第七篇

固液、固气分离技术

第一章　物料脱水流程分类及选择

第一节　脱水流程分类

根据脱水产品的用途不同，湿法选矿产品固液分离的工艺流程主要有以下几种：

一、精矿脱水

以回收精矿为目的，也可同时回收几乎不含固体的清水。用来处理浮选或细粒重选精矿。一般采用图 7－1－1 所示流程。采用真空过滤所得湿精矿，为满足后续作业对原料水分的要求，或在严寒地区防止精矿冻结而影响装卸还需干燥。

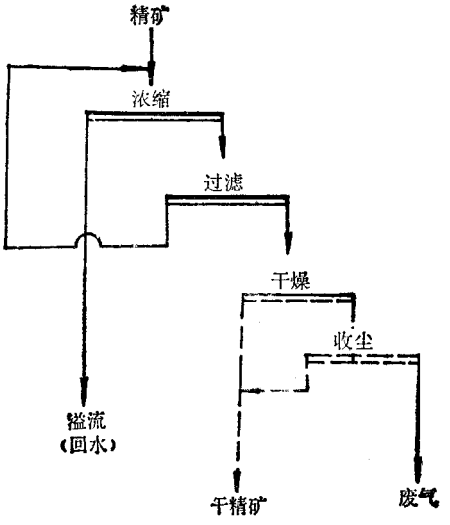


图 7－1－1　精矿脱水原则流程

二、尾矿脱水

以回收清水(含固体量甚低)为目的,将尾矿中多余的水在选矿厂区内脱出,供循环使用。同时,提高尾矿浓度,减少尾矿输送量,节约能源,提高选矿经济效益。在对尾矿进行干运,干堆的选矿厂,尾矿矿浆须经浓缩和过滤。粗、细粒尾矿脱水流程如图 7－1－2 和图 7－1－3 所示。

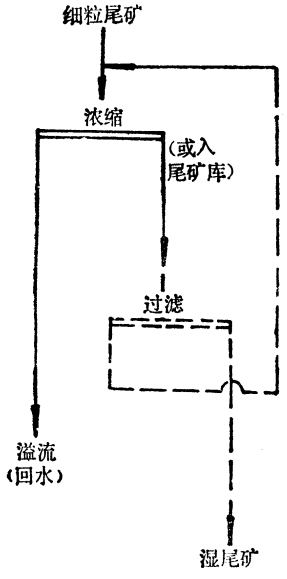


图 7－1－2　细粒尾矿脱水流程

三、中矿脱水

目的在于提高中矿或低品位粗精矿矿浆浓度,为下一步作业提供浓度合适的矿浆。也可同时回收脱出的清水,供循环使用。其流程如图 7－1－4 所示。

四、分级脱泥

以分出矿浆中的细粒级或矿泥为目的,为下一步选别作业提供合适的矿浆,或回收粗粒洗矿产品,或将溢流单独处理或丢弃。脱泥流程如图 7－1－4 所示。

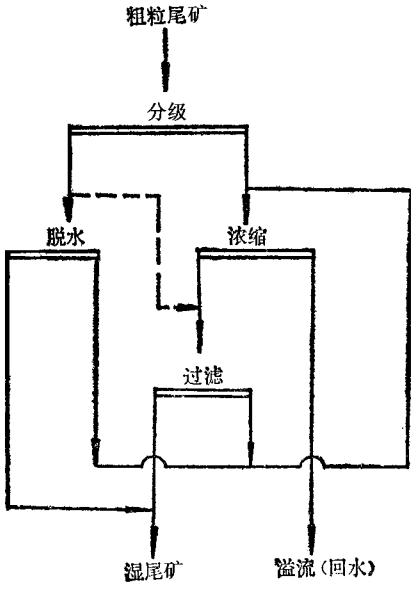


图 7－1－3　粗粒尾矿脱水流程

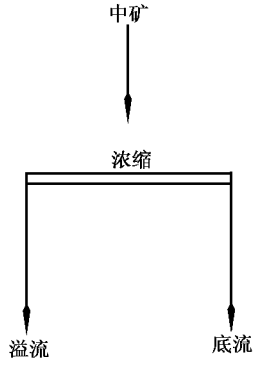


图 7－1－4　中矿脱水或脱泥流程图

第二节　脱水流程选择

选矿产品脱水工艺流程的选择，主要根据对脱水后的物料水分或浓度要求、物料的粒度差别以及物料与水的结合状态来确定。一般结合设备选型同时考虑。

理想的液固分离过程应该是使液体和固体完全分开。实际上没有这种设备。在一

般情况下，总会有细粒固体物料残留在液体中，同时也会有一部分液体留在固体中。湿精矿中水分存在的形式可分为结晶水、蓄积水、表膜水、毛细水及重力水。结晶水在矿物晶格内，只在焙烧时方可除去；蓄积水是在矿物表面借吸附力而积存的水分，通常水量不大；表膜水因矿粒与水之间的分子引力作用而存在，并以蓄积水形式呈较厚的水膜包围着矿粒；毛细水是由毛细管吸力作用而存在，矿粒大小影响水分呈局部或全部充满其孔隙，并因毛细管引力作用而发生移动；重力水充满所有矿粒间隙，并在重力作用下使矿粒发生移动。因此，脱水方法的选择与脱水物料的粒度关系密切。粗、中粒精矿的脱水常采用自然脱水法或机械脱水法，其设备简单，脱水效率较高，能将大部分重力水脱除。脱水后精矿含水约为 5 ~ 10%；细粒精矿（如浮选产品）脱水，一般采用浓缩和过滤两步作业。通过浓缩可除去大部分重力水，浓缩产物含水约为 40 ~ 60%；经过滤可除去剩余的重力水及大部分毛细水，滤饼含水一般为 8 ~ 15%。在寒冷地区当精矿运输距离很远或对精矿含水量有特殊要求时，一般应进行干燥，使其中的水分降低到百分之几或千分之几，以防冻结并节省运费。

在浓缩及过滤细粒精矿时，为了使细颗粒更快地沉降，有时往矿浆中加入电介质、疏水剂或高分子凝聚剂等，以促使细粒固体凝聚成团，增大其沉降和过滤速度。对细粒磁性精矿，可采用较廉价的磁团聚（经过预磁）办法，促使其加快沉降。

第二章　浓缩技术

第一节　浓缩的基本原理

浓缩是将较稀的矿浆浓集为较稠的矿浆的过程，同时分出几乎不含有固体物质或含有少量固体物质的液体。

选矿产品浓缩过程，根据矿浆中固体颗粒所受的主要作用力的性质，分为以下几种：

(1)重力沉降浓缩。料浆受重力场作用而沉降；

(2)离心沉降浓缩。料浆受离心力场作用而沉降；

(3)磁力浓缩。由磁性物料组成的料浆，在磁场作用下聚集成团并脱出其中的部分水分。

一、重力沉降的基本原理及沉降速度计算

颗粒的单体(自由)沉降或集合(干扰)沉降不仅受其本身的特性，例如颗粒形状、密度、粒度组成以及成分等因素所支配，还受到温度、磁团聚、胶体效应、异重流、横向脉动流速、水力挟带、机械搅拌、药剂含量等诸因素的影响。许多试验研究都证实了沉降浓缩过程包含着复杂的物理与化学的综合作用。目前，对于浓缩理论的研究仅限于重力沉降作用的范围，即以液体中悬浮的固体颗粒的沉降作用为基础。

1. 重力沉降原理和沉降速度计算

最初，人们研究了在不同浓度的悬浮液中球形颗粒自由沉降的行为。颗粒在浆体中下沉所受到的作用力主要有三种，即重力、浮力和阻力。对于一定的颗粒与一定的浆体，

重力和浮力都是恒定的，而阻力却随颗粒与矿浆间的相对运动速度变化而改变。小颗粒有被沉降较快的大颗粒向下拖曳的趋势。在均匀颗粒的沉降过程中，拖曳力的增大主要是由速度梯度的增加造成的，而固体浓度增高引起的粘度变化对其影响则较小。

作用于颗粒上诸力的代数和应等于颗粒质量与其加速度的乘积（符合牛顿第二运动定律）。颗粒的沉降过程分为两个阶段，即加速阶段和等速阶段。在等速沉降阶段里，颗粒相对于浆体的运动速度称为“沉降速度”。因为沉降速度就是加速阶段终了时颗粒相对于流体的速度，因此亦称为沉降末速度或“终端速度”。由于工业上的沉降作业所处理的颗粒往往很小，颗粒与浆体间接触表面相对甚大，因此，在重力沉降过程中，加速阶段的时间根短，常常可以忽略不计。

将重力沉降过程中颗粒所受诸力与沉降速度的关系，用牛顿第二定律为基础建立表达式，经整理和因次分析可知，影响重力沉降速度的阻力系数应是颗粒与流体相对运动，时的雷诺准数 Re 的函数。综合试验便可得到球形颗粒的阻力系数与雷诺准数 Re 的函数关系曲线。该曲线按 Re 值大致可分为三个区，即滞流区、过渡区、湍流区。各区内的曲线分别用相应的关系式表达，并将等速沉降阶段相应的雷诺准数也换成以沉降速度 v_t 来计算，即可得到表面光滑的球体在流体中自由沉降时各个区内的沉降速度公式：

滞流区　$10^{-4} < Re < 1$，$\zeta = \dfrac{24}{Re}$时

$$v_t = \frac{d^2(\delta - \rho) \cdot g}{18\mu} \tag{2-1}$$

过渡区　$1 < Re < 10^8$，$\zeta = \dfrac{18.5}{Re^{0.6}}$时

$$v_t = 0.27\sqrt{\frac{d(\delta - \rho)g}{\rho}Re_t^{0.6}} \tag{2-2}$$

湍流区　$10^3 < Re < 2 \times 10^5$，，$\zeta = 0.45$ 时

$$v_t = 1.74\sqrt{\frac{d(\delta - \rho)g}{\rho}} \tag{2-3}$$

式中　v_t——球形颗粒的自由沉降速度，m/s；

d——颗粒直径，m；

δ——颗粒密度，kg/m^3；

ρ——流体密度，kg/m^3；

g——重力加速度，m/s^2；

ζ——阻力系数，无因次，与雷诺准数有关；

μ——流体的粘度，Pa·s。

公式（2-1），（2-2）和（2-3）分别称为斯托克斯（Stokes）公式、艾伦（Allen）公式和牛

顿(Newton)公式。在滞流区,由流体的粘性而引起的表面摩擦阻力占主要地位。在湍流区,由流体在颗粒尾部出现边界层分离而形成漩涡所引起的形体阻力占主要地位,而流体的粘度 μ 对沉降速度 v_t 已无影响。在过渡区,摩擦阻力和形体阻力二者都不可忽略。

自由沉降发生在流体中颗粒稀疏的情况下。因此,上述沉降速度公式的应用条件必须是容器的尺寸远远大于颗粒的尺寸(100 倍以上),以消除器壁对颗粒沉降产生显著的阻滞作用。其次必须是颗粒不过分细小,以防止颗粒因流体分子的碰撞而发生布朗运动,或从流体分子间漏过,从而达到高于计算值的沉降速度。此即当 $Re < 10^{-4}$ 时(矿粒粒度达到 0.1 ~ 0.5 微米),斯托克斯公式不再适用的原因。

由细粒矿石构成的矿浆是一种悬浮液。在其沉降过程中,由于流体中伴随有紊流发生,小颗粒有被沉降较快的大颗粒向下拖曳的趋势。微细矿粒的絮凝现象也会改变颗粒的有效尺寸。所以矿浆沉降脱水一般属于干涉沉降,其中大颗粒受干扰较大,其沉降速度减慢;而小颗粒因受拖曳,沉降速度相对加快。但是试验表明,对于固体粒度相差不超过 6 倍的悬浮液,其中全部粒子以大体相同的速度沉降。当选矿厂使用浓缩机脱水时,为了防止粒度过粗而"压耙",一般需预先筛除矿浆中的 +0.25 ~ 0.8 毫米的矿粒,因而沉降过程中的干涉现象并不严重。再者,选矿产品脱水时,要求矿粒全部下沉,以获得澄清的液体。因此,矿浆沉降速度必须按沉砂中最小颗粒的沉降末速计算,一般采用适于较小的雷诺准数范围(滞流区内)的斯托克斯公式[式(2 - 1)]。其使用的粒度范围最高为 $Re \approx 1$,约相当于直径为 0.15 毫米的矿粒在水中沉降的情况;最细约为 0.5 微米,即相当于悬浮液转变成胶体溶液之前的情况。当颗粒尺寸达到 0.5 微米以下时则失效。具体计算时,一般先假定沉降属于某一流型,譬如滞流,用与该流型相应的斯托克斯公式求 v_t,并按 v_t,计算 Re 值,检验所得的 Re_t 值是否在 $1 \times 10^{-4} \sim 1.0$ 的范围内。如果超出此范围,则应另设流型,改用相应的其他公式求 v_t,直到按求得的 v_t 所算出的 Re_t 值恰与该公式所适应的 Re_t 值范围相符为止。此外,也可采用避免试差的摩擦数群法借助于 $\zeta - Re$ 关系曲线经过转换的曲线计算沉降速度。

选矿产品一般由经破碎磨矿后的非球形自然粒子构成,其沉降时颗粒所受到的阻力除受前述诸因素的影响外,还与其形状密切相关。其球形度(颗粒的表面积与同体积的球体表面积之比),愈小,对应于同一 Re 值的阻力系数 ζ 愈大,沉降速度相应变慢。这一影响随 Re 值的增大而逐渐变大。但在滞流区内球形度对阻力的影响并不显著。根据对自然形状石英粒子的实测数据统计,斯托克斯公式用于细粒选矿产品沉降速度计算时,须乘以颗粒的形状系数 K(即矿粒沉降末速与同体积同重量的球体沉降末速之比)。不同形状矿粒的 K 值大致为:圆滑形 0.78;多角形 0.72;长方形 0.67;扁平形 0.52。

2. 沉降过程

含有大小不同的矿粒的悬浮液在沉淀时，较粗的矿粒最先沉降到容器的底部，细小的则形成浑浊液，沉降速度较慢。在较浓的矿浆中，或当使用凝聚剂时，由于矿粒的凝聚，较大的矿粒带动较小的矿粒沉降，此时上层澄清的液体量逐渐增加，容器中的矿浆逐渐出现分层现象，即由上至下分成四个区，且矿粒的大小和沉淀的浓度由上往下逐渐增加，如图 7－2－1 所示。图中 *A* 区为澄清区，其固体颗粒含量低，颗粒之间的内聚力小；*B* 区为沉降区，其浓度与开始沉降前的悬浮液相同。此区间的固体粒子含量增多，彼此间的内聚力大于固体颗粒沉降时所受的阻力；*C* 区为过渡区，该区内的固体颗粒间的内聚力增大，固体颗粒含量相应增高；*D* 区为压缩区，固体间的内聚力更大，浓度更高，颗粒间的粘滞性亦增大。随着沉淀过程的进行，*D* 区和 *A* 区逐渐增加，而 B 区则逐渐减少以至消失，这时 *C* 区也随着消失。此时矿浆处于沉降过程的临界点状态。在临界点以后就只剩下 *A* 区和 *D* 区。

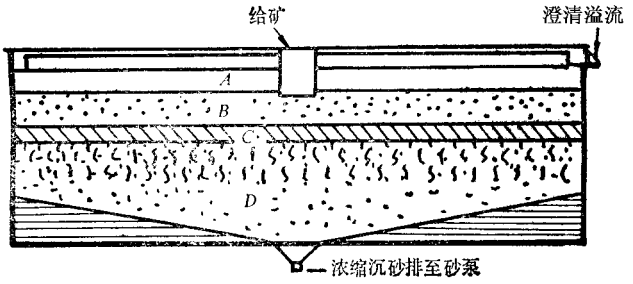


图 7－2－1　浓缩过程图

在连续作业的浓缩机中，矿浆不断的给入和排出，上述四个区总是存在的。所以矿浆的沉降速度是以沉降区的沉降速度来计算的。而浓缩产品的最终浓度，则由矿浆在压缩区停留的时间决定。压缩过程往往占用整个浓缩过程的绝大部分时间。当浓缩机的给料和排料速度一定时，浓缩机压缩区高度就决定了其底流排出的浓度大小。实践表明，压缩区的高度增加会使底流浓度提高。但由于压缩区矿浆呈变速沉降，沉降速度小，故一般不用增加压缩区的高度来提高底流浓度。因此，实际生产的浓缩机澄清区和沉降区总高度约为 0.8～1.0 米。压缩区的高度须经试验和计算确定。

二、絮凝浓缩

1. 絮凝剂的应用

从(2－2)式可知，选矿产品在沉降浓缩过程中，矿浆的澄清速度和所得浓缩产品的质量，在很大的程度上决定于矿粒的大小。粗颗粒很快沉降，其沉淀物含水也很少；而胶体颗粒因其所受的重力作用，已被表面能和布朗运动所平衡，在矿浆中能长久保持悬浮

状态而不沉降。目前因矿石品位变低，各种有用矿物的加工粒度日趋变细，有时小于0.043毫米的粒级含量高达80～90%，其中含有相当数量的小于5～10微米的微细粒。用自然沉降法浓缩这种矿浆时间长，需要的沉降面积也较大。为了强化浓缩（澄清）过程，通常必须加入适量的絮凝剂使分散的细颗粒聚合为较大的凝聚体，加速沉降。

在选矿厂的精矿和尾矿浓缩、水冶生产的逆流洗涤、环境保护和废水回收等部门，越来越多地采用絮凝浓缩技术。

2. 絮凝剂的分类

生产中经常使用的凝聚剂和絮凝剂有两种类型：一种是电解质类的凝聚剂，如石灰、硫酸、硫酸铝、氯化铁及硫酸铁等。它们在水中溶解后产生离子，改变分散颗粒的表面电性，减小细颗粒之间的静电排斥力，使细颗粒在机械运动过程中互相碰撞而结合成较大的凝聚体。另一类为天然的或人工合成的高分子有机化合物。如淀粉、糊精、马铃薯渣、明胶、聚丙烯酰胺和聚乙烯醇等。这类絮凝剂是多糖类高分子化合物，其分子具有长线形并包含大量的羟基官能团。这些分子依靠羟基官能团中的氢形成氢链而吸附在矿粒上。由于这些多糖类分子很大，能够以其中一部分吸附在悬浮液的一个颗粒上，而另一部分吸附在另一颗粒上，这样就把矿粒联系起来成为凝聚体。

人工合成的高分子有机化合物可分为 A 类絮凝剂和 B 类絮凝剂两类。分子量介于 $1\sim20\times10^6$ 以聚丙烯酰胺为基体的非离子型、阴离子型及阳离子型的高分子有机化合物为 A 类絮凝剂；B 类絮凝剂大部分是分子量较低的（5×10^5）并且具有较强的阳离子性质的高分子有机化合物。

无论是用无机化合物或天然高分子化合物，它们的种类和凝聚能力总是有限的，而且要消耗大量的农产品，现在已很少应用。目前在矿物加工工业中，A 类聚合物特别是非离子型和阴离子型是最常见的絮凝剂。其产品主要呈固体、胶状和悬浮液状。实践证明其絮凝效果较好，当用量在20～50克/米^3（矿浆）时，产生的凝聚作用可使浓缩过程的沉降速度提高数倍至数十倍。

非离子型絮凝剂一般广泛用于酸性矿浆；强阴离子型絮凝剂适用于碱性矿浆；中等分子量絮凝剂更适合于矿浆过滤；高分子量的絮凝剂主要用于矿浆沉降。

3. 絮凝的基本原理

悬浮液中颗粒的稳定性及其对絮凝作用的灵敏性，与其中悬浮固体的表面电荷、离子吸附性质、悬浮液的pH值、溶解的离子类型和数量等因素有关。选用适当的絮凝剂加入矿浆中，经搅拌后与分散颗粒的表面发生物理化学变化，颗粒在内聚力作用下，彼此相互碰撞并吸附在一起，聚集成较大的絮凝团，重量增加，从而加快沉降速度。

粒子聚集的方式一般有四种可能：

(1)双电层的压缩。高浓度可溶盐类如石灰和硫酸钙的离子使颗粒的 ζ - 电位降低至零,从而导致凝聚作用。

(2)吸附凝聚。三价铁离子或水解物吸附于矿物表面,降低其 ζ - 电位,从而形成凝聚。过量的三价铁离子能引起相反的变化,并重新使悬浮的细粒处于稳定状态。这类凝聚过程取决于 pH 值,因为水介质的碱性程度决定水解物的类型和数量。

(3)长链聚合物絮凝剂的架桥絮凝作用。长链聚合物吸附在许多细粒固体物的表面,并把它们连结在一起形成较大的絮团,称为架桥絮凝。聚合物的类型和分子量影响着絮凝团的大小和性质。所选用的絮凝剂需适应细粒物料表面电性的要求。

(4)分子量相对低的强阳离子型合成凝聚剂的作用。这类聚合物在凝聚过程中主要起电性中和作用。

絮团的形状和密度与各分散颗粒的初始性质关系不大,主要取决于絮凝剂对颗粒的吸附和分散程度。絮团的沉降速度却取决于絮团的大小和絮凝程度。目前还很难用数学方法来准确计算絮团的沉降速度,只能通过试验方法和经验来确定。絮凝沉降效果的好坏则取决于絮凝剂的选择和使用。

料浆中固体颗粒大小和含量在一定程度上影响澄清方式的选择和絮凝剂的用量。颗粒周围的双电层引起 ζ - 电位的升高,粒子晶格大小或颗粒表面吸附离子的情况则主要影响电荷密度和絮凝剂的选型。水溶液的性质对絮凝剂的选择有着决定性的影响。

4. 影响絮凝的因素

(1)絮凝剂分子量的影响

一般是较高分子量的絮凝剂能形成较大的絮凝物,然而,在某些情况下也不一定如此。图 7-2-2 表示在浓缩操作中絮凝剂分子量对自由沉降速度的影响。加入中等用量的高分子絮凝剂(一般大于 0.01 公斤/吨)可产生较快的沉积作用;而中等分子量的絮凝剂在用量小于 0.01 公斤/吨时也能产生较快的沉降;在絮凝剂用量为中等和较高的情况下,自由沉降速度随分子量增高而增加。有许多因素影响浓缩溢流的清晰度。絮凝浓度为 10% 的 $CaCO_3$ 浆体时,絮凝剂分子量对上层溢流清晰度的影响列于表 7-2-1。在该表中分子量低于或等于 9×10^6 的絮凝剂,其捕集悬浮细粒的能力是很差的。当使用分子量很高的絮凝剂(大于 14×10^6)在用量为 0.15 公斤/吨时,可得到最小浊度的溢流。在用量过大的情况下(见表 7-2-1 中用量为 0.2 公斤/吨的数据)细粒有重新稳定的现象。其原因是矿浆沉降太快,矿浆层对悬浮而未被捕集的粒子或微小絮凝物不起"过滤"作用,大量的絮凝剂会使得许多单个悬浮细粒间的架桥作用无法产生。在沉降速度一定,所形成的絮凝物的大小差不多的情况下,大用量的分子量较小的絮凝剂比小用量分子量较大的好。中等分子量(11×10^6)的絮凝剂用于上述浆体的澄清效果最好。值得注

意的是，分子量最高的絮凝剂在用量较低（0.05 公斤/吨）时，表现出了较好的能力。

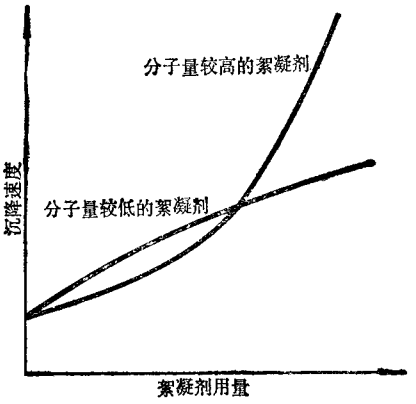


图 7－2－2　絮凝剂分子量对自由沉降速度的影响

表 7－2－1　絮凝剂分子量对溢流液清晰度的影响

絮凝剂的平均分子量	絮凝剂用量，kg/t			
	0.05	0.10	0.15	0.20
	上层溢流浊度，浊度单位			
20×10^6	440①	270	180	240
16×10^6	750	600	180①	200
14×10^6	650	680	140①	250
11×10^6	800	700	125	110①
9×10^6	540	670	310	210
8×10^6	600	640	320	300
6×10^6	820	460	320	300

注：处理 $CaCO_3$ 浆体，浓度为 10%、pH＝9，细粒直径平均为 2.9μm，使用非离子型絮凝剂。

①约等于 20m/h 的沉降速度。

表 7－2－2 示出了浓缩机底流浓度与絮凝剂分子量的关系。

表 7－2－2　絮凝剂分子量对底流浓度的影响

絮凝剂的平均分子量	用量，kg/t	自由沉降速度，m/h	底流浓度，kg/m^3	
			沉降 1h	沉降 7h
20×10^6	0.02	4.5	553	623
17×10^6	0.02	3.5	556	658
15×10^6	0.02	3.1	554	670
11×10^6	0.02	2.8	532	661
9×10^6	0.02	2.5	520	670

对于一些矿浆停留时间短的浓缩机来说，使用分子量高的絮凝剂能得到较高的底流

浓度。然而对于停留时间长的，用分子量较低的也可以得到较高的底流浓度。因此，当为了获得所要求的底流浓度而选择分子量最适宜的絮凝剂时，固体在浓缩机的停留时间是重要的。

(2)絮凝剂离子的电荷类型和电荷密度的影响

在大多数矿浆的絮凝操作中，都采用阴离子及非离子型架桥絮凝剂。对于高酸浆体以及那些含有大量可溶电解质的浆体来说，用阴离子絮凝剂一般是不适宜的，而常用非离子型絮凝剂。对于条件要求不严格的操作，如处理浮选尾矿等，阴离子絮凝剂的应用占优势。实际上最适合的阴离子电荷密度取决于 pH 值和能控制细粒表面电荷及 ζ－电位的溶解盐的类型，也取决于絮凝剂的构型。

