

# 涂装车间喷漆室送风空调方案研究

张立喆

(北京奔驰汽车有限公司,北京 100176)

**摘要:** 为了满足涂装车间喷漆室内部送风工艺要求和减少能源消耗,根据喷漆工艺流程确定送风类型,对送风空调的参数进行设计计算、运行调试和跟踪测量,最终实现在节能运行的同时可以满足喷漆室内部送风的工艺要求。

**关键词:** 送风空调; 温度; 湿度; 洁净度

**中图分类号:** TQ639 **文献标志码:** B **文章编号:** 1007-9548(2024)03-0017-03

## Exploration on Paint Booth Air Supply Unit in Painting Shop

ZHANG Li-zhe

(Beijing Benz Automotive Co., Ltd., Beijing 100176, China)

**Abstract:** In order to meet the process requirements of air supply in the painting booth of the painting shop and reduce energy consumption, determine the type of air supply according to the painting process. The design calculation, commissioning and tracking measurement of the parameters of the air supply unit. Finally can meet the process requirements of air supply in the painting booth while saving energy.

**Key words:** air supply unit; temperature; humidity; cleanliness

## 0 引言

涂装车间喷漆室主要由送风空调、喷漆室和排风单元组成。送风空调的主要功能是满足喷漆室内色漆和清漆的最佳施工温度、湿度和向下气流速度要求,避免在喷涂的过程中产生漆面缺陷;同时还需要满足送风的洁净度,在方案的研究中,还需要充分考虑能源的节约和回收利用。

### 1 喷漆室内部送风工艺要求

#### 1.1 温度、相对湿度和向下气流速度要求

温度、相对湿度和向下气流速度要求见表1。

表1 温度、相对湿度和向下气流速度要求

区域	温度/°C	相对湿度/%	向下气流速度/(m·s <sup>-1</sup> )
色漆喷漆室	22±1	65±5	0.30~0.45
清漆喷漆室	22±1	65±10	0.30~0.45

收稿日期: 2023-08-11

作者简介: 张立喆(1984—),男,本科,工程师,主要从事涂装车间发泡胶、精修和注蜡的工艺优化和新车型的工艺导入工作。

E-mail: zhanglizhe@bbac.com.cn.

由于色漆使用的多为水性涂料,而清漆使用的为溶剂型涂料,由涂料本身的特性决定,对送风的相对湿度要求有所不同<sup>[1]</sup>,清漆喷漆室的相对湿度要求更为宽泛。向下气流速度的数值主要取决于喷涂的自动化系统、车身之间的距离、漆液的闪蒸性能等。

#### 1.2 清洁度要求

喷漆室内的洁净度主要取决于影响漆面质量颗粒物的尺寸,颗粒物尺寸要求小于10 μm。颗粒物数量取决于过滤效率,过滤效率要求>90%。

#### 1.3 换气率要求

换气率指必须对喷漆室内部完全排气的频率。示例:对于一个体积1 000 m<sup>3</sup>、每小时空气交换率为10倍的喷漆室而言,所需的空气流量为10 000 m<sup>3</sup>/h,在喷漆房送风空调的设计中,决定性的变量是喷漆房内所需的向下通风速度。

在满足喷漆室内部换气率要求的同时,还需要考虑喷漆室内的爆炸下限。爆炸下限规定了空气中溶剂浓度的安全工程值,超出该值便会发生爆炸。大部分溶剂爆炸下限设置为40 g/m<sup>3</sup>。对于有工人的区域,允许25%的爆炸下限;对于全自动化区域,允许50%的爆炸

下限。为了控制喷漆室内的爆炸下限,需要按比例地向喷漆室内补入新鲜空气,通常约为 20%。

#### 1.4 节能要求

送风在达到喷涂施工要求的同时,还要考虑送风空调运行的能源消耗,这在初始设计中就要考虑。通常送风空调实现节能的方法有机器人自动喷涂区域设计供给循环风、人员需要进入的区域和机器人轨道箱区域设计供给新鲜空气,排风需要考虑能源回收<sup>[2]</sup>。

## 2 喷漆室总体设计

喷漆室的整体结构设计示意如图 1 所示。

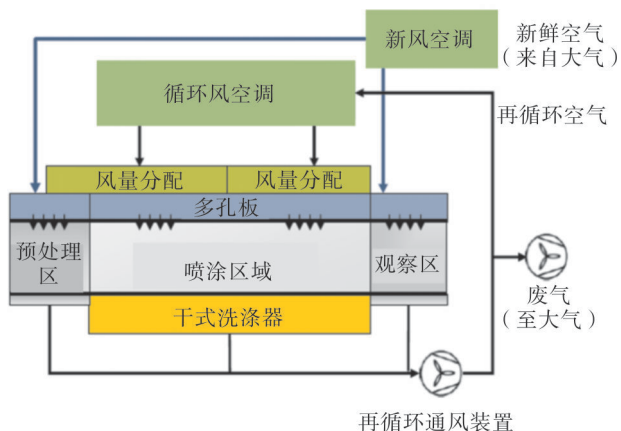


图 1 喷漆室的整体结构

新风空调从外部大气抽取空气,经过处理送入预处理区和观察区。预处理区域主要包括吹扫和鸵鸟毛区域,观察区的作用是人员进入检查喷涂后湿膜状态。为保证操作人员可进入这些区域进行非自动化作业,需要由新风空调供风,确保挥发性有机化合物的浓度不会超过危害人体健康的水平。

