



新型催化法技术与硫酸尾气 深度治理超低排放

四川大学

国家烟气脱硫工程技术研究中心

成都达奇环境科技有限公司

内容提要:

- 一、产，学，研合作
- 二、新型催化法技术与应用进展
- 三、技术工艺与应用



一、产，学，研进展

科研团队

Scientific research team

| 学术带头人



-教授、博士生导师，曾任国家烟气脱硫工程技术研究中心主任多年，中国环境科学学会环境工程学会委员、大气分会委员，中国动力工程协会委员、环境分会主任委员，四川省劳动保护科学技术学会常务理事，四川省生态经济协会常务理事。长期从事环境工程教学、科研工作。

| 成员九人

- 教授/硕导：4人 / 其中2人日本访问学习经历
- 教授级高工：1人 / 国企高管任职经历
- 副教授/硕导：4人 / 其中1人日本1人美国访问学习经历

| 团队指导研究生：博士生、硕士生常年规模50人左右



清洁脱硫脱硝研究团队

清洁脱硫脱硝研究团队是国家烟气脱硫工程技术研究中心、四川大学建筑与环境学院、四川省环境保护环境催化材料工程技术中心、四川大学大气污染控制工程技术中心的重要组成部分。团队通过产学研合作，建立脱硫脱硝催化材料研究室、VOC污染控制研究室、脱硫脱硝催化剂中试基地、城市烟气净化工程中试基地、并建设示范工程。团队现有特聘院士1人，教授3人，副教授3人，高级工程师1人，讲师1人，客座教授1人，博士后1人，形成了一支以中青年专家为主要力量的学术梯队。长期有硕博研究生30余人从事科学研究。每年有10多本科生完成毕业论文。

主要研究内容

- 新型催化法烟气深度控制
- 非钒系低温脱硝催化剂
- 催化反应器
- 烟气污染物综合控制
- 新型非钒系硫磺催化
- 新型催化法脱硫、低温脱硝工艺
- 新型钠法硫磺综合控制

团队成员简介



特聘院士：魏雪斌。研究方向：环境化学；环境污染与健康；环境监测分析技术与方法。先后承担了国家一系列的重大科技攻关课题。近十年他关注环境污染与健康的研究，开展与美国的多项合作研究。获国家科技进步二等奖两项（此两项也获得部级进步一等奖）；获部级科技进步二等奖三项；获部级三等奖一项。出版专著十余部，发表论文180余篇。



学术带头人：尹华强，男，四川大学教授，博士生导师，环境工程专业，国家烟气脱硫工程技术研究中心主任。主要从事大气污染综合控制、烟气脱硫脱硝，环境催化材料等的研究工作，主持项目20余项，已形成发明专利10余项，正式发表论文100余篇。获2015年四川省科技进步一等奖，2015年成都市专利奖银奖。



主要成员：李建军，清华大学硕士，日本名古屋大学能源科学与工程专业博士，日本名古屋大学及名古屋产业科学研究所博士后。四川大学建筑与环境学院教授，国家烟气脱硫工程技术研究中心副主任。主要从事大气污染综合控制、烟气脱硫脱硝，催化及能源回收利用方面的研究工作，发表相关学术论文30余篇，其中一半以上被SCI、EI、ISTP收录和引用。获多项省部级科技进步奖及多项国家专利，主持省部级以上重点项目10余项，企业委托项目数十项。



主要成员：赫洪强，工学博士，硕士生导师，四川省学术与技术带头人，四川大学建筑与环境学院工会主席，四川省环境工程评估中心、成都市经信委新材料、四川省科技厅种子工程评审专家库成员。发表论文30余篇，参编教材专著多部，主持国家省市科研项目多项。曾获得四川省教育工委优秀共产党员、四川省优秀共产党员、四川大学优秀青年骨干教师、四川大学优秀社团指导教师。获四川省科技进步一等奖1项(第四)，成都市科技奖专利奖银奖1项(第四)。



主要成员：刘隼军，理学博士，副教授，硕士生导师，四川省学术与技术带头人后备人选。2006年-2008年日本产业技术综合研究院访问学者，2009年-2012年留学日本千叶大学攻读博士学位。主持及参与国家、省市及企业科研项目20余项。发表论文10余篇，其中SCI收录6篇，参加国际学术会议11次，参编教材专著4部，获中国授权发明专利2项，日本授权发明专利2项，获四川省科技进步一等奖1项(第五)，四川省科技进步二等奖1项(排名第3)，四川省环境保护科学技术二等奖1项(排名第3)。



主要成员：郭家驹，理学博士，副研究员，硕士生导师，四川省学术与技术带头人后备人选。主持及参与国家、省市及企业科研项目20余项。发表论文30多篇，申请国家发明专利15项，其中授权5项，获四川大学“探索式-小班化”教学质量优秀奖，四川省科技进步一等奖1项(第三)，中国专利优秀奖1项(第二)，四川省专利三等奖1项(第二)，成都市科技奖专利奖银奖2项(第二、第三)。



主要成员：岑建军，工学博士，硕士生导师。以第一性原理与分子动力学为研究方法，开展环境催化反应机理研究与材料设计。目前从事炭材料低温催化脱硫、雾霾形成的大气非均相过程和g-C₃N₄紫外可见光催化活性拓展方面的基础研究。常用软件：VASP, CPMD, LAMMPS。主持及参与国家、省市及企业科研项目20余项，发表论文30多篇。

