

河北省平板玻璃行业环保绩效创 A 最优实用技术指南（第一批）

河北省重点行业环保绩效创 A 工作领导小组办公室
2023 年 6 月

前 言

为深入践行习近平生态文明思想，全面贯彻全省重点行业环保绩效创A动员部署会议精神，认真落实省委办公厅、省政府办公厅《关于推进全省重点行业环保绩效创A的实施意见》，积极稳妥、有力有序推进全省重点行业环保绩效创A，着力提升企业综合竞争实力、产业绿色发展水平，为中国式现代化美丽河北场景增光添彩，结合2023年全省创A目标和工作实际，在日常帮扶、绩效评级工作中，深入企业实地调研，积极探索解决平板玻璃企业污染治理技术存在问题，并提出合理的改进建议，创A工作专班组织起草了《河北省平板玻璃行业环保绩效创A最优实用技术指南》（第一批），对五类十五项治理技术的原理、工艺流程、治理效益和减排潜力进行了详细分析，为全省平板玻璃企业环保绩效创A提供技术指导。

目 录

一、颗粒物治理技术.....	- 1 -
(一) 高效袋式除尘技术.....	- 1 -
(二) 新型高效电除尘技术.....	- 3 -
(三) 湿式电除尘技术.....	- 4 -
二、二氧化硫治理技术.....	- 7 -
(一) NID 半干法脱硫除尘一体技术.....	- 7 -
(二) SDS 干法脱硫除尘一体技术.....	- 9 -
(三) 高效石灰石-石膏法脱硫技术.....	- 11 -
三、氮氧化物治理技术.....	- 14 -
(一) 低 NO_x 燃气燃烧器降氮技术.....	- 14 -
(二) 低氮燃烧技术.....	- 16 -
(三) 高效 SCR (Selective Catalytic Reduction) 脱硝技术..	- 18 -
(四) 触媒陶瓷纤维滤管脱硫脱硝除尘一体化技术 (参考)	- 22 -
四、颗粒物无组织管控技术.....	- 25 -
(一) 原料厂房内外微雾抑尘技术.....	- 25 -
(二) 物料运输皮带气流除尘技术 (参考)	- 26 -
五、节能降碳技术.....	- 28 -
(一) 玻璃窑炉 0# 全氧枪助燃技术.....	- 28 -
(二) 一窑两线优质浮法生产技术.....	- 30 -
(三) 余热发电技术.....	- 32 -

一、颗粒物治理技术

（一）高效袋式除尘技术

1.技术名称

袋式除尘技术。

2.技术类别

减污降碳类。

3.应用现状及适用范围

广泛应用于平板玻璃企业熔窑烟气和原料混配、投料、输送等落料点、产尘点废气治理。

4.技术内容

（1）技术原理

袋式除尘技术是利用纤维织物的拦截、惯性、扩散、重力等协同作用对含尘气体进行过滤的技术。当含尘气体进入袋式除尘器后，颗粒大、比重大的粉尘，由于重力的作用沉降下来，落入灰斗，烟气中含有较细小粉尘的气体在通过滤料时被阻留，使烟气得到净化，随着过滤的进行，阻力不断上升，需进行清灰再生。按清灰方式分为脉冲喷吹类、反吹风类及机械振打类袋式除尘器。

（2）关键技术

袋式除尘器的性能影响因素主要有设备的运行条件、入口烟尘浓度、设备的设计、制作和安装质量。尤其是要注意滤料型式的选型要与烟气成分相匹配，运行温度宜高于酸露点

10°C-20°C。滤袋选型要充分考虑烟气温度的、烟气的含硫量、烟气中的含氧量和氮氧化物浓度等因素的影响。烟气颗粒物治理用袋式除尘器有以下特点：运行温度通常小于 250°C，且根据夏冬季以及南北方差异，一般高于烟气露点温度 10°C或 15°C以上；当采用化纤滤料时，过滤风速一般为 0.8m/min-1.0m/min，除尘器的系统阻力通畅小于 1500Pa，除尘器出口颗粒物浓度通常小于 10mg/m³。

(3) 主要技术指标

除尘效率为 99.5%-99.99%。

5.典型案例

河北德金玻璃有限公司 2020 年安装 4 套窑炉烟气袋式除尘器，于 2020 年 7 月投入使用，除尘效率达到 99.8%，颗粒物排放量减少约 1017t/a。每套布袋除尘器每小时可节约用电 260KW/h，4 套布袋除尘器年节约用电约 911 万 kwh。

沙河市安全实业有限公司于 2022 年建设布袋除尘共计两套，分别安装 7#线和 8#线的干法脱硫后端，分别于 2022 年 6 月和 9 月开始投入使用。项目实施后，除尘效率能达到 98.5%，颗粒物排放量减少约 518t/a。

6.推广前景和减排潜力

该技术可以广泛应用平板玻璃企业熔窑烟气和原料混配、投料、输送等落料点、产尘点废气治理等生产过程中有组织颗粒物排放治理，具有明显的减排效果，可达到环保绩效 A 级标

准。

(二) 新型高效电除尘技术

1、技术名称

新型高效电除尘技术。

2、技术类别

减污类。

3、应用现状及产业化

目前已在廊坊金彪玻璃有限公司、河北南玻玻璃有限公司、秦皇岛耀华玻璃技术开发有限公司、沙河市安全实业有限公司等企业应用。

4、技术内容

(1) 技术原理

电除尘技术是在高压电场内，使悬浮于含尘气体中的粉尘或颗粒物受到气体电离的作用而荷电，荷电颗粒在电场力的作用下，向极性相反的电极运动，并吸附在电极上，通过振打、冲刷等使其从电极表面脱落，实现除尘的全过程。

(2) 关键技术

电除尘技术适用于工况比电阻在 $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm} \sim 1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内的烟尘去除，可在范围很宽的温度、压力和烟尘浓度条件下运行。影响电除尘器性能的主要因素有工况条件、电除尘器的技术状况和运行条件。其中，工况条件中煤、飞灰成分对电除尘器性能的影响最大。电除尘器使用高频、脉冲等新型电

源供电，与使用工频电源供电相比，可减少污染物排放或在同等除尘效率下实现节能。

(3) 主要技术指标

电除尘器除尘效率可达 80%以上，出口颗粒物排放浓度通常小于 20mg/m³。

5、典型案例

沙河市安全实业有限公司于 2014 年建设高效电除尘器共计五套，分别安装 3#、4#、5#、7#、8#线的 SCR 脱硝前端，于 2014 年 10 月开始投入使用。项目实施后，除尘效率能达到 80%以上，污染物减少排放量约为 967t/a。

