

# 基于微压差测量技术的灭火剂浓度机载测试系统设计

杨晓斌, 何晓文

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

**摘要:** 为准确评测机载防火系统的灭火功能与性能, 设计基于微压差测量技术的灭火剂浓度机载测试系统; 通过真空泵采集灭火剂与空气复合气体, 利用过滤器对其展开过滤后, 传输至微压差浓度传感模块, 经该模块的气体加热器加热该气体, 温度控制器控制所加热气体温度, 然后通过节流设备使其形成压差, 利用压差传感器变更压差信号为电信号, 再应用信号处理器展开信号处理, 计算出灭火剂浓度并得出与其浓度值呈正相关的电信号; 依据该信号, 利用流量恒定设备高精度控制灭火剂与空气复合气体流量, 合并该气体流量后将其输入稳压缓冲罐进行缓冲, 通过气体分析仪测量灭火剂与空气复合气体差异浓度和压差的关联, 输出灭火剂浓度数字信号, 并利用排气口将测试完的灭火剂空气复合气体排入真空泵, 通过真空泵将测试完的灭火剂空气复合气体排放至空气内; 试验表明: 该系统的测量范围大、单灭火剂浓度测量位置的测量最大误差值为 0.39%, 12 个通道所有浓度测量位置的最大平均误差值为 0.24%, 满足实际应用要求。

**关键词:** 微压差测量; 灭火剂浓度; 机载测试系统; 真空泵; 压差传感器; 气体分析仪

## Design of Airborne Test System for Extinguishing Agent Concentration Based on Micro-differential Pressure Measurement Technology

YANG Xiaobin, HE Xiaowen

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** In order to accurately evaluate the fire extinguishing function and performance of the airborne fire protection system, an airborne test system for the concentration of fire extinguishing agent based on the micro-pressure difference measurement technology is designed. The composite gas of fire extinguishing agent and air is collected by a vacuum pump, filtered by a filter, and then transmitted to the micro-pressure difference concentration sensing module. The gas is heated by the gas heater of the module, and the temperature controller controls the temperature of the heated gas, and then The throttling device is used to form a pressure difference, the pressure difference sensor is used to change the pressure difference signal into the electrical signal, and then the signal processor is used to carry out signal processing to calculate the concentration of the extinguishing agent and obtain the electrical signal that is positively correlated with its concentration value; According to the signal, the constant flow equipment is used to control the flow of fire extinguishing agent and air composite gas with high precision, combined with the gas flow and inputs it into a pressure stabilized buffer tank for buffering, and measures the correlation between the differential concentration and pressure difference between fire extinguishing agent and air composite gas through a gas analyzer, outputs the digital signal of fire extinguishing agent concentration, and the exhaust port is used to discharge the tested fire extinguishing agent-air composite gas into the vacuum pump, and the tested fire extinguishing agent-air composite gas is discharged into the air through the vacuum pump. The test results show that the measurement range of the system is large, the maximum measurement error value of the single fire extinguishing agent concentration measurement position is 0.39%, and the maximum average error value of all concentration measurement positions of 12 channels is 0.24%, which meets the practical application requirements.

**Keywords:** micro differential pressure measurement; fire extinguishing agent concentration; airborne test system; vacuum pump; differential pressure sensor; gas analyzer

## 0 引言

无论在空中抑或是地面, 飞机的直接威胁因素都是火。在飞机运行、维护等过程中, 失火事故的发生频率最大, 甚至大多数飞机在出现失火事故时均会产生爆炸的情况。根据相关统计, 国外某飞行机构的飞机坠毁事故发生后,

有五分之一的人数死亡原因是坠机导致的起火, 部分飞机碰撞后, 原本可生存的人也有近一半因为起火而死亡, 所以飞机防火问题的研究具有十分重大的意义<sup>[1-2]</sup>。在飞机的研制过程中, 放在第一位考虑的问题必须是其安全性能。

飞机的动力设备是其飞行的动力来源, 为实现飞机的

收稿日期: 2022-02-08; 修回日期: 2022-04-15。

作者简介: 杨晓斌 (1967-), 男, 陕西蒲城人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事机载传感器设计方向的研究。

引用格式: 杨晓斌, 何晓文. 基于微压差测量技术的灭火剂浓度机载测试系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(5): 75-80, 91.

安全飞行, 需要保证其动力设备的安全性。起火是飞机安全亟待解决的问题, 为解决这一危险因素, 需要在飞机的发动机舱内部署灭火系统<sup>[3]</sup>。依据飞机的飞行条件, 要求灭火系统射出灭火剂时的体积浓度最低不能低于 6%, 且需要维持最短 0.5 s 的时间。通过测量舱内的灭火剂体积浓度分布情况, 可有效验证出该灭火系统设计得是否符合实际应用要求。当前国内相关灭火剂浓度测试方面的装置大多来源于国外<sup>[4]</sup>, 相关研究情况受此限制发展较为弱势, 若不在测试进行之前检验系统, 很容易令系统设计出现问题, 以至于在后期还需返回至设计阶段重新展开设计, 导致项目研究进程受到限制。综上所述, 设计飞机发动机舱的灭火剂浓度测试系统势在必得。

