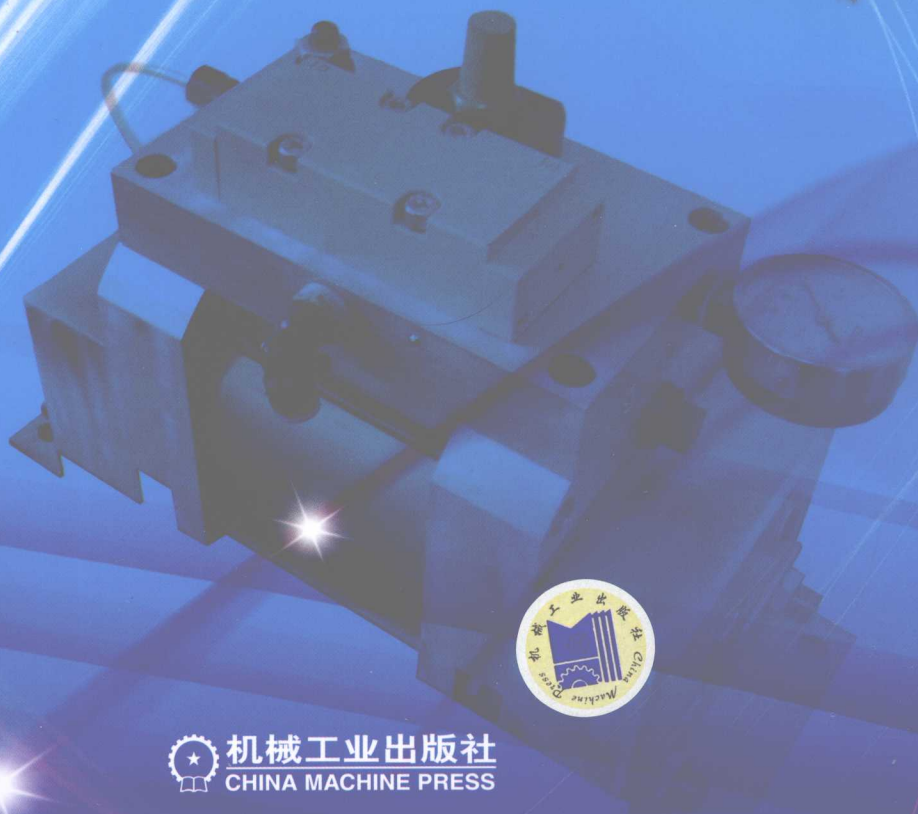




中等职业教育示范专业规划教材

液压与气动

蒋翰成 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育示范专业规划教材

液 压 与 气 动

主 编 蒋翰成

副主编 李 成 赵冬梅

参 编 傅从祥 王 仪

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查

液 压 (YD) 目 录 查 查 查 查



机 械 工 业 出 版 社

本书是中等职业教育示范专业规划教材,借鉴了德国“双元制”职业教育的先进理念,以培养能力为目标,形式活泼、图文并茂,重点在于液压与气动的基本概念、基本原理、基本方法和基本训练等内容的讲解。

本书由液压传动与气压传动两部分组成,主要内容包括液压传动基础知识,液压泵,液压缸、液压马达及液压辅助元件,液压控制阀及液压基本回路,典型液压系统,气压传动基础知识,气源装置、气缸及气动马达,气动控制阀及气动回路,典型气压传动系统等。

本书为高、中等职业技术学校机电类及其他相关专业的教学用书,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动/蒋翰成主编. —北京:机械工业出版社, 2009.1

中等职业教育示范专业规划教材

ISBN 978-7-111-24549-0

I. 液… II. 蒋… III. ①液压传动-专业学校-教材 ②气压传动-专业学校-教材 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 192910 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 崔占军 责任编辑: 张祖凤、王佳玮

版式设计: 张世琴 责任校对: 王 欣

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 杨 曦

三河市宏达印刷有限公司印刷

2009 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·9.5 印张·229 千字

0001-3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-24549-0

定价: 17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379201

封面防伪标均为盗版

前 言

本书借鉴德国“双元制”职业教育的先进理念,本着“实用性、发展性”的原则,针对职业学校机电一体化、数控技术应用等专业教学的实际情况编写,在内容的深度和广度上加以把握,突出基本概念、基本原理、基本方法和基本训练。

本书共分九章,主要有液压传动和气压传动两部分内容。其中液压传动部分包括液压传动基础知识,液压泵,液压缸、液压马达及液压辅助元件,液压控制阀及液压基本回路,典型液压系统等。气压传动部分包括气压传动基础知识,气源装置、气缸及气动马达,气动控制阀及气动回路,典型气压传动系统等。本书适于教学时数为70学时。

本书的主要特点有:

第一,坚持以能力为主,重视实践能力的培养,突出职业技术教育特色。根据实际需要,合理确定学生应具备的能力结构与知识结构,对教材内容的深度和结构作了详细规划和精密布局。同时,加强实践性教学内容,以满足企业对技能型人才的需要。

