

附件 2

环 境 保 护 技 术 文 件

钢铁行业烧结、球团工艺污染防治可行技术指南(试行)

Guideline on Best Available Technologies of Pollution Prevention and Control

for Sintering and Pelletizing Process of the Iron and Steel Industry

(on Trial)

环 境 保 护 部 发 布

前言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》，防治环境污染，完善环保技术工作体系，制定本指南。

本指南以当前技术发展和应用状况为依据，可作为钢铁行业烧结、球团生产污染防治工作的参考技术资料。

本指南由环境保护部科技标准司提出并组织制订。

本指南起草单位：中钢集团天澄环保科技股份有限公司、北京市环境保护科学研究院、中冶建筑研究总院有限公司。

本指南由环境保护部解释。

目 录

1 总则.....	1
1.1 适用范围.....	1
1.2 术语及定义.....	1
2 生产工艺及污染物排放.....	1
2.1 烧结生产工艺及产污环节.....	1
2.2 球团生产工艺及产污环节.....	2
2.3 污染物排放.....	4
3 烧结、球团工艺污染防治技术.....	5
3.1 工艺过程污染预防技术.....	5
3.2 颗粒物治理技术.....	9
3.3 二氧化硫治理技术.....	11
3.4 氮氧化物及二噁英治理技术.....	14
3.5 烧结工艺污染防治新技术.....	15
4 烧结、球团生产工艺污染防治可行技术.....	16
4.1 烧结、球团生产工艺污染防治可行技术组合.....	16
4.2 工艺过程污染预防可行技术.....	17
4.3 颗粒物治理可行技术.....	18
4.4 二氧化硫治理可行技术.....	21
4.5 氮氧化物和二噁英治理可行技术.....	24
5 技术应用中的注意事项.....	26
5.1 一般要求.....	26
5.2 生产工艺污染预防注意事项.....	26
5.3 颗粒物治理技术注意事项.....	27
5.4 二氧化硫治理技术注意事项.....	27
5.5 氮氧化物和二噁英治理技术注意事项.....	28

1 总则

1.1 适用范围

本指南适用于具有烧结工艺和球团工艺的钢铁企业。

1.2 术语及定义

1.2.1 烧结生产工艺

是按高炉冶炼的要求把准备好的铁矿粉、熔剂、燃料及代用品，按一定比例经配料、混料、加水润湿，再制粒、布料点火、借助风机的作用，使铁矿粉在一定的高温作用下，部分颗粒表面发生软化和熔化，产生一定的液相，并与其他未熔矿石颗粒作用，冷却后，液相将矿粉颗粒粘成块的生产过程。

1.2.2 球团生产工艺

是一种提炼球团矿的生产过程。球团矿生产就是把细磨铁精矿粉或其他含铁粉料添加少量添加剂混合后，在加水润湿的条件下，通过造球机滚动成球，再经过干燥焙烧，固结成为具有一定强度和冶金性能的球型含铁原料。

2 生产工艺及污染物排放

2.1 烧结生产工艺及产污环节

烧结是把粉状含铁物料制成具有良好冶金性能，并向高炉提供优质原料的人造块矿的过程。将各种粉状含铁原料配入一定比例的燃料（焦粉、无烟煤）和熔剂（石灰石、生石灰或消石灰），加入适量的水，经混合造球后平铺到烧结设备上，矿料经 1200℃~1400℃ 高温（通过燃料燃烧产生的）焙烧，发生一系列物理化学反应，部分熔融成液态，将矿粉颗粒黏结起来，冷却后成为形状不规则的多孔质块矿，再经破碎、冷却、筛分整粒后，供高炉使用。

烧结工艺主要包括：原料的破碎筛分、配料混合与制粒、烧结、烧结矿的冷却和筛分整粒，最终得到粒度为 5~50mm 的成品烧结矿。

烧结生产的主要方法有抽风烧结、鼓风烧结；烧结过程有连续式和间歇式；烧结设备的主要型式有带式烧结机、环式烧结机。目前，广泛使用能连续生产的抽风带式烧结机。这种工艺和设备产量高，机械化程度高，原料适应性强，适用于大型化和自动化生产场合。

烧结工艺在物料混合、烧结、破碎、冷却、筛分、储运等生产过程中，产生的主要污染物为颗粒物和二氧化硫，也产生少量的氮氧化物和二噁英等有害物质。

烧结生产工艺流程及产污环节见图 1。

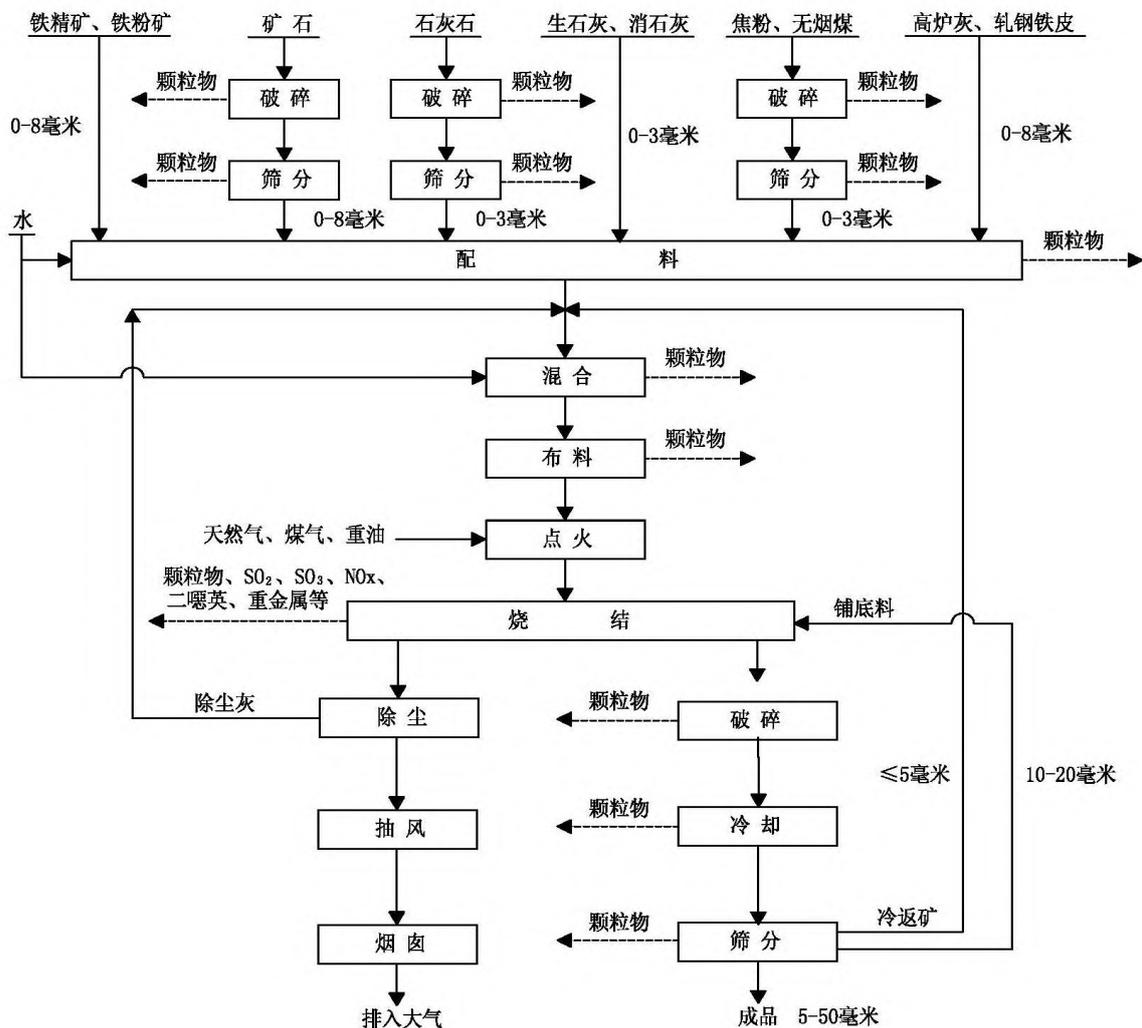


图 1 烧结生产工艺流程及产污节点图

2.2 球团生产工艺及产污环节

球团生产工艺与烧结基本相同，是一种通过高温气体焙烧过程把细磨（粒径小于 0.074mm）的铁精矿粉（或其他含铁粉料）人工制造球团的方法。将细磨铁精矿粉（或含铁原料）和少量添加剂（膨润土、消石灰、石灰石、白云石）按一定配比均匀混合，用造球机制成直径 9~16mm 的球体，在焙烧设备上，通过高温气体的焙烧，混合料生球，经干燥—预热—结晶后固结为球团矿。球团生产工艺由于采用热烟气循环工艺，充分利用烟气余热，能耗与污染物排放较烧结少，是国家鼓励发展的生产技术。

