧时的情形^[15,16]。当然,为了最大限度的降低污泥高含水率对燃烧稳定性的影响,污泥的含水率和混烧率分别应控制在30%—60%和25%—100%范围内^[17]。由于污泥本身含有较多的重金属,混烧后的底渣里亦含有Cd、Cr、Cu、Mn、Zn等。值得注意的是,底渣中不含有Hg,Hg主要存在于飞灰里,另一部分以气态形式排出。可以庆幸的是,这些重金属的排放量都在欧洲联合会规定的范围之内^[18-19]。和普通燃煤CFB锅炉类似,污秽煤热值比、一/二次比、过量空气系数和床温都对混烧时二氧化硫和氮氧化物等气体的排放浓度有重要影响。其中,为了获得较为满意的气体排放效果,建议污泥/煤热值比不超过25%^[20-21]。

2.2 污泥与林业废弃物在CFB锅炉里的混烧

林业废弃物主要是指林业生产与加工过程中所产生的木屑、树皮等废弃物。对于与污泥在CFB锅炉里混烧来说,它是一种燃烧特性优良的辅助燃料^[22-23]。

研究发现,污泥与林业废弃物在CFB锅炉里混烧时的金属排放特性与污泥和煤混烧类似,但具体原因还有待进一步研究。丽二者混烧后气体排放特性主要受污泥中氮、硫和氯等成分的影响^[18,24-25]。值得注意的是,锅炉内石灰石量的增加可以极大地降低二氧化硫的排放量,而这一点在普通CFB锅炉上是无法做到的,其原因尚待研究^[20]。此外,分级送风对林业废弃物这样高挥发份燃料气体排放的控制效果并不明显,目前原因尚不清楚。

虽然污泥与林业废弃物在CFB锅炉里混烧还有一些问题需要进一步研究,但笔者认为,目前现有的结果已经肯定了这种混烧方式的可行性。

2.3 污泥与与其他燃料在 CFB 锅炉里的混烧

除常见的煤和林业废弃物外,橄榄饼也可以作为与污泥混烧的燃料。研究发现,与煤、林业废弃物的混烧相比,污泥与橄榄饼在 CFB 锅炉里混烧,能够在取得更好的金属排放和气体排放效果的同时,锅炉也保持着较高的燃烧效率^[17]。

3 煤泥/水煤浆 CFB 处理技术

与污泥相比,煤泥和水煤浆因燃烧效率高、污染物排放低而受到世界各国的热切关注。目前,多数发达国家及我国均有采用 CFB 锅炉燃烧煤泥的成功经验^[26]。

法国艾米路希电厂是世界上非常成功的煤泥水煤浆用户,自 1990 年以来,该厂 367 t/h 循环流化床锅炉一直燃用水煤浆,燃烧效率达到 98%。FW 公司 Vaskiluodon 125MWe 燃用纯泥煤的循环流化床锅炉,1990 年投产,运行状况良好。我国首台掺煤泥的 130t/h 循环流化床锅炉于 2002 年年底在山东宁阳华丰热电有限公司正式投入运行,其掺烧煤泥量在 60% 以上,各项运行参数均达到设计指标。济南锅炉厂利用循环流化床锅炉技术开发的燃用煤泥 75 t/h CFB 锅炉已成功运行一年多,经济效益和社会效益明显^[27]。这些实例都说明了采用 CFB 锅炉来燃烧煤泥、水煤浆是一种很好的选择。

当然,煤泥、水煤浆的使用还存在以下一些问题:粘性大,装卸和运输困难;易凝聚结团,难以组织合理的燃烧;水分高,难以维持床温,不利于着火和燃烬等^[27]。这给运行人员提出了更高的要求。

煤泥与煤、或煤矸石混烧是解决上述问题的一种有效方法^[28-29]。在保证燃烧效率的前提下,煤与煤泥在 CFB 锅炉里混烧能够得到更好的温度分布。Leekner B 等^[30]及 Gao HP 等^[31]指出:当煤泥的质量分数不超过总质量的 25% 时,各种有害气体的排放就可以达到环保要求。Gao HP 等还指出,综合考虑对燃烧效率、SO₂ 和 NO 的排放、飞灰的阻力值以及从炼油厂去除废渣的能力这几个方面的影响,煤泥/碳存在一个最优的混合比例(本实验推荐为 1: 4)。而混烧比例的确定,还

有待进一步研究。

将煤泥、水煤浆加工成型煤是采用 CFB 锅炉燃烧煤泥、水煤浆的发展方向。添加了脱硫剂、助燃剂的型煤具有尺寸均一、能完全烧透、不易结渣等优点,十分适合在 CFB 锅炉里燃烧。美国、荷兰、法国、俄罗斯、韩国和日本等国均有成熟的型煤制造技术,我国型煤技术也已达较高水平^[32]。

4 油页岩 CFB 处理技术

油页岩是一种高灰分、高挥发分、低热值的劣质燃料,储量十分丰富。它着火容易、燃尽困难等燃烧特性决定了采用循环流化床燃烧方式来燃烧油页岩是非常合适的。目前,美国、德国、俄罗斯、爱沙尼亚、以色列等国家采用 CFB 锅炉燃烧油页岩的研究较多,并且有油页岩循环流化床电站锅炉的成功运行经验。我国虽然也有油页岩循环流化床锅炉电厂成功运行的经验,但相关的基础研究还不够深入^[33-35]。

油页岩作为燃料的最大优势是它的钙硫比高,并且含有多种金属氧化物,这些金属氧化物也具有脱硫作用,因而油页岩有很强的自脱硫能力。与普通 CFB 燃烧相比,达到同样的 SO₂ 排放标准可以节约大量的石灰石^[36]。

实践证明,采用 CFB 锅炉来燃烧油页岩,总体上的效果是好的。然而,一些问题也不能被忽视:大颗粒油页岩燃尽困难,燃烧中应注意采用合适措施使其燃尽;另外,油页岩具有严重的结渣倾向,故应注意控制燃烧温度^[37]。这些问题还有待进一步研究。

当前,油页岩循环流化床锅炉电站的规模还比较小,进一步研制、开发出性能优越的超高压油页岩大型循环流化床电站锅炉是油页岩大规模能源利用亟待解决的关键课题。

5 其他工业固体废物 CFB 处理技术

与石油焦、污泥、煤泥、油页岩相比,各种包装废弃物 PDF(packaging—derived fuel)、废纸和废塑料 RPF(Refuse Paper and Plastics Fuel)、皮革加工废弃物等工业生产过程产生的废弃物的产量很小。目前国内外对这些废弃物一般是采用填埋和原始焚烧的处理方式,而采用循环流化床燃烧

技术进行回收利用的非常少^[38-39]。随着这些废弃物产量的增加、环保要求的提高以及 CFB 燃烧技术在处理其他废弃物实践的不断成功,人们也开始把目光转向采用 CFB 燃烧技术来处理这些废弃物^[40]。

5.1 PDF 和 RPF 在 CFB 锅炉里的燃烧

目前,人们对 PDF 和 RPF 在 CFB 里的燃烧特性进行了一定的研究。Watanabe S 等^[41]通过研究指出,CFB 锅炉燃用 PDF 和 RPF 是可行的。但是,高温腐蚀和碱性元素的沾污结渣作用必须得到足够的注意。

Helena M 等^[42]及 Toshiyuki S 等^[43]将 PDF 和 RPF 与其他燃料(煤、木屑、煤泥)混合后,在 CFB 锅炉里进行了燃烧试验。结果发现,这种混合燃烧在技术上是可行的,并且可以得到较高的燃烧效率。气体排放方面,除 HCL 外,其他气体排放均满足要求。而重金属排放的研究尚未展开。

5.2 皮革加工废弃物在 CFB 锅炉里的燃烧

皮革加工工业废弃物具有高热值(12.5—21 MJ/kg)、高挥发份(76.5%)的特点,非常适合燃烧,但目前人们对它在 CFB 锅炉里的燃烧特性研究的还很少^[44]。

Bahilb A 等^[45]研究发现:虽然皮革加工废弃物有着很高的含氮量(14%),但是由燃料氮向 NO_x 和 N₂O 的转化率却非常低。同时,分级燃烧也不会使 NO_x 的排放量降低。这些现象的原因有待进一步研究。另外,由于皮革加工废弃物含有很高的铬(在灰中约占 3.2%),因此,其燃烧后重金属的排放(特别是铬的排放)是需要重点关注的^[46]。

6 存在的问题及展望

(1) 国内外对采用 CFB 锅炉燃烧各种工业固废物的可行性持肯定态度,但研究力度区别明显:

对煤矸石、石油焦、污泥、煤泥、水煤浆和油页岩研究的较多,而对 PDF、RPF、皮革加工废弃物等的研究相对较少。

(2) 石油焦 CFB 锅炉运行效果较好,但床料的成团堵塞与飞灰含碳量高的问题仍待解决。

(3) 采用 CFB 锅炉燃烧污泥、煤泥、水煤浆这

类含水多的泥浆状物质,独烧效果远不如混烧好。这是各国学者的共识。但是,还应加强在混烧辅助燃料选择上的研究力度。煤矸石产量大且有较成熟的运行经验,而生物质燃料(林业、农业废弃物)又具有挥发份高有利于燃烧的特点,这两类物质应重点关注。

(4) 对皮革加工工业废弃物、PDF 和 RPF 等产量较少的工业废弃物,可以作为辅助燃料并采取集中处理的方法,以达到废物回收利用和环保双重效果。

(5) 混合废弃物成型燃料是未来废弃物作为 CFB 锅炉燃料的发展方向。然而,各种废弃物种类繁多,寻找出混合成型后燃烧特性优良的废弃物组合形式将是决定能否实现合理充分利用各种废弃物的关键。这需要在混合物的选择(包括废弃物燃料、助燃剂、脱硫剂以及其他形式的添加剂等)、成型机理、金属及气体排放、混合比例的确定等方面进行一系列的研究。

(6) 目前,各国对采用 CFB 锅炉燃烧工业固体废物所产生的腐蚀问题认识还不够深刻,应该在腐蚀机理、腐蚀区域以及相应的对策上进行全面的研究。

(7) 分级送风对控制木材、污泥等高挥发份燃料燃烧的气体排放效果不明显,其原因尚待进一步的研究。

(8) 我国虽然已经基本掌握了 300 MW 及以下各种容量级循环流化床锅炉的设计和制造技术,但是以工业固体废物为燃料的 CFB 锅炉的应用才刚刚开始,还应继续进行深入的基础研究和现场试验研究。

(9) 国内外对采用 CFB 锅炉燃烧工业固废物的研究主要集中在燃烧效率、污染物排放和灰渣含碳量等经过测量就可以得到相关结果的相对容易实现的研究上,而对炉膛内废弃物燃料(或混合燃料)的流动、燃烧等机理性的研究进行的比较少。如果能够掌握工业固体废物在 CFB 锅炉里的流动与燃烧机理,将会对 CFB 锅炉在工业固体废物燃烧中的应用起到非常大地促进作用。

(10) 燃料特性对循环流化床锅炉的设计与运

行有很大影响,而关于CFB焚烧工业固体废物数值模型方面的研究目前还很少见。如果能够对工业固体废物在CFB锅炉的燃烧进行充分的数值研究也将会极大地促进CFB锅炉在工业废弃物处理中的应用。

