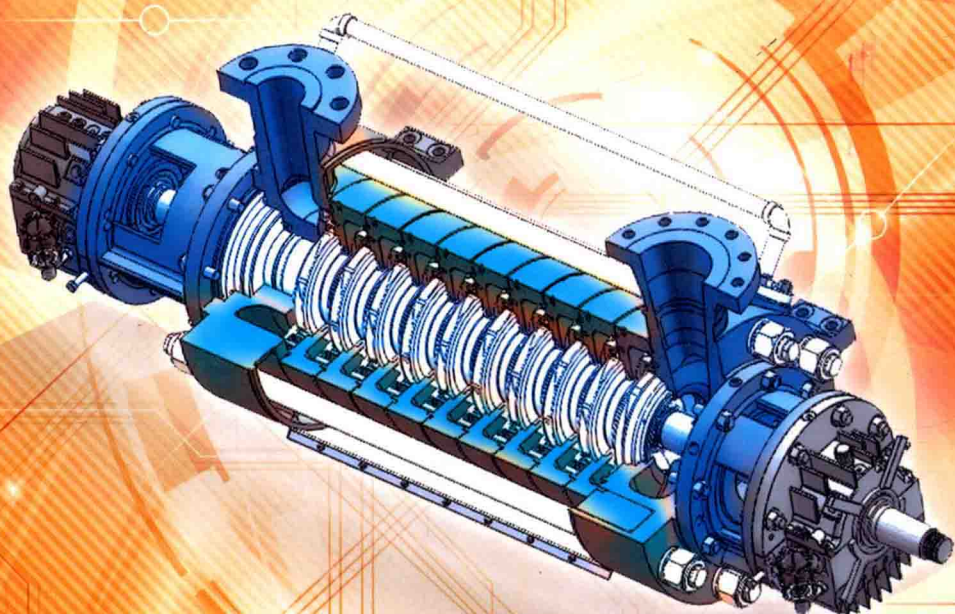




石油高职高专规划教材

泵和压缩机的使用与维护

侯淑华 孙洪泉 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高职高专规划教材

泵和压缩机的使用与维护

侯淑华 孙洪泉 主编

常州大学图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本书共分六章。第一、二章为泵部分,重点介绍离心泵的工作原理、性能参数和性能曲线、工况调节、主要零部件及常用典型结构、运行操作、维护保养与常见故障排除,对其他类型泵如往复泵、计量泵、齿轮泵、螺杆泵、液环泵、轴流泵的工作原理、结构、使用与维护也做了简单介绍。第三章至第五章为压缩机部分,重点介绍往复式压缩机和离心压缩机的工作原理、性能参数、工况调节、主要零部件、运行操作和日常维护、状态监测以及故障诊断与排除,同时简单介绍了螺杆压缩机和轴流压缩机的工作原理、基本结构和日常维护。第六章对泵和压缩机常用的驱动机(三相异步电动机、工业汽轮机和燃气轮机)的工作原理、基本性能和使用注意事项做了简单介绍。

本书可作为高职油气储运技术专业和石油化工生产技术专业的教学用书,也可作为企业员工的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

泵和压缩机的使用与维护/侯淑华,孙洪泉主编.

北京:石油工业出版社,2015.4

(石油高职高专规划教材)

ISBN 978-7-5183-0588-9

I. 泵…

II. ①侯…②孙…

III. ①泵—使用方法—高等职业教育—教材

②泵—维修—高等职业教育—教材

③压缩机—使用方法—高等职业教育—教材

④压缩机—维修—高等职业教育—教材

IV. ①TH3 ②TH450.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 304170 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:<http://www.petropub.com>

编辑部:(010)64523579 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:17.5

字数:438 千字

定价:36.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

本书编审人员

主 编：侯淑华 天津工程职业技术学院

孙洪泉 中国石油大港石化公司

参 编：(按姓氏笔画排序)

李徐东 天津石油职业技术学院

杨兰侠 天津工程职业技术学院

张 彬 华北油田公司采油工程研究院

张天然 天津工程职业技术学院

陈海峰 天津工程职业技术学院

岳国斌 大港油田采油一厂

审 稿：郝 点 中国石油大学(华东)

姬忠礼 中国石油大学(北京)

陈彦泽 中国特种设备检测研究院

宋柯南 大港油田天然气处理站

张 雷 鲁西化工集团

前言

“泵和压缩机的使用与维护”是高职油气储运专业和石油化工专业的一门技术核心课程,也是一门实践性很强的课程。因此,本教材根据企业对设备操作人员“四懂”(懂用途、懂原理、懂结构、懂性能)、“三会”(会使用、会维护保养、会故障排除)的基本要求与高职教育理念,从强化培养操作技能,掌握泵和压缩机操作、维护和简单故障排除的实用技术角度出发,详细介绍了一线设备操作人员必须掌握的知识和技能。基本理论以“必需、够用”为度,尽量减少设计和工艺计算,注重知识与技能的联系,突出并加强使用与维护等实践教学内容。

在教材编写过程中,编写组多次到中国石油大港石化公司、大港油田天然气公司 CNG 管理站、大港油田天然气处理站、大港油田采油一厂港东联合站等单位进行调研,并邀请企业一线技术人员和设备工程师共同参与教材编写,力求密切联系生产实际。同时,通过对国内外文献的检索和整理,使教材尽可能反映泵和压缩机技术的新发展。在具体内容上,本教材有如下特点:

(1)从企业一线设备操作人员角度出发,注重对泵和压缩机基本原理、基本结构、基本性能和常用型号的介绍,尤其对机器的主要零部件做了比较详细的阐述;强化泵和压缩机运行、维护保养和简单故障排除等内容。

