

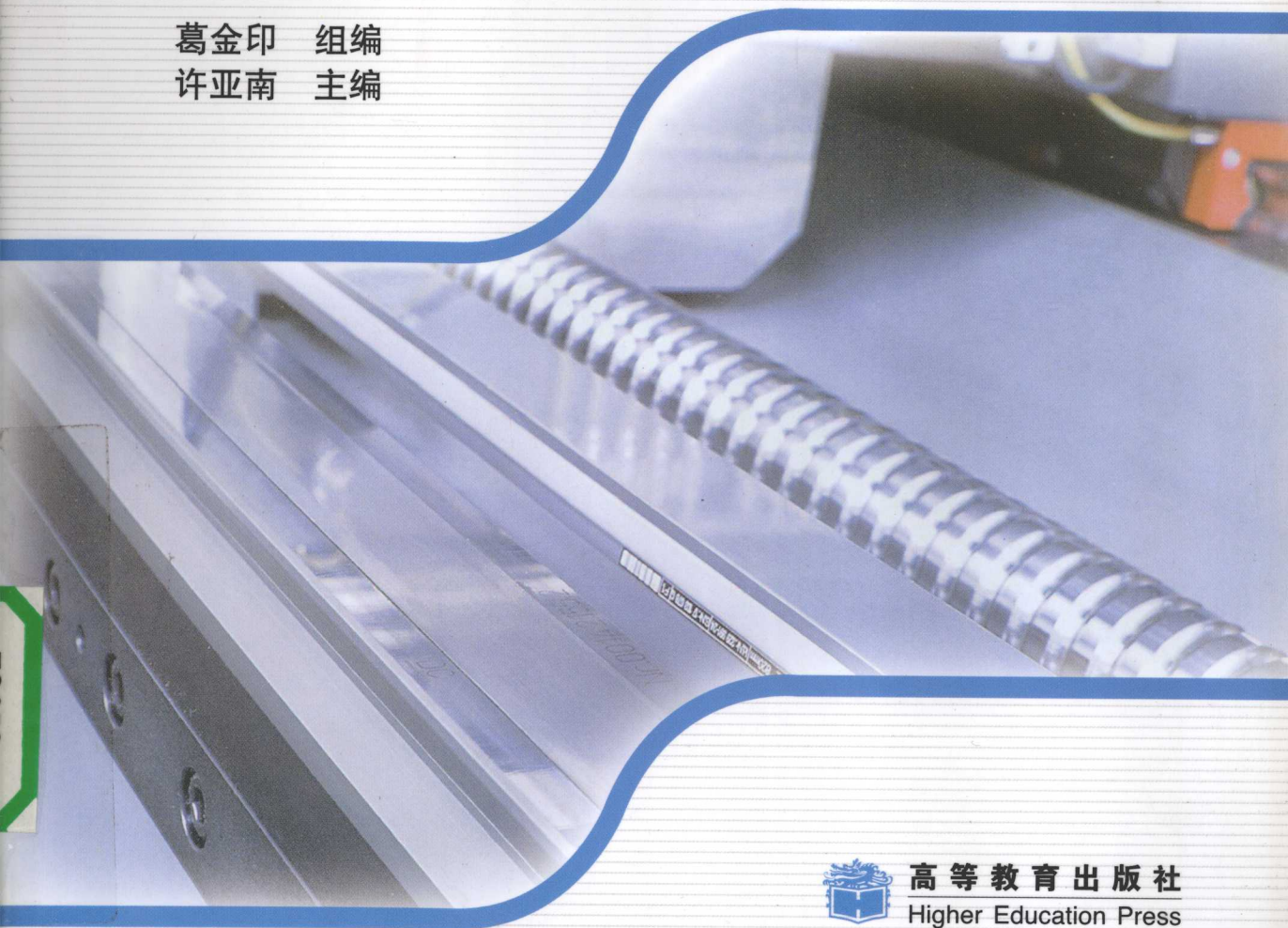


高等职业院校教材

“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列

机床数控技术—— 气动与液压控制技术

葛金印 组编
许亚南 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

高等职业院校教材

“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列

机床数控技术—— 气动与液压控制技术

葛金印 组编

许亚南 主编

高等教育出版社

内容简介

本书是高等职业院校“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列教材之一,是根据教育部新一轮职业教育教学改革成果——最新研发的机电技术专业、数控技术专业人才培养方案中“机床数控技术——气动与液压控制技术核心课程标准”,并参照相关国家职业标准及有关行业的职业技能鉴定规范编写的。

本教材分液压和气压传动共六个项目,每个项目各由三个任务组成,每个任务又由相关知识和技能训练组成。主要内容有液压和气压传动的基础知识、元件的知识和相关训练,液压和气动元件的选用、调节和相关训练,液压和气压系统常见故障的分析、排除和相关训练。

本书可作为高等职业院校机电技术专业和数控技术专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材及有关人员自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术. 气动与液压控制技术/许亚南主编;
葛金印组编. —北京:高等教育出版社,2008.6
ISBN 978-7-04-023445-9

I. 机… II. ①许…②葛… III. ①数控机床-高等学校:技术学校-教材②气压传动-高等学校:技术学校-教材③液压传动-高等学校:技术学校-教材 IV. TG659 TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 058822 号

策划编辑 陈大力 责任编辑 贺玲 封面设计 张楠 责任绘图 杜晓丹
版式设计 余杨 责任校对 姜国萍 责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 8.75
字 数 200 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 6 月第 1 版
印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价 12.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23445-00

出版说明

国务院《关于大力发展职业教育的决定》的精神推动着我国职业教育事业蓬勃发展。为提高职业教育教学质量，教育部启动了新一轮职业教育教学改革行动。高等教育出版社始终站在更新观念及职教课改的前列，打造优质教学资源，研发精品教学资源，增强服务意识，提高服务本领，支持职业教育事业的发展。

