

§4-3 压力控制阀

本节主要内容为：

- 溢流阀
- 减压阀
- 顺序阀
- 压力继电器

本节的重点是溢流阀的工作原理和性能、减压阀的工作原理。其中先导式溢流阀的工作原理尤为重要。

压力控制阀简称压力阀。

压力阀包括：

- (1) 用来控制液压系统压力的阀类。
- (2) 利用压力变化作为信号来控制其它元件动作的阀类。

这类阀的共同特点是利用油液压力作用在阀芯的力和弹簧力相平衡的原理进行工作的。

按其功能和用途不同可分为溢流阀、减压阀、顺序阀和压力继电器等。

一、溢流阀

溢流阀的主要用途有以下两点：

- 1) **调压和稳压**。如用在由定量泵构成的液压源中，用以调节泵的出口压力，保持该压力恒定。
- 2) **限压**。如用作安全阀，当系统正常工作时，溢流阀处于关闭状态，仅在系统压力大于其调定压力时才开启溢流，对系统起过载保护作用。

溢流阀的特征是：阀与泵相并联，溢流口接回油箱，不工作时阀口常闭。

压力控制阀

溢流阀按结构形式分

- 直动型溢流阀
- 先导型溢流阀



压力控制阀

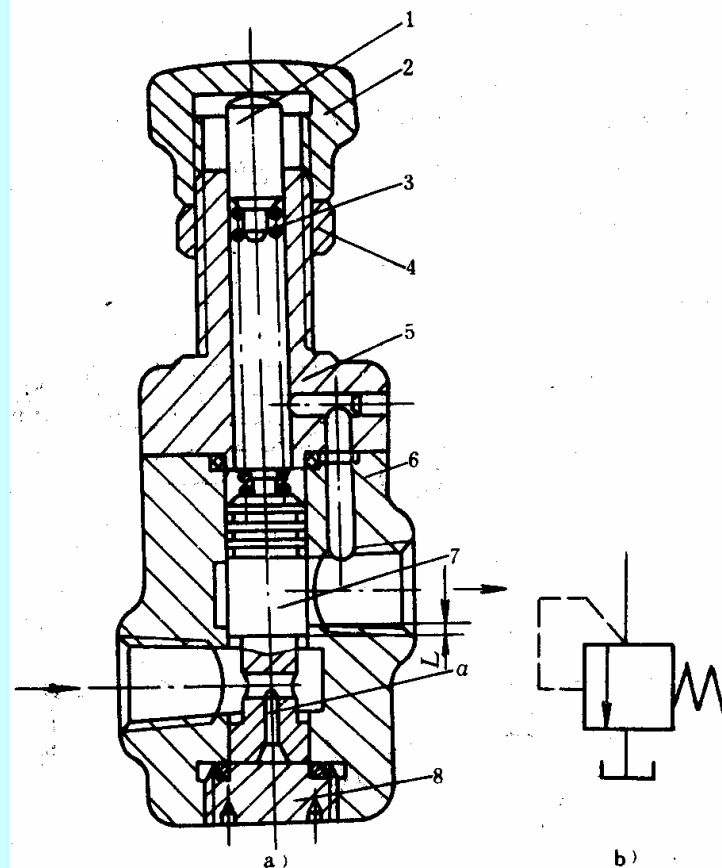
(一)、直动型溢流阀

1. 结构原理

直动型溢流阀由阀芯、阀体、弹簧、上盖、调节杆、调节螺母等零件组成。阀体上进油口旁接在泵的出口，出口接油箱。

原始状态，阀芯在弹簧力的作用下处于最下端位置，进出油口隔断。

进口油液经阀芯径向孔、轴向孔作用在阀芯底端面，当液压力等于或大于弹簧力时，阀芯上移，阀口开启，进口压力油经阀口溢回油箱。此时阀芯受力平衡，阀口溢流满足压力流量方程。



直动型溢流阀

- 1—调节杆 2—调节螺帽 3—调压弹簧
4—锁紧螺母 5—阀盖 6—阀体
7—阀芯 8—底盖

压力控制阀

(一)、直动型溢流阀

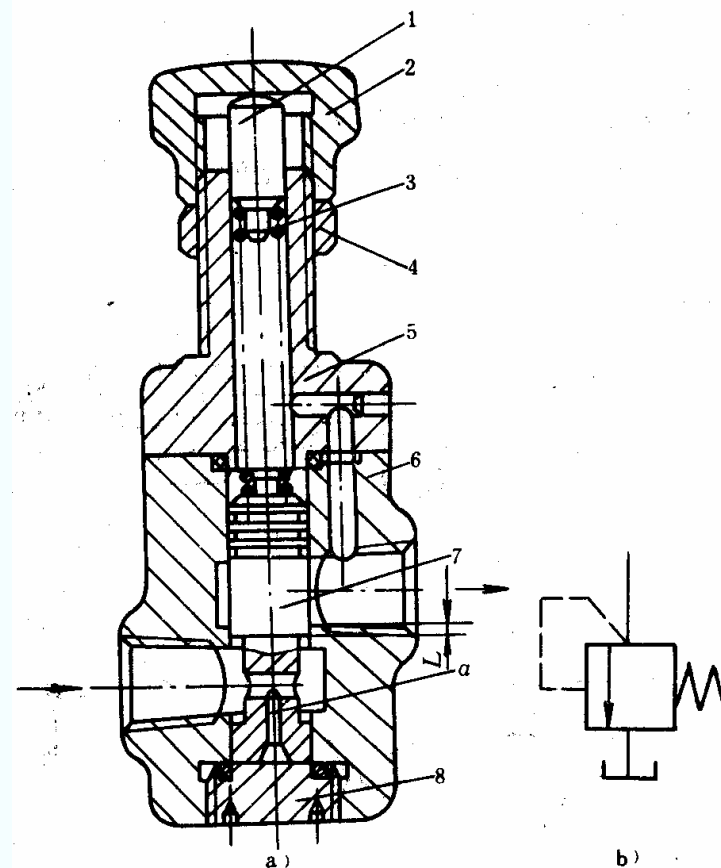
阀口刚开启时阀芯受力平衡方程

$$p_k \pi D^2 / 4 = K (x_0)$$

阀口开启后阀芯受力平衡方程

$$p \pi D^2 / 4 = K (x_0 + x) + F_f + F_G + F_{bs}$$

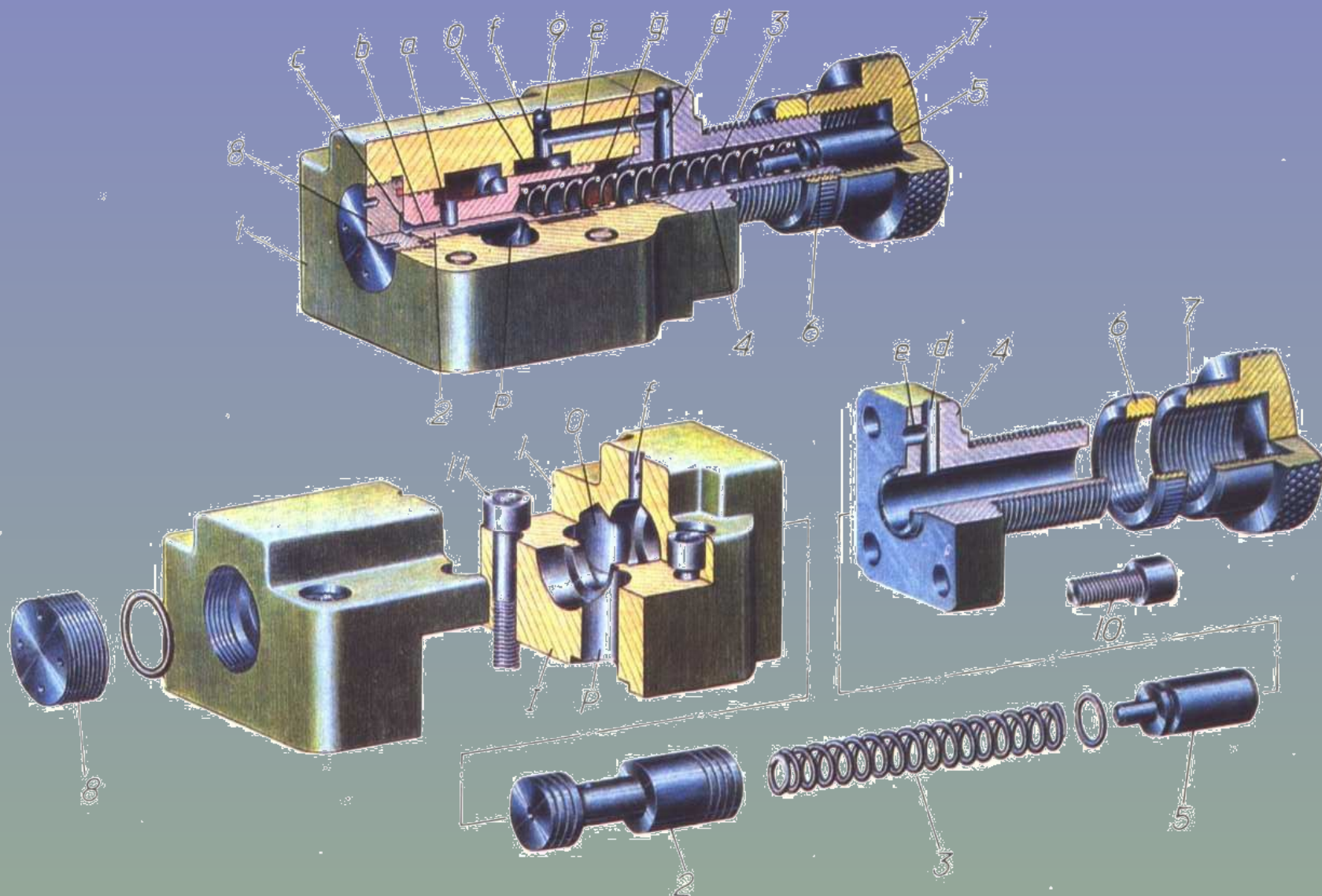
阀口开启后溢流的压力流量方程



直动型溢流阀

- 1—调节杆 2—调节螺帽 3—调压弹簧
4—锁紧螺母 5—阀盖 6—阀体
7—阀芯 8—底盖

彩色立体图二十八 P-B63B型直动式溢流阀

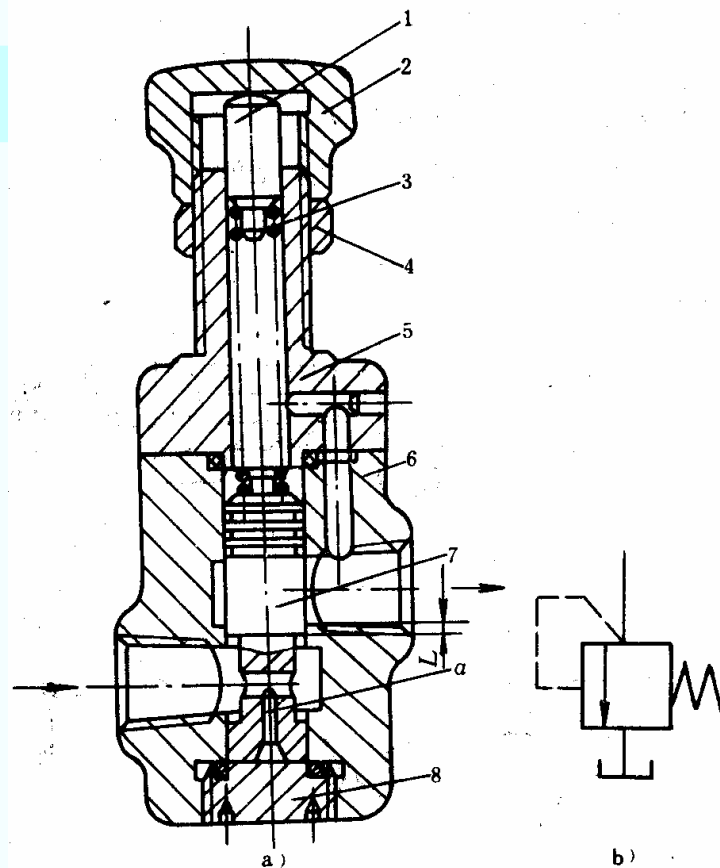


(一)、直动型溢流阀

2. 直动型溢流阀工作原理要点

1) 对应调压弹簧一定的预压缩量 x_0 ，阀的进口压力 p 基本为一定值。

2) 由于阀开口大小 x 和 稳态液动力 F_{bs} 的影响，阀的进口压力随流经阀口流量的增大而增大。当流量为额定流量时的阀的进口压力 p_s 最大， p_s 称为阀的调定压力。



直动型溢流阀

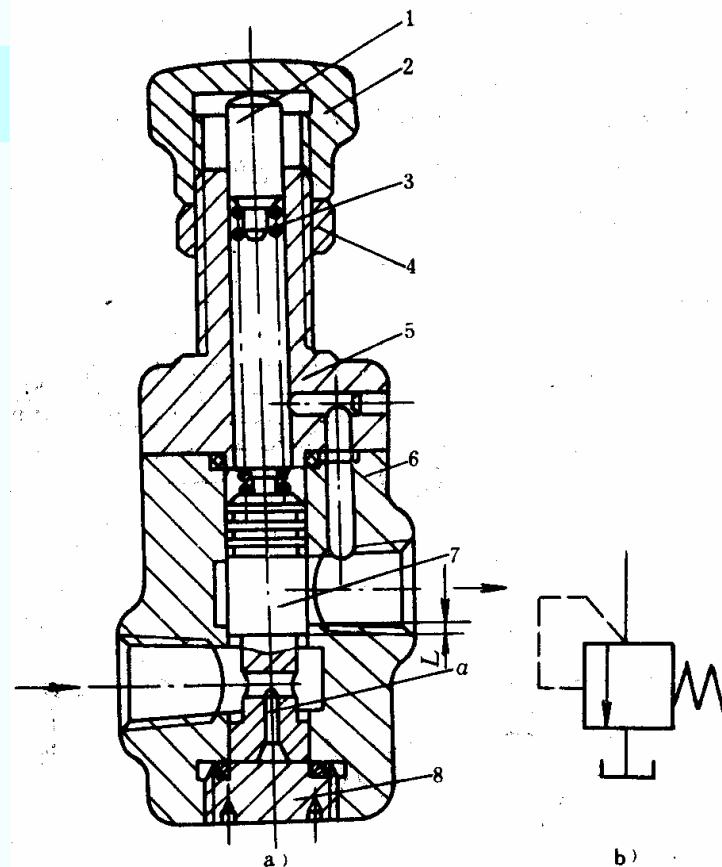
- 1—调节杆 2—调节螺帽 3—调压弹簧
4—锁紧螺母 5—阀盖 6—阀体
7—阀芯 8—底盖

