

附件：

**《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录
(2020年版)》供需对接指南之六
多污染物协同处理技术装备典型案例**

目 录

案例一：中钢集团天澄环保科技股份有限公司催化裂化再生烟气干法处理装备.....	1
案例二：深圳前海中盛环保科技有限公司离子交换法脱硫脱硝一体化技术装备.....	4
案例三：中天威尔环保科技有限公司基于陶瓷滤筒的氧化法烟气多污染物协同处理装备....	7
案例四：浙江浙能迈领环境科技有限公司船舶尾气净化装备.....	10
案例五：成都达奇环境科技有限公司低温催化硫酸尾气治理装备.....	13
案例六：福建龙净环保股份有限公司高温复合滤筒尘硝协同脱除装备.....	16
案例七：中钢集团天澄环保科技股份有限公司焦炉烟气多污染物干法协同处理装备.....	19
案例八：福建龙净脱硫脱硝工程有限公司烧结（球团）烟气多污染物干式协同净化技术及装置	22
案例九：中钢集团天澄环保科技股份有限公司烧结（球团）烟气多污染物干法协同处理装备	25
案例十：中冶长天国际工程有限责任公司双级错流活性炭法烟气净化系统及装备.....	28
案例十一：科林环保技术有限责任公司工业危废焚烧烟气治理装备.....	31
案例十二：山西海通新材料科技发展有限公司煤炭气化燃烧技术.....	34

案例一：

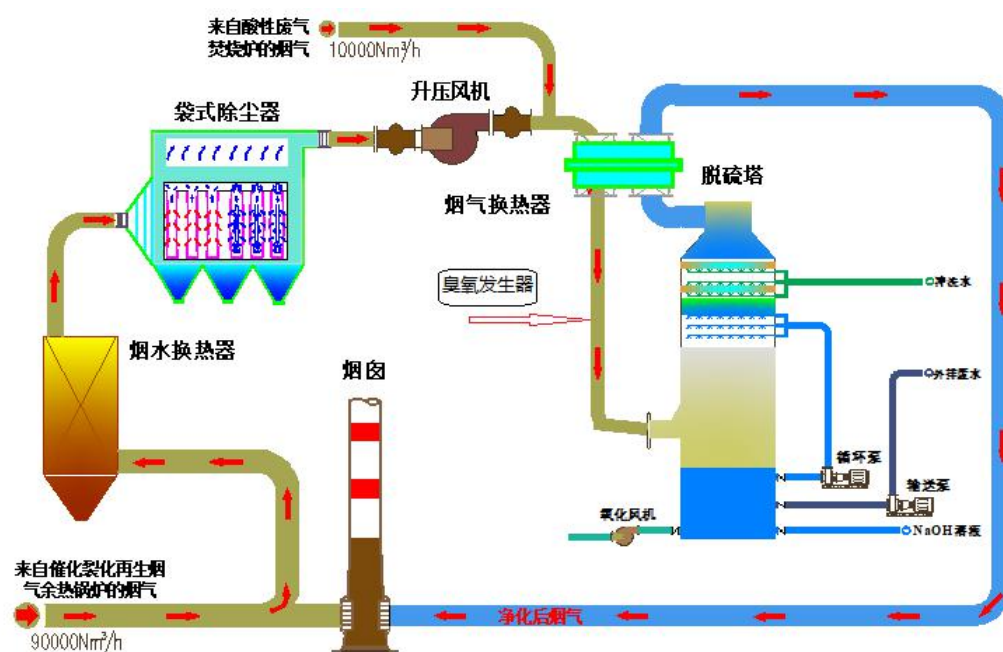
中钢集团天澄环保科技股份有限公司催化裂化再生烟气干法处理装备

一、技术适用范围

适用于石油化工行业再生烟气处理。

二、技术原理及工艺

装备主要由除尘单元+换热单元+脱硫单元+脱硝单元 4 部分组成。除尘单元采用高效 PM_{2.5} 干法净化技术，颗粒物在过滤过程中通过筛分、惯性碰撞、粘附、布朗运动和静电等综合作用被捕集；脱硫单元核心构件是脱硫塔，塔体采用空塔喷淋形式，在塔内烟气与脱硫浆液逆流接触，发生化学反应去除烟气中 SO₂；脱硝单元采用臭氧氧化脱硝，臭氧装置设置在脱硫塔入口。



工艺流程图

三、技术指标

进口参数：颗粒物浓度：200mg/Nm³ ~ 2800mg/Nm³，SO₂：5000mg/m³ ~ 20000mg/m³，NO_x：100mg/Nm³ ~ 1500mg/Nm³；出口参数：颗粒物浓度 < 10mg/Nm³，SO₂ < 35mg/Nm³，NO_x < 50mg/Nm³，袋式除尘器阻力，600Pa ~ 800Pa。

四、技术特点及先进性

（一）国内外首次提出和应用催化裂化烟气除尘“湿改干”的技术路线。以袋式除尘技术为核心净化催化裂化再生烟气 PM_{2.5} 粉尘，在行业内多个催化裂化烟气治理项目上均得到成功应用。

（二）结合烟气特性，探究一种适用于该技术的烟气换热装置，用以控制袋式除尘器入口、脱硫塔进出口烟气温度。在催化裂化装置工况波动下，保证除尘器处于正常工作温度区间，使净烟气温度保持在 85℃ 以上，消除烟囱雨，达到“脱白”目的，回收大量热量等，实现节能目的。

（三）脱硝采用臭氧氧化脱硝技术，降低 NO_x 的排放。

五、应用案例

项目名称：宁夏宝塔能源化工有限公司 60 万吨/年催化裂化装置烟气脱硫脱硝除尘处理项目

项目概况：

宁夏宝塔能源化工有限公司催化裂化装置为 60 万吨/年，治理催化裂化再生烟气中的 NO_x、SO₂ 和颗粒物，催化裂化再生烟气烟量为 1 × 10⁵ Nm³/h。核心工艺采用“催化裂化再生烟气除尘脱硫脱硝协同治理超低排放技术与装备”。项

目于 2018 年 10 月顺利验收，经过第三方检测机构检测数据表明，烟气颗粒物排放浓度小于 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， SO_2 浓度小于 $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， NO_x 浓度小于 $34\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。设备运行袋式除尘器阻力在 $600\text{Pa} \sim 800\text{Pa}$ ，实现了超低排放和节能运行。

六、推广前景

采用该技术装备颗粒物浓度由 $1000\text{mg}/\text{Nm}^3$ 下降到 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， SO_2 浓度由 $2000\text{mg}/\text{Nm}^3$ 下降到 $20\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ， NO_x 浓度由 $350\text{mg}/\text{Nm}^3$ 下降到 $34\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ，实现了超低排放。颗粒物减排总量 831.6 吨/年， SO_2 减排总量 1663.2 吨/年， NO_x 减排总量 265.4 吨/年。设备运行袋式除尘器阻力在 $600\text{Pa} \sim 800\text{Pa}$ ，比常规湿法节能约 30%。

与常规国内外湿法除尘一体化技术相比，其运行费用比常规技术降低了约 30%，节能效果显著。工艺水耗约为 $7\text{t}/\text{h}$ ，比常规湿法洗涤技术节约水量约 50%。

