

大空间中央空调 PID 控制算法

张 烨

(南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 中央空调在公共大空间环境下使用面临许多实际问题, 针对这些问题的特点及空调系统的控制要求, 利用 PID 调节进行数值分析, 选择使用位置式 PID 控制算法, 并对可能引起的积分饱和现象进行修正. 最后通过对图书馆空调系统的阶跃测试确定了相应的 PID 调节参数, 给出了完整的大空间中央空调 PID 控制算法.

[关键词] 大空间空调, 位置式 PID 控制算法, 阶跃测试

[中图分类号] TU 831.6 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2007)02-0037-04

Central Air Conditioner's PID Control Calculation in Bigger Space

Zhang Ye

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract There are many practical problems when using central air conditioner system in larger public space. Aimed at the characteristic of these problems and the control requirement of the air conditioner system, this article making use of PID regulation, analyses numerical value, chooses positional PID control calculation, revises integral saturation phenomenon that might be caused, finally determines relevant PID regulation parameter and presents a complete PID control calculation of central air conditioner system in larger space through stage-leap test of the air conditioner system in the library.

Key words air conditioner in bigger space; positional PID control calculation; stage-leap test

在实际控制中, 许多被控对象的数学模型是无法准确获得的. 有些系统虽然可以求取数学模型, 但当输入方式改变或环境的变化使之干扰的形式发生变化时, 数学模型又可能变为未知的. 建筑物空调的温度参数正是属于这类被控对象, 并且其调节过程属于连续系统^[1]. 此时 PID 调节便成为最合适的一种调节方式. 它的实质是根据系统的偏差, 按比例、积分、微分的函数关系进行运算, 并将其运算结果用以输出控制.

PID 控制器各校正环节的作用如下:

(1) 比例环节: 成比例地反映控制系统的偏差信号 $\text{error}(t)$, 偏差一旦产生, 控制器立即产生控制作用, 以减少偏差.

(2) 积分环节: 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.

(3) 微分环节: 反映偏差信号的变化趋势(变化速率), 并能在偏差信号变得太大之前, 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, 减少调节时间.

它可通过以下数值公式^[2]

$$\mu(k) = K_p \text{error}(k) + K_i \sum_{j=0}^k \text{error}(j)T + K_d (\text{error}(k) - \text{error}(k-1)) / T \quad (1)$$

的近似计算, 提供执行机构的位置 $\mu(k)$ (即阀门的开度), 所以称为位置式 PID 控制算法. 但此算法在实际的使用场合里还存在着一些具体情况, 因此需要根据被控制对象的特性和控制要求, 灵活地修正 PID 的结

收稿日期: 2006-08-23

作者简介: 张 烨 (1975-), 讲师, 主要从事建筑环境系统控制等方面的教学与研究. E-mail: ye_x@163.com

构, 以适应不同的系统对象。

停机一段时间后, 再次开启空调系统时, 大空间建筑物带来的大负荷使得短时间内系统输出有很大的偏差, 会造成 P D 运算的积分积累, 致使控制量超过执行机构可能允许的最大动作范围对应的极限控制量, 引起系统较大的超调, 使系统稳定性降低。

由于空调系统使用时, 会出现人为不合理因素. 如: 一面大开窗户, 一面开空调, 致使室温一直保持在过冷或过热状态. 系统存在一个方向的偏差, P D 控制器的输出由于积分作用的不断累加而加大, 从而导致阀门开度达到最大. 若控制器输出继续增大, 阀门开度不可能再增大, 则进入控制输出量饱和区. 一旦系统出现反向偏差, 控制输出量将逐渐从饱和区退出, 在这个退出的过程中阀门仍停留在极限位置而不能随偏差反向立即做出相应的改变, 造成控制性能恶化. 这种现象称为积分饱和现象。

为解决这些问题, 可以采用一些方法, 如积分分离、遇限削弱积分法、有效偏差法等。

1 积分分离 P D 控制算法

积分分离控制的思路: 当室内温度与设定温度偏差较大时, 取消积分作用; 当室内温度接近设定温度时, 引入积分控制, 以便消除静差, 提高控制精度^[3], 如图 1 所示. 其具体实现步骤如下:

- (1) 根据实际情况, 人为设定阈值 $\varepsilon > 0$
- (2) 当 $|error(k)| > \varepsilon$ 时, 采用 P D 控制, 可避免产生过大的超调, 又使系统有较快的响应;
- (3) 当 $|error(k)| \leq \varepsilon$ 时, 采用 P D 控制, 以保证系统的控制精度.

