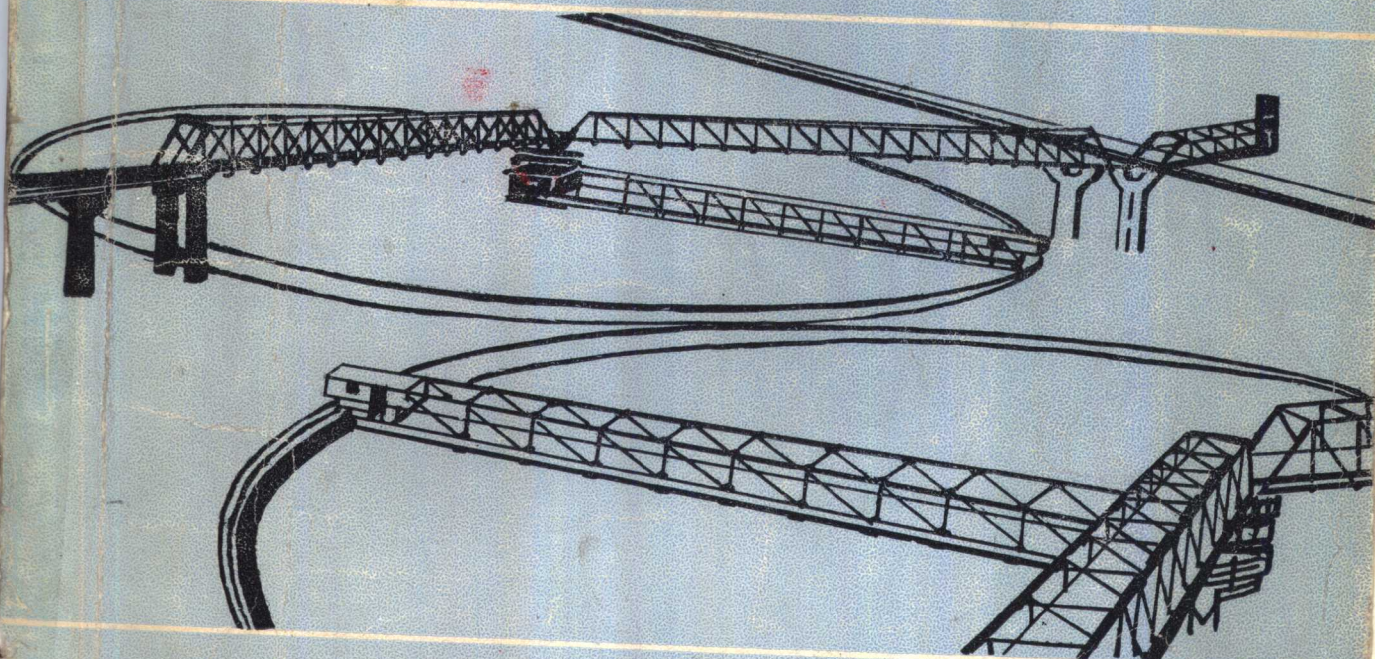


固液分离技术

GU YE FEU LI JI SHU

全国首届固液分离技术会议文集



中国选矿情报网固液分离情报网

一九八七年三月

前 言

在物料湿法加工的过程中，固液分离工艺常常作为一个辅助作业存在而不为人们所重视。由于这方面的原因造成的后果是严重的，或影响产品质量、或造成物料流失、或使过程复杂化。更有甚者，由于固液分离工艺不善，给环境带来的影响日趋明显。因此近年来该工艺已逐渐为大家认识，并引起重视。在煤炭、冶金、化工、轻工、地质、建材、核工业等领域，有关固液分离工艺的研究和实践方兴未艾。为了将这方面的成果进行交流、推广和深化，中国选矿情报网固液分离网特组织首届全国固液分离技术交流会。会议发表的论文涉及了固液分离工艺的各个方面，内容较为广泛，特组织出版，以飨读者。

本书的编辑出版由《云南冶金》编辑部承担。昆明工学院刘孟星老师和昆明冶金研究所谢光工程师对稿件的组织和编、审作了大量的工作，在此表示感谢。

编 者

一九八七年三月于昆明

目 次

选矿产品固液分离新技术述评.....	刘孟星等(1)
固液分离设备调研报告.....	程士哲(29)
一种固液分离与提取合一的新技术.....	张宝亮(37)
黑钛液沉降净化过程的研究.....	张帆等(42)
絮凝悬浮体中絮团的终端速度、密度及大小的实验测定.....	王致果等(50)
环氧化物皂化石灰乳废浆液固液分离工艺研究.....	乔长顺等(54)
碱法铀水冶厂固液分离.....	国营二七六厂(59)
钠基膨润土湿选精矿脱水及其应用研究.....	杨德修(64)
微细矿泥选择性絮凝浮选尾矿回水工艺研究.....	谢光等(78)
一种新型滤料用于铀水冶检查过滤的研究.....	毛瑞国等(82)
大表面过滤设备—带式过滤机.....	全顺培等(86)
EV-I型电渗过滤机的研制与试验.....	刘丽芳等(90)
梅山选厂铁精矿分级过滤.....	梅山铁矿(93)
矿山废水处理及其有价金属的利用.....	徐家骥等(103)
向酸泥要效益.....	朱光良(108)
SP505在我厂的试验与应用.....	刘建新(110)
我厂废水处理中的液固分离和废渣的综合利用.....	株洲冶炼厂(112)
一种新型助滤剂.....	刘明德(115)
水平带式过滤机在铀水冶技术改造中的应用探讨.....	万葆生(120)
齐大山尾矿悬浮液絮凝分离研究.....	陈述文等(122)
难选锡中矿高温氯化冶金湿法系统固液分离现状和今后改进意见.....	戚亚光等(130)
酸化油类型助滤剂的工业应用研究.....	林祥辉等(134)
脱水工艺对选矿指标的影响(摘要).....	孙廷芳(138)

选矿产品固液分离新技术述评

昆明工学院 刘孟星 何娟姿

引 言

固液分离,是包括选矿在内的许多工业部门广泛使用的基本工艺过程之一,对选厂的基建投资额、工艺过程的正常进行、技术经济指标、产品质量、环境保护等都有重大影响。

自从1950年道尔(J. V. N. Dorr)发明了放射形浓缩机和1907年奥利弗(E. L. Oliver)生产了第一台旋转圆筒型真空过滤机以来,选矿产品的固液分离,进入了大规模工业化连续生产的新阶段。迄今,放射形浓缩机和真空过滤机,仍是选矿产品的最主要、使用最广泛的固液分离设备。在长期的使用过程中,固液分离设备和技术,有了很大的发展,每年都有大量的论文和专利文献发表,新设备不断问世。《E/M J》(工程与采矿杂志)对1954年以来世界矿业固液分离技术和设备的进展,作了全面的评述^[1]。

