



以废治废 变废为宝

资源回收生物法脱硫脱硝技术

——引领循环经济与可持续发展

内蒙古大学
大连理工大学

•2025.4.29•

一. 传统脱硫脱硝的不足及创新工艺简介：

1. 传统脱硫方法简介：

图表1：主要脱硫工艺对比

分类	脱硫工艺	优点	缺点	脱硫率
湿法脱硫工艺	石灰石-石膏法（钙法）	脱硫效率高，吸收剂利用 rate 高，设备运转率高	投资大，设备占地大，运行费用高，耗电量大，二次污染	95%
	海水脱硫法	流程简单，运行费用低	地域限制条件大，腐蚀设备严重	90%
	氯法脱硫工艺	副产品价值高，减少二次污染，可取得50%左右的脱销效率，节约长期运行费用	脱硫剂来源受限，氯气容易逃逸	90%
半干法脱硫工艺	旋转喷雾半干法	投资较低，设计和运行简单，占地较小	脱硫率不高，制浆系统庞大，设备磨损问题	40-80%
	炉内喷钙尾部增湿	工艺简单，占地小，投资小	钙硫比过大，石灰脱硫消耗量大，易产生粉尘，使除尘负荷加重	40-80%
干法脱硫工艺	炉内喷钙	投资较低，占地小，主要用于老厂改造	脱硫率不高，制浆系统庞大，设备磨损问题	50-70%
新型工艺	电子束法	同时脱硫脱硝，无废水排放，运行操作简单，副产品可作氯肥	核心设备过于昂贵限制应用	90%

2. 传统脱硝方法简介：

图表3：主要脱硝工艺对比

工艺	脱硝率 (%)	投资费用 (基数比较)	适用范围	优势	缺点
SCR	70-90	1.5	中大规模电厂，新上机组，对高硫份燃料不适用	工艺成熟，反应温度低，脱硝率高，商业应用广	需催化剂，投资及运行成本高，占地大，存在氨泄露，催化剂易中毒现象
SNCR	30-50	1	小型电厂，适合老机改造	可通过旧设备改造实现，建设周期短，投资及运行费用低，适用广，占地小，无需催化剂	脱硝效率低，氨泄露率大，存在二次污染，设备腐蚀大
SCR+SNCR	40-90	1.25	大型燃煤锅炉以及老厂改造	结合SCR高效以及 SNCR技术投资省的特点，节省催化剂的使用量，降低一定的装置成本和占地空间	商业应用不多，系统可靠性尚需改进

