

## 第二讲 液压介质

2.1 液 压 液 的 作 用

2.2 液 压 液 的 特 性

2.3 液 压 液 的 要 求

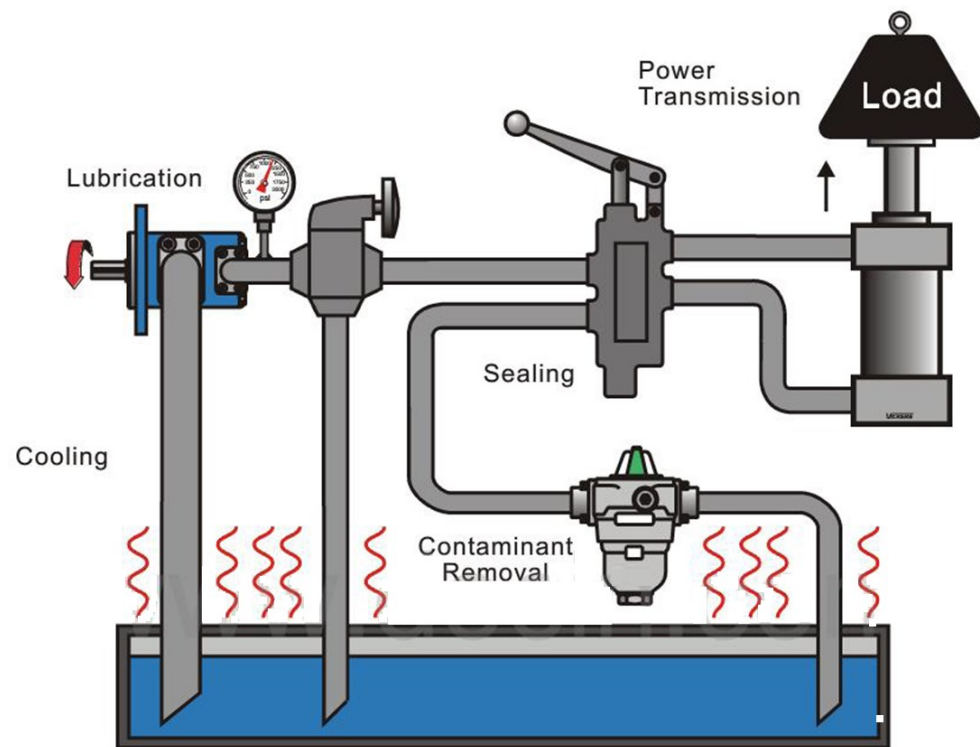
2.4 液压液的选择与使用

2.5 液压液的污染及控制

➤ 液压传动及控制所用的工作介质为**液压油液或其他合成液体**

➤ 液压液分类

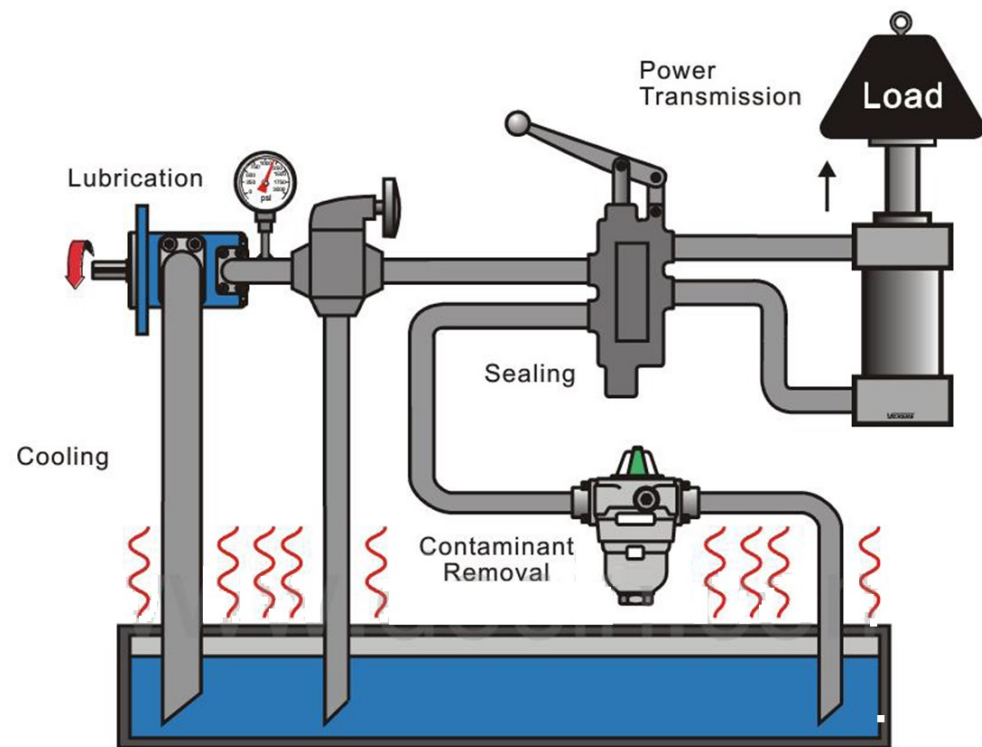
**90%**以上石油基液压液。基油为精制的石油润滑油馏分。在基油中加入各种添加剂：**改善油液化学性能的**,如抗氧化剂、防腐剂、防锈剂等；**改善油液物理性能的**,如增粘剂、抗磨剂、防爬剂等。



