

## 高纯锗 $\gamma$ 能谱仪

### 1. 设备简介

中智核安生产的 GammaLin 型高纯锗伽马谱仪系统, 是由高纯锗探测器、制冷装置、数字化多道谱仪、低本底铅室、伽玛能谱获取与分析软件、无源效率刻度软件等组成, 主要用于水质、食品、药品等样品中放射性元素的定性定量分析。



图 1 GammaLIN-L50X 型高纯锗 $\gamma$ 谱仪

#### 1.1、高纯锗探测器

以配置 50 效率的 P 型宽能高纯锗探测器 GCDX-50190 为例。同时探测器包含低本底垂直冷指。

- 探测器类型：P 型宽能型同轴高纯锗探测器；
- 能量范围：5keV ~ 10MeV ；
- 相对探测效率： $\geq 50\%$ ；
- 封装：为降低自身本底增强射线穿透率，提高绝对探测效率，采用低本底碳窗封装；
- 能量分辨率：
  - 对 5.9KeV 峰 (Fe-55) :  $< 0.85\text{KeV}$ ；
  - 对 122 keV 峰 (Co-57) :  $< 0.9 \text{ keV}$ ；
  - 对 1.332 MeV 峰 (Co-60) :  $< 1.9\text{keV}$ ；
- 峰康比： $> 70:1$ ；
- 峰形参数：
  - $\text{FW0.1M}/\text{FWHM} \leq 1.90$ ；
  - $\text{FW0.02M}/\text{FWHM} \leq 2.60$ ；

## 1.2、多通道数字化谱仪

选配北京中智核安科技有限公司生产的 GammaSpectrum-2 型数字化多通道，具有高的数据通过率、数字化稳谱、自动极零、自动最优化、死时间校正、脉冲高度分析、低频噪声抑制、列表模式、内置虚拟示波器和数字化门控基线恢复等功能，大屏幕彩色液晶可连续显示状态和实时谱图信息。

- 最大数据通过率：大于 100kcps；
- 粗调增益：1, 2, 4, 8, 16、32 或 64 可选；
- 细调增益：0.25~1 可调；

- 最大道址：65536 道；
- 成形时间常数：上升时间从  $0.8\mu\text{s}$  至  $23\mu\text{s}$  可调，每步  $0.2\mu\text{s}$ ；平顶时间从  $0.3$  至  $2.4\mu\text{s}$ ，每步  $0.1\mu\text{s}$ ，由计算机选择（在自动最优化功能下自动调整）；
- 系统转换增益（存储器分段）：256 道-64K 道；
- 通讯接口：USB 和 以太网接口；
- 线性：积分非线性  $\leq 0.05\%$ ；微分非线性  $\leq 1\%$ ；
- 温度系数：增益  $< 35\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ；零点  $< 3\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ；
- 谱仪控制：可实现多道的连接，增益调整，自动极零，高压调整等；
- 脉冲抗堆积：自动设定域值，脉冲对分辨率  $\leq 500\text{ns}$ ；
- 信号处理：具有低频噪声抑制、自动最优化、自动极零、零死时间校正、符合与反符合、脉冲高度分析、列表模式和虚拟示波器等功能；
- 高压包：高压设置范围  $500\sim 5000\text{V}$ ；
- 工作温度： $-20\sim 50^\circ\text{C}$ 。



图 2 多通道数字化谱仪

### 1.3、伽马解谱分析软件

配置中智核安的型号为 GammaSharp  $\gamma$  能谱分析软件 [简称：

地址：北京市昌平区科技园区高新四街 6 号院 1 号楼 305

邮箱：[zhongzhihean@163.com](mailto:zhongzhihean@163.com)

电话：010-60603642

传真：010-60603642-17

网址：<http://www.zzhean.com>

GammaSharp]V2.0, 该软件集成硬件控制、能谱获取、数据分析、报告生成和质量控制于一体, 以全自动分析为导航, 在选择性精密交互分析的基础上输出分析结果, 能在任何版本 Windows 操作系统上正常运行, 具有谱仪控制、能量刻度、寻峰、能谱解析、核素库查询、数据管理、全自动出报告等功能。以下为功能的详细描述:

- 谱仪控制: 增益粗调、细调、启动数字化稳谱、调节高压、显示实时间/活时间、设置上下甄别阈等;
- 能量刻度: 通过单峰拟合精确定位峰位, 用户根据预先了解的知识确定峰位对应的能量, 软件提供核素峰信息实时查询功能;
- 寻峰: 采用一阶导数、二阶导数方法寻找孤立峰, 在峰形拟合的基础上, 采用 Mariscotti 方法寻峰进行二次寻峰, 以确定重峰峰位;
- 效率刻度: 软件提供三种功能, 一是调用基于标准源实验测量得到的效率刻度曲线, 二是采用无源效率刻度软件 (CAD 建模或者三维激光扫描建模) 的计算结果, 三是采用基于标准源效率刻度因子修正的结果;
- 效率计算: 内置高度、密度效率修正功能;
- 内置级联符合相加效率刻度因子校正计算等功能;
- 峰拟合: 可对奇变峰形进行交互分析, 可定量解析重峰, 最大可解析 20 重峰;
- 活度计算: 对于同一核素的不同的 $\gamma$ 峰, 同时考虑分支比、效率刻度因子, 通过加权平均计算活度;
- 活度修正: 具有采样时间修正, 放置时间修正, 测量时间活度修正功能;
- 可以进行寻峰、峰面积计算、本底扣除、效率修正加权平均活度计算、母体-子体衰变修正、自动衰变校正, 探测下限 (MDA) 计算、级联符合相加校正、自动或手动操作进行剥谱, 以正确地对多核素间干扰进行校正,  $MDA = 4.65 \times [(B)1/2/LT]$ ;
- 可以选定多种预置条件: 指定 MDA、统计测量、活时间、实时间、峰面积及谱计数率等;
- 可以对峰核素加标识, 以供操作员控制, 求平均活度, 选择性活度报告

及 MDA 报告;

- 最小可探测限计算: 内置 Currie MDA, KTA MDA, PISO MDA, Critical level 等分析方法供选择;
- 不确定度分析: 综合计算探测效率不确定度、计数率不确定度给出能谱测量结果的不确定度;
- 分析用核素库: 来自 ENSF (Evaluated nuclear structure data file), 有 3000 多种放射性同位素的谱线系, 用户在使用过程中可以实时查询谱线信息。
- 界面: 内置源代码多语言操作系统, 可选全中文界面;
- 分析流程: 首先全自动分析, 用户根据全自动分析的结果, 选择关注的核素和能峰, 然后进行高精交互分析, 然后输出报告。一般情况下全自动分析的功能已经满足用户需求。交互分析功能中, 允许用户为样品添加注释、删除谱中的伪峰、加入自动处理过程未被检出的峰, 改变拟合峰形等, 方便使用者掌握使用;
- 报告输出: 具有全自动定量分析功能, 以 TXT、PDF、HTML 和 XML 等格式输出报告, 用户可定制测量结果报告输出格式。

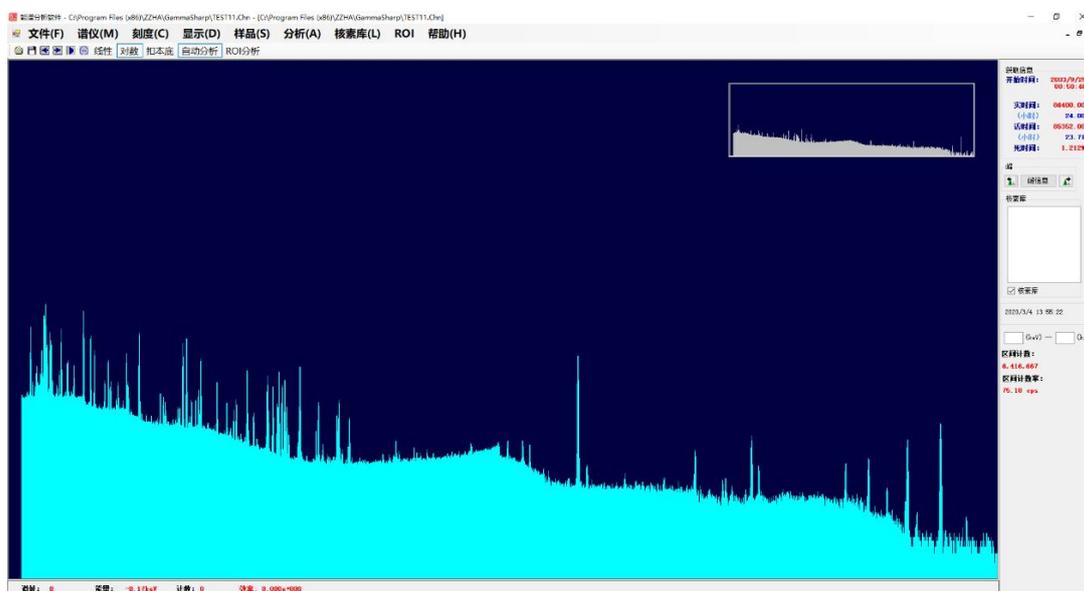


图 3 GammaSharp 能谱分析软件主界面

## 1.4、实验室无源效率刻度软件（选配）

无源效率刻度软件 Gammacalib 探测器无源效率刻度软件[简称:

地址: 北京市昌平区科技园区高新四街 6 号院 1 号楼 305

邮箱: [zhongzhihean@163.com](mailto:zhongzhihean@163.com)

电话: 010-60603642

传真: 010-60603642-17

网址: <http://www.zzhean.com>

Gammacalib]V4.0 是中智核安自主研发的一款用于半导体 $\gamma$ 射线探测器无源效率刻度的专利产品。它的核心算法是基于数值积分的方法，对于复杂形状或体积较大的物体，其计算速度比蒙特卡洛模拟要快很多。它基于三维建模软件开发而成，可对任意形状和结构的样品进行探测效率模拟计算。软件几何和材料建模能力强大，计算精度高，速度快，界面简单，使用方便。其核心算法的正确性经过了 200 多块不同形状和能量体源的实验测量结果检验。

- 采用功能强大的 CAD 软件建模，实现对任意组合几何形状的体源的三维可视化快速建模，包括但不限于点源、柱体状、体源、平面源、马林杯、以及三通管、螺帽、螺栓等，由软件计算其效率刻度曲线；
- 由点源的完整效率曲线为基准，由软件推演计算其它形式（包括柱体状、平面状、马林杯等）样品的效率刻度曲线；
- 每个探测器在订制 Gammacalib 软件过程中都需要进行表征，点源基准效率曲线见图 5；
- 计算方向：任意角度， $4\pi$ 立体角；
- 具有符合相加修正功能；
- 软件的精度：样品基质均匀、且活度在样品中分布均匀，参数输入准确情况下，误差水平 $\leq 5\%$ 。

