

地铁车站环境温度自动控制系统分析与改进

张亚社

(西咸新区轨道交通投资建设有限公司, 710003, 西安//高级工程师)

摘要 提出了地铁车站公共区温度控制存在的问题,对问题原因进行了分析,并根据分析结果提出了地铁车站温度控制的新思路,设计了串级PID(比例-积分-微分)模糊控制的控制方案以及主要控制思路的实现方法。通过Matlab软件仿真验证了该方案的可行性。

关键词 地铁; 车站温度; 控制策略; 仿真验证

中图分类号 U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.01.034

Analysis and Improvement of Environmental Temperature Automatic Control System in Metro Station

ZHANG Yashe

Abstract The existing problems of temperature control in metro station public area are put forward, the causes of which are analyzed and new ideas for temperature control in metro station are proposed correspondingly. The control scheme of cascade PID fuzzy control and the realization method of main control ideas are designed. The feasibility of the scheme is verified by Matlab simulation.

Key words metro; station temperature; control scheme; simulation verification

Author's address Xixian New Area Rail Transit Investment & Construction Co., Ltd., 710003, Xi'an, China

在空调季节西安地铁1号线个别车站环境温度冷热不均,乘客多有投诉。为了应对此状况,在空调季节车站采取人工调节环境温度,以确保站内环境温度平稳、舒适。相比于自动调节方式,人工调节一方面增加环控设备能耗,另一方面给站务人员的工作带来不便。为此,本文提出了地铁车站温度控制的新思路,以期解决此问题。

1 地铁车站环境温度自动控制现有算法分析

目前,西安地铁1号线车站BAS(环境与设备监控系统)中站内温度自动控制程序采用的是单级PID(比例-积分-微分)调节算法。通过分析发现传统的单级PID调节算法在站内温度自动控制过程

中有以下不足之处:

1) 算法中不区分普通车站与换乘车站,调节时间均采用300 s,忽略了车站规模的不同。空调系统启动后站内温度达到稳定时所需时间不同,在这种情况下极易造成不同规模车站站内温度冷热不均。

2) 算法中将温度计算偏差和计算偏差变化值设计预先固定在 $[-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}, 3.0\text{ }^{\circ}\text{C}]$ 范围内,影响了车站二通阀动作的准确性,使之不能随着站内温度细微变化而适当调整。

3) 二通阀的动作开度输出值为 $500 + u \times 1\,000/6$,其中 u 为PID输出量。系数 $1\,000/6$ 与500没能根据各站情况分别设计,不能正确反映各站二通阀开度与站内温度的关系。

2 地铁车站环境温度自动控制系统的改进措施

为确保站内温度舒适并相对平稳,车站温度自动控制算法就应该能准确、快速、可靠地调整站内温度。当前广泛应用于空调控制系统的串级控制算法是一种能够满足车站环境温度自动控制要求的高品质算法,其优点体现在以下几个方面:

1) 在受到干扰前副回路就能很好地对副回路的被控量进行适当修正和控制。

2) 副回路在车站温度自动调节过程中,始终对副过程中参数的变化进行及时调节和修正,弱化车站环控系统冷冻水温和水流量变化对车站公共区温度的影响。

3) 串级控制算法可以提供比单级PID调节算法更快的响应速度。

2.1 地铁车站环境温度串级控制算法设计

为了能够很好地实现地铁站内环境温度串级控制,鉴于送风温度能较早地体现扰动影响,便于调节器快速做出相应反应,站内公共区送风温度作为辅助信号是个比较好的选择。构建主回路以车站公共区平均温度作为主调参数、副回路以车站公共区送

风温度作为副调参数的串级控制算法(框图如图1所示)。以主回路车站公共区平均温度输出值来修正调节车站公共区送风温度初始值 t 。对于主回路,因为车站站厅、站台温度存在滞后大、干扰频繁以及站内多台空调机组分时段分模式同时作用的问题,PID调节算法难以对此胜任,可以采用具有解耦特性优点的模糊控制算法;对副回路仍可采用PID调节算法。这样可以减少串级控制算法的复杂性,起到优化作用。

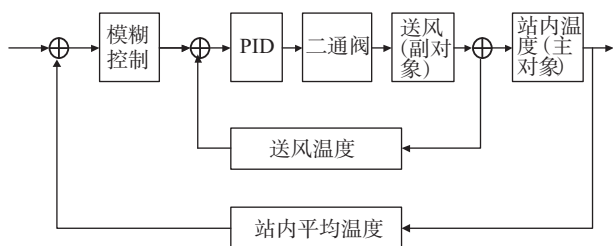


图1 车站公共区温度串级控制算法框图

2.2 副控制回路(送风温度PID控制)

