



大阵列闪烁探测器 读出电子学系统研究

吝守龙¹ 许天驹¹ 刘兆志² 孙鹏飞¹ 胡坤^{2*} 李笑梅^{1*}

1.中国原子能科学研究院 核数据重点实验室

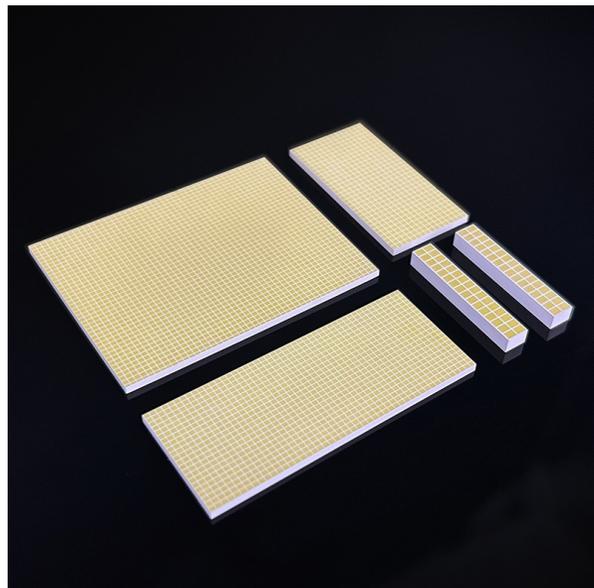
2.山东大学 前沿交叉科学青岛研究院

目录

- 研究背景
- 电子学系统设计
- 实验结果



闪烁体探测器



闪烁体探测器阵列

闪烁探测器时间特性好、**探测效率高、易于加工**



位置灵敏闪烁探测器阵列

