

基于 LabVIEW 的能谱分析系统设计

徐宏坤¹ 方 方¹ 崔均亮² 王 攀¹ 丁卫撑¹

1 (成都理工大学 成都 610059)

2 (郑州电力高等专科学校 郑州 450004)

摘要 能谱分析是一种重要的核技术分析手段,是解决地球科学、环境科学等有关问题的重要手段。本文讨论了基于 LabVIEW 能谱分析系统的设计方法,借鉴小波分析思想和高斯拟合,较好地实现了 α 、 γ 能谱曲线的平滑与寻峰,及能量刻度、辐射总量与氡气浓度计算,铀、钍、钾含量的计算与分析。采用基于 LabVIEW 的虚拟仪器技术,结合计算机硬件资源,提高了系统运算处理能力,节约了开发成本,同时具有人机交互界面友好直观,操作方便的特点,可被广泛应用于矿产分析,建材或环境的辐射评价等场合。

关键词 能谱分析, LabVIEW, 小波重构

中图分类号 TP274

根据天然放射性核素发射的射线,可区分不同的放射性核素,基于此原理的能谱测量分析是核地球物理的重要探测方法^[1]。测量现场环境中的 α 、 γ 射线谱,获得辐射总量(^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K)和环境氡浓度等信息,已应用于确定岩性、建筑材料辐射监测^[2]、矿产资源勘查^[3]、地质构造、水文评价^[4]等工作。

然而,目前放射性测量仪器的研究还处于起步阶段。传统仪器一般采用单片机或嵌入式系统设计^[5],其处理单元的运算能力有限,一般在 200 MHz 以下,我们采用以 LabVIEW 为代表的虚拟仪器技术,将计算机硬件资源与软件功能模块硬件相结合,其数据传输和运算处理速度有质的飞跃。LabVIEW 为仪器仪表领域专业软件^[6],设计人员可大大缩短开发周期,用户也可通过友好的图形界面方便地完成对被测试信号的采集、存储、分析。因此本能谱分析系统选用 LabVIEW 作为软件开发平台。

1 系统硬件结构

系统硬件结构由信号探测和数据采集两部分组成。 α 射线探测用 Si(Au)探测器,测量范围 $4\sim 10^5$ Bq/m³,灵敏度 3 Bq/m³。 γ 射线探测选用 $\phi 75$ mm $\times$ 75 mm NaI(Tl)探测器,配 GDB-76F 光电倍增管,工作高压-680 V;为减小功耗,并有良好的能量分辨率和稳定性,光电倍增管分压电阻取值 1 M Ω ~5 M Ω 。对 ^{137}Cs 的 661 keV γ 峰,其能量分辨率优于 8%,经前置跟随器输出的负电压脉冲信号幅度约为 200 mV,其脉冲宽度约为 2 μ s。数据采集用

PCI-DAS4020^[7],采样速率 20 MHz。脉冲信号经传输电缆到达分析现场,经 PCI 总线接口送入计算机,在 LabVIEW 平台下分析与发布。

2 系统软件需求分析与总体架构设计

系统软件包括文件管理、数据采集、谱线显示、谱线处理和帮助等五个部分,各部分由实现其对应功能的子模块构成,如采样与存储方式选择,谱线加亮、平滑、寻峰、能量标定、含量计算等。

满足功能需要的同时,软件总体结构对系统稳定性、可操作性,及运行效率有着至关重要的作用。在此选用 State Machine (状态机)实现,即每一种状态执行相应的子模块,主要由一个主循环和一个 Case 结构组成,利用移位寄存器实现状态的跳转。每个模块的程序都对应存放于一个 Case 分支中,这样大大提高了系统的可扩展性和 CPU 对各个模块处理能力。同时,也方便了后期的调试。