球团生产过程主要包括：原料的干燥研磨、配料混合、造球筛分、干燥预热、焙烧固结、球团矿的冷却筛分和成品矿的处理。

球团焙烧的主要工艺设备有带式焙烧机、链篦机-回转窑和竖炉三种。带式焙烧机和链篦机-回转窑工

艺的加热温度易于控制，对原料的适应性强，单机生产能力较大，适用于大型球团厂；竖炉结构简单，单机生产能力小，主要用于磁铁矿的生产，适用于中小球团厂。

带式焙烧机和链篦机-回转窑两种球团生产工艺流程及产污节点分别见图 2 和图 3。

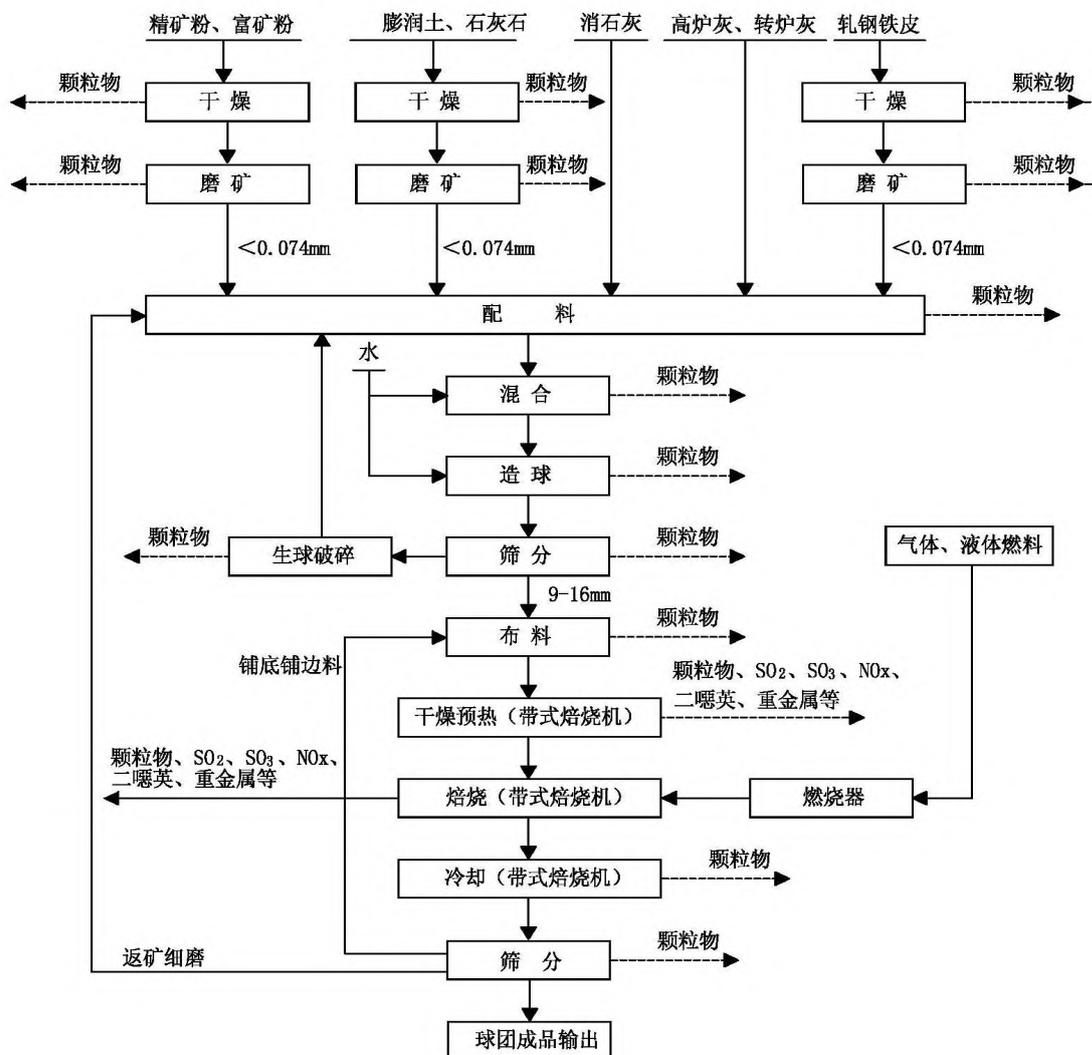


图 2 球团生产工艺流程及产污节点图（带式焙烧机）

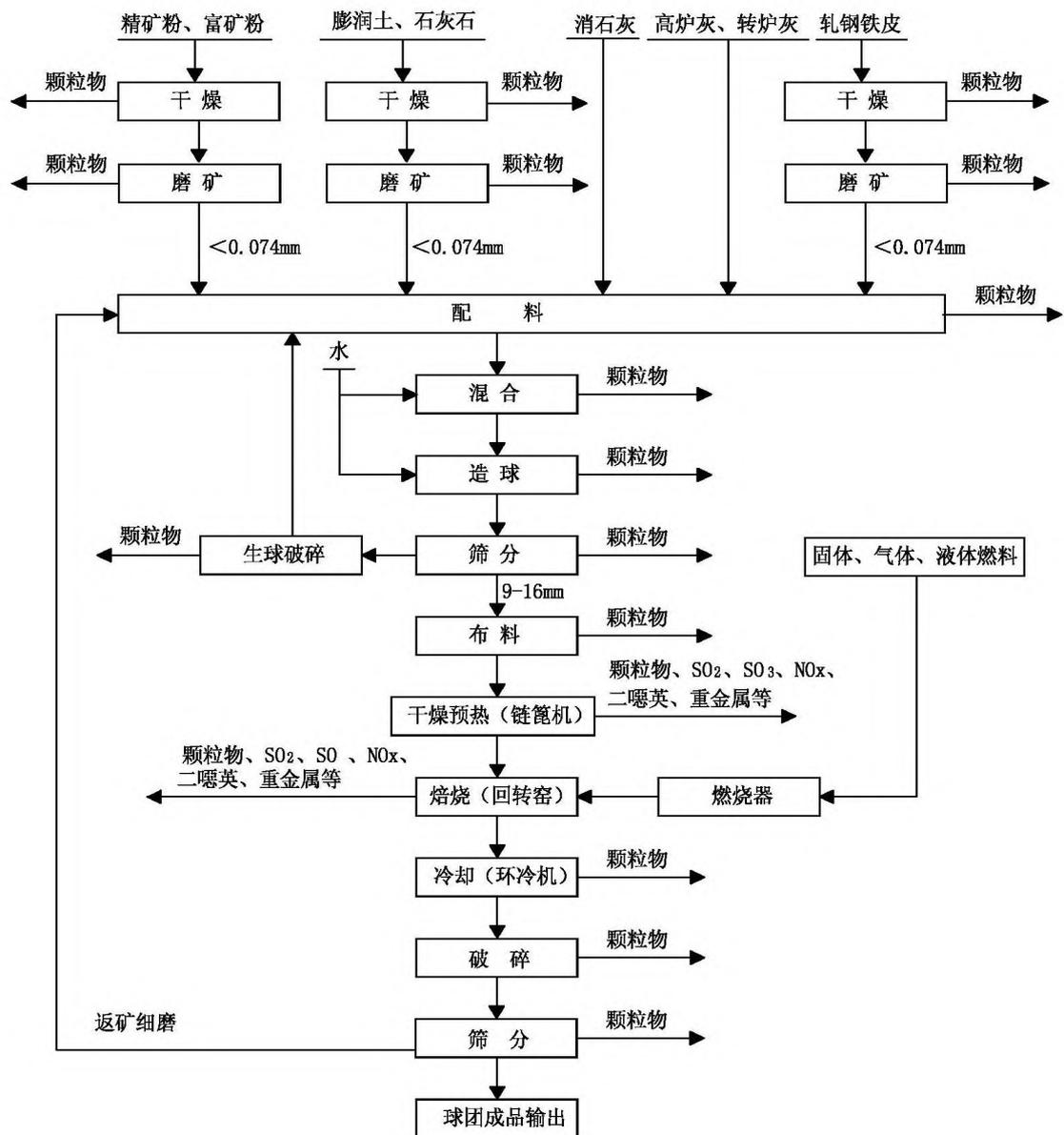


图 3 球团生产工艺流程及产污节点图(链篦机-回转窑)

球团生产工艺的物料在研磨烘干、混合、焙烧、冷却、破碎、筛分、储运等生产过程中，产生的主要污染物与烧结工艺类似，主要有颗粒物和二氧化硫，也产生少量的氮氧化物和二噁英等有害物质。

2.3 污染物排放

烧结、球团生产工艺产生的污染主要包括大气污染、水污染、固体废物污染和噪声污染。其中大气污

染是主要环境问题。

2.3.1 大气污染

烧结、球团工艺的大气污染主要有颗粒物和有害气体，针对不同的污染物需采取专项技术措施进行治疗。

烧结、球团生产的主要气体污染物见表 2-1。

表 2-1 烧结、球团各工序产生的主要污染物

序号	生产工序	污染物来源	主要污染物
1	原料准备	原料的装卸、堆取、输送、破碎、筛分、干燥	颗粒物
2	配料混合	原料存贮、配料、混合、造球	颗粒物
3	烧结（焙烧）	含铁原料、燃料和熔剂在高温下烧结（焙烧）	颗粒物、SO ₂ 、SO ₃ 、NO _x 、二噁英、重金属、氟化物、氯化物等
4	破碎冷却	物料破碎、冷却	颗粒物
5	成品整粒	物料破碎、筛分、储运	颗粒物

2.3.2 水污染

烧结、球团工艺产生的废水主要来自冲洗地坪水和设备冷却水。产生量较少、成份简单，经过冷却、沉淀等简单处理可回用。

2.3.3 固体废物污染

烧结、球团工艺产生的固体废物主要为除尘器收集的灰尘和生产工艺中散落的物料。这些灰尘和物料可回收，并作为烧结原料回用。

2.3.4 噪声污染

烧结、球团工艺的噪声源主要来自于高速运转的设备，包括各类风机、破碎机、振动筛、振动给料机等设备。其中较为严重的是风机产生的噪声。在采取措施前，风机噪声最大声级可达 115 dB (A)。其他噪声源强通常为在 95dB(A)以下。噪声污染源较单一，通过设置消音器、密闭消音、隔离等相应措施，可以得到有效的控制。

3 烧结、球团工艺污染防治技术

3.1 工艺过程污染预防技术

3.1.1 铺底料烧结技术

铺底料烧结技术，是在烧结机上铺放厚度为 20~40mm、粒度为 10~20mm 的烧结矿作为铺底料，然后在底料上铺放生料进行烧结的技术。

铺底料烧结技术具有以下优点：避免高温的烧结带与篦条直接接触，可以保护设备，保持炉篦气流分布均匀，底料组成的过滤层，可防止细颗粒料从篦条缝隙抽走，减少烟气含尘量，减轻除尘设备的负荷，延长风机叶轮及壳体的寿命。

