

分类号.....

密级

U D C

编号

中南大學

CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

硕士学位论文

论文题目 陶瓷过滤机在凡口矿精矿、

尾砂脱水的应用研究

学科、专业 矿物加工

研究生姓名 罗 升

导师姓名及

专业技术职务 胡岳华 教授

摘 要

精矿脱水是几乎所有选矿厂一道必不可少的工序，随着矿物嵌布粒度的日益细化，高效的脱水技术已经受到选矿行业的日益重视。

凡口铅锌矿是我国大型铅锌矿山，由于方铅矿、闪锌矿的嵌布粒度很细，尤其是方铅矿，铅粗泡磨矿细度达到-40 微米占 90%，导致铅精矿的-20 微米含量高达 91.92%，加之铅锌分离采用高碱工艺，铅、锌精矿的粘度大，这两个原因导致了精矿过滤十分困难。

本研究在大量的文献资料的基础上，分析了各种过滤设备的原理、适用性，最终选择芬兰奥托昆普陶瓷过滤机作为解决铅、锌、硫精矿的脱水的主体设备，选择国产陶瓷过滤机作为分级尾砂的脱水设备，成功解决了凡口铅锌矿长期存在的精矿脱水问题和分级尾砂的脱水问题。

研究工作主要包括三个方面的内容：（1）进口陶瓷过滤机的试验室试验和工业试验；

（2）进口陶瓷过滤机陶瓷板堵塞机理研究和清洗方法研究；（3）国产陶瓷过滤机过滤分级尾砂的试验室研究和工业试验研究。

研究的主要结论如下：

1、小型试验表明，陶瓷过滤机可以得到水分含量低的滤饼，对铅精矿而言，水分由 12.5%下降到 10.79%；对锌精矿而言，水分由 13.37%下降到 10.81%；对硫精矿而言，水分由 14.21%下降到 11.10%。给料浓度增大，处理量及滤饼水分亦随之增加，如果以 10%作为合格滤饼水分含量，那么对应的浓度不能高于 75%，如果以 9%作为合格滤饼水分含量，那么对应的浓度不能高于 72%；随着矿浆液位的升高，滤饼水分也逐渐提高，处理量增大。结合生产及产品出厂水分要求，确定最佳矿浆液位为 76%--86%，实际设定值为 $80 \pm 5\%$ 。转速率增加，处理量增加，当转速从 50%上升到 80%时，处理量逐渐增大到最大值，转速超过 80%，处理量反而略有下降，主要是滤饼形成时间缩短所致，确定 80%左右的转速为最佳圆盘转速。

2、石灰-草酸-硝酸三种化学药剂与超声波结合使用的新方法，解决了陶瓷板清洗难问题。该方法可以对锌精、混精和铅精陶瓷过滤机的清洗效果良好，微孔还原率分别达到 100%、98.26%和 96.65%。例外的是硫精，还原率只能达到 89.37%。

3、用进口陶瓷过滤机可以节约能耗、降低滤饼水分，取得明显的经济效益。真空过滤机精矿脱水的能耗为 6.405KWh/t，陶瓷过滤机的精矿脱水能耗为 2.116 KWh/t，后者的能耗是前者的 35%，下降 65%。按年处理原矿 120 万吨计算，每年可节约电耗 514.68 万千瓦小时，按每千瓦小时 0.6 元计算，年节约成本 308.08 万元。水分减少，运输过程中的途耗减少，按 13 万吨金属量计算，途耗每减低千分之一，金属损

失减少 130 吨，增加利润 52 万元。据统计，由于水分下降，途耗下降了千分之二到三，因此增加利润 104 万元到 156 万元。能耗下降和滤饼水分降低可以直接得到经济效益 412.08 万元到 464.08 万元，此外过滤车间实现清洁生产，矿区污染减少，带来一定的环境效益。

4、分级尾砂可以采用国产陶瓷过滤机，小型试验表明 BST 和 HTG 两种国产陶瓷过滤机均可以用于分级尾砂的脱水。BST 型陶瓷过滤机的最佳给料浓度为 57-65%，HTG 型陶瓷过滤机的最佳给料浓度为 55-65%，在此条件下，它们都可以满足处理能力和滤饼水分的要求，考虑到 HTG-45 在中国有三家用户正在运行，工业生产采用了一台 HTG-45 陶瓷过滤机用于分级尾砂的脱水，HTG-45 经过工业调试和稳定运行，处理能力达到 40.72t/h，滤饼水分达到 11.14%，基本满足分级尾砂脱水的需要。

关键词：过滤，脱水，精矿，陶瓷过滤机，毛细孔

The application study of ceramics filter on concentrate and tailing classified

Abstract

Concentrate dewatering is a necessary procedure for any mineral processing plant, because the particle size of mineral become finer, the high dewatering technology becomes more and more important

FanKou Lead-Zinc Mine is a large scale lead-zinc mine. There two factors make the concentrate dewatering very difficult, one is the galenite and sphalerite is very fine, especially galenite, its grinding size is about 90% minus 40 micrometer, which leading to the content of 90% minus 20 micrometer in galenite concentrate, the other is high PH value technics used in lead-zinc separation, which lead to high viscosity of the pulp.

On the base of great amount conference, the researcher analyse the principle and applicability of all kind of filter equipment, and select the ceramic filter made in Outokumpu, Finland as dewatering equipment for lead concentrate, zinc concentrate and sulphate, and choose the ceramic filter made in china as dewatering equipment for the tailings classified. The application of the ceramic filter solved successfully the technic problem existed in concentrate dewatering in FanKou Lead-Zinc Mine.

The research work included three, (1) small scale test and industry experiment with import ceramic filter, (2) the study on jam principle and laundering methods of ceramic filter with import ceramic filter, and (3) the laboratory and industry research of the ceramic filter made in china used for the dewater in tailings classified.

The main conclusions show as follow:

1. The laboratory experiments showed that the ceramic filter can decrease the moisture of filter cake from 12.5% to 10.79% , from 13.37% to 10.81% and 14.21% to 11.10% respectively for lead concentrate, zinc concentrate and pyrite concentrate. the higher the feed thickness, the higher the capacity and the moisture. if 10% and 9% moisture is respectively the standard of the cake, then the feed thickness must be less than 75% and 72% respectively. the higher the pulp level, the higher the capacity and the moisture. combining the moisture standard and the capacity of filter, the optimum pulp level was choosed as 76-86%. the rotate speed of the drum increased, the capacity increased synchronously, the maximum capacity was taken place at 80% rotate speed.

2. the difficult cleaning problem of ceramic filter was solved by the new method of chemicals and ultrasonic, the chemicals include lime, oxalic acid and nitric acid. in this method the fine particle revivification ratio is 100%, 98.2% and 96.65% respectively for zinc, mixture and lead concentrate, pyrite concentrate is exceptional, the fine particle revivification

ratio is 89.37%.

3. Obvious beneficiation can be acquired by using import cemermic filter because of it's low energy consumption and low moisture.the energy consumption using cemermic filter for contentrate dewatering is 2.116kw/t compared with common vacuum filter,therefor the mineral processing plant save the cost about 3 million Yuan。 Because moisture decrease,the route consumption of concentrte decrease during trasportatione,the profit thousands was aquired as concentrate consumption decrease 130 tone every year.

4. Chinese cemermic filter can be adopted for classified tailings dewatering,the laboratory test showed that two kinds of cemermic filter, BST and HTG,all can be used for tailings dewatering.Under the optimal feed thickness of 57-65% and 55-65% respectivly for BST and HTG,they all can satisfy the demands of capacity and moisture.considered that HTG-45 cemermic filters have been used in china, the industry production selected one HTG-45 cemermic filter.During stable operation the capacity was 40.72t/h,and the moisture of cake was 11.14%, which satisfied the demand of dewatering.

Key Words: filter, dewartering, concentrate, cemermic filter, capillary

目 录

摘 要	I
Abstract	III
第一章 前 言	1
1.1 脱水在选矿的重要性	1
1.2 课题的来源和意义	2
第二章 文献综述	3
2.1 过滤概述	3
2.1.1 过滤方法.....	3
2.1.2 过滤介质.....	4
2.1.3 滤饼特性.....	4
2.2 过滤设备	5
2.2.1 重力过滤.....	6
2.2.2 真空过滤.....	7
2.2.3 加压过滤机.....	9
2.2.4 离心脱水.....	10
2.3 过滤机过滤原理	10
2.3.1 压滤机工作原理.....	11
2.3.2 过滤机的选择和计算.....	13
2.4 陶瓷过滤机工作原理	15
2.4.1 精矿的脱水设备.....	15
2.4.2 陶瓷过滤机工作原理与节能机理.....	17
2.5 凡口铅锌矿精矿脱水存在的问题	21
2.6 国产陶瓷过滤机简介	22
2.7 全尾砂脱水技术与分级尾砂脱水技术	23

2.8 真空过滤机过滤分级尾砂存在的问题	24
2.9 过滤技术的发展方向	25
第三章 精矿过滤研究	26
3.1 陶瓷过滤机过滤精矿试验研究	26
3.1.1 试验设备.....	26
3.1.2 物料性质.....	26
3.1.3 陶瓷过滤机小型试验.....	27
3.1.4 等处理量真空过滤机与陶瓷过滤机对比试验.....	28
3.2 陶瓷过滤机工业试验研究	29
3.2.1 工业试验流程.....	29
3.2.2 陶瓷过滤机给矿浓度试验.....	30
3.2.3 陶瓷过滤机矿浆液位试验.....	31
3.2.4 陶瓷过滤机最佳转速试验.....	33
3.3 陶瓷过滤机工业应用效果	33
3.3.1 精矿水分.....	33
3.3.2 经济效益指标.....	34
3.4 小结	35
第四章 国产陶瓷过滤机过滤分级尾砂试验研究	36
4.1 试验研究设备、仪器	36
4.2 分级尾砂物料性质	36
4.3 分级尾砂过滤试验研究	37
4.3.1 BST-6 过滤试验.....	37
4.3.2 HTG-1 过滤试验.....	39
4.4 分级尾砂过滤工业试验流程	41
4.5 工业调试结果	41
4.5.1 陶瓷过滤机性能指标.....	41

4.5.2 耗酸指标.....	43
4.5.3 国产陶瓷过滤机存在的问题.....	43
4.6 小结	43
第五章 工业陶瓷过滤机的清洗试验研究	45
5.1 试验设备、仪器、药剂	45
5.2 物料的粒级组成分析	45
5.3 化学清洗机理探讨	46
5.3.1 简单酸洗.....	46
5.3.2 氧化酸洗.....	46
5.3.3 草酸清洗.....	47
5.3.4 物料预先处理.....	48
5.4 陶瓷过滤机清洗试验	48
5.4.1 清洗方法.....	48
5.4.2 清洗周期试验.....	48
5.4.3 清洗效果.....	49
5.5 小结	49
第六章 结 论	50
参 考 文 献	52
致 谢	54
在学期间主要研究成果	错
误！未定义书签。	

第一章 前 言

固液分离技术广泛用于冶金、矿山、化工、建材、石油等国民经济的各个行业。随着国民经济的飞速发展，固液分离技术日益受到重视。

精矿脱水是固液分离技术在选矿行业的具体应用，我国的有色、黑色、煤炭和非金属四种矿物加工行业中，绝大部分采用湿式分选作业，因此，精矿脱水成为选厂不可或缺的工序。以我国的有色金属矿山为例，2002 年 10 种有色金属精矿产量为 2000 万吨，它们中的绝大部分需要脱水。如果以黑色金属为例，2002 年我国产铁精矿 1.5 亿吨，精煤的年产量更高。所以精矿脱水技术面临一个巨大的市场，降低脱水能耗、提高生产效率受到选矿行业的高度重视。

选矿是一种粗加工，受销售价格的影响，一直十分注重每道工序的作业成本。精矿脱水是成本控制的重要工序，也是影响后续冶炼能耗的重要工序，因此它既影响选厂的成本，也影响冶炼能耗和中途运输的损耗。

随着矿山开采时间的增加，大部分矿山的矿物嵌布粒度向细的方向转化，它既影响分离工序，也对精矿脱水工艺和设备产生了坏的作用。精矿粒度越细、粘度越大，脱水的难度越大、成本越高。因此寻找新的工艺和设备取代传统的工艺和设备成为选矿技术重点发展方向之一。此外，尾砂充填工艺中同样采用的是 PZG-68m² 圆盘真空过滤机，除上述问题依然存在，由于粒度粗，真空损失经常使过滤机处理能力不足，甚至出现倒耙等问题。

1.1 脱水在选矿的重要性

脱水是选矿的最终工序，也是一道十分重要的工序，精矿含水率越低，冶炼消耗的能量越小。表 1.1 列出了某铁矿的生产实际数据^[1]，精矿水分对造球有重大的影响，从表 1.1 以看出水份含量越高，烘干能力越差，从水份 9.5%上升到 11.1%，尽管只上升了 1.6%，或者相对上升 16.84%，烘干能力却从 75t/h 下降到 36t/h，下降了 39t/h，相对下降的幅度达到 52%。可以肯定烘干能力下降的速度远高于水份上升的速度。因此，过滤水份的高低直接关系到后续冶炼的能耗。

表 1.1 精矿水分对球团系统的影响

精矿-74 微米含量 /%	78	84	87	89	91
水分范围/%	9.5-10.2	10.2-10.5	10.5-10.8	10.8-11.1	>11.1
Tfe/%	63.50	64.00	64.60	65.50	66.00
烘干能力 t/h	75	68	60	52	36

另一方面运输中的途耗也与精矿水分直接相关，以凡口铅锌矿为例，1994 年以前，铅精矿、锌精矿、硫精矿的水分含量分别为 9.88-10.22%、10.20-10.52%、11.77-11.78%，铅、锌精矿从凡口铅锌矿火车运送到韶关，运输距离为 55km，途耗分别为 1.05%和

0.84%，折合金属量为 500 吨和 600 吨，总的经济损失约为 400 万元，如果从凡口用火车运送到株州冶炼厂，由于运输距离长损失更大。因此脱水作业对精矿运输十分重要。此外，高含水量的精矿在北方的冬天容易结冰，造成卸车困难。

1.2 课题的来源和意义

凡口铅锌矿是我国大型铅锌生产矿山，原矿中铅、锌、硫品位高，矿物在形成过程中相互沿晶粒间隙或裂隙解离充填溶蚀交代，嵌布粒度极细，共生关系密切。由于矿物的这种特性，采用细磨——高碱（ $\text{pH}>12$ ）的选矿工艺，为了使矿物达到充分单体解离，原矿二段的磨矿细度为 88%-0.074mm，铅粗泡再磨的磨矿细度为 90%-0.04mm。由于磨矿粒度细，使得三种产品的粒度很细，其中铅精矿-0.040mm 粒级占 97.98%，锌精矿-0.074mm 粒级占 96.97%，硫精矿-0.074mm 粒级占 98.92%，混合精矿-0.074mm 粒级占 96.67%。如此细的精矿粒度以及精矿的强碱性带来的高粘度，给固液分离带来了极大的困难。

旧的固液分离采用真空圆盘式过滤机，过滤指标较差。这主要表现在滤饼水分高，如铅精矿的水分高达 13%，硫精矿高达 12%。如此高的水分使得精矿运输时损失严重，从选厂运输到株州冶炼厂，约 620km 的距离，途耗达到 2%，年损失金属量为 2000 吨，经济损失巨大。另一方面，真空过滤机能耗高，每台 68m² 的真空过滤机驱动功率和真空泵功率之和为 90KW，处理量约为 10t/h·台，单位处理量的能耗高，因此生产成本高。

为了解决这一生产实际问题，90 年代初开始着手过滤工艺和设备的引进、研究、消化、吸收。首先引进了芬兰 LAROX 公司的立式压滤机，生产运行结果表明，该种压滤机并不能解决水分、处理能力的问题，且生产中出现频繁的机械故障，因此无法得到工业推广。

基于上述原因，凡口铅锌矿从 1995 年起开始考虑用先进的过滤设备取代真空过滤机。先后引进 4 台由芬兰奥托昆普明太克公司研制生产的陶瓷过滤机，分别用于过滤锌精矿（CC-45）、硫精矿（CC-45）、铅精矿（CC-15）和铅锌混合精矿（CC-15），从而完全取代了原有的 PZG-68m² 普通圆盘真空过滤机。

2002 年，由于分级尾砂充填试验的成功，PGZ 真空过滤机不能解决分级尾砂过滤问题，因此寻找合适的过滤设备也变成急需解决的生产实际问题，国产陶瓷过滤机的应用研究显得十分重要，与进口过滤机相比，它可能大幅度节约固定资产投资和运行成本。

进口陶瓷过滤机用于精矿脱水和国产陶瓷过滤机用于分级尾砂脱水这一课题来源于凡口矿的生产实际，是凡口矿的重大研究课题，对凡口矿的节能降耗，提高经济效益具有重要意义。

第二章 文献综述

2.1 过滤概述

过滤是从流体中分离固体颗粒的过程，基本原理是：将液固两相的混合物给到多孔隙的介质（即过滤介质，一般用过滤布等）的表面，在压力差的作用下，液体通过介质，而固体颗粒残留于介质上，实现固液分离。残留在介质上的固体颗粒称为滤饼，通过滤饼层和介质层的液体称为滤液。

工业固液分离的目的可能需要脱水后的滤饼，也可能是澄清的滤液。矿山的精矿过滤的目的是得到水分合格的滤饼。污水处理的目的是得到固体含量合格的澄清滤液。以滤液为产品的过滤机一般比以获得滤饼为产品的过滤机容易操作。对于经过初步浓缩脱水的细粒物料进一步脱水，目前最常用的方法就是过滤。与其他干燥等固液分离方法相比，过滤消耗能量是较低的。

2.1.1 过滤方法

工业上应用过滤的方法，按照过滤动力的不同，可分为四大类型。

（1）重力过滤

该类过滤属于床层过滤，其特点是固体颗粒的沉积发生在较厚的粒状介质床层内部。悬浮液中的颗粒直径小于床层孔直径，当颗粒随流体在床层内的曲折孔道中穿过时，便粘附在过滤介质上。这种过滤适用于悬浮液中颗粒甚小而且含量甚微的场合。例如自来水厂里用石英砂层作为过滤介质来实现水的净化。最原始的布袋过滤也属于重力过滤，它利用液体的重力和滤布对颗粒的阻碍实现固液分离。

（2）真空过滤

利用真空泵造成过滤介质两侧有一定的压力差，在此推动力作用下，悬浮液的液体通过滤布，而固体颗粒呈饼层状沉积在滤布的上游一侧。该法一般适于处理液固比较小而固体颗粒较细的悬浮液。

