

第七章 化学分选设备

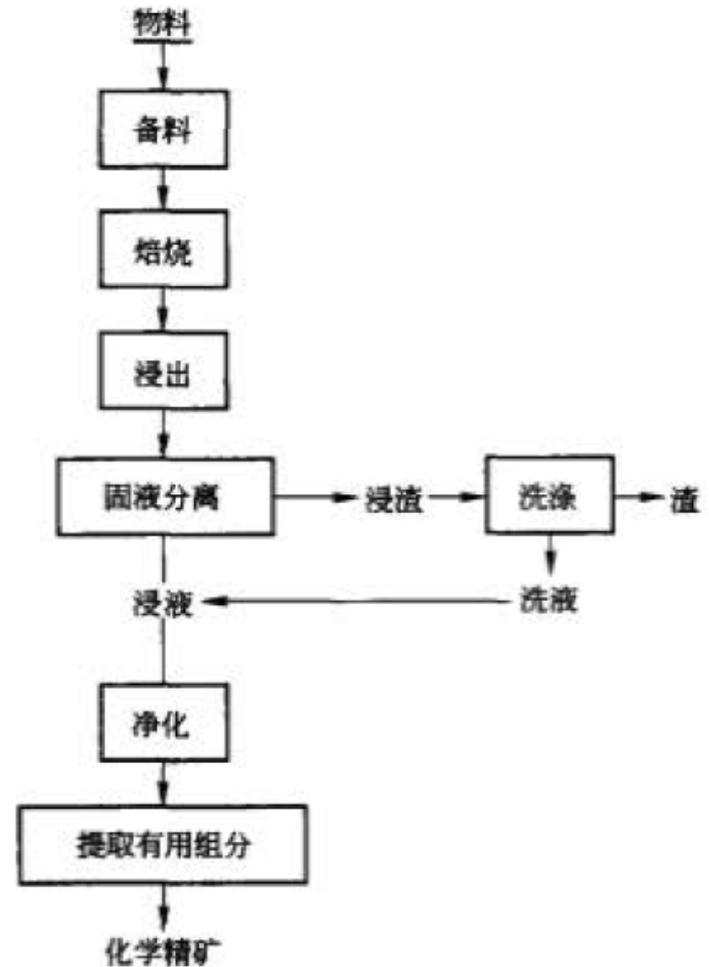
- ◆化学分选设备概述
- ◆焙烧设备
- ◆浸出设备
- ◆离子交换与吸附设备
- ◆萃取、置换与电解设备

7.1 化学分选设备概述

(1) 化学分选及基本过程

基于矿物和矿物组分的化学性质的差异，利用化学方法改变矿物组成，然后用其他的方法使目的组分富集的矿物加工工艺。

基本过程包括：准备作业、焙烧作业、浸出作业、固液分离作业、净化作业及有价值组分提取作业（化学精矿）。



(2) 化学分选设备分类

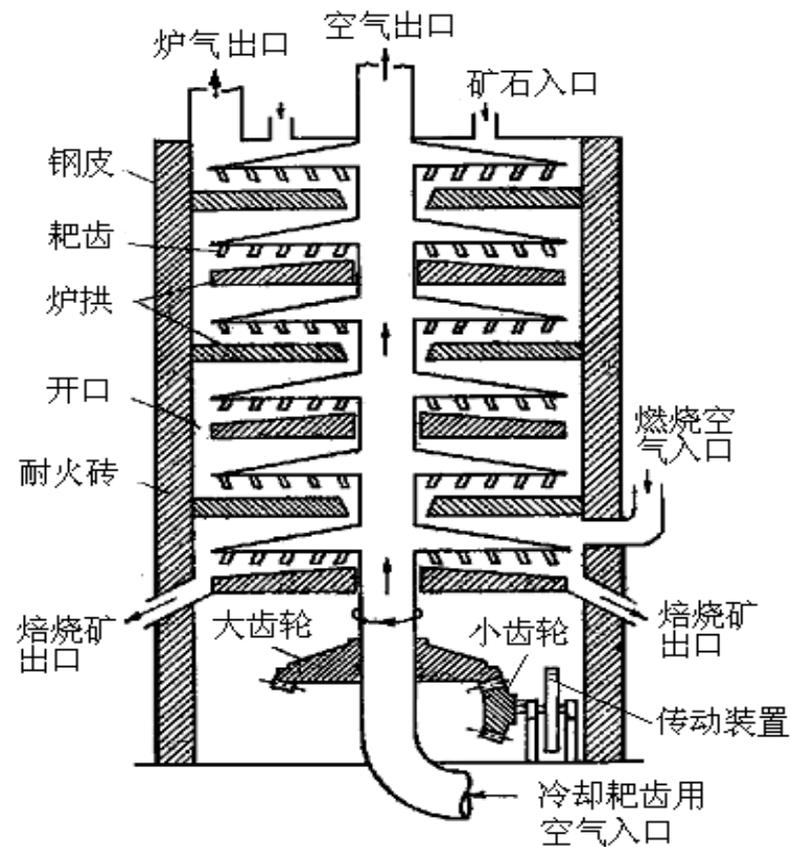
化学分选过程中，准备作业所用设备与破碎磨矿等设备类似，固液分离作业所用设备则与浓缩过滤设备相似。这里主要介绍焙烧作业、浸出作业、净化作业及有价值组分提取作业相关设备。根据目前工业所用相关设备，主要包括以下内容：

作业	设备种类	典型设备
焙烧	焙烧炉	多膛焙烧炉；沸腾焙烧炉；竖炉；回转炉（回转窑）
浸出	常温常压浸出	渗滤浸出槽；搅拌浸出槽；压缩空气搅拌浸出槽；流态化逆流浸出塔
	高温高压浸出	机械搅拌高压釜；气流搅拌高压釜；机械-气流联合搅拌高压釜
净化与提取	离子交换、吸附	固定床离子交换吸附塔；连续逆流吸附塔；矿浆悬浮吸附塔；空气搅拌吸附塔
	萃取	厢式混合萃取澄清槽；旋转潘式混合萃取塔；脉冲筛板萃取塔
	置换	置换溜槽；置换转鼓；锥形置换器
	电解	电解槽

7.2 焙烧设备

(1) 多层焙烧炉

结构：为用耐火砖砌成的一个圆筒，炉外包有钢皮，炉内有6~9层用耐火砖砌成的平坦的炉拱，上数第一、三、五等奇数层炉拱的中心部分有一个围绕中心转轴的环形开口，第二、四、六等偶数层炉拱的外围靠近炉壁处有数个开口，因此，各拱层是相连通着的。在各层炉拱间都有两个连结在中心转轴上的铁耙，奇数层铁耙的耙齿稍向内斜，偶数层铁耙耙齿稍向外斜。



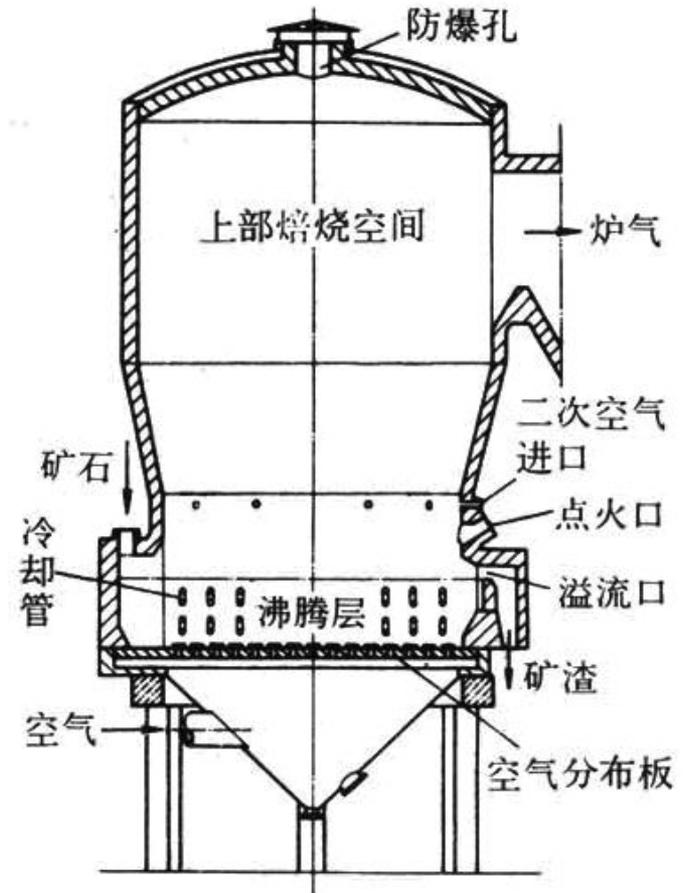
多层焙烧炉结构示意图

工作过程：将预先破碎的黄铁矿等矿石从入口处加入炉中，被最上层炉拱中的铁耙齿（铁耙随着中心转轴缓缓地转动）拨到中心开口处而落入第二层；然后又被第二层炉拱中的铁耙的耙齿拨到外围，经边缘开口处落入第三层，其后依次逐层下落。供燃烧用的空气自入口处送入，和矿石下落相逆的方向渐次逆流上升。矿石在炉里一边移动，一边燃烧产生二氧化硫气体，最后由出口处导出。矿石燃烧后剩下的焙烧矿渣，由出口处排出炉外。燃烧炉中心的转轴和多层铁耙的内部，都用空气来冷却。燃烧炉中部的第四、第五层附近的温度最高，一般控制在850℃左右。

(2) 沸腾焙烧炉

道尔沸腾焙烧炉：

结构：炉体为钢壳，内衬保温砖和耐火砖。炉子的最下部是风室，设有空气进出口管，其上为空气分布板。空气分布板上是耐火混凝土炉床，埋设许多侧面开小孔的风帽。炉膛中部为向上扩大的圆锥体，上部焙烧室截面积比沸腾层截面积大，以减少固体颗粒被吹出。沸腾层中装有废热锅炉冷却管，炉体还设有加料口、矿渣溢出口、炉气出口、二次空气进口、点火口等接管，炉顶设有防爆孔。

