

# 教 案

2025-2026 学年第一学期

课程名称           液压与气动技术          

专业班级           工业机器人技术 241          

总学时数                   36 学时                  

任课教师                   陈沛冰

## 课程基本信息

课程名称	液压与气动技术			
课程性质	专业必修课	学分	2.0	
学时	总学时：36 学时 其中：课堂讲授 48 学时；实验 0 学时			
开课部门	机电工程系	任课教师	陈沛冰	
授课专业、班级	工业机器人 241	开课学期	2025-2026 第一学期	
成绩评定	平时成绩占 40%，期末成绩占 60%	考核方式	考查	
选用教材	书 名	主 编	出版社	出版日期
	液压与气动技术（第二版）	朱立达	高等教育出版社	2019.11
本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用	<p>本课程是工业机器人技术专业的专业基础课，是本专业重要前置课程。课程系统传授液压与气动系统的结构、原理、控制与维护知识，直接支撑工业机器人末端执行器、夹具及物料搬运系统等关键气动/液压部件的装调、运维与集成技能培养。本课程为机器人工作站中多系统协同调试与故障排查奠定了流体传动与控制基础。同时，课程培养的识图、调控及优化能力，紧密适配工业机器人系统运维、自动控制等岗位对“机械电气装调”和“系统智能运维”的核心职业能力要求，是打通机械、电气与系统集成知识模块的关键技术纽带。</p>			
本课程教学目标	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、掌握液压与气压传动的基本原理；</li> <li>2、掌握液压与气压传动的组成元件及其基本回路；</li> <li>3、掌握液压与气压传动典型系统的组成分析。</li> </ol>			
素质（思政）内容与要求	<p>本课程将思政教育有机融入专业教学，通过“专题嵌入+案例支撑”模式（如“天鲲号”换向阀应用、8万吨模锻液压机压力控制等案例），培育学生精益求精的工匠精神、科技报国的创新意识、安全生产的职业规范以及遵循行业标准的职业素养。教学中结合液压气动技术发展史、工程实践案例，强化辩证思维（如分析液压传动优缺点）、环保意识（如卸压回路设计）、团队协作与爱国情怀，实现知识传授、能力培养与价值塑造的深度融合。</p>			
学生用主要参考资料	《液压与气动技术（第二版）》			

基于本专业现有教学机器人均采用气压传动技术，因而本课程将气压课程前置教学。

## 第九章 气压传动基础知识（2课时）

### 一、教学目标

1. 掌握气动系统的组成、工作原理及优缺点。
2. 理解空气的物理性质（密度、黏度、湿度、状态方程）及其对气动系统的影响。
3. 掌握气体流动规律（连续性方程、能量方程、压力损失）及气阻与气容的概念。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 系统讲解气动系统组成、空气性质、气体状态方程及流动规律。
2. 以并联机器人分拣装置为例，分析气动系统的实际应用。
3. 展示气动系统原理图、气体状态变化过程图、压力损失计算示意图。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调气动技术以空气为介质，减少污染，符合绿色制造理念。
2. 空气净化不足可能导致系统故障，需重视气源处理装置的设计与维护。
3. 通过气体状态方程的推导与应用，培养学生严谨的逻辑思维。

### 四、教学重点与难点

1. **重点：**气动系统的组成及工作流程（气源装置→控制装置→执行装置）；空气的湿度概念（绝对湿度、相对湿度、露点）及其对系统的影响。
2. **难点：**气体状态方程在不同过程中的数学推导与实际应用。

### 五、教学内容

#### 1. 导入（5分钟）

- **案例引入：**某食品工厂使用气动分拣机器人进行包装分拣，但因空气湿度过高导致吸盘吸附力下降，产品掉落率增加。

#### 2. 具体内容（80分钟）

##### （1）气动系统的组成及特点（20分钟）

##### ● 组成：

1. **气源装置：**空气压缩机、过滤器、干燥器（提供清洁压缩空气）。
2. **执行装置：**气缸、气动马达（将气压能转化为机械能）。
3. **控制装置：**方向阀、压力阀（调节气流方向、压力）。
4. **辅助装置：**消声器、润滑器（提升系统稳定性）。

- **工作原理：**气源→过滤→减压→控制阀→执行装置→完成动作（如分拣机器人吸盘吸附与释放）。

- **特点：**环保、成本低、抗恶劣环境。输出力小、需净化处理、排气噪声大。

##### （2）空气的基本性质（20分钟）

##### ● 物理性质：

1. **密度：**公式  $(\rho = \frac{p}{RT})$ ，受压力与温度影响。
2. **黏度：**仅受温度影响，温度升高黏度增大。
3. **湿度：**

- **绝对湿度**：单位体积湿空气含水量 $(x = \frac{m_s}{V})$ 。
- **相对湿度**：实际湿度与饱和湿度的比值 $(\phi = \frac{x}{x_b})$ 。
- **露点**：水蒸气开始凝结的温度。
- **工程意义**：湿度过高易导致管路结露，需通过干燥器控制湿度。

### (3) 气体的状态方程 (20 分钟)

- **理想气体方程**： $(pV = mRT)$  (适用条件：非高压、非低温)。
- **状态变化过程**：
  1. **等温过程** (波意尔定律)： $(p_1V_1 = p_2V_2)$ 。
  2. **等容过程** (查理定律)： $(\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2})$ 。
  3. **等压过程** (盖·吕萨克定律)： $(\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2})$ 。

### (4) 气体流动规律 (20 分钟)

- **流量与连续性方程**：质量守恒： $(\rho_1S_1v_1 = \rho_2S_2v_2)$ 。不可压缩流体： $(S_1v_1 = S_2v_2)$ 。
- **能量方程**：伯努利方程 (考虑压缩性)： $(\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + \text{能量损失})$ 。
- **压力损失**：沿程损失： $(\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2})$ ；局部损失： $(\Delta p = \xi \frac{\rho v^2}{2})$ 。

### 3. 总结 (5 分钟)

- **知识回顾**：气动系统以空气为介质，环保但需控制湿度与压力损失。气体状态方程是分析气动系统性能的理论基础。流动规律与压力损失直接影响系统效率。

## 第十章 气源装置与辅助元件 (1 课时)

### 一、教学目标

1. 掌握气源装置的组成、工作流程及各部件功能 (空压机、后冷却器、储气罐等)。
2. 理解气动辅助元件 (油雾器、空气过滤器、消声器) 的作用、分类及选型原则。
3. 熟悉气动三联件的组成及其在系统中的应用。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解气源装置与辅助元件的工作原理。
2. 通过流程图、结构图展示气源装置的工作流程及元件安装位置。
3. 分组讨论气动三联件的优化配置方案。

### 三、素质 (思政) 内容与要求

1. 强调辅助元件可能导致的环境污染与安全事故。
2. 通过油雾器、过滤器、消声器的安装要求，培养学生精益求精的职业态度。

### 四、教学重点与难点

1. **重点**：气源装置的工作流程及各部件功能；油雾器、过滤器、消声器的选型与安装要求。
2. **难点**：空气干燥器类型的选择依据 (露点温度、流量需求)；消声器的工作原理及不同消声器的适用频段。

### 五、教学内容

#### 1. 导入 (5 分钟)

- **情境创设：**展示工厂气动生产线因压缩空气含杂质导致设备故障的案例，引导学生思考“如何保证气动系统的稳定运行”。

## 2. 具体内容（35 分钟）

### （1）气源装置（20 分钟）

- **气源装置的作用：**提供干燥、洁净的压缩空气，是气动系统的“动力心脏”。
- **工作流程：**  
空压机→后冷却器→油水分离器→储气罐→粗过滤器→干燥器→精过滤器→系统。
- **空压机分类（结合表格讲解）：**  
按原理：容积式（活塞式）、动力式。  
按压力：低压（0.2-1MPa）、中压（1-10MPa）、高压（>10MPa）。
- **后冷却器：**  
风冷式（轻便但处理量小） vs 水冷式（高效但需逆流设计）。
- **储气罐功能：**  
稳压、应急、进一步分离油水。
- **干燥器类型：**  
冷冻式（露点 2-10°C）、吸附式（露点-70~-40°C）、高分子隔膜式（无需电源）。

### （2）气动辅助元件（15 分钟）

- **油雾器：**雾化润滑油，随气流润滑气动元件。
- **空气过滤器：**二次净化，去除水分、油分及颗粒杂质。
- **消声器：**类型与适用场景：吸收型（高频噪声）、膨胀干涉型（中低频）、组合型（全频段消音）。
- **气动三联件：**标准配置于气动系统入口，保障元件寿命。

## 3. 总结（5 分钟）

- **知识回顾：**  
通过思维导图梳理气源装置与辅助元件的核心知识点（流程图+功能表）。
- **思政升华：**  
强调“节能环保”在气源净化中的意义，以及“安全规范”在工业设备维护中的重要性。

# 第十一章 气动执行元件（1 课时）

## 一、教学目标

1. 掌握气缸和气动马达的分类、结构及工作原理。
2. 理解气缸选型的关键参数（负载力、负载率、内径计算）及气动马达的特点与应用场景。
3. 熟悉冲击气缸、缓冲气缸的特殊功能及气动马达的无级调速、过载保护特性。

## 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 详细讲解气缸和气动马达的结构与工作原理。
2. 通过结构图、原理图展示气液阻尼缸、冲击气缸的工作流程。
3. 引入工业自动化生产线中气缸应用案例，分析选型与故障处理。
4. 分组讨论气缸与气动马达的优缺点及适用场景。

### 三、素质（思政）内容与要求

- 结合气动马达使用压缩空气的环保特性，对比液压系统的油液污染问题，突出气动技术“零污染排放”的优势。
- 在讲解气液阻尼缸的调速功能时，引入工业自动化中的创新案例（如精密装配线通过气液联动提升定位精度）。
- 结合国产气动元件（如国产缓冲气缸、叶片式气动马达）在高铁、航天等领域的应用案例，展示我国制造业的技术突破。

### 四、教学重点与难点

- 重点：**气缸的分类与工作原理（单作用、双作用、气液阻尼缸）；气动马达的特点（无级调速、过载保护）及应用领域。
- 难点：**气液阻尼缸中气压与液压的联动控制原理。

### 五、教学内容

#### 1. 导入（5分钟）

##### ● 情境创设：

展示自动化装配线视频，指出气缸在机械臂抓取、定位中的关键作用，提问：“如何保证气缸在不同负载下的稳定运行？”

##### ● 问题引导：

“气缸和气动马达如何将气压能转化为机械能？”“在复杂工况下，如何选择合适的气动执行元件？”

#### 2. 具体内容（35分钟）

##### （1）气缸（20分钟）

##### ● 气缸的定义与分类：

**作用：**将压缩空气的压力能转换为直线或摆动机械能。

**分类：**单作用气缸，双作用气缸，薄膜式气缸，气液阻尼缸，冲击气缸，缓冲气缸。

##### ● 气缸的选型与计算：

**步骤：**确定类型→计算内径→圆整→选择型号。

**关键公式：**双作用气缸内径： $D = \sqrt{\frac{4F}{\pi p \eta}}$ （F为负载力，p为工作压力，η为负载率）。活塞杆直径：按  $d/D=0.2\sim 0.3$  选取并圆整。

##### （2）气动马达（15分钟）

##### ● 气动马达的分类与特点：

**分类：**叶片式：结构紧凑、易启动，适用于中小功率（风钻、砂轮），活塞式：低速大转矩，适用于重型机械（起重机、绞车）。

**特点：**无级调速、正反转灵活、过载保护、耐恶劣环境。环保优势：使用压缩空气，无污染排放。

##### ● 工作原理：

**叶片式气动马达：**压缩空气驱动偏心转子，叶片在离心力作用下紧贴定子内壁，产生转矩差实现旋转。

**活塞式气动马达：**多活塞联动，通过配气阀控制进气顺序，驱动曲轴连续运转。

##### ● 应用场景： 矿山机械、化工设备、船舶甲板工具等。

### 3. 总结（5分钟）

- 知识回顾：

通过思维导图总结气缸类型、选型流程及气动马达的核心特性。

- 思政升华：

强调“安全第一”原则（如冲击气缸操作中的防护措施）。倡导绿色制造理念（气动马达的环保特性与节能潜力）。

## 第十二章 气动控制元件（2课时）

### 一、教学目标

1. 掌握方向控制阀（单向型、换向型）的结构、工作原理及典型应用。
2. 理解压力控制阀（减压阀、安全阀、顺序阀）的功能及使用注意事项。
3. 熟悉流量控制阀（节流阀、单向节流阀、排气节流阀）的调节原理及应用场景。
4. 了解气动逻辑元件的分类、逻辑功能及实际应用。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解各类元件的结构、原理及逻辑功能。
2. 通过典型应用实例（如梭阀控制气缸、双压阀安全回路）分析元件功能。
3. 展示元件动态工作原理图（如快速排气阀排气过程）。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调减压阀安装规范（如手柄朝上、避免油污进入），避免因操作不当引发事故。
2. 通过逻辑元件的精确控制要求，引导学生注重细节和逻辑性。

### 四、教学重点与难点

1. **教学重点** 方向控制阀的分类及工作原理（梭阀、双压阀、快速排气阀）；减压阀的调压原理及安装注意事项。
2. **教学难点**：逻辑元件的抽象逻辑关系与实际气动回路的结合。

### 五、教学内容

#### 1. 导入（5分钟）

- 问题引入：

“在自动化生产线中，气缸如何实现快速伸出和缩回？如何保证多个执行元件按顺序动作？”

- 生活实例：

以公交车门的气动开关为例，说明方向控制阀的作用（如通过按钮控制车门开关）。

- 目标明确：

本节课将学习气动控制元件的分类、原理及实际应用，掌握气动系统的核心控制技术。

#### 2. 具体内容（40分钟）

##### （1）方向控制阀（20分钟）

- 单向型方向控制阀

**单向阀**：仅允许单向流动，结构图展示。

**梭阀（或门逻辑）**：双输入单输出，应用实例（双按钮控制气缸伸出）。

双压阀（与门逻辑）：双输入同时有效，安全回路设计（图 12-3）。

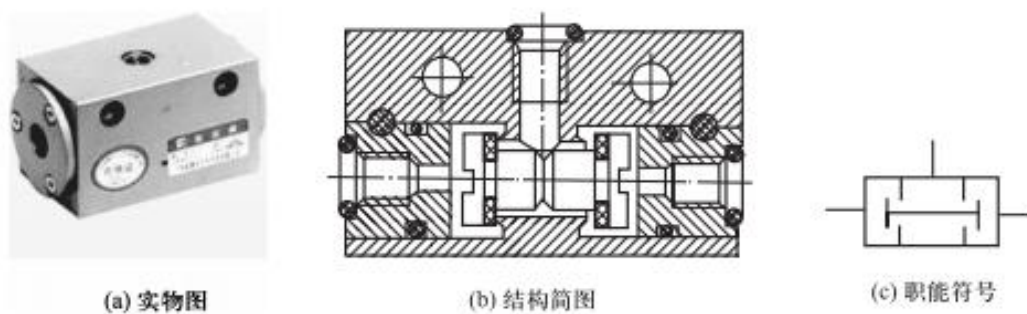


图 12-3 双压阀

快速排气阀：安装位置靠近气缸，加速排气。

- 换向型方向控制阀：气压控制、电磁控制、机械控制等，对比液压阀的异同。

#### (2) 压力控制阀（20 分钟）

- 减压阀：稳定输出压力，结构分析（QTY 型直动式减压阀）。
- 安全阀：过压保护，工作原理图解析。
- 顺序阀：按压力控制执行元件动作顺序，实例分析（单作用气缸顺序控制）。

#### (3) 流量控制阀（20 分钟）

- 节流阀：调节流通截面积，结构原理图（圆柱斜切型）。
- 单向节流阀：单向快速排气，气缸调速应用。
- 排气节流阀：带消声器，降低噪音。

#### (4) 逻辑元件（20 分钟）

- 基本逻辑元件：“与”门（双压阀）、“或”门（梭阀）、“非”门（常通型 3/2 阀）。

### 3. 总结（5 分钟）

- 知识回顾：方向控制阀控制气流方向，压力阀稳定系统压力，流量阀调节速度，逻辑元件实现复杂控制。
- 重点强调：梭阀的“或”逻辑与双压阀的“与”逻辑是回路设计的核心。减压阀的安装规范直接影响系统安全性。

## 第十三章 气动系统基本回路（2 课时）

### 一、教学目标

1. 掌握方向控制回路（单作用气缸、双作用气缸）的结构和工作原理。
2. 理解压力控制回路（调压、减压、增压回路）的功能及适用场景。
3. 熟悉速度控制回路（节流调速、缓冲回路）的设计方法及气-液转换调速原理。
4. 了解同步回路、安全保护回路和延时控制回路的实现方式及实际应用。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解各类回路的结构、原理及典型应用案例。
2. 通过动画展示调压回路、缓冲回路的工作过程（如溢流阀动作、气-液转换调速）。
3. 以自动化生产线中的气缸控制为例，分析安全保护回路的设计逻辑。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调安全回路（如过载保护、互锁回路）在工业应用中的必要性，避免设备损坏和人员伤害。

2. 通过同步回路的精确控制要求，引导学生注重细节和系统稳定性。
3. 分析排气节流调速与气-液转换回路的节能优势，提倡高效能源利用。

#### 四、教学重点与难点

1. **教学重点：**双作用气缸换向回路的控制方式（电磁阀、手动阀的配合）；排气节流调速的原理及缓冲回路的设计方法。
2. **教学难点：**气-液转换调速回路中液压与气动系统的协同工作原理

#### 五、教学内容

##### 1. 导入（5分钟）

###### ● 问题引入：

“在自动化设备中，如何让两个气缸同步运动？如何防止气缸因过载而损坏？”

##### 2. 具体内容（80分钟）

###### （1）方向控制回路（20分钟）

###### ● 单作用气缸控制回路

**二位三通电磁阀控制：**电磁铁得电时活塞杆伸出，断电时弹簧复位（图 13-1a）。

**三位五通阀控制：**中位停止功能，但定位精度低（图 13-1b）。

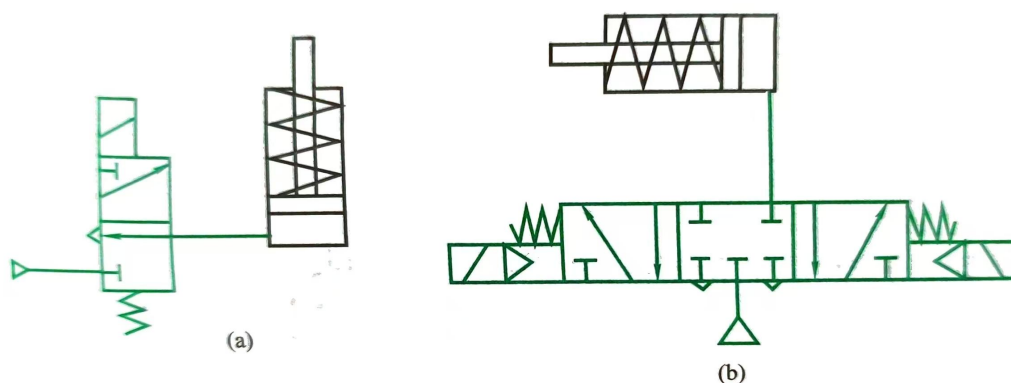


图 13-1 单作用气缸换向回路

###### ● 双作用气缸控制回路

**简单换向回路：**双电磁阀控制气缸双向运动。

**双稳逻辑功能回路：**防止误操作，对比液压换向阀的异同。

###### （2）压力控制回路（20分钟）

- **调压回路：**组成：空压机、气罐、溢流阀，溢流阀限制最高压力，但存在能量浪费。
- **减压回路：**双压力调节：有杆腔与无杆腔压力独立控制，适应负载变化。
- **增压回路：**气-液增压原理：利用大活塞驱动小活塞产生高压，增压比计算 $((n = D_2^2 / D_1^2))$ 。