在教育部新一轮职业教育教学改革的进程中，高等教育出版社深切地了解到从事高等职业技术教学工作的教师们正以饱满的热情、高昂的斗志积极投身到课程改革的热潮中，他们也渴望能有一套遵循“以服务为宗旨，以就业为导向，以能力为本位”的职教理念，符合中国国情，能够适合高素质技能型人才培养模式，适应实施理论实践一体化和项目教学法，且可操作性强的实用系列专业教材。我社本着服务于职业教育事业发展，服务于职业院校教师的教学，服务于职业院校学生的学习的指导思想，推出了本套满足高职院校（五年制）机电技术专业、数控技术专业教学实际需要的专业课改成果系列教材。

本系列教材是由多年从事高等职业教学工作的一线骨干教师和学科带头人通过社会调研，对劳动力市场人才进行需求分析，进行课题研究，研发专业人才培养方案，制定核心课程标准等技术程序，并在征询了相关企业人员的意见后编写而成的。其主要特点为：

1. 本系列教材打破了原有的“以学科为中心”的课程体系，以劳动和社会保障部颁发的相关国家职业标准为编写的依据之一，课程设置和教学内容与企业技术发展同步，贯彻了以就业为导向，突出职业岗位能力培养为主的职教思想。

2. 专业核心课程采用综合化模块结构体系；专业基础理论削枝强干，够用为度，兼顾发展；技能训练课程内容实行“项目化”，项目根据学生掌握专门技术的认知规律设置课题。本系列教材在使用时有较强的可操作性。

3. 适应了学分制改革的需要，避免了教学内容的重复与交叉，给学生自主学习和个性化发展留有充分的空间。

4. 本系列教材以最新的相关国家技术标准编写，融入了新知识、新技术、新工艺和新方法。语言表述平实，通俗易懂，便于学生的自学。

伴随着教育部新一轮职业教育教学改革的不断深化，本套教材在推广使用中，将根据反馈的信息和教学需求的变化进行修订与完善。

高等教育出版社

前 言

本书是高等职业院校“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列教材之一。在教育部新一轮职业教育教学改革的进程中,来自高等职业院校教学工作一线的骨干教师和学科带头人,通过社会调研,对劳动力市场人才需求分析和进行课题研究,在企业有关人员积极参与下,研发了机电技术专业、数控技术专业人才培养方案,并制定了相关核心课程标准。本书是根据最新制定的“机床数控技术——气动与液压控制技术核心课程标准”编写的。

本书围绕培养高职数控技术专业学生具有阅读、分析、组装液压与气压系统的能力与技能以及液压与气压系统常见故障分析方法等重点,采用理论、实践一体化教学,优化理论知识,增强实用性,使理论和技能统一。具体有以下特点:

1. 根据数控专业的职业技能要求组织教材,以实用、够用为原则。删除繁琐深奥的基础理论知识,降低理论难度,加强元件的识别、性能特点和调节以及简单回路和系统的连接和常见故障的排除。

2. 与企业生产实际相结合。本书选取的项目均来自于生产实际中液压与气压传动的应用,如数控车床液压传动系统、加工中心的气压传动系统,以取得学以致用用的效果。

3. 体现“以学生为本”。本书在每个项目开始指出学完本项目应达到的知识和技能目标,这样使学生在学习过程中目标明确、少走弯路。

4. 打破原有教材的学科体系框架,以项目为载体,将内容进行整合。本书分六个项目,每个项目又分三个任务,这样有利于知识的讲解和技能训练的实施,以达到理论知识和技能训练相统一。

本书由许亚南担任主编,参加编写的有常州铁道高等职业技术学校陈秋一(项目一和项目四)、汤家荣(项目二和项目五)、许亚南(项目三和项目六)。

本书由镇江机电高等职业技术学校赵光霞审稿,并由本套系列教材组编葛金印终审,他们对书稿提出了许多宝贵的修改意见和建议,提高了书稿质量,在此一并表示衷心的感谢!

本书作为课程改革成果系列教材之一,在推广使用中,非常希望得到教学适用性的反馈意见,以便不断改进与完善。由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2007年12月20日

目 录

项目一	平面磨床简化液压传动		传动系统原理图	75	
	系统的组装	1	任务二	正确选用气动元件组成装配线上	
任务一	读懂平面磨床简化液压			打印装置气压传动系统	85
	传动系统原理图	2	任务三	装配线上打印装置气压传动	
任务二	正确选用液压元件组成平面			系统的维护与保养	89
	磨床简化液压传动系统	25	项目五	液面自动控制装置气压	
任务三	平面磨床简化液压传动系统的			传动系统的组装	94
	维护与保养	28	任务一	读懂液面自动控制装置气	
项目二	油压机液压传动系统的组装	34		压传动系统原理图	95
任务一	读懂油压机液压传动		任务二	正确选用气动元件组成液面自动	
	系统原理图	34		控制装置气压传动系统	106
任务二	正确选用液压元件组成		任务三	液面自动控制装置气压传动	
	油压机液压传动系统	51		系统的维护与保养	108
任务三	油压机液压传动系统的		项目六	H400 型数控加工中心换刀部分	
	维护与保养	54		气压传动系统的组装	112
项目三	MJ-50 数控车床液压		任务一	读懂 H400 型数控加工中心换刀	
	传动系统的组装	61		部分气压传动系统原理图	113
任务一	读懂 MJ-50 数控车床		任务二	正确选用气动元件组成	
	液压传动系统原理图	61		H400 型数控加工中心换刀	
任务二	正确选用液压元件组成 MJ-50			部分气压传动系统	115
	数控车床液压传动系统	65	任务三	H400 型数控加工中心换刀部分	
任务三	MJ-50 数控车床液压传动			气压传动系统的维护与	
	系统的维护与保养	69		保养	118
项目四	装配线上打印装置气压		附录	常用液压与气动元件图形	
	传动系统的组装	75		符号 (GB/T 786.1—1993)	122
任务一	读懂装配线上打印装置气压		参考文献		128

