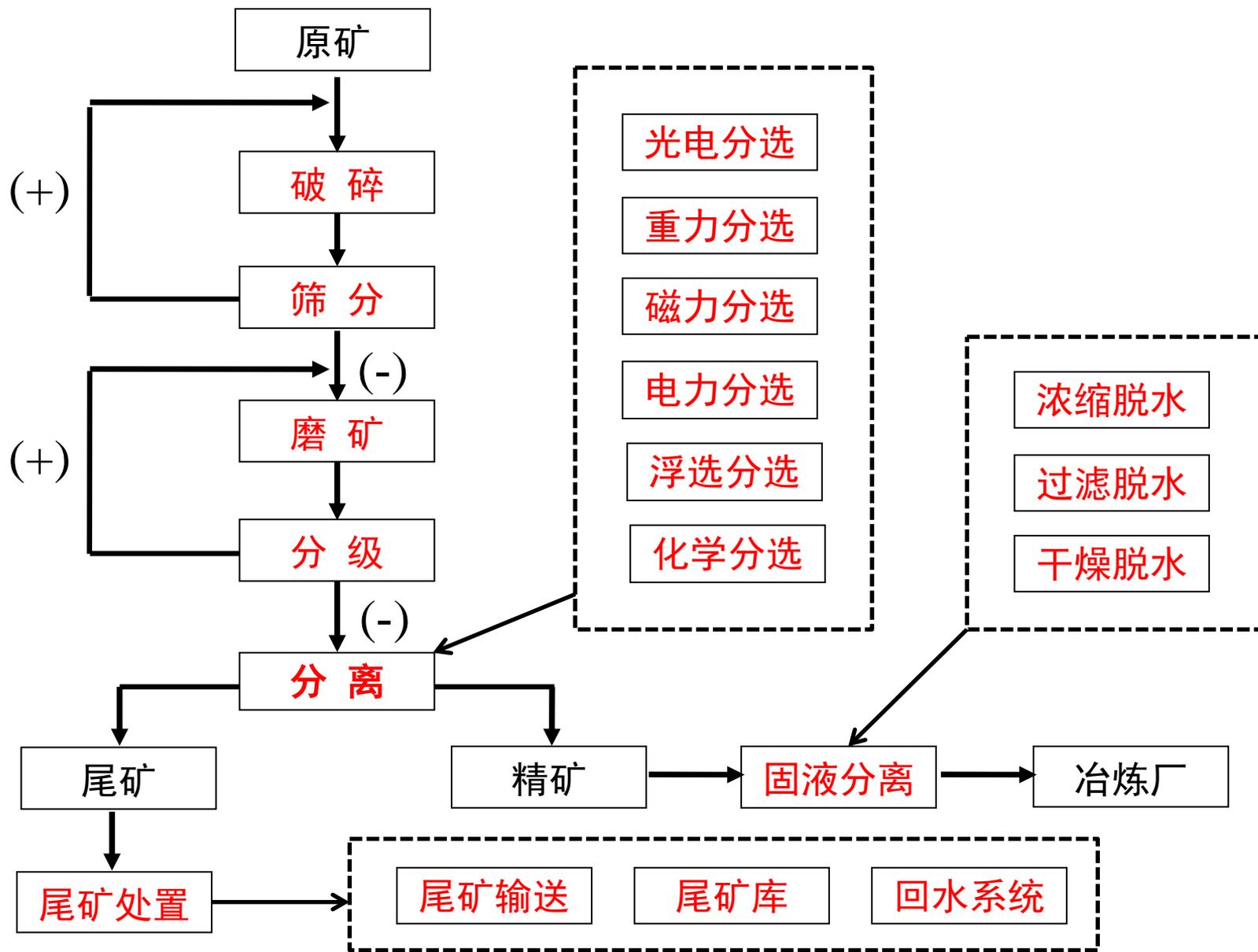


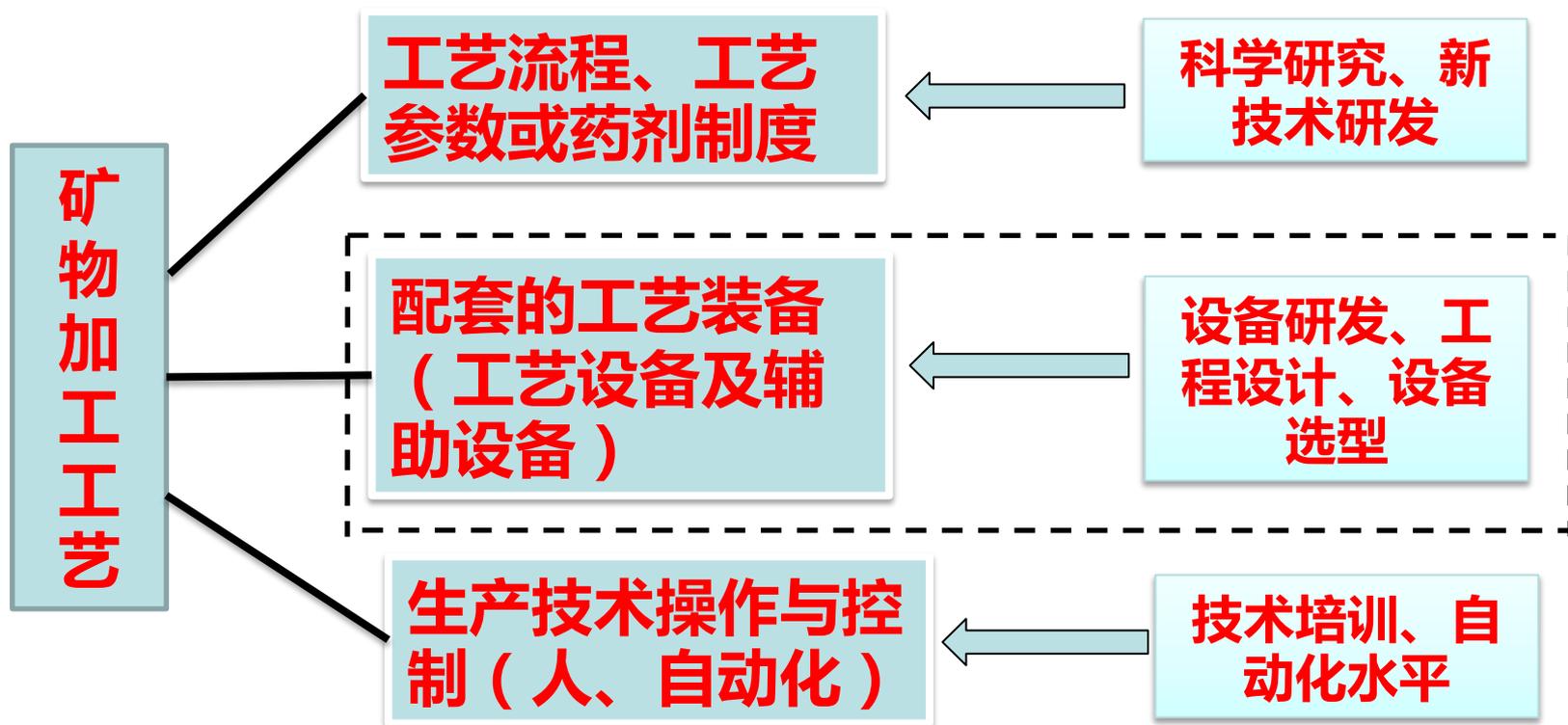
第一章 概述

