

附件

国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录 (2025年版)供需对接指南之一 工业固废源头减量技术设备

(一) 非水基钻屑热机械处理技术

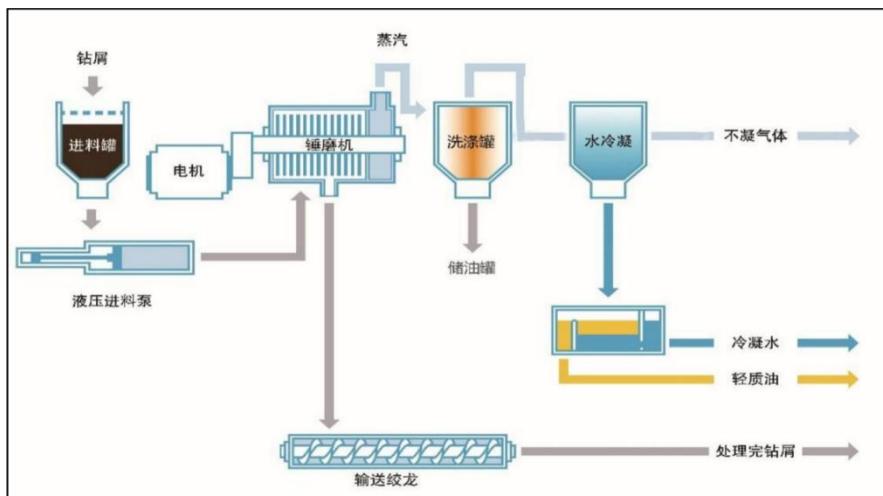
1. 适用范围

油田开发产生非水基钻屑、油泥的源头减量。

2. 技术原理及工艺

技术原理：采用了摩擦生热的原理，通过转臂高速旋转带动颗粒高速分散碰撞后产生热量，进而将液相汽化后脱附。

技术工艺：物料通过进料泵泵送入反应釜（锤磨机），反应釜内部转臂高速旋转带动颗粒高速分散碰撞后产生热量，在300~350℃之间将物料中液相汽化后脱附。脱附气相通过洗涤罐、水冷凝罐将气相除尘、冷凝后收集，



收集液相经过三相分离器将油、水分离。回收油用于配

制钻井液，回收水用于喷淋降温，脱附后干渣达标排放。

3. 技术指标

- (1) 高效、低能耗的非水基钻屑、油泥处理。
- (2) 处理量 $1\sim 2\text{ t/h}$ (含液率 $10\%\sim 30\%$)，作业面积 60 m^2 ，实现了海上平台原位处理模式。
- (3) 干渣含油率 $\leq 0.3\%$ ，远低于 GB4914《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》。
- (4) 回收油密度 $\leq 0.85\text{ g/cm}^3$ ，符合企业钻井液用矿物油标准，可用于配制钻井液。

4. 技术功能特性

- (1) 热机械工艺及设备可对非水基钻屑、油泥中含有的油、水进行脱附收集，实现非水基钻屑、油泥的无害化、资源化处理。
- (2) 适用于油田开发产生非水基钻屑、油泥的无害化、资源化处理。
- (3) 具备占地面积小、处理量大的特点，实现了非水基钻屑、油泥的海上平台原位处理。
- (4) 采用直驱机械摩擦加热技术，热效率高，有效避免结焦，对比间接热脱附技术节省能耗 30%。

5. 应用案例

技术提供单位为天津壹科环保科技有限公司，该技术已经在中国海油油田化学事业部上海、深圳及湛江作业公司应用，业务范围涵盖东海、南海西部及南海东部

钻井平台。

2023 年至今，累计作业 84 口井，处理钻屑 12101.4 吨，回收油 2286 m³，经济产值 4946.4 万元，减少碳排放 5081 吨，具有优异的经济性、环保性。

应用海域	作业时间	作业井数(口)	处理量(吨)
东海	2023 年	15	1449
东海	2024 年	19	3861.4
南海西部	2024 年	17	1692
南海东部	2023 年	21	3798
南海东部	2024 年	12	1301
合计		84	12101.4

