

附件一：

HJ-BAT-7

环境保护技术文件

铅冶炼

污染防治最佳可行技术指南（试行）

**Guideline on Best Available Technologies of Pollution Prevention and Control
for Lead Smelting (on Trial)**

环境保护部

2011年12月

目 次

| | |
|------------------------------|----|
| 前言..... | II |
| 1 总则..... | 1 |
| 1.1 适用范围..... | 1 |
| 1.2 术语和定义..... | 1 |
| 2 生产工艺及污染物排放..... | 1 |
| 2.1 生产工艺及产污环节..... | 1 |
| 2.2 污染物排放..... | 2 |
| 3 铅冶炼污染防治技术..... | 3 |
| 3.1 工艺过程污染预防技术..... | 3 |
| 3.2 大气污染治理技术..... | 5 |
| 3.3 废酸及酸性废水治理技术..... | 8 |
| 3.4 固体废物综合利用及处理处置技术..... | 9 |
| 3.5 噪声污染治理技术..... | 9 |
| 3.6 需重点关注的技术..... | 9 |
| 4 铅冶炼污染防治最佳可行技术..... | 10 |
| 4.1 铅冶炼污染防治最佳可行技术概述..... | 10 |
| 4.2 工艺过程污染预防最佳可行技术..... | 12 |
| 4.3 大气污染治理最佳可行技术..... | 12 |
| 4.4 废酸及酸性废水治理最佳可行技术..... | 17 |
| 4.5 固体废物综合利用及处理处置最佳可行技术..... | 20 |
| 4.6 最佳环境管理实践..... | 20 |

前言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》，加快建设环境技术管理体系，确保环境管理目标的技术可达性，增强环境管理决策的科学性，提供环境管理政策制定和实施的技术依据，引导污染防治技术进步和环保产业发展，根据《国家环境技术管理体系建设规划》，环境保护部组织制定污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术指南、环境保护工程技术规范等技术指导文件。

本指南可作为铅冶炼项目环境影响评价、工程设计、工程验收以及运营管理等环节的技术依据，是供各级环境保护部门、规划和设计单位以及用户使用的指导性技术文件。

本指南为首次发布，将根据环境管理要求及技术发展情况适时修订。

本指南由环境保护部科技标准司提出。

本指南起草单位：中国环境科学研究院、北京矿冶研究总院。

本指南由环境保护部解释。

1 总则

1.1 适用范围

本指南适用于以铅精矿、铅锌混合精矿为主要原料的铅冶炼企业。

1.2 术语和定义

1.2.1 最佳可行技术

是针对生产、生活过程中产生的各种环境问题，为减少污染物排放，从整体上实现高水平环境保护所采用的与某一时期技术、经济发展水平和环境管理要求相适应、在公共基础设施和工业部门得到应用、适用于不同应用条件的一项或多项先进、可行的污染防治工艺和技术。

1.2.2 最佳环境管理实践

是指运用行政、经济、技术等手段，为减少生产、生活活动对环境造成的潜在污染和危害，确保实现最佳污染防治效果，从整体上达到高水平环境保护所采用的管理活动。

2 生产工艺及污染物排放

2.1 生产工艺及产污环节

铅冶炼是指将铅精矿熔炼，使硫化铅氧化为氧化铅，再利用碳质还原剂在高温下使氧化铅还原为金属铅的过程。

铅冶炼通常分为粗铅冶炼和精炼两个步骤。粗铅冶炼过程是指铅精矿经过氧化脱硫、还原熔炼、铅渣分离等工序，产出粗铅，粗铅含铅 95%~98%。粗铅中含有铜、锌、镉、砷等多种杂质，再进一步精炼，去除杂质，形成精铅，精铅含铅 99.99%以上。粗铅精炼分为火法精炼和电解精炼，我国通常采用电解精炼。

铅冶炼生产工艺流程及主要产污环节如图 1 所示。

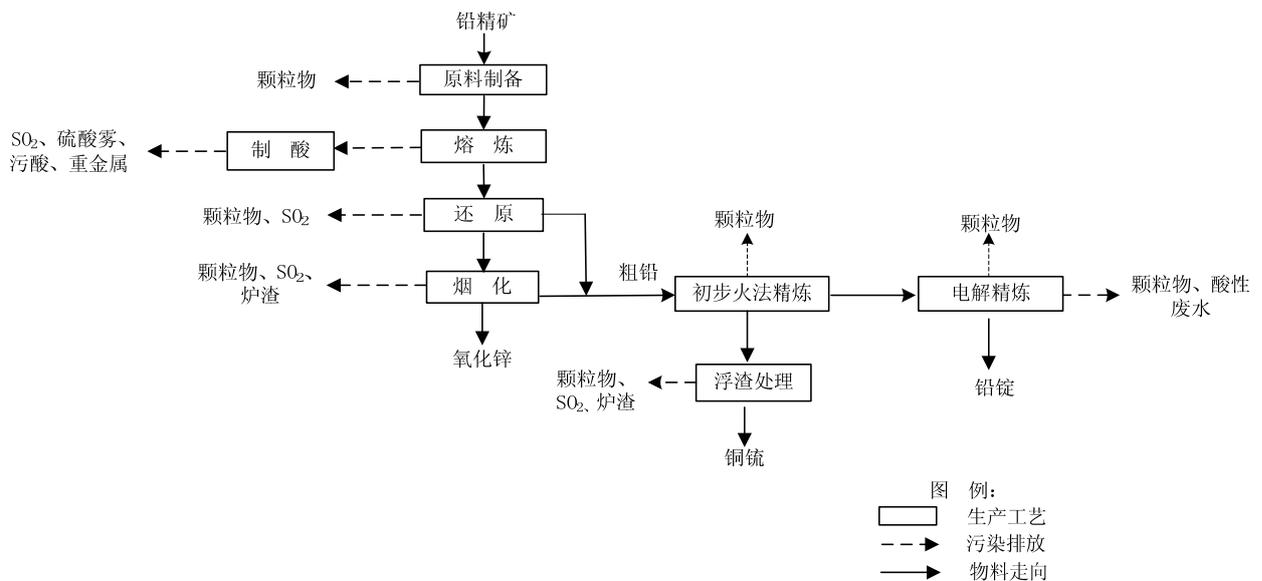


图 1 铅冶炼生产工艺流程及主要产污环节

2.2 污染物排放

铅冶炼过程中产生的污染包括大气污染、水污染、固体废物污染和噪声污染，其中大气污染（颗粒物、二氧化硫、重金属等）和水污染（重金属、污酸及酸性废水）是主要环境问题。

2.2.1 大气污染

铅冶炼产生的大气污染物主要为颗粒物、二氧化硫和重金属（铅、锌、砷、镉、汞及其氧化物）。铅冶炼主要大气污染物及来源见表 1。

表 1 铅冶炼主要大气污染物及来源

| 工序 | 产污节点 | 主要污染物 |
|----------|---|---|
| 原料制备工序 | 精矿装卸、输送、配料、造粒、干燥、给料等过程 | 颗粒物、重金属（Pb、Zn、As、Cd、Hg） |
| 熔炼-还原工序 | 熔炼炉、还原炉排气口；加料口、出铅口、出渣口、溜槽以及皮带机受料点等处泄漏烟气 | 颗粒物、SO ₂ 、重金属（Pb、Zn、As、Cd、Hg）、CO |
| 烟化工序 | 烟化炉排气口；加料口、出渣口以及皮带机受料点等处泄漏烟气 | 颗粒物、SO ₂ 、重金属（Pb、Zn、As） |
| 烟气制酸工序 | 制酸尾气 | SO ₂ 、硫酸雾、重金属（As、Hg） |
| 初步火法精炼工序 | 熔铅锅 | 颗粒物、重金属（Pb）、SO ₂ |
| 浮渣处理工序 | 浮渣处理炉窑烟气；加料口、放冰铜口、出渣口等处泄漏烟气 | 颗粒物、SO ₂ 、重金属（Pb、Zn、As） |
| 电解精炼工序 | 电解槽及其他槽 | 酸雾 |
| | 电铅锅 | 颗粒物、重金属（Pb）、SO ₂ |