- ◆矿物加工设备分类
- ◆主要设备的作用与要求
- ◆主要设备的进展

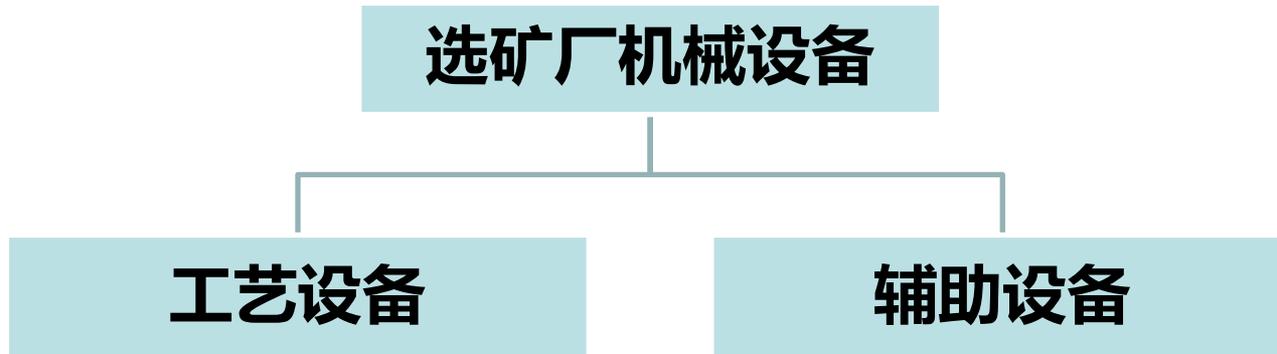
矿物加工工艺过程:



矿物加工工艺过程的关键要素：



1.1 矿物加工设备分类



工艺设备：指能完成资源加工工艺过程中相应作业功能（解离、分离）的机械装备，如浮选机、磁选机及重选设备等。

辅助设备：指实现工艺设备之间的连接，完成各种物料输送，配合工艺设备完成矿物加工过程的机械设备，如带式输送机、砂泵等。

(1) 破碎及筛分设备

主要设备	性能特点	主要应用
颚式破碎机	动颚往复式运动，间歇工作。破碎大块矿石，最大给矿粒度达1350mm,破碎比范围3-5	适用于破碎硬或中硬矿石，在粗碎或中碎作业应用
旋回破碎机	动锥回转式运动，连续式工作。最大给矿粒度达1350mm,破碎比范围3-5	适用于硬矿石或中硬矿石破碎，多用于粗碎作业
标准圆锥破碎机	动锥回转式运动，连续工作，破碎腔平行带较短。最大给矿粒度达300mm,破碎比范围3-5	适用于硬矿石或中硬矿石破碎，多用于中碎作业
中型圆锥破碎机	动锥回转式运动，连续工作，破碎腔平行带长度居中。最大给矿粒度达230mm,破碎比范围4-8	适用于硬矿石或中硬矿石破碎，多用于中碎作业
短头圆锥破碎机	动锥回转式运动，连续工作，破碎腔平行带长度居中。最大给矿粒度达100mm,破碎比范围4-8	适用于硬矿石或中硬矿石破碎，多用于细碎作业
重型振动筛	多为单层，以座式为主，最大入料粒度为300mm	适用于中碎前预先筛分，也可用于含泥大块矿石洗矿
惯性振动筛	有单层和双层，座式和吊式，最大安装坡度15-25度，最大入料粒度100mm	适用中、细粒级物料筛分，以及中、小型选厂使用
自定中心振动筛	圆振动筛的一种，有单层和双层，以吊式为主，最大安装坡度15-20度，筛分效率高达80%	适用中、细粒级物料筛分
直线振动筛	惯性振动筛的一种，筛分效率和生产率高	用于大、中、细物料筛分；细粒物料湿式分级；产品脱水、脱泥和脱介质等

(2) 磨矿与分级设备

主要设备	性能特点	主要应用
格子型球磨机	排矿端为格子板，强制式排矿，入磨粒度10-25mm,产品粒度大于0.2mm,过粉碎少，生产能力较大	适用于一段钼矿或两段连续磨矿的第一段
溢流型球磨机	排矿端为中空轴，自溢式排矿，入磨粒度10-25mm,产品粒度小于0.2mm,过粉碎严重，生产能力较小	适用于两段连续磨矿的第二段或中矿再磨作业
棒磨机	排矿端为中空轴，自溢式排矿，入磨粒度25-40mm,产品粒度3-1mm,过粉碎少	适用于两段连续磨矿的第一段开路磨矿，或者替代短头圆锥破碎机进行细碎
自磨机	筒体径长比大，排矿端为格子板，入磨粒度最大为500mm	取代中细碎及两段连续磨矿的第一段，构成(S)ABC流程，大幅简化破碎磨矿流程
半自磨机	同自磨机，添加10-15%钢球介质	同自磨机
高堰式螺旋分级机	溢流堰低于螺旋溢流端螺旋叶片上缘，溢流产品粒度大于0.15mm	多用于粗粒分级，或者两段连续磨矿的一段粗磨产品分级
沉没式螺旋分级机	溢流堰高于螺旋溢流端螺旋叶片上缘，溢流产品粒度小于0.15mm	多用于一段粗磨产品分级
水力旋流器	分级粒度细，可达0.038mm；分级效率高	取代螺旋分级机进行磨矿产品分级；或者用于物料脱泥、脱水等