3.1.2 厚料层烧结技术

厚料层烧结技术是加高烧结机台车栏板，增加料层厚度进行烧结。厚料层烧结时，机速减慢，表层供热充足，烧结矿粉化率降低，减少了废气中的含尘量；由于厚料层的“自动蓄热作用”，燃料消耗降低，废气量相应减少。根据生产实践，料层每增加 10mm，燃料能耗可以降低 1~3Kg/t 烧结矿。通常，厚料层烧结布料厚度在 400mm 以上，以铁精矿为主的采用小球烧结法时，料层厚度等于或大于 580mm，以铁粉矿为主时，料层厚度等于或大于 650mm。

为保证厚料层烧结操作运行的稳定性和烧结矿的质量，可通过优化原料的结构、改进混合料粒度组成、强化混合制粒、提高混合料温度、使用偏析布料和松料装置、改善装料粒度分布及密实度等方式提高料层透气性。

3.1.3 余热利用技术

3.1.3.1 烧结冷却机（或机头）废气循环技术

烧结冷却机（或机头）废气循环技术是将烧结冷却机（或机头）产生的热废气收集后回用于烧结工序的技术。废气循环技术主要有以下两种工艺：

热风烧结技术：将热废气通过连接管道送到烧结密闭罩内，废气携带的热量抽入到烧结料层，可干燥加热料层，起到热风烧结的作用。这种工艺的优点是：增加了上层烧结矿加热时间，降低燃料的用量，提高了烧结矿表层的强度，减少了成品矿的粉化率和废气中的含尘量，也减少了废气排放量。烧结冷却机高温段烟气温度一般为 350℃~420℃，用于前段热风烧结，可降低 10%~15% 固体燃料用量。

热风助燃技术：将冷却机废气除尘净化后，送至点火器空气管内，热废气所带入的热量提高了助燃气的温度，节约了点火燃料，也减少了废气的排放。热风助燃一般可节约点火燃料 10% 以上。

烧结机头废气单独循环时，需混合一定量的空气或氧气，以保证热气体的含氧量，满足烧结燃料燃烧的所需氧量。

废气循环方法可分为整体循环和分段循环，整体循环是将废气量 40%~45%循环到整个烧结机，分段循环法是按照从高温向低温传热的原则，抽取高温段风箱的烟气循环到低温烧结段。

废气循环技术在减少废气排放量和污染物的同时，缩减了烧结烟气脱硫装置的规模，减少了脱硫装置一次投资及运行成本。但是，废气循环系统提高了对运行管理水平的要求。

3.1.3.2 废气余热发电（蒸汽）技术

废气余热发电（蒸汽）技术是回收烧结冷却机（或机头高温段）热废气，经除尘处理后，通过余热锅炉回收废气中的热能，产生蒸汽或发电。产生的蒸汽可用于预热混合料或厂区供热，所发电能可并网输送或厂区自用。该技术可回收余热，降低烧结燃料消耗，也间接减少了污染物排放。

是否利用余热发电，需评估投入产出的合理性。烟气余热温度超过 300℃时，回收产生的蒸汽发电效益较好；低于 280℃时，则技术经济可行性较差。冷却机废热烟气在采用热风再循环后温度可达 350℃~400℃，适用于余热发电。一般情况下，每吨烧结矿可产生蒸汽 0.1~0.15t（2.0MPa、320℃），发电 25kwh。

3.1.4 低温烧结技术

低温烧结技术是控制烧结最高温度不超过 1300℃，通常在 1250℃~1280℃范围内，通过采取一系列工艺措施（细化原料粒度和组成、低水低碳厚料层、高碱度等），生成强度高、还原性强的针状铁酸钙为黏结相，烧结矿中含有较高比例的还原性好的赤铁矿的烧结方法。与普通熔融型（烧结温度大于 1300℃）烧结矿相比，具有强度高、还原性好、低温还原粉化率低等优点。由于燃料的消耗减少，除尘负荷低，直接和间接降低了污染物的排放量。该技术对原（燃）料准备和操作条件要求较高，还需要总结更多大规模应用的经验。

3.1.5 小球烧结技术

小球烧结技术是采用圆盘或圆筒造球设备，将混合料制成大于 3mm 占 75%以上的小球，然后在小球表面再滚上固体燃料（焦粉或煤粉），进行烧结的方法。小球粒度均匀，强度高，料层透气性较好，阻力小，可在较低的负压下实施厚料层烧结，能耗和成本都较低，可节约抽风电耗约 40%。料层中粉末少，烟气中含尘浓度低。

此方法采用了燃料分加技术。通常，小球外煤粉为主（70%~80%），小球内添加少量煤粉（20%~30%），抑制了矿粉包裹焦粉，造成焦粉不能充分燃烧的现象。燃料分布更加合理，改善了燃烧条件，减少了污染物的排放。

3.1.6 偏析布料技术

烧结料层具有蓄热作用，下部温度高于上部温度，这会使下部烧结料发生过烧现象，既影响产品质量又浪费了燃料。偏析布料技术是通过采用格筛、电振给料、改进布料装置结构等技术，使需要较多热量的大颗粒进入下部料层，或采用多层布料方式，使固体燃料在料层上产生偏集（混合料中上层燃料高于下层燃料），使燃料能量得到充分的利用，从而降低燃料的消耗。

在混合制粒过程中，通过在一次混合、二次混合时分别添加焦粉（燃料分加），限制一次混合时焦粉为核心外滚矿粉的颗粒数量，加强二次混合时燃料附着在球粒表面的数量，通过燃料偏析的作用，改善燃烧条件，降低燃料消耗，减少污染排放。

3.1.7 除尘灰集中回用技术

根据各种除尘灰量和成分，结合烧结其他原料的条件，对各种除尘灰进行配比混合，在一定水分的条件下将混合除尘灰造球，供给烧结二次混合机。

除尘灰集中回用技术可有效回收除尘灰中有用物质，减少固体废物处理处置费用。回用时，需合理控制回用到烧结二次混合机的除尘灰数量，避免烧结矿中碱金属、锌的含量偏高，造成高炉冶炼中出现结瘤现象。特别是烧结机头电除尘器末端电场的除尘灰、高炉的二次灰、电炉的除尘灰的回用，要控制 Zn、K、Na 的含量满足烧结矿要求，保证机头电除尘器的正常生产。

3.1.8 原料场挡风抑尘技术

原料场的主要污染物是颗粒物。根据工艺设施布置和各种粉尘的特性，可采用多种方法组合抑尘，包括采用防尘网、机械抽风除尘、原料洒水、种植高低层次树木等措施，进行挡风抑尘。

当原料加湿后不影响原料的理化特性时，应优先采用以调节原料含水量为主的抑尘措施。如卸料点洒水和原料输送过程中加湿的组合加湿方法，控制原料含水率 6~10%，保持原料的最佳湿度，抑制扬尘。

有条件的企业可建设全封闭式料仓。

3.1.9 调整操作工艺减少污染排放的技术

从源头控制污染物是一种经济有效的技术措施，应尽可能降低原（燃）料和熔剂中硫、氟、砷、碱金属等的含量。

首先，应采用优质矿石和低硫煤。其次，通过洗涤或分选的方式，减少烧结原（燃）料带入的含氯、含油污等前驱体化合物。再之，由于铜对二噁英的生成具有强催化作用，应优先使用含铜量低的铁矿石原

料，降低二噁英排放。需要注意，含氯废水不宜用于冲洗轧钢氧化铁皮，不宜采用 CaCl_2 喷洒料场抑尘。

3.2 颗粒物治理技术

3.2.1 电除尘技术

电除尘（静电除尘）技术是在电极上施加高电压后使气体电离，形成电子和离子，进入电场空间的烟尘与电子和离子相碰撞后荷电，在电场力的作用下向相反电极性的极板移动，并沉集在极板上的方法。然后，通过振打等方式将沉积在极板上的灰尘清除落入灰斗，使含尘气体与粉尘在电场中实现分离。

电除尘技术目前已较成熟，是净化颗粒物广泛应用的高效除尘技术之一。电除尘器对烟气温度波动适应性较强，可以用于烧结工艺各工序的除尘。电除尘器内通常采用碳钢材料，尤其适用于温度较高（ $100\text{ }^\circ\text{C}\sim 180\text{ }^\circ\text{C}$ ）、烟气量波动的烧结机头烟气除尘。电除尘器运行维护量较小，但对制造、安装、运行、维护都有较高要求。

电除尘器除尘效率能达到 99.9% 以上。如果合理配置，电除尘器排放粉尘浓度可小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。通过增加电场数量、降低电场风速、增加比集尘面积、优化供电电源、增加辅助清灰等措施，电除尘器的排放浓度可以进一步降低。

烧结机头烟气中粉尘比电阻较高，通常在 $10^{12}\sim 10^{13}\Omega\cdot\text{cm}$ 之间，这将导致电除尘器电极上形成绝缘层，出现反电晕现象，降低电除尘器效率。采用 400~500mm 宽极距电除尘技术，可提高电场电压，有效控制高比电阻的反电晕现象。

3.2.2 袋式除尘技术

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分离。当含尘气体进入袋式除尘器后，粒径大、比重大的粉尘在重力作用下沉降，落入灰斗；携带烟尘的气体通过滤料时，细小粉尘被阻留在滤料上，气体通过滤料，从而尘气分离，使含尘气体得到净化。

袋式除尘器属高效除尘设备，广泛应用于粉尘的净化过程。袋式除尘器对粉尘比电阻变化适应性强，适用于温度和水分不高且波动不大的原料系统、烧结机尾、整粒和成品系统尘源点烟气的净化。但是，袋式除尘器不适用于温度高、湿度大、含有腐蚀性气体的烧结机头烟气。粉尘和烟气成分不同时，袋式除尘器可能需要采用不同的滤料。滤袋破损时需要更换，运行维护工作量较大，对制造、安装、运行、维护都有较高要求。