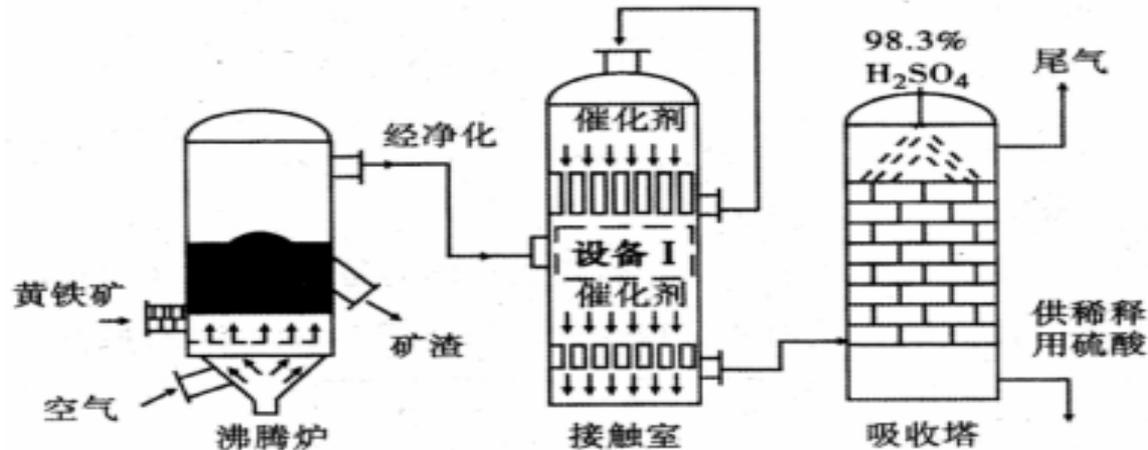


沸腾焙烧炉结构示意图

按炉型不同，分为：

直筒型炉：炉膛上部不扩大或微扩大，外观基本呈圆筒形。多用于有色金属精矿的焙烧、焙烧强度较低。

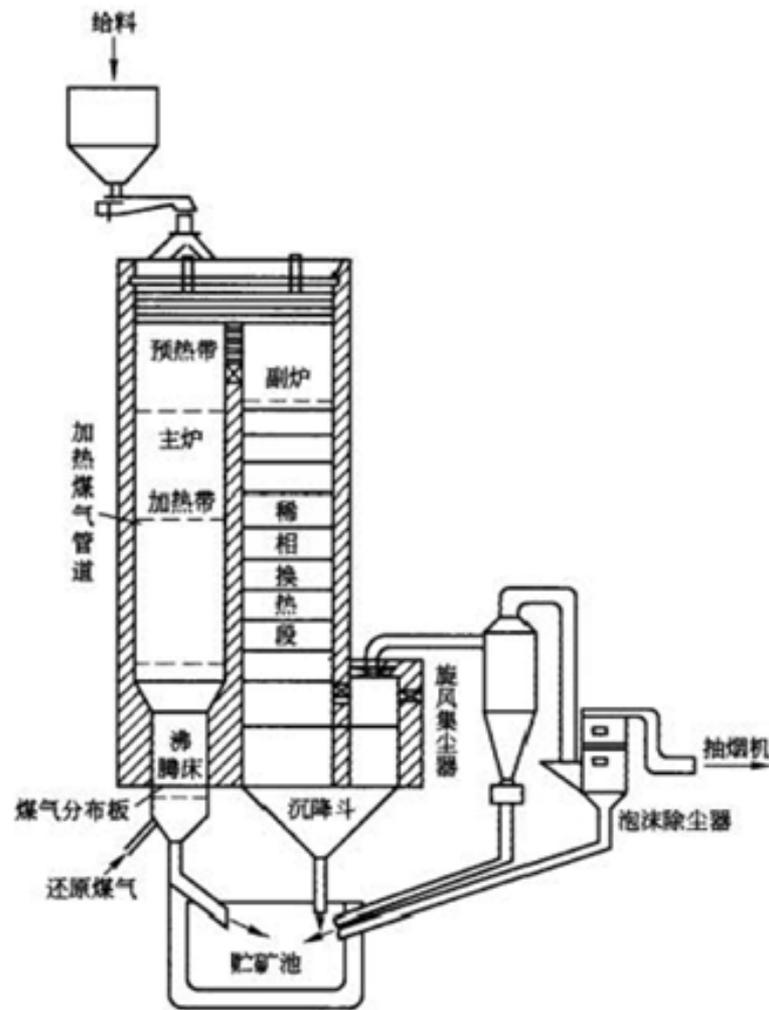
上部扩大型炉：炉膛上部扩大，外观基本呈上大下小的倒圆筒形。早期用于硫铁矿焙烧，后用于有色金属浮选精矿等的焙烧，焙烧强度较高。



还原沸腾焙烧炉：

结构：是一个横断面为圆形的竖式炉。用于处理赤铁矿磁化焙烧，焙烧粒度3-0mm（有时达5-0mm）。

工作过程：矿粉经板式给矿机给入炉顶矿仓，经给矿机送入布料器，实现分散状态均匀加入主炉中，并靠自重下落。矿粉与加热段的高温气流在稀相段（固-气两相混合物中，固体体积小于0.01%）进行热交换。矿粉加温至还原所需温度后，进入浓相沸腾床中与还原煤气流接触，发生还原



赤铁矿还原焙烧沸腾炉

反应（即稀相加热、浓相还原），还原后的矿粒在沸腾床下经星轮排料器排入矿池。主炉中上升气流（速度与最大颗粒有关，一般为**1-2m/s**）对给入的矿粉进行分级，粗粒进入浓相沸腾床还原。细粒被上升气流带入副炉，在副炉中与气流同向运行（即半截流），截流气体保持还原气氛（**CO+H₂占4%**左右）和还原温度（**500°C**以上），是细粒在半截流过程中完成还原焙烧，焙烧后一部分进入贮矿池，一部分随废烟气带走经除尘器回收，回收不了的作为吹损。冷却矿浆池的矿浆经砂泵送至选别车间进行处理。还原煤气经加热机送至沸腾床下，加热煤气在主炉部分分两段给入，副炉内有一备用加热煤气管道，如炉温低可以补充加热。

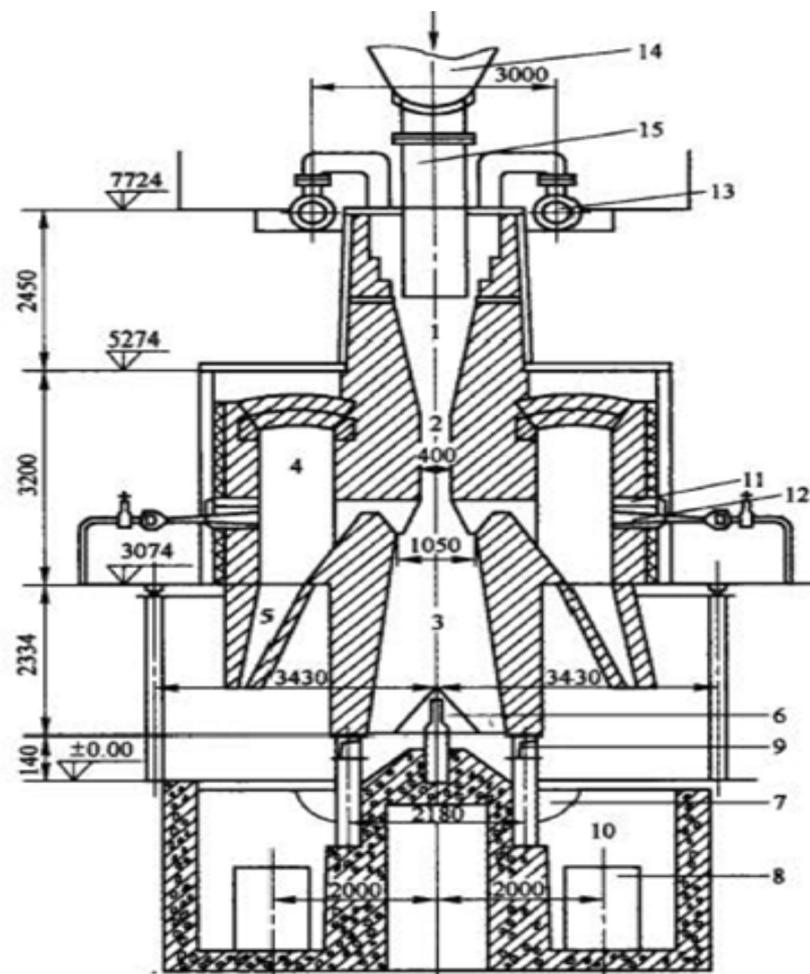
沸腾炉特点：处理物料细（3-0mm），气流与颗粒接触面积大，传热效果好。沸腾层中物料温度和气流分布易维持均匀，气体扩散阻力小，有利于加速还原反应。温度波动小，炉内矿石停留时间容易控制，焙烧质量高，易实现自动化。但设备耗电量大，稀相换热体积较大，排烟温度高，热损失大，燃料消耗高，产量低，附属设施较多。

(3) 竖炉

结构：50m³竖炉的外形为长方形，炉体轮廓尺寸长、宽、高分别为6m、3m和9m。由上至下分为预热、加热和反应三个不同的带：

预热带：由给料斗向下垂直至斜坡和加热带交点止为预热带（高2.7m）。炉膛耐火材料砖体的角度对于矿石的下降速度、预热温度有直接关系，预热带平均温度为150-200℃。

加热带：由炉体要不最窄处（即导火孔中心线至上部平行区）到炉体砌砖的斜坡焦点止（高度约900-1000mm,宽400mm）。加热带宽度对炉体寿命、焙烧矿质量影响大。矿石粒度相同时，加热带宽度↑，温度↓（尤其是中心部位矿石），还原质量↓，炉体寿命长。加热带过窄，矿石温度提高，炉体砌砖磨损大，寿命短，产量降低。对块状矿石（75-20mm），加热带宽度以2400-500mm为宜，粉矿应更窄一些。



50m³竖炉结构图

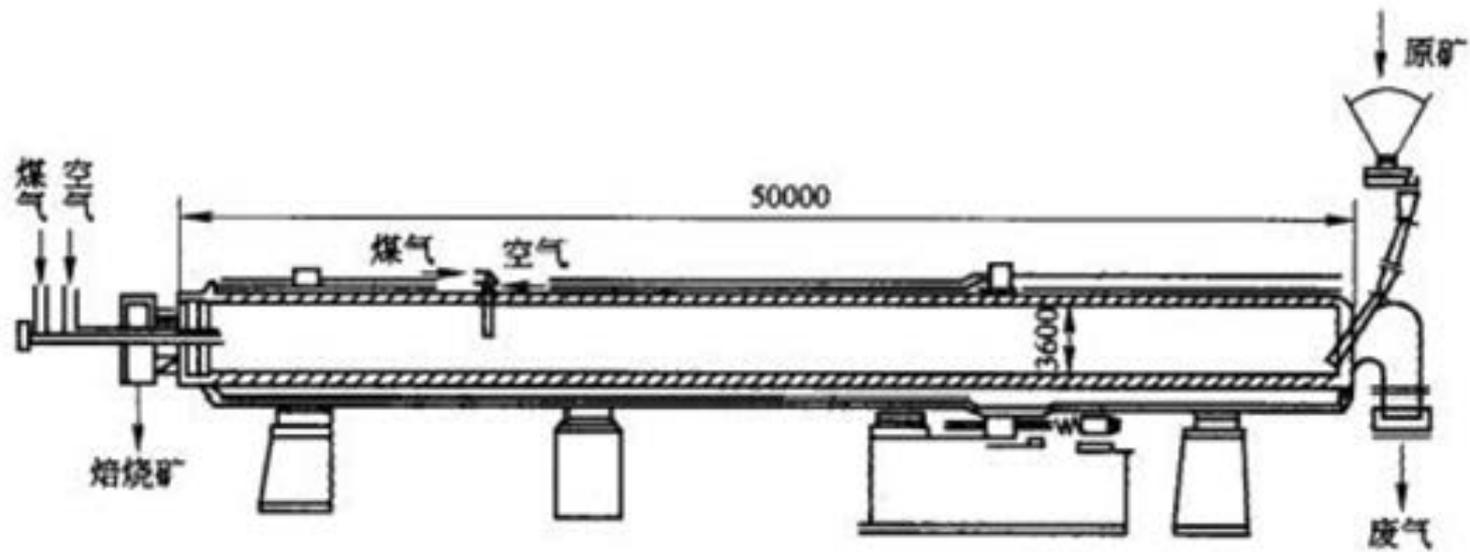
1-预热带；2-加热带；3-还原带；4-燃烧室；5-灰斗；6-还原煤气喷出塔；7-排矿辊；8-搬出机；9-水箱梁；10-冷却水池；11-窥视孔；12-加热煤气烧嘴；13-废气排除管；14-矿槽；15-给料漏斗

