

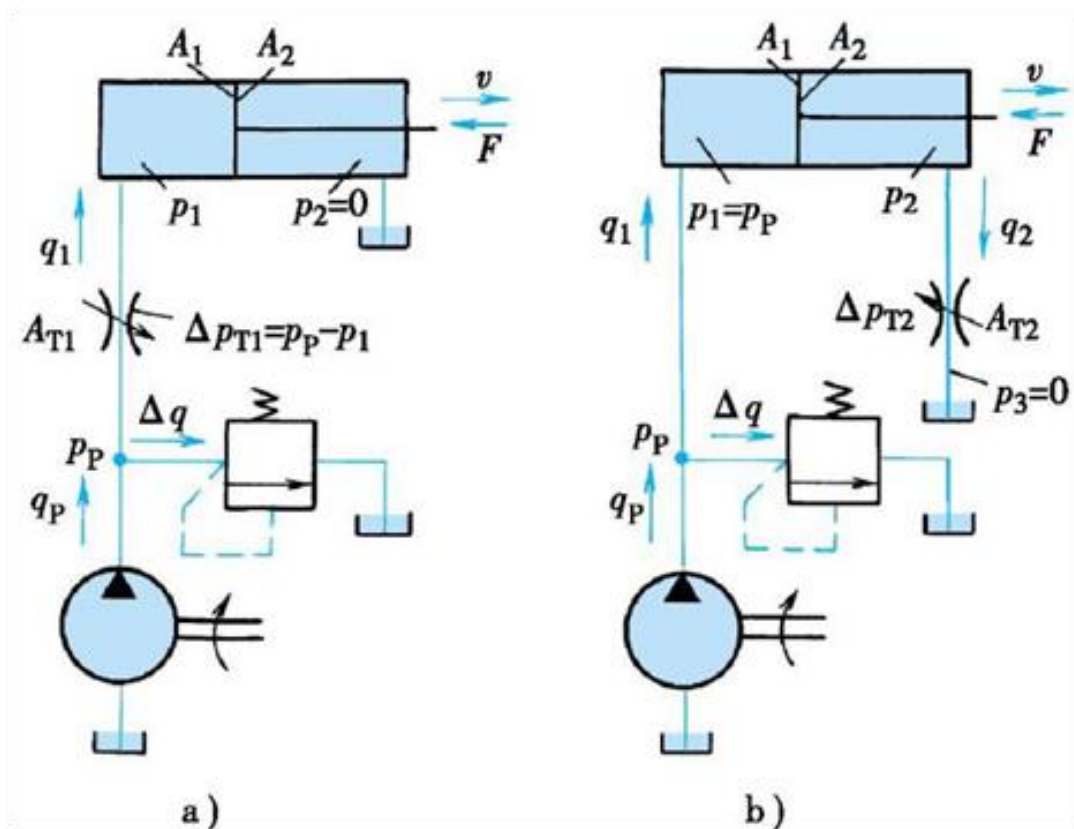
第十二讲 调速回路

- 13.1 容 积 调 速 回 路
- 13.2 容 积 节 流 调 速 回 路
- 13.3 三类调速回路的比较和选用



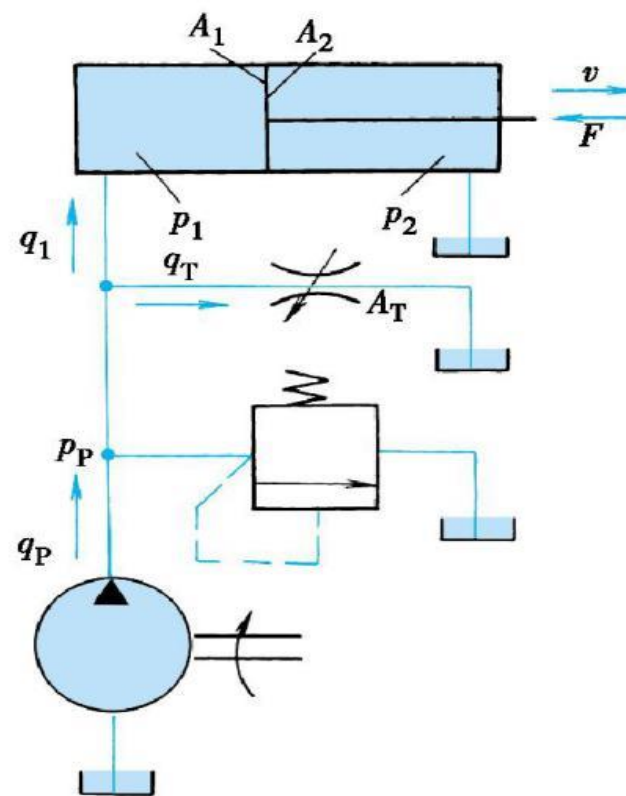
13.1 容积调速回路

节流调速回路回顾：



进口节流式

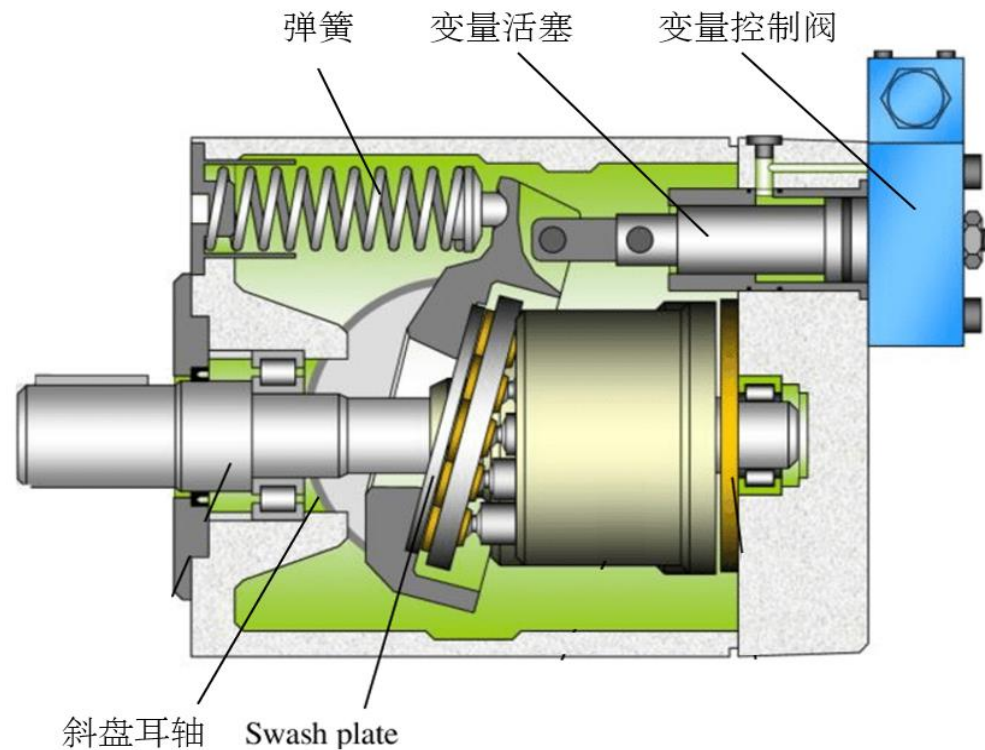
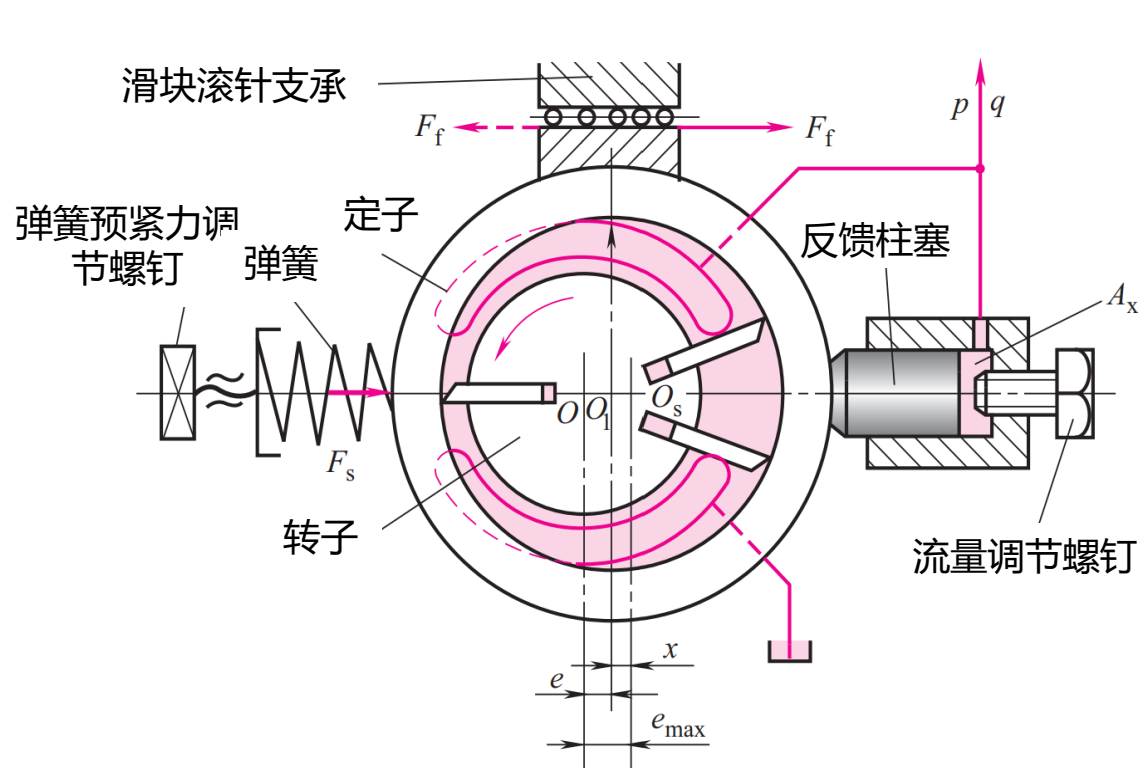
出口节流式



旁路节流式

13.1 容积调速回路

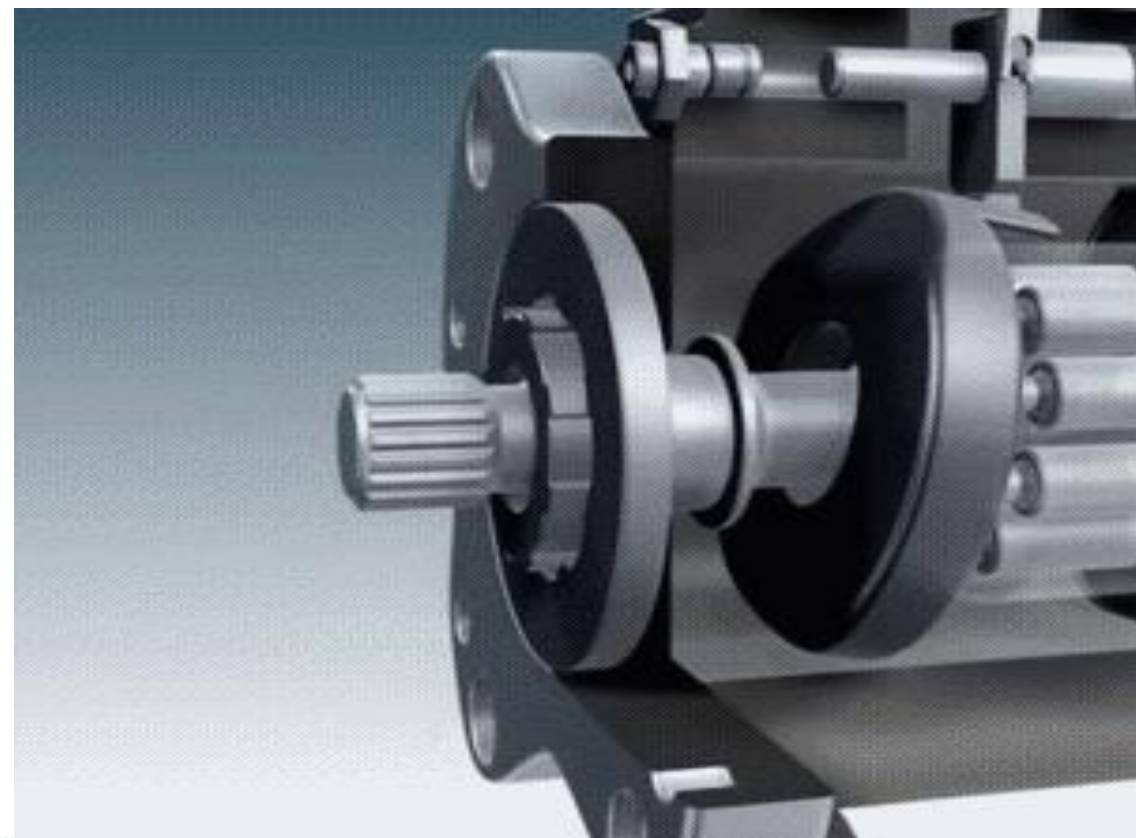
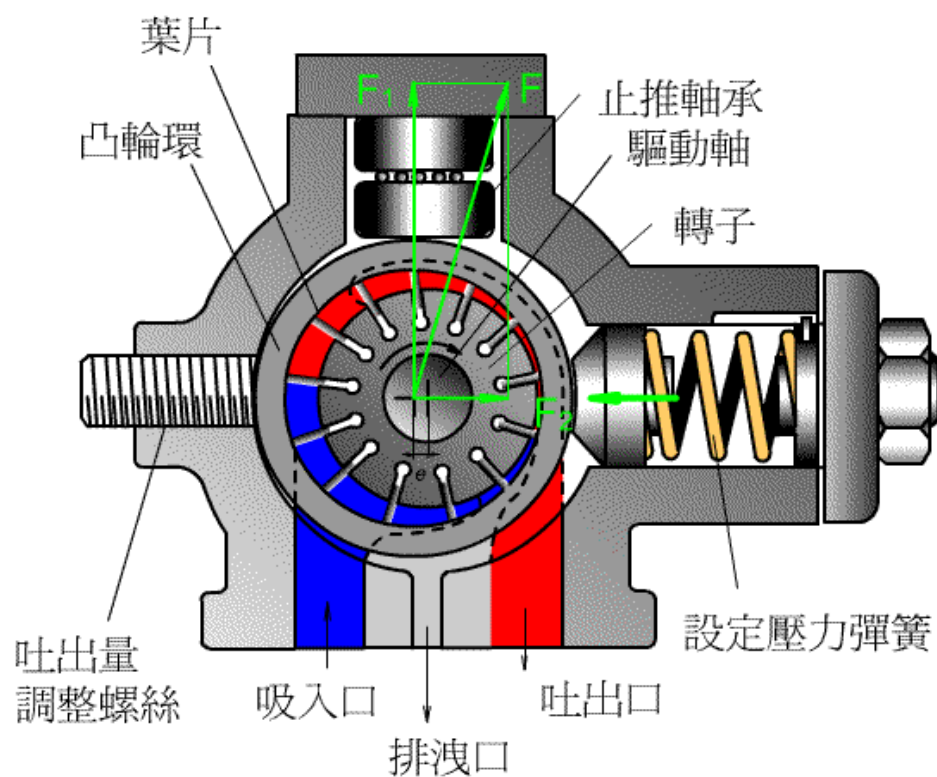
- 工作原理：通过改变变量泵(供给侧)或变量马达（需求侧）的排量来调节执行元件的运动速度