图 7－2－3 表示了在确定阴离子絮凝剂与作用物之间的相互作用时 pH 值的重要性。图 7－2－3(a)中 pH 值低，由于表面斥力小，聚合物主要以卷曲状吸附。低的 ζ－电位促进细粒接近，并形成结实的絮凝物。图 7－2－3(b)的 pH 值较高，增大了表面斥力，聚合物伸长呈环形和尾状物。图 7－2－3(c)的 pH 值更高，强的表面电荷使细粒与聚合物间相斥，呈大环形和尾状物，并在溶液中伸张得很大，形成大而松散的絮凝物。表 7－2－3 列出的是在不同 pH 值下，高岭土分批沉降试验的结果。结果表明：

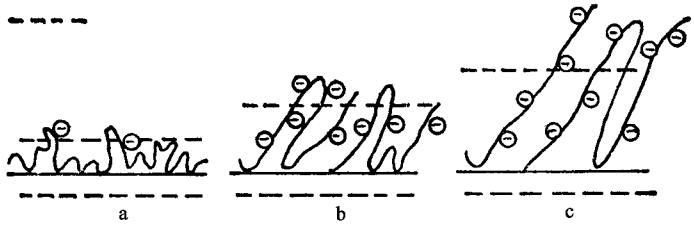


图 7－2－3　在高岭土/水界面上 pH 值对阴离子絮凝剂构型的影响

a—pH＝4；b—pH＝7；c—pH＝9

虚线表示聚合物伸张高度

①由于 pH 值升高，负的表面电荷和 ζ－电位增高，强阴离子聚合物的吸附变得更加困难，悬浮固体的量增多。

②在 pH 值和 ζ－电位都较低的情况下，阴离子聚合物呈卷曲状态，能很牢固地吸附在一起，起到了有效的架桥作用。

三、离心浓缩

离心浓缩是利用离心力的作用来加快悬浮液中微细颗粒与液体的分离速度，缩短固液分离过程的一种浓缩方法。当离心机回转时，机内的矿粒所受的离心力大小可用下列

公式计算：

表 7－2－3　高岭土分批沉降试验结果

（初始浓度 = 0.05g/L，絮凝剂用量 = 0.1kg/t）

pH 值	沉　降　状　况	阴离子的含量，%				
		0	5	15	20	30
4.35	初始的沉降速度，cm/min	0.1	0.1	0.9	3.0	4.2
	底部产品浓度，g/L	168.4	170.8	170.8	172.2	171.9
	悬浮固体，mg/L	40	33	50	50	132
7.00	初始的沉降速度，cm/min	0.1	1.2	3.0	5.5	3.1
	底部产品浓度，g/L	178.3	191.9	181.3	171.9	171.9
	悬浮固体，mg/L	4050	765	610	500	940
9.00	初始的沉降速度，cm/min	0.2	8.0	24.0	24.4	21.0
	底部产品浓度，g/L	239.1	268.8	300.8	305.6	330.0
	悬浮固体，mg/L	5850	1840	2085	2650	3680

$$P = \frac{mv^2}{r} \times 10^{-5} = \frac{Gv^2}{gr} \times 10^{-5} \tag{2-4}$$

式中　P——离心力，N；

m——矿粒的质量，g；

G——矿粒的有效重量（即矿粒在空气中的重量减去同体积的水量），g；

r——回转半径，cm；

v——回转圆周速度，cm/s；

$$v = \frac{2\pi rn}{60} \tag{2-4a}$$

n——转速，r/min；

g——重力加速度，cm/s^2。

将 v 以转速 n 表示可得：

$$P = \frac{G}{gr}\left(\frac{2\pi rn}{60}\right)^2 \times 10^{-5} \approx \frac{Grn^2}{9 \times 10^5} \times 10^{-5} \tag{2-5}$$

上式表明，对于一定重量的矿粒，离心力随回转半径和转数的增加而增大。但增加转数比增大回转半径更易增大离心力。

在离心浓缩脱水操作中，常用离心加速度与重力加速度的比值来表示设备的工作特性，并称其为离心分离因数 K，其值等于：

$$K = \frac{v^2}{gr} = \frac{rn^2}{900} \tag{2-6}$$

分离因数愈大，则离心力的作用愈强，矿粒愈易沉淀，从式（2－4）可知，增加矿粒在

机内的回转速度或增加其回转半径可以提高分离效果。

在离心沉降过程中，离心加速度随着矿粒的回转半径而改变，因此矿粒的沉降速度也是个变数。此外，矿粒的离心力线互不平行，因此各个矿粒所受离心力作用的方向也不相同。所以一般的重力沉降规律不完全适于离心沉降。

目前在选矿方面用得较广泛的离心脱水设备是螺旋卸料卧式沉淀离心机和水力旋流器。立式离心脱水机在选煤厂用得较多。

四、重力沉降试验及浓缩面积计算

沉降试验的目的在于测定矿浆中固体物料沉降特性。影响物料沉降性能的因素主要有矿浆性质，如物料的粒度组成、固体密度、造浆液体的密度等、矿浆中的泡沫、药剂和电解质的性质 操作因素，如给矿和排矿浓度、给矿量及其波动范围、矿浆温度、用否凝聚剂等。通过对有代表性的矿浆的沉降试验，找出诸因素相互制约的关系，是选择和设计浓缩机的重要依据。利用沉降试验，通过适当的计算可直接或间接地获得设计浓缩机的原始资料，如矿浆沉降时间、单位沉降面积和可能的底流浓度。利用经验和半工业性试验来设计浓缩机是比较简便的。但是，由于时间和财力的限制以及有代表性矿样较难准备等原因，间断沉降试验常常成为一种简易可行的方法。

沉降试验一般在 2000 毫升的量筒中进行，其测试的方法有多种，但所测试的内容基本相同，最终都应绘制出料浆的沉降曲线，如图 7－2－4 所示。为便于选用不同的方法确定料浆沉降速度，沉降试验一般应提供下列数据：

(1)矿浆试样重量，克；

(2)干固体重，克；

(3)固体密度，克/厘米^3；

(4)液体密度，克/厘米^3；

(5)矿浆的体积浓度，克/升 ;重量浓度，%；

(6)矿浆的温度，℃；

(7)矿浆沉降的最终体积，升和高度，毫米；

(8)澄清液的浓度和密度；

(9)在 24 小时的沉降过程中，不同的沉降时间所对应的沉降界面高度，毫米。必要时尚须提供不同的沉降时间 t 对应的澄清液浓度，毫克/升和沉砂的重量浓度，%的关系曲线，如图 7－2－4(d)所示。

根据沉降试验，计算单位沉降面积的方法主要有三种：

(1)当沉降界面清晰，沉降曲线没有明显的临界压缩点，或要求的底流浓度低于临界

状态下的矿浆浓度时，宜采用图解法。即将沉降试验所得到的 $H-t$ 沉降曲线由两条直线近似的代替，如图 7-2-4(a)所示。其沉降曲线用折线 H_0KL 代替，则 H_0K 为自由沉降过程线，KL 为压缩过程线，K 为临界点。按下式可求出粒子群的沉降速度：

$$v_P = \frac{H_0 - H_K}{t_K - t_0} \tag{2-7}$$

式中　v_P——矿浆浓度为 P 时的粒子群的沉降速度，m/h

H_0——量筒中矿浆面起始高度，m；

H_K——临界点的高度，m；

t_K——由沉降开始时刻到临界点经历的时间，h；

t_0——开始沉降的时刻，h。

由 v_P 值可计算处理每吨固体所需的沉降面积，即单位浓缩面积，用(2-8)式计算：

$$a_p = \frac{K}{v_p}\left(\frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_2}\right) \tag{2-8}$$

式中　a_p——矿浆浓度为 p 时，处理一吨固体物料所需的沉降面积，$m^2/t \cdot h$ 对应于不同的 v_p 可以得到不同的 a_p，在计算浓缩机面积时应选用最大值 a_{max}；

K——校正系数，一般采用 1.05～1.20。当试验的代表性较好、准确性高、给料量及性质稳定和设计的浓缩机直径较大时取小值；

c_1——试验矿浆的单位体积的固体含量，t/m^3；

c_2——设计的浓缩机底流单位体积的固体含量，t/m^3；

根据试验资料并参考类似厂矿的生产资料确定。

(2)沉降界面清晰，沉降曲线圆滑而无临界压缩点时，沉降试验及数据处理宜用切线法，如图 7-2-4(b)和(c)所示。

在沉降试验所得到的 $t-H$ 曲线上选取几个点 A_i(t_i、H_i)，分别作曲线的切线，交纵轴于 B_i 诸点，按(2-9)式计算沉清界面高度在各 B_i 点以下的矿浆的平均单位体积固体含量：

$$c_{p,i} = \frac{c_{p,0} H_0}{B_i}, t/m^3 \tag{2-9}$$

式中　i——选点的次别；

$C_{p,i}$——澄清界面沉降到 B_i 时，B_i 以下矿浆的平均单位体积的固体含量，t/m^3；

H_0——量筒内矿浆面的高度，m；

B_i——切线在纵坐标上的交点高度，m。

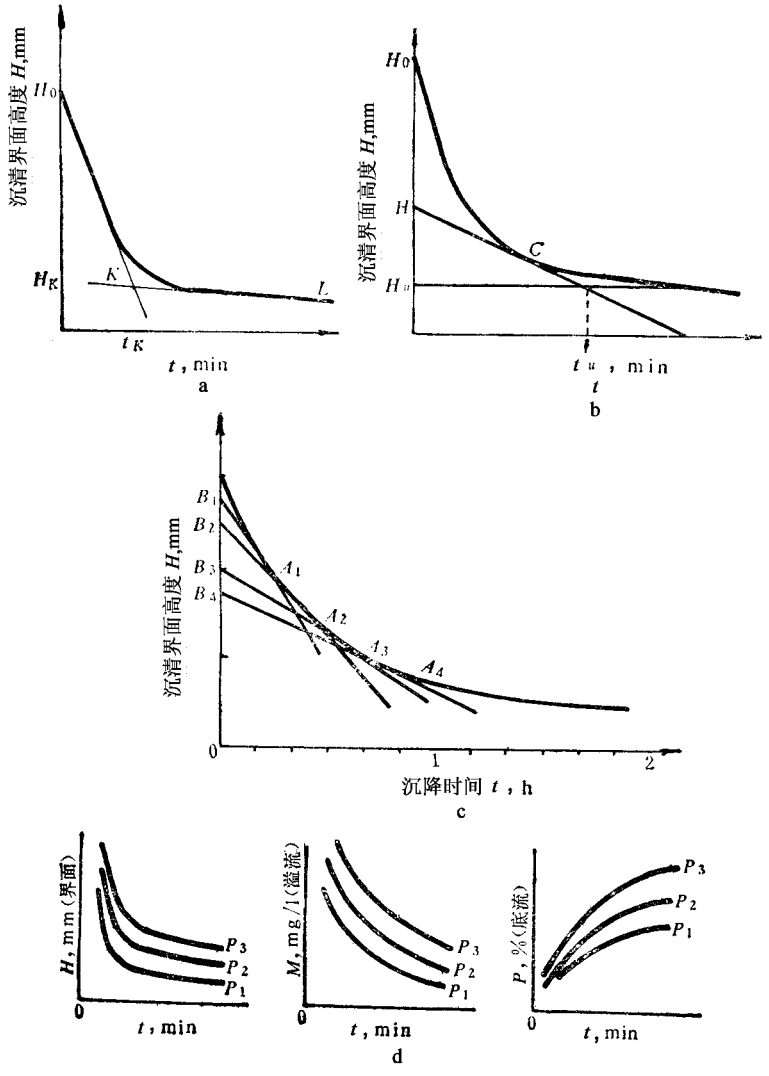


图 7－2－4　静止沉降曲线示意图

按(2－10)式计算各次试验的沉降曲线上所选各点的沉降速度：

$$v_{ij} = \frac{B_{ij} - H_{ij}}{t_{ij}} \tag{2-10}$$

$$v_{min} = Min(v_{i1}, v_{i2}, \cdots\cdots v_{in}) \tag{2-11}$$

式中　j——**试验的次别；**

v_{ij}——**沉降曲线上所选各点的沉降速度，**m/h；

H_i——**曲线上所选各点的高度，**m；

t_i——**上述各点的沉降时间，**h。

按下式求出所需最大单位浓缩面积：

$$a_{max} = \frac{1}{v_{min}}\left(\frac{1}{C_{pij}} - \frac{1}{C_p}\right) \tag{2-12}$$

式中　a_{max}——所需浓缩机的最大单位浓缩面积，$m^2/(t \cdot h^{-1})$；

v_{min}——各次试验的沉降曲线上所选各点的沉降速度中之最小值，m/h；

C_{pij}——试验矿浆的沉清界面沉降到 B_{ij} 时，B_{ij} 以下矿浆的平均单位体积的固体含量，t/m^3；

C_p——初始矿浆单位体积的固体含量，t/m^3。

(3)沉降界面不清，作不出沉降曲线时(例如矿浆不易沉清，而又不允许往其中添加絮凝剂)，沉降速度测定及计算可按下述步骤进行。

选取若干个容量为 2000 毫升的量筒，配制设计要求的同一浓度的试样，分别装入各量筒。按不同的沉降时间 t_i 分别取出各量筒液面下某固定高度 h 的液体，按(2-13)式计算其沉降速度 v_i，并分别测得其悬浮物含量 c_i，绘制 $v_i - c_i$ 曲线，根据该曲线，按设计要求的溢流水质 c 确定其沉降速度：

$$v = \frac{h}{t_i}, m/h \tag{2-13}$$

式中　h——沉降高度，m；

t_i——达到设计要求的溢流水质所需沉降时间，h。

需要的浓缩面积为：

$$A = K\frac{Q}{v}, m^2 \tag{2-14}$$

式中　Q——设计的溢流量，m^3/h；

K——安全系数，按选用的浓缩机大小取 $K = 1.1 \sim 1.2$。

第二节　耙式浓缩机

根据给排矿方式，沉降浓缩设施分为间歇排矿式和连续排矿式两大类。前者周期性地排卸浓缩产物，后者则连续地排卸浓缩产物。间歇排料式的有沉淀池、滤池等 连续排料式的有锥型浓泥斗、耙式浓缩机和离心浓缩机等。选矿厂生产中，细粒物料的脱水一般多采用连续排料的耙式浓缩机。

耙式浓缩机目前正向大型化发展，国外浓缩机的直径最大已达 150 ~ 183 米。此外

对传统的结构和工艺不断改进，并着重研制高效设备，如改进给料方式，研究浓缩机的几何形状，添加絮凝剂以提高浓缩效率和处理能力等。70 年代后期出现的高效浓缩机单位面积的生产能力比传统设备增长了许多倍，这对生产规模大，工业场地紧张以及气候严寒必须在室内作业的选矿厂具有特别重要的意义。

一、耙式浓缩机的结构

1. 浓缩机的槽体

浓缩机的槽体结构按其规格、给料性质、排除沉砂的操作要求以及地形条件，可以做成钢质、混凝土质、木质或在泥土中用块石衬砌。槽壁和槽底可用相同或不同的材质制作(或砌筑)。为了防止腐蚀，槽内壁可涂以油漆或衬以合成橡胶或塑料。在土壤好的情况下，也可用块石砌筑或粘土夯实作槽底，而无须用钢筋混凝土。

根据具体情况，浓缩机的槽体安装方式有以下几种：

(1)槽体安置在地面上，底部嵌入地面以下，并设地下通廊供排矿用。这种结构型式便于槽体的支承，土建费用较低，但浓缩机沉砂输送设施位于地面以下数米深的地方，生产操作条件较差。大、中型浓缩机常采用这种配置。

(2)槽体置于地面以上，依靠钢筋混凝土梁柱支承。沉砂可自流或在地表用砂泵扬送至下一工序。该类结构的建筑费用较高，但生产操作条件较好，池底空间可作其他使用。一般中，小型浓缩机或建于室内的浓缩机有时采用该配置方式。

2. 浓缩机的给料方式

以往的浓缩机一般均采用中心给料，矿浆被送入浓缩机中心的给矿筒内，再缓缓流进沉降区。近年来国外出现了周边给料和底部给料的浓缩机。周边给料浓缩机的矿浆分配器沉浸在矿浆中，装在浓缩机的周边，距溢流堰有一定深度。与中心给料相比，周边给料浓缩机处理量大，溢流中固体含量约降低 50%，例如由 2.72 克/升降至 1.3 克/升，底流产品浓度约增加 4.2%；底部给料浓缩机的料流从浓缩机底部中心管给入，缩短了颗粒下降距离，因而处理能力大，溢流较清，占地少，反应灵敏，处理粒度范围宽。

3. 安全保护装置

浓缩机设过负荷信号和保护装置是保证大型浓缩机正常运转的重要措施。目前有三种型式，即液压式、机械式和电控式安全保护装置。

(1)液压式。该装置在液压马达的线路中编入过载监控报警器，由压力安全阀控制中心轴上部的转矩极限，也可根据驱动管线直接测得液体压力，以便起动过载报警信号装置、耙架提升装置和普通指示器或转矩记录器。如果过载时间过长，则温度控制开关启动，防止液体过热，这时液压系统停止工作，耙架也停止运转。

(2)机械式。该装置装在驱动头的蜗轮轴端部。当浓缩机过负荷时,蜗轮轴的端部推动减压器,借助于齿轮系统的旋转而移动信号装置的盘面弹簧,当其转至一定位置,即可接通水银开关,立即发出声响和信号,或关停设备,同时接通提升电动机之电源,自动将耙提起。也可用手摇提升轮实行人工提耙,以免损坏设备。

(3)电控式。该装置使用过载报警器,可以单独使用,也可和机械报警系统联合使用。其控制工作建立在浓缩机之电动机驱动电流强度或电压信号传感的基础上。国外在使用液压电动机情况下,使用液力过载报警器,并将其联络讯号编入液压电机回路中。

4. 浓缩机的传动机构

由于细粒物料沉降速度较慢,为了减小沉降过程的干扰,耙式浓缩机耙臂转速必须缓慢,因而传动减速比很大。一般采用蜗轮蜗杆减速和三级齿轮减速器能满足要求;为了确保浓缩机安全运转,传动机构必须有安全装置,以防因沉淀过浓或给料过多而损坏机件或电动机。

浓缩机常用的传动机构有以下几种:

(1)小型中心传动浓缩机。其耙臂装在中心轴上,由置于管桥中心的蜗轮蜗杆减速机构驱动中心轴,并附有安全信号及手动或电动提耙装置。

(2)大型中心传动浓缩机。耙臂由中心桁架支承,桁架和传动机构置于钢筋混凝土结构或钢结构的中心柱上,或钢筋混凝土箱体构成的中空柱上,采用锥形滚柱轴承或液体静压油膜轴承,以及具有行星齿轮系统的传动机构。国外制造的这类设备中,直径在100米以下的,一般均装有自动或手动提耙装置。对于更大直径的,则配有自动润滑、测压、测负荷等自动测控装置。

(3)小型周边传动浓缩机。其传动装置装在耙臂桁架靠周边一端的小车上,经齿轮减速器驱动车轮使小车在轨道上移动。不需设特殊的安全装置。当负荷过大时,车轮打滑,小车即停止前进。

(4)大型周边传动浓缩机。其驱动小车上装有带小齿轮的减速器。浓缩池的周边上与轨道并列固定了一圈齿条。减速器的一小齿轮与齿条啮合,既推动小车前进又带动耙臂运转。通常设有熔断器以保护电动机。

道尔公司和艾姆科公司制造的大型浓缩机的传动装置采用一种液体静压油膜轴承装置。该装置是利用流体静力学的原理而设计的,由液压油膜轴承、液压轴承座、内齿轮传动体和3到4台蜗轮驱动装置及辅助设施组成。转动体支承在一个密封的油垫止推轴承座上,两者之间充满一层油膜,其厚度约为0.125~0.25毫米。用油泵供油。转动体由蜗轮驱动,在油膜上作稳定的水平转动。油膜之间的摩擦力仅为常规浓缩机的用金属润滑接触摩擦力的1/200。因而传递的扭矩很大,传动负荷均匀,运行平稳可靠,推动

了浓缩机向大型化发展。

二、耙式浓缩机的类型及性能

耙式浓缩机型式可分成两大类型，即中心传动浓缩机和周边传动浓缩机（表 7－2－4）。

表 7－2－4　耙式浓缩机分类

分类方法 \ 传动装置位置	中心传动浓缩机	周边传动浓缩机
按提耙方式分类	手动提耙 自动提耙 无提耙装置	手动提耙 自动提耙 无提耙装置
按耙臂驱动方式分类	中心竖轴蜗轮蜗杆	周边辊轮式 周边齿条式
按浓缩机层数分类	单层式 多层式	
按中心轴结构型式分类	中心轴式 中心轴架式	
按浓缩效率分类	普通型 高效型	

1. 中心传动浓缩机

中心传动浓缩机由槽体、给料装置、耙架、传动装置及其支承体（中心柱、中心桁架或沉箱式中空柱）和提升装置构成。如图 7－2－5、图 7－2－6 所示，槽体是用钢板或钢筋混凝土建造的一个圆池（槽），其底部呈水平或微倾斜的缓锥体状。槽的上部装有传动装置、提升机构和起支承作用的桁架。排矿用的耙架置于槽底，与中心柱桁架或中心竖轴相连接。当传动装置驱动耙架旋转时，槽内沉积的物料被耙板刮运至槽中心的排料口排出。耙板刮运沉砂时给沉积物以压力，有利于从中挤出部分水份。

中心传动浓缩机工作时，矿浆给入槽体中心半浸没在澄清液面之下的给矿筒内，沿径向往四周流动（国外也有沿切线方向给矿的），逐渐沉降。澄清液从槽体上部的环形溢流槽排除。当给料量过多或沉淀物浓度过大时，安全装置发出信号，通过人工手动或自动提耙装置提起耙架，以防止烧坏电动机或损坏机件。

小型中心传动浓缩机的特点是耙臂装在中心轴上，中心轴由蜗轮蜗杆减速机构传动，并且设有安全信号装置及自动或手动提耙装置。这类耙架多数为直耙臂，但也有做成螺旋状，呈渐开线形。如图 7－2－7 所示。

目前我国制造的小型中心传动浓缩机规格有直径 1.8 米、3.6 米、6 米、9 米和 12 米五种。

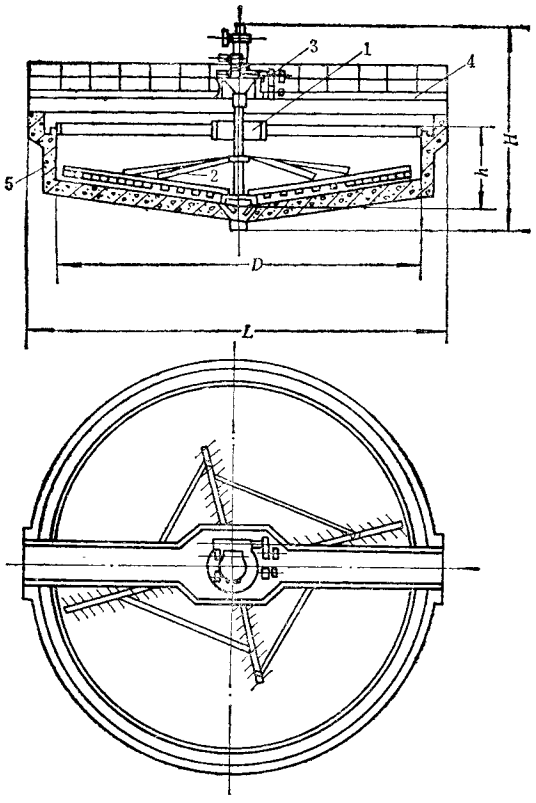


图 7－2－5　ϕ20m 以下的中心传动浓缩机

1—给料装置；2—耙架；3—传动装置；4—支承体；5—槽体

我国中心传动浓缩机系列产品已规划有直径 53 米、75 米和 100 米三种规格的大型浓缩机。另有直径 16 米、20 米、30 米和 40 米四种规格的中型浓缩机。前者设有自动提耙装置，后者备有自动或手动提耙装置。

我国中心传动浓缩机系列化产品的结构参数列于表 7－2－5。

大型中心传动浓缩机的耙架的一端装在中心柱桁架或沉箱式中心柱的钢筋混凝土外壁上，另一端用钢结构的耙臂支承，也有用钢缆绳悬挂于较小的悬臂梁下方的。

2. 周边传动浓缩机

周边传动浓缩机按耙架支承方式可分为两种型式，即钢桁架支承式和悬臂支承式。前者的传动架与耙架成为一体，后者的耙架完全由悬臂支承。

耙架用钢桁架支承的周边浓缩机的结构如图 7－2－8 所示。其槽体是用钢筋混凝土建造的池子，池壁呈圆筒形，池底向中心倾斜（一般约为 12°）。池子中央有钢筋混凝土柱。传动架的一端借助于轴承支承于中心柱上，另一端支承于环池轨道上。桁架可作人行道，也可敷设给矿管（槽）。传动机构使滚轮沿轨道滚动并带动桁架。中心柱上装有电