（3）加压过滤

过滤推动力为正压力的过滤方法称为加压过滤。加压的方法之一是利用压缩空气或高压水充入装在滤室一侧或两侧的隔膜，借助于隔膜膨胀而均匀压榨滤饼。另一

种加压方法是直接对固液两相体加压,如带式过滤机。加压过滤的优点是可以产生 1 个大气压以上的过滤推动力,与真空过滤机相比,推动力没有理论上的限制,加压过滤一般适于处理细粒粘而难过滤的物料。近几年又发展了加压—真空组合式过滤。

(4) 离心过滤

利用离心力作用,使悬浮液中液体被甩出,而颗粒被截留在滤布表面,离心力场可以提供比重力场更强的过滤推动力,分离因素可以达到 3000 以上。适于处理固相为微米级、亚微米级甚至纳米级的固液两相体。

2.1.2 过滤介质

过滤介质是过滤过程中不可缺少的基本条件,常用过滤介质的种类很多,主要的可分为三类:

(1) 粒状介质

如细砂、石砾、玻璃渣、木炭、骨炭、酸性白垩等。此类介质,颗粒坚硬,可以堆积成层,颗粒间的细微孔道足以将悬浮固体截留,而只允许液体通过。例如城市和工厂给水设备中的砂滤池就是应用这类介质构成的。

(2) 织物介质(或称滤布介质)

是用天然的或人造的纤维编织而成的滤布。所用材料有棉花、麻、羊毛以及各种人造纤维与金属丝等。此类介质应用最广,其中尤以棉织帆布、尼龙类人造纤维、毛织呢绒等在选矿厂使用最普遍。

(3) 多孔陶瓷或塑料介质

试验室中的砂滤器及饮水用的特制滤缸就用此类介质

2.1.3 滤饼特性

过滤的目的在于得到含水较低的滤饼或不含固体的滤液。按性质差异,滤饼可分为两类,即不可压缩滤饼与可压缩的滤饼。前者由不变形的颗粒所组成,矿物晶体就属于此类。后者由无定形的颗粒所组成,主要的为胶体滤渣,如氢氧化铝以及各种水化沉淀物等。不可压缩的滤渣积聚在过滤介质上形成滤饼时,各个颗粒的相互排列位置,粒子间的孔道,均不会因为压力的增加而发生较大的变化。但在过滤可压缩性滤渣时,粒子与粒子间的孔道压力的增加而显著地变小,因此对滤液的流动发生阻碍作用。

选矿厂的精矿滤饼如不含有具备特殊回收价值的成分时,一般很少洗涤。但在水冶(如电解铜、锰等)厂里滤饼要经过洗涤,以便充分回收滤液,并使滤饼更加纯洁,既可保证产品质量又可得高对有用成份的回收率。

对于可压缩的滤饼,当过滤压强增大时颗粒的孔道变窄,有时也因颗粒过于细密而将通道堵塞。遇此情况可将一些粒度较粗的物料混入悬浮液中,改善料浆性质,形成较

疏松的滤饼，提高过滤效率。这些混入的物质可以是同成份的物料，也可以是其他物料或药剂，统称为助滤剂。在国民经济的各个领域，包括冶金矿山、化工、石油等领域，脱水是不可缺少的。金属、非金属矿山脱水作业相对于分离作业来说虽然不是主要作业，但是却是绝对不能少的。尤其是当矿石的嵌布粒度越来越细，磨矿、分离作业的矿石粒度相应下降，分离出来的有用矿物越来越细，那么过滤的难度在逐步增加，尤其是含有大量细泥的精矿，过滤作业变得越来越重要，有时甚至达到了影响选矿厂生产能力的地步。因此，过滤技术受到了矿山的高度重视。

工业过滤机的出现及应用比较早，种类也很多。按照过滤推动力的来源不同，过滤机可以分为四大类型，即真空过滤机、压滤机、磁性过滤机和离心过滤机。按照设备的形状及结构特点，又可细分为表 2.1 所列的各种型式的过滤机。

随着工业生产和技术的进步，近几年国外过滤机不断向大型化方向发展，机体的结构不断地改进和完善，新型的高效率、高产量的过滤机如自动压滤机、大型盘式过滤机和水平带式过滤机等相继出现和应用，促进了过滤技术和设备以较快的速度向前发展。美国最大的盘式真空过滤机面积已达 400--800 米²，带有蒸汽罩的盘式过滤机最大规格为 220 米²。近几年还出现了水平盘式过滤机，其处理能力大，滤饼水份低，是较好的过滤设备之一。传统的圆筒型真空过滤机也向大型发展，其最大直径已达 8.5 米。

我国金属矿山选矿厂目前使用的过滤设备大多为筒型真空过滤机。近几年已开始使用大型盘式、折带式 and 绳带式过滤机。国产 1000 毫米宽的带式压滤机的研制成功，为解决我国细粘物料的脱水问题提供了新的途径。近几年我国除了发展新产品外，对原有的筒式真空过滤机规格进行了系列化整理，增补了新的规格；目前又生产了 30 米²的和 40 米²的无格折带过滤机。磁滤机也有发展，除整顿了原有的 12 米²机型外，新添了 8 和 20 米²两种规格。）

2.2 过滤设备

过滤设备是一个很大的家族，设备的型号十分繁多，但是，依据过滤推动力来划分有四大类，即重力过滤、真空过滤、压力过滤和离心过滤，各种典型的设备列于表 2.1^[2]。

表 2.1 过滤设备的划分

1. 重力过滤	砂层过滤 袋式过滤		
	间歇式	压滤机	板框式 箱 式
		加压叶片	静止叶片 旋转叶片
		微孔板	新式过滤机

2. 加压过滤		微孔管		
	连续式	转鼓式 叶片式 旋转压滤机		
		压榨脱水机	辊带式 旋转式 V 型盘式	
3. 真空过滤机	间歇式—叶片过滤机等			
	连续式	转鼓式	有格 无格	刮刀卸料 辊卸料 绳索卸料 带卸料 顶部卸料 底部卸料
		垂直旋转叶片 水平旋转园盘 水平移动带式 水平倾覆盘		
4. 离心力过滤	立式			
	卧式	自动推料 刮刀卸料		

各种过滤机，由于过滤原理不同，结构形式和工作方式不一，因此不同的过滤机有不同的特点，其用途也不尽相同。针对不同的过滤设备，对它们的用途和适应范围分述如下。

2.2.1 重力过滤

重力过滤有袋式过滤和床层过滤

袋式重力过滤常用于生产率低、容许时间很长的场合，它的操作方式十分简单，将固液两相体装入布袋做成过滤装置，在重力的作用下液相穿过滤布，实现简单的固液分离。这种方法简单，但是生产效率低，不适合大规模工业，很多时候适合于手工作坊式场合。

床层过滤主要用于固液两相流中固含量较低的场合。过滤介质有可能是砂石、活性炭、甚至粉煤灰。采用床层过滤一般是滤液要求澄清度高，如饮用水的过滤。床层过滤介质的作用不仅仅阻碍固体颗粒的通过，很多时候由于介质强的物理吸附作用，将固体颗粒吸附在介质上，如活性炭作为过滤介质，由于它具有高的空隙率，可以吸附微细颗粒，因此广泛用于废水的处理。

2.2.2 真空过滤

真空过滤机有间断式和连续式两种。

间断式真空过滤机其实是某些具有真空设施的过滤装置，如真空过滤槽和真空抽滤槽，它们适合于回收滤液的场合。其特点是设备简单，投资少。不足之处是工作强度大，自动化程度低^[3]。

连续真空过滤机主要有外滤式真空过滤机、内滤式真空过滤机、圆盘式真空过滤机和倾覆盘式过滤机。连续真空过滤机是冶金矿山的常用设备，广泛用于有色金属、黑色金属等行业的精矿过滤。

图 2.1、2.2、2.3 和 2.4 分别是外滤式真空过滤机、内滤式真空过滤机、圆盘式真空过滤机和倾覆盘式过滤机的简图。

图 2.1 是外滤式真空过滤机示意图，真空转鼓 1 在驱动部件 3 的驱动下转动，真空分配头 5 与转鼓的抽滤、洗涤、抽干、反吹室相通，存于储液槽的固液两相体与转鼓的抽滤室相通，固体颗粒被吸附在转鼓的过滤介质上，随着转鼓的转动，吸附在介质上的颗粒被带到抽干室，该室依然处于真空状态，残余水分继续穿越滤饼、介质达到降低水分的目的，转鼓继续旋转，滤饼被带到反吹卸饼区，滤饼在正压作用下得到疏松，被刮刀或其它装置卸下，完成卸料后的介质进入洗涤区，反冲洗水清洗介质，重新进入抽干区，如此循环，达到连续分离固液的目的。

外滤式真空过滤机一般实用于颗粒沉降速度较慢的物料，且滤饼与滤布容易分离的场合。颗粒沉降速度过大且容易沉淀的物料、滤饼透气性好的物料不宜采用此种过滤方法，前者容易压槽，后者真空损失大且滤饼容易脱落。

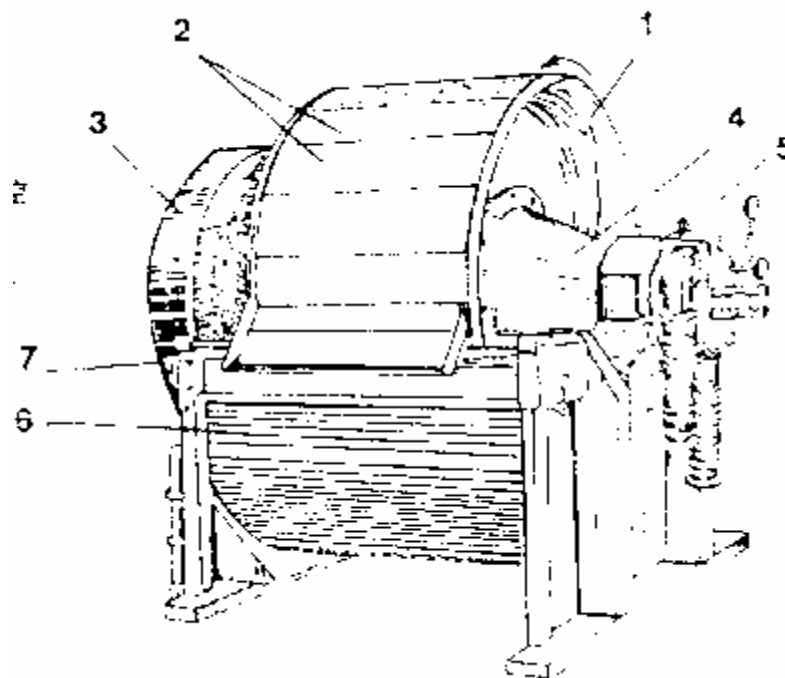


图 2.1 外滤式真空过滤机

1 真空转鼓；2 单元滤室；3 传动机构；4 真空转鼓；5 真空分配头；6 矿浆槽；7 刮刀；

图 2.2 是内滤式真空过滤机示意图，工作原理与外滤式真空过滤机相似，不同之

处是在滤饼形成于转鼓内侧，料浆直接给到过滤介质上，经过抽滤室、抽干室后滤饼运动到顶布，在重力和刮刀的联合作用下，滤饼脱落，由相应的输送装置将滤饼送出过滤机。

内滤式过滤机用于颗粒粒度较粗的场合，不必担心颗粒沉降速度太快而产生压槽的现象。其缺点是有效过滤面积小，对物料的疏松性有严格的要求，既不能太容易疏散掉入料浆中，也不能与滤布结合太紧密而导致无法卸料。

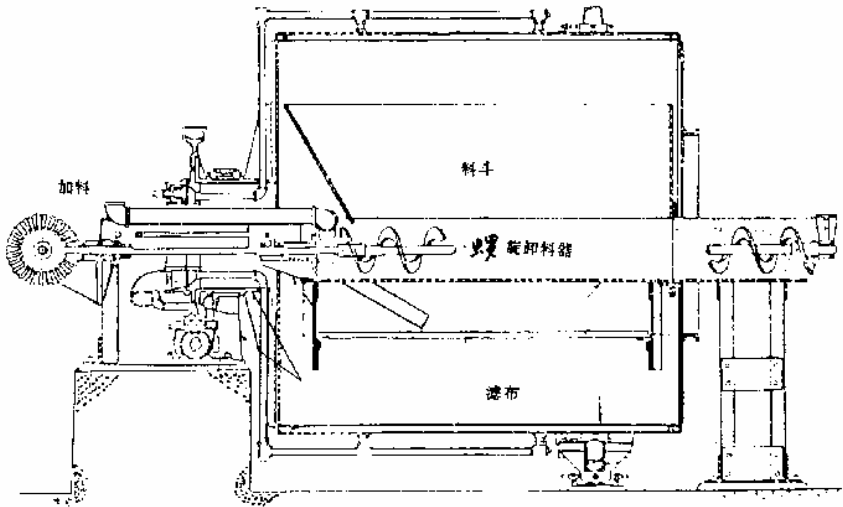


图 2.2 内滤式真空过滤机

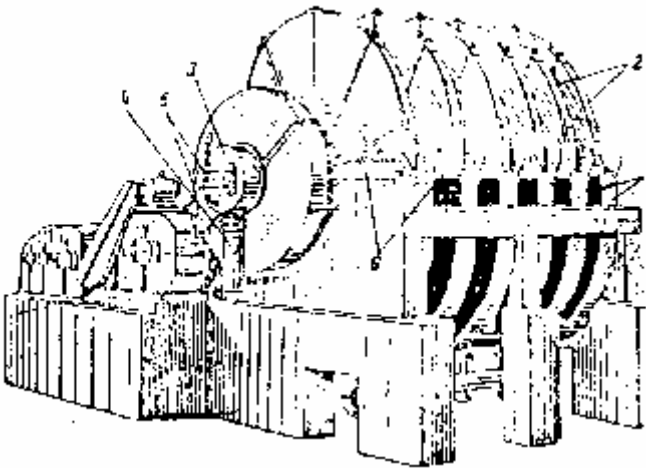


图 2.3 圆盘式真空过滤机

1 料槽；2 过滤叶片；3 真空分配头；4 真空管；5 滤液抽出管；6 刮刀

图 2.3 是圆盘式真空过滤机示意图，过滤原理与外滤式真空过滤机相似，不同之处是转鼓由圆盘取代，一个圆盘相当于一个转鼓。真空分配头 3 与每个叶片上的抽滤室、抽干室、反吹室和洗涤室相通，介质吸附矿浆——抽滤——成饼——抽干——反吹卸料——滤布清洗，其工作程序与外滤式真空过滤机一致。与之不同的是轴向分布的圆盘的占地面积远小于外滤式真空过滤机，因此相同过滤面积的圆盘式真空过滤机的面

积是外滤式真空过滤机的 1/3 甚至更小。

1997 年以来, 由于 ZPG 盘式真空过滤机的研制成功, 我国的大型铁矿如承德、鞍山、酒泉等相继采用, 使铁精矿的水分下降了 2%^[4, 5]。

真空圆盘式过滤机的适用范围与外滤式真空过滤机相同, 实用于粒度细、不易沉降的颗粒。

真空过滤机的另一种设备是水平胶带式真空过滤机^[6], 它利用了重力和真空吸力作为过滤推动力。由于物料垂直自由给入, 因此适合的粒度范围很宽。

2.2.3 加压过滤机

真空过滤机最大的局限在于它的真空度最大也只能是 101Kpa, 也就是说滤饼两侧最大的压差为一个大气压, 因此过滤的推动力受到了限制。如何提高过滤推动力? 方法之一是在真空过滤机滤饼正压面施加压力, 使得压差大于一个大气压, 如盘式真空压滤机; 方法之二是利用密封容器对固液两相流不断地挤压, 滤饼两侧的压差可以达到数 Mpa, 液体被强制排放到介质的另一侧, 实现固液分离, 如板框压滤机^[7]; 第三种方法是机械压榨, 即对袋式过滤装置从机械上实现连续压榨, 如带式压滤机。

板框式压滤机

图 2.4 是 XJZ 板框式压滤机的示意图^[8]。压紧机构向右滑动, 滤板和滤板相互压紧, 滤板之间形成滤腔, 料浆由压力泵通过进料管进入布置有滤布的滤腔, 过滤推动力由泵提供, 在压力的作用下, 液相穿越滤布从溢流管排出。当过滤腔被固体颗粒填满, 压力泵停止给料, 阀门关闭, 压紧机构向左移动, 滤板打开, 滤饼在重力的作用下掉下。如果要降低水分, 压力泵停止工作后可以吹入压缩空气进一步压榨, 当重力不能使滤饼顺利脱落可以采用振打装置帮助滤饼脱落。

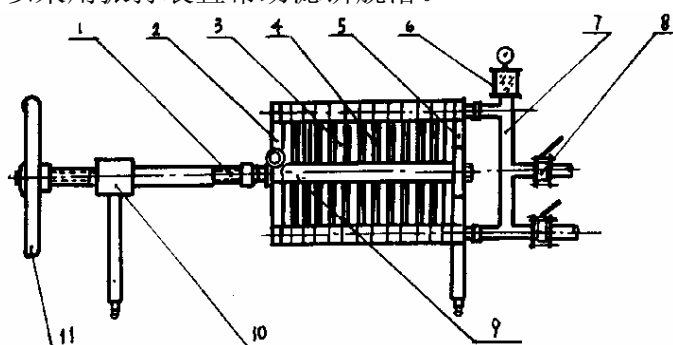


图 2.4 板框式压滤机

1 螺杆 2 机头板 3 滤框 4 滤板 5 机尾板 6 压力表 7 接管 8 蝶阀 9 支撑主梁
10 机架 11 手轮

板框式压滤机是间断式过滤机, 优点是可以提供 1-2Mpa 的过滤推动力, 因此适合于难滤的微细粒级物料的过滤, 尤其是浓度不高的粘性物料过滤, 如污水处理、铅锌精矿过滤。

带式压榨过滤机

图 2.5 是预浓缩带式压榨过滤机^[9], 其结构上分为预浓缩脱水和过滤压榨两部分, 过滤

压榨部分结构与带式压榨过滤机的结构基本相同,主要由机架、传动机构、上下两条无端滤布、压榨辊、滤带张紧装置、自动防止滤布跑偏装置以及滤布洗涤装置等组成的。预浓缩脱水部分是由一个大直径,低转速的预脱水转筒组成。其工作过程为:混凝给料—转筒浓缩—重力脱水段—预压脱水段—低压脱水段—高压脱水段—滤饼卸出。可见,比带式压榨过滤机的性能更稳定,更具有其优势,机械装置性能可靠,这样可以对污泥进行有效的预脱水,减轻压榨区的负担,避免物料由于污泥浓度低而造成压溢现象,大大提高处理能力。

