



兰州大学
LANZHOU UNIVERSITY

第五届全国微模式气体探测器研讨会 兰州

脉冲面积分析方法及应用

李东仓

兰州大学
核科学与技术学院

2015.07.24



兰州大学
LANZHOU UNIVERSITY

提 纲

- ◆ 引言
- ◆ 工作原理
- ◆ 仿真结果
- ◆ 实验结果
- ◆ 结论和展望



脉冲高度分析（PHA）

传统的核能谱获取方法是基于脉冲高度分析（PHA）技术，核探测器输出的信号经过前置放大器预放大，主放大器的放大和滤波成形处理，进入多道数据获取系统，经过峰值保持器和AD转换，得到与脉冲峰值幅度成比例的数字量，多道系统以此数字量为道址，对其进行分类统计，从而得到幅度分布谱。

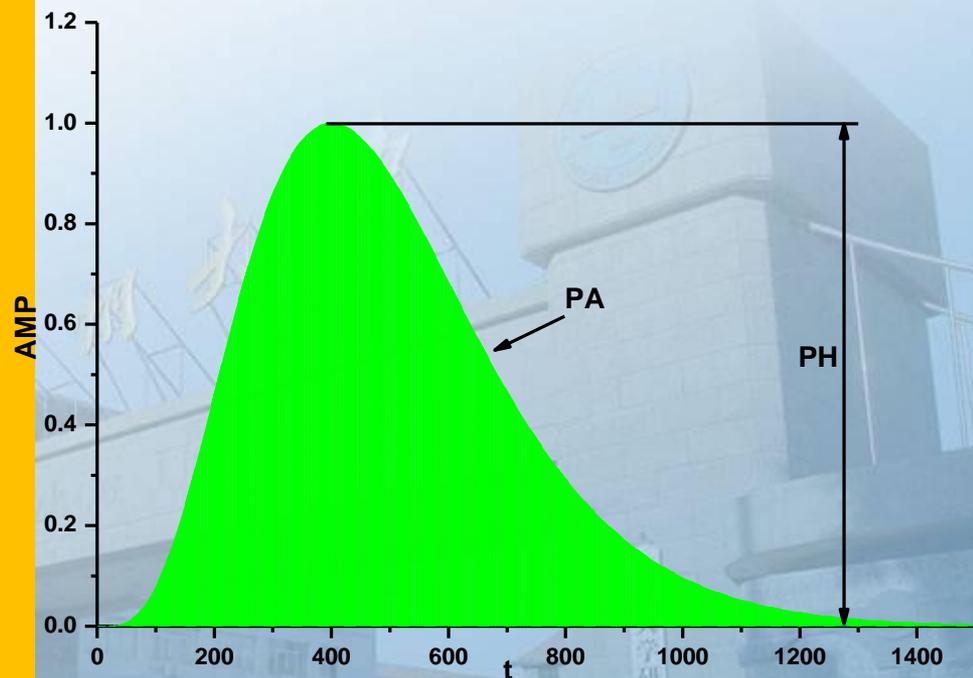
由于核脉冲信号叠加了高频噪声，尽管经过滤波器提高了信噪比，但噪声对能谱分辨率的影响还是存在的。



脉冲面积分析 (PAA)

脉冲面积分析 (PAA) 方

法，通过对核脉冲波形面积积分，获得与脉冲幅度成比例的数字量，以此数字量进行多道数据的统计获取能谱，通过求和平均的方法可以一定程度消除高频噪声对分辨率的不利影响，提高能谱分辨率。





随着高速、高精度AD技术和高速数据获取技术的发展，已经有大量商用的数字化仪应用于核数据获取，它具有传统方法所无法比拟的优势，如能够完整采集记录核脉冲的波形，通过分析核脉冲波形数据可以获得**幅度**，**上升时间**，**下降时间**，**宽度**，**波形**，**面积**等方面的完整信息，可用于能谱获取，波形甄别，粒子鉴别，离线事件多通道符合处理等，能够获取更多的相关信息。

