



天空蓝环保

脱硫废水零排放协同SO₃脱除技术 PM_{2.5}团聚强化除尘技术

多污染物协同治理、高效、低成本

武汉天空蓝环保科技有限公司
Wuhan Skyblue Environmental Protection Technology Co., Ltd.

01 | 天空蓝环保 公司简介

COMPANY PROFILE

武汉天空蓝环保科技有限公司(以下简称“天空蓝”)成立于2013年9月,位于“武汉·光谷”,是全球首创利用“氟离子钝化、化学团聚和耦合团聚的梯级蒸发脱硫废水零排放技术”解决PM_{2.5}逃逸、脱硫废水零排、重金属和SO₃排放污染治理的国家高新技术企业。

天空蓝核心技术为脱硫废水零排放协同多污染物治理技术,该技术是在华中科技大学煤燃烧与低碳利用全国重点实验室张军营教授团队多年研发的基础上,结合公司多年工程应用实践的创新科技成果;受到国家科技部“863计划”“973计划”和国家自然科学基金等的长期立项支持;是目前国内多污染物协同治理领域的重大科研成果,经中国环保产业协会、中电联鉴定达到国际领先水平,已广泛应用于电力、冶金、建材、化工等多个行业。

公司通过ISO三体系认证,制定了团体标准《烟气中颗粒物团聚装置技术要求》。国家工信部公示的《建材工业鼓励推广应用的技术和产品目录》,针对细颗粒物超低排放,唯一推荐使用团聚强化除尘技术。公司先后获得国家知识产权优势企业、湖北省专精特新企业、湖北省科学技术奖技术发明一等奖等多项荣誉奖项。

公司秉承“诚信、责任、创新、分享”的企业发展理念,将进一步加强技术创新,在脱硫废水协同SO₃及PM_{2.5}团聚强化除尘等多污染物一体化治理的环保领域继续领跑市场,助力美丽中国建设!

2013

武汉天空蓝环保科技有限公司成立

ISO9001

质量管理体系认证

ISO24001

环境管理体系认证

ISO45001

职业健康安全管理体系认证

愿景: 还世界一片蔚蓝的天空

Vision : Bring back the world a blue sky

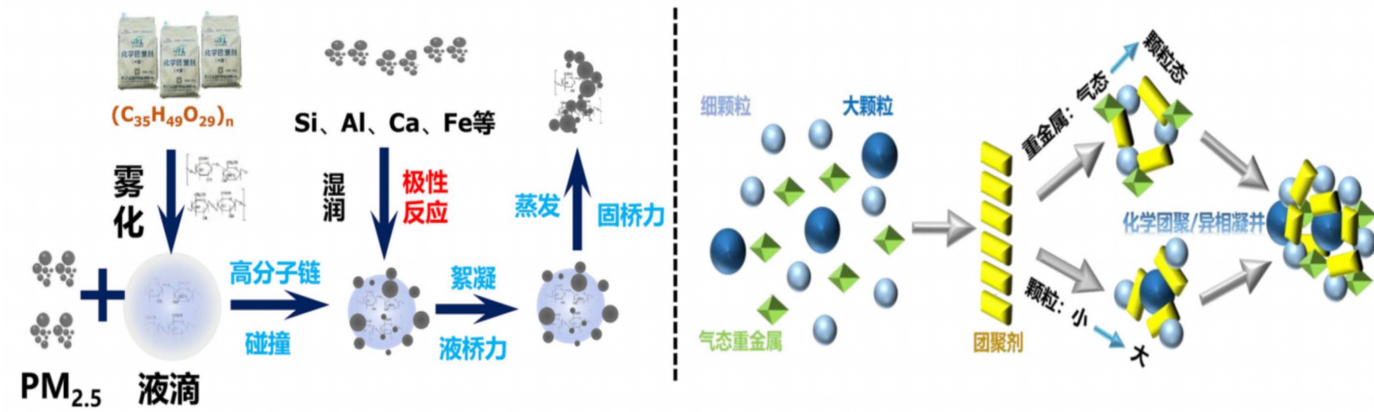
使命: 以科技引领, 推动环保新发展

Mission : Promote new development of environmental protection with the leading of science and technology

价值观: 诚信、责任、创新、分享

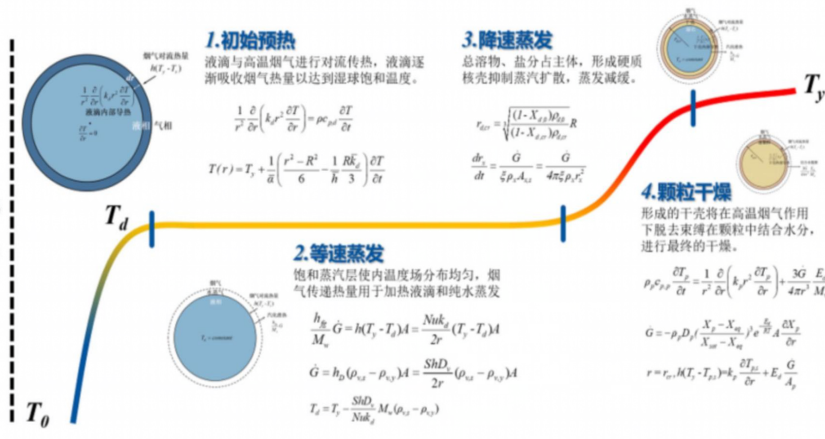
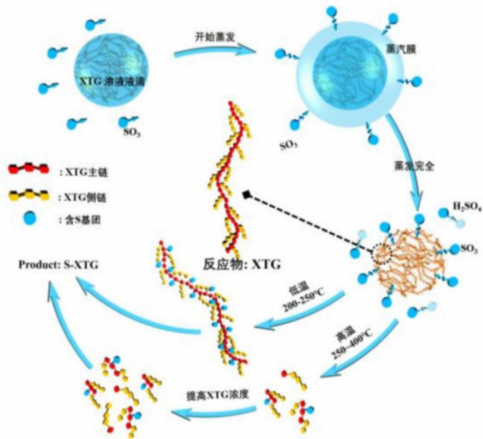
Values : Integrity, responsibility, innovation, sharing

