



高职高专**机械设计与制造**专业规划教材

液压与气压传动 (第二版)

赵学清 田 力 主 编
李秀兰 陈 娜 副主编



赠送
电子课件

本书特色

- 常用图形符号采用最新的GB/T 786.1—2009标准
- 强调液压与气压传动基本回路的特点和应用
- 典型液压与气压传动系统与现代加工技术紧密结合
- 以工程实用为目的, 利于高职高专学生学习和掌握

清华大学出版社

高职高专机械设计与制造专业规划教材

液压与气压传动 (第二版)

赵学清 田 力 主 编
李秀兰 陈 娜 副主编



清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书介绍了液压和气压传动的原理及应用。全书共分为 9 章, 主要内容包括液压传动基础、液压泵和液压马达、液压缸、液压辅助元件、液压控制阀与液压基本回路、典型液压传动系统、液压伺服系统、气压传动基础、气动回路等, 各章均附有学习指导和思考题与练习题。本书是在深入调查研究的基础上编写而成的, 反映了近几年来课程改革的经验, 适应经济发展、科技进步和生产实际对教学内容提出的新要求, 突出了职业教育特色, 紧密联系生产实际, 具有广泛的实用性。

本书可作为高等职业技术学院、职工大学等相关专业的教材, 也可供有关工程技术人员阅读参考, 或作为工厂液压与气动技术工人的自学教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/赵学清, 田力主编. —2 版. —北京: 清华大学出版社, 2014

(高职高专机械设计与制造专业规划教材)

ISBN 978-7-302-35297-6

I. ①液… II. ①赵… ②田… III. ①液压传动—高等职业教育—教材 ②气压传动—高等职业教育—教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 018840 号

责任编辑: 李玉萍

封面设计: 杨玉兰

责任校对: 周剑云

责任印制: 刘海龙

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 刷 者: 三河市君旺印装厂

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 14.5 字 数: 346 千字

版 次: 2008 年 1 月第 1 版 2014 年 3 月第 2 版 印 次: 2014 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 30.00 元

产品编号: 054880-01

前 言

本书旨在突破传统的、繁杂的教学内容体系,根据科学事业的迅速发展对人才素质的需要,思考该课程的整体改革,因而保留了工程实践中高素质劳动者和高级专门人才所必须具备的液压与气压传动的基本知识和基本技能,体现了以创新意识和实践能力为重点的教育教学思想,渗透了当代科学思维。

本书是在较深入的调查研究基础上编写而成,反映了近几年来课程改革的经验,适应经济发展、科技进步和生产实际对教学内容提出的新要求,突出了职业教育特色,紧密联系生产实际,具有广泛的实用性。在课时、教学内容和学习要求等方面安排适当,每章均附有学习指导,包括重点内容、难点内容和学习方法,并编写了紧密联系实际、形式多样的习题和思考题,以方便教师教学和相关人员的自学。

全书共分为 9 章,分别介绍了液压传动基础、液压泵和液压马达、液压缸、液压辅助元件、液压控制阀与液压基本回路、典型液压传动系统、液压伺服系统、气压传动基础、气动回路等内容。

本书在《液压与气动》第一版的基础上,增加了液压伺服系统的内容;使典型液压与气压传动系统的选取与现代加工技术的联系更为密切;液压与气压传动常用图形符号采用了最新的 GB/T 786.1—2009 标准;删减了部分烦琐的理论推导,以工程中实用够用为目的,更利于高职高专学生的学习和掌握。

本书的绪论、第 7 章由赵学清老师编写,第 1 章、第 2 章、第 4 章由陈娜老师编写,第 3 章、第 5 章由李秀兰老师编写,第 6 章由长沙汽电汽车零部件有限公司高级工程师田力编写,第 8 章由陈胜迁老师编写,第 9 章由欧阳海菲老师编写。赵学清老师和田力高级工程师任主编,并负责全书的统稿和定稿工作。

本书由张家界航空工业职业技术学院刘坚副教授主审。参加审稿会者除编审人员外,还有侯德政、陈益林、胡细东、夏罗生、凡进军、陈立、孙甲尧等老师,他们在审稿会前和会中对书稿提出了许多宝贵的意见,在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,经验不足,时间仓促,书中的缺点和错误在所难免,恳请读者给予批评指正。