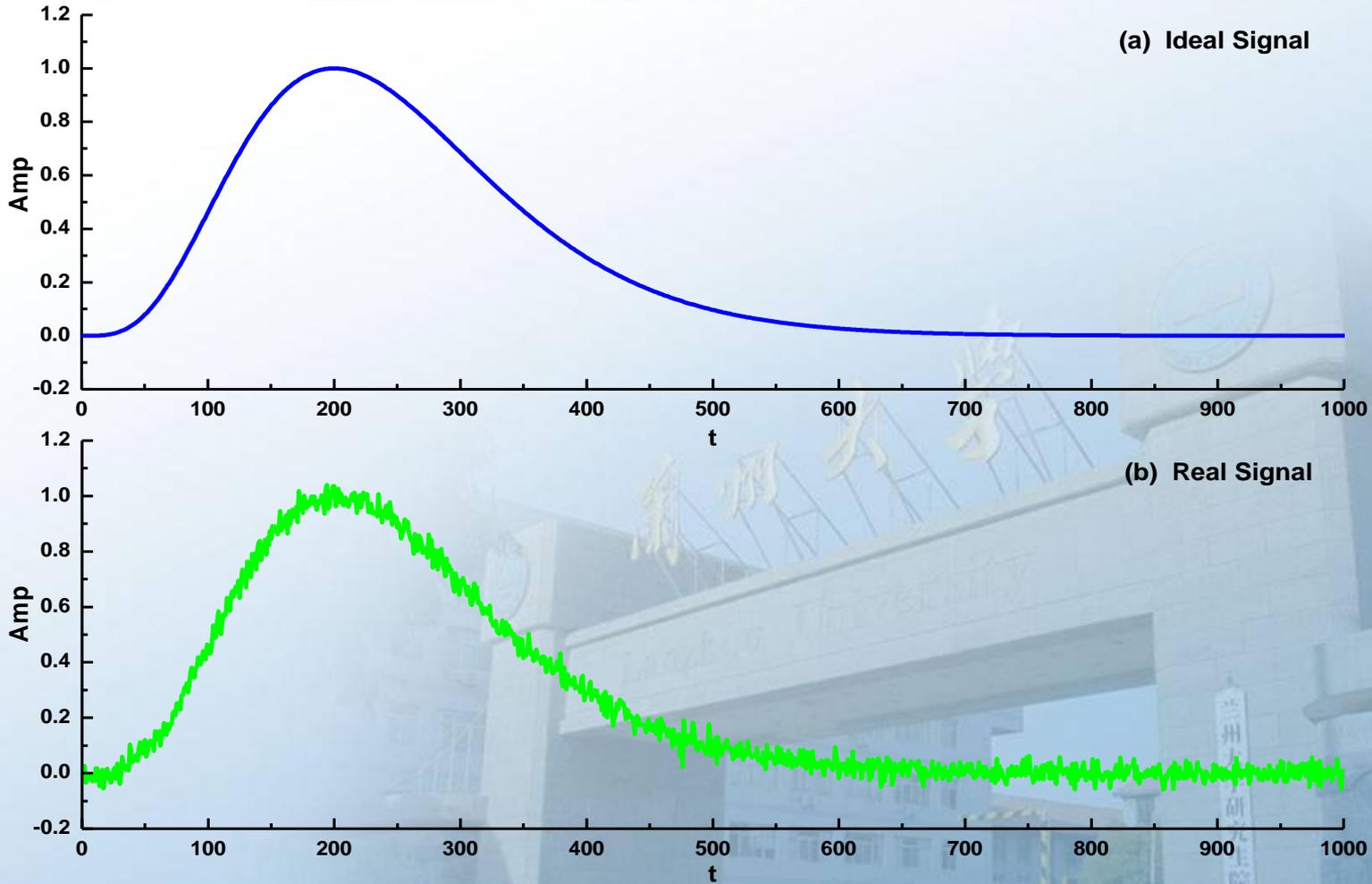


图1 核脉冲波形 (a) 理想波形; (b) 实际波形

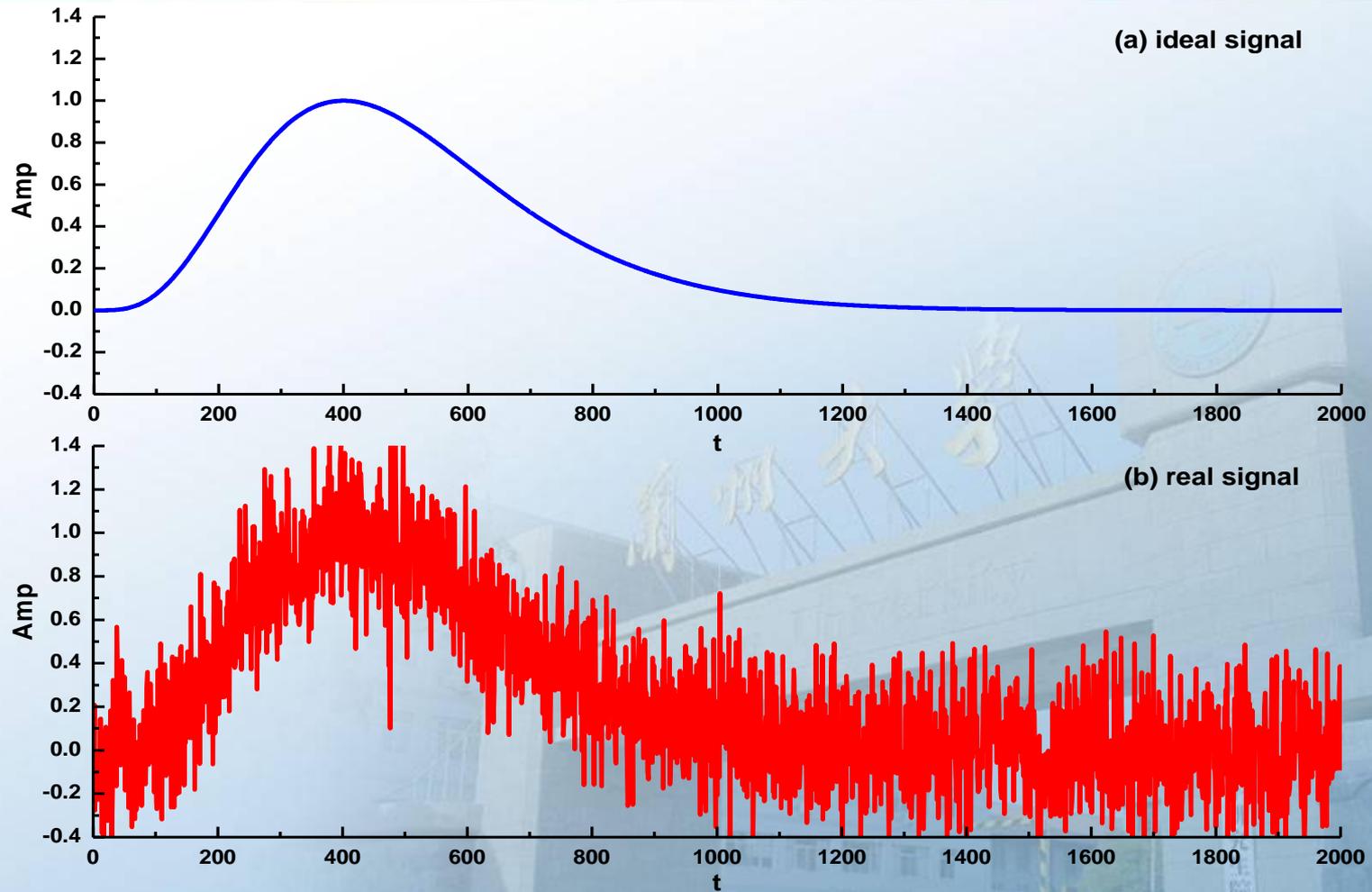


图2 核脉冲波形 (a) 理想波形; (b) 糟糕的实际波形

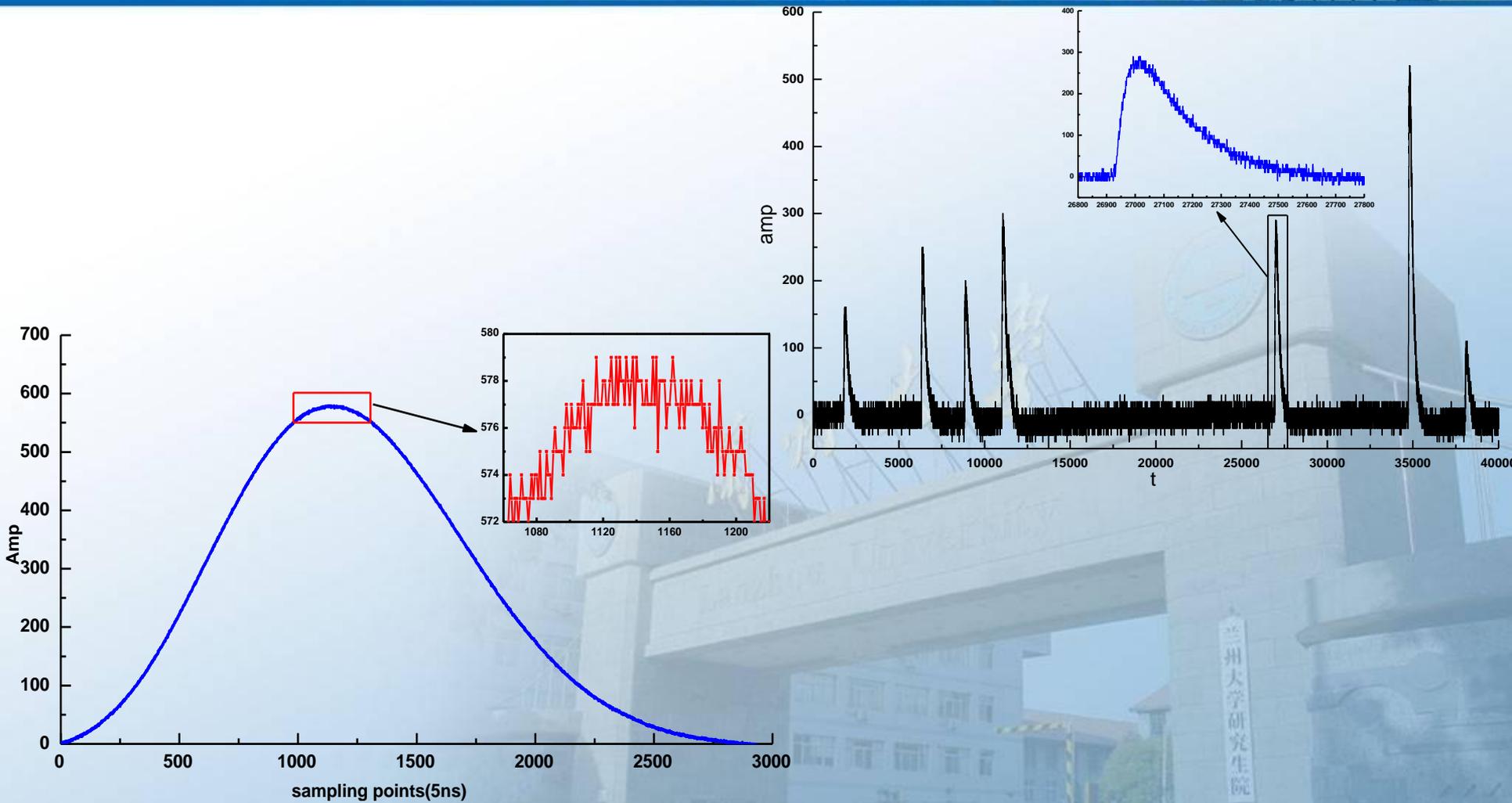


图3 数字化仪采样波形重建 (U1066A-DC438, Agilent)



以通常高分辨核能谱获取采用半导体探测器为例，输出信号经电荷灵敏前置放大器放大，再经准高斯滤波成形（CR-RC⁴）放大，其输出波形为（1）所示：

