

选正浮选和反浮选的药剂制度如表所示。

分步浮选正浮选药剂制度

药剂种类	药剂浓度, %	单耗, g/t 混磁精	单系统加药量, ml/s
DF	3	550	330
KS-III	6	100	30
NaOH	20	1200	92
DF	3	500	255
CaO	2	800	610
KS-III	6	粗选 542 精选 450	粗选 138 精选 115

含碳酸盐赤铁矿石采用阶段磨矿-粗细分选-重选-磁选-分步浮选工艺, 获得了总精矿铁品位为 63. 03%, 回收率为 63. 77%的分选指标, 综合总效益达 23396. 88 万元/年, 表明含碳酸盐赤铁矿石通过该分选工艺, 能获得合格的精矿指标。

### 五、典型实例及成效

含碳酸盐赤铁矿石 “分步浮选” 工业试验从 2010 年 5 月 14 日开始在鞍钢集团公司东鞍山烧结厂全面进行, 工业试验的第三天整个分选过程就已经稳定运行, 后续考察了不同菱铁矿含量、不同类型含碳酸盐赤铁矿石、不同药剂制度等对 “分步浮选” 工艺分选效果的影响, 工业试验至 2010 年 8 月 23 日结束, 历时三个多月。取得平均精矿品位达 63. 03%, 回收率为 63. 77%分选指标, 三个多月的试验结果表明, 含碳酸盐赤铁矿石 “分步浮选” 工艺取得了历史性的突破, 原来无法利用的含碳酸盐赤铁矿石均可以采用该工艺进行处理, “分步浮选” 工艺的适应性强。应用分步浮选工艺的实践表明, 该工艺运转平稳, 药剂控制简单, 分选效果较好。东鞍山烧结厂选矿作业区每年增加可处理矿石资源 170 万吨, 使东鞍山地区约 5 亿吨含碳酸盐铁矿石可以得到高效利用。

### 六、推广前景

含碳酸盐铁矿石一般是指赤铁矿或磁铁矿矿石中含有菱铁矿等含碳酸盐矿物, 我国多个地区都含有此类型矿石, 如太钢峨口铁矿、宝钢梅山铁矿、重钢綦江铁矿、酒泉钢铁公司、新疆切列克其铁矿等地, 初步估计全国含碳酸盐铁矿石储量达 50 亿吨以上, 鞍山地区含碳酸盐赤铁矿石主要分布在东鞍山、小孤山和黑石砬子, 总储量约 10 亿吨, 其中以东鞍山铁矿储量最大, 约 5 亿吨, 因此, 针对此类矿石研发的 “分步浮选” 技术为复杂难处理资源高效利用提供了技术支撑, 具有良好的推广前景。

## 38. 黑色金属矿山高压辊磨机超细碎技术

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

适用于黑色金属矿山选矿细碎及超细碎。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

该高压辊磨机沿用“静压破碎”原理，对矿石外部直接施加静载高压，使其内部矿物晶粒受到损伤而产生众多微裂纹从而达到超细碎目的。通过以下过程实现：在固定设备机架上并排水平安装两组高压辊，每组高压辊配独立传动装置并使其逆向旋转（一组辊沿辊心固定旋转称为定辊，另一组除沿辊心旋转外还能沿水平方向滑动称为动辊）。矿石物料由高压辊自旋转带入高压辊磨机工作区，动辊在水平方向液压传动力作用下不断向矿石施加静载高压，由于辊磨的相向旋转与动辊的不断高压压缩，矿石矿物晶粒与晶粒之间、晶粒表面形成大量的微裂纹，矿石被破碎并最终达到矿石超细碎。

#### （二）关键技术

1. 整机采用液压耦合传动、减速机无反力矩固定式机座。
2. 整机使用万向传动轴并且辊轴直接连接。
3. 镶嵌硬质合金柱钉辊面，耐磨性高，寿命长。

#### （三）工艺流程

矿石粗碎—中碎—细碎—高压辊磨机超细碎—打散—闭路筛分—球磨系统—磁选—浓缩—精矿。

### 四、主要技术指标

入料矿石粒度 $\leq 20\text{mm}$ ，出料矿石粒度 $-6\text{mm}$ 在80%以上；柱钉辊面寿命 $\geq 10000\text{h}$ ；球磨机处理能力提高20%-30%；磨机磨矿电单耗下降25%左右。

### 五、典型实例及成效

高压辊磨机是国外近些年来按照高静压粉碎原理发展起来的先进破磨设备，

是粉碎领域一项创新技术，本设备不但能代替选矿细碎、粗磨，而且能实现“多碎少磨”的技术理念。2000 年以来国内水泥行业率先引进国外高压辊磨设备并成功应用，同时程潮铁矿和南山铁矿分别引进国外的镶嵌合金柱辊面高压辊磨机将其成功应用于金属矿山，应用实际效果良好。高压辊磨机在金属矿山的成功引进和其显著的节能增效效果引起国内相关行业和部门的重视，均开始着手进行研究并研制高压辊磨设备。2008 年重钢西昌矿业公司与安徽天源科技股份有限公司合作研制中小型高压辊磨机于 2010 年成功应用于西昌矿业公司选矿厂，投资 1.1 亿元，进行了选矿工程粗碎筛分系统与磨矿系统间配置建设，经一年多的应用实践发现该高压辊磨机成功应用后钒钛矿磨矿单位能耗平均降低了 21%、球磨机磨矿处理能力平均提高了 28%，选矿其他系统不变情况下新增处理原矿石 200 万—300 万吨，新增销售收入 2.17 亿元，新增利润 5000 万元，投资回收期 2 年。

## 六、推广前景

1. 资源方面应用前景：我国目前铁矿石可利用工业储量为 122 亿吨，但绝大部份属“贫、细、杂”的贫矿，需要进行选矿加工提纯后方能送至高炉冶炼。采用具有先进技术和高可靠性的超细碎工艺与原有的选矿工程系统配合，不但可以根据高炉炉料结构改进精矿产品而且能提高选矿行业整体效益和竞争力。

2. “节能降耗”方面应用前景：我国钢铁工业是国民经济产业序列中的能耗“大户”，吨钢产量的能耗比西方发达国家高一倍以上。《钢铁产业发展政策》中对钢铁企业降低能耗提出了强制性要求，钢铁原料工业的节能降耗将是技术与装备发展的主要方向之一。在选矿工序，球磨机占整个选矿厂能耗 70%-80%，采用超细碎工艺成套技术和设备，将使球磨能耗降低 1/3 左右。

3. 矿山设备装备水平提高方面应用前景：高压辊磨超细碎工艺将高效破碎设备与永磁选别设备集成在一起，通过工艺技术优化，降低矿石入磨粒度，降低设备占地面积与单位投资，提高设备作业率，从而大大提升了冶金矿山装备的整体技术水平，促进行业技术进步。

## 39. 低品位菱、褐铁矿回转窑磁化焙烧-磁选新技术

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

低品位菱、褐铁矿、低品位氧化锰矿、低品位氧化铅锌矿等。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

该项技术与装备利用长沙矿冶研究院有限责任公司开发的新型大型磁化焙烧回转窑成套装置，将菱、褐铁矿加热到一定温度后在相应气氛中进行物理化学反应，经磁化焙烧后，铁矿物的磁性显著增强，脉石矿物磁性则变化不大。各种弱磁性铁矿石经磁化焙烧后再通过磁选便可进行有效的磁选分离，实现铁矿物的有效分选。

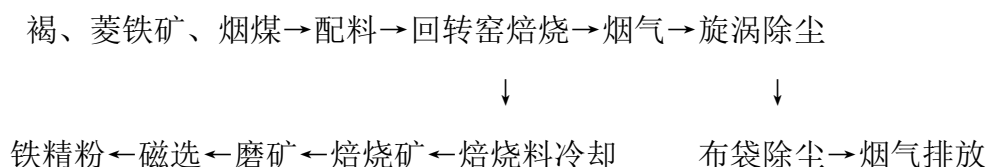
#### （二）关键技术

1. 低品位菱、褐铁矿回转窑还原磁化焙烧-磁选选矿联合选矿工艺流程的确定；
2. 满足工艺要求、经济可行的回转窑磁化焙烧技术；
3. 大型工业回转窑内的中低温、弱还原气氛精确控制技术；
4. 符合工艺要求的还原磁化焙烧回转窑结构设计；
5. 燃料与还原剂互补利用技术方案的确定；
6. 焙烧矿冷却及输送方式的选择。

#### （三）工艺流程

原矿、煤先由破碎系统处理，经筛分后将破碎合格的菱、褐铁矿和烟煤分别由配送系统送入回转窑内进行磁化焙烧。焙烧热源由燃烧天然气（或粉煤）和烟煤提供，焙烧合格的产品通过水冷后送入磁选车间进行磨矿磁选，生产出合格的铁精粉。

工艺流程图如下：



## 六、推广前景

褐铁矿、菱铁矿是储量很大的矿石类型，与磁、赤铁矿共生的占铁矿总储量的 10%，在西部主要找矿靶区预测储量 50 多亿吨，仅在我国陕西、新疆、云南等地的单独储量就达近 20 亿吨，俄罗斯、中亚地区以及澳大利亚这一类型矿石的储量也很丰富，东欧、中亚地区已探明储量近 30 亿吨，潜在资源量占铁矿潜在资源总量的 37%以上。由于褐铁矿、菱铁矿的比磁化系数等物理性能与主要脉石矿物石英非常接近，表面泥化严重，疏水性差。同时，矿石成因复杂，赋存状态多种多样，因此使用常规分选方法很难实现这类矿石的高效利用。

随着我国钢铁工业的快速发展，在国家政策指导下，投资开发难选铁矿石的企业日益增多。新疆契列克其铁矿、鲁能俄罗斯别列佐夫铁矿、武钢大冶铁矿等褐铁矿、菱铁矿储量大的矿山企业均拟建工业规模的选矿厂或进行技术改造。磁化焙烧工艺技术是处理贫弱磁性难选铁矿石的唯一有效方法，该技术可在有相关资源的地方迅速得到推广应用，使之前分选非常困难的矿石得以高效利用，产业化前景非常广阔。

## 40. 低品位及难选磁铁矿磁场筛选法分选工艺

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

低品位及难选磁铁矿。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

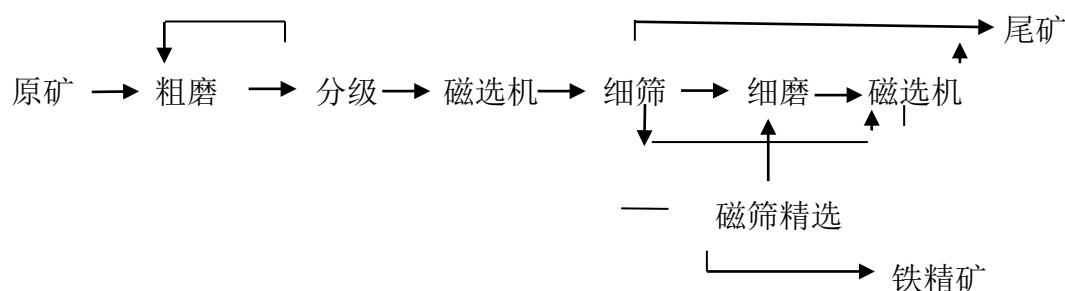
磁场筛选法分选原理是在低弱相对均匀磁场中，利用单体铁矿物与连生体矿物的磁性差异，使磁铁矿单体矿物实现有效团聚形成的磁链后增大了与连生体的尺寸差、比重差，再经过安装在磁场中的专用筛将呈分散状态存在的连生体筛除分离，品质较高磁铁矿单体在筛上回收，实现铁精矿品位显著提高。

#### （二）关键技术

在低弱均匀磁场中放入比矿物粒度粗许多倍的筛子充分筛除夹杂的连生体矿粒，能保护性实现磁铁矿单体的及早回收，减少在磨矿筛分回路中的过磨，提高精矿品位同时提高了生产能力。

#### （三）工艺流程

在磁铁矿阶段磨选工艺流程中，磁场筛选机作为最终精选作业，能适当地放粗选厂筛分粒度，将磁筛中矿返回细磨，典型应用工艺流程如下所示：



### 四、主要技术指标

磁场筛选法及设备分选原理先进科学，精选提质效果明显，能普遍提高铁精矿品位 2-5 个百分点，同时生产能力能提高 5-30%，每吨铁精矿耗水比同类设备节水 50%以上。

### 五、典型实例及成效

磁场筛选法专利技术和 CSX 系列设备自 2003 年定型以来在我国湖北、新疆、云南、山西等省区的 20 余家铁矿山应用了 60 多台，取得了明显的应用效果。

新疆金宝矿业有限公司铁矿选矿厂投资 4200 万元，建设年处理原矿 80 万 t（8 个月生产）生产系统，实现铁精矿粗细分级精选，生产出细粒级铁精矿品位达 69%和粗粒级铁精矿品位达 66%的两种品级精矿。2007 年-2010 年，分三期技改完成，使原矿区内品位低于 15%的铁矿资源及高含石榴石的难选矿资源合计 2000 万 t 得到充分合理利用，带动资源综合利用率提高了 10%，选矿回收率达 85%，年增经济效益 3500 万元，投资回收期 1.2 年。

武钢矿业公司大冶铁矿选矿厂投资 9934 万元，对老选厂年处理原矿 260 万 t，年产铁精矿 120 万 t 生产系统进行技术改造，改造后选厂铁回收率由 75%提高到了 80%，设备大型化和高效精选技术将使当地至少 1500 万吨难选低品位铁矿资源得到合理利用，年增经济效益 4148 万元，投资回收期 2.3 年。

## 六、推广前景

目前我国铁矿资源储量虽占世界第 5 位，（其中黑矿占 71%，红矿占 29%），但平均品位低于世界 11 个百分点，要经过选矿方能冶炼的贫矿占到了 97%；在我国已探明的磁铁矿中，42.2%的为难利用矿；已开采的生产的磁铁矿精矿平均含铁品位与国外矿相比低 3 个百分点，而我国自产的铁矿石只能维持需求量的一半，因此加大对国内现有铁矿资源的开发力度，使现有低品位、难利用的铁矿资源及早得到利用，或将已利用的铁矿精矿质量进一步优化，是国内钢铁行业的迫切要求。

按每年新增应用 CSX 型磁场筛选机的铁矿山精矿产量 2000 万吨预算，按提高精矿品位 2 个百分点，给矿山企业带来的直接经济效益达 6 亿元，按提高生产能力 5%计算，年增经济效益 5 亿元，两项合计给矿山企业带来的直接经济效益总计达 11 亿元。再有提高了入炉原料铁品位，在冶炼中减少了废渣的排放，因此是符合国家低碳环保、节能减排的政策。

铁矿资源自给严重不足已制约了冶金行业的发展，新探明的储量中难选的和低品位矿合计有 100 亿吨以上，应用磁筛新技术可有效地盘活这一批呆滞资源，对建立资源节约型社会具有重要的意义。



## 41. 铅锌银多金属硫化矿原生电位调控浮选工艺

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

适用于多金属硫化矿。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

对硫化矿浮选而言，磨矿—浮选体系是一个相当复杂的体系，其中的氧化还原反应千差万别而且相互联系和制约，按混合电位理论，磨矿—浮选体系是一个没有外加电压的内部短路体系，在体系中存在着的在空间上被隔离的阳极过程和阴极过程，其中有两种混合电位的情况，局部电池和迦伐尼电偶。在硫化矿磨矿—浮选体系中，硫化矿物与磨矿介质（通常是钢球）表面可能同时存在其自身氧化的局部电池及硫化矿物之间、硫化矿物与磨矿介质之间形成的迦伐尼电偶。

在硫化矿磨矿—浮选体系中，众多的氧化—还原反应预示着矿浆中存在各种各样的由单一氧化还原电对所形成的混合电位，可以认为，矿浆电位正是这些混合电位叠加在一起的宏观结果。如果磨矿—浮选体系并未采用外加电极或氧化还原药剂调控电位，此时则形成矿浆原生电位（ $E_{op}$ ）。

矿浆原生电位与矿浆 pH 值之间存在的关系可表示为：

$$E_{op} = E_{oop} - 0.0591 \text{ pH}$$

以铅、锌、铁硫化矿浮选体系为例，电化学研究表明，高 pH、低  $E_{op}$  的矿浆化学环境有利于方铅矿的浮选，同时有利于闪锌矿和黄铁矿的自身氧化抑制，具体要求达到的 pH 值和  $E_{op}$  匹配关系为：pH12.5~12.8， $E_{op}$ 0.13~0.20V。

