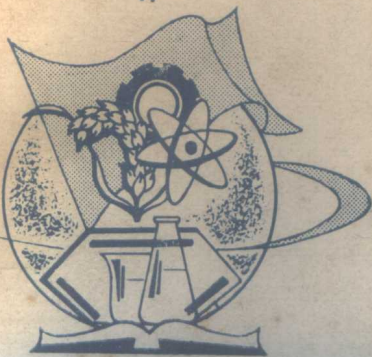


627825

中等专业学校试用教材



化工机器

泸州化工专科学校等合编

黄仕年 主编



成都科学技术大学图书馆

基本馆藏

化学工业出版社

中等专业学校试用教材

化 工 机 器

泸州化工专科学校等 合编

黄 仕 年 主编

化学工业出版社

内 容 提 要

本书是根据1978年制订的化工机器教材编写大纲编写的。全书共分八章,内容包括泵、风机、离心机、活塞式压缩机、离心式压缩机及汽轮机等化工厂中常用机器的工作原理、结构、性能、选用及基本计算方法等。

本书可作为中等专业学校化工机械专业的试用教材,亦可供有关工程技术人员参考。

本书由黄仕年主编,第一、二章由石家庄化工学校林汇泉编写,第三、四、八章由杭州化工学校何顺生编写,第五章由泸州化工专科学校黄仕年编写,第六、七章由泸州化工专科学校陈澄华编写。

中等专业学校试用教材

化 工 机 器

泸州化工专科学校等 合编

黄 仕 年 主 编

•

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

•

开本 787×1092 1/16 印张 25 1/4 字数 601 千字 印数 1—7,000

1981年12月北京第1版 1981年12月北京第1次印刷

统一书号 15063·3224 (K-241) 定价 2.00 元

目 录

第一章 离心泵	1
第一节 概述	1
一、泵在化工生产中的应用	1
二、泵的发展概况	1
三、泵的分类	2
第二节 离心泵的装置及分类	3
一、离心泵的装置及工作过程	3
二、离心泵的分类	4
第三节 离心泵的基本原理	5
一、离心泵的性能参数	5
二、速度三角形及欧拉方程式	6
三、叶片离角对压头的影响	11
四、离心泵的能量损失及效率	13
五、离心泵的性能曲线	15
第四节 离心泵的运转	18
一、离心泵在管路上的工作及流量调节	18
二、离心泵的串联与并联工作	21
第五节 离心泵的汽蚀及允许吸液高度	22
一、汽蚀现象	22
二、离心泵的允许吸上真空高度及允许汽蚀余量	22
三、提高离心泵抗汽蚀能力的措施	25
第六节 离心泵的性能换算及选择	26
一、相似概念及相似定律	26
二、转速改变时的性能曲线	28
三、离心泵叶轮的切割	30
四、液体粘度改变时的性能曲线	31
五、离心泵的比转数	34
六、离心泵的选择	36
第七节 离心泵的主要零部件	38
一、叶轮	38
二、蜗壳与导轮	39
三、密封环	40
四、轴向力及其平衡装置	40
五、转轴密封装置	42
第八节 离心泵的结构	48

一、泵的系列化及型号编制	48
二、各种类型离心泵的结构	49
(一)B 型单级悬臂式离心泵	49
(二)S 型单级双吸离心泵	50
(三)多级离心泵	50
(四)旋涡泵	53
(五)耐腐蚀泵	54
(六)屏蔽泵	56
(七)高速部分流泵	57
三、离心泵的优缺点及使用注意事项	59
第九节 离心泵的操作及故障排除	59
一、启动及停车	59
二、运转时的维护	60
三、常见故障及排除方法	60
第二章 其它类型泵	61
第一节 往复泵	61
一、往复泵的工作原理及分类	61
二、往复泵的流量	63
三、往复泵的功率和效率	65
四、往复泵的性能特点及应用	66
五、往复泵的流量调节	67
六、往复泵的结构举例	67
第二节 回转泵	69
一、齿轮泵	71
二、螺杆泵	71
第三节 计量泵	73
一、柱塞式计量泵	73
二、隔膜式计量泵	75
第四节 各种类型泵的比较和选择	76
第三章 风机	78
第一节 风机的分类	78
一、通风机	78
二、鼓风机	78
第二节 离心式风机的主要性能参数	78
一、离心式风机的总压头、风压、风量和功率	78
二、风机的性能曲线	80
三、比转数的计算	83
第三节 离心式风机的无因次性能曲线	83
一、流量系数 $\bar{Q}$	83

