

工业自动化控制系统的简介和发展

在自动化 (automation) 不断完善和发展的今天, 垫块机 自动化水平已经成为衡量企业现代化水平的一个重要标准, 而自动化的一个重要分支——工业自动化, 更是生产型企业提高生产效率, 稳定产品质量的重要手段。我国的自动化发展历程也经历了以“观测”为主的第一阶段, 以“观测”并“人为反应”的第二阶段, 已经逐渐进入到“自动测量自动反应”的第三阶段。这些进步, 同时需要控制理论和实践的完善, 智能控制 (intelligent controls) 作为现代控制理论上发展起来的新型控制理论, 已经广泛应用于各个自动化领域, 全自动洗衣机就是典型的智能控制自动化的例子。

一个控制系统包括 控制器 (controller)、传感器 (sensor)、变送器 (transmitter)、执行机构 (final controlling element)、输入输出接口 (I/O interface) 五部分组成。控制器的输出经过输出接口、执行机构, 加到被控系统上; 控制系统的被控量, 经过传感器, 变送器, 通过输入接口送到控制器, 这样完成了一次正常的运算控制操作。

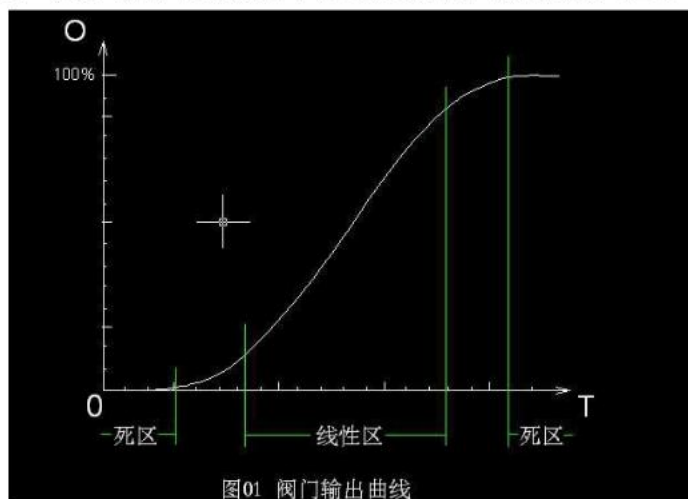
按照自动控制有无针对对象来划分, 自动控制可分为“开环控制”和“闭环控制”。区分“开环控制”和“闭环控制”最直接的办法是看是否有最终对象的反馈, 当然这个反馈不是人为直观观察的。例如向一个容器里加水, 有水位测量设备, 水位到达设定的高度, 水龙头自动关断, 这就是“闭环控制”; 如需人为的看水是否到了设定的高度, 而去人为的关水龙头, 这就是“开环控制”。当然, 智能控制, 目标是不需要人为干预, 所以, 我们可以简单的认为“开环控制”是人为干预控制, 不能完全体现智能控制的特点, 所以在这里不去深究它。“闭环控制”按照执行机构的不同, 可分为“状态闭环控制”和“调节闭环控制”。区分“状态闭环控制”和“调节闭环控制”的办法是看对执行机构的作用方式, 如上例中, 如果水龙头是开关两位的, 在水位到达设定的高度, 自动关断水龙头, 则此为“状态闭环控制”; 如果水龙头是可调节的, 根据水位高度的不同, 调节水龙头开度的大小, 通过加水量的不同, 让水位保持平衡, 此为“调节闭环控制”。

目前工业自动化控制中, “状态闭环控制”多用于保护类控制, 例如汽机的 ETS, 锅炉的 MFT, 化工的 ESD, 水泵保护等等。其优点是反应比较快, 控制器本身不需要复杂的计算, 通过逻辑运算基本可以实现; 其缺点是一旦收到的反馈信号为假信号, 则按照假信号进行动作, 工程上多称之为“误动”。由于动作迅速 (一般是以“毫秒”为单位进行计算), 所以一旦误动产生, 无法在执行之前或之中做出人为反应处理, 只能事后补救, 而一些重要的保护一旦产生误动, 其影响和损失都是比较大的。针对这个问题, 根据现场“状态闭环控制”的重要性和损失性, 需要将反馈信号进行品质判断处理, 判断出信号的真实性, 如果是假信号, 则保持原信号不变, 不触发执行机构工作, 避免误动。而且几乎所有的“状态闭环控制”都有是否允许执行的开关, 即联锁按钮。联锁按钮可根据实际情况, 屏蔽控制内容, 这样就可以部分的对其进行提前控制, 把误动的可能性减到最低。(http://www.pjwyx.com)

