

中等职业教育规划教材

化工机器

第二版

张涵 主编



化学工业出版社

中等职业教育规划教材

化工机器

第二版

张涵 主编



化学工业出版社

·北京·

本教材是根据全国化工中职教学指导委员会审定的化工过程装备及技术专业《化工机器》课程教学大纲要求编写的。

全书共分为绪论、离心泵、其它类型泵、离心机、活塞式压缩机、离心式压缩机、风机七部分。全书重点介绍了各种机器的工作原理、结构及特点、主要零部件、运转特性、选型及其应用。本书遵循职业技术教育特点,以能力培养为目标,以应用为目的,贴近生产实际,省略了繁琐的理论阐述和公式推导,突出和加强应用、操作等环节,具有较强的实用性。

全书约 100 学时,重点内容 80 学时,各校教师根据实际情况灵活施教。

本书可作为中等职业学校化工过程装备及技术专业(原化工机械专业)教材,也可供石油化工行业非化工过程装备及专业职工培训、技能鉴定和工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工机器/张涵主编.—2版.—北京:化学工业出版社,2009.7

中等职业教育规划教材

ISBN 978-7-122-05560-6

I. 化… II. 张… III. 化工机械-专业学校-教材
IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 069389 号

责任编辑:高 钰

装帧设计:尹琳琳

责任校对:郑 捷

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 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 444 千字 2009 年 7 月北京第 2 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:27.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

在我国进一步提高职业教育发展水平，着力培养适应经济发展需要的高素质劳动者和技能人才，并逐步形成完备的现代职业教育体系的总体要求下，中等职业教育、教学体系将面临重大改革和调整，为了适应这种形势发展的需要，特对本教材做了必要的修订。

与第一版相比，本教材作了如下修订：

1. 删除了过滤机和其它化工机器两部分内容。
2. 删除了大部分理论阐述和公式推导，如离心泵基本方程式的推导、相似概念的介绍、离心机鼓壁应力分析、活塞式压缩机热力学基础及转矩的平衡部分内容等，多级压缩各级行程容积的确定等。
3. 部分章节内容的顺序进行了调整，使其更加符合教学规律。
4. 对习题和思考题作了相应删减。

本教材在修订过程中得到全国化工高职教学指导委员会主任王绍良、副主任颜惠庚，全国化工中职教学指导委员会副主任张毅，陕西省石油化工学校副校长王新庄等专家的指导和帮助，谨在此表示深深的谢意。

本书在修订过程中还征询了上海、新疆、云南、安徽、宁夏、山西、河南等省市中等化工学校部分教师的意见，他们对本书提出很多有价值的建议，在此一并表示谢意。

限于编者水平，书中难免存在错误与不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者
2009. 4

第一版前言

本教材是根据全国化工中专教学指导委员会审定的新的化工机械专业《化工机器》课程教学大纲要求编写的。

全书共分为绪论、离心泵、其它类型泵、离心机、过滤机、活塞式压缩机、离心式压缩机、风机及其它化工机器九部分。离心泵、离心机、活塞式压缩机和离心式压缩机为主要化工机器，是必学内容，其它内容可根据实际情况选学。

本书在总结近几年教学实践的基础上，结合我国的教育改革要求，在编写过程中力求文字通俗易懂，概念简单明了，并适度降低了理论知识的难度，简化或省略了公式推导和繁琐的理论阐述，加强了实践技能知识的应用。

本教材没有涉及实验内容，但实验和教材内容是相互联系的，在按照《专业综合实验教学大纲》进行实验时，要注意同教材进度相联系。

全书约 120 学时，重点内容 98 学时，课时弹性大，以便教师根据实际情况灵活施教。

本教材可作为中等职业学校和高等职业技术学院化工机械专业教材，也可供石油化工类其它专业师生及有关技术人员参考。

全书编写人员：绪论、第五、六章由陕西省石油化工学校张涵编写，第一、二、七章由上海市信息技术学校（原上海市化工学校）程学珍编写，第三、四、八章由南京化工学校魏龙编写。全书由陕西省石油化工学校张涵主编，常州化工学校张黎明主审。湖南化工学校王绍良、淮南工学院职业技术学院朱满超、扬州化工学校傅伟和沧州工业学校耿玉香等同志参审，他们对本书提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，难免存在一些错误，热诚希望读者批评指正。