反应带：从加热带导火孔向下至炉底止（有效高度2.6m）。为使矿石充分与还原气体接触，反应带呈向下扩散状。主要化学反应在此段完成，最后通过炉底卸料口将焙烧好的物料排出。

特点：生产率及热效率高，易于密封与调节炉内气氛和温度。但加热带横断面上温度分布不均匀，易产生局部过少或欠烧。

(4) 回转炉（窑）

结构：炉体为圆筒形，炉身用钢板制成，内壁用耐火砖做内衬，直径一般为3.6-4m，长度一般达50m或更长，炉身沿长度方向可分为加热带、反应带和冷却带。



回转炉结构示意图



工作过程：矿石从炉体一端由圆盘给矿机给入溜槽，送至炉子的加热区。矿石在炉内与热气流逆向运动，在加热区将矿石加热到还原温度。为了使气流和矿石充分接触，炉内装有搅拌叶片。加热后的矿石进入反应带，与还原煤气接触，完成还原反应。反应产物进入冷却带与进入的煤气相遇，煤气受到预热，而还原产物被冷却，最后排除炉外（此时产物温度约为50-70℃）。矿石在炉内停留时间一般为2-4h。

特点：设备费用高，处理单位矿石所需建设费用比竖炉高。电能消耗和热量消耗都高，设备检修工作量大且周期较短，作业率较低。

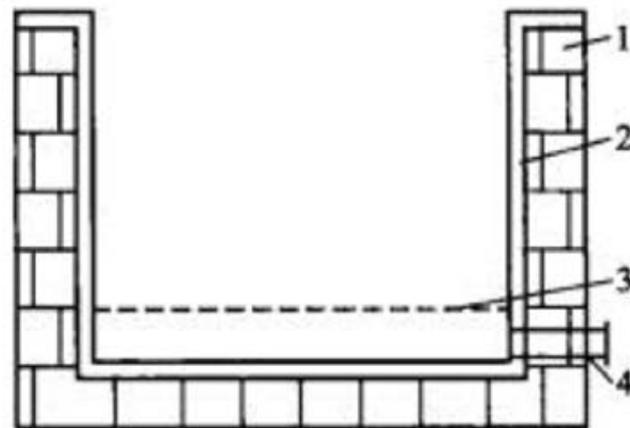
7.3 浸出设备

(1) 渗滤浸出槽

渗滤浸出分为槽浸、堆浸和就地浸出三种类型，其中渗滤浸出槽结构如下：

根据处理量的大小槽体外壳采用的材质有所不同：

- ◆处理量小时，可用碳钢槽或木桶；
- ◆处理量大时，可用砖、石和水泥砌成，内衬防腐层，底部略向浸液出口倾斜；



渗滤浸出槽结构示意图

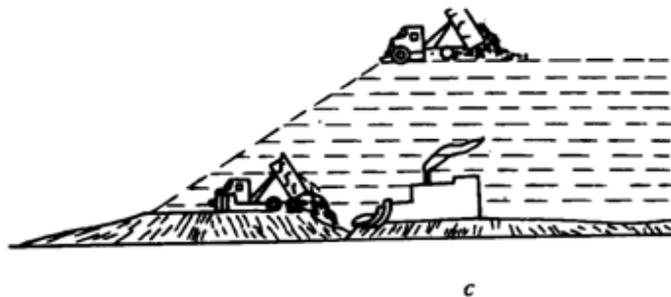
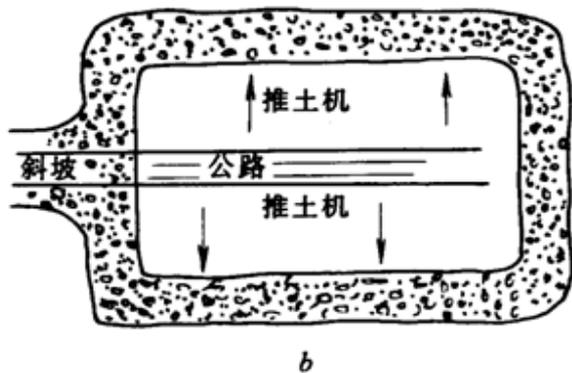
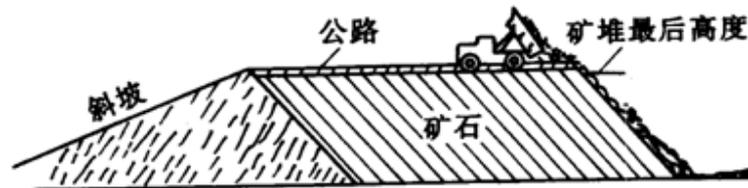
1-槽体；2防腐层；3-假底；4浸液出口

◆当槽的面积较大时，底部可做成多层倾斜式，便于使矿层厚度均匀。

工作过程：装料前，先铺设假底，再将浸液出口堵住，然后用人工或机械将破碎后的矿石（一般小于10mm）均匀地装入槽内，加入所需配置好的浸出剂，浸出一定时间（几小时或几昼夜，具体根据试验结果确定），达到浸出要求后，放浸液。

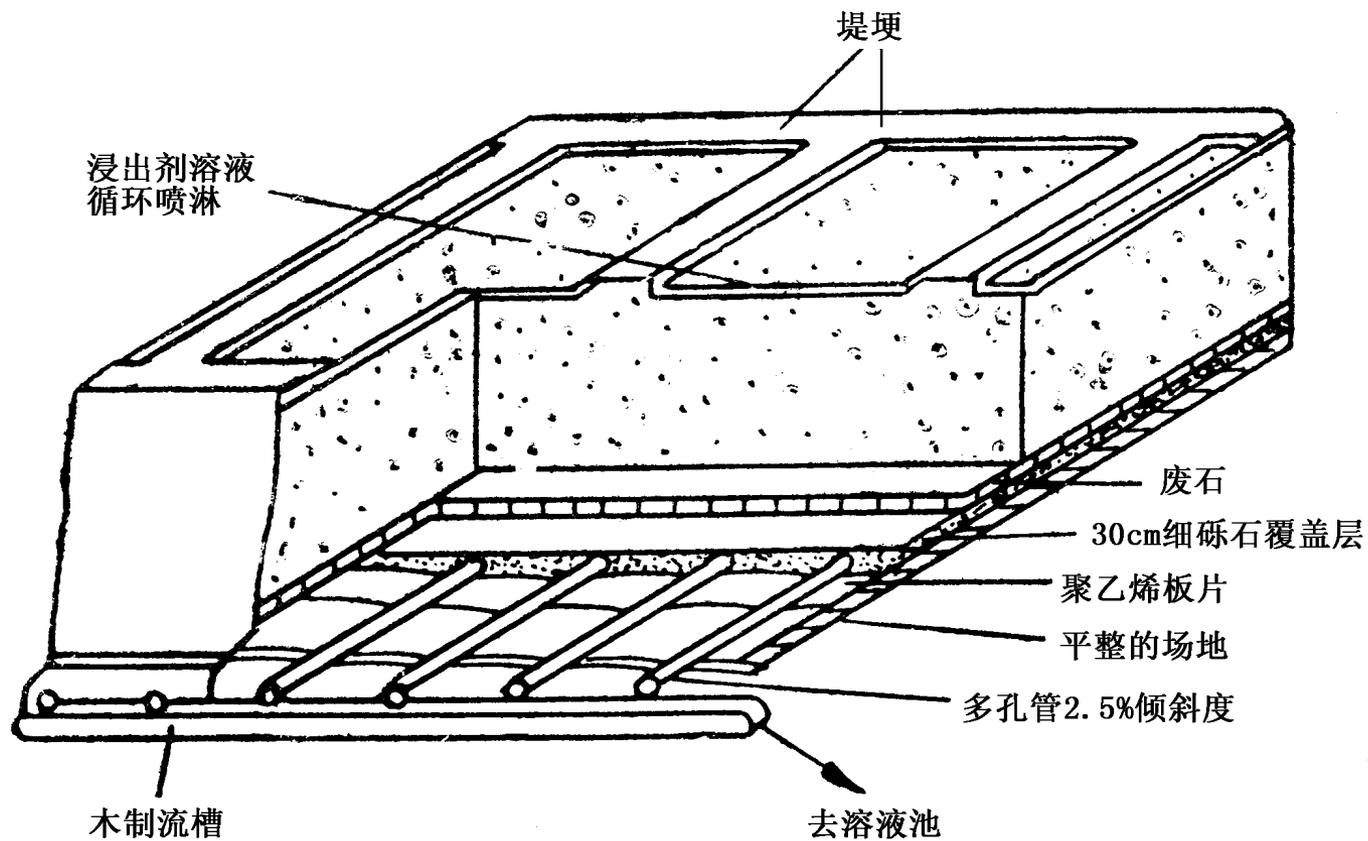
为保证浸液中目的组分浓度的相对恒定，生产中一般采用多个渗滤槽同时工作。

堆浸场：宜设在有一定坡度的不透水地面上（山坡、山谷或平地）。若地面渗水能力强则应进行防渗处理，常用尾矿掺粘土、沥青、钢筋混凝土、橡胶板或软塑料板等做垫层材料。根据矿源条件，垫层可供一次或多次使用。堆浸场常见筑堆方法如下：



