

## 金属尾矿综合利用先进适用技术目录

### 一、尾矿提取有价值组分

编号	技术名称	适用范围	基本原理和内容	典型项目 资源综合利用效果	推广前景
1	利用尾矿反浮选提铁降硅资源综合利用新技术	铁矿石尾矿	利用品位约为 11% 的尾矿,先利用立缓脉动高梯度磁选机复选粗精矿,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,筛上经浓缩给入二段磨机,筛下经磁选进入反浮选作业除硅,可获得含铁品位 67.2% 铁精粉。	年处理尾矿 200 万吨的项目,每年可提取 66.7% 铁精粉近 20 万吨,产生无法再选别的尾矿 180 万吨,其中大部分尾矿经深度加工后用于充填地下采矿区,替代河沙 200 万立方米,节约河沙资源 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,可将尾矿中的铁品位降低至 5% 左右。减少尾矿中铁资源浪费,节约矿石资源,减少尾矿堆存,又具有明显的经济效益。以年处理 200 万吨尾矿为例,每年产生直接经济效益 4600 万元,具有较强的推广价值。
2	尾矿再选短流程大型细粒浮选柱	硫化矿物尾矿,氧化矿物尾矿以及其它非金属尾矿	尾矿再选系统以选厂原有尾矿作为矿源,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。采用浮选-重选-浮选联合工艺配置方案:给矿为两种浮选尾矿的混合尾矿,经大浮选柱一次富集的精矿泡沫送入螺旋溜槽,预选对矿物进行重选分离,目的矿物再进入小浮选柱二次富集后直接产出精矿。	减少资源浪费、提高资源综合回收率,同时提升系统处理能力,减少浮选设备单位能耗,实现了节能减排,提高企业的核心竞争力和经济效益。	大型细粒浮选柱的技术开发有助于我国尾矿资源的高效利用。该大型浮选柱在取得高品质精矿的条件下,达到了节能降耗和资源高效回收的目的。年处理尾矿 2500 万吨的项目,直接经济效益达 5000 万元以上。

3	钒钛磁铁矿选铁尾矿中回收钛铁技术	钒钛磁铁矿选铁尾矿	利用钒钛磁铁矿选铁后的尾矿做为原料，经一段磁场强度为 1300 安的强磁抛尾后得 $\beta$ $\text{TiO}_2$ 17~19%粗钛精矿；将粗钛矿进行一段闭路磨矿，合格产品经过弱磁扫铁，进入二段强磁磁选（磁场强度为 750 安），获得 $\beta$ $\text{TiO}_2$ 22~24%钛精矿；经反浮选除硫作业后，尾矿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，含钛达到 47.00%以上，金属回收率可达 34~36%的钛精矿。	该技术最大限度的回收了有用矿物，避免资源浪费；减小尾矿占地面积和对环境的污染，延长了尾矿库的服务年限。	该技术工艺新颖又可靠，不仅简化选别工艺流程，实现钛铁矿全粒级浮选，回收率高，设备运转稳定，操作简便，而且对矿浆粒度、浓度有较强的适应性，加工费用低。
4	浮钼尾矿综合回收白钨技术	低品位白钨矿综合回收	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），待矿浆制作完成后以一定流速放入 $\Phi$ 2000×2000 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。	以年处理尾矿量 8965 万吨为例，以 65%品位标矿计，每年可回收 8000 多吨钨精矿，该技术全部采用国内先进设备，自动化程度高，高效节能，环保。提高了资源利用率，同时减少了对自然矿产资源的开采。	该技术适用于栾川地区浮钼尾矿低品位、难选白钨的浮选，回收各项生产指标较好。技术水平达到国内先进，生产成本较低，设备维修方便，效益较好。本技术采用的药剂简单、种类少，而且所用药剂对环境没有危害作用。本技术已应用在部分地区低品位白钨矿综合回收推广。

5	多金属尾矿综合回收萤石选矿技术	含萤石尾矿的综合利用	①利用矿石的磁性差异选择适当的磁选设备分离矿物，减少萤石精矿的杂质含量，同时提高萤石精矿品位。②由于矿物表面可浮性相近、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” 和新型改性油酸使萤石与其它脉石矿物表面的可浮性差异增大，从而提高萤石精矿品位和回收率。	年处理尾矿量 120 万吨，可减少 10% 尾矿排放，同时增加当地的人员就业率和提高企业的经济效益，每年可创造产值 4000 万元。	采用该尾矿综合利用技术能达到低碳、绿色、环保和节能减排的生产要求，同时也为企业带来巨大的经济效益。该技术可推广到含萤石尾矿的矿山，具有较好的前景。
---	-----------------	------------	---	--	---

6	粗颗粒充气机械搅拌式浮选机	尾矿再选及冶炼炉渣浮选	<p>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。</p>	<p>整个控制系统配置合理，工作稳定，操作简单，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。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。</p>	<p>该技术填补了国内尾矿再选及冶炼炉渣浮选设备的空白，极大地促进我国选矿科技进步，有助于解决我国有色金属固体废弃物的回收再利用，缓解生态压力，有利于提高我国资源利用率。该成果的市场覆盖面大，主要应用于冶炼厂炉渣的浮选及尾矿再选作业，推广及应用前景广阔。</p>
---	---------------	-------------	--	---	---

7	尾矿回收 磁性铁矿物技术	尾矿回收 磁性铁矿物	采用强磁、摇床选别相结合的磁——重联合流程。结合尾矿贫、细、杂的特性，采用低浓度给矿、小直径强磁分选介质，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。	年处理尾矿能力 400 万吨的项目，每天可从尾矿中回收品位为 50%-52% 的二级精矿 800—1000 吨/日。达到提高效益、维持稳定生产、降低金属流失和节能减排的目的。	该技术根据尾矿贫、细、杂的特点，采用强磁、摇床选矿的磁-重联合流程，针对尾矿浓度低，给矿体积大、矿物嵌布粒度细的特点，强磁机选用处理量大的 $\phi$ 2m 设备，磁介质选用 $\phi$ 2mm 的小直径介质，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。
8	湿式强弱 磁选铁及 尾渣综合利用技术	适用于国内产金区 提金尾渣	提金尾渣湿式强、弱磁选铁技术的基本原理是通过采用“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、非金属矿物进行超细磨、高温烘干去除有害物质后选（除）铁。	年处理提金尾渣 20 万吨的项目，全年可回收铁精粉 7.2 万吨，尾渣水泥添加剂 12.8 万吨，上缴税金 400 万元，为企业增效 2900 万元。年可节能用电 30 万度，间接增加效益 50 万元。	该技术具有工艺流程短、环保效益高、生产管理简单，适用于国内产金区，提高提金尾渣综合利用效率。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，使该技术更具实用性和推广性。

9	锡矿尾矿整体综合利用技术	锡矿尾矿提取有价组分	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，其中重选主要是根据锡、钨、钽、铌、黄玉与长石、石英、云母及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、黄玉和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度分离。	年处理 20 万吨尾矿能力的尾矿再选厂，试产一年产品销售产值 5899.78 万元，税后利润 2325.08 万元。由于再选回收利用了 70% 以上的大宗非金属矿物并采用回水利用技术，避免了二次排放对环境的污染和破坏。实现了清洁生产，减少了尾矿的堆存量，节约用地。	该项技术的应用不仅最大限度回收了尾矿中的有价金属元素，同时合理利用了尾矿中石英和长石等大宗矿物材料。为有色金属矿山“二次资源”开发利用提供了技术依据，对有色金属矿山开展清洁生产有着示范作用。
10	尾矿库尾砂再选技术	尾矿库尾砂回收磁性铁	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流程，回收尾矿砂中的磁性铁，实现节约资源，发展循环经济，提高经济效益。	年处理尾矿量达 800 万吨的项目，2006 年至 2009 年底，已累计回收精矿粉 95.65 万吨，创造效益 50090 余万元，实现经济效益、社会效益、环境效益相统一。	该技术的实施可提高资源利用效率，有利于节约资源、保护环境，主要技术方案经济合理，是国家鼓励发展的项目。

11	磷铁钛综合利用技术	磷钛铁多金属矿综合回收	<p>破碎流程为三段一闭路，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。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，即可获得 34% 以上的磷精矿，磷精矿进入 18 米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流程，磁选流程为两段磨矿三次磁选、高频振动筛、磁团聚重选工艺选铁，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、铁的综合尾矿送至钛选厂房，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。</p>	<p>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；由于从尾矿中开发出磷钛，节约了资源，现年处理 285 万吨尾矿的项目，每年可回收 26 万吨磷精矿和 10 万吨钛精矿，尾矿库服务年限延长 15%，给企业带来巨大的经济效益。</p>	<p>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。</p>
----	-----------	-------------	--	---	---

12	选冶联合 高效回收 锡尾矿资源 中有价金属 组分技术	锡尾矿提取 有价成份	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。选矿产出的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，铁矿球团直接作为冶炼生铁的原料，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。	年处理锡尾矿 66 万吨的选厂，安排劳动就业岗位 300 余人，具有较好的社会效益；减少尾矿排放量约 17%，节约尾矿库库容，减少尾矿堆存占用土地，减少对环境的危害。	该技术充分发挥选冶联合工艺的优势，选冶指标高、工艺简单、生产成本低、有效利用尾矿资源、减少占用土地，应用和推广前景广阔。
----	--	---------------	--	---	--



13	旋流喷射浮选柱	金属尾矿提取有价成分	<p>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。2、该柱采用旋流器式充气器 3.为了使空气分散得更好，和防止给矿过早排出槽外，正对着喷嘴孔设有挡板。4、可调式尾矿排出管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。5、本浮选设备与一般浮选柱相比具有特殊高的浮选速度。6、在相同的处理量下，它比其它型式浮选柱占地面积小得多，因此使用旋流器式浮选柱的选厂建筑面积将是很小的，建设费用也很低。7、本浮选设备不会引起矿浆短路循环。8、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。9、可以在低成本和不增加现有面积的情况下提高现有选厂的生产能力。10、高品位和高回收率。11、高富集比。</p>	<p>日处理铅锌尾矿 2300 吨的选厂，日处理稀土尾矿 2000 吨的选厂，产品有锌精矿和稀土精矿。年产值 2500 万元，利税 1000 万元。两个尾矿再选厂每年回收锌精矿和稀土精矿二万多吨。</p>	<p>采用该技术专利设备可以最大限度地从尾矿中选出有价矿物，提高资源回收率、减少环境污染。</p>
----	---------	------------	--	--	---

14	尾矿（金、铅、锌尾矿）中回收绢云母技术	千枚岩型有色金属矿选矿尾矿	<p>根据尾矿中的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了或超过半补强炭黑的水平，在工程塑料中体现出优良的增强性能。</p> <p>绢云母产品在橡胶、塑料、涂料、油漆、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<math>\mu</math> m），径厚比大，比表面积大，市场竞争力强。</p>	<p>采用尾矿为原料，生产高性能、高附加值产品，经济效益明显。以年处理尾矿 6.5 万吨为例，可获得绢云母产品 1 万吨，减轻尾矿对周围环境的影响，实现资源的二次利用，安排富余人员就业，为橡胶、塑料等相关行业提供质优价廉的原料。</p>	<p>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。该技术推广应用价值大，前景广阔。</p>
15	尾矿伴生萤石综合回收技术	伴生萤石尾矿	<p>通过按高效浓缩脱药、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尾矿中萤石的回收问题。</p>	<p>萤石选厂新建两条萤石回收生产线，投入 5947.56 万元，总建筑面积 5629 m<sup>2</sup>，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 万吨萤石精矿生产能力。目前，产量基本稳定在 300 吨/天，品位 94% 以上，回收率 40% 左右。</p>	<p>尾矿伴生萤石回收技术，集成了选矿新技术，减少了尾矿排放，解决了柿竹园尾矿中萤石的回收问题，为企业增加新的优质产品，同时创造了显著经济效益，增强企业竞争力。</p>

16	尾矿回收 锰矿物技术	铅锌尾矿 提取锰矿物	回收铅、锌尾矿中的锰，工艺上采用的流程为高梯度一粗一精一扫选工艺-中矿返回-锰精矿弱磁选除铁流程。该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，达到较高的锰品位及回收率。	年处理尾矿量 3 万吨的项目，从尾矿中回收碳酸锰，每年减少尾矿处理、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。该技术的成功实施为矿山固体废物零排放提供了技术支撑。	该技术提高了资源的综合利用率，环境与经济效益显著。本项目曾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，本项目推广后应用前景广阔。
----	---------------	---------------	---	---	--

17	尾矿综合回收钨、铋、钼技术	钨、钼、铋伴生多金属矿尾矿提取有价成分	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，最终排出的尾矿，出售给当地的建材砂砖厂。	年处理尾矿 18 万吨的项目，年产钨精矿 33.8t ( $WO_3 60\%$ )，铋精矿含铋 47.7t，钼精矿 236.0t ( $Mo 45\%$ )，销售处理后的尾矿 179598t。一方面减少了尾矿库的库容压力，降低了尾矿库的安全风险；另一方面提供了比较廉价的原材料替代粘土，节约了土地资源，增加了就业，提高了企业经济效益。	该技术先进适用，流程简单，药剂都是常用药剂。同类型的选矿厂尾矿都适用。
----	---------------	---------------------	---	--	-------------------------------------

18	堆浸尾渣 *综合利用技术	黄金尾渣 综合利用	<p>选矿采用尾渣破碎—磨矿—全泥氰化—炭浆提金工艺。堆浸尾渣经破碎、筛分、两段闭路磨矿分级、除屑除杂，除杂后的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。</p>	<p>年处理尾渣 99 万吨的项目，技术运行稳妥可靠，易于操作。实现了高效、节能、降耗，实际生产中单位电耗为 28.8 千瓦时/吨。入选原矿（包括堆浸废渣）金平均品位 0.90 克/吨，其中入选堆浸尾渣金平均品位 0.55 克/吨，氰化后尾矿品位 0.14 克/吨，金总回收率 73 %。</p>	<p>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，同时消除尾渣发生泥石流的危害，极具推广价值。</p> <p>目前国内仍有许多黄金矿山存在着堆浸废渣，由于受当时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。随着黄金价格的持续上扬，对堆浸尾渣进行综合利用的时机已经成熟。通过该技术实施，不仅可使企业消除堆积浸渣造成的环境破坏及安全生产隐患，又可以获得较好的经济效益。</p>
----	-----------------	--------------	---	--	--

19	化学硫化集成技术	低品位含铜废石 <sup>*</sup>	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废水，酸性水再经除杂提纯预处理工序，去除废水中大部分影响因素，进入硫化工序以硫化铜的形式回收废矿石中的铜金属。	该技术年处理量 1000 万吨，对喷淋产生酸性水后铜回收率 90% 以上、铜金属品位 30% 以上，铜成本 1.5 万元以下。采矿废石堆浸喷淋产生的酸性水的铜离子浓度降到 40mg/l 时，该技术仍然能够通过对铜金属的高回收率维持运行。对采矿废石品位的波动具有很强的适应能力，实现了对采矿废石中有色金属更广泛的回收。	该工艺可以较好的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，经济成本较低，环境效益好。
----	----------	----------------------	---	--	--

20	金属尾矿综合利用湿法冶金技术	可应用于各种金属尾矿、剥离表皮矿，特别适用于金属元素氧化程度高的大型金属尾矿。	从尾矿库采回的铜矿尾砂，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，用经稀释的工业硫酸进行浸出作业，将尾砂中 56% 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。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，矿渣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，以阴极铜板和铁精矿形态被提炼出来。	年处理尾矿量 50 万吨的项目，为当地的制砖厂和大型水泥厂提供了优质廉价的辅料，减少了建材生产企业对资源的消耗。随着尾矿库的逐步降容，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，改善周边地区生态环境，增加可利用的土地资源 2500 亩以上。2010 年预计工业产值达 1.2 亿元，利税 1500 万元。	“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利用）、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。应用该技术可减少建材生产企业对资源的消耗，解决困扰尾砂库区的环境污染问题。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、尾矿生产建筑材料					
编号	技术名称	适用范围	基本原理和内容	典型项目 资源综合利用效果	推广前景
21	尾矿砂制造木化板技术	铁尾矿生产建筑材料	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，各项指标达到国家有关标准。	年处理尾矿砂 136400 吨的项目；年可节约木材纤维产品充填体约 20000 吨。减少尾矿成分及残留选矿药剂对生态的破坏，保护水资源及土地资源。	该产品是环保新型建材，产品生产加工工艺和设备的选用成熟、可靠，产品质量有保证，可带动周边相关行业发展，具有较好的经济、社会效益。

22	利用铅锌尾矿渣生产低碱优质硅酸盐水泥熟料技术	铅锌尾矿渣生产低碱优质硅酸盐水泥	尾矿中的主要成分 $\text{SiO}_2$ 能够满足硅酸盐水泥生产的需要，而且尾矿中的微量元素具有矿化效果。同时其低碱性能非常适合低碱硅酸盐水泥的生产需求。因此，完全可用此类尾矿代替粘土配料，以及将其作为非活性填充料，或将其改性作为活性混合材使用。	年利用尾矿量 22 万吨，水泥生产线日产 2000 吨，标准煤耗由过去的每吨熟料 143kg 降为 135kg，年节约用煤 3700 余吨，年节约用电 340 余万度。年节约粘土 12 万吨，减少了水土流失，有效地保护了生态环境。减少尾矿占地，消除尾矿大量堆积造成的环保和安全隐患，使废弃的资源得到再生利用。	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多家单位反复试验对比和实际应用证明，该水泥产品具有强度高、易性好、耐腐蚀、抗渗性好的特点，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。
23	铁尾矿制砖技术	页岩尾矿烧结砖	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，具有比普通制砖黏土更大的比表面积和更小的平均粒径，有较好的成型塑性。该技术主要针对尾矿制砖进行工业性研究，通过实际生产进一步调整制砖配方、确定适合大批量生产的工艺参数和工艺制度、工艺设备，从而使尾矿制砖达到产业化的要求，一级品率和强度均达到现行标准。	生产页岩尾矿烧结砖年可综合利用铁矿铁尾矿渣 20 万吨，制砖生产线年产可达 7000 万块。企业降低成本带来的经济效益年可增加 280 万元。	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；技术开发研究证明了尾矿资源化应用的可行性，形成的综合技术、工艺便于向社会推广应用，为尾矿的处理提供了有效的途径，值得推广。



