

全国普通高校卓越工程师系列规划教材

液压元件设计

谢 苗 魏晓华 主编



煤炭工业出版社

全国普通高校卓越工程师系列规划教材

液压元件设计

主 编 谢 苗 魏晓华
副主编 卢进南 刘 辉



煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

液压元件设计/谢苗, 魏晓华主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2017

全国普通高校卓越工程师系列规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 5814 - 2

I. ①液… II. ①谢… ②魏… III. ①液压元件—设计—高等学校—教材 IV. ①TH137.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 095573 号

液压元件设计 (全国普通高校卓越工程师系列规划教材)

主 编 谢 苗 魏晓华
责任编辑 成联君 赵金园
编 辑 杜 秋
责任校对 尤 爽
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010 - 84657898 (总编室)
010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京建宏印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 19 字数 500 千字

版 次 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

社内编号 8694 定价 39.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010 - 84657880

内 容 提 要

全书共六章，主要介绍了液压元件和传动的发展简史、基本概念及发展趋势，液压泵、液压大扭矩马达、液压缸、液压阀的结构原理及其设计计算，常用液压辅件的工作原理及选用，计算机辅助设计等方面的内容。本书注重创新，理论联系实际，展现了液压元件领域的新知识、新技术和新应用，与工程实践联系密切。

本书可作为普通理工科院校机械类各专业的教材，也可作为各类成人高考、自学考试等机械类学生的自学教材，也可供从事液压元件设计的技术人员参考借鉴。

前 言

当今社会,科技创新日新月异,信息化、知识化、现代化、全球化成为现代工业发展的新趋势,我国制造业迎来了新的发展机遇和挑战。当前,液压技术已广泛应用于交通、船舶、飞机、空间技术、机床、采矿、农业设备以及其他各个领域。尤其近十几年来,液压技术有了很大发展,新颖的液压元件不断涌现,新的领域不断开辟。为了跟上国内外液压技术的发展步伐,适应我国四个现代化建设的需要,特编写了这本重在加强学科基础理论分析的新教材。

全书共六章:第一章是绪论,介绍液压元件和传动的发展简史、基本概念及发展趋势。第二章和第三章阐述液压泵、液压马达、液压缸的结构原理、计算及分析。第四章是液压控制阀,分析了各种阀的工作原理,以及阀的性能分析与设计计算。第五章是液压辅助装置,介绍了常用液压辅件的工作原理及选用。第六章主要介绍了计算机辅助设计,如 MATLAB、AMESim、Simulink 在液压元件和液压系统的分析设计方面的主要应用。

本书具有以下特点:

(1) 注重创新,理论联系实际。教材展现了液压元件领域的新知识、新技术和新应用,与工程实践联系密切。

(2) 适用于创新型高校的教学。本书结合机械类教学培养方案要求,对教材内容进行了编排和优化,以满足应用创新型高校机械专业学生的教学要求。

(3) 结构新颖。教材中每章前后都安排有“本章导读”“学习要点”,且每章以案例引入,提出引导性工程问题,使读者有针对性地进行学习;每章结尾处设有“课堂讨论”“思考与习题”,帮助学生归纳和总结本章所学,巩固知识要点。

本书可作为普通理工科院校机械类各专业的教材,也可作为各类成人高考、自学考试等机械类学生的自学教材,也可供从事液压元件设计的技术人员参考借鉴。

参加本书编写工作的有：刘辉（辽宁工程技术大学，第一章），谢苗（辽宁工程技术大学，第四章），魏晓华（辽宁工程技术大学，第二、六章），卢进南（辽宁工程技术大学，第三、五章）。全书由谢苗、魏晓华任主编并统稿，由卢进南、刘辉任副主编。

辽宁工程技术大学机械工程专业博士研究生李晓婧，硕士研究生陈学栋、李海超、倪晓龙、王鹏飞、曹丽平、朱振、李晨光、杨洋、单德兴、刘恒、赵金宝、田宽等在本书编写过程中做了大量的工作，在此表示感谢。本书编写过程中，编者参考了国内大量的相关教材及文献，在此谨向有关作者表示由衷的感谢。