项目一 平面磨床简化液压传动系统的组装

本项目主要介绍金属切削机床中平面磨床液压传动系统的工作原理、常见故障以及排除故障的方法，平面磨床工作台液压传动系统如图 1-1 所示。

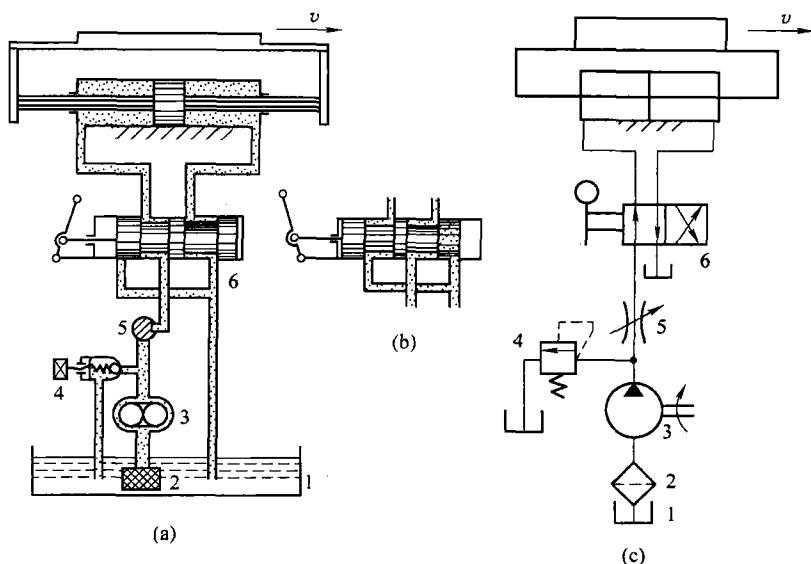


图 1-1 平面磨床工作台液压传动系统

1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；5—节流阀；6—换向阀

通过本项目的学习要求达到以下知识、技能目标。

【知识目标】

- 熟悉液压传动的基本工作原理和液压传动系统的组成、特点。
- 熟悉液压传动的基础知识。
- 熟悉液压泵的作用、分类、特点和性能参数。
- 熟悉液压缸、液压马达的作用、分类、特点。
- 熟悉液压系统辅助元件的作用、基本要求和在系统中的安装位置。

【技能目标】

- 具有正确动手调节各种液压泵、液压缸、辅助元件并能组装简单回路的能力。
- 具有正确选择动力元件、执行元件并能组装及调试简单回路的能力。
- 学会正确分析、判断液压系统中动力、执行元件常见故障以及具有动手排除常见故障的能力。

任务一 读懂平面磨床简化液压传动系统原理图

平面磨床主要用于磨削各种工件上的平面,可获得较高的加工精度和较小的表面粗糙度值。这里主要介绍卧轴矩台式平面磨床的液压传动系统的使用。

相关知识一 液压传动的基本工作原理及组成、特点

(一) 平面磨床的液压传动系统

图 1-1 为平面磨床工作台液压传动系统。图 1-1a 所示状态,电动机(图中未示出)带动液压泵 3 旋转,经过滤器 2 从油箱 1 中吸油,然后油液经节流阀 5 和换向阀 6 压入工作台液压缸(缸筒固定在床身上,活塞杆与工作台连接)左腔,推动活塞及工作台向右移动,这时工作台液压缸右腔的油液经换向阀 6 排回油箱。

如果将换向阀 6 的手柄向左扳,使其处于图 1-1b 所示状态,油液则经换向阀压入工作台液压缸右腔,推动活塞及工作台向左移动,这时工作台液压缸左腔的油液亦经换向阀 6 排回油箱。由此可见,通过换向阀改变油液的通路,便能实现工作台液压缸运动换向。

通过节流阀 5 调节单位时间进入液压缸的油液体积,便能调节工作台的运动速度。

通过溢流阀 4 调定液压泵输出油液的压力,便能克服阻力推动工作台液压缸活塞运动,并让液压泵输出的多余油液溢回油箱。

由上述例子分析得到,液压传动是以密封容积中的受压液体作为工作介质来传递运动和动力的。它先通过动力元件(液压泵)将原动机(电动机)输入的机械能转化为液体的压力能,再经密封管道和控制元件等输送至执行元件(液压缸),将液体的压力能又转化为机械能以驱动工作部件。

(二) 液压传动系统的组成

从上述例子可以看出,液压传动系统由以下五个部分组成:

1. 动力元件

动力元件即液压泵,它是将原动机输入的机械能转换为液压能的装置,其作用是为液压系统提供压力油,它是液压系统的动力源。

2. 执行元件

执行元件是指液压缸和液压马达,它是将液体的压力能转换为机械能的装置,其作用是在压力油的推动下输出力和速度(或力矩和转速),以驱动工作部件。

3. 控制调节元件

控制调节元件是指各种阀类元件,如溢流阀、节流阀、换向阀等。它们的作用是控制液压系统中油液的压力、流量和方向,以保证执行元件完成预期的工作运动。

4. 辅助元件

辅助元件指油箱、油管、管接头、滤油器、蓄能器等,这些元件分别起散热贮油、输油、连接、过滤等作用,以保证系统正常工作,是液压系统不可缺少的组成部分。

5. 工作介质

工作介质即传动液体，通常为液压油，其作用是实现运动和动力的传递。

（三）液压传动系统的图形符号

图 1-1a 所示平面磨床工作台液压传动系统结构中的液压元件基本上是用半结构式图形画出来的，故称为结构原理图。这种图形比较直观，易为初学者接受，但图形比较复杂，当液压元件较多时就显得烦琐，也不易绘制，因此国内外都广泛采用元件的图形符号来绘制液压系统原理图。图 1-1a 所示的液压系统采用元件符号绘制的液压传动系统图如图 1-1c 所示。使用图形符号绘制可使液压传动系统图简单明了，便于阅读、分析、设计和绘制。按照规定，液压元件图形符号应以元件的静止位置或零位来表示。若液压元件无法用图形符号表达时，仍允许采用结构原理图表示。