(一)、直动型溢流阀

2. 直动型溢流阀工作原理要点

3) 弹簧腔的泄漏油经阀内泄油通道至阀的出口引回油箱，若阀的出口压力不为零，则背压将作用在阀芯上端，使阀的进口压力增大。

4) 对于高压大流量的压力阀，要求调压弹簧具有很大的弹簧力，这样不仅使阀的调节性能变差，结构上也难以实现。



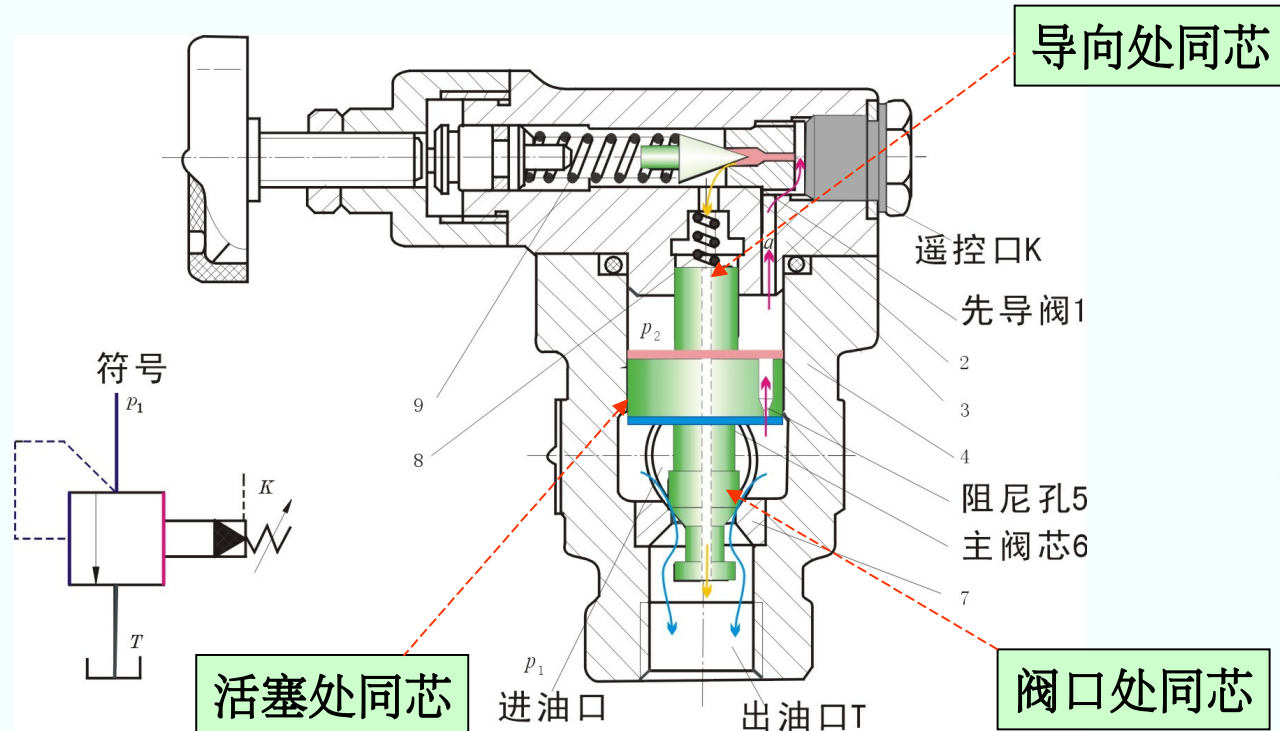
直动型溢流阀

- 1—调节杆 2—调节螺帽 3—调压弹簧
4—锁紧螺母 5—阀盖 6—阀体
7—阀芯 8—底盖

(二)、先导型溢流阀

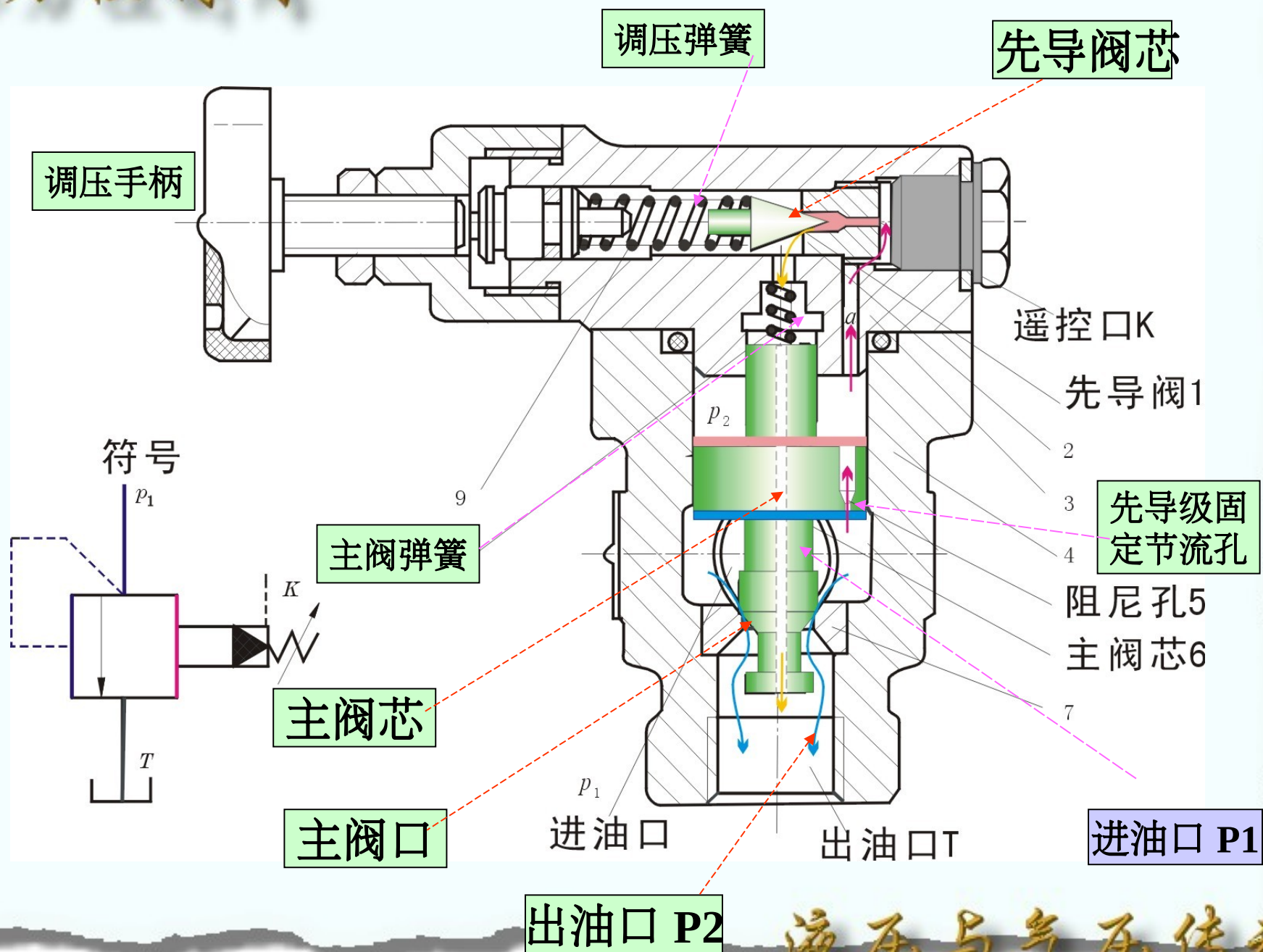
1. 结构组成

它由先导阀和主阀组成。先导阀实际上是一个小流量直动型溢流阀，其阀芯为锥阀。主阀芯上有一阻尼孔，且上腔作用面积略大于下腔作用面积，其弹簧只在阀口关闭时起复位作用。

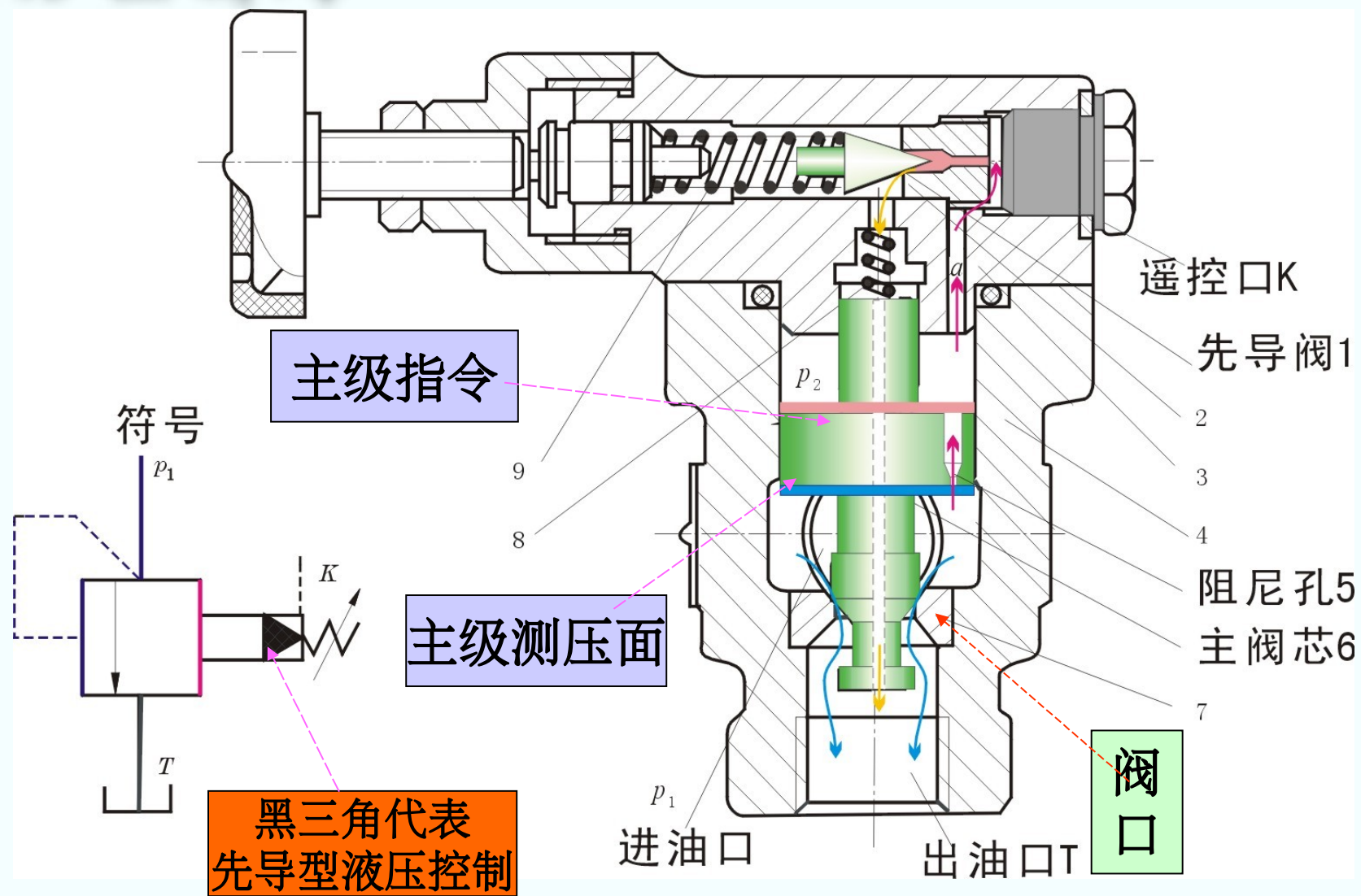


三节同芯先导型溢流阀

压力控制阀



压力控制阀

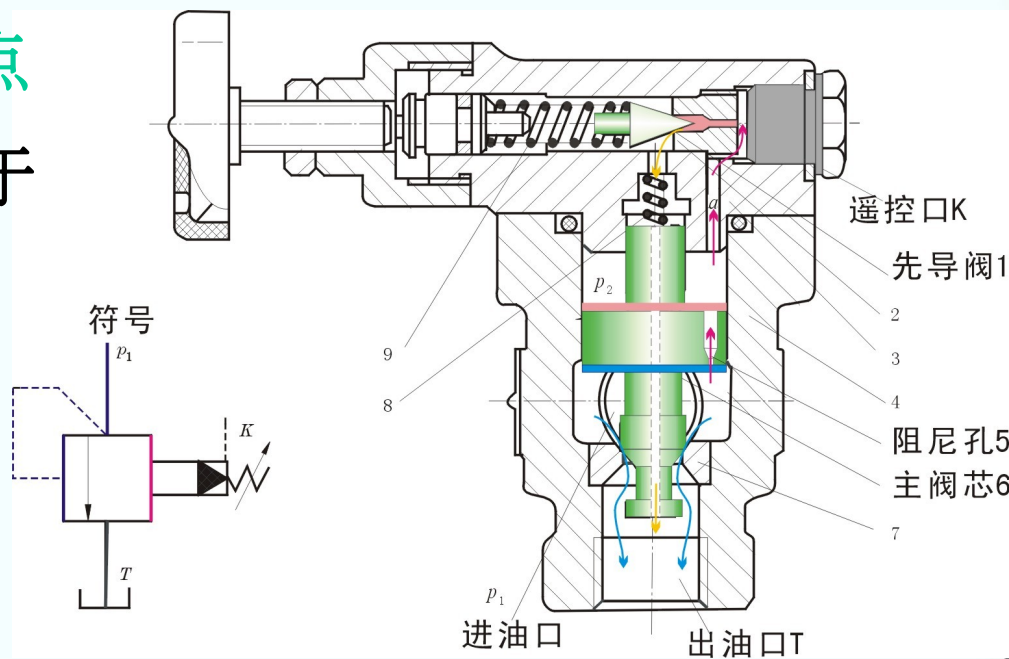


YF 型先导式溢流阀

(二)、先导型溢流阀

2. 先导型溢流阀工作原理要点

- 1) 先导阀和主阀阀芯分别处于受力平衡，其阀口都满足压力流量方程。阀的进口压力由两次比较得到，压力值主要由先导阀调压弹簧的预压缩量确定，主阀弹簧起复位作用。

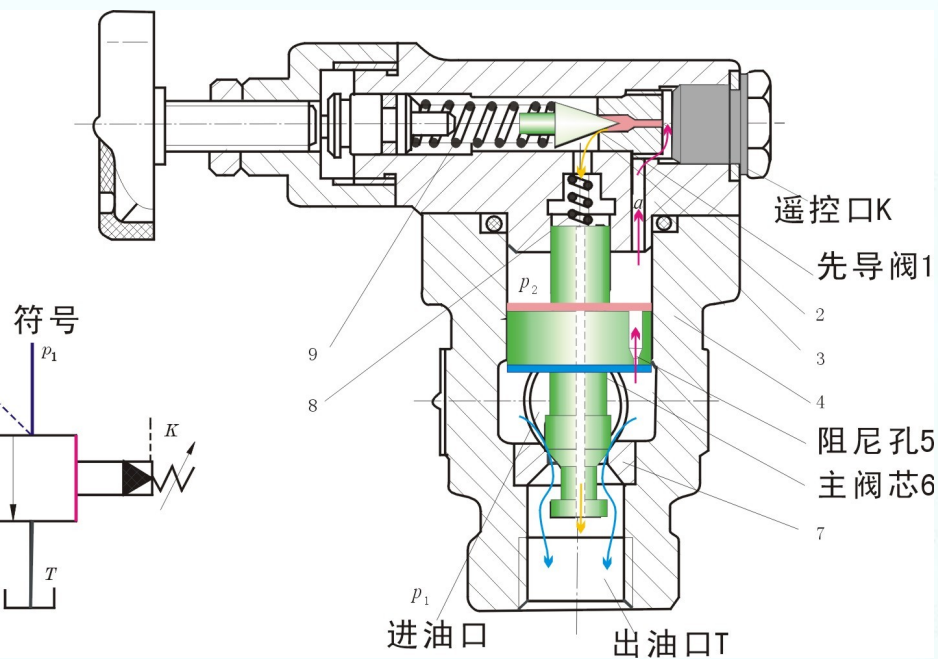


三节同芯先导型溢流阀

(二)、先导型溢流阀

2. 先导型溢流阀工作原理要点

2) 通过先导阀的流量很小，是主阀额定流量的 1%，因此其尺寸很小，即使是高压阀，其弹簧刚度也不大。这样一来阀的调节性能有很大改善。

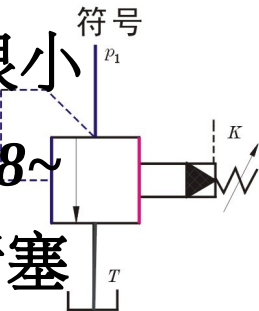


三节同芯先导型溢流阀

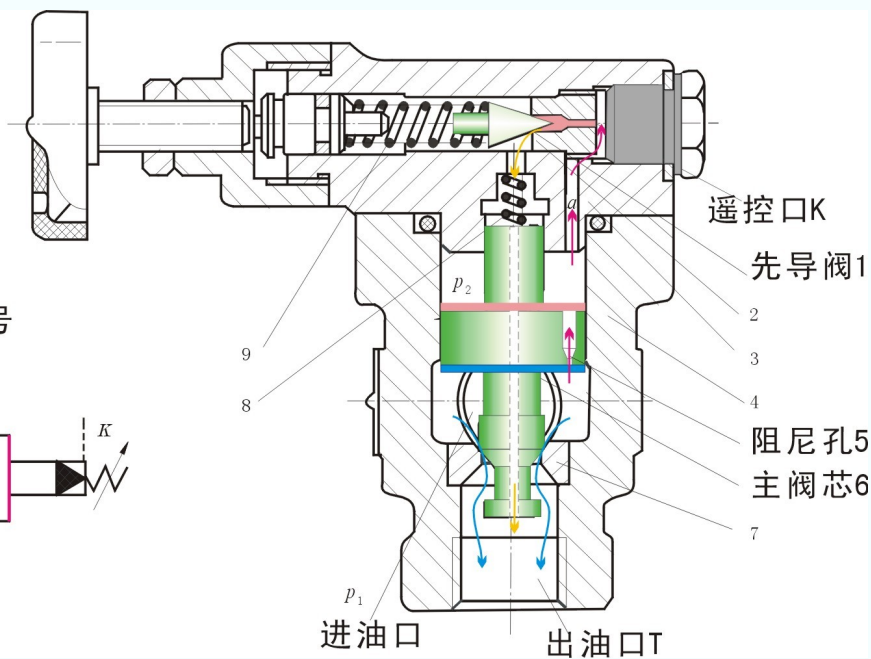
(二)、先导型溢流阀

2. 先导型溢流阀工作原理要点

3) 主阀芯开启是利用液流流经阻尼孔形成的压力差。阻尼孔一般为细长孔，孔径很小 $\varphi=0.8\sim1.2mm$ ，孔长 $l=8\sim12mm$ ，因此工作时易堵塞，一旦堵塞则导致主阀口常开，无法调压。



4) 先导阀前腔有一控制口，用于卸荷和遥控。

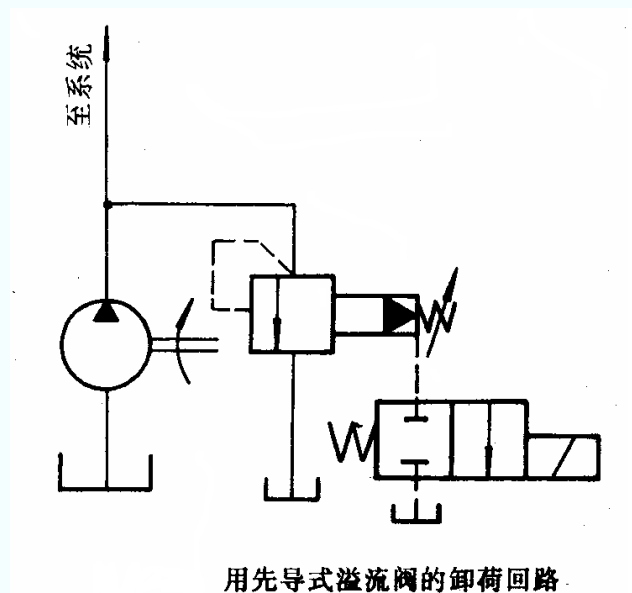
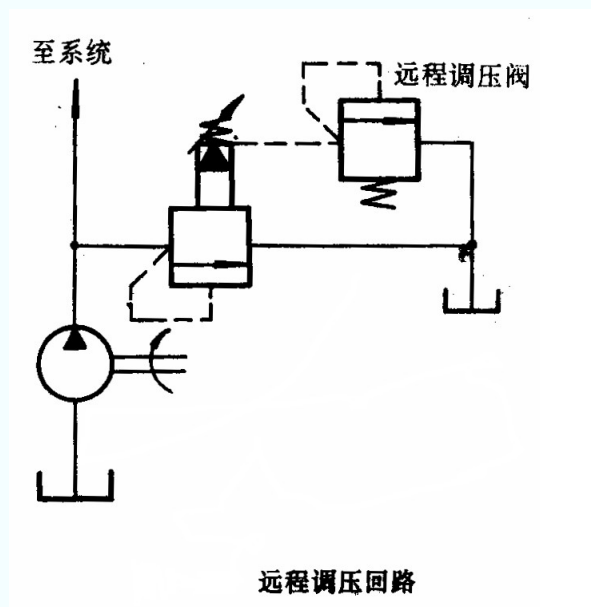


三节同芯先导型溢流阀

(二)、先导型溢流阀

3. 先导型溢流阀遥控口接法

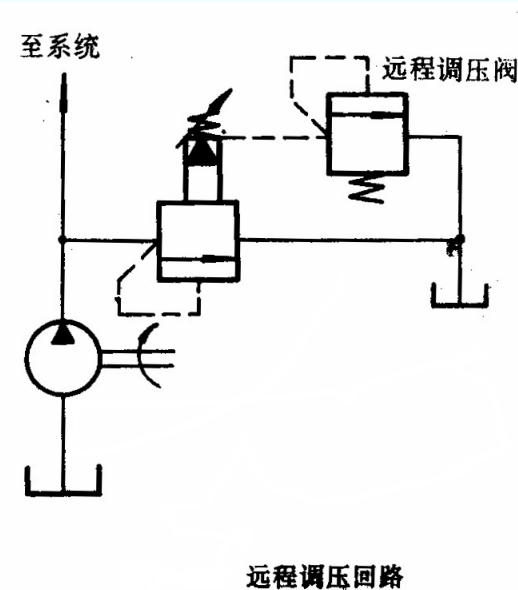
- 1) 先导阀前腔有一遥控口，在该控制口接远程调压阀可实现远控，接电磁阀通回油箱可实现卸载。