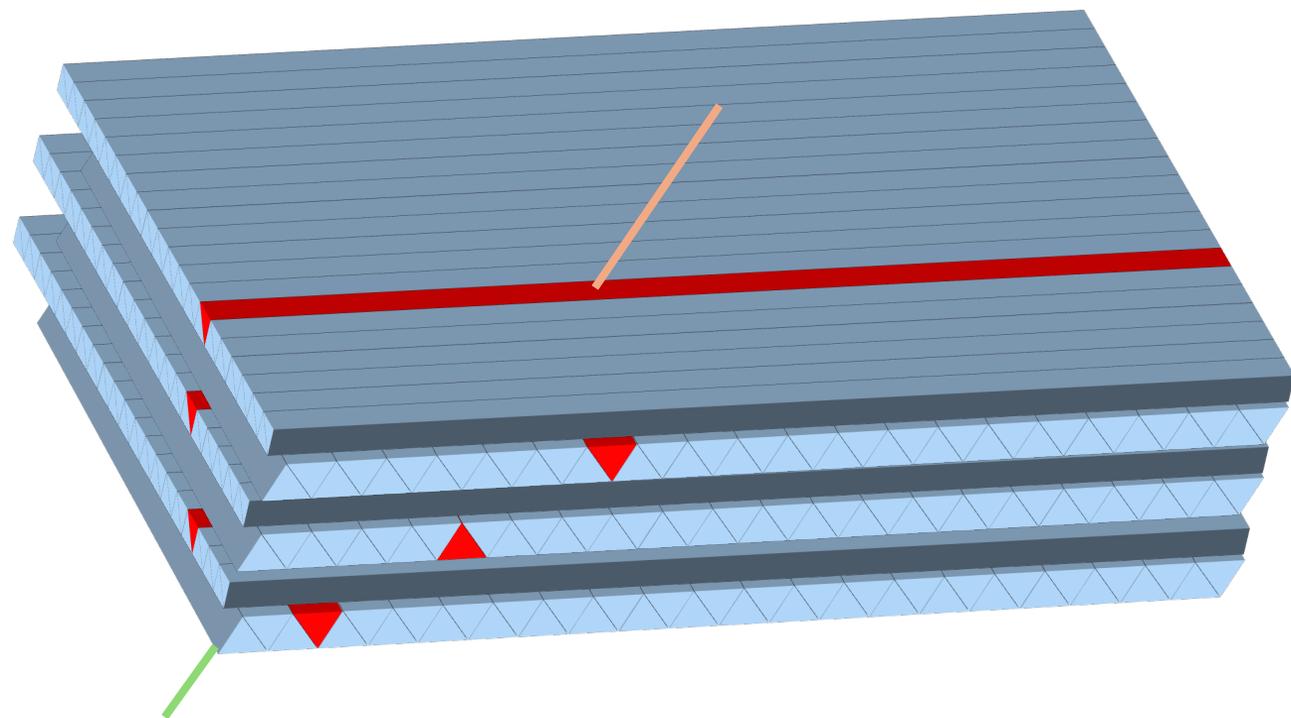


PET-CT、中子相机、宇宙线成像…

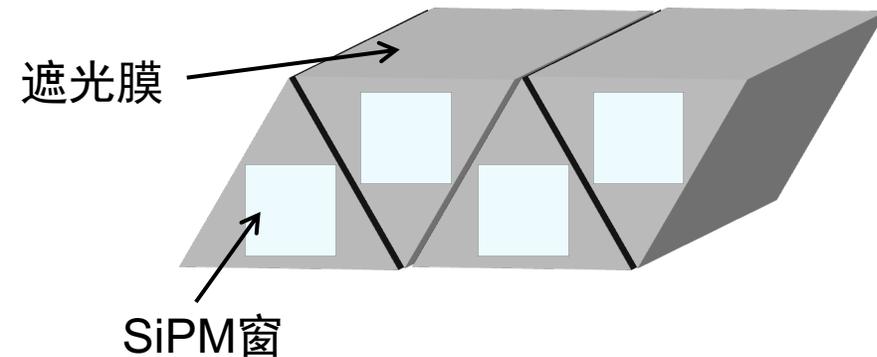


高能物理、地质勘探、医学成像、工业检测

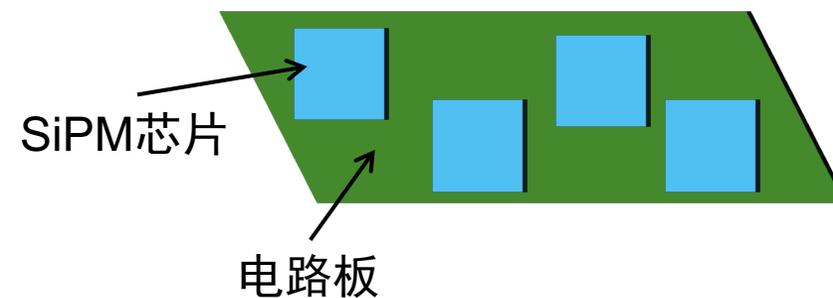
- 使用四十根三角形条塑料闪烁体拼接成一层
- XY方向交替叠放六层探测器



探测器装置实验示意图

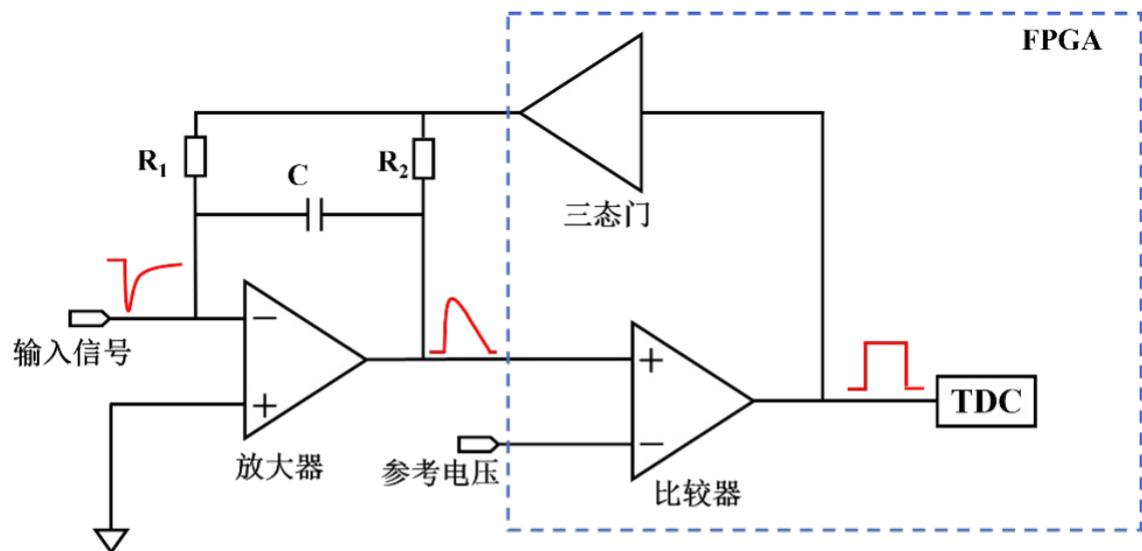