6.推广前景和减排潜力

该技术可以广泛应用平板玻璃企业熔窑烟气有组织颗粒物排放治理，具有明显的减排效果。

(三) 湿式电除尘技术

1.技术名称

湿式电除尘技术。

2.技术类别

减污降碳类。

3.应用现状及适用范围

主要用于湿法脱硫后的除尘。沙河市安全实业有限公司、沙河市长城玻璃有限公司、河北德金玻璃有限公司等均采用该技术。

4.技术内容

(1) 技术原理

湿式电除尘技术是用水膜清除吸附在电极上的颗粒物。根据阳极板的形式，湿式电除尘器分为板式和管式等，应用较多的是管式中的蜂窝式与板式。湿式电除尘器安装在脱硫设备后，可有效去除烟尘及湿法脱硫产生的次生颗粒物，并能协同脱除SO₃、汞及其化合物等。

(2) 关键技术

影响湿式电除尘器性能的主要因素有湿式电除尘器的结构型式、入口浓度、粒径分布、气流分布、除尘器技术状况和冲洗水量。

湿式电除尘器除电耗外，还有水耗、碱耗，外排废水宜统筹考虑作为湿法脱硫系统补充水。

(3) 主要技术指标

湿式电除尘器出口颗粒物排放浓度通常小于 10 mg/m³。

5.典型案例

沙河市安全实业有限公司于 2018 年建设湿式电除尘共计三套，分别安装 3#、4#、5#线的石灰石-石膏湿法脱硫后端，于 2018 年 9 月开始投入使用。项目实施后，除尘效率能达到 98.5%，污染物减少排放量约为 621t/a。

6.推广前景和减排潜力

该技术适用于平板玻璃企业湿法脱硫系统后的烟气治理，

具有协同脱除 SO_2 和颗粒物的作用。

二、二氧化硫治理技术

(一) NID 半干法脱硫除尘一体技术

1. 技术名称

NID（增湿灰循环脱硫技术）半干法脱硫除尘一体技术

2. 技术类别

节能减污降碳增效技术

3. 应用现状及产业化

目前已在河北金宏阳太阳能科技股份有限公司、河北正大玻璃有限公司、河北润安建材有限公司、河北南玻玻璃有限公司、廊坊金彪玻璃有限公司等企业应用。

4. 技术内容

(1) 技术原理

该工艺先对余热锅炉出来的烟气降温增湿处理，使烟气中的 SO_2 与 H_2O 反应生成 H_2SO_3 ，再对烟气进行脱硫处理，使烟气中的 H_2SO_3 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成 $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$

(2) 关键技术

脱硫除尘一体化脱硫工艺的核心设备是“增湿混合器”。“增湿混合器”是一种装配了机械搅拌器的 NID 设备，利用机械设备强化 NID 的混合功能。

(3) 工艺流程

从窑炉后余热锅炉风机出来的烟气，经反应器底部进入反应器，和均匀混合在增湿循环灰中的吸收剂发生反应。在降温和增湿

的条件下，烟气中的 SO_2 与吸收剂反应生成亚硫酸钙和硫酸钙。反应后的烟气携带大量的干燥固体颗粒进入脱硫后布袋除尘器收集净化。净化后的烟气温度高于露点温度 20°C 以上，无须再热，直接经过引风机排入烟囱。

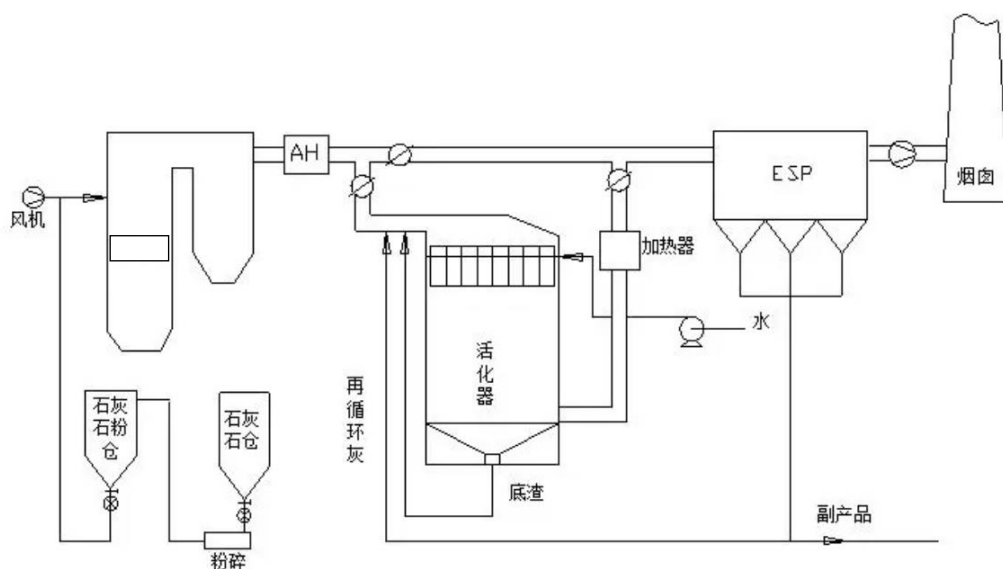


图 1 半干法脱硫除尘一体处理工艺流程图

(4) 主要技术指标

脱硫、除尘效率均可达到大于 98% 以上。

5. 典型案例

河北金宏阳太阳能科技股份有限公司 NID 半干法脱硫除尘一体系统除高效的脱硫、除尘效益外，布袋除尘器具有在线更换布袋的功能。

河北南玻玻璃有限公司于 2017 年和 2018 分别投资建设了 600t/d+900t/d 浮法玻璃生产线半干法脱硫除尘系统工程，分别于 2017 年 11 月和 2018 年 10 月开始投入使用。项目实施后，

烟尘排放浓度 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，二氧化硫排放浓度 $\leq 35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，对保护环境和节能减排具有十分重要的意义。

6. 推广前景及减排潜力

半干法是把脱硫过程和脱硫产物处理分别采用不同的状态反应，特别是在湿状态下脱硫、在干状态下处理脱硫产物的半干法，既有湿法脱硫工艺反应速度快、脱硫效率高的优点，又有干法脱硫工艺无废水废液排放、在干状态下处理脱硫产物的优势，是除硫工艺重要发展方向。