“调节闭环控制”相对“状态闭环控制”要复杂一些, 需要控制器进行复杂的运算, 计算出输出的结果给执行机构, 执行机构进而调节被调节对象。从时间上来讲, “调节闭环控制”是不间断的时时进行计算和输出, 其周期决定于控制器的运算周期。“调节闭环控制”需要人为或通过系统计算给定一个 被控制对象的理想的状态数值 (给定值 set value, 简称为 S), 控制器会比较 实际的被控制对象的数值 (测量值 practical value, 简

写 P) 与给定值之间的偏差, 并计算出输出到执行机构的值 (输出值 output value, 简写 O) 给执行机构, 执行机构变化, 使测量值改变, 控制器再次比较测量值与给定值的偏差 (以下简称偏差), 进行下一循环的计算并输出。“调节闭环控制”一般常用的控制方式是“比例积分微分控制”即“PID 控制”或“PID 调节”。PID 控制器就是根据偏差, 利用比例 (proportional)、积分 (integration)、微分 (differentiation) 计算出控制量进行控制的。PID 控制器问世至今已有近几十年的历史, 它以其结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便而成为工业控制的主要技术之一。很多盘装仪表控制器就具备很好的带有记忆功能的 PID 控制功能。“调节闭环控制”对控制系统中各个环节设备性能的要求比较高, 如对执行机构, 要求执行机构的线性度要高, 不能是越阶式执行。同时, “调节闭环控制”因为是时时调节控制, 所以对执行机构的机械部分磨损比较大, 部分的影响执行机构的寿命。(选自 <http://www.dkjyx.com>)

在“调节闭环控制”中, 对控制系统的各个部分的工作状态也有所要求, 同例如执行机构, “调节闭环控制”要求执行机构是工作状态是在“线性区域”工作, 而不是死区。所谓死区 (dead zone), 又称仪表不灵敏区, 是指输入量的变化不致引起该仪表输出量有任何可察觉的变化的有限区间。例如一个执行机构, 接收 4~20mA 线性信号, 输出动作是 0~100%的机械力, 那么当输入的信号是 4.0005mA 的时候, 执行机构是不动作的, 此时 4.0005mA 是处于执行机构的死区内。阀门是最典型的执行机构, 阀门的工作特性曲线图 (如图 01) 表示出了阀门死区与工作线性区的特点。图中 Y 轴代表的是阀门输出的机



械动作, 即实际开度; X 轴代表接受到的执行命令大小, 即要求开度。由图可知, 阀门在关闭时刚开始接收到开信号时阀门无实际动作, 这段区域即是死区, 然后在接受到一定的信号值后, 阀门开始大幅度动作, 然后进入到一个相对平缓的直线运行区域, 这段相对平缓的直线即线性区 (linear zone)。然后再经过大幅度动作区, 死区, 到底满开度。关闭亦然。实际中, 很多阀门在实际中是不可能完全达到 0%和 100%开度的, 也就是说 0%开度阀门一定或多或少有一些流量, 而 100%开度也不可能是 0 阻 4 力流动的。

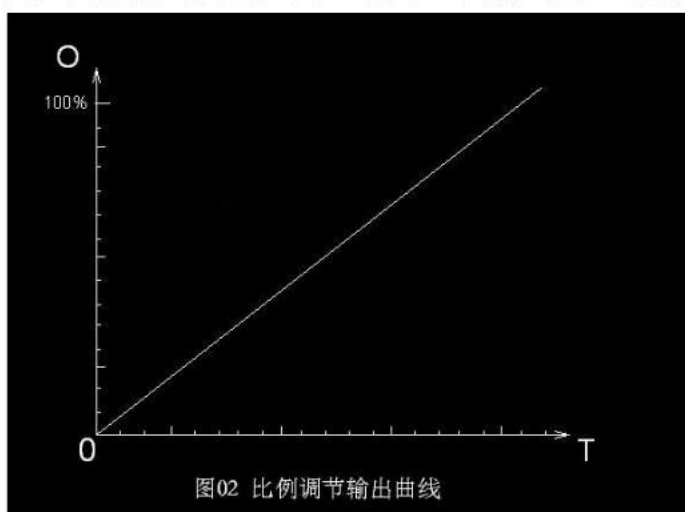
了解了“调节闭环控制”的执行机构特点, 之后进行调节, 方法多为 PID 调节。而 PID 调节有很多计算方法, 实际应用却多用“试凑法”, 即先通过经验预设一组 PID 参数值, 再根据实际效果调节参数值, 达到预期的目的。所以实际中主要调节什么参数, 如何去调节 PID 参数, 是最直接需要掌握的内容。(选自 <http://www.0375home.com>)

