

Analysis of PID Parameter Tuning Method Based on Water Tank Control System

Ziran Wang

State Power Investment Group Northeast Power Co., Ltd. Fushun Thermal Power Branch, Fushun, Liaoning, 113000, China

Abstract

The attenuation curve method for PID parameter tuning is widely used in industrial process control. However, this method requires continuous adjustment of the proportional coefficient and repeated set point disturbance tests, which results in high workload and low efficiency. Therefore, an improved attenuation curve method for PID parameter tuning is proposed. This paper also introduces and explores other PID tuning methods. And an empirical method was proposed for PID parameter tuning under the water tank model, which can effectively reduce the workload of PID parameter tuning.

Keywords

attenuation curve method; PID controller; PID parameter tuning; cascade system; steady-state curve

基于水箱控制系统的 PID 参数整定方法分析

王自然

国家电力投资集团东北电力有限公司抚顺热电分公司, 中国·辽宁 抚顺 113000

摘要

衰减曲线法PID参数整定在工业过程控制中的应用较多,但该方法需要不断调节比例系数、反复进行设定值扰动试验,工作量大、效率偏低,为此,提出了一种改进的衰减曲线法PID参数整定取值方法。论文对PID的其他整定方法也进行了介绍与探讨。并针对水箱模型下的PID参数整定提出了经验方法可以有效降低PID参数整定的工作量。

关键词

衰减曲线法; PID控制器; PID参数整定; 串级系统; 稳态曲线

1 引言

PID 控制器产生并发展于 1915—1940 年间,虽然在之后又出现了最优控制、自适应控制、预测控制等多种先进控制算法,但 PID 控制器具有结构简单、使用方便、鲁棒性好、可靠性高等诸多优点,因此目前在工业过程控制中仍然广泛应用。PID 控制器有三个可调参数,分别为比例系数 K_p 、积分时间 T_i 和微分时间 T_d ,这三个参数组合决定了闭环系统的动态和稳态性能。PID 参数整定是通过调整这三个可调参数的大小,使控制系统满足期望的性能指标。参数整定需要技术人员具备较高的理论知识和实践经验,因此 PID 参数整定一直是研究热点。PID 参数整定分为基于模型的整定和基于试验的整定两大类。前者针对已知模型的被控对象,采用寻优或理论算法,确定满足一定性能指标的 PID 参数。后者针对未知模型的被控对象,在闭环试验的基础上,基于经验公式确定 PID 参数,有衰减曲线法、临界比例度法等。

【作者简介】王自然(1996-),男,中国辽宁阜新,本科,助理工程师,从事热工程控保护研究。

论文针对衰减曲线法整定 PID 参数时需要不断调整比例系数进行扰动试验的问题,提出了一种改进的衰减曲线法,该方法通过新的经验公式更快地得到稳态曲线,可以显著提高整定效率。

2 基本理论

2.1 PID 基础介绍

2.1.1 比例运算(P)

比例控制是建立与设定值(SV)相关的一种运算,并根据偏差在求得运算值(控制输出量)。如果当前值(PV)小,运算值为 100%。如果当前值在比例带内,运算值根据偏差比例求得并逐渐减小直到 SV 和 PV 匹配(即直到偏差为 0),此时运算值回复到先前值(前馈运算)。若出现静差(残余偏差),可用减小 P 方法减小残余偏差。如果 P 太小,反而会出现振荡。

2.1.2 积分运算(I)

将积分与比例运算相结合,随着调节时间延续可减小静差。积分强度用积分时间表示,积分时间相当于积分运算值到比例运算值在阶跃偏差响应下达到的作用所需要的时间

间。积分时间越小，积分运算的校正时间越强。但如果积分时间值太小，校正作用太强会出现振荡。

2.1.3 微分运算 (D)

