

学校编码: 10384

分类号

学号: X2012223014

UDC

廈門大學

硕士学位论文

组合式空调机组湿度 PID 控制

PID CONTROLLER FOR HUMIDITY CONTROL BY MODULAR
AIR CONDITIONING UNIT

陈必辉

指导教师姓名: 黄春庆 教授

专业名称: 控制工程

论文提交日期: 2015 年 01 月

论文答辩时间: 2015 年 月

学位授予日期: 年 月

答辩委员会主席:

评阅人:

2015 年 01 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

组合式空调机组是烟草工业的重要动力设备，用以实现温湿度控制。本论文以厦门烟草工业有限责任公司的组合式空调机组为对象，针对湿度控制问题，研究 PID 控制的非线性改进及其算法与实现。文中首先介绍了组合式空调机组及其控制现状，并阐述了 PID 控制器的原理、控制算法以及几种常用参数整定方法；在此基础上，提出 PID 控制器的非线性改进及其算法；在实际的生产过程中，采用阶跃信号激励，获得了模型辨识的现场数据，并运用 MATLAB 软件进行参数辨识，从而获得了组合式空调机组湿度控制的数学模型；最后通过该模型进行数值仿真，仿真结果表明了文中所提出的 PID 改进算法对湿度控制品质有显著的改善，从而验证了改进算法的有效性。

关键词： 空调机组 PID 控制 湿度控制

ABSTRACT

Humidity and temperature play an important part in tobacco industry. It is well-known that humidity and temperature are controlled by Modular Air Conditioning Unit. Consider humidity control problem of modular air-conditioning unit, the modified scheme of nonlinear PID controller is developed in this paper so as to improve performance of the resulting closed-loop system. As for modeling of first-order plus delay of humidity control system, the corresponding open loop system is excited by step-signal and then humidity output data on spot is acquired to identify the parameters of first-order plus delay by least square method in MATLAB. When the proposed PID controller scheme is applied in the aforementioned identified model, simulations are conducted with the comparison between the proposed scheme and the traditional PID controller. It shows that the proposed PID controller improves the performance of the resulting system remarkably and hence demonstrates the effectiveness of the proposed scheme.

Key words: Modular Air Conditioning Unit; PID Control; Humidity Control

目 录

摘 要	I
第一章 组合式空调机组概述	1
1.1 课题研究的背景	1
1.2 组合式空调机组概述	2
1.2.1 组合式空调机组定义	2
1.2.2 组合式空调机组组成	2
1.2.3 组合式空调机组分类	2
1.3 组合式空调机组基本功能段介绍	2
1.4 厦烟组合式空调机组简介	5
1.4.1 自控系统检测与控制功能介绍	5
1.4.2 组合式空调机组控制理论基础	6
1.5 厦烟空调机组控制系统硬件配置	8
1.6 改善湿度控制方法	10
1.7 本论文主要工作	10
第二章 PID 控制及其参数整定	11
2.1 PID 控制概述	11
2.2 PID 控制基本原理	12
2.3 数字 PID 控制算法	14
2.3.1 位置型 PID 控制算法	15
2.3.2 增量式 PID 控制算法	15
2.4 参数整定	16
2.4.1 Ziegler-Nichols 整定方法	16
2.4.2 ISTE 最优设定方法	17
2.4.3 衰减曲线法	18
第三章 湿度过程控制系统建模	20

3.1	过程模型概述	20
3.1.1	一阶惯性加纯延迟传递函数	20
3.1.2	最小二乘法系统辨识	23
3.2	湿度控制系统数学建模	26
3.2.1	现场测试及数据处理	26
3.2.2	数学建模	28
3.2.3	现场采集与仿真结果比对	28
第四章	湿度控制系统非线性 PID 控制器设计	30
4.1	非线性 PID 控制介绍	30
4.2	非线性 PID 控制器设计	31
4.2.1	非线性 PID 控制器设计	31
4.2.2	非线性 PID 控制器改进	35
4.3	湿度控制仿真比对	38
4.3.1	常规 PID 控制器参数整定	38
4.3.2	非线性 PID 控制器仿真	41
第五章	结论	43
	参考文献	44
	致谢	46

