



职业教育立体化精品教材
新时代课程思政建设配套教材

液压与气压传动

周志宏 赵鹏展 主编



北京出版集团
北京出版社
北京教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/周志宏, 赵鹏展主编. —北京:
北京出版社: 北京教育出版社, 2022. 6
ISBN 978-7-200-17280-5

I. ①液… II. ①周… ②赵… 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(2022)第 118648 号

液压与气压传动

周志宏 赵鹏展 主编

*

北京出版集团
北京出版社 出版
北京教育出版社
(北京北三环中路 6 号)

邮政编码: 100120

网址: www.bph.com.cn

京版北教文化传媒股份有限公司总发行

全国各地书店经销

北京盛通印刷股份有限公司印刷

*

787 mm×1 092 mm 16 开本 17 印张 466 千字

2022 年 6 月第 1 版 2022 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-200-17280-5

定价: 56.00 元

版权所有 翻印必究

质量监督电话: (010)58572525 58572393 购书电话: (010)59812309



液压与气压传动技术作为机械设备中发展最快的技术之一，对国家经济建设具有不可或缺的作用，采用液压传动的程度已成为衡量国家工业水平的重要标志之一。随着机电一体化技术的发展，液压与气压传动技术和微电子技术、计算机技术等结合，进入了高端应用的发展阶段，成为智能制造的重要载体。

本书在内容组织上追求系统性、基础性、先进性和实用性的统一，贯彻通俗易懂、少而精、理论联系实际的原则，较全面地阐述了液压与气压传动技术的相关知识。全书共分为 8 个项目，具体内容如下。

项目 1 主要阐述液压传动的原理，并介绍液压系统中存在的主要问题及其防止措施。

项目 2 主要介绍液压传动的基础理论，如液压传动工作介质，液体静力学、液体动力学的基础知识，管道内液体流动压力损失的分析，孔口和缝隙液体流动的分析。

项目 3 主要介绍液压动力和执行元件的相关内容，如液压泵、液压马达和液压缸的相关知识。

项目 4 主要介绍液压控制阀并分析其控制的回路，如方向控制阀和方向控制回路、压力控制阀和压力控制回路、流量控制阀和调速回路。

项目 5 主要分析液压综合回路，如液压缸同步工作回路、多缸顺序工作回路、速度控制回路和压力控制回路。

项目 6 主要介绍气压传动技术，如气压传动的原理、气源装置的识别、气动元件的识别与使用、气动系统的识读与分析。

项目 7 主要介绍液压设计与计算，如液压缸、液压系统的设计与计算，液压系统的安装、调试及故障诊断。



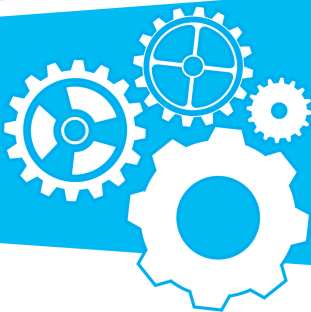
项目8 主要分析工程实例,如YT4345型组合机床动力滑台液压系统、YB32-200型液压机液压系统、Q2-8型汽车起重机液压系统、MJ-50型数控机床液压系统、SZ-250型注塑机液压系统、数控加工中心气动换刀系统。

此外,本书还添加了课程思政元素,内容涵盖我国科技成就、大国工匠的先进事迹等,以坚定学生理想信念、厚植学生爱国主义情怀、加强学生道德修养、培养学生奋斗精神,进而提升学生的综合素质。

由于编者水平有限,书中或有不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者





 项目 1 认识液压传动技术 	
任务 1.1 了解液压传动的原理与应用	2
任务 1.2 分析液压系统运行中的主要问题	11
能力训练题	16
 项目 2 了解液压传动基础理论知识 	
任务 2.1 认识液压传动工作介质	20
任务 2.2 了解液体静力学基础知识	29
任务 2.3 了解液体动力学基础知识	32
任务 2.4 分析管道内液体流动压力损失	36
任务 2.5 分析孔口和缝隙液体流动	39
能力训练题	45
 项目 3 认识并分析液压动力和执行元件 	
任务 3.1 认识并分析液压泵	50
任务 3.2 认识并分析液压马达	66
任务 3.3 认识并分析液压缸	73
能力训练题	87
 项目 4 认识液压控制阀并分析其控制的回路 	
任务 4.1 认识方向控制阀并分析方向控制回路	92
任务 4.2 认识压力控制阀并分析压力控制回路	103
任务 4.3 认识流量控制阀并分析调速回路	120
能力训练题	131



项目 5 认识并分析液压综合回路

任务 5.1 认识并分析液压缸同步工作回路	136
任务 5.2 认识并分析多缸顺序工作回路	138
任务 5.3 认识并分析速度控制回路	141
任务 5.4 认识并分析压力控制回路	149
能力训练题	158

项目 6 认识气压传动技术

任务 6.1 认识气压传动	162
任务 6.2 识别气源装置	164
任务 6.3 识别与使用气动元件	174
任务 6.4 识读与分析气动系统	190
能力训练题	210

项目 7 液压设计与计算

任务 7.1 液压缸的设计与计算	214
任务 7.2 液压系统的设计与计算	220
任务 7.3 安装和调试液压系统及其故障诊断	227
能力训练题	236

项目 8 分析工程实例

任务 8.1 分析 YT4345 型组合机床动力滑台液压系统	240
任务 8.2 分析 YB32-200 型液压机液压系统	245
任务 8.3 分析 Q2-8 型汽车起重机液压系统	248
任务 8.4 分析 MJ-50 型数控机床液压系统	252
任务 8.5 分析 SZ-250 型注塑机液压系统	256
任务 8.6 分析数控加工中心气动换刀系统	261
能力训练题	265