PM2.5、脱硫废水零排放协同三氧化硫治理核心技术原理



1. 细颗粒物化学团聚

2. 重金属异相凝并



3. 三氧化硫高温磺化

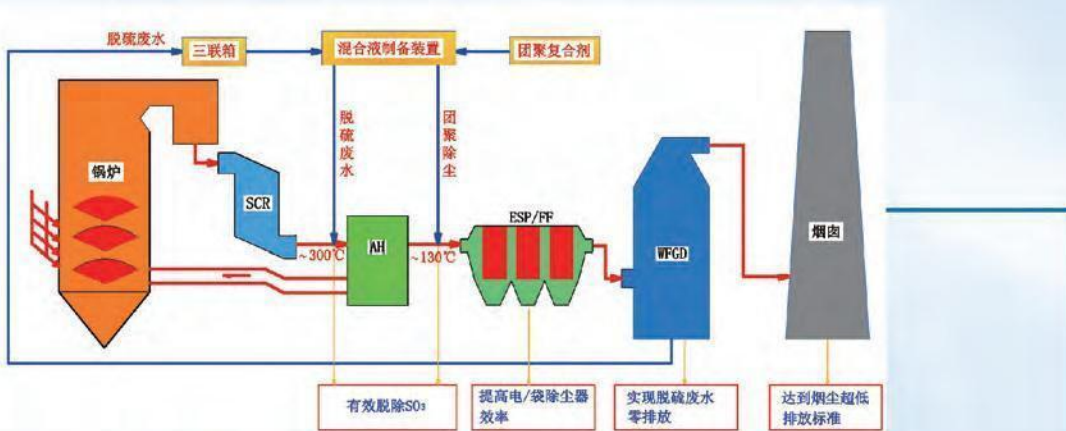
4. 脱硫废水烟道蒸发

02

天空蓝环保 技术介绍

TECHNICAL INTRODUCTION

公司核心技术为以“化学团聚”为基础，以脱硫废水为载体的脱硫废水零排放协同SO₃脱除、PM_{2.5}团聚强化除尘技术，高效能、低成本地同时实现水污染治理和大气污染治理，可从源头治理气溶胶，解决环保治理技术难题，为各工业领域的烟尘超低排放及脱硫废水零排放治理提供了精准高效、经济合理的一体化协同治理方案。



脱硫废水零排放协同SO₂脱除、团聚除尘技术工艺流程图



仪器设备图

核心技术I

脱硫废水零排放协同SO₃脱除技术

CORE TECHNOLOGY

技术原理

在国内首次实现脱硫废水中加入团聚复合剂，极大降低氯离子腐蚀速率，开创性地在空气预热器前端烟道中喷入脱硫废水，实现了脱硫废水零排放。同时，团聚复合剂与SO₃发生磺化反应，形成有机磺酸盐化合物，大大减少高粘性硫酸氢铵的生成，实现SO₃有效脱除，脱除率达50%以上，解决了空预器腐蚀和堵塞难题，保证空预器安全节能运行。

几种团聚复合剂的钝化效果对比

溶液类型	无钝化剂	添加 1g/L 钝化剂 A	添加 1g/L 钝化剂 B	添加 1g/L 钝化剂 C	添加 1g/L 钝化剂 D	添加 1g/L 钝化剂 E
平衡电势 (V)	-0.624	-0.614	-0.520	-0.621	-0.973	-0.476
腐蚀电流 (A)	3.356e ⁻³	3.902e ⁻⁶	6.105e ⁻⁸	1.073e ⁻⁵	5.419e ⁻⁶	4.095e ⁻⁸
腐蚀速率 (gram/hour)	3.494e ⁻³	4.062e ⁻⁶	6.355e ⁻⁸	1.117e ⁻⁵	5.641e ⁻⁶	4.262e ⁻⁸

钝化剂配比	A:B=1:1	A:C=1:1
平衡电势 (V)	-0.645	-0.473
腐蚀电流 (A)	1.405e ⁻¹⁰	5.246e ⁻¹⁰
腐蚀速率 (gram/hour)	1.426e ⁻¹⁰	5.461e ⁻¹⁰

ABCDE五种钝化剂分别单独添加至脱硫废水

根据实际脱硫废水氯离子含量，选钝化剂混合配比添加至脱硫废水，将腐蚀速率降至最低。

$Ar-H+Cl^-+O_2 \rightarrow Ar-Cl+H_2O$

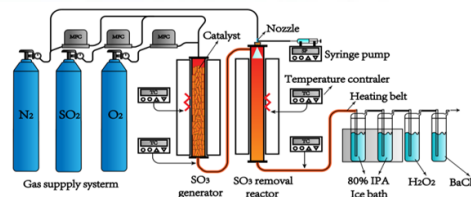


经多组对比测试数据及广州市微生物研究所检测显示，天空蓝核心技术中的团聚复合剂大大降低了脱硫废水中氯离子的腐蚀速率，缓蚀率达到77.7%，说明该药剂能有效防止脱硫废水对烟道的腐蚀，有利于实施脱硫废水喷入主烟道，从而实现脱硫废水零排放。

