

分离机械选型与 使用手册

章 棣 主编

FENLIJIXIE

XUANXINGYU

SHIYONG

SHOUCE

机械工业出版社

分离机械选型与使用手册

章 棣 主编



机械工业出版社

本手册较系统地介绍了物料性质和物料预处理、过滤介质和助滤剂、分离机械选型方法和选型试验、分离机械结构和应用、以及分离机械的主要结构材料等分离机械选型与使用所必需的知识 and 资料；还列出了分离机械主要产品的技术参数。本手册可供分离机械使用单位、设计院以及其他与分离机械有关部门的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

分离机械选型与使用手册/章棣主编. —北京: 机械工业出版社, 1998. 5
ISBN 7-111-05965-4

I. 分… I. 章… Ⅰ. ①分离-机械-选型-手册 ②分离-机械-应用-手册 IV. TH6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 20281 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 王正雄 版式设计: 霍永明 责任校对: 姚培新
封面设计: 姚 毅 责任印制: 王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1998 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·26.25 印张·641 千字
0 001—3 000 册
定价: 38.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

1

分离机械作为固液分离设备广泛应用于工、农业生产的各部门和国防、环境保护等领域。随着科技进步和国民经济的发展,其应用领域还在进一步扩大。固液分离涉及的物料各式各样,物料特性千差万别;分离机械品种类型繁多,但每种仅适用于某一局部范围,一种固液分离操作适合采用的往往只是某几种、甚至是某一种分离机械。因而,分离机械的选型(为某固液分离操作挑选合适的分离机械)至关重要,它直接关系到分离操作能否顺利地顺利完成。选型对分离机械应用的特殊的重要性目前尚不为大家普遍了解,对固液分离问题未作仔细研究就随意采用一种分离设备,因而造成选型不当的情况时有发生。选型不当会导致分离机械在低效下运行,生产能力达不到要求,分离质量不稳定,操作费用高,给生产造成损失。

选型前须了解物料性质、生产工艺要求和各种分离机械的结构及性能,并应掌握选型理论和选型方法方面的知识,然后根据选型试验获得的数据和资料并结合实际使用经验选型。可见,选型是一项技术性很强的工作。

当前有关分离机械选型方面的书籍和资料很少,为了让更多的人了解和重视分离机械的选型并推动选型工作,也为了更好地使用分离机械,我们编写了本手册。本手册较系统地收集了国内外有关分离机械选型的资料,包括物料和物料预处理、过滤介质和助滤剂、选型方法、选型试验及试验结果的模拟放大、以及各种分离机械的结构和应用、分离机械的结构材料等。手册还编入了分离机械操作和维护方面的资料以及分离机械主要产品的技术参数,以期对分离机械的选型和使用有所帮助。

本手册由章棣主编,参加手册编写的人员:金鼎五、胡金榜(第一篇)、萧富焕、徐政贤、张雯(第二篇)(另外萧富焕还编写了第四篇的第五章)、孙启才(第三篇)、章棣(第四篇的第一、二、六章,附录(一)、附录(二))、赵扬(第四篇的第三章)、杨建伟(第四篇的第四章)。汪文龙、朱企新、尚传璧、姚公弼、尤兆玮审阅了全书并提出了许多宝贵的意见,特此致谢。