随着矿产资源的变贫、变细、变复杂,需要把矿石磨得更细,以提高选矿指标和产品质量,因而就需要对愈来愈多的微细物料进行固液分离。传统的方法和设备——浓缩机浓缩和真空过滤机过滤,在技术上愈来愈不适应,效率大幅度降低,产品质量达不到工艺和环保要求,在经济上基建投资太大,经营费用偏高,亟待革新。七十年代石油涨价19倍(六十年代每桶原油仅2美元),诱发了资本主义国家世界性的“能源危机”和“经济衰退”,促使重新研究开发利用煤炭代替石油作为能源,与煤的水力管道输送和水煤浆制备密切相关的固液分离新工艺,便应运而生。矿业部门的节能和降低成本,成为近年来选矿技术发展的主要趋势之一,尾矿的厂前浓缩和高浓度水力输送和精矿脱水采用自动压滤机取消干燥作业,也成了选厂节能的主攻方向之一。七十年代以来,各国都陆续颁布了环境保护法,对环保提出了愈来愈严格的要求。为了保护水体不受污染和充分利用水资源,各个工业部门都广泛采用水的全闭路循环。不但矿业生产中的尾煤、煤泥和尾矿需要进行比较彻底的固液分离,以便回水、综合利用和进行采空区的尾砂回填;而且石油、化工、轻工、食品等行业的高活性污泥也必须进行比较彻底的固液分离。甚至大城市城建开挖基坑抽吸出来的泥浆也需要固液分离后才能分别排放。所有这些客观的社会需求,有力地推动了国际上固液分离技术和设备的飞速发展。一大批固液分离新技术和新设备,在最近5~10年内实现了工业化,并取得了良好的技术、经济和社会(环保)效益。

我国自从实行对外开放政策以来,加强了固液分离科技的国际交流,引进、仿制和

消化研制了一些固液分离新技术和新设备,取得了长足的进步。认真分析总结这些新经验,促进我国固液分离技术的发展,是一件很有意义的事。

浓缩新技术和新设备

选矿产品的浓缩,可以大大减少送往下一作业处理的矿浆体积量和提高下一作业的效率,不但精矿在过滤前或中间产品在进入下一作业处理前,预先浓缩是合理的和必不可少的,而且实践证明,尾矿预先浓缩后再向外排放,比直接排放低浓度尾矿要经济得多。研究表明^[2],铁矿选厂的尾矿预先浓缩至含固体26%再排放,总的基建投资可节省11%,经营费用可节约25%。

普通的放射形浓缩机,工作可靠,经营费用低,并能对给料起储存和缓冲的作用。但是,它是以颗粒的重力沉降为工作原理的($Vt \propto d^2$),用来处理微细粒物料,效率很低(例如,云锡多数选厂的尾矿, -10微米含量>60%,平均粒径0.02毫米,自然沉降速度仅0.35毫米/秒),需要的浓缩面积大,基建投资极高。在普通浓缩机中,矿粒需沉降1.5米的距离才能落底,这也是需要较大沉降面积的原因之一。

现今的浓缩新方法和新设备,主要就是建立在采用絮凝技术使微细粒物料絮凝成大而近似球形的絮团以提高沉降速度,以及放置倾斜板以缩短颗粒沉降落底的距离和增加浓缩面积为基础的。

(一) 高效浓缩机(或高处理能力浓缩机、高速浓缩机)

1. 高效浓缩机的技术经济指标

高效浓缩机的单位面积处理量可比普通浓缩机高出10倍以上。普通浓缩机处理单位固体重量所需面积为5~10呎²/吨·日(0.47~0.93米²/吨·日),而高效浓缩机仅0.3~0.6呎²/吨·日(0.028~0.056米²/吨·日)^[3],甚至可低至0.15呎²/吨·日(0.014米²/吨·日)^[4]。主要原因是高效浓缩机利用了新的强有力的合成聚电解质和先进的絮凝技术,大大提高了固体颗粒的絮凝程度和沉降速度。这是固液分离技术近年来最大的进展之一。表1列出了国外高效浓缩机的标准浓缩指标^[5]。

高效浓缩机的基建投资约为同样处理能力的普通浓缩机的38%^[6]。参考文献^[6]中列出了2000吨/日铀矿的6段逆流洗涤流程用高效浓缩机与普通浓缩机的基建投资的详细计算表。

高效浓缩机的经营费用比普通浓缩机高,但用来浓缩微细粒物料,可以得到较高的底流浓度,输送电耗低得多,可以从节约的电费中得到补偿。

高效浓缩机浓缩微细粒物料的技术经济指标明显优于普通浓缩机,可考虑用于矿泥含量高的尾矿、泥矿给矿、中间产品以及细泥精矿的浓缩。

高效浓缩机在严寒地区,地震地区或现厂改造场地受到限制的情况下采用,优越性更大。

正因为如此,连世界上最大的布干维尔铜选厂(14万吨/日),最近也准备采用高效浓缩机浓缩其全部铜精矿和尾矿^[28]。澳大利亚 Hunter Valley 的 Ravensworth 地区新建的选煤厂,安装了3台Dorr-Oliver公司制造的直径为27米的高效浓缩机^[29],

国外高效浓缩机的标准浓缩指标^[5]

表 1

应用对象	固 体 (%)		单位面积 呎 ² /吨·日
	给 矿	底 流	
煤 泥	0.5~6	20~40	0.49~1.46
铜 精 矿	15~30	50~75	0.20~0.61
选铜尾矿	10~30	45~65	0.40~0.98
铁 精 矿	15~25	50~65	0.20~0.98
选铁尾矿	10~20	40~60	1.46~6.5
氢氧化镁	3~10	15~30	4.98~20.50
磷 矿 泥	1~5	10~16	1.00~2.80
苏打灰泥	1~2	10~20	3.03~6.06
酸浸后的铀矿石	15~25	40~60	0.3~0.9
碱浸后的铀矿石	15~25	40~60	0.2~0.50
铀矿中矿	15~25	40~60	0.3~0.70

[注]: 呎²/吨·日换算成米²/吨·日要乘0.0929。

由于该浓缩机中安装了Danyfroc絮凝给矿井, 能达到最有效地分散, 絮凝作用也最好, 因此提高了沉降速度, 取代了传统的大直径浓缩机。所附的一台自动化絮凝剂定量添加装置, 十分灵活, 可以满足任何需要。

