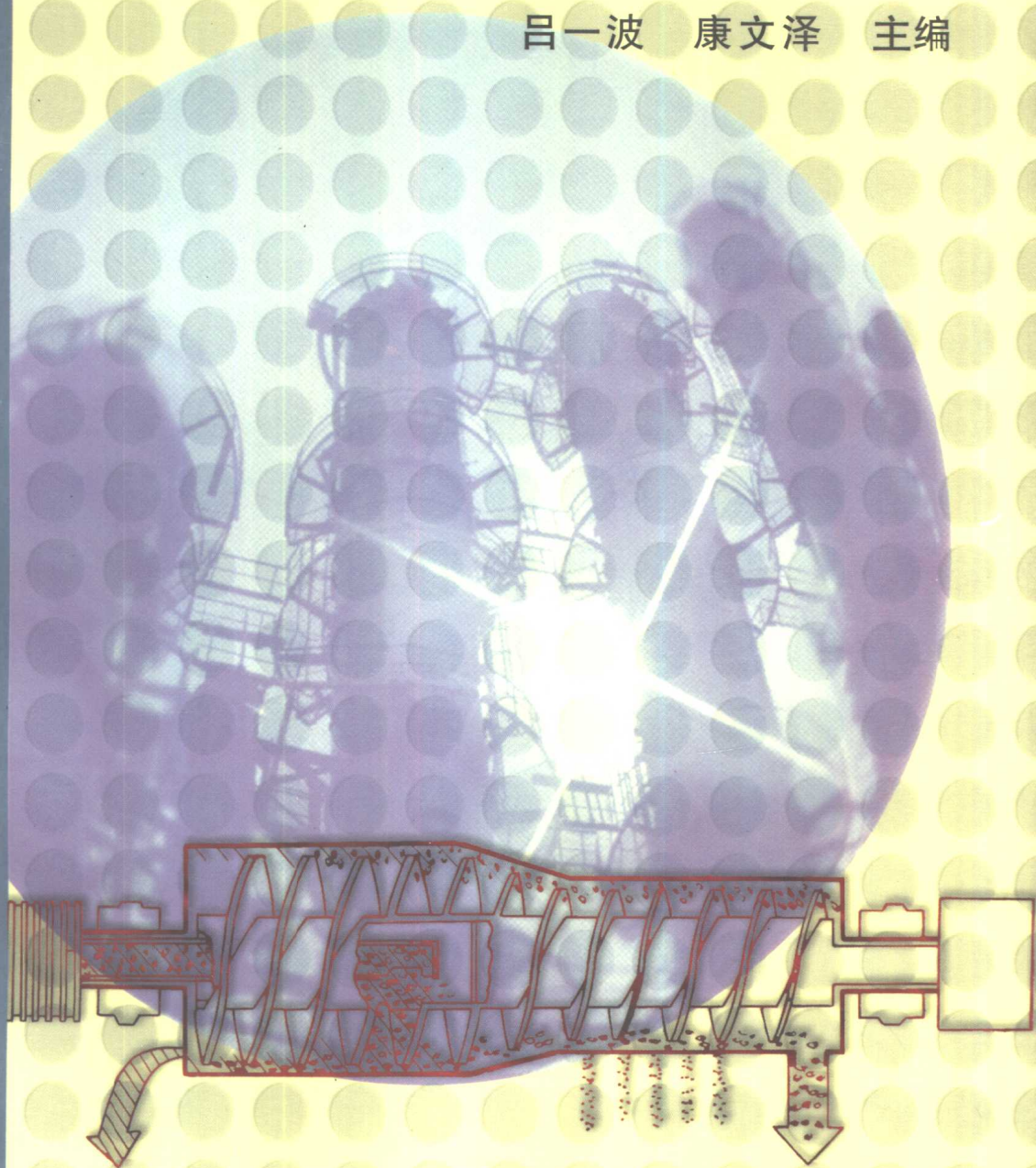


高等学校统编教材

分离技术

吕一波 康文泽 主编



中国矿业大学出版社

高等学校统编教材

分 离 技 术

主 编	吕一波	康文泽	
副主编	陈玉平	熊楚安	徐革联
主 审	边炳鑫		

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍非均相物的分离技术,同时还介绍了部分均相物的分离以及近几年发展起来的新的非均相物的分离方法和技术。全书分为悬浮液的性质、悬浮液的处理、脱水与脱水机械、热力干燥、除尘与除尘设备、吸附过程、离子交换法、膜分离技术共八章。本书可作为高等院校教学用书,也可作为矿业、化工和精细化工、环保等部门从事固液分离的技术人员的参考书。

