

水筛理论及应用

文书明 著

921
66

冶金工业出版社

水筛理论及应用

文书明 著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
1998

云南省自然科学基金资助项目

图书在版编目(CIP)数据

水筛理论及应用/文书明著. - 北京:冶金工业出版社,
1998.5

ISBN 7-5024-2186-6

I.水… II.文… III.筛分,水筛-概论 IV.TD921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 06909 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 张登科 美术编辑 李至云 责任校对 刘倩

北京昌平新兴胶印厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1998 年 5 月第 1 版,1998 年 5 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 6.375 印张; 168 千字; 195 页; 1-1000 册

13.00 元

本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换

内容提要

本书从水力学、两相流等角度较为深入地论述了水筛理论，并在介绍国内外水筛设备及应用的基础上，较详细地总结了多年来水筛设备方面的研究成果。全书包括绪论、水筛理论基础、水筛基本原理、水筛的影响因素、重力场中的水筛、复合力场中的水筛等。

本书可供从事碎散物料筛分研究、生产的工程技术人员阅读，亦可供大中专院校的有关师生参考。

前 言

将碎散物料按几何粒度分成若干粒级的筛分作业,广泛应用于矿物加工、冶金材料、化工建材等领域。筛分效率的高低,不仅影响以上工业过程,而且直接影响到企业的经济效益,所以,物料的筛分是众多工业企业重要的生产环节。根据处理的物料所含水分的不同,可将筛分作业分成干筛和湿筛,湿筛过程中的筛面若浸入水中,则称为水筛。在水筛过程中,物料在筛面上的运动及过筛运动与干筛相比,由于水流的多种作用,存在本质的差别,也就是说,干筛理论很难完全应用于水筛过程。目前,对干筛的研究较多,而对水筛的研究少见报道,特别是在水筛理论方面,国内外均很少见到相关的论著。

本书根据我多年科研工作经验,将水力学理论、固液两相流理论、重力选矿理论等应用于水筛过程,形成了较为系统的水筛理论,并在此基础上发明了螺旋管筛分机、WSM 型斜面水筛,经试验证明,这两种新型水筛用于处理细粒物料,均具有良好的性能。

本书包括绪论、水筛理论基础、水筛基本原理、水筛的影响因素、重力场中的水筛、复合力场中的水筛,主要从水力学、两相流等角度较为深入地论述了水筛理论,并在介绍国内外水筛设备及应用的基础上,较详细地总结了多年来在水筛设备方面的研究成果等。

作者

1997 年 12 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 基本概念	(1)
第二节 粒度表示及分析方法	(3)
第三节 粒度特性	(8)
第二章 水筛理论基础	(13)
第一节 颗粒在水中的自由沉降	(13)
第二节 颗粒在粒群中的干涉沉降	(24)
第三节 物料分层的位能	(29)
第四节 干式物料的松散分层	(31)
第五节 粒群在上升水流中的松散分层	(35)
第三章 水筛基本原理	(43)
第一节 水筛过程	(43)
第二节 筛面上水流的运动规律	(45)
第三节 水筛概率及筛分效率	(48)
第四节 水筛动力学	(55)
第五节 颗粒在倾斜筛面上的水流中的松散分层	(63)
第六节 粒群在周期性上升下降水流中的松散分层	(78)
第四章 水筛的影响因素	(83)
第一节 筛分物料性质的影响	(83)
第二节 水流特性的影响	(86)
第三节 筛面运动形式的影响	(91)
第四节 作用力的影响	(97)

第五节	筛面种类及筛分机操作参数的影响·····	(101)
第五章	重力场中的水筛·····	(105)
第一节	概述·····	(105)
第二节	UHG 型水下振动筛 ·····	(107)
第三节	WSM 型斜面水筛 ·····	(119)
第四节	螺旋管筛分分级机·····	(137)
第六章	复合力场中的水筛·····	(163)
第一节	立式圆筒水筛·····	(163)
第二节	同步离心水筛·····	(166)
第三节	旋流筛·····	(182)

第一章 绪 论

第一节 基 本 概 念

一、筛分

利用多孔的工作面将大小不同的混合物料按颗粒大小进行分级的作业称为筛分。

多孔的工作面称为筛面,是筛分机的主要工作部件。筛面有平面的、弧形的、锥形的和圆形的等。筛面上的孔称筛孔,其形状有方形、圆形、长方形、条缝形等。筛孔尺寸用孔边的最小尺寸来表示,如圆孔以直径表示,方孔以边长表示,条缝以宽度表示。