3. 传统方法存在的问题

石灰石膏法脱硫技术：
从资源到废弃物的非物
质循环过程



- 不可再生的自然资源碳酸钙热分解出的氧化钙作为材料，将二氧化硫与氧化钙反应生成硫酸钙副产物，俗称脱硫石膏。
- 耗能大：碳酸钙高温煅烧分解得到氧化钙。

氨法脱硝技术：
从资源到废弃物的非物
质循环过程



- 氨（包括尿素等）是通过空分工艺将大气中的氮气分离后再高温高压催化才能合成的。
- 而另一个重要原料氢则是从煤炭气化制取。两者都是高耗能和高碳排放的。

SCR催化还原的催化剂：
消耗钛资源，生产催化剂产生二
次污染，使用后废催化剂污染

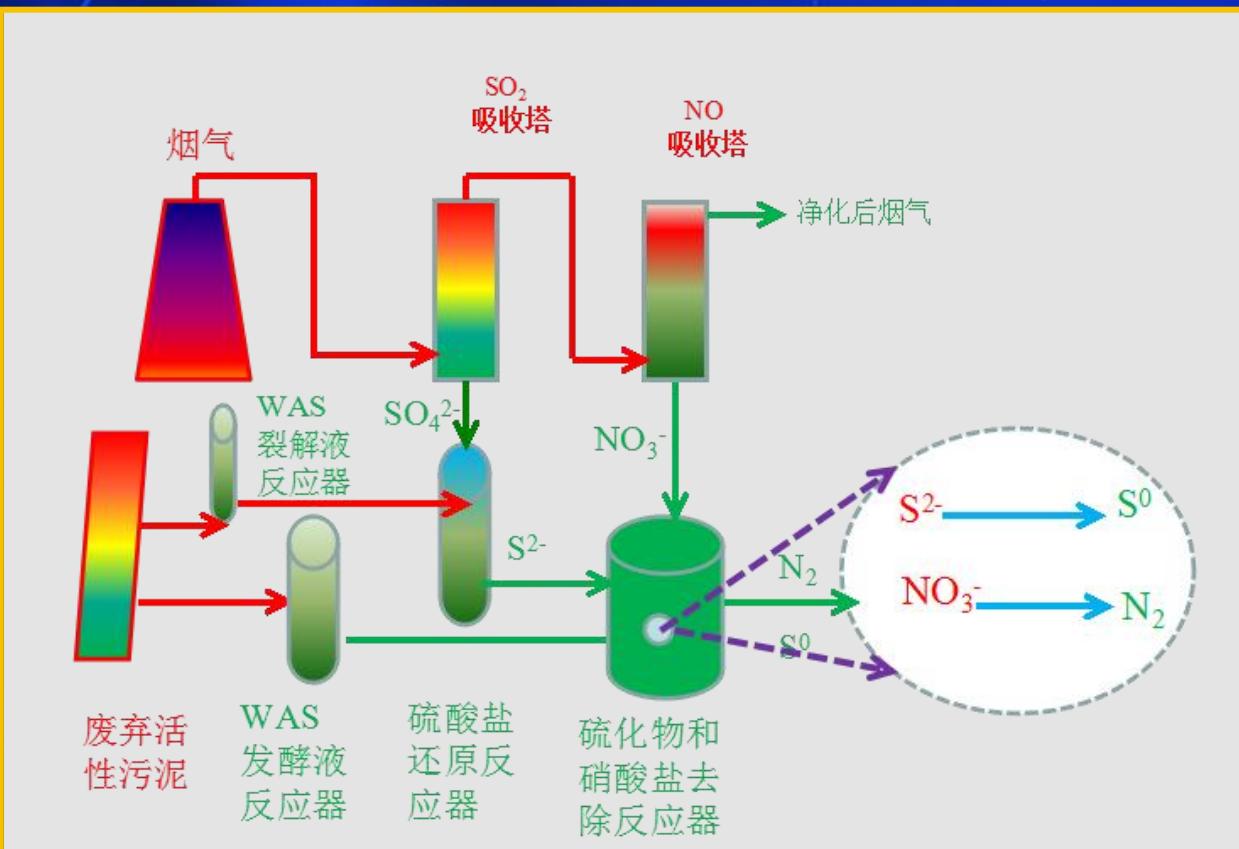


- 催化剂是钛系居多，生产这些催化剂不仅高能耗而且产生大量环境污染物，而废催化剂也是重要的危险废物，属典型的环境污染物

4. 资源回收法烟气脱硫脱硝工艺简介：

烟气 → 生物还原脱硫 → 硫化物（代替氨）→ 生物（化学）脱硝 → 氮氧化物转变为氮气

硫化氢转变为硫磺



脱硫技术所产生的副产物为高附加值产品。
具有高效、成本低、循环利用和可持续性的特点。

脱硝核心技术为以硫化物作为还原剂代替氨还原氮氧化物，使氮氧化物转化为氮气脱硝，而硫化物本身被氧化为单质硫，从而实现硫回收。而驱动二氧化硫（硫酸盐）还原的动力，是利用污水厂剩余活性污泥中的有机物，实现用固体废弃物治理大气污染物，避免了碳酸钙资源的消耗、脱硫石膏的污染、合成氨的消耗并且获得了硫资源。

二、技术特点及来源:

- 1. 以废治废：脱硫脱硝原料来自于烟气本身及废弃物**
- 2. 变废为宝：烟气中废物转变成资源**
- 3. 节能减碳：生物转化常温反应减少二氧化碳排放**
- 4. 产生直接的经济效益：使环保处理成为生产过程**

证书号第517388号



发明专利证书

发明名称：一种资源回收法烟气脱硫工艺及其一体化装置

发明人：周集体；张后；李承宇；王阳松；郭士元

专利号：ZL 2007 1 0012850.3

专利申请日：2007年9月13日

专利权人：大连理工大学

授权公告日：2009年7月1日

本发明经由本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权。颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细规则规定缴纳年费。缴纳本专利年费的期限是每年的7月1日前一个月内。未按照规定缴纳年费的，专利权将终止。专利权人应当在年费期满之日起停止。

