

固液分离原理与 工业水处理装置

GUYE FENLI YUANLI YU
GONGYESHUI CHULI ZHUANGZHI

冯春宇 杨晓惠 魏 纳 编著



电子科技大学出版社

固液分离原理与 工业水处理装置

GUYE FENLI YUANLI YU
GONGYESHUI CHULI ZHUANGZHI

杨晓惠 冯春宇 魏 纳 编著



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

固液分离原理与工业水处理装置 / 杨晓惠, 冯春宇, 魏
纳编著. -- 成都: 电子科技大学出版社, 2017.1

ISBN 978-7-5647-3868-6

I. ①固… II. ①杨… ②冯… III. ①工业废水处理
IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 205733 号

固液分离原理与工业水处理装置

杨晓惠 冯春宇 魏 纳 编著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)
策划编辑: 罗 雅
责任编辑: 罗 雅
主 页: www.uestcp.com.cn
电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 三河市明华印务有限公司
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 9.75 字数 280 千字
版 次: 2017 年 1 月第一版
印 次: 2017 年 1 月第一次印刷
书 号: ISBN 978-7-5647-3868-6
定 价: 45.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前言

固液分离技术是一种广泛应用于工业领域的分离技术,从化工、矿业、冶金、石油、轻工、食品、制药到机械、电子,固液分离无处不在、无行不及,深刻地影响到了各个工业部门和人们的日常生活。尤其是在废水、污水处理方面,更是离不开固液分离技术。近年来,世界范围的资源衰竭与环境恶化使资源的高效利用迫在眉睫。我国在迎接这一轮新挑战的过程中推行的环境保护和节能减排政策,更加严格的食品、药品管理,尤其是生物技术和新能源的快速发展,促进了固液分离技术的发展和进入一个十分迅猛的创新时代。

固液分离属非均相分离学科。固相尺寸可大至上百毫米,小到纳米级;液相除水以外可以是其他牛顿或非牛顿流体。因而,固液分离所利用的原理和方法多种多样。除传统的重力沉降、重力过滤、真空或加压过滤、离心沉降、离心过滤等方法外,还包括化学法、磁、电、超声波法等辅助措施。随着科学技术的不断发展,应用计算机模拟和控制的范围和层次正在扩大和加深,仿真自滤、纳米超滤、超声波过滤、激光分离、超导分离、超音速铀分离等高新课题层出不穷。这些充分表明固液分离更是一门内容非常广泛的综合技术和学科。

本书主要阐述了固液分离的基本原理,各种固液分离方法的特点和适用范围。固液分离过程涉及的设备比较多,主要介绍了常用设备的主要构造及各部分的主要作用,各种设备的特点及选择原则。同时,结合石油行业的特点,以钻井液固控和油气田采出水处理为例,深入剖析工业水处理系统的构成,提出了工业水处理系统设计的基本原则和方法。全书的编写力求深入浅出、简明扼要、理论和实践并重,内容较全面地反映了目前石油行业中固液分离的主要特色,既满足教学需要,又具有一定的实用性。本书可作为高等院校、高职高专院校教学参考用书和石油开采污染治理的管理人员和生产人员的技术指导书,同时对工业水处理设备的设计者和生产者也有一定的指导作用。

本书第1、2、3、4章由杨晓惠执笔,第5、6章由魏纳执笔,第7、8章由冯春宇执笔。全书由冯春宇负责统筹、完善,最后由杨晓惠定稿。本书的成稿得益于许多先进的国内外同行,为我们创造了有利的条件。在成书过程中,除取材于本课题组的多年研究实践成果外,还参考了国内外知名刊物和著作,力求反映最新的科研成果并做到理论和实践相结合。由于水平和能力有限,书中不妥之处望广大同仁不吝赐教,批评指正。

目 录

第 1 章 概述.....	1
1.1 固液分离方法的分类及应用.....	1
1.2 固液分离技术的发展历程.....	3
1.3 过滤与分离机械发展趋势.....	6
1.3.1 高参数.....	6
1.3.2 多功能化.....	6
1.3.3 全自动化.....	6
1.3.4 新材料.....	7
1.3.5 机型多样化.....	7
第 2 章 固液两相系统的性质.....	8
2.1 固相的性质.....	8
2.1.1 颗粒形状.....	8
2.1.2 颗粒尺寸.....	9
2.2 液相的性质.....	12
2.2.1 密度.....	12
2.2.2 黏度.....	12
2.2.3 表面张力.....	13
2.2.4 挥发度.....	13
2.3 固液悬浮液的性质.....	14
2.3.1 浓度.....	14
2.3.2 密度.....	14
2.3.3 黏度.....	15
第 3 章 过滤.....	16
3.1 概述.....	16
3.2 过滤介质及其特征量.....	16
3.2.1 过滤介质的分类.....	16
3.2.2 过滤介质的特征量.....	17
3.2.3 过滤介质的选择.....	20
3.3 过滤过程的类型及其机理.....	21
3.3.1 筛滤.....	21
3.3.2 滤饼过滤.....	22
3.3.3 深层过滤.....	23