基本探测器单元



SiPM背板

NIMA, Volume 1024, 1 February 2022, 166054



FPGA线性放电电荷数字化方法

$$\Delta T = \frac{QR_1}{U}$$

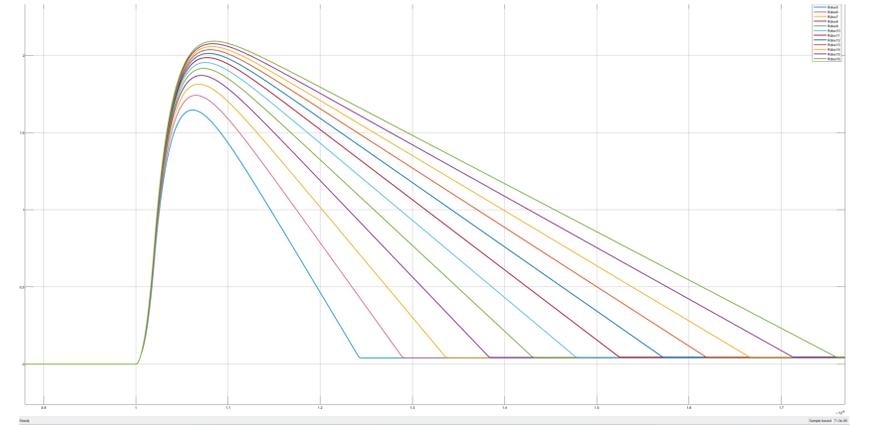
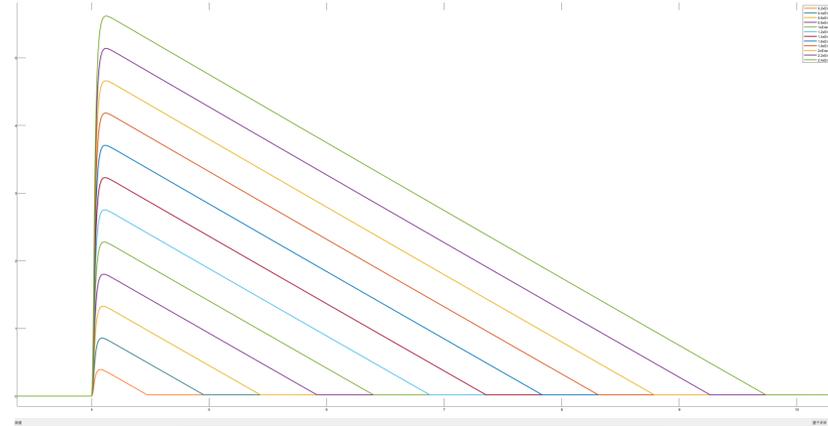
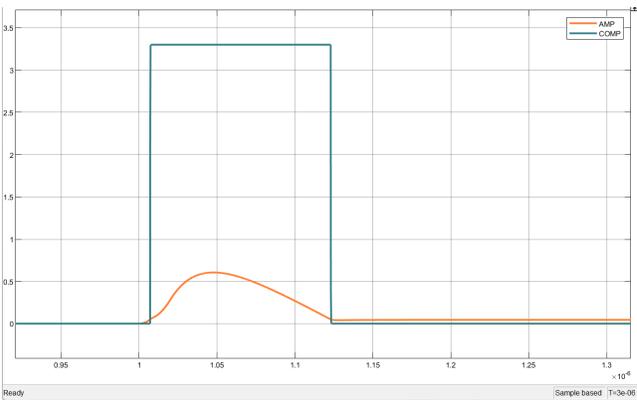
ΔT —— 放电时间

