

附件 2

环境保护技术文件

钴冶炼污染防治可行技术指南 (试行)

Guideline on Available Technologies of Pollution Prevention and Control for
Cobalt 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，可作为钴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

本指南适用于以钴精矿、含钴物料为主要原料的钴冶炼企业。

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

钴的冶炼工艺是根据其原料、所需的最终产品、技术和经济条件来进行选择的。主要的炼钴工艺包括从铜钴矿中提取钴、从镍冶炼钴渣中回收钴、从钴硫精矿中提取钴、从锌冶炼钴渣中回收钴。

2.1.1 从铜钴矿中提取钴

铜钴原矿（或铜钴合金）经两段浸出、两段萃取工艺分离铜，含钴溶液再经过净化、萃取、沉淀或电积工艺生产钴盐制品或电钴。生产工艺流程及主要产污环节见图 1。

2.1.2 从镍冶炼钴渣中回收钴

镍冶炼钴渣中回收钴采用浸出、净化、萃取、沉淀或电积工艺，生产钴盐制品或电钴。生产工艺流程及主要产污环节见图 2。

2.1.3 从钴硫精矿中提取钴

钴硫精矿（含钴黄铁矿）提钴的工艺流程为：钴硫精矿焙烧脱去硫元素，焙砂用硫酸浸出各种金属，浸出液净化除去铁、铝等贱金属，净化后液采用溶剂萃取技术进一步除去杂质并使镍钴分离，最后采用沉钴工艺生产钴盐制品或通过电积工艺生产电钴。生产工艺流程及主要产污环节见图 3。

