

真空炉 PID 参数的调整方法

陈宝雄(中国航空工业第 609 研究所,江苏 南京 210061)

Adjustment Method of PID Parameters for Vacuum Furnace

CHEN Bao xiong (No. 609 Research Institute Under AVIC, Nanjing Jiangsu 210061, China)

中图分类号: TG115.1 文献标识码: B 文章编号: 0254 6051(2004) 10-0070 02

随着热处理、钎焊、烧结技术的发展,真空设备的使用越来越普及,为确保其温度品质达到最佳的控制精度, PID 参数的确定是关键。 PID 参数调整得好,设备在设定温度下不仅有较好的温度控制品质,而且在恒定的炉子保温阶段还能使磁性调压器的输出电压、电流保持在一个恒定状态,有利于延长调压器的寿命,减小电网的波动。

1 PID 参数的概念

PID 是系统控制中对控制参数与设定值之间偏差的比例带 P (proportion)、积分时间 I (integrate)、微分时间 D (differential) 的统称。其作用是将调节器输出电压与输入电压之间的 P 、 I 、 D 关系确立到最佳炉温控制状态。其中 P 为偏差电压/调节器输出电压,其数量是调节器闭环放大倍数的倒数。当真空炉炉丝的加热电流和炉温与设定值之差(简称偏差)成比例时,比例带越小(P 值越小),调节器输出电压开始突然跳动大,而且输出电压上升快。目前国产各类真空炉普遍配置的 FP21(或 SR50 系列)调节器输入电压就是偏差电压,它与炉温与设定值之差成比例。调节器输出电压经可控硅触发器(或晶闸管)去改变磁性调压器的输出电压,从而改变炉丝加热电流,使炉温趋向在设定值处稳定。若只有比例作用,炉温不稳定时加热电流较小,炉温恢复必然很慢。如设定的比例太小,则一开始加热电流太大,炉温会过头,超调量大,甚至于出现不稳定。 I 为炉温过渡过程中时间与炉温偏差的动态累积(积分),其作用是炉丝加热电流与炉温偏差积分成比例。只要存在偏差,尽管偏差很小,但经过长

时间的累积,就会有足够的输出去控制炉丝加热电流以消除偏差。积分作用可以极大地减小静态误差,使加热电流自动维持在一个新的水平上,保证炉温恢复后达到没有静差。积分时间越短,积分作用越强,炉丝加热电流上升(或下降)变化就越快。若设定的积分时间太小,电流上升速度很快,而温度变化较慢,其后果是温度偏差在还没有消除之前电流已经很大,以至炉温超标,超调量大,甚至于造成不稳定。若设定的积分时间太长,电流上升很慢,在很长时间内,积分就不起作用,主要靠比例作用,以致加热不足,过渡过程时间会太长。 D 所起的作用是在炉丝加热电流与偏差的变化速率(Δ 偏差/ Δ 时间)成正比,当炉丝加热电流较小,炉温恢复太慢,有了微分作用,炉丝加热电流就会加大,炉温恢复就快。

当对应于某温度的 P 、 I 、 D 值设定好后,炉温升到该温度值时,炉丝加热电流在 PID 作用下会自动减小从而使炉温超调量不至于过大,且超调量会很快衰减振荡趋于稳定在设定值。 P 、 I 、 D 值的各自作用与综合作用见图 1。

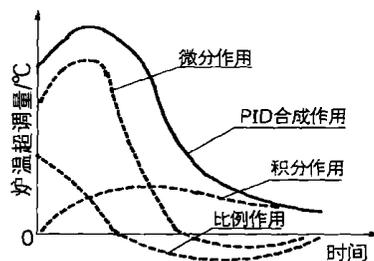


图 1 P 、 I 、 D 之间的关系

Fig. 1 The relationship of P , I and D

2 PID 参数的设定

通常在购置真空炉后,生产厂家在调试中往往会根据不同的使用温度设定 2~3 种 PID 参数,而且仅限于炉子空载或炉内装有一定量产品后加热时的 PID 参

作者简介:陈宝雄(1945.6—),男,江苏苏州人,高级工程师,主要从事弹簧和热处理工艺技术工作,发表文章 10 多篇。联系电话:025 58740606 3221
收稿日期:2004 02-02

置正确而坯料位置偏心时,由于其四周流速存在严重的不均匀性,可能会引起温度不均匀,因此需要适时延长保温时间来达到坯料温度的均匀一致。

参考文献:

[1] 刘芙蓉,杨珊壁.热工理论基础[M].北京:中国建筑工业出版社,1997:168-180.

- [2] 钢铁厂工业炉设计参考资料编写组.钢铁厂工业炉设计参考资料[M].北京:冶金工业出版社,1979:237-241.
- [3] 第一机械工业部第一设计院.工业炉设计手册[M].北京:机械工业出版社,1984:582-583.
- [4] 吕崇德.热工参数测量与处理(第二版)[M].北京:清华大学出版社,2001:163-171.