参考文献





项目 1 认识液压传动技术

▶ 学习目标

- 1) 了解液压传动与其他传动方式的区别，能说明液压传动的工作原理、系统组成、各部分所起的作用及优缺点。
- 2) 能初步识读液压系统图，理解液压图形符号的意义。
- 3) 理解液压传动中压力的形成和传动特性。
- 4) 对液压系统工作中的主要问题有所了解。
- 5) 能解释液压冲击和气穴现象的形成原因，了解为避免液压冲击和气穴现象常采取的措施。

▶ 重点与难点

重点：液压传动的工作原理、系统组成和作用；压力的表示方法等。
难点：液压传动中压力的形成过程，对压力取决于负载、速度取决于流量的正确理解。

育人目标

了解中国制造的大国重器，激发学生的民族自豪感和爱国情怀，坚定为科技强国而努力奋斗的决心。



任务 1.1 了解液压传动的原理与应用

1.1.1 分析液压千斤顶的工作状态

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置，其实物图和结构图如图 1-1 所示。

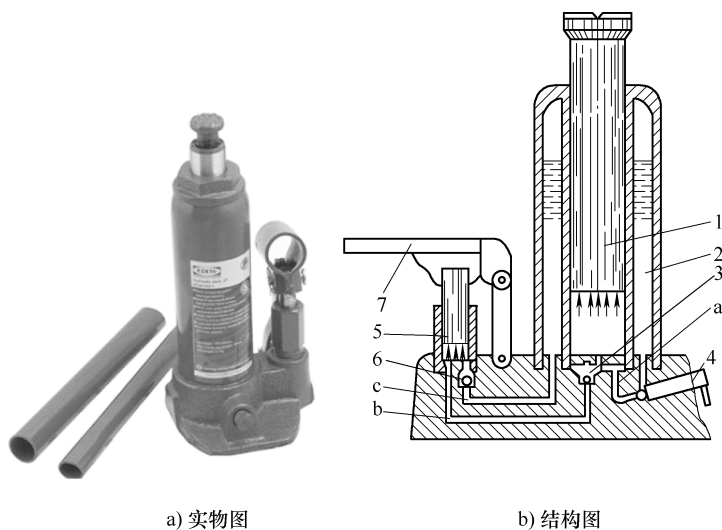


图 1-1 液压千斤顶的实物图和结构图

1—大活塞 2—油箱 3、6—单向阀 4—放油旋塞 5—小活塞 7—手柄 a、b、c—油通道

1. 液压千斤顶的工作原理

液压千斤顶的工作原理如图 1-2 所示，当用力向上抬起手柄 7 时，小活塞 5 被提起，小活塞腔的密封容积增大，腔内压力减小，形成负压，单向阀 3 被关闭，单向阀 6 被打开，油箱 2 中的油液在大气压力作用下沿吸油管道进入小活塞腔的下腔，完成一次吸油动作。当用力压下手柄 7 时，小活塞腔的密封容积减小，腔内压力增大，单向阀 6 被关闭，阻断了油液回油箱的油路，小活塞腔的压力油顶开单向阀 3 进入大缸体 10 的下腔，推动重物向上移动。经过反复抬压手柄 7，就可以完成多个吸油、压油过程，使重物不断被升起，达到举起重物的目的。要想使大活塞 1 下降到原位，把放油旋塞 4 打开，在自重(或外力)作用下，大缸体 10 下腔中的油液将流回油箱 2，实现复位。

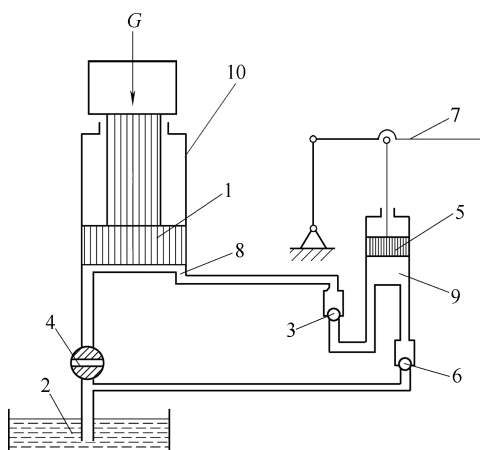


图 1-2 液压千斤顶的工作原理

- 1—大活塞 2—油箱 3、6—单向阀 4—放油旋塞 5—小活塞 7—手柄
8—油管 9—小缸体 10—大缸体

液压千斤顶的
工作原理

2. 液压传动的实质

通过对液压千斤顶工作过程的分析，我们可以初步了解液压传动的基本工作原理。液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质进行能量传递的一种传动方式。如图 1-2 所示，压下手柄 7 时，小缸体 9 输出压力油，将机械能转换成油液的压力能，压力油经过单向阀 3 及油管 8，进入大缸体 10，大活塞 1 将油液的压力能又转换成机械能，举起重物。

由此可见，液压传动是在密封状态下利用压力油的流动来实现动力和运动的传动方式，在传动中必须经过两次能量转换，先将机械能转换为液体的压力能，后将液体的压力能转换为机械能。这就是液压传动的基本工作原理。

3. 液压传动的定义

液压传动是以液体为工作介质，先通过驱动装置将原动机的机械能转换为液体的压力能，后通过管道、控制及调节装置等传递给执行装置，执行装置将液体的压力能转换为机械能，驱动负载实现直线或回转运动。

简而言之，液压传动是利用有压液体的流动来转换或传递机械能的一种传动方式。

4. 液压传动的特点

1) 液压传动以液体作为传递动力和运动的工作介质，在传动中必须经过两次能量转换。它先通过动力装置将机械能转换为液体的压力能，后通过执行装置将液体的压力能转换为机械能做功。

2) 液体必须在密闭容器(系统)内传递，而且必须有密闭容积的变化。



1.1.2 分析液压系统的压力与工作特性

1. 能量的传递

(1) 传递力 图 1-3 所示为液压千斤顶原理的简化模型。它有两个不同直径的液压缸 2、4，且缸内各有一个与内壁紧密配合的活塞 1、5。假设活塞在液压缸内自由滑动(无摩擦力)，且液体不会通过配合面产生泄漏。液压缸 2、4 的下腔通过管道 3 连通，其中充满液体。这些液体被密封在缸内壁、活塞和管道组成的容积中。活塞 5 上有重物 W ，则当在活塞 1 上施加的力 F 达到一定大小时，就能使重物 W 上升。也就是说，利用密封容积中的液体可以传递力 F 。