$$v_o(t) = A \left(\frac{t}{\tau} \right)^4 e^{-\frac{t}{\tau}} u(t) \quad (1)$$

其中， τ 为滤波器时间常数， A 为与幅度有关的系数， $u(t)$ 为单位阶跃函数，该脉冲的峰值 P_H 为：

$$P_H = A4^4 e^{-4} \quad (2)$$



该脉冲的积分面积 P_A 为：

$$P_A = \int_0^{+\infty} v_o(t) dt = 24A\tau \quad (3)$$

$$P_A = P_H \cdot \frac{3\tau e^4}{2} \propto P_H \quad (4)$$

当时间常数 τ 固定不变时，脉冲信号的全面积 P_A 与其峰值 P_H 成正比关系。

对于其他类型的脉冲滤波成形电路的输出信号，其脉冲峰值 P_H 与脉冲面积 P_A 也满足类似比例关系。



考虑噪声的影响，脉冲高度分析方法在脉冲峰值处($t=t_M$)采样，计入噪声，为(5)式所示，以 V_{OM} 为均值符合高斯分布。脉冲面积分析方法则通过高速采样，对所有采样值求和得到其面积，如(6)所示，其中 C 为归一化系数，噪声部分经过求和平均后会大大减小，可以有效降低噪声对能谱分辨的影响。

$$P_H = V_{OM}(t_M) + v_n(t_M) \quad (5)$$

$$P_A = \frac{1}{C} \left(\sum_{i=0}^m v_o(i) + \sum_{i=0}^m v_n(i) \right) \quad (6)$$