在筛分过程中,大于筛孔尺寸的物料颗粒留在筛面上,小于筛孔尺寸的物料颗粒透过筛孔被分离出来。进入筛面上的物料称为筛分原料,留在筛面上的物料称为筛上产物,透过筛孔的物料称为筛下产物。

二、筛分的分类

筛分的分类方法很多,如按筛分物料的粗细分,可分为粗筛、细筛;如按筛分机的运动形式分;可分为固定筛、振动筛、转动筛;如按原料所含的水分和筛面是否浸入水中来分,可分为干筛、湿筛和水筛。

1. 干 筛

筛分原料含水量小于 10% 的筛分,称为干式筛分,简称干筛。干筛中,原料水分含量对筛分过程有严重的影响,水分越低,筛分越易进行,筛分效果越好,水分越高,筛分越难进行,筛分效果越差。当水分达到使原料结块时,筛分基本无法进行。

2. 湿 筛

筛分原料含水量大到使物料变成可流动的浆料时,筛面不浸泡于水中的筛分称为湿式筛分,简称湿筛。湿筛中,原料含水量越

高,筛分越易进行,筛分效果越好,相反原料含水量越低,筛分越难进行,筛分效果越差。当原料含水量小到使原料结块时,筛分基本不能进行。

湿筛的筛面不浸入水中,筛下物料不能通过筛孔返回筛面上。

3. 水筛

筛分原料含水量大到使物料变成可流动的浆料,筛面浸入水中的筛分称为水中筛,简称水筛。水筛中,水的冲击、波动对筛面的工作产生重要的影响,筛孔堵塞很小,筛下产物在水流的作用下有可能透过筛孔返回到筛面上。

三、筛子

1. 标准筛

筛分分析用的筛子有两种:一种为非标准筛(或手筛),一种是标准筛。标准筛是由一套筛孔大小有一定比例的,筛孔宽度和筛丝直径都按标准制造的筛子组成。标准筛按筛孔由大到小,从上到下排列起来,各个筛子所处的层位次序称为筛序。在按筛序排列好的筛子中,每两个相邻的筛子的筛孔尺寸之比叫筛比。有些标准筛有一个作为基准的筛子叫基筛。常用的标准筛有以下三种。

泰勒标准筛:以1英寸(25.4mm)长度上所具有的筛孔数目作为各个筛子的号码或名称。1英寸长度上的筛孔数目称为网目,简称目。200目的筛子就是指1英寸筛面长度上有200个筛孔。泰勒筛的筛比为 $\sqrt{2}$,基筛为200目的筛子。

德国标准筛:这种筛子的“目”是1厘米长的筛网上所具有的筛孔数,其特点在于筛号与筛孔尺寸(mm)的乘积等于6,筛丝直径等于筛孔尺寸的 $\frac{2}{3}$ 。

国际标准筛:这种筛子的基本筛比为 $\sqrt[10]{10} = 1.25$ 。

2. 工业筛分机

工业上使用的筛分机种类很多,就水筛而言,有代表性的是:离心水筛、立式圆筒水筛、旋流筛等。这些筛分机多用于细粒物料

的筛分作业。

第二节 粒度表示及分析方法

一、粒度及粒度表示

1. 粒度

一个颗粒的几何尺寸称为该颗粒的粒度,它是颗粒大小的量度,一般用毫米(mm)、微米(μm)等单位表示。将松散的物料借用某种方法分成若干级别,这些级别叫粒级。用称量法称出各级别物料的质量,并计算出各级别物料占总物料的质量分数,用这些数据来说明这批物料由哪些粒级的物料组成,这批数据资料称为该物料的粒度组成。

2. 粒度表示法

A 单个物块的粒度表示法

一个物料块常常是不规则的,为了表示它的大小,习惯上用其平均直径表示。单个物块的平均直径可表示如下:

$$d = \frac{a + b + c}{3}$$

式中 d ——物块的平均直径;

a ——物块的长度,最长一边的长度;

b ——物块的宽度,次长一边的长度;

c ——物块的厚度,最短一边的长度。

B 粒级的表示法

一批物料通过 n 层筛面,被分成 $n + 1$ 个级别,通常把颗粒能通过的最小正方形筛孔宽作为该级别的粒度。如筛孔宽为 b ,则该级别的粒度为:

$$d = b$$

如果某一级别物料通过了筛孔宽为 b_1 的上层筛孔,而留在筛孔宽为 b_2 的下层筛面上,则该级别的粒度表示为:

$$- b_1 + b_2 \text{ 或 } - d_1 + d_2$$

$$b_1 \sim b_2 \text{ 或 } d_1 \sim d_2$$

例如：-74 μm + 37 μm 或 74 μm ~ 37 μm

二、平均粒度和物料的均匀度

在生产实际中,单使用粒级范围或单颗粒的粒度来表示物料大小是不够的,有时需要考虑一批物料或一个级别物料的平均大小。对一批物料的粒度大小,采用不同的统计方法,可得到不同的平均粒度数值,比较常用的主要有以下几种方法:

(1)加权算术平均法,即:

$$D = \frac{r_1 d_1 + r_2 d_2 + \cdots + r_n d_n}{r_1 + r_2 + \cdots + r_n}$$
$$= \frac{\sum r_i d_i}{\sum r_i} = \frac{\sum r_i d_i}{100}$$

(2)加权几何平均法,即:

$$D = (d_1^{r_1} d_2^{r_2} \cdots d_n^{r_n})^{\frac{1}{\sum r_i}}$$

两边取对数得:

$$\lg D = \frac{\sum r_i \lg d_i}{\sum r_i} = \frac{\sum r_i \lg d_i}{100}$$

(3)调和平均法,即:

$$D = \frac{\sum r_i}{\sum \frac{r_i}{d_i}} = \frac{100}{\sum \frac{r_i}{d_i}}$$

式中 D ——平均粒度;

r_i ——第 i 个级别物料的产率, %;

d_i ——第 i 个级别物料的粒度。

以上三种方法得出的结果是:

$$D_{\text{算术}} > D_{\text{几何}} > D_{\text{调和}}$$

三、粒度分析方法

1. 筛分分析

确定碎散物料粒度组成的筛分称为筛分分析,简称筛析。

对于粒度大于 6mm 的物料,筛析所用的筛子一般为非标准筛(手筛)。非标准筛可采用钢板冲孔或钢丝编织而成。筛分分析的

方法是將物料用一套篩孔大小不同的篩子進行篩分,將物料分成若干粒級,然後分別稱其質量,算出各粒級物料占總物料的質量分數。

對於粒度範圍為 6mm 到 0.043mm 的物料的篩析,用實驗室型標準套篩進行,即將篩子按篩序排列,待篩析物料放入最上層篩子的篩面上,套篩放在震篩機上篩分或用手振動篩分,當篩分進行到篩分 1min 並且所得篩下物料量小於篩上物料量的 1% 時,認為篩分達到終點,分別稱量各篩子篩面上的物料,算出各粒級占總給料的百分數。

篩析可採用干篩,也可採用水篩,一般水篩的精確度高於干篩,當要求的结果比較精確時,常常採用干篩和水篩相結合的方法進行篩分分析。

篩析的目的是求出給料中各粒級的百分含量,從而確定物料粒度組成。各粒級百分含量的計算方法如下:

$$\text{某粒級產率} = \frac{\text{某一粒級的質量}}{\text{被篩物料的總質量}} \times 100\%$$

大於某一篩孔的各級別產率之和稱為篩上累積產率或稱正累積產率,小於某一篩孔的各級別產率之和稱為篩下累積產率或稱負累積產率。最常用的篩析記錄如表 1-1 所示:

表 1-1 篩分分析結果

粒級/mm	質量/kg	產 率		
		質量分數/%	篩上累積產率 (正累計)/%	篩下累積產率 (負累計)/%
- 16 + 12	2.25	15	15	100
- 12 + 8	3.00	20	35	85
- 8 + 4	4.50	30	65	65
- 4 + 2	2.25	15	80	35
- 2 + 0	3.00	20	100	20
共 計	15.00	100		

2. 水力分析

水力分析简称水析,是利用颗粒在水中的沉降速度间接地衡量颗粒粒度大小的一种粒度分析方法。当待分析物料的颗粒粒度小于 0.074mm 时,筛分过程变得很困难,特别是小于 0.04mm 的颗粒,即使采用水筛,所需的时间也是相当长的,而且难以达到所要求的精度。对于这种微细粒级物料,利用其在水中的沉降速度,可以间接地计算出其粒度,即:

$$d = 0.14 \sqrt{\frac{v_{0s} \mu}{(\delta - \rho)}}$$

式中 d ——水析粒度,cm;

v_{0s} ——粒度为 d 的颗粒在水中的自由沉降速度;

