

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

液压气动技术与实训

主 编 蒋建强 张红兵

副主编 张德荣 王 鹏

教育部推荐教材

液压气动技术与实训

北京师范大学出版社

前 言

《液压气动技术与实训》强调针对性与实用性，并注意引入新的技术内容，是一本介绍液压与气动技术理论与实训的一体化教材。本书的内容使其更加有利于教学实际并满足高等职业院校人才培养的需要。本书在编写过程中，以必需够用为原则，力求少而精，坚持结构模块化，板面图表化，突出应用能力培养。以使读者学完本书后，能真正掌握液压气动技术的主要内容和设计方法，具备一定的工程应用能力和开发创造能力。

本书根据高职高专类专业课时相对较少的特点，在内容上以液压为主、气动为辅，将液压与气动融为一体，全书共 11 个项目，主要讲述了液压与气压传动技术认识、液压传动基础知、选择液压动力元件、液压执行元件、使用液压与气压传动控制调节元件、认识液压辅助元件、使用液压系统基本回路、综合分析液压系统、了解气压传动、认识气动执行元件、气动基本回路综合分析、本书充分考虑到新技术、新成果的应用，并力求语言简练、实用、通俗易懂，方便自学。通过项目实训提高学生应用能力的内容是本书的一大特点。本书可作为高等职业技术学院、高等工程专科学校及各类成人高校机械类及机电类专业教材，也可供从事液压技术工作的工程技术人员参考，各项目末附有实训项目和习题，书末附录部分编入了液压气动技术中常用液压气动图形符号。

全书由蒋建强、张红兵任主编，张德荣、王鹏任副主编，其中项目 2、5、8、10 由蒋建强编写，其中项目 1、3、4 由张红兵编写，项目 6、7 由张德荣编写，项目 9、11 由王鹏编写，本书在编写过程中得到了张义平、何建秋、万昌焯、蔡梦廖、杜玉湘、胡明清、曹承栋、吴子安、魏娜、王利锋、马立、董虎胜、蒋璐、赵艳、赵明大力支持和帮助，在此向他们表示衷心的感谢。

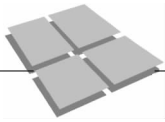
本书在编写过程中，得到了许多专家的指点和帮助，由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2010 年 3 月

目 录

项目 1 液压与气压传动技术认识	(1)	3.6 各类液压泵的性能比较及选用	(64)
任务 1 了解液压与气压传动技术的组成	(1)	任务 2 液压泵的拆装和性能测试	(65)
1.1 液压与气动技术的应用与发展	(1)	项目 4 液压执行元件	(71)
1.2 液压与气压传动的类型与工作原理	(3)	任务 1 选择液压马达	(71)
1.3 液压与气压传动的特点	(7)	4.1 液压马达	(71)
任务 2 机床工作台模拟液压系统认知实训	(8)	4.2 高速小扭矩马达	(73)
项目 2 液压传动基础知识	(11)	4.3 低速大扭矩液压马达	(75)
任务 1 了解液压传动的基础知识	(11)	4.4 气压马达的分类、特点及应用	(76)
2.1 液压油	(11)	任务 2 选择液压缸	(79)
2.2 液体静力学	(18)	4.5 液压缸的分类和特点	(79)
2.3 液体动力学	(23)	4.6 液压缸的设计和计算	(88)
2.4 定常管流压力损失的计算	(30)	任务 3 液压马达拆装与液压缸的结构分析	(93)
2.5 液压冲击	(32)	实训一 液压马达拆装实训	(93)
2.6 气穴现象	(33)	实训二 液压缸的结构分析	(94)
任务 2 流体力学技能实训	(34)	项目 5 使用液压与气压传动控制调节元件	(96)
项目 3 选择液压动力元件	(41)	任务 1 使用液压控制阀	(96)
任务 1 认识液压动力元件	(41)	5.1 液压阀概述	(96)
3.1 容积式液压泵的工作原理	(41)	5.2 方向控制阀	(98)
3.2 液压泵	(45)	5.3 压力控制阀	(108)
3.3 叶片泵	(49)	5.4 流量控制阀	(121)
3.4 柱塞泵	(58)	5.5 液压逻辑元件	(126)
3.5 液压泵的噪声及其控制	(63)	5.6 比例阀、叠加阀和伺服阀	(128)
		任务 2 阀的拆装实训	(133)



任务 3 溢流阀静态性能实验 (135)

项目 6 液压辅助元件 (140)

任务 1 认识液压辅助元件 (140)

6.1 过滤器 (140)

6.2 蓄能器 (143)

6.3 油箱 (146)

6.4 热交换器 (147)

6.5 管件 (148)

5.6 密封装置 (151)

项目 7 使用液压系统基本回路 (155)

任务 1 使用速度控制回路 (155)

7.1 调速回路 (155)

7.2 压力控制回路 (166)

7.3 方向控制回路 (172)

任务 2 液压基本回路实训 (173)

任务 3 液压基本回路设计与安装 (177)

项目 8 综合分析液压系统 (179)

任务 1 组合机床动力滑台液压系统 (179)