(二)、先导型溢流阀

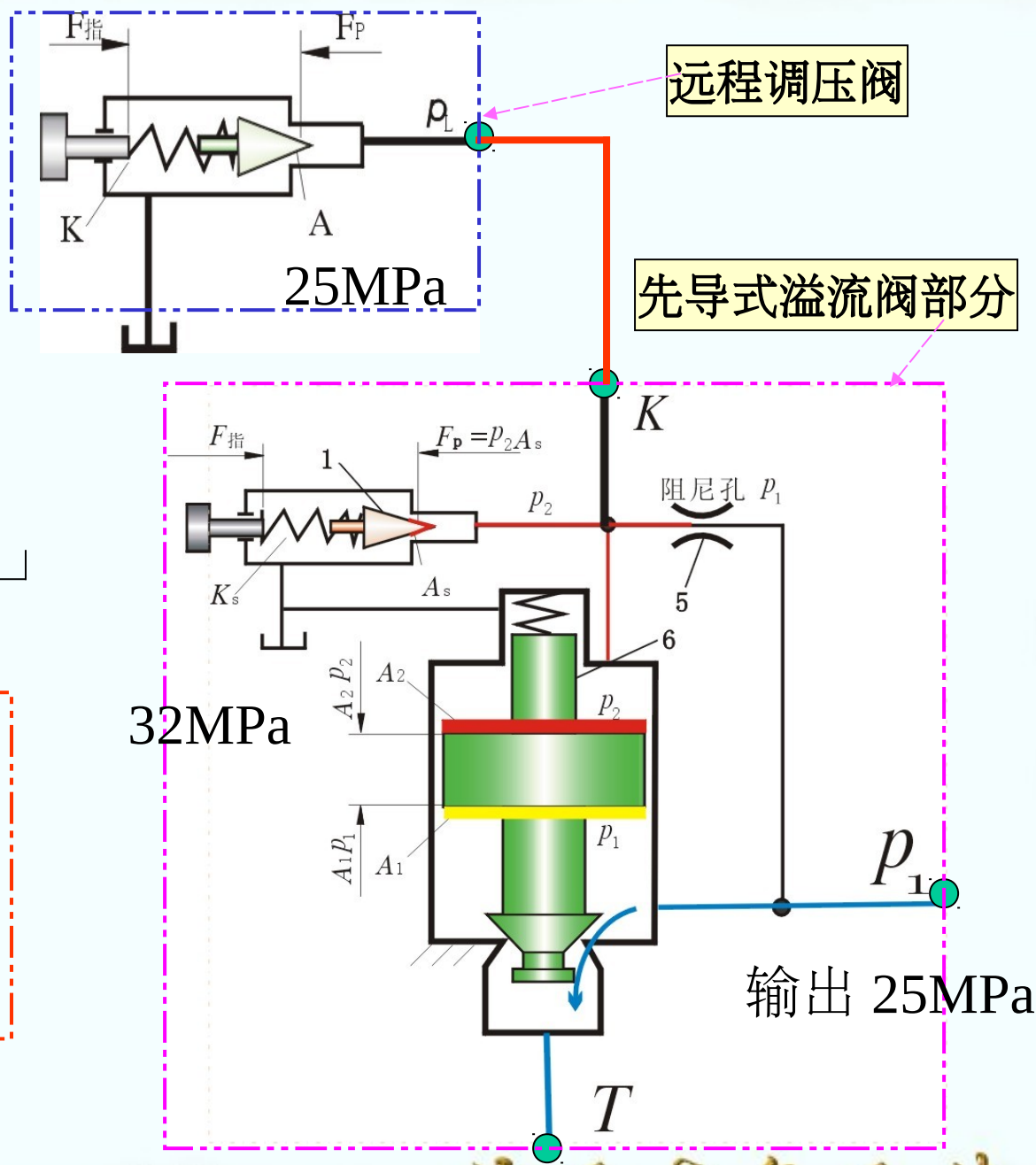
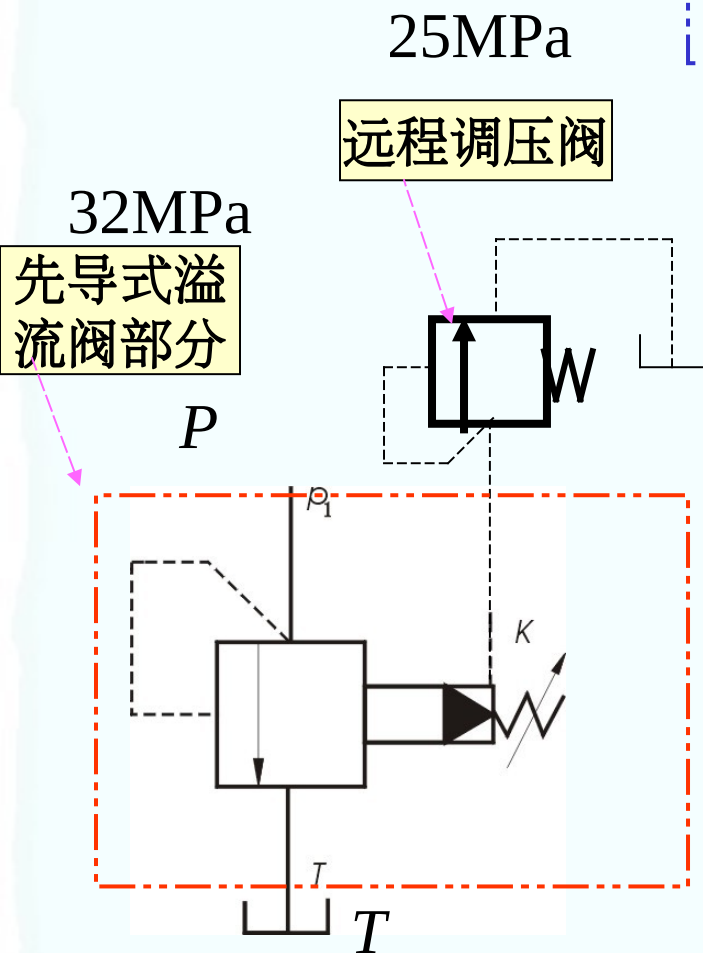
3. 先导型溢流阀遥控口接法

- 2) 远程调压阀实际上是一个独立的压力先导阀，旁接在先导型溢流阀遥控口起远程调压作用，其调定压力必须低于先导阀的调定压力。无论哪个起作用，泵的溢流量始终经主阀阀口回油箱。



压力控制阀

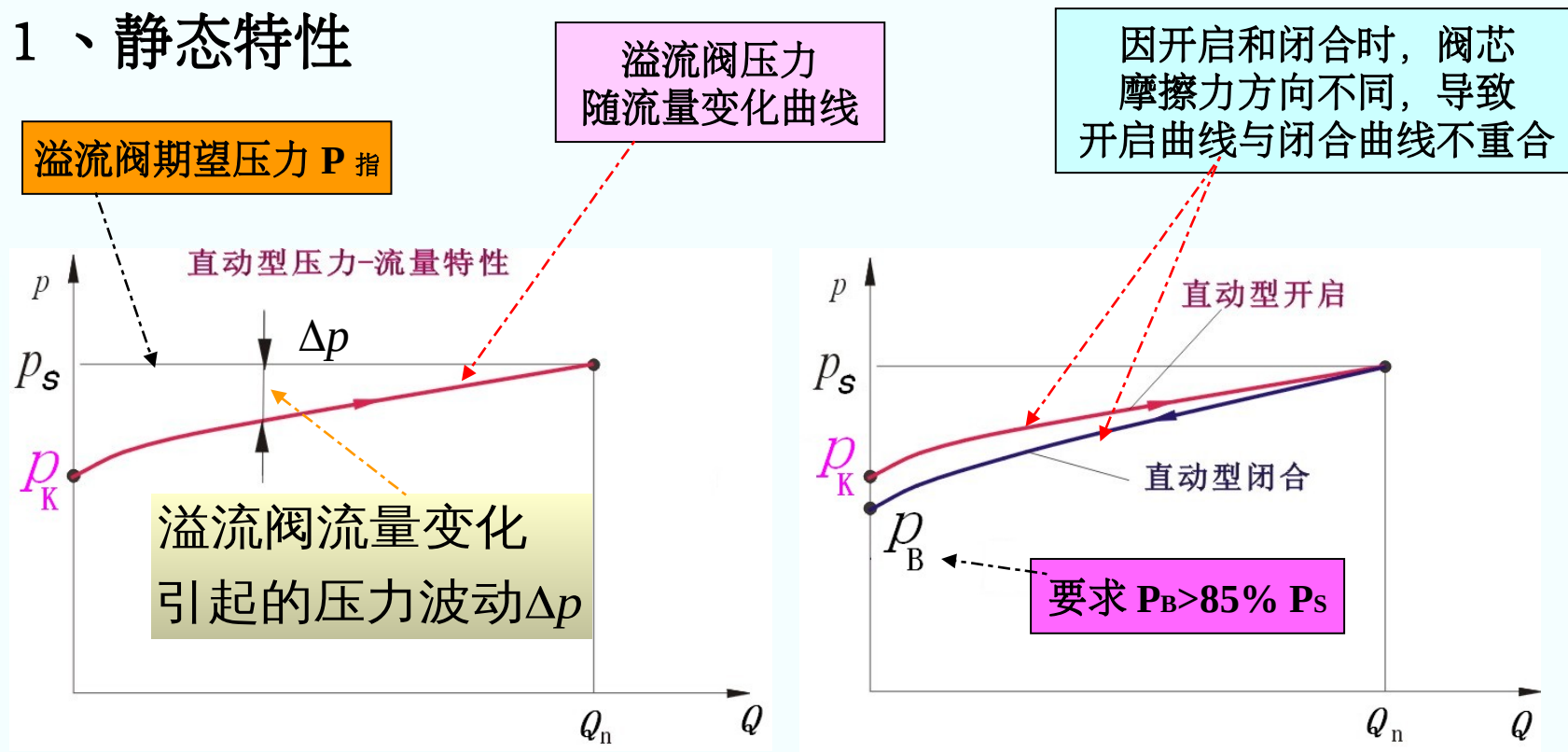
远程调压原理



(三)、溢流阀静态特性与动态特性

静态特性是指阀在稳态工况时的特性，动态特性是指阀在瞬态工况时的特性。

1、静态特性



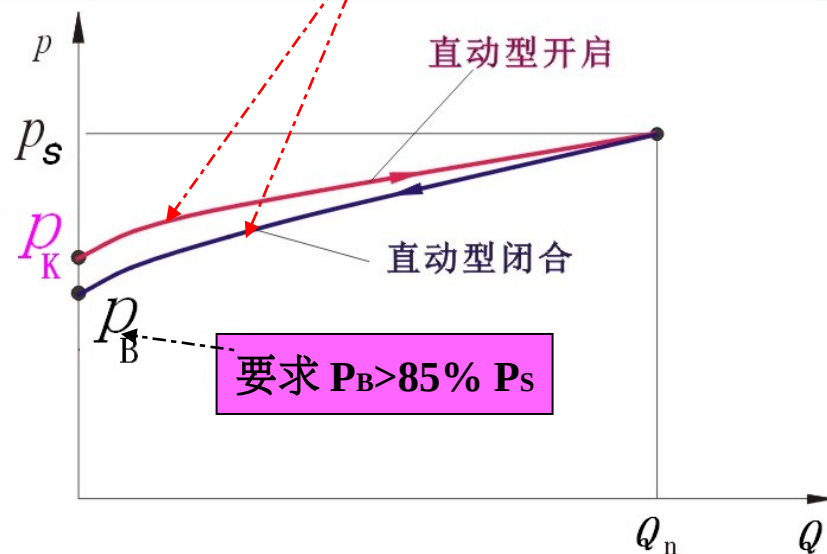
压力控制阀

1、静态特性

压力调节范围：是指调压弹簧在规定的范围内调节时，系统压力平稳地（压力无突跳及迟滞现象）上升或下降的最大和最小调定压力。

溢流阀在最大允许流量下工作时应无噪声。溢流阀的最小稳定流量取决于对压力平稳性的要求，一般规定为额定流量的 15 %。

因开启和闭合时，阀芯摩擦力方向不同，导致开启曲线与闭合曲线不重合



压力控制阀

1、静态特性

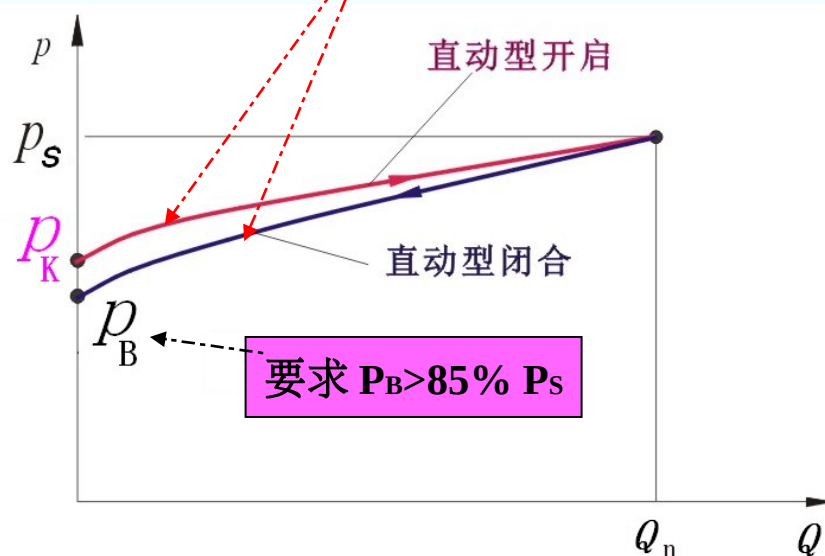
启闭特性：是指溢流阀从开启到闭合过程中，被控压力与通过溢流阀的溢流量之间的关系。

它是衡量溢流阀定压精度的一个重要指标，一般用溢流阀处于额定流量、额定压力 p_s 时，开始溢流的开启压力 p_k 及停止溢流的闭合压力 p_B 分别与 p_s 的百分比来衡量。