重要科研项目

项目名称	项目负责人	总经费	项目来源	起止时间
新型复合氧化物等活性金属氧化物烟气中SO ₂ 、NO _x 及再生机理研究	郭家驹	60万元	国家自然科学基金	2019.1-2022.12
金属-金属氧化物等活性金属氧化物烟气中SO ₂ 、NO _x 及再生机理研究	岑建军	60万元	国家自然科学基金	2019.1-2022.12
炭材料空位、缺陷等活性金属氧化物烟气中SO ₂ 、NO _x 及再生机理研究	岑建军	23.84万元	国家自然科学基金	2016.1-2018.12
基于烟气多种污染物脱除的钒基催化剂及催化净化机理研究	李隼军	80万元	国家自然科学基金	2014.1-2017.12
金属氧化物等活性金属氧化物烟气中SO ₂ 、NO _x 及再生机理研究	郭家驹	25万元	国家自然科学基金	2012.1-2014.12
新型低温选择性催化还原脱硝催化剂的设计、制备及脱硝机理研究	楚洪强	213万元	国家自然科学基金	2009.1-2011.12
钒基钨基钨基催化剂的制备与VOCs催化性能研究	刘隼军	20万元	四川省科技厅项目	2018.1-2019.12
危险废物综合利用与治理技术及装备	楚洪强	25万元	四川省科技厅项目	2018.1-2019.12
工业烟气低硫排放控制技术集成与示范	刘隼军	75万元	四川省科技厅项目	2017.7-2019.6
钒基多元氧化物/石墨基复合氧化物催化剂的制备及典型有机污染物关键技术研究	郭家驹	20万元	四川省科技厅项目	2017.1-2018.12
基于动态平衡分离技术的固废行业多污染物高效协同治理装备研发	岑建军	20万元	四川省科技厅项目	2017.1-2018.12
低浓度等离子体耦合催化法控制挥发性有机物的技术和装备研发	楚洪强	40万元	四川省科技厅项目	2017.1-2018.12
四川省节能环保装备产业现状与产品品质提升研究	尹华强	80万元	四川省科技厅项目	2015.1-2016.12
燃煤烟气脱硫脱硝综合控制、多种污染物协同控制关键技术及工艺优化研究	郭家驹	55.8万元	四川省科技厅项目	2016.1-2017.12
煤渣资源化利用关键技术装备研究与示范	刘隼军	30万元	四川省科技厅项目	2016.1-2017.12
钢铁行业烟气高效治理关键技术装备研发与示范应用	岑建军	60万元	四川省科技厅项目	2016.1-2017.12
火电烟气污染物综合控制关键技术研究与示范	楚洪强	80万元	四川省科技厅项目	2014.1-2017.12
工业炉窑烟气高效净化资源化控制关键技术装备研发与示范应用	刘隼军	30万元	四川省科技厅项目	2014.1-2017.12
钒基多污染物协同控制技术及示范应用	岑建军	50万元	成都市科技专项	2018-2021
危险废物禁止填埋综合技术(CST)研发及示范应用	李隼军	50万元	四川省科技厅重大科技专项	2018-2020

获奖



专利与专著



重要学术论文





技术证书

Technical certificate

入选环保部和科技部
2014年3月发布的
《大气污染防治先进技术汇编》

2016年获四川省
科技进步
一等奖

入选生态环境部2018年
《国家先进污染防治技术目录
(大气污染防治领域)》





技术证书

Technical certificate

荣获国家知识产权局

2020年7月颁发

中国专利优秀奖



入编工信部、科技部、生态环境部

2020年12月发布的

《国家鼓励发展的重大环保技术装

备目录（2020年版）》





产、学、研结合

Combination of production, learning and research



- 为更好推进**新型催化法技术**的**产业化推广**
- **四川大学大气课题组**响应国家双创号召集资于2016年12月22日设立



达奇环境
DAQIHUANJING

- 四川大学新型催化法大气污染治理技术转化平台
- 国家烟气脱硫工程技术研究中心产业化公司



主营业务

Company business

- **基础研究：**新型环保技术研发（烟气脱硫、脱硝等）、工艺研究等
- **新材料、新产品生产及供货：**脱硫催化剂、脱硝催化剂、吸附剂等
- **EPC交付工程项目：**设计、采购与施工安装、开车调试、技术培训
- **新技术工艺开发与合作：**脱硝一体化设备、VOCs/二噁英、水/空气净化等





