

《国外机械工业基本情况》参考资料

# 离心机 和 分离机

《离心机 和 分离机 基本情况》编写小组

第一机械工业部情报所

## 出版说明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在党的十大精神鼓舞下，我国机械工业形势一派大好。广大革命职工，高举毛泽东思想伟大红旗，深入开展批林批孔运动，狠抓革命，猛促生产，巩固和发展了无产阶级文化大革命的丰硕成果，毛主席关于“**中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平**”的伟大号召，正在胜利地实现。

“知彼知己，百战不殆”。为了了解国外机械工业基本情况，我们组织有关单位，按机械工业各行业分别编写与出版一套《国外机械工业基本情况》参考资料。

毛主席教导我们：“……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”资本主义、修正主义国家的东西，必然打上资本主义的社会烙印和带有资产阶级的阶级偏见。因此，在参考国外情况的过程中，必须遵照伟大领袖毛主席的教导，采取分析、批判的态度。

本册为离心机 and 分离机国外基本情况部分，参加编写工作的单位有：合肥通用机械研究所、太原工学院、成都工学院、北京工学院、河北工学院。

由于我们水平有限，编辑工作中定有不少缺点和错误，请读者批评指正。

第一机械工业部情报所

一九七五年

# 目 录

第一章 综述	(1)
第一节 五十年代离心机、分离机的发展	(1)
第二节 六十年代以来离心机、分离机的发展	(5)
第三节 离心机、分离机工艺计算和理论研究	(6)
第四节 离心机、分离机在三大合成材料、氮肥和污水治理成套设备中的地位	(7)
第五节 行业概貌	(10)
第二章 各类离心机、分离机的发展	(12)
第一节 三足式离心机	(12)
第二节 上悬式离心机	(13)
第三节 卧式刮刀卸料离心机	(15)
第四节 卧式活塞推料离心机	(17)
第五节 离心力卸料离心机	(22)
第六节 过滤螺旋卸料离心机	(23)
第七节 振动卸料离心机	(25)
第八节 摆动卸料离心机	(28)
第九节 沉降螺旋卸料离心机	(28)
第十节 碟式分离机	(37)
第十一节 管式高速离心机	(41)
第十二节 新型离心机	(42)
第三章 离心过滤和离心沉降的理论和计算	(45)
第一节 离心过滤	(45)
第二节 离心沉降	(49)
第三节 当量沉降面积 $\Sigma$ 值的计算及其应用	(52)
第四节 碟式分离机的部分计算	(54)
第四章 标准化、系列化以及选型的方法	(57)
第一节 离心机、分离机的标准化和系列化方法	(57)
第二节 离心分离设备的选择	(59)
附录 国外制造离心机、分离机的主要企业及其产品	
一、Alfa-laval公司	(67)
二、Sharples公司	(70)
三、Westfalia公司	(72)
四、Krauss-Maffei Imperial联合公司	(74)
五、Robatel Sipl公司	(75)
六、田边铁工所	(76)
七、月岛机械株式会社	(79)
八、Titan公司	(79)
参考文献	(81)

# 第一章 综 述

液相非均一系的分离过程中，利用离心力来达到液-液分离及液-固分离的方法通称为离心分离。在今天，离心分离已广泛应用于开发资源、保护环境、防止公害、国防工业等各个方面。例如，煤、矿石的脱水；三废治理中的污水净化；放射性元素浓缩、分离及炸药的制造；砂糖、酵母、牛奶、啤酒、果汁的制造；织品、纤维脱水及合成纤维的制造；烧碱、制盐、化肥等化工产品及石油化工产品的制造；各种抗菌素、淀粉及农药的制造；航空工业中高级润滑油及机车、轮船上各种燃料油提纯；润滑油及电解液提纯、净化等都应用离心机和分离机。

离心分离方法比其他任何机械分离方法能得到湿含量低而纯度高的产品，而且节省劳力，减轻劳动强度，改善劳动条件。但是设备的制造比较复杂，设备投资费用较高。

近代应用的离心机、分离机，往往要求超过  $100 \text{ m}^3/\text{时}$  的产量和超过  $160 \text{ m}/\text{秒}$  的圆周线速度，而且还要求耐腐蚀、耐高温、耐高压。为此，在零件制造上要求高精度；在标准件选用上要求高质量；在材料选用上要求高强度的耐腐蚀材料。对于全自动化的机器，还应配有自动控制装置系统。

离心分离设备是为成品、半成品的干燥、分离、净化服务的；它是依靠着各种加工工业的发展而发展的。例如，在 1836 年诞生的棉布脱水机，于 18 世纪产业革命以后，首先获得较快发展的纺织工业有着密切的联系。液-液分离设备也是这样，自从 1877 年发明用于分离牛奶的连续分离机之后，乳酪分离设备获得了很大发展。近来，石油的综合利用中，要求把水、固体杂质、焦油状物料等除去，以便使重油当作燃料油而被利用。碟式分离机是唯一能经济、有效地完成这项工作的设备，于是，大大地促进了活塞式自动排渣碟式分离机的发展。现在，它已具备一个完善的系列。在处理三废公害过程中，发现沉降螺旋离心机是污水处理中污泥脱水较好的设备，于是，沉降螺旋离心机又获得了飞跃的发展。总之，离心分离设备在各种工业中获得了较大的发展，在国民经济中的作用越来越显著。