由于编者水平所限,加上涉及的内容较广,本手册难免有错误或不足之处,恳切希望广大读者批评指正。

编 者 1997 年 6 月

目 录

前言

第一篇 物料的性质及物料预处理 1

第一章 物料的性质 1

第一节 物料的分类及其性质 1

一、悬浮液 2

二、胶体 5

三、表面活性剂与缔合胶体 20

四、乳状液 24

五、发酵液 27

第二节 物料流变性 29

一、牛顿型流体 29

二、平亨塑性流体 29

三、假塑性（或拟塑性）流体 30

四、胀塑性流体 30

第三节 物料性质及其所处条件对分离的影响 30

一、浓度对分离的影响 31

二、密度对分离的影响 31

三、粘度和温度对分离的影响 31

四、物料存放时间对分离的影响 31

第四节 滤饼（或沉渣）的含液量，滤液（或沉清液）中含固量 32

第二章 固体颗粒特性 33

第一节 固体颗粒大小及粒度分布 33

一、粒径定义 33

二、粒度分布——类型与集中倾向 34

三、颗粒大小的实验室测定法分类 35

第二节 固体颗粒形状 36

一、单个颗粒的形状系数 36

二、颗粒群的比表面积和形状系数 37

三、颗粒形状的电镜照相和近代研究 38

第三节 固体颗粒密度 39

一、颗粒密度定义 45

二、颗粒密度的测量 46

第四节 固体颗粒摩擦与磨损性能 46

一、颗粒群的摩擦性能 46

二、颗粒群的磨损性能 47

第五节 颗粒特性对分离的影响 47

一、固体颗粒大小及粒度分布对分离的影响 47

二、固体颗粒不同形成方式对分离的影响 48

三、颗粒形状和密度对分离的影响 48

第三章 物料的预处理 49

第一节 预增浓 49

一、重力沉降器 49

二、高效浓缩器 51

三、旋液分离器 52

第二节 聚凝和絮凝作用 53

一、异向絮凝与同向絮凝 53

二、絮凝剂种类 53

三、絮凝剂的选择及使用 55

四、絮凝剂的添加及混合设备 57

第三节 分级 64

一、筛的参数 64

二、筛面材料 64

三、筛分效率 65

第四节 化学及物理方法处理 66

一、调整 pH 值 66

二、降低粘度 66

三、脱气 66

四、冻融处理 67

五、超声波处理 67

参考文献 67

第二篇 过滤介质与助滤剂 68

第一章 过滤介质的分类及特性 68

第一节 过滤介质的分类 68

第二节 过滤介质的特性 69

第二章 过滤介质性能及测试

方法 70

第一节 过滤介质的性能 70

一、截留率 70

二、渗透率 70

三、剥离性能	70	四、石棉	140
四、再生性能	70	五、炭素	140
五、物理性能	70	第三节 助滤剂的选用	140
六、化学性能	77	一、种类和粒度的选择	140
第二节 过滤介质性能测试方法	77	二、助滤方式的选定	141
一、过滤介质微孔尺寸的测定	77	参考文献	143
二、渗透率的测定	78	第三篇 分离机械的选型及选型	
第三章 各种过滤介质的性能及		实验	145
参数	80	第一章 选型的依据	145
第一节 织物类过滤介质	80	第一节 物料的性能	145
一、滤布	80	第二节 分离任务和要求	146
二、滤网	87	第三节 特殊要求	146
第二节 非织物类过滤介质	89	第二章 选型的基本方法	147
一、滤纸	89	第一节 表格法	147
二、纸板	90	第二节 图表法	150
三、不锈钢纤维毡	90	第三节 多机种联用	153
第三节 金属滤网过滤介质	91	第四节 选型的综合分析	154
一、金属丝编织滤网	91	第三章 选型实验	155
二、板状滤网	104	第一节 沉降试验	155
三、条状滤网	105	一、重力沉降	155
第四节 滤芯式过滤介质	107	二、离心沉降试验	155
一、滤芯式过滤介质技术特性	107	第二节 过滤试验	156
二、通常适用的滤芯应满足的		一、真空漏斗过滤实验	156
条件	108	二、真空滤叶实验	157
三、滤芯产品及其技术参数	108	三、加压滤叶实验	158
第五节 滤膜	119	四、过滤实验中应注意的问题	158
一、滤膜的分类	119	第三节 小型试验机试验	159
二、滤膜的性能	120	一、小型试验机试验的目的	159
第六节 松散性过滤介质	124	二、如何选择小型试验机	159
一、活性炭	124	三、试验方法	159
二、石英砂	130	四、小型试验和试验所需的	
三、无烟煤滤料	130	仪器仪表	160
四、磁铁矿滤料	131	第四章 选型试验的模拟放大	161
第七节 过滤介质的选用	131	第一节 离心机的模拟放大	161
一、选用的依据	131	一、沉降离心机的模拟放大	161
二、选用的方法	132	二、过滤离心机的模拟放大	163
第四章 助滤剂	134	第二节 过滤机的模拟放大	172
第一节 助滤剂的分类及特性	134	一、连续过滤机	172
第二节 助滤剂的性能	135	二、间歇式过滤机	172
一、硅藻土	135	三、过滤机的模拟放大计算	173
二、膨胀珍珠岩	138	第三节 旋流器的模拟放大	174
三、纤维素	139	第四节 重力沉降设备的模拟放大	176

一、澄清设备（又称澄清槽或澄清器）	176	一、结构	241
二、连续浓缩器的设计	179	二、碟式分离机产品	250
参考文献	183	三、碟式分离机的应用	256
第四篇 分离机械的结构及应用	184	四、操作要点	262
第一章 过滤离心机	184	五、维护与保养	264
第一节 概述	184	第三节 室式分离机	266
一、间歇式过滤离心机	185	一、原理和结构	266
二、连续式过滤离心机	185	二、应用	268
第二节 三足式离心机	185	第四节 管式分离机	268
一、结构与特点	185	一、原理和结构	268
二、三足式离心机产品	190	二、管式分离机产品	270
三、应用	193	三、管式分离机的应用	270
四、使用维护及故障处理	194	四、安装与维护保养	273
第三节 上悬式离心机	195	第五节 撇液管式沉降离心机	274
一、结构与特点	195	一、三足式沉降离心机	274
二、上悬式离心机产品	197	二、卧式刮刀卸料沉降离心机	275
三、应用	198	三、撇液管式沉降离心机的应用	275
四、使用和维护	199	第六节 沉降式离心机的应用	276
第四节 卧式刮刀卸料离心机	200	第三章 真空过滤机	277
一、结构与特点	200	第一节 结构及特性	277
二、卧式刮刀卸料离心机产品	203	一、间歇式真空过滤机的结构及特性	277
三、应用	205	二、连续式真空过滤机的结构及特性	278
四、维护及故障处理	205	第二节 真空过滤机的结构材料	302
第五节 卧式活塞推料离心机	207	第三节 真空过滤机的滤饼洗涤	302
一、结构与特点	207	第四节 真空过滤机的辅助设备	302
二、活塞推料离心机产品	210	一、真空泵	303
三、应用	212	二、鼓风机	304
四、使用与维护	214	三、滤液排出装置	304
第六节 离心卸料离心机	216	四、塔器	304
第七节 螺旋卸料过滤离心机	218	五、真空过滤机过滤系统的配置	304
第八节 进动卸料离心机	219	第五节 真空过滤机的应用	306
第九节 振动卸料离心机	221	一、真空过滤机对不同因素的适应性	306
第二章 沉降式离心机	224	二、真空过滤机的型式及其适用范围	308
第一节 螺旋卸料沉降离心机	224	第六节 真空过滤机的典型流程	311
一、结构及特点	225	第四章 加压过滤机	314
二、螺旋卸料沉降离心机产品	231	第一节 结构及特性	314
三、螺旋卸料沉降离心机的应用	233	一、板框压滤机	314
四、流程配置实例	236	二、厢式压滤机	319
五、安装与使用	237	三、立式自动压滤机	329
六、螺旋卸料沉降离心机的维护	238		
第二节 碟式分离机	240		