责任编辑 解京选
宋党育

图书在版编目(CIP)数据

分离技术/吕一波,康文泽主编. —徐州:中国矿业
大学出版社,2000.4

ISBN 7-81070-167-3

I. 分… II. ①吕… ②康… III. 分离-化工过程
IV. TQ028

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 20778 号



中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

中国矿业大学印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 11.25 字数 275 千字

2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月第 1 次印刷

印数 1~1250 册 定价 28.00 元

前 言

随着矿物加工工业、化工以及精细化工工业的发展,细粒和极细粒物料的分离技术已受到广泛关注。我国政府制订的环境与可持续发展战略,对分离技术提出了很高的要求。因此,高校有关专业应该增加矿物加工、化工及精细化工专业“分离技术”课的课时量。本书正是在这一背景下编写的。

本书是为矿物加工、化工专业编写的专业课教材。全书内容可分为两部分:第一部分介绍非均相物的分离,以选矿厂为例系统阐述了悬浮液的分级、浓缩、沉淀,产品的脱水,不同类型脱水机械的特点及发展,除尘方法及除尘设备;第二部分以化工为例介绍了一些化工、精细化工中常用的分离技术,主要包括吸附、离子交换、膜分离技术等。

本书的第一章和第二章由康文泽、吕一波编写;第三章由陈玉平、康文泽编写;第四章和第五章由吕一波、陈玉平编写;第六章至第八章由熊楚安、徐革联编写,全书由吕一波、康文泽主编。边炳鑫教授在百忙之中对本书进行了详细审定,并提出了宝贵意见。该书也凝聚了责任编辑和其他有关人员的辛勤劳动,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,诚望读者批评指正。

编 者

2000年3月1日

目 录

前 言

第一章 悬浮液的性质.....	1
第一节 概 述.....	1
第二节 悬浮液的性质.....	3
第二章 悬浮液的处理.....	9
第一节 粗颗粒悬浮液的处理.....	9
第二节 细颗粒悬浮液的处理	28
第三节 极细颗粒悬浮液的处理	36
第三章 脱水与脱水机械	43
第一节 水分的赋存形态	43
第二节 粗颗粒物料的脱水	44
第三节 细颗粒物料的脱水	54
第四章 热力干燥	75
第一节 干燥总论	75
第二节 干燥原理	76
第三节 干燥机械	78
第四节 辅助设备	84
第五节 典型的干燥工艺流程	91
第五章 除尘与除尘设备	96
第一节 除 尘	96

第二节 除尘器	98
第六章 吸附过程.....	106
第一节 吸附现象和吸附剂.....	106
第二节 吸附平衡与吸附速度.....	111
第三节 吸附工艺和设备.....	114
第四节 吸附剂的再生.....	115
第五节 吸附法在废水处理中的应用.....	116
第七章 离子交换法.....	118
第一节 离子交换法概述.....	118
第二节 离子交换原理.....	128
第三节 离子交换法的操作.....	132
第八章 膜分离技术.....	137
第一节 基本概念.....	137
第二节 膜分离技术及其应用.....	148
参考文献.....	173

第一章 悬浮液的性质

第一节 概 述

分离技术广泛用于化工、矿业、发电、制药、环保等许多工业部门。分离,包括非均相混合物的分离和均相混合物的分离。非均相混合物的分离,主要是指固—液之间的分离和固—气之间的分离。对于选煤厂而言,固液分离是指煤与水的分离,称为脱水;而固气分离则是指煤粒与气体的分离,称为除尘。虽说脱水和除尘不是一些工厂的最主要作业,但其所占的比例却较大。均相混合物的分离,主要是指蒸馏、吸收、萃取等。本教材重点介绍非均相混合物的分离,以及吸附、离子交换分离、膜分离技术等常用的或新的分离方法。

一、脱水

(一) 脱水方法

脱水方法的选择是完成脱水作业的关键性步骤。不同工艺环节使用的脱水方法亦不同,大致可分为以下几种:

(1) 重力脱水:靠重力而实现的脱水。它又有以下两种形式:

① 自然重力脱水:即利用物料颗粒表面水分的重力作用而脱水,如脱水斗子和脱水仓的脱水。

② 重力浓缩脱水:即依靠细粒物料的重力作用在液体中沉降的方法来实现固液分离,如浓缩机、沉淀池等的浓缩脱水。

(2) 机械力脱水:靠机械力而实现的水和物料的分离。它又有以下几种形式:

① 筛分脱水:靠物料与筛面作相对运动时产生的惯性力而脱水,如直线振动筛的脱水。

② 离心脱水:利用离心力作用使固液分离或提高悬浮液的浓度,如过滤式离心机和沉降式离心脱水机等脱水。

③ 过滤脱水:利用真空抽吸的负压力使固液分离,如真空过滤机的脱水。

④ 压力脱水:利用机械力造成的正压力使固液分离,如板框压滤机的脱水。

(3) 热能脱水:利用热能使水汽化而蒸发的脱水,如火力干燥和日光曝晒等。

(4) 磁力脱水:利用强磁场对磁性矿物产生磁力实现的固液分离,如磁力脱水槽。

(5) 其他脱水法

① 物理化学脱水法:用吸水性的物体或化学品(如生石灰)吸收水分。

② 电化学脱水:煤水混合物在外加电场作用下,水分子带正电荷移向阴极,煤粒等固体细粒带负电荷移向阳极,从而实现固液分离。

(二) 脱水的作用

对选煤厂来说,脱水的主要作用是:① 降低选煤产品中的水分,满足一定的产品质量要

求。在湿法选煤的选煤厂中,分选后的产品带有大量水分,若不及时脱除,选煤产品就无法成为商品。例如,对于炼焦用煤来说,水分过高,将延长炼焦时间、增加炼焦炉瓦斯消耗量和降低炼焦炉的使用寿命。所以,煤炭产品的水分是一个较重要的指标。② 减少运输费用。铁路运费是以重量作为计费依据的,一定量的煤炭,水分越大,运输费用就越高,所以应尽量减少产品中的水分含量。③ 防止影响冬季铁路运输,避免冻车或涨车。在选煤厂,各种精煤产品的综合水分规定为12%~13%,但个别用户、出口煤和高寒地区湿煤冬运则要求精煤水分在8%~9%以下。④ 洗水回收。湿法选煤的特点是水用量很大。一般情况下,跳汰机每处理1 t原煤需用3 t水;重介质分选机选煤,1 t原煤需用水约0.7 t。大量的水若不回收,将造成极大浪费,同时也会造成环境污染。

二、除尘

将散布在空气中的细微颗粒与空气分离的过程,叫做除尘。一些工厂中的尘埃,主要是从筛分、破碎、干燥、运输、干法分选等作业中产生的。

(一) 除尘方法

除尘方法主要有以下几种:① 密封:把扬尘设备加密封罩,限制尘埃的扩散,再进行抽风除尘。② 湿法除尘:通过喷水加湿物料,减少粉尘的产生。③ 机械除尘:常用的除尘器有单筒旋风除尘器、多管旋风除尘器、水膜除尘器、袋式除尘器等。④ 电除尘:常用的有单区(级)电除尘器、双区(级)电除尘器。

(二) 除尘的意义和作用

① 一定生产工艺的必备作业,如干法分选工艺,除尘系统是其工艺的重要组成部分。② 减少对环境的污染,改善工人的工作条件。粉尘对人体健康的危害程度与其在空气中的含量、化学成分及溶解度等性质有关。人体受害最大的器官是呼吸器官、食道和眼睛等。③ 回收细微矿粒再利用。④ 杜绝尘埃的积聚,以免引起粉尘爆炸。煤尘的含量大到一定程度,如遇火花便有燃烧爆炸的危险。按照防火技术规程的规定,粉尘在空气中的浓度不应超过120~130 g/m³。

三、吸附

吸附操作是利用某些固体能够从流体体系中有选择地凝聚一定组分在其表面上的能力。通过吸附操作,可使溶液中的组分彼此分离。吸附分离的实际应用是广泛而多样的,它可用于气体的干燥、气体混合物中有价值溶剂蒸汽的回收、气体中某些杂质的清除、石油产品和糖浆的脱色、水中不良气味的清除等。

四、离子交换法

离子交换法,是指利用固相离子交换剂功能基团所带的可交换离子,与接触交换剂的溶液中相同电性的离子进行交换反应,而达到离子的置换、分离、去除、浓缩的目的。随着科学技术的发展,离子交换法的应用日益广泛。例如,用离子交换法进行水处理;在冶金工业中利用该方法分离、提纯、回收各种金属;在有机化学反应中用做催化剂。离子交换法还可用于精制蔗糖、甜菜糖、磷酸、醋酸、甲醛、甘油、奶制品和酒类等。

五、膜分离法

用天然或人工合成的高分子膜,以外界能量或化学位差为推动力,对双组分或多组分的溶质和溶剂进行分离、分级、提纯和富集的方法,统称为膜分离法。膜分离方法在近20年来发展很迅速,作为重要的化工操作单元,其应用已从早期的脱盐发展到化工、食品、医药、电

子等工业的废水处理,产品分离和生产高纯水等。与常规分离方法相比,膜分离具有能耗低、单级分离效率高、过程简单、不污染环境等优点,是解决当代能源、资源和环境问题的重要高新技术,对于 21 世纪的工业技术改造具有深远的影响。

第二节 悬浮液的性质

一、水的性质

在绝大多数工业部门,构成悬浮液的液相均是水。水的性质很多,这里所介绍的水的性质都是与分离有关的,主要包括水的极性、粘性、表面张力和硬度等。

(一) 水的极性

在氢和氧原子组成的水分子中,由于正负电荷的中心是不重合的,因此水分子是极性分子,正是这种分子极性使得水具有独特的性质。水分子的极性能与负电性元素形成氢键,它一方面影响液态水的结构,另一方面还影响水与固体物料的作用方式。显然,氢键的作用是强化水分子在物料表面的附着状态,而不利于固液分离。要去除这些水分子,必然需额外提供打断氢键所需要的能量,这无疑会增加脱水的难度。