(二) SDS 干法脱硫除尘一体技术

1. 技术名称

SDS（钠基干法脱硫）干法脱硫除尘一体技术

2. 技术类别

节能减污降碳增效技术

3. 应用现状及产业化

目前已在河北金宏阳太阳能科技股份有限公司、河北德金玻璃有限公司、沙河市鸿昇玻璃有限公司、沙河市安全实业有限公司等玻璃企业应用。

4. 技术内容

(1) 技术原理

烟气首先进入 SDS 脱硫烟道，在烟道内喷入超细粉，碳酸氢钠超细粉在高温烟气的作用下分解出高活性碳酸钠和二氧化碳，活性强的碳酸钠与烟道内烟气中的 SO_2 及其他酸性介质充

分接触发生化学反应，被吸收净化。脱硫后粉状颗粒脱硫副产物随气流进入布袋除尘器收集。

(2) 关键技术

制粉及喷射系统,该系统是 SDS 干法脱硫系统的关键设备,系统设备主要是小苏打研磨机系统。

(3) 工艺流程

工艺流程为：原料仓装料→原料仓下料→研磨机料斗拌料、定量给料→研磨→分级→风机输送→喷入烟道→布袋除尘器→引风机→烟囱。

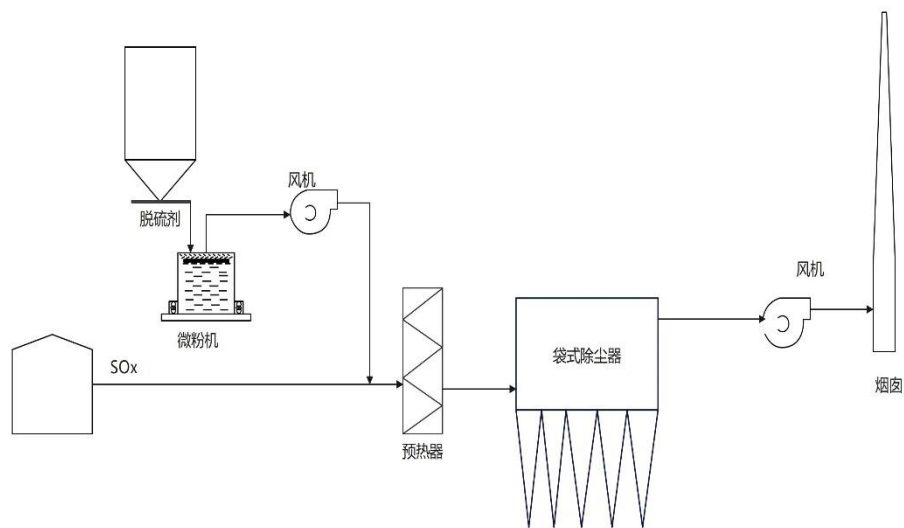


图 2 干法脱硫工艺流图

(4) 主要技术指标

脱硫效率可达 95% 以上。

5. 典型案例

河北南玻玻璃有限公司熔窑烟气采用 SDS 干法脱硫技术,进口二氧化硫 $400\text{mg}/\text{m}^3$ 以上,脱硫处理后,外排二氧化硫可

以在 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

6. 推广前景及减排潜力

干法烟气脱硫技术为气相反应，相对于湿法脱硫系统来说，设备简单，占地面积小、投资费用较低、操作方便、能耗低、生成物便于处置、无污水处理系统等。缺点是反应速度慢，脱硫率相对较低。此外，吸收剂利用率低，磨损、结垢现象比较严重，在设备维护方面难度较大，设备运行的成本较高。由于小苏打价格较高，故该技术适用 SO_2 原始浓度较低的烟气治理项目。干法脱硫除尘一体系统技术已经成熟，并得到广泛应用。

(三) 高效石灰石-石膏法脱硫技术

1. 技术名称

高效石灰石-石膏法脱硫技术

2. 技术类别

脱硫除尘治污技术

3. 应用现状及产业化

目前已在沙河安全实业有限公司、河北东兴玻璃有限公司、沙河市长城玻璃有限公司、河北鑫利玻璃有限公司、河北德金玻璃有限公司等玻璃企业应用

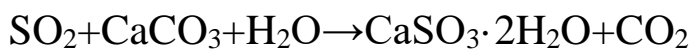
4. 技术内容

(1) 技术原理

该工艺适用于玻璃熔窑的熔化工序烟气脱硫。烟气用石灰

石/石灰浆液洗涤，SO₂与浆液中的物质发生化学反应生成亚硫酸盐和硫酸盐，新鲜浆液石灰石/石灰浆液不断加入到脱硫液的循环回路。浆液中的固体（包括燃煤飞灰）连续地从浆液中分离出来并排成石膏。