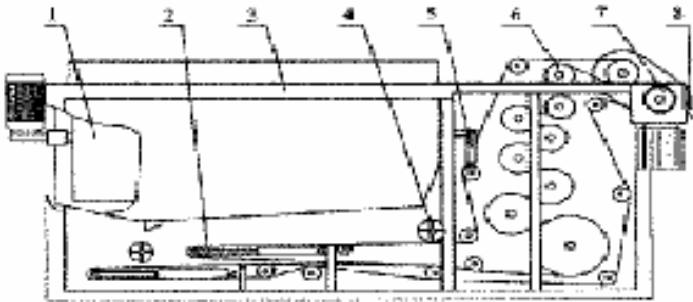


图 2.5 带式压榨过滤机

1—浓缩转筒 2—滤带张紧装置 3—机架 4—滤带清洗装置 5—滤带调偏装置
6—压榨辊系 7—滤带驱动装置 8—卸料装置

2.2.4 离心脱水

图 2.6 是卧式螺旋离心沉降机的示意图^[10]，料浆进入高速旋转的转鼓中，颗粒在离心力的作用下向转鼓的器壁运动，液相与固相交换位置时被迫向中心运动，沉降在器壁的颗粒由差速螺旋向左推动从排渣口排出，液相则从另一头的清液口排出。实际上液相中可能含有固体颗粒，这主要取决于转鼓的旋转速度或分离因素^[11]，分离因素越大，液相中颗粒含量越小。目前德国 Flottweg 公司生产的离心沉降机的分离因素已经达到 5000。筛网式离心机能有效地进行中细粒级的脱水。离心沉降机的优点在于占地面积小，缺点是机械复杂，维护工作量大^[12]。

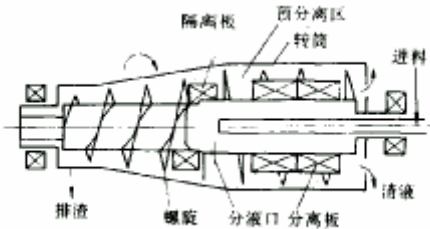


图 2.6 卧式离心螺旋沉降机

2.3 过滤机过滤原理

工业用的过滤机主要有负压工作的真空过滤机，正压工作的压滤机，常压工作的渗透

式过滤机。

对于液固两相构成的流态物质通过有孔隙的物质进行过滤的理论研究始于 19 世纪后期。工业生产中的真空过滤的理论研究仅仅在本世纪初叶才开始,随着工业生产和技术的发展,精确地计算和选择过滤设备的要求更加迫切,近年来过滤理论的研究有一些发展,但是发展仍是很慢的。

过滤理论的研究所涉及的问题比较复杂。例如,仅就过滤的阻力而言,不仅与过滤介质(滤布)的编织方法,孔隙形状、大小和密度、滤布的表面糙度、膨胀率和破损率等诸因素有关,而且在很大程度上也取决于滤布表面滤饼层的阻力大小,而这种阻力又取决于料浆的性质、滤液的温度、滤饼的疏松程度及内部结构情况,诸如物料颗粒的尺寸、形状、在饼内的相互位置、滤饼的孔隙率、孔径和孔道的弯曲情况等等因素。可是,决定滤饼特性的绝大部分因素又同施于过滤机的压力有关。因而,过滤阻力的测算是很难找到确切的理论公式的。为了便于研究问题,人们在进行过滤理论研究时,不得不借助于有关过滤阻力的变化与其他因素之关系的某些假定条件。这样就使得过滤公式极其复杂,而且其实用价值也就大大降低了。因而,过滤理论在还不能供给人们以更准确地计算过滤设备的全部资料。然而,却可以帮助说明过滤过程中存在的某些普遍情况和影响因素。到目前为止,对于工业应用的真空过滤机的预先计算和合理操作起着决定意义的,仍是由正确的模拟试验和实际生产所取得的经验数据。

2.3.1 压滤机工作原理

固体颗粒从悬浮液中分离出来,在微观学上是较为复杂的一种固液分离过程。在生产实践中,应用经验公式进行分析即可达到研究的目的。将粘度为 μ 的悬浮液中的固体全部截留于过滤介质表面,过滤过程中,根据 D a r c y 过滤方程^[27]就有:

$$Q = \frac{kA\Delta P}{\mu(R_E + R_M)} \quad (2.1)$$

式中: Q 为滤液流量, m^3/s ; A 为过滤面积, m^2 ; K 为常数; μ 为悬浮液粘度, $kg/(m \cdot s)$; R_E 为单位过滤面积的滤饼阻力, L/m ; R_m 为单位过滤面积的过滤介质阻力, L/m ; ΔP 为过滤工作压力差, MPa 。

若过滤的是一种澄清液,上式中各参数均为常数,则滤液的流量亦将不变,滤液累积体积随时间延长而线性增加,当过滤含有固体颗粒的悬浮液时,在过滤介质表面上开始累积滤饼,导致滤层阻力 R_M 逐渐增大,而 Q 逐渐减小。

把过滤过程中单位时间内获得滤液的体积称为过滤速率。因此,可以建立过滤速率与各有关因素的一般关系式:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\Delta P A^2}{\mu \alpha \omega (V + V_0)} \quad (2.2)$$

式中: V 为滤液体积, m^3 ; V_0 为介质的当量滤液体积, 或称为虚拟滤液体积; ω 为单位面积上沉积的滤饼质量, kg / m^2 ; α 为比滤阻, m / kg 。可压缩滤饼的比滤阻为压力的函数, 即

$$\alpha = \alpha_0 (\Delta P)^n \quad (2.3)$$

而单位面积上沉积滤饼的质量为

$$\omega = c v / A \quad (2.4)$$

式中, c 为悬浮液固体浓度, kg / m^3 。

过滤过程中过滤时间 t 与 ΔP 的关系如图 2.7 所示。为了充分利用过滤介质的有效过滤孔隙率, 防止细粒物料堵塞, 在过滤初期采用较小的压力。随着过滤时间的增加, 压力不断提高, 在一定的时间内达到工作压力。因此, 在过滤初期可认为悬浮液的过滤是一种恒速过滤, 达到工作压力后为恒压过滤。

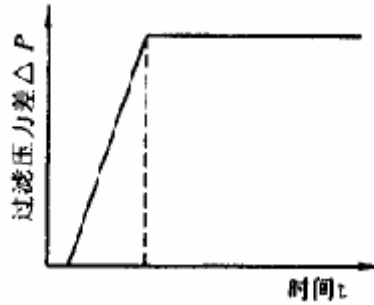


图 2.7 过滤压力差与时间的关系

恒速过滤阶段

此阶段过滤速率为常数, 所得滤液体积:

$$V_R = v \theta_R = K A^2 / (V + V_0) \cdot \theta_R \quad (2.5)$$

恒速阶段的过滤时间:

$$\theta_R = V_R / v \quad (2.6)$$

式中: v 为恒速阶段的过滤速度, m^3 / s ; K 为过滤常数; θ_R 为恒速阶段的过滤时间, s 。

恒压过滤阶段

此阶段过滤压力恒定不变, 过滤速度随介质截留固体的增加而降低。将过滤速度方程式整理积分:

$$\int_{V_R}^V (V + V_0) dV = \int_{\theta_R}^{\theta} K A^2 dt$$

故此阶段的过滤时间为:

$$\theta - \theta_R = \frac{1}{K A^2} (V^2 - V_R^2 + V_0 V - V_R V_0) \quad (2.7)$$

生产能力

压滤机的生产能力为单位时间内得到的干物料量。在此, 可计算压滤机在单位时间内过滤煤泥水的体积, 即:

$$Q = \frac{V}{\theta_R + (\theta - \theta_R) + \theta_D} \quad (2.8)$$

式中： θ_D 为辅助工作时间。将(2.1)式代入(2.8)式，
令 $N = K A^2 (\theta_R + \theta_D + V_R V_0 - V^2_R)$ 有：

$$Q = \frac{KA^2V}{V^2 + V_0V + N} \quad (2.9)$$

当操作条件一定时，上式中除 V 以外，其它量均为常数。为得到最大生产力，将(2.9)式求导，并令 $dQ/dV=0$ 有：

$$\frac{dQ}{dV} = \frac{KA^2(N - 2V^2)}{V^2 + V_0V + N} = 0 \text{ 得:}$$

$$V = \frac{\sqrt{2N}}{2}$$

最大生产能力为：

$$Q_{\max} = \frac{kA^2}{\frac{3}{2}\sqrt{2N} + V_0} \quad (2.10)$$

影响产率的因素

在压滤机面积一定的情况下，从式(2.10)中可以看出影响压滤机产率的主要是 N 和 V_0 ，影响二者的因素主要有压差、悬浮液的性质、介质阻力(滤布和滤饼)等。入料性质主要有悬浮液的粘度、浓度、入料的粒度组成、滤饼的阻力等。这些性质又都互为关联。当微细颗粒含量越多时，则粘度增大，阻力增大。粘度还和细泥本身的性质有关，如粘土类矿物质增多，则粘度增大。滤室的厚度决定滤饼的厚度，滤饼越厚，阻力越大；所以压滤速度在整个压滤过程中会逐渐降低。针对选煤厂选用精煤压滤机时物料及介质的性质已基本确定，因此主要影响因素有恒速过滤时间、非过滤时间(包括系统操作时间、卸料时间、清洗时间等)。精煤压滤机是正压过滤，滤饼的孔隙率随过滤过程的进行而不断增加，比滤阻受过滤压力、粒度组成、灰分、煤质影响，同时也受系统的影响。每一阶段过滤过程都对其过滤效果产生影响。精煤压滤为周期性过滤，生产能力受辅助时间的影响，对于不同性质的精煤应采用不同的过滤系统，选定最佳的过滤周期以达到更好的过滤效果，发挥精煤压滤机最大生产能力。

2.3.2 过滤机的选择和计算

过滤机的选择

选择过滤机时主要根据所处理物料的性质及对产品的要求，如被过滤物料的粒度特性、矿浆中固体含量、固体的密度、矿浆的温度及药剂含量、所要求的滤饼水份、滤液质量和选矿厂的生产规模(精矿数量)等因素^[28-30]。

对于颗粒较粗或粗、细夹杂、密度较大的物料，其沉淀速度也较快，一般应选取用圆筒内滤式真空过滤机，以使矿浆合理分层，既可提高过滤机生产能力又可以获得较好的脱水效率。大型筒型内滤式真空过滤机生产能力大，技术上可靠，操作容易。但是这种设备比较复杂，造价高，耗电较多，滤饼含水率较高，更换滤布不方便。

磁铁矿精矿或含有少量赤铁矿的混合精矿的脱水，可选用磁性过滤机。无论是永磁内

滤式或永磁外滤式真空过滤机,对于粗粒或细粒以及浓度较稀的磁铁精矿脱水都能适应。这类设备机体小,产量却很高,脱水效率高。

对于细粘物料或密度和浓度较低的矿浆脱水,宜选用筒型外滤真空过滤机、盘式过滤机、带式真空过滤机、绳带式折带式、无格式或绳带式真空过滤机及压滤机。

筒型外滤式真空过滤机的滤饼水分较低,过滤每吨精矿的滤布消耗量较少。但设备重,更换滤布较麻烦。

立盘式真空过滤机更换滤布方便。在机体尺寸相同的情况下,过滤面积比筒型真空过滤机大一倍左右。换滤布停车时间短。但滤饼水分较高,比鼓式过滤机约高 1--2%。水平盘式真空过滤机主要用于粗而重的颗粒的产品脱水,如钨、锡和含金矿物等重选产品。

水平带式真空过滤机是近代发展并广泛应用的过滤设备。过滤面积从 1--120 米²,型式、规格多种多样。该类设备对粗、细粒物料脱水的适应性与筒型内滤真空过滤机相似。但设备结构简单,滤布寿命长,可从两面清洗,洗涤效率高,并可分出不同品级的滤液。操作方便灵活,过滤面积可以按生产要求加大,生产和维修费用低。大型带式过滤机主要用在处理矿物选取、冶产品和煤粉脱水。

折带式和气绳带式过滤机卸料方便,滤布清洗条件较好,不易堵塞,滤布磨损较少。可省去鼓风卸料设施,防止滤液倒流进入滤饼。更换滤布较方便。滤饼水分较低,但滤布易跑偏,且要求较高的给料浓度,否则会降低脱水效率。该类设备适于处理粒度较细、密度小、粘性较大、难卸落的物料。对于细粒、密度小、难沉淀、浓度较低的料浆,为了提高脱水效率,通常须进行絮凝浓缩。这种浓缩产品粘性增大,絮团内含有较多的孔隙水,用真空过滤机不易大量脱出,须选取用压滤机,以高于大气压力数倍或十余倍的外加压力,强行挤压方能得到含水较低的滤饼。

手动板框压滤机,间断工作,产量低,劳动强度高,但滤饼生成及洗涤时间可以调整,洗涤作业效果好,且水量消耗较连续操作的压滤机少。该类设备占地面积较大,而且在操作过程中不便观察。自动板框压滤机可连续工作,产量高,能克服上述缺点。连续工作的自动压滤机生产能力都很大。其中各种加压过滤机可利用真空和压力两种推力进行脱水,能够较经济地除去絮团的孔隙水和孔内水。

水平板框式自动压滤机过滤速率高,产量大,节省能耗,需要的操作人员少。国外最大过滤面积达 200 米²。使用这类设备可省去干燥作业。简化生产流程,改善环境,是对付细而难过滤料浆的有效设备。国外已广泛用于工矿污水处理。但用在金属矿石脱水较少。立式板框自动压滤机与上述水平板框自动压滤机相比,生产能力高,但大规格的机型较少,所以需用台数多。设备成本高造成基建费也比较高。自动压滤机给矿压力高,要求专用的加压设备,辅助设施较多。滤布在受较高压力的状态下工作,影响其使用寿命。

离心过滤机一般用来处理微细而难沉淀的物料,例如高岭土矿浆过滤及某些粒度细、浓度低的其他料浆的过滤。其生产能力较低,设备复杂,价格高,金属矿石产品脱水一般很少采用。

该类设备过滤速度快,脱水效率高,滤液质量好。但设备的操作与维护较麻烦。

过滤机计算

过滤机的工作台数,一般按单位过滤面积的生产能力来计算。可根据对有代表性的物料所做的过滤试验,测定出过滤常和之后,用理论公式(2.10)计算出单位过滤面积的生产能力。当用理论公式计算时,由于影响因素较多,算出的单位面积生产能力与

实际需要相比往往有一定差别。因此,应参照实际生产指标予以调整。在选用实际生产的经验数据时,一定要注意选用与现场过滤机的实际操作条件相同的情况下所得到的指标。因为滤饼的最初湿度与最终湿度、固体物质的矿物成份和粒度特性、矿浆中存在的可溶性盐类和药剂、矿浆的温度和滤布的种类等条件,对过滤机的工作指标都有较大的影响。

需用的过滤机台数:

对于选用新型过滤设备或用合成纤维等新型滤布时, q 值需按照实际生产厂矿经验数据或通过过滤试验取得。

由于过滤试验所用的料浆性质及过滤装置的操作连续性很难与工业生产完全一致,因此实际生产的过滤机的过滤速率往往低于小型过滤试验的速率。尤其在高的过滤压强范围内,差别更大。因而在工艺设计中除了首先必须保证正确的选型外,还必须考虑放大效应。在缺乏现场生产数据的情况下,对于转鼓过滤机,在用中间试验装置进行过滤试验时,放大设计应做到几何相似,要求过滤在一个循环中,用于吸滤、洗涤、抽干的转鼓面积的相互比例关系与实验装置相等,同时应使转鼓的转速、单位过滤面积的过滤速率以及过滤系统的所有参数保持不变,而且过滤机的转速应留有灵活性,转鼓的面积应有 25% 的裕量。这种放大设计的缺点是中间工厂试验装置不易获得,而且需要大量的矿浆。

设计选用过滤机台数,在没有精矿浓缩机情况下,要根据计算的工作台数考虑备用。备用系数一般为 1.2,但不得少于 2 台,一台工作,一台备用。

2.4 陶瓷过滤机工作原理

2.4.1 精矿的脱水设备

圆盘式、折带式、转鼓式真空过滤机是有色金属精矿过滤的常规设备,相对于污水处理、化工等其它行业而言,精矿过滤的粒度粗、粘度小,过滤的难度较小。但是,随着嵌布粒度的变细,精矿粒度有下降的趋势,这一趋势不论是有色矿山还是黑色矿山都存在。因此高效低耗、维护方便的过滤机的研究日益受到矿山的重视。加压过滤机、全自动压滤机和陶瓷过滤机等新型过滤设备日趋成熟。针对不同的过滤物料和水分、处理量的要求,以上传统过滤设备和新型过滤设备在有色矿山均得到了广泛的应用 [31]。

转鼓式真空过滤机有两种形式,其一是外滤式转鼓真空过滤机,其二是内滤式转鼓真空过滤机。它们都是由真空泵来造成过滤介质两边的压差形成过滤推动力,共同特点是结构简单。外滤式用于粒度较细的物料过滤,内滤式用于粒度较粗容易沉淀的物料过滤。由于受真空度的限制,两种过滤机的效率都不是很高,且占地面积较大。因此它们使用场所越来越少。

与转鼓式真空过滤机相比,圆盘式真空过滤机在空间的利用方面有了很大的改进,占地面积大大减少,在相同长度的槽体上可以布置很多圆盘,这大大提高了过滤面积,因此过滤效率有了很大的改善。它适合粒度较细粘度较小处理量大的精矿过滤。通过

改进搅拌系统的结构,增加搅拌功率,该种过滤机也可以适用于粗颗粒的过滤。我国的黑色矿山绝大部分铁精矿的过滤就是采用的圆盘式真空过滤机。当然,与转鼓式真空过滤机相比,它的共同缺点是真空度依然没有根本改善,均维持在 50Kpa 左右,因此过滤的推动力没有明显的改善。

加压圆盘过滤机的目的就是为了提高圆盘式真空过滤机的过滤推动力,它在圆盘式真空过滤机的外部加上一个密封容器^[32],且对此密封容器内部施加压力,形成外压强可以超出大气压,这样过滤介质两边的压强可以超过原来的极限值 101Kpa。加压圆盘过滤机的用途有所延伸,由于过滤推动力的提高,它可以过滤粘度大、粒度更细的物料,且可以得到水分很低的滤饼,煤矿的精煤过滤已经采用了此种过滤机。如平顶山煤矿采用加压盘式过滤机将-0.5mm 精煤泥的水分由 30%降到 15%以下。不过,应该指出的是,这种过滤机的结构较为复杂,对一台庞大的圆盘过滤机采取密封并施加数个大气压的压力,必然带来机械设计的难度,也会增加日常维护的费用。

板框式压滤机具有明显的特点是正压力工作,介质两边的压差可以高达 2Mpa,是真空过滤机的 40 倍左右,过滤过程由挤压、压榨、吹气组成,适合难滤物料的过滤尤其是粒度细、粘度大的难滤物料,它可以得到水分极低的滤饼。

柿竹园矿采用 XYZ 压滤机过滤萤石精矿,取代盘式真空过滤机,水分由 15%下降到 10%以下。对于这种-10 微米含量达 10%的细粒级精矿,采取了压榨吹风相结合的压滤工艺^[33]。