$$\frac{1}{C} \left(\sum_{i=0}^m v_n(i) \right) \rightarrow 0 \quad (7)$$



仿真结果

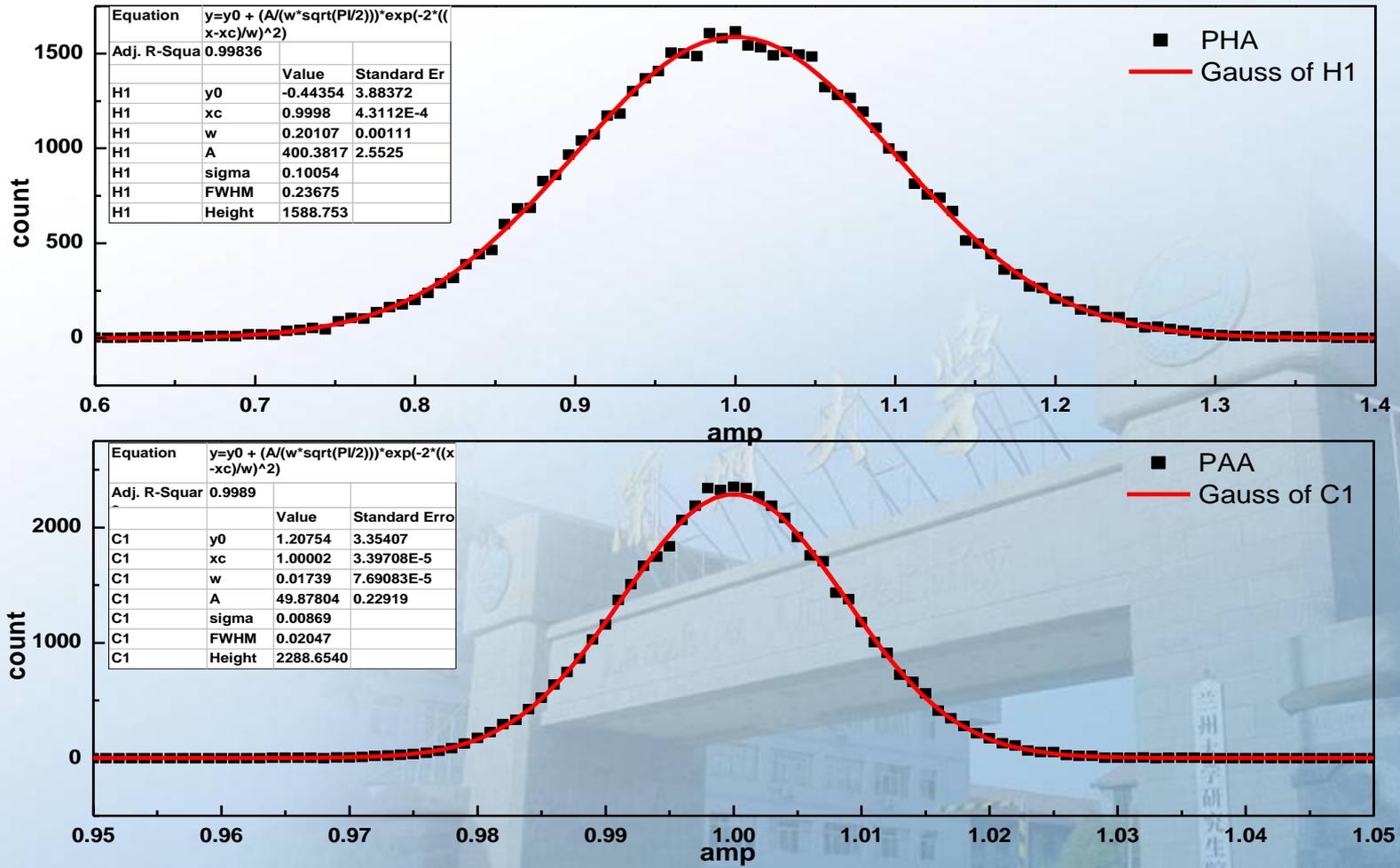


图4 脉冲高度分析和脉冲面积分析仿真结果

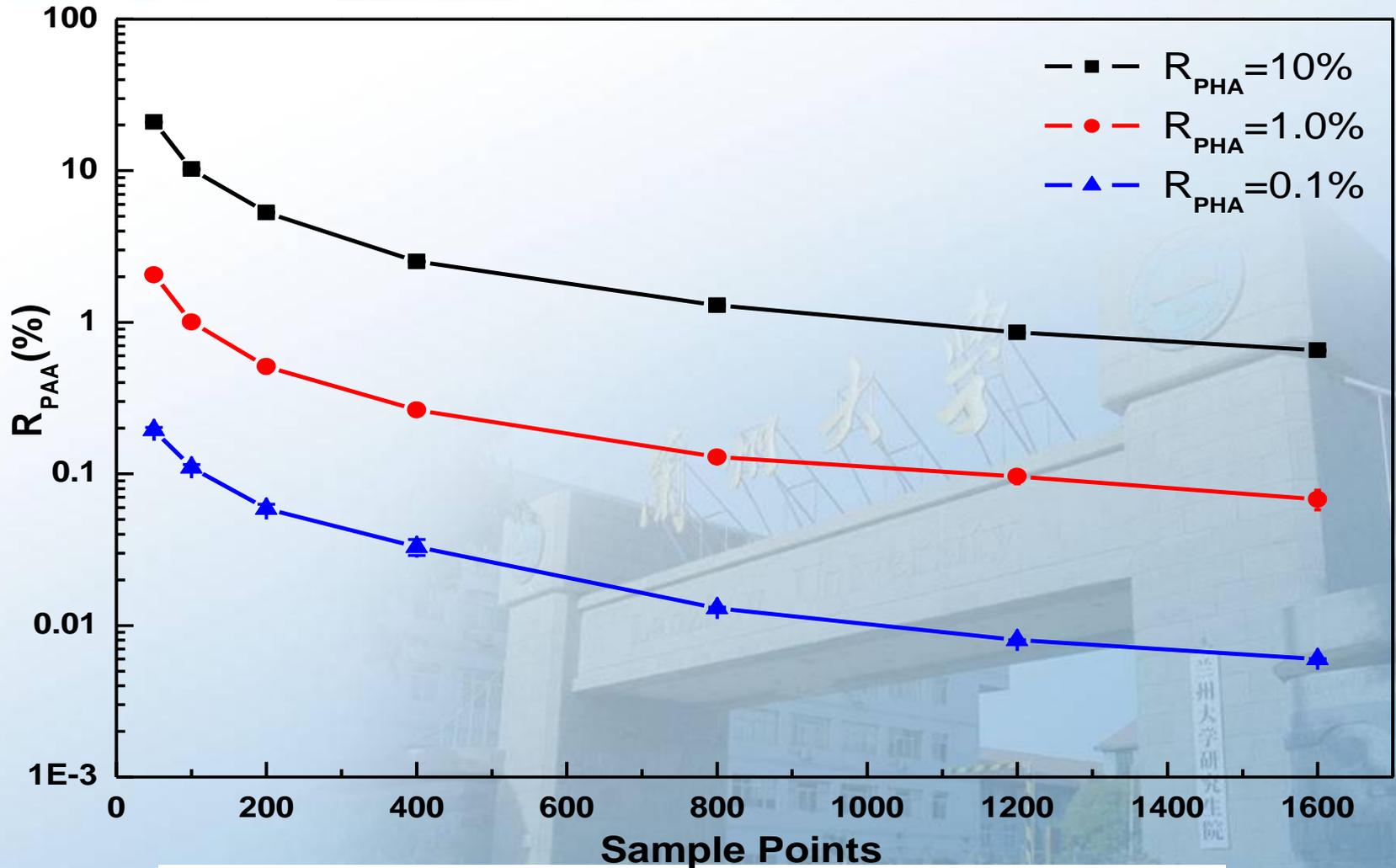


图5 PHA和PAA能量分辨率仿真计算结果



实验结果



^{60}Co , ^{137}Cs , ^{133}Ba

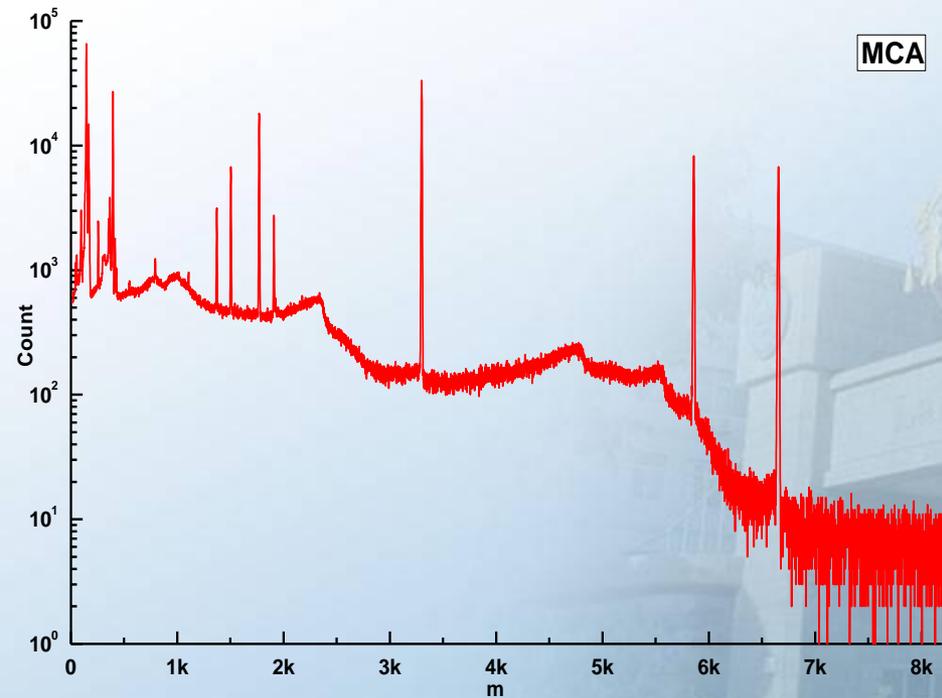
HPGe
DETECTOR
&
PREAMP

Amplifier

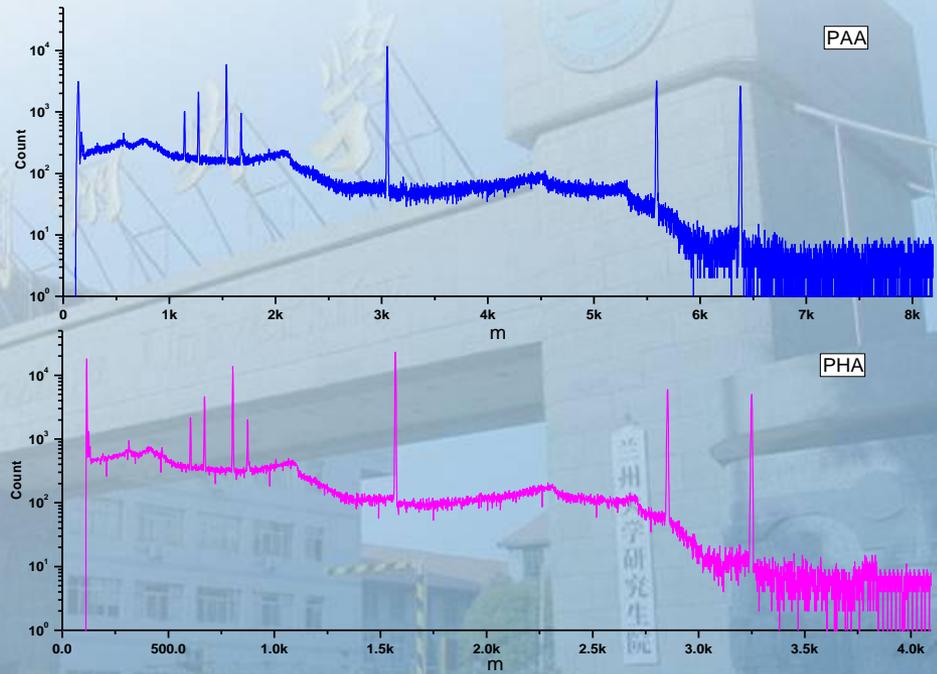
Digitizer

MCA8000

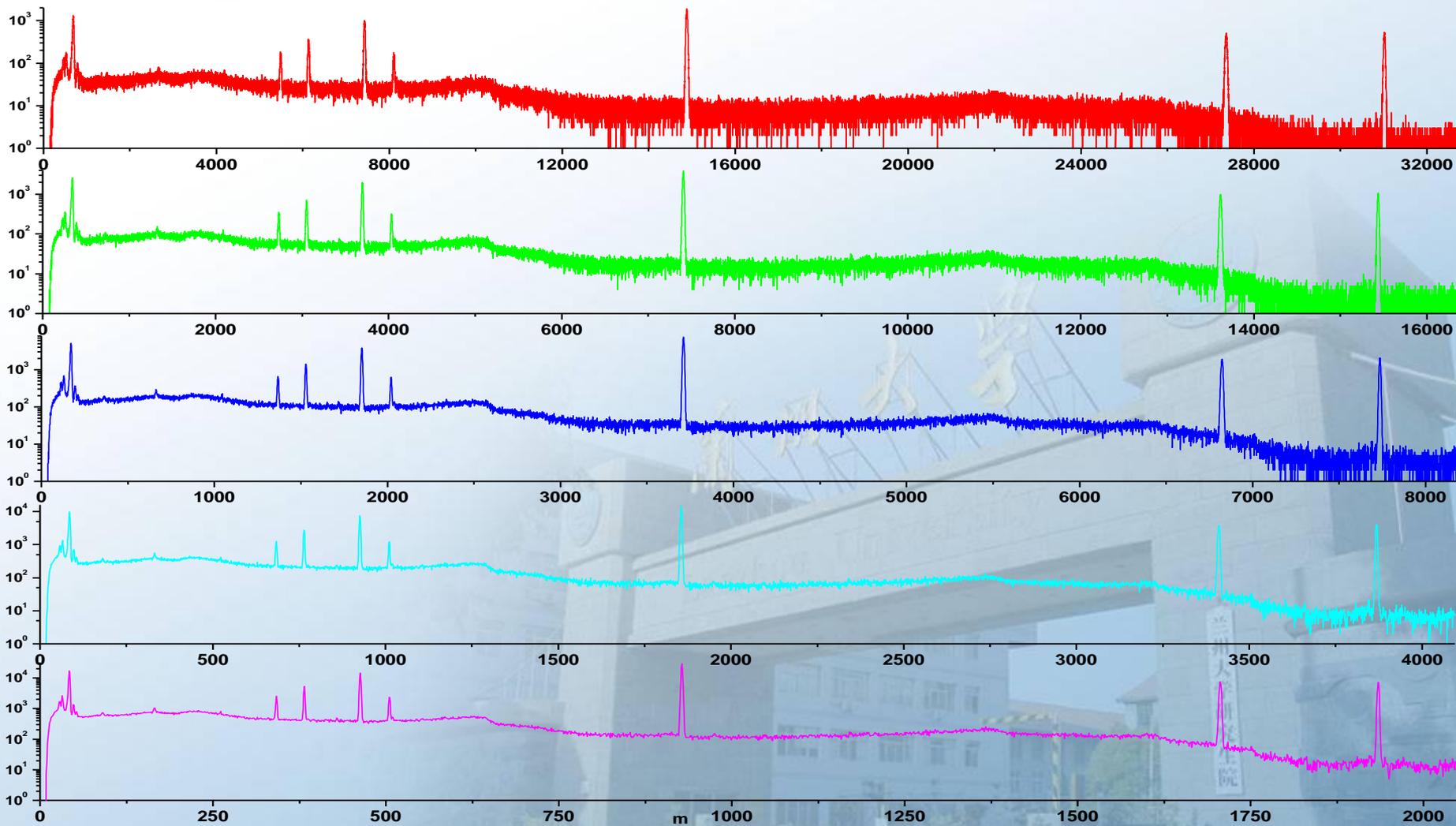
The host