24	铅锌尾矿资源综合利用技术	铅锌尾矿提取硫、铁，生产混凝土和建筑用砖	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，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。	每年处理铅锌尾矿 100 万吨，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。	我国铅锌矿资源丰富，储量居世界前列，已经成为世界主要的铅锌矿生产国之一，综合回收某些铅锌尾矿中的硫、铁等有价值元素，经济效益显著，并且铅锌尾矿再选后用于建材化广阔，可以显著减少尾矿排量，节约尾矿堆存成本，环境效益巨大；同时还产生巨大的经济效益，具有广阔的推广前景。
----	--------------	----------------------	---	---	--

25	尾矿制轻质保温建材技术	铁尾矿生产轻集料混凝土空心砌块与泡沫混凝土砌块	尾矿属惰性材料，活性较差，只能作集料或掺合剂加入建材中。1、轻集料混凝土空心砌块：把尾矿进行膨化造粒作为轻集料加入其中，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；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，自然或蒸气养护而成的轻质多孔混凝土砌块。也称发泡混凝土。发泡剂选择了动物性发泡剂，它的特点是发泡均匀、稳定、强度高，并且气孔是封闭且独立的，降低了吸水性，提高了砌块的抗冻性。	以年利用尾矿量 10 万吨计，年销售收入和税金为 3000 万元，年利润总额为 890 万元。该技术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。	该技术是把尾矿进行膨化造粒作为轻集料加入其中，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，具有较强的盈利能力。应用该技术生产的产品，符合严寒地区墙体节能 65% 规定，砌体厚度 > 300（mm）时符合墙体节能 50% 规定。在较严寒地区具有较好的推广前景。
26	尾矿砂制纳米彩色波形瓦、外墙保温板、免烧砖技术	铁尾矿生产环保新型彩釉波形瓦等建筑材料	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、轻质复合墙隔板、免烧砖、整体节能小屋等。	年可利用尾矿砂 41 万吨以上，对促进治理环境污染具有很好的作用，实现更好的经济和社会效益等方面具有十分重要的意义。	新型彩釉波形瓦以铁矿尾矿砂废料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。

27	金尾矿砂 新型建材 的制造技术	金矿尾矿 砂生产彩色 混凝土瓦、混 凝土砌块等 建筑材料	<p>彩色混凝土瓦采用轮碾式定量强制搅拌机，使物料搅拌均匀，混凝土达到良好的合易性，高压成型。</p> <p>尾砂混凝土空心砌块，物料用混凝土搅拌机搅拌均匀，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。</p> <p>尾砂混凝土普通砖：微机配料，物料搅拌，型盘转式压砖机，对物料采用轨道预压，由曲柄连杆机构挤压成型，在常温下自然养护，7 日内每 3-4 小时加水一次，养护 28 天后出厂。</p> <p>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。</p>	<p>年利用尾矿量 22.5 万吨，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% 以上，节约煤炭 1.5 万吨，节省土地 530 亩。实现经济效益 100 万元，具有显著地经济效益、社会效益、环境效益和生态效益。</p>	<p>利用尾矿资源，减少尾矿堆存占地，节省制造粘土砖所耗用的煤炭资源，降低大气和环境污染，保护生态环境。金矿尾砂新型建材产品，不仅适应我国国情，也顺应了世界新型建材发展的方向；既有较好的经济效益和广阔的市场前景，也具有较好的社会效益、环境效益和生态效益。</p>
----	-----------------------	--	---	---	---

28	砂岩型磁铁尾矿应用于蒸压加气混凝土生产技术	砂岩型磁铁尾矿生产蒸压加气混凝土	<p>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）经过配料、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极配，提高砂岩型铁尾矿活性，配比适当的钙质量材料，同样可以生产出合格的加气混凝土制品。技术关键：由于铁尾矿中硅含量偏低，需要提高其配料中的活性，要求一方面提高磨细度及颗粒极配。另一方面，需要控制合理的钙硅比，使钙质材料与硅质材料反应充分，提供足够多的消化产物。最后，尾矿里存在一定量的对混凝土有害成份，需要对其进行提前处理。</p>	<p>投资一年产 30 万立方米加气混凝土厂，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，年创造收入约 6000 万元，利润约 800 万元，处消纳尾矿 10 万吨，解决 100 人就业，税收 120 万元，投资回收期 5 年</p>	<p>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，大多都存在于尾矿库中。同时，每年又会新增上千万吨尾矿，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、隔声防火等一系列优点，得到国家政策积极推广。因此，利用尾矿生产加气混凝土节能潜力大，推广前景广阔。</p>
----	-----------------------	------------------	---	--	--

29	尾矿砂蒸压砖及尾矿加气建材制造技术	铜尾矿生产蒸压砖及加气建材	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，新型尾矿加气板材，保温、隔音，轻质、高强，完全能搞满足国家对建筑物节能 60%的要求，而且可以根据用户的需求，改变尺寸和形状，便于运输。	某项目年利用尾矿量 16 万吨，年产尾矿砖 6000 万块，尾矿制砖项目投入 4100 万元，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，尾矿利用率达到 88%；节约大量的土地资源和矿产资源，改造环境，治理污染，还田于耕，还山于林。	尾矿资源化，可以实现企业从矿山资源型企业向综合型企业转型的一个重大的战略目标。能够使下层流失的矿产资源重新得到回收。为地方经济的发展和持续，注入新的活力和增长点，实现可持续发展。
30	金属尾矿渣烧结多孔砖技术	金属尾矿渣生产多孔砖	该技术主要是减少产品干燥焙烧收缩，不易产生裂纹；保证产品不退色；形成微孔网络结构，吸收排除水分；调解室内外干湿度，保证产品尺寸稳定性，增加产品的力学强度。工艺原理：将尾矿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。控制掺配量，防止原料中化学成份波动太大。	以年产烧结多孔砖 2500 万块为例，实现产值 816 万元，平均年实现税金 22 万元，实现工业增加值 345 万元，实现利润 50 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。	减少尾矿占地，加强矿山安全，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。

31	铝硅酸盐 尾矿生产 微晶玻璃 技术	铝硅酸盐 尾矿生产 微晶玻璃	<p>该技术为国内首创的</p> <p><math>\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2</math> 五元体系作为尾矿微晶玻璃基础配方工艺；以硅灰石及辉石作为主析晶相，采用“水淬-烧结法”生产技术工艺，进行尾矿微晶玻璃工业化生产。本技术的特点：一、利用尾矿废弃物为主要原料，可以变废为宝，有利于环保，降低生产成本。二、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。三、通过配方里引进特殊的添加剂和采用先进的生产工艺，极大地降低微晶玻璃的气孔率，消除了尾矿微晶玻璃产品表面气孔。板材不变裂和碎裂，使产品成品率达到 95% 以上。</p>	<p>以年产 3 万吨粒料，20 万平方米微晶玻璃板材生产线为例，年利用尾矿量 20 万吨，产品中尾矿所占质量比达 60%。其年产值 1.5 亿元、年销售利税 5000 万元。</p>	<p>本技术是一项成熟的高附加值的产业化高新技术，具有很好的应用推广和产业化示范作用。同时该技术利用尾矿做原料符合国家倡导的资源综合利用产业政策向导，可节约天然石材资源，具有较高的社会效益。</p>
----	----------------------------	----------------------	---	--	---

32	利用金属尾矿生产蒸压加气混凝土砌块技术	铜尾矿生产蒸压加气混凝土砌块	蒸压加气混凝土砌块利用废弃的尾砂（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、蒸养后制成的多孔轻质的加气混凝土制品。	在生产中不但消除铜矿尾矿，自身在生产中基本达到零排放。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。	该技术利用选矿废渣（粉末）、脱硫石膏等固体废弃物替代石英砂为主要原料，生产工艺技术为国内领先。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十分显著，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。
33	铁尾矿无尾化利用技术	伴生钼、锌的铁尾矿提取钼、锌矿物及铁尾矿生产建筑材料	有些铁尾矿中含有一定量的钼、锌，大量石英、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，富集分离其中的钼、锌、石英、石榴子石等，钼锌作为重要的金属矿精矿可以销售，粗颗粒的石英等用做混凝土细骨料，细粒级的尾矿用于生产水泥、建筑砖等。	尾矿排放量的减少便带来了可观的附加经济效益；同时有效减少了尾矿对水、空气和土地的污染及占用土地，环境效益显著。年处理含钼、锌铁尾矿 100 万吨，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。	华东地区有众多含钼、锌的铁尾矿，采用该技术可以使尾矿排量显著减少，并且尾矿中的有色组分得到充分回收，尾矿建材化的市场广阔，该技术所产生的经济效益和环境效益明显，技术推广前景广阔。

34	浮选尾矿资源综合利用工程化应用技术	黄金矿山尾矿堆浸提金及堆浸后尾矿生产混凝土砌块与蒸压砖	<p>尾矿堆浸提金采用无制粒化学疏松法堆浸工艺，氰化物在有氧化剂的条件下，从含金物料中选择性的溶解金、银，使金、银及其它金属矿物与脉石分离。</p> <p>浸出液中含有的金吸附到载金炭中，金采用解吸电解的方法进行回收。加气混凝土是以硅质材料 <math>\text{SiO}_2</math> 和钙质材料 <math>\text{CaO}</math> 为主要原料，掺加发气剂，经加水搅拌，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。</p> <p>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、外加剂等外界因素的作用下，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，将砖坯送到釜中进行蒸压 12 小时，得到成品。</p>	<p>年采选处理量为 31.5 万吨，排出浮选尾矿总量 27.7 万吨，对尾矿进行多元素含量分析，金平均品位在 0.25 克/吨左右，<math>\text{SiO}_2</math> 含量在 63%-75%，具有一定的回收利用价值。实现循环经济，使尾矿资源利用最大化，变废为宝、减少环境污染，年可节约土地 10 余亩，延长尾矿库服务年限，实现矿山生产尾矿零排放。</p>	<p>生产实践及产品应用证明，有色和黑色金属矿山生产的尾矿 <math>\text{SiO}_2</math> 含量大于 62%。对黄金矿山品位大于 0.25 克/吨的尾矿，可以采用尾矿无制粒堆浸提金后在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，具有较大环保效益，值得推广。</p>
----	-------------------	-----------------------------	---	--	--



35	尾矿综合利用处理设备及技术	<p>有色金属、黑色金属、黄金及非金属尾矿</p>	<p>该新型过滤与分离设备，主要有橡胶带式真空过滤机，陶瓷真空过滤机，立式板框压滤机，赤泥过滤机等。尾矿综合利用的过滤专用设备，广泛应用于矿山、化工、冶金、电业、有色金属、稀有金属、黑色金属、非金属等精矿及尾矿脱水等环保行业。采用烧结法溶出赤泥快速分离与洗涤技术，橡胶带式水平真空过滤机是将赤泥料浆直接进入胶带式水平过滤机进行赤泥分离与洗涤，赤泥分离后的滤液进入粗液槽，洗液进入相应的洗涤槽进行反向洗涤，滤饼用洗液冲洗进入赤泥混合槽，然后用底流泵送至赤泥洗涤工序，滤布在线用热水和碱液再生循环利用，滤饼排出到赤泥堆场干堆放。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组成，运用陶瓷的毛细现象，在抽真空时，只能让水通过，空气和矿物质颗粒无法通过，保证无真空损失的原理，极大降低能耗和物料水分。全自动立压式压滤机主要有主机、进料系统、高压循环水站、液压系统、高压风站和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，采用内置隔膜式多层结构，启闭油缸的活塞杆上下运动，滤布在滤板之间 S 型缠绕，在液压马达带动下环形运行。</p>	<p>实现资源综合利用，节约能源，保护环境的目的，以每年过滤 100 万吨铁精矿分析，每年综合效益节电、节水、节投资可达 2500 多万元。并且占地面积少，增加安全性，避免了溃坝、漫坝、垮坝事故的发生，实现资源开发和环境保护，本公司生产的尾矿综合处理设备和技术，在矿山运营中无废气、废水、固体废弃物、噪声、粉尘和其他废弃物排放，达到了国家环境与保护行业标准的要求，改变矿山生态环境，有效保护国家矿山资源</p>	<p>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。对于氧化铝赤泥尾矿处理，目前在中国铝业已经应用。该尾矿综合利用处理设备及技术已推广到全国 100 多家企业使用，有效地降低安全事故，保护环境。</p>
----	---------------	---------------------------	--	---	--

36	金银尾矿砂综合利用技术	金、银尾矿提取贵金属及尾矿生产加气混凝土砌块	<p>1、尾砂提取有价组分：利用高压水枪冲稀尾矿砂，用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等选出有价组分，分离出的其余尾砂经分级机分离后生产新型建筑材料。</p> <p>2、生产蒸压砂加气混凝土砌块：利用选矿尾砂废渣与石灰、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）。</p>	尾矿库尾砂经过处理，从中提取有价组分，处理后的尾砂作为生产建筑用的新型墙砖材料，实现无尾砂排放，把尾矿库里的尾砂全部清空，解决尾砂的安全问题。整个生产，都在尾矿库内进行，不造成污染，取得很好的社会、环境和经济效益。	该技术先进，投资较少，回收快，有较高的经济、环境等效益，推广应用前景广阔。
三、尾矿充填采空区					
编号	技术名称	适用范围	基本原理和内容	典型项目 资源综合利用效果	推广前景

37	井下充填 新型胶结 材料	有色金属 矿山采空 区充填	通过对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而成。其物理形态如普通水泥，呈白色粉末状。主要化学成分为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SO}_3$ 。	该胶结材料的应用，使得企业节省充填成本 200 万/年；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 万吨/年（价值 6000 万元），矿山综合回采率提高 10% 以上，降低了矿产资源的损失。	该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。在达到相同充填强度的条件下，该材料用量为普硅水泥的 1/2 以下，是一种“快、强、省”的新型尾砂胶结充填材料，具有广阔的推广前景。
38	深井矿山 清洁化生 产成套技 术及装备	有色金属 矿山采空 区充填	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组成，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。	该技术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。	“深井矿山清洁化生产成套技术及装备研究”项目，研究成功了全尾砂-冶炼炉渣膏体与采矿废石联合充填技术，实现全尾砂连续给料，浓度为 74%~76%。实现了井深 1380m、充填管道长度超过 4000 米的膏体充填，在国内外处于领先地位。该项技术取得了多项创新成果，经济和社会效益显著，市场竞争力较强。

39	尾砂浓缩贮存装置	有色金属矿山采空区充填	采用合理的喷咀设施造浆技术以及喷咀布置等创新点，结合立式砂仓脱水技术，适应粗、细粒级的(全)尾砂制备高浓度充填砂浆，采用自流输送或是泵送至采场充填。形成了立式砂仓流态化(全)尾砂高浓度连续充填技术，解决了大规模嗣后充填问题。	该充填技术能提高矿山资源利用率，充分利用尾矿资源发展节地、节能、节材、环保利废的直接有效的途径。保护环境，为建设无废排放矿山奠定基础。	使用该装置的充填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。保护环境，为建设无废排放矿山奠定基础。全尾砂胶结充填技术连续应用三年，使用效果良好。该装置应用技术经济和社会效益显著，拥有广阔的推广应用前景。
40	低品位铁矿全尾砂结构流体胶结充填技术	黑色金属矿山采空区充填	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。为了确保井下充填质量，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体。	<p>（1）保护地表自然环境。可有效防止采场顶板及上覆第四系的冒落；</p> <p>（2）使不可再生的矿石资源得到有效利用,矿石回采率由 59% 提高到 80%，矿山整体经济效益大幅度提高；</p> <p>（3）使尾砂得到充分利用，减少了尾矿库占地面积，节约了耕地。</p>	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实现充填作业提供了示范作用，符合国家大力提倡的节能减排、保护环境、避免地质灾害、保护耕地等基本国策，弥补了大型黑色矿山无充填的空白，具有广泛的推广价值。

41	(深井)高浓度极细粒级全尾砂充填技术	有色金属矿山采空区充填	通过特殊的立式砂仓脱水技术，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)管道自流输送降压系统以及采场泄水技术，突破了极细粒级高浓度全尾砂浆的立式砂仓制备技术和深井开采全尾砂高浓度充填料浆自流管输降压的关键技术，形成立式砂仓流态化全尾砂高浓度连续充填技术，解决了深部高大采场嗣后充填问题，	该技术能提高矿山的资源利用率，充分利用尾矿资源，节地、节能、节材、环保利废，为建设无废排放矿山奠定基础。已成功地在千米深井冬瓜山铜矿进行了工业应用。	该项技术经济和社会效益显著，拥有广阔的推广应用前景。
42	深井全尾砂一水淬渣膏体物料充填技术	有色金属矿山采空区充填	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，经过浓密机浓缩成一定浓度的浆体，然后在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，再进入位控反切搅拌机搅拌，制备成符合采矿要求浓度的合格膏体，自流到柱塞泵料斗内，通过泵压输送，经过充填钻孔、中段平巷、斜井、充填天井等进入井下采空区内。	解决了工业固体废弃物的排放，实现了矿山无废开采，减少了地表环境污染，实现了人与自然环境的和谐友好，为清洁矿山生产树立了典范。	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，膏体充填采矿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，对国内矿业的可持续发展有着重要的应用推广价值。

43	深井高浓度全尾砂充填技术	有色金属矿山采空区充填	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，喷咀活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。	<p>年利用尾矿量 100 万吨的项目。</p> <p>（1）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；（2）每年回采的矿产资源创造经济效益上亿元；（3）回采区域岩体稳定，不会发生地压灾害。产生的直接经济效益达 4458 万元。</p>	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。该技术对于金属矿山开采工艺和采矿方法具有促进和变革作用，同时具有一定的经济效益和社会效益。同时，对部分非金属矿山的充填技术也具有借鉴意义。
44	分级尾砂胶结充填技术	有色金属矿山采空区充填	该技术利用尾矿库分级尾砂充填井下采空区，很好解决了尾矿库库容问题，控制了地压力。同时由于采场断面扩大，使采场单产能力有明显提高，坑木消耗量明显减少，对矿山安全生产、经营起到至关重要的作用。	由于是利用尾矿库分级尾砂作为主充填料，减少了工业排放，相当于延长了尾矿库的使用年限，为矿山的可持续发展奠定了基础，保障了矿山的经济效益。	该技术是一项能充分利用尾矿资源，提高矿产资源利用水平，延长尾矿库使用年限的先进技术。除此，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，也能产生良好的社会效益。