参考文献

- [1] Gross R, Leach M, Batten A. Progress in renewable energy[J]. Environ Int, 2003, 29(1): 105-122.
- [2] 陈继辉, 卢晴风, 刘汉周. 城市生活垃圾循环流化床处理技术的研究进展[J]. 燃烧科学与技术, 2006, 12(5): 473-479.
- [3] Wolski N, Miner J, Hein K R G. Fine particulate formation from co-combustion of sewage sludge and bituminous cod[J]. Fuel Process Technol, 2004, 85(6-7): 673-686.
- [4] 骆仲泱, 何宏舟, 王勤辉, 等. 循环流化床锅炉技术的现状及发展前景[J]. 动力工程, 2004, 24(6): 761-767.
- [5] 谭德见, 陈继辉, 游立科. 石油焦循环流化床处理技术的研究进展[J]. 锅炉技术, 2007, 38(4): 35-38.
- [6] Zhang C L, Yuan G C, Uu D C, et al. An experimental study of the gaseous pollutant emissions in petroleum coke fired fluidized beds[C]. 17th International Conference on fluidized Bed Combustion. Jacksonville: United States. 2003: 267-271.
- [7] Mi T. Wu Z S, Shen B X. An experimental study of combustion characteristics of petroleum coke[J]. Dev Chem Eng and Miner Process, 2002, 10(5-6): 601-614.
- [8] Zhao C s, Wang W X, Wang, F J, et al. Emission control of gaseous pollutants from co-firing of petroleum coke and coal in CFB[c]. 17th International Conference on fluidized Bed Combustion. Jacksonville: United States. 2003: 925-934.
- [9] Le G T, Thomas P, Bencteux G, et al. Feedback of petroleum coke combustion and fuel flexibility at the Provence250 MWe CFB[J]. VGB Power Tech, 2003, 83(9): 96-99.
- [10] Le GT, Thomas P. Fuel flexibility and petroleum coke combustion at Provence 250 MW CFB[C]. 17th International Conference on Fluidized Bed Combustion. Jacksonville: United States, 2003: 643-649.
- [11] Abdually I F, Navazo R. Update of waste fuel firing experience in foster wheeler circulating fluidized bed boilers [J]. American Society of Mechanical Engineers, Fuels and Combustion Technologies Division(Publication) FACT, 1993(16): 95-112.
- [12] Hartman M, Svoboda KVPohorely M, Tmka O. Combustion of dried sewage sludge in a fluidized-bed reactor [J]. Ind and Eng Chem Res, 2005, 44(10): 3432-3441.
- [13] 黎兵, 谭德见, 黄永军等. 污泥循环流化床焚烧技术的研究进展[J]. 电站系统工程, 2007, 23(1): 5-8.
- [14] Tsai M Y, Wu K T, Huang C C, et al. CO-firing of paper mill sludge and coal in an industrial circulating fluidized bed boiler[J]. Waste Manage 2002, 22(4): 439-442.
- [15] 苏胜, 李培生, 孙学信, 等. 污泥基本特性及其与煤混烧的热重研究[J]. 热力发电, 2004(9): 69-73.
- [16] Toraman OY, Topal HVBayat O. Emission Characteristics Of Co-combustion Of Sewage sludge with Olive Cake and Lignite Coal in a Circulating Fluidized Bed[J]. J Environ Sci and Heal-Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, April 2004, 39(4): 973-986.
- [17] 吕清刚, 李志伟, 那永洁, 等. CFBC混烧城市污泥与煤: N₂O和NO的排放[J]. 工程热物理学报, 2004, 25(1): 163-166.
- [18] Amand L E, Leckner B. Metal emissions from co-combustion of sewage sludge and cod/wood in fluidized bed[J]. Fuel, 2004(83): 1803-1821.

[19] Gulyurtlu I, Helena lopes M, Abelha P, et al. The study of partitioning of heavy metals during fluidized bed combustion of sewage sludge and coal[C]. 17th International Conference on Fluidized Bed Combustion. Jacksonville: United States. 2003: 369—375.

[20] Leckner B, Amand L E, Lucke K, et al. Gaseous emissions from co-combustion of sewage sludge and coal / wood in a fluidized bed [J]. Fuel, 2004, 83(4-5): 477-486.

[21] Arenillas A, Garcia, R Sun C G, et al. Use of nitrogen stable isotope analysis to understand char nitrogen evolution during the fluidized bed co-combustion of coal and sewage sludge[J]. Energy and Fuels, 2005, 19(2): 485-488.

[22] Leckner B. Co-firing of wastes and biofuels with coal [C]. 5th International Symposium on Coal Combustion, Nanjing: China, 2003, 1-7.

[23] Roper B, Kipshagen F J. Operational experience with sewage sludge and waste wood co-combustion in

the Berrenrath power plant[J]. VGB Power Tech, 2003, 83(8): 60—64.

[24] Amand L E, Leckner B, Svard S H, et al. Co-combustion of pulp—and paper sludge with wood—Emissions of nitrogen, sulphur and chlorine compounds[c]. 17th International Conference on Fluidized Bed Combustion, Jacksonville: United States. 2003: 871—882.

[25] Amand LE, Leckner B, Hansson L, et al. Co-combustion of municipal sludge with wood/coal in CFB—Enrichment of phosphorous and cadmium in ashes [C]. 17th International Conference on Fluidized Bed Combustion. Jacksonville: United States. 2003: 883—91D8.

[26] Nadziakiewicz J, Koziol M. Co-combustion of sludge with coal [J]. Appl Energ, 2003, 75(3-4): 239—248.

[27] 殷庆勇, 蔡祥义, 张修平, 等. 煤泥循环流化床锅炉的问题及对策 [J]. 区域供热, 2005(1): 43—45.

国电龙源公司承建项目获阶段性进展

4月上旬,公司多个项目以精细化施工为目标,以安全文明为保障,攻坚克难,加班加点,项目取得阶段性进展,为后期工作开展争取了宝贵的时间。

福溪1号吸收塔防腐顺利通过六级验收

4月16日,为期20天的四川福溪项目1号吸收塔衬胶防腐工程全部完工,并于第二天顺利通过六级验收。在喷砂、衬胶防腐作业中,项目部克服福溪雨水多、湿度大、场地狭小等困难,利用晴天在输煤栈桥底部晾晒胶板,并盖上彩钢板、防火毡布严格防护,同时配备足量的临时灭火器及专人巡逻。工程执行中,项目部严格遵照中电投现场文明施工的标准,并最终一次顺利通过验收,以高质量工程水准赢得业主认可。

左权1号吸收塔成功封顶

4月10日下午,左权项目2台66万千瓦脱硫

机组1号吸收塔最后一圈壁板顺利安装就位,成功封顶。

左权项目吸收塔设计总高度达49.656米。前期准备阶段,项目部在山路陡坡多、低温天气运输条件恶劣的情况下,通过与施工单位沟通,一次性采购吸收塔的原材料,并积极采取冬季施工安全措施,保证了一号吸收塔安装的进度和质量,顺利完成封顶工作。

长春脱硝钢架顺利吊装

4月9日上午,国电吉林龙华长春热电一厂2台35万千瓦机组脱硝装置首根钢架立柱顺利就位,长春项目脱硝工程正式开工。长春热电脱硫工程由于场地狭小、导致脱硝施工场地被长期占用,经公司领导、项目部与甲方多方协商,终于确定开工日期。首根脱硝钢架的顺利吊装为长春一热项目奠定了良好开端。

环境分析监测

国际气候变化问题谈判与中国的应对

黄新卉¹, 黄福彦², 余庆贺²

(1. 中国人民大学国际关系学院 北京; 2. 山东省三河口矿业有限责任公司 山东济宁 277605)

摘要: 随着全球气候的变化, 世界上任何一个单一国家行为体都无法独自应对全球气候变化, 如今, 气候变化问题由最初的科学问题演变为环境、科技、经济、政治和外交等多学科领域交叉的综合性重大战略问题, 需要开展广泛的国际合作, 实现人类社会的可持续发展。

关键词: 《斯德哥尔摩宣言》; 《联合国气候变化框架公约》; 《京都议定书》; 巴厘岛路线图 坎昆决议 矛盾 责任 和谐发展

International negotiations on climate change issues to deal with China

Huang Xinhui¹ Huang Fuyan² Yu Celebrate²

(1. Institute of International Relations, Renmin University of China Beijing ; 2. Sanhekou Shandong Mining Co., Ltd. Jining, Shandong 277605)

Abstract: With the global climate change, the world of any single state actors can not alone address global climate change, and now, climate change, the evolution from the initial scientific issues for the environmental, technological, economic, political and diplomatic and other cross-disciplinary fields Comprehensive major strategic issues, a need for broad international cooperation to achieve sustainable development of human society.

Keywords: "Stockholm Declaration"; "United Nations Framework Convention on Climate Change"; "Kyoto Protocol"; Bali road Tukan Kun conflict resolution; responsibility for the harmonious development of

20世纪以来, 以全球变暖为主要特征的全球气候变化已引起世界各国的普遍关注, 从《斯德哥尔摩宣言》到《联合国气候变化框架公约》, 从《京都议定书》到“巴厘岛路线图”, 再到2010年底的联合国坎昆气候变化大会, 气候变化问题由最初的科学问题演变为环境、科技、经济、政治和外交等多学科领域交叉的综合性重大战略问题。世界上任何一个单一国家行为体都无法独自应对全球气候变化, 需要开展广泛的国际合作, 实现人类社会的可持续发展。虽然在国际气候变化谈判的过程中, 各国达成了许多共识。但由于气候变化问题涉及到国家利益、权力分配等诸多复杂问题, 国际气候谈判逐渐陷入僵局。由于中国对

全球气候变化的影响日益突出, 中国在国际气候变化谈判中的政策和立场越来越引起国际社会的广泛关注。

1 气候变化谈判中的大事件

环境保护最早引起全世界的关注是在上世纪70年代, 从那时算起, 气候变化谈判已经走过了40个春秋。从《斯德哥尔摩宣言》到哥本哈根气候变化大会, 国际社会共同应对气候变化的漫漫征程, 始终处于坎坷与希望的交织中。

1.1 《斯德哥尔摩宣言》

1972年通过的里程碑式的文件——《斯德哥尔摩宣言》, 标志着环境问题正式提上了国际社会的议事日程。当时环境问题的讨论还主要是发

达国家参与，发展中国家的工业化道路大都还没有开始。根据《斯德哥尔摩宣言》，1973年联合国成立了“环境规划署”，气候问题正式进入联合国工作范围。此后在联合国的推动下，在70到80年代关于气候问题的国际会议和国际协议大量出现。

1.2 《联合国气候变化框架公约》

1992年6月，联合国环境与发展大会在巴西里约热内卢召开。此前一个月通过的《联合国气候变化框架公约》在会议期间正式开放签字，《联合国气候变化框架公约》是世界上第一个为全面控制温室气体排放、应对全球变暖的国际公约，确认了发达国家和发展中国家在应对气候变化中“共同但有区别的责任原则”。但会议未能就发达国家应提供的资金援助和技术转让达成具体协议，其留下的资金支持额度和技术转让等具体问题至今没有完全解决。

1.3 《京都议定书》

自1995年开始，气候谈判开始围绕《京都议定书》展开，议定书也最终在1997年通过。37个发达国家在《京都议定书》中承担减排义务，而发展中国家并不承担减排义务。《京都议定书》规定了第一承诺期(2008-2012)主要工业发达国家的温室气体量化减排指标，并要求它们向发展中国家提供减排所需的资金及技术支持。在2002年，各国达成了《马拉喀什协议》，作为《京都议定书》的实施细则。2005年《京都议定书》开始生效。

1.4 “巴厘岛路线图”

从2005年开始，国际社会开始了《京都议定书》第二承诺期的谈判。2007年巴厘岛谈判制定了“巴厘岛路线图”，启动了当前的“双轨制”谈判，分别是《联合国气候变化公约》下的长期合作特设工作组和《京都议定书》特设工作组。“巴厘岛路线图”确认了为阻止人类活动加剧气候变化必须“大幅度减少”温室气体排放，为应对气候变化新安排举行谈判，谈判期为2年，应于2009年前达成新协议，以便为新协议定在2012年底前生效预留足够时间，2008年计划举行四次有关气候变化的大型会议等原则。

1.5 《哥本哈根协议》

《哥本哈根协议》规定全球气温升幅应限制

在摄氏2度以内，全球温室气体排放量应尽快封顶，但无定下年限。各国在2010年2月1日前，向联合国提出2020年减排目标。未提及2050年减排目标。所有新兴经济体必须自我监察减排进度，并每两年向联合国汇报。发达国家将在2020年起，向发展中国家及小岛国等提供1,000亿美元援助。未提及资金来源及使用方向。《哥本哈根协议》不是法律公约，但它还是为今后的谈判打下了基础。

1.6 坎昆决议

12月11日闭幕的坎昆联合国气候大会达成了“坎昆决议”，此项决议包括：推迟到2011年达成一项用以取代《京都议定书》的协议；承认目前各方作出的承诺不足以缓解气候变化；要求富裕国家到2020年每年投入1000亿美元；达成一项旨在遏止毁林的协议；将各国在哥本哈根会议上达成的减排协议纳入联合国决议当中。

2 气候变化谈判的焦点问题

2.1 “共同但有区别的责任”

发达国家和发展中国家在气候变化问题上承担“共同但有区别的责任”是《联合国气候变化框架公约》中明确规定的原则。这涉及到气候变化谈判中的公平问题。由于各国都是从维护国家利益的角度出发来理解“共同但有区别的责任”，所以在这个问题上发达国家和发展中国家、发达国家之间都存在着较大的分歧。

2.1.1 发达国家与发展中国家之间的矛盾

发展中国家认为，气候变化是由发达国家在其工业化进程中排放大量温室气体造成的，因此气候变化造成的损失应由发达国家承担，并且发达国家有充足的资金和先进的技术保证减排目标的实现。发展中国家的首要任务是发展经济，并且发展中国家历史累计排放有限，不愿过早承诺减排和限排。而发达国家却认为就目前技术而言，很难评估由人类活动引起的气候变化造成的影响，很难评估适应气候变化的成本和效益。发达国家特别是美国认为像中国和印度这样的发展中国家已经成为最主要的排污大国，理应承担减排任务。没有发展中国家的参与，全球温室气体排放很难得到有效控制。因此发达国家和发展中国家在“共同但有区别的责任”问题上喋喋不休，发达国家