案例二：

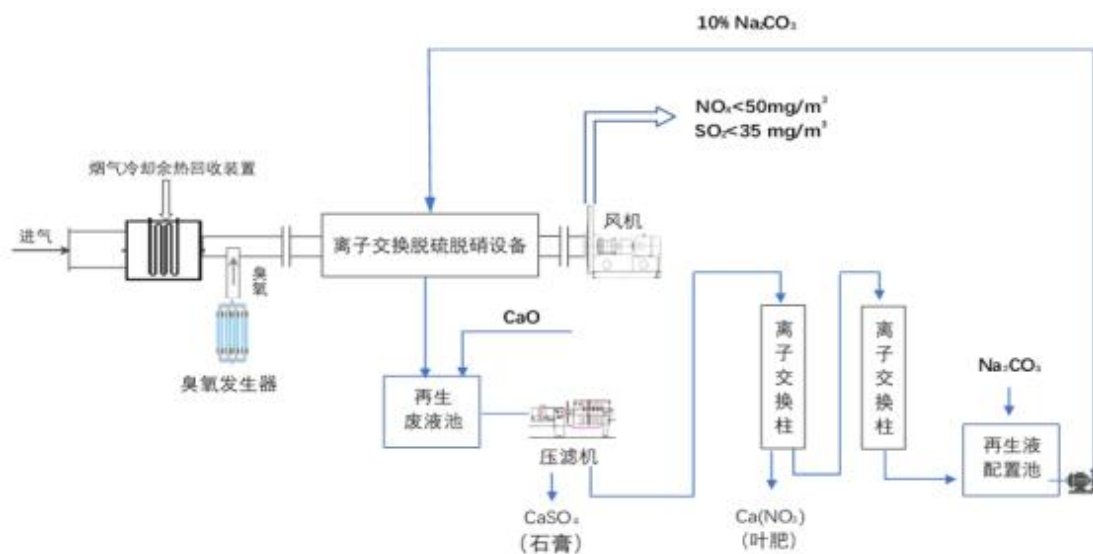
深圳前海中盛环保科技有限公司离子交换法脱硫脱硝一体化技术装备

一、技术适用范围

适用于工业领域烟气协同治理及资源化利用。

二、技术原理及工艺

通过烟气-水换热器，将烟气温度降低，吸收烟气热量后升温的水输送回锅炉使用，可大大提高锅炉热效率。烟气经过冷却同时进行余热回收利用之后，与一定量的臭氧混合，达到脱硫脱硝低浓度达标排放的目的。



工艺流程图

三、技术指标

进口参数： SO_2 : $800\text{mg}/\text{Nm}^3 \sim 2000\text{mg}/\text{Nm}^3$, NO_x : $400\text{mg}/\text{Nm}^3 \sim 800\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；出口参数： $\text{SO}_2 < 35\text{mg}/\text{m}^3$, $\text{NO}_x < 50\text{mg}/\text{m}^3$ ；离子交换纤维再生周期：10d ~ 15d；再生剂：10% Na_2CO_3 ；回收 CaSO_4

纯度 $\geq 65\%$; 回收 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 浓度 $\geq 20\text{g/L}$; 再生废液生成的 CaSO_4 制作水泥缓凝剂, 回收的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 制作叶肥。

四、技术特点及先进性

(一) 采用纤维状新型离子交换材料具有表面积大、吸附脱附速度快的特点, 在工业化处理废气领域具有高效、节能、药剂投放量较少等优势。与现有脱硫脱硝技术相比, 既具有余热回用, 资源回收的优势, 又具有浓缩污染物无二次污染的特性。

(二) 技术创新: 采用了直接交换吸附的方法来同时脱除二氧化硫、 NO_x , 在工艺上避免药剂的添加, 采用更为直接的方法来替代传统方法中使用药剂的处理办法。

(三) 应用创新: 采用离子交换法脱硫脱硝的过程中是在低温中进行 ($50^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 之间), 实现烟气余热的深度回收利用, 具有重大的节能意义。

五、应用案例

项目名称: 广东韶钢松山股份有限公司第二热电厂烟气脱硫、脱硝项目。

项目概况: 采用离子交换法脱硫脱硝一体化技术装备处理后的烟气排放达到超低排放标准, 同时可实现热能的深度利用。经实际测算, 按现场一座锅炉年运行时间 7500 小时计算, 消耗高炉煤气 20 万 m^3/h , 余热回收热效率提高了 4% 相当于节约燃料费用 570 万元/年。

六、推广前景

与湿法喷淋技术相比, 离子交换脱硫脱硝技术是对污染

物的吸附浓缩的过程，没有大量的废水产生，且资源可回收利用，没有二次污染。在发电、钢铁、玻璃、水泥、化工等行业的烟气脱硫脱硝，具有广阔的市场前景。

案例三：

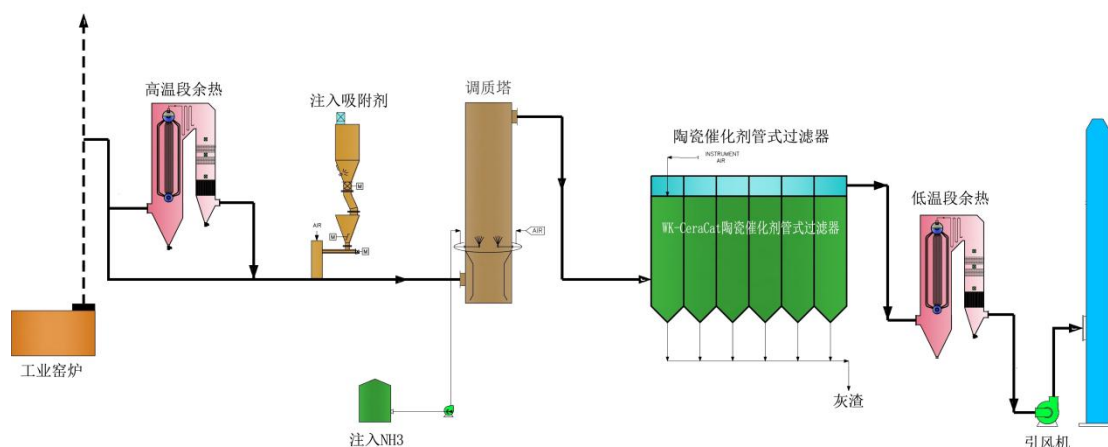
中天威尔环保科技有限公司基于陶瓷滤筒的氧化法烟气多污染物协同处理装备

一、技术适用范围

适用于玻璃、焦化行业烟气处理。

二、技术原理及工艺

使用陶瓷纤维滤芯制备技术和陶瓷纤维滤芯 SCR 纳米催化剂浸渍技术。通过陶瓷催化剂滤芯多管束系统集成，实现了玻璃窑炉烟气多污染物协同处理于一体的反应釜装置。



工艺流程图

三、技术指标

处理烟气量 $\leq 3 \times 10^5 \text{Nm}^3/\text{h}$ ；进口参数： $\text{NO}_x < 4000 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $\text{SO}_2 < 300 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $\text{HF} < 38 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ，粉尘 $< 500 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ；出口参数： $\text{NO}_x < 50 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $\text{SO}_2 < 35 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ， $\text{HF} < 4 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ，粉尘 $< 10 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ，氨逃逸率 $< 5 \text{ppm}$ ，二噁英 $\leq 0.1 \text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ ，达到《平板玻璃工业大气污染物排放标准》(GB 26453-2011)、

《炼焦化学工业污染物排放标准》（GB 16171-2012）中大气污染物特别排放限值要求。

四、技术特点及先进性

采用多级高效气固两相流混合技术，在烟气输送环节采用独特的高效调质塔或在烟道关键部位采用静态混合器设计，实现气固两相流均匀混合的同时，提高了烟气酸性组分的脱除率，降低了吸附剂的使用量，有效控制了吸附剂的运行成本。