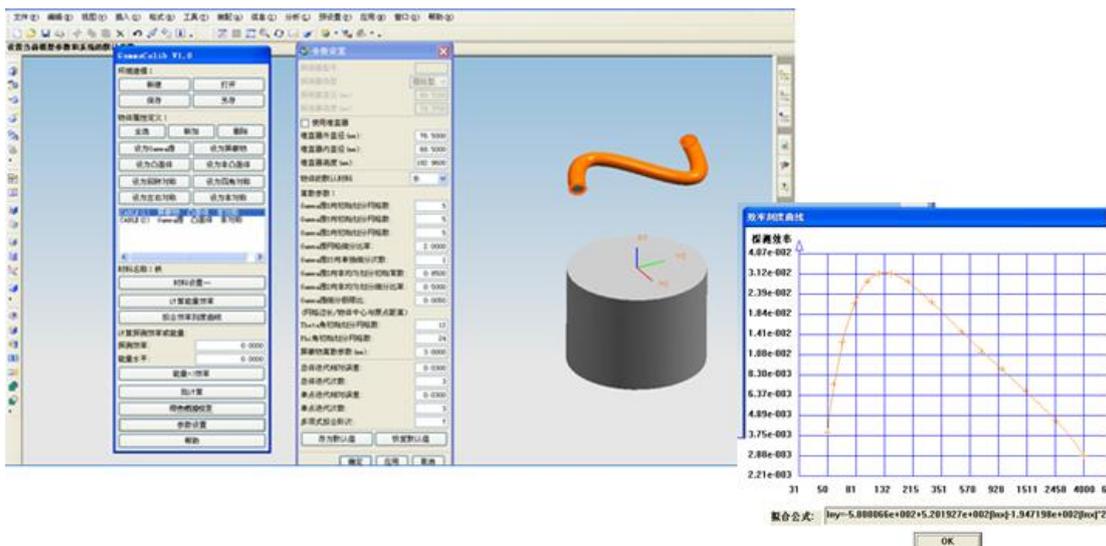


图 4 无源效率刻度软件典型界面

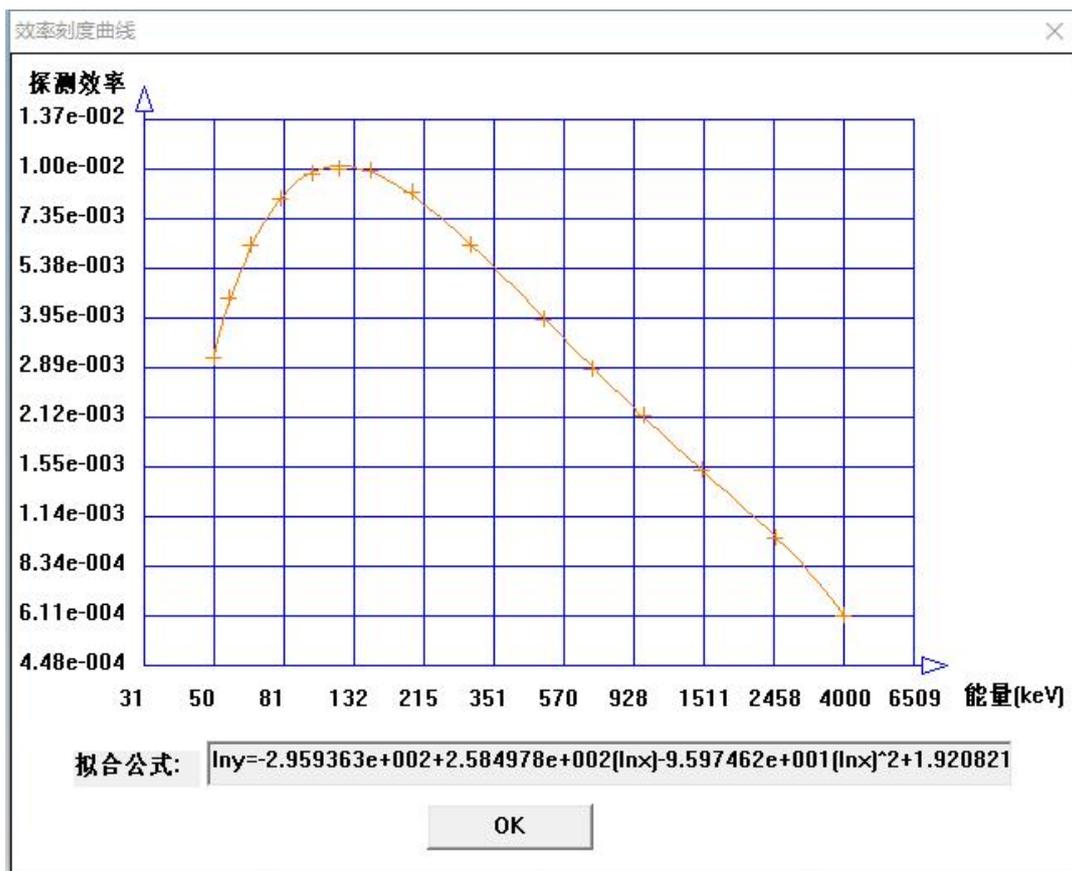


图 5 点源基准效率曲线

## 1.5、低本底铅室

配置中智核安生产的 GammaShield-2 型低本底铅室。其详细技术指标如下：

- 顶开和侧开一体式铅屏蔽室；
- 可内置 2 升马林杯进行检测，铅室盖子可正常关闭；
- 外壳 10mm 低碳钢板；
- 主屏蔽体铅屏蔽厚度： $\geq 10\text{cm}$ ；
- 内置 $\geq 0.5\text{mm}$  厚锡板和 $\geq 1.5\text{mm}$  厚无氧铜板；
- 铅室内腔尺寸：高 $\geq 40\text{cm}$ ，直径 $\geq 28\text{cm}$ ，有效测量高度 $\geq 25\text{cm}$ ；
- 铅室总重量： $\geq 1000\text{Kg}$ ；
- 本底计数率：对于相对效率 50%探测器 50keV ~ 2MeV 本底计数率 $\leq 2.0\text{s}^{-1}$ 。



图 5 GammaShield-2 型低本底铅室

## 1.6、液氮回凝制冷装置

配置 LN-2 型液氮回凝制冷机，它是中智核安自主研发的一款高性能的液氮回凝制冷机，LN-2 采用国内某研究所军工级斯特林制冷机，可以将蒸发的液氮进行冷凝回收，免去了频繁添加液氮的麻烦，具有制冷功率大、低振动，低电子学噪声，低能耗，不影响谱分辨率等优点。

- 液氮罐容积：28L；
- 制冷方式：采用军用级的元器件，军用斯特林制冷机；
- 可匹配垂直或水平冷指；
- 制冷压缩机平均无故障时间 > 20 万小时；
- 低噪音设计，实际工作期间在 1 米处噪音小于 60db；
- 对死时间影响小于 1%，对 59.5keV 特征射线的能量分辨率影响小于 10eV；
- 空罐平均功耗小于 90w，安装高纯锗探测器后平均功耗 120W；
- 配备安全阀，保证设备不会因突然断电而导致压力过高产生危险；
- 具有工作状态异常报警功能；
- 断电工作情况：在实验室断电情况下液氮能连续维持探测器低温 7 天以上；
- 不断电工作情况：充满液氮连续通电运行情况下可连续为探测器制冷 2 年以上无需补充液氮；
- 配备实时监控软件，可实时显示制冷状态：是否在液氮循环状态、液位状态、内部工作压强、冷头温度、运行功率等；
- 性能安全。



① 电源开关	⑥ 远程报警
② 液位输入	⑦ 防尘棉
③ 工作指示灯	⑧ 安全阀
④ 液位显示	⑨ 液位计
⑤ 通讯	⑩ 排气/进液口

图 6 LN-2 型液氮回凝制冷机