



Hardware Design of Radon Measuring Instrument with Pulse Ionization Chamber

Xionghui Yan

Chengdu University of Technology, Chengdu, China

Email: 942699383@qq.com

How to cite this paper: Yan, X.H. (2022) Hardware Design of Radon Measuring Instrument with Pulse Ionization Chamber. *Open Access Library Journal*, 9: e9351. <https://doi.org/10.4236/oalib.1109351>

Received: September 20, 2022

Accepted: October 10, 2022

Published: October 13, 2022

Copyright © 2022 by author(s) and Open Access Library Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

As more and more people are aware of the harm of radon, the demand for radon measuring instruments will increase, and radon measuring instruments have a broad potential market. According to the theory that the α -ray from the decay of radon and its daughters can ionize air molecules, a pulse ionization chamber radon measuring instrument is designed, which has the characteristics of high measurement sensitivity, good measurement accuracy and stability. The system hardware consists of detection part, amplification and discrimination part, data processing and control part and PC. Radon measuring instruments can be widely used to monitor radon levels in ambient air.

Subject Areas

Nuclear Physics

Keywords

Radon, Pulse Ionization Chamber, Radon Measuring Instruments, Single Chip

1. 研究背景

氡气是一种天然的放射性惰性气体，在我们的生活环境中普遍存在。氡是铀衰变系统中常温下唯一的气态元素，可溶于水和多种液体中，在空气中会形成放射性气溶胶，对空气造成污染。氡气没有颜色，没有气味，化学性质很不活泼。在通风不良的环境中，氡气会累积到对健康有害的浓度。而对于长期工作在地下特定工作场所的从业人员，由于铀矿等工作场所通风不足等问题，氡的存在问题会更加严重。虽然我们很难完全消除氡，但可以通过检测氡等手段，尽可能减少其对人体的危害。随着我国社会经济的发展，越来越多的人认识到氡气的危害，社会对氡测量仪器的需求也将增加，氡测量仪器具有广阔的潜在市场[1]。

根据氡及其子体衰变发射出 α 射线能使空气分子电离的理论,设计的空气脉冲电离室测氡仪可以准确地测量空气中的氡浓度。由于空气脉冲电离室直接以空气为电离介质,空气中的氡及其子体衰变释放的 α 粒子可以在空气中留下信息,从而被探测到。虽然有少数 α 粒子因发生位置及发射角度问题,无法将全部能量沉积在空气中,以至于形成的信号太弱而无法检测到,但大多数 α 粒子能将全部或者大部分能量沉积在空气中而被识别,因此,空气脉冲电离室对氡及其子体衰变产生的 α 粒子而言,探测效率将远大于半导体、闪烁体等探测器[2]。本论文的研究目标是通过研究和设计一款基于脉冲电离室的操作简单、灵敏度高和稳定性好的测氡仪,实现对环境中氡气的有效监测。

2. 脉冲电离室测氡仪系统总体设计

脉冲电离室测氡仪系统可分为四个部分:探测部分(包括脉冲电离室)、放大甄别部分(包括前置放大电路、主放大电路和幅度甄别电路)、数据处理及控制部分(包括主控系统、三合一传感器、数据存储器、打印机、气泵、SD卡、按键、串口屏和 RS232 串口通讯)和 PC 机部分。组成框图如图 1 所示。

2.1. 探测部分

脉冲电离室

脉冲电离室结构如图 2 所示。电离室有效探测体积为 0.56 L。气体可以通过两个入口进入,左侧入口贴有玻璃纤维滤膜。在扩散模式下,氡气通过滤膜扩散进入脉冲电离室,氡气子体被滤膜阻挡;在流气模式下,通过外置气泵直接将滤过了子体的氡气体通过侧面进气孔抽入电离室中。进入电离室中的 Rn222 和 Rn220 (及新生的 Po218 和 Po216)衰变放出的 α 粒子将气体电离并在高压场中形成脉冲被记录下来。流气模式下工作时,腔体内外氡气浓度很快达到相同水平,而在扩散模式下工作时,由于氡气体扩散需要一定的时间,导致测量氡气浓度值存在时间上的延迟,延迟时间的长短取决于滤膜的性质。

