

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2021.06.021

# BAS 自动模式控制技术 在地铁环控中的应用

张志鹏, 王文峥, 任冠兵

(郑州地铁集团有限公司运营分公司, 郑州 450000)

**摘要:** 环境与设备监控系统(BAS)是城市轨道交通运营管理系统中必不可少的一个重要环节,其作用是实现车站环境及机电设备的自动化监控,为乘客及运营人员提供舒适的环境,而要实现根据地铁环境的温湿度自动调节,需运用相应的通风模式对车站通风环境进行控制,通过计算应用来实现高效运营、节能降耗的目的。介绍了BAS与通风系统的自动模式控制技术在地铁环控中的应用情况,并详细叙述在运用过程中的效果和目的等。

**关键词:** 城市轨道交通; 环境与设备监控系统; 自动模式控制; 焓值; PID 控制

中图分类号: U231+.6 文献标志码: A 文章编号: 1672-6073(2021)06-0140-04

## Application of BAS Automatic Mode Control Technology in Metro Environmental Control

ZHANG Zhipeng, WANG Wenzheng, REN Guanbing

(Zhengzhou Metro Group Co., Ltd., Zhengzhou 450000)

**Abstract:** A building automation system (BAS) is an indispensable and fundamental function of urban rail transit operation management systems. Its purpose is to automatically monitor the station environment and electromechanical equipment, and provide a comfortable environment for passengers and operators. According to the automatic adjustment of the temperature and humidity of the subway environment, it is necessary to use the corresponding ventilation mode to control the ventilation environment of the station and realize efficient operation, energy-saving, and consumption reduction through calculation applications. This article introduces the application of BAS and ventilation system automatic mode control technology in subway environmental control and details the effect and purpose of the application process.

**Keywords:** urban rail transit; building automation system; automatic mode control; enthalpy; proportional integral derivative

夏季公共区乘客舒适度及设备房设备运行状况与地下车站的温度及湿度息息相关,而车站通风都是通过环境与设备监控系统(building automation system, BAS)远程控制实现的。《地铁设计规范》里指出, BAS 应能通过对环境参数的检测,对能耗进行统计分析,控制通风、空调设备优化运行,提高地铁整体的环控舒适度,降低能源消耗<sup>[1]</sup>。BAS 对车站通风的控制包

含4种形式:单体控制、模式控制、时间表控制和自动模式控制。而车站空调水系统相关的机电设备是车站高耗能设备,怎么降低设备的能耗是目前地铁运行中切实需解决的问题。单体控制、模式控制和时间表控制这3种方式都有其相应的弊端或缺陷,通过自动模式控制对车站空调通风及水系统进行调节,减少人工干预对设备运行能耗的影响,并通过模式自动调节

收稿日期: 2020-09-24 修回日期: 2021-03-16

第一作者: 张志鹏, 男, 在职研究生, 自动化室主任, 主要从事综合监控、BAS 专业方向, wanzi003@163.com

引用格式: 张志鹏, 王文峥, 任冠兵. BAS 自动模式控制技术在地铁环控中的应用[J]. 都市轨道交通, 2021, 34(6): 140-143.

ZHANG Zhipeng, WANG Wenzheng, REN Guanbing. Application of BAS automatic mode control technology in metro environmental control[J]. Urban rapid rail transit, 2021, 34(6): 140-143.

空调及冷水设备运行,既可以保证公共区和设备房环境温度湿度在合理的范围内,也可以起到节能和降低运营成本的目的。

## 1 自动模控工作原理

BAS 通风模式控制中设置自动模控功能,采集主要位置(站厅站台公共区、新风道、冷水机组出风口、回排风静压箱、设备房温湿度等)传感器的温/湿度数值,通过焓值计算,自动模控依据焓值进行判断,对大小系统中全新风模式、小新风模式和全通风模式之间进行自动切换,并通过 PID (proportional integral derivative, 比例,积分,微分)参数调节组合空调、回排风机的工作频率及动态流量平衡阀的开度。原则是先调节通风模式,后调节阀开度和风机频率来实现自动模控的控制,以用于改善车站公共区和设备房的温/湿度,实现设备节能与车站舒适度的同时兼顾。

