

附件 3

# 环 境 保 护 技 术 文 件

## 镍冶炼污染防治可行技术指南 (试行)

Guideline on Available Technologies of Pollution Prevention and Control for  
Nickel Smelting Industry (on Trial)

环 境 保 护 部

## 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，可作为镍冶炼项目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：中国恩菲工程技术有限公司、中冶建筑研究总院有限公司。

本指南由环境保护部解释。

## 1 总则

### 1.1 适用范围

本指南适用于处理硫化镍精矿、氧化镍矿（红土镍矿）和含镍物料的镍冶炼企业。

### 1.2 术语和定义

#### 1.2.1 标准状态

指温度为 273.15K、压力为 101325Pa 时的状态。本指南涉及的大气污染物浓度均以标准状态下的干气体为基准。

#### 1.2.2 卫生通风系统

在有废气产生的生产节点设机械排风装置，控制粉尘和有害气体的扩散，减少无组织排放，创造满足劳动卫生要求的生产环境，并根据需要对排风进行治理的通风系统。

## 2 生产工艺及污染物排放

### 2.1 生产工艺及产污环节

根据矿石成分，镍冶炼分为硫化铜镍精矿冶炼和红土矿（氧化镍矿）冶炼两大类。

#### 2.1.1 硫化镍精矿冶炼

硫化镍精矿冶炼生产金属镍主要采用高镍硫磨浮电解和高镍硫浸出电积两种方法。

高镍硫磨浮电解法是指硫化镍精矿先经火法冶炼生产高镍硫，高镍硫磨浮分离铜和镍并产出二次镍精矿，二次镍精矿电解生产电镍。高镍硫磨浮电解生产金属镍工艺流程及产污环节见图 1。

高镍硫浸出电积法是指硫化镍精矿先经火法冶炼生产高镍硫，高镍硫选择性浸出分离铜和镍，浸出液净化分离钴，除钴后液电积生产电镍。高镍硫浸出电积生产金属镍工艺流程及产污环节见图 2。

#### 2.1.2 氧化镍矿冶炼

氧化镍矿（红土镍矿）冶炼主要包括火法冶炼和湿法冶炼两类方法。

火法冶炼工艺（RKEF 工艺）适用于处理以残积层矿或腐殖土为主的高镍、高镁、低铁矿石。主要工艺流程为：回转窑干燥→配料→焙烧预还原→电炉熔炼→精炼（或吹炼），产品为镍铁合金。利用镍铁合金和硫化剂为原料进一步冶炼，可将镍铁转变成镍硫。

湿法冶炼适合处理的矿石类型较多，通常根据矿石成分的不同采用相应的工艺，目前主要有高压酸浸（HPAL）、常压酸浸（AL）、强化高压酸浸（EHPAL）三种工艺。

高压酸浸（HPAL）工艺适用于处理低镍、高铁低镁的褐铁矿。主要工艺过程是在高压釜中加入硫酸，在高温高压下，将镍浸出为硫酸盐；而铁则生成赤铁矿，经中和、洗涤及分离、除杂后，浸出液用硫化氢、氧化镁、石灰或氢氧化钠等沉淀产出混合硫化镍钴或氢氧化镍钴的中间产品，中间产品可作为产品出售，也可继续加工为金属产品。

常压酸浸（AL）工艺适用于处理含镍 1.5%~1.8%的低铁高镁的过渡型残积矿。主要工艺过程包括常压浸出、预中和、铁钒除铁、逆流洗涤、中和除杂、沉淀，产出混合氢氧化镍钴中间产品或继续加工为金属产品。

强化高压酸浸（EHPAL）是高压酸浸和常压酸浸相结合处理镍红土矿的工艺，利用高压酸浸残酸

浸出含镁较高的残积矿。除浸出过程不同外，后续处理工艺均与高压酸浸工艺相同。

氧化镍矿火法冶炼工艺流程及产污环节见图 3，氧化镍矿高压酸浸（HPAL）工艺流程及产污环节见图 4，氧化镍矿常压酸浸（AL）工艺流程及产污环节见图 5，氧化镍矿强化高压酸浸（EHPAL）生工艺流程及产污环节见图 6。