2.2.2 水污染

铅冶炼过程中产生的废水包括炉窑设备冷却水、冲渣废水、高盐水、冲洗废水、烟气净化废水等。铅冶炼主要水污染物及来源见表 2。

表 2 铅冶炼主要水污染物及来源

| 工序 | 产污节点 | 主要污染物 |
|---------|------------------|--------------------------|
| 熔炼-还原工序 | 炉窑汽化水套或水冷水套、余热锅炉 | 盐类 |
| 烟化工序 | 炉窑汽化水套或水冷水套、余热锅炉 | 盐类 |
| | 冲渣 | 固体悬浮物（SS）、重金属（Pb、Zn、As） |
| 烟气制酸工序 | 制酸系统烟气净化装置 | 酸、重金属（Pb、Zn、As、Cd、Hg）、SS |
| 浮渣处理工序 | 炉窑汽化水套或水冷水套、余热锅炉 | 盐类 |
| 电解精炼工序 | 阴极板冲洗水、地面冲洗水 | 酸、重金属（Pb、Zn、As）、SS |
| 软化水处理站 | 软化水处理后产生的高盐水 | 钙、镁等离子 |
| 初期雨水收集 | 熔炼区、电解区初期雨水 | 酸、重金属（Pb、Zn、As、Cd、Hg）、SS |
| 废气湿式除尘 | 湿式除尘器 | SS、重金属（Pb、Zn、As、Cd、Hg） |

2.2.3 固体废物污染

铅冶炼过程中产生的固体废物主要包括烟化炉渣、浮渣处理炉渣、含砷废渣、脱硫石膏渣及废触媒。铅冶炼主要固体废物及来源见表 3。

表 3 铅冶炼主要固体废物及来源

| 工序 | 产污节点 | 主要污染物 |
|--------|--------|------------------------|
| 烟化工序 | 烟化炉 | 烟化炉水淬渣（含 Pb、Zn、As、Cu） |
| 烟气制酸工序 | 污酸处理系统 | 含砷废渣（含 Pb、Zn、As、Cd、Hg） |
| | 制酸系统 | 废触媒（主要为五氧化二钒） |
| 浮渣处理工序 | 铜浮渣处理 | 浮渣处理炉渣（含 Pb、Zn、As、Cu） |
| 电解精炼工序 | 电解槽 | 阳极泥 |
| 烟气脱硫系统 | 烟气脱硫系统 | 脱硫副产物 |

2.2.4 噪声污染

铅冶炼过程中产生的噪声分为机械噪声和空气动力性噪声，主要噪声源包括鼓风机、烟气净化系统风机、余热锅炉排气管及氧气站的空气压缩机等。在采取控制措施前，其噪声声级可达到 85dB(A)~120dB(A)。

3 铅冶炼污染防治技术

3.1 工艺过程污染预防技术

3.1.1 原料制备工序

3.1.1.1 封闭式料仓技术

是以封闭储存原辅料的方式控制扬尘。料仓在配料、混料等过程配套除尘设施，物料输送过程采用密闭输送。

该技术可减少原辅料贮存与配制过程中颗粒物的逸散。

该技术适用于铅冶炼原料制备。

3.1.2 熔炼-还原工序

3.1.2.1 富氧底吹熔炼-熔融高铅渣直接还原法熔炼技术

铅精矿、熔剂和工艺返回的铅烟尘经配料、造粒后，送底吹炉进行氧化熔炼，产出一粗铅和高铅渣。一粗铅铸锭后送精炼车间，熔融高铅渣经溜槽直接加入到还原炉内。

该技术可有效减少烟气的无组织排放，且粗铅冶炼过程综合能耗低，可实现无焦冶炼，降低粗铅生产成本。

该技术适用于以铅精矿为原料的粗铅冶炼，也可合并处理铅膏泥及锌浸出的铅银渣。

3.1.2.2 富氧底吹熔炼-鼓风机还原法熔炼技术（水口山法）

铅精矿、熔剂和工艺返回的铅烟尘经配料、造粒后，送底吹炉进行氧化熔炼，产出一粗铅和高铅渣，一粗铅铸锭后送精炼车间，高铅渣铸块后送鼓风机还原。主要设备采用只有氧化段而无还原段的氧气底吹熔炼炉。

该技术综合能耗较低，处理能力大，生产效率高，冶炼过程中烟气泄露点少，硫回收利用率高。

该技术适用于以铅精矿为原料的粗铅冶炼，也可合并处理铅膏泥及锌浸出的铅银渣。

3.1.2.3 富氧顶吹熔炼-鼓风机还原法熔炼技术（浸没熔炼法）

从炉顶垂直插入渣层的喷枪吹入富氧空气和燃料，熔池中的炉料经富氧空气搅拌，发生熔化、硫化、氧化、造渣等过程，产出粗铅和高铅渣，高铅渣铸块后送鼓风机还原。

该技术综合能耗较低，处理能力大，生产效率高，冶炼过程中烟气泄露点少，硫回收利用率高。该技术适用于以铅精矿为原料的粗铅冶炼，也可合并处理铅膏泥及锌浸出的铅银渣。

3.1.2.4 烧结-密闭鼓风机法熔炼技术（ISP 法）

铅锌混合精矿经配料后进行烧结，形成烧结块送密闭鼓风机熔炼。

密闭鼓风机烟气中含有较高浓度的一氧化碳，回收后可作为低热值煤气利用；但该技术返料量大，无组织排放较多。

该技术适用于处理铅锌混合矿以及含铅、锌的二次物料，尤其适用于复杂难选的铅、锌混合精矿的处理。

3.1.2.5 氧气底吹法熔炼技术（QSL 法）

通过浸没底吹氧气，使铅精矿、含铅二次物料与熔剂等原料发生熔化、氧化、交互反应和还原等作用，生成粗铅和炉渣。

该技术为一步炼铅法，流程简单，硫利用率高；但烟尘率高，返料量大，渣含铅量较高。

该技术适用于以铅精矿为原料的粗铅冶炼，也适用于处理含铅废料。

3.1.2.6 卡尔多炉法熔炼技术

精矿、富氧空气由喷枪喷入炉内进行闪速熔炼，溶剂、焦粉加入炉内参与反应，加料、氧化熔炼、还原熔炼和放铅出渣全过程在一个炉子内完成，周期进行。

该技术设备简单，熔炼强度高，能耗低，自动化程度高；但备料和烟气制酸过程复杂，烟尘率高，返料量大，炉龄短，维修工作量大。

该技术适用于以铅精矿为原料的粗铅冶炼。

3.1.3 烟化工序

3.1.3.1 回转窑烟化技术

将还原炉渣和焦粉混合后加热，使铅、锌、镉、锗等有价金属还原而挥发，以氧化物形态回收。

该技术有价金属回收率高；但窑龄短，耐火材料和燃料消耗大。

该技术适用于锌含量大于 8% 的铅还原炉渣中有价金属的回收。

3.1.3.2 烟化炉烟化技术

将还原剂和空气鼓入烟化炉的熔渣内，使其中的铅、锌、镉、锗等有价金属还原而挥发，以氧化物形态回收。

该技术金属回收率高，可用煤作为燃料和还原剂，过程易于控制；但出炉烟气量和烟气温度波动较大，二氧化硫含量低。

该技术适用于还原炉渣中有价金属的回收。

3.1.3.3 烟化炉-余热锅炉一体化技术

烟化炉-余热锅炉采用一体化设计，底部为烟化吹炼池，顶部为余热锅炉。

该技术可增大烟化炉的有效空间，炉体结构紧凑，余热利用率高。

该技术适用于还原炉渣中有价金属的回收及余热利用。

3.1.4 粗铅精炼工序

3.1.4.1 火法精炼技术

利用杂质金属与铅在高温熔体中物理或化学性质的差异，将铅与杂质分离，产生精铅。

该技术设备简单，占地面积小，生产周期短，投资少，生产成本较低；但工序多，铅直收率低，不利于有价金属的回收，精铅纯度较低。

该技术适用于粗铅精炼。

3.1.4.2 初步火法精炼除铜(锡)技术

该技术采用火法精炼工艺去除粗铅中的铜（锡）杂质后，浇铸成阳极板，再送电解精炼。铜以固熔体结晶析出，以浮渣的形态悬浮于铅液表面。

该技术中间物料的产出量小，伴生元素容易回收；但投资较高。

该技术适用于粗铅精炼，尤其适用于处理高铋粗铅。

3.1.4.3 电解精炼技术

利用纯铅制作的阴极板，按一定间距装入盛有电解液的电解槽，在电流的作用下，铅自阳极溶解进入电解液，并在阴极放电析出，电解铅板经电铅锅熔铸为铅锭。电解精炼主要采用小极板技术和大极板技术。

