

附件

# 国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录 (2023年版) 供需对接指南之一 工业固废减量化技术设备

## (一) 浮选磷尾矿二次提取源头减排集成技术

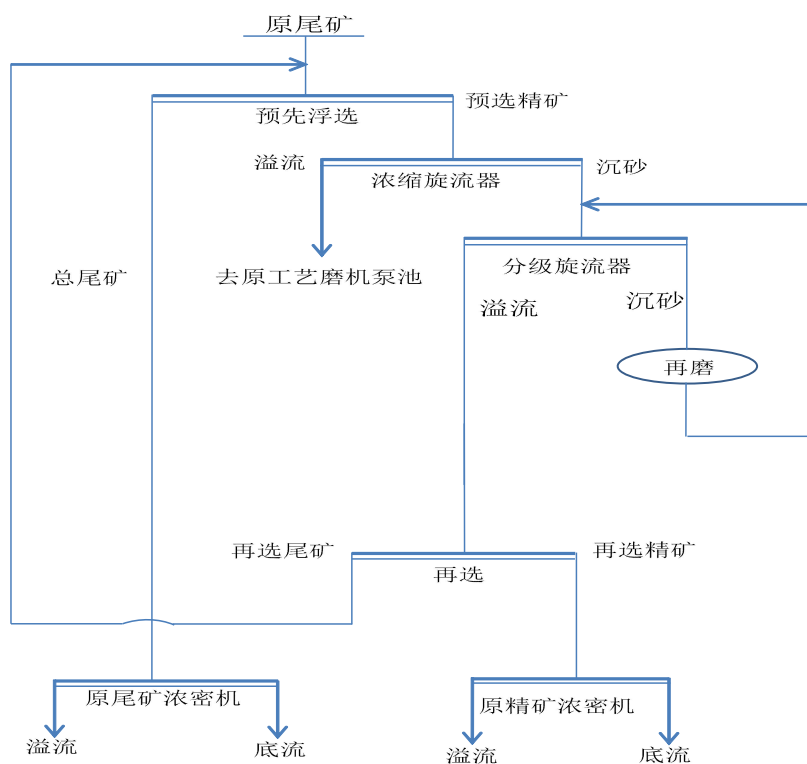
### 1. 适用范围

胶磷尾矿中 useful 矿物和脉石矿物的解离和分选，可提高精矿产率并减少尾矿产出。

### 2. 技术原理及工艺

技术原理：云南胶磷矿选矿过程中产生的尾矿含有部分已经解离、但被机械夹带至尾矿的有用矿物，也含有大量经过进一步磨矿可以解离的有用矿物连生体。本技术通过预先反浮选-浓缩-再磨-分级-再选的工艺流程，实现精矿产率提升，尾矿减量。

技术工艺：胶磷尾矿经过立式搅拌磨机充分解离有用矿物连生体。通过预先反浮选-浓缩-再磨-分级-再选的尾矿再选工艺，分级得到的溢流产品进入再选作业。将再选尾矿返回预先浮选作业，再选精矿作为最终精矿，从而提高精矿产率、减少尾矿产出，实现固废源头减量。



工艺流程图

### 3.技术指标

外排尾矿品位从 10%降至 6.4%，精矿产率提高 4%以上，回收率提高 5%以上。

### 4.技术功能特性

(1) 该技术对胶磷矿浮选尾矿进行预先反浮选，抛除大量低磷尾矿，避免了全部尾矿进入磨机或分级设备造成的磨机磨矿效率低，以及直接尾矿分级造成的磷损失等问题。

(2) 采用水力旋流器对预先浮选精矿进行浓缩，低浓度的浓缩溢流返回原浮选系统中的磨矿作业，实现了浓缩溢流中磷矿物的再次回收。

(3) 将立式搅拌磨应用在胶磷矿选矿工业生产领域，与水力旋流器组成磨矿分级闭路系统，磨矿效率有所提高。

## 5.应用案例

该工艺技术由云南磷化集团有限公司提供，应用于云南磷化集团有限公司晋宁选矿分公司和安宁矿业分公司，使精矿产率提高 4%，回收率提高 5%，近三年累计回收精矿 58.90 万吨，减少尾矿排放 58.90 万吨，减少原矿开采 84.14 万吨。

## 6.未来推广前景

该技术适用于胶磷矿浮选尾矿处理，具有一定推广价值。

### (二) 基于人工智能机器视觉的矿石智能分选技术与装备

#### 1.适用范围

矿石智能分选。

#### 2.技术原理及工艺

该技术设备主要应用在选矿环节（图 1），根据矿石中不同构成成份和对应的物理差异，采用传感器检测获取相对应的数据，通过机器视觉和人工智能技术，对矿石高速成像、实时识别分析，进行矿石智能分选。