荣誉

Company business

高新技术企业

成都高新区瞪羚企业

成都市新经济梯度培育入库企业

成都市中小企业成长工程培育企业

成都市环保产业协会常务理事单位

四川大学青年就业创业见习基地

总经理入选“蓉漂计划”长期创业项目

成都市环境工程与装备制造二十强企业





荣誉

Company business

四川省瞪羚企业

国家烟气脱硫中心成都天府分中心

中国硫酸工业协会常务理事单位

荣获2020年生态环境创新工程百佳案例

2020年荣获中国专利优秀奖

技术成果入编《国家鼓励发展的重大环保

技术装备目录》（2020年版）

技术成果入编《2020年成都市生态环境

先进技术工艺汇编》



生产基地01

Catalyst standard



主要依托其已有
生产线，我方添
加核心设备组成
符合我方产品生
产要求的代加工
生产线

生产基地02

Catalyst standard

达奇环境以专有技术对传统竹质活性炭生产线进行改造，建成竹基产品代加工生产线



催化剂生产工艺优化

Catalyst production process optimization



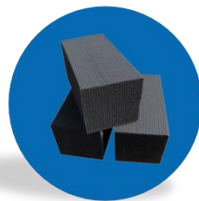
颗粒状催化剂



中空颗粒状催化剂



纤维状催化剂



蜂窝状催化剂

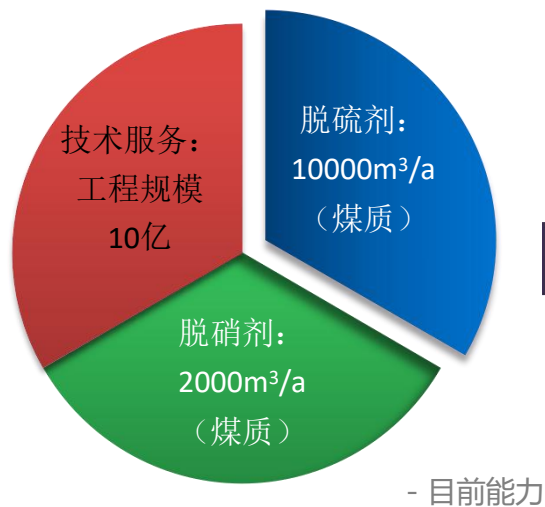
催化剂标准

Catalyst standard

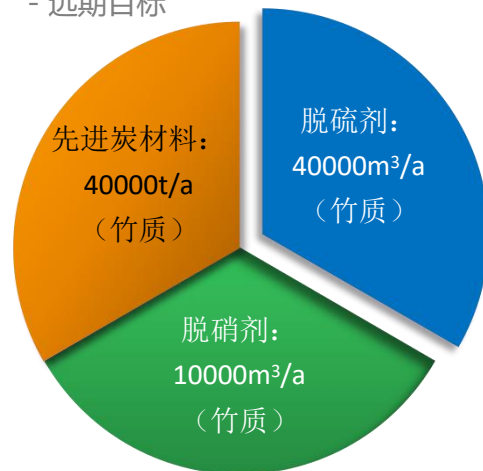


竹质活性炭开发

Development of bamboo based activated carbon



- 远期目标

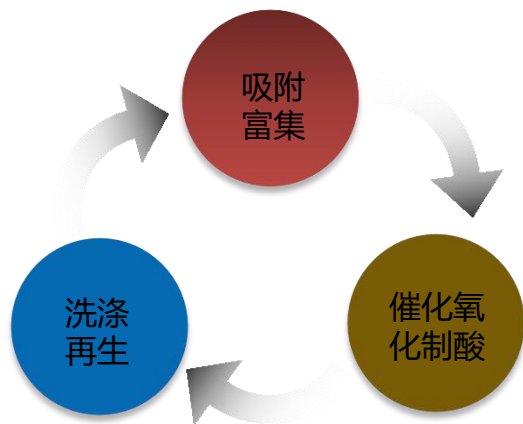


二、新型催化法技术与应用进展

1, 新型催化法烟气脱硫技术



- 吸附: H_2O 、 O_2 、 SO_2 被吸附在催化剂表面
- 催化: $\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{催化}} \text{SO}_3$ 、 $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{制酸}} \text{H}_2\text{SO}_4$
- 再生: 水洗再生释放出活性位



没有硫酸盐、铵盐产生!

固定污染源废气中硫酸雾测定标准

- 《固定污染源废气 硫酸雾的测定 离子色谱法》HJ544-2016

- 术语和定义

- 下列术语和定义适用于本标准。

硫酸雾 sulfuric acid mist

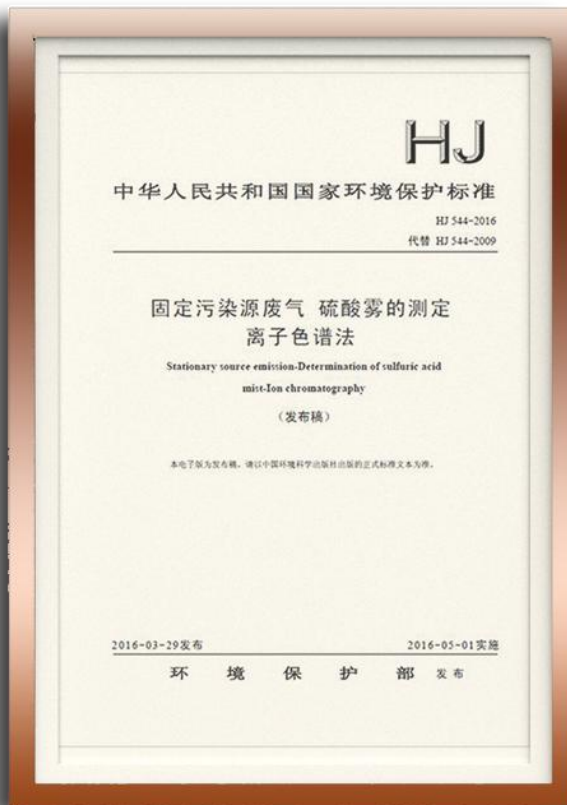
本标准测定的硫酸雾包括**硫酸小液滴**、**三氧化硫**及颗粒物中**可溶性硫酸盐**。