比例和积分运算都校正控制结果，所以不可避免地会产生响应延时现象。微分运算可弥补这些缺陷。在一个突发的干扰响应中，微分运算提供了一个很大的运算值，以恢复原始状态。微分运算采用一个正比于偏差变化率(微分系数)的运算值校正控制。微分运算的强度由微分时间表示，微分时间相当于微分运算值达到比例运算值在阶跃偏差响应下达到的作用所需的时间。微分时间值越大，微分运算的校正强度越强。

2.2 PID 算法原理

由被控对象和 PID 控制器组成的闭环控制系统的基本结构如图 1 所示，其中 $r(t)$ 、 $y(t)$ 和 $u(t)$ 分别为设定值、被控量和控制量，设定值与被控量之间的差值 $e(t)$ 称为偏差量，有式 (1) $e(t) = r(t) - y(t)$ 。

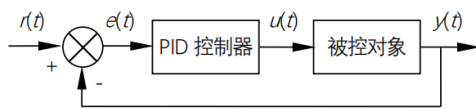


图 1 PID 控制系统的基本结构

PID 控制器由比例、积分和微分三个环节组成，根据偏差量 $e(t)$ 计算控制量 $u(t)$ ，连续时间的 PID 算法可表示为式 (1) 或 (2)：

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

其中， K_p 为比例系数； T_i 为积分时间； T_d 为微分时间； $K_i = K_p/T_i$ 称为积分系数， $K_d = K_p T_d$ 称为微分系数。

当积分时间 T_i 为无穷、 T_d 微分时间为 0 时，PID 控制器转变为简单的纯比例控制器，其算法简化为：

$$u(t) = K_p e(t) \quad (3)$$

在部分分散控制系统中，经拉式变换，PID 计算原理常为：

$$Y(s) = (K_p + \frac{1}{T_i * S} + \frac{K_d * T_d * S}{T_d * S + 1}) E(s) + FF(s) \quad (4)$$

2.3 经典衰减曲线法原理

衰减曲线法基于被控对象和纯比例控制器组成的闭环

系统的衰减特性来整定控制器参数，即在纯比例控制作用下，利用闭环系统衰减比为 4 : 1 (或 10 : 1) 的试验数据确定 PID 参数，其整定经验公式如表 1 所示。

2.3.1 操作细节

①先把积分时间放至最大，微分时间放至零，使控制系统运行，比例度放至较大的适当值，“纯 P 降低比例度”，就是使控制系统按纯比例作用的方式投入运行。然后慢慢地减少比例度，观察调节器的输出及控制过程的波动情况，直到找出 4 : 1 的衰减过程为止。这一过程就是“找到衰减 4 : 1”。

②对有些控制对象，用 4 : 1 的衰减比感觉振荡过强时，这时可采用 10 : 1 的衰减比。但这时要测量衰减周期是很困难的，可采取测量第一个波峰的上升时间 T_r ，其操作步骤同上。

③根据衰减比例度 s 和衰减周期 T_s 、 T_r 按表 1 进行计算，求出各参数值。

④先将比例度放在一个比计算值大的数值上，然后加上积分时间 T_i ，再慢慢加上微分时间 T_d 。操作时一定要按“PID 序加参数”，即先 P 次 I 最后 D，不要破坏了这个次序。

⑤把比例度降到计算值上，通过观察曲线，再做适当的调整和参数。即“观看运行细调整”，直到找出最佳值。

2.3.2 注意事项

①要得到衰减的过渡过程，只有在系统平稳时，再给给定干扰，才有可能找出 $n : 1$ 的衰减过渡过程。否则，可能会有外界干扰，而影响到比例度和衰减周期数值的正确性。

②是加正干扰还是加负干扰，最好与工艺联系来商定，因为是要根据工艺生产条件来确定的。给定干扰的幅值，通常是取满量程的 2%~3%，在工艺允许的情况下，可以适当加大。

