

化工工人技术理论培训教材



液相非均一系分离

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

化工工人技术理论培训教材

液相非均一系分离

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

液相非均一系分离/化学工业部人事教育司, 化学工业部教育培训中心组织编写. —北京: 化学工业出版社, 1997. 12

化工工人技术理论培训教材

ISBN 7-5025-1902-5

I. 液… II. ①化… ②化… III. 液相分离-多相混合物-技术培训-教材 IV. TQ028. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 17127 号

化工工人技术理论培训教材

液相非均一系分离

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑: 张婉如

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京彩桥印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 12 字数 332 千字
1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5 000

ISBN 7-5025-1902-5/G · 508

定 价: 20.50 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平和实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划 and 教学大纲》的要求,组织有关人员,编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以计划和大纲为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术的发展 and 现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容,在编制教学计划和大纲划定时,我们在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168 个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,我们把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册:《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共7册：《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应（一）》、《有机化学反应（二）》、《有机化学反应（三）》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共43册：《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表（一）》、《化工分析仪表（二）》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐钢板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材6册：《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共11册：《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共20册：《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写》、《标准化基础知

识》和《化工生产管理知识》。

在教材编审过程中，尽管广大编审人员作了很大努力，但由于我们经验不足和教材编审时间的限制，部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意。为此我们建议：

一、各单位在组织教学过程中，要按不同等级的培训对象，根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求，以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学要与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外，还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况，制订相应的教学方案，确定相应的教学内容。以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中，如发现教材中存在一些问题，可及时与我们联系，也可与教材的编者或出版单位联系，使教材中的问题得到及时更正，以利教学。

我们组织编写本套教材，得到了全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

1996年3月

内 容 提 要

本书为《化工工人技术理论培训教材》无机类教材之一。全书由五个单元构成。液相非均一系分离的基本原理单元主要介绍液相非均一系的性质、分类及其分离方法的基本原理。重力沉降器单元介绍基本原理；间歇沉降柱试验情况和计算公式；连续沉降槽面积和高度计算；沉降槽的类型及特点。旋液分离器单元主要介绍分离原理；旋液分离器的结构尺寸；旋液分离器的性能及操作；固体微粒和悬浮液在旋液分离器中的分级和增稠。过滤及设备单元重点介绍基本原理；常用过滤设备和操作方法。离心分离单元介绍分离原理；影响离心机结构的分离因数；离心机的分类及特点；沉降式离心机和过滤式离心机的类型及选择；离心操作注意事项；固液混合物的预处理等内容。

本书作为无机化工分离岗位操作工人培训教材。

内 容 提 要

本书是《化工工人技术理论培训教材》中无机化工类单元教材之一。全书由五个单元构成：气相非均一系分离的基本原理；重力沉降（气-固分离）；离心沉降；过滤式除尘；湿法除尘。每个单元分别介绍基本工作原理、有关设备的构造特点及其选用，以及有关计算等内容。本书内容适用于化工有关工种的中级工和高级工培训教学之用。

目 录

液相非均一系分离的基本原理 (无 010)	1
第一章 液相非均一系的性质及其分离的作用	2
第一节 液相非均一系的性质	2
第二节 液相非均一系分离的作用	18
第二章 液相非均一系的分类及其分离方法简述	20
第一节 液相非均一系的分类	20
第二节 液相非均一系分离的方法	21
第三章 液相非均一系各类分离方法的基本原理	22
重力沉降器 (液-固) (无 011)	25
第一章 基础原理	26
第一节 重力沉降的流体力学原理	26
第二节 重力沉降的三种类型和特点	33
第三节 计算沉降速度的斯托克斯公式	35
第二章 间歇沉降柱试验情况和计算公式	40
第一节 间歇沉降柱内试验悬浮液的变化	40
第二节 悬浮液沉降数据的测定、绘图	41
第三节 沉降速度和面积的计算公式	43
第三章 连续沉降槽面积和高度计算	46
第一节 计算依据	46
第二节 沉降面积计算公式的应用	47
第三节 沉降槽高度计算方法的应用	53
第四章 沉降槽的类型及特点	56
第一节 几种主要沉降槽类型	56
第二节 几种主要沉降槽的工作原理	59
第三节 几种主要沉降槽的优缺点	62