- 适用范围

- 本标准规定了测定固定污染源废气中硫酸雾的离子色谱法。

本标准适用于固定污染源废气中硫酸雾的测定。

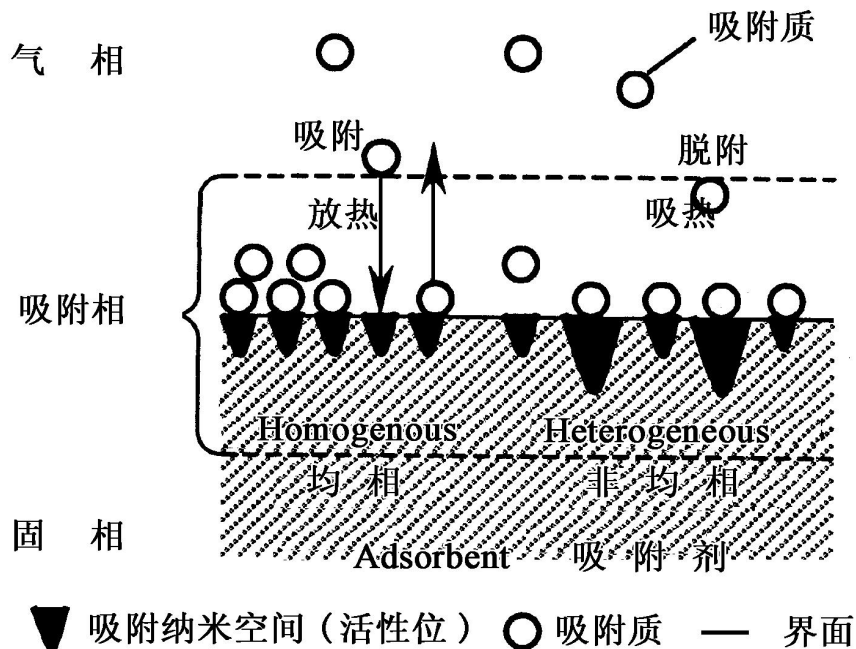
测定有组织排放废气，当采样体积为 0.4m^3 （标准状态），定容体积为100ml，进样体积为25 μl 时，方法检出限为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ，测定下线为 $0.80\text{mg}/\text{m}^3$ 。测定无组织排放废气，当采样体积为 3.0m^3 （标准状态），定容体积为50ml，进样体积为25 μl 时，方法检出限为 $0.005\text{mg}/\text{m}^3$ ，测定下线为 $0.020\text{mg}/\text{m}^3$ 。



- 硫酸行业受条件限制，大量采用了氨法脱硫技术
- 2016年HJ544-2016正式实施，带来硫酸行业的大震动
- **硫酸盐！**
- 尽管雾霾的成因尚不能确定，但雾霾颗粒主要成分是硫酸盐和硝酸盐却是学术界公认的
- 中国硫酸工业协会已正式发函至环保部，申请对该标准进行修订