前者称为开启压力比，
$$\bar{p}_K = (p_K / p_s) \times 100\%$$

后者称为闭合压力比
$$\bar{p}_B = (p_B / p_s) \times 100\%$$

因开启和闭合时，阀芯摩擦力方向不同，导致开启曲线与闭合曲线不重合



压力控制阀

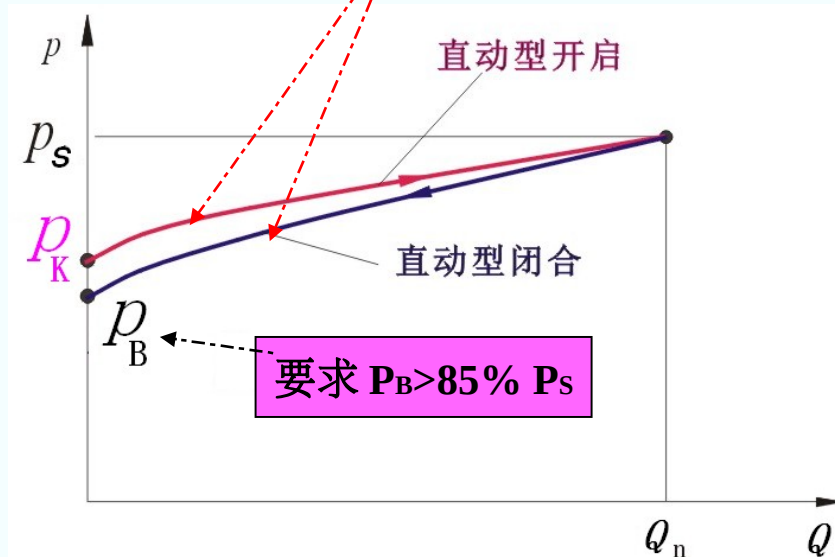
1、静态特性

显然，此二压力比越大及二者越接近，溢流阀的启闭特性越好。一般应使

$$\bar{P}_K \geq 90\%,$$

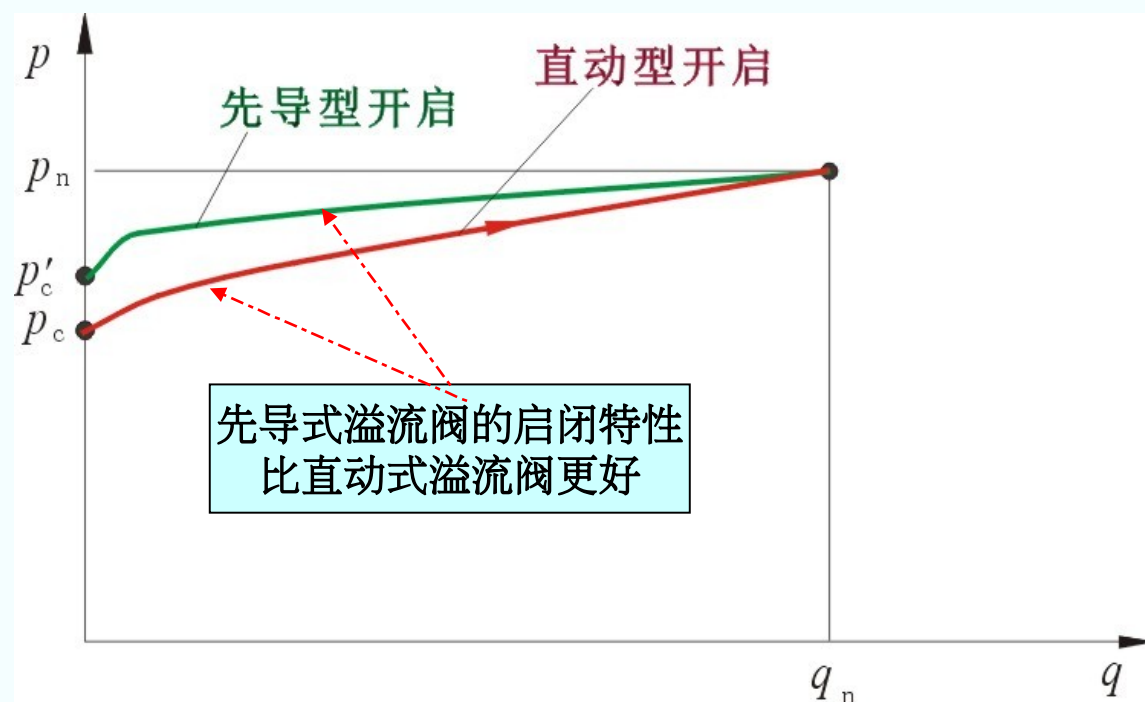
$$\bar{P}_B \geq 85\%。$$

因开启和闭合时，阀芯摩擦力方向不同，导致开启曲线与闭合曲线不重合



压力控制阀

① 对同一个溢流阀，其开启特性总是优于闭合特性。这主要是由于在开启和闭合两种运动过程中，摩擦力的作用方向相反所致。

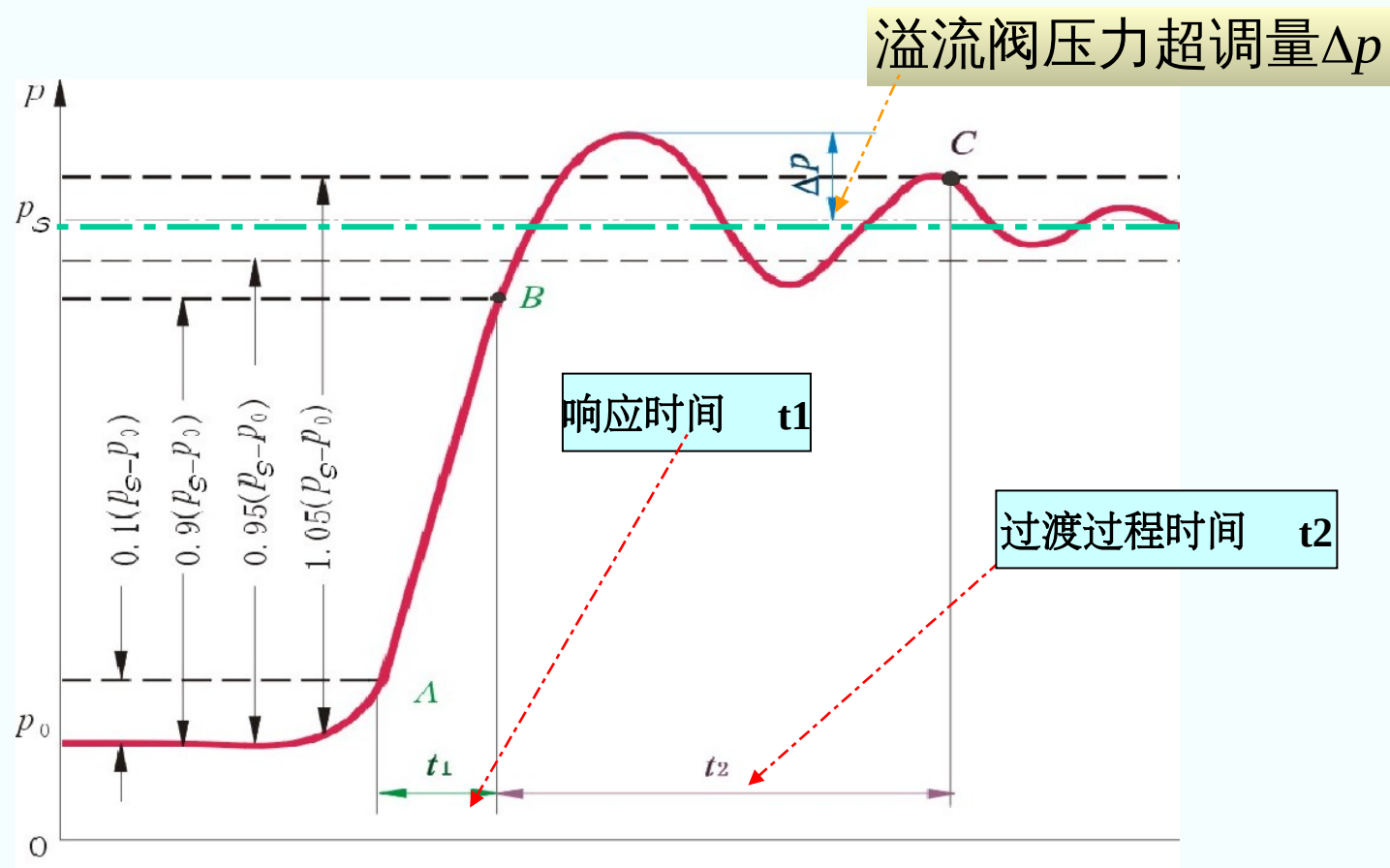


② 先导式溢流阀的启闭特性优于直动式溢流阀。也就是说，先导式溢流阀的调压偏差比直动式溢流阀的调压偏差小，调压精度更高。

压力控制阀

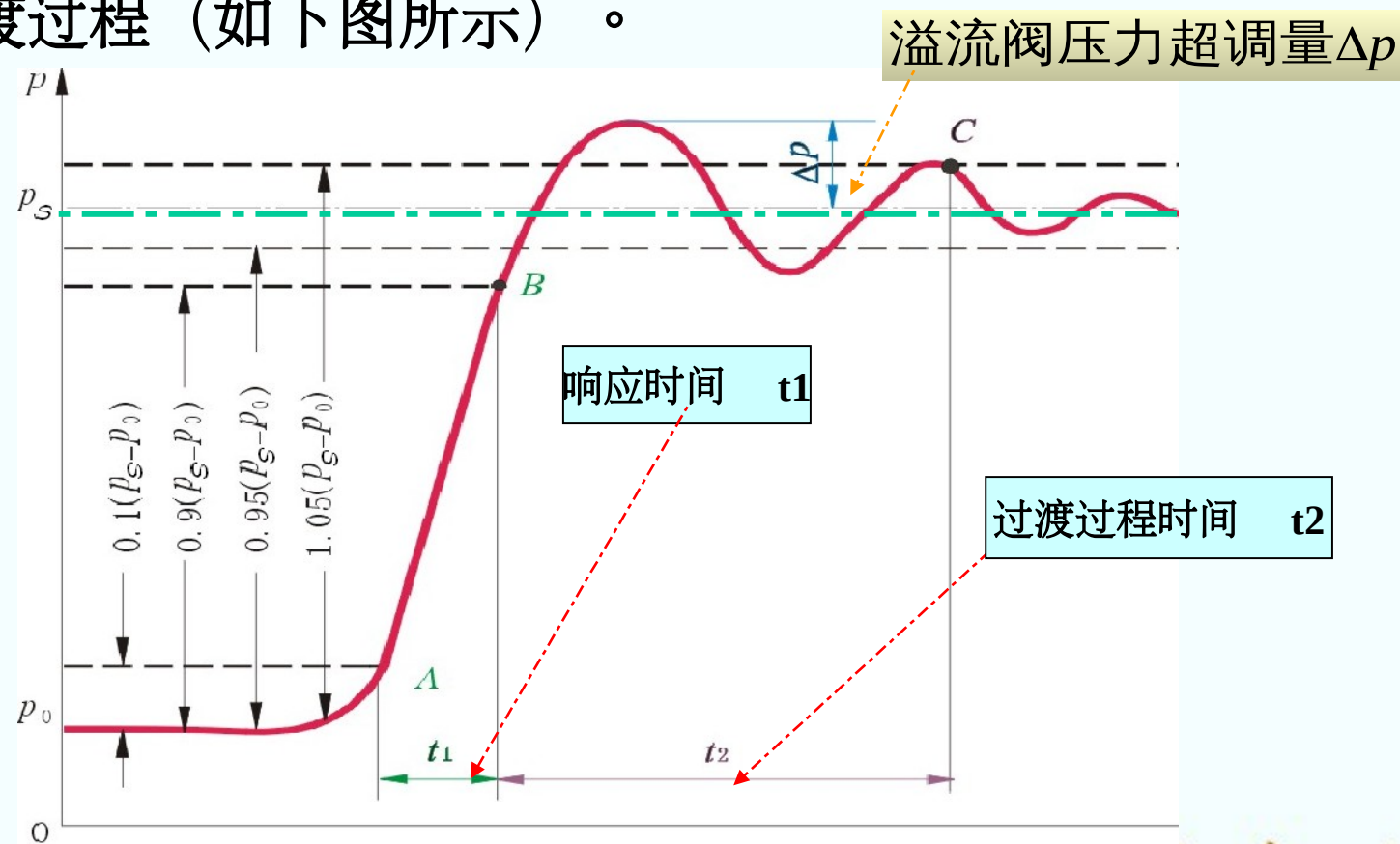
2、动态特性

溢流阀的动态特性是指流量阶跃时的压力响应特性。其衡量指标主要有压力超调量、响应时间等。



2、动态特性

当溢流阀的溢流量由零阶跃变化至额定流量时，其进口压力（及其控制的系统压力）将迅速升高并超过额定压力的调定值，然后逐步衰减到最终稳定压力，从而完成其动态过渡过程（如下图所示）。

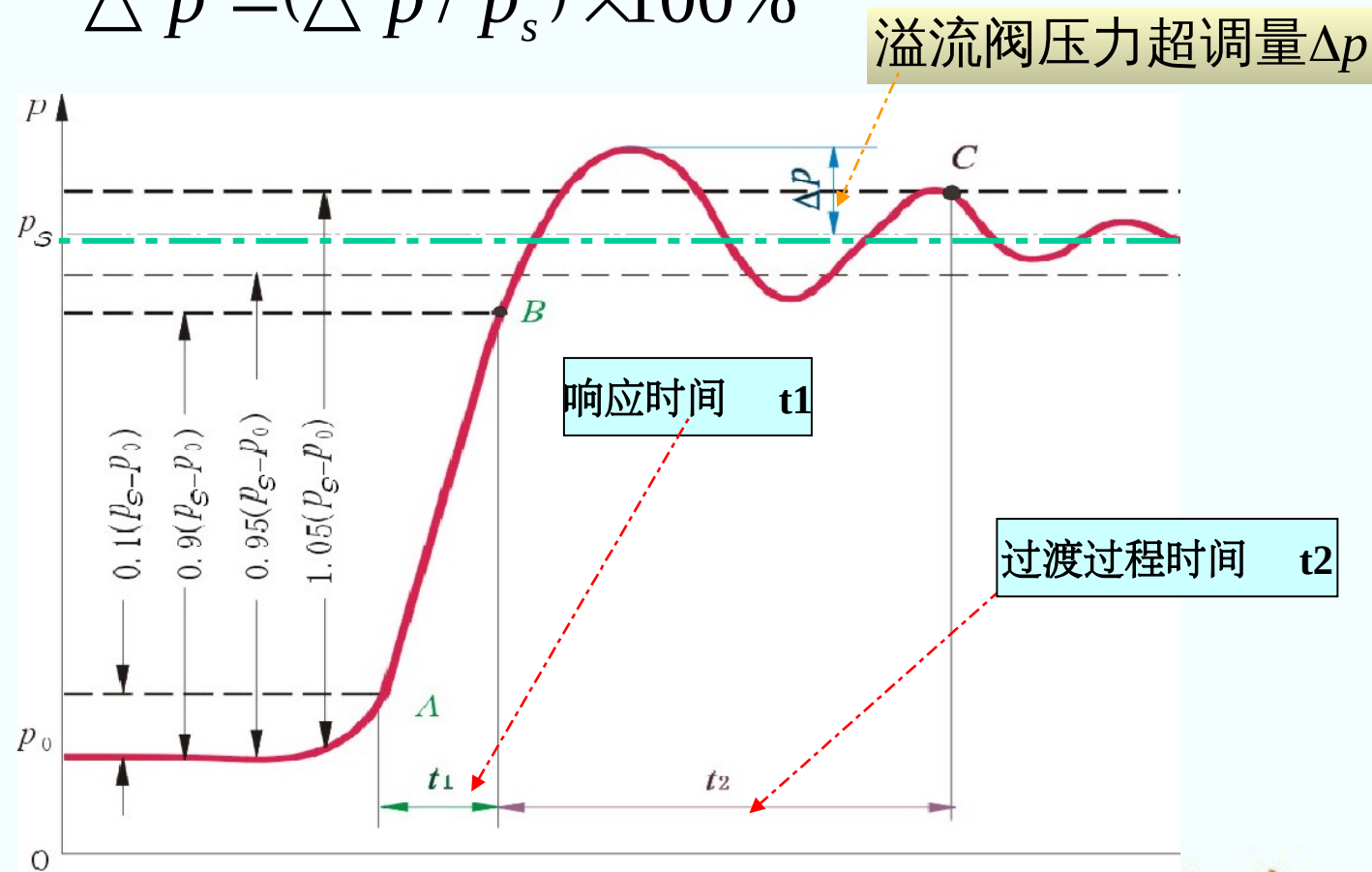


压力控制阀

2、动态特性

压力超调量： 定义最高瞬时压力峰值与额定压力调定值 p_s 的差值为压力超调量 Δp 。则压力超调率

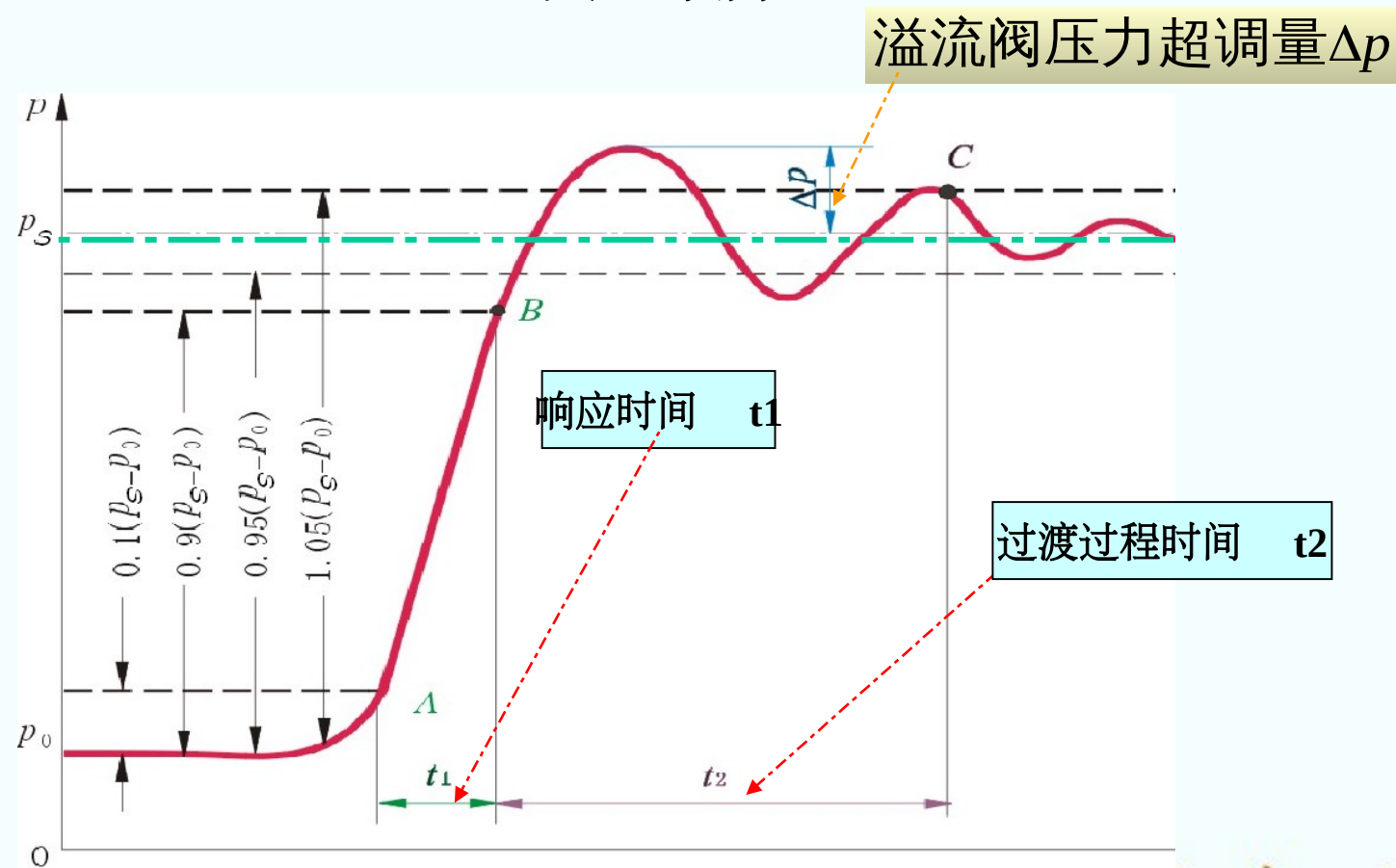
$$\Delta p = (\Delta p / p_s) \times 100\%$$



压力控制阀

2、动态特性

压力超调率是衡量溢流阀动态定压误差的一个性能指标。要求 $\overline{\Delta p} \geq 10\%-30\%$ ；否则，可能导致系统中元件损坏，管道破裂或其它故障。

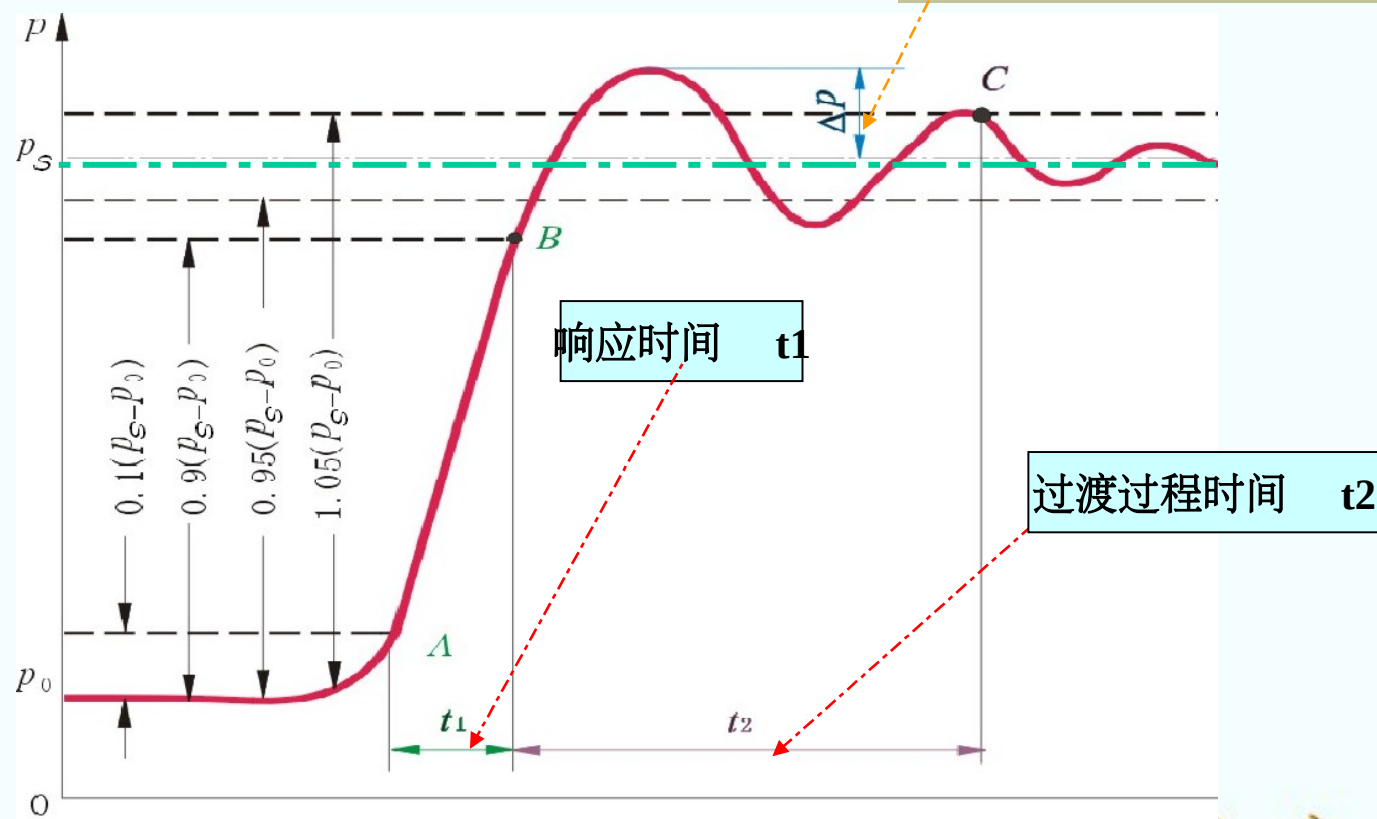


压力控制阀

2、动态特性

• **响应时间 t_1** ：是指从起始稳态压力 p_0 （ $p_0 > 20\% p_s$ ）与最终稳态压力 p_s 之差的 10% 上升到 90% 的时间，即图中 A、B 两点间的时间间隔。 t_1 越小，溢流阀的响应越快。

溢流阀压力超调量 Δp

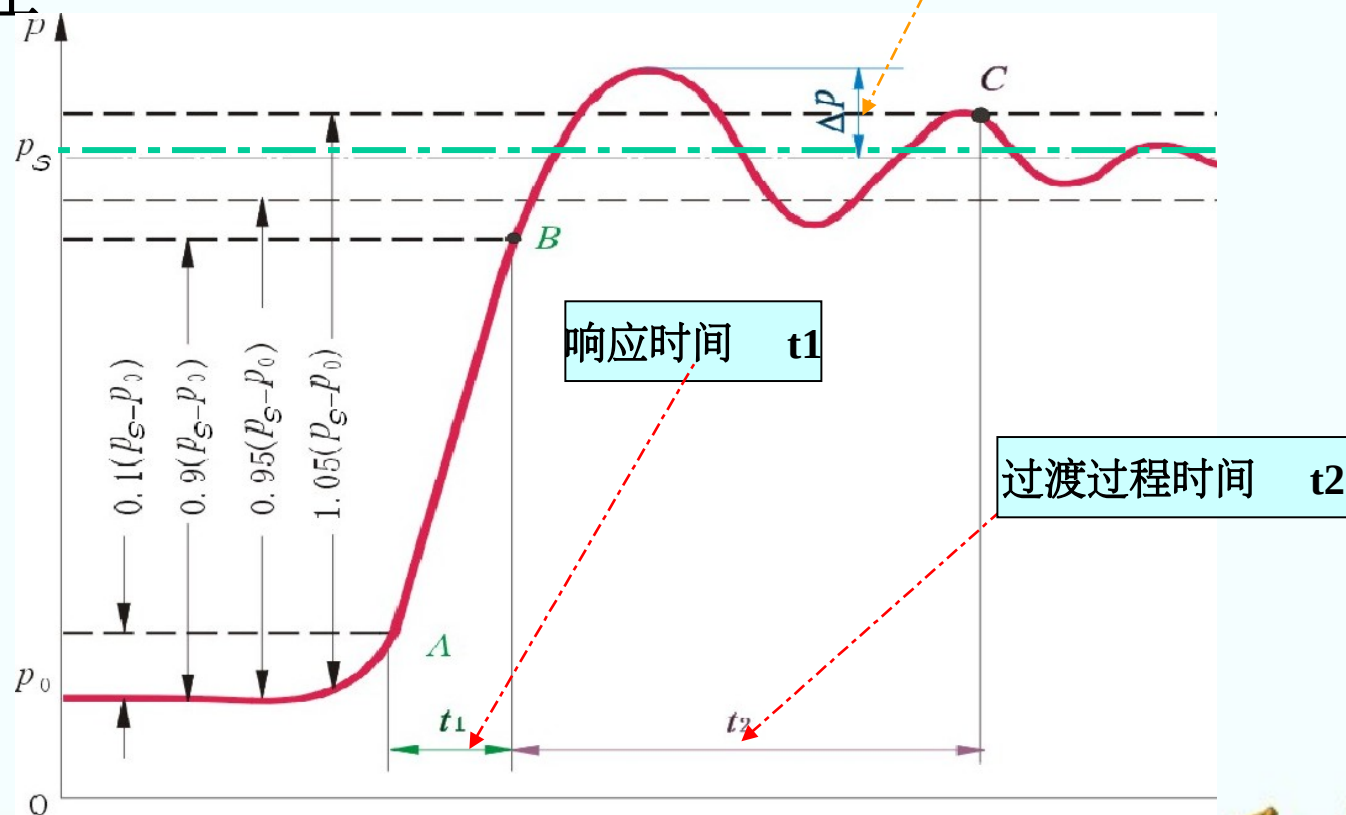


压力控制阀

2、动态特性

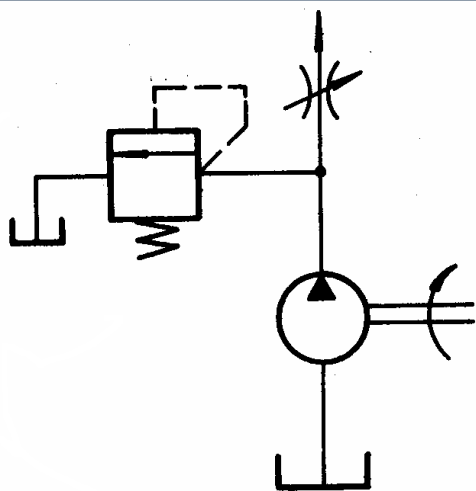
• 过渡过程时间 t_2 : 是指从 $0.9(p_s - p_0)$ 的 B 点到瞬时过渡过程的最终时刻 C 点之间的时间。C 点以后的压力波形应落在图中给定的 $(0.9 \sim 1.05)(p_s - p_0)$ 限制范围内; 否则, C 点应后滞, 直到溢流阀压力超调量 Δp 满足要求为止。

t_2 越小,
溢流阀的
动态过渡
过程越短
。

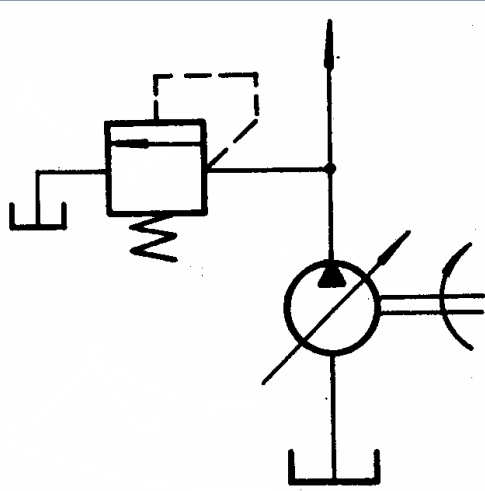


(四)、溢流阀的应用

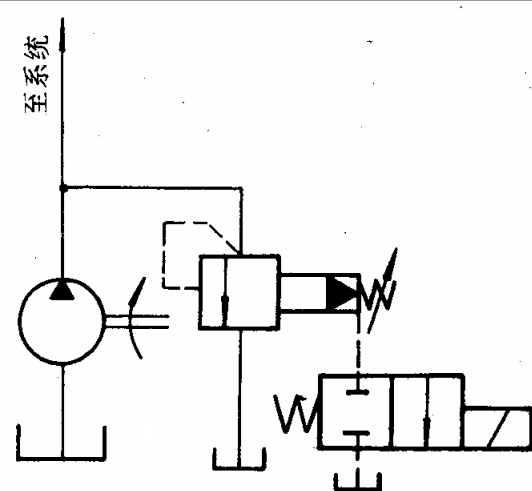
- 1) 溢流阀旁接在泵的出口，用来保证系统压力恒定，称为定压阀。
- 2) 溢流阀旁接在泵的出口，用来限制系统压力的最大值，对系统起保护作用，称为安全阀。
- 3) 电磁溢流阀还可以在执行机构不工作时使泵卸载。



