



兰州石化职业技术大学

Lanzhou Petrochemical University of Vocational Technology

过程控制仪表

教 案

授课专业：工业过程自动化技术

授课章节：第3章第1节

授课题目：控制器的控制规律

年 月 日

3 控制器的基本控制规律

控制器或称控制仪表，它接受变送器送来的信号并与给（设）定值相比较，得出偏差，将偏差按一定规律运算，运算结果以一定信号形式送往执行器，实现对被控变量的自动控制。

控制器的控制规律是指控制器接受输入的偏差信号后，其输出随输入的变化规律，即输入与输出之间的关系，用数学式子来表示，即为

$$p = f(e) \quad (3-1)$$

式中 e ——变送器输出信号 $Z(t)$ 与给(设)定值 $x(t)$ 之差，即偏差。

p ——控制器的输出

不同的控制规律适应不同的生产要求，必须根据生产的要求选用合适的控制规律。如选用不当，不但不能起到控制作用，反而会造成控制过程稳定性下降，甚至造成事故。要选用合适的控制规律，首先必须了解几种常用的控制规律的特点、适用条件，然后根据工艺对控制系统过渡过程的品质指标要求，结合具体对象的特性，才能做出正确的选择。

在工业自动控制系统中最基本的控制规律有：位式控制、比例控制、积分控制和微分控制四种，下面几节将分别介绍这几种基本控制规律及其对系统过渡过程的影响。

3.1 比例控制

在位式控制系统中，执行机构在几个位置之间切换，被控变量不可避免地产生持续的等幅振荡过程。如果能够使执行机构的开度随偏差大小变化，被控变量的变化就比较平稳，控制系统的品质指标就可以提高。控制器输出的变化量（即执行机构的开度变化量）与被控变量的偏差成比例的控制规律，称为比例控制规律，一般用字母 "P" 表示；其输入与输出关系可表示为：

$$\Delta p(t) = K_c e(t) \quad (3-2)$$

式中 $\Delta p(t)$ ——控制器的输出变化量

$e(t)$ ——控制器的输入，即偏差

K_c ——控制器的比例放大倍数。

放大倍数 K_c 是可调的，所以比例控制器实际上相当于放大倍数可调的放大器。从式(3-2)可以看出，在偏差 $e(t)$ 一定时，比例放大倍数 K_c 越大，控制器输出值的变化量 $\Delta p(t)$ 就越大，说明比例作用就越强。即 K_c 是衡量比例控制作用强弱的参数。

1、比例度

在工业使用的控制器，习惯用比例度 δ 来描述比例控制作用的强弱。比例度的定义为控制器输入的相对变化量与相应的输出的相对变化量之比的百分数。用式子可表示为：

$$\delta = \frac{\frac{e}{X_{\max} - X_{\min}}}{\frac{\Delta p}{P_{\max} - P_{\min}}} \times 100\% \quad (3-3)$$

式中 e ——控制器输入变化量（即偏差）；

Δp ——相对与偏差为 e 时的控制器输出变化量；

$X_{\max} - X_{\min}$ ——仪表的量程；

$P_{\max} - P_{\min}$ ——控制器的输出范围。

比例度可以理解为：要使输出信号作全范围的变化，输入信号必须改变全量程的百分之几。

在单元组合仪表中，控制器的输入是变送器的输出，控制器和变送器的输出信号都是统一的标准信号，因此控制器输入与输出的范围相同，即 $X_{\max} - X_{\min} = P_{\max} - P_{\min}$ ，所以比例度 δ 和放大倍数 K_c 互为倒数关系，即

$$\delta = \frac{1}{K_c} \times 100\% \quad (3-4)$$

3.2 积分控制

比例控制存在余差，这是比例控制的缺点。当工艺对控制质量有更高要求时，就需要在比例控制的基础上，再加上积分控制作用。

1、积分控制规律

积分控制规律的输出变化量 $\Delta p(t)$ 与输入偏差 $e(t)$ 的积分成正比，即

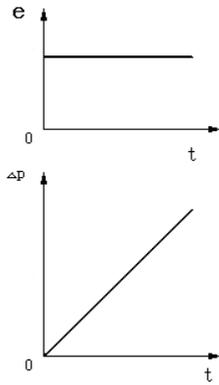
$$\Delta p(t) = K_I \int e(t) dt \quad (3-5)$$

式中 K_I ——积分比例系数，称为积分速度。

积分控制规律一般用字母 "I" 表示。积分控制规律的输出信号的大小不仅与偏差信号的大小有关，而且与偏差信号存在的时间长短有关。当输入偏差是常数 A 时

$$\Delta p(t) = K_I \int A dt = K_I A t \quad (3-6)$$

输出是一直线，只要偏差存在，输出信号将随时间增长（或减小）。只有当偏差为零时，输出才停止变化而稳定在某一值上，系统才能达到新的平衡，因而积分控制规律可以消除余差。