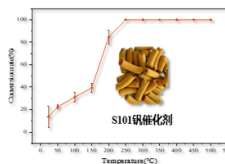
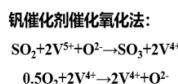
SO₃磺化反应

- 团聚复合剂与SO₃发生磺化反应生成有机磺酸盐高分子化合物，水分蒸发后与飞灰结合，实现非碱基SO₃有效脱除。

- 具体反应如下：



SO₃制备



SO₃检测

美国EPA方法8：
 冰浴80%异丙醇溶液吸收
 未被脱除的SO₃，而SO₂则不能溶于该溶液中

SO₃脱除

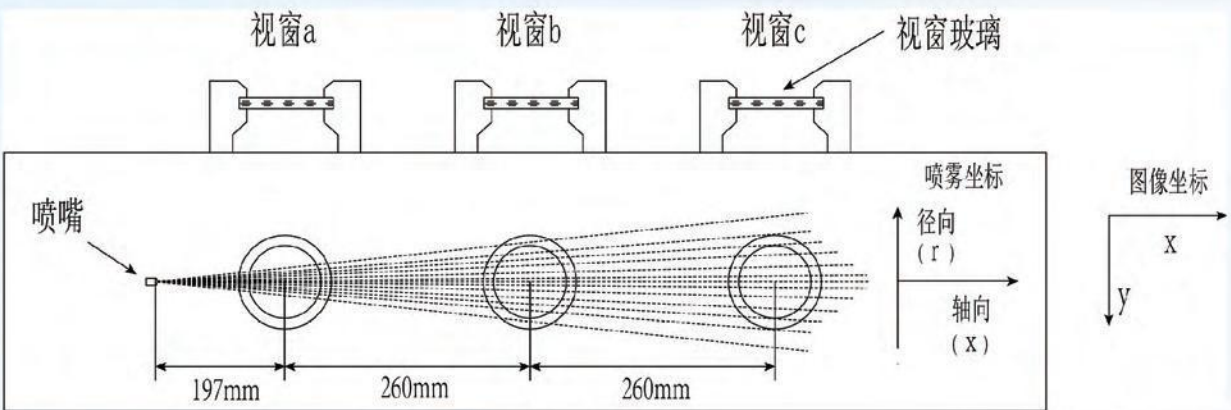
XTG溶液双流体雾化喷嘴脱除
 脱除温度：200~400°C
 XTG溶液质量浓度：0.5%~1.5%
 SO₃浓度：200 ppm

有机高分子与SO₃发生磺化反应生成有机磺酸盐高分子化合物，水分蒸发后与飞灰结合，实现SO₃有效脱除

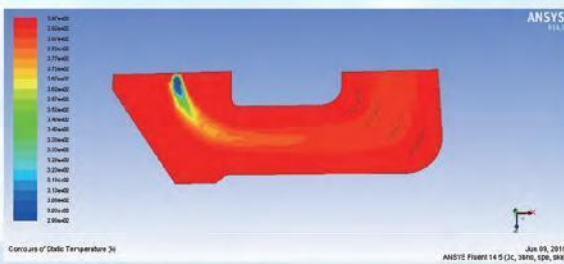
SO₃脱除，截断了ABS的生成链，提高了空预器的可靠稳定运行。

高低温烟道梯级蒸发技术

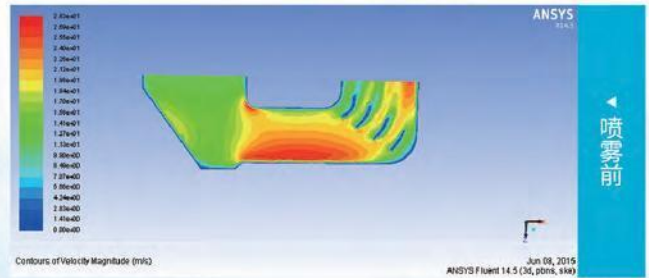
脱硫废水高低温烟道梯级蒸发技术即把钝化后的脱硫废水在空预器前高温烟道和除尘器前低温烟道同时对脱硫废水进行雾化蒸发的技术。通过对脱硫废水蒸发的特性（如温度、烟道、雾化液滴粒径等）研究，同时通过CFD模拟，进而优化雾化喷嘴参数、指导喷枪布置以及喷雾控制等，保证脱硫废水在烟道安全距离范围内充分蒸发干燥，不对烟道造成影响。