(2)离心泵分类增加按 API 610《石油、石化和天然气工业用离心泵》中分类方法的介绍;往复活塞式压缩机和离心压缩机两章增加状态监测、故障诊断等新技术;离心压缩机一章增加干气密封的介绍。

(3)根据企业对压缩机机组运行故障跟踪结果统计,压缩机 80%左右的故障是由辅助系统功能失效造成的,故增加压缩机辅助系统(即气路系统、润滑系统、冷却系统、安全保护系统)的介绍,并补充压缩机系统工艺流程图,便于读者了解主机和辅助装置之间的关系和气体的流向。

(4)根据企业对泵和压缩机操作人员的要求及国家职业技能鉴定标准,泵和压缩机的操作人员不仅应能对工作机器本体进行正确使用与维护,还应能对驱动机进行简单必要地维护与管理。因此,本书增加驱动机的使用与维护一章。

本书由天津工程职业技术学院侯淑华和中国石油大港石化公司孙洪泉担任主编。各章节分工如下:第一章由天津工程职业技术学院杨兰侠和孙洪泉编写;第二章由天津工程职业技术学院陈海峰编写;绪论和第三章由侯淑华和大港油田采油一厂岳国斌编写;第四章由天津石油职业技术学院李徐东编写;第五章由华北油田公司采油工程研究院张彬编写;第六章第一节由天津工程职业技术学院张天然编写,第二节由陈海峰编写,第三节由杨兰侠编写。本书在编写过程中得到了中国石油大学(华东)郝点、中国石油大学(北京)姬忠礼、大港油田天然气公司宋柯南、鲁西化工集团张雷和中国特种设备检测研究院陈彦泽的大力帮助和支持,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,疏漏和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2014 年 10 月

目 录

绪论	(1)
第一节 泵和压缩机的应用	(1)
第二节 泵和压缩机的分类	(1)
第三节 泵和压缩机的技术发展	(3)
复习思考题	(4)
第一章 离心泵的使用与维护	(5)
第一节 离心泵的工作原理及分类	(5)
第二节 离心泵的性能参数	(11)
第三节 离心泵的汽蚀	(15)
第四节 离心泵的特性曲线	(22)
第五节 离心泵的装置特性及工况调节	(30)
第六节 离心泵的主要零部件	(35)
第七节 离心泵的选择	(51)
第八节 离心泵的操作与维护保养以及故障排除	(64)
复习思考题	(68)
第二章 其他类型泵的使用与维护	(70)
第一节 往复泵的使用与维护	(70)
第二节 计量泵的使用与维护	(82)
第三节 齿轮泵的使用与维护	(88)
第四节 螺杆泵的使用与维护	(92)
第五节 液环泵的使用与维护	(96)
第六节 轴流泵的使用与维护	(101)
复习思考题	(104)
第三章 往复式活塞式压缩机的使用与维护	(105)
第一节 往复式活塞式压缩机的工作原理及分类	(105)
第二节 往复式活塞式压缩机的工作循环	(111)
第三节 往复式活塞式压缩机的性能参数	(117)
第四节 往复式活塞式压缩机的主要零部件	(128)
第五节 往复式活塞式压缩机的辅助系统	(148)
第六节 往复式活塞式压缩机排气量调节及管路系统振动控制	(155)
第七节 往复式活塞式压缩机的运行操作	(161)
复习思考题	(166)

第四章 离心压缩机的使用与维护	(168)
第一节 离心压缩机的工作原理及分类	(168)
第二节 离心压缩机的性能参数	(173)
第三节 离心压缩机的性能曲线	(177)
第四节 离心压缩机的工况调节	(182)
第五节 离心压缩机的主要零部件	(186)
第六节 离心压缩机的运行操作	(197)
第七节 离心压缩机的维护保养及常见故障排除	(201)
复习思考题	(207)
第五章 其他类型压缩机的使用与维护	(209)
第一节 螺杆压缩机的使用与维护	(209)
第二节 轴流压缩机的使用与维护	(222)
复习思考题	(233)
第六章 驱动机的使用与维护	(234)
第一节 三相异步电动机的使用与维护	(234)
第二节 工业汽轮机的使用与维护	(246)
第三节 燃气轮机的使用与维护	(259)
复习思考题	(268)
附表	(269)
附表1 单位换算表	(269)
附表2 运动黏度单位换算表	(270)
附表3 单一气体在标准状态下的主要特性值	(270)
附表4 国内外主要相关标准	(271)
参考文献	(273)

绪 论

流体机械是指在流体所具有的机械能与机械所做的功之间进行能量转换的机械设备。按能量转换的方向,流体机械分为两大类:一种是将流体的能量转换为机械能,用于驱动其他机械。例如,水轮机利用水能、汽轮机利用蒸汽的能量带动发电机发电;燃气轮机、喷气发动机利用燃气的能量提供动力,也称为流体动力机械或原动机。另一种是将机械能转换为流体的能量,用来改变流体的状态(提高流体的压力、使流体分离等)与输送流体,也称为工作机,如泵、压缩机和分离机等。本书主要介绍流体机械中的泵和压缩机。