动机的接线滑环，电源通过电刷、滑环和敷设在桁架上的电缆供给电动机。

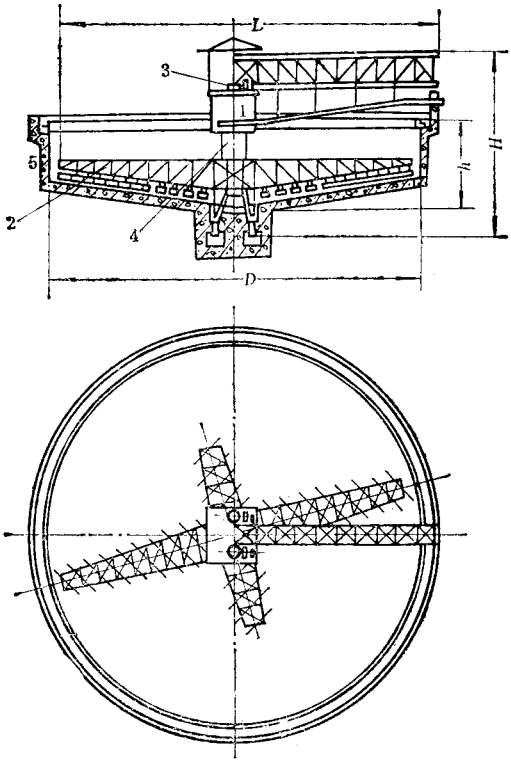


图 7－2－6　ϕ20m 以上中心传动浓缩机结构

1—给料装置；2—耙架；3—传动装置；4—支承体；5—槽体

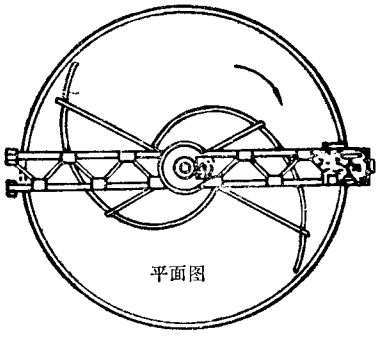


图 7－2－7　螺旋耙浓缩机

直径 15 米以上的大型周边传动浓缩机，在浓缩槽的环池上与轨道并列安装着固定的齿条，传动装置的齿轮减速器有一小齿轮与齿条啮合以推动小车前进。通常设有过负荷断电器来保护电动机。我国拟定系列化生产的大型周边传动浓缩机列于表 7－2－6。

它们均设有自动控制装置，供检测、显示和调节浓缩机的工作状况，以确保设备安全运转。

小型周边传动浓缩机是借助于辊轮与轨道之间摩擦力而传动的，故不需特殊的安全装置。当耙子所遏阻力超过一定限度时，辊轮打滑，耙子停止前进。

钢制辊轮与轨道间摩擦力小，时常出现辊轮打滑、磨损严重，维修困难等问题。近年来沈阳矿山机器厂与有关单位共同研制了聚醚型聚胺酯合成胶轮，代替钢辊轮传动，解决了钢轮打滑问题，使用寿命也延长了 1.3 倍以上。

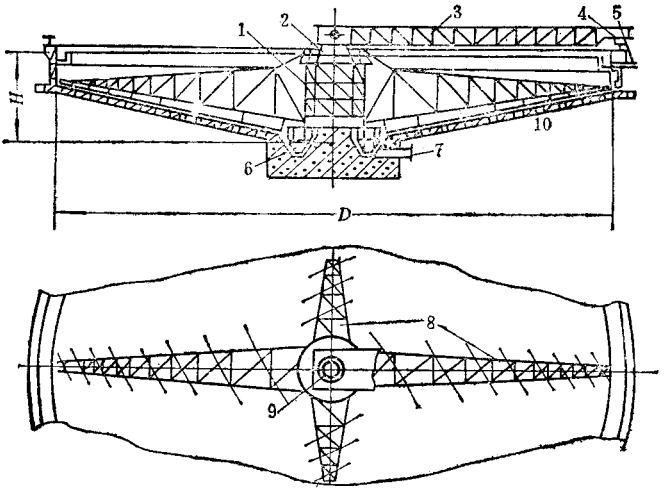


图 7－2－8　周边传动浓缩机结构简图

1—中心筒；2—中心支承部；3—传动架(桁架)；4—传动机构；5—溢流口；6—副耙；7—排料口；8—耙架；9—给料口；10—槽体

表 7－2－5　我国中心传动浓缩机规格表

基本尺寸和尺寸的名称	型号规格				
	NZS—1 NZSF—1	NZS—3 NZSF—3	NZS—6 NZSF—6	NZ—9 NZF—9	NZ—12 NZF—12
浓缩池直径，m	1.8	3.6	6	9	12
池中心的深度，m	1.8		3		3.5
公称沉淀面积，m^2	2.5	10	28	63	110
耙架提升高度，mm	200			250	
耙架每转时间，min	2	2.5	3.7	4	5.2
耙架传动装置功率，kW	1.1			3	
带金属池浓缩机总重，kg	1235	3144	8575		
不带金属池浓缩机总重 kg				6000	8500

基本尺寸和尺寸的名称	型　号　规　格					
	NZ—20 NZF—20	NZ—30 NZF—30	NZ—40 NZF—40	NZ—53 NZF—53	NZ—75 NZF—75	NZ—100 NZF—100
浓缩池直径，m	20	30	40	53	75	100
池中心的深度，m	4.4	4		5	6.5	7.5
公称沉淀面积，m^2	310	700	1250	2200	4410	7350
耙架提升高度，mm	400			700		
耙架每转时间，min	10.4	13，16，20	15，18，20	18，26，33	26～60	33～80
耙架传动装置功率，kW	5.2	7.5	13	17	22	
带金属池浓缩机总重，kg						
不带金属池浓缩机总重 kg	25000	30000	70000	80000	130000	200000

表 7－2－6　周边传动浓缩机技术参数

型　　号	NG—15	NT—15	NG—18	NT—18	NG—24	NT—24
浓缩池直径，m	15		18		24	
池中心的深度，m	3.6		3.4		3.44	
沉淀面积，m^2	177		255		452	
耙架每转时间，min	8.4		10		12.7	
处理能力，t/24h	390		560		1000	
电动机功率，kW	5.5		5.5		7.5	
总重，t	9.3	11	10	12.5	24	29

型　　号	NG—30	NT—30	NQ—38	NT—45	NTJ—45	NT—53	NTJ—53
浓缩池直径，m	30		38	45		53	
池中心的深度，m	3.6		5.05	5.06		5.07	
沉淀面积，m^2	707		1134	1590		2202	
耙架每转时间，min	16		18	19.3		23.18	
处理能力，t/24h	1570			2400	4300	3400	6250
电动机功率，kW	7.5		7.5	10	13	10	13
总重，t	27	32	49	59	72	70	80

3. **国外制造的浓缩机**

美国的道尔奥利弗公司(Dorr－Oliver Inc.)**和艾姆科公司在制作浓缩设备方面居世界领先地位。目前制造的中心传动浓缩机最大直径已达** 183 **米。耙架的支撑方式有中**

心竖轴式、中心轴架式和中心沉箱式三种。直径小于 100 米的常用中心竖轴式和中心轴架式，直径在 100 米以上的多采用中心沉箱式结构，并配有自动润滑、测压、测温、测负荷自动控制装置。

国外(美国)制造的几种耙式浓缩机列于表 2－2－7

表 7－2－7　国外制造的耙式浓缩机简表

传动方式	浓缩机类型	制造厂家	最大直径 m(ft)	工作扭矩 1×10^4 N·m (万 ft·lb)	料浆进出口位置			结构及使用特点	应用范围举例
					给料	溢流	底流		
中心轴传动式	标准桥式(A 型)	道尔—奥利弗	46 (150)	98.1 (75)	半沉没式中心给料井	周边溢流槽	底部中心	由跨越整个浓缩池的“桥”或桁架支撑人行道、给矿槽和驱动机构及耙架。其驱动机构是用单一的或带有齿轮箱组合式 A 型驱动头驱动一个垂直的带动耙臂的中心轴	氧化铝水合物、磷酸、铁燧岩石矿和精矿脱水
	桥式(B 型)轻型 中型 重型	艾姆科	43 (140)		中心给料	周边溢流槽	底部中心	ϕ12 米以下的用池壁支承中心传动装置及走台的横梁(桥) ϕ12 米以上的其上部结构用钢桁架，并用加强杆支承在池壁上，或支承在池壁外侧的钢制(混凝土)柱上	
	多层盘式	艾姆科道尔	18 (60)	53.9 (40)				为圆柱型，槽内按不同高度被若干圆盘分为单独的沉降室。公用的中心竖轴带动各层内的耙架运动。最多可分为 6 层，可节省费用和空间	拜尔法炼铝残渣、纸浆、制糖液等脱水
	水力分离机	艾姆科道尔	30 (100)	81.4 (60)	中心半沉没式给矿井	顶部外围溢流槽	池底中心	是一重载浓缩机，可把固体分为 65 目的粗粒和 5 微米的细粒两部分	铁矿、煤炭、铜、砂、水泥等
	带储藏室的单元式	道尔	24 (80)	13.7 (10)	槽体中部进料	中部侧面溢流	底部侧面排矿	具有分隔间的槽体，在澄清区上部有贮藏室	造纸厂再苛性化系统液体沉清
中心轴传动式	高效浓缩机	道尔	43 (140)		中部给矿井	周边溢流槽	底部中心	驱动机构用 A 型或 S 型，具有独特的 Fitch 给矿井和 DynaFloc 给矿井，省去了混合器内的搅拌装置和倾斜板	油的逆流倾注洗涤、硫酸盐矿泥、煤泥等脱水
		艾姆科	9 (30)						
周边传动	齿条式 胶轮式 辊轮式 T 型	道　尔	122 (400)	176.5 (130)	半沉没的中心给料井	周边溢流槽	底部中心排料口	固定的中心支座，部分地支承耙架，并为耙架环绕的支点。有三个短耙臂补充长耙臂工作	
		艾姆科	198 (650)					为牵引式(T 型)浓缩机，耙臂由四周边轨道上的钢牵引轮带动，已建造的最大直径为 125m，中心池深 9m	
中心轴架传动式	中心柱沉箱式 中心柱式	道尔—奥利弗	183 (600)	329.5 (240)				传动装置采用液体静压轴承，传递功率大，运转平稳、可靠 沉箱可为钢制或钢筋混凝土制，直径 ϕ3.7～5.5m、深 12m，沉箱内可设泵房和电控设备	铜中矿或精矿、高炉烟道粉尘、回水回收等
	中心支座超级式	道尔—奥利弗		549.2 (400)	沉箱外围的絮凝给矿井	周边溢流槽	自中心垂直抽出	传动装置采用液体静压轴承，传递功率大，运转平稳，可靠 还装有一套自动平衡液压轴承装置，能防止耙臂瞬时回转和矿浆在输送中产生短路 中心支座被放大到 ϕ6.1m，深 12.2m，以便作泵站和控制室	铁矿尾矿、铜尾矿、铅锌尾矿等

传动方式	浓缩机类型		制造厂家	最大直径 m(ft)	工作扭矩 1×10^4 N·m (万 ft·lb)	料浆进出口位置			结构及使用特点	应用范围举例
						给料	溢流	底流		
心轴架传动式	中心柱沉箱式	标准中心支柱式(S型)	同上	122 (400)	329.5 (240)	池子中央的半沉没给矿井	周边溢流槽	中心排矿口排出		铜精矿、中矿、高炉尘、高岭土、氢氧化镁、回水等
		C型改进	艾姆科	183 (600)	274.6 (200)			砂泵扬送至沉箱上部出口	具有精确的四点接触的滚动轴承传动装置	尾矿
		HC590型		(400~600)	549.2 (400)				采用液体静压轴承,传递扭矩大 液压轴承有备用系统确保正常工作	
	缆绳式(回转提升式)		道尔—奥利弗	12~75 (39~250)		中心给矿筒	周边溢流槽	中心排矿	绳索牵引的耙架有双轴铰链,并借助于万向节作用使得耙架在超载时能自行运动 耙子可水平和上下运动,根据荷载自动调节保护设备	铜精矿、原煤、铁矿尾矿、砂尾泥、工业废水等
			艾姆科	76 (250)						
	C型	轻型 重型	艾姆科	183 (600)	274.6 (200)				该机设有扭矩指示器、过负荷信号器、电动机保护开关、自动提升器等	尾矿
	ECC型								由C型演变而成,驱动机构用精密可靠的滚珠轴承组成	铁尾矿、铜尾矿等
中心轴传动	深锥式		丹佛	5.2 (17)		絮凝给矿井	周边溢流槽	锥底排出	直径 ϕ5.2m,深 6.5m 的锥型斗的给矿中加入足够分子量的电解质絮凝剂,使固体颗粒絮凝,并经压缩得出具有特殊物理性质的底流—塑性体,而不是矿浆。如用高速率的剪切力破坏絮凝结构,塑性体即变成流体	细粒粘土、煤泥及矿坑水的沉清
无耙浓缩机									无耙,无任何传动部件,底流含水量仅为常规耙式浓缩机的 1/2。浓缩机高度为直径的 1.5 倍,槽底坡度 60°,深度一般为 3m	

三、浓缩机的选择与计算

1. 浓缩机的选型

浓缩机的型式和规格的确定,一般根据所处理的物料性质、生产和建设条件以及试验研究提供的有关技术资料进行。在国外,制造厂根据用户提供的资料进行计算和选择,然后再向用户推荐。我国则由用户或设计单位自行选用。对于生产规模较大的选矿厂,在有条件的情况下应尽量采用大型浓缩机。国外资料表明,采用大直径浓缩机可节省钢筋混凝土约 25%,节省建设费约 50%。

(1)周边传动浓缩机

用钢筋桁架支承耙架的周边传动浓缩机,其耙架和钢桁架支承两者结合为一整体,刚性好,强度大。但桁架结构在工作过程中高出水面,对澄清层有搅动作用,不利于微细颗粒物料沉降,影响溢流的水质。耙架为悬臂结构的周边传动浓缩机,对周边轨道的技术要求不太严格,耙架运转时对沉降层影响较小,溢流水质较好。

(2)大型中心传动浓缩机

中心轴架支承(使用液体静压轴承)的中心传动式浓缩机摩擦阻力很小,具有很高的有效传动扭矩(7－2－7);使用精密滚珠轴承的甲心传动式浓缩机,可以防止负荷过大时损坏耙臂和驱动装置。常用来处理铁、铜矿石的选矿产品。

大型沉箱中心柱式浓缩机采用中空柱基础结构,沉箱内可容纳排料、电控、工艺管网和辅助设施,并可提供便于设备操作和维护的空间场地。该设备的底流用管道经桥架从中空柱内扬送到后续作业点,可省去地下通道和泵房的建设费用。该类浓缩池的底流,用多级泵并联排出。当出现峰值负荷时砂泵可自行处理,直到把中心柱周围集矿沟槽内的矿浆浓度降到正常值。这种排矿方式能使矿浆具有较高的线速度,防止排矿口堵塞。如果排矿出现短路,则底流浓度变稀,泵的吸入压头增大。生产中应尽量防止排矿短路。该类浓缩机的管线安装费高,泵的吸入管易堵,维修较困难。但其构造简单,操作方便,传递的扭矩大,运行稳定可靠。

缆绳式中心传动浓缩机直径由 12 米到 75 米,利用钢绳自动调整耙子上下左右浮动的数据可测出浓缩机内的负荷情况。在均匀负荷条件下,通过输入数据处理,浓缩机可获得最佳工作状况。该机适合于具有波动性和间歇性负荷的脱水作业。其耙子位置的自动补偿能防止池内产生不平衡的负荷,因而排矿浓度均匀,并能自行调节扭矩,保证设备正常运行。

多层中心传动浓缩机结构简单,占地面积小,动力消耗少,基建费较低。当工业场地较紧而又要求有足够的沉降面积时宜选用该类浓缩机。该设备传递的扭矩较小,直径较小,适合于中小型选矿厂使用。

高效浓缩机(槽内也可装倾斜板)的给料需添加絮凝剂,经搅拌后送入浓缩机的沉降部位。该机占地面积少,浓缩效率高,适于处理细粒物料以及必须在室内脱水的物料,也适于旧厂扩大生产能力选用。

2. 耙式浓缩机的计算

为了确定在一定条件下工作的浓缩机的面积、结构尺寸及台数,必须进行浓缩机的技术计算。由于在连续作业的耙式浓缩机中,矿粒的沉淀过程十分复杂,目前尚无准确的计算方法。国外一些公司根据经验和不同的研究方法,如模拟法、图解法、初始沉降速度法、经验定额法等设计浓缩机。

我国目前进行浓缩机计算,主要根据单位浓缩面积的生产能力和矿浆在静止沉降试验中的沉降速度来确定所需要的有效沉降面积、浓缩机尺寸和台数。我国选矿厂的生产实践表明,在目前情况下,较切合实际的计算方法,应该是通过沉降试验并参照同类厂矿的生产实际资料来确定。在满足底流浓度要求的同时,应考虑溢流水质的要求。黑色金属矿山使用环水时,要求溢流中的固体含量小于 0.5%;有色金属矿山应以金属流失最少

为度。

浓缩机单位面积的生产能力与所处理的物料颗粒或絮团的粒度、密度、给矿和底流的浓度、料浆成分、泡沫粘度、矿浆温度和物料的价值有关。单位面积的生产能力一般根据半工业试验或静止沉降试验确定，在无试验条件的情况下，可参照类似厂矿的生产指标确定。单位浓缩面积处理不同精矿的生产能力实例列于表 7－2－8。

表 7－2－8　浓缩机单位面积生产能力

被浓缩物料特性	单位面积生产能力，t/(m²·d)
机械分级机的溢流(浮选前)	0.7～1.5
氧化铅精矿和铅－铜精矿	0.4～0.5
硫化铅精矿和铅－铜精矿	0.6～1.0
铜精矿和含铜黄铁矿精矿	0.5～0.8
黄铁矿精矿	1.0～2.0
辉钼矿精矿	0.4～0.6
锌精矿	0.5～1.0
锑精矿	0.5～0.8
浮选铁精矿	0.4～0.6
磁选铁精矿	3.0～3.5
锰精矿	0.4～0.7
白钨矿浮选精矿和中矿	0.4～0.7
萤石浮选精矿	0.8～1.0
重晶石浮选精矿	1.0～2.0
浮选尾矿或中矿	1.0～2.0

(1)浓缩面积计算

浓缩面积计算可采用如下三种方法：

①用半工业试验或生产定额指标计算浓缩机面积可采用下述经验公式计算：

$$A = K\frac{W}{q} \tag{2-15}$$

式中　A——浓缩机总有效面积，m^2；

q——在满足溢流水质要求的条件下，浓缩机单位面积处理的固体物料重量，t/(m²·d)，该值由试验确定。缺试验资料时可参照表 7－2－8 选取；

W——给料中的固体重量，t/d；

K——矿浆波动系数。一般对于工业性试验 $K=1$，对于模拟试验 $K=1.05\sim1.20$；当矿样代表性较好，给矿数量和性质稳定，以及选择较大直径的浓缩机时可取小值，反之取大值。

②按静止沉降试验或模拟试验资料计算浓缩机面积：

$$A = KQ_0 C_0 a_{max} \tag{2-16}$$

或

$$A = KWa_{max} \tag{2-17}$$

式中　A——所需浓缩机总面积，m^2；

K——系数，取 1.05～1.2，取值原则同(2－15)式；

Q_0——设计的给入料浆量，m^3/d；

c_0——设计给矿的单位体积含固体重量，t/m^3；

a_{max}——浓缩每吨固体物料所需要的最大沉降面积，$m^2/(t \cdot d^{-1})$由试验确定；

W——给入浓缩机的固体重量，t/d。

③在缺乏试验数据而又无实际经验资料时，可按斯托克斯公式近似地计算固体物料的沉降速度之后，再用下式近似计算浓缩机的面积：

$$A = \frac{W(R_1 - R_2)K}{86.4 v_0 K_1} \tag{2-18}$$

式中　A——浓缩机面积，m^2；

W——给入浓缩机的固体重量，t/d；

R_1、R_2——浓缩前后矿浆的液固比；

K_1——浓缩机有效面积系数，一般取 0.85～0.95；ϕ12m 以上的浓缩机取大值；

K——矿量波动系数，视原矿品位而定。浓缩机直径小于 5m 时取 1.5，大于 30m 时取 1.2；

v_0——溢流中最大粒子在水中的自由沉降速度，mm/s。

沉降速度也可用(2－19)式近似计算：

$$v_0 = 545(\delta - 1)d^2 \tag{2-19}$$

式中　δ——固体物料密度，g/cm^3；

v_0——溢流中最大粒子在水中的自由沉降速度，mm/s；

d——溢流中固体颗粒最大直径，mm，精矿溢流中最大粒度一般取 5μm，浓缩煤泥时，最大不应超过 30～50μm。

对于絮凝沉降，v_0 只能通过试验测定。A 值的计算应在进料与底流之间的整个浓度范围内选取，其中最大值作为沉降槽的横断面积。浓缩机的面积必须保证料浆中沉降最慢的颗粒有足够的停留时间沉降至槽底。因此浓缩机溢流速度 v(或上升水流速度)必须小于溢流中最大颗粒的沉降速度。选定的浓缩机面积须用(2－20)式验算，须保持 $v < v_0$。溢流速度计算如下：

$$v = \frac{V}{A} \times 1000 \tag{2-20}$$

式中　v——上升水流速度，mm/s；

A——浓缩机面积，m^2；

V——浓缩机的溢流量，m^3/s。

(2)浓缩机深度计算

耙式浓缩机的深度决定矿浆在压缩层中的停留时间，为了保证底流的排矿浓度，矿浆在浓缩机中必须有充分的停留时间。因此，浓缩机应具有一定的高度，即：

$$H = h_C + h_P + h_Y \tag{2-21}$$

式中　H——浓缩机所需的总高度，m；

h_C——澄清区高度，约为 0.5～0.8m；

h_P——耙臂运动区高度，m，可由下式计算：

$$h_P = \frac{D}{2}\mathrm{tg}\alpha \tag{2-21a}$$

D——浓缩机底部直径，m；

α——底部水平倾角，通常 $\alpha = 12°$；

h_Y——压缩区高度，m，可通过试验用下式计算：

$$h_Y = \frac{(1 + \delta \cdot R_C)t}{24\delta\alpha_{max}} \tag{2-21b}$$

式中　t——矿浆浓缩至规定浓度所需的时间(实测)，h；

δ——矿粒密度，g/cm^3；

a_{max}——澄清一吨干矿所需的最大澄清面积，$m^2/(t \cdot d^{-1})$；

R_c——矿浆在压缩区中的平均液固比，可按矿浆沉降到临界点时的液固比与排矿底流液固比(均为实测)之平均值计算。

我国选矿厂使用国产的系列化浓缩机时，其结构尺寸已经固定了，选用这类标准规格的浓缩机时，其压缩区的高度 h_Y 应满足下式要求：

$$h_Y \leqslant H - (h_C + h_P) \tag{2-22}$$

当计算的 h_Y 不能满足(18.2.22)式之要求时，应增加浓缩机的面积。

(3)浓缩机的直径计算：

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 1.13\sqrt{A} \tag{2-23}$$

式中　D——浓缩机直径，m；

A——浓缩机横断面面积，m^2。

第三节　高效浓缩机

一、高效浓缩机的工作原理

从(2－1)和(2－18)式可知。增大料浆中固体颗粒的粒度和浓缩机的沉降面积可以提高浓缩机的处理能力。在浓缩机中添加絮凝剂使微细颗粒凝聚成团,即可增大沉降颗粒的粒度,在普通浓缩机内放入倾斜板,就可增加沉降面积,缩短颗粒的沉降距离,提高浓缩效率。高效浓缩机和加倾斜板的浓缩机正是从上述两个方面显示了其突出的优点。试验与工业生产表明,在处理能力相同的情况下,高效浓缩机的直径仅为普通浓缩机直径的三分之二到二分之一,占地面积约为普通浓缩机的九分之一到四分之一,而单位面积的处理能力却可以提高几倍至几十倍。

二、高效浓缩机的结构

高效浓缩机的槽体、耙架及传动部分的结构与普通浓缩机大致相同。其浓缩效率高的主要原因在于有一个特殊的给矿筒。国外常用的高效浓缩机主要有三种:即艾姆科(Eimco－BSP)型、道尔－奥利弗(Dorr－Oliver)型和恩维罗(Enviro－Cldar)型。艾姆科高效浓缩机的给矿筒结构如图7－2－9所示。给矿筒被分隔成三段竖直的机械搅拌室,并与浓缩机的中心竖轴同心。矿浆给入排气系统,带入的空气被排出,然后通过给矿管进入混合室,与絮凝剂充分混合后,再经混合室下部呈放射状分布的给矿管直接给到沉砂层的中、上部。液体经沉砂层的上层过滤以后上升成为溢流,絮团则留在沉砂层中进入底流。

道尔－奥利弗高效浓缩机的结构如图7－2－10(a)所示。该设备有一特殊结构的给矿筒,如图7－2－10(b)所示。送进浓缩机的矿浆被分成两股,分别给到给矿筒的上部和下部的环形板上,两者流向相反,使得由给矿造成的剪切力最小。当一定浓度的絮凝剂从给矿筒中部给入后可与矿浆均匀混合,形成的絮团便从剪切力最小的区域较平缓地流到浓缩机内沉降。

恩维罗型高效浓缩机的结构如图7－2－11所示。其中心有一个倒锥形的反应筒,矿浆沿给矿管从反应筒中心的循环筒之下部往上,经循环筒的上部进入反应筒,受旋转叶轮搅拌,与絮凝剂充分地混合后,再从反应筒底部进入沉砂层中。溶液穿过沉砂层的

