

# 民用飞机防火系统试验室 气流模拟系统设计

## The Design of Airflow Simulation System in Fire Protection System Laboratory for Civil Aircraft

王志超 / Wang Zhichao

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘要:

在民用飞机防火系统地面模拟试验中,由于气流流量对试验具有重要的影响,因此,需要模拟发动机风扇舱、发动机核心舱、APU 舱和货舱在飞行中的气流流量。由于流量的精度对试验结果具有重要的影响,设计一种基于 PLC 控制的气流模拟系统,基于 PID 控制算法,通过变频器控制电机带动风机模拟所需的气流,满足地面试验的要求。

**关键词:** 气流模拟;变频器;PID;风机;电机

[Abstract] In the ground simulation test of fire protection system for civil aircraft, the amount of airflow in engine fan cabin, engine core cabin, APU cabin and cargo is needed to be simulated in flight as the airflow has an important impact on test. Due to the important influence of flow accuracy to test, a kind of airflow simulated system based on PLC control and PID control algorithm is designed. The draught fan drove by frequency converter controls motor simulated the need of airflow that meets the ground test requirements.

[Key words] Air flow simulation; Frequency converter; PID; Fan Motor

## 0 引言

在民用飞机防火系统地面试验中,需要模拟飞机在正常飞行中舱内的气流特性,需要按照飞行中的流量值通过气流模拟系统进行有效仿真,为试验提供最接近飞行状态的气流环境。

气流模拟值的精度对民用飞机防火系统试验结果具有重要的影响,气流影响灭火剂的释放效果,直接影响试验测试的准确性<sup>[1]</sup>。因此,气流模拟系统的准确性对试验结果具有重要的影响。为了保证试验结果的有效性和准确性,需要配备高精度的气流模拟系统。

## 1 气流模拟系统对灭火剂浓度的影响

Halon1301 灭火系统是全淹没灭火系统,当灭火剂释放并在舱内扩散时,需要有一个作用过程,

在较短时间内浓度迅速上升,直至灭火剂浓度达到6%以上。而在这期间,气流模拟系统成为灭火剂运动扩散、浓度降低的一部分动力源。舱内气流对灭火剂浓度有很大的影响,气流模拟系统只有真实模拟进入舱内气流的状态,才能准确反映舱内灭火剂浓度的真实数据。因此气流流量控制精度越高,模拟舱内气流越接近真实状态,测得的灭火剂浓度越能反映舱内的真实状态。

## 2 气流模拟系统的方案权衡研究

### 2.1 气路方案权衡研究

对发动机舱、APU 舱和货舱防火系统性能验证试验台提供气源,可以采用一台风机,也可以采用4台风机。当采用一台风机时,要求风机、电机、变频器的功率很大,对厂房和风机提出了极高的要求。由于发动机风扇舱、发动机核心舱、APU 舱和货舱对气流需求不同,分配到每个试验舱的气流需要通

过调节才能满足要求,而且气流之间也相互干扰,控制精度难以满足要求。当单独对发动机风扇舱、发动机核心舱、APU 舱和货舱灭火系统性能验证试验提供气流时,由于单个舱的流量需求较小,使用大风机的风量调节就显得更加困难。因此,同时进行几个试验舱的试验时,满足精度要求的气流很难实现。

由于民用飞机防火系统试验室的各试验舱对气流的要求差别较大,如采用一台风机配上多管道、多阀门的方案,会使送风管路过于复杂,管路切换和控制难以实现,风机效率较低,流量控制精度不能保证。

经过权衡研究,确定采用四台风机分别对发动机核心舱、风扇舱、APU 舱和货舱提供气源。保证各个试验舱的气流相对独立,控制准确,并可开展单个或多个试验舱的试验。

## 2.2 进气方案权衡研究

目前,国内外气流模拟系统有“进气”、“引气”两种提供气源的方式。其中,进气方式是最简单而有效的一种提供气源的方式,比较符合飞机真实的气流分布情况。由于高压变频离心风机的出口压

力高,足以克服管路系统的沿程损失,满足气流模拟要求。气流系统采用高精度的气体流量计检测气流流量,由 PLC 系统实现风机风量的精确控制,试验数据准确、可靠。根据工程经验,在相同气流流量情况下,引气方式的电能消耗约是吹风方式的 6 倍。可见,引气方式提供气源的气流模拟系统运行成本更高。由于民用飞机防火系统试验室配备的气流模拟系统的管路的阻力不大,可以选用满足要求的风机克服管路的阻力。