Contents

Abstract	I
1 Preview of Modular Air Conditioning Unit	1
1. 1 Background	1
1. 2 Introduction of Modular Air Conditioning Unit	2
1. 3 Functional Fragments of Modular Air Conditioning Unit	2
1. 4 Modular Air Conditioning Unit of XIAMEN Tobacco Company	5
1. 5 The Hardware of Control System of Modular Air Conditioning Unit	8
1. 6 Humidity Control System in Modular Air Conditioning Unit	10
1. 7 The Main Work	10
2 PID Controller and Tuning	11
2. 1 Preview of PID Control	11
2. 2 The Principle of PID Control	12
2. 3 Digital PID Control	12
2. 3. 1 Station PID Control.....	15
2. 3. 2 Increment PID Control.....	15
2. 4 Parameter Tuning Method	16
2. 4. 1 Ziegler-Nichols	16
2. 4. 2 The Optimization Enactment Method.....	17
2. 4. 3 The Attenuation Ratio Curve Method.....	18
3 Modeling and Identification of Humidity Control for Modular Air Conditioning Unit	20
3. 1 Mathematical Model and Identification	20
3. 1. 1 First Order plus Delay System	20
3. 1. 2 Least Squares Identification	23
3. 2 Identification of Humidity Control System	26
3. 2. 1 Data Acquisition and Processing	26
3. 2. 2 System Identification	28
3. 2. 3 Simulation Results	28
4 Nonlinear PID Controller of Humidity Control for Modular Air Conditioning Unit	30

4. 1 Nonlinear PID Controller	30
4. 2 Design of Nonlinear PID Controller	31
4. 2. 1 Design of Nonlinear PID Controller	31
4. 2. 2 Improvement of Nonlinear PID Controller	35
4. 3 Simulation and Analysis of Humidity Control System	38
4. 3. 1 Normal Parameter Tuning of PID Controller	38
4. 3. 2 Simulation and Analysis of Nonlinear PID Controller	41
5 Conclusion	43
REFERENCE	44
ACKNOWLEDGEMENT	46

第一章 组合式空调机组概述

1.1 课题研究背景

组合式空调机组是烟草工业的重要动力设备，主要用途是保证生产加工的温湿度工艺要求和提高人体的舒适度。比如：储丝房烟丝的温湿度工艺要求，卷接包车间的生产所需的温湿度工艺，辅料及成品库储存成品和辅材的温湿度要求，还有，制丝车间人员的通风需求等等。温湿度指标将直接影响到烟草的生产加工工艺，所以需要非常精确的温湿度控制，而现在控制方式是采用常规 PID，其控制品质不甚理想，需要改善其控制方式以提高温湿度控制的精度。

当今，国内外有关空调系统温湿度控制方案的研究，亦日臻完善。控制效果和性能明显提高。空调系统是建筑热能学，空调技术及自动控制技术的综合工程。它具有多干扰性，多工况性和温湿度相关性。影响控制的因素非常多，比如：人员、环境、蒸汽压力、电网以及季节等，而且温度和湿度两个变量具有强耦合性，温度的变化影响湿度的变化，可进行解耦处理。所以，必须从多方面进行改善控制技术。下面简述三种比较常见的新型控制方法：

温湿度多模态分段控制：

多模态分段控制方式就是采用 P-Fuzzy-PID 控制器，即在论域内分段进行不同的控制方式。当温湿度偏差信号 e 大于设定的一个阈值时，采用比例 P 控制，以加快响应过程；当温湿度偏差信号 e 逐渐减少到设定的另一阈值时，此时，采用模糊 Fuzzy 控制，以减小响应过程中的超调量；当温湿度偏差信号 e 再减小到某一设定阈值时，就切换到采用 PID 控制方式，加入积分以消除静差，提高温湿度控制的精度^[1]。

温湿度模糊自适应 PID 控制：

空调系统的温湿度变量存在着非线性，时变及大滞后等因素，传统 PID 控制不方便修改参数，无法进行自整定，难于达到预期控制效果；而在智能控制中，模糊控制不依赖于温湿度对象模型，它是用语言变量而不是用数值变量来描述系统特征的，是根据模糊控制规律和系统动态信息进行推理，取得较准确的温湿度控制量，具有很好的鲁棒性。仅仅模糊控制，那其控制精度就不大理想，应该实

现控制器参数在线自调整，以适应系统工作条件变化和参数变化，从而优化温湿度控制性能，提高系统适应性^[2]。

温湿度遗传算法控制：

PID 控制器的好坏取决于其参数的整定，现场调试或者计算机寻优都无法获得论域内最优解，而遗传算法（GA）是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法，它将待求解问题转换成由个体组成的演化群体和对该群体进行操作的一组遗传算子，通过生成-评价-选择-操作的演化步骤反复进行，直至搜索到最优解。此算法需要一定的时间，而温湿度变化较为缓慢，刚好适应此算法，通过此算法优化 PID 参数控制，温湿度控制系统的动稳态特征得到优化^[3]。

