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）供需对接指南之三
尾矿综合利用技术设备

（一）全尾砂高浓度及膏体充填工艺新技术以及新材料与新装备

1.适用范围

尾矿砂综合利用。

2.技术原理及工艺

技术原理：新型固废充填胶结材料与尾砂和水混合制备成充填料浆后，原料间会发生碱激发及硫酸盐激发反应，形成钙矾石及C-S-H凝胶，从而形成具有强度的充填体。基于恩菲自创的控压助流理论等理论创新，尾矿浓缩贮存装置可实现多工况智能活化造浆，同时实现更高的底流浓度及溢流水澄清。全尾砂高浓度及膏体充填工艺能结合专家控制算法、BIM技术、工业互联网平台，可进行料浆的精准制备，在同等胶结材料添加量的情况下充填体强度更高或降低胶结材料使用量，并同时实现充填站的自动化和智能化升级，实现“一键式”智能充填系统。

技术工艺：使用钢渣、矿渣、粉煤灰、（磷石膏、脱硫石膏、氟石膏等）工业副产石膏等大宗工业固废，通过物理、化学手段进行活性激发，制备出的新型固废充填胶结材料。将选厂产出的（全）尾砂通过尾矿浓缩贮存装置或浓密机进行浓密处理后，加入水泥、新型胶结材料，

或添加粉煤灰、炉渣等充分搅拌后形成膏体或高浓度的充填料浆，由充填泵加压或靠重力自流输送到井下采空区进行充填。亦可将制备后尾砂浆体（胶结或非胶结）输送至露天坑进行回填治理，或泵送至尾矿库等堆存。

3.技术指标

（1）适用于各种不同性质的尾砂；

（2）尾砂充填系统单套生产能力60～200 m^3/h，膏体及高浓度充填浓度达到70%～78%；

（3）自主开发的尾矿浓缩贮存装置，可实现顶部进砂和底部放砂连续作业。

（4）新型固废充填胶结材料以大宗工业固废为原材料，固废综合利用率可达100%。

4.技术功能特性

（1）充填技术与装备主要用于处置矿山选矿产出的固废——尾砂，将尾砂充填至井下采空区能够大幅减少地表尾矿排放与堆存，也有利于井下开采的地压控制管理，防止因井下开采引发的地表大范围沉降破坏、岩爆等地压灾害，同时采用尾矿充填能够减少井下矿柱留设，实现资源的高效回收利用。

（2）采用钢渣、矿渣、粉煤灰、（磷石膏、脱硫石膏、氟石膏等）工业副产石膏等固废制备新型充填胶结材料，完全替代水泥等传统胶结材料用于矿山充填，不仅能适用于超细尾砂充填，充填效果较水泥更优，而且可减少碳排放40%以上。

5.应用案例

目前恩菲膏体和高浓度充填技术装备已经应用于国内外多个矿山，使用状况良好。从2006年开始，高浓度充填技术装备应用矿山有安徽铜陵冬瓜山铜矿，刚果（金）金森达铜矿；膏体充填技术装备应用矿山有云南会泽铅锌矿，内蒙古白音查干多金属矿等。

6.未来推广前景

该技术针对矿山充填，尤其是解决超细尾砂充填带来的工程难题，既可以大量消耗尾砂、钢渣、矿渣等工业固废，符合“碳达峰、碳中和”背景下我国矿山坚持走绿色低碳发展之路的要求，而且对实现固废源头治理、循环利用，提升固废资源化高值、高效利用，支撑生态文明建设具有重要理论与实践意义。同时，随着矿山空区充填治理、露天坑回填修复及尾砂处置等相关需求的逐渐增加，新型绿色固废充填胶结材料和充填技术及装备的研发和应用，具有广阔的市场前景。

（二）全尾砂大流量高浓度连续一键充填技术

1.适用范围

矿山细粒级尾矿综合利用。

2.技术原理及工艺

技术原理：本工艺技术基础为全尾砂高效浓密与脱水，超细尾砂通过深锥浓密机在絮凝剂作用下加速沉降，获得稳定高浓度底流，使用高炉水渣基胶凝材料替代传统

水泥，经过高浓度、活化高速两段联合搅拌确保了料浆均匀性，并利用声波助流清堵技术防止材料仓堵塞，强化连续供料稳定性，实现了充填全流程设备智能化管控、充填质量精准控制。

技术工艺：选厂产出的超细全尾砂以25%左右的质量浓度泵送至缓冲桶。经缓冲桶消能减速后进入Φ20 m的深锥浓密机，与环绕入料井多点布置添加的絮凝剂充分结合后，有序沉降脱水。浓密机底流由两台底流泵通过三通换向阀分别输送至三个高浓度大型搅拌桶。两套胶凝材料仓共同服务于三套搅拌桶（两用一备），根据全尾砂浓密底流浓度和流量，经螺旋给料系统实时调控胶凝材料输出