2.1.4 从锌冶炼钴渣中回收钴

锌冶炼得到的富钴渣为有机盐，回收钴过程中先通过焙烧分解有机物，焙砂经浸出、除铁、萃取提纯，生产钴盐产品。生产工艺流程及产污的主要环节见图 4、5。

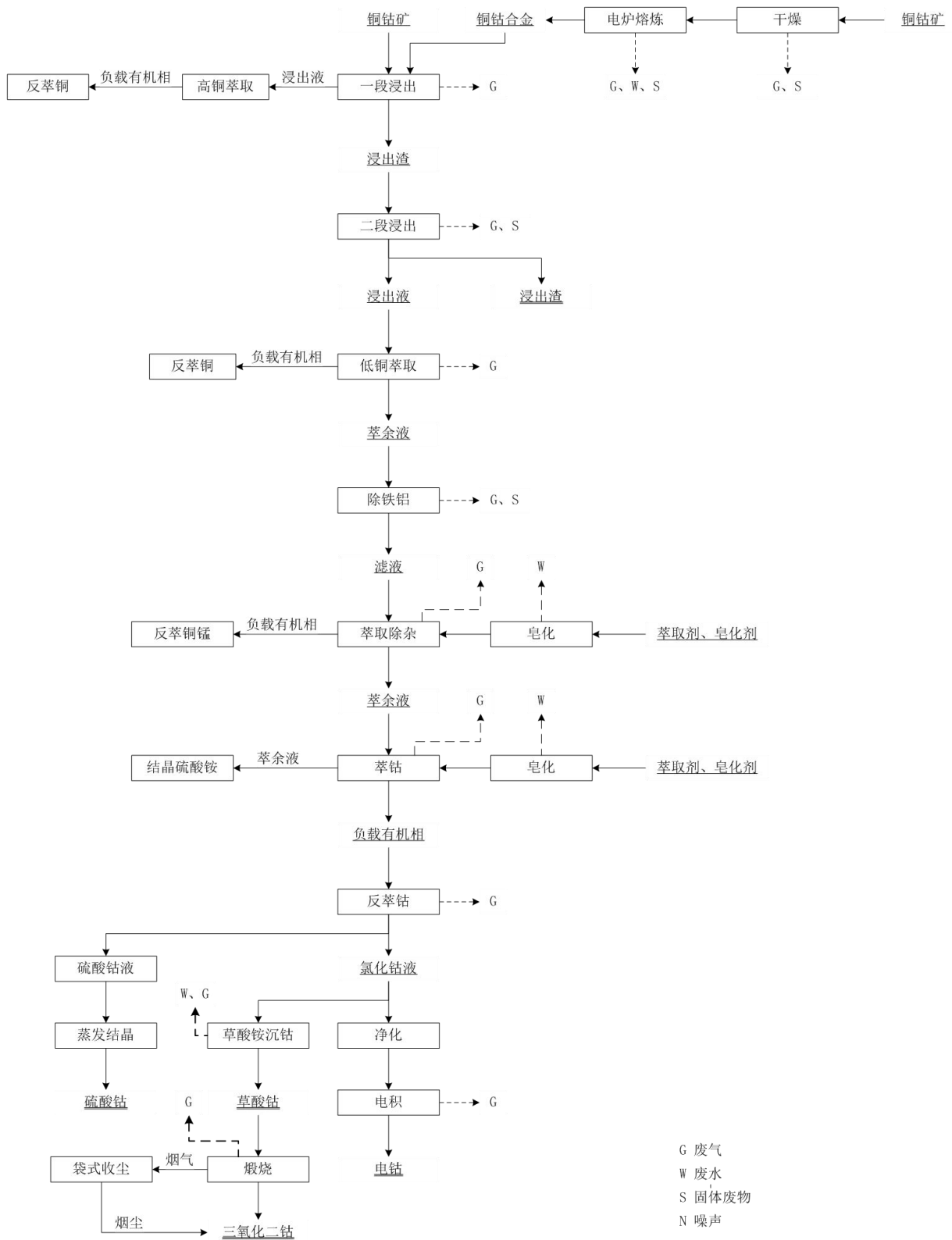


图 1 从铜钴矿中提取钴工艺流程及产污环节

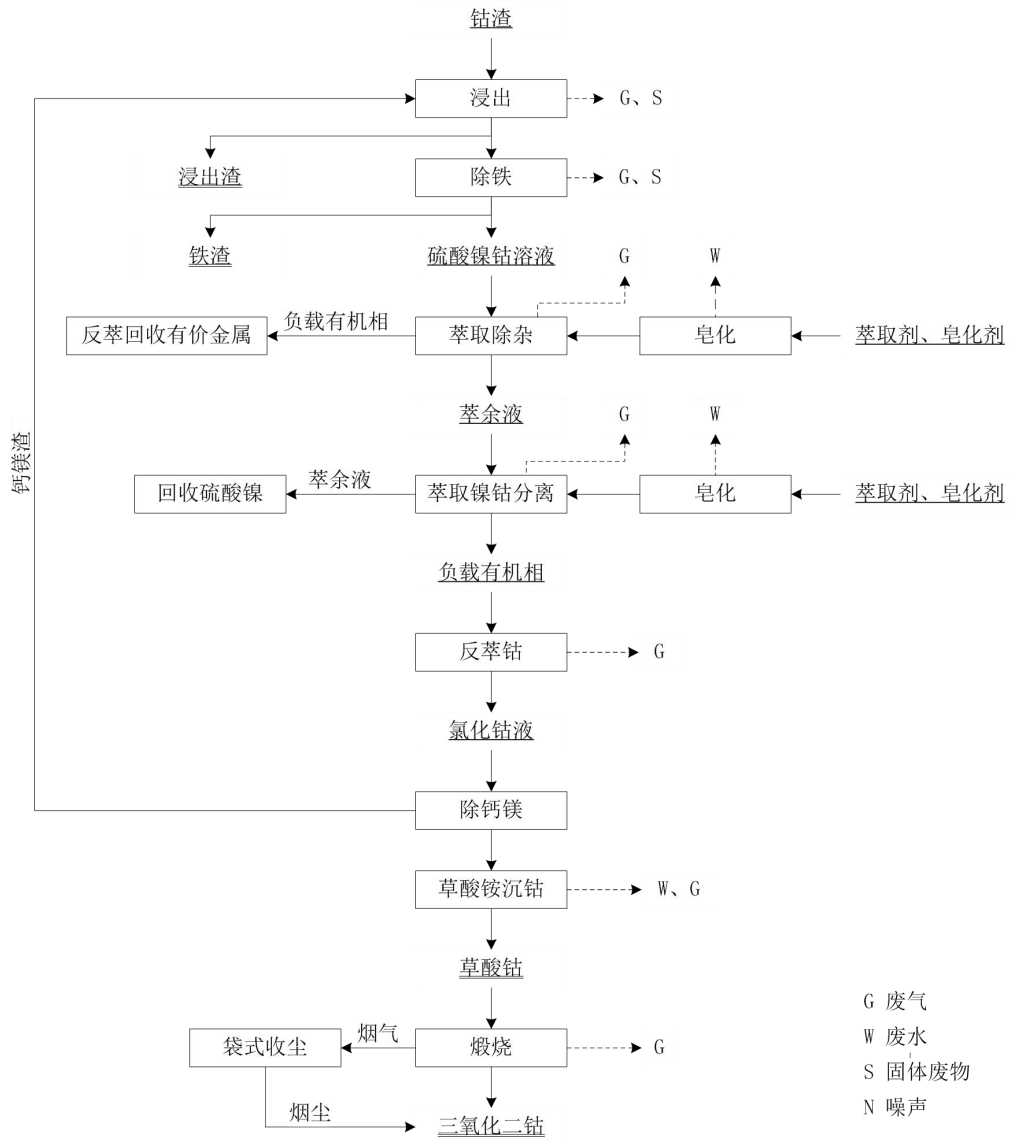


图 2 从镍冶炼钴渣中回收钴工艺流程及产污环节

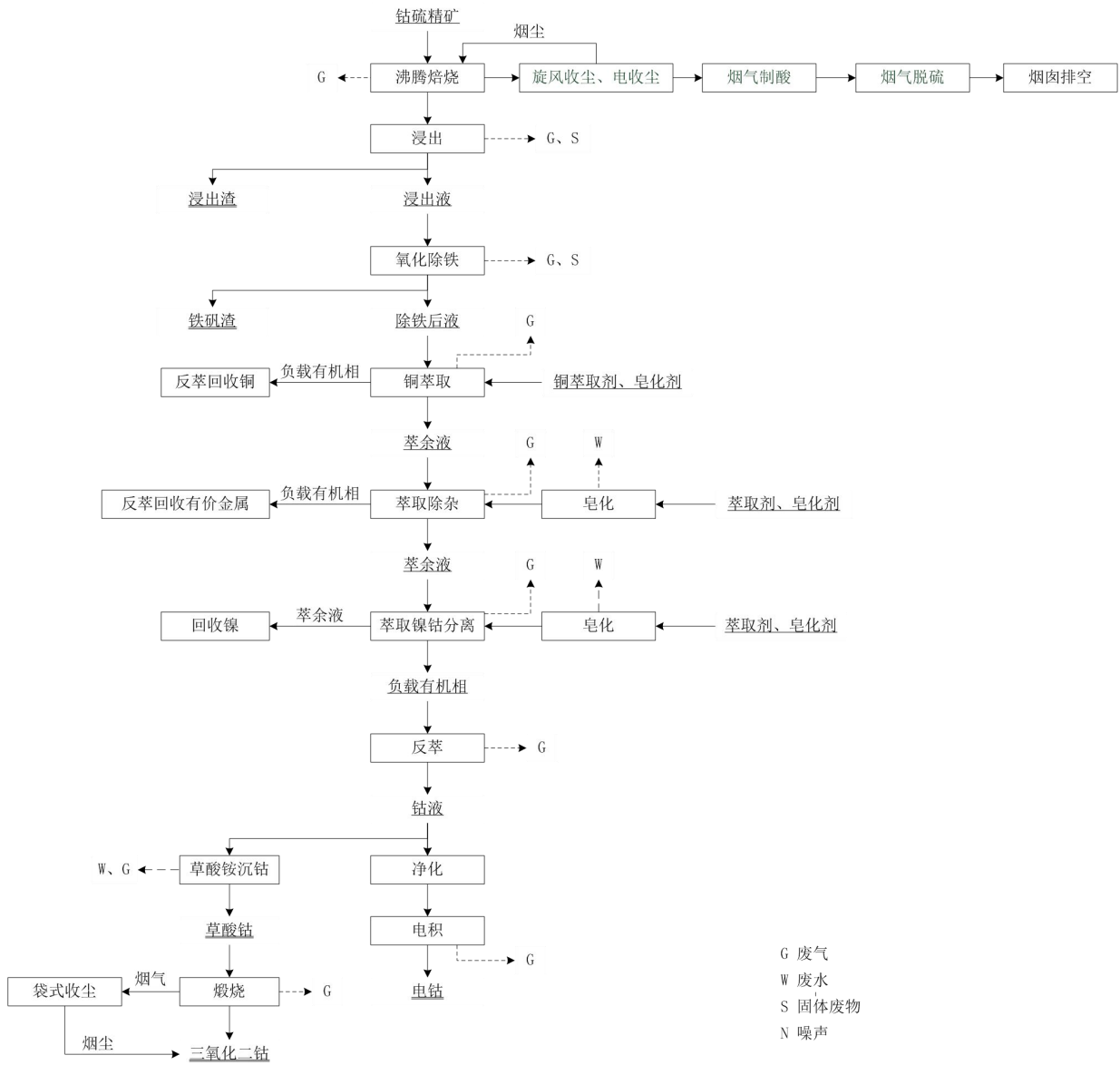


图 3 从钴硫精矿中提取钴工艺流程及产污环节

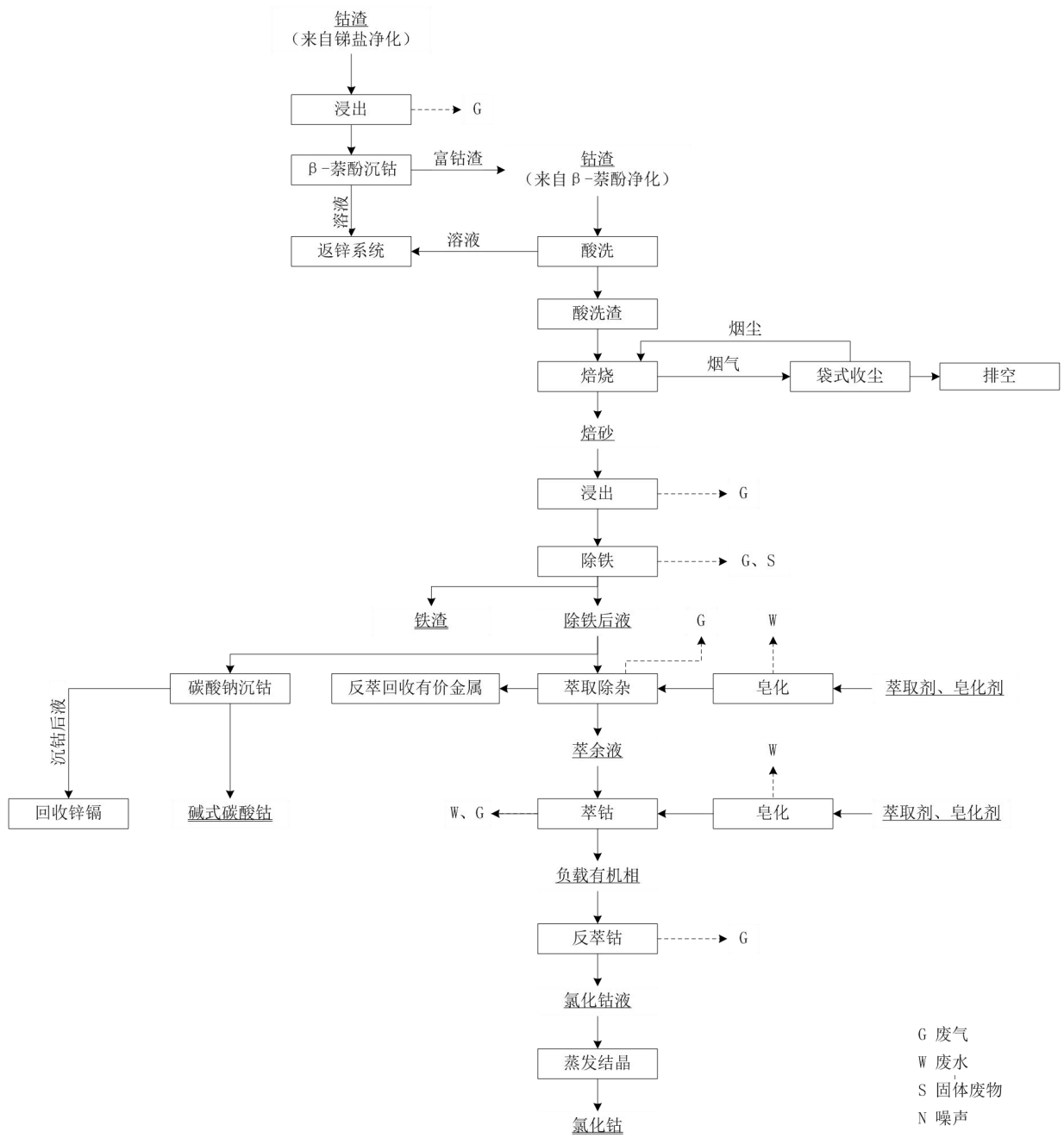


图 4 从锌冶炼钴渣中回收钴工艺流程及产污环节（一）

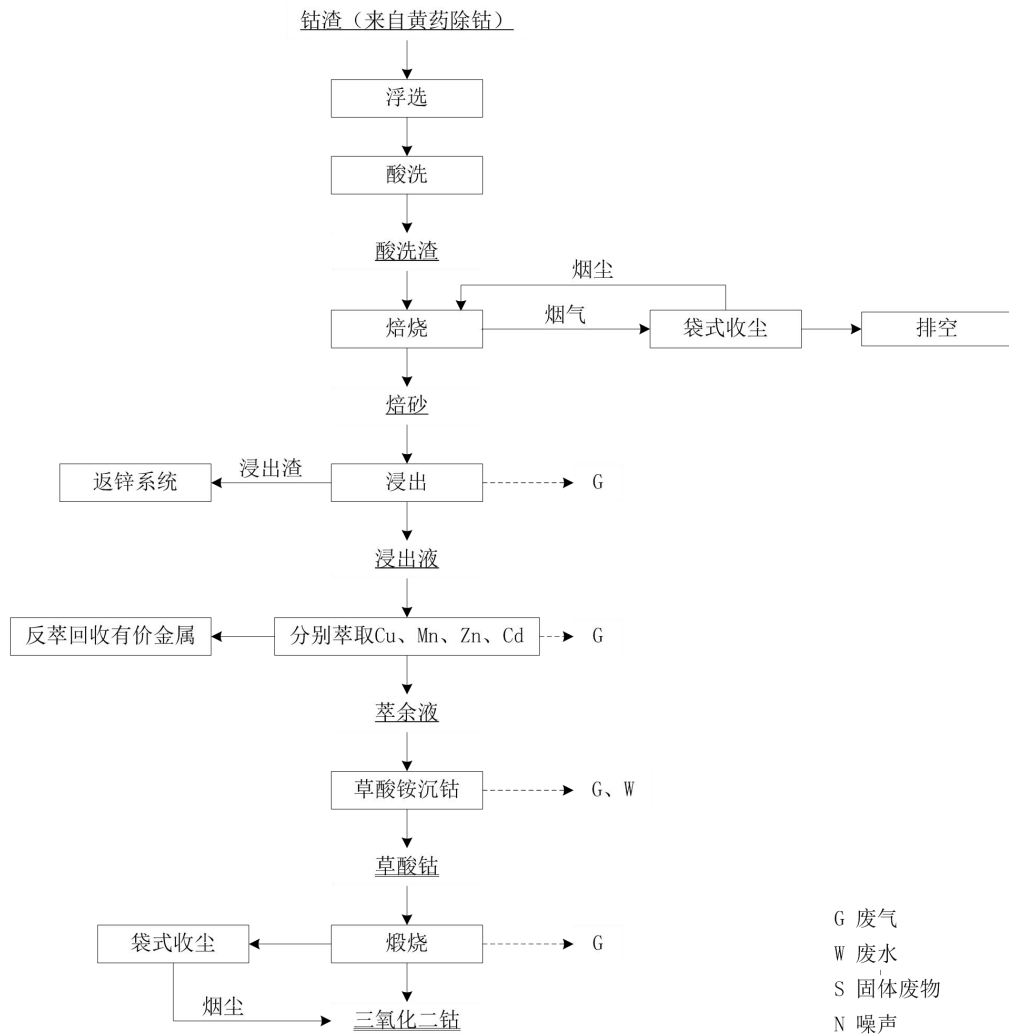


图 5 从锌冶炼钴渣中回收钴工艺流程及产污环节（二）

2.2 污染物排放

