

## 第2章 调节器

控制仪表又称**控制器或调节器**。其作用是将被控变量的测量值和给定值进行比较，得出偏差后，按一定的调节规律进行运算，输出控制信号，以推动执行器动作，对生产过程进行自动调节。

控制仪表按工作能源分类有：

### 1、电动仪表

以220VAC或24VDC作为工作能源，其输入输出信号均采用0~10mA或4~20mA的标准信号。

## 回忆

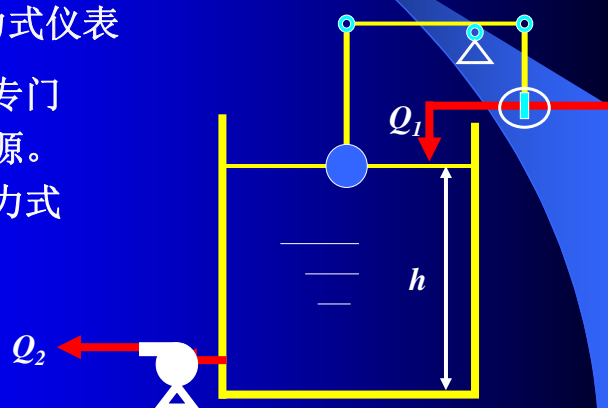
### 2、气动仪表

以140kPa的气压信号作为工作能源，其输入输出信号均采用20~100kPa的标准气压信号。

### 3、自力式仪表

不需要专门提供工作能源。

例：自力式液位调节器





控制仪表的发展基本上分为三个阶段：

### 1、基地式仪表

- ❑ 将检测、控制、显示功能设计在一个整体内，安装在现场设备上。
- ❑ 安装简单、使用方便。但一般通用性差，只适用于小规模、简单控制系统。



### 2、单元式组合仪表

- ❑ 单元组合式仪表是将仪表按其功能的不同分成若干单元（例变送单元、给定单元、控制单元、显示单元等），每个单元只完成其中的一种功能。
- ❑ 其中的控制单元是接受测量与给定信号，然后根据它们的偏差进行控制运算，运算的结果作为控制信号输出。
- ❑ 各个单元之间以统一的标准信号相互联系。