袋式除尘器的除尘效率可以达到 99.9% 以上，烟气排放粉尘可控制在 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 以内，甚至可达 $10\text{mg}/\text{m}^3$

以下。

袋式除尘器的清灰方式主要有脉冲清灰、反吹风清灰、机械振打清灰方式。脉冲清灰方式具有清灰效果好、净化率高、长期运行稳定等优点。脉冲清灰对控制系统和维护管理水平的要求较高。

3.2.3 电袋复合除尘技术

电袋复合式除尘技术是将静电除尘和袋式除尘有机结合的组合型除尘技术。常见的电袋复合式除尘器有两种结构。一种结构是除尘器前端设置电场，后端设置袋式除尘装置。前端电场的预除尘作用和荷电作用可减少后级袋式除尘器的过滤负荷，可预收烟气中 70%~80%以上的粉尘量，同时由于前端的预荷电作用滤料上粉尘层变得疏松，细微粉尘凝聚成较大颗粒，可减少后端袋除尘器运行阻力，提高滤袋的清灰效果。另一种结构是电除尘器的电极与袋式除尘器的滤袋混合交叉布置，使电场荷电与滤袋收尘有机结合，强化荷电与过滤的结合，改善了布袋的运行条件，提高组合型除尘器的性能。前电后袋结构已在电力行业应用，电袋混合结构也已进行了小型工业示范。

电袋复合式除尘器适应性较强，净化效率高，烟气排放粉尘可控制在 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 以内，但对制造、安装、运行及维护都有较高要求。考虑到电场作用，电袋复合式除尘器应选择抗氧化、抗腐蚀性强的滤料。

电袋复合式除尘技术适用于新建及原有除尘系统技术改造（除机头以外），对电除尘器升级改造具有优势。改造时可利用原电除尘器和壳体结构，降低钢材消耗，缩短施工周期，改造成本相对较低，不占用新的厂区面积。

3.2.4 尘源密闭技术

尘源密闭是粉尘控制的基本措施。尘源密闭技术是采用密闭罩的方式将含尘气体捕集收集在密闭罩的容积内，之后通过管道和风机将含尘气体送到除尘器进行净化。设计合理的尘源密闭罩能够有效抑制尘源点粉尘的弥漫扩散，可以将需处理含尘气体量控制在最小规模，降低净化系统的规模。密闭罩有局部密闭罩、整体密闭罩和大容积密闭罩等形式。

局部密闭罩：是将生产设备的产尘点局部地密闭起来，生产设备的其他部分留露在密闭罩外。局部密闭罩的特点是容积较小，适用于尘源扩散速度较慢、尘源集中、产尘时间连续、波动较小的情况，例如皮带输送机的落料点等场合。

双层密闭罩是针对皮带受料点尘源控制广泛应用的一种局部密闭罩。双层密闭罩设有两层罩体，物料溜槽与内层罩体连接，物料从溜槽下落后，内层罩体首先对物料和含尘气体阻挡、泄能和围栏，减小含尘气体外溢压力，再通过外层罩体上的抽风口将含尘气体送到除尘器。这种结构能的特点是尘源控制效果好，

抽风量小，大幅度减少抽吸大颗粒粉尘的现象。

整体密闭罩：是将产生设备的大部分密闭起来，只把产生设备的传动部分留在罩外。整体密闭罩适用于机械振动大、不易局部密封、含尘气流扩散速度较大和产生面大的尘源，如振动筛等。

大容积密闭罩：是将产生设备或局部生产区域全部密闭起来，其特点是罩内容积大，可缓冲较大的含尘气流，减少局部正压，可通过罩体上设置的观察孔来监视生产设备的运行。生产设备的维修可在罩内进行。大容积密闭罩适用于尘源面积大面多、含尘气流速度大以及设备检修频繁的情况。

密闭罩的选择要根据工艺操作条件、设备的维修以及车间的布置等条件来确定。一般应优先考虑采用局部密闭罩，因为此罩型的排风量小、材料消耗少，是最经济的尘源密闭形式。

3.2.5 卸输灰密闭技术

除尘器收集的灰尘颗粒细、比重轻，在卸灰、运输、存储过程中，易产生二次扬尘。需要采取卸输灰密闭技术加以控制。卸输灰密闭技术主要包括以下几种。

加水搅拌润湿技术：在卸灰时，通过向螺旋卸灰搅拌机中添加水，润湿粉尘，从而控制粉尘卸灰时的扬尘。这种技术设备简单，操作方便，投资小，适用于灰量不大的除尘器卸输灰点。

密闭罐车吸引压送技术：采用配备有真空吸引泵的密闭罐车，罐车通过管道直接与除尘系统灰仓连接，利用真空泵的抽力，将粉尘从灰仓卸输到密闭罐车，形成卸灰过程的全密封。此方法操作简单，密封性好，能够有效控制卸灰过程粉尘的外溢，是值得广泛推广的技术之一，但投资相对较大。

移动卸灰技术：采用可上下位移的卸灰螺旋，根据受灰汽车位置的高低控制卸灰点高度，将灰尘卸落到汽车的落差控制到最小程度，从而减少卸灰产生的扬尘。此方法投资少，设备简单，抑尘效果显著。

气力输送技术：借助空气或气体在管道内的流动将从灰斗内排出的灰输送至灰仓的方法。卸灰装置将灰斗内的灰卸出后，压缩空气将其吹入输灰管道，气固混合的“灰流”在风机动力的推动下流动到接受灰仓，实现粉尘的卸灰输送。该方法系统整体密闭，能够有效控制卸输灰过程粉尘的外溢，但动力消耗较大，适用于较短的输送距离。

3.3 二氧化硫治理技术

3.3.1 湿法脱硫技术

湿法脱硫技术主要有石灰石/石灰-石膏法、氧化镁法、氨-硫铵法、双碱法等。上述几种方法在我国钢铁行业烧结工艺都有应用实例。

石灰石/石灰-石膏脱硫技术：利用石灰石或消石灰的乳浊液作为吸收剂吸收烟气中的二氧化硫。脱硫剂也可采用同类性质碱性较强的废弃物，如石灰车间产生的浆饼和电石渣等。石灰石/石灰-石膏法脱硫副产物是石膏，可用作建材石膏或水泥添加剂等建筑辅料。

石灰石/石灰-石膏法是目前应用最为广泛的脱硫技术，该技术成熟，工艺稳定，脱硫效率高，脱硫剂来源广泛、价格便宜。燃煤电厂锅炉烟气脱硫普遍采用此技术。

氧化镁脱硫技术：利用氧化镁或氢氧化镁作为脱硫剂吸收烟气中的二氧化硫。氧化镁脱硫副产物为亚硫酸镁和硫酸镁，因硫酸镁的溶解度较大，不宜产生系统堵塞和结垢现象，主要用于氧化镁或氢氧化镁来源充足的地区。副产物的处置方式有两种：第一种是抛弃法，多用于采用氢氧化镁作为脱硫剂的脱硫工艺，将产生的硫酸镁废液去除固体物质后直接外排；第二种是回收法，多用于采用氧化镁作为脱硫剂的脱硫工艺，将含有亚硫酸镁和硫酸镁的固体，经焙烧炉中高温加热，再生出的氧化镁回收使用，同时副产高浓度SO₂气体，生产硫酸。由于投资成本较高，回收法应用实例较少。

氨-硫铵脱硫技术：利用氨水作为脱硫剂吸收烟气中的二氧化硫，脱硫副产物为硫酸铵。该工艺在我国烧结厂应用较早，技术成熟，工艺稳定。氨水可来自钢铁联合企业的焦化厂或化工厂。副产品硫酸铵的使用途径主要是用作复合化肥，当使用脱硫副产物硫酸铵作为肥料时，其成分需满足国家对使用处（土壤、水域、其它用途）的相关要求，并考虑长期使用后环境的累积效应。采用焦化氨源时，选择合适的氨源获取点，对废氨水进行处理，使氨水品质达到要求后使用。

双碱法：以氢氧化钠或碳酸钠为吸收剂吸收烟气中的二氧化硫，形成亚硫酸钠溶液，用石灰石或石灰与亚硫酸钠溶液进行置换反应，生成硫酸钙产品，再生后的氢氧化钠吸收溶液送回吸收塔循环使用。该工艺吸收液为氢氧化钠，吸收剂的再生和脱硫渣的沉淀在吸收塔外，吸收塔系统不易产生堵塞和结垢现象，可采用高效的填料塔或板式塔，从而减小了吸收塔的尺寸和液气比，脱硫效率一般可达90%以上。双碱法工艺环节较多，运行过程中氢氧化钠有一定的损耗，需要不断补充，适用于烟气量不大的场合。

湿法脱硫的吸收塔型式很多，有喷淋塔、筛板塔、液柱塔、鼓泡塔、旋流板塔、文丘里反应器等，应用最广泛最成熟的技术是喷淋式空塔。

湿法脱硫技术成熟可靠，脱硫效率高，效率可达到90%~95%，脱硫副产物易于处理和利用，脱硫剂廉价易得，还可采用某些碱性废物、废钢渣或焦化废氨水作为脱硫剂，达到以废治废的目的。但是，湿法脱硫技术一次性投资大、运行成本高，有废水产生，废水须处理达标后才能排放，脱硫系统存在磨损、堵塞、腐蚀、泄漏等问题。脱硫后排烟温度较低，宜采用加热措施，提高烟气温度，以利于烟气扩散排放。

湿法脱硫工艺更适合于大型烧结机、大烟气量、含硫浓度高的烟气进行脱硫治理。

3.3.2 干（半干）法脱硫技术

干（半干）法脱硫技术包括循环流化床法（CFB）、喷雾干燥法（SDA）、密相干塔法、新型脱硫除尘一体化技术(NID)、MEROS 法、活性炭法（AC）等脱硫工艺技术。上述几种方法在我国钢铁行业烧结工艺都有应用实例。