第二,根据现代技术发展需要和工业实际情况,做到液压与气动并重,并加入了数控机床和机械手的有关应用实例。

第三,在教材编写模式方面,尽可能使用图片、实物照片或表格形式将各个知识点生动地展示出来,力求为学生营造一个更加直观的认知环境。同时,针对相关知识点和技能要求,设计了很多贴近生活的内容导入环节和知识拓展环节等,旨在拓展学生的知识面,引导学生自主学习。

第四,根据课题需要合理安排理论知识和技能培养,体现了“教、学、做”有机结合的职业教育特色。

本书由傅从祥(第一章)、蒋翰成(第二、三、六章)、李成(第四、五章)、王仪(第七章)、赵冬梅(第八、九章)共同编写,由蒋翰成主编,李成、赵冬梅副主编。

由于编者的水平有限,时间仓促,书中难免存在各种错误和不足之处,恳切希望读者提出宝贵意见和建议,以便修改。

编 者

目 录

前言

第1章 液压传动基础知识	1
1.1 液压传动概述	1
1.2 液压传动原理	2
1.3 液压传动系统中的压力与流量	5
1.4 液压传动的功率计算	9
思考与练习	11
第2章 液压泵	12
2.1 液压泵概述	12
2.2 常见液压泵的工作原理和应用	12
思考与练习	20
第3章 液压缸、液压马达及液压辅助元件	21
3.1 液压缸、液压马达	21
3.2 液压辅助元件	27
思考与练习	33
第4章 液压控制阀及液压基本回路	34
4.1 概述	34
4.2 方向控制阀与方向控制回路	35
4.3 压力控制阀与压力控制回路	46
4.4 流量控制阀与速度控制回路	56
4.5 顺序动作回路	65
思考与练习	68
第5章 典型液压系统	71
5.1 阅读液压传动系统图的一般方法与步骤	71
5.2 动力滑台液压系统	71

5.3 机械手液压系统	76
5.4 数控车床液压系统	78
思考与练习	80
第6章 气压传动基础知识	84
6.1 气压传动概述	84
6.2 压缩空气	86
6.3 空气的压力	88
思考与练习	91
第7章 气源装置、气缸及气动马达	92
7.1 气源装置	92
7.2 气源调节装置	99
7.3 气动执行元件	104
思考与练习	109
第8章 气动控制阀及气动回路	110
8.1 方向控制阀与方向控制回路	110
8.2 压力控制阀与压力控制回路	122
8.3 流量控制阀与速度控制回路	126
第9章 典型气压传动系统	131
9.1 阅读气压传动系统图的一般方法与步骤	131
9.2 气液动力滑台气压传动系统	131
9.3 气动机械手	132
9.4 数控机床气动系统	134
附录 液压与气压传动常用图形符号	139
参考文献	145

第1章 液压传动基础知识

【学习目标】

1. 了解液压传动发展历程、用途、特点。
2. 理解液压传动原理及液压传动系统组成。
3. 了解压力是如何形成的。
4. 会进行简单的液压传动参数计算。

1.1 液压传动概述

1.1.1 液压传动发展概况

液压传动是流体传动的一种，是根据17世纪帕斯卡提出的液体静压力传动原理而发展起来的一门技术，是工农业生产中广泛应用的一门技术。如今，液压传动技术水平的高低已成为一个国家工业发展水平的重要标志之一。1795年英国约瑟夫·布拉曼（Joseph Braman, 1749—1814），在伦敦用水作为工作介质，将液压传动应用于工业上，发明了世界上第一台水压机。1905年工作介质由水改为油。第一次世界大战（1914—1918）后，液压传动被广泛应用，特别是1920年以后，发展更为迅速。液压元件大约在19世纪末20世纪初的20年间开始进入工业生产阶段。1925年维克斯（F. Vickers）发明了压力平衡式叶片泵，为近代液压传动工业的逐步建立奠定了基础。

我国液压工业发展历程大致可分为三个阶段，即20世纪50年代初到60年代初为起步阶段；60年代~70年代为专业化生产体系成长阶段；80年代~90年代为快速发展阶段。目前，我国液压行业已形成了一个门类比较齐全，有一定生产能力和技术水平的工业体系。

1.1.2 液压传动的优点

液压传动是以液体（通常是油液）作为工作介质，利用液体压力来传递动力和进行控制的一种传动方式。它与机械传动、电气传动相比较，具有以下优点：

- 1) 液压传动的各种元件可根据需要方便、灵活地布置。
- 2) 重量轻，体积小，运动惯性小，反应速度快。
- 3) 操纵控制方便，可实现大范围的无级调速（调速范围可达2000:1）。
- 4) 可自动实现过载保护。
- 5) 一般采用矿物油为工作介质，相对运动面可自行润滑，使用寿命长。
- 6) 易实现直线运动。

