

固液分离

GU YE FEN LI

[英] L. 斯瓦洛夫斯基 等著

原子能出版社

81.174
616
C.2

固 液 分 离

[英] L.斯瓦, 夫斯基等 著

王梦剑 立 译
于鑫坤 王金堂

3120751

原 (子 能 出 版 社)

内 容 简 介

本书系统评述了固液分离过程的新进展。讨论了固液分离过程的基本理论和生产实践。重点叙述了基本工程概念和各种设备的应用,但也未忽略设备的设计问题。深入讨论了现有各种设备及其选用标准,列举了固液分离过程在化学化工、石油化学、制药、冶金、纺织、农业、食品工业以及废水处理等方面的应用经验和科研成果。

Solid-Liquid Separation

Editor Ladislav Svarovsky

固 液 分 离

[英] L·斯瓦洛夫斯基 等著

王梦剑 高立

于鑫坤 王金堂

译

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京印刷一厂印刷

(北京市西便门)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张13·字数414千字

1982年3月第一版·1982年3月第一次印刷

印数001—3,700·统一书号:15175·381

定价:1.60元

序（摘译）

我很高兴给由几位专家和我所编写的这本书写序言。我认为单由一位作者几乎是不可能对固液分离过程的各方面论述得这样深入。这不仅是因为该领域非常广，已扩展到不同的工艺学科，而且涉及的原理和设备范围也是很宽的。我很荣幸能和他们共同编写这本书。为编写这本工业应用课程教材，我们在一起工作了两年多。

本书各章论述了固液分离过程的原理、设备以及与固液分离相关的重要问题如助滤剂、洗涤和絮凝等。重点介绍了固液分离设备的应用，但也未忽略设备的设计问题。本书对化学工程师和工艺工程师，特别是对从事工厂操作、工厂设计、设备试验和委托制造等方面的工程师可能是很有用的。我们力求理论和实践相结合，因为这两者是同等重要和不可分割的。本书可作为大学生和研究生的教科书，也可作为工业应用课程的教材，因为本书就是为此目的而编写的。

斯瓦洛夫斯基

目 录

第一章 固液分离绪论	1
1.1 固液分离过程	2
第二章 液体中悬浮颗粒的特性	5
2.1 绪言——颗粒特性的探讨	5
2.2 颗粒粒度定义	7
2.3 颗粒粒度分布类型	8
2.4 集中倾向的量度	12
2.5 数据表示法	18
2.6 取样	28
2.7 颗粒粒度的实验室测定	30
2.8 在线测量技术	35
第三章 固液分离效率	38
3.1 绪言	38
3.2 基本定义和质量平衡方程	39
3.3 E_T , $G(X)$ 与产品颗粒粒度分布间的基本关系 式	48
3.4 底流与物料通量比值较大时效率定义的修正	63
附录3.1 总效率测量误差	65
附录3.2 级效率测量误差	68
第四章 凝聚和絮凝	73
4.1 绪言	73
4.2 胶体模型	76
4.3 电动现象和 ζ 电势	82
4.4 ζ 电势的实际应用	85

36614

4.5 使用聚电解质絮凝	87
4.6 其它一些考虑	92
第五章 重力浓密	94
5.1 绪言	95
5.2 沉降概念	95
5.3 影响沉降的因素	99
5.4 用于单元过程的浓密机	102
附录 5.1	113
第六章 水力旋流器	125
6.1 绪言	125
6.2 液体流型	126
6.3 悬浮颗粒的运动	129
6.4 水力旋流器效率的预测	130
6.5 压强降	139
6.6 影响性能的设计变量	141
6.7 水力旋流器的设计	143
6.8 水力旋流器组	149
6.9 水力旋流器的应用	151
附录 6.1	153
第七章 离心沉降分离	156
7.1 绪言	156
7.2 理论性能预测	157
7.3 设备	167
7.4 选择离心沉降设备的影响因素	182
第八章 筛分	185
8.1 绪言	185
8.2 筛的设计	187