编者
2000 年 12 月

目 录

绪论	1
一、化工机器的特点及其在石油化学工业中的作用	1
二、化工机器的发展概况	1
三、《化工机器》课程的性质、任务和	
内容	1
四、《化工机器》课程的教学要求和学习	
方法	2
第一章 离心泵	3
第一节 概述	3
一、泵在石油化学工业中的应用	3
二、泵的分类	3
三、泵的特点及应用范围	4
第二节 离心泵的装置及分类	5
一、离心泵的装置	5
二、离心泵的分类	6
第三节 离心泵的基本原理	7
一、离心泵基本性能参数	7
二、离心泵的工作原理	8
三、离心泵的理论扬程	9
四、离心泵的实际扬程及其确定	12
第四节 离心泵的性能曲线及其换算	13
一、离心泵的性能曲线	13
二、离心泵性能曲线的换算	14
第五节 离心泵的汽蚀	21
一、汽蚀现象及其危害	21
二、允许汽蚀余量和允许吸上真空高度	22
三、提高离心泵抗汽蚀能力的措施	25
第六节 离心泵的运转	26
一、离心泵在管路上的工作及流量调节	26
二、离心泵的串联与并联工作	29
第七节 离心泵的选择	30
一、比转速	30
二、离心泵的型号表示法	31
三、离心泵的结构	32
四、离心泵的选择	36
第八节 离心泵的主要零部件	39
一、叶轮	39
二、蜗壳与导轮	40
三、密封环	41
四、轴向力及其平衡装置	41
五、转轴密封装置	43
第九节 离心泵的操作及故障排除	46
一、启动及停车	46
二、运转时的维护	47
三、常见故障及排除方法	47
第十节 石油化工特殊离心泵	49
一、耐腐蚀泵	49
二、离心式油泵	50
三、无泄漏离心泵	50
四、低温泵	52
五、高速部分流泵	52
思考题	53
习题	54
第二章 其它类型泵	55
第一节 往复泵	55
一、往复泵的工作原理及分类	55
二、往复泵的流量	57
三、往复泵的性能特点及其应用	59
四、往复泵的流量调节	59
五、往复泵的空气室装置	60
六、结构示例	61
第二节 计量泵	62
一、柱塞式计量泵	62
二、隔膜泵	64
第三节 转子泵	64
一、齿轮泵	65
二、螺杆泵	67
第四节 旋涡泵	69

一、旋涡泵的结构与工作原理	69	二、真空泵工作过程及性能参数	72
二、旋涡泵性能参数	70	三、往复式真空泵	72
三、旋涡泵的特点及应用	71	四、其它真空泵的介绍	74
四、结构示例	71	第六节 各种类型泵的比较和选择	76
第五节 真空泵	71	思考题	78
一、真空泵的用途及分类	71		
第三章 离心机	79		
第一节 概述	79	四、影响临界转速的一些因素	87
一、离心分离过程的特点及应用范围	79	五、离心机的减振和隔振	88
二、分离因素和离心力	80	第三节 离心机的结构及选择	90
三、离心机的分类及型号表示法	81	一、间歇式运转离心机	90
第二节 转子的临界转速与振动	83	二、连续运转离心机	94
一、振动和临界转速的概念	83	三、高速离心机	105
二、单转子轴的临界转速	84	四、离心机的选择	111
三、刚性轴与挠性轴	86	思考题	112
第四章 活塞式压缩机	114		
第一节 概述	114	一、压缩机主要参数和“三化”标准	142
一、压缩机的用途、种类及应用范围	114	二、结构方案的选择	144
二、活塞式压缩机的基本构造和工作过程	116	三、压缩机的选用方法和步骤	149
三、活塞式压缩机的分类、优缺点及型号编制	117	四、石油化工常用压缩机结构示例	151
四、活塞式压缩机的历史及发展	120	第五节 活塞式压缩机的主要零部件	155
第二节 活塞式压缩机的热力学基础	121	一、汽缸	155
一、气体的状态和过程方程式	121	二、活塞组件与填料函	163
二、活塞式压缩机的工作循环	122	一、气阀	173
三、排气量及影响因素	125	二、传动机构	176
四、压缩机的功率和效率	129	第六节 活塞式压缩机的辅助装置	182
五、多级压缩	131	一、缓冲器	182
第三节 活塞式压缩机的动力基础	133	二、冷却器	183
一、曲柄连杆机构的运动	133	三、油水分离器	183
二、惯性力分析	134	四、安全阀	184
三、压缩机中的作用力	136	第七节 活塞式压缩机的运转	185
四、惯性力的平衡	139	一、压缩机排气量的调节	185
五、转矩的平衡	141	二、压缩机的润滑	189
第四节 活塞式压缩机的总体结构及选择	142	三、气流脉动及管路振动	191
		四、压缩机的操作及常见故障分析	193
		思考题	198
第五章 离心式压缩机	199		
第一节 概述	199	原理	200
一、离心式压缩机在石油及化工中的应用	199	一、离心式压缩机的总体结构及工作过程	200
二、离心式压缩机的优缺点	199	二、离心式压缩机的基本原理	203
三、离心式压缩机的发展概况	200	三、功率和效率	204
第二节 离心式压缩机总体结构及工作		四、离心式压缩机的性能曲线	207