地铁环境控制系统主要以全空气系统为主,因为地铁负荷特征,车站内风机的运行时间相对较长,且风机功率要远远大于普通空调系统风机功率,所以风机能耗水平相对较高。车站对风量进行精准控制,确保风机效率可以始终保持在最佳状态,建议将调节风机频率作为空调系统运行方式之一,以将能源消耗控制在最低<sup>[2]</sup>。

## 2 焓值和 PID 的定义和计算

### 2.1 焓值定义和计算

焓值是指空气中所含有的所有热量,是以干空气单元质量为基准进行计算的,也被称为比焓<sup>[3]</sup>,即湿度与温度的综合表现方式。在设计 BAS 系统时,需要确定空气中的焓值,以明确车站内部温度是否合理,进而将其调整到最为舒适的状态。焓用符号  $i$  表示,单位是 kJ/kg 干空气,湿空气焓值等于 1 kg 干空气的焓值与  $d$  kg 水蒸汽焓值之和<sup>[4]</sup>。通过车站公共区站厅和站台温湿度传感器检测的数值,结合焓值计算公式,计算出车站公共区湿空气的焓值( $H_i$ ),供 PID 计算时使用:

$$H_i = 1.01t + (2500 + 1.84t)d \text{ 或}$$

$$i = (1.01 + 1.84d)t + 2500d \quad (\text{kJ/kg 干空气})^{[4]} \quad (1)$$

式中:  $t$  为空气温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $d$  为空气的含湿量 kJ/kg 干空气; 1.01 为干空气的平均定压比热, kJ/(kg·K); 1.84 为水蒸气的平均定压比热, kJ/(kg·K); 2500 为  $0^{\circ}\text{C}$  时水的汽化潜热, kJ/kg。

针对空调大小系统, BAS 系统 PLC(可编程逻辑控制器)根据焓值计算值,固定时间(一般是 30 min)采

集 1 次,根据现场数据进行模式间切换。

BAS 系统 PLC 程序内使用了梯形图语言、功能块语言等多种形式进行编程,自动模控部分采用了功能块的形式。将需要重复调用的程序封装进一个功能块内,可以使程序结构简明易懂。根据上述公示与功能块定义,通过程序中设置 Enthalpy Compute、MODE 功能块等计算焓值,如图 1 所示,将运算结果赋予控制模式变化的变量。

```

KT:=273.15*TEMPERATURE;
R1:=LN(IN:=KT);
R2:=(-5800.2286*KT)-1.3914993-0.04860239*KT+0.41764768*KT*KT+0.0001-0.14452093*KT*KT*KT+0.0000001-6.5459673*R1;
PQB:=EXP(IN:=R2);
PQ:=PQB*RELATIVE_HUMIDITY;
D:=622.0*PQ*(STANDARD ATMOSPHERE_PQ);
ENTHALPY:=1.01*TEMPERATURE*D+(2501.0-1.8*TEMPERATURE)*0.001;

```

图 1 Enthalpy Compute 功能块界面示例

Figure 1 Example of the enthalpy computation function block interface

### 2.2 PID 控制定义与计算

PID 控制属于自动控制系统中的闭环控制系统。在 BAS 系统控制中,应用最为广泛的调节规律为比例(P)、积分(I)、微分(D)控制,简称 PID 控制,又称 PID 调节<sup>[5]</sup>。

PID 调节多用于车站中连续型电动调节风阀(DT)、连续型耐高温电动调节风阀(DTH)等的多开度控制,以及大系统组合式空调器(AHU)、大系统回排风机(HPF)的变频控制,按偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)进行控制的 PID 计算,可以计算出风机设备的频率变化幅度:

$$\Delta f = \left| \frac{H_{t_2} - H_{t_1}}{t_2 - t_1} \right| \times 11.5 + |H_{t_2} - H_N| \times 1.2 \quad (2)$$

式中:  $\Delta f$  为风机设备变化的频率,需四舍五入取整,另注意根据变化幅度计算得到组合式空调器电机频率在小新风空调、全新风空调工况下,小于 25 Hz 时取 25 Hz,大于 50 Hz 时取 50 Hz。

根据变化幅度计算得到组合式空调器电机频率在通风工况下,小于 20 Hz 时取 20 Hz,大于 50 Hz 时取 50 Hz。

其中  $H_{t_2}$  为时间  $t_2$  大系统回风的实测焓值,  $H_{t_1}$  为上一次时间 10 min 前(后期可根据运营数据进行调整)  $t_1$  大系统回风的实测焓值,  $t_1$ 、 $t_2$  的单位为 min;  $H_N$  为该车站室内空气回风状态点计算焓值。