在原生电位优先浮选方铅矿时，捕收剂的选择主要考虑两个因素：捕收能力和选择性。捕收能力可以用在方铅矿表面形成金属盐的热力学稳定性加以衡量，即采用捕收剂金属盐被进一步氧化分解的电位  $E_{分解}$  作为判据， $E_{分解}$  越高，捕收能力越强；选择性可以用捕收剂二聚物在黄铁矿表面的热力学稳定性加以衡量，即采用捕收剂二聚物在黄铁矿表面发生脱附的电位  $E_{脱附}$  作为判据， $E_{脱附}$  越低，选择性越好。综合考虑捕收剂能力和选择性两个因素，则可以用二者之差

值作为综合判据， $\Delta E = E_{\text{分解}} - E_{\text{脱附}}$ ， $\Delta E$  值越大，表明捕收能力和选择性均占优势。

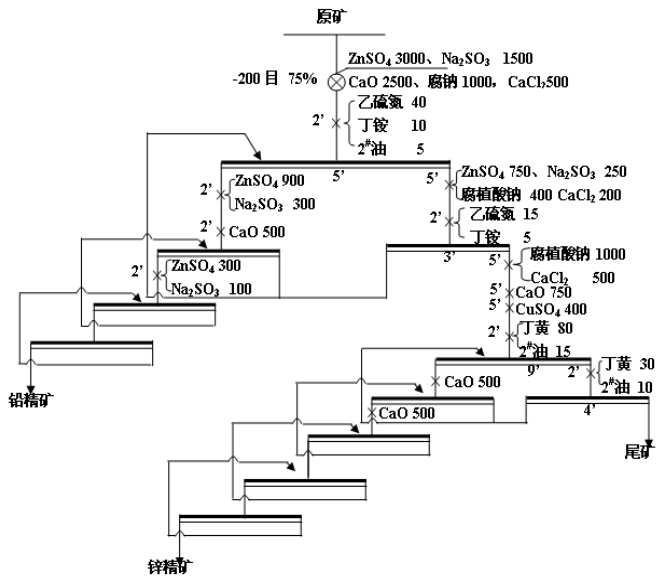
(二) 关键技术

该技术将电位作为一个重要参数，和矿浆 pH 值、药剂浓度一起控制硫化矿浮选过程，利用硫化矿磨矿—浮选矿浆中固有的电化学行为（氧化还原反应）引起的电位变化，通过调节传统浮选操作因素达到电位调控并改善浮选过程的工艺。它有两个要点：一是主要调节和控制包括矿浆 pH 值、捕收剂种类、用量及用法、浮选时间以及浮选流程结构等在内的传统浮选操作参数，二是不采用外加电极、不使用氧化还原药剂调控电位。其主要科学内涵和技术关键在于：将传统浮选过程控制参数与矿浆原生电位结合起来，从浮选电化学的角度研究矿浆原生电位对浮选过程的影响并从中寻找各因素之间的最佳匹配方案，从而确立最佳浮选条件。OPF 技术具有高分选效率、低药剂用量的优点，极限条件下，还可以实现无捕收剂浮选。利用这种工艺可以生产高质量的高纯矿物原料，同时大幅度减少环境污染，它将成为本世纪硫化矿浮选的主要技术。

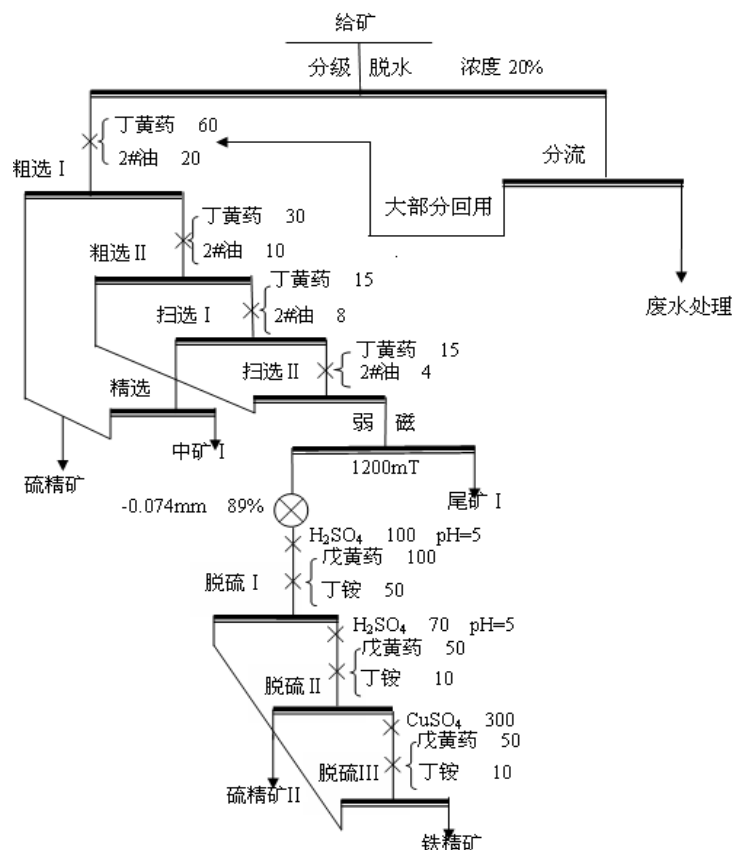
(三) 工艺流程

优先浮选工艺流程，铅（银）、锌、硫逐步回收，生产出四种精矿产品。

磨矿细度为-200 目 75%，提高 PH 值，铅回路采用腐植酸钠和氯化钙组合抑制磁黄铁矿，硫酸锌与亚硫酸钠组合抑制闪锌矿，铅锌浮选为一粗一扫三精。锌尾矿活化浮硫，硫尾矿弱磁选铁，铁粗精矿脱硫。



原生电位调控浮选技术综合回收铅锌银工艺流程



浮选铅锌银尾矿综合回收硫铁工艺流程

#### 四、主要技术指标

运用原生电位调控浮选技术可得到含铅 44.43%，锌 6.02%，银 1257.1g/t 的铅精矿，铅的回收率为 84.96%，银的回收率为 76.09%；比原有流程中铅品位提高 8 个百分点，铅回收率提高 1 个百分点，银品位提高 260g/t，银回收率提高 9 个百分点。锌回路采用腐植酸钠和氯化钙组合抑制磁黄铁矿，经过一粗一扫四精，可以获得含铅 0.41%，锌 48.45%，银 40.21g/t 的锌精矿，锌回收率为 91.92%，锌精矿锌品位比原有流程条件下提高 4 个百分点，锌回收率提高 4 个百分点。收硫铁的工艺流程，开路可得到混合硫精矿含硫 31.90%，含铁 55.45%，硫作业回收率为 87.40%；铁精矿含铁 62.66%，含硫 0.77%。按每年处理 15 万吨原矿，新技术实施和应用后每年可增加产值 3000 万元。

#### 五、典型实例及成效

原生电位调控浮选技术及相应的综合回收选矿流程适用于处理各种复杂多金属难处理硫化矿，分别在青海西部矿业锡铁山铅锌矿、南京栖霞山铅锌矿得到了推广应用。

丁家山矿区根据现有较低品位多金属矿物的组成特点经大量实验室试验,并结合工业试验成果,确定了通过原生电位调控浮选技术综合提高铅锌银的回收率、同时通过流程改进对矿石中的硫化铁矿物和磁铁矿分别回收,并在此基础上对原梅仙选厂进行技术改造。改造完成后,通过调节原生电位、矿浆 pH 值、药剂的添加可有效的实现高硫难选铅锌银多金属矿中有价金属的综合回收,铅回收率由 85%提高到 87%、银的回收率由 66%提高到 76%、锌由原来的 92%提高到 94%、同时硫化铁矿物回收率达到 87%、磁铁矿回收率为 71%,选别指标理想。

## 六、推广前景

在我国几十年经济高速发展的大背景下,矿产资源大规模开发,并逐步呈现贫、细、杂趋势,为有效保障国家发展所需的矿产资源量,开发新技术、工艺和设备来处理复杂矿石已刻不容缓。硫化矿作为一种重要资源类型,是有色金属冶炼的主要矿物来源,而该技术及其理论可指导复杂多金属难分离硫化矿矿山实际生产,特别是在含贵金属铜铅锌硫铁的各种类型矿山,该技术大幅度提高贵金属铜铅锌等主金属的回收率,同时应用相关技术活优化选矿工艺流程还可切实有效的回收硫铁矿物、磁性铁矿物以及其他无机矿物。

## 42. 特低品位高含泥铜、钼多金属矿山废石高效浮选技术

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

特低品位铜矿山废石（含铜品位在 0.15~0.25%，钼 0.010%，钴 0.010%），露天采场固体废弃物。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

充分利用矿物的等可浮性，采用阶段磨矿，部分混合浮选，在弱碱性介质中采用中性油作捕收剂，先浮铜钼，再用丁黄药及丁铵黑药选钴，选钴尾矿用弱磁选机选铁，铜钼混合精矿再磨，采用硫化钠抑铜浮钼分离选，铜钴精矿再磨再选，最后得到钴精矿和铜精矿的流程。

#### （二）关键技术

1. 磨矿选别流程为一段磨矿，磨矿细度为-0.074 mm 60%，部分混合浮选，铜、钴、钼、铁各粗精矿分别再磨再选的工艺流程。分别得到铜、钴、钼、铁四种合格精矿。一段磨矿分级及浮选主流程、铜钼混合精矿再磨再选按两个系列配置，钴粗精矿再磨再选、钼粗精矿再磨再选、磁选及铁精矿再磨再选按一个系列配置，一段磨矿分级选用 MQY3600X6000 湿式溢流型球磨机 2 台与  $\Phi 710$  旋流器组闭路磨矿

#### 2. 优化钢球补加方法，提高磨矿细度

针对废石的特殊性，为避免一段磨矿过程中“过磨”造成矿物泥化，影响精矿品位，在生产现场，采用磨矿介质合理装球方案及补加方案，有效避免次生矿泥的增加，提高磨矿细度，提高精矿品位。

#### 3. 与选矿药剂厂联合研发新型选矿药剂，提高选矿技术指标

应用新型药剂 Y-68，WF-003 起泡剂，提高 Cu 精矿品位和回收率，提高铜精矿中金银的含量。经过一系列新工艺，新药剂的运用，车间选矿生产技术经济指标稳定可靠，Cu 精矿品位 $\geq 21\%$ ，铜回收率 $\geq 87\%$ 。同时针对特低品位钴资源回收一直未达到设计要求，2010 年进行了选钴的工艺流程研究改造。降低石灰的

用量，把铜精选尾矿并入钴精选，同时应用新药剂 DK-1 做调整剂，取得了钴精品位 0.38%，回收率 38% 的指标。技术指标的稳定提高，极大限度提高了资源利用率；为企业创造了更好的效益。

同时该项目在金、银的回收上也取得了突破。2009 年金在铜精矿中含量比 2008 年提高 1.5g/吨，银提高 3.5 g/吨，全年增加黄金 30 公斤，银 70 公斤。全年仅此一项即可增加收入 614 万元。这其中采取的创新是提高磨矿分级效率，选用新型药剂 Y-68 提高金银回收率，同时随着原矿品位的降低，选矿比从 77 升到 99，利于金银在铜精矿中的富集。

#### 4. Φ710 旋流器在一段磨矿中的应用与实践

为提高旋流器的分级效率，进一步提高磨机产能，提高各项金属选矿回收率，减少设备维修费用，公司投资 80 万资金，在全国范围内率先引进海王新型 Φ710 旋流器。项目完成后，磨矿细度从原来的 55% 提高到现在的 58%，铜回收率提高了 1.0%，同时铜精矿中金银含量较 09 年也有所提高。

#### 5. 选矿加工能源消耗上处于国内先进水平

	单位	2008 年	2009 年	2010 年	备注
电耗	Kwh/吨	25.77	20.17	22.99	处理吨原矿
水耗	m <sup>3</sup> /吨	3.65	3.07	3.20	处理吨原矿

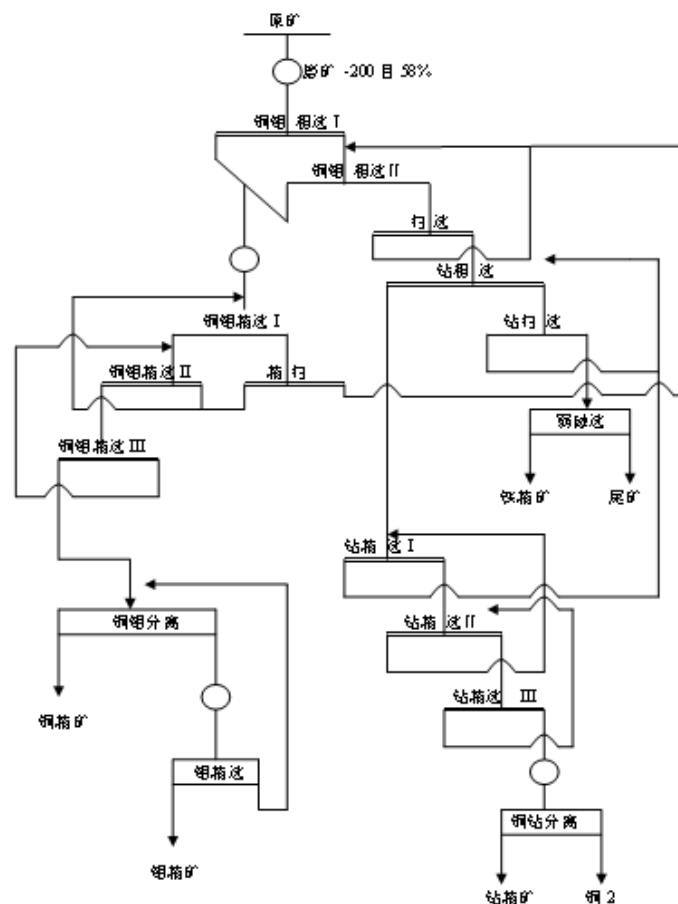
该项目投产以来，能耗有所降低，采取的措施是在保证指标的前提下提高处理矿量，废石品位下降缩减局部流程，减少不需要的装机容量，同时根据实际情况合并再磨流程，减少磨机装机容量。

#### （三）工艺流程

### 四、主要技术指标

低品位矿物资源浮选工艺设计指标

产品名称	品位 (%)				回收率 (%)			
	铜	钼	钴	铁	铜	钼	钴	铁
原矿	0.300	0.016	0.016	14.00	100.0	100.0	100.0	100.0
铜精矿	20.000	—	—	—	80.000	—	—	—
钼精矿	—	45.000	—	—	—	50.000	—	—
钴精矿	—	—	0.450	—	—	—	40.000	—
铁精矿	—	—	—	60.000	—	—	—	32.000



特低品位高含泥铜、钼多金属矿山废石高效浮选工艺流程

## 五、典型实例及成效

该技术已成功运用于马鞍坪矿山废石综合利用有限公司，解决矿山固体废弃物的二次再利用问题，并有效解决环境污染，堆放场地等问题。该公司铜精矿、钼精矿、铁精矿、钴精矿产品均在有色金属行业产品质量标准以内。通过实际生产证明其品级一流，质量稳定，完全能满足冶炼行业的需求。

会理县马鞍坪矿山废石综合利用有限公司实施 6000 吨/日的废石回收工程，总投资 3.1 亿元，建设周期 1 年，年盘活铜资源储量 5000 吨、铁资源 15 万吨，平均每年可实现销售收入 30888 万元，增值税 2000 万元，销售税金附加 100 万元，利润总额 7932 万元，税后利润 6742 万，投资回收期 4 年。

## 六、推广前景

我国是世界第一大铜消费国，同时又是贫铜国家，铜矿资源禀赋差，难以满足国民经济建设和社会发展对金属铜的需求，资源紧缺形势日益加重，每年需从国外进口大量铜产品。铜矿资源是不可再生资源，但现有开发中的矿山堆积了大

量废石和尾矿，其中残存的可再利用有价资源未被有效再利用。开发利用废石资源是资源型企业可持续发展的重要途径，也是资源综合利用的必然方向，还是不可推卸的社会责任。

我国矿产资源的品种虽丰富，且多为禀赋差的共（伴）生矿床，矿产资源总回收率不足 40%，而共（伴）生资源的综合利用率低于 20%。全国开展综合利用的国有矿山不到总数的 10%，大量有用资源进入废石、尾矿中，形成应该但未被综合利用的二次矿产资源。