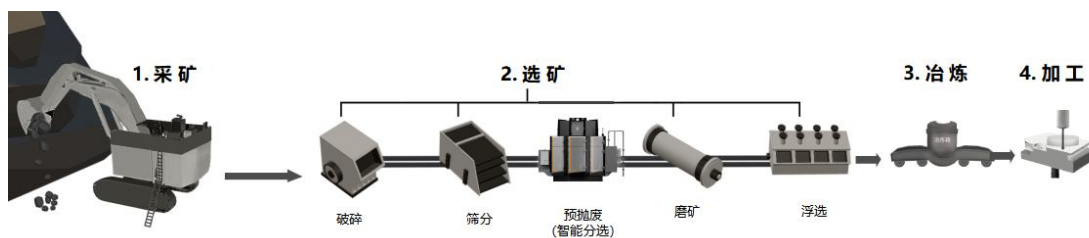


图 1 矿石生产工艺流程

分选流程：

开采出的原矿经过破碎后，进入矿石智能分选设备。分

选设备基于不同成分矿石的性质，用传感器对矿石进行检测，通过 X 射线、可见光、近红外等，借助机器视觉和人工智能，对矿石进行成像。通过人工智能深度学习识别技术进行矿石图像分析、判断物料种类，捕捉矿石位置，并控制高压分离装置实现对矿石、废料的毫秒级喷吹分选。（图 2、图 3）。