3.4 典型的过滤设备.....	25
3.4.1 筛滤.....	25
3.4.2 真空过滤.....	30
3.4.3 加压过滤.....	35
3.4.4 离心过滤.....	40
3.4.5 深层过滤.....	46
3.4.6 过滤设备的选型.....	51
第4章 沉降.....	53
4.1 概述.....	53
4.1.1 原理和类型.....	53
4.1.2 流体阻力与阻力系数.....	53
4.2 重力沉降.....	56
4.2.1 重力场中颗粒的沉降过程.....	56
4.2.2 重力沉降分离设备.....	58
4.3 离心沉降.....	63
4.3.1 离心力场中颗粒的沉降分析.....	63
4.3.2 离心沉降分离设备.....	65
4.3.3 离心机选型.....	71
4.4 水力旋流器.....	73
4.4.1 水力旋流器的工作原理及特点.....	73
4.4.2 水力旋流器的分类.....	74
4.4.3 水力旋流器的应用.....	75
4.4.4 水力旋流器的选型.....	79
第5章 膜过滤.....	82
5.1 膜分离类型.....	82
5.1.1 微滤和超滤.....	83
5.1.2 反渗透.....	84
5.1.3 纳滤.....	86
5.1.4 电渗析.....	86
5.2 膜组件.....	87
5.2.1 平板式.....	87
5.2.2 螺旋卷式.....	87
5.2.3 管式.....	88
5.2.4 中空纤维式.....	88
5.3 膜分离器的运行.....	90
5.3.1 超滤和微滤膜分离过程.....	90
5.3.2 超滤和微滤膜分离的影响因素.....	91

第 6 章 辅助分离技术	93
6.1 助滤剂	93
6.2 磁分离技术	94
6.2.1 磁凝聚法	94
6.2.2 磁盘法	94
6.2.3 高梯度磁分离法	95
6.2.4 超导磁分离法	95
6.3 超声波分离技术	96
6.3.1 超声波在提取方面的应用	96
6.3.2 超声波在膜分离技术中的应用	97
6.3.3 超声波在结晶分离技术中的应用	97
6.3.4 超声在絮凝分离技术中的应用	97
6.3.5 超声在吸附与脱附分离中的应用	98
6.4 电场分离技术	98
6.4.1 电泳沉降	98
6.4.2 电场膜技术	98
6.6 气浮技术	100
6.6.1 类型	100
6.6.2 气浮分离设备	102
6.6.3 气浮法的应用	103
第 7 章 固液分离系统设计	104
7.1 系统设计的原则	104
7.2 系统设计的基本顺序	105
7.3 分系统设计	105
7.3.1 分系统划分	105
7.3.2 分系统划分的原则	106
7.4 系统对装置选用的基本原则	107
第 8 章 典型固液分离系统设计案例的分析	109
8.1 钻井液固控系统设计	109
8.1.1 工程背景	109
8.1.2 固控系统流程的设计因素分析	109
8.1.3 固控系统流程的建立	111
8.1.4 钻井液固控设备的选定	114
8.1.5 钻井液固控系统的结构设计	118
8.1.6 实际使用情况	122
8.2 某油田采出水处理装置设计	123
8.2.1 油井采出水水质情况	123

8.2.2 采出水处理目标及处理方案分析	124
8.2.3 处理工艺流程设计	125
8.2.4 混凝沉淀池的设计	129
8.2.5 各净化处理设备的计算及选型	135
8.2.6 处理撬装化设计及现场安装	142
参 考 文 献	146