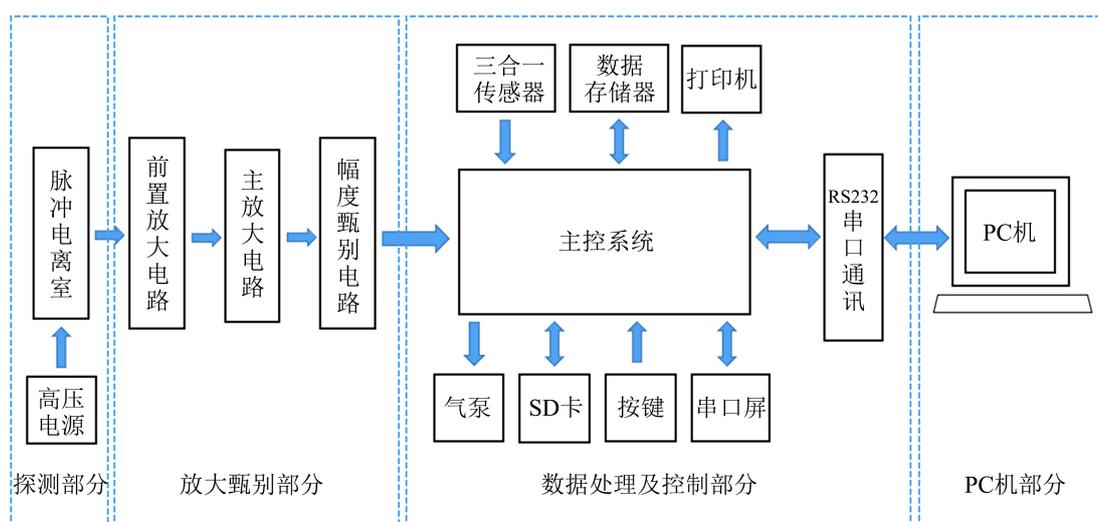


Figure 1. The composition block diagram of a pulsed ionization chamber radon measuring instrument system
图 1. 脉冲电离室测氡仪系统组成框图

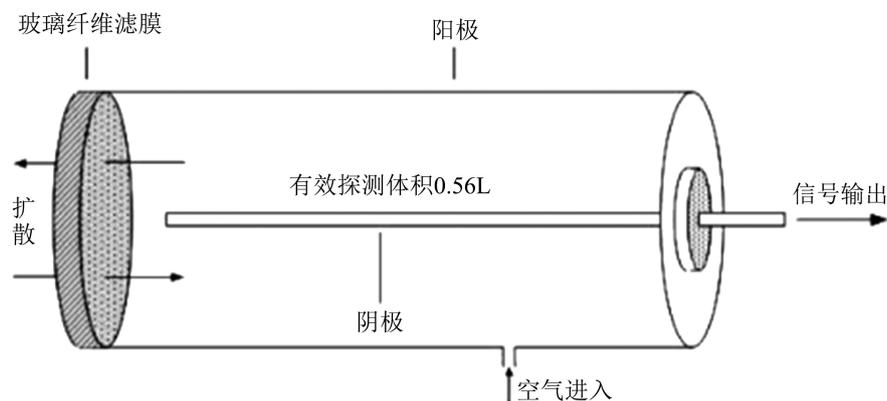


Figure 2. The structure diagram of pulse ionization chamber

图 2. 脉冲电离室结构图

2.2. 放大甄别部分

脉冲电离室的输出信号是非常微弱的脉冲信号，输出阻抗很高，电子仪器无法直接处理，需要进行前置放大[3]。因此，前置放大电路须具有高输入阻抗和低噪声，将微弱的电荷转化成放大的电压信号，提高系统的信噪比，前置放大电路中运算放大器使用美国 TI 公司 LF411 芯片，其优点为噪声低、增益稳定、极低输入偏置电流、超高输入阻抗。经过前置放大器放大的脉冲信号幅度依然较小，为后续测量分析带来困难，需要经过主放大电路将信号线性放大，使信号幅度满足后续电路测量。主电路中的运放选用 MAX4489 芯片。MAX4489 是一款宽带、低噪声、低失真运算放大器，提供满摆幅输出，工作电压范围为 2.7 V 至 5.5 V。每路运放仅消耗 2.2 mA 的静态电流，并具有超低失真度、低输入电压噪声密度和低输入电流噪声密度。非常适合要求低失真和低噪声的应用。