二、压力系数 $\bar{H}$	84
三、功率系数 $\bar{N}$	86
第四节 离心式风机的构造与系列	88
第五节 罗茨鼓风机	90
第四章 离心机	92
第一节 概述	92
一、离心分离过程的特点及其应用	92
二、分离因素及离心力	93
三、离心机的分类及系列化	95
第二节 转子的临界转速与振动	97
一、振动和临界转速概念	97
二、单转子轴的临界转速	99
三、刚性轴与挠性轴	101
四、影响临界转速的一些因素	103
第三节 离心机的结构及选择	104
一、间歇运转离心机	105
(一)三足式离心机	105
(二)上悬式离心机	107
二、连续运转离心机	112
(一)卧式刮刀卸料离心机	112
(二)卧式活塞推料离心机	119
(三)螺旋卸料离心机	131
(四)锥篮离心机	134
(五)振动卸料离心机	136
(六)进动(摆动)卸料离心机	137
三、高速离心机	139
(一)管式高速离心机	140
(二)室式分离机	142
(三)碟片式分离机	144
四、离心机的选型	149
第四节 离心机的减振与隔振	150
一、减振	150
二、隔振	151
第五节 离心机的鼓壁应力	151
一、转鼓质量引起的应力	152
二、转鼓内物料引起的应力	154
第五章 活塞式压缩机	157
第一节 概述	157
一、压缩机的用途、种类及应用范围	157

二、活塞式压缩机的基本构造及工作原理	159
三、活塞式压缩机的分类、优缺点及型号	160
四、活塞式压缩机在我国的发展	161
第二节 活塞式压缩机的热力学基础	163
一、理想气体状态方程式及过程方程式	163
二、活塞式压缩机的工作循环	169
三、实际气体的影响	174
四、生产能力及其影响因素	176
五、功率与效率	182
六、多级压缩	185
七、热力计算示例	190
八、变工况工作及复算性计算	195
第三节 活塞式压缩机的动力学	200
一、曲柄连杆机构的运动关系	200
二、惯性力分析	202
三、压缩机中的作用力	205
四、惯性力的平衡	209
五、转矩的平衡	213
第四节 压缩机主要参数的确定和结构型式的选择	217
一、压缩机主要参数的确定和“三化”介绍	217
二、结构方案的选择	218
三、化工用压缩机结构示例	223
第五节 活塞式压缩机主要零部件的结构	227
一、气缸	227
二、气阀	234
三、活塞	236
四、活塞环和填料密封	242
五、曲轴	251
六、连杆	254
七、十字头	255
第六节 压缩机的运转	257
一、排气量的调节	257
二、压缩机的润滑	260
三、压缩机常见故障、产生原因及消除方法	263
第六章 离心式压缩机	265
第一节 概述	265
一、离心式压缩机在石油、化工中的应用	265
二、离心式压缩机发展概况	265
三、离心式压缩机的优缺点	266

第二节 离心式压缩机的基本工作原理及典型结构	267
一、离心式压缩机的总体结构及工作过程	267
二、离心式压缩机的基本原理	267
(一) 叶轮进出口速度三角形	269
(二) 欧拉方程式	271
(三) 离心式压缩机的功率和效率	275
(四) 级中气体状态变化规律	279
(五) 离心式压缩机的性能曲线	285
(六) 多转子轴的临界转速的计算	296
第三节 离心式压缩机的零部件	303
一、转动元件	303
(一) 主轴	303
(二) 叶轮	304
(三) 紧圈和固定环	313
(四) 转子的轴向力及其平衡	313
(五) 推力盘	314
(六) 轴套	314
二、固定元件	314
(一) 吸气室	315
(二) 扩压器	316
(三) 弯道及回流器	320
(四) 蜗壳	321
三、轴承	322
(一) 动压轴承的工作原理	323
(二) 轴承的油膜振荡	323
(三) 影响油膜振荡的因素	324
(四) 消除油膜振荡的方法	324
(五) 轴承的结构	324
四、密封装置	328
(一) 迷宫密封	328
(二) 浮环密封	330
第四节 离心式压缩机的调节	331
一、离心式压缩机的串联与并联	331
二、离心式压缩机的性能调节	333
第七章 汽轮机的基本知识	338
第一节 汽轮机的基本工作原理及分类	338
一、汽轮机的基本工作原理	338
二、汽轮机的分类及型号	340
第二节 水蒸汽的流动特性	341