上部，向上运动形成溢流，进入溢流堰。该机具有放射状的或周边式的溢流槽。

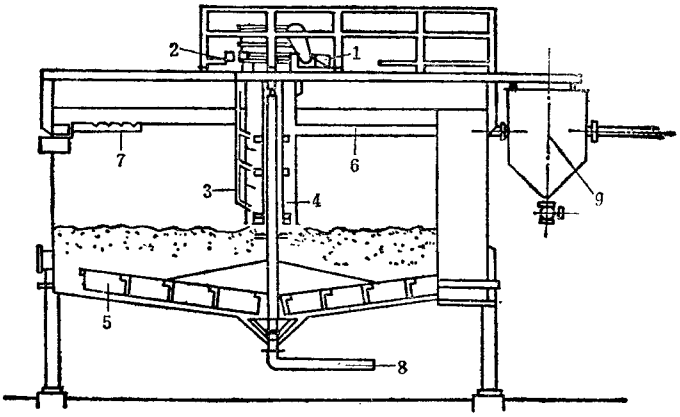


图 7－2－9　艾姆科高效浓缩机结构图

1—耙传动装置；2—混合器传动装置；3—絮凝剂给料管；4—给料筒；5—耙臂；6—给料管；7—溢流槽；8—排料管；9—排气系统

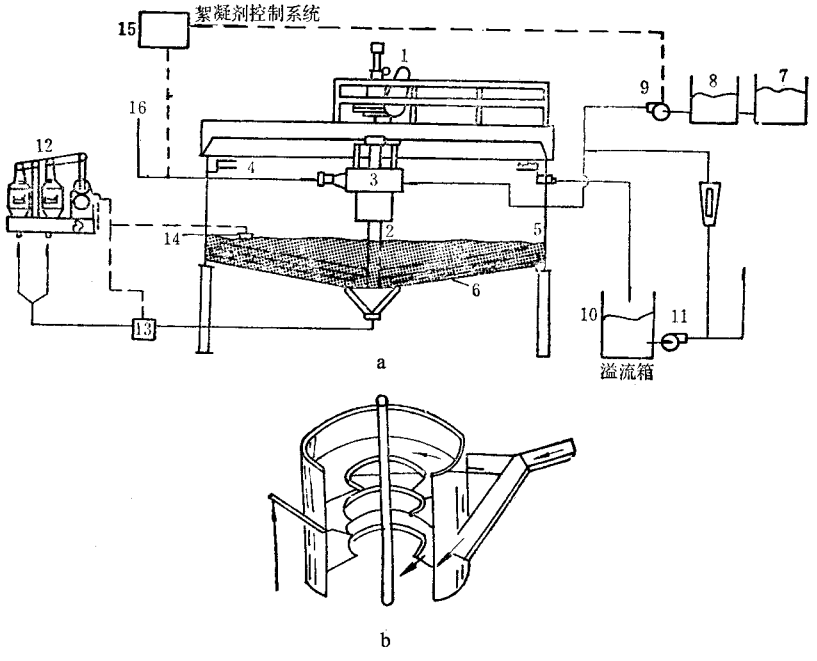


图 7－2－10　道尔－奥利弗高效浓缩机结构示意图

a—结构示意图；b—给矿筒截面图

1—传动装置；2—竖轴；3—给矿筒；4—溢流槽；5—槽体；6—耙臂；7—絮凝液搅拌槽；8—絮凝液贮槽；9—絮凝液泵；10—溢流箱；11—溢流泵；12—底流泵；13—浓度计；14—浓相界面传感器；15—絮凝剂控制系统；16—给矿管

三、高效浓缩机的工业应用

目前国外使用的高效浓缩机直径已达 40 多米。在美国、加拿大和澳大利亚的铁矿(精矿和尾矿)、选煤(主要是尾煤)、铀矿(酸性矿坑永和逆流洗涤),磷酸盐、发电厂 SO_2 洗涤渣及有色金属工业中广泛使用。其主要工业指标列于表 7－2－9。

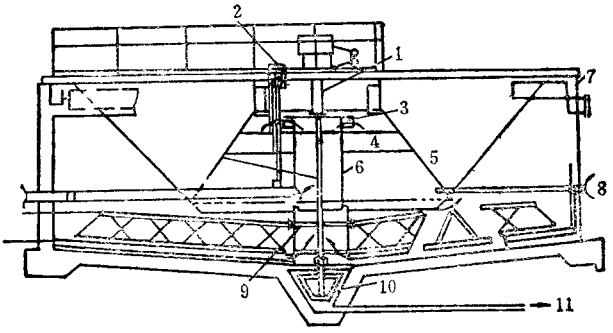


图 7－2－11　恩维罗高效浓缩机

1—给料管；2—加药管；3—叶轮；4—缓冲器；5—反应筒；6—循环筒；7—溢流出口；8—取样管；9—转鼓；10—锥形刮料板；11—排矿管

表 7－2－9　高效浓缩机的应用指标

序号	物料名称	矿浆浓度(重量),%		单位定额 $m^2/(t\cdot d^{-1})$
		进料	底流	
1	铜精矿	15～30	50～75	0.02～0.06
2	铜尾矿	10～30	45～65	0.04～0.10
3	铁精矿	15～25	50～65	0.02～0.10
4	铁尾矿	10～20	40～60	0.10～0.60
5	磷酸盐	1～5	10～16	0.10～0.29
6	氢氧化镁	3～10	15～30	0.51～2.09
7	煤泥	0.5～0.6	20～40	0.05～0.15
0	金氰化浸出渣	10～25	50～65	0.05～0.10
9	银氰化浸出渣	10～25	50～60	0.05～0.13
10	苏打细矿泥	1～2	10～20	0.31～0.62
11	铀矿酸性渣	15～25	40～60	0.02～0.05
12	铀矿碱性渣	15～25	40～60	0.03～0.08
13	铀矿中性渣	15～25	40～60	0.03～0.07
14	铀－铵沉淀	1～2	10～25	0.51～2.04

由表 7－2－9 可知，使用高效浓缩机处理单位重量的固体所需的面积大大低于普通浓缩机。因此，采用高效浓缩机可节省投资，减少占地面积。所增加的絮凝剂和控制系统的费用，可以从节省的基建费中得到补偿。例如，在水冶工厂，由于自动控制装置使得底流浓度稳定，而使洗涤作业回收率提高所得的收益，两年时间就弥补了设置自动化设施的投资。

我国矿山工业近年来也开展了对高效浓缩机的研制工作。在工业试验中采用小直径的 GX－3.6 高效浓缩机处理铁矿选矿的尾矿，已取得了较好的效果。试验结果表明，当给矿浓度为 12.48% 的情况下，加凝聚剂与否，浓缩机底流浓度分别为 26.71% 和 44.45%，溢流中悬浮物含量分别为 268.89 毫克/升和 266.61 毫克/升。单位面积的处理能力比普通浓缩机高 5 倍，达到了国外同类设备的水平。采用高效浓缩机处理选矿厂尾矿，可实现尾矿高浓度输送，节约能源，增加回水利用率，减少环境污染，其社会效益和经济效益是显著的。但是，目前尚无对任何料浆都具有高效浓缩作用的设备。因此，现在的高效浓缩机仍不能完全取代所有的普通浓缩机。这是因为絮凝剂并非在任何情况下部是适用的。例如，当后续作业不允许使用絮凝剂或添加絮凝剂在经济上根本不合算时，是不宜采用的。此外，当料浆的压缩性很差，或工艺过程要求浓缩机有较大的储浆能力而兼起缓冲作用，以及对沉砂浓度要求很高时，也不宜采用高效浓缩机。

四、高效浓缩机的自动控制

浓缩机自动控制可以提高浓缩效率，确保获得浓度较高的底流及合乎要求的溢流，并保持底流均匀排出。高效浓缩机的自动控制系统图和原理图分别见图 7－2－12(a)和(b)。

主要控制项目：

(1)絮凝剂加入量。通过对给料浓度和给料流量的测定与计算，使矿浆中固体量与絮凝剂加入量的比例保持恒定，维持矿浆中有足够数量的絮凝剂。改变絮凝剂泵的转数可以控制絮凝剂的加入量。

(2)底流浓度及压缩层的高度。将底流浓度与底流泵的转速相联锁，通过控制底流泵的转数来控制底流浓度。当底流浓度高时，泵的转数加快，扬出量加大，底流浓度由稠变稀；反之，则减少泵的转数，扬出量相应减少，底流浓度变稠。只有当底流浓度符合要求时，泵的转速才保持不变。压缩区界面高度与底流泵的转数联锁而又与底流流量之间有一定的对应关系，所以底流泵的转数必须同时满足这两个参数的要求。底流泵在上、下限转速之间使底流浓度保持稳定。转速过大容易将浓缩机的压缩区内的物料抽空，造成底流浓度下降；转速过慢，则底流浓度增高，排料不畅易造成排矿管堵塞。底流泵的最

佳转速应控制压缩区界面具有最适宜的高度，以便更好地发挥沉积层的作用。

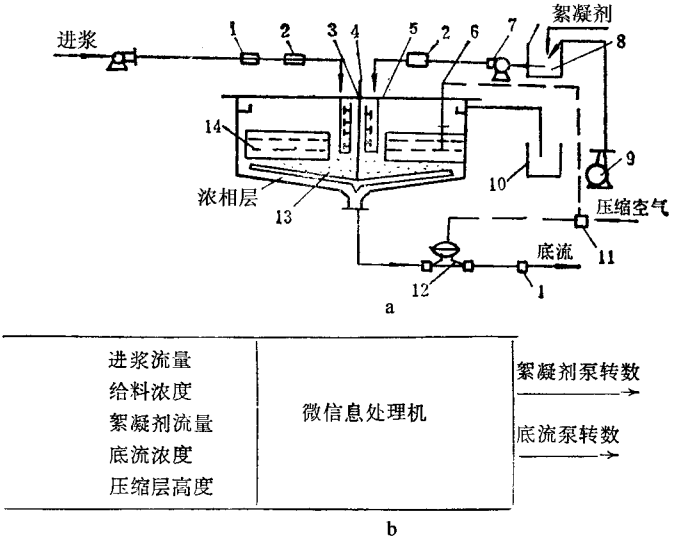


图 7－2－12　**高效浓缩机自动控制系统图和原理图**

1—浓度计；2—流量计；3—耙子驱动和提升轴；4—混合搅拌器；5—砂浆和絮凝剂混合筒；6—浓相界面传感器；7—可调速絮凝剂泵；8—絮凝剂贮槽；9—溢流液泵；10—溢流液中间槽；11—浓相界面与底流浓度控制联锁流量计；12—底流气动隔膜泵；13—耙子；14—倾斜板

第三章　过滤技术

第一节　过滤的基本原理和计算

一、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，称为滤饼；液体通过滤饼层和介质层变为清的滤液。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。与其他分离方法相比，过滤消耗能量是较低的。

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。该类过滤属于深床过滤（即厚滤层），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道直径，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。

（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。利用高压空气 785 千帕(8 公斤/厘米^2)或高压水 883～1569 千帕(9～166 公斤/厘米^2)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,可以得到含水很低的滤饼。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,使悬浮液中的液体被甩出,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,分离速度高,效果好。适于处理含有微小固体颗粒的料浆。

2. 过滤介质。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、酸性白垩土等。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。

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,如氢氧化铅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随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提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间的孔道变窄,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。

二、过滤理论

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，过滤理论现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。

无论过滤介质的种类和过滤的推动力来源如何，过滤机的生产能力决定于滤液通过滤饼和过滤介质的速度。通过多次的过滤实验可以确定，当被过滤的液体经过滤渣的孔道和过滤介质流动时，流体处于层流状态。据此，按照液体在毛细管道中层流运动的定律可以推导出过滤速度表达式（即单位时间内通过 1 米^2 过滤面积的滤液流量，米^3/（米^2·秒）），但由于滤饼和滤布中的毛细管的数量、半径和弯曲程度均难测定而无实用价值。后来进一步分析，并由实验证明，在一定的操作条件下，上述毛细管的有关参数、过滤面积和液体的粘度等均为常数。这时的过滤速度仅随所施加的推动力和滤饼的厚度而变化。在此基础上，并根据推动力和阻力的概念，提出了对过滤速度的新的认识，即过滤速度与过滤的推力成正比，与过滤的阻力成反比。此外，把过滤过程中单位时间内获得的滤液体积（米^3/秒）称为过滤速率。经过合理的假定和推导后，可以建立过滤速率与各有关因素的一般关系式为：

$$\frac{dV}{dt} = \frac{pA^2}{\mu\rho W(V + V_0)} \qquad (3-1)$$

式中　V——实际的滤液体积，m^3；

p——毛细管两端的压力降，可用于滤饼前的真空计压力代之，Pa；

t——过滤时间，s；

μ——液体的粘度，Pa·s；

p——不可压缩的滤饼的单位厚度之阻力，即比阻，$(m^2)^{-1}$；

W——单位体积滤液所含的滤饼体积，无因次或 m^3/m^3；

A——过滤面积，m^2；

V_0——自开始过滤到滤饼的阻力等于介质的阻力时所获得的滤液体积，称为过滤介质的当量滤液体积，或称为虚拟滤液体积，m^3。

当滤饼可压缩时，其阻力的变化为：

$$\rho = \rho' p^s \tag{3-2}$$

式中　S——为滤饼的压缩系数，由试验测定。不可压缩的滤饼的 $S=0$；

ρ'——当压力为 98.1kPa($1kg/cm^2$)时的滤饼比阻，$1/m^2$。

故对可压缩滤饼而言，根据(3-1)式及(3-2)式可得：

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 P^{1-S}}{\mu \rho' W (V + V_0)} \tag{3-3}$$

(3-3)式称为过滤基本方程式，表示过滤过程中任一瞬间的过滤速率与各有关因素间的关系，是进行过滤计算的基本依据。该式适用于可压缩滤饼及不可压缩滤饼。

应用(3-3)式作过滤计算时，还须针对过程进行的具体方式对该式积分。在积分时须将式中的三个独立的变数即表压力 p、滤液体积 V、和过滤时间 t 三者中之一维持不变。实际上过滤操作有恒压、恒速以及先恒速后恒压三种方式。选矿厂过滤操作以恒压工作较多，恒速过滤较少见。在过滤开始时，因介质表面尚无滤饼，过滤阻力最小，若骤然加以最大压力，将使微细颗粒冲过介质孔道，致使滤液混浊或堵塞滤孔。

过滤机上进行的过滤都是恒压过滤，现仅就恒压过滤的理论计算予以讨论。

在恒压过滤中，滤饼不断增厚致使过滤阻力不断增加，但是过滤的推动力(压力)是恒定的，因而过滤的速率逐渐变小。因此(3-3)式中除 V 和 t 是变数外，其他参数均为常数。如果令：

$$k = \frac{1}{\mu \rho' W} \tag{3-4}$$

可得出(3-3)式的积分形式为：

$$\int (V + V_0)\, dV = kA^2 P^{1-s} \int dt$$

当过滤条件改变时，则过滤时间由 $0 \rightarrow t_0$，再由 $t_0 \rightarrow t + t_0$。滤液体积由 $0 \longrightarrow V_0$，再由 $V_0 \longrightarrow V + V_0$。

这里所指的过滤时间是指虚拟的过滤时间 t_0 与实际的过滤时间 t 之和，滤液体积是指虚拟的滤液体积 V_0 与实际的滤液体积 V 之和。于是在上述两个变化的条件下得到的两个积分式：

$$\int_0^{V_0} (V + V_0)\, d(V + V_0) = kA^2 p^{1-S} \int_0^t d(t + t_0) \tag{3-5}$$

及
$$\int_{V_0}^{V+V_0}(V+V_0)\mathrm{d}(V+V_0)=kA^2p^{1-S}\int_{t_0}^{t+t_0}\mathrm{d}(t+t_0) \tag{3-6}$$

积分上二式并令：
$$K=2kp^{1-S} \tag{3-7}$$

可得到以下二式：
$$V_0^2=KA^2t_0 \tag{3-8}$$

及
$$V^2+2V_0V=KA^2t \tag{3-9}$$

由此可得出滤饼形成时间内的过滤方程式：
$$(V+V_0)^2=KA^2(t+t_0) \tag{3-10}$$

(3-10)式称为恒压过滤方程式。它表明了恒压过滤时滤液体积与过滤时间的关系为一抛物线方程，如图 7-3-1 所示。图中曲线的 Ob 段表示实际的过滤时间 t 与实际的滤液体积 V 之间的关系；而 O_0O 段则表示与介质阻力相对应的虚拟时间 t_0 与虚拟滤液体积 V_0 之间的关系。

当过滤介质阻力可以忽略时，即 $V_0=0$，$t_0=0$，则(3-10)，式可简化为：
$$V^2=KA^2t \tag{3-11}$$

选矿厂过滤过程中，由于滤饼阻力远远大于介质阻力，故计算时可以只考虑滤饼阻力，而不计算介质阻力。在水处理系统中的过滤过程的计算则正好相反。如令：

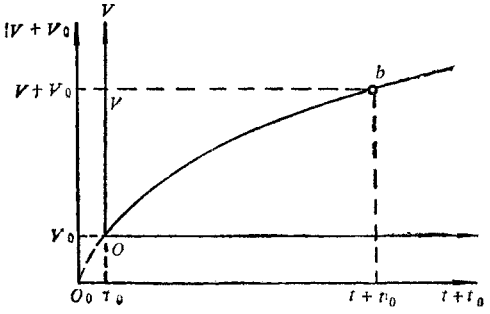


图 7-3-1　恒压过滤的滤液体积与过滤时间关系曲线

$$q=\frac{V}{A} \tag{3-12}$$

$$q_0=\frac{V_0}{A} \tag{3-13}$$

则(3-8)至(3-10)式可分别写为：
$$q_0^2=Kt_0 \tag{3-14}$$

$$q_0^2 + 2q_0 q = Kt \tag{3-15}$$

$$(q + q_0)^2 = K(t + t_0) \tag{3-16}$$

(3-16)式也称为恒压过滤方程式。

恒压过滤方程式中的 K(3-7 式)是由物料特性及过滤压强差所决定的常数,称为滤饼常数,其单位为米^2/秒,t_0 与 q_0 是反映过滤介质阻力大小的常数,均称为介质常数,其单位分别为秒及米^3/米^2,三者总称过滤常数,可由过滤试验测出。获得上述试验参数之后,用(3-11)式并代入 K 和 k 值即可求出单位时间内处理一定数量的料浆所需要的过滤面积 A:

$$A = V\left[\frac{\mu\rho W}{2p^{1-S}\cdot t}\right]^{1/2} \tag{3-17}$$

式中　μ——液体的粘度,Pa·s;

p——过滤的真空计示压力,Pa;

ρ、W、V、S——同(3-1)和(3-2)式。

式中 t 为过滤阶段经历的时间(秒),须与过滤机型式结合起来计算。因为在一个过滤循环中,过滤过程并非连续进行。因此,其过滤时间应做适当的变换。如筒型真空过滤机,设转鼓每转一周所需时间为 t_C,则:

$$t = f\cdot t_C \tag{3-18}$$

式中　f——一个操作循环中过滤阶段所占的时间分率;对于转鼓而言,f 等于转鼓浸入料浆部分的面积分率,即:

$$f = \frac{S_u}{S_w} = \frac{\beta}{2\pi} \tag{3-18a}$$

β——转鼓在料浆中的浸没角,rad;

S_u——转鼓浸入料浆中的过滤面积,m^2;

S_w——转鼓总的过滤面积,m^2。

在全面而仔细地研究了矿浆性质并初步选定过滤机型式后,为了更准确地选择工业过滤机的型式、规格和台数,须用标准过滤叶片模拟工业过滤机的操作条件,对一定数量的有代表性的矿样测定其过滤性能,以提供设计计算的依据。如果条件允许,在滤叶片试验之后,再用过滤面积为 0.5~1 米^2 且结构与选定的过滤机相近似的中间试验机作更精确的测定。在中间工厂试验中,除了能获得更精确的过滤常数外,还可以得到有关滤饼洗涤、卸除、以及介质再生等方面的可靠数据。

试验使用的矿浆应有充分的代表性。矿浆初始浓度的变化、固体的物质组成(即矿物性质)、粒度组成、矿浆中所含的药剂及 pH 值、温度、受搅拌等预处理状况诸因素都应

与工业生产的操作条件一致。使用的滤布材质、规格和给矿方法也应符合生产实际。真空过滤试验应提供以下数据：

(1)给矿的浓度和固相的粒度组成，料浆的 pH 值、温度。

(2)过滤的真空度或真空计示压力。

(3)滤饼的湿重、干重、厚度、形成时间、冲洗时间、脱水时间、滤饼内可溶固体成分的含量、滤饼的体积。

(4)滤液的体积、体积浓度、可溶固体成分的含量。

(5)冲洗水的体积。

(6)穿过滤饼的气体体积和速度。

(7)观察滤饼的形成过程和状态、滤饼卸落、滤布堵塞和滤液状况。

过滤试验及各种参数的测定方法，见本手册二十二篇试验技术有关章节。

对上述各项测试结果进行综合分析后，可以确定过滤机的型式、介质的材质和规格以及其他操作条件。

三、过滤机的分类、选择和计算

1. 过滤机的分类

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 7－3－1 所列的各种型式的过滤机。

表 7－3－1　过滤机分类表

分类及名称	按形状分类	按过滤方式分类	卸料方式	给　料	应用范围
真空过滤机	筒型真空过滤机	筒型内滤式过滤机 筒型外滤式过滤机 折带式过滤机 绳索式过滤机	吹风卸料 刮刀卸料 自重卸料 自重卸料	连　续	用于矿山、冶金、化工及煤炭工业部门
		无格式过滤机	自重卸料		用于煤泥和制糖厂
	平面真空过滤机	转盘翻斗过滤机 平面盘式过滤机 水平带式过滤机	吹风卸料 吹风卸料 刮刀卸料	连　续	用于矿山、冶金、煤炭、陶瓷、环保等部门
	立盘式真空过滤机		吹风卸料		
磁性过滤机	圆筒型	内滤式 外滤式 磁选过滤	吹风卸料 刮刀卸料 吹风卸料	连　续	用于含磁性物料的过滤
离心过滤机	立式离心过滤机 卧式离心过滤机 沉降式离心过滤机		惯性卸料 机械卸料 振动卸料	连　续	用于煤炭、陶瓷、化工、医药等部门

分类及名称	按形状分类	按过滤方式分类	卸料方式	给　料	应用范围
压　滤　机	带式压滤机 板框压滤机 板框自动压滤机 厢式自动压滤机 旋转压滤机 加压过滤机(筒式、带式等)	机械压滤 机械或液体加压 液　压 液　压 机械加压 压缩空气压滤	吹风卸料 自重卸料 自重卸料 排料阀排料 阀控或压力排料	连　续 间　歇 间　歇 连　续	用于煤炭、矿山、冶金、化工建材等部门

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、折带式和绳带式过滤机。国产 1000 毫米宽的带式压滤机和大型自动压滤机的研制成功,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和折带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 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. 过滤机的选择和计算

(1)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。处理不同浓度及固体粒度的料浆时过滤机选型见表 7 – 3 – 2 及图 7 – 3 – 2。

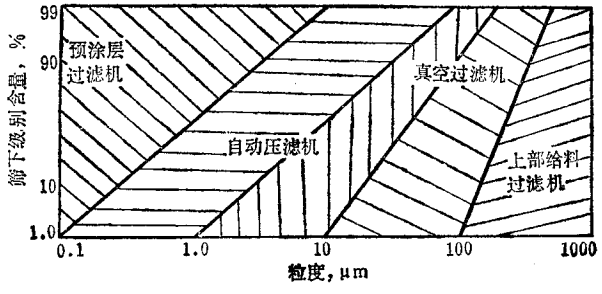


图 7 – 3 – 2　过滤机选型范围示意图

表 7－3－2　过滤机选型表

矿浆性能	过滤性能参数				
浓度，%	20	10～20	1～10	1	0.1
成饼速度，mm/min	>20mm/s	>20	<10	<1	无滤饼
单位过滤面积生产能力，kg/(m²·h)	>3000	<3000	<500	<50	<5
滤液形成速度，kg/(m²·h)	>15000	>1000	>100	50～5000	50～5000
推荐的过滤设备类型					
重力过滤	√				
上部给料过滤机	√				
筒型过滤机	√	√	√		
带式过滤机	√	√	√		
盘式过滤机		√	√		
带予涂层的过滤机				√	√
自动压滤机		√	√	√	√

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（－0.074 毫米占 70%以下）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，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份较低，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。但滤饼水份较高，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、冶产品和煤粉脱水。

折带式和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。滤饼水份较低，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，例如高岭土矿浆的过滤及某些粒度细、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。

(2)过滤机的计算

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，测定出过滤常数之后，用理论公式(3－13)计算出单位过滤面积的生产能力。在缺少试验资料的情况下，可参照类似厂矿的实际生产指标(表7－3－3)选取。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。

表 7－3－3　过滤机单位面积生产能力

被过滤的物料特性	单位生产能力，t/(m²·h)
细粒硫化－氧化铅锌矿	0.1～0.15
硫化铅精矿	0.15～0.2
硫化锌精矿	0.2～0.25
硫化铜精矿	0.10～0.2
硫化钼精矿	0.1～0.20
氧化铜、氧化镍精矿	0.05～0.1
黄铁矿精矿	0.4～0.5
含铜黄铁矿精矿	0.25～0.3
硫化镍精矿	0.1～0.2
锑精矿	0.1～0.2
锰精矿	1.0
萤石精矿	0.1～0.15
磁铁精矿，粒度 0.2～0mm	1.0～1.2
磁铁精矿，粒度 0.12～0mm	0.9～1.0
焙烧磁选精矿，粒度 0.12～0mm	0.65～0.75
浮选赤铁精矿，粒度 0.1～0mm	0.2～0.3
磁、浮选混合精矿，粒度 0.1～0mm	0.5～0.6
磷精矿	0.2～0.25

注 选用定额时应按过滤物料的物理性质确定，如氧化矿且磨得很细时应选取定额的低值。

需用的过滤机台数：

$$n = \frac{Q}{A \cdot q} \tag{3-19}$$

式中　n——过滤机工作台数，台；

Q——需处理的干矿量，t/h；

A——所选择的某种过滤机的过滤面积，m^2；

q——过滤机单位面积的生产能力，t/(m²·h)。

在按表 7－3－3 选用 q 值时须注意，该表数据是常用内滤圆筒式、外滤圆筒式和圆盘式真空过滤机使用棉织滤布总结的指标。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。