全自动压滤机的所有过程是自动完成的,工人的劳动强度低。如铅峒山铅锌矿采用 ZYLD 全自动压滤机,基本解决了铅锌精矿的脱水问题^[34]。板框式压滤机不仅在有色矿山用于精矿的过滤,更广泛的用途是化工行业、污水处理、精煤过滤等部门。它的缺点是非连续工作,不适合大处理量作业,此外,由于需要产生高压,运行的可靠成都低于真空过滤机^[35]。

陶瓷过滤机^[36]尽管依然属于圆盘式真空过滤机,但是由于介质的改变,其过滤原理发生了根本性的改变,简单说来,它的特点是高效、节能、单位面积过滤介质的处理量大、运行成本低^[37]。当然,它最大的缺点是一次性投资大,资金不足的企业难以承受昂贵的设备费用。关于陶瓷过滤机的具体情况将在下一节中详细讨论。

上述设备对微米级、亚微米级物料的脱水均存在很大的难度,离心沉降脱水成为解决这类问题有效的设备,与上述过滤机不同的是,它没有过滤介质,依靠高速旋转产生的离心沉降实现固液分离。它主要用于常规过滤方法无法过滤的难滤物料,如微细粒级的高岭土、重质碳酸钙。

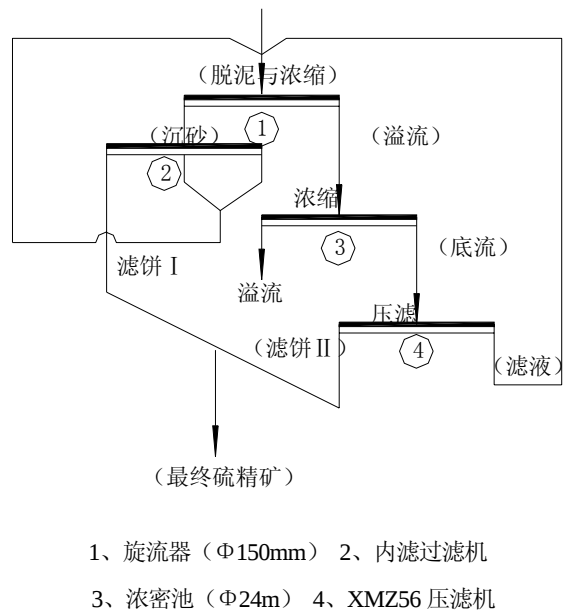


图 2.8 硫精矿分级过滤工艺流程

过滤工艺的调整是提高精矿脱水效率的另一条途径，如新疆八一钢厂^[37]提出的分级过滤工艺，如图 2.8。精矿首先进入分级设备，高浓度的粗颗粒精矿直接进入内滤式过滤机，低浓度的细颗粒精矿进入浓密机，经浓缩后的底流采用压滤机过滤。这种工艺解决了含有大量细泥的硫精矿过滤问题，同时还有效地降低了浓密机的负荷。

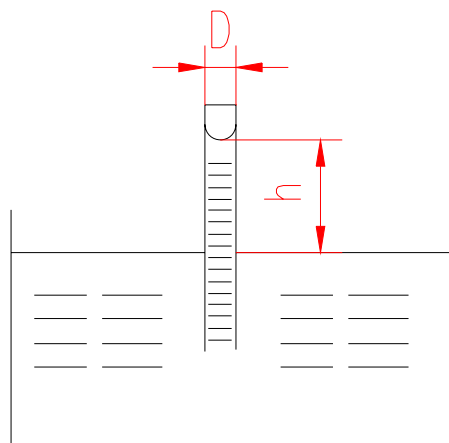
2.4.2 陶瓷过滤机工作原理与节能机理

随着科学技术的进步,固液分离技术已得到逐步更新和发展。目前大多数行业采用的过滤方式为离心式、压滤式和真空吸滤式等,所用过滤介质有棉织,纤维滤布和金属丝网,这些方式存在着过滤速度慢,过滤物易穿滤,过滤介质易破损、腐蚀和滤饼含水率高等缺点,尤其是不易连续、自动化操作,耗能高,使其生产成本大大增加,阻碍了生产的发展,目前已成为众多行业十分迫切需要解决的技术难题。当今社会,合理利用和节省能源已成为全人类的共识,改革现有的生产技术,寻求新的节能途径,已是全世界所面临的重大课题。固液分离是化工、矿山、煤炭等众多行业生产过程中不可缺少的重要环节,也是耗能很大的工序之一。真空陶瓷过滤机采用新的设计思路,利用陶瓷过滤板的特殊性能,是目前世界上最为高效节能的固液分离装置，全世界只有个别国家能够生产。

2.4.2.1 毛细过滤的基本原理

毛细过滤原理的应用是陶瓷过滤机的独特之处，它基于在细管和微孔中产生的

毛细上升，根据开尔文定律，一根细管浸入水中，由于水的表面张力和水与管壁间的亲水作用，细管内的水位会高于周围液体，这种现象称为毛细上升，其上升高 h 度取决于细管的材料亲水特性润湿角 θ 、管径 D 和水的表面张力 τ [36、41-44]。



$$\Delta P = 4 \tau \cos \theta / D = \rho g h \quad (2.11)$$

式中 ΔP ——毛细作用压力 (kPa)

τ ——表面张力 (水温 20℃ 时为 0.07N/m)

θ ——润湿角 (0, $\cos \theta = 1$)

D ——毛细管直径 (μm)

ρ ——液体密度 (1000kg/m^3)

g ——重力加速度 (9.81m/s^2)

h ——管内水面高度 (m)

从式 2.11 可以发现，亲水的毛细管可以将水提升高度 h 。陶瓷过滤机正是利用了这一物理现象。

图 2.9 是一个简单的过滤单元，滤板的厚度为 h ，滤板内微孔的直径为 D ，滤板的下方与真空室相连，如果滤板两边都是常压，那么微孔中液面的高度将由公式 2.11 求出，要使微孔中的水彻底排出，需要微孔上下具有压差，即微孔下方的压力低于上方的压力，这个压差用于抵消毛细管的上升力，不同孔径的毛细管上升力不同，需要的真空度不同，表 2.2 列出了不同孔径毛细管残留水需要的真空。当亲水的烧结氧化铝微孔直径为 $2.0\mu\text{m}$ 时，将水排出的压力差为 140kPa ，这意味着只要真空度低于 140kPa ，微孔就会被水充满，空气就不能通过微孔。实际上，真空度不可能低于 100kPa (1 个大气压)，因此只要微孔直径达到 $2.0\mu\text{m}$ ，微孔就不会通过空气。

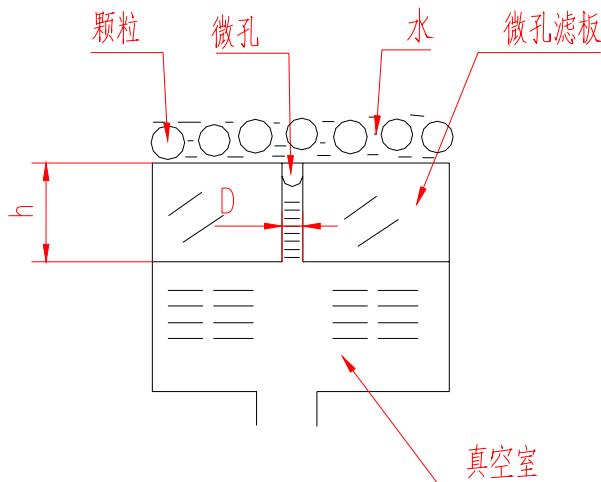


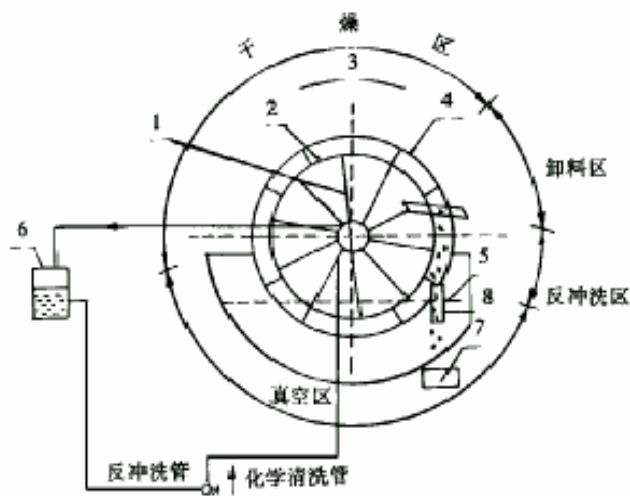
图 2.9 微孔过滤单元过滤原理
表 2.2 毛细作用压力与管径的关系

D(μm)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	4.0	8.0
ΔP(Kpa)	940	560	280	186	140	70	34

2.4.2.2 陶瓷过滤机过滤原理

陶瓷过滤机的特点就在于这种产生毛细效应的微孔，由于水与亲水的烧结氧化铝微孔之间的表面张力作用，孔径适当时微孔不会脱出所含的水，微孔毛细作用力大于真空所施加的力，使微孔保持充满液体状态，空气无法通过，由于没有气流通过滤盘，故真空不会损失，所以维持高真空的能耗极低，一台小的真空泵即可保证所需的真空度。

全自动陶瓷过滤机主要包括转子、分配头、搅拌器、刮刀、料浆槽及反冲清洗系统。工作开始时,浸没在料浆槽的陶瓷过滤板在真空作用下,在陶瓷板表面形成一层较厚的颗粒堆积层,滤液通过陶瓷板过滤至分配头到达真空桶。在干燥区,滤饼在真空作用下继续脱水,使滤饼进一步干燥。滤饼干燥后,在卸料区时被刮刀刮下,通过皮带机输送至所需的地方。卸料后的陶瓷板最后进入反冲洗区,经过滤后的反冲洗液通过分配头进入陶瓷板,冲洗堵塞在陶瓷板微孔上的颗粒,然后再次浸入料浆在真空作用下进行吸附,由此完成一个操作循环^[45]。当过滤机运行较长时间后,可采用超声及化学介质联合清洗以保持过滤机的高效运行，其固液分离过程示意图见图 2.10。

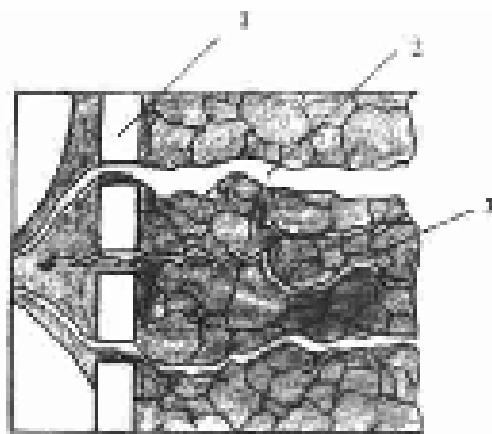


1. 转子 2. 滤室 3. 陶瓷板 4. 滤饼 5. 料浆槽 6. 真空 7. 皮带运输机 8. 超声装置

图 2.10 陶瓷过滤机固液分离过程

2.4.2.3 陶瓷过滤机节能机理

目前国内一般采用的真空圆盘式过滤机，过滤原理与陶瓷过滤机相近，吸滤盘作圆周运动，滤盘浸入浆液部分吸附滤饼，离开浆液后，继续抽取滤饼中的水分。但由于滤布或金属丝不能阻隔空气的通过，在离开浆液、继续抽取滤饼水分的过程中滤饼会出现裂缝，而造成空气进入真空区，引起真空度的急剧下降，影响吸浆能力和水分的抽干。为了保持抽真空滤所需的真空，必须用增大抽力来弥补，从而大大增加了动力消耗，图 2.11 为普通圆盘过滤机脱水过程。

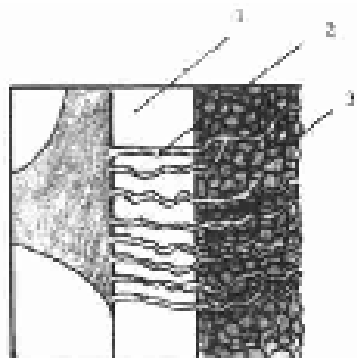


1 金属网或滤布 2 裂缝处进入空气 3 滤饼

图 2.11 普通圆盘过滤机脱水过程

为了减少无为的功耗，须使滤板始终充满液体，空气就不能通过，则达到了节能的目的，为此必须使毛细管作用力大于真空抽力。在脱水过程中，由于真空抽力小于毛细管作用力，毛细管内将充满液体，从而阻碍了空气的通过（见图 2.12），因此，只需一台极小的真空泵即可维持其真空度，从而保证过滤过程的连续，这就是陶瓷过滤板

高效节能的关键所在^[46]。



1—陶瓷过滤板 2—抽液细流 3—滤饼

图 2.12 陶瓷过滤板脱水过程示意图

2.5 凡口铅锌矿精矿脱水存在的问题

凡口铅锌矿是我国大型铅锌生产矿山，原矿中铅、锌、硫品位高，矿物在形成过程中相互沿晶粒间隙或裂隙解离充填溶蚀交代，嵌布粒度极细，共生关系密切。由于矿物的这种特性，采用细磨——高碱（ $\text{pH}>12$ ）的选矿工艺，为了使矿物达到充分单体解离，原矿二段的磨矿细度为 $88\%-0.074\text{mm}$ ，铅粗泡再磨的磨矿细度为 $90\%-0.04\text{mm}$ 。由于磨矿粒度细，使得三种产品的粒度很细，其中铅精矿 -0.040mm 粒级占 97.98% ，锌精矿 -0.074mm 粒级占 96.97% ，硫精矿 -0.074mm 粒级占 98.92% ，混合精矿 -0.074mm 粒级占 96.67% 。如此细的精矿粒度以及精矿的强碱性带来的高粘度，给固液分离带来了极大的困难^[38]。

旧的固液分离采用真空圆盘式过滤机，过滤指标较差。这主要表现在滤饼水分高，如锌精矿的水分高达 13% ，硫精矿高达 12% 。如此高的水分使得精矿运输时损失严重，从选厂运输到株州冶炼厂，约 620km 的距离，途耗达到 3.2% ，年损失铅锌金属量为 4000 吨，经济损失巨大。另一方面，真空过滤机能耗高，每台 68m^2 的真空过滤机驱动功率和真空泵功率之和为 90KW ，处理量约为 $10\text{t/h}\cdot\text{台}$ ，单位处理量的能耗高，因此生产成本低。

为了解决这一生产实际问题，90 年代初开始着手过滤工艺和设备的引进、研究、消化、吸收。

首先对 PZG 真空过滤机的真空系统进行改造，用 ZKY 型真空泵取代 SZ 真空泵，由于真空泵功率的增加使得过滤机的真空度增加，滤饼水分与 80 年代相比明显下降。接着试验 SZY-15 型卧式压滤机和引进了芬兰 LAROX 公司 PF-25 立式自动压滤机^[39,40]，生产运行结果表明，尽管 PF-25 该压滤机可以降低精矿水分，如锌精矿的水分可以降低到 10% 以下，但该机的单位处理能力小，且生产中出现频繁的机械故障，实际运转率低，因此无法得到工业推广。

因此寻找合适的过滤设备，取代 PZG 真空过滤机，降低铅锌精矿的水分是 90 年代凡口铅锌矿面临的重大技术问题。

2.6 国产陶瓷过滤机简介

1995 年自从凡口铅锌矿引进陶瓷过滤机，该设备的国产化研究几乎同时开始，江苏省陶瓷研究所对微孔陶瓷进行了详细的研究，其中最关键的多孔陶瓷板技术获得国家专利，并投入生产，该所生产的 BST 系列陶瓷过滤机已经成功的用于一些矿山（表 2.3），过滤机的规格有 9、12、18m² 三种。

表 2.3 BST 陶瓷过滤机使用情况

规格	使用地点	用途	过滤面积 m ²
BST-18	南京栖霞山	硫精矿脱水	18
BST-12	南京栖霞山	锌精矿脱水	12
BST-12	南京栖霞山	铅精矿脱水	12
BST-12	云南南平金桂选厂	锌精矿脱水	12
BST-9	广西龙湾矿业	锌精矿脱水	9
BST-9	云南南平巨发选厂	锌精矿脱水	9

江苏省宜兴非金属化工机械厂是国产 HTG 陶瓷过滤机的生产厂家，设备规格有 12、30、45m³ 三种，设备规模与国外相差无几，用户情况列于表 2.4。

表 2.4 HTG 陶瓷过滤机使用情况

规格	使用地点	用途	过滤面积 m ²	给矿浓度%	处理量 t	含水率%
HTG-30	安徽铜官陵山铜矿	硫精矿脱水， -200 目 80%，真空度-0.095MPa	30	80	60	11.5
				75	55.4	11.2
				70	48	9.5
				65	35	8.1
HTG-45	江西永平铜矿	硫精矿脱水， -200 目 75-80%，真空度 -0.095MPa	45	80	50	10.2
				75	42.3	9
				70	35.5	8.2
HTG-45	金川选矿厂	镍精矿脱水， -200 目 95%，真空度-0.076MPa	45	62	20.8	12.1
				59	14.5	11.5
				56	20.8	12.4
				49	14.4	13.0

从表 2.3 和 2.4 可以看出，不论是江苏省陶瓷研究所还是江苏省宜兴非金属化工机械厂都可以制造工业型陶瓷过滤机，并且滤饼水分、能耗指标、陶瓷板寿命、机械性能方面已经接近奥托昆普的水平^[51]，不同的是国产陶瓷过滤机的价格远低于国外价格，备品备件的价格也远低于进口价格。以奥托昆普 CC-45 和国产 HTG-45 为例，对比两者的价格，前者整机到岸价约为 600 万元人民币，后者的价格为 180-220 万人民币；

前者陶瓷滤板的价格为 7000 元/块，后者为 1400-2000 元/块，陶瓷滤板的使用寿命之比约为 8: 6；相比之下，国产陶瓷过滤机的整机价格仅为进口的 1/3，主要消耗件陶瓷滤板的价格约为 1/3。