一、连续性方程式	342
二、能量方程式	342
三、过程方程式	343
四、蒸汽在喷管中流动过程	344
第三节 汽轮机主要部件及其作用	349
一、喷嘴和隔板	349
二、叶片与转子	352
第四节 汽轮机的损失及效率	360
一、汽轮机的损失	360
二、汽轮机的效率	362
三、汽轮机组的经济性	363
第五节 汽轮机的调速	364
一、调速系统的作用	364
二、液压式调速系统	364
三、超速保护装置	368
第八章 真空泵	371
第一节 概述	371
第二节 真空泵的工作过程和性能参数	372
一、真空泵抽气过程的基本概念	372
二、真空泵的抽气速率 S 和有效抽气速率 S_e	373
三、真空泵的流量与排气量	373
四、导管的阻力与通导能力	374
五、计算真空泵的基本方程	375
六、通导能力的计算问题	376
七、抽气时间的计算	377
第三节 机械式真空泵	377
一、往复式真空泵	378
二、水环泵	379
三、滑板式回转真空泵	380
四、机械式油封真空泵	381
第四节 其它类型真空泵	381
附录	383
附录一 国际单位制	383
附录二 常用单位换算	384
附录三 各种海拔高度的大气压	385
附录四 水的饱和蒸汽压	385
附录五 泵的型号和性能表	386
附录六 活塞式压缩机动力计算用表	391
参考资料	395

第一章 离 心 泵

第一节 概 述

一、泵在化工生产中的应用

泵是用来增加液体能量的机器,它可以输送、提升液体或将液体送入压力容器。

泵在国民经济的各个部门中得到了广泛的应用:农业的灌溉和排涝;城市的给水和排水;机械工业中机器润滑和冷却;化学工业中输送液体原料和半成品;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。

化工生产中的原料、半成品和成品多数是液体,而将原料制成半成品和成品要经过复杂的工艺过程。泵在化工流程中输送液体并提供化学反应所需要的压力及流量,是实现连续化生产的重要设备之一。在碳酸氢氨生产过程中,各种泵遍布各个工段,数量很多。例如:水泵房中供全厂用水的给水泵;脱硫工段稀氨水喷淋用的氨水泵;碳化工段制备稀氨水用的清水泵等。泵的正常运转是保证生产正常进行的关键,如果泵发生了故障就会影响生产,甚至使整个装置处于停顿状态。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,泵在化工生产过程中占有极为重要的地位。

二、泵的发展概况

泵是人类应用比较早的机器之一。在我国历史上,为了农业灌溉早就发明和创造了许多简单的提水工具,如辘轳、水车等。随着生产的发展,这些原始的提水工具就逐步发展成为现代的泵。十九世纪,由于钢铁工业的发展和蒸汽机的出现,为往复泵的发展提供了条件,出现了比较成熟的蒸汽直接作用往复泵。到二十世纪初,由于电动机和蒸汽透平机的广泛应用,使得离心泵得到了迅速的发展,应用日益广泛。

解放前,由于我国长期受帝国主义的侵略和国民党反动派的统治,泵类产品工业和其它机械工业一样,处于极端落后的状态。工业用泵大都是依赖进口,农业排灌用的水泵更是少得可怜。

解放后,我国泵类产品制造工业从无到有,从小到大,获得了迅速的发展。现在我国不但能生产一般的泵类产品,而且已先后试制和生产了各种特殊用泵,基本上已能满足农业、国防、石油、化工、矿山、钢铁、冶金等国民经济各部门的需要。另外,通过对老产品的改革和新产品的试制,不仅填补了我国部分产品的空白,而且对常用的产品已先后制订出具有我国自己特点的系列,大大提高了我国泵类产品的系列化、标准化和通用化的水平。

化学工业的迅速发展,对化工用泵的品种要求越来越多,技术条件也越来越高。近年来,国外化工用泵正向着大型化、高速化、特殊化和系列化方向发展。

随着化工装置向大型化发展,要求泵的流量和驱动功率越来越大。在需要提供相同的流量和扬程的情况下,使用一台大泵比用多台小泵经济,可以节约大量的材料,减少动力消耗,缩小占地面积,同时也便于管理。这样就可以提高机组的技术经济指标和运转的可靠性。

现在已有叶轮直径为 7 米的巨型轴流泵；功率为 2000 千瓦的屏蔽泵；流量为 1500 米³/时的船用螺杆泵等。

对离心泵来说，提高泵的转速是增加单级扬程，减少级数、减小机器质量的重要途径。表 1-1 和图 1-1 中，以三种不同转速的锅炉给水泵作比较，可以明显看出泵的转速越高，体积越小，质量越小，泵向高速化发展的经济效果就越显著。目前转速高达 34000 转/分的高速泵在石油化工流程中相继出现。泵向高速化发展，要求离心泵具有很好的汽蚀性能。为了改善泵的汽蚀性能，出现了在叶轮前加诱导轮的石油化工用泵。在相同条件下，这类泵所需的汽蚀余量仅为普通离心泵的 1/3 左右。

表 1-1 不同转速的锅炉给水泵经济效果比较

制造年份	机组功率 万千瓦	泵 转 速 转/分①	排 出 压 力		单 级 扬 程		级 数	泵 质 量 吨
			巴	公斤力/厘米 ² ②	焦耳/公斤	米水柱		
1960	55	3000	192.3	196	3340	341	5	44
1965	60	4700	221.7	226	5550	567	4	17
1970	66	7500	218.8	223	11200	1143	2	10.5

