

档案库房空气质量检测仪及相关设备的研制

通过对档案库房空气质量状况和空气质量标准及检测相关技术研究的基础上，开发便携式的档案库房空气质量检测仪，以适应档案保护工作和库房管理工作的需要。

1.便携式档案库房空气质量检测仪的功能

开发一款适用于档案库房环境的空气质量检测仪，首先应具有温湿度等基础参数的检测功能，库房温湿度的异常不仅可以提示库房环境或设备的突发状况，也是影响空气质量的重要因素；最主要的应具有档案库房特征污染物（VOCs）的检测功能，一般而言，档案库房的特殊气味就是 VOCs 造成的，属于典型的内源性污染物，检测 TVOC 可以评价档案及环境保存状况；还应具有档案库房外源性污染物（PM_{2.5}）的检测功能，档案库房相对密闭，大气污染扩散进入库房后对档案造成侵蚀，其中 PM_{2.5} 是典型的外源性污染物，通过检测 PM_{2.5} 可以评估档案库房建筑的密闭性和空调系统的净化效果；最后应具有检测二氧化碳（CO₂）的功能，CO₂ 可以间接测定新风量，在空气品质的控制领域可以发挥重要作用。

档案库房空气质量检测仪不仅仅是现场检测仪器，还应该具有数据存储功能，可以长期在线监测；用户可利用计算机进行监测的数据库管理，可进一步利用云平台实现大数据分析。

2.便携式档案库房空气质量检测仪的系统方案设计

随着电子技术的飞速发展，特别是嵌入式系统技术和传感器技术的进步，开发满足上述功能的便携式档案库房空气质量检测仪已不是难题，研究的重点在于开发环境的搭建、传感器的集成和整合。

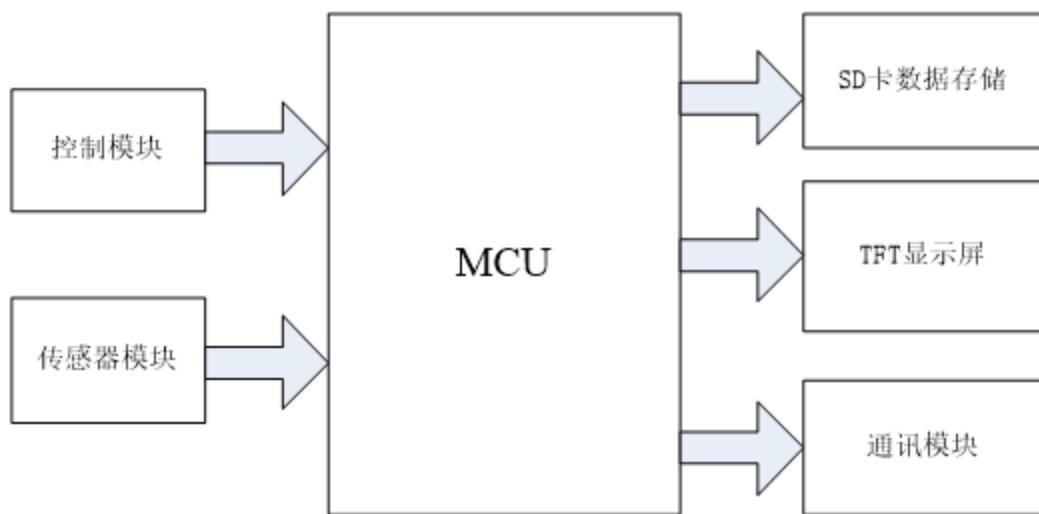


图 1 档案库房空气质量检测仪的原理图

便携式档案库房空气质量检测仪采用 STM32F103 主控芯片。STM32F103 增强型系列由意法半导体集团（ST）设计，使用高性能的 ARM Cortex-M3 32 位的 RISC 内核，工作频率为 72MHz，内置高速存储器(高达 128K 字节的闪存和 20K 字节的 SRAM)，丰富的增强 I/O 端口和联接到两条 APB 总线的外设。所有型号的器件都包含 2 个 12 位的 ADC、3 个通用 16 位定时器和一个 PWM 定时器，还包含标准和先进的通信接口：多达 2 个 I2C 和 SPI、3 个 USART 和一个 USB 和一个 CAN。

ARM 的 Cortex-M3 处理器是新一代的嵌入式 ARM 处理器，

它为实现 MCU 的需要提供了低成本的平台、缩减的管脚数目、降低的系统功耗，同时提供卓越的计算性能和先进的中断系统响应。ARM 的 Cortex-M3 是 32 位的 RISC 处理器，提供额外的代码效率，通常在 8 和 16 位系统的存储空间上得以体现 ARM 核心的高性能。STM32F103XX 增强型系列拥有内置的 ARM 核心，因此它与所有的 ARM 工具和软件兼容。

作为检测仪器仪表必须对 STM32 的时钟、GPIO 功能及复用和中断等手册技术参数和现有库函数进行研究，搭建起开发的软硬件环境。

档案库房空气质量检测仪硬件平台的搭建是建立在 ALIENTEK STM32 开发板、单片机综合实验箱、数模电实验箱与其他器件模块搭建连接上的。



图 2 ALIENTEK STM32 开发板

软件设计主要采用自上向下、层层细化的程序设计思想，分模块讲解整个系统的软件实现流程。

基本流程可以描述为：系统初始化，数据采集处理。首先是系统初始化，包括系统时钟配置，对按键的 GPIO 和中断使能，LED 的 GPIO 初始化；再初始化传感器和 TFT 的 GPIO，还有初始化 SD 卡 FATFS 文件系统并使能 SDIO 的中断；对传感器测量输出的信号进行 A/D 转换输出到 TFT 上，同时启动数据保存程序，保存到 SD 卡中，并通过无线传输模块进行传输，见下图 3。