DDZ-II电动仪表

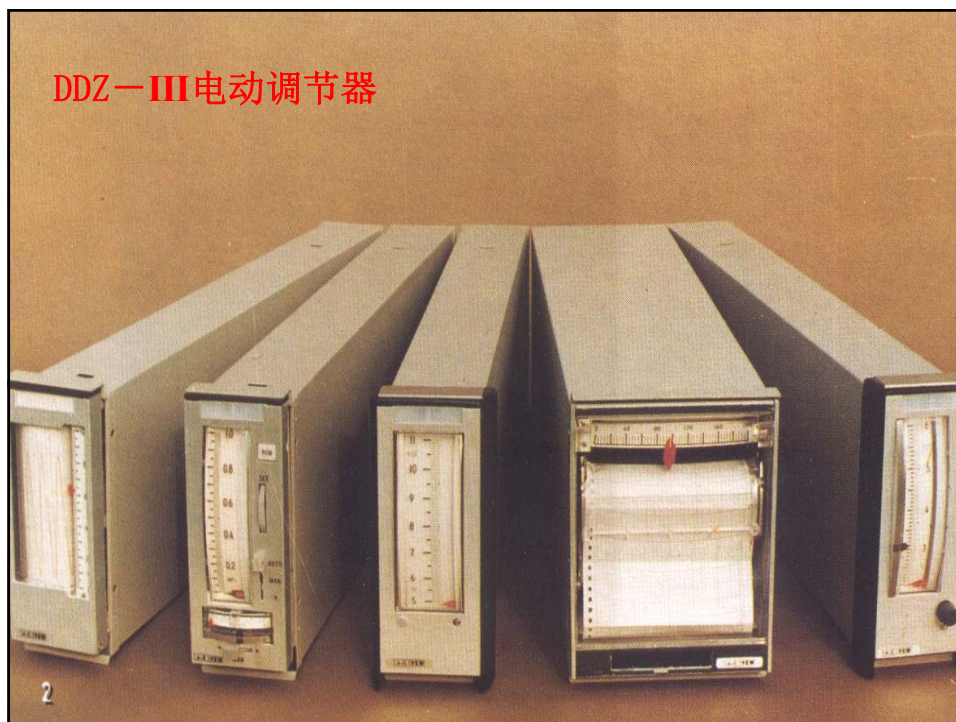


DDZ-II气动仪表

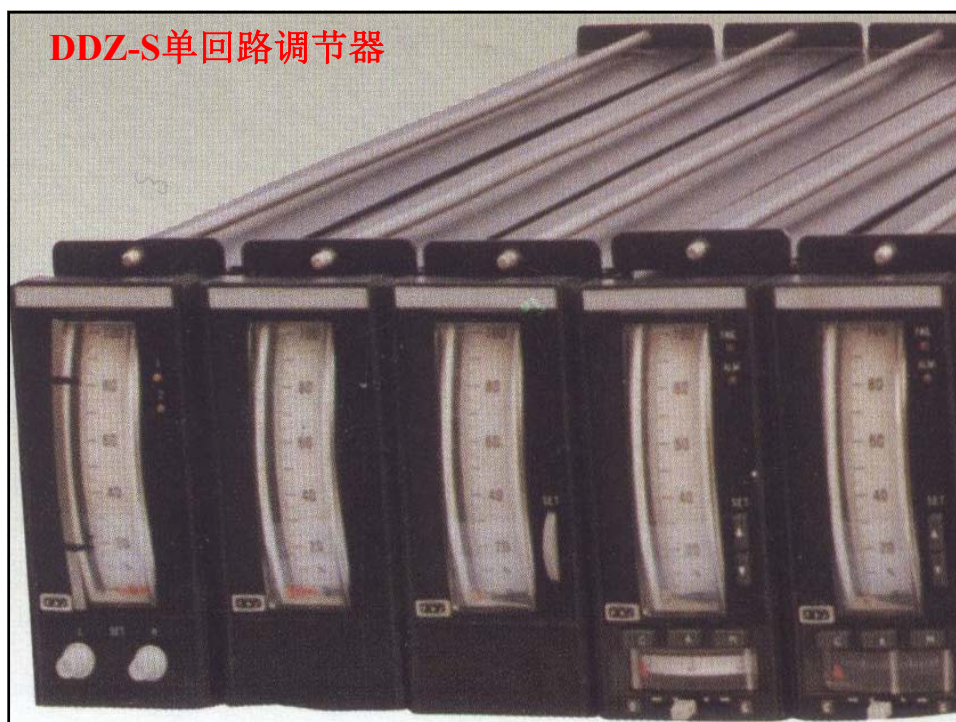




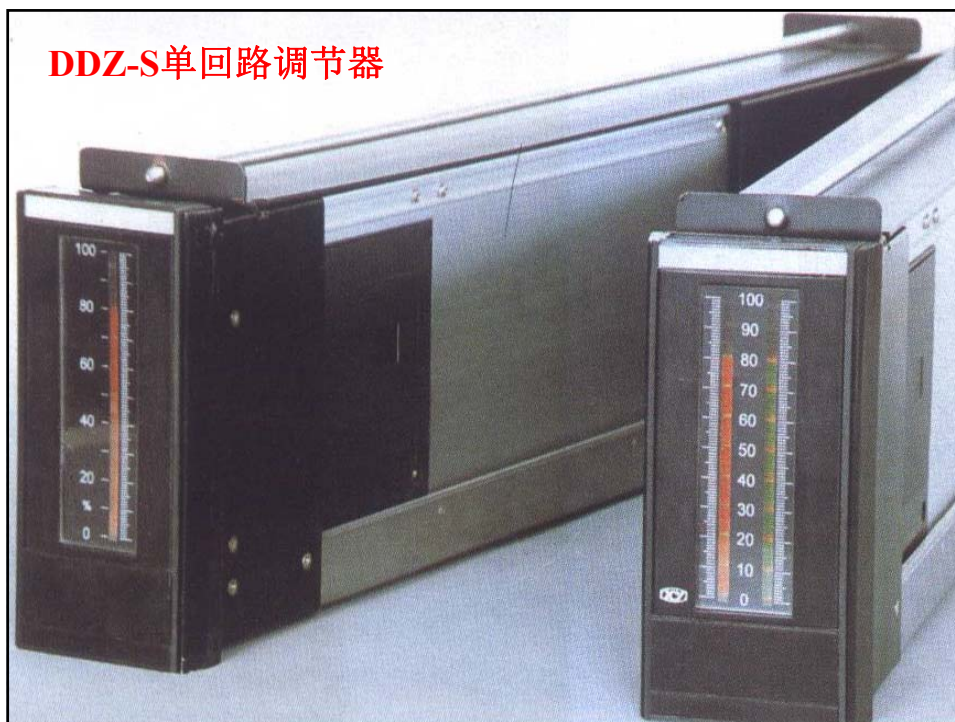
DDZ-III电动调节器



DDZ-S单回路调节器



**DDZ-S单回路调节器**



**DDZ-III  
组装仪表**