图 1 为系统进行环境本底测量时的能谱分析界面,由于系统的子模块较多,在此采用了 Run-Time Menu (运行主菜单)和选项卡显示设计,其中各子功能模块可在需要时通过点击对应菜单或选项卡,载入次级面板,这种方式大大减少了系统运行时的资源消耗,同时使主操作界面更加简洁。其实现方法:首先在 Edit-Run-Time Menu 中进行模块名称和快捷键编辑,然后将其与状态机的 Case 分支相对应;而选项卡的相关控件位于前面板的 Modern 选板的 Containers 中。

教育部博士点基金:核资源勘查中 α 能谱测量技术研究(20060616010)资助

第一作者:徐宏坤,男,1980 年出生,2008 年于成都理工大学获硕士学位,现为博士研究生,从事核信号采集与处理领域的研究

收稿日期:2008-10-13,修回日期:2008-11-24

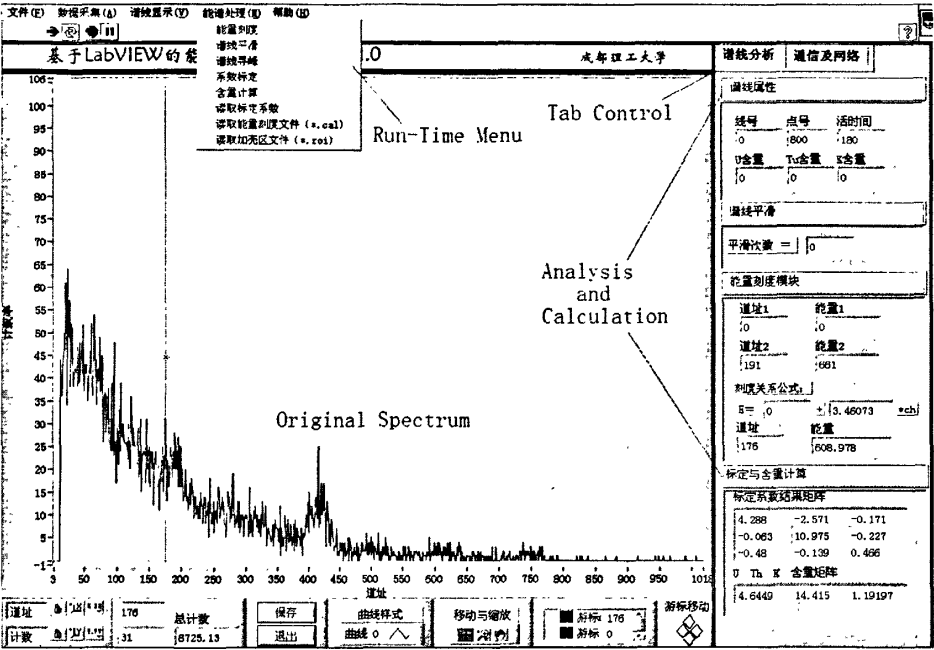


图 1 系统运行界面
Fig.1 System running interface

3 软件部分模块设计实现

3.1 谱线存取部分

高速采集系统海量数据快速存储问题，历来是放射性核信号的采集与分析领域的难点， γ 信号脉冲宽度为 $2\ \mu\text{s}$ 左右，20 MHz 采样速率的 PCI-DAS4020 全速运行时，每秒产生 40 MB 的数据，如此大量的数据高速传输与存储，对于常规仪器已经无法实现。

为实现数据的传输，本系统采用 PCI 接口，当工作频率为 33 MHz，总线宽度为 32 位，则最大传输速率为 132 MB/s。对于数据的存储，以 TDMS (Technical Data Management Streaming) 格式(相关函数位于 Functions Palette—Programming—File I/O—TDM streaming)将动态类型数据存储为二进制数据流文件，快速记录到磁盘上，同时利用 Local variables (局部变量)在子程序间传递和 Time-stamp (时间戳)等函数为数据文件都添加采样时间、采样率、操作者等相关状态信息。