$$\text{流量} = \text{转速} \times \text{排量}$$

13.1 容积调速回路

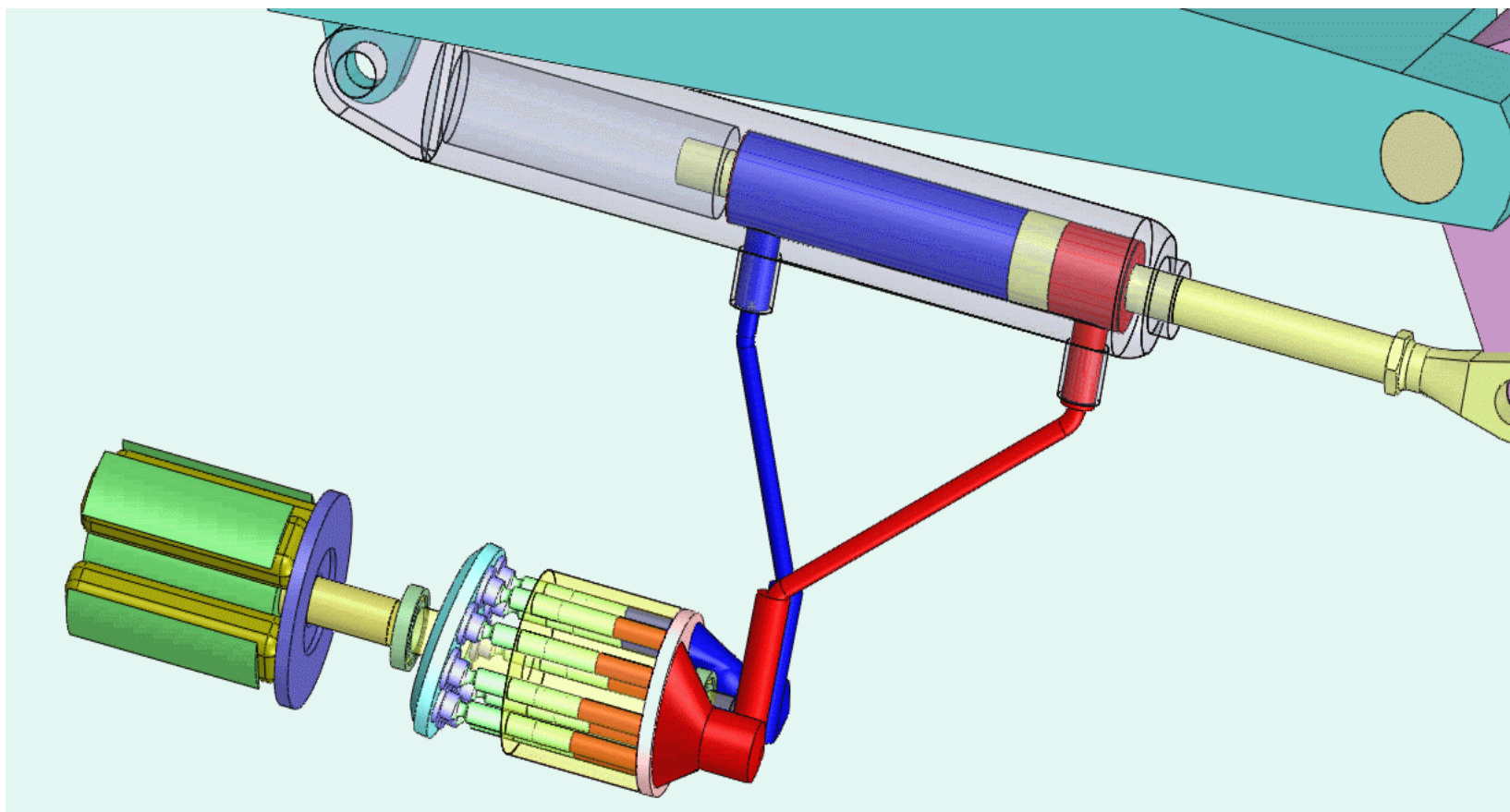
- 工作原理：通过改变变量泵(供给侧)或变量马达（需求侧）的排量来调节执行元件的运动速度



$$\text{流量} = \text{转速} \times \text{排量}$$

13.1 容积调速回路

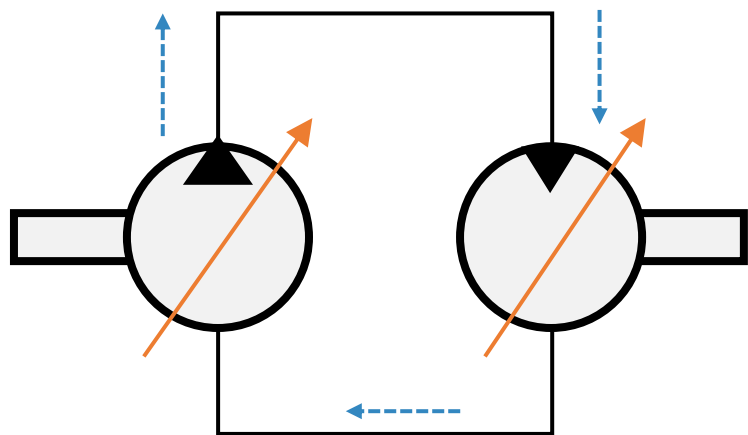
- 工作原理：通过改变变量泵(供给侧)或变量马达（需求侧）的排量来调节执行元件的运动速度



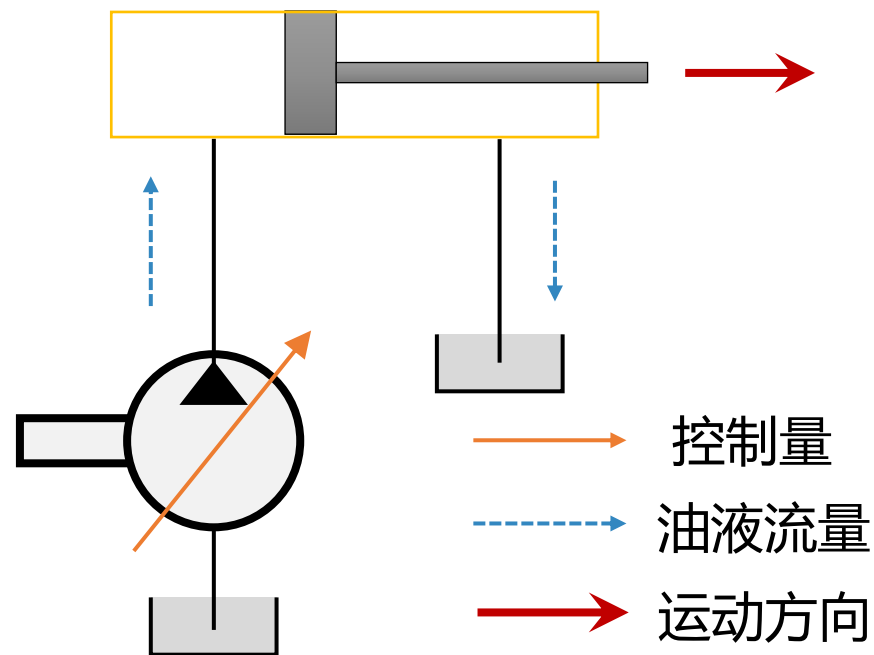
$$\text{流量} = \text{转速} \times \text{排量}$$

13.1 容积调速回路

- 工作原理：通过改变变量泵(供给侧)或变量马达（需求侧）的排量来调节执行元件的运动速度
- 特点：液压泵输出的油液**直接**进入执行元件，**工作压力随负载变化而变化**，没有溢流损失和节流损失，效率高，发热少