(2) 反应机理：



(3) 工艺流程：

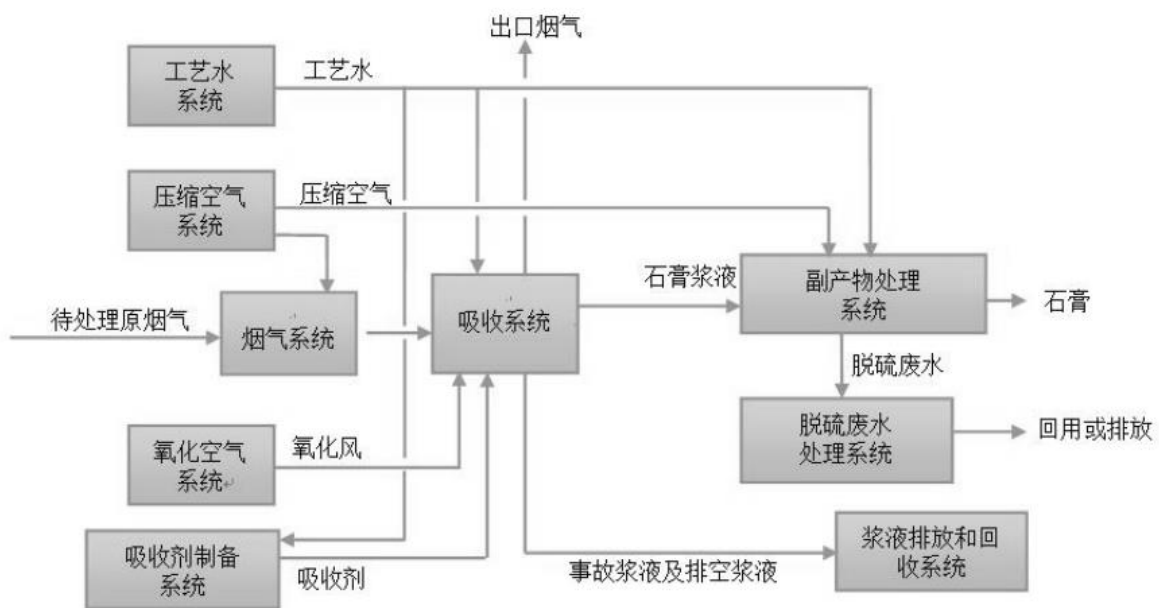


图 3 石灰石-石膏法脱硫技术工艺流程图

(4) 主要技术指标

塔内流速通常为 2~4m/s，浆液 pH 值通常为 5~7，喷淋层数通常为 2~3 层，钙硫比(摩尔比)通常为 1.03~1.05，液气比通常为 5~12，系统阻力通常为 800~1200Pa。脱硫效率通常

可达到 85%~97%。

5.典型案例

沙河市安全实业有限公司 3#生产线建设一套湿法脱硫，采用石灰石-石膏法脱硫工艺，2018 年 9 月投入使用。项目实施后，窑炉烟气二氧化硫排放浓度低于 10mg/Nm₃。通过沙河市安全实业有限公司实际运行结果核算，每年减少污染物二氧化硫排放量 616 吨/年。

6.推广前景及减排潜力：

该技术对熔化工序烟气的负荷变化具有较强的适应性；该技术脱硫效率相对较高，满足高浓度二氧化硫污染物的达标排放。石灰石石膏脱硫不仅可以有效去除二氧化硫等硫化物，还可以协同去除 HCL、HF 等污染物，是比较有前景的污染物协同治理技术。

三、氮氧化物治理技术

(一) 低 NO_x 燃气燃烧器降氮技术

1. 技术名称

低 NO_x 燃气燃烧器降氮技术

2. 技术类别

减污降碳节能效类

3. 应用现状及产业化

河北金宏阳太阳能科技股份有限公司等浮法玻璃企业采用该方法降氮。

4. 技术内容

(1) 技术原理

该低 NO_x 燃气燃烧器，包括：主管体、内芯管和外芯管，在燃气进气量一定的情况下，通过第一位置调节机构来改变内芯管头部与主管体之间的间隙大小，即改变燃烧器总的出口大小，从而改变流速，控制流焰喷出长度；在流速一定的情况下，通过第二位置调节机构来改变分别进入到内芯管和主管体内腔的燃气量，进而对热点在流焰中位置的调节；可以快速调整合适长度的射流火焰而产生更低的 NO_x 排放，同时能方便调整射流火焰中热点释放的位置，改进了火焰定性和射流渗透性。

(2) 关键技术

主管体管身上设有燃气进气口；内芯管，其穿设于主管体内腔，内芯管的头部对应设于主管体头部区域，所述内芯管的

头部为锥形面；外芯管，其穿设于主管体内腔且套设在内芯管外周，外芯管的头部设于主管体内腔且远离主管体头部的区域，所述外芯管的管身上设有第一开孔，所述主管体内腔延伸出第一控气部，所述第一控气部可将第一开孔的开口局部遮挡；所述内芯管的管身上设有连通内芯管内腔和外芯管内腔的第二开孔。

(3) 工艺流程

在燃气进气量一定的情况下，通过第一位置调节机构来改变内芯管头部与主管体之间的间隙大小，即改变燃烧器总的出口大小，从而改变流速，控制流焰喷出长度；在流速一定的情况下，通过第二位置调节机构来改变分别进入到内芯管和主管体内腔的燃气量，进而对热点在流焰中位置的调节；可以快速调整合适长度的射流火焰而产生更低的 NO_x 排放，同时能方便调整射流火焰中热点释放的位置，改进了火焰稳定性和射流渗透性。

(4) 主要技术指标

该技术可降低窑炉烟气 NO_x 初始浓度。

5. 典型案例及投资效益

河北金宏阳太阳能科技股份有限公司生产线应用低氮燃烧技术，使烟气 NO_x 初始浓度大幅度降低，保证了烟气 NO_x 脱硝处理后浓度低于 $40\text{mg}/\text{m}^3$ 、窑炉能耗达到 $1300\text{kcal}/\text{kg}$ 、对于环境保护及节能减排有着重要作用，最大限度的降低 NO_x 对公

司周边环境的影响。

6.推广前景及减排潜力

低 NO_x 燃气燃烧器降氮技术不仅可以提高能源利用率，提升经济效益，而且可降低 NO_x 排放量，实现绿色生产。

(二) 低氮燃烧技术

1.技术名称

低氮燃烧技术

2.技术类别

节能减排降氮技术

3.应用现状及产业化

该技术已在河北南玻玻璃有限公司等浮法玻璃行业推广应用。

4.技术内容

(1) 技术原理

浮法玻璃窑炉的作用是提供空间将天然气和助燃风混合燃烧，燃烧产生热量使原料熔化为玻璃液，为降低 NO_x 的排放量，需要改变天然气在窑炉内燃烧条件。具体操作方式是通过改变喷枪位置及参数，调节天然气与助燃风的混合方式，减少过量助燃风的供给，降低烟气中残余氧浓度、缩短烟气在高温区的停留时间等方法，使得 NO_x 的生成条件被破坏，降低 NO_x 的反应生成总量，达到低氮燃烧的目的。

(2) 关键技术

根据火焰状态调整天然气喷枪压力、角度，匹配合适的助燃风流量，实现低氮燃烧。

(3) 工艺流程

低氮燃烧技术是在助燃风出风口两侧分别布置一支喷枪，喷枪压力可调节，使两股天然气在特定压力（30-50kpa）下斜插入助燃风气流，改变天然气喷枪参数，使火焰保持刚性、黑度和入射角度，获得最佳的湍流和天然气混和，从而减少 NO_x 的形成并提高热传递。低氮燃烧状态火焰前段湍流状态下因供氧不足燃烧不充分，尾段残余燃气和剩余助燃风低温燃烧。该技术可以提高火焰辐射热量并减少过量助燃风形成大量烟气带走热量，通过降低火焰核心温度和残余氧含量，达成前段高温区氧含量不足无法形成 NO_x，尾段氧含量充足时温度低 NO_x 生成量少，从而实现低氮燃烧，提高能源利用效率，降低能耗，降低 NO_x 排放量。