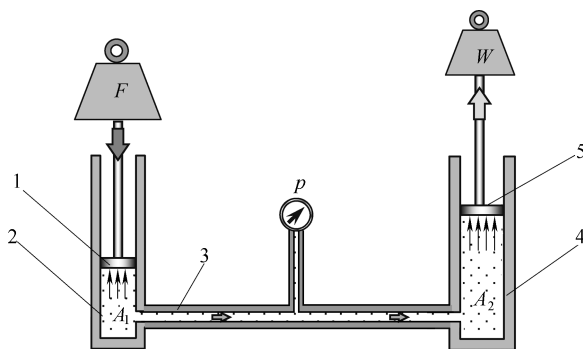


图 1-3 液压千斤顶原理的简化模型

1、5—活塞 2、4—液压缸 3—管道

(2) 传递运动 根据帕斯卡定律，由于作用在密封容器内平衡液体表面上的压强(液压力)将均匀地传递到液体中所有的点上，且不改变大小，这样当活塞 1 在力 F 作用下向下运动时，重物 W 将随之上升。这种现象说明密封容积中的液体不仅可以传递力，还可以传递运动。

这种依靠液体体积的变化进行力和运动传递的方式称为容积式液压传动。

2. 压力形成及压力特性

(1) 压力的概念 对于密封容器中的液体，当液体表面受外力 F 作用，受力面积为 A 时，液体单位面积所受的作用力大小就是液压力，简称压力，一般用 p 表示，即 $p = \frac{F}{A}$ 。没有作用力就没有压力。

(2) 压力形成及压力特性 如图 1-3 所示，当在活塞 1 上施加外力 F 后，液压缸 2 中的液压油就会通过管道 3 流向液压缸 4，忽略液压油受压缩的微小体积变化，液压缸 4 中的活塞 5 受到重物 W 的阻力，在整个密封的空间里，液压油受到外力的挤压作用。那么，液压油在液压缸 2 中产生的压力 $p_1 = \frac{F}{A_1}$ 。根据帕斯卡定律，这个压力等值传递到液压缸 4 中，则

$$p_1 = \frac{F}{A_1} = p_2 = \frac{W}{A_2}$$



为了提升重物 W ，必须在活塞 1 上施加主动力 F ，此时重物 W 就是液压系统工作的负载。所以，只有活塞 5 上有负载，活塞 1 上才能施加作用力 F ，并且使液体受到压力 p 。反之，如果液压系统工作中没有负载，就不会产生压力。因此，液压系统中某处液体的压力是由于受到各种形式负载的挤压而产生的，这就是压力形成的原因。液压传动中液体的压力取决于负载，而与流入的液体多少无关，这就是液压传动的压力特性。

3. 速度特性

如图 1-3 所示，活塞 1 向下移动 h_1 ，通过液体的能量传递，将使活塞 5 上升一段距离 h_2 ，很显然 $h_1 \neq h_2$ 。由于不存在泄漏且忽略液体的可压缩性，因此在 Δt 时间内从液压缸 2 排出的液体，通过管道 3 完全进入液压缸 4 中，即 $V_1 = V_2$ 。由于 $V_1 = h_1 A_1$ 、 $V_2 = h_2 A_2$ ，可知 $h_1 A_1 = h_2 A_2$ ，两边同时除以 Δt ，则

$$\frac{h_1 A_1}{\Delta t} = \frac{h_2 A_2}{\Delta t} = q$$

式中， q 为单位时间内从液压缸 2 中排出的液体体积或进入液压缸 4 的液体体积，即流量。

流量与面积的比就是流速，即 $v = \frac{q}{A}$ 。因此，活塞 5 的运动速度只取决于流量，而与活塞 1 的大小无关。这就是液压传动的速度特性。

综上所述，液压传动的工作特性是：

- 1) 液压系统的压力大小取决于负载。
- 2) 执行元件的速度取决于流量。

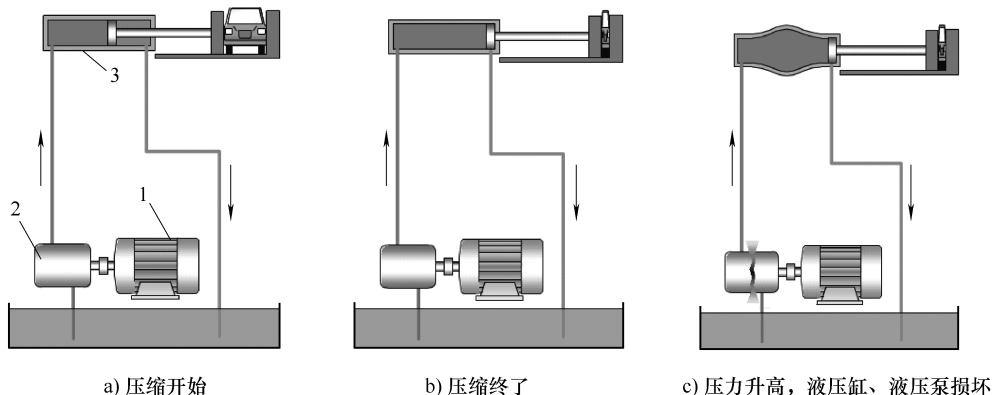


1.1.3 认识液压系统的组成及图形符号

1. 液压系统的主要组成部分及其作用

下面以汽车报废处理设备液压系统为例，说明液压系统的主要组成部分及各部分的作用。

1) 动力元件——液压泵。如图 1-4a 所示，电动机驱动液压泵工作，液压泵把电动机输入的机械能转换为液体的压力能，为液压系统提供压力油液，通过液压管道传递给液压缸。液压泵是液压系统的动力源，液压泵和电动机称为动力装置。