循环流化床脱硫技术：烧结烟气和脱硫剂消石灰从吸收塔底部进入，同时进行喷水降温，高速气流携带脱硫剂颗粒进入塔内，烟气与脱硫剂颗粒充分接触，进行脱硫反应，除去烟气中的二氧化硫气体。反应生成的亚硫酸钙、硫酸钙等颗粒物通过除尘器收集后，部分返回到吸收塔循环，充分利用未完全反应的脱硫剂。影响脱硫效率的因素主要包括钙硫比、喷水量、反应温度、停留时间等。

喷雾干燥法脱硫技术：一般使用生石灰作为吸收剂，生石灰经过消化后制成熟石灰浆液。熟石灰浆液通过泵输送至吸收塔顶部的雾化器，雾化器有旋转喷雾和双流体喷嘴雾化。在旋转喷雾雾化轮接近 10000rpm 的高速旋转作用下，浆液被雾化成 30~80 μm 的雾滴，双流体喷嘴雾化粒径粒径 70~200 μm ，热烟气进入吸收塔后，立即与呈强碱性的吸收剂雾滴接触，烟气中的酸性成份（HCl、HF、SO₂、SO₃）被吸收中和，同时雾滴的水分被蒸发，反应生成的亚硫酸钙、硫酸钙等颗粒物通过除尘器收集后，部分返回到吸收塔循环，以充分利用未完全反应的脱硫剂。该工艺特点是脱硫剂为雾滴状，为二氧化硫的吸收反应提供了良好的条件。在干（半干）法脱硫技术中，喷雾干燥法的脱硫效率较高。

密相干塔法脱硫技术：将干态熟石灰以及大量循环灰一起进入加湿器内进行加湿均化，使混合灰的水分含量保持在 3%~5%之间，均化后的混合灰由密相干塔上部的布料器进入塔内，与塔上部进入的烟气发生反应，塔中设有搅拌器，脱硫剂颗粒在搅拌器的机械力作用下，不断裸露出新表面，使脱硫反应不断进行，最终脱硫产物由灰仓排出循环系统，送入废料仓。该工艺特点是脱硫剂在整个脱硫过程中都处于干燥状态，耗水量低，操作温度高于露点，没有冷凝现象。

新型脱硫除尘一体化技术：利用生石灰或消石灰与后续除尘器收集下来有一定碱性的粉尘混合增湿后作为脱硫剂，将除尘器前端烟道作为脱硫反应器，烟气在反应器内与高浓度脱硫剂颗粒碰撞反应脱除二氧化硫，脱硫灰部分循环使用。新型脱硫除尘一体化技术工艺特点是吸收剂的低湿度和高比例循环，在吸收剂的大比表面积和低湿度作用下，水份蒸发时间很短，使得反应器容积减小，脱硫反应器与除尘器组合为一体，占地小，但物料循环利用率需在 30~50 次以上，以保证脱硫效率。

MEROS法脱硫技术：以小苏打（NaHCO₃）为脱硫剂，褐煤或活性炭为吸附剂，在烟道上适当位置喷

射干态脱硫剂和吸附剂，由于小苏打活性较高，喷入烟道后，在无需对烟气进行增湿降温的条件下，就能快速与二氧化硫等酸性气体进行反应，脱硫副产品为粉状硫酸钠副产品，由袋式除尘器收集，脱硫灰部分返回到袋式除尘器前的废气中循环继续反应，提高脱硫剂的利用率。褐煤或活性炭吸附剂能够有效吸附烟气中的二噁英和重金属。工艺中设置有气体调节装置，通过喷射水雾对烟气降温增湿，改善脱硫条件及防止高温烟气对后续收尘袋式除尘器的损坏。

由于小苏打价格相对较高，也可以采用熟石灰作为脱硫剂。通常，利用小苏打作为脱硫剂时脱硫效率可达到90%，利用熟石灰作为脱硫剂时脱硫效率约为80%。

干（半干）技术工艺简单，无废水产生，占地少，总图布置容易实施，有利于旧厂改造工程。一次投资较湿法工艺低。系统在高于酸露点温度下运行，系统无须防腐蚀或防腐要求不高。能有效脱除三氧化硫、氟和氯等酸性物质，若在系统中添加活性炭吸附剂能进一步脱除二噁英、汞等有害物质。干（半干）法脱硫工艺的脱硫效率略低于湿法工艺，脱硫副产物的使用价值不高，尚需进一步的研究开发。相对于湿法工艺，钙硫比（Ca/S）较高，脱硫剂的利用率相对较低，操作运行的稳定性还有待优化和改善。

干（半干）法脱硫技术宜用于中低浓度二氧化硫烟气的脱硫场合。

3.4 氮氧化物及二噁英治理技术

3.4.1 活性炭吸附法同时脱硫脱硝脱二噁英技术

活性炭具有较大的比表面积和良好的微孔结构，能够同时吸附净化二氧化硫、氮氧化物、二噁英和重金属等污染物。活性炭吸附床层可设计为移动式 and 固定式，烟气流过活性炭床层时，烟气中的二氧化硫吸附在活性炭的表面上，当烟气中加入氨气后，一部分氨与硫酸反应生成硫酸铵。在活性炭的催化剂作用下，另一部分氨与氮氧化物反应生成氮气和水。吸附了硫化物的活性炭，在高温下解析出高浓度二氧化硫气体，用于制备硫酸，解析后的活性炭可重复利用。活性炭在脱除二氧化硫、氮氧化物的同时，还能吸附脱除烟气中的二噁英和重金属。

活性炭吸附法技术的脱硫效率可达 95%，脱硝率可达到 40%左右，二噁英排放浓度可控制在 0.1~0.3ng-TEQ/Nm³，适用于多组分污染物同时治理和高浓度二氧化硫的回收。但是，该技术工艺较复杂，投资运行费用较高，吸附二噁英的活性炭需进行无害化处理。

3.4.2 脉冲电晕等离子脱硫脱硝技术

脉冲电晕脱硫脱硝技术是通过外加电源，产生脉冲电晕放电，形成非平衡等离子体，利用高能电子使

烟气中的 N_2 、 O_2 和水蒸气激活、电离甚至裂解，产生强氧化性自由基和各种激发态原子、电子等活性物质，这些活性物质与烟气中的 SO_2 和 NO_x 氧化成 SO_3 和 NO_2 ，经与烟气中的水蒸汽反应生成硫酸和硝酸雾，这些酸雾与添加的氨反应生成硫酸铵和硝铵颗粒，由除尘器捕集，收集的副产品可作为复合肥料。这种工艺过程简单，启动停车方便，对系统负荷的变化有较好适应性，能够在单一的过程中同时脱除 SO_2 和 NO_x ，具有突出的优点。该技术已进行了较大规模的工业试验，脱硫效率 80%，脱硝效率 60%~70%。该技术系统能耗较高，还没有大量工业应用的案例，机理研究还有待进一步深入。

3.4.3 选择性催化还原脱硝（分解二噁英）技术（SCR）

电厂应用最为普遍的脱硝方法是选择性催化还原法（SCR）。该方法是在有催化剂存在的条件下，在 300°C ~ 400°C 烟温处喷入还原剂氨，将烟气中的 NO_x 还原为水和氮气的脱硝方法。催化剂大多以 TiO_2 为载体，以 V_2O_5 为活性成分， WO_3 和 MoO_3 等金属氧化物为改善耐温和抗中毒成分，还原剂通常采用液氨、尿素和氨水。催化剂通常被制成蜂窝状、波纹或平板状，防止堵塞，增加接触面积，降低阻力和提高机械强度。该技术应用广泛，工艺成熟，脱硝效率可达到 85% 以上。

由于烧结烟气温度通常在 100°C ~ 180°C ，采用上述高温方式的催化剂时，需要首先对烟气进行加热，然后再进行脱硝。针对烧结烟气脱硝的低温催化剂正在研究开发中，低温催化脱硝时，脱硝催化反应器可放在电除尘后，延长脱硝催化剂寿命，降低运行成本。

选择性催化还原法还可应用于二噁英的去除。一种方法是在 SCR 脱硝过程中，添加特殊催化剂（多数由 Ti, V, W 的氧化物组成），在还原 NO_x 的同时催化分解多环芳烃、二噁英等有机物。另一种方法是“表面过滤”与“催化分解”相结合的催化过滤技术，在滤料中添加催化剂成分或在滤袋中充填催化剂，设计成袋式除尘器的结构，含有二噁英的气体通过时，二噁英被分解成 CO_2 、 H_2O 、 HCl 。催化过滤法对气态二噁英都有较高的去除效率，排放浓度可低于 $0.1\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ 。

催化脱除技术的特点是二噁英物质被彻底分解，无需考虑后续的无害化处理。

3.5 烧结工艺污染防治新技术

3.5.1 有机胺法脱硫技术

有机胺法脱硫技术是采用醇胺溶液作为二氧化硫吸收剂，通过吸收和解吸过程来完成脱硫。乙醇胺类的水溶液作主要吸收剂，在吸收塔内胺液与烟气逆流接触，吸收二氧化硫，吸收了二氧化硫的富胺液送入解吸塔被加热解吸，解吸出的高浓度二氧化硫用于制作硫酸，解吸后的贫胺液返回系统重复使用。有机