此外，有积分分离控制法，神经网络控制法等等，但上述控制方法和算法比较复杂，操作过程比较繁琐，对工程技术人员的相关理论和知识要求较高，不容易被工程技术人员掌握。本文从工程实现的角度出发，提出了基于非线性 PID 控制算法的组合式空调机组湿度控制方案，控制算法简单有效，易于实现。

1. 2 组合式空调机组概述

1. 2. 1 组合式空调机组定义

组合式空调机组是应用在风管的阻力大于等于 100Mpa 空调系统，由各种功能段组成的一种空气处理设备，而且本身没有冷热源^[4]。

1. 2. 2 组合式空调机组组成

组合式空调机组功能段主要包括有：送风机，回风机，加热，加湿，冷却，过滤等单元体。如图 1-1 所示：

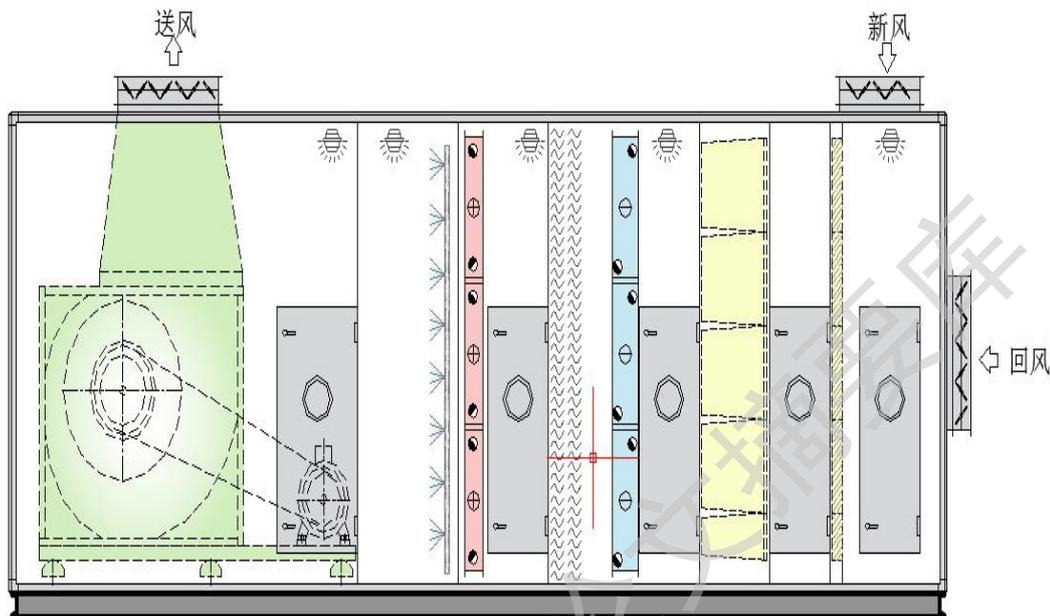
1. 2. 3 组合式空调机组分类

- (1) 按用途特征分为：净化机组；新风机组；通用机组；特别机组。
- (2) 按结构形式分为：立式机组；卧式机组；吊顶式机组。
- (3) 以规格分类：根据风量大小。

1. 3 组合式空调机组基本功能段介绍

- (1) 新回风混合段：

新回风混合段是进行空气混合，通过风阀开度导入空气并调节新回风的比例以达到系统的要求，也可新、回风段各自单独使用。



送风机段	蒸汽加湿段	蒸汽加热中间段	表冷挡水中间段	中效过滤段	中间段	新风混合初效过滤段
全压: 1300Pa	NA	20Pa	200Pa	300Pa	NA	150Pa

图 1-1 组合式空调机组

(2) 过滤净化段:

初效过滤段: 滤网有板式和袋式过滤器供选择。净化空调的作用，过滤级别为 G3, G4, 粒子直径 $5\mu\text{m}$, 大气层计数效率是 40%—80%, 板式过滤器有一次性褶形板式过滤器和可清洗板式过滤器。

中效过滤器: 滤网有板式和袋式可供选择。作用是净化空调，过滤级别为 F6, F7, F8 (30 万级), 粒子直径 $1\mu\text{m}$, 大气层计数效率为 40%—90%。

亚高效过滤器: 对空调进行净化，过滤级别为 F9, H10, H11, H12 (10 万级~万级), 粒子直径 $0.5\mu\text{m}$, 大气层计数效率为 95%—99.9%。