泵-马达式容积调速回路



泵-缸式容积调速回路

- **开式回路**：执行元件排油回油箱。 **闭式回路**：回油直接进泵吸口。补油箱（补油，0.3~1MPa）

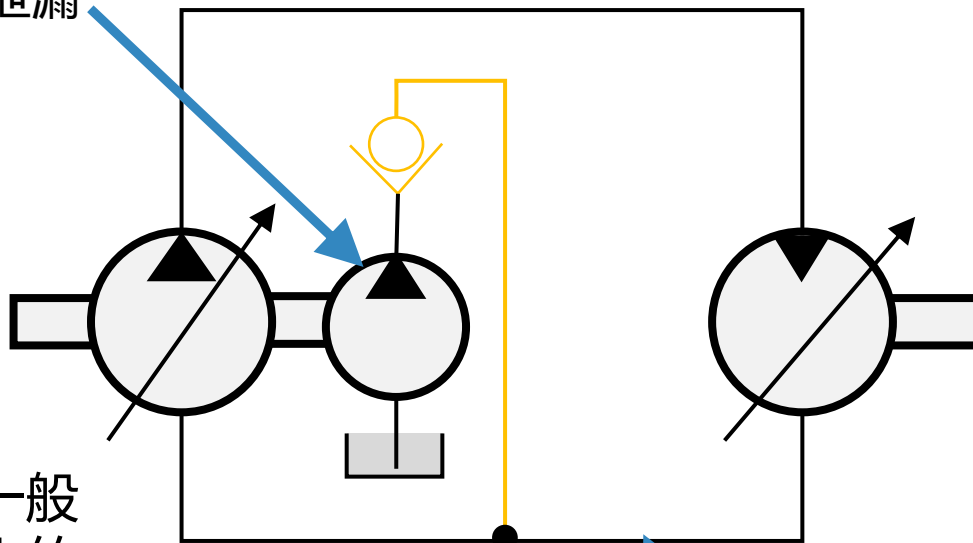
13.1 容积调速回路

□ 按油路循环方式分类

闭式回路

需要增加补油泵
补偿泄漏

结构紧凑、抗污染

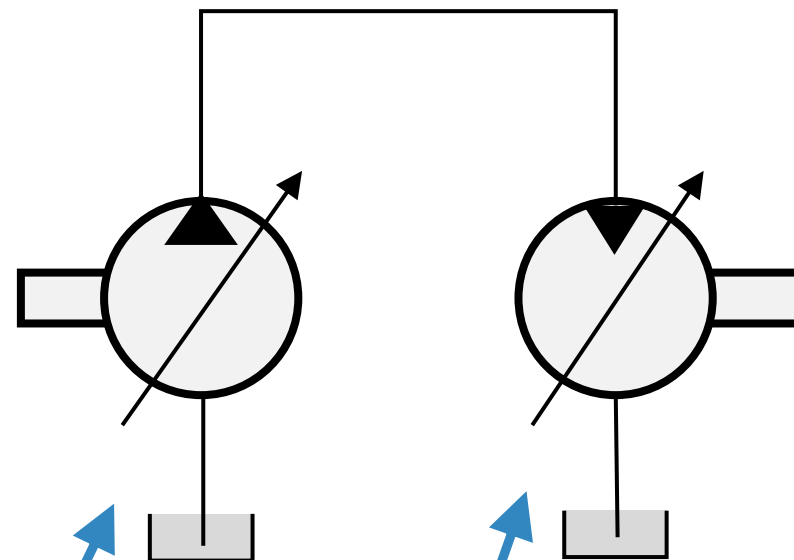


*补油泵流量一般为主泵流量的10%-15%，压力通常为0.3-1.0MPa

回油直接与泵的吸油腔相连

开式回路

结构简单、冷却性能好



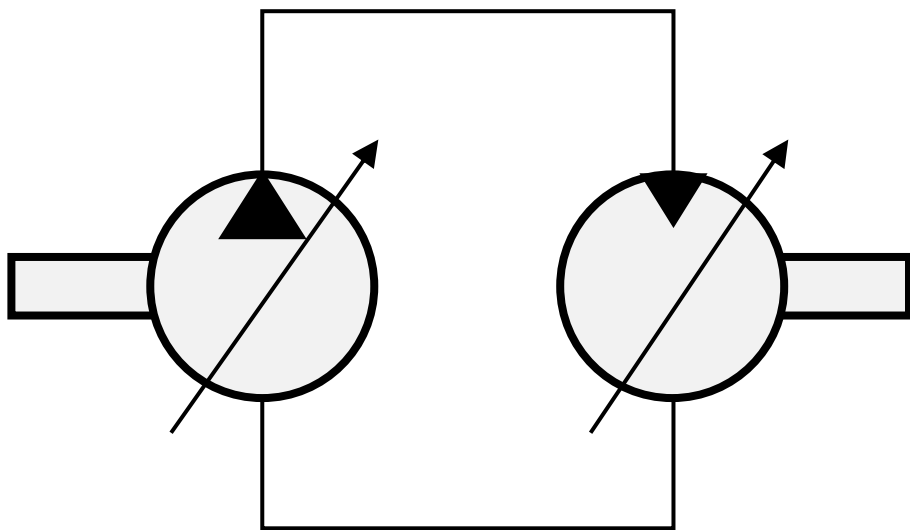
液压泵从油箱吸油

回油直接进入油箱

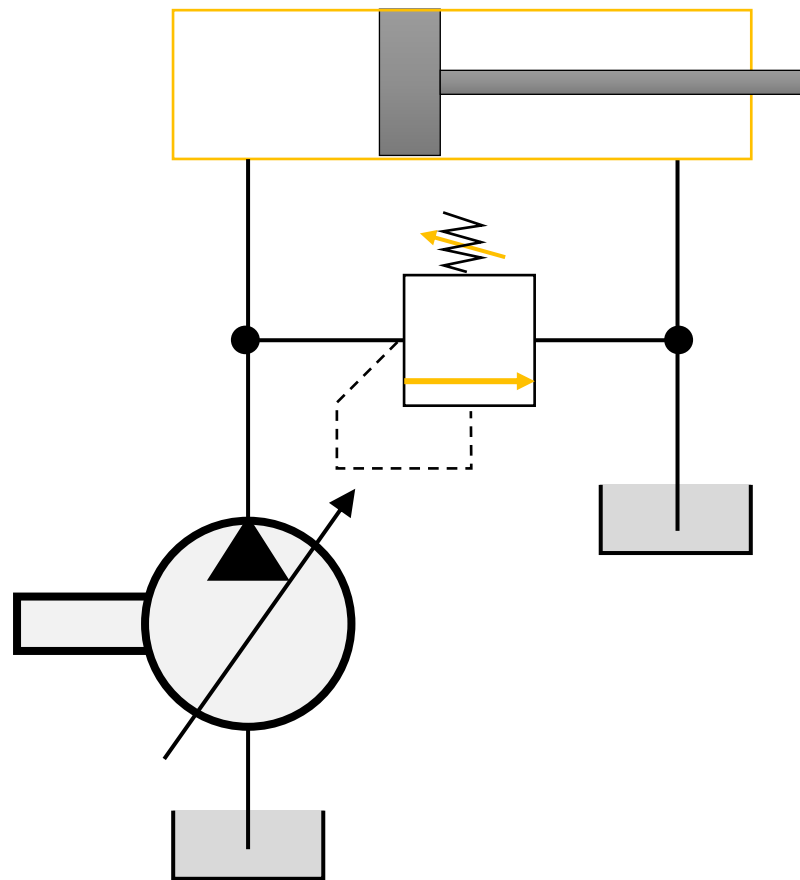
13.1 容积调速回路



□ 按执行器类型分类



泵-马达式容积调速回路



泵-缸式容积调速回路

13.1 容积调速回路



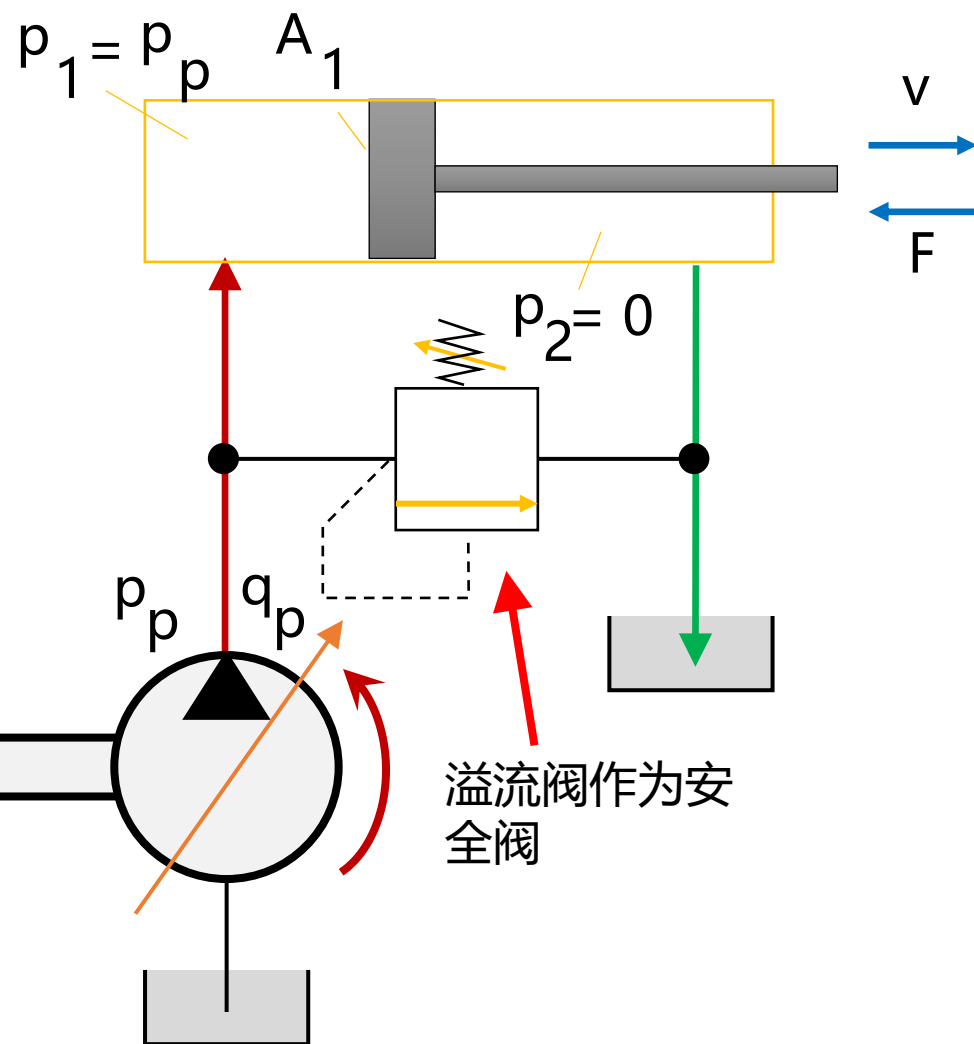
□ 泵-缸式开式容积调速回路

活塞运动速度：

$$v = \frac{q_p}{A_1} = \frac{q_t - k_1 \frac{F}{A_1}}{A_1}$$

泵泄漏对运动速度影响较大

通过改变变量泵的排量，
调节活塞运动速度

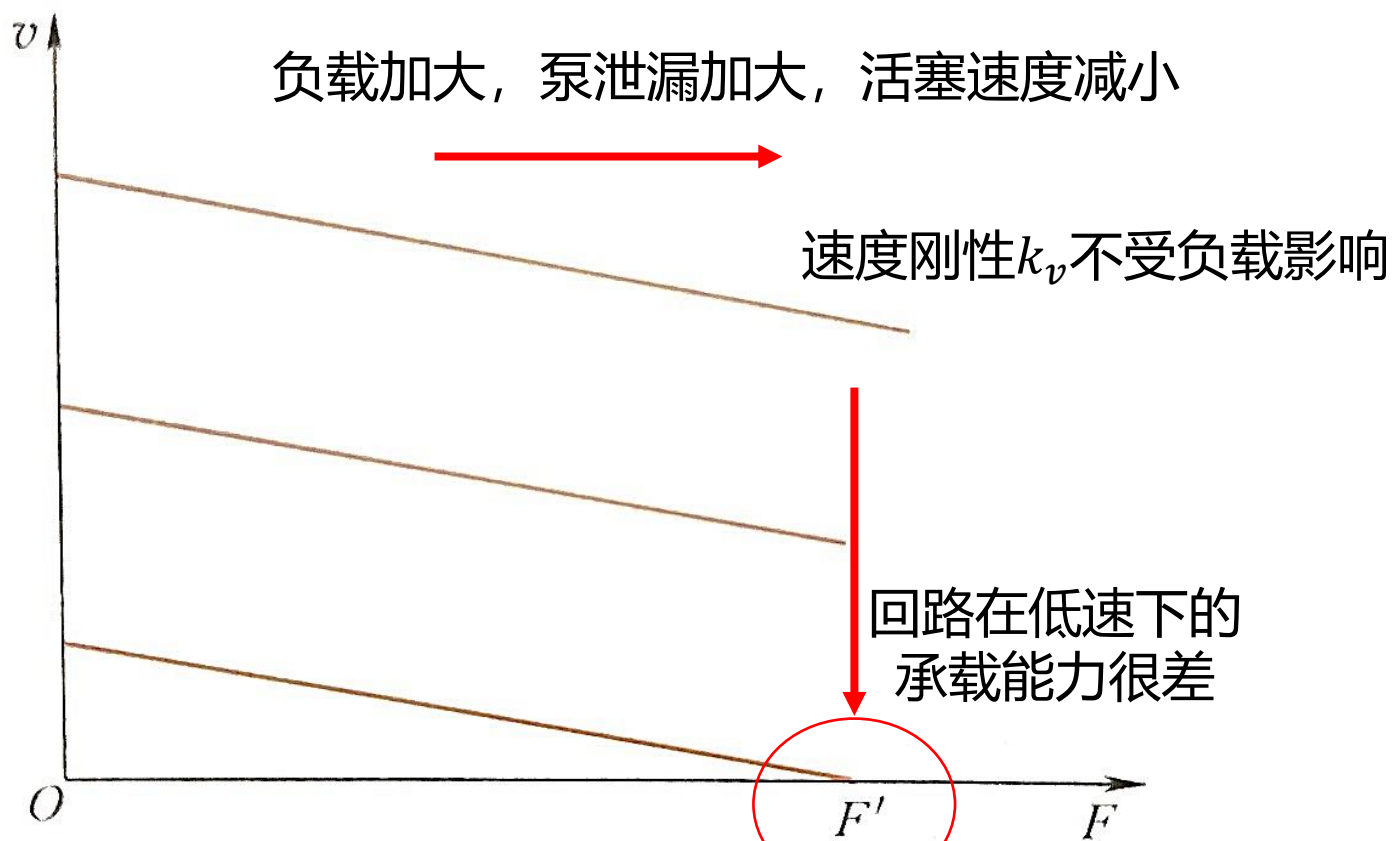


泵-缸式开式容积调速回路

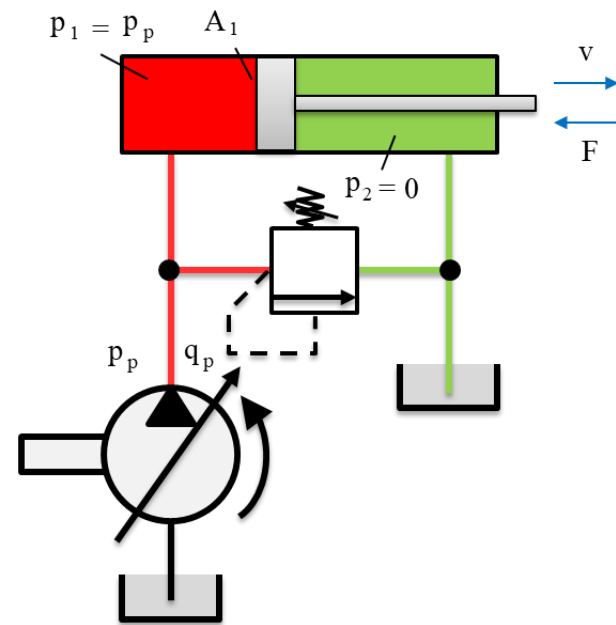
13.1 容积调速回路

□ 泵-缸式开式容积调速回路机械特性

泵-缸式开式容积调速回路机械特性曲线为一组平行直线



泵-缸式容积调速回路的机械特性



- 回路的速度刚性:

$$k_v = \frac{A_1^2}{k_1}$$

加大液压缸的有效工作面积

减小泵的泄漏

13.1 容积调速回路

□ 泵-缸式开式调速特性

$$R_C = 1 + \frac{R_p - 1}{1 - \frac{k_1 F R_p}{A_1 q_{1max}}}$$

与负载有关

与泵的变量机构调节范围有关

与泵的泄漏系数有关

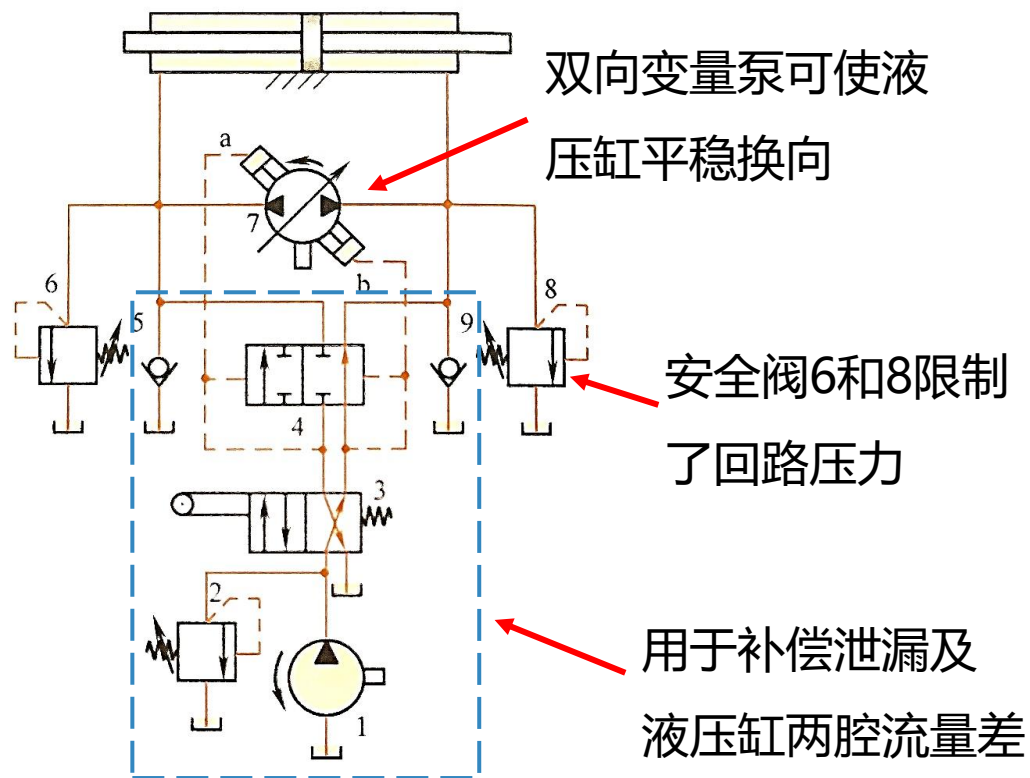
式中 R_p ——变量泵变量机构的调节范围,

$$R_p = q_{tmax} / q_{tmin};$$

q_{tmax} 、 q_{tmin} ——变量泵最大和最小集合流量;

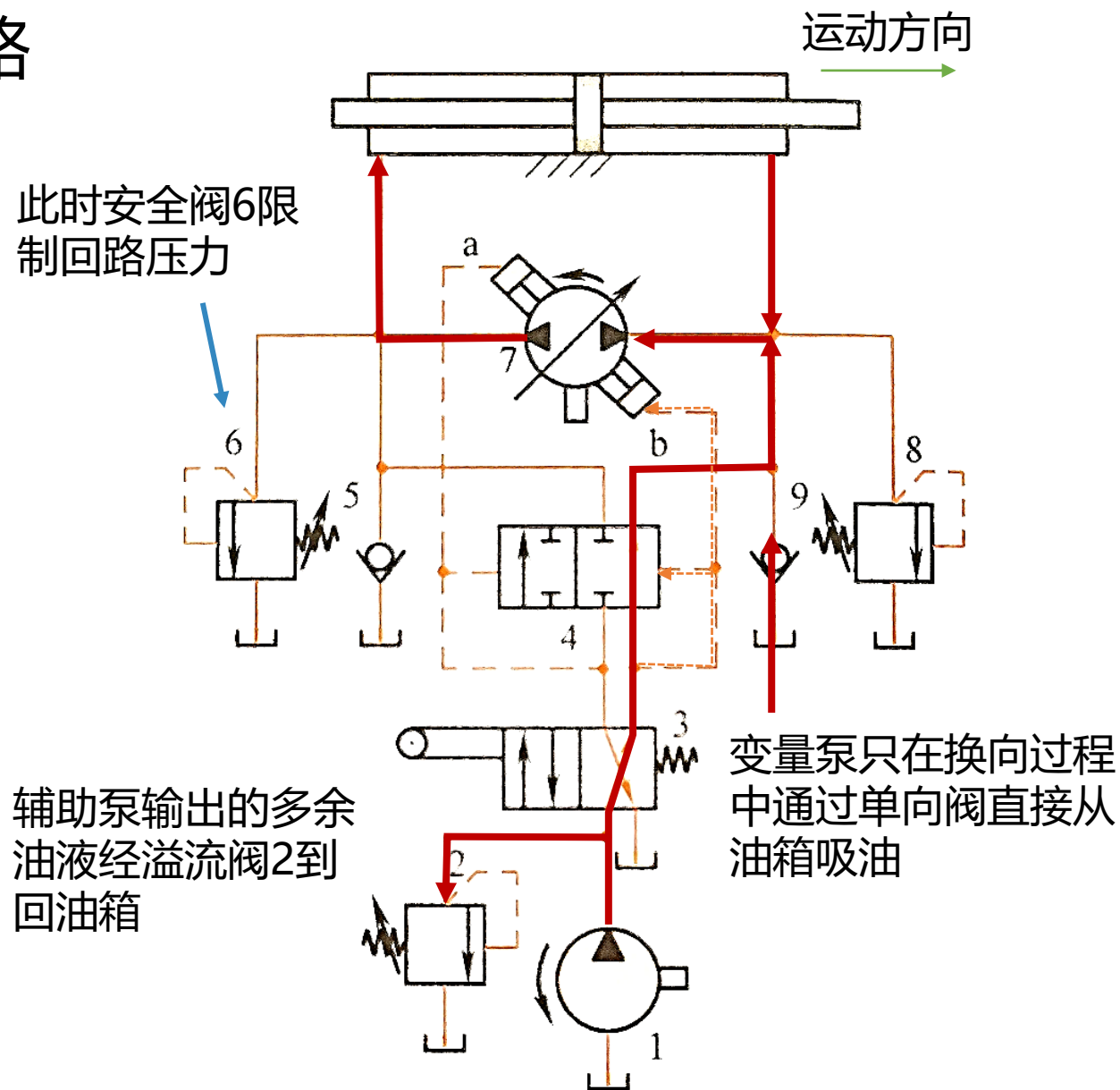
其他符号意义同前。

□ 泵-缸式闭式容积调速回路



泵-缸式容积调速回路

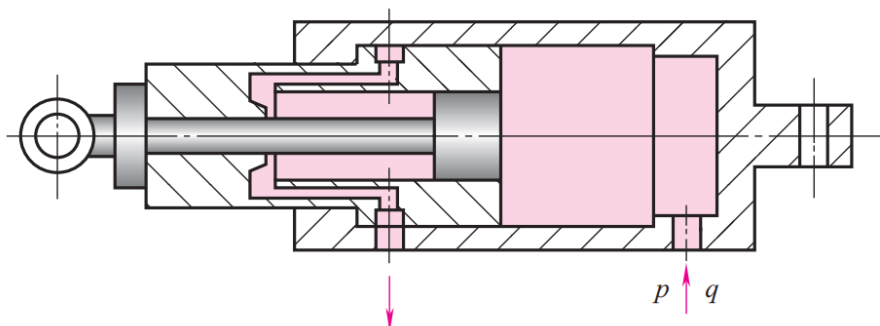
1-辅助泵 4-液动阀 5、9-单向阀
6、8-安全阀 7变量泵



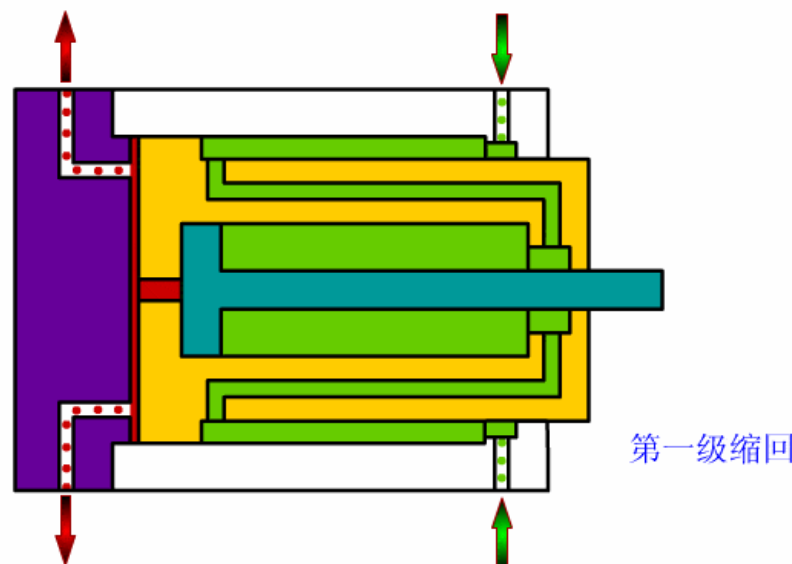
13.1 容积调速回路



- 工作原理：通过改变变量泵(供给侧)或变量马达（需求侧）的排量来调节执行元件的运动速度
 - 由两个或多个活塞套装组成
 - 各级活塞按有效面积的大小顺序依次动作、输出推力逐级减小、速度逐级增大
 - 工作行程长、缩回尺寸很小



