

# 基于红外热成像技术的气体识别系统

刘嘉轩, 王枫乔, 石家玮

(长春理工大学, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 提出了利用气体红外辐射光谱特征进行气体识别检测的方法, 针对气体的特定红外吸收峰进行识别与判断, 结合特制窄带滤光片以及非制冷型焦平面探测器, 对得到的图像信号进行转换, 生成相应的红外图像, 完成气体的识别与检测。此种检测方法尤其对具有多个红外吸收峰的气体更有效。

**关键词:** 气体识别与检测; 红外辐射图像; 窄带滤光片; 红外光谱

## License plate character recognition based on the combined features

Liu Jiaxuan Wang Fengqiao Shi Jiawei

(Changchun University of Science and Technology, ChangChun 130022, China)

**Abstract:** Presents a method that using the spectral characteristics of gas infrared radiation image to identify the gas detection, in view of the specific gas infrared absorption peak identification and judgment, combining with the special narrow-band filter and the refrigeration taxi plane detector, to get used to convert image signal, generating the corresponding infrared image, completeing identification and detection of gases. This method is especially effective for gases with multiple infrared absorption peaks.

**Keywords:** Gas recognition and detection; infrared radiation image; narrow band filter; infrared image; infrared spectroscopy

## 1 传感器设计背景和应用价值

### 1.1 设计背景

大部分气体无色无味, 飘散在空气中。但是一些具有危险性的气体可能会存在于一些特定场所, 例如矿物燃料开采基地, 化工厂等。一些气态有机物可能会发生爆炸, 严重危害人民生命财产安全。但是我国相应的各大安全系统装备能力只是先进国家的 1/3 到 1/2, 主要技术装备产品性能指标落后 10 年左右, 因此非常需要推出此类设备, 弥补国家相应方向的空白。

## 1.2 应用价值

弥补国内此研究方向空白，提升我国工业安全水平，保障人民生命财产安全。

## 2 创新点与优势

(1) 使用气体红外光谱进行识别，待红外图像生成后，进行气体种类的确定。

(2) 使用窄带滤光片对气体红外吸收峰进行“筛选”，通过拆卸安装多种窄带滤光片，在不同的场景下可以实现对目标气体的识别与检测。

(3) 使用非制冷型焦平面探测器进行红外图像的处理，实现被动式检测，精度更高。

(4) 仪器体积小，便携。

## 3 实现方案简介

### 3.1 设计原理

气体的场景红外辐射经过双波段红外光学成像系统聚焦，并经过窄带滤波系统的滤波处理，成像到信号处理与输出系统的非制冷红外焦平面探测器上。非制冷红外焦平面探测器接收场景红外辐射，利用热电效应对转换得到的模拟电信号进行光电转换和量化采样，完成信号的模/数转换，生成 14bits 的数字红外图像。数字红外图像经过气体图像的增强处理，在提高图像整体质量的同时，增强相应气体的云团信息，并将处理结果输出到显示器。完成气体的检测。

### 3.2 设计方法

#### (1) 光学成像系统总体设计

常用的红外光学成像系统的结构有反射式和透射式。反射式结构具有不引入任何色差、多波段系统可共用口径、中心存在遮拦和相对孔径损失较大等特点，透射式结构视场大，无遮拦损失，像差易校正，但其口径大、成本高。而且本设计采用非制冷焦平面探测器进行处理，其灵敏度比制冷型的低，需要光学成像系统具有较大的相对孔径。综合考虑，采用了透射式结构。但红外光学材料种类少，折射率非线性现象明显，对于工作波段覆盖中波和长波的双波段成像系统色差矫正困难，因此结合光学系统设计参数要求，采用 4 片式透镜结构，并引入三个非球面表面，实现系统被动式光学无热化设计，并对镜片加工误差及装调误差进行分析，设计结果满足成像系统指标要求。

以甲烷气体检测识别为例，为了后续在检测基础上进行其它气体的探测与识别，考虑到该系统的兼容性，将红外光学成像系统拓宽到 3~5 $\mu\text{m}$  和 7~12 $\mu\text{m}$  波段，使所加工的双波段红外光学镜头具有很强的可移植性。