五、离心式压缩机的“喘振”和不稳定工况	210	第四节 离心式压缩机的主要零部件	220
第三节 离心式压缩机的运转	213	一、转动元件	220
一、离心式压缩机的串联与并联	213	二、固定元件	227
二、离心式压缩机的性能调节	213	三、轴承	231
三、离心式压缩机的开停车	215	四、密封装置	236
第六章 风机	241	思考题	239
第一节 概述	241	一、风机的结构形式与主要零部件	244
一、风机的分类	241	二、离心式风机的系列介绍	247
二、型号表示法	241	三、风机的选择	248
三、应用	243	第四节 罗茨鼓风机	249
第二节 离心式风机的主要性能参数	243	一、结构性能	249
一、主要性能参数	243	二、主要零部件	249
二、性能曲线	243	思考题	250
第三节 离心式风机的构造与系列	244	附录	251
参考文献	258		

绪 论

一、化工机器的特点及其在石油化学工业中的作用

化工机器是为化工生产过程服务的，它是决定化工生产安全，产品质量、数量及产品成本的重要因素。

化工工艺过程种类繁多，各种过程进行的条件往往也各不相同，但大部分工艺过程都具有高温、高压、低温、低压、易腐蚀、有毒和易燃、易爆等特性，生产过程大都是连续性生产，因而化工机器需与化工过程及化工企业特点相适应。

第一，化工机器要有较高的生产能力。近几十年来，化工生产采用大型生产装置是一个明显的趋势，生产装置的大型化必须要求化工机器与生产能力相适应。

第二，化工机器要具备较高的生产效率。

第三，在化工生产过程中，要求化工机器具有良好的安全性、密封性。

第四，化工生产用的机器需要长期连续运转，一旦停机将会造成严重的后果。因而必须采取各种措施保证机器能长周期，安全可靠稳定地运行。

化工机器广泛地应用于化工生产的各部门中，在化工生产中原料、半成品及成品大都是流体，将原料变成半成品或成品要经过复杂的工艺过程。在这些过程中流体的输送必须用泵和压缩机来完成，如合成氨生产中水洗工段的水泵、压缩工段的压缩机就是输送液体和压缩气体以达到工艺所要求的条件。所以化工机器不但是为化工生产服务的，而且是化工生产的重要条件。

二、化工机器的发展概况

化工机器是人类应用较早的机器之一，初期化工机器主要应用在农业、冶金、矿山等领域，随着生产的发展，科学技术的不断进步和提高，化工机器如离心泵，压缩机等在化工生产中得到广泛应用，并迅速发展。

在我国，化工机械制造行业的发展经历了从无到有，从小到大，从只能修配仿制到完全自己设计、制造的发展过程。解放前，我国化工机械设备的制造能力十分薄弱。新中国成立后，化工机械随着我国化学工业的发展而逐步壮大。20世纪50年代，大连化工厂试制成功了压力为19.6MPa，功率为 $1.76 \times 10^6 \text{ W}$ 的氮压缩机；20世纪60年代，化工机械研究院，南京化学工业公司、上海电机厂共同协作，试制成功了内置式透平循环压缩机与 $6 \times 10^4 \text{ t}$ 合成氨配套；20世纪70年代，锦西化工机械厂和兰州化工机械厂，生产出年产 $4 \times 10^4 \text{ t}$ 乙烯装置所用的裂解气、乙烯气、丙烯气压缩机。

随着化学工业的发展，对化工机器的品种要求越来越多，技术条件也越来越高。近年来国外化工机器正向大型化、高速化、特殊化和系列化方向发展，化工机器将进一步得到发展和应用。

三、《化工机器》课程的性质、任务和内容

《化工机器》是职业教育化工机械专业一门重要的专业课，是培养中等化工机械技术人

员和化工机械维修人员的重要组成部分。

通过对《化工机器》课程的学习，培养学生具有从事一般化工机器和设备的维修、安装制造及管理工作能力，具有从事化工机器的使用、维修、选型和技术改造的能力。

化工生产中所使用的化工机器种类很多，每种机器都有它们各自的特点。本课程所学内容不能面面俱到，只讲述比较典型的，具有普遍性的化工机器，如泵、离心机、压缩机等。学生通过对这些典型化工机器的工作原理、性能、结构特点、运转、维护和选型等方面技术知识的学习，不但为从事化工机械管理和技术改造工作打下基础，而且可触类旁通，对其它化工机器有所了解和认识。

四、《化工机器》课程的教学要求和学习方法

《化工机器》是一门理论性和实践性较强的课程，通过本课程的学习，需达到下列基本要求：

① 掌握主要化工机器如离心泵、离心机、活塞式压缩机、离心式压缩机、风机等机器的工作原理、性能、结构特点、运转及选用方法。具有正确使用、选型以及技术改造的能力，并能进行维护与故障分析；