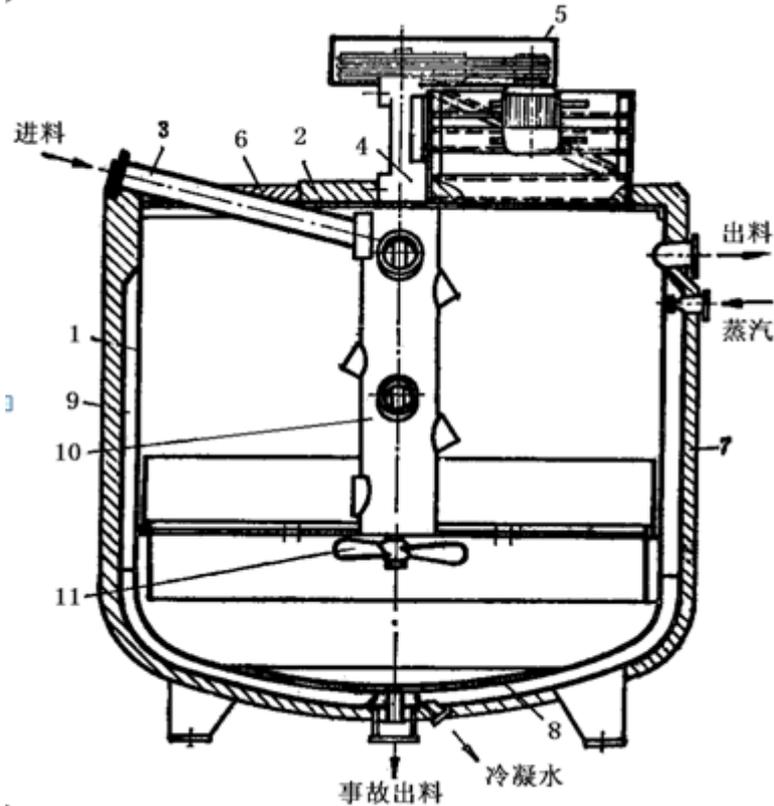
堆浸场常见筑堆法示意图

a-多堆筑堆法；b-斜坡筑堆法；c-多层筑堆法。



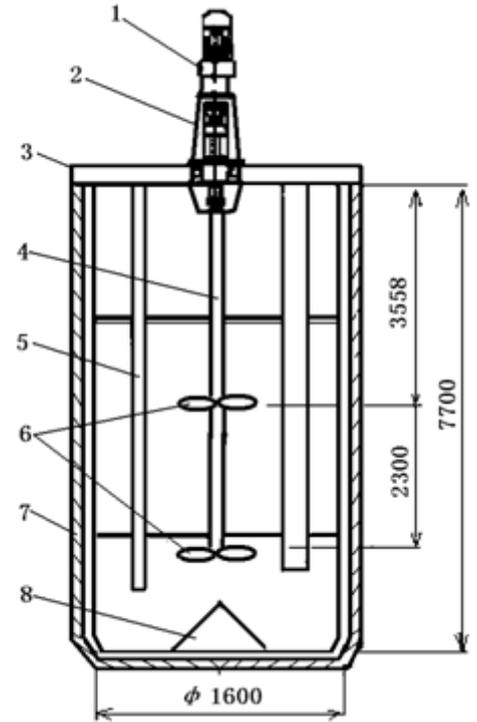
堆浸场和矿堆结构示意图

(2) 机械搅拌浸出槽



单桨机械搅拌浸出槽的结构

- 1-槽体；2-槽盖；3-进料管；4-轴承体；5-传动装置；
6-大孔盖；7-保温层；8-衬板；9-蒸汽夹套；
10-矿浆循环管；11-搅拌器



双桨机械搅拌浸出槽

- 1-减速机；2-轴承座；3-机架；
4-搅拌轴；5-阻尼板；6-搅拌器
；7-槽体；8-铅锥

结构：槽体为圆柱形，槽底为圆球形或平底，中央有循环筒。酸浸时，槽体可用碳钢内衬橡胶、耐酸砖或塑料，或不锈钢槽和搪瓷槽。碱浸时则可使用普通碳钢槽。

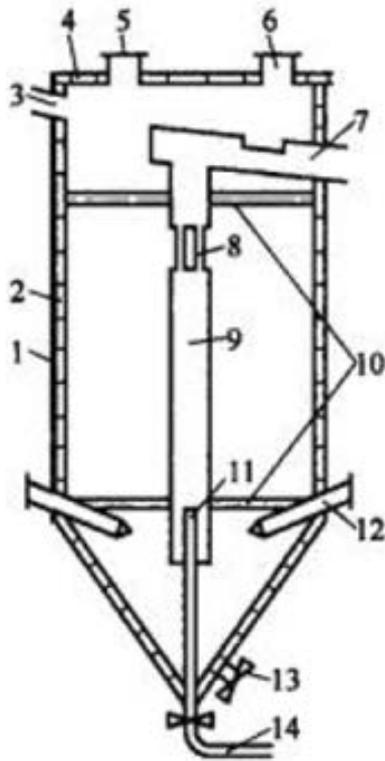
搅拌器装在循环筒下部，一般采用桨叶式和旋桨式。桨叶式搅拌器转速较慢，主要通过径向速度差实现物料混合，在轴向无法产生满意的搅拌效果；旋桨式搅拌器沿全长逐渐倾斜，高速旋转时可形成轴向流，从而实现径向和轴向物料的混合。为达到满意搅拌效果，其直径一般为槽体直径的四分之一。搅拌桨一般为碳钢衬胶和衬玻璃钢，或者采用不锈钢制作。

浸出槽可采用电加热、夹套加热或蒸汽直接加热控制浸出温度。

特点：由于机械搅拌浸出槽容积较小，一般用于生产规模较小的企业。

(3) 空气搅拌浸出槽

结构：由于槽体高度大于直径，通常又称为空气搅拌浸出塔。塔身为以圆柱体，底部为60°圆锥体，圆柱槽体内设有循环筒9、空气管11、溢流管7和蒸汽管12等。



空气搅拌浸出槽的结构

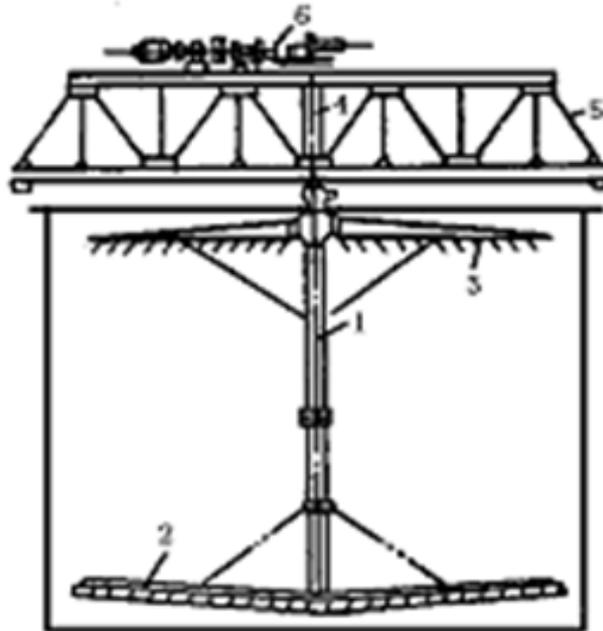
- 1-塔体；2-防腐层；3-进料口；4-塔盖；
- 5-排气孔；6-人孔；7-溢流槽；8-循环孔
- ；9-循环筒；10-支架；11-空气管；12-蒸汽管；13-事故排浆管；14-空气管

工作过程：矿浆和浸出剂由进料口进入浸出塔，压缩空气由底部小管11和14送入中心循环筒9，由于压缩空气的冲力作用，使矿浆在循环筒内上升，通过循环孔8而进入外环室。外环室的矿浆下降并进入循环筒内，从而实现循环筒内外矿浆在强烈的对流作用（搅拌）下，形成矿浆的反复循环运动，达到搅拌矿浆和防止颗粒沉淀的作用。通过调节压缩空气的压力和流量，实现对矿浆搅拌强度的控制。从矿浆中溢出的气体则从上部排气孔5排出至大气中。在连续进料时，循环筒内部分矿浆被空气提升至溢流槽排出，以保持槽内物料平衡。

特点：一般由于其体积较大，一般用于处理量较大的企业。

(4) 空气和机械联合搅拌浸出槽

结构：借助机械和压缩空气联合作用搅拌矿浆，使槽内矿浆不发生沉淀。由平底槽和下端开口的空气提升管组成。空气提升管安装在槽子的中央，其上端与可旋转的竖轴连接。



空气和机械联合搅拌浸出槽
1-空气提升管；2-耙子；3-流槽；4-竖轴；
5-横架；6-传动装置

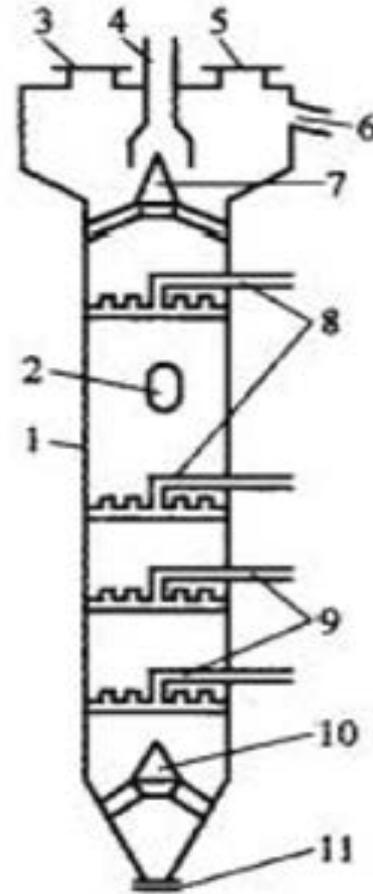
工作过程：竖轴带动旋管下部的耙子转动，进入槽内的矿浆向槽底沉落，沉落在槽底的浓矿浆借助于耙子的作用，向空气提升管的下部汇集，在从管上部给入的压缩空气的影响下，汇集在管口的浓矿浆沿空气提升管上升，从上部溢出流入流槽中，再经流槽的开口流回平底槽，这样就形成了浸出槽内的矿浆循环。由于流槽也随矿浆提升管转动，矿浆在槽内分布均匀。

常规搅拌浸出槽工作方式：

- ①数个浸出槽串联使用。矿浆从一个槽自流到下一个槽，第一个槽投料，最后一个槽流出矿浆，因此是连续工作的。
- ②间断工作。即同时把物料装入各单个浸出槽中进行浸出。浸出结束，停止搅拌，沉淀一段时间后抽出上清浸出液，然后把各槽的矿浆排出送固液分离工序，再装入新物料浸出。

(5) 流态化逆流浸出塔

结构：塔的上部为浓密扩大室，中部为圆柱体，下部为圆锥体。塔顶有排气孔和观察孔。



流态化逆流浸出塔

1-塔体；2-窥视镜；3-排气孔；4-进料管；
5-观察孔；6-溢流口；7-进料倒锥；8-
硫酸分配管；9-洗涤水分配管；10-粗砂
排料倒锥；11-粗砂排料口

工作过程：矿浆用泵送入，进料管上细下粗，出口处装有倒锥，以使矿浆稳定而均匀地沿着倒锥四周流向塔内。在塔的中段分上下两部分加入浸出剂进行浸出，在塔的下部分数段加入洗涤水进行逆流洗涤。洗涤后的粗砂经粗砂排料口排出，浸出矿浆由上部溢流口流出。

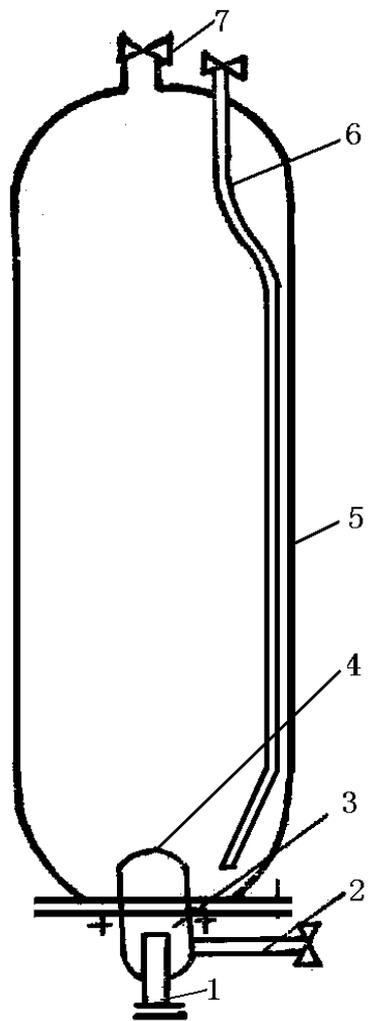
操作控制：操作时可用 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的热水作洗涤水，以提高浸出矿浆的温度。浸出过程中要严格控制进料、排料、洗水和浸出剂流量以及界面位置。一般是用调节排砂量的方法保持稳定的界面。界面位置偏高时可增大排砂量，反之则应适当减小排砂量，以保证浸出时间、分级效率和洗涤效率。流态化浸出得到的是除去粗砂后的浸出矿浆，减少了后续固液分离的处理量。