经过权衡研究,确定民用飞机防火系统试验室气流模拟系统采用“进气”的方式提供气源。

## 3 气流模拟系统的设计方案

在发动机舱灭火系统功能及性能验证试验、APU 舱灭火系统功能及性能验证试验和通用试验舱(通用试验舱包含前货舱和后货舱)灭火系统功能及性能验证试验中,必须对气流状态进行模拟,以保证试验数据真实、准确和有效。气流模拟系统是民用飞机防火系统试验不可缺少的配套试验设备。

图 1 描述了气流模拟系统的原理。

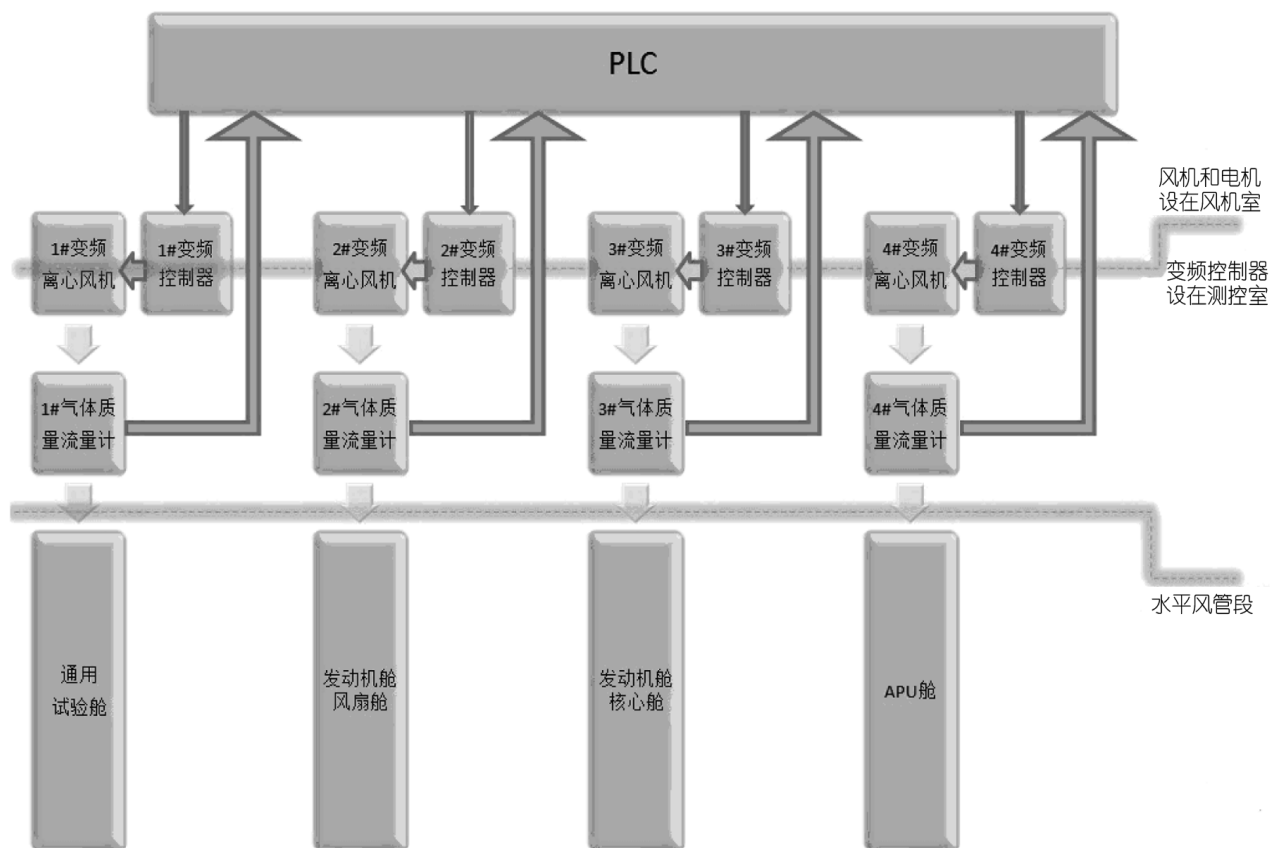


图 1 气流模拟系统原理框图

气流模拟系统主要由 PLC 控制器、变频电机、风机、气体质量流量计及相应管路等部件组成。根据发动机舱、APU 舱和通用试验舱的气流流量,首先对气流模拟系统的 PLC 控制系统设定相应的流量值,流量值设定完成后,启动风机产生气流,由高精度的涡街流量计测量气流流量。接下来,PLC 控制器按照涡街流量计测量的流量值和设定流量对比,根据对比结果调节变频电机的频率,精确控制变频电机的输出频率,使风机变频运行,从而实现精确的流量控制。同时,通过管路与发动机舱、APU 舱、通用试验舱进行连接,最终产生满足试验要求的气流流量。