② 能查阅有关化工机器的资料、标准、图表、规范及手册等；

③ 了解当前化工机器的状况及今后发展动向。

为了能学好本课程，要求做到以下几点。

① 扎实学好有关课程。本课程与化工原理，工程力学、机械原理与机械零件、化工机械制造和安装修理等课程关系密切，学习时应该具有扎实的专业基础知识。

② 要有一定的化工知识。参加化工生产，对化工生产过程有一个感性认识，并了解和化工机器有关的工艺流程知识，这样才能更好地设计，选择和科学使用化工机器。

③ 理论联系实际。本门课程内容多，实践性强，因此在学习时特别要注意理论联系实际，将学到的知识在生产实践中不断进行深化。

第一章 离心泵

第一节 概述

一、泵在石油化学工业中的应用

泵是用来输送液体并增加液体能量的一种机器。

泵在国民经济的各个部门中得到了广泛的应用。如：农业的灌溉和排涝；城市的给排水；机械工业中机器的润滑和冷却，热电厂的供水和灰渣的排除；原子能发电站中输送具有放射性的液体等。不论是重工业还是轻工业，不论是尖端科学技术还是日常生活到处都需要用泵。

在石油化工生产中，泵的使用更加广泛，如炼油厂用的各类油泵；化工厂用的各类酸泵，碱泵；氮肥厂的熔融尿素泵及各类给排水用的清水泵，污水泵等。石油化工生产中的原料，半成品和成品大多是液体，将原料制成产品时，需要经过复杂的工艺过程，泵起了提供压力及流量的作用。泵一旦出现故障，往往会影响整个系统的工作。如果把管路比作人体的血管，那么泵就好比是人体的心脏。可见，泵在石油化工生产过程中占有极为重要的地位，是保证石油化工连续、安全生产的重要机器之一。

二、泵的分类

泵的用途极广，不同的工作场合对泵的要求也各不相同，所以泵的种类繁多，对它们的分类方法也各不相同。

（一）按工作原理分类

1. 容积泵

容积泵是依靠泵内工作室（泵壳或缸）容积大小作周期性地变化来输送液体，为间歇排液过程。此类泵又可分为往复泵和转子泵。

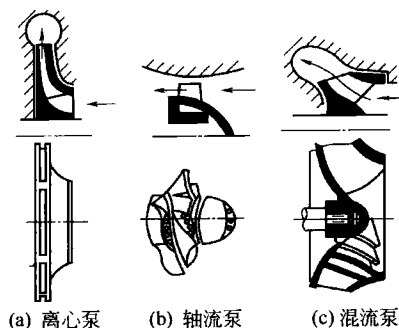


图 1-1 各种类型叶片泵

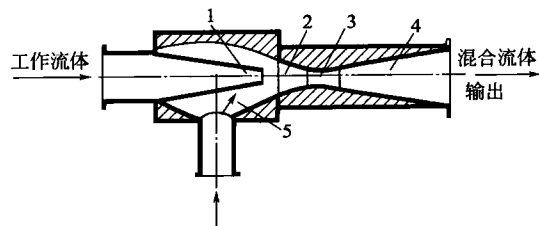


图 1-2 喷射泵结构示意图

1—喷嘴；2—混合室；3—喉管；
4—扩散室；5—真空室

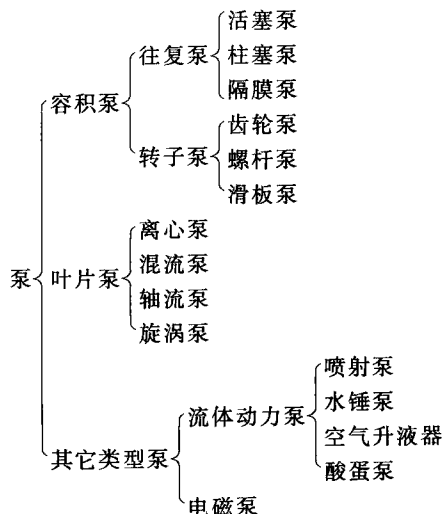
2. 叶片泵

叶片泵是依靠泵内作高速旋转的叶轮把能量传递给液体，从而实现液体输送的机械。此种类型的泵又可按叶轮结构不同分为离心泵 [图 1-1(a)]、轴流泵 [图 1-1(b)]、混流泵 [图 1-1(c)] 及旋涡泵 (见第二章) 等。

3. 其它类型泵

除叶片泵和容积泵以外的特殊泵。属于这一类型的泵主要有流体动力作用泵、电磁泵等。流体动力作用泵是依靠另一种流体 (液、气或汽) 的静压能或动能来输送液体的泵，如喷射泵 (图 1-2)、酸蛋、水锤泵等。