由于编者水平和时间有限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年5月

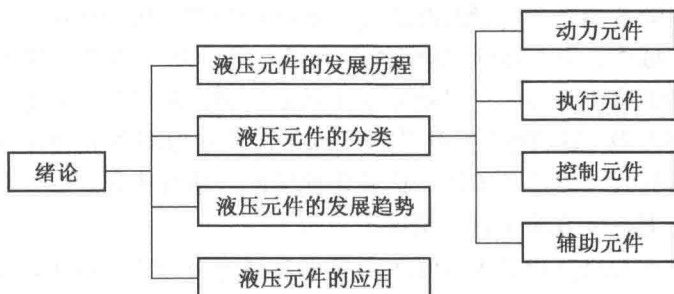
目 次

第一章 绪论	1
第一节 液压元件的发展历程与发展趋势	1
第二节 液压元件的分类、发展趋势及应用	3
第二章 液压泵	7
第一节 液压泵概述	8
第二节 齿轮泵	14
第三节 叶片泵	34
第四节 柱塞泵	44
第三章 执行装置	59
第一节 液压马达	61
第二节 液压缸	124
第四章 液压阀	137
第一节 流量控制阀	138
第二节 压力控制阀	160
第三节 方向控制阀	180
第四节 插装阀	218
第五章 液压辅件设计	240
第一节 油箱	241
第二节 管件	246
第三节 过滤器	249
第四节 蓄能器	253
第五节 密封件	257
第六节 冷热交换器	273
第六章 液压元件计算机辅助设计	276
第一节 液压元件数字仿真软件的发展	278
第二节 常用液压元件及系统数字仿真软件	279
第三节 液压元件的动态特性分析	288
参考文献	296

第一章 绪 论

【本章导读】

液压元件是液压传动系统中必不可少的组成部分,它包括动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件四类。随着微电子技术、传感器技术、计算机技术及自动控制理论的发展,液压传动技术和液压元件也得以迅速发展,逐渐形成了包括传动、控制及检测在内的一系列新型自动化技术,其具有显著的机电液一体化特征,其应用广度和发展水平被普遍认为是衡量一个国家现代工业发展水平的重要标志。



【学习要点】

知识要点	能力要求	相关知识
液压传动系统工作原理和组成	掌握液压传动的工作原理,了解液压传动的基本组成	通过对液压传动发展历程的了解,掌握液压传动的主要组成部分
液压元件的组成及特点	掌握液压元件的主要优点和缺点	通过各种传动方式的比较,总结液压元件的优缺点
液压元件的应用	了解液压元件的应用	通过对各领域液压机发展的认识,了解液压元件的各个应用领域

第一节 液压元件的发展历程与发展趋势

一、液压元件的发展历程

液压元件是伴随着液压传动而诞生的。相对于机械传动来说,液压传动是一门新技术,早期的液压传动以水作为传动介质,近代液压传动是由19世纪崛起并蓬勃发展的石

油工业推动起来的。最早实践成功用油代替水作为传动介质的液压传动装置是1906年应用于舰艇上的炮塔转位器,其后才出现了液压转塔车床和磨床。由于缺乏成熟的液压元件,一些通用机床到20世纪30年代才用上了液压传动,而且还因为各搞一套而无法进行经验交流。第二次世界大战期间,一些兵器上使用了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置,大大提高了兵器的性能,也促进了液压技术的发展。第二次世界大战后,液压技术迅速转向民用,并随着各种标准的不断制定和完善,各类元件的标准化、规格化、系列化,开始在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业中推广开来。20世纪60年代后,原子能技术、空间技术、计算机技术、微电子技术等的发展再次推进液压技术革新,使它发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术,在国民经济的各方面都得到了广泛应用。液压传动在某些领域内甚至已占有压倒性的优势,例如,国外生产的95%的工程机械、90%的数控加工中心、95%以上的自动化生产线都采用了液压传动。因此,采用液压传动的程度现在已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