8.3 筛的性能	187
8.4 筛的类型	190
8.5 筛面材料	195
8.6 筛分效率	203
附录8.1 脱水筛的应用	205
附录8.2 矩形孔筛筛分效率计算公式的推导	209
第九章 过滤原理	213
9.1 绪言	213
9.2 流量与压强降关系	216
9.3 过滤操作——基本方程, 不可压缩性滤饼	220
9.4 过滤操作——基本方程, 可压缩性滤饼	233
9.5 比滤阻、孔隙率和比表面之间的关系	237
9.6 滤饼水分修正——物料平衡	238
第十章 助滤剂	241
10.1 绪言	241
10.2 几种商品助滤剂粉末	242
10.3 助滤剂的应用	245
第十一章 深层过滤	249
11.1 绪言	249
11.2 理论	250
11.3 设计和操作	252
11.4 今后的发展	263
第十二章 压滤	265
12.1 绪言	265
12.2 压滤机	266
12.3 最佳循环时间	274
第十三章 真空过滤	278

13.1 绪言	279
13.2 真空过滤设备	280
13.3 过滤机性能的研究	293
附录 13.1	301
第十四章 离心过滤	308
14.1 绪言	308
14.2 通过离心过滤机滤饼的液流	308
14.3 离心场中的过滤时间	318
14.4 离心场中滤饼内在渗透性的测量	322
14.5 离心场中旁路过滤过程	325
14.6 离心过滤机的设计和操作特性	337
14.7 推进式离心过滤机的特性	347
附录 14.1 一些重要的定义	354
第十五章 滤饼洗涤	356
15.1 绪言	357
15.2 置换洗涤	358
15.3 再制浆洗涤	367
第十六章 滤饼脱水	373
16.1 绪言	374
16.2 定义	375
16.3 滤饼中的两相流	376
16.4 剩余饱和度	378
16.5 脱水动力学	382
16.6 压缩脱水	383
16.7 滤饼裂碎	384
第十七章 过滤介质	386
17.1 绪言	386

17.2	各种过滤机对过滤介质的要求	387
17.3	过滤介质材料	391
17.4	过滤介质的稳定性和强度	393
第十八章 固液分离设备的选择		394
18.1	绪言	394
18.2	沉降或过滤	394
18.3	沉降设备	396
18.4	过滤设备	401

第一章 固液分离绪论

斯瓦洛夫斯基

顾名思义,固液分离系指从悬浮液中分离出固相和液相。在很多工艺过程中应用固液分离以达到下列目的:

1. 回收有用固体 (废弃液体);
2. 回收液体 (废弃固体);
3. 回收固体和液体;
4. 固体和液体均不回收 (如防止水的污染)。

完善的固液分离过程应该是使液体和干固体完全分离开。不过还没有一种设备能工作得这样完善,所有设备总是有这样或那样的缺点。在一般情况下总会有些细粒固体留在液流中,而有一些液体则留在固体物料中,后者是个更为普遍的问题(见图1.1)。这种分离上的不完善可用两种方法来表示。回收固体的质量分数通常称为分离效率,并以百分数表示(在过滤时亦称为“保留”),而回收固体的干度可以用含水量来表示(重量百分数)。在第三章和第十六章中将进一步研究分离效率和脱水这两个概念。有时为了回收固体流夹带的一些液体采用了洗涤方法,以一种洗涤液来置换母液。