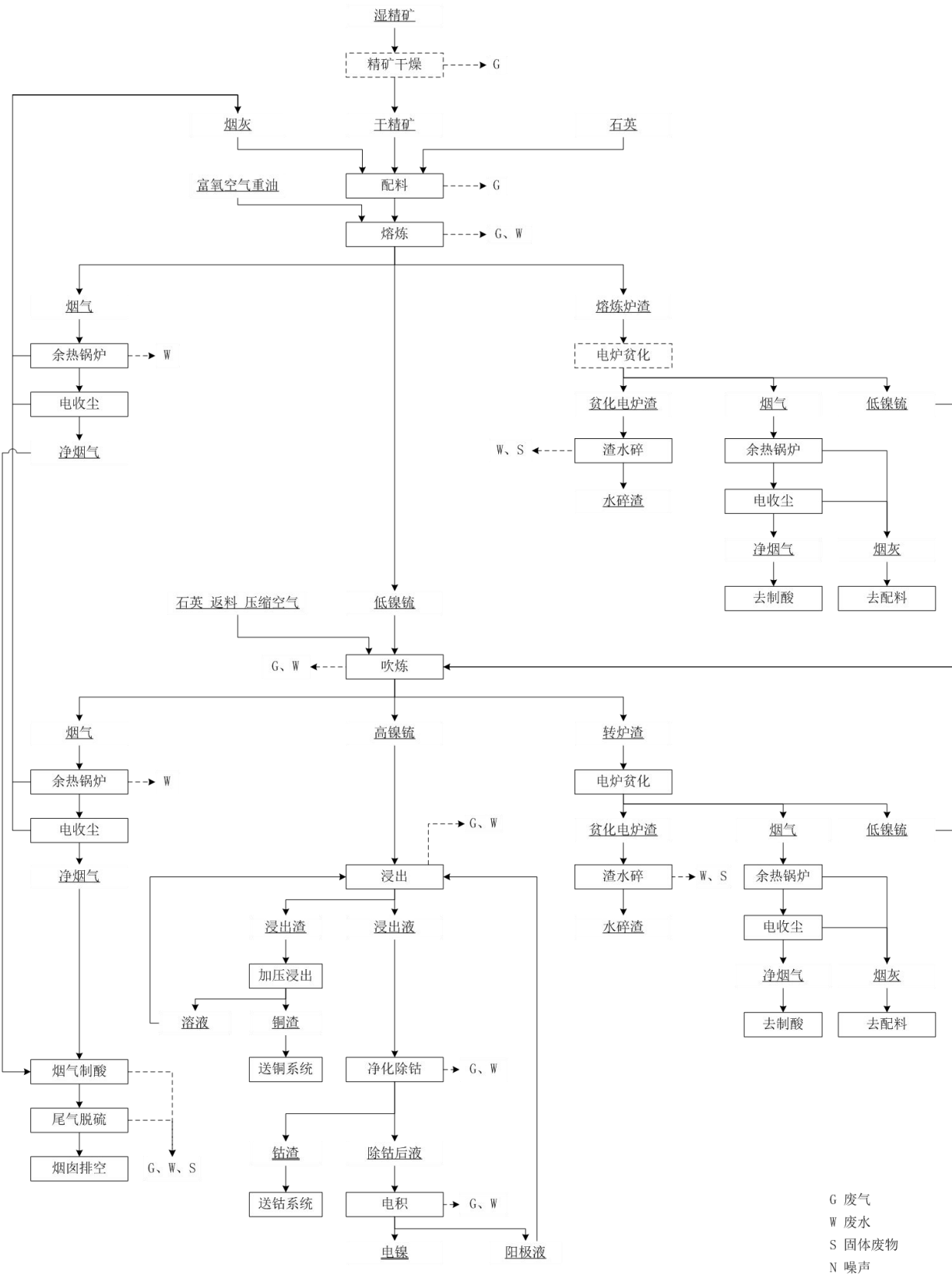


图2 高镍锰浸出电积生产金属镍工艺流程及产污环节

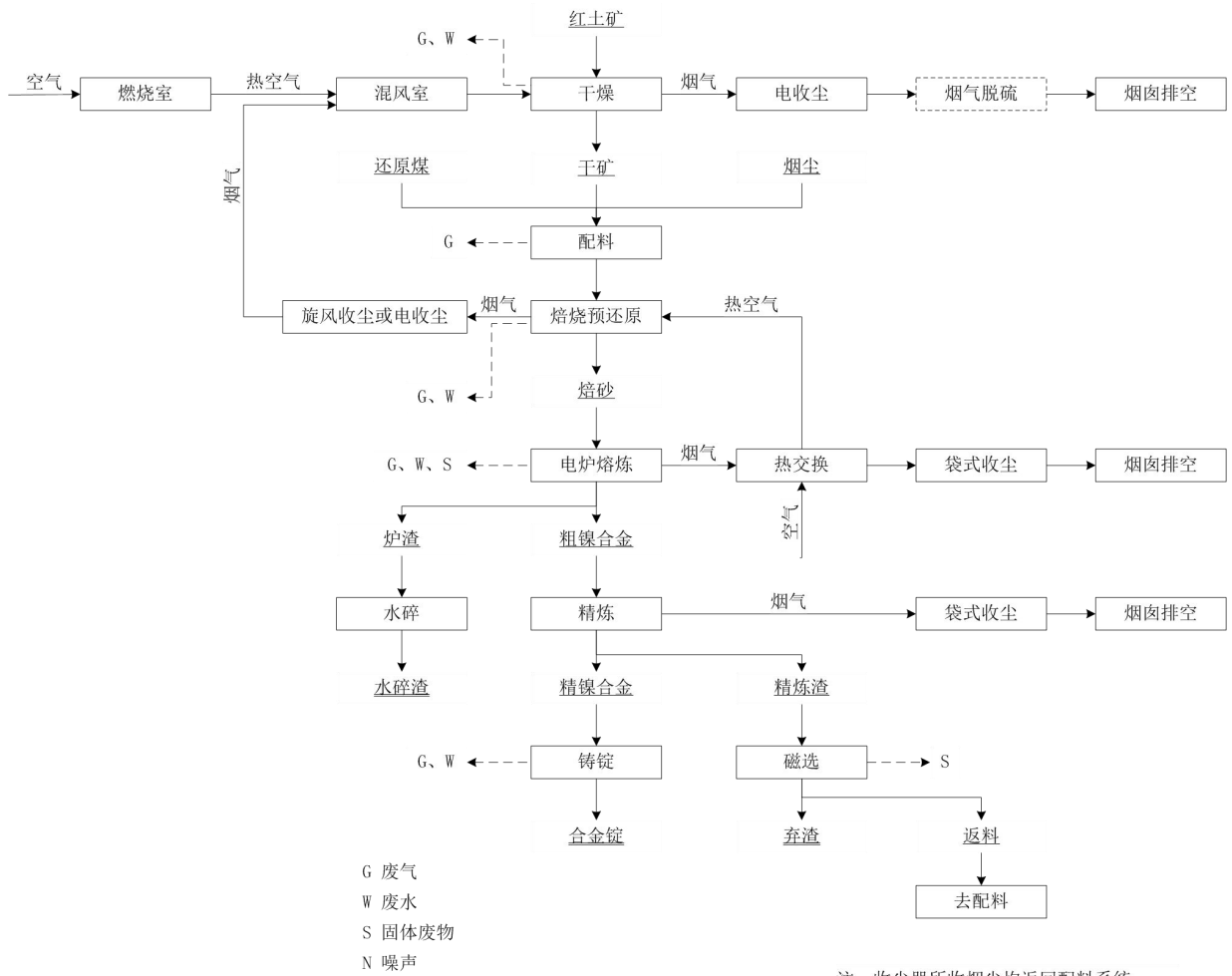


图3 氧化镍矿回转窑、电炉工艺流程及产污环节

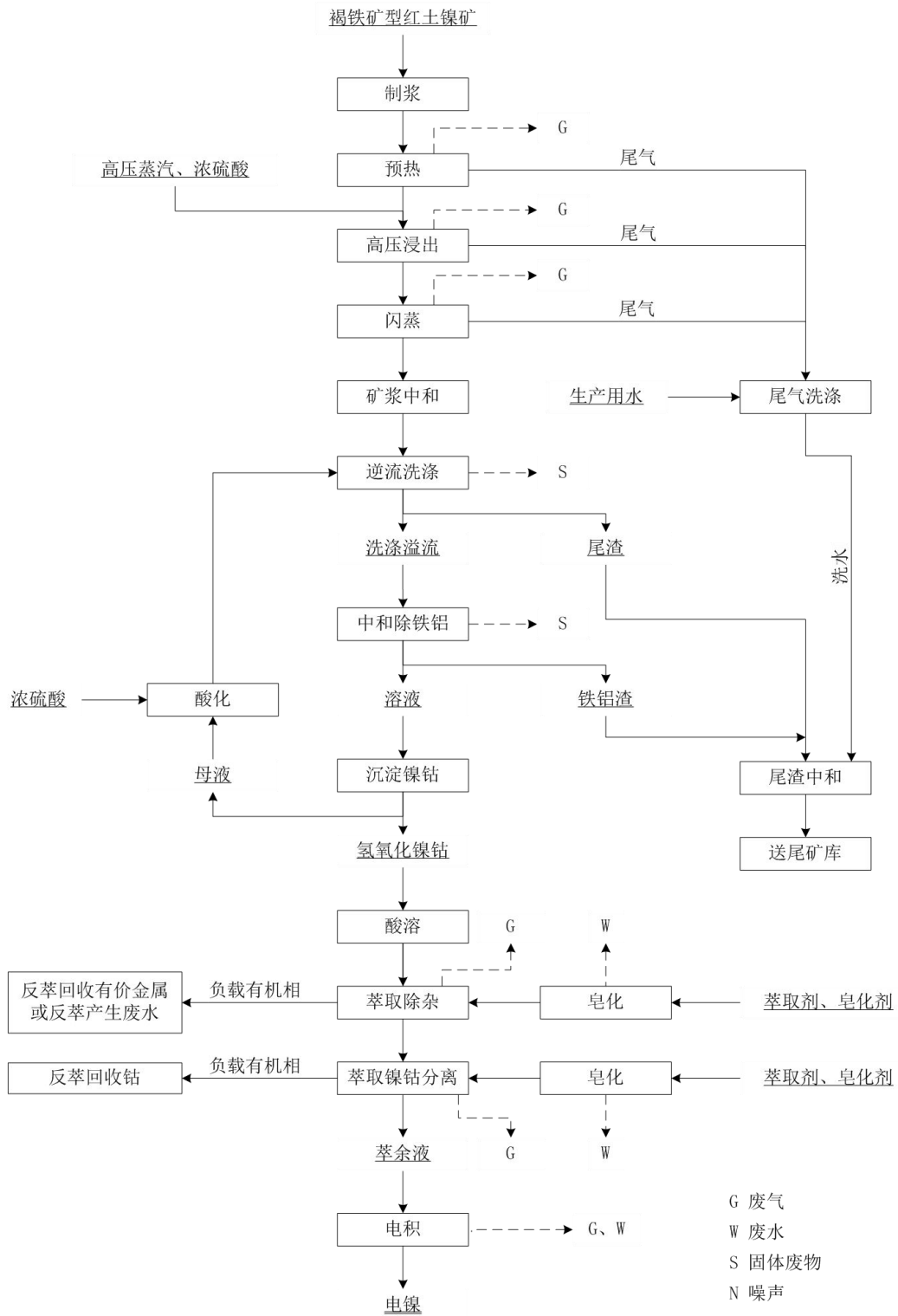


图 4 氧化镍矿高压酸浸（HPAL）工艺流程及产污环节



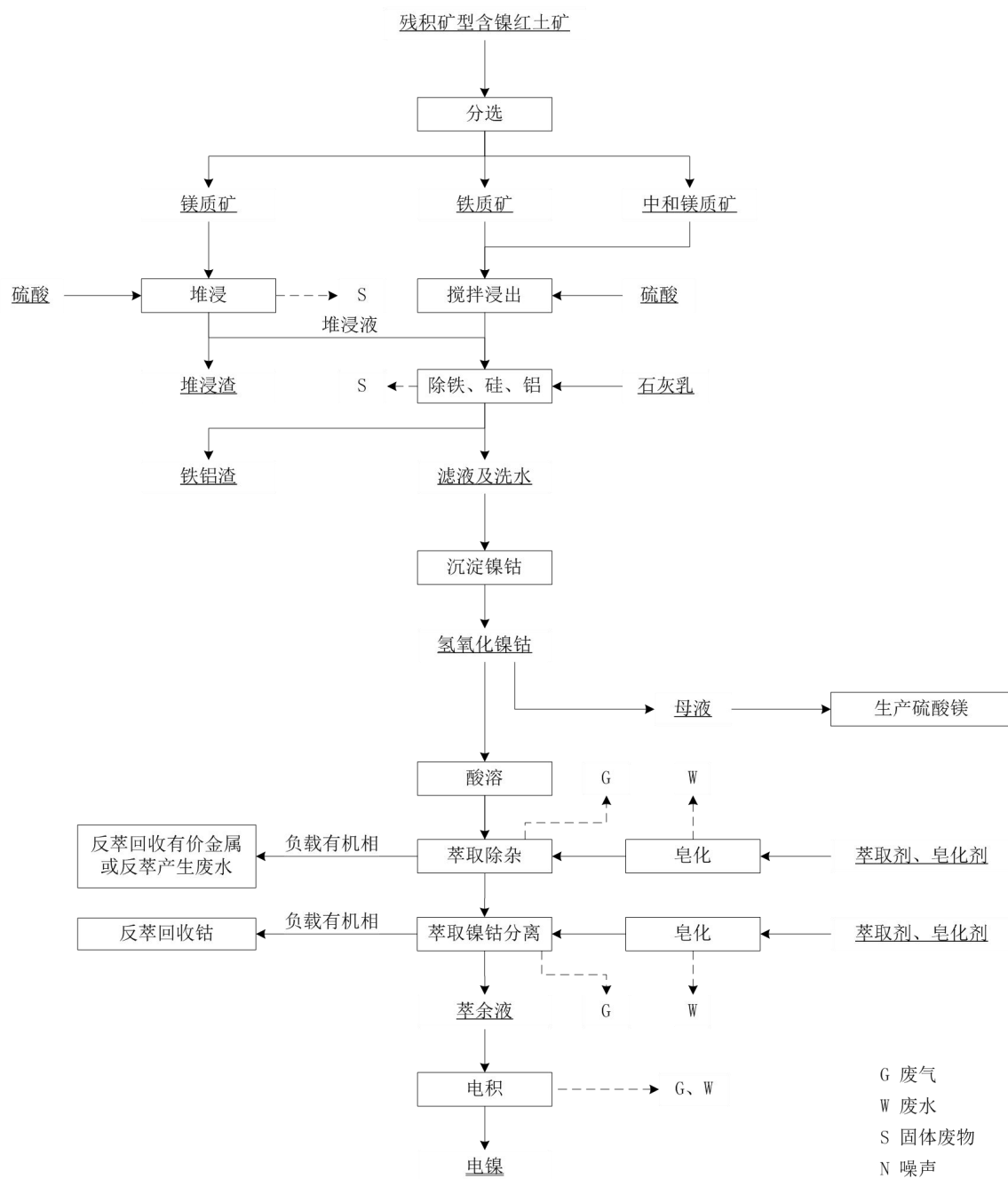


图5 氧化镍矿常压酸浸（AL）工艺流程及产污环节

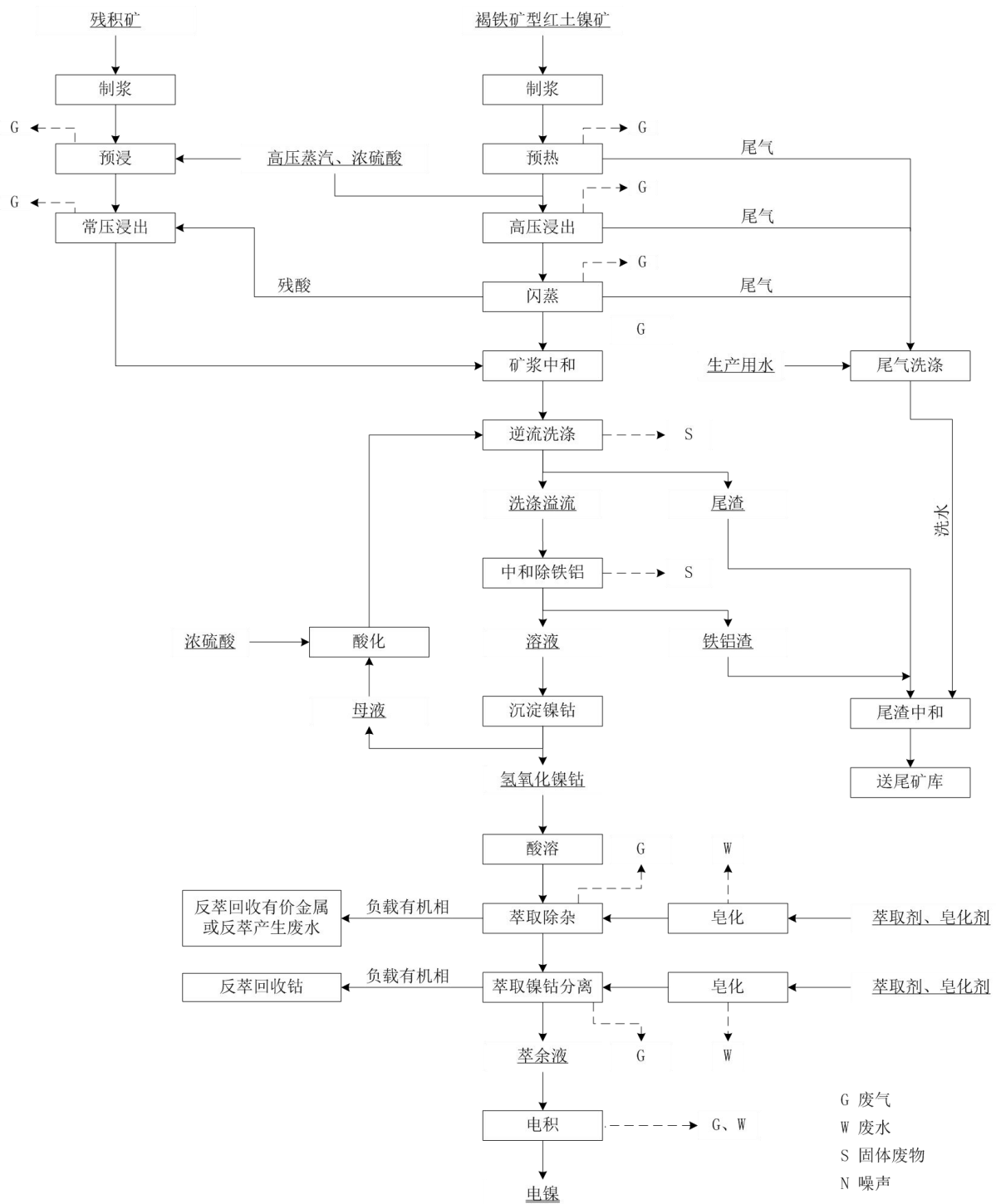


图 6 氧化镍矿强化高压酸浸（EHPAL）工艺流程及产污环节

## 2.2 污染物排放

镍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、水污染、固体废物污染是主要环境问题。

### 2.2.1 大气污染

镍冶炼过程中产生的大气污染物主要为颗粒物、二氧化硫、硫酸雾。

镍冶炼过程中主要大气污染物及来源见表 1。

表 1 镍冶炼大气污染物及来源

硫化镍精矿冶炼		
工序	污染源	主要污染物
干燥工序	干燥窑烟气	颗粒物（含重金属Cu、Ni、Pb、Zn、Cd及As）
	精矿上料、精矿出料、转运	颗粒物（含重金属Cu、Ni、Pb、Zn、Cd及As）
配料工序	抓斗卸料、定量给料设备、皮带运输设备转运过程中扬尘	颗粒物（含重金属Cu、Ni、Pb、Zn、Cd及As）
熔炼工序	加料口、铕放出口、渣放出口、喷枪孔、溜槽、包子房等处泄漏	颗粒物（含重金属Cu、Ni、Pb、Zn、Cd及As）、SO <sub>2</sub>
	熔炼炉烟气	颗粒物（含重金属Cu、Ni、Pb、Zn、Cd及As）、SO <sub>2</sub>
吹炼工序	包子吊运过程中逸散的烟气	颗粒物（含重金属Cu、Ni、Pb、Zn、Cd及As）、SO <sub>2</sub>
	转炉外层烟罩烟气	颗粒物（含重金属Cu、Ni、Pb、Zn、Cd及As）、SO <sub>2</sub>
	转炉内层烟罩烟气	颗粒物（含重金属Cu、Ni、Pb、Zn、Cd及As）、SO <sub>2</sub>
渣贫化工序	加料口、铕放出口、渣放出口、电极孔、溜槽、包子房等处泄漏	颗粒物、SO <sub>2</sub>
	炉窑烟气	颗粒物、SO <sub>2</sub>
烟气制酸工序	制酸尾气	SO <sub>2</sub>
反射炉熔铸工序	扒渣口、出铕口	颗粒物、SO <sub>2</sub>
	反射炉烟气	颗粒物、SO <sub>2</sub>
电解工序	除钴槽、铁矾除铁槽、铜渣浸出槽	Cl <sub>2</sub>
	电解槽、造液槽	硫酸雾
湿法精炼工序	浸出槽、净液槽、电积槽	硫酸雾、Cl <sub>2</sub>
氧化镍矿冶炼		
工序	污染源	主要污染物
干燥	干燥窑	颗粒物
焙烧预还原	焙烧窑	颗粒物
熔炼	电炉	颗粒物
精炼	钢包	颗粒物
备料	破碎机等	颗粒物
浸出	尾气洗涤塔	硫酸雾
	浸出槽、中和槽等	硫酸雾
	堆浸	硫酸雾
萃取	萃取槽等	硫酸雾、萃取剂
电积	电积槽	硫酸雾

### 2.2.2 水污染

硫化镍精矿冶炼产生的废水主要为烟气制酸工段产生的污酸及酸性污水，硫酸场地初期雨水及生产厂区其他场地初期雨水，中心化验室排出的含酸废水，工业冷却循环水的排污水，余热锅炉化学水处理车间排出的酸碱废水，余热锅炉排污水，镍湿法精炼排水等。

氧化镍矿湿法冶炼产生的废水主要为高压酸浸尾气洗涤液、浸出渣洗涤后夹带的废水、浸出液经镍钴沉淀后排放的废液、萃取过程产生的反萃液、洗水以及工业冷却循环水的排污水、化学水处理站排放的浓盐水等。