我国的液压工业开始于20世纪50年代,其产品最初只用于机床和锻压设备,后来才逐渐应用到工程领域中。自1964年从国外引入了一些液压元件生产技术,并自行设计液压产品以来,我国的液压元件生产已经形成了从低压到高压的系列产品,并在各种机械设备上得到了广泛的应用。20世纪80年代起,我国加速了对国外先进液压产品和技术有计划地引入、消化、吸收和国产化工作,以确保我国的液压技术在产品质量、经济效益、人才培养、研究开发等各个方面全方位发展。

液压元件的可靠性研究相对较少且大多集中在系统级层次,基于静态结构参数和动态过程优化可靠性设计方面,或与材料、工艺以及油液污染度相关联,难以支撑产业的技术进步和跨越式发展。近年来,国际标准化组织和美国流体动力协会越来越重视液压元件的可靠性与寿命标准和规范制定工作。

目前高精密液压元件仍然是国内液压元件的瓶颈,尤其是高精度薄壁复杂结构泵壳体以及复杂内腔流道结构的阀体铸造。这需要改善内部微观组织结构,提高产品尺寸精度和内部组织致密性;严格控制铸造过程,降低废品率;提高耐磨能力和铸件品质及制成品流道的清洁度,以满足高压高速液压元件的需求。国内液压元件的可靠性与工作寿命的设计规范和标准较少,产品没有令人信服的可靠性和寿命指标。液压元件的可靠性如何评价、如何试验,这方面的基础研究很少,因此也就无法形成能被广泛接受的规范和标准。由于液压元件的测试试验成本高昂,为确保测试时间在一个可接受的范围,通常在特定的环境下进行加速试验。由于液压元件的复杂性,其加速试验的评判标准和结果与实际仍存在差异,因此在液压元件的精度制造方面我国还需要加大研究力度。

二、液压元件的发展趋势

1. 向纯水液压元件的方向发展

随着人们环保意识的不断提增强,人们在不断寻找一种新型的、理想的液压传动介质。从经济、环保、可持续发展的角度出发,纯水是一种廉价且清洁的能源。正因如此,近年来纯水传动技术和纯水液压元件的研究成为全世界一个重要的研究方向。

尽管纯水传动具有各种优势,但纯水传动需要解决的问题较多,至今仍制约着其开发

和推广,要想该技术成功进入实施阶段,还面临着以下困难:

(1) 解决泄漏问题。由于纯水黏度较低,所以对液压元件的密封提出了更高的要求。

(2) 元件材料问题。黑色材料在水中宜生锈,基于此许多研究机构把陶瓷和高分子材料作为液压元件的研制材料。

(3) 汽蚀危机。纯水的汽蚀是石油基液压油的几十倍,要想延长元件的寿命必须解决汽蚀问题。

(4) 解决纯水在 0°C 以下的冻结问题。

2. 向更加适应环境的方向发展

液压元件的应用虽然广泛,但也存在漏油、噪声大等缺点,为提高液压元件市场的竞争力,必须克服这些缺点,使之成为用户追求的“洁净液压、静音液压、易用液压”。比如开发无泄漏液压元件,设计时尽量减少泄漏点以减少泄漏概率;对于噪声大的液压元件通过采用降噪、隔音结构,并用专门材料做外壳,可将噪声降至标准要求。

3. 向新材料、新工艺的方向发展

(1) 新型材料如陶瓷、聚合物或涂料的使用可使液压元件的发展有一个新的飞跃。为保护环境,减小漏油对环境的危害,生物降解迅速的工作介质如菜油基和合脂基的工作介质将得到广泛的应用。