45	铁尾矿胶结充填技术	黑色金属矿山采空区充填	利用选矿厂甩出的尾砂，以物化力学和胶体化学的理论为基础，通过强力机械（活化）搅拌装置将全尾砂与适量的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方式充入采空区，形成整体性强的低标号胶结体用于作为矿产资源回收柱或维护采空区地压。	年利用尾矿量 30 万吨，2005 年至今，已多回采出矿石 50 万吨，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。同时减少尾矿堆存，节省堆存维护费用。	由于把尾矿充入井下空区，有效解决了尾矿的存放及空区安全问题，实现了矿山清洁生产。
46	汞锑矿尾砂充填技术	有色金属矿山采空区充填	该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，最终经充填管网送至井下采空区或采场充填。	利用尾砂充填技术不仅可实现无污染堆放处理，而且通过充填采空区可解决井下生产中的安全隐患，并提高矿产资源开采率。可增加矿柱回收效益 1000 万元。年利用尾矿量 11.4 万吨，减少安全生产风险管理费用约 200 万元。	该技术为无废开采技术，在满足环保要求的同时，可以降低生产成本，经济效益显著，可广泛运用于金属矿产资源的开采利用领域。

47	全尾砂高浓度充填采空区技术	有色金属矿山充填采空区	采用合理的控压助流风水造浆技术，将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二步回采空区。生产中根据采场顶部结构确定接顶方式。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与充填挡墙结构以实现安全采矿与回填的目的。	采用高浓度全尾砂料浆连续充填采空区，对有效控制回采区域地压，实现安全高效开采起到了积极重要的作用。高浓度全尾砂充填技术解决了全尾砂低成本等难题，实现了低成本全尾砂充填，保证了金属矿山的正常生产，为无废开采奠定了技术基础。	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，对于金属矿山开采工艺和采矿方法具有促进和变革作用，并产生一定的经济效益和社会效益。
48	有色金属矿山全尾砂胶结充填技术	有色金属矿山充填采空区	全尾砂输送采用管道分二级泵送至永久充填站的两个立式砂仓，每个砂仓的有效储砂能力为 900m <sup>3</sup> ，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φ 2m 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φ 110mm,h=236m 的垂直钻孔至五中段，用φ 89 充填管连接，自动输送到井下各采空区。	年利用尾矿量 26.4 万吨，可实现对井下 120000m <sup>3</sup> 的采空区实施充填；从 1998 年到 2010 年 6 月，已累计完成井下采空区充填：978733m <sup>3</sup> 。延长了尾砂库的使用年限，减少地表环境污染。	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，并且已运行十多年，技术适应性强，可示范推广。



49	塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存技术	金属矿山塌陷区	塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存技术是解决尾矿洁净处理和综合治理塌陷区的一项成熟、可靠的先进技术，属全国首创。技术来源为自主研发的塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存工艺技术。	该技术的实施，解决了尾矿排放问题，年处理矿石量增加 40 万 t，减少废水排放 340 万吨，改善环境、消除安全隐患、节省维护费用，使原尾矿库逐步闭库并恢复生态环境，杜绝了砂尘。解决了塌陷区安全隐患，为企业安全生产创造了较好的条件。	塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存技术是解决尾矿洁净处理和综合治理塌陷区的一项成熟、可靠的先进技术。该工艺是尾矿处理技术和塌陷区综合治理技术的一大突破，具有显著的社会效益和经济效益。该工艺技术的推广应用，将大大减少尾矿堆存占地，降低基建投资，抑制尾矿扬尘，提高回水利用率。
四、尾矿用于农业领域					
	技术名称	适用范围	基本原理和内容	典型项目 资源综合利用效果	推广前景

50	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	钼尾矿用于农用肥料	首先，提取和回收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 <sub>2</sub> 含量低于 35%。第三，通过熔融氧化反应，回收尾矿中的重金属；钝化残留重金属，使重金属全含量符合国家相关农用标准的限值标准。第四，消除尾矿中含有的有毒、有害选矿添加剂，使无害化处理后的尾矿原料中不含有毒、有害有机化合物。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）。这样，既消纳了尾矿资源，又利用了尾矿的中、微量及有益元素。	年无害化处理钼尾矿 100 万吨，年产全价元素可控缓释肥料 60 万吨、年产土壤调理剂 40 万吨。间接形成减排能力（大宗工业固体废弃物等）≥20%；削减农业碳排放（提高肥料氮利用率 20 个百分点以上）≥20%；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%；	技术先进。投资少，见效快，产品附加值高，资源利用价值大。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。
五、尾矿库复垦					
编号	技术名称	适用范围	基本原理和内容	典型项目 资源综合利用效果	推广前景

51	基于蜈蚣草的金属矿山尾砂库复垦技术	含有重金属的有色金属矿山尾矿库复垦	把筛选出来的 As 超富集植物蜈蚣草种植在含有重金属的有色金属尾矿上，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。	①复垦土地，减少尾矿库扬尘时对周边环境的影响，去除尾矿中的重金属；②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；③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，并且可以富集多种有价金属，因此可提高复垦的成功率和植物采矿的效率。
注※废石：是指已采下的不含矿的围岩和夹石的总称； 黄金堆浸尾渣：黄金矿石采用化学选矿法，如氢化浸出处理后产生的尾矿渣。					

# 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

一、利用尾矿反浮选提铁降硅资源综合利用新技术 .....	1
二、尾矿再选短流程大型细粒浮选柱 .....	3
三、钽钛磁铁矿选铁尾矿回收钛铁技术 .....	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选矿技术 .....	11
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 .....	16
八、湿式强弱磁选铁及尾渣综合利用技术 .....	18
九、锡矿尾矿整体综合利用技术 .....	20
十、尾矿库尾砂再选技术 .....	22
十一、磷铁钛综合利用技术 .....	24
十二、选冶联合高效回收锡尾矿有价金属组分技术 .....	28
十三、旋流喷射浮选柱 .....	31
十四、尾矿（金、铅、锌尾矿）回收绢云母技术 .....	36
十五、尾矿伴生萤石综合回收技术 .....	38
十六、尾矿回收锰矿物技术 .....	41
十七、尾矿综合回收钨、铋、钼技术 .....	43
十八、堆浸尾渣综合利用技术 .....	47
十九、化学硫化集成技术 .....	49
二十、金属尾矿综合利用湿法冶金技术 .....	52

二十一、尾矿砂制造木化板技术 .....	57
二十二、利用铅锌尾矿渣生产低碱优质硅酸盐水泥熟料技术 .....	59
二十三、铁尾矿制砖技术 .....	65
二十四、铅锌尾矿资源综合利用技术 .....	68
二十五、尾矿制轻质保温建材技术 .....	69
二十六、尾矿制纳米彩色波形瓦、外墙保温板、免烧砖技术 .....	73
二十七、金尾矿砂新型建材的制造技术 .....	75
二十八、砂岩型磁铁尾矿制蒸压加气混凝土技术 .....	77
二十九、尾矿砂蒸压砖及尾矿加气建材制造技术 .....	79
三十、金属尾矿渣烧结多孔砖技术 .....	84
三十一、铝硅酸盐尾矿微晶玻璃技术 .....	85
三十二、利用金属尾矿生产蒸压加气混凝土砌块技术 .....	87
三十三、铁尾矿无尾化利用技术 .....	89
三十四、浮选尾矿资源综合利用工程化应用技术 .....	91
三十五、尾矿综合利用处理设备及技术 .....	94
三十六、金银尾矿砂综合利用技术 .....	99
三十七、新型胶结材料井下充填应用技术 .....	101
三十八、深井矿山清洁化生产成套技术及装备 .....	104
三十九、尾砂浓缩贮存装置 .....	108
四十、低品位铁矿全尾砂结构流体胶结充填技术 .....	110
四十一、(深井)高浓度极细粒级全尾砂充填技术 .....	112
四十二、深井全尾砂-水淬渣膏体物料充填技术 .....	114

四十三、深井高浓度全尾砂充填技术 .....	116
四十四、分级尾砂胶结充填技术 .....	118
四十五、铁尾矿胶结充填技术 .....	120
四十六、汞锑矿尾砂充填技术 .....	122
四十七、全尾砂高浓度充填采空区技术 .....	123
四十八、有色金属矿山全尾砂胶结充填技术 .....	125
四十九、塌陷区尾矿砂高浓度浓缩堆存技术 .....	128
五十、钼尾矿无害化生产全价元素可控缓释 <b>BB</b> 肥、土壤调理剂技术 .....	130
五十一、基于蜈蚣草的金属矿山尾砂库复垦技术 .....	134

## 一、利用尾矿反浮选提铁降硅资源综合利用新技术

**1 技术名称：**利用尾矿反浮选提铁降硅资源综合利用新技术

**2 技术适用范围：**尾矿提取有价值组分

**3 技术简介**

### 3.1 基本原理

利用品位约为 11.0%尾矿,先经立缓脉动高梯度磁选机复选粗精矿,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,筛上经浓缩给入二段磨机,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。





#### 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尾矿再选技术年处理尾矿 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 技术综合利用效果及推广前景

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%用于复垦土地，80%采用全尾砂胶结充填于地下采矿区。最终尾矿充填采空区，可替代河沙 200 万 m<sup>3</sup>，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，可将尾矿中的铁品位降低至 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，具有明显的经济效益。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：尾矿提取有价值组分

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:给矿为两种浮选尾矿的混合尾矿,经大浮选柱一次富集的精矿泡沫送入螺旋溜槽对矿物进行重选分离,分离后的目的矿物再进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。利用该技术最大幅度地减小气泡在浮选柱截面分散均匀所需要浮选柱高度，增大浮选柱的有效容积；

(5) 底流采用高位排放方式，降低了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中，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。

该设备应用在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，导致整个选厂系统回收率很难提高。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，提高了企业的技术竞争力同时增加了经济收入。嵩县丰源钼业有限公司选矿厂的尾矿量约为  $7\text{m}^3/\text{min}$ ，选用直径为 4.3m、高度为 8m 的大型细粒浮选柱 KYZ4380。结合尾矿的特点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 技术综合利用效果及推广前景

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,达到了节能降耗和资源高效回收的目的,未来的市场需求量较大。推广应用前景非常可观。

## 三、钒钛磁铁矿选铁尾矿回收钛铁技术

**1 技术名称:** 钒钛磁铁矿选铁尾矿回收钛铁技术

**2 技术适用范围:** 尾矿提取有价值组分

**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  $\text{TiO}_2$ 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  $\text{TiO}_2$ 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、回收率 34~36%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。

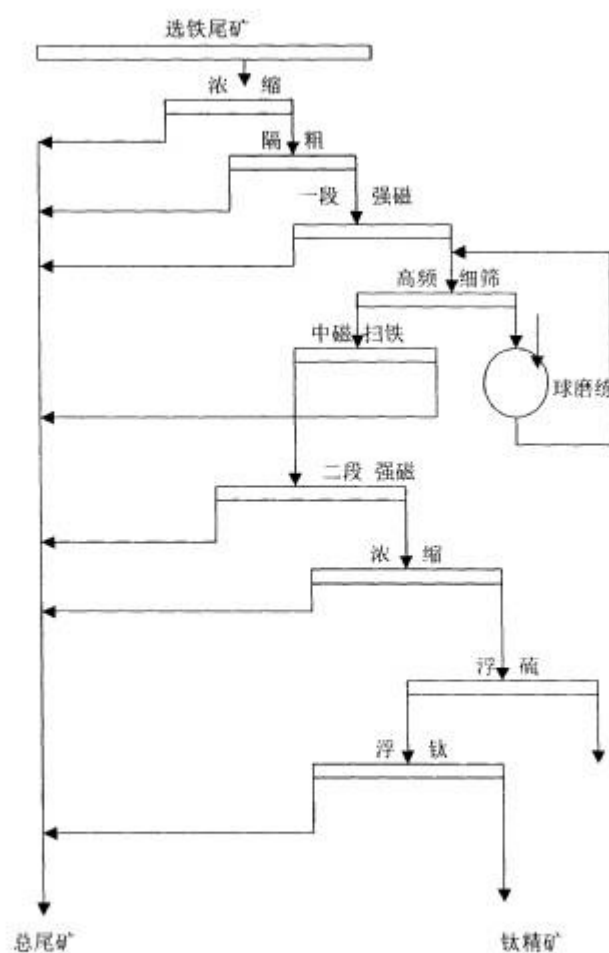


图 1

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  $\phi$  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，降低浮选药剂的消耗；

(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，主要集中分布在攀枝花、白马、红格、太和四大矿区。其中  $\text{TiO}_2$  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，提高了太和铁矿钛资源的回收利用率，对整个攀西地区乃至全国的钛资源的综合回收利用有着重要意义和作用。

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 技术综合利用效果及推广前景

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的选别工艺新颖、技术可靠；该生产工艺可简化选别工艺流程，实现钛铁矿全粒级浮选，具有金属回收率高、设备运转稳定可靠、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及加工费用低的优点，最大限度的回收了有用矿物，避免了资源浪费。每年可减少废弃物排放量 10 万 t，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。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：**尾矿提取有价值组分

**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、难选别和该地区冬季气温低的特点，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钼品位在 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钼精矿，然后经过压滤、干燥最终获得品位在 25%~35%、水分在 4%以下的钼精矿产品。

### 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，有效的减少了资源浪费，达到了节能减排的目的；(2) 提供了一定数量的就业岗位，取得了一定的社会效益；(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 技术综合利用效果及推广前景

以年处理尾矿量 8965 万 t 计，每年可回收 8000 多 t 钨精矿（折合成 65%标矿），很好的回收了钨精矿，该技术全部采用国内先进设备，

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。技术水平达到国内先进，生产成本较低，设备维修方便，效益较好。本技术采用的药剂简单、种类少，而且所用药剂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回收方面推广应用。

## **五、多金属尾矿综合回收萤石选矿技术**

**1 技术名称：**多金属尾矿综合回收萤石选矿技术

**2 技术适用范围：**尾矿提取有价值组分

**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。该工艺流程适合在含硅的磁性矿物比较多，采用一段磁选不能脱除干净的情况下，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,为了创造更多的经济效益和社会效益,于 2010 年 5 月投产 3500t/d (二期)综合回收萤石选矿厂,综合利用效益是指 3500t/d 综合回收萤石选矿厂正常运行后创造的效益。技术应用的典型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 技术综合利用效果及推广前景**

以年处理尾矿 120 万 t 计,可减少 10%尾矿排放量,同时可增加当地的人员就业率和提高企业的经济效益,每年可创造产值 4000 万元。采用该尾矿综合利用技术能达到低碳、绿色、环保和节能减排的生产要求以及和谐社会目标,同时也为企业带来巨大的经济效益以及为社会创造经济效益。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:** 尾矿提取有价值组分
- 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  $4 \sim 20\text{mA}$  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。

该专用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浮选设备，性能达到了国际同类浮选机的先进水平。

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。生产试验累计指标同预期指标相比，在原矿品位提高 0.28% 时，所得的精矿品位提高 2.31%，尾矿品位略有提高，所得的回收率提高 0.79%。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江西铜业公司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。该项目成果的市场覆盖面大,主要应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 技术综合利用效果及推广前景

该技术填补了国内尾矿再选及冶炼炉渣浮选设备的空白,极大地促进我国选矿科技进步,有助于解决我国有色金属固体废弃物的回收再利用,缓解了生态压力,有利于提高我国资源利用率。该成果的市场覆盖面大,主要应用于冶炼厂炉渣的浮选及尾矿再选作业,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:** 尾矿提取有价值组分

**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的不同，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、摇床选别相结合的磁—重联合流程，结合尾矿贫、细、杂的特性，采用低浓度给矿、小直径强磁分选介质，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) 强磁机选用处理量大的  $\phi 2m$  设备，磁介质选用  $\phi 2mm$  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%的二级精矿 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 技术综合利用效果及推广前景

该技术根据尾矿贫、细、杂的特点，采用强磁、摇床选矿的磁—重联合流程，针对尾矿浓度低，给矿体积大、矿物嵌布粒度细的特点，



强磁机选用处理量大的 $\phi 2m$ 设备,磁介质选用 $\phi 2mm$ 的小直径介质,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:** 尾矿提取有价值组分

**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、非金属矿物选(除)铁;尾渣综合利用技术就是通过对尾渣进行超细磨、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,由提金尾渣提取品位为57.99%的铁精矿;提铁后对尾渣采用超细磨、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**

提金尾渣湿式强、弱磁选（除）铁的关键是“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”，可达到提高铁精矿品位和尾渣资源化的目的。

#### 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 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，实现全年综合利用提金尾渣 20 万 t 项目设计指标，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制造后年可节能用电 30 万度，间接增加效益 50 万元，同时可节能机械制造成本 30%以上，直接提高投资回报率 20%。

#### 5 技术综合利用效果及推广前景

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，该技术包括了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、锡矿尾矿整体综合利用技术**

**1 技术名称：**锡矿尾矿整体综合利用技术

**2 技术适用范围：**尾矿提取有价值组分

**3 技术简介**

### **3.1 基本原理**

由于尾矿的工艺矿物学性质复杂，需要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**

其原则工艺流程为：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 尾矿能力的尾矿再选厂, 2009 年试产, 入选尾矿品位为: Sn0.134%、WO<sub>3</sub> 0.017%、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 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。由于再选回收利用了 70%以上的大宗非金属矿物和回水利用技术的应用, 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。实施生产期

间，可带动当地相关服务和配套产业的发展，促进本地区经济增长。

在尾矿再选中充分回收了尾矿中各种有价元素和具附加值的各种非金属矿物，实现了无尾生产和清洁生产，避免二次排放对环境的污染和破坏。减少了尾矿的堆存量，节约用地。经济效益、社会效益显著。

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 技术综合利用效果及推广前景

栗木锡矿尾矿整体综合利用技术，是通过使用现代选矿设备和选矿技术组合，采用“重一磁一浮”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。在二次选矿中采用回水利用技术，避免二次排放对环境的污染和破坏。减少了尾矿的堆存量，节约用地。经济效益、社会效益显著。该技术为有色金属矿山“二次资源”开发利用提供了依据，对有色金属矿山开展清洁生产有着示范作用，有广泛的推广意义。

## 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：尾矿提取有价组分
- 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——15t 自卸车运送——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，尾砂再选已累计完成精矿粉 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，发展循环经济，提高经济效益的目的。

## **5 技术综合利用效果及推广前景**

该技术的实施可提高资源利用效率，有利于节约资源、保护环境，是国家鼓励发展的项目，符合国家产业结构调整政策。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，建设标准选择经济适用，外部条件具备，市场销售前景好。

# **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：尾矿提取有价值组分**

## **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 3618 振动筛作为控制筛分。破碎系统产品粒度为 15mm 左右，由 6、7#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 18 米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、铁的综合尾矿送至钛选厂房，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 60 米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 陶瓷管一条、备用钢管一条打至 2 公里外的老营沟尾矿库进行堆存和水处理。尾矿输送浓度在 40%以上。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  $\Phi 60\text{m}$  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 2 千米外的尾矿库封存，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 所示为磷铁选后尾矿选钛流程，图 4 所示为磷铁选矿流程。

