

附件 2

金属尾矿综合利用先进适用 技术简介

中华人民共和国工业和信息化部

二〇一〇年十二月

目 录

I 尾矿提取有价值组分.....	1
一、尾矿反浮选提铁降硅资源综合利用技术.....	1
二、尾矿再选短流程大型细粒浮选柱.....	3
三、钒钛磁铁矿尾矿回收钛铁技术.....	6
四、浮钼尾矿综合回收白钨技术.....	9
五、多金属尾矿综合回收萤石技术.....	10
六、粗颗粒充气机械搅拌式浮选机.....	13
七、尾矿回收磁性铁矿物技术.....	15
八、湿式强弱磁选铁及尾渣综合利用技术.....	17
九、锡矿尾矿综合利用技术.....	19
十、尾矿库尾砂再选技术.....	21
十一、磷铁钛综合利用技术.....	23
十二、选冶联合高效回收锡尾矿有价金属组分技术.....	26
十三、旋流喷射浮选柱.....	30
十四、尾矿（金、铅、锌尾矿）回收绢云母技术.....	34
十五、尾矿伴生萤石综合回收技术.....	36
十六、尾矿回收锰矿物技术.....	39
十七、尾矿综合回收钨、铋、钼技术.....	41
十八、堆浸尾渣综合利用技术.....	44
十九、化学硫化集成技术.....	46

二十、金属尾矿综合利用湿法冶金技术.....	49
二十一、尾矿中回收弱磁性矿技术.....	54
II 尾矿生产建筑材料.....	58
二十二、尾矿砂制造木化板技术.....	58
二十三、利用铅锌尾矿渣生产低碱优质硅酸盐水泥熟料技术....	60
二十四、铁尾矿制砖技术.....	65
二十五、铅锌尾矿资源综合利用技术.....	67
二十六、尾矿制轻质保温建材技术.....	68
二十七、尾矿制纳米彩色波形瓦、外墙保温板、免烧砖技术....	72
二十八、金尾矿砂新型建材的制造技术.....	74
二十九、砂岩型磁铁尾矿制蒸压加气混凝土技术.....	75
三十、尾矿砂蒸压砖及尾矿加气建材制造技术.....	78
三十一、金属尾矿渣烧结多孔砖技术.....	81
三十二、铝硅酸盐尾矿微晶玻璃技术.....	82
三十三、利用金属尾矿生产蒸压加气混凝土砌块技术.....	84
三十四、铁尾矿无尾化利用技术.....	86
三十五、浮选尾矿资源综合利用工程化应用技术.....	88
三十六、尾矿综合利用处理设备及技术.....	90
三十七、金银尾矿砂综合利用技术.....	95
III 尾矿充填采空区.....	97
三十八、井下充填新型胶结材料.....	97
三十九、深井矿山清洁化生产成套技术及装备.....	100

四十、低品位铁矿全尾砂结构流体胶结充填技术.....	103
四十一、(深井)高浓度极细粒级全尾砂充填技术.....	105
四十二、深井全尾砂-水淬渣膏体物料充填技术.....	107
四十三、深井高浓度全尾砂充填技术.....	109
四十四、分级尾砂胶结充填技术.....	111
四十五、铁尾矿胶结充填技术.....	113
四十六、汞锑矿尾砂充填技术.....	115
四十七、全尾砂高浓度充填采空区技术.....	116
四十八、有色金属矿山全尾砂胶结充填技术.....	118
四十九、塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存技术.....	121
IV 尾矿用于农业领域.....	124
五十、钼尾矿无害化生产全价元素可控缓释 BB 肥、土壤调理剂技术	124
V 尾矿库复垦.....	128
五十一、基于蜈蚣草的金属矿山尾砂库复垦技术.....	128

I 尾矿提取有价值组分

一、尾矿反浮选提铁降硅资源综合利用技术

1 技术名称：尾矿反浮选提铁降硅资源综合利用技术

2 技术适用范围：铁矿石尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

品位约 11.0%的尾矿，先经立缓脉动高梯度磁选机复选粗精矿，粗精矿汇集后由渣浆泵经脱磁器给入高频细筛，筛上经浓缩磁选给入节能球磨机，球磨机排矿返回缓冲池，筛下经磁选后给入二段磨矿细筛；二段磨矿细筛筛上经浓缩给入二段磨机，二段磨矿细筛筛下经磁选进入反浮选作业除硅，可获得铁品位为 67.2%的铁精粉。

3.2 工艺流程

设计原则流程为：两段磨矿—磁选（阶段磨矿阶段选别）—阴离子反浮选工艺流程（一粗三扫，其中一次扫选、二次和三次扫选中矿顺序返回），粗选底流为最终精矿，三扫泡沫为最终尾矿。为保证磨矿效率，对筛上产物增加了浓缩磁选作业。设计工艺流程见图 1。

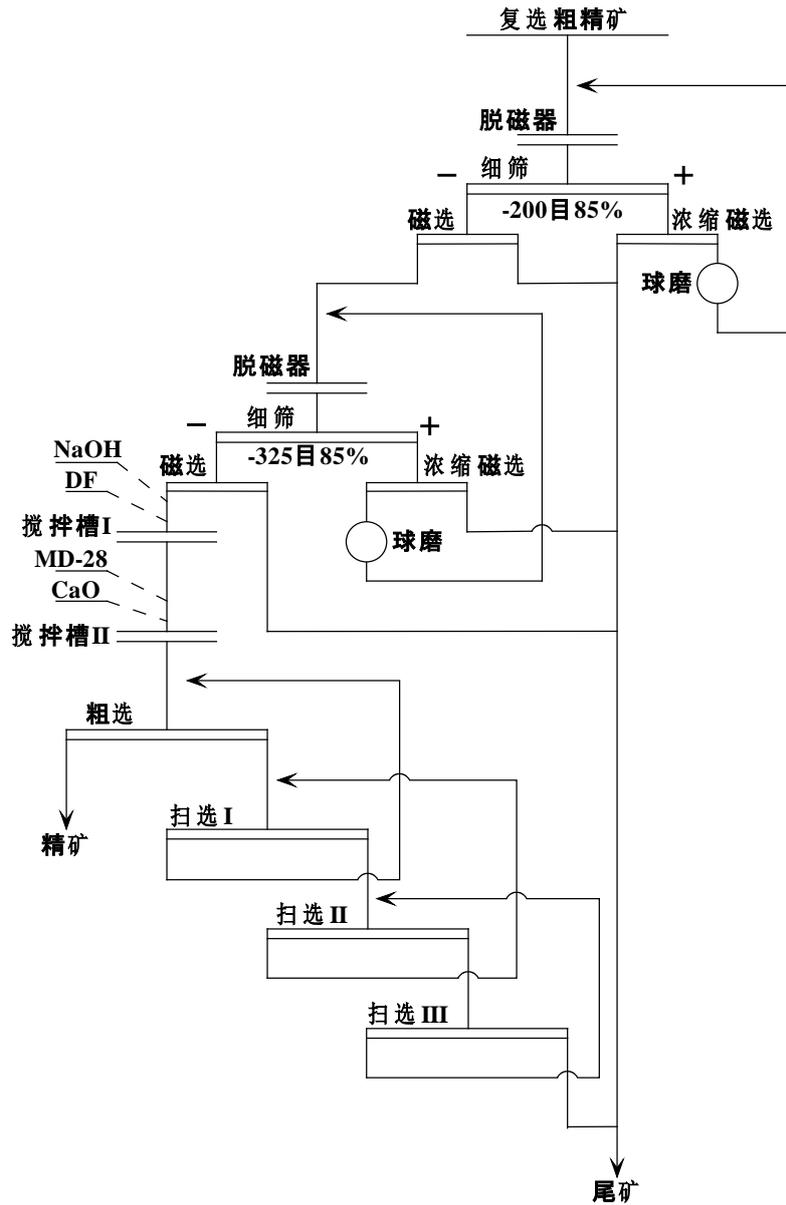


图1 利用尾矿反浮选提铁降硅工艺流程

3.3 关键技术

关键技术为强磁选提取粗精矿——细磨——弱磁选——反浮选除硅工艺技术，可有效提取尾矿中的铁磁性物质生产铁精粉。

4 技术应用情况及典型项目

山东华联矿业股份有限公司采用该技术年处理尾矿 200 万 t，年提取铁精粉 20 万 t，年直接经济效益 4600 万元。典型项目的投资与收益情况见表 1。

表 1 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	12538 万元	其中:设备投资	6500 万元
运行费用	12000 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	4600 万元/年	投资回收年限	2.7 年

此外,该技术已在山东省沂源县东里镇福利选矿厂、山东沂源兴国矿业有限公司等多家公司成功应用。

5 应用效果及推广前景

以年处理尾矿 200 万 t 计,可提取铁精矿 20 万 t,产生的最终尾矿 20%堆存复垦,80%胶结充填地下采矿区,替代河沙 200 万 m³,节约河沙资源价值 5000 万元,尾矿水经深度处理后回用于生产。

该技术适用于品位 10%以上的铁尾矿,可使尾矿中的铁品位降至 5%左右。减少了尾矿中铁资源损失,节约了矿石资源,减少了尾矿堆存,经济效益明显,具有较强的推广价值。

二、尾矿再选短流程大型细粒浮选柱

1 技术名称: 尾矿再选短流程大型细粒浮选柱

2 技术适用范围: 硫化矿尾矿、氧化矿尾矿以及其它非金属尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

尾矿再选短流程大型细粒浮选柱,是一种新型高效浮选设备,其优势在于处理量大、流程短、工艺过程简单、选别效果显著。尾矿再选系统以尾矿作为矿源,采用正浮选工艺,回收尾矿中的目的矿物和其他主要有价元素。尾矿再选短流程大型细粒浮选柱无机械搅拌器,无传动部

件，与浮选机相比，大型浮选柱具有结构简单、制造容易、占地小、维修方便、操作容易、节省动力、对微细颗粒分选效果好等特点。随着柱浮选技术的日益成熟，大型细粒浮选柱技术在我国尾矿再选中的应用范围逐步扩大，其优越性也越来越明显。

3.2 工艺流程

采用浮选—重选—浮选联合工艺配置方案：尾矿经大浮选柱一次富集后，精矿泡沫给入螺旋溜槽进行重选分离，分离后的目的矿物再给入小浮选柱二次富集后，直接产出精矿。

3.3 关键技术

关键技术包括：

(1) 浮选柱两相流分选状态及喷嘴高速空气出流仿真 CFD 技术；利用该技术优化浮选柱设计参数，降低研发费用；

(2) 大型浮选柱分区技术。基于“小浮选柱元”的截面积基本等效的理论，对大型浮选柱进行分区，使每个分区具有较为“独立”的小浮选柱的分选特性，从而使大直径浮选柱具有高效选别的特点；

(3) 气泡发生器采用高低双层布置技术。采用了空气直接喷射气泡发生器和混流气泡发生器两种气泡发生系统。气泡发生器布置时，高层沿柱体布置，底层沿大倾角锥底布置；

(4) 双锥形稳流气泡弥散技术。利用该技术最大程度地减小气泡在浮选柱截面分散均匀所需浮选柱高度，增大浮选柱的有效容积；

(5) 底流采用高位排放方式，降低底流管道的矿浆流速，一方面可以减少管道和锥阀的磨损，另一方面更容易实现线性控制，减少液位

自动控制的偏差，同时节省了后续流程泵送矿浆的能量消耗。

4 技术应用情况及典型项目

目前已应用于多种矿物尾矿的分选，如硫化矿物尾矿，氧化矿物尾矿以及其它非金属尾矿的分选等。

该设备应用于嵩县丰源钼业有限公司选矿厂。该选矿厂设计处理能力 3000t/d，随着开采的深入，钼金属入选品位由最初的 0.12% 以上降到 0.09% 左右，并且矿石性质越来越难选。根据选厂尾矿的矿物组成和选厂现有工艺特点，采用了大型浮选柱对选厂尾矿进行再选，强化钼资源回收的同时回收有价硫元素。嵩县丰源钼业有限公司选矿厂的尾矿量约为 7m³/min，选用直径为 4.3m、高度为 8m 的大型细粒浮选柱 KYZ4380，充气器采用空气直接喷射方式，同时采用双层稳流栅板强化气泡的分散；采用高效的激光液位控制系统来保证液位的稳定。大型浮选柱的精矿依靠重力自行给入螺旋溜槽进行钼硫的二级重力分选，螺旋溜槽的精矿为钼精矿，尾矿为硫精矿。从而达到钼、硫资源的高效回收。以年处理尾矿 2500 万 t 计，直接经济效益达 5000 万元以上，应用该技术的典型项目的投资与收益情况见表 2。

表 2 典型项目的投资与收益情况

总投资	193 万元	其中:设备投资	100 万元
运行费用	93 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	427.5 万元/年	投资回收年限	0.5 年

5 应用效果及推广前景

短流程大型细粒浮选柱对于难选钼尾矿具有较高选矿效率，在给矿品位为 0.020%~0.031% 时，获得的粗精矿品位平均可达 0.4%，最高可

达 1.29%，富集比平均为 22、最高可达 79。应用该设备可充分利用已出窿的矿产资源，有效回收和利用钼金属，减少金属流失，提高了综合回收率。

大型细粒浮选柱的技术开发有助于实现我国尾矿资源的高效综合利用。该大型浮选柱在取得高品质精矿的条件下，实现了节能降耗和资源高效回收的目的。推广应用前景非常可观。

三、钒钛磁铁矿尾矿回收钛铁技术

1 技术名称：钒钛磁铁矿尾矿回收钛铁技术

2 技术适用范围：钒钛磁铁矿选铁尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

(1) 利用钒钛磁铁矿选铁后的尾矿作为原料，经磁场强度为 1300 安的一段强磁抛尾后得含 TiO_2 17% ~ 19%粗钛精矿。

(2) 将粗钛矿进行一段闭路磨矿后经弱磁扫铁，再给入磁场强度为 750 安的二段强磁，获得含 TiO_2 22% ~ 24%钛精矿。

(3) 二段强磁尾矿经反浮选除硫作业后，进入全粒级浮钛作业，主要药剂为 R-2 及硫酸，经过一粗四精的选别作业后，可获得含钛 47.00%以上的钛精矿，钛精矿经烘干即为成品钛精矿。

该工艺具有流程短、设备配置简单、投资省、成本低等特点。

3.2 工艺流程

该项技术的工艺流程图详见图 2。

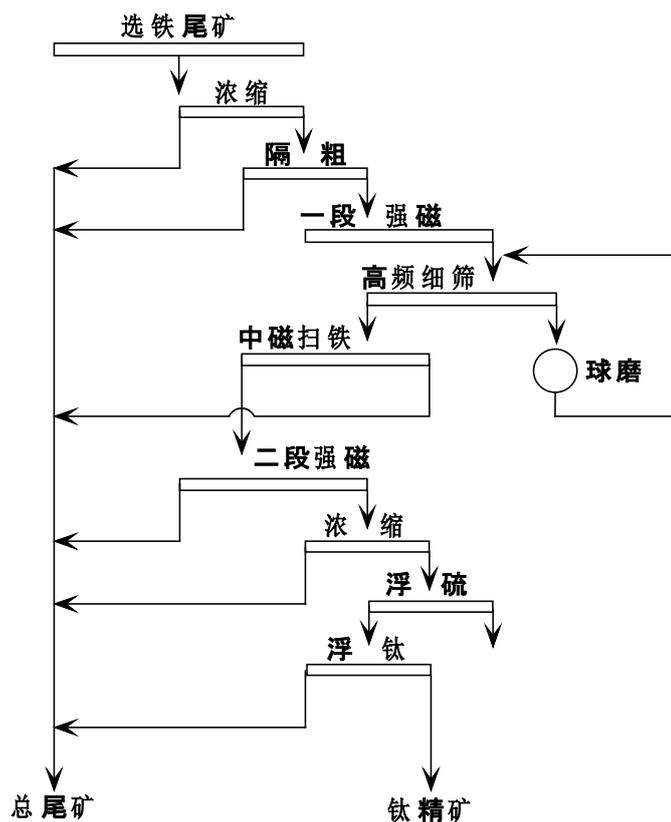


图 2 工艺流程图

3.3 关键技术

(1) 磁选技术。采用目前国内先进的强磁机 SLON ϕ 1750 进行强磁抛尾，一段磁场强度为 1300 安，二段强磁磁场强度为 750 安，既保证了钛铁矿的回收率，同时又提高了入浮品位；

(2) 分级技术。采用具有世界先进水平的 Derrick 高频细筛作为分级设备，避免过磨现象的发生，保证进入浮选的最佳粒度组成，降低浮选药剂消耗；

(3) 浮选技术。采用新型浮选药剂 R-2，既保证钛精矿的品位和回收率，又大幅度的降低了选矿成本。

4 技术应用情况及典型项目

攀西地区蕴藏着极其丰富的钒钛磁铁矿资源，已经探明的储量约为 100 亿 t，主要分布于攀枝花、白马、红格、太和四大矿区。其中 TiO_2

的储量为 8.7 亿 t，占世界已探明钛资源储量的 35.17%，占国内已探明钛资源储量的 90.54% 以上。因此，钛的综合利用一直是攀西资源综合利用的重中之重，历来受到各方面的重视。

太和铁矿取得了选钛工艺流程优化、全粒级浮选技术回收钛铁矿等大量科技成果，使太和铁矿的选钛回收技术处于先进水平。特别是全粒级浮选钛铁矿技术的重大突破，形成了具有自主知识产权的钛铁矿回收成套技术，并且迅速转化为生产力，实现了产业化，提高了钛资源综合利用率，对整个攀西地区乃至全国钛资源综合利用有着重要的意义和作用。

该技术的典型项目的投资与收益情况见表 3。

表 3 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	4403 万元	其中:设备投资	3353 万元
运行费用	4879.90 万元/年	设备寿命	20 年
综合利用效益	2143.53 万元/年	投资回收年限	2.05 年

5 应用效果及推广前景

采用全粒级选别新工艺从钒钛磁铁矿选铁尾矿中回收钛铁矿具有工艺新颖、技术可靠、金属回收率高、设备运转稳定、操作简便、人为因素影响小、对矿浆粒度、浓度有较强的适应性等优点，最大限度回收了有用矿物，减少了资源浪费。每年可减少废物排放 10 万 t，减小尾矿占地面积和对环境的污染，延长了尾矿库服务年限。在同行业乃至全国有广泛的推广应用前景。

四、浮钼尾矿综合回收白钨技术

1 技术名称：浮钼尾矿综合回收白钨技术

2 技术适用范围：浮钼尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

浮钼尾矿先经过浮选柱常温浮选，所得粗精矿经浓缩机浓缩至65%~80%的浓度后，送入搅拌筒进行加温脱药（即彼得罗夫法），将脱药后的矿浆以一定流速给入 $\Phi 2000 \times 2000$ 搅拌筒稀释至25%~28%的浓度，然后进入精选作业，最终获得品位在25%~35%的钨精矿。针对栾川地区白钨矿品位低、难选别和冬季气温低的特点，应用该技术较好地回收了白钨矿。

3.2 工艺流程

浮钼尾矿经过浮选柱一次粗选一次扫选获得钨品位在1.5%左右的粗精矿，经浓缩机浓缩后送入搅拌筒，进行加温脱药作业，然后将矿浆稀释至25%~28%的浓度进入精选作业，经过一次精粗选、五次精选、三次精扫选获得合格的钨精矿，然后经过压滤、干燥最终获得品位在25%~35%、水分在4%以下的钨精矿产品。

3.3 关键技术

浮钼尾矿浮选柱选别技术。经过浮选柱粗选后粗精矿品位在1.5%~2.0%、回收率在75%~80%，经过精选后精矿品位在25%~35%左右，回收率在95%左右。

4 技术应用情况及典型项目

典型项目的投资与收益情况见表 4。

表 4 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	9300 万元	其中:设备投资	4200 万元
运行费用	5700 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	2800 万元/年	投资回收年限	4 年

(1) 该项目是综合回收浮钼尾矿中的白钨矿, 有效地减少了资源浪费; (2) 提供了一定数量的就业岗位, 社会效益明显; (3) 该项目工艺简单, 结构合理, 生产成本相对较低, 带来的经济效益显著。

5 应用效果及推广前景

以年处理尾矿量 8965 万 t 计, 每年可回收 8000 多吨钨精矿 (折合成 65% 一级钨精矿), 很好的回收了钨精矿。该技术全部采用国内设备, 自动化程度高, 高效、节能、环保。

该技术适用于栾川地区浮钼尾矿低品位、难选白钨的浮选, 对低品位白钨回收各项生产指标较好。技术水平国内先进, 生产成本较低, 设备维修方便, 效益较好; 采用的药剂简单、种类少, 对环境没有危害作用。本技术已在部分地区低品位白钨矿综合利用方面推广应用。

五、多金属尾矿综合回收萤石技术

1 技术名称: 多金属尾矿综合回收萤石技术

2 技术适用范围: 含萤石尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

①利用矿石的磁性差异选择适当的磁选设备分离矿物, 减少萤石

精矿中的杂质含量，提高萤石精矿品位。②采用广州有色金属研究院的发明专利“H1105 萤石浮选工艺及其调整剂组合物”（专利号：ZL91112718）和新型改性油酸使萤石与其他脉石矿物表面可浮性差异增大，从而提高萤石精矿品位和回收率。

3.2 工艺流程

以下为在不同条件下使用的四个工艺流程：

① 磁选（中磁选和高梯度强磁选）→浮选（采用碳酸钠、水玻璃、酸化水玻璃或 H1105 和改性油酸）→萤石精矿，该工艺流程适合在含硅的磁性矿物较多以及萤石的单体解离度较高的条件下使用。

② 浮选（采用碳酸钠、水玻璃、酸化水玻璃或 H1105 和改性油酸、粗精矿再磨工艺）→磁选（高梯度强磁选）→萤石精矿，该工艺流程适合在含硅的磁性矿物比较少以及萤石的单体解离度不高的条件下使用。

③浮选（采用碳酸钠、水玻璃、酸化水玻璃或 H1105 和改性油酸、粗精矿不再磨工艺）→磁选（高梯度强磁选）→萤石精矿，该工艺流程适合在含硅的磁性矿物比较少以及萤石的单体解离度较高的条件下使用。

④磁选（中磁选和高梯度强磁选）→浮选（采用碳酸钠、水玻璃、酸化水玻璃或 H1105 和改性油酸）→磁选（高梯度强磁选）→萤石精矿。该工艺流程适合于含硅的磁性矿物比较多，采用一段磁选不能脱除干净，以及萤石的单体解离度较高的条件下使用。

3.3 关键技术

① 磁选脱除部分弱磁性的含硅矿物，为萤石浮选提供有利的条件，或脱除萤石浮选精矿中的弱磁性矿物，达到提高萤石精矿品位和降低杂质含量的目的。

② H1105 可选择性抑制含硅脉石和碳酸盐矿物，达到提高萤石精矿品位和回收率的目的。

③ 改性油酸对萤石有选择性捕收作用，达到提高萤石精矿品位和回收率的目的。

4 技术应用情况及典型项目

该项技术于 2004 年 3 月应用于湖南有色郴州氟化学有限公司(原郴州柿竹园萤石有限公司)投产的 500t/d (一期)选矿厂(利用柿竹园有色金属有限责任公司的多金属选厂尾矿综合回收萤石矿)，已成功运行 6 年，生产 9 万 t 萤石精矿，产值 6000 万元，2010 年 5 月投产 3500t/d (二期)综合回收萤石选矿厂该项目的投资与收益情况见表 5。

表 5 典型项目的投资与收益情况

总投资	5000 万元	其中:设备投资	1500 万元
运行费用	700 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	1200 万元/年	投资回收年限	6 年

5 应用效果及推广前景

以年处理尾矿 120 万 t 计，减少 10%尾矿排放量，同时增加当地人员就业和提高企业经济效益，每年创造产值 4000 万元。采用该技术能达到低碳、绿色、环保和节能减排的生产要求以及和谐社会目标，同时也带来巨大的经济效益和社会效益。该技术可推广到含萤石尾矿

的矿山，具有较好的推广前景。

六、粗颗粒充气机械搅拌式浮选机

1 技术名称：粗颗粒充气机械搅拌式浮选机

2 技术适用范围：尾矿再选及冶炼炉渣浮选

3 技术简介

3.1 基本原理

该系列浮选设备是针对尾矿及冶炼炉渣比重大、入选矿浆浓度高、易沉槽等技术难题研制成功的一种高效节能的专用浮选设备，性能达到了国际同类浮选机的先进水平。

工作原理为：当浮选机叶轮旋转时，来自鼓风机的低压空气通过分配器周边的气孔进入叶轮叶片间，与此同时假底下面矿浆由叶轮下部被吸入到叶轮叶片间，矿浆和空气在叶轮叶片间充分混合后，从叶轮上半部周边排出，排出的矿浆空气混合物由定子稳流后，穿过阻流栅板，进入槽内上部区。此时浮选机内部区矿浆中含有大量气泡，而外侧循环通道内矿浆中不含气泡（或含有极少量气泡），于是内外矿浆就形成压差，在此压差及叶轮抽吸力作用下，内部区矿浆和气泡在设定的流速下一起上升通过阻流栅板，将大比重矿物带到阻流栅板上方，形成大比重矿物悬浮层，而矿化气泡和含有较细矿粒的矿浆则继续上升，矿化气泡升到液面形成泡沫层，含有较细矿粒的矿浆则越过隔板经循环通道，进入叶轮区加入再循环。冶炼炉渣选别专用系列型浮选机矿浆液面的高低经液位变送器检测后转换为 4 ~ 20mA 标准信

号，送至控制器显示出液位值，并与设定值进行比较，根据差值的方向和大小，输出相应的控制信号，送给气动执行器，排矿锥阀会做出相应的变化，保证矿浆液面维持在设定值。

该系列浮选设备具有如下特点：

(1) 阻流栅板使浮选机中上部可形成大比重矿物悬浮层，使得大比重矿粒处于相对浅槽状态；

(2) 多循环通道在槽内可形成强力定向循环流，循环量大，增加了矿物向气泡附着、矿化的概率；

(3) 设计了可根据物料性质调节的短路循环孔，增强了适用性；

(4) 叶轮设计采用中比转速型式，定子为下盘封闭式，矿粒悬浮能力强。

在各个充气量和浓度水平下，所测得的浮选机功耗差别不大，均低于额定功耗，最大充气量可达到 $1.8\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$ ，空气分散度高。生产试验累计指标显示，在原矿品位提高 0.28% 时，所得的精矿品位提高 2.31%。整个控制系统配置合理，工作稳定，操作简单，它可根据浮选工艺要求自动调节浮选机出泡量，控制精矿产率，使浮选作业始终满足工艺要求。此外，由于浮选机入选浓度高达 70%，浮选精矿和尾矿浓度较高，因此无须浓密机浓密就可以直接进行过滤脱水，简化了整个选矿厂的浮选流程，可减少基建投资。

3.2 关键技术

(1) 中比转速高梯度叶轮和下盘封闭式定子系统。可在槽内形成强力定向循环流，循环量大，浮选机充气量大，矿粒悬浮能力强；

(2) 具有多循环通道和阻流栅板的创新性槽体结构设计。可使浮选机中上部形成大比重矿物悬浮层,增加了大比重矿物向气泡有效附着的机会,泡沫层稳定,无翻花和沉槽现象。

4 技术应用情况及典型项目

表 6 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	13500 万元	其中:设备投资	750 万元
运行费用	623.7 万元/年	设备寿命	20 年
综合利用效益	2100 万元/年	投资回收年限	10 年

表 6 所示为江西铜业公司贵溪冶炼厂 30 万 t 炉渣选别项目情况,综合利用效益达 2100 万元/年。

目前该系列设备已在贵溪冶炼厂渣选车间、宜春钽铌矿、承德双滦建龙集团、重钢太和铁矿等多家公司投产运用,主要用于尾矿资源综合回收及冶炼厂炉渣的浮选作业,市场需求量较大,推广应用前景可观。

5 应用效果及推广前景

该技术填补了国内尾矿再选及冶炼炉渣浮选设备的空白,极大地促进了我国选矿科技进步,有助于解决我国有色金属固体废物的综合利用,缓解了生态压力,有利于提高我国资源利用率。推广及应用前景广阔。