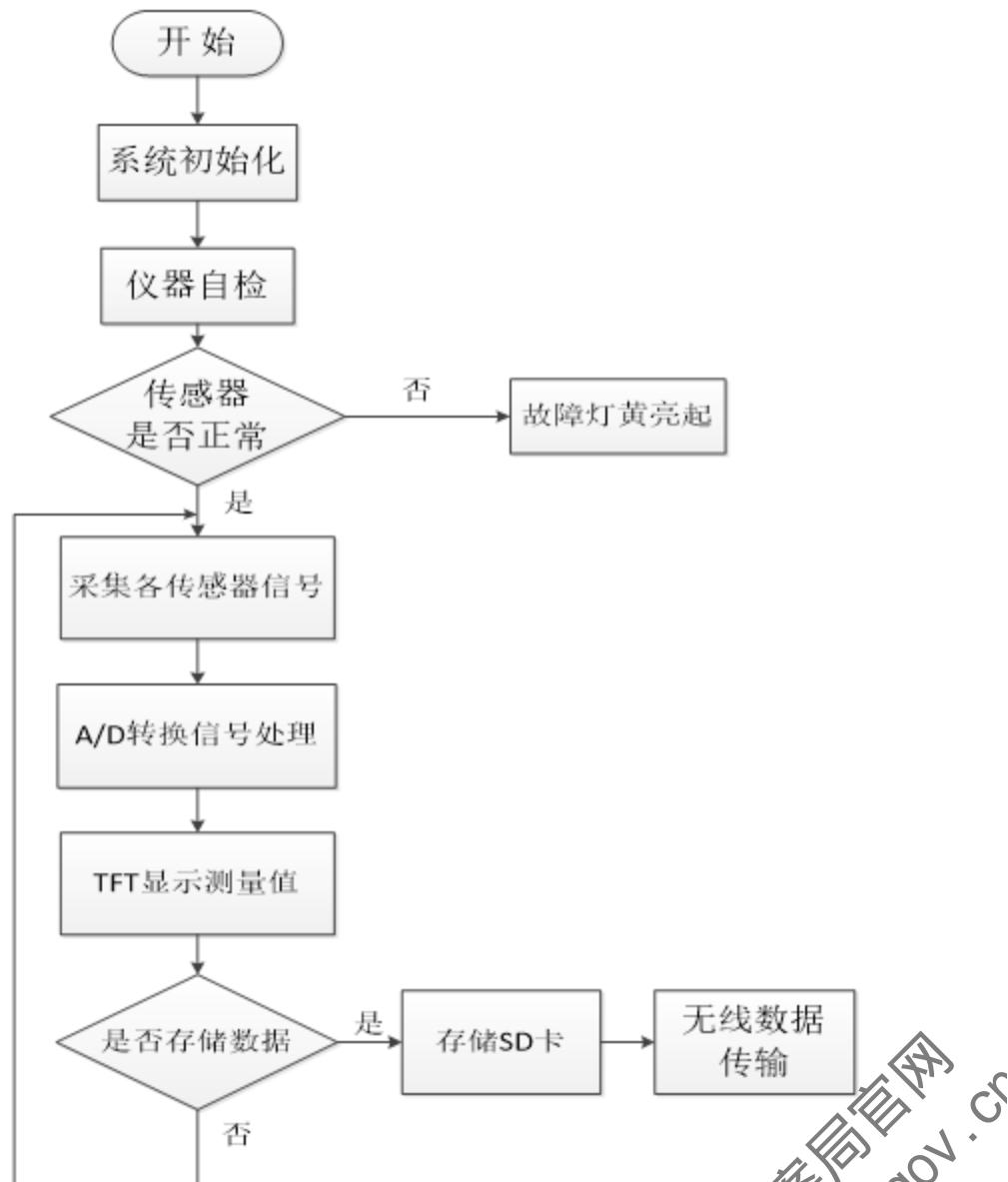


图 3 档案库房空气质量检测仪主程序设计流程

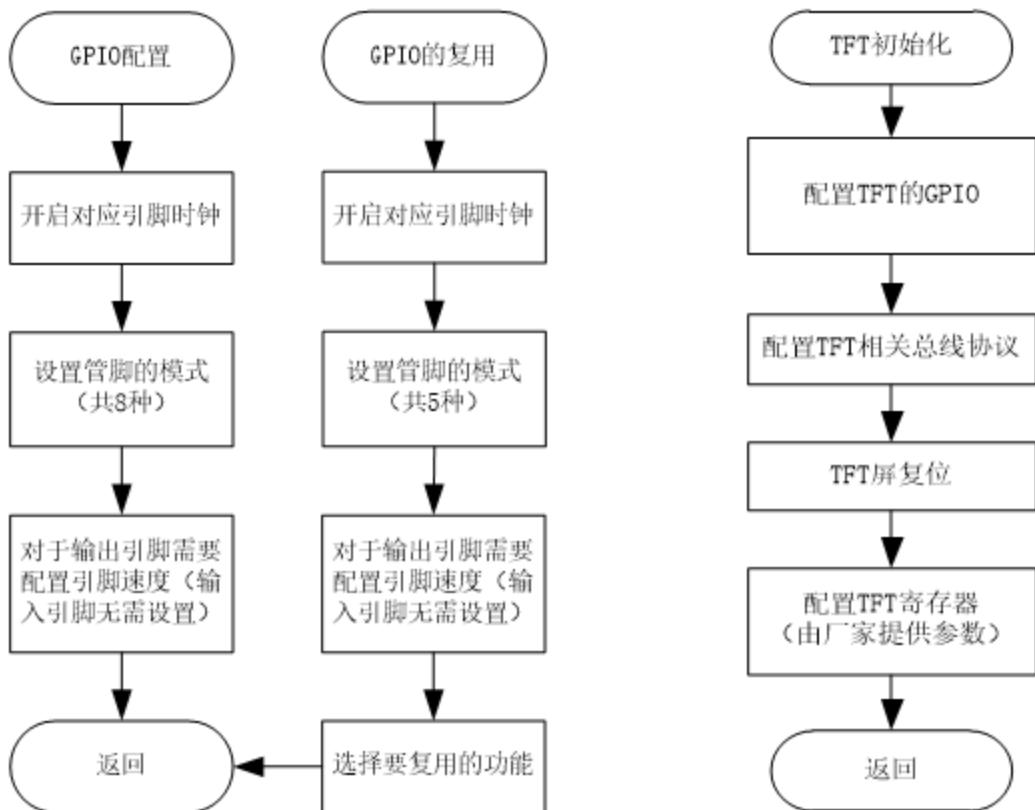


图4 GPIO 的配置及复用

图5 TFT 初始化流程

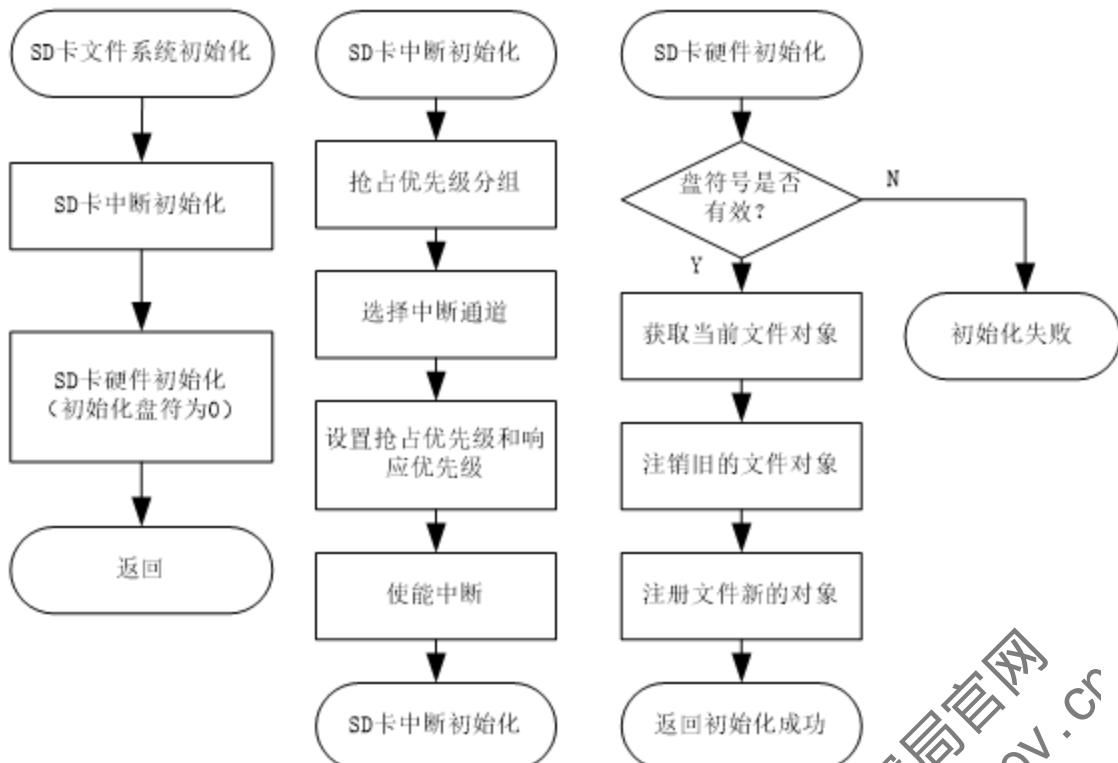


图6 SD 卡文件初始化流程

国家档案局官网
www.saac.gov.cn

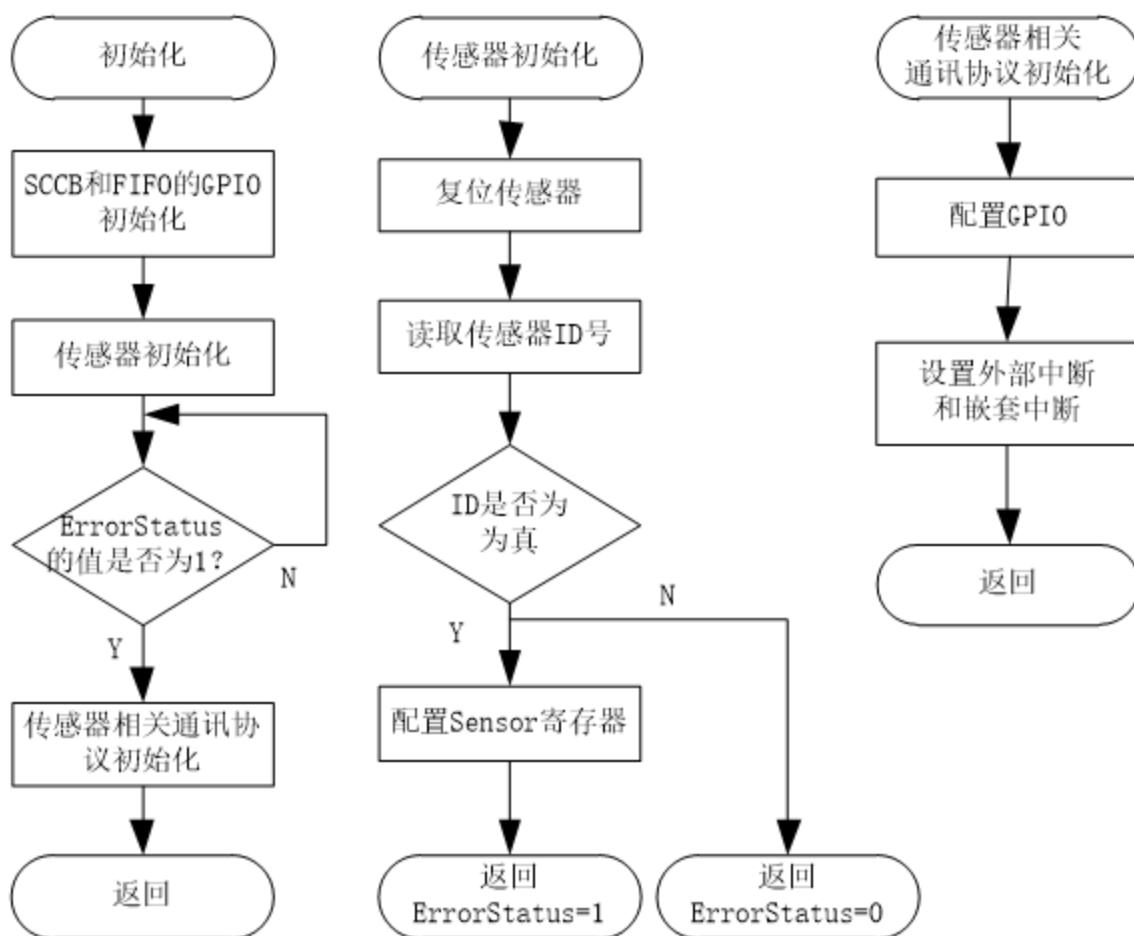


图 7 传感器初始化流程

3. 空气质量传感器模块简介

1) 温湿度传感器

采用瑞士盛思锐公司（Sensirion）的SHT25数字温湿度传感器，SHT2x系列定义了当前行业标准，并已有数以百万级的成功应用。