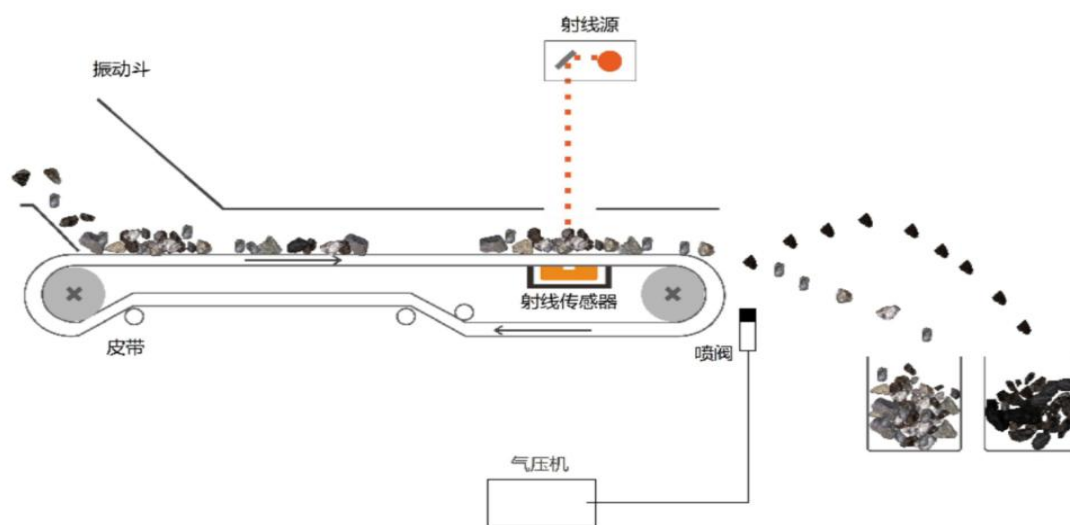


图 2 X 射线分选原理示意

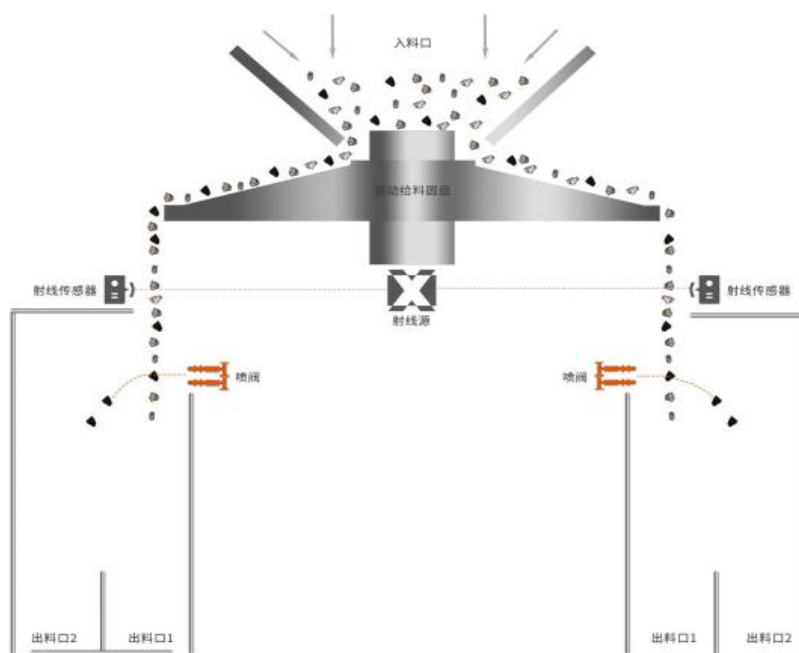


图 3 环形入料，空中成像分选示意图

### 3.技术指标

探测精度：X 射线典型探测精度 0.4mm(可定制 0.2mm、0.1mm); 可见光探测精度 0.1mm。

设备图像采集装置，每秒可处理图像中的矿石数量 3000-10000 颗，图像数据处理量超过 3GB/秒。

处理量：最高可达到 350t/h。

### 4.技术功能特性

结合深度学习理论研发了图像处理技术，在复杂的 XRT 矿石分选环境下，通过研究矿石的大小、纹理、厚度、原子序列等不同特征信息，构建矿石的分选训练模型，实现有用矿物与围岩的自动分选。

### 5.应用案例

该技术装备由赣州好朋友科技有限公司提供，已应用于国内外多座矿山，包括中金岭南凡口铅锌矿、山西帽帽山煤矿、云南锡业、章源钨业、中铝青海鸿鑫矿业、志存锂业、云南磷化集团海口磷业、塔吉克斯坦塔中矿业等。

### 6.未来推广前景

采用矿石智能分选设备对原矿进行预处理抛尾，既可降低人员成本，也可提高废石丢弃率，减少后续作业处理压力，有效提高选矿效率。同时还能提高脉石选出率，提高回收率，延长矿山寿命。

### (三) 旋流喷射微纳米气泡浮选柱

#### 1.适用范围

微细颗粒物浮选回收。

#### 2.技术原理及工艺

该浮选柱（机）处理量可在有效容积  $1\text{m}^3 \sim 1200\text{m}^3$  范围内调整。浮选柱在瞬间产生大量微纳米气泡并可快速捕获小于 19 微米以下微细粒，形成疏水性矿团。该设备可应用于黑色金属、有色金属硫化矿、氧化矿及非金属矿的选矿。



设备示意图

#### 3.技术指标

设备能瞬间产生大量微纳米泡并快速捕获-19 微米以下微细粒，选矿回收率比传统浮选机平均提高一倍，比常规浮选柱对细粒级的回收率提高 30%以上，药剂节省  $1/3 \sim 1/2$ 。

#### 4.技术功能特性

旋流喷射微纳米泡发生器综合了旋流喷射减压析出微

泡、真空引气生成微纳泡等多种微纳泡制造技术，具有负压吸气性能，可影响浮选柱内气泡尺寸的分布。旋流喷射结构会增加浮选柱内微小气泡的数量，与无旋流结构相比，微细气泡占比平均约高 20%。

### 5.应用案例

该技术设备由山东矿机集团股份有限公司提供，已先后在内蒙古包头市包钢集团稀土矿、甘肃陇南成县白银有色金属集团厂坝铅锌矿、甘肃金昌市金川集团铜镍矿、四川（攀枝花）攀钢集团钛铁矿以及广西大厂云锡集团的锡多金属矿应用。

### 6.未来推广前景

尾矿中含有相当可观的有价矿物，是丰富的二次资源。矿山尾矿开采难度低，分选流程简单，投入成本低，蕴含着一定环境社会效益。该项成果用于回收尾矿资源，具有推广应用价值。

## （四）STC 煤泥无热干化高压压滤机

### 1.适用范围

煤泥干化。

### 2.技术原理及工艺

STC（slime to coal，泥浆制煤泥）无热干化系统集成“传统压滤机+干燥设备”功能于一体，省去传统的烘干工序。

STC 可输出高达 10MPa 的压榨压力，以物理压榨方式替代

传统的“压滤机+烘干”两道工序，所产干煤泥可直接制粉掺配或直销。

### 3.技术指标

单机年产能 20 万吨；压榨压力可达 10MPa；煤泥含水率最低可降至 13%；运营成本相当于烘干的 20%。

### 4.技术功能特性

STC 无热干化系统采用 PLC 自动控制，可以使煤泥含水率压滤至临界点，经 STC 系统处置后的煤泥可直接粉碎，满足配煤和转运要求。

### 5.应用案例

该技术设备由杭州安永环保科技有限公司提供。陕西正通煤业有限责任公司选煤厂采用 STC2000 型煤泥无热干化高压压滤机后，煤泥产品全水分由 28%降低至 20%，发热量也提高至 4100Kcal/kg，脱水后煤泥产品能够破碎成粉掺入成品煤进行销售。

