

化工厂残酸中有价金属回收技术

刘惠敏 谢卓森

励福（江门）环保科技股份有限公司 广东 江门 529000

摘要：随着化工行业发展，残酸排放量增加，其含有的有价金属若未回收，既造成资源浪费，又引发环境问题。本文围绕化工厂残酸中有价金属回收技术展开研究，先分析残酸来源与成分，明确有价金属种类及含量测定流程。重点探究物理（重力分离、磁选、浮选）、化学（溶剂萃取、离子交换、化学沉淀）、生物（生物吸附、生物浸出）三类关键回收技术，进而设计“预处理-分离-富集-提纯”工艺流程，并从技术组合、参数、设备适配、循环机制方面优化。研究为残酸有价金属回收提供技术支撑，助力化工行业资源循环与环境治理，具有实际应用价值。

关键词：化工厂残酸；有价金属；回收关键技术

引言：当前残酸处理多聚焦于无害化，忽视资源回收潜力，且现有回收技术存在效率低、适配性差等问题。基于此，本文开展化工厂残酸中有价金属回收技术研究，先剖析残酸来源与成分，明确有价金属类型及测定方法，再深入研究三类关键回收技术，设计并优化工艺流程，旨在为实现残酸资源化利用、降低化工污染、推动行业可持续发展提供科学方案。

1 化工厂残酸来源与成分分析

1.1 化工厂残酸的来源分析

化工厂残酸的产生与化工生产的多个核心环节紧密关联，主要可分为以下三类来源。（1）来自原料预处理环节，在对矿物原料、金属原料进行酸洗、纯化时，酸溶液会因与原料中的杂质发生反应而逐渐消耗，当酸浓度降至工艺要求下限、无法继续满足生产需求时，便形成残酸。（2）产生于产品精制过程，部分化工产品要通过酸浸、酸溶等工艺实现提纯，随着反应推进，酸溶液中溶解的杂质离子不断积累，导致酸的活性降低，最终成为残酸排出。（3）源于设备维护与清洗环节，为防止设备内结垢、腐蚀或残留污染物影响产品质量，要定期用酸溶液对反应釜、管道等设备进行清洗，清洗后含有污染物的酸溶液因无法循环利用，也会转化为残酸。

1.2 化工厂残酸的主要化学成分

化工厂残酸的化学成分具有复杂性，核心可分为以下酸性成分、溶解态物质及杂质三类。（1）酸性成分是残酸的基础组分，主要为未完全反应的无机酸，如硫酸、盐酸、硝酸等，部分生产工艺还会产生含磷酸、氢氟酸等酸性物质的残酸，其浓度因生产工艺和反应程度不同存在差异。（2）溶解态物质是残酸中占比极高的成分，主要包括原料或产品中被酸溶解的金属离子，以及反应生成的盐类物质，金属离子以阳离子形式存在，盐

类则多为酸根与金属离子结合形成的化合物。（3）残酸中还含有少量杂质成分，如生产过程中引入的有机污染物、悬浮颗粒物等，这些杂质虽含量较低，但会对残酸的后续处理与回收产生影响^[1]。

2 有价金属种类及含量测定

2.1 有价金属的主要种类

化工厂残酸中的有价金属种类，主要依据其在工业领域的应用价值与回收潜力划分，可分为以下三类核心类型。（1）贵金属，这类金属因稀缺性和高经济价值成为重点回收对象，通常以离子形态存在于残酸中，具有稳定的化学性质，在后续回收过程中易实现分离提纯。（2）有色金属，该类金属在电子、冶金等行业需求旺盛，残酸中常见的多为具有较高导电性或延展性的金属离子，其含量通常高于贵金属，是残酸回收中产量占比突出的类型。（3）稀有金属，这类金属虽在残酸中含量较低，但在高端制造、新能源等领域具有不可替代的作用，多以复合离子或络合态形式存在，回收难度相对较大。

2.2 有价金属含量的测定流程

有价金属含量测定要遵循标准化流程，主要包括以下样品预处理与核心测定两个阶段。（1）样品预处理是测定的基础环节，要先对残酸样品进行均质化处理，确保成分分布均匀；再通过过滤去除悬浮杂质，避免干扰测定结果；对于成分复杂的残酸，还需进行酸化或络合处理，将金属离子转化为易于检测的形态。（2）核心测定阶段则依托专业技术手段，常用方法包括光谱分析法与电化学分析法，光谱分析法通过检测金属离子的特征光谱强度确定含量，具有灵敏度高、检测速度快的优势；电化学分析法则利用金属离子的电化学特性进行定量分析，适用于低浓度金属离子的精准测定，两种方法需根据残酸特性与检测需求合理选择，以保障测定结果