地铁车站温度控制系统普遍都存在一定程度的容量滞后和纯滞后性,当车站温度控制系统遇到大的干扰时(比如空调系统开始运行与停止运行时),PID调节算法中积分项的累积可以导致二通阀动作超过其最大范围,严重时促使整个温度控制系统超调甚至振荡。为了解决此问题,可以采用积分分离算法:在程序中设定阈值 $\varepsilon > 0$,当 $|E_n| > \varepsilon$ 时(E_n 为第 n 次采样时刻的温度偏差值),依靠PD(比例-微分)控制,提高整个空调系统响应速度,以尽可能避免大的温度超调;当 $|E_n| \leq \varepsilon$,通过PID调节,可确保精确度。副控制回路算法的框图如图2所示。

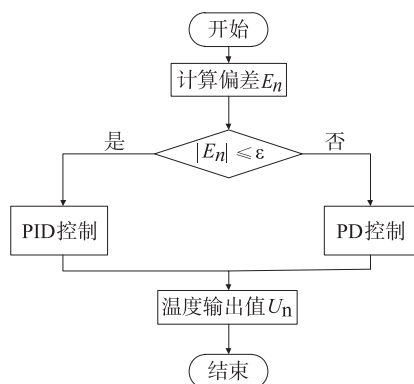


图2 副控制回路算法框图

2.3 主回路控制(模糊控制)

在地铁车站公共区温度自动控制系统中,公共区送风温度初始值一般设定在 $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间,车

站环控系统根据车站公共区送风温度设定值计算出车站空调冷负荷,然后依据计算冷负荷超过机组额定冷负荷的50%时开2台空调机组和计算冷负荷低于机组额定冷负荷的50%时开1台空调机组的原则,适当开启空调机组和冷水机组,此过程存在多输出耦合。主回路中采用模糊控制算法,利用模糊控制解耦特性,可克服多输出耦合影响,改善系统动态特性,提高系统的控制效果。

2.3.1 模糊控制器的结构设计

为了克服多输出耦合影响,设计好的模糊控制器十分关键。二维模糊控制器结合PID调节器是一个很好的设计思路。设模糊控制器输出 $\Delta k_p, \Delta k_i, \Delta k_d$ 和PID调节器的比例增益、积分增益、微分增益(k_p, k_i, k_d)一一对应,并按照以下各式进行整定: $k_p = k_{p,0} + \Delta k_p; k_i = k_{i,0} + \Delta k_i; k_d = k_{d,0} + \Delta k_d$ 。式中, $k_{p,0}, k_{i,0}, k_{d,0}$ 是PID预定值。则模糊控制器结构框图见图3。地铁车站公共区温度输出值和设定值的差 e 及微分 de/dt 后的结果,通过模糊化处理得到二维模糊控制器的输入变量偏差 E 和偏差变化率 C_E ,用二维模糊控制器输出变量来整定PID调节器各参数。PID调节器输出量对二通阀开度进行控制,以实现车站公共区温度的实时调节。

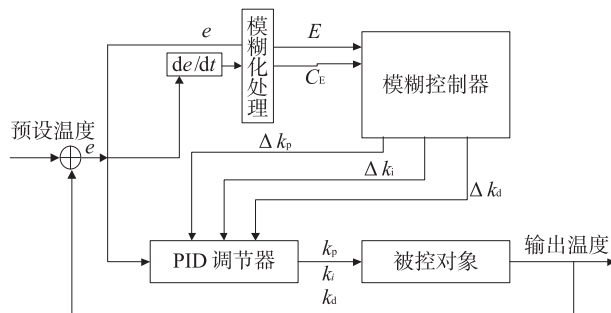


图3 模糊控制器结构框图

2.3.2 输入量的模糊化

E, C_E 是模糊控制器的2个输入变量, $\Delta k_p, \Delta k_i, \Delta k_d$ 是其3个输出量,论域内模糊变量的模糊子集可取NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、ZO(零)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大)。模糊语言变量的论域可取 $[-3, 3]$ 中的整数。模糊语言变量隶属函数见表1。

2.3.3 参数的整定规则和控制过程

针对不同阶段的 $|E|, |C_E|$,PID参数整定遵循如下原则:

1) k_p 取值基本和 $|E|$ 同步, $|E|$ 较大时 k_p 也取大值,以增强响应速度; $|E|$ 较小时 k_p 取小值,以防

表1 模糊语言变量隶属函数

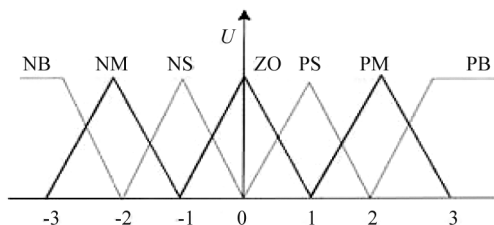
模糊子集	模糊语言变量						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
PB	0	0	0	0	0	0.5	1
PM	0	0	0	0	0.5	1	0.5
PS	0	0	0	0.5	1	0.5	0
ZO	0	0	0.5	1	0.5	0	0
NS	0	0.5	1	0.5	0	0	0
NM	0.5	1	0.5	NS	0	0	0
NB	1	0.5	NS	0	0	0	0