第一节 泵和压缩机的应用

泵和压缩机是常用的流体输送机械设备。把机械能转换为液体的能量并输送液体的流体机械称为泵;把机械能转换为气体的能量并输送气体的流体机械称为压缩机。

泵和压缩机属于通用机械设备,在国民经济各行业和社会生活各领域都得到广泛应用。例如,电力工业中,热力发电站用锅炉给水泵和冷却风机等;核电站用冷却泵、冷凝泵、循环泵和给水泵等;水利工程中,灌溉、排涝或供水等使用的各种水泵;采矿工业中,矿井排水用离心泵、选矿用渣浆泵和矿井通风用压缩机等;钢铁工业中,高炉鼓风用轴流压缩机和纯氧顶吹转炉用氧气管压缩机等;航天工业中,火箭发动机用燃料输送泵、航天控制用特殊液压泵等;石油工业中,采油用抽油泵,钻井用钻井泵、油田注水泵和注气压缩机,海上油田用油气混输泵等。

在油气储运工程中,泵和压缩机是连接管道和储罐的输送动力机械,是油气集输的关键设备。例如,长输油气管道工程中的输油用多级离心泵、输气用大型离心压缩机,油库用泵和压缩机等。泵和压缩机还用于油气储运工程的各个辅助性环节,如动力风源和仪表控制用空气压缩机、循环水泵等。

在化学工业中,生产原料、中间产品和产品大多是流体介质,输送流体介质的泵和压缩机是化工生产的核心设备,可称为化工生产的“心脏”。现代化工生产装置的发展,对泵和压缩机提出更高的性能要求,如化工流程用泵和压缩机,需要在高温或低温、高压、易燃、易爆、剧毒、易结晶、易汽化或分解等特殊工况条件下运行,对泵和压缩机的设计、制造、操作和维护等方面提出特殊的技术要求。

第二节 泵和压缩机的分类

泵和压缩机的种类繁多,按工作原理可分为动力式和容积式两大类,如图 0—1 和图 0—2 所示。

动力式(速度式或叶轮式)泵和压缩机将机械能传递给流体介质,增加其速度(动能)和压力能(位能),然后降低流体速度,使大部分流体动能转化为压力能(位能),实现流体的增压和输送。动力式泵和压缩机主要包括叶片式和喷射式两种类型。叶片式(透平式)依靠高速旋转

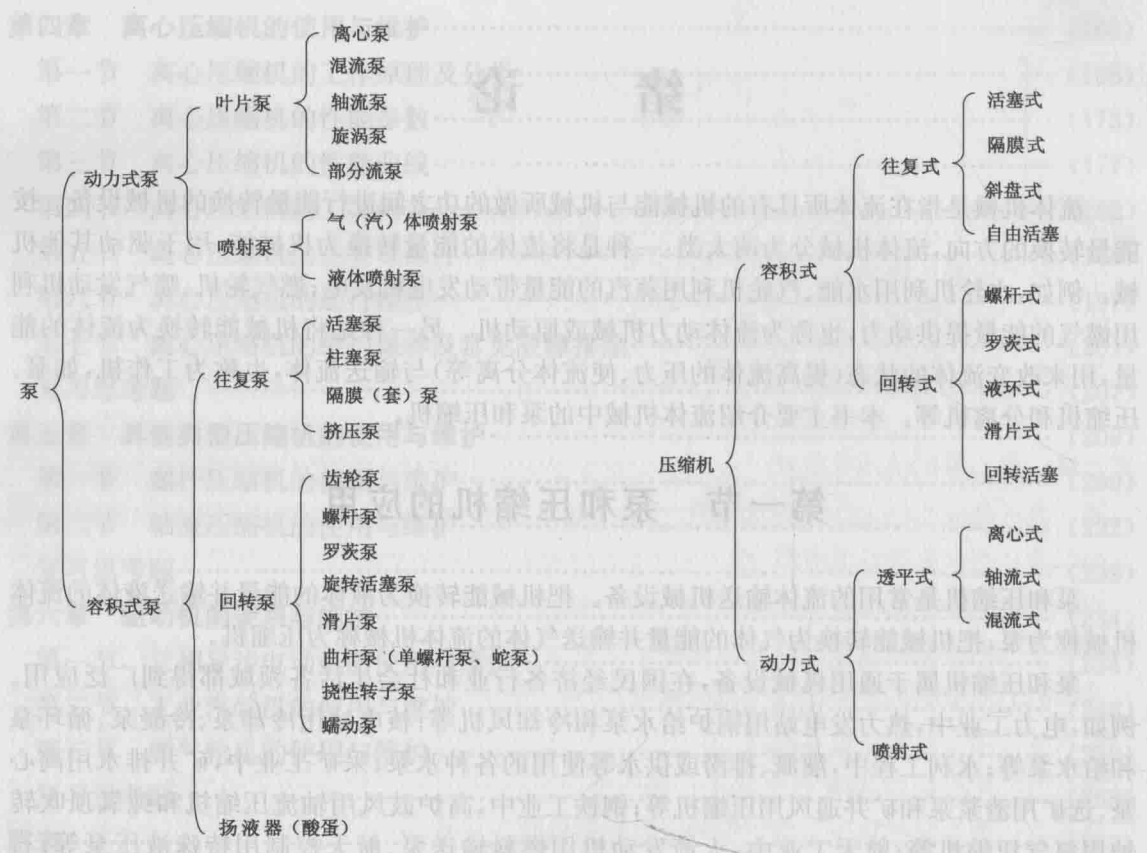


图 0-1 常用泵的分类

图 0-2 常用压缩机的分类

的带有叶片的工作叶轮将机械能传递给流体介质。根据流体在叶轮中的流动状况,叶片式可分为离心式、混流式、轴流式和旋涡式等,如离心泵和离心压缩机、轴流泵和轴流压缩机等。喷射式没有叶轮部件,依靠一种流体介质的能量来输送另一种流体介质,如喷射泵。