①、② 因目前有些图表、仪表尚未改为国际制 (SI 制)，所以本书并用了公制。计算时将公制单位按本书附录换算为 SI 制。

化工生产中输送的液体比较特殊，有的液体易挥发、易燃、易爆或有毒，有的液体是强腐蚀或高粘度的，有的液体要求在高温、高压或低温、低压下进行输送。这就要求有各种特殊泵来输送这些液体，使化工用泵的品种日益增多，数量大大增加。目前各种特殊用泵，如耐腐蚀泵、屏蔽泵、计量泵、低温泵、高粘度泵、高速泵等大量发展，在泵类产品中的比例逐年增加。

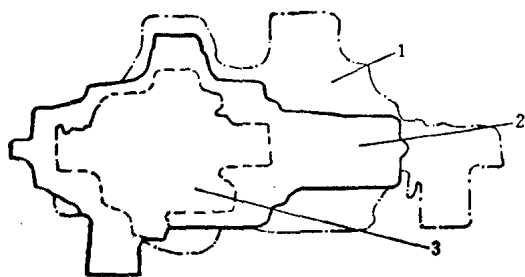


图 1-1 不同转速的锅炉给水泵体积比较示意图

- 1—1960 年， $n=3000$ 转/分， $m=44$ 吨；
2—1965 年， $n=4700$ 转/分， $m=17$ 吨；
3—1970 年， $n=7500$ 转/分， $m=10.5$ 吨

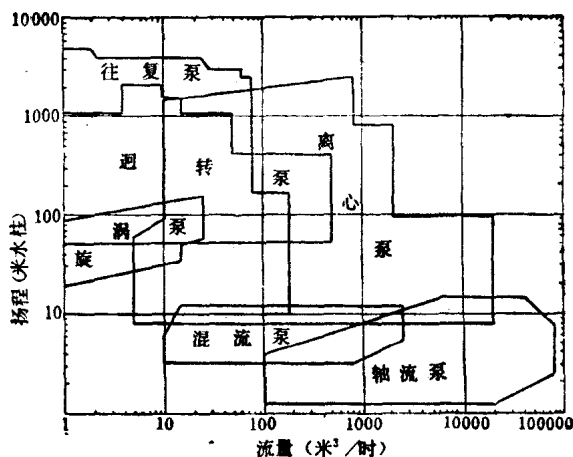


图 1-2 常用的几种类型泵的使用范围

泵类产品的标准化、系列化和通用化、是提高产量、质量和降低成本的主要途径之一。因此各国对“三化”工作都很重视。各种标准件的排列组合，结合主要部件，可以搞出很多系列产品。这样既可以提高劳动生产率，又可以满足产品多样化的要求。

三、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。根据泵的工作原理大致可分为三大类：

1. 容积泵——利用工作室容积的周期性变化输送液体,分为往复泵和回转泵(又称转子泵)。往复泵又分为活塞泵、柱塞泵、隔膜泵;回转泵又分为齿轮泵、螺杆泵等。

2. 叶片泵——利用工作叶轮的旋转运动输送液体,分为离心泵、混流泵、轴流泵、旋涡泵等。

3. 其它类型泵——包括流体动力作用泵、电磁泵等。流体动力作用泵是利用另一种工作流体的能量来输送液体,如酸蛋、喷射泵、水锤泵等。而电磁泵则是利用电磁力来输送液体。

本章着重介绍离心泵。

常用的几种类型泵的使用范围参阅图 1-2。

第二节 离心泵的装置及分类

一、离心泵的装置及工作过程

离心泵具有结构简单、适用范围广、运转可靠、操作和维修方便等优点,所以在化工生产中得到广泛的应用。图 1-3 是典型的单级单吸离心泵结构图。它的主要零部件有:叶轮、泵轴、泵体(泵壳)、泵盖、密封环、填料及填料压盖、托架等。在泵体内,叶轮入口处有吸液室,叶轮出口处有压液室。