止超调并减少振荡; $|E|$ 持续变小时 k_p 也继续减小, 以确保尽快稳定。当然, k_p 取值也要参考 $|C_E|$ 的情况, $|C_E|$ 和 $|E|$ 同号时应适当增大 k_p ; $|C_E|$ 和 $|E|$ 异号时应适当减小 k_p 。

2) k_i 的取值需严格遵循积分分离要求, $|E|$ 较大时, k_i 取零值, 避免超调; $|E|$ 较小时 k_i 随 $|E|$ 的减小应增大, 以保证积分环节有效、消除稳态误差、提高控制精度。

3) 车站环境温度自动控制系统控制开始时, $|E|$ 较大时 k_d 应取小值, 以避免偏差瞬间变大, 造成微分溢出; $|E|$ 变小时 k_d 应取适当的值, 以提高响应速度, 同时保证抗干扰能力。

车站温度自动控制过程如下: 比较车站公共区温度的平均值与公共区温度的预设值, 其 E 为模糊控制器的一个输入量; E 的当前值减去其前次的测定值即为偏差变化率 C_E , C_E 为模糊控制器的另一个输入量。继续模糊化 E 和 C_E , 可分别得到 E 和 C_E 的子级; 经过模糊决策后最终获得控制量 U (二通阀开度值)。模糊控制器的两个输入变量 E 、 C_E 和最终的控制输出量 U 的隶属函数见图 4。

图4 E 、 C_E 隶属函数

3 结果的分析对比

为了验证改进后控制策略的性能, 在 Matlab 软件中分别对单级 PID 控制算法和串级控制算法进行仿真测试, 取设定温度为 26°C , 仿真时间为 $1\,000\text{ s}$ 。

3.1 单级 PID 控制仿真试验

在 Matlab 软件 Simulink 工具中调用 Discrete

PID Controller 模块, 仿真框图如图 5。经多次仿真试验, 取 $k_p = 0.02$, $k_i = 0.01$, $k_d = 16$ 。PID 算法阶跃响应仿真曲线如图 6。

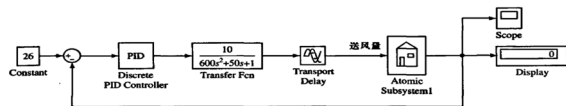


图5 单级 PID 控制仿真框图(截图)

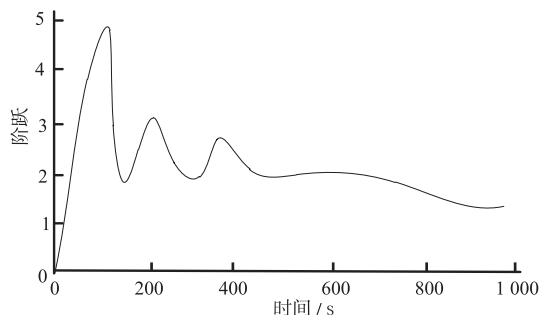


图6 PID 控制算法阶跃响应仿真曲线

3.2 串级 PID 控制仿真试验

串级 PID 控制需找出 3 个输出量和 2 个输入量之间的关系。测试中通过不断地检测 E 和 C_E , 再根据模糊控制原理对参数进行在线修改, 以满足不同的 E 和 C_E 对控制器参数的不同要求, 从而使被控制对象具有良好的性能。串级 PID 控制仿真框图如图 7。参数采用表 1 中数据, 串级控制算法阶跃响应仿真曲线如图 8。

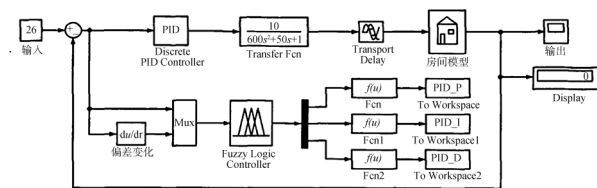


图7 串级 PID 控制仿真(截图)

3.3 仿真结果分析

1) 在地铁空调系统运行过程中, 受到来自机器内部频率及外界环境等诸多因素的干扰, 为了使地铁车站环境温度波动性减小, 只采用单级 PID 控制技术是不能达到要求的, 还必须针对地铁空调的干扰量多、非线性延迟现象严重等问题, 加入非线性控制方式。即在地铁空调系统运行过程中, 根据该系统的非线性动态特征, 采取非线性的参数自整定方式。

2) 在地铁车站环境温度控制过程中, 利用串级 PID 模糊技术对控制器的参数进行在线调整, 这样的控制措施有利于增强系统的鲁棒性, 即对外界干

(下转第 174 页)