

高等学校教材

轻化工设备及设计

蔡建国 周永传 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书叙述了轻化工生产过程中常用的设备和装置，总共分十五章。在书的内容上，包括了传统的常用设备，如换热设备、流体输送设备、传质和各种分离设备、搅拌和均质设备、塔设备和反应器设备、结晶设备等，也编入了一些近年来得到工业应用的设备，如膜分离设备、超临界流体萃取设备、分子蒸馏设备等。本书第十五章介绍了金属的腐蚀机理以及金属设备的防腐等知识。书中强调了各种设备的结构特点、性能、工作原理和使用以及在选型和设计过程中需要注意的问题。

本书可作为高等院校轻化工、精细化工、食品、医药等专业课教材，也可供从事轻化工、化工和药品生产的工程技术人员、管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

轻化工设备及设计/蔡建国，周永传编. —北京：化学工业出版社，2006.10

高等学校教材

ISBN 978-7-5025-9473-2

I. 轻… II. ①蔡…②周… III. 化工设备-设计-高等学校-教材 IV. TQ050.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 126773 号

责任编辑：何 丽

文字编辑：吴开亮

责任校对：郑 捷

装帧设计：潘 峰

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 18½ 字数 467 千字 2007 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：33.00 元

版权所有 违者必究

前 言

近年来，随着人们生活水平的提高，国内外轻化工工艺和生产设备技术的发展较快，并在工程实践中积累了很多的工程经验。为了适应轻化工工业迅速发展的形势，满足轻化工生产设备的教学和设计的需要，我们对使用了5年的《轻化工设备及设计》讲义进行修改并出版教材。本教材可作为高等院校精细化工、食品、制药工程等专业的专业课教材，也可供从事轻工、化工和药品生产的工程技术人员、管理人员参考。

轻化工生产与石油化工等大化工相比，其设备规模要小得多，具有生产规模小而品种多的特点。化工生产是原料通过一系列化学、物理变化而形成产品的过程，其变化的条件是由一定结构特征的设备提供的。本书分十五章，每章以单元过程为基础，但又不局限于单元设备上。在书的内容上，包括了传统的常用设备，如换热设备、流体输送设备、传质和各种分离设备、搅拌和均质设备、塔设备和反应器设备、结晶设备等，也编入了一些近年来得到工业应用的设备，如膜分离设备、超临界流体萃取设备、分子蒸馏设备等。书中第15章介绍了金属腐蚀现象、腐蚀机理以及金属设备的防腐等知识，使本书构成了从轻化工生产设备到设备防腐保护的知识体系。书中内容强调了各种设备的结构特点、性能、工作原理和使用，以及在选型和设计过程中需要注意的问题，学习选择适当形式的设备、设计符合要求的设备。

本教材强调理论和实际相结合，为学习者提供基本的设备知识和选用设备的原则，以及设计设备的思考方式。通过学习，学习者可具备必要的轻化工生产设备基础知识和工程概念并提高分析问题、解决问题的能力。

书中第1章、第8章、第9章、第10章、第11章、第12章、第13章、第14章、第15章和第7章的分子蒸馏部分由蔡建国编写，第2章、第3章、第4章、第5章、第6章和第7章的精馏部分由周永传编写。武斌同志对本书的编写提供了很好的建议和帮助。本教材的出版还得到华东理工大学的资助，在此一一致以衷心的感谢。

鉴于本书所涉及的设备和内容广泛，限于作者的水平，不足之处在所难免，恳请读者提出批评和指正。

作者

2006年10月

目 录

第 1 章 绪论	1	4.4.3 离心机的分类	54
1.1 轻化工业在都市经济中的作用	1	第 5 章 热交换设备	60
1.2 轻化工设备的特点	1	5.1 壁式换热器	60
1.3 轻化工设备的分类与选型原则	1	5.1.1 夹套式换热器	60
1.3.1 设备分类	1	5.1.2 沉浸式蛇管式换热器	60
1.3.2 设备选型原则	2	5.1.3 喷淋式换热器	60
第 2 章 流体输送设备	3	5.1.4 套管式换热器	61
2.1 泵的选择	3	5.1.5 管壳式换热器	62
2.1.1 泵的分类和特性	3	5.1.6 螺旋板式换热器	62
2.1.2 离心泵与往复泵的比较	11	5.1.7 板式换热器	63
2.1.3 选泵的原则和计算	12	5.2 管壳式换热器的类型及选择	63
2.2 风机的选择	15	5.2.1 管壳式换热器的类型	63
2.2.1 气体输送机械的类型及特性	16	5.2.2 管壳式换热器的选择	65
2.2.2 离心式通风机的选择	23	5.3 传热过程基本方程	65
第 3 章 气固分离设备	25	5.3.1 热负荷方程	65
3.1 气固分离的方法及其分类	25	5.3.2 传热基本方程式	65
3.2 气固的干法分离及设备	26	5.3.3 传热面积	66
3.2.1 分离原理	26	5.3.4 有效平均温度差	66
3.2.2 重力沉降器	27	5.3.5 传热系数 K	66
3.2.3 旋风分离器	28	5.4 管壳式换热器的工艺计算	67
3.3 气固的湿法分离	31	5.4.1 热负荷计算	67
3.4 气固的过滤分离	33	5.4.2 管壳式换热器的温差计算	67
3.5 气固的电分离	33	5.4.3 换热器内流体通道的选择	67
第 4 章 液固分离设备	37	5.4.4 传热系数 K 的确定	68
4.1 液固分离的分类及其分离方法	37	5.4.5 传热面积的计算	70
4.2 液固的沉降分离及设备	38	5.5 管壳式换热器的结构设计	70
4.2.1 间歇式沉降器	40	5.5.1 管径的选择	70
4.2.2 半连续式沉降器	40	5.5.2 管内流速与程数	70
4.2.3 连续式沉降器	40	5.5.3 挡板的安装	71
4.2.4 沉淀的洗涤	41	5.5.4 管子长度的选择	71
4.3 液固的过滤分离及设备	41	5.5.5 管数的确定	71
4.3.1 过滤介质	42	5.5.6 管板和壳体直径	72
4.3.2 过滤速度	42	5.5.7 换热器的材料选择	73
4.3.3 过滤基本方程式及计算	43	第 6 章 蒸发浓缩设备	78
4.3.4 滤饼的洗涤与洗涤速度	46	6.1 概述	78
4.3.5 过滤机的分类	47	6.2 蒸发器的类型及选择	78
4.4 液固的离心分离及设备	53	6.2.1 蒸发器的类型	78
4.4.1 离心力的大小	53	6.2.2 蒸发设备的选型	83
4.4.2 离心分离的特点	54	6.2.3 蒸发器操作条件的确定	85
		6.2.4 蒸发装置流程的确定	85