为此, 文献 [5] 结合机器视觉设计一款风力灭火机性能检测系统, 其通过机器视觉直接实现灭火剂浓度的检测, 检测过程过于粗略, 不够精确, 所得数据支撑力较差; 文献 [6] 设计超细水雾灭火性能检测系统, 通过 cup burner 实现灭火剂性能的检测, 但是迄今针对该种类型灭火剂, 可使用范围较小, 适用性较差; 文献 [7] 设计典型机舱 1301 灭火性能检测系统, 通过仿真机载灭火系统的管网流速计算出灭火剂的体积浓度分布情况, 但是其无法满足飞机飞行试验条件。

本文设计基于微压差测量技术的灭火剂浓度机载测试系统, 通过微压差测量装置的压差传感器感应气体压降测量出灭火剂的体积浓度分布情况, 测量数据有效、精准。

## 1 灭火剂浓度机载测试系统

### 1.1 基于微压差测量技术的浓度测量理论

基于微压差测量技术的浓度测量理论结合了泊肃叶定律和临界流状态, 浓度测量流程见图 1。

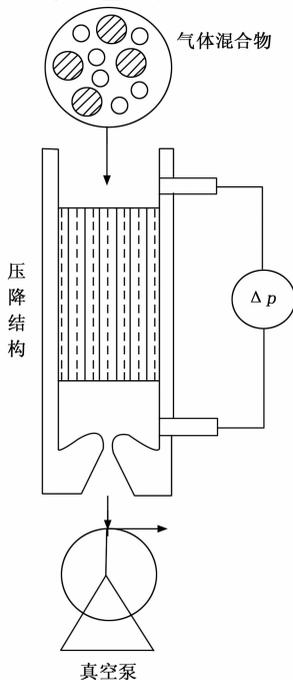


图 1 微压差浓度测量图

以微压差测量装置内部的真空泵为动力源抽取气体, 气体通过测量装置的压降结构时, 其两端连接的压差传感器会感应到气体压降, 差异气体在该位置所形成的压降也存在差异, 根据压降结构两端信号可得出气体的成分, 测量出其浓度情况<sup>[8]</sup>。

压降结构可完成所经气体的整流, 令气流流动减少, 气体经过压降结构时其运动形态为层流流动且气体无法压缩, 此时气体的体积流量与压降结构的长度、半径以及粘性系数相关, 则压降结构两端压差  $P_d$  可表示为:

$$P_d = C_\mu \frac{8L}{\pi n \left( \frac{d_{LFE}}{2} \right)^4} \mu Q_v \quad (1)$$

其中:  $C_\mu$ 、 $\pi$ 、 $\mu$ 、 $Q_v$  分别表示粘度修正系数、圆周率、气体粘度系数、气体体积流量。

压降结构输出的气体经过限流结构控制后流出压差传感器, 按照能量守恒定律, 经过压降结构与限流结构的气体质量流量相等, 气体体积流率 = 气体质量流量 / 气体密度。

限流结构中的气体存在一定的收缩扩张, 此时会引发阻塞, 在限流结构末端的压力小于设定阈值的情况下, 气体质量流量不受结构末端压力影响, 气体质量流量满足下列公式:

$$Q_m = A_{CFE} C_d C_R \sqrt{P_0 \rho_0} \quad (2)$$

其中:  $A_{CFE}$ 、 $C_d$ 、 $A_{CFE}$ 、 $P_0$  以及  $A_{CFE}$  分别流量结构的喉口面积、流量修正系数、压差修正系数、限流结构首端的滞止压强以及气体滞止密度。

得到压差结构的体积流量公式为:

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho_0} = A_{CFE} C_d C_R \sqrt{\frac{RT_0}{M}} \quad (3)$$

其中:  $R$ 、 $T_0$  分别表示气体常数与气体滞止温度。

设定传感器的几何尺寸保持不变, 此时气体的压差修正系数仅受气体浓度与温度性质的影响, 气体经过传感器时形成的压差可通过浓度与温度函数描述, 在温度不变的情况下, 可通过压差和浓度之间的关联性计算出气体浓度, 该公式表示为:

$$P_d = f(x) \leftrightarrow x = F(P_d) \quad (4)$$

其中:  $x$  表示浓度。

### 1.2 灭火剂浓度机载测试系统的总体结构

基于微压差测量技术的灭火剂浓度机载测试系统主要包括过滤器、微压差浓度传感模块、流量恒定设备、稳压缓冲罐、气体分析仪以及真空泵, 总体结构如图 2 所示。

系统通过真空泵采集灭火剂与空气的复合气体, 利用过滤器对其展开过滤后传输至微压差浓度传感模块, 经该模块的气体加热器加热该气体, 温度控制器控制所加热的气体温度, 然后通过节流设备使其形成压差, 利用压差传感器变更该压差信号为电信号, 再应用信号处理器展开信号处理, 计算出灭火剂浓度并得出与其浓度值呈正相关关系的电信号, 流量恒定设备依据信号处理器输出的电信号,