容积式是依靠工作容积的周期性变化,实现流体的增压和输送。容积式泵和压缩机主要包括往复式和回转式两种类型。往复式依靠活塞(或柱塞)在工作缸内做往复运动,实现工作容积的周期性变化,如往复泵和往复式压缩机;回转式依靠转子在工作缸内做回转运动,实现工作容积的周期性变化,如齿轮泵、滑片泵和滑片压缩机、螺杆泵和螺杆压缩机等。

这些机器各有特点,适合于不同的生产条件。目前,常用的泵和压缩机的适用范围如图 0-3 和图 0-4 所示。

由图 0-3 可知,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;回转泵和旋涡泵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、结构简单和运转可靠等优点,在石油化工和油气储运工程中得到广泛应用。

由图 0-4 可知,往复活塞式压缩机适用于中、小输气量,排气压力可以由低压至超高压;离心压缩机和轴流式压缩机适用于大输气量、中低压场合;回转式压缩机适用于中小输气量、中低压场合。其中,往复活塞式压缩机和离心压缩机在石油化工和油气储运工程中应用最广泛。

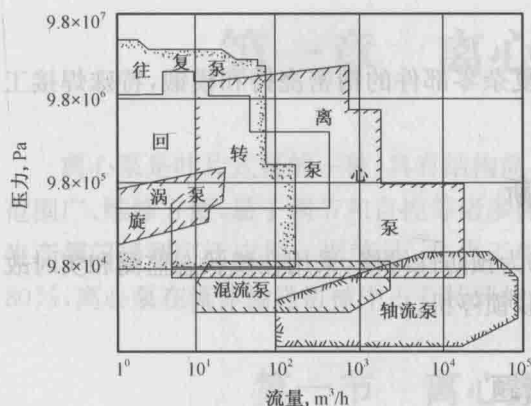


图 0-3 各种类型泵的适用范围

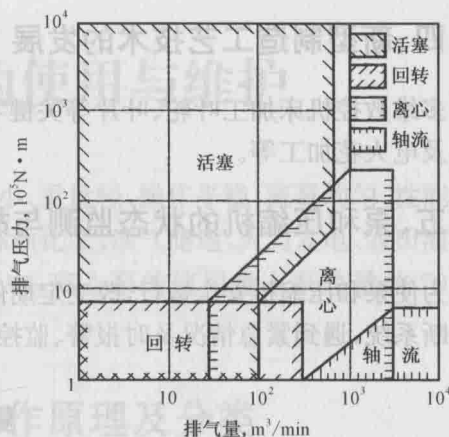


图 0-4 各种类型压缩机的适用范围

第三节 泵和压缩机的技术发展

泵和压缩机具有悠久的历史,我国古代的水车和风箱就是原始的泵和压缩机。随着现代科学技术的发展,泵和压缩机也在不断地进行技术改进和性能完善,特别是向大型化、高转速、高效率、高可靠性、低噪声和自动化等方面发展。目前泵和压缩机的技术发展主要体现在以下几个方面。

一、新型泵和压缩机

高压、高增压比的泵和压缩机——例如,锅炉给水泵的出口压力从超高压 13.7~15.7MPa 发展到超临界压力 25.6~29.4MPa;往复活塞式压缩机出口压力达 700MPa,离心压缩机出口压力达 70MPa。

大流量或小流量的泵和压缩机——例如,轴流压缩机进口流量可以达到 10000m³/min,往复压缩机进口流量可以小至约 0.01m³/min。

高转速的泵和压缩机——例如,大型给水泵机组的转速由 3000r/min 提高到 7500r/min,带有气体轴承的小型汽轮机和压缩机的转速高达 150000r/min。

超声速压缩机——例如,马赫数 $Ma \geq 2$ 的超声速轴流压缩机。

二、泵和压缩机内部流动规律的研究和应用

在泵和压缩机的通流部件中进行三维流动、黏性流动、可压缩流、两相或多相流以及非牛顿流体等的流场数值分析计算以及改进空间流道几何形状设计等。

三、高速转子动力学研究与应用

高速转子的平衡、高速转子的弯曲振动和扭转振动、高速转子的支承与抑振、高速转子的轴端密封以及高速转子的使用寿命预测等。

四、新型制造工艺技术的发展

多维数控机床加工叶轮、叶片等关键零部件,复杂零部件的精密浇铸和模锻,特殊焊接工艺以及电火花加工等。

五、泵和压缩机的状态监测与故障诊断

为使泵和压缩机安全运行,改变定期停机大修为预防性维修,采用在线状态监测和实时故障诊断系统,遇到紧急情况及时报警、监控或自动连锁停机。

复习思考题

- 1. 泵和压缩机有哪些类型?
- 2. 泵如何分类? 压缩机如何分类?
- 3. 如何确定泵的适用范围? 如何确定压缩机的适用范围?
- 4. 油气储运工程领域常用哪些类型的泵和压缩机?
- 5. 化学工业领域常用哪些类型的泵和压缩机?