镍冶炼过程中主要水污染物及来源见表 2。

表 2 镍冶炼过程中水污染物及来源

硫化镍精矿冶炼			
废水种类	排水来源	主要污染物	备注
污酸、污水	制酸系统污酸	污酸、Zn <sup>2+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Ni <sup>2+</sup> 、As <sup>3+</sup> 、Co <sup>2+</sup>	进污酸处理站
	制酸系统酸性污水	酸性废水、Zn <sup>2+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Ni <sup>2+</sup> 、As <sup>3+</sup> 、Co <sup>2+</sup>	进污水处理站
	硫酸场地初期雨水	酸性废水、Zn <sup>2+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Ni <sup>2+</sup> 、As <sup>3+</sup> 、Co <sup>2+</sup>	进污水处理站
	生产厂区其他场地初期雨水	酸性废水、Zn <sup>2+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Ni <sup>2+</sup> 、As <sup>3+</sup> 、Co <sup>2+</sup>	进污水处理站
冶金炉水套冷却水排污水	工业炉窑汽化水套或水冷水套	盐类	冷却后循环使用，少量排污水。可经废水深度处理后回用
余热锅炉排污水、化学水处理车间排污水	余热锅炉房	盐类	锅炉排污水可用于渣缓冷淋水或用于冲渣 含酸碱污水中和后可用于渣缓冷淋水或用于冲渣
金属铸锭或产品熔铸冷却水排水	圆盘浇铸机、直线浇铸机等	固体颗粒物	沉淀、冷却后循环使用
冲渣水和直接冷却水	水碎装置等	固体颗粒物	沉淀处理后循环使用
精矿干燥烟气湿式除尘废水	湿式除尘循环水系统	悬浮物、盐类	沉淀、冷却后循环使用，少量外排。
电解车间排水	净化系统碳酸镍制备中产出的上清液	Cl <sup>-</sup> 、Na <sup>+</sup> 及其他重金属离子	去污水处理站
	含氯尾气吸收后的废水	Cl <sup>-</sup> 、Na <sup>+</sup>	去污水处理站
镍湿法精炼排水	制备氢氧化镍工段	Na <sup>+</sup> (含钠 15g/l)	去污水处理站
氧化镍矿冶炼			
废水种类	排水来源	主要污染物	备注
冶金炉水套冷却水排污水	工业炉窑汽化水套或水冷水套循环水系统	盐类	冷却后循环使用，少量排污水。可经废水深度处理后回用
酸性污水	生产厂区场地雨水	酸性废水、Zn <sup>2+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Ni <sup>2+</sup> 、As <sup>3+</sup> 、Co <sup>2+</sup>	去污水处理站
酸性废水	高压酸浸尾气洗涤液	酸性废水、Zn <sup>2+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Ni <sup>2+</sup> 、As <sup>3+</sup> 、Co <sup>2+</sup>	去污水处理站
碱性废液	镍钴沉淀后液（氢氧化物沉淀工艺）	碱性废水、Zn <sup>2+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Ni <sup>2+</sup> 、As <sup>3+</sup> 、Co <sup>2+</sup>	去污水处理站
酸性废液	镍钴沉淀后液（硫化物沉淀工艺）	酸性废水、Zn <sup>2+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Ni <sup>2+</sup> 、As <sup>3+</sup> 、Co <sup>2+</sup>	去污水处理站
浓盐水	化学水处理站排放废液	Ca <sup>2+</sup> 、Mg <sup>2+</sup>	用于渣缓冷淋水或用于

			冲渣
含萃取剂酸性废水	萃取工序	酸性废水、油污	进污水处理站

### 2.2.3 固体废物污染

镍冶炼排放的固体废物主要包括冶炼水碎渣、污水处理渣、脱硫副产物、湿法炼镍浸出渣、沉铁铝渣等。其中冶炼水碎渣为一般固废，其他固体废物的属性需经过鉴别，并根据其性质和类别确定处理方式。

### 2.2.4 噪声污染

镍冶炼过程产生的噪声分为机械噪声和空气动力性噪声，主要噪声源包括熔炼炉、吹炼炉、余热锅炉、鼓风机、空压机、氧压机、二氧化硫风机、除尘风机、各种泵类等。在采取控制措施前，锅炉安全阀排气装置间歇噪声达到 120 dB(A)，其他噪声源强通常为 85dB(A)~110dB(A)。

## 3 镍冶炼污染防治技术

### 3.1 镍冶炼污染预防技术

#### 3.1.1 精矿蒸汽干燥技术

精矿蒸汽干燥技术是通过蒸汽干燥机，利用冶炼烟气余热回收生产的蒸汽干燥镍精矿。

该技术不产生二氧化硫污染，且不会发生精矿自燃。

该技术适用于精矿的深度干燥。

#### 3.1.2 镍闪速熔炼技术

该技术是将干精矿、熔剂、烟尘等随同预热的富氧空气、燃料油由喷嘴一起喷入反应塔内，形成均匀的悬浮体，精矿颗粒被其周围的氧化性气体迅速氧化并加热熔化，熔体落入沉淀池，完成造钼和造渣反应，进而渣、钼分离，完成熔炼过程。

该技术反应温度高，反应速度快，熔炼强度大；可根据需要采用不同浓度的富氧熔炼，熔炼过程可以在基本自热条件下进行，燃料消耗少，并且可以采用煤粉取代燃油；熔炼炉密闭性好，冶炼烟气二氧化硫浓度高，易于经济地处理，有利于环保；装备水平和自动化水平高；炉寿命长，作业率高；但要求入炉原料为粉状，并经过深度干燥，因此需要设置熔剂制备和精矿深度干燥装置，熔炼过程相对复杂，流程较长；烟尘率高。

该技术适用于含镁量不高的镍精矿熔炼。

#### 3.1.3 富氧顶吹浸没喷枪熔炼技术

技术的核心是顶吹浸没喷枪技术，即通过垂直插入渣层的喷枪直接吹入空气或富氧空气、燃料。粉状物料和熔剂或还原性气体从炉顶加入熔池，经强烈搅拌熔池，使炉料发生强烈的熔化、硫化、氧化、造渣等物理化学过程，产出钼和渣的混合熔体，经沉降电炉分离镍钼和渣。

该技术综合能耗低，处理能力大，生产效率高；顶吹熔炼炉的密封性比较好，冶炼过程中烟气泄露点少，作业环境好，同时产生的烟气二氧化硫浓度高，完全满足制酸要求，硫回收利用率高；整个工艺采用分散控制系统（DCS）控制，自动化程度高。

该技术适用于含镁量较高的镍精矿熔炼。

### 3.1.4 P-S 转炉吹炼技术

P-S 转炉吹炼是以熔炼产出的低镍锍为原料，加入石英石熔剂造渣，脱去铁、硫等杂质产出高镍锍的冶炼方法。

P-S 转炉应用范围广，操作经验丰富，灵活性大，适应性强；但由于间断作业，使得炉口漏风大，有害烟气外逸气严重，气量波动大，烟气二氧化硫浓度相对偏低。

### 3.1.5 富氧顶吹浸没喷枪吹炼技术

镍锍、熔剂、冷料等从炉顶加入熔池，喷枪将反应风喷吹在渣层，控制反应过程一定的温度，在氧和熔剂的作用下，低镍锍中的铁被氧化后进入炉渣，从而进一步富集铜和镍。

该工艺的主要特点是：吹炼过程连续进行，作业率高；炉子密闭性好，漏风小，烟气连续稳定，烟气量少，二氧化硫浓度高，烟气处理成本低；吹炼强度大，单炉吹炼即可满足冶炼生产要求；作业独立性强，受熔炼生产制约小；炉寿较长，耐火材料消耗少；吹炼作业成本较低，吹炼过程有热量过剩，可处理冷料。

### 3.1.6 硫化镍电解技术

硫化镍电解是将硫化镍阳极与镍片制得的始极片（带隔膜）放入电解槽内，在硫酸和盐酸介质水溶液下电解，在直流电的作用下镍离子沉积在阴极上。

该技术采用隔膜将阴极液和阳极液分开，形成了阴极室和阳极室，从阳极室抽取阳极液净化除去铁、铜、钴等杂质，得到相当纯净的电解液（阴极液）返回阴极室，电解生产电镍。

该技术适用于金属硫化物的电解过程。

### 3.1.7 高镍锍选择性浸出技术

高镍锍选择性浸出技术是指控制浸出条件，使得镍进入溶液，铜留在浸出渣中，从而达到分离铜和镍的目的。浸出液采用黑镍除钴（或 Cy272 萃取钴），得到的硫酸镍溶液通过电积得到镍产品，得到的钴渣进一步处理回收钴。

该技术采用两段浸出，常压浸出渣再经高压浸出进一步回收镍钴，高压浸出渣作为提铜的原料。常压浸出液含铜、铁均小于 0.01g/l，硫酸镍钴溶液纯净；镍钴浸出率高；净化流程短；电镍产品质量高。

该技术适用于高镍锍的湿法分离过程。

### 3.1.8 电解液硫化沉铜技术

电解液硫化沉铜技术是指在除铁后的溶液中通入硫化氢气体，硫离子与铜离子反应生成硫化铜沉淀，从而去除铜。

该技术控制 pH 值在 2 以下，抑制镍和钴的沉淀，控制还原电位为 -50mV~-80mV，可得到铜镍比高达 10: 1 的铜渣。因硫化氢有剧毒，为防止硫化氢逸出，除铜应在负压下操作。

该技术适用于硫化镍电解的电解液净化过程。

### 3.1.9 电解液活性镍粉除铜技术

该技术利用金属镍较金属铜活泼的特性，向除铁后液中添加镍粉置换铜，从而去除铜。

该技术是在阳极液温度保持在 80℃，pH 维持在 2.5~3.5，除铜后液含铜可降至 0.4mg/L 以下，除铜率可达 99%，铜渣含铜大于 88%。置换出的铜渣极易氧化，要求除铜设备应密闭，减少空气进入，以免铜渣氧化重溶。

该技术适用于硫化镍电解的电解液净化过程。

### 3.1.10 烟气余热回收利用技术

烟气余热回收技术是火法冶炼产生的高温烟气进入除尘系统前，先利用烟气蕴含的热能进行生产的技术。

该技术余热回收方式有：利用离炉烟气预热空气（或煤气）；使用余热锅炉或汽化冷却装置生产中、低压蒸汽和热水；利用废气循环调节炉温和改善燃烧；利用离炉烟气加热入炉冷料等。利用余热生产的蒸汽可供生产、采暖通风、生活热水或余热发电系统使用。

该技术适用于镍铈熔炼、吹炼过程烟气的余热利用，也适用于氧化镍矿焙烧、电炉熔炼过程烟气的余热利用。

### 3.1.11 氧化镍矿回转窑、电炉生产技术

氧化镍矿火法冶炼的主要方法是应用电炉生产镍铁，该技术镍回收率较高，达到 90%以上；回转窑产生的焙砂通过热料输送系统，加到电炉内，提高了焙砂入炉温度，降低了电炉熔炼电耗，电耗为 500 kWh/t 焙砂，铜水套冷却技术的应用和电炉结构的改进提高了电炉的使用寿命，电炉寿命可达 7 年；电炉设有完善的控制系统。

### 3.1.12 红土镍矿高压酸浸技术（HPAL）

红土镍矿高压酸浸技术是在高压釜中加入浓硫酸，在高温高压下，将镍浸出为硫酸盐；而铁则生成赤铁矿，经洗涤、浓密，浸出液用硫化氢、氧化镁或氢氧化钠等沉淀产出镍钴硫化混合物或镍钴氢氧化物的中间产品，中间产品可作为产品出售，也可继续加工为金属产品。

该技术工艺成熟，采用高压酸浸工艺矿石中镍、钴等的浸出率可达 95%以上，镍、钴金属综合回收率均可达到 90%左右；能耗低，且可综合回收矿石中的钴等有价金属，提高项目的经济效益，从而可以处理较低品位矿石。

该技术适用于处理硅镁较低的矿石，一般要求镁含量低于 5%。

### 3.1.13 红土镍矿常压酸浸技术（AL）

利用硫酸浸出矿石，使得镍、钴、铜、铁等进入溶液，除去铁、铝等贱金属净化溶液，再加入沉淀剂沉淀镍钴生产中间产品，也可继续加工为金属产品。

该技术工艺简单，投资省；但酸耗高（一般 800kg/t~1000kg/t 干矿），生产成本偏高。镍钴总回收率在 80%-90%。

该技术处理原料主要是含镍 1.0%~2.0%的低铁高镁的过渡型或残积矿。矿石中含铁镁、铝量的高低及硫酸成本的高低直接影响该工艺的应用。

### 3.1.14 红土镍矿强化高压酸浸技术（EHPAL）

红土镍矿强化高压酸浸技术（EHPAL）是高压酸浸与常压酸浸相结合处理镍红土矿的一种工艺，利用高压酸浸残酸浸出含镁较高的残积矿，从而达到综合利用含镍红土矿资源、降低酸耗的目的。

该技术可降低高压酸浸浸出残酸，减少石灰石用量，提高高压酸浸镍的浸出率；但残积矿中和高压酸浸浸出液中的残酸，其镍钴浸出率偏低，铁大量浸出增加了铁矾量。

该技术适用于含镁较高的残积矿的处理。

### 3.1.15 红土镍矿浸出矿浆浓密机逆流洗涤技术

该技术采用浓密机多级洗涤，工艺中洗液和矿浆逆向流动，末级洗涤的矿浆和最初的洗液接触，保证了洗涤的效果。

该技术工艺简单、操作维护简单、洗涤效率高（洗涤效率可达 99%）、劳动强度小、运行费用低等特点。

该技术适用于大量的物料处理过程，如红土镍矿浸出后的矿浆洗涤过程。

### 3.1.16 黄铁矾除铁技术

黄铁矾除铁技术是指在温度 85℃~95℃、pH 值为 1.5~3.0 的条件下，溶液中一价正离子（如 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）和溶液中三价铁离子（Fe<sup>3+</sup>）形成黄铁矾沉淀，从而去除铁。

该技术沉淀性能好，过滤速度快，沉淀夹带有价金属少，沉淀含铁 30%~35%，与水解氢氧化铁相比渣量少，铁矾呈晶体结构，疏松、沙状，运输方便。

该技术适用于镍，钴，铜，锌等湿法冶炼除铁。

### 3.1.17 红土镍矿低浓度浸出液沉淀技术

红土镍矿低浓度浸出液沉淀技术是指通过加入沉淀剂使其与浸出后液中的镍、钴等有价金属离子发生反应，生成沉淀物，从而获得所需的中间产品。常用的沉淀技术主要包括硫化物沉淀技术和氢氧化物沉淀技术。