第1章 概 述

过滤 (Filtration) 与分离 (Separation) 统称为固液分离 (Solid & Liquid Separation)。

“固液分离”是指用机械的方法物理地将两相互不相溶的物质分离的过程。

固液分离操作的主要目的有：(1) 回收有价值的固相；(2) 回收有价值的液相；(3) 同时回收液相和固相；(4) 固液两相都排掉，如污泥脱水。但其最终目的，从理论上说，应是将固液两相完全分开，获得各自纯净的成分：固体和液体。但在实际上很难做到，理论上的目标也就是人类生产活动追求的目标，为此人们努力奋斗，采取不同的手段，为实现这一目标而努力，这也是推动固液分离理论和工程不断发展的根本动力。

固液分离技术的应用领域极其广泛，从环境控制，到化工和食品产品的生产，从水净化到保护飞行器的敏感液压回路，液体中固体颗粒的质量分数从大于50%，到低于百万分之几，均能用到分离技术。

1.1 固液分离方法的分类及应用

在工业生产中，实现固液混合物分离的操作方法分沉降和过滤两大类。但由于分离的推动力不同又可分为重力沉降、重力过滤、真空或加压过滤、离心沉降、离心过滤，后者是利用离心力来实现的操作。一般来说，重力沉降或重力过滤系借助自然力，少用能量，故最为经济，被称其为环境友好工艺。虽然这种方法属于弱分离手段，但常作为固液分离的首选手段。真空或加压过滤、离心沉降、离心过滤都是较强的分离手段，因需借助外力，要消耗较多的能源，从长远来看，亦不可取。为此，采取辅助措施，降低能源消耗，乃是今后必须努力的方向。这些辅助措施包括：(1) 采用联合流程。两种或两种以上的分离手段的合理搭配，优化配置。例如沉降与过滤的组合，旋流器与过滤及沉降分离的组合等。(2) 利用凝聚与絮凝等手段及助剂以提高沉降速度及过滤速度，利用预涂层、助滤剂等改善过滤性能，提高过滤速度。(3) 利用电场、磁场等辅助手段促进过滤分离。固液分离方法的分类及常见设备详见图1-1和表1-1。

随着全球能源、环保行业的迅猛发展和国际形势的复杂化，国防、核工、化工、冶金、食品和药剂等行业高纯净、高品位的需求凸现和低碳经济全球化，过滤与分离机械工业越来越受到各国的重视，特别是铀分离受到多国首脑的关注。发达国家已形成了过滤与分离行业的企业联合化，资本公众化，市场贸易、技术和信息一体化的格局。过滤与分离机械进入了高速发展的轨道，高新技术产品不断问世，广泛应用于各行业对固体、液体、气体单相或多相混合物的分级、分离和纯化，如：能源领域三大化工（石油、天然气、煤）行业、核工业、湿法冶金、环保行业、生物精细化工、医药工业、农副产品深加工、水资源综合利用领域、汽车领域三滤（燃油滤清器、机油滤清器、空气滤清器）、造船工业油分离与废水处理等领域。