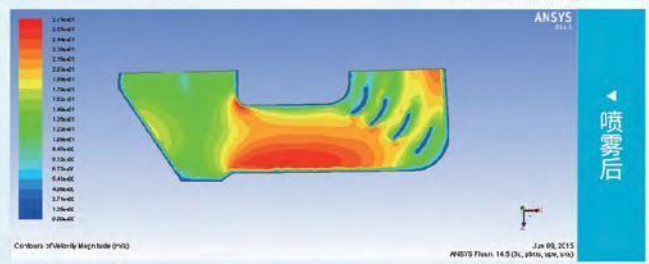
根据CFD模拟和工程经验，合理布置喷枪，确保烟道不积灰、不挂壁。



烟道温度场图



喷雾前



喷雾后

烟道速度场图



技术优势对比

高低温烟道梯级蒸发技术与旁路烟道蒸发技术的对比▼

对比项	高低温烟道梯级蒸发技术	旁路烟道蒸发技术
采用热源	空预器前高温烟气和除尘器前余热烟气	抽取空预器前高温烟气
优点	<p>(1) 主烟道蒸发不额外增加外置烟道，利用有效面积减少漏风率；设备占地面积小，施工简单，分布式布置喷枪数量多，可以达到小喷量均匀雾化，同时利用整个烟道对脱硫废水进行干燥，蒸发效率相当于4~10个干燥塔，不仅使整个蒸发干燥更充分、效率更高、更安全；</p> <p>(2) 加入团聚复合剂对烟气中SO₃脱除有一定作用，能降低烟气酸露点，减少NH₄HSO₄的生成量，降低空预器运行压差；提高空预器换热效率，间接起到了提高炉效的作用；</p> <p>(3) 团聚复合剂能使Cl⁻失活，抑制废水中氯离子的腐蚀性，同时减少HCl富集；</p> <p>(4) 团聚复合剂能与细颗粒物发生“团聚”，对提高除尘器的除尘效率有一定作用。</p>	<p>(1) 旁路烟道蒸发系统与主机独立，便于隔离维护和检修；</p> <p>(2) 对进水SS含固量要求不高，无需加药；</p> <p>(3) 利用少量高温烟气作为热源，无需其他外部热源。</p>
缺点	<p>(1) 需要加入团聚复合剂来脱除部分SO₃，强化除尘和掩蔽氯离子对烟道及其他设备的腐蚀，增加少量的药剂费用；</p> <p>(2) 主烟道蒸发喷枪布置对烟道长度有一定的要求。</p>	<p>(1) 由于抽取空预器入口高温烟气作为废水蒸发的热源，将会减少进入空预器的高温烟气体积，一定程度上降低锅炉效率（0.3%以上，以单台350MW机组蒸发4m³/h水计算）；</p> <p>(2) 受温度影响，无法完全干燥，容易形成板结。低负荷无法安全运行；</p> <p>(3) 旁路烟道废水蒸发存在一定的Cl⁻离子腐蚀风险和HCl富集。</p>

检测报告、鉴定证书

受国能云南阳宗海发电有限公司委托，天空蓝在阳宗海电厂成功运行该技术系统。2025年1月，国电环境保护研究院有限公司对阳宗海电厂废水零排放系统进行了性能验收。验收结果表明：与旁路蒸发相比，采用该技术减少进入空预器的三氧化硫，提高空预器的转换效率，减少汽轮机热损失，根据实验结果计算，每发1度电大约可以节约1克煤；机组按照利用小时4500小时计算，30万燃煤机组年发电量为13.5亿kWh，全年可节约1350吨标煤，全年减排二氧化碳3321吨。

国家能源集团
CHN ENERGY

编号: GNDKY-FW-HB-JN-2024-008

国能阳宗海发电有限公司
废水零排放系统性能试验报告

国电环境保护研究院有限公司
2025年1月9日

五、脱硫废水零排放系统

1.	脱硫废水零排放处理水量	m ³ /h	4.2	≥2×2	合格
2.	系统能耗	t 标煤/m ³	0.089	≤0.1	合格
3.	系统电耗	kWh/m ³	6.76	≤12	合格
4.	团聚复合物耗量	kg/吨水	0.1	≤0.3	合格

国能阳宗海发电有限公司废水零排放系统性能试验报告 GNDKY-FW-HB-JN-2024-008

序号	项目	单位	试验值	保证值	备注
5.	SO ₂ 脱除率	%	#3:46.9	≥20	合格
			#4:47.3		

中国华电集团有限公司
CHINA HUADIAN GROUP CORPORATION

华电电力科学研究院有限公司
HUADIAN ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

报告编号: CHDER/GHZX-ZH-2024-0049/001

湖北西塞山发电有限公司
深度优化用水及水污染防治改造工程
(第三阶段) EPC 总承包项目
性能验收试验报告

华电电力科学研究院有限公司
二〇二五年六月

表 8 废水流量数据汇总表

机组及工况	测量日期	废水流量 (m ³ /h)	消纳位置
3号工况二	2025.6.11	0.93	SCR装置前
		4.6	空预器前
3号工况一	2025.6.11	2.1	除尘器前
		4.3	空预器前
3号工况二	2025.6.11	2.1	除尘器前
		4.2	空预器前
4号工况一	2025.6.12	1.9	除尘器前
		3.8	空预器前
4号工况二	2025.6.12	2.3	除尘器前
		2.3	空预器前

3号机组工况一时，空预器前消纳废水4.6m³/h，除尘器前消纳废水2.1m³/h，合计消纳废水6.7m³/h；工况二期间，SCR装置前消纳废水0.93m³/h，空预器前消纳废水4.3m³/h，除尘器前消纳废水2.1m³/h，合计消纳废水7.3m³/h，满足锅炉负荷不低于80%，单台机组消纳不低于6m³/h的技术要求。

4号机组工况一时，空预器前消纳废水4.2m³/h，除尘器前消纳废水1.9m³/h，合计消纳废水6.1m³/h；工况二期间，空预器前消纳废水3.8m³/h，除尘器前消纳废水2.3m³/h，合计消纳废水6.1m³/h，满足锅炉负荷不低于80%，单台机组消纳不低于6m³/h的技术要求。