7) 采用电液联合控制，不仅可实现更高程度的自动控制过程，而且可以实现遥控控制。

1.1.3 液压传动的主要缺点

- 1) 由于液体流动的阻力损失和泄漏较大，所以效率较低。如果处理不当，泄漏不仅污染场地，而且还可能引起火灾和爆炸事故。
- 2) 工作性能易受温度变化的影响，因此不宜在很高或很低的温度条件下工作。
- 3) 液压元件的制造精度要求较高，因而价格较贵。
- 4) 由于液体介质的泄漏及可压缩性影响，液压系统较难得到严格的传动比。

1.1.4 液压传动应用

液压传动是通过液压泵，将电动机的机械能转换为液体的压力能，又通过管路、控制阀等元件，经液压缸（或液压马达）将液体的压力能转换成机械能，驱动负载和实现执行机构的运动。由于液压传动具有明显的优点，因此得到广泛运用，图 1-1 所示为液压传动应用实例，尤其在高效率的自动化、半自动化机械中，液压传动应用更为广泛。



图 1-1 液压传动应用实例

a) 液压千斤顶 b) 建筑施工设备 c) 数控设备 d) 节能环保机器人

1.2 液压传动原理

1.2.1 液压传动的工作原理

图 1-2 所示是液压千斤顶的工作原理图。大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手

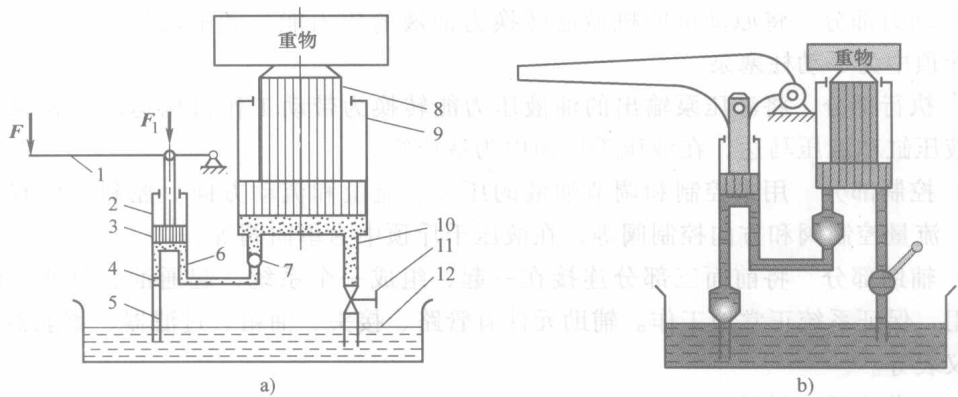


图 1-2 液压千斤顶工作原理图

a) 工作原理图 b) 外形示意图

1—杠杆手柄 2—小油缸 3—小活塞 4、7—单向阀 5—吸油管 6、10—管道
8—大活塞 9—大油缸 11—截止阀 12—油箱

柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油；用力压下手柄，小活塞下移，小活塞下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 6 输入举升大油缸 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，单向阀 7 自动关闭，使油液不能倒流，从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄，就能不断地把油液压入举升缸下腔，使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11，举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱，重物就向下移动。

由以上分析可知，液压传动是一个不同能量的转换过程。液压千斤顶是一个简单的液压传动装置，从其工作过程可以看出，液压传动的工作原理是：以液体作为工作介质，通过密封容积的变化来传递运动，通过液体内部的压力来传递动力。

1.2.2 液压传动系统的组成

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置。下面分析一种驱动工作台的液压传动系统。如图 1-3 所示，它由油箱、过滤器、液压泵、溢流阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头组成。

由液压千斤顶实例及机床工作台液压系统可以看出，液压系统由五个部分组成：

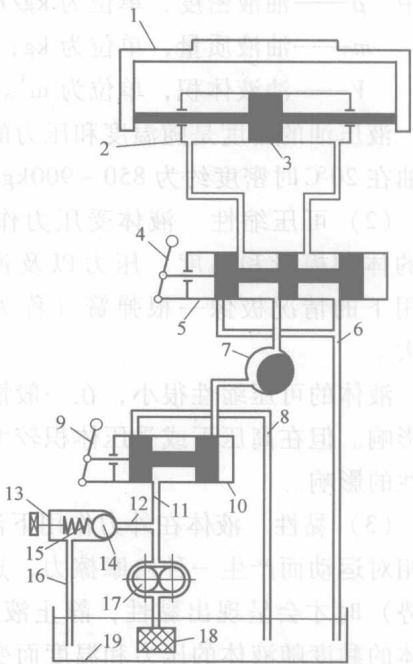


图 1-3 机床工作台液压系统结构原理图

1—工作台 2—液压缸 3—活塞 4—换向手柄 5—换向阀 6、8、16—回油管
7—节流阀 9—开停手柄 10—手动换向阀
11—压力管 12—压力支管 13—溢流阀
14—钢球 15—弹簧 17—液压泵
18—过滤器 19—油箱

(1) 动力部分 将原动机的机械能转换为油液的压力能。能量转换元件为液压泵，在液压千斤顶中为手动柱塞泵。

(2) 执行部分 将液压泵输出的油液压力能转换为带动工作机构运动的机械能。执行元件有液压缸和液压马达，在液压千斤顶中为液压缸。

(3) 控制部分 用来控制和调节油液的压力、流量和流动方向。控制元件有各种压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等，在液压千斤顶中为单向阀等。