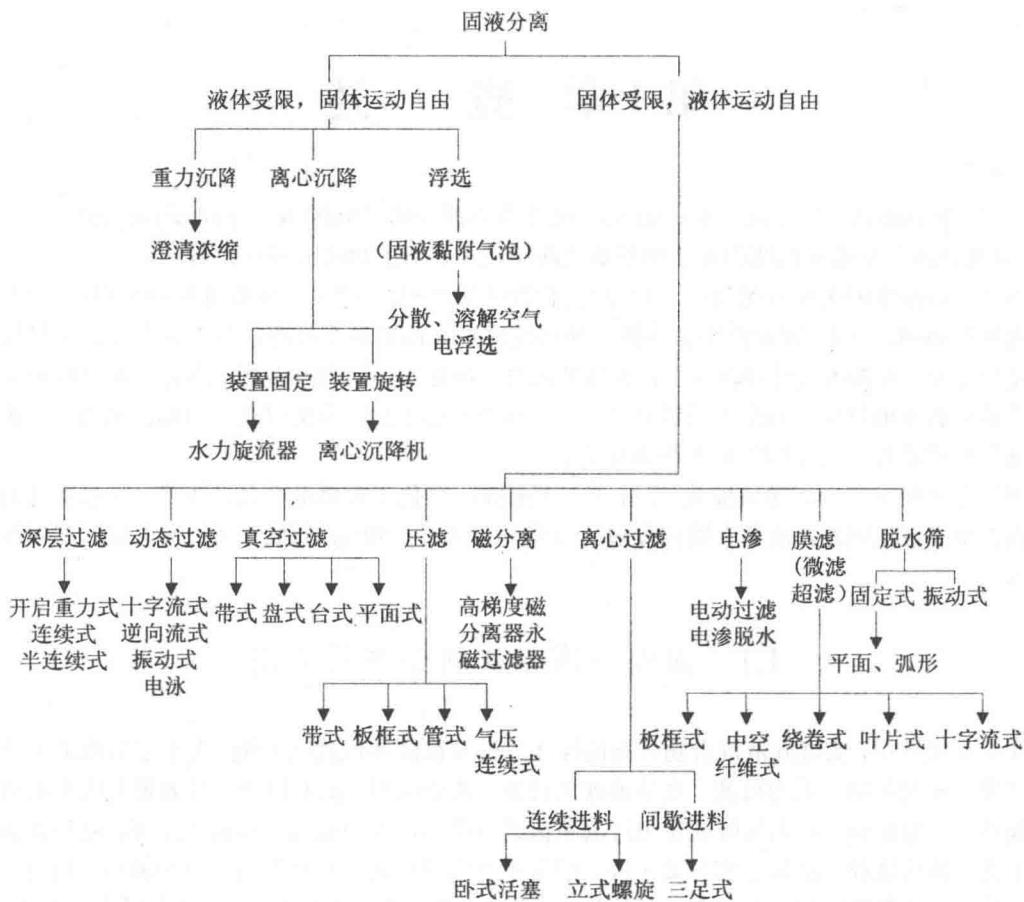


图 1-1 固液分离分类图

表 1-1 固液分离的方法及常用设备

分离方法		所用设备	用途
沉降分离	重心分离	澄清槽	以获取澄清液为主
		浓缩槽	以获取浓矿浆为主
		脱泥槽	以脱除细泥为主
		分级箱	将悬浮物中的固体分为粗细两种组分
	离心分离	水力旋流器	矿浆按浓度分离或矿浆中固体按粒度分离
过滤	重力过滤	沉降式离心机	液体和固体分离
		深层过滤	以获得纯净液体为主
	真空过滤	格筛	去除粗颗粒的固体
		间歇式过滤机	获得固体或液体、根据不同的要求和分离对象的性质选择不同形式
	加压过滤	连续回转式过滤机	
		板框式	
		管式	
		叶式	
		带式等	

(续表)

分离方法		所用设备	用途
过滤	离心过滤	篮式	
		锥形、筒形	
膜过滤	超过滤	螺旋卷式、中孔纤维	获得高纯度的液体
	反渗透	式、管式	
	电渗透	电渗析器	

1.2 固液分离技术的发展历程

公元前，我国首创真丝网过滤中药，并发明滤干造纸法。12世纪，我国首创用布袋过滤豆浆，用离心力分离蜂蜜。之后几百年，各国过滤与分离技术均未得到多大发展，直到19世纪才创造出板框压滤机。20世纪发展较快，尤其是进入80年代发展迅速，先后创造出机器人操作、全自动化作业、纳米过滤、超导分离等高新技术产品。国外过滤与分离机械重要产品发展历程与创新特征见表1-2。但由于历史的种种原因，致使我国目前过滤与分离机械大致处于21世纪初国外的水平，落后10年左右。

表 1-2 国外过滤与分离机械重要产品发展历程与创新特征

序号	产品名称	重大发展历程	创新特征	首要参数	主要应用范围
1	圆盘型真空过滤机	20 世纪 80 年代德国洪堡达克研制成功六盘式，美国爱艾姆科生产连续式，1985 年芬兰瓦尔梅特研制成功 CC 型陶瓷式	连续过滤、陶瓷毛细效应	过 滤 面 积 480m ²	化工、矿冶、造纸、水泥、制糖、造煤污水处理（固-液）
2	圆盘型加压过滤机	70 年代法国最先研制连续式，1978 年德国洪堡达克研制 KHD 型连续式，1989 年奥地利安德里茨生产 HBF 型	连续过滤、自动控制	过 滤 面 积 150 m ²	化工、食品、铁精矿脱水、污泥脱水
3	水平带型真空过滤机	20 世纪 30 年代由瑞典萨拉首创 BF 型真空室固定式，60 年代荷兰帕尼维斯研制成功 RT 型真空移动式，1962 年 Burton 首次试用蒸汽加压，奥地利安德里茨研制成功蒸汽加压式，1985 年美国道尔-奥立佛研制成功辊盘式，90 年代又研制成功真空室连续移动式。1990 年中国七二〇厂研制成功 DI 型 PC 机控制式	真空室固定、连续过滤、蒸汽加压、真空室连续移动、PC 机控制	过滤面积 185 m ²	化工、石油、矿冶、化肥、煤炭、造纸、食品、制药、环保（固-液）
4	水平带型压榨过滤机	1963 年德国 BHS 首创 Bel 性直角式，70 年代法国研制成功 PD 型连续式，美国研制成功 CPF 隔膜挤压式，80 年代日本研制出微机控制式	直角连续过滤、隔膜挤压、微机控制	滤带宽度 6000mm	化工、食品、造纸、石油、煤炭、环保（固-液）