编 者

目 录

绪论.....	1	1.4.3 管路中总的压力损失.....	28
0.1 液压与气动技术的发展及应用.....	1	1.5 液体流经小孔和间隙的流量.....	28
0.1.1 液压与气动技术的发展概况.....	1	1.5.1 液体流经小孔的流量.....	28
0.1.2 液压与气动技术的应用.....	2	1.5.2 液体流经间隙的流量.....	30
0.2 液压与气动系统的工作原理及组成.....	2	思考与练习题.....	32
0.2.1 液压传动系统的工作原理.....	2	第2章 液压泵和液压马达.....	36
0.2.2 气压传动系统的工作原理.....	3	2.1 概述.....	36
0.2.3 液压传动系统与气压传动 系统的组成.....	4	2.1.1 液压泵的工作原理和分类.....	36
0.2.4 液压与气压传动系统的图形 符号.....	5	2.1.2 液压泵(液压马达)的基本 性能参数.....	37
0.3 液压与气压传动系统的优缺点.....	6	2.1.3 液压泵特性曲线.....	40
0.3.1 液压传动系统的优缺点.....	6	2.2 齿轮泵.....	40
0.3.2 气压传动系统的优缺点.....	7	2.2.1 外啮合齿轮泵的工作原理.....	40
思考与练习题.....	8	2.2.2 外啮合齿轮泵的排量和流量... ..	41
第1章 液压传动基础.....	9	2.2.3 外啮合低压齿轮泵的 结构要点.....	42
1.1 液压油.....	9	2.2.4 外啮合齿轮泵的特点.....	44
1.1.1 液压油的分类.....	9	2.2.5 内啮合齿轮泵.....	45
1.1.2 液压油的主要性质.....	10	2.3 叶片泵.....	45
1.2 液体静力学基础.....	15	2.3.1 定量叶片泵.....	45
1.2.1 液体的静压力及其特性.....	16	2.3.2 双联叶片泵.....	48
1.2.2 压力的表示方法.....	16	2.3.3 高压叶片泵.....	49
1.2.3 液体静力学基本方程.....	17	2.3.4 变量叶片泵.....	50
1.2.4 压力的传递.....	18	2.3.5 叶片泵的特点.....	54
1.2.5 液体作用在固体壁面上的力... ..	19	2.4 柱塞泵.....	54
1.3 液体动力学基础.....	21	2.4.1 径向柱塞泵.....	54
1.3.1 基本概念.....	21	2.4.2 轴向柱塞泵.....	55
1.3.2 连续性方程.....	23	2.5 螺杆泵.....	57
1.3.3 伯努利方程.....	24	2.6 液压泵的选用.....	58
1.3.4 动量方程.....	26	2.7 液压马达.....	59
1.4 管路内的压力损失.....	27	2.7.1 叶片式液压马达.....	59
1.4.1 沿程压力损失.....	27	2.7.2 轴向柱塞式液压马达.....	60
1.4.2 局部压力损失.....	27	思考与练习题.....	60



第3章 液压缸	62	5.2.3 顺序阀及其基本回路	106
3.1 液压缸的类型及其特点	62	5.2.4 压力继电器与顺序动作回路	109
3.1.1 活塞式液压缸	62	5.3 流量控制阀和调速回路	111
3.1.2 柱塞式液压缸	66	5.3.1 节流口的流量特性	111
3.1.3 摆动式液压缸	67	5.3.2 节流口的形式	111
3.1.4 其他液压缸	68	5.3.3 流量控制阀	112
3.2 液压缸的结构	69	5.3.4 调速回路	114
3.2.1 缸筒与端盖的连接	69	5.4 其他控制回路	125
3.2.2 活塞与活塞杆的连接	70	5.4.1 卸荷回路	125
3.2.3 密封装置	70	5.4.2 卸压回路	127
3.2.4 缓冲装置	73	5.4.3 快速运动回路与速度切换回路	128
3.2.5 排气装置	74	5.4.4 多缸动作回路	131
思考与练习题	75	5.5 新型液压控制阀及其应用	135
第4章 液压辅助元件	77	5.5.1 插装式锥阀	135
4.1 油箱	77	5.5.2 电液比例控制阀	138
4.1.1 油箱的功用与结构	77	5.5.3 电液数字控制阀	140
4.1.2 油箱的设计要点	78	5.5.4 叠加式液压阀	141
4.2 油管及管接头	78	思考与练习题	144
4.2.1 油管	78	第6章 典型液压传动系统	147
4.2.2 管接头	79	6.1 YT4543 型动力滑台液压系统	147
4.3 过滤器	80	6.1.1 概述	147
4.3.1 过滤器的功用及基本要求	80	6.1.2 YT4543 型动力滑台液压系统的工作原理	148
4.3.2 过滤器的类型及安装	80	6.1.3 YT4543 型动力滑台液压系统的特点	150
4.4 蓄能器	83	6.2 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统	150
4.4.1 蓄能器的类型	84	6.2.1 概述	150
4.4.2 蓄能器的安装	84	6.2.2 液压系统的工作原理	151
4.5 压力计与压力计开关	85	6.2.3 液压系统的特点	153
4.5.1 压力计	85	6.3 数控机床液压系统	153
4.5.2 压力计开关	85	6.3.1 概述	153
思考与练习题	86	6.3.2 液压系统的工作原理	155
第5章 液压控制阀与液压基本回路	87	6.3.3 液压系统的特点	155
5.1 方向控制阀与方向控制回路	88	6.4 M1432B 型万能外圆磨床液压系统	156
5.1.1 单向阀与锁紧回路	88	6.4.1 概述	156
5.1.2 换向阀与换向回路	90		
5.2 压力控制阀与压力控制回路	97		
5.2.1 溢流阀与调压回路	97		
5.2.2 减压阀与减压回路	104		