每一类型泵中，根据泵的结构和动力来源的不同，又有许多不同命名：



(二) 按泵的用途分类

① 供料泵：将液态原料从贮池或其它装置中吸进，加压后送到工艺流程装置去的泵，又称增压泵。

② 循环泵：在工艺流程中用于循环液增压的泵。此种泵使循环液补充压力的同时又能使设备 (如蒸馏塔、解吸塔) 各段之间保持热量平衡。

③ 成品泵：把装置中液态成品或半成品输送到贮池或其它装置用泵。

④ 高温和低温泵：输送 300°C 以上高温液体和接近凝固点 (或 5°C 以下) 低温液体用泵。

⑤ 废液泵：把装置中产生的废液连续排出的泵，如原油脱氢装置中的废水泵、脱硫装置中的污水泵等。

⑥ 特殊用途泵：如液压系统中的动力油泵、水泵等。

三、泵的特点及应用范围

图 1-3 大致表示各类泵的流量和能量头的适用范围。①表示离心泵；②表示轴流泵；③表示混流泵；④表示旋涡泵；⑤表示动力往复泵；⑥表示螺杆泵；⑦表示蒸汽往复泵。由图可以看出，离心泵主要适用于大、中流量和中等压力的场合；往复泵主要适用于小流量和高压力的场合；转子泵和旋涡泵则适用于小流量和高压力的场合。其中离心泵具有适用范围广、结构简单及运转可靠等优点，在石油化工及其它化工生产中得到了广泛的应用。容积泵只在特定场合下使用，其它类型泵则使用较少，本章主要介绍离心泵。

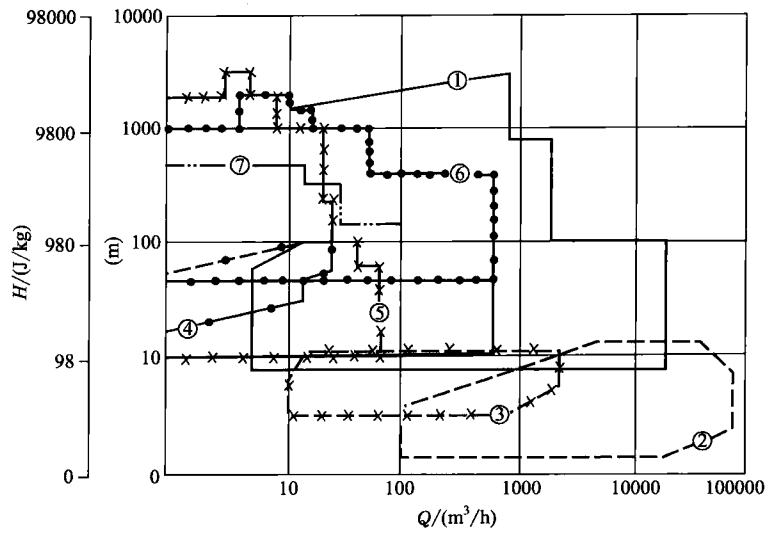


图 1-3 各种常用泵的使用范围

第二节 离心泵的装置及分类

一、离心泵的装置

离心泵的种类虽然很多，但主要零部件却是相近的。图 1-4 所示为 IS 型单级单吸离心泵结构图，它主要由泵体、泵盖、轴、叶轮、轴承、密封部件和支座等构成。有些离心泵还装有导叶、诱导轮和平衡盘等。为防止液体从泵壳等处泄漏，在各密封点上分别装有密封环或轴封箱。轴承及轴承悬架支持着转轴，整台泵和电机安装在一个底座上。

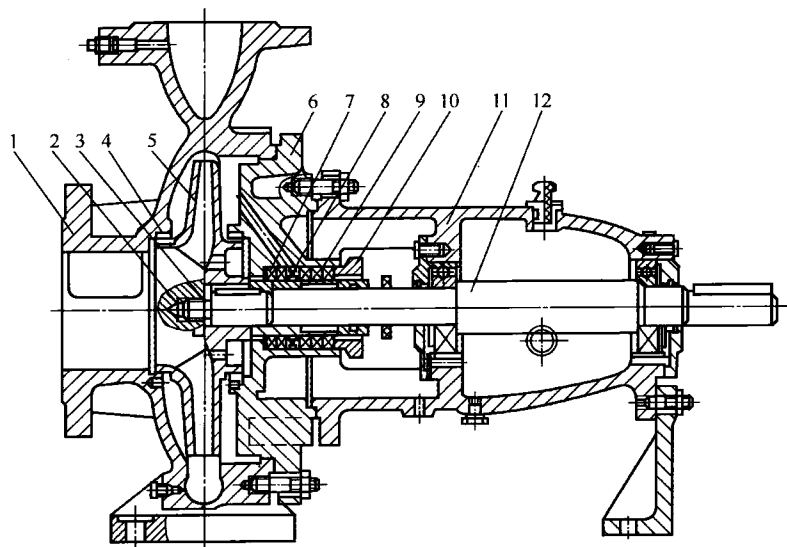


图 1-4 IS 型单级单吸离心泵结构图

- 1—泵体；2—叶轮螺母；3—制动垫片；4—密封环；5—叶轮；6—泵盖；
7—轴套；8—填料环；9—填料；10—填料压盖；11—轴承悬架；12—轴

为了使离心泵正常工作，离心泵必须配备一定的管路和管件，这种配备有一定管路系统的离心泵称为离心泵装置。图 1-5 所示是离心泵的一般装置示意图，主要有底阀、吸入管路、排出阀、排出管路等。