钴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

铜钴矿熔炼产生含尘烟气；钴硫精矿焙烧产生含尘、二氧化硫烟气；浸出槽有酸雾逸出；除铁槽有少量氯气溢出；萃取槽有有机物气体、酸雾逸出；氯化钴电积阳极室产生大量酸雾、氯气；草酸钴煅烧产生二氧化碳及固体粉尘。

钴冶炼过程中主要大气污染物及来源见表 1。

表 1 钴冶炼大气污染物及来源

序号	废气来源	主要污染物	备注
1	铜钴矿熔炼电炉	颗粒物	废气经收尘后排放
2	钴硫精矿焙烧炉	SO ₂ 、颗粒物	废气经收尘、制酸、脱硫后排放
3	锌冶炼钴渣焙烧炉	颗粒物	含重金属Pb、Zn等
4	制酸尾气	SO ₂	脱硫后排放
5	浸出槽	酸雾	循环水吸收后返回工艺系统

6	除铁槽	酸雾、氯气	钠碱吸收生产次氯酸钠溶液
7	萃取槽	酸雾、有机废气	循环水吸收后返回工艺系统
8	电积槽	酸雾、氯气	钠碱吸收生产次氯酸钠溶液
9	草酸钴煅烧	颗粒物	袋式收尘返回工艺系统
10	氧化钴等包装	颗粒物	袋式收尘返回工艺系统