2. 高效浓缩机的构造特点

工业上采用高效浓缩机是近年来浓缩方面的最重要进展之一。它是以采用絮凝技术为基础的, 一般具有下列的全部或某些特点: 絮凝剂和矿浆的机械搅拌混合, 絮凝剂的分段加入; 絮凝后的矿浆在液面以下给入浓相层; 有倾斜浓缩板; 耙动机构能承受较大的负荷, 仪表和控制可靠。因此, 高效浓缩机在结构上有三大特点:

(1) 有一特殊结构的给矿井

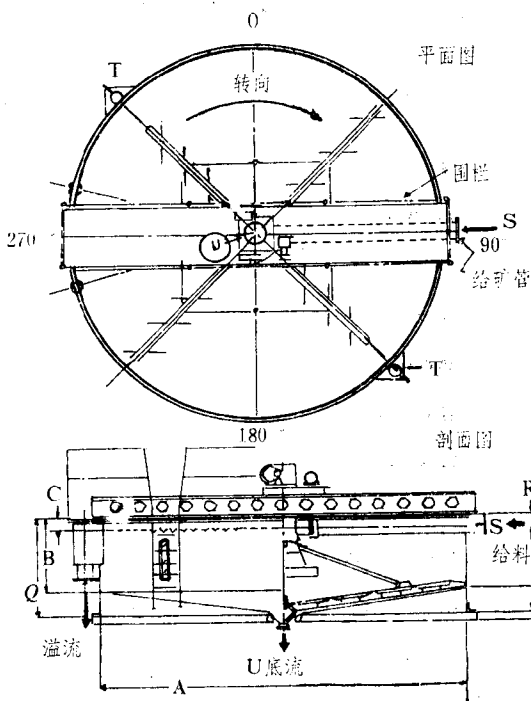
因为高效浓缩机是以采用絮凝技术为基础的。表面电荷被聚电解质中和后的颗粒必须碰撞才能被絮凝剂搭桥成为絮团, 矿浆中的颗粒是靠着矿浆的紊流运动才发生碰撞的, 根据柯尔莫格罗夫的局部各向同性紊流理论, 处于紊流涡旋中的悬浮粒子发生碰撞必须有两个条件: [7]第一是乘坐在同它的粒径大小相近的尺度上的涡旋上的颗粒才有可能发生碰撞, 因为乘坐在大尺寸涡旋上的两个粒子将只会随着涡旋一起作同步回转运动, 而尺寸比粒径小得多的涡旋又难以带动粒子形成有效的变动速度; 第二是粒子的密度不能比水的密度大得太多, 否则粒子不能被涡旋完全带动。因此, 不同粒径的颗粒应有不同大小的涡旋, 即必须有不同的搅拌强度, 粒径越小需要的搅拌强度越大, 但形成的絮团又很容易被流体剪切力所破坏。所以高效浓缩机必须有一个既能保证矿粒与絮凝剂很好混合, 互相碰撞, 很快形成较大的絮团又能保证所形成的絮团不被破坏的给矿

井。

目前有三种不同形式的给矿井〔3〕

A. Amstar公司通过其子公司提供了 Enviro-Clear 高效浓缩机, (图一)〔3〕

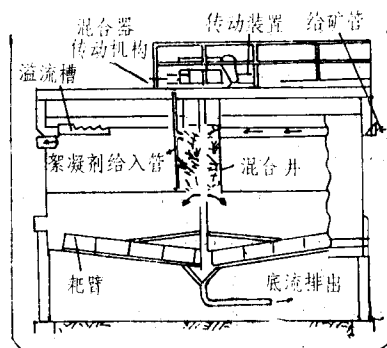
这是最初出现的高效浓缩机, 这一设备首先用于甜菜的制糖生产, 以后被引入煤和铀工业, 其给矿井呈倒锥形, 给矿管在给矿井中, 进入给矿井的矿浆斜着下降至冲击板上。冲击板施加给固体和溶液一个水平的分速度。粒状物料和絮团直接给进循环着的浓矿浆层(絮团层)。浓相层的料位由探测器测定, 并通过调节底料的排出速度加以保持, 浓相层捕集了给进来的固体物料(絮团), 而液体(水或溶液)必须通过浓相层上升进入溢流堰排出。浓相层成了过滤介质。固液分离主要靠过滤作用而不是靠重力。这种浓缩机的直径不超过15米, 所以传动机构是桥式的, 常采用液压传动, 所需动力相当于具有同样处理量的普通浓缩机。



图一 Enviro-Clear 高效浓缩机

B. Envirotech Corp的Eimco-BSP分公司提供了另一种高效浓缩机(图二)〔4〕、〔5〕

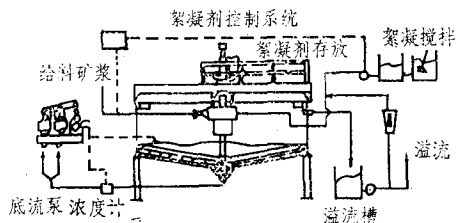
给矿水平地给入空心给矿井, 絮凝剂也分三点给入给矿井, 分别占总加入量的60%, 25%和15% (或50%, 25%, 和25%), 并通过一内部的机械混合器进行分散。絮凝后的给矿从混合腔中排出, 直接进浓相层。呈放射形的倾斜板部分地浸没在浓相层中(也可以不放倾斜板), 浓相层的高度用料位传感器自动调节, 其传动机头与该公司制造的具有相似处理量的普通浓缩机相同。



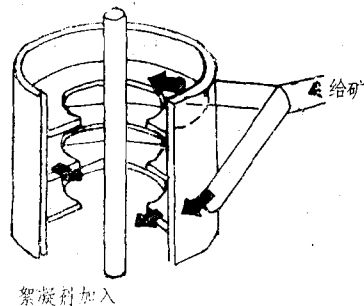
图二 Eimco 高效浓缩机示意图

C. Dorr—Oliver公司最近研制的高效浓缩机构造上与普通浓缩机极其相似, 但具有旋流分散井。(Dynaflow) (图三, 图四)〔3〕

这种给矿井可以最大限度地降低絮凝作用发生后, 由于紊流所引起的剪切力, 可不要求将给矿给入浓相层中。给矿在进入给矿井之前分成相等的两部分, 一半进入上部搁板, 另一半进入底部的搁板, 两部分矿浆的流向相反, 再在其间放置两个互相靠近的搁板, 往搁板间给入絮凝剂的稀溶液, 形成一个剪切流和有效的混合区, 能保证矿浆很好