压发展中国家承担减排任务，这是气候变化谈判陷入僵局的一个重要原因。

2.1.2 发达国家之间的矛盾

在气候变化谈判的过程中，不仅发达国家和发展中国家之间存在矛盾，发达国家之间也并没有就减排目标和途径达成共识。发达国家之间的矛盾主要表现在以美国为首的伞形国家集团和欧盟之间。

伞形国家集团以美国为首，包括日本、加拿大、澳大利亚、新西兰、挪威、瑞士、冰岛、俄罗斯和乌克兰。这些国家多为能源消耗大国，均赞成弹性机制，通过排放贸易减缓本国减排压力，看重灵活机制的作用，主张对灵活机制的作用不加任何限制，反对立即采取温室气体减排措施。而欧盟各国由于在可再生能源领域的技术优势较强，因此积极推进气候变化谈判，强调气候变化的负面影响，力求促进温室气体减排。欧盟将自己视为应对气候变化的领导者。它认为，全球气温的上升幅度，应该不超过工业化前2摄氏度，这样才不至于带来灾难性的后果。此外，欧盟还呼吁发达国家帮助发展中国家应对气候变化。欧盟在气候变化谈判中的高调姿态与伞形国家集团相对消极的态度形成了鲜明对比。

2.2 减排目标和减排计划

《联合国气候变化公约》的最终目标是“将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上。这一水平应当在足以使生态系统能够自然地适应气候变化、确保粮食生产免受威胁并使经济能够可持续进行的时间范围内实现”。这一目标并未明确究竟要将大气中的温室气体稳定在什么浓度水平上，因此各国在这一目标上存在较大分歧。

各国的具体减排目标各不相同，美国承诺2020年温室气体排放量在2005年的基础上减少17%。这约为在1990年基础上减排4%。欧盟无条件承诺到2020年将温室气体排放量较1990年减少20%以上，同时承诺抬高减排幅度至30%。日本将把减排目标定为在1990年的基础上对温室气体减排25%。中国则承诺在2020年前，把单位国内生产总值温室气体的排放量，较2005年减少40%至45%。各国通常指责别国减排量少，在各

国应该减排多少的问题上很难达成一致意见。

2.3 资金支持和技术转让

按照《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》的要求，发达国家要为发展中国家提供额外、充足的资金和技术支持。但发达国家究竟应该为发展中国家提供多少资金援助至今仍未达成一致意见。并且直到今天发达国家并没有在资金支持和技术转让方面作出实质性承诺和切实行动。

据估计，在2020年前，发展中国家为减排和适应气候变化的灾难性影响，每年需要约1000亿欧元的资金援助。在资金和技术转让方面，发展中国家对发达国家寄予厚望，但在哥本哈根大会上，发达国家却只承诺在2012年前拿出100亿美元资金支持发展中国家。100亿美元听起来很多，其实全球人均也就是不到两美元，在应对气候变化上根本起不到太大的作用。

3 中国的应对措施

随着中国经济发展水平的不断提高，对气候变化问题认识的不断深化，中国对气候变化谈判的参与程度也在不断加强。同时，中国作为世界上最主要的排污国之一，中国在气候变化问题上承担的国际压力也越累越大。部分发达国家要求把中国纳入实施大量减排的国际协议，并按国际社会的标准承担减排义务。因此，中国应该采取更加积极的措施来应对气候变化谈判。

3.1 坚定立场，积极参与气候变化谈判，但要量力而行，不明确承诺减排义务。

在当今国际社会，适应和应对气候变化已成为世界各国的共识。因此，积极主张应对气候变化就能得到国际社会的支持和认同。中国应该明确应对气候变化的立场，承诺采取有效措施减少污染物的排放，争取在气候变化谈判中的主导权，树立负责任的大国形象。

与此同时，我们还应该清醒地认识到中国还是一个发展中大国，还面临着反贫困和发展经济的巨大压力，能源结构还很不合理，节能减排的资金短缺，技术落后。此时如果明确承诺减排目标，势必会对经济发展产生不良影响。此外，《京都议定书》也没有为广大发展中国家规定具体的减排或限排任务。然而，不承诺减排目标并不等

于不承担义务，中国已经通过编制温室气体排放清单等措施较好的履行了减排义务。中国通过调整产业结构，开发新能源和可再生能源，植树造林等多项措施为减缓全球气候变化做出了重要贡献。不承诺减排目标正是为了负起国际和国内双重责任，轻率承诺与自身能力不相符的义务本身就是不负责任。中国参与气候变化问题谈判的首要任务就是为实现现代化和可持续发展而争取应有的发展权，为未来的发展争取必需的排放空间。

3.2 加强同发展中国家的合作，共同维护发展中国家在气候变化问题谈判中的利益

在气候变化问题谈判的过程中，形成了众多的利益集团，除前面提到的伞形国家集团和欧盟外，还有由发展中国家组成的77国集团。77国集团的宗旨和主张是：寻求对外谈判立场的一致；支持《京都议定书》中“共同但有区别的责任”的原则；认为发达国家对全球变暖负有历史责任，并要求发达国家对发展中国家提供资金和技术支持。在灵活机制方面，要求设定排放贸易的上限，以补充国内实际减排为原则。可见77国集团的主张与中国的主张是基本一致的。中国可以加强同77国集团的合作，共同应对发达国家向发展中国家施加的压力。

中国作为发展中大国应该领导和协调发展中国家，始终同广大发展中国家站在一起，既在发展中国家参与减排等关键问题上坚持原则立场，毫不退让，同时又要采取灵活的策略为发展中国家争取更多的国际支持。

3.3 转变经济发展方式，实现经济社会的可持续发展

全球气候的不断恶化给我国的自然生态系统和经济社会带来了难以承受的、不可逆转的严重影响，特别是对农业、能源领域影响更大。同时中国作为一个正在崛起的负责任的大国，理应为防止气候变化作出应有的贡献。这就需要我国转变现有的经济发展方式，实现可持续发展。

首先，通过科技创新，加快能源结构调整。发展高效能源技术，提高能源利用效率，开发利用清洁能源和可再生能源，如风能、水能、太阳能等资源。减少对煤炭、石油等生物能源的依赖。提高资源利用效率和清洁化水平。严格限制高耗

能产业的发展，加快淘汰落后产能。鼓励引进和使用节能减排重大技术，鼓励研发环保技术。

其次，实施节能减排政策，走低碳经济之路。明确降耗和减排的具体目标。最大限度的减少对碳基燃料的依赖，大力发展低碳产业，不断提高公众的环保意识。完善相关的法律法规，加大对污染企业的处罚力度。

虽然世界各国在气候变化问题上达成了广泛共识，但在怎样应对气候变化等具体问题上还是存在着巨大分歧。气候变化问题的谈判任重道远。与此同时，中国在应对气候变化问题上也承受着越来越大的压力，需要采取更加有效地方式去应对，力争在气候变化问题谈判中发挥更大的作用。

参考文献

曹荣湘：《全球大变暖：气候经济、政治与伦理》，社会科学文献出版社，2010年

安东尼·吉登斯：《气候变化的政治》，社会科学文献出版社，

胡鞍钢、管清友：《中国应对全球气候变化》，清华大学出版社，2009年

庄贵阳：《国际气候制度与中国》，世界知识出版社，2005年

林云华：《国际气候合作与排放权交易制度研究》，中国经济出版社，2007年

张海滨：《中国与国际气候变化谈判》，《国际政治研究》，2007年第1期

谷德近：《从巴厘到哥本哈根：气候变化谈判的态势和原则》，《昆明理工大学学报》（社会科学版），2009年第9期

高广生、李丽艳：《气候变化国际谈判进展及其核心问题》，《中国人口·资源与环境》，2002年第3期

高云、罗勇、张军岩：《从哥本哈根气候变化大会看气候变化谈判的焦点问题及IPCC第五次评估报告的可能作用》，《气候变化研究进展》，2010年第2期

王芳、陈泮勤、葛全胜：《气候变化谈判的共识与分歧初析》，《地球科学进展》，2008年第2期

烟气排放连续监测技术的发展及应用前景

朱法华¹, 李辉^{1,2}, 邱署光³

(1. 国电环境保护研究院, 江苏南京 210031; 2. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏南京 210044; 3. 南京国电环保设备有限公司, 江苏南京 210044)

摘要: 回顾了烟气排放连续监测系统及其分析技术的发展与应用历程, 对直接测量法、抽取测量法和遥感测量法等 3 种主要连续监测技术的应用情况、技术特点进行了介绍和对比分析。指出烟气连续监测技术有由抽取测量法向直接测量法发展的趋势, 进而向遥感测量法发展; 分析技术则以光学技术为主导, 向全谱分析和线状光谱技术方向发展; 测量范围逐渐向低浓度发展, 追求更高的准确度和精密度; 监测因子更多, 除常规烟尘、SO₂、NO_x 外, CO₂、H₂S、HCl、HF、Hg 等物质也将逐步纳入监测范围; 技术可靠、系统简洁、操作简便是连续监测技术的发展方向, 具有广阔的应用前景。

关键词: 烟气排放连续监测系统; 直接测量法; 抽取测量法; 遥感测量法

Development and Application of Continuous Emission Monitoring Technology

Zhu Fahua¹, Li Hui^{1,2}, Qiu Shuguang³

(1. State Power Environmental Protection Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210031, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China; 3. Nanjing Guodian Environmental Protection Equipment Co. Ltd, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: The development and application of Continuous Emission Monitoring System (CEMS) and its analytical technology were reviewed. The application and technical characteristics of the three continuous monitoring technologies (In-Situ, Extractive, and Remote) were introduced and compared. It was trend for continuous emission monitoring technology from the extractive technique to the In-Situ and then to the Remote. The optical technology would be the dominant analytical techniques, especially the full spectrum and linear spectroscopy analysis. The measuring would gradually reach low concentration and obtain high accuracy and precision. Except dust emission, SO₂ and NO₂, more factors included in the monitoring such as CO₂, H₂S, HCl, HF, Hg and other pollutants. The technology represented direction of CEMS development and had broad prospects with advantage of simple system, easy operation and reliability.

Keywords: CEMS; In-Situ measurement; Extractive measurement; Remote measurement

烟气排放连续监测系统 (Continuous Emission Monitoring System, 简称 CEMS) 产生于 20 世纪 70 年代, 80 年代进入我国火力发电行业安装使用^[1], 截止到 2009 年底全国已安装上万套。烟气排放连续监测在国外历经近 40 年的发展。已形成多种成熟的监测技术, 在我国也得到了全面提升, 尤其是国家环境保护部推动国控重点污染源安装建设污染源监控系统以来, 整体推动了烟气排放连续

监测技术的发展, 先进准确的监测仪器、科学有效的监测方法为环保部门在烟气排放排污登记、总量考核、监察快速反应等方面奠定了科学基础。随着我国对重点污染源烟气排放控制的日益严格, 与之相适应的烟气排放连续监测技术仍将具有较大的发展空间和良好的应用前景。

1 国内外 CEMS 及其分析技术的发展

1.1 CEMS 的发展与应用

20世纪60年代末,德国、美国设计生产了测量高浓度气体的环境分析仪及将探头直接插入烟道测量的现场分析仪,德国的不透明度光学系统和美国的荧光检测等技术,为实现CEMS奠定了技术基础。

美国第一台CEMS出现于1971年,随后CEMS制造业停滞不前,直到1975年末美国国家环保局制定了CEMS性能的技术指标,并规定在某些排放源安装CEMS后,才逐渐得以广泛应用^[2]。一般认为原联邦德国对大气污染物的控制始于1974年4月1日《联邦扩散防治法》的实施,同年8月24日《大气质量控制技术指南》的发布标志着SO₂排放管理具体实施的开始,该指南明确规定SO₂排放量超过100 kg/h的装置需安装一套SO₂连续测量仪。

我国在20世纪70年代初期,认识到需要采用比手工采样更方便、快捷的方法来测量烟气中的污染物,1986年广东沙角B发电厂从日本引进了首台火电厂烟气连续监测系统^[1]。20世纪80年代末和90年代初期,我国开始着手CEMS的自主研制和生产。1996年修订颁布的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—1996)要求Ⅲ时段及部分特定地区的火电厂安装CEMS;2003年修订颁布的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2003)规定所有火力发电锅炉都必须按照《火电厂烟气排放连续监测技术规范》(HJ/T 75—2001)[现修订为《固定污染源烟气排放连续监测技术规范》(HJ/T 75—2007)]的要求,装设烟气排放连续监测仪器。在此背景下,国内涌现出南京国电环保设备有限公司、上海发电设备成套设计研究院、中绿环保技术有限公司等具有CEMS研制和生产能力的机构和企业,开发出具有自主知识产权的CEMS设备,推动了国产CEMS的发展与应用。