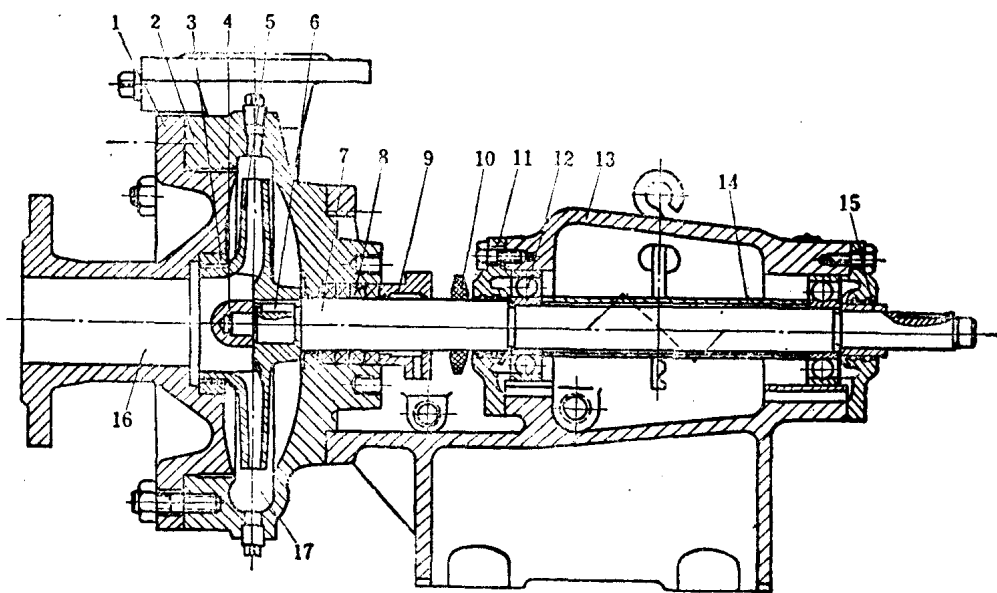


图 1-3 单级单吸离心泵

1—泵盖; 2—泵体; 3—密封环; 4—螺母; 5—叶轮; 6—键; 7—泵轴; 8—填料;
9—填料压盖; 10—挡水圈; 11—轴承盖; 12—单列向心球轴承; 13—托架;
14—定位套; 15—挡套; 16—吸液室; 17—压液室

离心泵装置中有吸入管路、底阀、排出管路、排出阀等,见图 1-4 所示。离心泵在启动前,泵体和吸入管路内充满液体,启动电机后,泵的主轴带动叶轮高速旋转,使泵体内的液体激烈旋转,在离心力的作用下液体由叶轮的內圈被甩向外圈,并提高了压力。液体经压液室流至泵出口,再沿排出管路送到需要的地方。泵壳内的液体排出后,叶轮入口处形成局部真空,此时液槽内的液体在大气压力的作用下,经过底阀沿吸入管路进入泵内。叶轮连续旋转

就可以将液体不断地由低位送往高位贮槽或压力容器。离心泵能输送液体是依靠高速旋转的叶轮使液体受到离心力作用,故名离心泵。

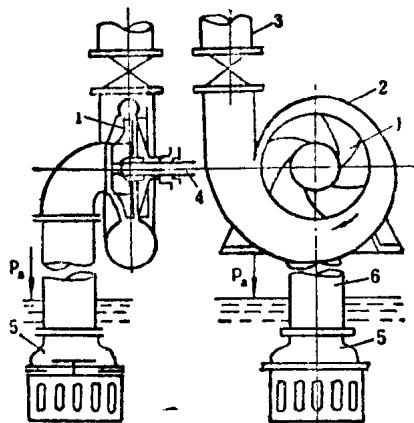


图 1-4 离心泵装置图

1—叶轮; 2—泵壳; 3—排出管;
4—泵轴; 5—底阀; 6—吸入管

离心泵吸入管路上的底阀是正逆阀,泵在启动前此阀关闭,保证泵体及吸入管路内能灌满液体。启动后此阀开启,液体便可以连续流入泵内。底阀下部装有滤网,防止杂物进入泵内堵塞流道。泵正常运转时,排出管路上的止逆阀是开启的,停止运转时此阀自动关闭,防止液体倒灌入泵造成事故。

离心泵在运转过程中,必须注意防止空气漏入泵内造成“气缚”,使泵不能正常工作。因为空气比液体的密度小得多,在叶轮旋转时产生的离心作用很小,不能将空气抛到压液室中去,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。

对于大功率泵,为了减少阻力损失,常不装底阀不灌泵,而采用真空泵抽吸气体然后启动。对于输送温

度较高或易挥发的液体,离心泵通常在一定的灌注压头下工作。

二、离心泵的分类

离心泵的分类方法很多,现将几种主要分类方法介绍如下:

(一)按叶轮数目分

1. 单级泵——泵中只有一个叶轮,如图 1-3 所示。单级泵所产生的压力不高,一般不超过 15 公斤/厘米²(kg/cm²)。

2. 多级泵——泵中有多个叶轮,一个叶轮便是一级,级数越多压力越高,其结构见图 1-5 所示。目前我国生产的多级泵最高压力可达 280 公斤/厘米²。

(二)按叶轮吸入方式分

1. 单吸泵——液体从叶轮的一侧流入轮内,其结构见图 1-3 所示。这种泵的叶轮制造容易,液体在叶轮内流动情况好,应用较多。

2. 双吸泵——液体从叶轮的两侧同时流入轮内,其结构见图 1-6 所示。由于双吸泵的叶轮以双面吸液,故此种泵的吸液量较大。目前我国生产的双吸泵最大流量达 20000 米³/时(m³/h)。