(3) 重力分选设备

主要设备	性能特点	主要应用
水力分级机	在横向和上升水流作用下实现粗细粒分级。常见有机械搅拌式和筛板槽形分级机。给料粒度上限为3mm，下限为-0.074mm。	用于重选设备之前的分级作业。
跳汰机	在垂直交变水流中实现轻重物料分层和分选。常见有隔膜跳汰机和梯形跳汰机。给料粒度上限10-20mm，最小粒度下限为-0.2mm。	适合于处理钨、锡、金、铁和锰矿石。
摇床	在横向水力和纵向床面差速运动作用下实现轻重物料分选。常见有6-S、云锡和弹簧摇床，按处理物料粒度不同分为矿砂和矿泥摇床，其中矿砂摇床适合处理-2+0.074mm，矿泥摇床适合处理-0.074mm矿泥。	主要用于选别钨、锡、钽、铌、铬和其它有色、稀有金属以及贵金属矿石，也可用来选别铁、锰矿石和煤。
螺旋溜槽	斜面运动的水流中进行轻重矿物分选。粗粒溜槽，处理粒度在2-3mm以上，最大可达100-200mm；矿砂溜槽，处理2-0.074mm粒级矿石；矿泥溜槽，处理小于0.074mm粒级矿石。	广泛用于处理钨、锡、金、铂、铁及某些稀有金属矿石
离心选矿机	在离心力场中的流膜分选，处理粒度范围为0.074-0.01mm，回收-0.019mm的效果很好。具有处理能力大、回收粒度下限低，工作稳定、便于操作等优点。	广泛用于钨、锡矿泥、细粒贫赤铁矿的选别
重介质旋流器	入选物料粒度范围宽，金属矿选矿一般为30-70mm，选煤为150-200mm。入选粒度下限一般为2-3mm。使用重介质旋流器时，下限可降至0.5mm。	广泛用于选煤（可以直接得到精煤及尾煤）及各种金属矿石。

(4) 磁电分选设备

主要设备	性能特点	主要应用
弱磁选机	多采用开放磁系结构，有干式和湿式两种，分选面磁场强度一般达到0.2T。其中，湿式筒式主要有顺流磁选机（适用于-6mm矿石）、逆流磁选机（适宜粒度为-2-3mm矿石）和半逆流（适于-0.3mm矿石）。	磁铁矿石选矿、磁性加重剂再生、生产海棉铁厂用的超级磁铁矿精矿及为强磁选机准备给料等
强磁选机	多采用闭合磁系结构，有干式和湿式两种，背景磁场强度一般达到1.2T。其中，湿式强磁选机适合处理1-0.03mm粒级的弱磁性物料。	广泛用于分选锰矿石、铁矿石、海滨砂矿、黑钨矿、锡矿和工业矿物
高梯度磁选机	借助不同种类和形状的磁介质产生很高的磁场梯度。主要为湿式设备，其背景磁场强度同强磁选机。	用于微细粒或弱磁性物料的分选
超导磁选机	采用Nb-Ti超导材料做的磁体其磁场强度可达到5T特；体积小重量轻；能耗低，比常导磁体节能90%；高磁场带来的高磁力使磁选机处理能力大为提高。	已在工业中推广应用
高压电选机	采用电晕电机和静电电极，电压可达60千伏，分选粒度为-1-0.020mm。	用于微细粒物料的分选和分级