五、应用案例

项目名称：四川省宜宾环球格拉斯玻璃制造有限公司 5# 玻璃熔窑烟气治理项目

项目概况：项目自 2017 年 5 月 1 日投入运行，各项污染物指标达到国家及当地排放标准。项目按玻璃窑炉-吸附剂装置-喷氨剂装置-陶瓷催化剂-反应釜装置-引风机新工艺路线设计。新工艺解决了传统工艺因烟尘碱金属含量高而造成的 SCR 催化剂堵塞、活性衰减及中毒等问题；新工艺采用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作为脱酸吸附剂，与陶瓷催化滤管表面形成致密的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 滤饼层，最终实现了酸性组分的高效去除，去除率达到 95% 以上。高浓度氯化物的去除率达到 97% 以上。项目总投资 705 万，实现利润 257 万元，毛利润 36%。

六、推广前景

通过自主研发与系统集成，攻克了陶瓷催化管式一体化玻璃窑炉烟气多污染物协同治理控制技术，填补国内该项技术空白，并推动了玻璃行业新工艺的市场快速发展。新工艺

推动了非电力行业，如焦炉烟气治理、生物质锅炉烟气治理、垃圾及其他行业的超低排放应用。新工艺技术推动与应用，可以有效地实现多污染物超低排放控制及污染物总量控制的最小化，该项目每年减少 NO_x 排放 512.46 吨，HF 排放 4.33 吨，尘排放 39.42 吨。

案例四：

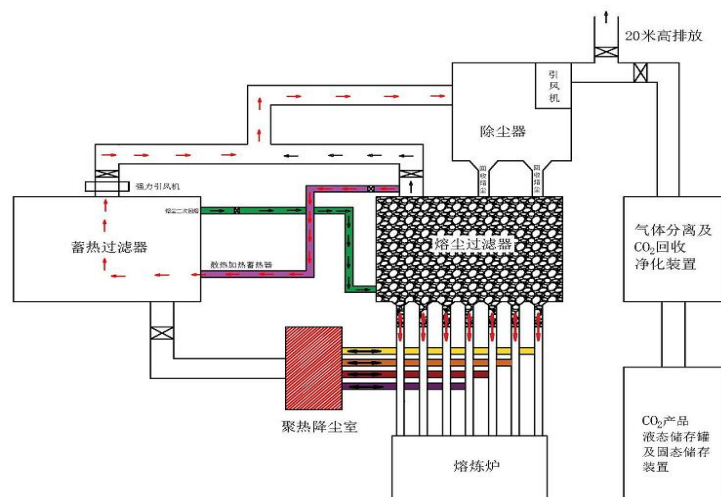
浙江浙能迈领环境科技有限公司船舶尾气净化装备

一、技术适用范围

适用于船舶尾气处理。

二、技术原理及工艺

设备由催化净化装置与洗涤净化装置组成，尾气处理流程为：船舶主机、辅机和燃油锅炉排出的尾气依次经过催化净化装置和洗涤净化装置，达标的净烟气经烟囱排入大气。



工艺流程图

三、技术指标

进口参数： SO_2/CO_2 : 65 ~ 195, NO_x : 7.7g/kW·h ~ 17g/kW·h, 粉尘: 4g/kW·h ~ 15g/kW·h; 出口参数： $SO_2/CO_2 \leq 1.5$, $NO_x < 1g/kW·h$, 粉尘 $< 0.5g/kW·h$; 排放达到《船舶废气清洗系统试验及检验指南》(GD 25-11-2017) 要求。

四、技术特点及先进性

(一) 解决了复杂工况、高含硫燃油条件下的高效脱硝

难题，脱硝效率可达 90%以上，NO_x 排放浓度小于 1.0g/kW·h（优于 IMO 的 Tier III 法规限值要求）。

（二）解决了吸收剂切换（海水镁基吸收剂）、塔体摆动（可达 ±20）等工况下的高效稳定脱硫难题，脱硫效率可达 99%以上，SO₂（ppm）/CO₂（%）小于 1.5（优于 IMO 的法规限值要求）。

（三）创建了船舶尾气多污染物全流程高效净化的工程技术系统，研制了多用途多航域船舶的尾气高效净化系列化装备，相关产品获中、美、德/挪威、法、英、意、日等全球七大船级社认证。

五、应用案例

项目名称：散货船 MAHA ANOSHA 号脱硫系统洗涤尾气项目

项目概况：

散货船 MAHA ANOSHA 号（IMO: 9425473, MMSI: 419000348）建造于 2009 年（船龄 11 年），排水量 169056 吨，主机型号为 MANB&W6S70MC-6，辅机型号为 H21/32。船舶上安装开放式脱硫系统洗涤尾气，是全球第一艘实施脱硫改造的好望角型散货船。项目合理进行催化净化与洗涤净化装置设计，依据主、辅机负荷和运行航域的变化采用不同的运行策略，保障各装置可靠稳定运行与多污染物高效脱除。第三方测试结果表明，成果应用后，烟气污染物浓度、洗涤水排放指标均优于国际海事组织规定的排放限值要求。

六、推广前景

船舶航行中产生的污染物在全球污染排放中的占比逐年增大。据统计，中国作为全球最大的港口国，船舶带来的污染影响显著。全世界月度活跃船舶数量为 37.89 万艘，其中中国境内为 12.17 万艘，接近三分之一。项目将大幅减少船舶航行及靠岸排放的污染物，以 4 万吨船舶为例，通过加装净化装置每年可减少约 130t 的 SO₂ 排放。

案例五：

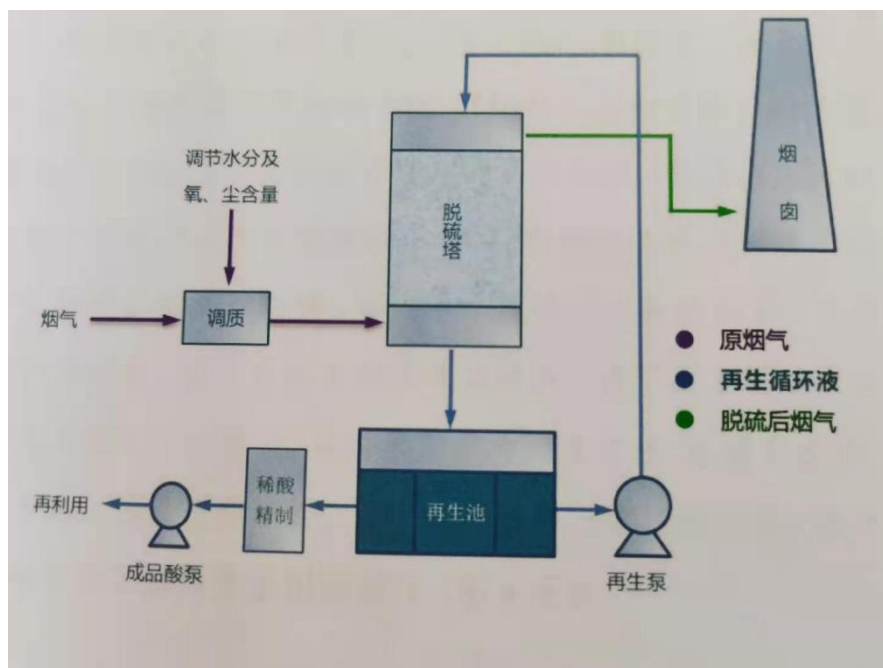
成都达奇环境科技有限公司低温催化硫酸尾气治理装备

一、技术适用范围

适用于燃煤锅炉、工业窑炉领域硫酸尾气处理。

二、技术原理及工艺

待处理烟气由风机送入预处理系统进行除尘、调质，使烟气的温度、尘浓度、水分、氧浓度等指标满足脱硫工艺要求，然后进入脱硫塔脱硫。脱硫塔分为多个区域，每个区域内装填一定量催化剂，烟气经布气管道进入脱硫区，经过催化剂床层时，烟气中的 SO_2 、 O_2 、 H_2O 分子经催化氧化生成硫酸，通过床层后的烟气直接达标排放。