### 3.1 气流模拟系统的离心风机选型

选用国内成熟的 9-26 系列高压离心通风机,一般用于高压强制通风,可广泛用于输送物料、输送空气等,介质温度一般不超过 50℃(最高不超过 80℃),介质中所含尘土及硬质颗粒物不大于 150mg/m<sup>3</sup>。风机外安装不锈钢材质的静音风机箱,在保证美观的同时又能够进一步地减小风机的噪音。该系列风机主要由叶轮、机壳、进风口、支架等部件组成。根据试验要求,需要的风机最大风量为 6 612m<sup>3</sup>/h(2.2kg/s),选用 9-26 系列的 5.6A-2。

### 3.2 气流模拟系统的变频电机选型

变频调速以其优异的调速、启动和制动性能、高效率因素和节电效果、适用范围广等优势,被国内外公认为是最有发展前途的调速方式<sup>[1]</sup>。拟采用西门子变频电机,其变频调速专用的三相异步电动机是一种交流、高效、节能型调速电动机,可与国内外变频器配套使用,该产品运行可靠、维护方便。电机单独装有轴流风机,在不同转速下均有较好的冷却效果。

发动机核心舱、发动机风扇舱、APU 舱气流模拟系统风机拟配电机均为西门子贝得变频调速电机 YVF2-180M-2/22kW;通用试验舱气流模拟系统风机拟配电机为西门子贝得变频调速电机 YVF2-160M2-2/15kW。

西门子贝得变频调速电机的具体参数如表 1 所示。

表 1 西门子贝得变频调速电机的具体参数

标称功率/kW	型号	额定转矩/N·m	电流/A	重量/kg	变频器容量/kW
15	YVF2-160M2-2	47.8	29	130	20
22	YVF2-180M-2	70	41.4	220	30

### 3.3 气体质量流量计配置

气体质量流量计拟选用 GYLUGB 系列涡街流量计。

GYLU 系列涡街流量计主要用于工业管道介质的流量测量,如气体、液体、蒸气等多种介质。涡街流量计基于卡门涡街原理进行测量<sup>[2]</sup>。流体通过挡体时,两侧会交替出现漩涡,而且两侧漩涡的旋转方向相反。每个漩涡将产生一个低压区,压力的变化通过传感器检测,并转换成脉冲信号。在流量计的允许量程范围内,漩涡规则生成。其特点是压力损失小、量程范围大、精度高。在测量工况体积流量时几乎不受流体密度、压力、温度、粘度等参数的影响。该流量计无可动机械零件。因此,可靠性高、维护量小、仪表参数能长期稳定。涡街流量计采用压电应力式传感器,可靠性高,可在-20℃~+250℃的工作温度范围内工作。既有模拟标准信号输出,也有数字脉冲信号输出,容易与计算机等数字系统配套使用,是一种比较先进、理想的流量仪表。

温压补偿型流量计带有温度、压力传感器,用于气体流量测量可直接测量出气体介质的温度和压力,从而显示气体的标况体积流量或者是质量流量。

Proline Prowirl73 涡街流量计内置流量计算机。基于主要测量变量,流量计算机可以计算其他过程变量,如气体的质量流量和校正体积流量。DSC 标准传感器为镍铁合金;电源为 DC24V 或 AC220V;防护等级为 IP67。其能够实现两行液晶显示,可以通过按键操作进行仪表组态设置,能够快速设定菜单。

气体质量流量计设置在各舱进口前水平管段上,以保证各个试验舱对进气流量的要求。

### 3.4 气流模拟系统的控制系统设计

采用分布式计算机控制结构,系统分为上位机和下位机两种。上位机使用工业控制计算机,实现人机对话、指令产生、数据处理(生成报表、生成曲线)、报表打印等功能;下位机使用可编程逻辑控制器(PLC),实现命令解释和执行、数据采集、闭环控制等功能。

该分布式计算机控制结构具有结构清晰紧凑、可靠性高、响应速度快、抗干扰能力强、硬件扩展性能好、便于维护等优点。设备中备有硬件检测插座,被测试的每一路输入/输出信号均在检测插座

中体现。软件预留了二次开发的接口,便于系统功能扩展。气流模拟系统的控制系统显示界面如图2所示。

上位机与下位机通过 RS422 数据通讯,发送测试指令,接收测试数据。下位机具有数据处理、用曲线和文件报表的方式显示测试结果、数据保存和数据打印等功能。

测控室内对气流模拟系统应具备本地控制和

远程控制。在本地(风机室)和远程(测控室)均能实现以下控制:接受并执行“准备”、“启动”、“运行”、“停车”、“急停”等控制指令。

为确保试验设施和试验人员的安全,气流模拟系统具有多重安保措施,主要是在本地(风机室)和远程(测控室)设置风机紧急关断开关。在试验过程中如有异常,应能自动报警,并及时采用手动、自动两种方式切断。