(5) 浮选设备

主要设备	性能特点	主要应用
机械搅拌矿化浮选机	通过机械搅拌器（即转子和定子组）实现矿浆的搅拌和矿化，根据充气方式不同分为自吸气和外部充气两大类。其中，自吸气式典型有XJK、SF、JJF等，因具有自吸功能，中矿返回易实现自流，但充气量较小，气量调节不方便，能耗较高。外部充气式典型有KYF、CHF等，充气量大且易于调节，能耗较低，但中矿返回难以实现自流。	广泛应用于金属矿、非金属矿和煤的浮选。
逆流矿化浮选机	设备无机械搅拌装置，原浆从柱体上方给入，受重力作用向下运动，气泡在槽体底部产生，在浮力作用下向上运动。气泡和颗粒在槽体垂直方向上发生碰撞实现矿化。典型代表为压气式浮选柱，结构简单、能耗低、处理能力大，但发泡器易结垢、气泡弥散和矿化效果较差。	主要应用于有色金属、煤炭等行业，多采用浮选机—浮选柱联合的方式。
混流矿化浮选机	矿化区与分离区相对独立，区别于机械搅拌矿化浮选机和逆流矿化浮选机（无独立矿化区，矿化和分离均在槽体内完成）。因此，矿浆停留时间短、气泡尺寸小、矿粒和气泡矿化作用好。	主要应用于有色金属、煤炭等行业浮选。

(6) 辅助设备

主要设备	性能特点	主要应用
板式给矿机	工作机构连续动作，分重型、中型和轻型三类，可倾斜和水平安装。重型、中型和轻型最大不给料粒度分别为1500mm、350-400mm和-160mm。	用于粗碎机前的给矿
槽式给矿机	工作机构直线往复运动，通常水平安装。最大给矿粒度可达450mm。给矿均匀，不易堵塞，对含水分较高的物料也能适应。	用于细粒和中粒物料的给矿，常见小型矿山的粗碎机前给矿。
电磁振动给矿机	工作机构抛物线往复运动，有上振和下振（选矿厂常见）两种，通常水平安装。结构简单、给料均匀、给料粒度范围大(为0.6~500mm)。但在输送粘性物料时，容易堵塞矿仓口。	中小型矿山粗碎、中碎和细碎，以及磨机前的给料。
摆式给矿机	工作机构弧线往复运动，水平安装。给矿粒度范围为50~0mm，构造简单，但工作准确性较差，给矿不连续，计量较困难。	磨机前的给料
圆盘给矿机	工作机构回转运动，有敞开式和封闭式两种，水平安装。给料粒度50mm以下，构造简单，给矿连续均匀。	磨机前的给料
带式输送机	由承载的输送带兼作牵引机构的连续运输设备，选矿厂以有固定式为主。带式输送机工作安全可靠，运输能力高，是破碎筛分流程的重要组成部分。	固体粉末物料的运输
离心式砂泵	依靠叶轮旋转时产生的离心力来输送矿浆，选矿厂矿浆输送以渣浆泵最常见，可输送高浓度、高磨蚀的矿浆。	水、药剂溶液、矿浆的输送
浓缩机	依靠干涉沉降原理实现固液分离，选矿厂以耙式浓缩机最常见，底流浓度可达到40%-60%。	各类矿浆的浓缩脱水
过滤机	依靠多孔介质和真空实现固液分离，选矿厂以筒式和盘式真空过滤机，以及陶瓷过滤机较常见，滤饼水分可达到10%-15%左右。	浓缩产品的进一步脱水
干燥机	依靠热能实现水分的脱除，选矿厂以圆筒干燥机最常见，产品水分可降低至3%左右。	过滤产品的进一步脱水

1.2 主要设备的作用与要求

(1) 破碎磨矿设备

作用：借助机械能在矿石上施加巨大作用力，以克服矿物颗粒间的内聚力，实现大块矿石破碎，颗粒粒径变小，满足后续分离作业要求入选物料粒度和粒度组成，或得到合格产品。

基本要求：

- ①能输入足够的机械能；
- ②针对不同的粉磨阶段能提供相应类型的机械作用力；
- ③具有足够的机械强度和抗磨蚀性；
- ④设备参数调整及维护简单方便。

(2) 筛分分级设备

作用：借助几何尺寸和形状不同的筛孔，以及颗粒在流体介质中沉降速度或运动轨迹的不同，实现颗粒按粒度大小不同进行分级，为后续分离作业提供合适的入选物料粒度和粒度组成，或获得合格粒级产品等。

基本要求：

- ①针对不同性质物料，能为颗粒不同运动状态提供相应的机械作用力或介质流场；
- ②设备筛分或分级效率高；
- ③具有足够的机械强度和抗磨蚀性；
- ④设备结构简单、参数调整及维护简单方便。