除固液分离过程以外,常常还希望从产品中除去粗砂或细泥(分别称为脱砂和脱泥)。该过程称为分级或固体与固体的分离,并且可在多种类型的固液分离设备中完成,因为这

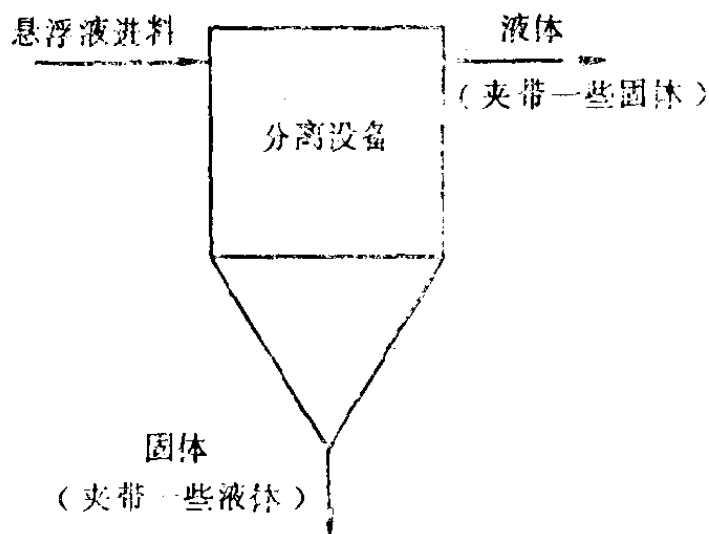


图 1.1 固液分离设备示意图

类设备的分离原理与粒度有密切关系。为使不同粒度范围的物料能在最适宜的设备中分离，也可在固液分离前进行分级。

1.1 固液分离过程

固液分离过程可按其所依据的分离原理来分类（见图 1.2）。若液体受制约而固体颗粒受加速场作用能在其中自由运动，在此情况下，则可采用沉降分离和浮选。沉降分离要求固体和液体间有密度差。若固体颗粒能被一种介质所截留而液体可从中流过，则可采用过滤和筛分，这两种方法不要求固体和液体间有密度差。

这两大类方法的进一步划分示于图 1.2。本书对这些方法均进行了较深入的讨论，这里只作一些概要介绍。

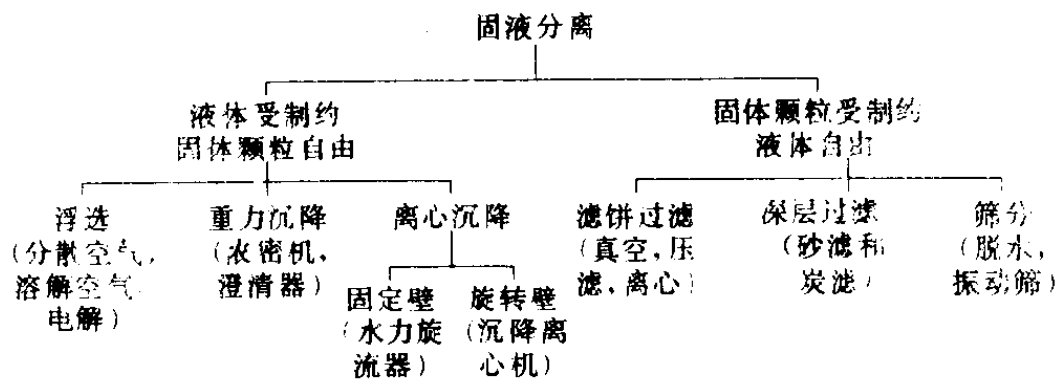


图 1.2 固液分离方法的分类

1.1.1 浮 选

浮选是以加压的液体减压到大气压时释放出足够的空气为依据的。以气泡形式释出的空气可以粘附或吸着固体颗粒，并将其带到液面上，然后对浮于液面上的固体颗粒加以刮离。浮选在矿物分离方面早已得到应用，在造纸、精制或污水处理等方面也被认为是一种有效的固液分离方法。

1.1.2 重 力 沉 降

在澄清或浓密过程中，采用沉降槽借重力沉降固体。目前设计的浓密机一般均能得到最大密度的底流，而所用的澄清器则可得到含悬浮固体最少的溢流。为了加速沉降，往往还使用一些絮凝剂。

1.1.3 离 心 沉 降

1.1.3.1 水力旋流器

水力旋流器无转动部件，悬浮液从切线加料口加入以产生旋流。旋流器中高的速度梯度起剪切作用，破坏可能存在的絮团聚集体，这很适合于分级，但不利于分离。水力旋流器由于其性能可靠，价格便宜，在分级和分离过程中都得到了广泛应用，在分离时它的主要用途是浓密。

1.1.3.2 沉降离心机

沉降离心机有一转鼓，由此转鼓带动悬浮液转动。液流无剪切作用，这使沉降离心机很适合于分离，但也常用于分级。在现有五类设备中，盘式离心机（喷嘴型）和倾析式离心机（螺旋型）是连续操作的，无孔转鼓离心机是半连续操作的，但通常是全自动化的。特别是用转鼓离心机和倾析式离心机，可分离出含水量很低的固体，一般都有很高的分离效率。