1.2 CEMS 分析技术的发展

烟气排放连续监测的对象主要包括烟尘(颗粒物)、SO₂、NO_x等气态污染物和温室气体及温度、流速、压力、湿度、氧量等烟气排放参数。烟尘测试由跨烟道不透明度测尘仪、8射线测尘仪发展到插入式向后散射红外光或激光测尘仪,以及前

散射、侧散射、电量测尘仪等。SO₂、NO_x监测经历了直接抽取测定,用转子流量计控制烟气稀释比,然后用环境空气分析仪测定,到采用“稀释探头”技术,实现了稳定的稀释比,检测技术日臻完善。烟气排放参数测量已有多种成熟的方法。随着对全球气候变暖的日益关注,对以CO₂为主的温室气体的监测将会受到重视。新光源、新材料的应用大大提高了仪器的使用寿命,仪器安装、操作与维护更加简便,性能越来越稳定,计算机的应用显著提高了仪器的自诊水平和自动化程度。目前CEMS分析仪对监测对象的主要分析方法见表1。

表1 目前CEMS分析仪对监测对象的主要分析方法
Table 1 Present CEMS analyzers of analytical methods for monitoring items

监测项目	主要分析方法
烟尘(颗粒物)	不透明度法、散射法、闪烁法、电量法、β射线吸收法等
气态污染物	SO ₂ 紫外荧光法、红外吸收法、紫外吸收法、干涉分光法、溶液电导法、定电位电解法等
	NO _x 化学发光法、红外吸收法、紫外吸收法、定电位电解法等
温室气体	CO ₂ 红外吸收法等
烟气排放参数	温度 热电偶温度计、热电阻温度计、红外线测温仪等
	湿度 湿度传感器、测氧算法、红外吸收法等
	流速 压差传感法、热传感法、超声波法等
	压力 压力传感器法等
	氧量 氧化锆(ZrO)法、顺磁气式法等

国外基于上述分析方法的烟气分析仪器相对比较成熟,我国在20世纪90年代后期,基于定电位电解法、紫外吸收法、紫外荧光法、DOAS法^[3]烟气污染物产品测量仪器的研制和产品化也取得了一定的进展,并成功实现了工业化。就分析技术本身而言,目前我国所掌握的技术不逊色于发达国家,但在使用细节上与欧美还有一定差距。在其他有害物质如H₂S、HCl、HF、Hg^[4]等在线监测方面,目前我国的技术尚处于起步阶段,安装使用的仪器较少,主要依赖于引进国外技术。

2 CEMS 主要技术的现状与发展

CEMS由烟尘监测子系统、气态污染物监测子系统、烟气排放参数测试子系统及其他相关的配套子系统组成,其早期的焦点问题是作为核心

部件的气体组分分析仪能否用于源排放监测，然而经使用发现，将气体向分析仪输送过程中出现的问题才是造成检测结果不准确的根源。烟气从采样探头到分析仪的传输过程主要取决于采样方式，根据取样方式不同，CEMS 主要可分为直接测量、抽取式测量和遥感测量 3 种技术。

2.1 直接测量法

直接测量法又称在线式测量法 (In-Situ)，由直接安装在烟囱或烟道上的监测系统对烟气实时测量 (不需要抽取烟气)。

直接测量法分为点测量和线测量两种。传感器安装在探头端部，探头直接插入烟道，使用电化学或光电传感器，测量较小范围内的污染物浓度，即点测量；传感器和探头直接安装在烟道或管道上，利用光谱分析技术 (红外 / 紫外 / 差分光学吸收光谱) 或激光技术对被测对象长距离直接在线测量，即线测量。目前的直接测量技术主要基于光学和光谱学，如紫外波段的差分吸收光谱技术 (DOAS)、可调谐二极管激光吸收光谱技术 (TDLAS) 和差分吸收激光雷达技术 (DIAL) 等。

直接测量法的最大特点是无需取样，不需要对样品气体进行复杂的预处理，避免了对被测对象“场”的破坏，同时可以避免组分之间的相互干扰。直接测量法将烟道或烟囱作为测量的样品池，测量的是现实工况下的即时烟气，其测量数据最具代表性。

目前，我国使用的探头开放式直接测量系统不能像抽取系统一样，直接导入校准气体到测量室标定，但可用仪器内部或外部的气体流通室导人校准气体标定，标定方法与欧洲标定直接测量系统的方法一致，在欧洲可用滤光器代替校准气体对直接测量系统标定。现有的《固定污染源烟气排放连续监测技术规范》(HJ/T 75-2007) 明确规定，对直接测量法气态污染物 CEMS 可使用校准装置通入标准气体对监测系统标定，以确保仪器所获数据的准确性^[9]和可靠性等。另外，监测系统由于受安装现场热力、腐蚀、振动和粉尘等的影响，电子线路、光学元件等容易受到损坏和污染。因此，仪器应采取防震措施，放置在清洁和

有空调的房间，仪器内部恒温，印刷电路板采用防腐工艺，以避免具有维护工作量小等特点的测量系统，因外界因素造成较大的现场维护工作量。在我国已安装的烟气连续监测设备中，使用直接测量法占约 10%。

2.2 抽取测量法

抽取 (Extractive) 测量法通过采样系统抽取部分样品气体，预处理后送入分析单元，对烟气成分实时测量。根据样品气体抽取方式不同，分为稀释抽取法和直接抽取法两种。

2.2.1 稀释抽取法

稀释抽取法 (Dilution extractive) 是使用纯净的干空气来稀释烟气至稀释混合气露点以下的一种抽取检测方法，其关键部件为稀释探头。通常以约 70 kPa ~ 620 kPa 的压力将洁净的稀释气 (通常为干空气) 送入稀释探头，在探头内通过控制气动射流器，在音速喷嘴两端产生 ≤ 0.53 的压力比 ($P_{\text{下游}}/P_{\text{上游}}$)，在烟气温度、压力和分子质量保持恒定的情况下，烟气将以恒定的流速通过音速喷嘴，然后和稀释气混合进入分析仪。

选择合适的稀释比，是该监测方法的技术核心。稀释比的选择取决于音速喷嘴、样品浓度和分析仪量程，稀释比过大，可能会使混合气体浓度值在分析仪测量范围低端，噪声和漂移影响较大。另外，还要考虑样品气体的冷凝问题，若稀释比不合适，则不能将烟气露点降低到可能最低环境温度以下，将导致酸性气体凝结、腐蚀、测量失真等。音速喷嘴材料通常为玻璃或石英，样气流量通常为 50 min/min-300 min/min，稀释气流量通常为 1.5L/min-15L/min。稀释比通常选择在 1: 50 至 1: 200 之间，一般不超过 1: 250，否则就要考虑对采样管线伴热。

根据稀释探头安装在烟道内和烟道外，又可分为烟道内稀释法和烟道外稀释法。烟道内稀释探头在烟气混合稀释之前，需对烟气过滤，以去除颗粒物。为补偿样品气体和标准气体温度波动对稀释比的影响，有些稀释探头在前段还装有加热装置，以确保样品气体和标准气体以基本恒定的温度通过音速喷嘴。烟道外稀释探头的工作原

理与烟道内稀释探头基本相同,只是将过滤、稀释和加热等均移至烟道外进行,稀释探头的一系列零部件均在烟道外,便于维护和更换。

稀释抽取法在美国已使用多年,相比于其他分析方法,其最明显的优点在于校准时标准气体直接从探头进入,从而可以对整个系统校准。这种技术在我国使用较少,且基本为烟道内稀释,如何确保样品气体的处理质量,尤其是如何控制适当的稀释比和零气系统的稳定性,还需要不断探索,积累相关经验。由于目前湿法脱硫的大力发展,特别是脱硫装置已逐步取消GGH(再热装置),脱硫后的排放烟气温度低、湿度高,导致过滤介质维护频率较高。因此,采用烟道外稀释法更方便,并且通常将探头倾斜安装,使液滴或冷凝的液滴流回烟道。

2.2.2 直接抽取法

直接抽取法(Full extractive)可分为冷干法和热湿法。所谓冷干和热湿是针对分析仪而言,分析仪分析的样气为热态(保持烟气在露点温度以上)未除湿的烟气称为热湿抽取法,反之则为冷干抽取法。冷干抽取法提供的烟气浓度为干基,热湿抽取法提供的烟气浓度为湿基。我国的排放标准要求烟气浓度以标态干基为准,从而促进了冷干直接抽取法的广泛应用。典型的冷干直接抽取法包括取样探头、取样管线、过滤、除湿系统和泵等部分。

相比于稀释法取样探头,直接抽取法的取样探头简单得多,其主要作用是对烟气颗粒物初级过滤,以避免对后续取样单元的影响。初级过滤介质通常为烧结不锈钢和多孔陶瓷,过滤粒径为 $10\mu\text{m}$ - $50\mu\text{m}$ 的颗粒物。由于抽气量大,过滤器的堵塞不可避免,通常通过高压空气的定时脉冲内外反吹以最小化堵塞的影响。高压空气的压力一般为 400kPa ~ 700kPa ,反吹间隔根据烟气状况和颗粒物浓度而定,一般为 15min ~ 8h 一次。反吹持续时间不应太长,以避免探头过度冷却导致再次取样时烟气冷凝,一般一次持续 5s ~ 10s 。

直接抽取法取样管线的主要作用是保持烟气温度在露点以上,并无污染、无损失地送至冷却器。

取热管束通常在 20m ~ 100m 之间,通常采用电伴热,伴热方式有自限温和恒功率两种,目前我国大部分采用成本较低的恒功率型。自限温电缆加热元件是在两个总线之间压出的一个感温电导聚合物,当环境温度或烟气温度升高时,加热元件输出的热值减少,反之则增加。由于自限温电缆利用电导聚合物加热矩阵的连续挤压,且没有区域长度,因而伴热管可任意切割。为避免冷启动时工作电流过大,一般自限温电缆都配置氟聚合物的加热矩阵。恒功率电缆加热元件是与总线连接的一个热能稳定的镍铬电热丝,各个加热段独立工作,不能任意切割,需根据现场条件取舍。

除湿系统的主要作用是将烟气中的水蒸气去除,目前采用的方法有冷却除湿和渗透干燥管两种。通常冷却除湿采用压缩机制冷和电子制冷(玻尔帖效应),渗透干燥管采用Nation管。在我国,Nation管较少采用,冷却除湿较为常见,电子制冷比压缩机制冷稍多。相对于冷却器除湿,Nation管除湿没有水蒸气冷凝,能避免烟气和冷凝水接触,有利于低浓度气体的测量。但Nation管除湿的烟气中不能有液滴存在,否则将导致Nation管饱和和失效。为应对湿法脱硫后的高湿烟气和低浓度 SO_2 的监测,Nation管脱水是该技术下一步的发展趋势。

目前我国直接抽取法测量设备占70%以上,其监测原理80%以上采用非分散红外技术,其他还有红外分析、化学发光分析、紫外荧光分析、差分光学吸收光谱(DOAS)等技术。气体过滤相关(GFC)作为非分散红外技术的变型,在国内应用较少,主要用于垃圾焚烧厂,在连续自动监测 SO_2 和 NO_x 的同时,利用该技术一并监测烟气中的CO和HCl。

2.3 遥感测量法

在遥感测量法(Remote)中,电磁辐射与原子、分子间的相互作用是光谱遥感探测污染物成分及特性的基础,根据环境中痕量气体成分在紫外、可见和红外光谱波段的特征吸收性质来反演其浓度。光学遥感方法用几百米到几公里甚至更长的光程代替传统实验室中的取样池,发射一束光通

过待测污染气体,在另一端接收(单站或双站方式),应用于CEMS中即是向烟道或烟羽中发射光或光辐射来检测排放污染物的浓度^[6]。光谱遥感可分为两类:基于激光器的可调谐二极管激光吸收光谱(TDLAS)和差分吸收激光雷达(DIAL),以及基于传统光源的差分光学吸收光谱(DOAS)和傅里叶变换红外光谱(FTIR)。

对于环境污染监测^[7]光学和光谱遥感技术提供了许多有效的测量手段,其中某些技术已形成性能可靠的环境污染监测仪器。

3.3 种技术的比较分析

如前所述,直接测量法在我国安装的烟气连续监测设备中比例较低,主要是因为系统设备直接安装在烟道或烟道旁,易受到现场烟气环境破坏,在设计上需采取防震、防腐蚀和恒温技术,以避免维护工作量增大。且维护工作还受安装位置的影响。但是,由于不采样,直接分析,不需要复杂的烟气预处理、传输及分析仪表设施,直接测量法更直接、简洁,且监测结果更具代表性。如果能进一步提高其运行的稳定性,保证测试数据的准确度^[5],将是一种很有应用前景的烟气在线监测技术。