➤ 液压液的作用：传动、润滑、冷却、去污和防锈

➤ 液压传动及控制所用的工作介质为**液压油液或其他合成液体**

- 1) **传动** 把由**液压泵**所赋予的能量传递给**执行元件**；
- 2) **润滑** 润滑**液压泵**、**液压阀**、**液压执行元件**等运动件；
- 3) **冷却** 吸收并带出**液压装置**所产生的热量；
- 4) **去污** 带走工作中产生的**磨粒**和来自外界的**污染物**；
- 5) **防锈** 防止液压元件所用各种**金属的锈蚀**。



➤ 液压液的作用：传动、润滑、冷却、去污和防锈

# 液压液的作用

## 石油基液压油



## 水包油型乳化液



## 井下防爆领域

## 海水（加部分淡水）

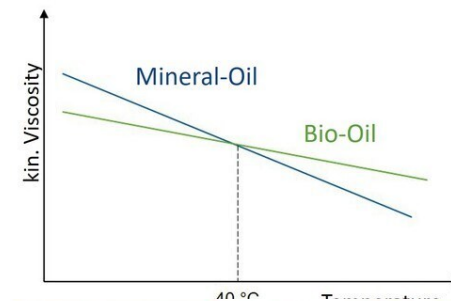


## 海洋船舶/潜艇领域

## 纯水（粘度低、润滑差）



## 辐射环境领域





## ➤ (一) 密度

单位体积液体所具有的质量称为该液体的密度,即

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中  $\rho$  ——液体的密度;

$V$  ——液体的体积;

$m$  ——液体的质量。

常用液压传动液压液的密度值(20°C)

液 压 液	密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	液 压 液	密度/(kg·m <sup>-3</sup> )
抗磨液压液L-HM32	$0.87 \times 10^3$	水-乙二醇液压液L-HFC	$1.06 \times 10^3$
抗磨液压液L-HM46	$0.875 \times 10^3$	通用磷酸酯液压液L-HFDR	$1.15 \times 10^3$
油包水乳化液L-HFB	$0.932 \times 10^3$	飞机用磷酸酯液压液L-HFDR	$1.05 \times 10^3$
水包油乳化液L-HFAE	$0.9977 \times 10^3$	10号航空液压油	$0.85 \times 10^3$

密度随压力或温度的变化而变化, 变化量一般很小, 工程常被忽略。

空化

## ➤ (二) 可压缩性

液体受压体积缩小的性质称为可压缩性。压力为 $p_0$ 时，体积为 $V_0$ ，压力增加 $\Delta p$ ，体积减小 $\Delta V$ ，则：

液体在单位压力变化下的体积相对变化量为

液体压缩率：
$$k = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V}$$

液体压缩率 $k$ 的**倒数**，称为液体**体积弹性模量**(以下简称体积模量)，即

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V$$

**式中， $K$ 为产生单位体积相对变化量所需要的压力增量，实际应用中用 $K$ 值说明液体抵抗压缩的能力。**

## ➤ (二) 可压缩性

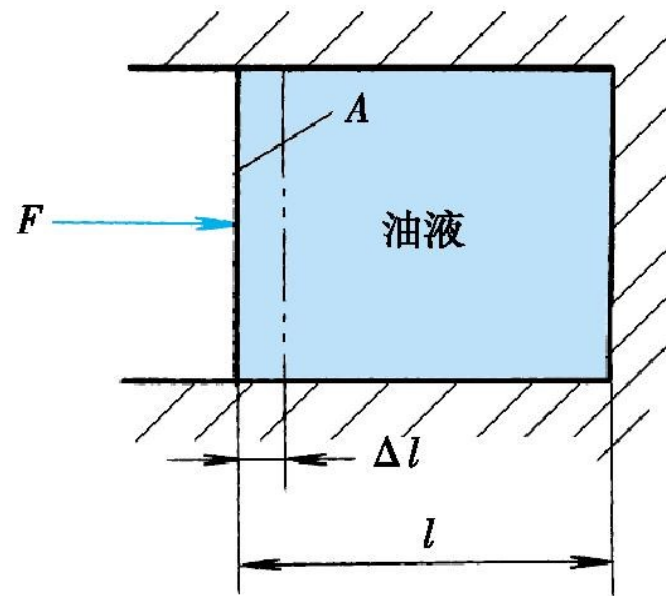
各种液压液的体积模量(20°C,大气压), 其中石油基液压油的可压缩性是钢的100~170倍(钢的弹性模量为 $2.1 \times 10^5 \text{MPa}$ )。

液 压 液	体积模量K/MPa	液 压 液	体积模量K/MPa
石油基液压油	$(1.4 \sim 2) \times 10^3$	水-乙二醇液压液	$3.45 \times 10^3$
水包油乳化液	$1.95 \times 10^3$	磷酸酯液压液	$2.65 \times 10^3$
油包水乳化液	$2.3 \times 10^3$	水	$2.4 \times 10^3$

在封闭容器内的液体在外力作用下像一个弹簧, 外力增大, 体积减小; 外力减小, 体积增大。

压力变化  $\Delta p = \Delta F / A$ 、体积变化  $\Delta V = A \Delta l$  ( $\Delta l$  为液柱长度变化)

➤ 刚性 (体积模量) 
$$k_h = -\frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{A^2 K}{V}$$



