



Backpack Type Radioactive Source Seeking System

Mengting Tang, Shimin Hu, Jicheng Shi, Xionghui Yan, Xiongfeng Zheng

Chengdu University of Technology, Chengdu, China

Email: 1016674039@qq.com

How to cite this paper: Tang, M.T., Hu, S.M., Shi, J.C., Yan, X.H. and Zheng, X.F. (2022) Backpack Type Radioactive Source Seeking System. *Open Access Library Journal*, 9: e9188.

<https://doi.org/10.4236/oalib.1109188>

Received: August 5, 2022

Accepted: September 11, 2022

Published: September 14, 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

Backpack type radioactive source seeking system refers to the method of placing a small gamma spectrometer in the backpack to detect the energy and intensity of gamma rays in the area and identify the type and content of radionuclides. It is usually used in the field of environmental radiation monitoring and radioactive source loss, as well as undertaking radioactive exploration tasks. In the radiation environment monitoring, the portable backpack type source finding system is mainly used to search for radioactive substances, analyze and extract information such as statistical dose rate, nuclide identification, and count rate. As the backpack type radioactive source finding system has less research and application, and there are few relevant documents, and according to various factors during outdoor radioactive environment detection, the system has the function of ray intensity indication, ray type classification indication, electric quantity display, over range overload indication, data storage, sound and light alarm, geographical information, and Geiger counting for high-energy areas. In the energy range of 30 keV - 3 MeV, the energy resolution is $\leq 8.0\%$. Finally, Cs-137 is used to test the demand seeking system, and the results show that the system is stable and reliable.

Subject Areas

Nuclear Physics

Keywords

Backpack, Demand Fulfillment, Nuclide Identification, Portable

1. 研究背景

放射性射线在工业、农业、医学、资源、环境、军事等方面都有着广泛的应用，如放射性治疗、无损探伤、 γ 刀等[1]。放射性射线在造福人类的同

时, 也具有很大的危险性, 放射线不稳定元素衰变时, 从原子核放射出来有穿透性的粒子束。人体在受到放射线的照射时, 随着射线作用剂量的增大, 可能诱发人体患白血病、甲状腺癌、骨肿瘤等疾病[2]。因此, 放射源的合理保存非常重要, 当放射源发生丢失、泄露或被盗事件时, 需要对放射源进行寻找、定位和相应处理。

2. 放射性寻源系统总体设计

背包式放射性寻源系统由主控系统、电压检测单元、NaI 探测器(γ 探测单元)、He3 中子探测器、GM 管、数据存储单元、电源系统、手持式终端及报警指示单元等组成, 组成框图如图 1 所示。

2.1. 主控系统

主控系统实现对中子探测、 γ 探测的集中管理, 完成数据处理、能谱分析及核素识别, 集成 GM 管探测器, 与手持式终端和报警指示单元等通信, 提供蓝牙、RS485 等通信手段。

2.1.1. 主控核心

主控为双 ARM + FPGA, 双核架构, F429 负责系统实时时钟、监测、实时备份、接口处理。FPGA 为数据采集及处理。具有 SD 卡、USB、串口、时钟、IO 等多种接口。