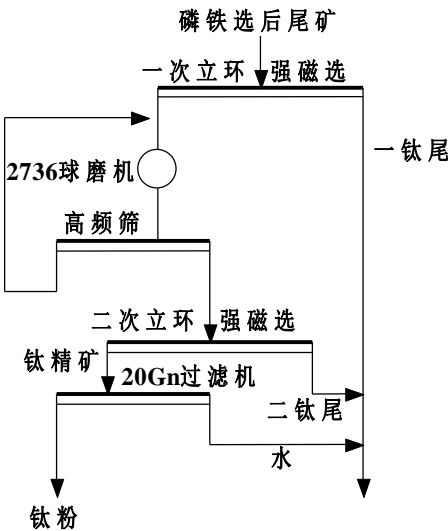


图 3 磷铁选后尾矿选钛流程



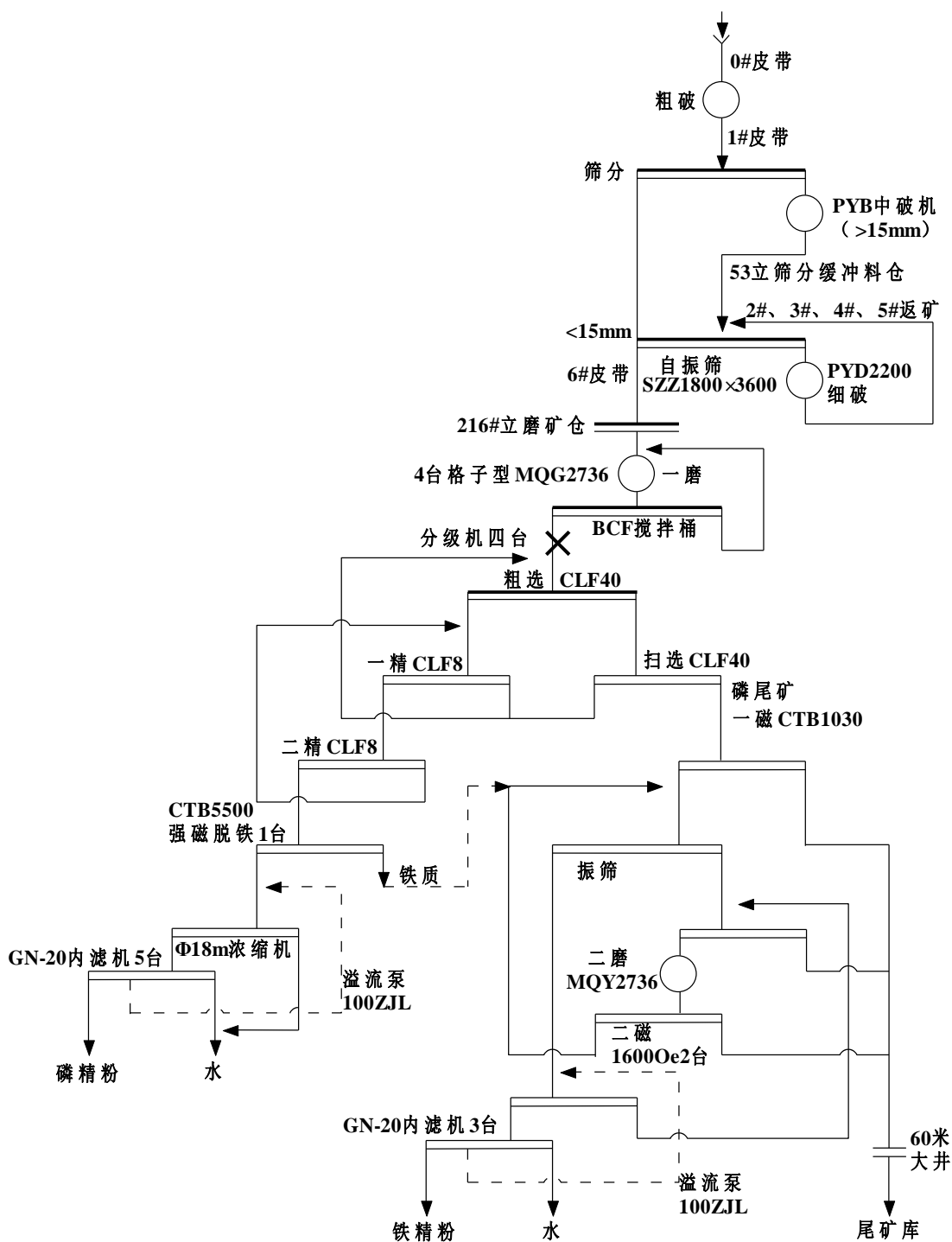


图 4 磷铁选矿流程

### 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 40 立浮选机；尾矿系统采用长沙有色研究院的 60 米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：每年增加 26 万 t 磷和 10 万 t 钛，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 技术综合利用效果及推广前景

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，大大提高了选钛的最终产品的品质。

从尾矿中回收了磷钛，减少了国家资源的流失，现年处理尾矿量 285 万 t，每年少向尾矿排放 26 万 t 磷和 10 万 t 钛，尾矿库服务年限延长 15%，给企业带来巨大的经济效益。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：**尾矿提取有价组分

**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，或少量附产铁产品。以上几种选矿工艺，锡产品主要为富中矿产品锡品位 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%，回收率较低为 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了尾矿中的锡、铁、铅等有价值金属元素。

锡尾矿经过预处理，粗砂采用载体富集技术使尾矿中锡、铁、铅等有价值金属得到富集，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。选矿产出的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、铟等多种有价值金属挥发得到回收，对挥发后的物料进行还原，作为铁矿球团直接作为冶炼生铁的原料，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。

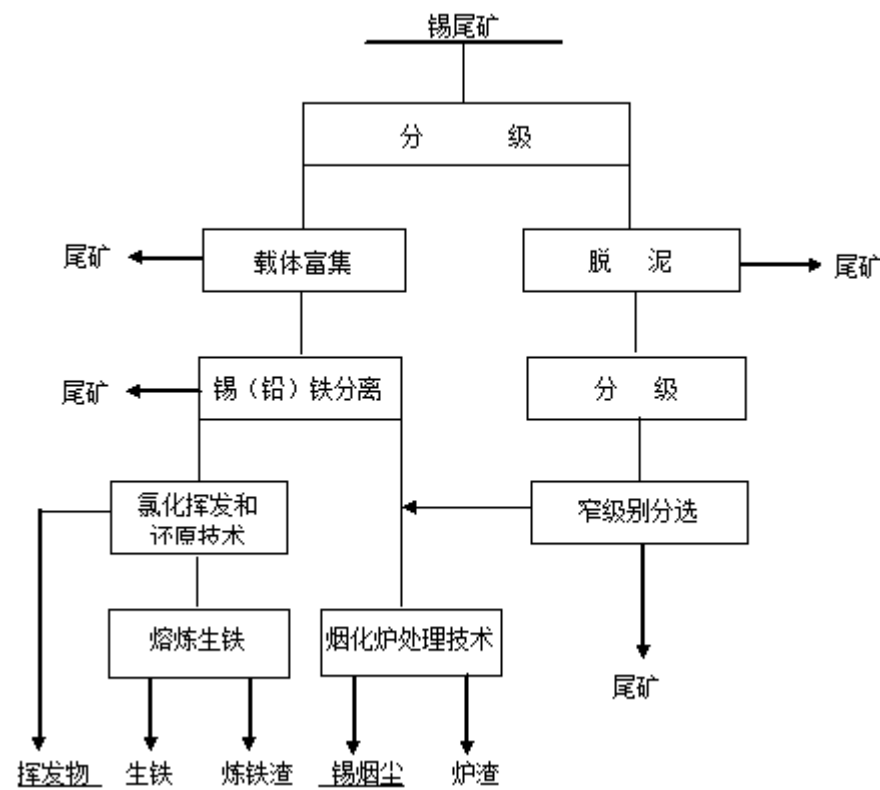


图 5 工艺流程

### 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其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冶炼生铁的原料，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，共保有约 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；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，是可持续发展重要的后备资源之一。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，具有较好的社会效益。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，减少对环境的危害。

#### 5 技术综合利用效果及推广前景

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。在未来五年云锡锡尾矿资源综合利用的规模化开发中，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：尾矿提取有价组分

### 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 $\mu\text{m}$  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) 该柱的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，和防止给矿过早排出槽外，正对着喷嘴孔设有挡板。该挡板距喷嘴孔有一定距离，以保证空气分散，和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（主要操作仅为通过闸板或阀门调整矿浆液面）。

(2) 吸入空气量为  $0.45 \text{ 米}^3/\text{分}$ 。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  $18\text{M}^3$  矿浆的功率消耗为 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，由于其矿浆由泵加压后给入浮选槽，而不是自流，形成旋流力场，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，因此使用旋流器式浮选柱的选厂建筑面积将很小，建设费用也很低。

(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，在各种情况下都可以得到高精矿品位和回收率。

(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。保持高回收率而又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**

尾矿中蕴藏着大量的有用组分（由于当时技术、设备、条件等的限制而无法回收的）。例如：云南锡业公司有 28 个尾矿库，35 个尾矿坝，积存尾矿 1.5 亿 t，平均含锡 0.15%，仅金属锡损失的就在 20 万 t 以上；大冶有色金属公司 5 个铜矿山，1957-1989 年排出的 2500 多万 t 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。采用该技术专利设备，可以进一步开发利用尾矿资源，有效地回收这些有用矿物，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，也显示了良好的应用前景。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、技术监督局等四部委联合颁发的《国家重点新产品》证书。

## 5 技术综合利用效果及推广前景

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，减少了尾矿排放量，同时为当地提供了上百个就业岗位，经济、社会和环保效益显著。两个尾矿再选厂每年为国家减少金属损失二万多吨。采用本技术专利设备可以最大限度地从尾矿中浮出有价矿物，从而削减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：**尾矿提取有价组分

**3 技术简介**

### 3.1 基本原理

根据尾矿中的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了或超过半补强炭黑的水平，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、油漆、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（ $5-6\mu\text{m}$ ），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。

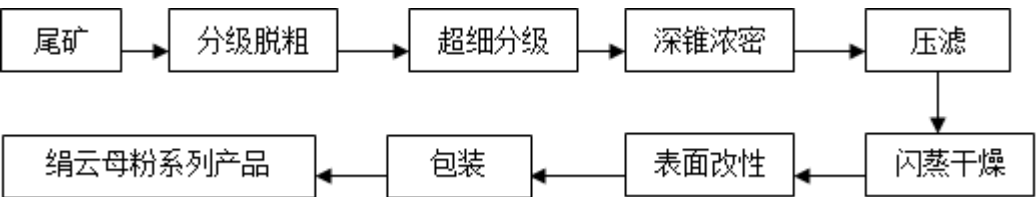


图 6 工艺流程

### 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, 达到绢云母富集提纯的目的;

(2) 采用不同于常规选矿工艺的固液分离技术——微细物料的深层絮凝浓缩和强力闪蒸干燥技术和设备。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, 既能保持物料的原始细度及极大增加蒸发的表面积, 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

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, 其中绢云母量达 800—900 万 t/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，税后利润到达 764.45 万元，同时可减轻尾矿对周围环境的危害，减少尾矿堆存，实现资源的二次利用，安排富余人员就业，为橡胶、塑料等相关行业提供质优价廉的原料来源。

## **5 技术综合利用效果及推广前景**

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排放量，减少污染；提高资源利用率；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。该技术推广应用价值大，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：**尾矿提取有价值组分

**3 技术简介**

## **3.1 基本原理**

高品位萤石精矿的开采将面临枯竭，萤石资源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解决氟化

工的基础原料问题意义至为重大。柿竹园尾矿伴生萤石回收技术的研究，曾列入国家“八五”“九五”“十一五”科技攻关项目。多家科研单位曾对柿竹园萤石选矿流程、选别药剂进行过研究，取得过许多成果。

柿竹园是国内著名的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。萤石除与石英、石榴石、绿泥石等脉石矿物连生外，还常带有磁铁矿、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，柿竹园多金属选厂除生产回收钨、钼、铋几种主产金属外，萤石矿物被排放流入尾矿库中。该技术主要针对的是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  $\mu\text{m}$  粒级，产率为 82.37%， $\text{CaF}_2$  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  $\text{CaF}_2$  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 m<sup>2</sup>，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 技术综合利用效果及推广前景**

尾矿伴生萤石回收技术，集成了选矿新技术，减少了尾矿排放，按新的技术思路解决了柿竹园尾矿中萤石的回收问题，为企业增加新的优质产品，同时创造了显著经济效益，增强企业竞争力。该技术为我国伴生萤石资源的综合回收利用提供了有力借鉴，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：尾矿提取有价值组分**

## **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、锰等有价值元素，长期以来企业注重主要元素的回收，对尾矿中其他有用元素关注较少，资源综合利用率不高。南京银茂铅锌矿业有限公司是华东地区最大的铅锌有色金属矿山，其矿石属于我国典型的复杂多金属铅锌锰矿石；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



选尾矿锰资源进行了综合回收。

3.2 工艺流程

采用的流程为高梯度一粗一精一扫选工艺—中矿返回—锰精矿弱磁选除铁流程如图 7 所示：

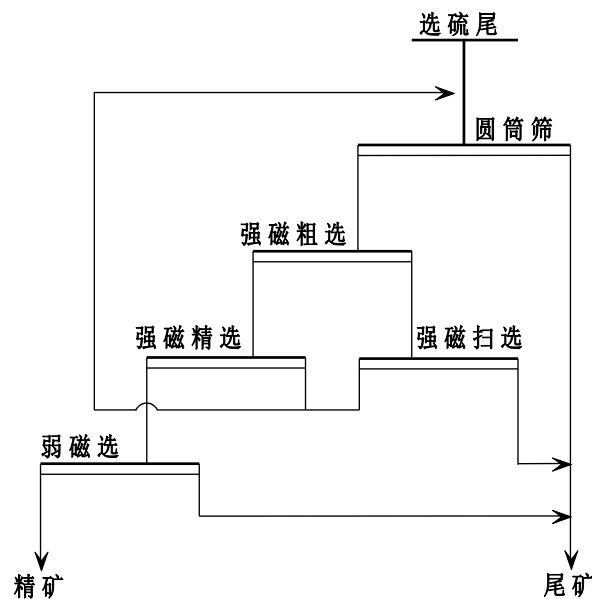


图 7 工艺流程

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 1 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，每年减少尾矿处理、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，每年回收碳酸锰精矿 10 万 t 以上。

### **5 技术综合利用效果及推广前景**

该技术提高了资源的综合利用率，减少了尾矿充填和多余尾矿处理量，保护了矿山周边环境，环境与经济效益显著，本项目曾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大部分含有锰金属，本项目推广后应用前景十分广阔。

## **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：**尾矿提取有色组分

**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生产的淘洗尾矿进行再处理，回收钨、铋、钼等，以综合利用资源、提高

企业效益，并解决尾矿库库容不足的问题。

棉土窝钨矿出窿原矿除含有钨外，还伴生有铋、钼等金属。目前入选原矿品位  $\text{WO}_3 0.35\%$ ， $\text{Bi} 0.12\%$ ， $\text{Mo} 0.13\%$ ，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。尾矿库堆存的尾矿用装载机铲装到 10t 自卸汽车，由汽车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。

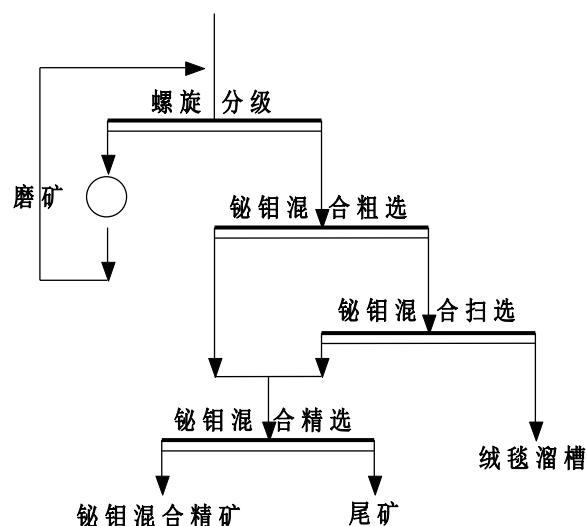


图 8 工艺流程

### 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。这就是本项目的优势。不足之处技术保密性差。

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 33.8 t( $\text{WO}_3$ 60 %) 铋精矿含铋 47.7t，钼精矿 136.0t(Mo 45 % )，销售处理后尾矿 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，详见下表 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 5.63a；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，正常生产年份占用流动资金 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，可以看出其投资效果较好。

## 5 技术综合利用效果及推广前景

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  $m^3$ ，采用该技术不但使宝贵的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。该技术采用的是常规药剂，尾矿经尾矿库沉淀后完全能达标排放。该技术先进适用，流程简单，药剂都是常用药剂。

推广简单方便，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：**尾矿提取有价值组分

**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 0.55 克/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，尽可能地降低了生产成本、减少了投资，提高了金回收率，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，除杂后的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，节能降耗效果显著。

（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、降耗，实际生产中单位电耗为 28.8 千瓦时/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，实现新增利润总额 2310 万元，实现应缴所得税 1100 万元，取得了较好的经济效益。

#### 5 技术综合利用效果及推广前景

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，同时消除尾渣发生泥石流的危害，极具推广价值。

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，应用该技术不仅可使企业消除堆积浸渣造成的环境破坏及安全生产隐患，又可以获得较好的经济效益。

## 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：**尾矿提取有价值组分

**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，去除水中大部分影响因素，再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，t 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，经济上硫化工艺仍然能够运行；



(3) 该技术能够克服  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  等离子的干扰，操作简便，运行稳定。而膜渗透等技术则受影响较严重；

(4) 在环保方面有明显优势：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  $200\text{mg/L}$  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，而堆浸工艺则是浓度越低成本越高。