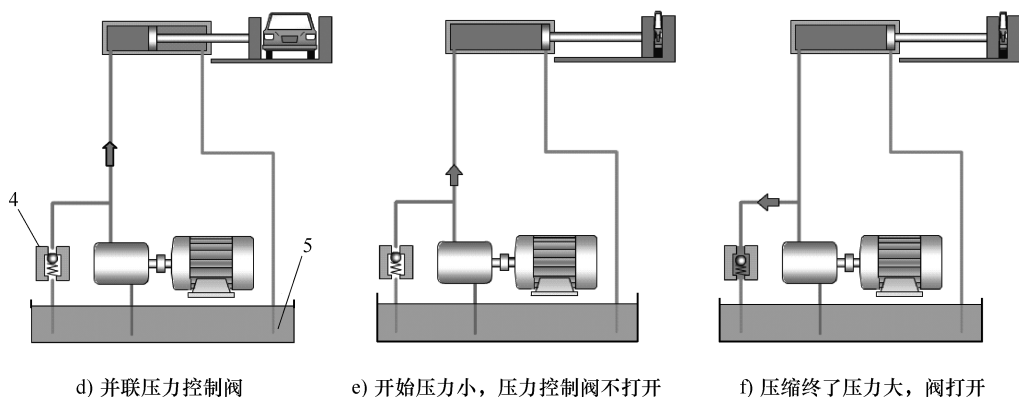


图 1-4 压力控制演变过程

1—电动机 2—液压泵 3—液压缸 4—压力控制阀 5—油箱

2) 执行元件——液压缸或液压马达。液压执行元件的作用是将液体压力能转换为机械能以驱动工作机构进行工作, 实现直线运动、回转运动或摆动。如图 1-4b 所示, 液压缸通过管路获得一定量的液压油, 在压力的作用下做功, 实现对车辆的压缩。液压缸输入的是压力能, 输出的是机械能, 实现了压力能到机械能的转换。整个压缩装置称为执行装置。

3) 控制调节元件——液压阀。其作用是对液压系统中油液的流动方向、压力的高低及流量的大小进行控制和调节, 以满足执行元件的工作要求。

① 压力控制元件——压力控制阀。在图 1-4c 中, 当液压缸完成对报废车的压缩后, 液压缸运动到终点位置, 遇到的外负载将很大, 此时如果电动机继续带动液压泵工作, 液压系统会产生很大的压力, 该压力会超过液压缸、液压泵和液压管道的额定压力值(自身耐压性), 最终导致液压缸、液压泵和液压管道损坏。为保证液压系统工作安全, 在进油管路上并联一个限制最大压力的压力控制阀 4(图 1-4d), 当系统压力小于压力控制阀 4 的开启压力时, 压力控制阀 4 不打开, 液压油进入液压缸正常工作, 如图 1-4e 所示; 当系统压力增大到大于压力控制阀 4 的开启压力时, 压力控制阀 4 打开, 液压泵提供的液压油通过压力控制阀全部流回油箱 5(图 1-4f), 液压油不再进入液压缸, 此时液压系统的压力被限定在压力控制阀的开启压力值上。这种对液压系统起到压力控制调节(或安全保护)作用的液压阀称为压力控制阀。

② 方向控制元件——方向控制阀。如图 1-5a 所示, 液压缸的左腔进油、右腔回油, 活塞和活塞杆向右运动推动工作机构完成报废车的压缩过程。在电动机和液压泵转向不变的情况下, 如何使液压缸的活塞和活塞杆向左运动完成缩回动作, 进入下一个工作循环? 如图 1-5b、c 所示, 只有使液压缸右腔进油、左腔回油, 活塞和活塞杆才可以向左运动。在液压管路中安装一个可以控制液压油流动方向的方向控制阀, 即可实现液压缸的进油、回油方向的改变, 使液压缸完成伸出和缩回两个动作。方向控制阀 1 在左位实现活塞杆的推进, 在右位实现活塞杆的缩回。

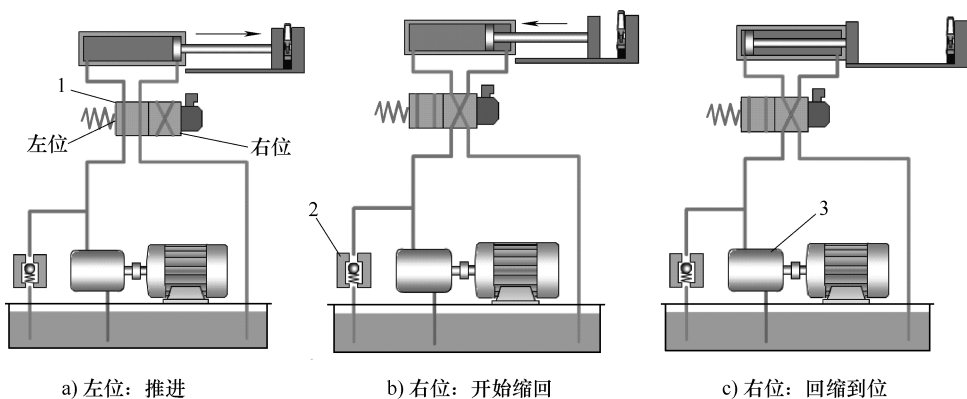


图 1-5 方向控制阀的应用

1—方向控制阀 2—压力控制阀 3—液压泵

③速度控制元件——流量控制阀。如图 1-6a 所示，在进油管路中串联一个流量控制阀 1，通过控制其开口大小来控制流量，进而控制液压缸的运动速度。图 1-6b 中加装了一个过滤器 5，其作用是过滤油液中的杂质，提高液压油的品质。