醇胺溶液对二氧化硫有良好的吸收和解吸能力，适用于高浓度二氧化硫的脱除，可回收二氧化硫生产硫酸。该方法解吸能耗较高、投资大。

3.5.2 活性炭喷射加袋式除尘器脱除二噁英技术

该技术是利用活性炭吸附性能和袋式除尘器的高效收集功能，共同组合达到脱除烟气中二噁英的技术。在干（半干）法脱硫系统中，在烟道适当位置喷射活性炭粉，利用活性炭的微孔结构吸附二噁英，同时微细颗粒的脱硫灰对二噁英也具有一定的吸附作用，通过袋式除尘器收集活性炭和脱硫灰。该工艺简单方便，脱除二噁英效果显著。实验表明：二噁英去除率大于 90%，排放浓度可控制在 0.1~0.3ng-TEQ/m³范围。该工艺对重金属去除率大于 95%。

由于脱硫灰中粘附有二噁英物质，需要进行无害化处理处置。

3.5.3 移动电极技术

烧结机头多采用电除尘器，但是由于粉尘比电阻较高，沉积在极板上形成较薄的粉尘层，易产生反电晕现象。移动电极除尘技术是阳极板采用旋转移动方式，清灰装置设置在移动电极的下部，采用旋转清灰刷清除极板上的粉尘，清灰效果比振打方式好，清除的粉尘直接落到灰斗内，可有效控制气流携带粉尘的逃逸现象。移动电极电场通常设置在末端电场，以发挥最好的作用。

4 烧结、球团生产工艺污染防治可行技术

4.1 烧结、球团生产工艺污染防治可行技术组合

按整体性原则，从设计时段的源头污染预防到生产时段的污染防治，依据生产工序的产污节点和技术经济适宜性，确定可行技术组合。

烧结、球团生产工艺污染防治可行技术组合见图 4。

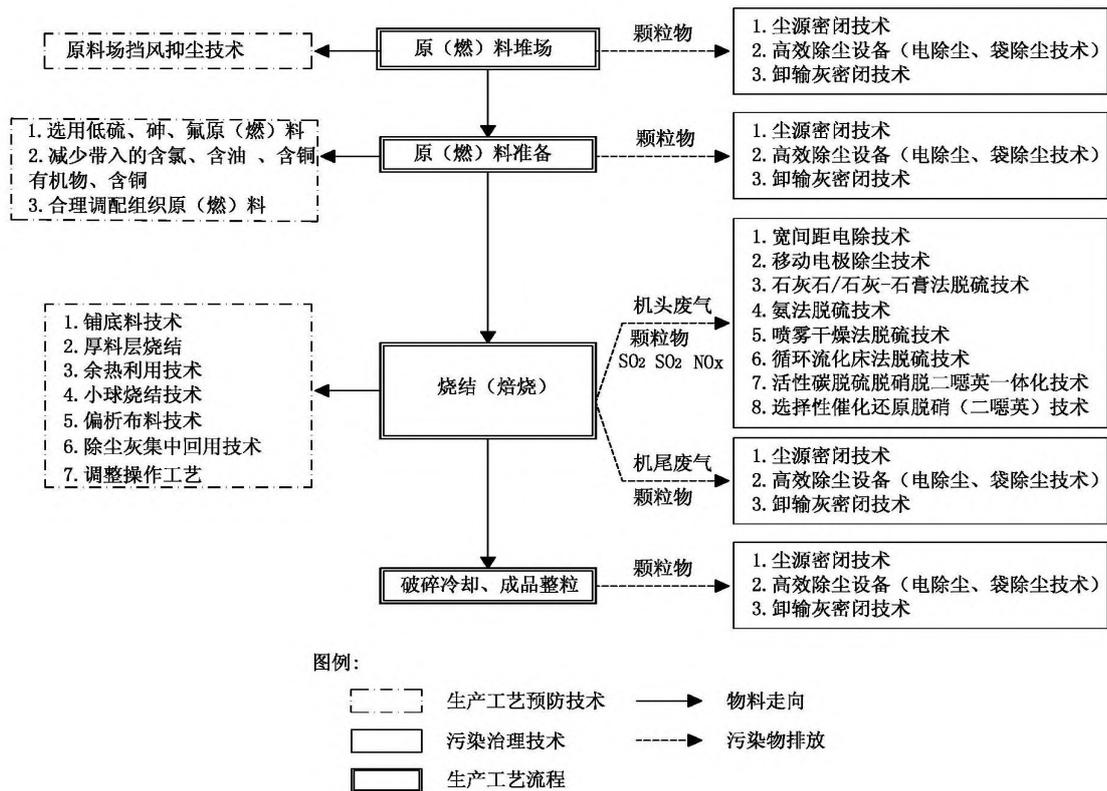


图 4 烧结、球团生产工艺污染防治可行技术组合流程图

4.2 工艺过程污染预防可行技术

烧结、球团生产工艺过程污染预防可行技术如表 4-1 所示。

表 4-1 烧结、球团工艺过程污染预防可行技术

可行技术	主要技术指标	技术经济适用性
铺底料技术	铺底料的烧结矿厚度为 20~40mm，粒度为 10~20mm。	减少蓖条烧坏的比率、使烧结料烧好烧透，可有效减少烟气含尘量。
厚料层烧结	料层厚度大于 400mm 以上时，工序能耗显著降低。料层增加 10mm，燃料降低 1~3Kg/t 烧结矿。铁精矿为主采用小球烧结法时，料层厚度等于或大于 580mm，以铁粉矿为主时，料层厚度等于或大于 650mm。	提高烧结矿机械强度、减少粉末量、降低氧化亚铁含量、改善还原性能。对提高烧结矿成品率和节约燃料消耗也都有显著的效果。
余热利用技术	烧结机尾部风箱排烟温度可达 300℃ 左右，冷却机排除的废气也可达到 300℃ 以上，充分利用这两部分热量，可以有效降低烧结的燃料消耗，减少污染排放；	烟气余热温度超过 300℃ 时，回收产生的蒸汽发电效益较好； 低于 280℃ 时，则技术经济可行性较差。 冷却机废热烟气在采用热风再循环后

	热风烧结：可降低固体燃料 10%~15%； 热风助燃：一般可节约点火燃料 10%以上； 余热锅炉回收热量：每吨烧结矿可回收蒸汽 100~120Kg (2.0MPa、320℃)，发电 20~25KWh。	温度可达 350~400℃，适用于余热发电。
小球烧结技术	将混合料制成大于 3mm 占 75%以上的小球， 小球外煤粉为主（70%~80%），小球内添加少量煤粉（20%~30%），可节约抽风电耗约 40%， 烟气中含尘浓度低。	能耗低、产量高、烧结矿质量好，除燃料分加外，所有技术措施的实施均在现有烧结设备上，具有投资少、见效快、经济效益显著等优点。
偏析布料技术	偏析布料可提高透气性，使需要较多热量的大颗粒进入下部料层，充分利用料层的蓄热作用，碳在烧结料层中的分布趋于合理，烧结过程及烧结矿表现出均匀性，使燃料能量得到充分的利用。	在混合制粒过程中，通过燃料偏析的作用，改善燃烧条件，降低燃料消耗，减少污染排放。
除尘灰集中回用技术	合理控制回用到烧结二次混合机的除尘灰数量，避免烧结矿中碱金属、锌的含量偏高。烧结机头电除尘器末端电场除尘灰、高炉二次灰、电炉除尘灰的回用，要控制 Zn、K、Na 的含量。	针对不同的除尘灰特性，采用集中回用技术进行处理，可化解处理固体废物的难度，达到节能减排、综合利用资源的目的。
调整操作工艺减少污染排放的技术	尽可能降低原（燃）料中硫、砷、氟、含铜、含氯、含油有机物等有害物的含量，把污染降低到最小范围。	不宜采用含氯废水冲洗轧钢氧化铁皮； 不宜采用 CaCl ₂ 喷洒料场抑尘。

4.3 颗粒物治理可行技术

4.3.1 袋式除尘技术

4.3.1.1 可行工艺参数

- (1) 选用低阻高效袋式除尘器，清灰方式为低压脉冲式。
- (2) 滤料可选用聚脂针刺毡，必要时可选用覆膜滤料、烧毛压光针刺毡或 PTFE 浸渍处理，单重不低于 520~540g/m²；处理含湿气体时（配料除尘），应采取防结露措施；处理煤尘废气时，应采用防静电滤料。
- (3) 除尘风管内流速一般取 16~18m/s，不低于 15 m/s，以免管内积灰。
- (4) 除烧结机头外，烧结工艺其他尘源点采用袋式除尘器净化时，过滤风速 1~1.1m/min 为宜。
- (5) 除尘器设备阻力小于 1300Pa。

4.3.1.2 污染物削减和排放

除尘效率可达到 99.9%以上，颗粒物排放浓度可控制在 30mg/m³ 以内，甚至可达 10 mg/m³ 以下。

4.3.1.3 二次污染及防治措施

袋式除尘器捕集的除尘灰送至集中回用站，经造球处理后返回烧结工艺系统加以利用。

4.3.1.4 技术经济适用性

该技术净化效率较高，一次性投资较小，但需更换破损滤袋，维护费用较高。

袋式除尘技术适用于除烧结机头、球团高温烟气段以外的所有废气的除尘处理，尤其适用于大气环境质量要求高的地区。

4.3.2 电除尘技术

4.3.2.1 可行工艺参数

(1) 机头电除尘器选用 400~500mm 宽极距电除尘器，为有效清除极板上高比电阻粉尘和减少二次扬尘，可采用移动电极技术。

(2) 机头电除尘器电场数宜不少于 4 个，电除尘器断面风速 0.8~0.85m/s（有条件的企业，电除尘器的断面风速可选择更低）。

(3) 机尾电除尘器电场数宜不少于 4 个，电除尘器断面风速可以比机头略高，为 0.9~1.0m/s（有条件的企业，电除尘器的断面风速可选择更低）。

4.3.2.2 污染物削减和排放

电除尘器除尘效率能够达到 99.9%以上，合理设计，颗粒物排放浓度可小于 50mg/m³。通过增加电场数、降低过滤风速、优化供电电源等措施，排放浓度可以更低。

4.3.2.3 二次污染及防治措施

电除尘器捕集的除尘灰输送至集中回用站，经造球处理后返烧结加以利用。

烧结机头电除尘器末端电场的除尘灰中碱金属、锌的含量偏高时，须经过处理后回用。

4.3.2.4 技术经济适用性

电除尘器对烟气温度和气量变化适应性较强，维护简单、方便，适宜捕集比电阻在 10⁶~10¹¹Ω·cm 之间的粉尘，对微细粒子的捕集能力有限，一次性投资较大。

电除尘技术适用于烧结、球团工艺所有新建和改扩建除尘系统，尤其是烧结机头、球团高温段烟尘治理。

4.3.3 电袋复合除尘技术

4.3.3.1 可行工艺参数

- (1) 电场区的极间距宜采用 400mm。
- (2) 滤袋区过滤风速不宜大于 1.2m/min。
- (3) 标准状态下进口烟气含尘浓度宜小于 1500g/m³，(标态，干基)。
- (4) 除尘器电场区比集尘面积可参考以下参数。