图1充填流程示意图

至搅拌桶，适量添加调浓水，充分搅拌均匀后经钻孔自流输送至井下采空区。为了防止浓密底流浓度过高，造成浓密机压耙，在深锥浓密机底部设置两台底流循环泵，进行底流循环。

3.技术指标

充填浓度：68%～70%，底流浓度波动≤2%，溢流水质≤200 ppm。

材料性能：全尾砂参数：平均粒径D50=19.17 μm（超细全尾砂），渗透系数3.606×10^{-7} cm/s。

胶凝材料：采用高炉水渣基胶凝材料，替代水泥降低成本50%以上，28天强度比水泥提高30%～50%（灰砂比1:7强度3.0 MPa，2024年采用超细掺合料后灰砂比1:10强度仍能达到3.8 MPa）。

4.技术功能特性

充填能力：单系统充填流量：180～220 m^3/h，支持24小时连续作业，年充填量超150万m^3。

环保效益：细粒级尾砂综合利用率75%以上，取消尾矿库，实现无尾零排放。累计充填量1200万m^3，未发生压耙或堵管事故，充填体强度达标率100%。

5.应用案例

该技术已在金属矿山领域实现规模化应用，例如安徽开发矿业、罗河铁矿等企业，单套系统充填能力达200～240 m^3/h，年消耗尾砂超150万吨，减排效果显著。通过全尾砂充填采空区，细粒级尾矿综合利用率达75%以

上，减少尾矿库占地及污染风险，同时降低水泥消耗40%～45%，实现生态保护与资源高效利用的双重目标。助力“无废矿山”政策落地，推动矿山行业绿色高质量发展。

6.未来推广前景

该技术不仅解决了超细尾砂利用率低、传统充填效率不足的问题，还支撑了大型矿山的安全高效开采。通过实现无尾排放，该技术显著减少了土地占用和环境污染，符合国家绿色矿山政策导向。其推广对于提升矿山行业的可持续发展具有重要意义。

市场前景：随着国家对绿色矿山建设的重视和政策支持，该技术具有广阔的市场前景。它适用于类似黑色金属矿山及深井开采场景，能够显著提升矿山开采的效率和安全性。通过减少环境污染和资源浪费，该技术有望成为未来矿山行业的主流技术之一。

（三）典型低品位钒钛磁铁矿尾矿高效梯级利用关键技术

1.适用范围

钒钛磁铁矿尾矿综合利用。

2.技术原理及工艺

技术原理：针对低品位钒钛磁铁矿资源综合利用中存在的有价组分回收率低、能耗药耗高及尾矿处理难等行业共性难题，本研究构建了“多元素协同回收-尾砂高值利用”的梯级利用技术体系。通过工艺创新、装备研发与

药剂优化的系统集成，实现了铁、磷、铜、硫等有价元素的高效提取及尾矿规模化建材化利用。工业应用表明，该技术显著提升了资源利用效率与绿色矿山建设水平，为同类复杂共伴生矿资源开发提供了示范范式。

技术工艺：基于矿石基因图谱解析（矿物组成、嵌布特征、元素赋存状态），创新提出"阶段解离-定向富集-元素靶向调控"技术理念：能量精准匹配：通过磨矿动力学模型优化，实现不同矿物相的渐进式解离，避免过磨导致的金属损失；磁场梯度调控：利用中磁动态分选技术，构建粗细粒级差异化回收路径；开发环保型捕收剂，实现磷矿物与脉石矿物的高效分离。

3.技术指标

（1）首次实现铁（TFe回收率提升至78%）、磷、铜、硫及贵金属（Au、Ag、Pt综合回收率≥65%）的全元素协同回收；

（2）尾矿综合利用率从49%提升至85%，年消纳尾矿超1500万吨。

4.技术功能特性

（1）通过技术升级，磷回收率从22%提升至65%，年增磷精矿产量9万吨，相当于节约磷矿资源30万吨；

（2）尾矿排放量减少110万吨/年，节省尾矿库建设投资50万元。

5.应用案例

核心技术已在河北远通、承德柏通等6家矿山企业应

用，累计处理矿石量4500万吨，占同类矿山可处理量的22.5%；预计2027年技术覆盖率将突破50%，新增年处理能力超1亿吨。

6.未来推广前景

本技术突破了低品位钒钛磁铁矿“选冶难、利用率低、污染重”的技术瓶颈，构建了“资源—产品-再生资源”的循环经济模式。未来可进一步拓展至其他复杂共伴生矿（如含稀土铁矿、多金属硫化矿）领域，通过智能化选矿系统（AI+物联网）与绿色冶金技术的深度融合，推动矿产资源开发向“高效化、低碳化、智能化”升级，为我国战略性矿产安全保障与生态文明建设提供核心技术支撑。