小极板铅电解精炼技术能耗高，装备水平低，劳动强度大；大极板电解精炼技术能耗较低，自动化程度高，劳动强度低。

该技术适用于粗铅初步火法精炼除铜（锡）后的进一步精炼提纯。

3.1.4.4 浮渣处理技术

将初步火法精炼除铜过程产生的浮渣与纯碱、焦炭共同加入到熔炼炉内熔炼，产出铜铋作为产品，粗铅返回生产工艺。

该技术适用于初步火法精炼除铜浮渣的金属回收。

3.2 大气污染治理技术

3.2.1 烟气除尘

3.2.1.1 袋式除尘技术

利用纤维织物的过滤作用对含尘气体进行净化。

该技术除尘效率大于 99.5%，适用范围广，不受颗粒物物理化学性质的影响，粉尘排放浓度可低于 $30\text{mg}/\text{m}^3$ ；但对烟气温度、湿度、腐蚀性等要求高，系统阻力大，运行维护费用高。

该技术适用于鼓风机和烟化炉的烟气除尘，也适用于环境集烟系统的废气除尘等。

3.2.1.2 电除尘技术

利用强电场使气体发生电离，进入电场空间的烟尘荷电，在电场力作用下向相反电极性的极板移动，并通过振打等方式将沉积在极板上的烟尘收集下来。

该技术除尘效率在 99.0%~99.8%，烟尘排放浓度可低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，能耗低，可应用于高温、高压环境，系统阻力小，运行维护费用低于袋式除尘器；但一次性投资大，应用范围受粉尘比电阻的限制，对细粒子的去除效果低于袋式除尘器。

该技术适用于熔炼-还原工序的烟气除尘。

3.2.1.3 旋风除尘技术

利用离心力的作用，使烟尘在重力和离心力的共同作用下从烟气中分离而加以捕集。

该技术设备结构简单，投资成本低，操作管理方便，可用于高温（450℃）、高含尘量（400g/m³~1000g/m³）烟气的除尘；但除尘效率低。

该技术适用于熔炼炉和还原炉的预除尘，尤其适用于 10μm 以上粗粒烟尘的预处理。

3.2.1.4 湿法除尘技术

利用液滴或液膜粘附烟尘净化烟气，包括动力波除尘技术、水膜除尘技术、文丘里除尘技术、冲击式除尘技术等，其中动力波除尘技术在铅冶炼中较常采用。

该技术操作简单、运行稳定、维修费用小，可适应烟气量变化较大的工况。

该技术适用于铅冶炼制酸系统的烟气净化。

3.2.2 烟气制酸

3.2.2.1 绝热蒸发稀酸冷却烟气净化技术

使用稀酸喷淋含二氧化硫的烟气，利用绝热蒸发降温增湿及洗涤的作用使杂质从烟气中分离，达到除尘、除雾、吸收废气、调整烟气温度的目的。

该技术可提高循环酸浓度，减少废酸排放量，降低新水消耗。

该技术适用于所有铅冶炼制酸烟气的湿式净化。

3.2.2.2 低位高效二氧化硫干燥和三氧化硫吸收技术

利用浓硫酸等干燥剂吸收二氧化硫中的水蒸汽和三氧化硫，净化和干燥制酸烟气。

净化后的制酸尾气从吸收塔排出，尾气中二氧化硫排放浓度低于 400mg/m³，硫酸雾浓度低于 40mg/m³。

该技术投资少、能耗较低，且可降低尾气中的酸雾含量。

该技术适用于所有制酸烟气的干燥和三氧化硫的吸收。

3.2.2.3 湿法硫酸技术

烟气经过湿式净化后，不干燥直接进行催化氧化，再经水合、冷却生成液态浓硫酸。

该技术可处理传统烟气脱硫工艺无法处理的低浓度二氧化硫烟气，硫回收率大于 99%。

该技术适用于二氧化硫浓度为 1.75%~3.5%的烟气，若二氧化硫浓度低于 1.75%，需要消耗额外的能量，以满足系统热平衡要求，经济性较差。

3.2.2.4 双接触技术

二氧化硫烟气先进行一次转化，生成的三氧化硫在吸收塔（中间吸收塔）被吸收生成硫酸，未转化的二氧化硫返回转化器再进行二次转化，二次转化后的三氧化硫在吸收塔（最终吸收塔）被吸收生成硫酸。通常采用四段转化，根据具体烟气条件也可选择五段转化。

烟气中的二氧化硫以硫酸的形态回收，二氧化硫转化率不低于 99.6%。

该技术适用于二氧化硫浓度 6%~14%的烟气制取硫酸。

3.2.2.5 预转化技术

烟气在未进入正常转化之前，先经预转化器转化，生成三氧化硫，使烟气中的二氧化硫浓度降低到

主转化器、触媒能够接受的范围内。

该技术可提高二氧化硫总转化率，降低尾气中污染物的排放浓度及排放量，且在预转化生成的三氧化硫进入主转化器后，起到抑制主转化器第一层触媒二氧化硫氧化反应的作用，避免出现过高的反应温度，损坏触媒和设备。

该技术适用于二氧化硫浓度高于 14%的烟气制取硫酸。

3.2.2.6 三氧化硫再循环技术

将反应后的含三氧化硫烟气部分循环到转化器一层入口，起到抑制转化器第一层触媒处二氧化硫氧化反应的作用，从而控制触媒层温度在允许范围内。

该技术二氧化硫转化率大于 99.9%，可降低尾气中二氧化硫的排放浓度和排放量。

该技术适用于二氧化硫浓度高于 14%的烟气制取硫酸。

3.2.2.7 烟气制酸中温位、低温位余热回收技术

二氧化硫转化和三氧化硫吸收均为放热反应，转化产生的热为中温位热，干吸工段产生的热为低温位热。中温位、低温位余热除满足系统自身热平衡外，还可通过余热锅炉、省煤器或三氧化硫冷却器等设备来生产中低压蒸汽，供生产、采暖通风、卫生热水或余热发电使用。

该技术可使中温位、低温位热的利用率由约 40%提高至 90%以上。

该技术适用于铅冶炼烟气制酸。

3.2.3 烟气脱硫

3.2.3.1 石灰/石灰石-石膏脱硫技术

主要以石灰或石灰石为吸收剂去除烟气中的二氧化硫，生成的副产物为脱硫石膏。

该技术脱硫效率较高，石灰/石灰石来源广且成本低，还可部分去除烟气中的三氧化硫、重金属离子、氟离子、氯离子等；但装置占地面积大，吸收剂消耗大，副产物脱硫石膏综合不易利用，有少量含氯量高的脱硫废水排放。

