

## 详解经验法 PID 参数调节口诀

经验法整定 PID 参数是老仪表工们几十年经验的积累，到现在仍得到广泛应用的一种 [PID 参数整定](#)方法。此法是根据生产操作经验，再结合调节过程的过渡过程曲线形状，对控制系统的[调节器](#)参数进行反复的凑试，最后得到调节器的最佳参数。经验法的 PID 参数调节口诀说：

参数整定寻最佳，从大到小顺次查。先是比例后积分，最后再把微分加。曲线振荡很频繁，比例度盘要放大。曲线漂浮绕大弯，比例度盘往小扳。曲线偏离回复慢，积分时间往下降。曲线波动周期长，积分时间再加长。理想曲线两个波，调节过程高质量。

这是一首流传广泛、影响很大的调节器 PID 参数调节口诀，该 PID 调节口诀最早出现在 1973 年 11 月出版的《化工自动化》一书中，流传至今已有几十年了。现在网上流传的 PID 调节口诀，大多是以该 PID 参数调节口诀作为蓝本进行了补充和改编而来的，如“曲线振荡频率快，先把微分降下来，动差大来波动慢。微分时间应加长”。还有的加了“理想曲线两个波，前高后低四比一，一看二调多分析，调节质量不会低”等。为便于理解和应用，现对该 PID 参数调节口诀进行较详细的分析。以下的分析及结论对临界比例度法、衰减曲线法也是有参考价值的。

先谈谈 PID 参数调节口诀“参数整定寻最佳，从大到小顺次查”中的“最佳”问题。很多仪表工都有这样的体会，在现场的调节器工程参数整定中，如果只按 4:1 衰减比进行整定，那么可以有很多对的比例度和积分时间同样能满足 4:1 的衰减比，但是这些对的数值并不是任意地组合，而是成对地，一定的比例度必须与一定的积分时间组成一对，才能满足衰减比的条件，改变其中之一，另一个也要随之改变。因为是成对出现的，所以才有调节器参数的“匹配”问题。而在实际应用中只有增加个附加条件，才能从多对数值中选出一对适合的值。这一对适合的值通常称为“最佳整定值”。“从大到小顺次查”中“查”的意思就是找到调节

器参数的最佳匹配值。而“从大到小顺次查”是说在具体操作时，先把比例度、积分时间放至最大位置，把微分时间调至零。因为需要的是衰减振荡的过渡过程，并避免出现其他的振荡过程，在整定初期，把比例度放至最大位置，目的是减小调节器的放大倍数。而积分放至最大位置，目的是先把积分作用取消。把微分时间调至零也是把微分作用取消了。“从大到小顺次查”就是从大到小改变比例度或积分时间刻度，实质是慢慢地增加比例作用或积分作用的放大倍数。也就是慢慢增加比例或积分作用的影响，避免系统出现大的振荡。最后再根据系统实际情况决定是否使用微分作用。

先是比例后积分，最后再把微分加”是经验法的整定步骤。比例作用是最基本的控制作用，PID 参数调节口诀说的“先是比例后积分”，目的是简化调节器的参数整定，即先把积分作用取消和弱化，待系统较稳定后再投运积分作用。尤其是新安装的控制系統，对系統特性不了解时，我们要做的就是先把积分作用取消，待调整好比例度，使控制系统大致稳定以后，再加入积分作用。对于比例控制系统，如果规定 4:1 的衰减过渡过程，则只有一个比例度能满足这一规定，而其他的任何比例度都不可能使过渡过程的衰减比为 4:1。因此，对比例控制系统只要找到能满足 4:1 衰减比时的比例度就行了。

在调好比例控制的基础上再加入积分作用，但积分会降低过渡过程的衰减比，则系统的稳定程度也会降低。为了保持系统的稳定程度，可增大调节器的比例度，即减小调节器的放大倍数。这就是在整定中投入积分作用后，要把比例度增大 10%-20% 的原因。其实质就是个比例度和积分时间数值的匹配问题，在一定范围内比例度的减小，是可以用来增加积分时间的方法来补偿的，但也要看到比例作用和积分作用是互为影响的，如果设置的比例度过大时，即便积分时间恰当，系统控制效果仍然会不佳。

在有的场合，也可不强求以上步骤，而是采取先按表 1 的 PID 参数凑试范围，把比例度、积分、微分时间选择好，然后由大到小的改变比例度进行凑试，直至调节过程曲线满意为止。积分时间和微分时间预置后用比例度凑试，其体现的是经验，如果没有经验就成为盲目调试了。此方法的缺点是当同时使用比例、积分、微分三作用时，不容易找到最合适的整定参数，由于反复凑试会费很多时间。

表1     经验整定法PID参数凑试范围一览表

控制系统	% (比例)	Ti/min (积分)	TD/min
温度	20-60	3-10	0.5-3
压力	10-70	0.4-3	
流量	40-100	0.3-1	
液位	20-80		

“曲线振荡很频繁，比例度盘要放大”说的是比例度过小时，会产生周期较短的激烈振荡，如图 1 所示。且振荡衰减很慢，严重时至会成为发散振荡。这时就要调大比例度，使曲线平缓下来。