溢流阀起定压溢流作用



溢流阀起限压安全作用



用先导式溢流阀的卸荷回路

二、减压阀

减压阀主要用于降低并稳定系统中某一支路的油液压力，常用于夹紧、控制、润滑等油路中。

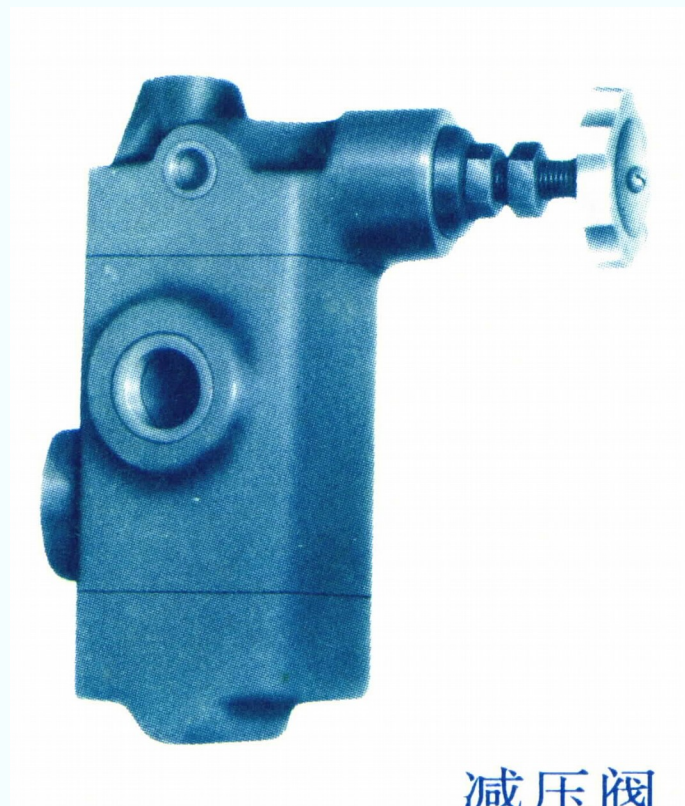
减压阀也有直动型和先导型之分，但直动型减压阀较少单独使用。

减压阀的特征是：

阀与负载相串联，调压弹簧腔有外接泄油口，采用出口压力反馈，不工作时阀口常开。

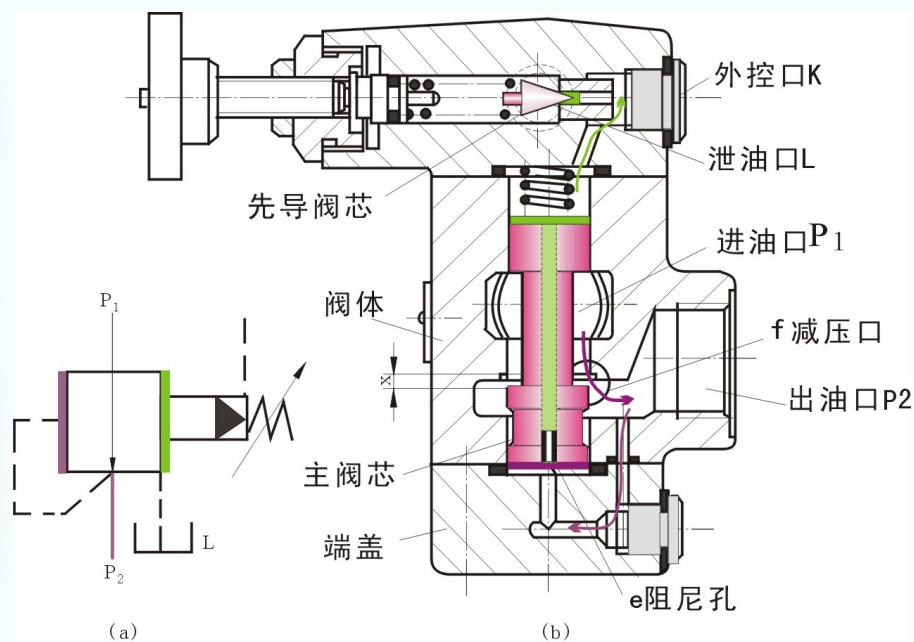
减压阀是利用液流流过缝隙产生压力损失，使其出口压力低于进口压力的压力控制阀。

按调节要求不同，有定值减压阀，定差减压阀，定比减压阀。其中定值减压阀应用最广，又简称减压阀。



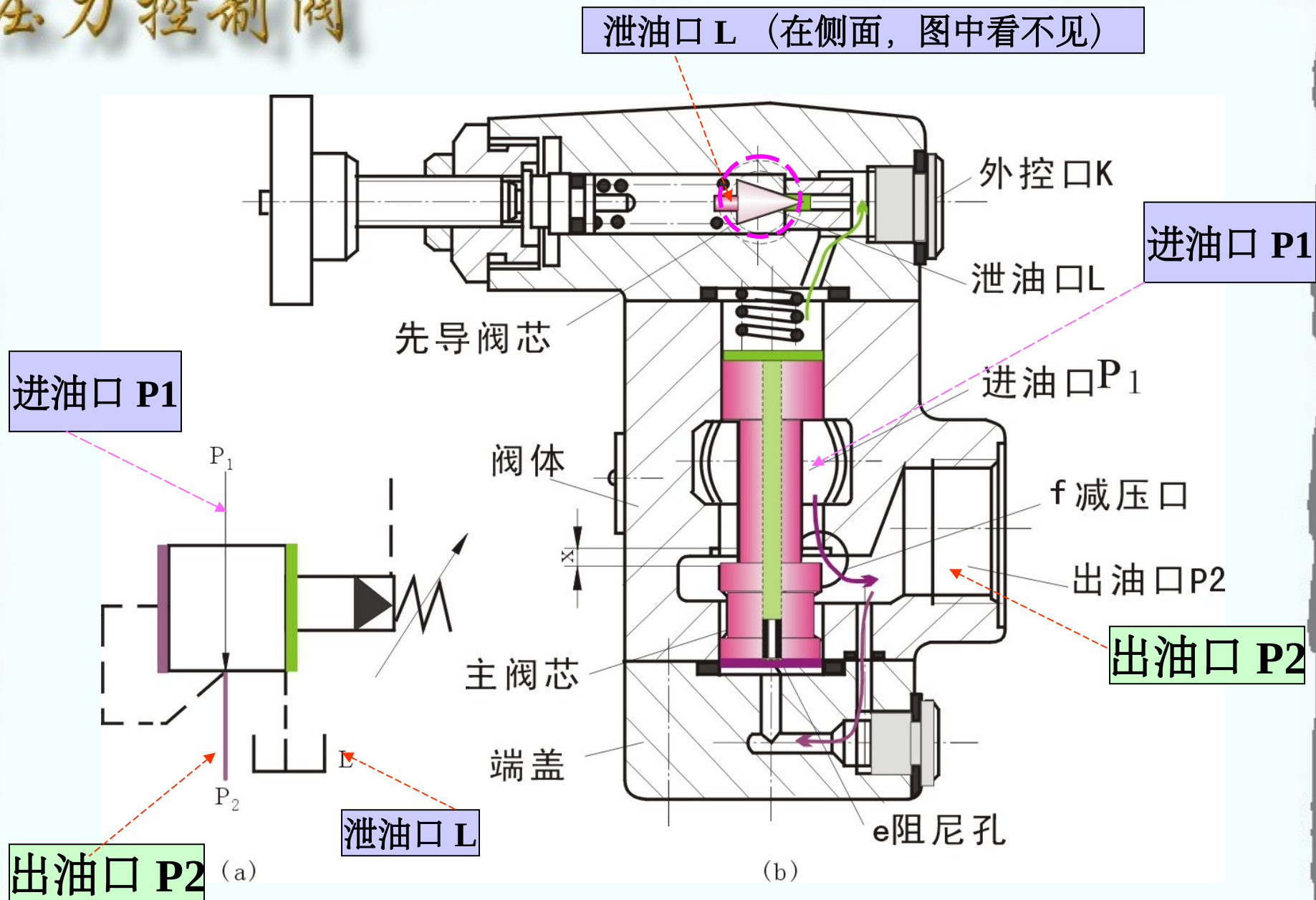
减压阀

1、定值减压阀的结构原理

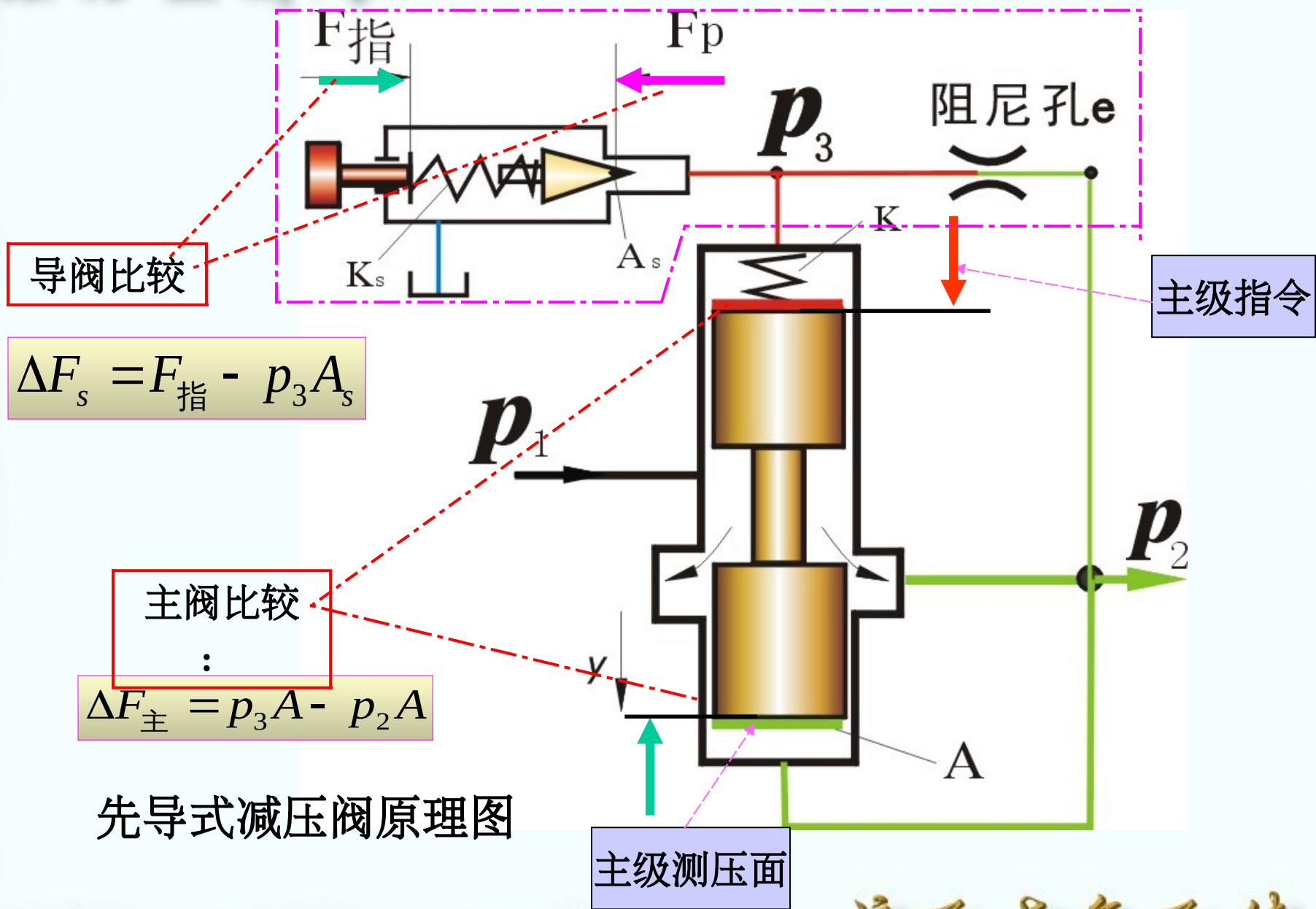


减压阀由压力先导阀和主阀组成。出口压力油引至主阀芯上腔和先导阀前腔，当出口压力大于减压阀的调定压力时，先导阀开启，主阀芯上移，减压缝隙关小，减压阀才起减压作用且保证出口压力为定值。

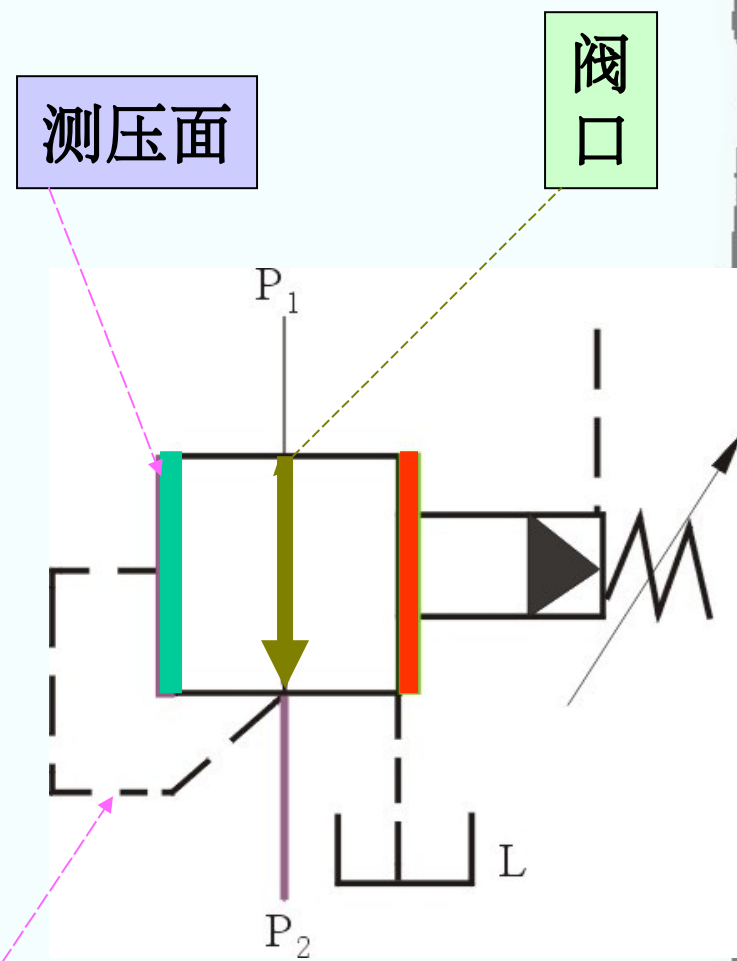
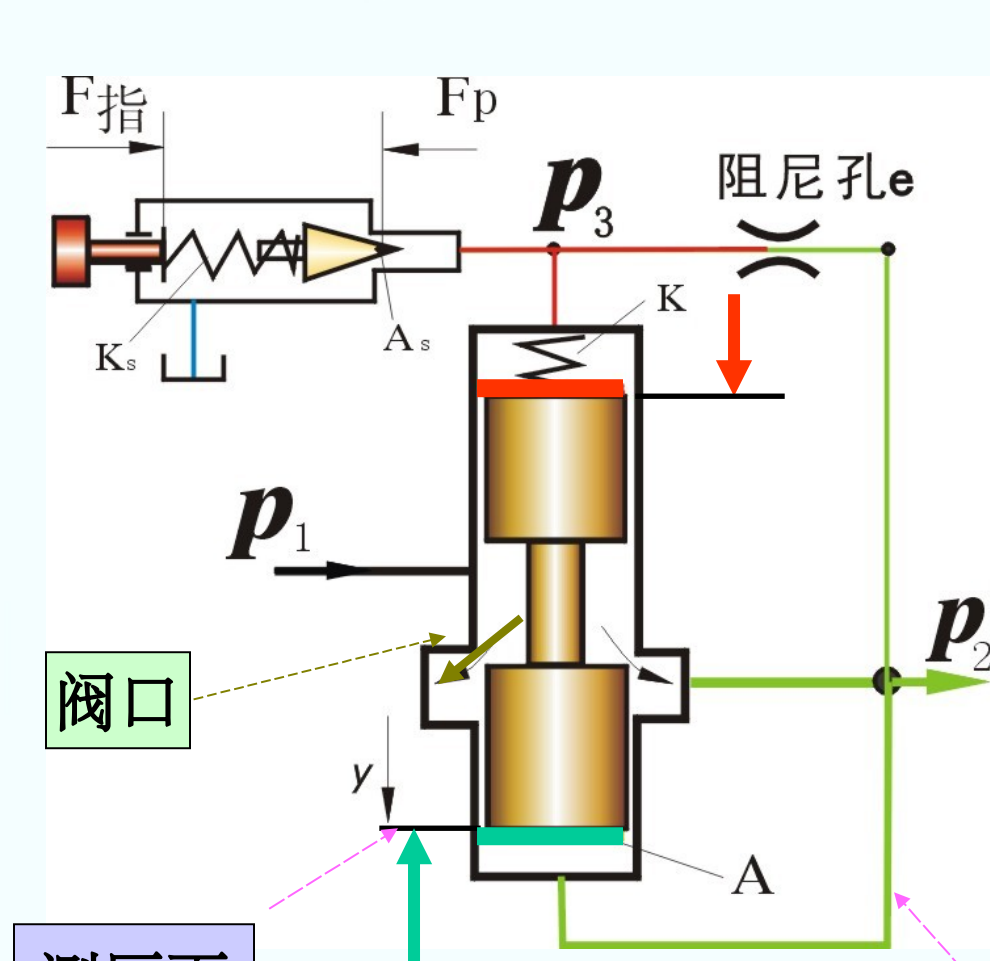
压力控制阀