双作用式两级伸缩缸



两级伸缩缸

play

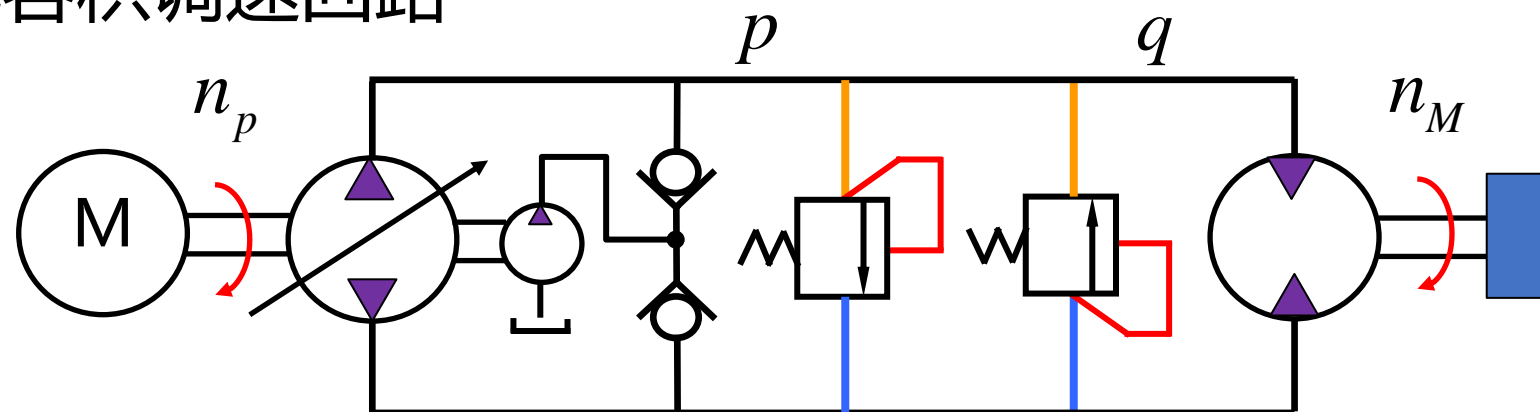
stop

伸出

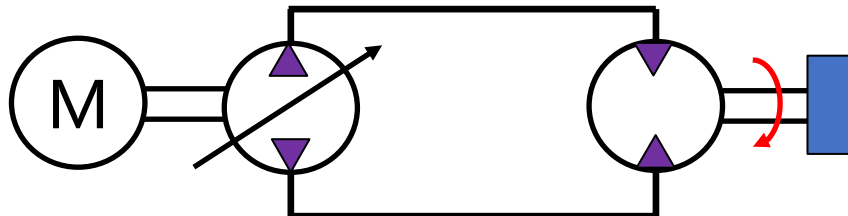
13.1 容积调速回路



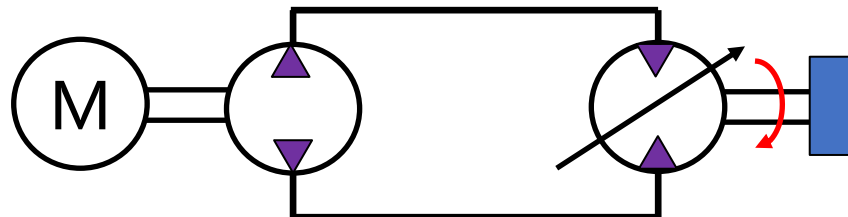
□ 泵-马达式容积调速回路



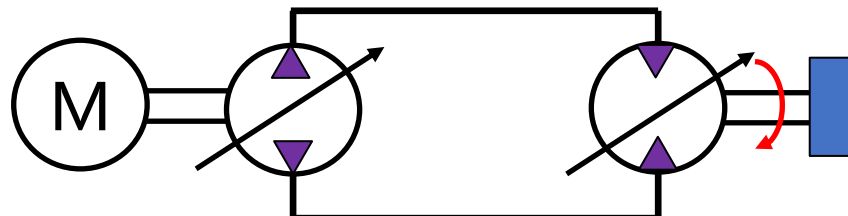
- 变量泵+定量马达



- 定量泵+变量马达



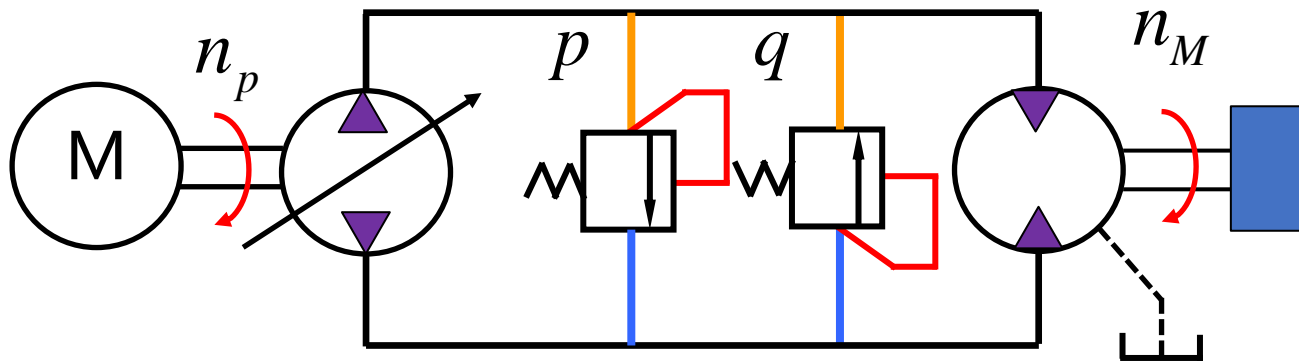
- 变量泵+变量马达



13.1 容积调速回路

□ 变量泵-定量马达

忽略泵的泄漏和马达的机械损失



- 马达转速

$$n_M = \frac{q_M}{V_M} = \frac{n_p \cancel{V_p} - k_l p}{V_M} = \frac{n_p V_p - k_l \frac{2\pi T_M}{V_M}}{V_M}$$

- 输出扭矩

$$T_M = \frac{p V_M}{2\pi}$$

- 速度刚度

$$k_v = -\frac{\partial T_M}{\partial n_M} = \frac{V_M^2}{2\pi k_l}$$

- 输出功率

$$P_M = 2\pi T_M n_M$$

特点:

回路的工作压力 p 由负载决定

改变液压泵排量, 马达转速和输出功率随之变化

液压泵转速 n_p 恒定

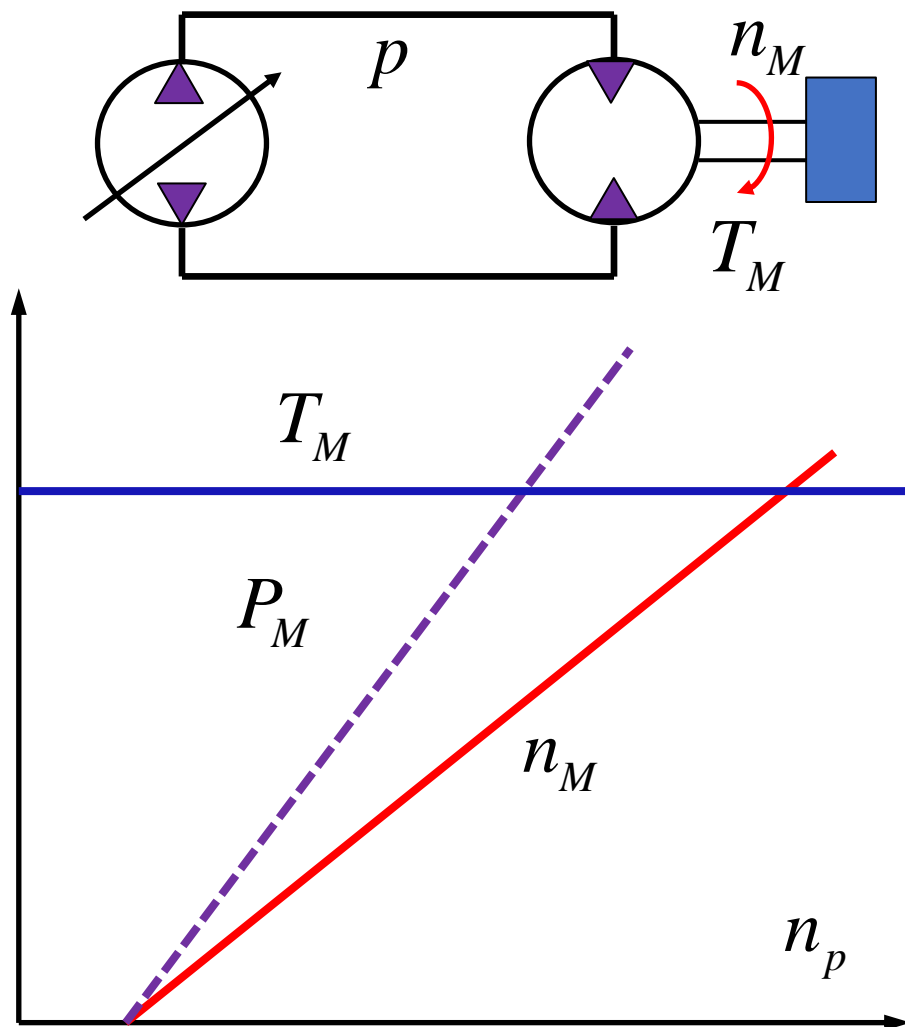
液压马达排量 V_M 固定

液压马达的输出扭矩 T_M 由负载决定, 不因调速变化, 也称**恒转矩调速回路**

13.1 容积调速回路



□ 变量泵-定量马达



- 马达转速

$$n_M = \frac{q_M}{V_M} = \frac{n_p V_p - k_l \frac{2\pi T_M}{V_M}}{V_M}$$

- 马达输出转矩

$$T_M = \frac{p V_M}{2\pi}$$

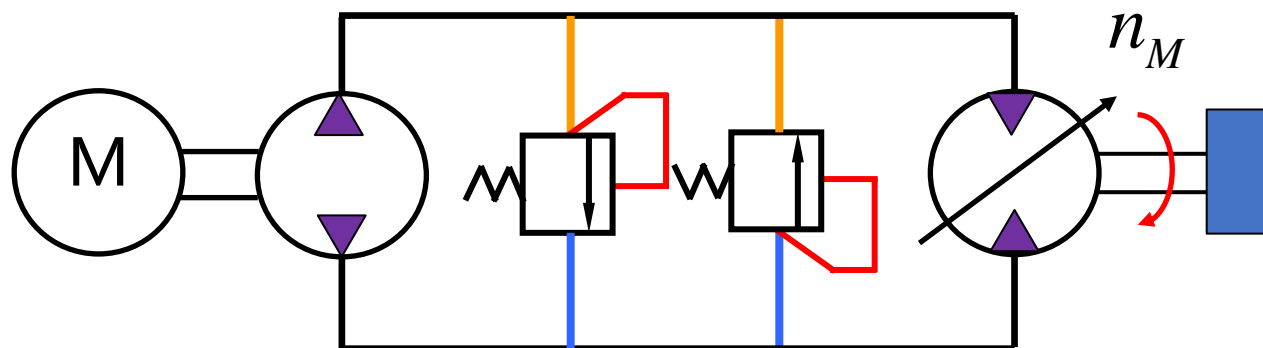
- 马达输出功率

$$P_M = 2\pi n_M T_M = \left(n_p V_p - k_l \frac{2\pi T_M}{V_M} \right) p$$

13.1 容积调速回路



□ 定量泵-变量马达



- 马达输出转速

$$n_M = \frac{n_p V_p - k_l \frac{2\pi T_M}{V_M}}{V_M}$$

- 速度刚性:

$$k_v = -\frac{\partial T_M}{\partial n_M} = \frac{V_M^2}{2\pi k_l}$$

- 马达输出转矩

$$T_M = \frac{V_M p}{2\pi}$$

- 输出功率:

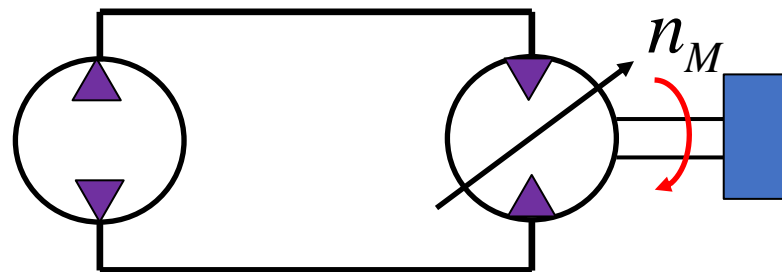
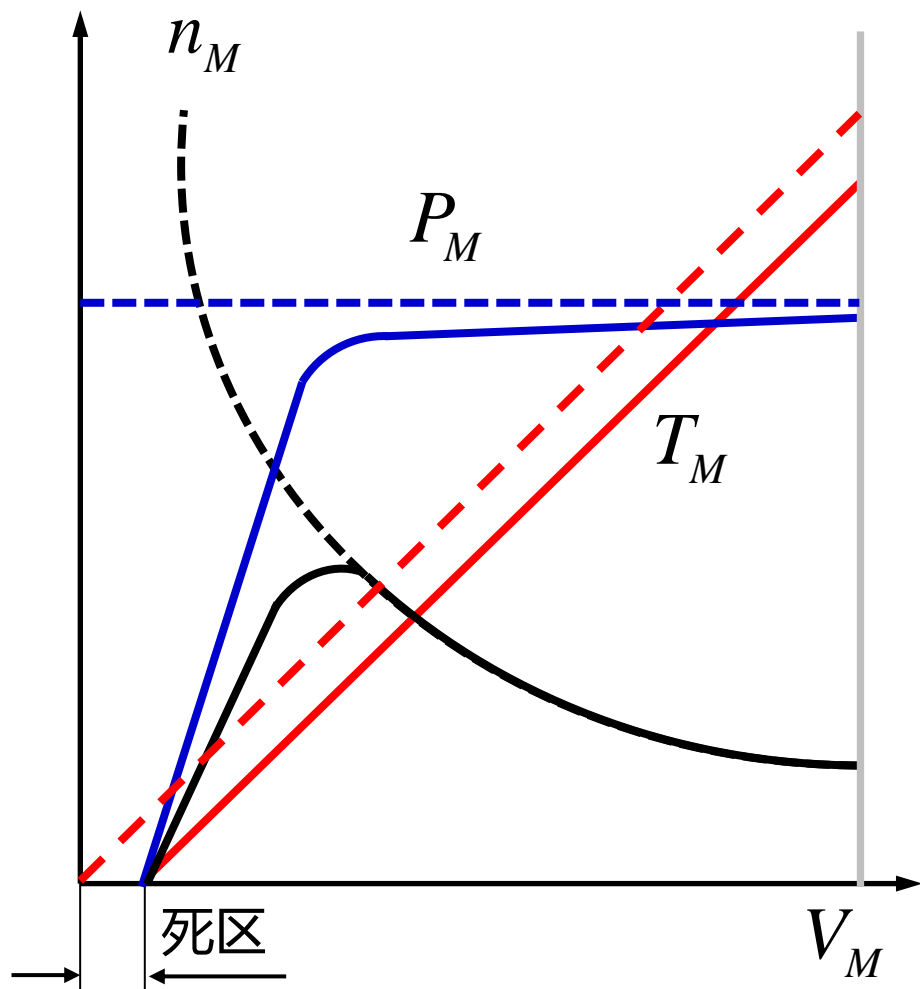
$$P_M = 2\pi n_M T_M$$