(续表)

序号	产品名称	重大发展历程	创新特征	首要参数	主要应用范围
5	转鼓型真空过滤机	20 世纪初美国道尔-奥立佛首创, 随着工业的发展, 日本月岛研制成功滤布行走式, 美国艾姆柯研制成功预敷层式, 德国 BHS 研制成功加压式, 50 年代很多国家生产自动卸料连续过滤式, 70 年代英国 Lundin 研制出 Multi 型无格式	自动卸料、连续过滤、蒸汽加压、无格式预敷层	过滤面积 140 m ²	化工、矿冶、石油、选煤、食品、造纸、污水处理 (固-液)
6	转鼓型加压过滤机	20 世纪 50 年代德国 BHS 首创, 60 年代多国生产分隔、辊压、机械挤压连续过滤式、高转速式, 70 年德国洪堡-维达克研制成功高压真空式, 90 年代研制成功超声波式	连续过滤、高压真空、超声波	过滤面积 50 m ²	化工、石油、合成纤维、添加剂 (固-液)
7	加压叶滤机	20 世纪 60 年代前只有间歇式, 70 年代荷兰 Amafilter 研制成功 H 型连续式, 随着德国 Loeffler 研制出 RS 型全自动式, 英国 Carlson 研制出 V 型, 俄国研制出 MB* 型, 日本三浦研制成功 UEOP 型超滤式	密闭加压连续操作全自动化超滤	过滤面积 250 m ²	化工、石油、食品、饮料、核废水处理、冶金 (固-液)
8	圆盘型动态过滤机	1964 年原捷克 J. KasPer (有机合成所) 首创高剪切力十字流过滤式, 1975 年瑞典 ALfa-Lanal 研制成功澄清、浓缩、超滤、微滤多功能式, 随后美国 Artisan 研制成功 ASEA 滤饼逗留式, 日本研制成功 RF 型旋叶式, 90 年代多国研制强化微滤式	旋叶十字流微滤、多功能、连续作业、逗留滤饼、强化微滤	过滤面积 50 m ²	冶金、制药、食品、染料、精密过滤 (固-液)
9	转鼓型动态过滤机	20 世纪 70 年代初由栃木山园国际实验室首创泰勒涡流式, 80 年代瑞士 EsCher-Wyss 研制成功超滤、微滤轴流式, 随后欧美出现超声波式	泰勒涡流、超滤微滤、超声波	过滤面积 16 m ²	制药、食品、染料精细化工 (固-液)
10	多功能型加压过滤机	20 世纪 80 年代初瑞士罗森蒙首创 Nutrex 型, 随着意大利德尔泰研制成功 DNFD 型, 日本研制出 WO、PO、FD 型, 美国、俄罗斯、德国生产不同机型	反应-过滤-干燥一体化、真空灭菌	过滤面积 16 m ²	医药、精细化工、食品 (固-液)
11	板框型自动压滤机	最早的压滤装置起源于中国食品加工作坊, 19 世纪中叶欧美创造了不同机型, 1953 年日栗田研制成功自动化式, 世界板框机专利日本约占 60%, 70 年代末芬兰拉罗克斯研制成功 CF、PF 型连续压滤式, 80 年代俄罗斯研制成功机器人操作式	自动化、机器人操作、连续压滤	过滤面积 1200 m ²	化工、轻工、矿冶、石油、医药、食品、制糖、陶瓷、染料、污水处理

(续表)

