

河北省生活垃圾焚烧发电行业环保绩效创 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生活垃圾焚烧发电行业污染治理水平，深化生活垃圾焚烧发电行业转型升级，促进减污降碳协同增效，通过创 A 工作补齐环保短板，引领全省生活垃圾焚烧发电行业高质量绿色发展，河北省生态环境厅重点行业创 A 专班垃圾发电组在日常帮扶、绩效评级工作中，深入企业实地调研，积极探索解决生活垃圾焚烧发电企业污染治理技术存在的问题，提出合理的改进建议，并对生活垃圾焚烧发电企业创 A 的最优治理技术进行了梳理总结、规范提升，研究编制了《河北省生活垃圾焚烧发电行业环保绩效创 A 最优实用技术指南（第一批）》，对生活垃圾焚烧发电行业治理技术的原理、工艺流程、治理效益和减排潜力进行了详细分析，为生活垃圾焚烧发电企业创 A 工作提供技术指导。

目 录

一、生活垃圾焚烧技术	- 1 -
二、酸性气体治理技术	- 5 -
(一) 半干法脱酸技术	- 5 -
(二) 干法脱酸技术	- 8 -
(三) 湿法脱酸技术	- 10 -
(四) 酸性气体治理组合技术	- 13 -
三、氮氧化物脱除技术	- 15 -
(一) 选择性非催化还原技术 (SNCR)	- 15 -
(二) 选择性催化还原技术 (SCR)	- 18 -
(三) SNCR+SCR 脱硝工艺的联合脱硝技术	- 21 -
四、颗粒物治理技术	- 23 -
五、二噁英类污染物治理技术	- 27 -
六、重金属污染治理技术	- 30 -
七、恶臭污染物治理技术	- 32 -
(一) 活性炭除臭技术	- 32 -
(二) 直接燃烧除臭技术	- 33 -

一、生活垃圾焚烧技术

(1) 技术名称

机械炉排炉焚烧技术

(2) 技术类别

垃圾焚烧技术

(3) 应用现状及适用范围

河北省内中节能（石家庄）环保能源有限公司、卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、石家庄厦能焱环保科技有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司、中节能（东光）环保能源有限公司等企业均采用机械炉排炉，机械炉排炉广泛应用于全国生活垃圾焚烧发电企业。

(4) 技术内容

① 技术原理

机械往复式炉排炉采用往复移动式炉排、层状燃烧技术，具有对垃圾的预处理要求不高、对垃圾热值适应范围广、运行及维护简便等优点，是目前世界最常用、处理量最大的城市生活焚烧炉型。机械往复式炉排炉的工艺流程可简单描述为：垃圾经给料装置进入焚烧炉炉排，在移动炉排的推动下，垃圾随炉排移动，分别经过炉排干燥段、燃烧段、燃烬段。垃圾燃烧过程主要受到炉排结构及燃烧空气系统的影响，运行时需合理选择炉排移动速度，确保垃圾移动到炉排末端时已完全燃烬。燃烬的灰渣从炉排末端落下，降温冷却后排出。垃圾在炉排上燃烧过程中产生的带

有不完全燃烧气态物质和未燃烧细小颗粒物的烟气进入炉膛上部（即炉膛主控温度区），在炉膛主控温度区下部布设二次空气喷射口，在遇到二次空气后，烟气中的不完全燃烧产物发生燃烧放热，使得烟气在二次空气喷射口后的炉膛主控温度区温度保持在 850℃ 以上，从而使烟气中的不完全燃烧产物得到完全燃烧，以有效控制二噁英的产生。

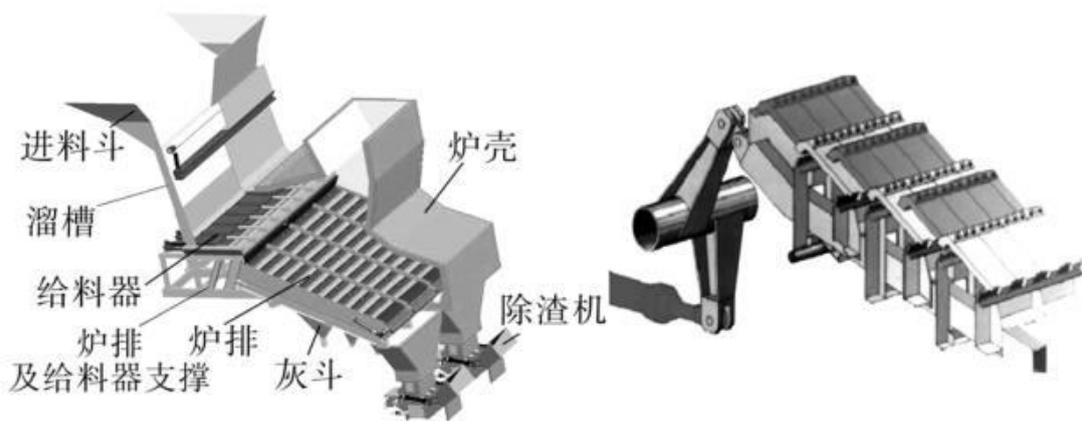


图 1 机械炉排炉炉排示意图

②关键技术及技术指标

a.关键技术

- ①合理设计炉排干燥段、燃烧段、燃烬段长度、宽度及倾角。
- ②合理设计炉排下二次风供应系统，合理确定一次风量。
- ③合理确定炉膛主控温度区断面和高度，满足最大烟气量下烟气停留时间大于 2s。
- ④二次风口合理布置，喷射方向形成炉膛主控温度区内烟气的湍流，使主控温度区内烟气温度均匀。
- ⑤自动燃烧控制技术：垃圾特性变化时，可自动控制炉排工况、供风、助燃系统，使垃圾燃烧工况和锅炉蒸发量保持稳定，