6.3 蒸发器工艺计算	87	9.1.2 萃取剂的选择和常用萃取剂	137
6.3.1 蒸发器工艺计算的基本公式	87	9.2 萃取设备的分类和特点	138
6.3.2 单效蒸发计算	88	9.2.1 萃取设备的分类	138
6.3.3 多效蒸发计算	89	9.2.2 萃取设备的特点	139
第7章 精馏设备	95	9.3 萃取设备的选择	139
7.1 精馏塔的类型和结构	95	9.4 混合澄清槽和转盘萃取塔及其设计	139
7.1.1 板式塔	95	9.4.1 混合澄清槽	139
7.1.2 填料塔	100	9.4.2 转盘萃取塔	140
7.2 精馏操作对塔设备的要求	104	9.5 萃取流程及其理论级数	143
7.3 塔设备设计方案的确定	104	9.5.1 单级萃取	143
7.3.1 设备基本参数的确定	104	9.5.2 多级错流萃取	144
7.3.2 确定设计方案的原则	105	9.5.3 多级逆流萃取	147
7.4 板式精馏塔的工艺计算	106	9.6 超临界流体萃取	150
7.4.1 物料衡算与能量衡算	106	9.6.1 超临界流体的特性	151
7.4.2 理论塔板数的确定	107	9.6.2 超临界流体萃取原理	152
7.4.3 回流比的选择	109	9.6.3 超临界流体萃取的流程	154
7.4.4 塔板总效率的估计	110	9.6.4 超临界流体萃取设备	156
7.5 分子蒸馏设备	112	第10章 膜分离设备	159
7.5.1 分子蒸馏原理	112	10.1 膜分离过程	159
7.5.2 分子蒸馏过程分析	113	10.2 超过滤	160
7.5.3 分子蒸馏装置	114	10.2.1 超过滤器	161
7.5.4 分子蒸馏的应用	115	10.2.2 过程计算及工业应用	164
第8章 吸收及吸附设备	118	10.3 反渗透	170
8.1 吸收概述	118	10.3.1 反渗透器	170
8.2 吸收设备的分类和特点	119	10.3.2 过程计算及工业应用	172
8.2.1 填料塔	119	10.4 气体渗透	176
8.2.2 板式塔	119	10.4.1 气体渗透器	176
8.2.3 其他形式的塔	120	10.4.2 过程计算及工业应用	177
8.2.4 吸收塔的特点	120	10.5 液膜分离	179
8.2.5 吸收塔设备的选择	121	10.5.1 液膜分离设备	180
8.3 吸收塔和理论塔板数的计算	122	10.5.2 过程计算	181
8.3.1 理论塔板数计算	122	10.6 渗析过程	182
8.3.2 吸收塔的计算	123	10.6.1 渗析概述	182
8.3.3 吸收剂用量的计算	128	10.6.2 渗析器及工业应用	183
8.4 吸附概述	129	10.6.3 电渗析器及工业应用	185
8.5 吸附速率	130	10.7 渗透蒸发	187
8.6 固定床吸附分离设备	131	10.7.1 渗透蒸发过程原理及计算	187
8.6.1 固定床吸附分离设备	131	10.7.2 渗透蒸发膜组件	188
8.6.2 吸附负荷曲线和穿透曲线	132	10.7.3 应用	188
8.6.3 固定床吸附器的计算	133	第11章 结晶设备	191
8.7 移动床和模拟移动床吸附设备	134	11.1 概述	191
8.7.1 移动床吸附器	134	11.2 溶解度和溶液的过饱和度	191
8.7.2 模拟移动床吸附器	134	11.2.1 溶解度	191
第9章 萃取设备	137	11.2.2 溶解度曲线	191
9.1 概述	137	11.2.3 过饱和度的表示方法	192
9.1.1 液液萃取的特点	137	11.3 结晶方法	192

11.3.1	冷却法结晶	192	第 14 章 反应器设备	248	
11.3.2	蒸发法结晶	193	14.1	概述	248
11.3.3	真空冷却法结晶	193	14.2	反应设备的分类	248
11.3.4	盐析法结晶	193	14.3	搅拌反应器	249
11.3.5	反应法结晶	194	14.3.1	搅拌反应器的总体结构	249
11.3.6	超临界流体膨胀法结晶	194	14.3.2	搅拌反应器的机械设计	250
11.4	结晶过程计算	194	14.3.3	搅拌反应器的筒体设计	250
11.4.1	物料衡算	195	14.3.4	搅拌反应器的传热装置	251
11.4.2	热量衡算	196	14.4	磺化反应器	253
11.5	结晶设备	197	14.4.1	多管式膜式磺化反应器	253
11.5.1	冷却式结晶器	197	14.4.2	双膜式磺化反应器	255
11.5.2	直接接触冷却结晶器	198	14.5	其他反应器	257
11.5.3	蒸发结晶器	199	14.5.1	管式反应器	257
11.5.4	真空式结晶器	200	14.5.2	塔式反应器	258
11.5.5	几种通用的结晶器	202	14.6	反应器的选择	258
11.6	结晶设备的选择	208	14.6.1	反应器的特点	258
第 12 章 固体干燥和固体粉碎		209	14.6.2	反应器的选择	259
12.1	固体干燥	209	第 15 章 金属及设备的防腐		262
12.1.1	固体的去湿方法	209	15.1	概述	262
12.1.2	水分在气固两相间的平衡	209	15.2	金属腐蚀的类型	263
12.1.3	干燥速率和过程计算	211	15.2.1	按照腐蚀环境分类	263
12.1.4	干燥设备的分类及其特点	214	15.2.2	按照腐蚀形式分类	263
12.1.5	常用工业干燥设备	215	15.2.3	按照腐蚀过程机理分类	264
12.1.6	干燥设备的选择	225	15.3	金属腐蚀速率的表达方式	265
12.1.7	工艺方案的选定	226	15.3.1	金属腐蚀的重量指标	265
12.2	固体粉碎	226	15.3.2	金属腐蚀速率的深度指标	265
12.2.1	颗粒大小的测量	227	15.3.3	金属腐蚀速率的电流指标	266
12.2.2	固体粉碎设备	227	15.4	金属材料的耐腐蚀性等级	266
12.2.3	气流粉碎技术	229	15.5	腐蚀的基本理论	267
第 13 章 搅拌器及均质设备		231	15.5.1	化学腐蚀	267
13.1	搅拌器的类型和结构	231	15.5.2	电化学腐蚀	269
13.2	搅拌效果的强化	235	15.5.3	金属的钝化	275
13.2.1	挡板	235	15.6	影响金属腐蚀的因素	275
13.2.2	导流筒	235	15.6.1	金属材料自身的因素	276
13.3	搅拌器的选择	235	15.6.2	周围环境的影响	276
13.3.1	搅拌器的功率计算	235	15.7	金属材料的防护	278
13.3.2	搅拌器的强度计算	241	15.7.1	合理选用材料和结构计算	278
13.3.3	液液相系搅拌设备的选择	242	15.7.2	电化学保护	281
13.3.4	固液相系搅拌设备的选择	243	15.7.3	添加缓蚀剂保护	283
13.3.5	气液相系搅拌设备的选择	243	15.7.4	金属表面涂层覆盖	283
13.4	均质设备	243	参考文献		287
13.4.1	均质原理	243			
13.4.2	均质设备类型	244			