该技术适用于铅冶炼低浓度二氧化硫烟气的治理，不适用于脱硫剂资源短缺、场地有限的铅冶炼烟气制酸。

3.2.3.2 有机溶液循环吸收脱硫技术

采用以离子液体或有机胺类为吸收剂，添加少量活化剂、抗氧化剂和缓蚀剂，在低温下吸收二氧化硫，高温下再将二氧化硫解析出来，实现烟气中二氧化硫的脱除和回收。该技术可得到纯度 99%以上的二氧化硫气体送制酸工序。

该技术流程简单，自动化程度高，副产物二氧化硫可有效回收利用；但一次性投资大，受吸收剂来源限制，能耗高，设备易腐蚀，运行维护成本高。

该技术适用于低压蒸汽供应充足、烟气二氧化硫浓度较高、波动较大的铅冶炼烟气制酸。

3.2.3.3 金属氧化物脱硫技术

将含金属氧化物（如氧化锰、氧化锌、氧化镁等）的粉料加水或利用工艺中返回的脱硫渣的洗液配制成悬浮液，在吸收塔中与烟气中的二氧化硫反应，使烟气中的二氧化硫主要以亚硫酸盐的形式脱除。吸收后的副产物经空气氧化、热分解或酸分解处理，生成硫酸或二氧化硫。

该技术脱硫效率大于 90%，吸收剂可循环利用。

该技术适用于有金属氧化物副产物的铅冶炼烟气制酸。

3.2.3.4 活性焦吸附法脱硫技术

利用活性焦的物理、化学作用吸附二氧化硫。活性焦可采用洗涤法和加热法再生，再生回收的高浓度二氧化硫混合气体送入制酸工序。

该技术流程简单，再生过程中副反应少，脱硫效率高，同时可除尘、脱硝；但活性焦吸附容量有限，需要在低气速下运行，吸附设备体积大，且活性焦损耗量大。

该技术适用于蒸汽供应充足、场地宽裕的铅冶炼烟气制酸。

3.2.3.5 氨法脱硫技术

主要以液氨、氨水为吸收剂去除烟气中的二氧化硫。

该技术脱硫效率大于 95%，投入和运行费用低，占地面积小，处理率高，氨耗低；但存在氨逃逸问题，同时产生含氯离子酸性废水，易造成二次污染。

该技术适用于液氨供应充足、且对副产物有一定需求的铅冶炼烟气制酸。

3.2.3.6 双碱法脱硫技术

烟气中的二氧化硫在吸收塔内与氢氧化钠溶液反应，生成亚硫酸钠溶液，该溶液被引出反应塔外与投加的氢氧化钙反应，生成氢氧化钠和亚硫酸钙，沉淀分离亚硫酸钙，氢氧化钠溶液循环使用。

该技术可避免设备的腐蚀与堵塞，便于设备运行与保养，提高运行可靠性，运行费用较低。

该技术适用于氢氧化钠来源较充足的铅冶炼烟气制酸。

3.3 废酸及酸性废水治理技术

3.3.1 石灰中和法废水治理技术（LDS 法）

向废酸及酸性废水中投加石灰，使氢离子与氢氧根离子发生中和反应。

该技术可有效中和废酸及酸性废水，同时对除汞以外的重金属离子也有较好的去除效果，重金属去除率可大于 98%。该技术对水质有较强的适应性，工艺流程短，设备简单，原料石灰来源广泛，废水处理费用低；但出水硬度高，难以回用；底泥过滤脱水性能差，成分复杂，含重金属品位低，不易处置，易造成二次污染。

该技术适用于铅冶炼废酸及酸性废水的处理。

3.3.2 高浓度泥浆法废水治理技术（HDS 法）

在石灰中和法的基础上，通过将污泥不断循环回流，改进沉淀物形态和沉淀污泥量，提高污泥的含固率。

与石灰中和法相比，该技术可将水处理能力提高 1~3 倍，且易实现对现有石灰中和法处理系统的改造，改造费用低；污泥固体含有率达 20%~30%，可提高设备使用率；可实现全自动化操作，降低药剂投加量，节省运行费用。

该技术适用于铅冶炼废酸及酸性废水的处理。

3.3.3 硫化法废水治理技术

向水中投加碱性物质，形成一定的 pH 条件，再投加硫化剂，使金属离子与硫化剂反应生成难溶的金属硫化物沉淀而去除。

该技术可用于去除水中重金属，去除率高，沉渣量少，便于回收有价金属；但硫化剂费用高，反应过程中会产生硫化氢（H₂S）气体，有剧毒，易对人体造成危害。

该技术适用于含砷、汞、铜离子浓度较高的废酸及酸性废水的处理。

3.3.4 石灰-铁盐（铝盐）法废水治理技术

向废水中投加石灰乳和铁盐或铝盐（废水中含有氟离子时，需投加铝盐），将 pH 调整至 9~11，去除污水中的砷、氟、铜、铁等重金属离子。铁盐通常使用硫酸亚铁、三氯化铁和聚合氯化铁，铝盐通常使用硫酸铝、氯化铝。

该技术除砷效果好，工艺流程简单，设备少，操作方便，可使除汞之外的所有重金属离子共沉；但硫化物须在较严格的酸性条件下才能形成沉淀。各种离子去除率分别为：氟 80%~99%、其他重金属离子 98%~99%。

该技术适用于含砷、含氟废水的处理。

3.3.5 生物制剂法废水治理技术

将具有特定降解能力的复合菌群代谢产物与其他化合物复合制备成重金属废水处理剂，重金属离子与重金属废水处理剂经多基团协同作用，絮凝形成稳定的重金属配合物沉淀，去除水中的重金属离子。

该技术处理效率高，处理设施简单，运行成本低，且可应用于对现有斜板沉淀设施的改造。

该技术适用于粗铅冶炼含重金属废水的处理。

3.3.6 膜分离法废水治理技术

利用天然或人工合成膜，以浓度差、压力差及电位差等为推动力，对二组分以上的溶质和溶剂进行分离提纯和富集。常见的膜分离法包括微滤、超滤和反渗透。

该技术分离效率高，出水水质好，易于实现自动化；但膜的清洗难度大，投资和运行费用较高。

该技术适用于粗铅冶炼废水的深度处理。

3.4 固体废物综合利用及处理处置技术

铅冶炼烟化炉炉渣属于一般固体废物，可用于生产建材，如水泥掺和料或制砖原料等，也可利用一般工业废物处置场进行永久性集中贮存。

在确保环境安全的情况下，废酸处理产生的石膏渣可作为生产水泥的缓凝剂。

有金属回收价值的固体废物，应首先考虑综合利用。阳极泥可用于回收其中的金、银等有价金属；废酸处理产生的硫化渣，可用于回收铅、砷。

对于危险废物，按有关管理要求进行安全处理或处置。

3.5 噪声污染治理技术

铅冶炼企业主要从三个途径减少噪声污染：降低噪声源强、在传播途径上控制噪声、在接受点进行个人防护。

降低噪声源：在满足工艺设计的前提下，尽可能选用低噪声设备。

在传播途径上控制噪声：在设计中，着重从消声、隔声、隔振、减振及吸声方面进行考虑，结合合理布置厂内设施、采取绿化等措施，可降低噪声约 35dB(A)。

3.6 需重点关注的技术

3.6.1 基夫赛特一步炼铅法（Kivcet 法）

该技术的主体设备是基夫赛特炉，由氧化反应塔、贫化段和电炉区等部分组成。炉料和焦粒通过反应塔顶的喷嘴和加料口加入，硫化物在下落过程中快速氧化放热、熔化、造渣。焦粒漂浮在熔池表面形成炽热的焦炭层，在熔体落入熔池的过程中氧化铅被还原成铅并沉入熔池底部，部分氧化铅熔渣从隔墙下部进入电炉区贫化，进一步完成氧化铅熔渣的还原。