(2) 铸造工艺的发展将促进液压元件性能的提高,如铸造流道在阀体和集成块中的广泛使用可优化元件内部流动,减少压力损失和降低噪声,实现元件小型化。

(3) 纳米技术的发展使磁性材料性能显著提高,对电机械转换产生巨大影响。此外纳米材料强度高,可促进元件和系统轻量化和小型化,并可提高元件耐磨性,提高寿命。

4. 向现代先进设计方法的方向发展

(1) 在液压元件的设计中,既要考虑设计参数的随机性和模糊性,又要进行参数设计,使设计方案最优,且在设计后能预测元件的可靠度。因此,采用现代设计方法把模糊设计、可靠性设计和最优化设计相结合,来提高液压元件的可靠性;另外,结合稳健设计的思想,利用非线性效应,尽量减小液压元件产品的波动。这必将是未来液压元件设计方法的一种趋势。

(2) 利用全生命周期设计技术进行液压元件的规划、设计、制造、经销、运行、使用、维护直到回收再处理的全过程设计,以使得液压产品全生命周期所有相关因素综合优化,从而达到缩短液压元件产品投放市场时间、提高质量、降低成本、增强市场竞争力的效果。

第二节 液压元件的分类、发展趋势及应用

一、液压元件的分类

1. 液压动力元件

将原动机(常用的人力机构、电动机和内燃机等)所提供的机械能转化为工作介质压力能的机械装置,通常称为液压泵(图1-1)。

4 >> 液压元件设计

2. 液压执行元件

液压执行元件是指将液压泵提供的液压能转换为机械能的装置，其作用是在工作介质的作用下输出力和速度（或转矩和转速），以驱动工作机构对外做功。做直线往复运动的执行元件称为液压缸（图1-2），做连续旋转运动的执行元件称为液压马达。

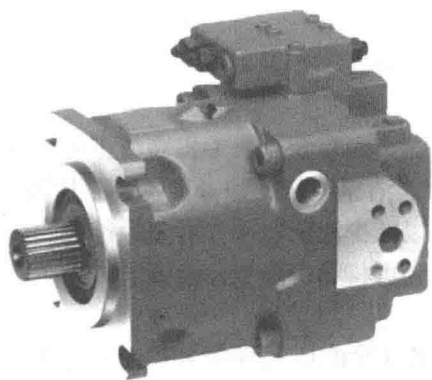


图 1-1 液动力元件——液压泵

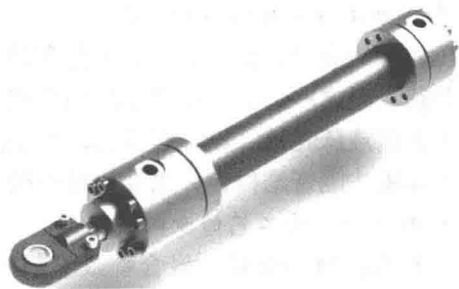


图 1-2 液压执行元件——液压缸

3. 液压控制元件

对液压系统中工作介质的压力、流量和流动方向进行调节控制的机械装置，通常称为液压阀（图1-3）或液压控制阀，如压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀等。

4. 液压辅助元件

液压辅助元件是指为保证液压系统正常工作所需的上述三类元件以外的装置，在系统中起输送、存储、加热、冷却、过滤和测量等作用。它包括油箱、管道、管接头、密封元件、过滤器、蓄能器（图1-4）、冷却器、加热器以及各种液体参数的监控仪表等。它们的功能是多方面的，各不相同。

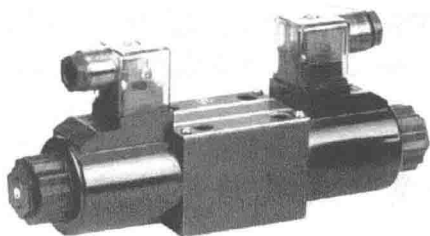


图 1-3 液压控制元件——液压阀



图 1-4 液压辅助元件——蓄能器

二、液压元件的主要应用领域

当前广泛应用液压元件和液压技术的领域主要包括以下五个方面：

(1) 工业机械。液压技术可应用于锻压机械、注塑机、挤压机、冶金机械、矿山机械、包装机械、机床、加工中心、机器人、试验机以及其他生产设备等，一般称为工业液压技术（图 1-5）。