受华电集团黄石西塞山电厂委托，天空蓝在该电厂成功运行该技术路线。2025年6月，华电电力科学研究院对西塞山电厂废水零排放技术进行了性能验收，合计消纳脱硫废水7.3m³/h。

科学技术成果鉴定证书

2024年12月，煤电清洁团聚脱硫废水磺化处理技术应用在湖北国电长源汉川第一发电有限公司，解决了困扰燃煤电厂二氧化硫排放污染的“老大难”问题，同时实现脱硫废水零排放。该技术由中国电力企业联合会鉴定为“国际领先”，为煤炭行业绿色低碳转型先行先试蹚出一条新路。

空预器前SO₂脱除率达57%

科学技术成果鉴定证书

中电联鉴字[2024]第 605 号

成果名称：脱硫废水磺化处理协同空预器堵塞治理技术研发与应用研究

完成单位：国电长源汉川第一发电有限公司
武汉天空蓝环保科技有限公司

鉴定形式：会议鉴定
组织鉴定单位：中国电力企业联合会
鉴定日期：2024年12月19日
鉴定批准日期：2024年12月25日

中国电力企业联合会
二〇二一年制

鉴定意见

2024年12月19日，中国电力企业联合会在北京组织召开了国电长源汉川第一发电有限公司和武汉天空蓝环保科技有限公司共同完成的“脱硫废水磺化处理协同空预器堵塞治理技术研发与应用研究”项目科技成果鉴定会。鉴定委员会听取了项目技术研究报告、技术经济分析报告、测试报告、用户使用报告、科技查新报告等汇报，审查了相关资料，经质询与讨论，形成鉴定意见如下：

- 提交的鉴定材料完整、规范，符合科技成果鉴定要求。
- 该项目主要创新点如下：
 - 研发了一种燃煤机组脱硫废水磺化处理喷雾蒸发工艺技术，实现脱硫废水零排放并协同显著减排SO₂。
 - 研发了一种具有氟离子钝化功能的SO₂磺化复合剂，有效降低了脱硫废水中氟离子腐蚀性，协同脱除烟气中SO₂浓度50%以上。
 - 开发了一套复合剂乳液制备及管道专用喷射装置，实现了装置模块化、控制智能化。
- 项目运行效果经第三方机构检测，符合相关标准要求。
- 该项目已在国电长源汉川第一发电有限公司成功应用，达到了脱硫废水零排放及空预器堵塞治理效果，运行成本低。技术成果为燃煤机组实现脱硫废水零排放和空预器堵塞治理提供了技术路径和工程示范。

鉴定委员会一致认为，项目成果整体达到国际领先水平，同意通过科技成果鉴定。建议进一步加快成果的推广应用。

鉴定委员会主任：[签名] 副主任：[签名]

2024年12月19日

核心技术II

PM_{2.5}细颗粒物团聚强化除尘技术

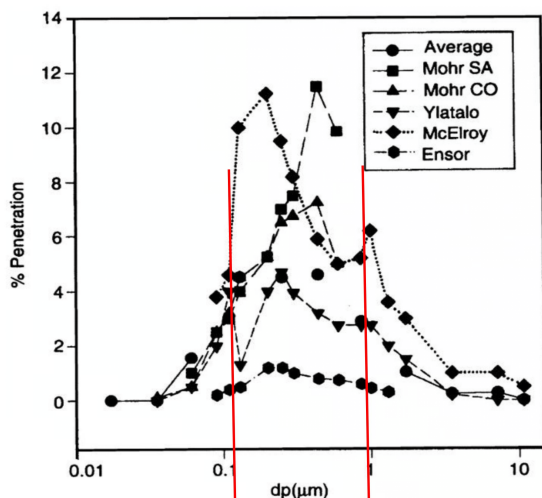
CORE TECHNOLOGY



技术原理

细颗粒物团聚强化除尘技术是在除尘器前烟道中雾化喷入团聚剂溶液，团聚剂中的表面活性剂通过降低溶液表面张力，增加细微粉尘颗粒之间的“液桥力”和“固桥力”，使细颗粒物润湿、絮凝，促使细颗粒物团聚成较大颗粒团，提高现有除尘设备和脱硫塔对细颗粒物的脱除效率。该技术可以在不改变现有除尘设备和运行参数的前提下，不增加大型设备、不需大量投资，提供一种最佳效率的细颗粒物排放控制方法，为烟囱出口达到超低排放环保标准提供更好的条件。

- p **难点：PM_{2.5}细颗粒成分复杂，缺乏新型控制理论。针对常规除尘技术存在穿透窗口，不能有效捕捉。**
- p **突破了传统的基于概率碰撞的聚并理论，揭示了化学团聚的本质，运用化学团聚技术后，PM_{2.5}排放浓度下降50~80%以上。**