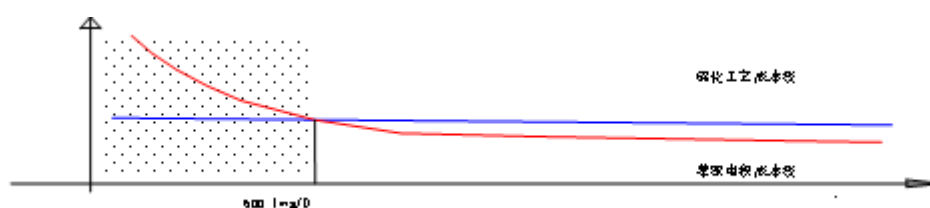


图 9 萃取电积与硫化工艺成本的比较

## 3.2 工艺流程

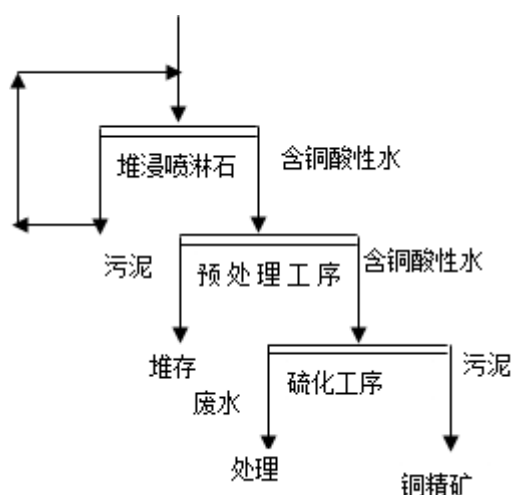


图 10 工艺流程图

## 3.3 关键技术

(1) 预处理工序可将水中  $\text{Fe}^{3+}$  含量控制在  $100\text{mg/L}$  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 和 ORP 可使外排水  $\text{Cu}^{2+}$  小于 1mg/L, 外排水  $\text{S}^{2-}$  小于 5mg/L,  $\text{Fe}^{3+}$  反应率低于 50 mg/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开工建设了国内首家硫化铜厂, 于 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量 1773t, 工业产值 6335.6 万元, 利润 2660.1 万元。

#### 5 技术综合利用效果及推广前景

采矿废矿石堆浸喷淋时产生的酸性水 pH 值为 2.2~2.5、含  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  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  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  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<sup>3</sup>, 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。减少了排放到环境中的有毒金属离子，回收铜金属 1773t，保护了环境。

该技术可以较好的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，经济成本较低，环境效益好。

## 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：**尾矿提取有价值组分

**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  $3.05\text{t/m}^3$ ，堆密度  $1.4\text{t/m}^3$ ；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  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$  等。

(二)、铜矿尾砂加硫酸后的反应原理:

(1) 黑铜矿:  $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

(2) 兰铜矿:

$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{CuSO}_4 + 2\text{CO}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$

(3) 孔雀石:

$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{CuSO}_4 + \text{CO}_2 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$

(4) 硅孔雀石:  $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SiO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

$\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3$

(5) 褐铁矿:  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 9\text{H}_2\text{O}$

$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$

(6) 硅酸盐:  $\text{SiO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_2 + \text{SO}_4^{2-}$

(7) 铝酸盐:  $\text{Al}_2\text{O}_4^{2-} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{Al}_2\text{O}_4 + \text{SO}_4^{2-}$

$\text{H}_2\text{Al}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3$

(8) 钙化合物:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$

(9) 镁化合物:  $\text{MgCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

### 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，排出的萃余液返回上料和末级浓密机作为调浆水和洗涤水循环使用。

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，干尾矿渣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，源源不断的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。

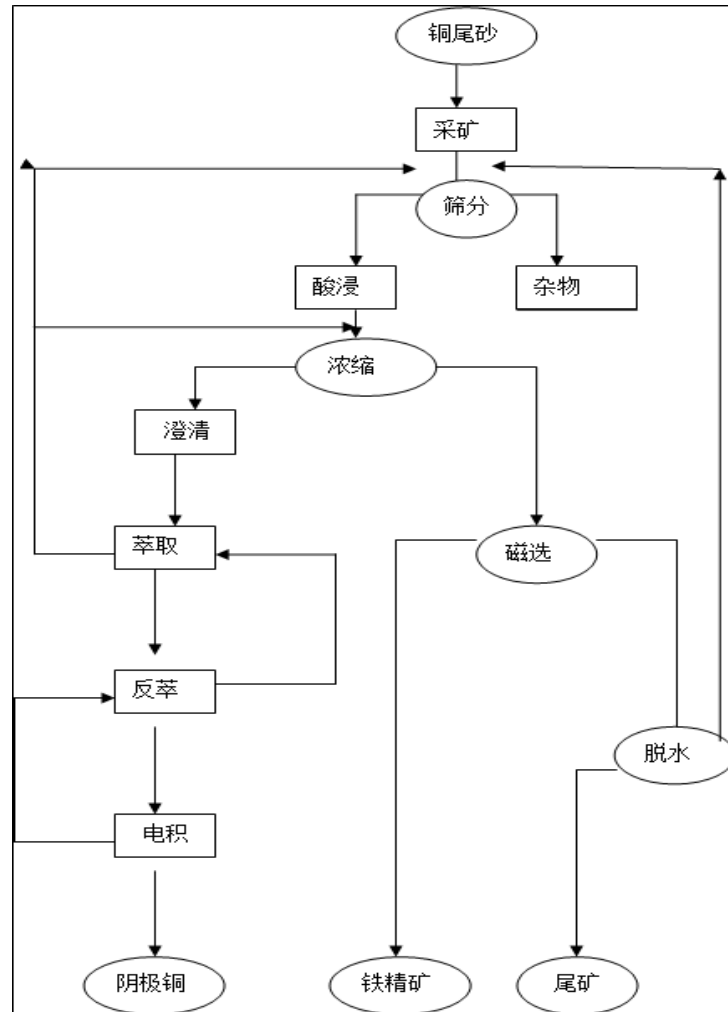


图 11 工艺流程图

### 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

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，获得的综合利用效益可达 1000 万元/年。

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 <sup>3</sup> /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 <sup>2</sup> ）	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。

#### 4 技术综合利用效果及推广前景

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。

应用该技术可为制砖厂和大型水泥制造厂家，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,同时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:** 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,各项指标达到和超过国家有关标准。

该产品具有以下特点:

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

2) 防水,不变性,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。该技术的应用具有很好的经济效益、社会效益和环境效益。典型项目的投资与收益情况见表 23。

表 23 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。项目的实施将改善企业生产条件和生活条件，增加就业，加速先进科技成果的推广应用。可安排就业人员 1076 人，年可产生社会效益 50000 万元。

## 5 技术综合利用效果及推广前景

年可处理尾矿砂 136400t；年可节约木材纤维产品充填体约 20000t；降低了堆存时尾矿易流动和塌漏造成的植被破坏和伤人事故的发生率；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的选用成熟、可靠，产品质量有保证，可带动周边相关行业发展，具有较好的经济、社会效益，具有很好的推广应用前景。

# 二十二、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：**尾矿生产建筑材料

**3 技术简介**

**3.1 基本原理**

尾矿中的主要组成部分  $\text{SiO}_2$  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 12 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 13 所示为利用铅锌尾矿等工业废弃物作为混合材生产 P.C 水泥的工艺流程，图 14 所示为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

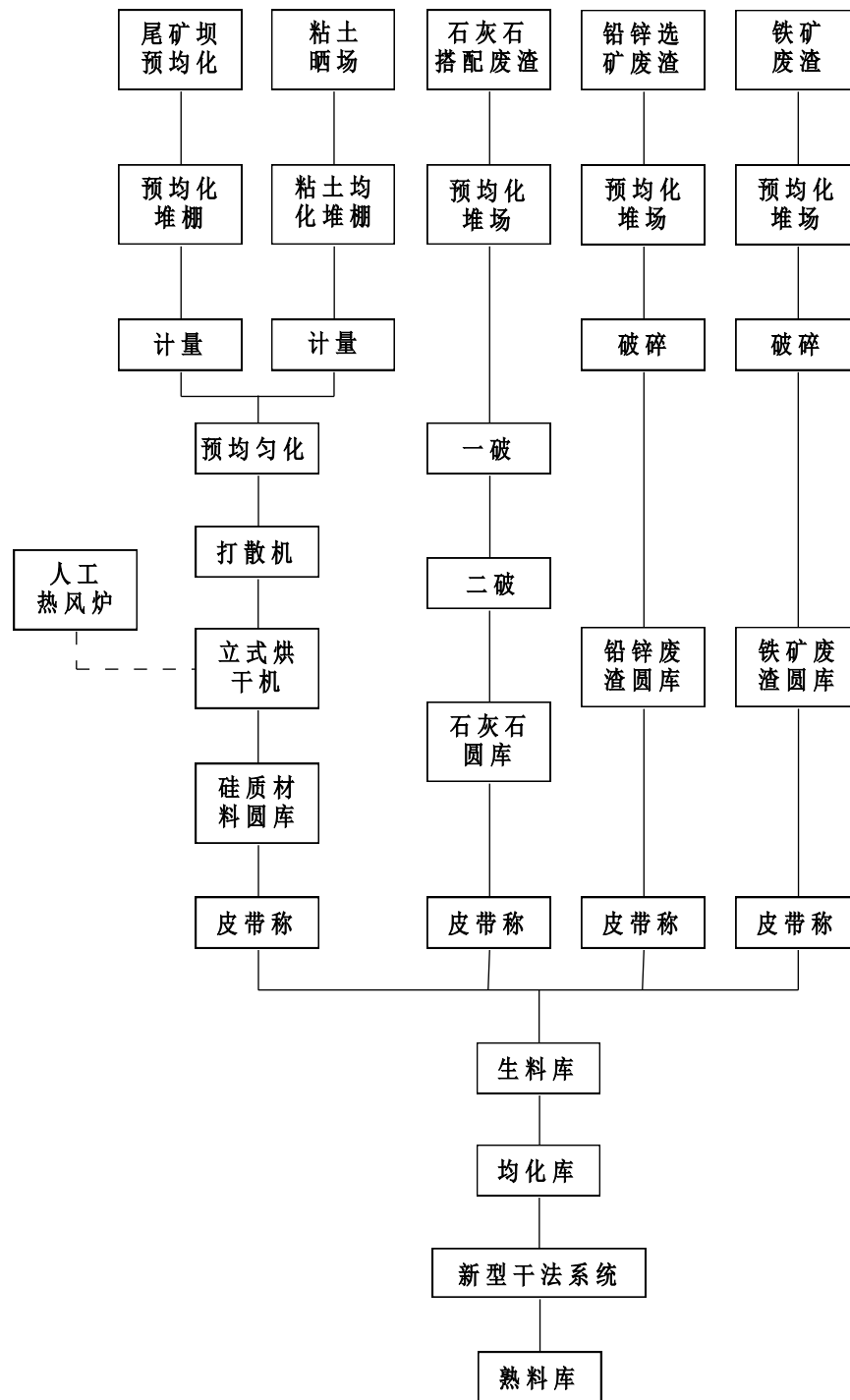


图 12 利用铅锌尾矿等工业废弃物作为原料配制生料生产熟料工艺流程

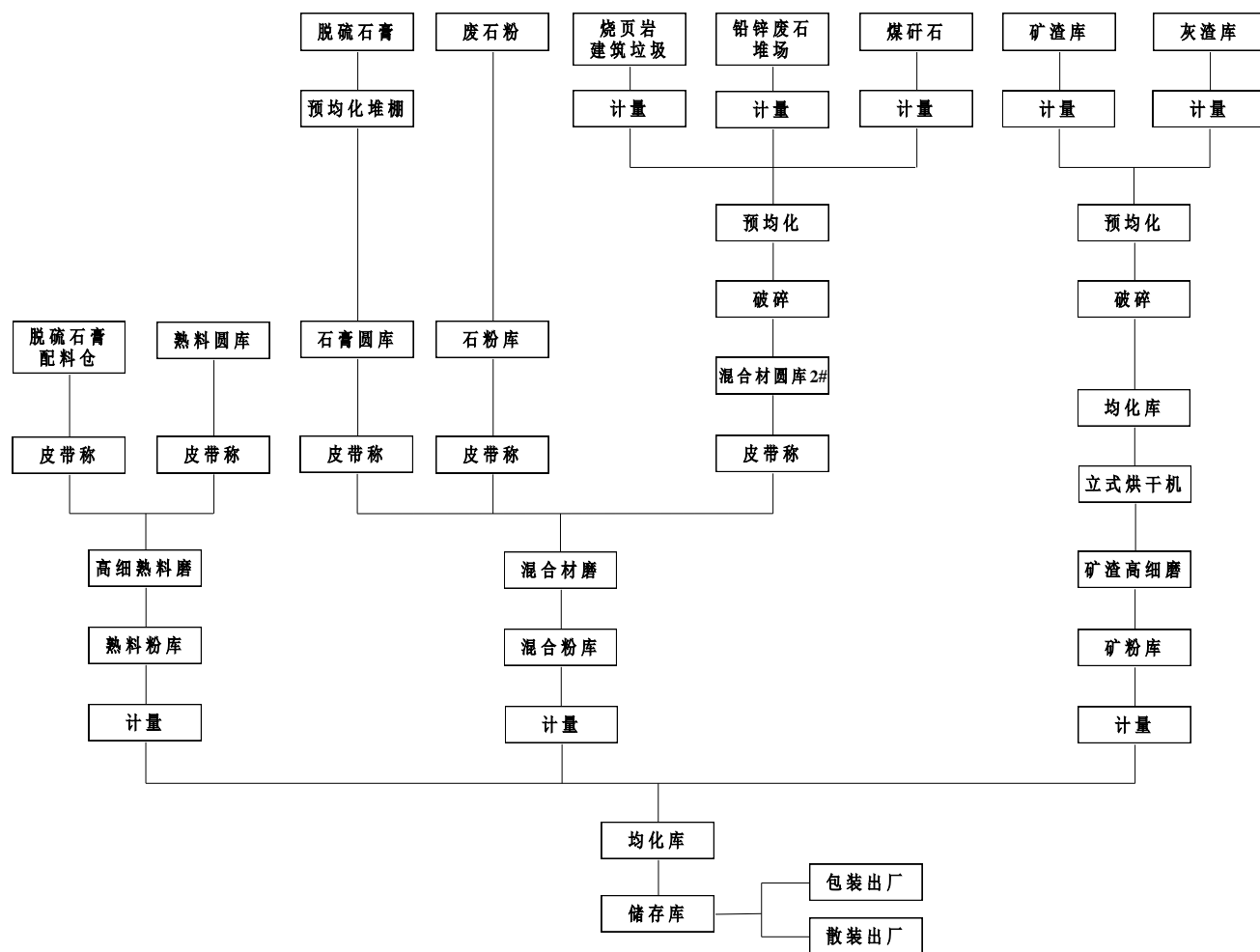


图 13 利用铅锌尾矿等工业废弃物作为混合材生产 P.C 水泥的工艺流程

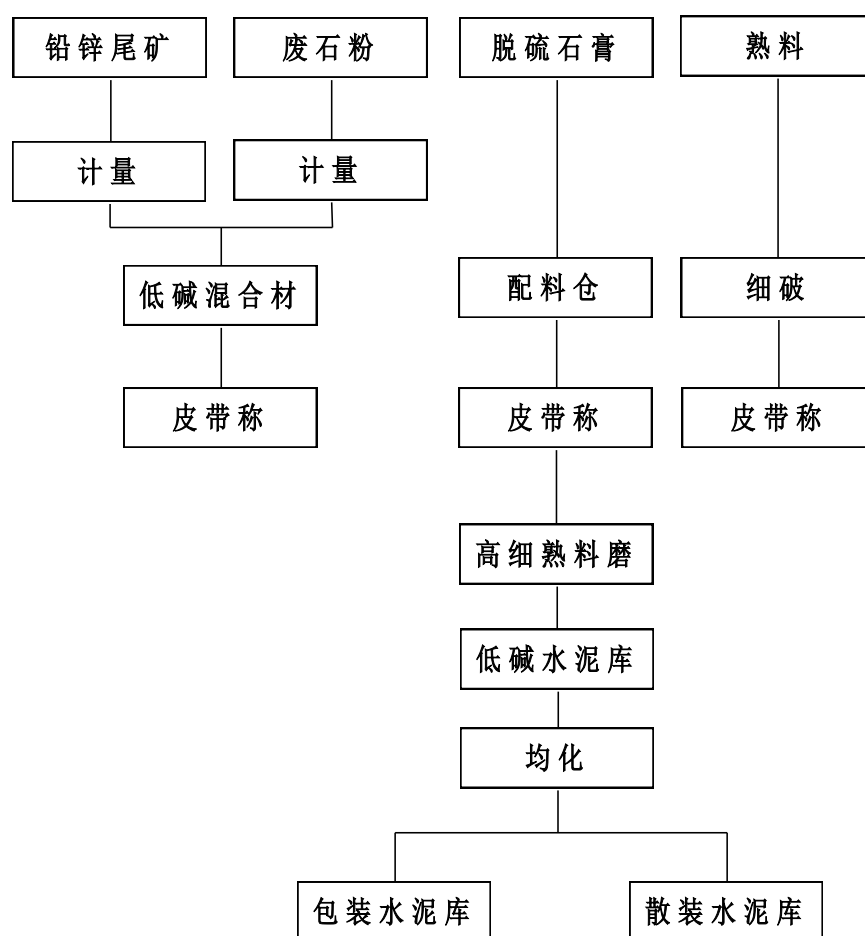


图 14 利用铅锌尾矿等工业废弃物生产 P.O42.5 低碱水泥的工艺流程

### 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，现在多数采取坝内堆放的形式处理，尾矿坝存在决堤而污染下游及地下水源的危險，且其中的重金属离子容易渗入地下水污染水源。利用铅锌尾矿渣生产水泥熟料，不仅可以

代替粘土生产水泥，而且含有的微量元素还可以促进熟料的烧成，同时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；而且尾矿中的碱含量比粘土低，生产出的水泥熟料对工程的适应性及耐久性提高，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使用，其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	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，首先是由于尾矿中含有的铅、锌和铜等微量元素可以对熟料的烧成起到催化作用，降低了烧成温度，使单位产品煤耗明显下降。

其次是由于熟料的易烧性得到大幅度改善，节约成本 200 余万元。仅煤电两项年节约成本 500 余万元。

第三是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，保护了有限的耕地，减少了水土流失，有效地保护了生态环境。

第四是商洛尧柏秀山水泥有限公司对矿产业尾矿渣等废弃物的综合利用和深度开发，减少了企业尾矿占地，解除了尾矿大量堆积造成的环保和安全隐患，使废弃的资源得到再生利用。

### 5 技术综合利用效果及推广前景

标准煤耗由过去的每吨熟料 143kg 降为 135kg，年节约用煤 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多家单位反复试验对比和实际应用证明，该水泥产品具有强度高、易性好、耐腐蚀、抗渗性良好，加之低碱的特性，混凝土的可靠性和耐久性得到保证。目前年产 60 万 t 的供应量远远不能满足市场的需求。因此该项目的产品具有广阔的市场前景。

## 二十三、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：**尾矿生产建筑材料

**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，从而使尾矿制砖产业化。产品一级品率和强度均达到现行标准。

**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 m<sup>3</sup>/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的应