甄别电路一方面可以通过设定甄别阈，滤除干扰信号，另一方面将信号转化成脉冲方波，最终送入主控系统进行处理和记录。甄别电路中的运放选用 TLV3201 比较器，该比较器能够在极小型封装内提供高速(40 ns)和低功耗(40 μ A)的最终组合，具有诸如轨到轨输入、低偏移电压(1 mV)和高输出驱动电流等特性。在对响应时间要求严格的多种应用中也可轻松执行此器件。总的硬件电路如图 3 所示。

2.3. 数据处理及控制部分

2.3.1. 主控系统

主控系统选用 STM32F407 单片机作为主控芯片实现对脉冲信号进行计数及存储，气泵的控制，温湿度、压力的数据处理，串口屏的显示，并通过 RS232 模块与 PC 机通讯。

2.3.2. 三合一传感器

本系统设计中考虑了温度、湿度和压力的测量，并期望通过大量的实验和数据统计，建立一个以温度、湿度和压力为变量的测量补偿数据库。在该数据库内保存系统在不同温湿度、压力值下对各浓度梯度氢气的修正数据，

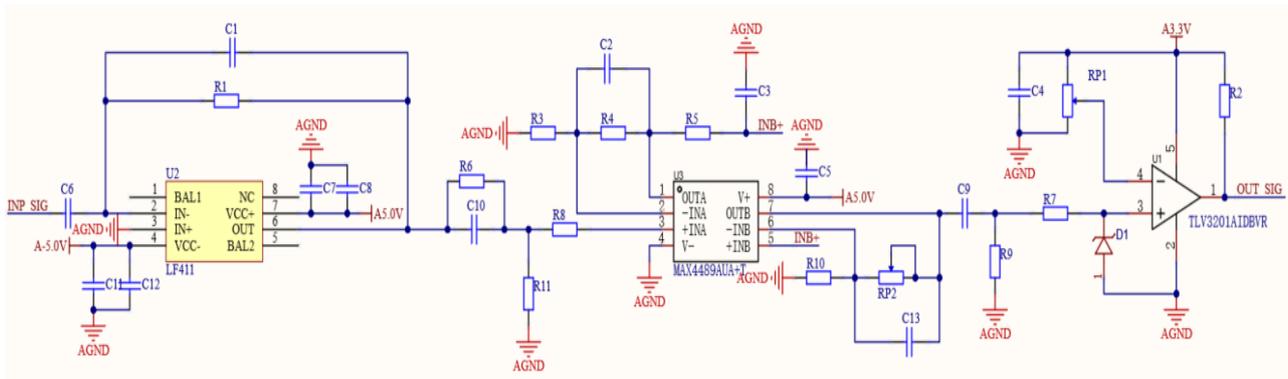


Figure 3. The circuit diagram of zoom in and identify parts

图 3. 放大甄别部分电路图

程序在每次测量结束时，根据当前的温度、湿度和压力值，自动调用保存在数据库中的校正值，对测量结果进行校正，消除或降低温湿度、压力值对系统测量精度的影响[4]。电路如图 4 所示。

2.3.3. 数据存储

本设计使用 STM32F4 自带的 SPI 通讯协议来实现对外部数据存储器 Flash (W25Q128)的读写，SPI 是串行外设接口的缩写，是一种高速的、全双工、同步的通信总线。电路如图 5 所示。

图 5 中 SPI 各接口功能如下：

SPI MISO (主设备数据输入，从设备数据输出)、SPI MOSI (主设备数据输出，从设备数据输入)、SPI CLK (时钟信号，由主设备产生)、CS (从设备使能信号，由主设备控制)。

2.3.4. 打印机

本系统设计选用 CSN-A2 微型打印机，不仅体积小、重量轻，而且打印显示清晰。该打印机内部自带处理芯片，具有标准的并行接口或串行接口，便于与各种智能仪器、仪表联机使用。用户可根据数据编号打印每次测量的结果及其它相关数据，如样品编号、数据编号、测量时间等，方便用户查看和分析数据。打印机电路图如图 6 所示。

2.3.5. 气泵控制电路

一般而言，扩散模式测量时，氨气浓度通常会有半小时左右的增长时间。故本设计添加了外置气泵直接将滤过了子体的氨气体通过侧面进气孔抽入电离室中，从而大大减少了扩散的时间。气泵控制电路原理如图 7 所示。

