

# PID算法

播报 编辑 [讨论4](#) 上传视频

在过程控制中，按偏差的比例（P）、积分（I）和微分（D）进行控制的[PID控制器](#)（亦称[PID调节器](#)）是应用最为广泛的一种[自动控制](#)[器](#)。它具有原理简单，易于实现，适用面广，控制参数相互独立，参数的选定比较简单等优点；而且在理论上可以证明，对于[过程控制](#)的典型对象——“一阶滞后+纯滞后”与“二阶滞后+纯滞后”的控制对象，PID控制器是一种最优控制。PID调节规律是[连续系统](#)动态品质校正的一种有效方法，它的参数整定方式简便，结构改变灵活（PI、PD、...）。<sup>[1]</sup>

中文名

PID算法

外文名

Proportion Integral Differential

最初应用

船舶自动舵

最初应用时间

20世纪30~40年代

应用范围

工业控制，船舶自动舵等

在工业过程中，[连续控制系统](#)的理想PID控制规律为：<sup>[2]</sup>

式中， $K_p$ ——比例增益， $K_p$ 与比例度成倒数关系；<sup>[2]</sup>

$e(t)$  ——给定值 $r(t)$  与测量值之差。<sup>[2]</sup>

[闭环控制](#)是根据控制对象输出反馈来进行校正的控制方式，它是在测量出实际与计划发生偏差时，按定额或标准来进行纠正的。比如控制一个电机的转速，就得有一个测量转速的传感器，并将结果反馈到控制路线上。提到闭环控制算法，不得不提PID，它是闭环控制算法中最简单的一种。PID是比例 (Proportion) 积分 (Integral) 微分 (Differential coefficient) 的缩写，分别代表了三种控制算法。通过这

三个算法的组合可有效地纠正被控制对象的偏差，从而使其达到一个稳定的状态。[3]

## 比例

成比例地反映控制系统的偏差信号，偏差一旦产生，立即产生控制作用以减小偏差。[比例控制器](#)的输出 $u(t)$ 与输入偏差 $e(t)$ 成正比，能迅速反映偏差，从而减小偏差，但不能消除静差。静差是指[系统控制](#)过程趋于稳定时，给定值与输出量的实测值之差。偏差存在，才能使控制器维持一定的控制量输出，因此比例控制器必然存在着静差。由偏差理论知，增大 $K_p$ 虽然可以减小偏差，但不能彻底消除偏差。比例控制作用的大小除与偏差 $e(t)$ 有关之外，还取决于比例系数 $K_p$ 的大小。比例系数 $K_p$ 越小，控制作用越小，系统响应越慢；反之，比例系数 $K_p$ 越大，控制作用也越强，则系统响应越快。但是， $K_p$ 过大会使系统产生较大的超调和振荡，导致系统的稳定性能变差。因此，不能将 $K_p$ 选取过大，应根据被控对象的特性来折中选取 $K_p$ ，使系统的静差控制在允许的范围内，同时又具有较快的响应速度。[4]

## 积分

积分环节的作用，主要用于消除静差提高系统的无差度。积分作用的强弱，取决于积分时间常数 $T_i$ ， $T_i$ 越大积分作用越弱，反之则越强。积分控制作用的存在与偏差 $e(t)$ 的存在时间有关，只要系统存在着偏差，积分环节就会不断起作用，对输入偏差进行积分，使控制器的输出及执行器的开度不断变化，产生控制作用以减小偏差。在积分时间足够的情况下，可以完全消除静差，这时积分控制作用将维持不变。 $T_i$ 越小，积分速度越快，积分作用越强。积分作用太强会使系统超调加大，甚至使系统出现振荡。[4]