压力控制阀



压力控制阀



阀口

测压面

测压面

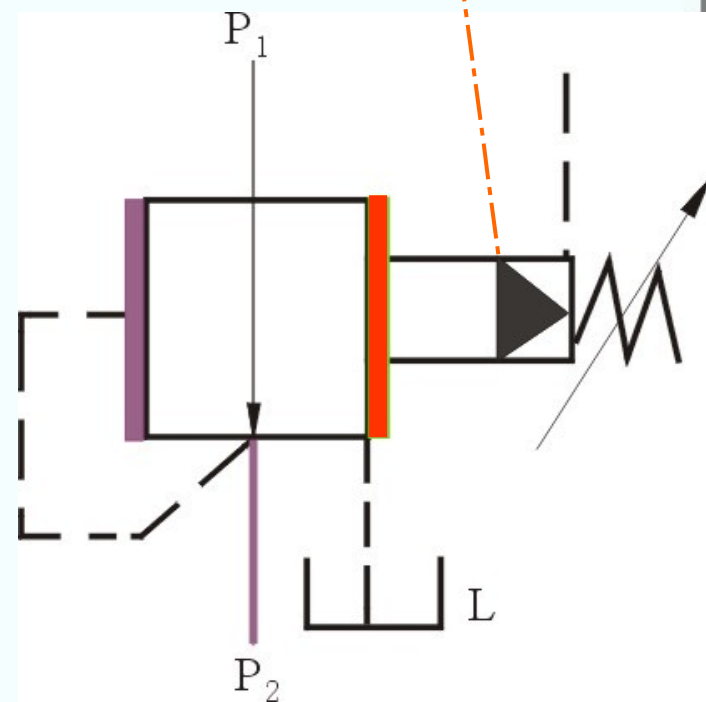
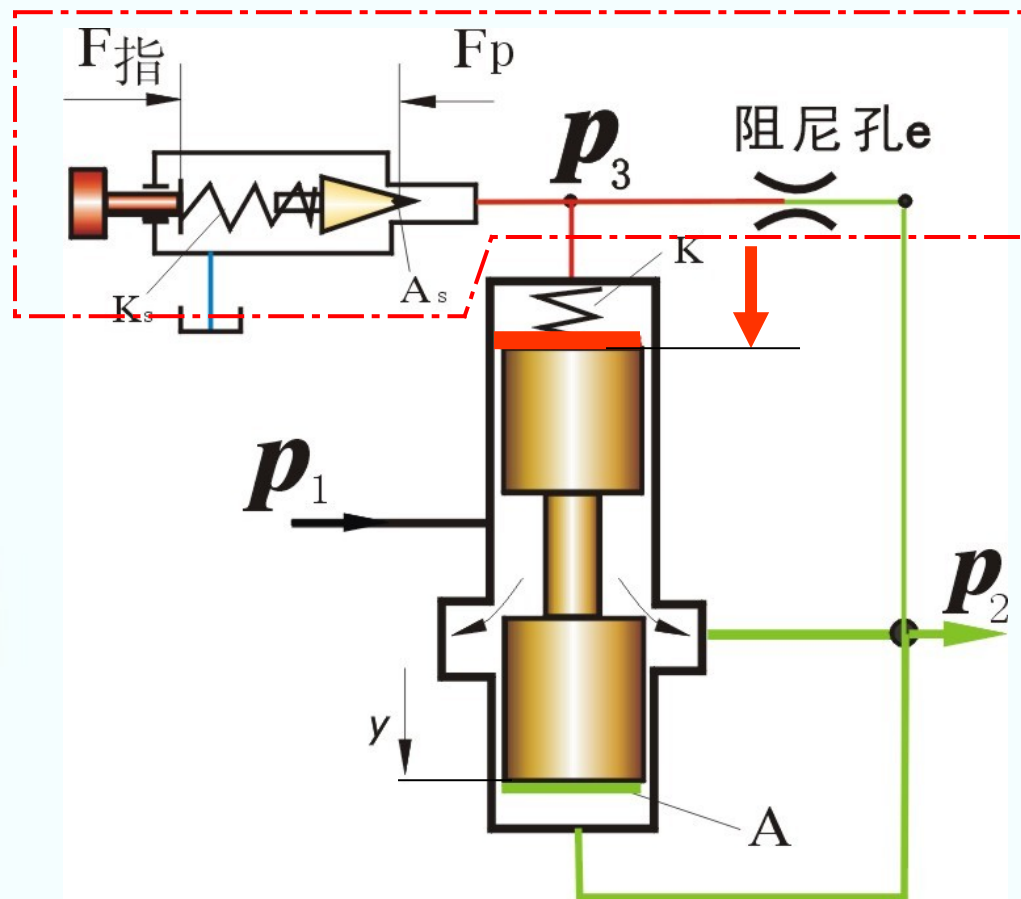
阀口

测压孔

减压阀符号

压力控制阀

代表液压先导控制

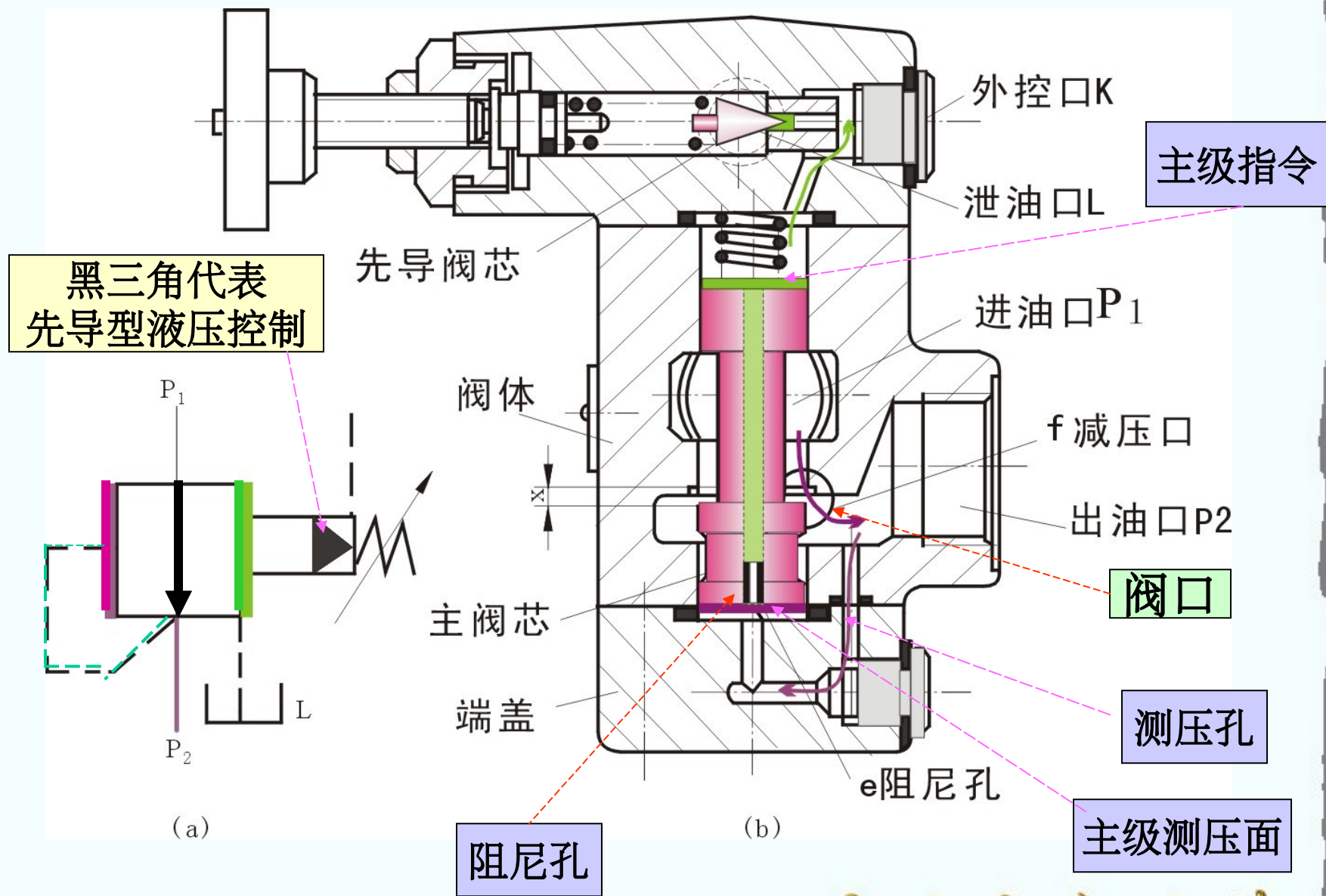


减压阀符号

先导型减压阀
与符号的对应关系

液压与气压传动

先导式减压阀



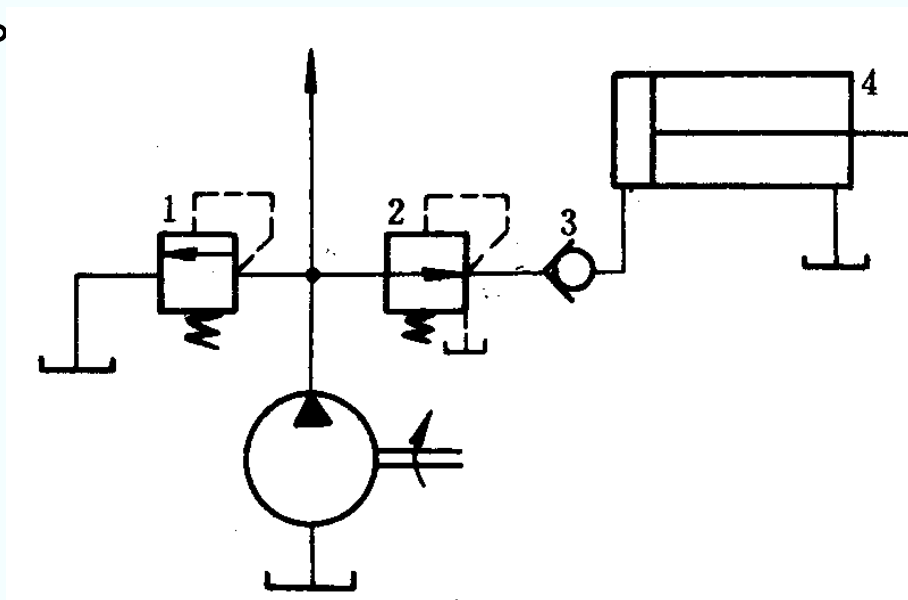
2、减压阀的特点

与先导型溢流阀比较：

1. 减压阀是出口压力控制，保证出口压力为定值；
溢流阀是进口压力控制，保证进口压力为定值。
2. 减压阀阀口常开；
溢流阀阀口常闭。
3. 减压阀有单独的泄油口；
溢流阀弹簧腔的泄漏油经阀体内流道内泄至出口。
4. 减压阀与溢流阀一样有遥控口。

3、减压阀的功用

减压阀用在液压系统中获得压力低于系统压力的二次油路上，如夹紧回路、润滑回路和控制回路。必须说明，减压阀出口压力还与出口负载有关，若负载压力低于调定压力时，出口压力由负载决定，此时减压阀不起减压作用。



三、顺序阀

顺序阀用来控制液压系统中多个执行元件动作的先后顺序。

顺序阀也有直动型和先导型之分，根据控制压力来源不同，它还有内控式和外控式之分。通过改变控制方式、泄油方式以及二次油路的连接方式，顺序阀还可用作背压阀、卸荷阀和平衡阀等。

顺序阀的特征是：

阀的出口一般接负载（串联），调压弹簧腔有外接泄油口，采用进口测压，不工作时阀口常闭。

压力控制阀

1、直动型顺序阀

直动
式顺序阀是作用在阀芯上的主油路液压力与调压弹簧力直接相平衡的顺序阀。

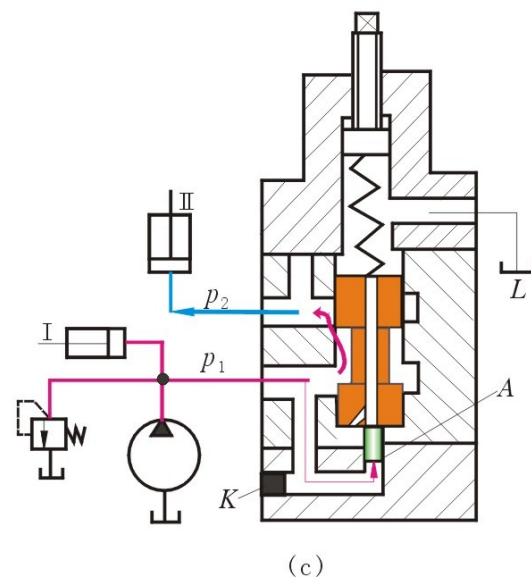
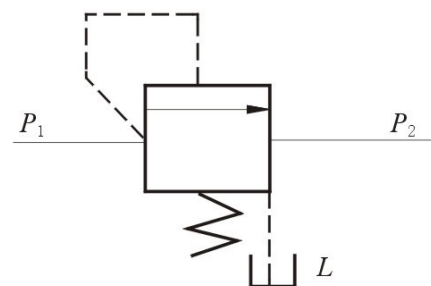
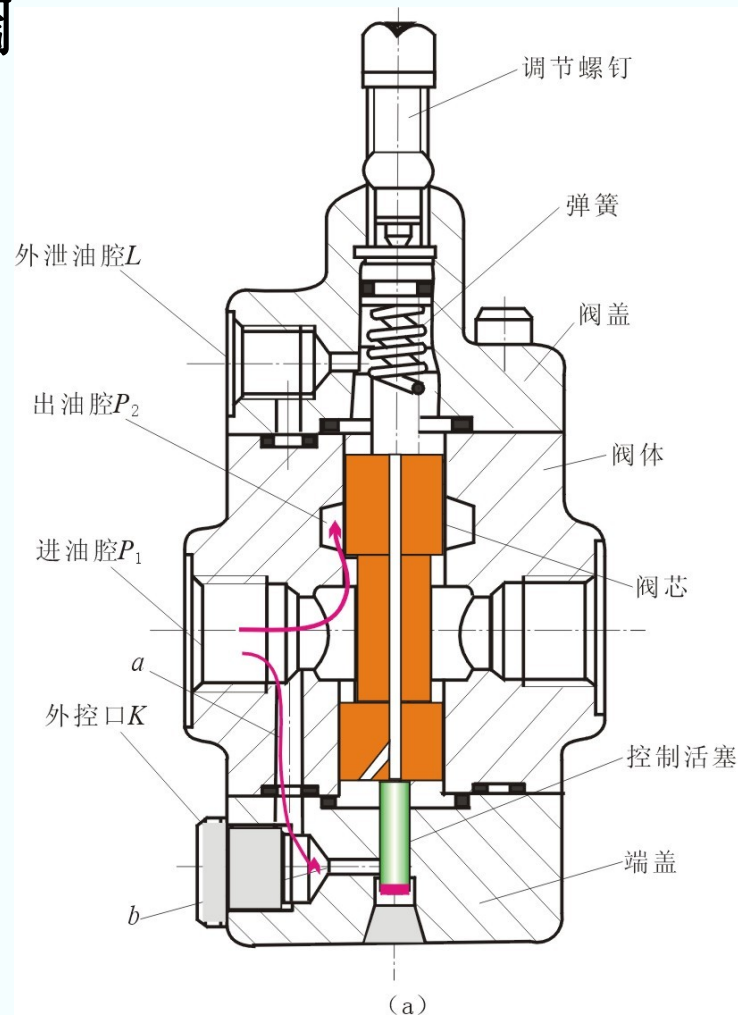
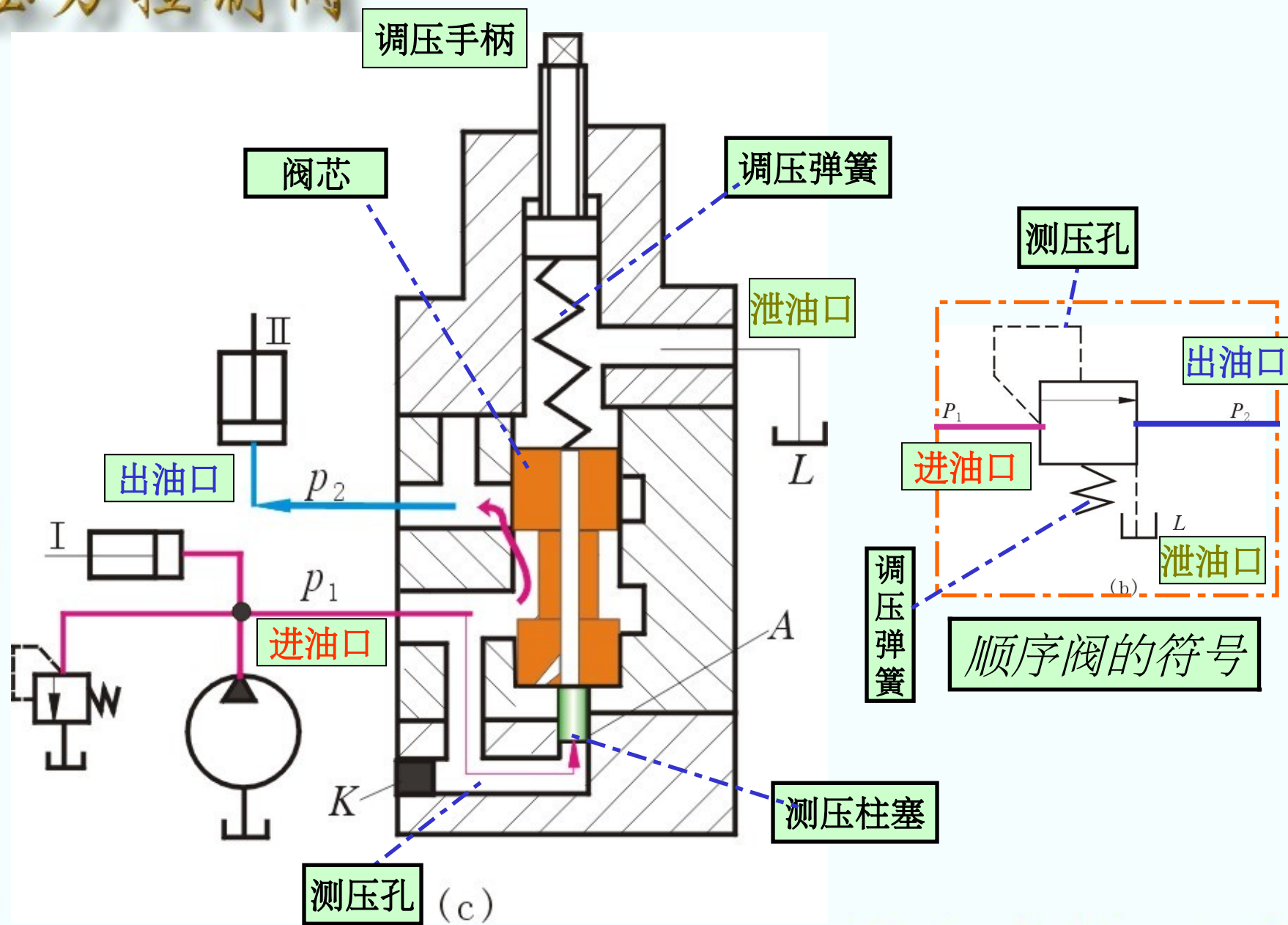