2.3.6. SD 卡

SD 存储卡是一种基于半导体快闪记忆器的新一代记忆设备，由于它体积小、数据传输速度快、可热插拔等优良的特性，被广泛使用。本设计使用 STM32F4 自带的 SDIO 接口驱动，4 位模式，最高通信速度可达 48 Mhz (分频器旁路时)，最高每秒可传输数据 24 M 字节(图 8)。

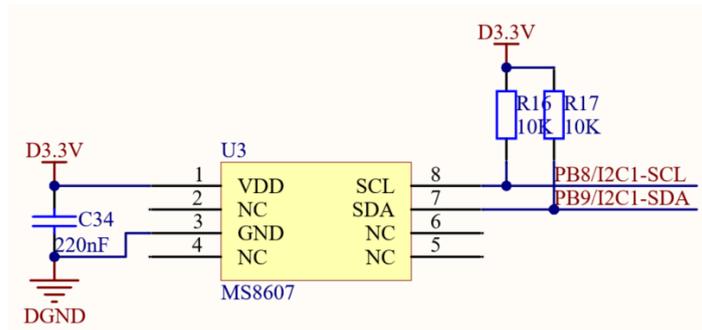


Figure 4. The circuit diagram of three-in-one sensor
图 4. 三合一传感器电路图

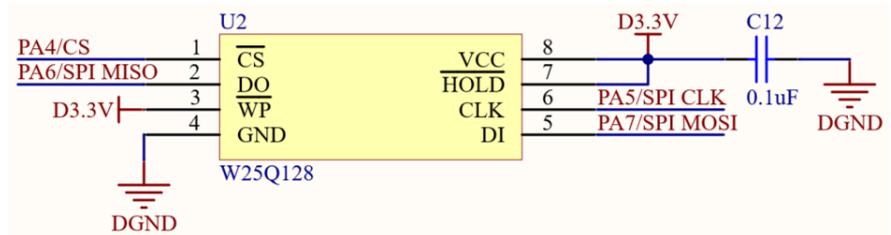


Figure 5. The circuit diagram of SPI Flash
图 5. SPI Flash 电路图

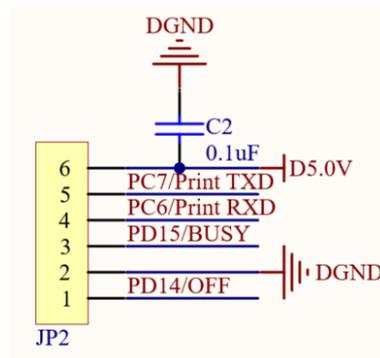


Figure 6. The circuit diagram of printer
图 6. 打印机电路图

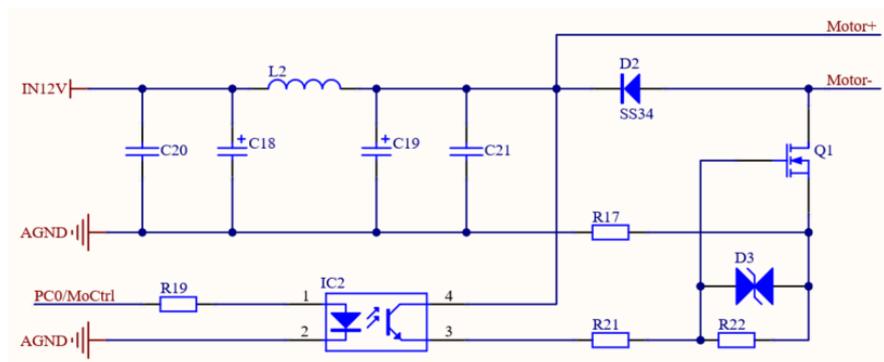


Figure 7. The circuit diagram of air pump control
图 7. 气泵控制电路图

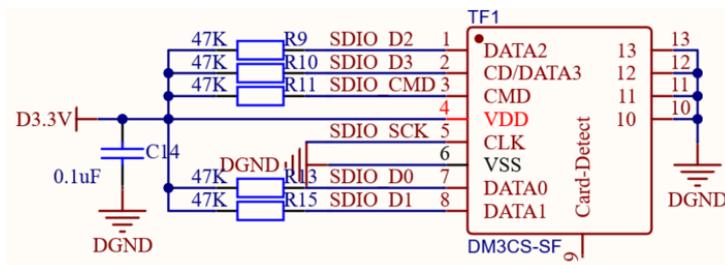


Figure 8. SD card holder

图 8. SD 卡座

2.3.7. 按键电路

操作面板上按键电路设计如下,当没有按键按下时,由于上拉电阻 R2~R6 的存在,此时 SW1~SW5 处的电平为高电平,当按键按下时,SW1~SW5 直接与 DGND 相连接,故此时 SW1~SW5 为低电平。按键电路图如图 9 所示。