6. 未来推广前景

(1) 经济性：国内海洋钻井每年产生非水基钻屑、油泥约 10 万吨，现有作业量有较大提升空间。中国海油七年行动计划，钻井数量增加，提供了广阔的市场空间。预期五年内海洋钻屑、油泥处理市场总价值：1 亿+/年。陆地油田每年产生非水基钻屑、油泥 60 万-80 万吨，国家提倡油田大开发，陆地市场广阔，预期五年内陆地市场总价值：15 亿+。随着国家走出去政策实施，国外市场广阔，未来更有可观的经济价值。

(2) 环保性：单台套设备设计处理量 10000 吨/年，目前投入 3 台设备作业，3 台设备制造中，预计 2025 年 8 月投产。全部投入使用后，每年可实现 6 万吨非水基

钻屑、油泥的无害化、资源化处理。

(3) 政策支持：2011年环境保护部发布的《废矿油回收利用污染控制技术规范》“原油和天然气开采产生的残油、废油、油基泥浆、含油垃圾、清罐油泥应全部回收”“含油率大于5%的含油污泥、油泥沙应进行再生利用”。2017年工信部和科学技术部发布的《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录（2017版）》鼓励发展“污油泥热分解资源化利用成套技术及装备”，适用于石油石化行业油泥无害化、资源化处理。2020年工信部和科学技术部发布的《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录（2020版）》含油污泥热分解处理装备被列入应用类，污油泥热分解处理成套装备被列入推广类。

(二) 百万吨煤矸石覆岩隔离注浆充填技术

1. 适用范围

煤矸石固废源头减量。

2. 技术原理及工艺

技术原理：在煤炭开采过程中，对上部分岩层起控制作用的岩层称为关键层，采空区覆岩沉降变形过程中，由于关键层和下部岩层变形量不同，致使关键层下方出现离层空间，将煤矸石制成煤矸石浆液通过地面高压注浆的方式注入地下离层区域，可对离层空间起到托上压下作用，从而实现集处废、保水、减沉、防冲、减震五位一体绿色开采。

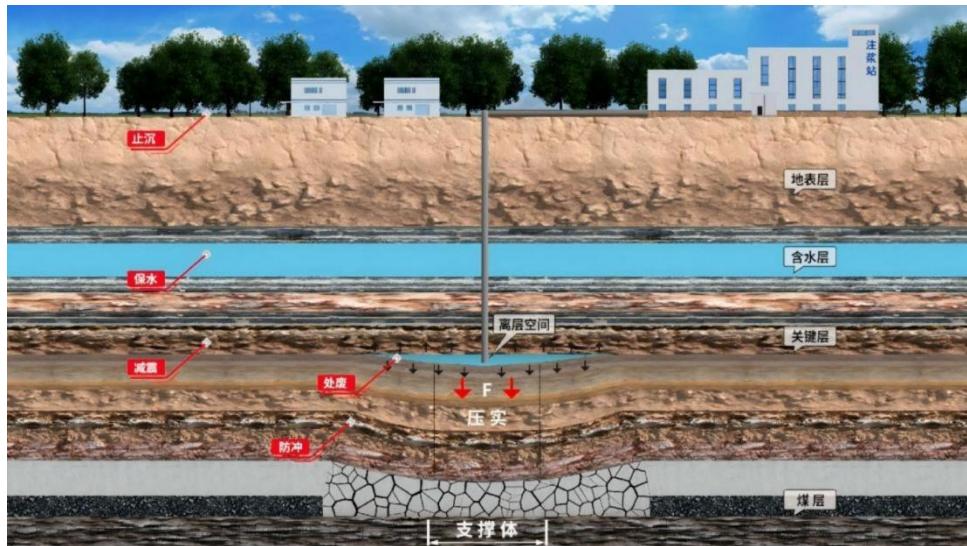
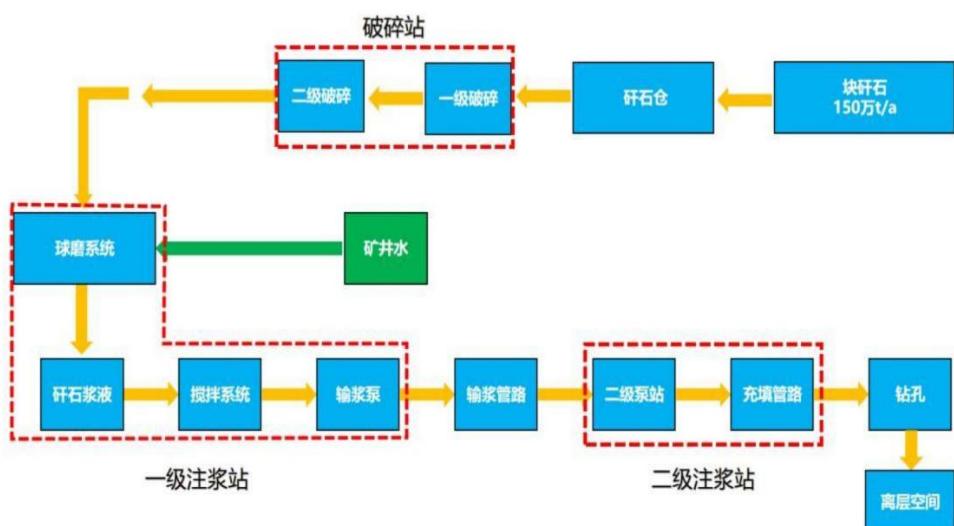