工艺流程图

三、技术指标

催化氧化温度：50℃ ~ 200℃；SO₂排放浓度 < 50mg/m³；硫酸雾浓度 < 5mg/m³；硫资源回收利用率：100%。

四、技术特点及先进性

采用炭基催化剂，耦合多孔炭材料的限域效应、活性组分和助催化剂的功能，在低温下(50℃ ~ 200℃)，实现SO₂催化氧化并生产硫酸，脱除SO₂的同时回收硫资源，无二次污染。

该技术可实现硫氧化物深度治理，可适应烟气量、SO₂浓度波动大(0.001% ~ 4%)的情况，SO₂出口浓度低于10mg/m³、硫酸雾浓度低于5mg/m³，实现低成本稳定运行(320元/吨SO₂)和硫资源高效回收利用(100%)。

解决了传统脱硫技术(氨法、钠法)较难解决的可溶性硫酸盐所造成的硫酸雾问题，实现烟气二氧化硫污染治理与硫酸行业清洁生产过程的有机耦合。

五、应用案例

项目名称：攀钢集团重庆钛业30万t/a硫酸尾气脱硫项目。

项目概况：项目于2016年建成，处理气量8.5万Nm³/h，进口烟气SO₂浓度1500mg/Nm³，烟气温度60℃ ~ 80℃。采用炭基催化剂，耦合多孔炭材料的限域效应、活性组分和助催化剂的功能，在低温下(50℃ ~ 200℃)，实现SO₂催化氧化并生产硫酸，脱除SO₂的同时回收硫资源，无二次污染。

项目按年运行8000小时算，年均脱除SO₂986吨，脱硫

产生的稀硫酸进入硫铵生产工段，完全回收利用，副产硫酸带来的直接经济效益为 63.2 万元/年，每年节约排污费 130.6 万元。项目年综合经济效益(包括减排收益)193.8 万元。

六、推广前景

炭基催化法硫酸尾气深度治理技术在使用过程中可实现 SO_2 排放小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、硫酸雾排放小于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 、硫资源高价值回收利用，特别适用于化工、焦化、钢铁、有色、燃煤锅炉、工业窑炉等领域 SO_2 深度治理。

案例六：

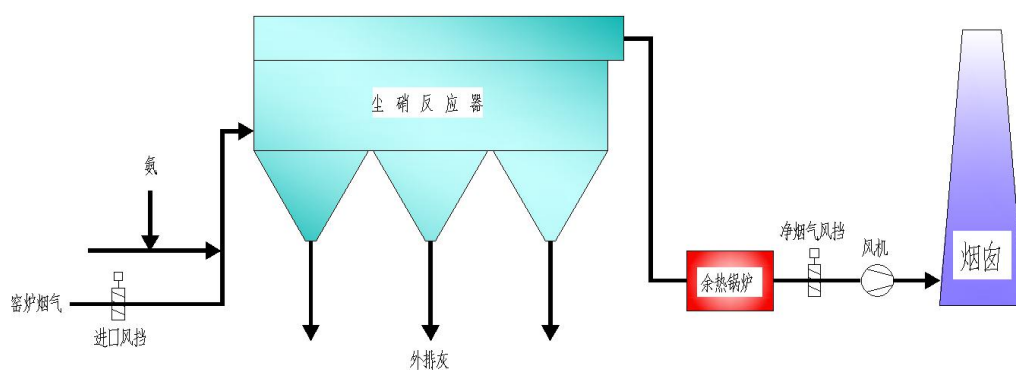
福建龙净环保股份有限公司高温复合滤筒尘硝协同脱除装备

一、技术适用范围

适用于焦化、玻璃炉窑、生物质锅炉、垃圾焚烧、有色冶炼、工业锅炉等炉窑的高温烟气除尘脱硝。

二、技术原理及工艺

高温复合滤筒尘硝协同脱除装备运行时，将脱硝剂(NH_3)喷入烟道内，然后含尘烟气进入尘硝反应器，当烟气通过复合滤筒时，由于滤筒的筛滤、拦截作用，粉尘被阻留在滤筒外表面，不含尘的烟气缓慢地流经滤筒催化剂层，氮氧化物在催化剂作用下与脱硝剂充分反应，氮氧化物被还原成 N_2 和 H_2O ，从而实现除尘脱硝一体化处理。



技术路线图

三、技术指标

烟气气量 $\leq 5 \times 10^5 \text{m}^3/\text{h}$ ，烟气温度 $\leq 425^\circ\text{C}$ ，进口烟尘 $\leq 200\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，进口 $\text{NO}_x \leq 4000\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，出口烟尘 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，出口 $\text{NO}_x \leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

四、技术特点及先进性

该产品以高温复合纤维滤筒为核心处理元件，是一种将高温陶瓷纤维过滤与 SCR 两种成熟的技术结合在一起的尘硝协同脱除技术。复合纤维滤筒以硅酸铝纤维为原料制作而成，纤维交织成的多孔结构具有很高的孔隙率，同时，其整体的自立式结构，具有很好的抗拉、抗爆裂、抗热震性能。尘硝协同脱除技术这种在同一核心元件（复合纤维滤筒）内完成粉尘过滤和 NO_x 选择性催化还原反应的工艺，具有以下优势：

（一）在高温窑炉领域的应用，除尘效率高，粉尘排放浓度 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，实现超低排放。

（二）烟气先经滤筒表面过滤脱除粉尘，再经滤筒壁内纳米级催化剂作用脱硝，解决了粉尘对催化剂的磨损和堵塞避免了重金属对催化剂的毒化作用，延长了催化剂的使用寿命， NO_x 排放浓度 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

（三）滤筒由无机纤维粘结而成，耐腐蚀性强。

（四）工艺流程简短，布置紧凑，占地面积小，能耗低，运行费用低。该产品对比传统技术工艺，具有明显的技术先进性，已经达到国内同行业领先水平。

五、应用案例

项目名称：安徽确成硅化学有限公司 1#、2#硅酸钠窑炉烟气脱硫除尘脱硝一体化改造项目

项目概况：项目采用高温复合滤筒尘硝协同脱除装备，实现尘硝协同高效脱除，系统内零废水排放，高温烟气余热

高效利用，并且大大缩短了工艺流程，减少占地面积，2019年11月16日投运以来设备运行良好，各项排放指标远优于国家排放标准，经第三方性能检测结果，出口颗粒物排放浓度低于 $6.0\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，出口 NO_x 排放浓度低于 $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

项目实测烟气量约 $31000\text{Nm}^3/\text{h}$ ，每年减少粉尘排放 132.3t ，每年减少 NO_x 排放 340.2t 。相比常规技术工艺投资费用节省约79万元，年运行维护费用节省约57.7万元。另外，由于进入余热锅炉中的粉尘含量低，因此而减少余热锅炉热量损失折合标煤约3200吨/年。高温复合滤筒尘硝协同脱除装备具有优良的经济和社会效益。

六、推广前景

高温复合滤筒尘硝协同脱除装备具有广阔的市场推广前景，未来3年随着超低排放改造的持续推进，预计高温复合滤筒尘硝协同脱除装备在行业内的市场占有率将达到20%，总投入2.5亿元，每年将可实现颗粒物减排 $5000\text{t}/\text{年}$ ， NO_x 减排 $25000\text{t}/\text{年}$ 。每年节省费用约5000万元，具有良好的经济社会效益。