抽取测量法分析方法成熟,测量精度高,但系统复杂,环节众多,相应的维护、保养和故障率增多。随着湿式FGD的普遍应用和GGH的逐步取消,低温、高湿的烟气状况使其应用前景受到挑战。直接抽取法是对原始浓度测量,相对容易。其中湿法能保证样品气体的完整性,但整个样品气体输送和分析过程都暴露在原始烟气环境中,不适合于水分含量高和要求NO_x高精度测量的场合。干法适应我国烟气排放浓度以标态干基为准的要求,但抽气量大,烟气过滤、除水系统的维护和清洗问题十分突出,维护工作和成本是对安装企业的考验。稀释抽取法的技术重点和难点主要在探头上,包括探头、稀释比的

设计和稀释空气的前处理。由于样品气体经过稀释,要求测量仪器的精度较高,进行多组分在线监测,价格高昂,但易于校准,操作简便,样品气体湿基测量得到的气态组分浓度值不存在为修正而假设或测量水分含量所产生的固有误差。

遥感技术已广泛应用于自然灾害预报、气象、农业、勘探、生态环境监测等领域^[8],美国已将遥感测量法用于污染源排放监测,我国尚未采用。将其在其他环境监测中的应用与美国经验结合,可认为光学和光谱遥感技术完全能够为污染源监测提供多种可靠的高灵敏的测量技术,能满足多种烟气组分的测量,其最大优点在于系统安装、运行、维护大大简化。存在的主要问题有以下4点:①光路的确定,是将用于测定烟气组分的光射向烟道还是烟羽,如何确定路径的长度;②如何解决光辐射在传输过程中受空气介质变化、湍流及空气分子吸收、散射的问题;③缺少使用该技术测量烟气气体浓度的参比方法;④没有相关标准化的操作规范。解决了以上问题,遥感测量技术将大有前景。主要烟气排放连续监测技术的比较分析见表2。

表2 主要烟气排放连续监测技术的比较分析
Table 2 Comparative analysis for flue gases CEMS techniques

技术方案	优点	缺点	国内市场份额	
直接测量法(In-Situ)	①不需采样,实时分析;②湿基测量;③测量数据最具代表性	①无法实现直接导入标准气体到测量室(开放式探头结构)标定;②监测系统安装在环境恶劣的现场,易损坏、维修不便;③测量光程长度受限制	约10%	
抽取测量法 (Extractive)	稀释取样法 (Dilution extractive)	①湿基测量;②分析仪器维修量小;③不需要伴热管线;④取样流量低;⑤过滤器的使用寿命长	约20%	
抽取测量法 (Extractive)	直接抽取法 (Full extractive)	冷干法 (Dry)	①干基测量;②大多数CEMS制造商均采用此种方法;③测量精度较高	约70%
抽取测量法 (Extractive)	热湿法 (Wet)	①湿基测量;②分析仪器维修量小	①系统复杂,程序众多,维护多;②烟气调节系统需要经常维护;③需要加热样气管线;④取样流量大,过滤器使用寿命短;⑤在高碱分场合有酸冷凝的可能;⑥干基测量,需要其他方法来测定烟气湿度,以计算污染物的质量流量	
遥感测量法(Remote)	①不需要采样,气体分析仪与烟气无直接接触;②原理简单,操作灵活;③灵敏度、精度较高;④测量数据具有代表性	①系统复杂,程序众多,维护多;②需加热线管和耐热器;③烟气湿度会影响NO _x 的测量精度;④取样流量大,过滤器使用寿命较短	①目前无遥感监测系统测量气体浓度的参比方法;②无标准化的规范操作程序;③该技术在CEMS领域的发展较缓慢	

4 结语

任何一项连续监测技术,都不可能适用于所有场合,有其利必有其弊。发展连续监测技术的初衷是要让对排放源的实时监测在可靠的前提下变得易于操作。因此,对系统简洁、操作简便的技术进行有针对性的突破必然是连续监测技术发

展的方向。

随着节能减排工作的不断推进,伴随着法律法规要求烟气连续监测污染因子的增多,原来适用于低湿、高硫的直接抽取冷干法不再适合目前高湿、低硫的工况,取样方式有向直接测量式发展的趋势,进而向遥测方式发展;分析技术则以光学技术为主导,向全谱分析和线状光谱技术方向发展;测量范围逐渐向低浓度发展,追求更高的准确度和精密度。

另外,低碳时代的到来,温室气体的排放被普遍关注,烟气中CO₂的实时准确监控不可避免地提到议事日程。以前CO₂气体浓度大多通过计算得到,其准确性不容乐观,因而直接测量CO₂的监测分析技术将得到迅速推动。H₂S、HCl、HF、Hg等有毒有害物质的在线监控,也将成为环保部门关注的焦点。

参考文献

[1] 朱法华,王飞,潘荔,等.全国火电厂烟气连

续监测系统运行状况调研及分析[J].中国环境监测,2000,16(5):7-11.

[2] 易江.连续排放监测系统(一、发展进程)[J].现代科学仪器,2000(1):47-49.

[3] 李宁.基于差分光学吸收光谱技术的空气质量连续监测系统研究[D].天津:天津大学,2005.

[4] 郑海明.固定污染源烟气中汞排放连续监测系统[J].环境监测管理与技术,2009,21(1):8-12.

[5] 杨凯+滕恩江.烟气连续监测系统的相对准确度检测[J].环境监测管理与技术,2005,17(4):31-34.

[6] 齐宏景,何青,王秉仁.火电厂烟气排放连续监测系统的设计[J].电力情报,2001(4):56-58.

[7] 谭衢霖,邵芸.遥感技术在环境污染监测中的应用[J].遥感技术与应用,2000,15(4):246-251.

[8] 李晶,孟祥亮,张玉梅.山东省生态环境遥感监测及其动态变化研究[J].环境监测管理与技术,2009,21(3):71-74.

昌吉热电二期公司烟气脱硫特许经营 试点工作通过评估

近日,昌吉热电二期公司2×125MW热电联产机组脱硫烟气脱硫特许经营试点工作通过中国电力企业联合会组织联合专家组的现场评估。

烟气脱硫特许经营试点工作评估是对脱硫工程的设计、施工、调试,以及移交到电厂后的运行与维护、技术经济指标与环境保护效果、优化运行脱硫装置的节能、合理利用资源与脱硫产品综合利用绩效等进行评价总结。

脱硫评估专家组在听取了该公司脱硫工作汇报后,一致认为昌吉公司在脱硫运行工作中能主动发现问题、主动改进缺陷,两台机组脱硫系统月脱硫效率和设施平均投运率均达到

95%以上,实现当年减少二氧化硫排放量7045吨,达到了国家环保要求。专家还认为采用“BOT”模式对规避脱硫设备在建设阶段的质量风险和保证脱硫设施建成后能满负荷长周期的安全稳定运行,顺利完成国家下达的减排任务,以及改善昌吉州和新疆维吾尔自治区大气环境质量、实现地区经济和电厂的可持续发展具有积极意义。

据悉,该公司脱硫工程已作为昌吉州环保行业的标杆,多次受到自治区环保厅、州政府、州环保局的好评及嘉奖,2011年获“昌吉市节能减排先进单位”、“环保先进单位”等荣誉称号。

风电能源

基于清洁发展机制的北京市风电开发

高新宇¹, 范伯元¹, 张红光¹, 王伟²

(1. 北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100124; 2. 北京京能能源科技投资有限公司, 北京 100142)

摘要: 结合北京市官厅风电场清洁发展机制(CDM)开发案例, 首先评价 CDM 收入对北京市风电开发的影响, 其次分析 CDM 收入变动对项目经济性的影响, 得出在高电价支持和高 CDM 收入下, 北京市风电开发是经济可行的, CDM 收入的变动会对北京风电开发具有一定影响。最后讨论了北京市风电开发对全国风能资源较差的风电场的示范作用。

关键词: 清洁发展机制; 风电; 低风速; 示范项目

The Wind-power Development in Beijing Based on Clean Development Mechanism

Gao xinyu¹, Fan Boyuan¹, Zhang Hongguang¹, wang wei²

(1. Beijing University of Technology, College of Environment and Energy Engineering, Beijing

100124, China; 2. Beijing Jingneng Energy Technology Investment Company, Beijing 100142, China)

Abstract: Based on the CDM development of Beijing Guanting Wind Farm, the impact of the CDM revenue on wind-power development in Beijing was assessed, and then the impact of CDM revenue variation on the economics of wind-power in Beijing is financially feasible, and the CDM revenue variation will make larger impact on wind-power development. The demonstration of wind-power development in Beijing to China was discussed.

Keywords: Clean development mechanism; Wind-power; Low wind-speed; Pilot project

0 引言

自 2005 年 2 月 16 日《京都议定书》生效以来, 北京市企业积极参与清洁发展机制 (Clean Development Mechanism, 简称 CDM) 项目的开发。到 2009 年 4 月止, 北京市开发了 12 个 CDM 项目, 成功注册 5 个项目。12 个项目中有 2 个是风电项目, 且均为单边 CDM 项目^[1]。

本文从技术经济角度分析了 CDM 收益对北京市风电 CDM 项目生存和发展的影响, 探讨了北京市风电 CDM 项目在中国风电项目开发中的示范作用。

1 北京市可再生能源开发状况

2007 年, 北京市电力消费量达 675 亿 kWh, 其中约有 1/3 来自北京市管辖的火电厂^[2], 其余来自内蒙、河北和山西调入, 绝大部份来自煤电厂, 仅有 2% 的调入电力是可再生能源^[3]。

北京市的可再生能源资源相当匮乏。2007 年北京市水电项目装机 250MW (不含抽水蓄能电站), 年发电小时数最高不超过 154h, 为全国最低^[4,5]; 生物质发电项目为少量的沼气发电项目, 装机容量很小^[6-8]; 生活垃圾发电项目正在设计中; 北京市安装了许多太阳能电池, 为路灯供电。太阳能、生物质能发电的投资成本高, 近期内没有商业化的可能性。

北京市在官厅水库规划了 150MW 的风电装机, 其中一期项目 49.5MW 装机已于 2008 年 1 月投产, 投产第 1 年的年发电量近 1 亿 kWh, 成为目前北京市年发电量最大的可再生电力项目。北京延庆低风速示范风电场(低风速项目)是官厅一期项目的扩容项目, 已经安装完成, 但尚未并网供电。北京市风电项目都带有一定的示范性质。其中官厅一期项目是国产风力发电机组示范项目, 其采用的是新疆金风生产的 1500/77 型风机, 也是直驱风力发电机组在国内首次大规模应用; 北京延庆低风速示范风电场是低风速国产风力发电机的试验风电场, 采用了新疆金风生产的 1500/82 型低风速风机。官厅风电二期项目和二期加密项目预计会在近期开工建设。到 2010 年底, 北京市将拥有 150MW 的风电装机, 风电将成为北京市发电量第一, 装机容量第二的可再生电力。

2 CDM 收益对北京风电项目开发的影响

清洁发展机制 (CDM) 是京都议定书中规定的 3 种全球温室气体减排灵活机制中适用于发达国家和发展中国家合作的减排机制^[9]。其基本原理是: 一个具有减排效应的项目, 要么经济效益差, 要么在技术或投资上有难以克服的障碍, 导致投资方不愿建设时, 将该项目开发成 CDM 项目, 通过出售该项目经核证的减排量 (CERs) 获得一笔外汇收入, 有了这笔外汇收入后, 项目的经济性得到极大的改善, 或所遇到的障碍得以克服, 使项目变成一个可行的项目。

2.1 官厅风电项目的技术经济概况

官厅风电场的风能资源较差, 一期项目的运行小时数为 1892h^[10], 低风速项目运行小时数为

表 1 官厅风电场关键技术经济参数

Table 1 The Basic tech tech-economic parameters of Guanting Windpower Farm

参 数	一期 数值	低风速 数值
装机容量/MW	49.5	15.0
单机额定容量/MW	1.5	1.5
启动风速/m·s ⁻¹	3.0	2.5
额定风速/m·s ⁻¹	11.0	10.3
风轮扫略面积/m ²	4657	5375
上网电量/MWh·a ⁻¹	93650	21930
单位千瓦投资/¥·kW ⁻¹	10652	12603
电价(含税)/¥·kWh ⁻¹	0.750 ¹	0.794
度电运行成本/¥·kWh ⁻¹	0.2061	0.2547
政府补贴/万元	0	5000

注:¹ 核定电价

1462^[11], 均低于 2000h 的风电项目开发的最低运行小时数要求^[12]。官厅一期低风速项目启动风速为 2.5m/s, 是目前中国风电项目中启动风速最低的项目; 65m 高处的功率密度仅为 237.2W/m²^[13], 根据《风电场风能资源评估方法》(GB/T18710-2002), 不适宜开发并网风电项目。表 1 是两个项目的一些基本技术经济参数。