截止 2005 年，我国矿山尾矿、废石堆存数量已达约 230 亿吨，很多都未回收利用，大面积占用山林、荒地进行堆积，不仅造成环境污染、水土流失、地质次生灾害，甚至占用黑边有限耕地。目前大多数矿山企业技术力量相对薄弱，科研条件较差，无能力从事废矿石回收利用工作。随着我国经济快速发展，可用矿产资源越来越少。同时全社会环保意识不断提高，资源和环境约束因素日益显现，对矿山废石的综合利用开始受到重视。本技术实现了低品位矿山废石的综合利用，可推广应用于同类矿山企业，对解决矿山固体废弃物的再利用，提高资源利用的综合技术水平，增加企业经济效益，有效减少环境污染，释放废石堆场占地具有重要的现实作用和长远意义。



## 43. 高氯咸水替代淡水高效选矿技术

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

适用于沿海地区坑内（井下）咸水或海水丰富、淡水资源匮乏的地区。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

在现有磨浮流程及设备不变的情况下，在磨矿作业和浮选作业全部利用坑内高氯咸水替代淡水进行磨矿和浮选，合理优化工艺作业条件及药剂条件，达到或超过淡水磨矿和浮选的生产经济技术指标。

#### （二）关键技术

由于采矿坑内高氯咸水的氯离子相当高，其他金属离子含量较高，海水比重大于淡水比重，因此在试验研究过程中，着重考虑和研究坑内高氯咸水与淡水比较对浮选对浮选回收率、精矿品位的影响，对浮选药剂使用情况的影响，及对工艺流程的影响等。

#### （三）工艺流程

磨浮采用两段磨矿两段分级工艺流程。磨矿分级流程分两系列。每系列采用一台 MQG2.7×3.6m 格子型磨机和一台 FLG φ 2.0m 双螺旋分级机构成闭路磨矿。分级机溢流经 φ 710mm 旋流器分级，沉砂进入一台 MQY2.7×3.6m 溢流型磨机构成闭路磨矿，旋流器分级溢流进入粗选作业，粗选作业尾矿进入扫选作业，扫选尾矿经两台 φ 350mm 旋流器组分级后粗粒（-400 目 < 15%）自流至充填搅拌站供井下充填；细粒泵送尾矿库。浮选精矿进入精选作业，经过两次精选，得出最终浮选金精矿。精选尾矿经过一次扫选后排入粗选。

### 四、主要技术指标

浮选精矿品位可以达到 40g/t 以上，浮选尾矿品位 ≤ 0.12g/t，浮选回收率达 95 %。降低起泡剂消耗 20g/t。

### 五、典型实例及成效

山东黄金矿业（莱州）有限公司三山岛金矿投资 260 万元，对设备及管路进行防腐处理或更换供水管路，建设期 1 年。现选矿生产规模达到 9000t/d，年总处理矿量 313.2 万吨，吨矿消耗水量 2.1m<sup>3</sup>/t，年总消耗水量为 657.72 万 m<sup>3</sup>，扣除尾矿库回水 60%，年实际消耗水量 263.088 万 m<sup>3</sup>，利用井下海水选矿后，年可节约淡水 263.088 万 m<sup>3</sup>，增加经济效益 1184 万元，投资回收期 3 个月，浮选精矿品位可以达到 41.34g/t 以上，浮选尾矿品位≤0.12g/t，浮选回收率达 95.02%。

## 六、推广前景

该技术的成功研究与应用将使坑内高氯咸水得到充分的利用，对于淡水资源缺乏的沿海地区矿藏开采和开发具有重大的借鉴意义和现实意义，对于国内其他矿山采用坑内高氯咸水（海水）选矿及进行海水选矿的研究提供了大量的技术依据和参考，避免了今后研究过程中所走的弯路，三山岛金矿的成功的研究与应用，今后可以在沿海地区各矿山得到推广，现实意义巨大。采用此项技术时要做好防腐蚀工作，选矿厂建筑物、构筑物、设备、电缆、电线等必须作防腐蚀的特殊处理，才能保证系统长期正常运行。

## 44. 超贫钒钛磁铁矿尾矿磷钛资源回收利用技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

超贫磁铁矿、超贫钒钛磁铁矿的尾矿磷、钛回收。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

利用磁选机将矿物中的磁性铁选出，然后用浮选来选出磷精矿和钛精矿，浮选是利用矿物的表面亲疏水性来将不同矿物分离开，加入适当的药剂使有用矿物疏水，以便随气泡浮出。

#### （二）关键技术

提高一段磨矿细度，引进新型选磷浮选捕收剂，选磷浮选加温，提高选磷浮选浓度，采用新型 MOH 捕收剂，提高选钛技术指标，提高强磁机场强，选钛尾矿再磨再选。

#### （三）工艺流程

采矿目前采用露天开采，矿石通过汽车运送到选厂。选厂碎矿流程为三段一闭路流程。选别流程先选铁，后选钛选磷。选铁流程为阶段磨矿阶段选别流程（二段磨矿三段磁选流程），选铁尾矿经过二段强磁+磨矿+浮选流程选出钛精矿，强磁总尾矿通过磷浮选选出磷精矿。

### 四、主要技术指标

采矿贫化率 5%、采矿回收率 95%以上。选矿回收率 TFe36.33%。P2O<sub>5</sub>42.42%、TiO<sub>2</sub>17.36%。铁精矿产率 9.84%、磷精矿产率 5.81%、钛精矿产率 1.99%。铁精矿品位 TFe58.80%，磷精矿品位 P2O<sub>5</sub>35.35%，钛精矿品位 TiO<sub>2</sub>45.50%。

### 五、典型实例及成效

近几年来，双滦建龙公司对选磷选钛工艺做了大量技术创新工作。磷钛的实际回收率逐年提高，2011 年铁磷钛实际回收率分别为 36.33%、42.42%、17.36%。通过综合回收利用铁、钛、磷等元素，减少了尾矿排放量，每年可盘活尾矿资源

140 万吨。

## 六、推广前景

建龙矿业的生产工艺流程是先选铁，然后从铁尾矿中选钛、选磷，在前期生产铁精粉阶段成本核算时，已经把采矿、运输、破碎、磨矿等环节的成本摊销，因此，综合生产成本大大降低，因此大大增加了钛精粉和磷精粉的利润空间，经济效益十分可观。公司自投产后累计上缴利税 1.6 亿元，在扩建项目投产后，每年能上缴利税约 2 亿元左右。

本技术于 2007 年开始在承德市双滦建龙矿业有限公司开始应用，并日趋完善，磷钛综合回收率指标逐年提高。已在隆化县顺达矿业有限责任公司、隆化县新村矿业有限公司、承德宝通矿业有限公司等公司得到推广，对充分利用承德地区低品位钒钛磁铁矿具有重要意义。

#### 45. 低品位钒钛磁铁矿预抛尾综合利用技术

## 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

## 二、适用范围

适用于低品位钒钛磁铁矿的综合利用。

### 三、技术内容

### （一）基本原理

该预抛尾综合利用技术是采用三段一闭路结合高压辊磨闭路破碎工艺流程原理。低品位钒钛磁铁矿石给入高压辊磨之前（粒度-20mm）进行磁滑轮预先抛尾，抛尾后精矿进入高压辊磨闭路湿式筛分，筛下物进行湿式磁选，回收精矿石为回收入选矿石进入选矿磨矿流程，抛弃尾矿经破碎分级作为建筑石料，最大限度降低废渣排放，实现低品位钒钛磁铁矿的综合回收利用。

## （二）关键技术

低品位钒钛磁铁矿预选抛尾技术；抛尾粗精矿脱磁技术

### （三）工艺流程

原矿→粗碎→中碎→细碎→磁滑轮干式抛尾→高压辊磨→磁选机湿式抛尾



#### 四、主要技术指标

入选低品位钒钛磁铁矿  $TFe10\%—20\%$ ；回收精矿即入选矿石  $TFe>25\%$ ；铁回收率 $>55\%$ （选矿系统铁总回收率提高 3%以上）。

## 五、典型实例及成效

2008 年重钢西昌矿业公司自主进行“低品位钒钛磁铁矿回收工艺技术研究”获得了一种成功的预抛尾选别工艺,并于 2009 年底投资 1200 万元建设了一条年处理 100 万吨/年低品位表外矿预抛尾生产线。该生产线运行两年多来已回收合格精矿即入选矿石近 70 万吨 (TFe 平均 26.8%),使该公司矿石回采率与损失率提高 2 个百分点,回采率达到 96%,损失率降至 5%以下,新增利润 670 万元,新

增税收 1500 万元，建设期 8 个月，回收期 2 年。

## 六、推广前景

国内绝大多数铁矿山为贫瘠矿，尤其是表外矿与低品位矿的资源储量占其矿山资源总储量的三分之一以上。由于表外矿与低品位矿直接进入选矿厂进行选别将会极大增加选矿比，直接造成生产成本的增加，因此绝大部分矿山将表外矿与低品位矿作为废石废料抛弃，不但造成矿产资源的极大浪费，而且增大的弃土量占用了大量宝贵土地资源。将表外矿与低品位矿进行相应的技术处理后进行回收入选已成为绝大多数矿山矿产资源高效利用的发展趋势，该项技术不仅降低资源损失，提高资源利用效率，降低废弃土排放，节约宝贵土地资源，而且大量的表外矿或低品位矿石中赋存的其他金属在很大程度上得以综合利用，具有较好的推广应用前景。

## 46. 铜钼尾矿膏体干堆排放技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

尾矿膏体排放工艺除了多雨地区之外，都能够推广。最理想的地方是气候干旱、地势平坦、比较荒凉的地区。在这种地方，甚至可以不建尾矿坝。可以节省大量投资。我国内蒙古、新疆和西北许多地方都具备这种条件。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

尾矿浓缩形成膏体，膏体管道输送多点排放，干式堆存。可以使选矿厂高效利用选矿废水，对高寒干旱缺水地区矿山生产节能减排意义深远。

#### （二）关键技术

技术关键是尾矿膏体要高效浓密，采用管道输送，并保证尾矿快速蒸发，主要适用于蒸发量大于降水量的干燥条件，并且尾砂细度足以形成可堆积的膏体而不需要使用太多的絮凝剂，堆积场地需要较大、较平，可借助阳光快速干燥。

#### （三）工艺流程

混合浮选尾矿经过管路给入到尾矿车间的 $\Phi 40\text{m}$ 深锥浓密机内，加入絮凝剂进行尾矿絮凝沉降，深锥底流的膏体由喂料泵给入隔膜泵，再由隔膜泵泵入到尾矿坝进行膏体排放，深锥溢流水即选矿废水直接返回高位水池循环使用。

### 四、主要技术指标

磨矿细度：-200 目 60-65%；浮选浓度  $28\pm 2\%$ ；调整剂石灰用量 1600g/t；捕收剂 PJ-053 用量 30g/t；起泡剂 2#油用量 20g/t；抑制剂水玻璃用量 150g/t；尾矿底流排放浓度  $68\pm 2\%$ 。絮凝剂用量 17g/t；尾矿成本 1.50 元/t；回水吨矿用量 2.1496m<sup>3</sup>；中水(新水)吨矿用量 0.4136m<sup>3</sup>；选矿综合用水单耗：2.5655m<sup>3</sup>/t。

### 五、典型实例及成效

中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌山一期项目投资 28 亿元，选厂规模 30000 吨/日，通过沉降、矿浆流体力学分析，改进深锥浓密机结构及絮凝剂添

加，提高尾矿沉降效果及废水利用率，盘活低品位铜矿体（品位铜 0.24%、伴生钼 0.017%）矿石量 22811.68 万吨。建设期 1.5 年，投资回收期 6.7 年，年利润 6.3 亿元。

## 六、推广前景

膏体排放可以使选矿厂高效利用循环水，对于干旱缺水地区矿山生产节能减排意义深远。同时膏体是一种不离析、均质的流体，将选矿厂的尾矿浓缩为膏体后堆存于尾矿库中可以减少尾矿库的沉降面积，节约土地，提高尾矿库的安全性，目前该项技术已经在许多矿山成功应用。随着尾矿安全越来越受到重视，土地资源越来越少，水资源的高效利用的需要，膏体技术对于今后矿山建设是一种非常可取的选择。

中国黄金集团内蒙古矿业有限公司通过运用尾矿膏体排放等先进技术及高端的选矿设备，优化选矿生产格局，开发低品位铜钼矿资源，提升市场竞争力，更好的综合利用现有的水利及土地资源，实现矿山环保科学发展的总体目标，该项技术对矿山建设有借鉴意义。



## 47. 酸性水低浓度铜资源硫化提取技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

1. 处理低浓度废水：原水中的铜金属离子浓度降到 30mg/l 时，能够通过回收金属来维持工厂运行。

2. 处理复杂废水：当酸性水中含有多种杂质金属离子时，本技术凭借工艺优势，稳定运行，既回收金属，又处理废水。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

1. 复杂酸性废水中金属离子分离原理：采用金属 pH 差异沉淀原理，预先分离废水中铁铝等金属离子，提纯铜离子。

2. 硫化沉淀机理：加入硫化试剂，通过控制硫化反应的 pH 优先沉淀铜，分离出高品位的铜精矿。

3. 电位控制原理：本技术添加硫试剂，由于自身的强还原性，易与废水中氧化物质反应，需调节电位控制氧化还原反应。

4. 结晶沉降机理：循环加入成熟的晶种，使反应物颗粒变大变粗，加快沉降。

5. 硫化氢循环利用：硫试剂在酸性的情况下，不可避免产生硫化氢气体，为此在末端设置一个碱式吸收装置，实现循环利用。

#### （二）关键技术

1. 复杂酸性废水中金属离子分离技术，去除矿山酸性水中铁铝等杂质，去除率 85%以上，保证产品品位。

2. 硫化反应电位控制与低 pH 条件下的硫化物结晶技术，回收率可达 95%。

3. 硫化氢的循环利用技术，现场硫化氢浓度低于 1ppm。

#### （三）工艺流程

硫化工艺主要包括除铁工艺和金属回收工艺两部分。除铁工艺中，以酸性废水为原料，将电石渣乳添加到酸性废水中，酸性废水中大量三价铁离子以氢氧化铁沉淀的形式被除去；金属回收工艺中，不含铁的水和硫氢化钠在接触池中进行反应生成硫化铜。硫化金属在硫化物浓密池中被分离出来，硫化铜沉渣经过脱水以后便是金属硫化精矿。

#### 四、主要技术指标

化学硫化集成技术回收酸性废水中低浓度铜的方法具有耗能低、成本低、收益高、环境污染小等优点，从工业应用上将矿山酸性废水中低浓度铜资源进行了回收，铜回收率达到了 95%以上，铜精矿品位 35%以上，吨铜回收成本为 2.0 万元/吨，实现了废水中有价金属的回收利用，酸性废水中残留铜在 0.5mg/L 以下，降低了后续处理成本。此外，该工艺生产过程实行全自动化控制，自动化程度高，工艺作业效率高，安全系数高，作业人员的劳动强度降低，工业化程度高，取得了明显的环境效益和经济效益。

#### 五、典型实例及成效

2008 年德兴铜矿应用该技术兴建了硫化铜厂，每天利用酸性水 24000 m<sup>3</sup>，酸性水平均含铜 120 mg/L，截止 2011 年，共综合利用低浓度酸性废水 2271 万吨，回收铜金属量 2875t，实现销售收入 11527 万元，利润 4419 万元，节约下端水处理成本 3000 余万元，税金 2289 万元，取得了显著的经济效益和环境效益。2010 年德兴铜矿建设了镍钴回收厂，采用离子交换和硫化集成技术收酸性水中低浓度（5mg/l）镍钴，设计酸性水综合利用能力 20000 吨/天，年回收镍钴金属量近 40 吨。

#### 六、推广前景

矿山酸性废水是由于矿山大量含金属硫化物的废石、尾矿暴露在空气中，经过氧化被雨水、地下水等冲刷形成。该废水不仅广泛存在、排放量大，含有一定浓度的多种金属离子、pH 值低，是矿山最主要的污染物。这些废水若得不到有效处理，将会严重污染矿区及其受纳水体的生态环境，并且影响人们的身体健康，甚至威胁人的生命。

常用的矿山酸性废水处理工艺是化学中和法，利用石灰、石灰石等药剂中和废水 pH 值，去除重金属离子。实践表明，化学中和法不仅药剂用量大、反应时间长，而且重金属离子的去除效果差，不能回收金属资源。