硫化物沉淀技术主要包括硫化氢中温沉镍技术和低温沉镍技术，该技术的特点是产品镍钴品位高、具有较广的产品市场。但是该技术项目投资大、技术复杂、运行费用高、安全要求高。

氢氧化物沉淀技术主要包括氧化镁、石灰或氢氧化钠沉镍技术。该技术特点是投资少、操作简单、运行费用低，但缺点是产品镍钴含量低，产品含水率高，作为中间产品出售市场范围相对较窄。

### 3.1.18 溶剂萃取技术

溶剂萃取技术是指利用有机溶剂从与其不相混溶的水相中将某种物质提取出来，以达到净化除杂，或有价金属分离。根据工艺要求可选用 P204 从除铁后液中除去杂质，净化溶液；根据溶液中杂质含量控制反萃条件可生产锰盐、锌盐等产品。选取 P507 或 Cyanex272 从含钴镍溶液中萃取钴，实现钴、镍分离。

该技术有价离子的分离效果好，如 P507 分离镍、钴，产品 Co/Ni 比大于 1000；属液-液过程，易自动化；试剂消耗少；有价金属回收率高。

该技术可广泛应用于镍钴，稀土，贵金属，化工等领域。

### 3.1.19 污染源密闭技术

污染源密闭技术是通过在污染的源头设密闭罩将污染源密闭起来，防止污染的扩散。

该技术烟气控制效果好，从源头上防止了污染物的扩散。

该技术适用于物料储仓、物料卸料点、物料转运点、物料受料点、物料破碎筛分设备等扬尘点的密闭，冶金炉窑以及炉窑加料口、铊排出口、渣排出口、铜水包房、渣包房、溜槽等产烟部位的密闭，湿法冶炼产生废气的各种槽、罐的密闭。



### 3.1.20 加湿防尘技术

加湿防尘技术是通过喷水或喷雾形式加湿物料抑尘。加湿点选在卸料、转运等物料有落差易扬尘的部位。加湿喷嘴采用雾化喷头，加湿水压力宜 0.4MPa 以上。

该技术适用于对原料水分无严格要求的冶炼工艺备料工段的防尘以及渣选矿工艺备料工段的防尘。

## 3.2 镍冶炼污染治理技术

### 3.2.1 烟气收尘技术

#### 3.2.1.1 电收尘技术

电收尘技术是指含尘气体在通过高压电场电离使粉尘荷电，在电场力的作用下粉尘沉积于电极上，从而使粉尘从含尘气体中分离出来。

电收尘器与其它收尘设备相比具有阻力小，耗能少，收尘效率高，适用范围广，处理烟气量大，自动化程度高，运行可靠等优点；但一次性投资大，结构较复杂，消耗钢材多，对制造、安装和维护管理水平要求较高；应用范围受粉尘比电阻的限制，适用于比电阻范围在  $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm} \sim 4 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  之间。

该技术在镍冶炼厂主要用于熔炼炉收尘、吹炼炉收尘、贫化电炉收尘、干燥烟气收尘。

#### 3.2.1.2 袋式收尘技术

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净化。

该技术除尘效率高，适用范围广。

该技术适用于镍冶炼企业精矿干燥、红土矿电炉烟气收尘、红土矿精炼烟气收尘和卫生通风系统含尘废气的净化。

#### 3.2.1.3 旋风收尘技术

旋风收尘技术是利用离心力的作用，使烟尘从烟气中分离从而加以捕集。

该技术结构简单，造价低，操作管理方便，维修工作量小；但对处理烟气量的变化敏感。

该技术适用于  $10 \mu\text{m}$  以上的粗粒烟尘除尘，可用于高温（低于  $450^\circ\text{C}$ ）、高含尘量  $400\text{g}/\text{m}^3 \sim 1000\text{g}/\text{m}^3$  的烟气。旋风收尘器一般只能作为初级收尘使用，以减轻后续收尘设备的负荷。

### 3.2.2 烟气制酸技术

#### 3.2.2.1 绝热蒸发稀酸冷却烟气净化技术

绝热蒸发稀酸冷却烟气净化技术是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出来，从而达到除尘、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。

该技术适用于所有的镍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

低位高效二氧化硫干燥和三氧化硫吸收技术是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，以净化和干燥制酸烟气。低位高效干吸工艺相对于传统工艺干燥塔和吸收塔操作气速高、填料高度低、喷淋密度大，减小了设备直径及高度，节省了设备投资。干燥塔、吸收塔、泵槽均低位配置，有利于降低泵的能耗。干燥塔采用丝网除沫器、吸收塔采用纤维除雾器，降低了尾气中的酸雾含量。

该技术适用所有制酸烟气的干燥和三氧化硫的吸收。

硫酸尾气从吸收塔（或最终吸收塔）排出，尾气二氧化硫浓度低于  $400\text{mg}/\text{m}^3$ ，硫酸雾浓度低于  $40\text{mg}/\text{m}^3$ 。

### 3.2.2.3 湿法硫酸技术

湿法硫酸技术是烟气经过湿式净化后，不经干燥直接进行催化氧化，再经水合、冷却生成液态浓硫酸。

该技术处理低浓度二氧化硫烟气，与传统的烟气脱硫工艺相比，没有任何副产品和废物排出，硫资源利用率接近 100%。

该技术处理低浓度二氧化硫烟气(1.75%~3.5%)优势明显，二氧化硫浓度低于 1.75%时需要消耗额外的能量，经济性较差。

### 3.2.2.4 单接触+尾气脱硫技术

单接触技术是指二氧化硫烟气只经一次转化和一次吸收制酸，二氧化硫转化率相对较低，需另外配置尾气脱硫装置联合使用。

该技术冶炼烟气中的二氧化硫大部分以硫酸的形式回收，少量再通过烟气脱硫装置以其它化工产品回收，二氧化硫转化率不低于 99%。

该技术适用于二氧化硫浓度在 3.5%~6%之间的烟气制取硫酸。

### 3.2.2.5 双接触技术

双接触技术是二氧化硫烟气先进行一次转化，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，根据具体烟气条件和排放要求可选择五段转化。

采用双接触技术，烟气中的二氧化硫以硫酸的形式回收，二氧化硫转化率不低于 99.5%。

该技术适用于二氧化硫浓度在 5%~14%之间的烟气制取硫酸。

### 3.2.2.6 预转化技术

预转化技术是指烟气在未进入正常转化之前，部分烟气先经预转化器转化，转化后烟气与其余的二氧化硫烟气合并后进入主转化器。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触媒层二氧化硫转化率的作用，防止触媒层超温，避免损坏触媒和设备。

该技术可提高二氧化硫总转化率，降低尾气污染物排放浓度及排放量。

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 三氧化硫再循环技术

三氧化硫再循环技术是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触媒层二氧化硫转化率的作用，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超过 99.9%，可降低尾气污染物排放浓度和排放量。

该技术适用于二氧化硫浓度高于 14%的烟气制取硫酸。

### 3.2.2.8 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，干吸产生的热为低温位热。转化实现系统自身热平衡外，余热可通过锅炉、省煤器或其他换热设备生产中低压蒸汽或热空气，供生产、采暖通风、卫生热水或余热发电使用。干吸低温位热以低压蒸汽或其他形式回收。

采用余热回收技术后可使中温位、低温位热利用率由 42% 左右提高至 90%以上。

该技术适用于镍冶炼烟气制酸工艺。

### 3.2.3 烟气脱硫技术

#### 3.2.3.1 氨法脱硫技术

氨法脱硫技术是利用（废）氨水、氨液作为吸收剂吸收去除烟气中的二氧化硫。根据过程和副产物不同，氨法可分为氨-酸法及氨-亚硫酸铵法等。

氨法脱硫效率可达 95%以上，当烟气二氧化硫含硫量在  $3000\text{mg}/\text{m}^3$  以下时，二氧化硫排放浓度可控制在  $150\text{mg}/\text{m}^3$  以下。

氨法脱硫工艺简单，占地小，在脱除二氧化硫同时具有部分脱硝功能，但氨法脱硫存在氨逃逸问题，同时有含氯离子酸性废水排放，造成二次污染。

该技术适用于低浓度二氧化硫烟气的脱硫，尤其适用于液氨供应充足，且副产物有一定需求的冶炼企业。

#### 3.2.3.2 石灰/石灰石-石膏法脱硫技术

石灰/石灰石-石膏法脱硫技术是用石灰或石灰石母液吸收烟气中的二氧化硫，副产石膏的烟气脱硫技术。

该技术脱硫效率大于 95%，当烟气二氧化硫含硫量在  $3000\text{mg}/\text{m}^3$  以下时，二氧化硫排放浓度可低于  $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。

该技术适应性较强，在满足镍冶炼企业低浓度二氧化硫治理的同时，还可以部分去除烟气中的三氧化硫、重金属离子、氟离子、氯离子等；但该技术占地大、吸收剂运输量较大、运输成本较高、副产物脱硫石膏处置困难。

该技术不适用于脱硫剂资源短缺、场地有限的冶炼企业。

#### 3.2.3.3 钠碱法脱硫技术

钠碱法脱硫技术是采用碳酸钠或氢氧化钠作为吸收剂，吸收烟气中二氧化硫，得到亚硫酸钠作为产品出售。

该技术工艺流程简洁，占地面积小，脱硫效率高，吸收剂消耗量少，副产物有一定的回收价值；但运行成本较高。

该技术适用于氢氧化钠或碳酸钠来源较充足的地区。

#### 3.2.3.4 金属氧化物吸收脱硫技术

金属氧化物吸收脱硫技术利用部分金属氧化物如氧化镁、氧化锌等对二氧化硫具有较好吸收能力的原理，将氧化物制成浆液洗涤气体，对含二氧化硫废气进行吸收处理。通常，此技术可以有效地同冶金工艺相结合，处理低浓度的二氧化硫废气。国内已有工业装置的有氧化锌法、氧化镁法和氧化锰法。

该技术脱硫效率大于 90%，且运行成本较低，脱硫副产物可与冶炼工艺相结合；但存在管道及阀门堵塞问题，影响系统稳定运行。

该技术适用于金属氧化物易得或金属氧化物为副产物的冶炼厂烟气脱硫。

#### 3.2.3.5 有机溶液循环吸收脱硫技术

有机溶液循环吸收脱硫技术是采用以离子液体或有机胺类为主，添加少量活化剂、抗氧化剂和缓蚀剂组成的水溶液吸收剂，吸收尾气中二氧化硫。该吸收剂对二氧化硫气体具有良好的吸收和解析能力，

在低温下吸收二氧化硫，高温下将吸收剂中二氧化硫解析出来，从而脱除和回收烟气中二氧化硫，该技术可得到纯度为 99% 以上的二氧化硫气体送制酸工艺。

该技术不需要运输大量的吸收剂，流程简洁，自动化程度高，副产高浓度二氧化硫。但该技术一次性投资大，再生蒸汽能耗较高，运行维护成本低。

该技术适用于厂内低压蒸汽易得，烟气二氧化硫浓度较高、波动较大，副产物二氧化硫可回收利用的冶炼企业。

### 3.2.3.6 活性焦吸附法脱硫技术

活性焦吸附脱硫技术是活性焦通过物理吸附和化学吸附作用吸附二氧化硫。

该技术脱硫效率大于 95%，具有工艺流程简单，且兼具脱尘、脱硝、除汞等功能，活性焦廉价易得，再生过程中副反应少。适合处理较低浓度二氧化硫烟气，由于在低气速（0.3m/s~1.2m/s）下运行，因而吸附体积较大。化学再生和物理循环过程中部分活性焦会粉化，需要定期补充。

该技术适用于厂内蒸汽供应充足，场地宽裕，副产物二氧化硫可回收利用的冶炼企业。

## 3.2.4 其它废气治理技术

### 3.2.4.1 填料吸收塔废气吸收技术

填料吸收塔废气吸收技术是利用酸的溶解特性，使含酸气体充分与水接触，溶于水中，得以净化。当进塔酸雾浓度低于 600mg/m<sup>3</sup> 时，净化效率可达 80%~99%。

该技术设备构造简单，运行管理方便。

该技术适用于硫酸雾、盐酸雾以及其他水溶性气体的吸收处理。吸收液有水和碱液两种，视被吸收有害物质的成分确定。采用空塔喷淋时可作为废气处理的预处理工序。

### 3.2.4.2 动力波湍冲废气吸收技术

动力波湍冲废气吸收技术是利用吸收液与废气相互碰撞、扩散，在固定区域内形成一段稳定的湍冲区，气液之间达到充分的传质、传热，酸性废气与碱性吸收液在湍冲区进行中和反应，脱除酸性废气。

该技术净化效率大于 99%，设备具有占地面积小，运行维护费用低，易安装等特点。排气量可在 50%~100% 间变化，而不降低吸收效率。洗涤循环液浓度可比传统流程的循环液浓度高，而不影响动力波湍冲洗涤塔的正常运行。

该技术适用于氯气、氮氧化物等废气的吸收处理。

### 3.2.4.3 氯气钠碱吸收技术

次氯酸钠除铁时生成的少量氯气适合采用钠碱吸收净化。一般采用三级吸收，第一、第二级吸收装置采用湍冲塔，第三级采用填料塔。吸收液采用 15% 氢氧化钠溶液，逆流补充吸收液（新吸收液直接补充至第三级塔，由三级塔循环泵向二级塔补液，二级塔循环泵向一级塔补液），一级塔循环液 pH 值小于 11 时排液，生成次氯酸钠溶液回用。由于一级塔氯气浓度最高，化学反应热大，在一级塔溶液循环系统中设板式热交换器，通过循环冷却水除去反应热，以维持系统对氯气的高效吸收。