四、加压叶滤机	331	一、结构与主要技术参数	362
五、筒式压滤机	334	二、工作过程及原理	364
六、分隔式转鼓加压过滤机	335	三、带式压榨过滤机产品	366
七、旋叶压滤机	335	四、典型流程及辅助装置	367
八、连续式螺旋卸料加压过滤机	337	五、使用维护及故障处理	367
第二节 加压过滤机产品	338	六、主要用途与应用实例	368
第三节 典型流程及辅助装置	351	第六章 分离机械的结构材料	370
一、典型流程	351	第一节 耐腐蚀材料	370
二、辅助装置	353	一、金属材料	370
第四节 使用维护及故障处理	354	二、非金属材料	390
一、选型	354	第二节 耐磨材料	395
二、安装	355	一、耐磨金属材料	395
三、调试	355	二、非金属耐磨材料	398
四、维护保养	355	参考文献	398
五、故障处理	356	附录 (一) 分离机械型号编制	
第五节 加压过滤机应用汇总表	359	方法	399
第五章 压榨过滤机	362	附录 (二) 制造厂名录	408
第一节 压榨过滤机的分类	362		
第二节 带式压榨过滤机	362		

第一篇 物料的性质及物料预处理

固液分离过程所处理的物料有天然形成的或风化形成的（如矿物、粘土），有来自各类加工工业形成的产品、中间产品以及大量排放的废水（液），有涉及人类健康和生存的饮用水和海水。由于众多物料的物理性质千差万别，导致分离机械种类繁多，给选型工作带来一定的难度。在选型工作中，既要了解所要处理物料的性质和生产工艺的分离要求，又要掌握分离机械的结构、操作和性能，并在现有固液分离理论的基础上，根据使用者和制造厂经验，通过科学的选型试验才能做好正确的选型工作。

市场供应的众多传统的或新型、高效分离机械，有许多是为相当明确的应用场合设计的。如果不经正确选型步骤，而以类比方式将它们“照搬”到另一场合，很可能造成所选机械在低效或失效状态下运行，虽然分离过程可以进行，但表现出生产能力下降、产品质量不稳或消耗过大等慢性失效，其后果是设备既不能报废又不好用，勉强使用下去对生产造成的损失是很难估计的。

有关选型的原则和方法以及各类分离机械的性能与应用场合将在以后各篇阐述。本篇首先根据选型工作中需用的物理性质及其数据综合归纳为各类物料的整体特性、物料中固体颗粒特性和物料中液体特性三方面问题分别介绍。本篇第三章为物料的预处理，介绍调整物理性质的手段，如提高物料浓度，促使颗粒粒度增大，改变粒度分布以便分别处理，改善固液界面特性等，以提高分离效率，扩大选型范围。

第一章 物料的性质

第一节 物料的分类及其性质

分离机械所要处理的。在一定组成状态下的对象，泛称为物料。它可以是固液混合物、液液混合物、液液固混合物，也可以是溶液或仅含少量杂质的水（液）。在其他书籍、文献资料中也有的称为料液、料浆、滤浆。在这些物料中，以固液混合物最常见，也最复杂。这是由于颗粒大小和分布不同、颗粒是否溶解、颗粒含量的多寡等因素而形成具有不同物理、化学特性的固液混合物。以泥土与水的混合物为例，取天然状态下泥土置于量筒中加水摇匀后，可以观察到粗颗粒的泥砂很快下沉于筒底；较细颗粒悬浮于粗颗粒之上，成为混浊状的悬浮液体。而土中的盐类则溶于水中成为真溶液。但是，还有一些用人眼分辨不清，在普通显微镜下也观察不到的极微小颗粒，它既不下沉，也不溶解，始终处于分散状态，人们将这种高度分散状态下的颗粒称为胶体。在工业生产中类似于泥土与水的固液混合物甚多，本章中将对具有不同物理和物理化学特性的物料按悬浮液、胶体、溶液（包括高分子溶液）、含杂质的液

体（水）、乳状液归类，分别讨论各类的整体性质和特点。

一、悬浮液

固体颗粒悬浮于液体中形成的固液混合物，习惯称为悬浮液。其中固体颗粒称为分散相，液体称为连续相或分散介质。

悬浮液的特性受颗粒大小和浓度的影响甚大，有的选型方法就是以此二者为根据的^[2]。文献资料中除胶体颗粒大小已有界定外，对于悬浮液中的颗粒大小，则有时以具体的粒径表示，有时则笼统地以粒度粗细表示；有的将二者对应关连。由于名称和范围不统一，交流应用很不方便。本篇编者根据已有资料对比分析后按颗粒直径大致区分为：直径 $d < 5\mu\text{m}$ 的为极微粒； $5\mu\text{m} > d > 5\mu\text{m}$ 的称为微粒； d 在 $50\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 之间的称为细粒； $100\mu\text{m} > d < 3\text{mm}$ 的称为粗粒或散料，所有粒径小于 $100\mu\text{m}$ 的颗粒均可称作粉料。选择 $5\mu\text{m}$ 、 $50\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 作为区分悬浮液中微粒、细粒、粗粒的界限，虽然是人为的，但较易表达悬浮液在分离过程中显示的一些特征。例如构成可压缩滤饼的物料颗粒，一般小于 $5\mu\text{m}$ ；在深层过滤时，颗粒大于 $5\mu\text{m}$ 时重力起主导作用。 $50\mu\text{m}$ 是人的眼力已能辨认的粒径。固液分离操作经验证明，小于 $50\mu\text{m}$ 的由微、细颗粒组成的悬浮液是较难处理的一类物料，特别是其中 $10\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ 的微粒，其微观物化因素，如电动现象、毛细现象、絮凝现象均存在，处理过程中就需考虑这些在胶体溶液中才详加讨论的因素。处理大于 $50\mu\text{m}$ 的细颗粒，选型范围就宽松得多，包括分离机械中大部分的沉降与过滤设备。对于 $100\mu\text{m}$ 以上的粗粒可以归于习惯所说的机械分离，应更多地考虑物性中的物理因素。