13.1 容积调速回路



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

□ 定量泵-变量马达



- 马达输出转速

$$n_M = \frac{n_p V_p - k_l \frac{2\pi T_M}{V_M}}{V_M}$$

- 马达输出转矩

$$T_M = \frac{V_M p}{2\pi}$$

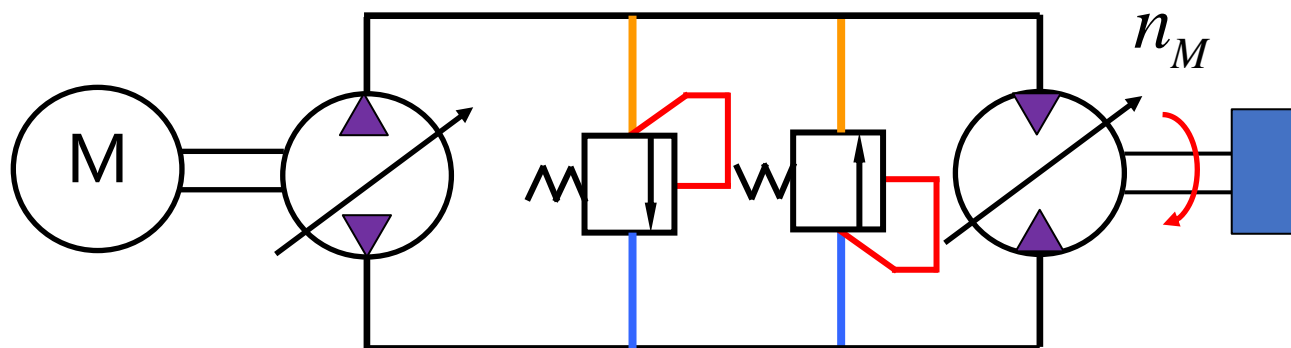
- 马达输出功率

$$P_M = 2\pi n_M T_M = \left(n_p V_p - k_l \frac{2\pi T_M}{V_M} \right) p$$

13.1 容积调速回路



□ 变量泵-变量马达



- 速度分两段进行调节

第一段： 马达排量调最大并固定，将**泵排量小→大**

恒扭矩

马达转速逐渐变大，“变量泵—定量马达”回路

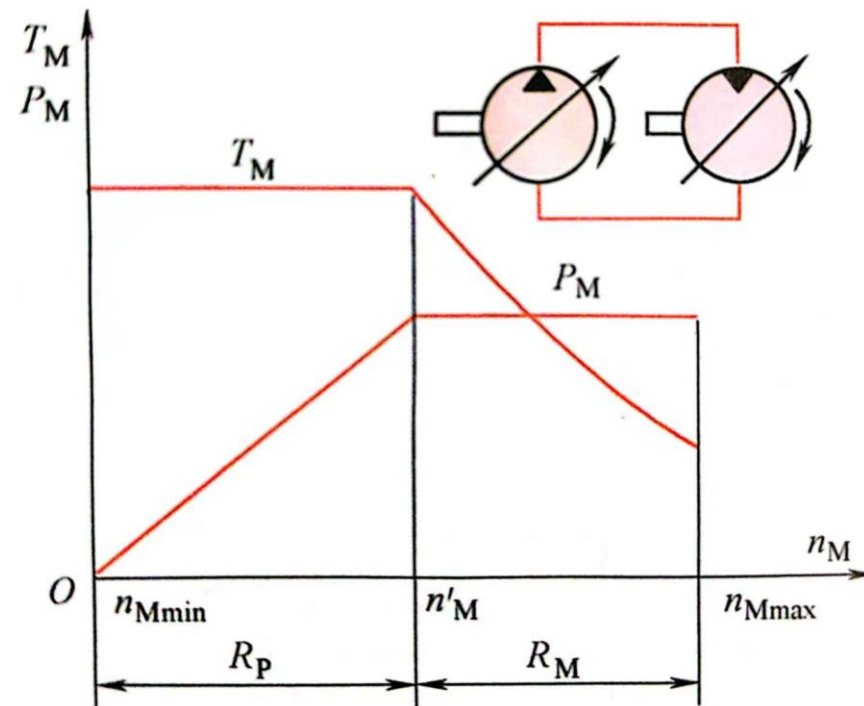
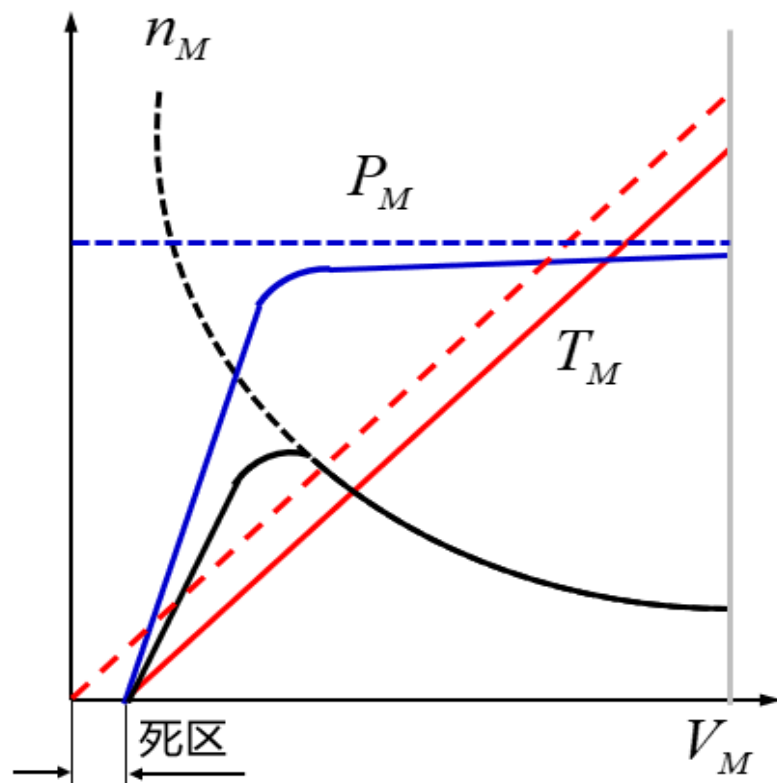
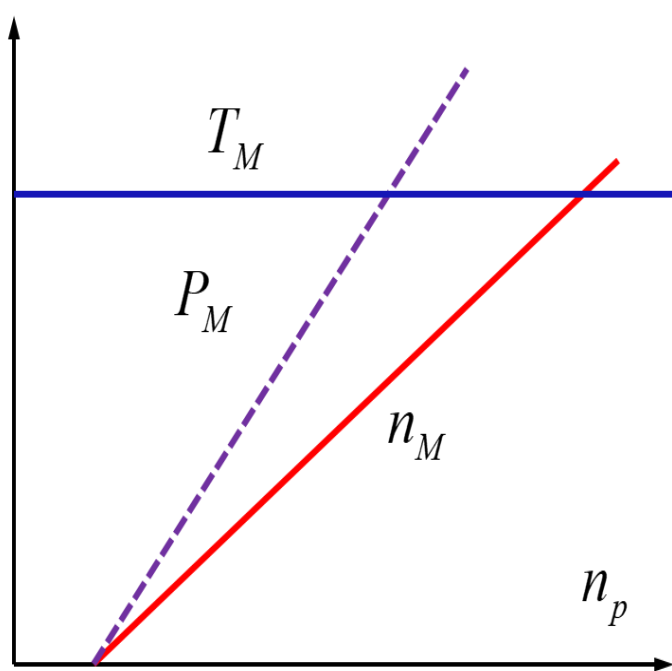
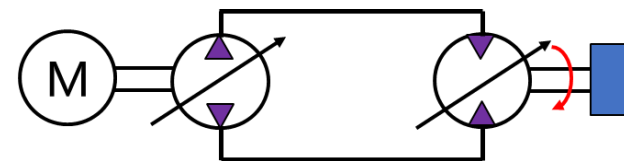
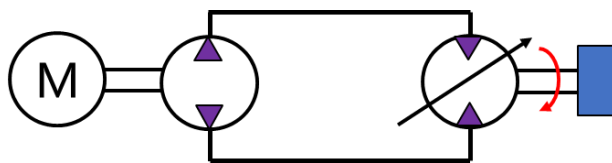
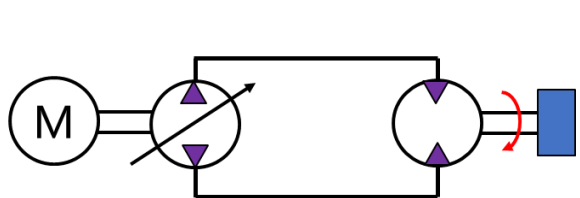
第二段： 泵排量调至最大并固定，**马达排量大→小**