(4) 辅助部分 将前面三部分连接在一起，组成一个系统，起通油、过滤、测量和密封等作用，保证系统正常地工作。辅助元件有管路、接头、油箱、过滤器、蓄能器、密封件和控制仪表等。

(5) 工作介质 油液。

1.2.3 油液的主要物理性质及选用

1. 油液的主要物理性质

(1) 密度 ρ 单位体积液体的质量称为液体的密度。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——油液密度，单位为 kg/m^3 ；

m ——油液质量，单位为 kg ；

V ——油液体积，单位为 m^3 。

液压油的密度是随温度和压力的变化而变化的，但其变动值很小，可视为常数，一般液压油在 20°C 时密度约为 $850 \sim 900 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

(2) 可压缩性 液体受压力作用而发生体积变化的性质称为液体的可压缩性。液压油的体积模量和温度、压力以及油液中的空气含量有关。封闭在容器内的液体在外力作用下的情况极像一根弹簧（称为液压弹簧）：外力增大，体积减小；外力减小，体积增大。

液体的可压缩性很小，在一般情况下，当液压系统在稳态下工作时可以不考虑可压缩性的影响。但在高压下或受压体积较大以及对液压系统进行动态分析时，就需要考虑液体可压缩性的影响。

(3) 黏性 液体在外力作用下流动（或有流动趋势）时，分子间的内聚力阻止分子间的相对运动而产生一种内摩擦力，这种现象称为液体的黏性。液体只有在流动（或有流动趋势）时才会呈现出黏性，静止液体是不呈现黏性的。液体的黏性大小可用黏度来表示。液体的黏度随液体的压力和温度而变化。对液压油来说，压力增大时，黏度增大，但影响很小，通常忽略不计。液压油的黏度对温度变化十分敏感，温度升高时，黏度下降。在液压技术中，希望工作液体的黏度随温度变化越小越好。

2. 液压油液的选用

选择液压油时，首先考虑其黏度是否满足要求，同时兼顾其他方面。选择时应考虑以下因素：①液压泵的类型；②液压系统的工作压力；③运动速度；④环境温度；⑤防污染的要求；⑥综合经济性。

1.2.4 液压传动系统图的图形符号

如图 1-3 所示的液压系统结构原理图，直观性强、容易理解。当液压系统发生故障时，根据原理图检查十分方便，但图形比较复杂，绘制比较繁琐。如图 1-4 所示的用图形符号绘制的液压传动系统图，简单明了，便于绘图。《液压气动图形符号》（GB/T 786.1—1993）对液压气动元（辅）件的图形符号作了具体规定，常用的液压元件及液压系统其他有关装置或器件的图形符号见附录。使用中应注意以下几点：

- 1) 图形符号只表示元件的职能，连接系统的通路，不表示元件的具体结构和参数，也不表示元件在机器中的实际安装位置。
- 2) 图形符号内的油液流动方向用箭头表示。线段两端都有箭头的，表示流动方向可逆。
- 3) 图形符号均以元件的静止位置或中间零位置表示，当系统的动作另有说明时，可作例外。

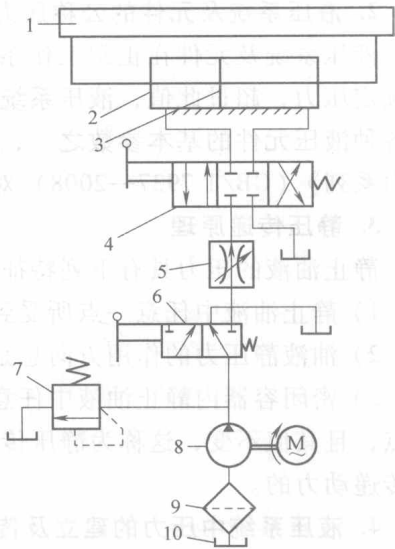


图 1-4 机床工作台液压传动系统图
1—工作台 2—液压缸 3—活塞 4—换向阀 5—调速阀 6—换向阀 7—溢流阀 8—液压泵 9—过滤器 10—油箱

1.3 液压传动系统中的压力与流量

1.3.1 压力

1. 压力的概念

油液的压力是由油液的自重和油液受到的外力（一般表现为阻力）作用所产生的。在液压传动中，与油液受到的外力相比，油液的自重一般很小，可忽略不计。下文所说的油液压力主要是指因油液表面受外力（不计大气压力）作用所产生的压力，即相对压力或表压力。如图 1-5 所示，活塞作用在油液单位面积上的力为 F/A ，油液单位面积上承受的作用力称为压强，在工程上习惯称为压力，用符号 p 表示。即