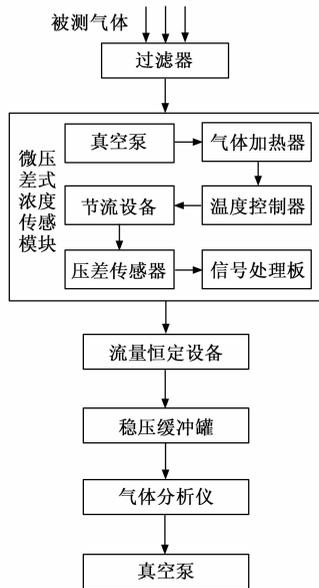


图 2 系统总体结构

高精度控制灭火剂与空气的复合气体流量, 完成该气体流量的合并后将其输入稳压缓冲罐进行缓冲, 通过气体分析仪测量灭火剂与空气复合气体差异浓度和压差的关联, 输出灭火剂浓度数字信号, 并利用排气口将测试完毕的灭火剂空气复合气体排入真空泵, 通过真空泵将测试完毕的灭火剂空气复合气体排放至空气内。

### 1.3 灭火剂浓度机载测试系统的核心装置

为保证灭火剂浓度机载测试系统的测试精准度, 需要应用适宜的核心装置, 令灭火剂机载浓度测试的结果贴合实际, 实现灭火剂系统性能的有效评估。

#### 1.3.1 真空泵

灭火剂机载浓度测试系统的真空泵选用来自美国的单级 H 类型滑阀式真空泵, 其是一个变容模式的气体传输泵, 抽速比为 4:1, 具有较好的耐用性能。主要结构为主泵串联采集芯片, 滑阀泵通常被部署在机架上方, 辅助有管道、阀门、冷却水管等装置, 自动开关与过载保护应用真空继电器完成, 整体结构密切, 操作便捷。

因滑阀泵停止工作时会产生返油现象, 为避免这一情况的发生, 与滑阀泵电动机联动的是灭火剂进口管道上方部署的电磁充气阀, 它可以在滑阀泵停止工作的情况下, 对泵口施加一个充气的作用, 令滑阀泵内的真空油回返至油箱, 避免系统被真空油污染<sup>[9-11]</sup>。

采集芯片型号为 cDAQ-9133, 共有 10 个插槽, 融合了 1.53 GHz 双核 Intel Atom 处理元件, 共有 20 GB 的存储空间以及 3 GB DDR3 的内存, 应用的是 windows 系统。

滑阀泵节能效果明显, 真空效果好, 具有较大的高真空区间抽气量, 应用领域广泛, 例如真空镀膜、冶炼、滤油以及航空模拟测试等。

#### 1.3.2 流量恒定设备

流量恒定设备是具有特殊作用的气体流量控制阀, 其

原理是通过针状件将气体流量恒稳控制在规定值上。针状件的形状为圆柱形, 于输入位置侧面部署有柱状通道且与嵌入的轴杆相合, 针状件按照相互对立的形式部署于设备内部孔板, 其以弹簧为支撑, 以灭火剂空气复合气体的压力为动力展开运动维持其流量稳定, 实现异常过流等问题的防范。

按照流体力学规律可知, 通过流体雷诺数可得出其运动情况, 在雷诺数低于 2 300 的情况下, 流体的运动情况为层流, 此时其在节流设备处形成的压差与流量的关系为线性关系<sup>[12-13]</sup>。

为简化灭火剂浓度的测试难度, 需要在选择系统装置时控制灭火剂空气复合气体流量的运动状态为层流, 所以需要部署流量恒定设备, 稳定维持气体流速始终小于 2 300。

流量恒定设备主要由流量计与控制阀构成, 流量计是基于气体加热器形成的温差和气体流量构建比例关系, 计算出灭火剂空气复合气体的流量, 其具体公式表示为:

$$q_m = \kappa c_p A \Delta T \quad (5)$$

其中:  $\kappa$ 、 $c_p$ 、 $A$  以及  $\Delta T$  分别表示常数、定压比热容、热传导系数以及温度变化值。流量恒定设备按照灭火剂空气复合气体的实际流量调节控制阀, 令气体流量维持在设定阈值之内。

系统流量恒定设备应用的动态流量平衡阀是我国发明专利的电子式动态流量平衡阀, 其是以机械自力式原理为基础设计, 具有节能降耗、高稳定性、低噪声等优点。

流量恒定设备调节与灭火剂浓度测试的精准度之间关系密切, 其能够实现灭火剂空气复合气体的流量高精度、稳定控制。灭火剂空气复合气体经过流量恒定设备时, 其压差与粘度之间具有的关系通过公式可表示为:

$$\Delta p = \frac{\kappa l V_{\max}}{2d_i^2} \mu \quad (6)$$

其中:  $l$ 、 $V_{\max}$ 、 $d_i$  以及  $\mu$  分别表示层流通道长度、最大平均流速、层流通道的当量直径以及灭火剂空气复合气体动力粘度。

通过灭火剂空气复合气体分子的热运动获取气体粘度, 气体粘度和温度的关系表示为:

$$\mu = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1.5} \left(\frac{T_0 + \beta}{T + \beta}\right) \mu_0 \quad (7)$$