用于建筑行业，并且得到房产开发商的好评。例如：欧洲城；南京农科院教学、住宅楼；东南大学江宁校区；典雅居二期；师范大学仙林校区等。

该公司在 2006 年 6 月还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。并于 2009 年 7 月和南京市六合区冶山矿合作又建立了两条生产线，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 25。

表 25 典型项目的投资与收益情况

总 投 资	450 万元	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综合利用梅山铁矿铁尾矿渣 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。企业降低成本带来的经济效益年可增加 280 万元。为梅山铁矿铁尾矿的综合利用开辟了一条新途径。

### 5 技术综合利用效果及推广前景

生产页岩尾矿烧结砖可综合利用铁矿铁尾矿渣 600t/d; 年产 7000 万块（折标）标准砖。

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；形成的综合技术、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，值得大力推广。

## 二十四、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：**尾矿提取有价值组分、尾矿生产建筑材料

**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，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

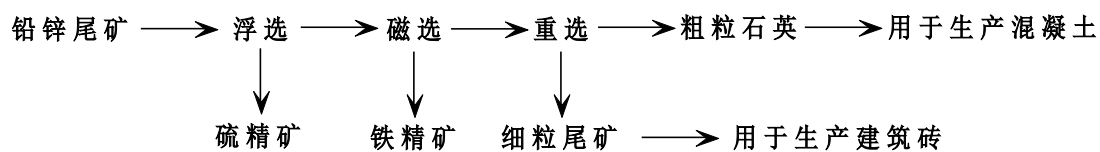


图 15 铅锌尾矿综合利用流程

### 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回收项目，综合回收了硫、铁等，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，尾矿的综合利用可消除尾矿中的重金属离子和选矿工艺中添加的各种过量药剂及选矿废水对地表水、地下水和周围土地环境造成的危害，环境效益显著。还可以解决部分职工的再就业问题，具有良好的

社会效益。该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	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 技术综合利用效果及推广前景**

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、铁等有价值元素，经济效益显著，且铅锌尾矿再选后用于生产建材，可以显著减少尾矿排量，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。

**二十五、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：**尾矿生产建筑材料

**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，工业废渣。

泡沫混凝土砌块吸水率 27.2%、抗冻性 - 20 ~ - 25℃（6h）→ 10 ~ 20℃水中（5h）50 次循环合格。优于加气混凝土 - 15 ~ - 20℃（6h）→ 10 ~ 20℃水中（5h）15 次循环。试制密度：903 kg/m<sup>3</sup>；常温导热系数：（干态  $\lambda$  0.166W/m·k），砌体厚度为 400（mm），传热系  $K_p = \lambda / 0.4m = 0.415 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$ ；砌体厚度为 300（mm），传热系  $K_p = \lambda / 0.3m = 0.553 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$ 。若砌体厚度 > 300（mm）则符合墙体节能 50%的规定，厚度 > 400（mm），符合严寒地区墙体节能 65%规定。

## **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 16 和图 17。

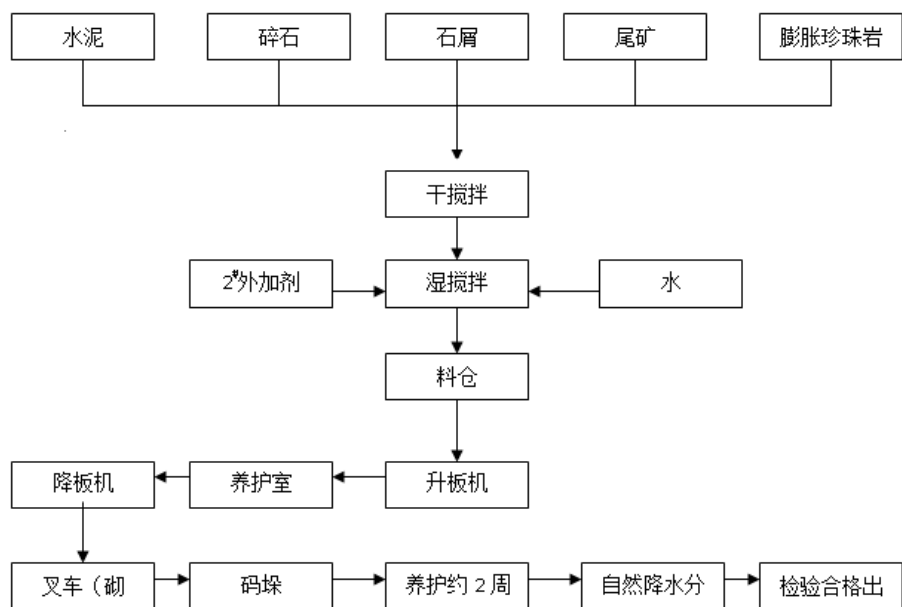


图 16 尾矿轻集料混凝土砌块生产工艺流程

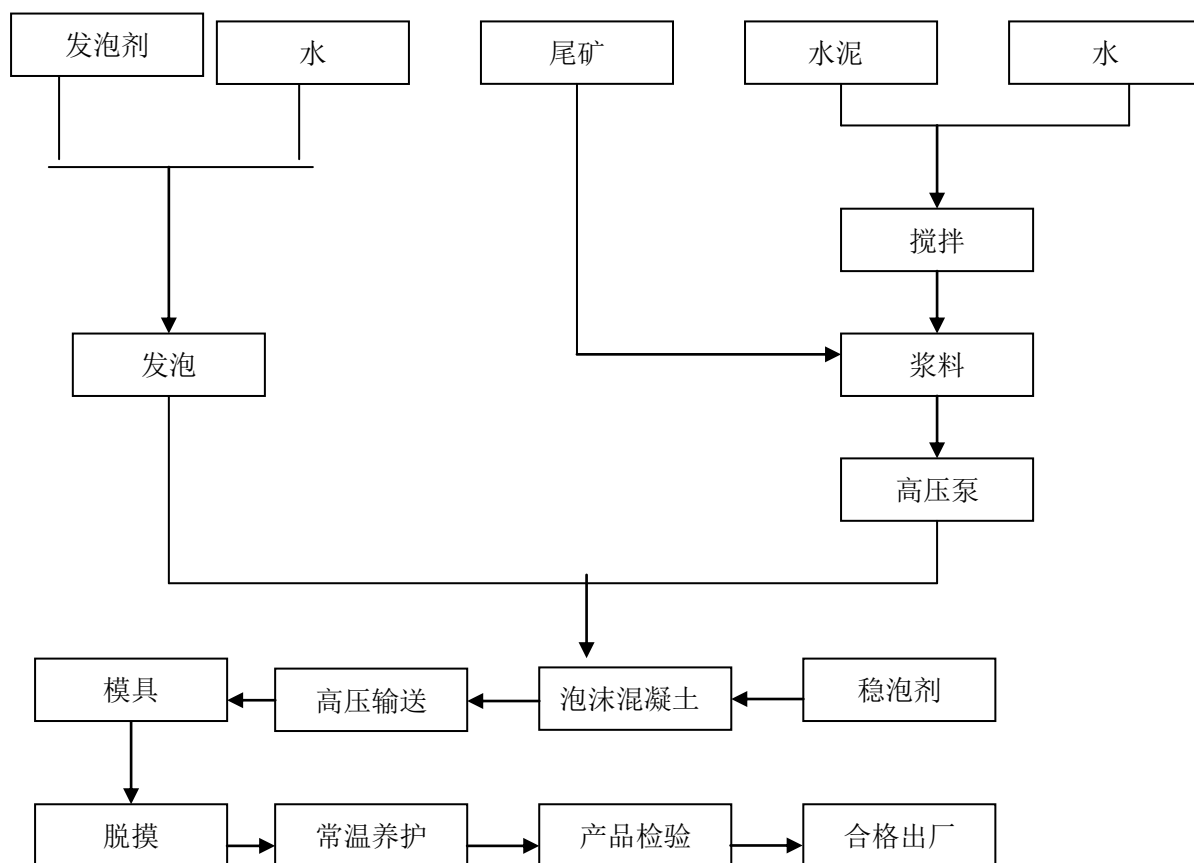


图 17 尾矿泡沫混凝土砌块规模化试生产工艺流程

### 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，并且气孔是封闭且独立的，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 27，具体情况如下：

表 27 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

项目的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 28 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：

$$\text{BEPR} = \text{年固定总成本} \div (\text{年产品销售收入} - \text{年可变总成本} - \text{年销售税金及附加}) \times 100\% = 30\%$$

可见，项目完成后，该企业只要生产能力达到设计规模的 30% 时，便可不亏损。

## 5 技术综合利用效果及推广前景

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。

# 二十六、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：**尾矿生产建筑材料

**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。计算期内,正常年份年实现销售收入 26021.80 万元,实现利润 2228.27 万元,税金 1124.14 万元,所得税后静态投资回收期 6.83 年,投资回收在同行业中相对较快,企业经济效益较好。该项目的投资与收益情况见表 1。

项目建成后,可安排 300 人直接就业,实现致富奔小康;年可利用堆废的尾矿砂 41 万吨以上,对促进治理环境污染具有很好的作用,具有良好的经济和社会效益。

表 29 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 技术综合利用效果及推广前景

新型彩釉波形瓦以铁矿尾矿砂废料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。

## 二十七、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：**尾矿生产建筑材料

**3 技术简介**

该技术主要是利用堆存的 300 多万吨尾砂，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，节省制造粘土砖所需耗用的日益紧张的煤炭资源，降低大气和环境污染。

(1) 采用轮碾式定量强制搅拌机将彩色混凝土瓦生产用原料搅拌均匀，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, 采用型盘转式压砖机对物料进行轨道预压, 由曲柄连杆机构挤压成型, 在常温下自然养护, 7 日内每 3-4 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, 该公司生产的金矿尾砂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。已有多家企业连续使用该公司的产品, 如烟台恒基建设有限公司、蓬莱登州建筑工程有限公司、山东蓬建建工集团有限公司等。

该技术的典型项目的投资与收益情况见表 30。

表 30 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、环境效益和生态效益。

5 技术综合利用效果及推广前景

利用尾矿资源，减少尾矿堆存占地，减少土地消耗，节省制造粘土砖所需耗用的日益紧张的煤炭资源，降低大气和环境污染，有利于保护日趋恶化的生态环境。金矿尾砂新型建材产品，不仅适应我国国情，也顺应了世界新型建材发展的方向；既有较好的经济效益和广阔的市场前景，也具有良好的社会效益、环境效益和生态效益。

## **二十八、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：**尾矿生产建筑材料

**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）经过配料后，经过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**

该技术生产工艺流程见图 18。

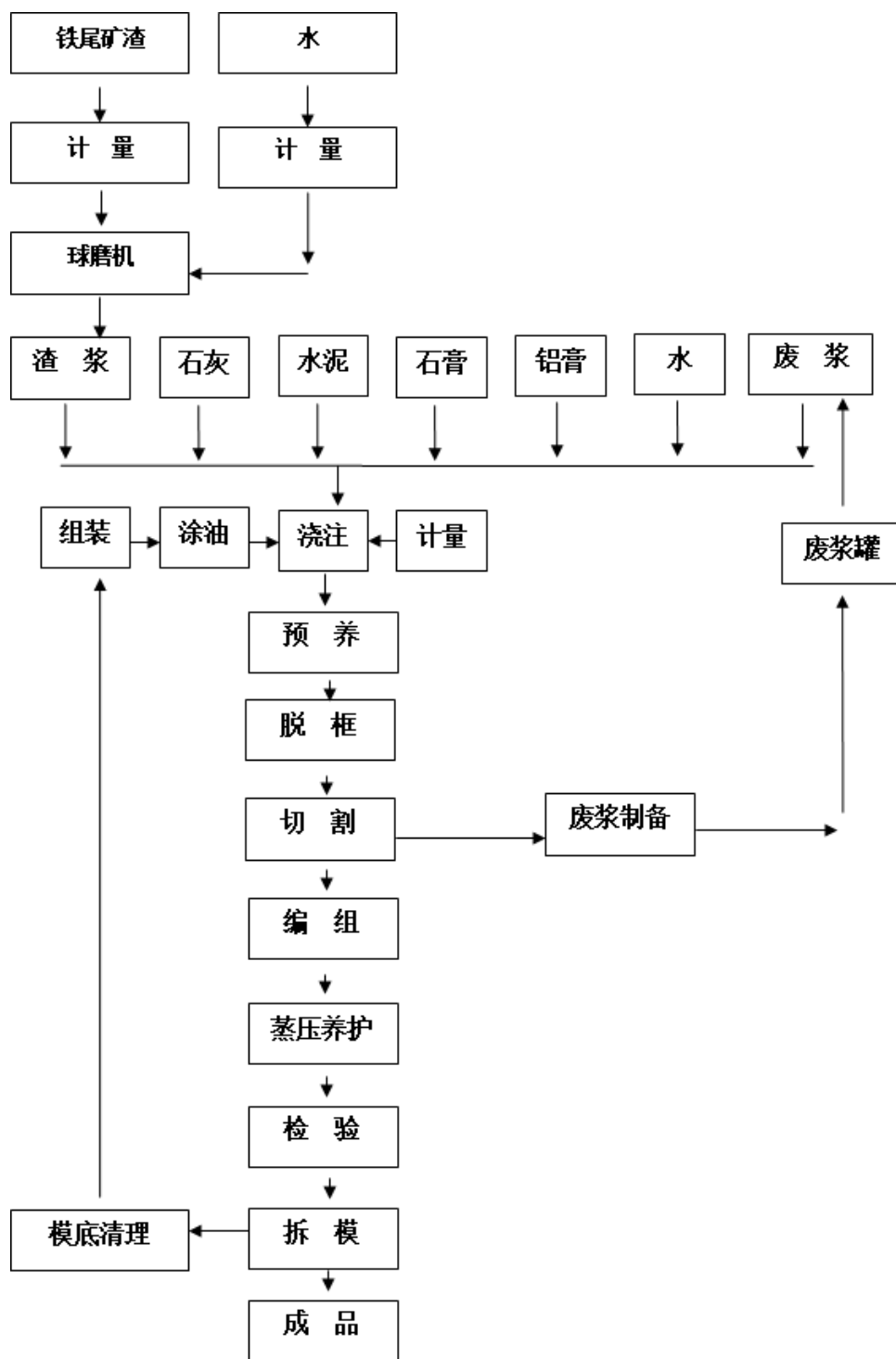


图 18 工艺流程图

### 3.3 关键技术

- (1) 控制磨细度及颗粒级配，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 31 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。经济与社会效益显著。

投资一年产 30 万 m<sup>3</sup> 的加气混凝土厂,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,年创造收入约 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 技术综合利用效果及推广前景

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,大多都存在于尾矿库中。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、隔声防火等一系列优点,得到国家政策积极推广。因此,利用尾矿生产加气混凝土节能潜力大,推广前景广阔。

# 二十九、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: 尾矿生产建筑材料

### 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  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量较低、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凝胶材料，采用湿热养护工艺生产蒸压尾矿砖，在激发剂的作用下，尾矿中的部分超细尾矿参与水化反应，对产品强度有促进作用。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%），工艺无有害物质排放，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。

目前国内墙材生产企业大部分选用粘土、碎石、砂子及轻骨料作填料，且需煅烧或蒸、压和大量的水来养护。这属于破坏资源生产建材，而 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以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。从而节省资源、节约能源、保护生态环境。

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，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。

### 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，经过物理作用压制成砖坯，然后进入到蒸压釜，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 19。

原料 → 配料 → 砖坯制备 → 成型 → 蒸压 → 标准砖 → 检质

图 19 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 20。



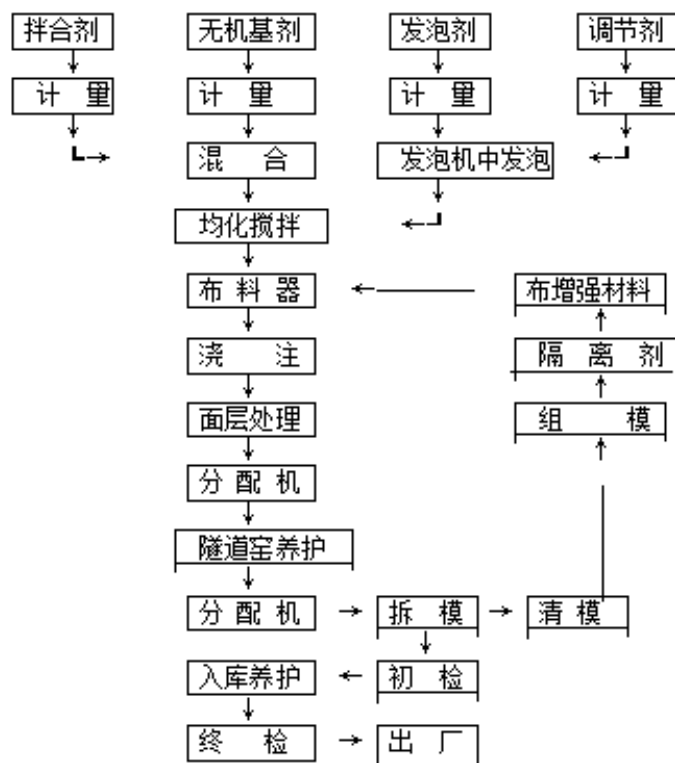


图 20 ASA 系列板材生产工艺流程

### 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) 水在成型和水化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 32 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，支撑符合国家标准的尾矿加气混凝土板材。

项目实施节约了大量的土地资源和矿产资源，改造了环境，治理了污染，还田于耕，还山于林。总体项目尾矿使用量达 60 万 t/年。

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 技术综合利用效果及推广前景

尾矿资源化，可以实现企业从矿山资源型企业向综合型企业转型

的一个重大的战略目标。能够使下层流失的矿产资源重新得到回收。  
为地方经济的发展和持续，注入新的活力和增长点，实现可持续发展。

### 三十、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：**尾矿生产建筑材料

**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；形成微孔网络结构，吸收排除水分；调解室内外干湿度，保证产品尺寸稳定性，增加产品的力学强度。

**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 33 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，年利用尾矿量达 6 万 t，产品中尾矿所占质量比达 30%。投资尾矿渣烧结多孔砖，

总投资 806 万元，综合利用效益达 102 万元/年。利用金属尾矿矿渣生产烧结多孔砖，年可节约资源 6 万 t，生产烧结多孔砖 2500 万块，实现产值 816 万元，正常年份可实现税金 22 万元，实现工业增加值 345 万元，实现利润 50 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 33。