该技术工艺流程短，二氧化硫、烟尘等污染物排放量少，自动化和生产效率高；但炉料需要深度干燥，炉体需大量铜水套，投资较高，维修工作量较大，渣含铅较高。

该技术适用于铅锌联产企业。

3.6.2 富氧闪速法

该技术的主体设备由闪速熔炼炉和矿热贫化电炉组成。氧气、粉状炉料经喷枪喷入反应塔，反应后的融熔物料降落到焦炭层，与炽热焦炭层产生的一氧化碳及碳发生反应，被还原成金属铅；含少量铅的炉渣，经溜槽自流至矿热贫化电炉进行深度还原。

该技术炉体结构简单，投资省，物料适应性强，烟气量小，烟尘率低，可以使用廉价的兰碳代替冶金焦炭，生产成本较低。

该技术适用于以铅精矿为原料的粗铅冶炼，同时还可以处理湿法炼锌渣、湿法炼铜渣和铅贵金属系统产生的贵铅炉渣和氧化渣。

4 铅冶炼污染防治最佳可行技术

4.1 铅冶炼污染防治最佳可行技术概述

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用性，确定最佳工艺。

铅冶炼污染防治最佳可行技术组合见图 2。

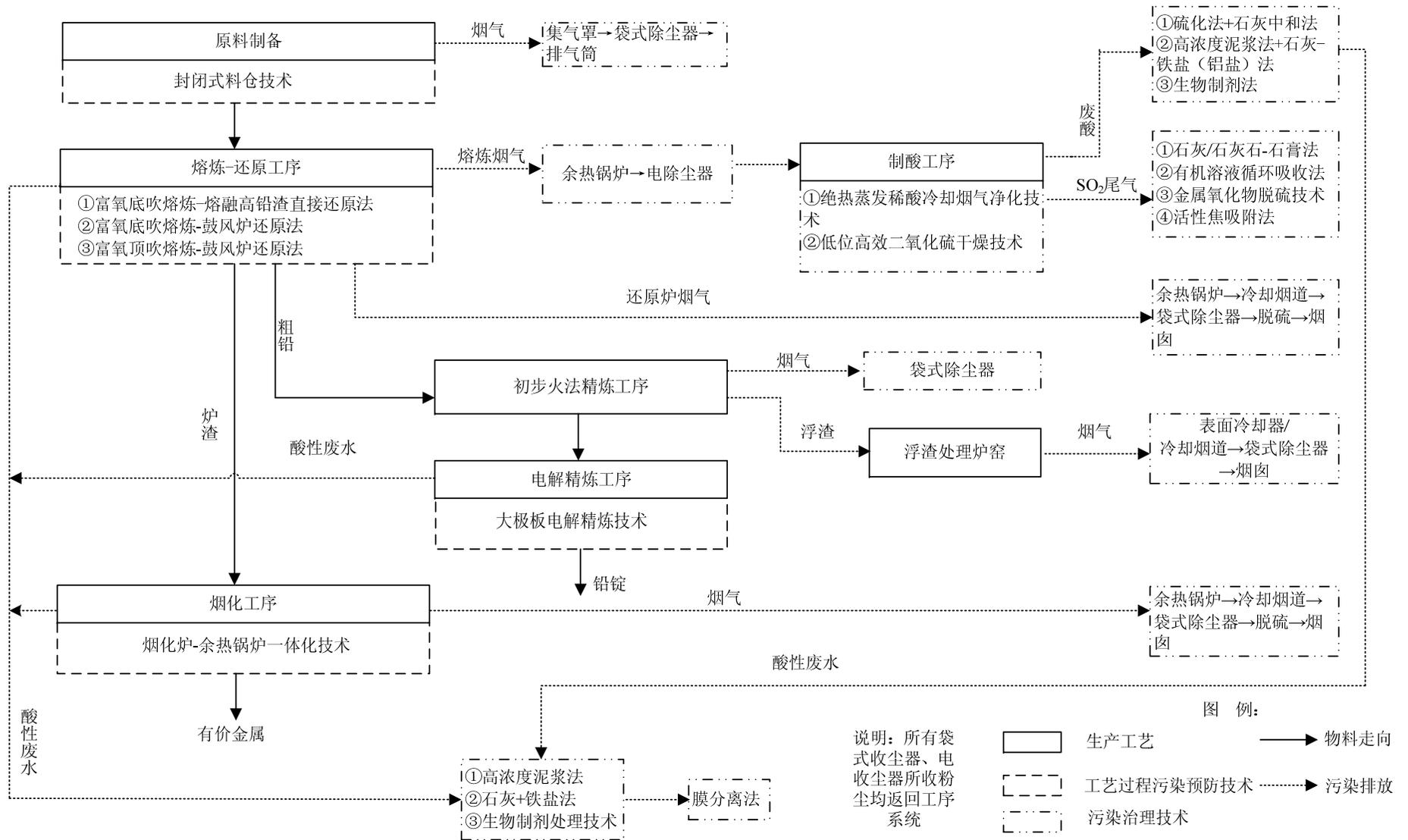


图 2 铅冶炼工艺污染防治最佳可行技术组合

4.2 工艺过程污染预防最佳可行技术

铅冶炼过程污染预防最佳可行技术及主要技术指标见表 4。

表 4 铅冶炼过程污染预防最佳可行技术

| 工序 | 最佳可行技术 | 主要技术指标 | 适用性 |
|---------|--------------------------|--|-----------------------------------|
| 原料制备工序 | 封闭式料仓技术 | 原辅料均采用封闭方式储存 | 适用于铅冶炼原料制备工序 |
| 熔炼-还原工序 | 富氧底吹熔炼-熔融高铅渣直接还原法熔炼技术 | 还原炉渣含铅 1.8%，粗铅回收率 > 98%，铅冶炼总回收率 > 97%，硫回收率 > 96%，硫捕集率 > 99%；操作区铅含量 < 0.03mg/m ³ ，二氧化硫含量 < 0.05mg/m ³ | 适用于以铅精矿为原料的粗铅冶炼，也可合并处理铅膏泥及锌浸出的铅银渣 |
| | 富氧底吹熔炼-鼓风炉还原法熔炼技术（水口山法） | 铅冶炼总回收率 > 97%，硫回收率 > 96%，硫捕集率 > 99%，吨粗铅排放二氧化硫量 < 2kg、烟尘排放 < 0.5 kg | 适用于以铅精矿为原料的粗铅冶炼，也可合并处理铅膏泥及锌浸出的铅银渣 |
| | 富氧顶吹熔炼-鼓风炉还原法熔炼技术（浸没熔炼法） | 铅冶炼总回收率 > 97%，硫回收率 > 96%，硫捕集率 > 99%，吨粗铅排放二氧化硫量 < 2kg、烟尘 < 0.5 kg | 适用于以铅精矿为原料的粗铅冶炼，也可合并处理铅膏泥及锌浸出的铅银渣 |
| 烟化工序 | 烟化炉-余热锅炉一体化技术 | 烟化炉终渣锌含量 < 2% | 适用于还原炉渣中有价金属的回收及余热利用 |
| 电解工序 | 大极板电解精炼技术 | 铅回收率 > 99% | 适用于粗铅初步火法精炼除铜（锡）后的进一步精炼提纯 |