1.1 轻化工业在都市经济中的作用

相对于石油化工和能源化工，轻化工业对于满足人民生活需求，提高人民生活水平和质量，促进工农业生产，促进文化和科学技术的发展都具有同样重要的地位和作用。

20世纪50年代前，我国轻化工业落后，只有一些如肥皂、甘油、油漆、化妆品、香料香精等老的轻化工行业。新中国成立后，我国轻化工业从无到有，从小到大。目前，我国轻化工业的门类基本齐全，品种繁多，技术进步迅速，产品不断更新，市场不断扩大，产品产量不断提高，质量稳步上升。产品不仅可满足工农业发展和人民生活提高的需要，而且一部分可以进入国际市场。在产量上，我国已经是世界上合成洗涤剂产量最多的国家。

轻化工业是一门技术密集型的高技术产业，由于它具有产品品种多、更新快、附加值高的特点，在我国的国民经济中占有日益重要的地位，已发展成为我国出口创汇的一支重要的力量。且随着我国产业结构的调整，城市工业的发展将增“轻”减“重”，向着以满足人民的生活必须、美化和提高人民生活水平和质量为目标的城市型工业发展。

1.2 轻化工设备的特点

化工生产过程是原料通过一系列的化学和物理变化的过程，其变化的条件是由化工设备提供的。因此，选择适当型号的设备、设计符合工艺要求的设备，是完成生产任务、获得良好经济效益的前提和保证。

轻化工业是一个技术密集型的高科技产业，产品具有投资效率高、利润率高、附加值高的特征。如以洗涤用品中的表面活性剂和合成洗涤剂为例，据统计，它的设备投资约为石油工业的 $1/3\sim 1/2$ ，而附加产值是石油化学工业的1.4倍，利润率则是重工业的 $2\sim 4$ 倍。轻化工产品的这种高经济性，要求我们在工艺设计和设备选择时，采用先进的工艺、选择高效的设备，使系统最优化、控制自动化，确保产品的质量。

轻化工产品一般具有批量小、品种多、功能特定等特点，有时产品的专用性比较强。轻化工产品的生产全过程常包括合成、分离精制、配制和产品标准化生产等，对不同的过程，其要求和考虑方法不尽相同。由于轻化工产品具有批量小、品种多，要求一种设备、一种生产装置、生产线的设计等尽可能达到优化和多功能的目的，并摒弃单一产品、单一流程、单一设备和装置的生产方式。这要求我们在设计时、在选用设备时，必须根据实际情况，因地制宜地综合生产流程和装置，做到一机多能、一线多用的目的，以取得最佳的经济效益。

另外，轻化工产品生产的多样化，即工艺路线或技术路线的多样化。生产同一种产品可选用不同的起始原料，采用不同的生产方法，因此，要求我们选用的设备、制定的工艺要兼顾不同的起始原料和不同的生产方法。

1.3 轻化工设备的分类与选型原则

1.3.1 设备分类

轻化工生产设备一般分为两类，即定型设备和非定型设备，有时根据设备在生产过程中

的作用和供应渠道，分为专用设备、通用设备及非标准设备。

(1) 专用设备 专用设备一般是指生产过程中为主物料、半成品、产品直接经过的，并有一定生产技术参数要求的设备。如合成洗衣粉生产过程中的熔化、燃化、磺化、中和、配料、喷雾干燥、包装等设备。专用设备因直接与物料接触，大部分为连续运行，对机械性能及材料的要求较高，加工制造技术性强，因此，一般要由专业性的机械厂设计和制造，有时还要引进国外专门的技术和设备。

(2) 通用设备 通用设备一般是指由机械工业部系统主管及生产的如泵、通风机、压缩机、离心机、螺旋输送机、皮带输送机等。

(3) 非标准设备 非标准设备一般是指规格和材料质量都不定型的辅助设备。在工厂设计中，类似设备多属容器、储槽类，根据生产需要而配置。

1.3.2 设备选型原则

(1) 满足工艺要求 设备的选择和计算必须充分考虑工艺上的要求，力求做到技术上先进、经济上合理。即选用的设备应与生产规模相适应，并应获得最大的单位产量；能适应产品品种变化的要求，确保产品质量；能降低劳动强度，提高劳动生产率；能降低材料及相应的公用工程（水、电、汽或气）的单耗；能改善环境保护；设备制造较易，材料易得，操作及维修保养要方便。

设备选择时，要能完全满足上述各方面的条件是困难的，但一定要参照上述的几个方面对拟采用的设备进行详尽地比较，最终得出最佳方案。

(2) 设备成熟可靠 作为工业生产，不允许选用不成熟或未经生产考验的设备。选用的设备不但技术性能要可靠，设备材质也要可靠。对从国外引进的设备，同样必须强调设备及其所采用材料的可靠性。特别对生产中的关键设备，一定要在充分调查研究和对比的基础上，做出科学的选择。

(3) 尽量采用国产设备 在选择设备时，应尽量采用国产设备，这样不但经济上节约，而且可以促进我国机械制造业的发展。当然，根据实际情况和条件，引进少量进口装置或关键设备有时也是必需的，但同样必须坚持设备的先进可靠、经济合理，并应考虑在引进的基础上如何消化吸收以及国产化等。

2.1 泵的选择

在轻化工业生产中所处理的物料、得到的产品许多都是液体，在生产过程中，常常需要将这些流体从低处送至高处，或从低压送至高压，或克服管道阻力沿水平管道流动。为了达到这些目的，必须对流体作功，以提高流体的能量，才能完成输送任务，这种对流体作功以完成输送任务的机械通称为流体输送机械。用于输送液体的机械简称为泵。

由于在轻化工生产中所输送的液体性质是多种多样的，如有腐蚀性的、黏度较大的、易燃易爆的、有毒有害的、含有固体悬浮物的或者高温、低温的等，而且不同的生产过程所要求输送液体的量及压头也各不相同。为适应许多不同的情况和场合的需要，就出现了具有不同结构和特性的各类不同的输送泵。

怎样才能选用一台既能符合生产需要，又比较经济合理的输送泵，这不仅需要了解被输送液体的性质，输送的要求，同时还必须了解各种类型输送泵的工作原理、特征，以便能正确地选型及合理地使用。

2.1.1 泵的分类和特性

目前，常用的各类泵通常可分为以下四类。

- ① 往复式 主要类型有活塞泵、柱塞泵、隔膜泵等。
- ② 离心式 典型的有各类离心泵、涡壳泵、涡轮泵、旋桨泵等。
- ③ 旋转式 典型的有齿轮泵、螺杆泵、滑板泵。
- ④ 流体动力作用式 典型的有喷射泵、空气提升器等。

2.1.1.1 往复泵

往复泵所起的作用是靠安装在机壳内的活塞或柱塞作往复运动，单向活门分别启闭，使液体吸入壳内然后再被压出。往复泵就其吸入液体的动作，可分为单动泵、双动泵和差动泵三类。

单动泵 单动泵的操作原理是：当活塞由于外力的作用向右移动时（图 2-1），泵体内造成低压，上端的单向活门被压而关闭，下端的单向活门则被泵外液体的压力推开，将液体吸入泵体内；当活塞向左移动时，泵体内造成高压，下端的单向活门被压而关闭，上端的活门则被压而开启，由此将液体排出泵外；如果活塞不断地往复运动，就能将液体不断地从下端吸入而由上端排出。此种泵当活塞往复一次（即两次冲程）时，只吸入液体一次和排出液体一次，所以称为单动泵。