$$p = \frac{F}{A} \tag{1-2}$$

式中 p ——油液的压力，单位为 Pa；
 F ——作用在油液表面上的外力，单位为 N；
 A ——油液表面的承压面积，即活塞的有效作用面积，单位为 m^2 。

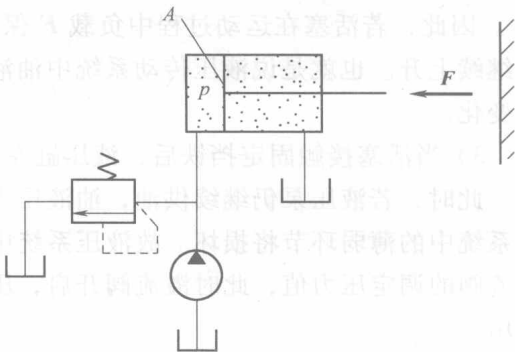


图 1-5 液压传动系统简图

2. 液压系统及元件的公称压力

液压系统及元件在正常工作条件下,按试验标准连续运转(工作)的最高工作压力称为额定压力,超过此值,液压系统便过载。液压系统必须在额定压力以下工作。额定压力也是各种液压元件的基本参数之一,应符合公称压力系列。《液压气动管接头及其相关件公称压力系列》(GB/T 7937—2008)对公称压力作了规定。

3. 静压传递原理

静止油液的压力具有下列特征:

- 1) 静止油液中任意一点所受到的各个方向的压力都相等,这个压力称为静压力。
- 2) 油液静压力的作用方向总是垂直指向承压表面。
- 3) 密闭容器内静止油液中任意一点的压力如有变化,其压力的变化值将传递给油液的各点,且其值不变,这称为静压传递原理,即帕斯卡原理。液压千斤顶就是利用静压传递原理传递动力的。

4. 液压系统中压力的建立及传递

液压传动系统中,密闭容器内静止油液受到外力挤压而产生压力(静压力),对于采用液压泵连续供油的液压传动系统,流动油液在某处的压力也是因为受到其后各种形式负载(如工作阻力、摩擦力、弹簧力等)的挤压而产生的。除静压力外,油液流动还有动压力,但在一般液压传动中,油液的动压力很小,可忽略不计。因此,液压传动系统中流动油液的压力,主要考虑静压力。下面就如图1-5所示液压传动系统中压力的建立进行分析。

1) 假定图示负载阻力为零(不考虑油液的自重、活塞的质量、摩擦力等因素),由液压泵输入液压缸左腔的油液不受任何阻挡就能推动活塞向右运动,此时,油液的压力为零($p=0$)。活塞的运动是由于液压缸左腔内油液的体积增大而引起的。

2) 假定负载阻力不为零(且产生压力小于溢流阀开启的调定值),输入液压缸左腔的油液由于受到外界负载 F 的阻挡,不能立即推动活塞向右运动,而液压泵总是连续不断地供油,使液压缸左腔中的油液受到挤压,油液的压力从零开始由小到大迅速升高,作用在活塞有效作用面积 A 上的液压作用力(pA)也迅速增大。当液压作用力足以克服外界负载 F 时,液压泵输出的油液迫使液压缸左腔的密封容积增大,从而推动活塞向右运动。在一般情况下,活塞作匀速运动,作用在活塞上的力互相平衡,即液压作用力等于负载阻力($pA=F$)。因此,若活塞在运动过程中负载 F 保持不变,则油液不会再受更大的挤压,压力就不会继续上升。也就是说液压传动系统中油液的压力取决于负载的大小,并随负载大小的变化而变化。

3) 当活塞接触固定挡铁后,液压缸左腔的密封容积因活塞运动受阻停止而不能继续增大。此时,若液压泵仍继续供油,油液压力会急剧升高,如果液压传动系统没有保护措施,则系统中的薄弱环节将损坏。故液压系统中用溢流阀并联在液压泵出口处,当油液压力达到溢流阀的调定压力值,此时溢流阀开启,压力油液从溢流阀流回油箱。溢流阀起到溢流稳压作用。

综上所述,液压传动系统中某处油液的压力是由于受到各种形式负载的挤压而产生的,压力的大小取决于负载,并随负载变化而变化。当某处有几个负载并联时,压力的大小取决于克服负载的各个压力值中的最小值。应特别注意的是压力建立的过程是从无到有、从小到大迅速进行的。

5. 液阻和压力损失

(1) 液阻 由于油液具有黏性,在油液流动时,油液的分子之间、油液与管壁之间的摩擦和碰撞会产生阻力,这种阻碍油液流动的阻力称为液阻。由于存在着液阻,油液流动会引起能量损失,主要表现为压力损失。