μ ——水的粘度;

δ ——颗粒的密度;

ρ ——水的密度。

由以上公式可知,计算所得的水析粒度已经包含了颗粒形状、颗粒密度及介质的影响,不同于该颗粒的外观几何尺寸,即不同于筛析粒度。

常用的水析方法有沉降法、上升水流法。

A 沉降法

沉降法的分析装置如图 1-1 所示。分析过程为:称取 50 ~ 100g 待测物料,配成液固比为 6:1 ~ 10:1 的料浆倒入玻璃杯 1 中,加水到规定的刻度处(加水后保证最大体积分数小于 3%)。由该刻度到虹吸管口的距离 h 即为颗粒的沉降高度。设分级粒度为 d ,在水中的沉降(自由)速度为 v_0 ,则沉降距离为 h 时需要的时间 t 为:

$$t = \frac{h}{v_0} = \frac{h\mu}{545 d^2 (\delta - \rho)}$$

先充分搅拌料浆,使颗粒充分悬浮。停止搅拌时立即按下秒表并记录时间,当时间到达 t 秒时,打开虹吸管夹,吸出高度为 h 的料浆,随料浆吸出的颗粒粒度全部小于 d 。重复以上操作几次,

直到吸出的料浆不含固体颗粒或只含极少量的固体颗粒时,分析到终点。过滤烘干粒度小于 d 的物料,称重算出该级别占总原料的百分数。如需分出多个粒度产物,则需按不同的分离粒度 d 计算出相应的时间 t 值,由细到粗按上述操作过程进行分析。每次得出的产物经过滤、烘干、称重、算出相应产率,就得到原料的粒度组成。

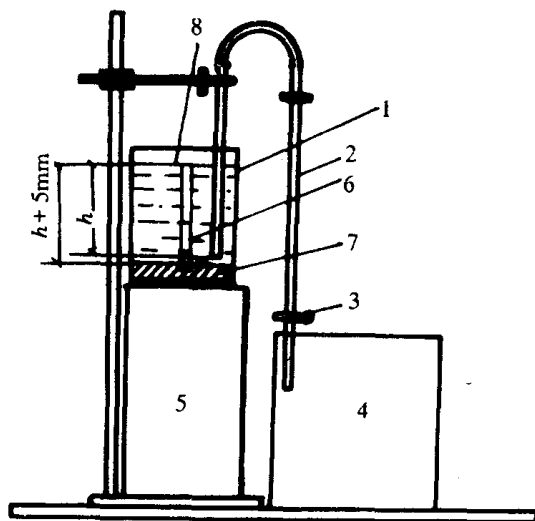


图 1-1 沉降法的分析装置

1—玻璃杯;2—虹吸管;3—夹子;4—溢流接收槽;
5—玻璃杯座;6—标尺;7—沉积物;8—液面

B 上升水流法

利用上升水流法进行水析一般是在连续水析器上进行。常用的连续水析器是一组连接在一起的四根上大下小的锥形管。具有相同流量的水流从直径较小的管子依次流过直径较大的管子,水析原料在不同的管子受到不同的上升水流的作用。分级别留在四个管子中,最粗的颗粒留在直径最小的管子中,最细的颗粒留在最大直径的管子中,不能留在管子中的特细颗粒最后排出直径最大的管子,成为特细的溢流产物。各管子中产物的粒度由下式计算:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q_{\text{流量}}}{v_0}$$

$$v_0 = \frac{4Q_{\text{流量}}}{\pi D^3}$$

$$d = 0.14 \sqrt{\frac{v_0 \mu}{(\delta - \rho)}}$$

取出四个管子的产物和最后溢流出来的产物,过滤、烘干、称重,算出各级别产率,得出原料的粒度组成。

第三节 粒 度 特 性

一、粒度分析曲线

为了对物料的粒度组成有一充分的认识,将粒度分析结果绘制成曲线,这种按粒度分析数据绘出的曲线,称粒度分析曲线。这种曲线反映了粒度分析原料中各粒级与产率的关系。根据用途的不同,粒度分析曲线有不同的绘制方法。常用的是以粒度为横坐标,以产率为纵坐标绘制的曲线。根据各粒级产率绘制的曲线叫部分粒度分析曲线,根据累计产率绘制的曲线叫累积粒度分析曲线,比较常用的是累积粒度分析曲线。