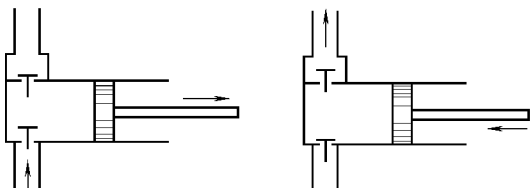


图 2-1 单动泵的操作原理

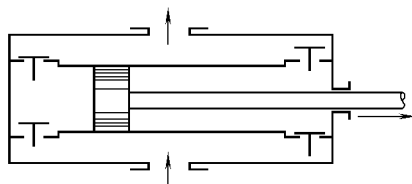


图 2-2 双动泵的操作原理

双动泵 双动泵至少具有四个活门（图 2-2），分布在泵体的两边。当活塞向右移动时，左边上端的活门关闭，而下端的活门开启（此时右边下端的活门关闭）所以液体进入泵体左边。同时右边上端的活门开启，原存泵体右边的液体由此排出。若活塞向左移动，则泵体左边的液体将被排出，同时泵体右边将吸入液体。显然，活塞两边都在工作，因此活塞每往复一次（即两次冲程），即吸入液体两次并同时排出液体两次。所以，双动泵可视为两个单动泵所组成。

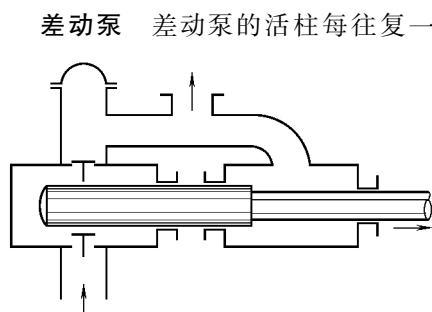


图 2-3 差动泵的操作原理

差动泵 差动泵的活柱每往复一次，吸入液体一次而排出液体两次，其操作原理如图 2-3 所示。当活柱向右移动时，泵体右边的液体被排出，泵体左边下端的活门则开启，使液体进入泵体左边。当活柱向左移动时，下端活门关闭，不再吸入液体，上端活门则开启，使泵体左边的液体排至右边。因为右边的容积比左边少一部分活柱杆所占的体积，所以就有一部分的液体被排出泵外，其余则进入右边部分。这部分进入右边的液体，待活柱再次往右移动时再被排出。所以差动泵的活柱往复一次时，只吸入液体一次而将液体分两次排出。差

动泵的流量比单动泵均匀，与双动泵相比，则活门数目较少。

往复泵的流量曲线如图 2-4 所示。

往复泵的构造类型虽多，但必须具有三个最主要的部件——泵体、活塞与活门。

(1) 泵体 泵体又称泵壳，或指水缸。其材料在压力不大时采用铸铁，高压时可用铸钢。在极高的压力下输送液体时，可用整块的钢钻空而制成；在输送腐蚀性液体时，可用耐腐蚀材料（各种合金或陶瓷）或衬耐腐蚀材料。泵体的构造形状无一定式样，但务必使在操作时泵体内的空气可以除去，并应注意使液体在泵体内流动的阻力很小，而且可以检查活门。

(2) 活塞 活塞有盘形和柱形两种，后者称为柱塞。活塞必须与泵体非常紧密地接合，否则就要渗漏。盘形活塞外表面的四周均装有金属弹性环，或皮革、橡胶圈，这样可使活塞与泵体壁保持严密不漏，而且活塞本身也不致与泵体接触而被磨损。磨损的环圈则容易更换。柱形活塞为一空心柱，其垫料多安装在泵体上。采用活柱时，可无需将泵体的内壁精确地加工磨光。

(3) 活门 活门的构造，要求轻巧灵活、易于开闭，而且能承受相当的压强而不致破坏；此外，还要使液体通过活门时的阻力很小。活门的大小与输送量有关，当输送量大时，一般不采用一个大活门，而采用若干个同样式的较小的活门，图 2-5 中所示表示往复泵中常用的几种活门形状。图 2-5 (a) 为盘状活门，其构造部分为紧贴于活门座 4 上的活门盘 3。活门盘受液体的压强，离开活门座而上升，让液体通过；当压强降低时，则由弹簧 1 及其本身重量的作用，活门盘落于座上，使活门紧闭。此活门盘的构造也有成环状的，称为环状活门。输

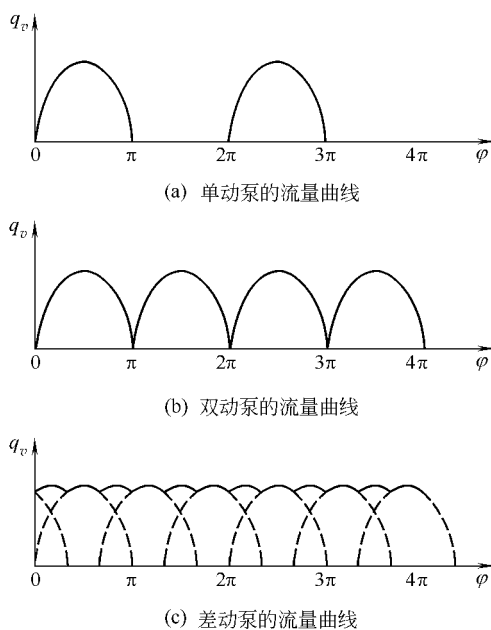


图 2-4 往复泵的流量曲线

送黏滞液体或悬浮液时,则采用易于通过的球形活门,如图2-5(b)所示。对于浑浊的液体,常采用具有较大截面积的活板活门,如图2-5(c)所示。

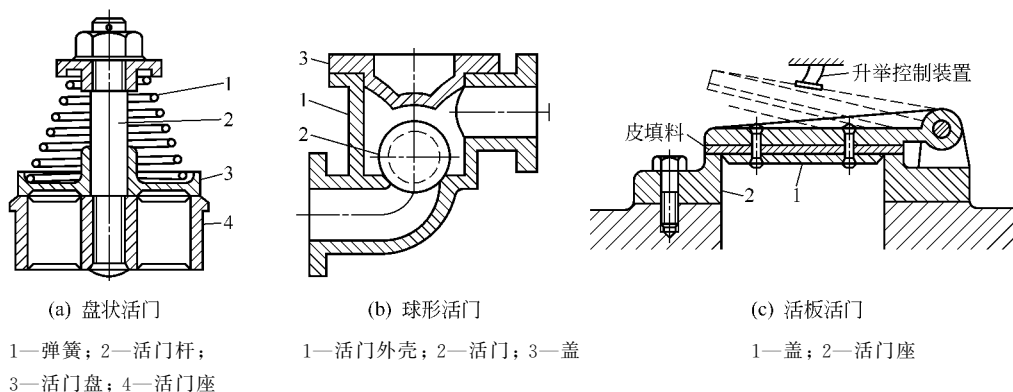


图 2-5 往复泵活门的构造

往复泵的分类,除依其吸入和排出液体的动作分为单动泵、双动泵和差动泵外,也可以按其活塞安装的情况分为直立泵和横卧泵;按其水缸数目分为单缸、双缸和三缸泵,也称单效、双效和三效泵;按其使活塞发生运动原动力的来源分为蒸汽泵和动力泵,蒸汽泵直接用蒸汽机带动,动力泵则用其他动力来带动。在输送挥发性的易燃液体时,均采用蒸汽泵。