2.1.2. 能谱测量单元

能谱测量单元由 NaI 探测器、光电倍增管、前放、数字化多道、电源等构成, 其基本结构如图 2 所示。

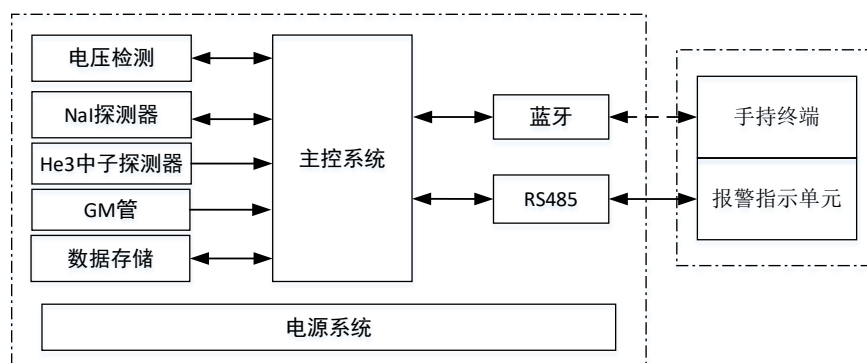


图 1. 背包式放射性寻源系统组成框图

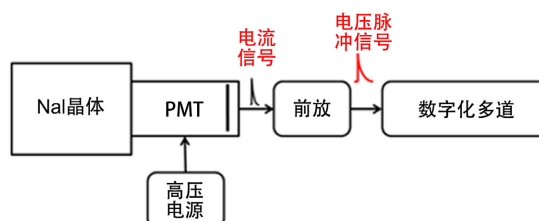


图 2. 能谱测量单元

闪烁体采用 $\Phi 75 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ 的 NaI(Tl)晶体。该闪烁体探测器当受到射线粒子的激发退激过程中将放出荧光光子，在测量中为将闪烁体释放出的荧光光子转换为电子学信号，选用了光电转换器件，并设计与之匹配的电子学读出电路[3]。

2.1.3. 信号采集

探测器后端进行信号的幅度分析需要 ADC 对电子学信号进行采集，并使用高速 FPGA 进行数字信号处理与算法实现。数字化谱仪基本结构如图 3 所示，其关键技术涉及数字滤波成形、数字基线估计、抗混叠、脉冲堆积判处、时间测量分析等。

数字化谱仪模拟器件少，温度稳定性好，谱漂小易于生产调试，通过 FPGA 实现上述关键技术，达到较好的效果。采用 $\Phi 75 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ 的 NaI(Tl)型闪烁体配合 CR160-01 型光电倍增管进行测试，使用偏压为 -800 V ，输出信号时间常数为 4 us 。

2.2. 报警单元

报警指示单元：含电源开关、蜂鸣器状态指示灯、 γ/n 辐射水平指示条、天然 γ /人工 γ 辐射指示灯、 γ/n 辐射报警确认按钮、蜂鸣器切换按钮、蜂鸣器、低电量指示灯等。指示单元与主控模块通过 485 完成通讯(γ/n 剂量率指示灯点亮信息、主控单元反馈的故障信息、蜂鸣器输出频率指令，天然 γ /人工 γ 辐射指示灯指令、蜂鸣器开关指令、低电量指示指令、辐射报警确认指令)。电池供电单元：为可快拆更换的锂电池组，预留充电接口；最后设计如图 4 所示。

2.3. 手持终端

手持式终端通过蓝牙与主控单元通信，可实时显示地理信息、测量值、测量结果等信息。选用成熟产品，运行安卓操作系统。

2.4. 电源

系统供电采用锂电池供电，电压范围 15 V ， 5 A 。系统最大工作功耗为 5 w 左右，主要为主控板、盖革计数器供电，整个系统需要提供 400 V 、 12 V 、 5 V 和 3.3 V 电压。电源设计拟采用 linear 公司的降压型芯片 LT8610，实现 15 V 输入的电源电压的降压调节，并向各个部分提供电源。通过估算，若用 15 V 锂电池供电 10 小时 ，总的电池容量需求约为 $C = (5 \text{ W} \times 10 \text{ H})/15 \text{ V} = 3.3 \text{ AH}$ 。考虑电池的放电特性，电池选用 15 V ， 5 AH 。