(6) 高压釜

基本结构:高压反应釜是由搅拌器、反应容器及传动系统、安全装置、冷却装置、加热炉等这几部分所组成。包含无搅拌器和有搅拌器两大类。

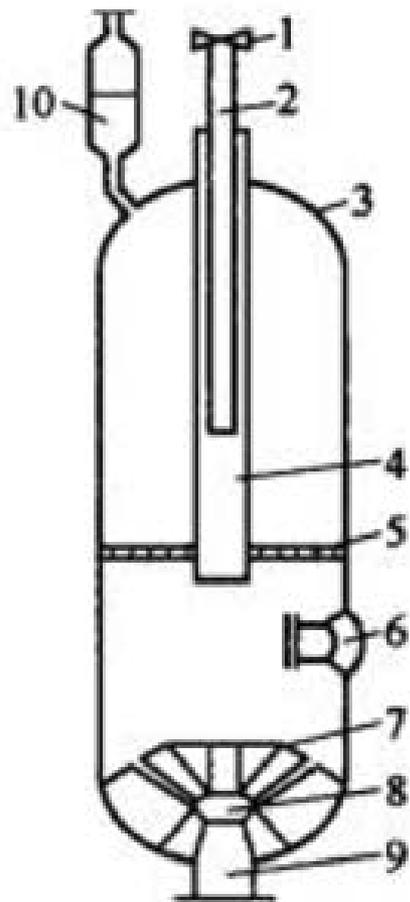
① 哨式空气搅拌高压釜

工作过程:矿浆自釜的下端进入，与压缩空气混合后经旋涡哨从喷嘴进入釜内，呈紊流状态在釜内上升，然后经出料管排出。采用与矿浆呈逆流的蒸气夹套加热或水冷却的方式使矿浆加热或冷却。釜内装有事故排料管。经高压釜浸出后的矿浆必须将压力降至常压后才能送下一工序处理。



哨式空气搅拌高压釜

1-进料管；2-空气管；3-旋涡哨；4-喷嘴
；5-釜筒体；6-事故排料管；7-出料管



自蒸发器

1-调节阀；2-进料管；3-筒体；4-套管；5-筛孔板；6-人孔；7-衬板；8-堵头；9-出料口；10-分离器

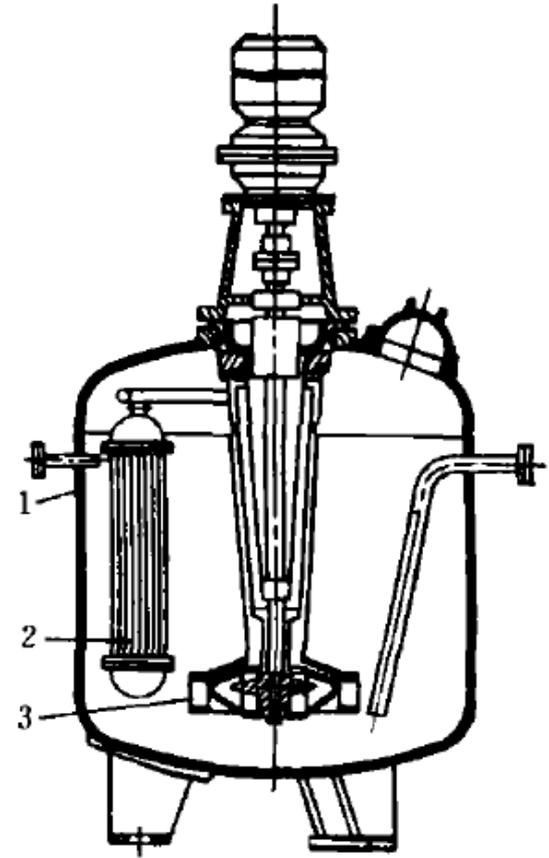
为维持釜内压力，通常需采用自蒸发器的减压装置。为了防止矿浆对自蒸发器底部的磨损，在底部矿浆排除口处装有堵头和衬板。工作时，矿浆和高压空气从进料口进入自蒸发器，在器内高速喷出并膨胀，压力逐降至常压，由于水分的汽化，降低了矿浆的温度。气体夹带的液体经筛孔板进行一次分离后，再经分离器进一步进行气液分离，与液体分离后的气体从排气管热排出，用于预热矿浆。

②搅拌器高压釜

根据高压釜采用的搅拌器结构不同，分为很多种，如平叶、斜（折）叶、弯叶、螺旋面叶式搅拌器等。

◆ AMB型立式间歇机械搅拌高压釜

由釜体、热交换器及充气搅拌装置构成。釜体和带椭圆边封头的釜底和釜盖（釜盖可以拆卸）系用耐工作介质腐蚀的结构钢制造。釜体可有衬里，底层用均匀镀锌及聚异丁烯构成，其上部再用辉绿岩胶泥衬砌ATM-1瓷砖及耐酸砖。高压釜配有夹套式热交换装置或装在釜内的热交换器。

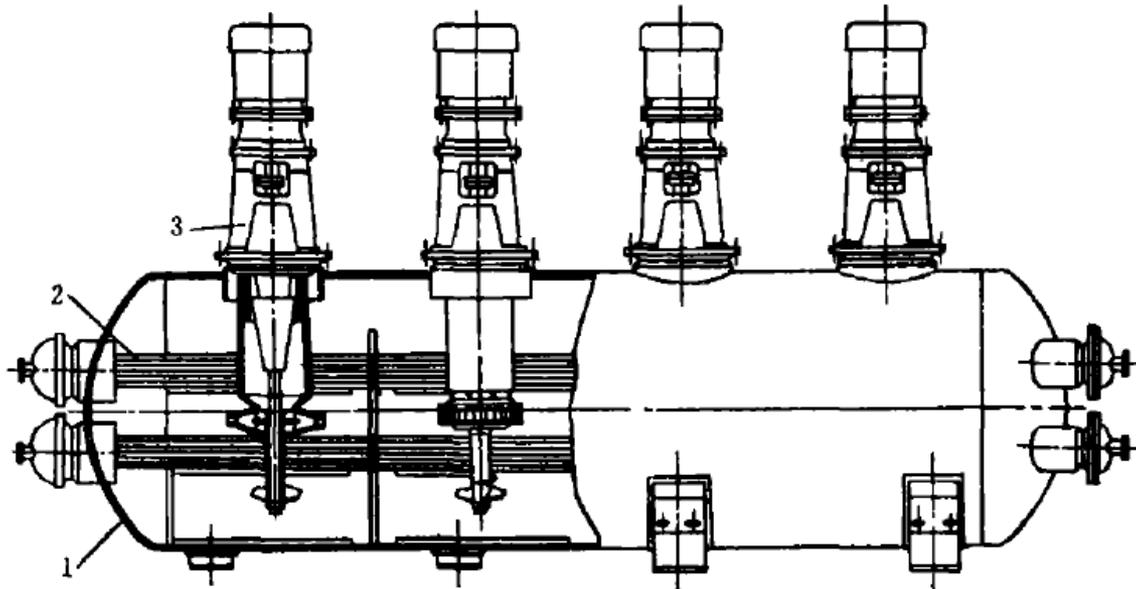


AMB型立式机械搅拌高压釜
1—釜体；2—热交换器；3—充气搅拌装置

由于气体在内部多次循环并产生发达的相界面，在气体利用率很高的情况下，有可能得到很高的气—液及气—液—固传质系数，这是此类釜的突出特点。在设备内采用自吸式充气装置，它可以从釜上部空间抽取气体并使其分散到液体中，供搅拌之用。充气装置乃是一个密闭的涡轮搅拌桨，它安装在固定的导向叶片—定子内，还配有管套—扩散器。液体被搅拌桨从下部抽入，同时吸入气体，而气体是由釜的上部经过扩散器进到搅拌桨。通过液体而并未与其作用的气体被搅拌桨吸入，并再次给入搅拌液体。为了防止固体颗粒沉降，充气装置可以安装第二个搅拌桨—涡轮或螺旋桨。釜体旋转轴的密封可借助端面密封或采用屏蔽电机来实现。

◆ AMP型卧式连续机械搅拌高压釜

是一个焊接圆筒，两端焊有椭圆边封头。高压釜内设或外装热交换器。在釜内装有四个充气搅拌装置。为了连续作业，在釜内装有隔板，致使按搅拌桨数量形成串联的隔室。



AMP型卧式高压釜

1—釜体；2—热交换器；3—充气搅拌装置

7.4 离子交换与吸附设备

①**柱作业(动态法)**：采用固定床或移动床，此时被吸附离子浓度差不仅存在于树脂和溶液的接触表面，而且存在树脂相和液相内部。

②**槽作业(静态法)**：可用搅拌槽或流化床，此时树脂和溶液不断进行混合，被吸附离子浓度差仅存在于树脂和溶液的接触表面，而在树脂相或液相内部，被吸附离子的浓度相同。