旋液分离器 (无 012)	64
第一章 旋液分离器概述和分离原理	65
第一节 旋液分离器的概述	65
第二节 旋液分离器的分离原理	68
第三节 旋液分离器简图和旋液分离器内流型示意图	70
第二章 旋液分离器的结构及尺寸	73
第一节 旋液分离器的结构	73
第二节 旋液分离器的尺寸	77
第三节 器体各部件对分离效率的影响	78
第四节 旋液分离器的设计	87
第三章 旋液分离器的性能及操作	99
第一节 操作性能参数	99
第二节 操作的稳定性	102
第三节 关键操作参数对分离性能的影响	103
第四章 固体微粒和悬浮液在旋液分离器中的分级和增稠	110
第一节 分级原理及操作	110
第二节 增稠	112
过滤及设备 (无 013)	113
第一章 概述	114
第一节 混合物的分类	114
第二节 悬浮液的分离	115
第二章 过滤的基本原理	121
第一节 过滤操作的基本原理	121
第二节 过滤机的生产能力及影响因素	127
第三节 过滤参数之间的关系及其控制条件	129
第四节 过滤介质的选择	150
第三章 常用的过滤设备和操作方法	173
第一节 回转式过滤机	173
第二节 板框式过滤机	203
第三节 叶滤机	220

第四节 其它类型过滤机	224
第五节 转速及生产能力的计算	228
离心分离 (无 014)	234
第一章 概述	235
第一节 离心分离原理	235
第二节 离心分离的特点	246
第二章 影响离心机结构的主要因素——分离因数	249
第一节 离心力	249
第二节 离心机分离因素	250
第三章 离心分离设备——离心机的分类及特点	252
第一节 离心机的分类方法	253
第二节 沉降式离心机和过滤式离心机简述	257
第四章 沉降式离心机的类型及选择	262
第一节 三足式沉降离心机和卧式刮刀卸料沉降机	262
第二节 螺旋卸渣沉降离心机	263
第三节 碟式分离机	284
第四节 管式离心分离机	296
第五节 多室式分离机	300
第五章 过滤式离心机的类型及选择	302
第一节 三足式离心机	302
第二节 刮刀卸料离心机	310
第三节 虹吸刮刀卸料离心机	316
第四节 卧式活塞推料离心机	318
第五节 离心力卸料离心机	326
第六节 振动卸料离心机	341
第七节 上悬式离心机	347
第八节 卧式螺旋卸料过滤离心机	353
第九节 翻袋式离心机	355
第六章 离心操作应注意事项	356
第七章 固液混合物的预处理	367

液相非均一系分离的基本原理

(无 010)

北京化工大学 冯 流 编

第一章 液相非均一系的性质及其分离的作用

第一节 液相非均一系的性质

液相非均一系是由液体和悬浮于其中的固体颗粒、或者一种或数种其它不相溶液体所组成的多相分散系统。从分离的观点来看，一般地说非均一系的化学性质对机械分离（如过滤、离心沉降、筛分等）的影响甚小，而其物理和物理化学性质则影响显著。在此，我们从非均一系组成成分及其自身各个方面详细讨论一下这些相关的性质。

一、固体颗粒的特性

液相非均一系中的固体颗粒，通常是由许多单个颗粒以及聚集在一起的颗粒团组成的混合体，即颗粒群。因此，颗粒特性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，对固液分离过程有着至关重要的影响。

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，多为不规则的形状。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。又如纤维类物料，其在某些情况下可能是具有光滑表面、长度和直径各不相同的形状结构，而在另外一些情况下可能是由原纤维形成的具有毛绒状表面的形状结构。

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 1-1 列出了一些具有代表性物料的颗粒形状系数范围。表中 k_a 为表面积形状系数， k_v 为体积形状系数。

表 1-1 颗粒形状系数

颗粒 \ 形状系数	k_a	k_v	k_a/k_v
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. 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 1-1 所示。

(1) 颗粒粒径及表示方法 一般来说，如果组成颗粒群的单个颗粒是大小均匀的球形，可以取其直径作为颗粒粒径，但是由前面叙述已知，颗粒群多是一些尺寸不同、形状不规则的颗粒组成的，对这些单个颗粒粒径需采用各种测定方法测定，根据所测结果是颗粒的线性尺寸还是它的本身特性，基本上可以用三类粒径，即“当量圆球直径”、“当量圆周直径”和“统计直径”来描述。