4.3 大气污染治理最佳可行技术

4.3.1 烟气除尘最佳可行技术

4.3.1.1 原料制备系统废气除尘

4.3.1.1.1 最佳可行工艺参数

料仓中给料、输送、配料等工序均会产生粉尘。除尘工艺流程：集气罩→袋式除尘器→排气筒。

4.3.1.1.2 污染物削减和排放

粉尘产生浓度 5g/m³~10g/m³，除尘效率大于 99.5%，外排粉尘浓度低于 50mg/m³。

4.3.1.1.3 二次污染及防治措施

袋式除尘器收下的粉尘返回生产系统。

4.3.1.1.4 技术经济适用性

该技术适用于铅冶炼原料制备系统废气的除尘。

4.3.1.2 熔炼炉烟气除尘

4.3.1.2.1 最佳可行工艺参数

除尘工艺流程：熔炼炉烟气→余热锅炉→电除尘器→制酸工序。

除尘工艺系统阻力：800Pa。

4.3.1.2.2 污染物削减和排放

送制酸工序的烟气含尘浓度小于 $0.3\text{g}/\text{m}^3$ 。

4.3.1.2.3 二次污染及防治措施

净化后的烟气送制酸车间制酸，收集的烟尘返回配料工序。

4.3.1.2.4 技术经济适用性

该技术适用于铅冶炼熔炼炉烟气的除尘。

4.3.1.3 还原炉烟气除尘

4.3.1.3.1 最佳可行工艺

除尘工艺流程：还原炉烟气→余热锅炉→冷却烟道→袋式除尘器→脱硫→烟囱。

4.3.1.3.2 污染物削减和排放

烟尘产生浓度为 $8\text{g}/\text{m}^3\sim 30\text{g}/\text{m}^3$ ，系统总除尘效率大于 99.9%，外排粉尘浓度低于 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4.3.1.3.3 二次污染及防治措施

收集的烟尘送至精矿仓配料。

4.3.1.3.4 技术经济适用性

该技术适用于铅冶炼还原炉烟气的除尘。

4.3.1.4 烟化炉烟气除尘

4.3.1.4.1 最佳可行工艺参数

除尘工艺流程：烟化炉烟气→余热锅炉→冷却烟道→袋式除尘器→脱硫→烟囱。

该技术余热锅炉出口温度 $(350\pm 50)^\circ\text{C}$ ，冷却烟道出口温度 150°C ，余热锅炉除尘效率约 30%，余热锅炉阻力损失约 400Pa；袋式除尘器阻力损失约 2000 Pa。

4.3.1.4.2 污染物削减和排放

烟尘产生浓度 $50\text{g}/\text{m}^3\sim 100\text{g}/\text{m}^3$ ，外排粉尘浓度低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4.3.1.4.3 二次污染及防治措施

收集的烟尘作为副产品综合利用。

4.3.1.4.4 技术经济适用性

该技术适用于铅冶炼烟化炉烟气的除尘。

4.3.1.5 熔铅锅/电铅锅烟气除尘

4.3.1.5.1 最佳可行工艺

除尘工艺流程：集气罩→袋式除尘器→排气筒。

4.3.1.5.2 污染物削减和排放

该工序烟尘产生浓度 $1\text{g}/\text{m}^3\sim 2\text{g}/\text{m}^3$ ，除尘效率大于 99.6%，外排粉尘浓度低于 $8\text{mg}/\text{m}^3$ ，采用该技术可减少车间的无组织铅尘排放。

4.3.1.5.3 二次污染及防治措施

收集下来的铅尘粒径小，极易逸散，应采用密封装置储运，及时返回生产工艺。

4.3.1.5.4 技术经济适用性

该技术适用于铅冶炼精炼工序的烟气除尘。

4.3.1.6 浮渣处理炉窑烟气除尘

4.3.1.6.1 最佳可行工艺参数

除尘工艺流程：烟气→表面冷却器/冷却烟道→袋式除尘器→烟囱。

炉窑烟气约 500°C ，经表面冷却器或冷却烟道降温到约 200°C 后进入袋式除尘器。

4.3.1.6.2 污染物削减和排放

该工序烟尘产生浓度 $5\text{g}/\text{m}^3\sim 10\text{g}/\text{m}^3$ ，系统总除尘效率大于 99.8%，外排粉尘浓度低于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4.3.1.6.3 二次污染及防治措施

收集下来的烟尘粒径小，极易逸散，应采用密封装置储运，及时返回配料工序。

4.3.1.6.4 技术经济适用性

该技术适用于铜浮渣处理工序的烟气除尘。

4.3.1.7 环境集烟烟气除尘

4.3.1.7.1 最佳可行工艺参数

除尘工艺流程：收集烟气→袋式除尘器→烟囱。

4.3.1.7.2 污染物削减和排放

环境集烟烟尘产生浓度 $1\text{g}/\text{m}^3\sim 5\text{g}/\text{m}^3$ ，除尘效率大于 99.5%，外排粉尘浓度低于 $25\text{mg}/\text{m}^3$ ，采用该技术可减少车间的无组织烟粉尘排放。

4.3.1.7.3 二次污染及防治措施

收集的烟尘送至精矿仓配料。

4.3.1.7.4 技术经济适用性

该技术适用于铅冶炼熔炼炉各炉口、铸渣机、铸锭机、鼓风机上料口、鼓风机及电热前床各出铅口及出渣口、烟化炉进料口及其出渣口、反射炉的加料口、放冰铜口、出铅口等无组织烟气排放点的环保通风除尘。

4.3.1.8 烟气除尘最佳可行技术指标及排放水平

铅冶炼烟气除尘最佳可行技术指标及排放水平见表 5。

表 5 铅冶炼烟气除尘最佳可行技术及排放水平

| 工序或设备 | 含尘量 (g/m ³) | 最佳可行工艺流程 | 外排烟粉尘浓度 (mg/m ³) |
|---------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 原料制备 | 5~10 | 集气罩→袋式除尘器→排气筒 | <50 |
| 熔炼炉 | 100~200 | 熔炼炉烟气→余热锅炉→电除尘器→制酸工序 | - |
| 还原炉 | 8~30 | 还原炉烟气→余热锅炉→冷却烟道→袋式除尘器→脱硫→烟囱 | <30 |
| 烟化炉 | 50~100 | 烟化炉烟气→余热锅炉→冷却烟道→袋式除尘器→脱硫→烟囱 | <50 |
| 熔铅锅/电铅锅 | 1~2 | 集气罩→袋式除尘器→排气筒 | <8 |
| 浮渣处理炉窑 | 5~10 | 烟气→表面冷却器/冷却烟道→袋式除尘器→烟囱 | <20 |
| 环境集烟 | 1~5 | 收集烟气→袋式除尘器→烟囱 | <25 |

4.3.2 烟气制酸最佳可行技术

铅冶炼烟气制酸最佳可行技术见表 6。

表 6 铅冶炼烟气制酸最佳可行技术

| 工序 | 最佳可行技术 | 最佳可行工艺参数 | 污染物削减及排放 | 技术适用性 |
|---------|---------------------|---|--|--|
| 烟气净化工序 | 绝热蒸发稀酸冷却烟气净化技术 | 一级洗涤进口烟气温度 250℃~280℃，出口烟气温度 55℃~65℃；电除尘器进口烟气温度 40℃~42℃ | 出口酸雾含量< 5 mg/Nm ³ ；尘含量<2 mg/Nm ³ ；砷、氯含量<1 mg/Nm ³ ；氟含量< 0.5mg/Nm ³ | 适用于所有铅冶炼制酸烟气的湿式净化 |
| 干燥吸收工序 | 低位高效二氧化硫干燥和三氧化硫吸收技术 | 出干燥塔烟气水分 ≤100 mg/Nm ³ ；干燥塔循环酸浓度 93%~95%；干燥塔出塔酸温 <65℃；吸收塔循环酸浓度 98.2%~98.8%；吸收塔循环酸温度 45℃~75℃；吸收塔进塔气温 130℃~180℃ | 尾气酸雾含量 ≤40mg/Nm ³ ；尾气 SO ₂ 含量≤400mg/Nm ³ ；SO ₃ 吸收效率 ≥99.99% | 适用于所有制酸烟气的干燥和三氧化硫的吸收 |
| 转化工序 | 湿法硫酸技术 | 冷凝酸浓度>93% | 冷凝后尾气 SO ₂ 浓度 ≤300mg/Nm ³ | 适用于处理 SO ₂ 浓度 1.75%~3.5%的烟气 |
| | 双接触技术 | 尾气可经脱硫装置处理 | SO ₂ 总转化率 ≥99.6% | 适用于处理 SO ₂ 浓度 6%~14%的烟气 |
| | 预转化技术 | 与双接触技术配合使用；根据平衡转化率确定最佳操作条件，依据尾气 SO ₂ 排放浓度以及排放总量要求确定总转化率 | SO ₂ 总转化率 ≥99.85%；可采用低温触媒，改变操作温度，确保最终转化率 | 适用于处理 SO ₂ 浓度>14%的烟气 |
| | 三氧化硫再循环技术 | 与双接触技术配合使用。根据实际 SO ₂ 浓度和换热要求，确定 SO ₃ 烟气循环量 | SO ₂ 总转化率 ≥99.9% | 适用于处理 SO ₂ 浓度>14%的烟气 |
| 转化、吸收工序 | 中温位、低温位余热回收技术 | —— | 余热利用率可提高到 90%以上 | 适用于铅冶炼烟气制酸系统 |