###### （3）速度控制回路（20分钟）

- **节流调速回路：**排气节流调速：背压稳定，避免“爬行”。进气节流缺点：易导致速度波动，仅用于轻载场景。
- **缓冲回路：**行程阀控制缓冲：快进→慢进→停止→快退。顺序阀单向缓冲：剩余气体经节流阀排出。
- **气-液转换调速：**气液联动实现平稳运动，适用于高精度场合。

###### （4）其他控制回路（20分钟）

- **同步回路：** 刚性连接同步，气-液缸串联同步。
- **安全保护回路：** 自锁回路，互锁回路，过载保护回路。
- **延时控制回路：** 节流阀与气容配合实现延时断开，适用于定时操作场景。

### 3. 总结（5分钟）

- **知识回顾：** 方向控制回路实现气缸运动方向切换，压力回路稳定系统压力，速度回路调节运动平稳性，安全回路保障设备与人员安全。
- **重点强调：** 排气节流调速是速度控制的核心方法；安全保护回路需结合过滤与润滑装置。

## 第十四章 典型气压传动系统（2课时）

### 一、教学目标

1. 掌握气压传动系统图的阅读方法与步骤，能够分析系统图中各元件的功能及连接关系。
2. 理解气动机械手、夹紧系统、数控换刀系统及公共汽车车门系统的控制原理及工作流程。
3. 熟悉典型气压传动系统的设计特点与实际应用场景。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解系统图阅读方法及典型系统的控制逻辑。
2. 以气动机械手和公共汽车车门系统为例，分析电磁阀与气缸的协同控制。
3. 通过动画展示数控加工中心换刀流程及车门安全保护动作。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调安全保护回路在工业应用中的重要性（如车门遇阻自动开启功能）。
2. 通过气动机械手的精确动作要求，引导学生注重系统调试的细节。
3. 鼓励学生结合实际问题优化系统设计（如提高夹紧系统的响应速度）。

### 四、教学重点与难点

1. **教学重点：** 气压传动系统图的阅读方法与步骤（以气动机械手为例）；典型系统的控制逻辑（如数控换刀的动作流程、车门安全保护机制）
2. **教学难点：** 复杂系统中多缸顺序动作的逻辑分析（如气动机械手的循环动作）；气动与电气控制的结合（如电磁换向阀的信号触发机制）。

### 五、教学内容

#### 1. 导入（5分钟）

- **问题引入：**

“在自动化生产线上，机械手如何实现精准抓取和放置？公共汽车车门如何做到遇阻自动开启？”

#### 2. 具体内容（80分钟）

##### （1）气压传动系统图的阅读方法与步骤（20分钟）

- **步骤解析：**

1. **明确需求：** 了解设备动作要求（如机械手的循环动作）。
2. **元件识别：** 识别系统图中的电磁阀、气缸、节流阀等元件符号。
3. **回路拆分：** 以执行元件（气缸）为核心，梳理控制回路（如垂直缸上升气路）。

4. 逻辑分析：结合电磁动作顺序表，分析各元件的协同逻辑。

### (2) 典型气压传动系统分析 (60 分钟)

#### ● 气动机械手控制系统：

结构组成：真空吸头、水平缸、垂直缸、回转机构（图 14-2）。

工作循环：垂直缸上升→水平缸伸出→回转置位→复位→退回→下降。

控制逻辑：行程开关触发电磁阀换向，单向节流阀调速。

系统特点：行程控制多缸顺序动作，出口节流调速。

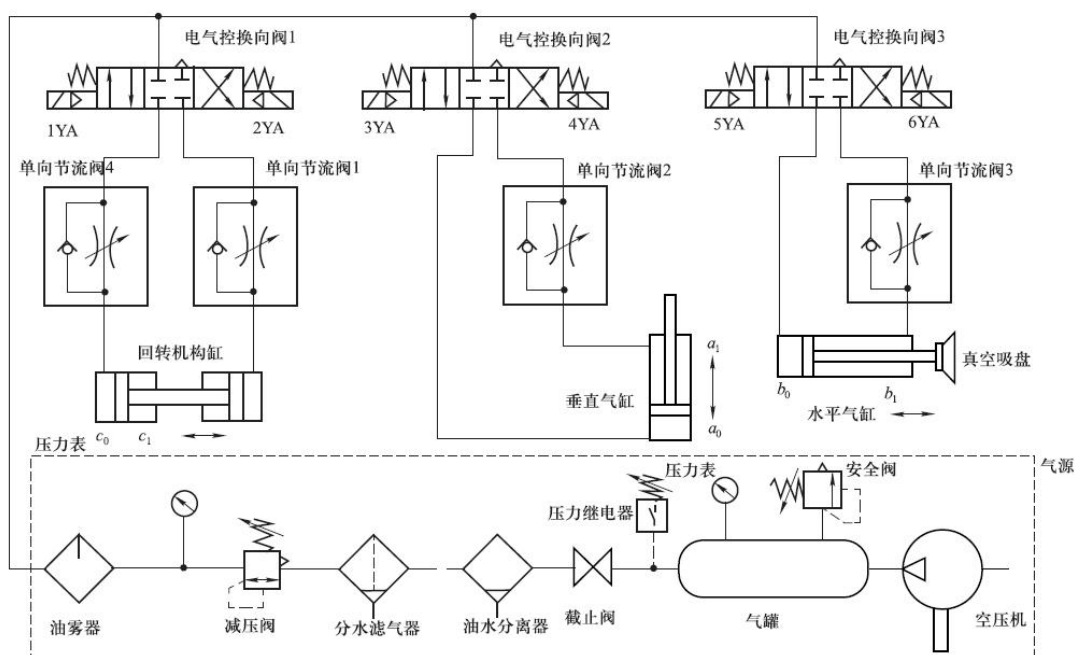


图 14-2 机械手气压传动系统原理

#### ● 气动夹紧控制系统

动作流程：垂直缸压紧→两侧缸夹紧→加工→各缸退回。

回路设计：顺序阀控制夹紧顺序，节流阀调节夹紧速度。

#### ● 数控加工中心换刀系统

换刀流程：刀库选刀→主轴定位→气动换刀机构动作→刀具锁紧。

气动控制：电磁阀驱动气缸完成定位与夹紧动作（结合气液增压）。

### 3. 总结 (5 分钟)

#### ● 知识回顾：

系统图阅读需分四步：明确需求、识别元件、拆分回路、逻辑分析。

典型系统的核心是电磁阀与行程开关的协同控制，强调安全与效率。

#### ● 重点强调：

气动机械手的多缸顺序控制是工业自动化的典型应用；车门系统的安全保护设计体现人机工程理念。

#### ● 课后任务：分析数控换刀系统的气动回路图，绘制其电磁动作顺序表。

# 第一章 液压传动基础（4 课时）

## 1.1 液压系统的工作原理、组成及特点

### 一、教学目标

1. 掌握液压传动的基本工作原理及系统组成。
2. 熟悉液压系统图形符号的绘制规则及其意义。
3. 理解液压传动的优缺点及其适用场景。
4. 能够根据图形符号分析液压系统的基本回路。
5. 能够结合实际案例说明液压系统的组成及各部分功能。

### 二、教学方法与手段

1. 系统讲解液压传动原理、系统组成及图形符号。
2. 播放平面磨床工作台液压系统工作视频，直观展示液压传动过程。
3. 结合工程机械（如挖掘机）液压系统案例，分析组成元件的功能。
4. 分组讨论“液压传动在生活中的应用”，激发学习兴趣。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调液压系统高压环境下的安全操作规范（如防止油液泄漏引发事故）。
2. 通过液压技术发展趋势（如智能化、节能化），引导学生关注技术创新。
3. 结合液压技术在国防、环保领域的应用，激发科技报国使命感。

### 四、教学重点与难点

1. **教学重点：**液压系统的五大组成部分及其功能（动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件、工作介质）；液压图形符号的绘制规则（静止位置表示、功能导向、不反映结构）。
2. **教学难点：**图形符号的实际应用：如何从符号图中推断液压系统工作原理；液压传动的缺点分析：理解泄漏、效率低等问题对系统性能的影响。

### 五、教学内容

#### 1. 导入（3 分钟）

**问题引入：**提问学生：“日常生活中哪些设备可能用到液压系统？”（参考答案：汽车刹车系统、挖掘机、升降平台）

#### 2. 具体内容（30 分钟）

##### （一）液压传动的工作原理

##### 1. 基本定义：

- 液压传动以液体为工作介质，通过压力能传递动力（对比气压传动的气体介质）。
- 核心特性：液体不可压缩性（与气体对比）。

##### 2. 实例分析（平面磨床工作台）

##### （二）液压系统的组成

##### 1. 五大组成部分详解：

组成部分	功能及典型元件
能源装置	液压泵（将机械能转化为液压能）
执行装置	液压缸/马达（将液压能转化为机械能）
控制调节装置	方向阀、压力阀、流量阀
辅助装置	油箱、过滤器、密封件、管路
工作介质	液压油（传递能量、润滑、冷却）

## 2. 图形符号规则：

- 绘制原则：静止位置表示、功能导向、简化结构（对比图 1-1 与图 1-2）。

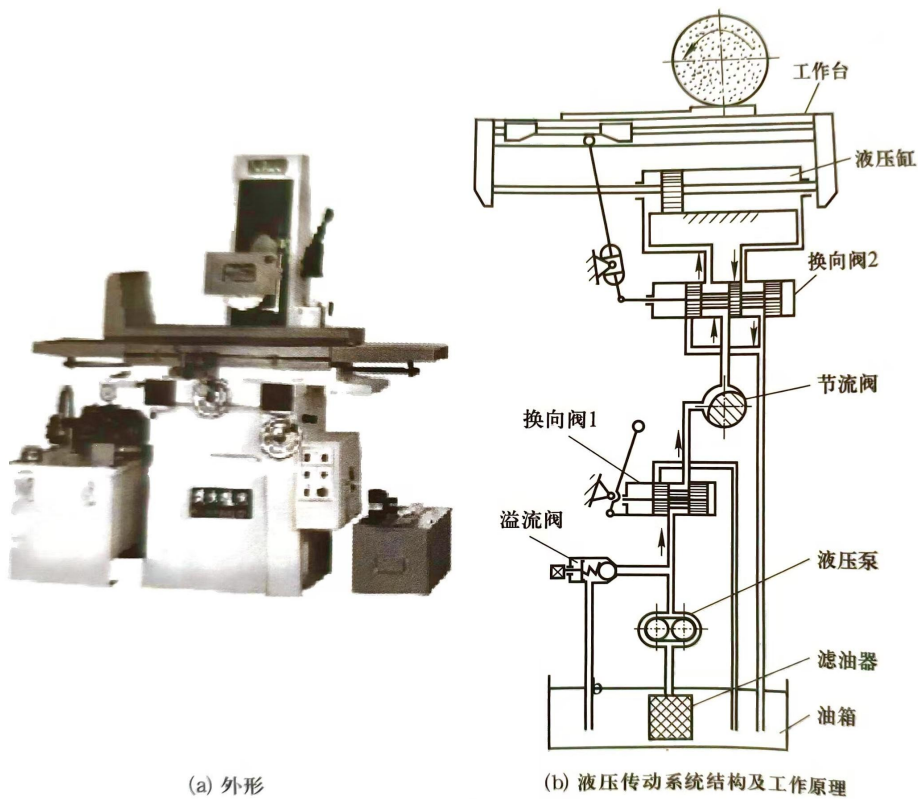
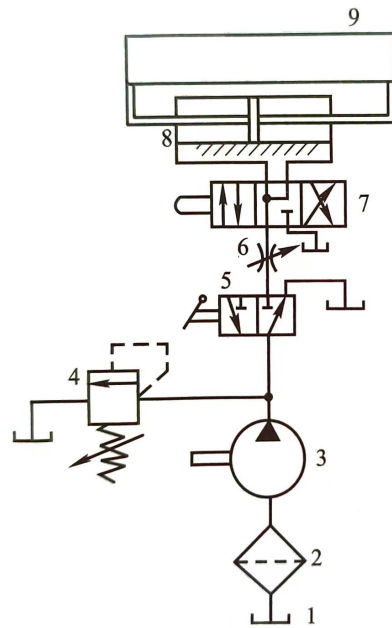


图 1-1 平面磨床



1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；  
5—换向阀1；6—节流阀；7—换向阀2；  
8—液压缸；9—工作台。

图 1-2 平面磨床液压传动系统图

- **实例练习：**给出简单液压回路符号图（如泵→换向阀→液压缸），要求学生标注元件名称。

### （三）液压传动的特点

#### 1. 优点：

- 推力大、调速范围广（如起重机低速吊装重物）。
- 布局灵活、运动平稳（对比机械传动的刚性连接）。
- 易实现自动化（如数控机床的液压夹紧装置）。

#### 2. 缺点：

- **泄漏问题：**密封不良导致效率下降（实例：挖掘机液压臂无力）。
- **温度敏感性：**高温导致油液黏度降低，需加装冷却器。
- **能量损失：**节流损失、摩擦损失（强调节能设计的重要性）。

### （四）应用案例分析

- **工程机械：**挖掘机液压系统组成及工作流程。
- **工业生产：**注塑机液压回路中的压力控制与保压功能。

### 3. 总结（2 分钟）

#### 1. 知识梳理：

- 液压系统通过五大组成部分协同工作，实现能量传递与控制。
- 图形符号是分析与设计液压系统的通用语言。

#### 2. 重点强调：

- 液压传动的核心优势是“大力输出与灵活控制”，但需注意泄漏与效率问题。

### 3. 课后任务:

- 绘制一个简单液压回路的图形符号（含泵、换向阀、液压缸、油箱），并说明其工作过程。

## 1.2. 液压油

### 一、教学目标

1. 掌握液压油的基本性质（密度、可压缩性、黏性）。
2. 理解液压油的种类、牌号及黏度等级的含义。
3. 学会根据工况条件正确选用液压油。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解液压油的性质、种类及选用原则。
2. 通过工程案例（如挖掘机液压系统选油错误导致故障）分析液压油选用的重要性。
3. 分组讨论不同工况下液压油的选用策略。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调正确选用液压油对设备寿命和安全生产的影响，培养精益求精的职业态度。
2. 引入环境友好型液压油（如 HEES、HEPG），倡导绿色工程理念。
3. 通过高压液压系统泄漏案例，强化规范操作和安全防护意识。

### 四、教学重点与难点

1. **教学重点：**液压油的黏性及黏度表示方法（动力黏度、运动黏度、恩氏黏度）；液压油牌号的含义及选用原则。
2. **教学难点：**黏度单位间的换算关系（如 $v=\mu/\rho$ ）；综合工况条件（压力、温度、运动速度）选择液压油的黏度等级。

### 五、教学内容

#### 1. 导入（3 分钟）

- **提问导入：**

“为什么挖掘机在寒冷地区需要使用特殊液压油？如果选错液压油，会导致什么后果？”

- **案例分析：**

展示某工厂因液压油黏度过高导致泵阀卡死的故障案例，引发学生对液压油重要性的思考。

#### 2. 具体内容（15 分钟）

##### （1）液压油的性质

- **密度**

定义：单位体积液体的质量（公式 1-1）。

特性：受温度、压力影响小，通常视为常数（ $\rho \approx 900 \text{ kg/m}^3$ ）。

- **可压缩性**

公式推导：体积压缩系数 $\kappa$ 与弹性模量 $K$ 的关系（公式 1-2、1-3）。

实际应用：中低压系统中忽略可压缩性，高压或动态系统需考虑。

- **计算题示例：**

已知体积变化  $\Delta V=0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ， $K=7000 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，求压力升高值  $\Delta p=K \cdot \Delta V/V_0=14 \text{ MPa}$ 。

- **黏性**

**黏性定义：**液体流动时的内摩擦力（牛顿内摩擦定律，公式 1-5）。

**黏度分类：**

动力黏度 $\mu$ （Pa·s）：反映流体内部摩擦阻力。

运动黏度 $\nu$ （mm<sup>2</sup>/s）： $\nu=\mu/\rho$ （公式 1-7），用于液压油牌号（如 L-HM32 表示 40°C 时  $\nu=32 \text{ mm}^2/\text{s}$ ）。

恩氏黏度 $^\circ\text{E}$ ：实验测定方法（公式 1-8）。

**黏温特性：**温度 $\uparrow$ →黏度 $\downarrow$ ，黏度指数 VI 衡量稳定性（VI>90 为优）。

## （2）液压油的种类与牌号

- **分类标准**（GB 7631.2）：石油基液压油（L-HL、L-HM）与难燃液压液（HETG、HEES）。

- **牌号含义：**以 40°C 运动黏度的平均值为标号（如 L-HM46 表示  $\nu=46 \text{ mm}^2/\text{s}$ ）。

## （3）液压油的正确选用

- **选油原则：**

工作压力高/温度高→选高黏度油（减少泄漏）。

运动速度快→选低黏度油（减少摩擦损失）。

- **液压泵匹配：**

齿轮泵：L-HL 或 L-HM。

叶片泵/柱塞泵：L-HM 抗磨液压油。

## 3. 总结与巩固（2 分钟）

- **知识梳理：**

液压油三大性质：密度、可压缩性、黏性。

黏度是选油的核心参数，需综合压力、温度、运动速度。

- **课堂练习：**

填空题：黏性定义、黏度分类、运动黏度单位换算。

判断题：可压缩性对系统的影响（如“压力>10MPa 需考虑黏度变化”）。

# 1.3 静止液体的性质

## 一、 教学目标

1. 掌握静止液体的压力定义、特性及单位换算。
2. 理解液体静力学基本方程的物理意义及应用。
3. 学会区分绝对压力、相对压力与真空度，并能进行相关计算。
4. 掌握液体静压力作用于固体壁面时的力计算方法。

## 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解静止液体的压力特性、静力学方程及压力表示方法。
2. 通过液压系统泄漏事故案例，分析压力计算错误导致的后果。
3. 借助多媒体辅助动态演示等压面分布、压力传递过程动画。
4. 对学生进行互动问答，针对压力单位换算、真空度计算进行随堂练习。

## 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调压力计算中单位换算的准确性，避免工程误差。
2. 结合高压系统爆炸案例，说明正确理解压力概念对安全生产的重要性。
3. 通过液压设备设计实例，培养学生在工程实践中严格遵循规范的态度。

## 四、教学重点与难点

1. **重点：**液体静力学基本方程的推导及应用；绝对压力、相对压力与真空度的定义及关系；液体对平面和曲面壁面作用力的计算方法。
2. **难点：**液体静力学方程的物理意义（能量守恒视角）。

## 五、教学内容

### 1. 导入（2 分钟）

#### ● 问题导入：

“潜水员下潜时为何需要抗压装备？深海潜艇的舱壁设计为何需要特殊强化？”