(2) 压力损失 根据流动途径不同,压力损失主要分为沿程损失与局部损失。

如图 1-6 所示,油液从左向右在截面积相同的直管路中流动,油液的部分压力用于克服管壁对油液的摩擦阻力,这种压力损失称为沿程损失。管路越长,沿程损失越大。

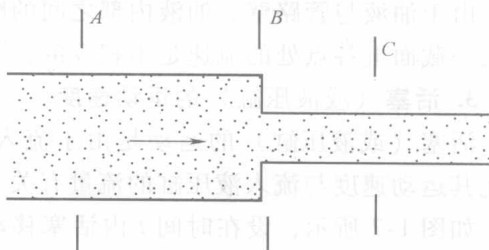


图 1-6 油液流动简图

如图 1-6 所示, B 截面处管路截面积发生突变,油液的压力损失较大。这种油液流过管路弯曲部位、管路截面积突变部位及开关等地方,由于液流速度的方向和大小发生变化而产生的压力损失称为局部损失。在液压传动系统中,各种液压元件的结构、形状、布局等原因,致使管路的形式比较复杂,因而局部损失是主要的压力损失。

(3) 压力损失对系统影响 油液流动产生的压力损失,会造成功率浪费,油液发热,黏度降低,进而使泄漏增加,同时液压元件受热膨胀也会影响正常工作,甚至“卡死”。因此,必须采取措施尽量减少压力损失。一般情况,只要油液黏度适当,管路内壁光滑,尽量缩短管路长度和减少管路的截面变化及弯曲,可以将压力损失控制在很小的范围内。

影响压力损失的因素有很多,精确计算较为复杂,通常采用近似估算的方法。液压泵最高工作压力的近似计算式为

$$p_{\text{泵}} = K_{\text{压}} p_{\text{缸}} \quad (1-3)$$

式中 $p_{\text{泵}}$ ——液压泵最高工作压力,单位为 Pa;

$p_{\text{缸}}$ ——液压缸最高工作压力,单位为 Pa;

$K_{\text{压}}$ ——系统的压力损失系数,一般 $K_{\text{压}} = 1.3 \sim 1.5$,系统复杂或管路较长取大值,反之取小值。

1.3.2 流量

1. 流量的概念

单位时间内流过管路或液压缸某一截面的油液体积称为流量,用符号 q_v 表示。若在时间 t 内,流过管路或液压缸某一截面的油液体积为 V ,则油液的流量

$$q_v = \frac{V}{t} \quad (1-4)$$

流量的单位为 m^3/s ($\text{米}^3/\text{秒}$),常用单位为 L/min (升/分)。换算关系为

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 6 \times 10^4 \text{ L}/\text{min}$$

2. 平均流速

油液通过管路或液压缸的平均流速可用式 (1-5) 计算

$$\bar{v} = \frac{q_v}{A} \quad (1-5)$$

式中 $\bar{v}$ ——油液通过管路或液压缸的平均流速, 单位为 m/s ;

q_v ——油液的流量, 单位为 m^3/s ;

A ——管路的通流面积或液压缸(或活塞)的有效作用面积, 单位为 m^2 。

由于油液与管路壁、油液内部之间的摩擦力大小不同, 因此油液流动时, 在管路或液压缸某一截面上各点处的流速是不相等的, 通常采用平均流速进行近似计算。

3. 活塞(或液压缸)的运动速度

活塞(或液压缸)的运动是由于流入液压缸的油液迫使密封容积增大所导致的结果, 因此其运动速度与流入液压缸的流量有关。

如图 1-7 所示, 设在时间 t 内活塞移动的距离为 H , 活塞的有效作用面积为 A , 则密封容积变化, 即所需流入的油液的体积为 AH , 则流量为

$$q_v = \frac{AH}{t}$$

活塞(或液压缸)的运动速度为

$$v = \frac{H}{t} = \frac{q_v}{A} = \bar{v} \quad (1-6)$$

由式(1-6)可得出如下结论:

- 1) 活塞(或液压缸)的运动速度等于液压缸内油液的平均流速。
- 2) 活塞(或液压缸)的运动速度仅与活塞(或液压缸)的有效作用面积和流入液压缸中油液的流量有关, 与油液的压力无关。
- 3) 活塞(或液压缸)的有效作用面积一定时, 活塞(或液压缸)的运动速度取决于流入液压缸中油液的流量, 改变流量就能改变运动速度。

4. 液流的连续性原理

油液的可压缩性极小, 通常可视作理想液体。理想液体在无分支管路中作稳定流动时, 通过每一截面的流量相等, 这称为液流连续性原理。如图 1-8 所示管路中, 流过截面 1 和 2 的流量分别为 q_{v1} 和 q_{v2} , 根据液流连续性原理, $q_{v1} = q_{v2}$, 代入式(1-5), 则可得

$$A_1 \bar{v}_1 = A_2 \bar{v}_2 \quad (1-7)$$

式中 A_1, A_2 ——截面 1、2 的面积, 单位为 m^2 ;

$\bar{v}_1, \bar{v}_2$ ——液体流过截面 1、2 时的平均流速, 单位为 m/s 。

式(1-7)表明, 液体在无分支管路中稳定流动, 流经管路不同截面时的平均流速与其截面面积大小成反比。管路截面面积小的地方平均流速大, 管路截面面积大的地方平均流速小。

5. 泄漏和流量损失

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, 会有油液从这些间隙中流过。所以, 液压系统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。