其中:  $T$ 、 $T_0$ 、 $\beta$  以及  $\mu_0$  分别表示气体的绝对温度、基准绝对温度、关于气体类型的常数以及  $T_0$  温度下的气体动力粘度。

结合公式 (6) 与公式 (7) 可得:

$$\Delta p = \frac{Al\mu_0 V_{\max}}{2d_i^2} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1.5} \left(\frac{T_0 + \beta}{T + \beta}\right) \quad (8)$$

综上所述, 在灭火剂空气复合气体温度与速度保持不变的情况下, 气体压差与粘度呈正相关关系。

#### 1.3.3 压差传感器

压差传感器采用美国出口的 PX409 型高精度压差传感器, 压差量程 0~10 inH<sub>2</sub>O, 输出信号区间为 [4, 20] mA,

综合精度高达 0.08%，响应时间低于 1 毫秒，温度补偿区间为 [30, 85] °C。

### 1.3.4 数字信号处理器

数字信号处理器 TMS320DM8148 型号 DSP 芯片来自 AMD 公司，其具有丰富的工业接口，在恶劣的环境下应用时信号维持完整、稳定<sup>[14]</sup>。

数字信号处理器 DSP 芯片内部会聚 3 个串口和 SPI 接口，其中开关量 8 路输入、8 路输出与其串口相连，SPI 接口与 16 位 ADC 外接。RS232 串口电路将整个数字信号处理器连接起来，令数据的上传更加便捷<sup>[15]</sup>。

### 1.4 灭火剂浓度测量流程

基于微压差测量技术的灭火剂浓度测量过程主要分为标定与测量两方面，需要先利用浓度已知的标准气体标定装置，然后基于标定结果测量浓度未知的灭火剂空气复合气体<sup>[16-18]</sup>。

标定是针对首次应用或长期未应用的灭火剂浓度测量装置展开的，其是以确保装置测量精度为目标，以标准气体为测量标准，实现实际测量误差的减小<sup>[19-21]</sup>。

标定过程具体描述为：将一些差异浓度的标准气体输送至标定设备内，预热微压差浓度测量装置至设定温度后，运行真空泵。此时因为气体运动，存在一定的热量损失，装置温度状态不稳定，存在一定波动，需要等待装置运行至预热段和恒温段的温度全部进入平衡稳定状态后，再展开标定。标定是利用采样管将微压差浓度测量装置与标定设备相连，通过测量差异浓度的标准气体得出浓度已知情况下的气体压差数据，获取校准曲线。

测量是利用标定时所获校准曲线检测浓度未知的气体。先利用标定数据构建浓度校准曲线并校准装置，采用校准曲线能够得出与差异压差相应的浓度值，完成未知浓度的气体检测。测量时需要在检测处安装装置的采样管，然后预热设备至其进入恒温状态，通过检测浓度未知气体并利用校准曲线得出检测处的气体浓度变化。

## 2 试验分析

为验证本文设计灭火剂浓度机载测试系统的功能和性能，探查该系统的测量精度，实验以标准气体为实现对象，在实验室内对本文系统展开了灭火剂浓度测量。

将本文系统部署在飞机上，以通道为 8 吋为例展开地面与飞行试验，结果如图 3 所示。

通过图 3 可以看出，本文系统在飞行试验中的灭火剂体积浓度比地面试验中的灭火剂体积浓度有所降低，并且飞行试验的维持时长较短，灭火剂体积浓度下降较快，原因是飞行试验与地面试验时，飞机舱内的空气流场存在差异引起的，飞行试验时飞机舱内的空气流量大于地面试验，其灭火剂浓度的分布受到影响。本文系统的测量数据有效且精准程度高，可以从侧面验证出本文系统具有良好的重复与稳定功能性。

对比本文系统与文献 [5]（风力灭火机性能检测系

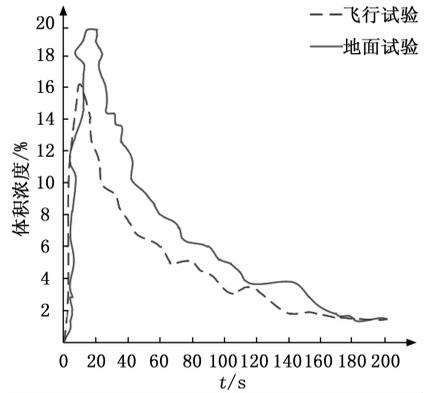


图 3 本文系统部署在飞机上的试验结果

统)、文献 [6] (cup burner 超细水雾灭火系统) 以及文献 [7] (典型机舱 1 301 灭火系统) 系统的主要技术指标, 结果如表 1 所示。

表 1 不同系统的主要技术指标对比

灭火剂浓度机载测试系统	文献[5]系统	文献[6]系统	文献[7]系统	本文系统
测量范围	1%~90%	1%~80%	1%~30%	0~100%
测量精度	±0.6%	±0.9%	±0.65%	0≤浓度≤20%时, ±0.4%; 20%≤浓度≤100%时, ±1%
采样率	—	—	100 次/s	250 次/s
应用环境	地面与空中	实验室	实验室	试验温度: 0~350 °C; 入口压力: 50~100 kPa