案例七：

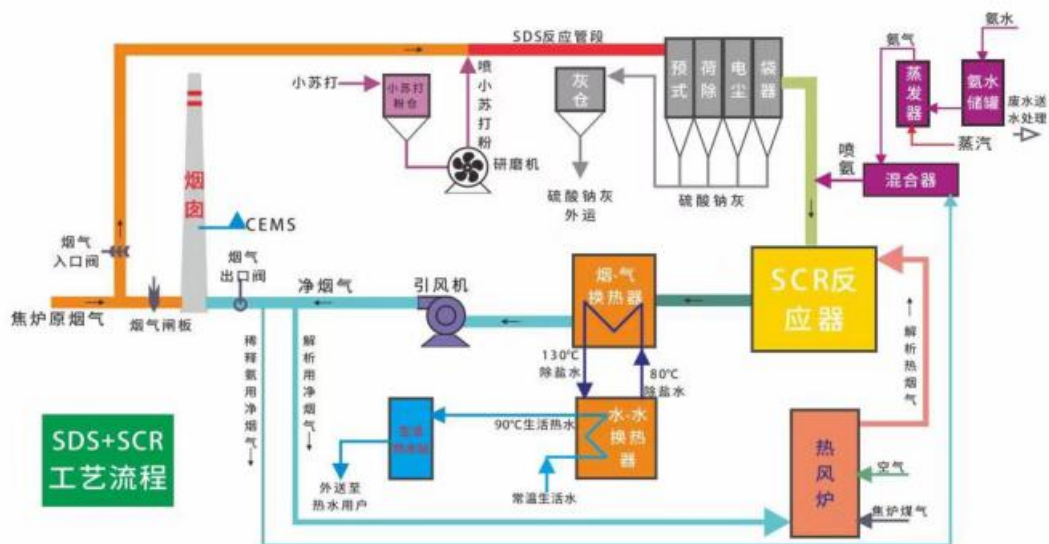
中钢集团天澄环保科技股份有限公司焦炉烟气多污染物干法协同处理装备

一、技术适用范围

钢铁、焦炉烟气污染治理。

二、技术原理及工艺

通过研发的 SDS 干法脱硫装置、多通道除尘脱硝一体化装置、国家 863 科技成果预荷电袋滤器、余热回收、智能控制等多项专利技术和产品，解决了湿法脱硫的烟囱雨、设备腐蚀、停产检修、系统阻力高、烟气热量浪费等问题，设备性能显著提高，实现焦炉烟道气中污染物 SO_2 、 NO_x 、粉尘协同治理，达到超低排放标准要求。



技术路线图

三、技术指标

烟气量： $3.6 \times 10^5 \text{Nm}^3/\text{h} \sim 4 \times 10^6 \text{Nm}^3/\text{h}$ ；进口参数： SO_2

$\leq 500\text{mg}/\text{Nm}^3$, $\text{NO}_x \leq 1500\text{mg}/\text{Nm}^3$, 颗粒物 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$; 出口参数: $\text{SO}_2 \leq 30\text{mg}/\text{Nm}^3$, $\text{NO}_x \leq 150\text{mg}/\text{Nm}^3$, 颗粒物 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

四、技术特点及先进性

(一) 开发了 SDS 干法脱硫工艺。可解决由于半干法或湿法脱硫带来的腐蚀性问题、酸雨石膏雨问题。

(二) 采用国家 863 科技成果预荷电袋式除尘技术。预荷电使烟气中微细粒子带上电荷, 荷电粉尘在滤料表面形成一种疏松的呈海绵状的粉尘层, 可提高袋式除尘捕集效率 15%~20%, 同时过滤阻力可下降 20%~30%。荷电装置可增加脱硫剂粒子与 SO_2 的反应机会, 提高脱硫效率。

(三) 开发了除尘脱硝一体化装置。可解决传统低压脉冲袋式除尘器+SCR 脱硝流程长、气体流动阻力大、气流分布不均匀、占地面积大问题。通过优化袋式除尘器与 SCR 脱硝反应器之间的烟道、气流分布板、喷射格栅、整流器、自动控制系统等设施, 保证了烟气在设施中的分布均匀性和最佳反应温度。

(四) 开发了多通道结构, 可满足焦炉不停机连续生产的要求。在每个通道进出口安装切换阀门, 形成多通道除尘脱硝一体化整体结构, 可实现除尘和脱硝在线更换滤袋、更换催化剂和热解析等功能。

(五) 该处理装备具有运行稳定性高、工艺简洁、一次性投资少、占地面积小和操作维护简单等特点。

五、应用案例

项目名称: 柳州钢铁股份有限公司焦炉烟气脱硫脱硝项

目（一焦）

项目概况：

柳州钢铁股份有限公司一焦 2×55 孔 JN60-6 型顶装焦炉烟囱排放指标要满足《炼焦化学工业污染物排放标准》(GB 16171-2012) 中规定的颗粒物 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化硫 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物 $\leq 150\text{mg}/\text{m}^3$ ，需配套新建 1 套烟道气净化装置，对烟道气 SO_2 、 NO_x 、颗粒物、烟羽等大气主要污染物进行净化治理，技术路线：SDS 脱硫+除尘+中低温 SCR（简称“SCR”）脱硝+余热回收（生产热水）。项目投产后，系统运行稳定，装置运行可靠，投运率达到 100%。经检测，颗粒物排放浓度 $3.1\text{mg}/\text{m}^3 \sim 5.9\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化硫排放浓度 $0.1\text{mg}/\text{m}^3 \sim 1.8\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物排放浓度 $121\text{mg}/\text{m}^3 \sim 144\text{mg}/\text{m}^3$ ，满足《炼焦化学工业污染物排放标准》(GB 16171-2012) 大气污染物超低排放标准。多通道除尘脱硝一体化装置运行总阻力约 $700\text{Pa} \sim 1000\text{Pa}$ ，比常规布置节省运行费用 40%以上。

六、推广前景

该成果是焦炉烟气多污染物协同治理的有效途径，凸显了短流程的特征，并为用户显著降低了运行成本。与国内外焦化同行相比，技术性能指标处于领先水平，为焦化行业焦炉烟气超低排放提供了成功示范。该成果不仅可用于焦炉烟气治理，也可用于其他工业炉窑烟气治理，预计焦化行业市场需求约 20 亿元/年，全国工业行业的市场需求超过 100 亿元/年，将形成新的经济增长点，市场前景十分广阔。

案例八：

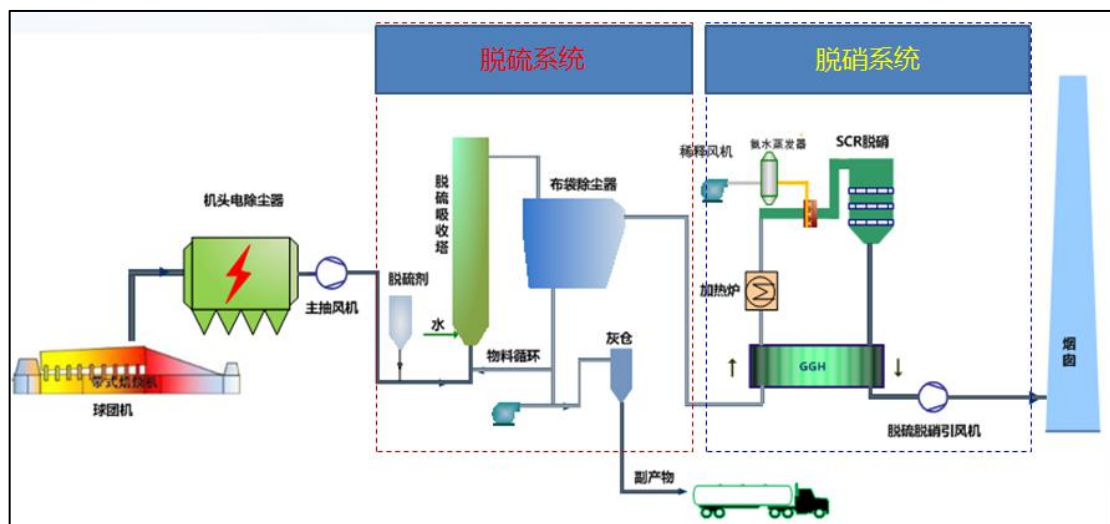
福建龙净脱硫脱硝工程有限公司烧结（球团）烟气多污染物干式协同净化技术及装置

一、技术适用范围

适用于钢铁烧结（球团）烟气的脱硫、脱硝、除尘及多污染物协同治理。

二、技术原理及工艺

以循环流化床反应器为核心，依托于反应器内激烈湍动颗粒床层吸收吸附双重净化、细微颗粒物凝并，并有机结合选择性催化还原（SCR）、循环氧化吸收（COA）和超滤布袋除尘技术，可实现同时高效脱除 SO_2 、 NO_x 、 SO_3 、 HCl 、 HF 等酸性气体、重金属、二噁英及颗粒物（含 $\text{PM}_{2.5}$ ）等多组分污染物。