有毒有害微量元素定向富集于**0.1-1μm**细颗粒

关键技术难题：在**0.1-1μm**之间存在明显穿透窗口！

细颗粒团聚
长大

提升**PM_{2.5}**
捕集效率



技术优势对比

细颗粒物团聚强化除尘技术与湿电除尘技术对比▼

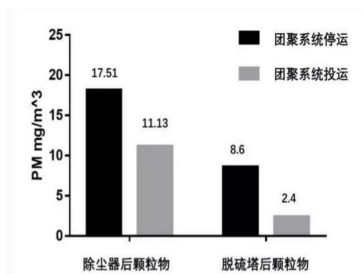
项目	细颗粒物团聚强化除尘技术	湿电除尘技术
技术机理	在除尘器前烟道中雾化喷入团聚剂溶液，团聚剂表面活性剂能够增加细微粉尘颗粒之间的“液桥力”和“固桥力”，使细颗粒物润湿、絮凝，团聚成较大颗粒团，提高现有除尘器的除尘效率。	布置在湿法脱硫尾部，在高压静电场的作用下，将各种微细颗粒物收集至集尘极，依靠水冲洗的方式收集粉尘进入废水箱，达到除尘的目的。
技术适应性	适用于所有含粉尘气体	适用于含亲水性粉尘气体，要求入口粉尘浓度低于 30mg/m ³
工况影响	不增加阻力，无需对引风机进行改造	增加阻力约 200~300Pa，需对烟道及引风机进行改造
二次污染	团聚剂溶液为中性，无毒无害，无二次污染	产生大量具有腐蚀性的洗涤水
排放指标	≤ 5mg/Nm ³	≤ 5mg/Nm ³
施工建设	施工场地小，周期短，无需停机停运	施工场地大，周期长，需停机停运进行
年运行费用 (电耗 + 气耗 + 药剂费)	约 65 万元 (2×300MW 机组年运行按 5000 小时)	约 150 万元 (2×300MW 机组年运行按 5000 小时)
投资费用	低	高

检测报告、鉴定证书

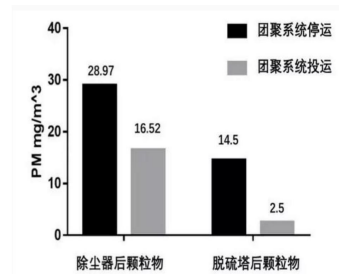
武汉天空蓝环保科技有限公司对国电丰城发电有限公司3号机组、4号机组进行了细颗粒物团聚强化除尘技术改造。4号机组经改造后，由江西省环保厅环境监测站监测，静电除尘器出口烟尘浓度为9.9~14.7mg/Nm³，烟尘浓度下降68.90%；脱硫塔出口烟尘排放浓度为1.1~2.8mg/Nm³，烟尘浓度下降88.79%，通过了江西省环保厅验收。连续稳定运行一个月CEMS监测结果日均排放浓度为1.17~4.89mg/Nm³。3号机组经改造后，颗粒物浓度下降82.76%，脱硫塔除尘效率提高70.1%；脱硫塔出口烟尘排放浓度达到5mg/Nm³以下，远低于国家超低排放标准。



2017年西安热工院性能测试丰城3号机：实现超低排放的前提下，电除尘器停运六个供电分区**实现节能225Kw。**



电除尘器电场正常投运工况下（平均电耗935kw），团聚设备投运后，总排口烟尘浓度2.4mg/m³



电除尘器停运六个供电分区工况下（平均电耗710kw），总排口烟尘浓度2.5mg/m³。团聚设备投运后，颗粒物浓度下降82.76%。

与湿式电除尘器相比：仅国电丰城发电有限公司2x340MW机组就**节省投资3000余万元，年运行费节省260万元。**

03

公司部分业绩表

COMPANY

PARTIAL PERFORMANCE TABLE

序号	用户	规模	改造类型	改造效果
1	华电黄石发电有限公司	2*330MW	脱硫废水零排放&烟尘超低排放&SO ₃ 脱除	实现多污染物协同治理
2	华电西塞山发电有限公司	2*680MW	深度优化用水及水污染防治工程	实现多污染物协同治理
3	国能阳宗海电厂 (单一来源采购)	2*330MW	脱硫废水零排放&烟尘超低排放&SO ₃ 脱除	实现多污染物协同治理
4	国电丰城发电有限公司3#、4#	2*330MW	粉尘治理	实现烟尘超低排放
5	国电丰城发电有限公司 (单一来源采购)	4*330MW	脱硫废水零排放	实现脱硫废水零排放
6	国能黄金埠发电有限公司	2*650MW	脱硫废水零排放	实现脱硫废水零排放
7	华电襄阳发电有限公司 (单一来源采购)	2*640MW	脱硫废水零排放	实现脱硫废水零排放
8	华电襄阳发电有限公司	4*330MW	脱硫废水零排放	实现脱硫废水零排放
9	国能荆州发电有限公司	2*330MW	脱硫废水零排放	实现脱硫废水零排放
10	国电投普安电厂	2*660MW	三氧化硫治理	非碱基湿法脱除
11	国能山西河曲发电有限公司	2*600MW	粉尘治理	实现烟尘超低排放
12	新疆神火煤电有限公司	2*350MW	粉尘治理	实现烟尘超低排放
13	大同华岳热电有限责任公司	2*50MW	脱硫废水零排放	实现脱硫废水零排放
14	洛阳黄同力水泥	5000t/d	粉尘治理	实现烟尘超低排放
15	河南省豫鹤同力水泥	5000t/d	粉尘治理	实现烟尘超低排放
16	新安中联万基水泥1#、2#	5000t/d、 3000t/d	粉尘治理	实现烟尘超低排放
17	安徽皖维高新材料股份有限公司	6000t/d	粉尘治理	实现烟尘超低排放