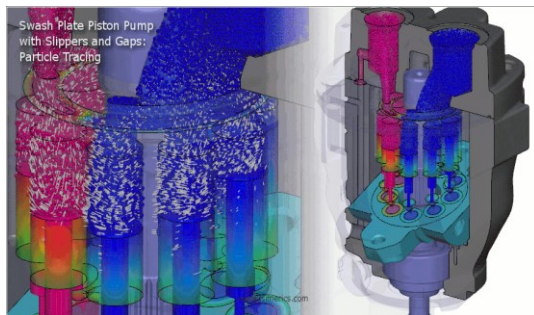
抗冲击能力

## ➤ (二) 可压缩性

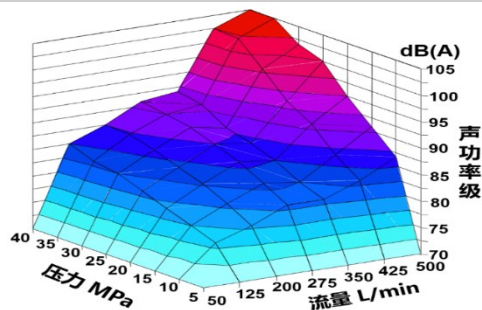
- 一般情况下，可压缩性对液压系统性能影响不大，但在高压下或研究系统动态性能及计算远距离操纵的液压机构时，则必须予以考虑。
- 石油基液压油的体积模量与温度、压力有关：**温度↑，K↓**，通常工作温度范围内，K值会有5%~25%的变化；**压力↑，K值↑**，不呈线性关系，当 $p \geq 3\text{MPa}$ 时，K值基本上不再增大。
- 液压液中有**游离气泡**，K值将大大减小，且起始压力的影响明显增大。
- 一般建议石油基液压油K的取值为 $(0.7 \sim 1.4) \times 10^3\text{MPa}$ ，尽量减少液压系统液压液中的游离空气的含量。



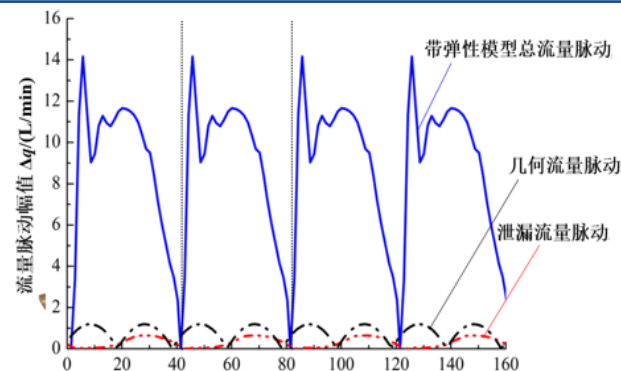
## ◆ 高速工况下流量脉动和压力冲击激振源强度增大，导致噪音激增



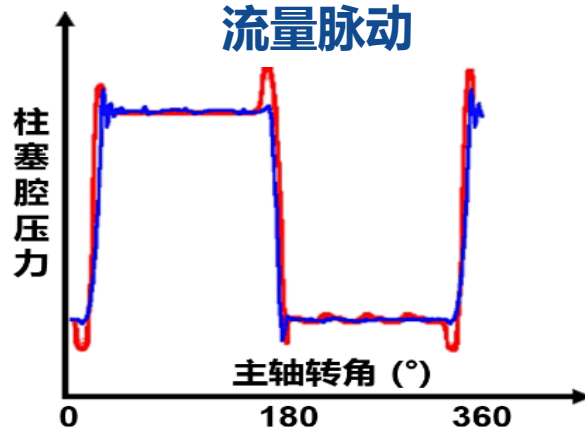
切换时间:  $\leq 1 \times 10^{-3} \text{s}$   
压力梯度:  $\geq 4 \times 10^5 \text{MPa/s}$   
射流速度:  $> 350 \text{m/s}$