（四）液压传动的优缺点

液压传动与其它传动方式相比，有以下优缺点：

1. 液压传动的优点

- 1) 液压传动可以输出大的推力或大转矩，可实现低速大吨位运动，这是其它传动方式所不能比的突出优点。
- 2) 液压传动可在运行过程中实现无级调速，调速方便且调速范围大。
- 3) 在相同功率条件下，液压传动装置体积小、重量轻、结构紧凑。
- 4) 液压传动工作比较平稳，反应快，换向冲击小，能快速启动、制动和频繁换向。
- 5) 操作简单，调整控制方便，易于实现自动化。特别是和机、电联合使用，能方便地实现复杂的自动工作循环。
- 6) 液压系统便于实现过载保护，液压元件能自行润滑，故使用寿命较长。
- 7) 由于液压元件已实现系列化、标准化和通用化，故制造、使用和维修都比较方便。

2. 液压传动的缺点

- 1) 油液的泄漏和可压缩性使液压传动难于保证严格的传动比。
- 2) 对油温的变化比较敏感，不宜在很高或很低的温度下工作。
- 3) 由于工作过程中能量损失较大，传动效率较低，也不适宜作远距离传动。
- 4) 系统出现故障时，不易查找原因。

综上所述，液压传动的优点是主要的、突出的，它的缺点随着生产技术的提高正在被逐步克服。因此，液压传动在现代生产中有着广阔的前途。

相关知识二 液压传动基础知识

（一）工作介质的主要物理性质

1. 液体的粘性

液体在外力作用下流动时，液体分子间的内聚力会阻碍分子间的相对运动，而产生内摩擦力，这一特性称为液体的粘性。液体流动时会呈现粘性，而静止液体不呈现粘性。正是由于液体具有粘性才导致流动时的能量损失。粘性的大小可以用粘度表示，粘度是液体最重要的特性

之一，是选择液压油的主要依据。液体的常用粘度有动力粘度、运动粘度、相对粘度等。

(1) 动力粘度

动力粘度用 μ 来表示，动力粘度的单位 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)。液体的动力粘度 μ 越大，流动的液体内部摩擦阻力也越大。

(2) 运动粘度

运动粘度用 ν 表示，动力粘度 μ 与该液体密度 ρ 的比值称为运动粘度，即 $\nu = \mu/\rho$ 。运动粘度的单位为 m^2/s 。工程实际中常用运动粘度作为液体粘度的标志。液压油的粘度等级是以其 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时运动粘度的平均值来表示的。如L-HM32液压油的粘度等级为32，则 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时其运动粘度的平均值为 $32\text{ mm}^2/\text{s}$ 。

(3) 相对粘度(恩氏粘度 $^\circ\text{E}$)

由于动力粘度较难直接测量，因此工业上常采用相对粘度来计量液体的粘性。液体的相对粘度又称条件粘度，是以被测液体的粘度相对于水的粘度的大小程度来表示的。各国采用的相对粘度的单位也不同，我国采用恩氏粘度($^\circ\text{E}$)。

恩氏粘度用恩氏粘度计测量得到，其测量方法是：将 200 mL 的被测液体放入粘度计的容器内，加热到温度 $t\text{ }^\circ\text{C}$ 后，让它从恩氏粘度计小孔($\phi 2.8\text{ mm}$)流出，测出液体全部流出所用的时间 t_1 ，然后与流出同体积 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 的蒸馏水所需时间 t_2 相比，比值即为该液体在温度 $t\text{ }^\circ\text{C}$ 时的恩氏粘度，用 $^\circ\text{E}_t$ 表示。工业上常用 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 作为测定恩氏粘度的温度，分别以 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 、 $^\circ\text{E}_{100}$ 表示。

温度对液压油粘度的变化极为敏感，温度升高，粘度下降。不同种类的液压油的粘度随温度变化的程度各不相同。除温度对粘度有影响外，压力对粘度也有影响。当液体所受压力增大时，其分子间距离减小，内聚力增大，粘度也随之增大。但在机床液压系统所使用的压力范围内，液压油的粘度受压力变化的影响甚微，可以忽略不计；若压力高于 10 MPa 或压力变化较大时，则应考虑压力对粘度的影响。

2. 液体的可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。液体的可压缩性大小一般用体积压缩系数 K (单位压力变化下的体积相对变化量)表示。在常温下，一般可认为油液是不可压缩的，但当液压油中混有空气时，其抗压缩能力会显著降低。因此，应力求减小油液中混入的气体及其它易挥发物质的含量，以减小对液压系统工作性能的影响。

3. 液压油的要求及选用

(1) 液压油的要求

液压油是液压系统的重要组成部分，它除了传递能量外，还起着润滑摩擦副的作用。因此，液压传动系统用的液压油一般应满足的要求有：对人体无害且成本低廉；合适的粘度，良好的粘温特性；润滑性能好，防锈能力强；质地纯净，杂质少；对金属和密封件的相容性好；氧化稳定性好，不变质；抗泡沫性和抗浮化性好；体积膨胀系数小；燃点高，凝点低等。对于不同的液压系统，则需根据具体情况突出某些方面的使用性能要求。