### 6.未来推广前景

该设备能够提高煤泥脱水水平，助力煤矿煤泥减量化，具有推广应用前景。

## （五）低温干化半固态废物工艺技术装备

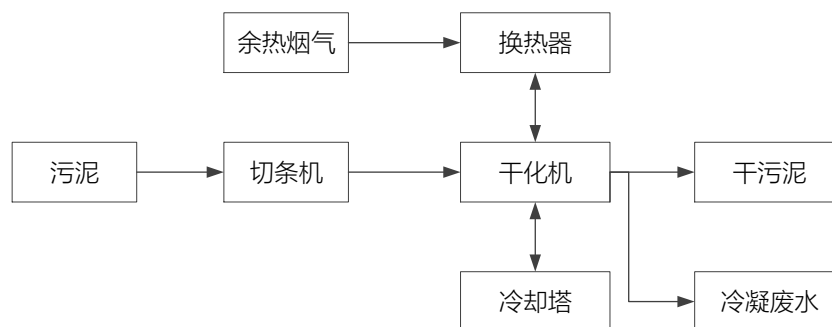
### 1.适用范围

半固态废物减量化、资源化。

### 2.技术原理及工艺



利用水泥窑排放烟气余热与低温带式干化结合工艺，将含水率（60%~80%）的污泥、废渣等半固态废物及秸秆、稻壳等生物质物料干化至含水率(10%~40%)，干化后的物料可作为水泥窑替代燃料或原料，实现节能降耗减排。



干化工艺流程

### 3.技术指标

利用水泥窑排放的低品位废烟气余热（100-140℃）与低温带式干化结合工艺干化半固态废物，降低干化成本。

### 4.技术功能特性

（1）在传统热泵低温带式干化机内部嵌入余热系统，实现了余热和热泵结合的工艺，相比于纯热泵干化可以降低成本，也能提升系统的稳定性。

（2）不仅能用于湿污泥、漆渣和油泥等半固态废物干化，还适用于其它含水物料干化，适用范围较广。

### 5.应用案例

技术提供单位为北京金隅红树林环保技术有限责任公司。本技术在陕西咸阳市泾阳县实现了产业化落地。水泥窑协同处置污泥干化项目设计能力 480 t/d，年处置污泥（含水率 65%左右）15.84 万吨，其中将 280 t/d 污泥进行干化处理

至含水率 30%后，入窑作为替代燃料进行资源化处置。此项目投产运行会使当地的污泥处置现状得到缓解，为社会发展和环境保护做出贡献。

## 6.未来推广前景

该技术通过利用水泥厂低品位废热，对半固体废物进行干化处理，提供了水泥企业半固态物料处理技术新途径。干化后的物料可作为水泥窑替代燃料或原料，达到节能降耗减排的目的，具有一定的应用前景。

