



南京航空航天大學
NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS

机电学院



液压与气压传动

主讲: 凌杰
机械电子工程系

办公室: 明故宫 17-423

Email: meejling@nuaa.edu.cn

主讲教师

➤凌 杰 副教授，博士生导师
机电学院 机械电子工程系

➤邮 箱：meejling@nuaa.edu.cn

➤办公室：明故宫17-423 研究生工作室：明故宫17-612

欢迎访问先进液压与机电控制实验室网站

网址：hydraulics.nuaa.edu.cn

或前往先进液压与机电控制实验室参观

地址：明故宫17-206

➤招 生：每年招收2~3名硕士生，1名博士生，欢迎咨询

研究方向：精密驱动与控制

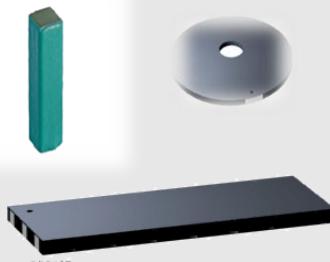


南京航空航天大学
NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS

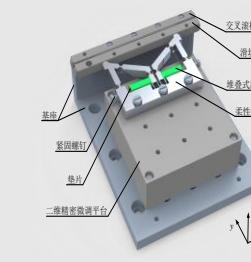
AHEC
先进液压与机电控制实验室
Advanced Hydraulic and Electromechanical Control

➤ 驱动层面
压电驱动器
新原理与新构型

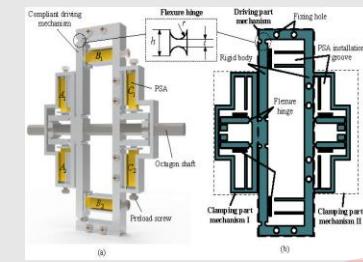
压电效应与压电智能材料



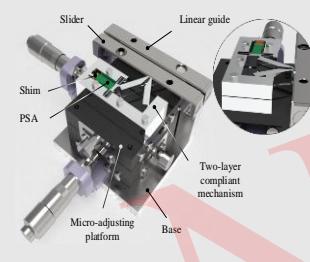
双向粘滑压电驱动新结构



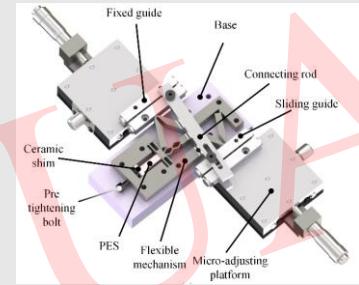
仿生尺蠖压电驱动新结构



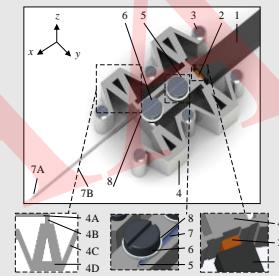
双层压电驱动新结构



非对称压电驱动新结构

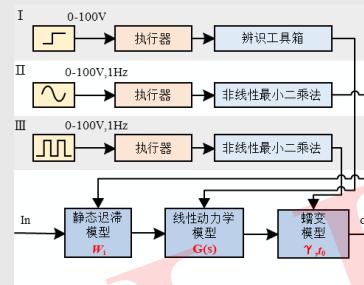


压电振动穿刺新结构

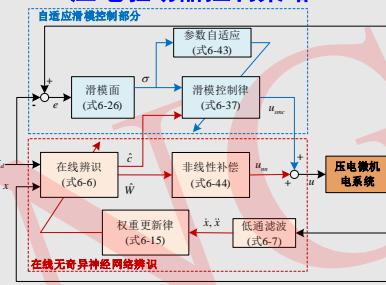


➤ 控制层面
智能机电液控制

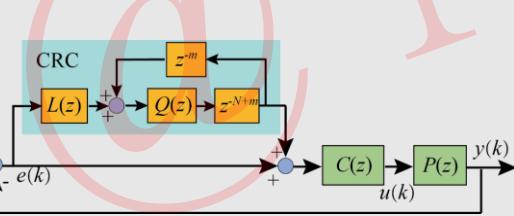
压电非线性建模



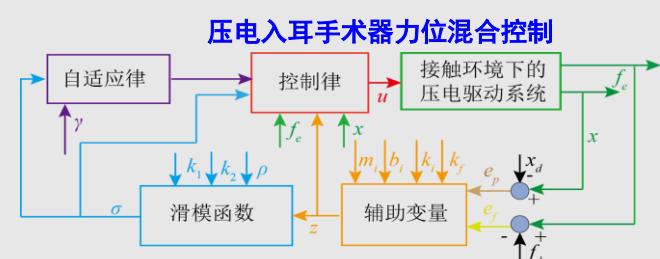
压电驱动器控制策略



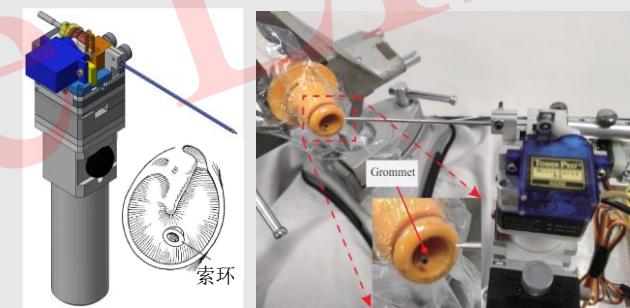
压电微动台扫描控制



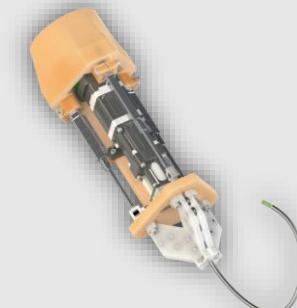
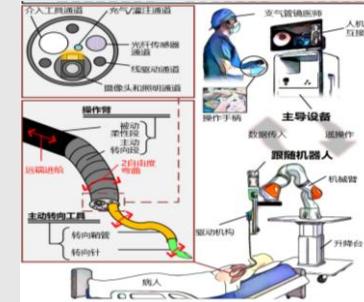
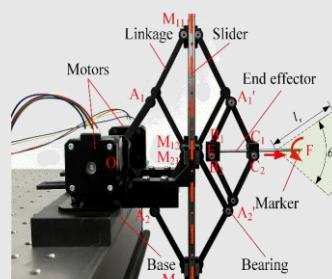
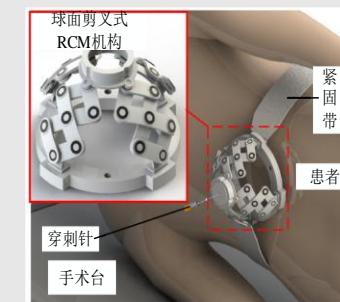
压电入耳手术器力位混合控制



压电入耳手术器



机器人辅助腰椎麻醉穿刺



➤ 系统层面
医疗手术机器人
设计与控制

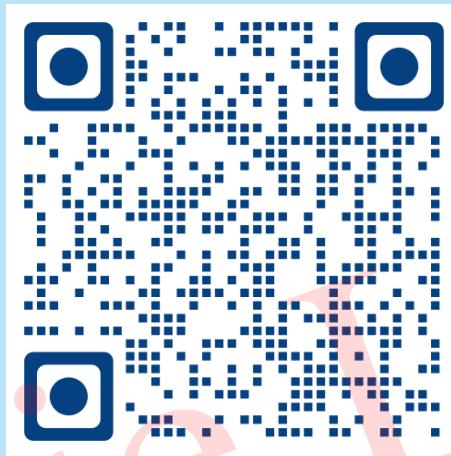
课件下载



个人主页 <https://mee-jieling.github.io/>

→Teaching

→液压与气压传动



Teaching

Home | Detailed profile | Projects | Teaching | Publications | Students | Contact

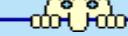
Undergraduate Courses / 本科生课程

- 液压与气压传动 (专业必修课)
Hydraulic and Pneumatic Transmission
课件下载链接 (每章完成课堂教学后更新):
基础知识: Ch1
液压部分: Ch2 | Ch3 | Ch4 | Ch5 | Ch6 | Ch7
气动部分: Ch10 | Ch11 | Ch12 | Ch13 | Ch14 | Ch15
教材: 《液压与气压传动 (第3版)》, 游有鹏、李成刚主编, 科学出版社



南京航空航天大學
NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS

机电学院



第六章

液压基本回路

Jie LIN

NUAA

第六章 液压基本回路

- 6.1 压力控制回路
- 6.2 速度控制回路
- 6.3 方向控制回路
- 6.4 多缸工作控制回路

熟悉和掌握这些基本回路的组成、工作原理及应用，是分析、设计和使用液压系统的基础。

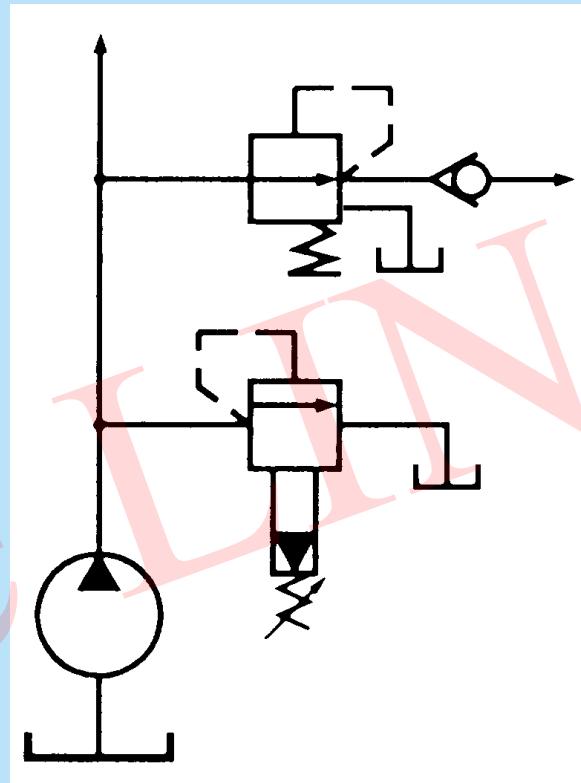
6.1压力控制回路

- 6.1.1 调压回路
- 6.1.2 减压回路
- 6.1.3 增压回路
- 6.1.4 卸荷回路
- 6.1.5 保压回路
- 6.1.6 平衡回路
- 6.1.7 锁紧回路

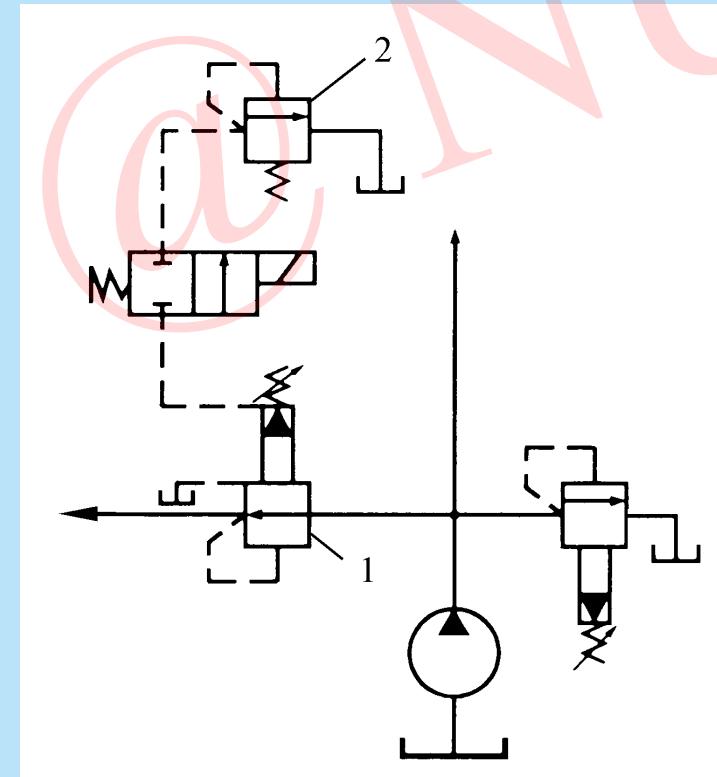
6.1 压力控制回路

6.1.2 减压回路

作用：使系统某一支路具有低于系统压力调定值的稳定工作压力，常用于机床的工件夹紧，导轨润滑和控制油路。



单级减压回路

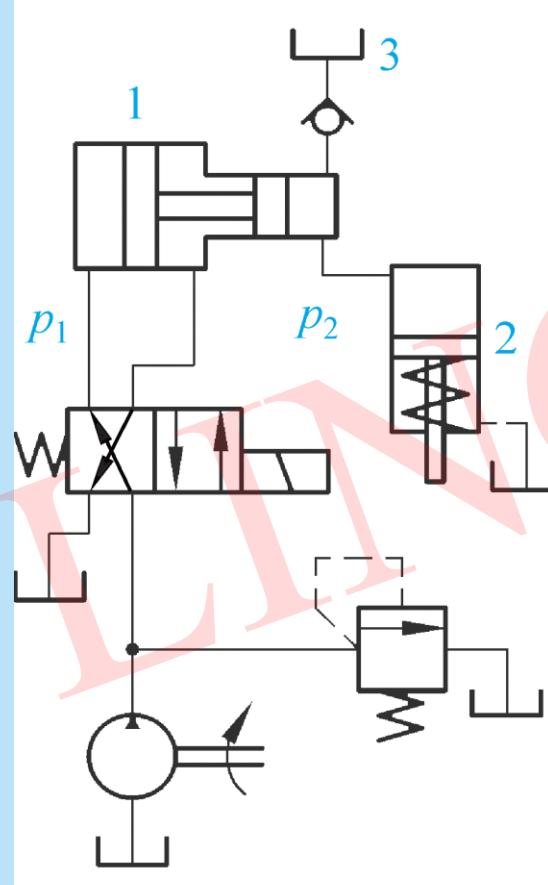


二级减压回路

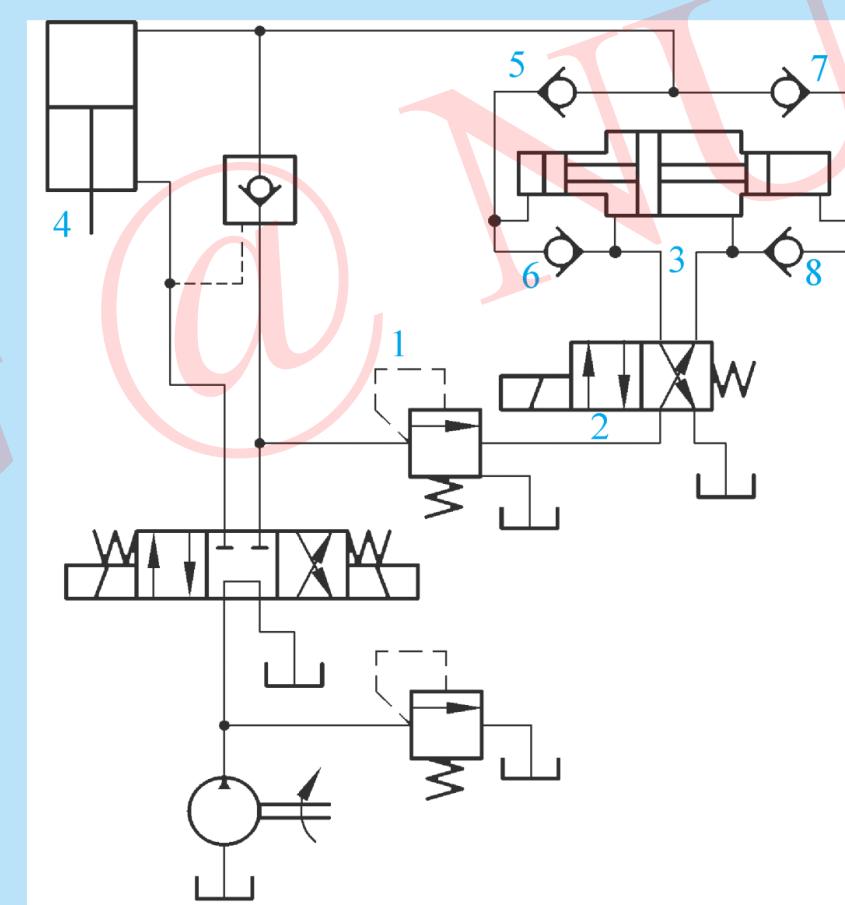
6.1 压力控制回路

6.1.3 增压回路

作用：使系统中某一支路获得较系统压力高且流量不大的油液供应。



单作用增压回路



双作用增压回路

6.1 压力控制回路

6.1.4 卸荷回路

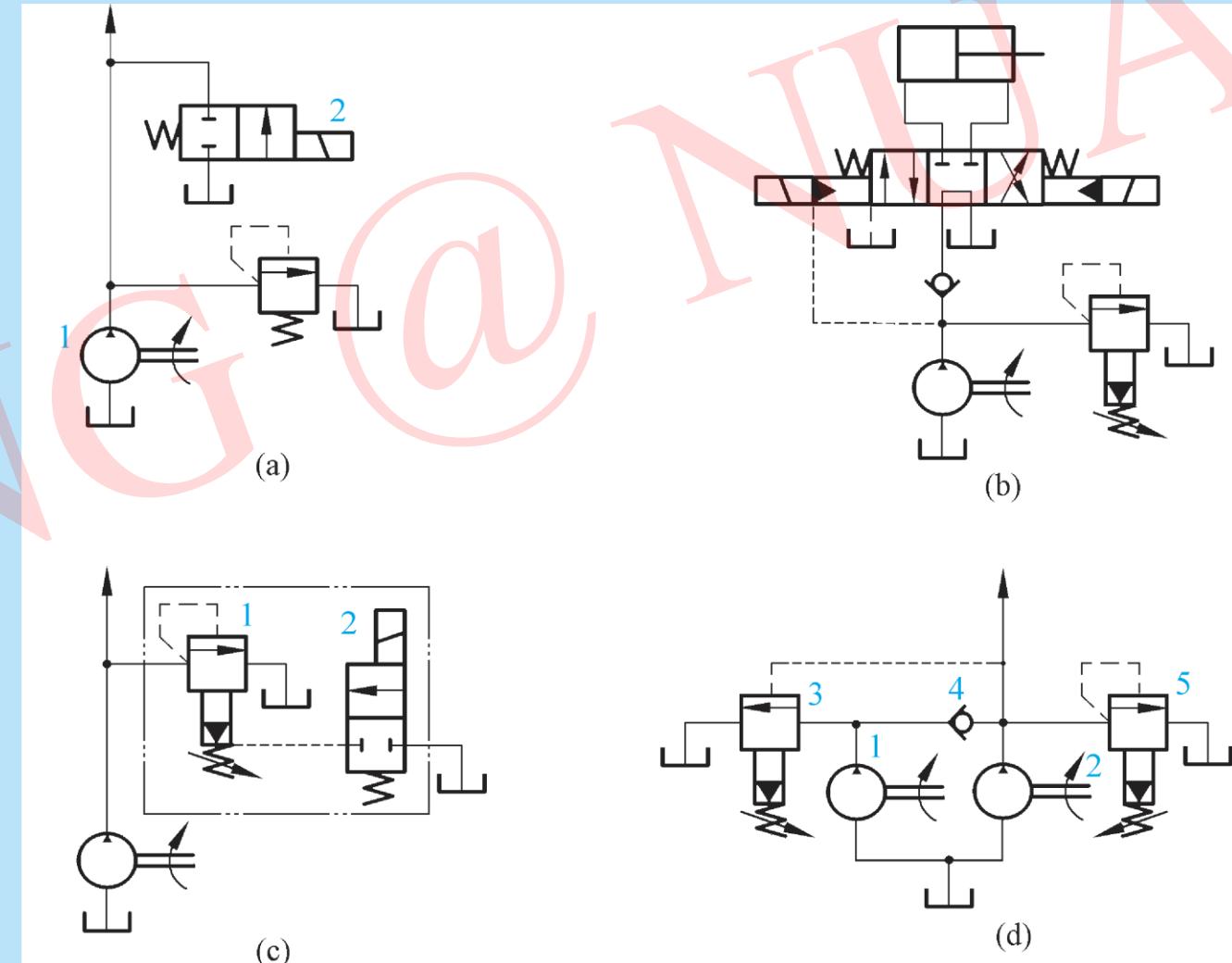
作用：系统刚启动时或执行元件短时间不工作时，不频繁启停电机，而使泵在很小的输出功率下运转，延长泵和电机的寿命。