七、尾矿回收磁性铁矿物技术

1 技术名称: 尾矿回收磁性铁矿物技术

2 技术适用范围: 含磁性铁矿物尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理及工艺流程

针对尾矿中脉石含铁量不同、铁矿物难以回收的特点，利用矿物的磁性差异、比重差异，采用强磁、摇床相结合的磁—重联合流程，采用小直径强磁分选介质，通过不同磁场强度的强磁粗选、精选工艺，生产品位为 50% 以上的铁精矿。

3.2 关键技术

- (1) 采用强磁、摇床选别相结合的磁—重联合流程。
- (2) 强磁机选用 $\Phi 2\text{m}$ 设备，磁介质选用 $\Phi 2\text{mm}$ 的小直径介质。
- (3) 设计利用了地形高差，流程实现了全自流，为流程的低能耗创造了条件。

4 技术应用情况及典型项目

表 7 典型项目的投资与收益情况

总投资	3288 万元	其中：设备投资	1410 万元
运行费用	1154.61 万元/年	设备寿命	30 年
综合利用效益	3035.08 万元/年	投资回收年限	1.1 年

该工程总共投资 3288 万元，年处理尾矿能力 400 万 t，投产后能从尾矿中回收品位为 50%~52% 的铁精矿 800~1000t/d。该工程自投产以来运行较为稳定，经济效益显著，是昆钢玉溪大红山矿业有限公司建立节能减排、环境友好型、资源节约型矿山的一项重大工程。

5 应用效果及推广前景

该技术针对尾矿浓度低，给矿体积大、矿物嵌布粒度细的特点，采用强磁选—重选联合流程生产铁精矿，特别是设计利用了地形高

差，流程实现了全自流，为流程的低能耗创造了条件。适合在国内推广应用。

八、湿式强弱磁选铁及尾渣综合利用技术

1 技术名称：湿式强弱磁选铁及尾渣综合利用技术

2 技术适用范围：提金尾渣

3 技术简介

3.1 基本原理

提金尾渣湿式强、弱磁选选铁技术的基本原理是采用“多层感应磁极技术”和“双向冲洗压力气水联合技术”，对各种弱磁性矿物尾渣进行选铁；选铁后尾渣综合利用技术就是采用对尾渣进行超细磨、高温除有害物质烘干工艺，生产出适用于普通硅酸盐水泥的优质掺和料。

3.2 工艺流程

提金尾渣湿式强、弱磁选（除）铁工艺，是目前国内较先进的提金尾渣磁选工艺。首先对提金尾渣进行分级（按比例调浆、搅拌、高频振动筛分），然后进入组合磁选设备，经 0.1T 弱磁分选，1.3T 强磁精选和 1.6T 强磁扫选工艺，提取品位为 57.99% 的铁精矿；提铁后的尾渣采用超细磨、高温除有害物质烘干工艺，生产出适用于普通硅酸盐水泥的优质掺和料。

3.3 关键技术

该技术关键是“弱磁粗选、强磁精选和扫选工艺及设备”和“尾

渣综合利用制水泥掺合料”。

4 技术应用情况及典型项目

表 8 典型项目的投资与收益情况

总投资	8000 万元	其中：设备投资	3000 万元
运行费用	910 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	2994 万元/年	投资回收年限	3.5 年

2009 年 5 月，陕西省潼关县富源工业有限责任公司建成 350t/d 焙烧尾渣综合回收项目，并 2010 年 1 月生产至今。经过半年多的生产经营，项目工艺指标基本达到设计要求，现已经综合利用提金尾渣 10 万 t，其中生产 55%的铁精粉 3.6 万 t、尾渣水泥添加剂 6.4 万 t，实现产值 1952 万元。经测算以年处理 20 万 t 尾渣计，经过选铁后可间接增值 64 元/t，全年可完成铁精粉 7.2 万 t，尾渣水泥添加剂 12.8 万 t，为国家提供税收 400 万元，为企业增效 2900 万元。通过公司自主开发的循环用水体系年可节约用水 20 万 t 以上，间接经济效益 100 万元。主要磁选设备由激磁改为永磁材料后年可节能用电 30 万度，间接增加效益 50 万元，降低机械制造成本 30%以上，直接提高投资回报率 20%。

5 应用效果及推广前景

该技术具有工艺流程短、环保效益高、生产管理便宜的特点，适用于国内产金区。能增加铁精粉产量，提高提金尾渣综合利用效率，实现资源综合利用。该技术在生产过程中不添加任何选铁用剂，污染小、环保可靠，自主开发的循环生产用水体系、设备制造改进工艺、选铁尾渣综合利用工艺，有较好的实用性和推广性。

九、锡矿尾矿综合利用技术

1 技术名称：锡矿尾矿综合利用技术

2 技术适用范围：锡矿尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

锡矿尾矿可以综合利用的矿物资源包括锡石、黑钨矿、钽铌矿物、长石、石英、锂云母、黄玉等，入选尾矿的目的矿物粒度变化大、微细粒含量高。因此，根据不同矿物间矿物学性质及物理化学性质的差异采用重-磁-浮联合工艺，其中重选主要是利用锡、钨、钽、铌、黄玉与长石、石英、云母、其它脉石矿物之间比重的差异，采用螺旋溜槽、摇床等重选设备和重选技术将比重较大的钽铌、黄玉同其它矿物分离或预富集；根据钽铌矿的磁性强弱和其它矿物之间磁性的差异，将钽铌矿和其它矿物分离；根据钽铌矿物、长石矿物、石英矿物、锂云母矿物之间浮游的差异等将这些矿物梯次分离。

该工艺对尾矿的锡、钨、钽、铌、长石、石英、云母的回收率分别达到了 59.4%、62.7%、42.42%、38.25%、72%、75%、70%。二次排放少，基本实现清洁生产。

3.2 工艺流程

工艺流程为：尾矿→分级→重磁联合（分离锡钨钽铌粗精矿及磁性产品）→对重选回收锡、钨、钽、铌后的尾矿浓缩脱水，达到浮选浓度后进入浮选作业。在弱酸性条件下，用混合胺或脂肪酸捕收剂浮选分离锂云母，分离云母后的尾矿以硫酸作 pH 调整剂及长石的活化

剂，在 pH=2~3 的条件下，以阴阳离子混合捕收剂浮选分离长石、石英。

3.3 关键技术

重选技术中主要为分级组合、给矿浓度、给矿量、所采用的重选设备、重选工艺及其组合。

磁选技术中主要为分级组合、磁选强度、磁选工艺以及和其它技术方法的组合等。

浮选主要为浮选药剂、浮选工艺、回水利用技术等有机组合的清洁生产工艺。

4 技术应用情况及典型项目

利用该项技术，广西有色栗木矿业有限公司在原选矿厂基础上对选矿设备进行技改升级，建成了年处理 20 万 t 尾矿的再选厂，2009 年试产。该项目入选尾矿品位为：Sn0.134%、WO₃ 0.017%、Ta₂O₅+Nb₂O₅ 0.0176%，锡、钨、钽、铌、长石、石英、云母的回收率分别达到了 59.4%、62.7%、42.42%、38.25%、72%、75%、70%。试产一年取得了产品销售产值 5899.78 万元，税后利润 2325.08 万元的良好经济效益。该技术避免了二次排放对环境的污染和破坏，实现了清洁生产。为地方增加税收 1174.7 万元，可安置 247 人。减少了尾矿的堆存量，节约用地。经济、社会效益明显。

表 9 典型项目的投资与收益情况

总投资	7275 万元	其中:设备投资	4850 万元
运行费用	2400 万元/年	设备寿命	8 年
综合利用效益	2325.08 万元/年	投资回收年限	3.12 年

5 应用效果及推广前景

栗木锡矿尾矿综合利用技术，是通过使用现代选矿设备和选矿技术组合，采用“重—磁—浮”联合工艺，对栗木新木尾矿库的尾矿进行二次再选，最大限度回收了尾矿中的锡、钨、钽、铌、锂等有价金属元素，同时还回收了黄玉及占尾矿 75% 以上的石英和长石等大宗矿物材料，实现了无尾生产。该技术为有色金属矿山“二次资源”开发利用提供支撑，对有色金属矿山开展清洁生产有着示范作用和推广意义。

十、尾矿库尾砂再选技术

1 技术名称：尾矿库尾砂再选技术

2 技术适用范围：尾矿库尾砂回收磁性铁

3 技术简介

3.1 基本原理

已暂停使用的尾矿库尾砂全铁品位为 10%，磁性铁品位 4.7%。通过磁选机选别、以及细磨精选，回收了尾矿中的磁性铁。实现了节约资源，发展循环经济，提高经济效益的目的。

3.2 工艺流程

采用挖掘机采砂——运送——皮带输送——强磁粗（扫）选——两次阶段磨矿——多次选别——高频振网筛（旋流器）分级的生产工艺。其中，粗选采用隔渣、强磁选回收工艺，精选采用阶段磨矿、阶段磁选机、高频振动筛分与精选机选别的工艺。

3.3 关键技术

(1) 尾砂先经两道高场强磁选机选别，粗精矿进入细磨精选流程，尾矿直接排入尾矿库。

(2) 为满足精矿品位需要，细磨精选经两段磨矿、两段选别、一段精选，其产生的尾矿进入粗选系统，充当造浆水，并进行二次回收。

4 技术应用情况及典型项目

表 10 典型项目的投资与收益情况

总投资	6337.29 万元	其中:设备投资	3508.87 万元
运行费用	9200 万元/年	设备寿命	5.5 年
综合利用效益	12522 万元/年	投资回收年限	1.17 年

该项目总投资 6337.29 万元，年处理尾矿量达 800 万 t。

2006 年至 2009 年底，尾砂再选已累计生产精矿粉 95.65 万 t，累计创造效益 50090 余万元，目前已经收回投资。回收尾砂中的磁性铁后，再从尾砂中分离建筑用砂，实现了节约资源、提高经济效益的目的。

5 应用效果及推广前景

该技术的实施可提高资源利用效率、保护环境，是国家鼓励发展的项目。应用该技术的项目可直接创造更多的就业机会。主要技术方案经济合理，建设标准经济适用，具有较好的经济、社会效益，市场前景好。

十一、磷铁钛综合利用技术

1 技术名称：磷铁钛综合利用技术

2 技术适用范围：磷钛铁多金属矿综合回收

3 技术简介

3.1 基本原理

铁原矿品位 13.00%、磷原矿品位 3.80%;铁精矿品位 66.18%、磷精矿品位 34.07%。破碎是三段一闭路流程，一段粗破采用颚式破碎机、二段中破采用圆锥标准破碎机、三段为细破采用短头圆锥破碎机。其中细破与中破产品进入返回料仓，由振动筛作为控制筛分。破碎系统产品粒度为 15mm 左右，由皮带输送至主厂磨选流程。

磨选流程是“先选磷、后选铁”，即一次磨矿后球磨溢流先行选磷，磷选为一次粗选、二次精选、一次扫选，可获得 34% 以上的磷精矿，磷精矿进入 18m 大井进行浓缩沉淀后，再进行磷过滤脱水处理，得到含水量 10% 左右的磷精矿。扫选后的磷尾矿进入磁选选铁，采用两段磨矿、三次磁选、高频振动筛、磁团聚重选工艺的阶段磨矿磁选流程选铁，经三段磁选后得到 65.5% 以上的铁精粉，铁精粉进入过滤系统脱水后得到含水量 8.5% 左右的铁精粉，进入成品仓。

将磷、铁的综合尾矿送至选钛厂房，经两次螺旋溜槽重选—细筛—两次摇床重选—一次强磁选，得到钛精矿。尾矿输送系统为直径 60m 中心传动轨道式浓缩机一台，尾矿输送分一泵站一座、二泵站一座。利用直径 325mm 陶瓷管送至 2km 外的老营沟尾矿库进行堆存和水处理。生产水主要为清水、生产循环水、尾矿库回水，其中生产循

环水采用Φ60m大井作为浓缩池，其溢流作为生产循环水，底流（即尾矿浓度40%~50%）被送至约2km外的尾矿库封存，尾矿库中的清水被泵输送至厂区作为生产补充水（即回水）。

3.2 工艺流程

图3所示为磷铁选矿流程，图4所示为磷铁选后尾矿选钛流程。

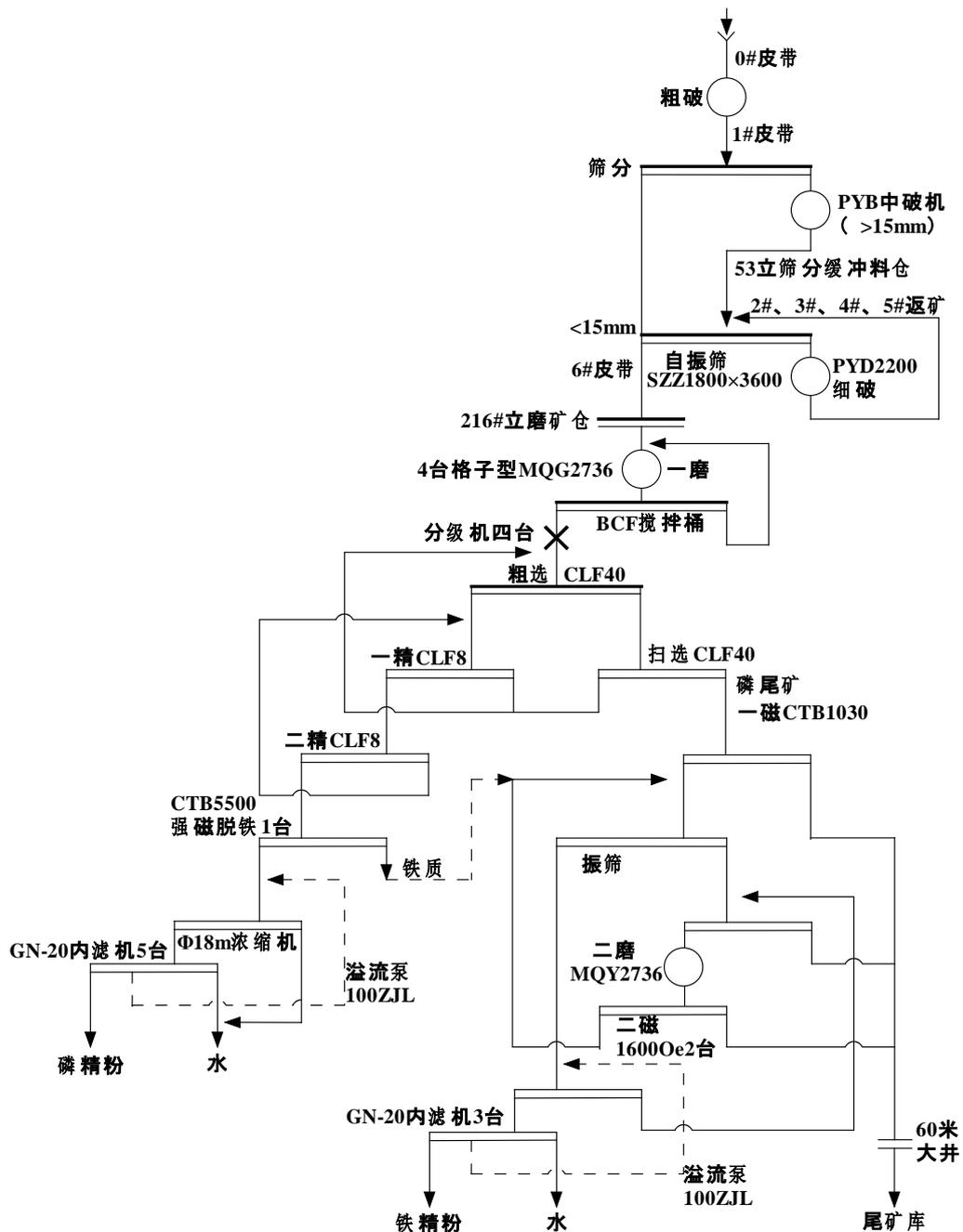


图3 磷铁选矿流程

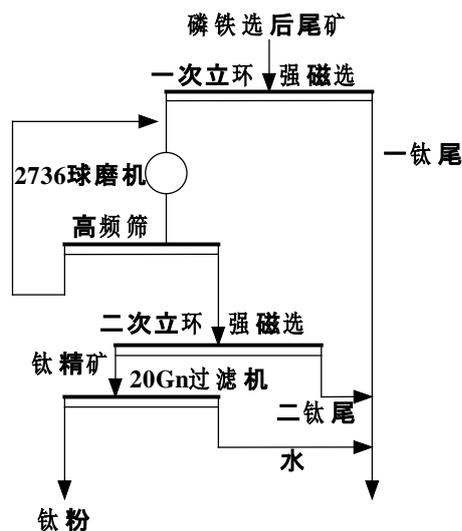


图 4 磷铁选后尾矿选钛流程

3.3 关键技术

磷生产的最佳温度为 25℃，而承德地区冬季温度远远低于此温度，技术关键在于控制磷浮选系统温度。

4 技术应用情况及典型项目

(1) 技术：由传统的磁选、电选、浮选变为强磁加浮选，降低了能源消耗。磷浮选采用北京矿冶研究院先进的大型 40m³ 浮选机；尾矿输送系统采用长沙有色研究院的 60m 高效浓缩池和变频输送装置，输送浓度达到 40%。新型浮选工艺和药剂的使用不仅解决了环保问题而且打破了北方低温不能进行浮选的禁忌，该工艺在 2009 年获得中国石油和化学协会科技进步二等奖（原化工部科技进步奖）。

(2) 环境：磷浮选使用了新型药剂，且尾矿水循环利用，无外排现象，解决了环保问题；减少了固体废物的排放，每年少向尾矿排放 26 万 t 磷和 10t 钛。

(3) 经济：尾矿库服务年限延长 15%。

表 11 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	20040 万元	其中:设备投资	13102.17 万元
运行费用	8670 万元/年	设备寿命	20 年
综合利用效益	6276 万元/年	投资回收年限	3.7 年

5 应用效果及推广前景

磷浮选使用了新型药剂，不仅解决了环保问题，而且使原来磷的可选品位由不低于 10% 降到 1.8%。磷的尾矿可选品位也由 1.5% 以下降到 0.7% 以下，大大提高了回收率。在选钛上，可选品位由 10% 下降到 3%，同时，在工艺上，由传统的磁选、电选、浮选变为强磁加浮选，不仅降低了能源消耗，而且使北方结晶粒度较粗的钛精矿品位由原来的最多能达到 38%，提高到 44% 以上。

从尾矿中回收了磷钛，提高了资源利用率，年处理尾矿量 285 万 t，每年减少尾矿排 36 万 t，尾矿库服务年限延长 15%，给企业带来较大的经济效益。该技术关键在于控制磷浮选系统温度，采用新型浮选工艺和药剂的使用不仅解决了环保问题而且打破了北方低温不能进行浮选的禁忌，推广前景广阔。

十二、选冶联合高效回收锡尾矿有价金属组分技术

1 技术名称：选冶联合高效回收锡尾矿有价金属组分技术

2 技术适用范围：锡尾矿提取有价组份

3 技术简介

3.1 基本原理

针对锡尾矿资源的主要元素含量及矿石性质，其回收利用常采用

单一重选、磁选——重选、重选——浮选或几种工艺联合的选矿流程，主要回收锡金属，或少量铁产品。以上几种选矿工艺，锡产品主要为富中矿，品位为 3% ~ 5%，回收率 15% ~ 30%，选矿技术指标不理想，企业经济效益较差。铁产品含铁 40% ~ 50%，回收率为 10 ~ 20%，达不到铁精矿标准，常常难以实现销售。

某些锡选矿厂采用锡石浮选技术回收细粒锡石，虽然选矿技术指标略高于重选厂，但其选矿药剂成本高，企业经济效益差，而且该工艺流程复杂、含药剂成份的废水对环境具有一定的影响。

针对尾矿资源含锡品位低，含泥量大，细粒锡石多，锡、铁结合致密，难磨难选，其它有价金属含量低，综合利用难度较大等特性，采用选冶联合新技术回收尾矿中的锡、铁、铅等有价金属元素。

锡尾矿经过预处理，粗砂采用载体富集技术使尾矿中锡、铁、铅等有价金属得到富集，再采用磁选、重选技术使锡（锡铅）矿物和铁矿物分离，得到锡富中矿和含锡铁物料；细泥经脱泥、分级，采用窄级别分选技术回收微细粒锡金属矿物，得到锡富中矿产品。锡富中矿产品经烟化炉处理技术，获得含锡 40% 的烟尘锡；含锡铁产品物料再经氯化挥发与还原分离技术，使锡、铅、铟等多种有价金属挥发得到回收；挥发后的物料进行还原，直接作为冶炼原料，利用炼铁技术在熔融态中实现金属铁和炉渣的熔融分离，最后得到生铁产品。

3.2 工艺流程

选冶联合流程工艺流程如图 5 所示。

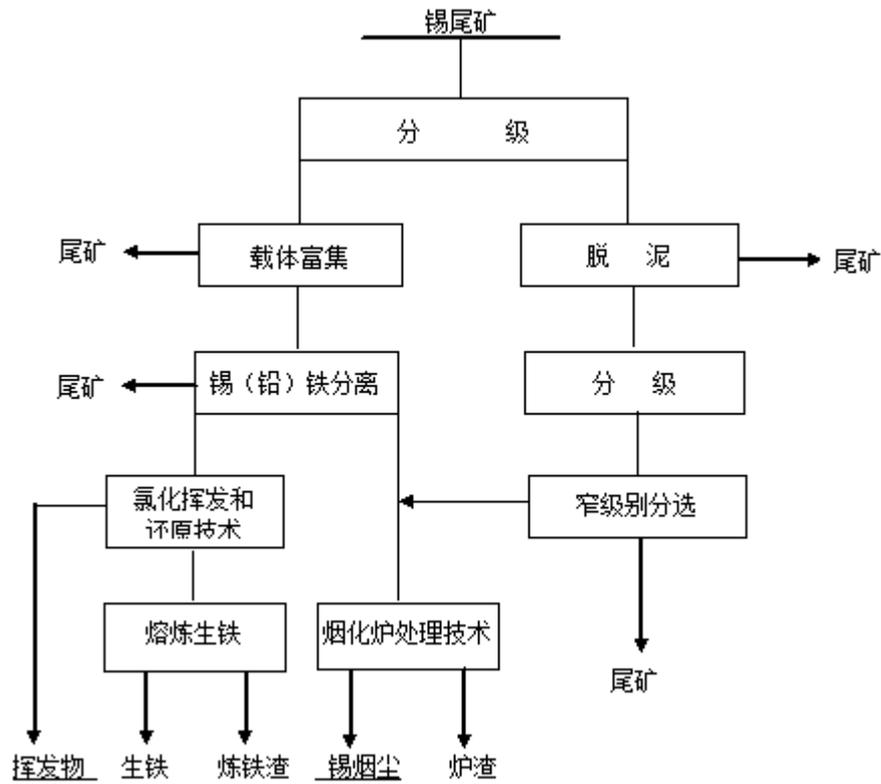


图5 工艺流程

3.3 关键技术

(1) 高效分级。采用先进的高效分级技术，按 0.037mm 分界粒度将锡尾矿进行分级，实现砂泥分选。

(2) 载体富集。以锡尾矿中含的弱磁性矿物为载体，控制适宜的工艺参数和设备操作参数，使 75% 以上的锡金属和 80% 以上的铁金属富集于磁性产品中。

(3) 锡铁分离。采用磁选、重选组合的工艺流程，将已富集的有价金属进行分离，获得锡富中矿产品及含锡铁物料。若处理锡尾矿含铅，则铅富集于锡富中矿中得到回收。

(4) 高效脱泥。采用高效脱泥设备，将泥矿中小于 0.010mm 粒级的微细泥脱除，减少微细泥对选别作业的影响，提高入选物料质量。

(5) 窄级别泥矿高效选别。锡尾矿经一次脱泥、两次分级，使进

入砂矿和泥矿选别系统的物料主要集中于+0.037mm、0.037mm ~ 0.019mm 级别和 0.019mm ~ 0.010mm 级别，采用不同的分选设备对各个级别分别进行选别，提高各级别的选别效率。

(6) 锡富中矿氯化挥发。采用烟化炉氯化技术，于高温时在固态下使富中矿中的锡以氯化物形态挥发出来，再由烟尘中回收锡等有价金属，锡回收率可达 90% 以上。

(7) 采用氯化挥发技术和还原熔炼技术回收含锡铁物料中的有价金属。将含锡铁物料制备成焙球，在焙球中加入氯化剂，在焙烧过程中氯化剂分离成金属离子和氯离子，氯离子与有价金属结合成易挥发的氯化物挥发，在收尘系统中回收氯化挥发物，使多种有价金属得到回收。有价金属挥发后铁矿球团可直接作为炼铁的原料，利用炼铁技术实现金属铁和炉渣的熔融分离，最后得到生铁和炉渣。

4 技术应用情况及典型项目

表 12 典型项目的投资与收益情况

总投资	2400 万元	其中:设备投资	1400 万元
运行费用	2900 万元/年	设备寿命	平均 8 以上年
综合利用效益	300 万元/年	投资回收年限	7 年

云锡集团公司现有 30 多个尾矿库，堆存约 2.5 亿 t 的锡尾矿，尾矿锡品位约 0.15% ~ 0.2%，锡金属量约 35 万 t；尾矿含铁 20% 左右，铁金属量约 6000 万 t。另外，尾矿中还含有铅、锰、铜、锌、铟等有价金属元素，综合利用价值高，是可持续发展的重要后备资源之一。云锡集团应用该技术建成年处理锡尾矿 66 万 t 选厂，总投资 2400 万元，年综合利用效益 300 万元，安排劳动就业岗位 300 余人，具有较好的经

济和社会效益。每年减少尾矿排放量约 17%，节约尾矿库库容，有利于减少尾矿堆库占有土地。

5 应用效果及推广前景

该技术充分发挥选冶联合工艺的技术优势，选冶技术指标高、工艺简单、生产成本低、有效利用尾矿资源、减少占用土地。在未来锡尾矿资源综合利用开发中，具有广阔的推广应用前景。

十三、旋流喷射浮选柱

1 技术名称：旋流喷射浮选柱

2 技术适用范围：金属尾矿提取有价值组分

3 技术简介

3.1 基本原理

旋流喷射浮选柱，较好地解决了传统浮选柱高和气泡发生器存在缺陷的技术难题，将高柱改为矮柱，平均柱高仅为 3m，同时采用带有导流片的旋流喷嘴在强压给矿下自动吸入空气，使固液气三相充分快速混合接触。通过控制吸入气量的大小将柱内产生的气泡大小、数量及泡沫层厚度调节到所选目的矿物需要的最佳水平，改善了矿化程度和浮选过程。在稳定而厚实的泡沫层内形成多次富集，从而实现高富集比和高回收率，尤其对微细粒级和连生体的回收效果更为突出，-8 μm 粒级的回收率可达 60% 以上。

旋流喷射浮选柱在气泡矿化、矿浆充气等方面主要有以下特点：

(1) 大量析出活性微泡。由于矿浆加压，增大了空气在矿浆中

的溶解度，当槽外矿浆自喷管射入浮选柱后，压力剧降，于是使空气在矿浆中呈过饱和状态，这时溶于矿浆中的空气便以微泡形式优先在疏水性矿物表面析出，从而强化了气泡的矿化过程。

(2) 旋流器式充气器有三个功能。

1) 旋流喷射充气器使矿浆产生旋转运动，使气泡有较多的粉碎机会这有利于矿浆和气泡的充分接触。

2) 旋流喷射充气器的工作原理同射流泵，是以砂泵为动力源来产生旋转矿浆射流，将空气介质吸入浮选槽内。与澳大利亚锌公司研制的达夫克拉浮选机相比，该浮选柱减少了空气压入装置，空气是自动吸入的。

3) 旋流喷射充气器是一种喷射式乳化装置。对药剂有乳化作用，它能将液体、气流分散成很微细的状态，使气泡和药剂被乳化，强化气泡的矿化过程，并降低药剂用量。

(3) 为了使空气分散得更好，防止给矿过早排出槽外，正对着喷嘴孔设有挡板，以保证空气分散，并使射流能量进一步消耗。挡板还迫使矿浆先向上，然后水平，最后向下通过相对稳定的排矿区排出。下降矿流在离开槽子以前，已消除了气泡。矿化气泡积聚在槽子上部，形成泡沫层。在泡沫层中矿化气泡再度富集，最后精矿越过溢流堰，排出槽外。