Q —— 注入电荷量

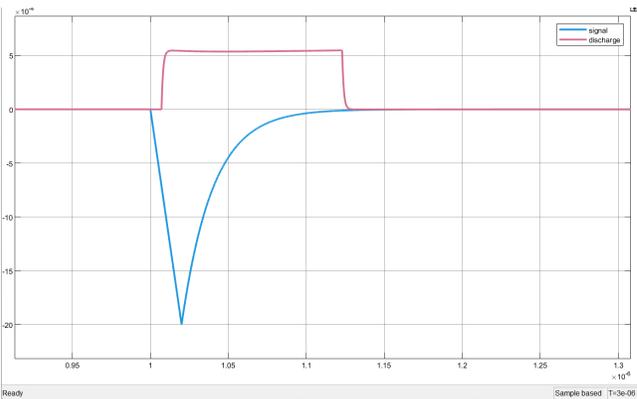
U —— FPGA 放电管脚逻辑 1 对应的电压, 一般为 2.5 V

R_1 —— 放电电阻

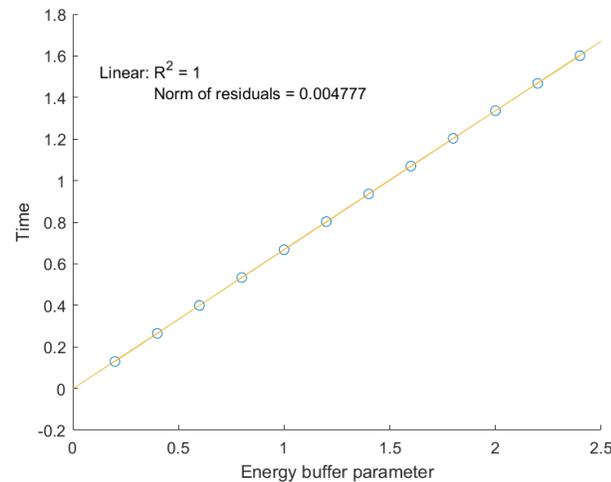
电荷灵敏前放在积分电容上充电, 恒流源在积分电容上放电, 放电时间正比于能量



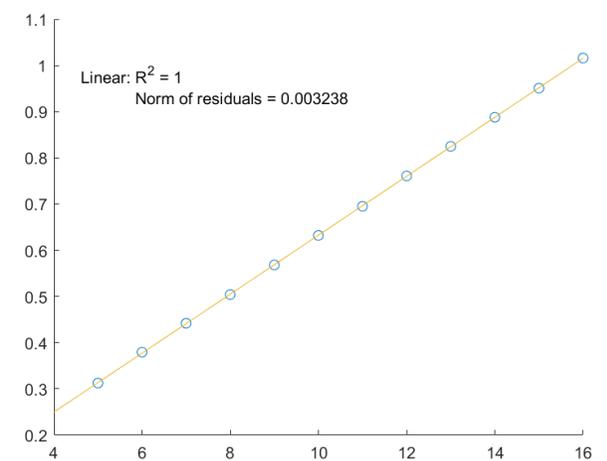