的准确性^[2]。

3 化工厂残酸中有价金属回收的关键技术

3.1 物理分离关键技术

物理分离技术依托残酸中物质的物理特性差异实现有价金属分离,具有操作简便、能耗较低的特点,核心技术包括重力分离、磁选与浮选,其关键操作要点与技术细节如下:(1)重力分离技术。其核心在于利用有价金属与残酸中其他组分的密度差异实现分离。操作时需先对残酸进行预处理,通过调节温度控制残酸黏度,避免黏度过高影响颗粒沉降;同时需控制残酸流速,确保密度较大的有价金属颗粒能在重力作用下稳定沉降。该技术的关键在于精准控制沉降环境参数,如pH值需维持在特定范围,防止金属离子发生水解反应形成絮状物,干扰沉降效果;此外要通过过滤设备收集沉降后的金属富集物,过滤精度需根据金属颗粒粒径调整,以提高分离效率。(2)磁选技术。主要针对残酸中具有磁性的有价金属,其核心是利用磁场对磁性物质的吸附作用实现分离。技术实施时需先对残酸进行均质化处理,确保磁性金属颗粒均匀分散,避免颗粒团聚影响磁场吸附;磁场强度需根据金属磁性强弱调节,磁性较弱的金属需采用高强度磁场,同时控制残酸在磁场中的停留时间,保证磁性金属充分吸附。此外要设置磁场梯度,通过梯度差异增强对磁性颗粒的捕获能力,吸附后的磁性物质需通过脱磁装置收集,脱磁过程需控制磁场消退速度,避免金属颗粒二次分散。(3)浮选技术。基于有价金属表面物理化学性质的差异,通过添加浮选药剂改变金属颗粒表面疏水性,再利用气泡将其捕获分离。关键操作包括药剂配比的精准控制,需根据金属表面特性选择捕收剂、起泡剂的种类与用量,确保金属颗粒能有效附着于气泡表面;同时需调节残酸的pH值,为药剂与金属颗粒的作用创造适宜环境,避免杂质离子与药剂发生反应。浮选设备的搅拌速度需合理设定,既要保证气泡均匀分散,又要防止搅拌过度导致气泡破裂,影响金属颗粒的捕获效率。

3.2 化学分离关键技术

化学分离技术借助化学反应实现有价金属与残酸组分的分离,具有分离精度高、适用性广的优势,主要包括溶剂萃取、离子交换与化学沉淀,其技术核心与操作关键如下:(1)溶剂萃取技术。通过萃取剂与残酸中有价金属离子的选择性结合,实现金属离子从水相(残酸)到有机相的转移。技术实施的关键在于萃取剂的选择,要根据目标金属离子的性质,筛选具有高选择性、高萃取容量的萃取剂,同时控制萃取剂在有机相中的浓

度,避免浓度过高导致有机相黏度增加,影响相分离效率。萃取过程中需调节残酸的pH值,为金属离子与萃取剂的反应创造适宜条件,防止杂质离子参与反应;还要控制萃取温度与搅拌速率,温度过高可能导致萃取剂分解,搅拌不足则会影响两相接触效率,需通过多次试验确定最优参数。萃取后的有机相需进行反萃取处理,通过调节反萃取剂的浓度与pH值,使金属离子重新转移至水相,实现金属的富集与回收。(2)离子交换技术。利用离子交换树脂对金属离子的选择性吸附能力实现分离,其核心在于树脂的选择与再生。需根据目标金属离子的电荷性质与半径,选择具有高交换容量、高选择性的树脂,如阳离子交换树脂适用于吸附阳离子型金属离子,阴离子交换树脂则针对阴离子型金属络合物。操作时需控制残酸通过树脂柱的流速,流速过快会导致金属离子与树脂接触不充分,影响吸附效率;同时需调节残酸的pH值与温度,避免树脂在强酸或高温环境下发生结构破坏。树脂吸附饱和后需进行再生处理,通过洗脱剂将金属离子从树脂上解吸,洗脱剂的浓度与流速需精准控制,既要保证金属离子完全解吸,又要避免树脂结构受损,实现树脂的循环利用。(3)化学沉淀技术。通过向残酸中添加沉淀剂,使有价金属离子形成难溶性沉淀物,再通过固液分离实现回收。关键在于沉淀剂的选择,需根据金属离子的性质选择能形成稳定沉淀物的试剂,同时控制沉淀剂的用量,避免用量不足导致沉淀不完全,或用量过多引入新的杂质。沉淀过程中需调节残酸的pH值,使金属离子在适宜的pH范围内形成沉淀物,防止pH值不当导致沉淀物溶解或杂质离子共沉淀;此外,需控制反应温度与搅拌时间,温度过低会降低反应速率,搅拌不足则会导致沉淀物团聚,影响后续过滤分离。沉淀生成后需通过过滤或离心分离获取沉淀物,分离设备的选择需根据沉淀物的粒径与密度确定,以提高分离效率。