(4) 可调式尾矿排出管形式是将斜三通管与一节软管(比如胶皮管)相连作为尾矿排出管，简单实用。要提升或降低矿浆浮选液面时，只需将斜三通管位置提高或降低即可。如果要清空浮选槽中的矿浆，

则把斜三通管置于浮选槽底的高度以下即可，非常便利。

2002年8月份，旋流喷射浮选机投入试用。实践证明：

(1) 该新型设备运转平稳可靠，液面稳定，操作简便。

(2) 吸入空气量为 $0.45\text{m}^3/\text{min}$ 。较大的充气量使矿物与泡沫结合的机会更多，有利于矿物的浮选。

(3) 每小时处理 18m^3 矿浆的功率耗电为 8.5 千瓦。

该设备拥有两项实用专利，专利号为 ZL02252728.1、ZL200620167417.8。

3.2 关键技术

(1) 该浮选设备与一般浮选柱相比具有更高的浮选速度。由于矿浆由泵加压后给入浮选槽，而不是自流，对提高精矿品位具有很好的作用，因此浮选效率很高。

(2) 在相同的处理量下，它比其它型式浮选柱占地面积小得多。

(3) 该浮选设备不会引起矿浆短路循环。

(4) 尺寸小，选别速度和处理量大，适合单槽浮选，用以去掉可浮矿物，减少过磨。

(5) 该浮选设备可以在低成本和不增加现有厂房面积的情况下提高现有选厂的生产能力。

(6) 该浮选设备容易控制。

(7) 泡沫层的厚度和面积都比普通的浮选柱大，可获得高富集比。保持高回收率且能达到高富集比是旋流器式浮选柱的一个显著的特点。

4 技术应用情况及典型项目

尾矿中含有大量的有价值组分。例如：云南锡业公司有 30 个尾矿库，积存尾矿 2.5 亿 t，平均含锡 0.15%，仅尾矿库中含有的金属锡就在 20 万 t 以上；大冶有色金属公司 5 个铜矿山，1957 年至 1989 年排出的 2500 万 t 铜尾矿中，含铜达 6.3 万 t，金 3373kg，银 56175kg，铁 276.85 万 t；河南省金矿选厂排出的尾矿含金品位达 0.8~1.2g/t，每年损失黄金达 2.3t 以上等等；尾矿中还有可以回收的非金属矿。采用该技术设备，可以进一步开发利用尾矿资源，有效回收有用矿物，从而带来巨大的经济效益。

表 13 典型项目的投资与收益情况

总投资	4000 万元	其中:设备投资	2860 万元
运行费用	3000 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	1000 万元/年	投资回收年限	2 年

总投资 4000 万元，年综合利用效益达 1000 万元。其中：投资 860 万，日处理铅锌尾矿 2300t；投资 2000 万元，日处理稀土尾矿 2000t，产品有锌精矿和稀土精矿。

采用该设备已先后在包头稀土尾矿、攀枝花钛铁矿尾矿及广西大厂锡细泥尾矿的回收利用方面取得了成功应用，获得了显著的经济效益和社会效益。2004 年该设备在金川公司二选厂进行了尾矿再选的工业试验，应用前景良好。2004 年 12 月 22 日国土资源部国际合作与科技司在北京组织有关专家对旋流喷射浮选柱回收尾矿资源的研究与应用成果进行了鉴定，鉴定认为旋流喷射浮选机具有高效、节能、低成本等诸多优点，是回收尾矿资源的新型浮选设备。2006 年旋流

喷射浮选柱获科技部、商务部、国家环境总局、质检总局等四部委联合颁发的《国家重点新产品》证书。

5 应用效果及推广前景

应用旋流喷射浮选机并采用合理的工艺技术，已从包头稀土选矿厂的尾矿中回收了近 5000t 稀土；从白银公司厂坝选矿厂的尾矿中回收了 6000 多 t 铅锌金属，价值 3000 余万元，取得经济效益 1000 余万元，减少了尾矿堆存，同时为当地提供了上百个就业岗位，经济、社会和环境效益显著。采用本技术设备可以最大限度地从尾矿中浮出有价矿物，减少尾矿中各种金属元素长期受浸湿给环境造成的影响。

十四、尾矿（金、铅、锌尾矿）回收绢云母技术

1 技术名称：尾矿（金、铅、锌尾矿）回收绢云母技术

2 技术适用范围：千枚岩型有色金属尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

根据尾矿中绢云母在细粒级中富集的特点，采用分级脱粗、超细粒分级的方法从细粒尾矿中收取绢云母，并进行细磨改性加工。产品在橡胶中的补强性能达到或超过了半补强炭黑的水平，在工程塑料中体现出优良的增强性能。

绢云母产品在橡胶、塑料、涂料、阻燃、油漆等行业有广泛用途，尾矿中回收的绢云母粒度较细（5~6 μm ），径厚比大，比表面积大，市场竞争力强。

3.2 工艺流程

尾矿（金、铅锌尾矿）中回收绢云母的工艺流程如图 6 所示。

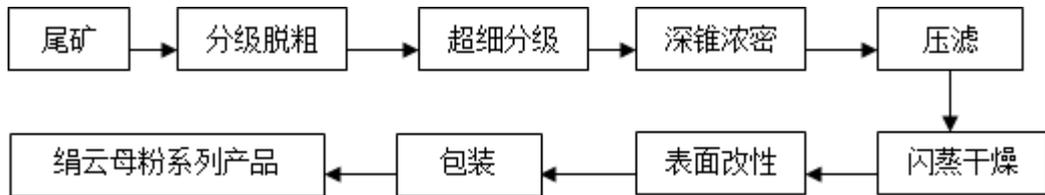


图 6 工艺流程

3.3 关键技术

(1) 结合有色金属选矿尾矿的物化性能，采用新型、高效的选矿药剂、独特的选矿和超细分级技术使绢云母与尾矿中其他有色金属以及与可浮性、比重、比磁化系数相近的脉石矿物在完全解离的粒径下分离，达到绢云母富集提纯的目的；

(2) 采用微细物料深层絮凝浓缩和强力闪蒸干燥技术和设备，进行绢云母产品处理。高效深层絮凝浓缩技术和设备的脱水效率是普通技术的 3 倍以上，闪蒸干燥技术和多功能粉体干燥设备集粉碎、干燥和分级于一体，物料能在瞬时被高速粉碎，充分打散，既能保持物料原始细度，又能极大地增加蒸发的表面积，干燥热效率高，节能显著（比普通技术节能 30% 以上），粉尘污染小。

(3) 采用新型改性剂，对产品进行物化改性处理，使其在橡胶、塑料、涂料等产品中发挥更高的补强、抗震、耐磨、耐腐蚀、耐热防火、绝缘等性能。

4 技术应用情况及典型项目

表 14 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	1381.3 万元	其中:设备投资	672.9 万元
运行费用	949.5 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	764.45 万元/年	投资回收年限	2.8 年

利用该技术，已先后在江西铜业公司银山铅锌矿建成 3000t/年系列绢云母产品的产业化示范工程、山东乳山市大业金矿建设 10000t/年系列绢云母产品的生产工程。

采用尾矿为原料，制造高性能、高附加值产品，经济效益明显。以年处理尾矿 6.5 万 t 计，可获得绢云母产品 1 万 t，年产值 2040 万元，税后利润 764.45 万元。

5 应用效果及推广前景

千枚岩型有色金属矿是我国最具代表性的有色矿，其选矿尾矿约占有色金属选矿尾矿总量的 40%。此类尾矿主要由绢云母、石英、高岭土等矿物组成。利用该技术从尾矿中回收绢云母可以减少尾矿堆存，提高资源利用率，减少污染；项目实施后，可为橡胶、塑料、涂料等行业提供质优价廉的新微粉材料。该技术应用价值大，推广前景广阔。

十五、尾矿伴生萤石综合回收技术

1 技术名称：尾矿伴生萤石综合回收技术

2 技术适用范围：伴生萤石尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

萤石资源面临枯竭已经成为制约我国氟化工发展的瓶颈，研究和实施伴生萤石资源的回收利用，对缓解氟化工原材料紧张问题意义重大。柿竹园尾矿伴生萤石回收技术，曾列入国家“八五”“九五”“十一五”科技攻关项目。

柿竹园是国内最大的伴生萤石矿床，其已探明伴生萤石储量约4600万t，占全国伴生萤石储量的70%。萤石矿物与其他矿物致密共生，浸染交代各种矽卡岩矿物。萤石常与脉石矿物连生，还带有磁铁矿、绿泥石、白云母、绿帘石、石英、长石等矿物的微细粒包裹物。柿竹园伴生萤石属典型的难选矿石。由于选矿技术复杂，柿竹园多金属选厂在生产回收钨、钼、铋几种主产金属后，萤石矿物被排入尾矿库中。该技术主要针对钨钼铋多金属浮选尾矿中萤石的综合回收。按高效浓缩脱药、高梯度磁选去除磁性矿物、常温下新型选矿药剂浮选萤石、浮选柱浮选机连选结合、中矿合理返回、强磁脱硅、产品分流等新的技术思路解决柿竹园尾矿中萤石的回收利用问题。

3.2 工艺流程

(1) 原料准备

浮钨尾矿中的萤石品位一般为17%~22%，是分离回收的目的矿物。非目的矿物以石英、长石和方解石为主，还有绿泥石、绿帘石、黑云母、白云母、角闪石和透闪石等。从粒度分析结果来看，萤石在浮钨尾矿中主要分布在-74 μm 粒级，产率为82.37%， CaF_2 占有率为85.62%，粒度组成适合浮选。

(2) 分选

萤石选矿新工艺首先采用弱磁和强磁选对浮钨尾矿进行磁性分组，分组后非磁性产物的萤石品位得到提高，简化了矿物组成，优化了萤石浮选给矿，减轻了浮选的压力。弱磁选回收浮钨尾矿中的强磁性矿物，经精选后获得磁铁矿精矿。强磁选把浮钨尾矿分成两部分，磁性部分含黑钨矿、石榴子石等弱磁性矿物，通过重力分离获得黑钨中矿和石榴子石精矿产品。非磁性部分经浓缩后再浮萤石，使得萤石浮选的给矿量和浓度易于控制。同时浓缩作业可脱除矿浆中的剩余药剂和微细矿泥，减少它们对浮选过程的干扰，加强萤石选矿的稳定性，使精矿质量更有保障。

(3) 浮选

萤石浮选采用一粗一扫九精的流程，浮选精矿脱硅后获得最终萤石精矿，通过中矿合理返回或单独处理分别得到酸级萤石精矿和冶金级萤石精矿。

3.3 关键技术

新工艺的技术关键在于以磁选先行，采用弱磁和强磁选对浮钨尾矿进行磁性分组，对非磁性部分浓缩后再选萤石。

4 技术应用情况及典型项目

表 15 典型项目的投资与收益情况

总投资	5947.56 万元	其中:设备投资	2569.50 万元
运行费用	1500 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	1300 万元/年	投资回收年限	4. 5 年

柿竹园钨钼铋多金属矿床中伴生的萤石品位高、储量大，萤石平均品位含 CaF_2 21.31%，萤石储量达 7090 万 t，占全国伴生萤石总储

量的 70%，潜在价值 300 亿元以上。萤石选厂投入 5947.56 万元人民币，新建两条萤石回收生产线，总建筑面积 5629 m²，包括萤石回收主厂房、脱水、干燥、成球、仓储等车间，项目建成后，具备年产 10 万 t 萤石精矿生产能力。目前，产量基本稳定在 300t/天，品位 94% 以上，回收率 40% 左右。

5 应用效果及推广前景

尾矿伴生萤石回收技术，集成了选矿新技术，减少了尾矿堆存，解决了柿竹园尾矿中萤石的回收问题，为企业创造了显著经济效益，增强了企业竞争力。该技术为我国伴生萤石资源综合回收利用提供了支撑，具有良好的推广前景。

十六、尾矿回收锰矿物技术

1 技术名称：尾矿回收锰矿物技术

2 技术适用范围：铅锌尾矿提取锰矿物

3 技术简介

3.1 基本原理

我国大部分有色金属矿山尾矿中含有铁、锰等有价元素。长期以来，企业只注重主要元素的提取，对尾矿中其他有用元素关注较少，资源利用率不高。南京银茂铅锌矿业有限公司铅锌有色金属矿，属于典型的复杂多金属铅锌锰矿。多年来以选别铅锌为主，尾矿中锰平均品位为 4%，尾矿产量为 15 万 t/a，造成锰矿物流失严重。针对锰矿呈弱磁性的性质特点，采用强磁选工艺流程对浮选尾矿锰资源进行综合回收。

3.2 工艺流程

采用的流程为：高梯度一粗一精一扫一中矿返回—锰精矿弱磁选除铁。流程如图 7 所示。

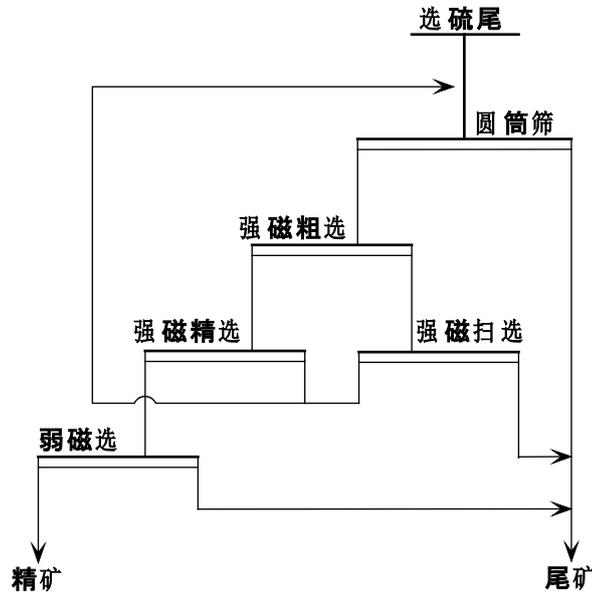


图 7 工艺流程

3.3 关键技术

关键技术在于用立环脉动高梯度强磁选机回收碳酸锰，锰粗精矿弱磁选除铁，以获得较高的锰品位及回收率。

4 技术应用情况及典型项目

表 16 典型项目的投资与收益情况

总投资	500 万元	其中:设备投资	400 万元
运行费用	100 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	650 万元/年	投资回收年限	1 年

南京银茂铅锌矿业有限公司地处长江江畔，紧挨着金陵名胜栖霞山风景区，特殊的地理位置和生态环境要求企业最大限度的利用资源、保护环境，该项目的成功实施为矿山固体废物零排放提供了技术支撑。

表 16 所示为“尾矿中回收锰技术”在南京银茂铅锌矿业有限公司的应用情况。应用该技术，年新增效益 650 万元，每年减少尾矿堆存、运输费用 150 万元以上，五年累计为企业新增经济效益约 5000 万元，同时保护了矿山周边环境。

本技术还在辽宁葫芦岛八家子铅锌矿进行了推广应用，经研究采用上述工艺流程及设备，每年可回收碳酸锰精矿 10 万 t 以上。

5 应用效果及推广前景

该技术提高了资源利用率，减少了尾矿堆存，保护了矿山周边环境，环境与经济效益显著。本项目经鉴定后获中国有色金属工业科技进步一等奖，并成功推广到同类矿山，为我国同类矿山矿产资源的综合利用提供了一个很好的技术与工程范例。锰矿是我国的紧缺资源，自给率不足 20%，而我国大部分铅锌矿尾矿中都含有锰金属，本技术应用前景十分广阔。

十七、尾矿综合回收钨、铋、钼技术

1 技术名称：尾矿综合回收钨、铋、钼技术

2 技术适用范围：钨、钼、铋伴生多金属尾矿提取有价成分

3 技术简介

3.1 基本原理

通过 600t/d 的尾矿再选车间，对现有尾矿库中的尾砂及现产生的尾矿进行再处理，回收钨、铋、钼等，以综合利用资源、提高企业效益，解决尾矿库库容不足的问题。

棉土窝钨矿含有钨，并伴生有钼、铋等金属。目前入选原矿品位 $WO_3 0.35\%$ 、 $Bi 0.12\%$ 、 $Mo 0.13\%$ ，由于选厂工艺是以重选为主，所以铋、钼在摇床回收过程中因为粒度、连生、易浮等原因在淘洗摇床中进入尾矿而被排进尾矿库。尾矿库堆存的尾矿运至再选车间原料仓，经球磨机磨矿后进行浮选，得到铋、钼混合精矿及浮选尾矿，铋、钼混合精矿送现有选厂分离，浮选尾矿进入绒毯溜槽回收钨精矿及氧化铋精矿后，得到最终尾矿，出售给当地的砂砖厂。

3.2 工艺流程

运至原料仓的尾矿经过球磨机和螺旋分级机组成的闭路磨矿分级回路，进行磨矿、分级；分级机溢流进入铋、钼混合浮选作业，经一次粗选、一次精选和一次扫选得到铋钼混合精矿；精选后的尾矿并入最终尾矿，扫选尾矿依次经过绒毯溜槽、摇床和磁选得到最终钨精矿和铋精矿；溜槽和摇床分别抛弃部分尾矿。

工艺流程如图 8 所示。

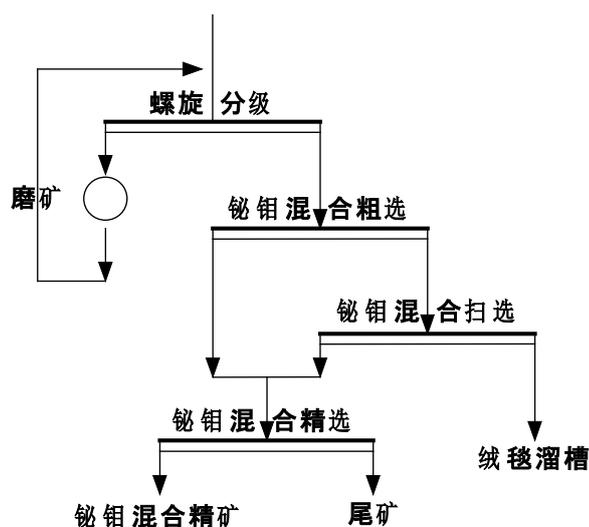


图 8 工艺流程

3.3 关键技术

(1) 预先分级、脱水—现产生的尾矿通过水力分组箱自然分级、脱水；尾矿库尾矿通过螺旋分级机分级。

(2) 磨矿浮选—粗粒级尾矿进行磨矿，磨矿细度 60% -0.074mm，细粒级矿直接进入浮选。

(3) 药剂制度—以石灰为调整剂，以煤油、黑药为捕收剂，以二号油为起泡剂，在 pH 值为 10 的介质中进行浮选。

4 技术应用情况及典型项目

本项目的选矿技术是比较常见的，操作简单，比较容易推广。

棉土窝钨矿尾再选车间工程项目建设投资为 629 万元。项目实施后需流动资金 87 万元。投产后年处理尾矿 180000t，年产钨精矿 33.8t (WO₃60%)，铋精矿含铋 47.7t，钼精矿 136.0t (Mo45%)，销售处理后的最终尾矿 179598t。产品售价按市场现价计算，项目达产后年销售收入 663 万元，详见表 17。

表 17 销售收入表

序号	项目	单位	产量	销售单价 (元)	销售收入 (万元)
1	钨精矿	t/a	33.8	15929	54
2	铋精矿	t/a	47.7	30973	148
3	钼精矿	t/a	236.0	17920	423
4	尾矿	t/a	179598.0	2.1	38
5	合计		18000.0		663

投资内部收益率 20.41%；净现值(i=8%) 542 万元；投资回收期 5.63 年；按静态方法计算的投资利润率 24.46%，投资利税率为 30.15%。

表 18 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	629 万元	其中:设备投资	282 万元
运行费用	485 万元/年	设备寿命	15
综合利用效益	175 万元/年	投资回收年限	5.63 年

棉土窝钨矿尾矿回收伴生元素选矿工程需建设资金 629 万元，占用流动资金 87 万元，建设期一年，项目建成后年销售收入 663 万元，销售税税金及附加 3 万元，企业税后利润 117 万元，项目的投资内部收益率为 20.41%，投资回收期 5.63 年。

5 应用效果及推广前景

综合利用尾矿每年可回收钨精矿 33.81t (WO_3 60%)，铋金属量 47.7t，钼金属量 106.2t。该公司尾矿库设计容量 99.3 万 m^3 ，已堆存尾矿 80 万 m^3 ，采用该技术不但使资源得到综合回收利用，也解决了尾矿库容不足的问题，此外还增加了就业岗位，提高了企业经济效益与社会效益。该技术先进适用，流程简单，推广方便，同类型的选矿厂尾矿都适用。

十八、堆浸尾渣综合利用技术

1 技术名称：堆浸尾渣综合利用技术

2 技术适用范围：黄金尾渣综合利用

3 技术简介

3.1 基本原理

堆浸尾渣中含金品位较低，入选平均品位仅为 0.55g/t，且经过堆浸后废弃多年，致使尾渣中的残留金难以选别。采用尾渣破碎－磨矿

- 全泥氰化-炭浆提金工艺，尽可能地降低生产成本、减少投资，提高金回收率，获得了较好的经济效益。

3.2 工艺流程

堆浸尾渣经破碎、筛分、两段闭路磨矿分级、除屑除杂后，矿浆经浓缩后送至氰化系统（CIL 边浸边吸流程），获得的载金炭再进行解吸电解，解吸电解系统采用目前先进的高温高压无氰解吸技术。电解后的金泥经水洗、酸洗处理后再进行冶炼铸锭，产品为合质金。

3.3 关键技术

（1）在磨矿前加入氰化钠，通过提前磨浸能够缩短矿石的浸出时间，节省了浸出设备，降低设备投资和生产成本，节能效果显著。

（2）采用先进、高效、可靠性强的大型碎矿设备。该系列设备维修方便，便于操作，具有层压破碎、产品粒度细的特点，可实现“多碎少磨”。

（3）磨矿设备采用中信重工生产的 $\phi 3.6 \times 6.0\text{m}$ 和 $\phi 3.2 \times 5.4\text{m}$ 球磨机，设备采用高低压润滑站、气动离合器、慢速传动装置、喷雾润滑等先进技术，保证了磨机的运转率，实现生产自动化，运行效果良好。

（4）浸吸设备采用硬齿面齿轮减速机传动的 $\phi 8500 \times 9000$ 大型浸吸槽。

以上设备经生产检验，运行稳妥可靠，易于操作。实现了高效、节能，实际生产中单位电耗为 28.8kwh/t，按单位矿石分摊的采选生产成本仅为 32.95 元/t。

4 技术应用情况及典型项目

表 19 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	6016 万元	其中:设备投资	2782 万元
运行费用	3132 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	新增利润 2310 万元/年	投资回收年限	3.5 年

2008 年 10 月至今,共处理矿石量 145.8 万 t。入选矿石(包括堆浸废渣)金平均品位 0.90 克/t,其中入选堆浸尾渣金平均品位 0.55 克/t,氰化后尾矿品位 0.14 克/t,金总回收率 73%。截止 2009 年 10 月底,实现新增产值 7700 万元,新增利润总额 2310 万元,上缴所得税 1100 万元,取得了较好的经济效益。

5 应用效果及推广前景

目前国内仍有许多黄金矿山存在着堆浸废渣,由于受当时客观条件、技术条件等诸多因素限制,堆浸废渣中仍存有相当可观的黄金资源。该技术适用于黄金尾渣综合利用,投资少,效益好,可有效回收贵重资源,消除尾渣发生泥石流的危害,极具推广价值。

十九、化学硫化集成技术

1 技术名称: 化学硫化集成技术

2 技术适用范围: 低品位含铜废石

3 技术简介

3.1 基本原理

以低品位含铜废石为原料,经日晒雨淋、细菌氧化、喷淋堆浸等作用产生含铜酸性水,酸性水再经除杂提纯预处理工序,进入硫化工

序以硫化铜的形式回收废矿石中的铜金属。

化学硫化集成技术与传统硫化技术、堆浸技术、膜渗透技术、离子交换、碱式沉淀等同类技术相比，具有以下几方面的优势：

(1) 与传统硫化工艺相比，解决了 H_2S 二次污染。现场 H_2S 浓度 1ppm 以下，铜回收率 90% 以上、铜品位 30% 以上，吨铜成本 1.5 万元以下；

(2) 采矿废石堆浸喷淋产生的酸性水中的铜离子浓度降到 40mg/L 时，硫化工艺运行仍具有经济性；

(3) 该技术能够克服 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 等离子的干扰，操作简便，运行稳定；

(4) 在环保方面的优势：一是该技术回收铜的同时，去除大部分的重金属离子；二是提高了 pH 值，减少石灰中和的渣量；三是硫化工艺无任何有机污染物产生；

(5) 当废水中的铜离子浓度低于 200mg/L 时，硫化集成技术有明显的运行成本优势，回收成本随浓度变化较小。

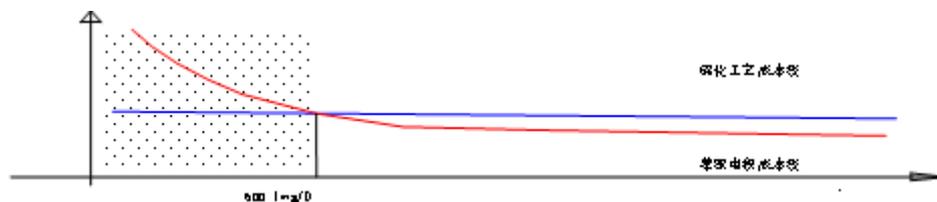


图 9 萃取电积与硫化工艺成本的比较

3.2 工艺流程

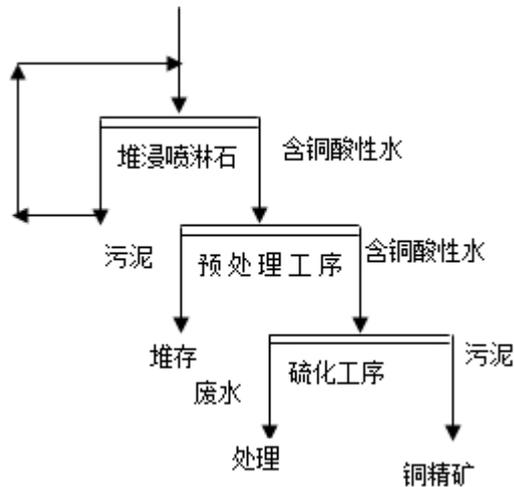


图 10 工艺流程图

3.3 关键技术

(1) 预处理工序可将水中 Fe^{3+} 含量控制在 100mg/L 以下，水中 $\text{Cu}^{2+}:\text{Fe}^{3+}$ 含量比由低于 $1:10$ 提高到 $1:1$ 以上；

(2) 硫化工序通过控制 pH 值和 ORP 可使外排水 Cu^{2+} 小于 1mg/L ，外排水 S^{2-} 小于 5mg/L ， Fe^{3+} 反应率低于 50mg/L ，环境中硫化氢浓度低于 1ppm ，铜精矿含铜品位 30% 以上；

(3) 应用晶种调节技术，反应物沉速达到 2.5m/h ，浓度达到 40% 。

4 技术应用情况及典型项目

表 20 典型项目的投资与收益情况

总投资	2820 万元	其中：设备投资	737 万元
运行费用	1000 万元/年	设备寿命	5 年
综合利用效益	1000 万元/年	投资回收年限	3 年

2007 年 4 月江铜百泰环保科技有限公司德兴硫铜厂应用化学硫化集成技术建设了国内首家硫化铜厂，2008 年 4 月正式竣工投产，总投资 2820 万元，取得显著的经济效益。截止 2010 年 6 月，德兴硫化铜厂回收铜金属 1773t ，工业产值 6335.6 万元，利润 2660.1 万元。

5 应用效果及推广前景

采矿废矿石堆浸喷淋时产生的酸性水 pH 值为 2.2~2.5、含 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等多种金属离子，在回收铜金属后需经处理才能达标外排或回用。利用化学硫化集成技术回收酸性水中低浓度铜的同时可去除大部分的 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等多种金属离子，使酸性水达标处理更加简单，降低了废水达标处理的成本。厂累计利用酸性水 1297m^3 ，节约酸性水达标处理费用 3242.5 万元。利用化学硫化集成技术回收酸性水中低浓度的铜后，减少了酸性废水达标处理的污泥量，累计氢氧化物量 15 万 t、硫酸钙 70 万 t 以上。