图三 应用高速桥支柱式浓缩机的高速浓缩系统



图四 旋流分散井

注：絮凝剂由给矿对面的侧壁加入

的絮凝，所得底流浓度与普通浓缩机相等。

上述三种给矿井可以更有效地保证矿浆与絮凝剂良好的混合与絮凝，絮团较少受到破坏，并直接给入浓相层，比过去采用的将絮凝剂给在搅拌器、泵或溜槽中，再流入浓缩机表层的效果要好得多。

在上述三种给矿井中，Eimco高效浓缩机的最复杂，但搅拌速度是可调的，絮凝剂可以按不同比例分点添加，可以更好地适应原料性质和操作条件的变化。

旋流分散井结构最简单，配置最灵活，可以单个或多个配置在浓缩机中心区的不同位置，最容易实现工业化和大型化。

(2) 絮团直接给入浓相层

絮团不再经过长距离的沉降，并充分利用浓相层过滤截留固体颗粒和小絮团的作用。试验证明〔8〕仅此一项即可提高浓缩机的处理量一倍，并获得更清的溢流。但底流浓度有一定程度的降低。

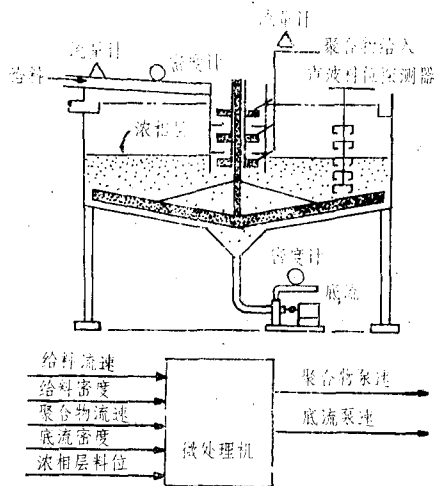
(3) 良好的自动控制

由于颗粒和液体在高效浓缩机中的停留时间大为缩短，固体沉降和液体溢流的速度极快，高效浓缩机必须要有良好的自控。

Eimco高效浓缩机的自控装置图示于图五〔5〕〔4〕。

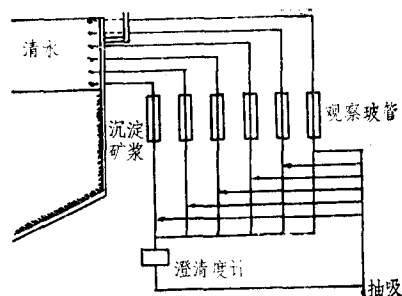
这一控制系统可测量给矿速率，给矿浓度，絮凝剂给入速率，底流浓度和浓相层的料位。测量到的数值转变为信号发给微处理机，微处理机将这些信号换算成给矿速率，加以调控，并据此调节絮凝剂的给入速率。声波料位探测器发出浓相层料位信号，并据此自动地调节底流泵的速率（转数），以保持浓相层的应有位置。

也有仅靠控制溢流质量来控制整个高效浓缩机操作的系统（图六）〔9〕。



图五 Eimco高效浓缩机的自动控制

一组取样点沿浓缩机的边缘以 300 毫米的间隙排列，浓缩机中各个水平的样品通过可观察的玻璃管连续排放。操作工可以看到矿浆线的位置和溢流的澄清度。清水层深度最好保持在 600—900 毫米，并可将适当的样品给入光电澄清度传感器，以便在浓相层矿浆线过份上升时发出警报。连接皮管，最好用透明塑料管。为了操作工观察方便也可将上述取样系统配置在操作台上，用真空系统将各点样品抽至操作台。



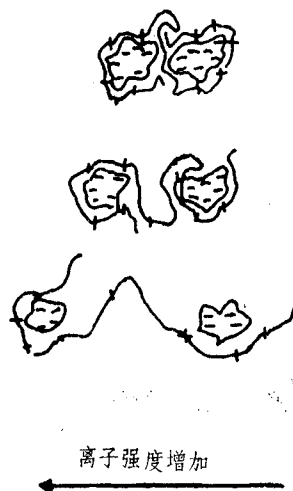
图六 浓缩机监测器

3. 合成高分子絮凝剂的性能和正确使用

既然高效浓缩机是以絮凝技术为基础的，那末絮凝剂的正确选择，工作溶液的配制和合理添加，也就成为高效浓缩机高效而经济工作的另一重要关键。

自从 1955 年美国首先实现了聚丙烯酰胺的工业化生产以来^{[10][11]}，絮凝技术在石油钻井、采矿、化工、建材、选矿、选煤等工业部门获得了广泛的应用，成了一项经济效益和社会效益十分明显的新技术。合成高分子絮凝剂的絮凝效果高出明矾等初级无机凝聚剂上千倍，通常每米³矿浆只要添加 3 克左右，而且对澄清的水质（离子组成和 pH 值）没有影响。

聚丙烯酰胺等合成高分子絮凝剂是聚电解质，在水中溶解和伸展成线性大分子，分子内部含有大量的氢键，其絮凝机理包括表面电性中和和搭桥（桥联）两个阶段^[12]。首先是絮凝剂分子靠着自己的大量氢键，中和固体微粒表面的电荷，并将其吸附，最后以搭桥的方式，把它们絮凝在一起，如图七所示。生成的絮团强度比加明矾等凝聚生成的“矾花”高。



图七. 通过电荷中和及搭桥进行的絮凝
(用一种阳离子型聚电解质捕收净负电荷的颗粒)

固液分离常用的聚丙烯酰胺的分子量为 500 万~2000 万，浓缩用分子量较高的，过滤用较低分子量的。我国目前市场上销售的商品聚丙烯酰胺，分子量多为 500 万左右。

聚丙烯酰胺等合成絮凝剂虽然价格较高（我国目前的价格为 1 万元/吨纯品），但用量少，效果高，在工业中使用，所带来的经济效益远远超过所花费的药剂费用。

1980 年资本主义国家的 15 家大公司，聚丙烯酰胺的总产量为 4.5 万吨，1983 年世界聚丙烯酰胺系列聚合物的产量约 12 万吨^[12]。价格也不断下降，苏联近 10 年来，聚丙烯酰胺的价格下降了一半^[2]。

我国的聚丙烯酰胺的生产也已工业化，大体上相当于国外七十年代的生产技术水

平。全国聚丙烯酰胺的正规生产厂不下30~40家。大连同德化工厂，抚顺化工六厂，哈尔滨化工四厂，广州南中塑料厂，苏州安利化工厂，兰州白银浮选药剂厂等都能生产粉末状聚丙烯酰胺。县办小化厂也能生产胶状聚丙烯酰胺。这些制造厂的生产能力较大，实行以销定产，完全有能力满足市场日益增长的需要。今后主要要努力扩大品种和降低成本。