悬浮液中颗粒浓度的影响将在本章第三节详述。

（一）整体特性

悬浮液的整体特性是指固体颗粒均匀、分散于液体后取样测出的特性数据，它是固液分离技术中的一类重要性能指标，包括悬浮液浓度、密度和粘度。

1. 悬浮液浓度

在一定质量或一定容积的悬浮液中所含固体颗粒的量称为悬浮液浓度，它常用的表达方式有：

1) 质量分数 [简写 % (W/W)]，即每 100 (g 或 kg) 悬浮液中所含固体颗粒的质量 (g 或 kg)。应注意：固体颗粒 (g 或 kg) + 液体 (g 或 kg) = 100 (g 或 kg) 悬浮液。

悬浮液的浓度用百分数 (%) 表示时，常常指的是质量分数浓度。

2) 体积分数 [简写 %V/V]，即每 100mL 悬浮液中所含固体颗粒的体积 (mL)。

3) 固液比，这是用悬浮液中固体颗粒质量和液体质量之比值表示的无因次浓度。

4) 在洗涤滤饼或沉渣中的溶质时，用摩尔浓度。体积摩尔浓度是指在 1L (溶剂加溶质) 溶液中含有溶质的摩尔数。例如在 1L 溶液中含有 2mol 的溶质，其浓度为 2mol。

如果以 1000g 溶剂中含有溶质的摩尔数表示溶质的浓度，则得质量摩尔浓度。由于质量摩尔浓度是以溶液中溶质和溶剂的质量计算的，所以不受温度的影响。

2. 悬浮液的密度^[12]

悬浮液密度可从它的组成以及液、固相的各自密度数据求得。在液相是水或悬浮液密度接近于水的条件下，可利用图 1-1-1 根据悬浮液含固量 (质量分数或体积分数择其一) 和固体密度迅速查得。

3. 悬浮液粘度

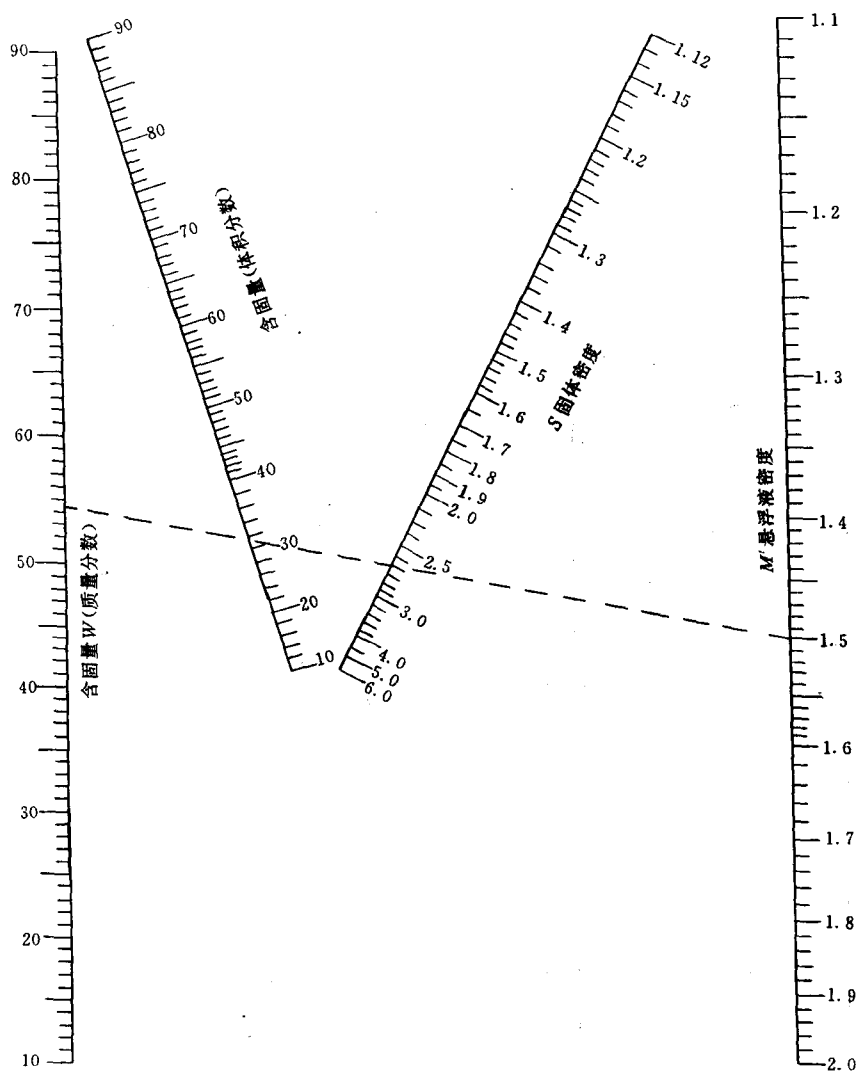


图 1-1-1 含水悬浮液密度的列线图

悬浮液粘度随悬浮颗粒的浓度增大而增大。有很多计算公式可根据液体粘度 μ_L 和以体积分数表示的颗粒浓度 V_s 求得悬浮液粘度 μ_s 。下面的库涅兹公式是其中之一，其列线图如图 1-1-2 所示。

$$\frac{\mu_s}{\mu_L} = \frac{1 + 0.5V_s}{(1 - V_s)^4}$$

上述公式有一适用范围，当 V_s 大于 0.1 左右时，要特别注意是否符合实际。象粘土、白垩、淀粉和石墨粉等流动性差的细粉所形成的悬浮液，根据上述公式推算出的粘度值一般比实际要低。其原因是由于许多悬浮液的浓度达到一定值时即属于非牛顿流体，它们的粘度不再具有恒定值。