(a) 二位二通阀卸荷回路

(b) 换向阀中位机能卸荷回路

(c) 先导式溢流阀卸荷回路

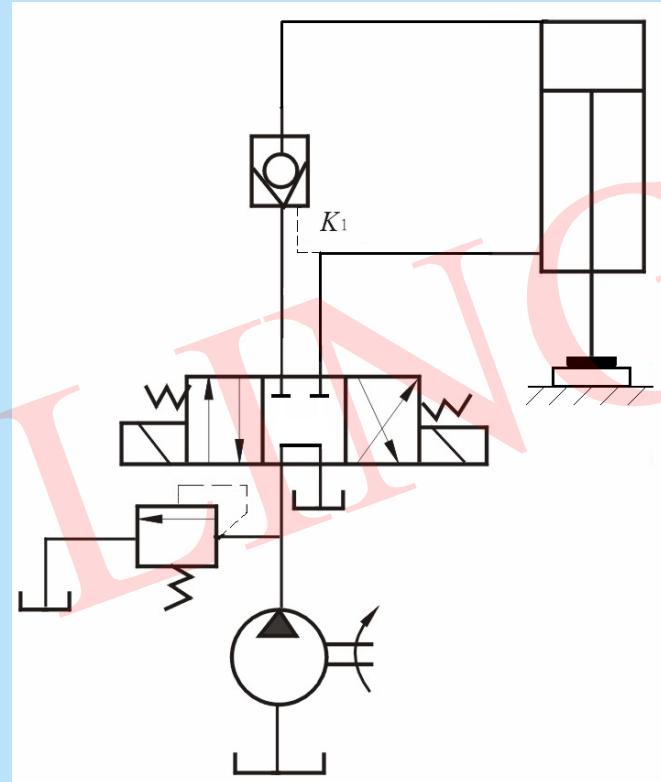
(d) 先导式卸荷阀卸荷回路



6.1 压力控制回路

6.1.5 保压回路

作用：使系统在液压缸不动或因工件变形产生微小位移的工况下保持稳定不变的压力。保压性能的两个指标是保压时间和压力稳定性。



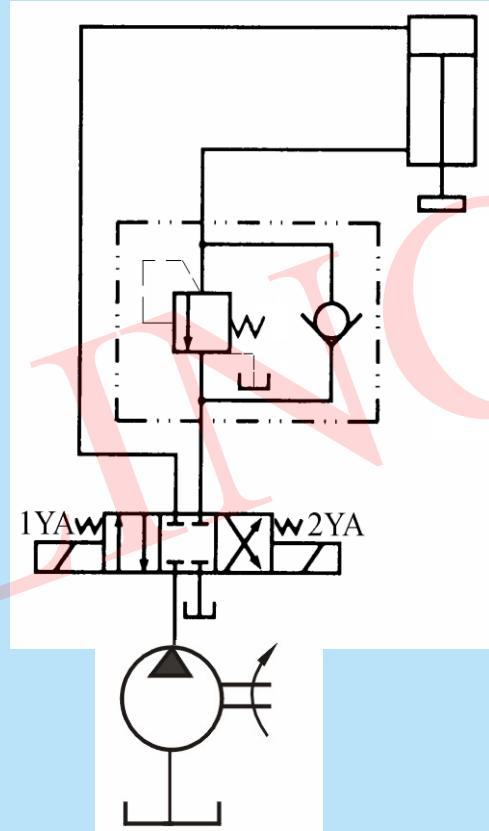
采用液控单向阀的保压回路

适用于保压时间短、对保压稳定性要求不高的场合。

6.1 压力控制回路

6.1.6 平衡回路

作用：防止垂直或倾斜放置的液压缸和与之相连的工作部件因自重而自行下落。



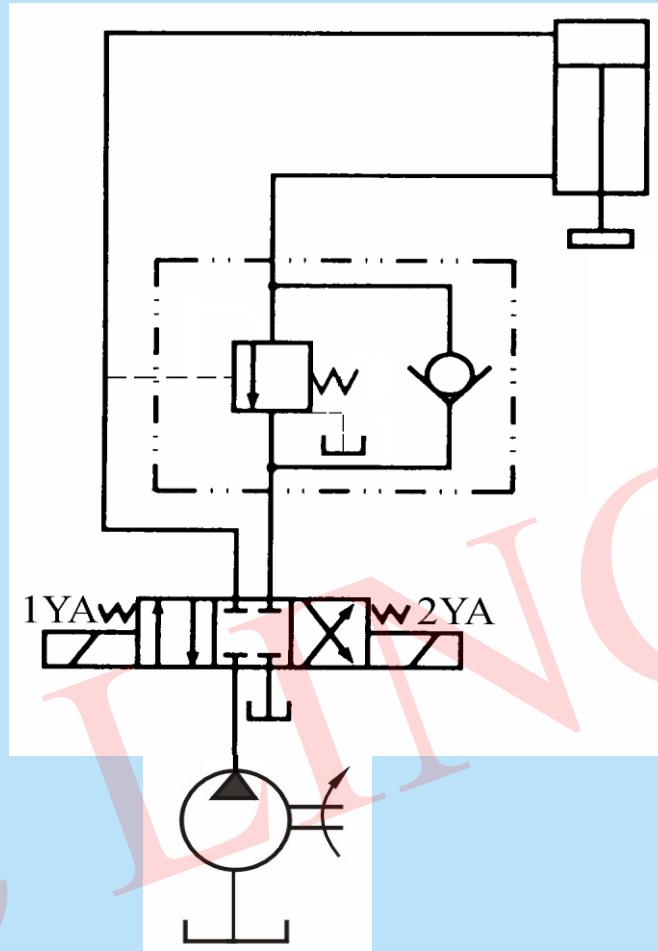
特点：
效率低
平稳性高

应用场景：

工作部件不重、定位要求不高的场合。

采用单向顺序阀的平衡回路

6.1 压力控制回路



采用液控顺序阀的平衡回路

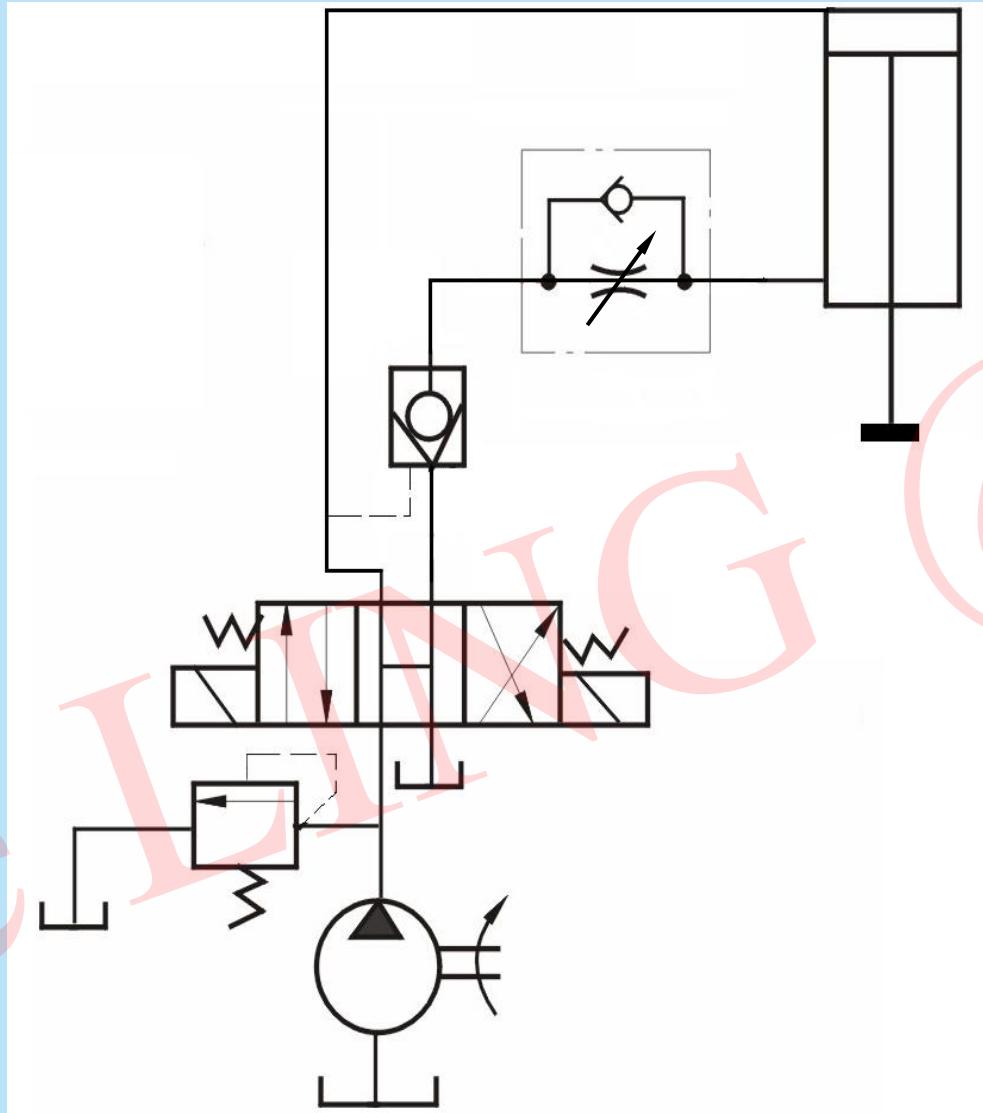
特点：效率高

平稳性低

应用场景：

工作部件不重、停留时间较短的场合。

6.1 压力控制回路



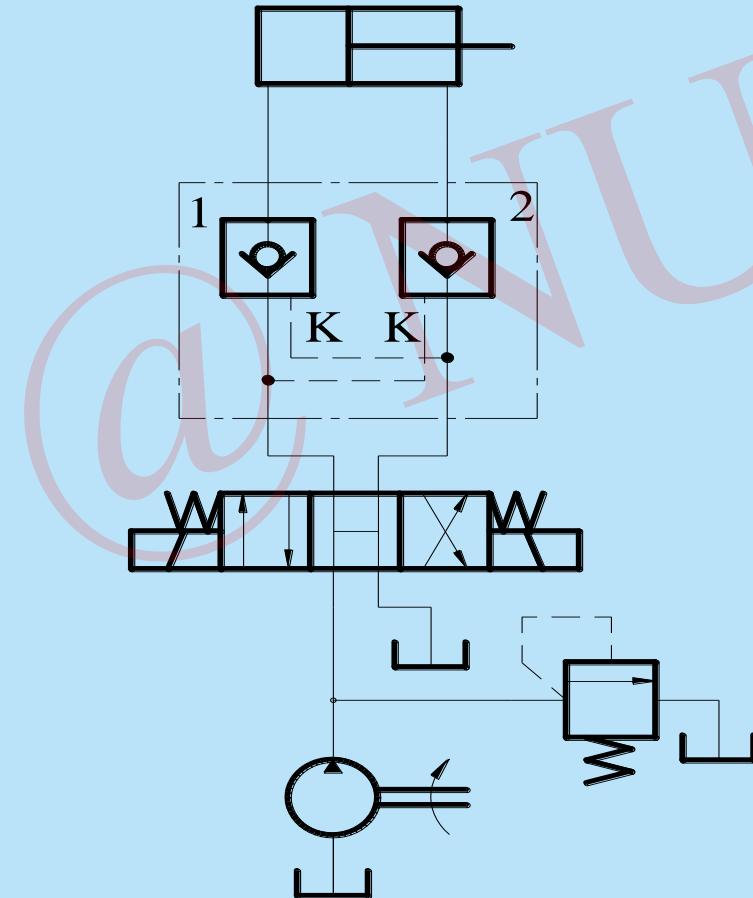
采用液控单向阀的平衡回路

液控单向阀是锥面密封，故其闭锁性能好，活塞能长时间停止不动。

6.1 压力控制回路

6.1.7 锁紧回路

采用了锥阀式结构的液控单向阀，密封性好，泄漏极少，锁紧的精度主要取决于液压缸的泄漏。



6.2 速度控制回路

6.2.1 调速回路

6.2.2 快速运动回路

6.2.3 速度换接回路

6.2.1 调速回路

6.2.1.1 调速回路概述

6.2.1.2 节流调速回路——阀调速

6.2.1.3 容积调速回路——泵或马达调速

6.2.1.4 容积节流调速回路——综合运用阀和
泵或马达调速

6.2.1 调速回路

6.2.1.1 调速回路概述

➤作 用：调节执行元件的速度

➤调速原理和方法：

液压缸
液压马达

$$v = \frac{q}{A}$$

$$n = \frac{q}{V_M}$$

$$n = \frac{q}{V_M}$$

➤调速回路种类：

通过节流阀并配合溢流阀改变回路中流量
(节流调速)

直接改变变量液压泵或变量马达的流量
(容积调速)

既改变液压泵又改变回路中的流量
(容积节流调速)

6.2.1 调速回路

6.2.1.2 节流调速回路

➤工作原理：

改变回路中流量控制元件通流截面大小控制流入执行元件或者流出执行元件的流量。

➤分 类：

按流量阀安装位置分

- ✓进油路节流调速
- ✓回油路节流调速
- ✓旁路节流调速

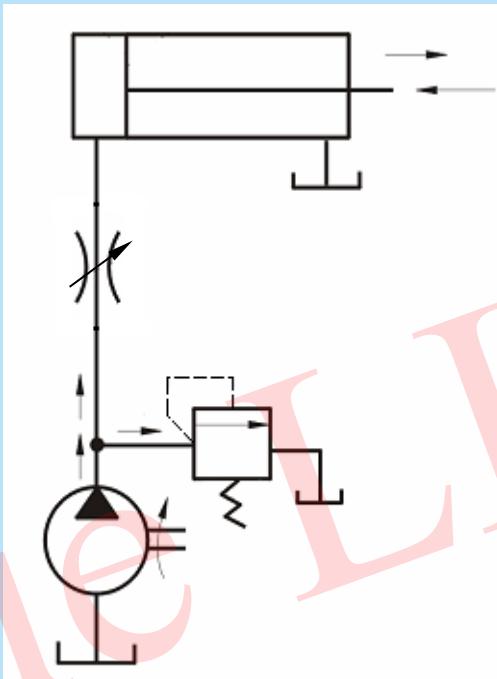
➤组 成：

定量泵、流量阀、溢流阀、执行元件等。

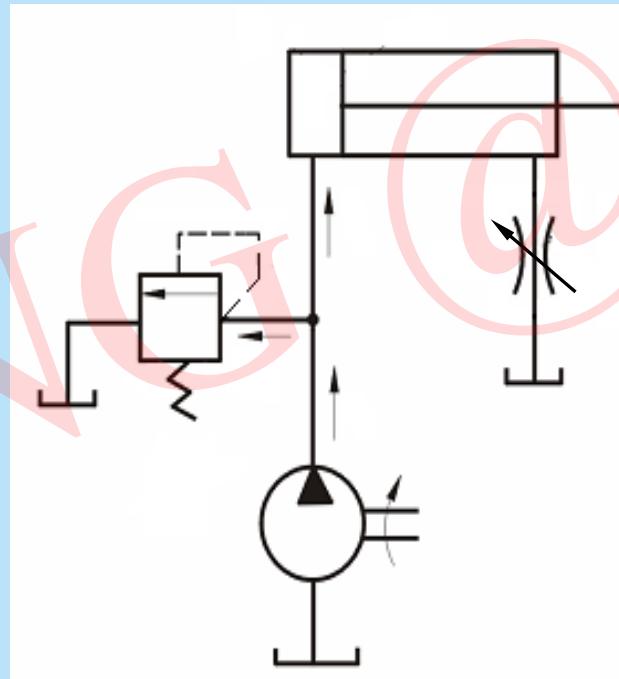
6.2.1 调速回路

► 三种节流回路结构比较

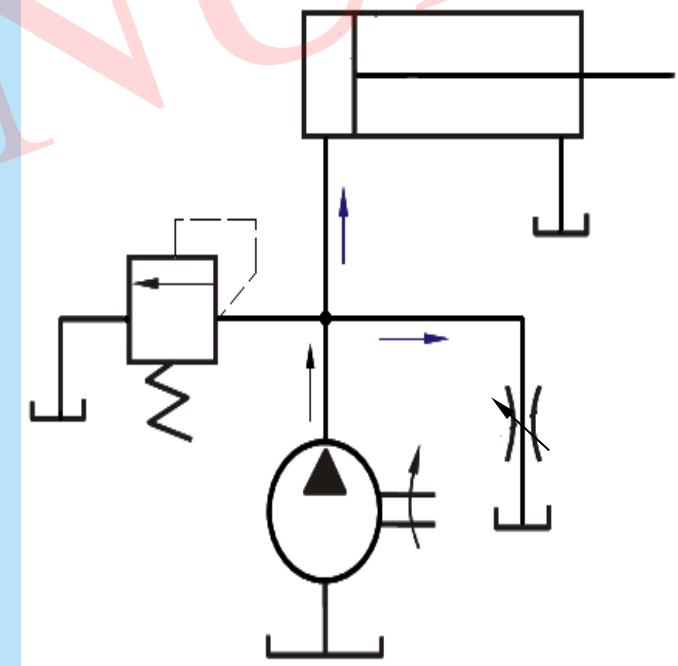
进油路节流调速



回油路节流调速

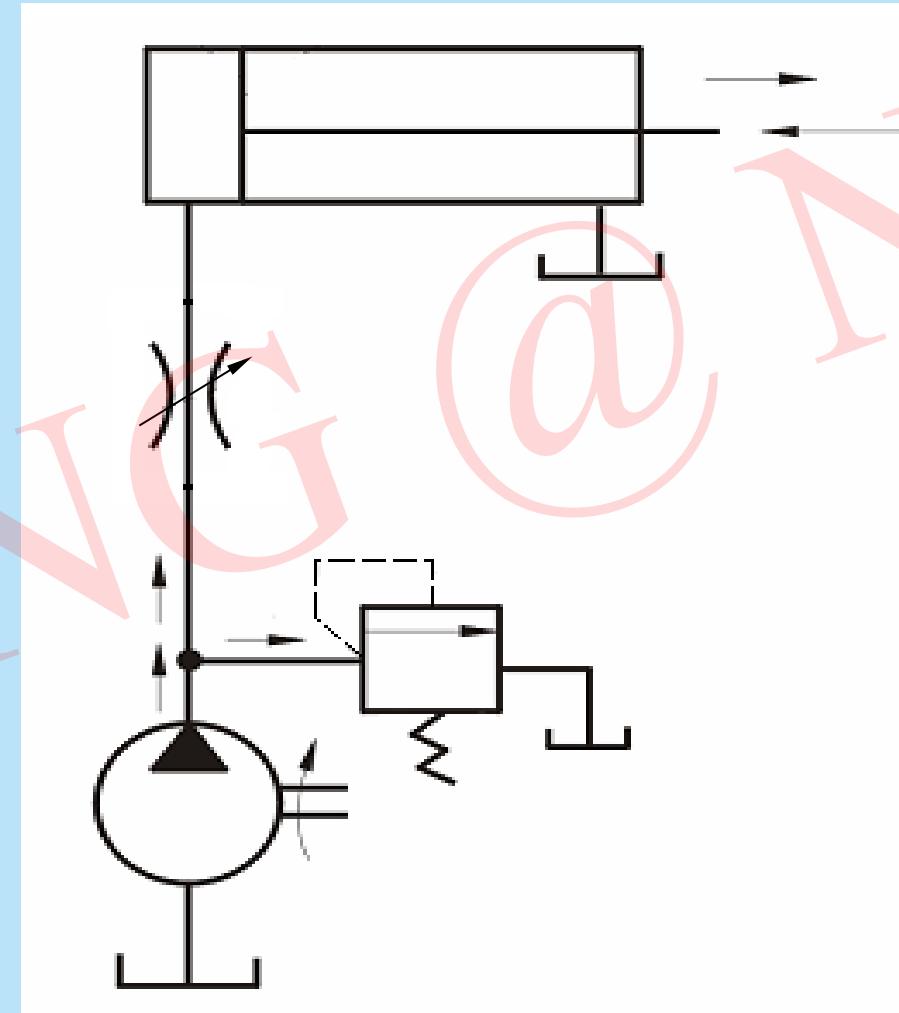


旁油路节流调速



6.2.1 调速回路

1 进油路节流调速



6.2.1 调速回路



(1) 工作原理

✓ 流量

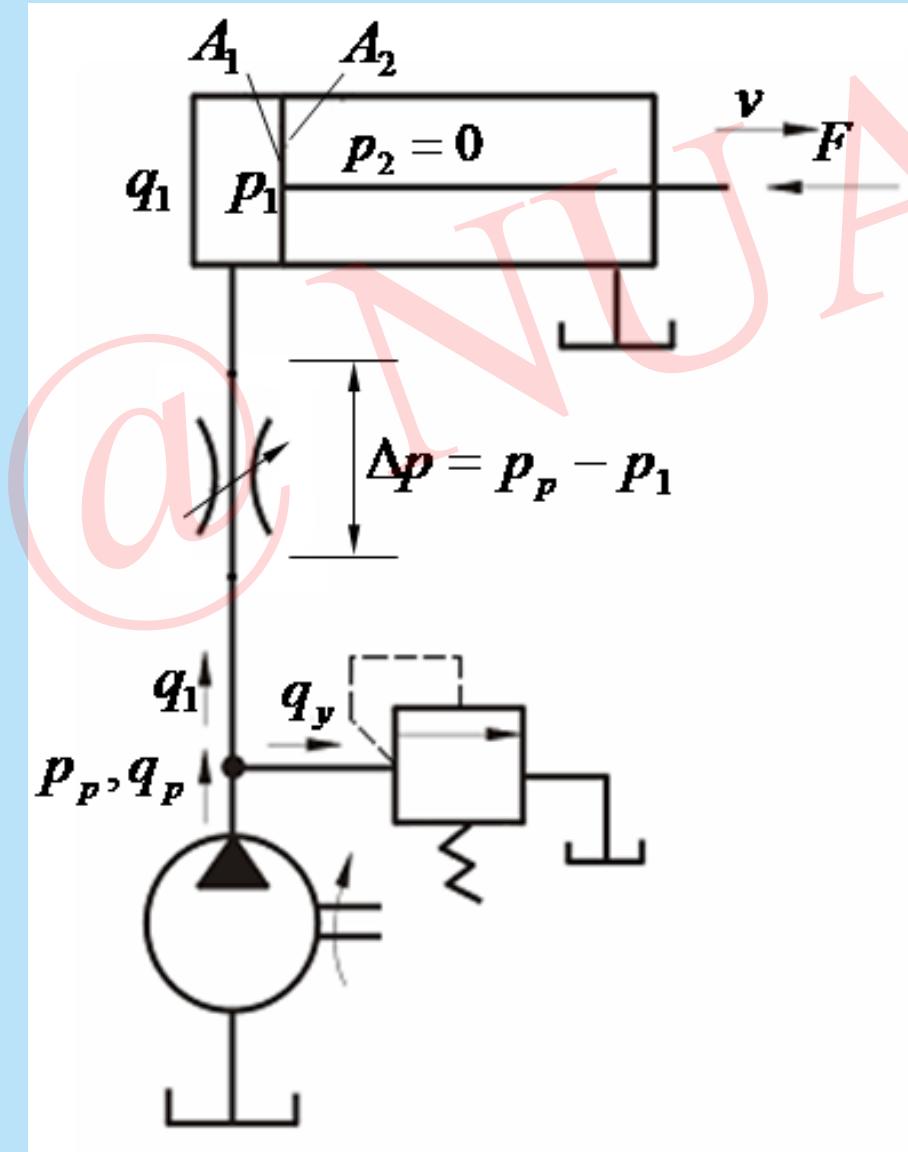
$$q_p \begin{cases} q_1 & \text{节流阀} \rightarrow \text{液压缸} \\ q_y & \text{溢流阀} \rightarrow \text{油箱} \end{cases}$$

✓ 压力

$p_p = \text{常数}$, 由溢流阀调定

$$p_1 = \frac{F}{A_1} \quad p_2 = 0$$

$$\Delta p = p_p - p_1$$



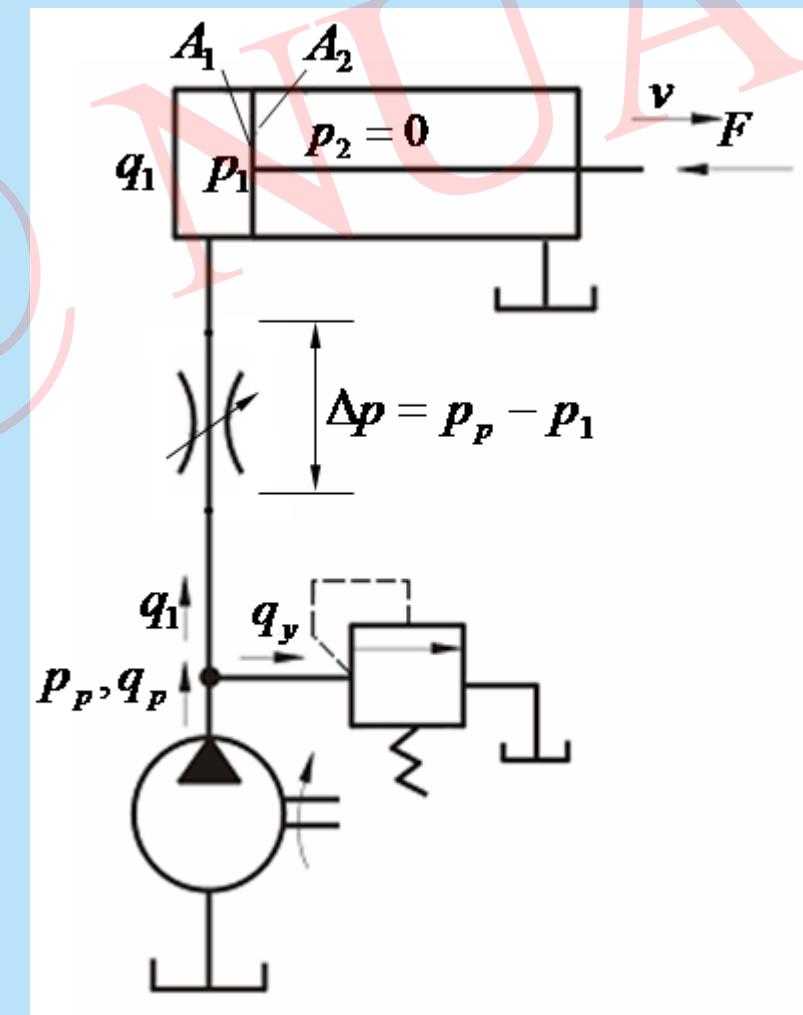
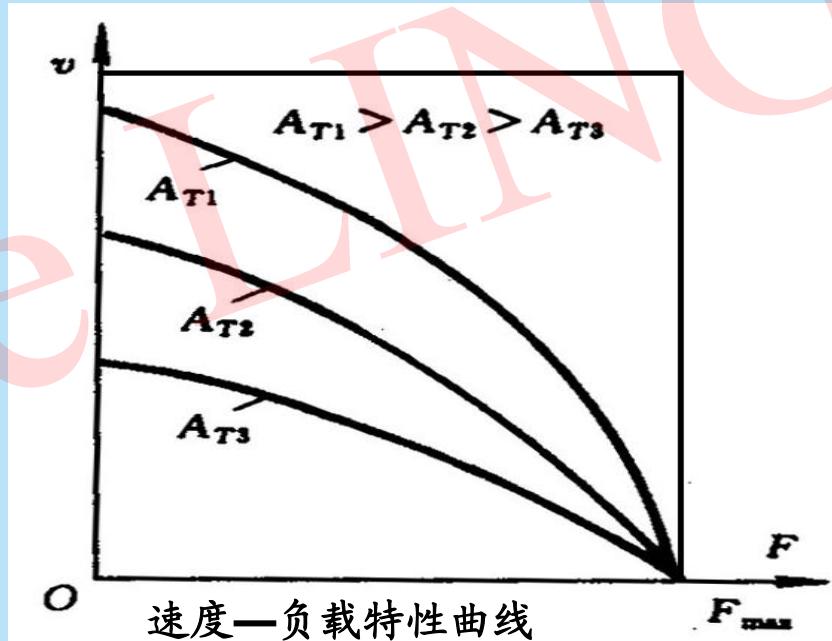
6.2.1 调速回路



(2) 性能特点

✓ 速度——负载特性 (即液压缸速度v与液压缸负载F的关系)

$$v = \frac{q_1}{A_1} = \frac{KA_T \Delta p^m}{A_1} = \frac{KA_T}{A_1} (p_p - p_1)^m$$
$$= \frac{KA_T}{A_1} \left(p_p - \frac{F}{A_1} \right)^m$$

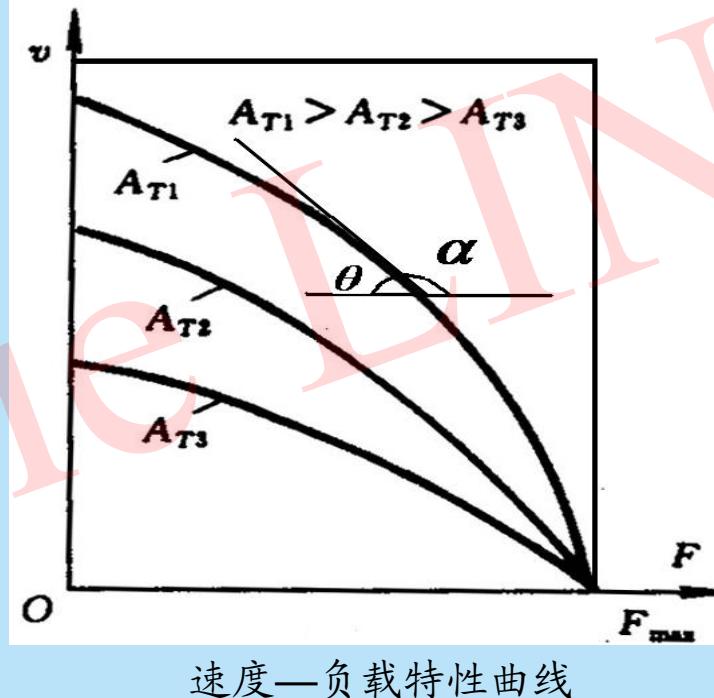


6.2.1 调速回路

✓速度刚度

速度—负载特性方程 $v = \frac{KA_T}{A_1} \left(p_p - \frac{F}{A_1} \right)^m$

- 速度刚度 k_v 定义：为了衡量负载变化对速度的影响程度，定义为速度-负载特性曲线上某点斜率的倒数。



$$k_v = -\frac{1}{tg \alpha} = -ctg \alpha = ctg \theta = \frac{\partial F}{\partial v}$$

- 速度刚度的意义：速度刚度大，则 θ 小，曲线平直，速度受负载的影响小，即速度—负载特性硬，速度稳定性好。

6.2.1 调速回路



✓ 特性分析

$$v = \frac{q_1}{A_1} = \frac{KA_T}{A_1} \left(p_p - \frac{F}{A_1} \right)^m$$

$$k_v = -\frac{\partial F}{\partial v} = \frac{A_1^{m+1}}{mKA_T(p_p A_1 - F)^{m-1}} = \frac{A_1}{mv} \left(p_p - \frac{F}{A_1} \right)$$

• $A_T = \text{Constant}$

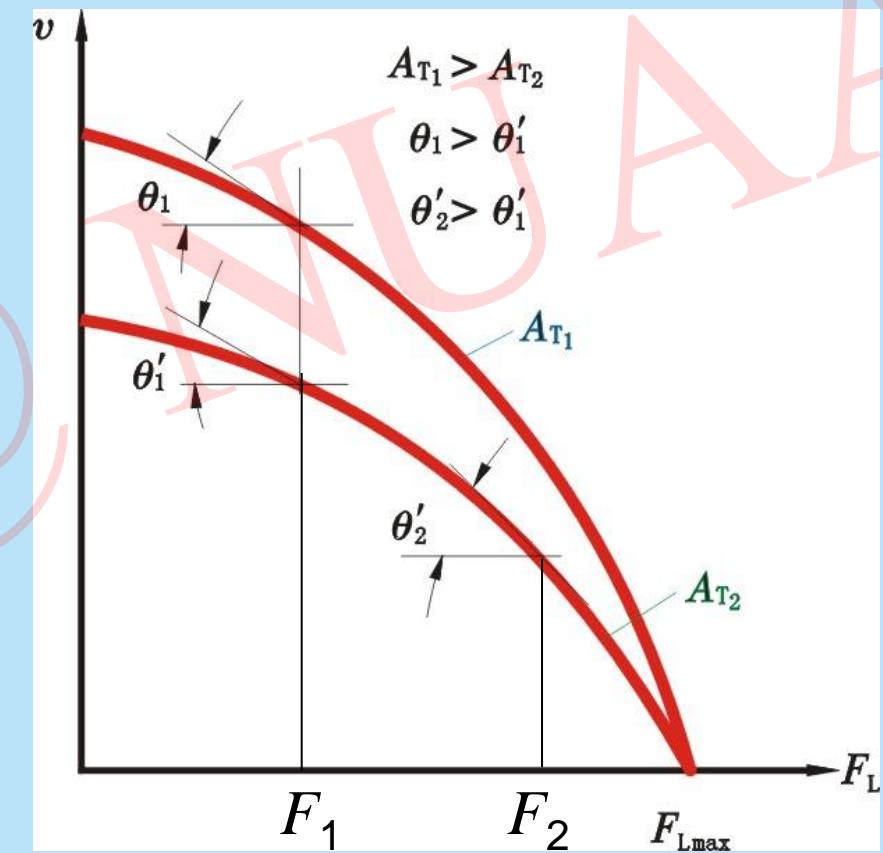
$F_1 < F_2, \quad ctg \theta'_1 > ctg \theta'_2$

