

# 公式和单位

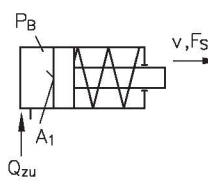
液压系统的设计和组成系统的元件的选择必须全面考虑多种影响因素，以求满足系统的功能要求。

在这里，最重要的前提是，确定并计算出执行机构的相关参数。例如：负载（负载力、负载力矩或扭矩）、动作（行程、速度、转速、时间过程）等等。

然后，才能确定液压执行元件（液压马达、液压缸）、驱动装置（带驱动装置的泵）、控制和调节元件（带操纵方式的各种阀）以及连接件（管路、支路）。

此外，应考虑到噪声和热量对液压系统和元件的选用也会有影响。

下列公式可帮助您对液压系统近似计算。

液压元件	公式和说明		图形符号
通用	基本公式（视为无损耗、静止状态）		
	$Q = \frac{V}{t}$ $V = A \cdot s$ $F = p \cdot A$ $P = \frac{F}{A}$ $Q = A \cdot v$ $M = \frac{V \cdot p}{2\pi}$ $v = \frac{S}{t}$	力： 压力： 面积： 流量： 速度： 容积： 时间： 行程： 扭矩：	$F$ $p$ $A$ $Q$ $v$ $V$ $t$ $s$ $M$
液压缸 单作用	$A[\text{mm}^2] = \frac{\pi}{4} d^2[\text{mm}]$ $V[\frac{\text{m}}{\text{s}}] = \frac{s[\text{mm}]}{1000t[\text{s}]}$ $Fs[\text{N}] = -0.1 \cdot p_B[\text{bar}] \cdot A[\text{mm}^2]$ $p_B[\text{bar}] = \frac{-10Fs[\text{N}]}{A_1[\text{mm}^2]}$ $Q_{zu}[\text{l/min}] = 0.06 \cdot A[\text{mm}^2]v[\frac{\text{m}}{\text{s}}]$	d: 活塞直径(mm) A: 活塞面积 (mm <sup>2</sup> ) F <sub>s</sub> : 力 (N) p <sub>B</sub> : 工作压力 (bar) v: 柱塞速度 ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) Q <sub>zu</sub> : 流量 (l/min) S: 行程 (mm) t: 时间: (s)	

## 液压元件

## 公式和说明

## 图形符号

## 双作用

## 外伸

## 基本公式

$$A_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 \approx 0.78 d_1^2$$

$$A_3 = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)$$

$$p_1 \cdot A_1 = p_3 \cdot A_3 - F$$

$$p_1 = \frac{1}{A_1} (p_3 \cdot A_3 - F)$$

$$Q_{\text{进}} = A_1 \cdot v$$

$$Q_{\text{出}} = A_3 \cdot v$$

## 回程

## 基本公式

$$p_1 A_1 = p_3 A_3 + F$$

$$p_3 = \frac{1}{A_3} (p_1 A_1 - F)$$

$$Q_{\text{进}} = A_3 \cdot v$$

$$Q_{\text{出}} = A_1 \cdot v$$

$A_1$ : 活塞面积 (mm<sup>2</sup>)

$A_3$ : 活塞杆腔面积 (mm<sup>2</sup>)

$d_1$ : 活塞直径 (mm)

$d_2$ : 活塞杆直径 (mm)

$F$ : 力 (N)

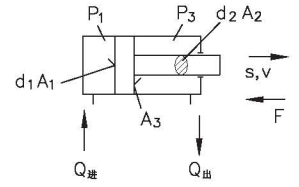
## 简化式

$$p_1 [\text{bar}] = \frac{p_3 [\text{bar}] \cdot A_3 [\text{mm}^2] - 10F [\text{N}]}{A_1 [\text{mm}^2]}$$

$$F [\text{N}] = \frac{-p_1 [\text{bar}] \cdot A_1 [\text{mm}^2] + p_3 [\text{bar}] \cdot A_3 [\text{mm}^2]}{10}$$

在  $Q_{\text{出}}$  情况下, 从管道阻力和阀门阻力算得  $p_3$

注意: 可能产生压力倍增!