2.3.8. 串口屏

系统工作过程中需要将样品参数与测量结果实时显示,方便用户查看。为了使界面更加生动美观,选用淘晶驰 X5 系列 7 寸高清电容触摸屏显示。

如图 10 所示为串口屏的接口电路图。显示屏的 RXD 与单片机的 TXD 相连,显示屏的 TXD 与单片机的 RXD 相连,STM32 单片机通过串口与串口屏相连,实现人机交互界面的显示。

2.3.9. RS232 串口通讯

本设计选用 RS232 串口实现单片机与 PC 机的通讯,RS-232 标准接口是常用的串行通信接口标准之一,采用的接口是 9 针或 25 针的 D 型插头,常用的一般是 9 针插头。电路原理见图 11。

2.4. PC 机部分

PC 机通过 RS232 串口与单片机进行通讯,从而实现控制下位机工作、接收单片机上传数据以及对数据进行分析处理的功能。

2.5. 电源电路

电源电路的设计要考虑两个方面因素。第一,供电系统必须稳定、纹波要尽可能的小,因为供电的稳定与否将直接影响仪器的测量精度与工作稳定性;第二,模拟电路与数字电路之间需要做必要的防串扰隔离。设计中高压供电电路、气泵供电电路输入电压为 12 V,前置放大电路工作电压为 ± 5 V,主放大电路工作电压、串口屏、打印机、输入电压为 5 V,甄别电路、三合一传感器、RS232 串口、Flash 存储芯片、STM32 单片机、按键电路、SD 卡等电路工作电压为 3.3 V。因此,整个系统运行时需要的电源种类包括:12 V, ± 5 V、3.3 V。

整个系统电源结构设计如图 12。采用交流 220 V 转直流 24 V 电源适配器为锂电池充电。锂电池经过 DC-DC 降压式电源转换芯片 LM2576HVS-12 和 LM2576HVS-5 分别输出 12 V、5 V 直流电压。5 V 直流电压一方面经过 DC-DC