(2) 行走机械。液压技术可应用于工程机械、建筑机械、农业机械、汽车以及其他可移动设备等，一般称为行走机械液压技术（图 1-6、图 1-7）。



图 1-5 液压元件在机器人领域的应用

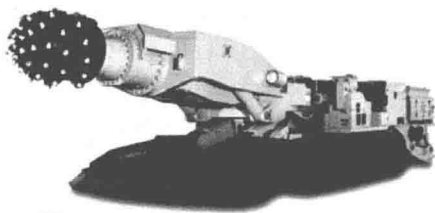


图 1-6 液压元件在掘进机上的应用

(3) 航空及航天。液压技术可应用于飞机、宇宙飞船、导弹液压机、火箭姿态控制及卫星发射装置等，一般称为航空航天液压技术（图 1-8）。



图 1-7 液压元件在轮式装载机上的应用



图 1-8 液压元件在飞机起落架上的应用

(4) 舰船（艇）。液压技术可应用于船舶、舰艇中的舵机、甲板机械、操作系统、控制系统、海水淡化及水雾灭火系统等，一般称为船舶液压技术。

(5) 海洋开发工程。液压技术可应用于海洋钻井平台、海底工作机械、海洋开发机械及水下作业工具等，一般称为海洋工程液压技术。

当前，液压元件正向快速、高效、高压、大功率、低噪声、长寿命、高度集成化、微型化、智能化等多方面发展，在完善比例控制、伺服控制、数字控制等技术方面也有许多新成就。此外，在液压元件和液压系统的计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助测试（CAT）、计算机直接控制（CDC）、机电一体化技术、可靠性技术等开发性研究方面，也取得了显著的成绩。



【课堂讨论】

列举生活中应用了液压元件的机械。



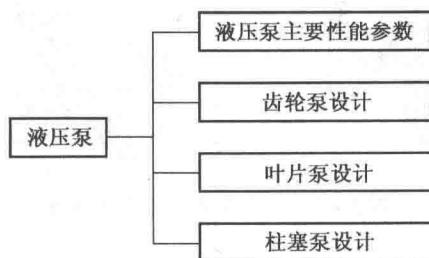
【思考与习题】

1. 液压元件可以分为哪几类？试举例说明。
2. 液压传动较其他传动方式相比有什么优缺点？

第二章 液 压 泵

【本章导读】

液压泵是将动力机械传输的机械能转换成流动液体压力能的能量转换装置，其工作原理是通过运动改变泵腔容积，从而给液压系统提供足够的压力油驱动系统工作。本章主要介绍齿轮泵、叶片泵、柱塞泵的工作原理、结构设计及精度设计等。



【学习要点】

知识要点	能力要求	相关知识
液压泵的工作原理与结构	掌握齿轮泵、叶片泵及柱塞泵的工作原理及典型结构	结合工作原理，了解其典型结构及相关零部件
液压泵的结构设计	掌握齿轮泵、叶片泵及柱塞泵的关键零件的设计计算	结构设计的基本方法及步骤
液压泵零件的精度设计	掌握齿轮泵、叶片泵及柱塞泵的关键零件的精度设计	零件精度设计的基本规范、方法及步骤

【导入案例】

单作用式叶片泵的计算机辅助设计

根据液压传动系统的需要提出所要设计的叶片泵后，必须要对其工作原理、典型结构、运动方式、力和能量的传递方式、各个零件的材料和形状尺寸、润滑方法等进行构思、分析和计算，并将其转化为具体的描述以作为制造依据。

在设计过程中，需要考虑到各种限定条件，如材料、加工能力、理论知识和计算方法等。进行优化设计则需要综合地考虑许多要求，如最佳工作性能、最低制造成本、最小尺寸和质量等。这些要求经常是互相矛盾的，而且它们之间的相对重要性因其种类和用途的不同而异。设计者需要按具体情况权衡轻重，统筹兼顾。过去，设计的优化主要依靠设计者的知识、经验和远见。随着机械工程基础理论和价值工程、系统分析等新学科的发展，