→ 轻载时刚度大

• $F = \text{Constant}$

$A_{T_1} > A_{T_2}, \quad ctg \theta'_1 < ctg \theta'_2$

→ 低速时刚度大



速度—负载特性曲线

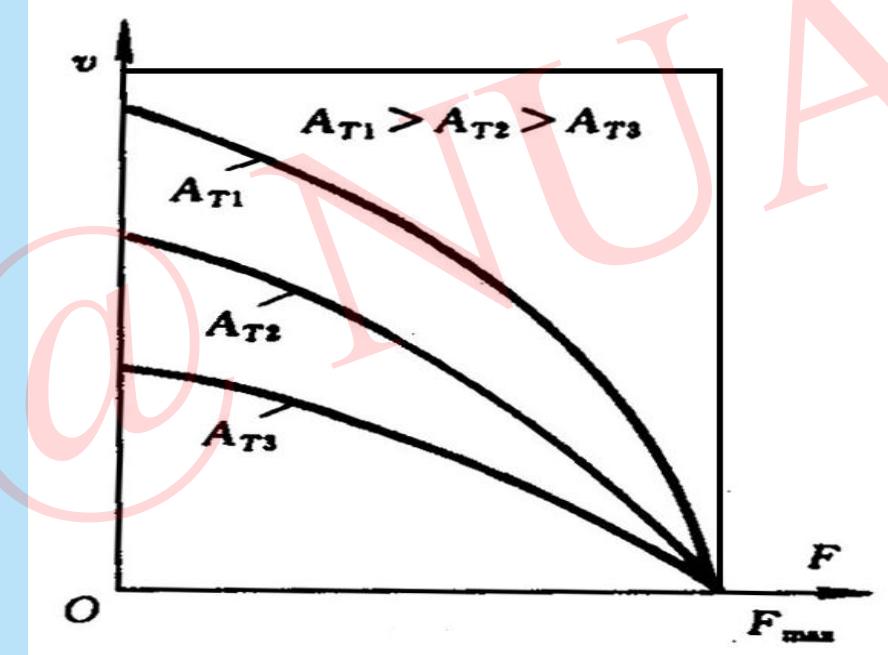
6.2.1 调速回路

✓ 最大承载能力

$$v = \frac{q_1}{A_1} = \frac{KA_T}{A_1} \left(p_p - \frac{F}{A_1} \right)^m$$

$$v=0$$

$$\Rightarrow F_{\max} = p_p A_1$$



速度—负载特性曲线

6.2.1 调速回路



✓ 功率与效率

• 回路的输入功率: $P_p = p_p q_p = \text{Constant}$

• 回路的输出功率: $P_1 = Fv = F \frac{q_1}{A_1} = p_1 q_1$

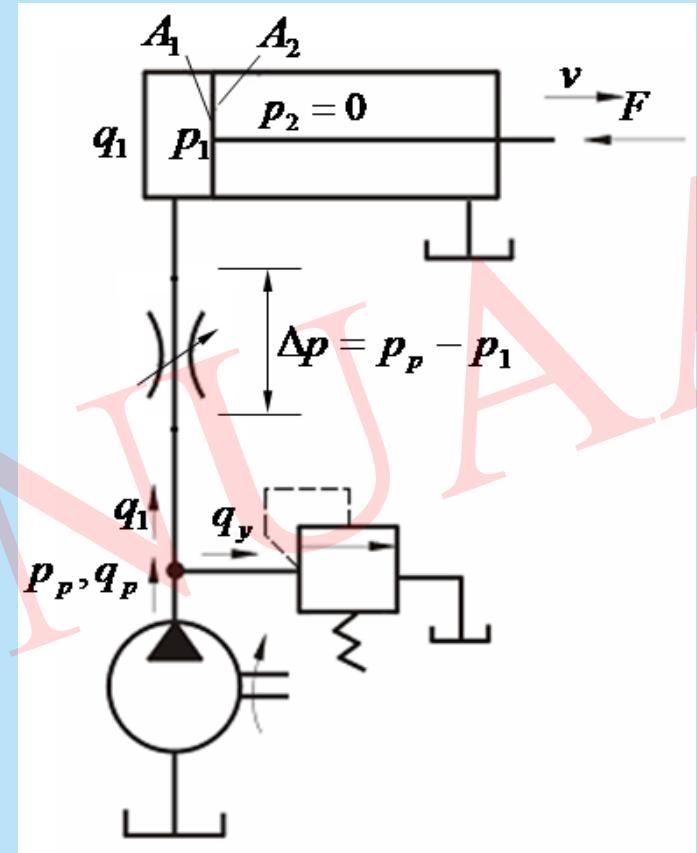
• 回路的功率损失: $\Delta P = P_p - P_1 = p_p q_p - p_1 q_1$
 $= p_p (q_1 + q_y) - (p_p - \Delta p) q_1$
 $= p_p q_y + \Delta p q_1$

溢流功率损失: $\Delta P_y = p_p q_y$

节流功率损失: $\Delta P_T = \Delta p q_1$

• 回路效率:

$$\eta_c = \frac{P_1}{P_p} = \frac{p_1 q_1}{p_p q_p}$$



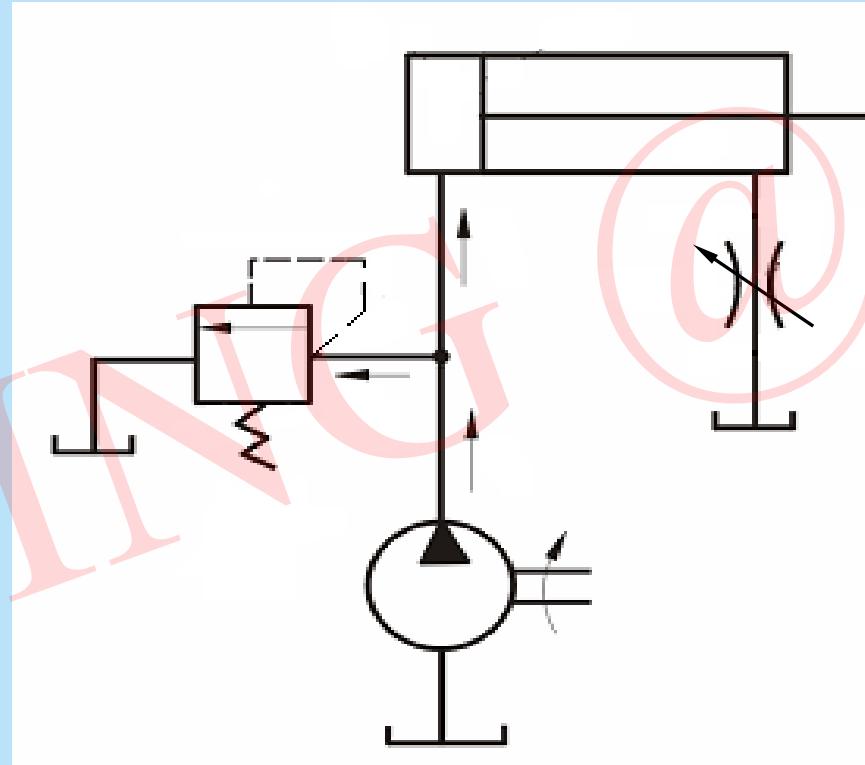
6.2.1 调速回路

✓ 回路特点

- **回路效率低**——同时存在溢流损失和节流压力损失
- **用于低速轻载的场合**——低速轻载时速度刚性大，调速稳定性好
- 温升高、泄漏增加，**用于速度稳定性和效率要求不高的场合**——溢流造成温度升高，油液粘度下降，致使回路泄漏增加

6.2.1 调速回路

2 回油节流调速



6.2.1 调速回路

(1) 工作原理

• 流量

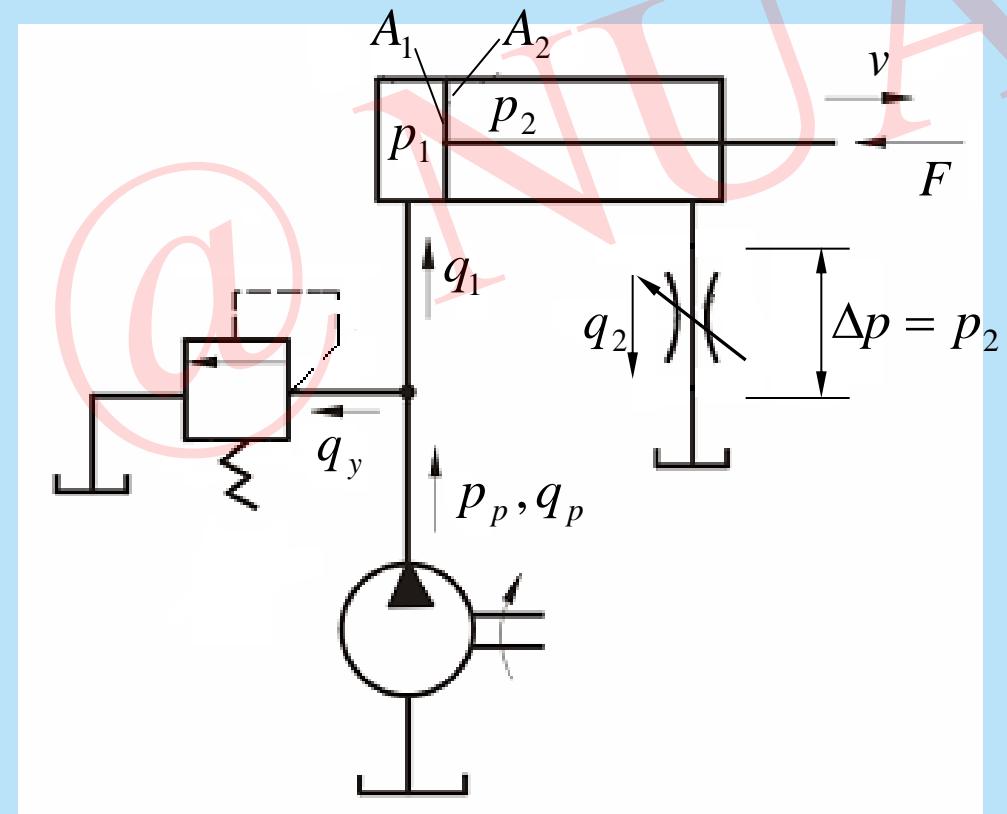
$$q_p \left\{ \begin{array}{l} q_1 \rightarrow \text{液压缸} \\ q_y \text{ 溢流阀} \rightarrow \text{油箱} \end{array} \right.$$

• 压力

p_p 由溢流阀调定

$$p_1 = p_p = \text{Constant}$$

$$p_2 = \Delta p$$



6.2.1 调速回路

(2) 性能特点

✓速度——负载特性

$$v = \frac{q_2}{A_2} = \frac{KA_T \left(p_p \frac{A_1}{A_2} - \frac{F}{A_2} \right)^m}{A_2}$$

✓特性分析

$$k_v = -\frac{\partial F}{\partial v} = \frac{A_2^{m+1}}{mkA_T(p_p A_1 - F)^{m-1}} = \frac{A_1}{mv} \left(p_p - \frac{F}{A_1} \right)$$

回油节流调速

$$k_v = -\frac{\partial F}{\partial v} = \frac{A_1^{m+1}}{mKA_T(p_p A_1 - F)^{m-1}} = \frac{A_1}{mv} \left(p_p - \frac{F}{A_1} \right)$$

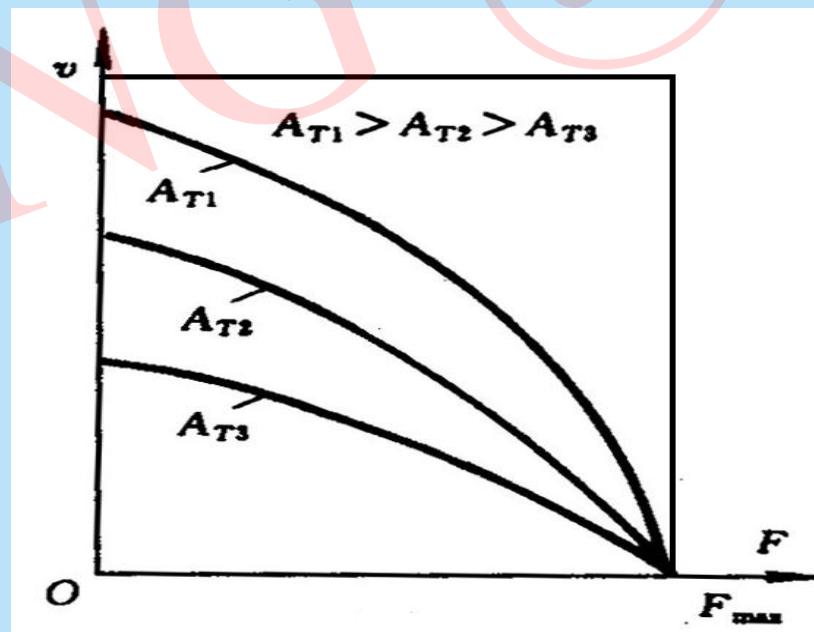
进油节流调速

6.2.1 调速回路

(2) 性能特点

$$v = \frac{q_2}{A_2} = \frac{KA_T \left(p_p \frac{A_1}{A_2} - \frac{F}{A_2} \right)^m}{A_2}$$

✓ 最大承载能力 $\Rightarrow F_{\max} = p_p A_1$



6.2.1 调速回路



✓ 功率与效率

- 回路的输入功率:

$$P_p = p_p q_p = \text{Constant}$$

- 回路的输出功率:

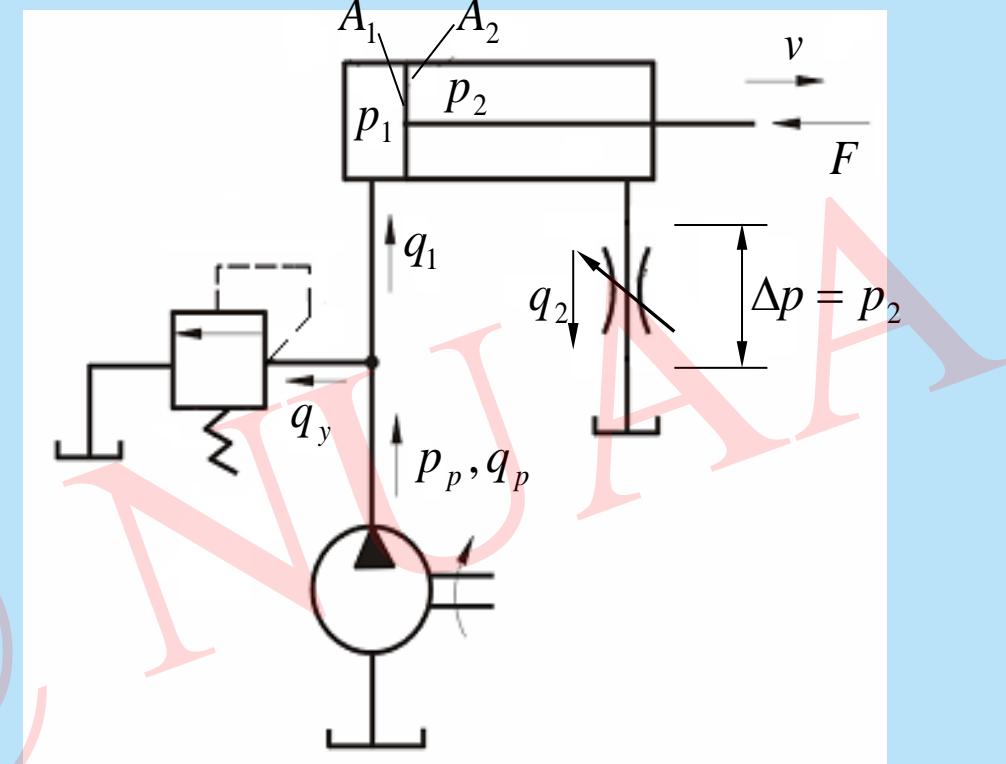
$$P_1 = Fv = (p_p A_1 - p_2 A_2)v = p_p q_1 - p_2 q_2$$

- 回路的功率损失: $\Delta P = P_p - P_1 = p_p q_p - p_p q_1 + p_2 q_2$

$$\begin{aligned} &= p_p (q_p - q_1) + p_2 q_2 = \boxed{p_p q_y} + \boxed{\Delta p q_2} \\ &\quad \text{溢流功率损失} \quad \text{节流功率损失} \end{aligned}$$

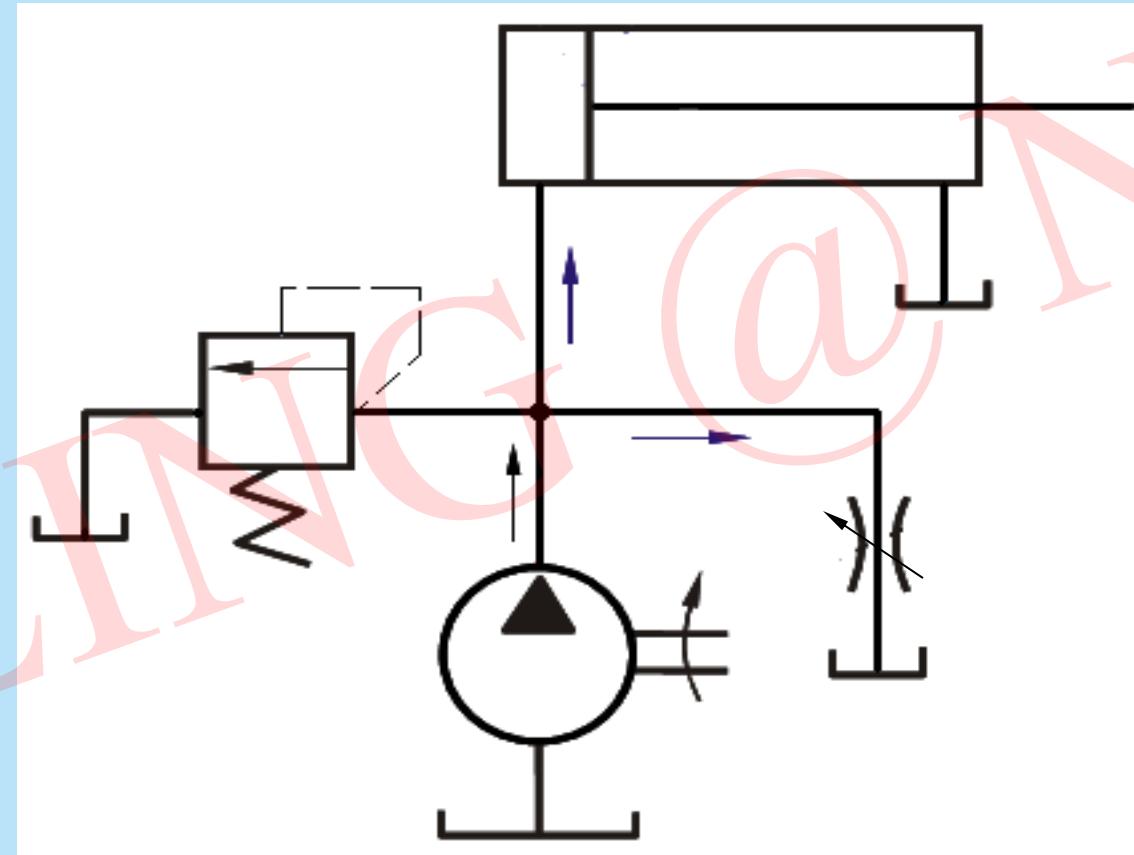
- 回路效率:

$$\eta_c = \frac{P_p - \Delta P}{P_p} = \frac{p_p q_1 - p_2 q_2}{p_p q_p}$$



6.2.1 调速回路

3 旁油节流调速



6.2.1 调速回路

(1) 工作原理

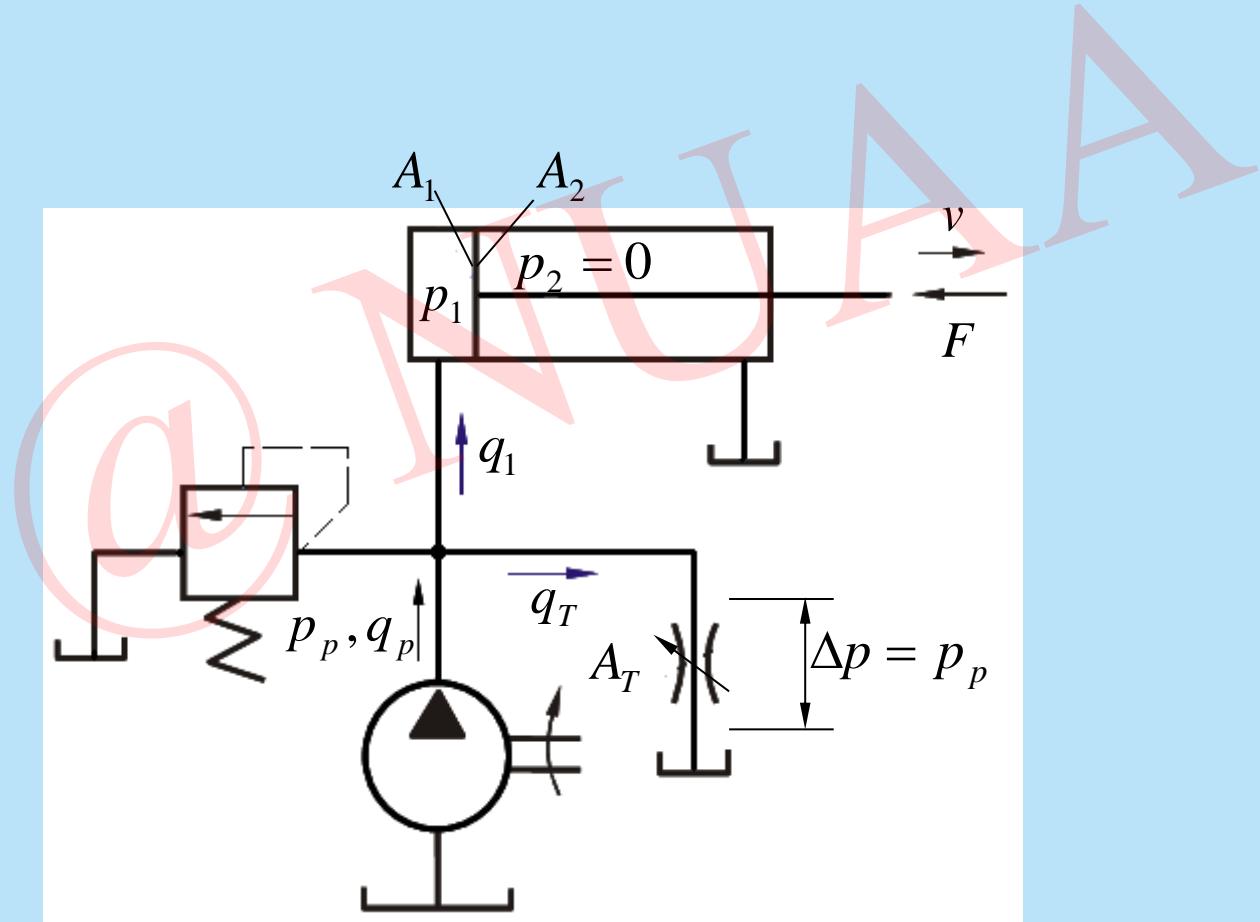
• 流量 (溢流阀作安全阀使用)

$$q_p \left\{ \begin{array}{l} q_1 \rightarrow \text{液压缸} \\ q_T \text{ 节流阀} \rightarrow \text{油箱} \end{array} \right.$$

• 压力

$$p_p = p_1 = \frac{F}{A_1}$$

$$p_2 = 0 \quad \Delta p = p_p$$



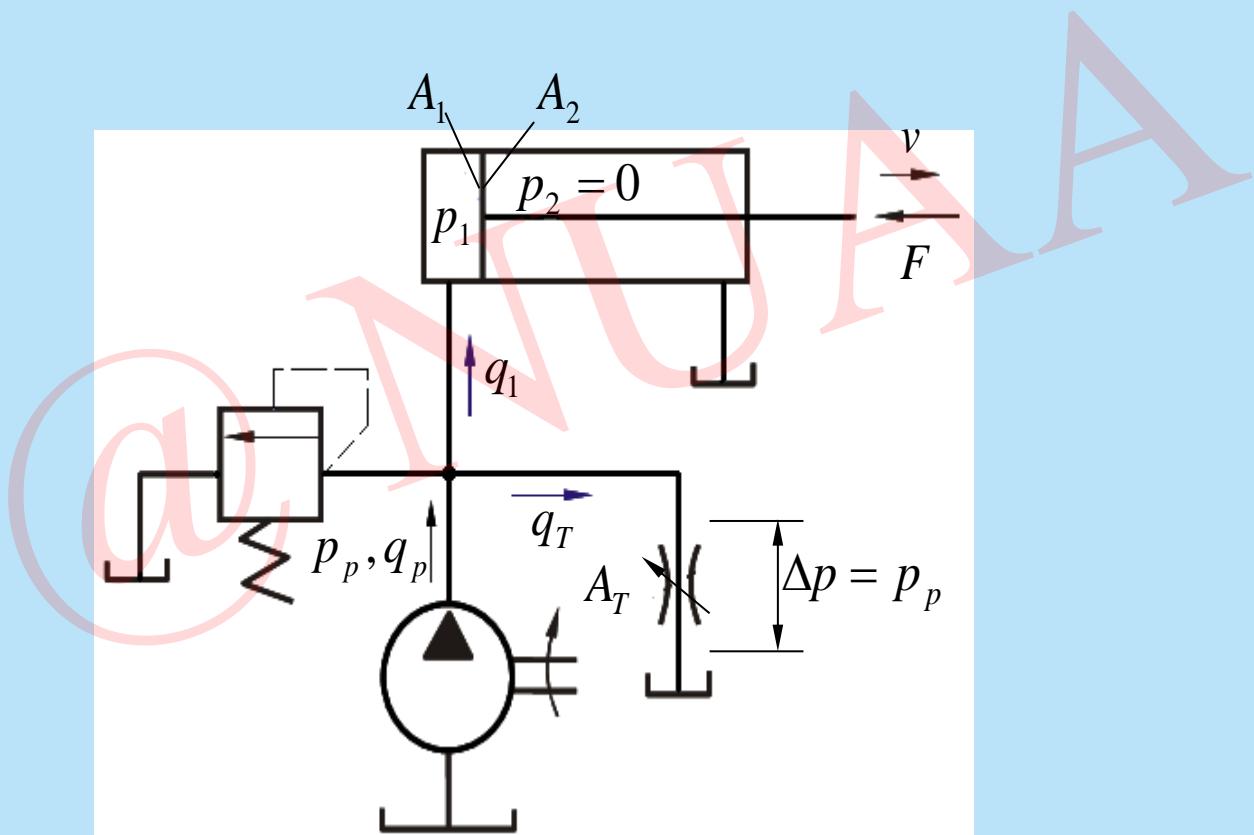
6.2.1 调速回路

(2) 性能特点

✓速度——负载特性

$$\begin{aligned}v &= \frac{q_1}{A_1} \\&= \frac{q_p - q_T}{A_1} \\&= \frac{(q_t - \Delta q_p) - KA_T \Delta p^m}{A_1}\end{aligned}$$

$$= \frac{q_t - k_l \left(\frac{F}{A_1} \right) - KA_T \left(\frac{F}{A_1} \right)^m}{A_1}$$



6.2.1 调速回路



✓ 特性分析

$$v = \frac{q_t}{A_l} = \frac{q_1 - k_l \left(\frac{F}{A_l} \right) - KA_T \left(\frac{F}{A_l} \right)^m}{A_l}$$

$$k_v = -\frac{\partial F}{\partial v} = \frac{A_l^2}{mKA_T} \left(\frac{F}{A_l} \right)^{1-m}$$