6.4.2 M1432B 型万能外圆磨床液压系统的工作原理.....	157	8.1.3 其他辅助元件	182
6.4.3 液压系统的特点.....	162	8.2 气动执行元件	185
6.5 SZ-250 / 160 塑料注射成型机液压系统.....	163	8.2.1 气缸	185
6.5.1 概述.....	163	8.2.2 气动马达	188
6.5.2 SZ-250/160 型塑料注射成型机液压系统的工作原理.....	163	8.3 气动控制元件	189
6.5.3 液压系统的特点.....	167	8.3.1 压力控制阀	189
思考与练习题.....	168	8.3.2 流量控制阀	191
第 7 章 液压伺服系统介绍.....	170	8.3.3 方向控制阀.....	192
7.1 液压伺服系统的工作原理及特点.....	170	8.3.4 气动逻辑元件	195
7.1.1 液压伺服系统的工作原理.....	170	思考与练习题	198
7.1.2 液压伺服系统的特点.....	171	第 9 章 气动回路.....	200
7.1.3 液压伺服系统的组成和分类.....	171	9.1 气动基本回路	200
7.2 液压伺服系统实例.....	172	9.1.1 压力控制回路	200
7.2.1 电液伺服阀及其应用.....	172	9.1.2 换向回路	201
7.2.2 汽车转向液压助力器.....	174	9.1.3 速度控制回路	203
7.2.3 数控机床液压伺服系统.....	174	9.1.4 延时回路	205
思考与练习题.....	176	9.1.5 往复动作回路	206
第 8 章 气压传动基础.....	177	9.1.6 安全保护回路	207
8.1 气源装置及其辅助元件.....	177	9.2 气压传动系统实例	209
8.1.1 气源装置.....	177	9.2.1 气动钻床气压传动系统.....	209
8.1.2 气源净化装置.....	179	9.2.2 工件夹紧气压传动系统.....	210
		9.2.3 加工中心气动换刀系统.....	211
		思考与练习题	212
		附录 液压与气压传动常用图形符号.....	214
		参考文献	222

绪 论

学习指导

本章重点：液压与气压传动的概念、工作原理及组成。

本章难点：气动剪切机和简单机床液压传动系统工作原理分析；液压与气动元件的图形符号。

学习方法：通过实例分析建立起液压与气压传动的初步概念，其工作原理和元件的图形符号还需在后续学习中进一步理解。

0.1 液压与气动技术的发展及应用

液压传动与气压传动统称为流体传动，是根据 17 世纪帕斯卡提出的液体静压传动原理而发展起来的一门新兴技术，是工农业生产中广为应用的一门技术。如今，流体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。

0.1.1 液压与气动技术的发展概况

1795 年英国的约瑟夫·布拉曼在伦敦用水作为工作介质，以水压机的形式应用在工业上，诞生了世界上第一台水压机，1905 年将工作介质水改为油。

第一次世界大战后，液压传动得到了广泛应用，但由于受到工艺制造技术的制约，液压元件大约在 19 世纪末 20 世纪初的 20 年间，才开始进入正规的工业生产阶段。第二次世界大战期间，由于军事工业需要反应快、精度高、功率大的液压传动装置，从而推动了液压技术的发展。“二战”后液压技术迅速转向民用工业，在机床工业、工程机械、农业机械、汽车、航空、船舶等行业中逐步得到推广应用。20 世纪 60 年代以后，随着原子能、空间技术、计算机技术的发展，液压技术的发展更快，并渗透到了各个工业领域之中。当前，液压技术正向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、复合化、小型化、轻量化以及高度集成化等方向发展，同时，新型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)、机电液一体化技术、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术及污染控制等方面，也是液压技术研究和发展的方向。

液压传动技术在我国的应用始于 20 世纪 50 年代，最初将液压元件应用于金属切削机床和锻压设备，后来逐步用于拖拉机和工程机械。20 世纪 60 年代中期，开始从国外引进液压元件的生产技术，并着手建立液压元件厂。从 20 世纪 80 年代起，液压行业瞄准世界发展主流的元件系列型谱，有计划地引进、消化和吸收，调整产品结构，大力开展产品国产化工作。特别是近几年，我国的液压传动行业快速组建了一些液压技术机构，加上生产厂家和高等院校，已成为一个初具规模并有一定研发能力的新兴行业。无论是产品的质量，还是产品的创新，都有了长足的进步，发展成为包括传动、控制与检测在内的自动化技术，并广泛用于机械、电子、轻工、纺织、食品、医药、包装、航空、交通运输等各个