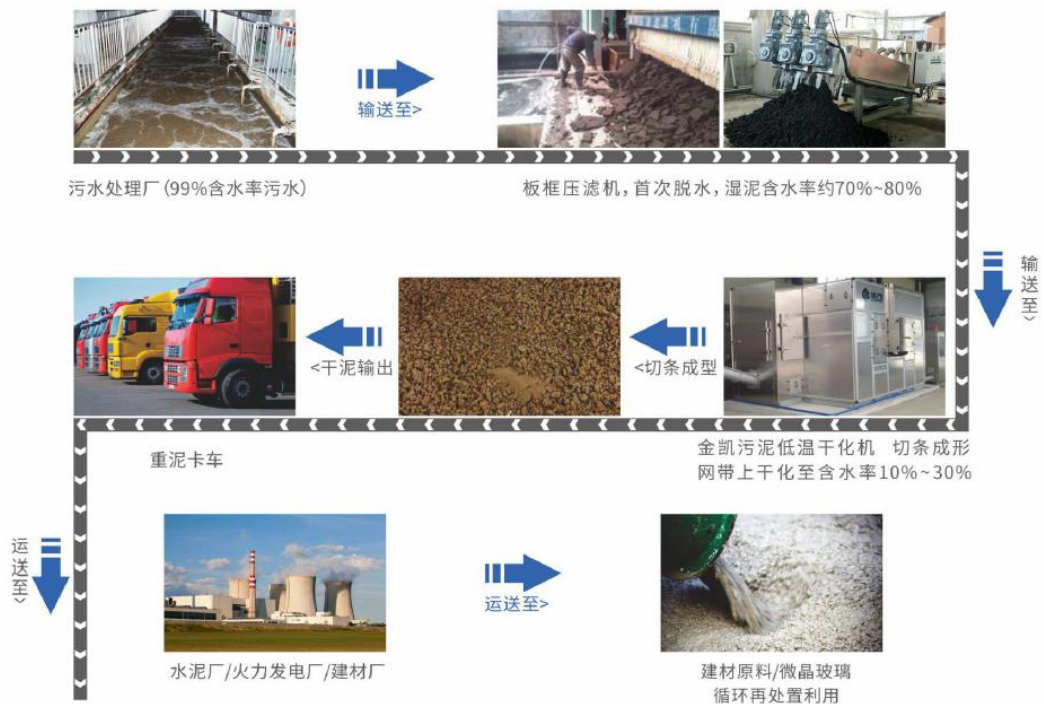
### （六）密闭式低温热泵污泥干化技术

#### 1.适用范围

污泥干化。

#### 2.技术原理及工艺

该技术利用低温热泵除湿原理，对污泥进行热风循环冷凝除湿烘干，除湿烘干过程利用了排风中水蒸汽潜热和空气显热。干化后的污泥含水率可降低至 20%左右，减重 50%以上。该技术运用防尘防爆技术，污泥造粒技术，配合循环热风穿透的低温热泵干化技术，可提高污泥干化运行的可靠性与安全性能；在污泥干化的过程中，使用了可燃气体传感器，氧气浓度传感器，粉尘浓度探测器，污泥核心温度探测技术等，对系统进行实时数据监控。



工艺技术流程图

### 3.技术指标

(1) 通过应用低温热泵技术, 可将含水率 65%-85%污泥干化至含水率 10%-30%, 减量达 50%以上。

(2) 污泥料箱透气性好、底部脱扣式卸料方式, 操作方便。

(3) 能耗较低, 消耗 1 度电可以脱水 2.5kg-3kg。

(4) 无污染, 无废气废水排放。

### 4.技术功能特性

(1) 采用低温烘干技术, 将危废污泥中的有害物质保留在污泥中, 水分回流到污水池中, 避免了传统高温烘干产生的水蒸气进入空气造成环境污染;

(2) 采用密闭式热泵烘干技术，实现热能循环利用。  
烘干过程中产生的粉尘以及有害气体均处于密闭空间内。

### 5.应用案例

技术提供单位为苏州新坤远环保技术有限公司。在贺氏（苏州）特殊材料有限公司的污泥干化项目中应用，2019至2021年间，污泥处理量约80吨/月，干化后污泥含水率可从65%-85%降低至10%-30%。

### 6.未来推广前景

该设备可用于危废污泥的干化处理，处理过程中热能循环利用，具有一定的推广价值。

## (七) 流动/非流动态含油污泥纳微米乳液循环清洗 及配套工艺技术

### 1.适用范围

含油污泥减量化与综合利用。

### 2.技术原理及工艺

该技术是通过超支化纳米清洗材料和开关型纳微米乳液循环清洗剂对不同类型含油污泥进行清洗。根据污泥特点提供药剂和工艺组合方案，可低成本高效回收原油，实现减量化资源化利用目的。

其中，超支化纳米清洗材料（HNS）中的多臂结构同时与油相和固相发生作用，一部分聚合物臂可以与油相牢牢结合；另一部分聚合物臂可以与泥砂表面的负电荷产生静电斥

力作用，可以轻松地将油从泥砂表面剥离。基于此开发的开关型纳微米乳液循环清洗剂分子结构中含有 pH 敏感基团，实现常温下油溶高效洗油、水溶快速破乳，全过程可控可逆，从而达到低成本可循环清洗、回收原油的双重效果。