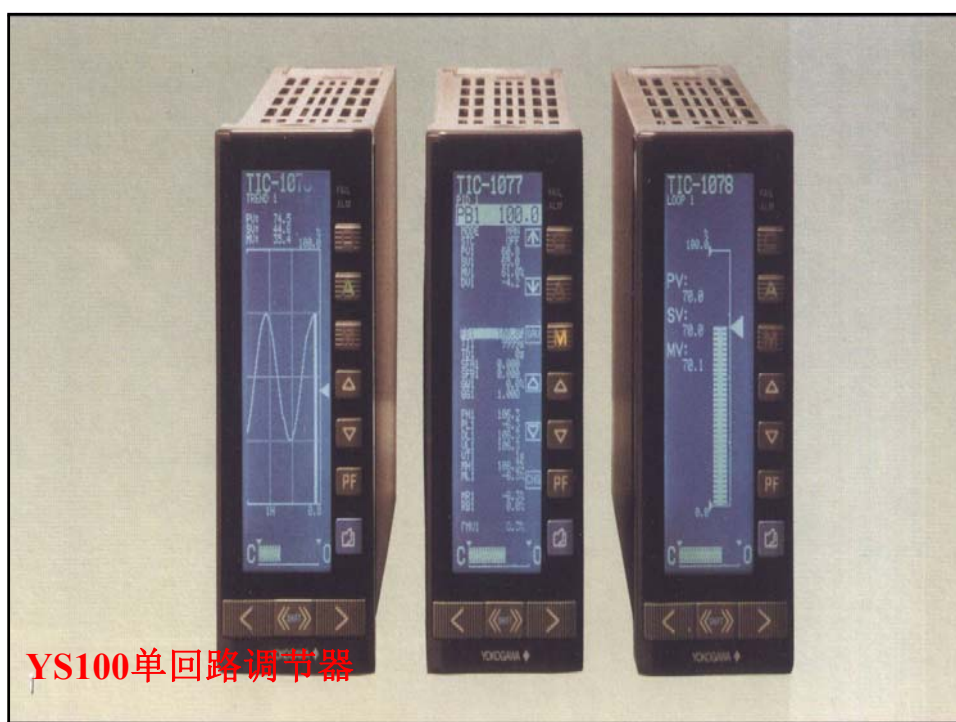
### 3、以微处理器为中心的控制仪表（装置）

内设微处理器，控制功能丰富，很容易构成各种复杂控制系统。

在自动控制系统中广泛应用的有：

- ❑ 工业控制计算机（DDS）
- ❑ 集散控制装置（DCS）
- ❑ 单回路数字控制器（SLPC）
- ❑ 可编程数字控制器（PLC）
- ❑ 现场总线控制装置（FCS）