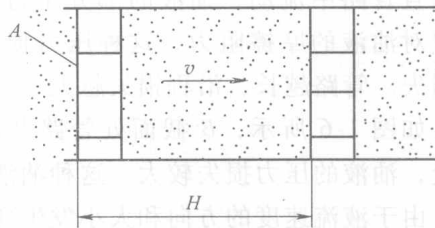


图 1-7 活塞(或液压缸)的运动速度简图

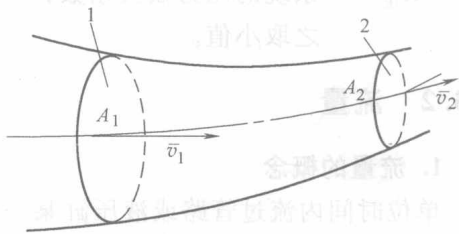


图 1-8 液流连续性原理

如图 1-9 所示, A 处液压缸左腔油压高于右腔油压, 部分油液会从左腔渗入右腔, 这种液压元件内部高、低压腔间的泄漏称为内泄漏; B 处, 由于密封原因, 少许油液会渗出, 不再进入系统, 这种液压系统内部的油液漏到系统外部的泄漏称为外泄漏。

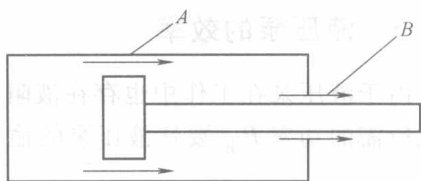


图 1-9 液压系统内、外泄漏示意简图

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, 从而不能保证系统的正常速度。流量损失一般也采用近似估算的方法。液压泵输出流量的近似计算式为

$$q_{v\text{泵}} = K_{\text{漏}} q_{v\text{缸}} \quad (1-8)$$

式中 $q_{v\text{泵}}$ ——液压泵最大输出流量, 单位为 m^3/s ;

$q_{v\text{缸}}$ ——液压缸的最大流量, 单位为 m^3/s ;

$K_{\text{漏}}$ ——系统的泄漏系数, 一般 $K_{\text{漏}} = 1.1 \sim 1.3$, 系统复杂或管路较长取大值, 反之取小值。

1.4 液压传动的功率计算

1.4.1 液压缸的输出功率 $P_{\text{缸}}$

功率等于力与速度的乘积。对于液压缸来说, 其输出功率等于负载阻力 F 和活塞 (或液压缸) 运动速度 v 的乘积, 即

$$P_{\text{缸}} = Fv$$

由于 $F = p_{\text{缸}} A$, $v = \frac{q_v}{A}$, 所以液压缸的输出功率 (不计液压缸损失)

$$P_{\text{缸}} = p_{\text{缸}} q_{v\text{缸}} \quad (1-9)$$

式中 $P_{\text{缸}}$ ——液压缸的输出功率, 单位为 W;

$p_{\text{缸}}$ ——液压缸的最高工作压力, 单位为 Pa;

$q_{v\text{缸}}$ ——液压缸的最大流量, 单位为 m^3/s 。

1.4.2 液压泵的输出功率

液压泵输出功率的计算公式为

$$P_{\text{泵}} = p_{\text{泵}} q_{v\text{泵}} \quad (1-10)$$

式中 $P_{\text{泵}}$ ——液压泵的输出功率, 单位为 W;

$p_{\text{泵}}$ ——液压泵的最高工作压力, 单位为 Pa;

$q_{v\text{泵}}$ ——液压泵输出的最大流量, 单位为 m^3/s 。对于输出流量为定值的定量液压泵, $q_{v\text{泵}}$ 为该泵的额定流量。

1.4.3 液压泵的效率

由于液压泵在工作中也存在液阻和泄漏，造成了压力和流量损失，所以驱动液压泵的电动机所需的功率 $P_{电}$ 要比液压泵的输出功率 $P_{泵}$ 大。液压泵的总效率为

$$\eta_{总} = \frac{P_{泵}}{P_{电}} \tag{1-11}$$

驱动液压泵的电动机功率

$$P_{电} = \frac{P_{泵}}{\eta_{总}} = \frac{p_{泵} q_{v, 泵}}{\eta_{总}} \tag{1-12}$$

实验课题：液压实验台观摩

一、目的要求

通过对液压实验台的观摩，使学生初步建立液压传动的感性认识，初步认识常用的液压元件。

二、工具器材（表 1-1）

表 1-1 工具器材

分类	名称	型号规格	数量/个(只、套)	备注
液压实验台	实验台	YYSYT-001	1	
液压元件	液压元件模型		若干	

三、实验步骤

1. 观察液压实验台

- 1) 观察液压实验台的外形、结构、组成。
- 2) 液压元件的识别。

2. 液压传动的工作原理

- 1) 压力的建立与调整。
- 2) 液压缸运动方向的控制与换向。
- 3) 液压缸运动速度的控制与调整。

3. 抄写液压实验使用的元件名称和图形符号

四、注意事项

- 1) 正确安装和固定元件。
- 2) 按照要求连接好回路，检查无误后才能起动电动机。
- 3) 在有压力的情况下不准拆卸管子。
- 4) 不得使用超过限制的工作压力。