computer



MCA8000D



Digitizer



PAA不同道数能谱重建



T.C.	0.5 μ s			1.0 μ s			2.0 μ s			3.0 μ s		
	FWHM _E (keV)			FWHM _E (keV)			FWHM _E (keV)			FWHM _E (keV)		
ENERGY (keV)	MCA	DIG										
	PHA	PAA	PHA									
80.999	1.944	1.559	1.944	1.351	1.132	1.369	0.979	0.980	0.954	0.872	0.956	0.859
356.014	3.197	1.900	3.189	1.805	1.603	1.763	1.311	1.550	1.332	1.183	1.373	1.400
661.661	5.014	2.602	4.718	2.247	1.784	2.213	1.600	1.651	1.707	1.474	1.578	1.702
1173.24	8.340	4.927	8.070	3.162	2.149	3.280	2.067	2.035	2.167	1.928	2.014	2.022
1332.51	9.168	5.861	8.692	3.498	2.216	3.309	2.249	2.160	2.260	2.048	2.041	2.015

T.C.	0.5 μ s		1.0 μ s		2.0 μ s	
ENERGY (keV)	MCA-PHA	DIG-PAA	MCA-PHA	DIG-PAA	MCA-PHA	DIG-PAA
	η_1 (%)	η_2 (%)	η_1 (%)	η_2 (%)	η_1 (%)	η_2 (%)
276.404	0.977	0.600	0.565	0.471	0.412	0.435
302.858	0.923	0.559	0.531	0.423	0.391	0.389
356.014	0.867	0.529	0.466	0.372	0.353	0.334
383.859	0.831	0.477	0.424	0.351	0.318	0.301
$\bar{\eta}$	0.900%	0.541%	0.497%	0.404%	0.369%	0.365%



结论:

- ◆ 在信噪比较低时PAA对能量分辨率的改善是显著的，在信噪比较高时改善不显著。
- ◆ 该方法适用于数字化仪获取能谱。
- ◆ 对脉冲波形涨落有一定的抑制作用。
- ◆ 采用低位数的ADC可以获取高道数的能谱。



展望:

- ◆ 可将该方法应用于闪烁体谱仪，由于荧光衰减和PMT电子渡越时间等的涨落，影响输出电流的波形，采用面积分析方法，有可能提高闪烁谱仪的能量分辨率。
- ◆ 对谱仪系统的微分非线性应该有改善，该工作也在进行。
- ◆ 增加在能谱重建中对堆积信号的处理以提高计数率。
- ◆ 采用基于FPGA的自主开发的数字化仪，以硬件实现处理算法，逐步实现在线获取。



兰州大学
LANZHOU UNIVERSITY

谢谢

兰州大学研究生院