7.4.1 清液吸附设备

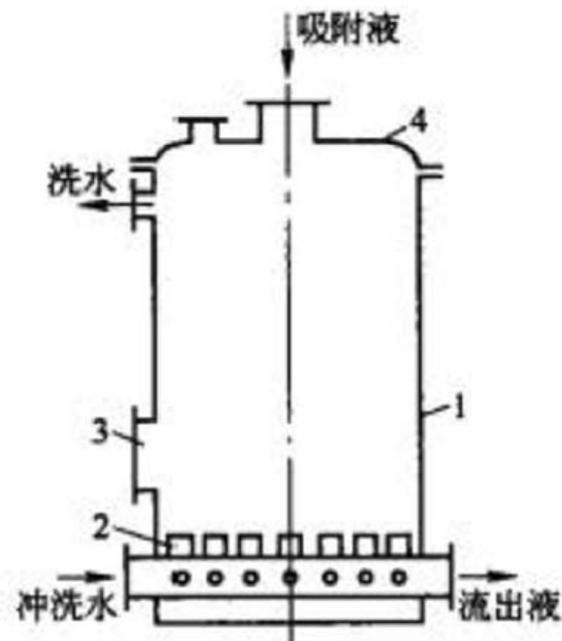
(1) 固定树脂床吸附塔

主体是一个高大的圆柱体，塔的大小取决于生产能力，底部装有冲洗水布液系统，上部装有吸附原液和淋洗剂的布液系统。塔的外壳一般由碳钢制成，内衬防腐蚀层。

每塔的树脂床高度约为塔高的三分之二，它决定于一定操作条件下被吸组分的交换吸附带高度，一般由试验决定。

影响交换吸附带高度的主要因素为树脂性能、被吸组分性质、浓度及吸附流速等。

对一定的树脂和吸附原液而言，交换吸附带高度主要决定于吸附流速。每一吸附循环所需塔数决定于塔中固定树脂床的高度及一系列操作因素。



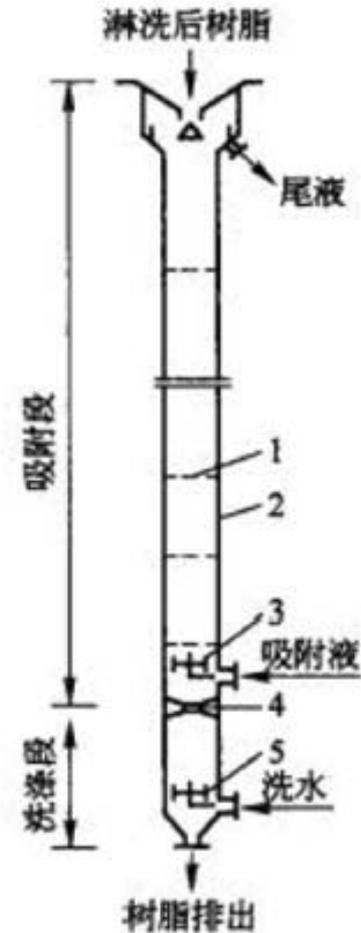
固定床离子交换吸附塔

1-壳体； 2-过滤相； 3-人孔； 4-圆型盖

操作过程：先将预处理好的树脂装入塔内，高度应略大于L0。装好的树脂床应均匀和没有气泡。然后打开原液阀门引进原液。原液以一定的流速（与L0对应）流经固定树脂床后由吸余液管排出，漏穿后的吸余液则接入下一吸附塔。当塔内树脂被目的组分吸附饱和后（实际上是达到动力学平衡），可将原液切除，直接转入2号塔，此时2号塔漏穿，流出液接入3号塔，首塔即可转入淋洗。淋洗前先同下部引入逆洗水使树脂床松散膨胀，以除去树脂床中的固体杂质，然后从上都引入淋洗剂进行淋洗，出来的淋洗液可按浓度分为不同部分。淋洗完毕后，由上都引入冲洗水洗去树脂床中的淋洗剂，再引入转型液使其转型，转型后的树脂可重新用于吸附。由此周而复始地进行吸附和淋洗作业。吸附多个循环后，若树脂有中毒现象，则需引入适宜的解毒试剂使树脂解毒，以使树脂恢复原有的吸附性能。

(2) 连续逆流吸附塔

结构：塔身为一高大的圆柱体，上部有树脂进料装置和吸余液溢流堰，整个塔身分上、下两部分，上都为吸附段，下部为洗涤段，中间用缩径分开。在两段的下部分别设有布液和布水装置，以使溶液均匀地分布于塔的横被面上。吸附段装有若干筛板，以使液流均匀稳定地上升和减少树脂的纵向窜动。吸附作业和淋洗作业分别在两塔中完成。淋洗塔的结构和吸附塔基本相同。



连续逆流吸附塔
1—筛板；2—塔体；3—布液装置；
4—缩径；5—布水装置

操作过程： 吸附原液用泵打入吸附塔内，淋洗后的树脂从塔的上部加入。在吸附段，树脂在重力作用下从上向下沉降，并与自下而上的吸附原液逆流接触。当树脂达到或接近饱和时，立即经缩径进入洗涤段。饱和树脂经缩径时，经受很好的洗涤作用。缩径可减少吸附段溶液窜向下部淋洗段，起良好的逆止作用，它只允许树脂和洗水逆流通过。饱和树脂在洗涤段进行洗涤，最后由塔底排出，由水力提升器送往脱水筛脱水。脱水后的饱和树脂由塔顶进入淋洗塔，在淋洗段与淋洗剂逆流接触，合格液由塔顶排出，淋后树脂经洗涤、提升、脱水，重返吸附塔循环使用。树脂在吸附塔的吸附段呈流化床，在洗涤段呈移动床，而在淋洗塔的淋洗段和洗涤均呈移动床。

为了达到预定的吸附淋洗效率，吸附塔主要应控制好吸附液的流量和树脂的排出量(即吸附液与树脂的流比)、洗水用量等因素。淋洗塔主要应控制好淋洗剂用量、洗水用量（淋洗剂与树脂的流量比）、树脂层高度和树脂排放量等因素。

与固定床吸附比较，连续逆流吸附系统具有以下特点：

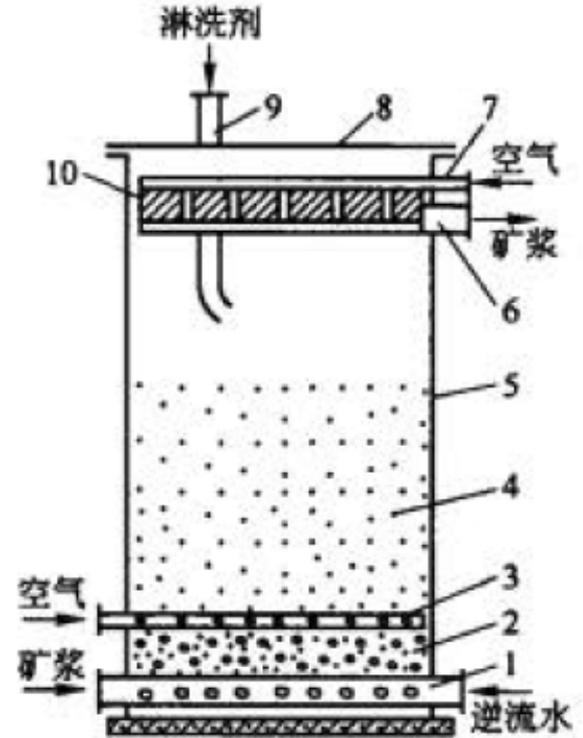
流程较简单，淋洗剂用量少，合格液浓度高，所用树脂量少，树脂利用率高。同时，连续逆流吸附设备的有效容积高(可达90%)，因而投资可节约25% -30%，运行费低25% -40%，而且吸附液中固体含量可高达1% -2%。

但连续逆流吸附的操作控制较严格，不易掌握，不如固定床稳定。

7.4.2 矿浆吸附设备

(1) 矿浆悬浮吸附塔

结构：主体为碳钢圆柱形壳体，内衬不锈钢，底部为混凝土并内衬耐酸砖，装有矿浆和压缩空气分配管布于塔的截面上，并可防止树脂经下部排液管的小孔流走。石英砂层按粒度大小分层铺设。塔的上部装有带网状分离装置的排泄管，它由不锈钢流槽和不锈钢筛网组成。



悬浮吸附塔

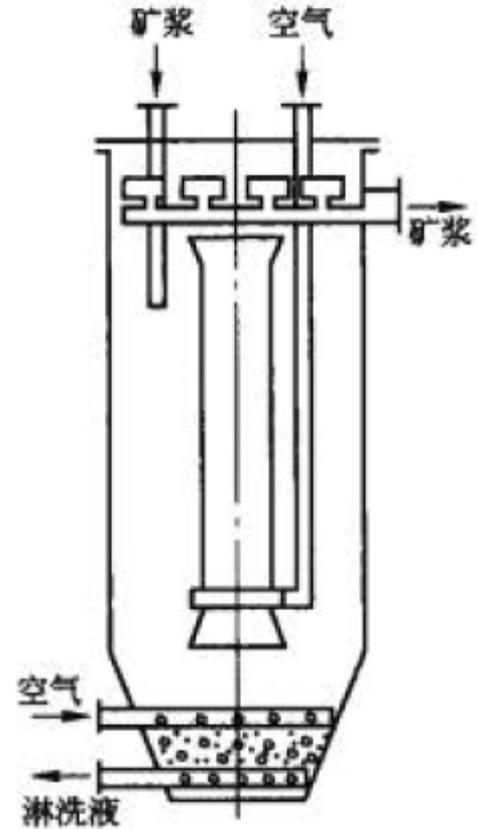
- 1-下部排管；2-石英层；3-空气管；
- 4-树脂床；5-塔体；6-排出管；7-空气管；8-盖；9-淋洗管；10-筛网

操作过程：根据生产能力和实验决定的树脂床高度，将预处理好的树脂装入塔内，矿浆以一定的速度经矿浆分配管进入塔内。在流经悬浮树脂床后经排泄管排出或流入下一吸附塔。网状分离器的筛孔比树脂粒度小，但比矿浆中的最大矿粒大，它只让矿浆通过而使树脂留于塔内。因此，矿浆吸附的树脂粒度和比重比清液吸附的大。当塔内树脂吸附饱和后，从下部引入逆洗水和压缩空气，使树脂处于扰动状态以除去树脂床中的细泥。树脂被冲洗干净后，再从上部引入淋洗剂进行固定床淋洗。淋洗液的处理与清液吸附相同。淋洗完后，引入冲洗水以除去树脂床中的淋洗剂，树脂用转型液或吸余矿浆转型后重新用于吸附。

(2) 空气搅拌吸附塔

结构：上部装有带网状分离装置的矿浆排出管，下部装有淋洗液排出管、底部矿浆排出管及填料层。

操作过程：根据处理量和料液中的金属浓度决定树脂用量并将其装入塔内，吸附矿浆由塔顶连续给人，由于空气搅拌而使树脂和矿浆充分接触，矿浆通过上部的筛网从溢流口排出接入下一塔，而树脂则留于塔内，直至达到吸附饱和。



空气搅拌吸附塔

矿浆吸附法比较

项 目	悬浮吸附	空气搅拌吸附
树脂投入量	多	中等
每吨树脂年处理能力	小	中等
树脂损耗	较小	较大
矿浆液固比	大	小
动力消耗	小	较大

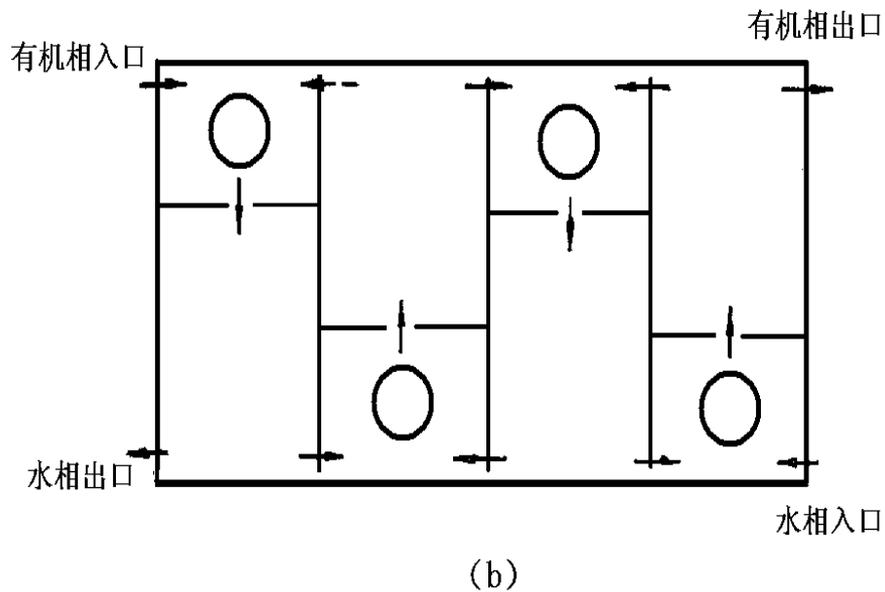
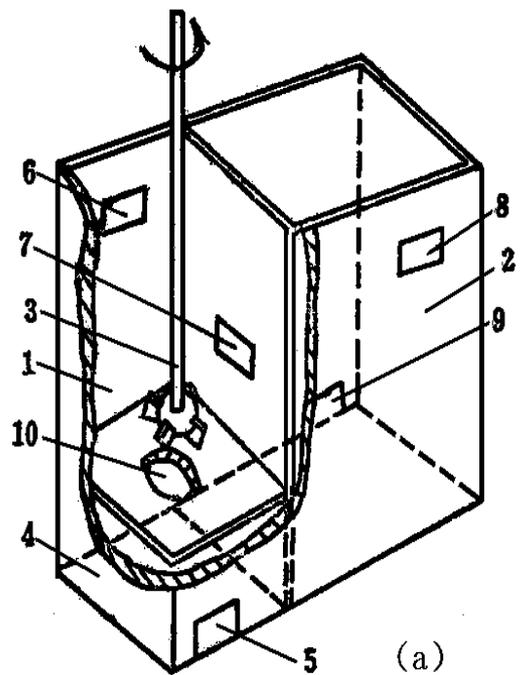
7.5 萃取、置换与电解设备