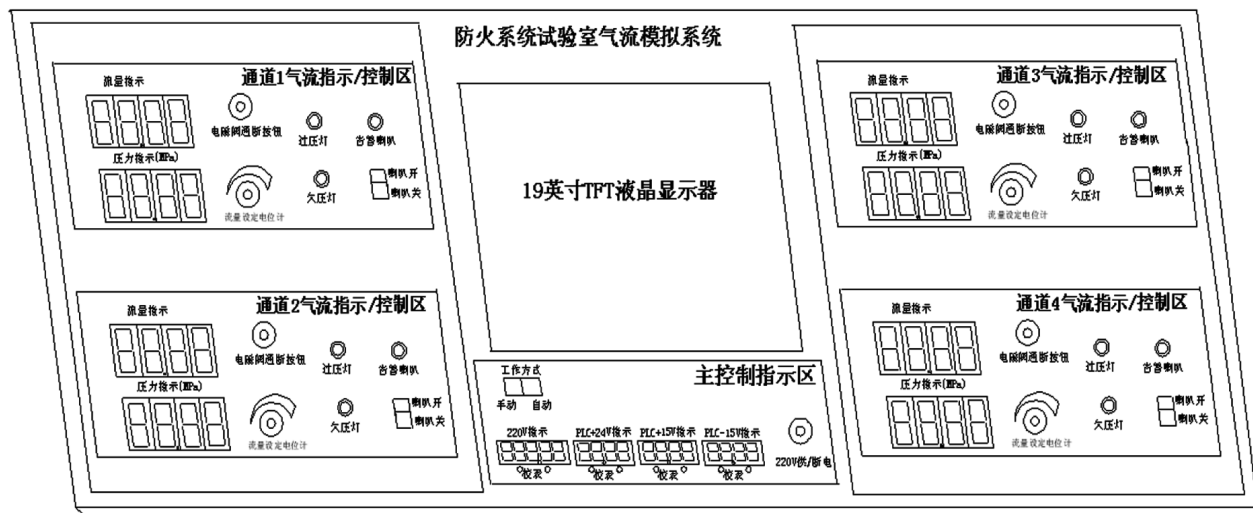


图2 气流模拟系统的控制系统显示界面

### 3.5 气流模拟系统到各试验舱的接口设计

#### 3.5.1 气流模拟系统到发动机舱的接口设计

与发动机风扇舱的接口为椎形变径接口,一端连接风扇舱送风管,采用减震挠性接头。另一端直接与发动机模拟舱(风扇舱舱口处)的法兰连接,中间设置橡胶圈减震及防止风量的损失。同时在椎形变径接口靠近中心轴下方开口,便于核心舱送风管通过。在风扇舱椎形变径接口内部再设置一只小的椎形变径接口,连接核心舱送风管,采用减震挠性接头。另一端直径可罩住核心舱的进气口,采用相应措施连接固定,中间采取减震措施并防止风量损失。

#### 3.5.2 气流模拟系统到APU舱的接口设计

APU舱进气口的设计,为更好地模拟APU舱气流的入口,拟在舱侧壁上开一个方形斜口,斜口完全模拟APU舱真实进风口位置及尺寸,与APU模拟舱接口处设置法兰,中间设置橡胶圈减震及密封防止风量损失,与进风管道连接采用天圆地方的方式,并配以相应的减震防漏措施,以保证APU舱气流模拟的真实可靠性。

#### 3.5.3 气流模拟系统到通用试验舱的接口设计

通用试验舱进气口的设计,与通用试验舱的接口需另行设计加工,为更好地模拟通用试验舱气流的入口,与通用试验舱接口处设置法兰,中间设置橡胶圈减震及密封防止风量损失,以保证通用试验舱气流模拟的真实可靠性。

## 4 结论

民用飞机防火系统气流模拟系统采用进气方式,采用4台风机系统分别对发动机风扇舱、核心舱、APU舱和通用试验舱提供规定流量的气源,满足民用飞机防火系统性能验证试验的需求。为民用飞机的研发试验、功能验证试验和故障排除试验提供技术保障。

### 参考文献:

- [1] 马海峰. 一种气流模拟系统在飞机地面试验中的设计与实现[J]. 技术与应用, 2011, 12: 21-23.
- [2] 何金田. 传感器原理与应用[M]. 河南: 河南科学技术出版社, 1996.