2.2 CDM 项目收益分析

2.2.1 没有 CDM 收入时的项目财务收益

官厅风电场的建设具有示范性质, 得到了北京市政府的大力支持, 因此, 没有要求商业项目的财务基准收益率, 而是采用了政府投资项目的财务收益率; 对于示范项目, 一般来说没有多种建设方案可以进行选择, 所以在投资分析上以自有资金财务基准收益率作为项目是否可行的判据, 参考《建设项目经济评价方法与参数》(第 3 版), 确定 8% 作为自有资金财务基准收益率。

从表 2 可看出, 在没有 CDM 收益的情况下, 官厅风电项目的经济效益相当差, 一期项目需要 15.64a 才能收回自有资金, 而低风速项目即使在有政府补贴的情况下, 也无法在项目寿期内收回自有资金。所以即使是作为示范项目, 投资方也是不愿投资官厅风电项目这种经济效益极差的项目的。

表 2 无 CDM 收益时的财务指标

Table 2 The financial indicators without CDM revenue

	一期	低风速
自有资金 IRR/%	4.90	-3.01
自有资金 NPV/万元	-4393	-3291
自有资金回收期/a	15.64	>20

2.2.2 有 CDM 收入时的财务收益

在考虑 CDM 收益的情况下, 项目经济收益可以得到明显改善, 按 CERs 价格能保证自有资金脚达到 8%, 计算得到 CERs 的最低价格如表 3。

表 3 最低 CERs 价格和度电 CERs 收益

Table 3 The lowest CERs prices and CERs revenue per kWh

	一期	低风速
年 CERs/tCO ₂ ·a ⁻¹	100720	23133
最低 CERs 价格/¥·tCO ₂ ⁻¹	48.5	156.5
电 CERs 收益/¥·kWh ⁻¹	0.0522	0.1651

低风速项目的最低 CERs 价格很高, 较目前二级市场 CERs 价格 13 € /tCO₂ 高出许多, 所以该项目作为单边 CDM 项目开发, 也是想得到一个尽可能高的价格, 以改善项目的经济效益。如果

减排量交易的二级市场一直处于不振状态，该项目难得足够的收益，生存仍然会困难。

从图1可看出，CERs 价格对两个风电项目 IRR 的影响幅度极为相似。对于商业化运行的风电项目，自有资金揪基准为 10%^[14]；而要达到 10%，官厅一期项目最低 CERs 价格只需达到 80 ¥/tCO₂，即可，而延庆项目要达 187.5 ¥/tCO₂。目前 CERs 二级市场价格约为 13 € /tCO₂。也就是说，官厅一期项目得到 CE 风收益后可以实现商业化运行，而延庆项目尚无法商业化运行，还需要积极寻求各方面的财政支持。

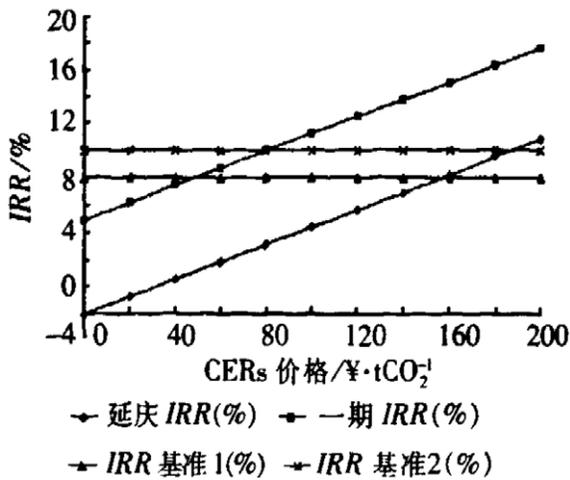


图 1. IRR 与 CERs 价格关系图
Fig.1 The relation IRR and CERs prices

2.3 CDM 收入变动对风电项目可行性的影响

从上节分析中可以看出，CDM 项目收益成为风电项目是否能生存下去的关键因素。在投资、发电量和电价比较确定的情况下，考察一个 CDM 项目是否商业可行需要分析影响 CDM 项目收入变动的主要风险及这些风险对 CDM 收入的负面影响有多大。对于 CDM 收入，影响较大的风险有 3 种：

1) CERs 计价外汇的汇率风险

CDM 收益是外汇收入，在目前经济危机背景下，CERs 主要支付货币欧元和美元汇率变动频繁，成为目前影响 CDM 收入的主要风险之一；根据目前的汇率波动幅度，确定汇率最大下跌空间为 20%。

2) 减排量损失风险

减排量通过项目上网电量与电网排放因子相乘得到。在上网电量确定的情况下，一般来说减

排量也就确定了。但是，CDM 项目对上网电量的监测有严格和明确的要求，上网电量的监测中如果未能按 CDM 要求执行，则会导致减排量的损失，如电表未按规定校验导致未校验期间减排量的损失，与其它 CDM 项目或非 CDM 项目共用关口电表导致无法剖分出减排量等。根据国内外风电 CDM 项目的经验，确定最大的减排量损失比例为 10%。

3) 时滞风险

时滞风险包括两个方面，一是 CDM 注册滞后的风险，二是减排量颁发滞后的风险，目前国内一些 CDM 项目从项目设计文档(PDD) 公示到注册时间拖了 3 年以上，从监测报告公示到签发减排量时间拖了 1 年以上，虽然从金额上没有变化，但对企业现金流和收入造成了很大影响。根据国内风电 CDM 项目注册和减排量签发经验，确定最长时滞为 2a。

对于官厅风电场的两个项目，按单边项目预期最高价格 16 € / tCO₂，欧元汇率按 1: 9 计算上述 3 种风险对项目 IRR 的影响，从表 4 可发现，CDM 收入的时滞风险对风电项目的财务状况影响是最大的。

3 北京风电 CDM 项目开发在中国风电开发中的作用

作为中国政治、经济和文化中心，北京市的经济发展水平处于全国的前列，按常住人口计算，2007 年人均 GDP 达 7030 美元^[2]，达到中等发达国家水平。因此，北京市对风电价格的承受能力较高，官厅一期项目得到了高达 0.75 ¥/kWh 的电价。北京市政府的经济实力也较为雄厚，对示范项目能提供更多的支持，以低速项目为例，是近 3 年来风电项目得到的单笔数额最高的补贴。虽然北京市的风能资源不丰富，但在高电价和高政府补贴的支持下，风电项目有一定的发展空间。

随着中国风电项目的快速发展，我国风能资源丰富的风电场址将逐渐被开发完毕，风电开发将在几年后转向资源较差的风电场。而一些电力负荷中心，其周边风能资源虽然较差，但输电距离短，损耗较低，仍有一定的开发价值。北京官厅风电场将为这些风电项目积累开发和运行经验、

表 4 CDM 收入变动对自有资金 IRR 的影响
Table 4 The Impact of CDM revenue variation on equity IRR

汇率变动	自有资金 IRR(含 CDM 收益)		
	0%	-10%	-20%
一期	14.19%	13.24%	12.30%
低风速	7.18%	6.23%	5.27%
减排量	0%	-5%	-10%
一期	14.19%	13.72%	13.24%
低风速	7.18%	6.71%	6.23%
时滞损失	0年	1年	2年
一期	14.19%	13.10%	12.13%
低风速	7.18%	6.38%	5.96%

CDM 开发经验,使这些项目的在设计、建设和运行中有可以参考的基准。根据目前官厅风电场的运行经验,可以在如下方面为中国的风电场起到积极示范作用:

1) 国产化风力发电机运行维护的示范基地。官厅一期项目探索出一整套优良的运行和管理模式,项目运行良好,发电小时数已经超出设计发电小时数,有 CDM 收入后基本能商业化运行;

2) 低风速发电技术的示范基地和培训中心。在积累低风速风力发电机运行经验的同时,可以培养建设和运行低风速风电场的各类技术人才,为未来风力资源较差的地区发展风电提供技术储备和人才储备;

官厅风电场还在积极论证开发风光互补项目的可行性,在风机布置时充分考虑了如何利用塔筒安装光伏发电板的可行性,如果风光互补项目得以实施,官厅风电场将在中国新能源开发领域中起到更重要的示范作用。

4 结论

在高电价和高 CDM 收入的支撑下,北京市的风电开发具有一定的经济可行性。CDM 收入的变动,特别是减排量签发的延迟对风电项目经济性的影响性最大。因此在风电项目的 CDM 开发中,要尽可能锁定 CDM 收入的变动范围在约 9 ~ 15 欧元 /tCO₂,以降低风电项目开发的风险。CDM 促进了北京市的风电建设,这将对中国风电项目开发,特别是风能资源较差的风电项目开发,产生积极的示范作用。

参考文献

- [1] 国家发改委应对气候变化司。国家发展改革委批准的项目 [EB/OL] . <http://cdm.ccchina.gov.cn/webitem-new.asp>
- [2] 北京市统计局。北京市加 07 年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL] . <http://www.bjstat.gov.cn/tjnj/2008-tjnj>.
- [3] 刘琦。国家能源局刘琦副局长调研北京新能源 [N] . 节能信息报, 2009 年 4 月 15 日 (第 2 版) .
- [4] 中国电力企业联合会。二 00 七年电力工业统计资料汇编 [G] . 2007, 222-223 .
- [5] 《中国电力年鉴》编委会。2008 中国电力年鉴 [G] . 2008 .
- [6] 北京首座垃圾填埋场沼气发电项目并网发电 [EB/OL] . <http://www.in-en.com/gas/html/gas-2007200705128891.html>.
- [7] 北京北神树垃圾填埋场废气发电面临法律难题 [EB/OL].
- [8] project design Document of Beijing Deqingyuan Chicken Farm 2.4MW biogas Power Project[EB/OL].<http://cdm.unfccc.int/Projects/Validation/DB/SCFVWBOFOGQRZ5201FBQ8JKOS4-BONG/view.html>.
- [9] 联合国。《联合国气候变化框架公约》京都议定书 [R] . Bom . UNIFCCC . FCCC/CP/1997L.7/Add . 1 . 1997,12 .
- [10] Project design Document of Beijing 48MW Guanting Wind power project[EB/OL]. <http://cdm.unfccc.int/project/DB/TUEV-SUED1218116673.29/VIEW>.
- [11] Project design Document of Beijing Yanqing Low Wind-speed Pilot Windpower Project [EB/OL].<http://cdm.unfccc.int/projects/Validation/DB/KVVDBFIEJ176REIRUTDVTKNJAWZHZQ/viview.html>.
- [12] 宋海辉。风力发电技术及工程 [M] . 北京: 中国水利水电出版社, 2009, 185 .
- [13] 中国电力建设工程咨询公司。北京康西草原风电场工程可行性研究报告 [R] . 北京, 2007 .
- [14] 发改办能源 [2005]899 号, 风电场工程可行性研究报告编制办法 [s] .