#### ● 生活实例：

展示水坝底部厚度大于顶部的设计原理，引导学生思考液体静压力的分布规律。

### 2. 具体内容（30 分钟）

#### （1）静止液体的压力

#### ● 定义：

静止液体中单位面积所受的内法线方向法向力，即静压力（压强）。

$$p = \frac{F}{A} \quad (\text{公式 1-14})$$

#### ● 特性：

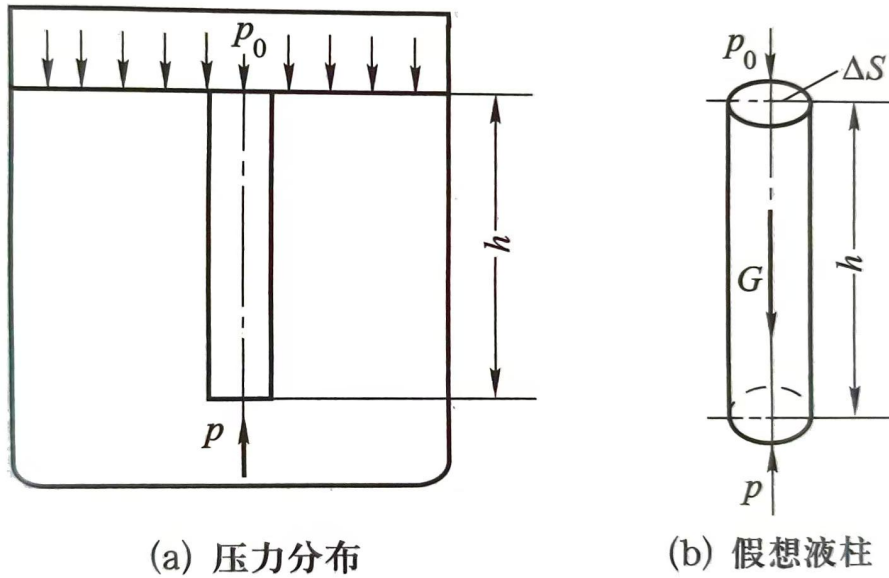
方向：沿作用面内法线方向，不承受剪切应力。

大小：同一深度各方向压力相等。

#### （2）液体静力学基本方程

#### ● 推导：

取深度为（ $h$ ）的液柱分析受力平衡（图 1-6）：



(a) 压力分布

(b) 假想液柱

图 1-6 静止液体内压力分布规律

$$p = p_0 + \rho g h \quad (\text{公式 1-15})$$

$(p_0)$ : 液面压力 (常取大气压  $(p_a)$ ) ;  $(\rho g h)$ : 液体重力产生的压力。

● 物理意义:

$$\frac{p}{\rho g} + z = \text{常数} \quad (\text{公式 1-16})$$

位置水头 ( $(z)$ ) 与压力水头 ( $(\frac{p}{\rho g})$ ) 之和守恒。

(3) 压力的表示方法

- 绝对压力: 以绝对真空为基准,  $(p_{\text{绝}} = p_a + p_{\text{(表)}})$ 。
- 相对压力 (表压力): 以大气压为基准, 液压系统常用。
- 真空度:  $(p_{\text{真}} = p_a - p_{\text{绝}})$  (当  $(p_{\text{绝}} < p_a)$  时)。
- 关系图示: 通过图 1-9 说明三者关系。

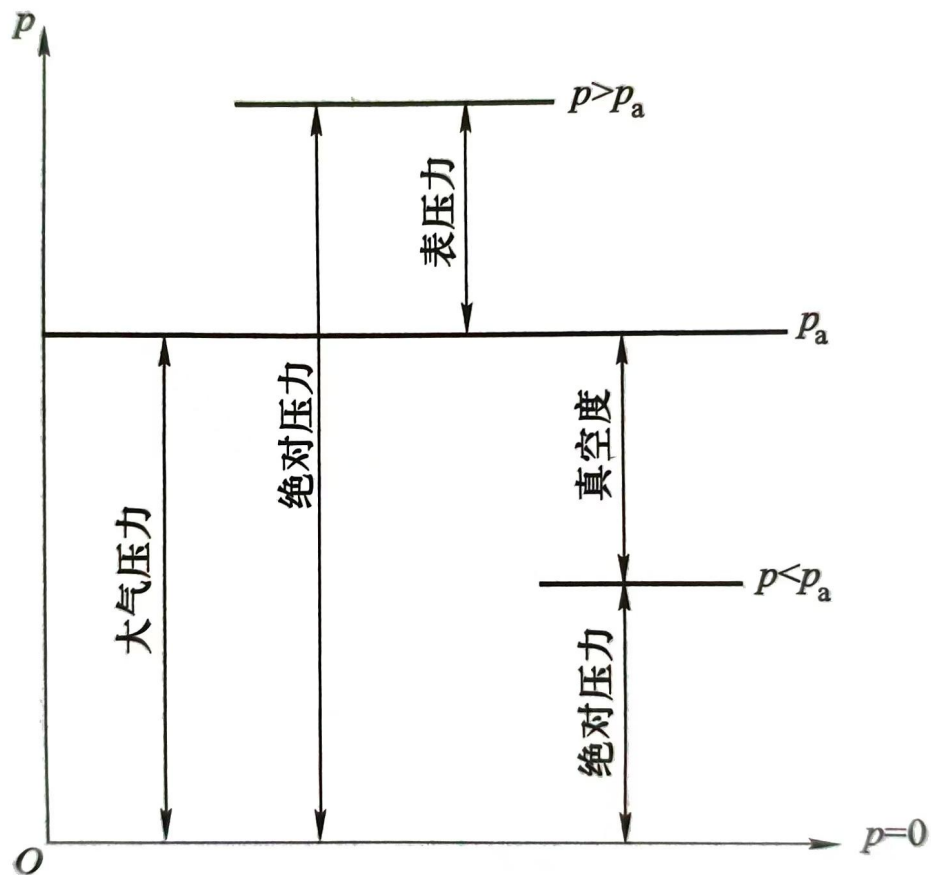


图 1-9 绝对压力、相对压力和真空度之间的关系

(4) 液体静压力作用在固体壁面上的力

- 平面壁面：

$$F = p \cdot A \quad (\text{均匀分布})$$

- 曲面壁面：

总作用力方向需分解计算（如液压缸壁受力分析）。

示例：计算半球形阀芯所受水平方向分力。

### 3. 总结与巩固（3分钟）

- 知识梳理：

静止液体压力特性：方向性、等压面水平；静力学方程核心： $(p = p_0 + \rho gh)$ ；压力表示方法的工程应用场景。

- 课堂练习：

#### 1. 填空题：

“绝对压力与相对压力的关系是\_\_\_\_\_。”

#### 2. 计算题：

已知油液体积弹性模量  $(K = 7000 \times 10^5 \text{ Pa})$ ，体积减少 0.5%，求压力升高值。

- **课后作业:**

分析题: 解释水坝底部设计较厚的原因, 并结合静力学方程说明。

## 1.4. 流动液体的性质

### 一、教学目标

1. 掌握流动液体的基本概念 (理想液体、稳定流动、层流与紊流)。
2. 理解液体流量连续性方程、伯努利方程及动量方程的物理意义与应用。
3. 掌握液体流动时的压力损失类型及计算方法。
4. 能够运用流量连续性方程和伯努利方程分析简单管路中的液体流动问题。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解基本概念、方程推导及实际应用。
2. 通过工程实例 (如管道设计、液压系统优化) 分析压力损失的影响。

### 三、素质 (思政) 内容与要求

1. 强调“理想液体”模型的科学意义, 引导学生理解理论简化在工程研究中的作用。
2. 结合管路压力损失分析, 倡导绿色设计理念, 减少能源浪费。

### 四、教学重点与难点

1. **重点:** 流量连续性方程和伯努利方程的物理意义与应用; 雷诺数的计算与流态判别方法。
2. **难点:** 实际液体伯努利方程中动能修正系数的理解; 沿程压力损失与局部压力损失的综合计算。

### 五、教学内容

#### 1. 导入 (3 分钟)

- **生活实例引入:**

提问: “为什么水龙头开小时水流平缓, 开大时水流湍急甚至喷溅?” 引导学生思考流速与管道截面积的关系, 引出流量连续性方程。

- **工程问题引导:**

展示液压系统管路图, 提问: “如何设计管路才能减少能量损失?” 引发对压力损失的学习兴趣。

#### 2. 具体内容 (30 分钟)

##### (1) 流动液体的基本概念

- **理想液体与实际液体:**

理想液体: 无粘性、不可压缩 (理论模型)。

实际液体: 有粘性、可压缩 (需考虑能量损失)。

- **稳定流动与非稳定流动:**

稳定流动: 参数不随时间变化 (如恒定流速的水管)。

非稳定流动: 参数随时间变化 (如水箱排空过程)。

- **层流与紊流:**

层流：质点分层流动，无横向混杂（如蜂蜜流动）。

紊流：质点紊乱运动，存在旋涡（如湍急河水）。

- **雷诺实验**：通过实验视频展示流态变化，推导雷诺数公式： $Re = \frac{v_c \cdot d_H}{\nu}$   
临界雷诺数 ( $Re_c = 2300$ )，判断流态。

### (2) 液体流量连续性方程

- **公式推导**： $q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$   
说明“截面积大则流速小”。
- **工程应用**：  
案例：消防水管喷嘴设计（缩小截面积提高流速）。

### (3) 伯努利方程

- **理想液体伯努利方程**： $\frac{p_1}{\rho} + gh_1 + \frac{v_{c1}^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + gh_2 + \frac{v_{c2}^2}{2}$   
物理意义：能量守恒（压力能+位能+动能=常数）。
- **实际液体伯努利方程**： $\frac{p_1}{\rho} + gh_1 + \alpha_1 \frac{v_{c1}^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + gh_2 + \alpha_2 \frac{v_{c2}^2}{2} + gh_w$   
强调动能修正系数（层流 ( $\alpha = 2$ )，紊流 ( $\alpha = 1$ )）与能量损失 ( $h_w$ )。

### (4) 液体流动时的压力损失

- **沿程压力损失**： $\Delta p_\lambda = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho v_c^2}{2}$   
影响因素：流速、管长、内径、流体粘度。
- **局部压力损失**： $\Delta p_\xi = \xi \cdot \frac{\rho v_c^2}{2}$   
案例：阀门、弯头处的能量损失。
- **总压力损失**： $\Delta p_{\text{总}} = \sum \Delta p_\lambda + \sum \Delta p_\xi$   
思政结合：减少压力损失对节能的意义。

## 3. 总结与作业（2分钟）

- **知识总结**：  
流动液体的流态由雷诺数判断，流量连续性方程与伯努利方程是能量分析的核心工具。压力损失包括沿程与局部损失，优化管路设计可提高系统效率。
- **巩固练习**：  
填空题：流量=流速×截面积；理想液体无粘性、不可压缩。  
计算题：计算某管路雷诺数并判断流态。
- **课后任务**：  
分组调研工程中减少压力损失的实际案例，下次课分享。

## 1.5-1.6 液体流经小孔和缝隙的流量计算以及液压冲击和气穴现象

### 一、教学目标

1. 掌握薄壁小孔、短孔、细长孔的流量计算公式及其适用条件。

2. 理解平行平板间隙与环状间隙的流量计算方法。
3. 掌握液压冲击和气穴现象的成因、危害及预防措施。

## 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解小孔流量公式、间隙泄漏模型及液压冲击机理。
2. 通过液压系统因气穴导致元件损坏的案例，强调预防措施。
3. 动态演示液流在小孔中的收缩-扩散过程、偏心环状间隙泄漏动画。
4. 分组设计减少液压冲击的优化方案。

## 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调流量计算中系数（如  $(C_q)$ 、 $(C_v)$ ）的实验验证意义，避免主观臆断。
2. 结合液压冲击导致设备故障的案例，说明规范操作与系统设计的重要性。
3. 鼓励学生通过优化间隙配合或改进密封技术减少泄漏，培养工程创新能力。

## 四、教学重点与难点

1. **重点：**薄壁小孔流量公式  $(q = C_q S \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}})$  的推导及应用；平行平板间隙流量计算（压差流动与剪切流动叠加）；液压冲击和气穴现象的成因及预防措施。
2. **难点：**偏心环状间隙流量公式中相对偏心率  $(\epsilon)$  的影响分析。气穴现象与气蚀的物理机理关联。

## 五、教学内容

### 1. 导入（2 分钟）

#### ● 问题导入：

“为什么液压系统中的节流阀常采用薄壁小孔设计？若改用细长孔会有什么问题？”

#### ● 工程实例：

展示挖掘机液压回路因节流孔堵塞导致动作迟缓的案例，引导学生思考流量计算的重要性。

### 2. 具体内容（50 分钟）

#### （1）液体流经小孔的流量计算

#### ● 薄壁小孔

定义： $(l/d \leq 0.5)$ ，流量公式： $q = C_q S \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$  ( $C_q = 0.61 \sim 0.62$ )

特性：流量与压差平方根成正比，受粘度影响小，适用于节流阀。

#### ● 短孔

定义： $(0.5 < l/d \leq 4)$ ，流量公式同薄壁孔，但  $(C_q = 0.82)$ 。

应用：固定节流器，加工方便。

#### ● 细长孔

定义： $(l/d > 4)$ ，流量公式： $q = \frac{\pi d^4 \Delta p}{128 \mu l}$

特性：流量与压差线性相关，受温度（粘度）影响显著。

## (2) 液体流经缝隙的流量计算

### ● 平行平板间隙

$$\text{压差流动: } q = \frac{bh^3\Delta p}{12\mu l}$$

$$\text{剪切流动: } q = \frac{v_0bh}{2}$$

$$\text{综合流量: } q = \frac{bh^3\Delta p}{12\mu l} \pm \frac{v_0bh}{2}$$

### ● 环状间隙

$$\text{同心环: } (q = \frac{\pi dh^3\Delta p}{12\mu l})$$

$$\text{偏心环: } (q = \frac{\pi dh^3\Delta p}{12\mu l} (1 + 1.5\varepsilon^2))$$

## (3) 液压冲击与气穴现象

### ● 液压冲击

成因：阀门骤闭、运动部件急停。

危害：元件损坏、系统振动。

措施：设置蓄能器、限制流速、缓冲装置。

### ● 气穴现象

成因：局部压力低于空气分离压，气泡产生与溃灭。

危害：气蚀、噪声、元件寿命下降。

措施：优化吸油管路、降低压降梯度、提高抗气蚀能力。

## 3. 总结与巩固（3分钟）

### ● 知识梳理

小孔流量公式的核心差异：薄壁孔（平方根关系）、细长孔（线性关系）。

间隙泄漏与液压冲击的工程控制要点。

### ● 课后作业

分析题：某液压泵进口处频繁出现噪声，分析可能原因并提出改进措施。

# 第二章 液压动力元件（2课时）

## 2.1 概述

### 一、教学目标

1. 掌握液压泵的基本工作原理及其在液压系统中的作用。
2. 了解液压泵的分类及图形符号。
3. 理解液压泵的性能参数（压力、排量、流量、功率、效率）的定义及计算方法。
4. 能够识别不同类型的液压泵及其应用场景。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解液压泵的核心概念。

2. 展示液压泵工作原理图（图 2-1）和图形符号（图 2-2），辅助学生直观理解。
3. 通过挖掘机、注塑机等实际案例，分析液压泵的应用。
4. **计算练习：**通过例题演示性能参数的计算，布置课后习题巩固知识。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调液压泵额定压力的重要性，结合安全阀的作用，引导学生树立“安全第一”的设计理念。
2. 通过分析液压泵泄漏对效率的影响，培养学生注重细节、精益求精的工程态度。
3. 讨论液压系统在工业自动化中的广泛应用，鼓励学生思考节能环保的技术创新方向。

### 四、教学重点与难点

1. **重点：**液压泵的工作原理（密封容积周期性变化）；性能参数的定义及计算（排量、流量、功率、效率）。
2. **难点：**容积式液压泵正常工作的四个条件；容积效率与机械效率的区别及总效率的计算。

### 五、教学内容

#### 1. 导入（3 分钟）

- 问题引入：

“大家是否观察过挖掘机的机械臂如何实现灵活运动？它的动力来源是什么？”

- （学生回答后）总结：液压泵是液压系统的“心脏”，将机械能转化为压力能，驱动执行元件工作。展示实物/模型：展示柱塞泵模型或动态原理动画，激发学生兴趣。

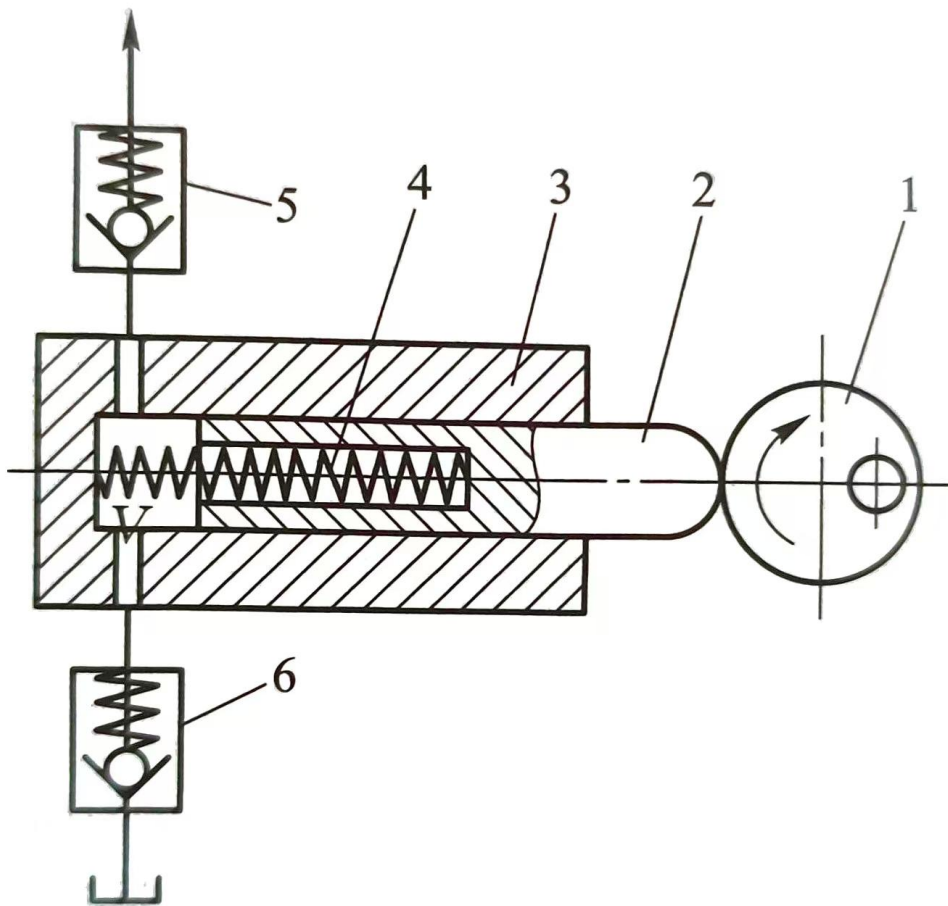
#### 2. 具体内容（40 分钟）

##### （1）液压泵的工作原理

- 核心概念：

液压泵是容积式泵，通过密封工作容积的周期性变化实现吸油和压油。

关键部件：柱塞、偏心轮、单向阀、弹簧（结合图 2-1 讲解）。



1—偏心轮；2—柱塞；3—泵体；  
4—弹簧；5、6—单向阀。

图 2-1 液压泵的工作原理

- 工作过程分步解析：

吸油过程：偏心轮旋转→柱塞下移→密封容积增大→形成真空→吸油阀打开→油液进入泵体。

压油过程：偏心轮继续旋转→柱塞上移→密封容积减小→油液受压→压油阀打开→油液输出。

- 互动提问：

“如果吸油时油箱未与大气连通，会发生什么现象？”（答案：无法形成真空，吸油失败。）

(2) 液压泵的分类

- 分类标准：按排量是否可变、输油方向是否可变。
- 图形符号解析（图 2-2）：

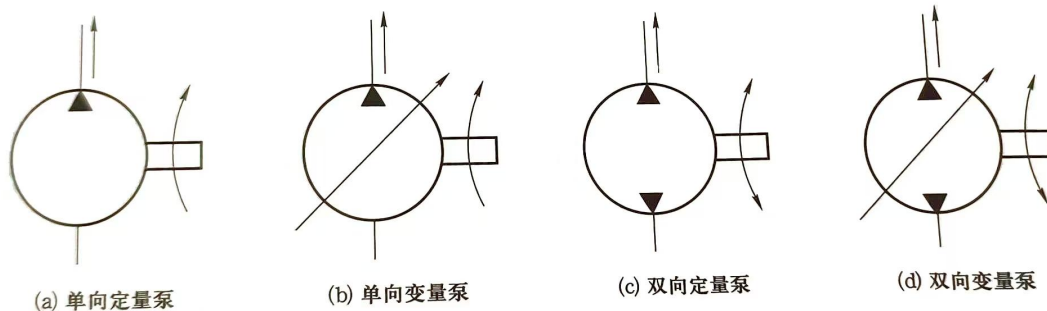


图 2-2 常见液压泵的图形符号

单向定量泵（固定箭头）、单向变量泵（斜箭头）、双向泵（双向箭头）。

● 案例分析：

“挖掘机回转机构需要双向变量泵，为什么？”（答案：需改变油液方向以实现正反转。）

**(3) 液压泵的性能参数**

● 压力参数：

工作压力（ $p$ ）：由负载决定，单位 MPa。

额定压力（ $p_e$ ）：设计寿命下的最高压力。

最高压力（ $p_{max}$ ）：短时允许压力，由安全阀限定。

● 排量与流量：

○ 排量（ $V$ ）：泵轴一转排出的液体体积（mL/r）。

○ 理论流量（ $q_{vt}$ ）= 排量 × 转速（L/min）。

○ 实际流量（ $q_v$ ）= 理论流量 - 泄漏流量。

● 功率与效率：

○ 输入功率（ $P_i$ ）= 转矩 × 角速度。

○ 输出功率（ $P_o$ ）= 压力 × 流量。

○ 总效率（ $\eta$ ）= 输出功率 / 输入功率 = 容积效率 × 机械效率。

● 公式应用示例：

“某液压泵排量 10mL/r，转速 1500r/min，容积效率 0.9，求实际流量？”（答案： $q_v = 10 \times 1500 \times 0.9 = 13.5L/min$ ）