部门。随着机械手、组合机床、数控机床、加工中心、自动生产线、自动检测装置等的大量使用,在提高生产效率、自动化程度、产品质量、工作可靠性和复杂工艺、机床配置等方面,越来越显示出液压传动技术的优越性。

从 18 世纪的产业革命开始,气压传动逐渐被应用于各类行业中,1855 年空气压缩机在英国诞生,1871 年在采矿业中开始使用风镐,1880 年美国成功研制了火车的气压制动系统,显示了气压传动简单、快速、安全和可靠的优点,开创了气动技术早期的应用局面。而气压传动应用于一般工业中的自动化、省力化则是近些年的事情。目前世界各国都把气压传动作为一种低成本的工业自动化手段。自 20 世纪 60 年代以来,气压传动发展十分迅速,目前气压传动元件的发展速度已超过了液压元件,气压传动已成为一个独立的专门技术领域。

0.1.2 液压与气动技术的应用

液压传动有许多突出的优点,因此其应用非常广泛,如一般工业用的塑料加工机械、压力机械、机床等;行走机械中的工程机械、建筑机械、农业机械、汽车等;钢铁工业用的冶金机械、提升装置、轧辊调整装置等;土木水利工程用的防洪闸门及堤坝装置、河床升降装置、桥梁操纵机构等;发电厂涡轮机调速装置、核发电厂等;船舶用的甲板起重机械(绞车)、船尾推进器等;特殊技术用的巨型天线控制装置、测量浮标、升降旋转舞台等;军事工业用的火炮操纵装置、船舶减摇装置、飞行器仿真、飞机起落架的收放装置和方向舵控制装置等。

气压传动技术应用也相当普遍,许多机器设备中装有气压传动系统,在工业各领域,如机械、电子、钢铁、运输车辆及制造、橡胶、纺织、化工、食品、包装、印刷和烟草领域等,气压传动技术已成为基本组成部分。在尖端技术领域如核工业和宇航中,气压传动技术也占据着重要的地位。

目前,液压与气压传动在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化、小型化与轻量化、一体化和执行件柔性化等方面取得了很大的进展。同时,由于它们与微电子技术密切配合,能在尽可能小的空间内传递尽可能大的功率并加以准确的控制,从而更使得它们在各行各业中都可以发挥出巨大作用。

0.2 液压与气动系统的工作原理及组成

液压传动是一种以液体为传动介质,利用液体的压力能实现运动和力的传递的一种传动方式。气压传动简称气动,是指以压缩空气为工作介质,利用气体的压力能传递动力和控制信号,控制和驱动各种机械和设备,以实现生产过程机械化、自动化的一门技术。这两种传动都是流体传动及控制学科的重要分支,两者既有相同的地方,又有各自的特点。

0.2.1 液压传动系统的工作原理

图 0-1 所示为液压千斤顶的工作原理图,以此为例来分析液压传动系统的工作原理。图中的杠杆 1、泵体 2、活塞 3、单向阀 4 和 7 组成了手动液压泵,活塞 8、缸体 9 等组成

了举升液压缸。工作时,提升杠杆 1,活塞 3 上移,泵体 2 下腔的密封容积增大,腔内压力下降,形成局部真空。此时单向阀 7 关闭,油箱 12 中的油液在外界大气压力的作用下流过吸油管 5,经单向阀 4 进入并充满泵体 2 的下腔,完成一次吸油动作。压下杠杆 1,活塞 3 下移,泵体 2 下腔的密封容积减小,腔内油液压力升高,关闭单向阀 4,打开单向阀 7,泵 2 下腔的油液进入缸体 9 的下腔(此时截止阀 11 关闭),推动活塞 8 上移,将重物顶起,这是一次压油动作。反复提、压杠杆 1,活塞 8 作间断上升运动,将重物不断提升,达到起重的目的。工作完毕时,打开截止阀 11,缸体 9 下腔油液经管路 10 流回油箱 12,活塞 8 在自重和外力(重物)作用下实现回程。

从以上分析中不难看到,液压传动是利用液体的压力来传递能量的。首先通过手动液压泵将杠杆输入的机械能转换成液体的压力能,经管道输送至举升液压缸,再由举升液压缸将液体的压力能转换成机械能以提升重物,因此液压传动装置本质上是一种能量的转换装置。同时还应注意到,液压传动的过程必须要在密闭的容器内进行,否则不能形成必要的压力。