专利证书载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长 回力普

第1页(共1页)



证书号第748856号



发明专利证书

发明名称：一种生物还原结合络合吸收同时脱除烟气中 SO₂和 NO 的方法

发明人：张玉；周集体；王玉

专利号：ZL 2008 1 0012183.3

专利申请日：2008年07月03日

专利权人：大连理工大学

授权公告日：2011年03月23日

本发明经由本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细规则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 07 月 03 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权将终止。

专利证书载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长 回力普



第1页(共1页)

三、经济及社会效益分析

1. 经济分析

本技术由传统方式到颠覆性的利用污水处理厂的污泥作为脱硫脱硝主要原材料，虽然项目建设成本较传统工艺的建设成本略高，从长期来看，以废治废的超低成本运行，副产物还能产生经济效益，案例证明：系统吸收1吨二氧化硫和1吨氮氧化物，比常规技术节省62.76%的费用；减少86%的碳排放；有硫磺等附属产物（1500元/吨，1吨二氧化硫产出0.5吨硫磺）。

经济效益对比：

		常规工艺	生物化学同步法工艺	
运营费用	二氧化硫/吨	-1300元	+440元	扭亏为盈
	氮氧化物/吨	-10471.1元	-4073.1元	节能62.76%
碳排放量	二氧化硫/吨	2.5吨	0.215吨	原排放量十分之一
	氮氧化物/吨	9.422吨	1.462吨	原排放量五分之一

通过本技术，不但降低了脱硫脱硝的运行成本，还减少了二氧化碳排放量。

2. 社会效益分析

实现了可持续性：物质循环利用而不产生积累

能量高效流动而不产生浪费

物质循环：来自化石燃料的硫转变为硫磺，还原为生产资源；

能量节约：生物还原硫酸盐为硫化氢的碳源来自于城市污水厂的污泥水解液；

化学脱硝过程的热源来自烟气本身——是物尽其用，能源最大化利用的闭环方式。

减少了资源消耗 —— 碳酸钙

减少了固废积累 —— 硫酸钙

增加了资源回收 —— 硫 磷

减少了能源消耗 —— 合成氨等过程

据计算，本技术如能在中国八大行业及高耗能企业展开应用，预计能为中国的二氧化碳排放减少约13.3%，延长低成本的化石能源应用时间20年以上。

四、市场分析

市场分析

● **市场需求：**根据中研普华研究院数据显示，在**2025年**脱硫脱硝行业市场需求预测分析，预计我国大气污染处理市场需求将达到**2188亿/年**，我国目前电力来源的近**49%**来自火力发电，其原料就是煤炭，全国新增发电装机容量**19087万千瓦**，同比增加**8587万千瓦**，增速大幅提升，其中新增火电装机**5637万千瓦**，有力带动相关燃煤烟气脱硫脱硝除尘行业市场提振。加上近年来的国家生态环境部开始**提高**大气排放标准，**要求超低排放**，创造脱硫脱硝产业一场技术革命。