1.1.4 滤饼过滤

一般说来，根据液流通过多孔介质时的推动力，滤饼过滤设备可分为真空过滤机，压滤机和离心过滤机。

1.1.5 筛和深层过滤器

这些设备通常是借重力使液流通过介质的。各种筛常用于脱水，多层筛也用于分级。为使所有物料均能先后通过筛孔，常辅以振动和其它方式的运动。深层过滤器（砂滤、炭滤等）常用于澄清。

在为分离任务选择最好的分离方法时，必须考虑多方面的问题，第十八章对此作了分析，要作好这一选择就必须对各种分离设备及其典型应用有详细的了解，希望本书在这方面能为读者提供有用的知识。

第二章 液体中悬浮颗粒的特性

斯瓦洛夫斯基

2.1 绪言——颗粒特性的探讨

颗粒特性即颗粒体系中颗粒基本性质的描述，是颗粒工艺中一切工作的基础。颗粒沉降速度、床层可渗透性或比滤阻等二次性质，是由颗粒的基本性质（颗粒粒度分布、颗粒形状、密度以及表面性质等）、液体的基本性质（粘度和密度）以及悬浮液的浓度和状态决定的。了解这些性质，对固液分离设备的设计和操作来说是很重要的。

当然，有人认为无需考虑这些基本性质，直接测定二次性质不仅较为简单，往往也更为可靠。在实践中是这样做了，但我们的最终目标还是要根据这些基本性质预测二次性质。例如在流体力学中，每当需要设计管道系统时，我们并不去测定管道系统对流体的阻力，而是测定液体的基本性质（粘度和密度）和管道系统的基本性质（粗糙度），然后按已知的关系式确定阻力。由于在固液分离中这种关系式相当复杂，而且在许多情况下尚未确立，所以，颗粒的基本性质主要只用来定性估计悬浮液的行为，作为选择固液分离设备的指导。从颗粒粒度方面来说，颗粒粒度愈细，愈难分离，而固体浓

度对分离也有很大影响。劳埃德 (Lloyd) 和沃德 (Ward)^[1] 提出一张很有用的图, 略加修改后示于图2.1。该图以图解法说明了适用于不同颗粒粒度的固液分离设备范围。

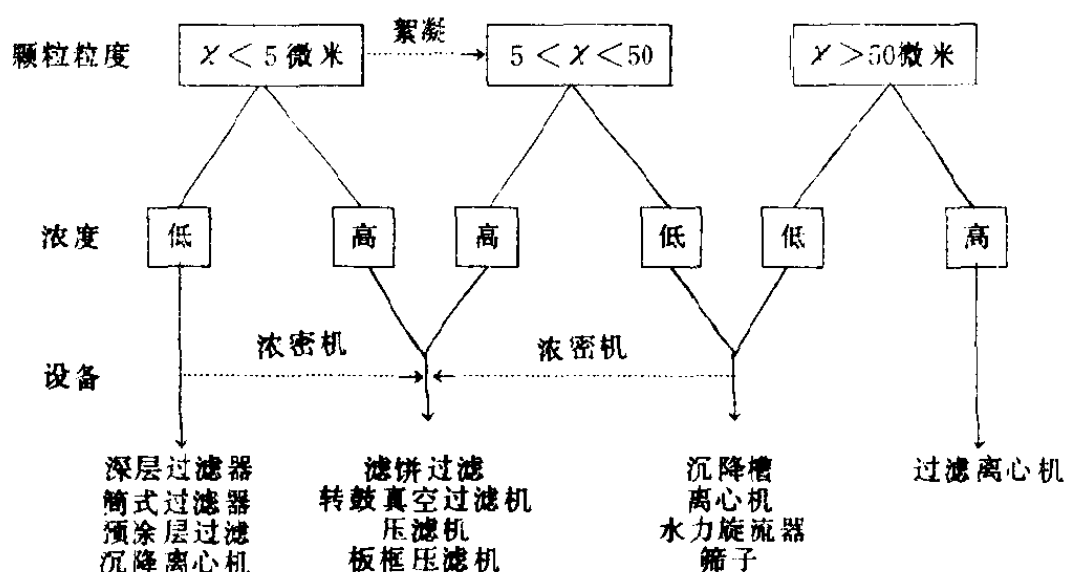


图 2.1 根据颗粒粒度选择固液分离设备^[1]