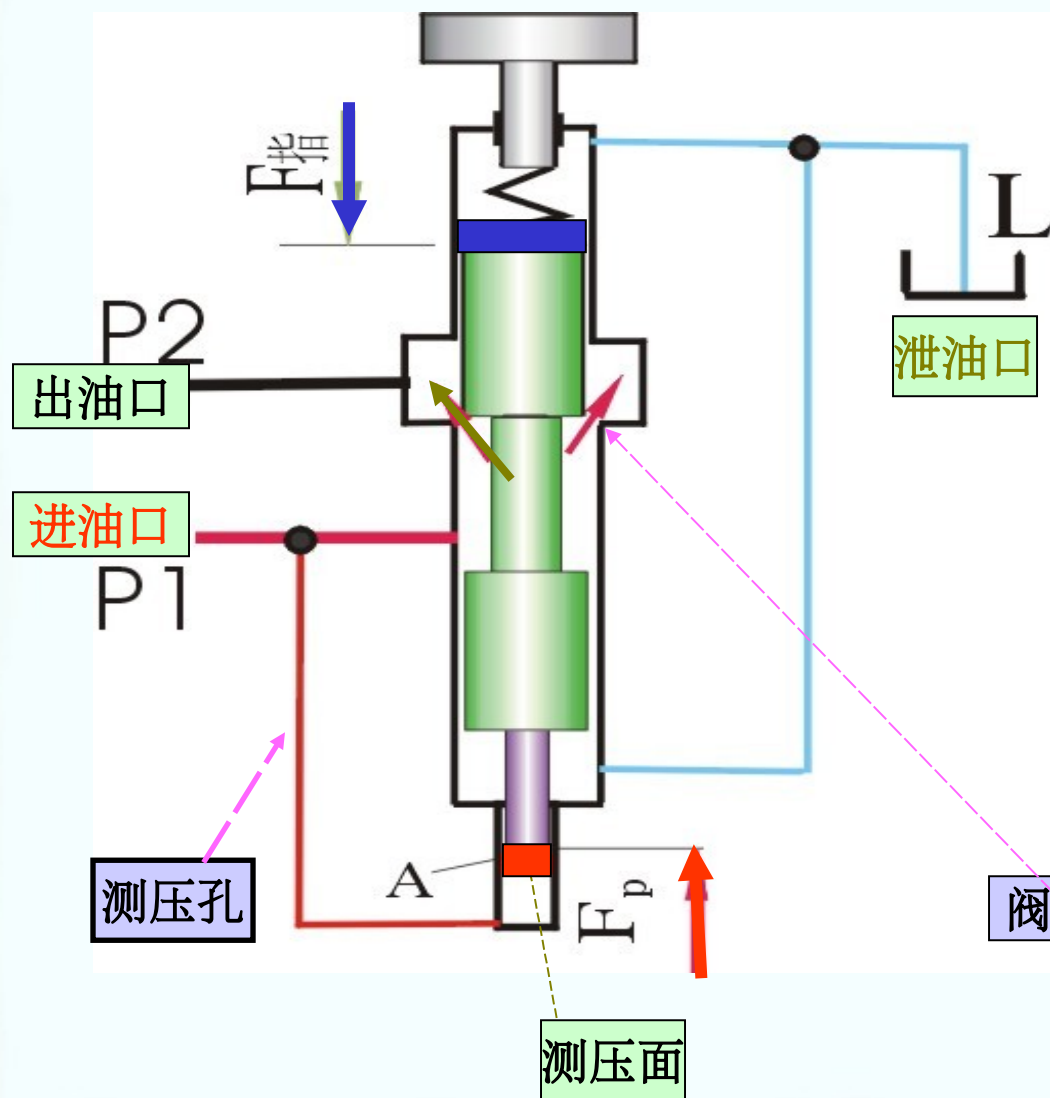
图 6.20

压力控制阀

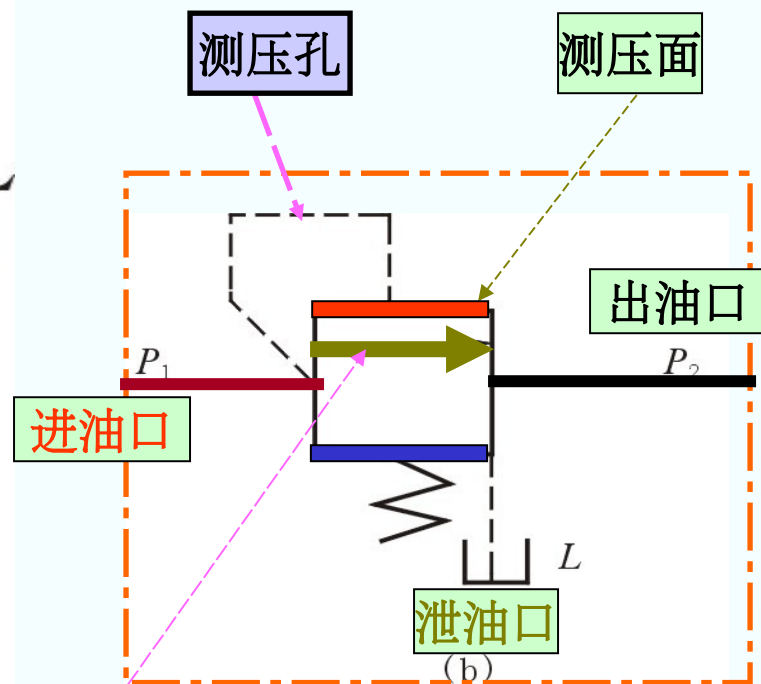


压力控制阀

直动型顺序阀 与符号的对应关系



顺序阀的符号



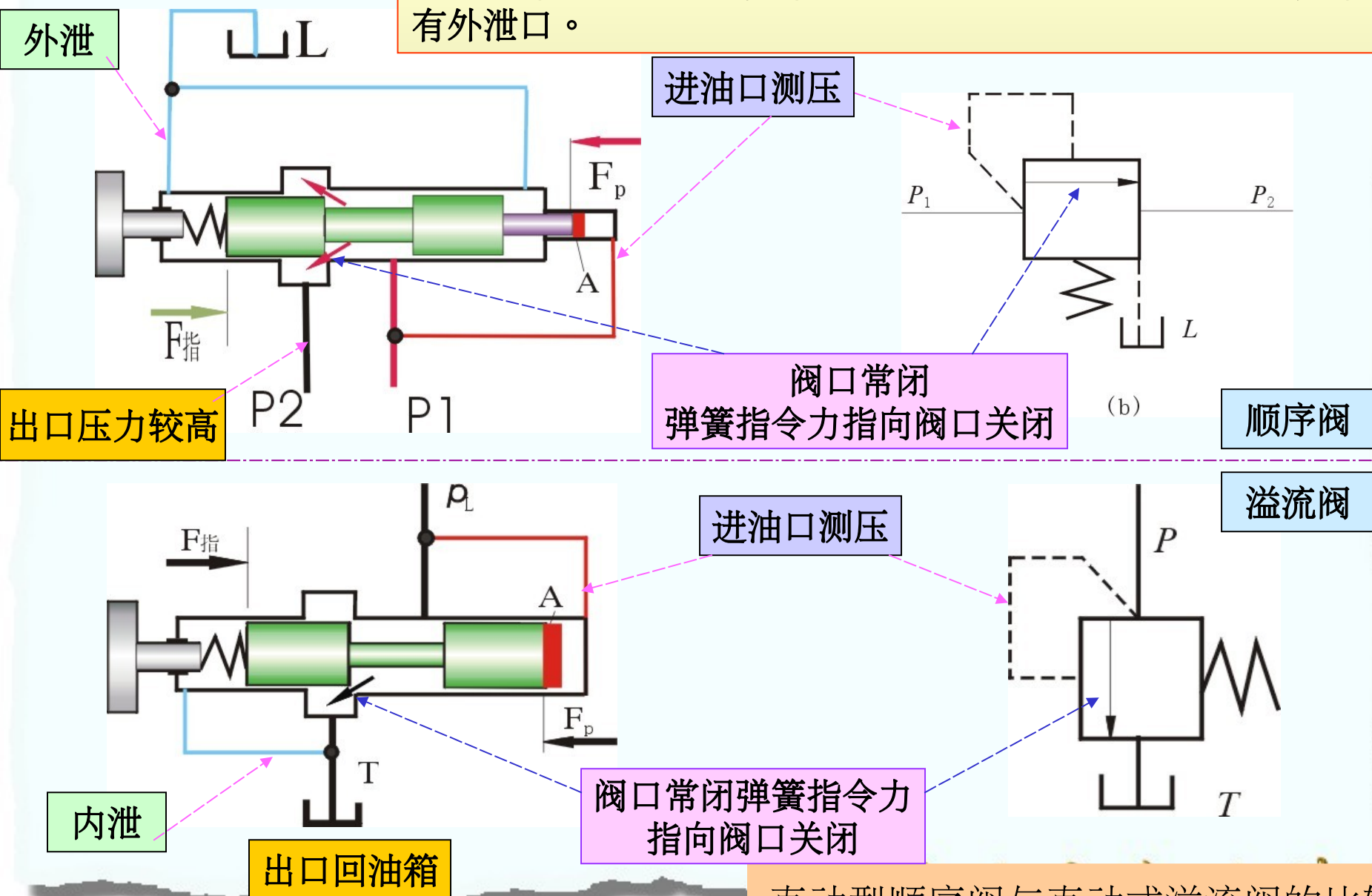
顺序阀属于开关阀

当 $p_1 A$ 大于 $F_{指} \Rightarrow$ 阀口开

当 $p_1 A$ 小于 $F_{指} \Rightarrow$ 阀口关

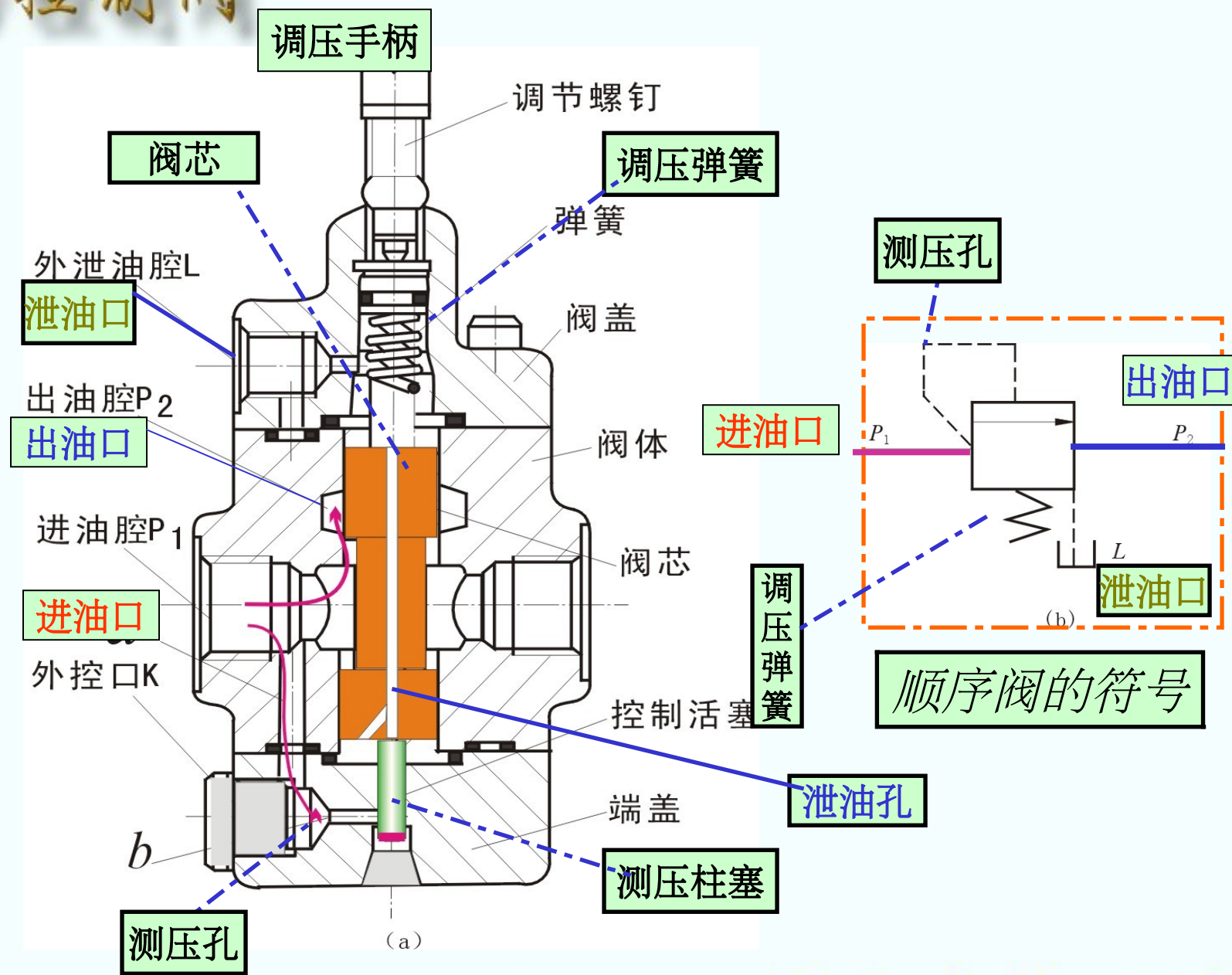
压力控制阀

顺序阀在油路中相当于一个以油液压力作为信号来控制油路通断的液压开关。它与溢流阀的工作原理基本相同，**主要差别为**：①出口接负载；②动作时阀口不是微开而是全开；③有外泄口。



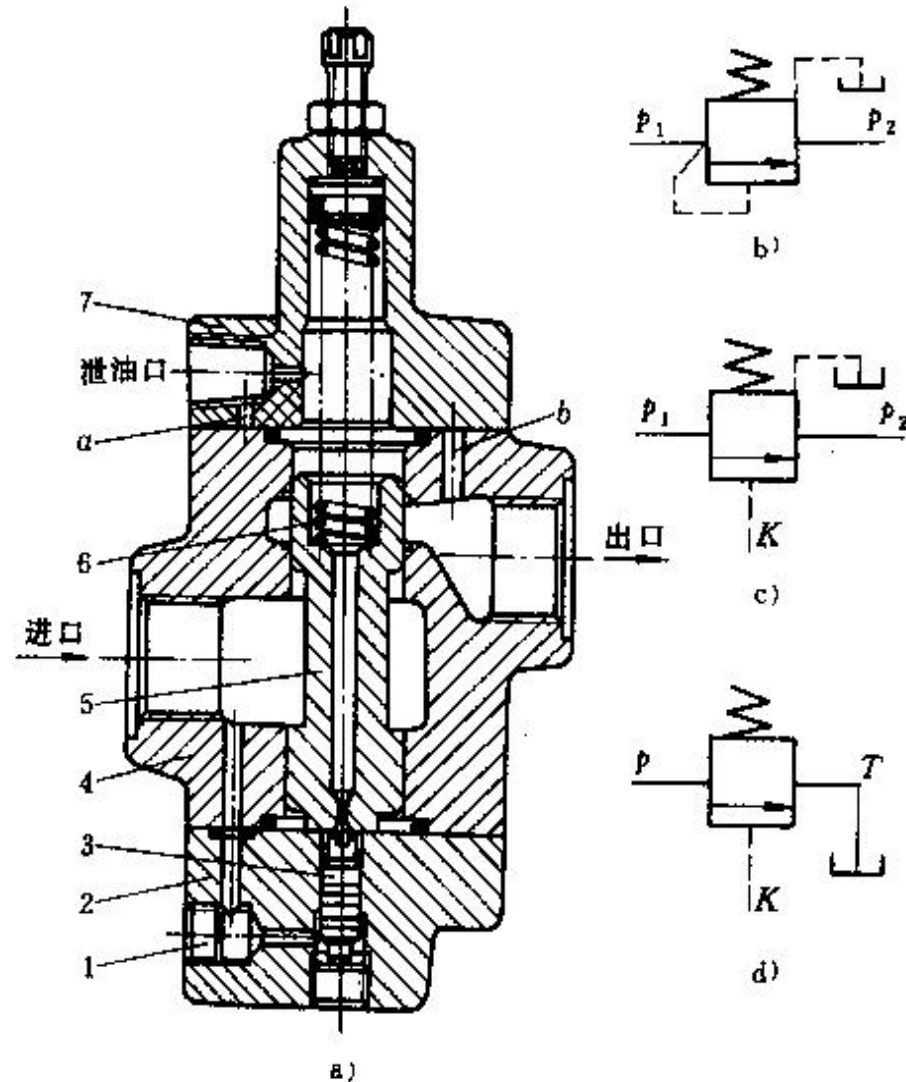
直动型顺序阀与直动式溢流阀的比较

压力控制阀



压力控制阀

顺序阀有内外控之分。若将出油口接通油箱，且将外泄改为内泄，即可作平衡阀用，使垂直放置的液压缸不因自重而下落。把外控式顺序阀的出油口接通油箱，且将外泄改为内泄，即可构成卸荷阀。



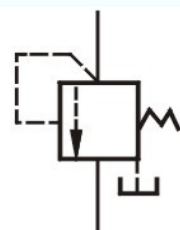
直动式顺序阀

1—螺堵 2—下阀盖 3—控制活塞 4—阀体 5—阀芯
6—弹簧 7—上阀盖

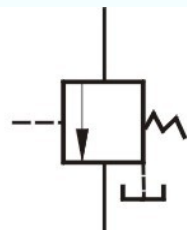
压力控制阀

顺序阀常与单向阀组合成单向顺序阀使用。

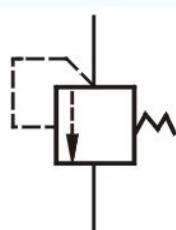
顺序阀的职能符号



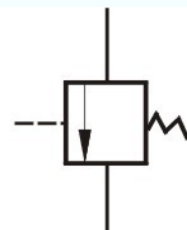
顺序阀
(内控外泄)



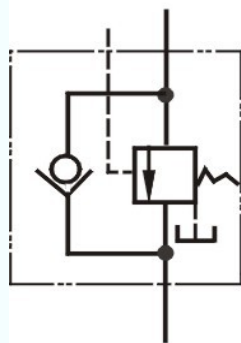
外控顺序阀
(外控外泄)



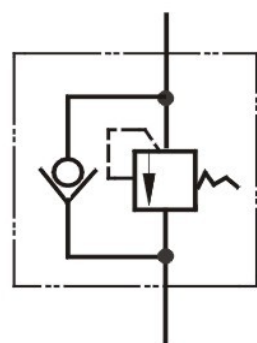
溢流阀
(内控内泄)



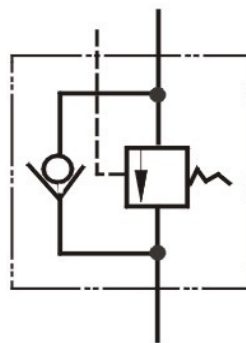
卸荷阀
(外控内泄)



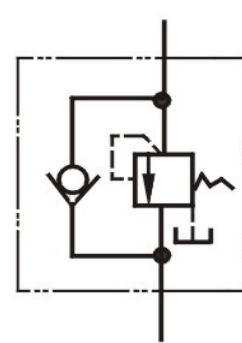
外控单向
顺序阀



内控平衡阀



外控平衡阀



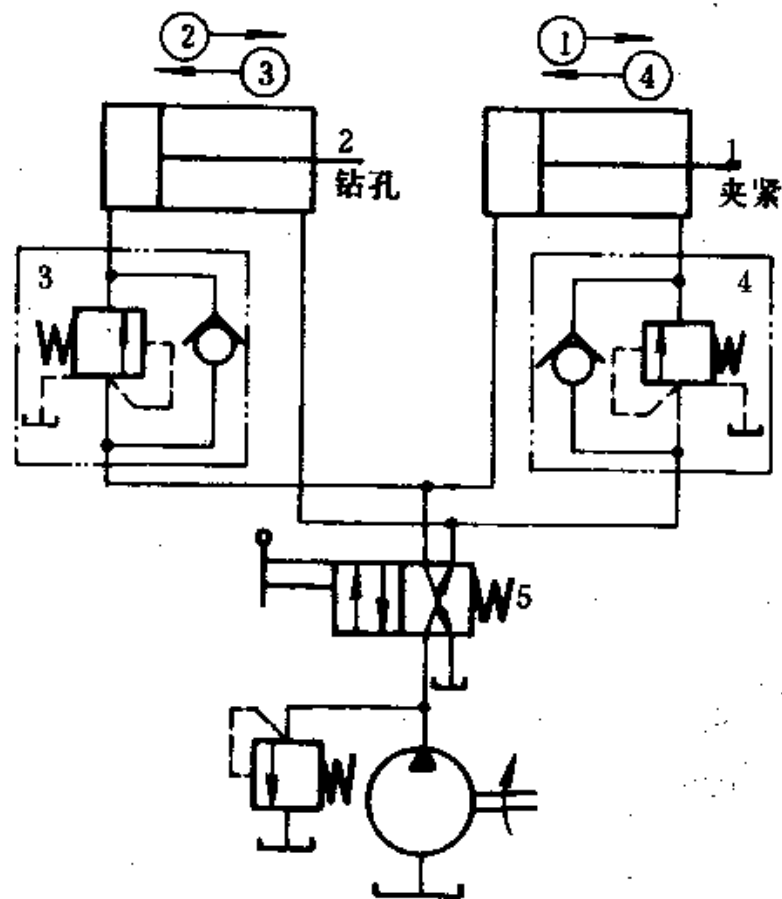
内控单向
顺序阀

压力控制阀

2、顺序阀的功能

内控外泄顺序阀与溢流阀非常相象：阀口常闭，进口压力控制，但是该阀出口油液要去工作，所以有单独的泄油口。

内控外泄顺序阀用于多个执行元件顺序动作。其进口压力先要达到阀的调定压力，而出口压力取决于负载。当负载压力高于阀的调定压力时，进口压力等于出口压力，阀口全开；当负载压力低于调定压力时，进口压力等于调定压力，阀的开口一定。