(3) 重力分选设备

作用：基于不同矿粒间密度和粒度的差异，在分选介质中所受的重力、流体曳力和其他机械力等的不同，从而产生不同的运动特性而实现矿粒间的分选。

分选条件：

- ①为颗粒提供的分选力之和 \gg 耗散力之和。
- ②在特定分选物料粒度范围内，能保证最细粒有用物料获得的分选速度大于最粗的废弃物料的分选速度。
- ③保证颗粒在分选区的停留时间大于颗粒与脉石的最小分离时间。

基本要求：

- ①能提供推动矿石颗粒在介质中运动的基本作用力；
- ②能实现分选物料的松散和分层；
- ③能提供矿石颗粒在分选过程中合适的停留时间；
- ④具有足够的机械强度和使用寿命，且设备参数调整及维护简单方便。

重力、离心力和惯性振动力等



重力分选过程中的分选力包括哪些？
重力分选过程中的耗散力包括哪些？

流体粘性阻力、摩擦力和颗粒间作用力等

(4) 磁选设备

作用：借助矿粒在不均匀磁场中所受磁力与机械阻力的不同，实现磁性颗粒与弱磁性或非磁性颗粒间的分离。

分选条件：

- ①要有一个足够大的不均匀磁场；
- ②被分离的矿物之间必定具有一定磁性差异；
- ③作用在颗粒上磁力和机械力必须满足： $F_{\text{磁}} > \sum F_{\text{机}}$ ，其中 $F_{\text{磁}}$ 为颗粒收到的磁力（指向磁极）， $F_{\text{机}}$ 为颗粒收到的机械合力，以磁力方向相反的竞争力。

基本要求：

- ①根据不同物料性质能提供合适强度的不均匀磁场；
- ②具有合理的磁系结构；
- ③具有较大的生产能力；
- ④设备技术参数调整及维护简单方便。

重力、离心力、惯性力、流体阻力、摩擦力、颗粒间作用力



磁力分选过程中的机械阻力主要有哪些？

磁选过程中的机械阻力可以转化为分选力吗？



(5) 浮选设备

作用：借助矿物表面性质的差异，在产生的气-液-固三相体系中，使疏水的有用矿物粘附在气泡表面上浮，亲水的脉石矿物留在矿浆中，从而实现彼此的分离。

基本过程：

- ①搅拌充气。使矿粒悬并产生大量尺寸适宜且较稳定的气泡，为矿粒与气泡接触碰撞创造条件。
- ②气泡矿化。使表面疏水性矿粒与气泡碰撞和粘附形成矿化泡沫。表面亲水性矿粒不能附着于气泡而存留在矿浆中。
- ③矿化泡沫的刮出。矿化泡沫连续均匀地排出，形成精矿产品，亲水性颗粒随矿浆均匀排出，形成尾矿产品。

基本要求：

①**良好的充气作用。**必须保证能向矿浆中吸入（或压入）足量的空气，产生大量尺寸适宜的气泡，并使这些气泡尽量分散在整个槽内，空气弥散越细越好，气泡分布越均匀，则矿粒与气泡接触的机会就越多，浮选机的工艺性能越好，浮选的效率也越高。

②**搅拌作用。**浮选机要保证对矿浆有良好的搅拌作用，使矿粒不至于沉淀而呈悬浮状态并能均匀地分布在槽内，保持矿粒与气泡在槽内充分接触和碰撞。同时促使某些难溶性药剂的溶解和分散，以利于药剂和矿粒的充分作用。

③矿浆循环作用。浮选机具有调节矿浆面、矿浆循环量、充气量的作用，可增加矿粒与气泡的接触机会。能保持泡沫区平稳和有一定厚度!既能滞留目的矿物，又能使夹杂的脉石脱落，产生“二次富集作用”。