因此国产陶瓷过滤机具有很强的市场竞争能力。

2.7 全尾砂脱水技术与分级尾砂脱水技术

凡口铅锌矿的全尾砂脱水技术工艺主要由浓密机浓缩、真空过滤机过滤组成，图 2.13 是全尾砂浓缩、过滤流程图，经过两级浓缩后的全尾砂用盘式真空过滤机过滤。

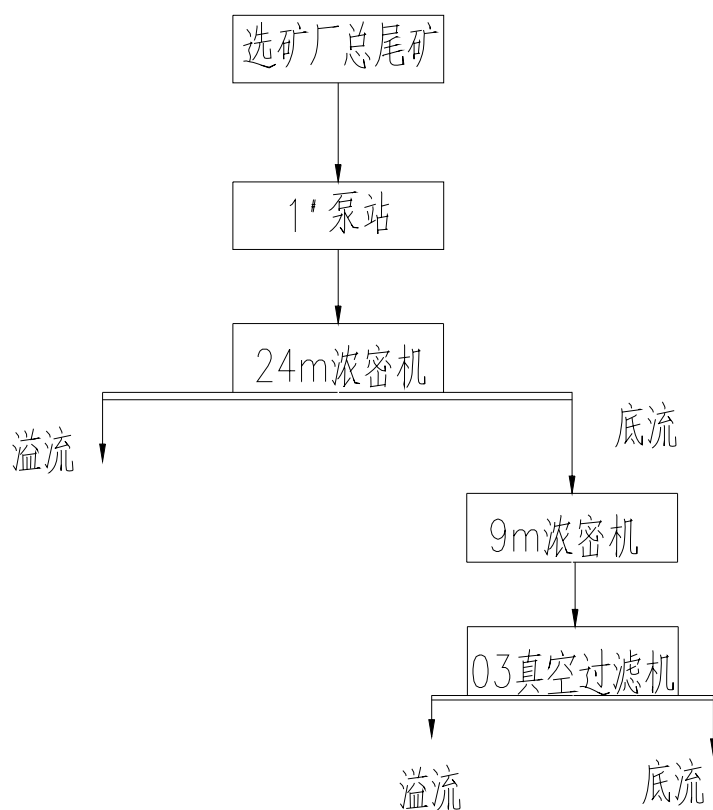


图 2.13 全尾砂浓缩过滤流程图

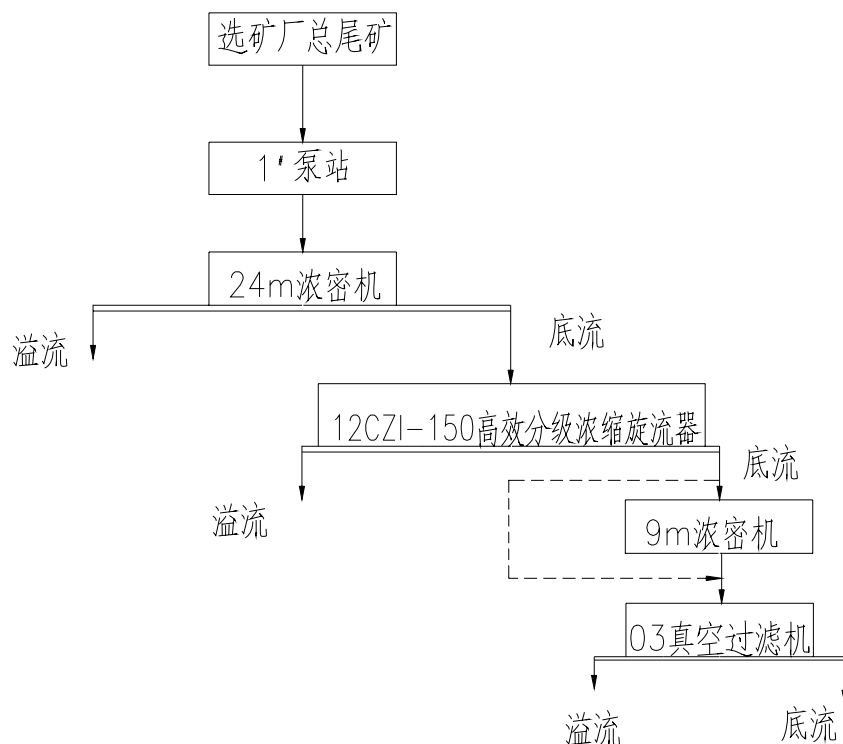


图 2.14 尾砂分级过滤流程

2.8 真空过滤机过滤分级尾砂存在的问题

2000 年，进行分级尾砂工业试验时发现盘式真空过滤机在处理旋流器沉砂存在两大问题，第一，由于沉砂已经脱去-19 微米的细泥，粒度较粗，矿浆失去造浆性能，颗粒沉降速度很快，真空过滤机的搅拌装置不能均匀分散矿浆，造成局部堆积，随着这种堆积的加厚，搅拌耙的功率不足以搅其如此高浓度的矿浆，导致压耙，严重时叶片也无法转动；第二，沉砂属于极易过滤的物料，由于浓度高，很容易在叶片上形成厚薄不均的滤饼，试验时，滤饼的最大厚度甚至可以达到 60mm，如此厚的滤饼是叶片无法承载的，造成滤饼还不到脱落区就提前脱落，重新回到矿浆槽，如此急剧加大了过滤机的负荷，后果同样是压槽、压耙，过滤机被迫停止工作。

过滤机不能正常工作使得分级尾砂的正常生产受到严重的限制，每清理一次盘式真空过滤机需要耗费大量的时间且劳动强度很大。因此，工业生产时应该选用正确类型的过滤机或对现有过滤机实行改造，避免压耙现象发生。

有关研究^[52, 53]采用陶瓷真空过滤机、带式真空过滤机过滤似膏体分级细粒充填料，取得了令人满意的效果，可以为工业设备选型提供参考。

2.9 过滤技术的发展方向

(1) 提高过滤的推动力

过滤推动力是决定滤过行为的主要参数之一,过滤的推动力越大,过滤速度越高,因此,如何提高过滤推动力成为一个主要研究方向。

如何提高真空过滤机的真空度,在这一研领域中提高抽真空的动力不是一种良好的选择,主要从提高密封性能、减少介质和滤饼的漏气入手;

加压过滤,即在滤液的流动方向施加外界压力,使压差可以超出 101Kpa,打破常压过滤的压力限制,这一研究方法主要体现在用合适的动力产生较高的压差。如精煤泥脱水采用的加压盘式过滤机,其过滤推动力源于压缩空气,压差远大于 101Kpa。加压过滤主要涉及压力产生方式、密封装置等问题。

(2) 过滤介质的研究

滤液量除与推动力密切相关外,最主要的因素是介质的过滤性能。过滤行为与过滤介质密切相关。滤液的通过能力,真空损失,网孔的新生能力都影响过滤速度。

近几年来出现了陶瓷过滤介质^[13],它打破了网孔介质的过滤原理,巧妙利用了微孔的毛细管原理,使得过滤真空度的损失大幅度下降,维持高真空所需要的动力只有常规真空过滤机的 1/5—1/10。

用于微滤和超滤的介质出现了有机膜和无机膜^[14-16],膜的出现推进了动态过滤技术。为了使有机膜使用寿命延长,出现了辅助电场和震荡力场的复合过滤方法。

常用过滤材料也在不断改进,例如瑞士苏维士公司开发的单丝纤维织成的双层滤材在挤压带滤机和真空带滤机上使用取得了良好的效果。

(3) 机械方面的改进

要实现过滤机的高作业率和效率,机械改进是必不可少的。尤其是加压过滤机,如何用最少的能量提供最大的过滤压力是一个主要研究方向^[17-18]。当然一些结构方面的改进也是过滤技术的组成部分。

(4) 工艺方面的改进

这方面的研究主要是指过滤作业本身的工艺改进,也包含为改善物料过滤性能进行的变革。前者如加热加压过滤^[19-22],加热的目的是为了改变固液两相流的粘性等,使之容易过滤;后者如脱去微细粒级以直接改善物料的过滤性能。

在过滤室中加上电场^[23],能有效提高超细粒子悬浮液与活性污泥的过滤性能,它利用活性污泥表面的带电特性(ξ 电位),在过滤时使带电粒子向电场中的异性电极运动,从有效降低了同性电极一侧的固体浓度,提高了该侧的滤液穿越介质的速率。

助滤剂改善固液两相流的流变特性,改变颗粒表面的电位从而减弱颗粒之间的排斥作用,改善过滤效果^[24-26]。已开发的用于煤泥过滤的助滤剂有聚氧乙烯等,能够有效降低水分 1-2%。

第三章 精矿过滤研究

3.1 陶瓷过滤机过滤精矿试验研究

为了了解陶瓷过滤机对凡口铅锌矿精矿的过滤性能，在选择合适的过滤机之前必须进行小型试验，确定单位面积的处理能力、滤饼水分。

3.1.1 试验设备

陶瓷过滤机试验设备由芬兰奥托昆普明太克提供，包括单片陶瓷板及简易真空设备。其它试验设备和工具还包括试验室用小型过滤机，滤纸，托盘天平，砝码，小括刀，瓷碗，塑料桶，秒表等。

3.1.2 物料性质

凡口铅锌矿当时需要过滤的精矿有三种，即铅精矿、锌精矿和硫精矿。过滤机给料是经浓缩脱水后的高浓度矿浆，其产量及主要物理化学性质见表 3.1。从表可以看出，铅、锌精矿矿浆的 pH 值很高均大于 11.0，属于强碱性矿浆，粘度很大。硫精矿的矿浆 pH 值为 6.7-7.5，属于中性偏酸性，粘度较小。筛析和水析得到的铅、锌、硫精矿粒级组成结果列于表 3.2。

表 3.1 精矿矿浆有关特性参数

产品	密度（1000kg/m ³ ）	矿浆浓度（%）	pH 值	产量(t/d)
铅精矿	5.0--5.5	65--75	>11.0	150--350
锌精矿	4.0--4.2	65--75	>11.0	500--950
硫精矿	4.0--4.2	65--75	6.7--7.5	800--1500

表 3.2 铅锌硫精矿粒级组成

粒度	铅精矿		锌精矿		硫精矿	
	分布/%	负累积/%	分布/%	负累积/%	分布/%	负累积/%
+0.074			3.03	100.00	1.08	100.00
-0.074+0.052			12.12	96.97	5.40	98.92
-0.052+0.040	2.02	100.00	14.14	84.85	16.22	93.52
-0.040+0.020	6.06	97.98	12.12	70.71	45.20	77.30
-0.020+0.010	36.36	91.92	30.30	58.59	20.54	32.10
-0.010+0.005	25.25	55.56	12.13	28.29	4.86	11.56

-0.005	30.31	30.31	16.16	16.16	6.70	6.70
合 计	100.00		100.00		100.00	

如上表 3.2 所示，铅精矿粒度特别细，-0.020mm 占 91.92%，-0.005m 占 30.31%，在高 pH 、高浓度状态下目视十分粘稠密，过滤非常困难。锌精矿属较细料浆，--0.020mm 含量为 30.30%，而微细粒级-0.005mm 含量为 16.16%，在较高 pH 状态下过滤也较困难，硫精矿 -0.074+0.020mm 粒级间含量相对较大，-0.005 粒级仅占 6.7%，弱酸性状态下较好过滤。

3.1.3 陶瓷过滤机小型试验

为验证陶瓷过滤机对凡口铅锌矿铅、锌、硫精矿的过滤效果，以及为引进设备选型提供依据，芬兰专家带来了小型试验设备在我矿科研所试验进行了单片陶瓷片试验，其结果分别见表 3.3、表 3.4、表 3.5 。

1、过滤铅精矿小型试验结果

表 3.3 过滤铅精矿小型试验结果

序号	吸浆时间/秒	吸干时间/秒	滤饼干重/g	滤饼水分/%	处 理 量 /kg.m ⁻² .h ⁻¹
1	8.0	17.0	149.5	10.75	1428
2	11.0	24.0	191.5	9.88	1828
3	4.0	21.0	105.5	10.21	1007
4	7.0	28.0	140.5	10.79	1005
平均			146.8	10.41	1317

2、过滤锌精矿小型试验结果

表 3.4 过滤锌精矿小型试验结果

序号	吸浆时间/秒	吸干时间/秒	滤饼干重/g	滤饼水分/%	处 理 量 /kg.m ⁻² .h ⁻¹
1	12.5	12.0	166.5	12.20	1590
2	18.0	16.5	208.5	11.09	1493
3	35.0	40.0	315.5	11.50	1130
4	8.0	17.0	133.0	9.83	1270
5	11.0	24.0	148.5	10.81	1046
6	28.0	57.0	262.5	9.95	833
7	4.0	21.0	84.5	10.58	804
8	7.0	28.0	119.5	10.49	850
9	14.0	68.0	168.5	10.16	603

平均	178.6	10.73	1068.8
----	-------	-------	--------

3、过滤硫精矿小型试验结果

表 3.5 过滤硫精矿小型试验结果

序号	吸浆时间/秒	吸干时间/秒	滤饼干重/g	滤饼水分/%	处 理 量 /kg.m ⁻² .h ⁻¹
1	12.5	12.5	303.2	10.82	1697
2	18.0	18.0	404.2	10.97	1697
3	35.0	35.0	611.0	10.21	1369
4	8.0	8.0	223.8	9.75	1882
5	11.0	11.0	255.0	9.57	2143
6	28.0	28.0	560.0	8.62	1569
7	4.0	4.0	169.0	8.15	2840
8	7.0	7.0	236.0	8.77	2203
9	14.0	14.0	313.2	7.61	1547
平均				9.39	1883

注（1）矿浆 PH 值为 11.5 以上；
（2）锌精矿矿浆浓度在 71%—74%，铅精矿矿浆浓度在 74%--78%；
（3）过滤板经反冲洗及酸处理后继续使用。

3.1.4 等处理量真空过滤机与陶瓷过滤机对比试验

为验证陶瓷过滤机对凡口铅锌矿铅、锌、硫精矿的过滤效果，以及与 PZG--68 圆盘真空过滤机进行过滤效果对比，其结果见表 3.6 。

表 3.6 等处理量真空过滤机与陶瓷过滤机对比试验

产品	处理能力 /t m ⁻² .h ⁻¹	矿浆浓度 /%	滤饼水分/%		滤饼水分下降	
			CC--45	PZG--68	绝对值/%	相对值/%
铅精矿	1.08	77.00	10.79	12.5	1.71	13.68
锌精矿	1.06	76.17	10.81	13.37	2.56	19.15
硫精矿	1.82	74.54	11.10	14.21	3.11	21.89

注：PZG--68 为圆盘真空过滤机；陶瓷过滤机转速为 40s/n，真空度为 82Kpa。

从表 4.7 结果可知，相同处理能力的条件下，陶瓷过滤机的滤饼可以得到更低的水分。对铅精矿而言，水分由 12.5%下降到 10.79%，绝对下降 1.71%，相对下降 13.68%；对锌精矿而言，水分由 13.37%下降到 10.81%，绝对下降 2.56%，相对下降 19.15%；对硫精矿而言，水分由 14.21%下降到 11.10%，绝对下降 3.11%，相对下降 21.89%。毫无疑问，陶瓷过滤机可以得到相对低的水分。

3.2 陶瓷过滤机工业试验研究

由于陶瓷过滤机的试验室研究取得了满意的指标，加之陶瓷过滤机已经在世界上其它矿山得到了成功的应用，因此，凡口矿决定引进陶瓷过滤机用于铅、锌、硫精矿的过滤。引进的陶瓷过滤机型号为 CC-15 和 CC-45 两种。前者用于铅精矿的过滤，后者用于锌精矿和硫精矿的过滤。主要技术参数列于表 3.7。

表 3.7 CC-15 和 CC-45 的主要技术参数

型号	CC-15	CC-45
过滤面积 (m ²)	15	45
陶瓷片数量	60	180
长度 (mm)	4050	7040
宽度 (mm)	3300	3300
高度 (mm)	2700	2750
重量 (kg)	7100	13800
矿浆槽容积 (m ³)	3.1	7.4
过滤泵 (KW)	4.0	11.0
真空泵 (KW)	2.2	2.2
酸洗泵 (KW)	0.056	0.056
搅拌马达 (KW)	2.2	5.5
转鼓马达 (KW)	2.2	3.0
超声与变频 (KW)	6pcs/1.8KW	16pcs/4.8kw
总安装功率 (KW)	13.0	27.0
平均功率 (KW)	8.0	17.0

3.2.1 工业试验流程

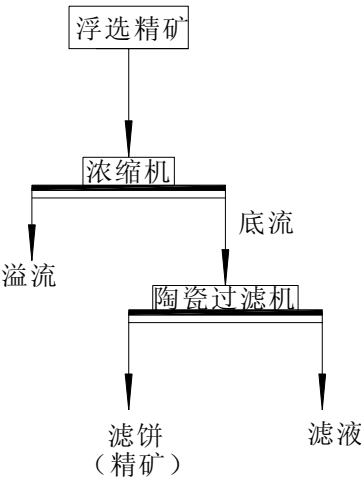
图 3.1 陶瓷过滤机工业试验流程

3.2.2 陶瓷过滤机给矿浓度试验

根据以往的生产实践，铅精矿过滤难度最大，因此对铅精矿进行详细的试验研究。固定过滤圆盘转速，对给矿处理量、滤饼水分关系进行调试，结果表明，浓度介于69%--73%，处理能力约为50t/h，滤饼水分低于9.0%，是适合生产需要的最佳浓度条件，其结果见表3.8，浓度对处理量和水分的影

表 3.8 给矿（铅精矿）浓度与处理量、滤饼水分关系

试验条件	浓度/%	处理量/t.h ⁻¹	水分/%
液位 80% 转速 100%	78.00	78.40	11.30
	75.13	67.98	9.87
	73.00	55.40	9.00
	71.60	50.60	8.70
	68.40	41.30	8.53
	65.80	32.80	8.23
	62.00	24.80	7.70
	55.90	19.80	6.90