2.4.1. 12 V 电源设计

采用降压芯片 LT8610，输入电压为锂电池供电 15 V 5 A ，输出为正电压 12 V 2.5 A 。原理如图 5 所示：

2.4.2. 400 V 电源设计

采用高压电源模块，将正电压 12 V 通过升压转换为正电压 400 V 。原理如图 6 所示：

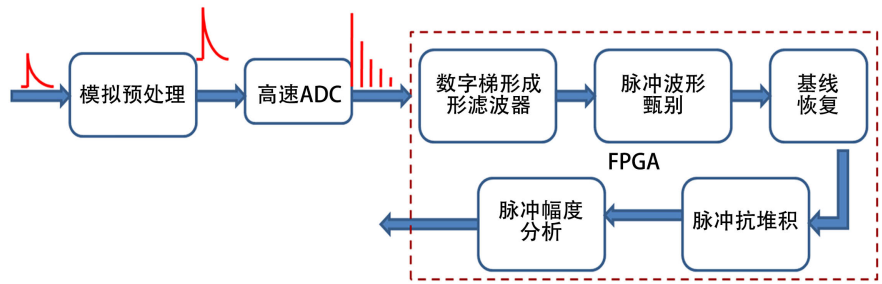


图 3. 数字化谱仪基本结构图

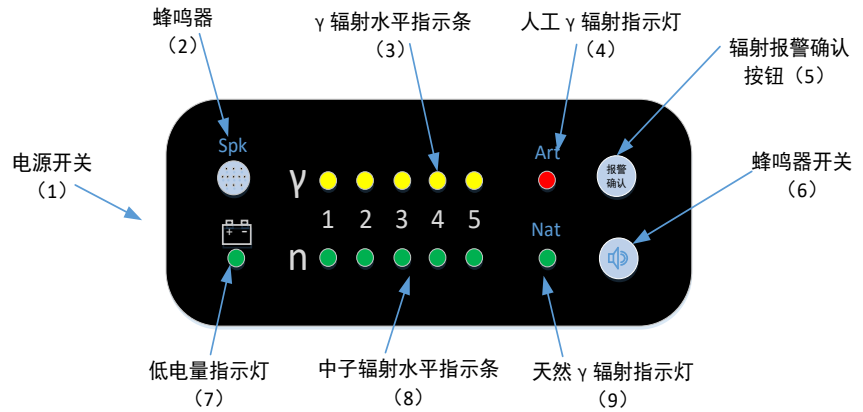


图 4. 报警单元

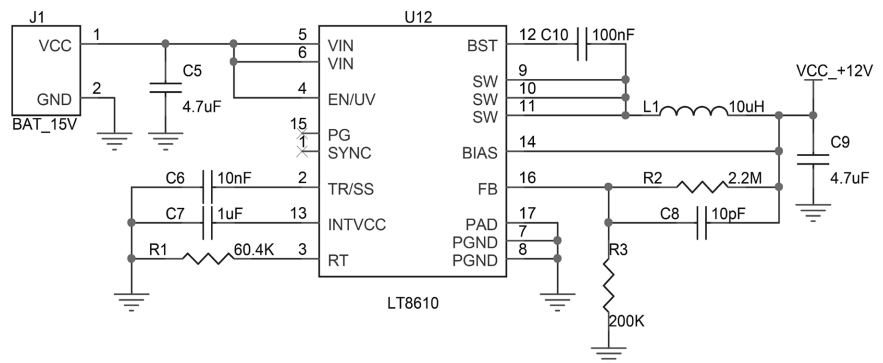


图 5. 12 V 电源电路

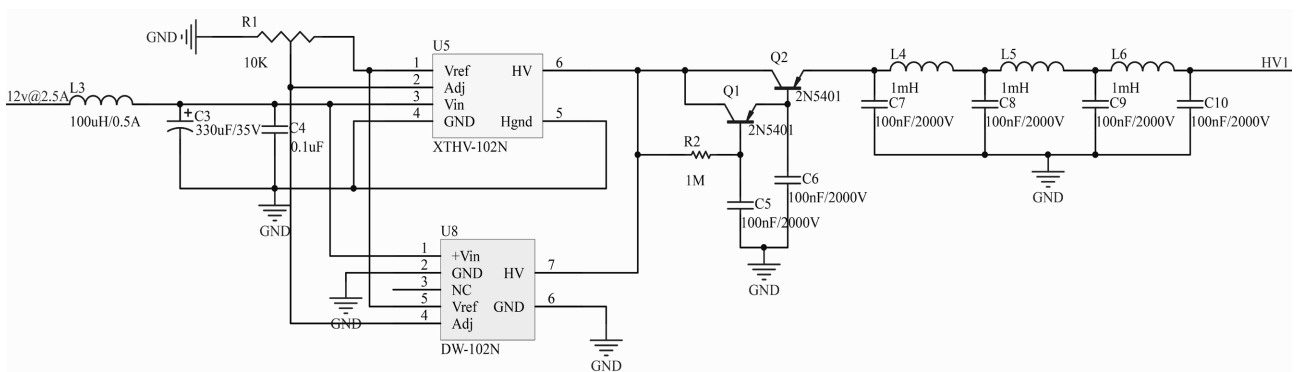


图 6. 400 V 电源电路

2.4.3.5 V 电源设计

采用 DC-DC 降压式电源 IC，将正电压 12 V 转换为正电压 5 V。原理如图 7 所示。

2.4.4.3.3 V 电源设计

采用低噪声 LDO 电源降压 IC，将正电压 5 V 转换为正电压 3.3 V。原理如图 8 所示。

2.5. 背包

背包设计成野战背包样式(最大尺寸约长 700 mm × 宽 300 - 350 mm × 厚 150 - 200 mm)。面料选用加密尼龙，防划耐磨、抗撕裂、有效防水(可考虑另外配置防雨罩)，具有良好的透气性和排湿性，较强的抗碱性。内部合理布局，各个模块分离放置并配有固定装置，并根据需要加装中子探测单元、 γ 探测单元、主控单元(GM 管计数管单元)、电池组、泡棉固定组件。