任务 2 M1432A 型万能外圆磨床液压系统 (181)

2.1 机床液压系统的功能 (181)

2.2 液压系统的工作原理 (182)

2.3 M1432A 型万能外圆磨床液压系统的特点 (185)

任务 3 数控车床液压系统 (185)

任务 4 汽车起重机液压系统 (187)

任务 5 液压系统综合实训 (191)

实训 1 液压系统常见故障诊断实训 (191)

实训 2 液压钻床液压回路 ... (194)

项目 9 了解气压传动 (196)

任务 1 认识气压传动 (196)

任务 2 气源装置及辅件 (199)

任务 3 气动元件认识和气动回路实训 (206)

项目 10 认识气动执行元件 (209)

任务 1 气动执行元件概述 (209)

任务 2 认识气动控制元件 (212)

任务 3 压印装置控制系统维护实训 (227)

任务 4 送料装置的控制系统设计 (229)

项目 11 气动基本回路综合分析 (231)

任务 1 认识速度控制回路 (231)

11.1 速度控制回路 (231)

11.2 顺序动作回路 (232)

11.3 安全保护回路 (233)

11.4 气液联动速度控制回路 (233)

任务 2 认识换向控制回路 (234)

任务 3 认识压力控制回路 (234)

任务 4 机床夹具气动夹紧系统分析 (236)

任务 5 气动机械手分析系统 (237)

任务 6 气动回路设计与安装 (239)

附录 液压系统图形符号 (241)

附录 1 常用元件的符号 (241)

附录 2 方向阀接口及其位置 (250)

参考文献 (252)

项目 1 液压与气压传动技术认识

任务 1 了解液压与气压传动技术的组成

1.1 液压与气动技术的应用与发展

液压与气压传动技术相对于机械传动来说是一门新兴技术。虽然从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传递原理、18 世纪末英国制造出世界上第一台水压机算起,已有四百年的历史,但液压与气压传动在工业上被广泛采用和有较大幅度的发展却是 20 世纪中期以后的事情。

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,最早实践成功的液压传动装置是舰艇上的炮塔转位器,其后才在机床上应用。第二次世界大战期间,由于军事工业迅速发展和装备迫切需要反应迅速、动作准确、输出功率大的液压传动及控制装置,促使液压技术迅速发展。

1.1.1 液压与气动技术在工业生产中的应用

液压传动因具有结构简单、体积小、重量轻、反应速度快、输出力大、可方便地实现无级调速、易实现频繁换向、易实现自动化等优点,所以在机床、工程机械、矿山机械、压力机械和航空工业等领域应用广泛。

气压传动因具有操作方便、无油、无污染、防火、防电磁干扰、抗振动、抗冲击等优点,所以在电子工业、包装机械、印染机械、食品机械等领域应用广泛。

随着液压机械自动化程度的不断提高,液压元件数量急剧增加,元件小型化、系统集成化是必然的发展趋势。特别是近年来,机电技术的迅速发展,液压技术与传感技术、微电子技术密切结合,出现了许多新型元件,如电液比例阀、数字阀、电液伺服液压缸等,机(液)电一体化元器件,使液压技术正向高压、高速、大功率、节能高效、低噪声、长寿命、高集成化等方面发展。同时,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)、计算机实时控制也是当前液压技术的发展方向。

当今气动技术已发展成包括传动、控制与检测在内的自动化技术。它作为柔性制造系统(FMS)在包装设备、自动生产线和机器人等方面成为不可缺少的重要手段。由于工业自动化技术的发展,气动控制技术以提高系统的可靠性、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。显然,气动元件的微型化、节能化、无油化、位置控制高精度化以及与电子技术相结合的应用元件是当前的发展特点和研究方向。

液压与气压传动在工业生产中的应用见表 1-1。

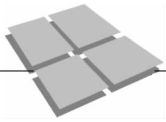


表 1-1 液压与气压传动在工业生产中的应用

行业名称	应用场合举例
机床工业	磨床、铣床、拉床、刨床、压力机、自动车床、组合车床、数控机床、加工中心等
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
起重运输机械	起重机、叉车、装卸机械、皮带运输机、液压千斤顶等
矿山机械	开采机、凿岩机、开掘机、破碎机、提升机、液压支架等
建筑机械	打桩机、平地机等
农业机械	联合收割机的控制系统、拖拉机和农用机的悬挂装置等
冶金机械	电炉控制系统、轧钢机控制系统等
轻工机械	注塑机、打包机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车转向器、减振器等
船舶港口机械	起货机、起锚机、舵机等
铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等

1.1.2 液压与气压传动技术的发展趋势

在工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床行业中，液压技术得到了普遍的应用。随着原子能、空间技术、电子技术等方面的发展，液压技术向更广阔的领域渗透，发展成为包括传动、控制和检测在内的一门完整的自动化技术。现今，采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。如发达国家生产的95%的工程机械、90%的数控加工中心、95%以上的自动线都采用了液压传动。