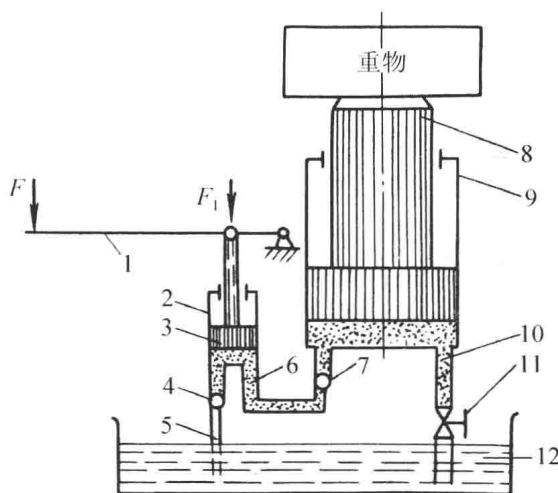


图 0-1 液压千斤顶工作原理图

1—杠杆; 2—泵体; 3、8—活塞; 4、7—单向阀; 5—吸油管;
6、10—管路; 9—缸体; 11—截止阀; 12—油箱

0.2.2 气压传动系统的工作原理

气压传动系统与液压传动系统的工作原理相似,都是先将机械能转换成压力能,再将压力能转换成机构能。

图 0-2 所示为气动剪切机的工作原理图,图示为剪切前的位置情况。空气压缩机 1 产生的压缩空气经后冷却器 2、油水分离器 3、储气罐 4、分水滤气器 5、减压阀 6、油雾器 7 到达换向阀 9。其中一部分控制气体经节流通路 a 通入换向阀 9 的下端 a 腔, a 腔产生的推力压缩阀芯上腔弹簧,使换向阀阀芯位于上端;大部分压缩空气经换向阀 9、通道 b 进入气缸 10 的上腔,气缸下腔经通道 c 、换向阀 9 与大气相通,使气缸活塞处于最下端退刀位置。当上料装置将工料 11 送入并到达预定位置时,工料 11 压下行程阀 8,此时换向阀

9 下腔的气体经通道 d 、行程阀 8 与大气相通,在上腔弹簧力的作用下,换向阀 9 的阀芯复位至最下端,实现气路的切换。压缩空气经换向阀 9、通道 c 进入气缸下腔,上腔气体经通道 b 、换向阀 9 与大气相通,气缸活塞向上运动,带动剪刀上行而剪断工料。工料被剪断后即与行程阀脱开,行程阀在弹簧力作用下复位,换向阀 9 使气路切换,气缸活塞向下运动,恢复至剪切前的位置。

由以上分析可以看到,空气压缩机 1 提供了具有压力能的压缩空气,压缩空气的压力能又转变成了剪刀剪断工料的机械能。气路中的换向阀 9、行程阀 8 能改变气体的流向,从而控制气缸的运动方向。减压阀 6 调节了压力的大小,也就是剪切力的大小。

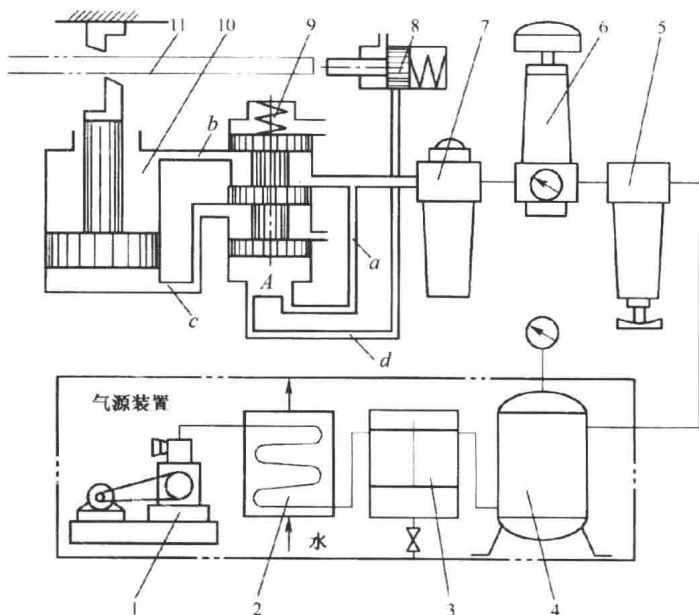


图 0-2 气动剪切机工作原理图

- 1—空气压缩机; 2—后冷却器; 3—油水分离器; 4—储气罐; 5—分水滤气器;
6—减压阀; 7—油雾器; 8—行程阀; 9—换向阀; 10—气缸; 11—工料