3. 稳谱技术

以某些特征全能峰作为参考，实现对背包寻源系统的能谱稳谱算法[4]。根据某个特征峰的峰位变化，调节系统的增益，从而确保该特征峰的峰位在整个测量过程中基本保持不变。背包寻源系统能谱主要是以 U、Th、K 或它们的衰变子体产生的特征峰，它们对应的特征能量分别为 1.76 MeV、2.62 MeV、1.46 MeV，可以将其中的某一个作为稳谱峰。我们通常选取 40 K 作为特征参考峰，并将 40 K 的特征峰峰位稳定在谱线的正中位置。譬如对于 1024 分辨率的能谱曲线，40 K 的峰位通常设定在 512 道。如图 9 所示。

在背包式能谱测量中，环境温度对伽马能谱仪的影响可以近似为对谱仪中放大器增益的影响。通常是正温度系数，即温度越高，放大器增益越大，反之放大器增益越小。谱仪增益变大时，会使谱线整体朝右边拉伸，即特征峰右移；反之，会使谱线整体朝左边压缩，使特征峰左移。在相同的测量条件下，如果谱线压缩左移时，天然伽马能谱的本底曲线中反散射峰变的更窄，计数率更高，本底曲线看起来比较“高瘦”；反之谱线拉伸右移时，天然伽马能谱的本底曲线中反散射峰变的更宽，计数率更低，本底曲线看起来比较“矮胖”。为了模拟真实测量情况下温度对谱线的影响，可以通过程序改变伽马能谱仪中的增益来实现。

4. 性能测试

为了测试背包寻源系统的性能，各部分通讯正常，在没有源的情况下测出谱线实现如图 10 所示，即获取其环境本底。在采用 Cs-137 和 Am241 对系统进行测试时测得其核素识别能力如图 11 所示。

