

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.06.056

基于单冷源的温湿分控空调机组独立控制方法研究

钱志杰,周冬成,莫国华,万建军

(绍兴建元电力集团有限公司 大兴电力承装分公司,浙江 绍兴 312072)

摘 要:现阶段的空调机组在温度、湿度控制过程中,往往存在同时会改变空气温度和湿度的问题,且温度、湿度控制精度不佳。为此,研究基于单冷源的温湿分控空调机组独立控制方法。通过前馈解耦方法解决空调机组温湿独立 PID 控制器内温度和湿度参数的耦合问题;设计通过蛙跳算法优化后的 PID 控制器,完成基于单冷源的温湿分控空调机组独立控制。仿真结果表明:所提方法的空调机组温度、湿度控制精度更好,温湿分控空调机组的耗能更小。

关键词:单冷源;空调机组;温湿分控;蛙跳算法;PID 控制器

中图分类号:TP273 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)06-0305-04

Research on Independent Control Method of Temperature and Humidity Separated Control Air Conditioning Unit Based on Single Cold Source

QIAN Zhijie, ZHOU Dongcheng, MO Guohua, WAN Jianjun

(Daxing Electric Installation Branch of Shaoxing Jianyuan Electric Power Group Co., Ltd., Shaoxing 312072, China)

Abstract: To address the issues of air temperature and humidity variations during the temperature and humidity control process and the poor accuracy of temperature and humidity control, an independent control method for temperature and humidity control air conditioning units based on a single cold source is proposed. Feedforward decoupling method is applied to solve the coupling problem of temperature and humidity parameters in the temperature and humidity independent PID controller of air conditioning units. The PID controller optimized by the frog jump algorithm is used to achieve independent control of the temperature and humidity control air conditioning unit based on a single cold source. The experimental results show that the proposed method has better temperature and humidity control accuracy for air conditioning units, and lower energy consumption for temperature and humidity control air conditioning units.

Keywords: single cold source; air conditioning unit; temperature and humidity separated control; frog jump algorithm; PID controller

0 引言

传统的中央空调系统在工作时,多采用温湿一体的控制方法,即在空调调节温度的同时也改变了空气湿度,但空调的温湿调控精度不佳,存在能耗高、空调温度控制不准确、室内空气质量难以得到保证等问题。因此,温湿分控空调机组逐渐开始受到广泛关注^[1-2]。目前的空调机组温湿度独立控制多使用双冷源除湿系统,其存在系统控制能力不佳和除湿系统不稳定的问题。因此,如何获取高水平的空调机组温湿独立分控方法成为当下研究的重点。当前已有相关领域研究学者对温湿分控空调机组独立控制方法做出了研究。魏玉龙等^[3]设计了基于大数据深度学习的温湿独立控制系统结构,基于深度学习设计深度置信网络模型优化了温湿独立控制系统,完成了空调机组的温湿独立控制。但该方法存在空调机组温湿独

立控制精度不佳的问题。刘雪飞等^[4]设计了基于新型 PID 算法的空调机组温湿度控制系统,分析温湿度控制的干扰因素,利用模糊自适应 PID 控制器完成空调机组温湿度控制。但该方法存在空调机组温湿度控制能耗大的问题。

为了解决上述方法中存在的问题,本文提出基于单冷源的温湿分控空调机组独立控制方法。

1 温度、湿度参数的前馈解耦

使用 PID 控制器完成单冷源空调机组的温湿度控制时,温度和湿度参数存在耦合效应,无法实现空调机组的温湿度独立控制,故先通过前馈解耦方法对温度和湿度参数实行解耦处理^[5-7]。耦合现象即在系统的控制过程中,一个过程变量的改变影响另一个输出变量的改变^[8]。

在空调机组的温度、湿度独立控制过程中,温度、湿度耦合参数解耦过程如图 1 所示。

第一作者简介:钱志杰(1971—),男,高级工程师,硕士,研究方向为输变电工程安装及管理, gianzhijieool@163.com。

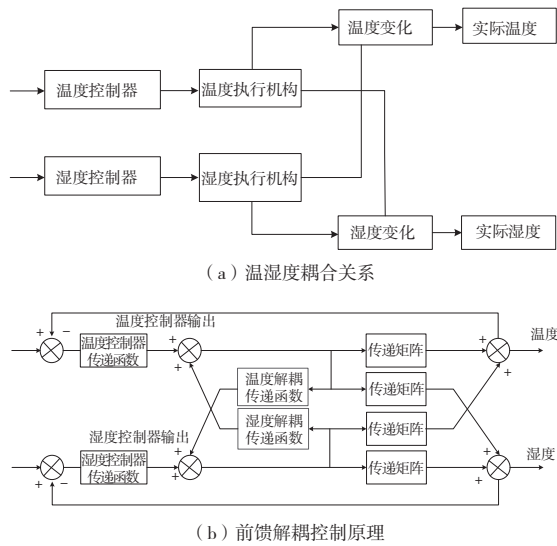


图1 温湿度参数解耦

根据图1(a)可知,由空调机组温湿度耦合关系得到的温度、湿度与控制输出的传递矩阵公式表达如下:

$$\begin{bmatrix} U_w \\ U_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_w \\ F_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_w \\ I_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: U_w 表示空调机组测量到的温度; U_s 表示空调机组测量到的湿度; I_w 表示控制器输出的温度; I_s 表示控制器输出的湿度。此时控制器输出的温度和湿度互相影响。根据控制不变的原理设计PID前馈解耦控制器,使空调机组的温度和湿度在温湿独立控制过程中呈稳定设定值状态^[9]。

根据图1(b)可知,通过测量空调机组干扰温度、湿度的大小和方向因素,利用前馈补偿方法实现对温度和湿度控制量的干扰,此时温度、湿度关系式为

$$\begin{bmatrix} U_w \\ U_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & H_{12} \\ H_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_w \\ I_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 H_{12} 、 H_{21} 表示前馈补偿信号的传递元素。

解耦后的控制矩阵可变为对角矩阵,即空调机组温度控制仅被温度影响,湿度控制仅被湿度影响,输入参数和PID控制器的温度、湿度控制输出关系公式表达如下:

$$\begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_w \\ U_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11} & 0 \\ 0 & E_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_w \\ I_s \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: E_{11} 、 E_{22} 表示等效传递函数参数; β_1 、 β_2 分别表示温度和湿度的解耦系数。

2 温湿度独立控制

2.1 蛙跳算法

蛙跳算法是一种具有良好全局搜索能力的后

启发式群体进化方法^[10]。随机生成由 N 只青蛙组成的初始群体,用 C_o 表示第 o 只青蛙个体。按照由大到小的顺序排列青蛙种群中的青蛙。其中,适应度最佳的青蛙个体为 C_h 。按照第1只青蛙为第1组,第2只青蛙为第2组的方式,类推将青蛙分成由 m 只青蛙组成的 q 个组。每组中用 C_e 表示适应度最差的青蛙和 C_n 表示适应度最好的青蛙。

青蛙允许改变位置的公式表达如下:

$$f = t(C_n - C_e) \quad (4)$$

式中 t 表示在 $[0, 1]$ 区间内的随机数。

通过局部搜索更新的青蛙个体 C'_e 公式表达如下:

$$C'_e = C_e + f, \quad \|f\| \leq f_{\max} \quad (5)$$

式中 $f_{\max}$ 表示青蛙允许改变的最大位置。

此刻获得的青蛙个体如果优于原始青蛙,则用其替换原始青蛙,否则使用全种群适应度最佳的蛙 C_h 取代组内适应度最好的青蛙 C_n 。

蛙跳算法优化PID控制器步骤如下。

1) 初始化参数,确定PID控制器比例系数、积分系数和微分系数的取值范围、青蛙种群数、分组数、每组青蛙个体数、全局混合迭代次数、局部搜索次数等。

2) 根据不同个体的适合度,按由大到小进行排序。

青蛙个体的适应度 G_o 公式表达如下:

$$G_o = C'_e \int_0^{\infty} y(r(y)) \mid dt \quad (6)$$

式中 $r(y)$ 表示PID控制温度和湿度的误差。

3) 根据上述局部搜索步骤获取新的青蛙种群。

4) 达到全局混合迭代次数后,对PID控制器进行了优化,得到了最佳的温湿控制参数。

2.2 PID 控制器

基于单冷源的温湿分控空调机组独立控制优化PID控制器结构如图2所示。

优化PID控制器^[11-13]的实际温度输出 I_1 公式表达如下:

$$I_1 = G_o L_1 [(1 - \beta_1) \times V_y + \beta_1 \times V_j] \quad (7)$$

式中: L_1 表示温度控制器的比例因子; V_y 表示温度控制器的输出; V_j 表示湿度控制器的输出。

PID控制器^[14-16]的实际湿度输出 I_2 公式表达如下:

$$I_2 = G_o L_2 [(1 - \beta_2) \times V_j + \beta_2 \times V_y] \quad (8)$$

式中 L_2 表示湿度控制器的比例因子。

基于此,完成基于单冷源的温湿分控空调机组的独立控制。

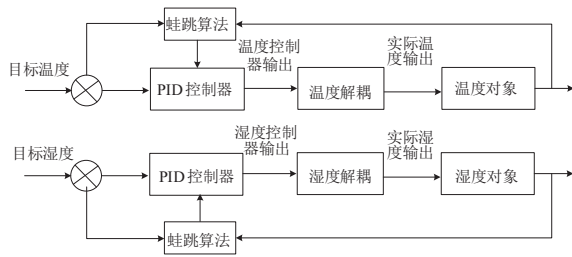


图2 温湿分控空调机组独立控制优化PID控制器结构

3 实验与分析

为了验证基于单冷源的温湿分控空调机组独立控制方法的有效性,进行仿真对比实验^[17-18]。

仿真环境为 Windows 7、Intel core i7-4210H、8GB 操作系统,编程环境为 python3.7,在 Matlab 软件上搭建单冷源温湿分控仿真系统。系统方案如图3所示。