本技术能够有效回收矿山酸性水中低浓度铜、镍、钴、锌等金属资源，填补了国内矿山酸性水中低浓度金属资源回收的技术空白。不仅可有效回收酸性废水中的金属资源，大幅度降低处理成本，也未矿山企业开辟新的利润增长点，有良好的推广价值。

48. 炼铜废渣资源化综合回收利用技术

一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

二、适用范围

适用于处理各种铜冶炼工艺产生的炉渣（闪速炉渣、贫化电炉渣、转炉渣、澳斯麦特炉渣、反射炉渣、诺兰达炉渣、白银炉渣等）。

三、技术内容

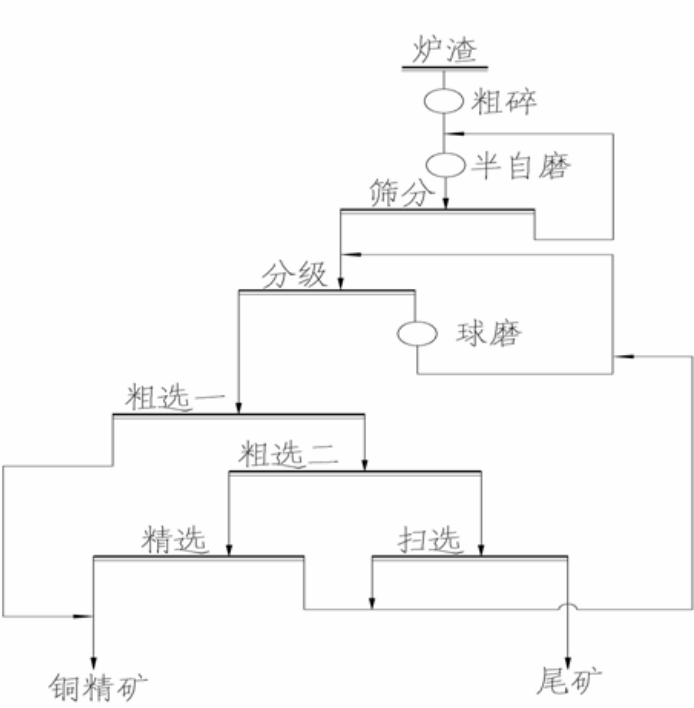
（一）基本原理

利用渣包缓冷技术，增加金属铜的结晶粒度；采用半自磨工艺，降低碎磨成本；采用浮选工艺回收铜及硫化铜矿物。

（二）关键技术

渣包缓冷，半自磨工艺，浮选工艺

（三）工艺流程



炼铜废渣资源化综合回收工艺流程

四、主要技术指标

炉渣品位 1-3%之间, 精矿品位 26-28%, 尾渣品位 0.3%, 回收率 70-91%。钢球消耗 0.9kg/t 渣, 电耗 62kwh/t 渣, 建设投资: 280-320 元/t 渣, 生产加工成本 80-90 元/t 渣。

## 五、典型实例及成效

江西铜业股份有限公司贵溪冶炼厂渣选厂是第一个采用本技术的工程项目, 处理能力 5000t/d, 是目前国内最大的混合炉渣(转炉渣、电炉渣和闪速炉渣)处理厂。在冶炼厂内平地建厂, 包含原渣堆场、粗碎车间、磨浮车间、产品脱水车间等设施。主要设备有: 颚式破碎机、半自磨机、球磨机、浮选机、浓密机、过滤机。项目分两期建设, 其投资(23800+18420)42220 万元, 建设期 5 年。该工程二期于 2008 年竣工投产, 并在同年就达到 150 万吨设计能力, 处理含铜 2.6%的炉渣, 铜金属回收率达到 88%左右, 渣尾矿含铜品位降至 0.30%, 每年可回收 3.4 万吨铜金属量, 尾渣直接销售到水泥厂, 成为无尾矿选矿厂项目。采用本技术, 与国内外同类型炉渣选矿厂相比, 每吨炉渣可以多产铜 0.5 公斤, 产值 20 元/吨, 成本比采用其它炉渣选矿工艺还低。按处理 150 万吨含铜 2.6%的炉渣计算, 总收入多 3000 万元。

阳谷祥光铜业渣选厂, 是本技术推广的第二炉渣选矿厂, 处理单一闪速炉渣, 处理能力 3600t/d。在冶炼厂内平地建厂, 包含原渣堆场、粗碎车间、磨浮车间、产品脱水车间等设施。主要设备有: 颚式破碎机、半自磨机、球磨机、浮选机、浓密机、过滤机。项目分两期建设, 建设投资(19800+16200)36000 万元, 建设期 4 年。该工程于 2008 年竣工投产, 并在同年就达到设计能力, 到 2010 年底总的处理能力达到 120 万吨, 处理含铜 1.2%的炉渣, 铜金属回收率达到 73%左右, 渣尾矿含铜品位降至 0.32%, 每年回收 1.05 万吨铜金属量, 尾渣销售到水泥厂, 成为无尾矿选厂项目。采用本技术, 每吨炉渣可以多产铜 0.3 公斤, 产值 12 元/吨, 成本还比其它炉渣选矿工艺低。按处理 120 万吨含铜 1.2%的炉渣计算, 总收入多 1440 万元。

## 六、推广前景

随着国家经济的高速发展, 铜资源的需求量越来越大, 但同时铜矿资源日益贫乏, 而我国已成为产铜大国, 据估计到 2013 年, 国内铜冶炼厂炼铜废渣产量将超过 1200 万吨/年, 是贵溪冶炼厂现有炼铜废渣的 8 倍, 如果炼铜废渣全部采

用本技术,多产铜 6000 吨(相当于一个大型选矿厂年产铜金属量),多实现产值近 2.88 亿元,经济效益非常显著,因此本技术在全国范围内的铜冶炼厂推广应用,具有广阔的应用前景。

## 49. 铅锌多金属矿资源高效开发与综合利用关键技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

适用于铜、铅锌等有色金属矿的高效开发与其伴生元素的综合利用，并适用于矿山尾矿、废石、废水“三废”的资源化利用。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

本技术以铅锌多金属矿产资源高效回收、全部废物资源化利用以及矿区生态环境有效保护为目标，结合铅锌矿共伴生铅、锌、金、银、硫、铁、锰、铜等多种有用矿物，创新研发与应用具有适用性强、资源综合回收率高、环境友好的全产品矿山生产流程及其关键支撑技术，用开发的盘区卸荷开采技术提高采矿回采率；用开发的分流分速高浓度分步调控浮选+酸渣伴生元素渣浸+浮选尾矿脉动高梯度磁选技术提高铅锌银回收率，实现硫铁金银锰铜有价伴生元素综合回收利用；用开发的固体废物短流程资源化利用技术实现尾矿和废石采场充填、多余尾矿脱水制砖做水泥；用开发的废水分质快速循环回用技术实现废水的循环利用。该综合技术不仅大幅度提高了采矿回采率、共伴生有价元素的选矿回收率，而且实现了选矿尾砂、废石与废水全部资源化利用，建成了高效利用多金属矿产资源和全部矿山废物，无尾矿、废石、废水排放和无地表破坏的示范矿山，彻底改变了传统的制造矿产品与排放废物的金属矿产资源开发方式，促进矿业可持续协调发展。

#### （二）关键技术

##### 1. 铅锌多金属矿分流分速高浓度分步调控浮选技术

针对复杂多金属铅锌硫化矿普遍存在分离难度大、工艺复杂、有价伴生元素多、资源利用率低、并且必须 100%应用回水的难题，根据铅、锌硫化矿和黄铁矿浮游特性与浮选动力学的差异，发明了铅锌硫化矿分流分速高浓度分步调控浮选新技术，并开发成功了高品位硫精矿烧渣浸金银——回收铁、浮选尾矿磁选回收锰等一整套综合回收金、银、硫、铁、锰、铜的新技术，显著提高了共伴生铅、

锌、金、银、硫、铁、锰、铜等有价值元素综合回收率，在铅锌多金属矿综合利用技术方面取得重大突破。

2. 金属矿山全部固体废物短流程利用技术

针对金属矿山固体废物资源化利用率低、工艺复杂、流程长、可靠性差的技术难题，研究成功全尾砂浓缩脱水、本仓贮存与流态化造浆一体化的制备工艺，结构流体自流输送至井下充填工艺技术；实现尾砂和全部采掘废石不出井直接用作充填骨料进行采场充填；充填剩余的尾矿制成水泥原料或制砖。实现了全部尾砂与废石资源化利用。

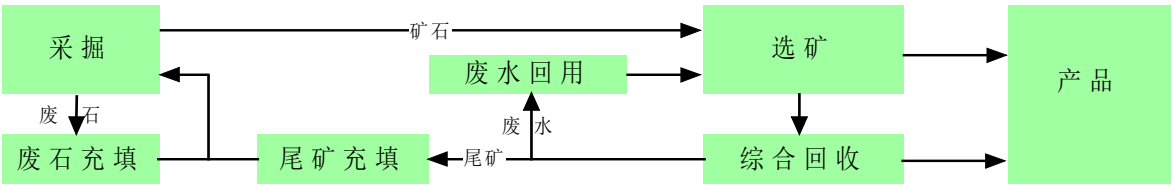
3. 选矿厂废水无排放快速分质循环利用技术

针对多金属矿选矿废水污染环境、回用对选矿指标影响大的难题，研发出：①铅锌硫等各自选别回路的废水快速分质循环回用技术；②剩余总尾水处理并与选矿工艺相匹配的循环利用技术，从而实现了全部废水无排放的资源化利用，既消除了环境污染，又改善了选矿指标，使废水中的药剂得到高效重复利用。

4. 盘区卸荷分层充填采矿工艺技术

针对分层充填采矿法水平暴露面积大和回采周期长，采场应力集中大、顶板易垮塌、破坏地表，为了解决安全开采和回采率低的问题，应用了盘区卸荷开采方法、梯层充填采矿工艺和集中落矿回采技术，通过采场局部弱化使应力集中部位向围岩深处转移，在开挖结构近表层形成低应力卸荷圈；通过集中回采缩短采场顶板暴露时间，将岩层移动控制在最小范围，有效提高了采矿回收率。

(三) 工艺流程



铅锌多金属矿高效开发流程总图

1. 改变采矿方法：采用盘区卸荷分层充填采矿工艺，提高采矿回采率，保护地表；
2. 建设尾矿胶结充填系统：建设全尾砂胶结充填系统，将尾矿加水泥高浓度进行采场充填。
3. 建设井下废石充填系统：建设与采掘废石相配套的井下废石充填系统，

使废石不出井，直接用于采场充填。

4. 改造选矿工艺流程：改造铅锌硫选矿流程，改变药剂条件，增加快选铅、快选锌、快选硫，增加铅尾、锌尾浓缩，实现高浓度选铅、锌、硫，提高铅、锌、硫回收率；增加铜铅分离流程，实现伴生铜的综合回收；采用分流分速高浓度分步选高品位硫精矿工艺，并把锌尾中金银富集到硫精矿中，提高硫、铁选矿回收率，再对硫酸厂焙烧系统进行改造，满足高品位硫精矿焙烧需要，建设酸渣浸金银厂，实现硫、铁、金、银高效综合回收；增加脉动高梯度选锰流程，实现尾矿中锰的综合回收。

5. 建设尾矿浓缩过滤脱水系统，将充填多余尾矿过滤脱水用于尾矿制砖和做水泥，建废水处理回用系统，对废水进行分质快速回用。

#### 四、主要技术指标

1. 采矿回收率 $\geq 87.9\%$ 。

2. 铅锌多金属矿回收技术铅 90.4%、锌 91.9%；金 85.75%、银 86.77%、硫 96.94%、铁 88.18%、锰 65.0%、铜 66.08%；伴生元素综合利用率 81.45%。

3. 尾砂利用率 100%、废石利用率 100%、选矿废水回用率 100%，新鲜水节水率 95%。

4. 全部共伴生有用元素综合回收，矿山废物全部资源化利用，无尾矿库、无废石场、无地表破坏。

#### 五、典型实例及成效

南京栖霞山铅锌矿共伴生铅锌金银硫铁锰铜等有价元素，属典型的多金属矿，地处南京市 4A 级栖霞山风景区和长江边，在项目技术应用前，矿山开发不仅存在资源利用率低、生态环境破坏严重的问题，而且随着环境要求的提高和市场竞争加剧，矿山面临停产，传统工艺技术已不能满足矿山正常生产。为此于上世纪末开始开展了本项目技术的系统研究，项目部分成果自 1998 年陆续投入应用，2008 年 1 月本项目整体技术全面应用。整体技术成果应用后，将采矿回收率、铅、锌选矿回收率分别提高了 6、4.5、4.9 个百分点；共伴生金、银、硫、铁、锰、铜回收率分别提高了 67.53、21.99、8.62、88.18、65.0、66.08 个百分点，综合利用率提高了 52.90 个百分点；选矿电耗降低 25%；磨浮厂房单位面积的矿石处理量提高 50%；实现了选矿废水、尾矿和采掘废石的资源化利用，建



成了首座资源高效利用、无地表破坏、无尾矿库、无废石场、无废水排放的多金属矿山，消除了矿山开发对环境的污染，杜绝了尾矿库溃坝及废石场泥石流等安全隐患；有效解决了矿山产量低和采选指标差的技术瓶颈。矿山应用该整体技术以来累计新增利税 82381 万元，经济和社会环境效益显著，使地下资源开发与矿区生态环境保护达到和谐统一。

## 六、推广前景

我国现有铅锌矿 800 多座，铅锌选矿厂 2000 多个，铅锌行业集中度比较低，矿山生产规模都较小。2011 年我国铅锌矿山生产铅金属量 185 万吨、锌金属量 370 万吨，前五名企业的铅锌产量分别仅占全国总产量的 17.3%和 26.8%。由于我国铅锌资源的缺乏，铅锌冶炼能力大，中国铅锌冶炼企业对国外精矿产品依存度较高，近几年一直处于净进口状态。2011 年中国共进口铅精矿金属量 130 多万吨、进口锌精矿金属量为 290 多万吨。同时，在我国铅锌资源中，共、伴生的有价元素非常丰富，如金、银、硫、铁、铜、锰等，这些元素也是我国国民经济非常紧缺的资源。目前，我国铅锌多金属矿资源开发与综合利用的水平还不是很，许多中小型矿山的采矿回采率、共伴生元素的综合利用率还很低，因此，开展铅锌矿产资源节约与综合利用显得尤其重要。

按照中小型铅锌矿山占铅锌矿山 60%的比例，每年开采的铅锌矿石量在 4000 万吨左右，铅+锌原矿品位在 7%，如果回采率提高 5 个百分点，每年就可以节约铅锌矿石量 200 万吨，金属量 14 万吨左右；铅锌选矿回收率各提高 4 个百分点，每年就可以增加铅锌金属量 11 万吨左右。铅锌矿伴生元素金、银、硫、铁、锰、铜等综合利用率如平均提高 20 个百分点，每年增加的元素量更为显著，增加经济效益在上百亿元。同时，可以减少固体废物排放量 2000 万 m<sup>3</sup>/a、废水 5000 万 t/a，部分矿山可以取消尾矿库，实现全部矿山尾矿、废水、废石的资源化利用，矿山无尾矿、废石和废水排放，彻底消除铜、铅、锌等重金属和选矿药剂对环境的污染，有效保护矿区生态与周边环境，而且还省去矿山尾矿库的土地占用和尾矿库维护费用，大幅度节省新鲜水消耗，有效提高我国紧缺矿产资源的可利用总量，实现生态环境保护，消除矿区灾害隐患，能够取得十分显著的资源、环境和安全效益。

该技术能有效解决我国铅锌多金属矿开发普遍存在的资源综合回收率低和

矿区生态破坏、环境污染严重的问题，不仅适用于铅锌多金属矿，也适用于其它有色金属矿，尤其适合于土地、水资源紧缺和生态环境脆弱地区的矿业开发。该技术为铅锌多金属矿山的矿产资源节约与综合利用提供了很好技术支撑和示范，对促进我国金属矿山行业技术进步，建设资源节约型、环境友好型的现代化矿山具有重大推动作用，必将为我国矿业高效开发和综合利用做出更大的贡献。

## 50. 低品位硫化铜矿生物提铜大规模产业化应用关键技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

次生硫化铜矿、低品位原生硫化铜矿。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

生物浸铜大多采用堆浸法，高效浸矿菌的选育与应用以及控制浸出过程生物、化学和物理等因素的合理匹配，保持各工艺环节的酸、铁、水、杂质平衡，维持浸矿过程优势菌的最佳活性是生物堆浸提铜获得成功的关键。