## 微分

微分环节的作用能反映偏差信号的变化趋势（变化速率），并能在

偏差信号的值变得太大之前，在系统中引入一个有效的早期修正信号，从而加快系统的动作速度，减小调节时间。积分控制作用的引入虽然可以消除静差，但是降低了系统的响应速度，特别是对于具有较大惯性的被控对象，用PI控制器很难得到很好的动态调节品质，系统会产生较大的超调和振荡，这时可以引入微分作用。在偏差刚出现或变化的瞬间，不仅根据偏差量作出及时反应（即比例控制作用），还可以根据偏差量的变化趋势（速度）提前给出较大的控制作用（即微分控制作用），将偏差消灭在萌芽状态，这样可以大大减小系统的动态偏差和调节时间，使系统的动态调节品质得以改善。微分环节有助于系统减小超调，克服振荡，加快系统的响应速度，减小调节时间，从而改善了系统的动态性能，但微分时间常数过大，会使系统出现不稳定。微分控制作用一个很大的缺陷是容易引入高频噪声，所以在干扰信号比较严重的[流量控制系统](#)中不宜引入微分控制作用。[4]

微分控制作用的阶跃响应特性对于一个恒定的偏差量，不管其数值有多大，微分控制作用均为零。因此，微分作用不能消除静差，单独使用意义不大，一般需要与比例、积分控制作用配合使用，构成PD或PID控制。[4]

对于PID控制，在控制偏差输入为阶跃信号时，立即产生比例和微分控制中作用。由于在偏差输入的瞬时，变化率非常大，微分控制作用很强，此后微分控制作用迅速衰减，但积分作用越来越大，直至最终消除静差。PID控制综合了比例、积分、微分3种作用，既能加快系统响应速度、减小振荡、克服超调，亦能有效消除静差，系统的静态和动态品质得到很大改善，因而PID控制器在工业控制中得到了最为广泛的应用。[4]

在整定PID控制器参数时，可以根据控制器的参数与系统动态性能和稳态性能之间的定性关系，用实验的方法来调节控制器的参数。有经验的调试人员一般可以较快地得到较为满意的调试结果。在调试中最重要的问题是在系统性能不能令人满意时，知道应该调节哪一个参数，该参数应该增大还是减小。[4]

为了减少需要整定的参数，首先可以采用PI控制器。为了保证系统的安全，在调试开始时应设置比较保守的参数，例如比例系数不要太

大，积分时间不要太小，以避免出现系统不稳定或超调量过大的异常情况。给出一个阶跃给定信号，根据被控量的输出波形可以获得系统性能的信息，例如超调量和调节时间。应根据PID参数与系统性能的关系，反复调节PID的参数。 [4]

如果阶跃响应的超调量太大，经过多次振荡才能稳定或者根本不稳定，应减小比例系数、增大积分时间。如果阶跃响应没有超调量，但是被控量上升过于缓慢，过渡过程时间太长，应按相反的方向调整参数。如果消除误差的速度较慢，可以适当减小积分时间，增强积分作用。 [4]

反复调节比例系数和积分时间，如果超调量仍然较大，可以加入微分控制，微分时间从0逐渐增大，反复调节控制器的比例、积分和微分部分的参数。 [4]

总之，PID参数的调试是一个综合的、各参数互相影响的过程，实际调试过程中的多次尝试是非常重要的，也是必须的。常用的控制方式：P,PI,PD,PID控制算法。 [4]

## PID增量式算法

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$$

$$\Delta u(k) = K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

$$\Delta u(k) = A e(k) - B e(k-1) + C e(k-2)$$

### (1) 滤波的选择

可以对输入加一个前置滤波器，使得进入控制算法的给定值不突变，而是有一定惯性延迟的缓变量。 [5]

### (2) 系统的动态过程加速

在增量式算法中，比例项与积分项的符号有以下关系：如果被控量继续偏离给定值，则这两项符号相同，而当被控量向给定值方向变化时，则这两项的符号相反。 [5]

由于这一性质，当被控量接近给定值的时候，反号的比例作用阻碍了积分作用，因而避免了积分超调以及随之带来的振荡，这显然是有利于控制的。但如果被控量远未接近给定值，仅刚开始向给定值变化时，由于比例和积分反向，将会减慢控制过程。 [5]

为了加快开始的动态过程，我们可以设定一个偏差范围 $v$ ，当偏差 $|e(t)| < \beta$ 时，即被控量接近给定值时，就按正常规律调节，而当 $|e(t)| \geq \beta$ 时，则不管比例作用为正或为负，都使它向有利于接近给定值的方向调整，即取其值为 $|e(t) - e(t-1)|$ ，其符号与积分项一致。利用这样的算法，可以加快控制的动态过程。 [5]