## (2) 窄带滤波系统总体设计

以甲烷气体检测识别为例，本设计利用甲烷气体辐射光谱的特征峰进行检测和识别，需要应用光学薄膜技术来提高系统探测灵敏度。光学薄膜主要是基于光的干涉效应，在保持光学元件原来体积和重量不变的情况下改变其透过率、反射率、位相等性质，从而实现光谱能量的重新分配。甲烷气体探测与识别系统的红外滤波器位于红外焦平面探测器之前，对目标信号进行处理，提高气体探测系统灵敏度。窄带滤光片是红外滤波器中的核心光学元件，其光谱性能要求其具备中心波长定位精确、峰值透过率高和背景杂散光抑制效果好等特点。从透明光谱范围、折射率、机械性能等方面综合考虑，选择单晶硅作为  $3.31\mu\text{m}$  窄带滤光片的基底，选择锗材料作为  $7.669\mu\text{m}$  窄带滤光片的基底。

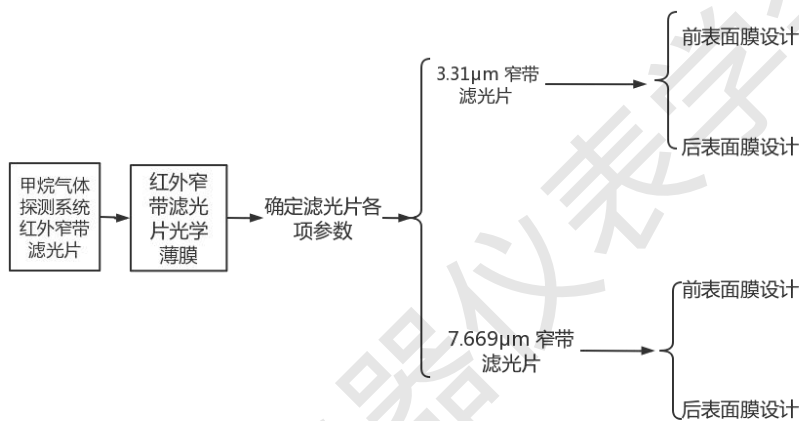


图 1 窄带滤光片设计

## (3) 信号处理与输出系统总体设计

探测所得的红外传感图像为黑白图像，一幅黑白静止平面图像（探测所得）中各点的灰度值可用其位置坐标  $(x, y)$  的函数  $f(x, y)$  来描述。显然  $f(x, y)$  是二维连续函数。有无穷多个取值。这种用连续函数表示的图像无法用计算机进行处理，也无法在各种数字系统中传输或存储。必须将代表图像连续（模拟）信号转变为离散（数字）信号。这样的变换过程，称为图像数字化。将采集的图像转化为一个含有若干方格的矩形，其中假设每一个小方格就代表一个像素，而且电子束正好和这些小方格重合，那么扫描这些像素所得电信号的频率就是图像信号的最高频率（即上限频率），可以获得气体浓度。

要实现气体检测，首先需要主控芯片，以对各个部分进行控制和计算。本设计使用 STM32F407VET6 单片机的串口通信功能接收上述图像处理系统所反馈的 16 进制数据。为实现数据结果的展示，简化设计便于操作，将每一帧图像经处理得来的浓度值计算并实时显示在 LCD 屏上。同时设置缓存来储存浓度数值并与实现设置的预警浓度进行比较和判断。

若超过预警值则拉高峰鸣器所在 IO 口的电平以进行警报，若暂未超过该数值则执行下一步操作。

同时，使用 L298N 电机驱动模块控制驱动红外滤光盘转动的编码电机。当图像识别模块未检测出甲烷气体时，将会向单片机串口发送字符信号，单片机接到此字符信号之后启动编码电机使之转动一定角度，切换至滤光盘上的另一窄带滤光片。为使电机精准转动从而让光轴穿过滤光片的中心位置，在软件程序设计中采用 PID 闭环控制算法编程保证稳定。STM32F407VET6 与外设的连接以及交互方式如下图所示。