该技术可以较好地提取含铜废石废水中的金属铜，尤其是它能够提取含铜浓度低的酸性水中的铜，同时还能够起到酸性水处理的作用，减少了排放到环境中的有毒金属离子，使酸性水达标处理更加简单，经济成本更低，环境效益更好。

二十、金属尾矿综合利用湿法冶金技术

1 技术名称：金属尾矿综合利用湿法冶金技术

2 技术适用范围：各种金属尾矿、剥离表皮矿

3 技术简介

3.1 基本原理

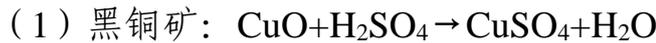
湿法冶金技术可应用于各种金属尾砂库、剥离表皮矿的资源再生综合利用和氧化原矿浸出，特别适用于金属元素氧化程度高的大型金属尾砂库。“酸浸—萃取—电积”法简称“L—SX—EW”法，具有效率高、成本低、无“三废”排放（萃余液全部返回循环使用）、绿

色环保、低碳节能、金属回收率高等特点，具有巨大的应用发展前景。

(一) 铜矿尾砂性质:

石录铜矿尾砂真密度 3.05t/m^3 ，堆密度 1.4t/m^3 ；含铜品位 0.75% (其中酸溶铜占 56%，其余为不可溶结合氧化铜)，含铁品位 22.93%；粒度非常细，-400 目占 42.47%，-200 目所占比例高达 83.05%；铜铁主要分布在细粒级中，-400 目粒级中铜和铁分布率分别为 68.8% 和 65.19%；氧化率极高泥化很严重，氧化组分主要为 SiO_2 、 Fe_3O_4 、 Al_2O_3 、 CaCO_3 、 MgCO_3 等。

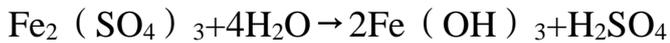
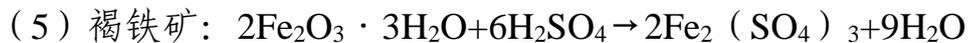
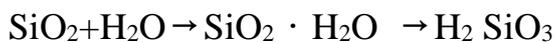
(二) 铜矿尾砂加硫酸后的反应原理:



(2) 兰铜矿:



(3) 孔雀石:





3.2 工艺流程

从尾砂库采回的铜矿尾砂,经水冲式下料装置用部分萃余液和循环回用的中水调浆并除去石块、树枝、草根等杂物后,自流进入提升式矿浆搅拌槽,用经浓硫酸稀释器稀释的工业硫酸进行硫酸浸出作业,将尾砂中的酸溶铜全部浸出,酸浸矿浆自流进入几台串联配置的浓密机,用部分萃余液作为洗涤水进行酸浸矿浆的逆流洗涤作业。

一级浓密机溢流即为萃取工段的铜料液,经沉淀澄清后送入萃取工段经过“两萃一反一洗涤”的萃取流程,把铜料液中低品位的铜富集到富铜液中成为高品位铜液,排出的萃余液作为调浆水和洗涤水返回上料和末级浓密机循环使用。

富铜液作为电解液自流进入电积工段的电解槽,通入直流电进行电积作业,液体中的铜沉积在阴极板上生产出国标 1#阴极铜板,从电解槽流出的贫电解液作为反萃液返回萃取工段的反萃槽,经反萃负载有机相提高铜品位后成为富铜液,再流入电积工段的电解槽再次进行电积循环作业。

末级浓密机底流加入部分清水稀释后送选铁工段,经过三级磁选作业,产出的铁精矿作为产品出售,铁尾矿矿浆经卧螺离心机脱水后,干尾矿直接售建材厂和水泥厂作为生产矿渣环保砖和水泥的主辅材料,中水返回上料调浆循环使用。这样,铜矿尾砂中的有价金属铜和铁,经过“L—SX—EW”法湿法冶金流水线,源源不断地以阴极铜板和铁精矿形态被提炼出来,工艺流程如图 11 所示。

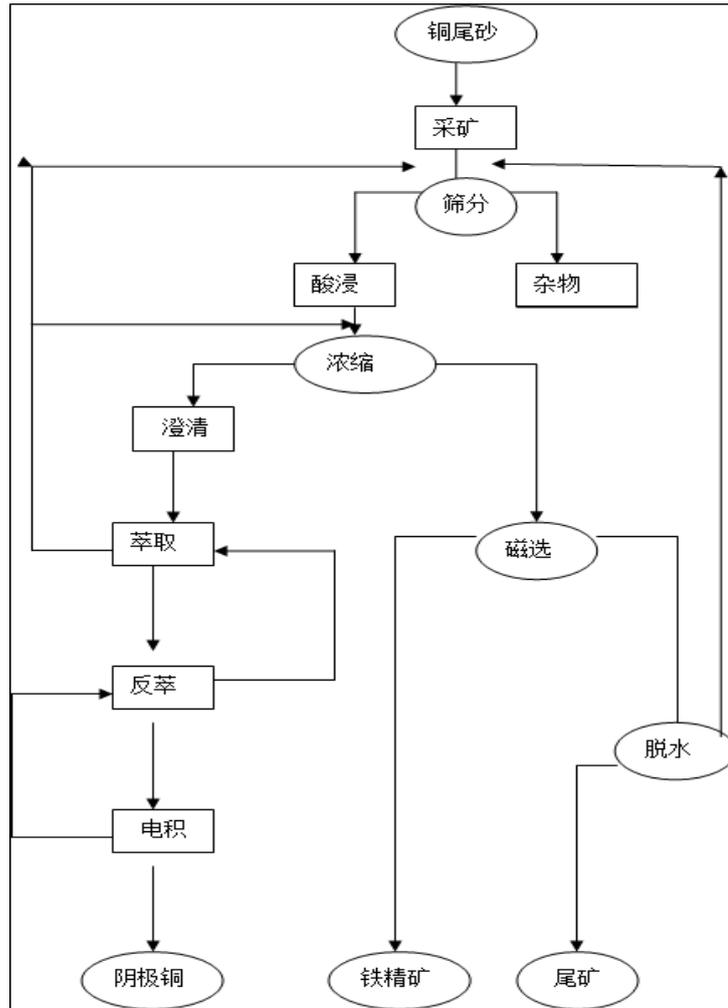


图 11 工艺流程图

3.3 关键技术

萃取混合室和搅拌浆叶采用创新技术，在低品位铜液萃取上有突出优点。

4 技术应用情况及典型项目

表 21 典型项目的投资与收益情况

总投资	5000 万元	其中:设备投资	3000 万元
运行费用	800 万元/年	设备寿命	12 年
综合利用效益	1000 万元/年	投资回收年限	5 年

阳春市中诚铜业有限公司采用湿法冶金技术综合利用尾矿资源，总投资 5000 万元，年利用尾矿量 50 万 t。2010 年工业产值可望达到

1.2 亿元，利税 1500 万元，解决本地 200 多个富余劳动力。

表 22 国内外技术经济指标对比

项目 \ 单位	中诚铜业	灵宝黄金股份	灵感联合（美国）
料液铜品位（g/l）	1.3 ~ 1.5	3.5 ~ 5	1.4
料液酸度（g/l）	16 ~ 18	3 ~ 8	4
料液铁品位（g/l）	< 3	< 3	< 1
料液流量（m ³ /h）	220	70	900
悬浮物（ppm）	100	10	5
萃取剂浓度(体积比)	3%M5640	15%L1X973	7%L1X984
电解贫液酸度（g/l）	170 ~ 190	190 ~ 230	150 ~ 170
电解贫液铜品位（g/l）	30 ~ 35	30 ~ 35	36 ~ 40
萃取率（%）	95	97.8	95.6
电流效率（%）	95	89	86 ~ 88
槽电压（v）	1.8 ~ 2.2	1.8 ~ 2.2	2
电流密度（A/m ² ）	150 ~ 170	150 ~ 190	150 ~ 180
萃取剂消耗（kg/tCu）	4	2.65	2
溶剂油消耗（kg/tCu）	60	14	2
硫酸消耗（kg/tCu）	10	325	100
添加剂消耗（kg/tCu）	0.010	130	
直流电消耗（kg/tCu）	1600	1800	2000

注：美国灵感联合公司指标参数摘自冶金工业出版社出版的《湿法冶金手册》。

可见该技术的电解能耗、酸耗、添加剂消耗等均低于国际水平。

5 应用效果及推广前景

应用该技术可为制砖厂和大型水泥厂，提供优质廉价的辅料，相对减少了建材生产企业对资源的消耗。随着尾砂库的逐步降容，库区安全系数迅速提高，长期困扰尾砂库区的环境污染问题逐渐解决，将来还可对尾矿库复垦造田，改善周边地区生态环境，增加可利用的土

地资源 2500 亩以上。该项目有着极大的社会意义和经济效益。真正实现了企业、社会、政府三赢。

二十一、尾矿中回收弱磁性矿技术

1 技术名称：尾矿中回收弱磁性矿技术

2 技术适用范围：含弱磁性矿物的细粒级尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

以锰、铬、褐（赤）铁为代表的弱磁性矿物传统多采用粗粒磁选或重选的方式进行选别，其尾矿嵌布粒度多为细粒级，品位低。该开放磁系永磁全作用面磁选技术是针对弱磁性尾矿及电解锰浸出渣的以上特点研制成功的一种专用永磁磁选技术，填补了国内空白。

磁路设计原理：

采用圆筒型磁选机磁系布局，磁场是典型的开放磁系磁场，采用了两极之间极距（ l ）趋向于零设计思路，选用微小 NdFeB 磁体，不使用极靴，在筒体表面形成多极和高梯度的磁场，磁体的“面磁荷”密度几乎不变，可近似的看作是均匀磁荷。

选矿工艺原理：

将矿物直接均匀附着在永磁体表面，采用高压雾化喷射水流将夹杂在磁性矿物中的无磁性杂质排出。工艺流程遵循解离细粒尾矿直接磁选、粗粒磨至解离再磁选的原则，减少了磨矿成本，适应尾矿库中尾矿多为细粒级的现实状况。

3.2 工艺流程

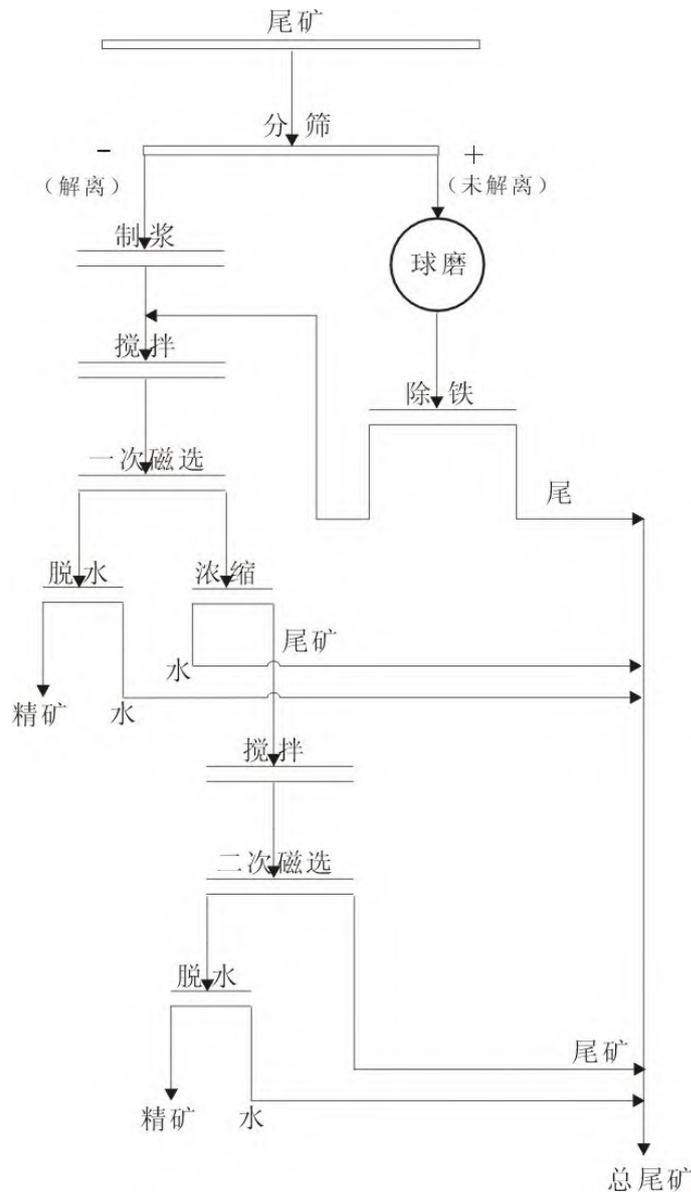


图 12 尾矿回收弱磁性矿技术流程

流程设计原则为：利用尾矿多为细粒级的特点，先筛分，减少磨矿量，再两段磁选。

3.3 关键技术

(1) 通过永磁作用面的设计和磁力调整来适应不同尾矿的粒度及比磁化系数。作用面磁力均衡，磁力大，梯度高，单机产能可根据生产要求放大，能耗低。针对细粒级尾矿采用裸露永磁磁体、筒式结构，不造成磁堵塞。

(2) 采用解离细粒尾矿直接磁选，粗粒磨至解离再磁选的方式，减少了磨矿成本，适应尾矿库中尾矿多为细粒级的现实状况。

4 技术应用情况及典型项目

利用该项技术，在湖北省黄梅县建成了 20 万 t 褐铁水洗尾矿选厂。2009 年试产，入选尾矿品位 28% ~ 45%，精矿品位 53% ~ 57%，回收率达到 80% 以上；该技术还被应用于新疆托里县铬铁尾矿的选别，2009 年试产，入选尾矿品位 15% ~ 20%，精矿品位 35% ~ 38%，回收率达到 90% 以上，社会效益和经济效益显著。

利用该项技术选别 5.8% ~ 9.6% 氧化锰矿，精矿品位 33% ~ 38%，其典型项目的投资与收益情况见表 23。

表 23 典型项目投资与收益情况

总投资	4000 万元	其中:设备投资	1600 万元
运行费用	6400 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	3150 万元/年	投资回收年限	1.25 年

该技术的应用效果如下:

- 1) 年处理 60 万 t 氧化锰尾矿项目,可获得 11 万 t 的电解锰原料。
- 2) 企业减少尾矿排出 18% 并节约堆存成本。
- 3) 采用物理选矿方式,不造成二次污染。
- 4) 本技术选矿自身能耗低,用水采用循环方式,节能环保。
- 5) 因地制宜,如剩余尾矿产压滤后可用于回填山沟,作为平整工业用地使用或用于建材原材料使用。

5 应用效果及推广前景

该技术针对弱磁性矿物尾矿嵌布粒度细的特点,是先进的弱磁性细粒级尾矿提取技术,其适应性广,不造成二次污染,生产过程能耗

低，生产用水可循环使用，填补了国内细粒级尾矿再选和电解锰浸出渣再选的永磁磁选设备空白。最大限度地回收了有用矿物，避免了资源浪费，减小了尾矿占地面积和对环境的污染，延长了尾矿库的服务年限。应用范围可遍及所有的含弱磁性矿物的尾矿，具备广阔的市场前景。

II 尾矿生产建筑材料

二十二、尾矿砂制造木化板技术

1 技术名称：尾矿砂制造木化板技术

2 技术适用范围：铁尾矿生产建筑材料

3 技术简介

3.1 基本原理

木化地板是以精选的碳硅化合物和高分子聚合物为主要原料，添加各种功能填料与各种助剂，经高温高压等数十道工艺而成的新一代装饰材料。产品经国家建材权威检测部门检测，各项指标均达到或超过国家有关标准。

该产品具有以下特点：

1) 健康环保。产品甲醛释放量只有 0.1mg/L，远远低于国际健康标准 E0 级。

2) 防水，不变型，不退色、不开翘，产品吸水膨胀率几乎为零，完全克服了吸湿膨胀、干缩裂缝、基材变形、板面变色等一系列问题。

3) 地热首选，产品采暖性能好，国家对地热地板的性能指标要求为每小时升温 8℃，而 KSP 健康地板每小时达到 11℃，不会因温度的变化而出现起拱、变形等现象，是地暖地板的首选产品。

4) 抗虫、防腐、抗老化、阻燃性能好。

5) 安装、打理方便，安装时无需龙骨，胶水，不受季节限制，花色图案随意搭配，时尚个性。干、湿布都可擦洗。

3.2 工艺流程

物料准备→原材料破碎→磨粉→配料→混料→加工成型→切割→砂光（粗、细）→加工槽榫→表面涂装→包装→存储。

3.3 关键技术

以精选的碳硅化合物和高分子聚合物为主要原料，添加各种功能填料与各种助剂制造木化板。

4 技术应用情况及典型项目

利用该技术生产的木化地板已经在多家单位成功使用，并且得到了好评。该技术的应用具有较好的经济效益、社会效益和环境效益。典型项目的投资与收益情况见表 24。

表 24 典型项目的投资与收益情况

总投资	24296 万元	其中:设备投资	5415 万元
运行费用	66188 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	73440 万元/年	投资回收年限	5 年

该典型项目产生了较好的经济效益和社会效益。

1) 经济效益

本项目总投资 24296.25 万元，其中建设投资 21467.1 万元，流动资金 2829.15 万元，占地面积 218.6 亩。项目建成达产后，年均销售收入 74800 万元，可实现利税 22771.3 万元，投资回收期 5.56 年。

2) 社会效益

该技术有效地利用尾矿砂，实现了矿业废弃物的资源化、减量化和无害化。可安排就业人员 1076 人，年可产生社会效益 50000 万元。

5 应用效果及推广前景

年可处理尾矿砂 13.6t，减少了尾矿堆存；年可节约木材纤维产品充填体约 2 万 t；减少了尾矿组成成分及残留选矿药剂对生态的破坏，保护了水资源及土地资源。该产品是环保新型建材，产品生产加工工艺和设备成熟、可靠，产品质量可靠，可带动周边相关行业发展，具有较好的经济、社会效益，推广应用前景很好。

二十三、利用铅锌尾矿渣生产低碱优质硅酸盐水泥熟料技术

1 技术名称：利用铅锌尾矿渣生产低碱优质硅酸盐水泥熟料技术

2 技术适用范围：铅锌尾矿渣生产低碱优质硅酸盐水泥

3 技术简介

3.1 基本原理

尾矿中的主要组成部分 SiO_2 能够满足硅酸盐水泥生产的需要，而且其中的微量元素具有矿化效果，同时其天然的低碱性能非常适合低碱水泥的生产需求。因此，完全可用此类尾矿代替粘土配料，将其作为非活性填充料，或将其改性作为活性混合材使用。

3.2 工艺流程

图 13 所示为利用铅锌尾矿等工业废弃物作为原料配制生料生产熟料工艺流程；图 14 所示为利用铅锌尾矿等工业废弃物作为混合材生产 P.C 水泥（复合硅酸盐水泥）的工艺流程；图 15 所示为利用铅锌尾矿等工业废弃物生产 P.O42.5 低碱水泥（普通硅酸盐水泥）的工艺流程。

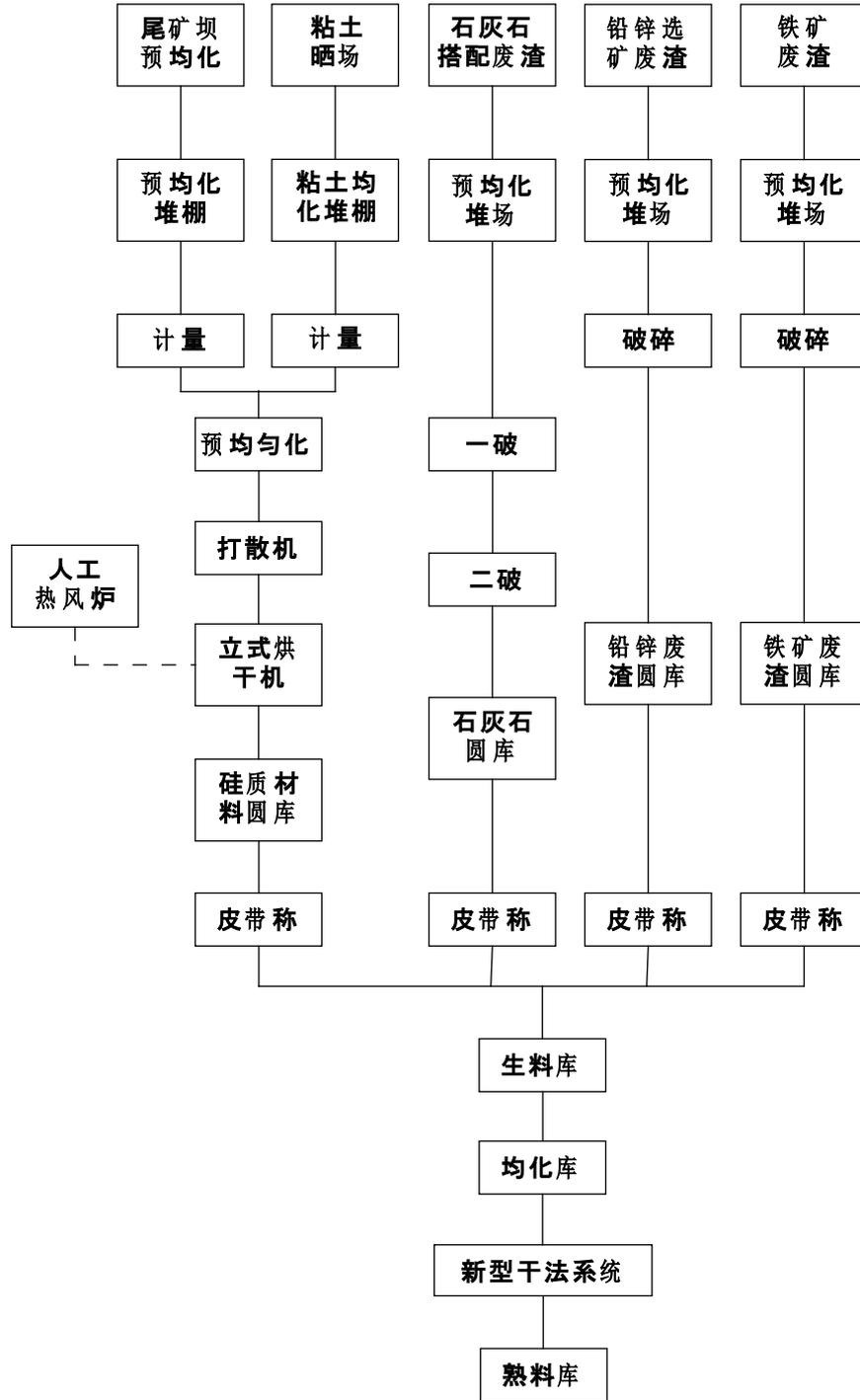


图 13 利用铅锌尾矿等工业废弃物作为原料配制生料生产熟料工艺流程

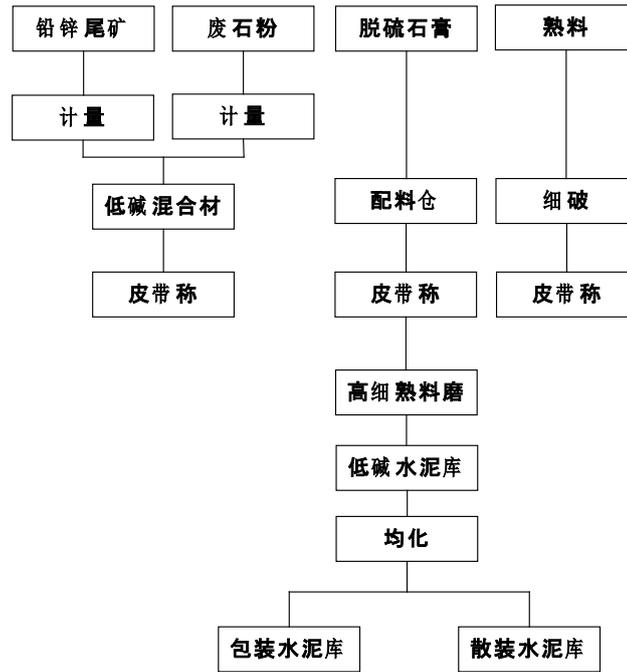


图 15 利用铅锌尾矿等工业废弃物生产 P.O42.5 低碱水泥的工艺流程

3.3 关键技术

(1) 利用铅锌尾矿作为硅质原料采用回转窑烧制低碱高阿利特硅酸盐水泥熟料技术。

(2) 利用铅锌尾矿作混合材生产 P.C 水泥的工艺技术。

(3) 利用铅锌尾矿生产 P.O42.5 低碱水泥的工艺技术。

4 技术应用情况及典型项目

我国铅锌尾矿渣储量丰富，但尾矿坝存在决堤和污染水源的危险。利用铅锌尾矿生产水泥熟料，不仅可以代替粘土，而且含有的微量元素还可以促进熟料的烧成，使熟料中的矿物晶格发生畸变，提高熟料矿物的水化活性，从而提高熟料的强度；尾矿中的碱含量比粘土低，生产出的水泥熟料具有较高的工程适应性和耐久性，减少了工程后期维修费用。该技术已经在商洛尧柏秀山水泥有限公司成功应用，其投资与收益情况见表 25。

表 25 典型项目的投资与收益情况

总投资	2573.30 万元	其中：设备投资	1076.00 万元
运行费用	256.60 万元/年	设备寿命	12 年
综合利用效益	1300 万元/年	投资回收年限	2 年

利用铅锌尾矿等工业废渣生产硅酸盐水泥熟料，尾矿中含有的铅、锌和铜等微量元素可对熟料的烧成起催化作用，降低烧成温度，使单位产品煤耗明显下降，煤电两项合计，年可节约成本 500 余万元。利用铅锌尾矿等工业废渣生产水泥熟料，年节约粘土 12 万 t，折合耕地 100 余亩，保护了耕地和生态环境。

商洛尧柏秀山水泥有限公司对尾矿等废弃物的综合利用和深度开发，减少了尾矿占地，解决了尾矿大量堆积造成的环保和安全隐患，使废弃的资源得到利用。

5 应用效果及推广前景

每吨熟料煤耗由 143kg 降为 135kg，年可节约用煤 3700 余吨，节约成本 300 余万元；并使废气中硫化物和氮氧化物浓度大幅度降低，减少了环境污染。单位产品电耗下降 8 度，年节约用电 340 余万度，节约成本 200 余万元。仅煤电两项年节约成本 500 余万元。

使用铅锌尾矿生产的各等级和各品种水泥，经国家大型重点工程如西康铁路、西柞高速、襄渝铁路复线工程等反复试验对比和实际应用证明，该水泥产品有强度高、易性好、耐腐蚀、抗渗性好，加之低碱的特性，混凝土的可靠性和耐久性得到保证。产品具有广阔的市场前景。

二十四、铁尾矿制砖技术

1 技术名称：铁尾矿制砖技术

2 技术适用范围：页岩尾矿烧结砖

3 技术简介

3.1 基本原理

铁尾矿主要由赤铁矿、菱铁矿、石英、高岭石、方解石、磁铁矿、白云石等组成。尾矿具有比普通制砖粘土更大的比表面积和更小的平均粒径，有较好的成型塑性。通过调整制砖配方、确定适合大批量生产的工艺参数和工艺制度、完善工艺设备，实现尾矿制砖产业化。

3.2 工艺流程

隧道窑尾矿制砖工艺流程

页岩、煤矸石	尾矿
颚式破碎	除磷、脱硫
锤式破碎	压滤
筛分	尾矿库
搅拌	箱式给料机
箱式给料机	输送皮带机
(按掺入比例加入)	
挤出搅拌机	对辊混合机
陈化库	箱式给料机
双级真空挤砖机	多功能切割机
编运系统(人工运入坯场)	自动码坯(人工码坯)
隧道干燥窑(自然干燥)	隧道焙烧窑(轮窑焙烧)