第一章 离心泵的使用与维护

离心泵是叶片式泵的一种,具有结构简单、体积小、重量轻、操作平稳、流量均匀、性能参数范围广、维修方便、易于调节和自控等诸多优点,在炼油化工、油气储运、火力发电、农田灌溉等生产部门得到广泛应用。据统计,在化工生产装置中,离心泵的使用量占泵总量的 70%~80%,离心泵在流体输送机械中占有特殊的地位。

第一节 离心泵的工作原理及分类

一、离心泵的工作原理

离心泵是靠一个或几个叶轮旋转时产生的离心力来完成介质输送的,这可以从日常生活现象来说明。例如,雨天打伞外出时,急速转动伞柄,伞面上的水滴就会沿伞的四周飞溅出去,伞面越大或旋转得越快,水滴飞溅得越远。又如,用一根绳子拉着石块做圆周运动,如果速度太快,绳子就会断开,石块将会飞出,这就是所谓的离心力。离心泵就是根据这个原理设计的。

为使离心泵正常工作,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。离心泵的工作过程,实际上就是一个能量传递和转换的过程,如图 1-1 所示。离心泵启动前,泵壳内首先应灌满被输送的液体,这个过程称为“灌泵”。启动后,原动机通过泵轴带动叶轮旋转,叶轮中的液体在叶片的驱动下与叶轮一起转动,因而产生离心力。在离心力作用下,液体沿叶片流道被甩向叶轮出口并获得能量,以高速离开叶轮出口进入蜗壳。在蜗壳中,液体由于流道的逐渐扩大而减速,将部分动能转变为静压能,最后以较高的压力流入排出管道,送至需要场所。

在液体被甩向叶轮出口的同时,在叶轮入口中心处形成一定的真空,从而在吸液罐和叶轮入口中心处的液体之间产生了压差。在压差的作用下,吸液罐中的液体经吸入管路及泵的吸入室压入叶轮中。就这样,叶轮在旋转过程中,一面不断地吸入液体,一面又不断地给吸入的液体以一定的能量。只要叶轮不断地旋转,液体就会不断地被吸入和排出,离心泵就是这样进行工作的。

必须注意的是:离心泵启动之前,必须在泵内和吸入管路中灌满所输送的液体或用真空泵抽出泵内空气。因为空气的密度比液体密度小得多,产生的离心力不足以将空气排出,叶轮入口中心处不能形成足够的真空,离心泵没有抽吸液体的能力,这种现象称为“气缚现象”,表示离心泵无自吸能力。另外,离心泵在运转过程中,也必须防止外界空气进入泵内。

在图 1-1 中,离心泵吸入管路上的底阀是单向阀,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,可防止杂物进入泵内堵塞流道。