目前常用的合成絮凝剂类型见表2。

几种单体和聚电解质

表2

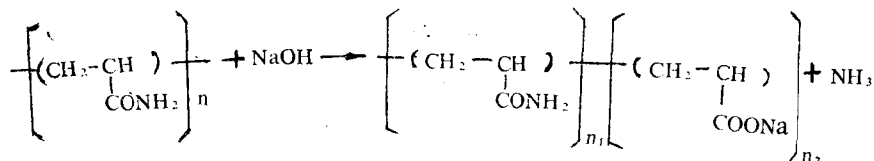
单体	
$\begin{array}{c} \text{CONH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 = \text{CH} \end{array}$ 丙烯酰胺	$\begin{array}{c} \text{O}^- \text{Na}^+ \\ \\ \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{CH}_2 = \text{CH} \end{array}$ 丙烯酸钠
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_4 - \text{N}^+ \begin{array}{l} \text{R}_2 \\ \\ \text{Cl} \\ \\ \text{R}_3 \end{array} \\ \\ \text{CH}_2 = \text{CH} \end{array}$ 聚季胺	
聚电解质	
非离子型	聚丙烯酰胺
$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array} \right]_X$	
	聚氧化乙酰胺
$\left[\text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_X$	
阴离子型	丙烯酸酰胺共聚物
$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{COOH} \end{array} \right]_X \left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array} \right]_Y$	
	聚丙烯酸
$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{COOH} \end{array} \right]_X$	
阳离子型	聚胺
$\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{NH} - \text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH} \right]_X$	
	丙烯酰胺共聚物
$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array} \right]_X \left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{N}^+ \text{Cl}^- \\ \\ \text{CH}_3 \text{ CH}_3 \text{ CH}_3 \end{array} \right]_Y$	
$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{CO} \\ \\ \text{ONa}^+ \end{array} \right]_Y$	

一般矿浆常采用阴离子型絮凝剂进行絮凝，城市污水常采用阳离子型絮凝剂。

阴离子型絮凝剂的另一优点是分子量可以合成得很大^[9]。

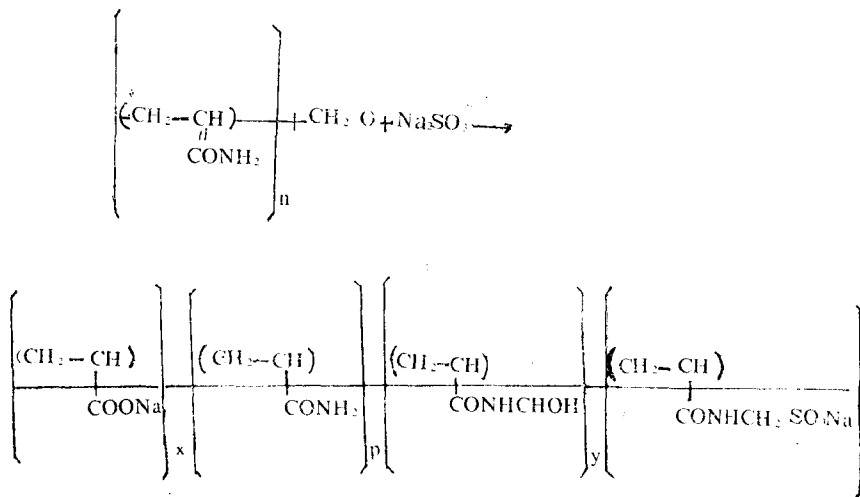
非离子型聚丙烯酰胺（代号PAM）的溶解和絮凝效果都比较差，用作矿浆的絮凝剂之前，常使其先部分水解或磺化，变成阴离子型的絮凝剂再用。

常用的水解方法是加碱处理，获得具有羧基的衍生物（代号HPAM）



适宜的水解度，根据具体试料试验决定，通常以20%为宜，我国制造厂目前出产的，多为这类产品。

常用的磺化方法是加甲醛和亚硫酸钠进行磺化，获得具有磺甲基的衍生物（代号PAMS）。



适宜的磺化度通过小型试验决定，一般以 $40 \pm 2\%$ 为宜。

经部分水解或磺化后的聚丙烯酰胺，在水中的溶解度略有增高。

聚丙烯酰胺及其水解体是低毒的，可用于饮用水的处理，糖汁澄清和水果蔬菜的洗涤等。但丙烯酰胺单体是有毒物质，尤其对哺乳动物的神经有损害。聚丙烯酰胺制造厂应保证残留单体的含量低于0.05%。某些水解体可能有残余的碱性，在装卸使用时，应尽量避免和皮肤直接接触。

初期生产的聚丙烯酰胺系采用水溶液聚合法制得，是含聚丙烯酰胺小于10%的液体和胶体。现在生产的多是聚丙烯酰胺含量高的粉状、片状、粒状和珠状的各种等级的产品。

聚丙烯酰胺的配制是使用过程中最重要的环节。聚丙烯酰胺类聚合物价格高，不但应尽量避免泼撒和浪费，还应有充分的搅拌、混合的时间使聚丙烯酰胺粉末完全溶解和活

化。配制溶液时要仔细地测量粉末量。粉末撒入水中的方法，应使粉末得到各别的湿润。在达到良好的分散之后，仍应长时间的搅拌混合。分子量最高的聚丙烯酰胺需搅2~2.5小时，至少要1小时以上。活化的目的是使絮凝剂分子在稀溶液中充分的伸展。以提高絮凝效果。通常粉末加入水中搅拌不久，混合物就变清了，但聚合物并未完全溶解，更未活化。

聚合物最好溶于干净的软水中，配制溶液的地方应光线充足，易于保持干净。储存粉末和装料的容器应保持干燥。否则粒状和粉末的聚丙烯酰胺的吸水性很强，遇水能迅速膨胀而形成胶团，其溶解速度更慢，一般需6—24小时。