3.3 关键技术

铁尾矿浓缩脱水是尾矿制砖的关键技术。通过静态沉降试验、现场分流试验、浓密机改造，为高效深锥浓密机选型和尾矿浓缩工艺设计及改造提供可靠依据。尾矿制砖成型工艺研究关键在成型水份，按尾矿掺配比 50%、60%、70%、80% 掺加页岩料，成型水份控制在 16% ~ 18%。尾矿制砖干燥工艺关键在干燥速度，具体参数：进车速度 45 分钟/车；送热温度 140℃；排潮量 14.4 万 m³/h；排潮温度 60℃。尾矿制砖焙烧工艺技术关键是余热利用与两个放热的平衡。

4 技术应用情况及典型项目

南京鑫翔新型建筑材料有限责任公司将铁尾矿烧结砖广泛地应用于建筑行业，并且得到房产开发商的好评。

2006 年 6 月，该公司在南京市江宁区汤山镇建立了两条生产线，年产金属尾矿砖 7000 万块。2009 年 7 月，与南京市六合区冶山矿合作建立了两条生产线，形成了铁尾矿制砖的规模化生产，年综合利用金属尾矿达 100 万 t 以上。

应用该技术的典型项目的投资与收益情况见表 26。

表 26 典型项目的投资与收益情况

总投资	450 万	其中:设备投资	443 万元
运行费用	60 万元/年	设备寿命	20 年
综合利用效益	280 万元/年	投资回收年限	2 年

生产页岩尾矿烧结砖日可利用铁尾矿 600t 以上；年产量可达 7000 万块（折标），比原设计产量提高 10% 以上，产品一等品率可达 95% 以上。企业因降低成本，每年带来经济效益 280 万元。

5 应用效果及推广前景

页岩尾矿烧结砖可替代粘土烧结砖用于建筑工程墙体，符合墙体材料改革发展的方向；形成的技术、工艺便于向社会推广应用，为尾矿资源化处理提供了有效的途径，值得推广。

二十五、铅锌尾矿资源综合利用技术

1 技术名称：铅锌尾矿资源综合利用技术

2 技术适用范围：铅锌尾矿提取硫、铁，生产混凝土和建筑用砖

3 技术简介

3.1 基本原理

有些铅锌尾矿中含有一定量的硫、铁、含铁铝的硅酸盐矿物、氧化铁矿物等，根据这些矿物的可浮性不同、硬度不同、比重不同、磁性不同，选用合适的分级设备、磁选设备、固液分离设备以及合适的絮凝药剂，富集分离其中的硫、铁、石英等。硫、铁作为产品销售，石英用做混凝土细骨料，细粒级的尾矿用于生产建筑砖等。

3.2 工艺流程

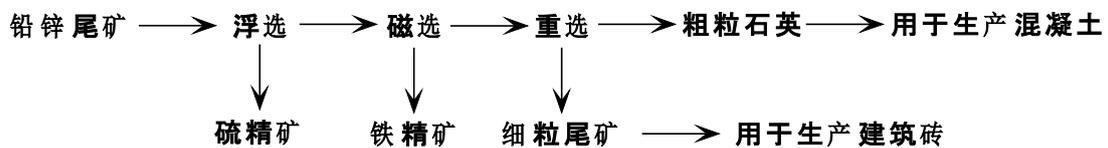


图 16 铅锌尾矿综合利用流程

3.3 关键技术

(1) 高效选矿工艺及废水处理工艺；(2) 尾矿生产建筑砖的低温煅烧技术。

4 技术应用情况及典型项目

该技术应用于福建尤溪金东铅锌矿综合利用项目，综合回收了硫、铁等有价元素，再选尾矿用于生产混凝土及建筑砖等，给企业带来了显著经济效益。同时，尾矿综合利用可消除尾矿中的重金属离子、选矿药剂及废水对地表水、地下水和周围土地环境造成的危害，环境效益显著。还可以增加部分职工就业，具有良好的社会效益。该典型项目的投资与收益情况见表 27。

表 27 典型项目的投资与收益情况

总投资	2800 万元	其中:设备投资	2000 万元
运行费用	2400 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	600 万元/年	投资回收年限	5 年

4 应用效果及推广前景

年处理铅锌尾矿 100 万 t，硫精矿回收率达到 90%，铁精矿回收率达到 80%，两者的直接经济效益 450 万元；用于生产混凝土和建筑砖等经济效益 150 万元。

综合回收铅锌尾矿中的硫、铁等有价元素，经济效益显著，且铅锌尾矿再选后用于生产建材，可以减少尾矿排量，节约尾矿堆存成本，环境效益及经济效益较好，具有广阔的推广前景。

二十六、尾矿制轻质保温建材技术

1 技术名称：尾矿制轻质保温建材技术

2 技术适用范围：铁尾矿生产轻集料混凝土空心砌块与泡沫混凝土砌块

3 技术简介

3.1 基本原理

尾矿的化学成分、粒度组成以及物理性能比较适合做建筑材料。尾矿属惰性材料，活性较差，可作集料或掺合剂加入建材中。

(1) 轻集料混凝土空心砌块

尾矿轻集料混凝土小型空心砌块，以尾矿和膨胀珍珠岩等分别为掺合料和集料，产品符合 GB/T15229—2002《轻集料混凝土小型空心砌块》技术要求。

(2) 泡沫混凝土砌块

用物理方法将发泡剂水溶液制成泡沫，加入到由水泥基胶凝材料、集料、掺和料、外加剂和水等制成的料浆中，经混合搅拌浇注成型，自然或蒸气养护成轻质多孔混凝土砌块（也称发泡混凝土）。

按照 JC/T1062-2007《泡沫混凝土砌块》标准规定，集料包括轻集料、膨胀珍珠岩、砂、聚苯乙烯泡沫颗粒，掺合料允许加入粉煤灰、磨细矿渣粉、生石灰、其它活性矿物粉及工业废渣。

3.2 工艺流程

尾矿轻集料混凝土砌块生产和尾矿泡沫混凝土砌块规模化试生产工艺流程如图 17 和图 18。

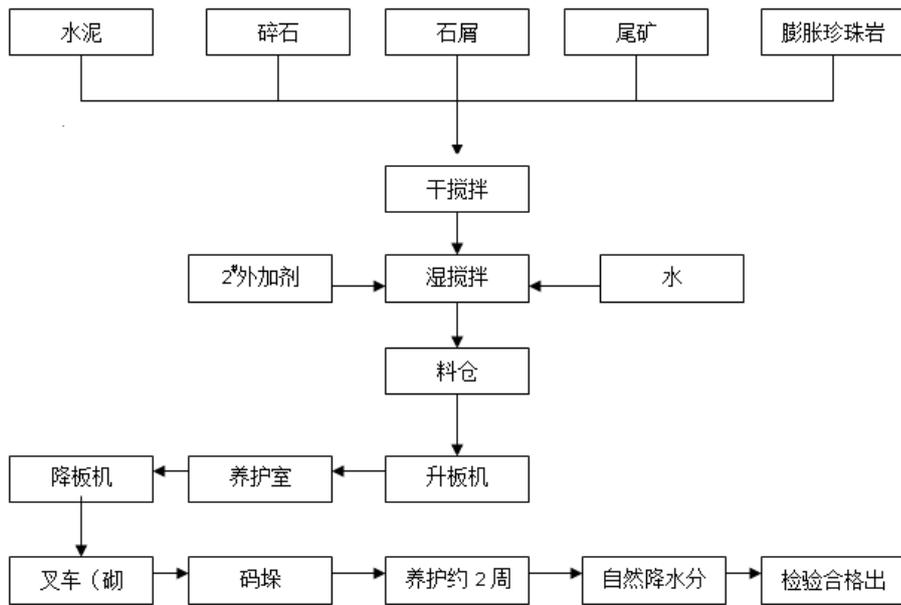


图 17 尾矿轻集料混凝土砌块生产工艺流程

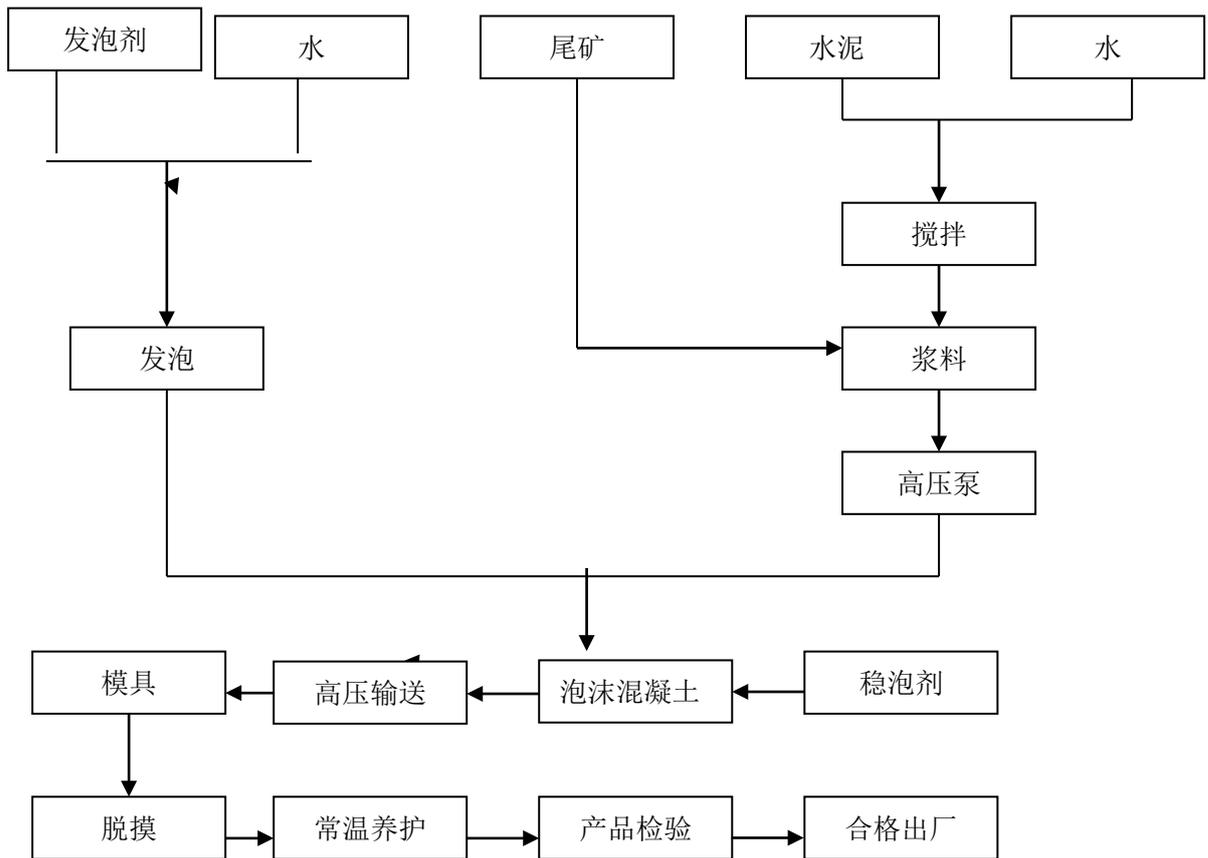


图 18 尾矿泡沫混凝土砌块规模化试生产工艺流程

3.3 关键技术

一是把尾矿进行膨化造粒作为轻集料加入砌块，不但解决了其它

轻集料运到现场成本过高的问题，还增加了砌块所消耗的尾矿量，减少了水泥用量，使成本下降。

二是尾矿泡沫混凝土砌块自保温技术。泡沫混凝土砌块的优异保温性能，已可以满足节能 50% 的标准。而且由于在发泡剂的选择上采用了动物性发泡剂，它的特点是发泡均匀、稳定、强度高，并且气孔是封闭独立的，这就大大降低了吸水性，从而提高了砌块的抗冻性。

4 技术应用情况及典型项目

该技术已经在长春金世纪矿业技术开发有限公司成功使用，项目的投资与收益情况见表 28。

表 28 项目的投资与收益情况

总投资	2078 万元	其中:设备投资	459 万元
运行费用	304 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	890 万元/年	投资回收年限	3 年

以年利用尾矿量 10 万 t 计，项目年销售收入和税金为 3000 万元。项目含税总成本费用为 2054 万元。项目的年利润总额为 890 万元。

本项目的全部投资财务内部收益率（48%）高于设定的基准收益率（10%）；全部投资回收期 3.2 年，具有较强的盈利能力，敏感性分析和盈亏平衡分析也表明项目的抗风险能力较强。

根据项目的现金流量分析，计算的动态财务指标如下：

表 29 动态指标汇总表

序号	项 目	单 位	数 据	备 注
1	项目投资财务指标			
2	投资回收期	年	3.2	
3	财务净现值	万元	4952	
4	财务内部收益率		48%	

项目的静态和动态指标高于同行业平均盈利水平，也高于设定的

基准收益率，具有较好的盈利能力。在达产年计算的以生产能力利用率表示的盈亏平衡点： $BEPR = \frac{\text{年固定总成本}}{\text{年产品销售收入} - \text{年可变总成本} - \text{年销售税金及附加}} \times 100\% = 30\%$ 。可见，项目完成后，该企业只要生产能力达到设计规模的 30%，便可不亏损。

5 应用效果及推广前景

该技术是把尾矿进行膨化造粒作为轻集料加入砌块，增加了砌块所消耗的尾矿量，减少了水泥用量，使成本下降，具有较强的盈利能力。应用该技术生产的产品，砌体厚度 > 300 (mm) 时符合墙体节能 50% 规定，砌体厚度 > 400 (mm) 时符合严寒地区墙体节能 65% 规定，在较严寒地区具有较好的推广前景。

二十七、尾矿制纳米彩色波形瓦、外墙保温板、免烧砖技术

1 技术名称：尾矿制纳米彩色波形瓦、外墙保温板、免烧砖技术

2 技术适用范围：铁尾矿生产环保新型彩釉波形瓦等建筑材料

3 技术简介

3.1 基本原理

利用 65% 的尾矿砂和 35% 其他原料作为反应生成剂，通过对原料的种类和配比试验，生产制作既经济又无污染的环保新型彩釉波形瓦、外墙保温板、轻质复合墙隔体板、免烧砖、整体节能小屋等。

3.2 工艺流程

铁矿尾矿砂处理 → 添加化学原料 → 搅拌 → 挤压成型 → 凝固 → 切

割→上釉→成品→入库→出厂。

3.3 关键技术

新型彩釉波形瓦以铁矿尾矿砂及无机粘合材料为原料，用独特工艺和专利技术，在专用设备上复合而成。采用专利技术生产的新型彩釉波形瓦在瓦体内部形成坚固的网状结构，产品性能显著提高。

4 技术应用情况及典型项目

该项技术在宽城富民新兴建材有限责任公司成功使用。新型彩釉波形瓦、轻质复合墙体板、外墙保温砂浆、免烧砖、节能小屋等项目完成后，企业年可加工尾矿砂 41 万 t。年实现销售收入 26021.80 万元，利润 2228.27 万元，税金 1124.14 万元，所得税后静态投资回收期 6.83 年，投资回收较快，企业经济效益较好。项目建成后，可安排 300 人直接就业，具有良好的社会效益。该项目的投资与收益情况见表 30。

表 30 项目的投资与收益情况

总投资	3114 万元	其中:设备投资	1058 万元
运行费用	1358 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	2630 万元/年	投资回收年限	6.8 年

5 应用效果及推广前景

新型彩釉波形瓦以铁尾矿砂及无机粘合材料为原料，用独特工艺和专利技术，在专用设备上复合而成。大量使用铁矿尾矿，对促进治理环境污染具有很好的作用，使用该技术生产的产品具有很好的市场需求，具有广泛的应用和推广价值。

二十八、金尾矿砂新型建材的制造技术

1 技术名称：金尾矿砂新型建材的制造技术

2 技术适用范围：金矿尾矿砂生产彩色混凝土瓦、混凝土砌块等建筑材料

3 技术简介

该技术主要是利用尾矿，配以水泥及其他辅料，生产新型节能混凝土加气砌块、混凝土空心砖、彩色混凝土瓦、混凝土普通砖，其中尾砂用量占 40%~60%。利用尾矿生产新型环保建材，替代实心粘土砖、瓦，一方面可以充分利用尾矿资源，减少尾矿堆存占地，减少能耗，降低大气和环境污染。

(1) 采用轮碾式定量强制搅拌机将原料搅拌均匀，使混凝土达到良好的合易性，高压成型。成型后的瓦坯摆放在专用铁架上，进养护室养护 24 小时，养护室要保持一定的湿度和温度(自然水化热)，24 小时后脱模，堆放在半成品堆场，并加水养护。半成品瓦堆放养护 28 天后，可根据用户所需要的颜色进行喷涂，制成尾砂彩色混凝土瓦成品。

(2) 采用混凝土搅拌机将尾砂混凝土空心砌块物料搅拌均匀，然后振动高压成型，自然养护，七日内每 3-4 小时加水一次，养护 28 天后出厂。

(3) 对尾砂混凝土普通砖进行微机配料、物料搅拌，采用盘转式压砖机对物料进行轨道预压，再挤压成型，在常温下自然养护，7 日内每 3 至 4 小时加水一次，养护 28 天后出厂。

(4) 生产加气混凝土砌块。将尾砂、粉煤灰加水磨成料浆，加入粉状石灰、适量水泥、石膏和发泡剂、稳泡剂，经搅拌注入模框内，静养发泡固化后，切割成各种规格砌块或板材，送入蒸压釜，经高温高压蒸气养护，形成轻质多孔加气混凝土砌块。

4 技术应用情况及典型项目

该技术已经在蓬莱市金正建材有限责任公司成功使用，根据市场调查及用户反馈意见，该公司生产的金尾矿新型建材产品性能优良、质量可靠、价格合理、施工方便，所有产品均高于国家或行业标准要求。该技术的典型项目的投资与收益情况见表 31。

表 31 典型项目的投资与收益情况

总投资	8300 万元	其中:设备投资	3822 万元
运行费用	6820 万元/年	设备寿命	16 年
综合利用效益	3310 万元/年	投资回收年限	4.7 年

年可利用金矿尾砂 22.5 万 t，节约煤炭 1.5 万 t，节省土地 530 亩，实现经济效益 100 万元，取得了显著的经济效益、社会效益和环境效益。

5 应用效果及推广前景

金尾矿新型建材产品，不仅适应我国国情，也顺应了世界新型建材发展的方向；具有较好的经济效益、社会效益和广阔的市场前景。

二十九、砂岩型磁铁尾矿制蒸压加气混凝土技术

1 技术名称：砂岩型磁铁尾矿制蒸压加气混凝土技术

2 技术适用范围：砂岩型磁铁尾矿生产蒸压加气混凝土

3 技术简介

3.1 基本原理

加气混凝土是由钙质材料（水泥、生石灰等）和硅质材料（石英砂、粉煤灰等）配料后，经水化反应形成的人造石。砂岩型铁尾矿主要含硅在 65%~72%，可以部分取代石英砂（含硅量 90%以上），经过调整粉磨细度及颗粒级配，提高砂岩型铁尾矿活性，只要与钙质量材料配比得当，即可生产出合格的加气混凝土制品。

3.2 工艺流程

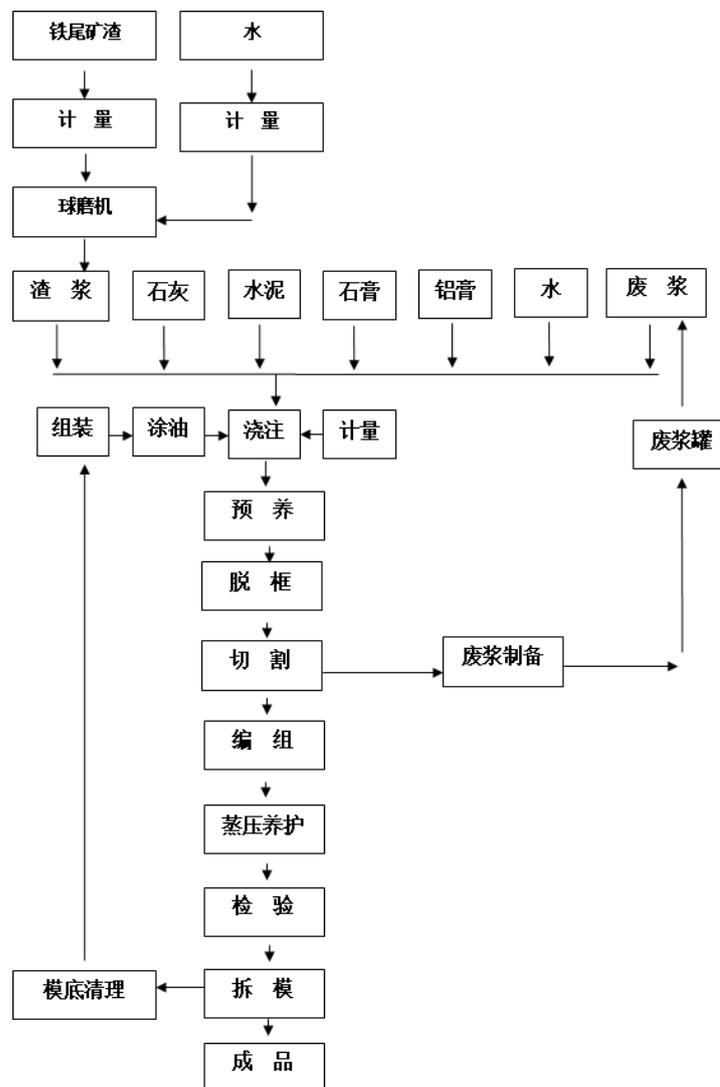


图 19 工艺流程图

3.3 关键技术

- (1) 控制磨细度及颗粒极配，提高铁尾矿配料活性技术。
- (2) 控制合理的钙硅比，使钙质材料与硅质材料反应充分。
- (3) 尾矿有害成份预处理技术。

4 技术应用情况及典型项目

表 32 典型项目的投资与收益情况

总投资	4600 万元	其中:设备投资	3000 万元
运行费用	4500 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	6000 万元/年	投资回收年限	5 年

北京金隅加气混凝土有限责任公司利用砂岩型铁尾矿生产混凝土，年利用尾矿量 10 万 t，产品中尾矿所占质量比在 35% 以上，尾矿综合利用年产值 6000 万元/年。经济效益显著。

投资一年产 30 万 m³ 的加气混凝土项目，总投资约 4600 万元，其中设备、基地、安装约 3000 万元，厂房土建约 1600 万元，年经济收入约 6000 万元，利润约 800 万元，消纳尾矿 10 万 t，解决 100 人就业，税收 120 万元，投资回收期 5 年。

5 应用效果及推广前景

在北京密云、河北唐山、辽宁、四川等地，有大量的砂岩型铁尾矿，大多都堆存于尾矿库中。同时，每年又会新增上千万 t 尾矿，需要新建大坝来储存，即浪费土地，又不安全，维护成本又高。加气混凝土广泛应用于城市公共建筑及居民住宅，具有重量轻、保温节能、隔声防火等优点。因此，利用尾矿生产加气混凝土节能潜力大，推广前景广阔。

三十、尾矿砂蒸压砖及尾矿加气建材制造技术

1 技术名称：尾矿砂蒸压砖及尾矿加气建材制造技术

2 技术适用范围：铜尾矿生产蒸压砖及加气建材

3 技术简介

3.1 基本原理

尾矿砂中含有一定量的硅酸盐，具有一定的活性，在适当的物理作用和化学作用下，可实现尾矿砂的固化，制成诸如蒸压灰砂砖、尾矿加气及混凝土板材、干粉砂浆等。

由于尾矿中 SiO_2 和 Al_2O_3 含量较低、活性差，采用普通的灰砂砖工艺难以满足产品的要求。因此，利用固体废弃物—粉煤灰、矿渣和低碱度的碱性激发剂制备生态型胶凝材料，通过湿热养护工艺生产蒸压尾矿砖。产品中固体废渣用量最高可达全部固体原料的 95%（其中尾矿占 75%~85%），属生态型环境材料。矿山尾矿蒸压砖及其制造方法获得国家发明专利，专利号：ZL200610012672X。

ASA 系列板材采用的主要原料是铜铁尾矿、矿渣、周边电厂的粉煤灰、激发剂和碎石粉；主要的配料是自制的激发剂，其主要成分是碱金属、碱土金属的碳酸盐、硫酸盐和硅酸盐，用于激发矿渣的活性，进而形成生态型凝胶材料。节省资源、节约能源、保护生态环境。

3.2 工艺流程

尾矿砂加固化剂和其他混料混合，充分碾压、搅拌均匀，通过皮带输送系统进入压砖机，压制成砖坯，然后进行蒸压，在额定压强、时间、温度的作用下，通过物理作用（高温、高压）和化学作用（激

发原料活性)促其粘结、凝固,最后制成产品。尾矿砂蒸压砖生产工艺流程见图 20。

原料 → 配料 → 砖坯制备 → 成型 → 蒸压 → 标准砖 → 检质

图 20 尾矿砂蒸压砖生产工艺流程

加气混凝土设备可以根据原材料类别、品质、主要设备的工艺特性等,采取不同的工艺进行生产。但在一般情况下,将粉煤灰或硅砂加水磨成浆料,加入粉状石灰,适量水泥、石膏和发泡剂,经搅拌后注入模框内,静氧发泡固化后,切割成各种规格砌块或板材,由蒸养车送入蒸压釜中,在高温饱和蒸气养护下即形成多孔轻质的加气混凝土制品。加气混凝土建材生产工艺流程见图 21。

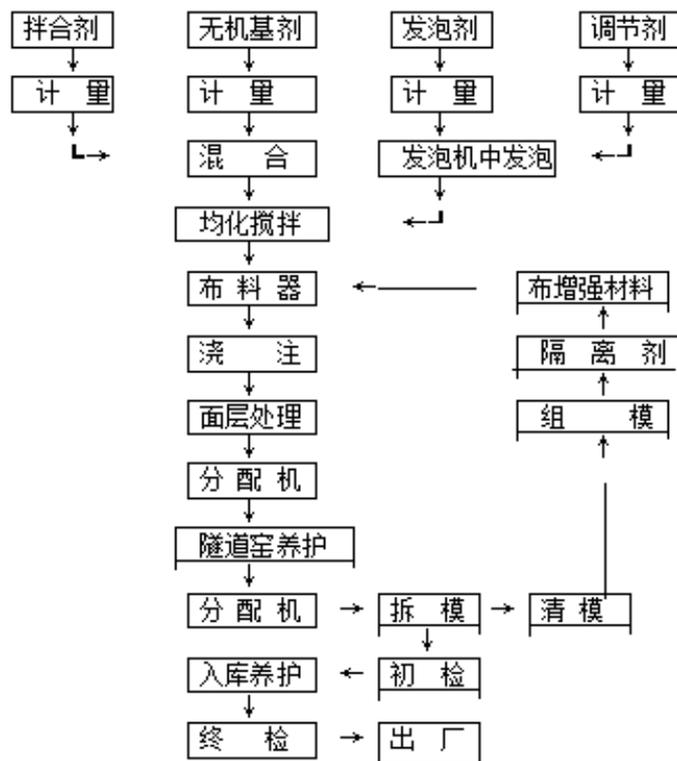


图 21 ASA 系列板材生产工艺流程

3.3 关键技术

(1) 在整个生产工艺中,尾矿砖的强度(即抗压度、抗折度)

是一个重要的指标。尾矿砖的强度主要由棒状或纤维状钙矾石和水化硅酸钙凝胶决定，因此控制激发剂的碱度尤为重要，一般 pH 值以 10.8~13.0 为宜。

(2) 蒸养时间直接影响产品的质量和能耗，蒸养温度对产品的强度影响很大。由于超细尾矿与凝胶材料水化产物存在正协同作用，对硬化体的强度有促进和催化作用，经试验确定蒸养温度 70℃、蒸养时间 8 小时，凝胶材料 16%，此时产品能够达到 MU15 标号，蒸养后的初始强度也能满足要求，能耗则更低。

(3) 水在成型和水硬化过程中起着重要的作用，试验中采用压制成型，成型水量控制在 11% 左右。

(4) ASA 板不用粘土、碎石、砂子及轻骨料作填料，而是把空气变成千千万万个不同直径的微型小气球和粉煤灰或其他工业废渣(尾矿砂)作填充料，制成密闭微孔结构的轻质混凝土制品，无需煅烧或蒸、压和大量的水养护。