积分分离控制算法可表示为:

$$\mu(k) = K_p error(k) + \beta K_i \sum_{j=0}^k error(j)T + K_d (error(k) - error(k-1)) / T.$$

式中, T 为采样时间; β 项为积分项的开关系数, $|error(k)| \leq \varepsilon$ 时, $\beta = 1$; $|error(k)| > \varepsilon$ 时, $\beta = 0$

其算法框图如图 2 所示。

2 遇限削弱积分 P D 控制算法

这一修正算法的基本思路是: 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^[3]. 即在计算 $\mu(k)$ 时, 将判断上一时刻的控制量 $\mu(k-1)$ 是否已超出限制范围, 如果已超出, 那么将根据偏差的符号, 判断系统输出是否在超调区域. 由此决定是否将相应偏差计入积分项 (如图 3 所示). 其算法框图如图 4 所示。

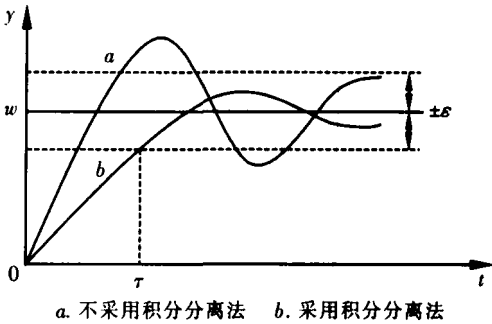


图 1 积分分离法克服积分饱和

Fig.1 Partition method againsts integral saturation

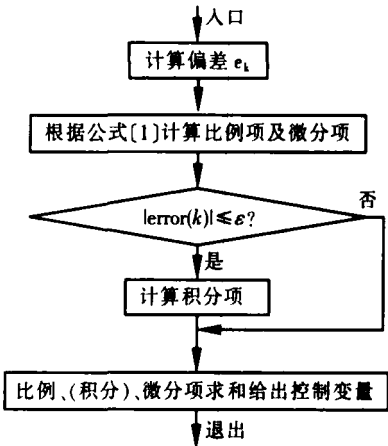


图 2 采用积分分离法的 PID 位置算法

Fig.2 PID position algorithm which adopts integral partition method

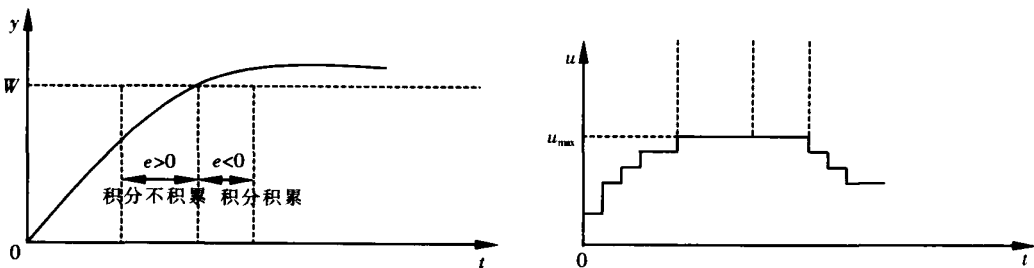


图 3 遇限削弱积分法克服积分饱和

Fig.3 Weakening integral method when limit againsts integral saturation

3 有效偏差 PID 控制算法

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界值, 即

$$\mu = \mu_{max} \quad \text{或} \quad \mu = \mu_{min}$$

有效偏差法是将相应的这一控制量的偏差值 (利用公式 1 逆推) 作为有效偏差值计入积分累计而不是将实际偏差计入积分累计. 因为按实际偏差计算出的控制量并未实行.

该算法的程序框图如图 5 所示.

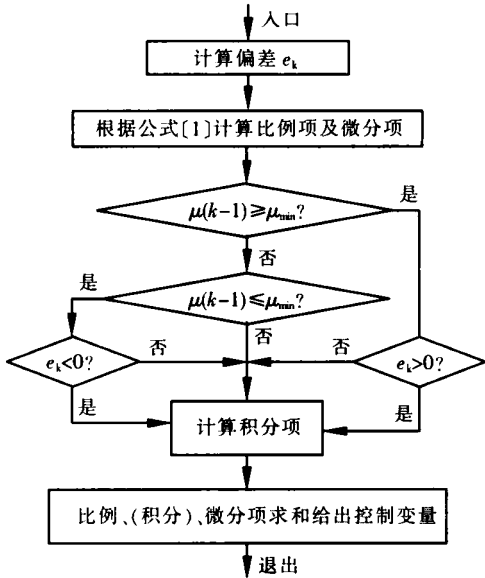


图 4 采用退限削弱积分的 PID 位置算法
Fig.4 PID position algorithm which adoptes weakening integral method when limit

