

一种基于数学模型的涂装车间温湿度控制方案

□ 中国汽车工业工程有限公司/林涛 韩俊 魏玉龙 刘皓

本文提出的温湿度控制方案适用于涂装车间。该方案可以迅速地将温湿度稳定在设定的目标范围内，能够达到自动控制、高效运行及成本低廉的目的，为项目的运营缩短时间和节约成本。

在汽车制造生产过程中，作为涂装线最重要的生产工艺之一，喷漆工序提高了车体的漆膜质量，增加了漆膜质量的稳定性。喷漆工序一直都是非常重要的研究课题，可以对漆膜质量造成影响的因素非常多，而喷漆室恒定的温湿度环境是保证漆膜质量的一个非常重要因素。

喷漆室空调的温湿度控制要求较为精确，且要求保持持续稳定状态，因此对于控制的要求非常高。喷漆室内温度和湿度之间存在着交叉耦合的情况，且喷漆室空调的进风会采用或部分采用自然风，因此进入喷漆室的温湿度比较容易受到外界天气变化的影响，导致控制会相对波动较大。

涂装车间喷漆室的温湿度控制具有非线性、时变和滞后性大的特点，因此这种系统若单纯地采用传

统的仪表控制并不适宜。对涂装车间喷漆室空调的温湿度控制，科研人员做了很多的工作。本文基于焓值分析分区基础，提出了一种基于计算模型的温湿度控制方案，通过理论支持计算来进行控制。

系统结构

涂装车间喷漆空调系统主要由空调箱体、风机、燃烧器、热水盘管、冷水盘管、过滤单元及加湿装置等组成，各部件之间由管网彼此联系在一起。涂装车间空调温湿度控制系统主要分为四个控制段：一次加热段、表冷段、加湿段和二次加热段，每个部件具有各自的特性。其系统结构如图1所示。

其中，进入一次加热段的燃气量由燃气管路上的燃气阀来控制，进入表冷段和二次加热段的冷水量和热水量分别由它们各自管路上的

冷水、热水调节阀来控制，而进入加湿段的水喷淋量则通过调节加湿泵的变频器的输出频率来实现。

控制系统设计

1. 系统功能及设计要求

涂装车间对于温湿度控制系统的功能需求一般来说有以下几点：

(1) 能够实现对于涂装车间喷漆室空调系统所需要的温湿度的实时采集，并可以显示在相应的界面上。

(2) 可以对空调系统的各个部分实现控制，对温度进行升温 and 降温，对湿度进行加湿和除湿，实现对整个过程的控制和监测。

(3) 无论外界环境如何变化，喷漆室内要求温度控制精度在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内，相对湿度控制精度为 $\pm 5\%$ 以内，基本实现恒温恒湿控制

的要求。

(4) 控制过程应保证温湿度控制的快速性及稳定性,要求从空调开机到温湿度到达控制目标时,其控制稳定过程在30min之内完成。

(5) 控制算法应具有适应性,可以根据季节的变化而实现自动控制,无需过多的人工干预。

2.系统控制原理

在进行控制原理介绍之前,首先引入“含湿量”的概念。含湿量值是1kg干空气所含有的水蒸气质量,其单位为“kg/kg·干空气”或“g/kg·干空气”。含湿量可以确切地表示空气中实际含有的水蒸气的多少,空调控制中常用含湿的变化来表示空气被加湿或减湿的程度。含湿量的计算公式:

$$d=622P_q/(B-P_q)$$

式中, d ——含湿量, d 是 P_q 的函数;

B ——大气压力;

P_q ——饱和空气压力蒸汽分压力,是温湿度的函数。

涂装车间温湿度控制系统的被控参数是喷漆室内部的温度和湿度。通过安装在室外和喷漆室内部的温湿度传感器可以将对应位置的温湿度信号检测出来,并转换为

4~20mA电流信号后传递到PLC模块中。PLC处理单元将计算出相对应的数值,并根据相关算法计算出应该控制的控制量,并将相关控制量转换为电信号输出到各执行机构上,以此来实现对喷漆室湿度的控制。

对于现有的大部分喷漆室温湿度控制系统来说,一般均采用焓湿图分区进行控制,根据外界环境的状况来对系统进行对应分区,计算出各功能段的开启与否及对应的控制设定量,最后将输出分成加热、制冷或加湿信号,用来分别控制加热线、冷水阀及加湿泵,从而实现温湿度的控制。但是此种方法有一些明显的缺点:功能段之间的开启并无先后顺序,判断功能段开启后,即各自开始作用,这样容易造成各自调节过程中的耦合作用增大,系统运行不易稳定;各功能段之间仍然采用各自的PID来进行控制,这样对于调试人员的经验要求较高,且调试周期较长。

针对上述缺点,本文采用了一种基于计算的恒定含湿量的模型控制方法,通过计算来进行含湿量的稳定控制,使得含湿量可以保持恒定。通过保持一个变量的相对稳定来使得另外的变量较为容易地进行

控制。在判断需要进行加湿控制的阶段使用此模型进行计算,可以快速满足含湿量的控制需求。

其中含湿量的需求计算过程如下:

(1) 计算当前状态所需耗水量。对于现有状态,计算出当前环境状况下所需要的耗水量,其计算公式为:

$$G_{需求}=\rho_{空气}V_{新风}\Delta d_{新风}+\rho_{空气}V_{循环风}d_{循环风}$$

式中, Δd ——设定含湿量与实际含湿量之间的差值;