图 1 煤矸石覆岩隔离注浆技术原理

技术工艺：煤矿产生的煤矸石通过转载进入破碎环节，使煤矸石破碎至符合后续磨矿入料的粒度要求，后续煤矸石转载进入湿法磨矿环节，将矿井水与煤矸石按照一定比例混合进行磨矿，形成煤矸石浆液，煤矸石浆液通过注浆泵送系统（视输送距离远近可设置多级泵站）输送至注浆钻孔，将煤矸石浆液注入开采形成的离层空间内，实现煤矸石固废充填利用。



煤矸石覆岩隔离注浆技术典型工艺流程

3. 技术指标

满足大型矿井煤矸石百万吨级的处置需求，实现矸石不外排，建立百万吨级煤矸石覆岩隔离注浆充填技术从研发、设计、建设到运营的全链条技术体系。

4. 技术功能特性

功能特性：

（1）采煤不排矸

新型覆岩隔离注浆充填材料为煤矸石和矿井水，通过新型覆岩隔离注浆充填可实现百万吨级煤矸石处置。

（2）采煤能保水

注浆层位为含水层下方，通过注浆充填粉末状矸石可形成隔水层，阻止注浆层上方含水层向井下越流补给，减少井下涌水量，实现保水开采目的。

（3）采中利防冲

通过覆岩隔离注浆充填，可保证地层中主关键层长期稳定，同时加速下部岩层稳沉，防止能量积聚，利于矿井冲击地压防治。

（4）采中减矿震

通过覆岩隔离注浆充填，充实关键层下方离层空间，同时加速下部岩层稳沉，防止能量积聚，降低矿震等级、减少矿震频率。

（5）采后控沉降

注浆形成压实支撑体，可减缓地表下沉，减少采空区地表土地复垦、村庄搬迁、环境恢复等，有效保护地

面生态环境。

通过项目实施，实现矸石不外排、地面不建矸石山，积极响应国家生态环境政策，对蒙陕地区矸石处理起到积极示范作用；有效保护了矿区脆弱生态环境，符合内蒙古自治区对葫芦素矸石充填绿色开采示范矿井要求：带动相关的矿山机械、生态修复等产业同步升级，促进新质生产力发展。

技术特点：

（1）处理能力大

处理煤矸石能力每年可达 300 万吨以上，蒙陕地区处理煤矸石最佳途径。

（2）能有效降低矿井水涌水量

新型覆岩隔离充填技术能有效降低矿井水涌水量 30%以上，对于陕蒙地区的富水矿井，效益显著。

（3）不影响煤矿产量

新型覆岩隔离注浆技术与井下生产不干扰，对矿井正常生产无影响，不影响矿井产能。

（4）不增加井下安全风险

新型覆岩隔离注浆充填项目全部在地面作业，不增加矿井安全风险。

（5）处理成本低

新型覆岩隔离注浆处理矸石成本均低于井下矸石固体充填、膏体充填等其他充填开采技术。

5. 应用案例

目前该技术已经在陕蒙地区，分别为葫芦素煤矿、大海则煤矿、石拉乌素煤矿、营盘壕煤矿等4座千万吨矿井落地应用，总煤矸石设计处置规模达到570万吨/年。

6. 未来推广前景

实施煤矸石覆岩隔离注浆充填后，减少关键层变形与裂隙产生，减少地表沉陷与含水层水的漏失，助力黄河流域生态环境保护治理和高质量发展，社会与环境效益显著，为大型、特大型矿井煤矸石处理提供了高效率、低成本、规模化处理新方法，不影响开采布局、不干扰生产，能够有效、持续、稳定、安全解决矸石处理问题，在煤矿煤矸石大规模处置领域具有广阔的应用前景。