通过 PID 计算出的调节值,在程序中进行条件判断,进而决定选择执行合适的大小系统通风模式。焓值搜集计算周期(一般是 10 min),根据 PID 计算反馈

结果调整执行相应的模式，从而实现系统自身调节运行的功能。

### 3 自动模控实施步骤

自动模控实施工作共分为 3 个阶段，温/湿度传感器数值校核阶段、BAS 系统自动模控调试阶段以及验证阶段。

#### 3.1 温/湿度传感器数值校核阶段

自动模控中焓值数值的计算关键在于车站主要位置的温湿度传感器的数值，传感器数值准确度对自动模控运行有很大的影响，通过将手持式温湿度传感器(精度高于或者等于现场安装的传感器)放置在已安装温湿度传感器附近，待传感器显示数据稳定后(5 min 左右)，记录手持式温湿度传感器数值和目前综合监控界面显示对应温湿度的数值，记录温度和湿度偏差大(温度偏差 > 1℃，湿度偏差大于 4%RH)的设备，对偏差大的传感器进行处理，如果经过处理的传感器经测量还达不到要求，则需要更换新的传感器，保证地铁中运用的传感器精度都满足自动模控运用的要求和标准。

#### 3.2 自动模控程序调试阶段

BAS 系统自动模控的程序，需要选取测试站点进行调试才能使用，因为焓值计算要基于现场温湿度传感器的数值准确性，并且测试效果要达到实际情况的需要，需对程序进行多次调试才能完成，待测试结果满足通风控制要求后，才能在其他站进行广泛的应用。以某地铁 BAS 界面下自动模控示意图为例，如图 2 所示。



图 2 BAS 系统自动模控界面

Figure 2 BAS system automatic mode control interface

自动模控的实际工作原理是通过设定目标焓值，实现焓值变化后，依据实际焓值与目标焓值的关系，改变小系统的运行模式，调节 PH 阀开度。而自动模

控参数设置界面的初始值为出厂时程序内的默认值，进行了一段时间的观察后，对部分车站的送风焓值及回风焓值进行针对性地微调，以保证更好的系统运行情况。首次调整数值时，以 5~10 个偏差值进行调节，之后每次以 2 为偏差值进行微调。最终调整至合适的参数，使系统持续运行。

以星湖站和柿园站为例，观察这两个车站的平均温度和平均湿度的变化，空调送风和空调回风的焓值参数依据公式应用而发生规律性调整，从而造成小系统通风模式的变化。如表 1 所示。

表 1 星湖站和柿园站焓值设置与温湿度变化界面  
Table 1 Xinghu Station and Shiyuan Station enthalpy value setting, temperature, and humidity change interface

车站	焓值参数设置		温度/℃	湿度/%
	空调送风焓值	空调回风焓值		
星湖站	55.44	71.26	28.3	47.2
	45	61	27.5	54.6
	43	54	25.2	60.1
柿园站	55.44	71.26	28.5	45.8
	45	61	27.3	55.3
	43	54	25.7	59.8

#### 3.3 自动模控程序验证阶段

通过在夏季通风季车站大小系统通风模式执行自动模控，验证自动模控运行效果<sup>[6]</sup>。是否能够达到自动调节车站的温/湿度，乘客对公共区温/湿度能不能达到一个满意的效果，并通过采集高能耗设备电量数据和温湿度数值，与往年同期的设备能耗数据进行对比，即可验证自动模控能否达到运营的标准和要求。如果通过数据比对，温/湿度数据变化较小并满足乘客的舒适度要求，且设备的能耗数据也处于下降趋势，则证明 BAS 系统执行自动模控是控制通风设备的最优控制方式。

### 4 自动模控对环控的积极影响

通过使用变频变风量系统可以完成对车站大空调系统的有效控制，能够达到较为理想的节能效果，如果地铁所处地区空气湿度较大，就很容易产生凝露问题，会使乘客的乘车体验受到一定程度的影响，也可能造成不同程度的安全隐患<sup>[7]</sup>。因此，需要找出舒适度与节能需求兼顾的控制方案，在保证乘客基本舒适度的同时，有效降低设备能源消耗。