**3. 总结（10 分钟）**

● 知识回顾：液压泵通过密封容积变化实现能量转换。分类依据及图形符号需熟记。性能参数是选型与设计的核心依据。

● 课后任务：

完成习题：计算某液压泵的机械效率（给定输入转矩和理论转矩）。

● 思政升华：“作为未来的工程师，不仅要掌握技术，更要以安全、高效、环保为目标，推动液压技术的创新发展。”

## 2.2. 液压泵

### 一、教学目标

1. 理解齿轮泵、叶片泵和柱塞泵（包括螺杆泵）的工作原理、结构组成及特点。

2. 掌握各类液压泵的常见问题及其解决方法。
3. 了解不同液压泵的应用场景。

## 二、教学方法手段

1. 通过多媒体课件（PPT）讲解液压泵的理论知识，包括工作原理、结构组成、优缺点等。
2. 利用动画或视频展示液压泵的工作过程，帮助学生直观理解其运行机制。
3. 使用 PPT、动画、视频等多媒体资源，增强教学的直观性和趣味性，提高学生的学习积极性。

## 三、素质（思政）内容与要求

1. 在讲解液压泵的结构优化和问题解决过程中，强调精益求精的工匠精神，引导学生在学习和工作中追求卓越。
2. 通过讨论液压泵在工业生产中的重要性，培养学生的责任感，让学生明白掌握专业知识的重要性。

## 四、教学重点与难点

1. **教学重点：**各类液压泵（齿轮泵、叶片泵、柱塞泵、螺杆泵）的工作原理和结构组成；液压泵的优缺点及其应用场景。
2. **教学难点：**齿轮泵的困油现象及其解决方法；叶片泵的配油方式及其工作原理；柱塞泵的斜盘和柱塞运动原理；螺杆泵的结构特点及其工作过程。

## 五、教学内容

### （一）导入（3 分钟）

1. **引入话题：**
  - a. 通过展示一些常见的液压系统的图片或视频，如挖掘机、起重机等，引出液压泵在液压系统中的重要性。
  - b. 提出问题：“液压泵是如何将机械能转化为液压能的？”
  - c. 引出本节课的主题——液压泵的分类及工作原理。
2. **引入案例：**
  - a. 简要介绍一个实际工业案例，如某工厂的液压系统因液压泵故障导致生产停滞，强调学习液压泵知识的实际意义。

### （二）具体内容（40 分钟）

#### 1. 齿轮泵

##### ● 工作原理：

##### ○ 结构组成：

- 通过 PPT 展示外啮合齿轮泵的结构图，详细讲解其主要组成部分：前端盖、后端盖、壳体、一对相互啮合的齿轮、吸油口和压油口等。
- 强调齿轮泵的密封容积是如何形成的：齿轮端面与端盖之间、齿轮齿顶与壳体内表面之间存在很小的间隙，这些间隙与齿轮的齿间槽共同形成密封容积。

##### ○ 工作过程：

- 利用动画或视频展示齿轮泵的工作过程：
  - 当齿轮按顺时针方向旋转时，在泵体右侧，轮齿逐渐脱离啮合，密封工作容积逐渐增大，形成局部真空，油液从吸油口进入齿间槽。
  - 随着齿轮的转动，齿间槽中的油液被带到泵体左侧。在左侧，轮齿逐渐进入啮合，密封工作容积逐渐减小，齿间的油液从压油口挤出，输送到压力管路中。
- 强调齿轮泵没有单独的配油机构，其吸油和压油过程是通过齿轮的啮合和脱离啮合来实现的。
- **结构性能分析：**
  - **困油现象：**
    - 通过 PPT 展示困油现象的示意图，解释困油现象的产生原因：齿轮重合度大于 1 时，形成一个与吸、压油腔均不相通的闭死容积，此容积随齿轮转动而变化，先由大变小，再由小变大。
    - 讨论困油现象的危害：产生强烈的噪声，影响泵的工作平稳性，缩短泵的使用寿命。
    - 解决措施：在齿轮泵的侧盖后滑动轴承上开设卸荷槽，使闭死容积缩小时与排液腔连通，容积变大时与吸液腔连通。介绍对称式卸荷槽和非对称式卸荷槽的适用场景。
  - **径向不平衡力：**
    - 展示径向力分布图，解释径向不平衡力的产生原因：压油腔和吸油腔之间存在压差，液体压力的合力作用在齿轮和轴上。
    - 讨论径向不平衡力的影响：加速轴承磨损，增大内部泄漏，甚至造成齿顶与壳体内表面的摩擦。
    - 减小径向不平衡力的方法：缩小压油腔、开设压力平衡槽、提高齿轮和轴的承载能力。
  - **泄漏问题：**
    - 介绍外啮合齿轮泵泄漏的三个主要部位：齿轮端面与端盖之间的轴向间隙（泄漏量最大）、齿轮外圆与壳体内孔之间的径向间隙、两个齿轮轮面啮合处的齿侧间隙。
    - 强调泄漏对液压泵容积效率的影响。
- **特点及应用：**

**优点：**结构简单，制造方便；体积小，重量轻，价格低廉；工作可靠，寿命长，转速高，自吸能力强；抗油液污染能力强，维护容易。

**缺点：**承受径向不平衡力，磨损严重；内部泄漏大，工作压力的提高受到限制；流量和压力脉动大，噪声大；排量不能调节。

**应用场景：**通常用于工作环境比较恶劣的低压、中压系统中，如农业机械、小型工程机械等。
- 2. 叶片泵
  - **分类及特点：**

**分类：**按每转吸、排油次数分为单作用叶片泵和双作用叶片泵。

按排量是否可变分为定量叶片泵和变量叶片泵。

**优点：**结构紧凑，外形尺寸小。

运转平稳，流量均匀。

噪声小。

**缺点：**自吸特性差。

对油液污染敏感。

结构复杂，成本高，难维修。

**应用场景：**常用于中、低压液压系统，如机床液压系统。

#### ● 双作用叶片泵：

**结构：**定子的内表面轮廓曲线由八段圆弧组成：两段大半径圆弧、两段小半径圆弧和四段过渡曲线。主要由定子、转子、叶片、端盖和配油盘组成，定子与转子中心重合。

**工作原理：**转子旋转时，叶片在离心力和根部压力油的作用下向外移动，紧靠定子内壁，形成密封工作容积。当转子按顺时针方向旋转时，在一、三象限，叶片外伸，工作容积增大，从吸油口吸油；在二、四象限，叶片逐渐回缩，工作容积减小，从压油口排油。

**配油方式：**配油方式为盘式配油，配油盘开有上、下两个凹口（吸油口）和两个腰形孔（压油槽）。在腰形孔端部开有三角槽，用于减小液压冲击现象及振动。吸油窗口和压油窗口之间有一段封油区，用于隔离吸油腔和压油腔。

#### ● 单作用叶片泵：

**结构：**定子和转子的内表面都是圆柱形，但定子与转子之间存在偏心距。主要由定子、转子、叶片、端盖和配油盘组成。

**工作原理：**转子旋转时，叶片在离心力作用下紧靠定子内壁，形成密封工作容积。当转子按逆时针方向旋转时，在右半部，叶片逐渐外伸，工作容积增大，从吸油口吸油；在左半部，叶片被定子内壁压回槽内，工作容积减小，从压油口排油。转子旋转一周，每个工作容积完成一次吸油和一次排油。

**应用：**单作用叶片泵的转子受到来自压油腔的径向单向力，使轴承所受载荷较大，因此也称为单作用非卸荷式叶片泵，一般不宜用于高压场合。若在结构上把转子和定子的偏心距做成可调节的，就成为变量泵。

### 3. 柱塞泵

#### ● 分类及特点：

**分类：**轴向柱塞泵：柱塞轴线与传动轴轴线平行或倾斜，柱塞轴向排列安装在缸体的圆周上。

径向柱塞泵：柱塞轴线与传动轴轴线垂直，柱塞径向排列安装在缸体的圆周上。

**优点：**结构紧凑，压力高，效率高，流量调节方便。

**缺点：**结构复杂，价格高，对油液污染敏感。

**应用场景：**常用于需要高压、大流量及流量调节的液压系统，如液压机、工程机械、大功率机床等。

#### ● 斜盘式轴向柱塞泵：

**结构：**由柱塞、缸体、配油盘和斜盘组成。

柱塞轴向排列在缸体圆周上的柱塞孔中，靠弹簧压紧在斜盘上，斜盘法线和缸体轴线倾斜一角度。

**工作原理：**当传动轴带动缸体旋转时，斜盘和配油盘固定不动。

柱塞一方面随缸体作回转运动，另一方面在缸孔内作往复运动。

柱塞底部的密封工作容腔通过配油盘窗口进行吸油和压油。

**流量调节：**改变斜盘倾角的大小，可改变泵的输出流量。

改变斜盘倾角的方向，可实现双向输出高压油液，形成双向变量轴向柱塞泵。

#### ● 径向柱塞泵）：

**结构：**由柱塞、转子、衬套、定子和配油轴组成。转子内孔压有衬套，衬套随转子一起转动。定子和转子之间有偏心距，柱塞径向排列在缸体圆周上的柱塞孔中。

**工作原理：**转子旋转时，柱塞靠离心力作用抵紧在定子内壁，并在转子的径向孔内运动，形成密封工作容腔。柱塞经上半周时逐渐向外伸出，从配油轴上的吸油口吸油；经下半周时逐渐向内缩回，从配油轴上的压油口排油。转子旋转一周，每个工作容积完成一次吸油和一次排油。

**流量调节：**改变偏心距的大小和方向，可改变泵的输出流量和吸、压油方向。可做成单向或双向变量泵。

## 4. 螺杆泵

### ● 结构及特点：

**结构：**实质上是一种外啮合的螺旋线齿轮泵，泵内的螺杆可以为两根或多根。

**优点：**工作平稳，无困油现象，理论上流量没有脉动。

容积效率高，约为 95%；额定压力较高，可达到 20 MPa。

结构简单，转动惯量小，可采用很高的转速。

密封面积大，对油液的污染不敏感。

**缺点：**螺杆的结构形状复杂，加工精度高，需要专用设备加工，成本高。

**应用场景：**常用于流量、压力脉动小和工作平稳性要求较高的精密机床的液压系统中。

### ● 工作原理：

**工作过程：**通过 PPT 展示螺杆泵的工作过程，螺杆旋转时，螺杆之间的密封容积变化实现吸油和压油。强调螺杆泵在无困油现象和高容积效率。

## （三）总结（2 分钟）

### 1. 回顾重点内容：

a. 回顾齿轮泵、叶片泵、柱塞泵和螺杆泵的工作原理、结构组成、优缺点及应用场景。

b. 强调困油现象、径向不平衡力、配油方式等重要知识点。

2. **总结学习方法：**引导学生总结学习液压泵的方法，如通过动画理解工作过程、通过讨论解决实际问题等。

3. **思政教育总结：**强调在学习过程中体现的工匠精神和团队协作能力，鼓励学生在未来的学习和工作中继续发扬这些精神。
4. **布置作业：**预习任务：布置下一节课的内容——液压马达，要求学生提前预习并准备相关问题。

## 第三章 液压执行元件（2 课时）

### 3.1 液压缸

#### 一、教学目标

1. 掌握液压缸的类型、结构及工作原理。
2. 理解液压缸的性能参数及型号含义。
3. 熟悉液压缸的缓冲、密封、排气装置及安装要求。
4. 能进行液压缸推力、速度及差动连接的计算。

#### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解液压缸的结构、原理及参数。
2. 展示液压缸实物图、工作原理动画及工程应用案例。
3. 通过磨床、起重机等实例分析液压缸的应用。
4. 分组讨论差动连接、缓冲装置的设计意义。

#### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调液压系统设计中的安全规范与环保意识。
2. 通过精密制造案例（如密封件加工），培养精益求精的态度。
3. 在故障排除案例分析中，鼓励分工协作与沟通。

#### 四、教学重点与难点

1. **重点：**液压缸的类型及工作原理（活塞式、柱塞式、摆动式）；差动连接的计算与应用。
2. **难点：**缓冲装置的工作原理（环状间隙式、可变节流式）；液压缸推力与速度的公式推导及实际应用。

#### 五、教学内容

##### 1. 导入（3 分钟）

###### ● 提问导入：

“挖掘机的机械臂如何实现伸缩和举升？叉车如何平稳升降货物？”

引导学生思考液压传动的重要性，引出液压缸作为核心执行元件的作用。

###### ● 案例展示：

播放起重机伸缩臂液压缸工作视频，直观感受液压缸的工程应用。

##### 2. 具体内容（40 分钟）

###### （1）液压缸的类型及性能参数

###### ● 类型分类：

按结构：活塞式、柱塞式、伸缩式、摆动式（叶片式、齿轮齿条式、螺旋式）。

按作用方式：单作用（靠外力回程）、双作用（双向液压驱动）。

- **性能参数：**

关键参数：缸径、行程、压力、缓冲方式、安装形式。

- **型号解析：**以示例“HG—E50×500L—E25ZC1”讲解参数含义。

## (2) 活塞式液压缸

- **双活塞杆式：**

结构特点：两杆直径相同，双向速度与推力相等。

应用场景：平面磨床工作台（行程短、对称负载）。

- **单活塞杆式：**

差动连接原理：两腔同时进油，速度加快（公式： $v_3 = \frac{q_v}{A_1 - A_2}$ ）。

实例计算：例 2、例 3 的推力与速度推导（强调公式应用）。

## (3) 柱塞式液压缸

- **特点：**单作用、长行程、工艺简单（缸体无需精加工）。

- **应用：**煤矿单体液压支柱、双向运动需成对使用。

## (4) 缓冲与排气装置

- **缓冲装置：**

环状间隙式（节流面积固定）、可变节流式（三角槽调节）。

作用：减少活塞端部冲击，保护设备。

- **排气装置：**

排气阀/塞的安装位置与操作流程（防止系统爬行）。

## (5) 安装与故障排除

- **安装要求：**轴线对齐、热变形补偿。

- **常见故障：**泄漏、爬行、异响（结合表 3-5 分析原因及对策）。

## 3. 总结（2 分钟）

- **知识梳理：**

液压缸类型→结构→参数→应用→计算→安装维护。

- **重点强调：**

差动连接提升效率，缓冲装置保障安全。

柱塞缸适用于长行程，摆动缸实现旋转运动。

- **课后任务：**

完成填空题、计算题，查阅液压缸在新能源汽车中的应用案例。

## 3.2 液压马达

### 一、教学目标

1. 掌握液压马达的类型、工作原理及结构特点。
2. 理解液压马达的性能参数（压力、排量、流量、效率）及其计算方法。
3. 能够根据工程需求选择合适的液压马达类型及规格。

## 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 系统讲解液压马达的类型、参数及工作原理。
2. 展示齿轮式、叶片式、柱塞式液压马达的实物图与工作原理动画。
3. 分组讨论不同液压马达的适用场景及性能优化方法。
4. 通过例题练习液压马达功率、效率的计算。

## 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调液压系统设计中的安全性与环保性，避免泄漏污染。
2. 通过精密制造案例（如柱塞式液压马达的密封结构），培养精益求精的态度。
3. 鼓励学生思考液压马达在新能源设备中的创新应用。

## 四、教学重点与难点

1. **重点：**液压马达的类型（齿轮式、叶片式、柱塞式）及工作原理；性能参数（排量、流量、效率）的计算方法。
2. **难点：**液压马达机械效率与容积效率的推导及应用；多作用内曲线径向柱塞马达的转矩生成机理。

## 五、教学内容

### 1. 导入（3 分钟）

#### ● 提问导入：

“工厂生产线上的传送带如何实现精确调速？船舶螺旋桨如何通过液压系统驱动？”

引导学生思考液压马达在工业与工程机械中的核心作用。

#### ● 案例展示：

播放起重机回转机构液压马达工作视频，直观展示液压马达的输出转矩与转速特性。

### 2. 具体内容（40 分钟）

#### （1）液压马达的类型与性能参数

#### ● 类型分类：

**按排量：**定量马达（排量固定）与变量马达（排量可调）。

**按结构：**齿轮式（高速低转矩）、叶片式（高灵敏）、柱塞式（低速大转矩）。

#### ● 性能参数：

**压力：**工作压力（入口与出口压差）、额定压力（允许最高压力）。

**排量( $V_M$ ):** 马达轴转一转吞入的油液体积（单位：mL/r）。

**流量：**理论流量（ $q_{vtM} = V_M \cdot n$ ）与实际流量（含泄漏）。

#### ● 效率：

容积效率（ $\eta_v = \frac{q_{vtM}}{q_{VM}}$ ）；机械效率（ $\eta_m = \frac{T_M}{T_{tM}}$ ）；总效率（ $\eta = \eta_v \cdot \eta_m$ ）。

#### （2）液压马达的工作原理与结构

#### ● 齿轮式液压马达：

**原理：**压力油作用于齿轮齿面，产生不平衡力驱动齿轮旋转。

**特点：**结构简单、成本低，但泄漏大、转矩脉动明显。

**应用：**农业机械、低精度工程设备。

- **叶片式液压马达：**

**原理：**压力油推动叶片，转子因受力差旋转。

**特点：**体积小、响应快，需预紧弹簧保证密封。

**应用：**高换向频率场合（如机床回转台）。

- **柱塞式液压马达：**（20 分钟）

**径向柱塞马达：**多作用内曲线结构，低速大转矩（用于船舶、矿山机械）。

**轴向柱塞马达：**斜盘分力驱动，高功率密度（用于工程机械行走驱动）。

### （3）液压马达的选用

- **步骤：**

1. 确定负载转矩与转速需求；
2. 计算工作压力与排量；
3. 选择单向/双向、定量/变量；
4. 匹配类型与规格（参考性能参数表）。

- **实例分析：**挖掘机回转马达选型（需低速大转矩，选用径向柱塞马达）。

### （4）常见故障及排除

- **故障类型：**

**泄漏（密封件磨损）：**更换密封圈或调整预紧力。

**转速不稳（流量波动）：**检查油液清洁度与泵供油稳定性。

**异响（轴承损坏）：**停机检修或更换轴承。

**案例分析：**港口起重机马达转速异常（原因为油液污染导致配流盘磨损）。

### 3. 总结（2 分钟）

- **知识梳理：**

类型→原理→参数→选用→故障排除。

- **重点强调：**

齿轮式马达适用于低成本场景，柱塞式马达适合重载工况。

效率计算是性能评估的核心，需结合理论与实际流量。

- **课后任务：**

调研液压马达在风力发电变桨系统中的应用案例。

## 第四章 液压控制元件（4 课时）

### 4.1 概述

#### 一、教学目标

1. 理解液压控制阀的基本结构与工作原理。
2. 掌握液压控制阀的分类方法及其特点。

3. 了解液压控制阀的主要性能参数及其在液压系统中的作用。

## 二、教学方法手段

1. 通过多媒体课件（PPT）讲解液压控制阀的基本结构、分类、性能参数等理论知识。
2. 利用动画或视频展示液压控制阀的工作过程，帮助学生直观理解其运行机制。
3. 组织学生讨论液压控制阀的分类及其应用场景，鼓励学生提出自己的见解和解决方案，培养学生的自主学习能力和团队协作精神。