（三）超难选含铁岩矿高效绿色磁悬浮综合利用技术设备

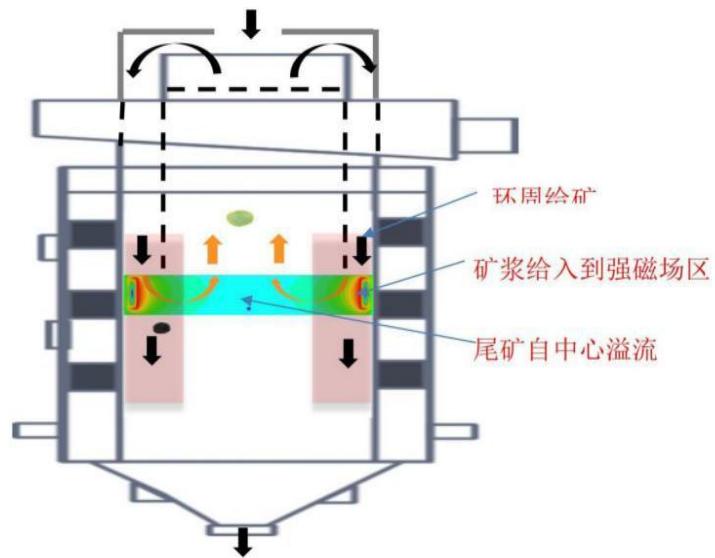
1. 适用范围

难选铁矿选矿、含铁尾矿源头减量。

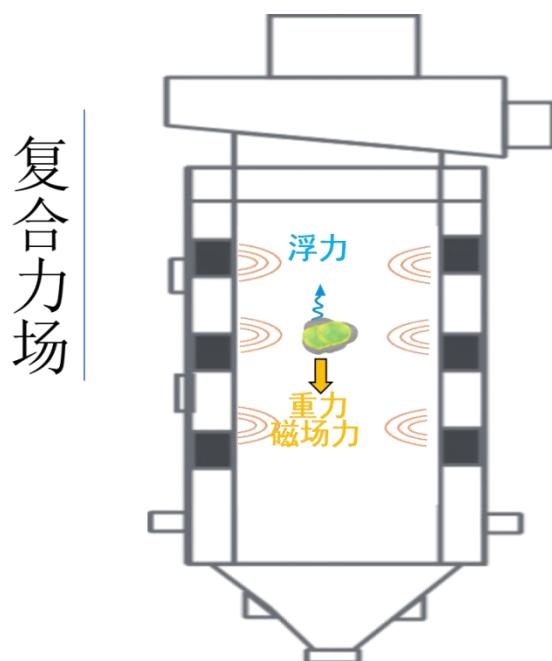
2. 技术原理及工艺

技术原理：设备利用磁性颗粒在磁场中的团聚作用，使磁性颗粒发生团聚，非磁性颗粒无法团聚，二者产生沉降差异。控制设备内部上升水流速，使磁性颗粒的团聚体下沉，非磁性颗粒上浮冲出，实现二者的分离。通过首创的“环周给矿，中心溢流”结构设计解决了传统的“中心给矿、环周溢流”结构产生的“磁空洞”效应

以及分选效率低的问题。



技术工艺：利用设备分选效率高的特点，在铁矿分选工艺中可以采用 1 段筒式磁选机+1 段磁悬浮精选，替代传统的多段筒式磁选机精选工艺，提高精矿品位及回收率，降低固废尾矿的产率。也可以在浮选脱硅工艺中，替代化学浮选机，达到脱硅效果的同时，大幅降低选矿成本和环境污染。



3. 技术指标

(1) 开发了“环周给矿、中心溢流”的精选设备，解决了传统的“中心给矿、环周溢流”结构分选筒直径增大产生的“磁空洞”效应，分选筒直径突破 2.6 m。

(2) 采用敞口多板环周分料结构、可拆卸式内部给水结构、小截面积中心溢流筒结构、磁场独立调节的励磁线圈，解决了精选设备大型化时给矿不均匀、耗水量大、溢流品位不稳定、磁场分布不精确的问题，处理能力达到 100~130 t/h、精矿品位提高 2~15 个百分点、溢流磁性铁品位大幅降低、吨精矿耗水量降低 50%。