3.2 谱线显示部分

谱线显示部分为谱线的加亮处理、坐标的变换、

曲线的缩放与移动等功能。为避免与信号采集和数据处理部分抢占系统资源，并且能较好显示谱线实时，本部分程序位于默认 Case 结构分支，设为较低优先级。对于显示状态的调整，如上下方向键调整显示比例，运用(Property Node)属性节点(Functions Palette—Programming—Application Control)函数，实时调用并改变 Graph 的 Y Scale.Maximum 节点属性值。Shift+左右方向键快速移位，主要运用 Event Structure 扫描按键，并通过 Conditional Disable Structure 判断按键扫描码从而触发条件，改变 Graph 的 X Cursor.Post 节点属性值来执行对应动作。

3.3 谱线平滑与寻峰

通用的二阶多项式五点拟合平滑方法，平滑后峰顶畸变较大，会丢失弱峰或出现假峰，净峰面积计算的误差大，能量分辨率变坏，难以在高本底上寻找弱峰或分辨相距很近的重叠峰。为此，我们采用小波分析^[8]，将能谱信号分解为能域和频域信息，通过小波分解，引入非线性阈值函数，重构得出消除统计涨落的平滑能谱曲线。对能谱信号为 $f(t)$ ，测得数据为： $y(t_i) = f(t_i) + \sigma z_i$ ，其中， z_i 为统计涨落， σ 为涨落强度， t_i 为道址，为消除统计涨落影响，首先由离散的二进制小波变换：

$$W_j f(s, x) = \frac{1}{2^j} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \phi\left(\frac{x-t}{2^j}\right) dt \quad (1)$$

得出含有噪声的小波系数 $\omega_{j,k}$; 计算各尺度小波系数标准差 S_i , 浮动域值 $t = (2 \log n)^{1/2} S_i n^{-1/2}$, 用非线性域值函数 $\eta_i(\omega) = \text{sgn}(\omega)(|\omega| - t)$ 作用于小波系数, 由此给出小波系数 $\omega_{j,k}$ 的估计值 $\hat{\alpha}_{j,k}$; 最后, 在此基础上进行小波反演, 重构得到能谱 $f(t)$ 的估计值 $f(\hat{t})$ 。

之后, 结合高斯拟合捕获峰值和道址, 由

$$N_i = B_i + y_0 \exp\left\{\frac{[-(i - i_0)/\sigma]^2}{2}\right\} \quad (2)$$

其中, N_i 为总计数, B_i 为基地计数, 用指数函数表示为:

$$B_i = N_i (N_h / N_l)^{\frac{i - i_l}{i_h - i_l}} \quad (3)$$

i 为道址, i_l 、 i_h 分别表示全能峰左、右边界道址; N_l 、 N_h 分别为左、右边界道上的计数, y_0 为峰位记数, i_0 为峰址。移项对数变换得: $\ln(N_i - B_i) = a i^2 + b i + c$, 经最小二乘法处理得峰值道址: $i_0 = -b/(2a)$ 。

本部分相关运算函数主要位于 Functions Palette—Mathematics—Probability&Statistics, Integration&Differentiation 和 Scripts&Formulas。此种方式平滑寻峰, 谱线峰形变化较小, 且相对线性平滑方法能够很好消除统计涨落的影响(图 2、图 3), 对重峰和弱峰分析的效果很好, 如图中 583 keV 的钆峰和 609 keV 的铀峰构成的重峰及 1760 keV 的弱铀峰。

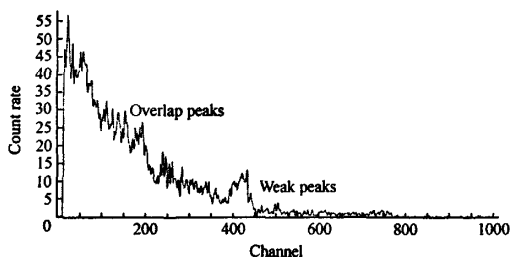


图 2 五点平滑五次效果
Fig.2 Effect of 5-point smoothing (5 times)