SHT25属于SHT2x系列中的高端版本，对温度的测量具有 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ，对相对湿度的测量具有 $\pm 1.8\%\text{RH}$ 精度。可以满足档案库房温湿度检测的需要。

SHT2X传感器其他特点：

尺寸： 3 x 3 x 1.1 mm

输出: I²C 数字, PWM, SDM
 电源电压范围: 2.1 至 3.6 V
 能耗: 3.2μW (在 8 位, 1 次测量/秒条件下)
 RH 工作范围: 0 - 100% RH
 T 工作范围: -40 至 +125°C (-40 至 +257°F)
 RH 响应时间: 8 秒 (tau63%)

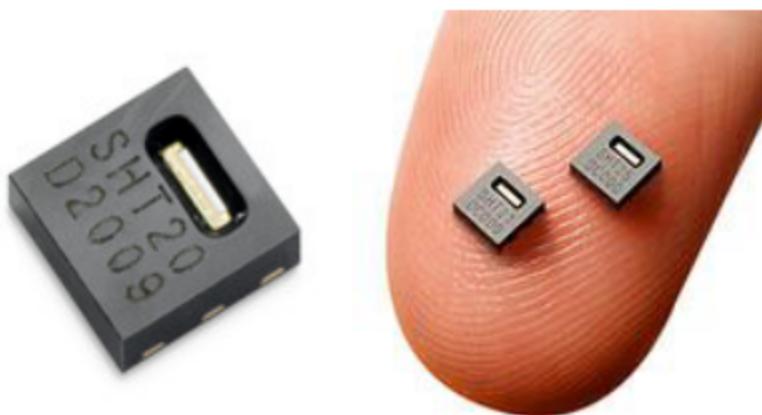


图 8 SHT2X 系列传感器实物图

相对温湿度和温度的精度:

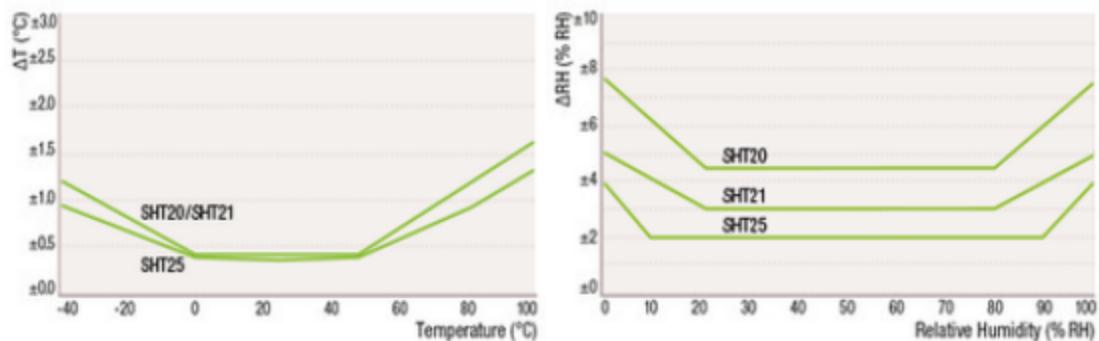


图 9 SHT25 的温度、湿度测量精度

SHT25 采用 I²C 总线协议, I²C 总线协议 (I²C bus, Inter-IC bus) 是一个双向的两线连续总线, 提供集成电路 (ICs) 之间的通信线路。I²C 总线是一种串行扩展技术, 最早由 Philips 公司推出, 广泛应用于电视, 录像机和音频设备。I²C 总线的意思是“完成集成电路或功能单元之间信息交换的规范或协议”。Philips 公司推出的 I²C 总线采用一

一条数据线（SDA），加一条时钟线（SCL）来完成数据的传输及外围器件的扩展；对各个节点的寻址是软寻址方式，节省了片选线，标准的寻址字节 SLAM 为 7 位，可以寻址 127 个单元。I2C 总线有三种数据传输速度：标准，快速模式和高速模式。标准的是 100Kbps，快速模式为 400Kbps，高速模式支持快至 3.4Mbps 的速度。所有的与次之传输速度的模式都是兼容的。I2C 总线支持 7 位和 10 位地址空间设备和在不同电压下运行的设备。

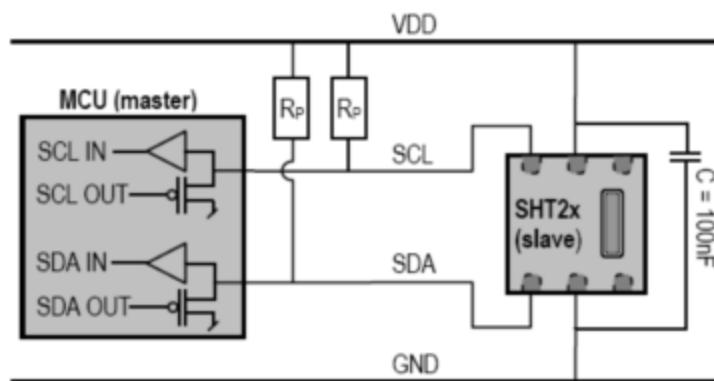


图 10 SHT2X 的典型应用电路

2) 二氧化碳传感器

二氧化碳传感器采用芬兰维萨拉 CARBOCAP 二氧化碳模块，长期稳定测量，不受温度影响，灰尘、水汽和大部分化学物不影响测量精度，体积小巧，便于集成。之前因工作需要，已用此传感器模块开发过一款二氧化碳检测仪。

维萨拉 CARBOCAP 二氧化碳模块，测量范围：0~5000ppm;

测量误差： $\pm 2\%$;

工作电压：24 VDC/VAC (18 ... 30 VDC)

功率: <2.5 W

输出: 0 ... 20 mA 或 4 ... 20 mA 及 0 ... 10 V



图 11 之前研制开发的二氧化碳检测仪

3) 颗粒物传感器 (PM2.5)

颗粒物传感器采用夏普 sharp (GP2Y1010AU0F) 颗粒物传感器。

Sharp GP2Y1010AU0F 是一款光学空气质量传感器，设计用来感应空气中的尘埃粒子，其内部对角安放着红外线发光二极管和光电晶体管，使得其能够探测到空气中尘埃反射光，即使非常细小的如烟草烟雾颗粒也能够被检测到，近年来在空气净化系统和产品中广为应用。

该传感器具有非常低的电流消耗（最大 20mA，典型值 11mA），可使用高达 7VDC。该传感器输出为模拟电压，其值与粉尘浓度成正比。

可测量 0.8 微米以上的颗粒物，感知烟草产生的烟气和花粉，房屋粉尘等。体积小，重量轻，便于安装，广泛应用于空气净化器、清新机，

换气空调,换气扇等产品。其在 0-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 测量范围内, 颗粒物浓度与输出电压 (V_o) 呈线性关系, 检测灵敏度: 0.5V/100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