04

荣誉资质 HONORARY QUALIFICATIONS

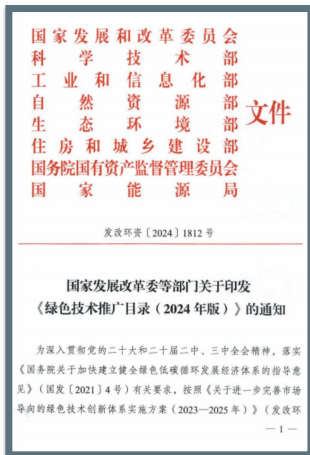
团体标准制定



2020年4月28日，由天空蓝起草的团体标准《烟气中颗粒物团聚装置技术要求》被中国环境保护产业协会纳入行业技术标准。

绿色技术目录

天空蓝团聚技术入选国家八部门绿色技术目录——新质生产力



绿色技术推广目录（2024年版）

序号	技术名称	产业类别	工艺技术内容	主要技术参数	应用案例
二、环境保护产业					
2	低碳减排的 MBR 膜生物反应器技术	先进环保装备	污水经生化处理后排入低碳减排 MBR 膜池，膜池通过机械曝气实现池底一次充氧，充氧器与水体形成对流，另设置水体溶解氧回流，充氧器增设，及硝化细菌菌种强化处理效率，实现硝化细菌与硝化细菌中的高浓度菌群。	硝化菌浓度 30~80mg/L，溶解氧 0.4~0.6g/L；总氮量 200MG/L，氨氮浓度 0.05~0.15mg/L，在池底充氧器 1 小时内，氨氮去除率 100%；水体溶解氧回流，充氧器增设，及硝化细菌菌种强化处理效率，实现硝化细菌与硝化细菌中的高浓度菌群。COD ≤ 30mg/L，氨氮 ≤ 1mg/L，总氮 ≤ 10mg/L，总磷 ≤ 0.3mg/L。	案例 1：大连市城郊水源净化厂项目。建设规模：144 座 MBR 膜池，处理能力 2.5 万立方米/天。生态效益：出水 COD ≤ 30mg/L，氨氮 ≤ 0.5mg/L，总氮 ≤ 0.3mg/L，年减排 COD 6250 吨。
3	PM2.5 团聚会同脱硫废水零排放技术	先进环保装备	基于化学团聚，将加入复合药剂的脱硫废水投入电除尘后段除尘器，促进 PM2.5 和硫酸盐团聚，在除尘器出口处进行分离，在增加设备情况下达到脱硫废水零排放，通过湿法脱硫烟气中三氧化硫，抑制硫酸盐生成和析出，减少硫酸盐沉积，通过空塔底部捞渣机分离硫酸盐颗粒。	脱硫废水浓度 ≤ 300g/L 以上，三氧化硫浓度 ≥ 50g/L 以上，排放浓度 10mg/L 以下；湿法脱硫废水零排放率 ≥ 90% 以上，排放浓度 ≤ 5mg/L 以下；废水回收率 ≥ 80% 以上。	案例 1：华能湖北发电有限公司黄冈分公司“以空气为载体”脱硫废水资源化及零排放技术”项目。建设规模：310MW 湿法脱硫。生态效益：项目年减少脱硫废水排放量 125 万吨。
4	大型燃煤锅炉一二次除尘材料制造	先进环保装备	针对燃煤锅炉烟气，特制大颗粒团聚剂，一次烟气经除尘设备系统，通过多阶段电除尘冷却除尘，降温至 1000℃ 以下 300℃，通过电除尘设备实现粉尘分离，电除尘效率 ≥ 99.99%，其中，电除尘效率 ≥ 99.99%，电除尘效率 ≥ 99.99%，电除尘效率 ≥ 99.99%。	电除尘效率 ≥ 99.99%，电除尘效率 ≥ 99.99%，电除尘效率 ≥ 99.99%。	案例 1：广西能源集团有限公司产业提升技术改造升级燃煤锅炉烟气处理系统项目。建设规模：5×210 吨炉一二次电除尘及烟气处理系统。生态效益：项目年减少排放量 30 万吨，减排 CO2 排放量 15 亿立方米。

项目核心技术“PM2.5团聚协同脱硫废水零排放技术与装备”被纳入《绿色技术推广目录（2024年版）》的技术清单（先进环保装备和原料材料制造）

荣誉与资质



专利证书

武汉天空蓝环保科技有限公司和华中科技大学煤燃烧与低碳利用全国重点实验室合作，具备雄厚的研发实力，所承担的科研项目得到了国家“863”“973”计划立项支持，并拥有多项自主知识产权专利技术。



