

河北省钢铁行业环保绩效创 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

为进一步提升河北省钢铁行业污染治理水平,深化钢铁行业供给侧结构性改革,通过创 A 补齐全省钢铁行业环保短板,引领全省钢铁行业高质量发展,结合全省钢铁企业创 A 目标和工作实际,河北省重点行业环保绩效创 A 工作领导小组钢铁技术组在日常帮扶、绩效评级工作中,深入企业实地调研,积极探索解决钢铁企业污染治理技术存在问题,并提出合理的改进建议。对河北省生态环境应急与重污染天气预警中心编制的《河北省钢铁行业环保绩效创 A 最优实用技术指南》进行了修订,在原技术指南的基础上补充完善,对钢铁行业创 A 最优治理技术进行了梳理总结,规范提升,研究编制了《河北省钢铁行业环保绩效创 A 最优实用技术指南(第一批)》,对五类 21 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,为全省钢铁企业环保绩效创 A 提供技术指导。

目 录

一、一氧化碳治理技术.....	1
(一) 高炉煤气零放散技术.....	1
(二) 高炉煤气休风净化回收技术.....	4
(三) 轧钢加热炉煤气反吹技术.....	8
(四) 烧结机烟气循环+料面喷蒸汽技术.....	12
(五) 烧结机富氧助燃技术.....	16
(六) 高炉煤气均压放散全回收技术.....	18
(七) 转炉煤气直燃式点火伴燃技术.....	20
(八) 加热炉、热风炉智能燃烧技术.....	22
二、含硫化合物治理技术.....	24
(一) 钙基超细粉替代小苏打脱硫技术.....	24
(二) CFB 脱硫（循环流化床半干法脱硫除尘一体化）技术 ...	28
(三) 水解转化高炉煤气精脱硫技术.....	31
(四) NSAD 干法高炉煤气精脱硫技术	34
三、氮氧化物治理技术.....	38
(一) 活性焦脱硫脱硝技术.....	38
(二) SCR 脱硝（选择性催化还原法脱硝）技术	41
(三) 尘硝一体化脱硝技术.....	43
四、颗粒物无组织管控技术.....	46
(一) 厂界、厂内主要运输通道雾桩抑尘技术.....	46
(二) 物料运输皮带气流除尘技术.....	47
五、节能降碳技术（参考）	50
(一) 大型转炉洁净钢高效绿色冶炼技术.....	50
(二) 多功能烧结鼓风环式冷却机.....	51
(三) 超厚料层烧结技术.....	53
(四) 中心烧嘴节能环保气烧活性石灰窑.....	54

一、一氧化碳治理技术

(一) 高炉煤气零放散技术

1. 技术名称

高炉煤气零放散技术

2. 技术类别

减污降碳协同治理技术

3. 应用现状及产业化

目前已在唐山市、邯郸市钢铁企业高炉煤气系统中广泛应用。

4. 技术内容

(1) 技术原理

在当前行业内常规适用的放散系统基础上，在放散系统的连接管和放散塔之间增设了水封系统，改变了密封隔绝方式，由阀门截断变为流体介质密封，避免机械阀门关闭不彻底造成的 CO 无组织放散，实现高炉煤气零放散。

(2) 关键技术

① U 型水封密封技术：

本装置将 U 型水封接入装置内管道，水封自动上水，通过溢流管线回水保持水封水位，防止煤气泄漏或空气吸入煤气系统。

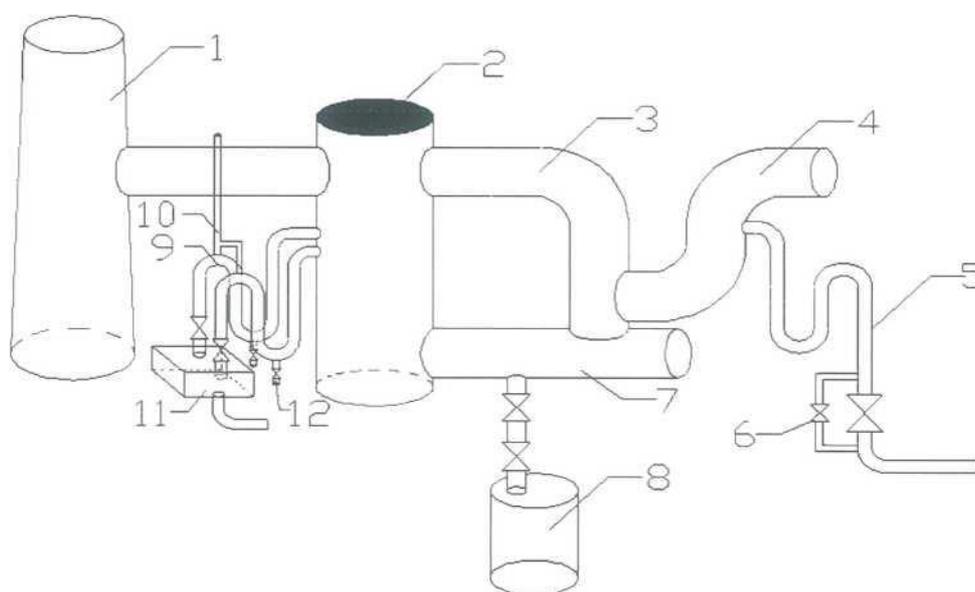
水密封的引入改变了原有的密封方式，利用 U 型水封排液和隔绝空气的作用，不但解决了放散蝶阀泄露问题，也为高炉煤气管网冷凝水的排放提供了便利。

② 放散压力调节技术：

各钢铁企业根据自身生产工艺和设备条件所设定的高炉煤气管网放散压力设定不同放散压力值，预先在装置缓冲罐上设置溢流管高度，达到放散前的密封要求。

放散压力调节技术的应用，为钢铁企业预留了日后放散压力变动的空间，可根据钢铁企业要求预留多个溢流管道。

(3) 工艺流程



1-放散烟囱；2-缓冲罐；3-上部弯头；4-煤气入口管；5-上水管；6-旁通截门；7-下部横管；8-排水器；9-溢流管；10-排气管；11-集水槽；12-排污管

图1 高炉煤气零放散技术工艺原理图

煤气入口管近管口处安装带有旁通截门的上水管，出口通过上部弯头及下部横管与缓冲罐相连接，下部横管的底部连接排水器。缓冲罐上部通过管道连接放散烟囱，底部靠近烟囱一侧连接多个溢流管。溢流管为S型，S顶部设有排气管，S底部连接排污管，出

口处安装集水槽。

(4) 主要技术指标

实现了高炉煤气放散系统的“零放散”。

5. 典型案例及投资效益

案例一：

唐山港陆钢铁有限公司针对 1080m³ 高炉，在高炉煤气管网系统入口使用该技术，主要控制一氧化碳的有组织无序排放。2021 年开工，并于同年投入使用，2021 年底经专家组现场验收，专家组认为该技术能够起到良好的高炉煤气治理效果，消除了高炉煤气的无序放散。

投资效益：

(1) 环保减排效果

实施高炉煤气零泄漏技术后，高炉放散系统避免了 CO 的放散现象，根据计量 1#、2#高炉的新型高炉煤气放散零泄漏设施节约的煤气量为 1442 kg/h，5#、6#高炉的新型高炉煤气放散零泄漏设施节约的煤气量为 1427 kg/h。按照高炉煤气含 CO 约 30%计算，四座高炉每小时减少 CO 排放量约为 861 kg，减轻企业下风向环境空气中 CO 的污染浓度环境效益明显。

(2) 节能降碳效果

实施新型高炉煤气放散零泄漏技术后，经测算，每小时可节省煤气使用量 2869 kg，折算热量为 7400000 KJ，起到了节能降碳的作用。

案例二：

首钢股份公司迁安钢铁公司两座 2650m³ 高炉、一座 4000m³ 高炉，实施高炉煤气零放散系统改造后，经测算，每年可实现减排一氧化碳 4410 万立方米，极大的降低 CO 对公司周边大气环境的影响。

6. 推广前景和减排潜力

高炉煤气零放散系统针对性强，主要适用于钢铁企业，特别是长流程钢铁企业煤气放散回收、防泄漏治理，可实现高炉煤气零放散目标，减少环境污染，改善工厂周围环境。同时又节约了煤气使用量，可以起到很好的节能降碳作用，在钢铁行业超低排放改造和双碳目标背景下，高炉煤气零放散技术作为双重减排的重要技术措施，契合了钢铁行业高质量发展的需要，且具有占地小、寿命长、减排效果突出等明显优势，有重要的推广价值。

（二）高炉煤气休风净化回收技术

1. 技术名称

高炉煤气休风净化回收技术

2. 技术类别

减污降碳协同治理技术

3. 应用现状及产业化

目前该技术已在唐山市、邯郸市大部分高炉煤气系统中应用。

4. 技术内容

（1）技术原理

将原设计在高炉休风时需要放散的煤气，利用氮气或者蒸汽进行引射，将休风的高炉煤气回收进入低压管网，提升了高炉煤气的回收利用率，既减少了煤气的放散又节约了能源，起到了减污降碳的作用。

(2) 关键技术

高炉休风煤气引射技术：在干法除尘器后设置高压引射装置，利用氮气或者蒸汽等高压引射介质作为动力源，对高炉煤气进行引射回收，解决了高炉休风无序放散的问题。高炉休风煤气引射技术工艺流程短，设备简单，动作迅速，节约引射高压介质用量，通过引射器，将休风的高炉煤气回收进入低压管网，增加了高炉煤气的回收利用。

(3) 工艺流程

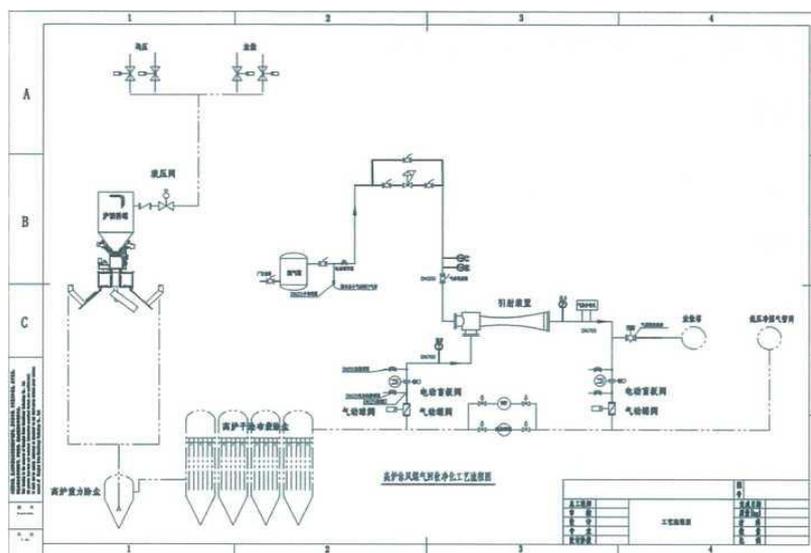


图2 高炉煤气休风净化回收技术工艺原理图

高炉休风时，待满足原炉顶放散阀打开的压力条件时，打开休

风送风回收管道阀门，将休风煤气引入高炉煤气回收管道，经重力除尘及干法箱体除尘净化。炉顶压力逐渐降低，根据压力及风量，逐步关闭干法箱体出口蝶阀，保留若干干法箱体进出口阀门的开启。待压力降到设定压力时，提前开启休复风系统进出口阀门，待压力达到设定值时，打开氮气或蒸汽引射阀门开始全回收。回收过程中通过对氧含量等参数的检测保证系统的安全性，当氧含量高于限定值时关闭引射器出口管道上的气动蝶阀和氮气休复风引射阀将气体对空放散。