## 5 技术综合利用效果及推广前景

减少尾矿占地，加强矿山安全，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。

# 三十一、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：尾矿生产建筑材料

## 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，技术为国内首创用  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  五元体系作为尾矿微晶玻璃基础配方工艺；以硅灰石及辉石作为主析晶相，采用“水淬-烧结法”生产工艺技术，进行尾矿微晶玻璃工业化生产。本技术的特点：一、利用尾矿废弃物为主要原料，可以变废为宝，有利于环保，降低生产成本。二、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，产品达到中华人民共和国 JC/T872-2000《建筑装饰用微晶玻璃》的标准要求。三、通过配方里引进特殊的添加剂和采用先进

的生产工艺，极大地降低微晶玻璃的气孔率，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 21。

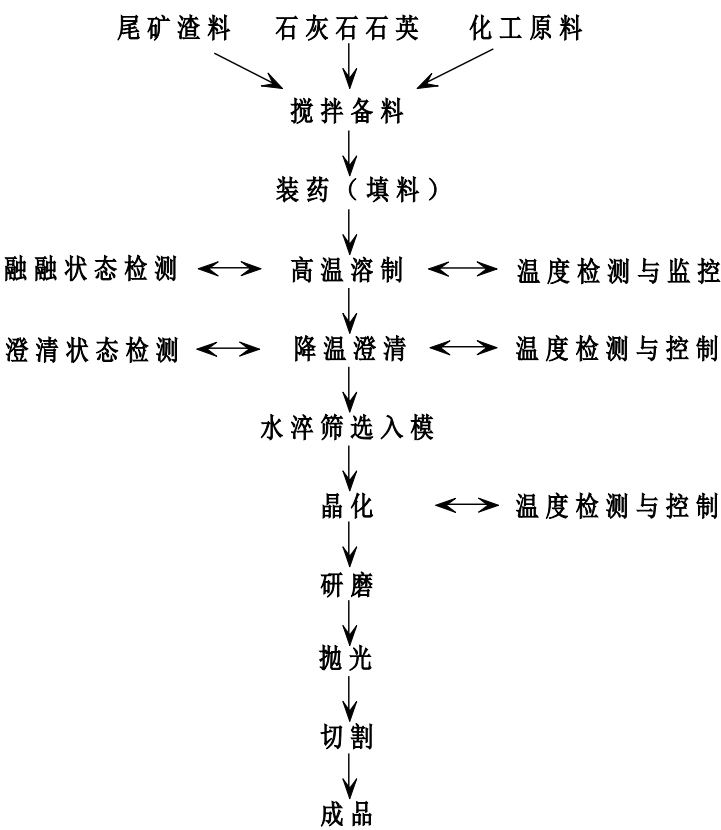


图 21 工艺流程图

3.3 关键技术

通过配方里引进特殊的添加剂和采用先进的生产工艺，极大地降低微晶玻璃的气孔率，消除了尾矿微晶玻璃产品表面气孔。板材不变裂和碎裂，使产品成品率达到 95%以上。

4 技术应用情况及典型项目

石材市场的发展存在着自然资源减少，石材加工过程中产生的废石对环境造成污染或花岗石具有放射性等问题，随着环保意识的增

强，花岗石、大理石等天然石材的开采量日趋下降，微晶玻璃的价格低于高档石材，是一种替代天然石材的高档建筑材料。年利用尾矿量达 20 万 t，产品中尾矿所占质量比达 60%。

表 34 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 34 所示为君达公司利用此技术设计出产能为年产 3 万 t 粒料，20 万平方米微晶玻璃板材生产线情况。其中平行板材微晶玻璃 17 万平米、弧形板材微晶玻璃 2 万平方米，异型板材微晶玻璃 1 万平方米。其经济效益为年产量 20 万平方米、年产值 1.5 亿元、年销售利税 5000 万元。

**5 技术综合利用效果及推广前景**

极大推动和促进国际上尾矿整体新技术发展，能够提供一项成熟的高附加值的产业化高新技术，具有很好的应用推广和产业化示范作用。同时该技术利用尾矿做原料符合国家倡导的循环经济的产业政策向导，可节约天然石材资源，具有较高的社会效益。

**三十二、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：**尾矿生产建筑材料
- 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、蒸养后制成的多孔轻质的加气混凝土制品。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，能大幅度降低建筑物自重，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

技术关键是研制和生产过程中要根据铜矿尾砂的不同性能和成份变化而随时调整各类成份的配比，从而达到产品制成过程中的有效发泡、脱模、成型。

## 4 技术应用情况及典型项目

表 35 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）： $20 \text{ 万立方} \times 245 \text{ 元/立方} = 4900 \text{ 万元}$

成本合计： $20 \text{ 万立方} \times 198.69 \text{ 元/立方} = 3973.8 \text{ 万元}$

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 GB11968-2006《蒸压加气混凝土砌块》国家标准，生产工艺基本达到零污染。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，同时与传统实心粘土砖相比本项目还具有以下的绿色环保和资源节约等优势：

（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带来的土地占用 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，基本达到废弃污染物零排放的目标，充分实现了对环境污染的防治。

（4）保障安全：可以消除铜矿尾砂库的安全隐患。

## **5 技术综合利用效果及推广前景**

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，在住宅居住使用中节能效果十分显著，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。

# **三十三、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：尾矿提取有价值组分、尾矿生产建筑材料

## 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，大量石英、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，富集分离其中的钼、锌、石英、石榴子石等，钼锌作为重要的金属矿精矿可以销售，粗颗粒的石英等用做混凝土细骨料，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 22。

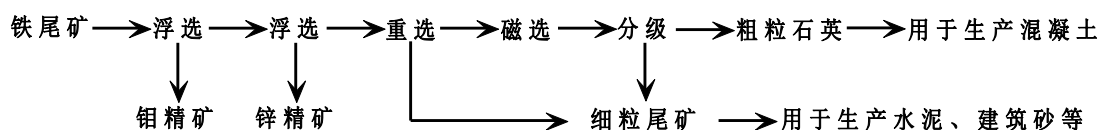


图 22 工艺流程

### 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，给企业带来了显著经济效益，同时具有良好的环境和社会效益。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 36。

表 36 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 技术综合利用效果及推广前景

华东地区有众多含钼、锌的铁尾矿，采用该技术可以使尾矿排量显著减少，并且尾矿中的有色组分得到充分回收，尾矿建材化的市场广阔，该技术所产生的经济效益和环境效益明显，技术推广前景广阔。

## 三十四、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：**尾矿提取有色组分、尾矿生产建筑材料

**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的溶解金、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  $\text{SiO}_2$  和钙质材料  $\text{CaO}$  为主要原料，掺加发气剂，经加水搅拌，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



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，排出浮选尾矿总量 27.7 万 t，对尾矿进行多元素含量分析，金平均品位在 0.25 克/t 左右，SiO<sub>2</sub> 含量在 63%-75%，具有一定的回收利用价值。金洲集团全年尾矿排渣、堆存、管理费用达 200 多万元。30 多年来，生产积累的尾矿砂堆存量已达 300 多万 t，占用土地山岚 500 多亩，尾矿每年以 28 万 t 增加，对周边环境安全造成很大影响。特别是富岭公司尾矿库已到服务年限，继续使用安全环保压力很大，新建尾矿库，则需要征用近百亩的土地。金洲矿业集团生产尾矿，除 5 万 t 井下充填，其余全部用于生产建筑市场所需要的加气混凝土砌块、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、防止污染、降污减排、变废为宝的目的。年实现综合经济效益 1100 万元，实现企业和社会双重效益。

## 5 技术综合利用效果及推广前景

对黄金矿山品位大于 0.25 克/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，具有较大环保效益，值得推广。

## 三十五、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：尾矿提取有价值组分、尾矿生产建筑材料、尾矿充填采空区及尾矿库复垦等

3 技术简介

### 3.1 基本原理

橡胶带式水平真空过滤机是将“烧结法”赤泥料浆直接给入胶带式水平过滤机进行赤泥分离与洗涤，赤泥分离后的滤液进入粗液槽，洗液进入相应的洗涤槽进行反向洗涤，滤饼用洗液冲洗进入赤泥混合槽，然后用底流泵送至赤泥洗涤工序。滤布用热水和碱液循环使用，滤饼排到赤泥堆场干堆放。

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。

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，在抽真空时，只能让水通过，空气和矿物质颗粒无法通过，保证无真空损失的原理，极大地降低了能耗和物料水分。

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。

HVPPF 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，可得到水份很低的滤饼，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，具有自诊断和自动报警功能，同时具有独特的真空辅助系统。

目前此设备已经达到国际先进水平，其应用在尾矿综合利用上是首创。

该尾矿处理设备及其处理工艺核心技术是新型过滤机的使用，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进行平整造田，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%，并且经济环保、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

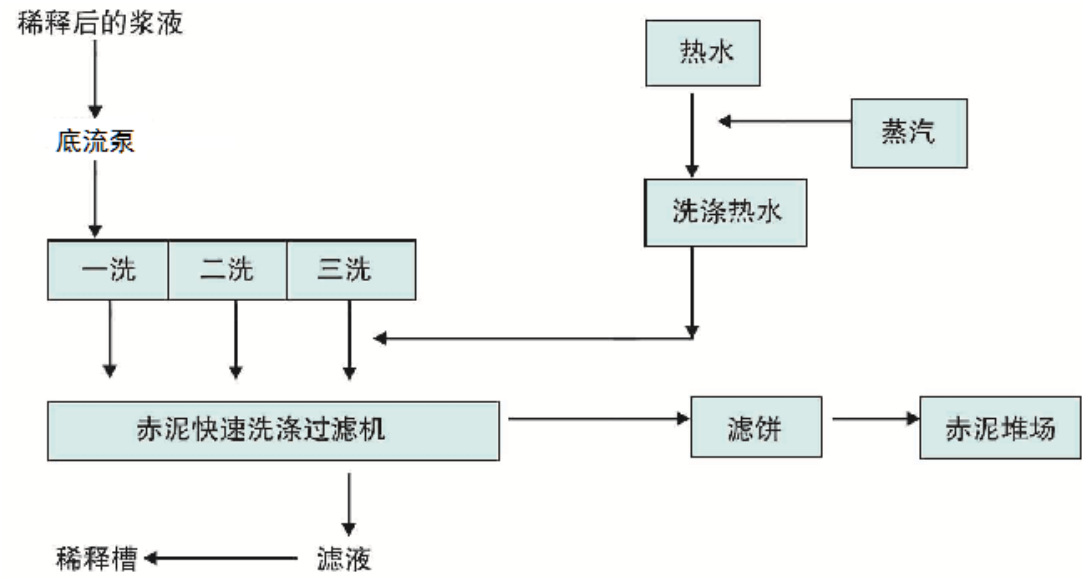


图 24 氧化铝赤泥综合处理工艺流程

采用胶带式水平真空过滤机为快速分离设备工艺流程技术原理：赤泥料浆直接进入胶带过滤机，进行赤泥分离和洗涤。赤泥分离后的滤液进入粗液槽，洗液进入相应的洗涤槽，进行反向洗涤。滤饼用洗液冲洗进入赤泥混合槽，然后用底流泵送至赤泥洗涤工序。滤布在线用热水和碱液循环使用。

(2) 尾矿综合处理

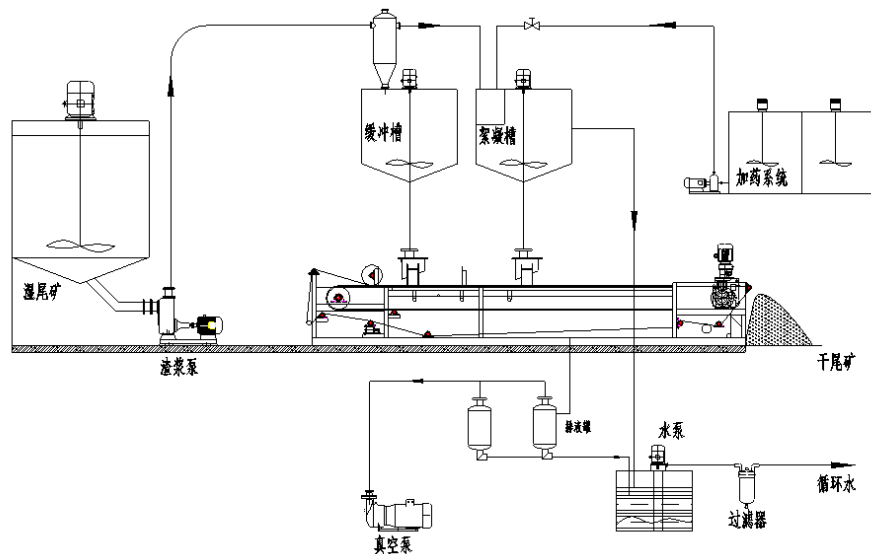


图 25 尾矿综合处理工艺流程

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

该尾矿处理设备及其处理工艺核心技术是新型高效过滤机的使用。

(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 15bar。陶瓷毛细微孔可控制在 0.2 微米，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统,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 技术综合利用效果及推广前景

我国是资源相对紧缺的国家,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,整机技术含量上达到了国内、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 万吨铁精矿分析,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,增加安全性,避免溃坝、漫坝、垮坝事故的发生。该尾矿综合处理设备及技术,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和社会效益。

对于世界难处理的氧化铝赤泥尾矿,也已研发出了从源头控制到

尾矿处理的新工艺，此项工艺目前在中国铝业已经应用。该尾矿综合利用处理设备及技术已推广到全国 100 多家企业使用，有效地降低安全事故，保护环境。

## 三十六、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：尾矿提取有价值组分、尾矿生产建筑材料

3 技术简介

### 3.1 基本原理

(1) 尾砂提取有价值组分原理：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，选出有价值组分。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）。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）】。

### 3.2 工艺流程

(1) 处理尾矿库尾砂提取组分工艺流程如下：

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的工艺流程:

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

处理尾砂的原理、工艺流程简单，关键技术在于：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经处理提取组分后的尾砂可以用来制成新型建筑材料。

4 技术应用情况及典型项目

表 38 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 万吨，综合利用效益达 1000 万元/年。

表 38 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 技术综合利用效果及推广前景

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（该新型墙体材料产品已经浙江省发展新型墙体材料办公室认定，生产出的蒸压加气混凝土砌块（砂）已经国家建筑材料工业墙体屋面材料质量监督检验测试中心检验测试为产品合格），实现无尾砂排回尾矿库，消除尾矿库的安全隐患。整个生产处理尾砂工艺，

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。

## 三十七、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：尾矿充填采空区

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经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。其生产工艺流程图如图 26：

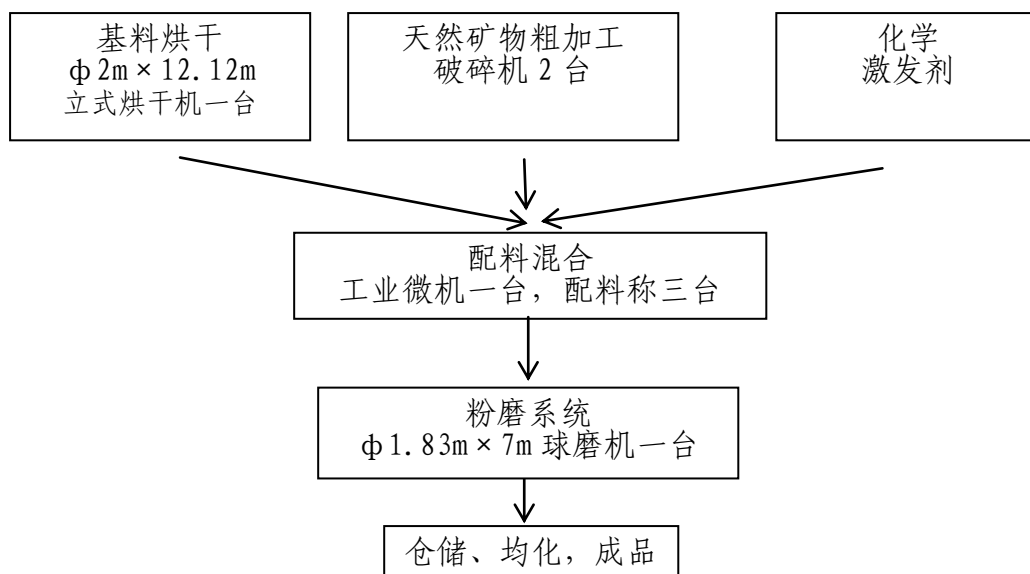


图 26 新型尾砂胶结材料生产工艺流程图

## (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 27 如下：

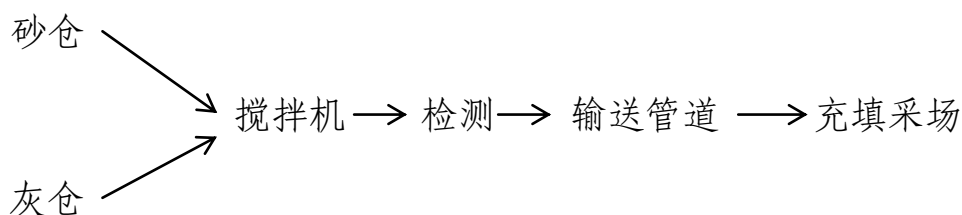


图 27 尾矿胶结充填工艺流程

## 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。到 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。2005 年元月至 2010 年 9 月 20 日累计充填量 96.5 万  $\text{m}^3$ ，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程度的改观。

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不良现象，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 28d 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 39。

表 39 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 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		材料用量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )		材料 成本 元/ $\text{m}^3$
					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/m<sup>3</sup>，公司按年均充填量 28 万 m<sup>3</sup> 计算，每年可节约充填胶结材料成本 261.8 万元。

新型尾砂胶结材料的生产原料主要为冶炼厂排放的“工业废渣”，其生产综合成本在推广应用规模化生产后会有下降空间，将进一步提升其应用价值。

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 技术综合利用效果及推广前景

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 万吨/年（价值 6000 万元），矿山综合回采率提高 10% 以上，应用前景广阔。

## 三十八、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：尾矿充填采空区

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“清洁化生产”，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”，取得了非常好的应用效果。

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。在国际膏体充填技术领域尚属首次遇到，膏体充填技术难度很大。