喷涂区域长度因喷漆顺序、机器人数量的不同而有所不同。喷涂区域采用再循环风原理工作,也就是说空气在通过喷漆房后,将被吸至干式洗涤系统并在此进行清洁,从而使其能够被重新用作供风,经过循环风空调处理后再次被送入喷涂区域<sup>[3]</sup>。

均压室的功能是用于分配风量,并确保喷漆房内理想的气流状况将来自送风空调的供风均匀分配至各个区域。

## 3 送风空调的结构和设计计算

### 3.1 送风空调结构

送风空调根据所需满足的功能不同主要分为新风空调和循环风空调,在结构和功能段的设计上也有所不同,图 2 为新风空调结构示意图,图 3 为循环风空调的结构示意。

新风空调从车间外大气抽取新鲜空气,因此为满

足送风温度、湿度和洁净度的要求,要设置的功能段多,过滤段的层数更多。燃烧器和冷却器主要是用来调整送风温度,燃烧器为天然气燃烧直接加热空气,一般选择多级燃烧器可以更好地控制加热效果;冷却器为通入冷水的换热器对空气进行降温,由多级冷水阀组进行调节。加热器和增湿器主要是用来调整送风的湿度。加湿器通过喷淋管路对空气进行加湿;加热器为通入热水的换热器对空气进行加热,由多级热水阀组进行调节,可以将空气湿度调节到更小的区间范围内。预过滤和后过滤是根据喷漆室洁净度的要求,选择过滤等级不同的袋式过滤器。



图 2 新风空调结构示意图

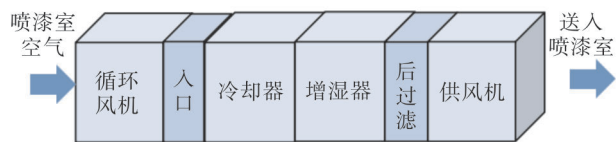


图 3 循环风空调结构示意图

循环风空调抽取已送入的喷漆室空气,经过干式洗涤系统进行清洁,从而使其能够被重新用作供风,经过循环风空调处理后再次被送入喷涂区域。因抽取喷漆室的空气,空调的功能段可以进行有效的精简,就可以达到喷漆室温度、湿度和洁净度的要求。

### 3.2 送风空调风量计算

送风空调的理论设计计算主要取决于所供区域的向下气流速度和室体面积,计算公式:送风风量( $\text{m}^3/\text{h}$ )= $\text{向下气流速度}(\text{m}/\text{s})\times\text{室体面积}(\text{m}^2)\times 3\ 600(\text{s})$ 。

向下气流速度由喷漆室的喷涂工艺确定,室体面积由送风区域的长度和宽度计算得出。可以计算得出每秒的送风风量,再乘以每小时的秒数,最终得出每小时的送风风量。通过公式计算出的送风风量可以作为实际送风风机的选择基础,同时需要考虑送风空调尺寸、各功能段及风管的风阻<sup>[4]</sup>。

### 3.3 送风空调功能段功率计算

将车间外空气通过送风空调各功能段后,调整到喷涂工艺所要求的温度和湿度,是空气本身能量变化的一个过程<sup>[5]</sup>。通过焓湿图的应用可以有效了解这个过程中空气焓值的变化,即空气中含有的总热量的变化。

送风空调功能段的设计功率的计算示例如下,焓湿图如图 4 所示。

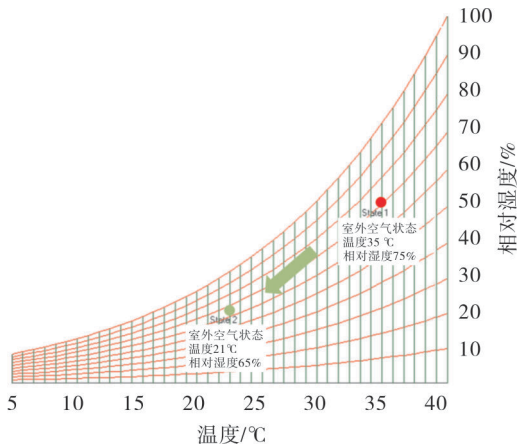


图4 焓湿图

室外环境空气状态如图红色点位,温度 35 °C、相对湿度 75%,通过焓湿图进行查找,焓值为 99.726 kJ/kg,喷漆室送风空气状态如图绿色点位,温度 21 °C、相对湿度 65%通过焓湿图进行查找,焓值为 54.45 kJ/kg,焓差 45.276 kJ/kg,再通过下式计算出所需的消耗能量<sup>[6]</sup>:

$$\text{消耗能量(kW)} = \text{送风量} \times 1.2 \times \text{焓差} / 4.2 / 860,$$

式中:1.2 为空气的温度,4.2 为能量 J 和 cal 的换算比,860 是 kW 和 kcal/h 的换算比。可以计算得出所需能量的功率(kW),以计算出的功率数为基础选择相应的换热器型号进行匹配。

## 4 送风空调控制

### 4.1 温湿度控制

送风空调的温湿度控制如图 5 所示,送风口安装的温度和湿度传感器的实时监测数值反馈到送风空调的各功能段 PLC 控制器,对各功能段进行实时调整。温度传感器将数值反馈给燃烧器和冷却器 PLC 控制器,PLC 控制器通过设定的 PID 参数对燃烧器阀组和冷却器阀组进行调控。湿度传感器将数值反馈给加热器和增湿器 PLC 控制器,PLC 控制器通过设定的 PID 参数对加热器阀组和增湿器泵组进行调控,保证送风温度和湿度在工艺要求范围内。设置各功能段 PLC 控制器的 PID 参数应当满足车间所在地区外部夏季和冬季环境温度和湿度。记录统计送风空调的温度、湿度和功率负荷,确定功能段 PID 设定参数的稳定性。

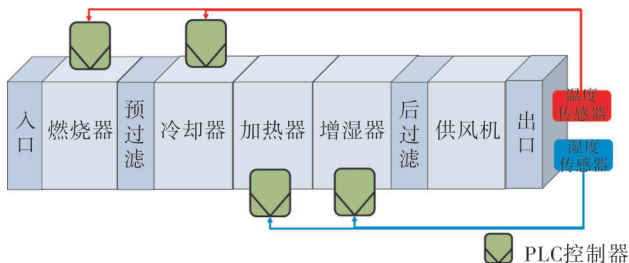


图5 温湿度控制示意

### 4.2 向下气流速度控制

使用风速仪对喷漆室的向下气流速度进行测量,验证是否满足工艺要求。需要对左侧和右侧喷漆室分别进行测量,每个测量点间隔 1 m,测量时间 30 s,测量点应避开机器人区域,同时使用工装固定风速仪自动记录平均值。通过调节喷漆室顶部充气式的送风调节部件对向下气流速度进行调节。风量分配管道和过滤均压室相互连接,送风调节部件位于风量分配管道与均压室中间,由一块穿孔金属板制成可通过薄板调节中间空气渗透程度。

### 4.3 送风洁净度控制

对送风洁净度的控制主要是对预过滤段和后过滤段的控制。对使用的袋式过滤器进行检查,安装是否正确,要求确保过滤袋垂直放置并且与框架紧密安装避免产生缝隙。通过监测过滤压差定期对过滤器进行更换,保证过滤器的有效性。如果压差增加到规定上限,则表示过滤器堵塞、污染,必须拆下污染的过滤器并安装新过滤器。过滤器使用时间和压差有对应的关系,压差超过 250 Pa 需要考虑更换过滤器。

定期使用尘埃粒子计数器在喷漆室内进行洁净度的测量也是对洁净度的跟踪控制。在喷漆室内 4 个角落进行采样测量,确认送风的洁净度。如超出工艺要求范围,需要对送风空调的过滤段进行检查和调整。

## 5 结语

喷漆室送风空调作为喷漆室的重要组成部分,通过对喷漆室的不同送风区域选择不同的送风空调。使用再循环空气送风,达到有效的能源节约。通过合理的结构布局和设计计算,结合有效的温度、湿度、向下气流速度、洁净度控制,使送风空调可以稳定地满足喷涂工艺要求,涂料在最佳的施工环境内进行施工,避免漆膜缺陷的产生。

### 参考文献:

- [1] 王锡春.涂装车间设计手册[M].2 版.北京:化学工业出版社,2008:88-131.
- [2] 王锡春.最新汽车涂装技术[M].北京:机械工业出版社,1998:412-457.
- [3] 董丹义.汽车涂装喷漆室循环风技术机应用[J].汽车材料与涂装,2018(13):2-3.
- [4] 高晓娟,李庆军.喷漆房空调送风系统的优化设计及工程应用[J].现代涂装与涂装,2016(5):53-54.
- [5] 威廉 C 惠特曼.制冷与空气调节技术[M].5 版.北京:电子工业出版社,2016:45-50.
- [6] 苏长满.空调用制冷技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2019:127-157.