(4) 主要技术指标

化料区烟气残余氧含量低于 1%，火焰覆盖面积达到熔窑横向 3/4，化料区烟气 NO_x 产生浓度低于 2000mg/Nm³，超白产品窑炉能耗低于 1450kcal/kg。

5. 典型案例

河北南玻玻璃有限公司自主研发并建设投产 900t/d 超白玻璃生产线应用低氮燃烧技术，有效降低烟气 NO_x 初始浓度、窑炉能耗达到 1321kcal/kg、化料区烟气残余氧含量 3%-5%、火焰

覆盖面积达到了熔窑横向 3/4，整体技术达到国际先进水平，生产技术填补国内空白。

6.推广前景及减排潜力

低氮燃烧技术不仅可以提高能源利用率，提升经济效益，而且可降低 NO_x 产生量，实现节能降氮生产。

(三) 高效 SCR (Selective Catalytic Reduction) 脱硝技术

1. 技术名称

高效 SCR 脱硝技术-选择性催化还原技术

2. 技术类别

减污降碳节能类

3. 应用现状及产业化

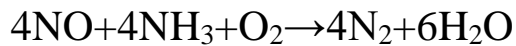
目前秦皇岛弘耀节能玻璃有限公司、唐山市蓝欣玻璃有限公司、河北润安建材有限公司、廊坊金彪玻璃有限公司、沙河市长城玻璃有限公司等浮法玻璃企业均采用该方法进行脱硝。

4. 技术内容

(1) 技术原理

利用还原剂 (NH₃) 在催化作用下，选择性地与 NO_x 反应生成 N₂ 和 H₂O，而不是被 O₂ 氧化，故称为选择性脱硝。SCR 工艺利用氨对 NO_x 的还原功能，在催化剂的作用下将 NO_x (主要是 NO) 还原为对大气没有影响的 N₂ 和水。

主要反应如下：



(2) 关键技术

①液氨蒸发及喷加系统

液氨先通过液氨蒸发器输送到计量和喷射系统处、通过一组阀门调节，用喷射器均匀喷射在烟气通道的横断面上，氨气与高温烟气接触立充分混合，而后进入装有催化剂的 **SCR** 反应器。工艺流程为：液氨储罐→蒸发器→混合器→脱硝烟气系统。

②**SCR** 脱硝反应系统

SCR 反应器是由钢板焊接而成，内部设有催化剂，截面成矩形。**SCR** 反应器设计成烟气竖直向下流动，反应器入口设气流均布装置，反应器入口及出口段设导流板。反应器内部各类加强板、支架设计成不易积灰的型式，同时将考虑热膨胀的补偿措施。

每台反应器设计多层催化剂，在**SCR**设备运行初期，安装多层催化剂，在催化剂额定寿命后期，当出现有催化剂活性降低，不能保证排放要求时，新安装一层催化剂，当新增催化剂排放也不能保证排放要求时，更换第一层催化剂以保证排放符合要求。

催化剂是 **SCR** 系统中的主要设备，其成分组成、结构、寿命及相关参数直接影响到 **SCR** 系统脱硝效率和运行情况，脱硝系统的催化剂具有以下特性：

- 1、具有较高的 **NO_x** 选择性；

2、在中低的温度下（200°C 以上）和较宽的温度范围内具有较高的催化剂活性；

3、具有较高的化学稳定性、热稳定性和机械稳定性；

4、费用较低。

催化剂模块设计包括有效防止烟气短路的密封系统，密封装置的寿命不低于催化剂的寿命。催化剂设计考虑燃料中含有的任何微量元素可能导致的催化剂中毒。在加装新的催化剂之前，催化剂体积满足性能保证中关于脱硝效率和氨的逃逸率等的要求。

③吹灰系统

当烟气中飞灰粘附在催化剂的表面时,会将催化剂表面覆盖,影响还原剂和反应物在催化剂活性部位和烟气之间的传质。更主要的是这些固体颗粒会铵盐结合,覆盖的固体颗粒将永久地粘附在催化剂表面上。

烟气中灰尘的另一个负面影响是对催化剂孔道的堵塞,孔道堵塞的催化剂不能有效促进 NO_x 还原反应,而且使其它部位的催化剂的空速和面速显著增加,这样烟气在催化剂里的分布就会混乱。

烟气中的灰分严重影响了 SCR 系统催化剂活性和寿命,所以吹灰器就成了 SCR 系统的必要设备。根据 SCR 反应器内的烟气工况和催化剂的性质,采用耙式吹灰技术。

(3) 工艺流程

烟气从余热锅炉高温段烟道引出后，温度约 380℃，首先经过高温电除尘器，通过烟管内静态混合器的混合作用，烟气/氨气均匀混合地进入 SCR 反应器内进行反应，脱除烟气中氮氧化物，经过除尘、脱硝的净烟气再引回余热锅炉进行热量回收。

液氨储罐供应系统通过蒸发器将氨气送入烟管喷入点(或氨水用压缩空气送入烟管喷入点)，喷嘴喷出的氨气在氨空气混合器与空气混合，混合后的气体通过喷氨格栅与烟气混合后进入 SCR 反应器，项目烟气经余热回收系统回收热量后，烟气温度已经降至约 380℃，满足 SCR 的工作温度范围 300℃~420℃，SCR 反应器内部设有催化剂，截面成矩形，烟气竖直向下流动，在催化剂的作用下烟气中的 NO_x 与氨发生催化还原反应，NO_x 被还原成氮气和水，从而去除 NO_x。氨/空气混合器为置静态混合器，催化剂模组为封装形式，可以保证低氨逃逸率。

(4) 主要技术指标

脱硝效率 95%以上。

(5) 满足平板玻璃企业绩效分级 A 级指标中氮氧化物有组织排放限值要求。

5. 典型案例及投资效益

河北金宏阳太阳能科技股份有限公司采用高效 SCR 脱硝系统，为确保脱硝设备切换时烟气达标排放，两台脱硝反应器均有进出口蝶阀，企业又在两座脱硝反应器之间设置了一个串联烟道及蝶阀，使两台脱硝反应器既可以串联又可以并联运行。窑炉烟氮