## 第一节 五十年代离心机、分离机的发展

五十年代是离心分离设备发展较快的阶段。在这个阶段里，首先发明了自动连续沉降螺旋离心机，为含固量较大、难以在过滤机上进行脱水的物料进行分离开辟了道路。其次是出现了许多自动、连续的过滤离心机，它们对液相非均一系的分离操作具有重要意义。这些离心机与过滤机相比较，它具有滤饼干、产量大、动力消耗小、劳动强度低、辅助设备少、占地面积小等许多优点。

过去，在化学工业中，一般是用过滤机来完成固-液相的连续分离，但是，由于出现了多级活塞离心机、过滤螺旋离心机、惯性离心机、振动离心机等一系列连续过滤离心机之后，在不到 30 年内，已日益取代各种真空过滤机了。

### 一、沉降螺旋离心机

沉降螺旋离心机可以说是离心分离设备中的后起之秀，被称为离心机中的多面手。它

的发展简史、结构、原理和应用范围，见第二章第九节。

1957 年在美国纽约举行的二十六届化学工业展览会<sup>[1]</sup>、1958 年在英国伦敦举行的化学和石油工程展览会<sup>[2]</sup>和1958 年国际化工设备展览会（简称 Achema-58<sup>[3]</sup> 展览会）上，分别展出了美国 Sharples 公司的 P-600、P-1000、P-2000、P-3000 型卧式沉降螺旋离心机和 P-4000、P-7000 型立式沉降螺旋离心机（见表 1-1）。这些机器，在当时是属于比较先进的机器，如 P-3000 型离心机是当时的高速沉降螺旋离心机。且具有较长的转鼓。

P-7000 型离心机是有独特结构的立式悬挂轴离心机，能自动对中，便于密闭，且减速器与转鼓集中在一起。是大型、先进的产品。

## 二、活塞离心机

1954 年瑞士 Escher-Wyss 公司制成了多级活塞离心机，在很大程度上克服了单级活塞离心机对物料浓度波动敏感、容易跑料的缺点，为活塞离心机扩大使用范围创造了良好基础。以前，对于较粘稠的物料是无法在活塞离心机上分离的。多级活塞离心机的结构及性能见第二章第四节所述。

1958 年德国 Gebr Heine 公司首次展出的 OA 型单级活塞离心机的结构是独特的，在活塞驱动机构上装有循环周期曲线盘，以此控制活塞在推料时慢速前进，空程时快速返回，可使活塞推料次数最高到 140 次/分，提高了生产效率<sup>[4]</sup>。

## 三、自动、连续薄层过滤离心机

惯性离心机、过滤螺旋离心机、振动离心机都属于薄层过滤离心机。由于滤饼层薄，又是连续移动的，过滤阻力小，具有良好的过滤性能，是一种高效低耗的分离设备。五十年代先后出现了这些离心机，对液相非均一系的过滤产生了巨大影响。

这些离心机各有其特点，又有其不足之处。惯性离心机结构简单，但对物料适应性很差。过滤螺旋离心机克服了它的缺点，但结构比较复杂。振动离心机克服了上述诸缺点，但它只能分离粗颗粒物料。有关这些离心机的性能与结构特点，见第二章第五、六、七节所述。

## 四、间歇自动离心机

过去三足离心机的主要问题是劳动强度大。1958 年在伦敦举行的化学与石油工程展览会上，展出了当时的新型产品——FB58 型三足下部卸料离心机，采用机械刮刀在 30 转/分的低速卸料，用无级变速的容积式液压马达驱动。

此外，还展出了美国 Sharples 公司的 C 41 型刮刀离心机。C 41 型离心机具有较高的分离因数，并采用旋转刮刀卸料，比当时最大的 C 27 型刮刀离心机提高生产能力 1.5~2 倍。<sup>[5]</sup>

## 五、碟式分离机

五十年代，碟式分离机的主要发展是完善自动卸料分离机的系列型谱，而出现了一批大容量的机器。例如：

Dc-Laval 公司在五十年代形成了一个完整的 PX 型自动活塞卸料分离机的型谱，其中 PX209-OOS、PX207-OOS、PX-213-30 型机器均为新型分离设备<sup>[6]</sup><sup>[6]</sup>；PX 型机器的特点是可人工或时间继电器自动操作，固体在全速运转下自动排渣，可以密闭操作。

在喷嘴分离机方面，在五十年代完成了由八个型号组成的 DX 型酵母分离机系列<sup>[7]</sup>，它的产量比以前的产品增加 30~50%，并发展了部分循环的 QX210-30、QX212-30 型喷嘴分

离心机，以及供淀粉生产用的能洗涤的 TX212-30、TX310-30 型喷嘴分离机。

此外，在1957年纽约的二十六届化学工业展览会上，美国 Sharples 公司所展出的 DH-6 型喷嘴碟式分离机也是具有先进水平的机器<sup>[8] [9] [9]</sup>。上述分离机的结构与原理，见第二章第十节。

## 六、管式离心机

管式离心机在提高分离因数后，应用于气体分离，称为超速管式离心机。用超速管式离心机代替过去的气体扩散法从铀的同位素中分离 U235，大大降低了生产费用和设备占地面积，具有重要的战备意义。

超速管式离心机用来分离同位素的可能性早就被人们认识。但由于要在很高的分离因数下才能实现分离，材料要求非常高，所以在较长时间内一直未能在实践中得到解决。到1940年左右才有了较大的进展，当时 Mulliken<sup>[10]</sup> 在实验基础上，关联了重同位素在超速管式离心机转鼓鼓壁处和中心处平衡时的浓度比，并发表了下列公式：

$$S = \frac{K_0}{K} = e^{\frac{(M_2 - M_1)(V^2)}{2RT}} \quad (1-1)$$

式中  $S$ ——平衡时的理论分离因数；  
 $K_0$ ——重同位素在鼓壁处的浓度；  
 $K$ ——重同位素在中心处的浓度；  
 $M_2$ ——重同位素或其化合物的分子重量；  
 $M_1$ ——轻同位素或其化合物的分子重量；  
 $V$ ——转鼓圆周速度，厘米/秒；  
 $R$ ——气体常数， $8.3 \times 10^4$ ；  
 $T$ ——绝对温度，°K。