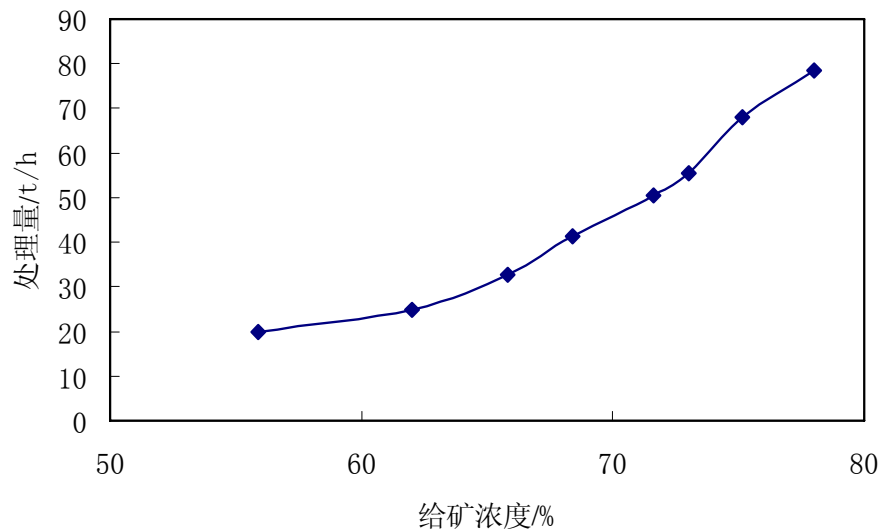


图 3.2 给矿浓度与处理量的关系

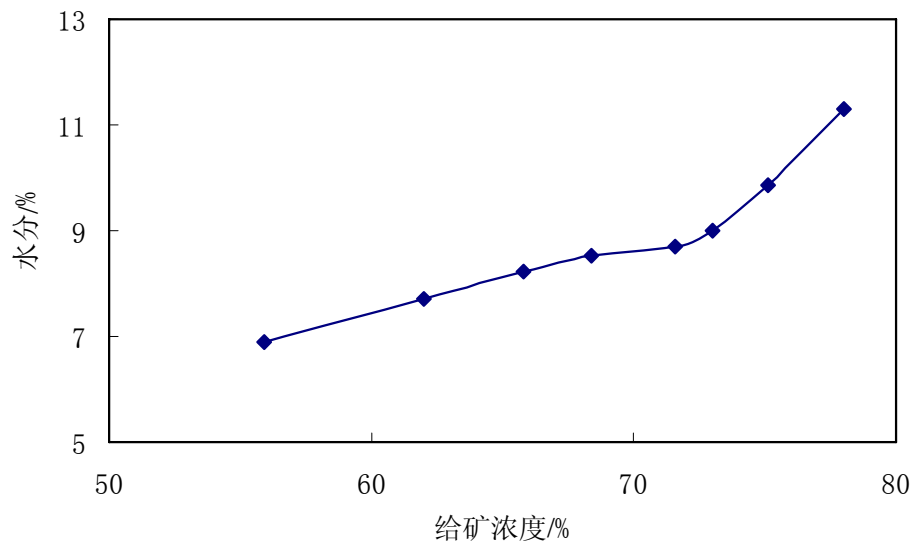


图 3.3 给矿浓度与滤饼水分的关系

由图 3.2 和图 3.3 可见，在圆盘转速不变、矿浆液位相同的情况下，随着矿浆浓度的增大，处理量及滤饼水分亦随之增加，如果以 10%作为合格滤饼水分含量，那么对应的浓度不能高于 75%，如果以 9%作为合格滤饼水分含量，那么对应的浓度不能高于 72%，此时处理量的对应值分别为 50t/h 和 65t/h。由于给矿浓度明显影响处理量和滤饼水分，实际操作中应该严格控制。

3.2.3 陶瓷过滤机矿浆液位试验

过滤槽矿浆液位高低，直接与成饼、脱水的周期相关，液位越高，成饼的时间越长，滤饼厚度越大，因此处理量越大，同时滤饼的渗透阻力越大，水分难以穿越滤饼，因而水分含量越高，此外，液位越高，脱水周期越短，也是造成水分含量高的原因之一。液位试验的结果列于表 3.9，液位与处理量、水分的关系曲线绘制于图 3.4 和 3.5。

表 3.9 液位与处理量、滤饼水分间的关系

液位%	90	85	80	75	70	试验条件
处理量 (t/h)	55.40	52.60	50.39	43.33	38.56	浓度为 70%
水分(%)	10.4	9.7	9.0	8.7	8.1	转速率 100%

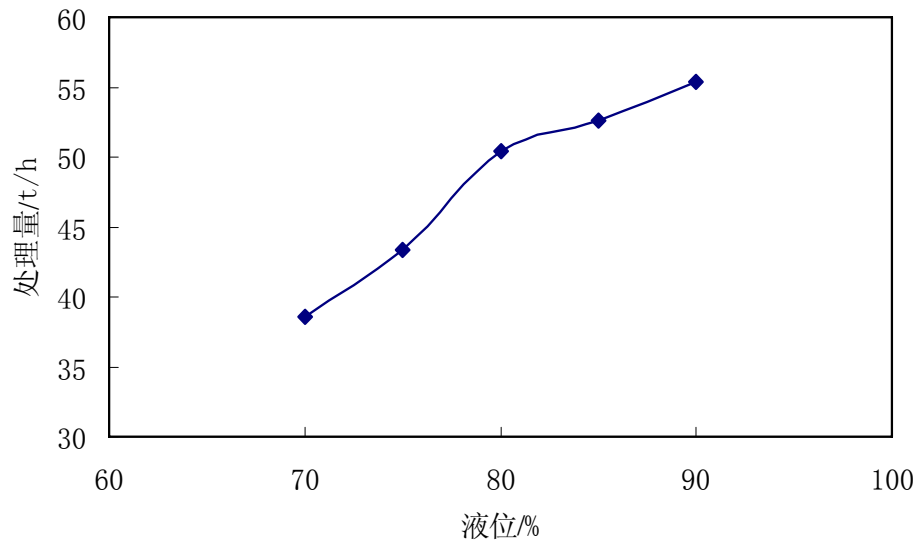


图 3.4 处理量与矿浆液位的关系曲线

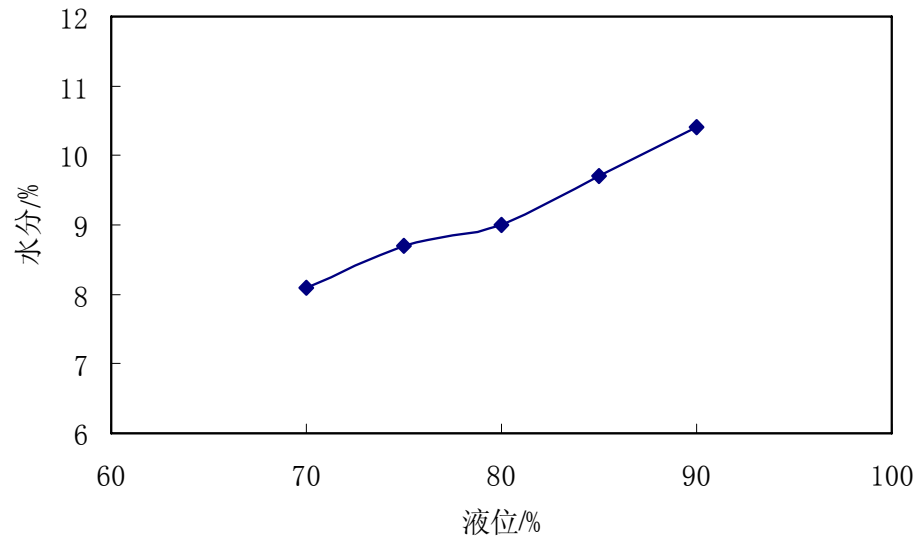


图 3.5 滤饼水分与矿浆液位的关系曲线

从表 3.9 和图 3.4 可见，随着矿浆液位的升高，滤饼水分也逐渐提高，当液位为 88% 时，滤饼水分高于 10%。对处理量而言（图 3.4），液位上升，处理量上升，但是在液位 80% 处，处理量存在一拐点，高于 80% 液位比低于 80% 的处理量增加幅度小，说明在真空条件不变的情况下，矿浆液位在 80% 以上滤饼厚度增幅不大，其次，液位太高将使陶瓷片的反冲洗过程部分在矿浆中进行，影响反冲洗效果及滤饼的形成。根据上述分析，结合生产及产品出厂水分要求，确定最佳矿浆液位为 76%--86%，实际设定值为 80±5%。

3.2.4 陶瓷过滤机最佳转速试验

圆盘转速由变频器调整，实现无级调速，根据小型试验结果，将最大转速设定为45sec/r，通过改变转速条件，在设定的浓度条件下试验对处理量的影响，试验结果列于表 3.10 和图 3.6。

表 3.10 转速与处理量之间的关系					
转速率 (%)	50	70	75	80	100
浓度 (%)	58.20	55.70	56.43	59.43	55.90
处理量 (t/h)	15.97	18.87	20.04	20.04	19.80

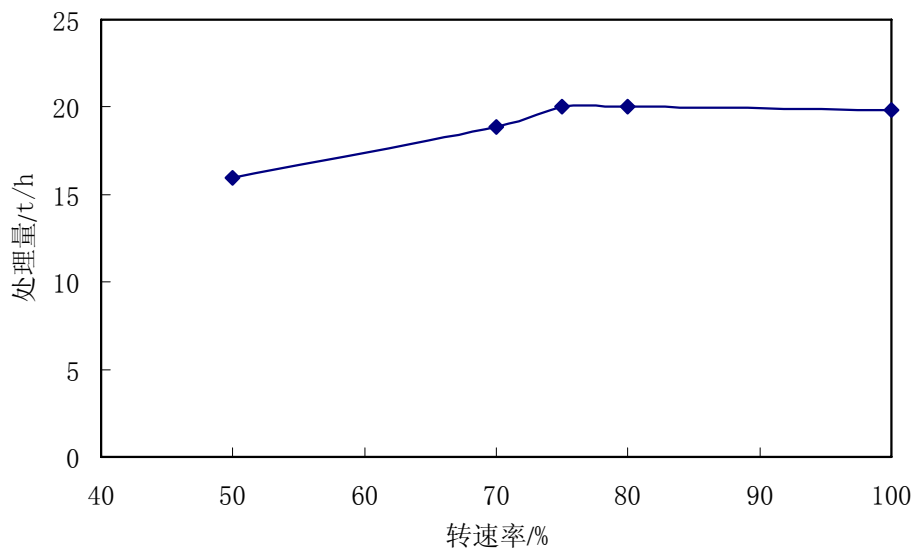


图 3.6 处理量与转速率的关系

如表 3.10 所示，当转速从 50%上升到 80%时，处理量逐渐增大到最大值，转速超过 80%，处理量反而略有下降，主要是滤饼形成时间缩短所致。因此，确定 80%左右的转速为最佳圆盘转速。

3.3 陶瓷过滤机工业应用效果

3.3.1 精矿水分

1995 年第一台陶瓷过滤机投入生产使用，到 1998 年所有精矿均由陶瓷过滤机过滤，滤饼水分下降显著，表 3.11 列出了各年度陶瓷过滤机滤饼水分和圆盘真空过滤机的滤饼水分，滤饼水分铅精矿 6 年的平均值、锌精矿 7 年的平均值、硫精矿 6 年和混精 4 年平均值分别为 9.36%、9.40%、10.48%和 10.33%，与圆盘真空过滤机相比水分下

降的绝对值分别为 0.96%、3.12%、1.23%和 3.91%，相对下降幅度分别为 9.30%、24.90%、10.50%和 27.45%。

表 3.11 各年度精矿出厂水分

年度	铅精 (%)	锌精 (%)	硫精 (%)	混精 (%)
1995		8.75		
1996	9.48	8.72	11.11	
1997	9.58	9.28	10.71	
1998	9.64	9.05	10.59	10.24
1999	9.31	9.68	10.33	11.29
2000	8.68	10.11	9.45	9.87
2001	9.46	10.18	10.67	9.91
平均水分	9.36	9.40	10.48	10.33
原圆盘水分	10.32	12.52	11.71	14.24
绝对下降	-0.96	-3.12	-1.23	-3.91
相对下降	9.30	24.90	10.50	27.45

说明：1、各台陶瓷过滤机开始使用时间：锌精（1995），铅精、硫精（1996），混精（1998）。2、因 98 年 4—8 月铅精过滤机调作混精用，铅精用圆盘过滤机过滤。

3.3.2 经济效益指标

陶瓷过滤机的成功使用，解决了凡口铅锌矿长期存在的过滤技术问题，尤其是铅精矿、锌精矿的过滤问题，它带来的经济技术指标的变化主要体现在如下几个方面：

1、精矿脱水能耗下降。真空过滤机精矿脱水的能耗为 6.405KWh/t，陶瓷过滤机的精矿脱水能耗为 2.116 KWh/t，后者的能耗是前者的 35%，下降 65%。按年处理原矿 120 万吨计算，每年可节约电耗 514.68 万千瓦小时，按每千瓦小时 0.6 元计算，年节约成本 308.08 万元。

2、水分减少，运输过程中的途耗减少，按 13 万吨金属量计算，途耗每减低千分之一，金属损失减少 130 吨，增加利润 52 万元。据统计，由于水分下降，途耗下降了千分之二到三，因此增加利润 104 万元到 156 万元。

3、过滤车间实现清洁生产，矿区污染减少，带来一定的环境效益。

以上三项合计带来的经济效益为 412.08 万元到 464.08 万元

3.4 小结

本章分析了凡口铅锌矿精矿过滤存在的问题，提出用陶瓷过滤机取代圆盘真空过滤机，为此进行了陶瓷过滤机的小型试验，试验结果表明，陶瓷过滤机可以得到较低的滤饼水分，是解决精矿滤饼水分高的有效途径。此后，对工业过滤机进行了一系列的试验研究，包括给料浓度、液位高低、转速率大小等试验，主要结论如下：

1、小型试验表明，陶瓷过滤机可以得到水分含量低的滤饼，对铅精矿而言，水分由 12.5%下降到 10.79%；对锌精矿而言，水分由 13.37%下降到 10.81%；对硫精矿而言，水分由 14.21%下降到 11.10%。

2、给料浓度增大，处理量及滤饼水分亦随之增加，如果以 10%作为合格滤饼水分含量，那么对应的浓度不能高于 75%，如果以 9%作为合格滤饼水分含量，那么对应的浓度不能高于 72%；

3、随着矿浆液位的升高，滤饼水分也逐渐提高，处理量增大。液位 80%处，处理量存在一拐点，高于 80%液位比低于 80%的处理量增加幅度小，结合生产及产品出厂水分要求，确定最佳矿浆液位为 76%--86%，实际设定值为 $80\pm 5\%$ 。

4、转速率增加，处理量增加，当转速从 50%上升到 80%时，处理量逐渐增大到最大值，转速超过 80%，处理量反而略有下降，主要是滤饼形成时间缩短所致，确定 80%左右的转速为最佳圆盘转速。

5、陶瓷过滤机的成功使用，解决了凡口铅锌矿长期存在的过滤技术问题，尤其是铅精矿、锌精矿的过滤问题，它带来了精矿过滤能耗、水分等经济技术指标的变化，初略估算，经济效益为 412.08 万元到 464.08 万元。

第四章 国产陶瓷过滤机过滤分级尾砂试验研究

为了使尾砂能够用于浇面，满足其抗压强度和抗剪强度，有必要对全尾砂进行分级，根据充填的需要，用旋流器脱去-19 微米的微细粒级，由于微细粒级颗粒被脱去，原有的真空过滤机存在一系列的问题，盘式真空过滤机在处理旋流器沉砂时由于浓度很高（达到 70%），粒度较粗，颗粒沉降速度很快，真空过滤机容易压耙，导致过滤机不能正常工作。因此，工业生产时应该选用正确类型的过滤机或对现有过滤机实行改造，避免压耙现象发生。考虑到陶瓷过滤机良好的处理能力和较低的运行成本，因而成为选择的方案之一。

4.1 试验研究设备、仪器

分级尾砂过滤试验研究的设备和仪器有：（1）陶瓷过滤机及其附属设备，旋流器，压力表，渣浆泵；（2）烘箱，试验室小型过滤机，滤纸，托盘天平，砝码，塑料桶等。

4.2 分级尾砂物料性质

过滤机的给料即全尾砂经旋流器分级后的沉砂，其浓度波动范围为 65-72%，沉砂固体颗粒的真实密度为 3200kg/m³，表 4.1 列出了旋流器沉砂的粒度组成。

表 4.1 分级尾砂粒度组成

粒径 μ m	负 累 积 %	区间%	粒径 μ m	负 累 积 %	区间%	粒径 μ m	负 累 积 %	区间%
1.81	0.00	0.00	9.95	4.85	0.76	54.64	34.58	7.28
2.15	0.01	0.01	11.79	5.67	0.82	64.79	44.05	9.47
2.55	0.12	0.11	13.98	6.66	0.99	76.83	55.26	11.21
3.02	0.42	0.30	16.58	7.99	1.33	91.09	67.41	12.15
3.58	0.82	0.40	19.66	9.78	1.79	108.01	79.18	11.77
4.24	1.37	0.55	23.31	12.06	2.28	128.07	88.96	9.78
5.03	2.02	0.65	27.64	14.77	2.71	151.86	95.76	6.80
5.97	2.68	0.66	32.78	17.94	3.17	180.07	99.33	3.57
7.07	3.37	0.69	38.86	21.89	3.95	213.51	99.91	0.58
8.39	4.09	0.72	46.08	27.30	5.41	253.17	100.00	0.09

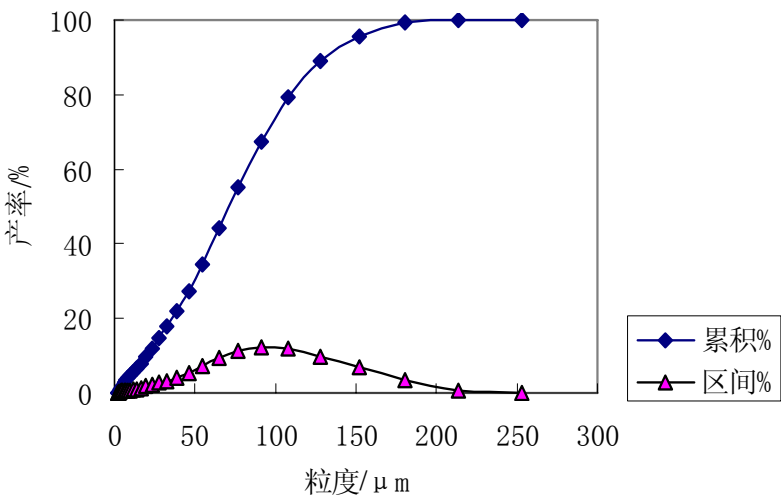


图 4.1 分级尾砂粒度组成曲线

4.3 分级尾砂过滤试验研究

4.3.1 BST-6 过滤试验

BST-6 是该种过滤机的最小机型，主要用于试验研究。试验系统由搅拌槽、BST-6 过滤机构成闭路循环。过滤机的圆筒转速为 41 秒/转，搅拌速度为 21 次/分钟，真空度为 0.097-0.099Mpa，返冲洗压力为 0.04-0.06Mpa。试验时间为 12 小时。给料浓度即为搅拌槽排出浓度，由浓度壶测定。产量的标定方法是截取整块滤板的单面滤饼，依据重量和过滤机的转速换算出小时固体产量。滤饼水分由烘干称重计算得出。

表 4.2 给出了给料浓度、滤饼水分和产量的关系。显然，给料浓度既影响滤饼水分，也影响滤饼产量，用表 4.2 的数据绘制出给料浓度与滤饼水分的关系（图 4.3）和给料浓度与产量的关系（图 4.4）。

从图 4.3 可以发现，给料浓度显著影响滤饼水分，当给料浓度为 50%时，滤饼水分约为 10%，随着给料浓度的增加，滤饼水分上升，当给料浓度为 65%时，滤饼水分达到 15%，超过这一值意味着滤饼水分不合格。因此，工业试验表明，给料浓度的最佳范围为 50-65%。

给料浓度上升，意味吸附在滤板表面的固体量增加，滤饼厚度增加。在真空度不变的条件下，过滤推动力恒定，过滤阻力随着滤饼厚度增加而增加，水分来不及穿越固体颗粒间隙和过滤介质，因此，浓度增加必然带来滤饼水分的上升。