通过表 1 可以看出, 本文系统的测量范围最大, 最低可测量浓度为 0%, 最高为 100%, 测量精度在 0≤浓度≤20%时为 ±0.5%, 在 20%≤浓度≤100%时为 ±1%, 采样率最高达到 250 次/s, 应用环境广泛, 可应用在温度区间为 0~350 °C、入口压力范围为 50~100 kPa 的情况下。

设置灭火剂填充量、填充压力等条件都相同的情况下, 若测试位置的灭火剂体积浓度大于等于 6%且保持的时长大于等于 0.5 s, 则试验合格。测试温度分别为 10 °C、-50 °C 情况下的灭火剂浓度分布曲线, 结果如图 4 所示。

通过图 4 可以看出, 两种实验均为合格试验, 不同温度下的灭火剂体积浓度分布存在差异。其中, 常温情况下的灭火剂体积浓度比低温情况下的灭火剂体积浓度高, 维持时间比低温情况下的维持时间长, 原因是灭火剂受温度影响其气压存在差异, 常温情况下的气压较大、灭火剂喷射的时长较短。对上述结果进行深入研究得到, 在空中较低位置快速飞行或者在灭火剂容器温度低于飞机温度下限的情况下, 灭火系统的喷射效果最差, 该条件可当作临界气流需要应用于审查灭火系统是否合格。除此之外, 灭火剂体积浓度分布情况还受冷气流、机舱布局、障碍物以及

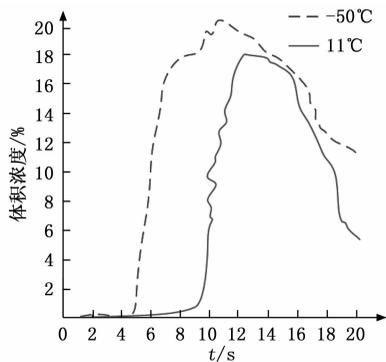


图 4 不同温度下的灭火剂浓度分布曲线

外部环境等条件影响, 在试验过程中需要对其进行综合考虑。

通过检测本文系统的响应时间与测量误差可判断出系统性能是否满足实际应用需求, 设定响应时间阈值为 50 ms, 测量误差阈值为 0.5%, 本文系统的误差测量应用的是系统标定方法, 其是在差异浓度位置匹配灭火剂标准样气, 再利用专业标定装置标定系统的各个通道, 最后对比系统采集的灭火剂浓度与标准灭火剂浓度值。对本文系统的响应时间与测量误差展开测试, 结果如表 2~3 所示。

表 2 通道 8 的响应时间

前端压力/kPa	后端测量单元 压力/kPa	上升段时 间差/ms	下降段时 间差/ms
98.4	95.4	-28	+6
99.2	96.8	-26	-11
100.0	95.9	-27	-11
101.7	96.9	-36	-2
102.8	97.9	-37	+5
103.9	98.9	-39	+2

表 3 系统标定结果

通道	误差/%			最大误 差/%	平均误 差/%	均方误 差/%	标定 结果
	0%	6%	12%				
1	0.03	0.10	0.07	0.19	0.04	0.05	合格
2	0.09	0.03	0.19	0.22	0.06	0.07	合格
3	0.23	0.06	0.24	0.21	0.18	0.05	合格
4	0.27	0.06	0.30	0.39	0.24	0.12	合格
5	0.26	0.03	0.24	0.22	0.14	0.06	合格
6	0.23	0.03	0.04	0.37	0.16	0.14	合格
7	0.16	0.03	0.15	0.17	0.10	0.04	合格
8	0.27	0.10	0.19	0.29	0.19	0.06	合格
9	0.16	0.03	0.13	0.35	0.14	0.10	合格
10	0.18	0.11	0.14	0.32	0.17	0.09	合格
11	0.23	0.04	0.17	0.24	0.16	0.06	合格
12	0.03	0.11	0.26	0.20	0.06	0.06	合格

通过表 2 可以看出, 系统的后端测量单元压力跟随前端压力的变化而变化, 上升段时间差与下降段时间差均低于阈

值 50 ms, 说明本文系统的响应时间满足实际应用要求。

通过表 3 可以看出, 单灭火剂浓度测量位置的测量最大误差值为 0.39%, 12 个通道所有浓度测量位置的最大平均误差值为 0.24%、最大均方误差值为 0.14%, 均低于阈值 0.5%, 说明本文系统的测量误差满足实际应用要求。测量误差实验结果可以准确显示灭火剂在不同条件下浓度分布的变化。数据连续性好, 测试结果更接近实际。其中, 通道位置与灭火剂的距离可通过浓度值的高低准确确定。通道浓度值低表示通道位于灭火剂难以扩散的位置, 通道浓度值高表示通道位于灭火剂容易到达的位置。