图 12 颗粒物传感器实物

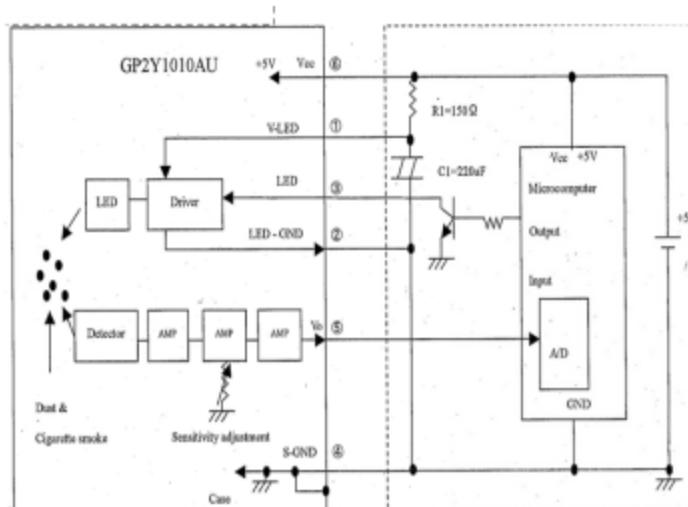


图 13 颗粒物传感器的应用电路图

Fig. 3 Output Voltage vs. Dust Density

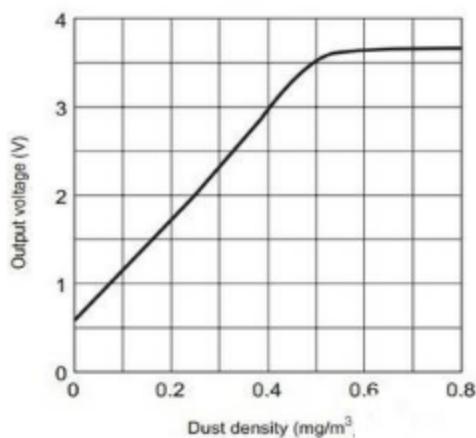


图 14 颗粒物传感器的输出电压与测量浓度关系图

国家档案局官网
www.saac.gov.cn

4) 总挥发性有机物 (TVOC) 传感器

采用英国进口的 VOC-PID 传感器。按照美国环保局 (EPA) 的定义：全部带碳 C 的化合物都称为有机化合物，而挥发性有机化合物是指沸点在 50~260°C、室温下饱和蒸汽压超过 133.32Pa 的易挥发性化合物，其主要成分为烃类、氧烃类、含卤烃类、氮烃及硫烃类等。

VOC 成分组成非常复杂，在现场往往也是各种不同气体混合存在，无法像常规的电化学传感器那样针对每种挥发性有机气体进行单独检测，因此需要能对于挥发性有机化合物总量 (TVOC) 进行精确测定的仪器。

光离子化检测器 (PID) 可以检测 10ppb(parts billion) 到 10000ppm(parts per million) 的 VOC 和其他有毒气体。PID 是一个高度灵敏、适用范围广泛的低浓度检测器。

PID 传感器的优点有以下四个方面：

(1) 精度高

高精度的光离子化传感器可以检测到 ppb 级别 (十亿分之一) 的有机气体，一般的光离子化气体传感器可以检测到 ppm 级(百万分之一)的有机气体，精度超过红外传感器等大多数常用传感器；

(2) 对检测气体无破坏性

光离子传感器在将气体吸入后将其电离，而气体分子形成的离子在放电后又形成了原先的气体分子，对原气体分子无破坏性。

(3) 响应速度快、寿命长

除了在气体检测系统在开机后预热的一段时间，在正常工作状态下，光离子气体传感器几乎可以实时做出反应，可以连续测试。在这检测危险气体时，对保障检测人员健康有重要意义。

一般一支紫外灯的寿命在数千小时，光离子传感器在此期间均可正常工作，有很长的使用寿命。

(4) 应用范围广

光离子传感器对大多数有机和部分无机气体均可检测，可以广泛应用于化工、运输、军事、航天等领域。由于光离子化气体传感器对于检测物的浓度变化特别敏感，在初始个人防护确认、泄露区域确认、清除污染等方面有重要作用。

PID 检测仪的工作原理：

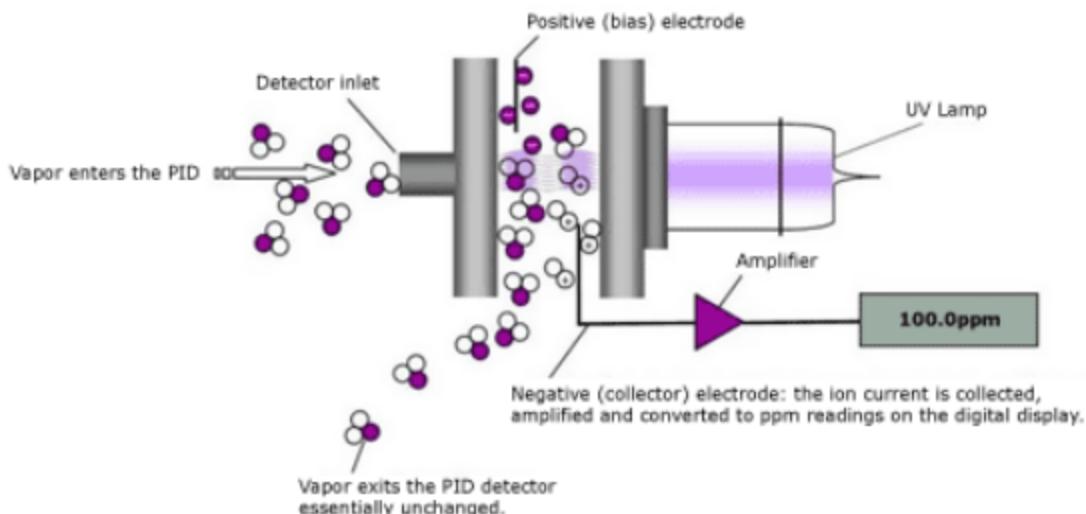


图 15 PID 检测仪的工作原理

PID 使用了一个紫外灯 (UV) 光源将有机物分子电离成可被检测器检测到的正负离子（离子化）。检测器捕捉到离子化的气体的正负电荷将其转化为电流信号实现气体浓度的测量。当待测气体吸收高能量的紫外光时，气体分子受紫外光的激发时失去电子成为带正

电荷的离子。气体离子在检测器的电极上被检测后，很快会电子结合重新组成原来的气体和蒸汽分子。PID 是一种非破坏性检测器，它不会改变待测气体分子，经过 PID 检测的气体仍可被收集做更进一步的测定。

由上述温湿度传感器、CO₂传感器、颗粒物传感器和TVOC传感器四种传感器构成了档案库房空气质量检测仪的空气质量检测模块。空气质量检测模块与 ALIENTEK STM32 开发板、单片机综合实验箱、数模电实验箱与其他电子元器件共同搭建起档案库房空气质量检测仪。

STM32 开发环境是 MDK，本研究中使用的版本是 MDK5.10。首先须进行 CMSIS 的配置，ARM Cortex™ 微控制器软件接口标准 (CMSIS : Cortex Microcontroller Software Interface Standard) 是 Cortex-M 处理器系列的与供应商无关的硬件抽象层。然后对标准外设库的架构进行修改满足实际开发的需要。

然后开始程序编写工作。在软件 Keil uVision 5 下进行 STM32 C 语言程序的开发。通过创建工程、编写程序、配置工程、调试编译等步骤，利用 JLink 和 MCUISP 等工具将编译好的可执行程序烧录下载进 STM32F103 目标芯片中。