YS80单回路调节器



CENTUM-XL综合控制系统





## 2.2 调节器的调节规律

### 基本控制规律及特点

所谓控制规律是指控制器的输出信号与输入偏差信号之间的关系。

$$y = f(e)$$

控制器的输入信号是变送器送来的测量信号和内部人工设定的或外部输入的设定信号。设定信号和测量信号经比较环节比较后得到偏差信号  $e$ ，它是设定值信号  $r$  与测量信号  $x$  之差。

$$e = r - x \quad \text{或} \quad e = x - r$$

## 2.2 调节器的调节规律

控制规律有断续控制和连续控制两类：

一、**断续控制**——控制器输出接点信号，如双位控制、三位控制。

二、**连续控制**——控制器输出连续信号，如比例控制、比例积分控制、比例微分控制、比例积分微分控制。

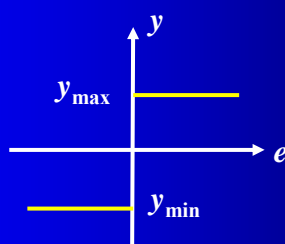
### 双位控制

双位控制器只有两个输出值，相应的执行机构只有开和关两个极限位置，因此又称**开关控制**。

## 2.2 调节器的调节规律

理想的双位控制器输出  $y$  与输入偏差  $e$  之间的关系为：

$$y = \begin{cases} y_{\max} & e > 0 \text{ (或 } e < 0 \text{) 时} \\ y_{\min} & e < 0 \text{ (或 } e > 0 \text{) 时} \end{cases}$$

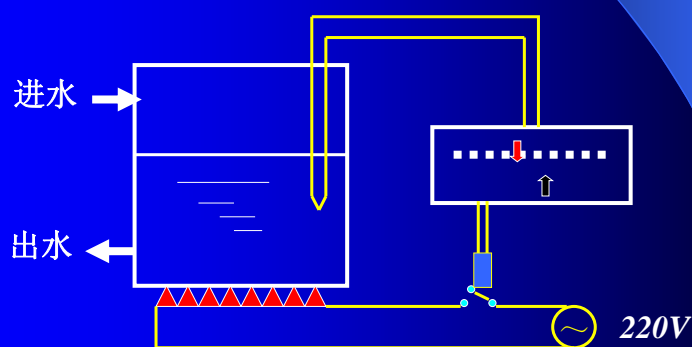


理想的双位控制特性

## 2.2 调节器的调节规律

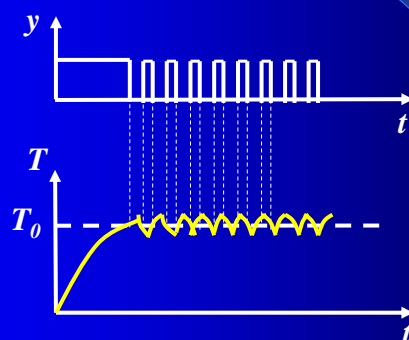
**例1：温度双位控制系统：**

温度低于给定值时，温控器输出高电平，继电器吸合，加热器通电加热；温度高于给定值时，温控器输出低电平，继电器断开，加热器断电。



## 2.2 调节器的调节规律

理想双位控制效果：

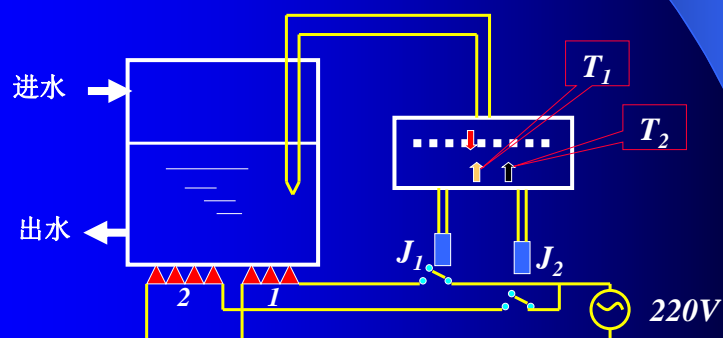


被控温度在 $T_0$ 上下振荡，无法稳定。

## 2.2 调节器的调节规律

### 例2：温度三位控制系统

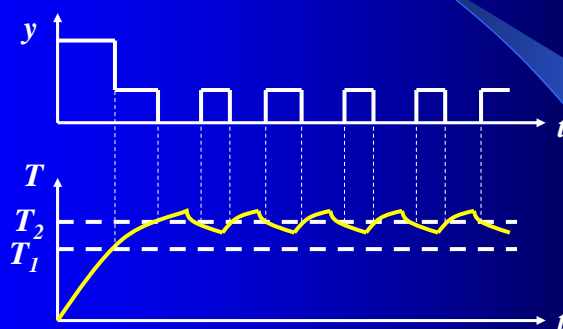
温度低于 $T_1$ 时，温控器使继电器1、2都吸合，加热器1、2都通电加热；温度高于 $T_1$ 低于 $T_2$ 时，温控器使继电器1吸合、继电器2断开，只有加热器1通电；温度高于 $T_2$ 时，继电器1、2都断开。