测试本文系统的压差值跟随灭火剂体积浓度发生的变化, 其与理想值的对比结果如图 5 所示。

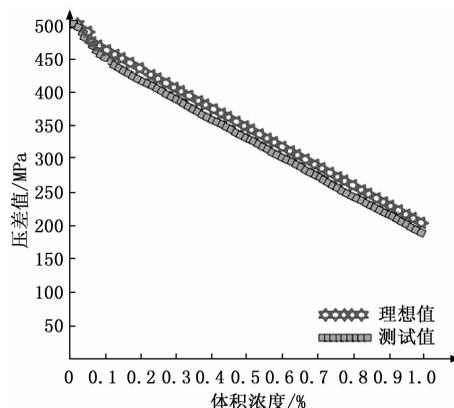
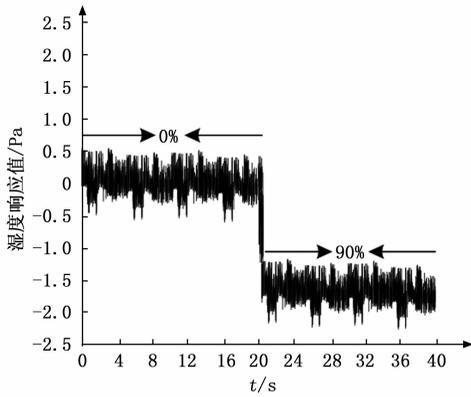


图 5 系统测试结果

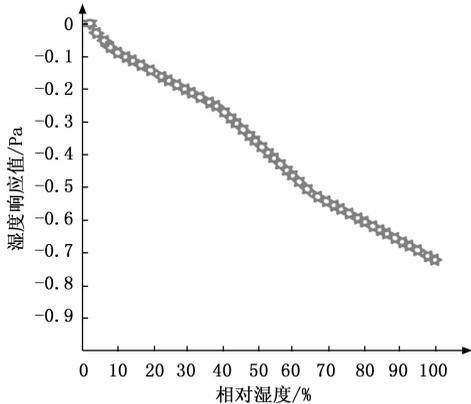
分析图 5 可知, 跟随灭火剂体积浓度的增长, 本文系统测试的压差值呈缓慢下降趋势, 高度吻合理想值, 测试值略低于理想值, 可通过修正灭火剂与空气的复合气体进行调整。对于灭火剂与空气的复合气体而言, 通过修正系数调整混合气粘度方程中的粘度, 令其跟随浓度变化可以提升理论值与实验值之间的一致性。

设置试验温度为 25 °C, 测试湿度分别为 0%、30%、60%以及 90%时, 灭火剂与空气的复合气体中灭火剂浓度为 0%与 15%时的系统响应值, 试验结果如图 6 所示。

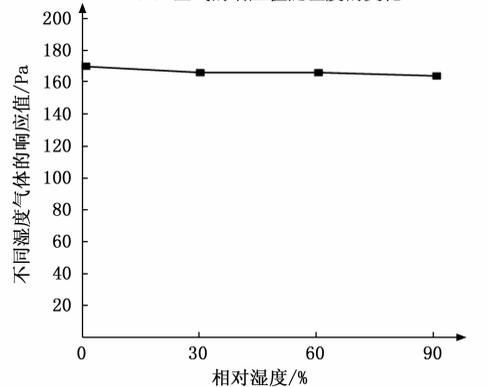
已知系统响应值的运算参照干空气的压差值, 通过图 6 可以看出, 图 6 (a) 中描述了本文系统对空气湿度为 90% 时的阶跃响应变化, 在空气湿度由 0% 转换为 90% 时, 本文系统的响应值下降至负值; 图 6 (b) 中表示了差异湿度下空气的响应变化情况, 响应值跟随空气湿度的上升而下降; 图 6 (c) 中呈现了 15% 浓度的灭火剂与空气复合气体响应值跟随湿度增加发生的变化, 其变化情况大致与空气的变化情况相似, 响应值跟随湿度的上升而下降, 由此可得湿度为 30%、60%、90% 的灭火剂与空气复合气体压差值大于湿度为 0% 的灭火剂与空气复合气体压差值, 响应值同理, 综上所述湿度影响下的参数可提升本文系统形成的压差, 实现系统响应值的下降; 图 6 (d) 中, 压差受湿度的影响因为相减而下降, 湿度上升会提升灭火剂与空气复合气体通过后的压差值。



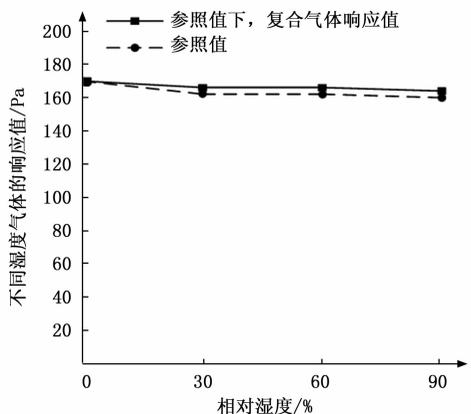
(a) 相对湿度从0%~90%的阶跃变化



(b) 空气的响应值随湿度的变化



(c) 15%灭火剂与空气的复合气体响应值随湿度的变化



(d) 参照同一湿度空气响应值, 15%灭火剂与空气的复合气体响应值随湿度的变化

综上所述,湿度上升会加强灭火剂与空气复合气体通过系统后的压差,但是影响较小,参照相同湿度空气响应值,能够令湿度对本文系统的性能影响下降,所以在多数环境较为正常的情况下,湿度对系统性能的影响可忽略不计。