对地图和计数率进行测试，不仅能够实时更新地图，并且还能实时更新走过的路线，伽马计数率测试正常，如图 12 所示。

对系统在 Cs-137 环境下的部分谱线数据及各个系数如图表 1 所示。

NaI 和 GM 数率的测试条件和测试数据见表 2、表 3。

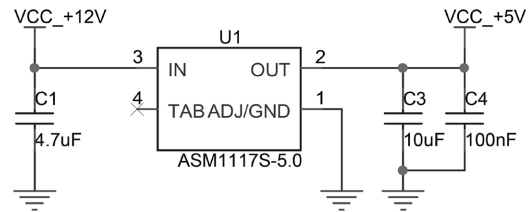


图 7. 5 V 电源电路

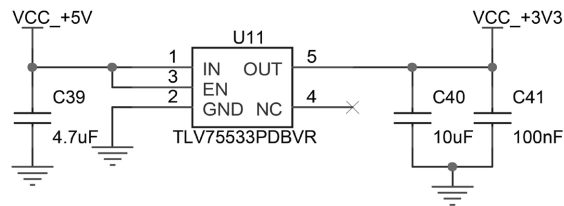


图 8. 3.3 V 电源电路

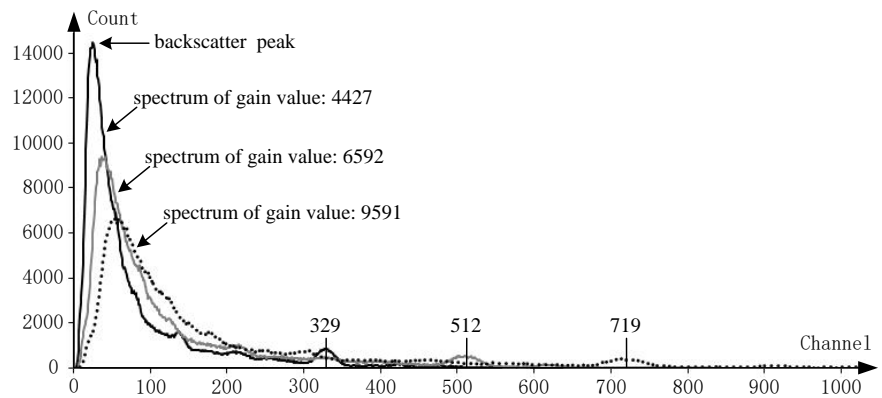


图 9. 1024 分辨率的能谱曲线

表 1. Cs-137 环境下的部分谱线数据及各个系数

谱线道址	计数	GE 系数	谱线剂量率
230	575	548	0.802676337
231	744	699	0.80797971
232	801	751	0.813287052
233	898	841	0.818598312
234	1051	980	0.823913441
235	1155	1081	0.829232392
236	1264	1177	0.834555117
237	1361	1265	0.839881568
238	1445	1347	0.8452117
239	1429	1328	0.850545466
240	1437	1341	0.855882821
241	1441	1346	0.861223721
242	1374	1278	0.86656812