二、离心泵的分类

离心泵的分类方法很多，通常可按下列几种方法分类。

(一) 按叶轮吸入方式分类

1. 单吸式离心泵

如图 1-4 所示，叶轮只在一侧有吸入口。此类泵的叶轮制造方便，应用最为广泛，这种泵的流量为 $4.5\sim300\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 $8\sim150\text{m}$ 。

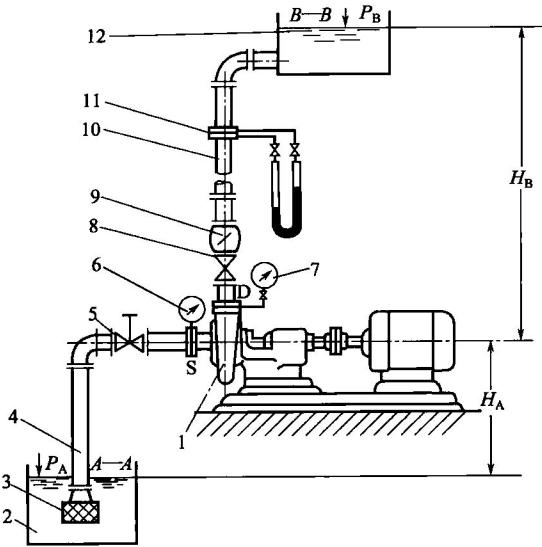


图 1-5 离心泵的一般装置示意图

1—泵；2—吸液罐；3—底阀；4—吸入管路；5—吸入管调节阀；6—真空表；7—压力表；8—排出管调节阀；9—单向阀；10—排出管路；11—流量计；12—排液罐

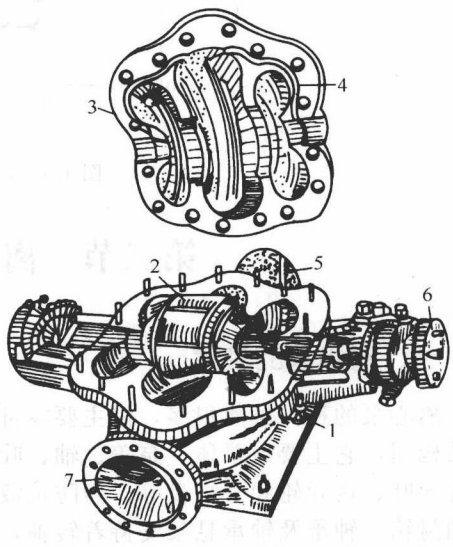


图 1-6 单级双吸离心泵

1—泵体；2—叶轮；3—泵盖；4—水封槽；5—出口；6—联轴器；7—进口

2. 双吸式离心泵

图 1-6 所示的叶轮两侧都有吸液口，液体从叶轮两侧同时进入叶轮。故泵的流量较大，目前我国生产的双吸泵最大流量为 $2000\text{m}^3/\text{h}$ ，甚至更大，扬程为 $10\sim110\text{m}$ 。