(3) 开发了智能化运行控制系统，实现设备分选指标稳定；开发了基于物联网的远程通信模块，实现故障诊断、自适应运行和远程智能运维。

4. 技术功能特性

(1) 该技术设备可应用于结晶粒度细、品位低的超难选含铁岩矿的分选，利用其高分选精度，在提高精矿品位的同时能够提高精矿回收率，可减少尾矿的排放量。除此以外，对于因早期选矿技术不足产生的历史尾矿，可以通过该产品再选，回收尾矿中的强磁性矿物，实现历史尾矿的减量。

(2) 分选效率高，可以替代浮选脱硅工艺中的浮选机，大幅降低选矿成本及浮选带来的环境污染。

(3) 可以在铁矿精选工艺中，替代多段筒式磁选

机分选的工艺，减少设备使用数量，简化工艺流程，降低分选成本，提高精矿回收率。

(4) 该技术设备在原有同类产品的基础上革命性地更改了设备的分选结构。分选结构由传统的“中心给矿、环周溢流”结构升级为“环周给矿、中心溢流”结构。通过环周给矿，将矿浆给入到靠近分选筒壁处的强磁场区，解决了矿浆给入到分选筒中心的“磁空洞”区带来的影响。

(5) 实现尾矿从分选筒中心的弱磁场区向上溢流，解决了弱磁性连生体在强磁场区发生团聚沉降进入精矿，引起精矿品位降低的问题。

(6) 采用横截面积更小的中心溢流筒溢流尾矿，提高溢流筒内流速，可有效排出大颗粒脉石或连生体。

(7) 采用截面积更小的中心溢流筒溢流尾矿，尾矿自环周向中心流动排出，利用尾矿中的水产生分选效果的同时，小截面积需要的水量更少，进而实现节水效果。

(8) 每个电磁线圈可以单独调节，实现调节分选筒内不同位置产生不同大小的磁场，更适用于不同的矿石分选。

(9) 独特的给水系统，本设备的给水系统为可拆卸式给水管组件，给水管路可以从分选筒内拆出维护，解决了设备内部给水系统故障，需要派人钻到设备内部维护的不安全和不方便的问题。同时，给水阀门设置在溢