3.4 便携式档案库房空气质量检测仪

本研究通过硬件和软件环境的综合开发，搭建起档案库房空气质量检测仪，如下图。

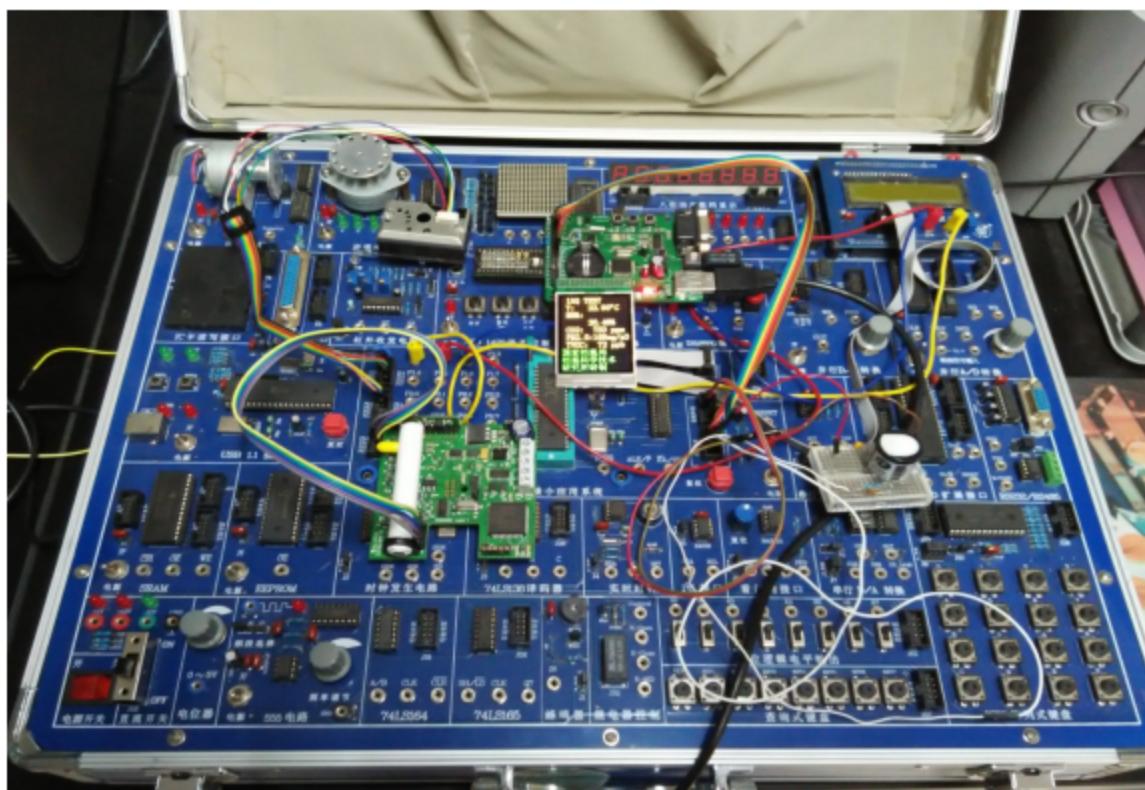


图 16 档案库房空气质量检测仪

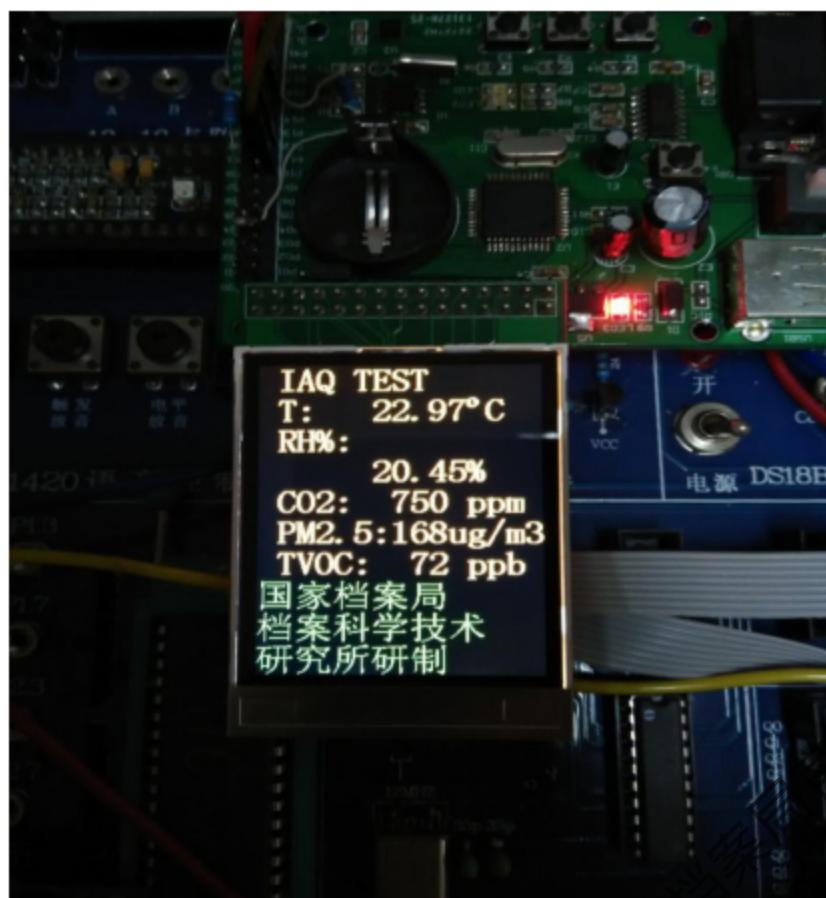


图 17 档案库房空气质量检测仪检测显示

采用搭建起来的空气质量检测仪对 307 实验室 2015 年 3 月 17 日的空气质量状况进行了检测，设计为 9:00~17:00 时钟整点存储检测数据，存入 SD 卡模块之中，然后利用计算机及读卡器读取数据，如下。