后来 Beams<sup>[11]</sup> 又报导了连续气相加料超速离心机的实验。转鼓直径 3 吋，长 15 吋，每分钟 66000 转，分离因数达 18000。当时在这样的离心机内，在 65°C 时分离六氟化铀同位素，得到理论分离因数  $S$  为 1.038。

在进一步研究的基础上，Smyth 和 Hausen<sup>[10]</sup> 报导了逆流式管式超速离心机适于同位素分离。到 1950 年，在管式离心机中分离同位素已有比较成功的经验，K. Beyerle<sup>[11]</sup> 等人发表了“用气体离心机获得同位素-氦、氩”一书。

1959 年 W. Groth<sup>[12]</sup> 发表了气体离心机的文章，讨论了各种不同的设计和同位素分离的经济意义。

1960 年 Z. Gernot<sup>[13]</sup> 获得了关于气体离心机的专利，同时还作了关于气体离心与气体扩散过程对增浓同位素的比较的报告。

近代超速管式离心机转鼓材料使用硬化玻璃钢<sup>[14]</sup>，制造方便，成本也低。

超速管式离心机转数高，与空气摩擦剧烈，所以一般在真空内运转。

表1-1 沉降螺旋离心机主要结构的改进

展出日期或 报导日期	型 号	制造单位	长度/直径 (毫米)	转速/分离因数 (转/分)	功 率 (千瓦)	产 量 (米 <sup>3</sup> /时)	结 构 特 点
Achema-58	P-3000	Sharples 美 国	~830/360 $L/D=2.3$	4000/3200	29.5		
Achema-58	P-7000	Sharples 美 国	1500/740 $L/D=2$	2000/1640		45.5~57	立式密闭, 可在10个大 气压及150~200°C下操 作, 可分离>10 $\mu$ 的粒子。
Achema-64	P-5000	Sharples 美 国	1650/635 $L/D=2.6$	3000/3200	220		
Achema-64	P-850	Sharples 美 国	585/150 $L/D=3.9$	8000/5450	22		立式密封操作
Achema-64		Voith GmbH Heidenheim 西 德		8000/7000			
Achema-70	NX225E -31	Alfa-Laval 瑞 典	>1500/500 $L/D>3$	3400/3200	90	60	用容积式液压马达通过 液压联轴节、平皮带带 动, 三点支撑、轴承采用 压缩油雾润滑。
Achema-70	ZDS1-L	Escher-Wyss 瑞 士	730/280 $L/D=2.6$	6500/6500		4	靠近溢流处的转鼓, 有 一段没有螺旋的倒锥度。 螺旋叶片、出渣口用碳化 钨合金, 叶片表面抛光, 主要用于污水处理。
Achema-70	KVZ50	Krauss-Maffei Imperial (西 德)	/500	3200/2800	55		配有电子计算机和自控 系统详见第二章。
	P5400	Sharples 美 国	~2270/650 $L/D\sim 3.5$	3000/3190	225	115	

表1-2 双级活塞离心机主要结构参数的改进

展出日期或 报导日期	型 号	制造单位	长度/直径 (毫米)	转速/分离因数 (转/分)	功 率 (千瓦)	产 量 (吨/时)	结 构 特 点
六十年代以前	S-150/2	Escher Wyss	200	2700	1.5	0.35~0.45	双级
同 上	S-400/2	同上	450	1200	9	1.3~1.7	双级
同 上	S)700/2	同上	780	1050	19	5~6.5	双级
同 上	S1000/2	同上	1100	900	55	10~12	双级
六十年代以后	P-1	同上	220	4000	0.75	1~1.5	单级
六十年代以后	P-3X	同上	400	2500	15	5~7	双级
六十年代以后	P-5	同上	800	1600	37	20~27	双级
六十年代以后	P-6	同上	1000	1340	55	35~50	双级

表1-3 刮刀离心机结构参数的改进

展出日期或 报导日期	型 号	制造单位	直 径 (毫米)	转速/分离因数 (转/分)	功 率 (千瓦)	产 量 (吨/时)	结 构 特 点
五十年代以前	C-27	Sharples 美国	690	1800/1250		8~10	旋转刮刀卸料  密闭防爆；通过滤饼厚度自动调节器进行自动控制；采用容积式液压马达，分别用下列转速： 过滤——1100rpm 进料——200~300rpm 卸料——80~100rpm 可以无级调速，显著地扩大了使用范围。
1958年	C-41	Sharples 美国	1040	1260/920	55~190	20~24	
Achema-70	HL900	Escher- Wyss 瑞士	900	1100/600			

## 第二节 六十年代以来离心机、分离机的发展

从六十年代起，离心分离设备又有了新的成就。首先，出现了一批新型自动离心机，为进一步提高分离能力及扩大应用范围创造了更好条件。例如，FO型离心机有可能取代加压过滤机；GTL型离心机的出现，既能适应物料性能要求，又简化机器结构（有关新型离心机详见第二章第十二节）。其次，原有各类离心机无论在扩大机器生产能力、提高分离效率等方面都取得了很大成就，特别是自动化操纵技术越来越完善，从过去的定时控制发展到参数控制，保证了机器的高效率、高分离质量。