序号	产品名称	重大发展历程	创新特征	首要参数	主要应用范围
12	厢型自动压滤机	20 世纪 60 年代, 苏联率先研制成功自动压滤式, 1965 年 Dr O.Weber 研制成功压榨模式, 70 年代美国英格索兰研制成功 Lasta G 型滤布行走式, 随后日本栗田生产 UF 型、瑞典萨拉生产 VP 型	自动压滤、变容 积带隔膜压榨、 滤布行走	过 滤 面 积 2000m ²	化工、矿冶、石油医 药、制糖、陶瓷、尾 煤脱水、污水处理 (固-液)
13	三足型离心分离机	最早的离心力分离装置起源于中国养蜂场, 美国 DelanaL 率先研制 ATM 型连续式, 随后德国克劳斯、日本田边铁工所、法国罗巴特爾均生产, 20 世纪 70 年代瑞士 EsCherWyss 研制成功 V 型程控全自动式	连续上卸料、防 爆、程控全自动	转鼓内径 3000mm	化工、轻工、纺织食 品、制药、细粒矿泥 脱水(固-液)
14	自动翻袋型离心分离机	1977 年德国海因克尔首创 HF 型, 同年德国 Ellerkwerk 研制出 WTZ 型, 90 年代德国 Buss 海因克尔推出第二代 HF 系列加压式、无液压装量式	转鼓轴向部分 运动、无液压装 置、自动化、加 压脱水	转鼓内径 1300mm	医药、食品、化工、 难过滤品、易爆可塑 品(固-液)
15	水力旋流型分离器	1891 年首次获得有关专利, 20 世纪中叶才被推广应用, 1980 年英国南汉普敦大学研究出液-液式, 90 年代中国川大取得新成果	渐开线进料、连 续分离	直 径 2500mm	石油、食品、医药环 保、造纸、纺织、污 水处理
16	碟型离心分离机	1883 年瑞典阿法拉伐首创, 1893 年西德威斯特伐利亚研制成功油分离机, 后开发出 DA 连续操作式, 1974 年阿法拉伐研制成功 WHPX 型无人操作式	自动排渣、无人 操作、连续作 业、电场推动	转鼓最大内 径 1500mm	食品、医药化工
17	离心浮选机	1913 年匈牙利首创, 30 年代法国研制成功喷射式, 1938 年荷兰研制旋流式, 40 年代德研制成功封闭溢流管式, 50 年代苏联研制旋流式, 60 年代日本研制旋流式, 80 年代多国生产边壁充气式	无机械搅拌、 边壁充气 强化浮选	有 效 容 积 10m ³	矿业、石油、造纸、 化工、环保、农业
18	膜分离器	19 世纪中叶科学家发明膜分离, 30 年代德国 Sartorius 首创微孔过滤式, 40 年代出现透析式, 1954 年美国 Millipore 研制电渗式, 日本 Fuji、英国、法国相继研制 60 年代 Loed-Sourirajan 研制成功反渗透式, 70 年代出现超滤和液膜, 中国药研所研制成功 PSA 滤膜, 1979 年美国孟山都研制成功气体分离式, 1990 年世界过滤大会膜类论文占 40%, 随后出现渗透气化式、纳米过滤	电超滤、微孔过 滤、纳米过滤、 反渗透、交叉 流、无机陶瓷 膜、核孔膜	滤膜孔径 0.1nm (最小)	医药、生化、电子、 原子能、微生物、分 子、原子、微粒子、 精密超净、胶体

(续表)

序号	产品名称	重大发展历程	创新特征	首要参数	主要应用范围
19	高梯度 磁电分离机	1968 年美国麻省理工学院 H. H. 科姆首创 HGMS 型, 70 年代初开发出 Kolm 型, 80 年代研制出 HGES、DF 型介电式, 90 年代美国磁力研制成功 Nb-Ti 超导式	超导高梯度、介电分离、低磁场强度	提取力 $2 \times 10^{12} \text{N/m}^3$	矿物分选、能源、环保、生化、血液、石油
20	过滤介质	公元前中国首创真丝滤网, 12 世纪中国又创造土布作介质, 直到 20 世纪才采用化纤、玻璃纤维无纺介质, 70 年代初美国 Gore 研制成功聚四氟乙烯覆膜滤布, 瑞士 EBF 生产单丝滤布, 德国 SEITZ 生产正 F 电位滤板, 80 年代美国盟德研制出烧结金属网, 多国开发出陶瓷, 树脂和无机晶须等滤材	纤维改性、单丝织布、涂层织物、无纺介质、超滤膜、正 F 电位滤板	孔径 0.1nm (最小)	