数,但在实际生产中装炉量以及产品材料发生变化导致保温温度的改变,这都需要自行设定较理想的PID参数值。目前仪表普遍设定9组或多于9组PID参数值(FP21仪表可设定9组PID参数)。

以前设定PID参数的方法,需分别调整 P 、 I 、 D 三参数(如DWT-702仪表),很复杂。通过多年的实践经验,就真空加热炉(淬火炉、回火炉、退火炉、钎焊炉、烧结炉),总结了以下几条简单的二参数调整法(以FP21仪表为例)。

- ①在FP21编程窗口群(3)设定一条编号为P9的升温曲线(如升温至850℃保温的曲线)。
- ②在FP21控制窗口群(4)设定PID编号为No.9的参数值,真空加热炉一般 $P = 2.0\% \sim 10.0\%$ 、 $I = 50s \sim 500s$ 、 $D = 1/3I$ 。
- ③炉子按原定方案装上一定量的代用零件,并由FP21控制按P9曲线升温,当温度到达保温温度时记录以下内容:温度的过冲量、第一次回复到保温温度的时间、由保温温度值下降到低值温度时的温度及所需时间、由低值温度回升到保温温度的时间、第二次过冲温度及时间,第二次回复到保温温度的时间等。
- ④改变 P 值(提高或降低2.0%)而 I 、 D 值不变的情况:记录相应数据与第一次数据作对比,比较出较好的温控品质所对应的一组 P 、 I 、 D 参数,在此基础上再微调 P 值进行比较,这样就基本上得到一组满意的 P 、 I 、 D 参数;或不改变 P 值,调整 I 、 D 值,将 I 值增加或减少50s, D 相应增加或减少17s, I 值与 D 值保持3:1的关系,进行试验,记录相应数据与第一次数据作对比,选出温控品质较好的一组 P 、 I 、 D 参数,在此基础上再调整 I 、 D 值进行比较,这样就基本上得到一组满意的 P 、 I 、 D 参数。采用以上各步骤试验通常只需2~3次试验即可得到满意的结果。

使用非FP21仪表,同样可按设定某升温曲线、设定一组PID参数值、记录相应数据、再调整直到满意的结果。

3 应用效果

PID设定是否合理,可在生产现场直接验证。当炉温到达设定温度,输出电压表、输出电流表的指针就

恒定在某一位置,没有任何摆动,说明PID参数设定得好。例如某真空炉升温到800℃,试验数据记录如下:

- ① $P = 5.0\%$ 、 $I = 50s$ 、 $D = 17s$,到温后温度曲线振荡不停、衰减很小;
- ② $P = 5.0\%$ 、 $I = 150s$ 、 $D = 50s$,到温后温度曲线振荡两次已稳定;
- ③不改变 P 值, $I = 300s$ 、 $D = 100s$,到温后温度曲线又不理想,温度曲线振荡时间拉长;
- ④ $P = 10.0\%$ 、 $I = 300s$ 、 $D = 100s$,结果超调量增大;
- ⑤ $P = 7.0\%$ 、 $I = 300s$ 、 $D = 100s$,温度曲线已基本满意;
- ⑥ $P = 6.8\%$ 、 $I = 300s$ 、 $D = 100s$,温度曲线已稳定,调试相当理想。通过此例子说明相当理想的 P 、 I 、 D 参数值不是唯一的一组,由于炉子的加热元件不同、炉膛的尺寸不同等因素,不同炉子升到同一温度其 P 、 I 、 D 参数值可能相似,也可能不相似;而同一炉子升到不同温度也可能用同样一组 P 、 I 、 D 参数值都能适用,具体由实际效果来判断,可根据输出电压表、输出电流表的指针是否摆动来判断;以上的经验调整方式适用于对温度波动因素较少的真空炉(指真空热处理炉、钎焊炉、烧结炉等),而对于如化工流程等测温配置用FP21仪表 P 、 I 、 D 参数值的快速设定,由于气流流通等因素影响需采用另外的经验方法。根据以上记录的数据进行分析,然后调整PID参数再试,对照图1可按以下情况进行分析:过冲量大、控制处于稳定,降低 P 值或加大 I 值(D 值相应成比例加大);振荡次数太多、回复时间长、控制处于不稳定,提高 I 值(D 值相应成比例加大)以加快振荡回复到设定值。

在实际生产中,应当根据生产工艺的不同要求来确定这3个指标,具体来调整 P 、 I 、 D 参数满足所需要的要求。应重视过渡过程时间,因为外界扰动是经常侵入的,如果过渡过程时间很长,那么前一个扰动作用尚未平复,又紧跟下来一个扰动作用,结果炉温就总是处于不断的波动状态,不能稳定在给定值上,甚至因为前后扰动作用的累积使炉温偏离设定值更远。虽然系统对单个扰动是稳定的,但如果温度控制系统的品质不高,在使用中,炉温也还是会来回摆动不止的,处于不稳定状态下。通常超调量大,振荡次数就多,温控过渡过程的时间也越长。

2005年《表面工程资讯》征订启事

《表面工程资讯》为双月刊,双月15日出版,正文64页。每期10元,全年定价60元,热忱欢迎广大读者和同行咨询订阅。刊号:ISSN 1672-3732 CN 42-1695/T。全国邮局订阅,邮发代号:38-34(过刊可向编辑部补订)联系地址:武汉市宝丰二路126号《表面工程资讯》编辑部(邮编:430030),联系电话:027-83330037 83638752 传真:027-83638752,网址:<http://www.mat-info.com>

敬告读者 凡因故漏订2004年《金属热处理》杂志(全年84元)和2003年合订本(每册96元)的读者,请从邮局汇款到本编辑部补订。现编辑部尚有1998(每册50元)、1999(每册50元)、2000(每册70元)、2001(每册80元)年的合订本可供选购。电话:010-62935465 联系地址:北京市海淀区学清路18号《金属热处理》编辑部 邮编:100083