0.2.3 液压传动系统与气压传动系统的组成

图 0-3 所示为一简单机床的液压传动系统图。图中的液压泵 3 由电动机带动旋转,从油箱中吸入经过滤器 2 过滤的低压油,再从其出口将高压油经节流阀 6 送至换向阀 7。图 0-3(a)所示位置换向阀 7 两侧的电磁铁都不通电,阀芯处于中位,此时,换向阀 7 的压力油口 P 、回油口 T 、工作油口 A 和 B 互不相通,液压缸 8 的左右两腔都没有压力油进入,工作台停止运动。当换向阀 7 左侧电磁铁通电时(如图 0-3(b)所示),电磁力将阀芯推向右端,使油口 P 与 A 相通, B 与 T 相通,压力油经油口 P 、 A 进入液压缸 8 的左腔,由于缸体固定不动,活塞 9 带动工作台向右运动;液压缸 8 右腔的油液经油口 B 、 T 流回油箱。当换向阀 7 右侧电磁铁通电时(如图 0-3(c)所示),电磁力将阀芯推向左端,使油口 P 与 B 相通, A 与 T 相通,压力油经油口 P 、 B 进入液压缸 8 的右腔,推动活塞 9 带动工作台向左运动;液压缸 8 左腔的油液经油口 A 、 T 流回油箱。可见,换向阀 7 的作用是改变

油液的流动方向，从而控制了工作台的运动方向。

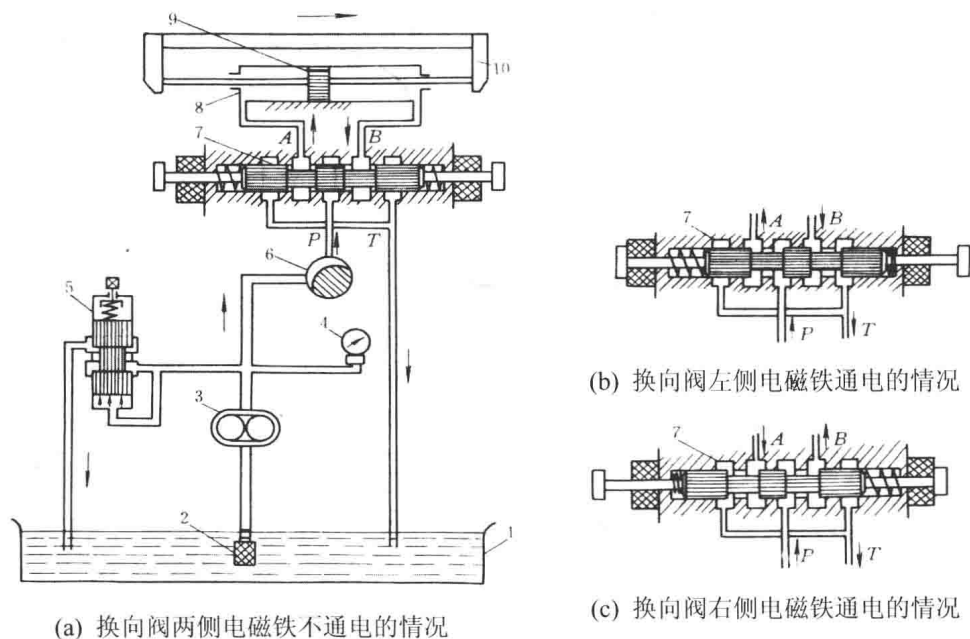


图 0-3 简单机床液压传动系统图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—压力计；5—溢流阀；
6—节流阀；7—换向阀；8—液压缸；9—活塞；10—工作台

由以上例子可以看出，液压传动系统与气压传动系统由以下几个部分组成。

(1) 动力元件：指液压泵或空气压缩机，是系统的能量输入装置，其作用是将原动机提供的机械能转变为液体或气体的压力能，为液压系统提供压力油，为气压传动系统提供压缩空气。

(2) 执行元件：指液压缸或汽缸、液压马达或气动马达，是系统的能量输出装置，其作用是将液体或气体的压力能转变为驱动运动部件的机械能。

(3) 控制元件：指各类控制阀，如方向阀、流量阀、压力阀等，其作用是控制液流或气流的方向、流量和压力，以满足不同的工作要求。

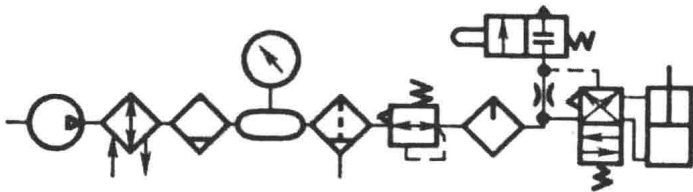
(4) 辅助元件：指除了上述三种元件之外的各种管接头、油管、油箱、过滤器、蓄能器、储气罐、压力计等辅助性元件，是保证系统正常工作所必不可少的重要组成部分。

(5) 工作介质：指液压油或压缩空气，是传递能量的介质，直接影响着系统的性能和工作可靠性。

0.2.4 液压与气压传动系统的图形符号

液压传动系统图有半结构式原理图和图形符号图两种，图 0-3 所示的简单机床液压传动系统图便是一种半结构式的工作原理图。这种原理图直观性强，比较容易理解，但绘制较困难，系统中元件数量较多时显得更不方便。图 0-4 所示为用图形符号绘制的传动系统图，这些符号只表示元件的职能、控制方式及外部连接口，不表示元件具体的结构、参