想一想

- 1. 液压泵的工作压力取决于什么？为什么？
- 2. 液压缸的运动速度取决于什么？为什么？

五、质量评价标准（表 1-2）

表 1-2 质量评价标准

考核项目	考核要求	配分	评分标准	扣分	得分	备注
液压元件	识读液压元件	20	元件识别错误,每个扣 2 分			
压力控制	液压回路压力的控制及调整	20	通过调整观察压力值及其变化			
速度控制	液压缸的运动速度的控制及调整	20	通过调整观察速度及其变化			
方向控制	液压缸的运动方向的控制及调整	20	通过调整观察运动方向			
安全生产	自觉遵守安全文明生产规程	20	不遵守安全文明生产扣 20 分			
自评得分		小组互评得分		教师签名		

思考与练习

1. 液压传动的工作原理是什么？
2. 液压系统由哪几部分组成？各部分的作用是什么？其典型元件有哪些？
3. 如图 1-2 所示的液压系统中，已知：杠杆手柄的力 $F=294\text{N}$ ，作用点到支点的距离为 540mm ，活塞杆铰链到支点的距离为 27mm ，小活塞有效作用面积 $A_1=1\times 10^{-3}\text{m}^2$ ，大活塞有效作用面积 $A_2=5\times 10^{-3}\text{m}^2$ ，不计损失，试求：
(1) 系统中的压力为多少？
(2) 大活塞能顶起多重的重物？
(3) 两活塞的运动速度哪一个大？二者速度之比是多少？
(4) 解题过程中用了哪些原理？
4. 如图 1-10 所示，已知 $A=8\times 10^{-3}\text{m}^2$ ， $F=2.4\times 10^4\text{N}$ ，若要求 $v=0.05\text{m/s}$ ，选定液压泵的额定流量 $q_{v\text{额}}=1.05\times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$ ，额定压力 $p_{\text{额}}=6.3\times 10^6\text{Pa}$ ，液压泵的总效率 $\eta_{\text{总}}=0.8$ ，系统损失 $K_{\text{压}}=1.4$ ， $K_{\text{漏}}=1.2$ ，试确定：
(1) 此液压泵是否适用？
(2) 驱动液压泵的电动机功率需多大？

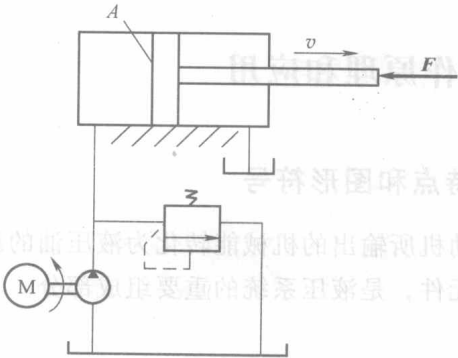


图 1-10 练习 4 图

第2章 液 压 泵

【学习目标】

1. 熟悉液压泵的结构、工作原理和图形符号。
2. 会根据系统工作需要选择液压泵。
3. 能对常见液压泵进行拆装、维护和常见故障的排除。

2.1 液压泵概述

液压系统中为系统提供压力油的部件称为液压系统的能源部件或动力部件。液压系统一般由电动机、液压泵、油箱、溢流阀等组成的泵站作为其动力装置。

液压系统泵站（图 2-1）按液压油的冷却方式可分为自然冷却式和强迫冷却式。自然冷却式靠油箱本身与空气热交换冷却；强迫冷却式采用冷却器进行强制冷却。

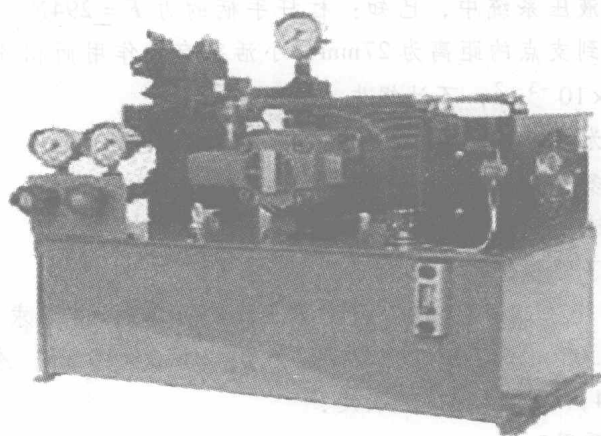


图 2-1 液压系统泵站外形图

2.2 常见液压泵的工作原理和应用

2.2.1 液压泵的分类、特点和图形符号

液压泵是将电动机或原动机所输出的机械能转化为液压油的压力能的能量转换装置。在液压系统中，液压泵是动力元件，是液压系统的重要组成部分。

1. 液压泵的分类

液压泵的种类很多，在液压传动中常用的液压泵按其结构不同可分为齿轮泵、叶片泵、柱塞泵、螺杆泵等；按其输油方向能否改变可分为单向泵和双向泵；按其输出的流量能否调