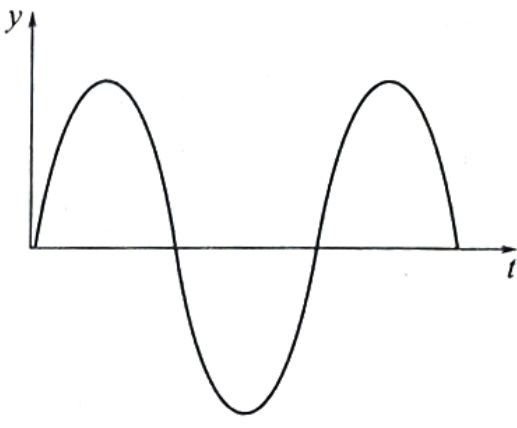


图 1     比例度过小时的过渡过程曲线

“曲线漂浮绕大弯，比例度盘往小扳”说的是比例度过大时会使过渡时间过长，使被调参数变化缓慢，即记录曲线偏离给定值幅值较大，时间较长，这时曲线波动较大且变化无规则，

形状像绕大弯式的变化，如图 2 所示。这时就要减小比例度，使余差尽量小。

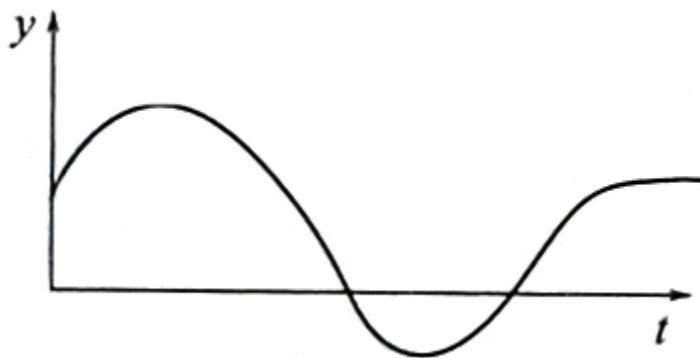


图 2 比例度过大时的过渡过程曲线

“曲线偏离回复慢，积分时间往下降。曲线波动周期长，积分时间再加长”说的是积分作用的整定方法。当积分时间太长时，会使曲线非周期地慢慢地回复到给定值，即“曲线偏离回复慢”，如图 3 所示。则应减少积分时间。当积分时间太短时，会使曲线振荡周期较长，且衰减很慢，即“曲线波动周期长”，如图 4 所示。则应加长积分时间。

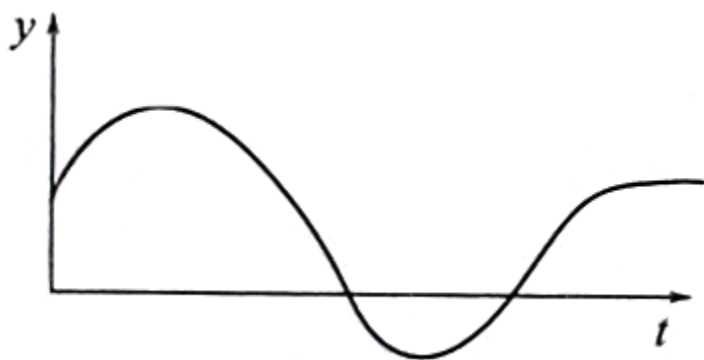


图 2 比例度过大时的过渡过程曲线

“曲线偏离回复慢，积分时间往下降。曲线波动周期长，积分时间再加长”说的是积分作用的整定方法。当积分时间太长时，会使曲线非周期地慢慢地回复到给定值，即“曲线偏离回复慢”，如图 3 所示。则应减少积分时间。当积分时间太短时，会使曲线振荡周期较长，且衰减很慢，即“曲线波动周期长”，如图 4 所示。则应加长积分时间。

调节器的参数按比例积分作用整定好后，如果需启用微分作用时，则“最后再把微分加”。

由于微分作用会增强系统的稳定性，故使用微分作用后，调节器的比例度可以在原来的基础上再增大一些，一般以增大 20%为宜。微分作用主要用于滞后和惯性较大的场合，由于微分作用具有超前调节的功能，当系统有较大滞后或较大惯性的情况下，才应启用微分作用。

以上说的是孤立的调试方法，在实际调试中，由于比例、积分、微分作用的相互影响，所以要互相兼顾才能调试好。要掌握的是振荡过强则应加大比例度，加大积分时间；恢复过慢则应减小比例度，减小积分时间。加入微分作用后，要把比例度和积分时间在原有的基础上减小一些；通过调微分时间的凑试，使过渡时间最短，超调量最小。

为方便理解几十年前的 PID 参数调节口诀，云南昌晖仪表制造有限公司对 PID 参数调节口诀中的有关问题作点说明。

#### ①什么是比例度盘？

由于历史的原因，当时仪表工接触的大多是气动调节仪表，20 世纪 70 年代初电动仪表的应用也是有限的。气动仪表调整比例度就是改变一个针形阀门的开度，为便于观察阀门的开度，阀门手柄上有个等分刻度盘；电动仪表调整的是电位器，同样也有一个等分刻度盘；这就是口诀中说的“比例度盘”。