氧化物初始浓度约为 2000mg/m³，窑炉烟气量 135000m³/h，脱硝处理后，外排氮氧化物 40 mg/m³ 以下，年可减少氮氧化物排放 2900t 左右。

河北南玻玻璃有限公司于 2013 年建设了 600t/d+900t/d 浮法玻璃生产线烟气脱硝 SCR 治理工程，外排 NO_x 可实现在 80mg/m³ 以下，减少排放量约为 2484t/a，对保护环境和节能减排具有十分重要的意义。

6. 推广前景和减排潜力

高效 SCR 脱硝可以有选择的将玻璃熔窑烟气中的氮氧化物去除，实现了烟气中的污染物减排，产生了良好的社会效益，对脱硝行业起到了引领作用。

(四) 触媒陶瓷纤维滤管脱硫脱硝除尘一体化技术(参考)

1. 技术名称

触媒陶瓷纤维滤管脱硫脱硝除尘一体化技术

2. 技术类别

脱硫脱硝除尘技术、减污降碳节能效类

3. 应用现状及产业化

目前秦皇岛耀华玻璃技术开发有限公司、河北正大玻璃有限公司、秦皇岛北方玻璃有限公司等正在筹建该项目。

4. 技术内容

(1) 技术原理

触媒陶瓷纤维滤管除尘器系统主要功能包括：除尘、脱硝

与辅助脱硫三部分组成。

①脱硝原理

触媒陶瓷纤维滤管是在原陶瓷纤维滤管中，加入钒-钛系触媒作为催化剂，催化剂均匀分布在陶瓷纤维滤管表面。由于触媒粒子粒径很小为纳米级，且滤管的表面积很大，可以大大增加催化剂的活性表面积和反应速率，同时增加烟气的停留时间，提高脱硝效率。在催化剂的作用下烟气中的 NO_x 与氨发生催化反应生成 N_2 和 H_2O ，从而起到脱硝作用。

此催化剂由于附在陶瓷纤维滤管上，触媒平均分布于滤管上，接触面积大，使停留时间及去除效率最大化；且催化剂为纳米触媒粒子，增加活性表面积及反应效率。

②除尘原理

触媒陶瓷纤维滤管除尘器有别于传统的布袋除尘器，是将安装于空气污染防治设备中的干式陶瓷纤维滤管，直接安装到集尘器的孔板。陶瓷纤维滤管取代滤袋，其具有如下特性：高孔隙率（达 70% 以上）、去除效率的功效来自于极细的陶瓷纤维（直径约 2-3 微米）、陶瓷纤维不易与化学物质起化学反应、可耐高温（经济操作温度 250-375℃ 瞬间高温可达 900℃）、本身刚性、单体结构简单且可实现在线更换、减少停机检修时间。

陶瓷纤维滤管在积尘过程中会在其表面形成残存层饼与颗粒层饼两层。其中残存层饼紧贴陶瓷纤维滤管表面，厚度为 1-2mm，防止粉尘渗透到滤管，提升过滤效率。较外层的颗粒

层饼可通过反向脉冲清洗，致使粉尘颗粒脱离至灰仓。

(2) 关键技术

尘硝反应器具有多个仓室数，一般不少于 8 个。陶瓷纤维滤管具有高孔隙率（达 70% 以上）的特点，陶瓷纤维具有极细直径（约 2-3 微米）、不易与化学物质起化学反应、耐高温（经济操作温度 280℃-380℃ 等刚性）。

(3) 工艺流程

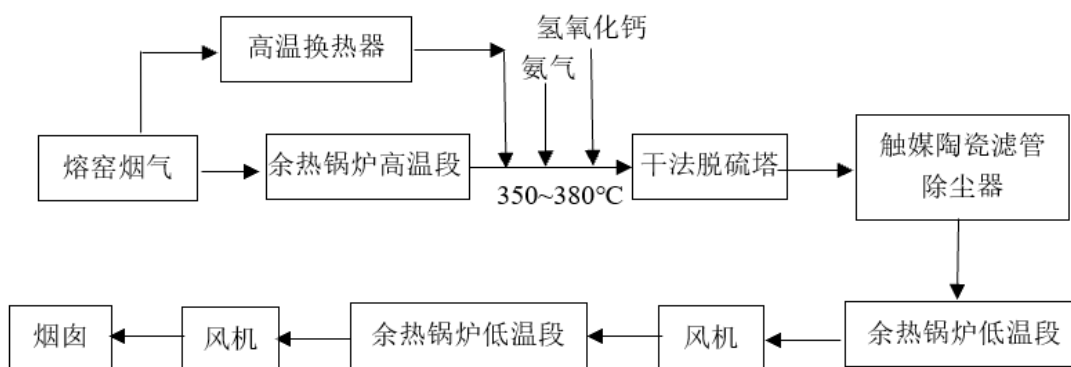


图 4 触媒陶瓷纤维滤管脱硫脱硝除尘一体化技术流程图

(4) 主要技术指标

脱硝效率大于 95%，除尘效率大于 98%。

5. 典型案例

许昌安彩新能科技有限公司于 2022 年为 1000t/d 光伏轻质基板玻璃生产线配套建设一套触媒陶瓷滤管脱硫脱硝除尘一体化装置系统，于 2022 年 7 月初建成投用。系统投运后，系统出口 NO_x 浓度、 SO_2 浓度、烟尘浓度均能稳定达到排放限值要求。对保护环境和节能减排具有十分重要的意义。

6.推广前景及减排潜力

尘硝反应器本体采用模块化设计，即要求每个仓室壁板完全独立，可单独更换，具备离线清灰、在线检修功能，可在不建备用治理设施的情况下保证烟气稳定达标排放。

四、颗粒物无组织管控技术

（一）原料厂房内外微雾抑尘技术

1. 技术名称

原料厂房内外微雾抑尘技术。

2. 技术类别

无组织扬尘治理。

3. 应用现状及产业化

河北金宏阳太阳能科技股份有限公司、石家庄玉晶玻璃有限公司、沙河市安全实业有限公司等原料厂房内外使用该技术。

4. 技术内容

（1）技术原理

在原料厂房内顶、厂房外外檐铺设高压水管，使用进口高压泵、微细雾化喷嘴将水雾化，等径的尘粒通过液桥力的作用，由小尘粒聚成大尘粒，从而形成粉尘团。因其自身重力、改变了尘粒的运动速度，从而进行沉降。水雾尘粒与尘埃颗粒大小相近时，尘埃颗粒随气流运动时与水雾颗粒发生碰撞、吸附、凝结，形成的尘埃团在重力作用下降落，从而达到降尘的目的。