工艺流程图

三、技术指标

出口 SO_2 浓度 $\leq 35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；出口 NO_x 浓度 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；出

口烟尘浓度 $\leq 5\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；出口硫酸雾 $\leq 5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、重金属汞 $\leq 3\ \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 、二噁英 $\leq 0.1\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ ；废水零排放。

四、技术特点及先进性

（一）可同时高效脱除 SO_2 、 NO_x 、 SO_3 、 HCl 、 HF 等酸性气体、重金属、二噁英及颗粒物（含 $\text{PM}_{2.5}$ ）等多组份污染物，能适应烧结（球团）烟气工况（负荷、温度、湿度、污染物浓度等）变化，净化效率高，可满足世界范围内最严格的污染物排放要求，整体技术处于国际领先水平。

（二）系统简洁，占地面积小，投资低；系统阻力小，能耗低；节水明显，且无废水产生。操作简单，稳定性好，可靠性高，维护工作量小，可通过智能化控制与主机联动生产，减少人工的操作。

五、应用案例

项目名称：首钢京唐 $2 \times 500\ \text{m}^2$ 烧结烟气脱硫脱硝深度治理改造工程

项目概况：采用“一机两塔”布置方式，脱硫脱硝除尘装置各按 50% 烧结机负荷设计，共新增 4 套脱硫脱硝除尘系统。

烧结机排出的烟气通过烟道先行引入脱硫除尘系统，在循环流化床反应塔，依靠剧烈湍动的高浓度、高效传质传热的物料床层，通过喷水降温至 $85^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ ，高效协同脱除 SO_3 、 SO_2 、 HCl 、 HF 酸性气体和重金属、二噁英等污染物，随后烟气通过下游的专用低压旋转脉冲布袋除尘器对粉尘进行深度净化。经过脱硫除尘后的烟气，经 GGH 换热及加热升

温后在 SCR 反应器内完成 NO_x 的脱除，净化后烟气满足国家超低排放要求。整体可节能 20%，节水 30%，减少占地面积约 50%。

项目从 2018 年 6 月开始施工，12 月 31 日顺利完成安装调试，并一次性成功投运。实际运行指标优于超低排放要求。2019 年 1 月，冶金环境检测中心对 2 台烧结机进行超低排放验收检测，多次检测结果显示： SO_2 平均排放浓度小于 10 mg/Nm^3 ； NO_x 平均排放浓度小于 30 mg/Nm^3 ；烟尘平均排放浓度小于 5 mg/Nm^3 ；氟化物平均排放浓度小于 2 mg/Nm^3 。

六、推广前景

“烧结（球团）烟气多污染物干式协同净化技术及装置”已有效成功帮助上百家企业实现绿色升级改造。未来 3 年随着超低排放改造的持续推进，预计累计推广有望突破两百台套，每年可脱除的 SO_2 、 NO_x 、粉尘及其他污染物总量超 150 万吨，对促进环保产业发展和空气质量改善具有重要意义。

案例九：

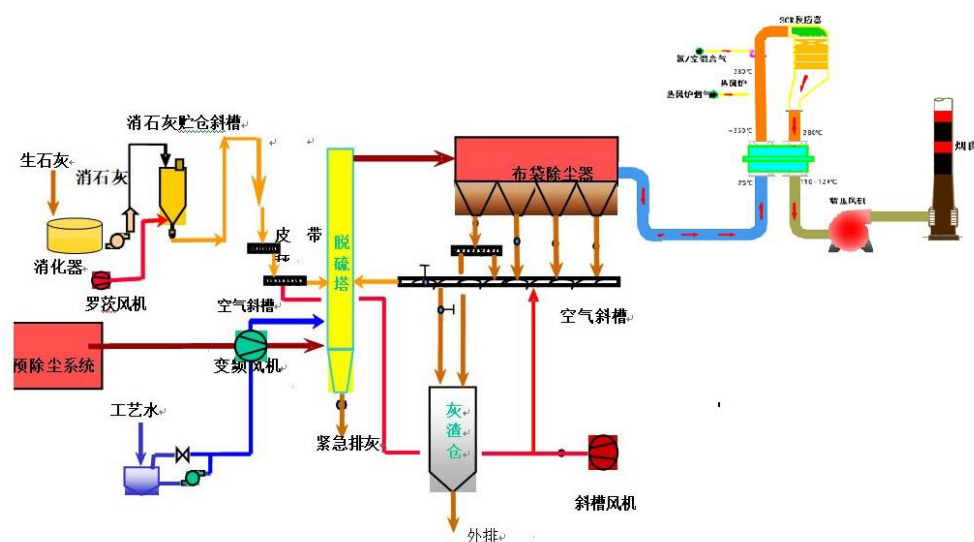
中钢集团天澄环保科技股份有限公司烧结（球团）烟气多污染物干法协同处理装备

一、技术适用范围

烧结（球团）烟气多污染物治理

二、技术原理及工艺

采用半干法循环流化床烟气脱硫+布袋除尘器+ SCR 脱硝。即半干法脱硫后烟气→GGH 换热器（原烟）→燃烧器→SCR 脱硝一体化装置→GGH 换热器（净烟气）→引风机→烟囱。该工艺脱硝率可达到 90%以上，NH₃ 逃逸率可保证在 2~5ppm，设备使用效率高，无二次污染。



工艺流程图

三、技术指标

烟气量： $4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h} \sim 3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ ；进口参数：烟尘 $< 200 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ； $\text{SO}_2 < 6000 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ； $\text{NO}_x < 500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ；重金属汞 \leq

10 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$; 出口参数: 烟尘 $< 10\text{mg}/\text{Nm}^3$; $\text{SO}_2 < 35\text{mg}/\text{Nm}^3$; $\text{NO}_x < 50\text{mg}/\text{Nm}^3$; 硫酸雾 $\leq 5\text{mg}/\text{Nm}^3$; 重金属汞 $\leq 3 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$; 二噁英 $\leq 0.1\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ 。

四、技术特点及先进性

(一) 脱硫剂的利用率高, 所产生的脱硫灰(渣)少。

(二) 烟气在塔内的停留时间较长, 使 SO_2 与脱硫剂能得到充分的混合, 提高了脱硫效率。

(三) 较低的塔内流速使塔内不会产生磨损。

(四) 因脱硫剂为干态, 床温只取决于喷水量的多少, 不受进口烟气中 SO_2 浓度的制约, 能非常方便的将床温控制在理想状态, 防止床温偏低时设备的腐蚀, 偏高时脱硫效率及脱硫剂利用率的下降。

(五) 塔内优良的混合条件, 使塔内的水分迅速蒸发, 所以, 脱硫塔及其它设备不会产生粘结和堵塞, 也不会产生腐蚀。

(六) 脱硝率高, 可达 90% 以上, NH_3 逃逸率可保证在 2 ~ 5ppm, 设备使用效率高, 无二次污染。

五、应用案例

项目名称: 马钢 400 万吨球团脱硫脱硝 EPC 项目

项目概况:

项目采用 CFB 半干法烟气脱硫+除尘系统+SCR 脱硝系统。系统设计烟气处理能力为 400 万吨的带式焙烧机球团生产线烟气量, 烟气处理流程为: 机头除尘器主抽风机—循环流化床吸收塔—布袋除尘器—GGH 换热器—烟气加热系统—SCR

脱硝装置—GGH 换热器—增压风机—烟囱排放。排放标准执行《炼铁工业大气污染物排放标准》（GB 28663-2012）中大气污染物特别排放限值，SO₂排放浓度小于 35mg/Nm³、烟粉尘排放浓度小于 10mg/Nm³，NO_x排放浓度小于 50mg/Nm³。设计烟囱排放 SO₂浓度由 2500mg/Nm³下降到 35 mg/Nm³，NO_x排放浓度由 400 mg/Nm³下降到 50 mg/Nm³，实现了超低排放。预计 SO₂减排总量 26.9 万吨/年，NO_x减排总量 3.8 万吨/年。

六、推广前景

“超低排放”、“近零排放”、“消白”成为近年来的发展趋势，在此背景下，干法超低排放技术必将成为一种广泛推广的技术，其中循环流化床半干法脱硫技术应用最为广泛，其具有可以同时脱除烟气中的 SO₃、HF、重金属等污染物，无废水排放，外排烟气中无烟囱雨现象等优点，循环流化床半干法脱硫技术将成为钢铁行业脱硫市场的主流技术，市场前景广阔。

NO_x浓度 < 500mg/Nm³, 重金属汞浓度 ≤ 10 μg/Nm³; 出口参数: 烟尘浓度 < 10mg/Nm³, SO₂浓度 < 35mg/m³, NO_x浓度 < 50mg/Nm³, 硫酸雾 ≤ 5mg/Nm³, 重金属汞 ≤ 3 μg/Nm³, 二噁英 ≤ 0.1ng-TEQ/Nm³。

四、技术特点及先进性

该技术装备荣获 2018 年获冶金科学技术一等奖、2018 年获中冶集团科技进步一等奖、2019 年获中国专利银奖, 被国家生态环境部列为 2015 年《国家先进污染防治技术目录(大气污染防治领域)》推广技术。

(一) 解决了国内外同类技术投资成本高、运行安全稳定性差、脱硝率低的缺点, 开发了具有自主知识产权的新一代活性炭法烟气净化技术及成套装备。

(二) 可实现超大烟气量的多污染物协同脱除功能, 并能实现副产物的资源化利用。

(三) 适应性强、运行稳定、微细粒子捕集效率高等特点。

(四) 可适应烟气中颗粒物和 SO₂ 浓度高、波动较大的工况, 实现超低排放目标, 并具备满足未来更严格的环保标准的能力

五、应用案例

项目名称: 宝钢三烧烟气净化工程

项目概况: 宝钢股份炼铁厂三烧结大修改造工程于 2015 年 1 月开工建设, 2016 年 10 月建成投产。烧结烟气中含有 SO₂、NO_x、二噁英、重金属及粉尘等污染物, 按照大气污染

物综合处理的原则和《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》（GB 28662-2012）及当地环保排放要求，需对烧结烟气进行综合治理。采用了“活性炭烟气净化工艺”进行烟气净化，活性炭烟气净化工艺能同时脱除 SO_2 、 NO_x 、二噁英、重金属及粉尘等多种污染物，且能回收硫资源制得浓硫酸产品，是一种资源回收型综合烟气治理技术。

六、推广前景

目前我国在钢铁、水泥、有色、玻璃、陶瓷行业有 20 万台工业炉窑，原煤耗量仅次于电站锅炉、工业锅炉，年约排放粉尘 270 万吨、二氧化硫 400 万吨、氮氧化物 200 万吨，分别占全国排放量的 50%、18%、15%，同时这些工业炉窑也是氟化物、重金属、二噁英等污染物主要排放源，治理迫切，此部分市场潜力大。

案例十一：

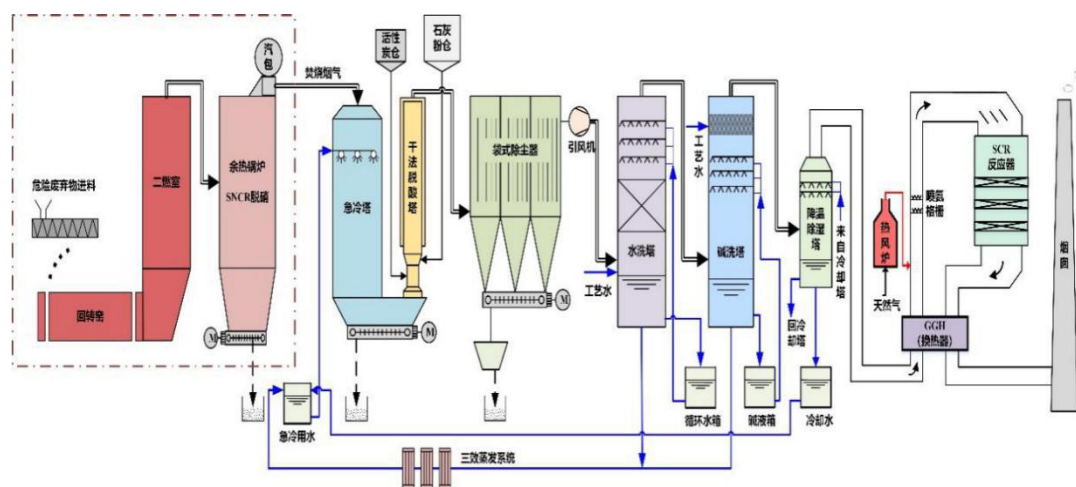
科林环保技术有限责任公司工业危废焚烧烟气治理装备

一、技术适用范围

工业危废焚烧后产生的烟气处理。

二、技术原理及工艺

通过研发 SNCR 脱硝、活性炭吸附二噁英、烟气急冷与干法脱酸反应塔技术、袋式除尘器防腐防堵技术、湿法脱酸与脱酸废水零排放控制技术、三维建模+有限元分析优化+数字模型预组装设计技术等多种技术组合，解决了当前已投运的危废焚烧烟气净化处理工程存在的 SNCR 脱硝效率低、活性炭吸附二噁英工艺脱除效率不稳定、干法脱酸药剂消耗量大、袋式除尘器漏风率高、内部件结露腐蚀严重、湿法脱酸后烟气携带水分多、烟气再热能耗高等问题。



工艺流程图

三、技术指标

烟气量：5000Nm³/h ~ 50000Nm³/h；进口参数：颗粒物 ≤ 8000mg/m³，SO₂ ≤ 10000mg/m³，HCl ≤ 6000mg/m³，HF ≤ 450mg/m³，NO_x ≤ 500mg/m³，二噁英 ≤ 8ngTEQ/m³；出口参数：颗粒物 ≤ 10mg/m³，SO₂ ≤ 50mg/m³，HCl ≤ 10mg/m³，HF ≤ 1mg/m³，NO_x ≤ 200mg/m³，二噁英 ≤ 0.1ngTEQ/m³。