(二) 水的粘性

粘性,是流体反抗变形的一种性质。从本质上说,粘性反映的是流体分子间的相互作用。研究流体粘性的学科称为流变学。根据流变学的研究,流体所受的剪切应力与流体的变形率之间存在相应的数学关系。习惯上,人们把动力粘度简称为流体的粘度。水的粘度是温度的函数,在 20℃ 时为 $0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$; 温度每增高 1℃, 水的粘度大约降低 2%。在实际脱水过程中,温度变化对浆体粘性的影响是非常明显的。例如,在过滤过程中,引入蒸汽加热滤饼,可使滤饼的水分降低。不过,在一般情况下,固液系统的温度对分离过程不会发生大的影响。所以,通过提高温度改变介质粘度以降低产品水分的方法是不经济的。

(三) 水的表面张力

表面张力,又称表面自由能,其定义为物质增加单位表面积时外界所做的功。物质表面分子与内部分子相比,其化学键总处于不平衡状态,从而表面分子比内部分子具有更高的能量,这部分高出的能量就是表面自由能(或表面张力)。

在除汞以外的所有液体中,水具有最高的表面张力,这显然与水分子的强极性有关。像大多数液体一样,水的表面张力随温度的升高而下降,表 1-1 所列为水的表面张力随温度的变化情况。

表 1-1 不同温度时水的表面张力

温度 /℃	表面张力 / $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
20	0.07288
25	0.07214
30	0.07140

水的表面张力对于固液分离过程有重要影响。例如,在固体物料的孔隙内往往含有孔隙水,水在孔隙内深入的程度(即孔隙水的含量)与水的表面张力直接相关。又如,水在固体表面的附着(润湿或形成水化层)也在很大程度上受表面张力的影响。一般来说,液体介质的表面张力越大,固液分离就越困难。因此,降低水的表面张力是提高固液分离效率的有效途径之一。由于水的表面张力随温度升高变化的速度很小(见表 1-1),因此借助提高温度以降低水的表面张力并没有多大实际意义。大量实验表明,向固液体系添加表面活性物质是降低水的表面张力的有效途径。

(四) 水的硬度

工业用水和生活用水都有硬水、软水之分。水的硬度反映水中钙、镁离子的含量多少,所含钙、镁离子越多,水的硬度就越大。衡量水硬度的单位很多,常用的有两种:毫克当量硬度和德国硬度。1 毫克当量硬度相当于 1 L 水中含有 20.04 mg 的钙离子或 12.16 mg 的镁离子。水的硬度等级如表 1-2 所示。

表 1-2 水的软硬等级

水的类型	硬 度	
	毫克当量	德国硬度
极软水	<1.5	<4.2
软 水	1.5~3.0	4.2~8.4
中等硬度	3.0~6.0	8.4~16.8
硬 水	6.0~9.0	16.8~25.2
极硬水	>9.0	>25.2

水的硬度对悬浮液的分离和沉降有很大影响。这是因为,当硬度较大时,水中的钙、镁离子含量增高,这些离子可以在颗粒表面进行吸附,从而改变颗粒表面的电位,使表面的水化作用发生变化,促使颗粒分散或凝聚,最终导致分离特性发生变化。例如,在选煤厂的悬浮液处理中,若水的硬度大,煤水的分离就会很容易,这正是某些水硬度大的选煤厂在悬浮液的处理中少用甚至不用絮凝剂的原因。

二、矿物的性质

固体颗粒是悬浮液中的分散相,固体物料本身的性质是构成悬浮液基本性质的重要组成部分。悬浮液中的固体颗粒是矿物,矿物的性质直接影响悬浮液的性质。这里主要介绍矿物的粒度和矿物组成对悬浮液的影响。

(一) 矿物的粒度

1. 粒度的表示方法

颗粒粒度,是指颗粒体积的线性表征。固体颗粒的形状绝大多数是不规则的,表示这些不规则颗粒大小的方法很多,表 1-3 列出了与固液分离有关的各种粒度的定义,它们适用于不同的场合。

表 1-3 颗粒粒度的表示方法

名 称	符号	定 义	类 别
筛分粒度	X_a	能够通过颗粒的最小方孔的宽度	当量球体直径
表面粒度	X_s	与颗粒具有相同表面积的球体的直径	当量球体直径
体积粒度	X_v	与颗粒具有相同体积的球体的直径	当量球体直径
比表面积粒度	X_{sp}	与颗粒具有相同比表面积的球体的直径	当量球体直径
投影粒度	X_p	在垂直于稳定平面方向上与颗粒具有相同投影面积的球体的直径	当量圆直径
自由沉降粒度	X_f	在同一流体中与颗粒具有相同沉降速度的球体的直径	当量球体直径
斯托克斯粒度	X_{st}	雷诺数 $Re < 0.2$ 时的自由沉降粒度	当量球体直径