（2）关键技术

通过产生 30-150 μm 高度雾化的水雾颗粒,使水雾颗粒与粉尘颗粒充分碰撞凝聚,抑尘效果明显优于传统喷雾除尘技术。

(3) 工艺流程

利用高压水泵将净水通过管道输送打成很细小的颗粒,就像是在漂浮在空气中的粉尘颗粒一样,然后可以将它聚集在空中,凝聚在一起,通过水珠分解可与空气中的粉尘相互抵触,以这样的方式实现抑尘的效果。

满足目前平板玻璃企业绩效分级 A 级指标中无组织管控要求。原料库采取喷淋(雾)等抑尘措施。

5. 典型案例及投资效益

河北金宏阳太阳能科技股份有限公司原料厂房内外使用该技术,能有效减少颗粒物无组织排放,目前已得到广泛应用。

6. 推广前景及减排潜力

原料厂房内外微雾抑尘技术是一项值得推广的无组织扬尘治理技术,能实现厂区内外颗粒物无组织排放量降低。

(二) 物料运输皮带气流除尘技术(参考)

1. 技术名称

物料运输皮带气流除尘技术

2. 技术类别

无组织排放治理

3. 应用现状及产业化

目前应用该技术的单位有河北鑫达钢铁集团有限公司、河

北荣信钢铁有限公司等，我省平板玻璃企业尚无应用。

4. 技术内容

(1) 技术原理

气流除尘系统技术根据空气动力学原理进行设计，利用输送带自身流速与防溢流裙板扰流叶片，使空气在防溢流罩内部形成负压状态产生内部自吸力，从而使粉尘、颗粒物向运输带中部位 置运动，从而达到运输带无组织排放的治理效果。

(2) 关键技术

裙板整体设计必须要根据物料的实际情况，空气动力模型数据设计裙板排列的密度、角度。

(3) 工艺流程

根据各条皮带带速、颗粒物大小、物料密度、物料干湿度等因素，制作空气动力模型并计算风量的大小、设计叶片的排列方式、厚度、韧性构建裙板与运输带的贴合角度，从而设计出整套导流模型，以达到气流汇集和负压状态。同时也要根据运送物料、现场环境的不同，对裙边角度、材质，防护罩材质、耐磨衬板材质、风机风量等进行调整，粉尘浓度在大于 $8\text{mg}/\text{m}^3$ 小于 $500\text{mg}/\text{m}^3$ 的情况下无需加装风机，可对无组织排放有效控制。

5. 推广前景及减排潜力

目前应用该技术的单位有河北鑫达钢铁集团有限公司、河北荣信钢铁有限公司，应用在煤、碎石砂砾、烧结矿、铁矿石、

干焦、石灰石等物料管廊和皮带输送过程，无需密封对产生的无组织颗粒物进行收集治理，具有明显的减排潜力。平板玻璃企业在粒状、块状物料输送过程中也可以参考配备。

五、节能降碳技术

（一）玻璃窑炉 0#全氧枪助燃技术

1. 技术名称

玻璃窑炉 0#全氧枪助燃技术

2. 技术分类

节能减污降碳技术

3. 应用现状及产业化

目前已经在部分企业应用。

4. 技术内容

（1）技术原理

通常空气中的氧气含量为 21%、氮气为 78%，在燃烧过程中只有占空气体积 1 / 5 左右的氧气参与燃烧，而占空气总体积约 4 / 5 的氮气和其他惰性气体非但不助燃，反而随烟气带走大量的热量。

在制取锡槽保护气体氮气过程中，会产生浓度为 94% 左右的高浓度氧气（习惯称为全氧），把这部分氧气引入到玻璃窑炉投料口与 1#小炉之间增设一对全氧燃烧喷枪（俗称 0#小炉）。0#小炉位于投料口与 1#小炉之间，玻璃窑炉这段区间没有火焰覆盖，既浪费玻璃熔窑熔化面积，又增加能量的消耗。0#小炉

的纯氧和燃料燃烧反应速度快，火焰辐射强，由于该位置玻璃液面被配合料覆盖，配合料黑度比玻璃液的黑度大得多，其吸热能力也比玻璃液的吸热能力强，因此传热效果更高。纯氧喷枪燃烧产生烟气量少，火焰动量小，不会将配合料粉尘吹起，相反配合料表面快速形成“釉层”，减少配合料的飞料。实践证明，高温强制熔化有利于节能降耗，提高玻璃的质量和产量。可加快燃烧速度，提高燃烧熔化效率，减少废气产生量，具有明显的节能减排效果。

(2) 关键技术

0#全氧枪助燃技术是通过使用制氮过程中产生的纯氧，改善燃料燃烧条件，增强氧化带的燃烧气氛，减少烟气热量损耗，配合料表面快速形成“釉层”，减少配合料的飞料，从而降低能耗，减少 CO 和 CO₂ 主要技术指标。可减少助燃气中 N₂ 的进入，降低热力 NO_x 的产生，可使 NO_x 产生量降低，源头降低熔窑烟气中 NO_x 的产生。

5. 典型案例及投资效益

河北金宏阳太阳能科技股份有限公司建设的 0#全氧枪助燃技术，发挥了节能降碳的作用，并减少了熔窑烟气中污染物如 NO_x 产生量。

河北安全实业有限公司投资建设了天然气线富氧燃烧技术，发挥了节能降碳的作用，并减少了熔窑烟气中污染物如 NO_x 的产生量。

6. 推广前景和减排潜力

0#小炉的纯氧和燃料燃烧反应速度快，火焰辐射强，燃尽率得到提高，有助于提高热效率。同时空气量及烟气量均显著减少，火焰温度、火焰黑度和辐射热均随着燃烧空气中氧气比例的增加而显著提高，从而达到节能、降耗、减排的目的。目前该技术已得到广泛的应用。

