文章编号:1673-0062(2013)01-0027-04

氡子体放射性气溶胶活度粒径分布监测系统测量电路设计

唐炉生,刘良军*

(南华大学 核科学技术学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:设计了利用金属丝筛网扩散组法的氡子体放射性气溶胶粒径分布监测系统的硬件测量电路,包括电荷灵敏前置放大器电路、主放大器电路、单片机控制电路、串口通行电路以及与 LCD 显示接口电路等部分.其中重点对电荷灵敏前置放大器做了性能测试,取得了较好的结果.

关键字:筛网扩散组法;电荷灵敏前置放大器;性能测试 中图分类号:TL818 文献标识符:B

Circuit Design of Radon Daughters Radio-aerosol Particle Size Distribution Measurement

TANG Lu-sheng, LIU Liang-jun*

(School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Circuit design of radon daughters radio-aerosol particle size distribution measurement is based on metal wire diffusion groups, which contains charge-sensitive preamplifier circuit and main amplifier circuit, single-chip microcomputer control circuit, Serial communication circuit, LCD interface circuit and so on. Especially, after testing the capacity of charge-sensitive preamplifier circuit, the result is good.

key words: metal wire diffusion groups; charge-sensitive preamplifier circuit; the testing capacity

0 序 言

放射性气溶胶粒径分布是评价环境中 Rn、Th

子体所致所致呼吸道内照射剂量的重要参数^[1]. 根据联合国原子辐射效应科学委员会(UN-SCEAR) 2000 年报告^[2],在人类受到的天然辐射

收稿日期:2012-11-22

作者简介:唐炉生(1984-),男,湖南新田人,南华大学核科学技术学院硕士研究生.主要研究方向:核电子.*通讯 作者

源照射中,Rn、Th 及其子体的剂量贡献约占天然 辐射源总剂量的一半.而且氡子体气溶胶粒径在 0.005 μm~0.17 μm 范围变化时,肺剂量会相应 变化+10%~-20%^[3].因此,对大气环境中的 氡子体放射性气溶胶粒径分布进行监测是十分必 要的.

氢子体放射性气溶胶粒径分布测量原理

金属丝筛网扩散组测量原理简述如下:当单 一粒径的放射性气溶胶粒子(放射性活度比为 Z_o)通过丝筛网组(SB)后,由于扩散等原因,粒子 数减少,其放射性活度比也相应减少为 Z,当筛网 的结构(有效体积、金属丝直径和筛网直径)和测 量条件(温度、湿度和气压)确定后,放射性活度 衰减比 P=(Z/Z_o)为流量或称为透过率.

根据扇模过滤理论,气溶胶通过丝网扩散组的透过率 *P* 为^[4]:

$$P = \exp\left[-\frac{4\alpha n w E_T}{\pi (1-\alpha) d_f}\right]$$
(1)

式中: n 为筛网张数, w 为筛网厚度, α 为固积比 (即在收集区域筛网金属丝所占空间体积与筛网 所占空间体积比, 无量纲), d_f 为筛网金属丝的直 径, E_T 是单个纤维的收集效率, 它是放射性气溶 胶粒径 d_p 的函数.

气溶胶粒径分布函数 *f*(*y*) 与扩散组测量数 据之间的一般关系式^[4]:

$$Z(i) = \left| P(i,y) \cdot f(y) \cdot dy + \varepsilon \right|$$
(2)

对于式(2),通过 Twomy 算法或 E-M 最大值期望 值法这两种数学方法处理,可以得到大致的粒径 分布图 1c.

利用金属丝筛网扩散组法测量氡子体放射性 气溶胶活度粒径分布^[5]的原理如图1所示.

2 硬件测量电路设计

硬件测量电路主要包括电荷灵敏前置放大器 电路、主放大器电路、单片机控制电路等部分.电 源部分由 220 V 交流通过变压和整流提供仪器所 需的 +5 V、+/-12 V、+100 V 电源.

电荷灵敏前置放大电路由场效应管和集成运 放两部分构成.场效应管用低噪声高频结型 2N4416,将电荷信号变为电压信号输出,并进行 初步放大;集成运放用 NE5532 或 NE55334 初步



图1 筛网扩散组测量粒径分布

Fig. 1 The size distribution of screen diffusion group

放大信号(或者2级放大);电源电压用 DC = ±12 V.

场效应管一般选择噪声低、跨导高的结型场 效应管,常见的有 3DJ4、3DJ7、2N4416、2N4419、 2SK147等.一方面 2N4416具有良好的噪声特性 和较高的跨导,另一方面,从低功耗、低成本等因 素考虑,2N4416较好的满足了设计要求.集成运 放影响电荷前放最主要的因素有:输入阻抗、转换 速率、输入等效噪声电压、开环增益和带宽等.电 荷灵敏前置放大常器用的集成运放主要有 NE5532/5534、LF356/357、AD8066、MAX477等. NE5532/5534具有很高的带宽和很大的开环增 益、极快的建立时间、低漂移、响应好等优点,同时 由于前级放大具有较高的输入阻抗和高频特性, NE5532/5534 能较好的满足本课题的设计要求. 两者区别在于 NE5532 是双运放, NE5534 是单 运放.