### 3.2 工艺流程

工艺流程见图 28。



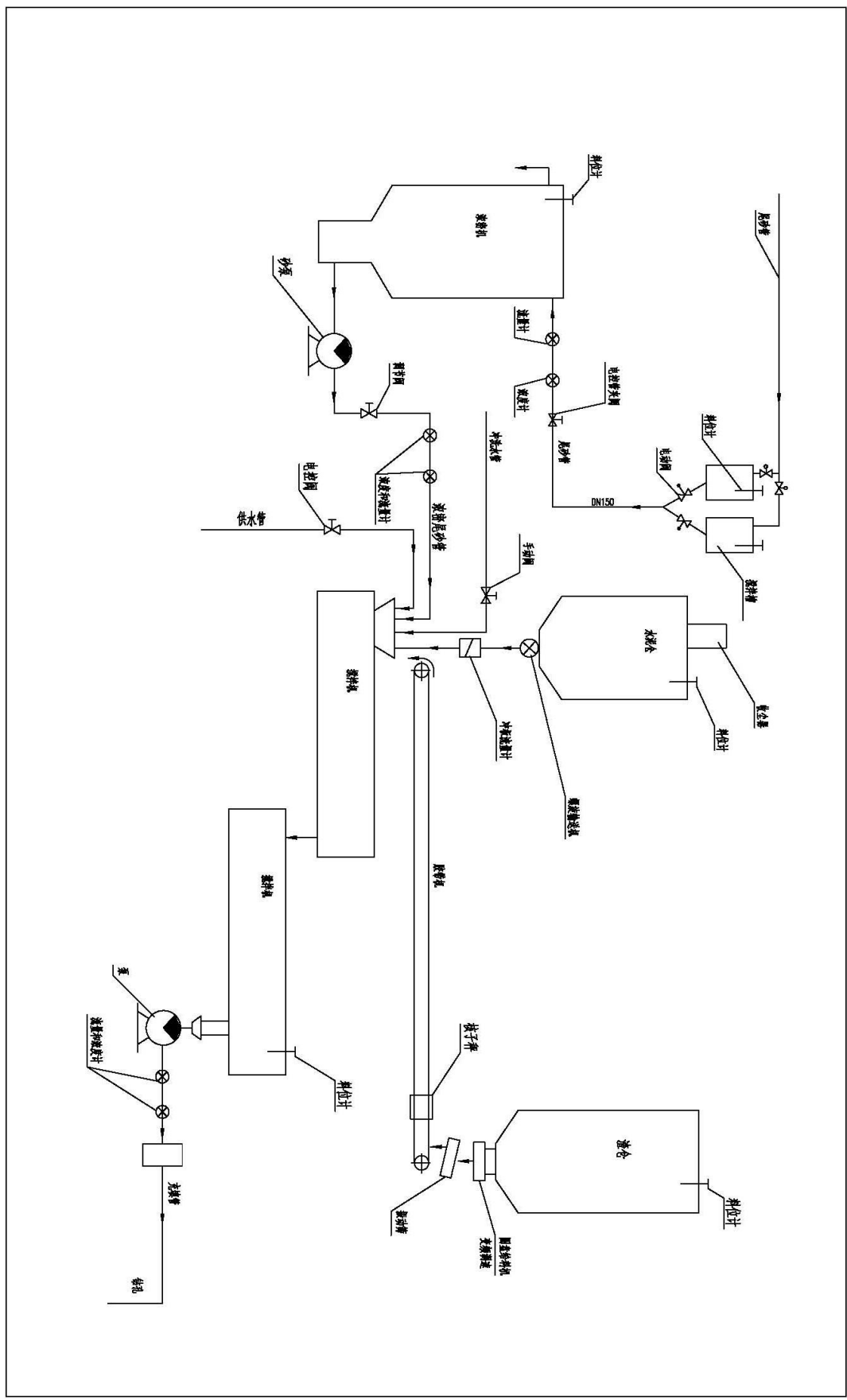


图 28 工艺流程

### 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”，并成功应用于其它矿山。
- 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 40。

表 40 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 技术综合利用效果及推广前景

“深井矿山清洁化生产成套技术及装备研究”技术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,累计已创造直接经济效益 18909.59 万元,应用前景广阔。

## 三十九、尾砂浓缩贮存装置

### 1 技术名称: 尾砂浓缩贮存装置

### 2 技术适用范围: 尾矿充填采空区

### 3 技术简介

“新型高效(全)尾砂浓缩贮存装置”是具有国际先进水平的(全)尾砂脱水装置,并具有贮存功能。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。该装置是尾砂充填和排放工艺中的关键设备。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。

#### 4 技术应用情况及典型项目

该技术为中国恩菲工程技术有限公司研发，已经在崇礼紫金矿山成功使用。崇礼紫金矿山充填系统建成以后，在投入正式生产前进行工业试验来验证充填系统可靠性，而后投入正常生产运营。

首先，对工艺流程上的相关设备进行单体空载试车、设备联动试车，然后进行系统清水联动试车，把整个充填系统井上井下的工艺流程调试通畅。最后进行带料负载联动试车，逐渐增加充填料浆浓度和水泥的添加量，使之达到设计的要求。调试完毕后逐渐进入正常生产状态，目前充填搅拌站正常两班作业，充填系统的连续充填质量浓度稳定在约 70%（对应体积浓度约 47%），流量 80—100m<sup>3</sup>/h，胶结时采用配比 1:8。整套系统具有较好的可连续性、稳定性。在采场形成的充填体强度良好，现场进行料浆试块的检测可以满足采场强度的要求，无明显的分层现象，说明充填料浆搅拌效果好，合适的料浆浓度和灰砂比保证了充填体的强度需要。

利用该技术的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	3000 万元	其中:设备投资	1200 万元
运行费用	1100 万元/年	设备寿命	20 年
综合利用效益	1400 万元/年	投资回收年限	3 年

## 5 技术综合利用效果及推广前景

使用该装置的充填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。保护环境，为建设无废排放矿山奠定基础。全尾砂胶结充填技术连续应用三年，使用效果良好。该装置应用技术经济和社会效益显著，拥有广阔的推广应用前景。

## 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：尾矿充填采空区

3 技术简介

### 3.1 基本原理

全尾砂结构流体胶结充填即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

选厂浓度约 10%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。充填前排除全尾砂料面上的澄清水，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

该项目研究成果具有以下创新性：

（1）实现了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，较浓密过滤两段脱水，系统工艺大为简化，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  $4000\text{m} \times 800\text{m}$  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，直接节省投资 1.46 亿元；

(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 万吨，延长矿山服务年限 10 年，总价值达 40 亿元。

(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 技术综合利用效果及推广前景

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实现充填作业提供了示范作用，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：尾矿充填采空区

### 3 技术简介

#### 3.1 基本原理

通过特殊的立式砂仓脱水技术，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）管道自流输送降压系统以及采场泄水技术，突破了极细粒级高浓度全尾砂浆的立式砂仓制备技术和深井开采全尾砂高浓度充填料浆自流管输降压的关键技术，形成了立式砂仓流态化全尾砂高浓度连续充填技术，解决了深部高大采场嗣后充填问题。

#### 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

极细粒级高浓度全尾砂浆的立式砂仓制备技术和深井开采全尾砂高浓度充填料浆自流管输降压的关键技术。

### 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



## 6 技术综合利用效果及推广前景

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：尾矿充填采空区

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。

通过膏体充填材料性能研究，膏体输送技术试验，工程化技术研究，现场工业试验，建立了膏体充填管流沿程阻力的“驰宏经验公式”，申请了“全尾砂深度可控匀质浓缩技术”“位控反切膏体搅拌装置”“满管自流管道冲洗方法”等6项国家专利，首次将性能独特、特征各异的氧化矿全尾砂、硫化矿全尾砂、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。

膏体充填技术推广应用立为国家首批循环经济试点企业项目内容。驰宏公司对膏体充填技术的突破，被指定为 2006、2007 年连续两届中国国际矿业大会参观考察地，对国际膏体充填技术的应用和发展具有重大的影响。

#### 5 技术综合利用效果及推广前景

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的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：尾矿充填采空区

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，喷咀活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的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 万吨，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，使得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 技术综合利用效果及推广前景

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，节约地表尾矿堆放土地资源，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：尾矿充填采空区

3 技术简介

### 3.1 基本原理

采用分级尾砂胶结充填采矿法，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 8—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：对采空区充填前，做好相关的准备工作：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；打开搅拌桶观察，冲洗搅拌桶周壁，并清除给灰口的结块。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。

## 6 技术综合利用效果及推广前景

该技术是一项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的先进技术。除此，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：尾矿充填采空区

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，作为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 29。

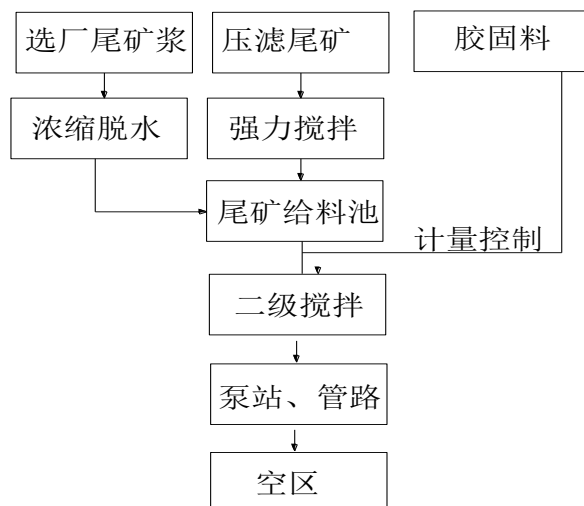


图 29 工艺流程

## 5 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：由于铁山矿区距离选矿厂较近，选择从选矿厂压滤车间Φ18m 浓缩池直接进入胶充系统。选厂尾矿经管路进入压滤车间Φ18m 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



## 6 技术综合利用效果及推广前景

该项目年利用尾矿量 30 万吨，2005 年至今，已多回采出矿石 50 万吨，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。

## 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：尾矿充填采空区

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。

## 6 技术综合利用效果及推广前景

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，经济社会效益显著。广泛运用于金属矿产资源开采领域，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：尾矿充填采空区

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，采场充填至采场顶板 0.3—0.5 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与充填挡墙结构以实现安全采矿与回填目的。充填料配比涉及原则为：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 万吨，年综合利用效益 40 万元。

## 5 技术综合利用效果及推广前景

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：尾矿充填采空区

3 技术简介

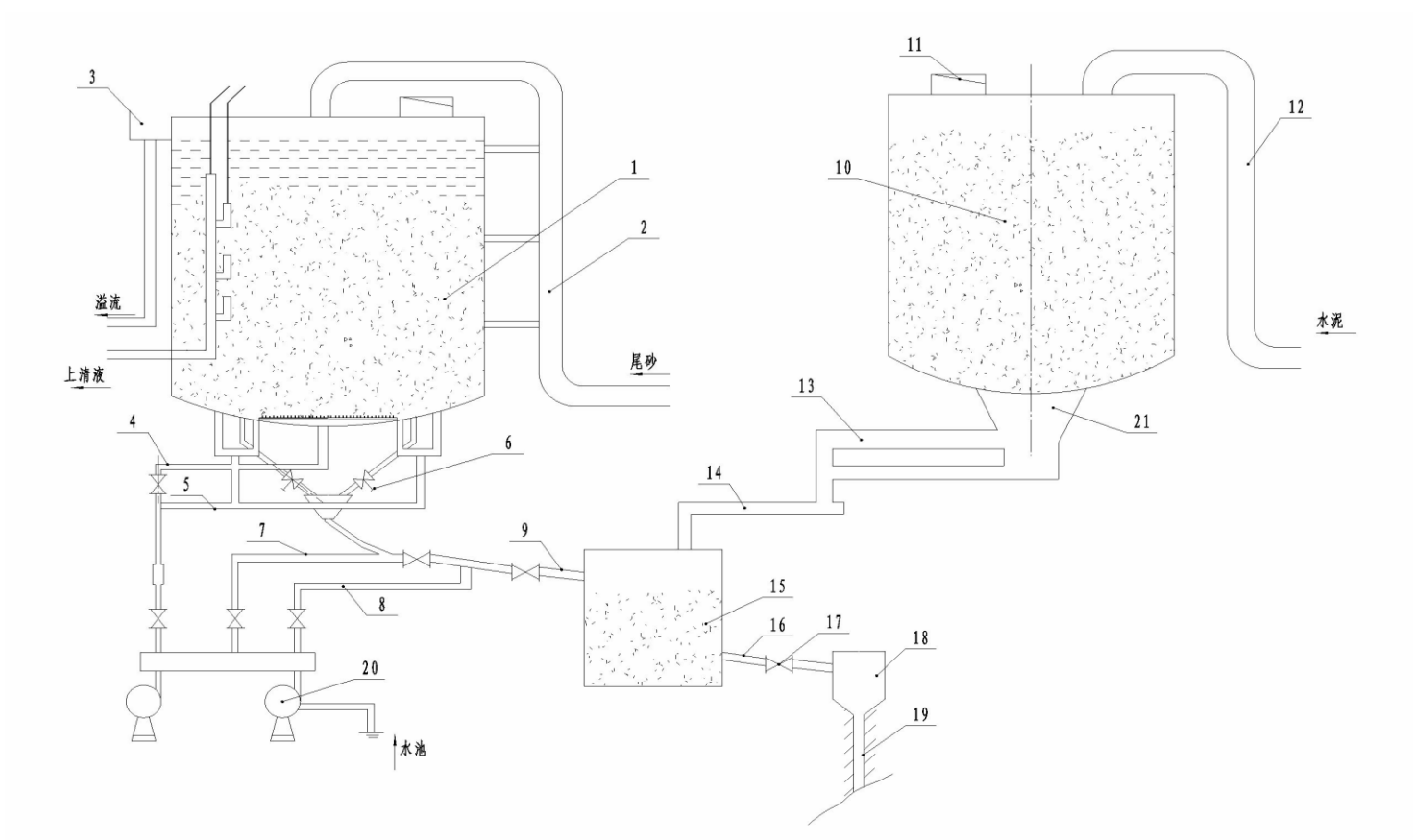
### 3.1 基本原理

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 900m<sup>3</sup>，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  $\phi 2m$  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  $\phi 110mm, h=236m$  的垂直钻孔至五中段，用  $\phi 89mm$  充填管连接，自动输送到井下各采空区。国内同类矿山比较：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 30。



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. 造浆喷咀水管 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. 重锤物位计 12. 水泥输送管 13. 双螺旋喂料机 14. 微机螺旋定量给料称 15. 搅拌桶 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 30 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 技术综合利用效果及推广前景

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 120000m<sup>3</sup>的采空区实施充填；三是确保了年产 40 万吨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 978733m<sup>3</sup>。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，并且已运行十多年，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：尾矿充填采空区

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失车间过滤，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，实现尾矿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 万吨的要求。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 万吨；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 技术综合利用效果及推广前景

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。

# 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：**尾矿农用领域

**3 技术简介**

### 3.1 基本原理

首先，提取和回收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  $\text{SiO}_2$  含量低于 35%。第三，通过熔融

氧化反应，回收尾矿中的重金属；钝化残留重金属，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，使无害化处理后的尾矿原料中不含有毒、有害物质。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）。这样，既消纳了尾矿资源，又利用了尾矿的中、微量及有益元素。

### 3.2 工艺流程

该技术的工艺流程图见图 31。

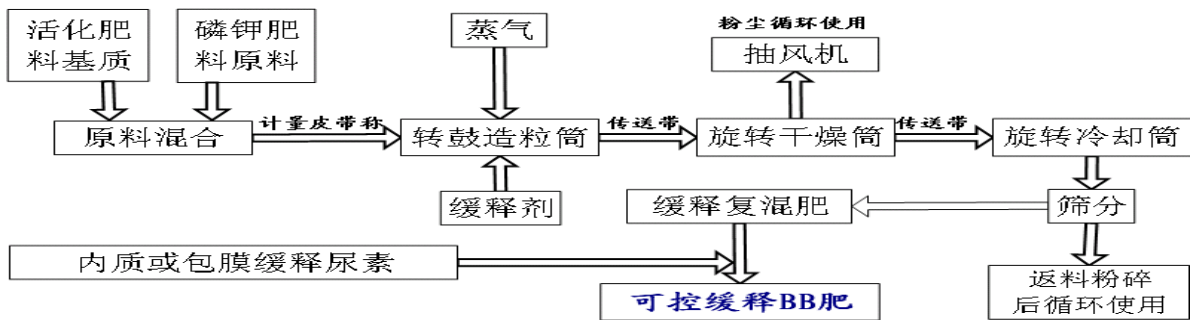


图 31 工艺流程

### 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 万吨，实现年产全价元素可控缓释肥料 60 万吨、土壤调理剂 40 万吨。典型项目的投资与收益情况见表 1。

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追尽消纳且全回收、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) $\geq 20\%$ ;

(7)帮助企业新增经济效益(尾矿农用产品毛利率在25%以上) $\geq 20\%$ ;

(8)增加粮食产量(在等量养分情况下) $\geq 20\%$ 。

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 技术综合利用效果及推广前景

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。

## 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：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

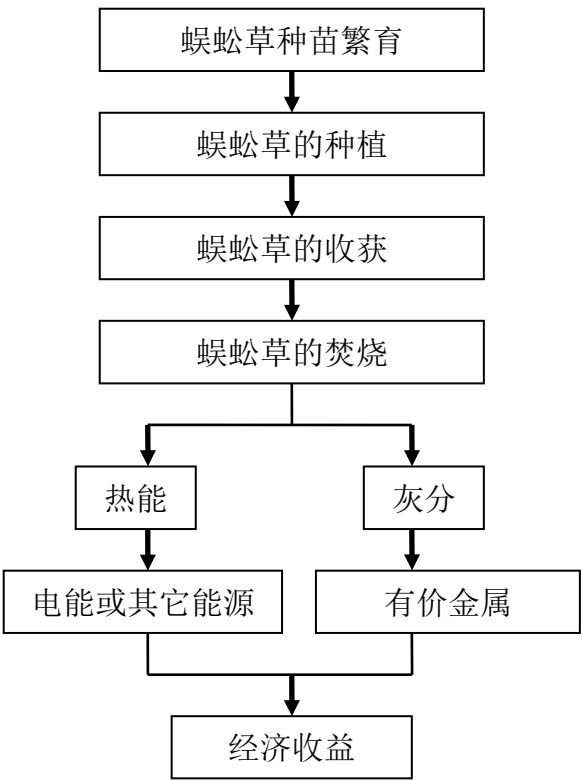


图 32 工艺流程

该技术的工艺流程如图 32 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。

截至 2005 年，我国尾矿堆放占用土地达 1300 多万亩，面对这么大的尾矿占地面积，即使复垦其中很小一部分尾矿，也需要大量种苗；而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 1。

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： $(693.5 \text{ 元/ha} + 1100 \text{ 元/ha}) \times 80/15 + 72 \text{ 万} = 73 \text{ 万元}$ 。

## 6 技术综合利用效果及推广前景

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。