3.3 生物分离关键技术

生物分离技术利用微生物或其代谢产物与有价金属离子的相互作用实现回收,具有环境友好、成本较低的特点,主要包括生物吸附与生物浸出,其技术要点与操作关键如下:(1)生物吸附技术。依托微生物(如细菌、真菌、藻类)表面的活性基团(如羧基、羟基、氨基)与金属离子的吸附作用实现分离。技术核心在于微生物的筛选与驯化,需选择对目标金属离子具有高吸附容量、高选择性的微生物菌株,同时通过驯化提高微生物在残酸强酸环境下的耐受性,避免微生物因酸度过高而失活。操作时需控制微生物的浓度与悬浮状态,确保

微生物与残酸中的金属离子充分接触；同时调节残酸的pH值与温度，为微生物的吸附活动创造适宜条件，pH值过低可能破坏微生物表面活性基团，温度过高则会影响微生物的代谢活性。吸附后的微生物需进行解吸处理，通过调节解吸剂的浓度（如酸、碱或盐溶液），使金属离子从微生物表面脱附，实现金属的回收与微生物的循环利用。（2）生物浸出技术。利用微生物代谢产生的酸性物质（如硫酸）或络合物质，将残酸中难溶性的金属化合物转化为可溶性金属离子，再通过后续分离工艺回收。关键在于功能微生物的培养与代谢调控，需筛选能高效产生目标代谢产物的微生物，如氧化亚铁硫杆菌可产生硫酸，适用于浸出金属硫化物。培养过程中需控制培养基的成分（如碳源、氮源、微量元素），为微生物的生长与代谢提供充足营养；同时调节培养温度、pH值与通气量，优化微生物的代谢效率，提高代谢产物的产量。浸出过程中需控制残酸与微生物的接触时间、搅拌速率，确保代谢产物与金属化合物充分反应；此外要监测浸出体系中的金属离子浓度，及时调整反应参数，避免金属离子浓度过高对微生物产生毒性抑制。浸出后的溶液需通过沉淀、萃取等工艺进一步分离富集金属离子，实现有价金属的回收^[3]。

4 有价金属回收工艺流程的设计与优化

4.1 工艺流程设计

工艺流程设计要以残酸特性与回收目标为核心，遵循以下“预处理-分离-富集-提纯”的基础逻辑。（1）预处理环节，通过过滤去除残酸中的悬浮杂质，避免堵塞后续设备；再调节残酸的pH值与温度，为后续分离工序创造适宜条件，同时抑制金属离子水解。（2）分离环节需结合目标金属类型选择技术，若含磁性金属优先纳入磁选单元，若金属离子以溶解态存在则选用萃取或离子交换单元，且各单元需按处理效率匹配处理量，防止前道工序负荷过载影响后续效果。（3）富集环节需衔接分离单元，对分离后的金属富集物进行浓缩处理，降低后续提纯难度；（4）提纯环节则通过沉淀、洗涤等操作去

除富集物中的残留杂质，确保金属产品纯度达标。整个流程需设置中间检测节点，实时监测各环节的金属回收率与纯度，为流程调整提供数据支撑。

4.2 工艺流程优化

流程优化要采取以下方法提升效率与成本控制。

（1）在技术组合上，针对单一技术瓶颈，可将物理分离与化学分离串联，如先通过浮选富集金属颗粒，再用萃取提纯溶解态金属，减少单一技术的局限性。（2）参数优化方面，通过正交试验确定各工序的最优参数，如调整萃取剂浓度、离子交换树脂流速等，降低试剂消耗与能耗。（3）设备适配性优化需根据流程负荷选择匹配规格的设备，避免设备过大导致能耗浪费或过小导致流程拥堵；同时对设备连接管道进行布局优化，缩短物料传输路径，减少传输过程中的损耗。（4）建立流程循环机制，将分离后的废液、废树脂等进行二次处理，提高资源利用率，降低废弃物排放量，形成闭环式流程体系^[4]。

结束语：本文系统完成化工厂残酸中有价金属回收技术研究，明确残酸来源与成分特征，分析有价金属种类及测定规范，掌握三类关键回收技术的操作要点，构建并优化“预处理-分离-富集-提纯”工艺流程，形成完整技术体系。该研究填补残酸有价金属回收技术的部分空白，可有效提升金属回收率、降低处理成本，兼具经济与环境效益。

参考文献

- [1]丁磊.疏水性低共熔溶剂萃取含酚废水及金属离子的研究[D].浙江:浙江工业大学,2021.
- [2]于博渊,张家靓,杨成,等.废加氢催化剂中有价金属回收技术研究进展[J].有色金属科学与工程,2020,11(5):16-24,51.
- [3]贾康乐.浅析有色冶金废渣中的有价金属回收技术[J].中国金属通报,2021(23):19-21.
- [4]卢文鹏,狄浩凯,杨坤,裴启飞.铅锌冶炼废水中和渣中有价元素综合回收[J].有色金属(冶炼部分),2025(2):229-236.