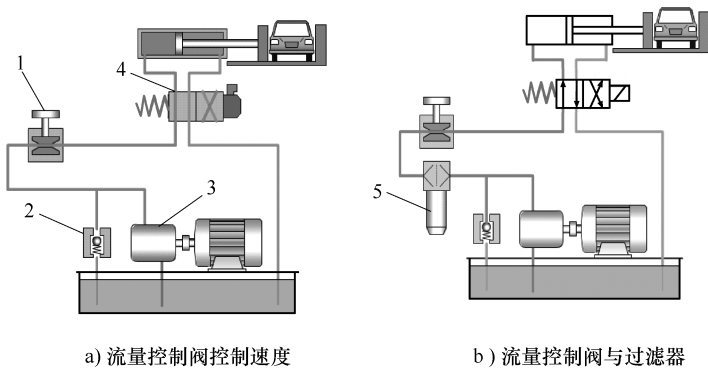


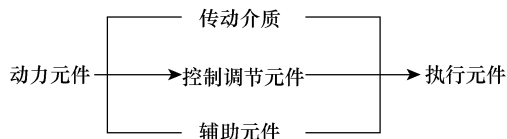
图 1-6 流量控制阀的应用

1—流量控制阀 2—压力控制阀 3—液压泵 4—方向控制阀 5—过滤器

4) 辅助元件。液压油管、管接头、油箱、过滤器、蓄能器、压力表、密封件等起到连接、输油、储油、过滤、显示压力和防止泄漏等作用的元件统称为辅助元件，其作用是保证液压系统正常工作，便于对液压系统实行监测和控制。

5) 传动介质。液压传动用的传动介质是液压油，其作用是传递动力和运动，同时起润滑、冷却及密封的作用。

综上所述，液压系统一般由以下五个部分组成。



2. 液压系统的图形符号

机械加工机床中的液压系统要比液压千斤顶的液压系统复杂得多。图 1-7 所示为半结



构式磨床工作台液压系统的工作原理图，可以通过它进一步了解一般液压系统应具备的基本性能和组成情况。

磨床工作台液压系统的工作原理：液压泵 4 在电动机(图中未画出)带动下旋转，油液由油箱 1 经过过滤器 2 被吸入液压泵 4，由液压泵 4 输出的压力油通过手动换向阀 9、节流阀 13、手动换向阀 15 进入液压缸 18 的左腔，推动活塞 17 和工作台 19 向右移动，液压缸 18 右腔的油液经手动换向阀 15 流回油箱。如果将手动换向阀 15 转换成如图 1-7b 所示的状态，则压力油进入液压缸 18 的右腔，推动活塞 17 和工作台 19 向左移动，液压缸 18 左腔的油液经手动换向阀 15 流回油箱 1。工作台 19 的移动速度由节流阀 13 调节。当节流阀开大时，进入液压缸 18 的油液增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，工作台的移动速度减小。液压泵 4 输出的压力油除了进入节流阀 13 以外，其余的通过溢流阀 7 流回油箱 1。如果将手动换向阀 9 转换成如图 1-7c 所示的状态，液压泵 4 输出的油液经手动换向阀 9 流回油箱 1，这时工作台 19 停止运动，液压系统处于卸荷状态。



磨床工作台液压系统的工作原理

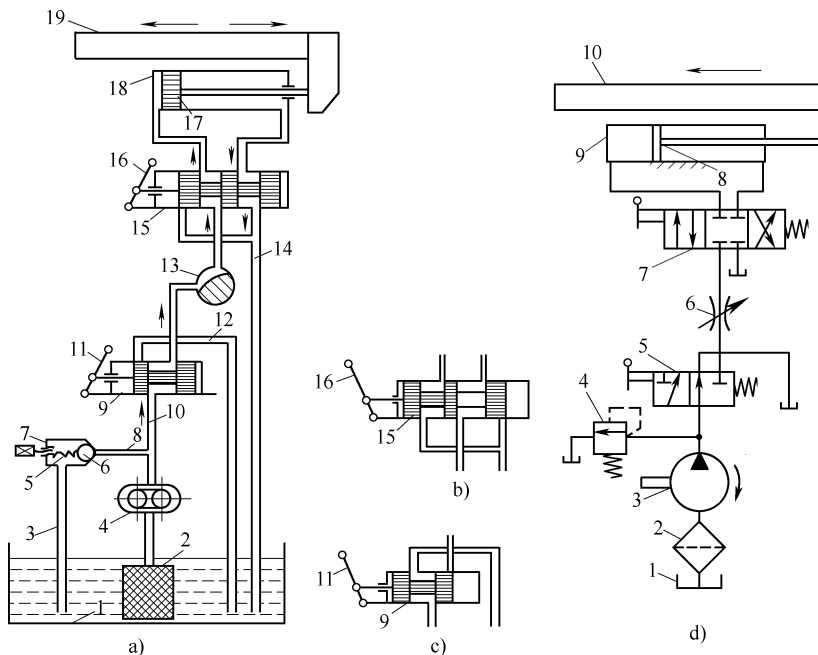


图 1-7 半结构式磨床工作台液压系统的工作原理图

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

图 1-7a 所示的图形直观性强、容易理解，但图形比较复杂，绘制比较麻烦。在实际工作中，一般用国家规定的液压(气压)元件图形符号来绘制液压系统原理图，这些图形符号可使液压系统原理图简单明了，且便于绘制。图 1-7a 所示的液压系统可用图形符号表示为图 1-7d。