炉膛主控温度区温度保持 850℃ 以上。

b. 技术指标

机械炉排炉技术指标详见表 1。

表 1 机械炉排炉技术指标一览表

项目	机械炉排焚烧炉
炉床及炉体特点	机械往复式移动炉排，炉排面积、炉膛体积可按照垃圾特性和设计焚烧规模确定
垃圾预处理	不需要
炉渣热灼减率	正常工况下易达标
垃圾在炉排上的停留时间	可根据垃圾特性和完全燃烧的需求进行调节
过量空气系数	可根据垃圾特性和完全燃烧需求进行调节
已建单炉最大处理量	1000t/d
垃圾燃烧空气供给	可根据工况需要调节
对垃圾含水量的适应性	可通过调整干燥段适应不同湿度垃圾
对垃圾不均匀性的适应性	可通过自动调节实现焚烧工况和锅炉蒸发量稳定，可通过炉排移动改善垃圾层透气性
烟气中含尘量	较低
燃烧工况控制	可自动手动相互切换
运行费用	适中
烟气净化	可根据排放标准配置烟气净化组合工艺
焚烧炉可靠性	可靠性较好，单台年累计运行时间易于达到 8000 小时
工程应用业绩	广泛
综合评价	对垃圾的适应性强，不需要预处理，故障少，运行可靠

(5) 典型案例

中节能（石家庄）环保能源有限公司建设有四台机械炉排式垃圾焚烧炉，其中 3#、4#焚烧炉处理能力均为 500t/d，5#、6#焚烧炉处理能力均为 750t/d。河北省已投产运营的 62 家垃圾发电企业共 119 座焚烧炉，其中炉排炉 114 座，炉排炉占比达 95.8%。

(6) 推广前景和减排潜力

- ①机械炉排炉技术成熟，市场占有率高。
- ②机械炉排炉更能够适应国内垃圾高水分、低热值的特性，确保垃圾的完全燃烧。
- ③设备可靠性强，非正常工况少，非正常工况造成的二次污染小。
- ④经济性较好，垃圾不需要预处理直接进入炉内，运行费用相对较低。
- ⑤设备寿命长，运行维护费用较低。

二、酸性气体治理技术

生活垃圾焚烧烟气中 SO_2 、 HCl 等酸性气体的净化主要是通过酸碱中和反应进行，其净化处理工艺主要分为半干法、干法和湿法。

（一）半干法脱酸技术

（1）技术名称

半干法脱酸技术

（2）技术类别

污染物减排技术

（3）应用现状及适用范围

河北省内中节能（石家庄）环保能源有限公司、卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、石家庄厦能炘环保科技有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司、中节能（东光）环保能源有限公司等企业均采用半干法脱酸技术去除焚烧炉烟气中的酸性气体，半干法脱酸技术广泛应用于垃圾焚烧炉焚烧烟气净化系统。

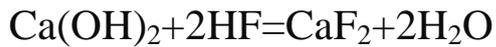
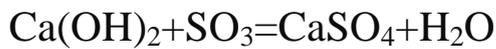
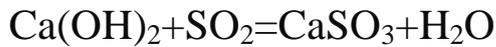
（4）技术内容

①技术原理

半干法脱酸系统利用高效雾化器将吸收剂（常为消石灰浆液、小苏打或氢氧化钠溶液）从塔顶向下或从塔底向上喷入反应塔中，烟气与喷入的吸收剂成同向或逆向的方式充分接触，并产生酸碱中和反应，同时利用焚烧炉烟气中的余热使吸收剂中的水分蒸发，净化反应产物以干态固体形式排出，无废水产生。

半干脱酸反应塔内未反应完全的消石灰，可随烟气进入后续袋式除尘器，部分未反应物将附着于滤袋上与通过滤袋的酸性气体再次反应，使脱酸效率进一步提高，相应提高了吸收剂的利用率。

主要反应式如下（以消石灰浆液为例）：



②关键技术

高效雾化器控制浆液雾化细度，通过控制雾化器旋转速度和石灰浆供应量控制雾化液滴的直径，在较严格的酸性气体排放标准下，宜将液滴直径控制在 30 μm 以内。

逆流式和顺流式反应器内的烟气停留时间分别不宜少于 10s 和 20s。

③工艺流程

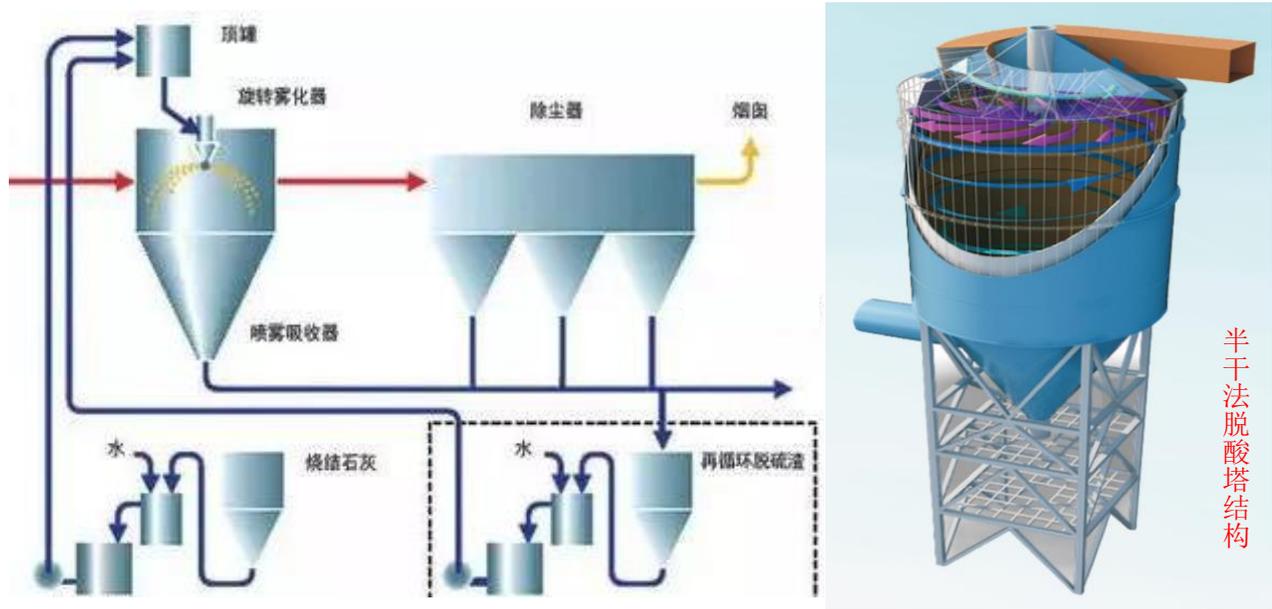


图 2 半干法脱酸技术流程示意图

④主要技术指标

HCl 脱除效率可达 95% 左右；

SO₂ 脱除效率可达 90% 以上。

利用反应药剂在布袋除尘器滤布表面进行的二次反应，可提高整个系统对酸性气体的去除效率。

(5) 典型案例

国内大多数生活垃圾焚烧企业焚烧炉烟气中酸性气体治理工艺采用“半干法+干法”工艺。经调查，河北省中节能（东光）环保能源有限公司、卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、中节能（石家庄）环保能源有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司稳定运行时段在线监测数据，各企业出口二氧化硫日均值排放浓度小于 15mg/m³、HCl 日均值排放浓度小于 10mg/m³。