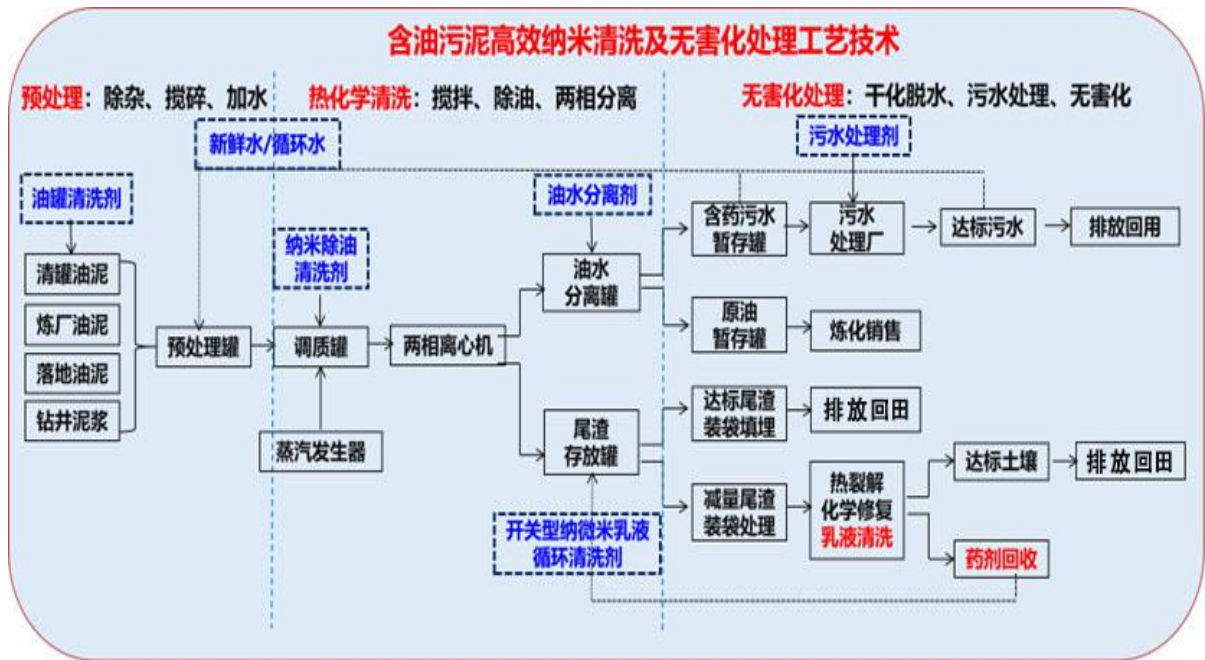


图 1 含油污泥高效纳米清洗及无害化处理工艺技术

### 3. 技术指标

(1) 乳化增溶能力 $\geq 80\%$ ，开关后破乳率 $\geq 90\%$ ，原油回收率 $> 80\%$ ，循环使用次数 $\geq 20$ 。

(2) 洗后绝干底泥含油率 $\leq 2\%$ 。

### 4. 技术功能特性

(1) 含油污泥处理速度快、成本低、清洗效果好、工艺简单安全；洗后不造成二次污染，不影响油品、水质和土壤，绿色环保。

(2) 可拓展用于近井沥青、井筒石蜡、原油管道、管

件、原油储罐等清洗处理。

### 5.应用案例

技术提供单位为宁波锋成先进能源材料研究院有限公司。该技术已在青海、大港、华北、胜利等油田的含油污泥处理，兰州、成都、南京等炼化企业的含油污泥资源化利用等场景进行现场应用。炼化油泥处理后，原油回收率 > 95%。

### 6.未来推广前景

该技术开发了开关型纳微米乳液循环清洗剂，实现低温下油溶高效洗油、水溶快速破乳，全过程可控可逆，乳液可循环利用，具有一定推广前景。

## （八）石化行业含油污泥热萃取处理工艺

### 1.适用范围

储油罐底泥、隔油池底泥、除油罐底泥浮渣、剩余活性污泥处置。

### 2.技术原理及工艺

该工艺技术是以馏分油（萃取油）为载体，利用馏分油的相似相溶原理和良好的传热特性，在加热条件下破坏污泥内部的水化膜，将水汽化分离出去，油和固体物溶解到馏分油中，固体物经沉降分离和汽提脱油形成粉状物料，最终将污泥分离成油、水和固体三种产物。可用于石油炼制、化工及储运行业产生的含油污泥无害化处理。工作过程主要包括加热萃取、沉降分离和汽提脱油三部分。

该技术以炼厂馏分油为输送和传热介质，油泥经离心脱水后与馏分油按一定比例打入搅拌混合罐进行预加热，形成均匀的流动性较好的物流，经蒸汽加热后送入萃取塔进行萃取脱水，水和轻组分油从塔顶排入冷凝器后进油水分离罐，油和固体物随馏分油进入沉降罐进行分离，固体物沉到罐底，沉积物达到一定量后送脱油干燥系统进行脱油干燥，成为湿粉状固体物。热萃取油泥处理工艺流程框图见图 1。