(2) 液压油的选用

各种液压油都有其特性，都有一定适用范围。实践证明，正确合理地选用液压油，可提高液压传动系统的工作可靠性，延长液压元件的使用寿命。

1) 液压油的品种 我国液压油的主要品种、粘度等级、组成和特性见表 1-1。

表 1-1 我国液压油的主要品种

油名(品种)	粘 度 等 级	组成和特性
L-HL	15、22、32、46、68、100、150	精制矿油、R&O
L-HM	15、22、32、46、68、100、150	精制矿油、R&O、AW
L-HV	15、22、32、46、68、100	精制矿油、R&O、AW、HVI、LPP
L-HS	10、15、22、32、46	合成液、R&O、AW、HVI、LPP
L-HG	32、46、68	精制矿油、R&O、AW、ASS
L-HFC	15、22、32、46、68、100	含聚合物水溶液、LS、HVI、LPP
L-HFDR	15、22、32、46、68、100	磷酸酯无水合成液、LS、AW
L-HFAE	7、10、15、22、32	水包油乳化液、LS
L-HFB	22、32、46、68、100	油包水乳化液、LS

注：R&O—抗氧防锈，AW—抗磨，HVI—高粘度指数，LPP—低倾点，ASS—防爬，LS—难燃。

2) 液压油(品种)的选择 液压油(品种)的选择可参考表 1-2，根据液压传动系统的工作环境、工况条件和液压泵的类型等选择液压油的品种。一般而言，齿轮泵对液压油的抗磨性要求比叶片泵和柱塞泵低，因此齿轮泵可选用 L-HL 或 L-HM 油，而叶片泵和柱塞泵一般则选用 L-HM 油。

表 1-2 液压油(品种)的选择

环 境	工 况		
	压力： $p \leq 7.0 \text{ MPa}$ 温度：50℃以下	压力： $7.0 \text{ MPa} < p \leq 14.0 \text{ MPa}$ 温度：50℃以下	压力： $p > 14.0 \text{ MPa}$ 温度：50~100℃
室内、固定液压设备	L-HL	L-HL、L-HM	L-HM
露天寒冷和严寒区	L-HV	L-HV、L-HS	L-HV、L-HS
高温热源或明火附近	L-HFAE	L-HFB、L-HFC	L-HFDR

3) 液压油粘度等级的选择 在液压油品种选定后，还必须确定其粘度等级。液压油的粘度对液压系统的工作稳定性、可靠性、效率和磨损都有显著影响。在选择粘度等级时应注意以下几方面情况：

① 工作压力 工作压力较高的液压系统宜选用粘度较高的液压油；反之，选用粘度等级较低的液压油。

② 环境温度 环境温度较高时，宜选用粘度等级较高的液压油；反之，选用粘度等级低的液压油。

③ 运动速度 当运动部件的速度较高时，宜选用粘度等级较低的液压油；反之，选用粘度等级较高的液压油。

所有液压元件中，以液压泵对液压油的性能最为敏感(泵内零件运动速度高，承受压力大，且承压时间长，温度高)。因此，可参考表 1-3 根据液压泵类型及其工况条件选择液压油的粘度等级。

表 1-3 液压油粘度等级选择

泵 型	环 境 温 度	
	5 ~ 40 ℃	40 ~ 80 ℃
叶片泵(压力:7.0 MPa 以下)	32、46	46、68
叶片泵(压力:7.0 MPa 以上)	46、68	68
螺杆泵	32、46	46、68
齿轮泵	32、46、68	68、100、150
柱塞泵	46、68	68、100、150

为了延长换油周期及液压元件的使用寿命,提高系统效率和可靠性,降低系统维护费用,应尽可能采用高质量的液压油。

(二) 液压传动的基本概念

1. 压力

(1) 压力的概念

当液体相对静止时,液体单位面积上所受的法向力称为压力,它在物理学中称为压强,但在液压传动中称为压力,压力通常用 p 表示。即

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

式中, F 为外力对液面的作用力, N; A 为承压面积, m^2 。压力 p 的单位为 N/m^2 (牛/米²) 或 Pa(帕斯卡)。由于 Pa 单位太小,工程使用不便,因而常采用 kPa(千帕)和 MPa(兆帕)。换算关系为: $1 \text{ MPa} = 10^3 \text{ kPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 。

(2) 压力的传递

静止液体具有下列特性:

- 1) 静止液体的压力垂直作用于液体的接触表面。
- 2) 静止的液体中,任一点的各个方向的压力均相等。

在密封容器中的液体,当一处受到压力作用时,这个压力会等值地传到液体中的各个部分,且压力处处相等,这就是静压传递原理(又称帕斯卡定理)。

图 1-2 为应用帕斯卡原理的液压千斤顶工作原理图。在两个相互连通的液压缸密封腔中充满油液,小活塞和大活塞的面积分别为 A_1 和 A_2 ,在大活塞上放一重物 W ,当小活塞上施加一平衡重力 W 的力 F 时,则小液压缸中液体的压力 $p_1 = F/A_1$,大液压缸中液体的压力 $p_2 = W/A_2$ 。由于两缸互通而构成一个密封容器,根据帕斯卡原理则有 $p_1 = p_2$,即

$$W = \frac{A_2}{A_1} F \quad (1-2)$$

如果大活塞上没有负载,即 $W=0$,当忽略活塞重力及其它阻力时,则 p_2 必然为零,也就

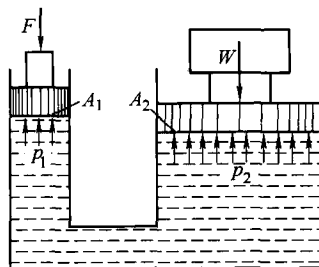


图 1-2 帕斯卡原理应用图

不可能在液体中形成压力。由此得出一个重要概念：在液压传动中，系统的压力决定于负载。

从式(1-2)可知，当两活塞的面积比 A_2/A_1 较大时，在小活塞上施加较小的力，就可以通过大活塞抬起质量较大的物体。

(3) 压力的表示方法

压力可用绝对压力、相对压力及真空度等方法来度量。绝对压力是以绝对真空为基准所表示的压力。相对压力是以大气压力为基准所表示的压力。由压力表所测得的压力是相对压力，所以也称为表压力。当绝对压力低于大气压力（即相对压力为负值）时，习惯上称为出现真空，因此真空度是指比大气压力小的那部分数值，即