(6) 推广前景和减排潜力

半干法脱酸技术结合干法脱酸与湿法脱酸的优点，构造简单，投资低，压损小，能源消耗少，液体使用量远低于湿法、较干法的去除效率高，也避免湿法产生过多废水的问题。操作温度高于烟气中水蒸气和酸性气体凝结温度，末端不产生水雾，对后续布袋除尘器无影响。半干法脱酸的雾化喷嘴在用石灰浆时易堵塞，控制不好塔内壁容易为固体化学物质附着及堆积，设计和操作中喷水量需进行较好的控制。

(二) 干法脱酸技术

(1) 技术名称

干法脱酸技术

(2) 技术类别

污染物减排技术

(3) 应用现状及适用范围

干法脱酸技术适用于垃圾焚烧炉启停炉期间烟气净化以及作为半干法或湿法脱酸设备检修时的备用工艺使用。

(4) 技术内容

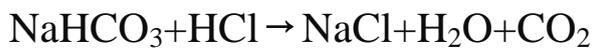
① 技术原理

干法脱酸是用压缩空气将碱性中和剂粉末(主要为消石灰粉或碳酸氢钠粉末)直接喷入烟管或烟管上某段反应器内，使碱性中和剂粉末与酸性气体充分接触和反应，从而去除酸性气体。

干法脱酸设备简单，维修容易，造价便宜，但由于粉状固体与气体的接触传质效果难以达到良好状态，中和反应效果受限，

如作为主脱酸工艺，常需超量投加中和剂，药剂的消耗量大。同半干法和湿法两种脱酸方法相比，干法的整体去除效率较低，因此目前干法脱酸不作为垃圾焚烧烟气净化的主脱酸工艺，只作为辅助脱酸和备用脱酸工艺使用。

碳酸氢钠粉末反应式如下：



消石灰粉反应式如下：



②关键技术

干法脱酸结合布袋除尘器使用，中和剂干粉的投放量按反应需求量的 3~4 倍控制，中和反应时间控制在 1s 以上。

③工艺流程

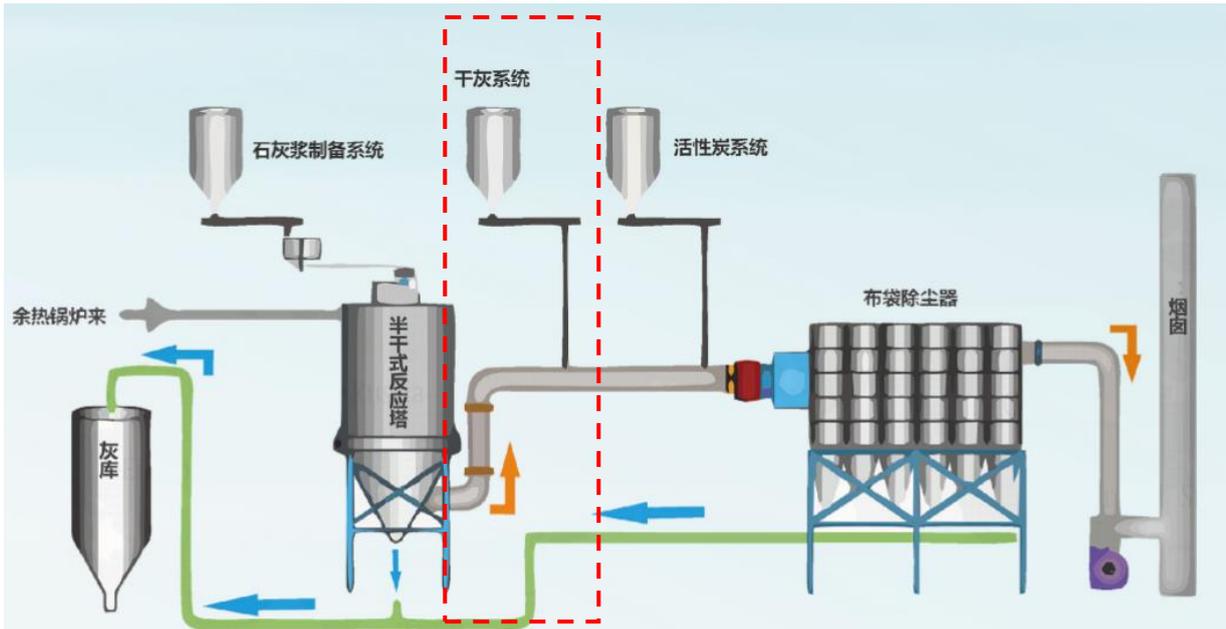


图 3 干法脱酸工艺（虚线框内）示意图

④主要技术指标

干法脱酸工艺简单，投资费用低，无废水产生，一般情况下脱酸效率在 80%左右。

（三）湿法脱酸技术

（1）技术名称

湿法脱酸技术

（2）技术类别

污染物减排技术

（3）应用现状及适用范围

应用于酸性气体排放标准要求严格的垃圾焚烧厂，河北省内沙河海创环保科技有限责任公司、衡水冀州泰达环保有限公司、中节能（曲周）环保能源有限公司、河北锦宝石循环资源开发集团有限公司、顺平县康恒再生能源有限公司等企业均采用湿法脱

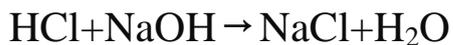
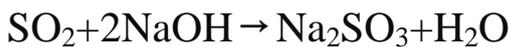
酸技术去除焚烧炉烟气中的酸性气体。