随着液压机械自动化程度的不断提高，液压元件应用数量急剧增加，元件小型化、系统集成化是必然的发展趋势。特别是近十年来，液压技术与传感技术、微电子技术密切结合，出现了许多诸如电液比例控制阀、数字阀、电液伺服液压缸等机(液)电一体化元器件，使液压技术在高压、高速、大功率、节能高效、低噪声、使用寿命长、高度集成化等方面取得了重大进展。无疑，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)和计算机实时控制也是当前液压技术的发展方向。

人们很早就懂得用空气作为工作介质传递动力做功，如利用自然风力推动风车和带动水车提水灌田，近代用于汽车的自动开关门、火车的自动抱闸、采矿用风钻等。因为空气作为工作介质具有防火、防爆、防电磁干扰，抗振动、防冲击、防辐射等优点，近年来气动技术的应用领域已从汽车、采矿、钢铁、机械工业等重工业迅速扩展到化工、轻工、食品、军事工业等各行各业。和液压技术一样，当今气动技术亦发展成包含传动、控制与检测在内的自动化技术，作为柔性制造系统(FMS)在包装设备、自动生产线和机器人等方面成为不可缺少的重要手段。由于工业自动化以及FMS的发展，要求气动技术以提高系统可靠性、降低总成本与电子工业相适应为目标，进行系统控制技术和机、电、液、气综合技术的研究和开发。显然，气动元件的微型化、节

能化、无油化是当前的发展特点，与电子技术相结合产生的自适应元件，如各类比例阀和电液伺服阀，使气动系统从开关控制进入到反馈控制。计算机的广泛普及与应用为气动技术的发展提供了更加广阔的前景。

1.2 液压与气压传动的类型与工作原理

机器由原动机、传动机构和执行机构三部分组成。原动机有电动机、内燃机、燃气轮机和其他形式(风力、人力)等动力装置，传动机构分为机械传动、电气传动和流体传动三种形式。

机械传动是以机械元件传递能量，如带传动、链传动、齿轮齿条传动。机械传动常见形式有齿轮传动、带传动及链传动等。

电气传动是以电流、电压借助导体传递能量，电气传动有多媒体、电器等形式。

流体传动是以流体为工作介质传递能量，流体传动的分类如图 1-1 所示，流体传动包括液体传动和气体传动两种形式。液体传动包括液力传动和液压传动。液力传动主要是利用非封闭液体的动能或势能传递和控制能量的，而液压传动是利用封闭容器内液体体积的变化来传递和控制能量的。

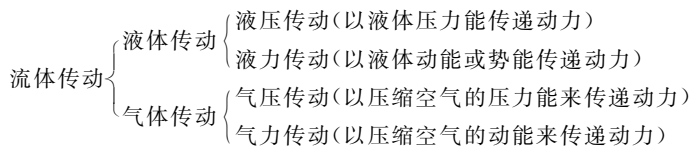


图 1-1 流体传动的分类

1.2.1 液力传动实例

如图 1-2 所示，离心泵就是一种液力传动的设备，叶轮 1 安装在泵壳 2 内，并紧固在泵轴 3 上，泵轴由电机直接带动。泵壳中央有一液体吸入口 4 与吸入管 5 连接。液体经单向底阀 6 和吸入管进入泵内。泵壳上的液体排出口 8 与排出管 9 连接。在离心泵启动前，泵壳内灌满被输送的液体；启动后，叶轮由轴带动高速转动，叶片间的液体也必须随着转动。在离心力的作用下，液体从叶轮中心被抛向外缘并获得能量，以高速离开叶轮外缘进入蜗形泵壳。在蜗壳中，液体由于流道的逐渐扩大而减速，又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。液体由叶轮中心流向外缘时，在叶轮中心形成了一定的真空，由于贮槽液面上方的压力大于泵入口处的压力，液体便被连续压入叶轮中。可见，只要叶轮不断地转动，液体便会不断地被吸入和排出，将机械能转换为液体的动能。

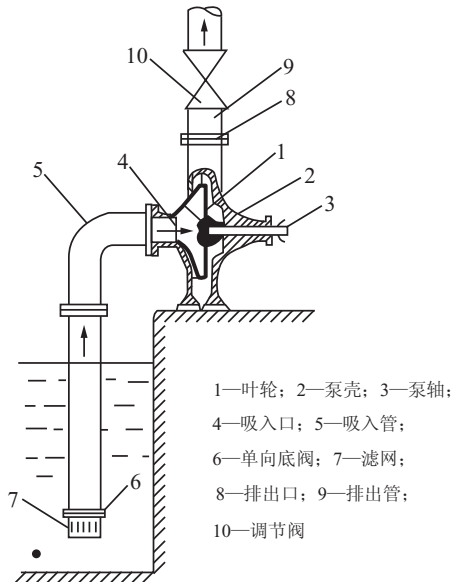
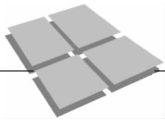