据1969年资料介绍<sup>[15]</sup>，世界上共有90多家公司生产工业离心机、分离机；共有九种类型，即三足离心机、上悬离心机、刮刀离心机、活塞离心机、螺旋离心机、惯性离心机、振动离心机、碟式分离机、管式离心机。

### 一、沉降螺旋离心机

六十年代以来，沉降螺旋离心机以更快的速度发展。Achema-64展览会上展出离心机的29家公司中，有16家展出了这种机器，是展品最多的一种离心机。Achema-70展览会上展出了10家公司的15台离心机，其中沉降螺旋离心机占多数。由此可看出各国对沉降螺旋离心机是很重视的。六十年代以来的进展如下：

① 生产能力有所提高，例如美国Sharples公司的P5400型沉降螺旋离心机已达到115米<sup>3</sup>/时。

② 分离效率有所提高，最高分离因数已达8000。

③ 转鼓的长径比有所增加，最高已达4。

④ 变型产品增多。

⑤ 机器自动化操纵有很大提高，能用电子计算机对参数进行远距离自动控制（如西德Imperial公司生产的Krauss-Maffei KVZ50型离心机）。从而大大提高了分离质量和产量。通过上述几方面的改进，扩大了沉降螺旋离心机的应用范围，过去认为不能在这种机器上分离的物料，现在能够得到满意的分离效果。有关这些改进见第二章第九节及表1-1。



## 二、碟式分离机

仍以 Alfa-Laval 公司为例,六十年代以来,该公司的连续活塞排渣分离机淘汰了原来的 PX 型系列,而以更新的 BRPX 型和 MAPX 型系列代替。无论在生产能力上还是自动化控制上,比过去有所前进。例如,MAPX 型离心机可以根据沉积在转壁上的滤渣离心压力大小来自动卸料。并可进行远距离控制。详见第二章第十节。

## 三、活塞离心机

活塞离心机与碟式离心机类似。有的公司淘汰了过去老系列,采用新系列,如 Escher Wyss 公司的 P 型系列取代了原来的 S 型系列。P 型系列的特点是,用双级活塞离心机。活塞离心机的发展主要体现在单机生产能力的不断增大,如表 1-2 所示。值得提出的是为了在增加产量的同时不降低分离强度,Escher Wyss 公司制出了 MP 型活塞离心机。见第二章第四节。

对于其他过滤式离心机也一样,主要的发展体现在生产能力的增大和分离因数等参数的扩大。详见第二章各节。

## 第三节 离心机、分离机工艺计算和理论研究

离心机和分离机的结构、品种及其应用等方面发展很迅速,但工艺理论计算方面的研究却显得落后。目前,在理论研究方面所获得的知识,主要还是用来说明试验的结果,而在预测机器的性能和选型时,往往仍要凭借经验。不过,离心机、分离机理论研究水平脱离实际机器水平的差距,在五十年代以来在逐渐缩小。近二、三十年内,离心过滤、离心沉降和离心分离等工艺操作,从对过程机理的认识各个过程的定量计算,都已作了比较全面的研究,因此各个过程的理论和计算都初步形成了自己的体系。

五十年代以来,国外在理论和计算研究方面的成绩主要有:

### 一、H. Grace<sup>[68]</sup>, M. Haruni, A. Storrow<sup>[21] [22] [23]</sup> 等人对离心过滤的研究

H. Grace 对离心过滤各个阶段进行了研究,提出了离心过滤速度计算公式,他的公式在工业离心过滤计算中用得较多。(详见第三章)。

M. Haruni 和 A. Storrow 等在白垩、硫酸钡及淀粉等多种物料的悬浮液中,研究液体通过滤饼的流动关系,确定液体通过滤饼是层流流动;提出了液体充满滤饼时的过滤方程,对过滤方程中各项物理量逐项作了研究,认为在所研究物料条件下,压缩应力对滤饼渗透性影响小。他们的研究证实了 H. Grace 所提出的过滤方程。

### 二、N. Bergner<sup>[24]</sup> 提出悬浮液中粒度分布曲线

N. Bergner 从离心分离观点,对悬浮液中颗粒尺寸分布作了很详细的数学研究。研究是在固体体积浓度为 0.5% 的悬浮液中进行。

在他的论文中,提出由于扩散作用的影响,完全分离粒度小于 0.1 微米的微粒是不可能的。

N. Bergner 讨论了用粒度分布曲线来指导离心分离的问题,但是由于悬浮液中含有粒度非常小的固粒,这种可能性被否定了。他认为,对离心分离效果的判断,沉降常数分布曲线是更有用的标准。因很小粒子的沉降常数可以忽略而不出现在该曲线中(沉降常数的定义是在液相中的一个固粒受到一个单位加速度所具有的沉降速度)。

N. Bergner 的文章对于离心机的选择无重大帮助,但提供了一种基于充分试验数据基础

以表示悬浮液特征的方法。

### 三、C. Ambler 提出的当量沉降面积 $\Sigma$ 值

C. Ambler 于 1952 年<sup>[79]</sup>在沉降式离心机、分离机计算中，首先提出当量沉降面积  $\Sigma$  值的概念，以后又逐步具体应用到各类沉降式离心机、分离机的计算中，至 1959 年<sup>[78]</sup>在其所发表的文章中， $\Sigma$  值的计算和应用（详见第三章）已有初步完整的系统。