(4) 技术内容

①技术原理

湿法脱酸净化工艺是利用碱液(NaOH 溶液、小苏打溶液、消石灰浆液)与烟气中酸性气体发生中和反应，由此去除烟气中 SO₂、HCl 等酸性污染物。

通常反应式如下（以 NaOH 溶液为例）：



在上述生成的盐中，Na₂SO₃ 与塔内的空气氧化，进行下列反应：



②关键技术

多采用洗涤塔形式，一般采用填料吸收塔的方式设计，控制合适的液气比。

③工艺流程

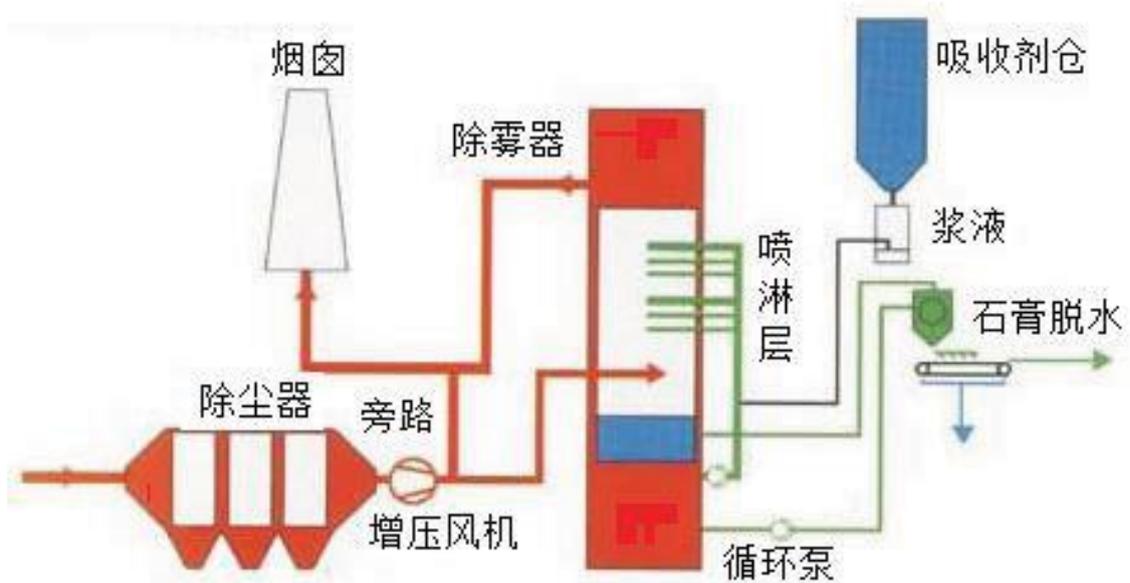


图 4 湿法脱酸工艺流程示意图

④主要技术指标

SO₂脱除率可达 95% 以上，HCl 脱除率可达 98% 以上。

(5) 典型案例

国内部分垃圾焚烧发电企业采用“半干法+湿法脱酸工艺”，经调查，河北省沙河海创环保科技有限责任公司稳定运行时段焚烧炉烟气在线监测数据二氧化硫日均值排放浓度稳定小于 15mg/m³、HCl 日均值排放浓度小于 8mg/m³。

(6) 推广前景和减排潜力

湿法脱酸净化效率较高，其对 HCl 脱除效率可达 98%，对 SO₂ 亦可达 95%，配合半干法+干法脱酸设施使用，酸性气体综合去除率可高达 99.4% 以上。

（四）酸性气体治理组合技术

（1）技术名称

酸性气体治理组合技术

（2）技术类别

污染物减排技术

（3）应用现状及适用范围

常规的酸性气体去除组合方式有“半干法+干法”和“半干法+干法+湿法”，其中河北省内沙河海创环保科技有限责任公司、衡水冀州泰达环保有限公司、中节能（曲周）环保能源有限公司、河北锦宝石循环资源开发集团有限公司、顺平县康恒再生能源有限公司等企业均采用“半干法+干法+湿法”酸性气体治理组合技术。酸性气体治理组合技术广泛应用于焚烧炉酸性气体净化系统。

（4）技术内容

① 工艺流程

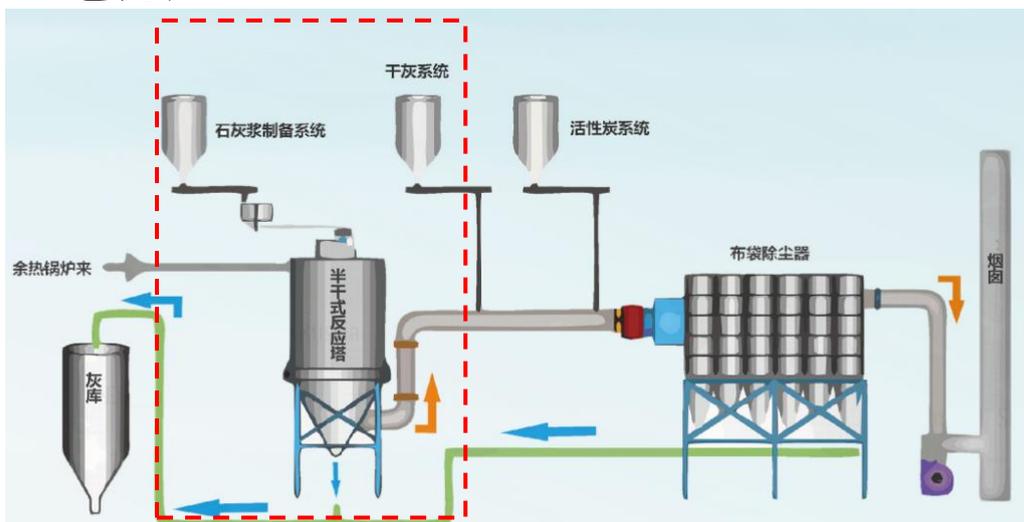


图 5 半干法+干法脱酸工艺（虚线框内）示意图

②主要技术指标

“半干法+干法”脱酸工艺相对简单，投资费用适中，无废水产生，酸性气体去除率可达90%以上。

“半干法+干法+湿法”脱酸工艺相对复杂，投资费用较高，产生含高浓度无机氯盐及重金属的废水，酸性气体去除率达95%以上。

三、氮氧化物脱除技术

目前生活垃圾焚烧烟气氮氧化物脱除（简称脱硝）采用的技术方法主要有选择性非催化还原技术（SNCR）、选择性催化还原技术（SCR）。

SNCR 技术受反应效率所限，氮氧化物控制较低水平时需要大量喷入脱硝剂，会造成较大的氨逃逸。SCR 技术可满足创 A 标准要求，催化剂设计用量与烟气量和 NO_x 浓度成正比，进入 SCR 反应塔的烟气 NO_x 浓度过高会带来催化剂用量的上升和运行成本的增加。因此，上述脱硝技术的组合，可以发挥各自技术优势，形成运行成本和经济效益的最佳结合点，也是当前技术条件下较优的脱硝技术路线。