当输送酸性液和悬浮液时,为了不使活塞受到损伤,多采用隔膜泵,借弹性薄膜片将活柱和被输送的液体分开。此弹性薄膜片由柔软的橡胶皮或特制的金属制成。如图2-6所示,隔膜左边所有部分均为耐酸材料制成,或衬以耐酸物质,隔膜右边则装有水或油,当泵的活柱往复运动时,迫使隔膜交替地向两边弯曲,使腐蚀性液体在隔膜左边轮流地吸入和压出,而不与活柱接触。

2.1.1.2 离心泵

离心泵输送液体的原理和往复泵的不同之处,在于往复泵是利用往复运动的活塞将液体吸入并排出,而离心泵则是利用在泵体内作高速旋转运动的工作叶轮以产生离心力,离心力再转变成压力,将液体吸入并排出泵体。最简单的离心泵如图2-7所示,在泵体内有一个工作翼轮,安装于直接由电动机或者传动装置所带动的旋转轴上。工作翼轮一般由6~12片具

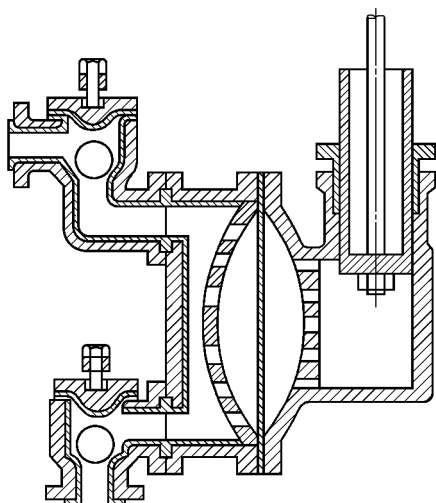


图 2-6 隔膜泵

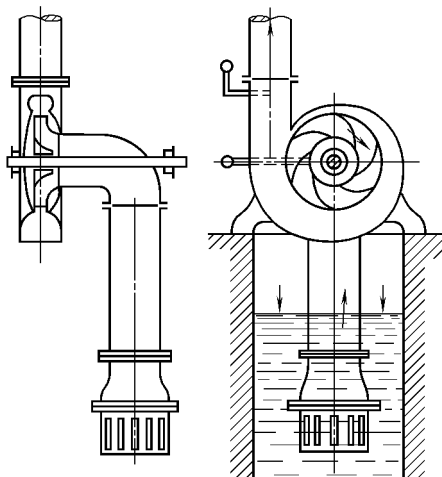


图 2-7 离心泵装置简图

有特殊形状的轮叶所构成，轮叶间组成了使液体通过的通道。泵体有两个接口：一个在泵体中央即旋转轴处，此接口与吸入管道相连，使吸入的液体由翼轮中心进入而分配于轮叶间；另一接口位于泵壳侧旁，与压出导管相连，液体由此排出。

在开动离心泵之前，要使泵壳和吸入管路充满液体。当翼轮转动时，充满于轮叶间的液体在离心力的作用下，从翼轮中心被抛向翼轮周围，从翼轮流出后经泵壳而排入压出管道。同时在泵的中央，即翼轮进水口的外围，产生了低压。由于储液池液面上的压强比此处要大，液体经吸入管道源源不断地进入泵内。可见，当工作翼轮旋转时，液体即连续不断地进入泵内并连续不断地排出泵外。所以，离心泵与往复泵不同，离心泵所吸入和排出的液体量是均匀而且连续的，所以不必安装吸入和压出活门。

液体在进入翼轮时速度很低，在轮叶间因离心力作用获得很高的速度，压强增大。当其流过轮叶间的通道时，由于通道截面的扩大，液体的相对速度减小；而当液体离开轮叶末端而进入泵壳内时，绝对速度骤减。这些过程都使一部分动能转变为静压能，增加压强，所以液体得以排出。

依工作翼轮的形状，除上述的径流式离心泵外，还有轴流式或称旋桨式。在径流泵中，液体由翼轮中心沿半径方向向翼轮周边运动，而在轴流式泵中，液体则沿与旋桨轴平行的方向运动。此外，其操作情况介于二者之间的还有混流式泵或称斜叶式泵。总之，这些泵均属同一类型，统称为轮叶式泵，其特点都是借工作翼轮的转动，将动能转变为静压能，达到输送液体的目的。图 2-8 所示为轴流式的一种。

按照液体吸入的方法，离心泵可分为单吸式和双吸式，如图 2-9 所示。在单吸式泵中，液体由泵的一侧进入，此时因翼轮两边受力不均，有一沿轴方向的推力（轴向推力）发生，使泵易于损坏。在双吸式泵中，液体是由泵的两侧进入，因而可避免泵不平衡的水力压力。

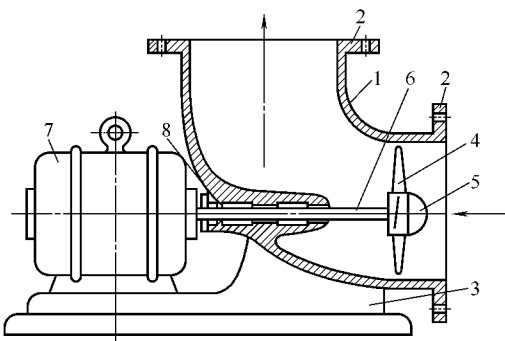


图 2-8 轴流式泵

- 1—机壳；2—法兰盘；3—支座；4—工作翼轮；
5—轮罩；6—轴；7—电动机；8—填料函

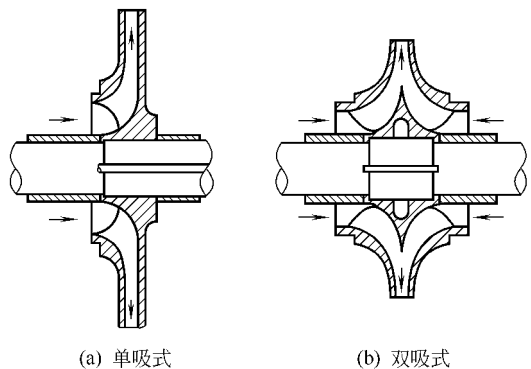


图 2-9 单吸式和双吸式离心

离心泵又可依每一个泵中所具有的工作翼轮的数目，分为单级与多级。单级离心泵只有一个翼轮，多级离心泵则以几个翼轮串联装置，液体自第一级翼轮排出时即行导入第二级翼轮，以此类推，所以等于几个串联工作的单级离心泵。多级离心泵比单级的可以发生较高的压头。