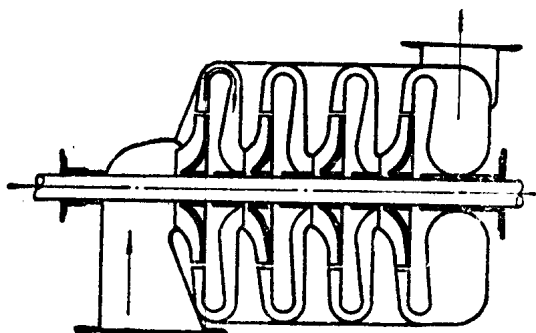


图 1-5 多级泵

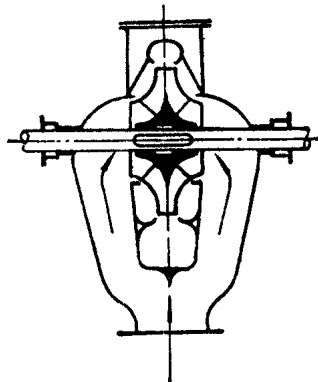


图 1-6 双吸单级泵

(三)按泵的用途和输送液体的性质分

可分为水泵、杂质泵、酸泵、碱泵、油泵、低温泵、高温泵、屏蔽泵等。

第三节 离心泵的基本原理

一、离心泵的性能参数

表示离心泵工作性能的参数有流量、扬程(压头)、转速、功率、效率、允许吸上真空高度和允许气蚀余量等。

(一)流量 单位时间内泵所输出的液体量,称为流量。有体积流量和质量流量。

体积流量用 Q 表示,单位用米³/秒(m^3/s),或用米³/时(m^3/h)、升/秒(l/s)。

质量流量用 G 表示,单位用千克/秒(kg/s),或用吨/时(t/h)。

质量流量与体积流量的关系如下:

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

式中 ρ ——液体的密度,公斤/米³(kg/m^3)。

(二)扬程 泵给予单位量液体的能量称为扬程,其单位为米(m)。它表示泵能提升液体的高度,和流体力学中压头的单位是一样的,因此泵的扬程又称为泵的压头,用符号 H 表示。

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,如图1-7所示。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。

泵样本或铭牌上给出的扬程数值,是用水做试验测出的全扬程。

(三)转速 离心泵的转速(或称转数)在工程制中,泵轴每分钟的转数,用符号 n 表示,单位为转/分(r/min)。在SI制中转速为泵轴每秒钟的转数,用符号 n_f 表示,单位为1/秒(1/s)即为频率的单位赫兹(Hz)。转数 n 、 n_f 及角速度 ω 有如下关系:

$$n = \frac{30}{\pi} \omega = 60 n_f, \text{ r/min}$$

$$\text{或} \quad n_f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{60} n, \text{ Hz}$$

泵的转速改变时,其流量、扬程、功率等都要发生变化。

(四)功率和效率 离心泵的功率是指轴功率,即原动机传给泵轴的功率,用符号 N 表示,单位为瓦(W)即 Nm/s 。

泵在每秒钟对输出液体所作的功称为有效功率,以符号 N_e 表示。若泵的流量为 $Q(\text{m}^3/\text{s})$,扬程为 $H(\text{m})$,液体密度为 $\rho(\text{kg/m}^3)$,则

$$N_e = QH\rho g, \text{ W} \quad (1-2)$$

离心泵的轴功率 N 与有效功率 N_e 之差,是在泵内损失的功率,其大小可以用效率来衡量。离心泵的效率即为有效功率 N_e 与轴功率 N 的比值,用符号 η 表示,即:

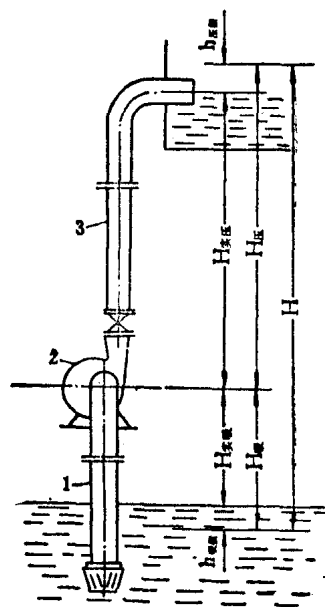


图 1-7 扬程示意图

1—吸入管路; 2—泵; 3—排出管路

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

由上式可得泵的流量、扬程、效率与轴功率的关系，

$$N = \frac{\rho Q H g}{\eta}, \text{ W} \quad (1-4)$$

(五)允许吸上真空高度 表示泵的吸上扬程的最大值，即泵在正常工作而不产生汽蚀^①的情况下，将液体从贮槽液面吸到泵入口中心的液体高度，以符号 H_s 表示，单位是米(m)。允许吸上真空高度越高，表明泵的汽蚀性能越好。一般泵的允许吸上真空高度在 2.5~9 米之间。