（一）选择性非催化还原技术（SNCR）

（1）技术名称

选择性非催化还原技术（SNCR）

（2）技术类别

污染物减排技术

（3）应用现状及适用范围

河北省内中节能（石家庄）环保能源有限公司、卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、石家庄厦能炘环保科技有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司、中节能（东光）环保能源有限公司等企业炉内脱硝技术均采用选择性非催化还原技术（SNCR），SNCR 广泛应用于垃圾焚烧炉烟气净化系统。

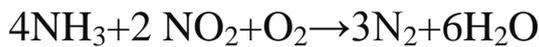
(4) 技术内容

① 技术原理

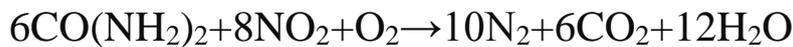
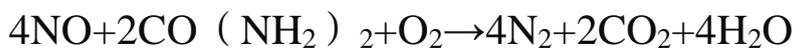
SNCR 技术是一种炉内脱硝技术，是指在不使用催化剂的情况下，在炉膛烟气温度适宜处（850℃ ~ 1150℃）喷入含氨基的还原剂（一般为氨水或尿素等），利用炉内高温促使氨和 NO_x 反应，将烟气中的 NO_x 还原为 N₂ 和 H₂O。SNCR 系统建设周期短，设备投资低，运行维护成本较低，占地面积小，对氮氧化物的去除效率为 40 ~ 60%。

在 850-1150℃ 范围内，NH₃ 或尿素还原 NO_x 的主要反应为：

NH₃ 为还原剂：



尿素为还原剂：



② 关键技术

SNCR 技术的脱硝效率取决于温度、O₂ 含量、CO 含量、停留时间以及烟道中 NO_x 和 NH₃ 的含量。

延长 NH₃ 在反应区域内的停留时间，有助于反应物质扩散传递和化学反应，提高脱硝效率。另一方面，反应温度窗口是应用 SNCR 技术的关键，当反应区域温度过低时，脱硝反应效率会降低，导致大量的氨逃逸；当反应区域温度过高时，NH₃ 会被氧

化形成 NO_x ，造成更为不利的影 响。微量的 O_2 有利于 SNCR 反应的进行， O_2 浓度的上升使反应温度窗口向低温方向移动。

可采用分层安装能独立控制的喷枪组，利用智能实时优化控制系统对 NO_x 产生进行预判，对焚烧工况的变化实时跟踪，根据工况及时调整并分别控制氨水的喷射位置及喷射量，从而达到提高脱硝效率和控制氨逃逸的目的。

③ 工艺流程

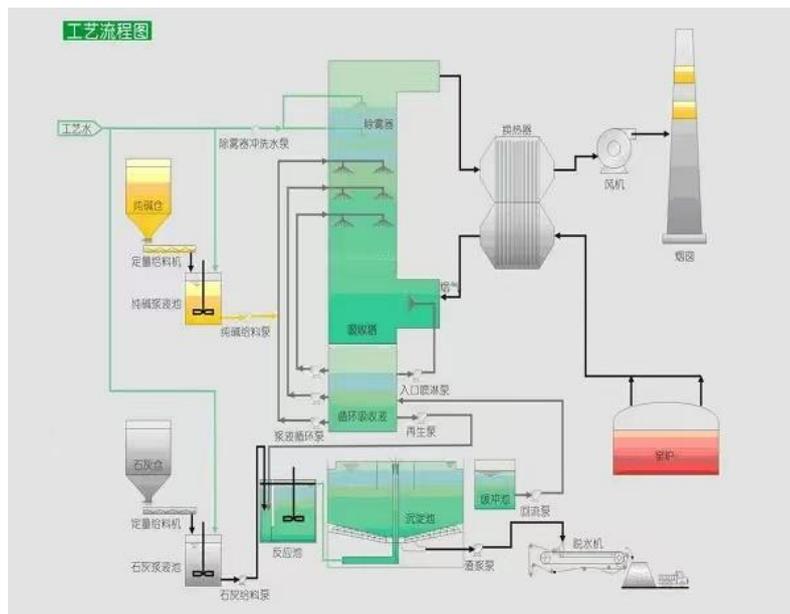


图 6 SNCR 工艺流程示意图

④ 主要技术指标

可以实现 40 ~ 60% 的脱硝效率，降低氮氧化物的产生。

(5) 典型案例

据了解，国内绝大多数的生活垃圾焚烧企业焚烧炉均配置有 SNCR 脱硝设施，且 SNCR 脱硝设施一次性投资很小，管理维护方便。

(二) 选择性催化还原技术 (SCR)

(1) 技术名称

选择性催化还原技术 (SCR)

(2) 技术类别

污染物减排技术

(3) 应用现状及适用范围

河北省内卡万塔(石家庄)新能源科技有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司、中节能(东光)环保能源有限公司、乐亭县锦环新能源有限公司、衡水冀州泰达环保有限公司等企业炉外脱硝采用选择性催化还原技术(SCR)。SCR用于焚烧炉烟气氮氧化物脱除,通常有低温和中温两种催化脱硝工艺,低温进入反应塔烟气温度一般控制在180℃左右,中温一般控制在240℃左右。

(4) 技术内容

① 技术原理

SCR脱硝技术是一种炉外脱硝技术,还原剂采用氨或尿素,催化剂一般为钒钛催化剂。在催化剂的作用下,烟气中的NO_x与还原剂在SCR触媒反应塔内发生氧化还原反应,生成N₂和水,反应的温度一般控制180℃~240℃之间。主要反应为:





②关键技术

a.氨水或尿素喷加系统

氨水或尿素（浓度一般为 20%）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，氨气与烟气接触并充分混合，而后进入装有催化剂的 SCR 反应塔。工艺流程为：氨水或尿素储罐 → 混合器 → SCR 反应塔。

b.SCR 脱硝反应系统

SCR 脱硝反应通常在 SCR 脱硝反应塔内发生。在反应塔中布置多层催化剂材料，由于催化剂材料对 NH_3 和 NO_x 都有很强的吸附作用，大大提高了 NH_3 与 NO_x 接触面积和反应时间；另一方面，催化剂材料中的过渡金属元素价态易变、电子转移迅速，这也大大加速了 NH_3 与 NO_x 的反应进程。采用 SCR 脱硝技术，既可以满足 NO_x 超低排放要求，又可以防止过度氨逃逸。

c.反应温度

SCR 脱硝系统根据催化剂的活性温度区间，可分为中温 SCR 和低温 SCR。中温 SCR 主要采用催化剂活性温度区间为 $210^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ ，低温 SCR 采用的催化剂活性温度区间为 $180^\circ\text{C} \sim 210^\circ\text{C}$ 。由于烟气经过半干法脱酸塔降温和布袋除尘之后，烟气温度在 $145^\circ\text{C} \sim 160^\circ\text{C}$ ，而 SCR 所需温度为 $180^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ ，因此为确保脱硝反应的正常进行，需要将烟气温度整体提升到 SCR 的反应温度区间。

目前主要采用的烟气升温方法有两种：

a)通过烟气换热器(GGH)有效利用系统自身热量来调节 SCR 进口烟温；

b)利用蒸汽烟气换热器(SGH)，抽取汽包蒸汽或汽轮机蒸汽来加热烟气。

③工艺流程

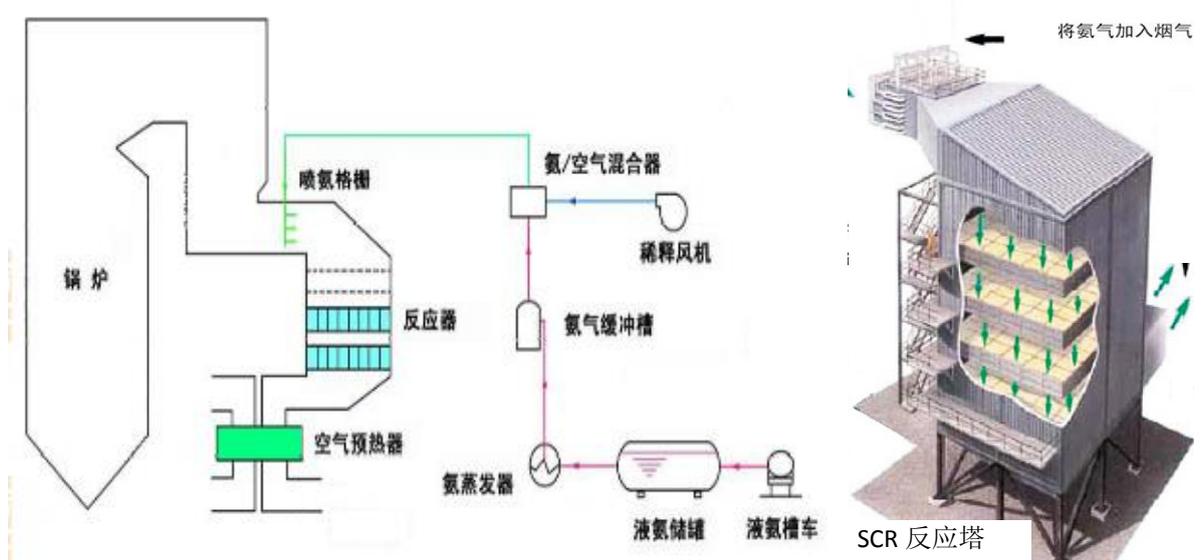


图7 SCR脱硝工艺流程示意图

④主要技术指标

SCR脱硝效率可达到80%以上。

(5) 典型案例

经调研，河北省内52家焚烧炉中，焚烧炉烟气安装SCR脱硝设施的占比达36.4%。

河北省卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、中节能（东光）环保能源有限公司、中节能（石家庄）环保能源有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司等炉外脱硝均采用SCR技术。

经调查各企业近期在线监测数据，各企业氮氧化物日均值排放浓度小于 $80\text{mg}/\text{m}^3$ ，部分时间氮氧化物日均值排放浓度小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

（6）推广前景和减排潜力

SCR 脱硝系统一般与选择性非催化还原（SNCR）技术联合使用，是生活垃圾焚烧行业 NO_x 减排不可或缺的最佳可行技术。我省多家垃圾焚烧发电企业已采用 SCR 脱硝技术。

（三）SNCR+SCR 脱硝工艺的联合脱硝技术

（1）技术名称

SNCR+SCR 脱硝工艺的联合脱硝技术

（2）技术类别

污染物减排技术

（3）应用现状及适用范围

常规的氮氧化物脱除组合方式“SNCR+SCR”广泛应用于焚烧烟气净化系统。河北省内卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司、中节能（东光）环保能源有限公司、乐亭县锦环新能源有限公司、衡水冀州泰达环保有限公司等企业均采用“SNCR+SCR”联合脱硝技术。

（4）技术内容

①技术原理

SNCR+SCR 联合脱硝工艺是将 SNCR 工艺中还原剂喷入炉膛的技术同 SCR 工艺中利用逸出氨进行催化反应的技术结合起

来，从而进一步脱除 NO_x 的工艺。

②主要技术指标

SNCR+SCR 联合脱硝工艺脱硝效率可达到 90%以上，且可降低氨逃逸浓度。

四、颗粒物治理技术

(1) 技术名称

高效袋式除尘技术

(2) 技术类别

污染物减排技术

(3) 应用现状及适用范围

广泛应用于生活垃圾焚烧发电企业烟气净化系统。适用于生活垃圾焚烧发电厂烟气颗粒物脱除和粉料卸料、收集过程扬尘拟制，主要有焚烧烟气、石灰仓卸料扬尘、干粉仓卸料扬尘、活性炭仓卸料扬尘、飞灰仓飞灰收集扬尘等。

河北省内卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司、中节能（东光）环保能源有限公司、乐亭县锦环新能源有限公司、衡水冀州泰达环保有限公司等企业焚烧炉烟气除尘工艺均采用高效袋式除尘技术。