由以上分析可知，离心泵所以能输送液体，主要是依靠翼轮旋转，使液体产生离心力的作用。离心力的大小与翼轮转速、翼轮直径及流体重度有关。转速越高，翼轮直径越大，液体重度越大，离心力也就越大。因此，当泵启动时，若泵内存在空气，则翼轮旋转后由于空

气的重度远比液体小，产生的离心力也小，致使翼轮中心只能造成很小的真空，池中的液体不能上升到翼轮中心，泵也就送不出液体，此种现象称之为气缚现象。所以离心泵开车前，必须预先在泵内充满液体，运转过程中也尽量不使空气漏入。为便于使泵内充满液体，常压吸入导管底部装有止送的底阀。

离心泵的类型很多，但都具备三个主要部件：翼轮、泵壳与轴封装置。

(1) 翼轮 翼轮一般有6~12片叶片组成，叶片呈后弯状。为输送不同的液体，翼轮可分为两种形式：敞式和蔽式。敞式翼轮适用于输送含有杂质的悬浮物料。由于敞式翼轮与壳体不能很好密合，液体会流回吸液侧，因而效率较低。蔽式翼轮适用于输送清洁的液体，效率较好。

(2) 泵壳 泵壳呈蜗壳形，其目的在于使高速液体流过泵壳时，由于流道的逐渐扩大，得以将动能逐步转变成静压能。为了更有效地将动能转变成静压能，以及减少液体进入泵壳时碰撞而引起能量损失，可在翼轮和蜗壳之间装设一固定导轮。导轮具有很多逐渐转向的孔道，使高速液体流过时，能均匀而缓和地将动能转变成静压能，从而减少压头损失。一般都在多级离心泵中装设。

(3) 轴封装置 由于离心泵的中心处于低压，为了防止外面的空气由此吸入造成气缚，所以泵轴转动部分和泵壳间必须考虑轴封问题。一般采用填料函密封。填料函密封比较简单，但它寿命较短，而且不很可靠，维护比较麻烦，摩擦损失功率也较大。所以，对输送有毒性、易燃、易爆、贵重和具有强挥发性的物料是不适宜的。近年来，机械密封（有称端面密封）正在逐步推广，它依靠一对固定在轴和泵体上的摩擦片的接触平面进行密封，摩擦片用弹簧来保证相互紧贴。摩擦片的材料可以是铸铁、铜、石墨、搪瓷、不锈钢等，视被输送物料的不同进行选用。机械密封可靠性大，泄漏量小，维护简便，寿命长，摩擦损失功率小。但它制造复杂、价格昂贵、不易更换，在输送有毒、易燃、易爆、贵重和挥发性强的物料时被广泛采用。

2.1.1.3 旋转泵

像往复泵一样，旋转泵的排液形式属正位移式，而它又不同于往复泵，泵中没有活门等物件，它仅有的活动部分是在泵壳内旋转的转子。正是由于此转子的旋转作用，泵才能将液体吸入和排出。

(1) 齿轮泵 旋转泵的式样也有几种，其中齿轮泵应用最广泛。此泵的主要部分为相对旋转的两个齿轮，如图2-10所示，液体由吸入口吸入，分两路在齿轮与泵壳的空隙中推着前进，最后由排液口排出。因为齿轮在旋转时，轮齿相互套合，又与泵壳密切接触，所以液体不致退回。

旋转泵中除齿轮泵外，还有螺旋泵、偏心旋转泵等，其操作原理与齿轮泵相似。图2-11所示为偏心旋转泵的构造和操作原理。泵壳内有一偏心的转子，壳壁上开有一个沟槽，

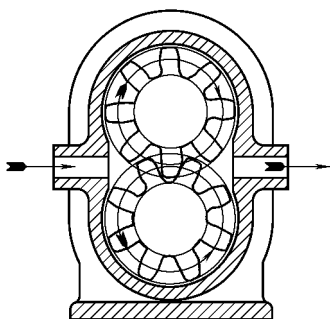


图 2-10 旋转齿轮泵

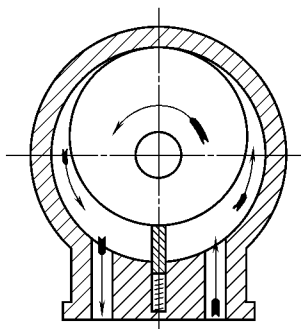


图 2-11 偏心旋转泵

槽内装入由弹簧控制而可以伸缩的滑板，将泵的吸入口和排出口隔离。当转子旋转时，它从前方排出液体而从后方吸入液体，这样，它就起着与活塞相同的作用，旋转泵既然是正位移式排液，假定排液口被堵塞，则必然发生高压，迫使转子停止旋转，甚至使泵身破损。又由于转子与泵壳间的密切接触，所以旋转泵不适于输送含有悬浮固体的液体，但可用于输送非常黏滞或半固体性的膏状物体，如糖浆、石蜡、油脂之类。这类泵的排出量连续而均匀，可以产生较大的压头，而且改变转速时，仅影响其送液能力，并不改变其压头。旋转泵的排出量与转子的旋转速度成正比，其效率也不低，可达 80% 左右。

(2) 螺杆泵 螺杆泵是一种新型的输送液体的机械，具有结构简单，工作安全可靠，使用维修方便，出液连续均匀，压力稳定等优点。凡接触物料部件，工作温度可达 120℃，可用于输送食品浆料和黏度 1~1000000cP^①、含有固体颗粒或胶块的溶液浆、悬浮液的腐蚀性介质。螺杆泵广泛用于食品、冶金、化工等工业部业。

① 单螺杆泵 是一种新型的内啮合回转式容积泵，具有效率高、自吸能力强、适用范围广等优点，对各种难以输送的介质都可用本泵来输送。因此，单螺杆泵在国外被称为万能泵。此泵可输送中性的或有腐蚀性的液体，洁净的或有磨削性的液体，含有气体或易产生气泡的液体，高黏度或低黏度的液体，含有纤维物和固体物质的液体。

单螺杆泵的工作原理是单线螺旋的转子在双线螺旋的定子孔内绕定子轴线作行星回转时，转子与定子之间形成的密闭腔就连续地、匀速地、容积不变地将介质从吸入端输送到压出端。由于这巧妙的工作原理，使单螺杆泵具有一般性泵的通用性能外，还有如下显著的特点。

- a. 可输送高黏度的介质。根据泵的大小不同，介质的最高黏度为 37~200Pa·s。
- b. 可输送含固体颗粒、磨削颗粒和纤维的介质。其含量一般可高达介质的 40%，当介质中所含固体为粉末状细微颗粒时，最高可达 70%，根据泵的大小不同，允许介质中所含固体颗粒粒径最大为 2~40mm。
- c. 输出的液体连续均匀、压力稳定、搅动小，对敏感性的液体不会发生成分的改变。
- d. 流量与转速之间为简单的正比关系。可通过调节转速进行流量的调节，配上变速的电动机，可成为变量泵。
- e. 压力能随输出管道阻力自动调节在 0~36kg/cm² (1kg/cm² = 98.0665kPa) 压力之间，用户很容易调到所需的压力，这样既节能，又避免压力太高或太低而影响工艺流程。
- f. 结构简单、磨损少、维修方便。