#### （二）关键技术

1. 选育和应用高效专属浸矿菌—高效浸矿混合菌 TFRIII 和硫氧化细菌，形成样品采集—高效浸矿菌种选育—堆浸工业引种及调控方法。

2. 系统集成实时荧光定量 PCR 与基因克隆文库技术，建立了低成本、高效、快速的生物堆浸过程堆内微生物种群的实时定量分析方法，创新地应用于浸矿微生物种群演变的定量分析。

3. 浸矿优势菌群与工业堆场操作工艺、物理化学因素最佳匹配的调控方法。

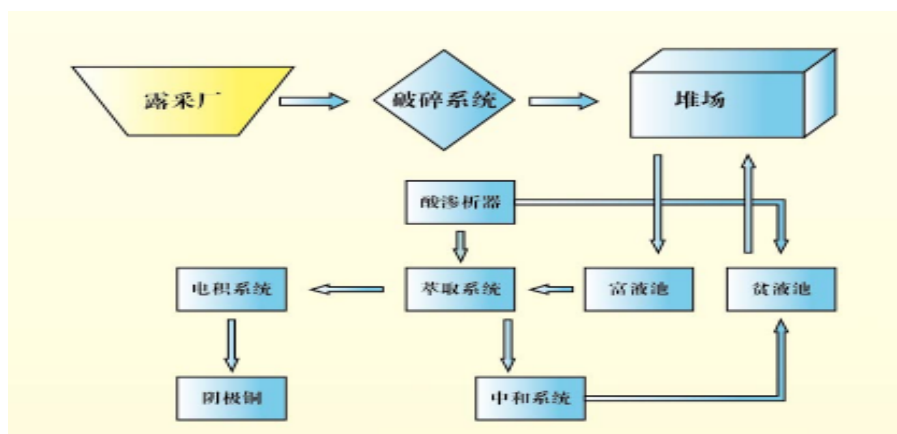
4. 通过调控浸出体系氧化还原电位实现次生硫化铜矿选择性生物浸出。

5. 高 S/Cu 比（黄铁矿/硫化铜矿物）低品位硫化铜矿生物选择性浸出新工艺。

6. 萃取过程负载有机相洗涤除杂、电积过程酸雾抑制和电积贫液酸铁膜分离除杂等工程化技术。

#### （三）工艺流程

采用“破碎+生物堆浸+萃取+电积”生产工艺流程，直接生产阴极铜。



低品位硫化铜矿生物提铜工艺流程

#### 四、主要技术指标

入堆最低铜品位 0.2%，铜浸出率达到 80%，铜回收率达 75% 以上，浸出周期 185-220d。与国外典型生物提铜矿山相比，铜浸出率相近，浸出周期缩短 1/3 以上，矿石铜品位低 2/3，吨矿现金成本降低 2/3。与浮选—闪速炼铜工艺相比，电耗降低 55%，CO<sub>2</sub> 排放量减少 63%，SO<sub>2</sub> 排放量减少 65%，节水 80%，成本降低 60%。

#### 五、典型实例及成效

该技术成果 2006 年已应用于紫金山大型低品位硫化铜矿，年处理低品位铜矿石 300 多万吨，年产高纯阴极铜 1 万吨，产品质量达到了高纯阴极铜质量标准，其技术经济指标和环境效益优于传统的选矿—火法炼铜工艺，且技术工业化应用成熟度较高。

福建省上杭县紫金山铜矿投资 1.67 亿元建设年产高纯阴极铜 1 万 t 的采矿—生物堆浸—萃取—电积提铜的生产系统，建设期 2 年，投资回收期 4 年。该技术成果的成功应用，大大降低了紫金山铜矿体边界品位。经全国矿产储量委员会批准，按入堆品位 0.42% 重新圈矿体，使紫金山铜矿的铜金属储量由 63 万 t（铜品位 1.09%）扩大为 191.6 万 t，在无需投巨资勘探的情况下，紫金山铜矿资源扩大 2 倍多，显著扩大了资源利用范围，社会效益显著。此外，降低边界品位后，矿体连续厚度增大，剥采比可大幅度下降。2006-2008 年累计共生产高纯阴极铜 24793.36t，平均直接加工成本 12812.00 元/t•Cu、平均总成本 16339.84 元/tCu，三年累计新增产值 12.56 亿元、新增利税 8.51 亿元。

## 六、推广前景

该技术成果可直接推广应用于次生硫化铜矿开发利用、低品位原生硫化铜矿废石堆浸，也可应用于难处理金矿生物预处理、低品位镍钴矿和低品位硫化锌矿的生物浸出。与火法炼铜相比，其工艺和装备简易、对环境友好、产品附加值高，建厂规模可大可小。因此，不论矿产资源的储量是大是小、位置是否偏远、交通是否发达，均可以进行推广应用，推广应用的范围广阔，尤其适宜西部偏远交通不便地区的铜资源开发。利用该技术，预计潜在的可利用铜资源量达 3379 万吨，镍资源量 84 万吨，钴资源量 5.7 万吨。

## 51. 钼钨金氧化矿综合利用新技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

适用于我国内蒙古自治区中西部以氧化钼钨矿为主的矿石，以及我国陕西、河南、甘肃等大型硫化钼矿产的浅表氧化程度高的矿石。目前国内钼矿的开发多以硫化矿为主，氧化矿处理难度大，多作为废石剥离或者成为呆滞矿床。钼钨金氧化矿综合利用技术对于此类矿山的盘活和综合利用提供了技术基础。

### 三、技术内容

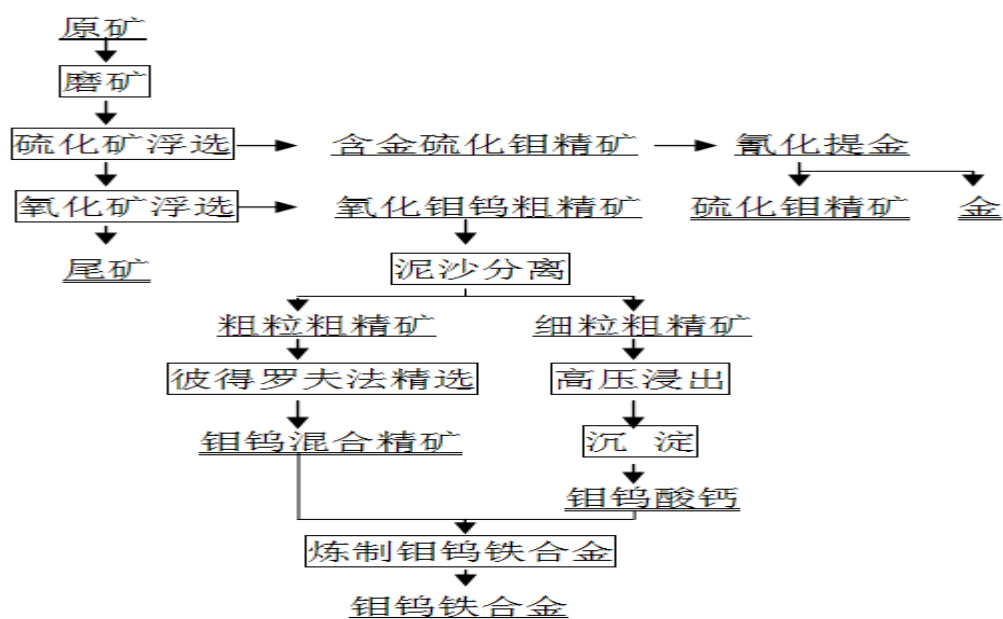
#### （一）基本原理

采用泥沙分离技术，粗、细物料分别加工，使粗、细物料都采用适合本身性质的加工方法，利用“彼德洛夫法”加温浮选氧化钼，湿法高压浸出钼钨。

#### （二）关键技术

钼钨氧化矿混合浮选技术；钼钨氧化矿高压浸出技术；含金钼精矿高效氰化浸金技术

#### （三）工艺流程



钼钨金氧化矿综合利用工艺流程图

#### 四、主要技术指标

粗粒级物料和混合物料加温浮选相比，回收率提高了 8-10%，药剂用量：水玻璃用量从 60kg 下降到 15.7kg，烧碱从 10kg 降到 6.4kg，硫化钠从 5kg 降到 3.3kg。细粒级物料和混合物料湿法冶金提取相比，钼回收率提高了 5%，钨提高了 40%，成本降低了 60%；

选矿：氧化钼钨精矿钼品位 8-15%、钨品位 5-12%，硫化钼精矿品位>45%，钼回收率>75%。

冶金提取：钼浸出率>98%，钨浸出率>95%，钼回收率>97%，钨回收率>94%。

氰化提金：金浸出率>98%，回收率>97%。

#### 五、典型实例及成效

内蒙古额济纳旗流沙山钼矿，流沙山钼矿探明钼金属量为 2.81 万吨，按照企业一期工程和二期工程设计的采矿、选矿处理能力，矿山服务年限为 16 年，矿山露天采矿剥离工作已经完成，已形成 2500 吨/日的露天采矿能力和 1000 吨/日的地下采矿能力和 1500 吨/日的选矿生产能力，目前正在设计选矿厂 2000 吨/日规模的二期工程。

#### 六、推广前景

内蒙古额济纳旗小狐狸山钼矿、内蒙古西沙德盖矿区钼矿性质和该矿极为相近；另外，甘肃省山丹县探明一大型钨钼矿，钼储量 102 万吨、钨储量 50 万吨，储量亚洲第三，在矿区浅部，也存在氧化程度高的问题。该技术可以在这些矿区得到应用。另外，我国大部分的钼矿都存在有不同程度的氧化现象，目前，钼氧化矿多作为废石被剥离，无法综合利用。通过技术创新和进步，将该技术应用到这些钼矿区，可以为我国钼资源的高效节约与综合利用提供强有力的技术支持。该技术有极大地推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力。

## 52. CotL' s 酸法从含硫氰酸盐、氰化物尾液中综合回收氰化物技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

从高浓度含氰、硫氰酸盐尾液中综合回收氰化物。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

CotL' s 酸在酸性介质和加温条件下优先与硫氰酸盐反应生成 HCN，而且生成的 HCN 在氢氰酸抑制剂(2 号)作用下，形成强性质子化作用而控制 HCN 与 CotL' s 酸的反应而达到回收氰化物的目的。

#### （二）关键技术

氧化剂、抑制剂和发生剂的混配技术。

#### （三）工艺流程

主要工艺过程包括：贫液中贵金属回收；贫液预处理；贫液中氰化物回收；硫氰酸盐中再生氰化钠；砷的处理；贫液深度处理（达标排放）等。

### 四、主要技术指标

1. 贫液中的氰化物回收率 $\geq 90\%$ ;
2. 硫氰酸盐的氧化率 $\geq 95\%$ ;
3. 从硫氰酸盐中再生氰化物的回收率 $\geq 80\%$ 。

### 五、典型实例及成效

辽宁天利金业有限责任公司重点进行氧化电位、酸化条件、吹脱条件、药剂的采用和用量以及加入方式等条件的试验、优化贫液预处理工艺和作业条件等，贫液中的氰化物回收率为 98.7%，硫氰酸盐中再生氰化钠率为 86.27%，对贫液中的砷及残余的氰化物进行深度治理后砷和氰化物均达标外排，达到贫液的全循环工艺更加优化的目的。金浸出率提高了 0.87%，各项经济技术指标在国内外同类



技术中均处于最好水平。该项目总投资为 516.3 万元，年产值可达到 210 万元产值，年成本为 47 万元，每年给企业增收 163 万元的利润。

## 六、推广前景

该项技术在天利公司的成功实践证明，我国在黄金矿山环境保护技术领域已经取得突破性进展，与国外同类技术相比，在诸多技术环节上更加具有优越性和竞争力，为我国金矿氰化工艺中产生的贫液进行综合治理领域拓展了更为广阔的空间，为我国参与国际市场竞争提供了有力的技术保证，尤其是，国家即将对硫氰酸盐的总排放量施加限制之际，该技术是国内率先对环境有一定影响的硫氰酸盐废水进行综合治理的先进技术，它将为以后的我国黄金矿山废水重复利用技术和资源综合利用领域，实现环境效益、经济效益和社会效益的统筹兼顾提供更有力的技术支撑。

## 53. 黄金矿山含氰尾液处理技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

对黄金矿山干堆尾矿库淋溶低浓度含氰、硫氰酸盐外排废液进行处理。

### 三、技术内容

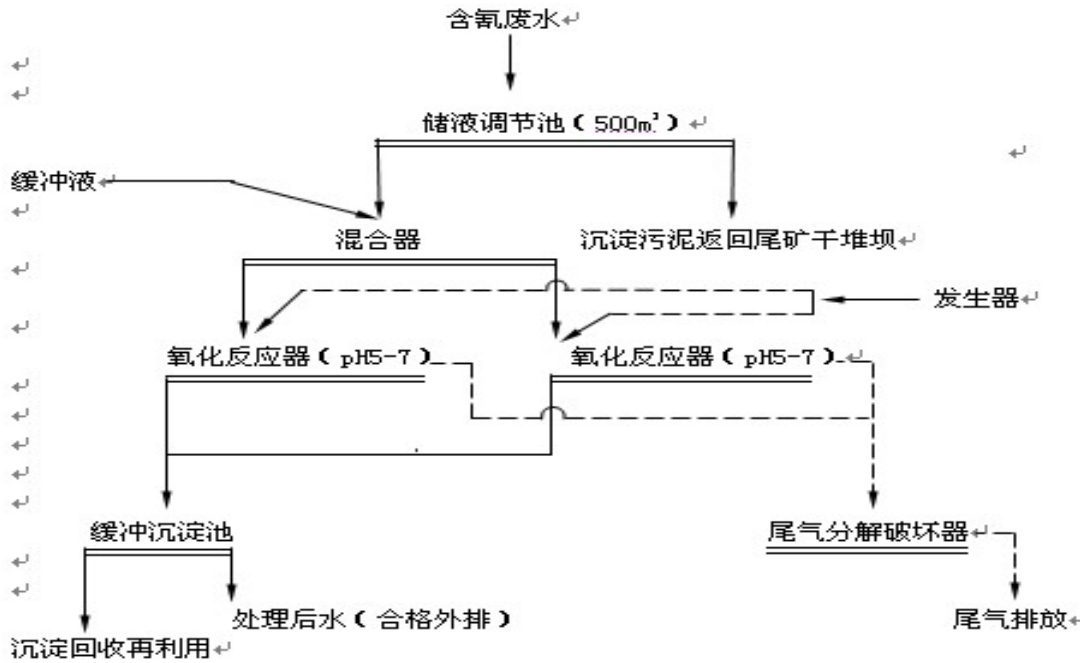
#### （一）基本原理

臭氧是一种强氧化剂，在溶液中它可以和有机物以两种途径进行反应：①臭氧分子与有机物的直接反应；②部分臭氧分子分解后产生的自由基与有机物的间接反应。臭氧在水中分解产生的强氧化性 $\cdot\text{OH}$ 自由基作为氧化的中间产物，引发自由基链式氧化反应，同时在水溶液中可释放出原子氧参加反应，表现出很强的氧化性，能彻底氧化游离状态的氰化物。可以利用臭氧氧化法转化硫氰酸盐为氰化物。

#### （二）关键技术

稳定络合氰化物的处理技术

#### （三）工艺流程



含氰尾液处理工艺流程

#### 四、主要技术指标

1. 外排贫液或矿浆中的氰化物含量低于国家污水综合排放标准;
2. 处理成本 $\leq 6$  元/ $\text{m}^3$ ;
3. 臭氧利用率 $\geq 90\%$ 。

#### 五、典型实例及成效

OOT 法深度处理含氰、硫氰酸盐废液体系时,对总氰、硫氰酸盐有很好的适应性,保证处理后外排废液总氰、COD 同时达标,而且废液总氰达到 0.2mg/L 以下,满足一些流域污水排放标准要求。