7.5.1 萃取设备

萃取设备可分为：箱式萃取器，塔式萃取器和离心萃取器三类。前两类靠机械力使两相混合，重力澄清，后者则均依赖离心力。在金属提取中，多用萃取箱。在核燃料后处理中，多用离心萃取器，在化工中多用萃取塔。

(1) 萃取箱

单级萃取箱主要由混合室、澄清室和搅拌器组成。多级萃取箱的各级之间通过相口紧密相连，操作时两相的活动呈逆流，4级串联的槽搅拌室在两侧交错排列的箱式混合萃取澄清槽。



箱式混合萃取澄清槽

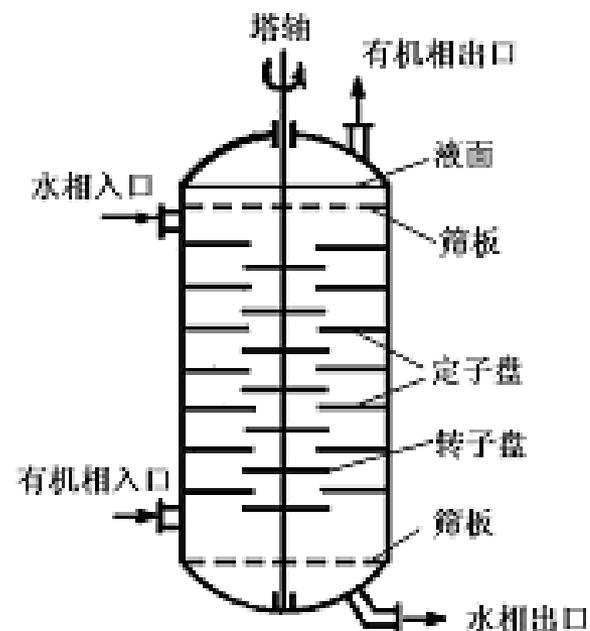
- (a) 单级结构 (b) 4级串联、槽搅拌室在两侧交错排列的两相流向
- 1-混合室；2-澄清室；3-搅拌器；4-前室；5-水相入口；6-有机相入口；
7-混合相入口；8-有机相出口；9-水相出口；10-前室孔

混合室中装有搅拌器，搅拌器的作用是使两相充分接触，保证级间水相和混合相的顺利输送。混合室分上下两部分，下部为前室，它使水相连续稳定地进入混合区，前室和混合区通过圆孔相连，前室的一侧有水相进口与邻室的澄清室相通，藉搅拌器的搅拌将邻室的水相从相口抽吸过来。混合室的另一侧有有机相进口，它与下一邻室的澄清室的溢流口相通，有机相靠搅拌器搅拌造成的液位差从下一室流入混合室。本级混合室与澄清室间有混合相口，混合后的混合相由此相口进入澄清室分层。澄清室的作用是使混合相澄清分层，其一侧上部有溢流口，另一侧下部有永相出口，分别与上一级和下一级的混合室相通。因此，两相液流在同级作顺流流动，在各级间呈逆流流动。

(2) 旋转盘式混合萃取塔

由在内壁有固定圆环（又称定子盘）的竖塔和转动的竖轴组成。在竖轴上固定有许多圆盘（又称为转子盘）。转子盘位于两相邻定子盘的中间。中心轴旋转使两相分散，逆流混合，在塔的顶部两相分离。

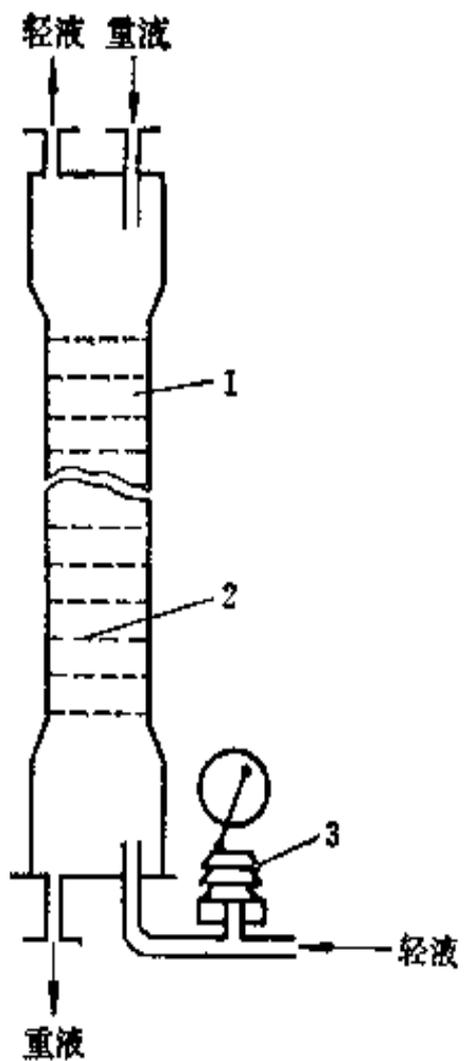
转盘的转速一般通过变速装置（减速箱）来调节。



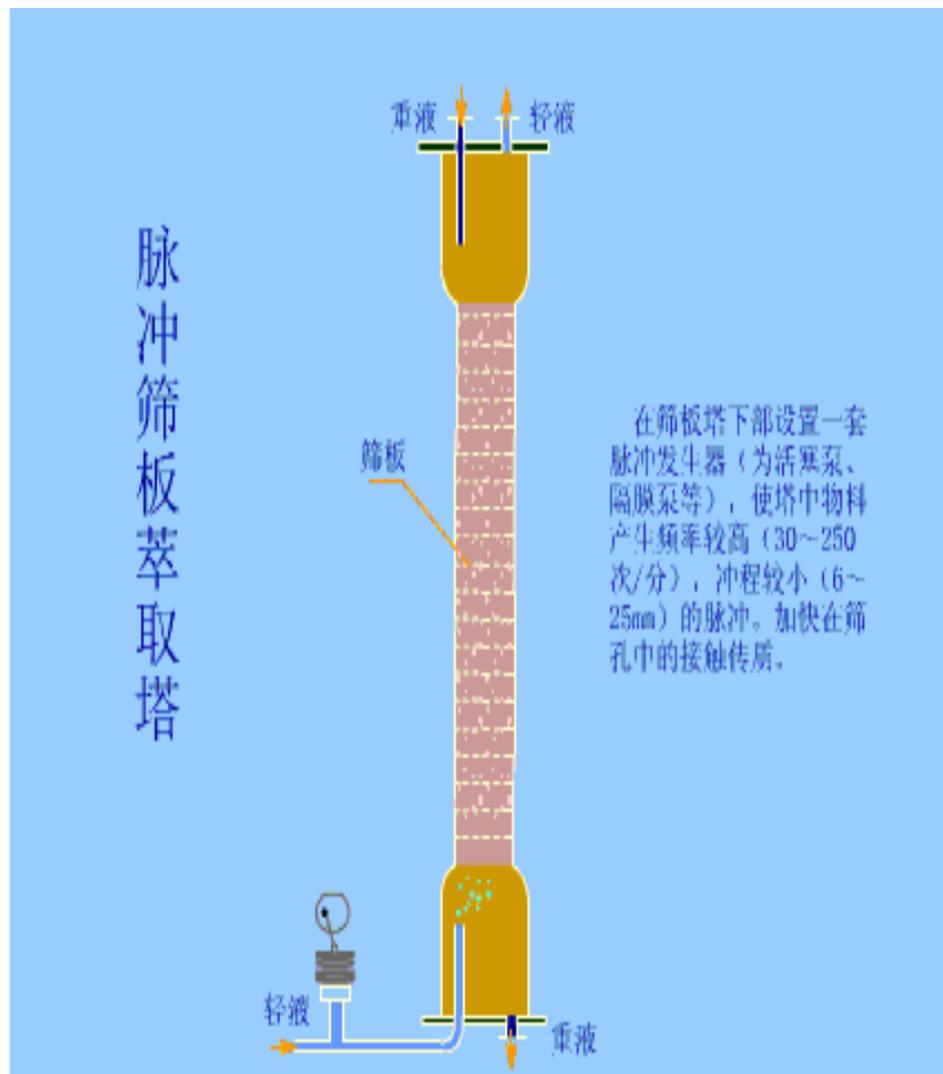
旋转盘式混合萃取塔结构示意图

(3) 脉冲筛板萃取塔

在塔外专门设有一套脉冲发生器，即利用偏心连杆机构带动的往复活塞泵产生吸入和压出的过程，使塔中液体产生频率为60~120次 / min，冲程为10~30mm左右的脉动，凭借这种脉动，使水相和有机相来回穿过筛孔，增大接触面和接触次数，从而获得较高的分离效率。振幅是一个重要的操作因素，太大太小生产能力和分离效果都不好。筛板孔径3~4mm，筛板间距50mm。脉冲筛板塔的优点在于塔内不要设置机械搅拌装置，脉冲泵等发生脉冲的机构可以装在塔外，容易解决防腐和放射性防护等问题，在放射元素萃取中用得较多。



脉冲筛板萃取塔



(4) 离心萃取器

- ◆利用离心力、搅拌剪切力或与外壳的环隙之间的摩擦力进行两相混合，并利用离心力使两相澄清分离的萃取设备。
- ◆与其他萃取器相比，离心萃取器具有停留时间短、容积效率高、溶剂滞留量小、操作适应性强、易于清洗等优点，特别适于处理易乳化、密度差小、难，分离、两相流比大的萃取体系。
- ◆离心萃取器的结构比其他萃取器复杂得多，其中高速旋转部件的制造和加工要求很严格，所需费用比较高。特别是连续接触式和单台级离心萃取器，这些缺点就更加突出。因此其推广应用受到限制。
- ◆在核燃料后处理工业各种类型的离心萃取器都有所应用;而在稀有金属分离中多应用单台单级圆筒式离心萃取器。

工作原理：重相和轻相从下面的管口进入混合室，在搅拌桨的剧烈搅拌下，两相充分混合并产生相间传质，然后混合相进入转鼓，在强大的离心力的作用下重相被甩向转鼓外缘，而轻相被挤在转鼓的内缘，它们再分别流经重相堰、轻相堰，向外经辐射状导管到重相收集室、轻相收集室并外流到出口排出。