制造和使用的技术经济数据资料的积累,以及计算机技术的发展,计算机在机械设计中得到了日益广泛的使用,并出现了许多高效率的设计、分析软件。利用这些软件可以在设计阶段建立三维模型(图2-1),还可以在三维模型基础上对结构强度、刚度、动力学特性以及流场进行精确地分析。可以说,计算机技术在机械设计中的推广使用正在改变机械设计的进程,它在提高设计质量和效率方面具有很大的优势。

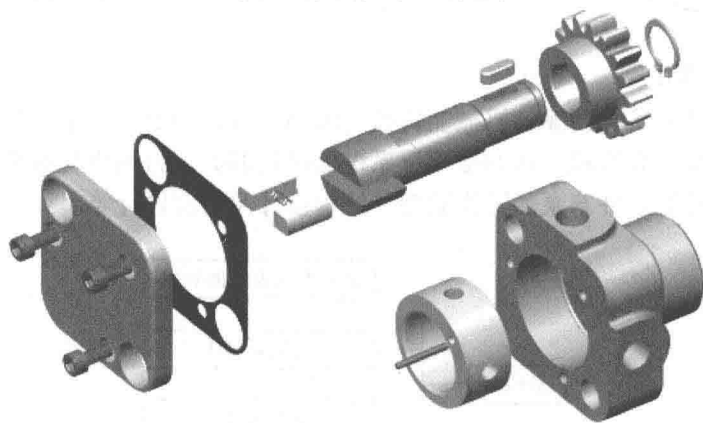


图2-1 单作用式叶片泵立体图

问题:三维建模在液压泵结构设计中的作用是什么?

第一节 液 压 泵 概 述

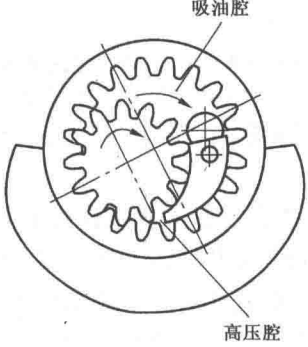
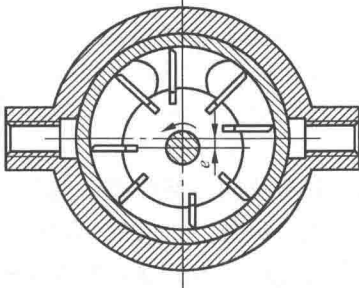
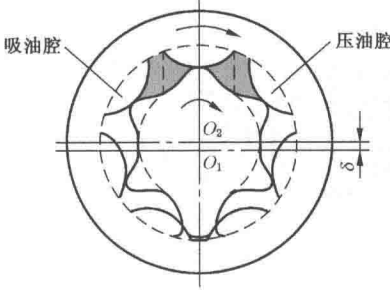
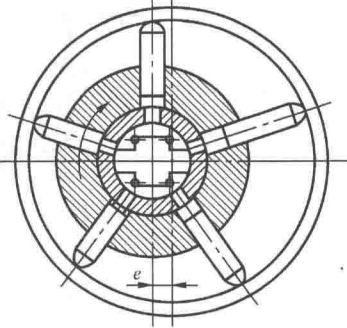
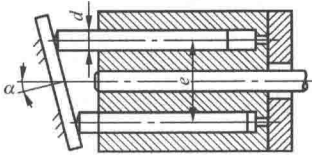
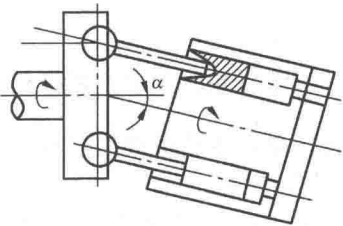
一、液压泵的分类