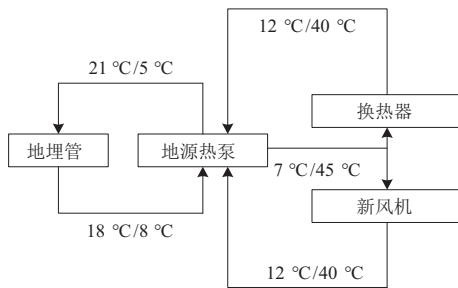


图3 单冷源温湿分控仿真系统

如图3所示,送风方式为散流器送风。温度标注分别为夏季水温/冬季水温,箭头指示为水循环方向。室内空气设计参数如表1所示。

表1 室内空气设计参数

参数	数值
空调设计温度/°C	25
相对湿度/%	40
换气次数/次	1
新风量/(mVh·人)	30

采用基于单冷源的温湿分控空调机组独立控制方法(本文方法)、大数据深度学习方法(文献[3]方法)和新型PID算法(文献[4]方法)完成实验测试。

1) 温度控制精度

采用本文方法、文献[3]方法和文献[4]方法

完成温湿分控空调机组的温度、湿度控制,记录3种方法的温度控制曲线如图4所示。

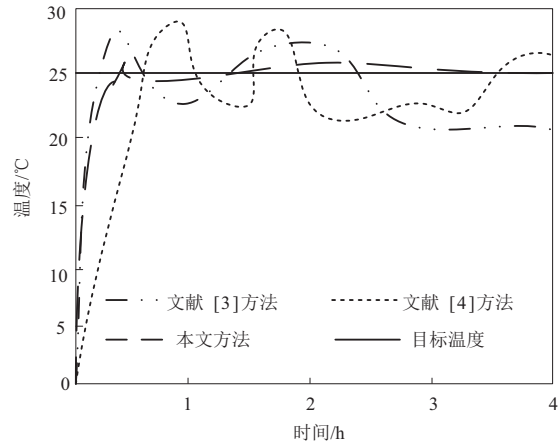


图4 3种方法的温度控制曲线

分析图4可知,文献[3]方法和文献[4]方法结果与目标温度控制线偏差较大,本文方法结果与目标温度控制线更为接近,表明本文方法温度控制精度更高。

2) 湿度控制精度

采用本文方法、文献[3]方法和文献[4]方法完成温湿分控空调机组的温度、湿度控制,记录3种方法的湿度控制曲线如图5所示。

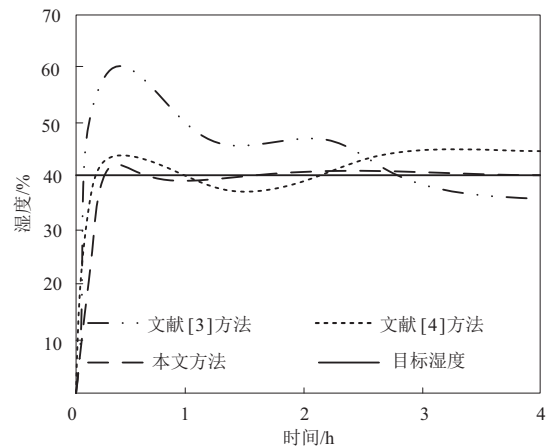


图5 3种方法的湿度控制曲线

分析图5可知,文献[3]方法和文献[4]方法的温湿分控空调机组的湿度控制与目标湿度控制线偏差较大,本文方法温湿分控空调机组的湿度控制与目标湿度控制线更为接近,表明本文方法温湿分控空调机组的湿度控制精度更高。

3) 控制耗时测试

采用本文方法、文献[3]方法和文献[4]方法完成温湿分控空调机组的温度、湿度控制,记录3种方法温度、湿度控制的耗时如表2所示。

表2 3种方法的耗时对比 单位:s

实验次数	文献[3]方法	文献[4]方法	本文方法
1	205.5	206.9	202.2
2	207.6	220.5	203.6
3	202.3	206.5	95.5
4	75.0	75.9	65.4
5	75.9	52.5	75.2
6	99.4	203.5	96.0
7	76.5	57.2	74.2
8	92.5	96.5	55.6
9	54.6	57.2	75.5
10	56.7	55.9	50.2