第二节　筒型真空过滤机

一、筒型外滤真空过滤机

筒型真空过滤机是金属矿石选矿厂特别是黑色金属选矿厂应用最多的脱水设备。按其卸料方式，又可分成多种型式。如图 7－3－3 是一种连续性的过滤设备，可将过滤、洗涤、去饼等项操作同时在同一回转的装置中完成。筒体为铸造的或用钢板焊制的圆筒，其外表面用槽型格子板分隔成若干个过滤室。滤布覆盖在格子板上。筒体的下部浸入料浆槽中，经齿轮系统传动绕水平轴转动。过滤室的尺寸不宜过宽，一般不超过 550 毫米。其数量与筒体直径有关。直径大则筒体外表面积大，过滤室的数量相应增多。反之，过滤室的数量就相应减少。例如常用的 40 米^2 的过滤机就有 24 个过滤室。

外滤式真空过滤机用刮刀刮落滤饼。其滤布借助于铁丝扎牢于滤板上。这些铁丝还能起到防止滤布被刮刀刮破的作用。外滤式真空过滤机的料浆槽内有搅拌器，位于筒体以下，借助伞形齿轮和链条传动。搅拌器工作时，可使矿浆在料槽内保持悬浮状态。其搅动的次数视物料性质而定，一般为 20～60 次/分。对于粒度粗密度大的物料，搅拌次数可取大值。

分配头是过滤机的重要部分。通过它排出滤液，并在过滤过程中交错进行抽吸与压气，使料浆形成滤饼，并由真空抽吸状态而变为被压气吹落状态，有效地控制过滤作业的顺序。分配头分为平面接触式和圆柱面接触式两种结构型式。圆柱面分配头磨损后不易修复，且容易被矿粒卡住，应用得较少。大多数过滤机使用平面分配头。为了便于检

修，常将平面分配头的分配盘和错气盘作成直接接触的易损件。

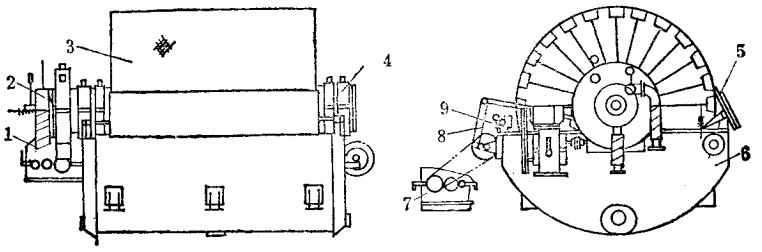


图 7－3－3　筒型外滤真空过滤机结构图

1—筒体传动装置；2—分配头；3—筒体；4—轴承座；5—刮刀；6—料浆槽；7—搅拌传动装置；8—搅拌器；9—绕线装置

筒型外滤真空过滤机按其滤饼形成过程，可分为以下几个工作区域。如图 7－3－4 所示。

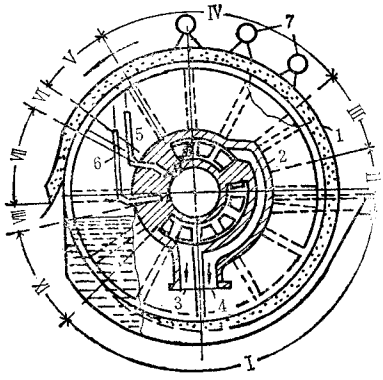


图 7－3－4　筒型外滤真空过滤机的工作图

1—过滤室；2—分配阀门；3、4—接真空泵的管；5、6—接空气压缩机的管；7—洗涤水管

过滤区Ⅰ。在此区内的筒体浸入料浆中，滤布与格子板之间形成的过滤室被抽成真空，滤液透过滤布被吸入过滤室，然后经过分配头排出。固体物料与残存的水分被吸附于滤布表面。

吸干区Ⅱ。在此区域内，将剩余滤液吸尽，并将滤饼吸干。

洗涤区Ⅳ。在此区内，由管 7 把清水喷于滤饼上，淋洗滤饼后，被吸入过滤室，经管 3 与滤液一起排出或由管 4 单独排出。

吹松区Ⅵ。在此区内，过滤室与压缩空气相通，压缩空气将滤饼吹松，便于卸料。

卸料区Ⅷ。在此区内，滤饼被刮刀所剥落。

图中Ⅲ、Ⅴ、Ⅶ、Ⅸ为非工作区，位于Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ，Ⅷ之间。因此、过滤室由一个区转变到另一个区时，不致彼此连通。

选矿产品通常是不需要洗涤的，所以在选矿厂使用真空过滤机时，将洗涤区并入吸干区。

当过滤机每转一周时，在联有真空管和鼓风管的分配头的调节下，逐步完成过滤、脱水、吹风卸料和滤布清洗的循环过程。

常用的筒型外滤式真空过滤机规格及技术性能如表 7－3－4 所列。

表 7－3－4　筒型外滤真空过滤机技术参数表

型　号	筒体规格，mm	过滤面积	筒体转速，r/min		搅拌次数
	直径×长度	m^2	Ⅰ组	Ⅱ组	次/min
GW－20	2500×2650	20	0.14，0.19，0.27，0.38，0.54		25 或 45
GW－30	3350×3000	30	0.12 0.16	0.11 0.14	
GW－40	3350×4000	40	0.23 0.29	0.21 0.26	
GW－50	3350×5000	50	0.39 0.56	0.34 0.5	
GW－3	1600×700	3	0.13～0.7		
GW－5	1750×970	5	0.13～0.7		

型　号	配用电动机，kW		外型尺寸，mm	重　量
	筒　体	搅拌器	长×宽×高	t
GW－20	－8/4/2.5/4.0	2.2	4480×4085×2890	10.6
GW－30	3.5/4.0/5.0	3	5200×4910×3743	17.2
GW－40			6200×4910×3743	19.5
GW－50		4	7200×4960×3743	21
GW－3	1.1			3.43
GW－5	1.1			5.5

二、筒型内滤真空过滤机

筒型内滤真空过滤机的筒体内表面为其过滤面。矿浆给到筒体内部，由于重力作用，粗粒物料先于细颗粒沉积于滤布上。形成间隙较大的粗颗粒层，随着细颗粒物料的沉积，孔隙中会发生“架桥现象”，因而使得直径小于孔道的细颗粒也能被拦住，从而提高了过滤效果。在饼层过滤中，真正发挥分离作用的主要是滤饼层，而不是过滤介质。因此，筒型内滤式真空过滤机在形成滤饼时除了依靠真空作用外，还可借助于物料沉降作用，在过滤易沉降的物料肘可获得较高的生产能力。这对于过滤粗粒物料和磁性团聚现

象特别严重的磁铁矿尤为适宜。此外，该型过滤机具有较大的滤布清洗区，滤饼卸除后可以有较长的清洗时间以恢复滤布的透气性。

筒型内滤式真空过滤机结构如图 7－3－5 及图 7－3－6 所示。工作原理同外滤式真空过滤机一样，内滤式真空过滤机的内滤面分为许多滤室，通过真空管对这些滤室进行抽吸滤液和吹气。真空管与分配头相连，分配头的工作原理与外滤式真空过滤机相同。筒体旋转一周，同样可完成过滤、脱水、吹风、卸料、清洗滤布的循环过程，如图 7－3－7 所示。

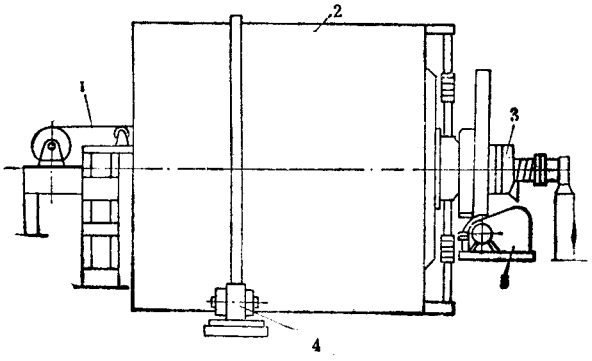


图 7－3－5　筒型内滤真空过滤机(中心胶带卸料)

1—胶带；2—筒体；3—分配头；4—托辊；5—传动装置

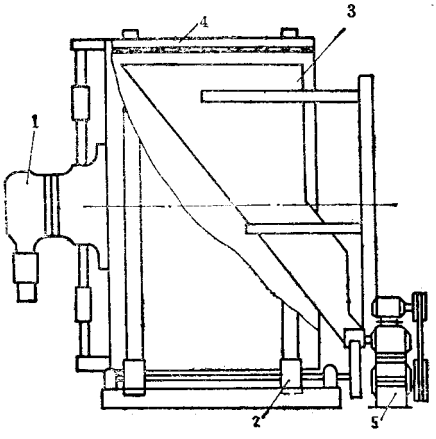


图 7－3－6　筒型内滤真空过滤机(溜槽卸料)

1—分配头；2—托辊；3—卸料装置；4—筒体；5—传动装置

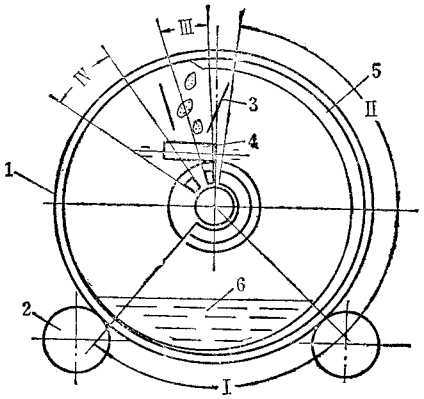


图 7－3－7　筒型内滤真空过滤机工作原理图

Ⅰ—过滤区；Ⅱ—脱水区；Ⅲ—卸料区；Ⅳ—滤布清洗区

1—筒体；2—托辊；3—漏斗；4—皮带运输机；5—滤饼；6—矿浆

筒型内滤式真空过滤机的滤饼排卸方式有两种。其一是采用有辉绿岩内衬的固定溜槽，将落下的滤饼直接送至筒外料仓中。这种排料方式操作方便，设备结构简单，多为小型过滤机所采用；另一种排料方式为中心带式输送机排料。这种卸料方式工作可靠，多台工作时，便于安装集料胶带输送机和计量秤。

筒型内滤真空过滤机的缺点是更换滤布较麻烦，机体庞大，操作中观察机内工作状况不方便。

我国系列化生产的筒型内滤式真空过滤机的规格、性能及技术参数列于表 7－3－5。

表 7－3－5　筒型内滤真空过滤机性能

型　号	外形尺寸 长×宽×高；mm	过滤面积 m^2	筒体转速，r/min			筒体传动功率 kW	卸料方式	皮带运输机传动功率，kW	重　量 t
			高　速	中　速	低　速				
GN－8	3200×3200×3400	8	0.72	0.49	0.31	2.2	中心皮带运输机或溜槽	1.5	7
GN－12	3200×3200×3400	12	1.0 1.43	0.69 0.96	0.47 0.68				
GN－20	5200×3900×4100	20	0.42 0.56		0.12 0.17	3.5		2.2	13
GN－30	6300×3900×4100	30	0.84 1.04		0.25 0.31	4.0	中心皮带运输机		14
GN－40	6800×3900×4100	40	1.40 2.18		0.42 0.66	5.0		3.0	17

第三节　折带式及绳带式真空过滤机

一、折带式真空过滤机

折带式真空过滤机是在筒型真空过滤机的基础上发展起来的。其组成部件除了有筒体、料浆槽、搅拌器外，还有清洗槽、分展辊、张紧辊、导向辊、清洗水管等构件。

折带过滤机的滤布不固定在筒体上，而是通过若干个辊子将其从筒体上引出来绕过卸料辊之后再经过张紧辊和导向辊而返回到筒体面上，形成一条环形的带子。在工作过程中，滤布与筒体的相接触的区段一起转动，可以延长滤布的使用寿命。其结构如图 7－3－8 所示。

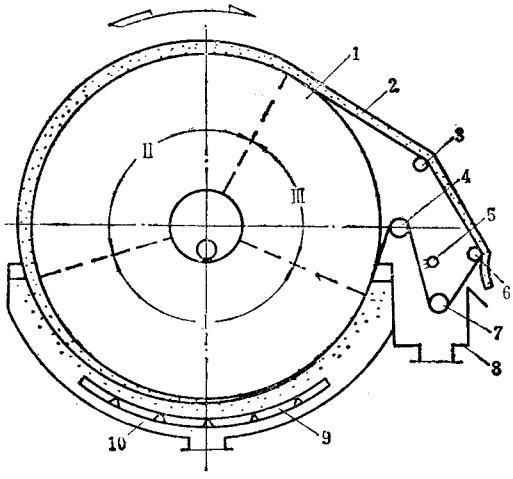


图 7－3－8　GD 型折带过滤机工作原理图

Ⅰ—过滤区；Ⅱ—脱水区；Ⅲ—死区

1—筒体；2—滤布；3—分展辊；4—导向辊；5—清洗水管；6—卸料辊；7—张紧辊；

8—清洗槽；9—搅拌器；10—料浆槽

矿浆给入料浆槽内，其中的固体物料被吸附在滤布上，随筒体一同转动。滤布离开料浆槽的矿浆面之后，已被吸附的滤饼继续被抽吸脱水。当滤布运行至分离（分展）辊时，由于托辊半径很小，滤布改变运行方向，造成滤饼块折裂，继续运行至卸料辊处，由于重力作用滤饼自行脱落到排矿溜槽里。滤布在返到筒体面上以前，受到清水冲洗。清洗

液认清洗槽引走，返回到浓缩机内。滤布从导向辊上面绕行后即返回到筒体面上，开始下一个工作循环。

折带过滤机适用于细粘而不易沉降的物料脱水，该设备工作性能良好。设备的工作面积大，滤布再生条件好，自重卸料，无需鼓风设施，无残存滤液吹入滤饼现象，并提高了滤布使用寿命。但要求给矿浓度较高，最好保持在 60～70% 以上，否则脱水效率会相对降低。柴河铅锌矿用 20 米^2 折带过滤机取代圆筒型真空过滤机后，过滤效率平均提高 2～4 倍，滤饼水分由 14～17% 降至 11%，处理浮选的粘性精矿时，滤饼水分仍不高于 11.5%。处理松散物料时，滤饼厚度为 2 毫米也可以完全脱落。在处理浮选精矿时，当滤饼厚度在 8 毫米以上，水分为 25～27% 时，滤饼折裂后有 40～50% 的物料可以自行脱落。当通过卸料辊后，只有 5～10% 的滤饼不能自行脱落 若饼厚在 10 毫米以上，水分在 25 以下，滤饼将全部卸下。

该设备的缺点是工作时滤布易跑偏打褶，安装和操作时应予以防止。结构较复杂。清洗滤布时耗水量较大。

国产折带式过滤机技术参数列于表 7－3－6。

表 7－3－6　折带式过滤机技术参数

规格型号	过滤面积 m^2	过滤机滚筒			传动电机功率 kW	搅拌器电动机功率 kW	机器重量 t
		直径，mm	筒长，mm	转数，r/min			
GD－10	10	2000	1800	0.18～0.37	2.2	2.2	5.91
GD－20	20	2500	2770	0.075～0.298	2.5/4	2.2	11.1
GD－30	30	3350	3015		3.0	1.0	17.8
GDV－30	30	3350	3000	0.125～0.25	5.5	2.5	18.2
GD－40	40	3350			3.5 4.5	3.0	20.3

32 米^2 折带式过滤机处理浮选铁精矿试验结果列于 7－3－7。

表 7－3－7　32m² 折带式过滤机处理浮选铁精矿试验结果

过滤面积 m²	转　数 r/min	给矿浓度 %	给矿粒度 %－0.074mm
32	1/5	75	90

滤饼水分 %	生产能力		备　注
	t/h	t/(m²·h)	
12	27	0.86	

二、绳带式真空过滤机

绳带式过滤机是连续回转式真空过滤机的一种。该设备与折带式过滤机的区别在于绳带和排料辊子。尼龙绳带等距离地围绕在罩有滤布的滚筒和排料辊子上。绳带与滚筒一起旋转。吸附在滤布上面的滤饼，在绳带与滚筒的表面分离点（与折带式过滤机工作情况近似），开始脱落。绳带进一步把滤饼带至排料辊子处，借助于绳带运动方向的改变，滤饼靠自重脱落。

绳带式过滤机具有以下优点：

(1)滤布不易堵塞。依靠绳带卸料，不使用刮刀，滤饼不会与滤布直接摩擦，故滤布不易堵塞。

(2)取消了鼓风设施，节省动力和投资。同时不会有滤液逆流进入滤饼，脱水效率高。

(3)取消了外滤式过滤机捆扎滤布的钢丝圈，及其他一些附属装置，操作维护方便。

(4)节约滤布。取消了鼓风和刮板，减少了损坏滤布的机率。此外，可以分区更换滤布，不至于因其局部破损而废去整块滤布。

绳带式过滤机的结构如图 7－3－9 所示。

绳带式真空过滤机可用来处理普通真空过滤机所能处理的各种物料。尤其适于处理粒度较细、浓度较低、粘性较大的矿浆。

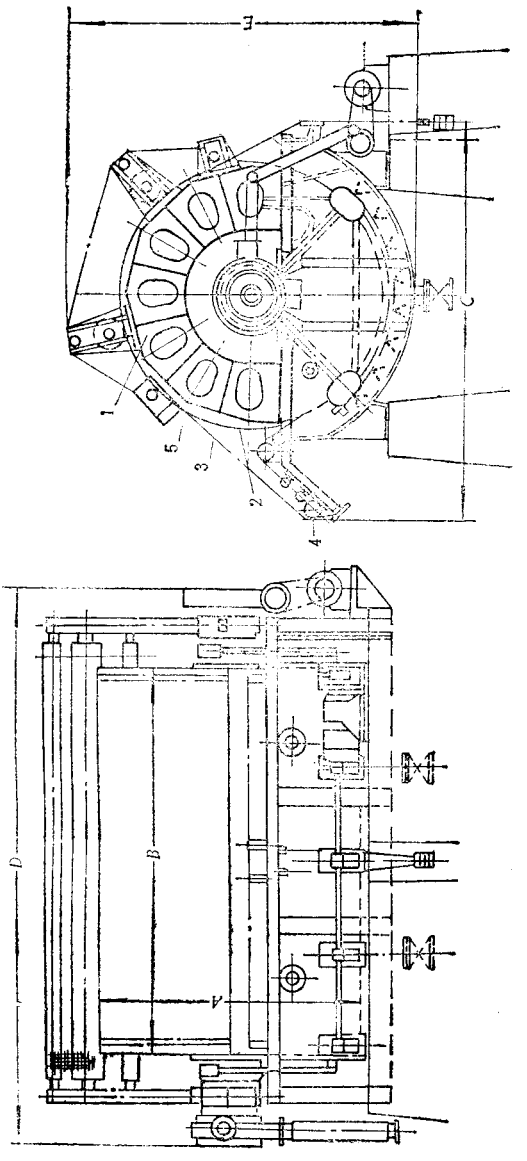


图 7-3-9　绳带式过滤机结构

1—滚筒；2—滤布；3—绳带；4—排料滚子；5—绳带与滚筒的分离点

第四节　无格真空过滤机

无格过滤机是一种筒型外滤式真空过滤机，其筒体内为一整体真空室，筒体在卸料区有一特殊的密封室。该机取消了一般过滤机的分配头、喉管及大量的真空管路，是一种新型的连续过滤机。主要由筒体、密封装罩、空心轴、搅拌器、料浆槽等部件组成。其结构及工作区的划分如图 7－3－10 所示。无格过滤机工作时，筒体内部处在真空状态下，使滤饼吸附在筒体滤布表面上，滤液和清洗水分别由不相通的空心轴两端抽出，滤饼随滤布运行到卸料辊处脱落。该机不需要吹风卸料和在筒体上清洗滤布。因此，密封装置的作用是把暴露在空气中的一段筒体（从滤布引出点到滤布返回点之间）上的过滤孔密封住，防止破坏真空。

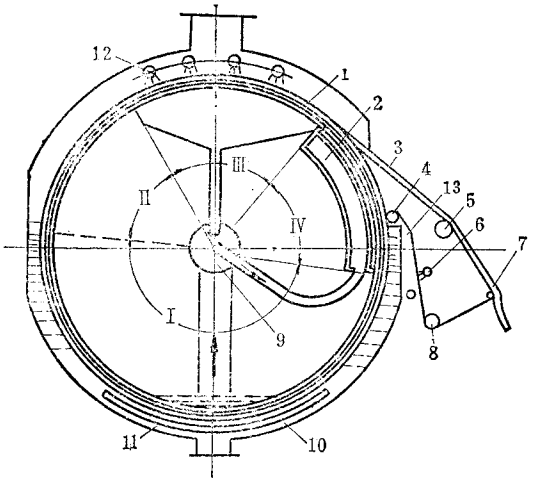


图 7－3－10　GDU 型无格折带过滤机工作原理图

1—筒体；2—密封装置；3—滤布；4—导向辊；5—分展辊；6—清洗水管；7—卸料辊；8—张紧辊；9—空心轴；10—搅拌器；11—槽体；12—洗涤水管；13—人字辊；Ⅰ—过滤区；Ⅱ—脱水区；Ⅲ—洗涤区；Ⅳ—死区

该过滤机结构的另一特点是给料槽采用深槽结构，增加吸滤时间以提高生产能力。在相同的转速下，GDU－40 型无格折带过滤机的吸滤时间比一般外滤式真空过滤机要增加 1/3～2/3

GDU 型无格折带过滤机的技术规格和性能列于表 7－3－8。

表 7－3－8　无格折带真空过滤机规格及技术性能

型　　号	过滤面积 m^2	筒体直径 mm	筒体长度 mm	外形尺寸，mm		
				长	宽	高
GDU－20	20	2500	2650			
GDU－30	30	3350	3000	5967	5189	4930
GDU－40	40	3350	4000	6967	5189	4930
GDU－50	50	3350	5000	7967	5189	4930
GDU－20						
GDU－30	23	$\frac{5.5}{2.8}$				
GDU－40	24	$\frac{7.5}{2.8}$	2.8			
GDU－50	25	$\frac{7.5}{2.8}$				

第五节　磁性过滤机和磁选过滤机

一、磁性过滤机

磁性过滤机是一种装有磁铁的真空过滤机。外滤式磁性过滤机的结构如图 7－3－11 所示。磁性过滤机主要由滤筒、磁极和给矿槽等部件组成。其工作过程是：磁性矿浆从筒体外侧上方给入槽内。滤饼由刮刀卸下。

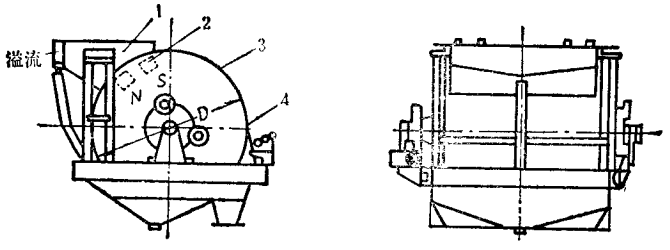


图 7－3－11　永磁真空过滤机(外滤式)结构示意图

1—筒体；2—磁系；3—给料箱；4—刮刀

该设备适宜处理 +0.147 毫米和 +0.074 毫米粒级含量分别占 5.0% 和 30% 的磁性精矿。我国攀钢等大型选矿厂均使用了磁性过滤机，效果较好。其给料粒度为 0.4～0.1

毫米，滤饼水分为 10～11%。一台 12 米^2 磁性过滤机的生产能力约为 50～60 吨/时。

沈阳矿山机器厂制造的 20 米^2 永磁内滤机结构如图 7－3－12 所示。其工作原理和永磁外滤机相同。该设备于 70 年代在鞍钢研制成功后已在大型铁矿选矿厂广泛采用。其工作指标接近永磁外滤真空过滤机，而给料方式与筒形内滤式真空过滤机（溜槽排料）相同。

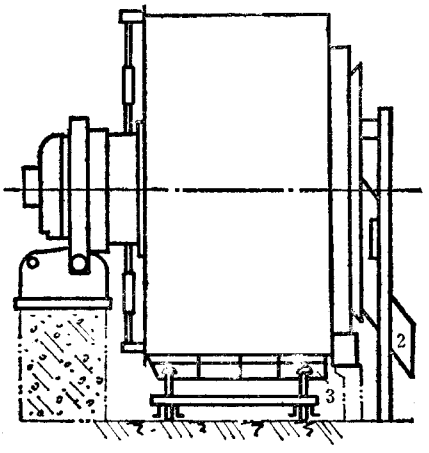


图 7－3－12　20m^2 永磁内滤式真空过滤机

1—筒体；2—滤饼溜槽；3—磁系

国产真空永磁外滤式过滤机性能列于表 7－3－9。

表 7－3－9　真空永磁过滤机性能

型　号	筒体尺寸 $D \times L$，mm	筒体转速 r/min	生产能力① ～t/h	滤饼水分 %	电动功率 kW	总　重 t
GYW－8	2000×1400	0.5～2	22～40	8～10	1.5	4.81
GYW－12	2000×2000	0.5～2	30～60	8～10	2.2	5.56
GYW－20	2550×2650	0.5～2	50～100	8～10	4	6.53

①给矿粒度 0.15～0、0.08～0mm。

瑞典制造的 MTFF 型磁性过滤机，使用一种特殊的密封装置装在给矿箱与过滤筒表面，减少磨损，延长滤布寿命可达 2500 小时。另设有自动安全装置，当过负荷时自动停止工作，防止损坏机件。采用上部给料，消除了矿浆沉淀现象，并充分利用重力沉降的作用，使粗粒子首先被吸附，细粒子位于滤饼表面，防止了滤布堵塞，形成较理想的簇状吸附状态，透水性好，增加了过滤机生产能力。