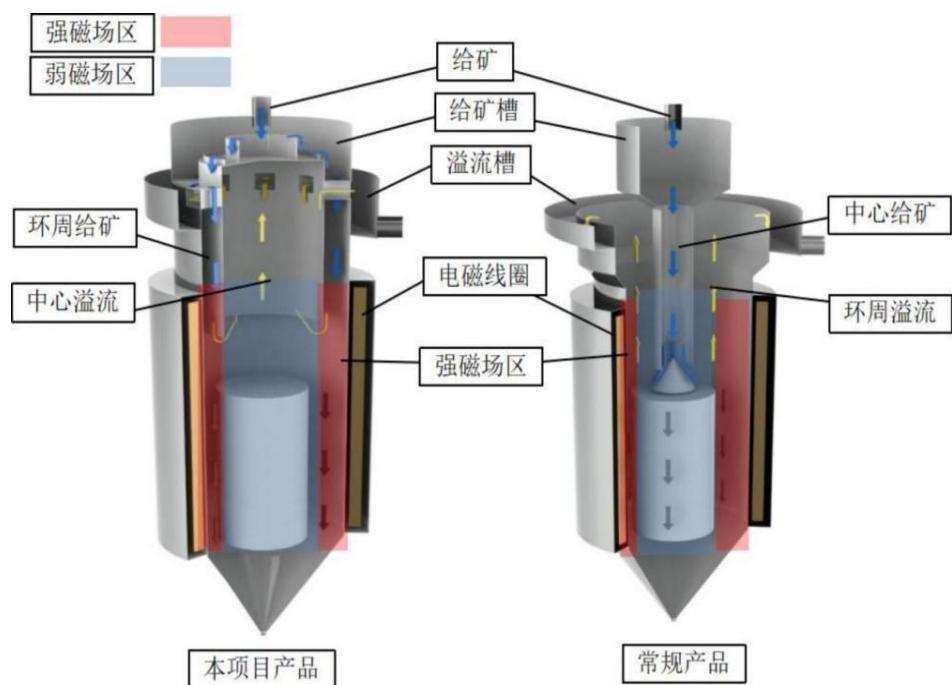
流槽的操作平台处，方便给水阀门的维护。

(10) 给矿槽采用敞口多板环周分料结构，既可使给矿槽将矿浆均匀地分散到分选筒四周也方便观察给矿情况。同时给矿槽内设置有纵向篦子，可以防止大块异物进入分选筒内堵塞精矿阀。

(11) 采用 PLC 可编程控制器，使整机工作变成全自动控制。

(12) 整机功率小，运行功率不足 6 kW、用水少，实现节能环保的特点。

(13) 整机配备物联网模块，设备直接与隆基公司远程维保中心通信，在维保中心即可实时观察到设备的运行参数。在客户同意的情况下，也可提供远程调节服务。



5. 应用案例

该技术是由沈阳隆基电磁科技股份有限公司自主研发。该技术及设备针对我国矿山领域长期存在的磁选效率低、能耗高等短板问题，已在鞍钢矿业、FMG、中信泰富等国内外龙头企业实现规模化应用，使精矿品位较传统工艺提高 15%，较进口设备节约成本 40%，单位产能能耗下降 40%，吨精矿耗水量降低 50%，成功替代进口并出口至澳大利亚等 70 多个国家，显著增强我国矿山装备产业链的全球竞争力。

6. 未来推广前景

该技术用于超难选含铁岩矿的分选领域，我国很多矿产资源都是重要的铁、稀土等多金属伴生矿，但长期受困于低品位矿石难选问题，新技术可将此前无法利用的含铁岩矿（如 20% 以下品位）高效回收，显著提升资源利用率，减少对外铁矿石依赖（目前我国铁矿石进口依存度超 80%）。

该技术及设备已推广至十余家矿山企业，在鞍钢矿业、FMG、中信泰富等国内外龙头企业成功应用，推广运行数据证明，设备结构优化后，分选效果提升明显，铁资源回收利用率大大提升，大幅降低选矿生产成本，在生产中取得了巨大成效，经济效益良好。可广泛推广到一些精矿质量无法达标的矿山，还有一些是精选段通过浮选设备进行提品的矿山企业应用。

(四) 多源重金属危废协同资源化关键技术

1. 适用范围

有色金属冶炼废弃物的源头减量与资源化利用。

2. 技术原理及工艺

技术原理：针对多源危废种类多、成分复杂，稀贵金属回收难，烟尘率高、铅锌直收率低，砷高度分散、富集开路难等技术难点。本技术采用氧化-还原-烟化连续熔炼与分级精炼，实现多金属梯度回收。熔炼过程采用黄铁矿协同氧化熔炼降低能耗，研发了低 PbO 活度的五元渣系和含砷烟气高温电收尘智能化装备，铅、锌直收率显著提高；利用污酸协同浸出高砷烟尘制备三氧化二砷，实现含砷危废全流程消减与资源化利用。

技术工艺：多源重金属危废协同资源化关键技术的技术路线如图 1 和图 2 所示。采用重金属危废与黄铁矿协同熔炼技术和富氧侧吹三联炉工艺，回收 Pb、Bi、Cu、Sn、Sb、Zn、Au、Ag、In 等有价元素，将砷定向从还原炉烟气中开路，再利用污酸协同浸出制备高纯氧化砷。