### 3.2.4.4 高压酸浸尾气洗涤技术

高压酸浸尾气洗涤技术是将高压釜、高温预热器、高压闪蒸槽等设备中排放的废蒸汽进行洗涤，使蒸汽中的废酸、矿浆等进入洗液，从而减少废气对大气的污染。

该技术的特点是在保证废酸、矿浆充分进入洗液的前提下，避免了大量废蒸汽的冷凝，从而降低了洗液的循环量，节约了运行成本。

该技术适用于高压酸浸尾气的洗涤净化过程。

### 3.2.5 污酸处理技术

#### 3.2.5.1 硫化法+石灰石/石灰中和法污酸处理技术

硫化法+石灰石/石灰中和法污酸处理技术是向污酸中投加硫化剂，使污酸中的重金属离子与硫反应生成难溶的金属硫化物沉淀去除。硫化反应后向废水中投加石灰石或石灰，中和硫酸，生成硫酸钙沉淀（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）去除。出水与其它废水合并后进污水处理站做进一步处理。

常用的硫化剂有硫化钠（ $\text{Na}_2\text{S}$ ）、硫氢化钠（ $\text{NaHS}$ ）、硫化亚铁（ $\text{FeS}$ ）等。去除率 Cu: 96%~98%、As: 96%~98%、Ni: 96%~98%。

该技术主要去除镉、砷、锑、铜、锌、汞、银、镍等，可用于含砷、铜离子浓度较高的废水。具有渣量少、易脱水、沉渣金属品位高的特点，有利于有价金属的回收。

该技术适用于镍冶炼过程中污酸的处理。

#### 3.2.5.2 石灰+铁盐法污酸处理技术

石灰+铁盐法是向污酸中加入石灰乳进行中和反应，经固液分离、污泥脱水后产生石膏。进一步向废水中加入双氧水、液碱及铁盐，发生氧化沉砷反应，经固液分离、污泥脱水后产生砷渣。出水与其它废水合并后送污水处理站进一步处理。

该技术脱砷率大于 98%，降低了含砷较高的渣的产量，有利于砷的集中综合回收。

该技术适用于镍冶炼含砷离子浓度较高废水的处理。

### 3.2.6 酸性废水治理技术

#### 3.2.6.1 石灰中和法

石灰中和法是向重金属废水中投加石灰乳（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ），使重金属离子与氢氧根反应，生成难溶的金属氢氧化物沉淀、分离。对于含有多种重金属离子的废水，可以采用一次中和沉淀，也可以采用分段中和沉淀的方法。一次中和沉淀是一次投加碱，提高 pH 值，使各种金属离子共同沉淀。分段中和是根据不同金属氢氧化物在不同 pH 值下沉淀的特性，分段投加碱，控制不同的 pH 值，使各种重金属分别沉淀，有利于分别回收不同金属。

该技术流程短、处理效果好、操作管理简单、处理成本低廉、便于回收有价金属的特点。各种金属离子的去除率分别可达：Cu 98%~99%、As 98%~99%、F 80%~99%、Ni: 96%~98%，其他重金属离子 98%~99%。

该技术适用于含镍、铁、铜、锌、铅、镉、钴、砷废水的处理，该技术不适用于汞的脱除。

#### 3.2.6.2 石灰-铁盐（铝盐）法

石灰-铁盐法是向废水中加石灰乳（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ），并投加铁盐，如废水中含有氟时，需投加铝盐。将 pH 调整至 9~11，去除污水中的 As、F、Cu、Fe 等重金属离子。铁盐通常采用硫酸亚铁、三氯化铁和铁盐，铝盐通常采用硫酸铝、氯化铝。

该技术除砷效果好，工艺流程简单，设备少，操作方便，可去除钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、镉、锡、汞、铅、铋等，可以使除汞之外的所有重金属离子共沉；但砷渣过滤困难。各种金属离子去除率分别为：Cu 98%~99%、As 98%~99%、F 80%~99%、Ni: 96%~98%，其他重金属离子 98%~99%。

该技术适用于含砷、含氟废水的处理。

### 3.2.6.3 碱液中和+铁铝复合混凝剂法

碱液中和+铁铝复合混凝剂法处理技术是向废水中同时投加氢氧化钠和铁、铝复合混凝剂，使废水中镍、铜、钴等有色金属与氢氧化钠和铁、铝复合混凝剂充分反应，生成难溶的金属氢氧化物沉淀物，再进行固液分离，处理后的水直接排放或做进一步深度处理后回用，分离出的金属氢氧化物沉淀物经过浓缩、脱水处理后综合回收有色金属。

该方法具有渣量少，易脱水，沉渣金属品位高，有利于镍、铜、钴等有色金属的回收。

该技术适用于镍、钴湿法精炼工段废水的处理。

### 3.2.7 废水处理技术

#### 3.2.7.1 净化+膜法废水深度处理技术

净化+膜法废水深度处理技术是为提高水的重复利用率，对一般生产废水进行深度处理，使处理后水质达到工业循环水的标准，回用于循环水系统的补充水。除盐产生的浓盐水回用于冲渣等，不外排。

膜分离技术是利用高压泵在浓溶液侧施加高于自然渗透压的操作压力，逆转水分子自然渗透的方向，迫使浓溶液中的水分子部分通过半透膜成为稀溶液侧净化水的过程。其工艺过程包括盘式过滤或精密过滤、微滤或超滤、反渗透等。

反渗透系统产生的淡水回用于生产线，浓水可独立处理后排放，也可将浓水排入废水调节池进一步处理。该技术工艺流程短，减少占地面积。全过程均属物理法，不发生相变。

该技术脱盐率达到 75%，出水悬浮物浓度（SS）低于 5mg/L。

该技术适用于镍冶炼企业污水处理站废水的深度处理。

#### 3.2.7.2 含镁废水蒸发结晶生产七水硫酸镁技术

含镁废水蒸发结晶生产七水硫酸镁技术是指含镁废水先经硫化钠和石灰乳净化除去溶液中的重金属离子，矿浆固液分离后，溶液通过蒸发、浓缩、结晶，生成七水硫酸镁，再经离心分离和干燥后，得到七水硫酸镁产品。

该技术适用于红土镍矿常压浸出高硫酸镁废水的处理。

#### 3.2.7.3 废水除油技术

含油废水先经隔油池回收浮油，再进行第二步油水分离，常用的方法有活性炭吸附法及粗粒化油水分离法等。

废水除油可使用融合多种除油技术，集污水的预处理、油水分离和油的回收于一体的高效油水分离装置。出水含油低于 5mg/L。

该技术适用于镍冶炼企业萃余液、反萃废水等含油废水的处理。

### 3.2.8 固体废物综合利用及处理处置技术

#### 3.2.8.1 水碎渣、渣选矿尾矿综合利用技术

火法冶炼贫化电炉产生的水碎渣通常属于一般固体废物，可用于生产建材或除锈，如可作为矿渣水泥的掺和料或售给造船厂作喷砂除锈的载体，还可作为采矿巷道的回填料使用。污酸处理产生的石膏渣、脱硫石膏渣、常压酸浸工艺中产生的浸出渣、渣选矿尾矿等经鉴别为一般工业固体废物的可作为生产水泥的添加剂。

### 3.2.8.2 加压氧化浸出法处理硫化砷渣技术

加压氧化浸出技术是将硫化砷渣在高温富氧条件下加压浸出，绝大部分砷、铜离子进入溶液中，其中砷以五价形态存在，根据砷酸与硫酸铜溶解度的差异，浸出液首先冷却结晶出硫酸铜，结晶后液在搅拌槽内通入二氧化硫搅拌还原，五价砷被还原为三价，二次结晶、酸洗、干燥后得到精制三氧化二砷作为商品出售。

处理每吨砷渣电量消耗 840kWh，二氧化硫消耗不大于 750Kg。浸出渣含砷<1%，排放酸雾浓度 <2mg/m<sup>3</sup>。

该技术可同时回收砷、铜、铋、镓、硫等多种产品。

该技术适用于硫化砷渣的综合回收利用。

### 3.2.9 噪声治理技术

镍冶炼生产过程噪声源较多，噪声类型也不尽相同，应针对具体情况，主要从声源、传播途径和接受点三个环节进行治理。其中根治噪声源，指在满足工艺设计的前提下，尽可能选用低噪声设备，采用发声小的装置；传播途径上控制噪声，指在设计中，着重从消声、隔声、隔振、减振及吸声上进行考虑，结合合理布置厂内设施，采取绿化等措施，可降低噪声 35dB(A)左右，使噪声得到综合性治理；个人防护，指主要措施有在工段中设置必要的隔声操作间、控制室等，使室内的噪声符合有关卫生标准。

## 3.3 污染治理新技术

### 3.3.1 烟气收尘新技术

#### 3.3.1.1 电袋复合式收尘器技术

电袋复合式收尘器技术是将电收尘器与袋式收尘器有机的溶为一体，电收尘器与袋式收尘器的优点互相补充，使收尘设备的尺寸减少。对电收尘器而言，粉尘比电阻不再是决定的因素；对袋式收尘器而言，可以实现高气布比下的超高收尘效率，也解决了袋滤室内粉尘再飞散的问题。收尘器的过滤风速可达 3m/min，收尘效率可以达到 99.99%以上。

#### 3.3.1.2 移动电极型电收尘器技术

移动电极型电收尘器与普通的固定电极型电收尘器的主要区别是收尘电极是移动的。由于是靠旋转刷剥离粉尘，移动电极最突出的特点是粉尘的二次飞扬显著减少，收尘效率提高。同时，移动电极几乎不粘附粉尘，粉尘剥离比较彻底，并有效防止发生反电晕，也可收集高比电阻粉尘。其排放浓度可低于 50mg/m<sup>3</sup>。

#### 3.3.1.3 高频电源技术

高频电源技术具有重量轻、体积小、收尘效率高、对电网无干扰、节能等优点，成为可替代传统可控硅调压整流装置的电源。高频电源更适合高含尘的烟气，可有效避免电晕闭锁现象的发生。也可采取脉冲供电的方式，用于高比电阻粉尘收集。

#### 3.3.1.4 高温型袋式收尘技术

采用耐高温不锈钢纤维作为过滤材料，能直接处理 280℃~450℃的高温含尘烟气。过滤材料的物理、化学稳定性好，对所处理的烟气性质要求不严，因此滤袋使用寿命长、适用范围广。过滤速度高，可以在 1m/min~8m/min 内选取，常用过滤速度可以达到常规袋式除尘器的 4~5 倍。设备性能优良，

适用性强。采用超声波吹灰器作为清灰装置，实现了在高温工况下对除尘设备的清灰，而且吹灰器能稳定、连续地运行。采用离线清灰的方式，可实现除尘模块离线抢修。

### 3.3.1.5 褶式滤筒收尘技术

褶式滤筒收尘器是一种采用细纱仿黏聚酯长纤维滤料做成的一体化滤筒元件进行过滤的新型收尘器，滤料表面覆 PTFE（聚四氟乙烯）膜，实现了表面过滤，效率高达 99.99% 以上，烟尘排放浓度可低于  $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。因滤筒的特殊结构（滤料为褶皱式），同袋式收尘器相比，滤筒的过滤面积比同尺寸的滤袋增加了数倍。滤筒坚固不易变形，保证了滤料的使用寿命和收尘器的过滤效果。

## 3.3.2 脱硫新技术

### 3.3.2.1 等离子体烟气脱硫脱硝技术

等离子体烟气脱硫脱硝技术采用烟气中高压脉冲电晕放电产生的高能活性离子，将烟气中的二氧化硫和氮氧化物氧化为高价的硫氧化物和氮氧化物，最终与水蒸汽和注入反应器的氨反应生成硫酸铵和硝酸铵。等离子体烟气脱硫脱硝的特点是工程投资及运行费用低，能同时脱硫脱硝，产物可以作为肥料，无二次污染。

### 3.3.2.2 生物脱硫技术

生物脱硫是在常温常压下利用需氧、厌氧菌的生物特性，将烟气中的二氧化硫以单质硫的形式分离回收。生物脱硫的运行成本比传统脱硫方式运行费用低 30% 以上。

## 3.3.3 污酸、废水处理新技术

### 3.3.3.1 污酸蒸发浓缩回收技术

污酸蒸发浓缩回收技术是加热污酸，使其蒸发浓缩，生产浓硫酸。

该技术较传统的石灰石-石膏法处理废硫酸，可减少大量低质量石膏的产生，避免了二次污染，回收有用资源。

该技术适用于任何烟气制酸装置。

### 3.3.3.2 电絮凝法处理重金属废水

电絮凝法是以铝、铁等金属为阳极，以石墨或其他材料为阴极，在电流作用下，铝、铁等金属离子进入水中与水电解产生的氢氧根形成氢氧化物，氢氧化物絮凝将重金属吸附，生成絮状物，从而使水得到净化。

该技术具有结构紧凑，占地面积小，不需要使用药剂，维护操作方便，自动化程度高等优点。但该技术电源性能有待改善，目前只适用于处理中低浓度重金属废水，产生的二次固体废弃物较多，易造成二次污染。

### 3.3.3.3 微生物法处理重金属废水

微生物处理法是利用细菌、真菌（酵母）、藻类等生物材料及其生命代谢活动去除或积累废水中的重金属，并通过一定的方法使重金属离子从微生物体内释放出来，从而降低废水中重金属离子的浓度。微生物法处理重金属废水主要通过吸附作用及沉淀作用。微生物法处理重金属废水与传统的物理化学方法相比有以下优点：运行费用低，生成的化学或生物污泥量少；去除极低浓度重金属离子的效率高；操作 pH 及温度范围宽（pH3~9，温度  $4^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ ）；高吸附率，高选择性。技术研发重点集中在菌种的分离提取、基因工程菌的构造、混合菌的培养、优势菌的筛选、培养、驯化等方面。