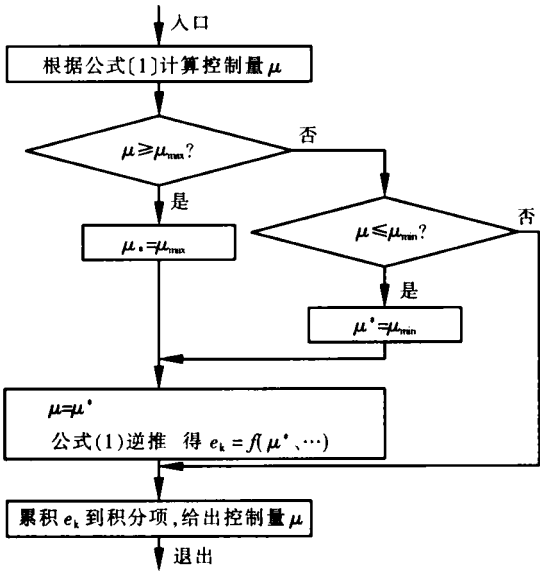


图 5 采用有效偏差法的 PID 位置算法
Fig.5 PID position algorithm which adoptes effective deviation

4 增量式 PID 控制算法

当执行机构得到的不是控制量的绝对数值, 而是其增量时, 由公式 (1) 可导出提供增量的 PID 算法:

$$\Delta \mu(k) = K_p (error(k) - error(k-1)) + K_i error(k) + K_d (error(k) - 2error(k-1) + error(k-2))$$

称为增量式 PID 控制算法.

由于增量式算法中不出现累加和式, 不会发生位置算法那样的累积效应, 这样就直接避免了导致大幅度超调的积分累积效应^[4]. 这是增量算法相对于位置算法的一个优点. 但是在增量算法中, 却可能出现比例及微分饱和现象. 后者对系统的影响其表现形式与积分饱和不同, 不是超调, 而是减慢动态过程. 另外增量式 PID 算法的实现需要一些设备, 如步进电机, 这将增加整个工程的造价.

所以, 在一般空调监控系统中考虑使用位置式 PID 控制算法, 在软件中对位置式算法可能的积分饱和现象进行修正, 以降低整个工程的造价.

5 PID 调节参数的选定

选择调节参数, 必须根据空调系统运行的具体情况来考虑. 可以用理论方法, 也可以通过实验. 用理论方法的前提是要有被控空调系统的准确模型, 这是很难做到的, 即使花了很大代价进行系统的数学描述, 所得到的模型也只是近似的, 加上系统性能参数的变化和系统环境干扰因素的不稳定性, 使得在近似模型基础上设计选择的参数在实际使用过程中得到优化. 因此, 在工程上通过实验结合经验公式来确定 PID 调节参数.

由于空调系统的被调对象为温度值, 为多容系统, 较大滞后, 所以采用阶跃曲线法^[2]. 首先通过对某图书馆空调系统进行阶跃测试得到如图 6 所示的阶跃响应曲线 (控制量为 40%).

从图 6 可以看出, 空调系统的模型可以近似为一阶惯性环节加纯滞后, 其开环传递函数为:

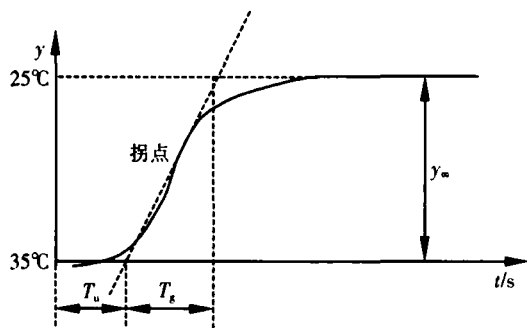


图 6 空调系统的阶跃测试曲线

Fig.6 Stage-leap test-tracing of air conditioning

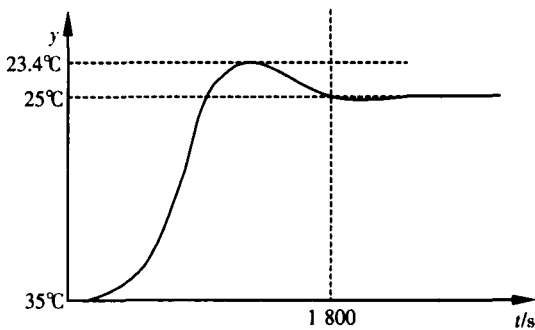


图 7 图书馆空调系统控制实验曲线

Fig.7 Control-experiment tracing of the library air-condition

$$G(s) = K e^{-T_s} / (1 + T s).$$

根据此曲线利用阶跃曲线法确定基准参数量 $T_u = 85 s$ $T_g = 1405 s$ $K'_r = y_{\infty} T_u / T_g = 0.6$ $u_0 = 0.3$ $K_r = K'_r / u_0 = 2$ 根据阶跃曲线法确定数字 PID 调节参数的经验公式^[2], 可以求出 PID 调节的 3 个参数为:

$$K = 1.2 K_r = 0.6$$

$$T_i = 2 T_u = 170 s$$

$$T_d = 0.4 T_u = 35.7 s$$

通过实验可得空调系统的控制曲线图 7, 设定温度为 25°C.

空调系统在运行过程有大约 16% 的超调, 在大约 30 min 之后, 系统温度基本进入稳定状态.

6 控制程序流程

本系统的控制对象温度值, 具有纯滞后的性质. 用一般的 PID 调节规律难以得到好的动态特性, 特别对于图书馆这样的大空间的空气调节, 其滞后时间 τ 较大, 会产生持续振荡.

考虑采用纯滞后补偿 $G_1(s) = K (1 - e^{-T_s}) / (1 + T s)$. 控制程序流程图如图 8 所示.

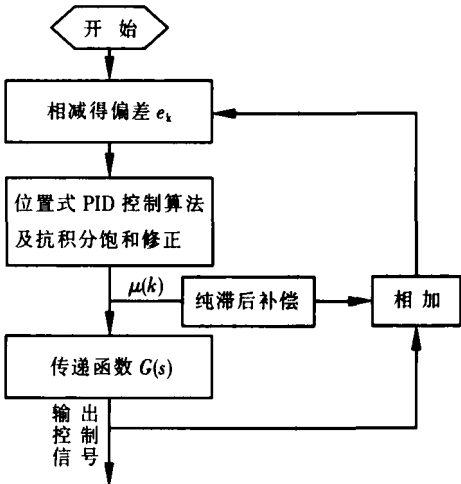


图 8 控制程序流程图

Fig.8 Flow chart of control-program

[参考文献] (References)

[1] 童祯恭, 罗新梅, 唐国强, 等. 人工气候室计算机控制系统研制 [J]. 暖通空调, 2004, 34(9): 11- 14.
Tong Zhengong Luo Ximei Tang Guoqiang et al Computer control system of artificial climate room [J]. Hv and Ac 2004, 34(9): 11- 14 (in Chinese)

[2] 刘耀浩. 建筑环境与设备的自动化 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2000: 417- 426
Liu Yaohao Automation and Control of Building Environment and Equipment[M]. Tianjin Tianjin University Press 2000 417 - 426 (in Chinese)

[3] 徐家新, 王乐勤, 樊高定, 等. 专用空调机组的控制技术研究 [J]. 流体机械, 2003, 31(8): 39- 41.
Xu Jiaxin Wang Leqin Fan Gaoding, et al Study of control technic about the specific AC equipment [J]. Fluid Machinery 2003, 31(8): 39- 41. (in Chinese)

[4] 江惠红, 季一峰, 郎平. 双重 PID 控制法控制冷水机组冷冻水流量的探讨 [J]. 安装, 2005(11): 26- 29.
Jiang Huihong Ji Yifeng Lang Ping Discussions on the Double-Pid control of water chiller flow rate [J]. Installation 2005 (11): 26- 29. (in Chinese)

[5] 马维华, 陶国正. 基于差分传输的多机通信可靠性 [J]. 计算机应用研究, 2003(1): 52- 54
Ma Weihua Tao Guozheng Reliability of data communication based on differential transmission for multi-computer [J]. Application Research of Computers 2003(1): 52- 54 (in Chinese)

[6] 马维华. 提高多机数据采集系统的通信可靠性 [J]. 数据采集与处理, 2002, 17(4): 441- 445.
Ma Weihua Reliability improvement of multi-processor communication for data acquisition system [J]. Journal of Data Acquisition and Processing 2002, 17(4): 441- 445. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]