关于非牛顿流体的流变性将于本章第二节叙述。

(二) 液体特性^[12]

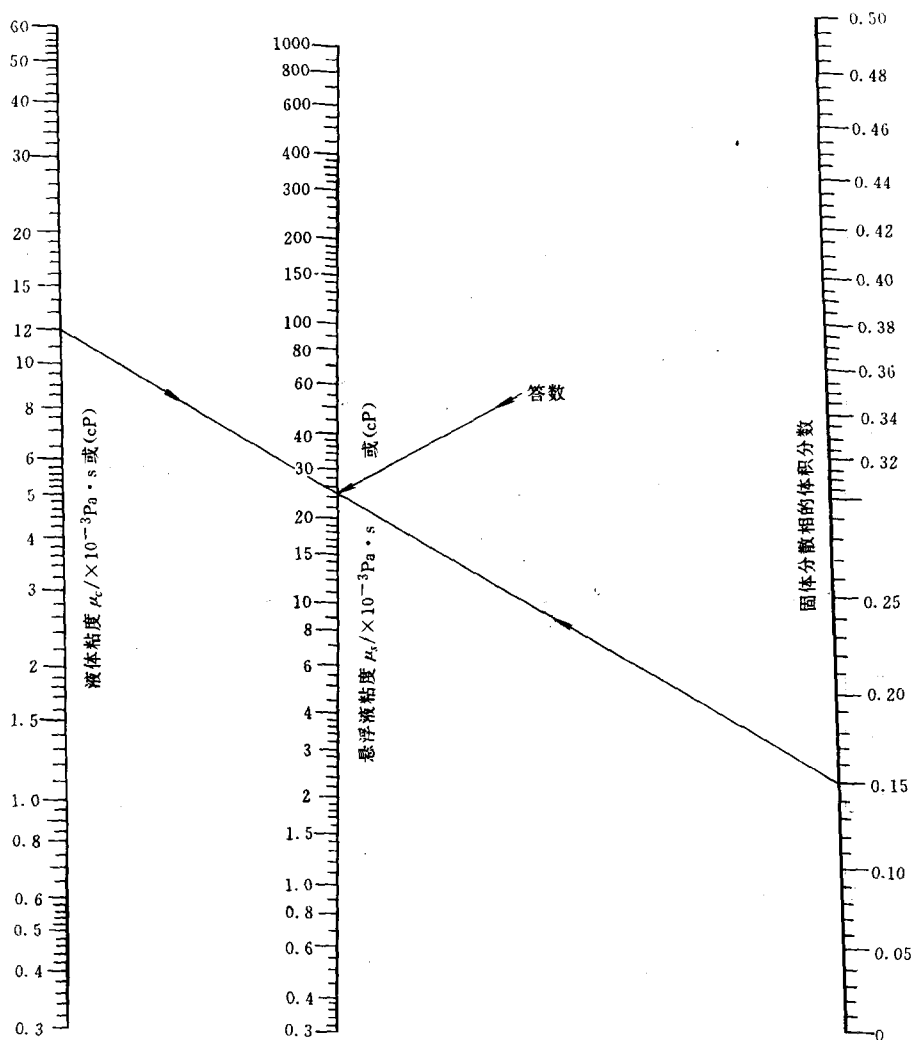


图 1-1-2 悬浮液粘度的列线图

液体性质中密度、粘度、表面张力和挥发度对固液分离过程有重要影响，现分述于下：

1. 液体密度

液体密度只对那些有赖于固液之间密度差进行分离的分离过程，例如重力或离心力沉降，才能显示其重要性。对于那些只存在小密度差的分离过程，温度对固液密度差就有明显影响。在少数场合，也可用调节液体中可溶性溶质的办法来改变液体的密度。有关液体密度的数据可查阅化学或化工手册。

2. 液体粘度

液体粘度在固液分离过程中是一项特别重要的操作因素。一方面，由于它易于用温度调节；另一方面，将它调整后对过滤速率、沉降速率以及滤饼或沉渣中的残余含液量都具有极大的影响。通常都是通过提高温度以降低液体粘度的，也可通过加入第二种能与原有液体混合的低粘度液体，使原有液体起稀释作用而降低粘度。但应注意，前一措施对高粘度液体，例如高分子量的有机化合物特别有效；对于一般液体，例如水，如将其温度自 20℃ 提高到 50℃，

此时粘度约可降低45%，如再继续提高温度，对降低粘度就不明显了。后一措施由于低粘度液体的稀释剂价贵，用后需用蒸馏法或其他方法回收，不经济。工业生产中有必要时，如石油脱蜡，方采用此法。

3. 表面张力

液体润湿任何固体表面的难易程度是受表面张力控制的，不论固体表面是分散性颗粒，还是过滤机中的滤布或其它过滤介质。

对过滤介质难以润湿，显然将妨碍过滤。例如水开始流过聚四氟乙烯过滤介质时需要用很高的压力，因为水不能润湿这种材料；而像乙醇之类的液体，很容易润湿聚四氟乙烯，在相当低压力下即开始流过。假如对固体颗粒难以润湿，则滤饼或沉渣之类的含液量就易于降低，这就给固液分离带来了好处。