## 4 镍冶炼污染防治可行技术

### 4.1 镍冶炼污染防治可行技术概述

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宜性，确定可行技术组合。

硫化镍冶炼污染防治可行技术组合见图 7、8。

氧化镍冶炼污染防治可行技术组合见图 9、10。

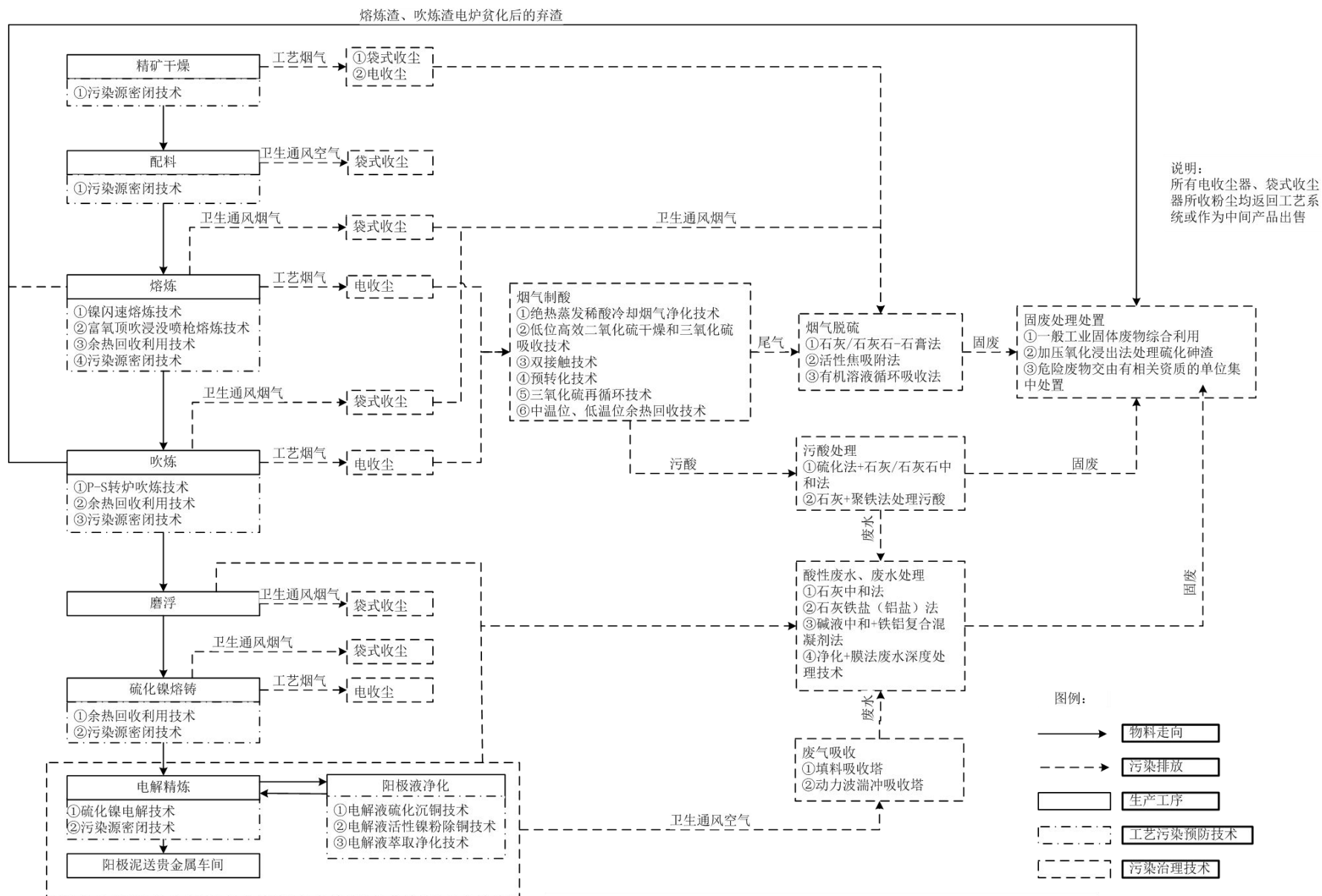


图7 高镍硫磨浮电解生产金属镍污染防治可行技术组合

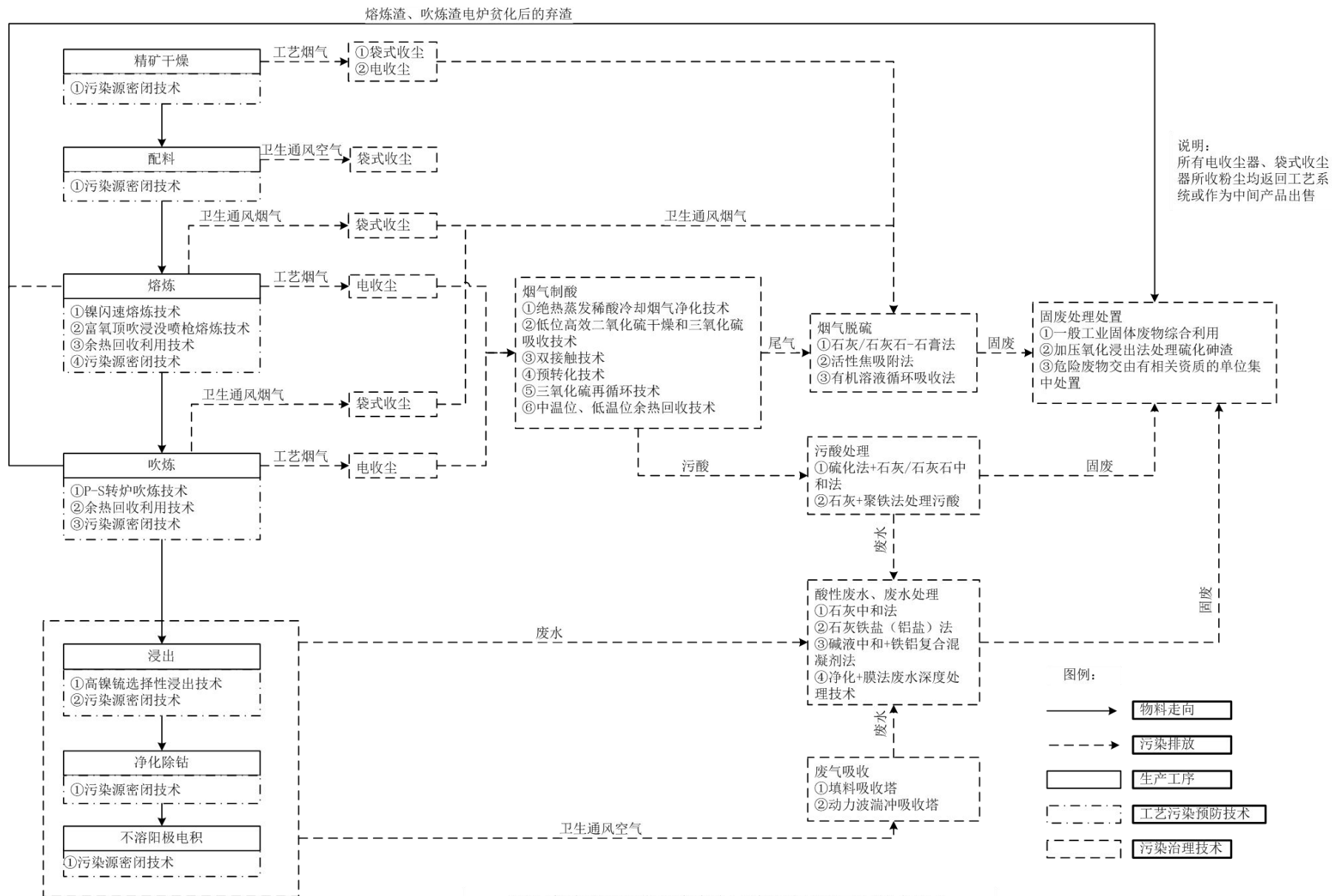
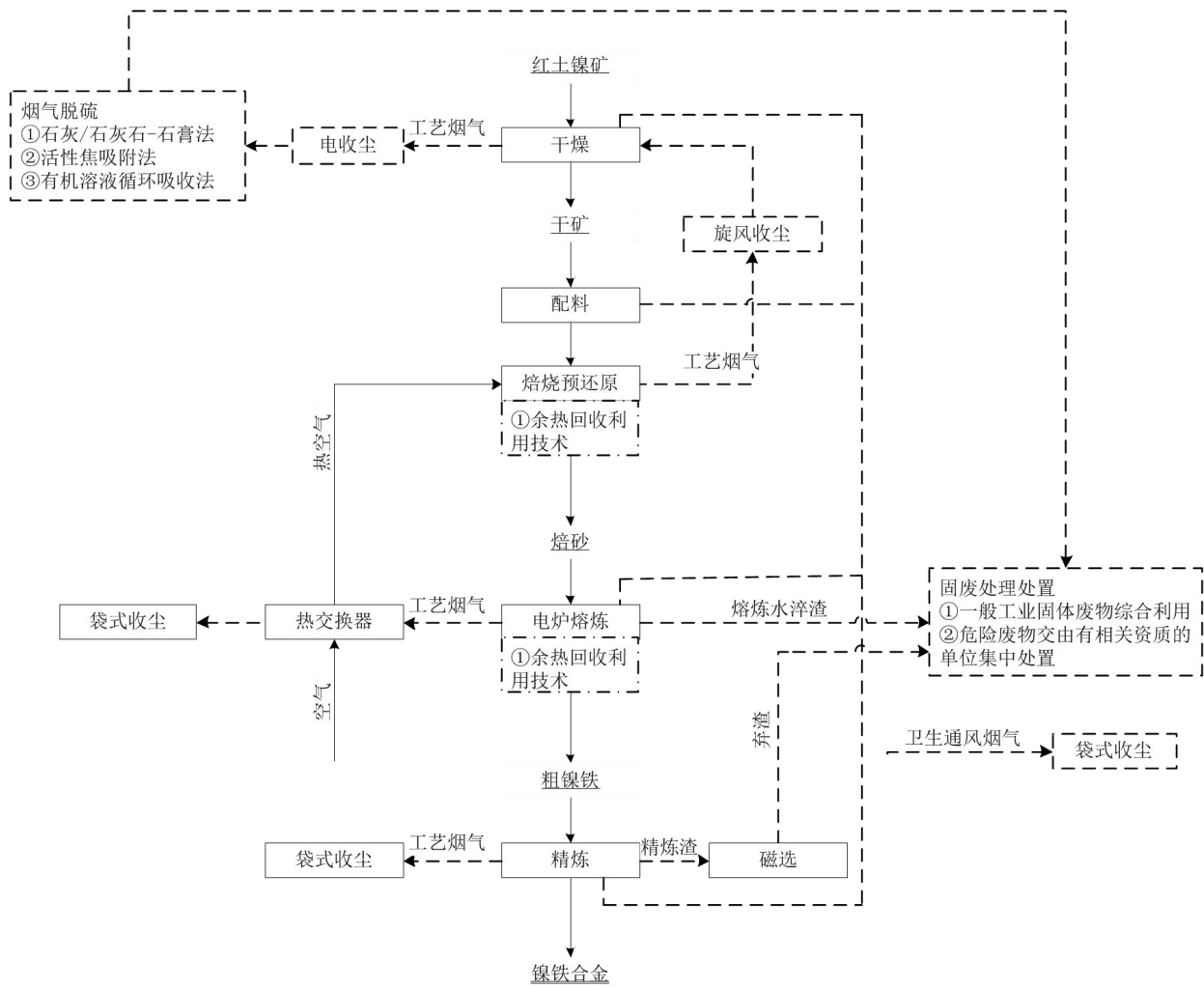