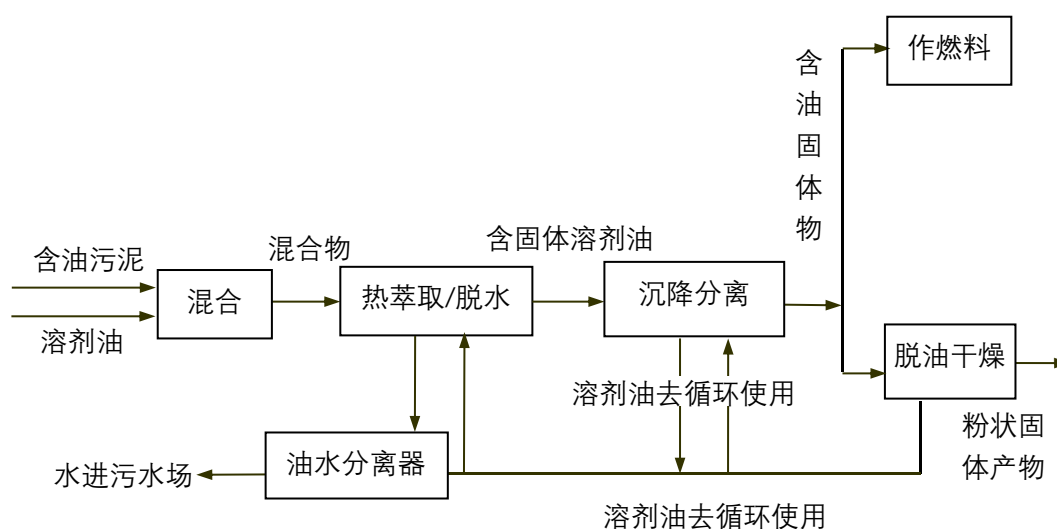


图 1 热萃取油泥处理工艺流程框图

### 3.技术指标

污泥经热萃取处理后形成三种产物：脱出水、粉状固体物、油。

- (1) 脱出水：COD 小于 1500mg/L，油小于 150mg/L。(2) 固体物：干燥程度可以控制，产品指标可分为如下两种，指标①：干粉，水小于 5%（汽提吸潮），油小于 5%（重质）。指标②：湿粉，水小于 5%（汽提吸潮），油小于 10%~20%。

#### 4.技术功能特性

一是开发了热萃取油泥成套技术，并将馏分油引入油泥处理系统，改善了油泥的输送和传热性能；二是增加泵的强制循环；三是将油泥中的油回收利用，保护了环境，又变废为宝；四是各类产物实现厂内循环，不排入外环境，最终实现减量化、资源化和无害化。

#### 5.应用案例

技术提供单位为大连建华污泥处理有限公司、抚顺石油化工研究院。2015年公司承接大连地区石化产业循环经济产业链补链项目，大连地区石化产业危废处理任务。该技术荣获中国石化科技进步二等奖、授权知识产权 8 件。

#### 6.未来推广前景

该技术可用于石油炼制、化工及储运行业产生的含油污泥无害化处理，具有一定推广价值。

### （九）蚀刻/微蚀液循环再生提铜系统

#### 1.适用范围

PCB 企业的酸/碱性蚀刻，硫酸-过硫酸钠体系微蚀液循环利用。

#### 2.技术原理及工艺

酸性蚀刻液在线循环再生提铜系统采用“离子膜电解提铜”工艺，其基本原理是用离子膜将电解槽的阳极区和阴极区分隔成两个独立的区域，其中，阳极区为蚀刻液再生区，



阳极通过电化学反应将废蚀刻液中一价铜恢复为有蚀刻功能的二价铜，并可控产生其他氧化剂，从而再生出蚀刻速率更快且性能稳定的蚀刻液；阴极区为铜回收区，阴极将溶液中一价和二价铜还原成零价铜，产出高纯铜板。

碱性蚀刻液循环再生提铜系统是将废蚀刻液中的铜通过电沉积的方法分离出来，而其他成分不变，保护了废液中的化学物质不被破坏，实现铜分离回收的同时，又实现了其它对蚀刻有用的组份的全部回用。我司采用独有的氨水浓缩技术，可以做到使用氨水进行补充损失的氨气而蚀刻液体积无膨胀。

微蚀液在线循环再生提铜系统采用硫酸-过硫酸钠体系，用离子膜工艺电解再生。离子膜将电解槽分隔为阳极区和阴极区，阴极生成金属铜，产生微蚀废液；阳极可将硫酸根合成有强氧化性的过硫酸根，将微蚀废液再生。即在阳极再生微蚀液的同时还可在阴极电沉积回收铜，使微蚀处理过程中微蚀的铜得以全部回收。