#### 4.1 温/湿度控制影响

可通过对本年度地铁站执行自动模控的公共区温/

湿度相关数据进行统计,和往年采取其他方式的公共区温湿度相关数据进行对比,会发现温度和湿度变化波动范围小,并且温湿度在人体最舒适的环境内(温度 $\leq 28^{\circ}\text{C}$ , $40\% \leq$ 湿度 $\leq 60\%$ ),因此自动模控对车站环境的控制,起到了良好的效果和结果。

## 4.2 能耗控制方面影响

借鉴某城市市区地铁和城郊地铁 2019 年运行自动模控的情况,详细的冷水系统设备能耗对比详见表 2 和表 3。

表 2 市区地铁地下站冷水系统电量消耗统计

Table 2 Statistic of the electricity consumption of cold water systems in urban underground stations

月份	2018 年		2019 年		电量对比/ (kW·h)
	执行 天数/d	电量/ (kW·h)	执行 天数/d	电量/ (kW·h)	
7 月	31	653 342	31	580 701	-72 641
8 月	31	642 569	31	581 393	-61 176
9 月	30	308 330	30	356 650	48 320
合计	92	1 614 141	92	1 518 744	-85 497

表 3 城郊地铁地下站冷水系统电量消耗统计

Table 3 Statistic of the electricity consumption of cold water systems in suburban metro underground stations

月份	2018 年		2019 年		电量对比/ (kW·h)
	执行 天数/d	电量/ (kW·h)	执行 天数/d	电量/ (kW·h)	
6 月	30	203 724	30	149 214	-54 510
7 月	31	367 997	31	263 663	-104 334
8 月	31	289 557	31	265 967	-23 590
9 月	30	131 008	30	122 788	-8 220
合计	122	992 286	122	801 632	-190 654

通过数据对比,2019 年市区地铁、城郊地铁冷水系统电量消耗与 2018 年对比下降 276 151 kW·h,说明自动模控在能源控制方面起到了积极效果,能够实现节约能源、降低成本的效果。

## 5 结论

通过分析地铁环控系统和变频技术运行中的各种参数,利用微型计算机进行智能控制,有效提高功率因数,实现对负载的自动适应和调整,达到节约能源和保护设备的目的<sup>[8]</sup>。对 BAS 自动模控运用效果来说,

通风设备自动模控具有很好的前瞻性,是未来发展的方向,设备能耗的控制是未来地铁运营成本控制的发展方向。BAS 自动模控专项运用在全国其他地铁案例是极少的,相信在将来会有更多的运营线路应用自动模控,实现地铁运营节能降耗。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] 施丹. 浅谈基于地铁 BAS 系统的节能控制[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2015, 5(12): 6920-6921. SHI Dan. Energy saving control based on metro BAS system[J]. Chengshi jianshe lilun yanjiu, 2015, 5(12): 6920-6921.
- [3] 徐华. 地铁 BAS 系统节能控制方式分析与研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2018(12): 131-132. XU Hua. Analysis and research on energy saving control mode of subway BAS system[J]. China computer & communication, 2018, (12): 131-132.
- [4] 赵立琼. 智能楼宇空调系统节能技术的应用[J]. 科技, 经济, 市场, 2011(11): 27-28. ZHAO Liqiong. Application of energy saving technology in air conditioning system of intelligent building[J]. Technology, economy, market, 2011(11): 27-28.
- [5] 徐江陵. 一种新型的模糊 PID 温度控制器的设计[J]. 自动化博览, 2005(S2): 93-94. XU Jiangling. A new design of the fuzzy PID temperature controller[J]. Automation panorama, 2005(S2): 93-94.
- [6] 何强. 城市轨道交通环境与设备监控系统研究[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2017, 19(1): 19-21. HE Qiang. On building automatic system of urban rail transit[J]. Journal of liaoning provincial college of communications, 2017, 19(1): 19-21.
- [7] 王强. 地铁 BAS 系统节能控制方案优化与实践[J]. 路桥工程, 2019.
- [8] 董伟平. 地铁环控系统变频技术的应用[J]. 科技创新与应用, 2017(5): 298. DONG Weiping. Application of frequency conversion technology in Metro environmental control system[J]. Technology innovation and application, 2017(5): 298.

(编辑: 郝京红)