高效过滤器: 净化空调机组的功能，粒子直径 $0.5\mu\text{m}$, 大气层计数效率为 99.95%—99.995%。

其他常见空气过滤净化器有: 金属过滤器, 卷绕式过滤器, 光触媒过滤器, 活性炭过滤器, 紫外线杀菌灯, 臭氧发生器, 蜂窝型静电除尘过滤器等^[5]。

(3) 表冷盘管段和挡水板:

表冷器主要是对空气进行冷却以及对空气除湿的作用。有等湿冷却过程和减湿冷却过程两种形式^[6]。

等湿冷却过程：简单说就是不产生冷凝水，表冷器盘管表面温度高于露点温度而低于空气干球温度。

减湿冷却过程：表冷器温度低于空气露点温度而在盘管表面产生结露，从而减少含湿量。

挡水板：挡水板的作用是使夹在空气中的水滴分离出来，当盘管迎面风速过高时，需要设置挡水板，以减少空气带走的水量（一般用过水量衡量）。

(4) 加热盘管段：

常见加热方式有蒸汽盘管和热水盘管。

(5) 电加热段：

有 PTC 电加热和翅片式电加热管两种方式。

(6) 加湿段：

空气处理机组中常用的加湿方式有：

a) 常见加湿方式：干蒸汽加湿比较常见。

b) 其他加湿方式：电热加湿，超声波加湿，离心式加湿，红外线加湿，汽水混合加湿等。

(7) 风机段：

风机：空气处理机绝大多数用离心风机，离心风机有直联式和皮带轮两种常见驱动形式。

电机：常用的电机有：三相异步电机， YD 系列变极多速三相异步电机， YVF2 系列变频调速电机。

风机的电机有直接启动，星/三角启动，软启动及变频器启动常见启动方式。

(8) 均流段：

均流段的作用是均匀气流，。一般放置于出风口，均流段长度大概是 0.6—1m 的范围。

(9) 消声段：

消声段有微穿孔片式消声器和阻性片式消声器。

(10) 热回收段：

热回收段有板式能量回收器和轮转式能量回收器两种方式。

1.4 厦烟组合式空调机组简介

1.4.1 自控系统检测与控制功能介绍

组合式空调控制系统主要有：西门子电源模块、PLC 控制器、输入输出模块、触摸屏；中间继电器；.风机电机变频器；车间、送回风及室外温湿度传感器；风机和各级过滤器的压差检测开关；.送回风阀和消防防火阀；表冷、加热和加湿电动执行阀以及步进自动清洗装置组成（如图 1-2）。



图 1-2 厦烟组合式空调机组

空调自控系统检测和控制项目主要有：

(1) 检测功能：

车间温湿度检测、显示(6 台/机组)；

车间平均温湿度显示；

送风温湿度检测、显示；

回风温湿度检测、显示；

风机运行电流、频率、功率、转矩检测显示；

风机运行状态、故障状态检测、显示；

表冷、加热、加湿、风阀阀位反馈检测、显示；
送、回风压差（正常/无压）状态、初、中效过滤器压差状态（正常/过阻）检测、显示；

筒式过滤器压差检测、显示；

室外温度、室外相对湿度检测、显示；

风机启动柜“远程/就地”开关检测、显示；

防火阀正常或火警信号检测、显示；

（2）空调自控控制功能：

送风区域温湿度控制；

表冷、加热阀分程调节；

表冷、加湿阀分程调节；

表冷阀选择控制：降温、除湿需求取最大值作为表冷阀输出控制；

新风阀开度调节：根据室外气象条件最大程度利用新风达到节能控制目的；

送风温湿度上限控制：限制加热阀、加湿阀开度，防止送风温、湿度过高，同时保证在最短的时间内调节车间温湿度。

风机变频调节：根据送风状态点的变化，调节风机送、回风风量，节省电能消耗。

风机运行连锁控制：送、回风压差连锁，风机运行时，如果压差状态不正常将连锁停止风机；防火阀连锁控制，防火阀关闭时，无条件停止风机；水、汽电动调节阀联动；风机停机时禁止水、汽电动调节阀开启。

水、汽电动调节阀停电自动复位（关闭）；

1.4.2 组合式空调机组控制理论基础

空调系统是个时延对象，其主要的控制参数是温湿度，温度和湿度两个参数的变化是互相影响、相互制约的；其次就是风机的运行控制，以达到节能的目的。

（1）与组合式空调机组有关的空气参数有温度（ T ）、相对湿度（ ϕ ）、绝对含湿量（ d ）焓值（ i ）。

相对湿度（ ϕ ）：就是水蒸气压力（分压）跟同温度下饱和水蒸气压力（分压）的比值。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.