体系证书



05

技术创新 TECHNOLOGICAL INNOVATION

脱硫废水零排放技术▼

团聚技术被国家能源投资集团列为**脱硫废水零排放技术路线推荐技术**，并列入《火电厂末端废水零排放技术导则》

四、脱硫废水零排放技术路线推荐表

根据前文所述，对脱硫废水零排放技术路线推荐条件进行总结，如表 2 所列。

表 2 脱硫废水零排放技术路线推荐表

序号	工艺路线	适用条件			水质条件	推荐技术
		300MW 及以下等级机组	600MW 及以下等级机组	1000MW 及以下等级机组		
1	蒸发干燥	单机废水量 < 3m³/h	单机废水量 < 5m³/h	单机废水量 < 8m³/h	SS≤70mg/L	高温烟气旁路双流体喷嘴干燥、高温烟气旁路旋转喷雾干燥、高道烟道直喷干燥
					70<SS≤200mg/L	高温烟气旁路双流体喷嘴干燥、高温烟气旁路旋转喷雾干燥
					200mg/L<SS<60000mg/L	高温烟气旁路旋转喷雾干燥
2	浓缩+蒸发干燥/结晶	单机废水量 ≥3m³/h 或全厂废水量 ≥6m³/h	单机废水量 ≥5m³/h 或全厂废水量 ≥10m³/h	单机废水量 ≥8m³/h 或全厂废水量 ≥16m³/h	SS≤15000mg/L	低温闪蒸浓缩/烟气余热浓缩+蒸发干燥、低温闪蒸蒸发结晶、预处理+膜法浓缩+蒸发结晶/干燥
					SS>15000mg/L	澄清预沉+烟气余热浓缩+蒸发干燥、澄清预沉+低温闪蒸浓缩+蒸发干燥、预处理+膜法浓缩+蒸发结晶/干燥
3	浓缩+综合利用	沿海开放式冷却电厂			Cl≤10000mg/L	预处理+膜浓缩+电解制氯
		环评批复脱硫废水去灰场喷淋			Cl>10000mg/L	预处理+电解制氯

注：

- 1) 当空预器运行压差<600Pa 时，高温烟气旁路干燥宜考虑增设增压风机及配套系统；
- 2) 有固定灰场且粉煤销售困难的电厂，可暂考虑采用干灰拌湿等综合利用；
- 3) 双流体雾化旁路烟道蒸发工艺，因其对进水悬浮物要求较为严格，需配套预处理工艺去除悬浮物；
- 4) 低温烟气浓缩工艺，需要在近脱硫塔处布置，如选用该工艺应充分考虑选址条件。另，如低温烟气蒸发塔选用玻璃钢塔，应充分考虑普通玻璃钢耐高湿氧化和高湿酸性介质能力较低，需选用高耐腐蚀材质，与主烟道汇合后烟道应进行高耐腐蚀防腐；
- 5) 浓缩后的脱硫废水 pH 偏酸性，宜调整 pH 为碱性条件再进行高温蒸发干燥；
- 6) 脱硫废水为高盐高浊废水，如选用膜浓缩减量处理工艺，高配套预处理工艺，该工艺不适用于进水水质较差、波动性较大的水质；

(3) 高温烟道直喷干燥具有系统简单、施工周期短、可不停机施工等特点，不影响正常生产。结合氯离子钝化技术可降低对烟道的腐蚀，与团聚技术结合使用可达到多污染物协同治理。

ICS 27.100
05 F 24

Q/GN

国家能源投资集团有限公司企业标准

Q/GN 0131—2023

火电厂末端废水零排放技术导则

Guide of Zero Liquid Discharge of terminal wastewater in thermal power plants

2023-08-25 发布

2023-10-09 实施

国家能源投资集团有限公司 发布

新型电力系统独家“良方”▼

团聚协同技术是新型电力系统的独家“良方”



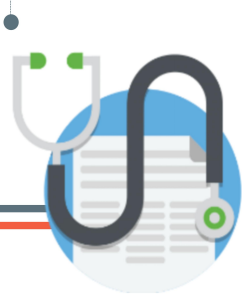
解决煤电老大难问题——“脱硫废水零排放”最后一公里

作为生态文明建设核心议题的“长江黄河大保护”国家战略工程，脱硫废水管控体系已上升为生态安全底线要求。一直以来，“脱硫废水”是燃煤电厂处理难度最大的一个环节。要符合新型国家战略要求，脱硫废水零排放势在必行。团聚协同技术以独有的主烟道梯级蒸发技术，使用钝化剂大幅降低、减缓氯离子腐蚀速率，成功破解脱硫废水零排放难题。



助力煤电节能改造安全运行，治理空预器“新冠病毒”

若将燃煤电厂空预器比作人的肺，三氧化硫就好比“新冠病毒”会严重影响电厂能耗和安全运行，团聚协同技术可推动化石燃料转变为清洁能源。是一种“药到病除”的“特效药”。



顺应国家“十五五”规划▼

2026年3月1日，生态环境部、国家市场监督管理总局联合发布的新版《环境空气质量标准》（GB3095—2026）正式实施。PM2.5从35微克/立方米降到25微克/立方米。

经十余年沉淀迭代，天空蓝PM2.5团聚协同技术正逢国家环保标准升级，切合宏观政策趋势，是目前国内外经济与高效兼具的先进技术。



06

媒体报道

MEDIA
COVERAGE

天空蓝核心技术受到社会广泛关注：央视新闻频道《经济半小时》《人民日报》《中国日报》《学习强国》《新华社》《经济日报》《科技日报》《湖北日报》、凤凰卫视等诸多主流、权威媒体都对该技术进行了广泛、深度报道。

2019年5月27日，权威媒体《学习强国》进行报道，指出该技术将助力祖国的碧水蓝天保卫战。



2019年5月30日，央视财经频道《经济半小时》进行报道，指出天空蓝开发的拥有知识产权的团聚复合剂...被业界评价为降低煤炭燃烧产生PM2.5细微颗粒多污染物的一项重大突破。



2020年7月27日，《中国网》对该技术装备进行了报道，提到清华大学岳光溪院士和中南大学柴立元院士点赞该技术，指出该“黑科技”达国际领先水平。



07 合作共赢

BUSINESS COOPERATION





武汉天空蓝环保科技有限公司

Wuhan Skyblue Environmental Protection Technology Co., Ltd.

2026版

地址：湖北武汉市东湖新技术开发区武大科技园兴业楼北楼二单元202

电话：027-59908857

网址：www.whtkl.cn