### 3 结束语

本文设计了一个基于微压差测量技术的灭火剂浓度机载测试系统,其具有较快的响应速度以及较高的测量精度,能够令机载灭火系统的模拟试验条件得到满足,较好地呈现出舱内所有测量位置的灭火剂浓度跟随各项指标发生的变化,系统操作便捷,数据可用性较好,可适用范围广。试验结果表明,舱内的环境温度大小会直接影响灭火剂浓度分布。受舱内环境温度的影响,灭火剂释放时其载体容器中的液态汽化,所以舱内环境温度对灭火剂的应用呈正向作用,较大的舱内环境温度可有效推动灭火剂汽化与扩散。除此之外,还需要对灭火剂载体容器的压力、通风流量、管道喷嘴等影响因素进行综合考虑。通过获取灭火剂释放时的温度,可有效判断出测量采样管的部署位置,给予后续同类研究技术支持。当前国内在测量灭火剂浓度方面还没有专用的装置,为了令未来国内构建的各种电子机械能够配置有安全可靠的灭火系统,需要对专用灭火剂浓度记录仪展开深入研究,设置灭火剂浓度评价准则,展开多次机载防火系统灭火剂浓度试验。

### 参考文献:

[1] 梁苗,方双喜,刘毅,等.基于压差的二氧化碳垂直采样分析技术[J].中国环境科学,2019,39(10):4117-4124.

[2] 严晓龙,张建国.气体灭火系统设计验证模拟实验研究[J].消防科学与技术,2020,39(3):368-370.

[3] 刘泉,董增文,郑康强.基于改进A\*算法的多灭火小车协同路径规划[J].计算机仿真,2020,37(12):276-282.

[4] 李瞳.基于SCR反应器NO<sub>x</sub>均匀度测试的脱硝系统超低排放改造[J].环境工程学报,2018,12(4):1112-1119.

[5] 徐军,张先锋,杨帆,等.基于机器视觉的风力灭火机性能检测系统[J].控制工程,2021,27(2):360-366.

[6] 梁天水,王宗莹,高坤,等.基于cup burner的含铁基添加剂超细水雾灭火有效性分析[J].化工学报,2019,70(3):1236-1242.

[7] 严震海,胡洋洋,武红梅,等.典型机舱1301灭火系统管网流速及浓度分布仿真计算[J].船海工程,2018,46(1):93-97,101.

[8] 曹荣光,潘云钢,徐稳龙,等.厦门新机场分布式区域供冷输配二级泵系统定压差方案比选[J].暖通空调,2021,51(1):67-77.

[9] 裘舒年,李嘉劼,李铮伟,等.基于自校正水泵模型的空调系统冷水泵压差前馈-反馈控制方法[J].暖通空调,2019,49(11):50-55.

[10] 孙于萍,宋国盛,胡文杰,等.基于风机效能的防烟系统泄压阀式压力控制方法及试验研究[J].建筑科学,2019,35(10):130-135.

图 6 湿度对本文系统性能的影响

(下转第 91 页)

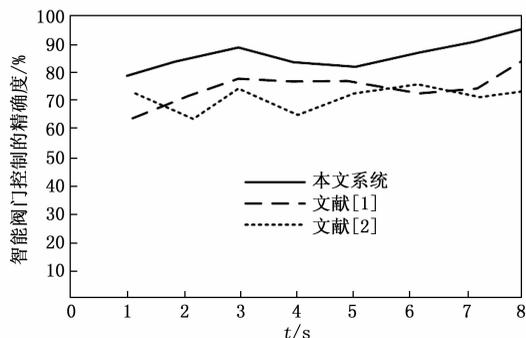


图 5 实验结果对比图

精度实验测试时, 智能阀门控制的精确度均在 60% 以上, 并且控制精确度最高可达 82%; 文献 [2] 在智能阀门控制精度实验测试时, 智能阀门控制的精确度均在 60% 以上, 并且控制精确度最高可达 79%; 由此可见, 本文研究的系统在对智能阀门控制精确度上有一定的优势。

### 5 结束语

为了满足工业生产中智能阀门控制精度、控制速度和控制精确度极高的标准, 本文进行了对智能阀门设计与控制方法的研究, 设计了智能阀门硬件系统, 包括电气转换模块、微处理器、信号处理模块和阀位反馈模块 4 个部分, 采用以主控制器 LPC2290 为核心, 以及 A/D 转换器和 CAN 总线进行通信, 实现了智能阀门的控制功能, 为了提高智能阀门控制的精确度, 本文利用 PID 控制器和 FUZZY-PI 复合算法, 进行对智能阀门的控制设计, 实现智能阀门的高精度控制, 最后设置了智能阀门定位器系统, 实现智能阀门的高精度定位与自我诊断的功能。

本文研究的系统还存在着一定的缺陷, 在调节阀填料与阀杆之间存在动静摩擦力, 导致阀门运动时产生粘滞现象, 因此, 还需更深一步的研究, 解决该问题。

### 参考文献:

[1] 向海堂, 权亚强, 梁永增. 智能燃气表主控电路板仿真检测技术 [J]. 煤气与热力, 2019, 39 (1): 28-32.