• $A_T = \text{Constant}$

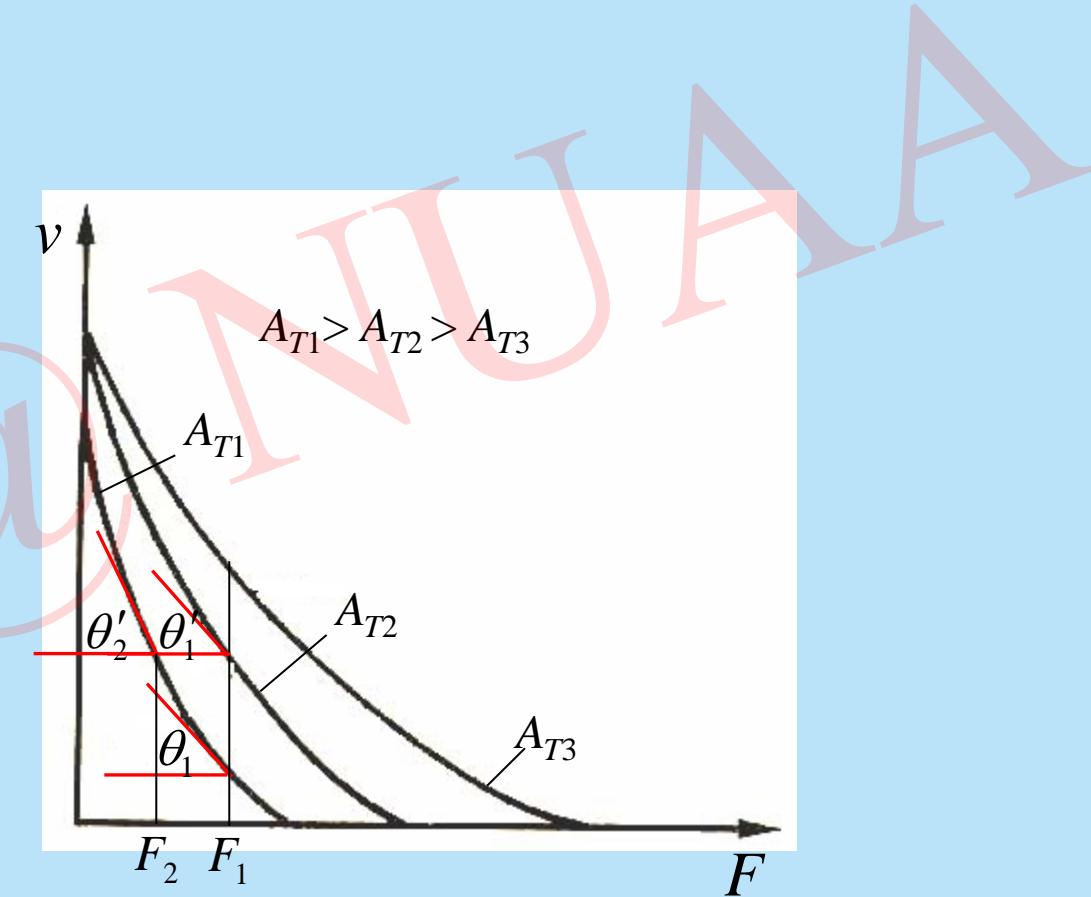
$F_1 > F_2, \ ctg\theta'_1 > ctg\theta'_2$

重载时刚性好

• $F = \text{Constant}$

$A_{T_1} > A_{T_2}, ctg\theta_1 < ctg\theta'_1$

高速时刚性好

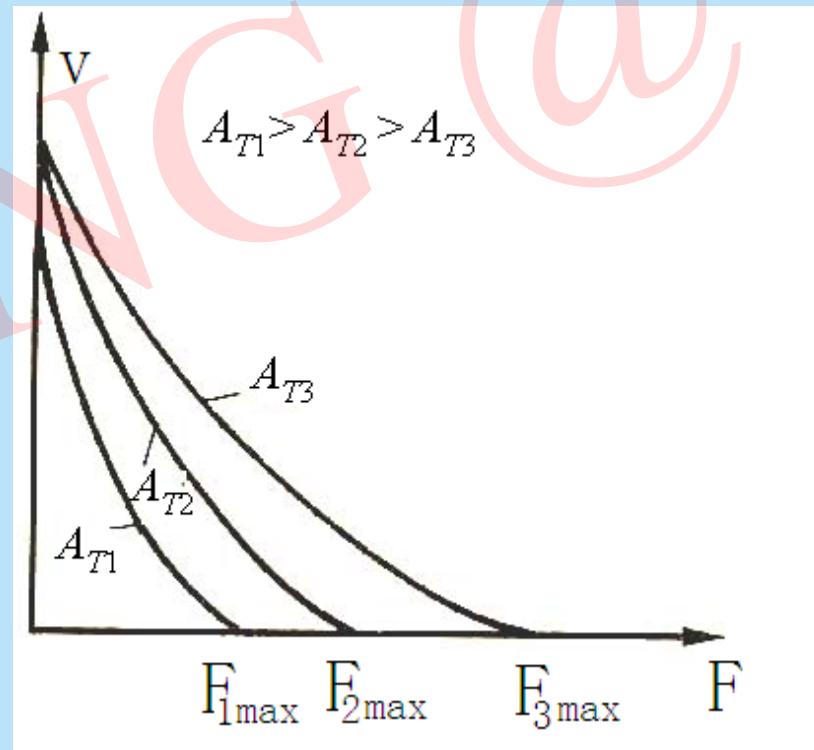


6.2.1 调速回路

➤最大承载能力

$$v = \frac{q_1}{A_1} = \frac{q_t - k_l \left(\frac{F}{A_1} \right) - KA_T \left(\frac{F}{A_1} \right)^m}{A_1}$$

$A_T \uparrow, v \downarrow, F_{max} \downarrow$, 即低速承载能力小。



6.2.1 调速回路



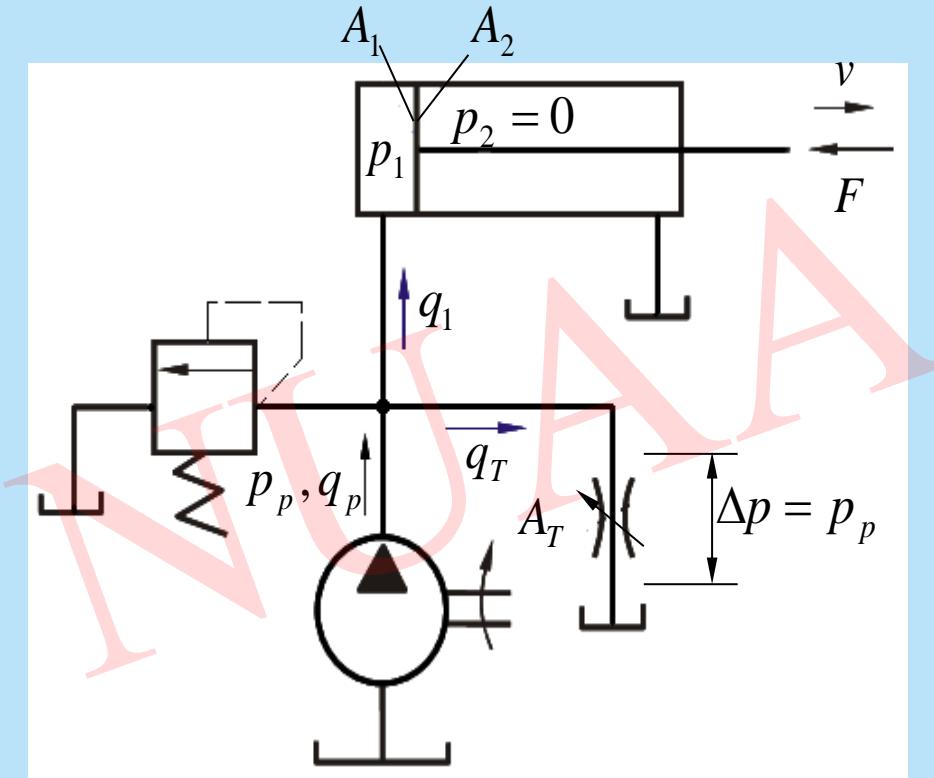
► 功率与效率

$$\text{泵的输出功率: } P_p = \frac{F}{A_1} q_p = p_1 q_p$$

缸的输出功率: $P_1 = Fv = p_1 A_1 v = p_1 q_1$

$$\text{功率损失: } \Delta P = P_p - P_1 = p_1 q_p - p_1 q_1 = p_1 \Delta q$$

$$\eta = \frac{P_1}{P_p} = \frac{p_1 q_1}{p_1 q_p} = \frac{q_1}{q_p}$$



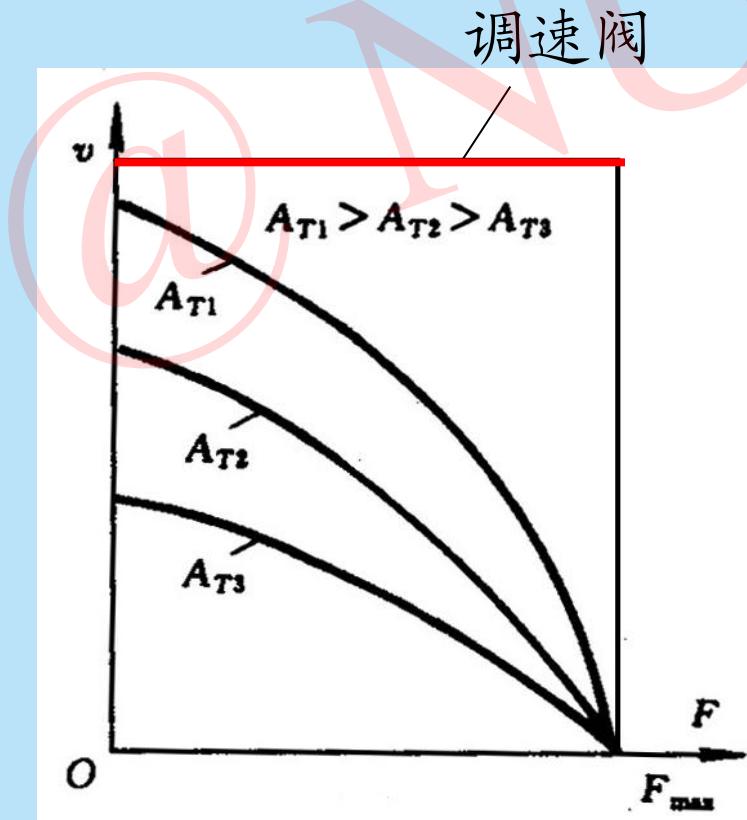
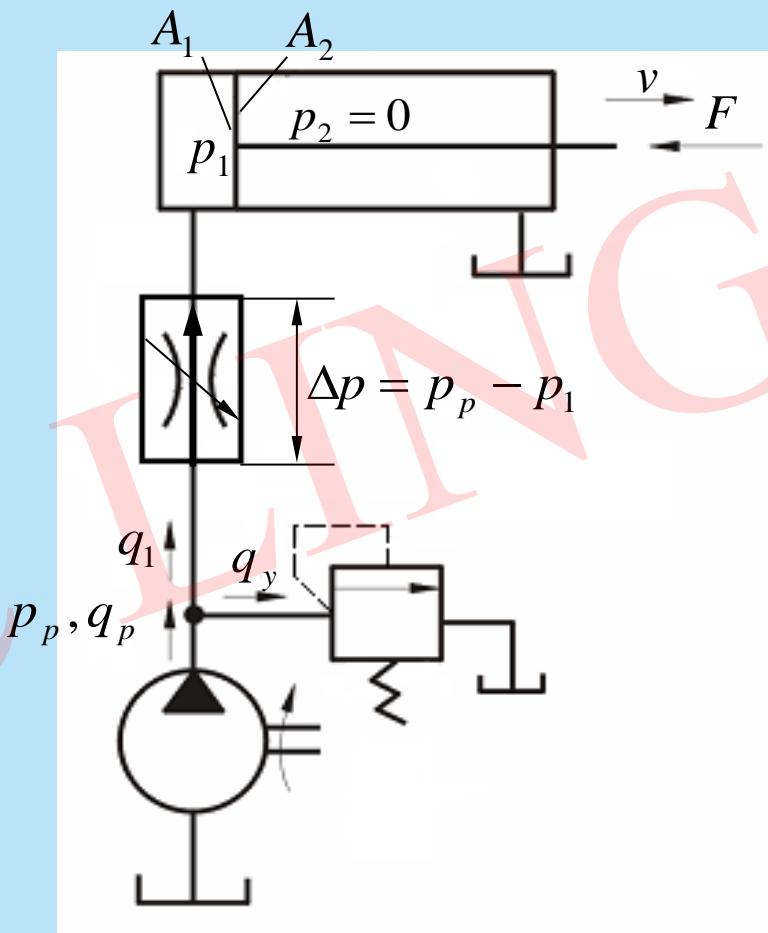
节流损失

►应用场合:高速、重载, 对速度平稳性要求不高的较大功率系统。

6.2.1 调速回路

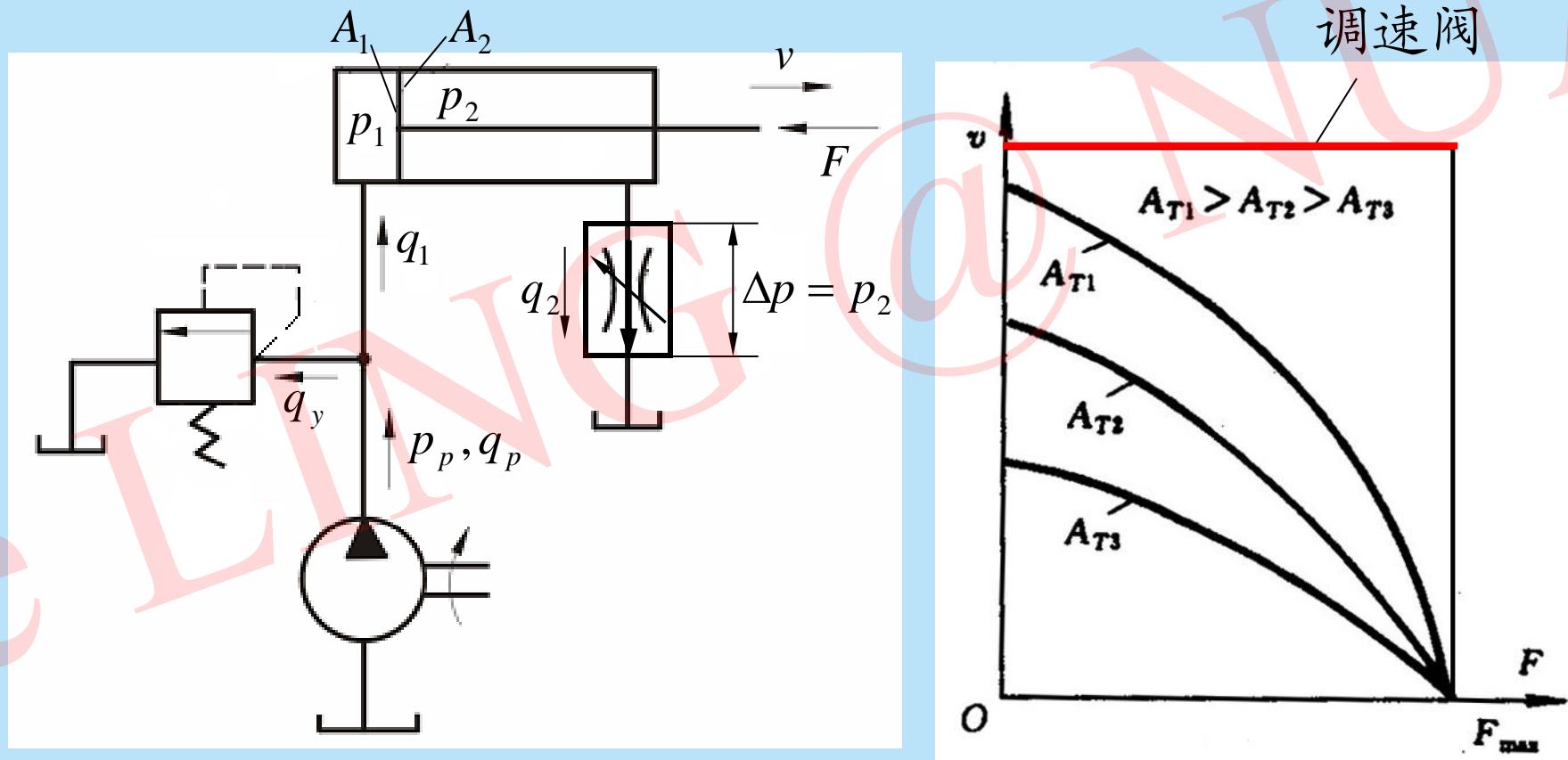
4 采用调速阀的节流调速回路

(1) 采用调速阀的进油节流调速回路



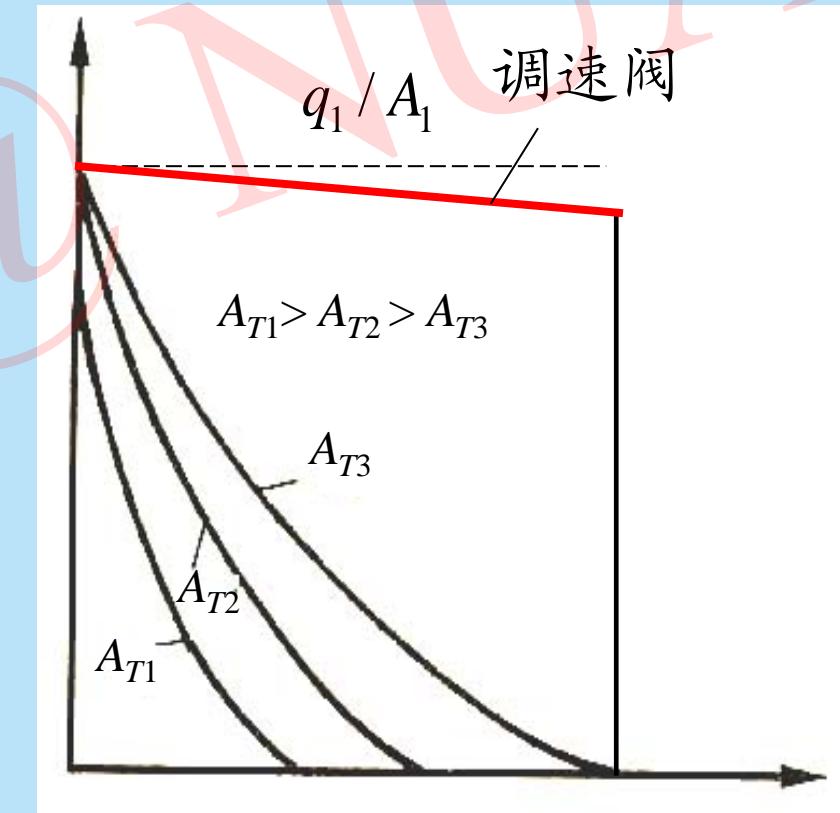
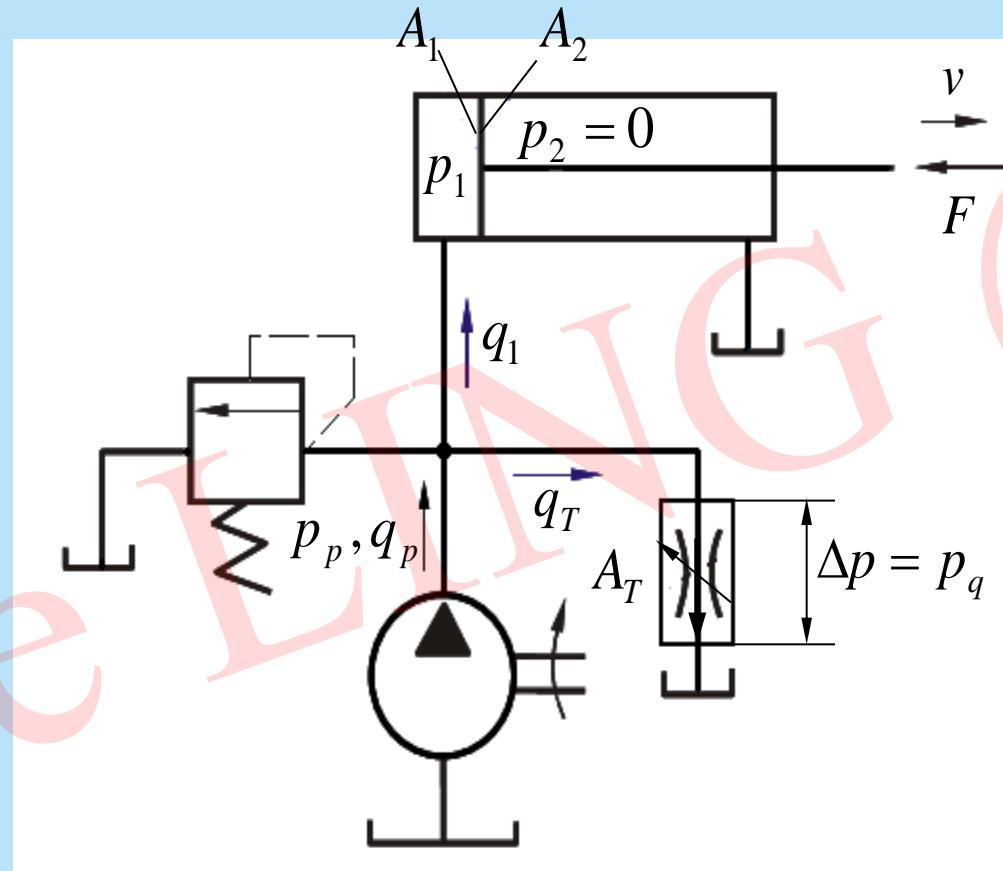
6.2.1 调速回路

(2) 采用调速阀的回油节流调速回路



6.2.1 调速回路

(3) 采用调速阀的旁路节流调速回路



6.2.1 调速回路

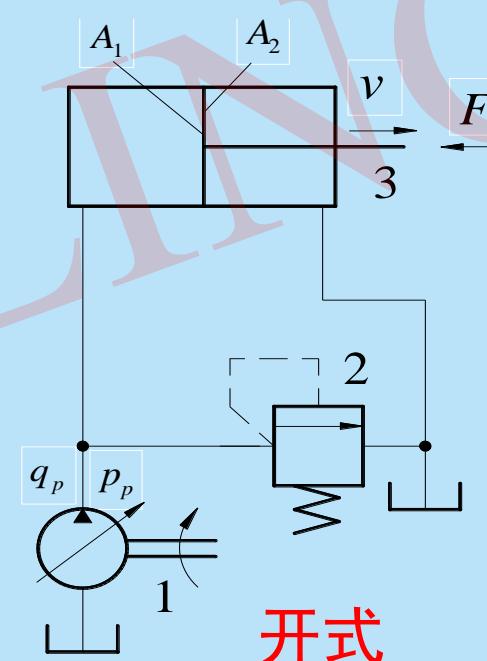
6.2.1.3 容积调速回路

➤ 工作原理

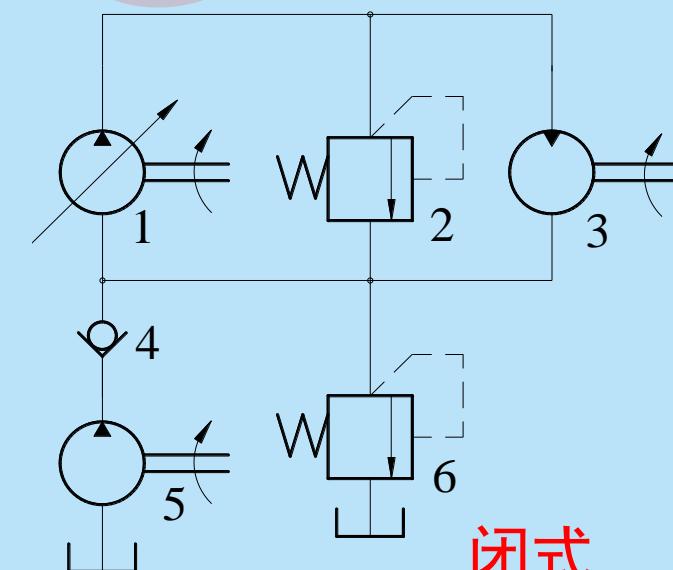
改变液压泵或液压马达的排量来实现调速。

➤ 分类

按油路循环方式 {
开式
闭式



开式



闭式

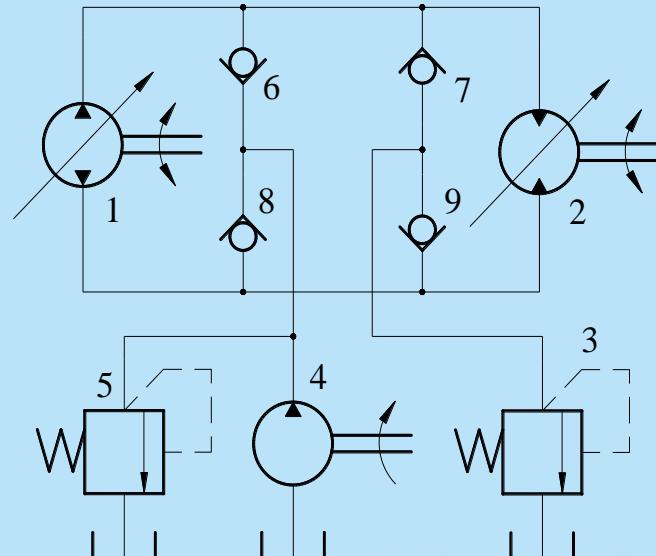
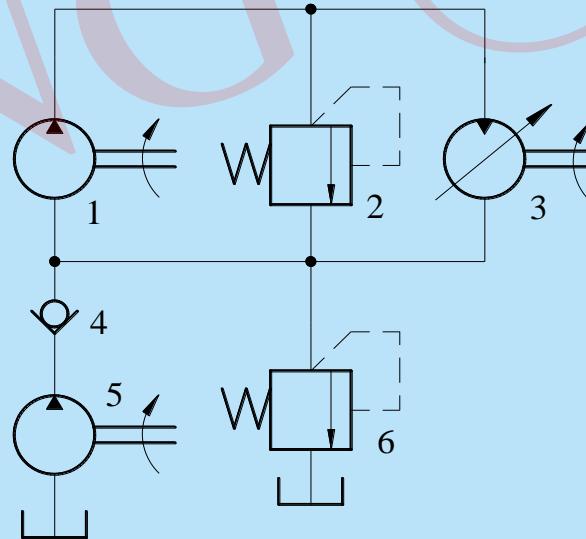
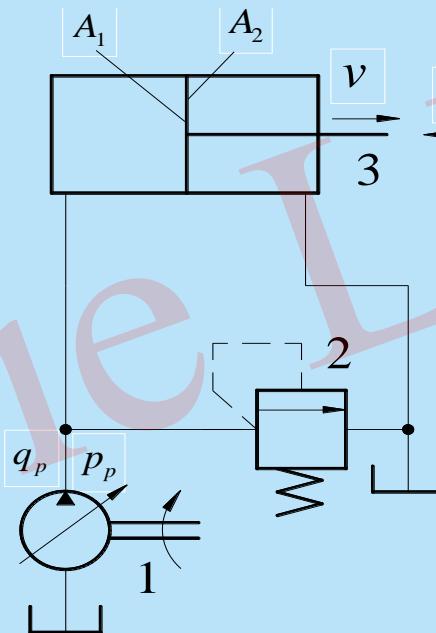
6.2.1 调速回路