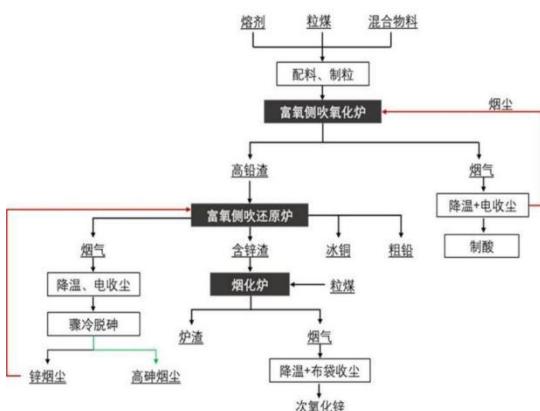


图 1 多源重金属危废协同熔炼工艺流程图

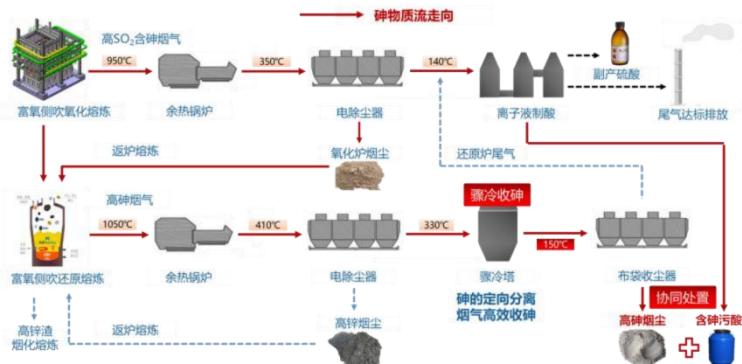


图2 砷资源化利用工艺流程图

3. 技术指标

协同熔炼系统：床能率 $60\sim80\text{ t 料}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 、熔炼温度 $1000\sim1200\text{ }^\circ\text{C}$ 、单位综合能耗 $<300\text{ kgce/t 料}$ 、多金属回收率 $>95\%$ 、粗铅直收率 $75\%\sim85\%$ 、锌直收率 $75\%\sim85\%$ 、尾渣含 $\text{Pb}<0.2\%$ 、 $\text{Zn}<0.5\%$ 、 $\text{Cu}<0.1\%$ 。

砷资源化系统：砷浸出率 $>95\%$ 、砷综合回收率 $>94\%$ 、氧化砷纯度 $\geq 98\%$ 。

4. 技术功能特性

(1) 协同熔炼系统将砷富集于高砷烟尘和含砷污酸，再利用含砷污酸协同浸出高砷烟尘得到三氧化二砷产品，实现砷的无害化、减量化和资源化，适用于含砷危废处置。

(2) 技术消纳铜烟灰、锌浸出渣、铅泥、砷渣等有色金属冶炼危废，解决重大的环境保护问题，同时回收大量的铅、铜、镁、锡、铋、金、银、铟等金属，实现资源回收利用。

5. 应用案例

技术提供单位为湖南锐异资环科技有限公司。2021年至今，该技术及装备已在湖南腾驰环保科技有限公司、贵州重力科技环保股份有限公司、梧州华锡环保科技有限公司、广西锐异环境科技有限公司、湖南白银股份有限公司等应用。

6. 未来推广前景

采用该技术进行无害化与资源化处理重金属危废，不仅可以解决重大环境保护问题，而且可回收大量铅、锌、铜、锡、锑、铋、金、银、铟、锗、硒、碲等。我国重金属危废的年产生量约 4000 万吨，行业内推广后直接经济效益在 80 亿~100 亿元，推广应用前景十分美好。

（五）气动流化塔铬铁铝全要素共提源头减排绿色制造集成技术

1. 适用范围

铬、锰、锂、锆等无机盐行业的源头减量

2. 技术原理及工艺

技术原理：铬铁矿、氢氧化钠和空气经气动流化塔连续氧化，生成以铬酸钠、铝酸钠和铁化合物为主体的产物。产物在线提铝制备氢氧化铝，同时铁化合物在线联产制备氧化铁粉，同步同时实现铬酸钠的分离净化。铬酸钠通过连续电解制备重铬酸钠，同时产生氢氧化钠、氧气和氢气。氢氧化钠重新作为原料循环使用，氢气和氧气作为清洁能源进行综合利用。