（四）矿山固废膏体充填系统集成技术与成套高端装备

1.适用范围

全矿山领域工业固废综合利用。

2.技术原理及工艺

技术原理：矿山开采产生固废（如煤矸石、粉煤灰、尾砂等），通过加工制造成浆状材料，通过专用充填泵加压，利用充填管道将充填物料输送至井下采空区，硬化后形成支撑矿柱，达到控制围岩变形、地表沉陷，保护环境与控制地压的效果。

技术工艺：膏体充填系统主要有煤矿膏体充填系统和金属矿膏体充填系统。

（1）煤矿膏体充填系统

采矿产生的煤矸石等固废，经过破碎机破碎后形成骨料，转运至搅拌系统中，按比例加入水和胶结材料等进行搅拌，搅拌后的膏体利用充填系统通过管道充填到采空区内。

（2）金属矿膏体充填系统

低浓度（15%～25%）尾砂加入絮凝剂，经深锥浓密机形成高浓度膏体，按比例加入水和胶结材料等进行搅拌，搅拌后的膏体利用充填系统充填到采空区内或进行干排，干排占地不到尾矿库的1/10，无渗漏、溃坝等次生灾害。

3.技术指标

煤矿膏体充填系统主要技术参数：采出率：30%～40%提升至90%以上，最大理论出口排量：500 m³/h，最大理论出口压力：20 MPa，最远距离输送：15 km，连续输送时间：16 h，膏体料浆浓度：50%～85%，膏体料浆泌水率：＜5%。

金属矿膏体充填系统主要技术参数：采出率：30%～40%提升至90%以上，最大理论出口排量：500 m³/h，最大理论出口压力：20 MPa，最远距离输送：15 km，连续输送时间：16 h，膏体料浆浓度：50%～85%，膏体料浆泌水率：＜5%，溢流水悬浮物＜300 ppm。

4.技术功能特性

（1）解决资源利用率低的问题：矿山固废充填处置技术用固废置换资源，将资源采出率从30%～40%大幅提

升至90%以上，为我国资源战略安全提供保障。

（2）解决安全采矿问题：矿山固废充填技术摊铺效果好、接顶效果好、强度高，充填体能够锁定有害物质，没有二次污染。采空区充填后，能够完全解决采空区坍塌、地面塌陷问题，大幅减少井下事故发生，保障矿工人身安全。

（3）解决固废污染问题：就地取材、因地制宜，平均每立方米空间，可以安全消纳1.5吨固废和0.4吨废水，是规模化、安全、环保消纳矸石、尾矿等固废的最有效方式，也有利于实现尾矿废水的循环利用，有效控制有害金属离子在充填材料中的扩散，将固废从哪里来、充回哪里去，解决污染源问题。

（4）解决固废堆存占用耕地问题：大幅减少土地、耕地占压，守护国家18亿亩耕地红线，实现不迁村采矿。

5.应用案例

湖南宝山有色金属矿业公司在2019年应用了飞翼股份有限公司的膏体充填系统，建设成本降低了40%，运营成本减少三分之一以上。同时置换矿柱，提高回采率，将矿山服务年限增大了一倍；解决采空区塌陷，将尾矿库中40%的尾砂回填，保障了矿山安全生产，保护了矿区周边环境，助于宝山矿业绿色安全高效开采迈入新阶段。该项目荣获了2020年中国有色金属工业科技进步奖一等奖。2024年宝山有色金属矿业实现矿山固废综合利用量165721 m^3，实现产值1325万元。

目前该技术及装备已在中国神华、冀中能源峰峰集团、山西焦煤集团、山东能源集团、陕煤集团、榆林泰发祥集团、中国黄金集团、紫金矿业、云南黄金、西部矿业、西部黄金、内蒙古矿业集团、新疆有色、中色国际矿业、中国五矿、马钢集团、川恒化工等400余家矿山企业应用，并随国内矿业集团出口刚果金、赞比亚、老挝、蒙古等“一带一路”国家，取得了突出的尾矿、矸石环保治理经济效益和社会效益，深受客户认同。

6.未来推广前景

目前大宗固废累计堆存量约600亿吨，年新增堆存量近30亿吨，占用大量土地资源，存在较大的生态环境安全隐患。矿山固废膏体充填集成技术可深入贯彻落实《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》等法律法规，大力推进大宗固废源头减量、资源化利用和无害化处置，强化全链条治理，着力解决突出矛盾和问题，推动资源综合利用产业实现新发展。

全国大型矿山企业，数以千计，整个市场容量预计达到千亿级，随着该项技术的快速推广应用，其产业化前景非常广阔。全球200多个国家、30万座矿山、10000多个矿业公司，已经开展矿山膏体充填的矿山不足0.1%，按照30%的渗透率（10万座矿山）、充填装备价值2000万元/座，仅充填成套装备市场超2万亿元人民币，按照5年～10年甚至更长运营周期、充填开采运营服务市场空间更是高达10万亿元——数十万亿。