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

绝对压力、相对压力和真空度的相互关系如图 1-3 所示。

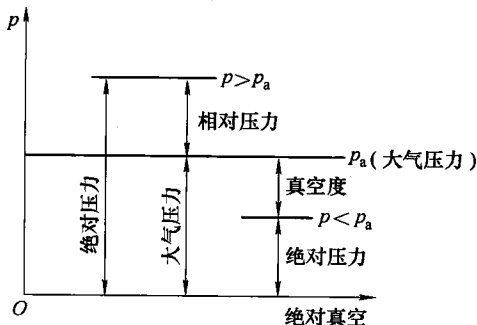


图 1-3 绝对压力、相对压力和真空度的相互关系

2. 流量

(1) 基本概念

1) 通流截面 垂直于液体流动方向的截面，常用 A 表示，单位为 m^2 。

2) 流量 单位时间内流过某通流截面的液体体积称为流量。一般用符号 q_v 表示。单位为 m^3/s 或 L/min 。

3) 平均流速 假设液流在通流截面 A 上各点的流速均匀分布，且液体以平均流速 v 流过通流截面 A 的流量等于液体流过该截面的流量，即

$$q_v = vA$$

由上式可得出通流截面 A 上的平均流速为

$$v = \frac{q_v}{A} \quad (1-3)$$

在液压缸中液流的流速可以认为是均匀分布的（液体流动速度与活塞运动速度相同）。由式(1-3)可知，当液压缸的有效工作面积 A 一定时，活塞运动速度 v 取决于输入液压缸的流量 q_v 。流速的单位为 m/s 。

(2) 连续性方程

由质量守恒定律可知，液体在通道内流动时，液体的质量既不会增多，也不会减少，因此在单位时间内流过通道任一通流截面的液体质量一定是相等的。这就是液流的连续性原理，也称为液流的质量守恒定律。

设液体在图 1-4 所示的通道内流动。任取两通流截面 $I-I$ 和 $II-II$ ，其截面面积分别为 A_1 和 A_2 ，并且在两通流截面处液流的流速分别为 v_1 和 v_2 。根据液流的连续性原理可知，在单位时间内流经通流截面 $I-I$ 和 $II-II$ 的液体质量应相等，即

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

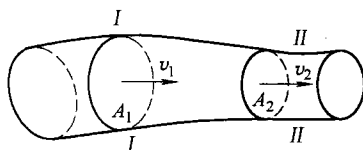


图 1-4 液流的连续性原理示意图

忽略液体可压缩性，而 $\rho_1 = \rho_2$ ，则有

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad \text{或} \quad q_v = vA = \text{常数} \quad (1-4)$$

(3) 理想液体的伯努利方程

设密度为 ρ 的液体在图 1-5 所示通道内流动。现任取两通流截面 I—I 和 II—II 为研究对象，两截面至水平参考面的距离分别为 h_1 和 h_2 ，两截面处液体的流速分别为 v_1 和 v_2 ，压力分别为 p_1 和 p_2 。根据能量守恒定律可推导出，重力作用下的液体在通道内稳定流动时的伯努利方程为

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$p + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{常数} \quad (1-5)$$

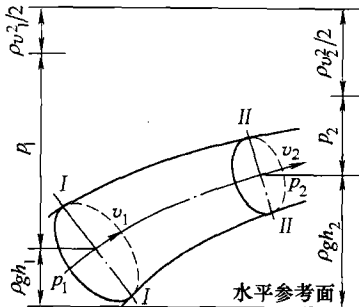


图 1-5 理想液体伯努利方程示意图

式中， p 为单位体积液体的压力能； $\rho g h$ 为单位体积液体相对于水平参考面的位能； $1/2 \rho v^2$ 为单位体积液体的动能。

由式(1-5)可知，重力作用下，在通道内流动的液体具有三种形式的能量，即压力能、位能和动能。这三种形式的能量在液体流动过程中可以相互转化，但其总和在各个截面处均为定值。

实际液体在通道内流动时因液体内部摩擦力作用会造成能量损失，则实际液体的伯努利方程应考虑能量损失。

3. 压力损失和流量损失

(1) 压力损失

由于实际液体都具有粘性，所以在流动时必然要损耗一部分能量，这种能量损耗表现为液体的压力损失。压力损失可分为沿程压力损失和局部压力损失。在等截面长直管内流动时引起沿程压力损失，在弯管、阀门内等截面变化处流动时引起局部压力损失。

传动中的压力损失会造成功率的损耗，所以应尽量减少压力损失。通过提高管道内壁的加工质量，尽量缩短管道长度，减少管道截面突变和弯曲，就能使压力损失控制在较小的范围内。

(2) 流量损失

在液压系统正常工作的情况下，从液压元件的密封间隙漏过少量油液的现象称为泄漏。由于液压元件必然存在着一些间隙，当间隙的两端有压力差时，就会有油液从这些间隙中流走。所以，液压系统中泄漏现象总是存在的。