图 1-2 离心泵的工作原理

1.2.2 液压传动实例

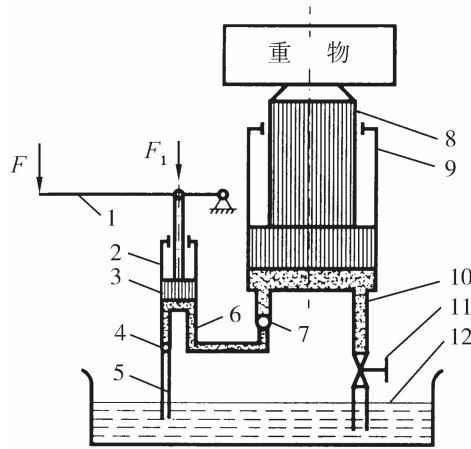
液压传动是利用有压的液体，经由一些机件控制之后来传递运动和动力，是以流体作为



工作介质对能量进行传动和控制的一种传动形式。

1. 液压传动工作原理

液压千斤顶的工作原理如图 1-3 所示，液压传动的基本工作原理是压下杠杆 1 时，小油缸 2 输出压力油，是将机械能转换成油液的压力能，压力油经过管道 6 及单向阀 7，推动大活塞 8 举起重物，是将油液的压力能又转换成机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大油缸 9 中油容积的多少。由此可见，液压传动是一个不同能量的转换过程。



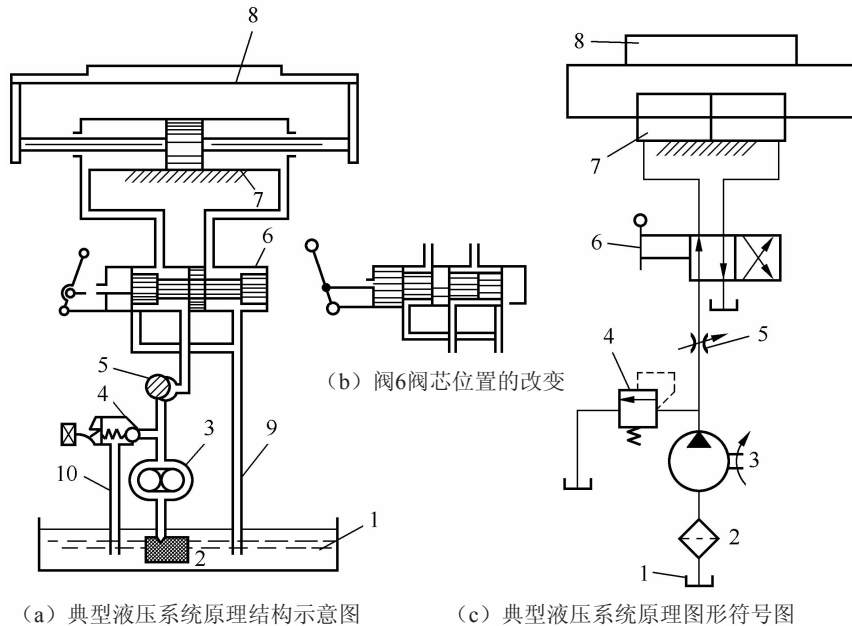
1—杠杆手柄；2—小油缸；3—小活塞；4、7—单向阀；5—吸油管；6、10—管道；8—大活塞；9—大油缸；11—截止阀；12—油箱

图 1-3 液压千斤顶工作原理

2. 液压系统组成

图 1-4 所示的是组合机床工作台液压传动系统，下面来说明其组成。

液压泵 3 由电动机驱动旋转，从油箱 1 中吸油，经过滤器 2 后被液压泵吸入并输出给系统。当换向阀 6 阀芯处于如图 1-4(a)所示位置时，压力油经阀 5、阀 6 和管道进入



(a) 典型液压系统原理结构示意图

(c) 典型液压系统原理图形符号图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—溢流阀；5—流量控制阀；6—换向阀；7—液压缸；8—工作台；9、10—管道

图 1-4 典型液压系统原理图

液压缸 7 的左腔，推动活塞向右运动。液压缸右腔的油液经阀 6、管道 9 流回油箱。改变阀 6 阀芯工作位置，使之处于左端位置时，如图 1-4(b)所示，液压缸活塞反向运动。

工作台的移动速度是通过流量控制阀来调节的。阀口开大时，进入缸的流量较大，工作台的速度较快；反之，工作台的速度较慢。为适应克服大小不同阻力的需要，泵输出油液的压力应当能够调整。工作台低速移动时，流量控制阀开口小，泵输出多余的油液经溢流阀 4 和管道 10 流回油箱，调节溢流阀弹簧的预压力，就能调节泵进出口的油液压力。

从图 1-4(c)分析可知，液压传动系统主要由以下 5 部分组成。

①动力元件。将机械能转换成流体压力能的装置。常见的是液压泵，为系统提供压力油液，如图 1-4(a)中液压泵 3。

②执行元件。将流体的压力能转换成机械能输出的装置。它可以是做直线运动的液压缸，也可以是做回转运动的液压马达、摆动缸，如图 1-4(a)中的液压缸 7。

③控制元件。对系统中流体的压力、流量及流动方向进行控制和调节的装置，以及进行信号转换、逻辑运算和放大等功能的信号控制元件，如图 1-4(a)中的溢流阀 4、流量控制阀 5 和换向阀 6。