### (3) PID增量算法的饱和作用及其抑制

在PID增量算法中，由于执行元件本身是机械或物理的积分储存单元，如果给定值发生突变时，由算法的比例部分和微分部分计算出的控制增量可能比较大，如果该值超过了执行元件所允许的最大限度，那么实际上执行的控制增量将受到限制时的值，多余的部分将丢失，将使系统的动态过程变长，因此，需要采取一定的措施改善这种情况。 [5]

纠正这种缺陷的方法是采用积累补偿法，当超出执行机构的执行能力时，将其多余部分积累起来，而一旦可能时，再补充执行。 [5]

## PID位置算法

$$u(k) = K_p * e(k) + K_i * \sum e(k) + K_d * [e(k) - e(k-1)]$$

### (1) 遇限削弱积分法

一旦控制变量进入饱和区，将只执行削弱积分项的运算而停止进行增大积分项的运算。具体地说，在计算 $u(i)$ 时，将判断上一个时刻的控制量 $u(i-1)$ 是否已经超出限制范围，如果已经超出，那么将根据偏差的符号，判断系统是否在超调区域，由此决定是否将相应偏差计入积分项。 [5]

### (2) 积分分离法

在基本PID控制中，当有较大幅度的扰动或大幅度改变给定值时，由于此时有较大的偏差，以及系统有惯性和滞后，故在积分项的作用下，往往会产生较大的超调量和长时间的波动。特别是对于温度、成份等变化缓慢的过程，这一现象将更严重。为此可以采用积分分离措施，即偏差较大时，取消积分作用；当偏差较小时才将积分作用投入。<sup>[5]</sup>

另外积分分离的阈值应视具体对象和要求而定。若阈值太大，达不到积分分离的目的，若太小又有可能因被控量无法跳出积分分离区，只进行PD控制，将会出现**残差**。<sup>[5]</sup>

当 $|e(t)| > \beta$ 时， $q_0 = K_p(1+T_d/T)$ ； $q_1 = -K_p(1+2T_d/T)$ ； $q_2 = K_p T_d / T$ ； $u(t) = u(t-1) + \Delta u(t)$ 。<sup>[5]</sup>

$e(t)$ ——控制器输入与设定值之间的误差。<sup>[5]</sup>

$T_d$ ——微分时间常数。（有的地方用" $K_d$ "表示）<sup>[5]</sup>

### （3）有效偏差法

当根据PID位置算法算出的控制量超出限制范围时，控制量实际上只能取边际值 $U=U_{max}$ 或 $U=U_{min}$ ，有效偏差法是将相应的这一控制量的偏差值作为有效偏差值计入积分累计而不是将实际的偏差计入积分累计。因为按实际偏差计算出的控制量并没有执行。<sup>[5]</sup>

### （4）微分先行PID算法

当控制系统的给定值发生阶跃时，微分作用将导致输出值大幅度变化，这样不利于生产的稳定操作。因此在微分项中不考虑给定值，只对被控量（控制器输入值）进行微分。微分先行PID算法又叫测量值微分PID算法。<sup>[5]</sup>

### 参考资料

1. 刘教瑜，舒军主编；甘月红，谢长君副主编. 单片机原理及应用（第2版）：武汉理工大学出版社，2014.08：第192页
2. 张燕红主编；郑仲桥，张永春副主编. 计算机控制技术 第2版：东南大学出版社，2014.02：第79页

3. 徐伟, 肖宝弟. 基于CMAC-PID算法的列车控制仿真[C]// 中国控制与决策会议. 2013.
4. 赵宝明著. 智能控制系统工程的实践与创新: 科学技术文献出版社, 2014.11: 第184页
5. 吴勇, 罗国富, 刘旭辉, 周定江, 肖松, 杨松和编. 四轴飞行器DIY——基于STM32微控制器: 北京航空航天大学出版社, 2016: 第199页