## 简化式:

$$P_3 [\text{bar}] = \frac{p_1 [\text{bar}] \cdot A_1 [\text{mm}^2] - 10F [\text{N}]}{A_3 [\text{mm}^2]}$$

$$F [\text{N}] = \frac{p_1 [\text{bar}] \cdot A_1 [\text{mm}^2] - p_3 [\text{bar}] \cdot A_3 [\text{mm}^2]}{10}$$

在  $Q_{\text{出}}$  情况下, 从管道阻力和阀阻力算得  $p_1$

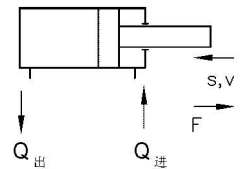
$Q_{\text{进}}$ : 进油流量 (l/min)

$Q_{\text{出}}$ : 出油流量 (l/min)

$p_1$ : 活塞侧压力 (bar)

$p_3$ : 杆侧压力 (bar)

$s$ : 行程 (mm)



## 液压泵/马达

## 基本公式

$$\Delta p = p_1 - p_0^{1)}$$

## 柱塞泵每转排量:

$$V = A \cdot h \cdot \pi$$

## 流量:

$$Q = V \cdot n$$

## 平均扭矩:

$$M = \frac{V \cdot \Delta p}{2\pi}$$

## 功率:

$$P_{\text{hydr}} = \Delta p \cdot Q$$

## 输出功率 (马达)

$$P_{\text{mech}} = \frac{\Delta p \cdot Q}{\eta_T} = \frac{M \cdot 2\pi n}{\eta_T^{2)}$$

## 输入功率 (泵)

$$P_{\text{max}} = \Delta p \cdot Q \cdot M_T = M \cdot 2\pi n \cdot \eta_T^{2)}$$

$V$ : 排量 (cm<sup>3</sup>)

$A$ : 有效面积 (mm<sup>2</sup>)

$h$ : 双行程 (mm)

$n$ : 转速 (U/min)

$M$ : 平均扭矩 (Nm)

$p$ : 压力 (bar)

$\Delta p$ : 有效压力 (bar)

$Q$ : 流量 (l/min)

$P_{\text{hydr}}$ : 液压功率 (kW)

$P_{\text{mech}}$ : 机械功率 (kW)

$\eta_T$ : 总效率 (包括容积, 液压机械损耗)

$P_{\text{drive}}$ : 驱动功率 (kW)

$P_{\text{out}}$ : 液压马达输出功率 (kW)

1)  $p_0$  由管道阻力和阀阻力计算而得

2) 效率  $\eta_T \approx 0.82$

经验值: 为了采用流量  $Q=1$  l/min 达到 500 bar 工作压力,

需用驱动功率约为 1 kW!

## 简化式:

$$V [\text{cm}^3] \approx \frac{A [\text{mm}^2] \cdot h [\text{mm}]}{318}$$

$$Q [\text{l/min}] \approx \frac{V [\text{cm}^3] \cdot n [\text{min}^{-1}]}{1000}$$

$$M [\text{Nm}] \approx \frac{V [\text{cm}^3] \cdot \Delta p [\text{bar}]}{62}$$

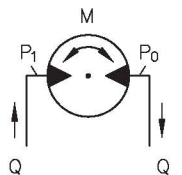
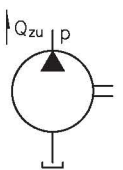
$$P_{\text{hydr}} [\text{kW}] \approx \frac{\Delta p [\text{bar}] \cdot Q [\text{l/min}]}{612}$$

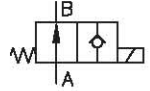
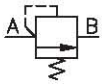
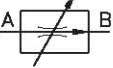
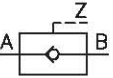
$$P_{\text{drive}} [\text{kW}] \approx \frac{\Delta p [\text{bar}] \cdot Q [\text{l/min}]}{500}$$

$$P_{\text{OUT}} [\text{kW}] \approx \frac{\Delta p [\text{bar}] \cdot Q [\text{l/min}]}{740}$$

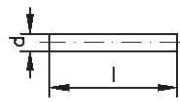
$$\approx \frac{M [\text{Nm}] \cdot n [\text{min}^{-1}]}{12000}$$

## 液压泵



液压元件	公式和说明	图形符号
阀	流动油液的压力损失	示例：
截止式换向阀	液压系统中的压力损失由下列几项组成	换向阀
压力阀	• 阀阻力	
流量阀	• 管道阻力	溢流阀
截止阀	• 形状阻力	
	由流动油液引起阀的压力损失 Δp 可见有关样本资料中的 Δp-Q-K 特性曲线。	调速阀
	通常可考虑，在整个控制系统中，节流损失约为 20...30%。	
		液控单向阀
		