④辅助元件。保证系统正常工作所需的上述三种以外的装置，如图 1-4(a)中的过滤器 2、油箱 1 和管道 9、10。

⑤工作介质。用它进行能量和信号的传递。液压系统以液压油液作为工作介质。

3. 液压与气压传动的图形符号

在图 1-4(a)、图 1-4(b)中组成液压传动系统的各个元件是用半结构式图形绘制出来的，而在图 1-4(c)中组成液压系统的元件是用国家标准所规定的图形符号绘制的。用半结构式图形绘制原理图时直观性好，容易理解，但绘制起来比较麻烦，特别是在系统中的元件数量比较多时更是如此。所以，在工程实际中，我国制定了液压与气压传动技术图形符号标准为 GB786.1—93 的国家标准。除某些特殊情况外，一般都是用简单的图形符号来绘制液压与气压传动系统原理图。

(1)标准规定的液压元件图形符号，主要用于绘制以液压油为工作介质的液压系统原理图。

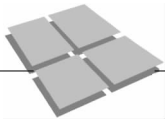
(2)在用图形符号绘制系统原理图时，图中的符号只表示元(辅)件的功能、操作(控制)方法及外部连接口，不表示元(辅)件的具体结构参数也不表示连接口的实际位置和元(辅)件的安装位置。

(3)在用图形符号绘图时，除非特别说明图中所示状态均表示元(辅)件的静止位置或零位置，并且除特别注明的符号或有方向性的元(辅)件符号外，它们在图中可根据具体情况水平或垂直绘制。

(4)元件名称、型号和参数(如压力、流量、功率和管径等)一般应在系统图的元件表中标明，必要时可标注在元件符号旁边。

(5)元件的图形符号在传动系统中的布置，除有方向性的元件符号(油箱和仪表等)外，可根据具体情况水平或垂直绘制。

(6)使用这些图形符号后，可使系统图简单明了，便于绘制。当有些元件无法用图形符号表达或在国家标准中未列入时，可根据标准中规定的符号绘制规则和所给出的



符号进行派生。

(7)当无法用标准直接引用或派生时,或有必要特别说明系统中其一元(辅)件的结构和工作原理时,可采用局部结构简图或采用它们的结构或半结构示意图来表示。

(8)在用图形符号绘图时,符号的大小应以清晰美观为原则,绘制时可根据图纸幅面的大小酌情处理,但应保持图形本身的适当比例。

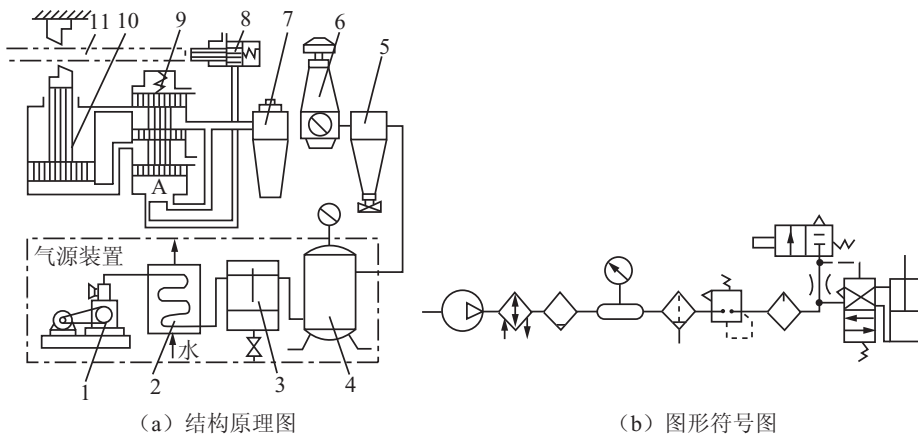
1.2.3 气压传动系统的工作原理及组成

气压传动是以压缩空气作为工作介质进行动力传递。

1. 气压传动系统的工作原理

图 1-5 所示的是气动剪板机的气压传动系统工作原理,图示位置为剪切前的情况,空气压缩机 1 主要压缩空气,当送料机构将工料 11 送入剪切机并达到规定位置,将行程阀 8 的触头压下时,行程阀将换向阀的 A 腔与大气连通。换向阀的阀芯在弹簧力的作用下向下移动,将汽缸上腔与大气连通,下腔与压缩空气连通,此时活塞带动剪刀快速向上运动将工料切下,工料被切下后即与行程阀脱开,行程阀复位,阀芯将排气通道封闭,换向阀 A 腔气压上升,阀芯上移使气路换向。汽缸上腔进入压缩空气,下腔排气,此时,活塞带动剪刀向下运动,系统又恢复图示的预备状态。

总之,气压传动系统的工作原理就是利用空气压缩机将电动机或其他原动机输出的机械能转变为空气的压力能,然后在控制元件的控制和辅助元件的配合下,通过执行元件把空气的压力能转变为机械能,从而完成直线或回转运动并对外做功。



1—空气压缩机; 2—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—气控换向阀; 10—汽缸; 11—工料