表4-2 除尘器电场区的比集尘面积

处理烟气量Q (工况130℃; 10 ⁴ m ³ /h)	≤50	50<Q≤100	100<Q≤150	150<Q≤200	>200
比集尘面积 (m ² /m ³ /s)	≥20	≥25	≥30	≥35	≥40

4.3.3.2 污染物削减和排放

除尘效率能够达到99.9%以上，颗粒物排放浓度可控制在30mg/m³以下。

4.3.3.3 二次污染及防治措施

电袋复合除尘器捕集的除尘灰送至集中回用站，经造球处理后返回烧结生产工艺中利用。

4.3.3.4 技术经济适用性

对于旧有电除尘器的增效改造，电袋复合除尘器可保留原电除尘器前端电场及除尘器壳体，节省占地和投资。

该技术适用于原有电除尘系统升级改造。

4.3.4 尘源密闭技术

4.3.4.1 可行工艺参数

(1) 烧结带冷机采用全密闭罩方式，废热气通过管道和风机送到余热锅炉回收或在密闭罩上布置排气筒排放。

(2) 原(燃)料皮带输送机卸料点采用全密闭罩方式，受料产尘点采用双层密闭罩。

(3) 振动筛采用整体密闭罩或者局部密闭罩。

(4) 密闭罩的抽气位置应设在罩内压力最高的位置，与有害物的扩散方向一致，密闭罩罩口风速选择在 1~1.5m/s。

4.3.4.2 污染物削减和排放

可将岗位粉尘浓度控制在小于 10mg/m³，防止粉尘在车间的扩散。

4.3.4.3 技术经济适用性

适用于新建和改扩建烧结工艺中产尘设备的密闭。采用合理的尘源密闭措施，可以控制岗位环境污染，

还可有效减少除尘系统的抽风量，防止粉尘对管网及其相关设备的磨损及堵塞。

表 4-3 烧结、球团工艺颗粒物治理可行技术

可行技术	主要技术指标	技术经济适用性
袋式除尘技术	颗粒物排放浓度可控制在 30mg/ Nm ³ 以下	除烧结机头、球团高温段烟气以外的所有新建和改扩建的除尘系统；净化效率高，尤其适用于环境质量要求高的地区。
电除尘技术	颗粒物排放浓度可控制在 50mg/ Nm ³ 以下	适用于烧结、球团厂所有新建和改扩建的除尘系统，尤其是烧结机头、球团高温段烟尘治理；对高比电阻粉尘的收集较困难，对微细粒子的捕集能力有限。
电袋复合技术	颗粒物排放浓度可控制在 30mg/ Nm ³ 以下	除烧结机头、球团高温烟气段以外的所有新建和改扩建除尘系统；尤其适用于原有电除尘器增效改造。
尘源密闭技术	可有效控制岗位粉尘浓度小于 10mg/m ³	烧结机尾、带冷机、振动筛以及皮带机转运点的扬尘控制。

4.4 二氧化硫治理可行技术

4.4.1 石灰石-石膏法脱硫技术

4.4.1.1 可行工艺参数

- (1) 吸收塔的设计流速宜低于 3.5m/s。
- (2) 进入脱硫系统的烟气粉尘浓度应小于 100mg/m³。
- (3) 钙硫摩尔比 1.03~1.05，吸收液 PH 值控制在 5~6。

(4) 采用石灰石为脱硫剂时，CaCO₃ 含量应高于 90%；中低浓度含硫量时，脱硫剂粒度 250 目应大于 90%；高浓度含硫量时，脱硫剂粒度 325 目应大于 90%；采用生石灰时（CaO），其纯度应高于 85%。

4.4.1.2 污染物削减和排放

脱硫效率一般可达 95%以上，氟化物、氯化物脱除率大于 95%。

4.4.1.3 二次污染及防治措施

石膏是石灰石-石膏法烟气脱硫方法的副产物，可用作建筑石膏、水泥添加剂、路基回填料。脱硫过程中产生的少量废水，主要以化学、机械方法分离重金属和其他可沉淀的物质，达标后排放。脱硫后排烟温度偏低，影响烟气抬升扩散排放，会出现白烟和烟囱雨，可在系统设置换热器加热净烟气后排放。该工艺

介质具有腐蚀性，需对系统进行防腐处理。

4.4.1.4 技术经济适用性

该系统适应负荷变化能力强，占地面积大，适用于中高浓度、大烟气量、要求脱硫效率在 95%以上的烟气系统。脱硫剂可采用同类性质碱性较强的废弃物，可以达到以废治废的目的。

4.4.2 氨法脱硫技术

4.4.2.1 可行工艺参数

- (1) 吸收液 PH 值控制在 5~6。
- (2) 脱硫系统入口烟气飞灰浓度小于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- (3) 脱硫氨水浓度宜在 15~25%。
- (4) 脱硫后烟气氨逃逸浓度应低于 $10\text{ mg}/\text{m}^3$ ，除雾器出口烟气中雾滴浓度小于 $75\text{ mg}/\text{m}^3$ 。

4.4.2.2 污染物削减和排放

脱除效率可达 95%以上，氟化物、氯化物脱除率大于 95%。

4.4.2.3 二次污染及防治措施

净化后烟气含有氨气及气溶胶，应采取水喷淋等捕集措施。当使用脱硫副产物硫酸铵作为肥料使用时，其成分需满足国家对使用处（土壤、水域、其它物质）的相关要求，并考虑长期使用后土壤环境的累积效应。氨法脱硫系统的腐蚀性很强，该工艺的防腐要求比石灰石-石膏法更严格。

4.4.2.4 技术经济适用性

适用于高浓度、大烟气量、要求脱硫效率在 95%以上的烟气系统，适用有焦化厂的钢铁联合企业或厂区附近建有化工厂的企业，可便利的保证氨的来源。采用焦化氨源时，应选择合适的氨源获取点，对废氨水进行处理，使氨水品质达到要求后使用。

4.4.3 喷雾干燥脱硫技术

4.4.3.1 可行工艺参数

(1) 石灰浆液含固率宜控制在 20~25%，旋转雾化器浆液雾化粒径 $30\sim 80\mu\text{m}$ ，双流体喷嘴雾化粒径粒径 $70\sim 200\mu\text{m}$ 。

(2) 脱硫塔阻力应小于 1000Pa ，烟气在塔内停留时间宜大于 18 秒。

(3) 典型工况下，出口烟气温度控制在露点温度以上 $15\text{℃}\sim 20\text{℃}$ 。

4.4.3.2 污染物削减和排放

二氧化硫脱除率可达到 90%，添加活性炭或褐煤可进一步脱除二噁英及汞等重金属。

采用袋式除尘设备，颗粒物排放浓度可小于 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 或更低。

4.4.3.3 二次污染及防治措施

喷雾干燥脱硫技术无污水产生，无需对设备进行防腐，占地比湿法工艺小。脱硫灰的利用还处在研究开发阶段，可用于建材矿渣微粉生产添加剂、免烧砖等用途，有效合理的利用途径尚需进一步研究。对于吸附二噁英的除尘灰，应进行无害化处理处置。

4.4.3.4 技术经济适用性

该技术一次投资和运行成本比种湿法工艺低，系统占地面积小，在干（半）法脱硫方法中脱硫效率相对较高，适用于老厂改造、水资源紧缺、中低 SO_2 浓度的烟气脱硫项目，添加活性炭或褐煤颗粒，具有协同处理二噁英、汞等重金属的功能。

4.4.4 循环流化床法脱硫技术

4.4.4.1 可行工艺参数

- (1) 脱硫剂生石灰粉粒度宜小于 2mm，CaO 含量大于 80%。
- (2) 钙硫摩尔比可选择为 1.2~1.35。
- (3) 典型工况下，出口烟气温度控制在露点温度以上 $15^\circ\text{C}\sim 20^\circ\text{C}$ 。
- (4) 脱硫塔压力降应控制在 2500Pa 以下。
- (5) 脱硫塔内粉尘浓度，在标准状态下保持在 $800\sim 1000\text{g}/\text{m}^3$ 。

4.4.4.2 污染物削减和排放

二氧化硫脱除率不低于 85%，添加活性炭或褐煤可进一步脱除二噁英、汞等重金属。采用袋式除尘设备，颗粒物排放浓度可小于 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 或更低。

4.4.4.3 二次污染及防治措施

循环流化床脱硫技术无污水产生，无需对设备进行防腐，占地比湿法工艺小。脱硫副产物的利用处在起步阶段，可用于建材矿渣微粉生产添加剂、免烧砖等用途，有效合理的利用途径尚需进一步研究。对于吸附二噁英的除尘灰，应进行无害化处理。

4.4.4.4 技术经济适用性

该技术一次投资和运行成本比湿法工艺低，系统占地面积小，适用于老厂改造、水资源紧缺、中低 SO_2 浓度的烟气脱硫项目，添加活性炭或褐煤颗粒，具有协同处理二噁英、汞等重金属的功能。该技术操作运