6.2.1.3 容积调速回路

► 分类

按油路组成元件

- 变量泵和定量执行元件组成
- 定量泵和变量马达组成的
- 变量泵和变量马达组成的



6.2.1 调速回路

1 变量泵与定量执行元件组成的容积调速回路

(1) 变量泵与液压缸

✓速度特性

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

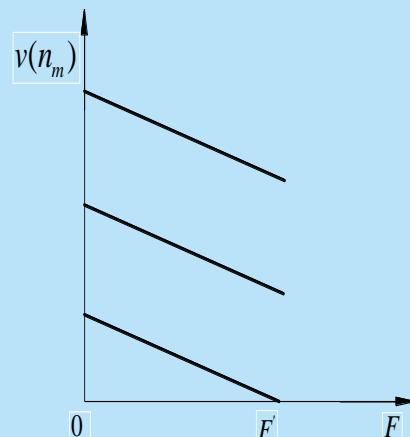
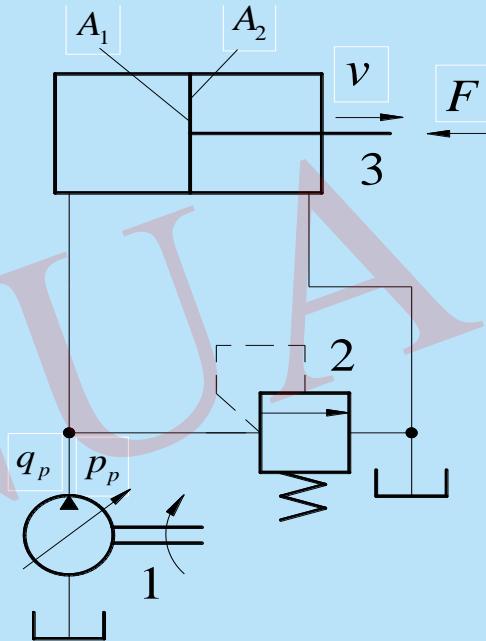
✓工作特点

- 特性较软
- 低速承载能力较差

✓推力和功率特性

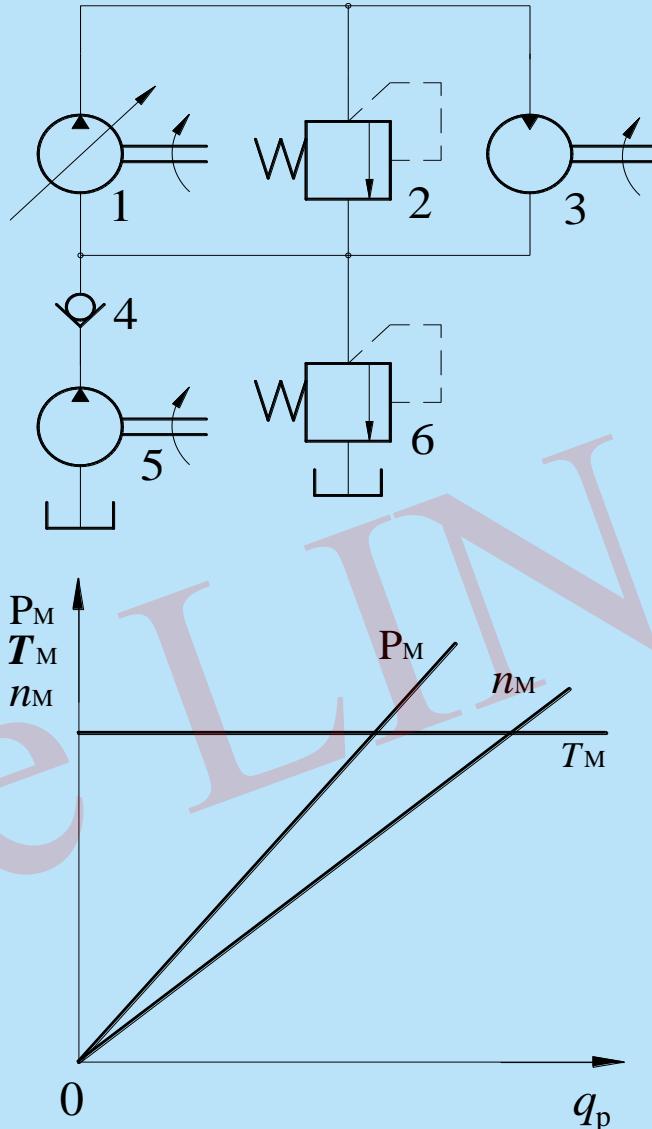
• 液压缸输出的推力: $F = p_p A_1$

• 负载一定时, 在整个调速范围内, 液压缸产生的推力不变, 即**恒推力调速**。



6.2.1 调速回路

(2) 变量泵与定量液压马达



✓速度特性

$$n_M = \frac{q_p}{V_M} = \frac{q_p - k_l \frac{T_M}{V_M}}{V_M}$$

✓工作特点

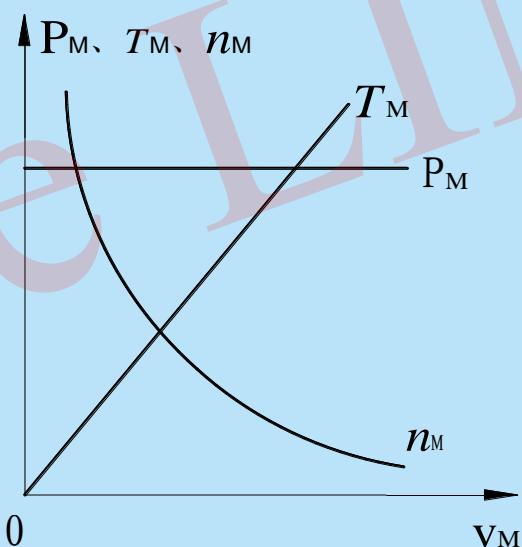
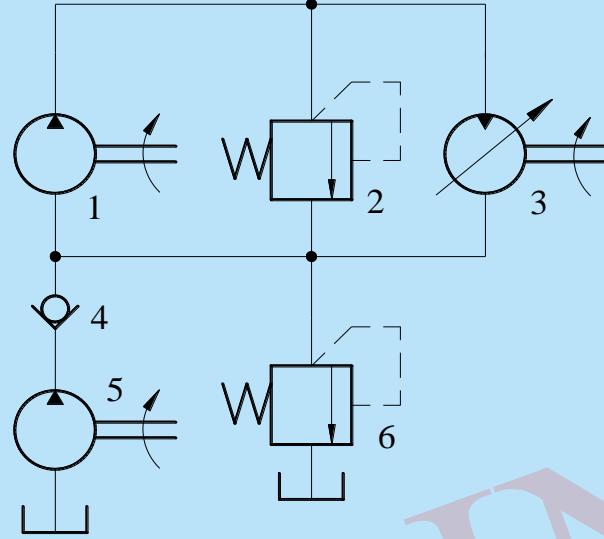
- 特性较软
- 低速承载能力较差

✓转矩和功率特性

- 液压马达输出的转矩: $T_m = \frac{\Delta p_M V_M}{2\pi}$
- 负载一定时, 整个调速范围内, 液压马达输出的转矩不变, 即**恒转矩调速**。

6.2.1 调速回路

2 定量泵与变量马达组成的容积调速回路



✓速度特性

$$n_M = \frac{q_p}{V_M} = \frac{q_t - k_l \frac{T_M}{V_M}}{V_M}$$

✓工作特点

- 特性较软
- 调速范围较窄

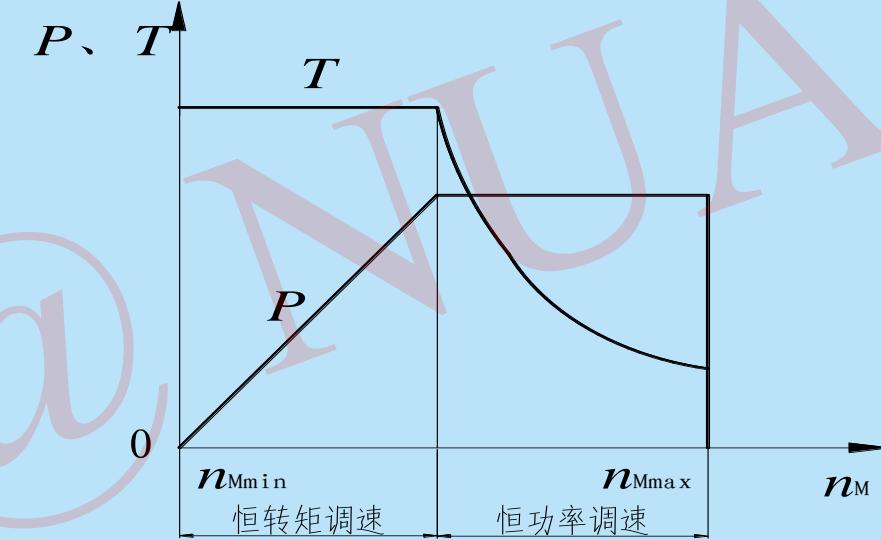
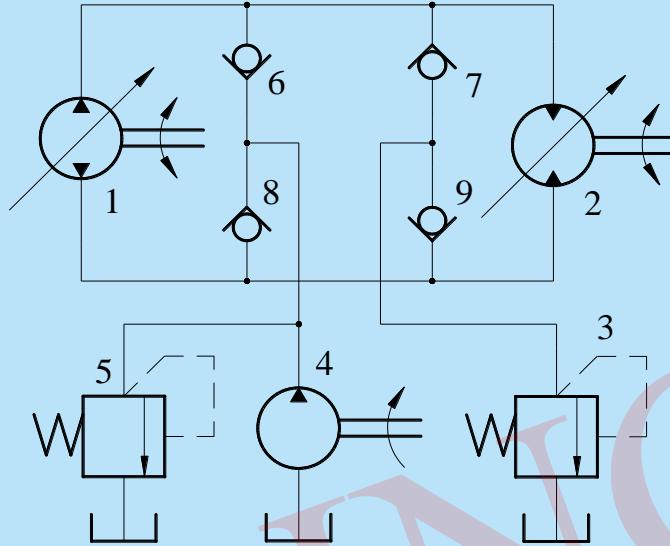
✓转矩和功率特性

$$T_m = \frac{\Delta p_M V_M}{2\pi}$$

- 液压马达输出的功率: $P_M = 2\pi n_M T_M = \Delta p_M q_p$
- 系统负载恒定, 则马达的输出功率恒定, 故这种调速方式也称为**恒功率调速**。

6.2.1 调速回路

3 变量泵与变量马达组成的容积调速回路



✓ 工作特点：该回路是上两种调速回路的组合，由于液压泵和液压马达的排量均可改变，故扩大了调速范围。

低速时要求有较大的转矩：先将变量马达的排量调至最大
(使马达能获得最大输出转矩)，
用变量泵调速(恒转矩)；

高速时要求输出功率恒定：保持泵最大排量，将马达排量由大
调小，用变量马达调速（恒功率）；

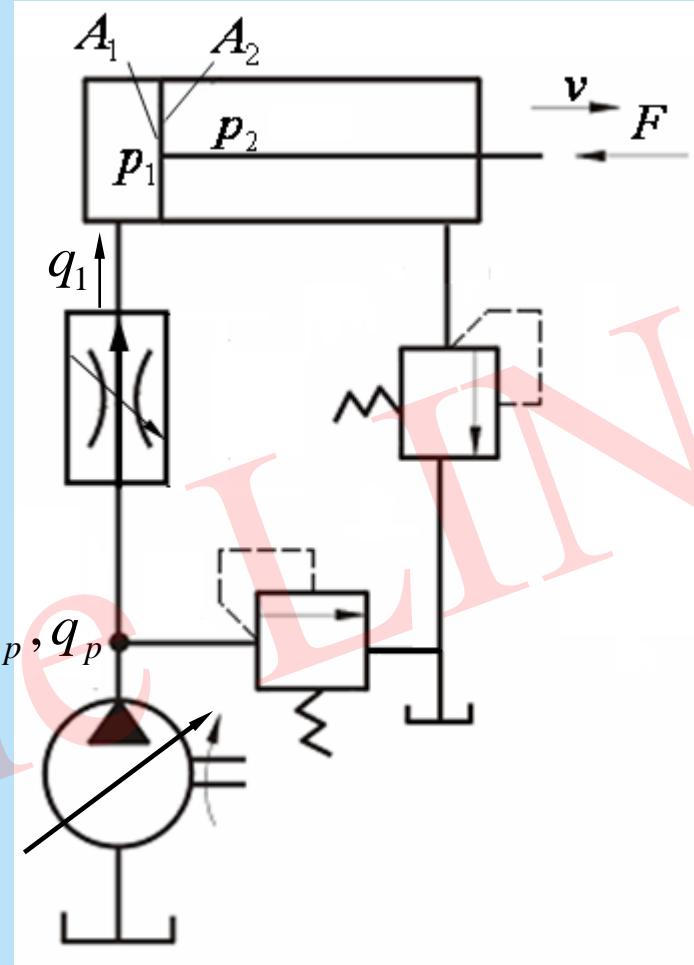
$$T_m = \frac{\Delta p_M V_M}{2\pi}$$

$$P_M = 2\pi n_M T_M \\ = \Delta p_M q_p$$

6.2.1 调速回路

6.2.1.4 容积节流调速回路

1 限压式变量泵与调速阀的容积节流调速回路



✓ 工作原理

• 稳态工作时: $q_1 = q_p$

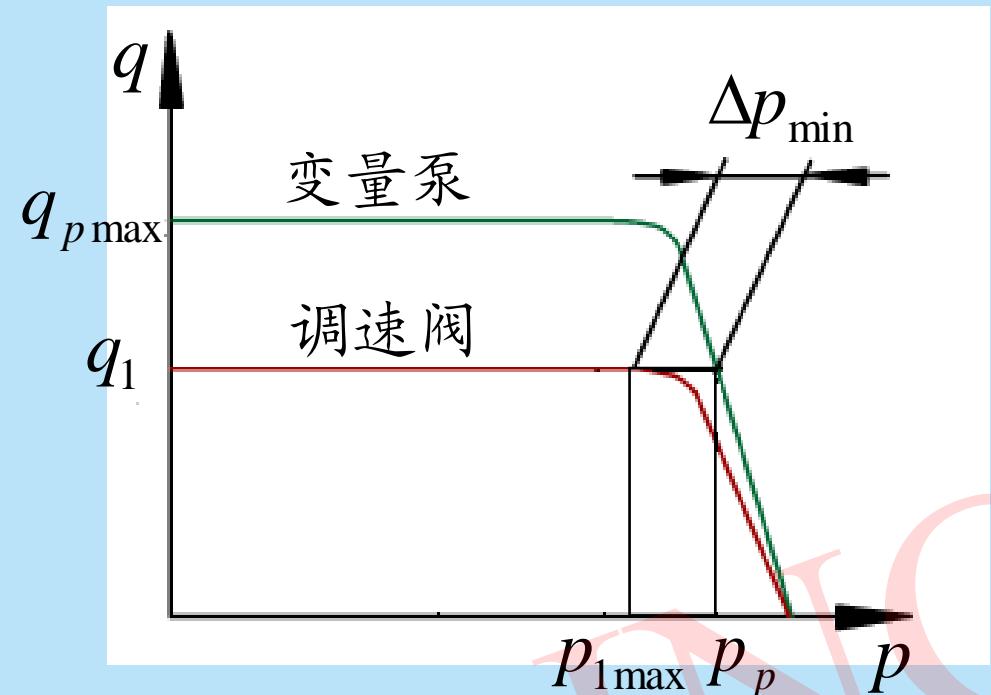
• 关小节流口时:

$$q_1 < q_p \rightarrow p_p \uparrow \rightarrow q_p \downarrow$$

• 开大节流口时:

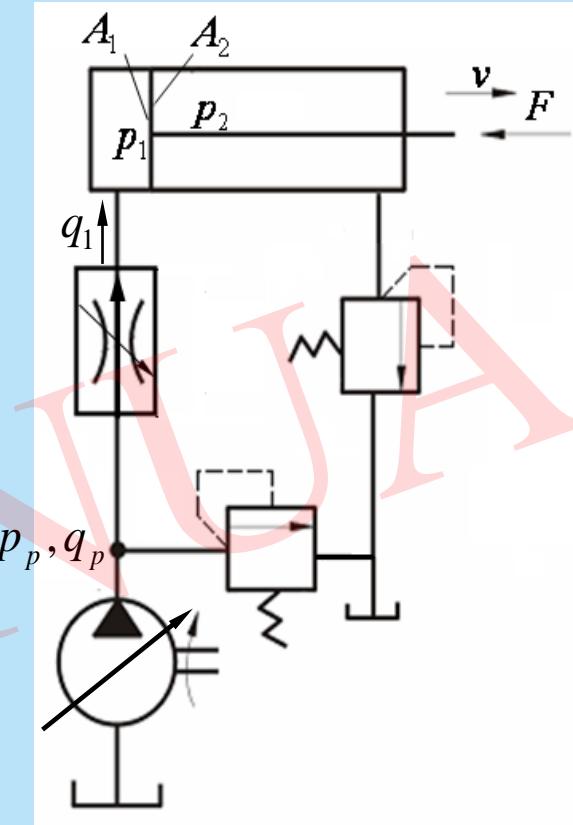
$$q_1 > q_p \rightarrow p_p \downarrow \rightarrow q_p \uparrow$$

6.2.1 调速回路



✓ 液压缸工作腔压力正常范围:

$$p_2 \frac{A_2}{A_1} \leq p_1 \leq (p_p - \Delta p_{\min})$$



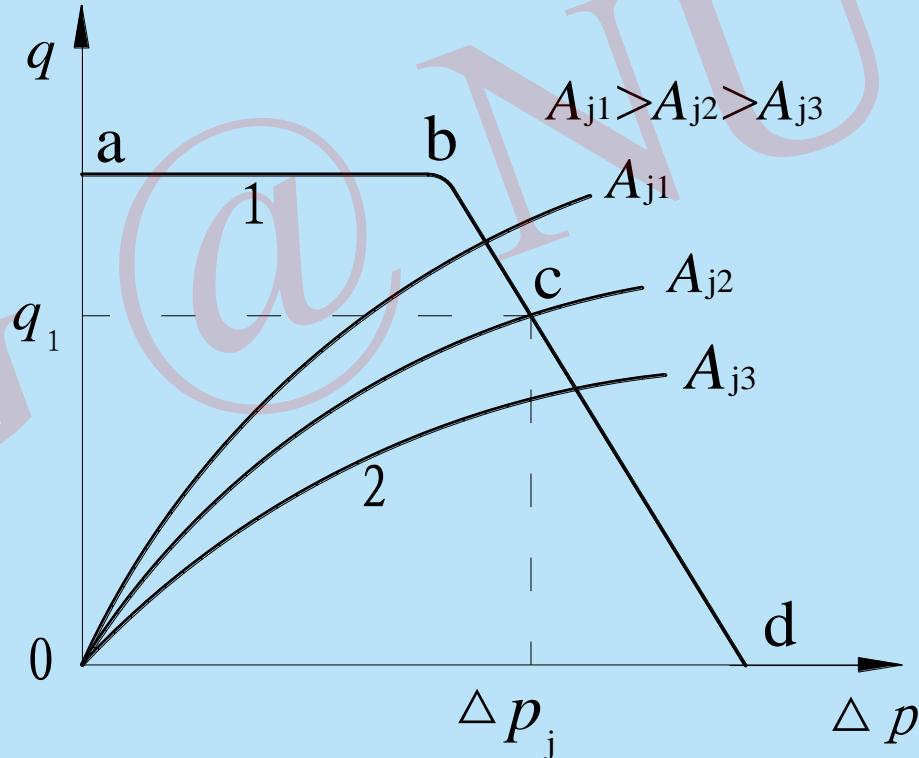
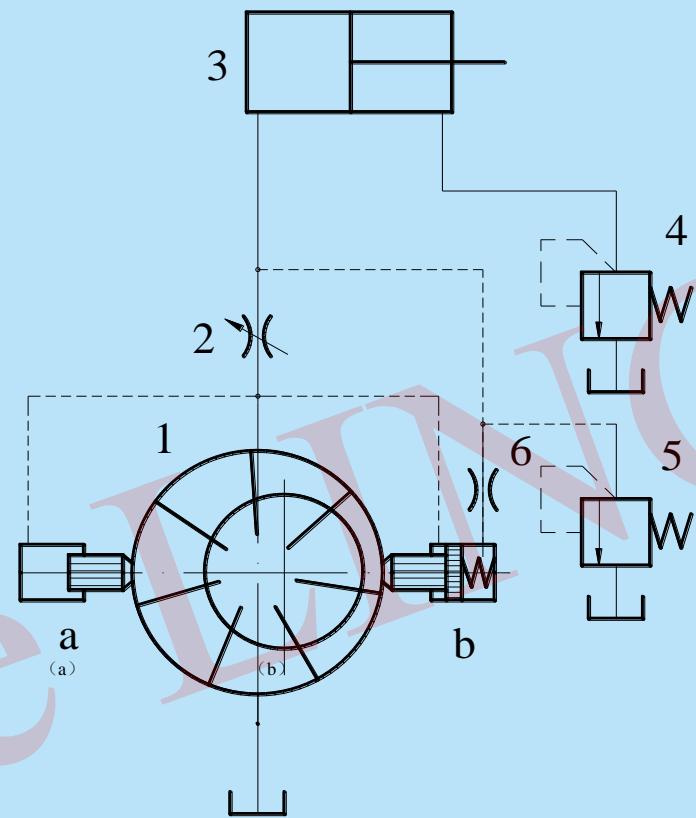
✓ 回路效率

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

✓ 特点: 速度小, 负载小, 效率低 (负载变化大且小负载情况下)

6.2.1 调速回路

2 差压式变量泵与节流阀的容积节流调速回路



6.2.1 调速回路

调速回路的比较

| 回路类 主要性能 | | 节流调速回路 | | | | 容积调速回路 | 容积节流调速回路 | | |
|-------------|-------|---------------|----|------|----|---------------------|----------------|-----|--|
| | | 用节流阀 | | 用调速阀 | | | 限压式 | 差压式 | |
| | | 进回油 | 旁路 | 进回油 | 旁路 | | | | |
| 机械特性 | 速度稳定性 | 较差 | 差 | 好 | @ | | 较好 | 好 | |
| | 承载能力 | 较好 | 较差 | 好 | @ | | 较好 | 好 | |
| 调速范围 | | 较大 | 小 | 较大 | | 大 | 较大 | | |
| 功率特性 | 效率 | 低 | 较高 | 低 | 较高 | 最高 | 较高 | 高 | |
| | 发热 | 大 | 较小 | 大 | 较小 | 最小 | 较小 | 小 | |
| 适用范围 | | 小功率、轻载的中、低压系统 | | | | 大功率、重载 高速的中、高压系统 | 中、小功率的中压 系统 | | |

6.2.2 快速运动回路

➤作用

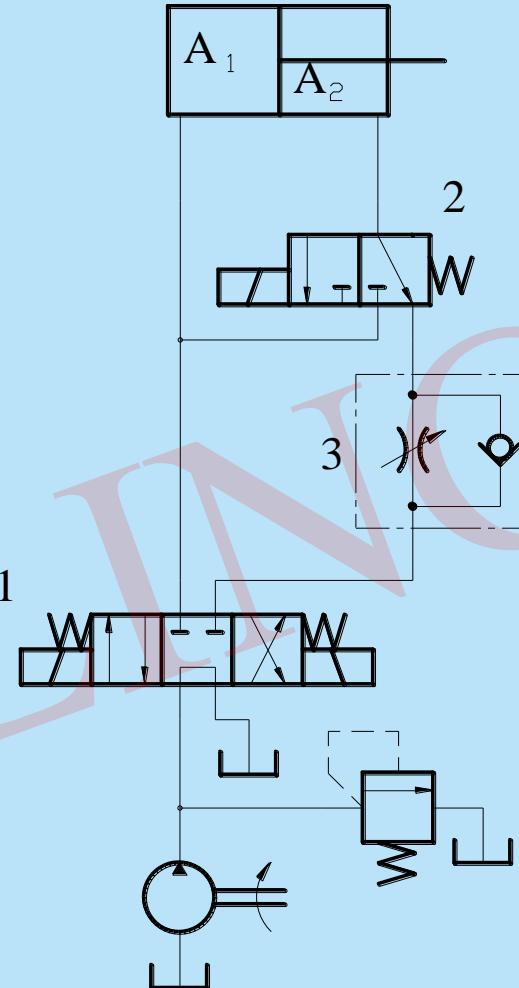
——在泵有限流量的条件下，使执行元件获得尽可能大的工作速度，以提高生产效率或充分利用功率。