二、磁选过滤机

磁选过滤机具有选别和脱水的双重作用。用它分选磁铁矿时，可获得永磁筒式磁选

机的生产效果。而所得精矿含水很少，但比一般真空过滤机的滤饼水份稍高。

磁选过滤机的结构如图 7－3－13 所示。磁选过滤机工作时，待选矿浆从给矿箱均匀给入机内分选箱，充分悬浮。矿浆中磁性矿粒受磁极吸引，附在转筒外面的滤布上，无磁性的脉石不被磁极吸引，继续随着液流向前流动，至尾矿口被排出机外。吸附在滤布表面的磁性精矿随着转筒一起向着滤饼排卸方向转去，并且随着转筒内磁极的交替作磁滚翻，进一步去掉机械夹杂的非磁性物，从而提高了磁铁精矿品位。当精矿转到过滤区时，脱离了磁场，结束了分选过程而开始脱水。借助于真空抽吸，随着筒体的转动，滤饼的水份逐渐降低。当滤饼进入卸矿区时，在吹风风压和刮板的作用下，落入精矿漏斗中。卸饼之后，滤布随着筒体转入再生区，在吹风和冲水的作用下，得到清洗，恢复其透气性，再开始下一个工作循环。

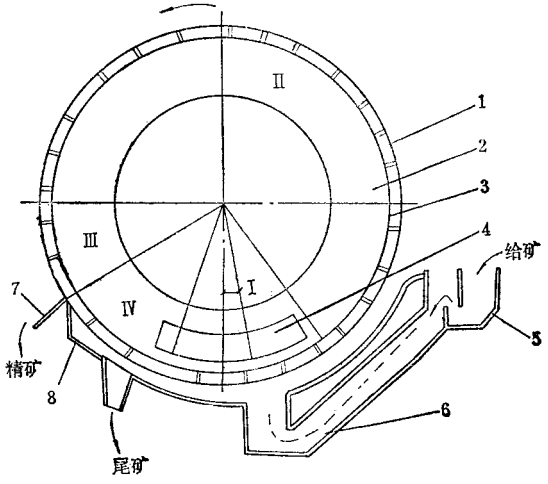


图 7－3－13　磁选过滤机示意图

Ⅰ—选别区；Ⅱ—过滤区；Ⅲ—卸矿区；Ⅳ—滤布再生区；

1—滤布；2—转筒；3—过滤室；4—磁系；5—给矿箱；6—分选箱；7—刮板；8—冲洗滤布水管

由于该机的产量受选别指标的限制，即当转速一定时，最大产量是有限度的，所以滤饼的水份也只能降低到一定程度。

第六节　盘式真空过滤机

一、立盘式真空过滤机

立盘式真空过滤机又称为蝶式真空过滤机(图 7－3－14 及 15)其过滤面的结构形式与筒型过滤机不同,但操作原则基本是相同的。过滤面由多个单独的扇形片组成若干个(一般 10～12 个)圆盘而构成。每一个扇形片为单独的过滤单元,由滤布做成布袋套在扇形片上形成滤室。工作时,过滤盘顺时针方向转动,料浆中的固体颗粒借真空的作用附着在过滤盘上形成滤饼。搅拌器往复摆动防止固体沉淀。滤饼离开液面之后,在真空作用下继续脱去水份。滤液透过滤布,进入过滤盘内,经过滤液管,从分配头排出。滤饼在卸料区通过滤盘由内向外吹风卸落。

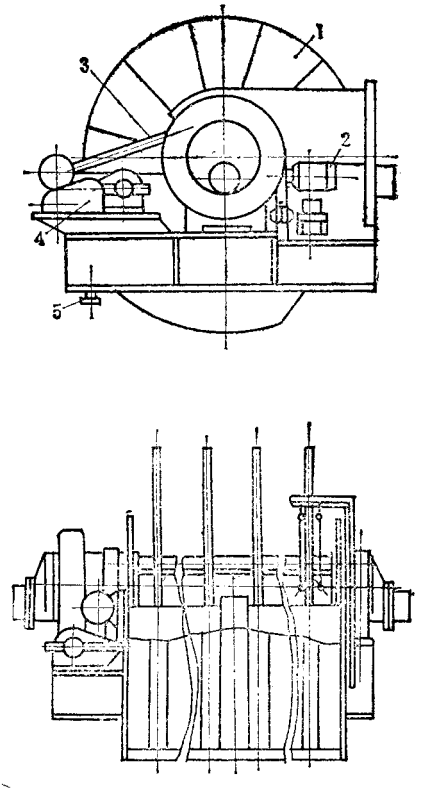


图 7－3－14　立盘式真空过滤机结构图

1—过滤机;2—主传动机构;3—搅拌器;4—搅拌器传动机构;5—瞬时吹风系统

扇形片由螺栓固定在主轴(空心轴)上,拆卸及更换滤布方便,甚至可以在过滤机运转过程中进行,给生产检修带来方便。

我国试制的 60 米^2 立盘式真空过滤机由 6 个盘组成。在包钢絮凝反浮选流程中过滤 -0.038 毫米(-400 目)占 95% 以上的浮选铁精矿,滤饼水份为 14~16%,单位生产能力为 0.31~0.43 吨/(米^2·时)。过滤硫化铜精矿,滤饼水份为 12~14%,单位生产能力达 0.2 吨/(米^2·时)以上。

我国系列化生产的立盘式真空过滤机性能列于表 7-3-10。

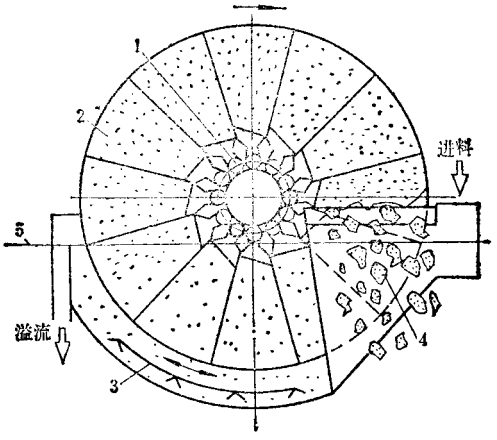


图 7-3-15　盘式真空过滤机工作原理图

1—滤液管;2—滤饼;3—搅拌器;4—滤饼卸落;5—液面

表 7-3-10　立盘式真空过滤机规格及技术参数

过滤面积 m^2	过滤盘数 个	过滤盘直径 mm	过滤盘转速 r/mm	电动机功率 kW	搅拌器电机功率 kW	机器重量 t
9.0	2	1800	0.08~1.89	1.1		3.42
18	4	1800	0.073~2.04	2.2		4.56
			0.254~1.14	1.1	1.1	3.5
27	6	1800	0.073~2.04	3.0		5.06
			0.135~0.6l	1.1	1.1	4.25
39	4	2700	0.254~1.4			
			0.13~0.61	1.5	1.5	5.65
58	6	2700	0.15~0.67			
			0.254~1.4 4	2.2	2.2	22
78	8	2700	0.15~1.44	2.2	2.2	8.08
97	10	2700	0.285~1.98	4.0	4.0	11.09
116	12	2700	0.148~0.66	4.0	4.0	12
200	12	3800	0.25~1.09	11	5.5	24.3

过滤面积 m^2	过滤盘数 个	过滤盘直径 mm	过滤盘转速 r/mm	电动机功率 kW	搅拌器电机功率 kW	机器重量 t
40	4	2800	0.2～0.3；0.4～0.6；	2.2/3.5 1/4/5.5	3.5/4.0	
60	6	2800	0.2～0.3；0.4～0.6；	2.2/3.5/4/5.5	3.5/4.0	14.6
80	8	2800	0.2～0.3；0.4～0.6；	2.2/3.5/4/5.5	3.5/4.0	
100	10	2800	0.2～0.3；0.4～0.6；	2.2/3.5/4/5.5	3.5/4.0	
120	12	2800	0.2～0.3；0.4～0.61	2.2/3.5/4/5.5	3.5/4.0	

二、水平圆盘真空过滤机

该机又称为平面圆盘或水平台型真空过滤机，结构如图 7－3－16 及图 7－3－17 所示。其过滤面呈圆台状。盘面上有一定高度的同心内、外缘挡圈。过滤面下面由若干径向垂直隔板分成多个彼此独立的扇形滤室，与圆盘下面的自动活门相连接。料浆从顶部堰形布料器均匀给到各扇形滤叶上。滤渣用刮刀刮落到螺旋运输机或带式输送机上。滤液经滤叶下方出口、滤液管和中央分配头排至滤液槽中。滤饼可以受到多次洗涤。洗液和滤液可分别收集。为了消除残留的滤饼对下一次过滤的妨碍，在加料位置通入压缩空气，将残留滤饼反向吹入新给入的料浆中。

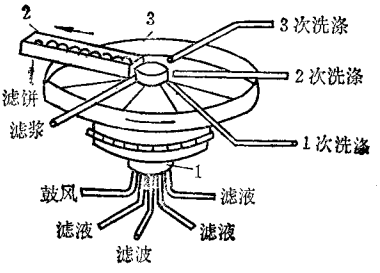


图 7－3－16　水平圆盘过滤机的工作原理

1—分配头；2—螺旋输送机；3—过滤盘

水平圆盘过空过滤机占地面积大，滤布易堵塞和易破损。一般用于过滤要求洗涤效果好和含有大密度的粗粒固体的滤浆，也可以过滤含有较小密度固体的悬浮颗粒的浆体。

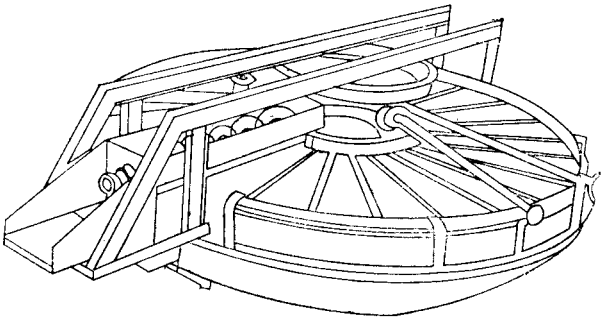


图 7－3－17　水平圆盘过滤机外形

普通结构的台型过滤机之过滤面积约为 1～14 米^2，最大也只有 20 米^2。但若将扇形滤室由一块板折成，就可制成过滤面积达 250 米^2 的大型机。

西德制造的水平圆盘真空过滤机规格列于表 7－3－11。

表 7－3－11　水平圆盘真空过滤机规格

过滤机外形尺寸，mm		过滤面积，m^2	过滤机重量，t	功率，kW
直　径	高　度			
1300	1150	1	1.5	1.1
3300	1500	7	8	2.6
4200	1620	12	20	4.4

三、水平回转翻盘真空过滤机

本机又称为立式转盘翻斗真空过滤机。其结构原理如图 7－3－18 所示。

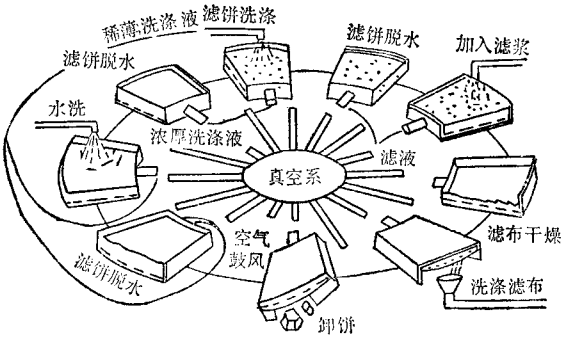


图 7－3－18　水平回转翻盘真空过滤机

环形的过滤面由若干个彼此独立的扇形滤盘排列而成，滤盘的滤液出口同中央分配管头连通。每个扇形滤盘都安装在旋转台上。矿浆经过分配器给到滤盘上，在真空吸引下受到过滤。滤液经中心吸引管和支管以及中央分配头排出。滤饼留在滤布上，经过三级洗涤后进入卸料区，滤盘翻转 180°，在重力或压缩空气反吹的作用下卸除。此后，滤盘复位，经过清洗和真空吸干后又转到给料位置，开始新的过滤循环。

该机适于过滤密度较大、浓度较高的粗颗粒浆体，例如磷酸盐、石膏，二氧化锰、碳酸钾、铁砂、铁矿石及其他特殊物料。

目前最大的翻盘过滤机面积可达 205 米^2，直径 23 米，处理 P_2O_5 的能力为 1000 吨/日。

国产水平回转翻盘真空过滤机规格列于表 7－3－12。日本制造的翻盘过滤机规格列于表 7－3－13。

表 7－3－12　国产水平回转翻斗真空过滤机规格

产品规格	PD—1.5	PD—20
有效过滤面积，m^2	1.1	17.8
斗　数	15	20
斗的最大反转角，度	150	152
转盘直径，mm	2490	8092
转盘转速 r/min	0.05～0.7	0.125～0.375
外形尺寸（长×宽×高），mm	3120×2970×840	9900×8960×1426
重量，kg	3300	23000

表 7－3－13　日本制造的翻盘过滤机规格

总过滤面积 m^2	过滤盘数	直径，mm	高度，mm	重　量，t
65	32	13400	3200	45.0
70		13400		46.5
75		13800		48.0
80		13800		49.5
85		14800		51.0
90		14800		52.6
95		15200		54.1
100		15200		55.7
105	32	15900	3400	61.0
110		16300		62.7
115		16800		64.4
120		17200		66.2
125		17600		67.8
130		18050		69.5
135		18400		71.2
140		18800		72.9

总过滤面积 m^2	过滤盘数	直径，mm	高度，mm	重　量，t
145	36	18600	3400	78.2
150		19000		79.9
155		19400		81.5
160		19800		83.2
105		20200		84.9
170		20600		86.6
175		20900		88.3
180		21300		90.0

第七节　水平带式真空过滤机

水平带式真空过滤机，其外形犹如大型的带式输送机。它是利用矿浆的重力和真空抽吸力实现固液分离的一种高效过滤设备。由于在生产能力、洗涤效率和生产费用等方面有其突出的优点，因而得到了广泛应用。英、美、苏、日等国制造的产品，规格最大已达 185 米^2。我国已研制出 50 多台水平带式真空过滤机，20 米^2 的正在着手设计。该类过滤机的主要缺点是占地面积大和投资较高。此外，靠真空过滤，滤饼水份难以降低。

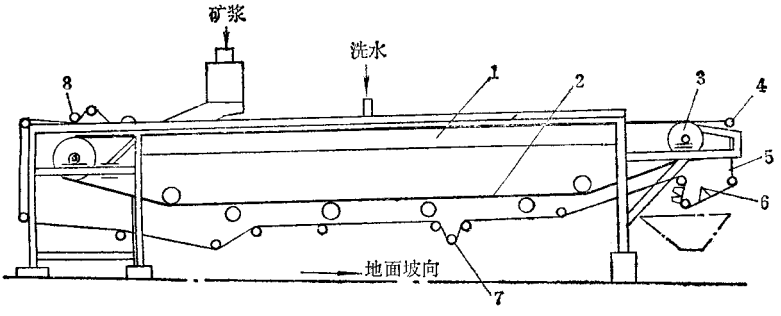


图 7－3－19　水平橡胶带式真空过滤机纵断面

1—真空箱；2—胶带；3—驱动轮；4—卸渣辊；5—摅布；6—喷水嘴；7—滤布拉紧辊；8—滤布展开装置

水平带式真空过滤机种类繁多，图 7－3－19 是其一种。橡胶带式真空过滤机与带式输送机所不同的是在胶带上面覆盖着一层滤布，二者同步前进。胶带上面有许多纵横的锥形沟槽，形如压滤机的滤板，溜槽（沟槽）中部有出液孔眼。运转时，孔眼与其下部的

真空抽液箱相通。由于真空作用，滤布被吸附在胶带上，滤液从孔眼被抽吸到真空受液器中，滤渣被留在带面上。重新恢复真空，吸上滤饼再继续前进，如此往返循环。

图 7－3－20 是一种带有压力带装置的带式过滤机。其滤布既是过滤介质，又是输送带，滤布由聚酯纤维和丙纶等制成。加料和滤饼排卸是连续的，但真空是间歇作用的。真空滤盘作往复运动。由于采用合成纤维作过滤介质，在加料后介质可紧贴于滤盘上，极易气密，可达到较高的真空度。滤布更换方便。在吸滤过程中，滤布和滤盘间没有相对摩擦。

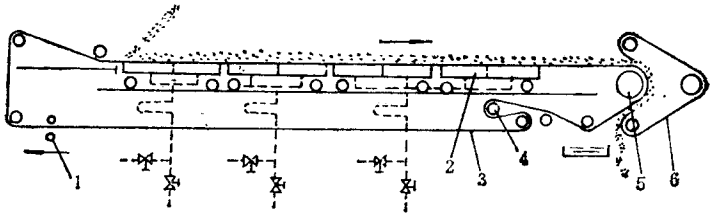


图 7－3－20　带有压力带装置的潘内维斯(Pannevis)带式过滤机

1—滤布导向系统；2—真空滤盘；3—滤布；4—滤布张紧系统；5—驱动转鼓；6—压力带

图 7－3－21 是一种带盘式真空过滤机。这种过滤机是由若干紧挨排列而环接起来的滤盘安装在横向间隔开的两条传送带上，每个滤盘内衬有滤布，滤液在真空抽吸作用下经过滤盘底部的出口管由可伸缩的软管排出。通过分配头安排，在每个周期的一定位置上过滤。在另一个位置上排卸滤饼。这种设备特别适宜于处理鼓式真空过滤机难以过滤的含大量微粒的悬浮液泥浆和粘性大的物料，并可多次洗涤，但滤布只能单面冲洗，容易堵塞，滤饼排卸困难，有时需要增加反吹装置。由于滤盘采用了两次转动连接密封，增加了整个系统内真空泄漏的可能性，因此结构比较复杂。

图 7－3－22 是一种滤框带式过滤机。下部的环形滤带和滤布安装在一对滚筒上，滤带和滤布同时移动。其上部是一个类似梯子的由弹性材料制成的环形框带，紧压在滤布上表面，滤框与滤布同步移动，泥浆和洗液可分别注入到指定的滤框中，在滤框向前移动的过程中，通过真空抽吸而完成过滤、洗涤、干燥等作业。在完成各工艺过程后，滤带、滤布、滤框自行分开，绕回到起始位置。由于料液充满滤框，因而防止了由于泥浆加料不均衡引起的真空降低及洗液回流造成的洗液和滤液混合的现象。这种设备结构简单，滤带没有严重磨损。

图 7－3－23 是多真空箱带式过滤机。在机架内装有若干个真空抽吸箱，真空箱的两侧边向上外伸形成挡边，在每个真空箱上有一条支承滤布的纵面移动的传送带(滤带)，上面覆有滤布，滤布宽度大于滤带，这样，滤布的两侧边与真空箱上外伸的两侧边紧

贴而密封，在机器的加料端加料后，通过各个真空箱顺序完成过滤、洗涤、干燥等过程，在两个真空箱上的滤带之间的上方空间，可以放置测量仪器和检测设备，用以测定滤饼中排水速度、物料速度及金属含量。结构非常简单。

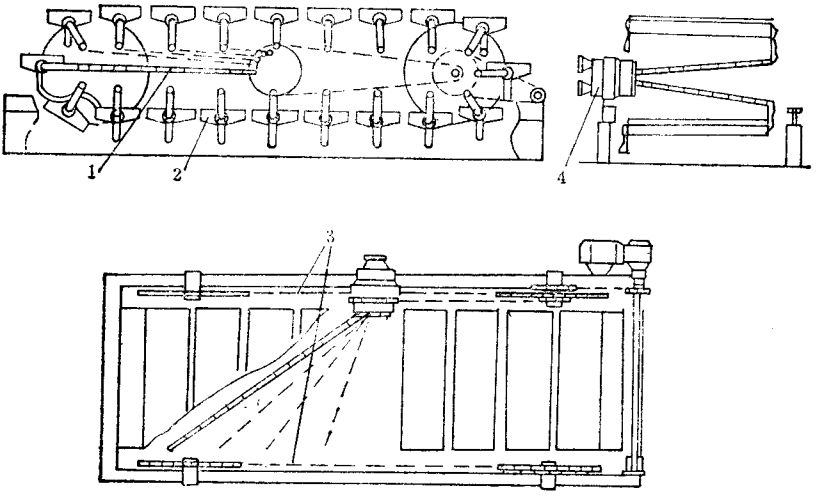


图 7－3－21　带盘式真空过滤机

1—伸缩软管；2—滤盘；3—传送带；4—分配头

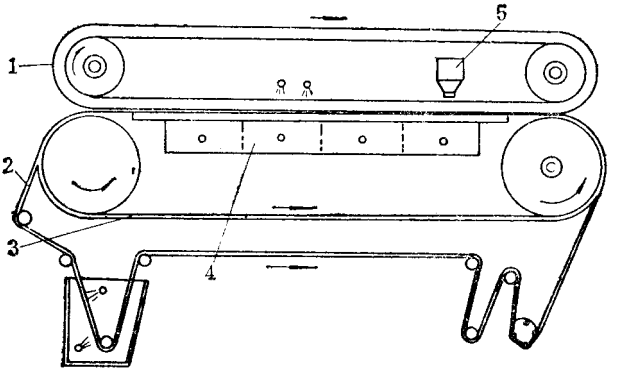


图 7－3－22　滤框带式过滤机

1—滤框；2—滤布；3—滤带；4—真空箱；5—加料器

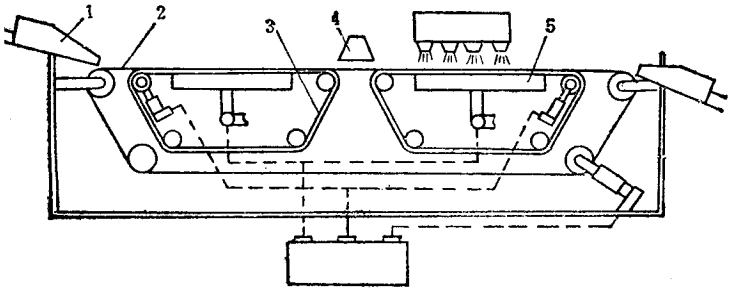


图 7－3－23　多真空箱带式过滤机

1—加料器；2—滤布；3—滤带；4—检测仪器；5—真空箱

第四章　热力干燥技术

第一节　概　　述

湿法选煤的显著特点是选后产品含有较高的水分，虽经机械脱水，但选后精煤的水分仍然很高。如块精煤经脱水筛脱水、末精煤经离心脱水机脱水后，其水分为 8% ~ 10% 浮选精煤经圆盘真空过滤机脱水后，其水分在 26% ~ 28% 之间，有的厂甚至达到 30%。精煤水分高，对产品的质量、产品的运输和贮存都是不利的。研究表明，只有当煤的外在水分低于 5% ~ 6% 时，才没有冻结的可能。若超过这个水分，在冬季运输时必须采取防冻措施。选煤厂没有设置干燥工艺之前，曾采用撒锯木屑、生石灰，车箱刷油、涂蜡和添加防冻剂等措施。

随着机械化采煤的比例不断提高，浮选精煤的比例越来越大。这部分精煤粒度细、水分高，因此，仅仅依靠湿煤防冻措施是不行的。为了保证用户对产品水分的要求，便于产品的运输和贮存，必须进行进一步的脱水。

利用热能从物料中除去少量水分的操作称为干燥。在选煤厂，常用的干燥方法是以煤燃烧产生的高温烟气作为热介质，加热精煤，使精煤中水分汽化，达到降低精煤水分的目的。焦化厂所属的选煤厂常采用煤气作燃料。

热烟气干燥精煤有两种方式：一种是热烟气直接与湿精煤接触，称直接干燥，另一种是热烟气与湿精煤不直接接触，而是热烟气通过固体面（器壁）传热给湿精煤，称为间接干燥。前者干燥方式较后者复杂，因为热烟气不仅使精煤受热，而且还带走湿精煤中已汽化的水蒸气，在干燥过程中，传热和传质的现象同时发生。对后者，传热和传质现象可

分别考虑。目前，我国选煤厂除山西西曲选煤厂外均采用直接干燥的方法。

选煤厂对精煤的干燥形式大致有末精煤单独干燥、浮选精煤单独干燥、末精煤和浮选精煤混合干燥三种形式。浮选精煤粒度细、水分高、粘性大，单独干燥易结团，影响产品水分脱除。末精煤和浮选精煤混合干燥可解决结团弊端，提高干燥效果。所以，大部分选煤厂均采用末精煤和浮选精煤混合干燥的方式。但是，在末精煤和浮选精煤混合干燥时，人为地加入大量水分为 8% ~ 10% 的末精煤，其量与浮选精煤之比为 3∶1 ~ 4∶1，使得被干燥精煤数量增加，所需干燥设备增多，增加热量消耗，干燥费用增加。由于末精煤经离心脱水机脱水后，基本可以达到水分要求，所以各选煤厂都不对末精煤进行单独干燥。

干燥作业是选煤厂产品脱水作业中最后一道工序，其目的是进一步降低精煤的含水量，满足用户和运输的要求。但是，在干燥过程中要消耗大量的热能，因而，热力干燥是一种昂贵的脱水方法，排除水量越多，热量的消耗就越大，干燥费用也就越高。目前，只有东北、西北和华北等寒冷地区的选煤厂采用热力干燥。除吕家砣选煤厂、范各庄选煤厂由于精煤出口采取常年干燥外，其他选煤厂只在冬季干燥，干燥期大约 4 ~ 5 个月。

第二节　干燥过程

一、干燥的基本原理

干燥过程的本质是被除去的水分从固相转移到气相中，固相为被干燥物料，气相为干燥介质。干燥过程得以实现的条件是水分在物料表面的蒸气压必须超过干燥介质（如高温烟气）中的蒸气压，物料表面水分才能汽化，由于表面水分的不断汽化，物料内部的水分方能继续向表面移动。水的汽化需要热量，要进行热量的传递。热量的传递是由物体内部或物体之间的温度不同引起的，根据热力学第二定律，当无外功输入时，热量总是自动地从温度较高的物体转移至温度较低的物体。