恒功率

马达转速逐渐变大，“定量泵—变量马达”回路

13.1 容积调速回路

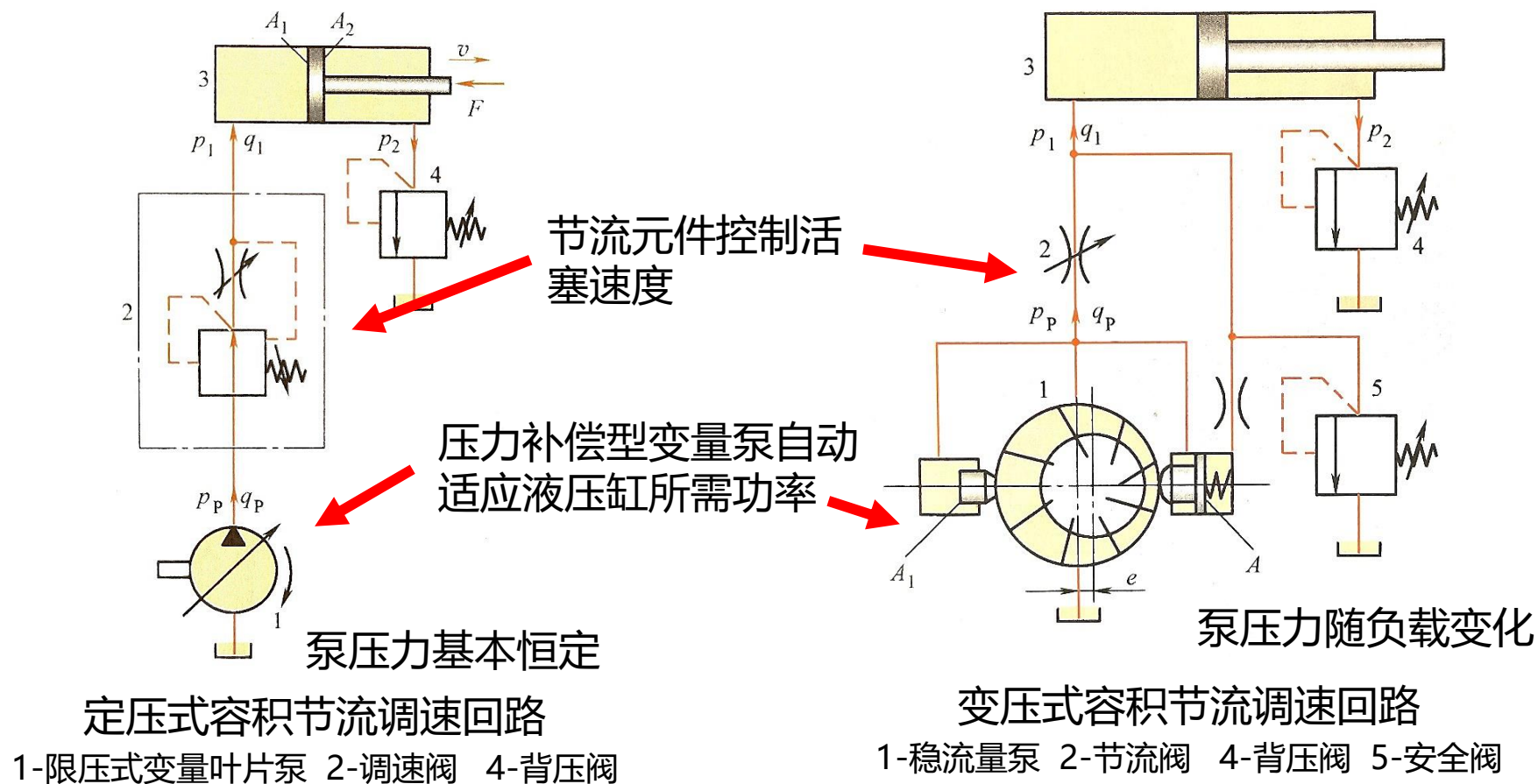
□ 变量泵-变量马达



13.2 容积节流调速回路



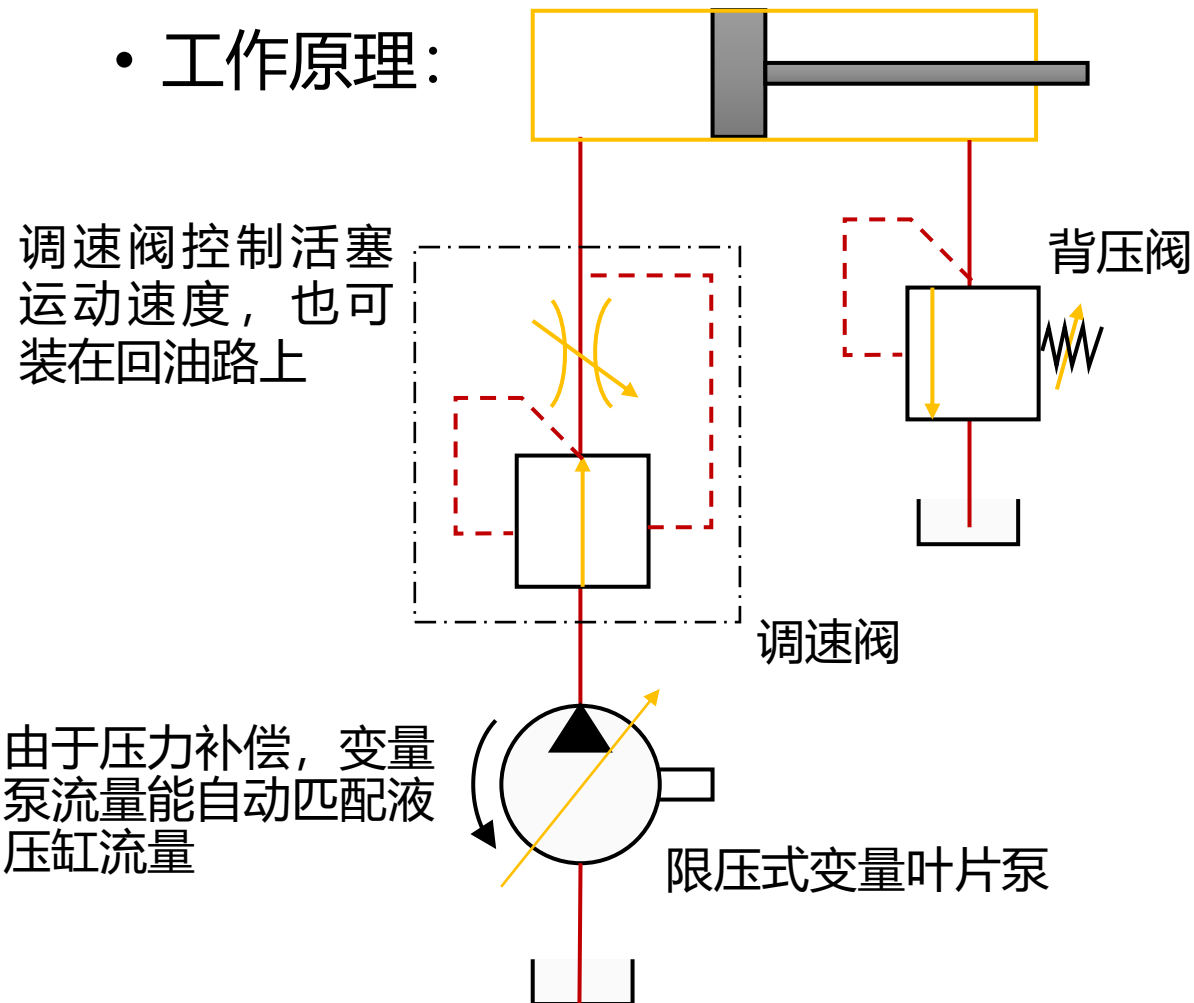
- 原理：用压力补偿型变量泵供油，用流量控制元件调节活塞的运动速度，包括定压式和变压式
- 特点：没有溢流损失、效率较高，速度稳定性比单纯的容积调速回路好



13.2 容积节流调速回路

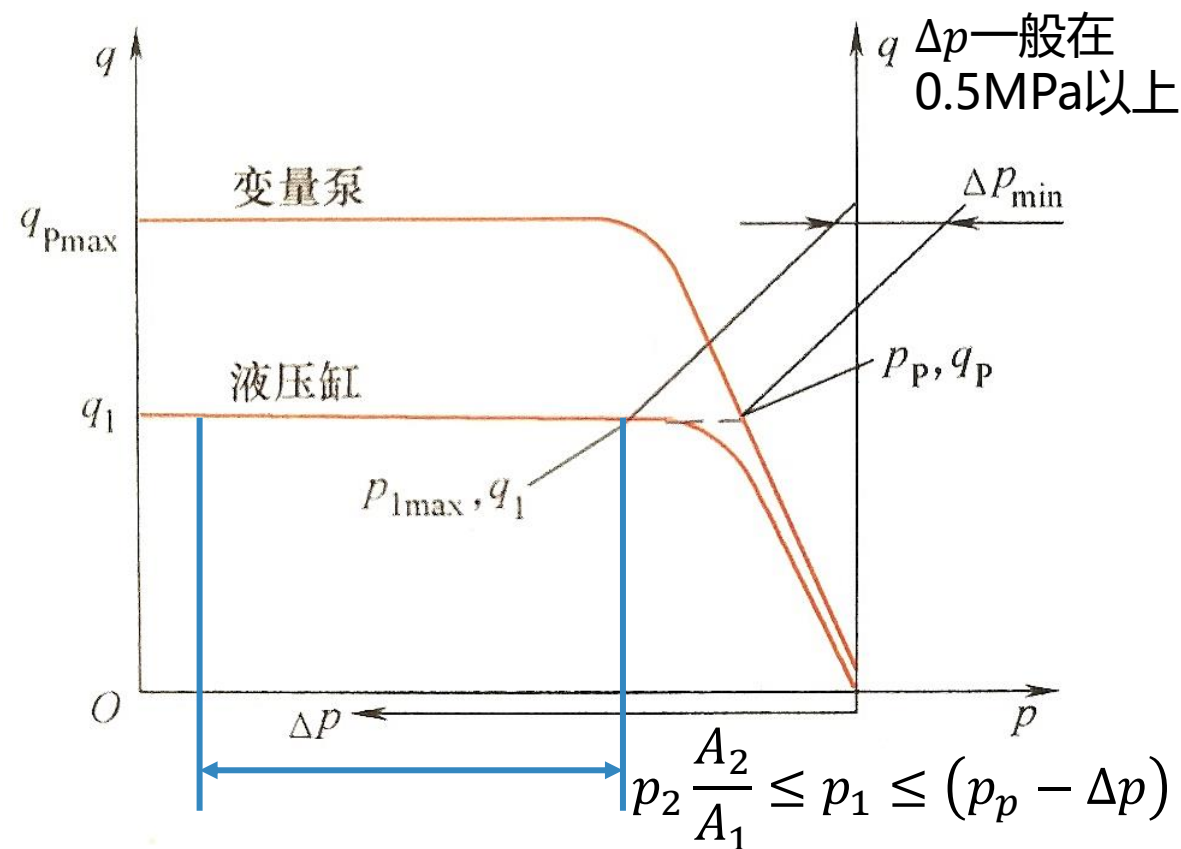
□ 定压式容积节流调速回路

- 工作原理：



定压式容积节流调速回路

- 机械特性：



定压式容积节流调速回路的调速特性

13.2 容积节流调速回路



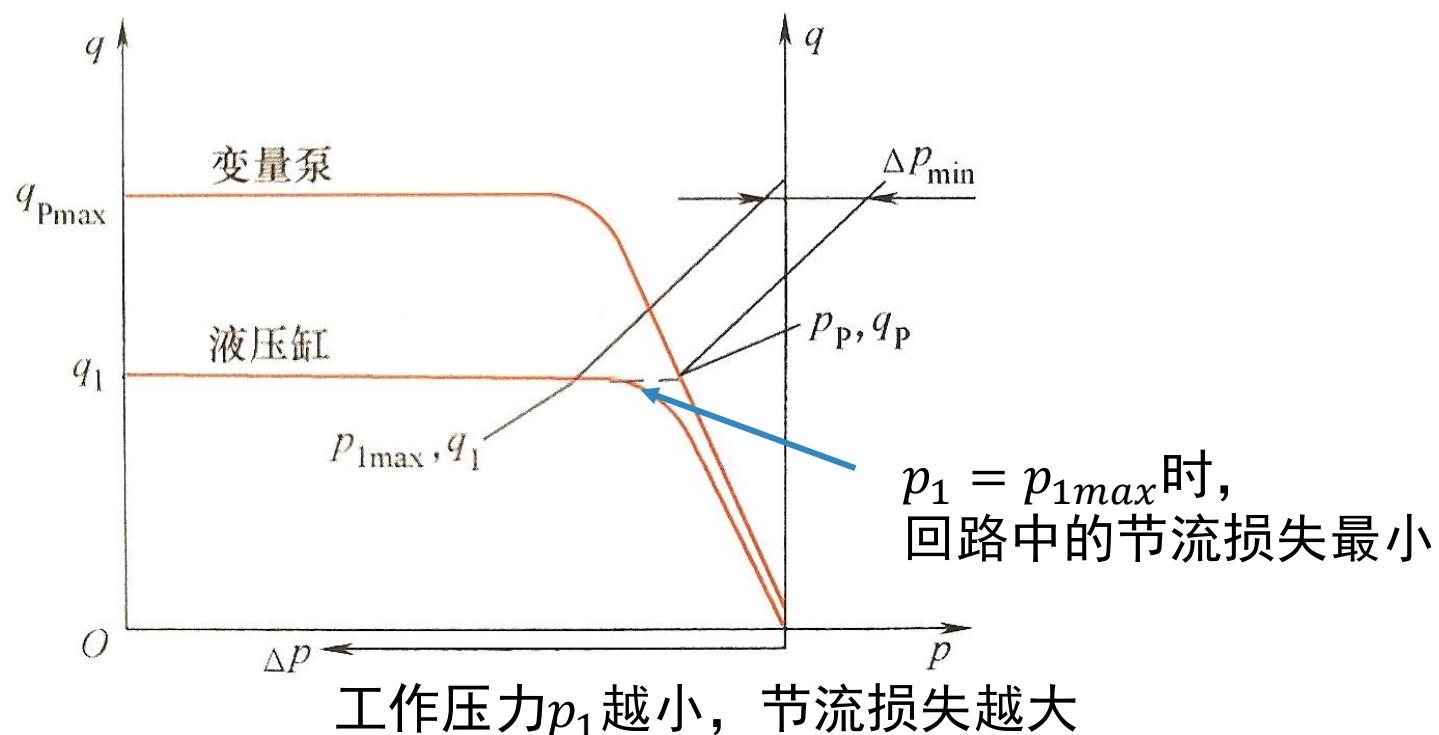
□ 定压式容积节流调速回路功率特性

➤ 无溢流损失，节流损失与液压缸工作腔压力 p_1 有关。

➤ 回路的效率为：

$$\eta_c = \frac{\left(p_1 - p_2 \frac{A_2}{A_1}\right) q_1}{p_p q_p} = \frac{p_1 - p_2 \frac{A_2}{A_1}}{p_p}$$

工作压力 p_1 越大，
效率越高



定压式容积节流调速回路的调速特性

13.2 容积节流调速回路

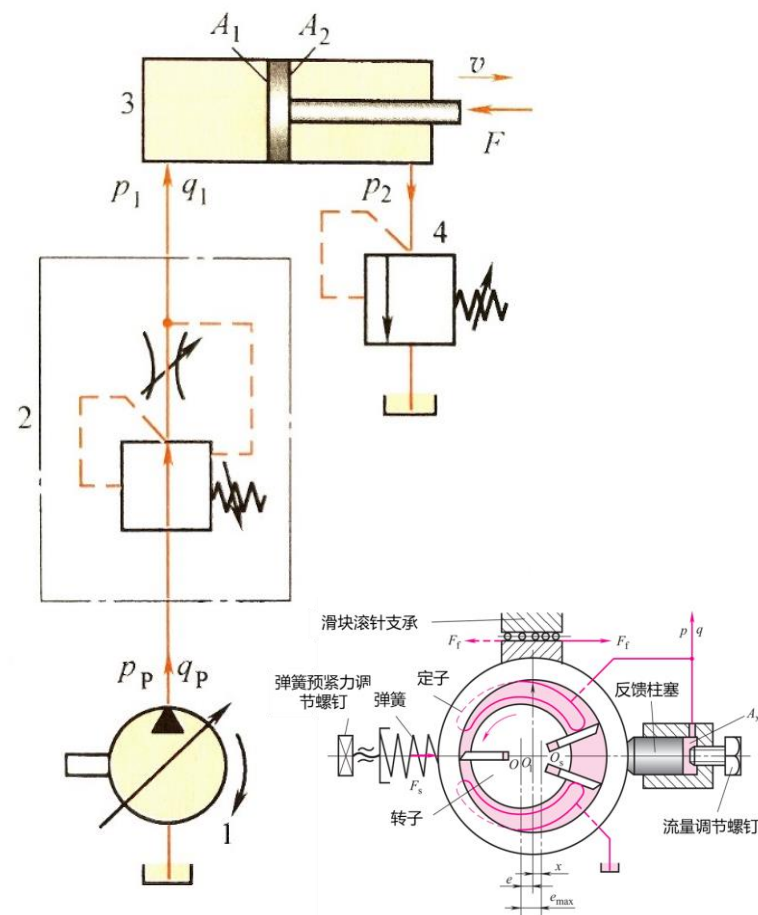
□ 定压式容积节流调速回路功率特性

$$\eta_c = \frac{\left(p_1 - p_2 \frac{A_2}{A_1}\right) q_1}{p_p q_p} = \frac{p_1 - p_2 \frac{A_2}{A_1}}{p_p}$$