中国黄金集团夹皮沟黄金矿业有限公司选矿工艺为全泥氰化炭浆法,浸出矿浆经过陶瓷过滤机过滤后贫液全部返回浸出工段继续使用,尾渣干堆于尾矿库。由于采用干式排放的尾渣滤饼中含有一定的水分,并残留一定数量的氰化物,在堆放的过程中受大气降水的浸溶,残留的氰化物会释出,在尾矿渗透坝内汇流而出,并对水环境产生二次污染。该技术通过采取改变和控制氧化工艺条件和参数,有效实现单一方法对各污染物质的深度氧化,研究开发了先进的气—液曝气和氧化反应分布装置,提高一次曝气率。总投资 600 万元,建设期 2 年。处理后废水中总氰含量小于 0.2mg/L、COD 含量小于 50mg/L,均低于国家和松花江流域的相关排放标准;硫氰酸盐( $\text{SCN}^-$ )几乎被全部分解;总铁含量小于 0.1 mg/L;臭氧利用率达到 95%以上;日稳定处理低浓度含氰、硫氰酸盐废液 512  $\text{m}^3$  (低浓度系指含总氰、硫氰各 30mg/L 以下);设备运行时,除消耗人力和极少量的浓硫酸作为 pH 调节剂外,全负荷工作时处理废液共需消耗电力不到 6kW·h/ $\text{m}^3$ 。新技术研究进入生产营运期后按额定设计运行,每年可为夹皮沟矿业有限公司减排总氰 2.53t、COD3.15t。直接生产成本在 4–6 元/ $\text{m}^3$  (废水)之间(理论计算为 4.11 元/ $\text{m}^3$  (废水))。相对于碱氯法的 20 元/ $\text{m}^3$  (废水),和焦亚硫酸钠–空气氧化法的 10.5 元/ $\text{m}^3$  (废水)的成本,节资效果明显。

#### 六、推广前景

该工艺方法生产营运成本低,实际消耗直接成本 4.11 元/ $\text{m}^3$  (废水)。在氧化处理游离氰的同时,对硫氰酸盐、铁氰络合物、亚铁氰络合物的去除,有其它方法无法比拟的优势。避免了以往方法为实现同一目的,而采用联合处理工艺所带来的高成本性。具有较高的推广应用价值。可独立应用于黄金矿山低浓度含氰、

硫氰酸盐废液体系的深度处理，或应用于高浓度含氰、硫氰酸盐废液体系回收氰化物后的二次处理工段。还可应用于非黄金行业含氰废水（如电镀、炼焦等）的深度无害化处理工段，具有较好的市场应用前景。

## 第四篇 非金属类

## 54. 固体钾矿浸泡式溶解转化开采技术

### 一、技术类型

非金属矿山高效采矿技术。

### 二、适用范围

零星分布的  $KCl \geq 0.5\%$  的低品位盐湖固体钾矿（钾石盐、光卤石矿）。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

向含钾地层中注入钾不饱和溶剂，破坏原有的相平衡，使溶剂与盐层中的石盐、光卤石或钾石盐发生交换，使固体盐层中氯化钾、氯化镁最大限度地进入液相，形成新的溶液，达到新的平衡状态，而固体氯化钠骨架基本不溶解。

#### （二）关键技术

1. 溶剂制取方法
2. 溶剂安全输送技术
3. 单元浸泡式溶解转化技术
4. 采卤工程技术

### 四、主要技术指标

固体钾矿溶解转化率  $\geq 80\%$

溶矿后卤水最低  $KCl \geq 0.50\%$

### 五、典型实例及成效

自 2007 年至 2010 年，通过应用固体钾矿浸泡式溶解转化开采技术，已经溶解固体钾矿超过 616 万吨，并使察尔汗盐湖固体钾矿开采工业品位由 8% 降低至 2%，经国土部备案公司采矿权内新增可采钾资源基础储量 13731 万吨，启动了新增 100 万吨钾肥项目建设。成果在公司别勒滩矿区已经得到推广应用，完全成熟。

新增 100 万吨/年装置建成达产后，预计产品销售收入 217759 万元；税金 40461 万元；利润 112285 万元，经济效益显著。

### 六、推广前景

该项技术在我国察尔汗盐湖钾镁盐矿具有较好的应用前景，近期将盘活固体钾矿 1.4 亿吨，远期将盘活固体钾矿资源近 3 亿吨，提高我国钾资源的供应能力。

## 55. 磷石膏充填无废高效开采技术

### 一、技术类型

非金属矿山高效采矿技术。

### 二、适用范围

中厚缓倾斜-倾斜破碎矿体。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

通过磷废料的改性与磷矿山开采方法的根本变革及相关配套工艺技术研究,首次在国际上率先实现磷废料的大规模再利用与磷资源的安全高效低贫损连续开采方法完美结合,解决我国目前磷资源开采损失贫化大与磷石膏大量排放严重污染环境的问题。

#### (二) 关键技术

##### 1. 磷废料充填技术

①磷废料作为充填骨料改性研究:通过对磷石膏物理化学特性、不同成份添加剂配比试验等研究,发现磷石膏和粉煤灰的胶结活性、酸碱度等具有互补性,实现了磷石膏改性,研究黄磷渣潜在胶凝活性与激活剂类型。

②磷废料胶结充填匹配试验研究:得出磷石膏作为充填骨料的合理配比及黄磷渣全部代替水泥的合理配比(已获专利)。

③长距离低高程泵送磷废料充填系统及料浆输送技术:针对磷矿山开采磷废料充填倍线小、距离长、料浆输送困难等问题,采用半理论计算与分析方法,得到无室内试验条件下的磷石膏充填输送阻力与内压,创建了国际上第一套长距离低高程磷废料充填系统(已申请专利),解决了超细磷废料输送计量难、酸性腐蚀,发明矿用尾废充填料大块筛分打散装置(已获专利),为磷化工固体废料的工业规模再利用提供了从地面制浆到井下充填全套技术。马路坪矿长距离低高程泵送磷废料充填系统及其配套技术自 2007 年通过验收并推广使用以来运转正常。

④嗣后充填快速脱水系统施工与设计:针对磷废料料浆粒级细、充填脱水慢、易跑浆漏浆、养护周期长、采场回采循环时间长、生产能力低的难题,提出了一种磷废料充填料浆快速脱水系统(已获专利),同时采用充填漏水器预脱水(已获

专利)、特殊包扎脱水管等技术,成功实现了超细磷废料浆体充填脱水和固化。

## 2. 采矿方法与关键技术

①中厚缓倾斜破碎矿体采矿方法研发:针对倾斜中厚破碎矿体充填法机械化开采脉外采准废石掘进量大,脉内采准采场个数少,充填法工序多,回采强度低,采场生产能力低的不足,研发了具有知识产权的脉内采准无间柱分段连续充填采矿法等 5 项中厚缓倾斜~倾斜破碎矿体的绿色采矿方法。

②开拓采准工程合理布置研究:针对磷矿床矿岩破碎特别是红页岩支护困难的难题,采用上盘无轨采准系统,将主要采准工程布在相对稳固的上盘白云岩和磷矿体内。

③采场支护参数与稳定性研究:对主要人员与设备出入的凿岩出矿平巷采用管缝式锚杆与金属网喷锚支护,对位于采场中央的切割槽采用长锚索+锚杆+金属网联合支护,人为形成悬吊梁,改变采场内顶板的应力分布,扩大采场稳定跨度,从而提高回采单元的矿量与生产能力。

④底板三角矿石回收方法研究:创新性地应用长臂式爬装机与井下大型无轨采掘设备结合,合理布控,解决了缓倾斜矿体开采贫化损失大,三角矿量无法回收等世界性难题。实现了中厚缓倾斜~倾斜破碎矿体的安全、高效、低贫损、低成本开采。

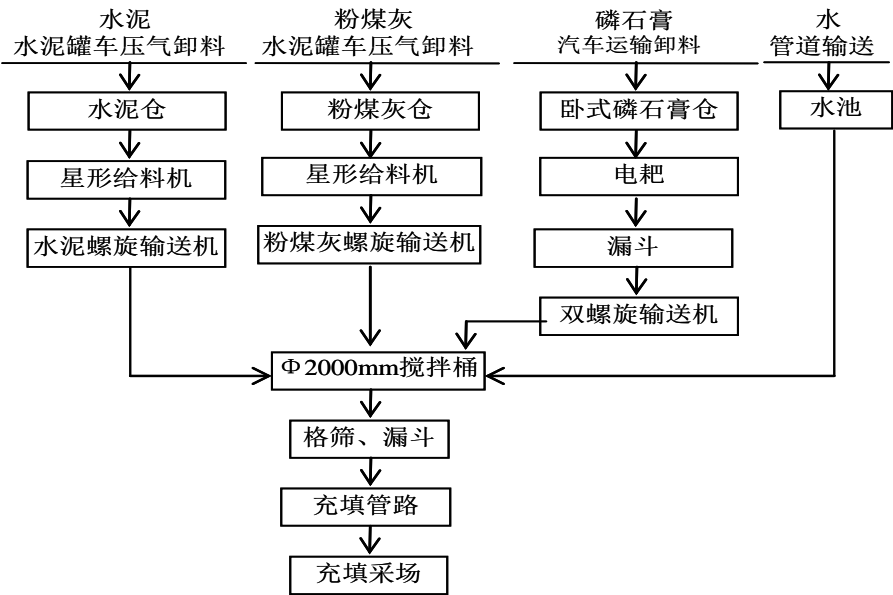
## (三) 工艺流程

### 1. 磷废料充填工艺技术方案

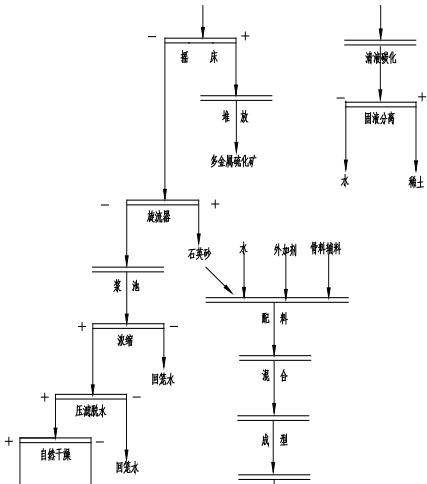
马路坪充填系统料浆制备由以下几条工艺流程组成:(1)磷石膏、粉煤灰供料线。磷石膏、粉煤灰用自卸汽车运到充填站的磷石膏库。充填时,将磷石膏、粉煤灰混合后用装载机上料卸至 1#中间料仓,然后通过带破拱架的单台板振动放料机放料,由皮带输送机送入打散机,打散后的磷石膏经振动筛筛分剔除大块杂物后落入 2#中间料仓,再通过带破拱架的单台板振动放料机放料,由皮带输送机输送,经皮带电子秤自动计量送入高浓度搅拌设备。磷石膏干料供料能力为 45-64t/h,磷石膏湿料供料能力为 60-86t/h,磷石膏采用皮带电子秤自动计量,并通过调节单台板振动放料机的变频调速器的频率实现磷石膏给料量的调节。(2)水泥供料线。水泥供料线有 2 条(其中 1 条备用),每条线的供料能力为 5-28t/h,当水泥的供料能力要求大于 28t/h 时,采用 2 条线同时供料。水泥采用水泥罐车送至充填站,经压气自动卸入 100 吨钢制料仓。充填时,水泥由双管螺旋喂料机



放料，再经单螺旋电子秤计量后输送到搅拌机；并通过调节双管螺旋喂料机的变频调速器的频率来实现水泥给料量的调节。(3)供水线。通过马路坪+860m 水泵把水输送到充填站 500t 高位水池。充填时，水由高位水池通过水管供给，经电磁流量计计量，由电动调节阀和水阀调节给水量。正常供水流量为 26-41m<sup>3</sup>/h，冲洗管道的最大用水流量为 90m<sup>3</sup>/h 左右。(4)充填料浆制备线。磷石膏、水泥、水先经双轴搅拌机进行初步搅拌后，再经强力活化搅拌机进行活化搅拌，搅拌均匀的充填料浆采用泵送充填或自流充填。经充填天井、充填斜井、+940m 北副斜井、斜井联络道、+820m(或+750m)运输平巷、采场充填井输送到采场。



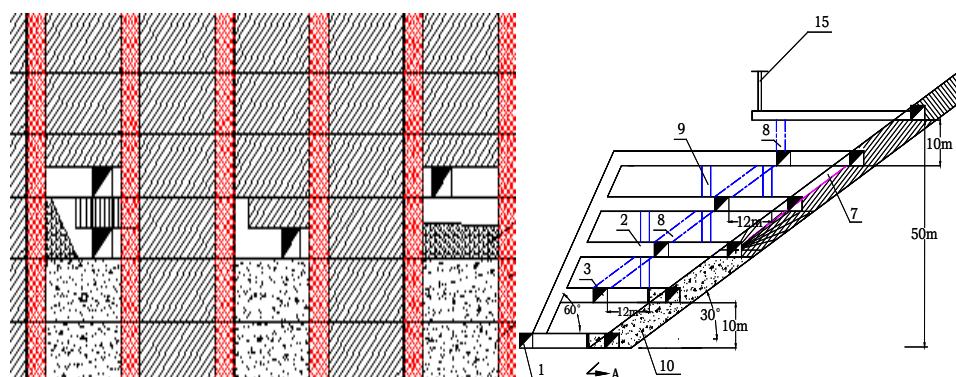
用沙坝矿磷废料充填系统及料浆输送技术工艺流程图



马路坪矿长距离低高程泵送磷石膏充填系统及料浆输送技术工艺流程图

## 2. 中厚倾斜破碎矿体开采方法工艺流程

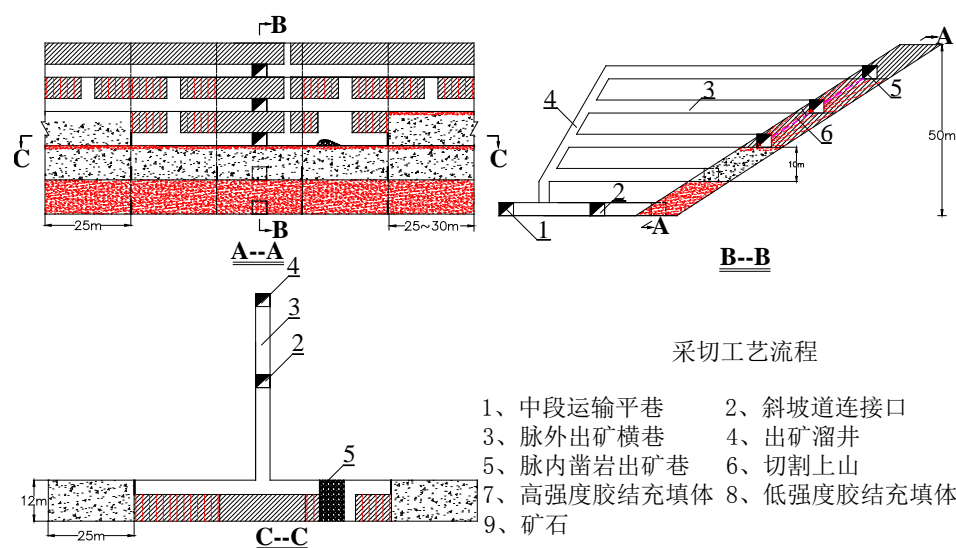
## (1)用沙坝矿公路下磷矿山开采方法工艺流程



- |           |         |          |             |
|-----------|---------|----------|-------------|
| 1、中段运输平巷  | 5、沿脉凿岩巷 | 9、废石充填井  | 13、隔离矿柱     |
| 2、脉外出矿横巷  | 6、出矿溜井  | 10、永久矿柱  | 14、空区塌陷废石   |
| 3、脉外分段出矿巷 | 7、切割上山  | 11、胶结充填体 | 15、充填钻孔     |
| 4、出矿进路    | 8、充填管道井 | 12、矿石    | 16、1170m脉内巷 |

用沙坝矿公路下磷矿山开采工艺流程图

## (2)马路坪矿中厚倾斜破碎矿体开采方法工艺流程



采切工艺流程

- |            |            |
|------------|------------|
| 1、中段运输平巷   | 2、斜坡道连接口   |
| 3、脉外出矿横巷   | 4、出矿溜井     |
| 5、脉内凿岩出矿巷  | 6、切割上山     |
| 7、高强度胶结充填体 | 8、低强度胶结充填体 |
| 9、矿石       |            |

马路坪矿中厚倾斜破碎矿体开采工艺流程图

具体开采工艺流程如下：

(1)采场凿岩。采用 Sandvik DL330-5 电动液压中深孔凿岩台车打眼，在凿岩出矿巷中钻凿上向扇形中深孔，中深孔孔径 60-65mm，排距 2.0m，孔底距 2.0-2.4m。根据马路坪矿矿体赋存条件及凿岩参数，采用作图法分析知，采场单排布孔 8 个，总孔深 93.723m，每米炮孔崩矿量 7.029t。