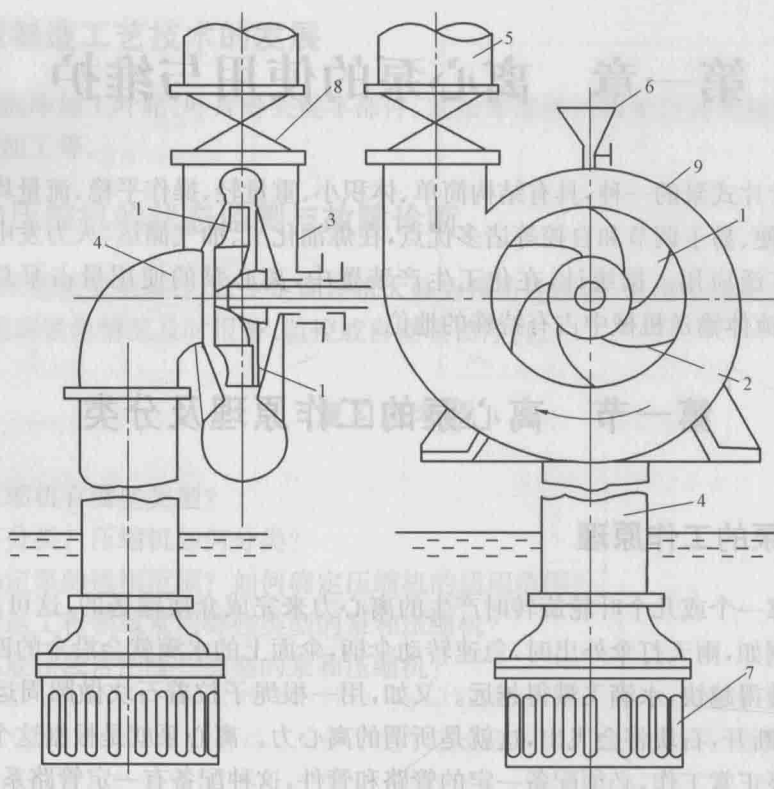


图 1-1 离心泵工作原理示意图

1—叶轮；2—叶片；3,9—蜗壳；4—吸入口；5—排出管；6—漏斗；7—滤网和底阀；8—排出阀门

二、离心泵的分类

离心泵的类型很多,分类方法也不同,比较传统的是按结构型式进行分类。

(一)按级数分

(1)单级离心泵(图 1-2):在泵轴上只有一个叶轮的泵。单级离心泵是一种应用最为广泛的泵,由于液体在泵内只有一次增压,所以扬程较低。

(2)多级离心泵(图 1-3):在同一根泵轴上有两个或两个以上的叶轮,液体串联通过各级叶轮,泵的总扬程为多个叶轮产生的扬程之和,因此多级离心泵的扬程很高。

(二)按吸入方式分

(1)单吸离心泵(图 1-2):只在叶轮的一侧有吸入口,液体从一侧流入叶轮。此类泵的叶轮制造方便,应用最为广泛,缺点是存在轴向力。

(2)双吸离心泵(图 1-4):叶轮两侧都有吸入口,液体从两侧进入叶轮,在同样条件下比单吸式泵流量增加一倍。由于双吸泵的叶轮结构对称,不存在轴向力,运行较平稳。

(三)按叶轮出来的液体引向压出室的方式分类

(1)蜗壳泵:液体从叶轮出来后,直接进入具有螺旋线形状的泵壳。

(2)导叶泵:液体从叶轮出来后进入它外面的导叶,之后进入下一级或流入排出口。

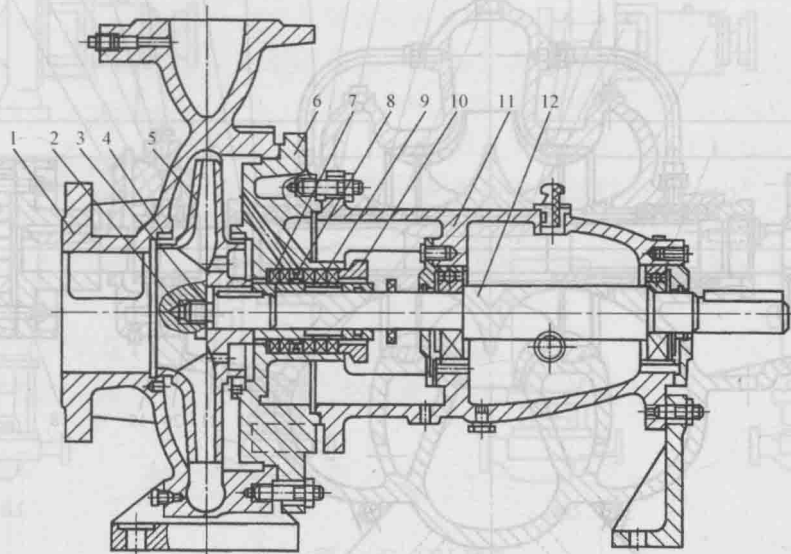


图 1-2 IS 型单级单吸离心泵结构图

- 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

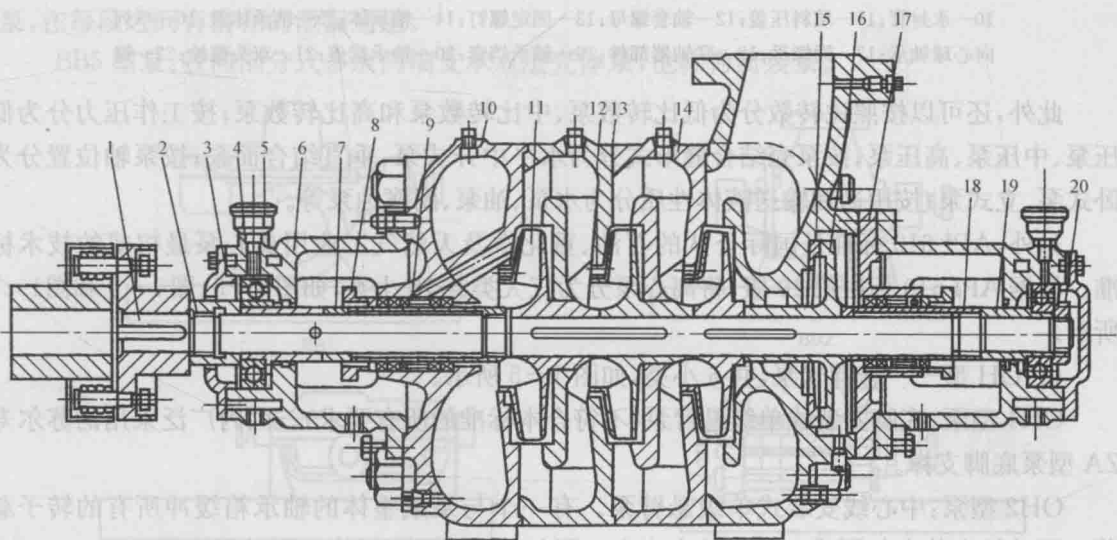


图 1-3 分段式多级高压热油泵结构图

- 1—泵轴;2—轴套螺母;3—轴承盖;4—轴承衬套甲;5—单列向心球轴承;6—轴承体;
7—轴套甲;8—填料压盖;9—填料环;10—进水段;11—叶轮;12—密封环;13—中段;
14—出水段;15—平衡环;16—平衡盘;17—尾盖;18—轴套乙;19—轴承衬套乙;20—圆螺母