与已讨论的液体其它性质的不同处在于：表面张力不是由液体性质单独决定的。在这里它应称为界面的表面张力，“界面的”这个词是关键，由于只有在固液分离的两相界面处的表面张力所引起的分子吸引现象才有意义。基于这个原因，在任何界面处的表面张力对痕量杂质的出现都高度敏感。这些杂质可以是溶于液体本身的或者只在界面处出现，即使是一个单分子层对润湿率也有微妙影响。

4. 挥发度

液体的挥发度愈大，使用真空类过滤机的可能性就愈小，因为液体处于真空条件下，愈来愈多的液体会随之蒸发。情况严重时，滤液甚至不能象正常操作时那样作为液体回收，而全部化成蒸气进入真空泵，在其中被压缩而重新液化。即使部分汽化也会带来很多麻烦，例如真空度受限制，有价值溶剂的损失，出现污液（以液环真空泵最甚）排送等问题。

液体挥发度的简易判据是液体沸点，一般液体的沸点均可从化工手册中查得，但某些溶液的沸点是随其组成或浓度而改变的。

二、胶体

通常，象陶瓷类、水泥类、矿浆类无机物料、染料、颜料、金属氢氧化物等的分离问题都涉及胶体，这类物料如按一般难分离悬浮液对待，处理问题缺乏针对性，难以提高分离效率。由于近代胶体科学的进展，对胶体性质的认识更加深化和系统化；生物技术的进展，蛋白质和酶等生物大分子的分离更加扩大了胶体分离的范围；膜科学与技术的进展，提供了分离胶体的有效手段。本篇将对胶体的基本性质作简明、系统的介绍。

（一）涵义

1. 胶体物系与溶胶

胶体是一种高分散物系，由胶体颗粒（称为分散内相）和其周围的介质（称为分散介质）组成。两者之间有界面分隔，所以胶体物系^①既是高分散性，又是两相（或更多的相）组成的多相物系。当分散介质为液体，胶体颗粒是固体时成为胶体溶液，在胶体术语中称为溶胶；当液体是水时，则称为水溶胶。

胶体溶液只是胶体物系中的一种，它处在粗分散的两相系统（例如悬浮液）和真溶液（由溶质分子或更小质点的离子均匀分布于溶剂中组成）之间的一个过渡范围内。在胶体溶液

^① 如果分散介质为气体时，称为气溶胶。气溶胶中颗粒是固体时称为烟，如果是液体则称为雾。如果分散介质为液体，分散内相为气体，则称为泡沫。烟、雾和泡沫均属于胶体物系。

中, 作为分散内相的胶体颗粒直径约在 $1\text{nm} \sim 1000\text{nm}$ 之间^①, 显然其最大上限 1000nm ($1\mu\text{m}$) 与普通光学显微镜分辨力的极限 $0.8\mu\text{m}$ 相近, 而下限 1nm 则比一般分子或离子的直径稍大。胶体溶液中颗粒直径微细是其特征之一, 其中 $1\text{nm} \sim 100\text{nm}$ 具有力学或其他物化性能的颗粒正是当今材料科学研究中称为纳米级的物料。

2. 传统的胶体物系涉及范围

在胶体科学的发展过程中, 除胶体溶液以外, 胶体物系的研究涉及的范围很广, 对固—液相及液—液相形成的胶体物系而言, 包括分散物系 (粗分散及胶体分散), 缔合胶体和高分子溶液三个方面。

粗分散物系中有大于胶体颗粒直径 $1\mu\text{m}$ 直至小于 $4\mu\text{m}$ 的固体颗粒, 它在液体介质中以布朗运动方式分散形成一类含胶悬浮液, 这是最难处理的一类悬浮液。另一种是某种液体以极小的液滴形式 (直径一般在 $0.1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$, 也有的到 $50\mu\text{m}$) 分散在与其不相溶的另一种液体中形成的乳状液。

高分子溶液是指天然的大分子物质或人工合成的高分子物质分布在适当的液体介质中所形成的溶液。前者如阿拉伯树胶、明胶、琼胶、蛋白等水溶液, 后者如合成高聚物、合成橡胶、硝化纤维、醋酸纤维等在有机溶剂中的溶液, 就分散相颗粒大小而言可以列入大颗粒的胶体范围。由于天然大分子物质如阿拉伯树胶、明胶等在干老时遇水, 其吸水能力惊人, 在胶体发展史上已将这类高分子溶液称为亲水溶胶, 以便与为数众多的一般溶胶相区别, 并且将一般溶胶称为疏水溶胶。其实, 疏水溶胶中的颗粒并非完全疏水, 而是能为水所润湿, 并且通常有一个或几个分子层的水或强或弱地吸附在颗粒表面上。

高分子溶液虽然称为亲水溶胶, 但从它在液体中的分散状态而言, 即使其分子量很大 (如蛋白质与明胶) 仍是分子状态的均相分散物系, 它们不存在界面, 因此是真溶液, 是热力学的稳定物系, 与两相 (或多相) 的疏水溶胶属于两个不同范畴。

缔合胶体 (即胶束) 是在胶体科学发展过程中发现的具有表面活性的一类物质, 称为表面活性剂, 在其浓度大到一定程度后, 出现表面活性剂分子或离子自动缔合成胶体大小的质点, 这种胶体质点和离子之间能处于平衡状态。由于这种具有表面活性的缔合胶体溶液和一般胶体物系不同, 是稳定物系, 因此, 将这种具有特殊结构的缔合胶体质点命名为胶束 (Micelle), 成为研究表面活性剂的重要特性之一。表面活性剂能大大降低溶剂 (一般为水) 表面张力 (或液—液界面张力), 改变物系的表面状态, 从而产生润湿和反润湿、乳化和破乳、分散和聚沉、起泡和消泡以及增溶等一系列作用, 它已经在固—液、液—液分离过程中得到广泛应用。