通常焚烧烟气配备覆膜袋式高效除尘器，其他产尘点采用普通袋式除尘器。

(4) 技术内容

① 技术原理

高效袋式除尘技术是利用纤维织物的过滤作用对含尘气体进行过滤，当含尘气体进入袋式除尘器后，颗粒大、比重大的颗粒物由于重力作用沉降下来，落入灰斗；含有较细小颗粒物的气体在通过滤料时，粉尘被阻留，使气体得到净化。

②关键技术

a.气流分配技术

除尘器对气流实行二次分配，即进风总管采用楔形管道，内设置导流板，实现进风总管与各单元进风口流量的一次分配；单元仓室上部设置交叠式导流板，进入到单元仓室内的烟气通过交叠式导流板实现单元进风口与过滤室流量的二次分配。袋顶离进风口上口留有足够合理的净空，滤袋间距经过优化设计，气流通过前部导流后，依靠阻力分配原理自然分布，达到整个过滤室内气流以及各空间阻力的分布均匀，最大限度地减少紊流、防止二次扬尘。

b.低压脉冲喷吹清灰技术

低压脉冲固定喷吹清灰原理是依靠脉冲阀膜片快速开启，在瞬间释放压缩空气，压缩气从喷嘴中高速喷出，引射数倍的周围气体注入袋内，滤袋快速膨胀，袋壁产生很大的加速度，抖落滤饼，从而实现滤袋的清灰。

c.离线清灰/不停机检修技术

为保证清灰更为彻底有效，除尘器在每个单元仓室出风口设置气动阀，可以保证需要清灰的当前仓室单独切断。使清灰不受上升气流的干扰，加速粉尘降落的时间。借助气动阀关闭和灰斗进风口手动调节阀关闭，可以实现当前仓室换袋等检修维护工作，其它工作均在机外执行，可以实现不停机检修。

d.滤料

需要针对不同工段与不同废气性质选择不同的滤料，如：普通通风除尘系统选用涤纶针刺毡；焚烧烟气除尘器选用高效覆膜滤袋。

③工艺流程

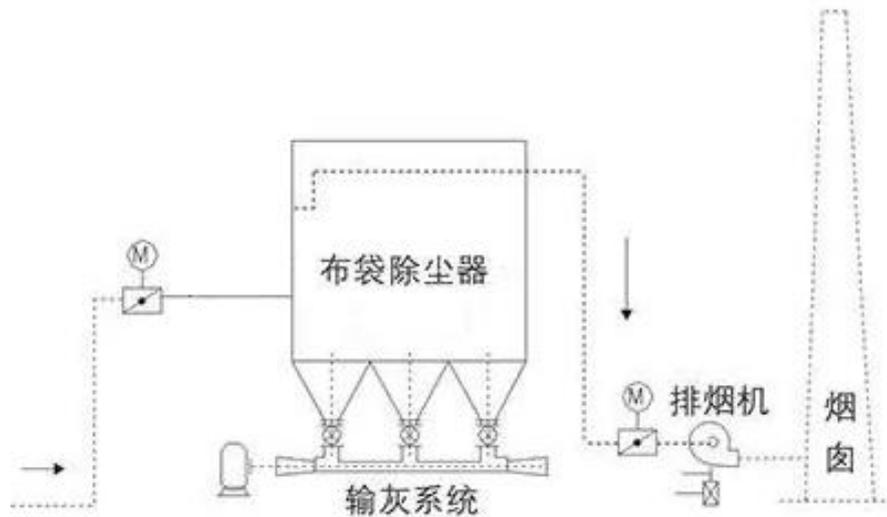


图9 高效袋式除尘器技术流程图示意图

含尘气体进入除尘器，经除尘器滤料过滤净化后进入后续烟气净化设备。

④主要技术指标

袋式除尘器除尘效率达到 99.9% 以上，出口粉尘排放浓度可达 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

当颗粒物排放限值要求 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下时，一般烟气经过滤袋的过滤风速控制在 $0.8\text{m}/\text{min}$ 以下；要求 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下时，过滤风速控制在 $0.7\text{m}/\text{min}$ 以下。

（5）典型案例

河北省内生活垃圾焚烧发电企业焚烧烟气中颗粒物治理均

采用覆膜滤袋除尘器，经调查中节能（东光）环保能源有限公司、卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、中节能（石家庄）环保能源有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司在线监测数据，近期各企业烟气颗粒物排放日均值浓度小于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ；其它产尘设备除尘器采用普通布袋除尘器，排气粉尘浓度小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

（6）推广前景和减排潜力

该技术可以应用于生活垃圾燃烧烟气净化和粉料仓等生产过程扬尘拟制，具有明显的减排效果。

五、二噁英类污染物治理技术

(1) 技术名称

“3T+E”+活性炭喷射脱除二噁英类污染物技术

(2) 技术类别

污染物减排技术，控制焚烧厂烟气中二噁英类的排放，可从控制来源、减少炉内形成、避免炉外低温区再合成以及提高尾气净化效率四个方面着手。

(3) 应用现状及适用范围

广泛应用于生活垃圾焚烧发电行业焚烧烟气中二噁英类污染物脱除。

河北省内卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司、中节能（东光）环保能源有限公司、乐亭县锦环新能源有限公司、衡水冀州泰达环保有限公司等企业均采用“3T+E”+活性炭喷射技术脱除焚烧炉烟气中的二噁英类污染物。

(4) 技术内容

① 技术原理

a. 焚烧物源头控制

避免含二噁英类物质（如多氯联苯）以及含有机氯(PVC)高的废物（如医疗废物、农用地膜）进入焚烧炉。另外对垃圾入炉前的匀化或预处理，可使入炉垃圾燃烧充分，从而减少二噁英产生。

b.减少炉内合成

控制二噁英前驱物的多相催化合成:

“3T+E”技术,即炉膛内焚烧温度(Temperature)、烟气停留时间(Time)、烟气湍流强度(Turbulence)、过量空气(Excess-Air),确保生活垃圾焚烧烟气中不完全燃烧产物的分解,从而抑制焚烧过程中二噁英等污染物的生成。

焚烧炉炉膛主控温度区烟气温度:不低于850℃;

炉膛主控温度区烟气停留时间:不低于2.0秒;

炉膛主控温度区烟气湍流强度:合理确定二次风口布置方案、喷射角度和喷射速度,保证充分的烟气湍流度;