图 1-5 气动剪切机的工作原理图

2. 气压传动系统的组成

典型的气压传动系统,一般由以下四部分组成:

气源装置:压缩空气的发生装置以及压缩空气的存储、净化的辅助装置。它为系统提供合乎质量要求的压缩空气。气源装置由以下四部分组成。

- (1)气压发生装置——空气压缩机;
- (2)净化、储存压缩空气的装置和设备;

(3)管道系统；

(4)气动三大件。

执行元件：将气体压力能转换成机械能并完成做功动作的元件，如汽缸、气马达。

控制元件：控制气体压力、流量及运动方向的元件，如各种气动控制阀；能完成一定逻辑功能的元件，即气动逻辑元件；感测、转换、处理气动信号的元器件，如气动传感器及信号处理装置。

气动辅件：气动系统中的辅助元件，如消声器、管道、接头、过滤器、干燥器、空气过滤器、消声器和油雾器等。

气源装置为气动系统提供满足一定质量要求的压缩空气，是气动系统的重要组成部分。气动系统对压缩空气的主要要求：具有一定压力和流量，并具有一定的净化程度。

1.3 液压与气压传动的特点

1.3.1 与机械传动和电力拖动系统相比，液压传动具有以下优点

(1)液压元件的布置不受严格的空位置限制，系统中各部分用管道连接，布局安装有很大的灵活性，能构成用其他方法难以组成的复杂系统。

(2)可以在运行过程中实现大范围的无级调速，调速范围可达 2000 : 1。

(3)液压传动和液气联动传递运动均匀平稳，易于实现快速启动、制动和频繁的换向。

(4)操作控制方便、省力，易于实现自动控制、中远程距离控制以及过载保护。与电气控制、电子控制相结合，易于实现自动工作循环和自动过载保护。

(5)液压元件属机械工业基础件，标准化、系列化和通用化程度较高，有利于缩短机器的设计、制造周期和降低制造成本。

除此之外，液压传动突出的优点还有单位质量输出功率大。因为液压传动的动力元件可采用很高的压力(一般可达 32MPa，个别场合更高)，因此，在同等输出功率下具有体积小、质量小、运动惯性小、动态性能好的特点。

1.3.2 液压传动的缺点

(1)在传动过程中，能量需经两次转换，传动效率偏低。

(2)由于传动介质的可压缩性和泄漏等因素的影响，不能严格保证定比传动。

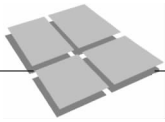
(3)液压传动性能对温度比较敏感，不能在高温下工作，采用石油基液压油作传动介质时还应注意防火问题。

(4)液压元件制造精度高，系统工作过程中发生故障不易诊断。

总的来说，液压传动的优点是主要的，其缺点将随着科学技术的发展会不断得到克服。例如，将液压传动与气压传动、电力传动、机械传动合理地联合使用，构成气液、电液(气)、机液(气)等联合传动，以进一步发挥各自的优点，相互补充，弥补某些不足之处。

1.3.3 气压传动与液压传动相比，气压传动有如下优点

(1)空气随处可取，取之不尽，无介质费用和供应上的困难；用后的空气直接排入大气，对环境无污染，处理方便，不必设置回收管路，因而也不存在介质变质、补充



及更换等问题。

(2)空气黏度小(约为液压油的万分之一),在管内流动阻力小,压力损失小,便于集中供气和远距离输送。即使有泄漏,也不会严重影响工作,不会污染环境。

(3)和液压相比,气动反应快,动作迅速,维护简单,管路不易堵塞。

(4)气动元件结构简单、制造容易,适于标准化、系列化、通用化。

(5)气动系统对工作环境适应性好,特别在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射、振动等恶劣工作环境中工作时,安全可靠性能优于液压、电子和电气系统。