## 2.2 调节器的调节规律

温度三位控制效果：温度偏差大时，升温速度快；温度偏差小时，小幅调整。



要使调节过程平稳准确，必须使用输出值能连续变化的调节器。

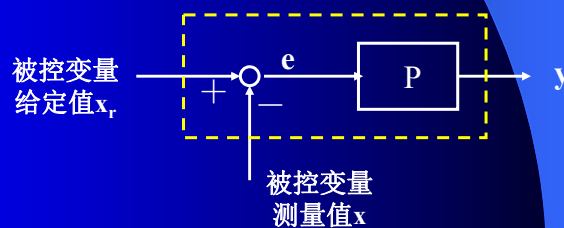
## 2.2 调节器的调节规律

### 比例控制（P）

控制器输出  $y(t)$  和偏差信号  $e(t)$  成比例关系

$$y(t) = K_p e(t) \quad K_p \text{——比例增益}$$

传递函数为 
$$W(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = K_p$$



## 2.2 调节器的调节规律

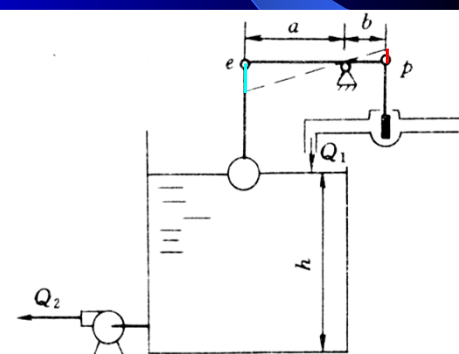
例：自力式液位比例控制系统：

浮球为水位传感器，杠杆为控制器，活塞阀为执行器。如果某时刻 $Q_2$ 加大，造成水位下降，则浮球带动活塞提高，使 $Q_1$ 加大才能阻止水位下降。

$$\frac{b}{a} = \frac{p}{e} \Rightarrow p = \frac{b}{a} \cdot e$$

$$y = K_p e$$

如果 $e = 0$ ，则活塞无法提高， $Q_1$ 无法加大，调节无法进行。



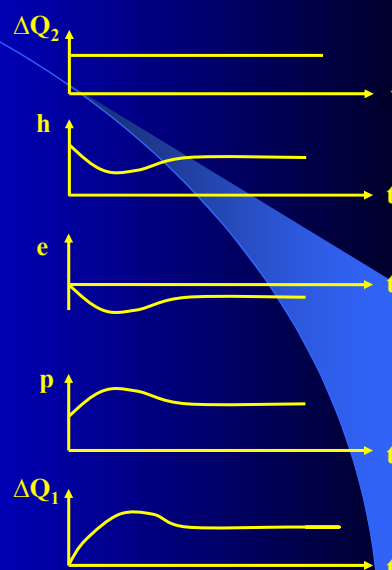
## 2.2 调节器的调节规律

比例控制过程

原来系统处于平衡，进水量与出水量相等，此时进水阀有一开度。

$t=0$ 时，出水量阶跃增加，引起液位下降，浮球下移带动进水阀开大。

当进水量增加到与出水量相等时，系统重新平衡，液位也不再变化。



## 2.2 调节器的调节规律

### ❖ 比例控制的特点

- ❑ 控制及时、适当。只要有偏差，输出立刻成比例地变化，偏差越大，输出的控制作用越强。
- ❑ 控制结果存在静差。因为，如果被调量偏差为零，调节器的输出也就为零

$$y = K_P e$$

即调节作用是以偏差存在为前提条件，不可能做到无静差调节。

## 2.2 调节器的调节规律

在实际的比例控制器中，习惯上使用比例度P来表示比例控制作用的强弱。

所谓比例度就是指控制器输入偏差的相对变化值与相应的输出相对变化值之比，用百分数表示。

$$P = \left( \frac{e}{x_{\max} - x_{\min}} / \frac{y}{y_{\max} - y_{\min}} \right) \times 100\%$$