液压系统的泄漏包括内泄漏和外泄漏两种。液压元件内部高、低压腔间的泄漏称为内泄漏；液压系统内部的油液漏到系统外部的泄漏称为外泄漏。

液压系统的泄漏必然引起流量损失，使液压泵输出的流量不能全部流入液压缸等执行元件。

相关知识三 液 压 泵

(一) 液压泵概述

液压泵是液压传动系统的动力装置，它将原动机输入的机械能转换成液体压力能，在液压

传动系统中属于动力元件，是液压传动系统的重要组成部分。

1. 液压泵的工作原理及分类

液压泵的工作原理如图 1-6 所示。柱塞 2 靠弹簧 3 压在偏心轮 1 上，偏心轮转动时，柱塞便作往复运动。柱塞 2 向右移动时，密封腔 4 因容积增大而形成一定真空，在大气压力的作用下通过单向阀 5 从油箱中吸入油液，这时单向阀 6 将压油口封闭，以防止系统油液回流；柱塞 2 向左移动时，密封腔 4 的容积减小，将已吸入的油液通过单向阀 6 压出，这时单向阀 5 将吸油口封闭，以防止油液回流到油箱中，随着偏心轮不停地转动，泵就不断地进行吸油和压油过程。由此可见，液压泵是靠密封容积变化进行工作的，故常称其为容积式液压泵。单向阀 5 和 6 是保证液压泵正常吸油和压油所必需的配油装置。

由图 1-6 可以看出，无论液压泵的具体结构如何，它都必须满足两个工作条件：第一，必须有密闭而且可以变化的容积，以便完成吸油和排油过程；第二，必须有配流装置，以便将吸油和排油分开。

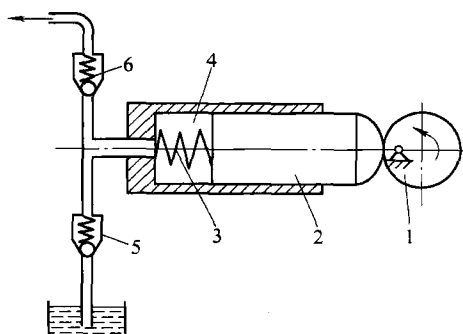


图 1-6 单柱塞液压泵的工作原理

1—偏心轮；2—柱塞；3—弹簧；
4—密封腔；5、6—单向阀

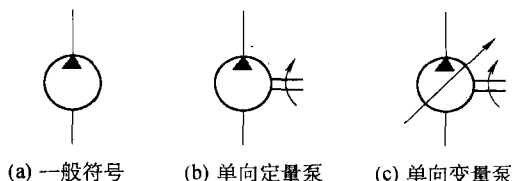


图 1-7 液压泵的图形符号

液压泵的种类很多，按其结构形式的不同，可分为齿轮泵、叶片泵、柱塞泵等类型；按泵的排量能否改变，可分为定量泵和变量泵；按泵的输出油液方向能否改变，可分为单向泵和双向泵。液压泵的图形符号如图 1-7 所示，图 1-7a 为液压泵的一般符号，图 1-7b 为单向定量泵的图形符号，图 1-7c 为单向变量泵的图形符号。

2. 液压泵的性能参数

(1) 液压泵的压力

液压泵的压力参数主要指工作压力和额定压力。

液压泵的工作压力是指泵工作时输出液体的实际压力，其大小决定于负载。液压泵的额定压力是指泵在正常工作时允许到达的最大工作压力。正常工作时不允许超过液压泵的额定压力，超过此值即为过载；液压泵的最大工作压力受泵零件结构强度和泄漏程度的限制。

(2) 液压泵的排量和流量

液压泵的排量是指按泵每转一转，由其密封容积几何尺寸变化计算而得的排出液体的体积。排量用 V 来表示，其单位为 mL/r 。

液压泵的流量有理论流量、实际流量和额定流量之分。

液压泵的理论流量是指泵在单位时间内由密封腔几何尺寸变化计算而得的排出液体的体积。理论流量用 q_{vt} 表示, 它等于泵的排量 V 与其转速 n 的乘积, 即 $q_{vt} = Vn$ 。

液压泵的实际流量是指泵工作时实际输出的流量, 可以用 q_v 来表示。由于泵存在泄漏问题, 所以其实际流量总是小于理论流量。

液压泵的额定流量是指泵在额定转速和额定压力下输出的流量, 即铭牌上标出的流量。

(3) 液压泵的功率和效率

液压泵输入的是电动机的机械能, 表现为转矩 T 和转速 n ; 其输出的是液体压力能, 表现为压力 p 和流量 q 。当用液压泵输出的压力能驱动液压缸克服负载阻力 F , 并以速度作匀速运动时(若不考虑能量损失), 则液压泵和液压缸的理论功率相等, 即

$$P_i = 2\pi n T_i = Fv = pAv = pq_{vt}$$

如果用驱动液压泵的实际转矩 T 代替上式中的理论转矩 T_i , 则可得到液压泵的实际输入功率 $P_i = 2\pi n T$; 用液压泵的实际流量 q_v 代替上式中的理论流量 q_{vt} 可以得到液压泵的实际输出功率 $P_o = pq_v$ 。液压泵的输出功率总是小于输入功率, 两者之差即为功率损失。功率损失又可分为容积损失(泄漏造成的流量损失)和机械损失(摩擦造成的转矩损失)。通常容积损失用容积效率 η_v 来表示, 机械损失用机械效率 η_m 来表示。液压泵的总效率为

$$\eta = \eta_v \eta_m$$

(二) 齿轮泵

齿轮泵在液压系统中应用广泛。按其结构形式, 可分为外啮合式和内啮合式两种。外合啮式齿轮泵, 由于结构简单、制造方便、价格低廉、工作可靠、维修方便, 因此已广泛应用于低压系统。