(6)空气具有可压缩性,使气动系统能够实现过载自动保护,也便于储气罐储存能量,以备急需。

(7)排气时气体因膨胀而温度降低,因而气动设备可以自动降温,长期运行也不会发生过热现象。

1.3.4 气压传动与液压传动相比,气压传动有如下缺点

(1)由于空气的可压缩性大,所以气动系统的稳定性差,负载变化时对工作速度的影响较大,速度调节较难。

(2)气压传动系统工作压力低,输出力较小,且传动效率低。

(3)气动装置中的信号传递速度仅限于声速范围内,其工作频率和相应速度远不如电子装置,并且信号要产生较大的失真和延滞,也不便于构成较复杂的回路。

(4)需对气源中的杂质及水蒸气进行净化处理,净化处理的过程较复杂。空气无润滑性能,故在系统中需要润滑处应设润滑给油装置。

(5)气动系统有较大的排气噪声,使环境恶化、危害人体健康,影响人的情绪,应设法消除或降低噪声。

(6)气动系统有泄漏,这是能量的损失。一定量的外泄漏也是允许的,但应尽可能减少泄漏。

任务2 机床工作台模拟液压系统认知实训

1. 教学准备

液压实验台观摩教学,通过教师的操作,学生的参与,师生共同对实验现象的分析,增加学生对液压传动的感性认识,激发学生学习液压传动的兴趣。

2. 目的要求

(1)建立液压传动的感性认识。

(2)从外形上认识常用的液压元件。

(3)建立控制系统压力的概念。

(4)建立控制系统流量的概念。

(5)建立控制系统油液流动方向的概念。

(6)建立液压基本回路的概念。

3. 实训器材

集体器材

液压与气动综合实验台、PLC控制透明液压试验台、液压元件模型

4. 教学方式

项目		时间安排	教学方式
1	课前准备	课余	自学、查资料、相互讨论液压传动及其基本概念
2	教师讲授	1 课时	教师讲授、操作演示
3	学生实作	1 课时	学生实作、老师指导 (1)认识常用的液压元件 (2)调压回路及压力值的调整 (3)调速回路及流量阀开度的调整 (4)缸的运动方向的控制及调整 (5)分析油液的走向

5. 成绩评定(成绩评定的等级为优良、及格和不及格,根据分组成绩结合个人表现而定)

技能训练成绩	教师签名

6. 安全注意事项

(1)液压气动实训要与电和高压油、压缩空气打交道,要保证实训设备和元器件的完好性。

(2)要正确地安装和固定好元件。

(3)管路要连接牢固,软管脱出可能会引起事故。

(4)限位元件不应放在动作杆的对面,而应使其侧面与杆接触。

(5)不得使用超过限制的工作压力。

(6)要按要求接好回路,检查无误后才能启动电机。

(7)实训现象不能按要求实现时,要仔细检查错误点,认真分析产生错误的原因。

(8)做液压实训时,在有压力的情况下不准拆卸管子;做气动实训时,在有压力的情况下拆卸某软管,应握紧软管的端头。

(9)要严格遵守各种安全操作规程。

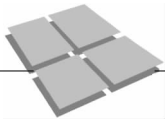
7. 液压实验台观摩教学

(1)PLC 控制透明液压试验台的原理讲解。

(2)液压与气动综合实验台的原理讲解。

①压力的建立与调压。泵的工作压力是初学液压气动课程的同学难于建立起来的一个概念。通过认识溢流阀和泵,建立调压回路,先将压力调为零,然后慢慢地调高压,通过压力表显示压力的变化值。

②缸的运动方向的控制与换向。首先要使学生建立缸是如何运动起来的。没有压力油,缸是不运动的,有压力油,如果油路不通,缸也是不运动的。只有进油路和回油路都是通畅的,压力油进入到缸的一腔,缸的工作压力能克服外负载,缸才能运动起来。换向就是通过换向阀来实现的。



8. 技能训练

(1) 写出 PLC 控制透明液压实验台上的元件名称和图形符号。让学生首先认识液压实验台上的元件名称，认识各个元件的外形和符号，并将主要的液压元件的图形抄写下来。