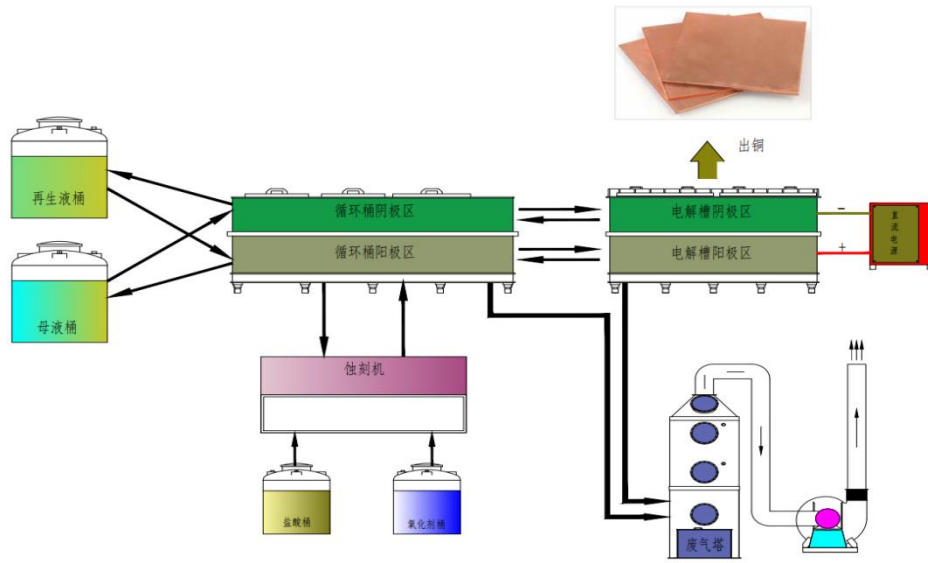


图 1：酸性蚀刻液在线循环再生提铜系统工艺技术流程图

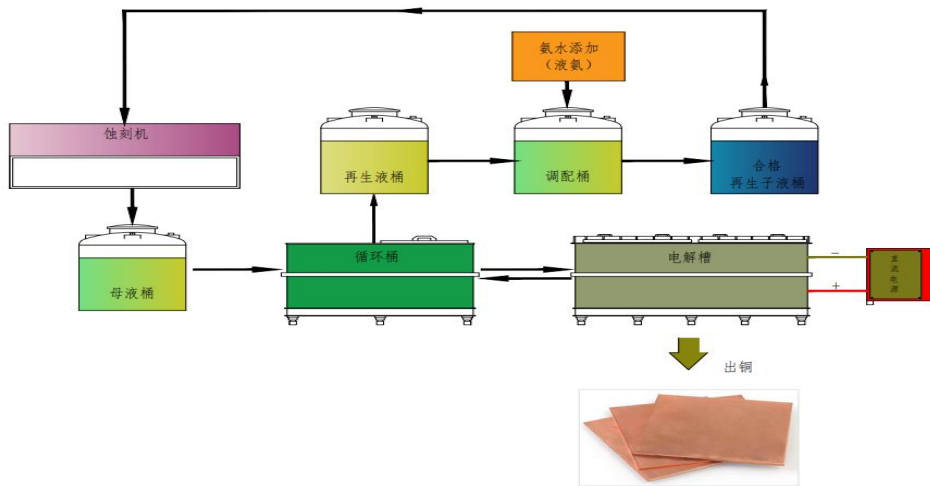


图 2：碱性蚀刻液循环再生提铜系统工艺技术流程图

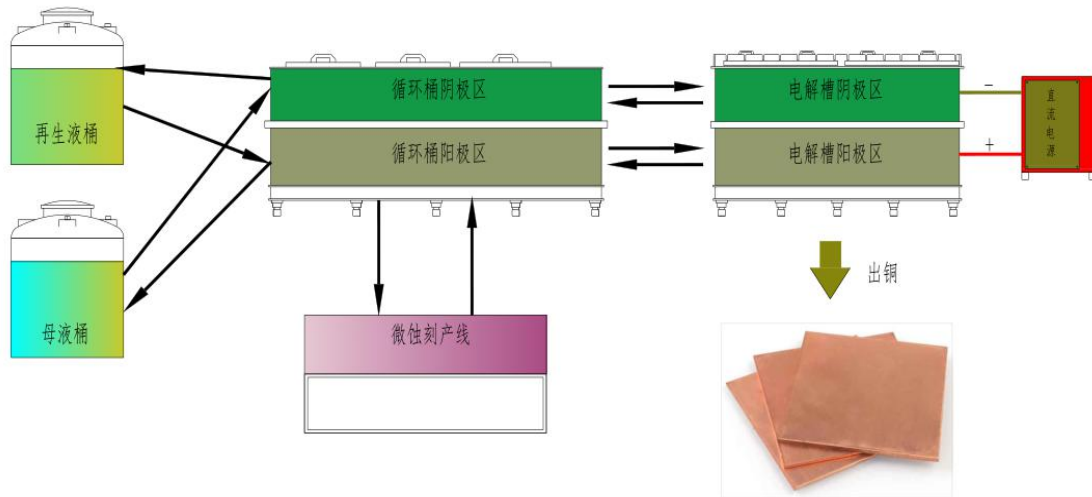


图 3：微蚀液在线循环再生提铜系统工艺技术方案流程图

### 3.技术指标

零排放，蚀刻/微蚀废液全循环回用，废液中的铜 100% 回收。

### 4.技术功能特新

蚀刻/微蚀液循环再生提铜系统是 与蚀刻/微蚀生产线有机结合的闭合循环系统，有助于消除 PCB 铜微蚀废液二次污染。该系统废液回收率达 100% 以上，铜回收率达 100%。

### 5.应用案例

该技术由长沙利洁环保科技有限公司提供，已在扬宣电子（清远）有限公司、惠州通元科技有限公司、南京罗奇泰克有限公司、江西雅信达电路科技有限公司、江西联益电子科技有限公司、萍乡丰达兴线路板制造有限公司、珠海德丽科技有限公司、泉州市洛江金田电子有限公司等多家企业实现应用。

### 6.未来推广前景

PCB 在其制造过程中会产生多种环境污染物，包括含铜废液和废水等，蚀刻/微蚀液循环再生提铜系统有助于解决蚀刻过程中产生的废液问题，具有一定推广价值。