$\rho_{空气}$ ——空气密度;

V ——风量。此公式可以计算循环风及全新风模式下的不同耗水量需求。

(2) 建立需求耗水量和供应水量之间的关系。加湿过程涉及到较多的环境变量,如:喷嘴数量、喷嘴大小、喷水截面积等,此过程建模较为复杂,因此将影响因素简化为一个影响因子来表示供水量和需求量之间的关系,其关系如下:

$$G_{需求}=G_{供应}\varphi$$

其中, φ 为影响因子,由经验数据获得,本文中 φ 的取值为0.7。

(3) 建立流量与频率之间关系。由需求供水量可以得出在某一时段内的流量。

$$Q=G_{供应}/\rho_{介质}$$

对水泵的特性曲线进行拟合和推导,可以得出相应水泵的流量和频率的关系,如下式所示:

$$F=0.0002Q^5-0.009Q^4+0.186Q^3-1.66Q^2+6.882Q+0.443$$

通过对系统的实时需求来决定加湿泵应有的加湿频率,通过这种方法来进行较为精确地含湿量控制过程,如图2所示。

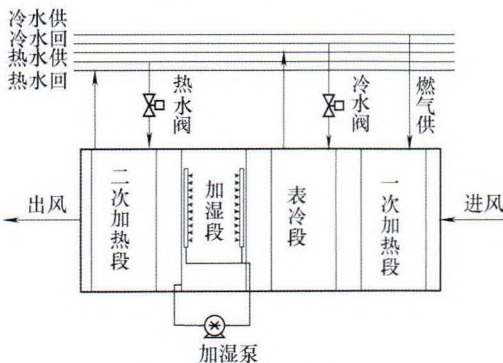


图1 空调系统结构示意图



图2 控制流程图

结果分析

将本文提出的基于计算模型的温湿度控制系统应用到某试验线涂装生产线空调系统中，将编译好的程序及触摸屏画面分别下载到相应设备中，通过触摸屏来对相关参数进行相应的操作。系统通过PROFINET协议通讯。

系统运行时，通过触摸屏对温度和湿度进行设定，采样时间设定为1s，并选择自动控制模式。一般工厂生产工艺要求为：温度为设定值的±1℃，湿度为设定值的±5%范围。分别采用新风和循环风模式对空调温湿度进行控制，每种模式均采用传统PID焓值控制方法和本文提出的基于湿度模型计算方法来进行控制比较，两者方法的调节参数设置均相同。其具体的结果如图3所示，全新风模式温湿度曲线对比可以发现，一般方法到达设定目标

允许误差范围时间在27min左右，而同等条件下，本文使用的基于含湿量模型的方法，其到达误差允许范围时间仅为15min，两者均可满足系统设计要求，但本文所提出的方法显然可以更快地到达状态。

循环风模式中，采用80%的循环风比例来进行此项测试，可以从

图4中看到两种方法之间的差别。由于循环风比例较大，一旦调节不够理想就容易造成到达平衡稳定时间加长，采用一般方法可以看到其到达工艺允许误差范围时间为29min左右，而采用本文提出的方法仅用了12min即可达到误差范围内。

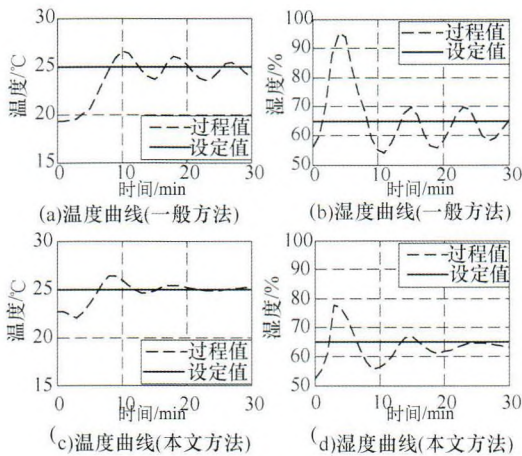


图3 全新风模式温湿度曲线对比

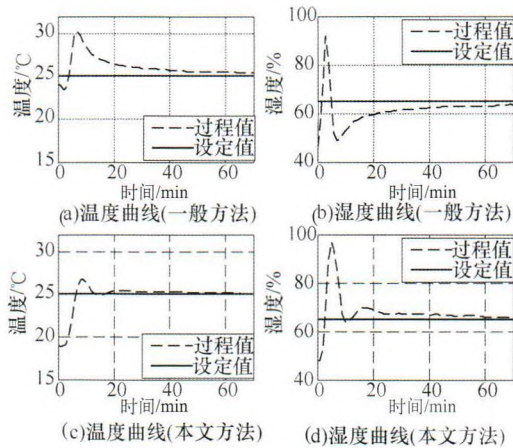


图4 循环风模式温湿度曲线对比

结语

(1) 本文提出的基于计算模型的温湿度控制方法能够适用于涂装车间的温湿度调节且可以满足相应的需求。

(2) 对于不同的运行模式来说，全新风模式及循环风模式，本

文中的方法均可以较好地达到控制需求且无需更改控制调节参数。

(3) 相对于焓值控制来说，本文采用的方法可以大幅缩短系统到达允许误差范围的时间，时间缩短比例最高可达40%以上，具有快速到达稳定的特点。AUTO1950