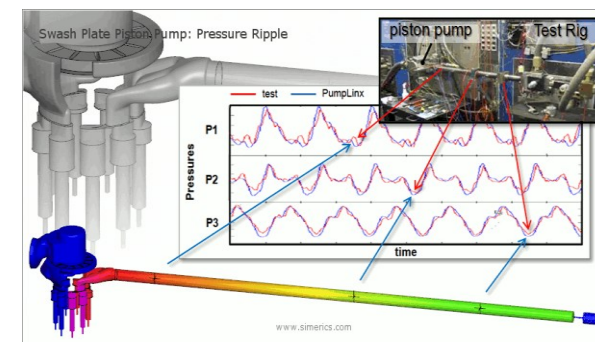
液压泵辐射噪声



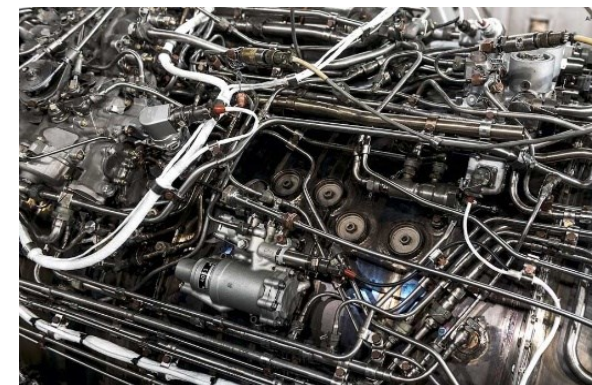
流量脉动



压力冲击



压力脉动



管路疲劳失效

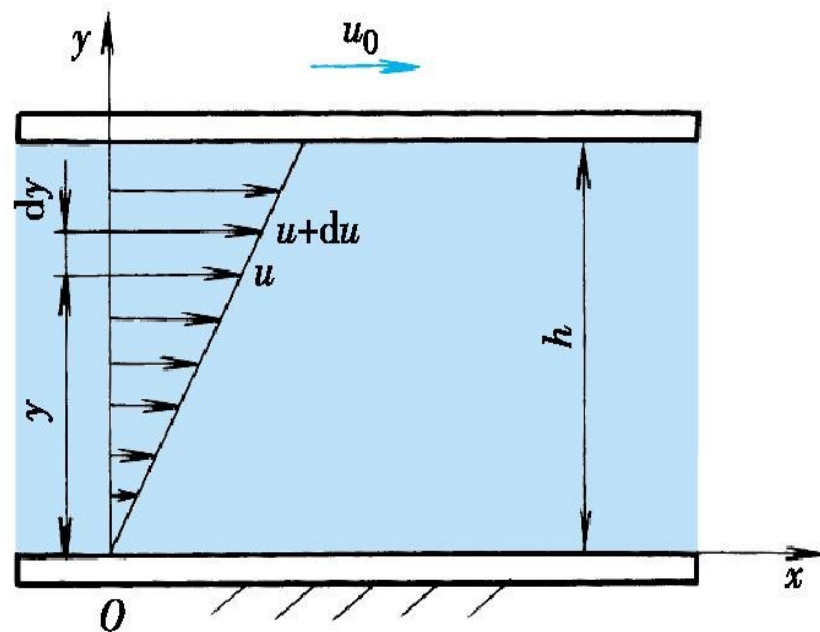
**领域特色:** 航天航空对泵出口压力脉动提出严格要求( $< \pm 7\%$ )

## ➤ (三) 粘性

### 1、粘性的表现

❑ 液体在外力作用下流动时，分子间内聚力的存在使其流动受到牵制，产生内摩擦力，这一特性称为液体的粘性。

- 若距离为 $h$ 的两平行平板间充满液体，下平板固定，上平板以速度 $u_0$ 向右平动。
- 紧靠着下平板的液层速度为零，紧靠着上平板的液层速度为 $u_0$ ，而中间各层液体的速度当层间距离 $h$ 较小时，从上到下近似呈**线性递减规律分布**。
- 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。



液体粘性示意图

## ➤ (三) 粘性

### 1、粘性的表现

实验测定表明, (**牛顿液体内摩擦定律**) 流动液体相邻液层间的内摩擦力  $F_f$  与液层接触面积  $A$ 、液层间的速度梯度  $du/dy$  成正比

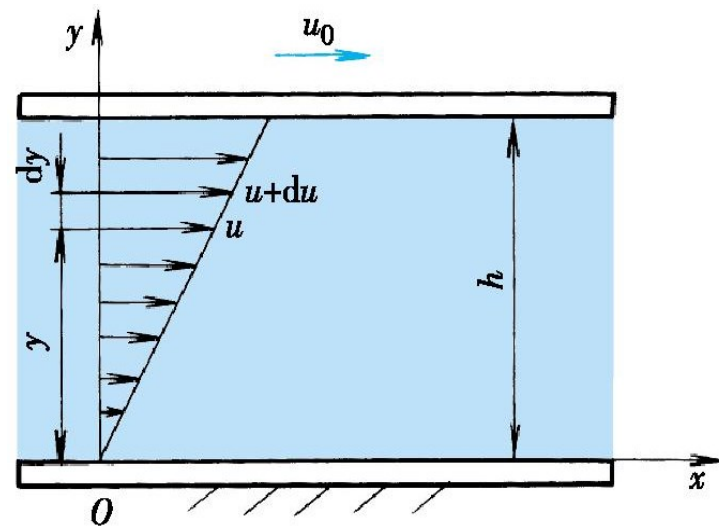
$$F_f = \mu A \frac{du}{dy}$$

比例系数  $\mu$  称为绝对粘度或**动力粘度**。

若以  $\tau$  表示液层间的切应力,即单位面积上的内摩擦力,则:

$$\tau = \frac{F_f}{A} = \mu \frac{du}{dy}$$

- 在静止液体中, 速度梯度  $du/dy = 0$ , 故其内摩擦力为零, **因此静止液体不呈现粘性,液体只在相对运动时才显示其粘性。**



## ➤ (三) 粘性

### 2、粘性的度量

液体粘性的大小用粘度表示，常用有动力粘度、运动粘度和相对粘度。

● **动力粘度 $\mu$** ，表征液体粘度的内摩擦系数

物理意义：当  $du/dy=1$  时，液体层间**单位面积上的内摩擦力** $\tau$ 即为动力粘度又称绝对粘度。

我国法定计量单位制及SI制中，单位 $\text{Pa}\cdot\text{s}$  (帕·秒) 或 $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ;

$$\mu = \tau / \frac{du}{dy}$$

- 自然界中许多流体是牛顿流体。水、酒精等大多数纯液体、轻质油、低分子化合物溶液以及低速流动的气体等均为牛顿流体;
- 血液、淋巴液、泥浆、油漆、牙膏、果酱、炼乳、高分子聚合物的浓溶液和悬浮液等一般为非牛顿流体。