4 技术应用情况及典型项目

表 33 典型项目的投资与收益情况

总投资	4100 万元	其中:设备投资	2800 万元
运行费用	800 万元/年	设备寿命	25 年
综合利用效益	500 万元/年	投资回收年限	8 年

尾矿制砖项目，投入 4100 万元，年产尾矿砖 6000 万块，引进德国道司腾技术，采用双向液压成型，高温高压蒸养技术，尾矿使用率达到 88%，年消耗尾矿 16 万 t；新型尾矿加气建材项目，将难于开发利用的低硅、低活性尾矿，通过较为特殊的化学发泡方法，生产符合

国家标准的尾矿加气混凝土板材。

按照本地的考察结果，比照粘土砖的价格，灰沙标准砖的销售价格应定位在 0.25 元—0.30 元之间，如果按 0.25 元计算，年销售额为：1500 万元；如果按 0.30 元计算，年销售额为：1800 万元。年利润率在 223.8 万元—523.8 万元。

加气建材生产线建成后，总体实现新增销售收入 13800 万元。

5 应用效果及推广前景

尾矿资源化是实现企业由矿山资源型向综合型转型的重要途径。能够使流失的矿产资源重新得到回收。为地方经济持续发展，添加新的活力和增长点。

三十一、金属尾矿渣烧结多孔砖技术

1 技术名称：金属尾矿渣烧结多孔砖技术

2 技术适用范围：金属尾矿渣生产多孔砖

3 技术简介

3.1 基本原理

该技术减少了产品干燥焙烧收缩，不易产生裂纹；生产的产品具有微孔网络结构，可吸收排除水分，调解室内外干湿度；产品尺寸稳定，力学强度高。

3.2 工艺流程

从尾矿堆放场运送到控料机，经过圆筒筛，传送到生产线进行制坯生产。

3.3 关键技术

控制掺配量，防止原料中化学成分波动太大。

4 技术应用情况及典型项目

表 34 典型项目的投资与收益情况

总投资	806 万元	其中：设备投资	203 万元
运行费用	30 万元/年	设备寿命	8 年
综合利用效益	102 万元/年	投资回收年限	8 年

张家口市某建材公司采用金属尾矿渣烧结多孔砖，总投资 806 万元，年利用尾矿量 6 万 t，产品中尾矿所占质量比达 30%。生产烧结多孔砖 2500 万块，实现产值 816 万元，税金 22 万元，综合利用效益达 102 万元，同时每年可减少尾矿占地费用、环境污染等综合费用 30 余万元。其投资与收益情况表见表 34。

5 应用效果及推广前景

减少尾矿占地，增强矿山安全，改善生态环境，节约资源，具有极其广泛的推广价值和使用价值。

三十二、铝硅酸盐尾矿微晶玻璃技术

1 技术名称：铝硅酸盐尾矿微晶玻璃技术

2 技术适用范围：铝硅酸盐尾矿生产微晶玻璃

3 技术简介

3.1 基本原理

该技术依托单位为中国地质科学院尾矿利用中心，采用国内首创的 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 五元体系作为尾矿微晶玻璃工艺基础配

方；以硅灰石及辉石作为主析晶相，采用“水淬—烧结法”生产工艺，进行尾矿微晶玻璃工业化生产。本技术的特点：一是利用尾矿废弃物为主要原料，实现变废为宝，利于环保，降低生产成本；二是利用尾矿开发研制出的黑色微晶玻璃材料，表面花纹精美，光亮度优于天然石材，产品达到《建筑装饰用微晶玻璃》（JC/T872-2000）的标准要求；三是通过配方里的添加剂和采用先进的生产工艺，极大地降低了微晶玻璃的气孔率，消除了尾矿微晶玻璃产品表面气孔。板材不变裂和碎裂，产品成品率达到 95% 以上。

3.2 工艺流程

铝硅酸盐尾矿微晶玻璃技术工艺流程见图 22。

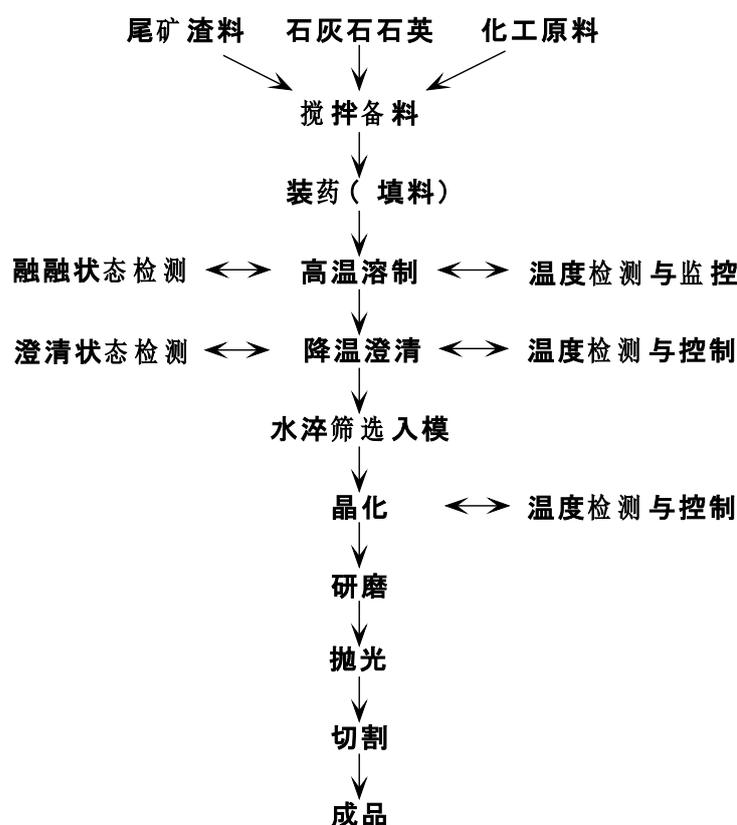


图 22 工艺流程图

4 技术应用情况及典型项目

石材自然资源逐渐减少，石材加工过程中产生的废石对环境造成一定污染。与天然石材相比，微晶玻璃的价格低，是一种替代天然石材的高档建筑材料。

表 35 典型项目的投资与收益情况

总投资	110000 万元	其中：设备投资	8063 万元
运行费用	600 万元/年	设备寿命	5 年
综合利用效益	5000 万元/年	投资回收年限	4 年

表 35 所示为君达公司微晶玻璃项目，年利用尾矿量达 20 万 t，产品中尾矿所占质量比达 60%。年产 3 万 t 粒料，20 万 m² 微晶玻璃板材，其中平行板材微晶玻璃 17 万 m²、弧形板材微晶玻璃 2 万 m²，异型板材微晶玻璃 1 万 m²。年产值 1.5 亿元、年销售利税 5000 万元。

5 应用效果及推广前景

极大地推进国际上尾矿综合利用新技术发展，是一项成熟的高附加值产业化高新技术，具有很好的应用推广和产业化示范作用。

三十三、利用金属尾矿生产蒸压加气混凝土砌块技术

1 技术名称：利用金属尾矿生产蒸压加气混凝土砌块技术

2 技术适用范围：铜尾矿生产蒸压加气混凝土砌块

3 技术简介

3.1 基本原理

利用尾砂（尾砂占用比例为 63%左右）作为主要原料，加入一定比例的水泥、石灰、石膏、铝粉等，按特定的工艺经过发泡、蒸养后制成多孔轻质加气混凝土制品。产品具有轻质高强、吸音隔音、防潮

耐火、隔热保温、可加工性强等一系列优良特性。

与传统的黏土烧结砖材料相比较，加气混凝土虽然强度低些，但可充分利用工业废料，产品成本较低，大幅降低建筑物自重，保温效果好。所以，加气混凝土制品将会愈来愈显示其较高的使用价值和宽广的发展前景。

3.2 关键技术

技术关键是在研制和生产过程中根据铜矿尾砂的不同性能和成份变化随时调整各类成份的配比，从而达到产品生产过程中的有效发泡、脱模、成型。

4 技术应用情况及典型项目

表 36 典型项目的投资与收益情况

总投资	5000 万元	其中:设备投资	2000 万元
运行费用	670 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	400 万元/年	投资回收年限	6.5 年

项目总投资 5000 万元，综合利用效益 400 万元/年。

年产值（年平均）： $20 \text{ 万 m}^3 \times 245 \text{ 元/ m}^3=4900 \text{ 万元}$

成本合计： $20 \text{ 万 m}^3 \times 198.69 \text{ 元/ m}^3=3973.8 \text{ 万元}$

利润总额（年平均）： $4900 \text{ 万}-3973.8 \text{ 万}=926.2 \text{ 万元}$

蒸压加气混凝土砌块（砂加气）符合《蒸压加气混凝土砌块》（GB11968-2006）国家标准，生产工艺基本实现零污染。另外所生产的产品为国家鼓励发展的建材产品，具有较好的行业发展示范意义，与传统实心粘土砖相比，绿色环保、资源节约。

（1）节约用水：生产中实现废水的 100%循环利用，完全消除外

排污水，节约大量工业用水；

(2) 节约土地：以废弃尾矿为原料生产蒸压加气混凝土砌块替代实心粘土砖，整个项目完全建成后年消耗尾矿 56.7 万 t，不仅可减少尾矿堆放占用土地 60 余亩，还可以解决平铜建矿 41 年来的历史遗留问题（尾矿库已堆积尾矿 400 多万 t）。

(3) 防治污染：生产中消耗尾矿，同时实现废气、废物（产品边角料）100%回收利用，基本实现污染物零排放。

(4) 保障安全：可以消除铜矿尾砂库的安全隐患。

5 应用效果及推广前景

该技术利用选矿废渣（粉末）、脱硫石膏等废弃物替代石英砂为主要原料，生产工艺技术国内领先。产品与传统建材产品相比，具有轻质高强、吸音隔音、防潮耐火、隔热保温、节能利废、抗压耐久、可加工性强等特点，在住宅使用中节能效果明显，是国内外广泛应用的新型节能墙体材料。该技术具有广阔的推广应用前景。

三十四、铁尾矿无尾化利用技术

1 技术名称：铁尾矿无尾化利用技术

2 技术适用范围：伴生钼、锌的铁尾矿提取钼、锌并生产建筑材料

3 技术简介

3.1 基本原理

有些铁尾矿中含有一定量的钼、锌、石英、含铁铝的硅酸盐矿物、

氧化铁矿物，由于这些矿物的可浮性不同、硬度不同、比重不同、磁性不同，选用合适的分级设备、磁选设备、固液分离设备、合适的絮凝药剂和浮选药剂及工艺，可富集分离其中的钼、锌、石英、石榴子石等，钼、锌作为精矿销售，粗颗粒的石英用做混凝土细骨料，细粒级的尾矿用于生产水泥、建筑砖等。

3.2 工艺流程

该技术的工艺流程见图 23。

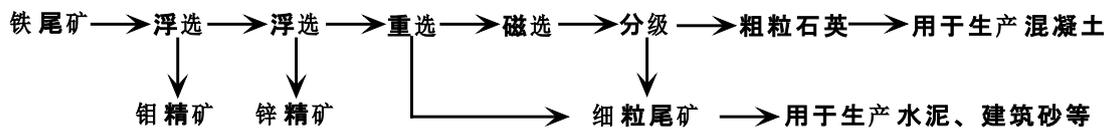


图 23 工艺流程

3.3 关键技术

(1) 钼、锌浮选工艺及药剂制度；(2) 尾矿重选-磁选分选工艺及二次尾矿低耗输送工艺技术；(3) 细粒尾矿生产水泥、建筑砖的工艺技术。

4 技术应用情况及典型项目

该技术应用于福建马坑铁矿综合回收项目，综合回收了钼、锌、石榴子石等，再选尾矿用于生产混凝土、水泥及建筑砖等，具有显著经济效益及环境和社会效益。本项目每年处理含钼、锌铁尾矿 100 万 t，钼精矿回收直接经济效益 1030 万元；锌精矿回收直接经济效益 110 万元；石榴子石精矿回收经济效益 1080 万元，用于生产混凝土和水泥、建筑砖等经济效益 220 万元。该项目的投资与收益情况见表 37。

表 37 典型项目的投资与收益情况

总投资	2000 万元	其中:设备投资	1700 万元
运行费用	2600 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	2400 万元/年	投资回收年限	1 年

5 应用效果及推广前景

华东地区有众多含钼、锌的铁尾矿，采用该技术可以使尾矿中的
 有价值组分得到充分回收，尾矿排量显著减少，产生的经济效益和环境
 效益明显，应用前景广阔。

三十五、浮选尾矿资源综合利用工程化应用技术

1 技术名称：浮选尾矿资源综合利用工程化应用技术

2 技术适用范围：黄金尾矿堆浸提金及堆浸后尾矿生产混凝土砌
 块与蒸压砖

3 技术简介

3.1 基本原理

尾矿堆浸提金采用无制粒化学疏松法堆浸工艺进行尾矿堆浸，采
 用氰化物在有氧化剂的条件下，从含金物料中选择性地溶解金、银，
 使金、银及其它金属矿物与脉石分离。浸出液中含有的金吸附到载金
 炭中，采用解吸电解的方法回收金。加气混凝土是以硅质材料 SiO_2
 和钙质材料 CaO 为主要原料，掺加发气剂，加水搅拌，由化学反应
 形成气孔，通过浇注成型、预养切割、蒸压养护等工艺过程制成的多
 孔硅酸盐混凝土。

尾矿蒸压砖以尾矿砂为主要原料，掺加一定量骨料、固化剂，在

适宜的机械压力、外加剂等外界因素作用下，实现初期“固化”。然后送到轮碾机里进行碾压，再送到压砖机内压制成砖坯，砖坯蒸压12小时后得到成品。

3.2 工艺流程

该技术的工艺流程见图 24。

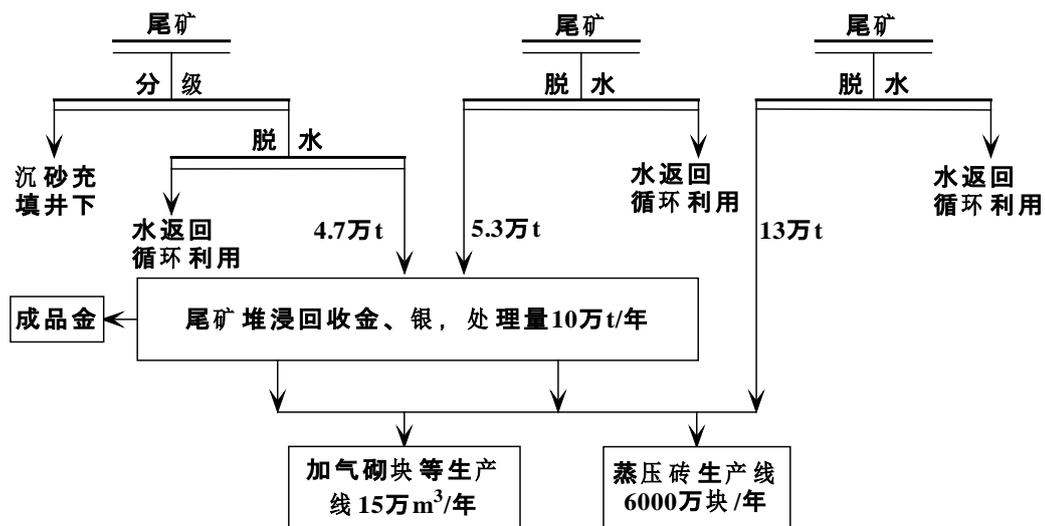


图 24 工艺流程图

3.3 关键技术

- (1) 无制粒化学疏松液体循环法尾矿堆浸技术。
- (2) 堆浸尾渣制加气混凝土砌块和蒸压砖技术。

4 技术应用情况及典型项目

利用尾矿生产的加气混凝土砌块和蒸压砖均达到国家标准，已经在当地建筑市场中广泛应用。该技术已经在山东金洲矿业集团尾矿利用分公司成功使用，项目的投资与收益情况见表 38。

表 38 典型项目的投资与收益情况

总投资	4300 万元	其中:设备投资	1950 万元
运行费用	1500 万元/年	设备寿命	20 年
综合利用效益	1100 万元/年	投资回收年限	5 年

山东金洲矿业集团 2006 年采选处理量为 31.5 万 t, 排出尾矿 27.7 万 t。多元素含量分析表明, 尾矿中金平均品位在 0.25g/t 左右, SiO_2 含量在 63%~75%, 具有一定的回收利用价值。30 多年来, 金洲集团尾矿累积堆存量达 300 多万吨, 占地 500 多亩, 且每年新产生尾矿 28 万 t, 对周边环境安全造成很大影响, 每年尾矿排渣、堆存、管理费用达 200 多万元。金洲矿业集团产生的尾矿, 除 5 万 t 井下充填, 其余全部用于生产加气混凝土砌块、蒸压砖、预搅拌砂浆等建筑产品, 其中 10 万 t 品位高于 0.26g/t 的尾矿堆浸提金后, 再用于制建材产品, 提高选矿回收率 1.3%。在生产过程中废渣、废水零排放, 不存在二次污染。对生产中产生的余热充分利用。

两条建材产品生产线尾矿利用率达 70% 以上, 年消纳尾矿 23 万 t, 减少尾矿占用土地 10 余亩, 减少尾矿输送、堆存、管理费用 120 万元, 达到保护环境、变废为宝的目的。年实现综合经济效益 1100 万元, 实现经济和社会双重效益。

5 应用效果及推广前景

对黄金矿山品位大于 0.25g/t 的尾矿, 可以采用尾矿无制粒堆浸提金后再用于加工生产加气混凝土砌块和蒸压砖等建材产品。全国金属矿山尾矿储量丰富, 因此采用尾矿资源综合利用工程化应用技术, 可在尾矿资源再利用方面开辟新的途径, 值得推广。

三十六、尾矿综合利用处理设备及技术

1 技术名称: 尾矿综合利用处理设备及技术

2 技术适用范围：有色金属、黑色金属、黄金及非金属尾矿

3 技术简介

3.1 基本原理

(1) 橡胶带式水平真空过滤机。将“烧结法”赤泥料浆直接给入过滤机进行赤泥分离与洗涤。处理好的滤饼排到赤泥堆场干堆放。滤布用热水和碱液再生循环使用。

(2) 胶带过滤机在过滤氢氧化铝、盐泥、沸石、拟薄水铝石等物料方面应用成熟，效果较好。

(3) 陶瓷真空过滤机主要有主机、陶瓷板、搅拌装置、清洗系统、真空系统和控制系统等组成。运用陶瓷的毛细现象，保证无真空损失的原理，在抽真空时，只让水通过，空气和矿物质颗粒无法通过，极大地降低了能耗和物料水分。

(4) HVPF 全自动立式压滤机主要有主机、进料系统、高压循环水站、液压系统、高压风站、自动控制检测系统等组成。主机滤板上下叠置通过两组液压缸自动升降及压浆，滤布在滤板之间 S 型缠绕，在液压马达带动下环形运行，有辅助的滤布涨紧、纠偏、清洗，使设备结构紧凑，生产能力大，自动化程度高，滤饼含水率低。

HVPF 全自动立式压滤机与传统压滤机技术相比具有以下特点：

1) 生产能力大，自动化程度高。过滤、挤压、洗涤、二次挤压、风干、卸饼六个程序全部采用全自动控制，连续工作，同面积产能是板框式的 6~13 倍以上。

2) 滤饼含水率低。由于最大挤压压力达到 1.6 MPa，再经压缩空

气风干，滤饼水份很低，在不考虑介质结晶水的情况下含水率 $<10\%$ ，甚至可取消传统的干燥工序，节省大量的能源。

3) 增加了洗涤工序，洗涤效果好。滤布正反面可交替过滤，有自洁再生性能。滤布为水平放置，滤饼的厚度均匀。

4) 设备运行通过控制柜实行全自动控制，具有自诊断和自报警功能，同时具有独特的真空辅助系统。

HVPF 全自动立式压滤机应用在尾矿综合利用上是首创，还具有如下优点：

1) 增加安全性，降低投资成本。由筑坝式排放改为堆土场排放，库内无存水，避免了溃坝、漫坝、垮坝事故的发生。节省了排水斜槽及砌石透水坝，从而节省了投资，缩短了建设周期。

2) 管理简单，易于操作。按规模大小进行专业设计，提供不同规格型号的系列产品，适用于各种粒度和浓度的尾矿浓缩干排。

3) 排放方式多样化，既可围堰造田，又可回填塌陷区和露天采坑，实现资源开发和环境保护。

4) 滤液可以直接回流选厂，节约用水。采用干排式排尾成本比筑坝湿式排尾节省 70%，社会、经济效益显著。

3.2 工艺流程

(1) 氧化铝赤泥综合处理工艺技术

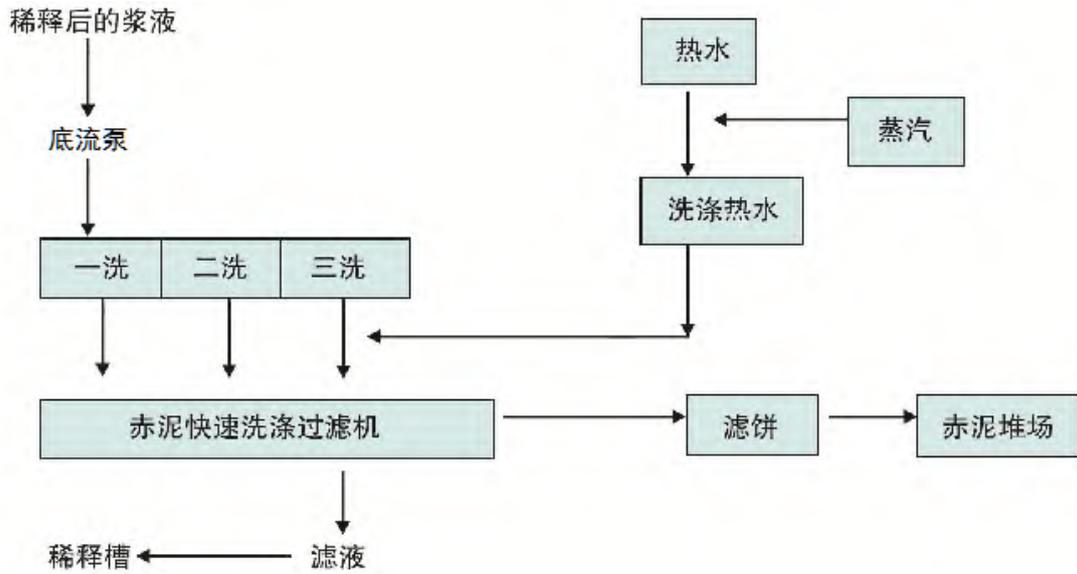


图 25 氧化铝赤泥综合处理工艺流程

(2) 尾矿综合处理

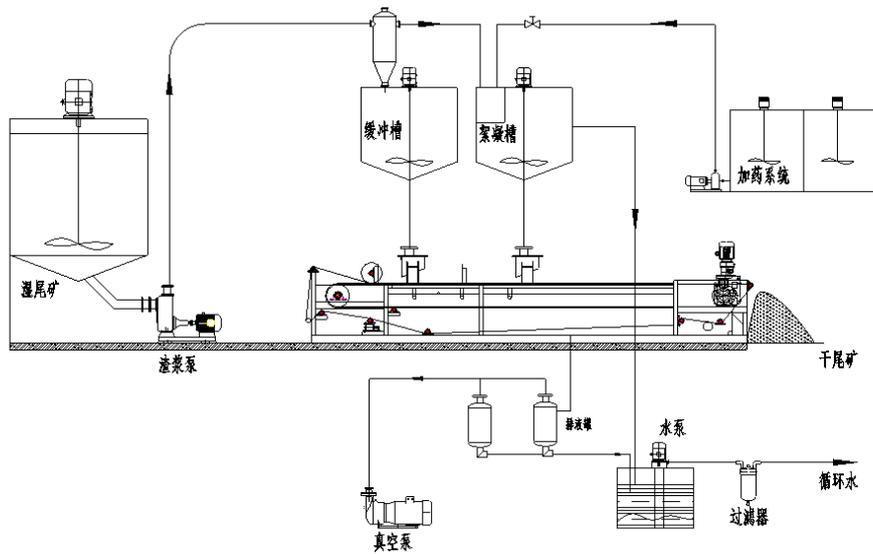


图 26 尾矿综合处理工艺流程

采用矿山排放的含大量水的尾矿经泵输送到旋流器分级，分级的高浓度粗粒经缓冲槽进入过滤机分离，稀的细颗粒进入浓密机经加药装置送入絮凝剂沉淀后再次进入过滤机过滤，过滤后的滤饼可直接干堆储存，浓密机的上清液和过滤机过滤的清液经过滤后回用。

3.3 关键技术

(1) TC 型精密陶瓷真空过滤机的创新点及关键技术为：陶瓷过

滤板为整版烧结的中空双面结构，通过添加研磨超精细造孔剂，高温烧制，抗压能力达到 1.5Mpa。陶瓷毛细微孔可控制在 0.2 μ m，过滤精度可到-450 目，滤液含固量<40ppm。分配头采用两片耐磨刚玉。二次加料可提高产量 15%左右，清洗系统恒压供水，真空系统不需要高位安装，可进行零位自动排液。

(2) HVPF 全自动立式压滤机创新点及关键技术为：滤板每层为多层式结构；过滤、挤压、洗涤、二次挤压、风干、卸饼六个程序全部采用全自动控制，连续工作，同面积产能是板框式的 6~13 倍以上；经压缩空气风干可得水分很低的滤饼，节省大量能源；增加了洗涤滤饼工序；具有高智能的全自动控制系統，具有自动诊断和自动报警功能。

4 技术应用情况及典型项目

胶带过滤机在过滤氢氧化铝、盐泥、沸石、拟薄水铝石等物料方面应用成熟；中铝某分公司将胶带式水平过滤机用于烧结法和拜尔法的洗涤赤泥过滤分离，应用效果较好。目前，同兴实业在烟台地区全力推进了尾矿综合利用项目，已经在河北、山西、陕西等铁矿、铅锌矿、铜矿、金矿等尾矿广泛应用。

5 应用效果及推广前景

随着国民经济发展及可持续发展战略的实施，高效节能的环保重大技术装备国产化已成为必然趋势。该公司生产的环保型过滤分离设备已取得中国环保认证证书，整机技术含量达到了国内、国际先进水平，共取得发明专利 2 项、适用型专利 19 项。实现了资源综合利用、

节约能源和保护环境的目。以年过滤 100 万 t 铁精矿分析，每年综合效益节电、节水、节投资可达 2500 多万元，并且减少占用土地，避免溃坝、漫坝、垮坝事故的发生。在矿山运营中无废气、废水、固体废弃物、噪声、粉尘和其它废弃物排放，具有显著的经济效益、社会效益、和环境效益。

三十七、金银尾矿砂综合利用技术

1 技术名称：金银尾矿砂综合利用技术

2 技术适用范围：金、银尾矿提取贵金属及尾矿生产加气混凝土砌块

3 技术简介

3.1 基本原理

(1) 尾砂提取有价组分原理：利用高压水枪冲稀尾矿砂，并由安装在特制船上的大功率砂泵抽取砂浆至选厂，根据尾砂浆的浓度高低及尾砂所含金属成分配制药水，选出有价组分。分离后的尾砂经分级机分离后用来生产新型建筑材料。

(2) 生产蒸压砂加气混凝土砌块的基本原理：利用分离后的尾砂与石灰、水泥、脱硫石膏按一定比例搭配、搅拌后加入铝粉发气，经切割（浇注、预养）、蒸压养护生成新型墙体材料（蒸压砂加气混凝土砌块）。

3.2 工艺流程

(1) 处理尾矿库尾砂提取组分工艺流程：用高压水枪+特制沙船

+砂泵抽砂→搅拌桶搅拌→选厂提取组分并分离出不含金属的尾砂→搅拌桶搅拌→分级机分离水分、泥浆和尾砂→尾砂运到生产新型建筑材料工厂→生产蒸压砂加气混凝土砌块。

(2) 生产蒸压砂加气混凝土砌块工艺流程：选矿尾砂+水泥+石灰+脱硫石膏→浇注(+铝粉)→发气预养→切割→蒸养→蒸压砂加气混凝土砌块

3.3 关键技术

(1) 根据金属尾矿砂里的金属含量及砂浆浓度配好药剂提取组分；(2) 提取组分后的尾砂制成新型建筑材料。

4 技术应用情况及典型项目

表 39 所示为浙江省东阳市罗山黄金开采有限公司尾矿库尾砂综合利用项目，年利用尾矿量 10 万 t，综合利用效益达 1000 万元/年。

表 39 典型项目的投资与收益情况

总投资	2000 万元	其中:设备投资	1800 万元
运行费用	500 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	1000 万元/年	投资回收年限	5 年