1. 齿轮泵的工作原理和结构

图 1-8 为齿轮泵的工作原理图。在泵体内有一对外啮合齿轮, 齿轮两端面靠盖板密封, 这样泵体、盖板和齿轮的各齿槽就形成多个密封腔, 轮齿啮合线又将左、右两密封腔隔开而形成吸、压油腔。当齿轮按图示方向旋转时, 吸油腔(右侧)内的轮齿不断脱开啮合, 使其密封容积不断增大而形成一定真空, 在大气压力作用下从油箱吸进油液, 随着齿轮的旋转, 齿槽内的油液被带到压油腔(左侧), 压油腔内的轮齿不断进入啮合, 使其密封容积不断减小, 油液被压出。随着齿轮不停地转动, 齿轮泵就不断地吸油和压油。

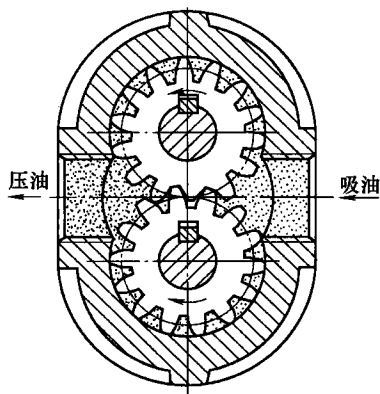


图 1-8 齿轮泵的工作原理

图 1-9 为 CB-B 型齿轮泵的结构图。该泵用了泵体 4 与盖板 1、5 三片式结构, 两盖板与泵体用两个定位销 8 和六个螺钉 2 连接, 这种结构便于制造和维修时控制齿轮端面和盖板间的端面间隙(小流量泵间隙为 0.025 ~ 0.04 mm, 大流量泵间隙为 0.04 ~ 0.06 mm)。

2. 高压齿轮泵的结构特点

上述齿轮泵因内泄漏较大, 只适用于低压。齿轮泵压油腔的压力油通过三条途径泄漏到吸油腔: 一是齿轮啮合处的间隙; 二是径向间隙; 三是端面间隙。通过端面间隙的泄漏量最大,



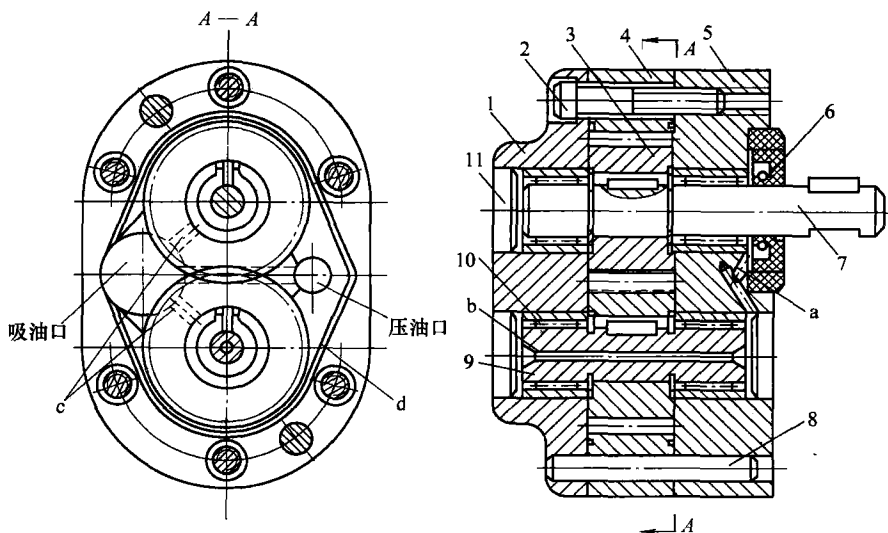


图 1-9 CB-B 型齿轮泵

- 1、5—盖板；2—螺钉；3—齿轮；4—泵体；6—密封圈；7—主动轴；
8—定位销；9—从动轴；10—滚针轴承；11—堵头；
a、b、c—泄油通道；d—封油卸荷槽

约占总泄漏量的 75%~80%，因此要提高齿轮泵的压力和容积效率，就必须对端面间隙进行自动补偿，减小端面间隙泄漏量。通常采用的端面间隙自动补偿装置有浮动轴套式、浮动侧板式和挠性侧板式等，其原理都是引入压力油使轴套或侧板紧贴齿轮端面，自动补偿端面间隙。

图 1-10 为浮动轴套结构示意图。这种结构，可使齿轮和轴套端面磨损均匀，且磨损间隙能得到自动补偿。采用这种补偿装置的高压齿轮泵，公称压力可达 10~16 MPa，容积效率不低于 0.9。

3. 内啮合齿轮泵的工作原理

内啮合齿轮泵有渐开线齿轮泵(图 1-11a)和摆线齿轮泵(图 1-11b)两种。它们也是利用

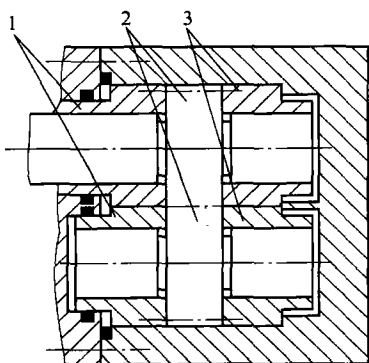


图 1-10 浮动轴套结构示意图

- 1—浮动轴套；2—齿轮；3—固定轴套

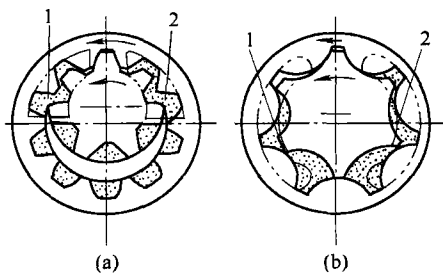


图 1-11 内啮合齿轮泵

- 1—吸油腔；2—压油腔