积分控制规律

输出信号的变化速度与偏差 $e(t)$ 及 K_I 成正比, 而其控制作用是随着时间积累才逐渐增强的, 所以控制动作缓慢, 会出现控制不及时。因此积分控制规律一般不单独应用。

2、比例积分控制规律

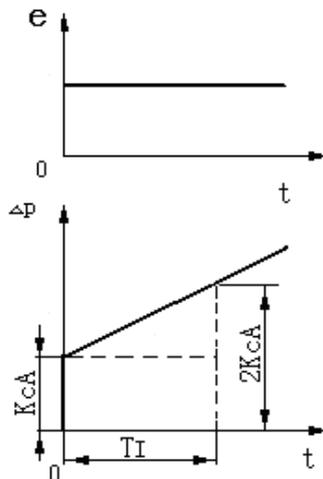
比例控制作用比较及时, 但存在余差。而积分控制规律可以消除余差, 但作用较慢。因此常常把比例与积分组合起来, 构成比例积分控制规律, 这样控制既及时, 又能消除余差, 比例积分控制规律可用下式 (3-7) 表示

$$\Delta p(t) = K_c \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt \right) \tag{3-7}$$

若偏差是幅值为 A 的阶跃干扰, 代入 (3-7) 可得

$$\Delta p(t) = K_c A + \frac{K_c}{T_I} A t \tag{3-8}$$

积分时间 T_I 越小, 表示积分速度 K_I 越大, 积分特性曲线的斜率越大, 即积分作用越强。反之, 积分时间 T_I 越大, 表示积分速度 K_I 越小, 即积分作用越弱。若积分时间为无穷大, 则表示没有积分作用, 控制器就成为纯比例控制器了。



比例积分控制规律

3.3 微分控制

比例控制规律和积分控制规律，都是根据被控变量与给定值的偏差大小而进行控制。对于容量滞后较大的对象，可能控制时间较长，最大偏差较大；当对象负荷变化特别剧烈时，由于积分作用的不及时，系统的稳定性较差。常常希望再增加微分控制规律，以提高系统控制质量。

1、微分控制规律

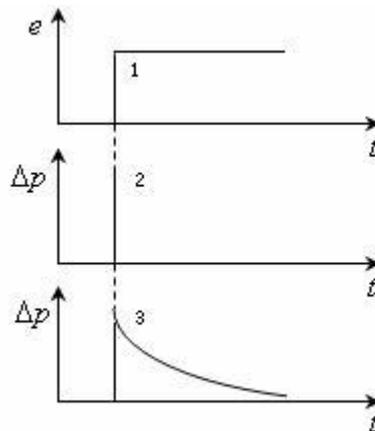
在人工控制时，有经验的操作人员不仅根据偏差的大小来改变控制阀的开度，而且同时考虑偏差的变化速度来进行控制，这种根据被控变量变化的快慢来确定控制作用大小，就是微分控制规律。一般用字母 " D " 表示。在自动控制时，控制器具有微分控制规律，就是控制器的输出信号与偏差信号的变化速度成正比，

$$\Delta p(t) = T_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3-9)$$

式中 T_D ——为微分时间；

$\frac{de(t)}{dt}$ ——为偏差信号变化速度。

偏差的变化速度越大，则控制器的输出变化越大，控制作用越强。若在 $t=t_0$ 时输入一个阶跃信号，则在 $t=t_0$ 时刻控制器输出由零跳至无穷大，然后由无穷大跳至零；其余时间输出为零。这种控制规律称为理想的微分控制规律。在阶跃输入发生时刻，输出突然上升到一个较大的有限数值，然后按指数规律衰减，其衰减的快慢与微分时间的长短有关，微分时间越长，衰减越慢，控制作用越强，微分时间越短，衰减越快，控制作用越弱，控制器的作用强弱可通过改变微分时间来调整。



微分控制规律的特性

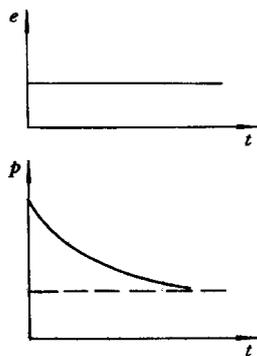
实际微分控制规律是由两部分组成：比例作用与近似微分作用，其比例作用是固定不变的， $\delta=100\%$ 。这种控制器用在系统中，即使偏差很小，只要出现变化趋势，马上就进行控制，故有超前控制之称，这是它的优点。但对于固定不变的偏差没有克服能力，所以不能单独使用微分控制器，它常与比例或比例积分组合构成比例微分或三作用控制器。

2、比例微分控制规律

理想比例微分控制规律表达式：

$$\Delta p(t) = K_c \left(e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3-10)$$

微分作用按偏差的变化速度进行控制，其作用比比比例作用快，因而对惯性大的对象用比例微分可以改善控制质量，减小最大偏差，节省控制时间。



比例微分控制器特性