最好采用机械化和自动化的聚合物溶液的制备系统。

图八示出了絮凝剂工作溶液的两段自动制备装置^[10]。

第一段制备成浓度为0.25—1%的溶液，第二段稀释成0.02—0.1%的溶液，再加入高效浓缩机。

制备工作溶液时，搅拌不宜过强，因为强剪切力会引起聚合物的部分降解而降低其絮凝效果。提高水温至45—55°C可缩短所需的搅拌时间和降低所需的搅拌强度。

为了保证使粉末状的絮凝剂能以单个颗粒的态状均匀地分布于搅拌槽的水中而不结块和成胶团，采用图九所示的粉末状絮凝剂的射流分散器^[10]。

为了解决粉末聚丙烯酰胺溶解困难的问题，最近一些国家推出了易溶产品和速溶产品。它们是具有独特的分散和溶解性能的聚合物，溶解速度以秒计。所谓高浓度聚丙烯酰胺乳胶就是这种速溶产品的例子，它由聚丙烯酰胺的微小粒子分散在烃类溶剂中组成的，可以在瞬间溶解，无需特殊的设备和操作要求。这种烃胶乳预计不久将会占领粉末聚丙烯酰胺的大部分市场^[11]。

最近也出现了采用化工厂废料（如生产尼龙丝废料和沥青等）的乳液（乳化产物）作为聚丙烯酰胺的代用品^[29]，取得了成功，节约了费用。

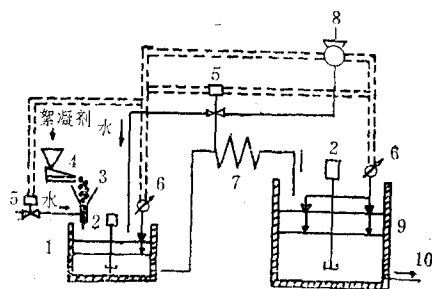
絮凝剂溶液的添加装置，应是自动控制的，能准确而稳定地添加絮凝剂溶液。典型的给药装置如图十所示^[9]。

计量泵（或循环泵）将絮凝剂溶液压缩，经过一个环形主管道，通过高出主管道顶端3~4米的虹吸管，保持主管道中压头恒定，通过流量控制阀和流量计将絮凝剂溶液给到给药点。

（二）深锥浓缩机

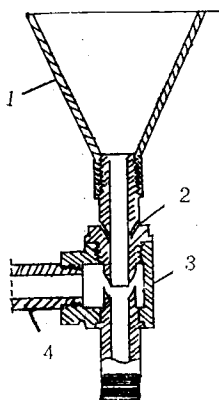
在选煤厂用作尾煤浓缩的深锥浓缩机（图十一）^[9]，也是一种高效浓缩机。

其特点是有很尖的锥角，可以自动排料，有很高的液柱。底流管受到压缩，可以产



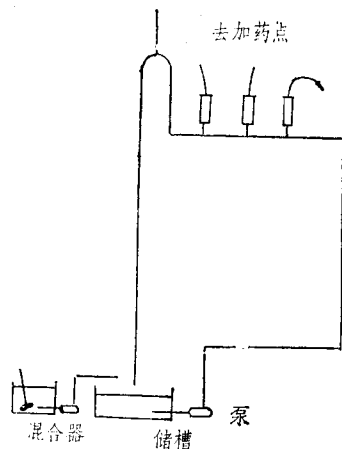
图八 絮凝剂工作溶液的两段自动制备系统

- 1—混合器（容积1~2米³）
- 2—搅拌装置
- 3—分散器
- 4—振动器
- 5—调节进水的闸门
- 6—根据溶液液面自动调节进水的传感器
- 7—水力混合器
- 8—水泵
- 9—成品溶液槽
- 10—成品溶液送出



图九 粉状絮凝剂分散器

- 1—装絮凝剂用的漏斗 2—给入空气
3—气—水喷射器 4—给入水



图十 絮凝剂环形总管

出半固体的塑性浓缩产品(和香肠相似),这就可用皮带运输机运输。通常都是添加分子量很高的(接近2000万)足量的聚丙烯酰胺类絮凝剂使产生“过絮凝”。因为锥角很尖,所以深锥浓缩机的直径较小(否则高度太大),从而澄清能力也小。文献[13]中列出了直径4.2米的标准深锥浓缩机的结构尺寸。

为使深锥浓缩机有效地工作,设有一Cyclops静态搅拌器,可提供理想的搅拌作用,既可保证絮凝剂溶液完全分散在给料中,又可避免形成的絮凝物受到剧烈扰动而被破坏。

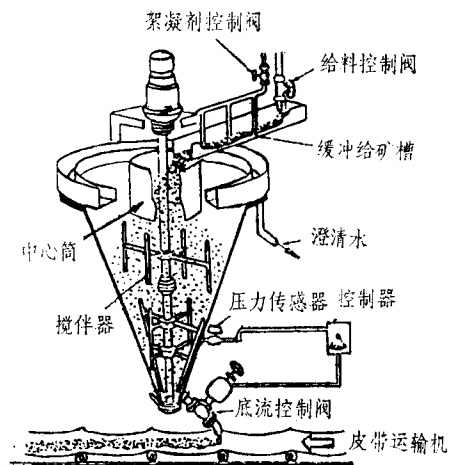
处理尾煤时,澄清溢流量为 $100\text{米}^3/\text{时}$,底流的处理能力达6吨/时干料。

深锥浓缩设备通常由几个圆锥组成,并且必须采取特殊的步骤,使给矿能按质按量地给到各个圆锥中。因为它们的缓冲能力小,深锥不能有效地用于处理量变化大的条件,在某些场合,深锥装置用于处理基本负荷,在高峰时期再加开普通浓缩机。深锥浓缩机的溢流常含有剩余的活性絮凝剂,可以返回普通浓缩机,以加速悬浮液沉淀,但不宜返回浮选作业。

如需要呈流体的底流,只需加极少量的絮凝剂。而且絮凝剂的分子量也可以小些。

深锥浓缩机系英国专利产品。目前我国的选煤厂已有使用。

徐州矿务局夹河矿选煤厂使用的深锥浓缩机,搅拌装置的传动机构设在下部,浓缩



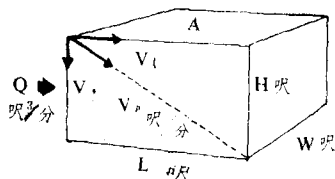
图十一 标准的4米深锥浓缩机

产品用西德制造的转轴泵排出。没有Cyclops装置。

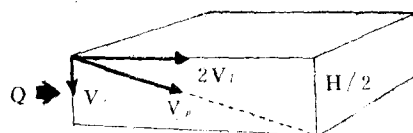
可以考虑采用深锥浓缩机的一些工作原理来改造我国重选厂广泛采用的分泥斗，以提高泥矿给矿浓缩效率。

(三) 薄层浓缩机(或层状浓缩机、倾斜板浓缩机、多渠道浓缩机、槽式浓缩机……等)