两相界面的控制可采用压缩空气控制和重相堰控制两种形式，当用压缩空气控制界面时，要在轴上打一个中空的孔，并装设旋转密封装置和供气系统。

特点：结构简单、效率高、易于操作、运动可靠。

应用：单台单级设备，可以单台使用，也可多台串联使用，萃取器有足够的抽吸能力，级间不必另设输液泵。多台串联时，可以逆流，也可以并流，视工艺要求而定。

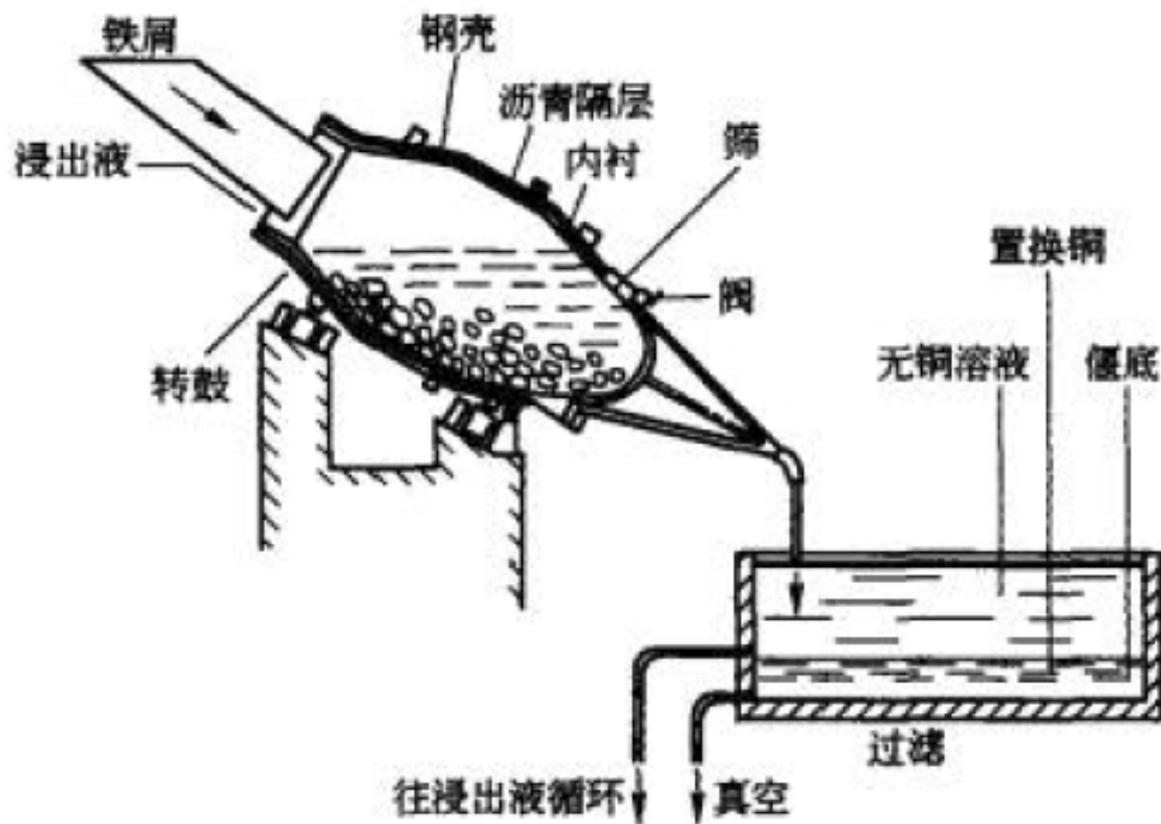
7.5.2 置换设备

(1) 置换溜槽

最简单的置换装置，实际上是一个曲折的具有一定坡度的水泥地沟。地沟宽约1m，深1- 1.5m，长数十米到百余米，由处理量大小决定。

槽底可搁放木制方格，上置铁屑，溶液从溜槽上端流入，下端流出，在流动过程中完成置换反应。人工翻动置换材料使已析出的海绵金属剥落下来，沉于槽底，然后随溶液流出，澄清晒干，即得到海绵金属产品。该法铁耗较高，劳动强度大，适于从稀溶液中回收金属。

(2) 置换转鼓



置换转鼓示意图

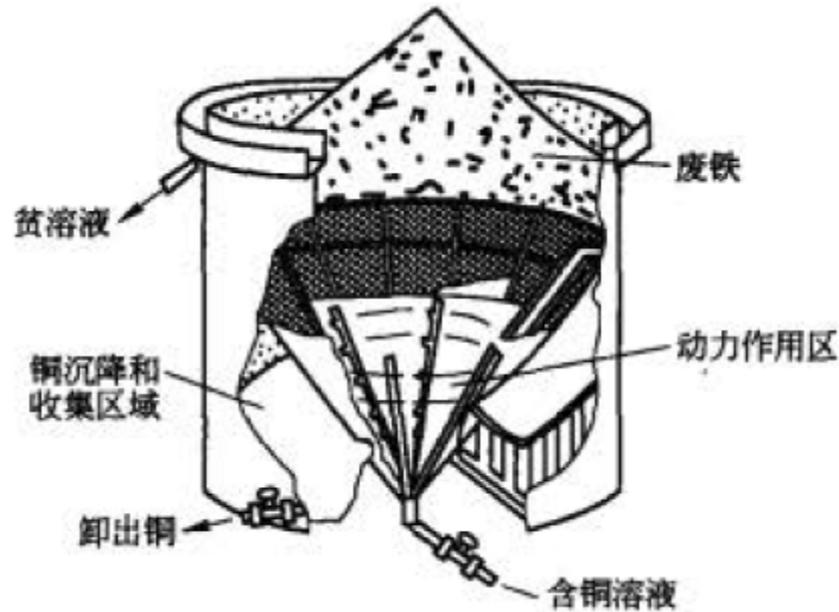
工作过程：铁屑或其他置换材料分批加入转鼓内，然后连续地引入溶液，由于转鼓的旋转，沉出的金属不断剥落并随溶液排出鼓外，经澄清过滤回收有价金属。

特点：由于置换材料不断暴露出新鲜表面，故置换速度较快。该法劳动强度比溜槽低，可用于回收和分离净化金属。应该指出，转鼓内部应衬耐腐蚀材料，否则钢结构的外壳本身就会成为置换材料而很快损坏。

(3) 锥形置换器

工作过程：溶液由于下都泵入置换器，沿倒锥的斜向喷流。溶液回旋上升通过铁屑层，进行置换反应。已沉出的金属由于溶液的冲刷而剥落被带向四锥体的中部。由于圆锥体截面扩大，

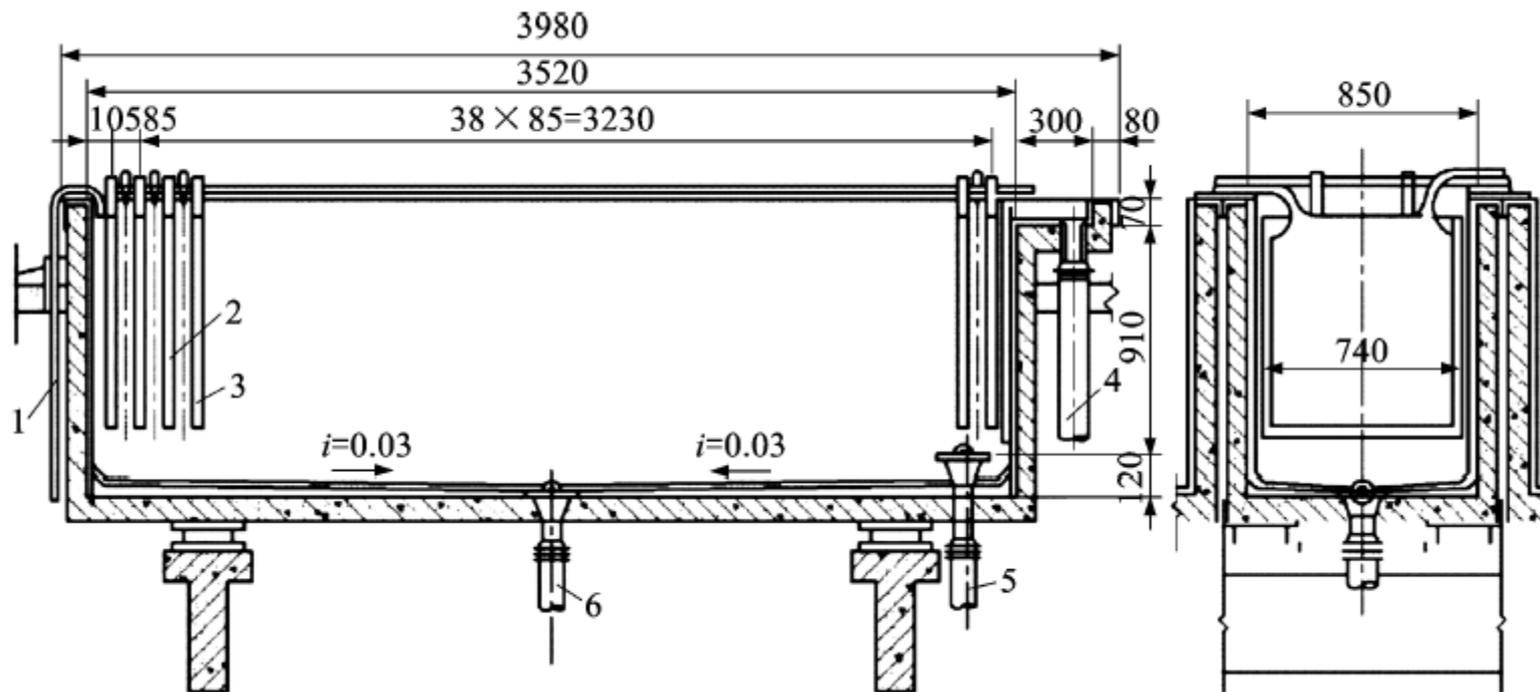
流速降低，沉出的金属在此得到浓密并通过锥体本身的网格进入外部的木制圆柱桶内予以收集，贫液则从上都排除。



特点：处理量大，铁耗低，仅为化学计算量的1.6倍。当处理量增加时，可将数个置换器并联使用。当贫液达不到废弃标准时，可以再串联一个置换器，以提高金属回收率。

7.5.3 电解设备

(1) 电解槽



铜电解槽

1-电解液进液管；2-阳极；3-阴极；4-电解液出液管；5-放液口；6-放阳极泥口

结构：水溶液电解槽为长方形、无盖的钢筋混凝土槽。槽内衬以环氧树脂或聚氯乙烯或铅皮或沥青等。采用上进下出电解液循环方式的电解槽，出液端设有隔板用来调节液面，槽体外设有出液口。电解槽底部设有一个或两个放液漏斗，供放出阳极泥或电解液用，漏斗塞采用耐酸陶瓷或硬铅制成，中间嵌有橡胶圈密封。混泥土槽体底部设有几个捡漏孔，以检查槽内衬是否损坏。槽体放在钢筋混凝土立柱架起的横梁上，槽底四周垫有电绝缘的瓷砖或橡胶板，槽侧壁的槽沿敷设瓷砖或塑料板。槽长壁上设有母线（共同道题），其上交互平行低垂吊着悬挂在横杆（导电杆）上的应急和阳极。槽内极间电路并联，槽间电路并联，以此种复联法与电源连接。相邻槽间留有20-40mm的槽间绝缘空间。

(2) 电解液循环系统

为了减少阴极附近溶液中离子的浓度差极化，使电解添加剂均匀分布于电解液中，同时保持电解液温度的恒定，以得到平整光滑的阴极产品，电解时电解液需循环使用。

以铜为例，电解液循环系统主要有电解槽、循环贮槽、高位槽、电解液循环泵和加热器等组成。此外还可能包含空气冷却塔。