首先要知道所调试的调节系统的作用方式, 即正作用还是反作用。如果被调节对象的测量值大于给定值, 则增大执行机构输出值, 此为反作用。反之为正作用。同一个容器, 即有进水阀, 也有排水阀, 被调节对象是水位, 那么如水位高于期望值, 需减小进水阀的开度, 进水阀为反作用; 需增大排水阀开度, 排水阀为正作用。正反作用是 PID 调节

的基础，是执行机构的方向问题，找对了方向，才有可能向好的调节效果上发展。

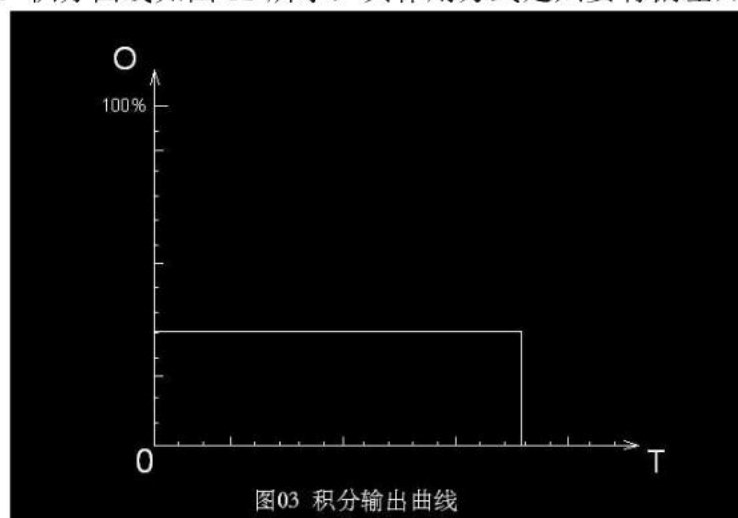
其次要了解的，就是 P、I、D 的含义了。比例、积分、微分在 PID 调节的作用。

比例（P）控制是一种最简单、最基础的控制方式。其控制器的输出与偏差信号成比例关系。比例控制的输出曲线如图 02 所示，其输出是一条始于原点的直线，而直线的斜



率是由比例增益确定的。调节的一方面，测量值和给定值无限接近，即偏差值很小越好，从而满足调节的精度；另一方面，调节需要具有一定的幅度，以保证调节的灵敏度。解决这一矛盾的方法就是事先将偏差信号进行放大。比例增益就是用来设置差值信号的放大系数的。笼统的讲比例增益就是放大倍数。一般在初次调试时，比例增益可按中间偏大值预置，待设备运转时再按实际情况细调。而系统当仅有比例控制时系统输出存在稳态误差，其测量值曲线的表现是等幅振荡。

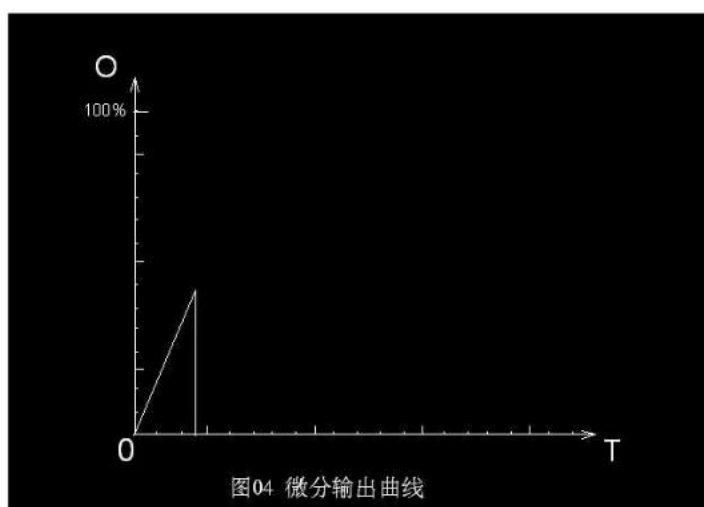
积分（I）控制对比例控制有强烈的制约效应。对一个自动控制系统，如果在进入稳态后存在稳态误差，则称这个控制系统是有稳态误差的或简称有差系统。为了消除稳态误差，在控制器中必须引入“积分”。随着时间的增加，积分作用会增大。这样，即便偏差很小，积分也会随着时间的增加而加大，它反向推动控制器的输出，使稳态误差减小，直到等于零。积分曲线如图 03 所示，其作用方式是只要有偏差，并且偏差在允许偏差