## ➤ (三) 粘性

### 2、粘性的度量

液体粘性的大小用粘度表示，常用有动力粘度、运动粘度和相对粘度。

- **动力粘度 $\mu$** ，表征液体粘度的内摩擦系数

物理意义：当  $du/dy=1$  时，液体层间**单位面积上的内摩擦力** $\tau$ 即为动力粘度又称绝对粘度。

我国法定计量单位制及SI制中，单位Pa·s (帕·秒) 或N·s/m<sup>2</sup>；

$$\mu = \tau \bigg/ \frac{du}{dy}$$

- **运动粘度 $\nu$** ，液体的动力粘度 $\mu$ 与密度 $\rho$ 的比值，没有物理意义，

其单位中只有长度和时间的量纲，称为运动粘度；**在工程实际中用来标志液体的粘度。**

我国法定计量单位制及SI制中，单位m<sup>2</sup>/s (米<sup>2</sup>/秒)。

$$\nu = \mu / \rho$$

**液压牌号：**40℃运动粘度



## ➤ (三) 粘性

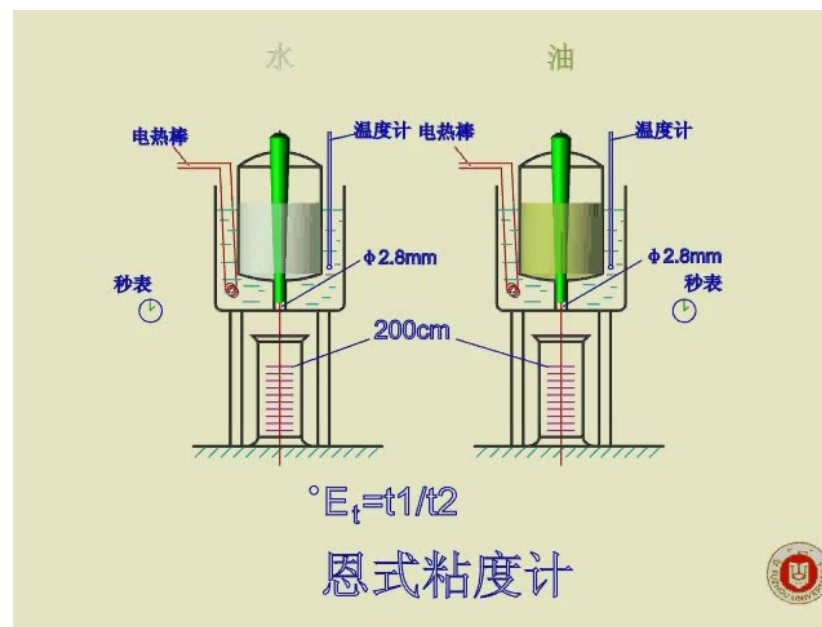
### 2、粘性的度量

液体粘性的大小用粘度表示，常用有动力粘度、运动粘度和相对粘度。

- **相对粘度又称条件粘度( $^{\circ}E$ )**，采用特定粘度计在规定的条件下测出来的液体粘度。测量条件不同，相对粘度单位也不同。我国采用恩氏粘度  $^{\circ}E_t = t_1/t_2$
- 20°C、50°C、100°C为测定恩氏粘度的标准温度，用 $^{\circ}E_{20}$ 、 $^{\circ}E_{50}$ 和 $^{\circ}E_{100}$ 表示。

恩氏粘度和运动粘度的换算

$$\nu = \left( 7.31^{\circ}E - \frac{6.31}{^{\circ}E} \right) \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$$



## ➤ (三) 粘性

### 3、粘度和温度的关系

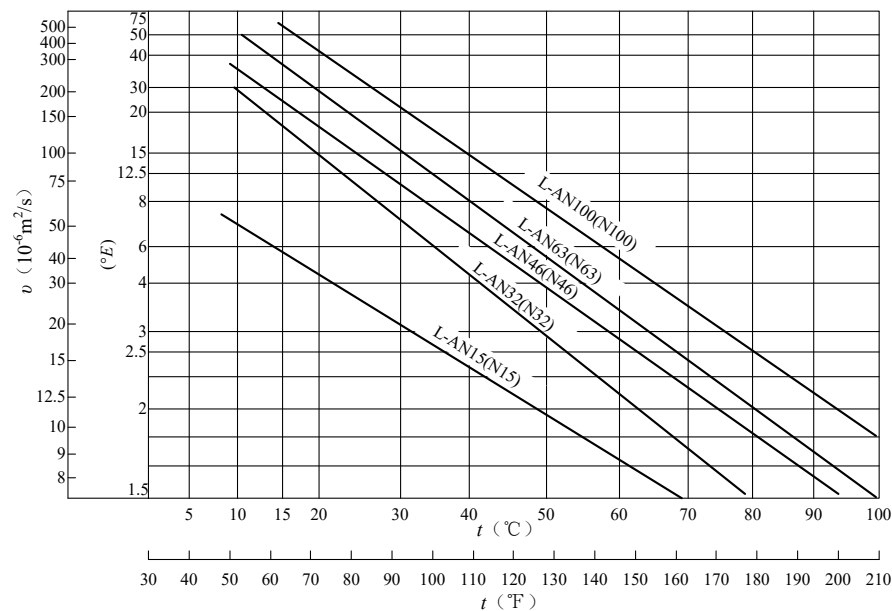
- 温度对油液粘度影响很大，油液温度升高，其粘度显著下降。油液粘度变化直接影响系统性能和泄漏，希望粘度随温度变化越小越好。油液粘度随温度变化的性质称为粘温特性。
- 粘度不超过15°E的液压油，在(30 ~ 150)°C范围内时，

$$\nu_t = \nu_{50} \left( \frac{50}{t} \right)^n$$

式中， $\nu_t$  为  $t$ °C时液压油的运动粘度 ( $10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ );

$\nu_{50}$  为50°C时液压油的运动粘度 ( $10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ );

$n$  为与液压油粘度有关的特性指数。



常用国产液压油粘温特性图

**粘度指数高一粘温特性好**

## ➤ (三) 粘性

### 4、粘度和压力的关系

- 压力对油液的粘度也有影响，压力愈大，分子间距离愈小，粘度变大。  
油液粘度随压力变化的性质称为粘压特性。

$$\nu_p = \nu_a e^{cp}$$

- $\nu_p$  为压力为  $p$  时的运动粘度
- $\nu_a$  为一个大气压下的运动粘度
- $c$  为粘度压力系数，对于石油基液压油，一般取  $c=0.015 \sim 0.035$
- 实际应用中液压系统中矿物油在  $(0 \sim 500) \times 10^6 \text{Pa}$  时， $\nu_p = \nu_a (1 + 0.003p)$
- 液压系统中若压力不高，压力对粘度影响较小，可忽略；
- 当压力较高或压力变化较大时，压力对粘度的影响必须考虑。

## (四) 其他性质

- **稳定性**(热稳定性、氧化稳定性、水解稳定性、剪切稳定性等)、**抗泡沫性**、**抗乳化性**、**防锈性**、**润滑性**以及**相容性**等，都有重要影响。

## 1) 对液压油的要求

液压油有双重作用：传递能量、润滑运动零件工作表面，液压油的性能直接影响工作的可靠性和灵敏性、工况的稳定性、系统的效率、零件的寿命等。液压油应满足以下要求：

- 粘温特性好，在使用温度范围内，液压油粘度随温度变化愈小愈好；
- 良好的润滑性，润滑时产生的油膜强度高，以免干摩擦；
- 成分纯净，不含腐蚀性物质，以免侵蚀机械零件件和密封元件；
- 良好的化学稳定性，不易氧化，不易变质，防粘质沉淀物影响系统工作，防止氧化后液压油变为酸性，腐蚀金属表面；
- 抗泡沫性好，抗乳化性好，对金属和密封件有良好相容性；
- 体积膨胀系数低，比热容和传热系数高，流动点和凝固点低，**闪点和燃点高**；
- 无毒性，价格便宜。

## ➤ （一）液压液的选择

正确而合理地选用和维护液压液，对于液压系统达到设计要求、保障工作能力、满足环境条件、延长使用寿命、提高运行可靠性、防止事故发生等方面都有重要影响。

考虑方面	内 容
系统工作环境	要否阻燃(闪点、燃点) 抑制噪声的能力(空气溶解度、消泡性) 废液再生处理及环保要求
系统工作条件	压力范围(润滑性、承载能力) 温度范围(粘度、粘-温特性、剪切损失、热稳定性、挥发度、低温流动性) 转速(气蚀、对支承面浸润能力)
液压液的品质	物理化学指标 对金属和密封件等的相容性 过滤性能、吸气情况、去垢能力 腐蚀性 抗氧化稳定性 剪切稳定性
经济性	价格及使用寿命 货源情况 维护、更换的难易程度



➤ (一) 液压液的选择

名 称	运动粘度/(10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )		工作压力 /MPa	工作温度/°C	推 荐 用 油
	允许	最佳			
叶片泵1200r/min 叶片泵1800r/min	16~220 20~220	26~54 25~64	7	5~40	L-HH32,L-HH46
				40~80	L-HH46,L-HH68
			14以上	5~40	L-HL32,L-HL46
				40~80	L-HL46,L-HL68
齿轮泵	4~220	25~54	12.5以下	5~40	L-HL32,L-HL46
				40~80	L-HL46,L-HL68
			10~20	5~40	L-HL46,L-HL68
				40~80	L-HM46,L-HM68
			16~32	5~40	L-HM32,L-HM68
				40~80	L-HM46,L-HM68
径向柱塞泵 轴向柱塞泵	10~65 4~76	16~48 16~47	14~35	5~40	L-HM32,L-HM46
				40~80	L-HM46,L-HM68
			35以上	5~40	L-HM32,L-HM68
				40~80	L-HM68,L-HM100
螺杆泵	19~49		10.5以上	5~40	L-HL32,L-HL46
				40~80	L-HL46,L-HL68

液压泵用油的粘度范围及推荐牌号

## ➤ (一) 液压液的选择

**液压液的选择要考虑：品种与粘度**

- 列出液压系统对液压液以下性能变化范围的要求：粘度、密度、体积模量、饱和蒸气压、空气溶解度、温度界限、压力界限、阻燃性、润滑性、相容性、污染性等。
- 查阅产品说明书，选出符合或基本符合上述各项要求的液压液品种。
- 进行综合权衡，调整各方面的要求和参数。
- 与供货厂商联系，最终决定所采用的合适液压液。

## ➤ (二) 液压液的使用

**在使用液压液时，应注意以下几点：**

- 由于液压液的黏度低、泄漏大，系统的最高压力不要超过14MPa
- 要防止气蚀现象，可用高置油箱使液压泵进口处压力增大，泵的转速不要超过1200r/min
- 在系统浸渍不到液体的部位，金属的气相锈蚀较为严重，因此应使系统尽量地充满液压液
- 由于高水基液压液的pH值高，容易发生由金属电位差引起的腐蚀，因此应避免使用镁合金、锌、镉之类金属
- 定期检查高水基液压液的pH值、浓度、霉菌生长情况，并对其进行控制。
- 滤网的通流能力须4倍于泵的流量，而不是常规的2倍