$\Sigma$  值的计算是基于若干假定的，这往往与实际情况有出入。如在某些物系中，物料在受到离心力作用下，由于机械不稳定性，分散相粒度要变化。所以， $\Sigma$  值的实际计算公式，要根据经验来校正。1961 年<sup>[74]</sup>C. Ambler 发表了碟式分离机的经验校正式公：

$$\Sigma = \frac{2\pi n \omega^{1.5} (\gamma_2^{2.75} - \gamma_1^{2.75})}{3gctg\theta}$$

式中  $n$  ——碟片数；  
 $\omega$  ——角速度；  
 $r_2$  ——碟片最大直径；  
 $r_1$  ——碟片最小直径；  
 $g$  ——重力加速度；  
 $C$  ——固相浓度；  
 $\theta$  ——碟片锥角。

该式和理论式的差别在于  $\omega$  的指数由 2 降为 1.5，是考虑旋转能对分散相颗粒尺寸影响， $r$  的指数由 3 降为 2.75，是考虑了碟片尺寸较大时通过碟片稳定、适当的分配有困难。

### 四、沉降式离心机内流体动力学理论的发展

五十年代内，沉降式离心机内流体动力学理论研究方面，出现了两种相反的观点。E. Boss<sup>[28]</sup> [29] 等认为进入沉降离心机中的液流以薄层形式沿转鼓中液体自由表面滑动，而液流不冲刷包含在转鼓内液体中的底层物质。而 Д. ШКОРОПАД<sup>[30]</sup> [31] 等认为转鼓流动液体占据了转鼓大部分工作容积，仅在外轮廓急变之处才形成停滞区。这两种观点至今并存，并由各自的实验在证实其论点。

### 五、离心机、分离机选型技术的发展

从品种繁多的离心机、分离机中，选择经济有效的机器，来完成液相非均相系分离的研究，进行得很多。目前已有可能在理论和计算指导下，结合小型试验和实践经验，进行选择（详见第四章）。

## 第四节 离心机、分离机在三大合成材料、 氮肥和污水治理成套设备中的地位

最近十几年来，世界各先进工业国家在以石油与天然气为原料的“三大合成材料”和氮肥工业以及污水治理方面发展很快。所了解到的离心机在这些成套设备中的地位如下。

### 一、三大合成材料及氮肥成套设备中的离心机

在合成塑料聚氯乙烯及合成纤维聚丙烯中，沉降螺旋离心机是关键设备之一。在聚乙烯醇（维尼纶）中，也要用到沉降螺旋离心机。在合成橡胶的辅助工序中用到碟式分离机。在尿素生产中，一般流程不用离心机，只有日本三井东压的改良 C 法要用活塞离心机分离尿

素。有关型号、参数，见表 1-4 所示。

此外，在辅助设备中往往都有离心机和分离机，因为，每个企业总有润滑油、机油、变压器油或燃料油的净化、提纯、回收再用工序，而离心机、分离机则是完成上述工序最经济、有效的工具之一。

## 二、污水治理中离心机的地位

国外污水处理大致分三级进行。

一级：自然沉降。除掉部分污泥及油类。

二级：生物化学处理。在污水中加生物菌种或药品，使有害成分变成无害。如用细菌将煤焦油废水中的酚分解成二氧化碳和水。

三级：物理、化学处理。在前两级处理的基础上，或加入石灰，或用活性炭，或臭氧进行深度处理。经三级处理后，水质可达到排放甚至饮用标准。

在三级处理中，每一级均有大量的沉淀物——污泥出现。它含有各种病毒、细菌及其他有机物、无机物。需要对污泥进行消化处理，例如，氧化发酵或高温处理。经消化处理后的污泥往往含水 95% 以上。需进一步浓缩与干燥。

污泥浓缩主要用真空过滤机或离心机来达到。以前都采用真空过滤机，近来才逐步用离心机进行污泥浓缩，因为，两者比较起来，离心机具有一系列优点。

污泥脱水用的离心机一般有三种：①喷嘴碟式分离机。②沉降三足离心机。③沉降螺旋离心机。

① 喷嘴碟式分离机：主要用于对很稀液体的浓缩，可以代替自然沉降池的作用，或在进入沉降螺旋离心机之前，用它先进行浓缩一次。有关它的结构、原理，见第二章第十节。

② 沉降三足离心机：主要用于处理量小的场合。

③ 沉降螺旋离心机：

表1-4 国外离心机在三大合成材料及尿素中的使用情况

序号	成套项目	产量 (吨/年)	离心机型号	台数 (台)	转鼓直径 (毫米)	分离因数	转速 (转/分)	功率 (千瓦)	材料
1.	聚对苯二甲酸乙二酯(的确良) 其中：对二甲酸 乙甲脂 对二甲	25000	沉降螺旋离心机	6	700	1100	1650	45	SUS-33
		25400	沉降螺旋离心机	2	100	5014	9500	3.7	SUS-33
		17200	其他离心机	1				18.5	SUS-27
2.	丙烯腈 氟氢酸	50000 5000	沉降螺旋离心机	2	200	4000	6000	3.7	SUS-304
3.	聚乙烯醇(维尼纶以 乙烯为原料)	3300	沉降螺旋离心机	2				1.5	SS-41
4.	乙烯(以煤油柴油为 原料)	115000	油水分离机 (50吨/小时)	1	400	2494	3350	22	SUS-27
5.	聚丙烯(以乙烯、丙 烯为原料)	80000 (二 条线，每条各 40000)	一条线用卧式螺 旋离心机，一条线 用立式螺旋离心机 (P-6C00型)	1	1000	1170	1300	125	SUS-316
				1	500	3190	3000	220	
6.	聚氯乙烯	50000	沉降螺旋离心机	2	450	3000	2500	22	不锈钢