4.3.3 烟气脱硫最佳可行技术

4.3.3.1 石灰/石灰石-石膏法脱硫技术

4.3.3.1.1 最佳可行工艺参数

选择活性好且碳酸钙含量大于 90%的脱硫剂，石灰石粉的细度-250 目大于 90%，脱硫系统阻力小于 2500Pa。

4.3.3.1.2 污染物削减和排放

当钙/硫摩尔比为 1.02~1.05、循环浆液 pH 值为 5~6 时，脱硫效率大于 95%；脱硫石膏纯度高于 90%。当烟气中二氧化硫含量为 $1000\text{mg}/\text{m}^3\sim 3500\text{mg}/\text{m}^3$ 时，二氧化硫排放浓度可低于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4.3.3.1.3 二次污染及防治措施

制酸尾气和锅炉烟气脱硫产生的石膏不含有重金属，可进行综合利用；其他烟气中均含有重金属粉尘，产生的石膏不适合综合利用。采用该技术排放的脱硫废水，送厂区污水处理站集中处理。

4.3.3.1.4 技术经济适用性

该技术适用于二氧化硫浓度小于 $5000\text{mg}/\text{m}^3$ 的烟气治理。

4.3.3.2 有机溶液循环吸收烟气脱硫技术

4.3.3.2.1 最佳可行工艺参数

吸收剂年损失率不大于 10%，系统阻力不大于 1800Pa。

4.3.3.2.2 污染物削减及排放

当烟气中二氧化硫含量为 $5000\text{mg}/\text{m}^3$ 以下时，二氧化硫排放浓度可低于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ ，脱硫效率大于 96%，副产物二氧化硫纯度不低于 99%。

4.3.3.2.3 二次污染及防治措施

产生的少量脱硫废水送至厂区污水处理站集中处理。

4.3.3.2.4 技术经济适用性

回收每吨二氧化硫消耗蒸汽 12t~17t，耗电 $500\text{kW}\cdot\text{h}\sim 1000\text{kW}\cdot\text{h}$ ，回收每吨二氧化硫成本 1500 元~3000 元。主体设备采用不锈钢材质，一次性投资较高。

该技术适用于含硫范围在 0.02%~5%的烟气治理，尤其适用于制酸尾气脱硫。

4.3.3.3 金属氧化物脱硫技术

4.3.3.3.1 最佳可行工艺参数

金属氧化物有效成份含量不低于 50%；配浆用金属氧化物粉的细度-250 目大于 90%。系统阻力小于 2500Pa。

4.3.3.3.2 污染物削减和排放

根据吸收剂的不同选择合适的摩尔比和喷淋密度，循环液 pH 值根据脱硫效率的要求适当调整。该技术系统脱硫效率大于 90%。

4.3.3.3.3 二次污染及防治措施

该技术副产品可回收利用，正常运转时无废物产生。

4.3.3.3.4 技术经济适用性

该技术适用于金属氧化物来源有保障、副产品可回收利用的企业，尤其适用于铅锌联合企业。

4.3.3.4 活性焦吸附法脱硫技术

4.3.3.4.1 最佳可行工艺参数

通过活性焦层的烟气流速 0.3m/s~1.2m/s。

4.3.3.4.2 污染物削减和排放

该技术系统脱硫效率大于 95%，硫酸雾吸收效率大于 90%，烟尘去除效率大于 90%。

4.3.3.4.3 二次污染及防治措施

该技术吸附饱和的活性焦再生后释放出的高浓度二氧化硫混合气体送至烟气制酸装置，用于生产硫酸；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脱硫装置循环使用，筛下的少量小颗粒活性焦可作为冶炼炉等的燃料使用，正常运转时无废物产生。

4.3.3.4.4 技术经济适用性

该技术适用于蒸汽供应充足、场地宽裕、副产物二氧化硫可回收利用的铅冶炼企业。

4.3.3.5 烟气脱硫最佳可行技术及排放水平

烟气脱硫最佳可行技术及排放水平见表 7。

表 7 铅冶炼烟气脱硫最佳可行技术及排放水平

| 最佳可行技术 | 二氧化硫排放浓度控制水平 | 脱硫效率 | 适用的烟气二氧化硫浓度范围 |
|------------------|-----------------------|------|------------------------|
| 石灰/石灰石-石膏法烟气脱硫技术 | <200mg/m ³ | >95% | <5000mg/m ³ |
| 有机溶液循环吸收烟气脱硫技术 | <200mg/m ³ | >96% | <5000mg/m ³ |
| 金属氧化物脱硫技术 | <300mg/m ³ | >90% | <3000mg/m ³ |
| 活性焦吸附法脱硫技术 | <200mg/m ³ | >95% | <5000mg/m ³ |

4.4 废酸及酸性废水治理最佳可行技术

4.4.1 废酸处理最佳可行技术

4.4.1.1 硫化法+石灰中和法

4.4.1.1.1 最佳可行工艺参数

一段反应 pH 值控制在 1.5~3.5 之间，二段反应 pH 值控制在 9~11。

4.4.1.1.2 污染物削减和排放

出水 pH 值 6~9、总铜浓度小于 0.5mg/L、总铅浓度小于 0.5mg/L、总砷浓度小于 0.3mg/L、总锌浓度小于 1.5mg/L、总镉浓度小于 0.05mg/L、总汞浓度小于 0.03mg/L。

4.4.1.1.3 二次污染及防治措施

一级、二级沉淀槽的沉渣经板框压滤机压滤成滤饼在砷渣临时堆场暂存，经沉淀池沉淀的中和渣脱水后回用于熔炼系统造渣。一级反应槽、浓密槽、二级反应槽逸出的硫化氢气体用氢氧化钠吸收。

4.4.1.1.4 技术经济适用性

该技术适用于处理含重金属浓度较高的冶炼烟气制酸系统产生的废酸。由于该技术需消耗硫化物，污水处理的运行成本较高。

4.4.1.2 高浓度泥浆法+石灰-铁盐（铝盐）法

4.4.1.2.1 最佳可行工艺参数

反应时间大于 30min，污泥回流比为 1:4，回流污泥浓度大于 25%，污泥与石灰乳混合时间 3 min~4min，聚丙烯酰胺用量小于 6g/m³，浓密池表面负荷 1.0m³/(m²·h)~1.5 m³/(m²·h)，铁砷比大于 10:1，石灰和铁盐的投加量根据水质计算确定。

4.4.1.2.2 污染物削减和排放

该技术在高浓度泥浆法工序去除 80%以上重金属后使用铁盐石灰法进一步去除砷、氟等污染物，出水 pH 值 6~9、总铜浓度小于 0.5mg/L、总铅浓度小于 0.5mg/L、总砷浓度小于 0.3mg/L、总锌浓度小于 1.5mg/L、总镉浓度小于 0.05mg/L、总汞浓度小于 0.03mg/L。