当放散过程完成后，即炉顶压力接近于零时，关闭休复风煤气回收管道上所有阀门，关闭重力遮断阀，开启炉顶放散阀、重力除尘放散阀，与空气连通，利用炉顶放散阀和重力除尘放散阀位置相对较高的优势，满足气体流通的需求，保证炉顶设备及检修活动的安全。休风过程中炉顶放散阀、净煤气放散阀、重力除尘放散阀保持开启。原高炉炉顶放散系统的安全连锁措施均保留。

（4）主要技术指标

实现高炉休风煤气的回收和净化。

5. 典型案例及投资效益

唐山松汀钢铁有限公司：针对 1080m³ 高炉，在高炉煤气干法除尘出口调压阀组前使用该技术，2022 年初开工，并于同年投入使用。主要控制一氧化碳的有组织无序排放。2022 年 6 月底，经专家组现场验收，专家组认为该技术能够起到良好的高炉煤气治理效果，减少了高炉煤气的无序放散又回收了煤气，起到了节能降碳的

作用。

投资效益:

(1) 环保减排效果

实施高炉休风煤气回收净化技术后,减少了高炉休风煤气系统无序排放现象,根据计量 1#、2#高炉每次休风节约的煤气量为 60000kg(约 50%回收,50%净化后放散),极大地减轻了企业下风向环境空气中 CO 的污染浓度,环境效益明显。

(2) 节能降碳效果

实施该休风煤气回收净化技术后,既有效避免了 CO 放散产生的大气污染,又节约了能源,起到了节能降碳的作用。

按照标煤热值按 7000 大卡计算,该技术应用后每次休风回收煤气转化为标煤:

$$60000\text{kg} \times 50\% \times 750 \div 7000 = 3214\text{kg}$$

6. 推广前景和减排潜力

高炉休风煤气回收净化技术系统针对性较强,主要为钢铁企业,特别是长流程钢铁企业煤气放散回收过程中无序排放的回收治理。可实现大幅减少高炉休风煤气无序排放的目标,既减少环境污染,改善工厂周围环境,又节约煤气使用量,可以起到很好的节能降碳作用。在钢铁行业超低排放改造和双碳目标背景下,高炉风煤气回收净化技术作为双重减排的重要技术措施,契合了钢铁行业高质量发展的需要,且具有占地小、寿命长、减排效果突出等明显优势,有着极为重要的推广价值。

（三）轧钢加热炉煤气反吹技术

1. 技术名称

轧钢加热炉煤气反吹技术

2. 技术类别

节能减污降碳技术

3. 应用现状及产业化

目前已经在唐山、邯郸、秦皇岛等多家钢铁企业应用。

4. 技术内容

（1）技术原理

蓄热燃烧技术目前应用范围较广，普遍应用于各种类型的工业炉窑。蓄热燃烧是以换向阀的频繁换向为基础，利用烧嘴内的蓄热体来储存热量并实现极限回收，每次换向阀切换，一组（侧）烧嘴由燃烧状态转变成排烟状态时，换向阀到蓄热式烧嘴之间的煤气就会被排烟系统抽走，该区域被称为“公共区域”（如图 3 所示）。



图 3 工业炉窑蓄热燃烧系统图

蓄热燃烧技术有可能存在如下问题：

① 煤气直接排出而无法得到有效利用，造成能源浪费和企业生产成本增加；

② 煤气直接排出造成大气环境污染，影响企业绿色发展；

③ 煤气中含有硫等物质，对管路系统、阀门等元件造成腐蚀和损坏；

加热炉煤气反吹技术能够较好的解决以上问题。加热炉煤气反吹技术，是在原加热炉排烟系统风机后取点，通过新增反吹风机及反吹系统，将煤气引出循环至加热炉换向阀前，在每次换向排烟前将“公共区域”的残存煤气反吹进炉膛进行燃烧，进而解决“公共区域”煤气直排的问题。

（2）关键技术

① 反吹烟气取风点位设计。

反吹系统烟气的取风点位设计在煤气引风机出口至煤气烟囱之间，烟气经过长距离的烟气管道输送已降至较低温度，且取风口在引风机出口之后，反吹风机功率不会过大，避免了对原有煤烟引风机产生影响和干涉。

② 各加热段反吹阀设计。

在煤烟总管上引出煤烟烟气，经过反吹风机加压，送至各个供热段的煤气换向阀下部接口处，采用两通阀进行开关切换控制，两通阀确保密封性能和快速开关，气缸选用可缓冲气缸，电磁阀、气缸等选用高品质品牌产品，确保二通阀的寿命和性能。

③ 回流系统设计。

在风机出口处设置旁通管路，重新接入煤气排烟烟囱，在旁通管路上增设气动两通阀。在加热炉燃烧系统管路需要煤气反吹时，快速关闭气动两通阀，烟气进入煤气反吹管路，对“公共区域”煤气管路进行反吹；在加热炉无需反吹时候，气动两通阀打开，烟气可正常排出，保证了加热炉自身排烟系统及新增设风机运行的稳定性。

④ 反吹总管安全阀组设计。

反吹烟气总管路设置安全阀组：风机入口设电动闸阀或者手动密闭蝶阀，风机出口设电动闸阀和快切阀。

⑤ 反吹介质的选择。

CO 浓度在 12.5%~74%，与氧气接触易发生爆炸。高炉煤气的燃点为 560℃。为保证系统安全，选取煤烟作为反吹介质，将煤烟管道中的部分煤烟用于吹扫煤气，系统管道中无空气介质，且系统设计烟气温度只有 150℃，能够最大程度上保证系统安全。

⑥ 防“抽空”连锁

新增风机与原煤烟引风机连锁，仅当原引风机在运行状态时，新增风机才允许启动，避免出现“抽空”现象。

⑦ 氧气浓度检测与连锁

新增风机出口后的反吹管道上设置残氧分析仪，当氧气浓度高出设置数值，反吹系统完全关闭，避免出现安全隐患。

(3) 工艺流程

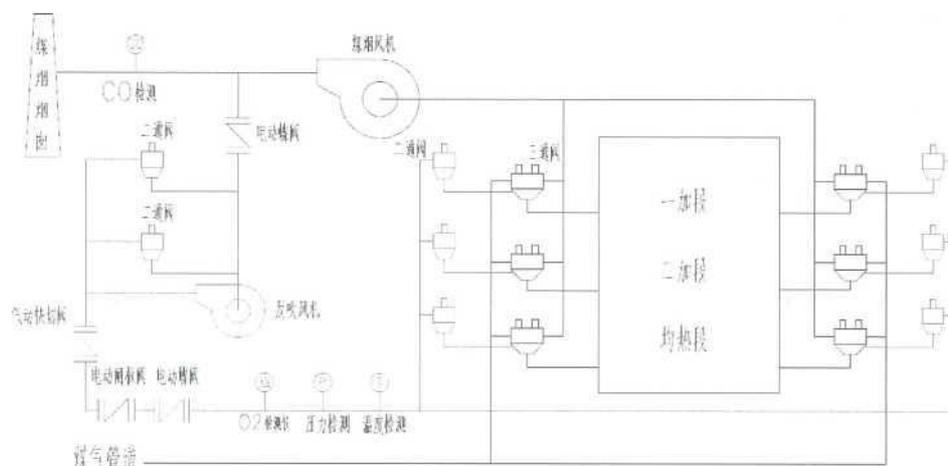


图4 轧钢加热炉煤气反吹技术工艺原理图

在原烟气系统的基础上，需要增加反吹风机、反吹主管阀门组、反吹二通阀（原换向阀前）、回流二通阀、压力温度检测、氧含量/CO含量检测等设备。

新增反吹风机入口设置在原加热炉煤烟风机出口至烟囱之间区域，煤烟通过新增反吹风机引出循环送至反吹二通阀，在每个三通换向阀由燃烧切换至排烟状态之前，进行反吹操作。

（4）主要技术指标

采用反吹技术后，烟气中的CO含量可大幅度降低，由原来的几万PPM降低至2000PPM左右。“公共区域”的煤气基本全部回收。经测算，煤气回收率能达到5%左右。有效降低了煤气直排问题，改善环境质量并提升了安全保障。

5. 典型案例及投资效益

以首钢迁钢、纵横钢铁等企业200吨/小时产量的轧钢加热炉为例，其煤气消耗量约为70000m³/h标况。一套煤气反吹系统，按照煤气节约量为5%，即3500m³/h标况，年节约煤气量为3500×

8000=2800 万立方米，成本降低。

(1) 环保减排效果

减少煤气直排约 2800 万立方米。

(2) 节能降碳效果

年高炉煤气节约量为 2800 万立方米，折合成标煤为

$28000000 \times 750 / 7000 / 1000 = 3000$ 吨，即年节约标煤 3000 吨。

6. 推广前景和减排潜力

钢铁企业以联合钢铁企业居多，高炉煤气应用非常广泛，各种类型炉窑以使用高炉煤气为主，蓄热燃烧技术应用较多。煤气反吹技术的应用，既可以节约煤气消耗，降低成本，提升钢铁企业的综合竞争力，又契合了当前的超低排放要求，尤其碳达峰碳中和的宗旨，应用前景可观，减排潜力巨大。

(四) 烧结机烟气循环+料面喷蒸汽技术

1. 技术名称

烟气循环+料面喷吹蒸汽技术

2. 技术类别

节能减污降碳技术

3. 应用现状及产业化

适用于钢铁行业带式烧结机的烟气综合治理。目前该技术已在唐山市所有的烧结机应用，邯郸市、秦皇岛市多家钢铁企业应用。

4. 技术内容

(1) 技术原理

烟气循环: 利用一部分烧结烟气和冷却废气代替环境空气重新参与燃烧, 在烧结过程中回收利用这部分气体的热量, 并使其中的高浓度一氧化碳得到再次燃烧。根据烧结风箱烟气排放特征(温度、氧含量、污染物浓度等)差异, 选择特定风箱段的烟气循环回烧结台车表面, 重新用于烧结。研发了烧结烟气内循环工艺体系, 提出烧结过程多污染物协同减排, 实现烧结烟气的总量减排, 提高烧结废气余热利用效率, 降低烧结生产过程的固体燃料消耗, 优化烟气分配器和密封罩内的流场分布, 开发应用了烟气内循环装备。

料面喷蒸汽: 原理是 H_2O 与燃料碳的气化反应扩大了燃料孔隙度, 增加碳氧反应面积, 有利于燃料的燃尽。 H_2 和 H_2O 均可增强烟气的扩散能力和传热速率, H_2O 的辐射发热较强, 可提高气体的辐射传热能力。

(2) 关键技术

烟气循环: 烧结机主抽及冷却段选取部分风箱连接烟气管道, 经陶瓷多管除尘器除尘后, 由循环风机送至主抽风箱上部平台密封罩内, 再次进行循环燃烧。

料面喷蒸汽: 对烧结矿表层进行喷吹蒸汽, 蒸汽在烧结主抽风机的抽力下快速进入料层。

(3) 工艺流程

烟气循环:

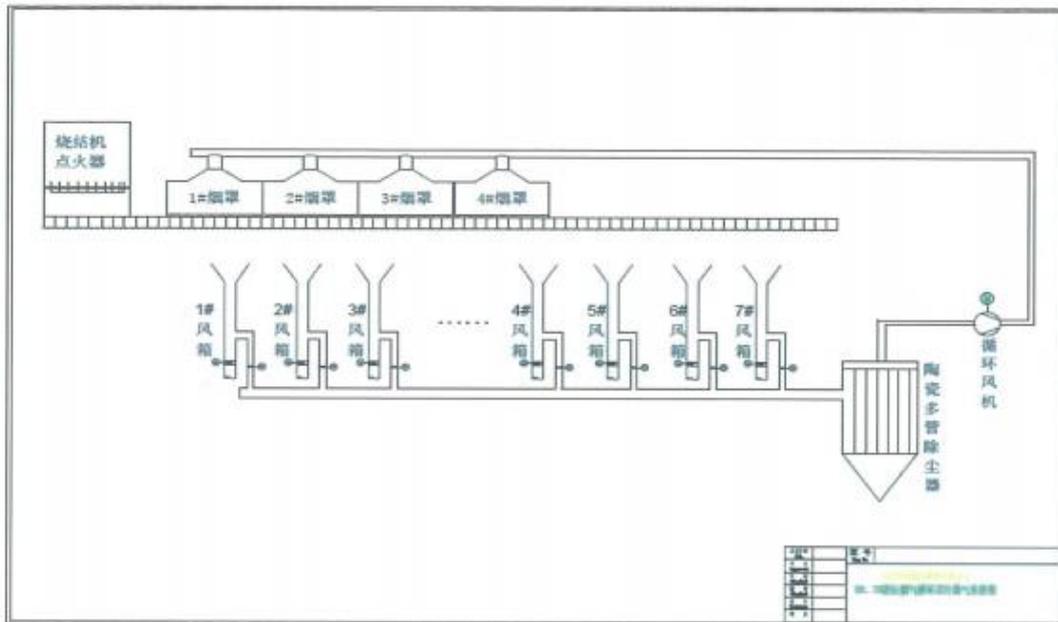


图 5 烟气循环工艺原理图



图 6 料面喷蒸汽技术工艺过程图

(4) 主要技术指标

烟气循环：采用内循环或内循环+外循环方式，烟气循环比例不得低于 20%。

料面喷蒸汽：喷嘴采用雾化喷嘴，喷射角度为 90° ，在 0.8MPa 压力下流量 350~700 L/min，每吨烧结矿平均喷吹约 140~280L 蒸汽。

5. 节能效果

通过高温废气余热的循环利用可降低烧结生产固体燃料消耗

5%以上，烧结生产固体燃料用量减少 1.56 千克标准煤/吨铁。

6. 减污效果

降低烧结烟气产生总量 20%以上。

降低 NO_x、CO 等污染物排放量 20%以上。

7. 降碳效果

在烟气循环率 25%时，节煤约 2.5 千克标准煤/吨烧结矿，减少 CO₂排放 6.50 千克二氧化碳/吨烧结矿。外排总烟气量降低 20%，后续环保设备运行电耗降低约为 1.28 千瓦时/吨烧结矿，折合吨烧结矿减少 CO₂排放量约 1.02 千克。

8. 典型案例及投资效益

首钢股份迁安钢铁有限公司采用烧结机头料面蒸汽吹扫(与生产设施同步运行)+烟气内循环(循环比例 25%)技术降低烟气中一氧化碳含量。

(1) 环保减排效果

项目实施后环境效益:按照烧结机头烟气中一氧化碳含量从常规 6000~8000mg/m³,降低至 4000mg/m³测算,1台 360 平米烧结机每年可减少一氧化碳排放 34200~60084 吨、粉尘减排 27.3%、二氧化硫减排 15.34%、氮氧化物减排 22.37%,减排效果明显。

(2) 节能降碳效果

能够提高烧结矿产量,燃料比降低了 2.85 千克/吨,经测算 1 台 360 平米烧结机年可以节约燃煤约 9975 吨。

9. 推广前景和减排潜力

烧结烟气循环利用不但可以显著减少废气排放总量及污染排放量，而且能有效回收烟气中的余热、降低烧结工序能耗、改善烧结矿质量，具有较大的节能减排和推广应用价值。

(五) 烧结机富氧助燃技术

1. 技术名称

烧结机富氧助燃技术

2. 技术分类

节能减污降碳技术

3. 应用现状及产业化

目前，秦皇岛宏兴钢铁有限公司、河北天柱钢铁集团有限公司、河钢乐亭钢铁有限公司、唐山中厚板材有限公司、首钢股份公司迁安钢铁公司、冀南钢铁集团有限公司等 30 余家钢铁企业应用了该技术。

4. 技术内容

(1) 技术原理

富氧燃烧是指供给燃烧用的气体中氧气的体积分数大于 21% 时的燃烧。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。如采用富氧燃烧，在助燃空气中每增加 1% 的氧气，则相应减少 4% 的氮气。故富氧燃烧可加快燃烧速度，提高燃烧效率，减少废气产生量，具有明显的节能减排效果。

(2) 关键技术

富氧燃烧是通过提高点火助燃空气和抽入料层空气的氧气量，改善燃料燃烧条件，增强氧化带的燃烧气氛，富氧烧结可使烧结液相生成量增加，保温时间延长，使烧结矿成品率及转鼓指数均随之升高，并使烧结料层中的固体燃料得到充分燃烧，从而降低能耗，减少 CO 和 CO₂ 排放。

(3) 工艺流程

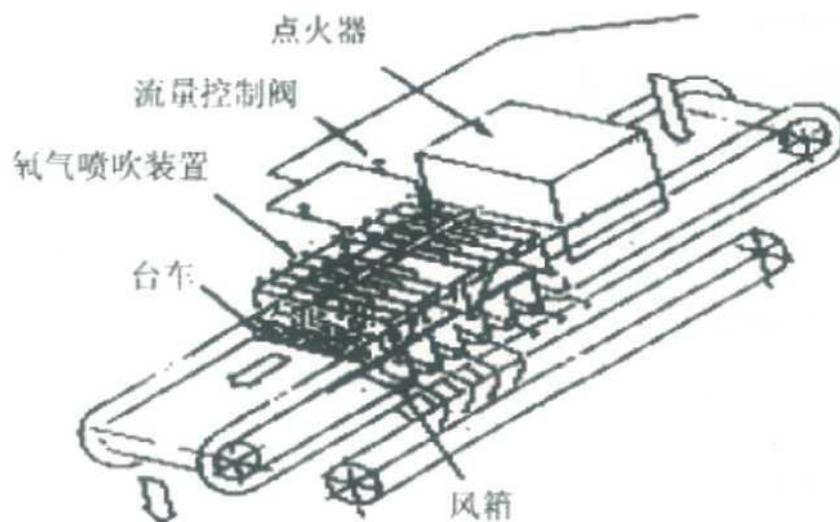


图 7 烧结机富氧助燃技术工艺原理图

(4) 主要技术指标

富氧能改善烧结矿强度和粒度组成，降低返矿率且有利于烧结过程脱硫。当氧气浓度为 21%~23%时，烧结矿的物理化学性能及产量指标最好。

5. 典型案例及投资效益

燕山钢铁实施了烧结点火器富氧燃烧改造技术，在烧结机点火用的助燃风中引入氧气，使煤气点火更充分。该技术于 2021 年 3

月开始建设，2021年4月建成投产。项目实施后1台300平米烧结机降低煤气消耗1000立方米/小时，降低CO排放200~300 mg/m³，单台烧结机年可减排CO约3110.4吨。

6. 推广前景和减排潜力

富氧燃烧过程中因氧气含量增加，燃烧速度加快，燃烧过程得到强化，热辐射迅速增强，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。

（六）高炉煤气均压放散全回收技术

1. 技术名称

高炉煤气均压放散全回收技术

2. 技术类别

节能减污降碳增效技术

3. 应用现状及产业化

目前该技术已在唐山市所有在产的钢铁企业高炉应用，秦皇岛、邯郸部分企业也应用了该技术。

4. 技术内容

（1）技术原理

高炉的原均压回收系统为半回收系统，其中低于15kPa压力的煤气经环境除尘系统排空。为了最大程度减少煤气放散量，高炉煤气均压放散全回收技术在放散管路设置引射器，在原有放散煤气管

路上设置引射单元，使得煤气引射到现有除尘器的入口管道，从而得到回收。

(2) 关键技术

全回收技术是在放散管道上的放散阀后接有引射器。当料罐达到设定压力（约 40 ~ 50kPa）后，打开放散阀的同时开启引射阀，启动引射器，快速将料罐内残余煤气抽入现有除尘系统，待料罐压力最终降至上密封阀能够打开的压力（2 ~ 3kPa）时，关闭回收阀，打开上密封阀，炉顶正常放料。全回收流程不会发生对空放散的情况，从而实现均压煤气的全回收。

(3) 工艺流程

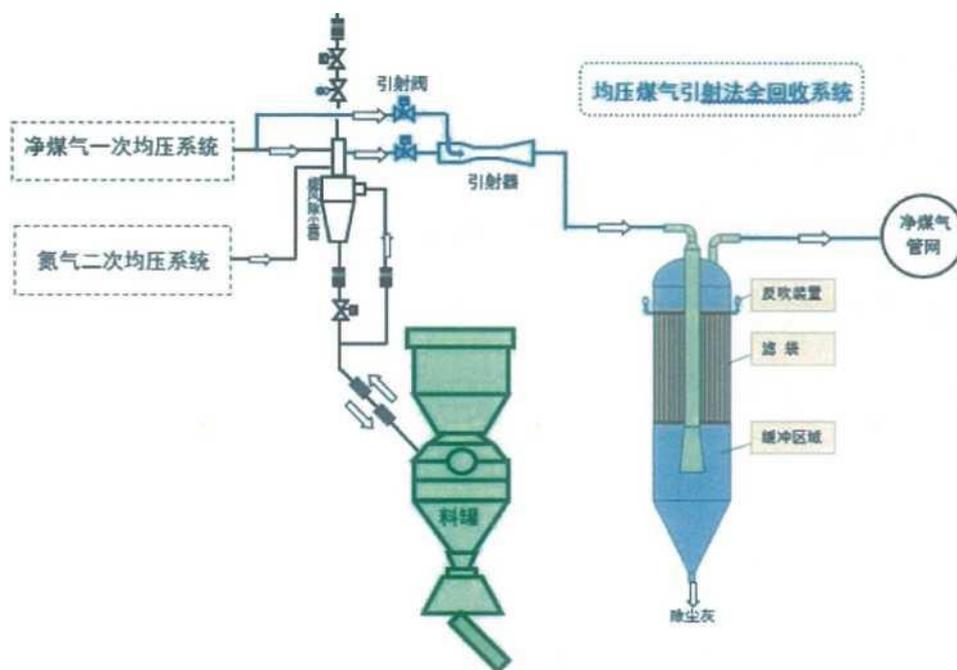


图 8 高炉煤气均压放散全回收技术工艺原理图

(4) 主要技术指标

均压回收系统最大程度的减少了高炉煤气的对空放散。

5. 典型案例及投资效益

首钢股份迁安钢铁有限公司高炉工序在高炉炉顶放散管路建设高炉煤气均压放散回收系统，突破低压煤气回收技术瓶颈，解决了高炉煤气均压放散问题，降低 CO 的排放量，提高 CO 回收利用水平。