选择粒度表示方法时,应选用与所研究的颗粒性质关系最密切的粒度。例如,自由沉降粒度和斯托克斯粒度适用于重力沉降、离心沉降、水力旋流器等场合;而表面粒度或比表面积粒度则在絮凝、过滤等过程中用得较多。

2. 粒度对固液分离的影响

在固液分离过程中,颗粒粒度在很大程度上决定固液分离的难易程度。这主要是由于颗粒粒度是决定固液两相间相对运动速度的主要因素之一。如在重力或离心沉降时,颗粒的沉降速度与粒度的平方成正比,颗粒越大沉降越快,固液分离效果越好;而当粒度很小时,沉降分离或者不能实现或者进行得很慢,此时需另加凝聚剂或絮凝剂以使小颗粒聚集成团而加速沉降。

(二) 矿物的组成对脱水的影响

煤中矿物的组成较为复杂,随煤种、产地不同而各异,主要有石英、方解石、粘土矿物和黄铁矿等。粘土矿物种类很多,又有高岭土、蒙脱石、绿泥石等,多达上百种。

石英、方解石本身性质稳定,对于悬浮液的处理和产品脱水影响不大,有较大影响的是粘土矿物。由于它遇水极易泥化且粒度微细,因而大大增加了悬浮液中细粒级的含量。这些微细颗粒除本身难以沉降外,还可使悬浮液的粘度大幅度增加。因此,粘土类矿物含量越高,悬浮液处理过程越困难。另外,泥化的粘土矿物还能在煤粒表面形成覆盖作用。由于粘土矿物亲水、高灰,导致选煤产品的灰分、水分增高,从而加大脱水作业的难度。据测定,煤粒表面的电动电位是 -25 mV ,细泥的电动电位是 -31 mV 。两者的电动电位符号相同,为什么还能形成覆盖作用呢?经过深入研究发现,细泥本身的电荷在其表面上的分布是极不均匀的,在构成粘土矿物的硅酸盐网状晶体中,其鳞片的平面部分虽具有负电荷,但这些扁平粘土粒的边缘却有大量的正电荷,粘土粒正是以其边缘正电荷与带负电荷的煤粒互相吸引而形成覆盖的。减小细泥在煤粒表面的覆盖,对降低产品的灰分和水分有利。近来研究表明,在浮选过程中加入醇类药剂,有助于消除细泥在煤粒表面的覆盖。

三、悬浮液的性质

悬浮液由矿粒和水混合而成。其性质既与矿粒的性质有关,又与水的性质有关,并受它们之间相互关系的影响。这里主要介绍悬浮液的浓度、密度和粘度。

(一) 浓度

悬浮液的浓度对脱水方法的选择和脱水效果有极其重要的影响。在选煤厂,悬浮液的浓度常用三个指标表示:液固比、固体含量和重量百分比浓度。

1. 液固比

液固比常用 R 表示。其定义是 1 t 干矿物所含水的体积。

$$R = V/G, \quad \text{m}^3/\text{t} \quad (1-1)$$

式中: G ——煤水混合物中煤的质量, t ;

V ——煤水混合物中水的体积, m^3 。

液固比常用于洗选、浓缩和分级作业中。对于某作业,只要知道液固比 R 和干煤处理量,就很容易算出所需要的用水量。

2. 固体含量

在选煤厂中,固体含量常用 q 表示。其定义为 1 L 悬浮液中所含矿物的克数。悬浮液的固体含量可用浓度壶进行测定,若浓度壶的体积是 1 L ,可按下式计算:

$$q = \frac{\delta}{\delta - 1}(G - 1000), \quad \text{g/L} \quad (1-2)$$

式中: q ——固体含量, g/L;

δ ——矿物的密度, g/cm³;

G ——浓度壶中矿物和水的总质量, g。

对于矿物的密度,可取本厂矿物密度的多次平均值,但过一段时间就应重新标定一次。对于炼焦煤选煤厂,也可用 $\delta = 1.25 + 0.013A_d$ 进行估算, A_d 为矿物的灰分。只要得到煤水混合物的总质量 G ,就可求得 q 值。

固体含量是一个操作指标,很多作业对其都有一定要求,一般常用于浮选的人料、出料、浓缩机的溢流、底流以及跳汰机循环水的浓度表示等,应用很广。

3. 质量百分比浓度

质量百分比浓度用 C 表示。其定义是指煤水混合物中干矿物的质量占整个煤水混合物总质量的百分数,可由下式求得:

$$C = \frac{G}{G + W} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中: C ——质量百分浓度, %;