(2) 根据机床工作台模拟液压系统原理图，分析各元件在系统中的作用。

(3) 分组操作试验台，展开讨论：

① 泵的工作压力取决于什么？为什么？

② 缸的运动速度取决于什么？为什么？

>>> 习题 1

1-1 液压传动有哪些特点？

1-2 试述液压冲击现象，如何防止液压冲击？

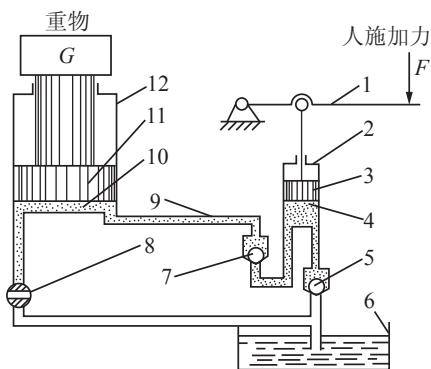
1-3 液压传动由哪几部分组成？它们各有什么作用？

1-4 何为液力传动？液力传动的组成和各部分的功用？

1-5 试述气压传动的组成和工作原理？

1-6 什么叫气穴？如何减小气穴影响？

1-7 如图 1-6 所示为液压千斤顶的工作示意图。该设备只需人施加很小的力 F ，就能顶起很重的物品 G 。试说明其工作原理及各部分的作用。



1—杠杆；2—泵体；3、11—活塞；4、10—油腔；5、7—单向阀；
6—油箱；8—放油阀；9—油管；12—缸体

图 1-6 液压千斤顶工作原理图

项目 2 液压传动基础知识

任务 1 了解液压传动的基础知识

本项目主要介绍液体传动的基本知识，为了分析液体的静力学、运动学和动力学规律，需要了解液体的以下特性。

液体的连续性假设：流体是一种连续介质，这样就可以把油液的运动参数看做是时间和空间的连续函数，并有可能利用解析数学来描述它的运动规律。

液体的不抗拉性：由于油液分子与分子间的内聚力极小，几乎不能抵抗任何拉力而只能承受较大的压应力，不能抵抗剪切变形而只能对变形速度呈现阻力。

液体的易流性：不管作用的剪力怎样微小，油液总会发生连续的变形，这就是油液的易流性，它使得油液本身不能保持一定的形状，只能呈现所处容器的形状。

液体的均质性：其密度是均匀的，物理特性是相同的。

2.1 液压油

2.1.1 液压油的主要物理性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中： V ——体积；

m ——体积为 V 的液体的质量；

ρ ——液体的密度。

密度是液体一个重要的物理量参数。随着温度或压力的变化，其密度也会发生变化，但变化量一般很小，可以忽略不计。一般液压油的密度为 900kg/m^3 。

2. 可压缩性

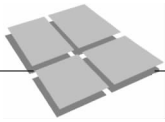
液体受压力的作用而发生体积减小变化称为液体的可压缩性。若液压油中混入空气时，其可压缩性将显著增加，并将严重影响液压系统的工作性能。因此在液压系统中尽量减少油液中混入的气体及其他挥发物质(如汽油、煤油、乙醇和苯等)的含量。

3. 黏性

(1)黏性的意义。液体在外力作用下流动时，液体分子间内聚力会阻碍分子相对运动，即分子之间产生一种内摩擦力，这一特性称为液体的黏性。黏性是液体的重要物理特性，也是选择液压用油的依据。

由于液体在外力作用下才有黏性，因此液体在静止状态下是不呈现黏性的。液体黏性的大小用黏度来表示。

(2)液体的黏度。指定量表示黏性高低的量，常用的黏度有三种，即动力黏度、运动黏度和相对黏度，平时提到油的牌号实际是运动黏度。



①动力黏度 μ : 在我国法定计量单位制及 SI 单位制中, 动力黏度 μ 的单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)或用 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ (牛·秒/米²)表示。

在 CGS 制中, μ 的单位为 $\text{dg} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ (达因·秒/厘米²), 又称为 P(泊)。P 的百分之一称为 cP(厘泊)。其换算关系如下:

$$1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$$

②运动黏度 ν : 动力黏度 μ 和该液体密度 ρ 之比值, 称为运动黏度, 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{2-2}$$

运动黏度 ν 没有明确的物理意义, 因为在其单位中只有长度和时间的量纲, 所以称为运动黏度, 它是工程实际中经常用到的物理量。

在我国法定计量单位制及 SI 单位制中, 运动黏度 ν 的单位是 m^2/s (米²/秒)。

在 CGS 制中, ν 的单位是 cm^2/s (厘米²/秒), 通常称为 St(沩)。1St(沩) = 100cSt(厘沩)。两种单位制的换算关系为

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{cSt}$$

就物理意义来说, ν 并不是一个黏度的量, 但工程中常用它来标志液体的黏度。例如, 液压油的牌号, 就是这种油液在 40℃ 时运动黏度 $\nu(\text{mm}^2/\text{s})$ 的平均值, 如 L-AN32 液压油就是指这种液压油在 40℃ 时运动黏度的平均值为 32 mm^2/s 。过去, 我国机械油的牌号, 就是该油液在 50℃ 时的运动黏度 $\nu(\text{cSt})$ 的平均值, 现已改用 40℃ 时的平均运动黏度表示油的牌号。老牌号是 20 号液压油, 指这种油在 50℃ 时的平均运动黏度为 20cSt。新牌号是 L-HV32 号液压油(32 号液压油), 指这种油在 40℃ 时的平均运动黏度为 32cSt。表 2-1 为液压油新旧牌号对照表, 旧牌号级前无“N”字符。

表 2-1 液压油新牌号(40℃ 运动黏度等级)与原牌号(50℃ 运动黏度等级)对照表

牌号	N7	N10	N15	N22	N32	N46	N68	N100	N150
原牌号	5	7	10	15	20	30	40	60	80

③相对黏度: 相对黏度又称条件黏度。它是采用特定的黏度计在规定的条件下测出来的液体黏度。根据测量条件的不同, 各国采用的相对黏度的单位也不同。如我国、德国及前苏联等国家采用恩氏黏度(°E), 美国采用国际赛氏秒(SSU), 英国采用雷氏黏度(R)等。

恩氏黏度由恩氏黏度计测定, 即将 200 cm^3 的被测液体装入底部有 $\phi 2.8\text{mm}$ 小孔的恩氏黏度计的容器中; 在某一特定温度 $t^\circ\text{C}$ 时, 测定液体在自重作用下流过小孔所需的时间 t_1 和同体积的蒸馏水在 20℃ 时流过同一小孔所需的时间 t_2 之比值, 便是该液体在 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度。恩氏黏度用符号 $^\circ\text{E}t$ 表示。

$$^\circ\text{E}t = \frac{t_1}{t_2} \tag{2-3}$$

一般以 20℃、50℃、100℃ 作为测定恩氏黏度的标准温度, 由此而得来的恩氏黏度分别用 $^\circ\text{E}20$ 、 $^\circ\text{E}50$ 和 $^\circ\text{E}100$ 表示。

恩氏黏度和运动黏度的换算关系可以查询手册或相关书籍。

(3)调和油的黏度。选择合适黏度的液压油, 对液压系统的工作性能有着十分重要