泵的样本或铭牌上的允许吸上真空高度是在标准大气压(760 mmHg)下用常温(293K)清水试验得到的。通常将临界状态下(即泵刚好由于汽蚀而不能正常工作时)的吸上扬程减去 0.3 米水柱，作为泵的允许吸上真空高度。

(六)允许汽蚀余量 是指泵入口处液体的压力高于被输送液体在当时温度下饱和蒸汽压的富余能量，用符号 Δh 表示，单位是米(m)。

允许汽蚀余量也是表示泵汽蚀性能的参数。允许汽蚀余量越小，说明泵的汽蚀性能越好。

例 1-1 某离心水泵输送常温清水，当流量为 $45 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程为 30 m，试计算有效功率是多少？若泵的效率为 70%，其轴功率是多少？

解：按式 1-2 进行计算

$$N_e = \rho Q H g, \text{ W}$$

常温清水的密度可近似取 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ， $Q = 45 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{45}{3600} \text{ m}^3/\text{s}$ ， $H = 30 \text{ m}$ 。代入上式得：

$$N_e = \frac{1000 \times 45 \times 30 \times 9.81}{3600} = 3680 \text{ W} = 3.68 \text{ kW}$$

$$N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{3.68}{0.7} = 5.26 \text{ kW}。$$

此泵的有效功率为 3.68 kW，轴功率为 5.26 kW。

二、速度三角形及欧拉方程式

(一)液体在叶轮内的流动状态及速度三角形 离心泵工作时，液体随着叶轮旋转，同时又沿着叶片从内向外流动，因此，液体在叶轮内的运动是复杂运动。液体随着叶轮的旋转运动称为圆周运动，其速度称为圆周速度，用符号 u 表示，方向与叶轮的切线方向一致，如图 1-8a 所示。液体从旋转着的叶轮内沿着叶片向外缘流动称为相对运动，其速度称为相对速度，用符号 w 表示，方向与叶片的切线方向一致，如图 1-8b 所示。圆周速度 u 和相对速度 w 的矢量和称为绝对速度，用符号 C 表示，即：

$$\vec{C} = \vec{u} + \vec{w} \quad (1-5)$$

绝对速度的方向为圆周速度和相对速度的合成速度的方向，如图 1-8c 所示。

液体在叶轮流道内的流动规律，可以用速度三角形展示。液体在叶轮内任意点的速度三角形反映了液体在该点流动速度的大小和方向。对我们讨论有意义的是液体在叶轮进口

① 汽蚀的概念详见第五节。

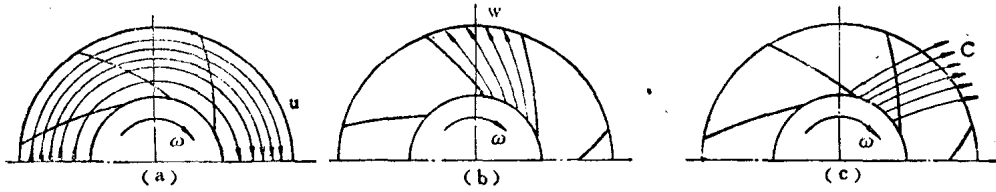


图 1-8 液体在叶轮内的运动

(a) 液体的圆周运动; (b) 液体的相对运动; (c) 液体的绝对运动

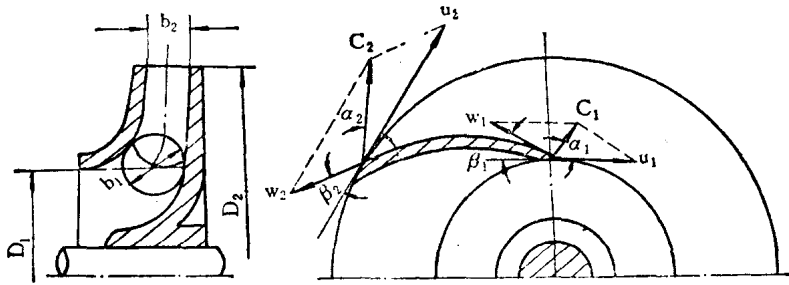


图 1-9 离心泵进出口速度三角形

和出口的流动状态,习惯以下标 1 和 2 区别。图 1-9 绘出了叶轮进出口处的速度三角形。由 u_1 、 w_1 、 C_1 三个速度矢量构成叶轮进口处的速度三角形。绝对速度与圆周速度的夹角 α_1 , 称为绝对速度方向角。相对速度与圆周速度的夹角 β_1 , 称为相对速度方向角。由 u_2 、 w_2 、 C_2 三个速度矢量构成叶轮出口处的速度三角形。 β_1 和 β_2 分别称为进口和出口处的叶片安装角, β_1 又称叶片进角, β_2 又称叶片离角。