颗粒粒度对填料床的渗透性或比滤阻影响很大 [从式 (9.36) 可明显看出, 构成床层的颗粒的比表面与颗粒粒度成反比, 比滤阻 α 是以下式给出的

$$\alpha \sim 1/X^2$$

式中 X 是颗粒粒度], 因此, 可用颗粒粒度定性估计渗透性。对沉降来说, 斯托克斯直径 (定义见下文) 在“自由沉降”应用中和沉降离心机 (见第七章) 的西格马理论中都是重要的。

除与固液分离有关的性质外, 颗粒体系还有其它许多性质例如药物活性、水泥凝固时间以及颜料覆盖力等, 都与颗粒粒度有密切关系。

固体颗粒的形状实际上大部分是不规则的, 固体颗粒的特性通常用分析颗粒粒度 (与所研究的颗粒性质关系最密切的那种量度的粒度) 和颗粒粒度分布来表示。固体物料的其

它特性也可包括在所测量度的粒度中，例如，斯托克斯直径便是将粒度、密度和形状综合为一个参数；如果需要时，还可分别表示这些特性。英国标准 BS 2955 试图定性定义颗粒形状；通过分析两种或多种量度的颗粒粒度，并考虑与这些粒度有关的不同‘形状系数’，能间接求得颗粒形状的定量量度。

在选择颗粒粒度分析技术前，先要选定颗粒粒度 X 的量度和所要求的粒度分布类型 Φ 两个重要变量。

2.2 颗粒粒度定义

一个不规则的颗粒，按所测线度或性质可用几种粒度来描述。基本上有三种粒度，即“当量球直径”、“当量圆直径”和“统计学直径”。

第一种粒度是与颗粒本身性质相同（例如体积相同、投影面积相同和沉降速度相同等）的球的直径，详见表 2.1。

表 2.1 当量球直径的定义

符号	名 称	球 的 当 量 性 质
X_v	体 积 直 径	体积
X_s	表 面 积 直 径	表面积
X_{sv}	表面积体积直径	表面积与体积比
X_d	受 阻 直 径	在相同流体中以相同速度运动时的阻力
X_f	自由沉降直径	颗粒密度相同时在同一流体中的自由沉降速度
X_{st}	斯 托 克 斯 直 径	斯托克斯定律范围 ($Re < 0.2$) 内的自由沉降速度
X_A	筛 分 直 径	通过相同方形筛孔

第二种粒度是与颗粒投影轮廓性质相同的圆的直径，详见表 2.2。

表 2.2 当量圆直径的定义

符号	名 称	圆 的 当 量 性 质
X_a	投影面积直径	位置稳定颗粒的投影面积
X_p	投影面积直径	随机定向颗粒的投影面积
X_c	周 长 直 径	轮 廓 周 长

第三种粒度即统计学直径，是平行于一定方向（用显微镜）测得的线度，详见表2.3。

表 2.3 统计学直径的定义

符号	名 称	所 测 线 度
X_F	费雷特直径	颗粒两侧两条切线间的距离
X_M	马 丁 直 径	颗粒图象等分线的长度
X_{SH}	剪 切 直 径	用图象剪切目镜测得的颗粒宽度
X_{CH}	最大弦直径	由颗粒轮廓所限定的一直线的最大长度

用不同的颗粒粒度测定法测定不同量度的粒度（见表2.7），选择时，必须非常仔细地考虑哪种量度的粒度与所控制的性质或过程关系最密切。例如，在以颗粒相对于流体的运动为控制机制的固液分离方法（重力沉降或离心沉降，水力旋流器）中，采用测定自由沉降直径，更通常些，采用测定斯托克斯直径的方法（沉降或流体分级法）当然是最为适宜的。另一方面，在过滤中与分离机制关系最密切的却是表面积体积直径（例如用渗透法测定）。

2.3 颗粒粒度分布类型

对一给定的粒状物料，可定义四种不同类型的颗粒粒度