与其他类型泵相比的特点如下。

- a. 和离心泵相比，单螺杆泵不需要装阀门，而流量是稳定的线性流动。
- b. 和柱塞泵相比，单螺杆泵具有更好的自吸能力，吸上高度可达 8.5m 水柱。
- c. 和隔膜泵相比，单螺杆泵可输送各种混合杂质、含有气体及固体颗粒或纤维的介质，也可输送各种腐蚀性物质。
- d. 和齿轮泵相比，单螺杆泵可输送高黏度的物质。
- e. 与柱塞泵、隔膜泵及齿轮泵不同的是，单螺杆泵可用于药剂填充和计量。

图 2-12 所示为 G 系列单螺杆泵。G 系列单螺杆泵适用范围根据材质可分为如下三种类型。

普通泵 主要适用范围：油水分离装置的理想输送泵、污水处理装置输送泵；喷雾装置输送泵；焚烧炉输送泵；污水、粪便输送；润滑油、燃油、植物油输送；沉积糊状且夹有固

① 1cP = 10⁻³Pa·s

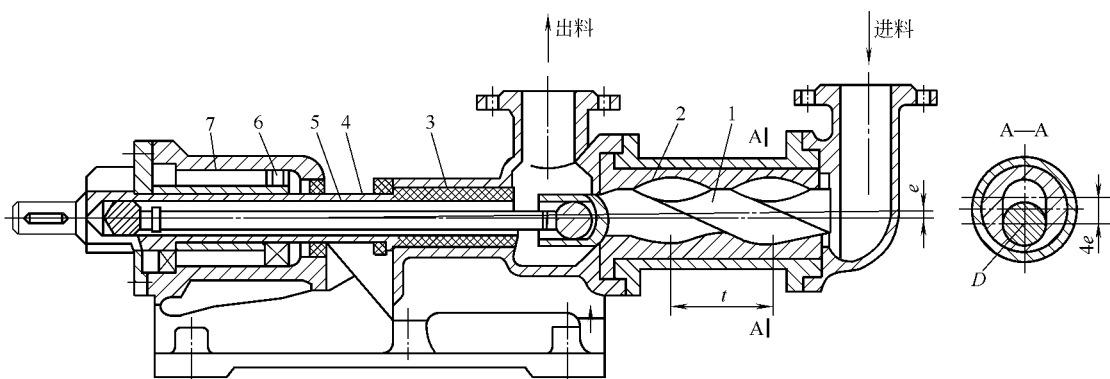


图 2-12 G 系列单螺杆泵

1—转子（螺杆）；2—定子（衬套）；3—填料函；4—平行销连杆；5—套轴；6—轴承；7—机座

体颗粒介质的抽吸输送；石油、水纹地球物理勘探钻机输送泥浆；新型湿纺糊状石棉浆的输送；黏度油墨、陶土、黏土糊、纸浆的输送；还有作输送混凝土、炸药、水煤浆、高岭土及纤维液等特殊物料的输送泵。

食品泵（采用不锈钢与无毒橡胶材料）主要适用范围：酿酒、未稀释的啤酒芽、酒花、奶粉、麦乳精、淀粉、番茄酱、酱油、发酵液、醪液、蜂蜜、巧克力混合料、牛奶、奶油、奶酪和肉浆等抽吸输送，还可应用在制药工业和牙膏工业等方面。

化工泵（采用耐腐不锈钢与耐腐橡胶材料）主要适用范围：腐蚀性石油、化工介质、颜料、厚油漆、化妆品、软膏、肥皂、环保等工业部门；是压滤机理想的料液输送泵。

② **双螺杆泵** 是外啮合的螺杆泵，它利用相互啮合、互不接触的两根螺杆来抽送液体。图 2-13 所示为一种双吸式非密闭的双螺杆泵，一端伸出泵外的主动螺杆由原动机驱动。主动螺杆与从动螺杆具有不同旋向的螺纹（若前者为右旋，则后者为左旋）。螺杆与泵体紧密贴合，从动螺杆是通过同步齿轮由主动螺杆带动。

双螺杆泵作为一种容积式泵，泵内吸入室应与排出室严密地隔开。因此，泵体与螺杆外圆表面及螺杆与螺杆间隙应尽可能小些，同时螺杆与泵体、螺杆与螺杆间又相互形成密封腔，保证密闭，否则就可能有液体从间隙中倒流回去。

双螺杆泵可分为内置轴承和外置轴承两种形式。

在内置轴承的结构形式中，轴承由输送物进行润滑。外置轴承结构的双螺杆泵工作腔同轴承是分开的。由于这种泵的结构和螺杆间存在的侧间隙，它可以输送非润滑性介质。此外，调整同步齿轮使得螺杆不接触，同时将输出扭矩的一半传给从动螺杆。正如所有螺杆泵一样，外置轴承式双螺杆泵也有自吸能力，而且多数泵输送元件本身都是双吸对称布置，可消除轴向力，也有很大的吸高。

泵的这些特性使它在油田化工和船舶工业中得到了广泛的应用。外置轴承式双螺杆泵可根据各种使用情况分别采用普通铸铁、不锈钢等不同材料制造。输送温度可达 250°C 。泵具有不同方式的加热结构，理论流量可达 $2000\text{m}^3/\text{h}$ 。

双螺杆泵的特点如下。

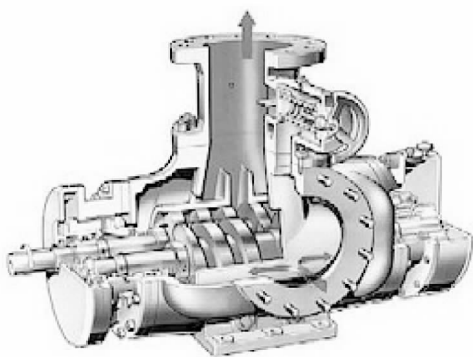


图 2-13 双吸式非密闭的双螺杆泵

a. 无搅拌、无脉动、平稳地输送各种介质，由于泵体结构保证泵的工作元件内始终存有泵送液体作为密封液体，所有的泵有很强的自吸能力，且能气液混输。

b. 泵的特殊设计保证了泵有高的吸入性能。

c. 采用独立润滑的外置轴承，允许输送各种非润滑性介质。

d. 卧式、立式、带加热套等各种结构型式齐全，可以输送各种清洁的不含固体颗粒的低黏度或高黏度介质，如选用正确的材质，甚至可以输送许多腐蚀性介质。

由双螺杆泵的原理可知，对于外置轴承的双螺杆泵，通过轴承定位，两根螺杆在衬套中互不接触，齿侧之间保持恒定的间隙（其间隙值由工况及泵本身规格决定），螺杆外圆与衬套内圆面也保持恒定的间隙不变。两根螺杆的传动由同步齿轮完成。齿轮箱中有独立的润滑，与泵工作腔隔开。这种结构的优点大大拓宽了双螺杆泵的使用范围，即除了输送润滑性良好的介质外，还可输送大量的非润滑性介质，各种黏度（最高运动黏度可达 $3 \times 10^6 \text{ mm}^2/\text{s}$ ）的介质以及具有腐蚀性（酸、碱等性质）、磨蚀性的液体。