表 4.2 BST-6 过滤试验结果

给料浓度%	滤饼水分%	产量 t/m ² h
-------	-------	-----------------------

49.49	10.37	0.29
49.74	10.27	0.32
52.87	10.12	0.33
56.02	11.63	0.51
56.32	12.81	0.89
57.91	13.14	0.83
58.27	12.94	0.82
59.65	13.55	1.1
60.53	14.53	1.49
61.27	14.11	1.01
61.36	14.45	1.07
61.9	14.12	1.18
64.18	14.89	1.27
67.13	15.18	1.7
68.08	15.8	1.74
71.15	15.24	1.62

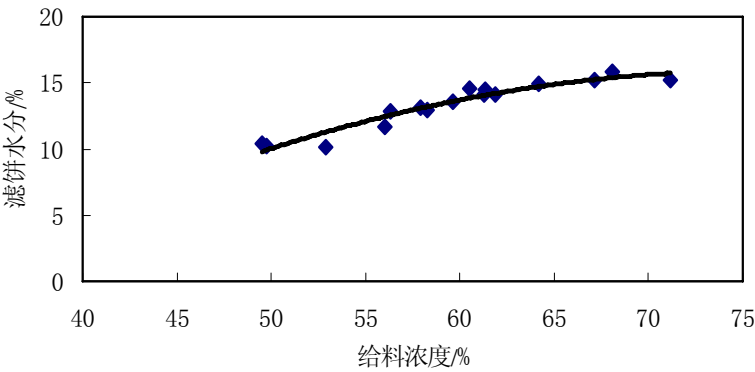


图 4.3 给料浓度与滤饼水分试验

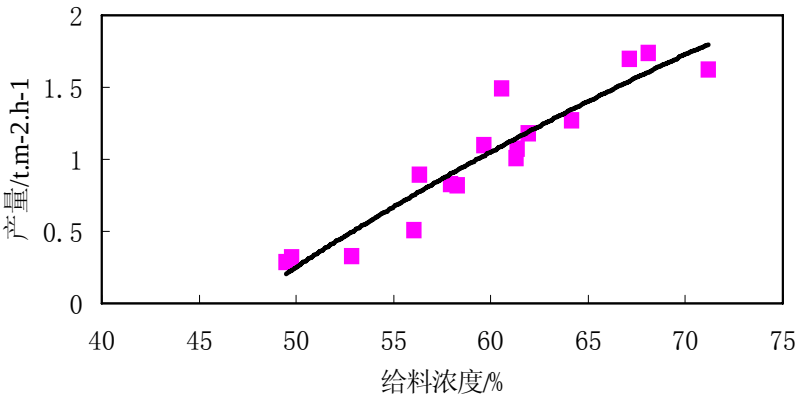


图 4.4 给料浓度与产量试验

图 4.4 给出的试验结果表明，给料浓度显著影响过滤机产量，给料浓度由 50%提高到 70%，产量由 0.3t/m²h 提高到 1.7t/m²h，后者的提高幅度远高于前者，根据旋流器的

沉砂产量，要求过滤机的产量为 40-60t/h，如果采用 45m² 的陶瓷过滤机，则过滤机的单位生产能力必须达到 0.89-1.333t/m²h。从图 4.4 可以看出，BST 陶瓷过滤机具有上述生产能力，但必要条件是给料浓度大于 57%。结合浓度对水分的影响，过滤机的给料浓度容许的范围是 57-65%，在此条件下既可以满足水分的要求，也可以满足尾砂处理量的要求。

4.3.2 HTG-1 过滤试验

HTG-1 的试验方法与 BST-6 的试验方法相似，但是由于试验系统的限制，HTG 的试验规模小于 BTS，HTG 过滤机的过滤面积为 1m²，而 BST 的过滤面积为 6m²。只能进行开路试验，试验数据的准确程度可能低于 BST-6 试验系统，过滤试验结果列于表 7.5。用表 4.3 数据绘制出给料浓度与滤饼水分的关系（图 4.5），给料浓度与产量的关系（图 4.6）。

从图 4.5 和 4.6 可以看出，给料浓度与滤饼水分的关系以及给料浓度与产量的关系与 BST-6 过滤机的试验结果相似，保证滤饼水分 15%以下的给矿浓度范围是 67%以下，而维持 0.89-1.333t/m²h 的处理能力要求的给矿浓度大于 50%。因此主要的工艺条件与 BST-6 相似。应该提出的是产量问题，给料浓度低于 62%时，HBG 过滤机的指标与 BST 接近，但当浓度超过这一值时，产量增加很快，给料浓度达到 69.87%时，产量甚至达到了 6.19t/m²h，这可能与试验系统的缺陷有关。

表 4.3 HTG-1 过滤试验结果

给料浓度%	滤饼水分%	产量 t/m ² h
54.71	12.86	1.11
54.91	12.43	1.02
56.71	12.4	1.06
58.22	12.63	1.32
61.12	13.09	1.31
61.96	13.57	1.56
62.53	13.31	1.48
65.4	15.2	2.4
66.13	15.39	2.38
66.26	16.24	3.17
68.46	17.64	3.95
69.87	18.13	6.19
71.43	18.79	6.33

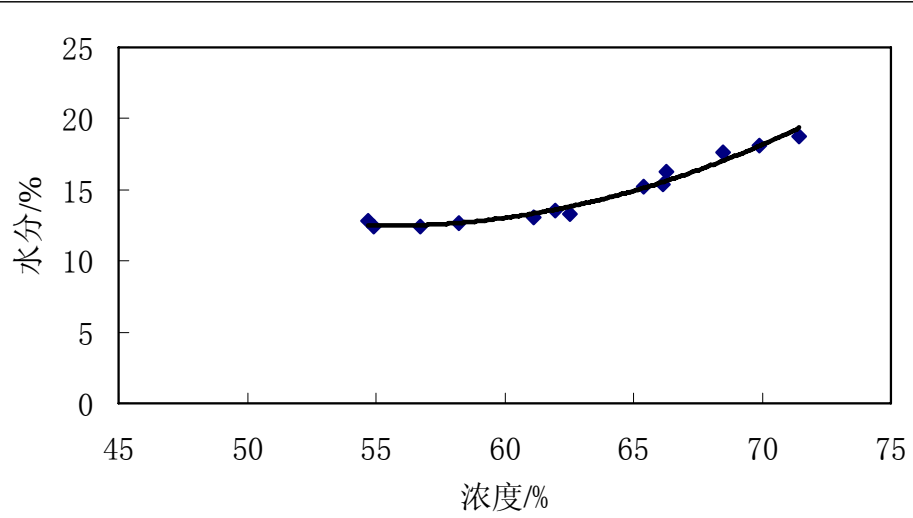


图 4.5 给料浓度与滤饼水分试验

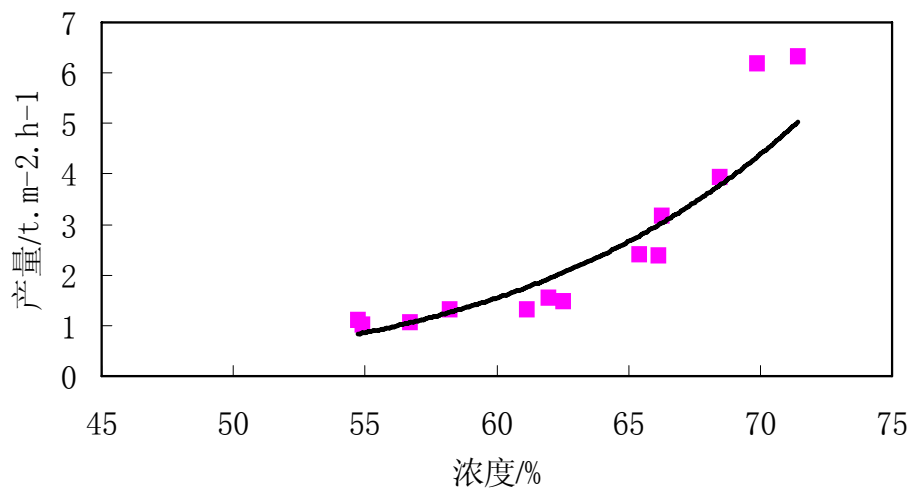


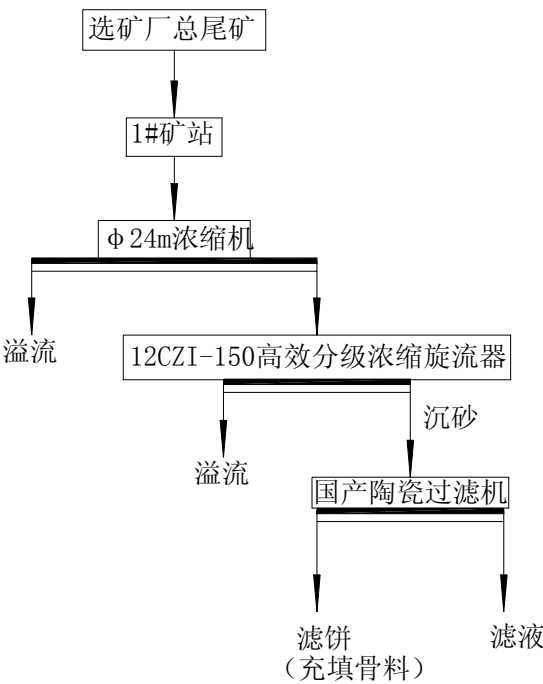
图 4.6 给料浓度与产量关系曲线

4.4 分级尾砂过滤工业试验流程

图 4.2 分级尾砂过滤工业试验流程

4.5 工业调试结果

分级尾砂过滤的小型试验结果探索了陶瓷过滤机的可能性和可行性，两种机型的过滤机的均可以用于分级尾砂过滤，考虑到 HTG 系列的生产实例较多，尤其是 30-45m² 机型有 3 个矿山在使用，凡口矿最终选定 HTG-45 作为尾砂分级的过滤设备。调试试验分为初期调试和稳定运行试验。陶瓷过滤机设备参数由厂家预先确定；圆盘转速 100%时为 40 秒/转，实际运行中一般在 50%~80%之间，平均 69.35%。



4.5.1 陶瓷过滤机性能指标

生产调试中 HTG-45 陶瓷过滤机共运行 20 个班，其中初期调试 5 个班，稳定试验 15

个班，20 个班不同供矿状态下的运行总指标列于表 6.6。稳定试验 15 个班的结果列于表 4.4。

表 4.4 陶瓷过滤机总体运行指标

选厂开机状态	开机班数（班）	滤饼水分 %	产品+19 μ m 含量%	小时产量（t/h）
1 个系列	5	8.98	89.30	32.65
2 个系列	15	11.21	90.25	39.92
合 计	20	10.65	90.00	38.38

表 4.5 稳定试验陶瓷过滤机工作状况表

班 次	开机时间/h	滤饼水分/%	滤饼产量		过滤机	
			(t)	(t/h)	给料浓度 %	槽体浓度%
8.20 早	3	9.98	148.53	49.51	70.70	73.40
8.20 中	6	9.62	194.32	32.39	69.82	70.69
8.21 早	6	10.68	180.16	30.03	67.80	71.96
8.21 中	5	11.44	198.37	39.67	68.74	65.98
8.22 早	5.83	11.5	230.10	39.47	71.02	71.04
8.22 中	3.67	11.52	145.11	39.54	69.74	66.07
8.23 早	5.75	11.3	213.77	37.18	71.27	71.82
8.23 中	6.5	11.54	265.38	40.83	71.27	72.86
8.24 早	4.6	9.21	202.46	44.01	73.60	74.50
8.25 早	6.5	11.8	312.23	48.04	73.93	73.97
8.25 中	5.5	11.5	187.62	34.11	72.16	73.34
8.26 中	5.83	12.24	263.28	45.16	70.43	71.36
8.27 早	6.5	11.6	291.72	44.88	71.90	72.40
8.27 中	4.83	12.05	239.22	49.53	73.61	74.58
8.28 早	7.33	11.11	266.67	36.38	72.50	73.60
累 计	82.84		3338.94			
平 均		11.14	222.60	40.72	71.23	71.84

从 8.17 早班到 8.28 中班有皮带称计量的 20 个班中共生产了 4100.49 吨干砂，平均每班 205 吨干砂，小时量 38.38 吨干砂/时，最大即时流量 130 吨湿砂/时。每班平均开机 5.34 小时。小时产量未能达到 50~90 吨的主要原因是系统粗砂量不足。

滤饼水分 10.65%，比目标产品含水率≤15%小得多。

另外，对滤液水浓度也进行了测定，共取滤液 420 升，得固体物 2 克，重量浓度为 47PPM。

稳定试验运行 15 个班，主要指标为：15 个班中共生产了 3338.94 吨干砂，平均每小时流量 40.72 吨干砂/时，滤饼水分平均值为 11.14%，水分依然比目标产品含水率≤15%小得多。

4.5.2 耗酸指标

陶瓷过滤机使用一定时间必须用硝酸和超声波联合清洗，以减少陶瓷板微孔的堵塞。从 8.12 早班至 8.28 中班开机 30 个班共耗酸 4 桶，每桶 25 公斤，按每班清洗一次计算，平均每次清洗消耗约 3.5 公斤。

设计每天三班作业，每班清洗 1 小时。目前，由于受充填需不同砂量的限制，只能每天开机两个班，每班清洗一次，每次清洗用时约 1 小时又 15 分。就陶瓷过滤机而言，是否清洗，看来料情况和上一次的清洗情况而定。一般来说，如果是开两个系列又不打砂，上一次清洗又好，可以坚持两个班再清洗；如果打砂，不管开多少系列，开机 3~4 小时后都必须清洗。

4.5.3 国产陶瓷过滤机存在的问题

国产的 HTG-45 陶瓷过滤机用于分级尾砂的过滤基本能够满足滤饼水分、生产量的要求，运行没有太多的故障。表现在操作程序简单，可改变的因素不多，设备跟进口机型比有一定的差距。经过改进之后，明显的搅拌问题基本消除，但还存在一些影响生产的问题没有解决：一是在运行过程中返洗水压不足，尤其在 1[#]泵站打砂时，运行 3~4 小时之后，过滤机就不能满足系统的生产能力要求；二是酸洗效果时好时坏，有待进一步调整。

4.6 小结

本章对分级尾砂过滤性能及过滤设备进行了研究，研究表明，国产陶瓷过滤机能够基本满足分级尾砂的脱水要求。试验得出的主要结论如下：

- 1、BST 型陶瓷过滤机的最佳给料浓度为 57-65%，在此条件下，可以满足处理能力和滤饼水分的要求；
- 2、HTG 型陶瓷过滤机的最佳给料浓度为 55-65%，在此条件下，可以满足处理能力和滤饼水分的要求；
- 3、考虑到 HTG-45 在中国有三家用户正在运行，工业生产采用了一台 HTG-45 陶瓷过滤机用于分级尾砂的脱水；
- 4、HTG-45 经过工业调试和稳定运行，处理能力达到 40.72t/h，滤饼水分达到 11.14%，基本满足分级尾砂脱水的需要。

第五章 工业陶瓷过滤机的清洗试验研究

滤盘的清洗是过滤循环中关键步骤,每一块陶瓷板的过滤效率的高低在于被过滤的物料是否最大限度地从陶瓷板的微孔中被清除干净^[47]。每一过滤循环完成后,陶瓷板立即被反冲洗水清洗,反冲洗水的压力约为 $0.5\text{—}0.8\times 10^5\text{Pa}$,冲洗时间为 2—5 秒,这样就洗掉了由于滤板与刮板之间的间隙所引起的残留滤饼及瓷片表面微孔中细小颗粒。然而长时间的运行仅靠反冲洗水是不能将挤入过滤瓷片表面微孔中的细小颗粒及碳酸钙、硫酸钙之类的化学物质清洗干净的,为了保持滤片的透气性,该机配备有超声波和酸洗的联合清洗,超声波振荡器安放在两个滤盘之间,清洗时箱体内部装有一定水位的水,超声波振荡器工作时,滤盘周围的水面就会产生很强的与机械刷洗的效果类似的气穴^[48]。为了加强清洗的效果同时还配合有酸洗,一般采用约含 1%的稀硝酸与反冲洗水同时清洗滤片,每次联合清洗间隔可根据实际情况而定。实际应用表明:每次清洗后,滤盘表面洁净程度与所过滤物料及清洗时间和所用清洗剂有关。清洗的整个过程可以采用自动或手动,根据用户自己的要求而定

针对堵塞微孔物质的物理化学性质,采用物理和化学清洗相结合的办法。应用不同的化学试剂及相应的方式,确保滤盘清洗达到理想效果。

5.1 试验设备、仪器、药剂

试验设备、仪器主要有:陶瓷过滤机及其附属设施、试验室用过滤机、滤纸、天平、砝码、量筒、量杯、烧杯、吸耳球等等。

试验药剂主要有:硝酸、盐酸、草酸等。

5.2 物料的粒级组成分析

陶瓷过滤机过滤的物料来自浓密机底流,通过筛析和水析,铅、锌、硫、混合精矿的粒级组成情况见表 3.2。

如表 3.2 所示,铅精矿矿粒特别细, -0.005mm 占 30.31%,陶瓷板微孔名义尺寸为 0.0029mm ,如果颗粒直径小于 0.0029mm ,那么一旦穿越滤饼停留在微孔的附近,就有机会进入微孔,造成微孔的堵塞。大于 0.0029mm 的颗粒虽然不能进入微孔,但是也有可能镶嵌在微孔的外部。后者可以用反冲洗的方法清除,但是对于微孔中部的堵塞,反冲洗不一定能起到清洁、疏通微孔的作用。

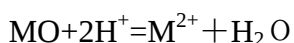
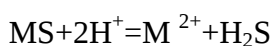
锌精矿属较细料浆, -0.005mm 占 16.16%,在较高 pH 值状态下过滤比较困难。硫精矿 $0.076\text{mm}\text{—}0.020\text{mm}$ 粒度间含量相对较大, -0.005mm 只占 6.70%,属较好过滤矿种,但因硫精矿在低 pH 值状态下生产,产生的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体易堵塞陶瓷板微孔,

影响了硫精过滤机的过滤性能。

5.3 化学清洗机理探讨

5.3.1 简单酸洗

需要化学处理的物质主要有硫化铅、硫化锌和黄铁矿，以及处理这些矿物衍生的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、碳酸钙、硫酸钙之类的化学物质，主要反应有^[49]



目的组分矿物在酸液中的稳定性决定于 pH^0_{T} 值， pH^0_{T} 值小的化合物难被酸液洗出， pH^0_{T} 值大的化合物易被酸溶解，某些金属氧化物、硫化物的 pH^0_{T} 值分别列于表 5.1。

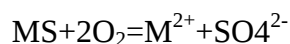
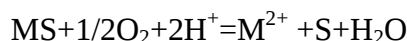
表 5.1 某些金属氧化物、硫化物的 pH^0_{298} 值

化合物	ZnO	Fe_3O_4	Fe_2O_3	ZnO. Fe_3O_4	PbS	ZnS	FeS
pH^0_{298} 值	5.801	0.891	-0.24	0.6747	-3.096	-1.586	1.726