图8 高镍钨浸出电积生产金属镍污染防治可行技术组合



说明：  
所有电收尘器、袋式收尘器所收粉尘均返回配料

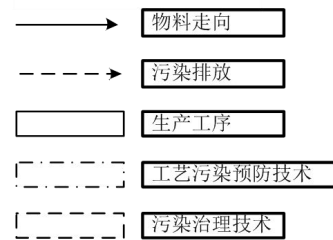


图9 氧化镍火法冶炼污染防治可行技术组合

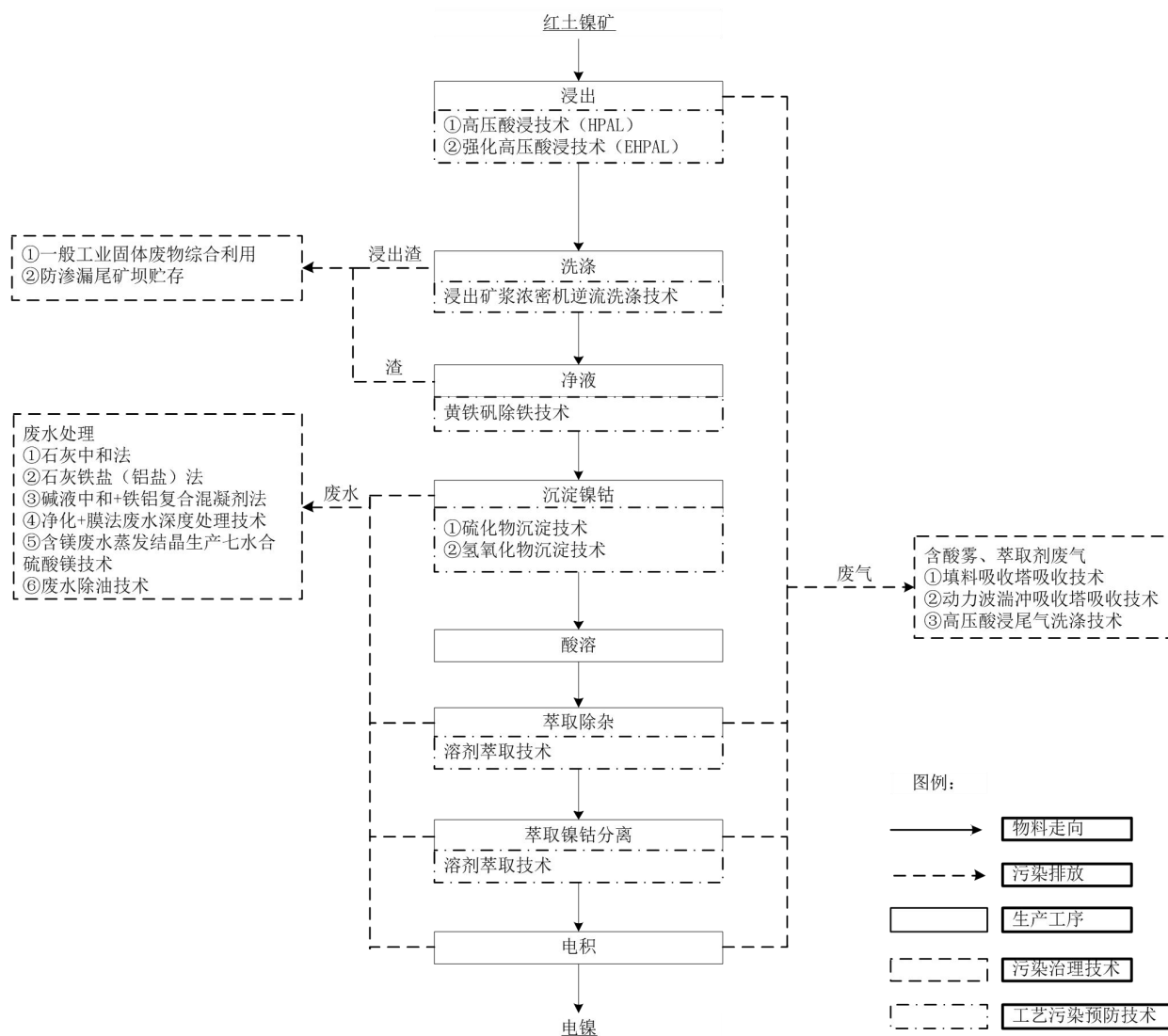


图 10 氧化镍湿法冶炼污染防治可行技术组合

#### 4.2 镍冶炼污染预防可行技术

镍冶炼污染预防可行技术见表 3。

表 3 镍冶炼污染预防可行技术

可行技术	主要技术指标	适用性
镍闪速熔炼技术	反应温度高，二氧化硫浓度高，炉寿命长，作业率高，烟尘率高	硫化镍精矿熔炼工序
富氧顶吹浸没喷枪熔炼技术	熔炼炉密闭性好，冶炼烟气二氧化硫浓度高，烟尘率低，渣需要贫化处理	硫化镍精矿熔炼工序
P-S 转炉吹炼技术	烟尘捕集率低，炉口漏风大，气量波动大，烟气二氧化硫浓度低	硫化镍精矿吹炼工序
硫化镍电解技术	采用隔膜将阴极液和阳极液分开，阳极液经过净化处理，除去杂质，得到相当纯净的电解液（阴极液）返回阴极室	硫化镍电解工序
高镍钽选择性浸出技术	高镍钽选择性浸出技术较传统的高镍钽选矿分离技术流程短，污染物产生量少，	高镍钽浸出工序

	能耗低	
电解液硫化沉铜技术	负压操作，控制 pH≤2，控制还原电位为 -50mV~-80mV，可得到铜镍比高达 10:1 的铜渣	电解液净化工序
电解液活性镍粉除铜技术	镍粉粒度<0.074mm，阳极液温度 80℃、pH 2.5~3.5，除铜后液含铜≤0.4mg/L，除铜率 99%，铜渣含铜大于 88%	电解液净化工序
烟气余热回收利用技术	余热锅炉进炉烟气度 800℃~1350℃ 出炉烟气温度 350℃~450℃	铜熔炼、吹炼、精炼生产过程
氧化镍矿回转窑、电炉生产技术	镍回收率≥90%，电耗为 500 kWh/t 矿，电炉寿命可达 7 年	处理以残积层矿或腐殖土为主的高镍、高镁、低铁矿石
红土镍矿高压酸浸技术 (HPAL)	酸耗 250kg/t~450kg/t 干矿，操作温度 250℃~270℃，压力 4.5MPa~6.0MPa，矿石镁含量宜低于 5%，镍、钴等的浸出率 ≥95%，镍、钴金属综合回收率≥90%	处理低镍、高铁低镁的褐铁矿
红土镍矿强化高压酸浸技术 (EHPAL)	通常游离酸浓度 45g/L~50g/L；资源综合利用率，酸耗低，石灰石用量少，铁矾量大	适于处理含镍 1.0%~2.0%的低铁高镁的过渡型或残积矿
红土镍矿浸出矿浆浓密机逆流洗涤技术	工艺简单、操作维护简单、洗涤效率高(可达 99%)、劳动强度小、运行费用低	适于红土镍矿浸出矿浆洗涤工序
黄铁矾除铁技术	操作温度 85℃~95℃，pH 值 1.5~3.0，沉淀含铁 30%~35%	适用于浸出液净化工序
红土镍矿低浓度浸出液硫化物沉淀技术和氢氧化物沉淀技术	硫化物沉淀技术产品镍钴品位高，投资大，技术复杂，运行费用高，安全要求高。氢氧化物沉淀技术投资少、操作简单、运行费用低，产品镍钴含量低，产品含水率高	适于红土镍矿低浓度浸出液镍钴沉淀工序
溶剂萃取技术	P507 分离镍、钴，产品 Co/Ni 比>1000，有价金属回收率高	红土镍矿浸出液净化除杂工序，镍钴分离工序
污染源密闭技术	单位产品废气产生量 15000m <sup>3</sup> /h.t~22000m <sup>3</sup> /h.t	物料储仓、物料卸料点、物料转运点、物料受料点、物料破碎筛分设备等扬尘点的密闭，冶金炉窑以及炉窑加料口、铊排出口、渣排出口、铜水包房、渣包房、流槽等产烟部位的密闭，湿法冶炼产生废气的各种槽、罐的密闭

### 4.3 烟气收尘可行技术

#### 4.3.1 电收尘技术

##### 4.3.1.1 可行工艺参数

电收尘器计算参数的选择，应符合表 4 的规定。当电收尘器入口含尘量大于 50g/m<sup>3</sup>时，应采取相应的措施，如采用预收尘设备、采用五电场电收尘器、采用高频电源供电等。

表 4 电收尘器计算参数

参数名称	参数指标
烟尘粒度	≥ 0.1μm

烟气过滤速度	0.2m/s~1.0m/s
设备阻力	≤400Pa
允许操作温度	≤400℃（且高于露点温度 30℃）
允许烟气含尘量	50g/m <sup>3</sup>
烟尘比电阻	1×10 <sup>4</sup> Ω·cm~4×10 <sup>12</sup> Ω·cm
驱进速度	2cm/s~10cm/s
同极距	400mm~600mm

#### 4.3.1.2 污染物消减及排放

电除尘器除尘效率为 99.0%~99.8%，烟尘排放浓度低于 50mg/m<sup>3</sup>。由于电收尘不是烟气处理的最末端，后续处理有烟气制酸及烟气脱硫，因此对电收尘器后粉尘浓度的控制应结合技术及经济因素综合考虑。一般送硫酸厂烟气粉尘浓度控制在 500mg/m<sup>3</sup> 以下。

#### 4.3.1.3 二次污染及防治措施

电除尘器卸灰过程中可能造成二次扬尘。防治措施包括密闭运输，如采用埋刮板、斗式提升机、螺旋输送机等密闭运输设备；采用密闭罐车运输；采用气力输灰系统。

#### 4.3.1.4 技术经济适用性

该技术一次性投资大，运行和维护成本低，主要用于熔炼炉收尘、吹炼炉收尘、贫化电炉收尘及精矿干燥烟气收尘。

### 4.3.2 袋式收尘技术

#### 4.3.2.1 可行工艺参数

袋式收尘器技术参数的选择应符合表 5 的规定。

**表 5 袋式收尘器技术参数**

参数名称	参数指标
烟尘粒度	≥0.1μm
烟气过滤速度	0.2 m/min~1.0m/min
设备阻力	1200Pa~2000Pa
允许操作温度	≤250℃
允许烟气含尘量	50g/m <sup>3</sup>

袋式收尘器滤料的选择应考虑烟气的性质及烟气温度的波动。各种滤料操作温度应符合表 6 的规定。

**表 6 各种滤料允许操作温度**

滤料名称	允许最高操作温度（℃）
毛呢、柞蚕丝	100
涤纶 208	120
诺梅克斯和美塔斯（MATAMEX）	220
玻璃纤维	250
聚四氟乙烯（PTFE）	250
聚苯硫醚（PPS）	190
聚酰亚胺（P84）	250

当用于精矿干燥收尘时，由于烟气温度低且含水分高，应采用抗结露覆膜滤料，并在收尘器壳体采用保温加热措施，清灰方式采用脉冲清灰。

#### 4.3.2.2 污染物消减及排放

袋式除尘器的除尘总效率大于 99.5%，最高可达 99.99%。烟尘排放浓度可低于 20mg/m<sup>3</sup>。

#### 4.3.2.3 二次污染及防治措施

袋式收尘器卸灰过程中可能造成二次扬尘。防治措施包括密闭运输，如采用埋刮板、斗式提升机、螺旋输送机等密闭运输设备；采用密闭罐车运输；采用气力输灰系统。

#### 4.3.2.4 技术经济适用性

袋式收尘器初投资较低，费用的高低主要取决于滤袋材质的不同。运行费用高，主要来自更换滤袋的费用及风机电耗。适用于精矿干燥烟气收尘、阳极炉烟气收尘、含砷烟气收尘、备料除尘、环保通风除尘。

### 4.3.3 旋风收尘技术

#### 4.3.3.1 可行工艺参数

旋风收尘器技术参数的选择应符合表 7 的规定。

表 7 旋风收尘器技术参数

参数名称	参数指标
烟尘粒径	≥10μm
入口烟气流速	12m/s ~25m/s
筒体断面流速	3m/s ~5m/s
阻力	800Pa~1500Pa
允许操作温度	≤450℃
允许烟气含尘量	400g/m <sup>3</sup> ~1000g/m <sup>3</sup>

#### 4.3.3.2 污染物消减及排放

除尘效率 70%~90%。

#### 4.3.3.3 二次污染及防治措施

旋风收尘器卸灰过程中可能造成二次扬尘。防治措施包括密闭运输，如采用埋刮板、斗式提升机、螺旋输送机等密闭运输设备；采用密闭罐车运输；采用气力输灰系统。

#### 4.3.3.4 技术经济适用性

旋风收尘器作为预收尘器使用，以减轻后续收尘设备的负荷。

### 4.3.4 烟气收尘主要技术指标

烟气收尘主要技术指标见表 8。



表 8 烟气收尘主要技术指标

烟气来源	可行技术及流程	系统总收尘效率 (%)	系统总漏风率 (%)	收尘器操作温度 (°C)	可行工艺参数
镍精矿干燥窑烟气	干燥窑→袋式收尘器→风机→(脱硫处理)→放空	≥99	≤10	80~200	过滤风速 0.2 m/min~1.0m/min
	干燥窑→电收尘器→风机→(脱硫处理)→放空	≥99	≤10	80~200	过滤风速 0.2 m/s~1.0m/s 4~5 电场
镍精矿载流干燥烟气	载流管→沉尘室→一级旋风收尘器→二级旋风收尘器→风机→电收尘器→放空	≥99.5	≤20	80~200	过滤风速 0.2 m/s~1.0m/s 烟气含尘 20g/m <sup>3</sup> ~1000g/m <sup>3</sup> 4~5 电场
顶吹熔炼炉熔炼烟气	余热锅炉→电收尘器→风机→制酸	≥98	≤15 不含锅炉	≤400 并高于烟气露点温度 30°C 以上	过滤风速 0.2 m/s~1.0m/s 4~5 电场
闪速炉熔炼烟气	余热锅炉→电收尘器 (必要时可设粗收尘)→风机→制酸	≥98	≤15 不含锅炉	≤400 并高于烟气露点温度 30°C 以上	过滤风速 0.2 m/s~1.0m/s 4~5 电场
吹炼烟气	转炉→余热锅炉→电收尘器→风机→制酸	≥98	≤15 不含锅炉(喷雾冷却器)	≤400 并高于烟气露点温度 30°C 以上	过滤风速 0.2 m/s~1.0m/s 4~5 电场
电炉贫化烟气	电炉→水套烟道→电收尘器→风机→制酸	≥99	≤10	≥300	过滤风速 0.2 m/s~1.0m/s 4~5 电场
焙烧窑烟气(红土矿)	焙烧窑→旋风收尘器→用于原矿干燥	70~90%	≤10	≤450	烟气用于干燥窑, 不外排
电炉熔炼烟气(红土矿)	电炉→换热器→袋式除尘器→风机→烟囱排空	≥99	≤10	80~200	过滤风速 0.2 m/min~1.0m/min
精炼烟气(红土矿)	钢包→袋式除尘器→风机→烟囱排空	≥99	≤10	80~200	过滤风速 0.2 m/min~1.0m/min
卫生通风空气	各排风点→袋式除尘器→风机→放空(或脱硫)	≥99.5	≤10	≤120(袋式)	过滤风速 0.7m/min~1.2m/min