我国制定的液压系统图形符号标准 GB/T 786.1—2021 中，有以下几条基本规定。

1) 符号只表示元件的职能作用、连接系统的通路，不表示元件的具体结构和参数，也不表示元件在系统中的实际安装位置。

2) 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。



1.1.4 了解液压传动技术的应用与发展

1. 液压传动技术的主要优缺点

液压传动技术主要有如下优点。

1) 相同功率情况下，液压元件体积小、质量小、结构紧凑。例如，同功率液压马达的质量约为电动机的 $1/6$ 。

2) 工作比较平稳，反应速度快，惯性小。

3) 操作控制方便，易于实现快速起动、制动和频繁的换向。

4) 易于实现大范围的无级调速，调速比可达 $5000:1$ 。

5) 易于实现过载保护，能实现自行润滑，使用寿命长。

6) 液压元件已标准化、系列化、通用化，便于设计、制造和使用。

液压传动技术主要有如下缺点。

1) 由于液压油的可压缩性和易泄漏性，影响了执行装置运动的平稳性和准确性，使液压传动无法保证严格的传动比。

2) 液压系统的工作性能对油温的变化比较敏感，因此不宜在很高或很低的温度条件下工作。

3) 不宜远距离传递动力。由于液压传动有较大的能量损失(如泄漏、摩擦阻力等)，所以传动效率不高。如果泄漏处理不当，不仅污染场地，而且可能引起火灾和爆炸事故。

4) 为了减少泄漏或满足某些性能上的要求，液压元件制造精度要求较高，加工工艺较复杂，因此它的造价高。

5) 由于液压元件和工作介质都在密封的油路内工作，因此出现故障时不易检修。

2. 液压传动技术的应用

工业生产中各个部门应用液压传动技术的出发点是不尽相同的。有的设备是利用它能传递大的动力，且结构简单、体积小、质量小的优点，如工程机械、矿山机械、冶金机械等；有的是利用它在操纵控制方面的优势，能较容易地实现较复杂的工作循环，如机床上采用液压传动使其在工作过程中能实现无级调速，易于实现频繁的换向和自动化。图 1-8 所示为液压传动技术的应用。



图 1-8 液压传动技术的应用

3. 液压传动技术的发展

自 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起，液压传动技术已有数百年的历史。直到 20 世纪 30 年代，它才较普遍地应用于起重机、机床及工程机械。在第二次世界大战期间，由于战争需要，出现了由响应迅速、精度高的液压控制机构所装备的各种军事武器。第二次世界大战结束后，液压传动技术迅速转向民用工业，不断应用于各种自动机及自动生产线。

20 世纪 60 年代以后，液压传动技术随着原子能、空间技术、计算机技术的发展而迅速发展。在我国，液压传动技术最初应用于机床和锻压设备，后来又用于拖拉机和工程机械。现在，我国的液压元件已形成了系列，并在各种机械设备上得到了广泛的使用。

随着机电一体化设备自动化程度的不断提高，液压与气压元件在机电设备中的应用越来越广。液压元件小型化、系统集成化已是发展的必然趋势，特别是液压传动技术与传感技术、微电子技术的紧密结合，产生了诸多新型元件，如电液比例阀、数字阀、电液伺服阀等。机液电一体化的组合元器件，使液压传动技术向着高压、大功率、低噪声、节能高效、集成方向发展。

液压传动技术的主要发展趋势集中在以下几个方面。

1)减少能耗,充分利用能量。液压传动技术在将机械能转换成液体压力能及反转换方面,已取得了很大进展,但一直存在能量损耗,主要反映在系统的容积损失和机械损失上。如果全部压力能都能得到充分利用,则将使能量转换过程的效率得到显著提高。为减少压力能的损失,必须解决以下问题。

①减少元件和系统的内部压力损失,以减少功率损失。这主要表现在改进元件内部流道的压力损失,采用集成化回路和铸造流道,减少管道损失,同时减少漏油损失。

②减少或消除系统的节流损失,尽量减少非安全需要的溢流量,避免采用节流系统来调节流量和压力。

③采用静压技术、新型密封材料,减少摩擦损失。

④发展小型化、轻量化、复合化及低功率电磁阀。

⑤改善液压系统性能,采用负载传感系统、二次调节系统和蓄能器回路。

⑥为及时维护液压系统,防止污染对系统寿命和可靠性造成影响,必须发展新的污染检测方法,对污染进行在线测量,以免因处理不及时而造成损失。

2)主动维护。液压系统维护已从过去简单的故障拆修,发展到故障预测,即发现故障苗头时,预先进行维修,清除故障隐患,避免设备恶性事故的发生。

3)机电一体化。电子技术和液压传动技术相结合,使传统的液压传动与控制技术增加了活力,扩大了应用领域。实现机电一体化可以提高工作可靠性,实现液压系统柔性化、智能化,改变液压系统效率低、漏油、维修性差等缺点,充分发挥液压传动出力大、惯性小、响应快等优点。



任务实践

1)使用液压千斤顶,观察并指出液压千斤顶的组成部分。

2)认识液压千斤顶和磨床的液压系统原理图,熟悉液压千斤顶的工作原理。

3)动手操作挖掘机实物模型,实现挖掘机工作的各个动作,感受液压系统的工作状况,观察液压泵、液压缸、液压马达与手动换向阀之间的关系,分析各元件的作用。

4)观看液压传动技术应用方面的视频,了解液压传动技术的发展情况和主要优缺点。

任务 1.2 分析液压系统运行中的主要问题

一般认为,液压系统的油液泄漏、液压冲击和气穴现象是其运行中存在的主要问题。



1.2.1 油液泄漏及防止措施

在液压系统中，由于压力、间隙等原因，有部分液体流出管道或液压元件的现象称为泄漏。液压系统中油液的泄漏是一个不可忽视的问题，油液泄漏会使系统压力降低，流量减小，执行机构速度不稳定，效率降低、油温升高，污染环境，甚至会引起火灾等，因此一定要减少系统的油液泄漏。

1. 泄漏的类型与形式

液压元件的泄漏分为内泄漏和外泄漏。内泄漏是指液压元件内部有少量液体从高压腔泄漏到低压腔，如液压泵中油液从高压腔向低压腔的泄漏，换向阀中压力通道向回油通道的泄漏等。外泄漏是指少量液体从元件内部向外泄漏，如齿轮泵的端面泄漏、液压油管的渗透等。

液压系统的泄漏形式主要有缝隙泄漏、多孔隙泄漏、黏附泄漏和动力泄漏等几种。

2. 泄漏原因

1)管接头处的质量。液压机械的管接头在密封不严时会出现泄漏，例如管接头与集成管、阀底板及管式部件的连接部位等。主要原因是接头的加工质量较差，接头密封圈老化或破损，以及机械振动、压力冲击等原因引起的接头松动。