## 三、素质（思政）内容与要求

1. 在讲解液压控制阀的结构优化和问题解决过程中，强调精益求精的工匠精神，引导学生在学习和工作中追求卓越。
2. 通过讨论液压控制阀在工业生产中的重要性，培养学生的责任感，让学生明白掌握专业知识的重要性。
3. 在课堂讨论环节，鼓励学生积极参与，培养学生的团队协作能力和沟通能力。

## 四、教学重点与难点

1. **教学重点：**液压控制阀的基本结构与工作原理；液压控制阀的分类及其特点；液压控制阀的主要性能参数及其作用。
2. **教学难点：**液压控制阀的工作原理及其在液压系统中的具体应用；液压控制阀的性能参数及其对液压系统的影响。

## 五、教学内容

### （一）导入（3分钟）

1. **引入话题：**
  - a. 通过展示一些常见的液压系统的图片或视频，如挖掘机、起重机等，引出液压控制阀在液压系统中的重要性。
  - b. 提出问题：“液压控制阀是如何控制液压系统中的油液压力、流量和方向的？”
  - c. 引出本节课的主题——液压控制阀的基本结构与工作原理。
2. **引入案例：**简要介绍一个实际工业案例，如某工厂的液压系统因控制阀故障导致生产停滞，强调学习液压控制阀知识的实际意义。

### （二）具体内容（25分钟）

#### 1. 液压控制阀的基本结构与原理

##### ● 基本结构：

通过 PPT 展示液压控制阀的基本结构图，详细讲解其主要组成部分：阀体、阀芯和驱动阀芯动作的操纵机构。

强调所有液压控制阀的共性：阀口大小、阀口压力差、阀口流量之间的关系都符合孔口流量公式。

##### ● 工作原理：

利用动画或视频展示液压控制阀的工作过程：

**方向控制阀：**通过阀芯在阀体内的移动来改变油液的流动方向。

**压力控制阀：**通过调节阀口的开度来控制油液的压力。

**流量控制阀：**通过调节阀口的开度来控制油液的流量。

强调液压控制阀在液压系统中的作用：控制液压执行元件的启动、停止、运动方向、速度大小和作用力等。

## 2. 液压控制阀的分类

### ● 按用途分类）：

**方向控制阀：**用于控制油液的流动方向，如单向阀、换向阀。

**压力控制阀：**用于控制油液的压力，如溢流阀、减压阀、顺序阀。

**流量控制阀：**用于控制油液的流量，如节流阀、调速阀。

### ● 按操作方式分类：

**手动式：**通过手动操作来控制阀芯动作。

**电动式：**通过电动装置来控制阀芯动作。

**机动式：**通过机械装置来控制阀芯动作。

**液动式：**通过液压油的压力来控制阀芯动作。

**电液动式：**通过电信号和液压油的结合来控制阀芯动作。

### ● 按控制方式分类：

**定值或开关控制阀：**阀口的开度固定或只有开/关两种状态。

**电液比例控制阀：**阀口的开度与输入电信号成比例变化。

**电液伺服控制阀：**阀口的开度能够精确地跟随输入电信号变化。

**数字阀：**阀口的开度通过数字信号控制。

### ● 按连接（安装）方式分类：

**管（螺纹）式：**通过管螺纹连接。**板式：**通过安装板固定。**法兰式：**通过法兰连接。**叠加式：**多个阀叠加安装。**插装式：**通过插装方式安装。

### ● 按阀的结构形式分类：

**滑阀式：**阀芯在阀体内滑动。**转阀式：**阀芯在阀体内旋转。**球阀式：**阀芯为球形。**锥阀式：**阀芯为锥形。

## 3. 液压控制阀的性能参数

### ● 规格与性能参数：

**公称通径：**用公称通径  $D_g$  表示，单位为毫米（mm）。

**主要性能参数：**公称压力、额定流量、最小稳定流量、最大工作压力、开启压力、压力调整范围、允许背压、最大流量、调速范围和各种特性曲线等。

### ● 液压系统对液压阀的基本要求：

**动作灵敏、工作可靠：**工作时冲击和振动要小。

**液流压力损失小：**阀口全开时，液流压力损失要小；阀口关闭时，密封性能要好，泄漏要少。

**控制参数稳定：**所控制的参数（压力或流量）要稳定，受外界干扰时变化量要小。

**结构简单紧凑：**容易安装、调整、维护、保养，通用性要好。

#### 4. 课堂讨论

- **问题提出:**

提出问题：“在实际应用中，如何根据液压系统的具体需求选择合适的液压控制阀？”

- **小组讨论:**

将学生分成若干小组，每组讨论 5 分钟，鼓励学生结合所学知识提出自己的见解和解决方案。

- **小组汇报:**

每组选派一名代表汇报讨论结果，教师进行点评和总结。

#### (三) 总结 (2 分钟)

1. **回顾重点内容:** 液压控制阀的基本结构与工作原理；液压控制阀的分类及其特点；回顾液压控制阀的主要性能参数及其在液压系统中的作用。

2. **总结学习方法:** 引导学生总结学习液压控制阀的方法，如通过动画理解工作过程、通过讨论解决实际问题等。

3. **布置作业:**

预习任务：布置下一节课的内容——液压控制阀的具体类型

## 4.2.方向控制阀

### 一、 教学目标

1. 掌握方向控制阀的分类（单向阀、换向阀）及其工作原理。
2. 理解滑阀式换向阀的中位机能类型及其应用场景。
3. 熟悉方向阀的图形符号及常见故障的排除方法。
4. 能够根据液压系统需求选择合适的换向阀中位机能。

### 二、教学方法与手段

1. 系统讲解方向阀的结构、原理及图形符号。
2. 通过 PPT 动态展示滑阀式换向阀的工作过程及中位机能。
3. 结合起重机液压锁故障案例，引导学生分析问题。
4. 分组讨论不同中位机能的适用场景。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调液压系统操作中的安全规范，如防止油液泄漏导致的污染或事故。
2. 通过方向阀故障案例，引导学生认识到细致检查与维护的重要性。
3. 鼓励学生探索复合阀（如单向节流阀）的创新应用。

### 四、教学重点与难点

1. **教学重点:** 单向阀的作用、液控单向阀的“液压锁”功能；滑阀式换向阀的工作原理及中位机能（O 型、H 型、M 型等）；换向阀图形符号的解读。
2. **教学难点:** 滑阀中位机能的选择：如何根据液压泵、执行元件状态选择合适的机能类型；故障排除逻辑：结合系统现象（如液压缸无法换向）推断方向阀故障原因。

## 五、教学内容

### 1. 导入（3分钟）

- **案例引入：**

展示某工厂液压升降机因换向阀卡滞导致设备无法正常运行的视频片段，提问：“液压系统中，方向阀如何控制执行元件的运动方向？若换向阀失效，可能引发哪些问题？”

- **知识回顾：**

通过提问方式复习液压系统四大组成部分（动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件），引出本节核心——**方向控制阀**。

### 2. 具体内容（25分钟）

#### （一）单向阀

#### 1. 普通单向阀

- **结构与工作原理：**

结构组成：阀体、阀芯（锥形或球形）、复位弹簧。

正向导通：当入口压力 > 弹簧力时，阀芯开启，油液单向流动。

反向截止：油液反向流动时，阀芯被压紧在阀座，实现密封。

- **性能参数：**

正向压力损失：一般 $\leq 0.2\text{MPa}$ （需选择低阻力弹簧）。

反向泄漏量：要求严格（如 $\leq 10\text{mL/min}$ ）。

- **典型应用：**

**液压泵出口保护：**防止停机时油液倒流冲击泵。

**背压阀：**更换硬弹簧后安装在回油路，提供背压（如 $0.3\sim 0.6\text{MPa}$ ），提升液压缸运动平稳性。

#### 2. 液控单向阀

- **结构特点：**

普通单向阀 + 液控活塞（控制油口 K）。

示例图：展示液控单向阀剖面图，标注主油路（A→B）和控制油路（K）。

- **工作原理：**

**正向导通：**与普通单向阀相同。

**反向开启：**当控制油口 K 通入压力油时，活塞推动阀芯打开，允许 B→A 反向流动。

- **核心应用：**

**液压锁：**双液控单向阀组成，用于起重机支腿锁紧（动态演示：支腿伸出后锁紧油缸，防止软腿）。

**保压回路：**在注塑机合模阶段保持压力，避免模具松动。

#### 3. 单向阀的复合应用

- **复合阀实例：**

**单向节流阀：**节流阀 + 单向阀，实现单方向调速（如液压缸伸出调速，缩

回快速)。

**单向顺序阀:**控制多缸顺序动作(如先夹紧后加工)。

**安全阀功能:**局部回路中,单向阀反向压力过高时开启泄压(需搭配溢流阀)。

## (二) 换向阀

### 1. 基本分类与性能要求

- **分类依据:**

按阀芯结构:滑阀式、转阀式。

按操纵方式:手动、机动、电磁、液动、电液动。

- **性能要求:**

压力损失小( $\leq 0.3\text{MPa}$ )、泄漏量低、换向时间短(电磁阀 $< 0.1\text{s}$ )。

### 2. 滑阀式换向阀工作原理

- **结构解析:**

阀体、阀芯、复位弹簧、操纵机构(如电磁铁)。

油口定义: P(压力油入口)、T(回油口)、A/B(工作油口)。

- **工作过程:**

**中位状态(图 4-4b):** P、A、B、T 均封闭, 液压缸静止。

**右位状态(图 4-4a):**  $P \rightarrow A$ ,  $B \rightarrow T$ , 液压缸右行(动态箭头示意油液路径)。

**左位状态(图 4-4c):**  $P \rightarrow B$ ,  $A \rightarrow T$ , 液压缸左行。

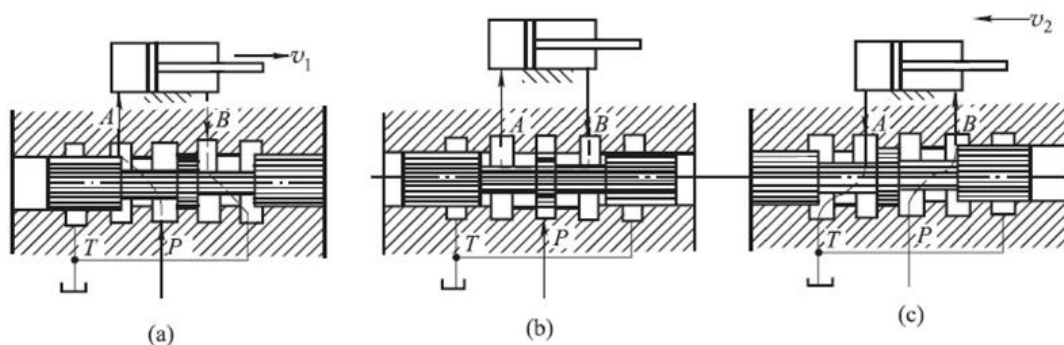


图 4-4 滑阀式换向阀的换向原理

### 3. 换向阀的图形符号解读

- **符号规则:**

方格数=阀位数(如三位阀用三个方格)。

箭头方向=油流方向,“⊥”=油口封闭。

常态位:三位阀中位、二位阀弹簧侧。

- **实例练习:**

展示三位四通 O 型电磁换向阀符号, 要求学生标注 P、T、A、B 口并描述中位机能。

### 4. 三位换向阀的中位机能

- **常见类型及特点:**

类型	油口连通状态	应用场景
O 型	P、A、B、T 全封闭	液压缸需锁紧（如起重机）
H 型	P、T 连通，A、B 连通	系统卸荷，执行元件浮动
M 型	P→T，A、B 封闭	泵卸荷，液压缸锁紧

- **选择原则：**

**安全性：** 中位时执行元件是否需锁紧（如 O 型适合起重机）。

**能耗：** H 型卸荷可节能，但液压缸可能漂移。

### 5. 换向阀的操纵方式

- **电磁换向阀：**

**特点：** 响应快，但推力小（适合小流量）。

**应用：** 机床、自动化设备。

- **电液换向阀：**

**结构：** 电磁阀（先导阀） + 液动阀（主阀）。

**优势：** 大流量控制，换向平稳（用于工程机械主油路）。

### （三）方向阀常见故障及排除

- **换向迟缓：**

**可能原因：** 油液污染（阀芯卡滞）、控制压力不足、弹簧失效。

- **内泄漏过大：**

**可能原因：** 阀芯磨损、密封圈老化。

### 3. 总结（2 分钟）

- **知识框架回顾：**

**单向阀：** 单向导通、液压锁、复合功能。

**换向阀：** 中位机能、图形符号、操纵方式。

- **重点强调：**

中位机能选择需平衡系统安全性、能耗与执行元件需求。

故障排除需结合现象逐步排查，注重油液清洁与定期维护。

## 4.3 压力控制阀

### 一、教学目标

1. 掌握溢流阀、减压阀、顺序阀和压力继电器的结构、工作原理及分类。
2. 理解压力控制阀的性能指标（如压力调节范围、启闭特性、卸荷压力等）。
3. 熟悉压力控制阀在液压系统中的典型应用场景。
4. 能够分析溢流阀、顺序阀和减压阀在液压回路中的作用。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解压力控制阀的结构、原理及性能参数。
2. 通过液压系统故障案例（如超压导致元件损坏），分析压力控制阀的必要性。

3. 分组设计简单液压回路，讨论不同压力控制阀的应用场景。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调压力控制阀对系统安全的关键作用，避免因设计不当引发事故。
2. 通过分析压力损失与能源效率的关系，倡导优化设计以减少资源浪费。
3. 鼓励学生结合实际问题，探索压力控制阀的创新应用。

### 四、教学重点与难点

1. **重点：**溢流阀、顺序阀、减压阀的工作原理及分类；压力控制阀的性能指标（压力稳定性、启闭特性）。
2. **难点：**先导型溢流阀的结构与多级调压原理；顺序阀作为卸荷阀和平衡阀时的功能区别。

### 五、教学内容

#### 1. 导入（3分钟）

##### ● 问题引导：

提问：“液压系统中，若没有溢流阀会发生什么？”通过超压导致油管爆裂的案例，引出压力控制阀的重要性。

#### 2. 具体内容（25分钟）

##### （1）溢流阀

##### ● 结构与分类：

**直动型溢流阀：**弹簧直接作用在阀芯上，结构简单，适用于低压系统（图例展示）。

**先导型溢流阀：**由主阀和导阀组成，适用于中高压系统，调压范围广（动画演示工作原理）。

##### ● 性能指标：

**压力调节范围：**调压弹簧的调节极限。

**启闭特性：**溢流量与压力关系曲线（强调稳态性能）。

**卸荷压力：**远程控制口接通油箱时的压力损失。

- ##### ● 应用场景：
- 系统安全保护（限压）、多级调压回路、液压泵卸荷。

##### （2）顺序阀

##### ● 分类与结构：

**内控式与外控式：**控制油来源不同（内控用进口压力，外控用外部油压）。

**直动型与先导型：**先导型适用于高压大流量场景。

- ##### ● 工作原理：
- 阀芯开启条件：控制油压克服弹簧力（结合原理图讲解）。

- ##### ● 应用拓展：
- 顺序动作控制（如机床夹紧-进给回路）、背压阀、平衡阀（防止负载下落）。

##### （3）减压阀

##### ● 功能与分类：

**定值减压阀：**保持出口压力恒定（如J型先导减压阀）。

**定差/定比减压阀：**控制进出口压差或比例（简要说明）。

- **工作原理：**通过节流口减压，导阀调节主阀开口（动态平衡分析）。
- **应用实例：**分支油路减压（如夹紧回路需低于主系统压力）。

#### (4) 压力继电器

- **功能与结构：**

将油压信号转换为电信号（如膜片式压力继电器）。

组成：压力传感元件、微动开关、调节弹簧。
- **应用场景：**

安全保护（压力超限报警）、程序控制（压力达到设定值后触发下一步动作）。

### 3. 总结与作业（2分钟）

- **知识总结：**

溢流阀保障系统安全，顺序阀控制动作顺序，减压阀稳定分支压力，压力继电器实现电液联动。

思政结合：安全设计与节能优化是工程师的核心责任。
- **巩固练习：**

选择题：区分直动型与先导型溢流阀的特点。

## 4.4.流量控制阀

### 一、教学目标

1. 掌握流量控制阀的分类（节流阀、调速阀、分流集流阀）及其结构和工作原理。
2. 理解节流口的流量特性公式 ( $q = K \cdot A \cdot \Delta p^m$ ) 及其影响因素（压差、温度、节流口形状）。
3. 熟悉调速阀的压力补偿原理和分流集流阀的同步控制功能。
4. 能够分析节流阀与调速阀在不同负载条件下的适用性差异。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解流量控制阀的分类、特性及公式推导。
2. 通过动画演示调速阀的压力补偿过程及分流集流阀的同步原理。
3. 分析工程实例（如注塑机速度控制、起重机同步回路）中流量阀的应用。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调流量控制的精度对系统性能的影响，避免因设计不当导致能源浪费或设备损坏。
2. 通过优化流量控制减少无效能耗，倡导绿色液压系统设计理念。
3. 鼓励学生探索新型流量阀（如比例流量阀）在智能液压系统中的应用。

### 四、教学重点与难点

1. **重点：**节流口的流量特性与影响因素；调速阀的压力补偿机制（定差减压阀与节流阀的组合原理）；分流集流阀的同步控制功能及分类（分流阀、集流阀、分流集流阀）。

2. **难点：**调速阀动态平衡的数学推导与物理意义；分流集流阀在负载差异较大时的同步精度与发热问题。

## 五、教学内容

### 1. 导入（5分钟）

- **问题引导：**

提问：“为什么起重机需要多个液压缸同步升降？若不同步会引发什么问题？”通过实际案例（如塔吊失衡事故），引出流量控制阀的重要性。

- **视频展示：**

播放液压挖掘机工作视频，指出其执行元件的速度控制依赖流量阀，激发学习兴趣。

### 2. 具体内容（35分钟）

#### （1）流量阀的特性

- **节流口的流量特性公式：**

$$q = K \cdot A \cdot \Delta p^m$$

( $K$ ): 流量系数, ( $A$ ): 节流口面积, ( $\Delta p$ ): 压差, ( $m$ ): 指数(薄壁小孔( $m = 0.5$ ))。

- **影响因素：**

**压差：**压差越大，流量对压差变化越敏感（薄壁小孔抗压差波动能力最强）。

**温度：**油温变化影响粘度，间接改变流量（薄壁小孔几乎不受温度影响）。

**节流口形状：**短通道、大水力半径的薄壁小孔抗堵塞能力最优。

#### （2）节流阀

- **结构与功能：**普通节流阀（如 LF 型）：通过调节阀芯开度改变节流口面积，控制流量。

- **适用场景：**负载变化小、速度稳定性要求低的场合（如机床进给回路）。

- **局限性：**负载变化时，节流阀两端压差变化导致流量波动，无法保持速度稳定。

#### （3）调速阀

- **压力补偿原理：**

**组成：**定差减压阀 + 节流阀（动态平衡示意图）。

**工作原理：**减压阀自动调节节流阀前后压差  $\Delta p$ ，使  $\Delta p$  恒定，流量仅由节流口面积决定。

- **应用实例：**注塑机合模速度控制（负载变化大，需稳定流量）。

#### （4）分流集流阀

- **分类与功能：**

**分流阀：**等量或定比分流，保证多执行元件同步运动（如起重机支腿同步）。

**集流阀：**等量或定比集流，用于同步回油。

**分流集流阀：**兼具分流与集流功能（动态切换示意图）。

- **局限性：**负载差异大时，节流发热显著，需优化设计或增加冷却装置。

### 3. 总结与作业（5分钟）

- **知识总结：**

节流阀通过调节面积控制流量，调速阀通过压力补偿稳定流量，分流集流阀实现多执行元件同步。

思政结合：精确控制流量是液压系统高效、节能、安全运行的核心。

- **巩固练习：**

计算题：给定节流口参数，计算流量并分析压差变化的影响。

- **课后任务：**调研工业中流量控制阀的创新应用（如比例流量阀在机器人液压系统中的应用）。

## 4.5 其他液压阀

### 一、教学目标

1. 掌握插装式锥阀、叠加式液压阀、电液比例控制阀及电液数字控制阀的结构、工作原理及分类。
2. 理解插装式锥阀的多功能应用和叠加式液压阀的集成化特点。
3. 熟悉电液比例阀与数字阀的控制原理及工程应用场景。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解各类阀的结构、原理及技术特点。
2. 通过动画演示电液比例阀的连续控制过程和数字阀的脉冲信号响应。
3. 分析工程实例（如注塑机大流量系统、数控机床精密控制）中各类阀的应用。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调插装式锥阀在大流量系统中的可靠性对工业安全的重要性。
2. 通过优化阀类设计减少泄漏和能量损耗，倡导高效节能的液压系统。
3. 探索电液数字控制阀在智能制造中的前沿应用，鼓励技术创新。