1958年以后,应用沉降螺旋离心机进行污泥脱水大大增加。也有许多论文报导了这种离心机有效和经济地将原始污泥和消化污泥进行浓缩、脱水<sup>[82]</sup>。美国Dorr-Oliver公司在1964年建立了一个能移动的试验装置,在美国70个地方进行各种污泥脱水试验,试验证明了大长径比的螺旋离心机是污水处理工厂中处理污泥脱水的有效设备,如果添加凝聚剂,就更增加了固体的回收率。

污泥脱水的沉降螺旋离心机大致具有下列参数:

分离因数: ~4000

长径比: ~3

转鼓锥角: ~8°

差转速: 10~30转/分

表1-5和表1-6列出了用沉降螺旋离心机进行污泥脱水的数据和效果。

表1-5 几种污泥脱水的数据

污泥种类	滤饼 (%TS)	回收率 %		费用 (美元/吨干渣)
		W/O Chem	W/ Chem	
原始污泥	28~35	85~90	>95	3~5
原始和生物污泥	22~26	70~80	>95	6~15
原始和消化污泥	18~24	60~80	>95	6~20

表1-6 各种污泥脱水效果

	处理物名称	渣质含水率%	SS(细颗粒)回收率%
下水道脏水和粪便污泥	一次沉淀污泥	71	98
	活性污泥	80~81	98~99
	前两种混合污泥	75~76	74~98
	嫌气性消化污泥	64~77	97~99
	好气性消化污泥	79~85	93~99
	粪便剩余污泥	85	99
	全氧化活性污泥	86~88	96~99
	猪粪便剩余污泥	83~84	97~98
	屠宰场活性污泥	87~88	97~98
食品工业	西红柿酱工厂活性污泥	90~92	95~99
	奶品工业废液活性污泥	86	94~96
	啤酒厂活性污泥	88	99
	食品工厂废液	85~90	90~98
	面包厂活性污泥	85	99~99.5
纸浆	稻草浆排水	78~79	80
	纸浆废液	71	99~99.5
	KP纸浆废液	80	95
	造纸废液	72	97~98
	旧纸废水	60~64	93~95

(续)

	处 理 物 名 称	渣质含水率%	SS(细颗粒)回收率%
其	轴承合金, 电镀排水	66~67	95~99
	酸洗的中和废水	87~88	97~98
	酸清废水	80	95
	Cu, Cr电镀废水	72	95
	电镀废水	84	99
	电镀, 酸洗废水	85~88	99.5
	皮革废水	83	93
	砖瓦研磨洗涤废水	50	95~99
	湿式除尘水	50	99
	氢氧化铁	78	93
	切削, 涂料工厂废水	84	98
	氢氧化铝, 氢氧化钛排水	88	96
	反应废渣污泥(氢氧化钙)	54	99~99.8
	铸造厂废水	54~55	98.5~99.5
	工厂废水活性污泥	87~89	95~99
他	对苯二甲酸废水	78	97
	碳氢化合物排水	83~84	97~99
	锅炉化学洗涤水	75~85	97
	油分离器污泥	64	64~98
	涂料废液	65	80~88
	含油工厂废液	68~75	90~92
	印染废液	73~78	98~99

## 第五节 行业概貌

离心机、分离机作为一个专业进行独立活动的历史不长。各国的离心机产量、产值统计中, 过去均包括在化工机械或一般机械之中, 从六十年代开始, 有些国家专把离心机的产量、产值单独分开。现将日本、西德、美国的离心机产量列于表 1-7 之中。

及时报导当代离心机、分离机情况的是 Achema 展览会。每隔三年在西德法兰克福市举行一次展览。世界各国的主要公司都参加展出。1970 年是第 26 届展览会。此外, 在美国纽约举行的 Chem 展览会及莱比锡展览会也对上述机器进行展览和报导。

离心机、分离机的国际性学术机构是国际过滤协会<sup>[34]</sup>, 是世界上最大的过滤分离学术性组织。该协会由英国的 H. K. Suttle 于 1964 年在英国伦敦发起成立。当时有英国及其它国家的会员二百多人, 后来逐年增加, 到 1972 年已有会员八百多人, 其中英国会员占一半。会员是过滤、分离与沉降设备的制造者、设计者、研究者和使用者。

后来当会员增多时, 在国外也建立了一些分会。在美国有得克萨斯、纽约、芝加哥、新英格兰、德拉瓦尔等五个分会, 另外在加拿大荷兰也建立了分会。

协会在开展学术活动方面比较活跃。一般在英国的总会每年要举行十五次左右的学术会议, 其中规模最大的是在每年 9 月下旬的会议上, 尤其当二年一度的国际过滤与分离工程展览会也在此期间展出时, 论文数量及参加者更多。各分会也经常举行学术会议。

协会自成立以来, 已举行过下列专题讨论会;

“过滤和分离设备性能和费用” (1967)

“医疗卫生工程中的过滤” (1969)

“固液分离设备正确选择” (1969)

“在工艺过程设备设计和开发中的过滤” (1971)

“固液分离中什么是新的？” (1973)

过滤协会定期举办国际过滤与分离工程技术展览会 (简称 Filtech)。二年召开一次, 于 9 月下旬在英国伦敦奥林比亚举行。参加展出的国家有比利时、法国、西德、荷兰、意大利、瑞典、瑞士、美国、英国等主要资本主义国家, 东欧国家如苏联、东德等也参加展出。世界上一些主要制造过滤与分离设备的公司与厂商, 如 Alfa-Laval, Krauss-Maffei 等都参加。从 1964 年起到 1973 年止共举办了六次 (64、65、67、69、71、73 各一次)。