2.2.2 水污染

萃取剂皂化工段产生含钠废水，反萃产生废水，沉钴工序产生废水。

其他废水来源有二氧化硫烟气净化排出的污酸、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。

钴冶炼过程中主要水污染物及来源见表 2。

表 2 钴冶炼过程中水污染物及来源

废水种类	排水来源	主要污染物	备注
皂化后的水相	萃取剂皂化工段	含钠废水	去污水处理站
反萃产生废水	萃取除杂工段	Zn ²⁺ 、Cu ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 、Ni ²⁺ 、As ³⁺ 、Co ²⁺ 、COD、油	去污水处理站
沉钴后液	沉钴工序	Zn ²⁺ 、Cu ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 、Ni ²⁺ 、As ³⁺ 、Co ²⁺ 、NH ₄ ⁺	pH8~8.5 去污水处理站或水处理厂房
污酸、污水	制酸系统污酸	污酸、Zn ²⁺ 、Cu ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 、Ni ²⁺ 、As ³⁺ 、Co ²⁺	进污酸处理站
	制酸系统酸性污水	酸性废水、Zn ²⁺ 、Cu ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 、Ni ²⁺ 、As ³⁺ 、Co ²⁺	进污水处理站
	硫酸场地初期雨水	酸性废水、Zn ²⁺ 、Cu ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 、Ni ²⁺ 、As ³⁺ 、Co ²⁺	进污水处理站
	生产厂区其他场地初期雨水	酸性废水、Zn ²⁺ 、Cu ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 、Ni ²⁺ 、As ³⁺ 、Co ²⁺	进污水处理站
设备冷却水排污水	设备冷却水循环系统	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
浸出、净液、电积车间排水		Zn ²⁺ 、Cu ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 、Ni ²⁺ 、As ³⁺ 、Co ²⁺	去污水处理站

2.2.3 固体废物污染

钴冶炼固体废物包括浸出渣、铁矾渣、污水处理渣、脱硫副产物、电炉熔炼渣等，除电炉熔炼渣为一般固废外，其余固体废物属性需经鉴别，并根据其性质和类别确定处理处置方式。

2.2.4 噪声污染

处理铜钴原矿噪音主要来自球磨机，其他噪声源有各类风机、水泵等。钴冶炼主要噪声源及噪声声级见表 3。

表 3 钴冶炼主要噪声源及噪声声级（dB）

噪声源	噪声级（dB）	排放规律
球磨机	~85	连续式
风 机	~85	连续式
水 泵	~85	连续式
压缩空气	~95	连续式

3 钴冶炼污染防治技术

3.1 钴冶炼污染预防技术

3.1.1 流态化焙烧炉浆化进料技术

流态化焙烧炉浆化进料技术是改变传统的沸腾焙烧炉进料方式，将欲焙烧物料在搅拌槽内用水（或过程返液）配制成含水 25~30%浓度的矿浆，用蠕动泵将其喷入焙烧炉内，用空气（或富氧）在确定温度下进行硫酸化焙烧，使钴、铜、锌等转变成可溶硫酸盐，使铁转变成难溶的氧化铁。

该技术简化了焙烧炉进料系统，减少了精矿干燥、物料输送等设备；浆化进料用泵代替抛料机，使加料均匀，易控；减少焙烧炉作业粉尘，劳动条件好；过程容易实现自动化。

该技术适用于含硫的金精矿、钴硫精矿等硫化精矿。

3.1.2 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^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ ）和溶液中正三价铁离子（ Fe^{3+} ）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。

3.1.3 铜溶剂萃取技术

铜溶剂萃取技术是利用酮肟类萃取剂对铜具有的很高的选择性，从高铁溶液中萃取铜，将铜与铁及其他金属离子分离。

该技术广泛应用于从浸出液中分离铜，为铜电积创造条件。

3.1.4 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，以实现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。

3.1.5 含硫酸铵母液处理技术

P₅₀₇ 萃余液、P₂₀₄ 皂化水和转皂后硫酸铵母液等含硫酸铵母液，经除油、离子交换除镍钴后送硫酸铵蒸发系统，采用四效蒸发流程，蒸发浓缩后的硫酸铵溶液输送至稠厚器，最后进入离心机进行分离和包装，母液返回蒸发系统。

3.1.6 含氯化铵母液处理技术

草酸钴、碳酸钴沉淀含铵尾液以及工艺洗水经过除油、调节 pH，进入斜板沉淀去除悬浮物，上清液进入超滤系统，超滤透过液经金属回收床吸附钴离子，透过液进入纳滤浓缩系统，透过纳滤的含铵溶液进入电渗析进一步浓缩，电渗析产出的浓液进入氯化铵蒸发系统，淡水回纳滤浓缩系统。

氯化铵浓溶液采用三效顺流蒸发流程，达到要求浓度后冷却结晶，浆液经离心机分离，产出氯化铵包装外售，母液返回蒸发系统。

3.1.7 氯气制酸技术

钴电积工序生成的高浓度湿氯气先经冷却、干燥，再经氯气压缩机升压至 0.15~0.30MPa 后送入氯气缓冲罐。从氯气缓冲罐和氢气缓冲罐来的气体经管道阻火器风别进入三合一石墨盐酸炉，在炉内燃烧生成氯化氢气体，氯化氢气体冷却降温后用纯水吸收，生成高纯盐酸。吸收尾气采用氢氧化钠进一步吸收净化后排空。

3.1.8 氯气钠碱吸收技术

次氯酸钠除铁时生成的少量氯气、氯化钴电积末期阳极室生成的少量氯气、氯气制酸尾气采用钠碱吸收净化。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，生成次氯酸钠溶液作为产品出售。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。

3.1.9 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、排出口、熔体包子房、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。

3.1.10 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 钴冶炼污染治理技术

3.2.1 烟气收尘技术

3.2.1.1 电收尘技术

电收尘器是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的一种收尘设备。

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。

电收尘技术在钴冶炼厂主要用于焙烧烟气收尘、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。

该技术适用于钴冶炼企业焙烧烟气收尘、干燥烟气收尘和卫生通风烟气除尘。

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°C ）、高含尘量（ $400\text{ g/m}^3 \sim 1000\text{ g/m}^3$ ）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。

该技术适用于钴硫精矿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。

该技术适用于钴硫精矿冶炼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 mg/m^3 ，硫酸雾浓度低于 40 mg/m^3 。

3.2.2.3 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，针对这一问题，配置尾气脱硫装置，与单接触技术联合使用。

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。

3.2.2.4 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。

3.2.2.5 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。

该技术适用于钴冶炼烟气制酸工艺。

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、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，同时含有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，在满足钴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。吸附容量有限，需要在低风速（0.3~1.2m/s）下运行，因而吸附体积较大。化学再生和物理循环过程中活性焦会气化变脆、破碎及磨损而粉化，并因微孔堵塞丧失活性。

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 600 mg/m³ 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，由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。

3.2.5 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（CaSO₄·2H₂O）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(Na_2S)、硫化氢(H_2S)、硫化亚铁 (FeS)。去除率 $\text{Cu}96\sim98\%$ 、 $\text{Co}90\sim92\%$ 、 $\text{As}96\sim98\%$ 。

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。

该技术适用于钴冶炼烟气制酸过程中污酸的处理。

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。

该技术适用于钴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，并进行分离。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。