W ——煤水混合物中水的质量, t;

G ——煤水混合物中煤的质量, t。

质量百分浓度常用于浓缩和过滤作业。

4. 各指标之间的换算

上述指标,从不同角度表示在一个湿产物中水与固体在量方面的关系,它们在工艺计算中有不同的用途。各指标均与产物的基本数据如水重、煤重、密度等有一定关系,所以,它们之间可以互相进行换算。

(1) 液固比与固体含量的换算

已知液固比 R 和矿物的密度 δ ,可按下式计算固体含量 q :

$$q = \frac{1000\delta}{\delta R + 1}, \quad \text{g/L} \quad (1-4)$$

(2) 重量百分浓度与固体含量之间的换算

已知产物的质量百分比浓度 C 和其中固体的密度 δ ,可按下式计算固体含量:

$$q = \frac{1000C}{100 - C + C/\delta}, \quad \text{g/L} \quad (1-5)$$

(3) 液固比与质量百分比浓度之间的换算

已知产物的液固比 R ,可按下式计算质量百分比浓度:

$$C = \frac{1}{R + 1} \times 100\% \quad (1-6)$$

以上三式,根据不同形式浓度的定义,即可容易推导出。

(二) 密度

化学纯水的密度在 5℃ 时为 1000 kg/m³,温度增加到 50℃ 时为 980 kg/m³,变化并不大。选煤厂所用清水中含有一定量的可溶性盐,与化学纯水的差别比较小,在 5~16℃ 时,可以认为等于 1000 kg/m³。

当水中含有矿物时,悬浮液的密度与矿物的含量有关,见表 1-4。

表 1-4 悬浮液的密度 (kg/m³)

浓度 /g · L ⁻¹	固 体 的 密 度 /kg · m ⁻³								
	1350	1400	1450	1500	1550	1600	2200	2300	2400
50	1012	1014	1016	1018	1019	1021	1042	1048	1050
100	1025	1029	1038	1038	1040	1044	1087	1094	1102
200	1049	1055	1063	1070	1077	1084	1168	1182	1196
300	1075	1086	1097	1108	1118	1129	1258	1279	1301
400	1100	1114	1128	1142	1158	1171	1342	1370	1398
500	1125	1143	1161	1179	1197	1214	1429	1465	1501
600	1150	1172	1197	1215	1237	1258	1516	1559	1602

(三) 粘度

生产实践表明,相同浓度和密度的悬浮液,在处理难易程度上可能相差很大,这说明只用浓度和密度来表述悬浮液的性质是很不全面的。下面介绍另一指标——粘度。

化学纯水的动力粘度与温度有关,但影响不大。温度对于含矿物的悬浮液粘度影响也不大。含矿物的水的粘度应考虑介质中矿物颗粒间的相互作用,对于浓稠的非牛顿体悬浮液的粘度应采用有效粘度。不同悬浮液的有效粘度可按式计算:

$$\mu_e = \mu_1 \frac{t_1 \cdot \Delta_2}{t_2 \cdot \Delta_1} \quad (1-7)$$

式中: μ_e ——悬浮液的有效粘度, Pa · s;

μ_1 ——纯水的动力粘度, Pa · s;

t_1 ——纯水自粘度计流出的时间, s;

t_2 ——悬浮液自粘度计流出的时间, s;

Δ_1 ——纯水的密度, 1000 kg/m³;

Δ_2 ——悬浮液的密度, kg/m³, 见表 1-4。

悬浮液的有效粘度, 既与悬浮液的浓度有关, 又与悬浮液中矿物的粒度组成有关, 后者影响尤其明显。当水中的矿物粒度小于 45 μm 时, 悬浮液的有效粘度急剧加大; 而当水中的矿物粒度大于 45 μm 时, 则此悬浮液的有效粘度与普通水相差不大。表 1-5 所列为悬浮液的有效粘度与其粒度组成和浓度之间的关系。

表 1-5 15 °C 时悬浮液的有效粘度 (Pa · s)

悬浮液的浓度 /g · L ⁻¹	矿物粒度 /μm			
	<1000	<250	<75	<45
0	0.001145	0.001145	0.001145	0.001145
100	0.001208	0.001204	0.001208	0.001211
200	0.001275	0.001280	0.001308	0.001295
300	0.001321	0.001339	0.001428	0.001429
400	0.001434	0.001458	0.001607	0.001613
500	0.001614	0.001720	0.001955	0.002114
600	0.001704	0.002477	0.002955	0.003396

随悬浮液粘度增加,颗粒沉降速度显著减小,煤与水的分离难度明显增大。

复习思考题

1. 水有哪些性质对固液分离有影响,是如何影响的?
2. 试述悬浮液浓度的表示方法及换算。
3. 悬浮液的哪些性质与分选作业有关,是如何影响分选作业的?
4. 试述脱水方法及脱水的作用和意义。
5. 试述除尘方法及除尘的作用和意义。
6. 吸附和离子交换法的区别有哪些?
7. 试述膜分离的用途。