通常把绝对速度分解成为两个互相垂直的分速度,一个是与圆周速度方向一致的分速度称为圆周分速度,用 C_u 表示;一个是与圆周分速度垂直的分速度称为径向分速度,用 C_r 表示,见图 1-10 所示。它们与绝对速度的关系如下:

$$C_u = C \cdot \cos \alpha \quad (1-6)$$

$$C_r = C \cdot \sin \alpha \quad (1-6a)$$

(二) 欧拉方程式 液体通过离心泵获得的能量可以用欧拉方程式表示。此方程式反映了离心泵的理论扬程与液体在叶轮中流动状态的关系。利用动量矩定理推导欧拉方程式时,是在下述两个假设的基础上进行的。

1. 叶轮有无穷个没有厚度的叶片,因此在叶轮内流动的液体完全依照叶片的曲线运动,而没有涡流产生。

2. 液体在叶轮内流动时没有摩擦阻力。

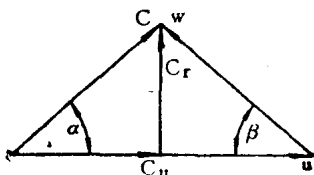


图 1-10 速度三角形

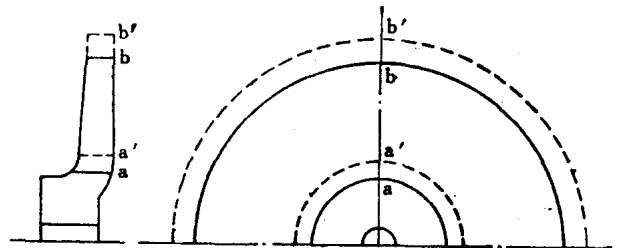


图 1-11 质点系(液体)的运动位置

质点系动量矩定理指出：质点系对某一轴的动量矩对时间的导数，等于作用于该质点系上的外力对于同轴的力矩，即：

$$\frac{dL}{dt} = M \quad (1-7)$$

式中 L ——液体对泵轴的动量矩；

M ——作用于质点系上的外力对泵轴的力矩。

以叶轮前、后盖板及假想的两个旋转面 a 、 b 所包围的液体作为讨论的质点系，如图 1-11 所示。这部分液体经过瞬时 dt 运动到 a' 、 b' 位置。相应地，这部分液体对于泵轴动量矩的变化是两个位置动量矩之差，即：

$$dL = L_{a'b'} - L_{ab} \quad (1-8)$$

式中 L_{ab} ——初始位置的动量矩；

$L_{a'b'}$ ——经过瞬时 dt 的动量矩。

由图 1-11 可知：

$$L_{a'b'} = L_{a'b} + L_{bb'}$$

$$L_{ab} = L_{aa'} + L_{a'b}$$

将上二式代入式 1-8 得：

$$dL = L_{bb'} - L_{aa'} \quad (1-8a)$$

因而计算所讨论的液体在 dt 时间内动量矩的变化，就转化为计算 bb' 和 aa' 两部分液体动量矩的问题。液体是不可压缩的，当泵在稳定工作时，根据连续性方程这两部分液体的流量是相等的，用 Q_T 表示。其体积为 $Q_T dt$ 。若液体的密度为 ρ ，则该部分液体的质量就是 $Q_T \rho dt$ 。而这两部分液体的动量矩分别为：

$$L_{bb'} = Q_T \rho dt C_2 \cos a_2 \cdot r_2$$

$$L_{aa'} = Q_T \rho dt C_1 \cos a_1 \cdot r_1$$

式中 r_2 ——叶轮出口半径，m；

r_1 ——叶轮入口半径，m。

将上两式代入式 1-8a 则得：

$$dL = Q_T \rho dt (C_2 r_2 \cos a_2 - C_1 r_1 \cos a_1)$$

将上式代入 1-7 式得：

$$M = \frac{dL}{dt} = Q_T \rho (C_2 r_2 \cos a_2 - C_1 r_1 \cos a_1) \quad (1-9)$$

如果离心泵叶轮的角速度为 ω ，那么外力矩 M 在单位时间内对液体所作的功为：

$$N_e = M \omega \quad (1-10)$$

N_e 是单位时间内叶轮传递给液体的能量，即泵的有效功率：

$$N_e = H_{th} Q_T \rho g \quad (1-10a)$$

式中 H_{th} ——无穷多叶片叶轮产生的理论扬程，m。

由 1-10 和 1-10a 两式可得：

$$M = \frac{1}{\omega} H_{th} Q_T \rho g$$

将式 1-9 代入上式经整理后得：

$$H_{th} = \frac{\omega}{g} (C_2 r_2 \cos a_2 - C_1 r_1 \cos a_1)$$