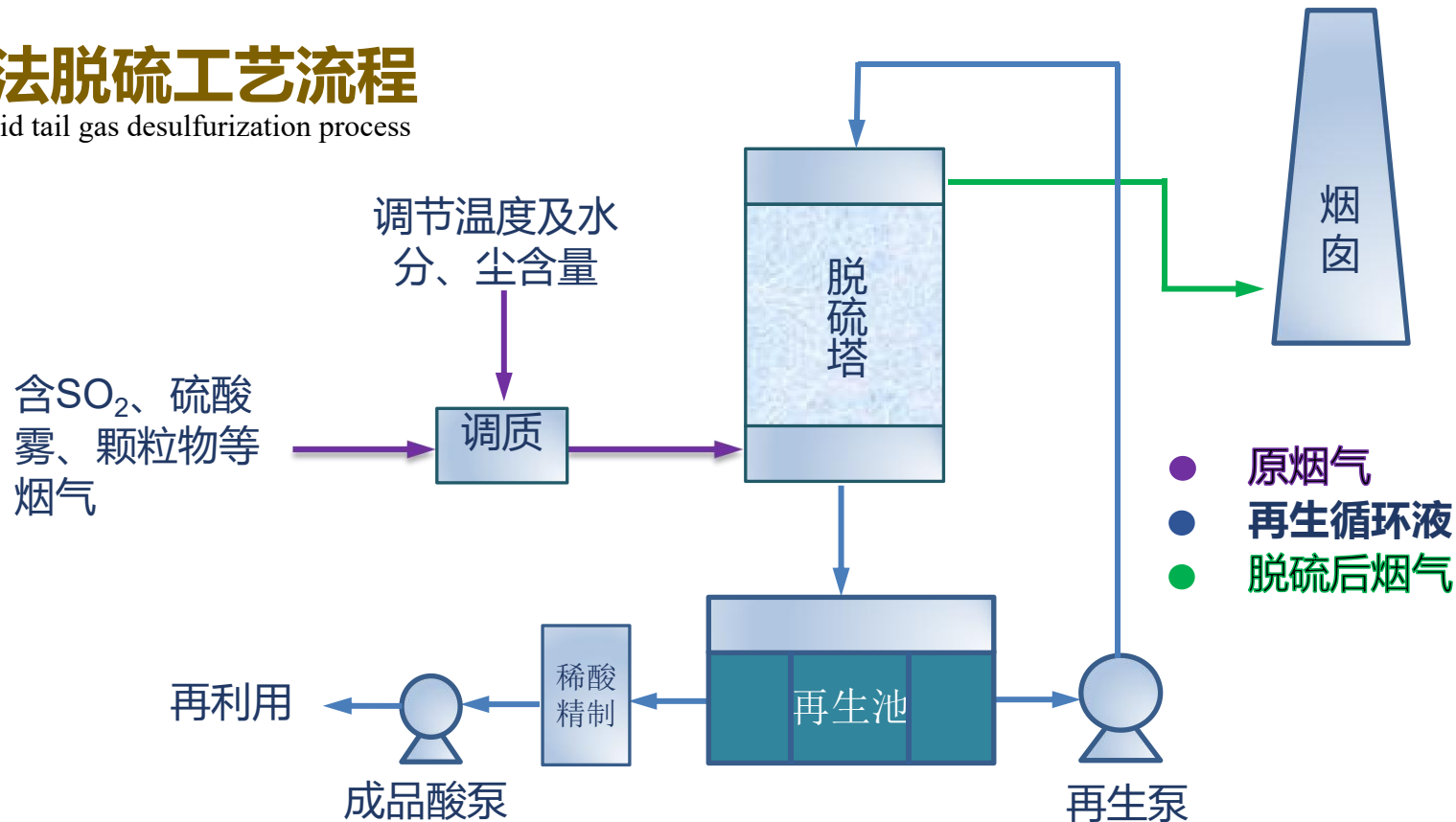
硫酸雾整体脱除机理

Overall removal mechanism of sulfuric acid mist

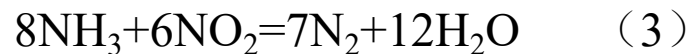
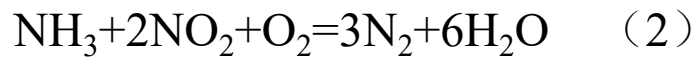
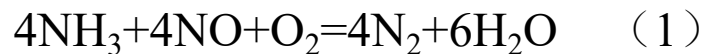
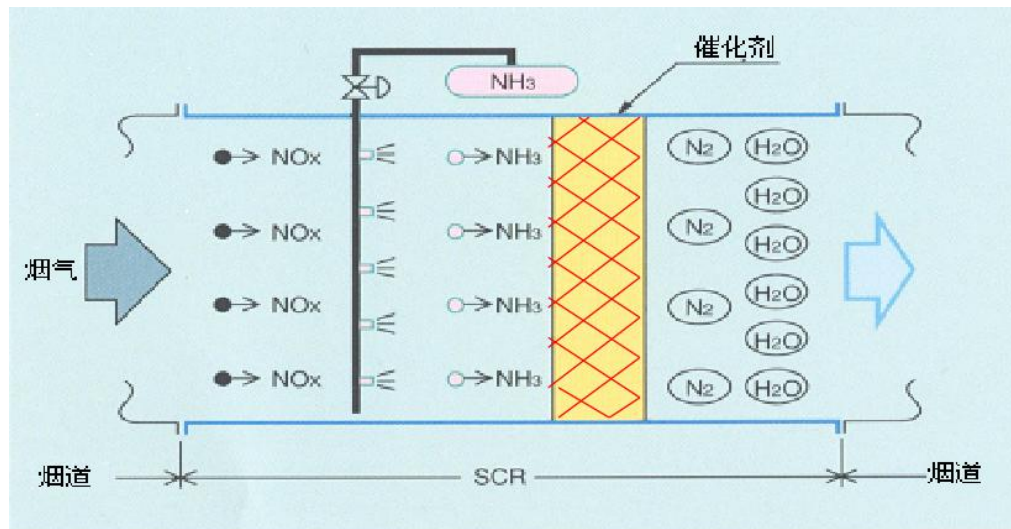


催化法脱硫工艺流程

Sulfuric acid tail gas desulfurization process



2, 新型催化法低温SCR烟气脱硝技术



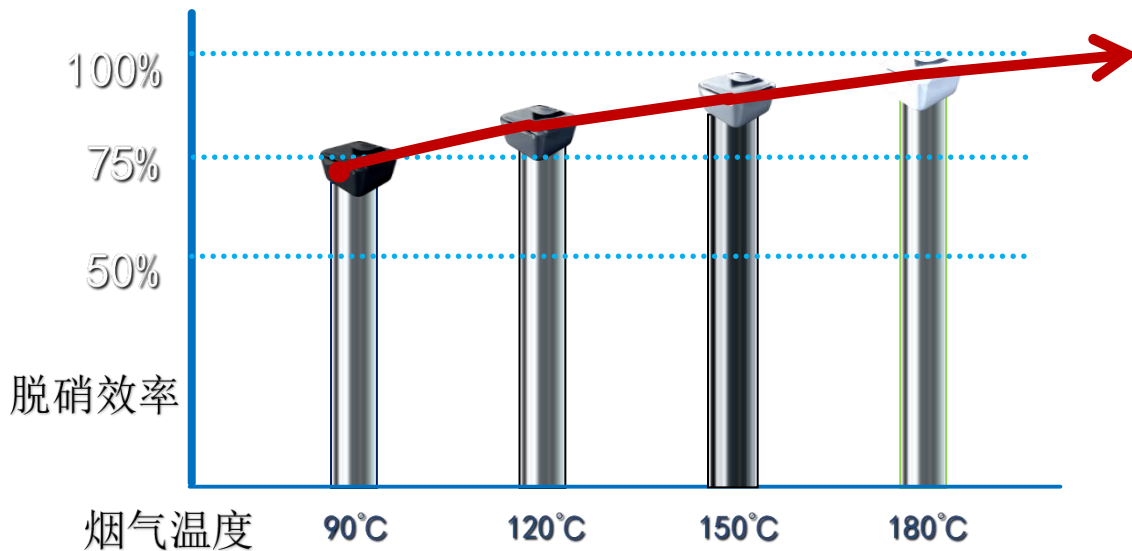
核心技术创新点:

★ 新材料

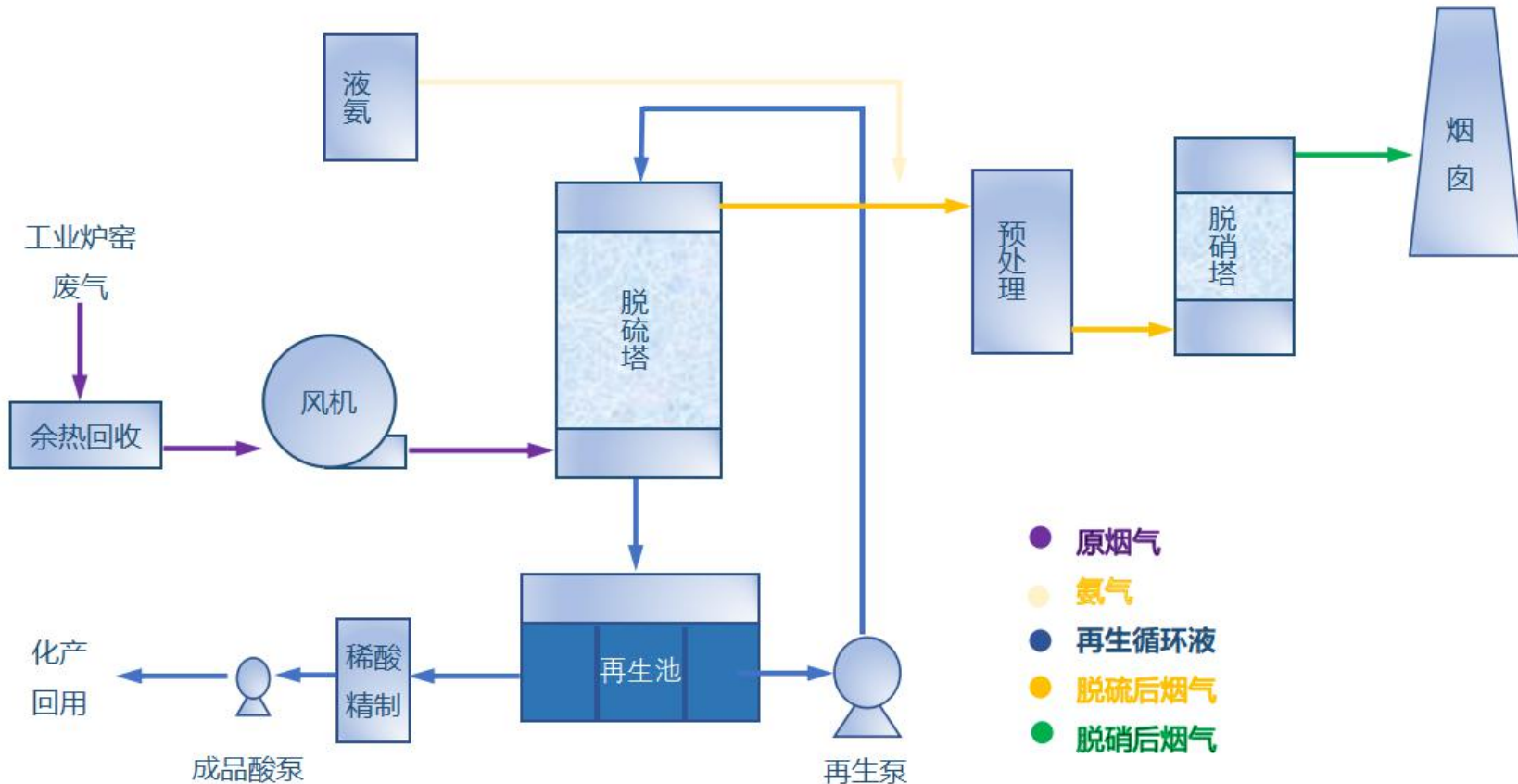
新型脱硝催化剂

★ 低温

120~180℃脱硝运行



催化法脱硫脱硝工艺流程



3, 技术应用进展

技术起源：电厂锅炉应用

Origin of Technology

-起源于“七五”攻关：
磷铵肥法烟气脱硫技术





有色行业：冶炼烟气制酸尾气治理

The first unit in sulfuric acid industry



- 2014年6月建成，投运至今：

焙烧锌精矿烟气制硫酸尾气脱硫装置

- 吨酸成本约1元(氨法约3元，钠碱法约20元)，副产品盈利
- 充分验证了脱硫剂性能及脱硫效率
- 脱硫催化剂使用寿命已达六年之久

有色行业：冶炼烟气治理

Engineering application in nonferrous industry

- 2015年建成首套国外工程项目：

刚果（金）绿砂铜钴冶炼烟气脱硫

- 原烟气SO₂浓度：1%~1.5%

- 采用中国标准，出口 < 400mg/m³

- 2年内产20%硫酸6万吨，直接收益2000万元（当地98酸1800元/t）



化工行业：脱硫除硫酸雾达标案例

Case study of sulfuric acid mist emission up to standard

- 湖北大生化工15万吨硫酸尾气脱硫装置
2015年6月建成投运至今

项目	平均值
进口颗粒物mg/Nm ³	17.6
出口颗粒物mg/Nm ³	6.2
进口硫酸雾mg/Nm ³	47.6
出口硫酸雾mg/Nm ³	3
进口SO ₂ mg/Nm ³	1200 ~ 1700
出口SO ₂ mg/Nm ³	11.4
烟气温度℃	62



- 检测时间：2016年9月21日

工程装置运行费用统计

Case study of sulfuric acid mist emission up to standard

表一 硫酸尾气脱硫项目经济效益统计

序号	名称	数量	单位	单价 (元)	总价 (万元)	备注
1	水耗	4000	吨	-2	-0.8	
2	电耗	300000	kw.h	-0.6	-18	
3	硫酸回收	1020	吨	400	40.8	
4	直接效益				22	盈利

经济效益证明

由四川大学研发的新型催化法烟气脱硫技术应用于我公司 15 万吨/年硫酸装置尾气脱硫项目已稳定运行近三年。该技术工艺流程简单，脱硫效率高，无二次污染，产生的硫酸可以直接回用于硫酸装置增加硫酸产量，实现工厂减排的同时还能增加经济效益。该装置增加的经济效益在抵消全部直接运行成本后仍有盈余，每年达 22 万元，颠覆了环保装置需要不断投入的传统；考虑减排收益的情况下，每年共为企业增加经济效益 103.9 万，详情见表一。