过量空气:一般情况下锅炉出口烟气中O₂含量控制在6~10%。

c.减少炉外低温再合成

炉外低温再合成现象多发生在余热锅炉内(尤其在省煤器的部位)以及粒状污染物控制设备之前。二噁英炉外低温再合成的最佳温度区间为200℃~400℃,主要生成机制为铜或铁的化合物在飞灰的表面催化了二噁英类的前驱体物质(如苯、氯苯、酚类、烃类等)而合成二噁英类。在工程上可采取各种措施减少二噁英的炉外再次合成,如减少烟气在200℃~400℃之间的停留时间,改善焚烧工艺减少生成二噁英的前驱体物质,减少飞灰在设备内表面的沉积从而减少二噁英生成所需要的催化剂载体等等。

d.提高烟气净化效率

二噁英主要以固态（吸附于固体颗粒上）和气态两种形式存在于烟气中，通过喷射活性炭粉末对气态二噁英和吸附于超细粉尘上的二噁英进行吸附，随后活性炭颗粒在除尘器中被除下。通过提高除尘器除尘效率可以提高二噁英的去除效率。

目前常用的烟气净化措施为“活性炭喷射+布袋除尘器”工艺，通过喷入一定量活性炭粉，将二噁英吸附，并通过布袋除尘器将活性炭和飞灰颗粒从烟气中分离，达到减少二噁英排放的目的。

②关键技术指标

活性炭比表面积不低于 $900\text{m}^2/\text{g}$ ，碘吸附值不低于 $800\text{mg}/\text{g}$ ，活性炭投加量不低于 $0.4\text{kg}/\text{吨入炉垃圾}$ 。

六、重金属污染治理技术

(1) 技术名称

“活性炭吸附+袋式除尘” 重金属污染治理技术

(2) 技术类别

污染物减排技术

(3) 应用现状及适用范围

广泛应用于生活垃圾焚烧发电行业焚烧烟气重金属污染治理。河北省内卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司、中节能（东光）环保能源有限公司、乐亭县锦环新能源有限公司、衡水冀州泰达环保有限公司等企业均采用“活性炭吸附+袋式除尘”技术脱除焚烧炉烟气中的重金属污染物。

(4) 技术内容

① 技术原理

焚烧烟气中重金属主要以气态或吸附态形式存在。气化温度较高的重金属及其化合物在烟气处理系统降温过程中凝结成粒状物质，然后被除尘设备收集去除；气化温度较低的重金属元素无法充分凝结，但飞灰表面的催化作用可能使其转化成气化温度较高、较易凝结的金属氧化物或氯化物，从而被除尘设备收集去除；其余以气态存在的重金属物质，将被吸附于飞灰上或被喷入的活性炭粉末吸附而被除尘设备一并收集去除。

② 关键技术指标

活性炭比表面积不低于 $900\text{m}^2/\text{g}$ ，碘吸附值不低于 $800\text{mg}/\text{g}$ ，
活性炭投加量不低于 $0.4\text{kg}/\text{吨}$ 入炉垃圾。

七、恶臭污染物治理技术

(一) 活性炭除臭技术

(1) 技术名称

活性炭除臭技术

(2) 技术类别

污染物减排技术

(3) 应用现状及适用范围

河北省内卡万塔（石家庄）新能源科技有限公司、沙河海创环保科技有限责任公司、中节能（东光）环保能源有限公司、乐亭县锦环新能源有限公司、衡水冀州泰达环保有限公司等企业均采用活性炭除臭技术去除焚烧炉停运期间生活垃圾卸料、贮存设施和渗滤液收集、处理设施产生的恶臭污染物。

活性炭除臭技术广泛应用于生活垃圾焚烧发电厂恶臭气体的治理。

(4) 技术内容

① 技术原理

活性炭吸附法是利用活性炭对气体具有强吸附能力的作用吸附去除恶臭物质的方法。

② 关键技术

活性炭比表面积不低于 $900\text{m}^2/\text{g}$ ，碘吸附值不低于 $800\text{mg}/\text{g}$ 。

③ 主要技术指标

焚烧炉停运期间，生活垃圾卸料、贮存设施和渗滤液收集、处理设施产生的恶臭气体经活性炭等有效除臭工艺处理后可达

标排放。

（二）直接燃烧除臭技术

（1）技术名称

直接燃烧除臭技术

（2）技术类别

污染物减排技术

（3）应用现状及适用范围

广泛应用于生活垃圾焚烧发电厂恶臭气体的治理

（4）技术内容

①技术原理

直接燃烧法是在燃烧炉中用喷嘴加热恶臭气体到着火点以上，使恶臭气体氧化分解为无臭的气体和而脱臭的方法。

②关键技术

保证燃烧温度与滞留时间。若燃烧温度保持时间较短，会引起不完全燃烧，可能生成乙醛、丙烯醛等中间生成物，产生恶臭气体。滞留时间随着燃烧物质、燃烧方法和燃烧温度而变化。如果燃烧温度上升，氧化反应速度将急剧加快，所需要的滞留时间也会缩短。

③主要技术指标

对生活垃圾卸料、贮存设施和渗滤液收集、处理设施产生的恶臭气体进行有效收集，送入焚烧炉焚烧，可有效去除生活垃圾焚烧发电企业内产生的恶臭气体。

④恶臭控制措施

a.焚烧炉正常运行时垃圾坑恶臭控制及除臭

进厂垃圾在垃圾坑中停放时间较长，大约为 7 天，在堆放过程中，会产生硫化氢、硫醇等含有窒息性的恶臭和有毒物质气体，为了减少垃圾坑臭气外逸污染环境，在垃圾坑上部设一次风吸风口，焚烧炉一次风机抽取坑中的臭气供焚烧炉作为一次风，使垃圾坑区域处于负压状态，防止臭气外溢。

b.焚烧炉非正常运行时垃圾坑恶臭控制及除臭

在停炉检修时，由设置的专用排风系统抽取垃圾坑臭气，以保证垃圾坑负压，抽出的臭气送入除臭间内的除臭装置处理后排入大气，以避免臭气外溢。

c.渗滤液处理恶臭控制措施

渗滤液处理设施中产生臭气区域主要为渗滤液收集间、调节池（包括渗滤液格栅）、厌氧反应器、MBR 生化池、浓缩液处理车间（包括污泥储池、脱水清液池、污泥浓缩池、清液池）、污泥脱水车间，上述区域通过密闭和排风罩抽排收集臭气，并输送至垃圾储坑后作为焚烧炉一次进风。