(2)采场爆破。采用装药器或中深孔药卷，以通风切割上山为自由面，沿采

场全断面拉开，第一次进行切采爆破，形成沿全断面拉开的切割槽。采场全断面拉开后进行分次爆破，每次爆破 3-4 排，前进式回采，采场最后爆破矿体靠近充填体。爆破采用非电毫秒差导爆管，同排同段，分排分段加导爆索的并联网络起爆。非电毫秒导爆管药包位于距孔口 2.5-3m 处，各排导爆管脚线分别用胶布固定绑紧在传爆线上，再将传爆线并联到主传爆线上，用电雷管点火起爆。

(3)采场支护。采场支护地点为凿岩出矿巷道，视巷道顶板稳定情况采用锚杆加以支护。锚杆支护网度为  $0.9\text{m} \times 1.0\text{m}$ ，局部比较破碎地段采用锚杆与金属网联合支护或者长锚索加金属网联合支护，并喷射混凝土。切割上山：原则上采用锚网支护(1.8m 长开缝式锚杆和  $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$  金属网)，层理发育地段增加锚索进行加强支护，锚索支护网度为  $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$ ；对剪节理发育等破碎和松散岩层（或假顶层），采取揭顶后，进行锚网（1.8m 长开缝式锚杆和  $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$  金属网）和 5.3m 的长锚索联合支护。

(4)采场出矿。采用 EST1020 电动铲运机或 ST1020 柴油铲运机出矿，经脉外出矿横巷，倒入出矿溜井。

(5)采场通风。新鲜风流由下中段平巷进入斜坡道，经分段联络巷至分段平巷，进入采场工作面。采场污风由通风切割上山排入上分段凿岩出矿平巷，从上分段凿岩出矿平巷进入上中段平巷，由矿山回风井排出地表。

#### 四、主要技术指标

1. 盘区尺寸由 600-800m 缩短为 400m；
2. 相对盘区生产能力由 756t/a 提高到 1024t/d；
3. 采切比由 6.847m/kt 降低至 5.782m/kt；
4. 矿石回收率从 68.7%提高到 92.03%；
5. 矿石贫化率从 4.89%降低至 1.58%；
6. 磷石膏充填技术推广至开磷集团可延长服务年限 20.5 年以上

#### 五、典型实例及成效

开磷集团为了尽快稳妥地推广应用磷石膏充填采矿技术，在用沙坝矿段南端进行了磷石膏充填采矿试验，采矿回收率达到 92.6%，与目前使用的空场法相比（回收率 68.7%），采矿损失率降低 23.9%。至 2007 年 12 月，用沙坝矿段已开采保安矿柱矿石量 71.3 万 t，实现经济效益 17784.4 万元；该技术在用沙坝矿南

端正常矿段已采出矿石量 3.56 万 t，回收率由 68.7% 上升至 92.6%，由于提高资源回收率新增经济效益 200.1 万元；减少磷石膏排放 36.4 万 t，减排实现环保效益 891.8 万元。磷石膏充填采矿技术已累计在开磷集团矿业总公司获得直接经济效益 18876.3 万元。但是，磷矿无废害开采综合技术研究也存在一些问题，主要是：(1) 采准比较高。由于采用了脉外采准系统，故脉外工程量大，从而采准比较普通脉内布置的采准系统要高。在推广应用时，建议根据矿岩稳定性合理布置脉内与脉外采准的比例，降低采切比。(2) 用沙坝矿段公路下矿床开采留有部分永久矿柱，资源回收率只有 79.6%，永久损失矿量偏大，对于提高磷矿石资源回收率仍有待于深化研究。

## 六、推广前景

磷矿是一种不可再生的宝贵资源，2000 年国土资源部已将磷矿列为 2010 年后不能满足国民经济发展需求的 20 个矿种之一。目前我国磷资源以缓倾斜矿体居多，一直沿用传统的空场法和崩落法开采，不但贫化损失率高，而且导致开采境界内的山体崩落、采空区塌陷等重大工程灾害。磷石膏是生产磷酸的工业废料，每生产 1 吨磷酸产生 5 吨磷石膏，目前我国每年排放磷石膏 2000 多万吨，并且以每年 15% 的速度增长，而国内对磷石膏的综合利用率仅为 10% 左右，磷石膏是一种强酸性物质，堆积地表，遇水成浆，严重污染环境，在全世界范围内已成为一大公害，大量堆积的磷石膏已成为制约我国磷肥工业可持续发展的瓶颈，如何有效地处理磷废渣已成为我国乃至世界的一个迫切需要解决的技术难题。磷石膏充填无废开采不仅可实现矿床资源回收率的提高，生产废料循环再利用，并且可以实现在保障经济发展的同时，确保生态环境受到保护，实现绿色发展目标。

本技术的推广，将彻底改变了我国磷废料大量堆置对地表环境产生危害的现状，实现磷化工矿山的无废害开采，提高资源回收率。在全国推广应用，预计每年多回收磷矿资源 1000 万吨以上，减少大量的磷废渣堆存占地与环境灾害，潜在经济效益每年将达到 50 亿元以上，推广应用前景广阔，对我国磷石膏的综合开发利用意义十分重大。

## 56. 中低品位胶磷矿正反浮选工艺

### 一、技术类型

非金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

中低品位混合型胶磷矿选矿。

### 三、技术内容

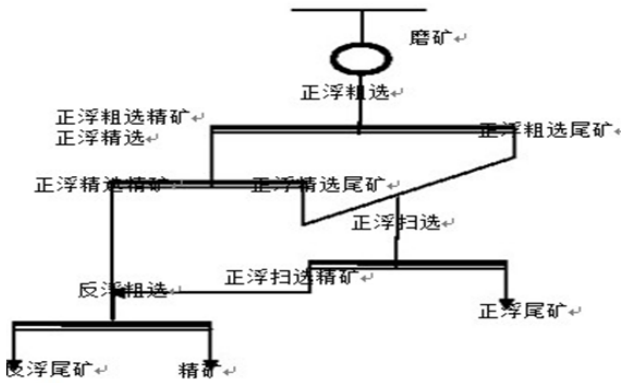
#### （一）基本原理

采用浮游选矿方法，通过正浮选压硅酸盐矿物浮磷酸盐矿物、反浮选一只磷酸盐矿物的工艺流程，获得最终磷精矿。

#### （二）关键技术

通过对云南中低品位胶磷矿正反浮选工艺流程进行优化，将原设计正反浮选工艺流程内部结构进行优化，使得工艺流程操作简单（由原设计的正浮选闭路流程优化为开路流程），增加了浮选时间（浮选总时间由原设计46分优化为60分钟），提高了“两率”即产率和回收率。同时降低了入选原矿品质（由原设计原矿 $P_2O_5$ 含量24.8%降为21.7%， $MgO$ 含量3.0%升高到大于4.1%），扩大了资源利用率。

#### （三）工艺流程



正反浮选优化试验工艺流程

### 四、主要技术指标

原矿 $P_2O_5$ 含量21.7%， $MgO$ 含量4.1%， $SiO_2$ 含量22.0%，通过正反浮选获得精

矿 $P_2O_5$ 含量29.26%,  $MgO$ 含量 $\leq 0.9\%$ ,  $SiO_2$ 含量 $\leq 15.0\%$ , 产率 $\geq 63\%$ , 回收率 $\geq 83\%$ 。

## 五、典型实例及成效

云南磷化集团有限公司海口磷矿分公司浮选厂B I 投资1230万元建设100万吨/年浮选装置, 盘活低品位磷矿石5000万吨, 年实现经济效益1289万元, 投资回收期1年。安宁矿业分公司浮选厂B II 投资200万元改造100万吨/年浮选装置, 盘活低品位磷矿1200万吨, 年实现经济效益800万元, 投资回收期4个月。

## 六、推广前景

中低品位胶磷矿正反浮选工艺的推广, 将使云南、湖北等地数10亿吨低品位胶磷矿得以利用, 对保证我国磷矿资源的需求和农业的可持续发展、促进磷化工和相关产业发展具有十分重要的意义。

## 57. 盐湖卤水钾镁盐反浮选-冷结晶法生产氯钾工艺

### 一、技术类型

非金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

从氯化物型盐湖卤水钾镁盐矿中提取氯化钾。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

反浮选—冷结晶法工艺技术是利用光卤石、氯化钠在特殊捕收剂上的吸附能力不同使光卤石与氯化钠分离，使光卤石原料的纯度达到工艺所允许的范围（ $\text{NaCl} \leq 7.0\%$ ），然后加水分解光卤石，氯化镁进入液相，控制光卤石分解体系中氯化钾的过饱和度，达到在常温条件下使氯化钾颗粒长大的目的。

#### （二）关键技术

1. 反浮选药剂技术：使光卤石矿与氯化钠分离，使盐田光卤石原料的纯度达到工艺所允许的范围（ $\text{NaCl} \leq 7.0\%$ ）

2. 光卤石分解结晶器技术：控制光卤石分解体系，使光卤石分解，氯化镁进入液相，氯化钾结晶颗粒长大。

3. 成套装备设计制造技术：实现各工序有效衔接，保证钾肥生产规模化、大型化、高效化。

#### （三）工艺流程

盐田光卤石矿经水采船采收→浓密机→反浮选作业→低钠光卤石→冷结晶器→粗钾产品→洗涤→干燥→成品氯化钾

### 四、主要技术指标

氯化钾产品  $\text{KCl}$  含量  $\geq 95\%$ ，回收率  $\geq 55\%$ ，平均粒度为  $0.2\text{mm}$ ，产品达到国家标准（GB6549-1996）II类一等品以上质量标准。

### 五、典型实例及成效

青海盐湖钾肥分公司投资 2.4 亿元，对年产 20 万吨氯化钾冷分解浮选法装置进行 40 万吨规模反浮选冷结晶法扩能技术改造，较传统冷分解浮选法工艺年

均节约氯化钾资源 9.4 万吨，近三年平均年销售收入超过 100000 万元，平均年利润超过 30000 万元，经济效益显著。

青海盐湖发展分公司投资 25 亿元新建年产 100 万吨氯化钾（钾肥）项目，较传统冷分解浮选法工艺年均节约氯化钾资源 23.4 万吨，近三年平均年销售收入超过 260000 万元，平均年利润超过 120000 万元，后评价报告测算内部收益率为 26.83%，经济效益显著。

## 六、推广前景

盐湖卤水钾镁盐反浮选-冷结晶法生产氯化钾工艺可替代传统钾盐热熔法技术，不仅可节约氯化钾资源，而且可对使用传统冷分解浮选法、兑卤盐法的中、小规模氯化钾（钾肥）生产装置进行反浮选-冷结晶法工艺改造和装置整合，促进技术升级、产品升级和选矿回收率的整体提升，从而实现我国盐湖钾矿利用水平的升级，从而促进我国钾肥生产技术水平实现新跨越，为国家节约紧缺钾资源、增加国产钾肥总量做出积极贡献，综合利用潜力巨大。



## 58. 难选硅线石“磁浮磁”选矿新技术

### 一、技术类型

非金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

各种类型硅线石资源。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

硅线石矿石基本分两大类型，一是黑云硅线片岩，属易选矿石，二是石榴硅线片岩和石榴黑云硅线片岩，内含大量含铁矿物，属难选矿物，原浮-磁工艺流程很难选出合格产品，通过加强预先磁选脱除大量“可浮性相近”的含铁矿物，增加硅矿石矿物可浮性。

#### （二）关键技术

采取高效节能的湿式强磁式永磁磁选机，对浮选前矿物预先磁选，抛除 30% 左右的含铁矿物，从而减少影响浮选作业的难选矿物含铁矿物杂质含量，提高了硅线石矿物的可浮性，使产品质量合格率由 40% 左右提高到 95% 以上，使原不可利用矿石变为可利用矿石。

#### （三）工艺流程

硅线石原矿---破碎---磨矿---脱泥---湿式强磁永磁磁选---浮选---脱水---烘干---干式强磁永磁磁选---硅线石精矿。

### 四、主要技术指标

天盛公司原（国企）的“三率”指标分别为：开采回采率 80%，选矿回收率 56%，贫化率 7.5%，民营后经过技改采用“磁浮磁”新技术后实际达到的“三率”指标为：开采回采率 95%，选矿回收率 80%，贫化率 4.8% 以下。

### 五、典型实例及成效

鸡西天盛非金属矿业有限公司自 2006 年采用该技术后，打破了原设计的“浮磁”工艺，使选矿技术有了重大的突破，解决了精矿合格率低、回收率低等重大难题，此工艺适合各种类型硅线石矿，属国内首创。天盛公司自 2006 年改造后

至今累计入选各种品位硅线石矿石 25 余万吨，产出硅线石精矿 1.5 余万吨。

## **六、推广前景**

该技术针对黑龙江鸡西地区硅线石特点采用磁-浮-磁选矿工艺流程，提高了精矿品位和回收率，在国内同类型硅线石矿床开采、选矿方面具有推广价值，对硅线石矿产资源节约与综合利用有重要意义。

## 59. 磷矿伴生氟资源综合利用技术

### 一、技术类型

非金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

适用于由含有氟的磷矿湿法制取磷酸的企业。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

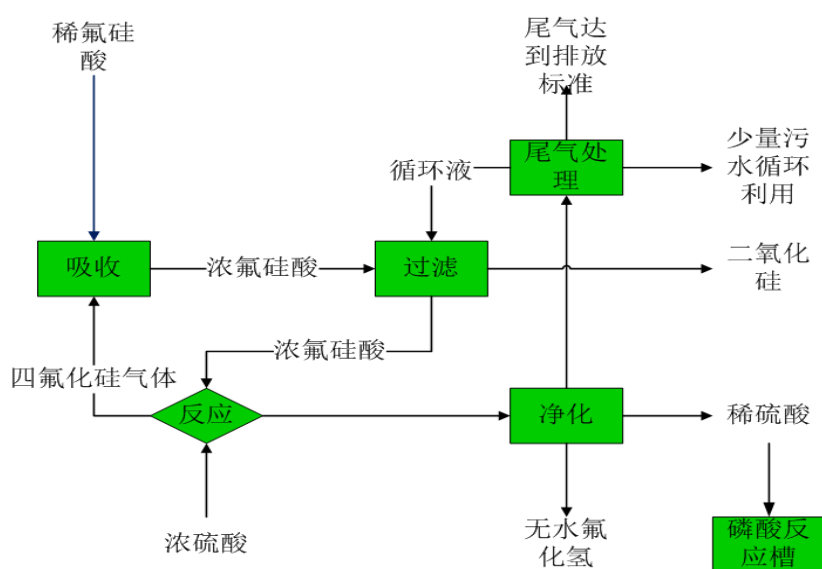
以湿法磷酸生产过程中副产的氟硅酸为原料，脱砷后浓缩，浓氟硅酸与硫酸制得 HF，反应式： $\text{H}_2\text{SiF}_6 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{SiF}_4 + 2\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ；HF 进一步处理得到满足国标要求的无水 HF 产品； $\text{SiF}_4$  气体返回到接触器浓缩原料氟硅酸，反应式： $5\text{SiF}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2\text{SiF}_6 \cdot \text{SiF}_4 + \text{SiO}_2$ 。

#### （二）关键技术

氟硅酸脱砷技术、无水氟化氢防腐技术、精馏提纯技术、氟硅酸浓缩技术。

#### （三）工艺流程

在产业化实施过程中主要实施了以下内容的技改措施：1. 原料脱砷工艺；2. 无水氟化氢制备工艺优化；3. 设备材质研究；4. 设备结构优化；5. 砷渣提纯及含氟硅渣资源化利用探索研究。



磷矿伴生氟资源综合利用

#### 四、主要技术指标

产品纯度 (HF) 99.97%、(H<sub>2</sub>O) 0.0175%、(H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>) 0.0025%、(SO<sub>2</sub>) 0.0014%、(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0.0012%；质量满足工业无水氟化氢 GB7746—2011 优等品的指标。

#### 五、典型实例及成效

瓮福集团投资 3 亿元建设 2 万吨/年无水氟化氢装置，实施四氟化硅发生器顶盖改造、尾气洗涤装置改造、二氧化硅及浓氟硅酸管清洗技术、换热器改造、污水回收利用、过滤机废气回收改造、HF 预净化塔填料改造等。磷矿中伴生氟含量在 2.5%-3.5%，通过无水氟化氢装置及后续的利用含氟硅渣生产白炭黑和氟化铵项目可将磷矿中 98% 的氟资源回收利用，达产后年销售收入为 11000 万元；年均利润总额为 3700 万元，年均税后利润约 2700 万元，投资回收期 7 年。瓮福矿区现探明磷矿储量为 22.1 亿吨，可利用氟资源 6497 万吨。