传热的基本方式有四种 对流、传导、辐射和高频。

对流是流体各部分质点发生相对位移而引起的热量传递过程。在精煤干燥中，当高温烟气流过被干燥物料时，热能由流体传到湿物料表面，使被干燥的物料温度升高，该过程称为对流传热。

传导是热量从物体中温度较高的部分传递到温度较低的部分或者传递到与之接触

的温度较低的另一物体的过程。精煤颗粒受高温烟气包围，热量从颗粒表面逐渐传递到颗粒内部，使整个颗粒温度升高。

辐射是物体因各种原因发出辐射能，其中因热而发出辐射能的过程称为热辐射。常以电磁波的形式发射并向空间传播。当遇到另一物体时，一部分被反射，一部分被吸收，而另一部分则穿透物体。被吸收部分重新又转变为热能。在火床炉燃料燃烧过程中，当含有一定水分的新燃料直接加到炽热的火床时，除受下面炽热火床的加热外，还受到炉膛内高温火焰和炉墙的辐射热作用，温度很快升高，立即进入燃烧的热力准备阶段，这一过程称为辐射传热。

高频是当电解质物料放在高频（约 10MHz）振荡电场中时，电能在潮湿的电介质中转变为热能的过程。由于介电加热发生在整个物料的内部，干燥的物料相当均匀。但高频设备中产生的能量较为昂贵，该方法很少用于实际生产。

在选煤厂的实际干燥过程中，对流、传导和辐射三种传热方式很少单独存在，通常都是相互伴随着同时出现。

二、干燥速度

在干燥过程中，当干燥介质的蒸气压低于煤粒表面水分的蒸气压时，由于压差的影响，水分由煤粒汽化而进入介质。所以，煤粒在干燥过程中，水分的降低包括物料中水分向表面扩散和表面水分汽化两个过程。我们用干燥速度表示物料中水分汽化的快慢。

干燥速度即单位时间内在单位干燥面积上被干燥精煤所能汽化的水分质量。其表达式为：

$$v = \frac{\mathrm{d}W}{A\,\mathrm{d}t} \tag{4-1}$$

式中　v——干燥速度，kg/(min·m²)；

W——被干燥精煤脱除的水分质量，kg；

A——被干燥精煤总的干燥表面积，m²；

t——干燥时间，min。

干燥速度不仅取决于高温烟气的性质和操作条件，同时还取决于物料所含水分的性质。

当物料与一定温度及湿度的干燥介质接触时，势必会放出水分或吸收水分，并达到一定的值。在干燥介质状态不变的情况下，物料中的水分总是维持该定值，此定值称为该物料在一定干燥介质状况下的平衡水分。

平衡水分代表物料在一定干燥介质状态下可以干燥的限度。只有物料中超出平衡水分的那部分，才有可能在干燥过程中被脱除。该部分水分称为自由水分。物料所含总

水分是由自由水分和平衡水分所组成的。

由图 7－4－1 可知，如某湿物料在相对湿度为 60% 的干燥介质中进行干燥时，物料的最低含水量由点 A 表示，即平衡水为 10.5%。在此烟气状况下，只能脱除物料中大于 10.5% 的那部分水分。

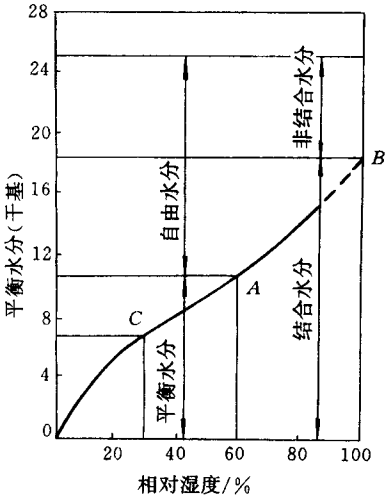


图 7－4－1　水分的分类

三、干燥过程

干燥速度决定干燥时间的长短，并直接决定了干燥机处理能力的大小。干燥速度越大，所需干燥时间越短，干燥机的处理能力也就越大。

随着干燥时间的增加，精煤中的平均含水量不断减少。精煤平均含水量与干燥时间的关系曲线，称为干燥曲线。根据精煤含水量随时间的变化值，可求得干燥速度。干燥速度和干燥时间的关系曲线，称干燥速度曲线，如图 7－4－2 所示。

在干燥过程中，若将含水率超过平衡水分的湿物料与未饱和的热烟气接触，则水分逐渐汽化并通过表面上的气膜扩散至烟气中，烟气则不断将热量传给物料以供给水分汽化所需的潜热，并逐渐把汽化了的水分带走。表面上的水分汽化后，内部水分即向表面移动，使物料中水分慢慢地减少。因此，干燥速度不仅与干燥介质有关，也与物料本身因失水而引起的变化有关。下面讨论在干燥介质的湿度、温度、速度以及与物料接触的状况均不变的情况下，即恒定干燥条件下的干燥过程。

在恒定干燥条件下，依据干燥速度的变化，干燥过程可分为预热阶段、恒速阶段、降速阶段和平衡阶段。

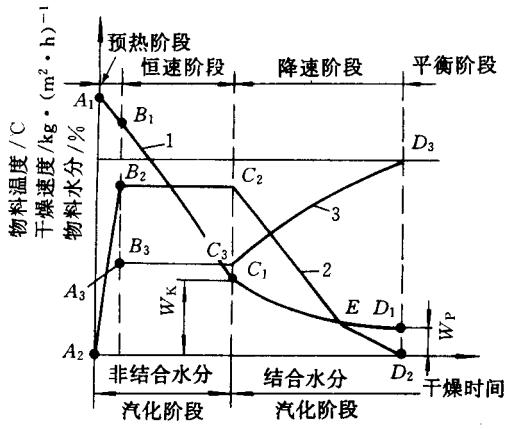


图 7－4－2　物料含水量、干燥速度、物料温度与时间变化关系曲线

1—物料含水量曲线；2—干燥速度曲线；3—物料温度曲线

1. 预热阶段

设完全湿透且水分分布均匀的湿精煤，原来的温度为 A_3。当与烟气接触时，热烟气首先将热量传给湿精煤，使精煤和所带水的温度升高，精煤温度由 A_3 升到 B_3，由于受热，水分开始汽化，干燥速度由零（A_2）增加到最大值 B_2。精煤的水分则因汽化而减少，由 A_1 降到 B_1。此阶段汽化水量仅占全过程的 5% 左右，其特点是干燥速度由零升到最大值，热量主要消耗在精煤加温和少量水分汽化上。因此，水分降低很少。

2. 恒速阶段

干燥速度达最大值后，由于煤粒表面水分蒸气压大于该温度下热烟气的蒸气压，水分从煤粒表面汽化并进入热烟气。煤粒内部的水分不断向表面扩散，使其保持湿润状态。只要煤粒表面均有水分时，汽化速度可保持不变，故称恒速阶段。该阶段的特点是干燥速度达最大值并保持不变，B_2C_2 平行于横坐标，精煤的含水量迅速下降。如果热烟气传给湿精煤的热量等于煤粒表面水分汽化所需热量，则煤粒表面湿度保持不变，B_3C_3 也平行于横坐标。该阶段汽化水量占整个干燥过程的 80% 左右，是主要的干燥脱水阶段。预热阶段和恒速阶段脱除的是非结合水分，即自由水和部分毛细管水。恒速阶段结束时的精煤含水量 C_1 称为第一临界含水量，常简称为临界含水量，以 W_K 表示。

3. 降速阶段

达到临界含水量以后，随着干燥时间的延长，水分由煤粒内部向表面扩散的速度降低，并低于表面水分汽化的速度，干燥速度也随之下降，称为降速阶段。在降速阶段中，根据水分汽化方式的不同又分为两个阶段，即部分表面汽化阶段和内部汽化阶段。

①部分表面汽化阶段——进入降速阶段以后由于内部水分向表面的扩散速度小于

表面水分汽化的速度，使煤粒表面出现干燥部分，但水分仍从煤粒表面汽化，故称部分表面汽化阶段。这一阶段的特点是干燥速度均匀下降，由 C_2 降到 E，且潮湿的表面逐渐减少，干燥部分越来越多，由于汽化水量降低，需要的汽化热减少，使煤粒温度升高。

②内部汽化阶段——随煤粒表面干燥部分增加，温度越来越高，热量向内部传递，使蒸发面向内部移动，水分在煤粒内部汽化成水蒸气后再向表面扩散流动，直到煤粒中所含水分与热烟气的湿度平衡时为止，称内部汽化阶段。这一阶段的特点是，煤粒含水量越来越少，水分流动阻力增加，干燥速度甚低，煤粒温度继续升高。

4. 平衡阶段

当煤粒中水分达到平衡水分 W_p 时，煤粒中水分不再向热烟气汽化，干燥速度等于零，故称平衡阶段。

精煤的实际干燥过程不可能达到平衡水分状态，所以它只包括预热阶段、恒速阶段和部分降速阶段。

第三节　干 燥 机

干燥机是干燥脱水作业中的主要设备，其类型很多。如按干燥介质的种类进行分类的有空气、热烟气和红外线干燥机等；以操作方法分类，有间歇的和连续的；以气体与物料运动方向不同分类，有顺流式、逆流式和复流式；按气体与物料间传热情况分类，有直接传热、间接传热式。也可以根据干燥机形状及物料运行情况分为膛式、管式、滚筒式、井筒式、沸腾床层式、螺旋式和振动式等。

目前，国内选煤厂所使用的干燥机有滚筒式干燥机、管式干燥机、井筒式干燥机、沸腾床层式干燥机和螺旋式干燥机等。

一、滚筒式干燥机

滚筒式干燥机是应用较多的一种干燥机。滚筒式干燥机适于处理细粒但不过分粘结的物料，既可混合干燥末精煤和浮选精煤，也可单独干燥浮选精煤。多用于干燥水分较高、0～13mm 级中细粒含量较多的湿精煤。滚筒式干燥机具有生产率高、操作方便、运行可靠、电耗低等优点。缺点是汽化强度小、钢材消耗大、干燥时间长、占地面积大。

根据干燥介质与物料运动方向的不同，滚筒式干燥机可分为顺流式（干燥介质与湿精煤运动方向相同）和逆流式（干燥介质和湿精煤运动方向相反）两种。选煤厂多采用直

接传热顺流式滚筒式干燥机。

1. 滚筒式干燥机的构造

滚筒式干燥机由滚筒、挡轮、托轮、传动装置和密封装置组成，滚筒式干燥机的结构如图 7－4－3 所示。

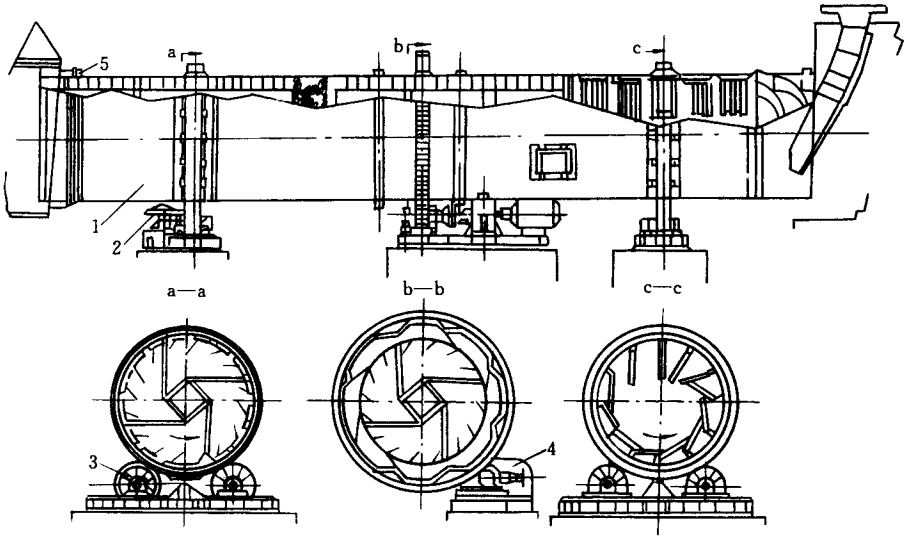


图 7－4－3　滚筒式干燥机

1—滚筒；2—挡轮；3—托轮；4—传动装置；5—密封装置

托轮是滚筒的支承装置，前端两个，后端两个，支承着轮箍。托轮的作用是：①支承滚筒，整个滚筒和滚筒内物料的重量全部压在 4 个托轮上，并在托轮上转动。②调整滚筒倾角，滚筒每端两个托轮在横向上可以移动，通过改变两端托轮间距离，调整滚筒倾角。③防止滚筒轴向移动，在安装托轮时，有意使两托轮轴线不平行，当滚筒在托轮上转动时产生轴向推力，防止滚筒向下移动。

滚筒是倾斜安装的，一般为 1°～5°，为了防止滚筒沿轴向向下移动，在轮箍侧面装有挡轮。

滚筒是在传动装置带动下转动的，转速一般为 2～6r/min。传动装置包括电动机、减速机、小齿轮和大齿圈。

由于滚筒式干燥机是在负压下工作的，为了防止漏风，在滚筒两端与给料箱和排料箱连接部位，都装有密封装置。密封装置的形式很多，常见的有摩擦式、迷宫式及罩式三种。

滚筒是滚筒式干燥机的主体，长度与直径之比一般为 4∶1～8∶1，通常用 8～14mm 厚的

钢板制造，外面装有两轮箍。滚筒内部装有输送松散物料的装置。以 NXG 型 ϕ2.4m × 14m 滚筒式干燥机为例，其内部沿轴向分为 6 个区，各区输送和松散物料的装置不同。一区为大倾角导料板，二区为倾斜导料板，三区为活动篦条式翼板，四区为带有清扫装置的圆弧形扬料板，五区为带有清扫装置的圆弧形篦条式扬料板，六区为无扬料板区。如图 7－4－4 所示。

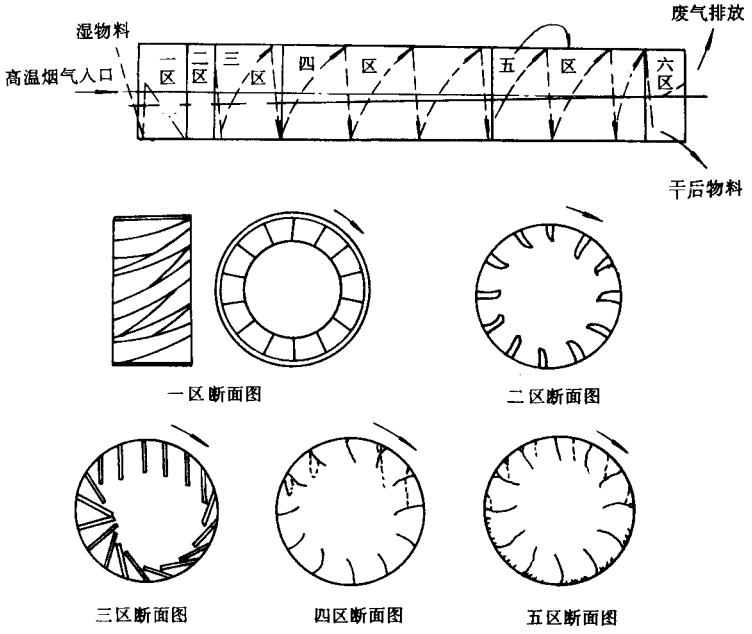


图 7－4－4　NXG 型 ϕ2.4m × 14m 滚筒式干燥机内部结构图

2. 干燥过程

当干燥物料进入干燥机一区时，随滚筒的转动，并借助大倾角导料板将物料迅速导至倾斜导料板上，被提起并逐渐洒落形成“料幕”，高温烟气从中穿过使物料预热并蒸发部分水分。反复数次后，移动到活动篦条式翼板上，物料又与经预热过的篦条式翼板夹杂在一起，吸收其热量，同时翼板夹带物料一同升起、洒落，并与热烟气形成传导及对流质热传递。当物料移动到带有清扫装置的圆弧形扬料板上时，链条将在上部空间接受的热量传给物料，物料随滚筒的转动被扬料板提起、洒落与热烟气进行较充分的质热传递，并将扬料板内外壁粘附的物料清扫下来。同时，清扫装置对物料团球亦起破碎作用，大大增加了热交换面积，提高了干燥速率。当物料移动到带有清扫装置的圆弧形篦条式扬料板时，物料在干燥机内仍按四区的运动规律进行质热传递，但此区物料呈现两种状态：一种是干后呈粉状物料，随滚筒的转动并从篦条的间隙漏下；一种是湿的团球留在扬料板圆环内，随滚筒的转动逐渐被破碎，使其中水分蒸发，最终被干燥。当物料移动到六

区，已变成低水分松散状态，为减少扬尘，减轻除尘系统的负荷，在距筒体末端约 1m 左右的范围不设扬料板。干燥后物料滚动滑行到排料箱，完成整个干燥过程。

3. 工作原理

直接传热顺流式滚筒式干燥机的工作原理是 物料和由燃烧炉送来的 700～800℃高温烟气，同方向进入干燥机，物料由扬料板提起并洒落，两者直接接触，将热量传递给湿物料，使湿物料所带水分汽化，并随废气排走。干燥后的物料，由干燥机下端排料箱排出。

直接传热顺流式滚筒式干燥机适用于潮湿物料能经受强烈干燥，或被干燥物料对高温敏感，干燥后物料吸湿性小等情况。由于给入的湿物料与温度高而含湿量最低的干燥介质在进口端接触，故干燥初期干燥推动力较大，以后随物料的湿度降低，干燥介质的温度也降低，故适宜于最终含水量（即干燥程度）要求不高的物料。排出的物料温度较低，便于运输。

在直接传热逆流式滚筒式干燥机中，物料与干燥介质运动方向相反，干燥推动力在整个干燥过程中较均匀，适宜于对物料干燥要求较高，而物料对高温不敏感者。从产生粉尘的角度看，顺流式干燥介质与干燥后物料一起离开滚筒，因而细粒物料易被气流带走，而逆流式干燥介质排出时与湿物料相接触，干燥介质被滤清，气流中含尘量较少。

二、管式干燥机

管式干燥机是利用高温高速烟气使精煤在悬浮状态下进行干燥的一种设备，尤其适于处理密度小的细粒物料，可处理 0～0.5mm 粒级含量不超过 40% 的 0～13mm 的湿精煤。由于干燥机中精煤和热烟气接触面大，所以干燥速度快。管式干燥机的优点是占地面积小、设备投资少、单位容积汽化水量大、精煤在干燥机内停留时间短、干燥机结构简单、制造容易、检修方便和钢材消耗低等。缺点是热效率低、电耗大、管壁磨损大、干燥成本高、要求厂房建得较高、干燥后精煤增灰较大、控制复杂、产生煤尘较多，并由于高温烟气对湿精煤的急剧加热作用，致使粗粒煤受热不均匀而破碎，具有一定的粉碎作用。目前，仅有双鸭山选煤厂采用管式干燥机。

1. 管式干燥机的构造

管式干燥机的构造包括干燥管、散煤器和清扫器三部分，如图 7－4－5 所示。

干燥管为一直立的大金属管，由钢板卷制而成，可分为若干段，借法兰盘联接或焊接。通常干燥管直径为 700～1000mm，长 15～25m。干燥管直径和长度取决于生产量和产品水分的要求。生产量越大，干燥管直径就越大；干燥后产品水分越低，其干燥管就应越长。

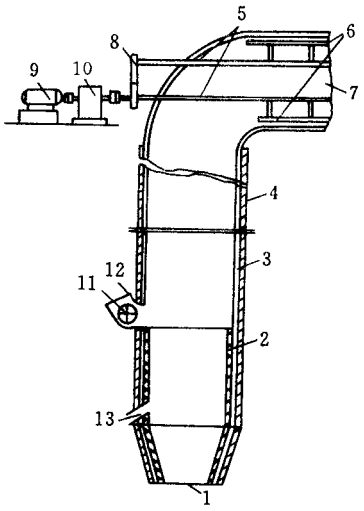


图 7－4－5　管式干燥机的构造

1—大块物料出口；2—耐火层；3—钢管；4—保温层；5—螺旋轴；6—螺旋叶片；7—废气及干后物料出口；8—传动皮带轮；9—电动机；10—减速器；11—散煤器；12—湿精煤入口；13—热烟气入口

干燥管的结构可分为三部分，由干燥管底部到湿精煤入口处约 5～6m 为一段，热烟气由此段进入，所以管内衬耐火层，大块物料和浮选精煤团球出口在管子的底部；由湿精煤入口到上部弯管处的直管段为干燥段，为防止热量损失和烫伤工作人员，在管外表面包有石棉或其他隔热材料的保温层 4；上部弯管为一段，可改变气流方向，将干燥后精煤和废气送入除尘器。

为防止精煤在弯管处沉积，引起燃烧和爆炸，螺旋清扫器可将沉积在弯管处的积煤送入除尘器。螺旋清扫器由螺旋轴、螺旋叶片和传动装置构成。传动装置包括电动机、减速机、传动皮带轮和三角带。两个皮带轮直径相等，故两螺旋转速相同。

散煤器的作用是将湿精煤均匀地送入干燥管，其构造和工作原理见下一节辅助设备。

2. 工作原理

由燃烧炉产生的高温热烟气从干燥管下部给入，并在干燥管内以 25～35m/s 的速度自下而上流动，需干燥的湿精煤经星形给料机、散煤器均匀送入干燥管。在干燥管内，高温高速的烟气使进入干燥管的湿精煤呈悬浮状态，并沿干燥管上升。湿精煤和热烟气在上升中直接广泛地接触，传递热量，使水分汽化得到干燥，干燥后的精煤、汽化的水蒸气和废气一起排出并进入除尘器。在干燥管中，细粒度精煤由于质量轻，以接近烟气的速度上升 粒度较粗的精煤，由于质量较大，上升的速度小于烟气的速度，在干燥管内停留

时间较长，恰好符合干燥的要求；个别大粒度颗粒和大块浮选精煤团球不能被烟气举起，落在干燥管下部溜槽中，经不透气闸门排出。产品的水分是上升的和下降的两部分物料的平均水分。为了使进入干燥机的湿精煤都能处于悬浮状态，得到干燥的物料随废气排走，要求烟气速度不能低于 25～35m/s，而精煤粒度不能大于 10～15mm。

三、井筒式干燥机

井筒式干燥机也称洒落式干燥机，或称竖井式干燥机，是一种逆流直接传热式干燥设备。目前我国使用的井筒式干燥机都是 SK—25 型干燥机，这种干燥机是 20 世纪 60 年代由波兰进口的。井筒式干燥机可以进行末精煤和浮选精煤的混合干燥，也可以进行浮选精煤的单独干燥。井筒式干燥机的优点是热烟气温度低，占空间小。缺点是热效率低，处理量小，在单独干燥浮选精煤时产品水分高。

1. 井筒式干燥机的构造

井筒式干燥机的结构主要由多螺旋喂煤机、筒头、筒体、溜槽、滚轮、挡板、清扫器等部分组成。SK—25 型干燥机的构造如图 7－4－6 所示。

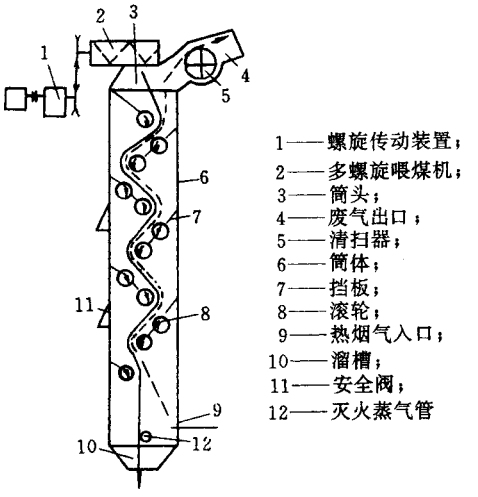


图 7－4－6　井筒式干燥机

筒体 6 呈矩形截面，是井筒式干燥机的主要部分，由金属制造，内衬耐火材料，在每一层的壁板上均有两个方孔，供清扫筒体内部用，孔上装有安全阀 11，当干燥机内由于精煤燃烧引起压力过大时，安全阀自动打开。筒体两侧各有 12 个安装孔，供安装滚轮用。筒体内装有 12 个铸铁滚轮 8，直径为 330mm，长 3100mm，通过滚动轴承装在筒体上，为防止轴承受热润滑不好，轴承座安装在筒体外面。滚轮传动装置（图中未画出）由电动

机、减速机、链轮和传动链条组成，传动链条由上而下带动滚轮旋转。原设计滚轮的表面光滑，在干燥浮选精煤时，往往因为入料水分高、粘度大，在干燥机中打团呈球状，缩小了蒸发面积，影响汽化水量及干燥效果，同时，亦容易发生堵塞，引起燃烧以至爆炸。因此现场做了改进，安装了打散装置——松散轮，即将下数第 3 和第 7 个滚轮改为外形尺寸相同、带有松散齿的松散轮。松散轮可将粘结的煤球或煤饼打散成 10mm 左右的小颗粒，扩大了汽化面积，提高汽化水量、干燥效果和干燥热效率。

筒头 3 为锥形结构，上面支承有多螺旋喂煤机 2。多螺旋喂煤机共有 8 个螺杆，在螺旋传动装置 1 带动下旋转。螺旋传动装置包括电动机、减速机链轮和传动链条。为了使湿精煤均匀地给入干燥机，多螺旋喂煤机沿筒全宽给料。筒头上还装有滚筒清扫器 5，防止引风机将大量煤粉抽出和防止在烟气变向处积煤而引起燃烧。