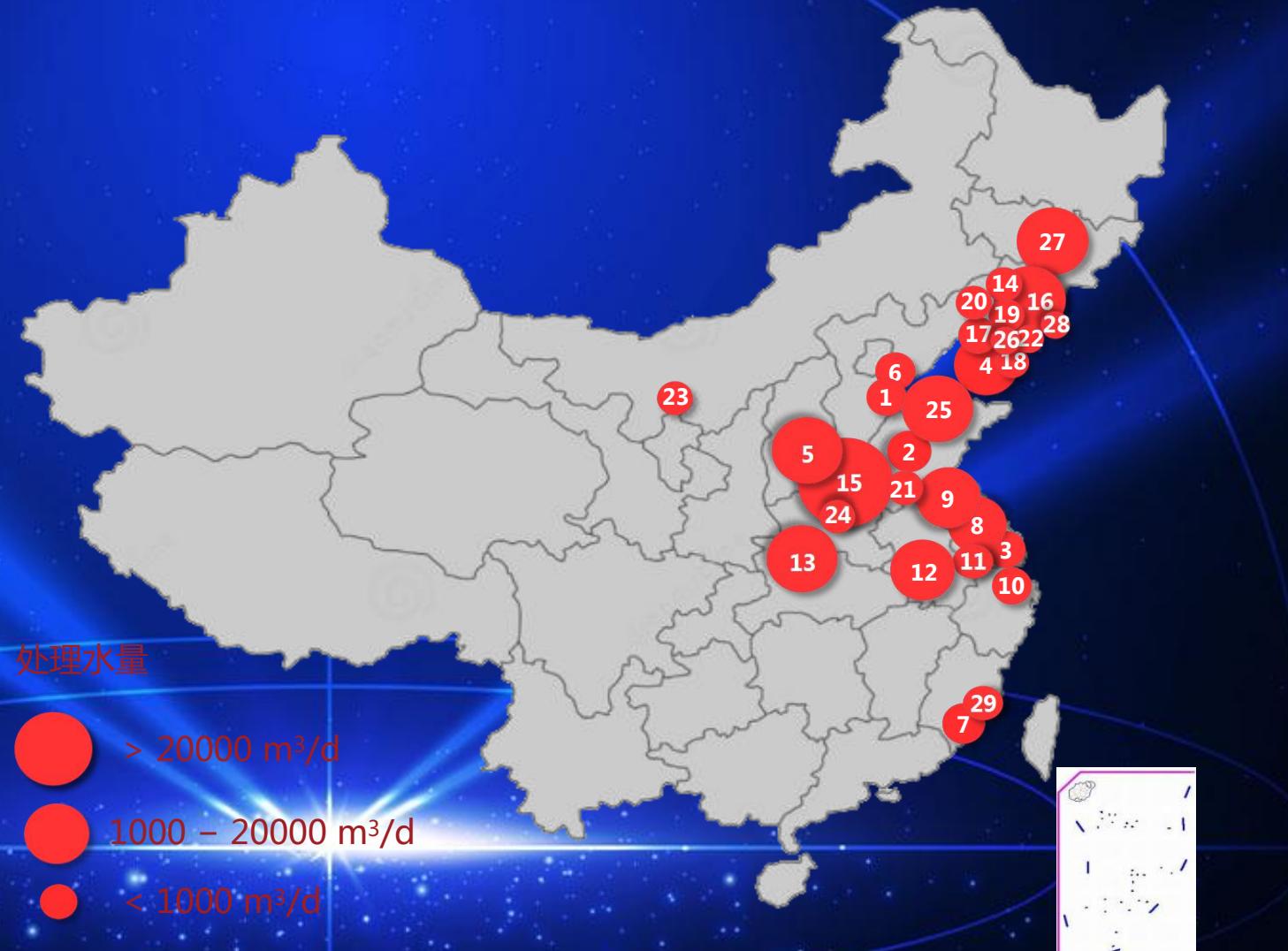
五、产业化能力与案例

案例：抚顺热电厂示范工程,标准100000m³/h



研究成果应用分布图

- 1 黄骅市信诺立兴精细化工股份有限公司
- 2 山东济宁辰光煤化有限公司
- 3 江苏快达农化股份有限公司
- 4 大连珍奥核酸有限公司
- 5 山西潞安煤基合成油有限公司
- 6 天津亚东化工有限公司
- 7 厦门唐传生物科技有限公司
- 8 江苏常隆化工有限公司(新厂)
- 9 江苏常隆化工有限公司
- 10 宁波南海化学有限公司
- 11 泰兴一鸣生物制品有限公司
- 12 安徽八一化工股份有限公司
- 13 湖北金环化纤股份公司
- 14 铁岭清河三元世纪大酒店
- 15 新乡化纤股份有限公司
- 16 抚顺天湖啤酒有限公司
- 17 大化集团有限责任公司
- 18 大连冷冻机股份有限公司
- 19 沈阳新纪化学有限公司
- 20 沈阳新纪化学有限公司(老厂)
- 21 山东单县化工有限公司
- 22 辽宁黄海汽车集团有限责任公司
- 23 宁夏西泰煤化工有限公司
- 24 开封市隆兴化工有限公司
- 25 山东汇东新能源有限公司
- 26 大连福思达信息材料有限公司
- 27 吉神化学工业股份有限公司
- 28 丹东澳绅羊毛制品有限公司
- 29 福建珍奥核酸有限公司



践行低碳减排实现双碳目标
让人类拥有更好的明天

内蒙古大学
大连理工大学