(1) 环保减排效果

彻底消除高炉均压放散系统煤气及粉尘排放问题，每年可减少粉尘排放 1050 吨，一氧化碳 6100 万立方米。

(2) 节能降碳效果

高炉均压放散煤气回收后用于燃气锅炉发电机组发电，每年可发电 2196 万 kWh。

以一座 3000m³ 高炉为例，使用该项技术可每年减少炉顶粉尘排放量约 167 吨，减少碳排放量约 1630 吨。

6. 推广前景和减排潜力

高炉炉顶均压煤气回收技术能够彻底解决炉顶均压煤气回收难的问题，既有效避免有毒有害气体一氧化碳、粉尘污染大气环境，又能够提高能源回收率的有效措施。该技术不仅能为企业和社会带来良好的环保效益，也给企业带来可观的经济效益，成本回收期短，具有很好的市场前景，成为助力钢铁企业实现减污降碳、节能增效一项最优技术。

(七) 转炉煤气直燃式点火伴燃技术

1. 技术名称

转炉煤气直燃式点火伴燃技术

2. 技术类别

节能增效技术

3. 应用现状及产业化

目前该技术已在唐山市所有在产的钢铁企业转炉一次除尘排放口应用。秦皇岛、邯郸大部分企业也应用了该技术。

4. 技术内容

(1) 技术原理

采用等离子直燃式点火器，无需液化气及其它高热值的伴烧气体，直接用高炉煤气点燃放散气体，使用两路氮气吹扫防止熄火时发生回火。

(2) 关键技术

主控系统获得启动点火信号后，向等离子点火器发送 220V 交流电，等离子点火器产生的高压电通过高压绝缘电缆送给高空点火器内的电晕发弧发生装置，产生面状电弧，同时在直燃式高空点火器内部，在催化反应作用下被点燃，从高空点火伴烧器上部喷出火焰，点燃放散的转炉煤气。

(3) 工艺流程

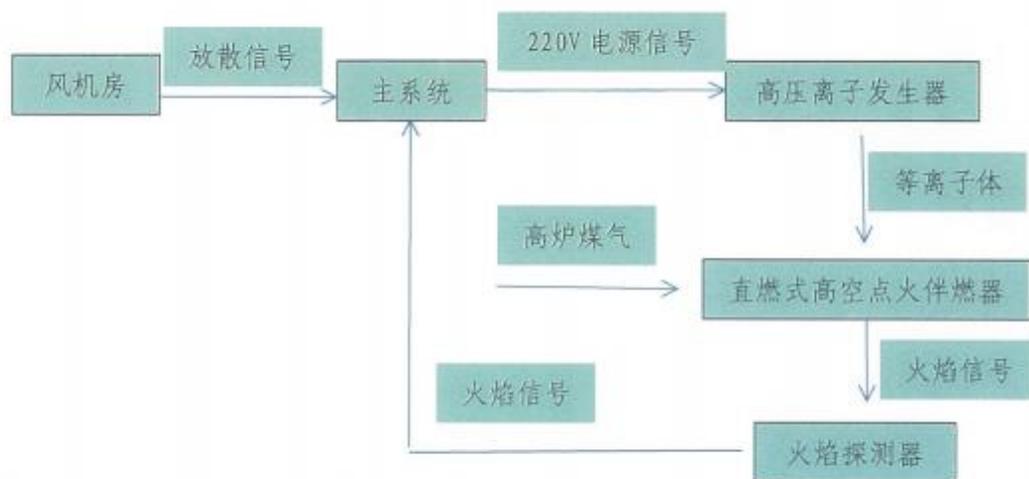


图 9 转炉煤气直燃式点火伴燃技术工艺流程图

(4) 主要技术指标

点火成功率 $\geq 99\%$ 。

(八) 加热炉、热风炉智能燃烧技术

1. 技术名称

加热炉、热风炉智能燃烧技术。

2. 技术类别

节能增效技术

3. 应用现状及产业化

热风炉智能燃烧技术：新余钢铁公司高炉。

加热炉智能燃烧技术：安阳钢铁公司 260 平方米步进式加热炉、天津天钢公司长材厂加热炉、陕西龙钢中宽带加热炉等，能耗分别降低 9%~25%。

预计行业普及率可达 30%，节约能耗合标煤 50 万吨/年，约合降低 CO₂ 排放 138 万吨。同时降低了 SO₂ 和 NO_x 排放量。

4. 技术内容

(1) 技术原理

在加热炉、热风炉燃烧期间，空燃比是燃烧控制过程中的重要参数，很大程度上影响着燃烧效率。目前高炉各类热风炉和轧钢加热炉不能根据煤气热值变化和其他工况变化需要及时调整空燃比，易造成煤气燃烧的不充分烟气中 CO 排放浓度高，并难以保证加热质量水平。智能燃烧系统通过测控系统，相关硬件软件设计，系统功能设计，煤气流量与炉温串级控制，热值补偿设计，残氧量优化控制，改善炉内燃烧条件，对煤气热值变化及负荷工况变化精确自动调整燃烧工况，保证热风炉燃烧室蓄热室及加热炉炉内各段温度符合设定要求，改善送风质量提高燃料燃烧效率降低 CO 排放。

(2) 关键技术

PLC 计算:根据煤气总管的热值仪，计算出空燃比；根据巡检式分析仪的残氧分析结果，调整空燃比。

热风炉风温可提高 10~20℃，节约燃气 3%~5%，高炉焦比下降约 1kg/t。轧钢加热炉各段静态误差控制在 1%左右，工序能耗可降低 5~10kgce。

(3) 主要技术指标

空燃比设定在 0.7~1。

二、含硫化合物治理技术

(一) 钙基超细粉替代小苏打脱硫技术

1. 技术名称

钙基超细粉替代小苏打技术

2. 技术类别

减污降碳节能增效类

3. 使用范围

钢铁行业、焦化行业等

4. 应用现状及产业化

目前该技术已在首钢京唐钢铁联合有限责任公司、唐山文丰特钢有限公司、唐山市丰南区经安钢铁集团有限公司、河北东海特钢集团有限公司、迁安市九江线材有限责任公司、河北永洋特钢集团有限公司等企业中的应用。

5. 技术内容

(1) 技术原理

对于钢铁、焦化等行业领域，使用高炉煤气、转炉煤气、焦炉煤气等介质的各类窑炉，包括但不限于热风炉、锅炉、加热炉等，其烟气中含有的二氧化硫污染物均需要进行处理，以满足环保指标要求。

现在普遍采用的 SDS 干法脱硫(小苏打)工艺路线为：外购 200 目左右的小苏打(NaHCO_3)，使用磨机等设备研磨至 700 目或以上，在烟气温度满足热解及反应要求情况下，进入脱硫塔与硫化物(SO_2)

反应，生成副产硫酸钠（ Na_2SO_4 ）。

钙基超细粉替代小苏打技术，是采用通过特殊工艺制成的具有超高比表面积的钙基超细粉（氢氧化钙 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 为基材），替代原系统的小苏打，且因为钙基超细粉本身在 800 目以上，免去了磨机研磨的环节，可通过钙基超细粉储存粉仓，通过气力输送系统直接送至脱硫塔与硫化物（ SO_2 ）反应，生成副产硫酸钙。

（2）关键技术

钙基超细粉是对生石灰（ CaO ）在消化（转变为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）的过程中对工艺流程进行针对性改进，并同时添加特定微量元素等其他关键物质，使消化同时进行膨化和造孔处理，最终得到比表面积在 $35 \sim 40 \text{ m}^2/\text{g}$ 、目数在 800 目以上的钙基超细粉。

该钙基超细粉目数较高且比表面积较大，因此反应迅速且彻底。

该材料无需现场研磨制备，购进成品即可直接使用，性能稳定，避免了小苏打制备过程的成品质量、堵塞等问题对脱硫效果指标的影响。

钙基超细粉对于温度要求不高，一般的烟气温度均可满足要求。无需消耗更多的燃料介质对烟气进行升温操作，降低碳排放和减少运行成本。

钙基超细粉因其基材主要为氢氧化钙，副产物以硫酸钙为主，伴随少量的碳酸钙和氢氧化钙。钙基副产物可直接用于制砖和水泥的原料，亦可用于大湿法工艺的碱液制备原料，可进入到下游工序直接利用，不会对环境产生污染，又可以利用形成副产物闭路循环。