节流阀（理想、尖角状） 例如：EB 型插装式节流阀BC，BE型单向节流阀	基本公式： $Q \approx \alpha \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$ Q: 流量（l/min） Δp：A 和 B 之间的压差 d: 节流阀直径（mm） ρ: 密度（约 0.9g/cm³） α: 流通量（约 0.78）	简化式： $Q \approx 0.58 d^2 [\text{mm}] \cdot \sqrt{\Delta p [\text{bar}]}$ $d \approx 1.31 \cdot \frac{Q [\text{l/min}]}{\sqrt{\Delta p [\text{bar}]}}$ $\Delta p \approx \left( \frac{(1.72 Q [\text{l/min}])^2}{d^2 [\text{mm}]} \right)$	
---	--	--	---

硬管 / 软管	选择硬管和软管直径应尽量使产生的流动阻力最小	
	基本公式 $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$ $\lambda_R = \frac{64}{Re}$ $\Delta p = \lambda_R \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{\rho}{2} v^2$  λ <sub>R</sub> : 管子阻力系数 Δp: 压力损失（bar） l: 管子长度（m） d: 管子直径（mm） ν: 动态粘度（mm²/s） Q: 流量（l/min） Re: 雷诺数（< 2300） ρ: 密度（约 0.9g/cm³） v: 流通速度（ $\frac{m}{s}$ ）	简化式 $Q [\text{l/min}] \leq 0.108 \cdot d [\text{mm}] \cdot v [\frac{mm^2}{s}]$ $d [\text{mm}] \geq \frac{9.2 \cdot Q [\text{l/min}]}{v [\frac{mm^2}{s}]}$ $\frac{\Delta p}{l} [\frac{bar}{m}] \approx \frac{6.1 \cdot v [\frac{mm^2}{s}] \cdot Q [\frac{l}{min}]}{d^4 mm}$

液压元件

公式和说明

图形符号

形状阻力  
(弯头等等)

基本公式

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} v^2 \quad v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

90° 弯头

$$\zeta = 0.15$$

直接管接头

$$\zeta = 0.5 \quad \text{简化式:}$$

角度接头

$$\zeta = 1.0$$

$$\Delta p[\text{bar}] = 2.2 \cdot \zeta \cdot \frac{Q^2[\text{l/min}]}{d^4[\text{mm}]}$$

$\Delta p$ : 压力损失(bar)

$\zeta$ : 阻力系数

$v$ : 动态粘度 (mm<sup>2</sup>/s)

$d$ : 管子直径(mm)

$\rho$ : 密度(0.9g/cm<sup>3</sup>)

泄漏损失

(通过同心 ( $e = 0$ )  
和偏心的缝隙)

基本公式:

$$Q_L = \frac{\pi \cdot d \cdot \Delta r^3}{12 \cdot v \cdot p} \cdot \Delta p (1 + 1.5 \cdot \varepsilon^2)$$

$e$ : 偏心度 (mm)

$\Delta r$ : 缝隙尺寸 (mm)

$\Delta p$ : 压差(bar)

$d$ : 直径 (mm)

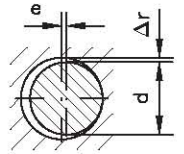
$v$ : 动态粘度 (mm<sup>2</sup>/s)

$l$ : 缝隙长度 (mm)

$p$ : 密度(约 0.9g/cm<sup>3</sup>)

$Q_L$ : 泄漏损失

$$Q_L = 1848 \cdot \frac{d \cdot \Delta r^3}{v} \cdot \frac{\Delta p}{l} (1 + 1.5 \cdot \varepsilon^2) \quad \varepsilon = \frac{e}{\Delta r}$$



容积变化

(因压力引起)

基本公式

$$\Delta V = \beta_p \cdot V_0 \cdot \Delta p$$

以  $\Delta p = p_2 - p_1$

$p_1$ : 初始压力(bar)

$p_2$ : 终压力(bar)

$V_0$ : 原始容积(l)

$\Delta V$ : 容积变化(l)

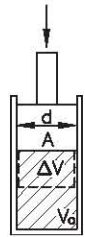
$\beta_p$ : 压缩性

简化式:

$$\Delta V = 0.7 \cdot 10^{-4} \cdot V_0 \cdot \Delta p$$

$$\left( \text{以 } \beta_p \approx 0.7 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{bar}} \right)$$

$$F = \Delta p \cdot A$$



容积变化

(因温度引起)

基本公式:

$$\Delta V = \beta_T \cdot V_0 \cdot \Delta \vartheta$$

以  $\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$

$\vartheta_1$ : 初始温度 (°C)