技术工艺：铬铁矿和 NaOH 经调浆和空气送入气动流化塔逆流接触，低温加热加压条件下的反应产物经分离实现铬铁铝的共提，获得铬酸钠、氢氧化铝和氧化铁粉。

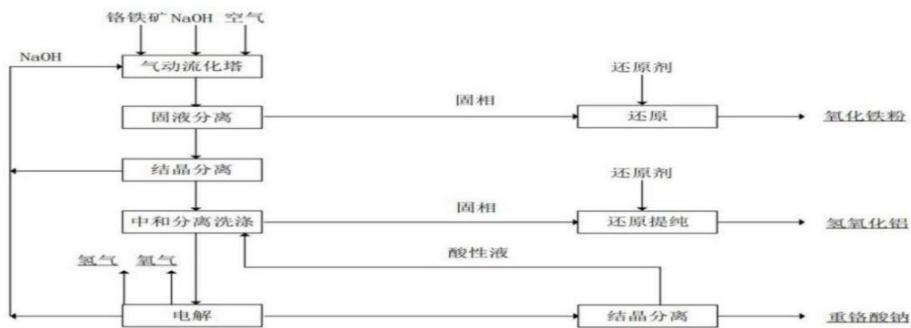


图 1 工艺流程图

3. 技术指标

(1) 高效绿色循环：铬尾矿（在线联产氧化铁粉和氢氧化铝）；含铬芒硝（100%源头减量）；铬转化率 95% 以上（较传统提升 10% 以上）。

(2) 重铬酸钠产品达到国际高品质：

产品对标					
GB/T1611-2014 《工业重铬酸钠》	项目	指标			
	级别	重铬酸钠, % \geq	硫酸盐, % \leq	氯化物, % \leq	铁, % \leq
	优等品	99.50	0.20	0.05	0.002
	一等品	98.30	0.30	0.10	0.006
	合格品	98.00	0.40	0.15	0.010
	公司产品平均水平	优等品	100.30	0.18	0.002

4. 技术功能特性

(1) 大幅降低反应温度，能耗物耗低，废气排放量少，反应温度降至传统工艺的 1/3 左右，减少氮氧化合物排放、不排放二氧化碳气体。

(2) 实现铬资源全组分深度利用、铬尾矿资源化利用和源头减排

铬转化率达 95% 以上；液相低温反应杜绝了 Cr(VI) 易“复溶”，实现铬尾矿在线分离联产为氧化铁粉以及氢氧化铝，即铬铁铝等元素共提及高质利用的资源化再利用。

(3) 源头消除含铬芒硝（危废）以及循环经济
离子膜连续电解技术源头消除含铬芒硝，电解产生
氧气、氢气、氢氧化钠可循环利用。

表 1 铬盐工艺综合比较表

项目	单位	焙烧+硫酸酸化法		钾碱亚熔盐 +硫酸化法	气动流化塔+ 电解法
		有钙	无钙		
一、工艺装备情况					
主反应装置		转窑	转窑	间歇反应器	连续反应塔
反应温度	°C	>1200	>1200	300-400	300-400
压力	MPa	常压	常压	常压	0.2-0.4
铬转化率	%	75	80-90	97	≥95
二、原料消耗					
铬铁矿 (50%Cr ₂ O ₃)	吨	1.4-1.5	1.14-1.19	1.10-1.14	1.05-1.10
纯碱 (98%)	吨	0.92-0.94	1.04-1.1	--	--

烧碱	吨	-	-	1.4 钾碱	0.27-0.30
辅料	吨	含钙料 2-4	返渣 3-5	0	0
三、污染物排放					
铬渣量	吨	2-3	0.7-1.05	0.5-0.6	0(在线氧化铁粉和氢氧化铝)
芒硝	吨	0.5	0.5	0.5	0

5. 应用案例

本技术为重庆昌元化工集团有限公司自主研发。主要应用情况：

锰盐领域：①重庆昌元化工集团有限公司 3 万吨/年高锰酸钾生产线，自 2006 年以来一直满负荷生产。②白银昌元化工有限公司 3 万吨/年高锰酸钾生产线 2014 年投产以来，一直满负荷生产中。铬盐领域：2017 年开始，白银昌元化工有限公司用于重铬酸钠生产。

6. 未来推广前景

气动流化塔液相反应技术是我国自主研发的高效传热传质设备技术，主要用于三相反应或连续液相反应等领域。液相条件下的反应为各元素有效浸出、低温提取、高效分离及能源梯级利用提供了全新的可能，为各元素共提并分别打造为高品质产品、源头减排提供了基础，尤其适用于高污染、高能耗的化工领域的升级和改造。现在已成功应用于锰盐行业和铬盐行业铬酸钠的制取，正在进行铬绿高效反应提取的攻关试验。还可应用于锂、锆等无机盐行业的战略资源提取利用。膜电解高效反应

与分离集成技术已成功应用于铬酸钠的电解，正在升级
开发应用于电解生产铬酸酐系统。技术具有一定推广价
值。