1.3 过滤与分离机械发展趋势

神奇的大自然赋予过滤与分离高深的意境。高山自动过滤, 酿涓涓泉水永清澈; 大海自动净化, 容万物遗故而腐朽; 植物自动过滤, 呈五彩缤纷的奇妙; 动物自动过滤, 展吸精排粕的神奇, 过滤与分离无处不在、无行不及。世界高新技术的浪潮已将过滤与分离机械(技术)推进了高速发展的轨道。仿真自滤、纳米超滤、超声波过滤、激光分离、超导分离、超音速铀分离等高新课题层出不穷, 其总体发展势必与相关产业的发展并进, 突出表现在以下几个方面。

1.3.1 高参数

- (1) 大规格: 由于能源、资源开发、环保、三废治理等工业的大型化, 要求更大规格的过滤与分离设备, 提高单机生产能力, 如2000m²压滤机、Ø3000离心分离机等。
- (2) 高速率: 随着企业家高效意识的增强, 为了提高设备工作效率和满足特殊物料的分离, 要求更高过滤速度和运转速度的设备, 如高速率旋叶压滤机、音速铀浓缩离心分离机等, 并采用了磁力与针状轴承整机全速动平衡技术。
- (3) 高精度: 随着医药生物、精细化工等行业的发展, 为了提高制品的纯净度, 需求更高精度设备, 如高精度十字流动态过滤机、精密膜分离器、千级铀扩散膜滤机组等。
- (4) 高压: 由于节能的需要, 为了进一步降低含液量, 以减少后续干燥能耗, 需求更高压力的设备, 如加压叶滤机等。

1.3.2 多功能化

随着医药生物工程的发展, 为了防止贵重制品的污染和节能, 需求集反应、过滤、干燥功能和节能减排为一体的设备, 如带压榨功能的水平带式过滤机、多功能加压过滤机等。

1.3.3 全自动化

为了提高生产率和适应特殊场合, 要求全自动化连续作业的设备, 向电脑控制、机器人操作方

面发展,如数控水平带型过滤机,无人操作碟型分离机等。

1.3.4 新材料

(1) 为了提高设备的机械性能,需求强度、刚度、耐磨、抗腐蚀性能优异的新材料,如新型工程塑料、陶瓷、硬质合金 SiO_2 、橡胶、合成树脂构成的复合材料及黏结、镶嵌、衬包、喷涂新工艺和零件表面镀镍磷技术。

(2) 为了提高分离精度和效率,对过滤分离机械的心脏材料——过滤介质提出了更高的要求。如各种物料相适应的新型滤布、烧结网、滤纸板、纳米超滤膜等。

1.3.5 机型多样化

为了对高压缩性、高分散性、高黏性、高精度的难分离物料、微粒子进行有效的分离和复杂物系的提纯,需研制新型专用设备(包括专用新技术的应用),即多样化机型。但产品零件仍趋于标准化,在产品结构和功能设计上趋于采用复合式或积木式组合,以提高应变能力,如自动翻袋型分离机、超导高梯度磁分离机、同位素激光分离机、超声波过滤机、耦合力场强化过滤等。

第 2 章 固液两相系统的性质

固液系统是由固体和液体两相物质构成的。为了讨论方便，通常把液相定义为连续相，颗粒或颗粒的集合体定义为分散相。液相可以是水或水溶液，也可以是有机溶液。固相则因其颗粒的形状、粗细以及它在液相中的浓度等物理性质而影响固液分离过程。同样，液相的黏度、浓度等也将影响固液分离的性质。采取何种固液分离方法及设备，不仅取决于固液系统中固液两相的物理性质，同时还应考虑固液两相之间的分离关系。

2.1 固相的性质

固体物料本身的性质，一般系指颗粒群中颗粒的重要物理性质或物理化学性质，包括颗粒的大小、形状、粒度分布、密度、表面性质等，这些特性结合起来将决定颗粒沉降速度的快慢，决定能为过滤介质所阻截或截留的颗粒范围，在很大程度上决定固液分离的效率，对固液分离过程有着至关重要的影响。

2.1.1 颗粒形状

液体颗粒由于表面张力作用，往往呈现出均一规则的圆球形；与此相反，固体颗粒则不然，其种类范围极广，形状变化多端，为不规则的形状。例如，晶体类物料，它虽然能够形成规则的立方体或菱形体颗粒，但因为彼此混杂而不均一，也可能在分离过程中因后续处理措施不完善而造成晶体颗粒的破碎（这在固液分离过程中是常见且不可避免的），必然呈现出不规则的形状。