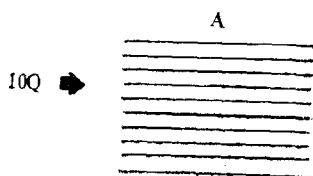
薄层浓缩机(箱)，是以简单的重力分离原理为基础的浅层沉降设备，它具有结构紧凑，操作方便，生产费用低，占地面积少(约占普通浓缩机的10%)的优点。其提高浓缩速率的原理如图十二~十五所示。〔14〕〔15〕



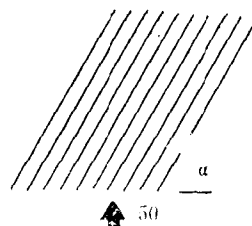
图十二 理想沉淀池



图十三 高度为上图一半的沉淀池



图十四 有十块平行板的沉淀池



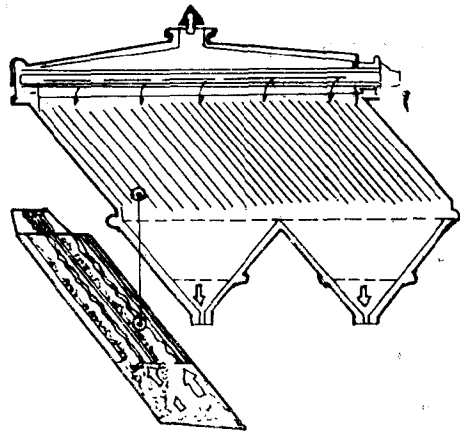
图十五 有十块与水平线成60°的平板沉淀池
(注：图中50应为5Q)

给矿进入槽子的一端，以 V_L 的速度沿长度方向均匀流动，并在另一端排出，同时给矿中的固体颗粒以 V_S 的速度向槽底沉降，颗粒的运动轨迹如向量 V_P 所示。如果颗粒在运动到另一端之前，就沉到槽底，就可以认为固体颗粒从液体中分出而达到了固液分离(浓缩)的目的。如果落底的距离减小为原来的一半(即变为 $H/2$)，则要使同样特性的固体颗粒沉降，给矿流速就可以增大一倍达 $2V_L$ ，生产能力可以提高一倍。同理，如浓缩机中加进平板，使颗粒的沉降落底距离降为原来的 $1/10$ ，则沉降总面积将为 $nA=10A$ ，生产能力即为 $10Q$ (图十四)。但是，在浓缩机中放入平板，将无法连续排出沉淀。一般是倾斜放置浓缩板，此时沉淀面积为 $nA\cos\alpha$ ，如倾角 α 为 60° ，则其处理量将为 $5Q$ (图十五)。这就是倾斜板浓缩机通过增大沉降面积，缩短沉降落底距离，提高生产能力的原理。这一见解并不新鲜，早在1886年英国的豪厄特森便就此登记了专利。〔16〕但要工业化，必须解决一系列技术问题：要沿全部倾斜板表面均匀给料；新给入的矿浆不能与已沉淀的颗粒混杂；沉淀在倾斜板上的固体要能自动向下滑动而不积泥，同时倾斜板的倾角应尽量小，以增大沉降面积；在倾斜板上的浓缩时间短，应有补偿措施；要有一个调整装置来平衡给料的波动，以便取得满意的澄清效果等等。

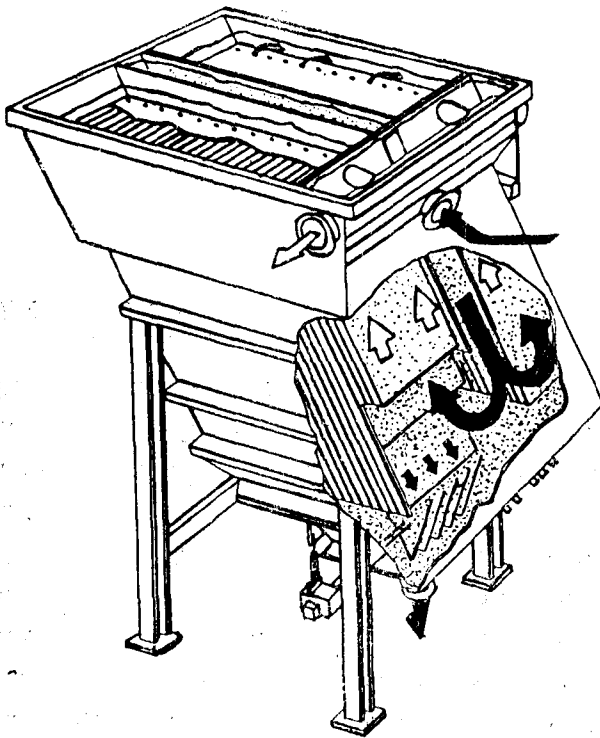
早期的倾斜浓缩箱（图十六）〔17〕不能完全满足上述要求。

近年来瑞典的一些公司研制和生产的拉梅拉（Lamella）浓缩机（箱）（图十七、十八）〔14〕〔3〕则比较全面地达到了上述技术要求。

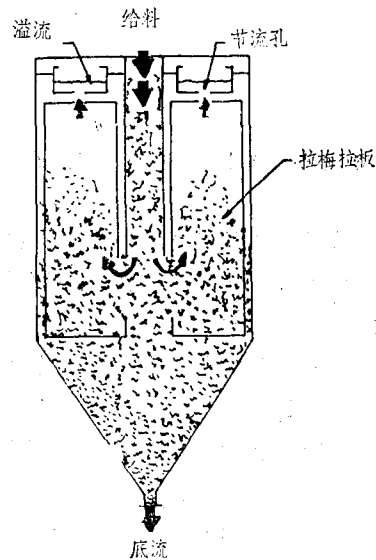
给矿不均匀，会引起某些倾斜板的过负荷而跑浑，瑞典的Axel Johnson Engineering A B公司，采取将倾斜板的上端封闭，每一槽仅开一个直径为13—25毫米的节流孔，强制排出溢流，使倾斜板浓缩箱的横向有50—100毫米水柱的微小压差，实现了均匀布料，而又不会引起导致絮团破坏的过大的紊流。



图十六 Humboldt倾斜浓密器



图十七 为瑞典SALA公司制造“拉梅拉”分离器及其结构



图十八 拉梅拉重力沉淀器（端视图）

为了防止新鲜给矿与已经沉淀的颗粒混杂，给矿槽设在每两组倾斜板之间，给矿进口离开底流排出口有一段距离，给矿从下侧面上升进入倾斜板组。这样一来，澄清区，悬浮液给矿区和浓缩压密区就互相分开，互不干扰。倾斜板上也不容易积泥。