式中e为输入偏差；y为控制器输出的变化量；  
 $(x_{\max} - x_{\min})$ 为测量输入的最大变化量，即控制器的输入量程；  
 $(y_{\max} - y_{\min})$ 为输出的最大变化量，即控制器的输出量程。

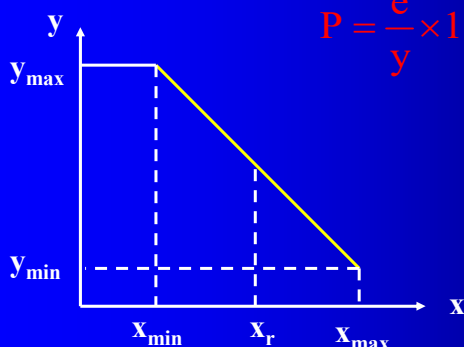


## 2.2 调节器的调节规律

比例度: 
$$P = \left( \frac{e}{x_{\max} - x_{\min}} / \frac{y}{y_{\max} - y_{\min}} \right) \times 100\%$$

如果控制器输入、输出量程相等，则：

$$P = \frac{e}{y} \times 100\% = \frac{1}{K_c} \times 100\%$$



比例度除了表示控制器输入和输出之间的增益外，还表明比例作用的有效区间。

## 2.2 调节器的调节规律

### 比例积分控制 (PI)

当要求控制结果无余差时，就需要在比例控制的基础上，加积分控制作用。

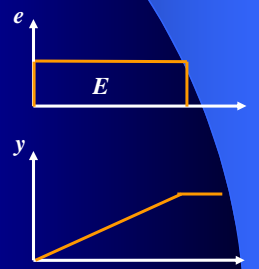
#### (1) 积分控制 (I)

输出变化量 $y$ 与输入偏差 $e$ 的积分成正比

$$y = \frac{1}{T_I} \int_0^t e dt \quad T_I \text{—积分时间}$$

当 $e$ 是幅值为 $E$ 的阶跃时

$$y = \frac{1}{T_I} \int_0^t e dt = \frac{E}{T_I} \cdot t$$



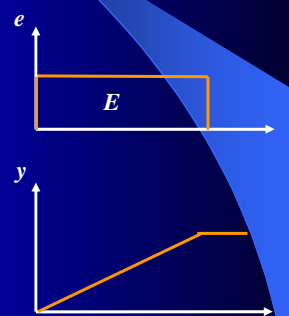
## 2.2 调节器的调节规律

### ❖ 积分控制的特点

当有偏差存在时，积分输出将随时间增长（或减小）；当偏差消失时，输出能保持在某一值上。

❑ 积分作用具有保持功能，故积分控制可以消除余差。

❑ 积分输出信号随着时间逐渐增强，控制动作缓慢，故积分作用不单独使用。



## 2.2 调节器的调节规律

若将比例与积分组合起来，既能控制及时，又能消除余差。

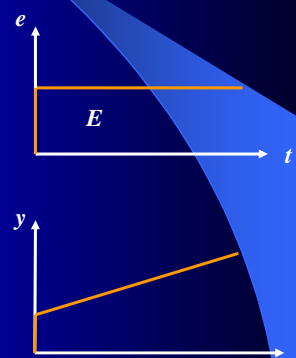
### (2) 比例积分控制 (PI)

$$y = \frac{1}{P} \left( e + \frac{1}{T_I} \int_0^t e dt \right)$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = \frac{1}{P} \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right)$$