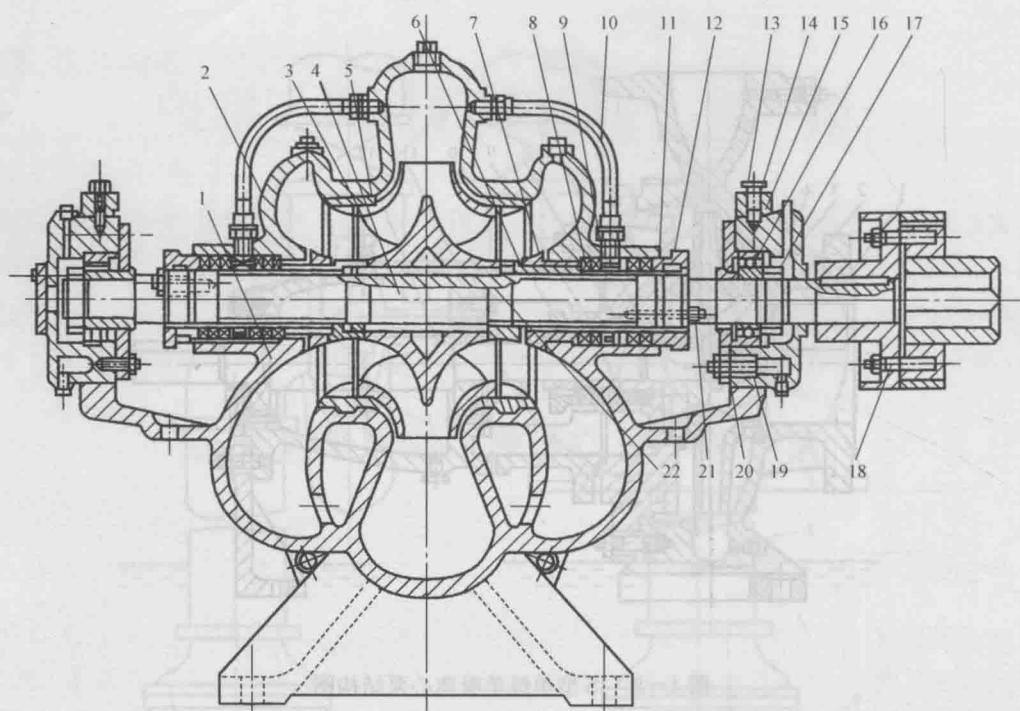


图 1-4 双吸离心泵结构图

1—下泵体;2—上泵体;3—叶轮;4—轴;5—密封环;6—轴套;7—填料套;8—填料;9—液封圈;
10—水封管;11—填料压盖;12—轴套螺母;13—固定螺钉;14—轴承体;15—轴承体盖;16—单列
向心球轴承;17—圆螺母;18—联轴器部件;19—轴承挡套;20—轴承端盖;21—双头螺栓;22—键

此外,还可以按照比转数分为低比转数泵、中比转数泵和高比转数泵;按工作压力分为低压泵、中压泵、高压泵;按泵壳结合缝形式分为水平中开式泵、垂直结合面泵;按泵轴位置分为卧式泵、立式泵;按用途和输送液体性质分为水泵、油泵、耐腐蚀泵等。

另外,API 610 标准是国际公认的石油、重化学及天然气工业用离心泵最权威的技术标准。根据 API 610 标准第 10 版,将离心泵分为三大类共 18 小类,如图 1-5、图 1-6 和图 1-7 所示。

(1)OH 型——悬臂式泵,共 6 小类,如图 1-5 所示。

OH1 型泵:底脚安装式单级悬臂泵(不符合本标准的所有要求)。国内广泛采用的苏尔寿 ZA 型泵底脚支撑。

OH2 型泵:中心线安装式单级悬臂泵。有一个与泵成整体的轴承箱缓冲所有的转子载荷。驱动机安装在与泵成一整体的支座上。泵与其驱动机通过挠性联轴器连接。

OH3 型泵:具有独立轴承座的立式单级悬臂管道泵,用挠性联轴器。

OH4 型泵:无轴承座的立式单级悬臂管道泵,用刚性联轴器。

OH5 型泵:叶轮直接安装在电动机轴上的立式单级悬臂管道泵。

OH6 型泵:与高速齿轮箱成一整体的单级悬臂泵,叶轮直接安装在齿轮箱的输出轴上,齿轮箱与泵之间无联轴器,齿轮箱由挠性联轴器连接到驱动机上。这类泵可以是立式或卧式。