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—压力计；5—溢流阀；
6—节流阀；7—换向阀；8—液压缸；9—活塞；10—工作台



0.3 液压与气压传动系统的优缺点

0.3.1 液压传动系统的优缺点

液压传动与其他传动相比较, 主要优点如下。

(1) 在输出同等功率的条件下, 液压传动具有体积小、重量轻、惯性小、结构紧凑等优点。如轴向柱塞泵和同功率直流发电机相比, 重量是后者的 10%~20%, 外形尺寸是后者的 12%~13%。

(2) 液压传动工作比较平稳、反应快、冲击小, 能快速启动和频繁换向。

(3) 液压传动能方便地实现无级变速, 且调速范围大。

(4) 液压传动装置操纵简单, 特别是当机-电-液进行联合控制时, 能实现复杂的自动工作循环。

(5) 液压系统借助安全阀等易于实现过载保护, 且工作油液能使相对运动表面自行润滑, 故元件的使用寿命长。

(6) 液压元件易于实现系列化、标准化, 便于设计、制造和使用。

2. 液压传动系统的缺点

液压传动的主要缺点如下。

(1) 液压传动采用油液作为工作介质, 在相对运动表面间不可避免地存在泄漏, 同时液体也不是绝对不可压缩的, 因此不宜用在传动比要求严格的场合, 如用在加工螺纹和齿轮的内联系传动链中。

(2) 由于摩擦和泄漏损失等的影响, 液压系统在工作过程中能量传递效率不高, 不宜用于远距离传动。

(3) 油液黏度随温度的变化会影响运动的稳定性, 因此, 在低温和高温条件下, 采用液压传动有一定的困难。

(4) 为减少泄漏, 液压元件的制造精度要求较高, 因而制造成本较高, 对油液的污染也比较敏感。

(5) 液压系统发生故障不易诊断。

(6) 高压、高速、高效率、大流量下的液压系统噪声大。

总之, 液压传动的优点是十分突出的, 其缺点也将随着科学技术的发展而逐步得到克服。因此, 液压传动在现代化生产中有着更加广阔的发展前景。

0.3.2 气压传动系统的优缺点

1. 气压传动系统的优点

气压传动与液压传动相比有如下优点。

(1) 工作介质是空气, 从大气中获取, 所以取之不尽, 成本较低。用过的气体直接排入大气, 处理方便, 也不会污染环境。

(2) 空气的黏性很小, 在管路中流动产生的能量损失也很小, 适宜远距离的传输及控制。

(3) 气压传动系统的工作压力低, 对元件材料和制造精度的要求较低, 很适合用于一般设备的控制。

(4) 无油的气动控制系统维护简单, 使用安全, 特别适用于无线电元器件、食品、医药等生产过程的控制。



(5) 能够在恶劣的环境如强振动、强冲击、强腐蚀、强辐射等情况下进行正常工作。

2. 气压传动系统的缺点

气压传动也存在一定的缺点,如空气容易泄漏和可压缩性较大会使传动比不准确;能量传递中的压力损失和泄漏使传动效率比较低;不能在高温下工作;元件制造精度高及系统工作过程中发生故障不易诊断等。

气压传动与液压传动相比有以下缺点。

(1) 空气的压缩性远大于液压油,因此不易实现准确的速度控制和很高的定位精度,负载变化对系统稳定性的影响较大。

(2) 气压传动系统输出功率小,并且传动效率低,只适合用于压力较低场合。

(3) 因空气无润滑性能,气路中应设置油雾器等给油润滑装置。

(4) 高速排气时噪声大,应加装消声器。

在科技飞速发展的当今世界,气动控制技术以提高系统可靠性、降低总成本为目标,研究和开发系统控制技术和机、电、液、气综合技术,气动元件也在朝节能化、小型化、轻量化、位置控制高精度化等方向发展。

思考与练习题

0-1 什么是液压传动和气压传动?各由哪几部分组成?说明各组成部分的作用。

0-2 绘制液压系统图时为什么要采用图形符号?试画出液压泵、溢流阀、节流阀、电磁换向阀的图形符号。

0-3 液压传动和其他传动相比有哪些优、缺点?

0-4 气压传动有哪些优、缺点?