协会办有自己的技术刊物。名为“过滤与分离” (Filtration and Separation), 双月刊。

协会还设有图书馆, 馆内收藏有书籍、期刊、过滤协会会讯、技术报告、标准说明及各种文献。

表 1-7 [86] [80] [37]

年 份	日 本		西 德*		美 国 产 值 (百万美元)
	产 值 (百万日元)	产 量 (台)	产 值 (百万马克)	产 量 (台)	
1960	6157	8976			20.727
1961	7989	9218			
1962	7608	9092			
1963	6100	8343			
1964	8729	9441			
1965	9022	10842			
1966	8085	11576			
1967	9022	13048			
1968	9176	13112	27.7	1346	
1969	10291	14987	35.25	2009	
1970	12053	12618	51.29	1995	
1971	14422	12556	58.86	2881	
1972			44.2**	1635**	

\* 只包括化工、通用及干燥用离心机。

\*\* 只包括化工、通用的离心机。

## 第二章 各类离心机、分离机的发展

### 第一节 三足式离心机

#### 一、概 述

三足式离心机（以下简称三足离心机）是最古老的离心机。世界上第一台离心机是在1836年诞生于德国<sup>[33]</sup>，当时被称为棉布脱水机，它就是三足离心机的前身，也是离心机的鼻祖。

目前，人们仍然用这种离心机进行棉布脱水，然而机器的结构、性能已大大改善了，棉布脱水只是它被应用的上千种分离物料之一。可以这么说：凡是能在其他过滤离心机上分离的物料，都能在过滤式三足离心机上分离。所以，三足离心机的制造也遍及世界各国。

三足离心机有过滤与沉降两种形式，但绝大部分用过滤式。以下对过滤式三足离心机作简单介绍。

#### 二、结构与原理

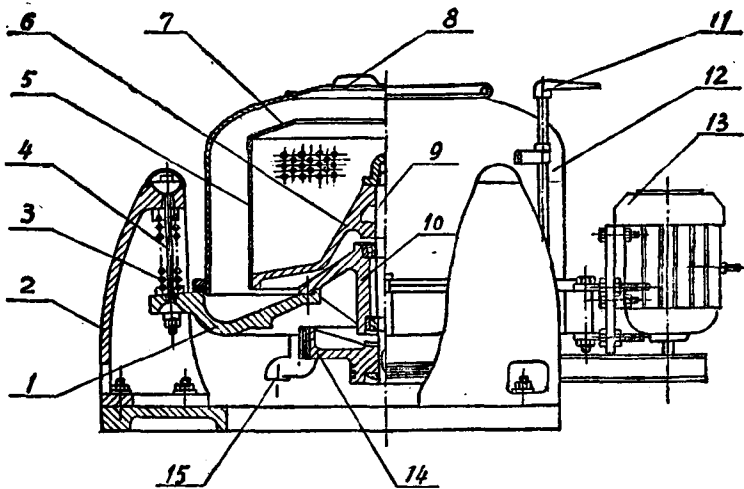


图1 三足式离心机结构图

1—底盘；2—支柱；3—缓冲弹簧；4—摆杆；5—鼓壁；6—转鼓底；7—拦液板；8—机盖；9—主轴；10—轴承座；11—制动器平把；12—外壳；13—电动机；14—制动轮；15—滤液出口

三足式上部人工卸料离心机的结构是：底盘（1）、外壳（12）及装在底盘上的主轴（9）和转鼓，用三根摆杆（4）悬挂在三根支柱（2）上的球面座上，摆杆上有缓冲弹簧（3）。这种支承方式使转鼓因装料不均而处于不平衡状态时能作自动调整，减轻主轴和轴承的动力负荷。离心机由装在外壳侧面的电动机（13）通过三角皮带驱动。

装有转鼓的主轴垂直安装在一对滚动轴承内，轴承座（10）则固定在悬挂于支柱上的底

盘中。转鼓由带孔的圆柱形鼓壁（5）、拦液板（7）和转鼓底（6）三部分组成。处理悬浮液时，转鼓内需衬滤网或滤布；处理成件物品（如衣物、布匹）时不必衬滤网或滤布。

在机器上部加料，外壳顶部装有铰接式机盖（8），侧面有制动器手把（11），转动制动器手把则制动带（或块）煞紧主轴上的制动轮（14），使离心机迅速停车，以缩短操作周期。底盘下部有滤液出口（15），分离出的滤液由此排出。

为使布料均匀，悬浮液于离心机达到全速后才逐渐加入，当滤渣充满整个有效容积时停止加料。处理膏状物料或成件物品时在离心机开车前将物料放入转鼓内。机器开动后物料在离心力的作用下，其所含液体经由滤布（或滤网）和转鼓壁上的孔被甩到外壳内壁，在底盘上汇集后由滤液出口排出；固相则截留在转鼓内，停车后靠人工由转鼓上部卸出。在分离过程中可用洗涤液洗涤滤渣。

### 三、性能与发展趋势

三足离心机是具有固定过滤床的间隙操作离心机。其主要优点是对物料的适应性非常强，装上滤布可以过滤很细的难分离物料，对滤布不能再生的物料可将滤布拿出来清洗。它的过滤、洗涤时间可以任意控制，故可得最干的滤饼和最充分的洗涤。而且颗粒几乎不受损坏，获得的滤液又很清。此外，机器运转平稳；人工卸料的三足离心机结构简单、价格低廉。三足离心机的缺点是间隙操作，每个循环周期较长，生产能力较小，一般只适用于小批量的生产。同时，人工卸料的劳动强度大。