5 应用效果及推广前景

该技术先进，投资较少，回收快，有较高的经济和环境效益。尾砂经过处理，从中提取有价值组分，其余的尾砂用于生产建筑用的新型墙砖。用尾砂为原料生产新型墙体材料技术已被浙江省建设科技推广中心列入浙江省建设科技成果推广项目[证书编号：浙建推广字(200995 号)]。实现无尾砂排入尾矿库，消除尾矿库的安全隐患。整个生产过程，都在尾矿库内进行，不对外界造成污染，取得很好的社会、环境和经济效益，应用前景广阔。

III 尾矿充填采空区

三十八、井下充填新型胶结材料

- 1 技术名称：井下充填新型胶结材料
- 2 技术适用范围：有色金属矿山采空区充填
- 3 技术简介

3.1 基本原理

通过对本地区众多炼铁厂排放的高炉废渣进行活性分析、试验研究及工业化生产试验，烘干、外加石膏和复合激发剂等材料后，经粉磨均匀混合配制成新型胶结材料。

3.2 工艺流程

(1) 新型尾砂胶结材料工艺流程

新型尾砂胶结材料是由高温煅烧后的基料加入适量的天然矿物及化学激发剂，混合、磨细、均化成细粉状产品。其生产工艺流程如图 27 所示。

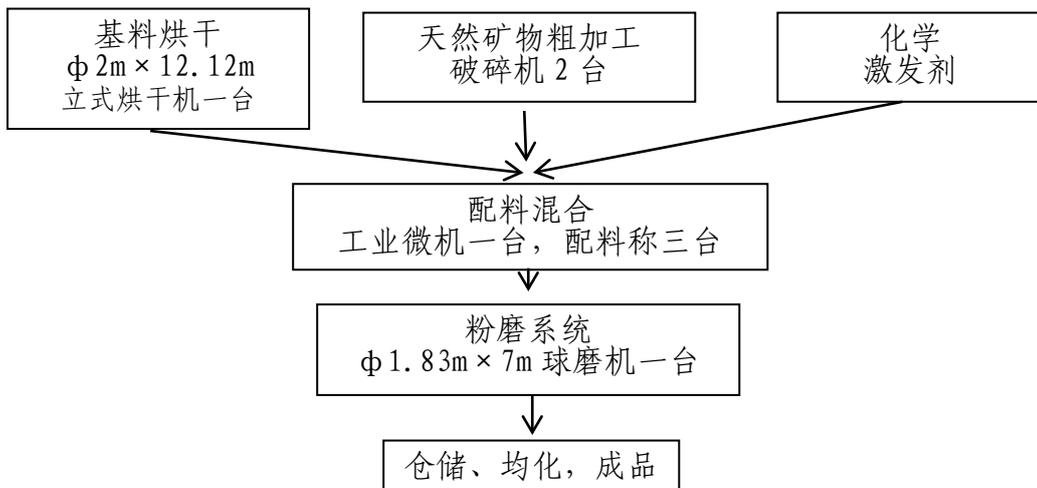


图 27 新型尾砂胶结材料生产工艺流程图

(2) 尾砂胶结充填工艺流程

尾砂胶结充填工艺主要材料有充填骨料，胶结剂及生产水。一般采用分级尾砂作为充填骨料，胶结剂采用新型尾砂胶结材料，充填用水一般采用矿山生产水。充填系统主要配备砂仓、灰仓、搅拌桶和加水设备、检测工业仪表及输送管路等。简要充填工艺流程图 28 如下：



图 28 尾矿胶结充填工艺流程

3.2 关键技术

在材料水化机理理论上，通过大量材料实验来解决水碎渣的水化条件与活性不足的问题；另外，针对尾砂胶结充填的物理、化学等基本技术条件进行模拟胶结充填试验，以目前常用的充填胶结材料为参照依据，从经济与技术两方面来试验适宜的充填胶结材料。

4 技术应用情况及典型项目

湖北三鑫金铜股份有限公司自 2004 年下半年开始采用新型尾砂胶结材料进行充填生产试验。2005 年 1 月份起全部使用新型尾砂胶结材料作为充填胶结剂，替代了其他类型充填材料。截至 2010 年 9 月 20 日累计充填 96.5 万 m^3 ，使用新型尾砂胶结材料 17.1 万 t，平均灰砂比 1: 8.7。充填质量较以往应用其它材料充填有很大改观。

通过连续 6 个月不间断观测，2004 年 4 月份充填的 T5122 采场充填体侧帮未见有充填体片帮、垮落、回缩开裂、软化及其它物化蚀变等现象，证明充填体的抗爆破能力、整体强度性能、后期强度稳定

性、直立性能与抗风化侵蚀等性能均能满足采矿需要。因此，该材料在三鑫公司应用十分成功，效果甚为理想。

新型尾砂胶结材料较普通水泥充填用量省，同等条件下用量只需普通水泥的一半或更少。若以充填体 28 天期龄抗压强度达到 2Mpa 的技术性能为基准，对每立方米充填浆体的新型尾砂胶结材料与普通水泥材料单耗、材料成本等比较，结果见表 40。

表 40 充填材料成本对比

胶结材料	材料进矿成本 (元/t)	料浆浓度	灰砂比	28d 抗压强度 Mpa	容重(g/cm ³)		材料用量 (kg/m ³)		材料成本 元/m ³
					料浆	实体	胶结材料	尾砂	
华新 325#普硅水泥	265	70%	1:5	1.96	1.916	2.08	224	1117	59.36
新型尾砂 胶结材料	397.5	70%	1:10	2.32	1.982	2.12	126	1261	50.01

通过以上简单比较，新型尾砂胶结材料强度综合性能不但表现良好，而且成本至少下降 9.35 元/m³，公司按年均充填量 28 万 m³ 计算，每年可节约充填胶结材料成本 261.8 万元。

生产实践证明，新型尾砂胶结材料的应用，提高了充填质量和采矿效率，降低了采矿损失率与贫化率，充填成本下降 20%左右；新型尾砂胶结材料的生产应用有利于废渣的循环利用，是一项“变废为宝”的循环经济项目。

5 应用效果及推广前景

该材料是一种“快、强、省”的新型尾砂胶结充填材料，用于井下充填，具有用量少、砂浆流动性好、易于输送、形成充填体强度高等优点，可有效减少采场空顶时间，提高采矿安全保障。企业每年节

省充填成本 200 万元；通过无间柱连续回采较以往多回收高品位矿石间柱、底柱 4 万 t/年（价值 6000 万元），矿山综合回采率提高 10% 以上，应用前景广阔。

三十九、深井矿山清洁化生产成套技术及装备

1 技术名称：深井矿山清洁化生产成套技术及装备

2 技术适用范围：有色金属矿山采空区充填

3 技术简介

3.1 基本原理

“深井矿山清洁化生产成套技术及装备研究”项目，真正在矿区实现了“清洁生产”，首次将性能独特、特征各异的氧化矿全尾砂、硫化矿全尾砂、冶炼炉渣混合制备膏体，创造了膏体充填千米深井、管线超过 4000m 的应用实例，被国家列为“2008 年国家重点环境保护实用技术示范工程”。

矿山充填系统分为地表充填料制备系统和井下充填管路系统两大部分，而地表充填料制备系统是充填系统的主体工程。

地表膏体制备系统由全尾砂、冶炼炉渣、水泥、水、搅拌、泵送 6 个子系统组成。

井下充填系统包括：接力泵站系统、充填管线、放砂池、井下压力传感器。

3.2 工艺流程

工艺流程见图 29。

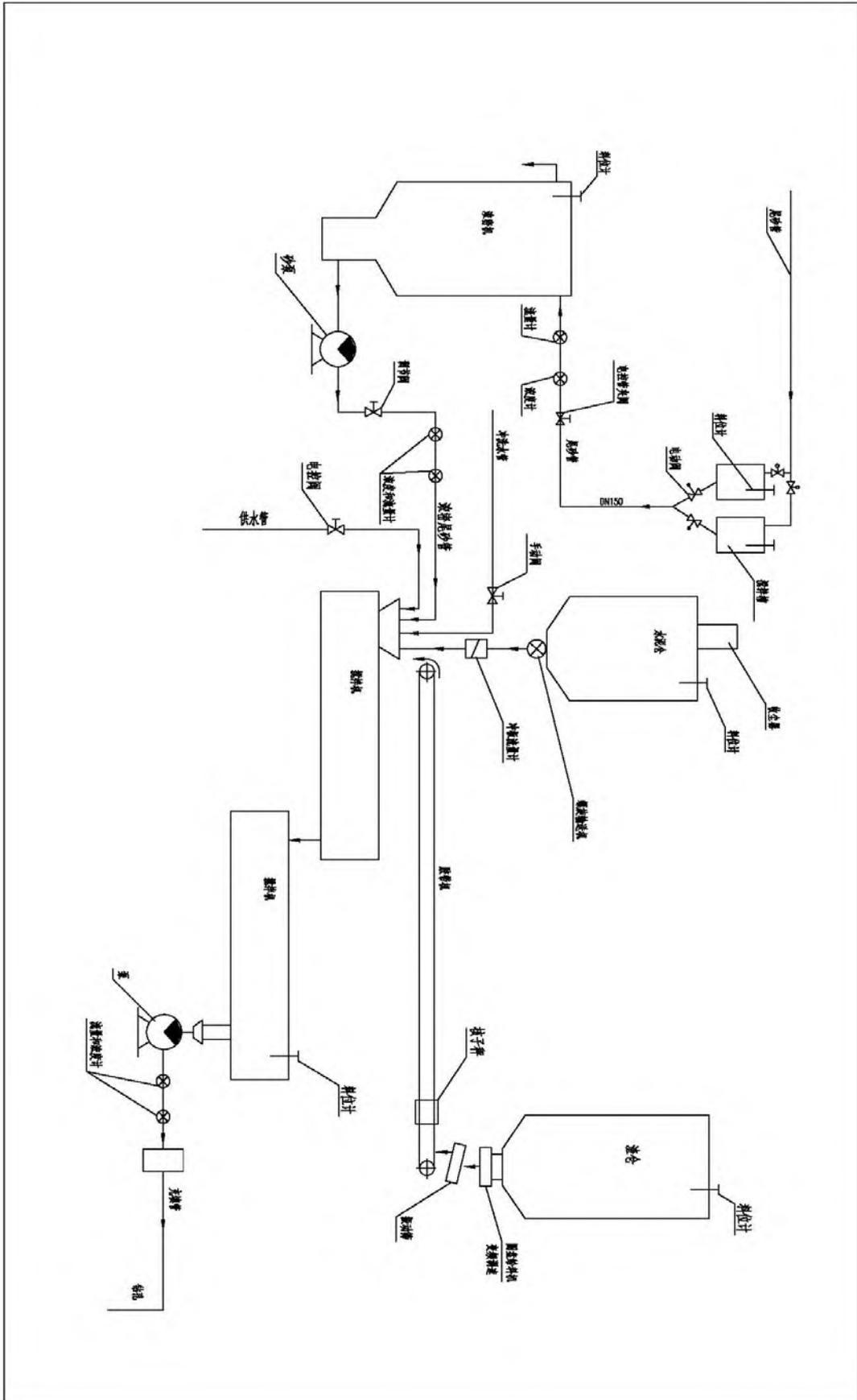


图 29 工艺流程

3.3 关键技术

该项目技术创新分为核心技术和其他重要技术两部分。

核心技术创新点：

1) 在国际上首次成功开发了千米深井、管道输送超过 4000m、浓度达 80%~82%的全尾砂—冶炼炉渣膏体充填工艺技术；

2) 自主研究开发了“位控反切膏体搅拌装置”“高速浆体减磨装置”“深锥浓密机循环”等充填专用设备；

其他重要技术创新点

1) 首次将 EMICO 深锥浓密机成功应用于膏体充填领域，并且通过对进口设备的消化和吸收，发明了“全尾砂深度可控匀质浓缩技术”及“尾砂浓密贮存装置”。

2) 首次使用膏体搅拌装置主轴扭矩判断膏体流变特性，实现了膏体搅拌质量的实时检测。

3) 该项目提出并申请了“一种充填设备及充填工艺”“全尾砂深度可控匀质浓缩技术”“位控反切膏体搅拌装置”等专利 12 项。其中“高速浆体减磨装置”“深锥浓密机循环”等 4 项技术已获实用新型专利授权。

4 技术应用情况及典型项目

该技术在云南省驰宏公司会泽矿区成功使用。该矿区的膏体充填管线总长度超过 4000m，垂直深度达 1380m，最大倍线为 4.08，并成功应用于其它矿山。其典型项目的投资与收益情况见表 41。

表 41 典型项目的投资与收益情况

总投资	8318 万元	其中:设备投资	2000 万元
运行费用	1500 万元/年	设备寿命	20 年
综合利用效益	6303.2 万元/年	投资回收年限	2 年

5 应用效果及推广前景

“深井矿山清洁化生产成套技术及装备”实现了矿业废弃物的资源化利用，降低了生产成本和能源消耗，提高了资源利用率和劳动生产率，保护了生态环境，应用前景广阔。

四十、低品位铁矿全尾砂结构流体胶结充填技术

1 技术名称：低品位铁矿全尾砂结构流体胶结充填技术

2 技术适用范围：黑色金属矿山采空区充填

3 技术简介

3.1 基本原理

全尾砂结构流体胶结充填是以全尾砂作为充填材料，采用全新的充填料浆制备及输送工艺实现胶结充填。为了保证井下充填质量，解决充填料脱水问题，必须尽量提高充填料浆制备输送浓度，实现全尾砂结构流体胶结充填料浆的大倍线管道自流输送,使充填料浆充入采场后不脱水或少脱水。

结构流体即在物理形态变化过程中（流动或静止状态）不产生离析，并可实现长距离管道自流输送的高浓度固液均质混合物。

3.2 工艺流程

浓度约 10%的全尾砂经泵加压后通过管道输送至充填站立式砂

仓中自然沉降。充填前排除料面上的澄清水，然后采用压气造浆。砂仓中全尾砂造浆均匀后，再由放砂管向搅拌机供给全尾砂浆，水泥经双管螺旋给料及电子秤计量后向搅拌机供料，搅拌机选用双卧轴搅拌机和高速活化搅拌机两段连续搅拌。全尾砂浆及水泥搅拌均匀后制备成具有结构流特性的充填料浆，通过测量管及下料漏斗进入充填钻孔，然后通过井下输送管道自流输送至采场空区充填。

3.3 关键技术

(1) 高浓度大倍线结构流体全尾砂充填料浆的管道自流输送。通过充填料浆流变性能研究，分析计算了充填料浆的输送阻力，实现了全尾砂结构流体充填料浆的高浓度大倍线 (>9) 自流输送。充填料浆浓度达到 71% ~ 72%。

(2) 低浓度尾砂在充填站立式砂仓中自然沉降脱水制备尾砂浆技术。直接将选厂低浓度尾砂 (浓度 8 ~ 10%) 输送至充填站立式砂仓中自然沉降脱水，降低了尾砂脱水能耗及运营成本。

4 技术应用情况及典型项目

该技术在已经在邯邢冶金矿山管理局无集矿山成功使用，典型项目的投资与收益情况见表 42。

表 42 典型项目的投资与收益情况

总投资	2304.06 万元	其中:设备投资	255 万元
运行费用	2176.2 万元/年	设备寿命	8 年
综合利用效益	1780 万元/年	投资回收年限	2 年

(1) 保护了地表自然环境。吴集铁矿 (北段) 开采影响范围内，地表大部分为村庄或农田，若采用崩落法或空场法，可能导致上覆岩

层陷落及地表破坏，使约 4000m × 800m 地表村庄或农田被毁，折合 3600 ~ 4800 亩。而采用充填采矿法则可有效防止采场顶板及上覆第四系的冒落，村庄及地表设施可得到有效保护；

(2) 提高矿石资源回采率。采用充填法可使矿石回采率由 59% 提高到 80%，整体矿床开采可多回收铁矿石约 2000 万 t，延长矿山服务年限 10 年。

(3) 使尾砂得到充分利用，减少了尾矿堆存占用土地。由于矿区为平原，尾砂堆放需占用大量农田。而采用尾砂充填，其大部分尾砂可充填于井下。按目前生产能力计算，尾矿库占地将达 1000 亩以上。而采用充填采矿法，尾砂库仅占地约 375 亩，减少尾矿库占地 625 亩以上，节省尾矿库购地及建设费用 0.3 亿元。

5 应用效果及推广前景

该技术在低品位大规模地下黑色矿山开采中属首次应用，其较低的充填成本、较高的充填质量为国内类似矿山开展充填作业提供了示范，符合国家大力提倡的节能减排、保护环境和耕地等基本国策，弥补了大型黑色矿山无充填的空白，具有广泛的推广价值。

四十一、(深井)高浓度极细粒级全尾砂充填技术

1 技术名称：(深井)高浓度极细粒级全尾砂充填技术

2 技术适用范围：有色金属矿山采空区充填

3 技术简介

3.1 基本原理

采用极细粒级高浓度全尾砂浆制备技术，通过特殊的立式砂仓脱水，将极细粒级的全尾砂（ $-20\mu\text{m}$ 全尾砂约占 40%）直接制备成高浓度（74%以上）砂浆；然后采用深井开采全尾砂高浓度充填料浆自流管输降压技术及采场泄水技术，实现立式砂仓流态化全尾砂高浓度连续充填，解决了深部高大采场嗣后充填问题。

尾砂充填和排放工艺中的关键设备是“新型高效（全）尾砂浓缩贮存装置”。结合传统的立式砂仓，通过合理的活化设施布置，将选厂（全）尾砂直接泵入尾砂浓缩贮存装置，经高效沉淀、澄清脱水，采用高压水/气活化尾砂，直接制备出高浓度全尾砂料浆或膏体，用于充填或者干式堆放。低成本、稳定、高浓度的尾砂脱水和给料是保障尾砂充填及排放工艺正常生产的关键。此成套装置机械部分全部由金属钢材制作，只需在现场构建装置基础即可，施工方便、安装时间短。自动控制部分由工业控制器和人机接口组成，具有智能专家控制系统，工艺参数设置方便，各种生产信息和报警信息采用文字显示，易于操作，可以有效控制本装置的正常运行，减少人工劳动强度。同时，本控制系统可以方便地扩展为整个充填系统的控制，使得控制系统简单可靠，也可与现有充填控制系统无缝衔接。

3.2 工艺流程

通过合理的喷咀设施造浆技术以及喷咀布置等创新点，将选厂全尾砂直接泵（注）入砂仓，经高效沉淀、澄清脱水，采用高压水/气活化尾砂，直接制备出高浓度全尾砂料浆或膏体，全部用于充填。

3.3 关键技术

(1) 新型高效(全)尾砂浓缩贮存装置及极细粒级高浓度全尾砂浆制备技术;

(2) 深井开采全尾砂高浓度充填料浆自流管输降压关键技术。

4 技术应用情况及典型项目

该技术已成功在冬瓜山铜矿千米深井进行了工业应用。典型项目的投资与收益情况见表 43。

表 43 典型项目的投资与收益情况

总投资	11600 万元	其中:设备投资	3000 万元
运行费用	3800 万元/年	设备寿命	20 年
综合利用效益	4363 万元/年	投资回收年限	4 年

5 应用效果及推广前景

该项技术能提高矿山的资源利用率,也是充分利用尾矿资源发展节地、节能、节材、环保的直接有效的途径,为建设无废排放矿山奠定基础。该项技术经济和社会效益显著,拥有广阔的推广应用前景。

四十二、深井全尾砂-水淬渣膏体物料充填技术

1 技术名称: 深井全尾砂-水淬渣膏体物料充填技术

2 技术适用范围: 有色金属矿山采空区充填

3 技术简介

将全尾砂浆体用泵输送到充填制备站的缓冲槽,然后自流到 1000 多立方米的深锥浓密机中,添加絮凝剂后,使全尾砂快速均匀沉降。经浓密机浓缩成一定浓度的浆体,然后再泵送至膏体搅拌系统的一段

搅拌槽。在搅拌槽内，按比例加入炼铅炉渣和普通水泥，再加入水，尾砂、炼铅炉渣、水泥三种物料和水在一段搅拌槽混合搅拌后，进入位控反切搅拌机搅拌，制备成符合采矿要求的合格膏体，自流到柱塞泵料斗内，进行泵压输送，经过充填钻孔、中段平巷、斜井、充填天井等进入井下矿体开采后的采空区内。

该技术首次将性能独特、特征各异的氧化矿尾砂、硫化矿尾砂、炼铅炉渣混合制备膏体，创造了膏体充填管线超过 4000m 的应用实例。

4 技术应用情况与典型项目

在驰宏公司会泽矿区，已全面取代水砂进行充填，获得了显著的经济效益和良好的社会效益、环保效益，下步在驰宏公司的子公司昭通矿区将推广应用。目前，正在山东三山岛金矿、甘肃阳山金矿等多座矿山推广应用。

典型项目的投资与收益情况见表 44。

表 44 典型项目的投资与收益情况

总投资	7000 万元	其中:设备投资	2000 万元
运行费用	2000 万元/年	设备寿命	15 年
综合利用效益	3000 万元/年	投资回收年限	2.5 年

典型项目的应用情况如下:

减少了投资建设新尾矿库，直接创造经济效益近 1500 万元，每年减少尾矿冶炼炉渣堆存维护费近 70 万元。

5 应用效果及推广前景

该技术的应用，一是提高了矿石回采率，延长矿山服务年限。二

是采场充填体不脱水，改善了井下开采作业环境，创造了良好的安全作业条件。三是减少工业固体废弃物的排放，实现了矿山无废开采，为清洁矿山生产树立了典范。四是实现矿山废弃物资源化利用，推动循环经济发展，对矿业可持续发展有着重要意义。

随着浅地表矿产资源的耗尽，越来越多的矿山将进入深部资源开发，膏体充填技术将成为解决深部矿体开采安全、提高资源利用率和减少矿业固体废弃物对环境影响的关键技术之一。

四十三、深井高浓度全尾砂充填技术

1 技术名称：深井高浓度全尾砂充填技术

2 技术适用范围：有色金属矿山采空区充填

3 技术简介

3.1 基本原理

北京矿冶研究总院与冬瓜山铜矿联合开发的深井高浓度全尾砂连续充填工艺技术，采用砂仓直接将尾砂沉降高效脱水，具有节能、缓冲、不间断等优点，通过活化造浆及连续放砂技术实现了全尾砂低成本高浓度连续充填。

3.2 工艺流程

该项技术主要包括立式砂仓全尾砂活化造浆新技术、立式砂仓连续放砂技术。立式砂仓全尾砂活化造浆新技术包括仓顶溢流澄清脱水系统、仓底喷咀活化系统、充填控制系统等。立式砂仓连续放砂技术包括连续注砂技术和连续放砂技术。

3.3 关键技术

该技术的关键为立式砂仓全尾砂高浓度活化造浆技术。该技术采用仓顶溢流脱水技术较好地解决了全尾砂低成本脱水问题，主要采用尾砂料浆及絮凝剂混合器、沉淀脱水器及空气集气罩等创新装置，实现了全尾砂高效脱水。该技术采用仓底喷咀活化系统，主要包括环管喷咀活化系统及料浆助流系统，实现了高浓度全尾砂活化造浆。

4 技术应用情况及典型项目

“深井高浓度全尾砂充填技术”项目研究成果在冬瓜山成功应用。项目投资与收益情况见表 45。

表 45 项目的投资与收益情况

总投资	4000 万元	其中:设备投资	1500 万元
运行费用	500 万元/年	设备寿命	30 年
综合利用效益	9000 万元/年	投资回收年限	0.5 年

“深井高浓度全尾砂充填技术”在冬瓜山应用以来，取得了显著的经济效益，年利用尾矿量 100 万 t，产生的直接经济效益达 4458 万元，解决了深部高大采场嗣后充填问题。

该技术一是有效地控制地压灾害，每年节省处理采空区费用和尾矿库建设费用约 1000 万元以上；二是利用胶结充填体作为矿柱，使冬瓜山能够正常有序地生产，矿产资源安全、高效回收，每年创造的经济效益上亿元；三是采场充填体强度满足采矿要求，回采区域岩体稳定，没有发生大的地压活动。

5 应用效果及推广前景

全尾砂高浓度充填技术可广泛应用于充填采矿或嗣后充填采矿

技术的金属矿山，节约尾矿堆存占用土地资源，减少环境污染，对于金属矿山开采工艺和采矿方法具有的促进和变革作用，同时也将产生的经济效益和社会效益。该技术的研究内容处于采矿科技发展的前沿，在我国金属矿山充填领域具有很好的市场前景。同时，对部分非金属矿山的充填技术也具有借鉴意义。

四十四、分级尾砂胶结充填技术

1 技术名称：分级尾砂胶结充填技术

2 技术适用范围：有色金属矿山采空区充填

3 技术简介

3.1 基本原理

利用尾矿库分级尾砂充填井下采矿采空区，很好地解决了尾矿库库容问题，控制了地压力。同时由于采场断面的扩大，使采场的单产能力明显提高，坑木消耗量明显减少，为矿山安全生产起到至关重要的作用。

3.2 工艺流程

(1) 尾矿库收砂工艺：尾砂的开采采用水力采砂系统开采，自上而下分层开采，由里向外条带开采，根据尾砂特性、开采规模、设备条件，确定分层厚度为 2.0m，条带宽度为 8m~12m，采用砂泵开采，水力运输，在尾矿坝附近辅以推土机开采。

(2) 井下充填工艺：清理干净底板，铺设钢筋底网和竖筋，吊罐充填管，堆砌充填板墙。准备工作完毕后，开始进行充填。

(3) 充填站工艺：接到充填信号后，按充填通知单报量，进行以下顺序操作：

a 启动搅拌桶电机，向搅拌桶供水三分钟，清洗管道和搅拌桶，并通知采场打开三通排水；

b 当搅拌桶液位稳定时，通知给料，并同时通知充填采场打开闸阀；

c 根据搅拌桶的料浆液位，适当开闭搅拌桶的排料阀。

充填结束时，按以下顺序停机：

停止向搅拌桶输送尾砂和水泥；打开搅拌桶的给水阀，冲洗搅拌桶和管道；通知井下采场打开三通排水，避免冲洗管道水进入采场；清洗搅拌桶周壁，清除给灰口的结块。分三期充填，第一期灰砂比 1:4，第二期灰砂比 1:8，第三期接顶采用水砂补充。至此，充填结束。

3.3 关键技术

井下分级尾砂胶结充填工艺，地表充填站工艺。

4 技术应用情况及典型项目

该技术已经在江西铜业股份有限公司成功使用，项目投资与收益情况见表 46。

表 46 项目的投资与收益情况

总投资	800 万元	其中：设备投资	480 万元
运行费用	400 万元/年	设备寿命	5 年
综合利用效益	1050 万元/年	投资回收年限	3 年

建设该项目，需新增固定资产投资 800 万元，项目税后利润 210 万元，利税总额 1050 万元，投资内部收益率 9.87%，投资回收期 3 年。项

目经济效益较好。

5 应用效果及推广前景

该技术能充分回收尾矿资源，提高矿产资源综合利用水平，延长尾矿库使用年限。对于控制井下地压，提高采场的单产能力，减少坑木消耗有显著效果。技术的实施不仅能为矿山带来可观的经济效益，创造安全的工作环境，同时可产生良好的社会效益。

四十五、铁尾矿胶结充填技术

1 技术名称：铁尾矿胶结充填技术

2 技术适用范围：黑色金属矿山采空区充填

3 技术简介

3.1 基本原理

胶结充填工艺主要以选厂甩出的尾砂，以物化力学和胶体化学的理论为基础，通过强力机械（活化）搅拌装置将全尾砂、水泥和水混合制成高浓度均质胶结充填料，以管道全自流或机械加压输送方式充入采空区，形成整体性强的大体积低标号胶结体，用于矿产资源回收柱或维护地压。