(二) 按级数分类

1. 单级离心泵

泵中只有一个叶轮，单级离心泵是一种应用最广泛的泵。由于液体在泵内只有一次增能，所以扬程较低。如图 1-4 所示为单级单吸离心泵。

2. 多级离心泵

同一根轴上装有串联的两个以上叶轮，称为多级离心泵。级数越多压力越高，图 1-7 所示为一台分段式离心水泵，这种泵的叶轮一般

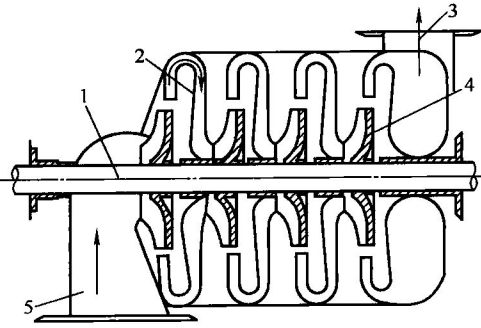


图 1-7 多级离心泵

1—泵轴；2—导轮；3—排出口；4—叶轮；5—吸入口

为单吸式，也有将第一级设计为双吸式的。其扬程可达 100~650m，甚至更高，流量为 5~720m³/h。

(三) 按扬程分类

按扬程离心泵分为：

- ① 低压离心泵 扬程<20m；
- ② 中压离心泵 扬程=20~100m；
- ③ 高压离心泵 扬程>100m。

(四) 按泵的用途和输送液体性质分类

按泵的用途和输送液体的性质，泵可分为清水泵、泥浆泵、酸泵、碱泵、油泵、砂泵、低温泵、高温泵及屏蔽泵等。

第三节 离心泵的基本原理

一、离心泵基本性能参数

离心泵的基本性能参数包括：流量、扬程、转速、功率、效率和允许吸上真空高度及允许汽蚀余量，它们表示该泵在一定条件下运转的性能指标。

(一) 流量

单位时间内泵所排出的液体量称为泵的流量。

有体积流量和质量流量，体积流量用 Q 表示，单位是 m³/s(米³/秒)、m³/h(米³/时)或 L/s(升/秒)。

质量流量用 G 表示，单位是 kg/s(千克/秒)或 t/h(吨/时)。

质量流量与体积流量关系为

$$G = \rho Q (\text{kg/s}) \quad (1-1)$$

式中 ρ ——输送温度下液体密度，kg/m³。

单位时间内流入叶轮内的液体体积量称为理论流量。用 Q_{th} 表示，单位与 Q 一样。

(二) 扬程

单位质量的液体，从泵进口到泵出口的能量增值称为泵的扬程。即单位质量的液体通过泵所获得的有效能量。扬程常用符号 h 表示，单位为 J/kg。

目前，在实际生产中，习惯把单位重的液体，通过泵后所获得的能量称扬程用符号 H 表示，其单位为 J/N = N · m / N = m 即用高度来表示。应该注意，不要把泵的扬程与液体的升扬高度等同起来，因为泵的扬程不仅要用来提高液体的位高，而且还要用来克服液体在输送过程中的流动阻力，以及提高输送液体的静压能和保证液体有一定的流速。

泵的扬程是指全扬程或总扬程，它包括吸上扬程和压出扬程。吸上扬程包括实际吸上扬程和吸上扬程损失，压出扬程包括实际压出扬程和压出扬程损失。

(三) 转速

离心泵的转速是指泵轴每分钟的转数，用符号 n 表示，单位为 r/min (转/分)。在 SI 制中转速为泵轴每秒钟的转数，用符号 n_t 表示，单位为 1/s，即 Hz。

(四) 功率和效率

1. 功率

功率是指单位时间内所做的功。常见的有以下几种表示法。

- ① 有效功率。单位时间内泵对输出液体所做的功称为有效功率用 N_e 表示。计算公式如下。

$$N_e = \frac{QH\rho g}{1000} (\text{kW}) \quad (1-2)$$

② 轴功率。单位时间内由原动机传递到泵主轴上的功率，用 N 来表示。单位为 W (瓦)，即 J/s 。

2. 效率

效率是衡量离心泵工作经济性的指标，用符号 η 来表示。由于离心泵在工作时，泵内存在各种损失，所以泵不可能将驱动机输入的功率全部转变为液体的有效功率。 η 值越大，则泵的经济性越好。其定义式为

$$\eta = \frac{N_e}{N} \quad (1-3)$$

(五) 允许吸上真空高度及允许汽蚀余量

允许吸上真空高度 $[H_s]$ 及允许汽蚀余量 $[\Delta h]$ 也是离心泵很重要的性能参数，表示离心泵抗汽蚀性能的指标，单位与扬程相同，详见本章第五节。

【例 1-1】某离心水泵输送清水，流量为 $25\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 32m ，试计算有效功率为多少？若已知泵的效率为 71% ，则泵的轴功率是多少？

解 按式(1-2) 计算

$$N_e = \frac{QH\rho g}{1000} (\text{kW})$$

常温清水的密度可近似取 $\rho = 1000\text{kg}/\text{m}^3$ ， $Q = 25\text{m}^3/\text{h} = \frac{25}{3600}\text{m}^3/\text{s}$ ， $H = 32\text{m}$ 。代入上式得

$$N_e = \frac{1000 \times 25 \times 32 \times 9.81}{3600 \times 1000} = 2.18 (\text{kW})$$

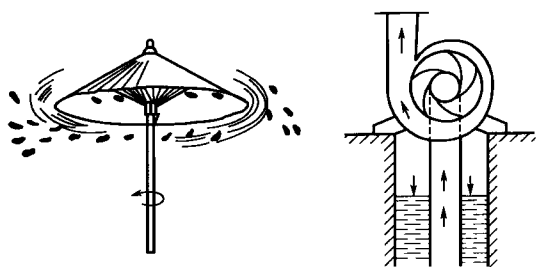
$$N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{2.18}{0.71} = 3.07 (\text{kW})$$