#### 六、推广前景

磷矿伴生的氟含量达到了 3%，总量占到氟资源总量的 90%，在我国每年通过磷矿开采，加工而溢出的氟逾 100 万吨，大大超过了萤石法生产的氟总量。此前回收法没有工业化先例，通过本技术的研究，全球首次实现了回收法的产业化，为磷矿伴生氟加工无水氟化氢提供了陈工案例，因此在全球磷矿加工企业均可推广该项技术。

我国工业和信息化部在《磷肥行业情结生产技术推行方案》中明确提出，回收磷矿中的氟生产无水氢氟酸 20 万吨，节约萤石上百万吨。因此，磷化工副产氟硅酸生产无水氟化氢是最具有前景的方向，是磷、氟化工可持续发展的必由之路，因此，本技术具有广阔的应用前景。

## 60. 磷矿伴生碘资源回收新技术

### 一、技术类型

非金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

磷矿伴生碘资源、卤水中的碘、油气田水中的碘、其它含碘废水中碘的回收。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

稀磷酸中碘主要是由游离的碘分子与离子碘组成，在酸性溶液中具有较强的氧化性，本技术采用强氧化性的  $\text{H}_2\text{O}_2$  作氧化剂： $2\text{HI} + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 。  $\text{H}_2\text{O}_2$  在酸性溶液中有很强氧化性，可以将离子碘（ $\text{I}^-$ ）氧化成分子碘（ $\text{I}_2$ ）。而碘分子难溶于水，可用空气萃取法吹出。 $\text{SO}_2$  在水溶液中具有较强的还原性，从它们的标准电极电位： $\text{I}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = 2\text{HI}$ ； $E^\circ = 0.535\text{V}$ ； $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} - 2\text{e}^- = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}^+$   $E^\circ = -0.17\text{V}$ ，可以看出：用  $\text{SO}_2$  来吸收从稀磷酸中吹出的碘，会发生比较完全的氧化还原反应： $\text{I}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HI}$ 。本技术通过  $\text{SO}_2$  对吹出的碘进行循环吸收，使碘得到富集，从而达到碘回收的目的。

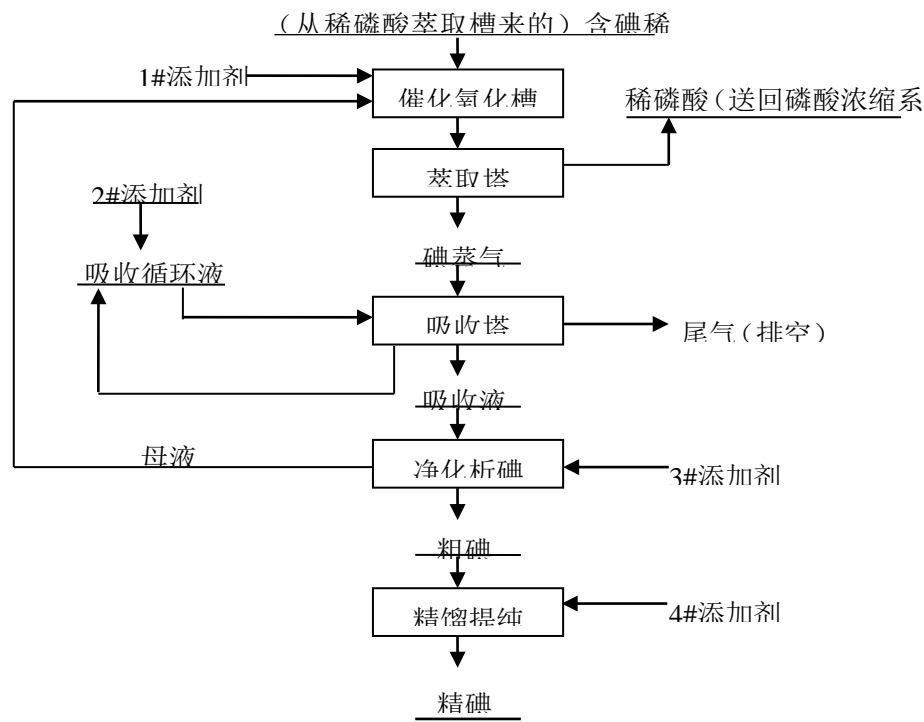
#### （二）关键技术

开发催化氧化、两段吸收的改进吹出法工艺。工艺主要包括催化氧化萃取工序、两段还原吸收工序、净化工序、结晶和干燥工序。

#### （三）工艺流程

针对瓮福（集团）有限责任公司磷肥厂的生产实际，提出了催化氧化、两段吸收的改进吹出法工艺，对从极低含碘的稀磷酸（碘含量小于  $50\text{mg/L}$ ）中提碘的工艺技术进行了研究。该工艺主要包括催化氧化萃取工序、两段还原吸收工序、净化工序、结晶和干燥工序。低含碘稀磷酸在送入贮槽途中截流至本项目碘回收生产装置的氧化槽，通过加入添加剂，将稀磷酸中的碘离子氧化成分子碘，并泵送至空气萃取塔内实现碘与稀磷酸的分离（碘氧化萃取工序）；提碘后的稀磷酸流出碘回收系统后返回磷酸厂贮槽生产磷铵系统；含碘空气经净化、分离杂质与水蒸气混合后进入还原吸收塔与含有  $\text{SO}_2$  碘吸收液反应，空气中的碘生成碘化物进入吸收液实现碘的富集；富集碘的吸收液，经过滤、净化、氧化结晶、离心

分离、干燥后得到精碘产品（GB1622--79）。



从稀磷酸中回收碘工艺流程

#### 四、主要技术指标

碘萃取率>75%；碘还原率>95%。碘的总收率可达到 70%以上。生产成本：12 万元/吨。

#### 五、典型实例及成效

瓮福集团投资 4000 万元，建设 2 套 50 万吨/年碘回收装置，2011 年碘回收生产成本 12 万元/吨，售价 51 万元/吨，每吨碘的利润 39 万元，销售收入超过 2000 万元，年均利润总额超过 1200 万元。项目建设期 2 年，投资回收期 2 年。

#### 六、推广前景

磷矿伴生极低品位碘资源工业化回收新工艺研究试验项目的工业化成功，开创了世界上以磷矿伴生极低品位碘资源作为碘工业原料的新纪元，不仅改变了世界碘工业原料资源格局，也为我国乃至世界的碘工业发展寻找到了新的原料来源，使过去被废弃磷矿伴生极低品位碘资源成为人类的财富。该技术的工业化应用使我国现有碘的产量翻了一番，同时也使贵州省从极度缺碘的碘缺乏病高危地

区“一夜之间”变成了我国的碘资源大省，伴生碘资源价值就高达数百亿元。

该技术是目前世界上唯一一种可用磷矿伴生极低品位碘资源工业化生产碘的经济有效的新技术、新工艺、新方法，技术含量高，属国内首创，达到国际领先水平，可以在磷化工行业进行推广。

## 61. 高岭土尾矿及其共伴生矿物资源高效综合利用技术

### 一、技术类型

非金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

适用于高岭土行业尾矿的处理及综合利用，以及南方离子吸附型重稀土尾矿（主要成分为稀土、高岭土、石英砂）的处理及综合利用。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

1. 利用太阳能促进对矿物的自然风化作用，提高高岭土尾矿崩解效果，促进尾矿中各种矿物的分散。

2. 利用机械力作用原理，使高岭土尾矿和分散设备以及尾矿之间发生相互碰撞，从而起到减小粒度和提高尾矿中各种矿物的分散程度的作用。

3. 根据尾矿中各组成矿物物理、化学性质的不同，以及矿物颗粒之间的表面界面作用力，利用分散药剂对矿物解离面的吸附、渗透和浸蚀作用，使矿物解离面产生电荷密集，在矿物解离面形成双电层从而使颗粒间产生斥力，使之不能结合成大颗粒而被剥离。颗粒之间的相互排斥作用使带有负电荷密集的颗粒在水中处于悬浮分散状态，从而加速尾矿中各组成矿物进一步解离分散。

4. 根据尾矿中各组成矿物颗粒大小以及重量的不同，利用重力选矿和离心力选矿的原理，对高岭土、石英砂、多金属硫化矿进行分离提纯。

5. 根据尾矿中各组成矿物物理、化学性质的不同，利用化学选矿的原理，对稀土以及多金属硫化矿中各单一组分进行分离提纯。

#### （二）关键技术

1. 新型高效分散药剂的应用。通过对不同分散剂作用机理的研究，选择合适的组合配比及用量，研制和使用高效分散组合药剂。

2. 低能耗新型解离分散机的应用。通过改变解离分散机的结构，并采用可调速电机，根据矿物的组成和解离需要来调节分散机的转速，能改善尾矿解离分散效果，并降低能耗。

3. 高岭土尾矿分选装置的改进及分选参数的优化。通过改进摇床结构，改变



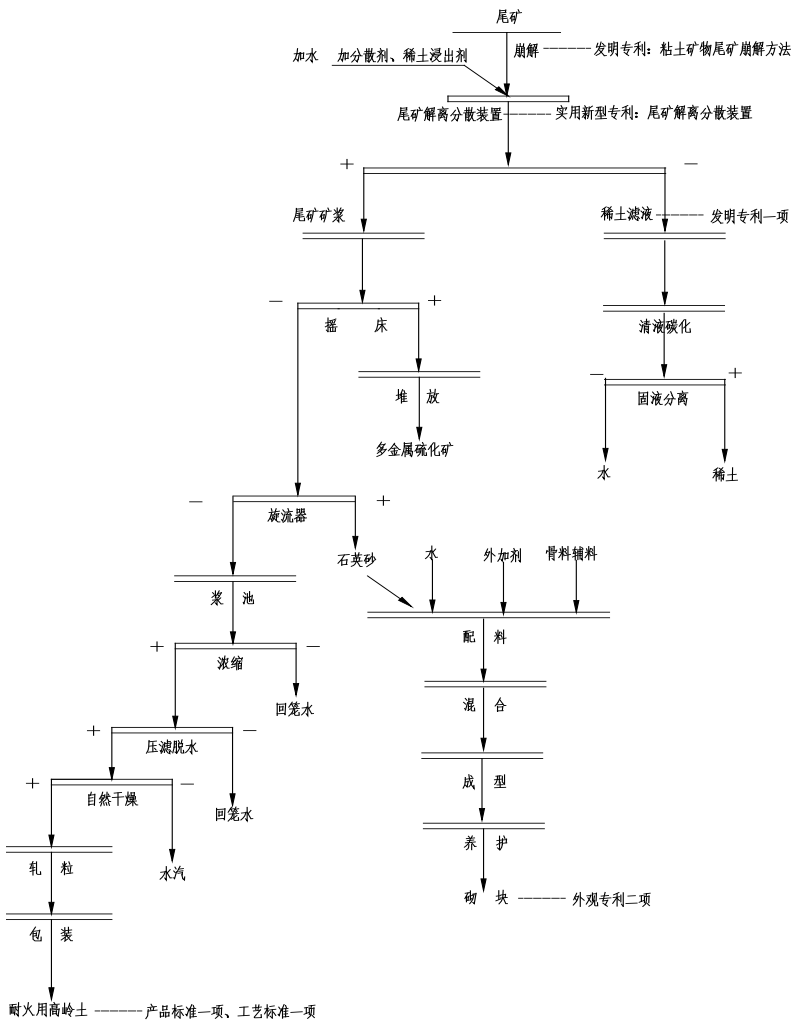
冲程、进浆浓度等方式，优化了分选参数，提高分选效果。

4. 高岭土尾矿中共伴生低品位金属硫化矿物回收技术。通过对尾矿进行元素分析、物相分析、矿物组成分析，再采用特殊的流程和药剂制度，在不磨矿或者少磨矿的条件下，分别实现高岭土尾矿中铅、锌的回收。

5. 高岭土尾矿中离子吸附型稀土与高岭土同步回收技术。研究和优化了浸出作业的参数，提高各级产品的产率，降低生产运行成本，实现高岭土提纯与稀土回收同步进行，提高回收效率。

6. 高岭土尾矿高效综合利用成套工艺技术及生产线优化设计。将高岭土尾矿处理过程中的各项工艺重新优化组合，建成一条示范生产线，制定标准化工艺规范。

（三）工艺流程



高岭土尾矿及其共伴生矿物资源高效综合利用工艺流程

#### 四、主要技术指标

高岭土产品指标： $\text{SiO}_2$  55.14%， $\text{Al}_2\text{O}_3$  26.94%， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  2.01%， $\text{SO}_3$  4.12%；硫铁矿产品指标： $\text{SiO}_2$  5.39%， $\text{Al}_2\text{O}_3$  1.56%，Fe 40.50%，S 44.9%；石英砂产品指标： $\text{SiO}_2$  81.05%， $\text{Al}_2\text{O}_3$  10.72%， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.98%， $\text{SO}_3$  3.18%。砌块中选矿废渣（石英砂）含量约 30%。

#### 五、典型实例及成效

江西赣州稀土矿业有限公司通过技术成果产业化，目前已在赣州建成一条年处理稀土尾砂 20 万吨的示范生产线，年回收高岭土 5 万吨，年回收 REO 稀土产品 40 吨，年回收石英砂 11 万吨（其中生产新型建筑砌块消耗 4 万吨），年产新型建筑砌块 10 万立方的生产线。年新增销售收入 3465 万元，新增净利润约 825 万元，新增税收 566 万元。节约高岭土原矿 15 万吨，约值 1200 万元；原来用于运输堆放尾矿成本 15 元/吨，约为 300 万元，合计节支 1500 万元。同时每年可以少开采稀土原矿 8 万吨（稀土选出率万分之五），起到了节约资源和保护环境的作用。

#### 六、推广前景

该技术已在高岭土行业和南方离子吸附型重稀土尾矿中应用，建立了示范生产线，取得了很好的经济效益，对我国南方离子吸附型中重稀土尾矿综合回收其中的高岭土、石英砂、硫铁矿等共伴生矿物利用具有良好推广前景。

## **62. 低品位鳞状石墨矿“大型湿法搅拌磨”综合利用技术**

### **一、技术类型**

非金属矿山综合利用技术。

### **二、适用范围**

低品位鳞状石墨矿。

### **三、技术内容**

#### **（一）基本原理**

通过强化磨矿过程管理，加强脉石与石墨矿的解离，达到既保护大鳞片又提高“三率”，从而提高低品位石墨矿的综合利用范围。

#### **（二）关键技术**

利用“大型湿法搅拌磨”具有强化磨矿和高度解离的特点，合理配置磨、浮工艺，达到既保护大鳞片又提高“三率”指标。

### **四、主要技术指标**

在采用“大型湿法搅拌磨”技术后，在同等的原矿品位（3—5%）的情况下，精矿品位由原工艺的 75—90%达到了 85—95%；尾矿品位由原工艺的 0.3—0.4%降低到了 0.2—0.35%；精矿产率由原工艺的 2.3—3.1%提高到了 2.8—4.3%；实际达到的“三率”指标为：开采回采率 95%，选矿回收率 85%，贫化率以下%，正目率达到 37.5%。

### **五、典型实例及成效**

鸡西天盛非金属矿业有限公司自 2009 年采用该技术后，开采回采率由 85%提高到 95%，选矿回收率由 78%提高到 85%，贫矿率降到 5%以下。浮选工艺由原来的 8 磨 9 选改为目前的 5 磨 9 选，装机总功率降低 120KW，精矿品位由原来的 75—90%提高到目前的 85—95%，累计入选低品位矿石 120 余万吨，产出石墨精矿 3.5 余万吨。通过采用“大型湿法搅拌磨”等新工艺和采用高效节能的其他新型节能设备，每年选矿成本可结余 230 余万元，由于产品质量提高，其售价每吨可增收近 200 元，每年可增收近 1000 万元，由于产能的提高，由过去的每年 10000 多吨产量达到目前的每年 20000 余吨，其销售收入增加了 3000 余万元，同时使

难选矿物由不具备经济价值矿物变为经济矿物，实现了低品位石墨矿石的综合利用。

## **六、推广前景**

鸡西麻山地区、石磷地区及柳毛部分地区蕴含近 1 亿吨 3—5%的低品位石墨矿石，这些矿石以前不具备经济开采价值，采用该技术后，这些低品位石墨矿石成为可综合利用的矿产资源，达到节约与综合利用不可再生矿产资源的目的。