### 四、教学重点与难点

1. **重点：**插装式锥阀的多功能实现（方向阀、压力阀、流量阀）；叠加式液压阀的集成化优势与模块化系统设计；电液比例阀的连续比例控制原理。
2. **难点：**电液比例阀的动态平衡机制与抗干扰能力分析；增量式数字阀的脉冲信号与流量精确匹配技术。

### 五、教学内容

#### 1. 导入（5分钟）

- **问题引导：**

提问：“如何实现液压系统的大流量控制？传统阀能否满足需求？”通过起重机液压系统因流量不足导致效率低下的案例，引出插装式锥阀的重要性。

- **视频展示：**

播放数控机床加工视频，指出其精密运动依赖电液比例阀，激发学习兴趣。

#### 2. 具体内容（35分钟）

##### （1）插装式锥阀

- **结构与优点:**  
组成: 主阀芯、阀套、弹簧、先导控制模块 (结构图解析)。  
优点: 通流能力大 (可达 10000 L/min)、密封性好、抗堵塞能力强。
- **多功能应用:**  
方向阀: 通过不同先导控制实现单向阀、二位四通阀等功能 (动画演示)。  
压力阀: 集成调压弹簧, 用于溢流阀或减压阀 (原理图对比)。  
流量阀: 调节主阀芯开度控制流量 (公式  $(q = K \cdot A \cdot \sqrt{\Delta p})$ )。
- **工程案例:** 钢铁厂轧机液压系统采用插装阀实现大流量稳定控制。

## (2) 叠加式液压阀

- **集成化设计:**  
特点: 无管连接、模块化组装、快速重构 (实物模型展示)。  
应用场景: 注塑机液压系统通过叠加阀快速增减功能模块。
- **典型阀类:**  
叠加式溢流阀: 集成调压功能, 减少泄漏点。  
叠加式流量阀: 直接叠合于主阀体, 简化管路。

## (3) 电液比例控制阀

- **控制原理:**  
组成: 比例电磁铁 + 液压阀本体 (动态平衡示意图)。  
分类: 比例压力阀、比例流量阀、比例方向阀 (对比传统开关阀)。
- **核心公式:**  $F_{\text{电磁}} = K \cdot I \Rightarrow p_{\text{输出}} \propto I$   
输入电流 ( $I$ ) 线性控制输出压力或流量。
- **应用实例:** 机器人关节液压驱动采用比例方向阀实现精确运动控制。

## (4) 电液数字控制阀

- **增量式数字阀:**  
原理: 通过脉冲信号控制步进电机, 调节阀芯位移 (动画演示)。  
优点: 高重复性、易与计算机接口 (如 PLC 控制)。
- **局限性:** 响应速度受步进电机限制, 需优化控制算法。

## 3. 总结与作业 (5 分钟)

- **知识总结:**  
插装式锥阀适用于大流量场景, 叠加阀简化系统设计, 电液比例阀实现精密控制, 数字阀适配智能化需求。  
思政结合: 阀类的高效选择与创新应用是工程师推动工业升级的核心能力。
- **巩固练习:**  
选择题: 对比插装阀与普通阀的优缺点。

# 第五章 液压辅助装置（1 课时）

## 一、教学目标

1. 掌握油箱、滤油器、蓄能器、管件及其他辅助元件（冷却器、加热器、密封装置、压力表）的功能、分类及选用原则。
2. 理解液压辅助元件在系统中的作用及相互关系。

## 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 系统讲解各元件功能、类型及选用原则。
2. 通过液压系统故障案例导入，引导学生分析辅助元件的重要性。
3. 展示油箱结构图、滤油器安装示意图等。
4. 分组讨论不同工况下辅助元件的选型方案。

## 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调密封装置失效可能导致的环境污染与安全事故。
2. 通过滤油器净化油液功能，引导学生关注液压系统环保设计。
3. 通过密封装置的安装要求，培养学生精益求精的职业态度。

## 四、教学重点与难点

1. **重点：**油箱容积的确定原则、滤油器的过滤精度等级、蓄能器的安装注意事项；管件的选用与密封装置的类型。
2. **难点：**不同工况下辅助元件的选型依据；蓄能器吸收液压冲击的原理及安装规范。

## 五、教学内容

### 1. 导入（5 分钟）

- **案例引入：**某工厂液压系统因油箱容积不足导致油温过高，引发设备停机故障。
- **提问互动：**液压系统中哪些元件会影响油液温度？如何通过辅助元件优化系统性能？

### 2. 具体内容（35 分钟）

#### （1）油箱

- **功能：**储油、散热、沉淀杂质、逸出空气。
- **分类：**开式油箱（通大气）与闭式油箱（充压油箱）。
- **容积确定：**总容积=有效容积×1.25；低压系统取 24 倍油量，高压系统取 612 倍。
- **常见故障：**油液污染、散热不良，需定期清洗与检查。

#### （2）滤油器

- **功能：**过滤杂质，控制油液污染等级。
- **过滤精度：**粗滤（ $d > 100\mu\text{m}$ ）、普通（10100 $\mu\text{m}$ ）、精滤（ $510\mu\text{m}$ ）、特精（ $1\sim 5\mu\text{m}$ ）。
- **类型：**网式（粗滤）、纸芯式（精滤）、磁性式（专除铁屑）。

- **安装位置：**吸油管路（粗滤）、回油管路（精滤）。

### （3）蓄能器

- **类型：**活塞式（结构简单）、气囊式（反应灵敏）。
- **功能：**储能、保压、吸收冲击。
- **安装要求：**油口朝下垂直安装，靠近振源，加装截止阀。

### （4）管件

- **油管类型：**钢管（高压）、铜管（易弯曲）、橡胶软管（抗振）。
- **管接头：**焊接式（耐高压）、卡套式（抗振）、快速接头（频繁拆装）。
- **安装规范：**管路短直、软管留余量、避免交叉。

### （5）其他辅助元件

- **冷却器：**水冷式（对流管）、风冷式（翅片管）。
- **加热器：**电热器需水平安装，避免局部过热。
- **密封装置：**O形圈（通用）、Y形圈（高速）、V形圈（高压）。
- **压力表：**直立安装，加阻尼孔防冲击。

## 3. 总结（5分钟）

- **知识回顾：**油箱是系统的“心脏”，滤油器是“肾脏”，蓄能器是“能量库”，管件是“血管”。各元件协同工作，确保系统高效、安全运行。

# 第六章 液压系统的基本回路（4课时）

## 6.1 方向控制回路

### 一、教学目标

1. 掌握方向控制回路的基本概念及分类（换向回路、锁紧回路、制动回路）。
2. 理解普通换向阀与复杂换向回路（时间控制制动式、行程控制制动式）的工作原理及区别。
3. 熟悉锁紧回路的三位换向阀中位机能（M型、O型）及制动回路中溢流阀和制动器的应用场景。
4. 能够分析不同换向回路的适用性及优化方向。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解方向控制回路的基本原理与分类。
2. 通过工程实例（如机床工作台换向系统、起重机液压制动系统）分析回路设计要点。
3. 分组讨论不同换向回路的优缺点，提出优化方案。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 通过锁紧回路案例分析，强调液压系统锁紧功能对防止设备意外动作的重要性。
2. 优化换向回路设计，减少因频繁换向导致的能量损耗。
3. 鼓励学生结合智能化需求，探索电液比例阀在方向控制中的应用。

## 四、教学重点与难点

- **重点：**换向回路的分类及工作原理（普通换向阀、时间/行程控制制动式）；锁紧回路的三位换向阀中位机能实现方式（M型、O型）；制动回路中溢流阀与制动器的功能差异。
- **难点：**时间控制制动式与行程控制制动式换向回路的动态过程分析；制动回路中异常高压和负压的快速响应机制。

## 五、教学内容

### 1. 导入（5分钟）

- **问题引导：**

提问：“液压挖掘机的铲斗如何实现精准换向？若换向不稳定会引发什么问题？”通过工程实例引发学生对方向控制回路的兴趣。

- **视频展示：**

播放数控机床工作台换向视频，指出其运动精度依赖方向控制回路，强调本节内容的重要性。

### 2. 具体内容（35分钟）

#### （1）换向回路

- **普通换向阀回路：**

**结构与原理：**通过三位四通换向阀控制液压缸或马达的启停与换向（图 6-1、图 6-2 解析）。

**特点：**结构简单，适用于负载变化小的场景。

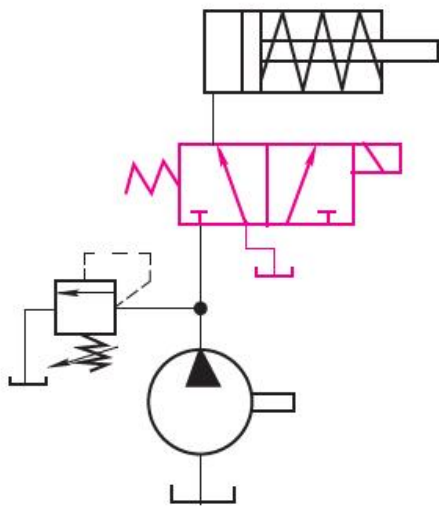


图 6-1 单作用液压缸换向回路

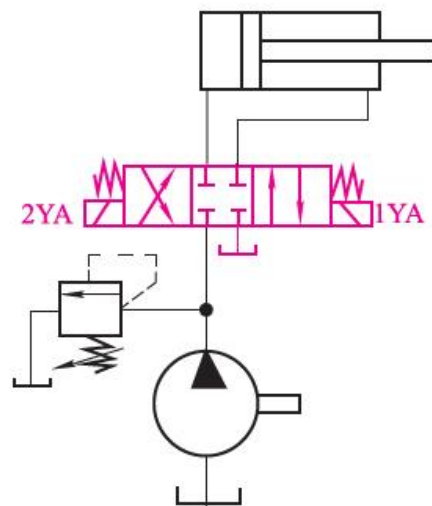


图 6-2 双作用液压缸换向回路

- **复杂换向回路：**

#### 时间控制制动式：

**原理：**通过调整液动换向阀的阻尼孔控制换向时间，避免冲击（动态示意图）。

**适用场景：**对换向时间有严格要求的精密设备（如磨床）。

### 行程控制制动式：

原理：利用行程挡块触发先导阀，精确控制换向位置（动画演示）。

适用场景：需消除“换向死点”的重型设备（如液压压力机）。

### (2) 锁紧回路

- **中位机能锁紧：M 型/O 型中位：** 阀芯处于中位时封闭液压缸两腔油路，防止活塞窜动（原理图对比）。
- **案例：** 起重机支腿液压缸需锁紧以保证稳定性。
- **补充锁紧方案：** 液控单向阀锁紧：在油路中串联液控单向阀，增强锁紧可靠性（工程应用示例）。

### (3) 制动回路

- **溢流阀制动：**

原理：通过溢流阀泄放异常高压，平稳过渡至静止（图 6-6 解析）。

应用：液压马达制动（如卷扬机停止时防止惯性冲击）。

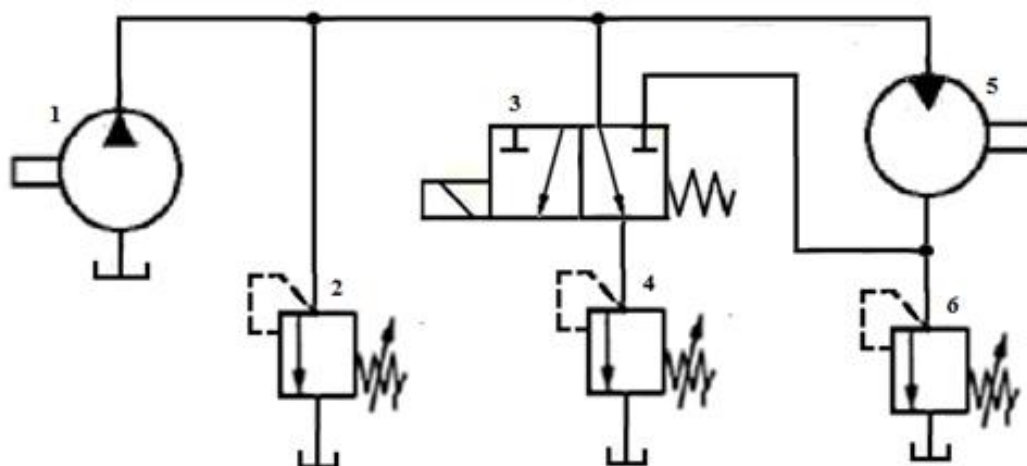


图 6-6 用溢流阀的制动回路

- **制动器制动：**

原理：机械制动器与液压信号联动，快速响应制动需求（图 6-7 解析）。

案例：工程车辆行走马达的紧急制动系统。

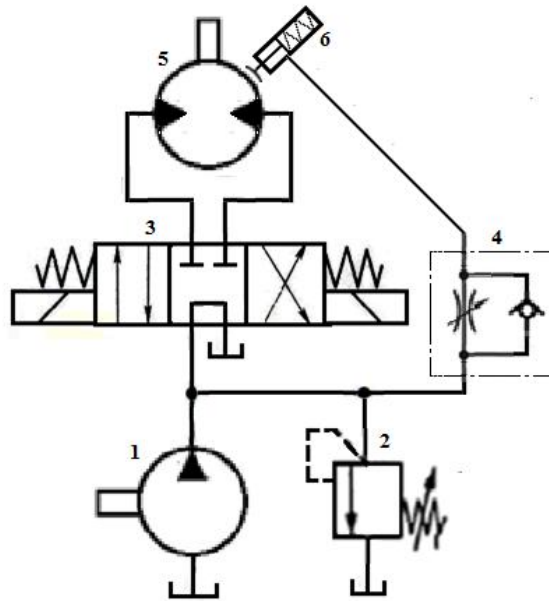


图 6-7 用溢流阀的制动回路

### 3. 总结与作业（5 分钟）

- **知识总结:**

换向回路需根据负载特性选择普通或复杂形式，锁紧回路保障设备安全，制动回路实现平稳停机。

思政结合：方向控制回路的设计需兼顾效率与安全，体现工程师的社会责任。

- **巩固练习:**

简答题：比较时间控制制动式与行程控制制动式换向回路的异同。

## 6.2 压力控制回路

### 一、教学目标

1. 掌握压力控制回路的六大类型（调压、减压、增压、保压、卸荷、平衡回路）及其工作原理。
2. 理解调压回路中单级与多级调压的差异，增压回路中单作用与双作用增压的实现方式。
3. 熟悉保压回路中液压泵、蓄能器及液控单向阀的应用场景。
4. 能够分析复杂回路（如双作用增压回路）的动态过程及优化方向。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解各回路的结构、原理及公式推导。
2. 通过工程实例（如注塑机调压系统、起重机平衡回路）分析回路设计要点。
3. 利用动画展示增压回路中活塞运动及保压回路的压力维持过程。
4. 分组设计液压系统，讨论如何综合应用多种压力控制回路。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 通过保压回路案例分析，强调压力稳定性对设备安全的关键作用。

2. 优化卸荷回路设计，减少液压泵空载运行造成的能源浪费。
3. 鼓励学生探索智能化压力控制技术（如比例阀与传感器结合）。

#### 四、教学重点与难点

- **重点：**调压回路的分类（单级、多级）及溢流阀的调压原理；增压回路的增压比公式 ( $p_b = p_a \cdot \frac{A_a}{A_b}$ ) 及其应用；卸荷回路的实现方式（中位机能阀、溢流阀远程控制）。
- **难点：**双作用增压回路的往复增压机制与动态平衡分析；保压回路中蓄能器与液压泵的协同工作逻辑。

#### 五、教学内容

##### 1. 导入（5分钟）

- **问题引导：**

提问：“液压系统为何需要调压？若系统压力过高或过低会导致什么问题？”通过注塑机因压力不稳导致产品缺陷的案例，引出压力控制的重要性。

- **视频展示：**

播放起重机吊装视频，指出其液压支腿的平衡功能依赖压力控制回路，激发学习兴趣。

##### 2. 具体内容（35分钟）

###### （1）调压回路

- **单级调压回路：**

原理：通过溢流阀设定系统最高压力

应用：小型液压设备（如液压千斤顶）。

- **多级调压回路：**

原理：多个溢流阀并联，电磁阀切换调压级别（动态示意图）。

应用：注塑机在不同工艺阶段需不同压力（如合模高压、射胶低压）。

###### （2）减压回路

- **结构与功能：** 在分支油路串联减压阀，降低压力至所需值（公式 ( $p_{\text{分支}} = p_{\text{主}} - \Delta p_{\text{减压}}$ )）。