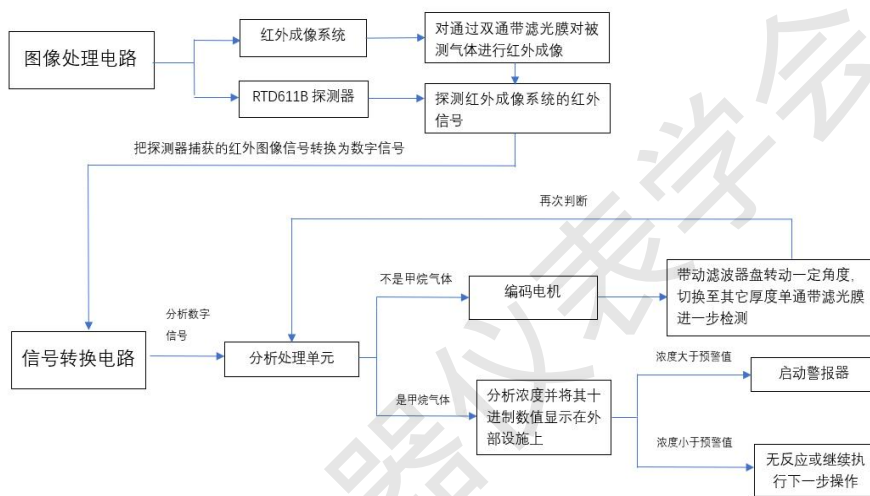


图 2 信号处理流程图

### 3.4 实验验证过程

气体的检测与识别（以甲烷为例）

在完成双波段红外光学成像系统、窄带滤波系统和信号处理与输出系统等子系统的设计和加工之后，按照总体设计要求，完成红外热成像甲烷气体探测与识别样机系统的集成。系统的成像质量和气体的探测识别能力需要根据系统的测试结果来进行评判，通过对甲烷气体探测与识别系统进行实际测试，根据对实测数据的分析，同时结合数字图像处理及成像技术进行改进，获得了较为理想的气体信息图像和数据。该系统的探测与识别能力检测过程是在具有检测资质的专业气体计量检测标定单位——青岛中国石化安全工程研究院进行的，在配气柜内进行气体浓度定量释放。

乙烯气体的检测与识别采用多组分动态配气系统得到浓度为 2% 的乙烯气体。气体释放过程中，将窄带滤波系统中的空窗、中红外 3.31 $\mu\text{m}$  窄带滤光片和远红外 7.669 $\mu\text{m}$  窄带滤光片依次切入到红外焦平面前，乙烯气体具有明显吸收现象的波段为 3.1~3.5 $\mu\text{m}$  和

10~11 $\mu\text{m}$ ，当切入焦平面探测器前的是空窗时，气体可以成像，但系统信噪比低，成像信息不明显；切入 3.31 $\mu\text{m}$  窄带滤光片时，系统响应波段为 3.31 $\pm$ 0.025 $\mu\text{m}$ ，乙烯气体的红外辐射与吸收波段和系统响应波段相匹配，且对背景杂散光进行了滤光处理，故而可以看到气体信息；切入 7.669 $\mu\text{m}$  窄带滤光片时，系统响应波段为 7.669 $\pm$ 0.030 $\mu\text{m}$ ，此时乙烯气体的红外辐射与吸收波段和系统响应波段不匹配，无法成像。

把乙烯气体换成六氟化硫进行实验，六氟化硫气体具有明显吸收现象的波段为 10.4~10.8 $\mu\text{m}$ ，当切入焦平面探测器前的是空窗时，气体可以成像；当分别切入 3.31 $\mu\text{m}$  窄带滤光片、7.669 $\mu\text{m}$  窄带滤光片时，系统响应波段分别为 3.31 $\pm$ 0.025 $\mu\text{m}$ 、7.669 $\pm$ 0.030 $\mu\text{m}$ ，此时六氟化硫气体的红外辐射与吸收波段和系统响应波段不匹配，无法成像。综上，该系统可以探测六氟化硫气体，而不能对其准确识别。

再将六氟化硫气体换成甲烷气体，重复上述操作，甲烷气体具有明显吸收现象的波段为 3.31~7.66 $\mu\text{m}$ ，由于所有窄带滤光片全部按照甲烷的红外吸收波带设计，因此三种情况下均可得到气体成像信息，甲烷气体的红外辐射与吸收波段和系统的响应波段相匹配，能检测并准确识别甲烷气体。