④能连续工作及便于调节。在浮选过程中，有时需要调节整个泡沫层的厚度及矿浆流量。在实际生产应用中，从给矿到浮出精矿及尾矿的排出，都是连续进行的过程，均需方便调节。

重力、离心力、惯性力、流体阻力、摩擦力、颗粒间作用力



浮选机中颗粒主要受到哪些作用力？

1.3 主要设备的进展

(1) 破碎设备进展与方向

◇颚式破碎机最早出现于1858年，圆锥破碎机则出现于1898年，一直沿用至今；

◇采用新技术、新材料、新制造工艺，改进传统破碎机械，提高可靠性和耐久性，改善工艺性能和工作效率，降低重量和金属消耗，方便操作和维修；

◇颚式破碎机：优化破碎腔结构，提高破碎效果、降低能耗；应用高深破碎腔和小啮角改进性能；改进动颚悬挂方式和肘板支承方式；采用自动化控制及液压调节排矿口尺寸等。

◇圆锥破碎机：设备大型化（规格、装机容量和单机生产能力）；采用液压机构替代弹簧结构；优化破碎腔结构（如诺得伯格旋盘式圆锥破碎机）；提高自动化控制水平等。

◇新型高效破碎机及细碎设备研制（如高压辊磨机等）。

(2) 磨矿设备进展与方向

- ◆1891年首台球磨机在德国生产；
- ◆球磨机在中国的应用始于19世纪初期，直到20世纪50年代后才迅速发展起来；
- ◆自20世纪70年代以来，气动离合器、动静压轴承、先进润滑方式、顶起装置、加铬耐磨钢衬板和橡胶衬板、自动控制装置等新技术被采用；
- ◆磨矿设备大型化（有利于降低生产成本，目前国内最大球磨机为中信重工生产的 $\Phi 7.9\text{m} \times 13.6\text{m}$,装机功率17000kW)；
- ◆对磨机衬板的改进（包括橡胶衬板、角螺旋衬板、矿层磁性衬板和复合衬板等）；
- ◆配合磨机大型化，采用无齿轮转动装置，磨机转速可调，设备结构紧凑，磨矿机自动控制等。
- ◆细磨和超细磨设备的研制与开发（搅拌磨、艾砂磨等）

(3) 重选设备进展与方向

- 早在14-15世纪时就已出现跳汰机，19世纪30-40年代在德国出现了机械式的活塞跳汰机，1893年发明了第一台空气驱动而无活塞跳汰机—著名的鲍姆式跳汰机；
- 19世纪末发明了现代型式的机械摇床；
- 20世纪40年代在荷兰出现水力旋流器；
- 处理粗粒、中粒以及细粒矿物的重选设备主要向大型化、多层化和离心化方向发展，如重介质振动溜槽、多层摇床和溜槽等；
- 复合力场的采用是解决微细粒重选设备的重要方向，如FLO重介质分选器、SL型射流离心选矿机、多重力选矿机(离心与摇床相结合)等；
- 流化床重力分选设备的采用进一步提高了重力分选的精度，如逆流分选柱等。

(4) 磁选设备进展与方向

- 1855年采用电磁铁产生磁场后，出现了各种类型的工业磁选机；
- 1995年后，因永磁材料的发展，磁选机磁系开始采用永磁体；
- 直到19世纪90年代，才提出采用尖削磁极和平面磁极组成的闭合磁系产生强磁场，以分选弱磁性矿物；
- 至20世纪60年代，相继出现了多种类型的湿式和干式两类强磁选机，如感应辊式磁选机、琼斯（Jones）磁选机；
- 到20世纪70年代以后，出现了高梯度磁选机；
- 超导技术的应用，出现了超导磁选机，磁场强度和磁场梯度更高；
- 在高梯度磁选机基础上，研发特殊聚磁介质（如椭圆形和异形介质等）以进一步提高磁场梯度；
- 开发多力场复合磁选设备，如离心磁选机、风力磁选机等。

(5) 浮选设备进展与方向

- 1904年浮选设备在澳大利亚首次获得工业应用；
- 20世纪50年代中期，我国才开始仿造原苏联米哈诺布尔型浮选机，70-80年代研发了JJF型机械搅拌式浮选机，随后相继研发了充气机械搅拌式浮选机、粗颗粒浮选机、闪速浮选机等；
- 浮选机大型化。到20世纪90年代浮选机单槽容积从16m³，提高到160m³，目前最大浮选机单槽容积已达到350 m³。
- 浮选机多样化。根据不同的工艺要求，开发了多样化的浮选设备，包括金属、非金属及污水处理；粗选、扫选、精选作业；粗粒、细粒浮选等。
- 设备自动化。伴随浮选机容积的增大，对自动控制技术要求提高，浮选机及浮选过程自动控制程度越来越高。