给矿进入口上方这一部份斜板的面积，称为澄清面积（也是计算处理能力和负荷率所采用的计算面积），给矿进入口下方的斜板面积称为浓缩面积。澄清面积和浓缩面积的比例，可以根据给矿特性和工作要求加以调整。

典型的拉梅拉倾斜板宽0.6米，长3米，两板的间距50毫米，倾角45~55°（大比重物料用小倾角），成组配置，架在机壳上，可以单独抽出和放入。

在排料漏斗处，装有振动器。振动由外部振动马达传递到漏斗钢板上的定位孔。马达和定位孔之间用一振轴相联，通过定位孔上的柔性橡胶密封圈传递振动。目的是振动矿浆而不是振动槽子。振动是低频（60赫茨）和低振幅的（约0.2毫米），可促进浓缩、压密和破坏矿泥的假塑性，使底流容易排出。

拉梅拉浓缩机最好也添加絮凝剂，以提高沉降速度，絮凝后的矿泥也更不容易粘结在斜板上。但也可以不加。

拉梅拉浓缩机的操作很简单。唯一要求操作工注意的地方，是控制底流的排出速度。这通常用一个可变速的计量泵来控制。这种泵通过监视漏斗内浓相层位置的探测器自动调速或由人控制。

制作拉梅拉浓缩机（箱）的标准材料是镀有环氧树脂的低碳钢。倾斜板可用聚氯乙烯硬塑料板，玻璃钢，或低碳钢上包一层橡胶制作。

拉梅拉浓缩机与普通浓缩机的基建投资比较如表3^[18]。（以加拿大某钾盐矿为例）

基 建 投 资 比 较

表 3

项	目	拉梅拉浓缩机	普通浓缩机	相	差
槽	子	\$ 173000	\$ 334000	+	\$ 161000
耙	子	\$ 155000	\$ 262000	+	\$ 107000
斜	板 组	\$ 282000	0	-	\$ 282000
厂	房	\$ 137000	\$ 1090000	+	\$ 953000
合	计	\$ 747000	\$ 1686000	+	\$ 939000

〔注〕：费用为1982年四季度的加元，计算误差+20-5%。

因该钾盐矿位于严寒地区，浓缩机必须建于室内，所以普通浓缩机的投资高出一倍多（因为要加盖大得多的厂房），否则两者的投资基本相近。拉梅拉浓缩机建造槽子和耙子所节省的费用，大约等于设置倾斜板所需增加的费用。

倾斜板浓缩机浓缩速度快，占地面积小，是公认的，但旧式倾斜板浓缩机的倾斜板上易积泥，底流浓度小的缺点比较突出。据文献记载，拉梅拉新型浓缩机已能消除这缺点。我国自来水厂也有长期使用斜板、斜管沉淀池的经验，包括类似上述 Lamella 倾斜板浓缩机的“迷宫式”沉淀池的使用经验。水厂一般加凝聚剂，生成的矾花不易沉积在斜板和斜管上。如经试验，矿浆不加絮凝剂也不易积泥，则这种设备用作泥矿给矿的浓缩将是很有前途的，也是一种提高普通浓缩机和分泥斗处理能力的有效改造措施。

薄层浓缩机本是欧州的技术，由于其优越性能，最近也已在美国、加拿大等国得到推广，目前已有1000多台层状浓缩机在世界各地正常地工作着，并有部分代替普通浓缩

机的趋势。

过滤和深度脱水的新方法新设备

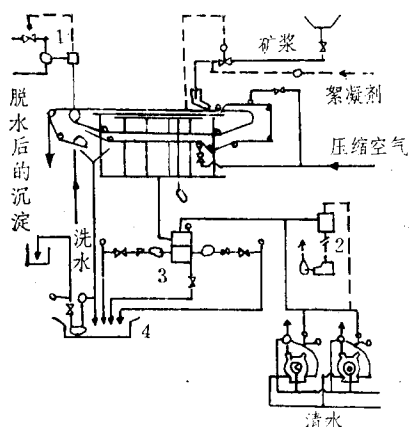
冶炼或加工前对原料进行深度脱水,可以提高冶炼或加工设备的处理能力,降低热耗和延长炉衬及设备寿命,也可以减少运输量和运输损失。细粒精矿采用常规方法脱水,最终水份普遍超过规定,例如目前云锡含锡产品的入炉水份在14%以上,已严重影响到冶炼的经济指标,今后随着选矿微细粒产品比例的增大,问题将越益严重。因为过滤时的比滤阻 $\propto \frac{1}{d^2}$ 〔12〕,所要过滤的物料粒度越小,比滤阻即急剧增大。采用微细

含锡物料的热力干燥,可以解决这一问题,但基建投资大,经营费用高,污染环境,不是理想的解决办法。国外近年来采用了一些深度脱水新的技术,在工业上实现了两段脱水,取消了干燥作业,较常规的浓缩—真空过滤—热力干燥的三段脱水流程,基建投资降低一半。经营费用降低60%〔19〕。

1982年底在印度召开的第九届国际选煤会议,有19个世界产煤国家参加,与会专家对浮选产品的脱水、废料的回收利用和环境保护密切相关的现代工业深度脱水方法和设备进行了讨论和评价〔20〕。

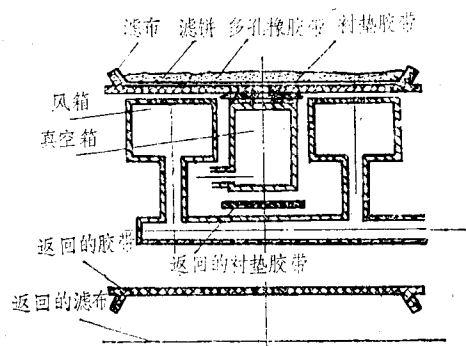
(一) 带式真空过滤机

见图十九、二十,西德《戴尔卡—维什尔赫尔特》公司制造的24B II V型移动带式过滤机已在某选煤厂中正常工作了8年。该过滤机有一条无端的输送带(运动着的胶带),输送带上有许多横向排液沟和纵向通孔(每个排液沟有一个通孔)用以收集和排出溶液。由传动轮张紧和液压传动装置带动,并带动多孔输送胶带上的尼龙滤布一起运动。带的上部工作部份沿空气垫移动,仅是在真空范围内才紧贴在不动的零件上。但是即使在这些地方,因磨擦引起的磨损也转移到输送带下面的耐磨的磨光的窄衬垫胶带上。衬垫胶带与输送带一起运动。磨损后可以很快更换。



图十九 带式真空过滤机脱水原则工艺流程

1, 2—相应的水力传动装置及闸门
3—真空箱 4—滤液筒



图二十 水平带式过滤机横向剖面示意图