(3) 工艺流程

钙基超细粉的应用，可以分为完全新建和对原有 SDS 干法脱硫系统（小苏打）改造两种形式。

对已有 SDS 干法脱硫系统（小苏打）进行改造，增加钙基超细粉储存、输送系统。见图 10：

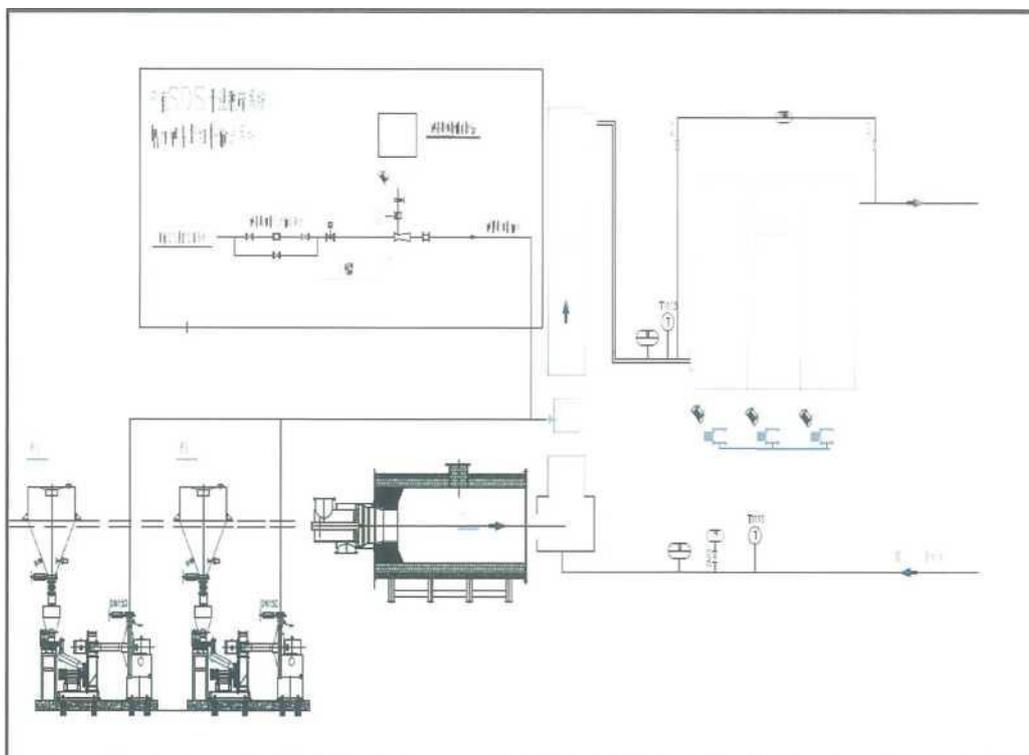


图 10 钙基超细粉替代小苏打技术（改造）工艺流程图

完全新建项目，配置钙基超细粉储存、输送系统，取消磨机、烟气升温装置等设备设施。见图 11：

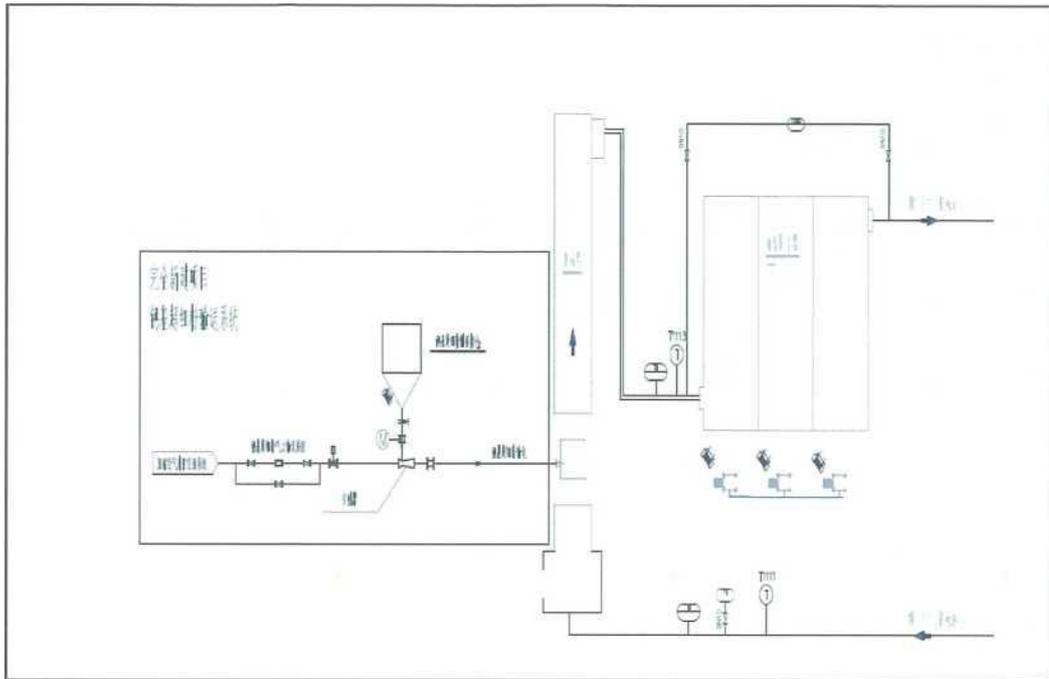


图 11 钙基超细粉替代小苏打技术（新建）工艺流程图

以上均需对管路系统进行相应有针对性改造和完善，以适应钙基超细粉的应用。

（4）主要技术指标

实现在 SDS 工艺中钙基超细粉对小苏打的替换，解决了钠盐难于处理、对环境的负面影响。

大幅度的降低了运行成本，综合运行成本降低幅度约为 30%。减少了燃料消耗，降低了碳排放。

6. 典型案例及投资效益

以唐山文丰轧钢厂三座加热炉为例，三座加热炉合计烟气量为 360000m³/h 标况，按照二氧化硫平均浓度 200mg/m³ 测算，二氧化硫年产生量约为 576 吨；同时成本降低。

（1）环保减排效果

年节约高炉煤气 6400 万立方米，按照高炉煤气燃烧后烟气中二氧化碳含量约 30%，烟气密度为 $1.4\text{kg}/\text{m}^3$ ，则年二氧化碳减排约为 43000 吨。

(2) 节能降碳效果

按照 $360000\text{ m}^3/\text{h}$ 标况烟气量，平均温升 50 度进行计算，需要消耗 $8000\text{ m}^3/\text{h}$ 高炉煤气，年高炉煤气消耗量为 6400 万立方米。

折合成标煤为 $64000000 \times 750/7000/1000=6857$ 吨，即年节约标煤 6857 吨。

(3) 环境效益

年二氧化硫产生量为 576 吨，转化成硫酸钠钠盐约为 1200 吨，可年度减少约 1200 吨的钠盐处理量。

7. 推广前景和减排潜力

钙基超细粉对小苏打系统针对性较强，主要为钢铁、焦化企业，特别是解决已建有脱硫系统的钢铁企业设备在生产过程中的硫酸钠固废处理问题。

在钢铁、焦化行业超低排放改造背景下，钙基超细粉替代小苏打技术的推出和应用，有效的解决了钠盐副产物对环境、土壤、生态环境的影响，且具有改造简单、寿命长、投资低等明显优势，具有较强劲市场竞争力。有较高的推广价值，市场广阔。

(二) CFB 脱硫（循环流化床半干法脱硫除尘一体化）技术

1. 技术名称

CFB 脱硫（循环流化床半干法脱硫除尘一体化）技术

2. 技术类别

减污降碳节能提效类

3. 应用现状及产业化

该技术成熟可靠，应用广泛，目前河北省大部分钢铁企业应用了该技术，且应用占比呈现逐年增加的趋势。如首钢京唐钢铁 2 台 500m² 烧结机、3 台 400 万吨带式焙烧球团；河钢乐亭钢铁 2 台 480 万吨带式焙烧机、1 台 360m² 烧结机；河钢邯钢 1 台 360m² 烧结机；太行钢铁 1 台 450m² 烧结机；河钢承钢 3 台 360m² 烧结机；天柱钢铁 2 台 318m² 烧结机；敬业钢铁 3 台 260m² 烧结机、3 台 230m² 烧结机、2 台 80 万吨球团；瑞丰钢铁 3 台 200m² 烧结机等。

4. 技术内容

(1) 技术原理

采用生石灰作为脱硫吸收剂，在脱硫除尘装置内部消化为熟石灰 (Ca(OH)₂) 加入到循环流化床反应塔内，同时通过向吸收塔内雾化水，湿润颗粒表面，烟气冷却到最佳的化学反应温度。此时烟气中的 SO₂ 和几乎全部的 SO₃、HCl、HF 等酸性成分被吸收而除去，生成 CaSO₃ · 1/2 H₂O、CaSO₄ · 1/2 H₂O、CaF₂ 和 CaCl₂ 等副产物。

为了提高脱硫剂的利用及稳定流化床的运行，脱硫塔后配套的脱硫除尘器收集到的脱硫产物大部分循环回吸收塔进一步参加反应。经过脱硫塔脱酸后的烟气再进入脱硫除尘器，高效脱除粉尘，脱硫反应后多余的少量脱硫灰则通过物料输送至脱硫灰仓内，再通过罐车或二级输送设备外排。

同时，利用流化床自身高效的传质传热环境和高比表面积颗粒床层，可协同脱除二噁英（PCDD/Fs）和重金属等多污染物。

（2）关键技术

循环流化床半干法脱硫除尘一体化技术创新研发，是以高密度、高比表面积、高湍动能的流化床干式反应器为核心，最大限度优化塔内气、固、液三相反应机制和环境，为烟气中多污染物的高效协同脱除提供核心保障。同时，结合团聚凝并增效超滤布袋技术、灰斗灰位平衡协调控制技术、床层稳定控制技术、宽负荷动态调节技术等多项关键技术，在实现多污染物排放自动、智能控制的同时，能耗物耗更低、稳定性与适应性更强。

（3）工艺流程

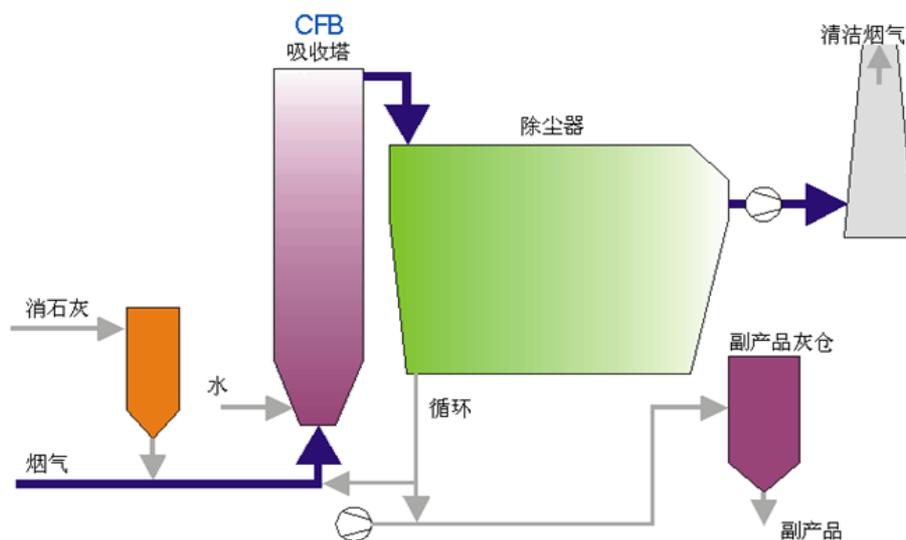


图 12 CFB 循环流化床半干法脱硫除尘一体化技术工艺原理图

（4）主要技术指标

- ① 脱硫效率 > 99%;
- ② SO_2 和颗粒物浓度分别小于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 超低排放指标;

③非常规污染物： $SO_3 < 5 \text{ mg/m}^3$ 、 $HF < 4 \text{ mg/m}^3$ 、二噁英 $< 0.5 \text{ ng-TEQ/m}^3$ 、重金属脱除效率 $> 95\%$ 以上；

④无废水产生，烟囱排烟透明。

5. 典型案例及投资效益

首钢京唐钢铁 2 台 500m^2 烧结机烟气脱硫采用此技术，于 2018 年 6 月初开始建设，2018 年底建成投产。项目实施后 SO_2 和粉尘稳定实现超低排放，通过京唐钢铁实际运行在线监测结果计算，单台 500m^2 带式烧结机年可减少 SO_2 和粉尘排放分别为 8450 吨和 910 吨。同时，高效协同脱除了 SO_3 、二噁英、铅等重金属多污染物。

采用此技术，较活性焦技术，年可节省运行成本 30%以上。

6. 推广前景和减排潜力

采用 CFB 循环流化床半干法脱硫除尘一体化技术并匹配后端的 SCR 脱硝工艺，是目前钢铁行业烟气深度治理的主流技术，技术成熟可靠，市场占有率也不断提升。

采用该技术路线，可实现烟气中 SO_2 、 SO_3 、 NO_x 、粉尘、HCl、HF、二噁英、重金属、 $PM_{1.0}$ 超细微颗粒等多污染物的高效协同深度脱除，且能够适应烧结（球团）烟气工况变化（负荷、温度、湿度、污染物浓度），具有净化效率高、节能节水、占地小、投资少及运行能耗低等优点，是符合我国节能降碳、降本增效、高质量绿色发展的需求的技术，对我国大气污染问题的进一步解决，以及钢铁行业高质量、绿色、低碳发展都有着长远和重要的意义。

（三）水解转化高炉煤气精脱硫技术

高压侧羟基硫水解转化+低压侧干法硫化氢脱除技术

1. 技术名称

羟基硫水解转化+干法硫化氢脱除源头治理技术

2. 技术类别

源头脱硫治理技术

3. 应用现状及产业化

目前该技术已在秦皇岛宏兴钢铁有限公司 3 座高炉应用。

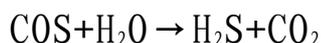
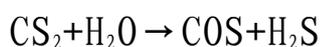
4. 技术内容

(1) 技术原理

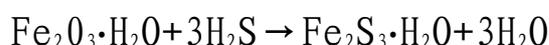
羟基硫水解原理: 羟基硫水解法是羟基硫脱除的一个重要方法。水解催化剂主要是以氧化铝基、氧化钛基及氧化锆基等单一金属氧化物或复合金属氧化物为载体, 负载碱金属、碱土金属、过渡金属及稀土等金属氧化物活性组分进行制备。

水解法脱硫原理: 将有机硫通过水解转化为无机硫再进行脱除。

水解化学反应式如下:



无机硫脱硫原理: 煤气通过脱硫剂时, 硫化氢与脱硫剂作用, 反应式为:



再生: 吸收硫化氢后的铁系脱硫剂, 在有水分存在时, 可以用

空气中的氧进行再生。铁的硫化物又转化为氧化铁，并析出元素硫。元素硫逐渐沉积在脱硫剂中。

再生反应式为：



脱硫剂经过反复的脱硫和再生使用后，在脱硫剂中硫磺聚积，并逐步包住铁系氧化铁活性微粒，致使其脱硫能力逐渐降低。因此，当脱硫剂上积有 30%~40%（按质量计）的硫磺时，需更换新的脱硫剂。

（2）关键技术

羰基硫水解：

① 高炉煤气含尘量较高，应在催化反应之前安装除尘设施，否则大量的粉尘将堵塞催化剂孔洞，导致水解效率降低；

② 对高炉煤气中不确定的有害物质及时进行定期检测，及时处理、更换预处理剂，保证预处理的效果，避免造成催化剂中毒失活；

③ 密切注意高炉冶炼操作过程中高炉煤气成分的变化，成分的变化易对高炉煤气精脱硫造成的影响，致使催化剂中毒失活。

无机硫脱硫：固定床脱硫工艺，装置运行稳定性和可靠性较高。

（3）工艺流程

高炉煤气除尘出口总管 → 高炉煤气预处理及羟基硫水解塔 → 高炉 TRT 余压发电 → 高炉煤气干法脱硫塔 → 低压高炉煤气总管

（4）主要技术指标

羟基硫水解：在高炉煤气温度满足水解剂工作条件下（水解塔体高炉煤气温度大于 100℃），水解效率 > 90%；

无机硫脱硫：采用固定床填装脱硫剂，脱硫效率 80% ~ 95%。

5. 典型案例

秦皇岛宏兴钢铁有限公司建设的高压侧羟基硫水解转化+低压侧干法硫化氢脱除 1#、2#高炉煤气精脱硫已建成投产，系统运行稳定，水解效率 80% ~ 100%之间，脱硫效率 80% ~ 95%。

6. 推广前景和减排潜力

钢铁企业内使用高炉煤气燃烧加热的用气设施众多，如果全部采用常规末端治理的方式，投资费用高。在使用较低含量二氧化硫的燃气时增加末端治理装置，脱除效率低，脱硫剂用量大。高炉煤气高压侧羟基硫水解转化+低压侧干法硫化氢脱除精脱硫源头治理技术可以有效去除高炉煤气中的硫化氢，使高炉煤气各末端用户合格排放，因此进行高炉煤气精脱硫源头治理技术是最为经济和便于钢铁厂管理的技术手段，具有较大的节能减排和推广价值。

（四）NSAD 干法高炉煤气精脱硫技术

1. 技术名称

NSAD 干法高炉煤气精脱硫技术

2. 技术类别

减污降碳类技术

3. 应用现状及产业化

高炉煤气源头脱硫技术，具有源头集中治理，减少设备占地和

投资、运行费用低等多项优势。据不完全统计，目前国内约有 50 家钢铁企业采用煤气源头脱硫净化技术。其中，干法脱硫工艺具有运行费用低、脱硫效果好、运行操作简单、没有废水外排等诸多优点。NSAD 干法高炉煤气脱硫技术采用可再生的吸附材料，避免了填料更换对炼铁主工艺的影响，是目前领先的源头煤气脱硫治理技术。目前该技术已在河北天柱钢铁集团有限公司、河北津西钢铁集团、东海特钢等企业应用。

4. 技术内容

(1) 技术原理

NSAD 干法高炉煤气精脱硫技术采用具有纳米级孔径的特殊材料，实现对高炉煤气中的含硫物质的特异性吸附，从脱除煤气中的硫化物。技术流程包括预处理、硫转化、吸附、再生。工艺流程分为以下四步骤：

- ① 从 TRT 出来的高炉煤气进入预处理模块，除去煤气中的气态水、氯离子以及粉尘等杂质；
- ② 煤气进入转化塔，将有机硫转化成无机硫；
- ③ 煤气进入吸附塔，煤气中的硫被吸附剂吸附；
- ④ 吸附饱和的材料通过升温，将吸附的含硫物质解吸，吸附材料实现再生。

(2) 关键技术

高炉煤气气量大，含硫量低，煤气中的硫化物以多种价态的形态存在，从源头上实现脱硫存在诸多困难。高炉煤气干法精脱硫技

术，具有脱硫效率高、再生性能好、吸附剂寿命长、不产生二次污染等多项优势。关键技术在于通过纳米分子吸附材料，以分子筛的形式对含硫物质实现特异性吸附和再生功能。

关键技术：一种固定床形式的干法吸附脱硫塔，该形式的脱硫塔可以有效的降低系统的阻力损失，优化煤气流场分布。解决大流量煤气在脱硫塔入口处存在的流场偏流问题，实现气流稳定、均匀分布。可以协同处理煤气中含硫物质、水汽、氯离子等多种杂质的一种脱硫工艺系统。以及一种空隙均一、比表面积大、吸附吸能强的纳米分子吸附材料。

(3) 工艺原理和流程

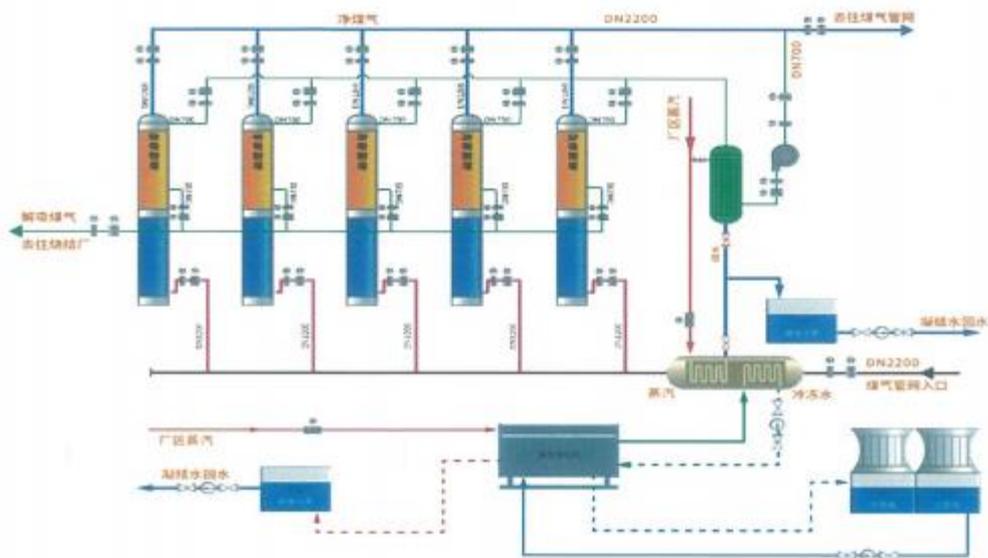


图 13 NSAD 干法高炉煤气精脱硫技术工艺原理图

(4) 主要技术指标

系统压力损失：小于 5kpa；

脱硫后总硫含量：小于 25mg/m³；

运行能耗：小于 8 元/tHM；

吸附剂使用寿命：3~5 年。

5. 典型案例及投资效益

河北津西钢铁集团高炉煤气精脱硫项目。

津西钢铁现有 8 座加热炉共计 16 个排放末端，采用未净化高炉煤气作为燃料，所排放烟气不满足钢铁行业超低排放要求。2021 年初，企业采用 NSAD 干法煤气精脱硫技术，建设小时处理煤气量 50 万立方米脱硫系统，项目运行后脱硫后的煤气燃烧烟气中的二氧化硫小于 $35\text{mg}/\text{m}^3$ ，满足超低排放要求。

(1) 环保效益方面：

项目投产后，每年可减少 1957.5 吨二氧化硫排放。

(2) 经济效益方面：

相较于采用末端治理技术，烟气治理年运行成本减少 15%~20%。此外，由于本技术具有脱湿功能，可有延长厂区煤气管网使用寿命 5~10 年。同时，可提高热风炉燃烧温度，减少高炉焦比 6~10 kg/tFe。

6. 推广前景和减排潜力

干法脱硫工艺具有运行费用低、脱硫效果好、运行操作简单、没有废水外排等诸多优点。NSAD 干法高炉煤气脱硫技术采用可再生的吸附材料，避免了填料更换对炼铁主工艺的影响，是目前领先的源头煤气脱硫治理技术，具有广阔的应用前景。

三、氮氧化物治理技术

(一) 活性焦脱硫脱硝技术

1. 技术名称

活性焦脱硫脱硝技术

2. 技术类别

减污降碳节能效类

3. 应用现状及产业化

唐山九江线材 1#、2#、3#360m²烧结机机头和首钢迁安球团二系列、3#360m² 烧结机机头烟气治理均使用该技术。该技术河北新武安钢铁集团烘熔钢铁有限公司、金鼎重工有限公司、河北普阳钢铁有限公司、河北太行钢铁集团有限公司、新兴铸管股份有限公司等企业部分生产线也有所应用。

4. 技术内容

(1) 技术原理

烧结机产生的烟气进入吸附塔，烟气均匀的穿过活性焦吸附层，在吸附层内二氧化硫、氮氧化物等污染物被脱除，在脱硫脱硝反应中，是物理吸附和化学吸附的结合的复合反应。

(2) 关键技术

① 氨水蒸发及喷加系统

氨水先用蒸汽蒸发、再与空气混合喷入烟气系统。多套烧结系统集中设置一套氨水系统。工艺流程为：氨水储槽-过滤器-蒸发器-混合器-脱硫烟气系统。

② 脱硫脱硝系统

脱硫脱硝系统是脱硫脱硝装置的核心部件之一，包括吸附塔及相关管路。该系统的功能是通过活性焦的吸附和过滤作用净化烟气中的 SO_2 和 NO_x ，需要净化的烟气由烟道系统送入吸附塔的进气室，然后均匀流向两侧吸附层，与自上向下靠重力缓慢移动的活性焦错流接触（烟气流向与活性焦流向成 90° ），脱除烟气中的绝大部分 SO_2 和 NO_x 。净化后的烟气穿过出气面格栅流入出气室，由出气室排入烟道系统。烟气流过吸附塔所需的压头由增压风机提供。吸附了 SO_2 的活性焦由吸附层下部锥斗排出，用运输机运送到再生塔再生。

③ 活性焦再生系统

活性焦再生系统完成脱硫脱硝塔吸附 SO_2 、 NO_x 后活性焦的再生恢复活性，并收集再生过程中产生的富含 SO_2 的气体。

④ 副产品制备系统

副产品有浓硫酸、焦亚硫酸钠等。制酸工艺成熟， SO_2 再生气输送至硫酸制备系统集中处理。

产品方案：春、夏、秋季生成 98% 工业浓硫酸，冬季生产 93% 工业浓硫酸，产品质量标准：硫酸系统产出的工业硫酸符合国家标准合格品的指标。

（3）工艺流程

烟气通过活性焦吸附脱硫脱硝装置被净化，吸附饱和的活性焦靠重力流至运输系统，运至解吸再生装置，通过加热使活性焦（炭）再生，释放出的高浓度 SO_2 混合气体采用现有成熟的工艺技术用于

制备副产品硫酸，既能实现硫资源的有效回收利用，又能产生良好的经济效益，降低脱硫装置的运行费用。再生后的活性焦经筛选后，由活性焦输送系统送入活性焦吸附装置循环使用，筛下的少量小颗粒活性焦（焦粉）收集后排入烟尘罐，可作为燃料送至电厂进行处理使用，同时也避免了活性焦中微量重金属的富集。