环境要闻

脱硫脱硝环保行业迎来发展机遇 脱硫市场稳定增长

由于全国电力工业继续保持较快增长势头，电力需求不断增加，所以火电行业将会继续保持高速发展，“十二五”火电行业脱硫需求依然旺盛。根据《电力工业“十二五”规划研究报告》，到2015年火电装机容量将达到9.63亿KW，不考虑关停小火电机组，“十二五”期间将新增火电装机2.63亿KW，按照100元/KW的造价，新增市场需求将达到263亿元；假设已投运火电脱硫设施在“十二五”期间需要改造的比例为20%，按照75元/KW的造价，未来5年的改造需求将达到399亿元。

由此我们认为，尽管脱硫市场的高峰已经过去，但火电脱硫市场增长较为确定。烧结脱硫是钢铁行业实现二氧化硫污染减排的关键。

脱硫市场竞争加剧，而且市场集中度较高。由于烟气脱硫市场的迅速壮大，2003年以来我国脱硫工程承包商的数量急剧增长，目前已经超过50多家，民营企业占有90%以上份额，其中规模较大的、拥有一定品牌效应的厂商约20家。厂商的蜂涌而至导致市场竞争的加剧，近年来我国脱硫设备的单位造价一路下滑。从2000年单位造价800-1300元/千瓦下降到目前80-100元/千瓦左右。2009年年底，累计合同量排名前20位的脱硫公司脱硫工程合同总容量为5.33亿千瓦，占全国脱硫工程合同总容量的90%；累计投运量排名前20位的脱硫公司投运机组容量为3.94亿千瓦，占全国总投运机组总量的83.3%；2009年当年投运量排名前20位的脱硫公司容量为0.88亿千瓦，占全国投运烟气脱硫机组总量的91%。

通过分析参与脱硫市场的主要公司，可以分为以下三类：第一类是电力集团的下属公司，火电企业作为脱硫设备商及脱硫工程商的下游，拥有较广阔的市场；第二类是专业性脱硫设备生产商；第三类是发电设备企业，在生产火电设备的同时也生产相关的脱硫设备。脱硝市场前景广阔

“十一五”期间，我国大气污染治理的重点是二氧化硫治理，力图通过硫化物的治理来控制酸雨的产生。借鉴前几年脱硫经验，对电力行业实施脱硝，也许不失为明智之举。

2011年4月13日，国家环境保护部发布了《火电厂大气污染物排放标准》(第二次征求意见稿)。在烟尘、二氧化硫和氮氧化物三个主要污染物的排放量限制方面，新标准均做出了更为严格的规定。在脱硝方面，新标准规定了到2015年所有火电机组都将执行氮氧化物排放浓度在重点地区不高于200mg/m³、非重点地区400mg/m³的限值。重点地区的新增机组从2010年开始实行200mg/m³的排放限值。

烟气脱硝市场空间巨大，到2008年底，国内约90多家电厂的近200台总装机容量为1.05亿KW的机组已经通过环评，其中已建、在建或拟建的火电厂烟气脱硝项目达到5745万KW装机容量。根据国家要求，目前已建和新建火电机组要逐渐把脱硝系统列入建设规划。从现阶段国内火力发电行业新建发电机组的规模来看，至2010年，国内火力发电行业至少约有2亿千瓦的装机容量需要建设烟气脱硝设施。加上“十二五”期间新增火电机组，假设未来5年新增火电机组装机容

量2.63亿千瓦(按照中电联的预计)全部需要脱硝,那么“十二五”期间有将近4.63亿千瓦的火电机组脱硝需求。

根据国外烟气脱硝设施造价情况,按照国内烟气脱硝设施单位平均造价约200元/千瓦估算(假设单位造价不断下降)。考虑到“十二五”期间新增火力发电机组装机容量的情况下,2010-2015年国内火力发电行业新增烟气脱硝市场需求将达到463亿元。

国家在火电行业外的水泥行业也出台了相应的氮氧化物控制标准,并且在有色、造纸、钢铁等行业也将陆续出台相应政策,脱硝行业将呈现爆发式增长。

从投资策略上来看,主要可以参考以下三个方面:第一,火电行业脱硫看订单获取能力。未来5年,火电脱硫新增市场需求将达到263亿元,改造需求将达到399亿元,增长较为确定。第二,非电力行业脱硫看市场的渗透能力。“十二五”以后,结构性脱硫机会显现。第三,烟气脱硝看电企背景和工程经验。“十二五”电力行业烟气脱硝的相关政策将引导脱硝市场的开启,因此首先是具有电力行业背景的脱硝公司获得优势,另外具备脱硝工程经验的企业也将获得先发优势。

总的来看,二氧化硫和氮氧化物的治理已经刻不容缓,我们认为“十二五”期间,政策也将频出,脱硫脱硝企业将面临较高的景气度。

风机制造进入微利时代

近几年,我国风电市场保持高速增长,2010年累计装机和新增装机更是双双登顶世界第一。固定的上网电价政策也让开发商们赚得盆满钵满。然而,与此形成鲜明对比的是,风电机组的市场价格却连续下滑,整机供应商的利润空间一步步被压缩,整体进入微利时代。

“目前,我国1.5兆瓦风机价格大约为3600~3700元/千瓦,为高峰时期的一半。”上海电气风电设备有限公司副总经理刘琦表示。

自2008年以来,我国1.5兆瓦级风机的平均价格以年均22%~23%的速度下降,2010年末的均价达到3900元/千瓦。有消息显示,目前东方汽轮机有限公司的报价最低,其1.5兆瓦机组报价已经跌至3200元/千瓦,而在申能内蒙古某项目的招标中,东汽2兆瓦的机型更是报出了令人咋舌的3650元/千瓦。

国电联合动力技术有限公司副总经理孙黎翔直言,在现在市场价格体系下,风机企业必须依托规模优势才不会亏本,“个别风机供应商所谓的盈利,往往只考虑了设备采购和制造的成本,却忽略了后期的服务和维修工作。”

明阳风电首席运营官郝义国则认为,产能过剩是造成目前市场非理性竞争的主要原因之一,“近年来大量投资商纷纷涌入风电设

备制造领域,在加速我国风电产业发展的同时,也导致国内风电设备制造产能过剩的问题日益凸显。”

据了解,2010年全国新增风电装机容量近2000万千瓦,仅华锐、金风、东汽、明阳和联合动力五家企业的产能就超过了上述容量。同时,丹麦维斯塔斯、西班牙歌美飒、美国GE等国际风机制造业巨头纷纷在华建立生产基地,风电市场竞争之激烈前所未有。

面对席卷整个行业的利润危机,零部件供应商作为整机企业的战略伙伴,同样处于水深火热之中。

重庆科凯前卫风电控制设备有限公司首席技术专家李辉表示:“整机企业的成本压力必然会转嫁给零部件供应商,而零部件企业的上游,如电子器件市场采购价格基本透明、稳定,因此我们将承担最多的价格下降压力。”

另外一位国内第一梯队变频器企业负责人也坦言,虽然2011年企业订单大幅增长,但利润率却在下降,目前只能以量来支撑。最重要的是,长此以往还将影响企业未来的研发投入。

不乐观的是,业内专家普遍认为,在目前的市场环境下,价格竞争还将持久存在,未来3年可能是风电设备行业洗牌的阶段。

企业动态

国电清新

电力环保脱硫行业的领先者 (1)

烟气脱硫是利用吸收剂或吸附剂去除燃煤发电及其他领域排放烟气中的二氧化硫。二氧化硫排放是造成全球及我国大气污染及酸雨不断加剧的主要原因，烟气脱硫是治理污染、保护环境、保证经济和社会可持续发展的大事，是人类生存和发展的根本诉求，历来得到世界各国政府和社会组织的高度重视与大力支持。我国政府长期以来十分重视二氧化硫减排问题，先后出台了一系列法律法规与政策，取得了显著的减排成果，2009年，全国二氧化硫排放2214万吨，比2005年降低13.1%，提前一年完成“十一五”二氧化硫减排目标。

今年政府工作报告也指出，2011年要大力推动节能环保等产业发展。由于火电长期以来仍是我国能源供给的主体，火电行业的二氧化硫是我国“十二五”期间污染治理的重中之重。拟出台“十二五”规划的二氧化硫减排目标是2015年比2010年再下降10%，这给电力环保脱硫行业带来了持续的发展动力。公司凭借自主研发能力和先进的经营模式，形成较强的综合竞争力。

国内环保事业的急先锋

国电清新在环保这一朝阳领域，作了充分的准备，也具备强劲的实力。公司是集大型燃煤电厂烟气脱硫技术研发、脱硫系统设计、湿干法脱硫装置建造、脱硫特许经营于一体的技术领先、业绩优良的高科技电力环保企业，是中关村科技园区内的高新技术企业。公司主营业务为燃煤电厂烟气脱硫装置的建造和运营。

公司是国内第三家通过中电联组织的所承建脱硫设施运行检验（后评估）的脱硫公司，是参与制定国家发改委2007年~2008年火电厂烟气脱硫标准的脱硫公司之一。拥有完全自主知识产权的湿法脱硫核心技术和国际领先的干法脱硫技术使用权。公司采用旋汇耦合脱硫装置技术专利承建的陡河电厂8号脱硫机组项目是我国第一个具有完全自主知识产权的电厂机组烟气脱硫工程。目前公司已经形成了第二代湿法脱硫核心技术，并已取得“旋汇耦合除硫除尘装置”和“喷淋设备”两项国家专利。同时，拥有环境工程（大气污染防治工程）专业甲级资质，以及环境污染治理设施运营除尘脱硫甲级资质。还具备大型燃煤电厂脱硫系统设计与建造总承包能力和从事脱硫特许经营的资质。

环境保护 人类共同的责任

《亚洲环保》编辑部

脱硫脱硝一体化装备研发与制造中心项目

基本信息: 项目性质: 新建

所属行业: 能源化工

所属区域: 南部沿海

所属地区: 广东

拟建项目正文: 投资规模: 2200 万

资金来源: 自筹

阶段补充: 备案阶段

项目需要用到的关键设备如下: 消防设施、安防设施、供排水设施、电气设施、通风设施、照明设施。其中对外采购设备及采购方式待业主或项目单位根据实际情况确定, 如需提前介入, 建议尽快与业主或项目单位直接沟通后介入。

项目名称: 脱硫脱硝一体化装备研发与制造中心项目

项目简介: 项目位于增城市中新镇坑贝村上汤社, 建设规模 5000.00 平方米, 主要建筑物有研发实验办公宿舍楼、厂房, 占地面积 10000.0 平方米, 每年生产 15 套脱硫脱硝一体化设备。已审核备案, 项目总投资 2200 万元, 其中土建投资 900.0 万元, 设备投资 500.0 万元。

建设单位: 广州市通用新产品开发有限公司

地址: 广州市广州大道南路上 905 号二楼

联系人: 黄万联

电话: 13650772541

传真: 020-89001538

金昌市热电联产配套脱硫脱硝工程(更新)

基本信息: 项目性质: 新建

所属行业: 能源化工

所属区域: 西北地区

所属地区: 甘肃

拟建项目正文: 投资规模: 20000 万

资金来源: 自筹

阶段补充: 项目建议书阶段

项目需要用到的关键设备如下: 脱硫设备、除尘设备、除雾器、吸收塔、搅拌器、石灰石卸料及输送系统、脱硝设备、污泥脱水系统设备、废水

处理系统设备。其中对外采购设备及采购方式待业主或项目单位根据实际情况确定, 如需提前介入, 建议尽快与业主或项目单位直接沟通后介入。

项目名称: 金昌市热电联产配套脱硫脱硝工程

项目简介: 项目位于甘肃省金昌市工业园区, 是金昌市热电联产工程的配套设施, 对两台 30 万千瓦国产燃煤热电机组进行烟气脱硫脱硝处理。正在审核备案, 项目总投资 20000 万元。

建设单位: 甘肃电投永昌发电有限责任公司

地址: 甘肃省金昌市河西堡镇

邮编: 737109

联系人: 陆平

电话: 0935-7312049、7312222

传真: 0935-7321269

设计单位: 中国电力工程顾问集团西北电力设计院

地址: 陕西省西安市高新技术产业开发区团结南路 22 号

联系人: 张文斌

电话: 029-88398888

传真: 029-88358899、88358600

10 万吨 / 年锌冶炼系统余热发电项目

基本信息: 项目性质: 新建

所属行业: 能源化工

所属区域: 长江中游

所属地区: 安徽

拟建项目正文: 投资规模: 4845 万

资金来源: 自筹

阶段补充: 核准阶段

项目需要用到的关键设备如下: 脱硫设备、除尘设备、除雾器、脱硫污泥脱水系统设备、脱硫废水处理系统设备、吸收塔、搅拌器、石灰石卸料及输送系统、旁路挡板门。其中对外采购设备及采购方式待业主或项目单位根据实际情况确定, 如需提前介入, 建议尽快与业主或项目单位直接沟通后介入。

建设单位: 安徽铜冠有色金属(池州)有限公司

电话: 086-0566-2122889

LasIR™ 激光气体分析系统

加拿大优胜公司 (Unisearch Associates Inc.) 成立于1980年, 是专业的气体检测仪器研发生产公司, 是可调式二极管激光器吸收光谱 (TDLAS) 气体检测技术的倡导者和领导者, 这种地位保持至今。

1994年Unisearch 推出基于TDLAS技术的LasIR气体检测系统, 应用领域包括空气质量监测、排放监测 (CEM)、过程控制检测。至今, LasIR气体检测系统已被广泛安装到世界各地。

LasIR 激光气体分析系统主要优势:

- 无背景气体交叉干扰
- 高粉尘、高温、高水汽工况直接安装
- 光纤分布多路检测技术, 降低用户购买成本

LasIR 激光气体分析系统主要应用形式:

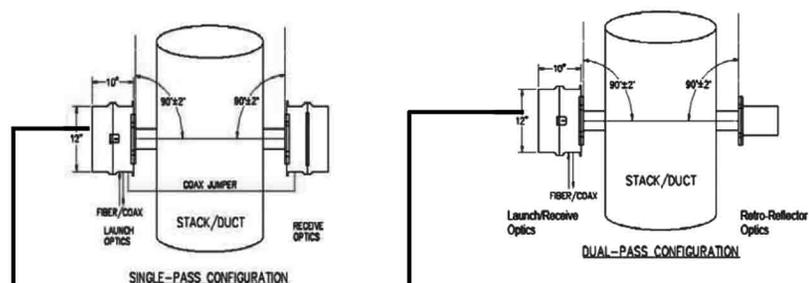
- 烟道、管道法兰式直接安装监测系统
用于烟囱排放和管道流程气体监测
- 抽取式流通池安装, 用于工艺流程气体监测
- 开放式长光程, 用于环境空气监测

LasIR 激光气体分析系统主要应用领域:

- 电解铝厂氟化物 (HF) 排放监测 (烟囱、电解车间天窗)
- 火电厂脱硝 (SCR 或SNCR) NH_3 逃逸监测
- 钢铁厂转炉烟气 CO/CO_2 监测
- 工业流程气体监测

LasIR激光气体分析系统能够检测的气体:

HF (氟化氢), HCl (氯化氢), HBr (溴化氢), HI (碘化氢), HCN (氰化氢), CO (一氧化碳), CO_2 (二氧化碳), CH_4 (甲烷), C_2H_2 (乙炔), C_2H_4 (乙烯), C_2H_6 (乙烷), C_3H_8 (丙烷), CH_2CHCl (氯乙烯), NO (一氧化氮), NO_2 (二氧化氮), NH_3 (氨气), H_2S (硫化氢), H_2O (水), O_2 (氧气), D_2O (重水), HOD (半重水)



优胜光分仪器南京有限公司
Unisearch Instruments Nanjing Inc.