四、技术特点及先进性

该技术装备通过了省级新产品鉴定，达到国际先进水平，获得了生态环境部环境保护科学技术二等奖、中国机械工业科学技术奖三等奖。

（一）气-液双相流急冷技术，抑制二噁英再生成、控制烟气中含水量。

（二）高效干法脱酸技术，提高干法脱酸效率和经济性。

（三）抗露防腐高效袋式除尘器技术，使除尘系统运行稳定，保证 PM_{2.5} 去除效率。

（四）双塔两级湿法脱酸技术，解决现有湿法脱酸中的设备高温腐蚀、钠盐结晶等问题，降低碱液消耗量，提高湿法脱酸的稳定性和经济性。

（五）脱除二噁英、重金属等协同治理技术，提高烟气中二噁英和重金属的脱除效率。

五、应用案例

项目名称：光大升达（常州）100t/d 危险废物焚烧烟气净化系统

项目概况：项目应用单位为光大升达固废处置（常州）

有限公司，位于长江经济带江苏常州滨江化工园区，危险废物集中处置规模为 100t/d，露天布置。烟气处理方法采用：

“SNCR+活性炭吸附+循环流化床干法脱酸+袋式除尘器+洗涤塔+脱酸塔+烟囱”的处理工艺，并在烟囱出口设置烟气在线监测装置，实现药剂投加的自动控制。该工程项目于 2018 年 5 月正式投运，各项技术指标达到了设计要求，运行情况良好，对来源不同的危废适应性强，运行稳定，解决了现有危险废物焚烧烟气处理工艺存在的问题。该技术装备相比传统装备技术指标先进、运行稳定可靠，每年减排各类污染物合计近 1200 吨，二噁英、重金属等微量的有毒有害物也得到了大幅减排，对厂区周围的环境起到积极改善作用，创造了和谐的社会氛围。项目年节电 3 万度、节省维保费用约 120 万元、减少了事故停机时间约 10 天，综合经济效益显著。

六、推广前景

随着我国经济的迅速发展，资源大幅的开发利用，导致废弃物数量与日俱增。按照 2018 年工业危险废物处置量 2482.5 万吨测算，通过技术装备的升级，年固体颗粒物减排 57.3 万吨，HCl 减排 50.9 万吨，SO₂ 协同减排 35.1 万吨，年节电 2482.5 万度（折合标煤 3051 吨），年节省维保费用近 10 亿元，减少了事故停机时间近 8275 天，其他二噁英、重金属等微量的有毒有害物也得到了大幅减排。

案例十二：

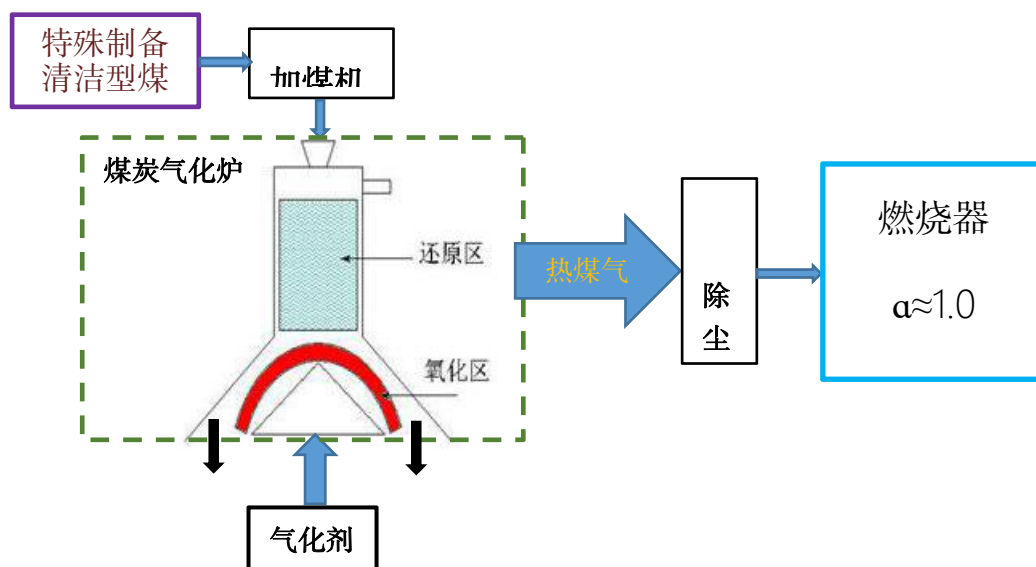
山西海通新材料科技发展有限公司煤炭气化燃烧技术

一、技术实用范围

适用于橡胶、化工、纺织行业用工业蒸汽锅炉、工业窑炉，农村炊事采暖、城镇取暖供热锅炉清洁生产改造。

二、技术原理及工艺

将煤炭经过特殊处理并按比例加入添加剂后，加工成洁净型煤，通过将型煤高强度气化，转化成清洁煤气。将煤气通过低过量空气高效燃烧技术替代传统热能转化的方式，在缺氧的条件下固硫，从而有效控制与氧相关的有害物（如： SO_x 、 NO_x 以及VOC等）的产生，达到煤炭高效清洁利用的目的。



技术路线图

三、技术指标

燃烧效率 $> 99.5\%$ ；比传统燃煤锅炉节能不低于 30% ；电

耗低于现有高压煤气化技术电耗的 20%以上；燃烧直接排放指标：烟尘 $< 20\text{mg}/\text{m}^3$ ，Ca/S 比 < 1.05 ，缺氧固硫 $\text{SO}_2 < 2.5\text{mg}/\text{m}^3$ ， $\text{NO}_x < 70\text{mg}/\text{m}^3$ ，黑度 < 1 级，烟气无色无味。

四、技术特点及先进性

（一）煤炭气化燃烧技术用电 $8.6\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 煤，电耗比现有先进燃煤技术降低 70%以上。

（二）煤炭气化燃烧，工艺简单，常压气化强度高（ $1000\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \sim 2000\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ）煤气产量大，比同类技术提高 5 倍以上（加压气化还可提高数倍），可大型化，比国内外同类型气化技术节省投资 50%以上。

（三）煤炭气化燃烧装置体积小，省钢材。同功率，钢耗减少 30%以上。

（四）煤炭气化，设计 Ca/S 接近 1 缺氧固硫，除硫率接近 100%。

（五）高温煤气设计 α 接近 1 的低过量空气燃烧，可有效控制与氧相关的有害物，如： SO_x 、 NO_x 、VOC 等污染物的产生。排放优于超低技术，燃烧过程不用水，烟气无色无味无白，减排二氧化碳 $220\text{kg}/\text{t}$ 煤（比超低技术降低 200%）以上。

五、应用案例

项目名称：山西（阳泉）广盛源稀土用工业窑炉改造项目

项目概况：项目位于阳泉市开发区，年处理稀土 1800 吨，产值 5 亿元。稀土生产属于高耗能，高污染行业，烘干

氧化窑炉是关键工艺，企业在煤改气前每烘干氧化一吨产品需消耗原煤 800kg，粉尘排放 13%，CO₂ 排放达到 45%。煤改气后，烘干氧化一吨产品需要燃烧天然气 200 立方，每天加工 5 吨稀土，耗天然气 1000 立方。后因气源供应不足，改用 A-50 型煤炭气化岛燃烧系统，烘干氧化一吨稀土，需要消耗洁净型煤 363kg，每天生产 5 吨稀土消耗 1.81 吨，提高了企业竞争力，相比使用天然气每吨节约成本 300 元，每台窑炉每年节约成本达到 54 万元，半年可收回投资成本。

六、推广前景

煤炭是我国能源安全的压舱石，碳中和是“十四五”规划的重点任务。该技术解决了环境保护对能源过度依赖的问题（过渡依赖天然气），同时可以大大降低制造企业的能源成本，提高出口产品的国际市场竞争力。

目前，全国北方农村冬季采暖平均每户用煤量 2.5 吨每年，年总需煤量接近 2.5 亿吨。若通过 3 年时间实现技术推广应用，使北方地区 30% 的农户使用该技术，每年将节能 3075 万吨煤炭，减少 CO₂ 排放 8302 万吨。其经济效益超过 200 亿元/年。