- **案例：** 机床夹紧回路需低压以避免工件损伤。

###### （3）增压回路

- **单作用增压：**

原理：增压缸大小活塞面积差实现增压（公式 ( $p_b = p_a \cdot \frac{A_a}{A_b}$ )）。

应用：液压冲床短时高压需求。

- **双作用增压：**

原理：活塞往复运动实现连续增压（动画演示）。

案例：汽车制动系统需持续高压。

###### （4）保压回路

- **液压泵保压：**

原理：高压小流量泵补偿泄漏（图 6-13 解析）。

缺点：长时间保压能耗高。

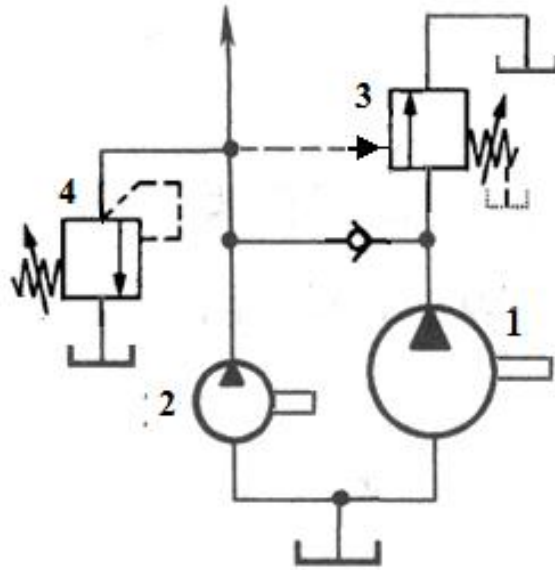


图 6-13 利用液压泵的保压回路

- 蓄能器保压：

原理：蓄能器储存压力油，自动补压。

应用：液压机保压成型工艺。

(5) 卸荷回路

- 换向阀卸荷：

原理：M 型中位阀使泵出口直通油箱（图 6-16 解析）。

优点：结构简单，适用间歇工作系统。

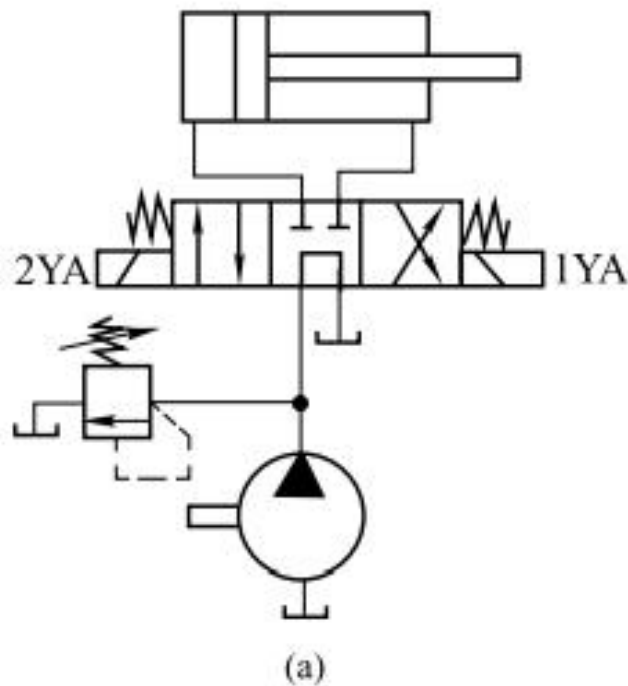


图 6-16 换向阀卸荷回路

- 溢流阀远程卸荷：

原理：远程控制口接通油箱，泵输出压力归零。

(6) 平衡回路

- 顺序阀平衡：

原理：顺序阀设定背压，防止液压缸自重下落（图 6-19 解析）。

应用：垂直升降平台（如叉车货叉）。

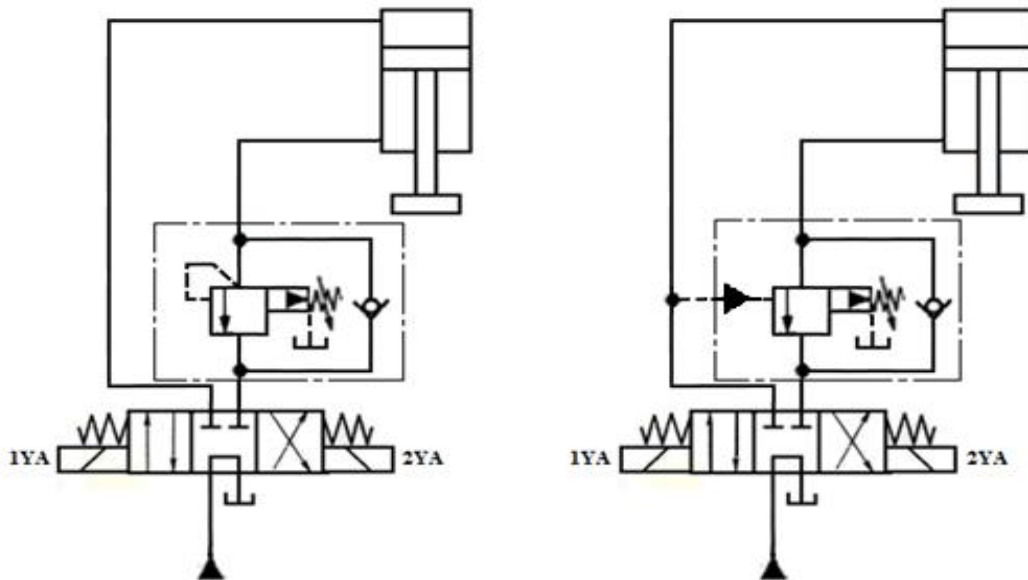


图 6-19 采用顺序阀的平衡回路

### 3. 总结与作业（5 分钟）

- 知识总结：

调压回路稳定系统压力，减压回路分支降压，增压回路局部升压，保压回路维持压力，卸荷回路节能，平衡回路防下落。

思政结合：合理设计压力控制回路是保障安全、节能高效的核心。

- 巩固练习：

计算题：已知增压缸大小活塞面积比 5:1，输入压力 10MPa，求输出压力。

- 课后任务：调研工业中智能化压力控制技术（如电液比例阀+PLC 控制）。

## 6.3 速度控制回路

### 一、教学目标

1. 掌握速度控制回路的三大类型（调速回路、快速运动回路、速度换接回路）及其工作原理。
2. 理解节流调速、容积调速和容积节流调速的差异及适用场景。
3. 熟悉快速运动回路中差动连接、双泵供油和蓄能器的实现方式，以及速度换接回路的平稳切换机制。
4. 能够根据负载特性和速度需求选择合适的调速回路。

## 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解调速回路分类、快速运动实现方法及速度换接原理。
2. 通过机床进给系统、注塑机快速合模等实例分析回路设计要点。
3. 利用动画展示差动连接和双泵供油的流量叠加过程。
4. 分组设计液压系统，探讨如何通过调速阀实现多级速度控制。

## 三、素质（思政）内容与要求

1. 通过速度换接案例分析，强调平稳换接对防止设备冲击的重要性。
2. 优化调速回路以减少无效能耗，倡导高效节能的液压系统设计。
3. 鼓励学生探索智能化调速技术（如电液比例阀与 PLC 控制结合）。

## 四、教学重点与难点

1. **重点：** 节流调速回路的三种形式（进油、回油、旁路）及其特点；容积调速回路的基本形式（变量泵-定量马达、定量泵-变量马达、变量泵-变量马达）；快速运动回路的实现方式（差动连接、双泵供油、蓄能器）。
2. **难点：** 容积节流调速的动态平衡机制（限压式变量泵与调速阀的协同工作）；速度换接回路中行程阀与电磁阀的切换逻辑分析。

## 五、教学内容

### 1. 导入（5 分钟）

#### ● 问题引导：

提问：“数控机床如何实现切削时的低速工进和空程时的快速移动？”通过机床加工视频引出速度控制回路的重要性。

#### ● 案例展示：

展示注塑机液压系统图，指出其合模阶段需快速运动，射胶阶段需精确调速，激发学习兴趣。

### 2. 具体内容（35 分钟）

#### （1）调速回路

#### ● 节流调速：

**进油节流：** 节流阀位于执行机构进油路，低速轻载适用（图 6-20 解析）。

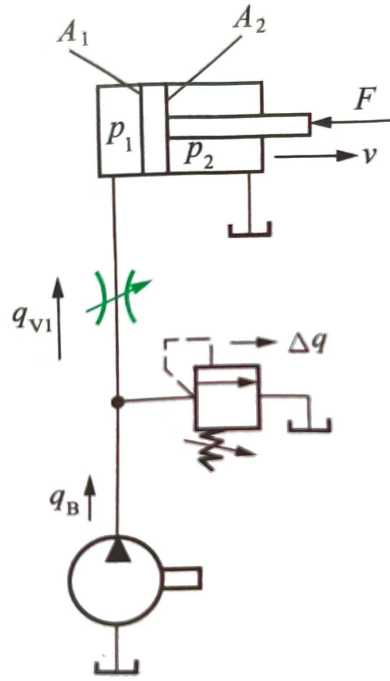


图 6-20 进油节流调速回路

**回油节流：**节流阀位于回油路，背压提高运动平稳性（图 6-21 对比）。

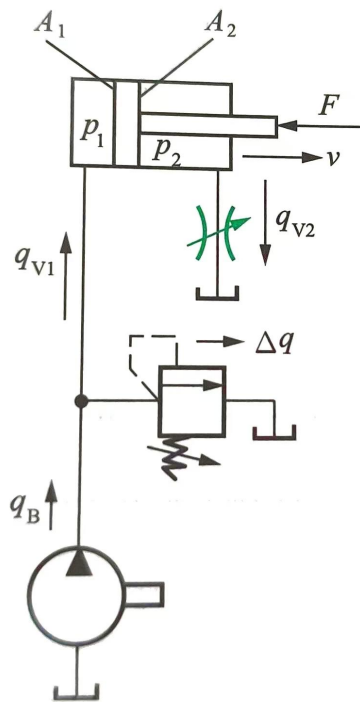


图 6-21 回油节流调速回路

**旁路节流：**节流阀并联于主油路，适用大功率系统（图 6-22 解析）。

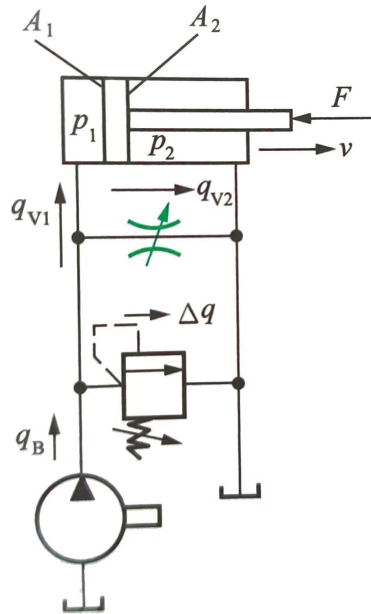


图 6-22 旁路节流调速回路

**调速阀优化：**负载变化大时采用调速阀，提升速度稳定性（公式  $(q = K \cdot A \cdot \Delta p^{0.5})$ ）。

- **容积调速：**

**变量泵-定量马达：**调节泵排量实现无级调速（效率高，适用大功率）。

**定量泵-变量马达：**调节马达排量，调速范围宽（动态示意图）。

**变量泵-变量马达：**综合两者优势，适应复杂工况。

- **容积节流调速：**

**限压式变量泵+调速阀：**泵流量自适应负载需求，高效节能。

**(2) 快速运动回路**

- **差动连接：**

**原理：**液压缸两腔同时进油，活塞快速运动（公式  $(v_{\text{差动}} = \frac{q}{A_1 - A_2})$ ）。

**案例：**组合机床快进-工进切换。

- **双泵供油：**

**原理：**低压大流量泵+高压小流量泵，快进时双泵并联。

**应用：**快慢速差异大的系统（如压力机）。

- **蓄能器辅助：**

**原理：**蓄能器储存高压油，短时释放实现快速运动（需间歇工作）。

**(3) 速度换接回路**

- **电磁阀切换：**

**原理：**二位二通阀与调速阀并联，实现快慢速切换。

**工作循环：**“快进→工进→快退→停止”。

- **行程阀控制：**

**原理：**挡块触发行程阀，机械式切换更可靠（动画演示）。

- **多级调速:**

调速阀并联/串联: 实现两种工进速度 (如粗加工与精加工切换)。

### 3. 总结与作业 (5 分钟)

- **知识总结:**

调速回路按负载特性选择, 快速回路提高效率, 速度换接保障平稳过渡。

思政结合: 速度控制需兼顾效率与安全, 体现工程师的社会责任感。

- **巩固练习:**

计算题: 差动连接液压缸活塞面积比 2:1, 输入流量 20L/min, 求快进速度。

- **课后任务:**

调研工业中智能化速度控制技术 (如伺服电机驱动变量泵)。

## 6.4 多缸运动回路

### 一、教学目标

1. 掌握多缸运动回路的三大类型 (顺序动作回路、同步动作回路、快慢速互不干扰回路) 及其工作原理。
2. 理解顺序动作回路的控制方式 (压力控制、行程控制、时间控制) 及同步回路的实现方法 (串联、流量控制、同步阀)。
3. 熟悉快慢速互不干扰回路的设计思路与应用场景。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 讲解多缸回路的分类、原理及典型结构。
2. 通过自动化生产线、机床加工系统等实例分析多缸协同控制需求。
3. 利用动画展示顺序动作回路的触发逻辑及同步回路的流量分配过程。

### 三、素质 (思政) 内容与要求

1. 通过顺序动作案例分析, 强调误动作可能导致的设备损坏或人身伤害。
2. 优化多缸系统设计, 减少因协调不当造成的能量浪费。
3. 探索智能化同步控制技术 (如传感器反馈+比例阀调节)。

### 四、教学重点与难点

1. **重点:** 顺序动作回路的控制方式 (压力继电器、顺序阀、行程阀); 同步回路的实现方法 (串联液压缸、分流集流阀、同步马达); 快慢速互不干扰回路的设计原理 (独立供油或压力隔离)。
2. **难点:** 同步回路中负载不均对同步精度的影响及补偿措施 (如带补偿装置的串联回路); 快慢速互不干扰回路中压力波动的动态平衡分析。

### 五、教学内容

#### 1. 导入 (5 分钟)

- **问题引导:**

提问: “自动化生产线中, 多个液压缸如何协同工作以避免动作冲突?” 通过汽车焊接生产线视频, 引出多缸运动回路的重要性。

- **案例展示:**

展示机床夹紧-进给系统图，说明顺序动作的必要性，激发学习兴趣。

## 2. 具体内容（35 分钟）

### （1）顺序动作回路

#### ● 压力控制：

**压力继电器：** 夹紧缸达到设定压力后触发进给缸动作。

**顺序阀：** 利用顺序阀的开启压力控制动作顺序（图 6-38 解析）。

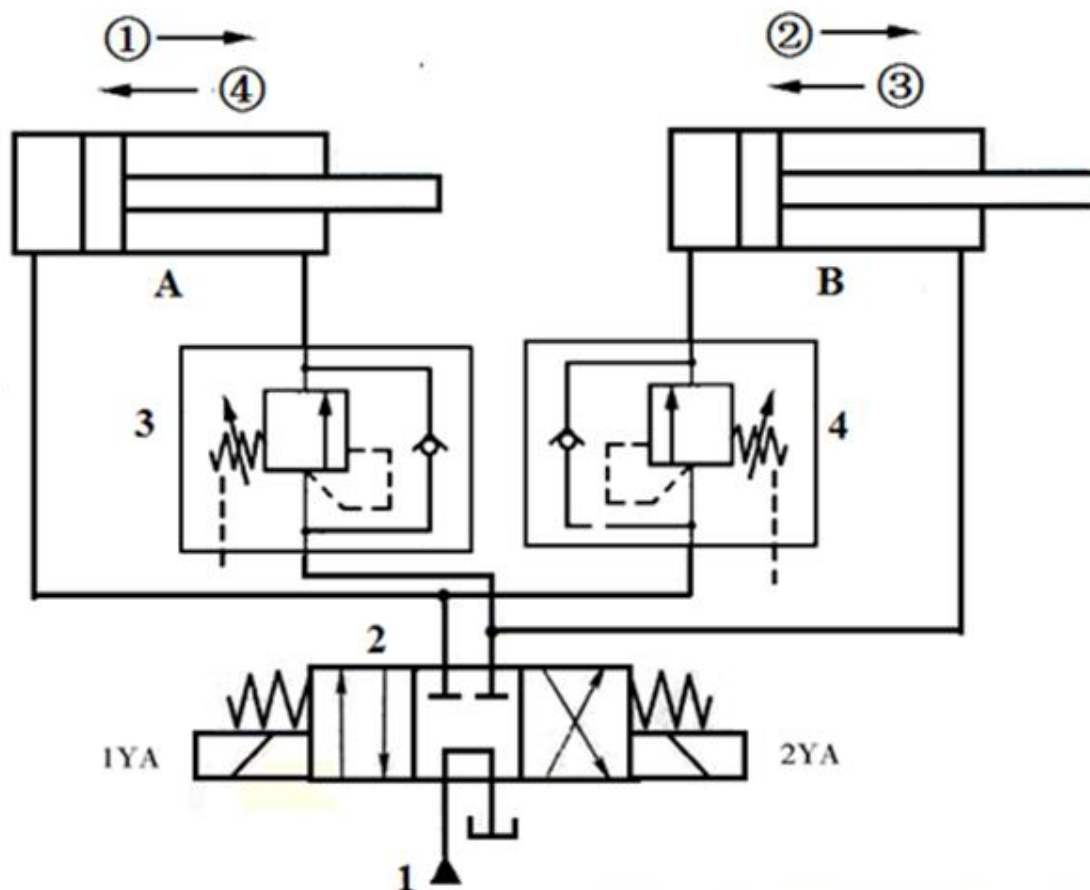


图 6-38 顺序阀控制的顺序回路

#### ● 行程控制：

**行程阀：** 挡块触发行程阀切换油路（图 6-39 演示）。

**行程开关+电磁阀：** 电气信号控制换向阀通断，实现精确顺序（如“夹紧→钻孔→退回”循环）。

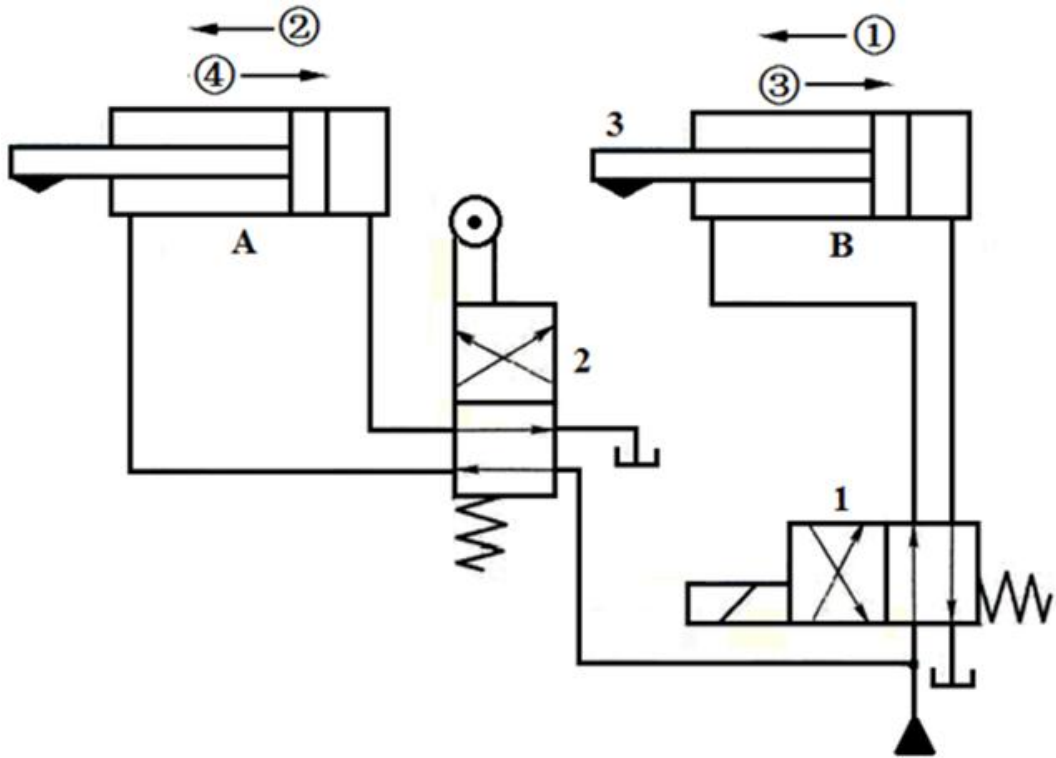


图 6-39 行程阀控制的顺序动作回路

(2) 同步动作回路

● 串联液压缸：

原理：前缸回油作为后缸进油，面积相等时实现同步（公式 $(v_1 = v_2)$ ）。

补偿装置：通过补油阀消除累积误差（图 6-42 解析）。

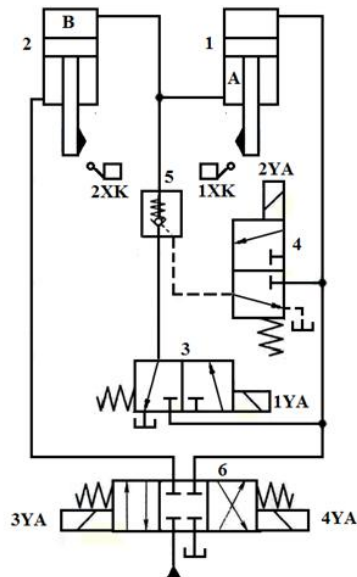


图 6-42 采用补偿措施的串联液压缸同步回路

● 流量控制：

调速阀并联：调节两缸流量相等（适用负载相近场景）。

分流集流阀：强制等分流量，高精度同步。

● 同步马达/比例阀：

同步马达：机械式等量分配流量。

电液比例阀：通过传感器反馈动态调节流量。

### (3) 快慢速互不干扰回路

- 独立供油设计：

双泵系统：快进时低压大流量泵单独供油，工进时高压小流量泵供油。

蓄能器辅助：快进时蓄能器释放油液，避免主泵压力波动。

- 压力隔离：采用单向阀或逻辑阀隔离快慢速油路，防止相互干扰。

### 3. 总结与作业（5分钟）

- 知识总结：

顺序动作需精准触发，同步动作需流量均衡，快慢速互不干扰需压力隔离。

思政结合：多缸协同设计需兼顾效率与安全，体现工程师的系统思维与社会责任。

- 巩固练习：

设计题：设计一个液压系统，实现“夹紧→上升→旋转→松开”顺序动作。

分析题：分析串联同步回路中补偿装置的作用及工作原理。

## 第七章 典型液压传动系统（5课时）

### 一、教学目标

1. 掌握组合机床动力滑台、液压机、汽车起重机、装载机等典型液压系统的工作原理及核心组件功能。
2. 理解液压系统图的阅读方法与步骤，能够分解复杂系统为子系统并分析其协同逻辑。
3. 熟悉液压系统常见故障（压力失常、油温过高、液压冲击）的诊断与排除方法。
4. 能够根据系统图分析典型液压设备的工作流程及关键阀件的控制逻辑。