分析表2中的实验数据可知,文献[3]方法和文献[4]方法的温度、湿度控制耗时更长,本文方法能够以更快的速度完成空调的调节,应用效果更理想。

4) 能效比

引入能效比(COP)衡量3种方法完成温湿分控空调机组的温度、湿度控制的耗能情况,能效比越高,耗能越小^[19-20]。采用所提方法对某恒温恒湿机进行控制,得到控制前后的能效比如表3所示。

表3 本文方法控制前后的能效比 单位:m³/(w·h)

实验次数	本文方法控制前	本文方法控制后
1	7.5	11.6
2	7.9	12.5
3	8.6	12.4
4	9.2	11.9
5	10.1	14.2
6	9.4	12.8
7	10.0	13.4
8	9.5	13.5
9	7.9	11.6
10	8.5	12.9

分析表3可知,本文方法控制前测试机组的温能效比值为7.5~10.1,本文方法控制后的能效比值为11.6~14.2。通过该实验本文验证了本文方法控制性能较好,耗能更少。

4 结语

提出基于单冷源的温湿分控空调机组独立控制方法研究。实验结果表明,该方法控制下空调机组的温度及湿度均与目标值十分接近,证明该方法的控制精度较好,且该方法的能效比较高、耗能更少。

参考文献:

[1] 陈剑波,信文普,顾娟. 双蒸发温度的温湿分控空调

机组实验研究[J]. 制冷学报,2020,41(6):63-70.

- [2] 汤嘉伟,王成轩,吴征天. 基于SMC的变风量空调房间温湿度解耦控制[J]. 控制工程,2023,30(1):162-168.
- [3] 魏玉龙,吕朋辉,林涛,等. 基于大数据深度学习的涂装空调温湿度控制方法[J]. 电镀与涂饰,2020,39(6):339-343.
- [4] 刘雪飞,苏师师,崩亮,等. 基于新型PID算法的整流罩空调控制系统研究[J]. 电子技术应用,2021,47(12):74-78.
- [5] 赵世海,李果. 湿热定型机温湿度解耦控制系统[J]. 天津工业大学学报,2022,41(2):80-86.
- [6] 胡晓,林明星. 智慧农业温湿度监控系统设计[J]. 机床与液压,2020,48(14):129-133.
- [7] 王振,卫东,叶洪吉. 基于温湿度解耦建模的质子交换膜燃料电池内阻特性研究[J]. 太阳能学报,2020,41(9):1-8.
- [8] 杨旭红,陆浩,郝鹏飞,等. 并网分离源逆变器解耦控制[J]. 电机与控制学报,2022,26(4):99-106.
- [9] 朱建峰,徐志刚,苏开远. 基于改进蛙跳算法的多目标选择性拆卸序列规划方法[J]. 计算机集成制造系统,2022,28(3):676-689.
- [10] 孙宇贞,郭皓文,黄晓筱. 基于改进混合蛙跳算法的协调控制系统优化[J]. 热能动力工程,2020,35(6):109-115.
- [11] YANG L,DENG S M,FANG G Y,et al. Improved indoor air temperature and humidity control using a novel direct-expansion-based air conditioning system[J]. Journal of Building Engineering,2021,43:102920.
- [12] LI X M,HAN Z W,ZHAO T Y,et al. Online model for indoor temperature control based on building thermal process of air conditioning system[J]. Journal of Building Engineering,2021,39:102270.
- [13] 洪槐斌,刘雯华,张进杰. 往复式压缩机气量调节工况下的内模解耦PID控制策略研究[J]. 流体机械,2021,49(10):29-35.
- [14] 杨世忠,李善伟,于瀚博. 变风量空调系统房间温度控制研究[J]. 计算机仿真,2022,39(4):284-289.
- [15] 汪虎明,周刚. 温度自适应变露点纺织空调自动控制系统的研发[J]. 棉纺织技术,2021,49(11):39-41.
- [16] 孙术娟,林鑫. 城际车辆整车空调通风系统的仿真与试验研究[J]. 机车电传动,2020(1):136-138,143.
- [17] 张金花,王长军,王春旺,等. 北京某地铁站公共区域空调系统测试及运行优化分析[J]. 建筑技术,2020,51(12):1504-1506.
- [18] 吴文翔,韩小渠,周志杰,等. 循环转轮空调系统变工况除湿特性[J]. 化工学报,2020,71(增刊1):355-360.
- [19] 李宗昊,杨洁,钱苏珂. 基于PLC与组态王的花卉大棚温湿度监控系统设计[J]. 河南农业科学,2022,51(2):159-168.
- [20] 管光华,刘王嘉仪. 串联输水渠系控制解耦算法优化与仿真[J]. 农业工程学报,2021,37(15):68-77.

收稿日期:2023-11-17