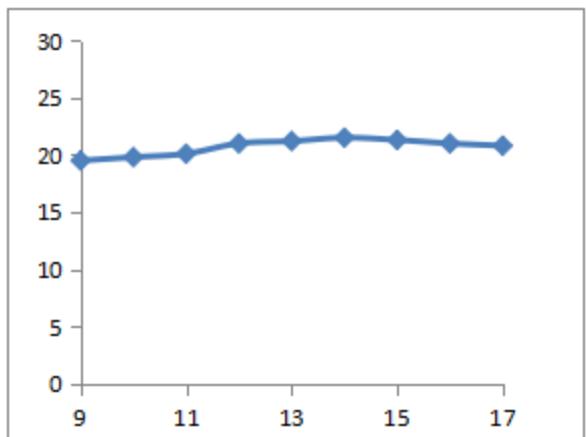


图 18 温度变化曲线

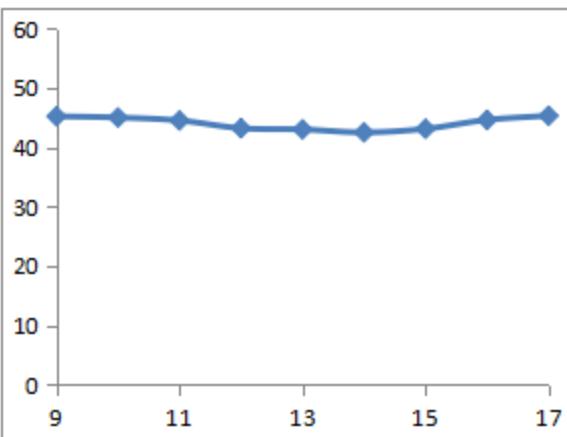


图 19 相对湿度变化曲线

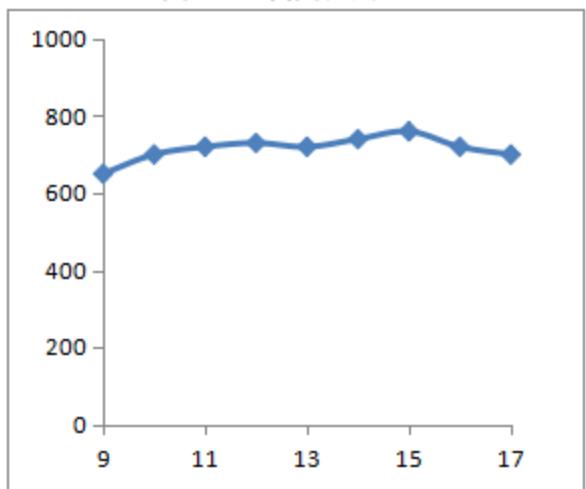


图 20 CO₂ 浓度变化曲线

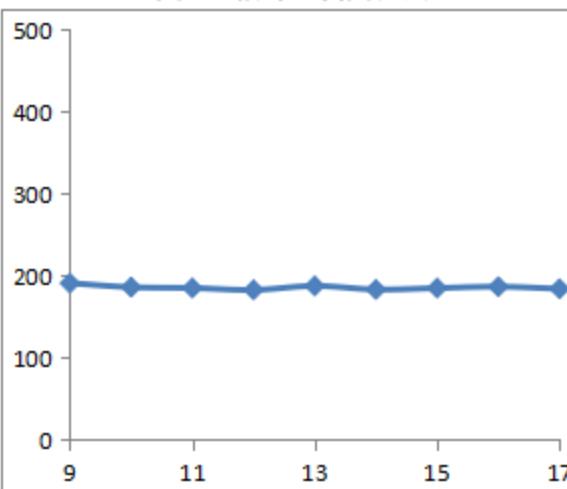


图 21 PM_{2.5} 浓度变化曲线

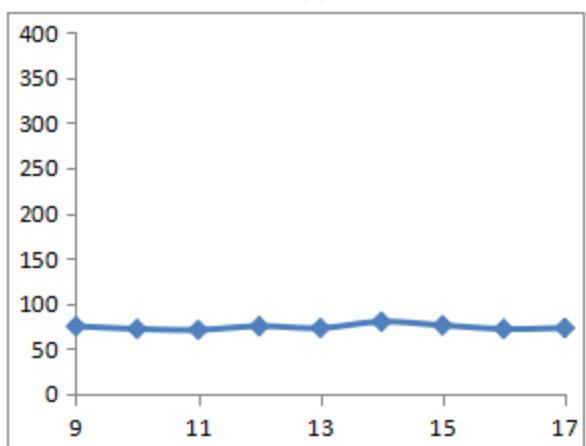


图 22 TVOC 浓度变化曲线



图 23 档案库房空气质量检测仪样机

3.5 档案库房空气质量云测仪和云平台的开发

在物联网发展趋势下，如何使档案库房空气质量检测仪无线组网和数据管理是本课题研究的主要内容之一。

WSN 是 Wireless Sensor Network 的简称，即无线传感器网络。现有的无线传感网标准有 Zigbee, ISA100.11a, WirelessHART, WIA-PA 等。其中 Zigbee 标准是民用标准，常用在智能家居等可靠性要求较低的场合。

随着微机电系统(Micro-Electro-Mechanism System, MEMS)、片上系统 (SOC, System on Chip)、无线通信和低功耗嵌入式技术的飞速发展，孕育出 WSN，并以其低功耗、低成本、分布式和自组织的特点带来了信息感知的一场变革。无线传感器网络就是由部署在监测区域内大量的微型传感器节点组成，通过无线通信方式形成的一个自组织网络。



图 24 WSN 网络

在当前物联网时代，很多人都认为这项技术的重要性可与因特网相媲美：正如因特网使得计算机能够访问各种数字信息而可以不管其保存在什么地方，传感器网络将能扩展人们与现实世界进行远程交互

的能力。它甚至被人称为一种全新类型的计算机系统，这就是因为它区别于过去硬件的可到处散布的特点以及集体分析能力。

无线传感器网络所具有的众多类型的传感器，可探测包括温度、湿度、压力、应力、位移、速度、加速度、倾角、液体流量、电流、电压、地震强度、电磁场强、噪声、光强度、土壤成分、移动物体的大小和方向等周边环境中多种多样的物理量。基于 MEMS 的微传感技术和无线联网技术为无线传感器网络赋予了广阔的应用前景。这些潜在的应用领域可以归纳为：军事、救灾、航空、反恐、防爆、环境、医疗、保健、家居、工业、商业等领域。

WSN 没有固定的网络型态，可以是星型网络拓扑(Star Topology)、网状网络拓扑(Mesh Topology)、点对点(Peer To Peer, P2P)或综合以上型态的网路，但都一定具备下列的功能：

1. Sensor/Microcontroller (传感器/微控制器)：感知、处理环境中的物理信息，如温度、湿度等。

2. Radio Frequency (射频通信)：节点或网关用其进行无线通信。

3. Software (客户端软件)：供观测者在 PC/智能手机上方便快捷地访问传感器采集到的数据，一般是由网关提供的系统管理程序。

在设计传感器网络时，要充分考虑通信和信息安全，结合传感器网络的特点，满足其独特的安全需求：数据机密性、数据完整性、数据新鲜性、可用性、访问控制。

近年来，STM32 在物联网方面得到大量的应用实践，一方面可以满足单机版检测仪器或控制设备的使用；也可以搭载 Zigbee 无线

通讯模块情况下和计算机组网构成局地 WSN 网络；还可以进一步通过 Zigbee 智能网关、3G/WIFI 网关、Android 系统和云平台技术，通过智能手机 APP 的开发，对传感器的检测数据进行管理和应用，以及相关设备的远程监控。