➤实现方案

- ✓ 液压缸**差动连接**回路
- ✓ **双泵供油**快速运动回路
- ✓ 用**增速缸**的快速运动回路

6.2.2 快速运动回路

1 液压缸差动连接回路



液压缸差动连接回路

当换向阀1和2在左位工作时，液压缸差动连接，液压泵输出的油液和液压缸有杆腔排出的油液合流，进入液压缸的无杆腔，实现活塞的快速运动。

6.2.2 快速运动回路



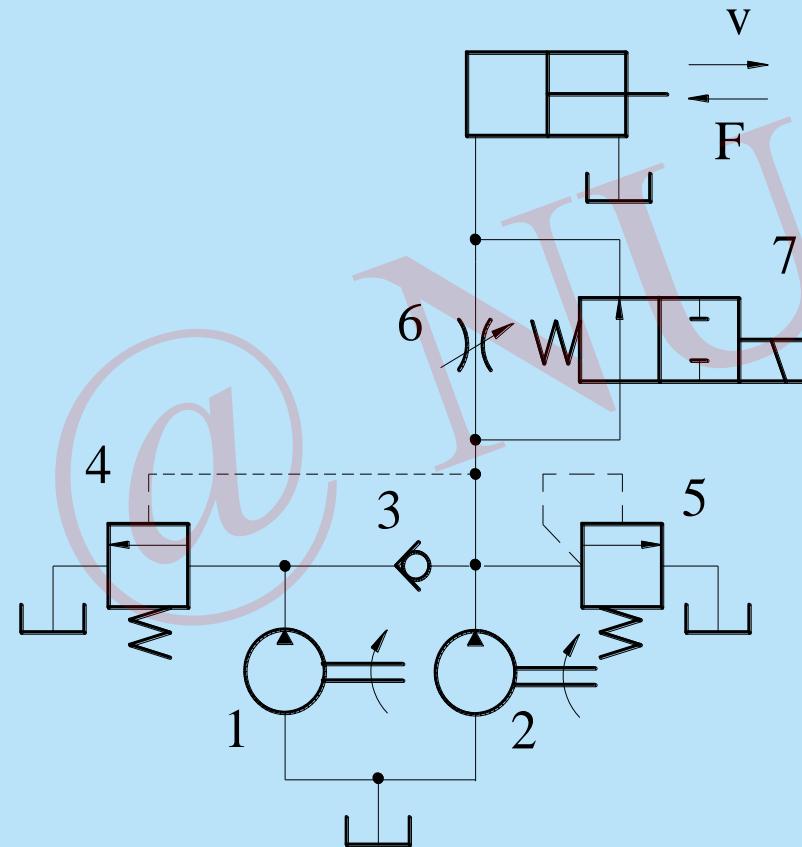
2 双泵供油快速运动回路

✓ 工作过程

功率消耗少，回路效率高。

✓ 应用场合

用于执行元件快进与工进速度相差较大的场合。



双泵供油回路

6.2.2 快速运动回路

3 用增速缸的快速运动回路

✓ 工作过程

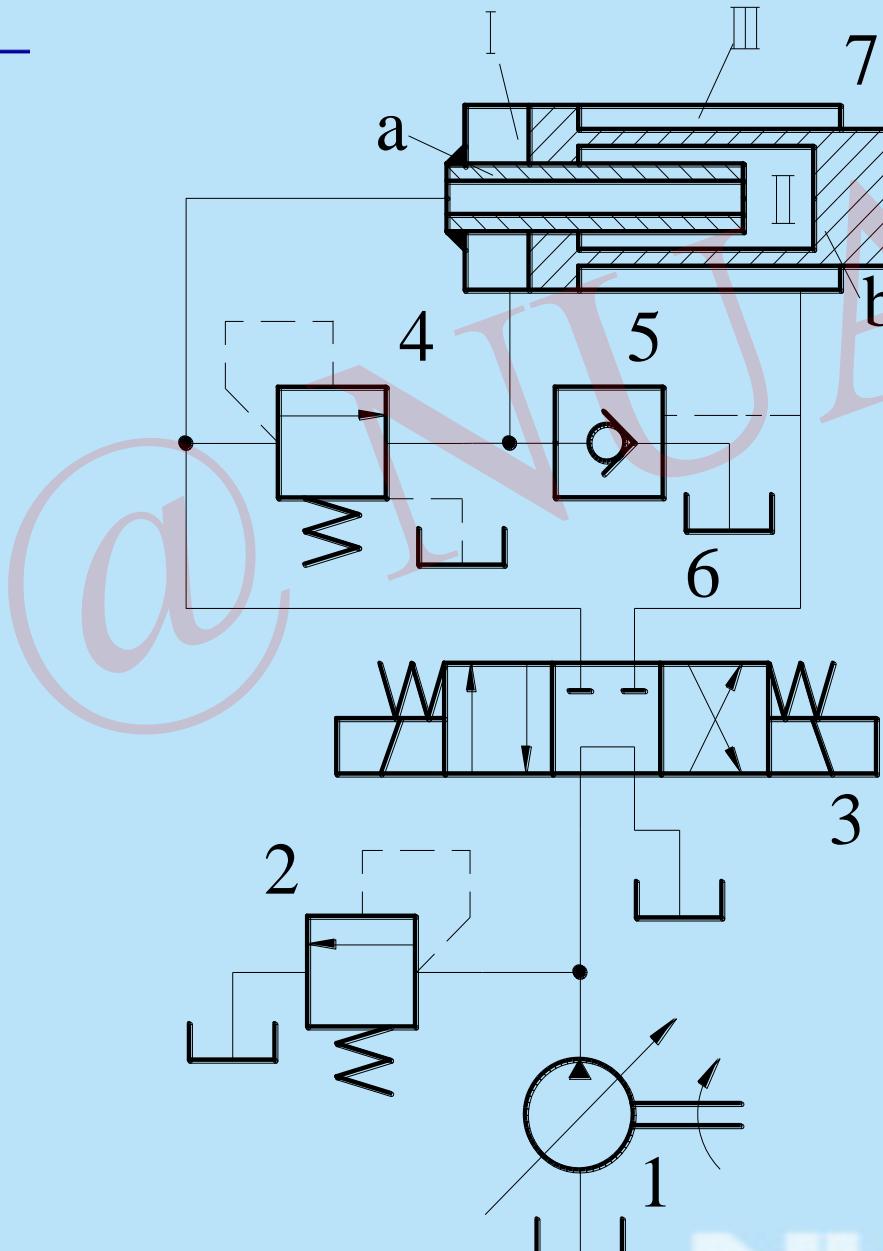
快进、工进、快退

✓ 工作特点

系统在空行程时获得远比工作速度高得多的快速运动，功率利用较合理，但增速缸结构较复杂。

✓ 应用场合

常被用于压力机液压系统中。



6.2.3 速度换接回路

作用：实现执行元件速度的切换；

要求：有较高的换接平稳性和换接精度；

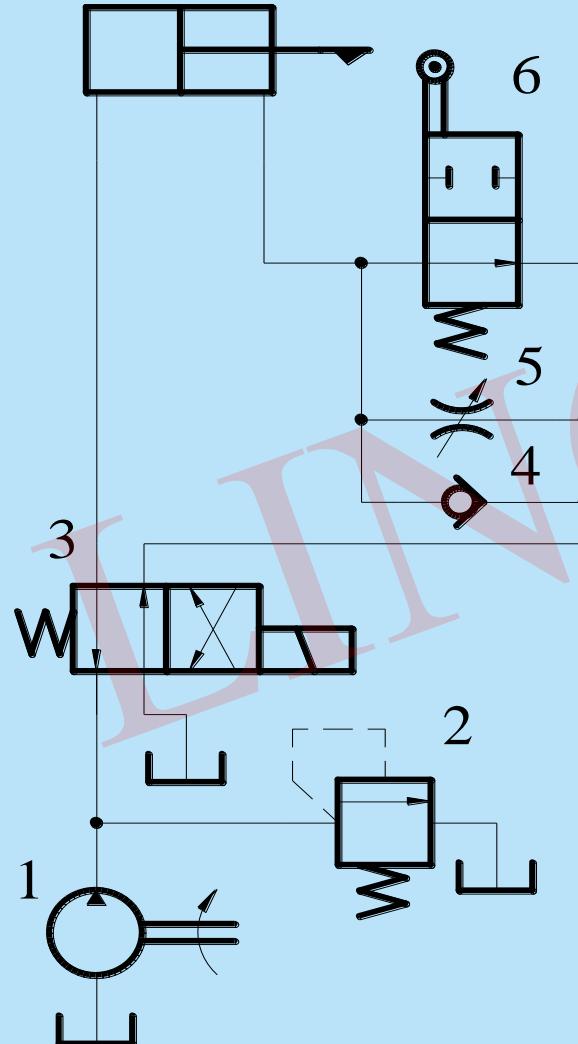
种类：
快速—慢速
慢速—慢速

6.2.3 速度换接回路

1 快、慢速换接回路

✓ 行程阀

动画演示

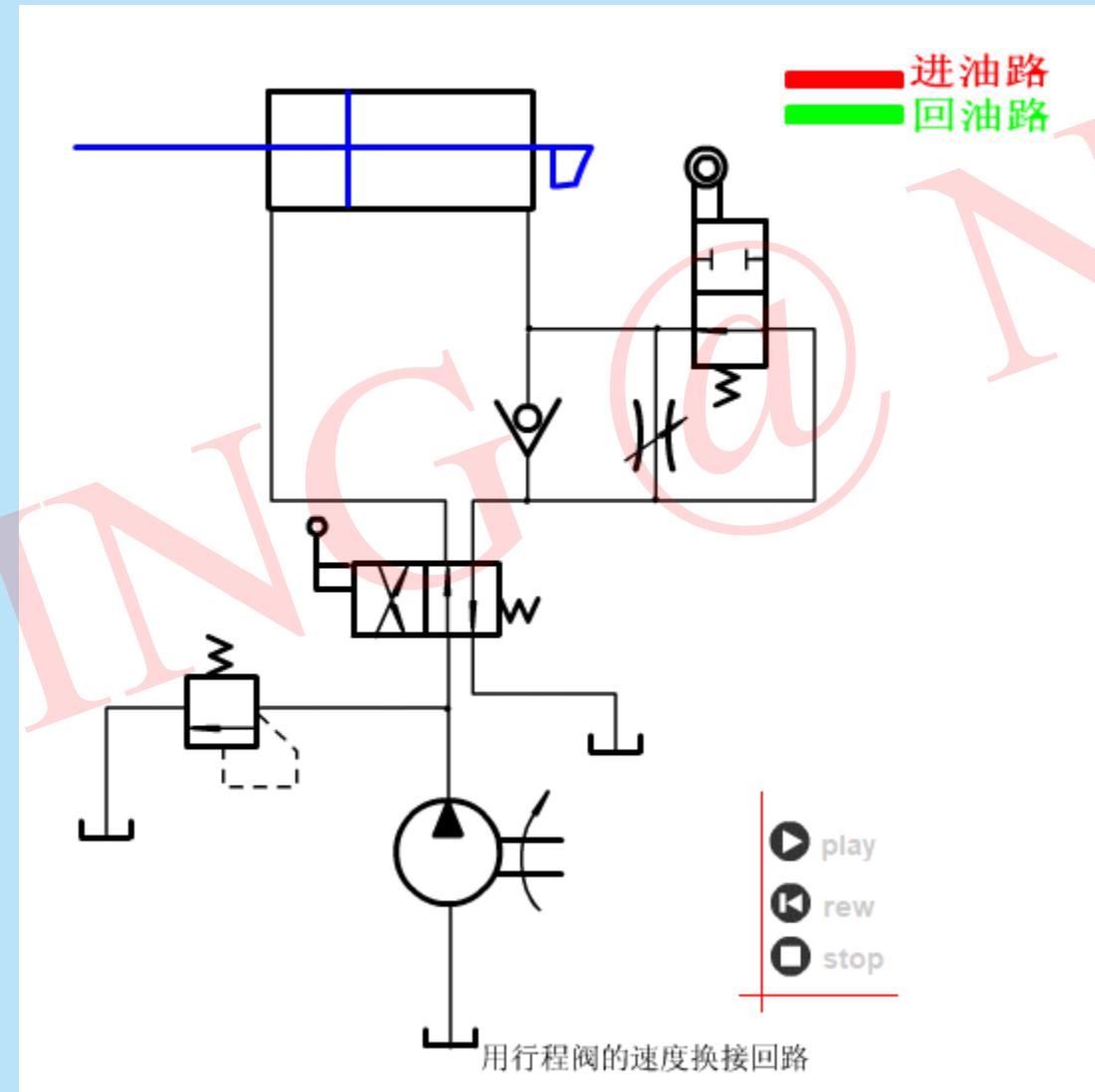


- (1) 在图示状态时，**液压缸活塞快进**；
- (2) 当活塞杆上的挡块压下行程阀6时，行程阀通道切断，液压缸右腔油液须经节流阀5回油箱，**活塞运动转为慢速工进**；
- (3) 当换向阀3右位接入回路时，压力油经单向阀4进入液压缸右腔，活塞快速向左返回。

6.2.3 速度换接回路

1 快、慢速换接回路

✓ 行程阀



6.2.3 速度换接回路

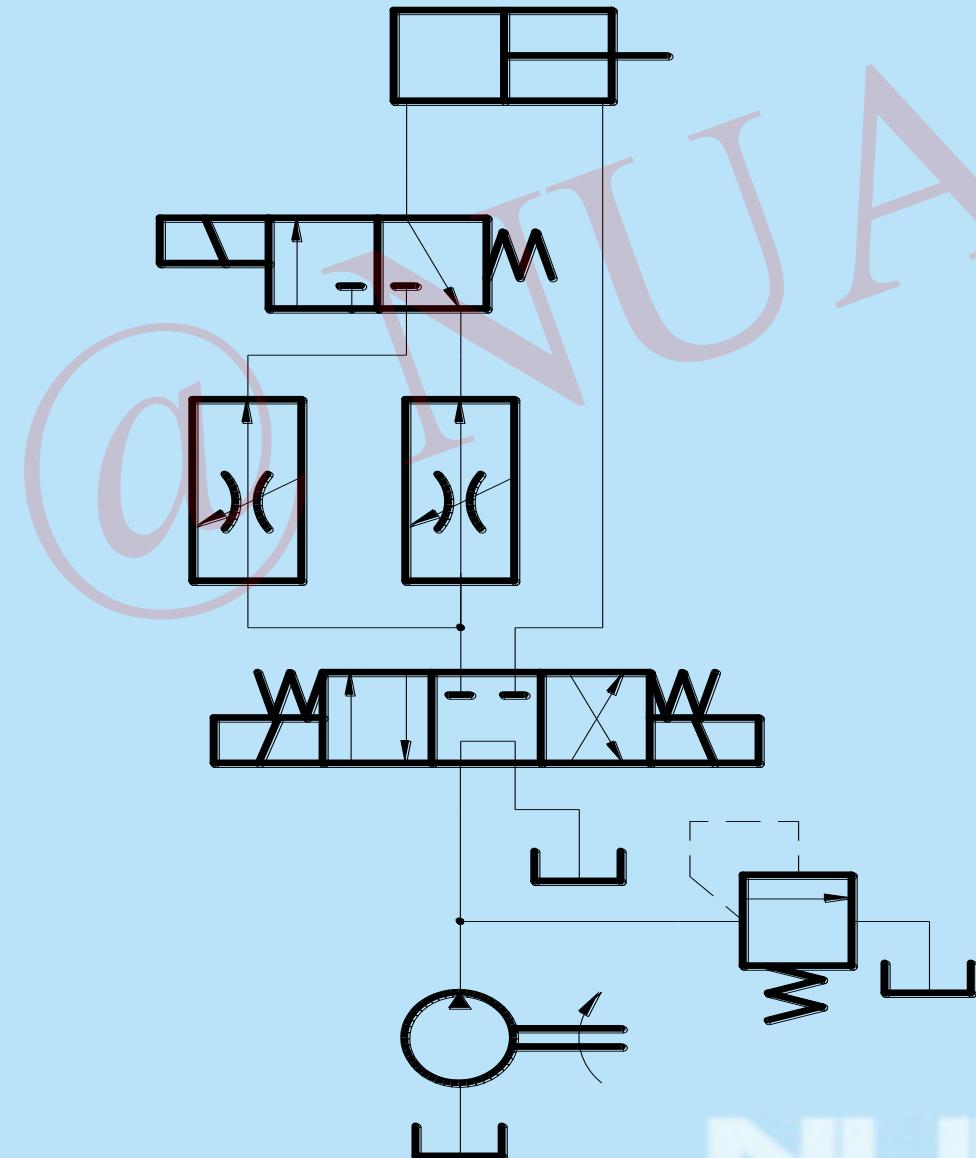
动画演示

2 慢、慢速换接回路

✓ 调速阀并联回路

原理：两个调速阀并联，由换向阀实现换接。两个调速阀可以独立地调节各自的流量，互不影响。

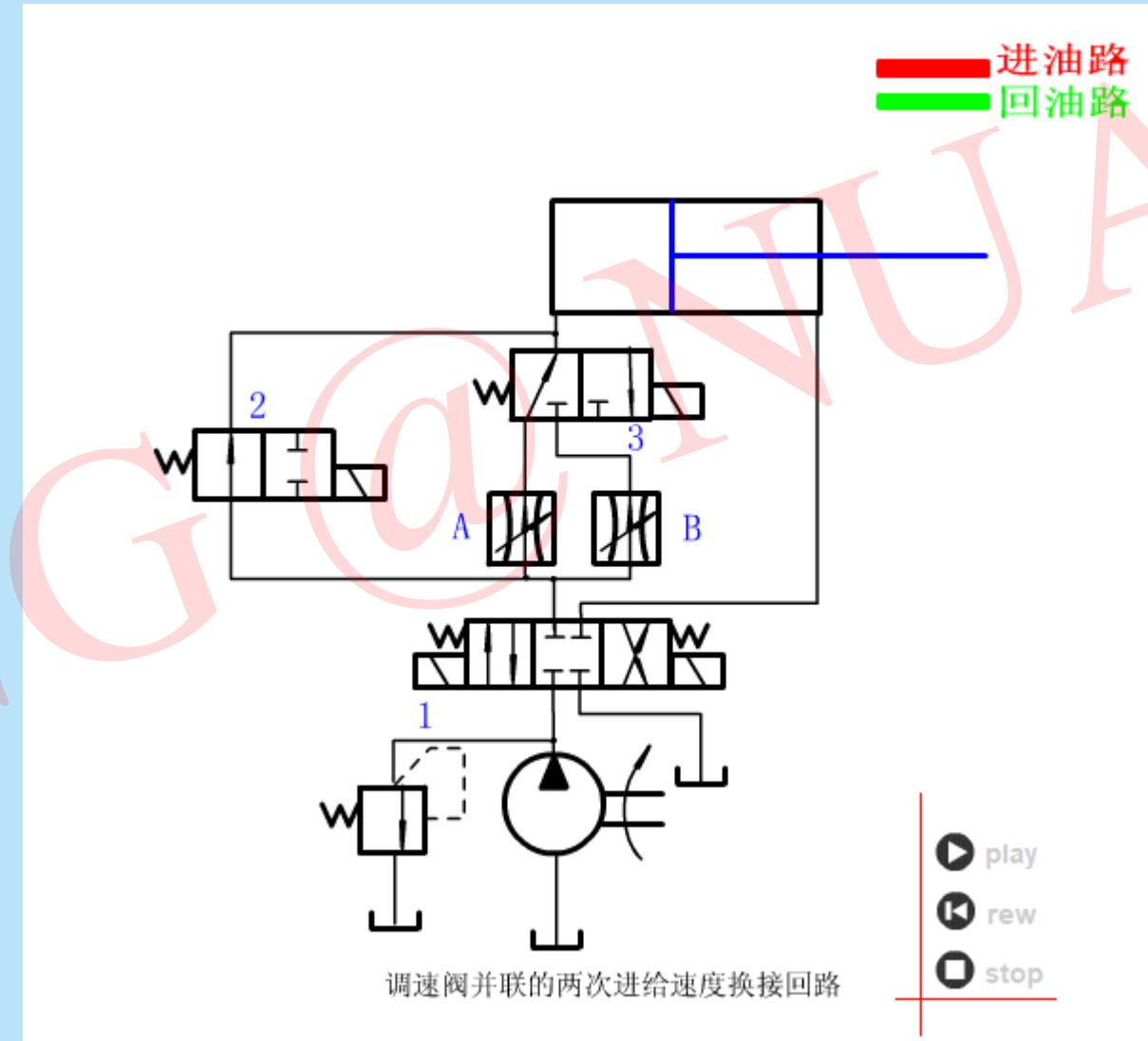
特点：一个调速阀工作时另一个调速阀无油液通过，其定差减压阀处于最大开口位置，因而在速度转换瞬间，通过该调速阀的流量过大会造成进给部件突然前冲。



6.2.3 速度换接回路

2 慢、慢速换接回路

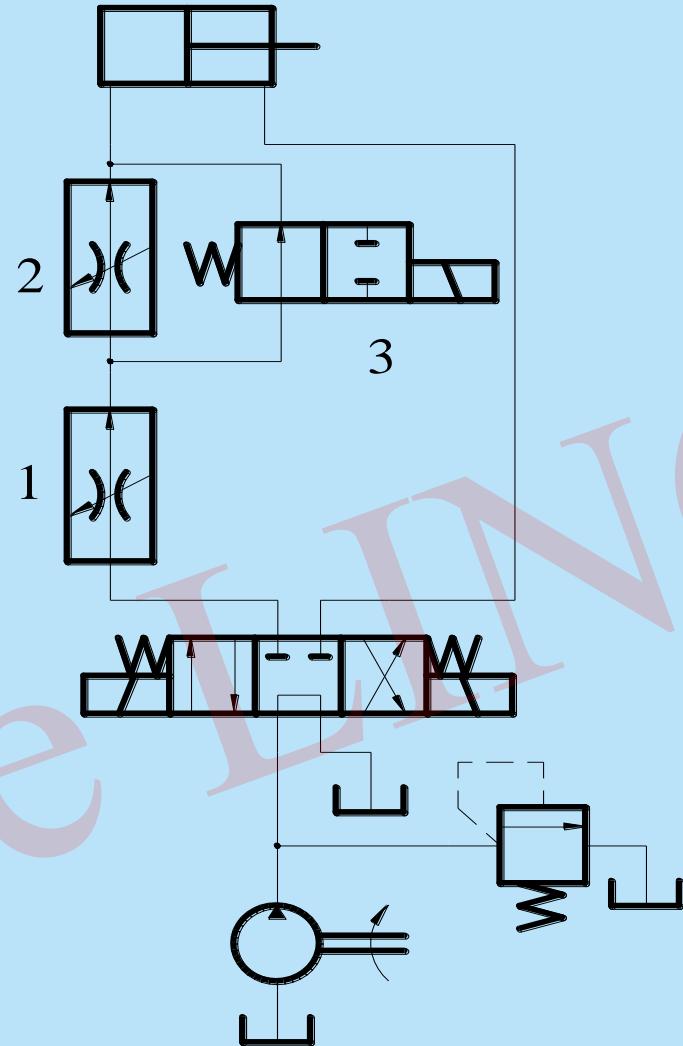
✓ 调速阀并联回路



6.2.3 速度换接回路

动画演示

✓ 调速阀串联回路



原理:

- (1) 当换向阀3左位接入回路时, 调速阀2被换向阀3短接, 输入液压缸的流量由调速阀1控制;
- (2) 当换向阀3右位接入回路时, 由于调速阀2的开口小于调速阀1, 所以输入液压缸的流量由调速阀2控制。

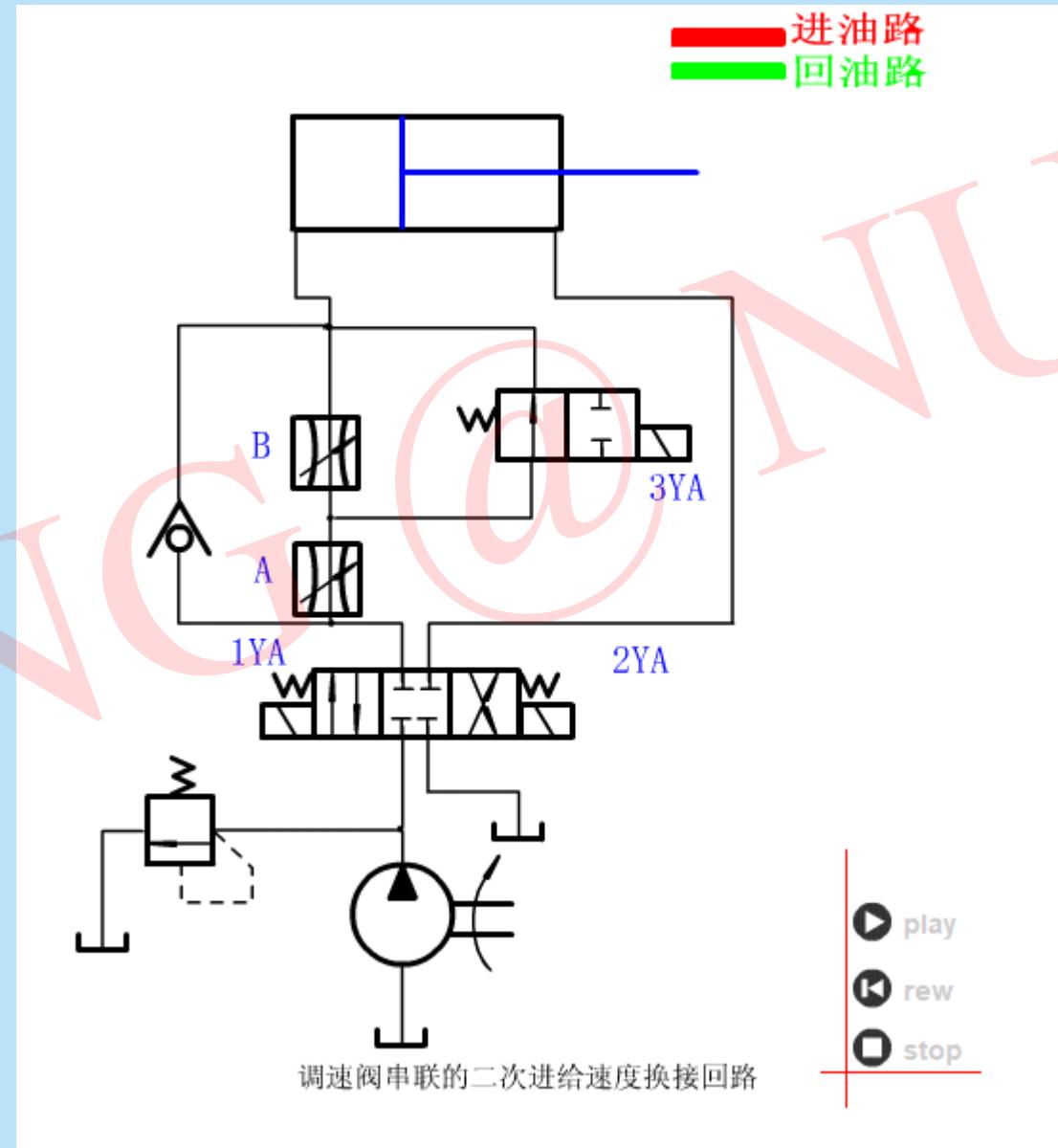
特点: 阀B的流量要调得比A小。
速度换接平稳。

缺点: 能量损失大。

应用场合: 用于后一种速度比前一种速度低的场合

6.2.3 速度换接回路

✓ 调速阀串联回路



6.3 方向控制回路



方向控制回路：通过控制进入液压执行元件液流的通、断或变向来实现执行元件的启动、停止或改变运动方向的回路。

- 种类：
- 电磁换向阀：电磁换向阀动作快，换向有冲击，并且一般不易作频繁切换，以免线圈烧坏；
 - 电液换向阀：通过调节单向节流阀（阻尼器）来控制其液动阀的换向速度，换向冲击小，但仍不能进行频繁切换；
 - 手动换向阀：不能实现自动往复运动；
 - 机动换向阀：机动阀必须安装在工作机构附近；
 - 机液换向阀：以行程挡块推动机动先导阀，由它控制一个可调式液动换向阀来实现工作台的换向，既可避免“换向死点”，又可消除换向冲击，可频繁换向。

6.4多缸工作控制回路

6.4.1 顺序动作回路

➤作用：使几个执行元件按照预定顺序依次动作。

➤分类 { 行程控制
 压力控制

➤行程控制的顺序动作回路

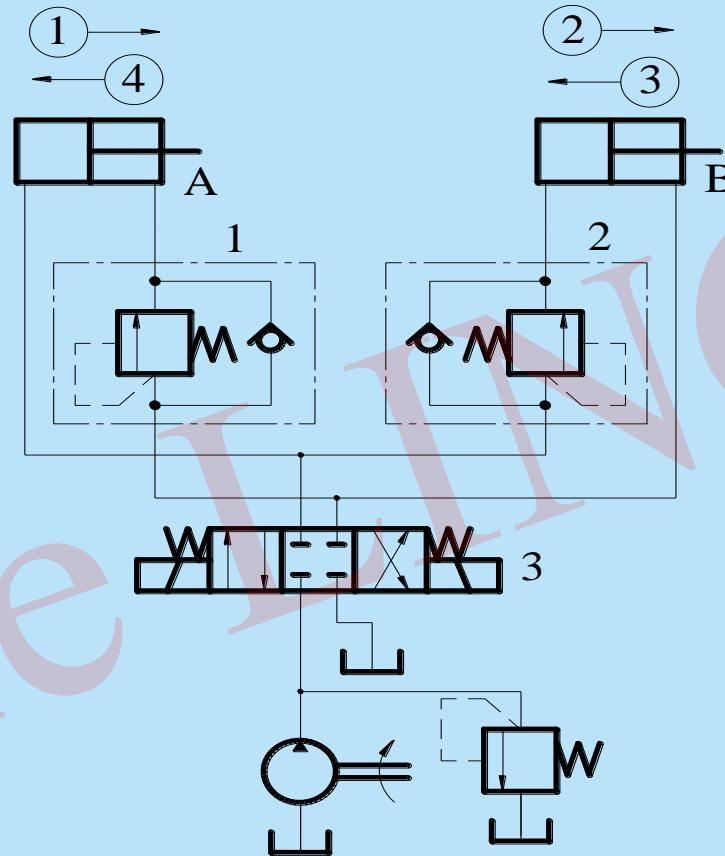
原理：利用执行元件运动到一定位置（或行程）时，
使下一个执行元件开始运动控制方式。