若偏差是幅值为 $E$ 的阶跃干扰

$$y = \frac{E}{P} \left( 1 + \frac{1}{T_I} t \right)$$



## 2.2 调节器的调节规律

### 比例微分控制 (PD)

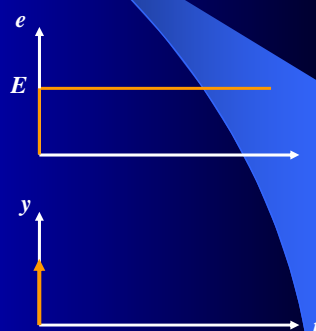
对于惯性较大的对象，常常希望能加快控制速度，此时可增加微分作用。

#### (1) 微分控制 (D)

理想微分  $y = T_D \frac{de}{dt}$

式中:  $T_D$  — 微分时间

$\frac{de}{dt}$  — 偏差变化速度

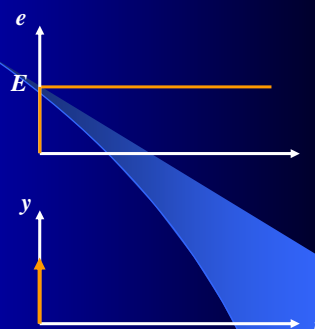


## 2.2 调节器的调节规律

### 微分控制的特点

□ 微分作用能超前控制。在偏差出现或变化的瞬间，微分立即产生强烈的调节作用，使偏差尽快地消除于萌芽状态之中。

□ 微分对静态偏差毫无控制能力。当偏差存在，但不变化时，微分输出为零，因此不能单独使用。必须和P或PI结合，组成PD控制或PID控制。





## 2.2 调节器的调节规律

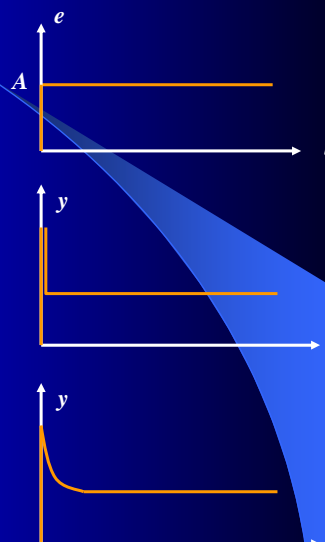
### 比例微分控制 (PD)

理想的比例微分控制

$$y = \frac{1}{P} \left( e + T_D \frac{de}{dt} \right)$$

$$W(s) = \frac{1}{P} (1 + T_D s)$$

理想微分作用持续时间太短，执行器来不及响应。一般使用实际的比例微分作用。



## 2.2 调节器的调节规律

### 比例积分微分控制 (PID)

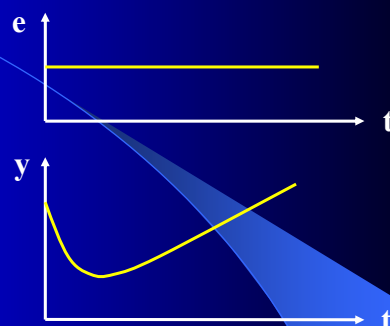
$$y = \frac{1}{P} \left( e + \frac{1}{T_I} \int_0^t e dt + T_D \frac{de}{dt} \right)$$

$$W(s) = \frac{1}{P} \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$$

□ 将比例、积分、微分三种控制规律结合在一起，只要三项作用的强度配合适当，既能快速调节，又能消除余差，可得到满意的控制效果。

## 2.2 调节器的调节规律

□ PID控制作用中，比例作用是基础控制；微分作用是用于加快系统控制速度；积分作用是用于消除静差。



## 2.2 调节器的调节规律

调节规律	优点	缺点	应用
P	灵敏、简单，只有一个整定参数；	存在静差	负荷变化不显著，工艺指标要求不高的对象。
PI	能消除静差，又控制灵敏	对于滞后较大的对象，比例积分调节太慢，效果不好。	应用于调节通道容量滞后较小、负荷变化不大、精度要求高的调节系统。例如，流量调节系统。
PD	增进调节系统的稳定性，可调小比例度，而加快调节过程，减小动态偏差和静差	系统对高频干扰特别敏感，系统输出易夹杂高频干扰。	应用于调节通道容量滞后较大，但调节精度要求不高的对象。
PID	综合了各类调节作用的优点，所以有更高的调节质量。	对于滞后很大，负荷变化很大的对象，PID调节也无法满足要求，应设计复杂调节系统	应用于调节通道容量滞后较大、负荷变化较大、精度要求高的对象。