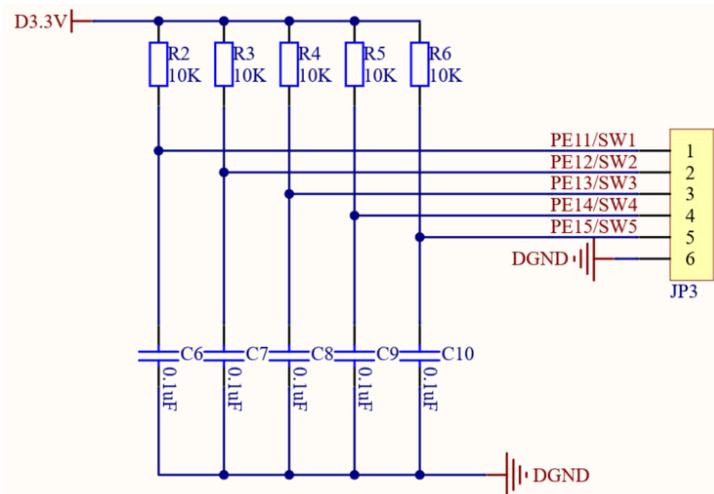


Figure 9. The circuit diagram of key
图 9. 按键电路图

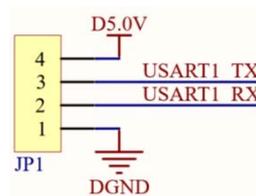


Figure 10. The circuit diagram of serial port screen
图 10. 串口屏电路图

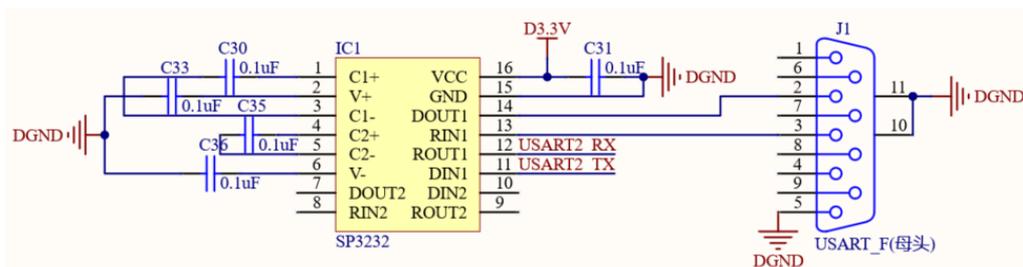


Figure 11. The circuit diagram of RS232 serial communication
图 11. RS232 串口通讯电路图

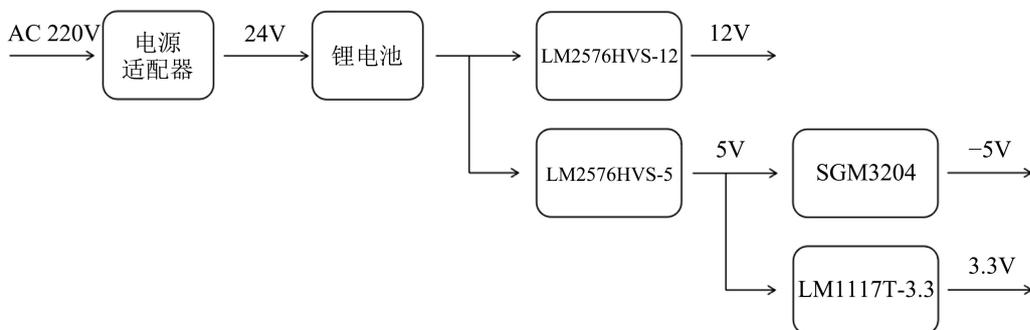


Figure 12. The structure diagram of system power supply
图 12. 系统电源结构图

降压式电源转换芯片 SGM3204 转化为-5 V 直流电压、另一方面经过低噪声 LDO 电源降压芯片 LM1117T-3.3 转化为 3.3 V 直流电压。

系统内部稳压分为模拟电源和数字电源两个部分，这两个部分的电流环路相互隔离布局布线。其中，高压供电电路采用成都飞派科技有限公司 DW-P252-1C68 高压电源模块，将正电压 12 V 通过升压转换为电压-1000 V，为电离室提供所需高压电场。

3. 结语

针对环境空气中氦气水平的监测，本文详细介绍了一种脉冲电离室测氦仪系统的硬件设计，对各个硬件模块的需求分析、选型要求做了深入的探讨，并就各模块的实现方式、具体电路的设计原理进行了说明。整个硬件平台的搭建围绕着小信号采集与处理的中心思想，兼顾了仪器工作的稳定性以及便携性的要求。

基金项目

四川省重大科技专项项目(项目编号：2020ZDZX0007)；基金项目：国家自然科学基金青年基金(项目编号：11905020)。

Conflicts of Interest

The author declares no conflicts of interest.

References

- [1] 刘铮. 基于静电收集法的氦个人剂量计研制[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2022.
- [2] 邓友. 基于空气脉冲电离室测氦仪的研制[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [3] 彭进先, 刘国福, 杨俊, 等. 低噪声电荷灵敏前置放大器关键技术的现状与发展[J]. 核电子学与探测技术, 2012, 32(1): 1-6.
- [4] 喻旋, 张东旭, 付文卓. 基于 SHT11 传感器的温湿度测量系统设计[J]. 电子科技, 2014, 27(6): 121-125.

Appendix (Abstract and Keywords in Chinese)

脉冲电离室测氡仪的硬件设计

摘要: 随着越来越多的人意识到氡气的危害, 社会对于氡测量仪器的需求也将增加, 测氡仪具有广阔的潜在市场。本文根据氡及其子体衰变发射出 α 射线能使空气分子电离的理论, 设计了一种脉冲电离室测氡仪, 它有着测量灵敏度高、测量精度和稳定性好等特点。系统硬件由探测部分、放大甄别部分、数据处理与控制部分和 PC 机组成。该测氡仪可广泛应用于环境空气中氡水平的监测。

关键词: 氡气, 脉冲电离室, 测氡仪, 单片机