6.4 多缸工作控制回路

动画演示

1 顺序阀控制的顺序动作回路

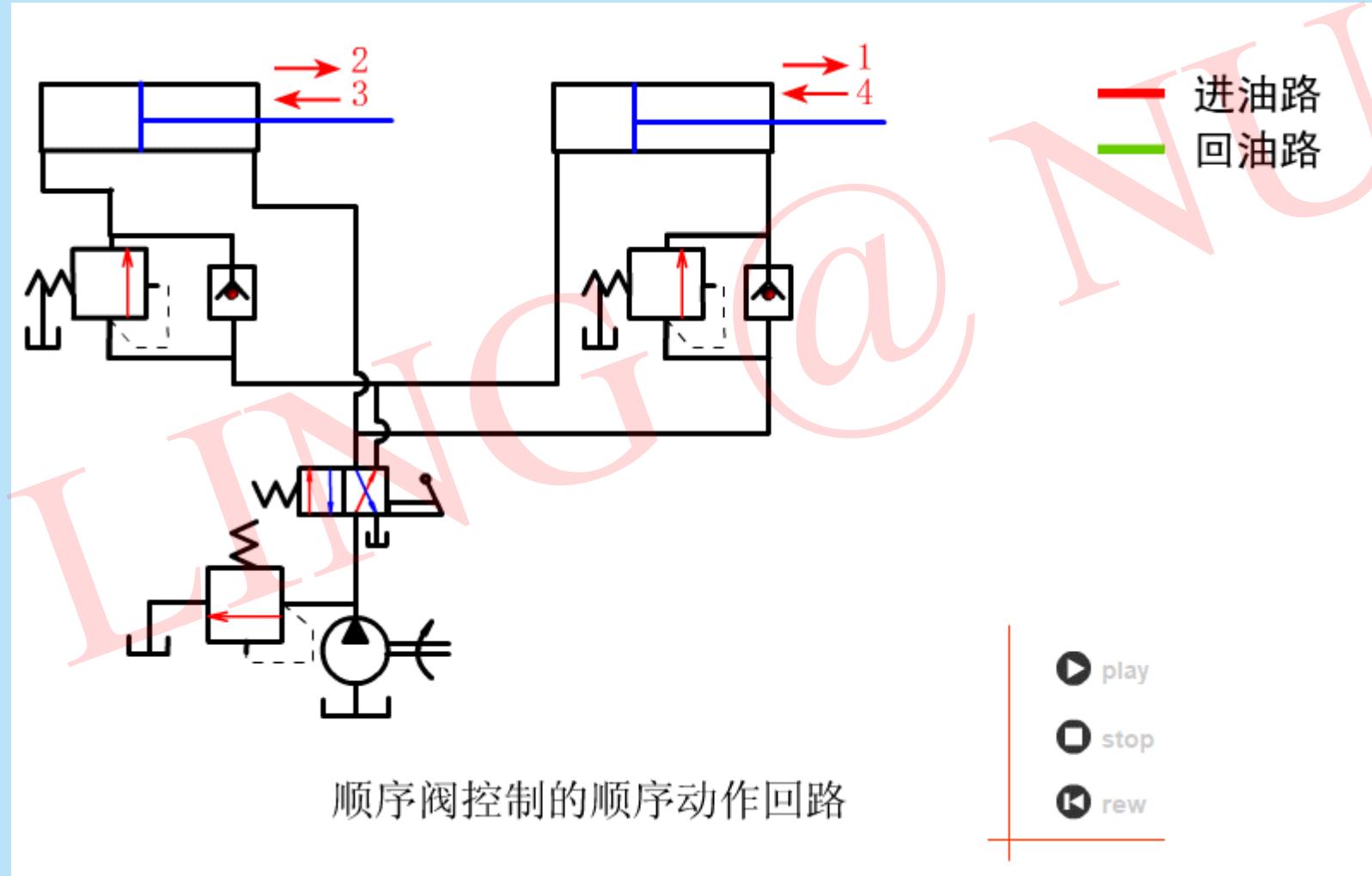
原理：利用系统工作过程中压力的变化使执行元件按顺序先后动作。



- (1) 当三位四通换向阀3左位接入回路且顺序阀2的调定压力大于液压缸A的最大前进工作压力时，压力油先进入液压缸A的左腔，**实现动作①**；
- (2) 缸A右行至终点后，压力上升，压力油打开顺序阀2进入液压缸B的左腔，**实现动作②**；
- (3) 同样地，当换向阀3切换至右位且顺序阀1的调定压力大于缸B的最大返回工作压力时，两液压缸则按**③和④**的动作顺序返回。

6.4 多缸工作控制回路

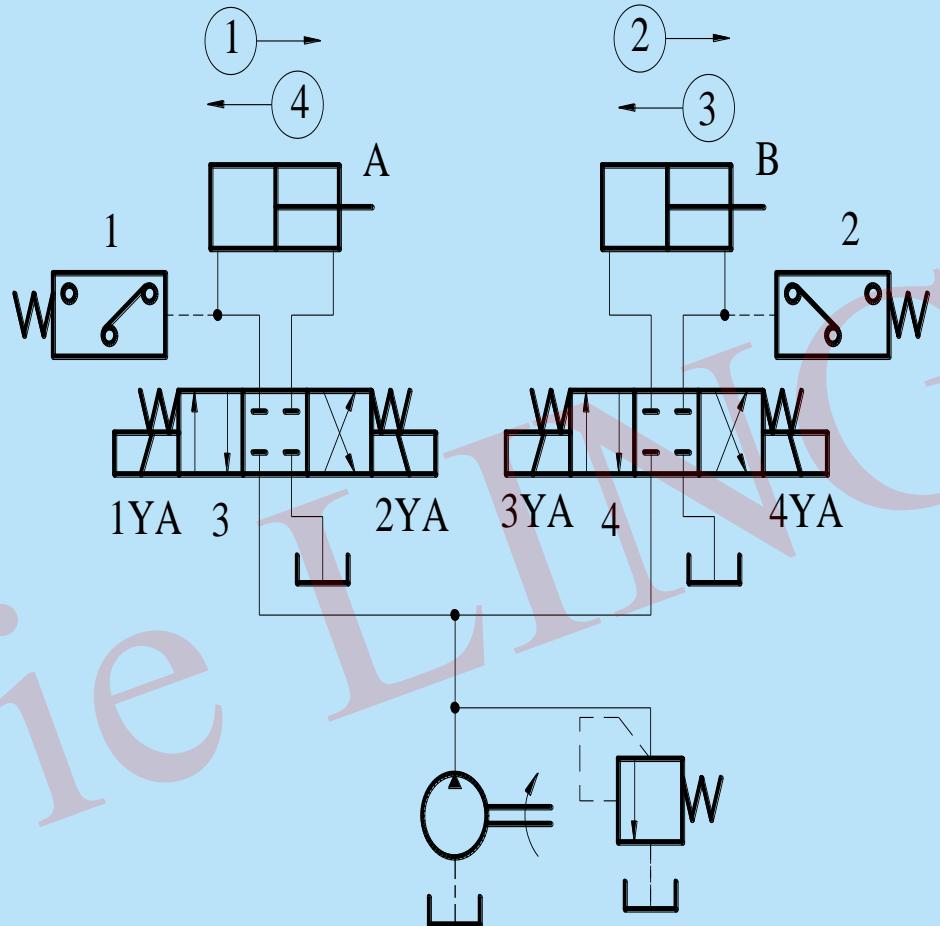
1 顺序阀控制的顺序动作回路



6.4 多缸工作控制回路



2 压力继电器控制顺序动作回路

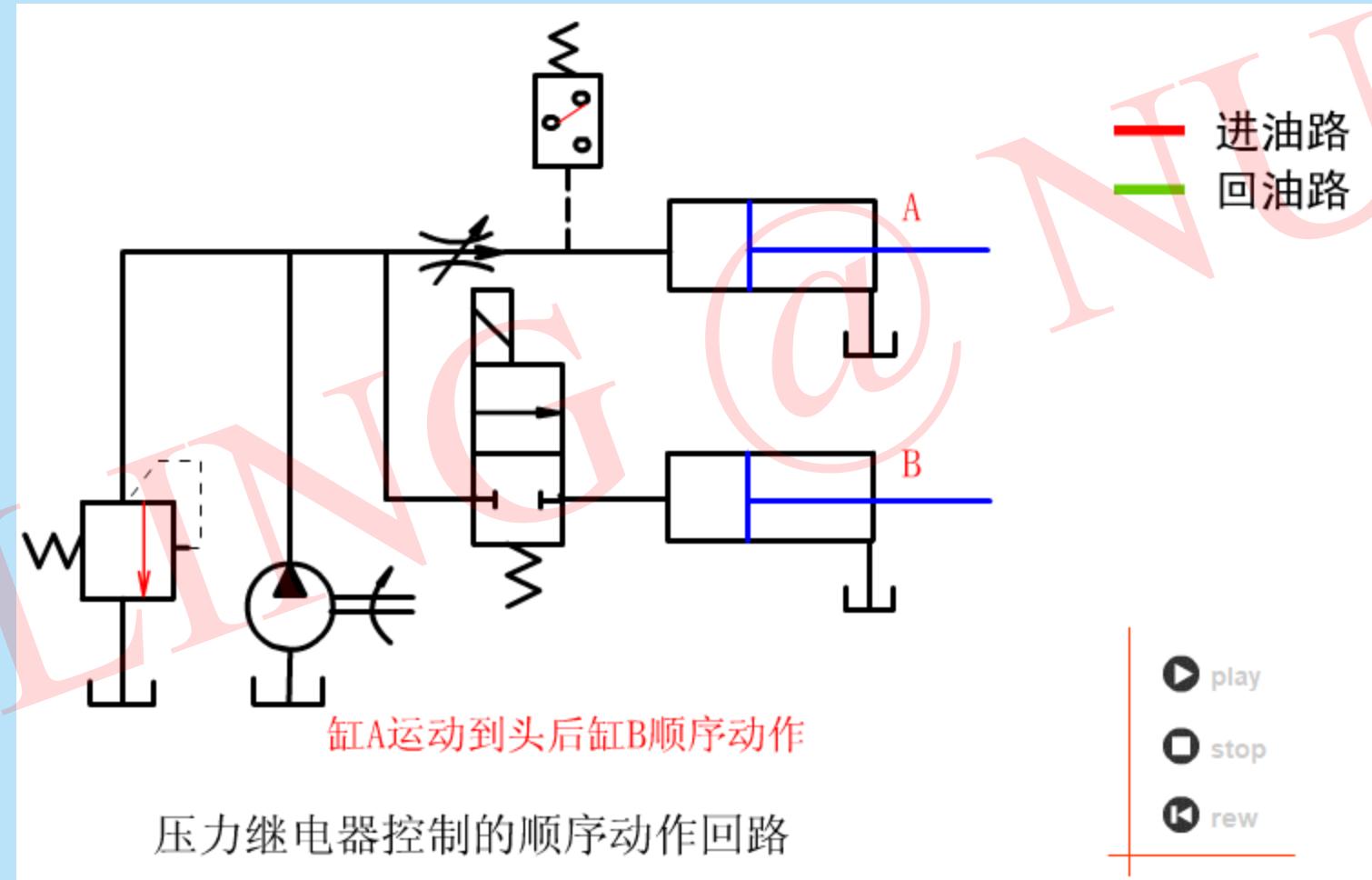


动画演示

- (1) 当电磁铁**1YA**通电时，缸A向右运动，**执行动作①**；
- (2) 当缸A活塞运动到右端点后，回路压力升高，压力继电器1动作，使**电磁铁3YA通电**，缸B向右运动，**执行动作②**；
- (3) 当**3YA断电、4YA通电**时阀4右位工作，缸B退回，**执行动作③**；
- (4) 当缸B活塞运动至左端点后，回路压力升高，压力继电器2动作，使**4YA断电、2YA通电**，阀3右位工作，缸A退回，**执行动作④**，至此完成一个工作循环。

6.4 多缸工作控制回路

2 压力继电器控制顺序动作回路

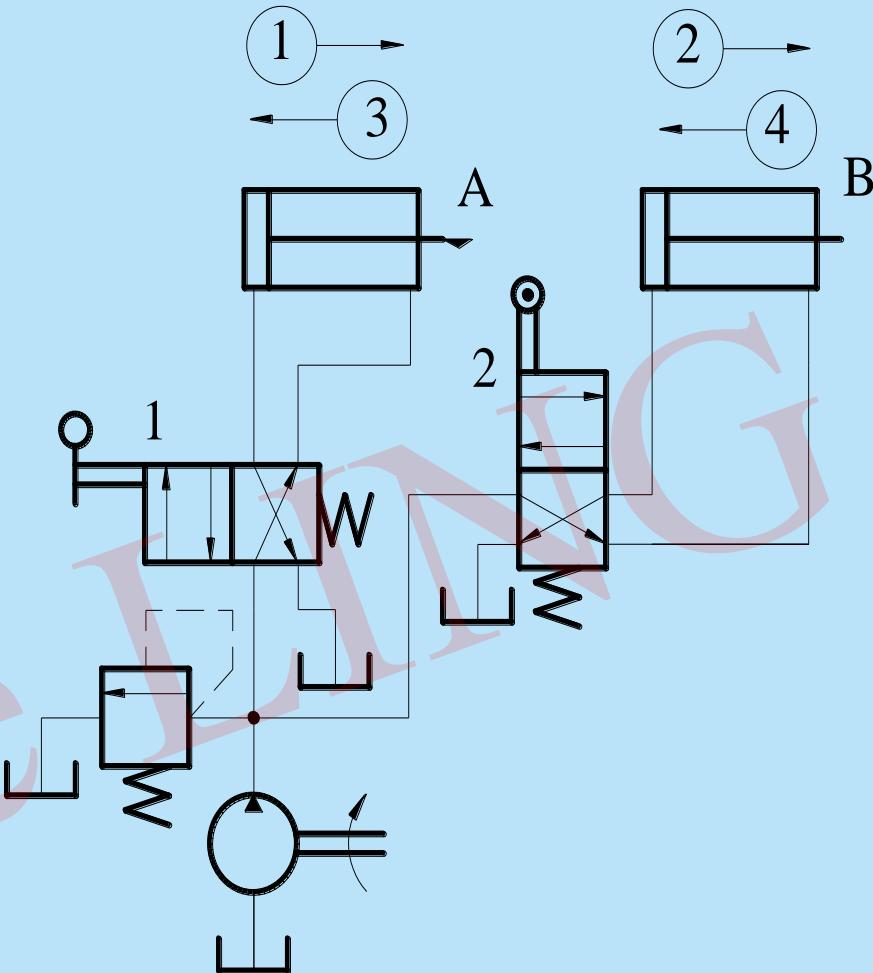


6.3多缸工作控制回路



3 行程阀控制的顺序动作回路

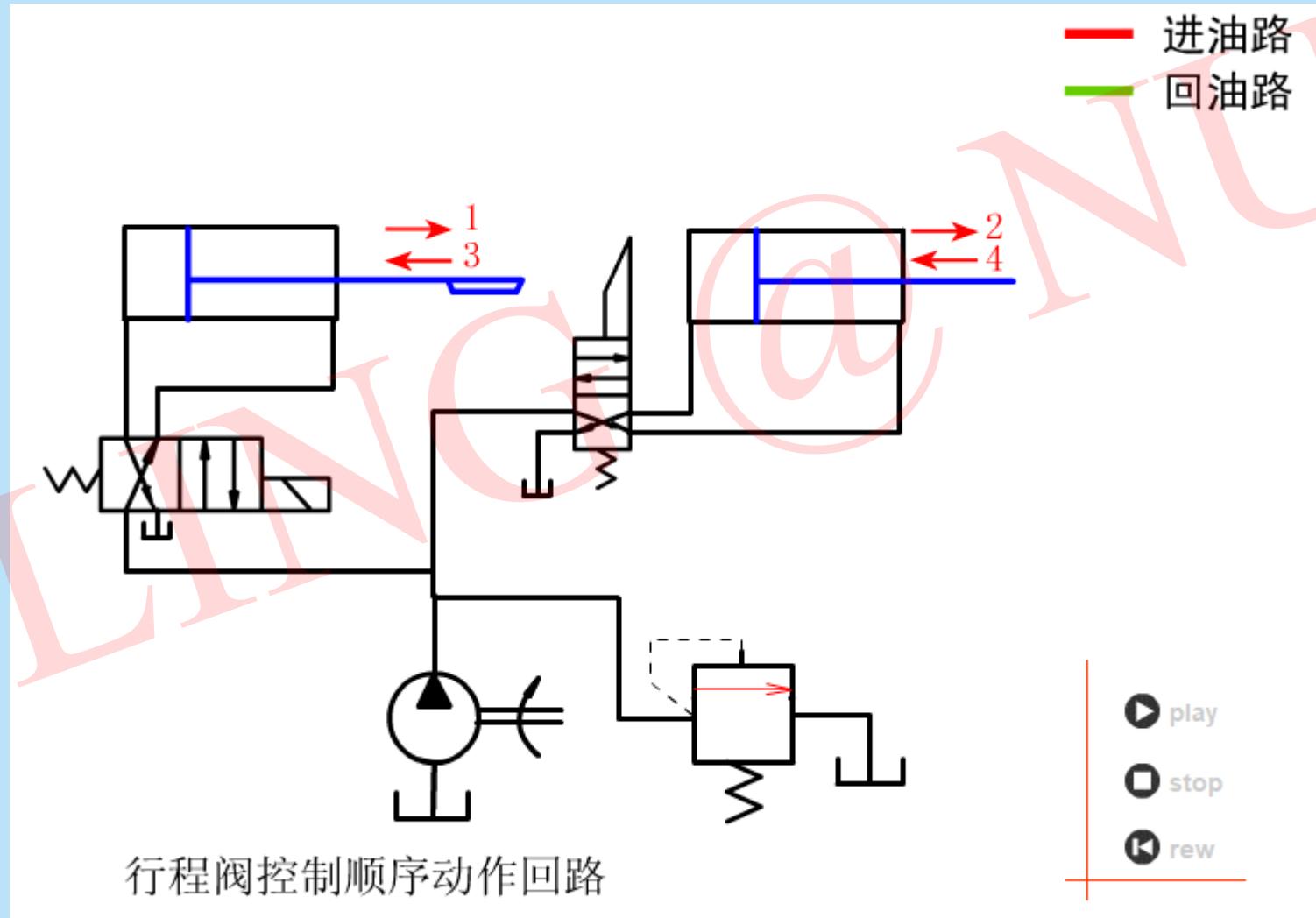
动画演示



- (1) 推动手动换向阀1的手柄使**换向阀1处于左位**时，液压缸A右行，**完成动作①**；
- (2) 当液压缸A运动到规定位置，其挡块压下行程阀2后，**行程阀2处于上位**，液压缸B右行，**完成动作②**；
- (3) 当**换向阀1复位处于右位**后，液压缸A先退回，**实现动作③**；
- (4) 随着挡块后移，**行程阀2复位**，液压缸B退回，**实现动作④**。

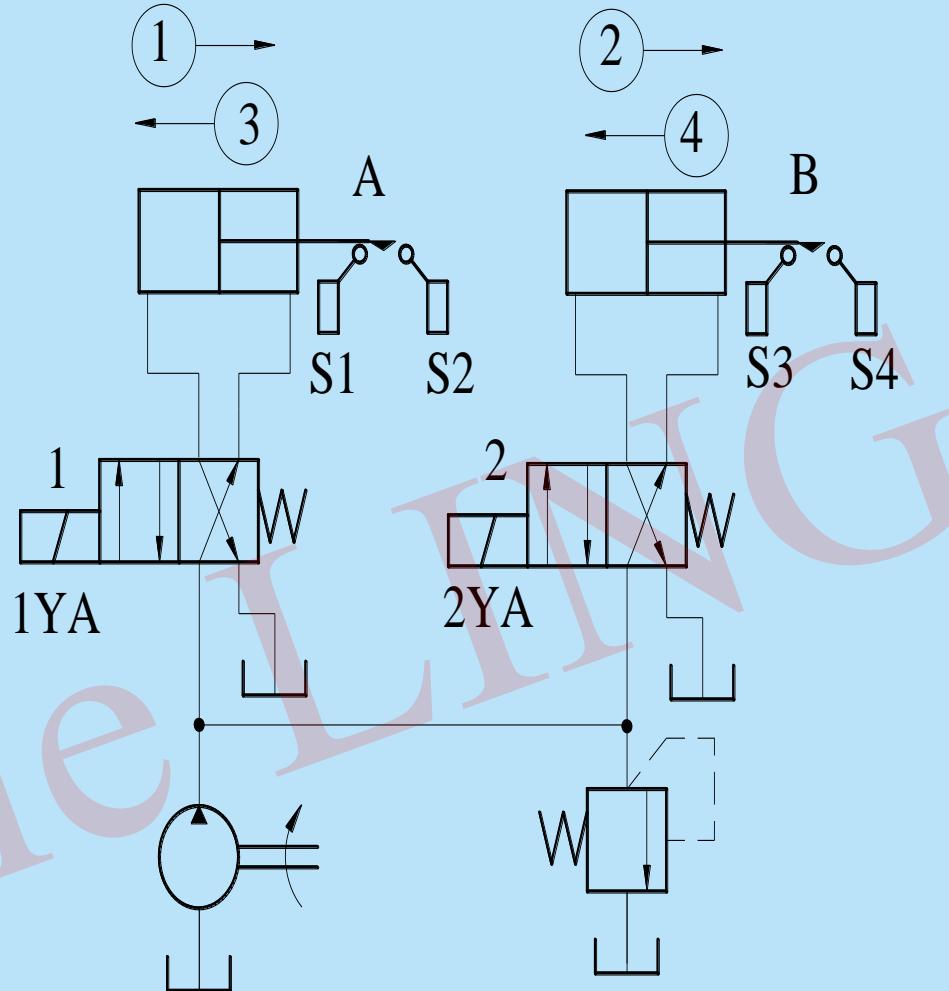
6.3多缸工作控制回路

3 行程阀控制的顺序动作回路



6.4多缸工作控制回路

4 行程开关的顺序动作回路

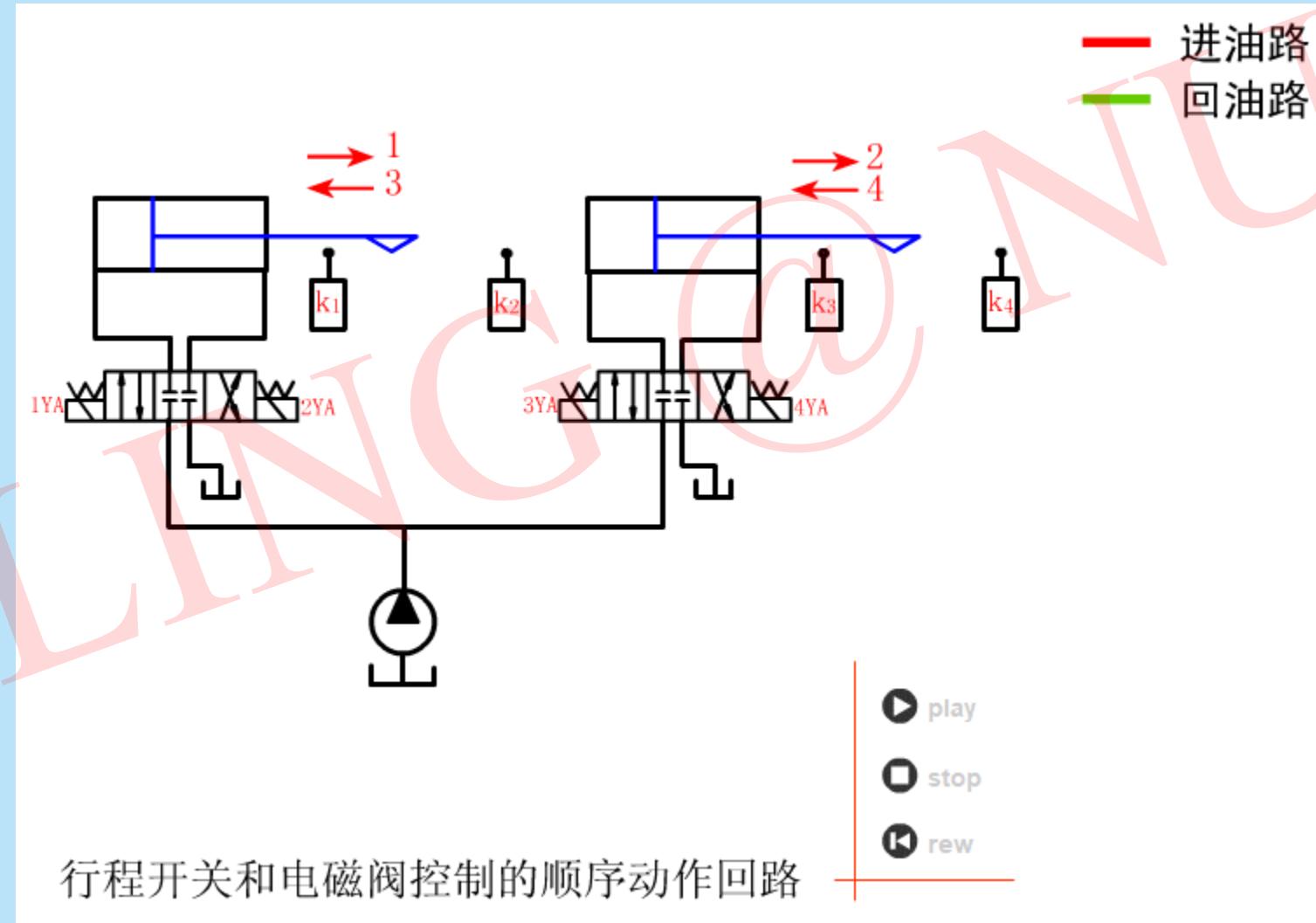


动画演示

- (1) 按下起动按钮，电磁铁**1YA得电**，换向阀1左位工作，缸A活塞向右运动，**完成动作①**；
- (2) 到达预定位置后，活塞上的挡块压下行程开关S2，使**电磁铁2YA得电**，换向阀2左位工作，缸B活塞向右运动，**完成动作②**；
- (3) 当B缸活塞上的挡块压下行程开关S4时，**电磁铁1YA失电**，缸A活塞向左退回，**完成动作③**；
- (4) 当缸A活塞上的挡块压下行程开关S1时，**电磁铁2YA失电**，缸B活塞向左退回，**实现动作④**，完成一个工作循环。