### 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 系统讲解各液压传动系统的工作原理、油路切换逻辑及核心组件（如变量泵、换向阀、平衡阀）。
2. 通过实际工程案例（如液压机保压失效、起重机吊臂失控）分析故障原因，引导学生理解系统设计的薄弱环节。
3. 利用动画展示组合机床动力滑台的“快进→工进→快退”循环、液压机主缸快速下行与保压过程。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 通过液压机超压爆炸事故案例，强调操作规范与定期维护的必要性。分析起重机支腿液控单向阀失效的后果，引导学生重视安全阀件的检查。
2. 讨论变量泵与定量泵的能耗差异，倡导采用高效节能元件（如限压式变量泵）。结合油温过高案例，强调油液清洁度管理对延长设备寿命的重要性。
3. 通过小组合作解决复杂故障案例（如装载机动臂锁紧失效），培养协作能力。

与创新思维。

## 四、教学重点与难点

### 1.重点

- **组合机床动力滑台**：六种工况的油路切换逻辑（快进差动连接、工进调速阀限流、死挡铁停留触发压力继电器）。
- **液压机**：主缸快速下行与慢速加压的油路差异，保压延时功能的实现（蓄能器与液控单向阀协同）。
- **汽车起重机**：多支腿与吊臂动作的互锁设计（手动换向阀中位卸荷，平衡阀防负载下滑）。

### 2.难点

- **复杂油路动态分析**：液压机主缸快速下行时充液箱补油与液控单向阀开启的联动机制。
- **多缸协同控制**：起重机吊臂伸缩与变幅动作的流量分配与压力平衡问题。

## 五、教学内容

### 1. 导入（10 分钟）

#### - 问题引导

- 提问：“金属冲压件表面出现毛刺，可能由液压机保压失效导致。如何通过液压系统设计避免这一问题？”

- 案例：某工厂因液压机保压时间不足，导致批量零件报废，损失数十万元。

#### - 视频展示

- 播放汽车起重机吊装作业视频，重点展示支腿展开、吊臂伸缩、回转动作的协调性，强调液压系统多缸协同的重要性。

### 2. 具体内容（205 分钟）

#### （1）液压系统图阅读方法

#### ● 步骤分解：

##### 1. 明确设备功能：

组合机床用于高精度镗孔，需稳定进给；液压机需高压输出与保压功能。

##### 2. 划分子系统：

动力子系统（变量泵、电机）、控制子系统（换向阀、调速阀）、执行子系统（液压缸、马达）。

##### 3. 分析子系统：

以组合机床为例，快进时差动油路（泵→换向阀左位→行程阀右位→液压缸两腔连通），工进时调速阀限流。

##### 4. 整合系统逻辑：

液压机主缸快速下行依赖充液箱补油，慢速加压时泵单独供油。

#### （2）典型液压系统解析

#### ● 组合机床动力滑台（1HY 系列）

快进工况：

差动连接：液压缸两腔同时进油，速度公式  $(v = \frac{q}{A_1 - A_2})$ 。

油路：变量泵→单向阀→电液换向阀左位→行程阀右位→液压缸左腔。

工进切换：

行程阀关闭，油液经调速阀节流，背压阀提升稳定性（图 7-4 解析）。

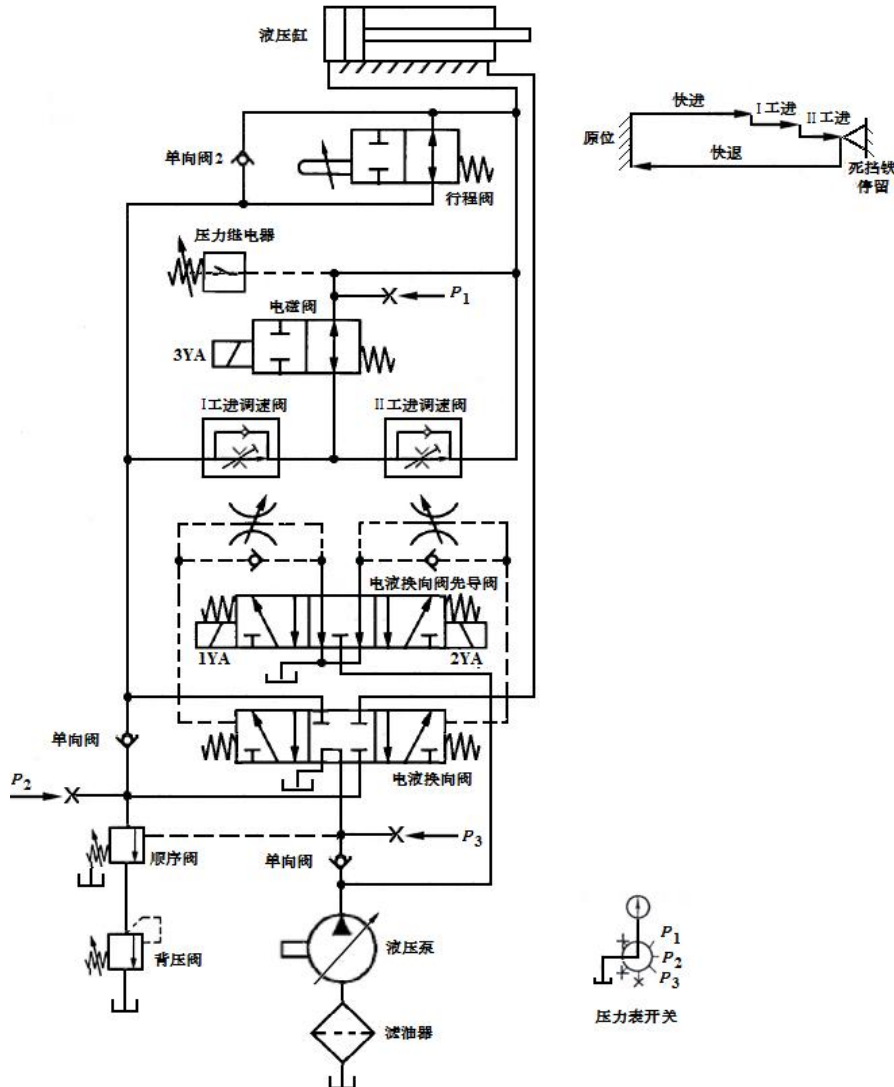


图 7-4 1HY 系列滑台进给液压传动系统

死挡铁停留：

压力继电器触发信号，确保阶梯孔加工精度（案例：镗孔深度误差分析）。

● 液压机（YB32-200 型）

主缸快速下行：

充液箱通过液控单向阀补油，主缸自重加速（油路：泵→顺序阀→液控单向阀→主缸上腔）。

保压延时：

换向阀中位锁闭，蓄能器维持压力，避免泄漏（公式  $(p = \frac{F}{A})$  验证压力稳定性）。

顶出缸联动：

主缸复位后，手动换向阀控制顶出缸动作，防止干涉（互锁阀设计解析）。

- **汽车起重机（Q2-8 型）**

- 支腿控制：**

- 液控单向阀防止“软腿”，手动换向阀独立操作（图解析支腿油路）。

- 吊臂动作：**

- 平衡阀防止吊臂自行下滑（案例：重物悬停时平衡阀卡滞导致事故）。

- **装载机（ZL50 型）**

- 铲斗与动臂协同：**

- 手动换向阀分时控制铲斗翻转与动臂升降，精滤器保障油液清洁（工况流程图解析）。

### **（3）液压系统故障排除**

- **压力失常**

- 原因：**溢流阀卡滞、泵磨损、内泄漏。

- 解决：**清洗阀芯、更换密封件、检测泵容积效率。

- **油温过高**

- 原因：**节流损失大、冷却器失效、油液污染。

- 解决：**优化调速回路、加强散热、定期换油（案例：某装载机油温达 80°C 导致密封失效）。

- **液压冲击**

- 原因：**换向阀切换过快、管路振动。

- 解决：**增设缓冲阀、采用软管减震（动画演示缓冲阀作用）。

### **3. 总结与作业（10 分钟）**

- **知识总结**

- 典型液压系统的核心在于精准控制与协同设计，故障排除需结合原理分析与实践经验。

- 思政结合：安全与节能是液压系统设计的永恒主题，体现工程师的社会责任。

- **巩固练习**

- 设计题：**优化组合机床动力滑台回路，增加缓冲阀以减少快进到工进的冲击。

- 案例分析：**某液压机保压时间不足，可能原因包括蓄能器失效、液控单向阀泄漏，提出检测步骤。

- **课后任务**

- 调研智能制造中液压系统的智能化升级案例（如物联网监测油温、压力）。

## **第八章 液压伺服系统（2 课时）**

### **一、教学目标**

1. 掌握液压伺服系统的基本概念、工作原理及核心特点（反馈控制、功率放大、有差系统）。
2. 理解液压伺服系统的分类（位置、速度、力伺服系统）及组成元件（输入元件、反馈测量元件、电液伺服阀等）。

3. 熟悉电液伺服阀的结构与工作原理（力矩马达、前置放大级、功率放大级）。
4. 了解典型应用案例（机械手伸缩系统、汽车转向助力器）的控制逻辑。
5. 能够根据电液伺服阀的结构图描述其工作过程，理解力反馈的实现方式。

## 二、教学方法与手段

1. 结合 PPT 系统讲解液压伺服系统的反馈原理、分类及关键组件功能。
2. 通过动画演示电液伺服阀的动态工作过程（力矩马达偏转→前置级压力变化→功率级滑阀位移）。
3. 分析机械手伸缩系统的闭环控制逻辑，解释步进电机、电位器、伺服阀的协同作用。
4. 讨论汽车转向助力器的安全设计（压力差反馈提升操作真实感）。
5. 分组设计“液压仿形机床”的伺服控制系统，探讨如何通过反馈提高加工精度。

## 三、素质（思政）内容与要求

1. 通过飞机舵机控制失效案例，强调反馈系统的可靠性对生命安全的影响。
2. 讨论变量泵在液压伺服系统中的应用，减少空载能耗，倡导绿色液压技术。
3. 通过小组合作优化机械手控制算法，培养协作能力与工程思维。

## 四、教学重点与难点

1. **重点：**液压伺服系统的反馈机制：机械反馈、电气反馈的实现方式及闭环控制原理；电液伺服阀的结构与工作流程：力矩马达的电磁转换、前置级的压力差控制、功率级的流量放大；典型应用系统分析：机械手伸缩运动的信号传递链（步进电机→电位器→伺服阀→液压缸）。
2. **难点：**力反馈的物理实现：反馈杆变形力与滑阀位移的动态平衡关系。复杂系统的稳定性分析：如何通过调节增益避免系统振荡（如机械手运动超调）。

## 五、教学内容

### 1. 导入（10 分钟）

#### ● 问题引导

提问：“工业机器人如何实现毫米级精度的抓取动作？若反馈信号中断会导致什么后果？”

案例：某自动化生产线因伺服阀卡滞导致机械手定位偏差，引发批量产品报废。

### 2. 具体内容（70 分钟）

#### （1）液压伺服系统概述

#### ● 工作原理

**反馈闭环控制：**以滑阀-液压缸系统为例，输入位移( $x_i$ )与输出位移 ( $x_p$ ) 通过机械连接形成负反馈（图 8-2 解析）。

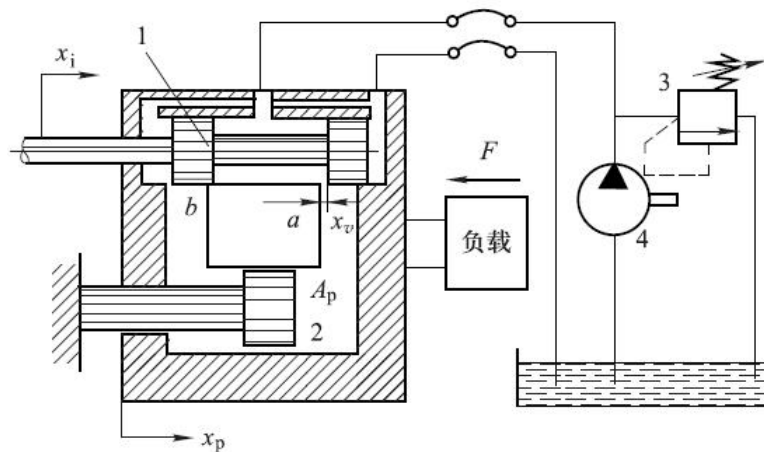


图 8-2 液压伺服系统

**有差系统特性：**系统依靠偏差信号 ( $x_v = x_i - x_p$ ) 工作，直至偏差为零时停止。

**功率放大：**微小输入信号（如手动位移）通过液压能源放大为高功率输出（公式 ( $P_{\text{输出}} = \Delta p \cdot q$ )）。

- **基本特点：**自动跟踪、有差系统、负反馈、功率放大（对比普通液压系统的开环特性）。

## (2) 液压伺服系统的分类与组成

### ● 分类

**按控制量：**位置伺服（如机床仿形刀架）、速度伺服（如船舶舵机）、力伺服（如材料试验机）。

**按控制元件：**滑阀式（精度高）、喷嘴挡板式（响应快）、转阀式（大流量）。

**按控制方式：**阀控系统（节流控制）、泵控系统（容积控制）。

### ● 组成元件

**输入元件：**步进电机、电位器（提供指令信号）。

**反馈测量元件：**齿轮齿条机构（机械反馈）、压力传感器（电气反馈）。

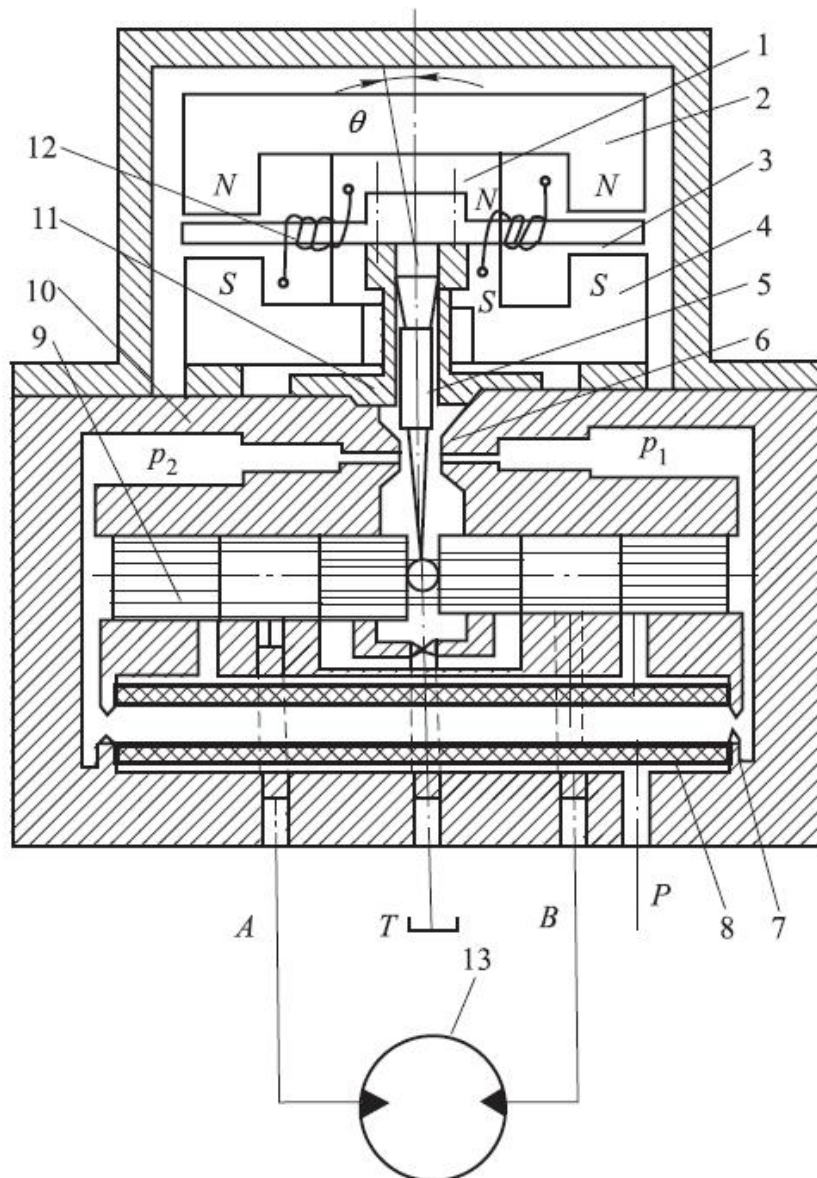
**比较与放大元件：**伺服阀同时承担信号比较与功率放大功能。

## (3) 电液伺服阀详解

### ● 力矩马达

**结构：**永久磁铁、导磁体、衔铁、线圈、弹簧管（图 8-5 解析）。

**工作原理：**输入电流 ( $i$ ) 产生磁力矩，衔铁偏转角度 ( $\theta \propto i$ )。



1—永久磁铁;2、4—导磁体;3—衔铁;5—挡板;  
6—喷嘴;7—固定节流孔;8—滤油器;9—滑阀;10—阀体;  
11—弹簧管;12—线圈;13—液压马达

图 8-5 力反馈电液伺服阀工作原理

- 前置放大级（双喷嘴挡板）  
挡板偏转导致喷嘴背压差 ( $\Delta p = p_1 - p_2$ )，驱动滑阀移动。  
灵敏度分析：挡板位移 ( $\delta$ ) 与喷嘴压力差的关系（公式 ( $\Delta p = K \cdot \delta$ )）。
  - 功率放大级（滑阀）  
滑阀位移( $x_v$ ) 控制主油路流量 ( $q = C_d \cdot A(x_v) \cdot \sqrt{\Delta p}$ )。
  - 力反馈机制：滑阀位移通过反馈杆反作用于衔铁，实现动态平衡(动画演示)。
- (4) 典型应用案例分析
- 机械手伸缩系统（电液伺服）

**信号链：**数控脉冲→步进电机转角→电位器电压→伺服阀电流→液压缸位移→齿轮反馈（图 8-7 方框图解析）。

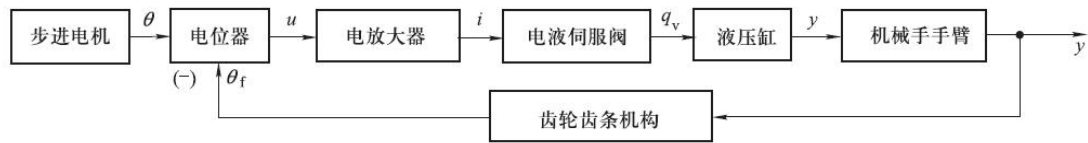


图 8-7 机械手伸缩运动伺服系统方框图

**闭环控制：**当  $(\theta_f = \theta)$  时，偏差信号  $(u = 0)$ ，系统停止。

- **汽车转向助力器（机液伺服）**

**手动输入：**方向盘转动→摆杆移动阀芯→液压缸压力差驱动车轮转向。

**真实感设计：**阀芯端部油腔压力差  $(\Delta p)$  反馈至驾驶员手感。

### 3. 总结与作业（10 分钟）

- **知识总结**

液压伺服系统的核心是负反馈控制，通过偏差信号驱动执行元件精确跟随输入。

电液伺服阀是实现电-液信号转换与功率放大的关键元件，力反馈机制保障其稳定性。

**思政结合：**高精度伺服系统是智能制造的基础，工程师需兼顾性能与安全。

- **巩固练习**

**计算题：**已知电液伺服阀的额定流量  $(q_n = 20 \text{ L/min})$ ，输入电流  $(i = 10 \text{ mA})$ ，求流量增益  $(K_q)$ 。

- **课后任务**

调研液压伺服系统在新能源领域的应用（如风力发电机变桨控制）。