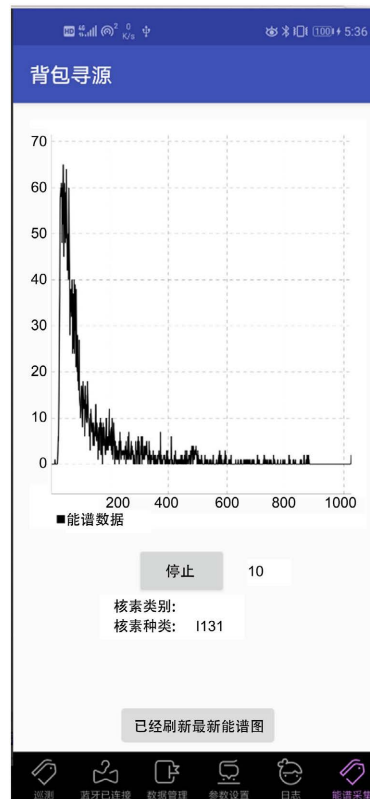


图 10. 无源的情况下测出谱线

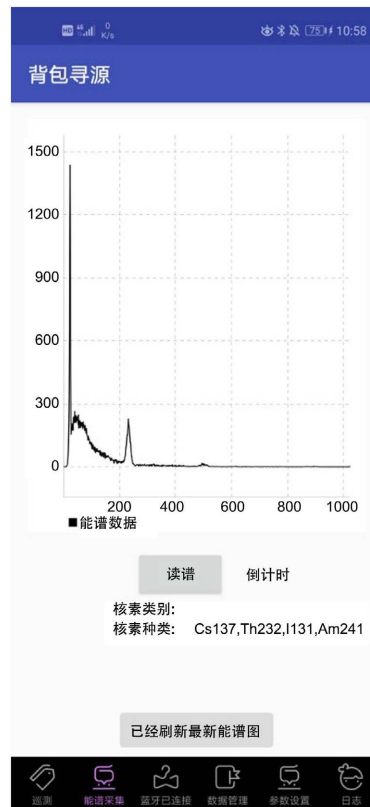


图 11. 有源的情况下测出谱线



图 12. 地图和计数率测试图

表 2. NaI 计数率的测试

NaI 计数率的测试条件				
位置	K1	K3	K6	K8
空气比释动能率 Ka(uSv/h)	3.03	0.99	0.30	0.15
个人剂量当量率 Hp(uSv/h)	3.48	1.14	0.35	0.17
NaI 测试数据				
位置	K1	K3	K6	K8
NaI 计数率	3626	2110	1185	1037

表 3. GM 计数率的测试

GM 计数率的测试条件			
位置	K1	K5	K8
空气比释动能率 Ka(mSv/h)	10	1.01	0.3
个人剂量当量率 Hp(mSv/h)	11.50	1.16	0.35
GM 计数率测试			
位置	K1	K5	K8
GM 计数率	1293	205	56

5. 结语

针对环境辐射等情况研制了一套宽测量范围的便携式寻源系统。能为便携式寻源系统提供又一解决方案，能够解决以航空伽马为代表的大型伽马能谱仪系统昂贵且不利于随身携带的问题，又能解决手持式监测设备测量范围较窄的问题[5]。实现结果也表明该设备可以用于放射源的搜寻。

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 authors declare no conflicts of interest.

References

- [1] 郭红. γ 射线在一些领域中的应用[J]. 抚顺石油学院学报, 1995(2): 73-76.
- [2] 张奇, 张震, 朱卫国, 练德幸, 梁婧, 刘梅, 侯长松. 某医院 PET/CT 项目放射性职业病危害分析与评价[J]. 中国卫生工程学, 2014, 13(3): 210-212+217.
- [3] 高鑫, 何元金. $\text{LaBr}_3: \text{Ce}^{3+}$ 闪烁晶体研究进展[J]. 核电子学与探测技术, 2010, 30(1): 5-11.
- [4] 倪诗翔. 失控放射源搜寻机器人设计与寻源算法研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [5] 卢远盛. 车载伽马能谱仪技术在放射性源搜寻中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2017.

Appendix (Abstract & Keywords in Chinese)

背包式放射性寻源系统

摘要: 背包式放射性寻源系统是指将小型的伽马能谱仪放置在背包中探测区域中伽马射线能量和强度, 并且识别出放射性核素种类和含量的方法。通常应用于环境辐射监测领域和放射源丢失, 以及承担放射性勘查任务。在辐射环境监测中, 便携式背包式寻源系统主要用来搜寻放射性物质, 统计剂量率, 核素识别, 及计数率等信息的分析和提取。由于背包式放射性寻源系统的研究应用较少, 且相关文献较少, 而根据在户外进行放射性环境检测时的各种因素, 此系统具备射线强度指示功能、射线种类分类指示功能、电量显示功能、超量程过载指示功能、数据存储功能、声光报警功能、地理信息功能, 并且对高能区具备盖革计数的功能。在 30 keV - 3 MeV 能量区间能量分辨率 $\leq 8.0\%$ 。最后用 Cs-137 对寻源系统进行实验, 结果表明系统运行稳定、可靠。

关键词: 背包, 寻源, 核素识别, 便携