双螺杆泵由于其恒定间隙的存在以及型线上的特点，其属于非密封型容积泵，因此除了输送纯液体外，还可输送气体和液体的混合物，即气液混输，这也是双螺杆泵非常独特的优点之一。

双螺杆泵由于结构的独特设计，可以自吸而无需专门的自吸装置，而且由于轴向输送，轴流速度较小而具备很强的吸上能力。

双螺杆泵还可干转。由于运动部件在工作时互不接触，因此短时的干转不会破坏泵元件，这种特点给自动控制的流程提供了极大的方便，但干运转时间受多种因素限制，一般很短。另外，双螺杆泵在输送过程中无剪切、无乳化作用，因此不会破坏分子链结构和工况流程中所形成的特定的流体性质，并且由于传动依靠同步齿轮，泵运转噪声低、振动小、工作平稳。

2.1.1.4 流体动力作用泵

这类泵的特点在于无活动部分，因此有“无活塞泵”之称。其发生输送作用的因素，是空气的压力或是运动的流体，前者如酸蛋等，后者如喷射泵与空气提升器。此类泵无活动部分，而且构造简单，可以衬以耐酸或抗腐蚀材料，在化学工业和轻化工业的生产中，占有特殊的地位。

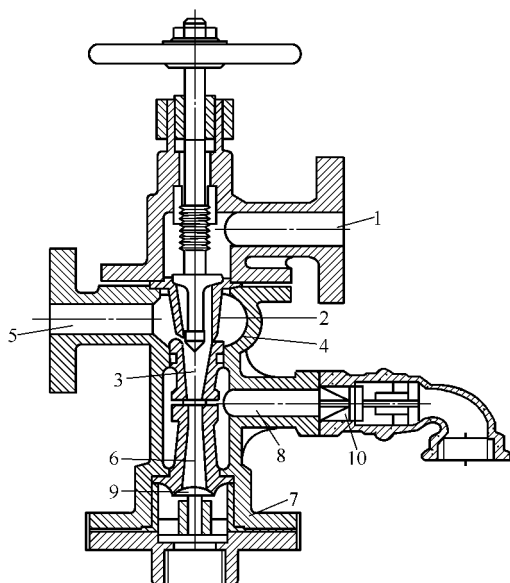


图 2-14 蒸汽喷射泵

- 1—蒸汽进口；2—蒸汽喷嘴；3—混合喷嘴；4—吸入室；
5—液体吸入口；6—扩大管；7—压出管；
8—冷凝液出口；9、10—单向活门

喷射泵 是利用工作的流体在流动时，发生静压能与动能的互相转换，以吸入并排出液体。此工作流体在高压下经过喷嘴，以高速度由喷嘴射出，所以它的静压能转变为动能，产生减压而将液体吸入。工作流体与吸入流体经混合后再进入一个扩大管中，动能又变为静压能，将液体排出。出口处的压强还可能比进口处的压强要高。图 2-14 所示为一个简单的蒸汽喷射泵，图中蒸汽由 1 进入，经过喷嘴 2，因其在此处具有最大速度，就使吸入室 4 蒸汽减压而将液体从吸入口 5 吸入。吸入后的液体与蒸汽混合，蒸汽自动冷凝并将其部分的动能和热传给液体（包括

冷凝水), 到混合喷嘴的末端时, 液体能以很高的速度进入到扩大管 6。在扩大管中液体的速度降低, 动能再转变为静压能, 液体的压强较进口处蒸汽的压强要高, 因此液体可由压出管 7 排出。

喷射泵的效率很低, 若用蒸汽为工作流体, 因为蒸汽的原有热含量几乎全部保留在最后的液体中, 所以喷射泵常用于小型锅炉的注水操作, 既能利用锅炉的蒸汽以注水, 又能回收蒸汽的热能。此种喷射泵也称为蒸汽注射泵。

除以蒸汽作为工作流体外, 喷射泵也可采用其他工作流体。若以水为工作流体, 其效率更低, 仅为 10%~25%。但其结构简单, 而且可应用都市自来水为工作流体, 因此, 在完成临时工作任务时, 颇为方便。在工业上, 水喷射泵主要适用于由地窖或其他洼地吸水之用。图 2-15 所示为水喷射泵的构造情况。水喷射泵的吸入高度可达 2m, 总压头可达 10m 左右。

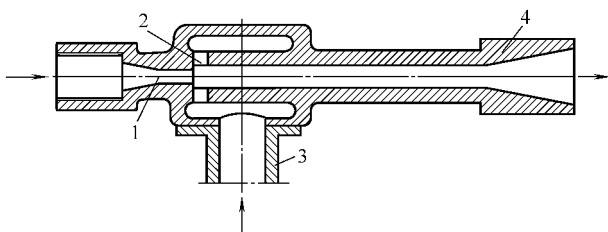


图 2-15 水喷射泵

1—喷嘴; 2—吸入口; 3—吸入导管; 4—排除口

喷射泵的缺点, 除产生的压头小、效率低以外, 其所输送的液体还将被工作流体所稀释, 因而使其应用范围受到限制。

另外, 还有利用压缩空气来升举液体的空气升液器, 以及利用真空来抽吸或输送物料等。

2.1.2 离心泵与往复泵的比较

往复泵与离心泵是液体输送最常用的两种机械, 各有利弊。但一般而言, 离心泵的应用范围日益广阔, 除了若干特殊情形外, 轻化工企业中多已采用离心泵, 因为它比往复泵有许多优点。

① 离心泵构造简单而紧凑, 对于同一输送量和压头而言, 离心泵所占的体积较小, 同时重量也轻, 可以少用材料, 并且对基础的要求也可不必像往复泵那样严格, 因此制造和安装费用均较少。

② 离心泵为高速旋转运动的机械, 所以可很简便地直接连接于电动机或蒸汽透平机, 这样就使装置更趋简单, 易于安装。

③ 离心泵比往复泵可具有较大的缝隙, 而且泵体内没有活门, 所以适用于输送悬浮液, 特殊设计的泵还可以输送含有较大块固体的悬浮液。

④ 离心泵易于用耐化学腐蚀的材料制成, 所以适合于输送腐蚀性液体。往复泵用于腐蚀性液体的输送时, 其构造复杂, 制造困难, 价格也较贵。

⑤ 往复泵中活塞、活门等活动零件较多, 易出故障, 必须经常修换, 而离心泵则无此弊, 所以经久耐用, 节省修理费, 而且管理方便, 工作可靠。

⑥ 往复泵的排液为正位移式, 而离心泵则不同, 所以离心泵可在出口处安装阀门以调节排液量, 而且将阀门全闭, 也不致损坏泵壳或其他部件。

⑦ 当压头不大, 但需大的送液量时, 用离心泵最为适宜。又如输送悬浮液至压滤机时, 用离心泵尤为有效。这是因为当压滤机上的滤渣加厚, 阻力加大时, 离心泵能自动减少送液量而增加压头, 并且由于其最高压头有一定的限制, 也减少了过滤时压滤机上滤布破裂损坏的危险。

⑧ 离心机排液均匀, 无振动现象。

但在许多情况下, 往复泵比离心泵也有优越之处。