该技术流程短具有处理效果好、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： $\text{Cu} 98\sim99\%$ 、 $\text{Co}90\sim92\%$ 、 $\text{As} 98\sim99\%$ ，其他重金属离子 98~99%，氟去除率达 80~99%。

该技术适用于含铁、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： $\text{Cu} 98\sim99\%$ 、 $\text{Co}90\sim92\%$ 、 $\text{As} 98\sim99\%$ ，其他重金属离子 98%~99%，氟去除率 80~99%。

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、钴等有价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，处理后的水达标排放或做进一步处理，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价金属。

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

该技术适用于镍、钴湿法精炼工段废水的处理。

3.2.7 废水治理技术

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（SS）浓度低于 5mg/L。

该技术适用于钴冶炼企业污水处理站废水的处理。

3.2.7.2 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 石膏渣、脱硫石膏渣综合利用技术

污酸处理产生的石膏渣、脱硫石膏渣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 750 kg。浸出渣含砷量小于 1%，排放酸雾浓度低于 2mg/m³。

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

钴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。

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融为一体，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。本技术中袋式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/m³。

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 20mg/m³。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℃~90℃）；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，以及优势菌的筛选、培养、驯化等方面。

4 钴冶炼污染防治可行技术

4.1 钴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。

钴冶炼污染防治可行技术组合见图 6~10。

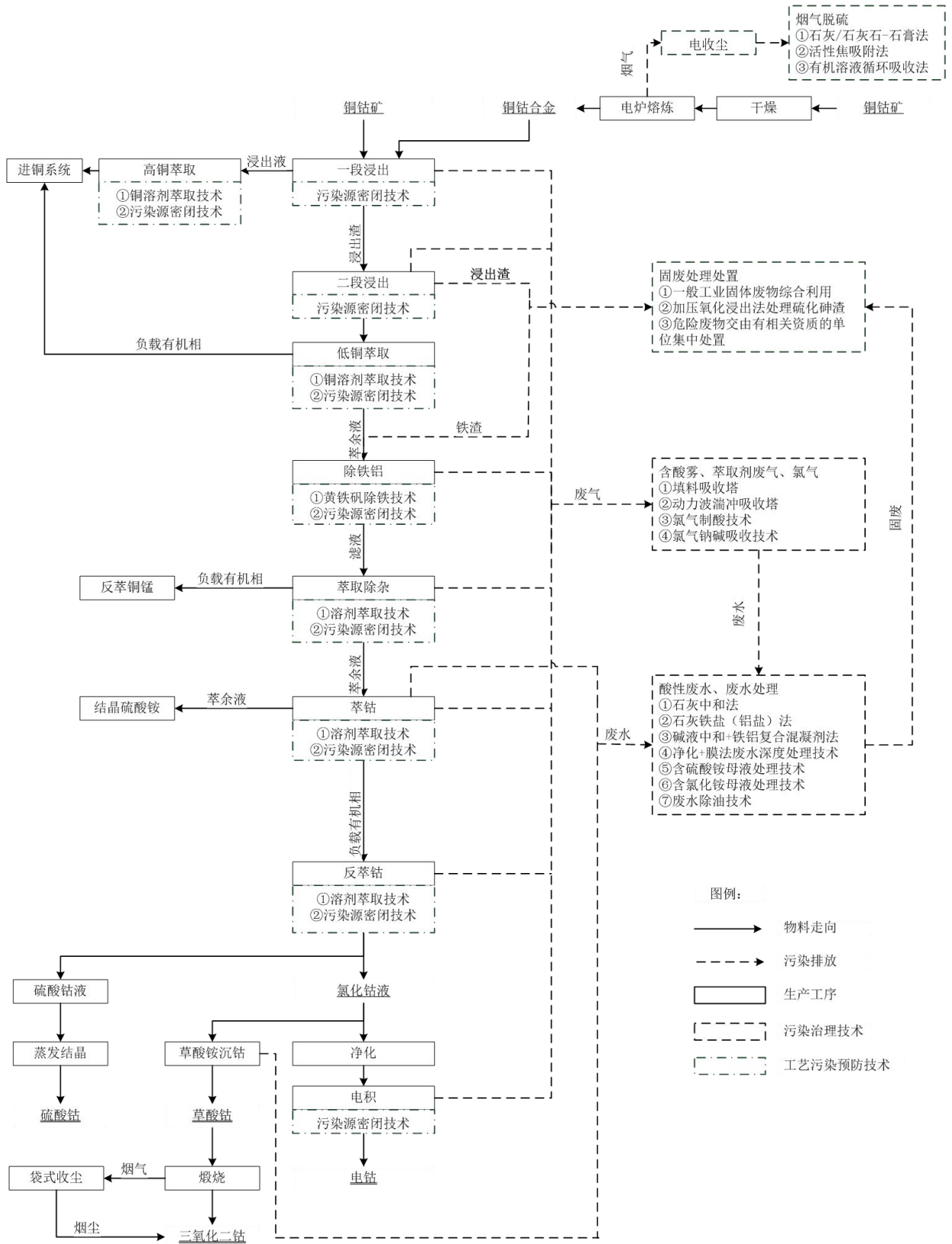