3.2 工艺流程

该技术的工艺流程见图 30。

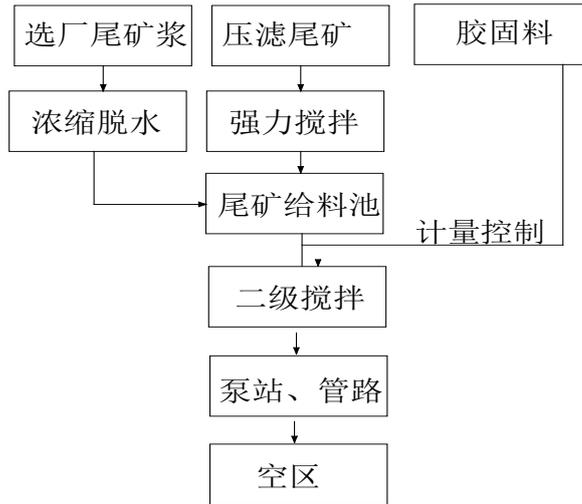


图 30 工艺流程

4 技术应用情况及典型项目

山东金岭铁矿下辖的三个地下矿区，由于地质条件、生产系统不同，采用了不同的胶结充填工艺。

铁山矿区：铁山矿区距离选矿厂较近，选择从选矿厂压滤车间的 $\Phi 18\text{m}$ 浓缩池直接进入胶结充填系统。选厂尾矿经管路进入压滤车间 $\Phi 18\text{m}$ 浓缩池，利用渣浆泵输送到铁山胶充站成浆池，风动搅拌自流进入二级搅拌池，在二级搅拌池中配入固结料，充分搅拌后经由管路输送到采空区，完成充填作业。

侯庄、召口矿区：侯庄、召口矿区由于距离选矿厂较远，采用运矿汽车从选矿厂压滤车间运送压滤后的尾矿到两矿区的压滤系统工业场地。胶充系统与铁山胶结充填系统基本相同。

典型项目的投资与收益情况见表 47。

表 47 典型项目的投资与收益情况

总投资	1000 万元	其中:设备投资	300 万元
运行费用	2400 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	2000 万元/年	投资回收年限	0.5 年

5 应用效果及推广前景

该项目年利用尾矿量 30 万 t，2005 年至今，已多回采出矿石 50 万 t，按每吨矿石 400 元计算，累计多创造经济效益 20000 万元，平均每年多创造经济效益 4000 万元。把尾矿充入井下采空区，有效解决了尾矿的堆存及采空区安全问题，实现了矿山清洁生产，应用推广前景广阔。

四十六、汞锑矿尾砂充填技术

1 技术名称：汞锑矿尾砂充填技术

2 技术适用范围：有色金属矿山采空区充填

3 技术简介

3.1 基本原理

尾矿充填采空区技术采用全尾砂作为充填料。全尾砂经自然沉降，部分脱水、压气造浆后放砂至搅拌筒，水泥经双管螺旋定量添加至高浓度搅拌槽。料浆经搅拌后，通过砂浆泵，经充填管网送至井下采空区或采场充填。

3.2 关键技术

- (1) 用足够强度的构筑物封闭采空区。
- (2) 充填料制备，砂浆浓度应达到 50%~60%。
- (3) 充填体脱水。

4 技术应用情况及典型项目

表 48 典型项目的投资与收益情况

总投资	1000 万元	其中：设备投资	200 万元
运行费用	500 万元/年	设备寿命	10 年
综合利用效益	600 万元/年	投资回收年限	3 年

该技术在青铜沟汞锑矿应用两年以来，整个系统运行平稳，生产能力达到了设计规模，充填体强度满足采空区处理要求，实现了无废生产的目的。有效缓解了企业在环境治理方面的压力，保护了地表地质环境，改善了井下采矿生产安全条件，提高了矿产资源开采回收率，取得了显著的经济和社会效益。

5 应用效果及推广前景

利用尾砂充填技术不仅可实现无尾矿堆存，而且通过充填采空区可解决井下生产安全隐患，提高矿产资源利用率，增加矿柱回收效益 1000 万元，减少安全生产风险管理费用约 200 万元，应用前景广阔。

四十七、全尾砂高浓度充填采空区技术

1 技术名称：全尾砂高浓度充填采空区技术

2 技术适用范围：有色金属矿山充填采空区

3 技术简介

3.1 基本原理

采用立式砂仓制备全尾砂高浓度充填材料。通过特殊的立式砂仓及控压助流风水造浆技术，将极细粒级的全尾砂直接制备成高浓度砂浆，按一定配比加入水泥和其他辅料，经搅拌槽充分搅拌混合并调节浓度后，高浓度全尾砂浆或胶结全尾砂浆自流输送到采空区。有效控

制回采区域地压，实现深井安全高效开采。

生产中根据采场顶部结构确定接顶方式，采场顶部进行分次充填，充填至采场顶板 0.3~0.5m 时停止充填，等充填体完全凝结后，采用灰砂比 1:4 高浓度充填料浆，最后一次强制挤压接顶，当充填钻孔或不封口脱水管出浆时停止充填。

通过对国内外充填挡墙应用的成功经验及受力分析，挡墙位置一次充填高度限定为 1.3m；充填挡墙优先选择木制钢筋网过滤布结构和钢丝绳钢筋网过滤布结构，而在出矿堑沟两端与盘曲巷道出口，采用钢筋混凝土挡墙。

3.2 关键技术

采场充填工艺技术主要选择合理的充填料配比及浓度，采用经济的脱水方式和充填挡墙结构以实现安全采矿与回填目的。

充填料配比的原则为：（1）充填体所受应力小于充填体强度，同时考虑爆破振动对充填体稳定性的影响，取安全系数 $F > 1.2$ ；（2）在充填体强度满足矿柱回采要求的前提下，尽量降低水泥耗量，节省充填成本。采矿方法要求充填体强度大于 2Mpa，通过全尾砂充填料配比强度测定试验，料浆浓度充填时需要保持在 73%~75%。采场底部结构和中部硐室位置采用灰砂比为 1:4 的料浆分次充填，顶部硐室位置采用灰砂比 1:12 料浆充填。其余位置根据高度情况适当降低充填体的强度，高度差别很大的位置可以部分采用灰砂比 1:12 的料浆充填，以降低水泥消耗。

4 技术应用情况及典型项目

表 49 典型项目的投资与收益情况

总投资	120 万元	其中：设备投资	100 万元
运行费用	14 万元/年	设备寿命	8 年
综合利用效益	40 万元/年	投资回收年限	4 年

建铜集团充填技术总投资 120 万元，年利用尾矿量 3 万 t，年综合利用效益 40 万元。

5 应用效果及推广前景

采用高浓度全尾砂料浆连续充填采空区，有效控制回采区域地压，实现安全高效开采。高浓度全尾砂充填技术实现了低成本全尾砂充填，解决了高浓度全尾砂充填中的若干技术难题，保证了金属矿山的正常生产，可广泛应用于充填采矿或嗣后充填采矿技术的金属矿山，对于金属矿山开采工艺和采矿方法具有促进和变革作用，为无废开采奠定了技术基础。

四十八、有色金属矿山全尾砂胶结充填技术

1 技术名称：有色金属矿山全尾砂胶结充填技术

2 技术适用范围：有色金属矿山充填采空区

3 技术简介

3.1 基本原理

全尾砂输送采用管道分二级泵送至永久充填站两个立式砂仓，每个砂仓的有效储砂能力为 900m³，砂仓底部放砂采用多孔等阻力自动卸料，有效卸料率达 78%，卸料过程中浓度非常均匀和稳定。砂仓放出的砂浆直接进入Φ2m 的搅拌桶，按灰砂比要求同时加入普通 425#

硅酸盐水泥，搅拌成均匀浆体，下放到 $\Phi 110\text{mm}$ 、 $h=236\text{m}$ 的垂直钻孔至五中段，用 $\Phi 89\text{mm}$ 充填管连接，自动输送到井下各采空区。

与国内同类矿山相比较：

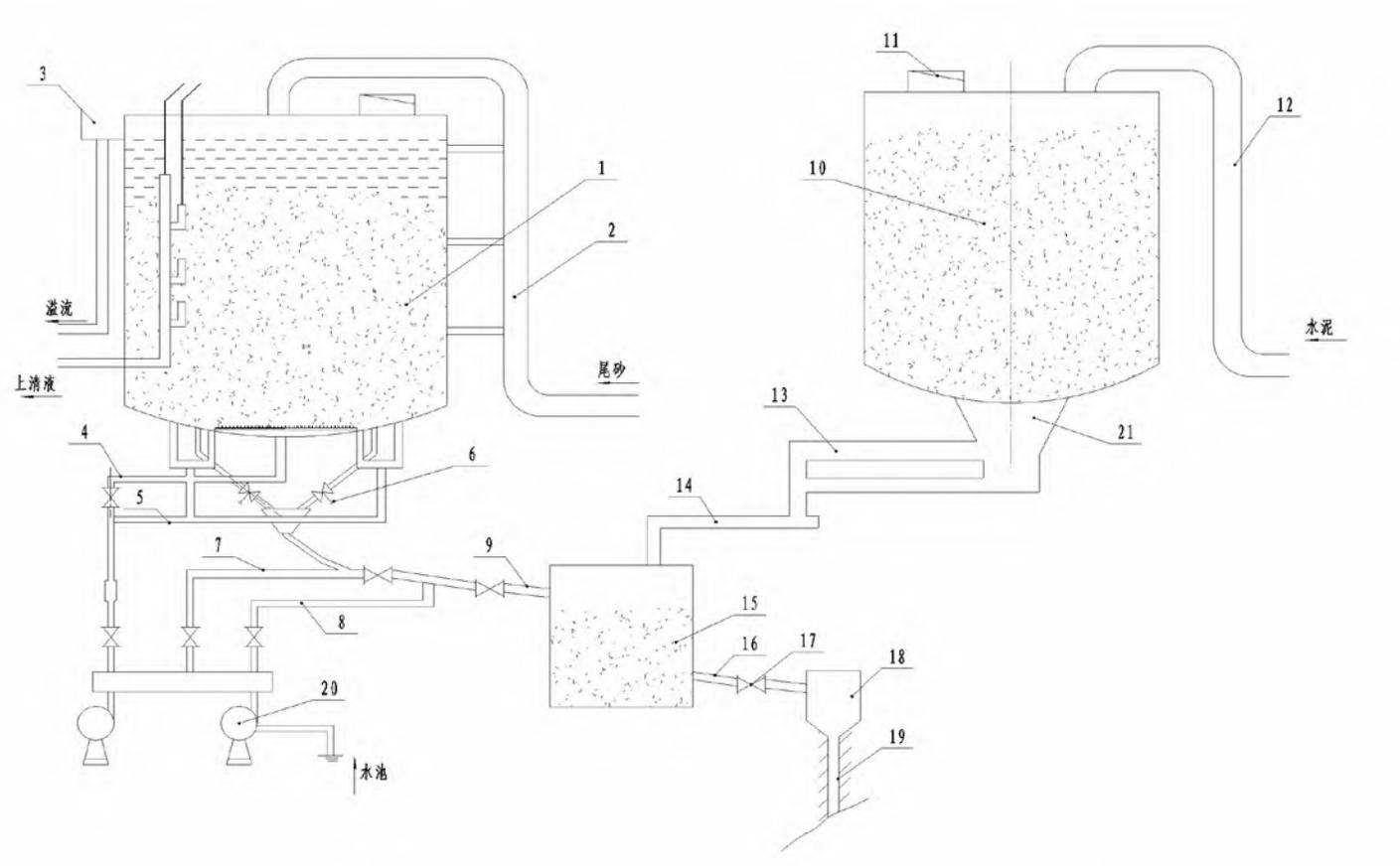
(1) 全尾砂用于井下空区充填工艺在技术上是可行的，结构是合理的，系统机械化、自动化程度较高，监控系统严密；

(2) 动态沉降理论的成功应用，取得了供砂、充填连续稳定的好结果；

(3) 全尾砂试块 14 天单轴抗压强度：灰砂比 1:5 为 0.78MPa，1:8 时为 0.62MPa，1:10 时为 0.49MPa，完全满足地下开采工作的需要。

3.2 工艺流程

全尾充填系统工艺流程见图 31。



1. 立式砂仓 2. 供砂管 3. 溢流环槽及溢流管 4. 松动尾砂喷咀水管 5. 注浆喷咀水管 6. 等阻力放砂管 7. 调节浓度水管 8. 导流管 9. 下砂总管 10. 水泥仓
11. 重物物位计 12. 水泥输送管 13. 双螺旋喂料机 14. 微机螺旋定量给料称 15. 搅拌机 16. 下浆总管 17. 电子夹管阀 18. 集浆漏斗 19. 钻孔 20. 水泵 21. 下料漏斗

图 31 全尾砂胶结充填工艺流程

3.3 关键技术

全尾砂进入立式砂仓时，运用动态沉降理论，添加“NPA”絮凝剂，将全尾砂浆浓度由 20%~24%提高到 55%~65%。

4 技术应用情况及典型项目

表 50 典型项目投资与收益情况

总投资	1027 万元	其中:设备投资	800 万元
运行费用	400 万元/年	设备寿命	20 年
综合利用效益	2000 万元/年	投资回收年限	5 年

5 应用效果及推广前景

一是延长了尾砂库使用年限，减少地表环境污染；二是每年可对井下 12 万 m³的采空区实施充填；三是确保了年产 40 万 t 矿石的持续稳定开采。四是从 1998 年到 2010 年 6 月，已累计完成井下采空区充填 978733m³。全尾砂胶结充填技术符合国家金属尾矿综合利用产业政策，技术先进适用，工艺成熟，经济合理，已运行十多年，技术适应性强，可推广应用。

四十九、塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存技术

1 技术名称：塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存技术

2 技术适用范围：金属矿山塌陷区

3 技术简介

3.1 基本原理

塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存技术是解决尾矿堆存和综合治理塌陷区的一项成熟、可靠的技术，属全国首创。其特点是尾矿经过高

浓度浓缩脱水后堆存于塌陷区，节省建设常规尾矿库的投资。尾矿砂高浓度浓缩堆存是指尾矿经过脱水处理后产出一种不偏析、低含水的饼状尾矿再进行堆存。系统主要包括：高压深锥浓缩系统，水隔离泵站系统，脱水车间，塌陷区安全检测系统。

3.2 工艺流程

工艺流程主要为：高压深锥浓缩、远程一段输送、陶瓷过滤脱水、干式堆存治患。首先将尾矿经过高压深锥浓缩成浓度为 50%的饼状物，然后经过水隔离泵泵送至脱水车间，再经陶瓷过滤机脱水至含水 15%的滤饼，最后经皮带输送至塌陷区。尾矿废水经过高压浓密池溢流及脱水车间过滤，送回选厂再利用。在高压浓缩池旁边建一事故池，用于应急储存尾矿或储存剩余尾矿浆，其下方配备有陶瓷过滤机，尾矿脱水后用以生产蒸压标准灰砂砖，实现尾矿资源化及处置全流程清洁生产。

3.3 关键技术

实现尾矿砂高浓度浓缩堆存的关键在于尾矿经过脱水后达到相当高的浓度，在堆积过程中不发生偏析、渗析，具有一定的支撑强度，能够自然堆积成一定高度的山脊形。

4 技术应用情况及典型项目

表 51 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	7600 万元	其中:设备投资	4200 万元
运行费用	600 万元/年	设备寿命	25 年
综合利用效益	4591 万元/年	投资回收年限	2 年

该项目总投资 7600 万元，现已满足 80 万 t 的要求。该工艺每年

有以下三方面的直接经济效益：1) 保障产能。由于该项目的实施，完全解决了尾矿排放问题，确保了企业正常生产，年处理矿石量增加 40 万 t，由此增加利润额为 3600 万元；2) 节能减排。该项目的实施，使尾矿输送系统运转电费由原每年 864 万元降至 133 万元，节约 731 万元；同时减少废水排放 340 万 t；3) 节省维护费用。尾矿库闭库后每年可节省维护费 100 万元。

5 应用效果及推广前景

塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存技术是解决堆存和综合治理塌陷区的一项成熟、可靠的先进技术，是尾矿处理技术和塌陷区综合治理技术的一大突破。该工艺技术的推广应用，将大大减少尾矿储存占地，降低基建投资，抑制尾矿扬尘，有效防止污染地下水和土壤，减少水分蒸发量，提高回水利用率，从而全面提升金属尾矿处置水平。

IV 尾矿用于农业领域

五十、钼尾矿无害化生产全价元素可控缓释 BB 肥、土壤调理剂技术

1 技术名称：钼尾矿无害化生产全价元素可控缓释 BB 肥、土壤调理剂技术

2 技术适用范围：钼尾矿用于农用肥料

3 技术简介

3.1 基本原理

首先，提取钼尾矿中的有价元素（组分）；其次，分离回收尾矿中的石英和部分长石，使 SiO_2 含量低于 35%；第三，通过熔融氧化反应，回收尾矿中的重金属，并钝化残留的重金属，使重金属全含量符合国家相关农用的限值标准；第四，消除尾矿中含有的有毒、有害选矿添加剂，使尾矿无害化；第五，将中、微量元素和有益元素活化成可被植物吸收的枸溶性有效态化合物；第六，调节无害化钼尾矿 pH 值到 7.0~7.5，即成为可替代粘土类和轻质碳酸钙生产无机全价元素可控缓释 BB 肥的原料（活化肥料基质）。

3.2 工艺流程

该技术的工艺流程图见图 32。

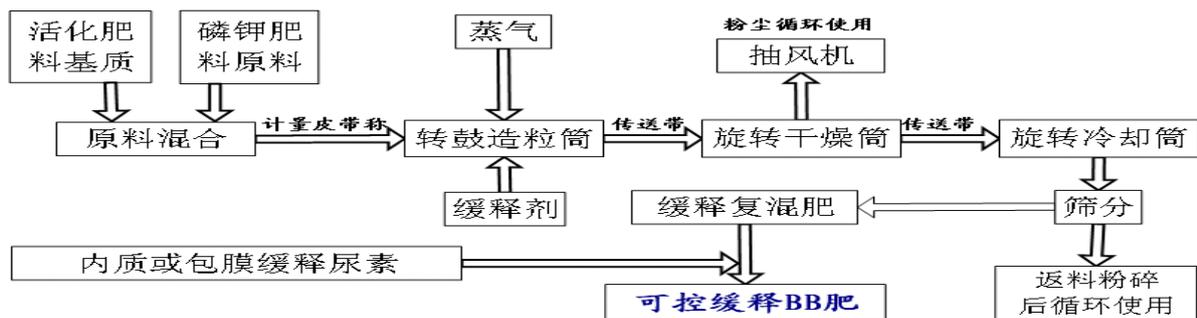


图 32 工艺流程

3.3 关键技术

- (1) 尾矿无害化处理关键技术（发明专利申请号：201010155263.1）
- (2) 精准旋流分离关键设备技术。
- (3) 尾矿熔融氧化工艺技术。
- (4) 专门用于回收 Hg、Pb、Cd、Cr、As 重金属的工艺技术。
- (5) 纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料技术（通过国家农业部科技成果鉴定）。
- (6) 水溶性酚醛—苯丙混合物尿素包膜缓释剂生产技术（发明专利申请号：20101055190.6）。
- (7) 纳米级腐殖酸类混聚物生产技术（发明专利：ZL02123975.4）。
- (8) 纳米级磺化木质素混聚物肥料包膜胶结剂生产技术（发明专利证书：ZL02149247.6）。
- (9) 纳米级粘土—聚酯混聚物肥料包膜胶结剂生产技术（发明专利：ZL02126009.5）
- (9) 尾矿无害化处理后用作栽培基质的生产技术（发明专利申请号：201010160679.2）。

(10)专门用于生产全价元素可控缓释肥的转鼓造粒、氨化造粒、半浆法造粒、高塔熔体造粒等关键设备技术。

4 技术应用情况及典型项目

目前，河南栾川钼尾矿无害化农用产业项目已进入筹备立项阶段，其中：一期项目建设规模为年无害化处理钼尾矿 100 万 t，实现年产全价元素可控缓释肥料 60 万 t、土壤调理剂 40 万 t。典型项目的投资与收益情况见表 52。

表 52 典型项目的投资与收益情况

总投资	29800 万元	其中:设备投资	13000 万元
运行费用	112926.46 万元/年	设备寿命	12 年
综合利用效益	59550 ~ 72000 万元/年	投资回收年限	1.5 年

该技术是一项可以将金属尾矿迨尽消纳且全回收、零排放的环保高新技术。该项技术经相关领域的专家分析，实现矿山无尾化生产，在原有选矿经济效益的基础上，产生更大的经济效益。

- (1)降低企业固定资产投资(尾矿库及附属设施建设费) $\geq 20\%$;
- (2)减少企业生产经营管理成本(尾矿库维护及其它生产经营管理费) $\geq 20\%$;
- (3)间接形成减排能力(大宗工业固体废弃物等) $\geq 20\%$;
- (4)降低农业生产肥料施用成本(售价是等量养分肥料的 40%左右) $\geq 20\%$;
- (5)削减农业碳排放(提高肥料氮利用率 20 个百分点以上) $\geq 20\%$;
- (6)帮助相关产业提高能效(指化肥生产和自身企业生产链条)

≥ 20%;

(7) 帮助企业新增经济效益(尾矿农用产品毛利率在 25% 以上)

≥ 20%;

(8) 增加粮食产量(在等量养分情况下) ≥ 20%。

因此, 该项技术对促进我国矿山循环经济发展、打造绿色矿山、提高农业生产综合效益、增加农民收入、加快肥料产业升级、发展新兴战略产业具有重要意义。

5 应用效果及推广前景

技术先进, 投资少, 见效快, 产品附加值高, 资源利用价值大, 投资回报率高。生产成本仅为目前市场缓/控肥的 50%~60%, 因而不仅肥料销售价格竞争优势明显, 而且还有效降低了农业生产成本, 增加了农民收入, 市场需求量大。

V 尾矿库复垦

五十一、基于蜈蚣草的金属矿山尾砂库复垦技术

- 1 技术名称：基于蜈蚣草的金属矿山尾砂库复垦技术
- 2 技术适用范围：含有重金属的有色金属矿山尾矿库复垦
- 3 技术简介

3.1 基本原理

把筛选出来的 As 超富集植物蜈蚣草种植在金属尾矿上，利用其超量吸收尾矿中的 As、Pb、Zn、Cu 等金属，并通过定期收割其地上部分，烘干焚烧后从灰分中冶炼回收有价金属。

3.2 工艺流程

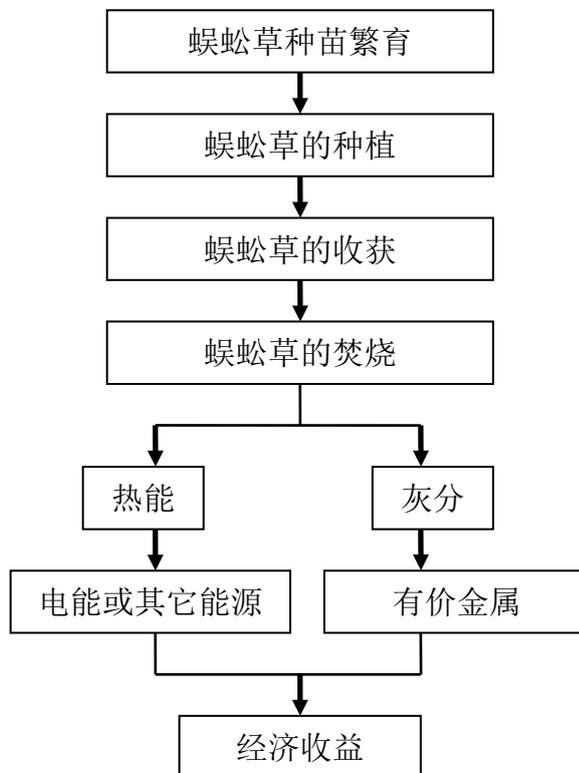


图 33 工艺流程

该技术的工艺流程如图 33 所示。

3.3 关键技术

(1) 大生物量的多金属超富集植物选育

我国矿产资源 80% 为共伴生矿，由于选冶技术不发达，大量多种有价金属残留在尾矿中，因此选育能同时提取多种金属且生物量大的超富集植物非常必要。其中蜈蚣草不但能超量吸收 As，而且对 Pb、Zn 和 Cu 等都有很好的富集。

蜈蚣草属于蕨类植物，繁殖困难，因此蜈蚣草的种苗大量培育显得势在必行，是植物复垦的前提条件。

(2) 营养贫瘠的尾矿上蜈蚣草的种植

金属尾矿上的土壤营养成分较少、质地差，如不做改良措施，蜈蚣草往往难以成活，影响复垦效果，因此需要攻克其适应恶劣环境的种植技术，种好且让它生长好。

(3) 蜈蚣草对尾矿中低生物有效性金属的提取

尾矿中的金属有效性一般较低，这对蜈蚣草长期超量吸收其金属造成障碍，不利有价金属的富集和采矿，这急需对提高金属活性、增加植物的高效吸收等进行研究，最终为提高植物采矿效果服务。

(4) 蜈蚣草的安全焚烧和有价金属回收。

在冶炼过程中，从焚烧后的灰分中回收有价金属，其冶炼技术的好坏直接影响植物采矿技术的效益和安全。

4 技术应用情况及典型项目

用 As 超富集植物蜈蚣草进行矿山尾矿复垦，因其生物量大、生

长迅速和能提取多种金属等优点，在我国具有较大应用前景。2006年，在云南锡矿集团的废弃尾矿上进行了 80 亩的植物复垦和植物采矿探索，项目至今运行将近 5 年，取得较好经济、环境和社会效益。项目的投资与收益情况见表 53。

表 53 项目的投资与收益情况

总投资	200 万元	其中：设备投资	30 万元
运行费用	10 万元/年	设备寿命	5 年
综合利用效益	73 万元/年	投资回收年限	5 年

项目在云南锡业集团的金属尾矿中种植 80 亩超富集植物蜈蚣草，通过一定的有机肥等基质改良后使其正常生长，成熟后收获蜈蚣草地上部分，以提取尾矿中的有价金属。收获的蜈蚣草地上部分重金属含量 As 平均浓度为 1412 mg/kg，Pb 平均浓度为 808 mg/kg，Zn 平均浓度为 331 mg/kg，Cu 平均浓度为 85 mg/kg。蜈蚣草每年至少收割 2 次，每次收割的生物量约为 6t/ha，每年通过蜈蚣草采矿的砷最高可达 23.4 kg/ha，铅 11.3 kg/ha，铜 2.64 kg/ha，锌 9.24 kg/ha。砷、铅、铜和锌的当前市场价格分别按 9.3、15.9、56.2 和 16 元/kg 计算，则每年每公顷蜈蚣草可创造 693.5 元经济效益。

蜈蚣草焚烧时产生大量的热能，按每年每公顷生产 12t 蜈蚣草计，则由焚烧产生电能的价格为 1100 元。

另外，如果尾矿不做处理，其堆存费用按 9000 元/亩计算，则 80 亩的堆存费用为 72 万元。

综上三项收入，则项目每年的收入为： $(693.5 \text{ 元/ha} + 1100 \text{ 元/ha}) \times 80/15 + 72 \text{ 万} = 73 \text{ 万元}$ 。

5 应用效果及推广前景

该技术可以将环境污染治理与提高资源利用效率相结合。它具有以下优点：（1）对环境的影响最小；（2）复垦土地，去除尾矿中的重金属；（3）焚烧后所形成的灰分（生物矿石）比传统矿石拥有更高的金属含量，利于节省存储空间；（4）是一种环境友好的绿色技术，可以规避重金属对周边环境的污染，减少水土流失，美化环境，取得一定的经济收入。

我国砷矿资源丰富，探明储量为世界总储量的 70%。在开采中产生的含铅锌在内的砷尾矿非常多，分布面积较广，这为利用蜈蚣草在内的众多 As 超富集植物复垦提供了广阔市场；加上蜈蚣草的生物量较大，可以耐受和富集多种有价金属，提高复垦的成功率和植物采矿效率。因此，利用蜈蚣草等超富集植物对我国金属尾矿进行复垦和采矿将有非常大的市场潜力。