（4）主要技术指标

脱硫效率 98%以上，脱硝效率 80%以上。

5. 典型案例及投资效益

九江线材烧结机机头烟气脱硝设施于 2018 年 1 月开始建设，2018 年 10 月建成投产。

项目实施后，烧结机头烟气排放达到超低排放标准，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别低于 10 mg/m^3 、 35 mg/m^3 、 50 mg/m^3 。

通过九江线材实际运行结果计算，主要污染物减少排放量分别为：颗粒物削减 830 吨/年、二氧化硫削减 4097 吨/年、氮氧化物削减 6300 吨/年。

6. 推广前景和减排潜力

活性焦烟气治理技术利用活性焦的吸附和催化功能，使烟气中的 SO_2 与 H_2O 和 O_2 反应生成 H_2SO_4 ，储存在活性焦孔内，使烟气中的 NO_x 与 NH_3 发生还原反应生成 N_2 和 H_2O 。实现烟气中 SO_2 和 NO_x 的协同控制，并可实现 VOCs、HCL、HF、Hg、二噁英等多污染物的协同控制。吸附 SO_2 的活性焦加热再生，释放出高浓度 SO_2 气体，再生后

的活性焦循环使用，高浓度的 SO_2 可加工成硫酸、单质硫、硫酸盐等多种化工产品。因此活性焦脱硫脱硝技术可实现硫资源化利用和多污染物协同脱除，且不消耗水，是有前景的污染物协同控制技术。

（二）SCR 脱硝（选择性催化还原法脱硝）技术

1. 技术名称

SCR 脱硝（选择性催化还原法脱硝）技术

2. 技术类别

减污降碳节能提效类

3. 应用现状及产业化

该技术应用广泛，目前河北省大部分钢铁企业应用了该技术。如唐山鑫达钢铁 3 台 160m^2 烧结机、1 台 216m^2 烧结机、5 座麦尔兹窑；松汀钢铁 2 台烧结机机头、 2×50 兆瓦发电、4#、6#、7#高炉热风炉、轧钢加热炉、燕钢 3 台 300m^2 、1 台 222m^2 烧结机机头、首钢迁安 2# 360m^2 烧结机机头、球团一系列、荣信钢铁 2 台 200m^2 烧结机机头和 1 座麦尔兹窑等。

4. 技术内容

（1）技术原理

利用还原剂（ NH_3 ）在催化作用下，选择性地与 NO_x 反应生成 N_2 和 H_2O ，而不是被 O_2 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 ）还原为对大气没有污染影响的 N_2 和 H_2O 。

（2）关键技术

在 SCR 中使用中温催化剂以 TiO_2 为载体，以 V_2O_5 或 $V_2O_5-WO_3$ 或 $V_2O_5-MoO_3$ 为活性成分，制成蜂窝式，适于反应温度 $280^\circ C \sim 340^\circ C$ 。应用于烟气脱硝中的 SCR 催化剂可分为中温催化剂和低温催化剂，低温催化剂多数为锰系催化剂，适于反应温度 $180^\circ C \sim 220^\circ C$ 。不同的催化剂适宜的反应温度不同，脱硝效率也不同，同体积的低温催化剂要比中温催化剂的脱硝效率低。

(3) 工艺流程

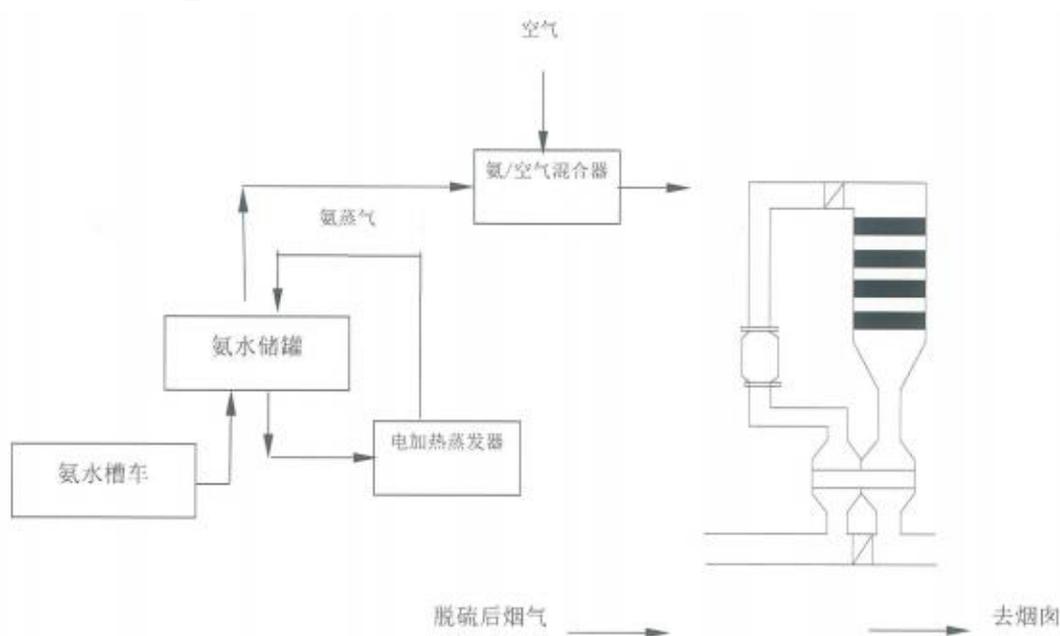


图 14 SCR 脱硝技术工艺原理图

(4) 主要技术指标

脱硝效率 90% 以上，氨逃逸小于 2.5 mg/m^3 。

5. 典型案例及投资效益

河北鑫达钢铁烧结机机头烟气脱硝设施于 2020 年 4 月 4 日开始建设，2021 年 6 月 15 日建成投产。项目实施后 NO_x 稳定达标排

放，通过鑫达钢铁实际运行在线监测结果计算，单台 216m² 带式烧结机年可减少氮氧化物排放 2555 吨。

6. 推广前景和减排潜力

采用低温 SCR 脱硝工艺既能最大限度的与原脱硫系统匹配，又能避免采用中高温 SCR 脱硝工艺因较大温升而造成的运行费用过高的问题，对烧结机行业的脱硝治理将起到引领作用。

（三）尘硝一体化脱硝技术

1. 技术名称

尘硝一体化脱硝技术

2. 技术类别

减污降碳节能效类

3. 应用现状及产业化

目前承德建龙特殊钢有限公司 1×600t/d、1×800t/d 回转窑及河北普阳钢铁三期中板厂 1#、2#加热炉均已使用该技术。

4. 技术内容

（1）技术原理

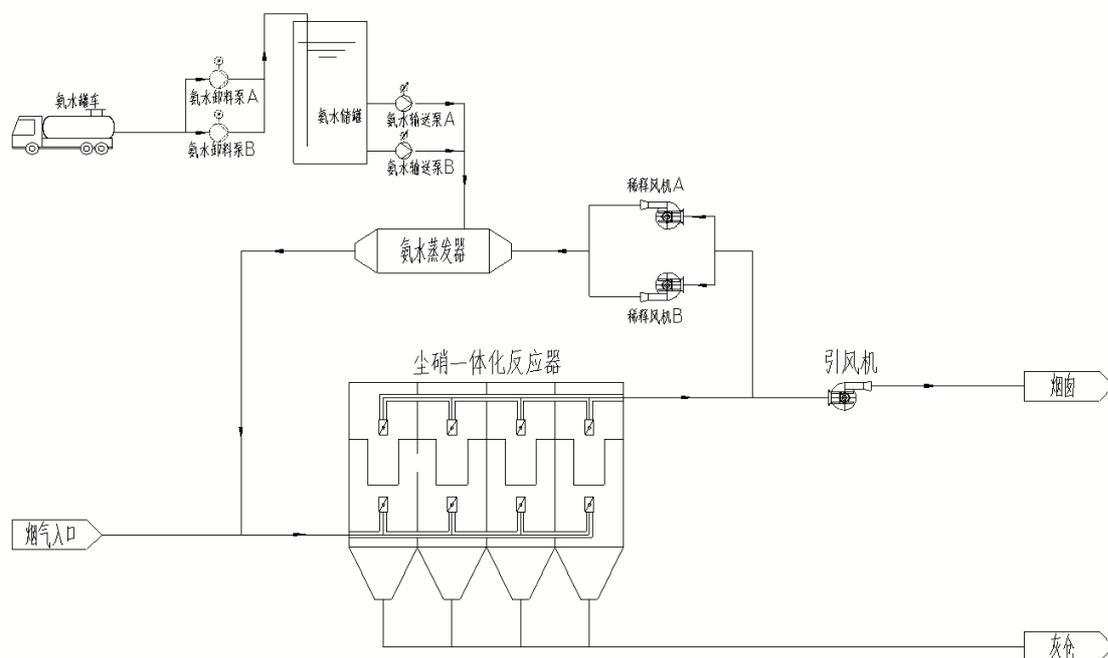
烟气通过尘硝一体化反应器时，颗粒物首先被反应器中功能性滤袋表面的 PTFE 覆膜进行过滤拦截下来，然后烟气中的 NO_x 在功能性滤袋内部催化剂作用下与反应器进口喷入的 NH₃ 发生氧化还原作用，生成 N₂ 和 H₂O。

（2）关键技术

尘硝一体化反应器是此脱硝工艺的核心系统，包括反应器本体、功能性滤袋及相关设备，该系统的作用是通过功能性滤袋脱除烟气中的颗粒物和催化烟气中的 NO_x 与 NH_3 发生氧化还原反应。

功能性滤袋：一种双功能滤袋，兼具脱硝除尘功能。以高空隙织物滤料为基材，与 PTFE 覆膜相结合，选取高活性低温脱硝催化剂粉/浆液，经独特的高活性低压降滤料涂覆技术制作而成。低温型催化剂以 TiO_2 、 V_2O_5 、 MnO_x 为主要成分，适用工作温度为 $180 \sim 260^\circ\text{C}$ 。颗粒物经外层滤袋过滤后达到超低排放标准，有效避免粉尘、碱金属等对催化剂的活性影响。

(3) 工艺流程



(4) 主要技术指标

颗粒物脱除效率 98% 以上，脱硝效率 90% 以上，氨逃逸小于

2.5 mg/m³。

5. 典型案例及投资效益

以普阳钢铁三期中板 1#2#加热炉为例，尘硝一体化设施于 2022 年 4 月开始建设，2022 年 7 月建成投产。

项目投产后，加热炉烟气中颗粒物、氮氧化物排放达到低排放标准，颗粒物、氮氧化物排放浓度分别低于 10mg/m³、50mg/m³。

(1) 环保效益方面

通过普阳钢铁实际运行结果计算减少污染物排放：颗粒物可削减 32 吨/年、氮氧化物可削减 468 吨/年。

(2) 经济效益方面

相较于其他脱硝技术，年运行成本减少 20%~25%。其中，年用电消耗节约量为 164 万 kwh，折合标准煤 662 吨。

6. 推广前景和减排潜力

尘硝一体化脱硝工艺具有运行成本低、占地面积小、系统较稳定且整体阻力小、操作更简洁等优点。采用功能性滤袋进行净化氮氧化物及颗粒物，可在线更换滤袋，无需停机检修时更换，可应用于热风炉、加热炉、燃气锅炉、石灰窑等多种炉窑，具有良好的减排效果，符合“节能降耗”要求。