2. 工作原理

湿精煤经多螺旋喂煤机由筒头给入干燥机，先落到第一个滚轮上，由滚轮旋转，再将湿精煤洒到下一个滚轮上。在挡扳 7 和滚轮 8 的作用下，煤流的运动方向如图 7－4－6 中实线箭头所示。热烟气由烟气人口进入干燥机，同样在挡板和滚轮的作用下，由下而上与煤流相反方向运动，如图 7－4－6 中虚线箭头所示。由于热烟气和湿精煤直接接触，将热量传递给湿精煤，使湿精煤中水分汽化。汽化的水蒸气由烟气出口排出，干燥后精煤由溜槽下端排料口排出。

四、沸腾床层式干燥机

沸腾床层式干燥机是一种新型的干燥设备，它适用于末精煤和浮选精煤混合干燥，该机的特点是 热效率高，小时汽化水量大，单台处理能力大，设备布置紧凑，占地面积小，操作人员少。缺点是 以精煤和油作燃料，浪费资源，不能单独干燥浮选精煤，干燥机结构复杂。

1. 沸腾床层式干燥机的构造

沸腾床层式干燥机的燃烧室和干燥室为一体结构，麦克纳利沸腾床层式干燥机的构造如图 7－4－7 所示。

燃烧室为一圆筒形结构，其外围用 9mm 不锈钢板围焊而成，内衬耐火砖砌成的耐火墙，钢板和耐火墙之间填有耐火泥。燃烧室底部铺有耐火砖和隔热耐火衬，底座为钢制底盘。燃烧室下部侧面有清理孔，中间有连接鼓风机的风圈，其上分布有进风孔，使风均匀地进入燃烧室以促进燃料充分燃烧和调节炉膛温度。

干燥室是沸腾床层式干燥机的主要组成部分，干燥室的床层为一矩形平面，与燃烧室的分界处为篦子，篦条直径 22mm，缝隙在 2～2.5mm 之间，开孔率为 7%。篦条入料

端比出料端略高，其角度为 2.5°。干燥室上部设有洒水装置，其作用是降温灭火。在干燥过程中，如果参数失调，床层温度突然升高，甚至引起火灾，或燃烧室温度超过 530℃以上时，自控装置即动作，停车洒水降温灭火。

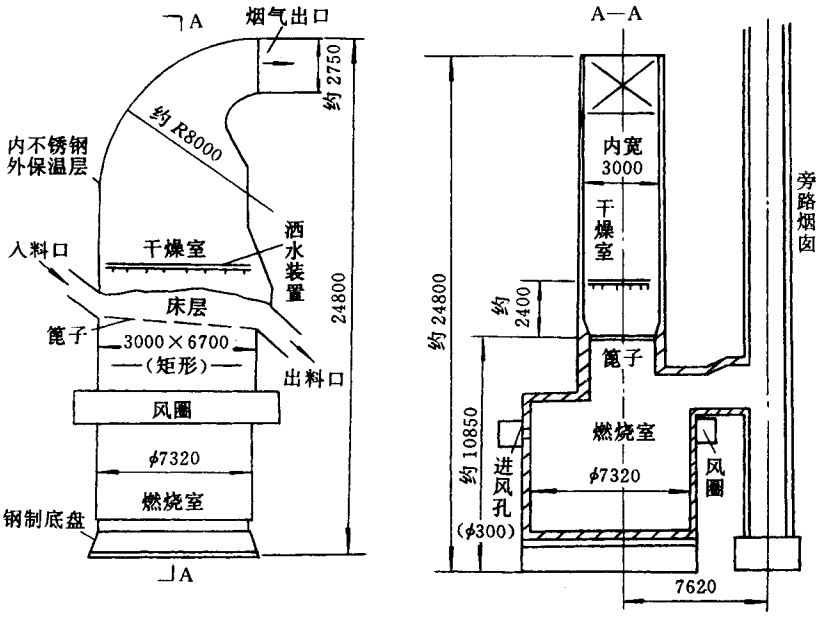


图 7－4－7　麦克纳利沸腾床层式干燥机结构示意图

在干燥机的一侧设置了旁路烟囱，其顶部装有盖板，用气缸控制开闭。

旁路烟囱的作用是：①干燥过程中床层着火或燃烧室温度超过 530℃时，烟囱顶部盖板通过自控打开，放空烟气降温冷却；②正常停车时，烟囱盖板亦打开，使烟气短路散热冷却；③开车前，也要打开烟囱盖板，并开动引风机造成负压，净化干燥系统；④正常开车时，烟囱盖板是关闭的，保持干燥系统完全密封。

2. 工作原理

干燥后精煤的一小部分经粉碎机粉碎到小于 50 网目，与预热到 80℃的空气按质量比为 1∶1 混合，被喷射器喷入燃烧室充分燃烧，产生的高温烟气以 150m/s 的速度通过篦子进入干燥室。湿精煤经给料机由入料口进入干燥室后，沿篦子坡度被高温高速烟气吹起呈沸腾状态（跳跃、流动），固体颗粒被高温烟气所包围，进行质热交换，由于干燥介质的蒸气压力低于煤粒表面水分的蒸气压力，湿精煤中水分不断汽化，转移到周围介质中，并被废气带走，从而降低了精煤的水分。经干燥后的精煤由排料口排出，废气、汽化的水蒸气和部分小于 1.2mm 的精煤从干燥机上部废气出口进入除尘器回收。

第四节　辅助设备

为了实现物料的干燥脱水，除干燥机外，还需要一系列辅助设备，包括燃烧炉、鼓风机、除尘器、引风机、给料机和排料机等。其中除尘器在此不作介绍，这里主要介绍其余几种辅助设备。

一、燃烧炉

燃烧炉是使燃料充分燃烧产生高温烟气的设备。根据燃料不同，将燃烧炉分为燃煤炉、燃油炉、燃气炉。在燃煤炉中，按燃烧方法的不同，可分为火床炉、煤粉炉、旋风炉、沸腾炉等。在选煤厂热力干燥中，除沸腾床层式干燥机外，大部分使用火床炉。火床炉内具有金属格栅——炉排，燃料置于格栅上，形成均匀的、有一定厚度的燃料层，因此，也称层燃炉。按照燃料层相对于炉排的运动方式，火床炉可分为三种：燃料层不移动的固定炉排炉；燃料层沿炉排移动的倾斜推饲炉及振动炉排炉；燃料层随炉排一起运动的链条炉排炉。

1. 火床炉的基本构造

火床炉的基本构造如图 7－4－8 所示。炉墙内层砌耐火砖，外层砌红砖，中间填有隔热材料，为了提高炉墙的强度，在外墙外部有金属型钢围成的框架，前炉墙上有炉门和检查孔。炉顶砌成拱形，既可提高炉体强度，又可合理的反射热量，改善燃烧状态。由于一次鼓风是由炉排下进入燃烧室的，所以灰仓需密闭。降尘室利用惯性分离和重力沉降原理，将高温烟气中夹带的粗粒烟尘沉积下来，以免进入干燥机增加精煤灰分。

2. 炉排

炉排是火床炉的重要工作部件，用铸铁铸造。炉排的作用是：支承燃烧层，通过炉排进行一次鼓风，使燃料层在炉排上充分燃烧，燃烧后生成的炉渣也通过炉排清除。为了支承燃烧层，且炉排是在高温下工作的，故炉排要有一定的强度。为了进行一次鼓风，炉排应有一定孔隙，通过给风可冷却炉排，改善炉排工作条件。

根据炉排的运动方式，可分为以下两种结构。

①翻转炉排——翻转炉排构造如图 7－4－9 所示，一般由两组炉排组成，每组炉排有单独的连杆传动机构，可以带动炉排，使炉排片由水平位置翻转至直立，炉渣从直立的炉排片之间排出。翻转炉排的燃烧和排灰是间歇进行的，由两组炉排交替工作。

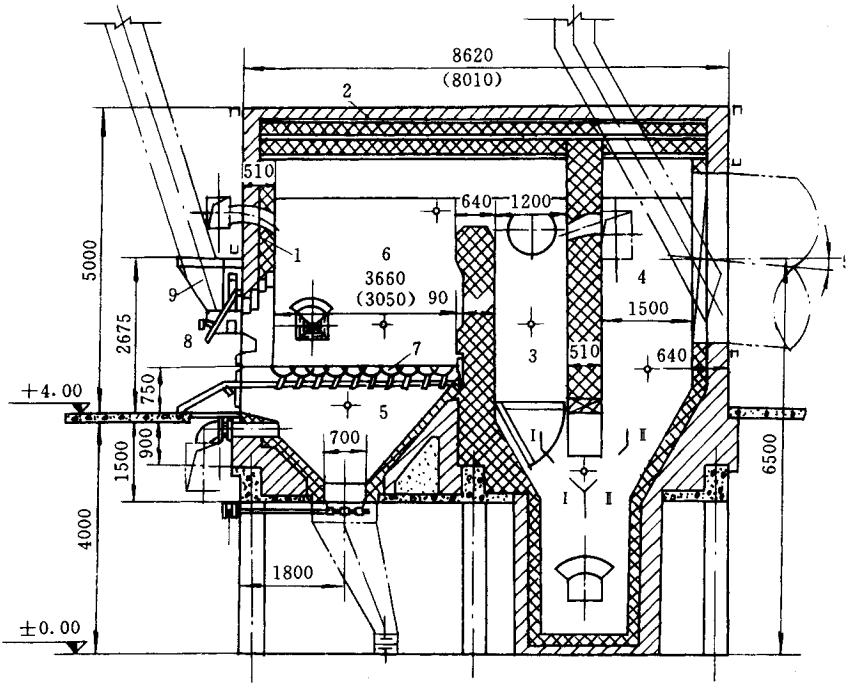


图 7－4－8　燃烧炉

1—炉排；2—炉顶；3—降尘室；4—给料箱；5—灰仓；6—燃烧炉；7—炉排；8—抛煤机；9—煤斗

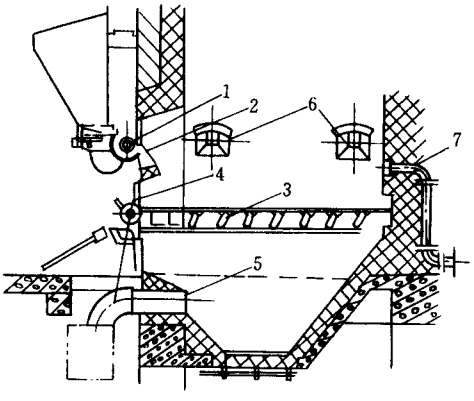


图 7－4－9　翻转炉排

1—抛煤机；2—播煤风口；3—翻转炉排；4—炉门；5—进风口；6—看火门；7—飞灰回收复燃装置

②链条炉排——链条炉排片的形状似链节，整个炉排由许多个链节串联而成，形成一个宽阔的环形链带，并绕在前后轴的链轮上，如图 7－4－10 所示。整个炉排在传动装置带动下移动。像一个运输机，燃料在炉排上边燃烧边随炉排移动，经完全燃烧后就移

动到炉排末端，并从末端排除。

除以上两种结构外，还有振动炉排和倾斜炉排。

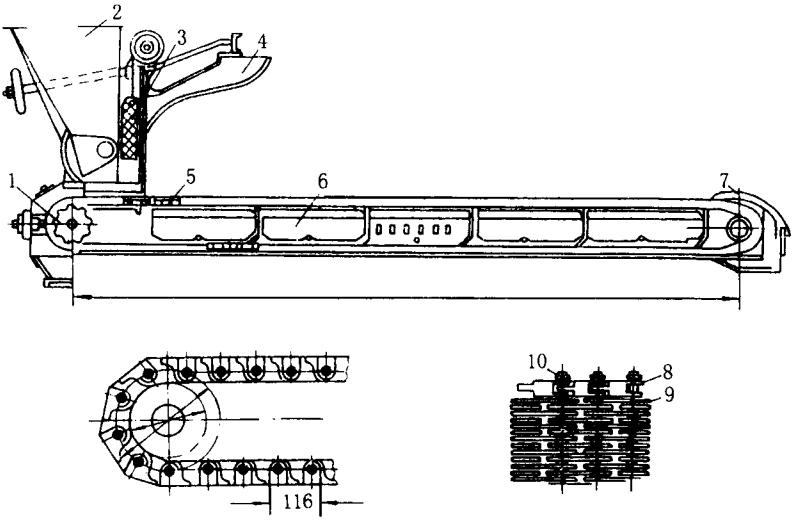


图 7－4－10　链条炉排

1—链轮；2—煤斗；3—闸门；4—前拱吊转架；5—链条炉排；6—隔风板；7—老鹰铁；8—主动链环；9—炉排片；10—圆钢拉杆

3．抛煤机

抛煤机是将燃料均匀地抛进燃烧室形成燃烧层的设备，按工作原理的不同可分为机械抛煤机、风力抛煤机和风力机械抛煤机三种，其工作原理如图 7－4－11 所示。

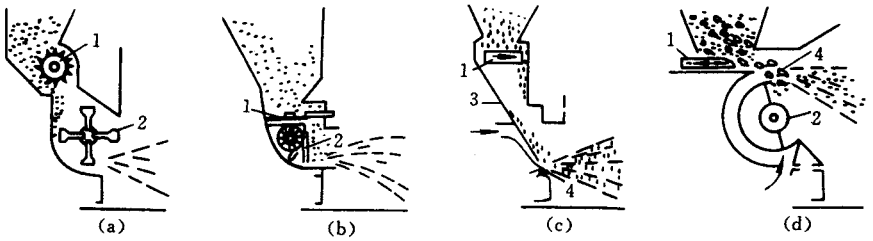


图 7－4－11　抛煤机工作原理示意图

(a)、(b)机械抛煤机，(c)风力抛煤机；(d)风力机械抛煤机

1—给煤装置；2—击煤机构；3—倾斜板；4—风力播煤装置

机械抛煤机：用旋转的叶片[图 7－4－11(a)]或摆动刮板[图 7－4－11(b)]抛散燃料，粗粒抛在炉排长度方向的远处，细粒落于近处；风力抛煤机：用气流播散燃料[图 7－4

－11(c)]，其粒度分布情况与机械抛煤机相反，粗粒落于炉排前端，细粒落于炉排后端；风力机械抛煤机：兼顾了风力、机械两种抛煤机的特点[图 7－4－11(d)]，燃料在火床上粒度分布相对比较均匀。

二、给料机和排料机

给料机和排料机是湿精煤和干燥后产品进出干燥机的控制设备。给料机作用有两个：其一，将湿精煤均匀地给入干燥机，并控制精煤的给料量；其二，起封闭作用，防止冷空气由入料端进入干燥机，以封闭为主。排料机作用也有两个：其一，将干燥后产品给入下一道工序；其二，起封闭作用，防止冷空气从排料端进入干燥机，也是以封闭为主。因为干燥机是在负压下工作的，干燥机内热烟气的压力略小于大气压力，由于给料机和排料机在干燥机两端起封闭作用，可以防止外部冷空气进入干燥机降低干燥温度，从而减少热量损失，保证产品水分。

1. 给料机

选煤厂热力干燥采用的给料机有星形给料机和 SG 型给料机等。

①星形给料机——星形给料机也称滚筒给料机，或称鼓形给料机，构造如图 7－4－12 所示。机壳由铸铁铸造而成，上面连接湿精煤仓，如用在滚筒式干燥机前；下部接密封的给料溜槽，如用在管式干燥机前，下部接散煤器，向干燥管抛煤。转子在传动装置带动下旋转，当湿精煤进入星形给料机后，存于转子的弧形空间里，并随转子旋转从机壳下端靠自重排出。传动装置并带动清扫器旋转，但旋转速度和转子不同，转子每转过一个弧形叶片，清扫器旋转一周，并将粘在转子上的湿精煤刮掉。

散煤器[图 7－4－12(b)]由机壳、转子和传动装置三部分组成。机壳为铸铁件，转子由 20 个节片组成，每个节片上有 8 个叶片，可在传动装置带动下旋转。湿精煤经星形给料机进入散煤器，存于叶片之间的空间，并随转子旋转近半周，在离心力作用下由出料口甩进干燥机，并可将大块浮选精煤团球打碎，有利于湿精煤的干燥。

星形给料机常用于滚筒式干燥机和管式干燥机的给料。优点是密封性能好。缺点是给料空间小，易粘结物料，减少给料容积；如湿精煤仓中浮选精煤量多或分布不均匀，则卸料困难；煤仓装料过多时，对转子压力较大。

②SG 型给料机——SG 型给料机的构造如图 7－4－13 所示。SG 型给料机的重要工作部件为给料辊 2，分别为主动辊和从动辊，并由传动装置带动转动，两辊之间通过联动齿轮传动。湿精煤给到给料辊上，由于辊子旋转，由下部排出。为了防止湿精煤在给料辊上方“棚住”，其上方装有破拱装置 1。为预防浮选精煤打团，增加湿精煤在干燥机中的汽化面积，在给料辊下方设有松散轮 4，将湿精煤打成 10mm 大小的颗粒给进干燥机。

在每个给料辊下方还装有清扫装置 3，将粘附在给料辊上的湿精煤刮掉。在 SG 型给料机工作时，应使给料机内保持少量存煤，以密封给料辊与外壳间的间隙。SG 型给料机的处理量通过调速器和控制器控制给料辊的转速来调整。

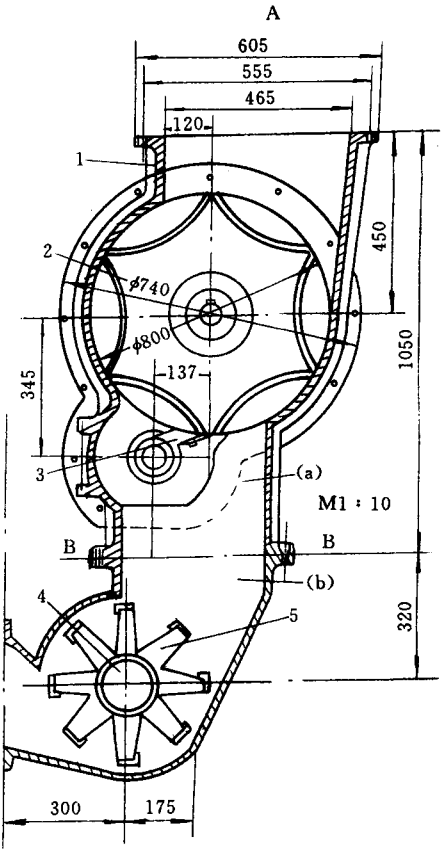


图 7－4－12　星形给料机及散煤器

(a)星形给料机，(b)散煤器

1—机壳；2—叶轮转子；3—清扫器；4—叶片转子轴；5—叶片

2. 排料机

选煤厂热力干燥采用的排料机有轮叶式排料机和锁气器等。

①轮叶式排料机——轮叶式排料机的构造如图 7－4－14 所示，机壳由铸铁铸造而成，上端与干燥机排料箱连接，下端通过溜槽给到下一道工序。机壳内装有叶片 3 或转子，叶片上安有橡胶条 4，橡胶条与机壳接触起封闭作用。经干燥后产品由上端给入轮叶式排料机，随转子旋转，将产品带到下部靠自重落下。由于干燥后产品水分为 8% ~ 10%，不至于粘在叶片上，故不用清扫装置。

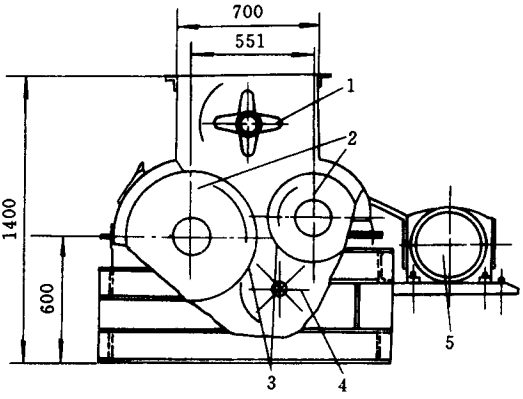


图 7－4－13　SG 型给料机

1—破拱装置；2—给料辊；3—清扫装置；4—松散轮；5—驱动装置

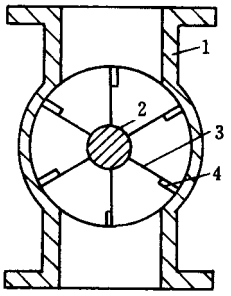


图 7－4－14　轮叶式排料机

1—机壳；2—转子轴；3—叶片；4—橡胶条

②锁气器——锁气器的用途较广，适于各种类型的干燥机，一般装在除尘器排料管上。形式有多种，其中无动力锁气器具有构造简单、工作可靠、运转费用低、维修方便等优点，较有动力锁气器使用更为广泛。

在无动力锁气器中，根据构造特点不同，分为旋转阀式和活门式两种。活门式锁气器，又分为平板活门式和锥形活门式两种，图 7－4－15 为锥形活门式锁气器。

锥形活门式锁气器直接装在排料管上，由支撑架、杠杆、重锤、锥形活门和外壳组成。由于重锤 2 的作用，锥形活门 3 处于关闭位置，此时不排料，并起密封作用。当精煤进入排料管 4 时，落在锥形活门上，由于重锤的重量大于物料重量，活门仍处于关闭状态。随排料管中精煤增多，其重量大于重锤的重量时，锥形活门打开，将精煤排掉。精煤排出后，在重锤的作用下锥形活门又关闭。

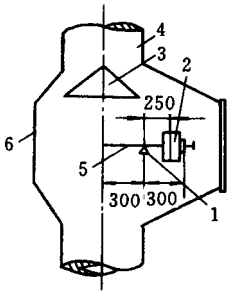


图 7－4－15　锥形活门式锁气器

1—支撑架；2—重锤；3—锥形活门；4—排料管；5—杠杆；6—外壳

为了更好地起封闭作用，在一个管道中，最好安装两个锁气器，由两个锁气器活门分别开闭而起封闭作用。

三、鼓风机和引风机

由燃料燃烧过程和热力干燥原理可知，为了使不断进入燃烧室的燃料充分燃烧，必须合理地送风；为使燃料燃烧所产生的高温烟气能干燥精煤，必须组织好排风。

实现各种气流的流动，必须依靠外界作用力来克服流动阻力。外界作用力称为通风力。

设置高烟囱和安装风机两种方法均可使空气和烟气获得通风力。因此有两种不同的通风方式，只需烟囱产生的通风力叫自然通风；除了烟囱之外，还使用风机产生的通风力为人工通风，又称机械通风或强制通风。人工通风分为压送鼓风式、抽吸引风式和平衡通风式三大类。压送鼓风和抽吸引风联合使用即为平衡通风，选煤厂热力干燥均采用平衡通风。平衡通风是最理想的通风方式，即使系统内通风阻力很大，燃烧室、干燥机、除尘器和烟道等各处的压力仍可自由方便地调节，以便充分发挥燃烧炉的热效率。

压送通风是利用鼓风机将压力比大气压高的空气从炉排下面或从燃烧室墙壁上的风口强行送入燃烧室，鼓风机设在燃烧室空气进口处。为了便于操作，应使炉内压力与大气压力相仿或略低一些，即炉内保持极微负压，打开炉门时火焰不外喷。因此要求鼓风机和引风机匹配相当。

鼓风机的作用是供给燃料燃烧所必需的氧气，促使燃料充分燃烧。根据给风的位置和作用不同，燃烧炉供风可分两种：一次鼓风和二次鼓风。一次鼓风从炉排下将空气送入燃烧室，提供燃料燃烧所必需的氧气，并在通过炉排时被加热和使炉排冷却，改善炉排的工作环境。二次鼓风，从火床上方送入空气，提供一部分氧气，还可扰乱炉内气流，使之自相混合，从而保证炉膛内过量空气系数和降低化学不完全燃烧损失。二次鼓风的给

入方式、位置和风量与炉型和燃料有关，一般占总风量的 5% ~ 10%。

鼓风机的风量与燃料种类、单位时间内燃料消耗量和空气用量系数有关。鼓风机的风压应能克服风道、闸门、炉排和燃料层的阻力。

引风机装在除尘器和烟囱之间，有一定的吸力，克服烟气经由燃烧炉、干燥机、除尘器、烟道和各种控制闸门的阻力，使之以一定速度从烟囱排出。因此，引风机的风压要大于烟气通过燃烧室、降尘室、给料箱、干燥机、排料箱、除尘器、烟道和各种控制闸门的阻力。引风机的风量与单位时间内燃料燃烧产生的烟气量和湿精煤汽化的水分量有关。

选煤厂热力干燥所用的鼓风机和引风机多数采用离心式风机，其构造如图 7 - 4 - 16 所示。主要是由叶轮和机壳组成。叶轮由叶片 3 和连接叶片的前盘 2、后盘 4 组成，并通过后盘装在转轴上(图中未画出)，电动机带动旋转。机壳一般是用钢板制成阿基米得螺线状箱体，在出风口 6 处装有截流板 7，以控制风量。

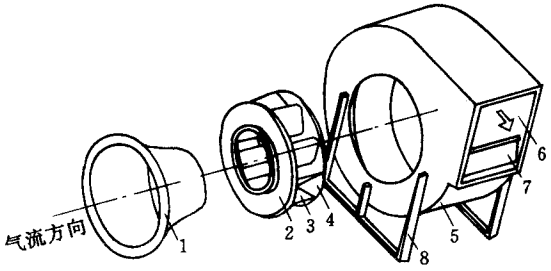


图 7 - 4 - 16　离心式风机的主要结构分解示意图

1—入风口；2—前盘；3—叶片；4—后盘；5—机壳；6—出风口；7—截流板；8—支架

当叶轮旋转时，气体随叶片旋转获得离心力，从叶片间的开口处甩出挤入机壳，使机壳内气体压强增高，并由导向出风口排出。气体被甩出后，叶轮中心部分的压强降低，小于大气压，从而使外部的气体能源源不断地进入机内。