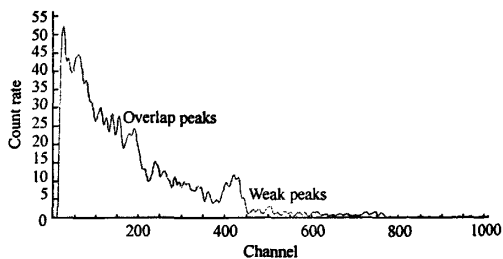


图 3 小波重构平滑效果图
Fig.3 Wavelet smoothing effect

4 设计小结

基于 LabVIEW 的虚拟仪器技术出现, 极大地方便了仪器仪表的开发设计, 在此我们借鉴 LabVIEW 中硬件软件化的思想, 将其应用于核电子领域, 进行能谱分析, 实现了 α 、 γ 能谱曲线的读取存储, 小波重构谱线平滑和高斯拟合寻峰, 能量刻度, 辐射总量与氡气浓度计算, 铀、钍、钾等元素含量的计算与分析功能。经过多次实践测试应用和不断改进, 本系统取得了良好的效果。由于其借用了计算机的高效运算处理能力, 弥补了常规核电子仪器中处理器能力的不足, 同时也减少了硬件支出, 降低了成本。因 LabVIEW 为针对仪器测控领域的专业软件, 相比其他开发系统, 如 C++、VB、Delphi 等, 具有界面直观, 简便易行的特点, 大大节省开发周期。

参考文献

- 1 方方, 侯新生, 马英杰, 等. 核技术, 2004, 27(5): 397-400
FANG Fang, HOU Xinsheng, MA Yingjie, et al. Nucl Tech, 2004, 27(5): 397-400
- 2 吴锦海, 王力, 裴永法, 等. 复旦学报(医学版), 2003, 30(2): 178-179
WU Jinhai, WANG Li, PEI Yongfa, et al. Fudan Univ J Med Sc, 2003, 30(2): 178-179
- 3 方方, 李宽良, 侯新生, 等. 物探与化探, 2000, 24(1): 7-10
FANG Fang, LI Kuanliang, HOU Xinsheng, et al. Geophys Geochem Explor, 2000, 24(1): 7-10
- 4 方方, 贾文懿, 周蓉生. 核技术, 1999, 22(4): 218-222
FANG Fang, JIA Wenyi, ZHOU Rongsheng. Nucl Tech, 1999, 22(4): 218-222
- 5 徐宏坤, 方方, 崔均亮, 等. 电子技术, 2007, 1: 37-38

- XU Hongkun, FANG Fang, CUI Junliang, *et al.* Electron Technol, 2007, 1: 37-38
- 6 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW8.20 程序设计从入门到精通. 北京: 清华大学出版社, 2007. 4-7
- 7 PCI-DAS4020/12 Analog and Digital I/O Board User's Manual
- 8 肖刚, 邱晓林, 李天柁, 等. 核技术, 2001, 24(2): 85-87
- CHEN Xihui, ZHANG Yinghong. LabVIEW8.20 programming from basic to master. Beijing: Tsinghua XIAO Gang, QIU Xiaolin, Li Tiantuo, *et al.* Nucl Tech, 2001, 24(2): 85-87

A spectral analysis system based on LabVIEW

XU Hongkun¹ FANG Fang¹ CUI Junliang² WANG Pan¹ DING Weicheng¹

¹(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

²(Zhengzhou Electric Power College, Zhengzhou 450004, China)

Abstract Energy spectral analysis is an important method for applications in earth science, environmental science, and other fields of research. In this paper, we introduce a new spectral analysis system based on LabVIEW. By wavelet analysis and Gaussian fitting, functions are realized to smooth, identify and scale the peaks of an α - or γ -ray spectrum. Concentrations of the radon gas, and the uranium, thorium and potassium radionuclides, are calculated. By the virtual instrument technology based on LabVIEW, one is able to make full use of computer hardware resource and improve the processing capacity of the system with reduced costs. The system, with a user-friendly interface, can be widely used in applications of mineral analysis, building material analysis, environmental assessment of the radiation, and many other occasions.

Key words Energy spectral analysis, LabVIEW, Wavelet reconstruction

CLC TP274