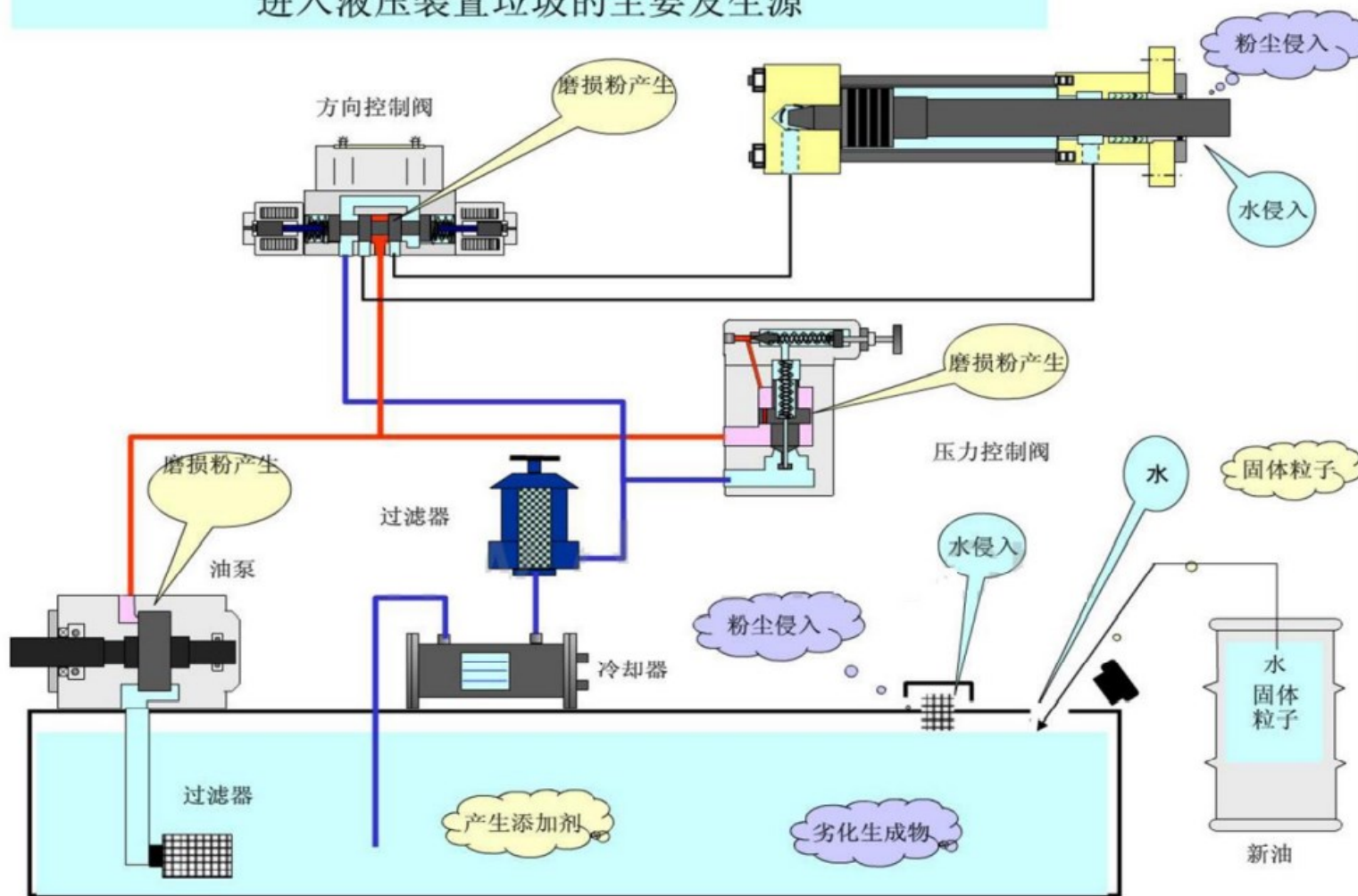
液压液的污染是故障的主要原因之一，影响着可靠性及元件的寿命。污染控制是提高可靠性及延长元件使用寿命的重要手段。

## 一、污染物的种类及危害

- 固体颗粒加速元件磨损，堵塞元件中的小孔、缝隙及过滤器，使泵、阀性能下降，产生噪声。
- 水的侵入会加速油液的氧化，并和添加剂起作用产生粘性胶质，使滤心堵塞。
- 空气的混入会降低液压液的体积模量，引起气蚀，降低润滑性。
- 溶剂、表面活性化合物化学物质会使金属腐蚀。
- 微生物的生成使液压液变质，降低润滑性能，加速元件腐蚀。对高水基液压液的危害更大。