综上所述, 虽然在传统的胶体科学研究中, 曾把离子溶液、缔合胶体都纳入胶体物系, 但从物性的范畴来说, 只有溶胶 [一般的疏水 (液) 溶胶] 和乳状液才是胶体物系。为使叙述概念清楚, 本篇将缔合胶体、乳状液分节介绍。

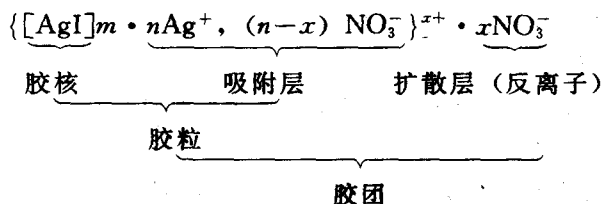
(二) 胶体溶液 (溶胶) 的特性

1. 胶体状态的组成和状态转变

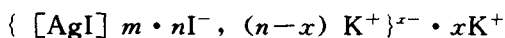
溶胶中的胶体颗粒的大小常在 $1\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 之间, 所以既可由分子、原子、离子凝聚而

^① 这是通常的划分范围, 其上限也有人规定为 200nm 或 1000nm ($1\mu\text{m}$) 甚至高达 $4\mu\text{m}$ 的, 这里就将 $1\mu\text{m}$ 作为胶体与悬浮液的分界。

成,也可由粗颗粒分散而成。前者(凝聚法)采用化学的或物理的方法,后者(分散法)有机械分散、电分散、超声分散和胶溶等各种方法。以化学法利用稀 AgNO_3 和 KI 溶液制取 AgI 溶胶为例,由反应生成的 AgI 首先形成不溶性的质点,即所谓胶核,它是胶体颗粒的核心。如在制取时 AgNO_3 过量,胶体易从溶液中选择性地吸附 Ag^+ 而荷正电。这时只能有一部分 NO_3^- 与被吸附的 Ag^+ 组成所谓“吸附层”形成胶粒。荷电的胶粒在运动中再和扩散到较远介质中去的、由另一部分 NO_3^- 形成的“扩散层”中反号离子组成“胶团”。胶团分散于液体介质中才形成溶胶。在上述反应条件下 AgI 的胶团结构为



如果反应时 KI 过量,则 I^- 被优先吸附,形成另一种胶团结构:



在一个胶体中,胶粒的大小或胶团量是不完全相同的,胶团量可以从几万到几百万,只能用平均胶团量及其分布曲线来描述。

当胶体是由粗颗粒采取机械分散法制取时,由于在高度分散过程中颗粒的比表面(每 1g 物质所具有的总表面积)增大。巨大比表面的形成使物系的表面能增大,这在热力学上是不稳定的,有自动聚沉的趋势。为了制取稳定的溶胶,必须加进第三种物质,即稳定剂,使胶体在动力学上稳定。不论凝聚法或分散法所制取的高度分散性胶体,其组成是不确定的,和真溶液中溶质分子具有固定的组成和结构迥然不同。

胶体是物质存在的一种特殊状态,不是物质的本性。任何一种物质,在一定条件下,可以晶体的状态存在;而在另一种条件下,则能以胶体的状态存在。氯化钠是典型的晶体,在水中溶解成为真溶液,但用适当方法使其分散于苯或醚中,就能成为胶体溶液。硫磺分散在乙醇中是真溶液,但分散在水中则成硫磺水溶胶。

作为胶体的一种存在状态,一定浓度的溶胶在放置过程中自动形成凝胶的过程称为胶凝。凝胶有一定的几何外形,显示出固体的力学性质——具有一定的强度、弹性的屈服值等。但从其内部结构看,它是由固、液两相组成,属胶体分散物系。在新形成的水凝胶中,不仅分散相搭成网结成为连续相,而且分散介质(水)也是连续相,成为凝胶的主要特征。凝胶的存在极为普遍,工业中的橡胶、硅-铝催化剂和离子交换剂,日常生活中的棉花纤维、木材、水泥、豆腐,甚至动物体的肌肉、毛发等都属于凝胶,在其生产和应用过程中,涉及到大量的固液分离问题。

2. 胶体状态下的比表面和界面现象

物体的性质应该由其体相的性质和其表面性质共同决定。对于比表面很小的一般物体来说,表面性质可不予考虑,物体性质主要由其内部体相的性质所决定。但对高分散相的胶体来说,由于具有巨大的表面,因此界面相的性质对整个胶体物系的性质起主导作用。了解界面相性质的变化及由此而产生的各种界面现象,对固液分离的过程的调节处理才有科学依据。

文献中常常将两体相之间的界面称为表面,而将两词混用,不加区别。但在某些场合,

“表面”一词仅表示一个几何面，例如对固—气或液—气的边界即称为固体或液体的表面；而“界面”则用来描述接触两相之间的二维薄层，称为界面层，这种界面层的厚度极薄，可以是单分子层或几个分子层厚。

(1) 比表面

固液分离过程处理最多的物料是粉料或多孔性物质，其中包括胶体。对这些物料表面积测定比较困难，它们不仅具有不规则的外表面，还有复杂的内表面。一般称 1g 固体所占有的总表面积为该物质的比表面 (m^2/g)。多孔物比表面的测定法，大致可以分为两类，即气体吸附法和溶液吸附法。公认的标准法如 BET 低温氮吸附法及其计算可查阅有关标准及参考书^[1,10]。由碾磨或沉淀获得固体的比表面不大，约为 $0.1\text{m}^2/\text{g} \sim 1\text{m}^2/\text{g}$ 。高分散性的非多孔性物料，如碳黑等可达数百 m^2/g 。多孔性吸附剂，比表面可自数百至数千 m^2/g ，广泛用于分离混合物、脱水、催化剂的载体等方面。