行的稳定性和适应性有待加强和改善。

表 4-4 烧结、球团二氧化硫治理可行技术

可行技术	主要技术指标	技术经济适用性
石灰石--石膏法脱硫技术	脱硫效率可达 95%以上，氟化物、氯化物脱除率大于 95%	适用于高浓度、大烟气量、要求脱硫效率在 95%以上的脱硫系统。脱硫剂可采用同类性质碱性较强的废弃物，可以达到以废治废的目的。
氨法脱硫技术	脱硫效率可达 95%以上，氟化物、氯化物脱除率大于 95%	适用于高浓度、大烟气量、要求脱硫效率在 95%以上的脱硫项目，尤其适合有焦化厂的钢铁联合企业或厂区附近建有化工厂的企业，采用焦化氨源时，选择合适的氨源获取点，对废氨水进行处理，使氨水品质达到要求后使用。
喷雾干燥脱硫技术	二氧化硫脱除率可达到 90%，颗粒物排放浓度小于 30mg/m ³ 或更低	在干（半）法脱硫方法中脱硫效率较相对较高，运行稳定，添加活性炭或褐煤具有协同处理氮氧化物、二噁英、汞等重金属的功能。适用于老厂改造、水资源紧缺、中低 SO ₂ 浓度的烟气脱硫项目。对于吸附二噁英的除尘灰，应进行无害化处理处置。
循环流化床法脱硫技术	二氧化硫脱除率可达到 85%，颗粒物排放浓度小于 30mg/m ³ 或更低	一次投资和运行成本比湿法工艺低，系统占地面积小，添加活性炭或褐煤具有协同处理二噁英、重金属的功能。适用于老厂改造、水资源紧缺、中低 SO ₂ 浓度的烟气脱硫项目。对于吸附二噁英的除尘灰，应进行无害化处理处置。

4.5 氮氧化物和二噁英治理可行技术

4.5.1 活性炭吸附法协同脱硫脱硝脱二噁英技术

4.5.1.1 可行工艺参数

- (1) 活性炭结构可选用直径 9mm，长度为 10~15mm 的圆柱状活性炭，比表面积 150-300m²/g。
- (2) 活性炭吸附层温度控制范围：100℃~150℃。
- (3) 入口烟气含尘浓度≤100mg/m³。
- (4) 活性炭加热解析温度控制在 400℃~450℃。

4.5.1.2 污染物削减和排放

- (1) 脱硫效率达到 95%。
- (2) 脱硝效率可以达到 30~40%。
- (3) 二噁英脱除效果，从 1.5 ng-TEQ/Nm³ 降到 0.2ng-TEQ/Nm³。
- (4) 颗粒物排放浓度小于 20mg/m³。

4.5.1.3 二次污染及防治措施

吸附二噁英的活性炭，应进行无害化处理处置。

4.5.1.4 技术经济适用性

该技术具有同时脱除多种污染物的效果，能够回收硫资源，达到较高的脱除效果。该技术适用于多污染物同时净化，可用于所有新建和改扩建项目。但由于所需活性炭量较多、体积较大，投资及运行成本较高。

4.5.2 选择性催化还原脱硝（分解二噁英）技术（SCR）

4.5.2.1 可行工艺参数

- (1) 氨水浓度宜控制在 20~25%。
- (2) 脱硝区域控制温度应大于 280℃，控制在 320℃~425℃。
- (3) 催化剂平面烟气流速宜选择：4~6m/s。

4.5.2.2 污染物削减和排放

- (1) 脱硝效率不小于 80%；
- (2) 氨逃逸浓度小于 2.28mg/m³；
- (3) 二噁英排放浓度可控制在 0.1~0.3ng-TEQ/Nm³。

4.5.2.3 二次污染及防治措施

氨源的储运和制备需符合《危险化学品安全管理条例》等相关要求，对可能发生氨泄漏的情形，应设置消防喷淋、紧急停止、泄压、检测报警等控制措施。氨区冲洗废水应处理达标后排放。

4.5.2.4 技术经济适用性

该工艺技术较成熟，运行稳定，脱硝效率较高，采用高温方式的催化剂时，需要对烟气进行加热后进行脱硝，需要增设换热器和加热器，工程投资及运行成本较高，适用于所有新建和改扩建项目。

表 4-5 烧结、球团氮氧化物和二噁英治理可行技术

可行技术	主要技术指标	技术经济适用性
活性炭吸附法协同脱硫 脱硝脱二噁英技术	脱硫效率达到 95%； 脱硝效率可以达到 30~40%； 二噁英脱除效果，从 1.5ng-TEQ/Nm ³ 下降到 0.2ng-TEQ/Nm ³ ； 颗粒物排放浓度小于 20mg/m ³ 。	适用于多污染物同时净化、活性炭源方便易得的脱硫脱硝项目，可用于所有新建和改扩建项目。所需活性炭体积较大，投资及运行成本较高。
选择性催化还原脱硝（分解二噁英）技术（SCR）	脱硝效率不小于 80%； 氨逃逸浓度小于 2.28mg/m ³ ； 二噁英排放浓度可控制在 0.1~0.3ng-TEQ/Nm ³ 。	适用于氮氧化物浓度偏高、烟气量偏大、要求脱硝效率在 80% 以上的脱硝项目。可用于所有新建和改扩建项目。不需要对二噁英单独进行无害化处理。

5 技术应用中的注意事项

5.1 一般要求

- (1) 建立健全各项数据记录和生产管理制度。
- (2) 加强操作运行管理，建立并执行岗位操作规程，制定应急预案，定期对员工进行技术培训和应急演练。
- (3) 加强生产设备的使用、维护和维修管理，保证设备正常运行。
- (4) 按要求设置污染源标志，重视污染物的检测和计量管理工作，定期进行全厂物料平衡测试。
- (5) 在使用中应严格执行各类除尘设备相关设计、制造、安装规范及技术要求，并实施良好的运行管理。

5.2 生产工艺污染预防注意事项

- (1) 尽可能降低原（燃）料和熔剂中硫、氟、砷、碱金属等的含量，把污染降低到最小范围。
- (2) 淘汰落后生产工艺，选用大型化、规模化的先进设备，降低能耗，减少污染物的产生。
- (3) 采用新工艺、新技术，如厚料层烧结、小球烧结、低温烧结、偏析布料、余热利用等新技术，减少污染物的排放。
- (4) 控制返回烧结原料混合灰的比例和成分，采用压块造球技术，成型后回用。
- (5) 通过洗涤或分选的方式，减少烧结原（燃）料带入的含氯、含油污等前驱体化合物，不采用 CaCl₂ 作为矿石料场喷洒剂，降低二噁英等有害物质的产生。

5.3 颗粒物治理技术注意事项

(1) 选用袋式除尘器时，在处理高温废气时（如烧结机尾废气），必须考虑预防措施，防止废气中的高温颗粒直接进入过滤室烫伤布袋；在处理含湿气体时（如配料除尘），应有防结露和防粉尘粘结布袋的措施；处理煤尘废气时，应采用防静电滤料，除尘器应设置防爆门。

(2) 处理含尘浓度大的废气时，除尘器前应采取初降尘措施。

(3) 选用电除尘器，前级电场与后极电场可采用不同的极配形式，有利于粉尘的荷电和收集。

(4) 尘源抽风点可设手动调节阀便于调节风量平衡，必要时设阻力平衡器。

(5) 除尘系统投运时应进行全系统风量平衡和调试工作，使各抽风点处于合理的风量范围。应定期对除尘系统进行风量平衡调节或测试工作，使除尘系统长期处于最佳工况。

(6) 尘源密闭罩的选型应合理，设置应尽可能严密，减少漏风，保证罩内有足够的负压，减少粉尘向罩外扩散外溢。

(7) 除尘风管内选择合理的流速，一般取 16~18m/s，不应低于 15 m/s，以免管内积灰。弯头及三通等异形管件应适当增加耐磨措施。

(8) 除尘灰可采用气力输送或吸引压送密闭罐车等二次扬尘小的输送方式，避免粉尘在输送过程中泄漏飞扬。

5.4 二氧化硫治理技术注意事项

(1) 加快烧结废气循环使用技术的推广应用，降低废气排放量，减少脱硫系统的规模，减少脱硫系统的一次投资和运行成本。

(2) 在满足清洁生产标准和二氧化硫排放标准要求时，烧结工艺优先考虑将烟气划分为脱硫系和非脱硫系。脱硫系实施烟气脱硫，非脱硫系作为烟气加热热源，降低脱硫系统的一次投资和运行成本。

(3) 在烧结生料无法改变的情况下，针对不同含硫量的原料、燃料通过合理组织调度，尽可能将高硫原料集中到专用烧结机进行生产，实施烟气脱硫。

(4) 采用湿法脱硫工艺，应对烟囱采取防腐措施。

(5) 确定合理的脱硫效率，使脱硫系统处于最佳、最经济的条件下运行。选择合适的脱硫工艺，优选具有协同治理、以废治废功能，脱硫剂方便易得的工艺技术。考虑投资和运行的双重成本，注重脱硫副产物综合利用和消纳的途径。

5.5 氮氧化物和二噁英治理技术注意事项

- (1) 实施烧结废气循环技术，减少 NO_x 和二噁英的产生和排放。
- (2) 采用挥发分少、灰分小的燃料，使用低氮燃烧喷嘴，减少 NO_x 和二噁英的产生。
- (3) 减少烧结生料中氯化物的含量，配入烧结原料的轧钢氧化铁皮的含油量控制在<1%的水平。
- (4) 采用高效除尘设备，减少微细颗粒的排放，直接减少了二噁英的排放。
- (5) 烧结烟气脱硝设施，对二噁英具有明显的催化分解作用。
- (6) 在脱硫系统中添加活性炭、焦炭、褐煤等多孔物质，对二噁英具有显著的吸附效果。