## 二、污染的原因

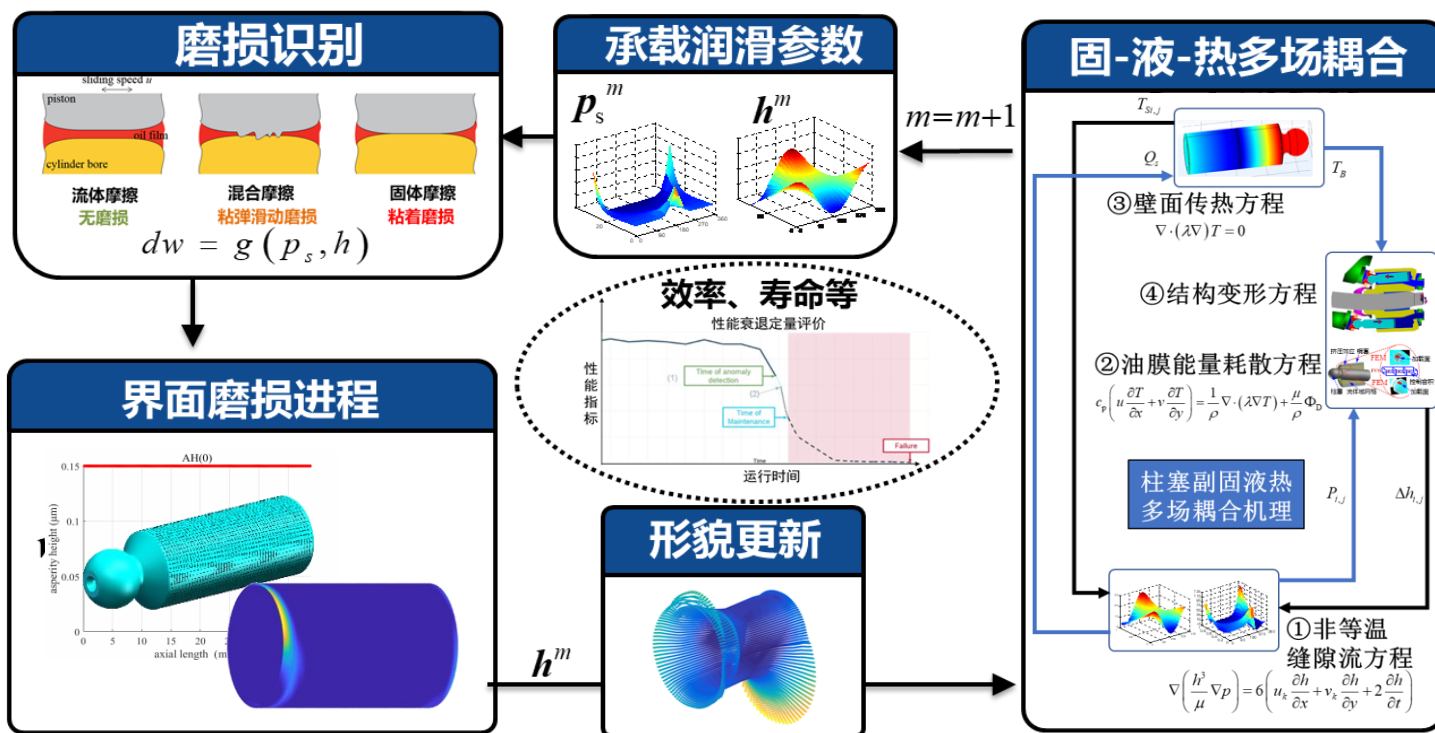
进入液压装置垃圾的主要发生源



组装时残留下来的污染物主要是指切屑、毛刺、型砂、磨粒、焊渣、铁锈等；从周围环境混入的污染物主要是指空气、尘埃、水滴等；在工作过程中产生的污染物主要是指金属微粒、锈斑、涂料和密封件的剥离片、水分、气泡以及液压液变质后的胶状生成物等。



## 二、污染的原因



组装时残留下来的污染物主要是指切屑、毛刺、型砂、磨粒、焊渣、铁锈等；从周围环境混入的污染物主要是指空气、尘埃、水滴等；在工作过程中产生的污染物主要是指金属微粒、锈斑、涂料和密封件的剥离片、水分、气泡以及液压液变质后的胶状生成物等。

✓ 揭示“形貌-润滑-磨损-寿命”之间的耦合关系

## 三、污染的测定

### (一) 质量测定法

- 100mL，过滤并烘干，称出颗粒的质量，依标准定级。此法**只表示颗粒污染物的总量**，不反映颗粒尺寸的大小及其分布情况。

### (二) 颗粒计数法

显微镜计数法和自动颗粒计数法。

- **显微镜计数法**：100mL样品，真空过滤，颗粒进行溶剂处理后，放在显微镜下，找出其尺寸大小及数量，依标准定级。
- **自动颗粒计数法**：利用光源照射油液样品时,油液中颗粒在光电传感器上投影所发出的脉冲信号来测定油液的污染等级的。

## 四、污染的等级

液压液的污染等级按单位体积液压液中固体颗粒污染物的含量，即液压液中所含固体颗粒的浓度来划分的。

自动颗粒计数器计数所报告的污染等级代号由三个代码组成，分别代表每毫升油液中颗粒尺寸 $\geq 4\mu\text{m}(\text{c})$ 、 $\geq 6\mu\text{m}(\text{c})$ 和 $\geq 14\mu\text{m}(\text{c})$ 的颗粒数；

显微镜计数所报告的污染等级代号,则由 $\geq 5\mu\text{m}$ 和 $\geq 15\mu\text{m}$ 两个颗粒尺寸范围的颗粒浓度代码组成。

每毫升的颗粒数		代 码
大 于	小于等于	
2 500 000		>28
1 300 000	2 500 000	28
640 000	1 300 000	27
320 000	640 000	26
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1
0.00	0.01	0

## ➤ 五、液压液的污染控制

GB/T 20110—2006提供了对液压元件污染物(清洁度)进行分析、评价的基本方法和准则,  
JB/T 7858—2006规定了液压元件清洁度评定方法及液压元件清洁度指标。

### 控制液压液污染的常用措施:

- 严格清洗元件和系统。
- 防止污染物从外界侵入。须经过过滤器注入系统。油箱呼吸孔上装设空气过滤器。液压缸活塞杆端部应装防尘密封。
- 采用高性能的过滤器。
- 控制液压液的温度。
- 保持系统所有部位良好的密封性。
- 定期检查和更换液压液并形成制度。

1. 油液粘度因温度升高而（ ），因压力增大而（ ）。

**A、B**

A. 降低      B. 增大      C. 不变      D. 可能升高也可能降低

2. 目前，90%以上的液压系统采用（ ）

**B**

A 合成型液压液      B 石油型液压油  
C 乳化型液压液      D 磷酸脂液



2-3、 2-5