液压泵按照结构形式不同可分为齿轮泵、叶片泵、螺杆泵和柱塞泵等,其详细分类情况以及结构示意图见表2-1。

表2-1 液压泵按结构不同的分类

类别	结构示意图	类别	结构示意图
外啮合齿轮泵		单作用式叶片泵	

表 2-1 (续)

类别	结构示意图	类别	结构示意图
内啮合齿轮泵		双作用式叶片泵	
摆线内啮合齿轮泵		径向柱塞泵	
直轴式轴向柱塞泵		斜轴式轴向柱塞泵	

此外，液压泵按其泵轴每转一转输出油液的体积能否调节可分为定量泵和变量泵。液压泵的职能符号如图 2-2 所示。

二、液压泵的工作原理

一般情况下，液压系统所使用的液压泵和液压马达都是容积式的，以单向柱塞泵为例来说明其工作原理。如图 2-3 所示，图中柱塞 2 依靠弹簧 3 紧压在凸轮 1 上，当原动机带动凸轮 1 旋转时，可使柱塞 2 作往复运动。当凸轮 1 在图示位置时，柱塞 2 在弹簧 3 的

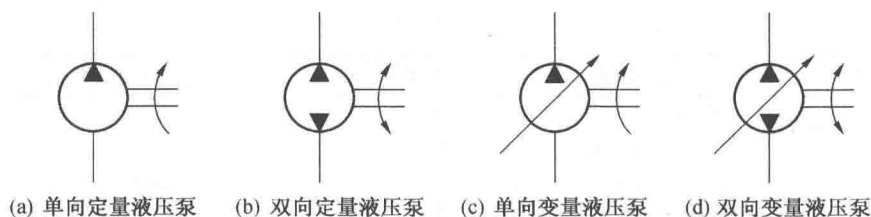
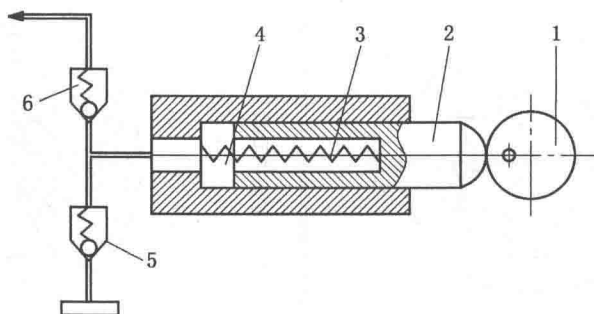


图 2-2 液压泵的职能符号

推动下向右移动,使柱塞 2 与缸体组成的油腔 4 (它是一个密封工作腔) 的容积由小变大,产生一定真空,大气压力迫使油箱中油通过吸油管顶开单向阀 5,进入油腔 4 中,这就是吸油过程。当柱塞向左移动时,油腔 4 中的容积由大变小,其中的油液顶开单向阀 6 流向系统中,这就是压油过程。凸轮不断旋转,泵就不断地吸油和压油。这样原动输入的机械能经液压泵转化为油液的液压能。



1—凸轮; 2—柱塞; 3—弹簧; 4—油腔 (密封工作腔); 5—单向阀 (吸油腔); 6—单向阀 (压油腔)

图 2-3 液压泵的工作原理图

三、液压泵的主要性能指标

液压泵的主要参数通常有压力、排量、流量、转速、功率和效率等。

(一) 压力

液压泵的压力通常指泵的液压排出口液体所具有的相对压力值,常用单位为帕(Pa)。

1. 工作压力

液压泵的工作压力是指它的输出压力,亦是油液为了克服阻力所必须建立起来的压力。

液压泵的输油管道中如果没有阻力,且油液直接流回油箱,则泵中输出的油液无须克服任何阻力就能流走,不会建立起压力来。由液压泵输出的液压油进入系统,源源不断地输入到液压缸中,推动工作台运动时,要克服两种阻力。其一,由于活塞受到外载的作用,而油液又是近似不可压缩体,因此当油液不断进入液压缸时,必然要受到外负载的阻碍,即油液被挤压;其二,液压油进入系统,沿途受到管道的阻力,还要克服相对运动件