#### ②过程曲线的观察

经验法的实质就是看曲线，调参数。现在使用的 DCS 功能强大，想观察什么曲线就可观察什么曲线，只要把测点引入 DCS 即可，非常方便。但以前由于条件所限，当时用得最多的是气动三针记录仪，还有电子电位差计记录仪。口诀中所说“过程曲线”大多指仪表的记录

曲线，通常要设置较快的走纸速度和选择合适的量程，才有可能较好地观察到记录曲线。有的对象由于调节过程较快，从记录曲线读出衰减过渡过程是很困难的，只能凭经验观察，如调节器的风压或电流来回波动两次就达到稳定状态时，就可认为是  $n:1$  的衰减过渡过程。口诀中所说的过程曲线形状，是形象化、直观化、被放大的曲线，其目的是为了便于理解。

### ③振荡周期和频率

过渡过程从一个波峰到第二个波峰之间的时间叫振荡周期，一个振荡周期是  $360^\circ$ ；振荡周期的倒数称为振荡频率。在衰减比相同的条件下，周期与过渡时间成正比，通常希望周期短一些为好，但各种被控对象的振荡周期相差是很大的，且周期的长短取决于所整定的对象，及不同的整定参数。口诀所说的“理想曲线两个波”，指的是在过渡时间内被调参数振荡的次数，如果说过渡过程振荡两次就能稳定下来，这就是很好的过渡过程。引入振荡周期和频率的概念是为了理论上分析问题的方便，与交流电的波形和频率相比，两者差别是很大的；过程控制的振荡周期是极缓慢的，大多长达数分钟至数十分钟，动次数而已。

### ④关于衰减比

在多数情况下，都希望得到衰减振荡的过渡过程，衡量衰减程度的指标是衰减比，即图 5 中 B 与 B' 两峰值的比，通常表示为  $n:1$ ，一般  $n$  在 4-10 之间较妥。口诀中说 4:1 的衰减过渡过程好，是如何定出来的？这其实是工艺操作人员多年的经验总结。因为在生产现场投用自控系统的时候，被控工艺参数在受到干扰和调节器的校正后，能比较快地达到一个高峰值。然后又马上下降并较快地达到一个低峰值。如果工艺操作人员看到这样的曲线，心里就比较踏实，他知道被调工艺参数再振荡几次就会稳定下来了，是不会出现大的超调现象的。但是如果过渡过程是非振荡的过程，则工艺操作人员在较长的时间内只看到过程曲线在一直上升

或下降，操作人员害怕出事故的心理，就会促使他调动相应地阀门改变工艺物料的大小以求指标稳定，由于人为的干扰会导致被调参数大大偏离给定值，这一恶性循环严重时，可能会使系统处于不可控制的状态，所以说选择衰减振荡的过渡过程，并规定衰减比在 4-10:1 之间，是根据工艺操作人员的实践经验得来的。

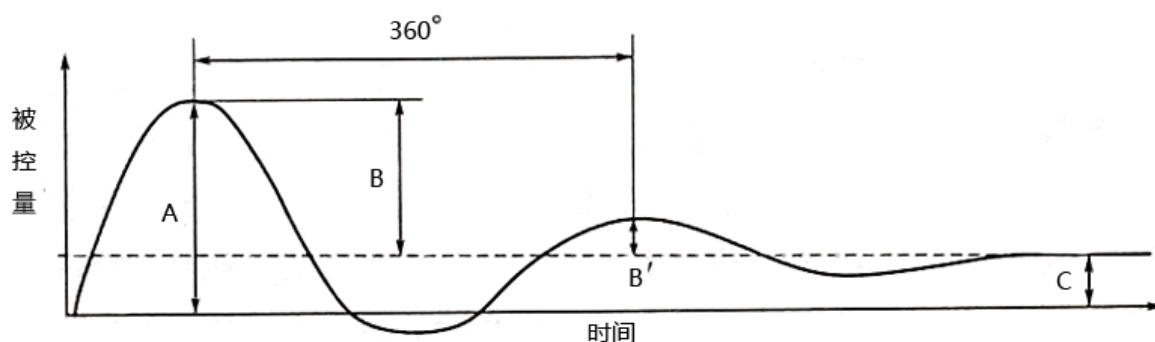


图 5 过渡过程质量指标示意图

#### ⑤最大偏差与超调量

最大偏差表示控制系统偏离给定值的程度，也就是当干扰产生，经过调节待系统稳定后，被调量与给定值的最大偏差。对于衰减振荡的过渡过程，最大偏差就是第一个波的峰值，即图 5 中的 A。一个整定好的调节系统，一般第一个波波动最大，经一大一小两个波后，也就无所谓最大偏差了。

有时也用超调量来表示被控参数的偏离程度，超调量是衡量被控参数在过渡过程中振荡超出最终静态值的程度，即图 5 中的 B。在实际应用中，超调量大多是用余差的百分数来表示，即图 5 中的  $B/C \times 100\%$ 。