范围以外，积分就会起作用，反作用拉动比例增幅。反之如果无偏差或者偏差在允许范围内，积分作用消失。调节积分的参数是积分时间，由比例控制可知，比例增益越大，

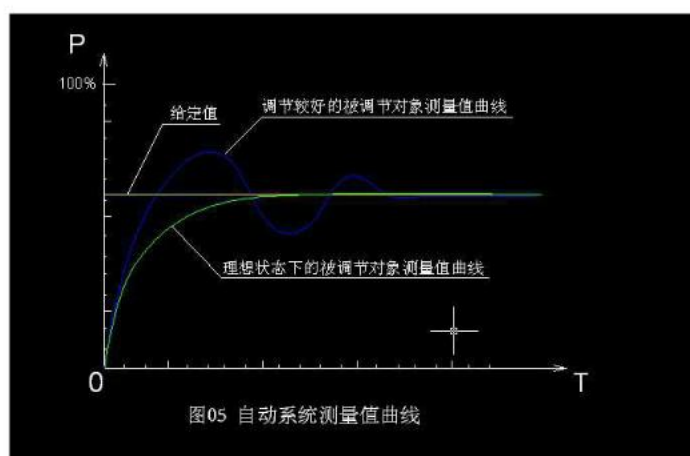
由于惯性导致“超调”，然后反过来调整，再次超调，形成振荡。引入积分的效果是，使经过比例增益放大后的差值信号在积分时间内逐渐增大，从而减缓其变化速度，防止振荡。但积分时间太长，又会当反馈信号急剧变化时，被控物理量难以迅速恢复。因此，积分时间的取值与拖动系统的时间常数有关：拖动系统的时间常数和积分时间是成正比的。

微分（D）控制是在调节系统在进行比例控制和积分控制之前进行的超前控制，采用微分控制的主要原因是控制系统中有滞后性。系统在比例控制之后，被控物理量值未及时的变化，而是比例控制超调的时候开始变化，此时积分作用已不能对比例进行很好的反拉动作用，比例因为惯性在达到理想输出时向反方向移动，无限制振动。这样就需要微分提前控制，微分控制曲线如图 04，微分作用是在比例控制之前，提前输出作用于被



控对象，抵消滞后时间，而后比例控制和积分控制起作用，从而避免了被控量的严重超调。微分根据差值信号变化的速率，提前给出一个相应的调节动作，从而缩短了调节时间，克服因积分时间过长而使恢复滞后的缺陷。微分控制参数主要是微分时间，微分时间的取值也与拖动系统的时间常数有关，拖动系统的时间常数与微分时间也是成正比关系。

PID 控制是比例、积分、微分结合作用控制，目前比较常见的是 PI 控制和 PID 控制，



根据实际的被控对象不同，选择的控制组合方式也不同，但目的曲线是相同的，如图 05

所示，图中 Y 轴代表测量值及给定刻度。X 轴代表时间，给定值是固定的，所以是一条平行于 X 轴的直线，理论上，我们希望的曲线，是被控量直接向给定量靠近，进而重合，如曲线“理想状态下的被调节对象测量值曲线”，但实际中并不能实现，客观上比较理想的是图中“调节较好的被调节对象测量值曲线”，被控量围绕给定量振荡几个周期后，靠近给定量。实际中，被控量和给定量是不可能完全重合，存在动态的偏差。至于是否能稳定，或者经过几个周期才平稳，要取决于参数的设置，各个控制环节的性能，还有外扰。(选自 <http://www.yxhgj.com>)