第 1 章 液压传动基础

学习指导

- 本章重点：**液压油的黏性、黏度的几种形式、黏度随温度和压力的变化关系；
静压力的性质、静力学基本方程及其物理意义；
动力学中的几个基本概念、连续性方程和伯努利方程的应用；
沿程损失和局部损失的影响因素。
- 本章难点：**用连续性方程和伯努利方程解决实际问题。
- 学习方法：**明确基本概念。静力学方程中注意等压面的选取，动力学方程一般是同时应用。公式强调整理解，不死记硬背。

在液压传动系统中，液压油是传递动力和运动的工作介质，液压系统能否可靠而有效地工作，在很大程度上取决于系统中所用的液压油。因此，了解油液的基本性质和主要力学性能，对于正确理解液压传动原理与合理使用液压系统都是非常必要的。这些内容也是液压系统设计和计算的理论基础。

1.1 液 压 油

1.1.1 液压油的分类

液压传动及液压控制系统所用工作介质的种类很多，主要可分为三大类：石油型、合成型和乳化型，其品种及其主要性质见表 1-1。

表 1-1 液压油的种类及性质

种类 性能	可燃性液压油			抗燃性液压油			
	石油型			合成型		乳化型	
	通用 液压油	抗磨 液压油	低温 液压油	磷酸酯液	水-乙二 醇液	油包水液	水包油液
密度(kg/m ³)	850~900			1100~1500	1040~1100	920~940	1000
黏度	小~大	小~大	小~大	小~大	小~大	小	小
黏度指数 VI≥	90	95	130	130~180	140~170	130~150	极高
润滑性	优	优	优	优	良	良	可
防腐蚀性	优	优	优	良	良	良	可
闪点(℃)≥	170~200	170	150~170	难燃	难燃	难燃	不燃
凝点(℃)≤	-10	-25	-35~-45	-20~-50	-50	-25	-5



石油型液压油以机械油为基料,精炼后按需要加入适当的添加剂而成。目前 90% 以上的液压设备采用石油型液压油。这种油液的润滑性好,但抗燃性差。

合成型和乳化型液压油主要使用在一些高温、易燃、易爆的液压系统工作场合,如磷酸酯、水-乙二醇等合成液或油包水、水包油等乳化液。

磷酸酯液自燃点高,氧化稳定性好,润滑性好,使用温度范围宽,对大多数金属不会产生腐蚀作用,但能溶解许多非金属材料,因此必须选择合适的橡胶密封圈材料。另外,这种液体有毒。水-乙二醇液适用于要求防火的液压系统。如液体长期在高于 65℃ 的温度下工作,水分的蒸发使它的黏度上升,因此必须经常检验。水-乙二醇液低温时黏度小,润滑性能比石油型液压油差,对大多数金属及液压系统中使用的大多数橡胶密封圈材料均能相容,但会使许多油漆脱落。

乳化型液压油分两大类:一类是少量油(约占 5%~10%)分散在大量的水中,称为水包油乳化液,也称高水基液(O/W);另一类是水分散在大量的油中(油约占 60%),称为油包水乳化液(W/O)。后者的润滑性比前者好。

目前我国在液压系统中仍大量采用机械油和汽轮机油。机械油是一种工业用润滑油,价格虽较低,但其物理化学性能较差,使用时易生成黏稠胶质而堵塞元件,影响系统的性能,且压力越高,问题越严重。因此只在压力较低和要求不高的场合中使用。汽轮机油和机械油相比,氧化安定性好,使用寿命长,与水混合后能迅速分离,纯净度高。

为了改善液压油的性能,往往在油液中加入各种各样的添加剂。添加剂有两类:一类是改善油液化学性能的,如抗氧化剂、防腐剂、防锈剂等;另一类是改善油液物理性能的,如增黏剂、抗泡剂、抗磨剂等。

1.1.2 液压油的主要性质

1. 油液的黏性

1) 黏性的概念

液体在外力作用下流动(或有流动趋势)时,由于分子间内聚力的存在,而使其流动受到牵制,从而液体内部产生摩擦力或切应力,这种性质称为液体的黏性。黏性是液体的重要物理性质之一,液体只有在流动时才会呈现黏性。液体的黏性所起的作用是阻滞、延缓液体内部液层的相互滑动过程,即反映了液体抵抗剪切流动的能力。

如图 1-1 所示,设距离为 h 的两平行平板间充满液体,下平板固定,而上平板在外力 F 的作用下,以速度 u_0 向右平移。由于液体和固体壁面间的附着力,黏附于下平板的液层速度为零,黏附于上平板的液层速度为 u_0 ,而由于液体的黏性,中间各层液体的速度则随着液层间距离 dy 的变化而变化。当上下板之间距离 h 较小时,液体的速度从上到下近似呈线性递减规律分布。其中速度快的液层带动速度慢的,而速度慢的液层对速度快的起阻滞作用。不同速度的液层之间的相对滑动必然在层与层之间产生内部摩擦力。这种摩擦力作为液体内力,总是成对出现,且大小相等、方向相反地作用在相邻两液层上。

实验测定指出,液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层间相对运动的速度梯度 du/dy 成正比,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-1)$$