二、离心泵的工作原理

离心泵的工作原理可以通过日常生活中的现象加以说明。

在日常生活中，雨天打伞外出时，如果将伞柄急速旋转，伞上的雨点由于离心力的作用便沿着伞的周围飞溅出去，如图 1-8 所示。伞越大或旋转得越快，雨点飞溅得越远。

离心泵的工作原理与该现象相似，如图 1-9 所示，取一圆形水桶。里面盛一半水，取一



(a) 雨水在旋转的伞上被离心力甩出

(b) 离心泵压水原理

图 1-8 离心泵的工作原理

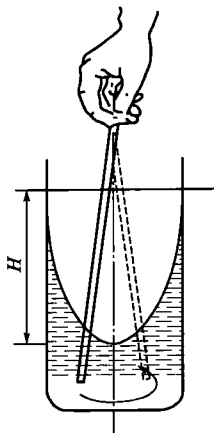


图 1-9 动能转变为压力能的演示

长木棍用力回转搅动，水便以较高的转速在桶内旋转，结果发生水面中间凹下、边缘上升的现象，即四周水面与中间水面相差 H 的高度。这是因为水在旋转时产生离心力，这种力将旋转中心的水抛向四周，由于四周有桶壁阻拦，水只能沿壁上升，在这里动能转变为压力能。如果搅动的速度越快，则液面上升越高， H 值越大。采用同样的原理，若把桶密闭，内装几个叶片（见图 1-10），当转动叶片后，同样出现中间压力下降，四周压力上升，若在中央及周围各装一水管，则水由中央水管吸入，由周围的水管压出。离心泵就是按该工作原理制成的。

如图 1-11 所示为离心泵装置示意，它主要由叶轮、叶片、泵轴、填料函、排出管、压出室及吸入管等组成。泵壳相当于水桶，叶轮相当于木棍，人力为电力所代替。当用电动机带动叶轮旋转时，叶轮中的叶片驱使液体一起旋转，因而产生离心力。在该离心力的作用下，叶轮中的液体沿叶片流道被甩向叶轮外缘，流经泵壳，送入排出管，在叶轮中间的吸液口处形成低压区。因此，吸液槽中的液体表面和叶轮中心处即产生压力差。在此压力差作用下，吸液槽中的液体便不断地经吸入管进入泵的叶轮，而叶轮中的液体又不断经排出管排出。离心泵靠内、外压力差不断吸入液体，依靠高速旋转获得能量，经压出室将部分动能转换为压力能，由排出管排出，这就是离心泵的工作原理。

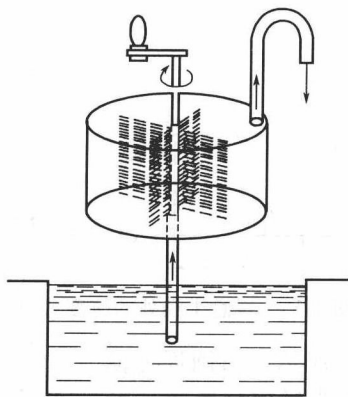


图 1-10 离心泵作用原理

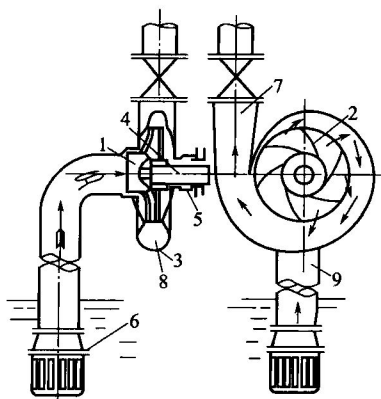


图 1-11 离心泵装置示意

1—叶轮；2—叶片；3—泵壳；4—泵轴；5—填料函；
6—底阀；7—排出管；8—压出室；9—吸入管

离心泵的进出管路和管路附件，对泵的正常操作作用很大，底阀是一个止逆阀，启动前此阀关闭，保证泵体及吸入管路内能灌满液体，泵停止运转时此阀自动关闭，防止液体倒灌造成事故，底阀装有滤网，防止杂物进入泵内堵塞流道。

离心泵在运转过程中，常发生“气缚”现象，即泵内进入空气，使泵不能正常工作。这是因为空气密度较液体密度小得多，在叶轮旋转时产生的离心作用很小，不能将空气压出，使吸液室不能形成足够的真空，离心泵便没有抽吸液体的能力，所以离心泵在启动之前，泵及吸入管路内应灌满液体，在工作过程中吸入管路和泵体的密封性要好。

对于大功率泵，为减小阻力可采用真空泵抽气，然后启动而不采用装底阀的办法。

三、离心泵的理论扬程

前面介绍了离心泵的工作原理，离心泵能够连续不断地输送液体，关键是叶轮中的旋转运动。那么液体在旋转的叶轮中如何运动，旋转的叶轮能使液体得到多大的扬程，这些问题可以借助对离心泵基本方程式的分析得到解决。