4.4.1.2.3 二次污染及防治措施

该技术污酸处理后产生的污泥属于危险废物，经脱水后应进行安全处置，处理后的污水排入厂区酸性废水处理站进一步处理。

4.4.1.2.4 技术经济适用性

该技术适用于处理含砷量较高的废酸，工程投资约 6000 元/m³。

4.4.1.3 生物制剂法

4.4.1.3.1 最佳可行工艺参数

硫酸含量 2%~6%的废酸中加入生物制剂，反应时间大于 20min，聚丙烯酰胺用量小于 6g/m³。

4.4.1.3.2 污染物削减和排放

出水 pH 值 6~9、总铜浓度小于 0.5mg/L、总铅浓度小于 0.5mg/L、总砷浓度小于 0.3mg/L、总锌浓度小于 1.5mg/L、总镉浓度小于 0.05mg/L、总汞浓度小于 0.03mg/L。

4.4.1.3.3 二次污染及防治措施

该技术产生的沉淀渣可作为回收汞及铅的原料，产生的水解渣中重金属含量低，经过压滤机脱水压滤后进行安全处置。

4.4.1.3.4 技术经济适用性

该技术适用于处理含重金属浓度较高的冶炼烟气制酸系统产生的废酸。

4.4.2 酸性废水处理最佳可行技术

4.4.2.1 高浓度泥浆法

4.4.2.1.1 最佳可行工艺参数

反应时间大于 30min，底泥回流比为 1:4，底泥与石灰乳混合时间 3 min~4min，聚丙烯酰胺用量小于 $6\text{g}/\text{m}^3$ ，浓密池表面负荷 $1.0\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 1.5\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

4.4.2.1.2 污染物削减和排放

出水 pH 值 6~9、总铜浓度小于 0.5mg/L、总铅浓度小于 0.5mg/L、总砷浓度小于 0.3mg/L、总锌浓度小于 1.5mg/L、总镉浓度小于 0.05mg/L、总汞浓度小于 0.03mg/L。

4.4.2.1.3 二次污染及防治措施

酸性废水处理产生的污泥属于危险废物，经脱水后应进行安全处置。

4.4.2.1.4 技术经济适用性

该技术是石灰中和法的替代技术，适用于铅冶炼酸性废水的处理。与石灰中和法相比，该技术处理同体积酸性废水可减少石灰消耗 5%~10%。

4.4.2.2 石灰-铁盐（铝盐）法

4.4.2.2.1 最佳可行工艺参数

一级反应 pH 值控制在 6~7，铁砷比 2.5~3，除砷效率 85%~90%，二级反应 pH 值控制在 9~11，铁砷比 20~30。

4.4.2.2.2 污染物削减和排放

出水 pH 值 6~9、总铜浓度小于 0.5mg/L、总铅浓度小于 0.5mg/L、总砷浓度小于 0.3mg/L、总锌浓度小于 1.5mg/L、总镉浓度小于 0.05mg/L、总汞浓度小于 0.03mg/L。

4.4.2.2.3 二次污染及防治措施

酸性废水处理产生的污泥属于危险废物，经脱水后应进行安全处置。

4.4.2.2.4 技术经济适用性

该技术适用于砷含量较高的酸性废水处理。

4.4.2.3 生物制剂法

4.4.2.3.1 最佳可行工艺参数

pH 值 2~6 的酸性废水中加入生物制剂，反应 30min 后，加碱调节 pH 值至 9~11，使之发生水解反应，水解反应时间 20min，聚丙烯酰胺用量小于 $6\text{g}/\text{m}^3$ 。

4.4.2.3.2 污染物削减和排放

出水 pH 值 6~9、总铜浓度小于 0.5mg/L、总铅浓度小于 0.5mg/L、总砷浓度小于 0.3mg/L、总锌浓度小于 1.5mg/L、总镉浓度小于 0.05mg/L、总汞浓度小于 0.03mg/L。

4.4.2.3.3 二次污染及防治措施

酸性废水处理产生的污泥为危险废物，经脱水后应进行安全处置。

4.4.2.3.4 技术经济适用性

该技术适用于铅冶炼企业酸性废水的处理。

4.4.2.4 膜分离法技术

4.4.2.4.1 最佳可行工艺参数

超滤过滤精度为0.01 μm ，产水污染指数(SDI)稳定在0.5~1.0，控制进水pH值约6.5，温度35 $^{\circ}\text{C}$ ~40 $^{\circ}\text{C}$ ，进水阻垢剂保持1.5mg/L时，纳滤运行压力始终稳定在约6kg/cm²，纳滤系统的水回收率稳定控制在75%，系统脱盐率大于90%。

4.4.2.4.2 污染物削减和排放

出水水质钙离子浓度30mg/L~200mg/L，悬浮物浓度不高于20mg/L，氯离子浓度不高于1000mg/L，二价铁离子浓度小于0.5mg/L，含盐量（以电导率计）不高于3000mg/L。

4.4.2.4.3 二次污染及防治措施

该技术产生的浓水可返回水淬渣池作为水淬渣冷却补充水。

4.4.2.4.4 技术经济适用性

该技术适用于铅冶炼废水的深度处理后回用。

4.5 固体废物综合利用及处理处置最佳可行技术

铅冶炼固体废物综合利用及处理处置最佳可行技术见表8。

表8 铅冶炼固体废物综合利用及处理处置最佳可行技术

| 固体废物种类 | 来源 | 处置方式 |
|---------|------------|----------------|
| 烟化炉水淬渣 | 烟化炉 | 可作为建筑材料综合利用 |
| 含砷废渣 | 制酸车间 | 交由有相关资质的单位集中处置 |
| 污泥 | 污水处理站 | |
| 废触媒 | 制酸过程中失效的触媒 | |
| 浮渣处理炉窑渣 | 铜浮渣处理产生炉渣 | 返回系统 |

4.6 最佳环境管理实践

4.6.1 一般管理要求

- 加强操作管理，建立岗位操作规程，制订应急预案，定期对员工进行技术培训和演练；
- 加强生产设备的使用、维护和维修，保证设备正常运行；
- 重视污染物的监测和计量管理工作，定期进行全厂物料平衡测试；
- 建立重金属污染物产生、排放的台帐制度；
- 建立健全各项记录和生产管理制度；
- 原料发生变化时及时向环保部门报告。

4.6.2 大气污染防治最佳环境管理实践

- 除尘设备的进出口设置温度、压力监测装置及含尘量监测孔；送制酸工序的烟气在风机出口处设流量和二氧化硫监测装置；
- 采用袋式除尘器或电除尘器时，采取防止烟气结露的可靠措施，防止除尘设备及管道的腐蚀；
- 对烟囱入口烟气的温度、压力、流量、含尘量、二氧化硫浓度等进行定期监测或在线连续监测；
- 除尘系统在负压下操作，以避免有害气体的溢出；排灰设备密闭良好，防止二次污染。

4.6.3 水污染防治最佳环境管理实践

- 重视节水管理，分别设计雨污分流系统、清浊分流系统，并加强各类废水的处理与回用，根据用水水质要求进行水的梯级利用，尽量减少排放；
- 废水管线和处理设施做防渗处理，防止有害污染物进入地下水；熔炼区、电解区初期雨水进行收集并治理；
- 制订环境监测计划，定期进行监测，监测频率不少于 1 次/天，监测因子至少包括水量、pH 值、铅、镉、汞、砷、镍、铬等。

4.6.4 固体废物综合利用及处理处置最佳环境管理实践

- 固体废物分类堆存，暂存场进行地面硬化并加盖雨篷和围墙；
- 对固体废物处置场的渗滤液及其处理后的排放水、地下水、大气进行定期监测；
- 固体废物处置场使用单位建立日常检查维护制度；
- 厂内危险废物暂存场按照有关要求建设，并在场外设置标识。采用专用封闭车辆转运危险废物，以防止沿途遗撒；
- 制订危险废物管理计划并向环保部门备案。