2)液压机械的发热。液压机械的发热会导致严重泄漏，高温会使油液的黏度下降或直接促使油液变质；油液在高温下还会失去润滑效果，密封材料受热膨胀而导致摩擦量增加，使轴向转动或滑动部位很快产生泄漏；O形密封圈受热后也会发生膨胀变形和老化，且无法在冷却后恢复，直接导致泄漏。

3. 防止泄漏的主要措施

造成液压系统的泄漏的因素是多方面的，要想从根本上消除液压系统的泄漏是很困难的，只有从影响液压系统泄漏的因素出发，采取合理的措施尽量减少液压系统泄漏。在设计和加工环节中要充分考虑密封沟槽的设计和加工，正确选择密封类型和密封件，选择正确的装配和修理方法。如在密封圈的装配中尽量采用专用工具，并且在密封圈上涂一些润滑脂。在液压油的污染控制上，要加强污染源的控制，还要采取有效的过滤措施和定期的油液质量检查。总之，泄漏的防治要全面入手、综合考虑才能做到行之有效。

1.2.2 液压冲击及防止措施

液压系统在起动、停机、变速或换向时，液压阀阀口突然关闭或动作突然停止，由于流动液体和运动部件的惯性作用，使系统内瞬时形成很高的峰值压力，这种现象称为液压冲击。液压冲击的出现会对液压系统造成较大的损伤，在高压、高速及大流量的系统中会



产生严重后果，因此在操作时要尽量避免液压冲击。

1. 液压冲击产生的原因

1) 液压阀突然关闭。当液压阀门正常开启时管路中压力恒定不变，若阀门突然关闭，则管路中液体立即停止流动，此时油液流动的动能将转换为油液的挤压能，从而使压力急剧升高，造成液压冲击。

2) 运动中的部件突然被制动。运动中的工作部件惯性力也会引起系统中的压力冲击，例如，液压缸要换向时，换向阀迅速关闭液压缸原来的排油管路，但活塞由于惯性作用仍在运动从而引起压力急剧上升造成液压冲击。液压缸活塞在行程中途或缸端突然停止或反向，主换向阀换向过快，均会产生液压冲击。

3) 某些元件动作不够灵敏。如系统压力突然升高，但压力控制阀反应迟钝，不能迅速打开，便会产生压力超高现象。

2. 液压冲击的危害

1) 冲击压力可高达正常工作压力的 3~4 倍，使液压系统中的元件、管道、仪表等遭到破坏。

2) 使压力继电器误发信号，干扰液压系统的正常工作，影响液压系统的工作稳定性和可靠性，产生误动作，造成设备故障及事故。

3) 引起振动和噪声、连接件松动，造成漏油、压力控制阀调节压力改变，并使油温升高。

3. 减少和防止液压冲击的措施

1) 减慢阀的关闭速度和运动部件制动、换向的时间，减小冲击的强度。

2) 限制管路中油液的流动速度。液体在管道中的流速 $\leq 4.5\text{m/s}$ ，液体在液压缸中的流速 $\leq 10\text{m/min}$ 。

3) 在容易出现液压冲击的地方，安装溢流阀或蓄能器，以限制或吸收冲击压力。

4) 用橡胶软管吸收液压冲击能量。

5) 在液压缸端部设置缓冲装置，使活塞运动到缸端停止时，平稳无冲击。



1.2.3 气穴现象及防止措施

液体中总是会溶解一定量的空气，水中溶解有约 2% 体积分数的空气，液压油中溶解有 6%~12% 体积分数的空气，空气的溶解度与液体所受的压力成正比。当某处的压力低于空气分离压时，原先溶解的空气就会分解出来，使充满管道或元件中的油液出现气体的空穴，这种现象称为气穴现象。

1. 气穴的危害

气穴的存在破坏了油液的连续性。当气泡随着液流进入高压区时，气泡的体积将急速



缩小，直至溃灭。实验结果表明，在溃灭中心的压力可达 150~200MPa。局部压力的急剧升高发生在一瞬间，以压力波的形式向四周传播，产生强烈的振动和噪声。油液的动能除转换为压力能外，还有一部分要转换为热能，局部高压区域内元件的管壁或液压元件表面长期受液压冲击和高温作用，同时从油液中游离出来的空气中所含的氧气具有较强的氧化作用，使金属零件表面逐渐腐蚀，严重时剥落成小坑，呈蜂窝状，导致元件的工作寿命缩短，这种现象称为气蚀。

2. 防止气穴现象的主要措施

防止气穴现象的产生，就是要防止液压系统中出现压力过低的情况，具体措施如下。

- 1) 减小孔口或缝隙前后的压差，使其前后压力比小于 3.5。
- 2) 限制液压泵的吸油高度，减小阻力，适当加大吸油管内径，降低速度。
- 3) 提高各元件结合处的密封性，防止空气进入。
- 4) 管路避免使用急弯头连接。



任务实践

- 1) 动手安装液压管道，观察液压油的泄漏情况。
- 2) 认识密封圈，了解密封的重要性。
- 3) 运行简单液压系统，观察橡胶软管的动作，了解液压冲击。



知识拓展

传动是传动技术的简称，其功用是利用中间媒介或机构把动力传递给做功的设备，使机器或机器部件运动或运转。

一台完整的机器由原动机、传动机构及控制部分、工作机(含辅助装置)组成，如图 1-9 所示。原动机(如电动机)机器的动力源，用于把各种形式的能量转换为机械能；工作机(或工作机构)利用机械能做功，实现旋转运动(或直线运动)；传动机构及控制部分设在原动机和工作机之间，起到传递动力、控制调节的作用。