四、颗粒物无组织管控技术

(一) 厂界、厂内主要运输通道雾桩抑尘技术

1. 技术名称

厂界、厂内主要运输通道雾桩抑尘技术。

2. 技术类别

无组织扬尘治理。

3. 技术使用范围

钢铁、焦化、水泥等企业厂界、厂内物料运输通道、交通主干道等。

4. 应用现状及产业化

首钢股份公司迁安钢铁公司、河北燕山钢铁集团有限公司、河北鑫达钢铁集团有限公司、唐山港陆钢铁有限公司、秦皇岛宏兴钢铁有限公司等多家企业厂内运输道路使用了该技术。

5. 技术内容

(1) 技术原理

使用进口高压泵、微细雾化喷嘴将水雾化，再利用风机风量和风压将雾化后的水雾送到较远距离，使得水雾到达较远距离同时能够覆盖更大面积，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 微米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。

(4) 主要技术指标

雾化颗粒大小为 30~150 微米,抑尘机头采用步进电机驱动 360° 旋转,任意角度可调,APP 控制/时间循环/手动控制(可上传至环境管控平台),可以接入电脑端控制。PLC 能根据实时的扬尘数据及时开启设备进行抑尘。对管控区域的 PM_{2.5} 及 PM₁₀ 进行净化,净化率达到 80%~98%。

6. 推广前景及减排潜力

可以应用于道路街道、施工工地、户外作业、矿场、煤场、发电厂、建筑工地、广场、小区、混泥土行业等高温扬尘场所。

(二) 物料运输皮带气流除尘技术

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. 技术使用范围

物料输送过程中产生的无组织颗粒物治理。

4. 应用现状及产业化

目前应用该技术的单位有河北天柱钢铁集团有限公司、河北鑫达钢铁集团有限公司、河北荣信钢铁有限公司、唐山文丰特钢有限公司、邯钢集团邯宝钢铁有限公司、敬业集团有限公司等。

5. 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, 从而达到粉尘浓度在大于 8 mg/m^3 小于 500 mg/m^3

的情况下无须加装风机，粉尘浓度在大于 500 mg/m^3 情况下加装风机后，均可达到《钢铁工业大气污染超低排放标准》（DB13/2169-2018）无组织排放污染物浓度限值（有厂房车间颗粒物浓度限值低于 8 mg/m^3 ）治理要求。

（4）主要技术指标

达到《钢铁工业大气污染超低排放标准》（DB13/2169-2018）对无组织排放污染物浓度限值（有厂房车间颗粒物浓度限值低于 8 mg/m^3 ）治理要求。

6. 推广前景及减排潜力

该技术可以应用在煤、碎石砂砾、烧结矿、粮食、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。

五、节能降碳技术（参考）

（一）大型转炉洁净钢高效绿色冶炼技术

1. 技术适用范围

适用于钢铁行业冶炼工序公称吨位在 200t 以上的大型转炉复合吹炼节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

开发高强度、长寿命复吹工艺、新型顶枪喷头和大流量底吹元件，通过提高顶底复合吹炼强度，结合高效脱磷机理建立少渣量、低氧化性、低喷溅及热损耗机制，实现原辅料、合金源头减量化以及炉渣循环利用。大型转炉高效率冶炼技术路线如图 15 所示。



图 15 大型转炉高效率冶炼技术路线图

3. 技术指标

（1）转炉综合能耗降低 5%；

（2）降低 20%炉渣，实现炉渣 40%留渣热循环利用，精炼渣实现热态循环利用。

4. 技术功能特性

- (1) 采用炉渣改质方法，取消发烟改质剂；
- (2) 有效复吹寿命提高至 7000 炉；
- (3) 300t 转炉在冶炼过程辅料消耗和合金消耗明显降低。

5. 应用案例

马钢 300t 转炉洁净钢高效绿色冶炼工艺改造项目。

(1) 用户用能情况：马钢 300t 转炉顶吹供气强度为 $3.2 \sim 3.73\text{m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ ，底吹供气强度为 $0.04 \sim 0.3\text{m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ ，转炉吨钢能耗为 -29.63kgce 。

(2) 实施内容及周期：利用大型转炉洁净钢高效绿色冶炼技术对转炉进行改造。实施周期 1 年。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造完成后，相较于原有设备，转炉吨钢能耗由 -29.63kgce 降到 -32.01kgce ，煤气回收量由吨钢 114.3m^3 提高到 123.57m^3 ，蒸汽回收量由吨钢 86.8kg 提高到 92.1kg ，节约标准煤 5.3 万吨/年，减排 CO_2 14.7 万吨/年。投资回收期约 1 年。

6. 预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 65%。可实现节约标准煤 67 万吨/年，减排 CO_2 185.8 万吨/年。

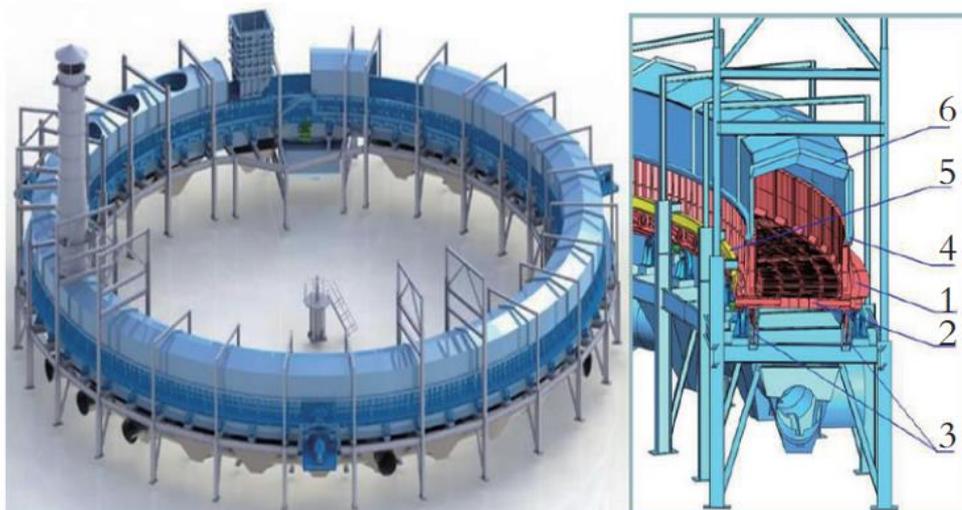
(二) 多功能烧结鼓风环式冷却机

1. 技术适用范围

适用于钢铁行业烧结工序环冷机节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

以结合传统烧结环冷机技术与球团环冷机技术,集成高刚性回转体、扇形装配式焊接台车、风箱复合密封、上罩机械密封、动态自平衡卸料、全密封及保温等技术,有效增加通风面积,降低冷却风机电耗,增加余热发电量。多功能烧结鼓风环式冷却机技术原理如图 16 所示。



1- 高刚性回转体 ; 2- 扇形装配式焊接台车 ; 3- 风箱复合密封装置 ;
4- 上罩密封装置 ; 5- 动态自平衡卸料装置 ; 6- 全密封及保温结构

图 16 多功能烧结鼓风环式冷却机技术原理图

3. 技术指标

- (1) 冷却风机电耗降低 30%;
- (2) 有效通风面积增加 20%;
- (3) 余热发电量成品烧结矿增加 3~5 kWh/t;
- (4) 漏风率降低 5%以上。

4. 技术功能特性

(1) 采用高刚性回转框架、扇形装配式焊接台车和动态自平衡卸料等技术,使设备运行稳定可靠,检修维护方便快捷;

(2) 采用双层保温台车栏板、风箱复合密封和上罩复合密封等技术，实现冷却风、上罩废气和回热废气高效利用；

(3) 漏风率降低，可有效降低冷却风机电耗。

5. 应用案例

山西太钢不锈钢股份有限公司烧结系统改造项目。

(1) 用户用能情况：山西太钢不锈钢股份有限公司 3 号烧结环冷机于 2006 年投运，存在设备老化、漏风率高、余热回收效率低等问题，吨烧结矿冷却风机电耗大于 12 kWh，余热产气量小于 65kg。

(2) 实施内容及周期：利用多功能烧结鼓风环式冷却机替代原烧结环冷机。实施周期 4 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造完成后，相较于原有环冷机设备，烧结矿冷却电耗减少 2.6 kWh/t，余热产气量增加 46.5kg；按烧结矿平均产量 600 t/h，年作业率 96% 计算，可节约电量 5572 万千瓦时/年，折合节约标准煤 1.7 万吨/年，减排 CO₂ 4.7 万吨/年。投资回收期约为 1 年。

6. 行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 50%。可实现节约标准煤 16 万吨/年，减排 CO₂ 44.4 万吨/年。

(三) 超厚料层烧结技术

1. 技术适用范围

钢铁企业各类大中型烧结机

2. 技术原理及工艺

烧结机料层厚度在 700mm 以下属一般厚度，700~850mm 属厚料层，850mm 以上属超厚料层。料层越厚蓄热能力越强，超厚料层工艺属综合性技术，包含混料及改进粒度，横向纵向布料工艺改进，点火模型改进，控制漏风率技术等。

3. 技术指标及功能特性

超厚料层烧结技术为料层厚度 > 850mm，每提高 10mm，混料配碳可下降 0.1kg/t 以上，烧结工序能耗可下降 0.11 kgce/t 以上。

4. 应用案例

宝武马钢烧结机超厚料层厚度达到 900mm，宝钢股份烧结机料层厚度达 1000mm，工序节能达 3~5kgce/t（相对于 700mm 及以下料层厚度）。

5. 行业普及率及节能减排能力

预计行业普及率达 20%，节能约 50 万 tce/a，合减排 CO₂ 约 138 万 t/a，同比例降低因配碳降低产生的 SO₂ 和 NO_x 等大气污染物的排放量。

（四）中心烧嘴节能环保气烧活性石灰窑

1. 适用范围

适用于低热值高炉煤气、转炉煤气或发生炉煤气焙烧石灰，还可应用于焙烧铝矾土、白云石、菱苦土等。

2. 技术原理

以高炉煤气等低热值煤气为燃料，采用中心烧嘴从里向外与炉墙侧烧嘴从外向里对烧，提供了充足的中心火焰，布料排料均匀可

调，解决了竖窑大型化和中风不足边风过剩的问题。废气系统采用高效换热器等余热回收利用装置，实现了能量回收利用。低温低空气过剩系数石灰焙烧理论，减少热力型 NO_x 的生成条件，采用炉料运动“架桥理论”指导石灰窑的设计和 production 操作。

3. 技术工艺路线

石灰窑工艺流程主要分为 5 大系统，即原料分级系统、上料系统、热工煅烧系统、成品运输储存系统、窑体供风系统。

4. 节能减排能力

以 4 座 150 立方米内导式 180 气烧竖窑改造为 2 座日产 600 吨的中心烧嘴节能环保气烧活性石灰窑为例，采用低热值高炉煤气、转炉煤气或发生炉煤气等。在满足石灰产量及质量的前提下，技术应用前热耗约 6GJ/t 灰，电耗约 45 千瓦时/吨灰，技术应用后公斤灰热耗 3.7~4.4GJ/kg 灰，降低 28%~38%，窑本体平均吨灰电耗约 40 千瓦时，降低 11%。技术应用前废气排放量为 3648 m³/t 灰，技术应用后废气排放量为 2486 m³/t 灰，减少排放量 1162 m³/t 灰，废气中 SO₂ ≤ 50 mg/m³，NO_x ≤ 100 mg/m³，除尘灰等固体废弃物回收利用，无外排。每年节约标准煤 2.5 万吨，年减少 CO₂ 排放量约 6.56 万吨。