从表中可以看出，在常温常压下，除了 ZnO、 Fe_3O_4 、ZnO. Fe_3O_4 、FeS 可以简单酸溶外，其它物质都难以酸溶。

5.3.2 氧化酸洗

对于不能简单酸溶的物质可以考虑先氧化后酸溶，某些金属硫化物 $\text{MS-H}_2\text{O}$ 系的图 ε -pH 图如图 5.1 所示，从图中曲线可知，金属硫化物虽然较稳定，但在氧化剂存在下，几乎所有硫化物在酸液或碱液中均不稳定，此时存在两类氧化反应：



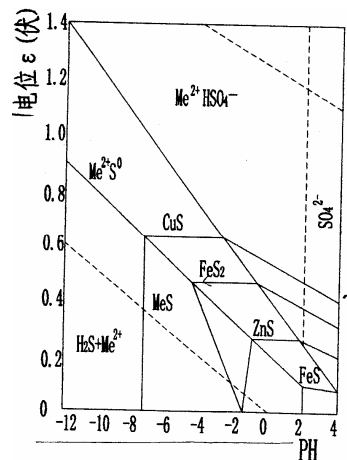


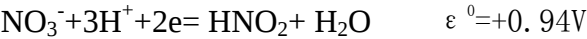
图 5.1 MS-H₂O 系电位-pH 图

不同硫化物在水溶液中的元素 S 稳定区 $\text{pH}^0_{\text{上限}}$ 和 $\text{pH}^0_{\text{下限}}$ 不相同，表 5.2 列举了主要金属硫化物的元素硫稳定区的 $\text{pH}^0_{\text{上限}}$ 、 $\text{pH}^0_{\text{下限}}$ 及 $\text{M}+2\text{e}+\text{S}=\text{MS}$ 平衡线的平衡电位值 ε^0 ：

表 5.2 元素硫稳定区的 $\text{pH}^0_{\text{上限}}$ 、 $\text{pH}^0_{\text{下限}}$ 、 ε^0

硫化物	FeS ₂	PbS	ZnS	FeS
$\text{pH}^0_{\text{上限}}$	-1.19	-0.946	1.07	3.94
$\text{pH}^0_{\text{下限}}$	-4.27	-3.096	-1.58	1.78
ε^0	0.423	0.354	0.264	0.066

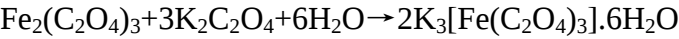
从表 5.2 数据可知，只有 $\text{pH}^0_{\text{下限}}$ 较高的 FeS 等可以简单酸溶，大部份硫化物的 $\text{pH}^0_{\text{下限}}$ 很负，只有使用氧化剂才能将硫化物中的硫氧化。按工艺要求，可以通过控制酸洗 pH 值和电位，使硫化物中的金属转入溶液，使硫氧化为元素硫或硫酸根。选矿厂使用的氧化剂为 68% HNO_3 ，其被还原的电化方程及标准电位为：



由上式及表 5.2 可知，元素硫稳定区的 $\text{pH}^0_{\text{下限}}$ 从高到低的顺序是 FeS、ZnS、PbS、FeS₂。 ε^0 从低到高的顺序亦是 FeS、ZnS、PbS、FeS₂。当 HNO_3 氧化时，与以上矿物形成的电池电动势从大到小的顺序是 FeS、ZnS、PbS、FeS₂。这也就是氧化酸洗难易的顺序。

5.3.3 草酸清洗

有些物质是既不能简单酸溶又不易被氧化或者氧化后不能简单酸溶的物质如 Fe_2O_3 等化合物，可以采用草酸使其形成草酸盐，许多金属草酸盐能形成络合物而溶于水，从而清洗了微孔。例如草酸铁能溶于草酸钾溶液中：



采用草酸来清洗硫精矿陶瓷过滤机，就是依据上述机理。

5.3.4 物料预先处理

对于某些产生既不溶于酸也不被硝酸氧化的物料，可以在进入过滤机槽体前预先处理物料，使其不产生或少产生这种物质，从而减轻清洗和过滤难度，如凡口矿的硫精矿过滤，就是在物料进入浓密机之前，加入了少量的石灰，将 pH 值调整到 9.64 以上，使 Fe^{2+} 首先形成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 沉淀附着于矿物颗粒，并进一步氧化形成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 而减少对微孔的堵塞，清洗效果很好^[50]。

5.4 陶瓷过滤机清洗试验

5.4.1 清洗方法

通过摸索和生产实践，目前凡口铅锌矿引进的 4 台陶瓷过滤机的清洗方法分别是：铅、锌、混合精矿陶瓷过滤机采用硝酸-超声波结合使用方法；硫精矿陶瓷过滤机采用石灰-草酸-硝酸-超声波联合使用方法。

5.4.2 清洗周期试验

陶瓷过滤机清洗周期是由陶瓷过滤机滤板的微孔大小多少以及所过滤的物料性质决定的，具体到每一台设备，则是视其过滤水量的大小变化。我们的做法是滤液量达到 0.12m^3 所需要的时间延长了一倍即过滤能力下降了一半时就需要进行清洗。表 5.3 是第一台陶瓷过滤机为确定清洗周期而测定的生产过程。

表 5.3 清洗周期测定

运行时间（小时）	0.00	1.25	2.75	4.25	5.75	7.75
滤液充满时间（S）	28.5	34	33.5	35	33.7	34.3
运行时间（小时）	9.75	11.75	13.00	13.75	14.75	16.75
滤液充满时间（S）	37.5	39.5	48	49	53.5	59
运行时间（小时）	17.75	20.25	21.75	22.75	24.75	26.75
滤液充满时间（S）	68.5	88	84	102	91.3	108

从表 5.3 可以看出，当滤液充满时间从 28.5 秒到 59 秒时运行了 16.75 个小时，即每两个班就要清洗一次，由于生产能力有剩余，为了管理方便，我们就规定每班清洗一次，其它机也依此每班清洗一次。

5.4.3 清洗效果

我矿从 95 年引进第一台陶瓷过滤机以来，只要应用陶瓷过滤机过滤某一精矿，就再也没有因陶瓷过滤机故障而启用普通圆盘过滤机。可见陶瓷过滤机在凡口矿选厂生产应用中是相当成功的，其中滤盘的清洗是关键。过滤清洗前后滤液量(m^3/h .台)变化结果见表 5.4。

表 5.4 清洗前后滤液量变化情况

陶瓷过滤机机号		C-15	C-45	C-45	C-15
过滤物料		铅精	锌精	硫精	混精
滤液量 (m^3/h .台)	清洗前	6.87	13.89	19.64	7.36
	清洗后	7.79	24.17	21.60	7.92
标准初始滤液量 (m^3/h .台)		8.06	24.17	24.17	8.06
微孔还原率 (%)		96.65	100.00	89.37	98.26

(说明：微孔还原率是指清洗后的滤液量(m^3/h .台)与新机开机时最初的滤液量(m^3/h .台)的比值。)

从表 5.4 看出，联合清洗非常有效，尤其是对锌精、混精和铅精陶瓷过滤机的清洗效果良好，微孔还原率分别达到 100%、98.26%和 96.65%。例外的是硫精，还原率只能达到 89.37%，其原因可能是 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体造成的微孔堵塞。

5.5 小结

凡口矿作为国内第一家使用进口陶瓷过滤机的企业，在使用方面碰到了很多清洗难的问题，为了解决这些问题，本章针对过滤的物料和陶瓷板堵塞的原因，做了大量深入细致理论和试验研究探索工作，尤其在硫精矿过滤清洗方面，探索出石灰-草酸-硝酸三种化学药剂与超声波结合使用的新方法，解决了陶瓷板清洗难问题。

第六章 结 论

精矿脱水是选矿厂的重要作业，尤其是微细粒级的脱水更是选厂的技术难题。投产以来凡口矿选矿厂一直存在精矿脱水的技术难题，尤其是铅精矿、锌精矿，由于粒度细，传统的真空圆盘过滤机不能很好的适应生产的需要，脱水能耗高、滤饼水分高是两大技术难题。虽然进行了各种过滤机的试验研究，但是在 1995 年以前，并没有真正解决这一问题。本文对进口陶瓷过滤机和国产陶瓷过滤机分别过滤精矿和分级尾砂进行了详细的试验研究，包括过滤机型号的选择、最佳参数的确定、清洗机理和清洗工艺的研究、工业指标的考核，主要结论如下：

5、选型试验表明，陶瓷过滤机可以得到水分含量低的滤饼，对铅精矿而言，水分由 12.5%下降到 10.79%；对锌精矿而言，水分由 13.37%下降到 10.81%；对硫精矿而言，水分由 14.21%下降到 11.10%。給料浓度增大，处理量及滤饼水分亦随之增加，如果以 10%作为合格滤饼水分含量，那么对应的浓度不能高于 75%，如果以 9%作为合格滤饼水分含量，那么对应的浓度不能高于 72%；随着矿浆液位的升高，滤饼水分也逐渐提高，处理量增大。液位 80%处，处理量存在一拐点，高于 80%液位比低于 80%的处理量增加幅度小，结合生产及产品出厂水分要求，确定最佳矿浆液位为 76%--86%，实际设定值为 $80\pm 5\%$ 。转速率增加，处理量增加，当转速从 50%上升到 80%时，处理量逐渐增大到最大值，转速超过 80%，处理量反而略有下降，主要是滤饼形成时间缩短所致，确定 80%左右的转速为最佳圆盘转速。

6、石灰-草酸-硝酸三种化学药剂与超声波结合使用的新方法，解决了陶瓷板清洗难问题。对铅精矿、锌精矿、混合精矿该方法可以对锌精、混精和铅精陶瓷过滤机的清洗效果良好，微孔还原率分别达到 100%、98.26%和 96.65%。例外的是硫精，还原率只能达到 89.37%。

7、用进口陶瓷过滤机可以节约能耗、降低滤饼水分，取得明显的经济效益。矿脱水能耗下降。真空过滤机精矿脱水的能耗为 6.405KWh/t，陶瓷过滤机的精矿脱水能耗为 2.116 KWh/t，后者的能耗是前者的 35%，下降 65%。按年处理原矿 120 万吨计算，每年可节约电耗 514.68 万千瓦小时，按每千瓦小时 0.6 元计算，年节约成本 308.08 万元。水分减少，运输过程中的途耗减少，按 13 万吨金属量计算，途耗每降低千分之一，金属损失减少 130 吨，增加利润 52 万元。具统计，由于水分下降，途耗下降了千分之二到三，因此增加利润 104 万元到 156 万元。能耗下降和滤饼水分降

低可以直接得到经济效益 412.08 万元到 464.08 万元，此外过滤车间实现清洁生产，矿区污染减少，带来一定的环境效益。

8、尾砂分级可以采用国产陶瓷过滤机，小型试验表明 BST 和 HTG 两种国产陶瓷过滤机均可以用于分级尾砂的脱水。BST 型陶瓷过滤机的最佳给料浓度为 57-65%，HTG 型陶瓷过滤机的最佳给料浓度为 55-65%，在此条件下，它们都可以满足处理能力和滤饼水分的要求，考虑到 HTG-45 在中国有三家用户正在运行，工业生产采用了一台 HTG-45 陶瓷过滤机用于分级尾砂的脱水

9、HTG-45 经过工业调试和稳定运行，处理能力达到 40.72t/h，滤饼水分达到 11.14%，基本满足分级尾砂脱水的需要。

参 考 文 献

- [1]王永章,屈秀忠 峨口铁矿竖炉球团系统的影响因素分析及技术对策 烧结球团 1999. 24(5);59-61
- [2]姚公弼 过滤基本理论和主要设备概述 过滤与分离 1994(3);6-12
- [3]赵昱东 盘式真空过滤机改进及效果 过滤与分离 2001. 11(3);33-36
- [4]李书会,陈维军,杜进军 ZPG—72 型盘式真空过滤机的研制 金属矿山 1998(3);28-31
- [5]姜华,刘军,高春祥,郭效东 ZPG—72 盘式真空过滤机的工业试验 金属矿山 1998(4);30-33
- [6]吴文长,韩锐,李宗杰 水平胶带真空过滤机的研究 选煤技术 1998(2);14-17
- [7]段建平 XYZ 型压滤机在金精矿脱水中的应用 黄金 1994. 15(3);44-46
- [8]符向民,廖挥英 高浓度糖浆过滤机的设计 广西轻工业 1998(4);56-59
- [9]戴明,陈建国,李传祥 城市污水处理的新型脱水设备——转筒浓缩带式压榨过滤机 工业水处理 2002. 22(1);60-62
- [10]罗倩 脱水设备的现状与进展(上) 冶金矿山设计与建设 1996(5);49-51 下接 63
- [11]范德顺,李焕,黄钟 翻袋式离心机简介 过滤与分析 2000. 10(3);35-37
- [12]赵宏柱,邢春芳 筛网沉降过滤机与压滤机的比较 西山科技 2002(1)3-5
- [13]吴志刚,吴厚吉 TFF—叉流过滤 广州食品工业科技 1996. 12(3);95-97
- [14]Stumpe M, Redeker B. Filtration and Separation 1993, 6:331
- [15]姚公弼 液固分离技术的进展 化工进展 1997(1);16-19 下接 25
- [16]张乃慧,仇志义,林自扬 戈尔膜过滤机在盐水精制中的应用 氯碱工业 2000(10);16-17
- [17]宋家骏,赵鸿才 新型自动压滤机的研制和试验 28-32 下接 38
- [18]梁东文 提高过滤机滤饼脱落率粗探 西山科技 2002 增刊;76-77
- [19]Tetsuya Kurta. Current Technical Trends of Automatic Filter Press. Proceedings of 2nd Chinese-Japan Joint International Conference on Filtration & Separation 1994, 11:30
- [20]周明远,孙福兴 热压过滤强化细粒煤脱水的研究与展望 选煤技术 1999(4);46-49
- [21]王保荣,党晋平 浮精脱水改型设备的探讨 西山科技 2002 增刊;27-28
- [22]徐新阳,邓述波,周明远 浮选精煤热压过滤机脱水机理 东北大学学报(自然科学版) 1998. 19(5);465-467
- [23]Korger V, Stahl W, Vapour pressure dewatering—A new technology in the field of mechanical and thermal solid liquid separation, Aufbereitungstechnik, 1993, 34:555
- [24]黄少斌,助滤剂 CAM 对煤泥的脱水效果研究,华南理工大学学报, 1999, 27(3): 73-75
- [25]王尤贵,脱水助剂在临煅选煤厂的应用,选煤技术, 1998, 4: 28-30
- [26]杨宁,高分子助滤剂用于细粒煤脱水的试验研究,煤炭加工与综合利用, 1998,

5: 30-31

- [27] 许莉, 朱企新, 鲁淑群, 石建明, 杨爱玲 过滤理论与过滤实践的几个问题 化工机械 2000. 27(5); 287-291
- [28] 管勇敏, 李春菊 德兴铜矿铜精矿过滤水分升高的对策探讨 铜业工程 2002(1); 81-84
- [29] 付相仕, 刘玉华 钒钛磁铁精矿过滤脱水的影响因素及改善措施 冶金矿山设计与建设 2000. 32(6); 10-13
- [30] 韩宝柱, 卜新曲 铜铁分离工艺铁精矿过滤脱水的影响因素及应采取的措施 过滤与分离 1999(2); 34-36
- [31] 宋家骏 精矿过滤设备的发展和展望 国外金属矿选矿 1995(4); 55-58
- [32] 周少雷, 钟会平, 刘福泉 浮选精煤和煤泥脱水的高效设备—加压过滤机 煤炭加工与综合利用 1997(1); 8-10
- [33] 何国伟, 梁冬云 柿竹园萤石精矿脱水工艺的研究 广东有色金属学报 1997. 7(2); 95-99
- [34] 黄云生, 于兴良, 蒋勇 铅硐山铅锌矿选矿厂主要脱水设备的选择与应用 22-23
- [35] 余建平, 罗立明, 邵和平 硫精矿脱水新工艺及设备的工业试验 过滤与分离 1999(4); 24-28
- [36] 埃克伯格, 哈尔蒂 毛细过滤—自然力在选矿工业中的利用 国外金属矿山 1994(7) 59-65
- [37] 张吉贵, 张血玲 选矿硫精脱水工艺分析 新疆钢铁 1998(4); 31-34
- [38] 孙肇淑, 伍敬峰, 谢用均 凡口铅锌矿选矿厂生产技术改造 有色金属 1998. 50; 35-40
- [39] 谢蓬根, 刘广龙 金川镍选厂精矿过滤现状及努力方向 过滤与分离 2001. 11(2); 32-34
- [40] 谢蓬根, 刘广龙 金川镍选厂精矿过滤实践与发展 25-30
- [41] 赵昱东 过滤设备在国内的使用情况 矿山机械 1997(1); 24-25
- [42] 张高进, 王陵 TT 型特种(陶瓷)过滤机的研究与应用 黄金 2002(1); 22-26
- [43] 李桂鑫 高效节能的过滤设备—陶瓷过滤机 国外金属矿选矿 1998. 7; 35-38
- [44] 刘侦德, 伍敬峰. 陶瓷过滤机在凡口矿的应用, 有色金属, 1998 50 (9): 62-67
- [45] 刘广龙 陶瓷过滤机应用于浮选铜镍精矿的研究 云南冶金 2002. 31(6); 16-21
- [46] 时宗友 CC—45 陶瓷过滤机在硫精矿脱水中的应用 金属矿山 2002(6); 36-38
- [47] 邓新发 陶瓷过滤机陶瓷板微孔堵塞原因及处理 有色金属 1998. 50 增刊; 67-71
- [48] 从文伟 大宝山矿硫精矿微孔陶瓷过滤机应用实践 金属矿山 2000(5); 52 下接 54
- [49] 邓新发, 罗升 提高硫精矿陶瓷过滤机过滤能力的实践
- [50] 申恩武, 朱德春 探讨影响陶瓷过滤机生产能力的因素 矿山机械 2002. 01
- [51] 金成宽, 王玲 陶瓷盘式过滤机在东鞍山烧结厂的应用 金属矿山 2002(10); 32-34
- [52] 胡华, 孙恒虎, 杨宝贵, 时召兵 似膏体充填料细粒级过滤脱水工艺试验 金属矿山 2002(2); 54-56
- [53] 丁启圣 带式真空过滤机的研制与应用 有色矿山 2001. 30(5); 41-43

致 谢

本课题研究过程和学位论文的编写中，参考和利用了大量前人研究资料，在此一并致谢。

衷心感谢导师在课题研究和论文编写过程中的指导和帮助。

长沙矿冶研究院李茂林、王跃林教授为作者在学习和试验创造了许多便利条件，在论文编写过程中给予极大帮助和指导，在此深表感谢。

承蒙孙伟、蒋昊博士审阅全文，并提出了中肯的修改意见，在此表示衷心感谢。