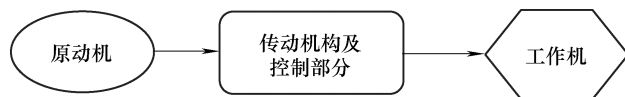


图 1-9 机器组成结构图

传动方式有多种(图 1-10)，目前我们已经学习接触到的传动方式有机械传动和电气传动。机械传动是通过带、链条、齿轮、齿条、蜗杆等机件直接把动力传送到执行机构的传递方式。其中，带传动和链传动的传动特点是传动结构简单、直接、可靠、效率高，但不易调节控制，难于实现自动化。电气传动是利用电力设备，通过调节电参数来传递或控制动力的传动方式，主要以电动机为主，多应用于回转运动，其传动特

点是传动快速、控制敏捷、可靠、精度高，但不能过载，难以实现无级变速和在低速或静态下的大负荷驱动。

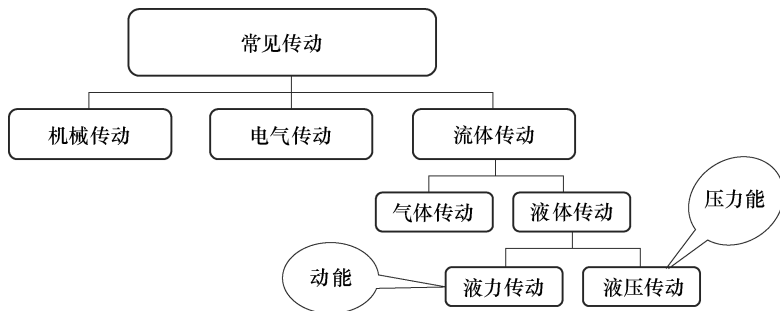


图 1-10 三大传动方式图

思政园地

重装之王——8 万吨大型模锻压机

锻压机在发电、造船、石化、航空、航天、军工方面都有广泛应用，其中巨型模锻压机是象征重工业实力的国宝级战略装备，是衡量一个国家工业实力和军工能力的重要标志。

2013 年，中国第二重型机械集团（以下简称中国二重）自主设计、自己制造、自己安装、自主调试的 8 万吨大型模锻压机正式投入运行，使我国成为拥有世界最高等级模锻装备的国家。

中国二重研制的 8 万吨大型模锻压机，地上高 27m、地下 15m，总高 42m，设备总重 2.2 万吨，压机尺寸、整体质量和最大单件质量均为世界第一。

该 8 万吨大型模锻压机采用世界先进的操作控制技术，可在 8 万吨压力以内任意吨位无级实施锻造，最大模锻压制力可达 10 万吨。它采用 C 形机架板框结构，主要部件由机架、五个主工作液压缸、垂直穿孔系统、上板梁、组合式活动横梁、组合式固定下梁、移动工作台、四个回程液压缸、四个同步液压缸、两个底座装置等组成。该锻压机采用的预紧大拉杆有 60 多根，直径为 160~900mm 不等。四个主工作液压缸的液压油工作压力为 0~63MPa，单缸最大压制力为 1.6 万吨；另有一个垂直穿孔缸，单缸压制力为 1.6 万吨，五缸合计 8 万吨。该锻压机通过强大的压力作用，使性能普通的金属材料在模具内流动，细化内部晶粒，提高刚度，实现大型模锻产品的整体精密成形。同时，它压制时的同步精度不大于 0.01mm/m，抗偏载能力强，能够实现无级调压、调速，并具有目前世界最大的 4000mm×8000mm 工作台面，可生产目前所有规格的大型模锻产品。

8 万吨大型模锻压机投入生产，意味着我国大型模锻产品制造实现了自主化和国产化，为国产大飞机 C919、大运工程、无人机、新型海陆直升机、航空发动机、燃气轮机



等国家重点项目建设提供了有力支撑。

讨论：

8 万吨大型模锻压机是一款真正的国之重器，你还了解哪些国之重器？

能力训练题

1-1 什么叫液压传动？液压传动的本质是什么？

1-2 液压传动的特点是什么？

1-3 液压传动的工作特性是什么？

1-4 液压系统由哪几部分组成？说明各组成部分的作用。

1-5 简述液压传动的优缺点。

1-6 液压系统运行中存在的主要问题是什么？简述解决问题的主要措施。

1-7 填空题。

1) 液压传动是利用有压_____流动来实现功率及传递的一种传动方式。

2) 液压传动是以_____为传动介质，依靠液体的_____来传递动力和运动。

3) 液压传动是以_____能来传递和转换能量的，它实现从_____能到_____能和_____能到_____能的两次转换。

4) 如果液压系统的外负载、阻力均为零，则液压系统中的压力为_____。

5) 活塞或工作台的运动速度取决于单位时间通过节流阀进入液压缸中油液的_____，_____越大，系统执行元件的速度_____，反之亦然。流量为零，系统执行元件的速度_____。

6) 液压元件的图形符号只表示元件的_____，不表示元件的_____、_____及接口的实际位置和元件的_____。

7) 液压系统工作时，液压阀突然关闭或运动部件迅速制动，常会引起_____。

8) 如果液压泵的吸油高度低于 0.5m，则在泵的吸油口处会出现_____现象。

9) 为防止液压冲击，液体在管道中的流速应小于_____m/s，液体在液压缸中的流速应小于_____m/min。

1-8 判断题。

1) 液压传动装置工作平稳，能方便地实现无级调速，但不能快速起动、制动和频繁换向。 ()

2) 液压传动能保证严格的传动比。 ()

3) 液压传动与机械、电气传动相配合，能很方便地实现运动部件复杂的自动工作循环。 ()

4) 液压系统故障诊断方便、容易。 ()

5) 液压传动适宜于远距离传动。 ()

6) 液压传动中，作用在活塞上的推力越大，活塞运动的速度越快。 ()



- 7) 液压系统中，应尽量避免泄漏，应减小液压冲击。 ()
- 8) 液压系统中可以不要辅助元件。 ()
- 9) 当液压系统中某处的压力过低时，该处就会出现气穴现象。 ()
- 10) 在液压系统中，液压冲击是不可避免的。 ()