③本方法对于变化较快的压力、流量、小容量的液位控制系统，在曲线上读出衰减比有一定难度。

利用衰减曲线法整定 PID 参数时，首先将积分时间 T_i 设为无穷，微分时间 T_d 设为 0，PID 控制器按纯比例控制投入运行。然后逐渐减小纯比例控制器的比例度 δ (比例系数的倒数)，直至被控量出现 4 : 1 (或 10 : 1) 的衰减振荡，记录对应的比例度 δ_s 和振荡周期 T_s 。最后按表 1 给出的经验公式确定 PID 参数。

表 1 衰减曲线法经验公式

衰减比	控制器类型	比例系数	积分时间	微分时间
4:1	P	$1/\delta_s$	∞	0
	PI	$0.83/\delta_s$	$0.5T_s$	0
	PID	$1.25/\delta_s$	$0.3T_s$	$0.1T_s$
10:1	P	$1/\delta_s$	∞	0
	PI	$0.83/\delta_s$	$2T_r$	0
	PID	$1.25/\delta_s$	$1.2T_r$	$0.4T_r$

3 PID 的参数整定

3.1 PID 参数整定

PID 控制器参数整定的方法概括起来有两大类：一是理论计算整定法。它主要是依据系统的数学模型，经过理论计算确定控制器参数。二是工程整定方法，它主要依赖工程经验，直接在控制系统的试验中进行，且方法简单、易于掌握，在工程实际中被广泛采用。利用临界比例法进行 PID 控制器参数的整定步骤如下：

①首先预选选择一个足够短的采样周期让系统工作；

②仅加入比例控制环节，直到系统对输入的阶跃响应出现临界振荡，记下这时的比例放大系数和临界振荡周期；

③在一定的控制度下通过公式计算得到 PID 控制器的参数。

PID 参数的设定：是靠经验及工艺的熟悉，参考测量值跟踪与设定值曲线，从而调整 PID 的大小。

3.2 串级控制 PID 参数的调整

串级控制 PID 参数的调整的基本方法如下：

3.2.1 方法一

先仅投副环，按单回路完成整定后关掉微分，将积分时间延长一倍；然后投入串级，在主回路按单回路完成整定。

3.2.2 方法二

在串级条件下，将副环比例带按照最大经验值设置，再在主回路按单回路完成整定。

3.3 经验试凑法

这种方法的基本程序是先根据运行经验，确定一组调

节器参数，并将系统投入闭环运行，然后人为地加入阶跃扰动（如改变调节器的给定值），观察被调量或调节器输出的阶跃响应曲线。若认为控制质量不满意，则根据各整定参数对控制过程的影响改变调节器参数。这样反复试验，直到满意为止。

经验法简单可靠，但需要有一定现场运行经验，整定时易带有主观片面性。当采用 PID 调节器时，有多个整定参数，反复试验的次数增多，不易得到最佳整定参数。

3.4 衰减曲线法的经验公式探索

基于经典衰减曲线法得到的经验公式，在基于衰减率 0.75 计算得到的 K_d 与 T_i 一般是无法直接应用在实际当中的，基于此类参数往往还需要操作者基于自身经验进行一定的微调，在反复实验后才能得到目标参数，得到稳态曲线。笔者在大量水箱实验的过程中，发现了一些相关规律，即当以纯比例方式调整，在出现近似 4 : 1（即衰减率为 0.75）的振荡曲线时，记录该组数据，得到 K_p 与 T_i ，并将此时 $K_p \times 0.5$ ， $T_i \times 1.0$ ，即可得到最终曲线相差很小的 K_p 与 T_i ，再稍加调整 K_p ，即可得到稳态曲线。

参考文献

- [1] Mohamed K, Gaber M, Mohamed E, et al. A robust PID controller based on linear quadratic gaussian approach for improving frequency stability of power systems considering renewables[J]. ISA Transactions, 2021(117):118-138.
- [2] 王伟,张晶涛,柴天佑. PID参数先进整定方法综述[J].自动化学报, 2000, 26(3):347-355.