第二章 悬浮液的处理

对于湿法分选的选煤厂来说,经主选作业后会产生大量的悬浮液。那么,悬浮液的处理即从主选作业的下一道工序开始。

第一节 粗颗粒悬浮液的处理

主选作业后产生的悬浮液的粒度组成极为复杂,但其粗颗粒含量最大,我们把这部分悬浮液称为粗颗粒悬浮液。粗颗粒悬浮液处理是悬浮液处理的第一步,一般是进行分级。由于湿法选煤大都用水做介质,所以分级有时又叫水力分级。它是根据颗粒在水介质中的沉降速度的不同,将宽级别粒群分成两个或多个粒度相近的窄级别的过程。悬浮液的分级只分成粗、细两个不同的粒级。分级作业和筛分作业的性质相同,均是将粒度范围宽的粒群分成粒度范围窄的产物。但是,筛分是比较严格地按几何尺寸分开,而分级则是按沉降速度差分开的。那么,什么因素决定颗粒的沉降速度呢?

一、分级的实质

分级是在水介质中进行的。颗粒在水介质中的自由沉降速度可按斯托克斯公式求得:

$$v_0 = \frac{1}{18\mu} d^2 (\delta - \rho) g x \quad (2-1)$$

颗粒在悬浮液中的沉降为干扰沉降,其沉降速度可按利亚申柯公式计算:

$$v_{st} = v_0 (1 - \lambda)^n \quad (2-2)$$

式中: v_0 ——颗粒在水中的自由沉降速度, cm/s;

v_{st} ——颗粒在悬浮液中的干扰沉降速度, cm/s;

μ ——常温下水的粘度, $\mu = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$;

δ ——颗粒的密度, g/cm^3 ;

d ——颗粒的粒度, cm;

x ——颗粒的球形系数,一般取 $x = 0.3$;

ρ ——水的密度, $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$;

n ——实验指数,一般取 $n = 5 \sim 6$;

λ ——悬浮液的固体容积浓度(以小数表示), $\lambda = \frac{1}{R\delta + 1}$;

R ——悬浮液的液固比;

g ——重力加速度,一般取 $g = 981 \text{ cm/s}^2$ 。

把上述已知数值代入式(2-2),可得:

$$v_{st} = 588.6 (\delta - 1) d^2 \left(1 - \frac{1}{R\delta + 1}\right)^n, \text{ m/h} \quad (2-3)$$

从上式可以看出, v_{st} 取决于颗粒的粒度、颗粒的密度以及悬浮液的浓度。其中, $v_{st} \propto d^2$, 即颗粒的粒度对 v_{st} 的影响最大。而 v_{st} 又决定分级, 那么就可以说, 对分级起主要作用的是颗粒的粒度, 或者说粒度决定分级。有的书中习惯叫分级粒度, 用 d_p 表示。而分级又同时受颗粒的密度和悬浮液的浓度的影响, 在实际中应尽量克服两者的干扰。选煤厂分级设备的分级粒度应与主选设备的分选下限相一致, 这是因为, 分级的目的是把主选设备已完成分选的部分和未完成分选的部分区分开来, 再分别进行处理。分选设备的分选下限一般为 0.3 (0.2)~0.5 mm。另外, 在工艺上分级设备的分级粒度还与沉淀面积和设备的人料量有关。

二、分级原理

分散体系的悬浮液沉降过程可用层流状态下的斯托克斯公式来描述, 因此分级设备中的沉降分离过程一般可引用海伦模型(Haren)。该模型假定: 悬浮液的颗粒和流动速度在整个水池断面上是均匀分布的并保持不变; 悬浮液在分级设备中的流动, 是理想的缓慢流动, 颗粒只要一离开流动层, 即认为已经成为沉物。该模型又称浅池原理。

在实际生产中, 分级工作是一个连续的过程。物料由一端给入, 溢流由另一端排出, 沉物则由下部排出。若分级设备的长度为 L 、宽度为 B , 进入设备的悬浮液量为 W 。如果分级设备有足够的深度, 悬浮液溢流从另一端排出时其上部有一流动层, 厚度设为 h , 在流动层下部的悬浮液可以认为是静止的。流动层中的颗粒同时受两个力的作用, 其一为重力, 使颗粒有一个下沉速度 v ; 其二物料给入容器后有向前的推动力, 因此有一水平速度 u 。所以, 颗粒在流动层中的运动轨迹是一条曲线。当入料量 W 一定时, 曲线倾斜程度主要受颗粒大小的影响。按照海伦模型, 颗粒从给料端运动到溢流端以前, 不管在何处由于轨迹的偏移离开了流动层, 那么该颗粒在流动层下部将继续下沉并最终作为沉物排出。反之, 颗粒从给料端运动到溢流端, 仍处于流动层中, 则该颗粒将从溢流端排出, 成为溢流产品, 见图 2-1。