第一类粒径所测的是与颗粒本身特性（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 1-2。

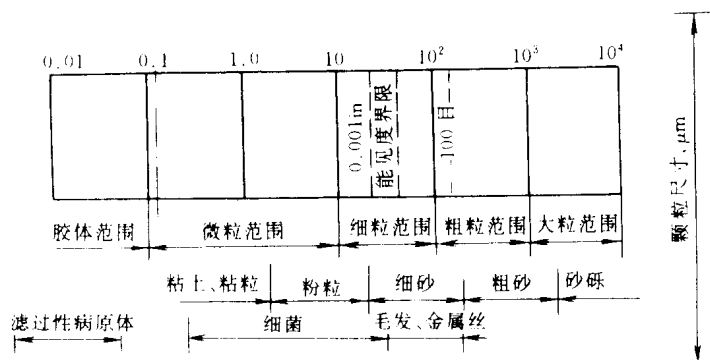


图 1-1 颗粒的尺寸范围

表 1-2 “当量圆球直径”的定义

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

第二类粒径所测的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 1-3。

表 1-3 “当量圆周直径”的定义

符 号	名 称	圆 周 当 量 特 性
d_o	投影面积直径	颗粒处于稳定位置时的投影面积
d_p	投影面积直径	颗粒处于任意位置时的投影面积
d_c	圆周直径	颗粒外形的圆周

第三类粒径所测的是对颗粒图象按一定方向平行测得的线性尺寸，详见表 1-4。

显然，不同意义的粒径来自不同的测定方法。从后面的叙述中也将看到，即使同一意义下的粒径也有不同的测试方法，颗粒粒径的“尺寸”完全取决于测量的方法。对尺寸为 $2 \times 1 \times 1$ 真实颗粒的各种当

表 1-4 “统计直径”的定义

符 号	名 称	测 量 尺 寸
d_F	费雷特直径	颗粒轮廓线上相对应边两切线间的距离
d_M	马丁直径	颗粒表面积平分线的长度
d_{SH}	切向直径	用切向目镜看到的颗粒宽度
d_{CH}	最大直径	颗粒轮廓线内最大的长度

量直径的测量结果如图 1-2 所示,其中除筛分法外,其它方法测得的数

测定方法	测定的直径种类	当 量 圆 球	直径的数值
	真实颗粒		
显微镜	投影面积直径		$d_a = 1.58$
显微镜	最大的费雷特直径 ^①		$d_F = 2.23$
沉降	斯托克斯直径 ^②		$d_{st} = 1.43$
库尔特计数器	体积直径		$d_v = 1.55$
筛	筛孔直径		$d_A = 1$
希亚克计数器	表面面积直径		$d_s = 1.77$

①平行切线间的最大距离。

②斯托克斯直径包含在 $3\pi\mu d$ 表示式中, $3\pi\mu d$ 系作用在一个颗粒上的力(对于运动的阻力)。

图 1-2 当量直径

值范围为 1.43~2.23, 变化量约 60%。因此在实际工程中, 为了获取颗粒粒径的相对准确的信息, 要慎重选择所使用的测定方法。

此外, 选择何种意义的粒径来描述颗粒尺寸, 则主要取决于分离过程的要求。例如, 对于重力沉降或离心沉降分离过程, 由于其控制机制属于固液之间的颗粒运动, 因此应采用自由沉降直径 d_f 或斯托克斯直径 d_{st} 为宜, 两者之间又以后者为常用。对于过滤过程, 理论上说, 宜用比表面积直径 d_{sv} 更符合过滤的分离机理, 实际上为方便计算也有采用其它的, 如投影面积直径 d_a 等。由此可看到, 为获取适合于分离过程的颗粒尺寸的真实信息, 首先应根据分离过程要求选择出合理描述粒径, 其次在不同的测定方法中作出符合实际的选择。

(2) 粒度分布

①粒度分布类型 当单个颗粒的粒径定义后, 不同尺寸的粒径在给定的颗粒群中各自所占的比例或百分数即是该颗粒群的粒度分布。

对于任何一种给定的固体颗粒群物料, 其粒度分布有四种不同的表示型式 (见图 1-3):

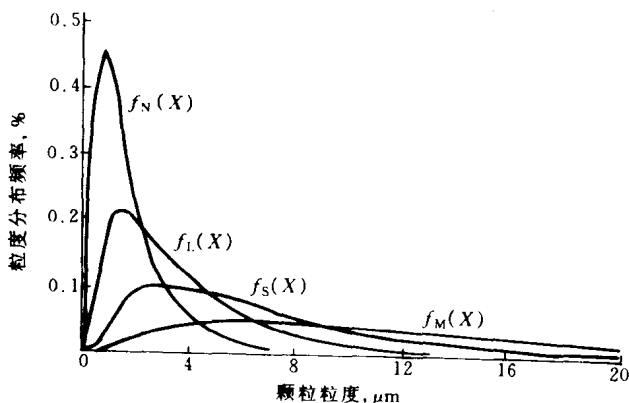


图 1-3 颗粒粒度分布的四种表示型式

- a. 以颗粒数目表示的粒度分布 $f_N(X)$;
- b. 以长度表示的粒度分布 $f_L(X)$ (在实际中不常用);