(二) 一窑两线优质浮法生产技术

1.技术名称

一窑两线优质浮法生产技术

2.技术类别

节能减污降碳增效技术

3.应用现状及产业化

目前已在河北金宏阳太阳能科技股份有限公司、河北德金玻璃有限公司、沙河市鸿昇玻璃有限公司、河北南玻玻璃有限公司等玻璃企业应用。

4. 技术内容

大吨位一窑两线优质浮法生产线，能耗低，热效率高，散热面积增加小，熔化面积增加的多，熔化效果好借鉴于超白光伏的一窑多线理念，浮法玻璃在一窑一线的基础上衍变出一窑两线。由于一窑两线可以将产能、品质、能耗、市场需求完美的结合起来，因此国内目前浮法玻璃新建产线大多优先选用一窑两线窑型。

该窑型有如下优势：

(1) 能耗低：一窑两线一般都是 1000t/d 级别的大窑，热耗损失小；且两条支线对玻璃液冷却量加大，所以稀释风量减少，从而相对来说能源消耗更低；

(2) 品质高：大吨位的熔窑配套两座较小的锡退产线，使熔锡退缺陷减少，品质提高；

(3) 产品灵活：一窑两线在一个窑期的漫长生产过程中，可以根据市场需求变化，随时调整拉引量分配、产品规格来配合市场销售；

(4) 人员配置少：相较两条独立生产线来说减少一套原料人员约 30 人、减少一套熔化及保密人员 6 人、辅助维保人员 15 人。

(5) 投资低：相较两条独立生产线来说减少原料、熔窑、土建等相关建设，节省投资。

(6) 消耗少：相较两条独立生产线来说，生产运行过程中的物料无功消耗相应减少。

(7) 成型退火切装对熔窑的影响小：当其中一条支线的成型、退火、切装工段由于某种原因而必须停产时，由于另一条支线可以正常生产运行，因此总体来说对熔窑的影响相对较小。

5. 典型案例

目前已在河北金宏阳太阳能科技股份有限公司、河北正大玻璃有限公司、河北德金玻璃有限公司、沙河市鸿昇玻璃有限

公司、河北南玻玻璃有限公司等玻璃企业应用。相较两条独立生产线来说，生产运行过程中的物料无功消耗相应减少。具有投资低、能耗小、热效率高等特点。

6. 推广前景及减排潜力

一窑两线（或多线）优质浮法生产技术目前已成熟，具有能耗低、品质高、产品灵活等优点，是一项值得推广的降碳节能先进技术。

（三）余热发电技术

1.技术名称

余热发电

2.技术类别

能源综合利用，节能减排类

3.应用现状及产业化

该技术在河北鑫利玻璃有限公司、河北正大玻璃有限公司等平板玻璃企业已广泛使用。

4.技术内容

（1）技术原理

综合利用浮法玻璃生产过程中排放的废气余热，通过余热锅炉生产出过热蒸汽推动汽轮机进行发电。余热发电的先进性体现在由废气热能转换为了蒸汽热能，再由蒸汽热能转换为电能。

（2）关键技术

余热锅炉充分利用烟气热能的产汽技术，汽轮发电机的电调发电及分配负荷技术，与电网同步的并网技术。

(3) 工艺流程

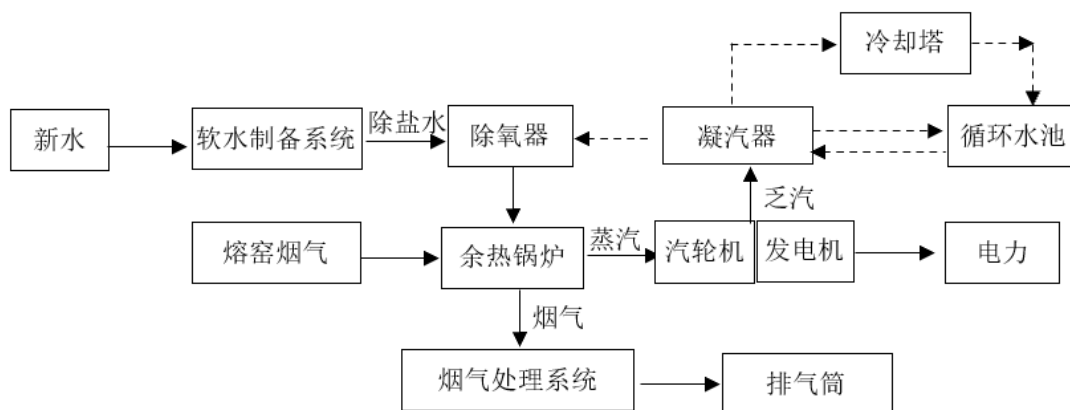


图5 余热发电工艺流程图

(4) 主要技术指标

电压 $10.5\pm 5\%KV$ ；频率 $50\pm 0.5Hz$ 。

5. 典型案例及投资效益

河北金宏阳太阳能科技有限公司日熔化 900t/d 一窑两线优质浮法玻璃生线采用一炉两机方案，即玻璃生产线配置 1 台 23t/h 余热锅炉、2 套 6MW 凝汽式汽轮发电机组（一用一备）。其中熔窑烟气从余热锅炉高温段烟道引出后，温度约 $380^{\circ}C$ ，首先经过高温电除尘器，通过烟管内静态混合器的混合作用，烟气/氨气均匀混合地进入 SCR 反应器内进行反应，脱除烟气中氮氧化物，经过除尘、脱硝的净烟气再引回余热锅炉进行热量回收。窑熔化耗热 1.33×10^8KJ ，外排烟气热量为 0.95×10^8KJ ，折算成 $420^{\circ}C, 2.45MPa$ 蒸汽 22.6t/h（锅炉烟气入口温度设定为 $480^{\circ}C$ ），

其中 20.5t/h 用于发电,按照汽轮机设备制造厂家提供的汽耗率采用的汽轮机发电机组汽耗率为 4.88kg/kw,可以计算出机组发电量约为 4200kw,基本满足自身生产使用。

河北南玻玻璃有限公司于 2010 年建设了 600t/d+900t/d 浮法玻璃生产线余热发电工程,于 2011 年 8 月开始投入使用。项目实施后,余热电站年发电量超过 3000 万度电,相当于节约标准煤 3500 吨/年,减排氮氧化物约 135 吨/年,减排 CO₂ 近 9000 吨/年,减排 SO₂ 近 300 吨/年,粉尘减排近 250 吨/年,产生了良好的社会效益。

6. 推广前景及减排潜力

余热发电技术可以最大限度的提高能源利用率,提升经济效益,实现节能绿色低碳生产,目前的大部分平板玻璃企业均配备。