表一 硫酸尾气脱硫项目经济效益统计

序号	名称	数量	单位	单价 (元)	总价 (万元)	备注
1	水耗	4000	吨	-2	-0.8	
2	电耗	300000	kw.h	-0.6	-18	
3	硫酸回收	1020	吨	400	40.8	
4	直接效益				22	盈利
5	SO ₂ 减排	650000	kg	0.034	22.1	
6	经济效益总计				103.9	盈利

特此证明！



钛白行业：脱硫除硫酸雾达标案例

Case study of sulfuric acid mist emission up to standard

- 龙蟒佰利联项目：40万吨/年制酸

项目	平均值
进口硫酸雾 mg/Nm^3	206
出口硫酸雾 mg/Nm^3	2.41
进口 SO_2 mg/Nm^3	500 ~ 1000
出口 SO_2 mg/Nm^3	0.57 ~ 3
烟气温度 $^{\circ}\text{C}$	72

- 检测时间：2021年6月23日



化肥企业：脱硫除硫酸雾达标案例

Case study of sulfuric acid mist emission up to standard

- 襄阳泽东化工35万吨硫酸尾气脱硫装置

- 检测时间：2019年8月5日

- 检测时间：2019年9月10日

项目	平均值	项目	平均值
进口硫酸雾 mg/Nm^3	520.7	进口硫酸雾 mg/Nm^3	417
出口硫酸雾 mg/Nm^3	3.1	出口硫酸雾 mg/Nm^3	2.8
进口 SO_2 mg/Nm^3	1621	进口 SO_2 mg/Nm^3	1577
出口 SO_2 mg/Nm^3	未检出	出口 SO_2 mg/Nm^3	未检出



燃煤锅炉工程应用

Coal fired boiler engineering application

- 2018年1月建成广东光华科技30t/h

燃煤锅炉烟气超低排放工程项目

- 燃气锅炉大气污染物排放标准GB16171-2012 (mg/m^3)

污染物	排放 限值	特别排 放限值	运行 效果
烟尘	20	20	<20
二氧化硫	50	50	<10
氮氧化物 (以 NO_2 计)	200	150	<150

- 达到燃气锅炉排放限值

- 运行成本: 1.25元/t蒸汽

- 副产物收益: 1.4元/t蒸汽



焦化行业组合应用

Combined application of coking industry

- 2018年建成武钢焦化9/10#焦炉

烟气脱硫脱硝工程

- 炼焦化学工业污染物排放标准GB16171-2012 (mg/m³)

污染物	排放 限值	特别排放 限值	超低排放 限值*	运行 效果
颗粒物	30	15	10	2
SO ₂	50	30	15	2
NOx	500	150	100	70

*达到钢铁工业大气污染物超低排放标准

- 达到焦化超低排放要求

- 吨焦运行成本：≤10元



燃气锅炉一体化脱硝装置

Coal fired boiler engineering application

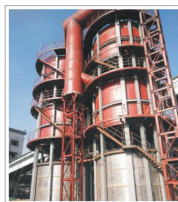
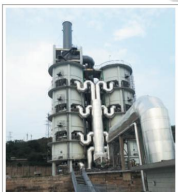
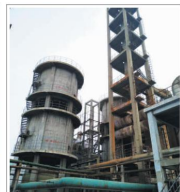
项目	低氮燃烧技术	新型催化法低温SCR脱硝技术
对锅炉本体影响	改造燃烧系统，热效率降低	末端治理，对本体无影响
NO _x 排放	基本达标（<30mg）	可稳定达标（可<20mg）
CO排放	有时超标	稳定达标
需要原料	无	液氨
运行电费	无	少量
其他费用	燃料消耗增加2.5m ³ /t汽	无
运行成本(元/t蒸汽)	7.5	3.0



近几年工程应用业绩

Engineering application performance in recent three years

- 2018-2020年建设工程装置40多套，工程投资近10亿
- 成为硫酸、焦化、有色、锅炉等行业废气治理先进可行技术



技术总结

新型催化法脱硫技术特点

Technical characteristics

- **简单**: 烟温下直接用, 流程短设备少, 操作简单运行稳定
- **高效**: 脱硫效率高, 可稳定实现 $\text{SO}_2 < 20\text{mg}$ 、硫酸雾 $< 5\text{mg}$
- **环保**: 无二次污染, 副产物稀硫酸品质好, 可资源化利用
- **经济**: 无需不断添加脱硫剂, 泵类间歇使用, 运行成本低
- **先进**: 自主知识产权, 技术国际先进, 催化技术国际领先



技术总结

新型催化法低温SCR脱硝技术特点

Technical characteristics

- **创新**：新型脱硝催化剂，自主研发专利
- **低温**：120~180℃烟温条件下直接脱硝运行
- **高效**：脱硝效率高，可达90%，可稳定 $\text{NO}_x < 50\text{mg}$
- **环保**：无二次污染
- **经济**：能耗少，运行成本低，脱硝剂可再生