图 6 从铜钴矿中提取钴污染防治可行技术组合

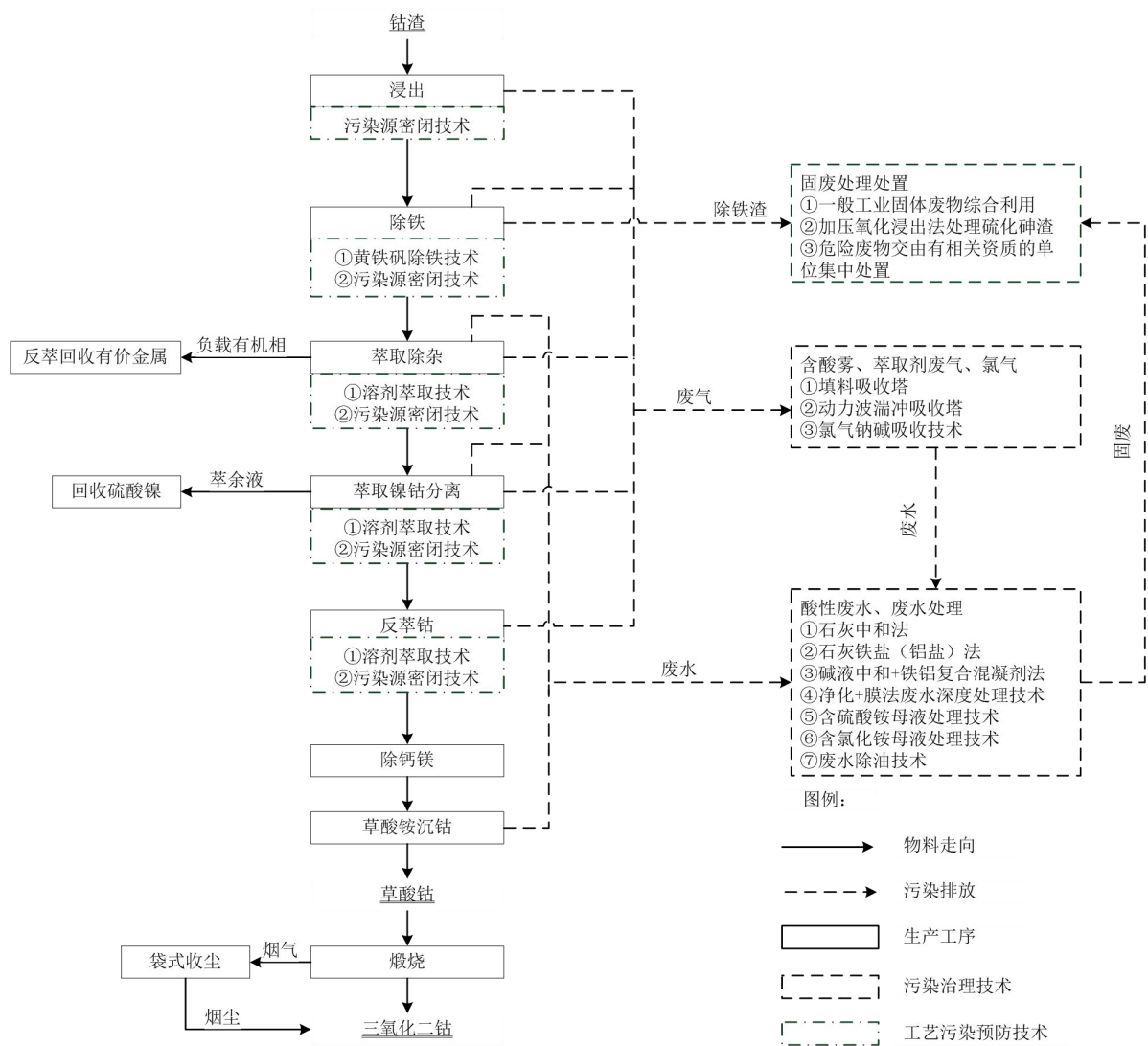


图7 从镍冶炼钴渣中回收钴污染防治可行技术组合

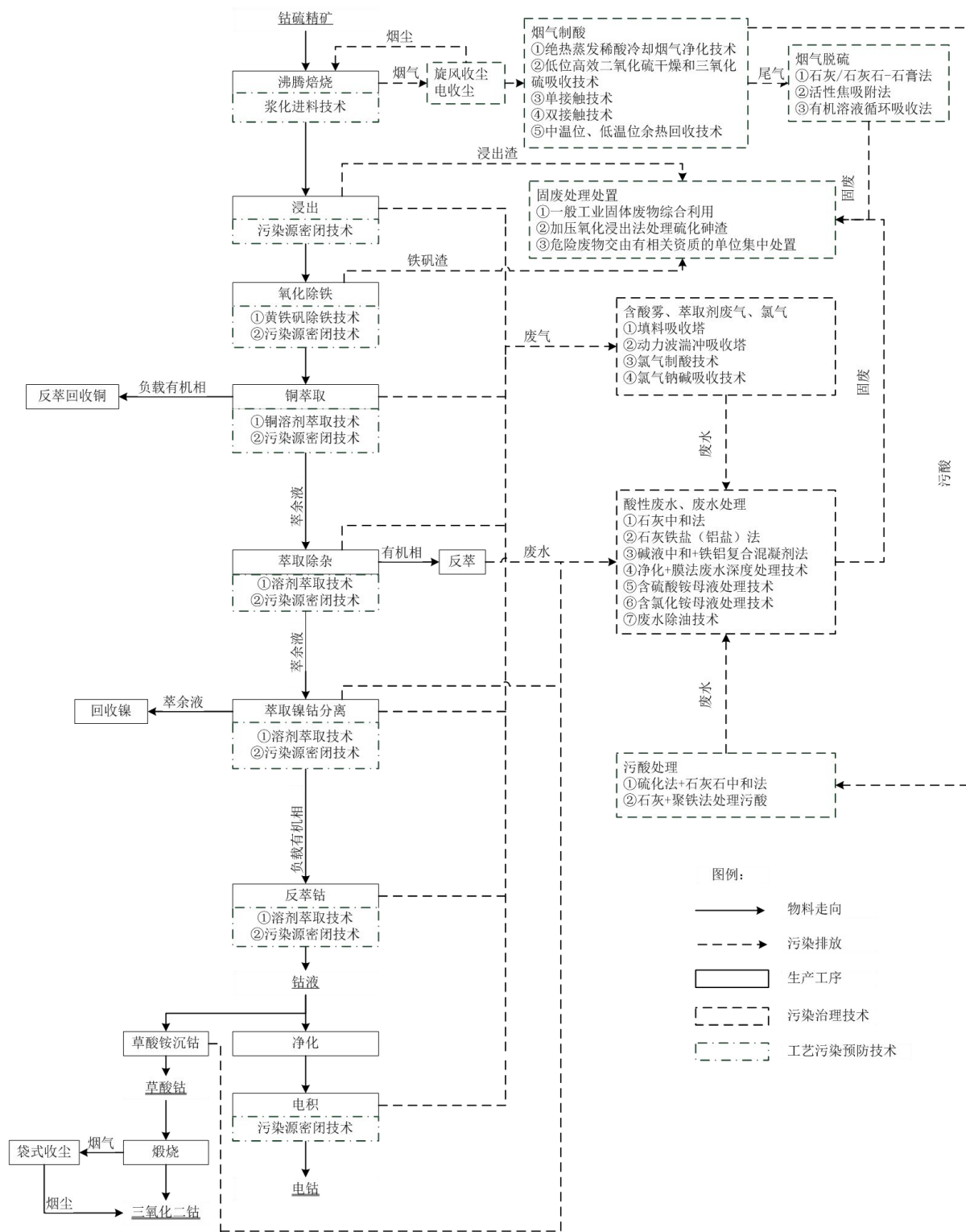


图8 从钴硫精矿中提取钴污染防治可行技术组合

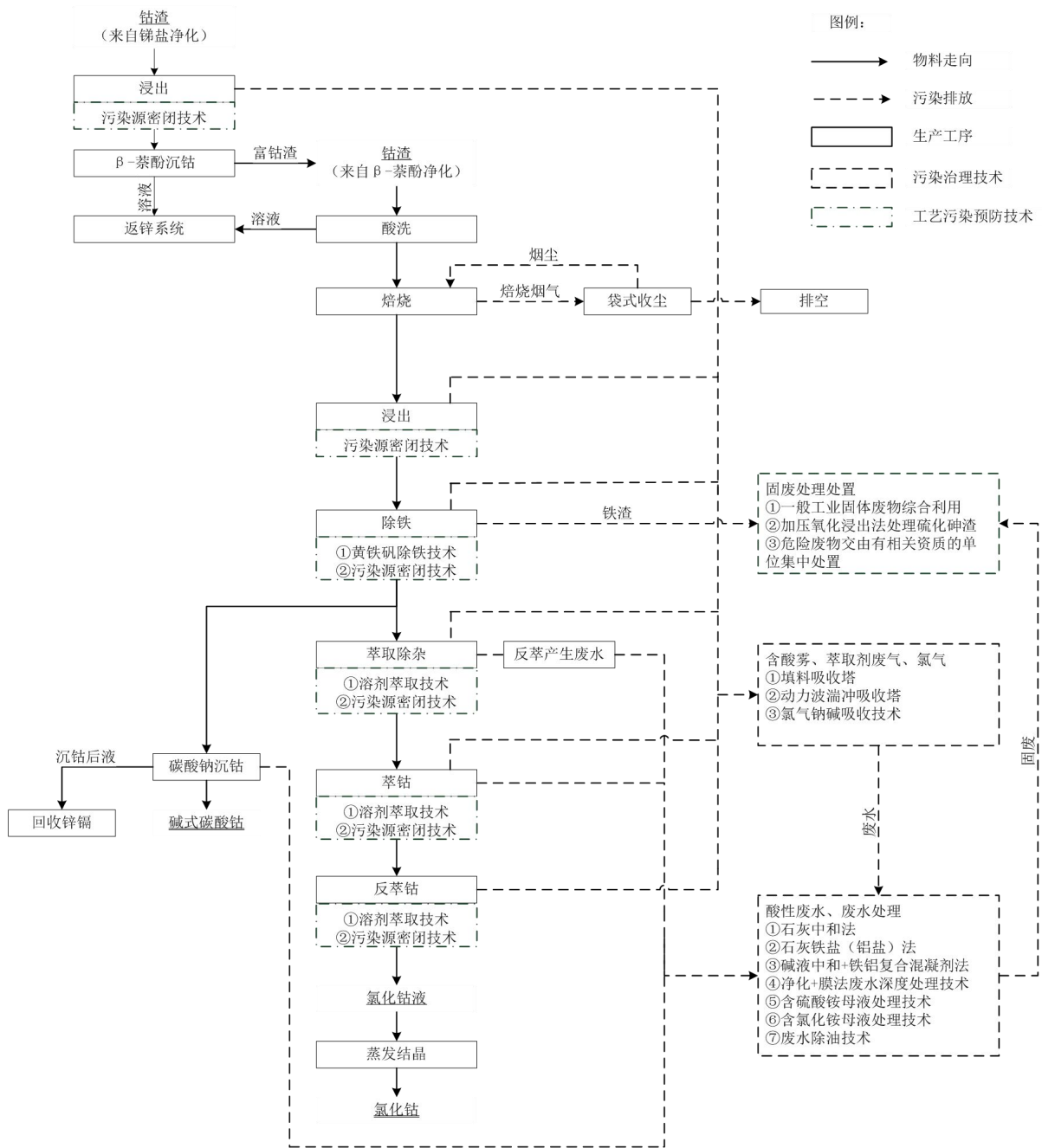


图9 从锌冶炼钴渣中回收钴污染防治可行技术组合（一）

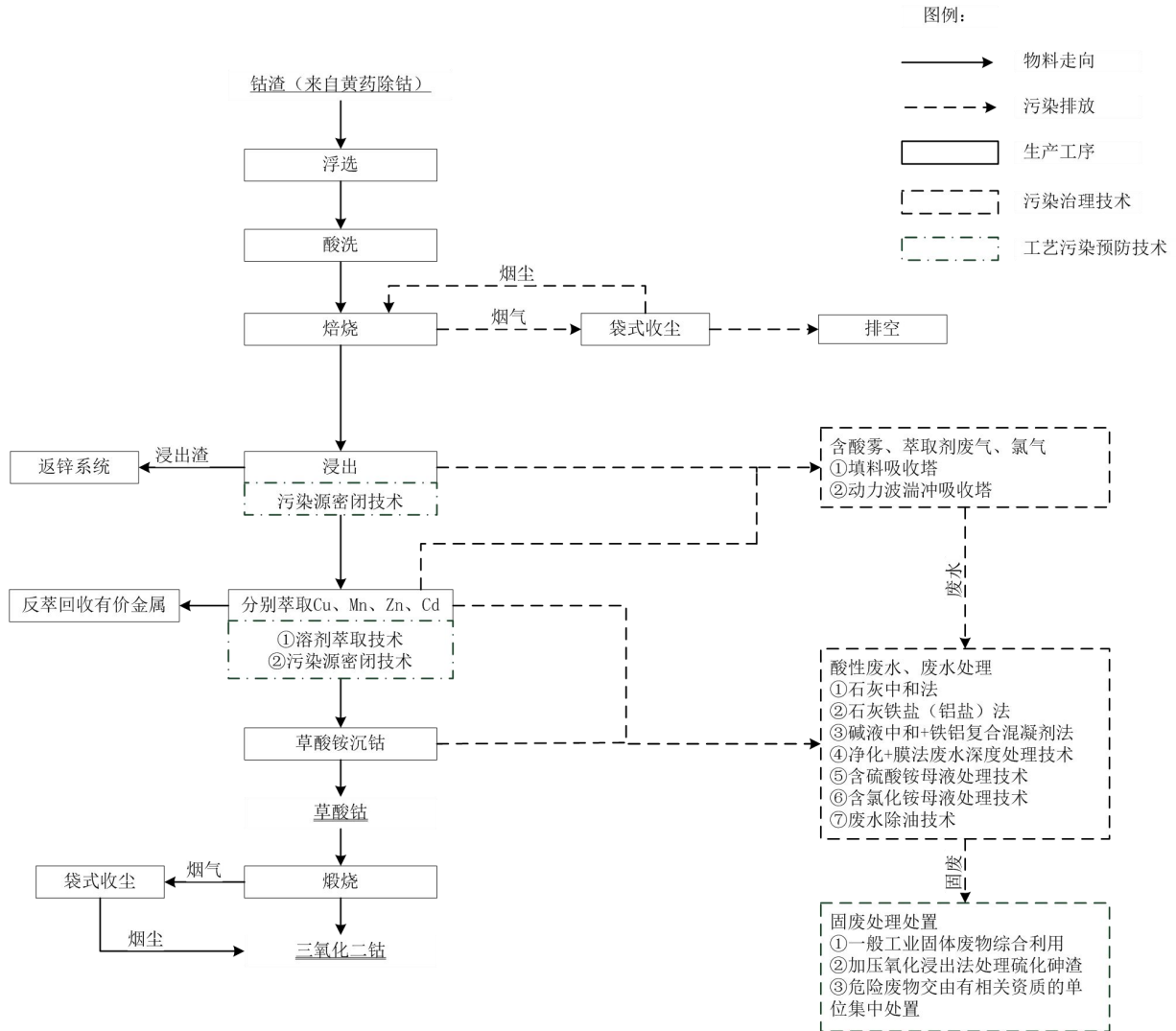


图 10 从锌冶炼钴渣中回收钴污染防治可行技术组合（二）

4.2 钴冶炼污染预防可行技术

钴冶炼污染预防可行技术见表 4。

表 4 钴冶炼污染预防可行技术

可行技术	主要技术指标	适用性
流态化焙烧炉浆化进料技术	矿浆浓度 25~30% 脱砷率 80~90%，烟尘率 55~70%	钴硫精矿的焙烧上料
黄铁矾除铁技术	操作温度 85~95℃，pH 值 1.5~3	浸出液除铁工序
铜溶剂萃取技术		浸出液回收铜
溶剂萃取技术	镍、钴回收率 98.5~99%	除铁后液净化除杂及镍钴分离工序
含硫酸铵母液处理技术	生产满足国家标准的硫酸铵产品,无废水排放	P ₅₀₇ 萃余液、P ₂₀₄ 皂化水和转皂后硫酸铵母液等含硫酸铵母液
含氯化铵母液处理技术	生产满足国家标准的氯化铵产品,无废水排放	草酸钴、碳酸钴沉淀含铵尾液以及草酸钴、碳酸钴洗水的处理
氯气制酸技术	盐酸合成吸收效率 99.9%	钴电积工序副产品氯气的处理
氯气钠碱吸收技术	尾气净化效率 99.9%	次氯酸钠除铁时生成的少量氯气、氯化钴电积末期阳极室生成的少量氯气、氯气制