主放大电路首先进过精密集成运放 OP-37 和 高灵活性的电压比较器 LM311 电路整形和放大, 再经单稳态触发器 74HC123 放大后输出,完成成 型和放大. OP-37 集成运算放大器具有低噪声、低 漂移、高速的特点,对信号进行放大.电压比较强器 LM311 运行在较宽的电源电压,从标准的±15 V运算放大器到单5 V电源用于逻辑集成电路,其输出兼容 RTL,DTL 和 TTL 以 MOS 电路,非常通用.74HC123 的作用主要是对整形和展宽后的触发脉冲信号进行加速和放大,得到较快上升时间和较高幅度的脉冲信号,供控制部分进行有效计数.电源电压用 DC = ±12 V、+5 V.

系统以 51 系列 MCU-STC89C58RD + 为控制 核心. STC89C58RD + 是时钟/机器周期的单片 机,指令代码兼容传统的 8051 系列单片机,其速 度快、电压范围宽,增强了系统的适应性. 2 个 FM31256 来用定时、计数,其内带不同尺寸的非易 失性存储器、低电压复位、看门狗计数器等电路, 可锁存 64 位串行数据密码,其可以检测电路高、 低电平的变化,并将其保存下来,通过 I2C 通讯将 数据传输到单片机.这里 2 个 FM31256 扩展了 4 路计数,加上主芯片 2 路计数,达到了 6 路计数要 求.STC89C58RD + 有一全双工的串口通信,串口 数据下载部分用通用 IC MAX232/202. 电源电压 用 DC = +5 V.

显示部分采用字符型液晶模块 HD44780,它 因功耗低、寿命长、价格低和接口控制方便而被广 泛应用. HD44780 具有整屏显示和单个两种,这 里是用采用 20X4 的整屏显示,可以显示菜单及 同时显示 6 道脉冲计数. 电源电压用 +5 V. 系统 硬件测量电路框图如图 2 所示.





3 控制程序流程设计

本硬件系统主要实现的功能是:在设定时间 内,将探测到的信号经前置放大器、主放大器的放 大和成型,输出得到满足要求的脉冲信号,单片机 控制部分对脉冲进行计数,最后将结果输送到 LCD并显示出来,也可通过串口通信与 PC 机等 人机端口进行通信. LCD 可以显示菜单及各路计 数结果,通过按键来完成参数设置.控制主程序流 程图如图 3 所示.

4 性能测试

在整个测量电路中,前置放大器的性能决定 着整个系统的性能.本文设计的电荷前置放大器 体积小、噪声低、性能稳定.在实验室中,为减小外 界的干扰,采用同轴电缆线连接线路,将前置放大 器放入一个铜质金属屏蔽盒中,并要求严格接地. 经过测试其性能指标为:1)电荷灵敏度 A_{cq} = 1 × 10¹² V/C;2)上升时间为 590 ns;3)其噪声随送入 电容变化曲线如图 4 所示,且其 0 电容噪声为 1.461 8 keV.



在未接取样探头的情况下,对控制测量电路 系统进行模拟测试:利用模拟信号对系统进行测 试,信号发生器产生2V、50Hz的方波信号,从前 置放大器的测试端输入,经主放接入单片机控制 部分后进行计数.测试结果表明:测量电路系统性 能稳定,计数准确,基本达到实验要求.

5 结束语

所设计的前置放大器,具有体积小、功耗低、 结构简单,及较好的稳定性和较低的噪声等优点; 可通过选用低噪声器件、合理布置 PCB、使用屏蔽 线等几个方面进行控制噪声,以获得更高的信噪 比和更好的相应特性;可通过合理的布线修改控 制部分,减低各路计数之间的影响.总之,整套硬 件系统基本达到了实验要求,可以较好的结合软 件系统进行实验.

参考文献:

- [1] 张磊,卓维海,郭秋菊. Rn 子体结合态放射性气溶胶 粒径分布实验研究[J]. 原子能科学技术,2008,42 (增刊):344-348.
- [2] UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation [R]. Sweden: UNSCEAR, 2000.
- [3] 李建龙,唐玲龙,王彦,等.新型放射性气溶胶连续监测仪的实验研究[J].核电子学与探测技术,2009,29
 (4):921-924.
- [4] 王凯锋,刘良军.放射性气溶胶粒径分布测量软件 [J].核电子学与探测技术,2012,32(4):478-481.
- [5] 颜拥军,周剑良,刘良军. 氡子体气溶胶活度粒径分布 监测系统的研制[J]. 核电子学与探测技术,2005,25
 (6):764-767.