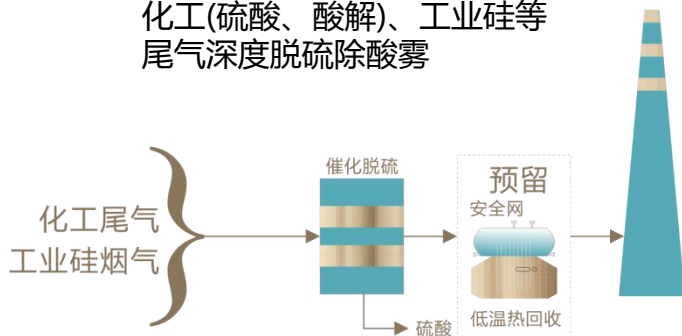
三、技术工艺与应用

脱硫脱硝技术应用领域

Application field of desulfurization and denitrification technology

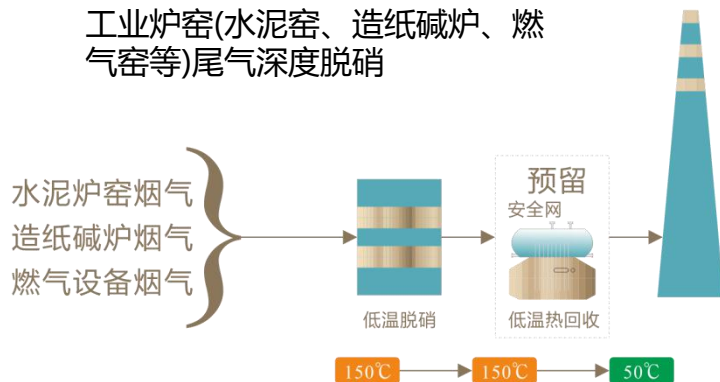
(1) 不含硝工业烟气脱硫

化工(硫酸、酸解)、工业硅等
尾气深度脱硫除酸雾



(2) 不含硫工业烟气脱硝

工业炉窑(水泥窑、造纸碱炉、燃气窑等)尾气深度脱硝

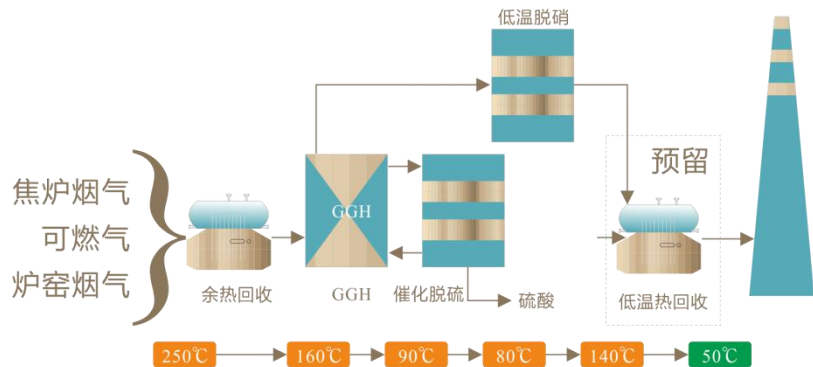


脱硫脱硝技术应用领域

Application field of desulfurization and denitrification technology

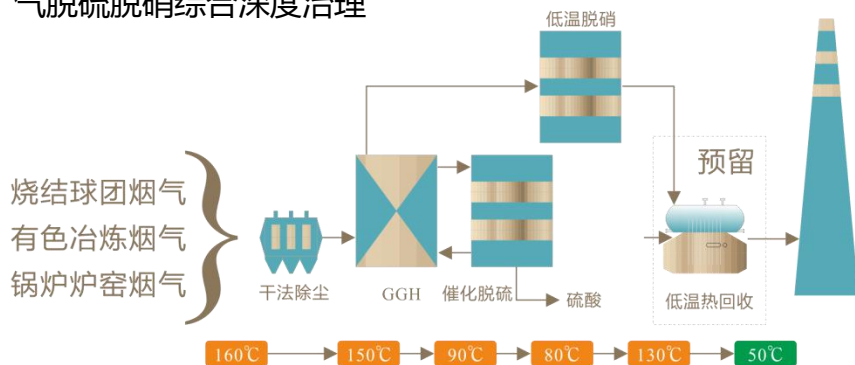
(3) 燃气烟气深度治理

焦炉烟道气、可燃气炉窑等尾气
脱硫脱硝



(4) 工业窑炉烟气深度治理

烧结球团、有色冶炼、锅炉等尾
气脱硫脱硝综合深度治理

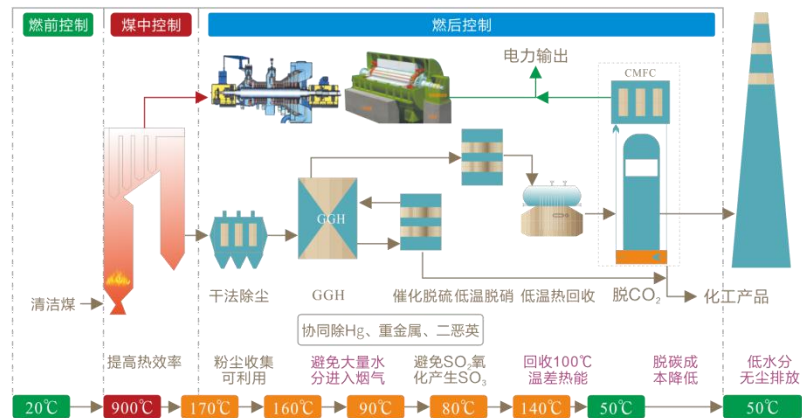


脱硫脱硝技术应用领域

Application field of desulfurization and denitrification technology

(5) 电力行业烟气深度治理

燃煤电厂锅炉尾气除尘脱硫脱硝
脱碳等综合超低排放治理



(6) 其他技术产品及应用领域

VOCs/二噁英治理、工业废水/污泥综合治理、
饮用水/空气净化等



新型催化法技术 与工业烟气污染物协同超低排放

+ 联系人：张 宝
+ 电话/微信：13558655766
+ 邮箱：1366617004@qq.com



四川大学

国家烟气脱硫工程技术研究中心

成都达奇环境科技有限公司