[11] 李 姝, 陈培瑶, 王 帅. 干粉灭火剂吸湿性能的影响因素及检测方法分析 [J]. 消防科学与技术, 2018, 37(2): 232-234, 254.

[12] 张宪忠, 胡 成, 傅学成, 等. 泡沫灭火剂的 COD 和 TOC 浓度规律及相关性研究 [J]. 消防科学与技术, 2018, 37(4): 520-523.

[13] 黎 可, 王青松, 孙金华. 基于火探管式的锂离子电池灭火技术研究 [J]. 火灾科学, 2018, 27(2): 124-132.

[14] 张贤凯, 宋小林, 王 帅, 等. 锂电池化成成分容生产工序自动灭火技术研究应用 [J]. 工业安全与环保, 2020, 46(5): 10-15.

[15] 赖余斌, 洪巧章. 换流变压器消防设计研究 [J]. 消防科学与技术, 2021, 40(9): 1381-1383.

[16] 刘岳鹏, 周 磊, 马 鑫. 基于 LabVIEW 的 mN 级微推力测

[2] 刘海明, 孟佳阳, 翟林鹏. 基于一体化智能阀门控制器的农业节水管道灌溉系统研究 [J]. 江苏水利, 2019, 270 (9): 64-67.

[3] 廖建民. 智能自动化设备在阀门行业应用的探讨 [J]. 新型工业化, 2020, 10 (1): 114-117.

[4] 刘 晔, 王笑波, 王 昕. 一类基于 Expert-PID 的智能阀门定位器控制方法 [J]. 控制工程, 2019, 26 (1): 87-91.

[5] 李 俊, 王 辉, 郑书剑, 等. 智能电气阀门系统先进 PID 控制器 [J]. 电工技术, 2020, 532 (22): 21-23.

[6] XU H, ZHANG L. A software and hardware design scheme of intelligent valve positioner [J]. E3S Web of Conferences, 2021, 268 (10): 01067.

[7] 思皓天, 张 宏. 智能阀门定位器调试与故障维护 [J]. 信息记录材料, 2019, 20 (5): 215-216.

[8] 王志刚, 俞利明, 胡孟杰, 等. 智能电气阀门定位器的研制 [J]. 化工自动化及仪表, 2020, 35(2): 29-32.

[9] 王明武, 王 楠. 基于单片机的高压调节阀智能控制器设计 [J]. 现代电子技术, 2020, 43 (11): 148-151, 157.

[10] 蹇开任. 浅谈电磁感应技术在隔爆型智能阀门定位器中的应用 [J]. 仪器仪表用户, 2019, 26 (8): 57-62.

[11] XIONG S, WILFONG G, LUMKES J. Development of a novel high-speed actuation mechanism using a magneto-rheological fluid clutch and its application to a fluid control valve [J]. Journal of intelligent material systems and structures, 2019, 30 (16): 2502-2516.

[12] 朱启法. 水处理系统反冲洗智能控制技术的研究 [J]. 化学工程与装备, 2019 (2): 194-196, 199.

[13] 王建军, 马世辉, 白云飞. 蒸汽冷凝水智能控制与应用 [J]. 中国造纸, 2019, 38 (A01): 52-64.

[14] 闫宏亮, 思皓天, 张 宏. 智能阀门定位器的控制设计 [J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2020, 18 (5): 39-48.

[15] 黄山珊, 常明明, 马志国, 等. 电动阀门在控制矿浆中的改造及应用 [J]. 北方钒钛, 2020, 137 (2): 59-60.

[16] 曹晴云, 屠怡范. 从专利视角看智能阀门定位器的发展现状和创新趋势 [J]. 液压气动与密封, 2021, 41 (9): 157-163.

[17] 韩 剑. 常见智能阀门定位器的基本原理及对比分析 (上) [J]. 化工自动化及仪表, 2019, 46 (10): 9-13.

[17] 吕美茜, 赵昊罡, 任 伟, 等. 飞行试验的微压差式灭火剂浓度机载测试系统 [J]. 测控技术, 2020, 39 (11): 23-28, 44.

[18] 郑 宇, 方 岚, 李苏苏, 等. 微处理器下的数字集成电路测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (3): 27-31.

[19] 谢 君, 李德才, 朱锐棋. 霍尔式磁性液体微压差传感器的设计及特性研究 [J]. 仪器仪表学报, 2020, 41 (6): 27-34.

[20] 唐 诗, 郑 腾, 孔德仁, 等. 阵列式破片飞散特性测试系统设计 [J]. 测试技术学报, 2020, 34 (6): 485-490, 498.

[21] 喻名成, 汤华清, 陈天豪, 等. 高分子水凝胶灭火剂灭火作战性能测试 [J]. 消防科学与技术, 2020, 39 (1): 101-103.