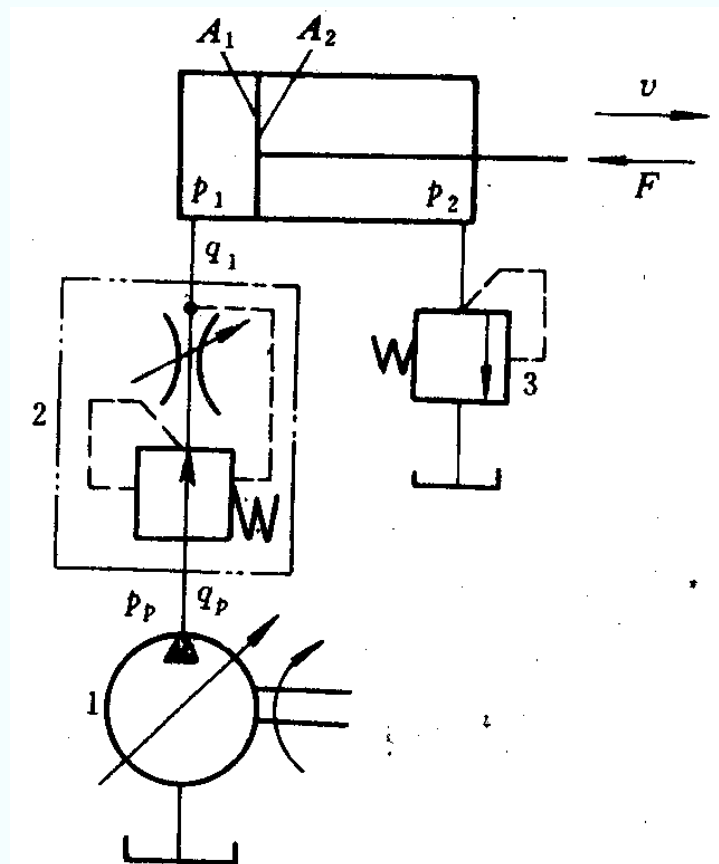


压力控制阀

2、顺序阀的功用

田

内控内泄顺序阀的图形符号和工作原理与溢流阀相同。多串联在执行元件的回油路上，使回油具有一定压力，保证执行元件运动平稳。如图示阀 3 作背压阀。

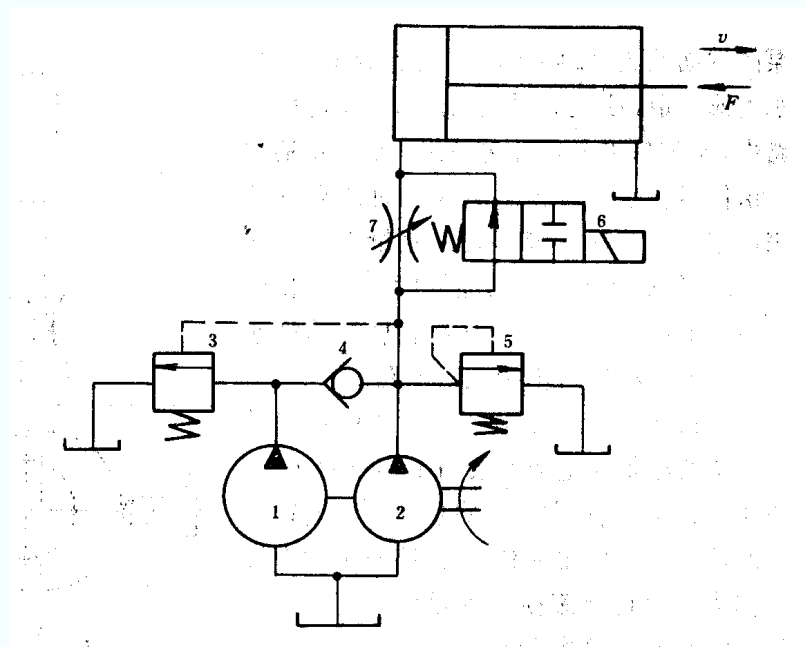


压力控制阀

2、顺序阀的功能

田

外控内泄顺序阀等同于二位二通阀，可作卸载阀，如双泵供油回路中阀 3 是泵 1 的卸载阀。



压力控制阀

3、溢流阀、顺序阀、减压阀的比

	溢流阀	减压阀	顺序阀
控制油路的特点	通过调整弹簧的压力控制进油路的压力，保证进口压力恒定， $p_2 = 0$	通过调整弹簧的压力控制出油口的压力，保证出口压力 p_2 稳定	直控式—通过调定调压弹簧的压力控制进油路压力；液控式—由单独油路控制压力
出油口情况	出油口与油箱相连	出油口与减压回路相连	出油口与工作回路相连
泄漏形式	内泄式	外泄式	外泄式

3 、 溢流阀、顺序阀、减压阀的比较

		溢流阀	减压阀	顺序阀
进油口状态及压力值	常态	常闭（原始状态）	常开（原始状态）	常闭（原始状态）
	工作状态	进出油口相通，进油口压力为调整压力	进油口压力低于出油口压力，出油口压力稳定在调定值上	进出油口相通，进油口压力允许继续升高
联接方式		并联	串联	实现顺序动作时串联，作卸荷阀用时并联

3 、 溢流阀、顺序阀、减压阀的比较

	溢流阀	减压阀	顺序阀
功用	定压、溢流 或安全作用 限压、稳压 、保压	减压、稳压	不控制系统的压力，只利用系统的压力变化控制油路的通断
控制方式	进油腔压力 p_1 控制阀芯移动	出油腔压力 p_2 控制阀芯移动	进油腔压力 p_1 控制阀芯移动

四、压力继电器

1、工作原理

压力继电器是利用油液的压力来启闭电气触点的液压电气转换元件。

压力继电器在压力达到调定值时，发出电信号，控制电气元件动作。

压力继电器有柱塞式、膜片式、弹簧管式和波纹管式四种结构形式。

柱塞式压力继电器的结构和图形符号如下图所示，当进油口 P 处油液压力达到压力继电器的调定压力时，作用在柱塞 1 上的液压力通过顶杆 2 的推动，合上微动电器开关 4，发出电信号。图中，L 为泄油口。改变弹簧的压缩量，可以调节继电器的动作压力。

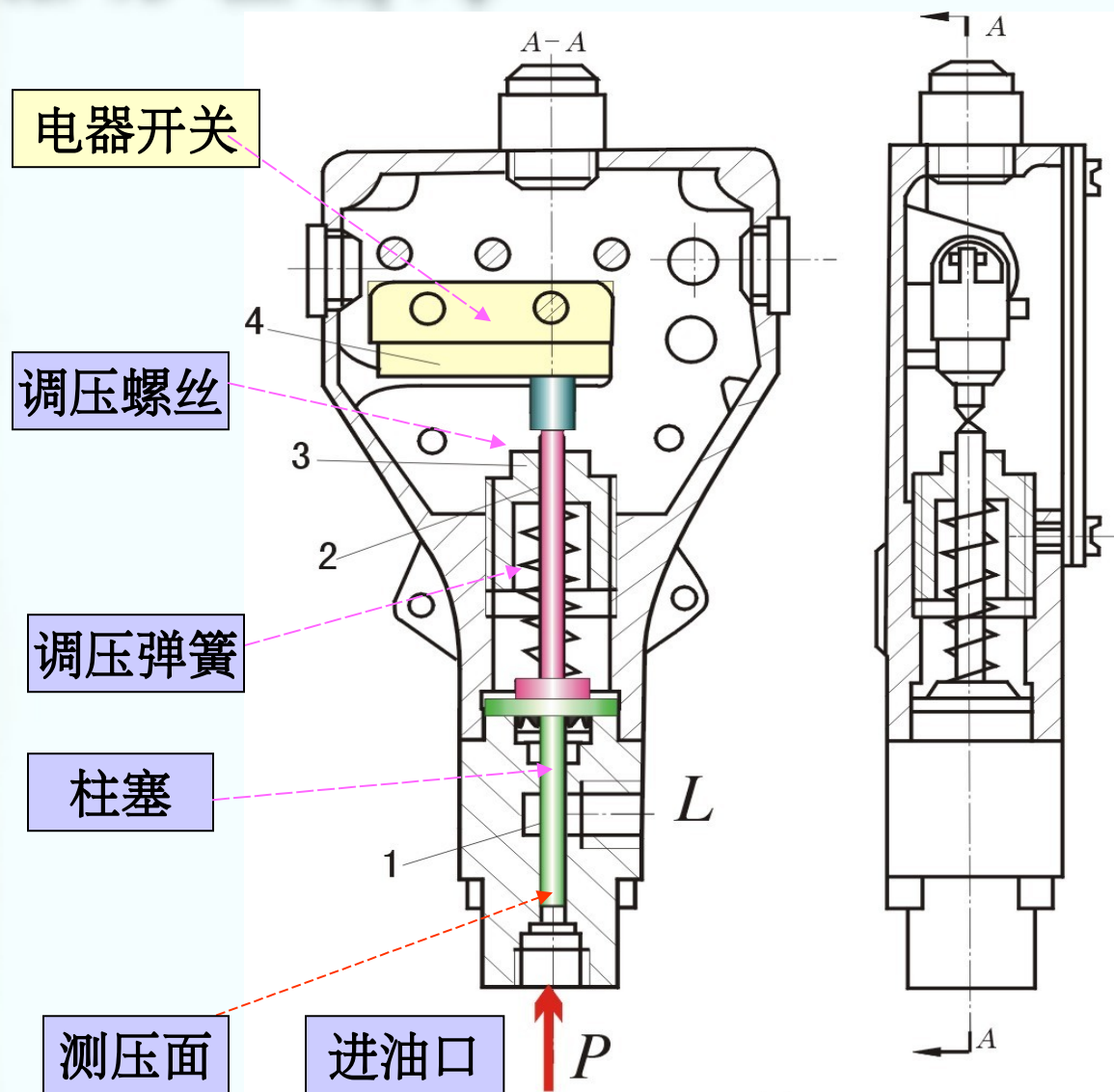
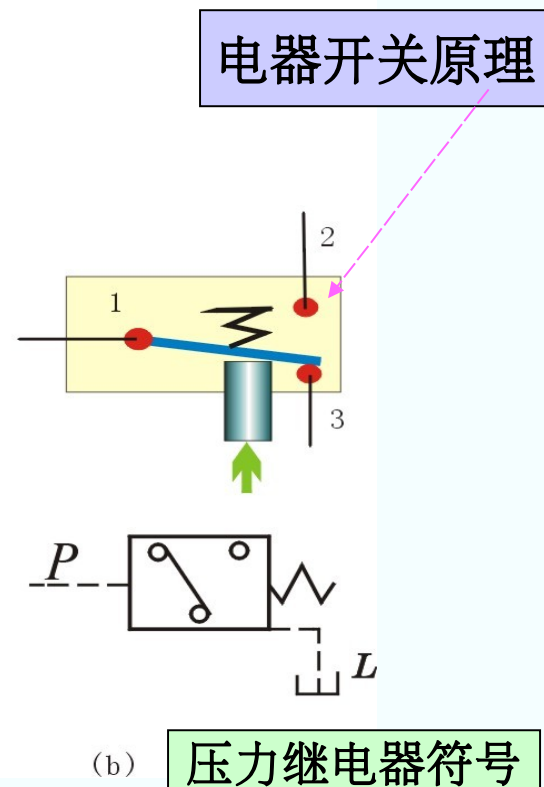
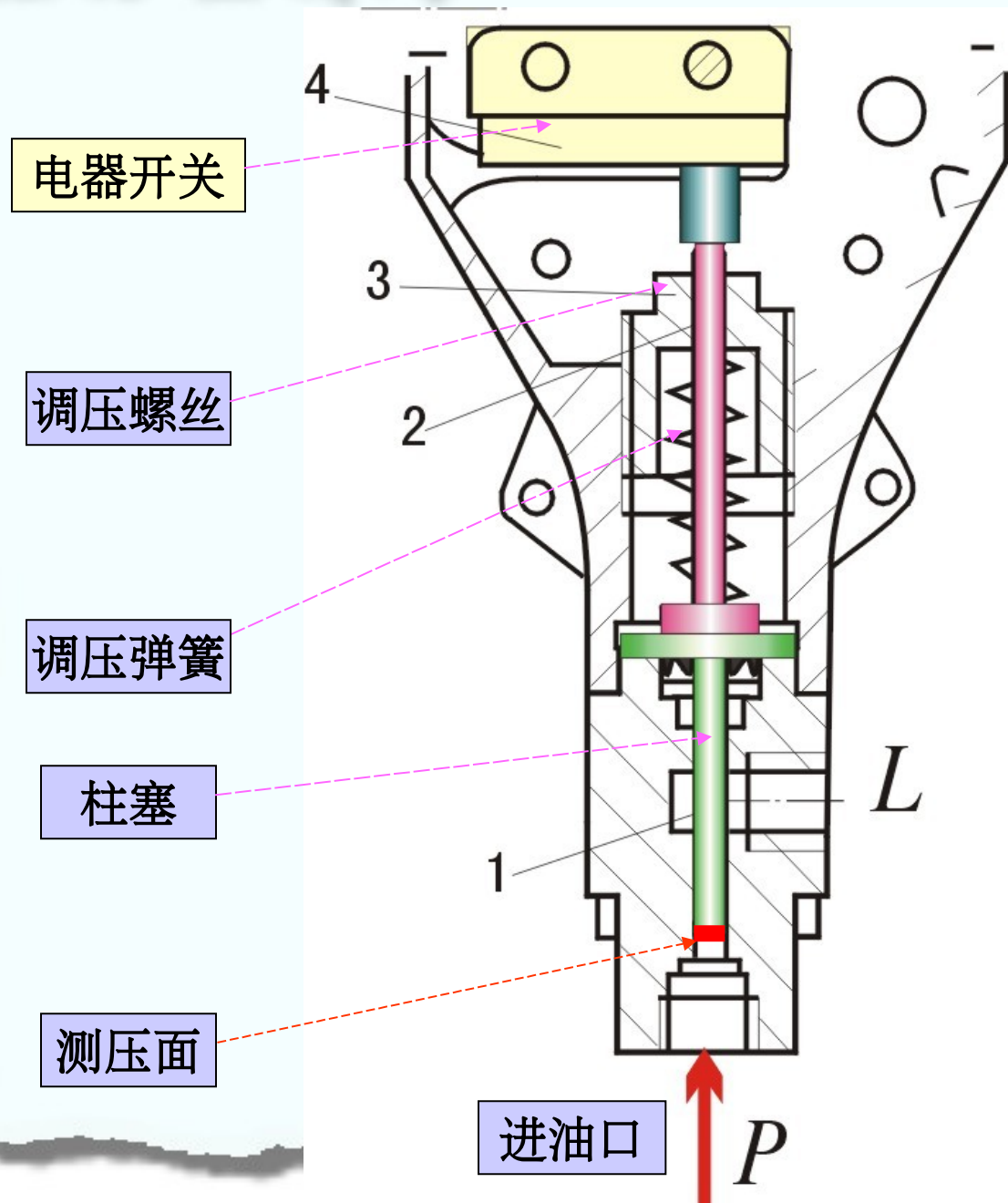


图 6.23 压力继电器

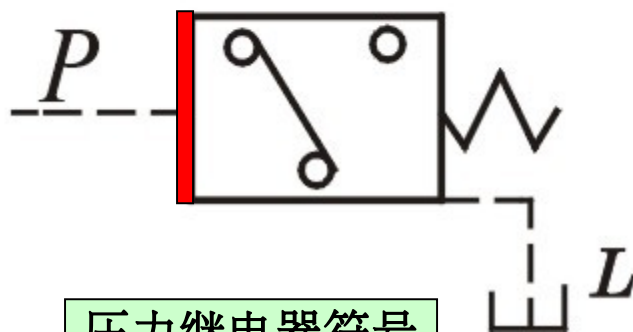
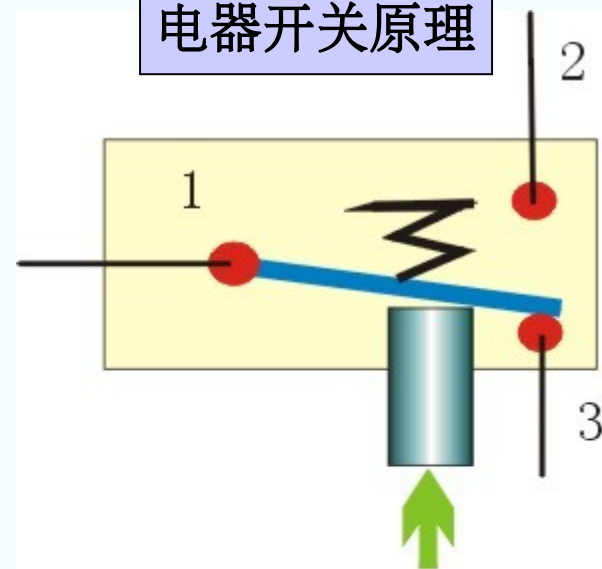


压力控制阀



当压力超过弹簧力时，顶杆推动电器开关，发出电信号

电器开关原理

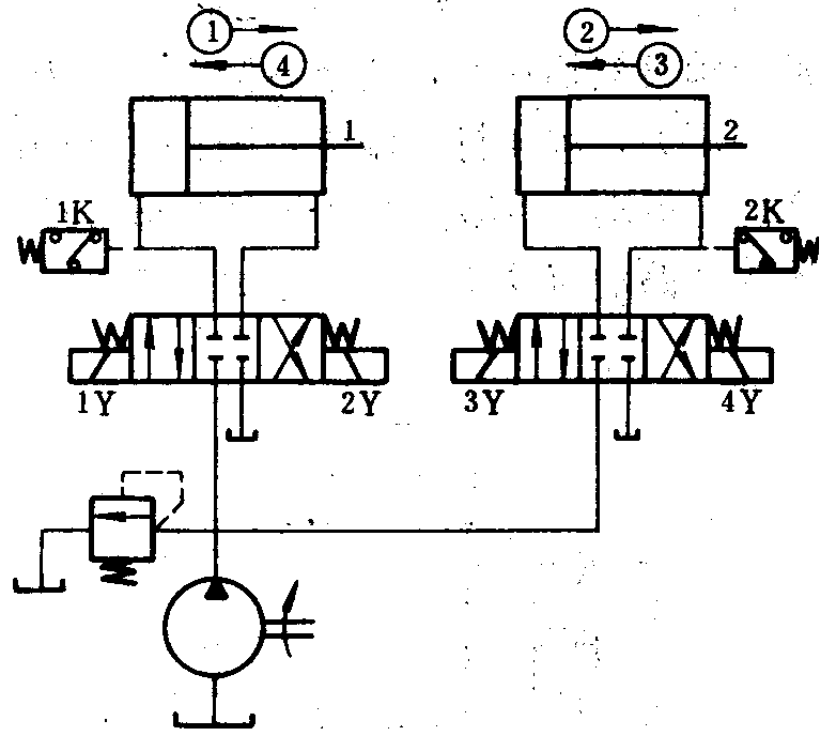


压力继电器符号

液压与气压传动

2、压力继电器的功用

如图所示，压力继电器用在顺序动作回路中。当执行元件工作压力达到压力继电器调定压力时，压力继电器将发出电信号，使电磁铁得电，换向阀换向，从而实现两液压缸的顺序动作。



b)