6.4多缸工作控制回路

4 行程开关的顺序动作回路

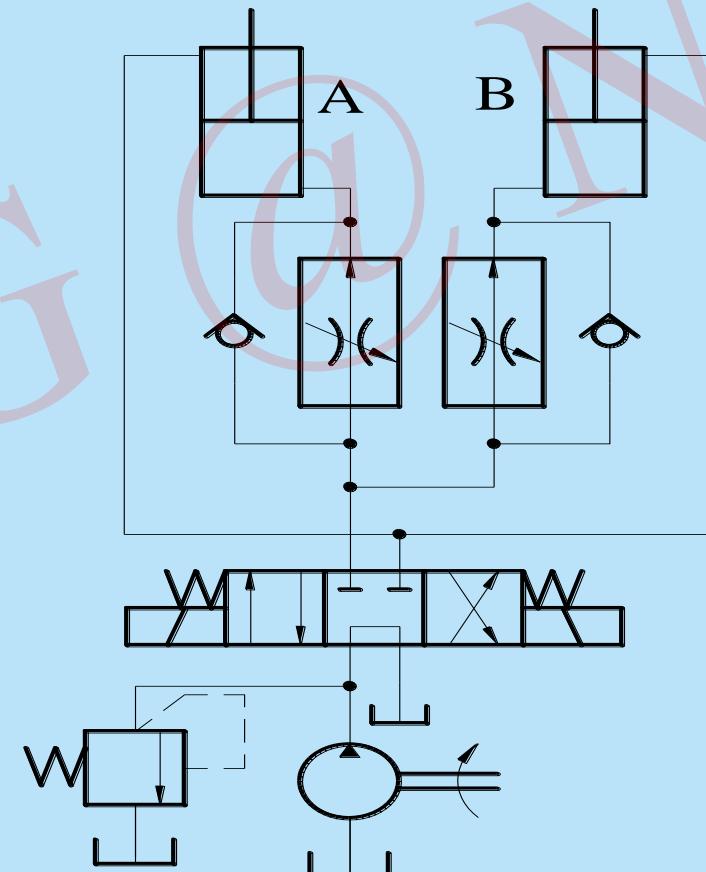


6.4 多缸工作控制回路

6.4.2 同步回路

作用：使两个或两个以上的执行元件能够按照相同位移或相同速度运动，也可以按一定的速比运动。

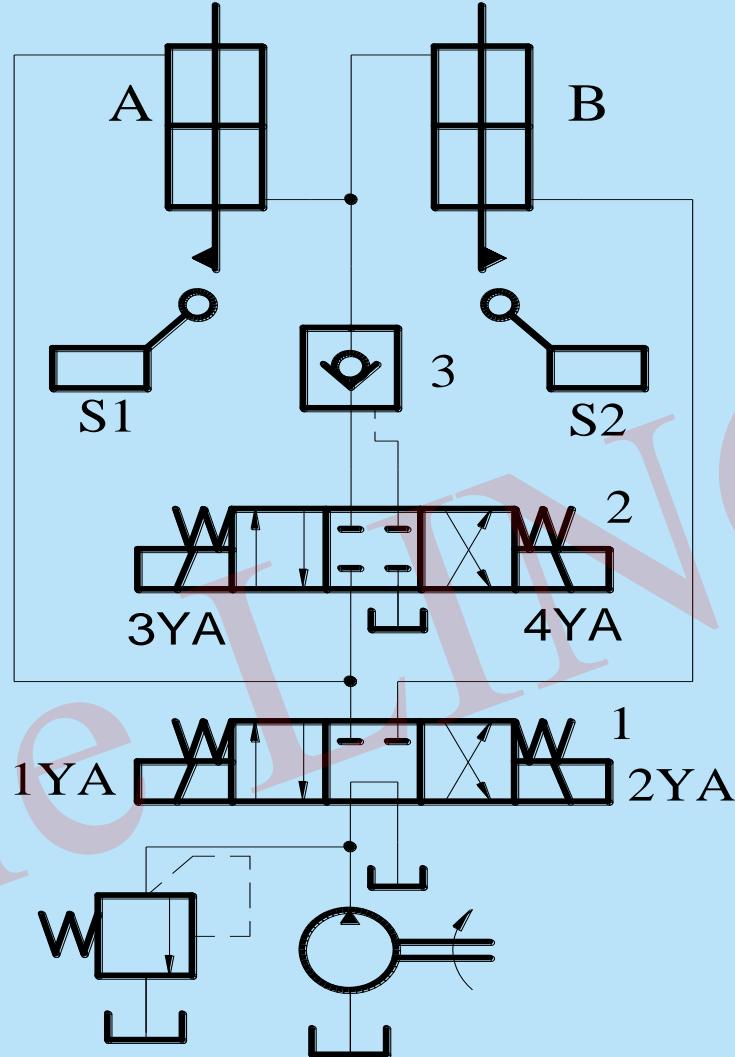
➤1 流量阀控制的同步回路



6.4 多缸工作控制回路

动画演示

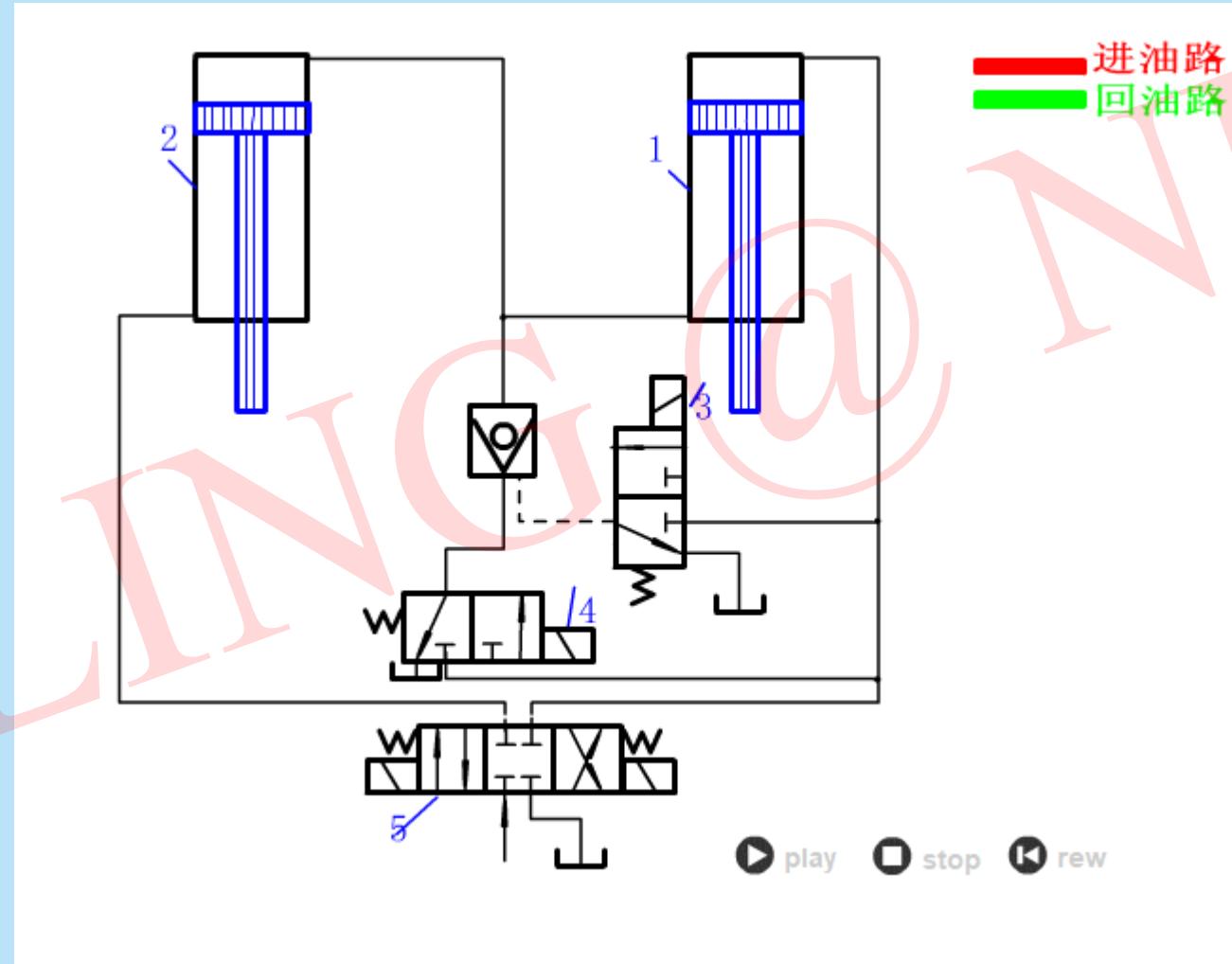
➤ 2 带补偿装置的串联液压缸同步回路



- (1) 当三位四通换向阀1左位工作时，两液压缸活塞同时向下运动；
- (2) 若缸A活塞先行到达终点，则挡块压下行程开关S1，电磁铁3YA得电，换向阀2左位接入回路，压力油经换向阀2和液控单向阀3进入缸B上腔进行补油，使其活塞继续下行至行程端点；
- (3) 若缸B活塞先到达终点，则挡块压下行程开关S2，电磁铁4YA得电，换向阀2右位接入回路，压力油进入液控单向阀3的控制腔，打开阀3，缸A下腔与油箱接通，使活塞继续下行至行程端点，从而消除累积误差。

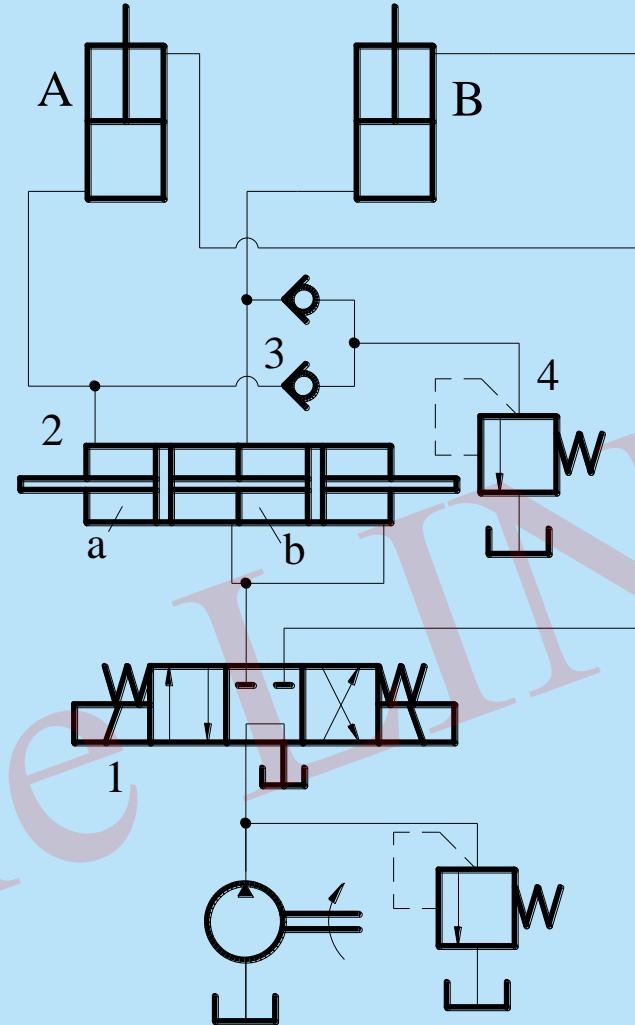
6.4 多缸工作控制回路

➤2 带补偿装置的串联液压缸同步回路



6.4 多缸工作控制回路

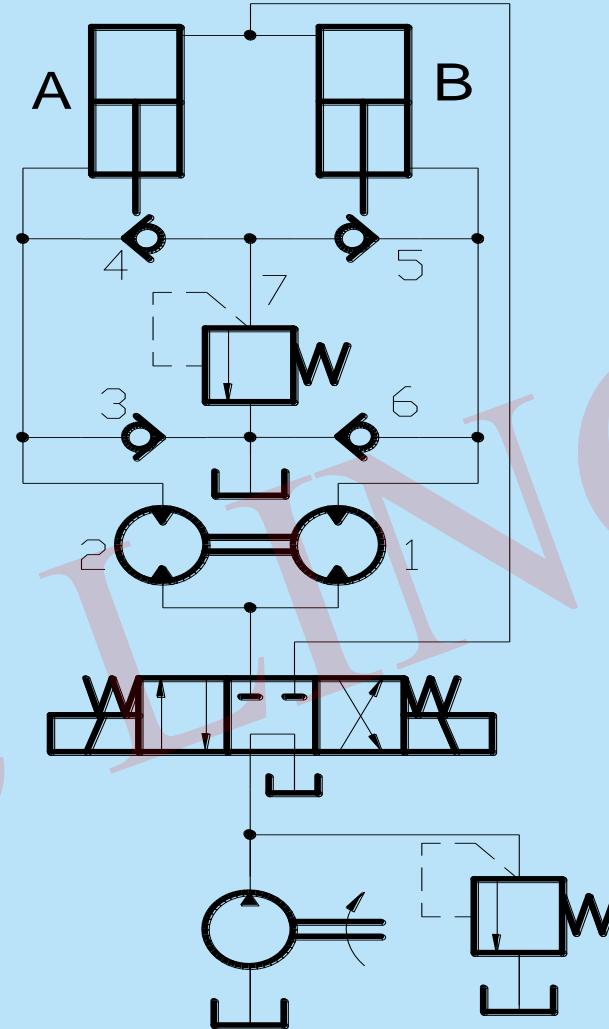
➤ 3 用同步缸同步回路



- (1) 当换向阀1左位工作，同步缸2活塞左移时，其油腔a与b中的油液使缸A与缸B同步上升。
- (2) 若缸A的活塞率先到达终点，则油腔a中的余油经单向阀3和安全阀4排回油箱，油腔b中的油液继续进入缸B下腔，使之到达终点。
- (3) 反之，若缸B的活塞先到达终点，也可使缸A的活塞相继到达终点。

6.4 多缸工作控制回路

► 4 用同步马达的同步回路

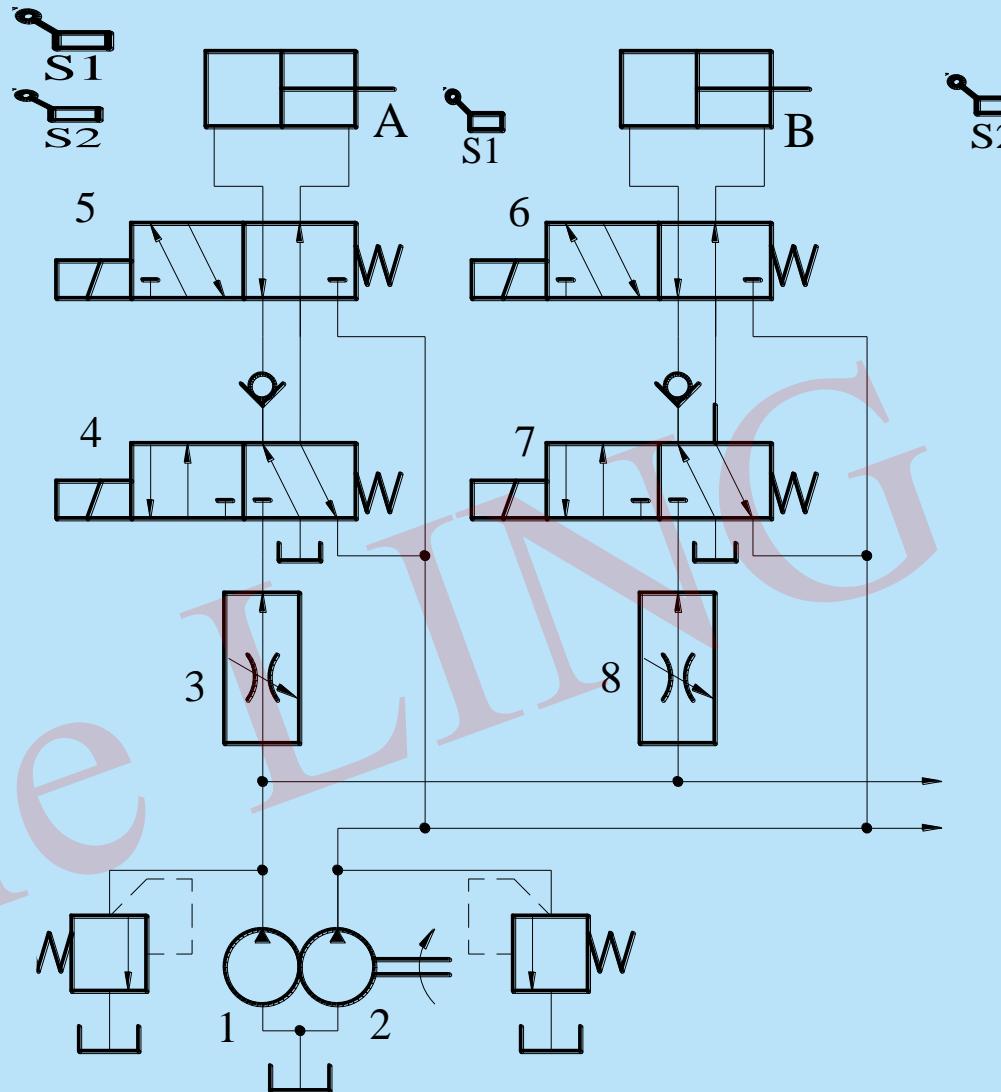


两液压马达传动轴刚性联接，将等量油液分别输送给有效工作面积相同的液压缸A、B，使之同步运动。由单向阀和溢流阀7组成交叉溢流补偿回路，可在行程终点补偿误差。

6.4多缸工作控制回路

动画演示

6.4.3多缸快慢速互不干扰回路

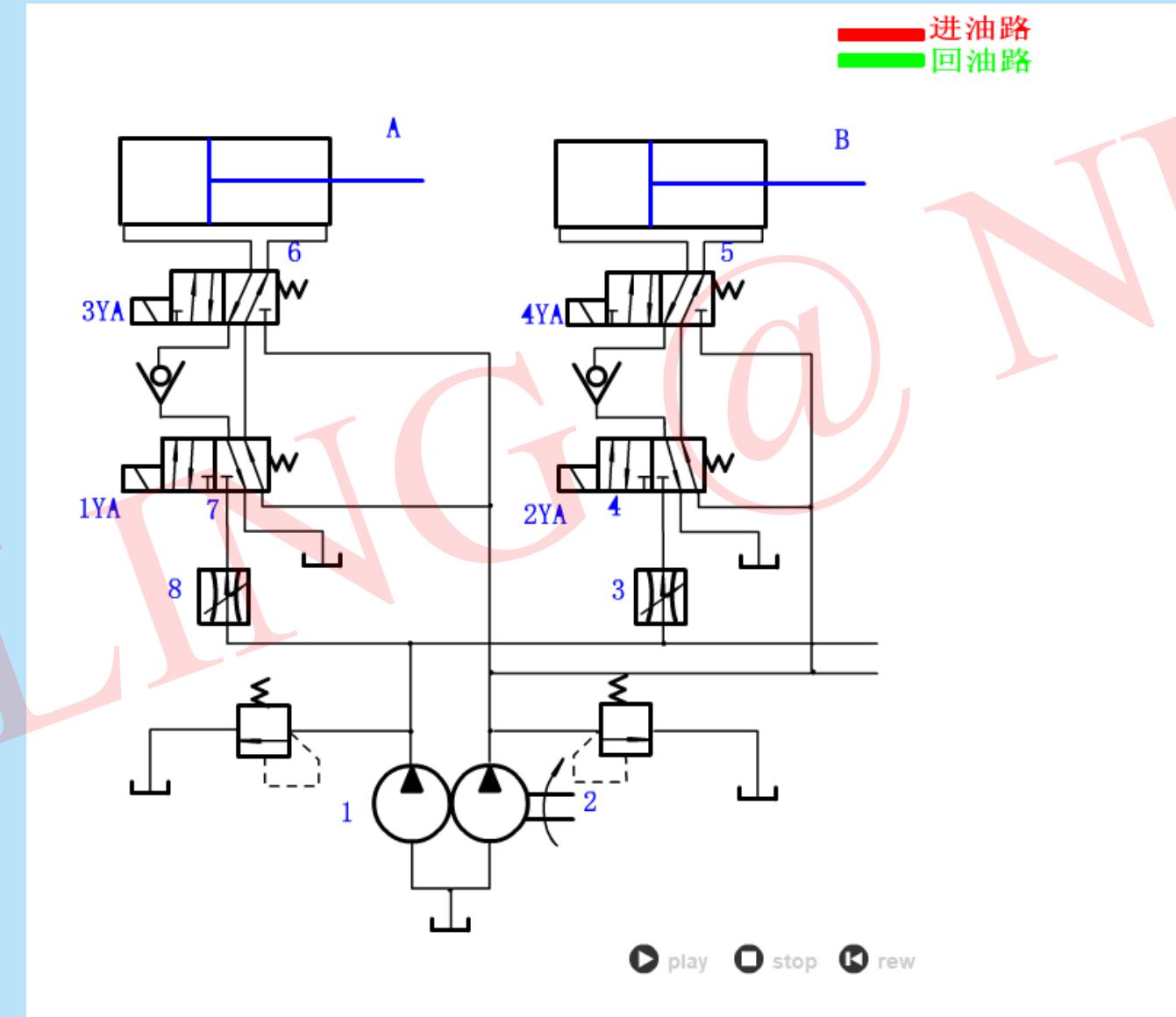


作用：在多缸系统中，防止其压力、速度互相干扰。

- (1) 在图示状态下各缸原位停止；(2) 当换向阀5、换向阀6均通电时，缸A、缸B均由双联泵中的大流量泵2供油并作差动快进；
- (3) 若缸A先完成快进动作，则触动行程开关使阀5断电、阀4通电，此时大泵2进入缸A的油路被切断，而小泵1至缸A的进油路打开，缸A由调速阀3调速工进，缸B仍作快进，互不影响；
- (4) 当各缸都转为工进后，它们全由小泵1供油；
- (5) 此后，若缸A又率先完成工进，行程开关应使换向阀5和4均通电，缸A即由大泵2供油快退。
- (6) 当各电磁铁皆断电时，各种缸都停止运动，并被锁于所在位置上。

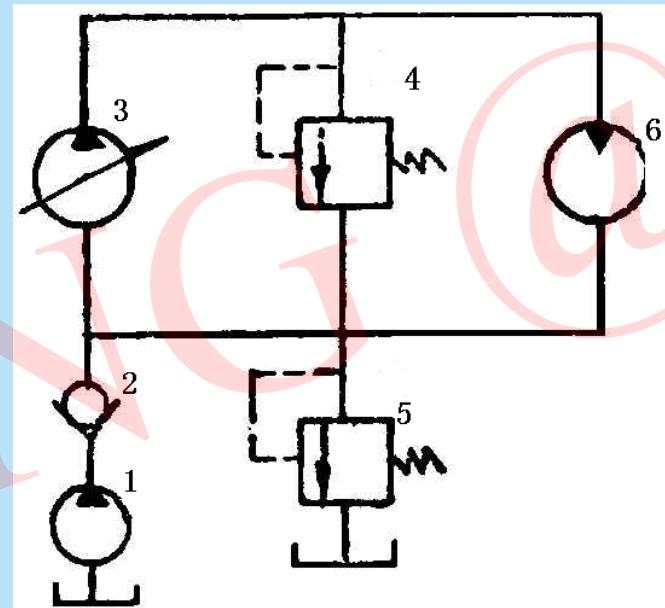
6.4多缸工作控制回路

6.4.3多缸快慢速互不干扰回路



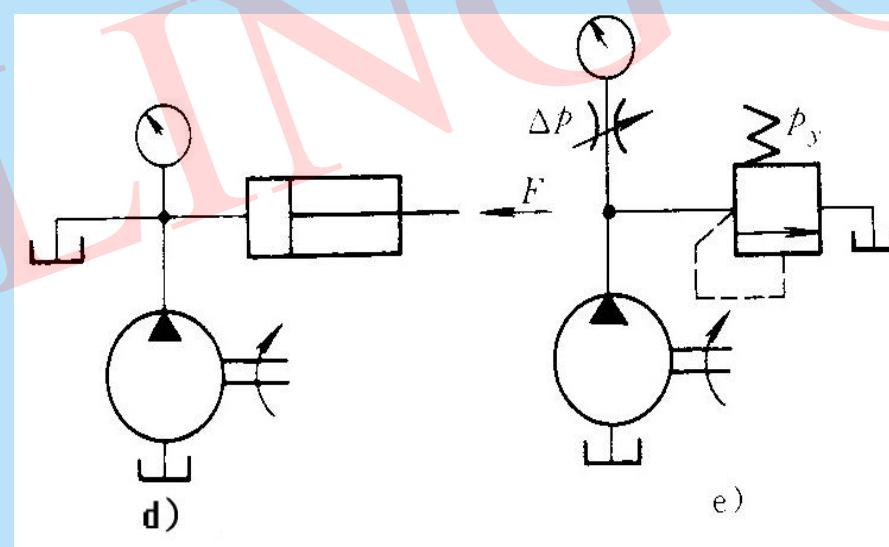
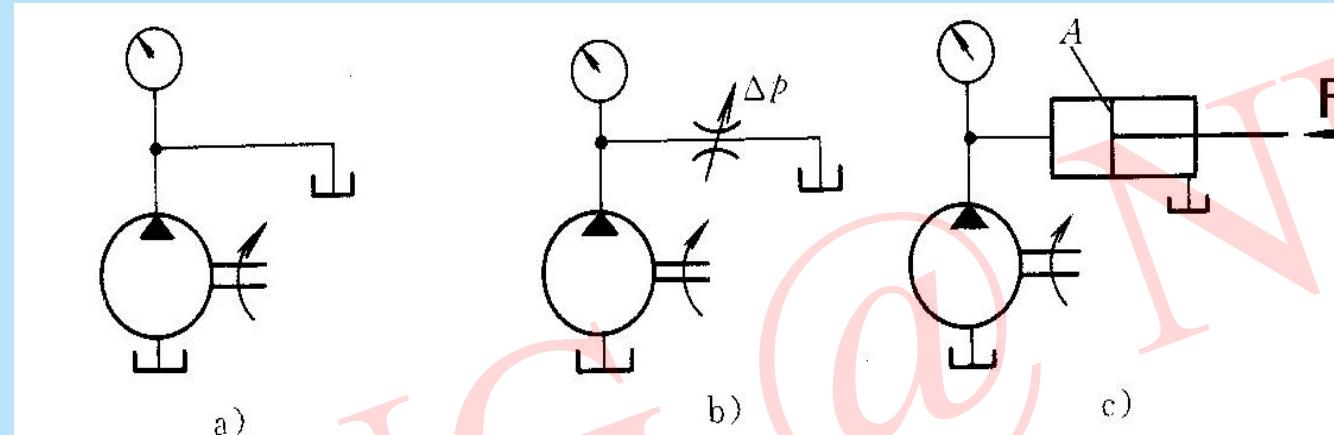
例 题

例1：试写出如图标注的液压元件的名称和作用，并指明此调速回路的类型。



例 题

例2：分析以下各回路，指出各图中压力计的读数。



例 题

例3、以下三种回路中，_____的系统效率较高

- A、节流调速
- B、容积调速
- C、容积节流调速

例4、在定量泵供油的系统中，用流量控制阀实现对定量执行元件的速度进行调节。这种回路称为_____。

- A、调压回路
- B、调速回路
- C、节流回路
- D、方向回路

例5、用定量泵和节流阀组成的进、回油路节流调速回路中，若使节流阀起调速作用，在液压系统中必须有_____。

- A、与之并联的溢流阀；
- B、与之串并联溢流阀均可；
- C、有否溢流阀没关系；
- D、与之串联的溢流阀。