尽管固体颗粒群中的固体颗粒大多为不规则形状，但在作理论分析时，为了便于研究，往往将颗粒作为规则的对待，亦即假定所有颗粒的形状为理想的球形，由此造成实际情形与理论推测的不一致。这种情形下，通常采用形状修正的方法来解决。表 2-1 列出了一些具有代表性物料的颗粒形状系数范围。表中 K_n 为表面积形状系数， K_v 为体积形状系数。对于不规则形状的实际颗粒，其表面积可用 $K_n d^2$ 表示，体积可用 $K_v d^3$ 表示，单位体积所占的表面积可用 $K_n d^2 / K_v d^3 = K_s / d$ 表示，其中 K_s 比表面积系数。

表 2-1 颗粒形状系数

形状系数	K_n	K_v	$K_s = K_n / K_v$
颗粒			
球形	π	$\pi/6$	6
铜粒	3.14	0.524	6.0
水力冲刷形成的圆砂	2.7~3.4	0.32~0.41	7~8
砂	2.1~2.9	—	—
破碎的矿、石煤、石灰岩	2.5~3.2	0.2 ~0.28	10~12
煤	2.59	0.227	—
云母	1.67	0.03	—
薄铝片、高岭土	1.60	0.02	80.0

2.1.2 颗粒尺寸

颗粒尺寸包括颗粒粒径、粒度分布等。作为被分离物料中的固体颗粒，情况极为复杂。不仅颗粒形状各种各样，颗粒尺寸范围也各不相同，大小相差悬殊，大者可达毫米级范围，小的可至微米甚至亚微米级别。固液分离过程中遇到的各种颗粒的尺寸范围如图2-1所示。

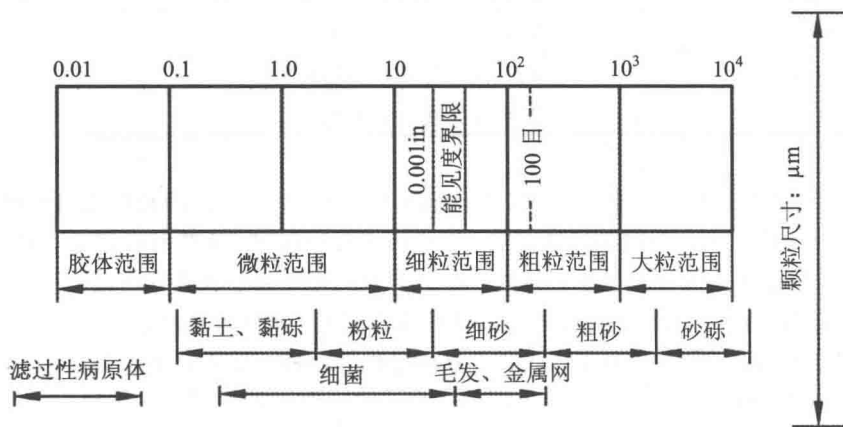


图 2-1 颗粒的尺寸范围

2.1.2.1 颗粒粒径及表示方法

粒径是表征颗粒占据空间范围的代表性尺寸。对单个颗粒而言，常用粒径来表示几何尺度的大小；对于颗粒群，则用平均粒径来表示。对于颗粒粒径可以采取多种测定方法测定，根据所测参数的不同可分为三类粒径，即“当量圆球直径”、“当量圆周直径”和“统计直径”来描述。

“当量圆球直径”是与颗粒本身特性（包括体积、投影面积和沉降速度等）成等值的当量球体所具有的直径，详见表2-2所示。

表 2-2 “当量圆球直径”的定义

名称	符号	圆球当量特性
体积直径	d_v	体积
表面积直径	d_s	表面积
比表面积直径	d_{sv}	表面积与体积的比值
阻力直径	d_d	在同一种液体里以同样速度沉降时的阻力
自由沉降直径	d_f	同样的颗粒重度，在同一种液体里的自由沉降速度
斯托克斯直径	d_{st}	遵从斯托克斯定律 ($Re < 0.2$) 时的自由沉降速度
筛孔直径	d_A	通过相同的正方形的筛孔

“当量圆周直径”是与颗粒的轮廓投影成等值的当量圆周所具有的直径，详见表2-3所示。

表 2-3 “当量圆周直径”的定义

名称	符号	圆周当量特性
投影面积直径	d_a	颗粒处于稳定位置时的投影面积
投影面积直径	d_p	颗粒处于任意位置时的投影面积
圆周直径	d_c	颗粒外形的圆周