三足离心机技术参数大致如下<sup>〔15〕〔17〕</sup>：

转鼓直径：400~1600毫米，少数可到2000毫米，很少到2500毫米的。

转速：400~4000转/分。

分离因数：200~3500。

加料时圆周速度：10~20米/秒。

卸料时圆周速度：4~5米/秒。

滤饼厚度：<200毫米。

三足离心机的发展趋势主要是机械化和自动化。机械化一般是指带有机械刮刀的下部卸料三足离心机。自动化则完全靠仪器进行自动程序控制。全自动三足离心机无论在自动化程度、机器主要结构、性能以及机器价格、运转费用等方面，与刮刀离心机没有什么大区别，只是在卸料时的圆周速度比刮刀离心机低。但是，刮刀离心机为了减少对固体颗粒的损坏，同样也降低卸料时的转鼓圆周速度。

近来，一般均采用无级调速的容积式液压马达，其优点见刮刀离心机。

为了满足某些产品的要求，三足离心机还有密闭防爆等结构<sup>〔88〕</sup>。

## 第二节 上悬式离心机

### 一、概 述

上悬式离心机（以下简称上悬离心机）是1852年发展起来的。当时，也是人工卸料的间歇式离心机。1961年德国报导了由VEB Sanger Hausen 机器厂制造的用时间继电器程序控制的上悬离心机<sup>〔40〕</sup>，用于糖膏分离。目前大部分上悬离心机已实现机械卸料和完全自动化。约有9个国家，25家公司生产这种机器<sup>〔88〕</sup>。



## 二、结构与原理

上悬式离心机的转轴（6）垂直悬挂在机架（7）上，转轴的上端装在轴承套（9）内的轴承中，而转鼓装在转轴的下端，故转轴的支承点远远高于回转机件的重心，这种支承结构使离心机回转件有自动对中的特性。当装料不匀时转轴与转鼓能作自动调整吸收振动。

本机传动方式为直接传动，位于机架上转轴顶端的立式电动机（11）通过离心摩擦离合器（10）与转轴直联。

装在主轴下端的转鼓由转鼓底（1）、带孔鼓壁（2）及拦液板（3）组成，转鼓内壁衬有滤布或滤网，转鼓底筋条间的空隙即为卸料孔道。

离心机外壳（4）顶部有机盖，底部有滤液排出管，外侧有滤液取料口和观察滤液的视镜（5），内侧有清洗转鼓的冲洗管（14），上部有伸到转鼓内的洗涤液管（13）。

转轴上部机架上装有制动器（12），制动时制动带抱紧转轴上的制动轮（8）使离心机迅速停车，制动器中有联锁装置，当处于制动位置时电动机电路自动切断。

物料从外壳上部机盖处或特备的加料口加入转鼓。加料前先将转鼓启动并在低转速（180~300转/分）下运转，待加料完毕后再将转鼓加至全速，如工艺过程需要可用洗液洗涤滤渣。滤渣经洗涤和甩干后即可停车将其卸出。

## 三、发展趋势

上悬离心机主要用在制糖工业上。优点是分离质量较高，能基本保证晶粒不受损坏。也有用于钾碱、维生素C、氯化锌、氟矽化钠、葱等化工、医药部门的，但是不够广泛。而且在制糖上，自1960年以来已有一部分机器逐渐被惯性离心机所代替<sup>[45]</sup>。

上悬离心机的发展主要体现在产量的增大和自动化程度的提高。前者，主要是增大机器的有效容积，每次加料量已从650公斤增加到1400公斤。其次是提高转速，加料时，从200~250转/分增加到500转/分。卸料时，从50~70转/分增加到300转/分。这样可使生产能力提高40%<sup>[15]</sup>。

在自动化方面，虽然在制糖工业中实现了，但由于进料分布不均匀，限制了它在其他工业中的正常使用<sup>[41]</sup>。

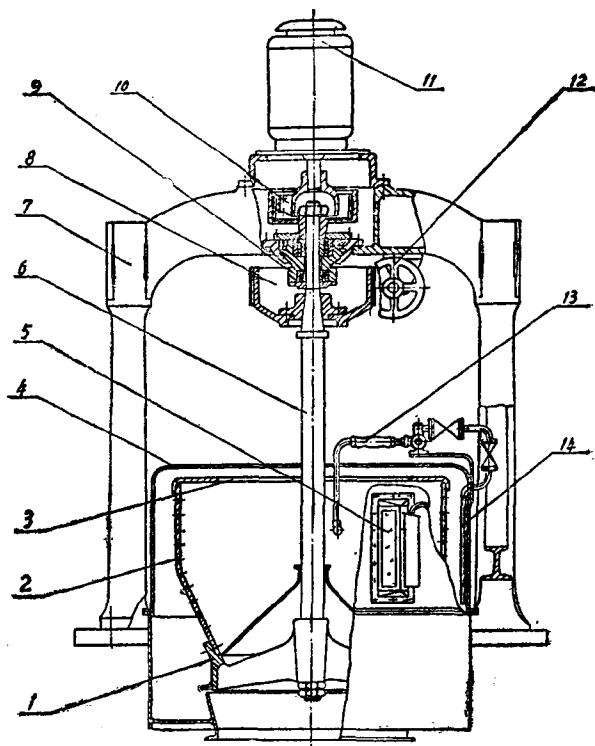


图2 上悬式离心机结构图

- 1—鼓底；2—鼓壁；3—拦液板；4—外壳；5—视镜；6—主轴；  
7—机架；8—制动轮；9—轴承套；10—离合器；11—电动机；  
12—制动器；13—洗涤管；14—冲洗管