电话: 025-87763088
传真: 025-87763099
邮箱: info@unisearch-cn.com
网址: www.unisearch-cn.com

放置在控制室的分析控制器可以和现场 1--16 个监测点的光学传感系统通过光纤连接, 光纤连接距离可达 1000 米。



2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011

第十届国际袋式除尘技术与设备展览会

2011年10月14-16日 苏州国际博览中心

中国环境保护产业协会袋式除尘委员会
2011年年会

2011年10月17-18日 苏州在水一方大酒店

欢迎浏览官网

www.bagfilter.net

或致电垂询 021-5666 7352



10th 周年
2002-2011

HEAG® 华仪®
中国驰名商标



让星空更亮 让晴空更蓝…

— 华仪 新能源

随着人类工业化进程的加快，环境危机日益突显，大力发展绿色能源成为应对这一危机的有效途径。

华仪风能作为国内一家有影响力的风电企业，拥有一支专业化的风电技术团队。公司致力于风电机组的研发、制造和销售，并提供风资源评估、开发利用、风电场建设和运营的整套解决方案。欲了解更多资讯，请登陆WWW.HUAYI.COM网站。

股票代码：600290



湖南株洲颐丰防腐工程有限公司

国家一级防腐施工资质 通过ISO9001:2008质量体系认证
全国防腐工程100强企业 湖南省防腐施工明星企业

颐丰防腐 下设防腐工程有限公司、工业设备有限公司、防腐材料有限公司和工业陶瓷有限公司等，是一家集防腐绝热工程施工、防腐材料和工业陶瓷生产销售、防腐设备制作安装、防腐蚀技术开发于一体的科技型企业，是一家集多项目施工的大型综合性专业防腐施工单位。公司现为中国腐蚀与防护技术学会会员单位，湖南省腐蚀与防护技术学会常务理事单位，国家化工行业促进中心钛白粉中心会员单位，国标《建筑防腐蚀工程施工及验收规范》参编单位，是湖南省最大的化工陶瓷、工业填料生产企业。公司具有国家一级防腐施工资质，通过ISO9001-2008国际质量体系认证、GB/T28001-2001职业健康安全管理体系认证、ISO14001-2004环境管理体系认证，是全国防腐AAA级信任认证企业、湖南省防腐施工明星企业和全国防腐工程100强企业。

公司拥有一支理论基础扎实的技术力量和一支实践经验丰富的施工队伍，坚持走科研开发与应用相结合的道路，先后开发出数项防腐新工艺、新技术、新产品。开发的耐氢氟酸型呋喃树脂申请了国家专利，并获得第九届中国专利技术博览会金奖；开发的高强度耐酸耐温砖获国家专利，并成功应用在钛白酸解锅、水解锅等设备及有色冶炼行业高温高压设备的衬里防腐上；开发的氯丁橡胶应用于衬里防腐获得国家新技术成果奖；开发的玻璃钢系列产品获湖南省新产品开发成果二等奖；开发的丁基橡胶衬里防腐技术获湖南省第二届腐蚀与防护学术研讨会优秀论文一等奖、湖南省第八届自然科学二等奖；开发的衬胶耐腐蚀高压离心通风机获得国家专利，在磷肥氟排风机、磷铵尾气通风机、钛白尾气通风机等的应用上，取得了令人瞩目的成绩；开发的整体树脂混凝土电解槽、玻璃钢电解槽、玻璃钢冷却塔等成功地应用在有色湿法冶炼上；开发的KP1耐酸胶泥、PE(PO)衬里防腐技术、聚氨酯喷涂防腐技术、高性能玻璃鳞片衬里防腐技术、环氧自流平施工技术等均具有较先进的技术水平和广阔的市场。公司施工业绩遍及湖南、湖北、广东、广西、云南、贵州、四川、甘肃、青海、江苏、山东、浙江、福建、江西等二十多个省市地区，广泛服务于石油、化工、冶炼、电子、电力、造纸等领域。

公司以“诚信、服务”为宗旨，以“材料出精品，工程创优质”为质量方针，为全面控制腐蚀与防护事业而不懈努力！



颐丰防腐 专业防腐保温设计、施工总承包！

一、各种防腐防渗工程的设计和施工：

- (1) 表面处理；(2) 橡胶衬里；(3) 玻璃钢衬里；(4) 玻璃鳞片衬里；(5) 耐酸瓷砖(板)衬里；(6) 石墨砖(板)衬里；(7) 塑料衬里；(8) PE(PO)衬里；(9) 衬铅、搪铅、衬不锈钢；(10) 金属喷涂(铝、锌、铅、不锈钢等)；(11) 涂料防腐；(12) 化学清洗、高压机械清洗；(13) 地坪、建筑物防腐防渗等。

二、各种保温保冷工程的设计和施工，工业炉窑砌筑；

三、各种玻璃钢设备与管道、塑料设备与管道等的设计、制造及安装；

四、各种非标设备、防腐设备、化工成套设备、环保设备、有色冶炼设备、硬质合金设备等的设计、制造及安装；I、II类压力容器的制造及安装；

五、生产及销售防腐酚醛树脂、呋喃树脂、K11耐酸防腐材料，系列防腐涂料，各种耐酸瓷砖(板、管)、耐酸耐温砖(板、管)、石墨砖(板、管)等，经销各种化工填料及防腐保温材料和产品；

六、防腐蚀设计，防腐蚀选材，防腐蚀技术开发、咨询、培训。





湖南湘潭大型电厂防腐保温工程



聚脲喷涂防腐的工业废酸废水池



有色冶炼电解槽梁柱防腐蚀



塑料衬里防腐



有色冶炼电解车间防腐



大型钛白水泥砗沉降槽 (400m³/台)
衬胶防腐使用现场



宁波新福钛白粉6万吨/年钛白装置酸性
污水处理池玻璃钢衬里防腐施工现场



湖南振升铝材有限公司污水处理池
玻璃钢防腐工程



玻璃钢衬里防腐蚀



大型有色冶金浓密池防腐



我公司生产的大型立式玻璃钢贮罐



株洲华银电力脱硫塔、烟道玻璃鳞片衬里

给我一次机会，还你一个不“朽”的承诺！

公司地址：湖南省株洲市石峰区建设北路103号 邮编：412005 网址：www.yf-ff.com

董事长：谢国泉 手机：13908430207 传真：0731-28301278, 28319588

电话：0731-28301278, 28319588 邮箱：Yifeng@yf-ff.com，或 yfff-xgq@163.com

**湖南株洲颐丰防腐
工程有限公司**

制造可靠的叶片 提供优质的服务



中能风电设备有限公司

地址：保定市北三环999号

邮编：071051

电话：0312-3195819

传真：0312-3195899

网址：www.znwind.com.cn

邮箱：market@znwind.com.cn



股票代码:002499

保护一片绿地 撑起一片蓝天

32年

执着追求布袋除尘专业技术
精益求精打造“宝带”品牌

www.kelin-china.com



中国名牌

32年来，与改革开放的步伐同行。我们选择以治理空气污染为中心，在全球范围内优化袋式除尘专业技术，维护并提升“宝带”的品牌美誉度，为各行业的粉尘治理、物料回收再利用及低碳经济的发展提供专业的除尘系统解决方案。

在保持了32年的稳定快速发展之后，我们再次感到一种强烈的责任感及使命感：在“节能减排”、“净化大气，造福人类”的终极愿景面前，我们永葆执着追求的旺盛青春……

科林环保装备股份有限公司

(原名：吴江宝带除尘有限公司)

公司总部地址：
江苏省吴江市松陵镇八坼社区交通路8号 (215222)
Tel:0086-512-63365888 Fax:0086-512-63365176

对外销售、技术联系地址：
苏州市工业园区通园路210号科林大厦 (215021)
Tel:0086-512-62512888 Fax:0086-512-62515176

E-mail:kelin@188.com

1979/4/26
八坼除尘设备厂

1999
科林集团 吴江宝带除尘有限公司

2007-2011
科林环保装备股份有限公司



常州德尔松压力容器有限公司

常州德尔松压力容器有限公司是国内专业从事耐腐蚀，耐高温合金如：镍基合金（C-276、G-30、1.4529、AL-6XN、904L）蒙乃尔合金，310S、309S、317LMN、双相不锈钢系列（2205、2507），及钛、镍、锆、钼等材料的设备及其非标件加工，制作的专业厂家。我公司与国外有色金属特种材料生产商有着广泛紧密的联系。我公司拥有可满足不同类别设备制造所需的生产、检验设备、工装等。我公司为氯碱、纯碱、真空制盐、石油化工、湿法冶金、制药、造纸、电力烟气脱硫、环保水处理、垃圾焚烧设备等等行业提供服务。

高性能合金材料在电厂烟气脱硫中的应用越来越广泛。

脱硫岛里常用部件主要有：

- 1、烟气入口部位的合金贴衬（C-276）
- 2、塔内各种泵管道前的合金滤网（C-27、61.4529、AL-6XN、S31254）
- 3、氧化空气喷枪（氧化风管）或事故冲洗管（C-276、1.4529、AL-6XN、S31254、2205）
- 4、脱硫岛里耐腐蚀合金法兰（C-276、1.4529、AL-6XN、S31254、2205）、
- 5、脱硫岛里各种耐腐蚀合金紧固件（C-276、1.4529、AL-6XN、S31254、2205）
- 6、提供电厂烟囪内合金内衬的防腐方案，合金材料，合金加工（常用材料有：钛复合板、C-276、1.4529等）

我公司对脱硫岛内材料都备有现货，并对电厂检修时所需合金材料，合金加工，提供优质、快速、专业的服务。

常用材料有（C-276、1.4529、AL-6XN、S31254、2205、904L）等，材料形式：板材、棒料、管材、法兰、紧固件、及各种焊材。

科技领先 服务至上

[Http://www.czdes.com](http://www.czdes.com)



RARE ALLOYS

常州赛尔合金有限公司

[Http://www.czsehj.com](http://www.czsehj.com)



板材 Sheets and Plates



管件 Tubes



锻件 Forging



棒材 Bar



焊条焊丝 Welding Consumable

常州赛尔合金材料公司专业销售美国哈氏公司、美国冶联科技国际公司、德国蒂森克虏伯（VDM）、SMC国际集团公司、瑞典奥托昆普、欧洲阿维斯塔、日本冶金株式会社等生产商生产的各类合金材料。

我们的供货没有最低货量的限制，根据不同的材料种类，从几公斤到几十吨都在我们的供货范围。我们按照客户的具体尺寸供应材料，减少客户的具体尺寸供应材料，减少客户浪费，为客户节省成本。

主要材料品种：

- ◆C-276(UNS N10276)
- ◆HASTELLOY B-3(UNS N10675)
- ◆哈氏B30合金（UNS N06030）
- ◆AL-6XN(UNS N08367),6钼合金1.4529,S31254(254SMo)
- ◆2205双相钢(UNS S31803/UNS S32205),Duplex 2205
- ◆800H/T(UNS N08811/N08810)
- ◆600合金(UNS N06600),Alloy 600
- ◆AL-904 (UNS N08904)
- ◆32750超级双相钢(UNS S32750)

材料种类：

耐腐蚀、耐高温不锈钢、超级不锈钢、双相钢，镍基合金、钴基合金、钛合金、铝合金等

材料形式：

板材、棒材、管子、锻件、以及相应的焊接材料

应用范围：

应用于化工、电站烟气脱硫、航空航天、工业炉、海上石油开采、造纸、电力、原子能等领域。

地址：常州新北区孟河镇，213139
联系人：吴瑞昌（13813591199）

电话：0519-83531917 83532927
邮箱：lwz54321@163.com

传真：0519-83530662