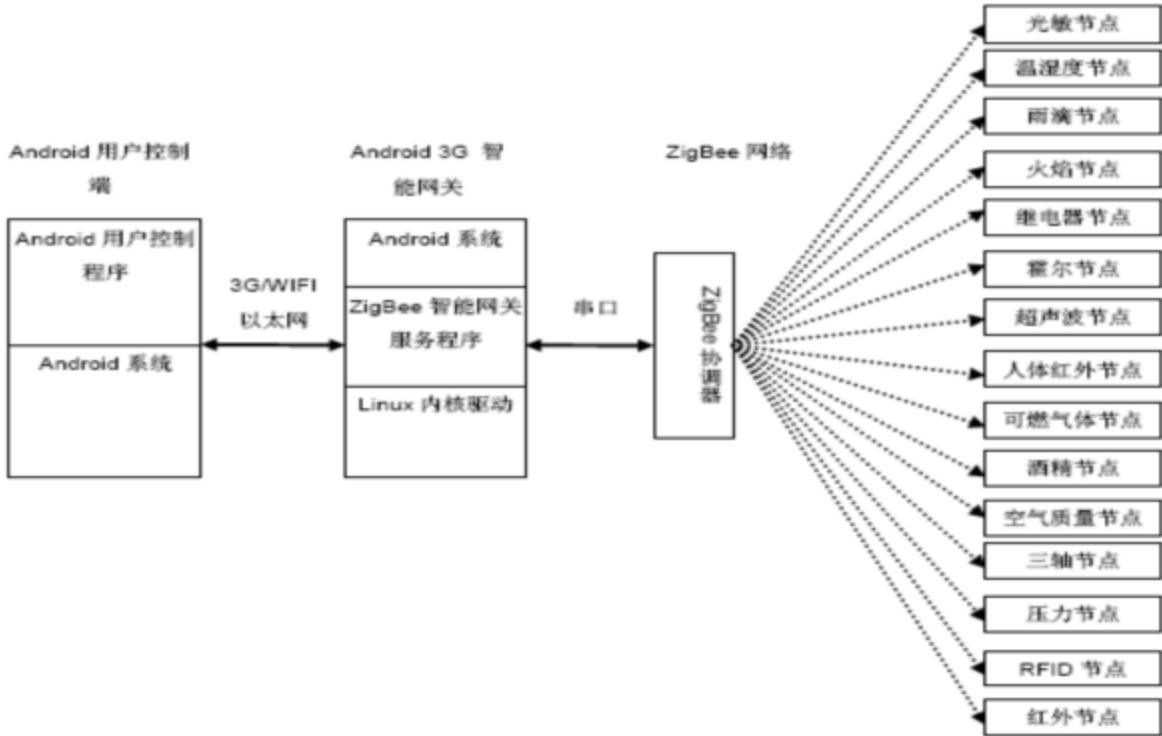


图 25 云平台下 WSN 解决方法

基于 WSN 的原理，本课题组的北京融安特智能科技股份有限公司开发了档案库房空气质量云测仪和云平台，简要介绍如下：



图 26 档案库房空气质量云测仪

国家档案局官网
www.saac.gov.cn

设备综述：空气质量云测仪能够采集档案库房内六路空气环境指标，包括温度、湿度、PM2.5、PM10、TVOC 值以及 CO₂ 值，采用高精度传感器，测量精度高、性能稳定、具备内部校准功能、响应时间快等特点。空气质量云测仪采用先进的无线通信方式与区域智能控制终端进行数据通信，减少了走线，既美观又方便，直接安装在屋顶天花板或者墙壁上即可。

设备参数

名称	参数	精度
电源 (V)	12V 电源适配器	/
功率 (W)	8	/
温度 (℃)	-40~80	±0.3℃
湿度 (%RH)	0~99.9	±2 %RH
二 氧 化 碳 (PPM)	0~5000	±75ppm ±3%
PM2.5 (μm)	0.3~2.5~10	最小精度 0.3 μm
空 气 质 量 TVOC (ppb)	125~600	分辨率 1ppb
通信方式	485MHz 无线通信、RS485 有线	/

云平台：

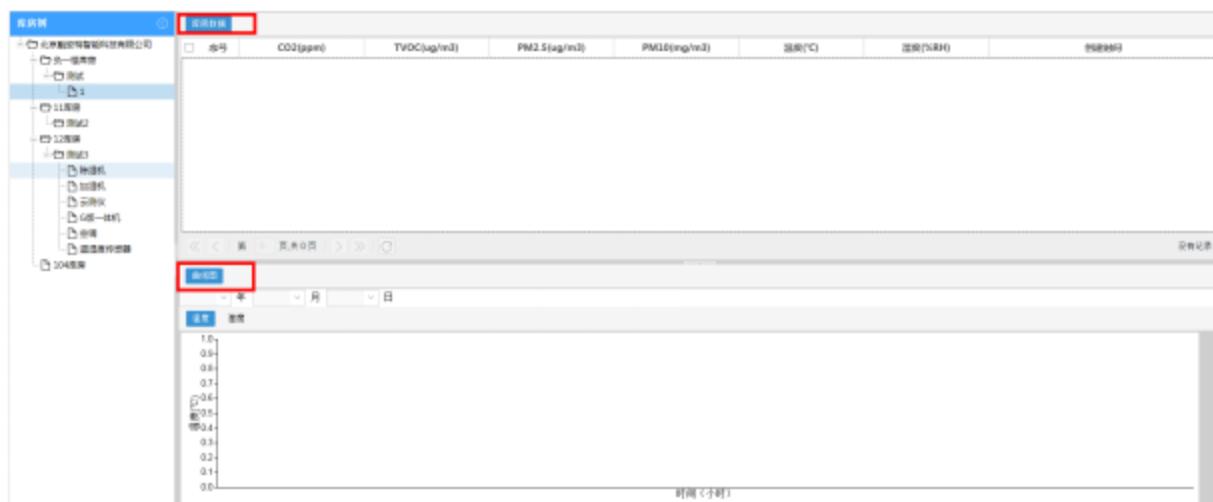
设备中心云平台用于对库房中所有设备进行集中管理。在平台中根据现场情况划分区域，然后通过区域控制器管理区域内的所有设备。

在设备中心界面可以对设备进行操作，从而达到设备的远程控制与管理。设备中心功能会实时采集库房环境信息进行展示，并定期进行保存。支持通过任务调度实现设备的智能化运行。

设备中心功能主界面。如下图：



环境监控用于显示库房内环境的变化，记录一段时间内库房的环境数据。环境监控采用列表、和曲线两种方式展示库房环境的变化。方便用户对库房环境进行监控与管理，为库房管理工作提供数据支持。如下图：



通过档案库房空气质量云测仪和设备云平台可以更方便快捷地对档案库房进行管理和设备维护。

国家档案局官网
www.saac.gov.cn