		酸尾气的净化
污染源密闭技术		焙烧、浸出、萃取、电积工序污染源的密闭

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 5 的规定。当电收尘器入口含尘量大于 $50\text{g}/\text{m}^3$ 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 5 电收尘器计算参数

参数名称	参数指标
烟尘粒度	$\geq 0.1\mu\text{m}$
烟气过滤速度	$0.2\sim 1.0\text{m}/\text{s}$
设备阻力	$\leq 400\text{Pa}$
允许操作温度	$\leq 400^\circ\text{C}$ （且高于露点温度 30°C ）
允许烟气含尘量	$50\text{g}/\text{m}^3$
烟尘比电阻	$1\times 10^4\sim 4\times 10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$
驱进速度	$2\sim 10\text{cm}/\text{s}$
同极距	$400\sim 600\text{mm}$

4.3.1.2 污染物消减及排放

电除尘器除尘效率为 $99.0\sim 99.8\%$ ，烟尘排放浓度低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。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 $500\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

4.3.1.3 二次污染及防治措施

电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，主要用于干燥窑、焙烧窑烟气收尘。

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 6 的规定。

表 6 袋式收尘器技术参数

参数名称	参数指标
烟尘粒度	$\geq 0.1\mu\text{m}$
烟气过滤速度	$0.2\sim 1.0\text{m}/\text{min}$
设备阻力	$1200\sim 2000\text{Pa}$
允许操作温度	$\leq 250^\circ\text{C}$
允许烟气含尘量	$50\text{g}/\text{m}^3$

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 7 的规定。

表 7 各种滤料允许操作温度

滤料名称	允许最高操作温度 (°C)
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
氟美斯 (FMS)	260

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/m³。

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，费用差异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、焙烧窑烟气收尘、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 8 的规定。

表 8 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	12~25m/s
筒体断面流速	3~5m/s
阻力	800~1500Pa
允许操作温度	≤450°C
允许烟气含尘量	400~1000g/m ³

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 9。

表 9 烟气收尘流程及技术指标

熔炼炉名称	流 程	系统总收尘效率 (%)	系统总漏风率 (%)	电收尘器(或袋式收尘器)操作温度 (°C)	可行工艺参数	系统二恶英净化效率 (%)
铜钴矿熔炼电炉	烟气表面冷却→袋式收尘器→风机→放空	≥99.5	≤15	低于滤料允许操作温度 30°C 且高于露点温度 30°C		
钴硫精矿流化态焙烧炉	余热锅炉→旋风收尘器→电收尘器→风机→制酸	≥99.5	≤20 不含锅炉	≤400 且高于露点温度 30°C	过滤风速 0.2~1.0m/s 4~5 电场	
锌系统回收钴渣焙烧窑	→袋式收尘器→风机→放空	≥99.5	≤15	低于滤料允许操作温度 30°C 且高于露点温度 30°C		≥95

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 10。

表 10 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°C 一级洗涤出口烟气温度 55~65°C 电除雾器进口烟气温度 52~42°C 出电除雾器酸雾含量 <5mg/m ³ 出电除雾器尘含量 <2 mg/m ³ 出电除雾器砷、氯含量 <1 mg/m ³ 出电除雾器氟含量 <0.5mg/m ³	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	适用于钴硫精矿焙烧烟气的湿式净化
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 ³ 干燥塔循环酸浓度 93~95% 干燥塔出塔酸温 <65°C 吸收塔循环酸浓度 98.2~98.8% 吸收塔循环酸温度 45~75°C 吸收塔进塔气温 130~180°C	尾气酸雾含量 ≤40mg/m ³ 尾气 SO ₂ 含量 ≤400mg/m ³ SO ₃ 吸收效率 ≥99.99%	适用于钴硫精矿焙烧烟气二氧化硫干燥和三氧化硫吸收
转化	单接触+尾气脱硫技术	因单接触技术 SO ₂ 转化率较低，尾气须经脱硫处理	SO ₂ 转化率 ≥95%	SO ₂ 浓度 3.5%~6% 的烟气制取硫酸
	双接触技术	尾气可经脱硫装置处理	SO ₂ 总转化率 ≥99.5%	SO ₂ 浓度 5%~14% 的烟气制取硫酸

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（CaCO₃）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 1000 ~3500mg/m³ 时，二氧化硫排放浓度应低于 200mg/m³，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 5000mg/m³ 的冶炼烟气治理，尤其适用于精炼炉等高温烟气二氧化硫治理。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 0.3~1.2m/s。

4.5.2.2 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 ~0.6MPa）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 5000mg/m³ 以下时，二氧化硫排放浓度应在 200mg/m³ 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，一次性投资较高，约为 150 元/m³。适用于二氧化硫浓度大于 3000mg/m³，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

填料吸收塔技术适合处理的废气浓度、净化效果等见表 11。

表 11 填料吸收塔技术性能参数

废气性质	初始浓度	净化效率 (%)
HCl	≤600 mg/m ³	95~99
H ₂ SO ₄	≤600 mg/m ³	85~90
NO _x	<3000 mg/m ³	80~90
Cl ₂	<3000 mg/m ³	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/m³、氯气低于 60mg/m³、氯化氢低于 80mg/m³。

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 11。

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/m³、氯气低于 60mg/m³、氯化氢低于 80mg/m³。

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

污酸处理可行技术及主要技术指标见表 12。

表 12 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%、 Co: 90%~92%、 As: 96%~98%	硫化渣主要成分为 CuS 和 As ₂ S ₃ , 属危险废物, 可用于回收砷、铜等重金属。石膏渣主要成分为 CaSO ₄ , 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 ₂ S 气体需采用 NaOH 溶液喷淋吸收, 生成的 Na ₂ S 溶液用作硫化法处理废水的药剂	该技术建设投资高, 运行成本高
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 13。

表 13 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
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 ²⁺ : pH 11~12 Co ²⁺ : pH 9~12 Cr ³⁺ : pH7~8.5 Cu ²⁺ : pH7~12 Fe ²⁺ : pH9~13 Fe ³⁺ : pH<4 Zn ²⁺ : pH9~10	去除率 Cu 98~99%、 Co 90~92%、 As 98~99%、F 80~99%	中和渣中含 As ³⁺ 、F ⁻ 和 Cu ²⁺ 等重金属离子, 按危险废物处理处置	适用于钴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%、 Co 90~92%、	中和渣中含 As ³⁺ 、F ⁻ 和 Cu ²⁺ 等重金属离子, 按危险废物处理处置	适用于钴冶炼含酸废水及污酸处理后水的处理

		As 98~99%、 F 80~99%、 其他金属离子： 98%~99%		
碱液中和+铁铝复合混凝剂法处理钴湿法精炼工段废水		钴去除率 98~99%		该技术适用于钴湿法精炼工段废水的处理

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 14。

表 14 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于冲渣等，不外排	适用于污水处理后水的进一步处理
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/m³。

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、SO₂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；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检测；
- (7) 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；
- (8) 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；
- (9) 维护在线连续监测收尘设备正常的运行状态；
- (10) 烟气脱硫系统进出口均应安装烟气连续监测装置；
- (11) 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。
- (12) 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；
- (13) 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；
- (14) 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；
- (15) 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；
- (16) 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；
- (17) 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；
- (18) 固体废物处置场使用单位建立日常检查维护制度；
- (19) 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；
- (20) 制订危险废物管理计划并向环保部门备案。