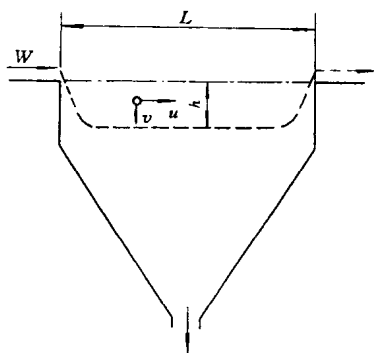


图 2-1 分级原理示意图

根据上面的分析有如下关系, 悬浮液在设备中的水平流速 u 为:

$$u = \frac{W}{B \cdot h} \quad (2-4)$$

颗粒从给料端运动到溢流端所需时间 t_1 为:

$$t_1 = \frac{L}{u} = \frac{A \cdot h}{W} \quad (2-5)$$

式中: A ——分级设备面积($A = B \cdot L$)。

任一粒度为 d 的颗粒, 其下沉速度为 v , 通过流动层所需的时间为 t_2 :

$$t_2 = \frac{h}{v} \quad (2-6)$$

如果某颗粒从给料端运动到溢流端所需时间 t_1 大于其通过流动层的时间 t_2 , 则该颗粒未达到溢流端时即已成为沉物; 反之, 当 $t_1 < t_2$ 时, 颗粒到达溢流端时仍处在流动层中, 则从溢流端排出而成为溢流产品; 如果 $t_1 = t_2$, 则该颗粒运动到溢流端时恰好在流动层的边界上, 这种颗粒成为沉物和成为溢流的机会均等, 有可能从溢流端排出也可能成为沉物, 该颗粒被

称为分级粒度。

当 $t_1 = t_2$ 时,可得下式:

$$W = A \cdot v \quad (2-7)$$

该式为悬浮液流量、设备面积和分级粒度下沉速度之间的关系式。对于固定的设备,不同的处理量可求出不同的 v 值,即有不同的分级粒度。当要求分级粒度一定时,所需要的分级面积 A 与悬浮液流量成正比。当悬浮液的流量一定时,所需的分级面积 A 与分级粒度的下沉速度成反比,即与分级粒度成反比。要求的分级粒度越细,所需要的分级设备面积则越大。因此,可以通过控制分级设备的面积来控制分级粒度。

通常,以每一平方米沉淀面积、每小时所能处理的矿浆量立方米数表示分级沉淀设备的能力,称为分级沉淀设备的单位负荷,用 ω 表示。

式(2-7)中的 A 以 1 m^2 代入,得

$$W = v = \omega \quad (2-8)$$

该式说明分级粒度的下沉速度与分级设备的单位负荷在数值上是相等的。

分级设备面积的选取,在设计中常用沉淀设备的单位面积负荷来计算。该方法称为经验数据法。

$$A = \frac{KW}{\omega} \quad (2-9)$$

式中: K ——均衡系数(悬浮液系统通常取 1.25)。

常用分级沉淀设备的单位负荷,见表 2-1。

表 2-1 常用分级沉淀设备的单位负荷 ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)

斗子捞坑、角锥沉淀池	倾斜板沉淀池	煤泥捞坑	沉淀塔	浓 缩 机
15~20	50~70	13~15	5~8	2.0~3.5

若取斗子捞坑的单位负荷为 $17.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,则分级粒度沉降速度约为 4.86 mm/s 。

三、常用的分级设备

(一) 重力场中的分级设备

1. 角锥沉淀池

角锥沉淀池由若干个并列的底部为角锥形的钢筋混凝土容器组成,各分级室之间及其内部无隔板,角锥底部的倾角为 $65^\circ \sim 70^\circ$,角锥池一端入料,另一端为溢流端,沉物沉到锥底,锥底装有闸门以便排卸沉淀物料。悬浮液的入料方式有并联和串联两种,见图 2-2。当以串联方式给料时,入料端底流排放物粒度组成较粗,出料端底流排放量小且粒度组成较细;当以并联方式给料时,底流物的质量没有差别。若要获得不同粒度的产品时,可选择串联给料方式。当给料量一定时,采用串联给料方式,液流在角锥池中的流速较大,这对分级不利,所以选煤厂实际生产中多用并联给料。

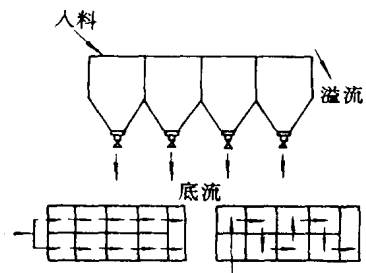


图 2-2 角锥沉淀池