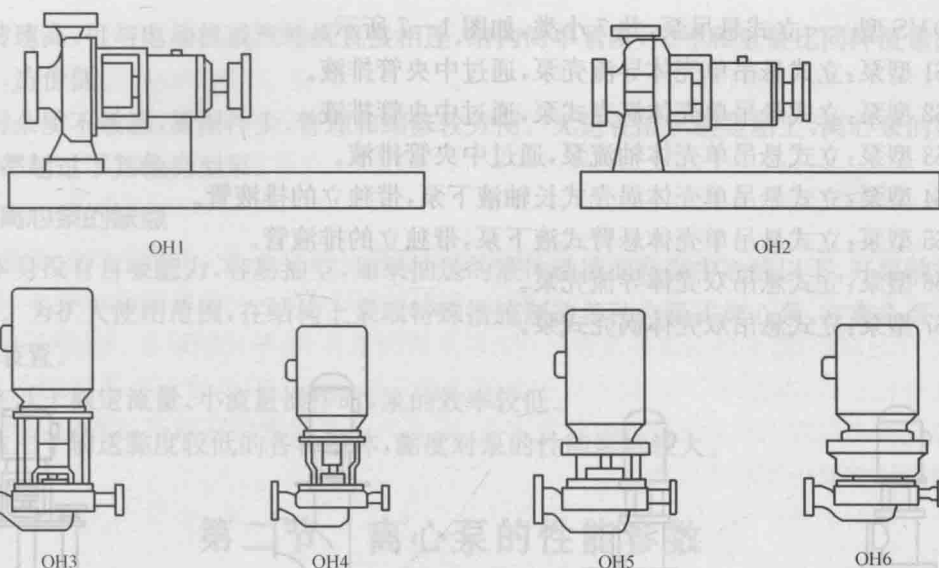


图 1-5 OH 型泵

(2)BB 型——两端支承泵,共 5 小类,如图 1-6 所示。

BB1 型泵:轴向剖分式单级或两级两端支承泵。

BB2 型泵:径向剖分式单级或两级两端支承泵。

BB3 型泵:轴向剖分式多级两端支承泵。

BB4 型泵:径向剖分式多级两端支承单壳体泵。这类泵也称为节段式泵、分节式泵或拉杆泵,在每段之间有潜在的泄漏通道。

BB5 型泵:径向剖分式多级两端支承双层壳体泵,也称为筒袋泵。

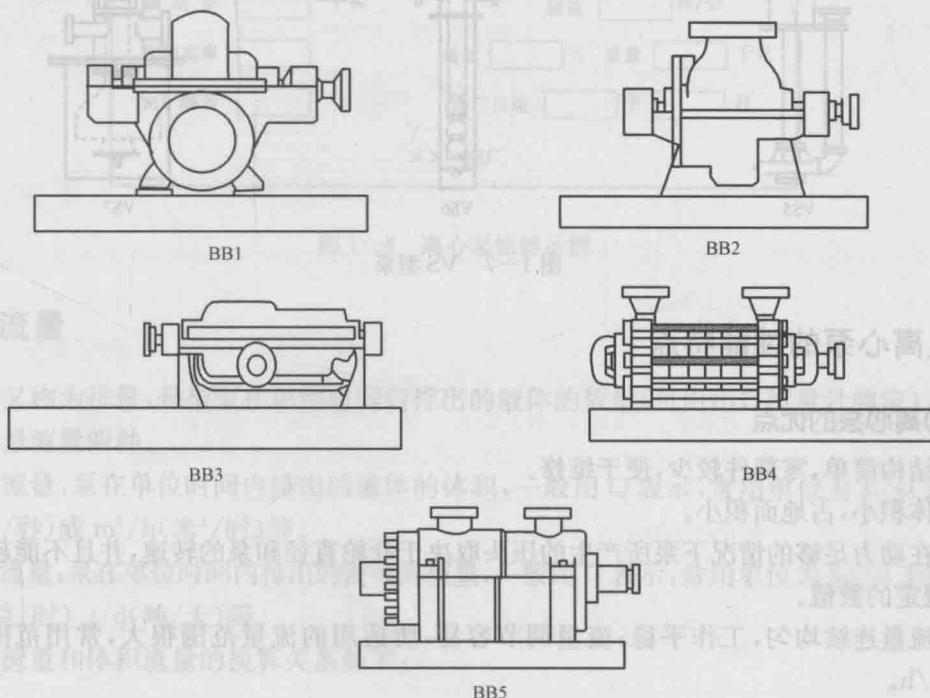


图 1-6 BB 型泵

(3)VS 型——立式悬吊泵,共 7 小类,如图 1-7 所示。

VS1 型泵:立式悬吊单壳体导流壳泵,通过中央管排液。

VS2 型泵:立式悬吊单壳体涡壳式泵,通过中央管排液。

VS3 型泵:立式悬吊单壳体轴流泵,通过中央管排液。

VS4 型泵:立式悬吊单壳体涡壳式长轴液下泵,带独立的排液管。

VS5 型泵:立式悬吊单壳体悬臂式液下泵,带独立的排液管。

VS6 型泵:立式悬吊双壳体导流壳泵。

VS7 型泵:立式悬吊双壳体涡壳式泵。

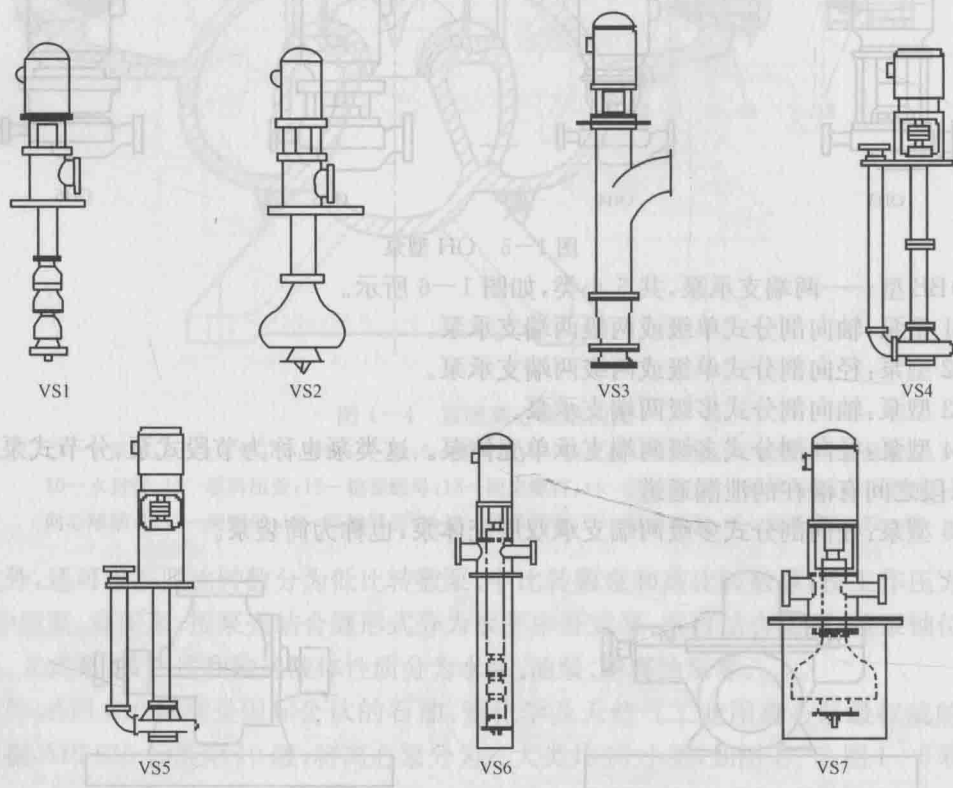


图 1-7 VS 型泵

三、离心泵的性能特点

(一)离心泵的优点

(1)结构简单,零部件较少,便于维修。

(2)体积小,占地面积小。

(3)在动力足够的情况下泵所产生的压头取决于叶轮直径和泵的转速,并且不能超过这些参数所规定的数值。

(4)流量连续均匀,工作平稳:流量调节容易,所适用的流量范围很大,常用范围为 $5 \sim 20000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

(5)压力平稳,泵运转时振动较小。