$\vartheta_2$ : 最终温度 (°C)

$\Delta \vartheta$ : 温度变化 (K)

$V_0$ : 原始容积 (l)

$\Delta V$ : 容积变化 (l)

$\beta_T$ : 膨胀系数

简化式:

$$\Delta V = 0.7 \cdot 10^{-3} \cdot V_0 \cdot \Delta \vartheta$$

$$\left( \text{以 } \beta_T \approx 0.7 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}} \right)$$

温升引起压力升高

(无容积平衡)

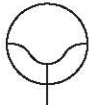
$$\Delta V = 0.7 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta p = 0.7 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta \vartheta$$

$$\text{即 } \Delta \vartheta \approx 1\text{K} \triangleq \Delta p \approx 10\text{bar}$$

注意: 封闭式容积在温度升高的情况下会产生增压!

(必要时, 应考虑安装安全阀作为过载保护)。

经验值: 温度 1K 会使压力约升高 10bar。

液压元件	公式和说明	图形符号
蓄能器	液压蓄能器用来满足一定的突然出现的用油（快速、绝热状态变化），用于补偿泄漏和减振（缓慢、等温的状态变化）。	
状态变化	基本公式： $p_1 = 1,1 \cdot p_0$	
等温(缓慢)	等温（缓慢） $\Delta V = V_1 \cdot \left(1 - \frac{p_1}{p_2}\right)$	
绝热(快速)	绝热（快速） $\Delta V = V_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{0,71}\right)$ <p><math>p_0</math>: 充气压力 (bar) <math>p_1</math>: 下限工作压力(bar) <math>p_2</math>: 上限工作压力(bar) <math>V_1</math>: 原始容积(l) <math>\Delta V</math>: 容积变化(l)</p>	
气蚀	油在大气压力含有 9%（容积）的溶解空气。气泡气蚀的危险产生于大气压力低于 0.2bar 时。它也会在泵和液压缸的吸油过程中，以及在外部的节流部位上出现，大部分会发出噪声，并造成液压元件的磨损。	
热量问题	液压系统中的功率最终以热量损失形式体现出来，且一部分热量则通过设备的表面释放。损失功率约为输入功率的20-30%。在发热后，输入与放出的热之间产生热量平衡。	
	基本公式 $P_v = 0,3 \cdot P_{hydr} \quad \vartheta_{注} \approx \vartheta_{环境} + c \cdot \frac{P_v}{A}$ <p>自由环流的表面 <math>c \approx 7,5</math> 不良的空气循环 <math>c \approx 12</math> 自然气流(<math>v \approx 2m/s</math>) <math>c \approx 4</math> 水冷却器 <math>c \approx 0,5</math></p> <p>简化式：<math display="block">\vartheta_{注max} \approx \vartheta_{环境} + c \cdot \frac{0,3P_{hydr}[kW]}{A[m^2]}</math><p><math>P_v</math>: 转换成热的损失功率 (KW) <math>P_{hydr}</math>: 液压功率 (KW) <math>\vartheta_{注max}</math>: 最高油温 (℃) <math>\vartheta_{环境}</math>: 环境温度 (℃) <math>A</math>: 设备表面面积 (油箱、管子等) (m<sup>2</sup>)</p></p>	

换算表

物理量	符号	单位	≈	系数	单位
压力	P	$1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	≈	10	bar
		1 Mpa	≈	10	bar
		$1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	≈	1	bar
		1 psi	≈	0.07	bar
力	F	$1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$	=	1	N
		1 lbf	≈	4.45	N
长度, 位移, 行程	l, s, h	1 in	≈	25.4	mm
		1 ft	≈	304.8	mm
扭矩	M	$1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$	=	1	Nm
功率	P	1 PS, 1 hp	≈	0.74	kW
面积	A	1 ft <sup>2</sup>	≈	92903	mm <sup>2</sup>
		1 in <sup>2</sup>	≈	645.16	mm <sup>2</sup>
容积	V	1 ft <sup>3</sup>	≈	28.92	l
		1 in <sup>3</sup>	≈	$1.64 \cdot 10^{-2}$	l
		1 Uk gal	≈	4.55	l
		1 US gal	≈	3.79	l
温度	T, θ	$5 (^\circ \text{F} - 32) / 9$	≈	1	°C
质量	m	1 lb	≈	0.45	kg
动态粘度	v	1 cSt	=	1	$\frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$