现列出各种染料颜料和粉料的比表面积和颗粒直径的测定数据^[7]，包括白色颜料（表 1-1-1）、氧化锌（表 1-1-2）、无机颜料（表 1-1-3）、各种胶体炭黑（表 1-1-4 及表 1-1-5）及有机颜料（表 1-1-6），供参考。

表 1-1-1 借水蒸汽吸附法及显微镜法^①所得各种白色颜料和颜色稀释剂的
表面积及其粒子大小的数据

颜 料	比表面/ $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	吸附法 $d_3/\mu\text{m}$	显微镜法 $d_3/\mu\text{m}$
二氧化钛	8.2	0.19	0.43
石棉粉	4.1	0.51	
白垩	2.6	0.85	
氧化锌(绿色印记)	2.4	0.45	0.44
重晶石粉(硫酸钡)	2.2	0.62	
锌钡白	2.3	0.61	0.43
铅白, 盐基性碳酸盐	1.1	0.80	0.66
氧化锡	0.61	1.7	0.61
重士(氧化钡)	0.59	2.3	

① D. Smith and H. Green, Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., 14, 382-86(1942).

表 1-1-2 用各种方法求得氧化锌粒子大小数据^①

(μm)

测 定 方 法	Kadox 黑标记 15 d_3	XX 红标记 72 d_3	XX 红标记 78 d_3	经重热处理后的 d_3
显微镜法	0.28	0.34	0.79	1.86
硬脂酸甲酯吸附法	0.19	0.24	0.55	4.5
液体渗透法	0.12	0.15	0.25	1.3
氮吸附法	0.115	0.124	0.28	1.7

① P. H. Emmett and T. DeWitt, Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., 13, 28-33(1941).

表 1-1-3 借吸附法求得各种无机颜料的表面积及其粒子大小的数据

颜 料	表面积 /m ² ·g ⁻¹	d ₃ /μm	吸附质	参考文献 ^①	颜 料	表面积 /m ² ·g ⁻¹	d ₃ /μm	吸附质	参考文献 ^①
铬黄(樱草黄)	7.14	0.166	氮	H	橙土	1.60	0.401	氮	H
铬黄(浅黄)	8.41	0.126	氮	H	铁蓝	43.8	0.0721	氮	H
铬黄(中黄)	7.03	0.138	氮	H	铁蓝	32.9	0.093	丁烷	H
铬橙(深黄)	0.62	1.43	氮	H	群青	13.1	0.20	氮	H
氧化铁(柠檬黄)	16.6	0.096	氮	H	铁蓝	26	0.13	水	SG
氧化铁(红)	15.4	0.078	氮	H	橙土	0.76	1.3	水	SG
氧化铁(磁铁黑)	6.83	0.173	氮	H	铬黄(中黄)	3.9	0.26	水	SG
富铁煅黄土	110	0.017	氮	H	群青	13	0.20	水	SG
硃砂(英产)	3.24	0.241	氮	H					

① H——E. N. Harvey, Jr., "Symposium on Paint and Paint Products," Am. Soc. Testing Materials, Special Tech. Pub., 75, pp. 60-84; SG—D. Smith and H. Green, Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., 14, 382-86 (1942).

注: 借氮及丁烷吸附法所得的表面积是 BET 值; d₃ 是以三种不同方法算出的平均表面积为基础的数值。

表 1-1-4 借氮吸附法求得各种胶体炭的表面积及其粒子大小的数据

炭 黑 种 类	S/m ² ·g ⁻¹	d ₃ /μm	参考文献 ^①	炭 黑 种 类	S/m ² ·g ⁻¹	d ₃ /μm	参考文献 ^①
Royal Spectra	1040	0.0032	H	No. 140	238	0.014	H
Carbolac1	936	0.0036	EC	Peerless, Standard	223	0.015	H
Carbolac1	947	0.0035	STB	Elf20	110	0.030	STB
Carbolac2	772	0.0043	EC	Elf4	112	0.030	EC
Super Spectra	552	0.0060	H	Micropex	106	0.031	E
Mogul	475	0.0070	EC	Molacco	62	0.054	
Mogul	346	0.0096	H	Acetylene	64	0.052	STB
Mogul	350	0.0095	STB	Lampblack	28	0.12	STB
Monarch71	398	0.0084	EC	Gastex	26	0.13	AST
Monarch71	330	0.010	STB	P-33	15	0.22	E
Super Carbovar	391	0.0085	STB				

① AST——F. H. Amon, W. R. Smith, and F. S. Thornhill, Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., 15, 256-58 (1943);
E——P. H. Emmett, ibid., 13, 28-33 (1941); EC——P. H. Emmett and M. Cines, J. Phys. & Colloid Chem.,
51, 1329-41 (1947); H——E. N. Harvey, Jr., Am. Soc. Testing Materials, Special Tech. Pub., 75, p. 76 (1947);
STB——W. R. Smith, F. S. Thornhill, and R. I. Bray, Ind. Eng. Chem., 33, 1303-7 (1941).

表 1-1-5 借氮吸附法及电子显微镜法求得各种胶体炭表面积的数据

炭 黑 种 类	吸附法/ m ² ·g ⁻¹	电子显微镜法 ^① / m ² ·g ⁻¹	炭 黑 种 类	吸附法/ m ² ·g ⁻¹	电子显微镜法 ^① / m ² ·g ⁻¹
烟黑 Lampblack	25.5	23.5	乙炔黑 Acetylene black	64.5	55.9
烟黑 Lampblack(活化)	208.0	27.4	品级 6 槽黑 Grade 6 Channel	110.0	74.8
P-33	20.7	20.9			

① 计算时假设相对密度为 2.00。