1. 算术坐标法

以粒级为横坐标,产率为纵坐标将粒度分析结果绘制于直角坐标系上,得到以算术坐标法表示的粒度分析曲线。如纵坐标表示的是正累积产率,则曲线称正累积曲线,如纵坐标表示的是负累积产率,则曲线称为负累积曲线。正累积曲线和负累积曲线是互相对称的,两条曲线在产率为 50% 处相交,如图 1-2 所示。

2. 半对数坐标法

在粒度分析中,有时物料粒度从粗到细,粒度分布太广,在一张小的直角坐标系上难以绘出粒度分析曲线,此时横坐标(粒级尺寸)用对数表示,纵坐标用算术坐标表示,作出的累积粒度分析曲线称半对数累积粒度分析曲线(图 1-3)。

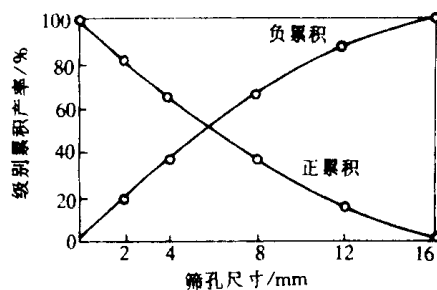


图 1-2 累积粒度分析曲线

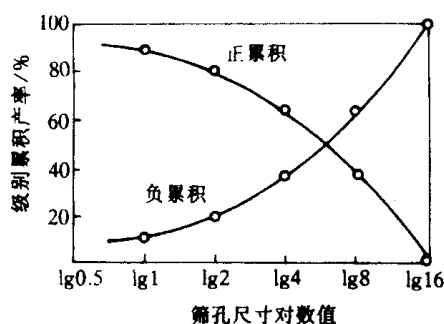


图 1-3 半对数累积粒度分析曲线

如果筛分分析所用套筛的筛比相同,绘制半对数累积曲线非常简单。如筛比为 $\sqrt{2}$,则筛孔尺寸和筛孔尺寸的对数如下:

筛孔尺寸	筛孔尺寸的对数
b	$\lg b$
$b\sqrt{2}$	$\lg b + \lg \sqrt{2}$
$b(\sqrt{2})^2$	$\lg b + 2\lg \sqrt{2}$

相邻筛子筛孔尺寸的对数差为 $\lg \sqrt{2}$,横坐标的选点较为容易。

3. 全对数坐标法

横坐标和纵坐标都用对数表示的粒度分析曲线叫全对数粒度分析曲线(图 1-4)。对于一般的破碎产物和磨细产物,全对数负累积曲线常常是一直线。直线的方程可表示为:

$$\lg y = k \lg x + \lg A \text{ 或 } y = Ax^k$$

式中 k ——直线斜率, $k = \frac{\lg y_1 - \lg y_2}{\lg x_1 - \lg x_2}$;

$\lg A$ ——直线的截距, $A = \frac{y_2}{x_2^k}$ 。

使用全对数坐标,就有可能找出物料粒度组成的这种直线规律。

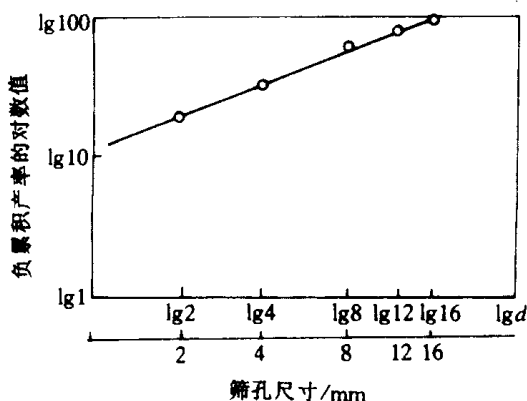


图 1-4 全对数累积粒度分析曲线

二、粒度特性方程式

用数学解析方式表示碎散物料粒度特性的数学式称为粒度特性方程式。

碎散物料的粒度特性在一般情况下具有某种稳定性。根据这些可以推测出粒度按尺寸分布的规律。用数学式表示物料的粒度特性,具有以下几点意义:

- (1) 证明了在整个粒度范围内粒度组成的外推法,可简便、迅速地对粒度分析进行计算。
- (2) 通过粒度特性方程式,可计算颗粒的表面积、颗粒数、体积和其他指标。
- (3) 对粒度分析的结果、碎磨机械的工作状态及产品性能进行评价。

粒度特性方程式主要是经验数学关系式,已提出的经验粒度