#### 4.4 烟气制酸可行技术

烟气制酸可行技术及主要技术指标见表 9。

表 9 烟气制酸可行技术及主要技术指标

所在工段	可行技术	可行工艺参数	污染物消减及排放	技术适用性
烟气净化	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℃ 一级洗涤出口烟气温度 55℃~65℃ 电除雾器进口烟气温度 52℃~42℃ 出电除雾器酸雾含量 <5mg/m <sup>3</sup> 出电除雾器尘含量 <2mg/m <sup>3</sup> 出电除雾器砷、氯含量 <1mg/m <sup>3</sup> 出电除雾器氟含量 <0.5mg/m <sup>3</sup>	烟气净化外排压滤渣和废酸。采用绝热蒸发稀酸冷却烟气净化技术，提高了循环酸浓度，减少了废酸排放量，降低了新水消耗	制酸烟气的湿式净化
干燥吸收	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/m <sup>3</sup> 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/m <sup>3</sup> 尾气 SO <sub>2</sub> 含量 ≤400mg/m <sup>3</sup> SO <sub>3</sub> 吸收效率 ≥99.99%	制酸烟气的二氧化硫干燥和三氧化硫吸收
转化	双接触技术	尾气可经脱硫装置处理	SO <sub>2</sub> 总转化率 ≥99.5%	SO <sub>2</sub> 浓度 5%~14% 的烟气制取硫酸
	预转化技术	配合双接触技术使用。根据平衡转化率确定操作条件，依据尾气 SO <sub>2</sub> 排放浓度以及排放总量要求确定总转化率，可采用低温触媒，改变操作温度，确保最终转化率	SO <sub>2</sub> 总转化率 ≥99.85%	SO <sub>2</sub> 浓度 >14% 的烟气
	三氧化硫再循环技术	配合双接触技术使用。根据实际 SO <sub>2</sub> 浓度和换热要求，确定 SO <sub>3</sub> 烟气循环量	SO <sub>2</sub> 总转化率 ≥99.9%	SO <sub>2</sub> 浓度 >14% 的烟气
转化、吸收工段	中温位、低温位余热回收技术		余热利用率可提高到 90% 以上	冶炼烟气制酸系统

#### 4.5 烟气脱硫可行技术

##### 4.5.1 石灰/石灰石-石膏法烟气脱硫技术

###### 4.5.1.1 可行工艺参数

选择活性好且碳酸钙（CaCO<sub>3</sub>）含量大于 90% 的脱硫剂；石灰石粉的细度保证-250 目占 90%。当 Ca/S 摩尔比为 1.02~1.05、循环浆液 pH 值为 5.0~6.0 时，脱硫效率应大于 95%；脱硫石膏纯度应大于 90%，脱硫系统阻力应小于 2500Pa。

###### 4.5.1.2 污染物削减及排放

当烟气二氧化硫含量为 1000mg/m<sup>3</sup>~3500mg/m<sup>3</sup> 时，二氧化硫排放浓度应低于 200mg/m<sup>3</sup>，脱硫效率大于 95%。

###### 4.5.1.3 二次污染及防治措施

脱硫废水应处理后回用。脱硫产生的石膏应外运综合利用

#### 4.5.1.4 技术经济适用性

石灰石/石灰-石膏法适用于二氧化硫浓度小于  $5000\text{mg}/\text{m}^3$  的冶炼烟气治理，尤其适用于高温烟气二氧化硫治理。该技术的运行费用相对较低，吸收剂石灰石廉价易得，该技术脱硫副产物为石膏，高质量石膏具有综合利用价值。

#### 4.5.2 活性焦吸附法烟气脱硫技术

##### 4.5.2.1 可行工艺参数

通过活性焦层烟气流速  $0.3\text{m}/\text{s}\sim 1.2\text{m}/\text{s}$ 。

##### 5.5.2.2 污染物削减及排放

脱硫效率可高于 95%。

##### 4.5.2.3 二次污染及防治措施

活性焦输送、筛分过程中产生粉尘，需采用袋式除尘器收集净化。

##### 4.5.2.4 技术经济适用性

该技术二次污染小，适用于厂内蒸汽供应充足，场地宽裕，副产物二氧化硫可回收利用的冶炼企业。

#### 4.5.3 有机溶液循环吸收烟气脱硫技术

##### 4.5.3.1 可行工艺参数

副产二氧化硫纯度不小于 99%。吸收剂年损失率不大于 10%，低压蒸汽（ $0.4\text{Mpa}\sim 0.6\text{Mpa}$ ）消耗不大于 25t 蒸气/吨二氧化硫。系统阻力不大于 2000Pa。

##### 4.5.3.2 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，二氧化硫排放浓度应在  $200\text{mg}/\text{m}^3$  以下，脱硫效率大于 96%。

##### 4.5.3.3 二次污染及防治措施

少量脱硫废水可送至全厂污水处理站集中处理。

##### 4.5.3.4 技术经济适用性

有机溶液循环吸收法对烟气含硫量具有较强的适应性，副产物二氧化硫可以直接送入冶炼制酸工艺单元，增加硫酸产量。该技术目前主体设备采用不锈钢材质，一次性投资相对较高。适用于二氧化硫浓度大于  $3000\text{mg}/\text{m}^3$ ，有配套冶炼烟气制酸的冶炼企业，尤其适合制酸尾气脱硫。

#### 4.6 其它废气治理可行技术

##### 4.6.1 填料吸收塔技术

##### 4.6.1.1 可行工艺参数

适合处理的废气浓度、净化效果等见表 10。

表 10 填料吸收塔技术性能参数

废气性质	初始浓度	净化效果 (%)
HCl	≤600 mg/m <sup>3</sup>	95~99
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	≤600 mg/m <sup>3</sup>	85~90
NO <sub>x</sub>	<3000 mg/m <sup>3</sup>	80~90
Cl <sub>2</sub>	<3000 mg/m <sup>3</sup>	80~90
吸收中和液	2%~6%NaOH 溶液或水	

当入塔初始浓度超过上述数据时需采用过滤网式净化回收装置作为初级处理,也可采用串联多级吸收方式,确保排风达标。

#### 4.6.1.2 污染物消减及排放

废气排放浓度可达到如下指标:硫酸雾低于 40mg/m<sup>3</sup>、氯气低于 60mg/m<sup>3</sup>、氯化氢低于 80mg/m<sup>3</sup>。

#### 4.6.1.3 二次污染及防治措施

吸收废液尽可能返回工艺系统或综合利用,无利用价值时送污酸污水处理站。

#### 4.6.1.4 技术经济适用性

该技术建设投资适中,运行费用低,净化效果好,适用于硫酸雾、盐酸雾以及其他水溶性气体的吸收处理。吸收液有水和碱液两种,视被吸收有害物质的成分确定。采用空塔喷淋时可作为废气处理的预处理。

### 4.6.2 动力波湍冲废气吸收技术

#### 4.6.2.1 可行工艺参数

适合处理的废气浓度、净化效果等见表 10。

#### 4.6.2.2 污染物消减及排放

废气排放浓度可达到如下指标:硫酸雾低于 40mg/m<sup>3</sup>、氯气低于 60mg/m<sup>3</sup>、氯化氢低于 80mg/m<sup>3</sup>。

#### 4.6.2.3 二次污染及防治措施

吸收废液尽可能返回工艺系统或综合利用,无利用价值时送污酸污水处理站。

#### 4.6.2.4 技术经济适用性

该技术建设投资及运行费用适中,净化效果较好,该适用于氯气、氮氧化物等废气的吸收处理。

### 4.7 污酸处理可行技术

污酸处力可行技术及主要技术指标见表 11。

表 11 污酸处理可行技术及主要技术指标

可行技术	可行工艺参数	污染物消减及排放	二次污染及防治措施	技术适用性
硫化法+石灰石/石灰中和法	硫化反应槽 pH 值控制范围小于 2, 中和槽 pH 值控制范围 2~3	去除率 Cu: 96%~98%、 Ni : 96%~98%、 As: 96%~98%	硫化渣主要成分为 CuS 和 As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , 属危险废物, 可用于回收砷、铜等重金属。石膏渣主要成分为	该技术建设投资高, 运行成本高

			CaSO <sub>4</sub> , 可作为生产水泥的添加剂。硫化反应槽和硫化浓密机溢出的 H <sub>2</sub> S 气体需采用 NaOH 溶液喷淋吸收, 生成的 Na <sub>2</sub> S 溶液用作硫化法处理废水的药剂	
石灰+铁盐法	一段石膏生产阶段 pH 值 2~3, 二段氧化沉砷阶段 pH 值 3~5	脱砷率达到 98%以上	砷渣中砷的含量较高, 可用于回收砷。石膏渣主要成分为硫酸钙, 可作为生产水泥的添加剂	建设投资适中, 运行成本较高

#### 4.8 酸性废水处理可行技术

酸性废水处理可行技术及主要技术指标见表 12。

表 12 酸性废水处理可行技术及主要技术指标

可行技术	可行工艺参数	污染物消减及排放	二次污染及防治措施	技术适用性
碱液中和+铁铝复合混凝剂法处理镍湿法精炼工段废水		去除率 Ni 98%~99%		该技术适用于镍湿法精炼工段废水的处理
石灰中和法处理污水	处理单一重金属离子污水要求的 pH 值 Cd <sup>2+</sup> : pH 11~12 Co <sup>2+</sup> : pH 9~12 Cr <sup>3+</sup> : pH 7~8.5 Cu <sup>2+</sup> : pH 7~12 Fe <sup>2+</sup> : pH 9~13 Fe <sup>3+</sup> : pH < 4 Zn <sup>2+</sup> : pH 9~10	去除率 Cu : 98%~99%、 Ni : 96%~98%、 As : 98%~99%、F : 80%~99%、 其他金属离子: 98%~99%	中和渣中含 As <sup>3+</sup> 、F <sup>-</sup> 和 Cu <sup>2+</sup> 等重金属离子, 按危险废物处理处置	适用于镍冶炼厂含酸废水及污酸处理后水的处理
石灰-铁盐(铝盐)法处理污水	中和反应 pH 值控制范围 9~11	去除率 Cu : 98%~99%、 Ni : 96%~98%、 As : 98%~99%、 F : 80%~99%、 其他金属离子: 98%~99%	中和渣中含 As <sup>3+</sup> 、F <sup>-</sup> 和 Cu <sup>2+</sup> 等重金属离子, 按危险废物处理处置	适用于镍冶炼厂含酸废水及污酸处理后水的处理

#### 4.9 废水处理可行技术

废水处理可行技术及主要技术指标见表 13。

表 13 废水处理可行技术及主要技术指标

可行技术	可行工艺参数	污染物消减及排放	二次污染及防治措施	技术适用性
净化+膜法废水深度处理技术	pH 值控制范围 6~9	出水 SS 低于 5mg/L, 脱盐率达到 75%	沉淀渣属一般固体废物, 送渣场堆存。除盐产生的浓盐水回用	适用于污水处理后水的进一步处理

			于冲渣等，不外排。	
含镁废水蒸发结晶生产七水硫酸镁技术				适用于氧化镍矿常压浸出工段高镁废水的处理
废水除油技术	含油废水先经隔油池回收浮油，再进行第二步油水分离	出水含油低于 5mg/L	隔油池浮油打捞回用，粗粒化油水分离器回收有机相	该技术适用于萃余液、反萃废水等含油废水的处理

#### 4.10 固体废物处理处置可行技术

##### 4.10.1 一般工业固体废物综合利用技术

一般工业固体废物可用于生产建材、矿井回填、喷砂除锈等。

##### 4.10.2 加压氧化浸出法处理硫化砷渣

###### 4.10.2.1 可行工艺参数

硫化渣浆化预热温度 90℃~100℃，加压浸出温度 150℃~160℃，加压浸出反应时间 5h。

###### 4.10.2.2 污染物消减及排放

砷浸出率>98.5%，砷回收率>98%，铜浸出率>95%，浸出渣含砷<1%，排放酸雾浓度<2mg/m<sup>3</sup>。

###### 4.10.2.3 二次污染及防治措施

加压浸出釜、闪蒸槽、冷却结晶槽、搅拌还原槽产生的酸雾、SO<sub>2</sub>等采用洗涤塔循环喷淋吸收，吸收液采用 2%~6% NaOH 溶液。

###### 4.10.2.4 技术经济适用性

该技术适用于硫化砷渣的综合回收利用。

##### 4.10.3 危险废物的处理处置

危险废物可交由有相关资质的单位集中处置。

#### 4.11 技术应用中的注意事项

- (1) 建立健全各项记录和生产管理制度；
- (2) 加强运行管理，建立岗位操作规程，制定应急预案，定期对员工进行技术培训和演练；
- (3) 加强生产设备的使用、维护和维修管理，保证设备运行正常；
- (4) 重视污染物检测和计量管理工作，定期进行全厂物料平衡测试。
- (5) 收尘设备的进出口设置温度、压力检测装置及含尘量检测孔。送制酸工序的烟气在风机出口处设流量和二氧化硫检测装置；
- (6) 采用袋式收尘器或电收尘器时，采取防止烟气结露的可靠措施，防止收尘设备及管道的腐蚀；
- (7) 烟囱入口烟气的温度、压力、流量、含尘量、二氧化硫浓度、重金属含量等进行定期监测或在线连续监测；
- (8) 收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；
- (9) 含砷烟尘宜采用就地包装后外运的方法，不得采用正压气力输送的方法；

- (10) 维护在线连续监测收尘设备正常的运行状态；
- (11) 烟气脱硫系统进出口均应安装烟气连续监测装置；
- (12) 废气净化设备的进出口应设置采样孔，对处理的废气进行定期的检测。
- (13) 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；
- (14) 废水管线和处理设施做防渗处理，防止有害污染物进入土壤；
- (15) 收集并治理硫酸场地初期雨水、生产厂区其他场地初期雨水；
- (16) 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、铜、铅、锌、镉、镍、砷、钴等；
- (17) 湿法堆浸场地、溶液池及尾矿池应采取严格的防渗漏措施。宜设置事故贮液池用于贮存大暴雨引起的尾矿池泄漏液。上述场地周边宜设置暴雨泄洪通道。
- (18) 固体废物分类堆存，暂存场地进行地面硬化并加盖雨蓬和围墙；
- (19) 对固体废物处置场渗滤液及其处理后的排放水、地下水、大气进行定期监测；
- (20) 固体废物处置场使用单位建立日常检查维护制度；
- (21) 厂内危险废物暂存场地按照有关要求建设，并在场外设置标识。采用专用封闭车辆装运危险废物，以防止沿途遗撒；
- (22) 制订危险废物管理计划并向环保部门备案。