- 上式没有考虑泵的泄漏损失，当限压式变量叶片泵达到最高压力时，其泄漏量可达最大输出流量的8%。

$$q_p = q_t - k_1 p_p$$

- 泵的输出流量 q_p 越小，限压式变量泵的压力 p_p 越高，泵的泄漏损失越大。
- 因此，在速度小（ q_p 小）、负载小的场合下，这种回路效率较低。



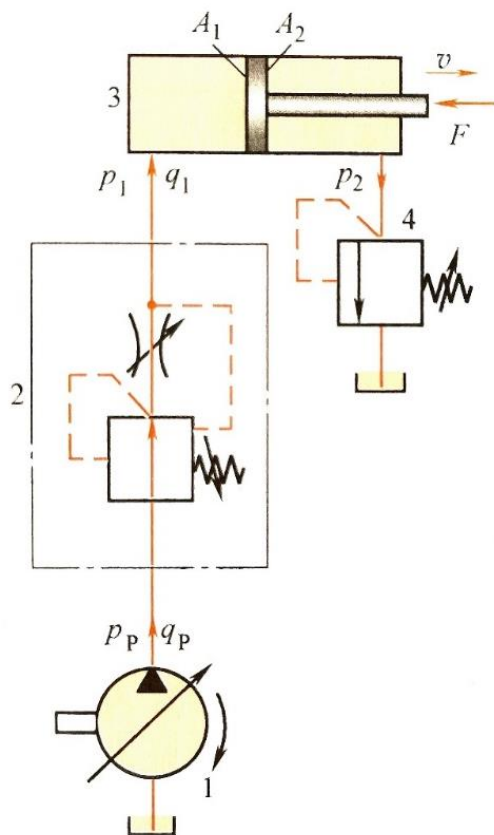
定压式容积节流调速回路

13.2 容积节流调速回路



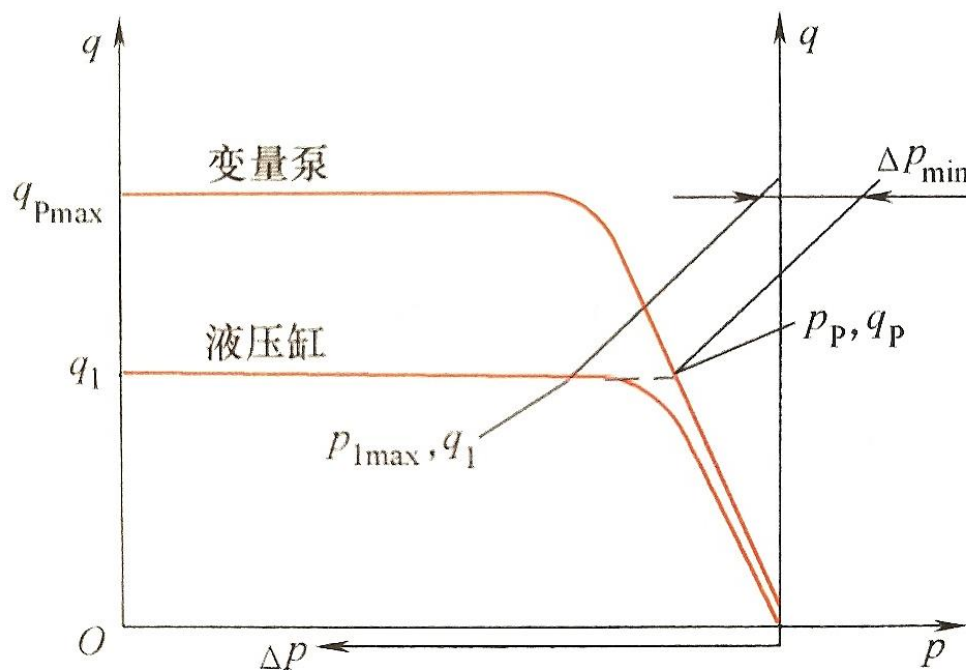
□ 定压式容积节流调速回路

- 最宜用在负载变化不大的中、小功率场合如机床进给系统等处。



定压式容积节流调速回路

1—限压式变量叶片泵 2—调速阀 3—液压缸 4—背压阀

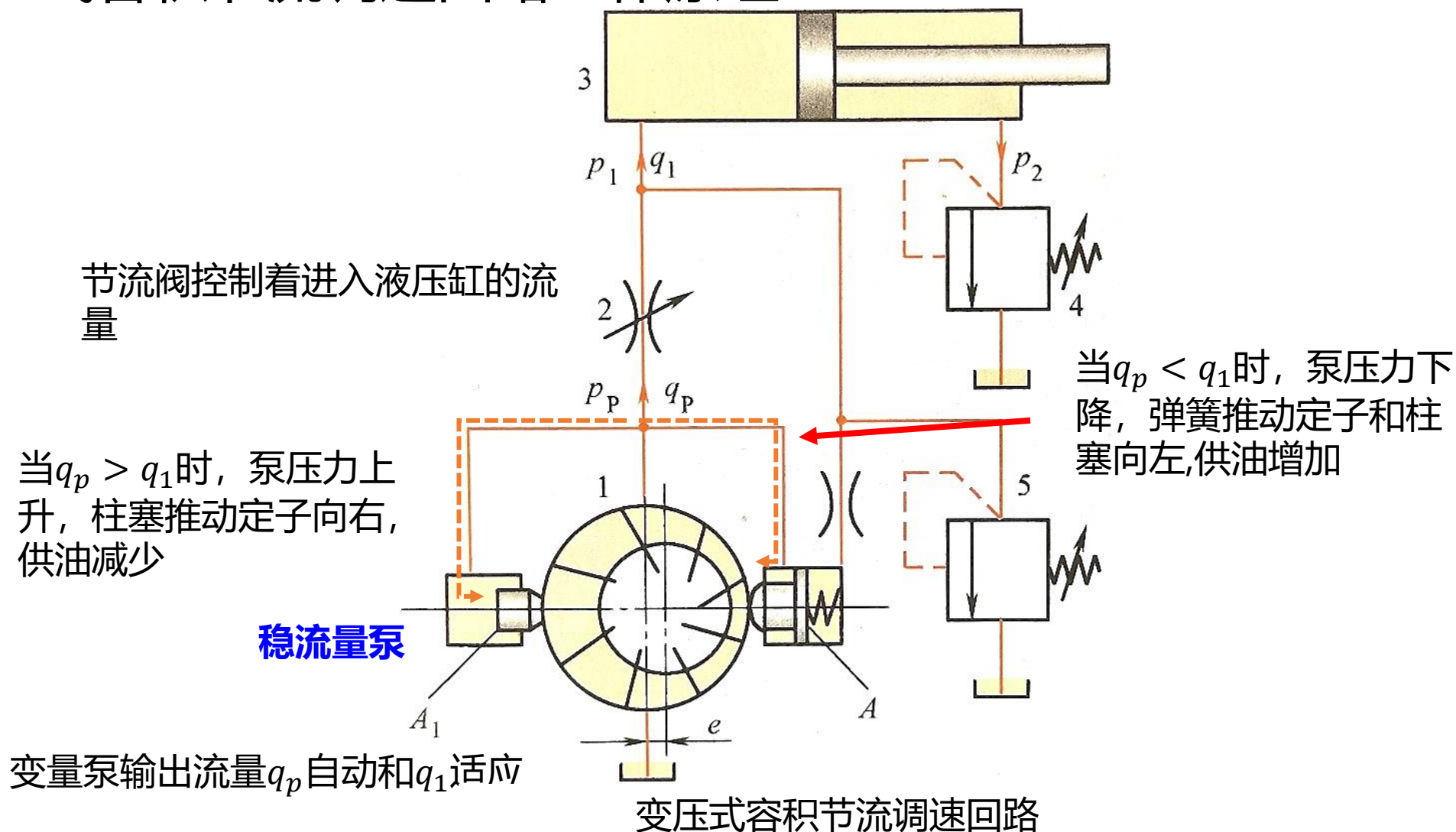


定压式容积节流调速回路的调速特性

13.2 容积节流调速回路



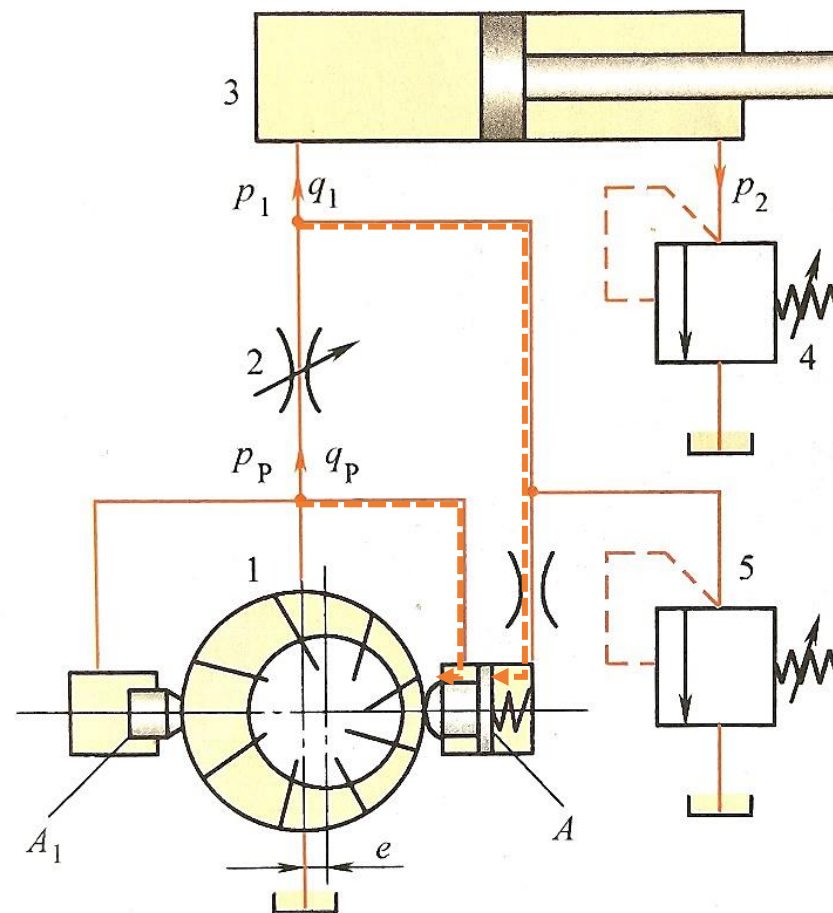
□ 变压式容积节流调速回路工作原理



13.2 容积节流调速回路

□ 变压式容积节流调速回路工作特性

- 输入液压缸的流量基本上不受负载变化的影响
- 节流阀两端的压差基本由作用在稳流量泵控制柱塞上的弹簧力确定
- 回路速度刚性、运动平稳性和承载能力都较好
- 调速范围：只受节流阀调速范围限制。
- 能补偿由负载变化引起的泵的泄漏变化（稳流量），因此它在低速小流量的场合下使用显得特别优越。



变压式容积节流调速回路

1-稳流量泵 2-节流阀 4-背压阀 5-安全阀

13.2 容积节流调速回路

□ 变压式容积节流调速回路

- 容积式节流调速回路不但没有溢流损失，而且泵的供油压力随负载而变化，回路中的功率损失只有节流阀处压降 Δp_T 所造成的节流损失一项，它比定压式容积节流调速回路节流阀处的节流损失还要小，因此发热少，效率高。
- 这种回路当 $p_2 = 0$ 时的效率表达式为：

$$\eta_c = \frac{p_1 q_1}{p_p q_p} = \frac{p_1}{p_1 + \Delta p_T}$$

- 这种回路宜用在负载变化大、速度较低的中小功率场合，如某系额组合机床的进给系统中。

13.2 容积节流调速回路

□ 变压式容积节流调速回路

- 适用场合：
 - 定压式容积节流调速回路最宜用在负载变化不大的中、小功率场合如机床进给系统等处。
 - 变压式容积节流调速回路宜用在负载变化大、速度较低的中小功率场合。
- 液压泵的输出流量能与阀的调节流量自动匹配，节省能量消耗，因此也称**流量适应回路**。
- 调速回路比较的依据：
 - 能在规定的调速范围内调节执行元件的工作速度。【调速特性】
 - 在负载变化时，已调好的速度变化越小越好，并应在允许的范围内变化。【速度刚性】
 - 具有驱动执行元件所需的力或转矩。【承载能力】
 - 使功率损失尽可能小，效率尽可能高，发热尽可能小（保证运动平稳性）。【功率特性】

13.3 三种调速回路的比较和选用

□ 调速回路的选用

调速回路的选用与主机采用液压传动的目的有关，要综合考虑各方面因素才能做出决定，以机床为例：

1. 在机床上，首先考虑的是执行元件的运动速度和负载性质。一般说来，速度低的用节流调速回路，速度稳定性要求高的用调速阀式调速回路，要求低的用节流阀式调速回路；负载小、负载变化小的用节流调速回路，反之则用容积调速回路或容积节流调速回路。
2. 其次考虑的是功率大小，一般认为3kW以下的用节流调速回路，3-5kW的用容积节流调速回路或容积调速回路，5kW以上的则用容积调速回路。
3. 最后，从设备费用上考虑。要求费用低廉时用节流调速回路，允许费用高些时则用容积节流调速回路或容积调速回路。

13.3 三种调速回路的比较和选用



□ 调速回路的选用

执行元件的运动
速度和负载性质

- 速度低：节流调速回路
- 速度稳定性要求高：调速阀式调速回路
- 速度稳定性要求低：节流阀式调速回路
- 负载小、负载变化小：节流调速回路
- 负载大、负载变化大：容积调速或容积节流调速回路

功率大小

- 3kW以下：节流调速回路
- 3-5kW：容积节流调速回路或容积调速回路
- 5kW以上：容积调速回路

设备费用

- 要求费用低廉：节流调速回路
- 允许费用高：用容积节流调速回路或容积调速回路。