线性放电波形和比较器过阈测量



积分电容充放电

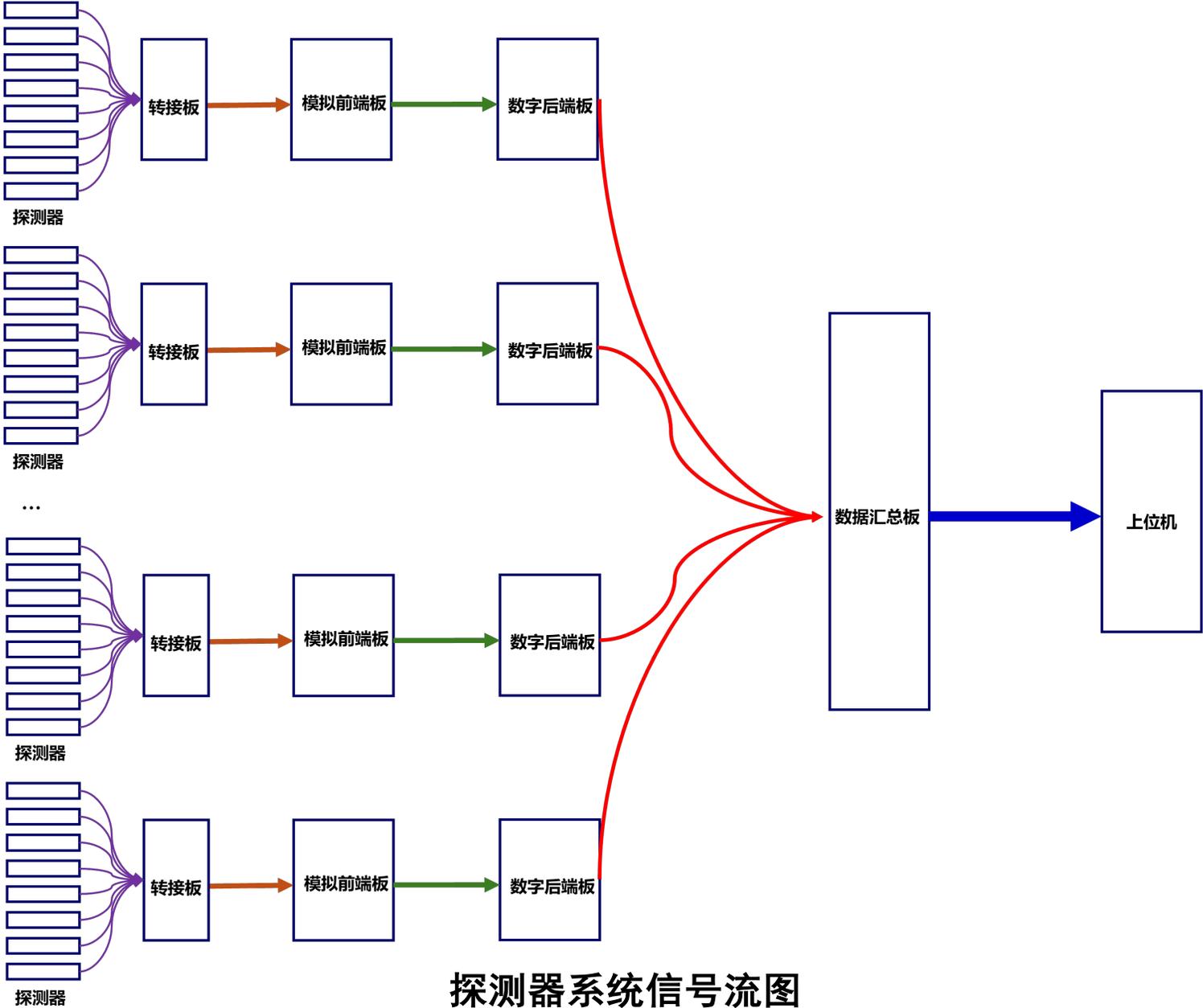


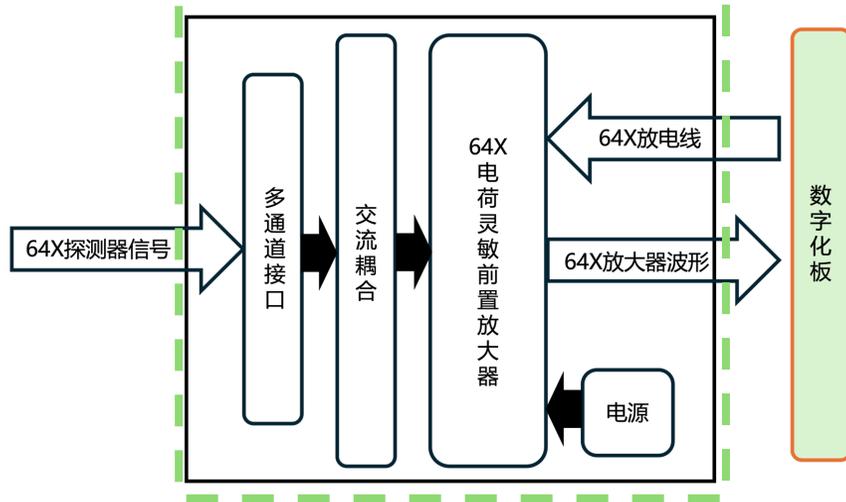
能量线性度



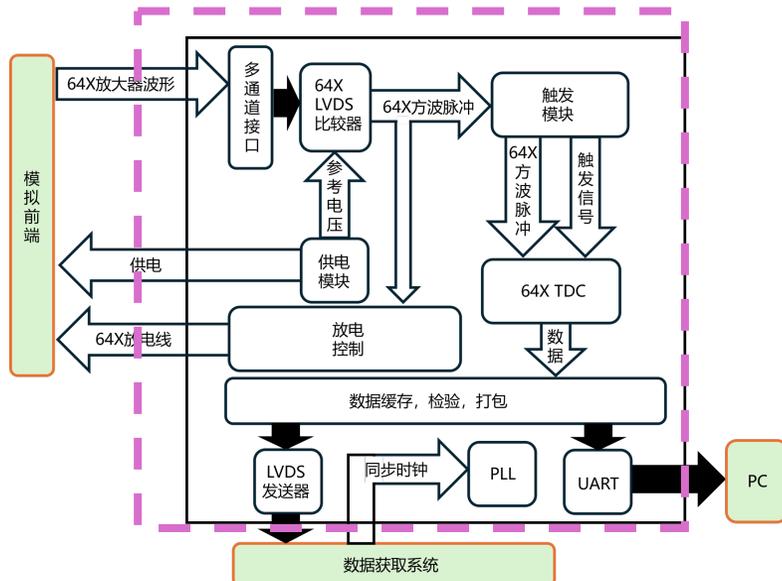
放电电阻对放电时间的影响

- 线性放电电路的能将电荷大小线性的转换成时间的测量
- 放电电阻与放电时间正相关

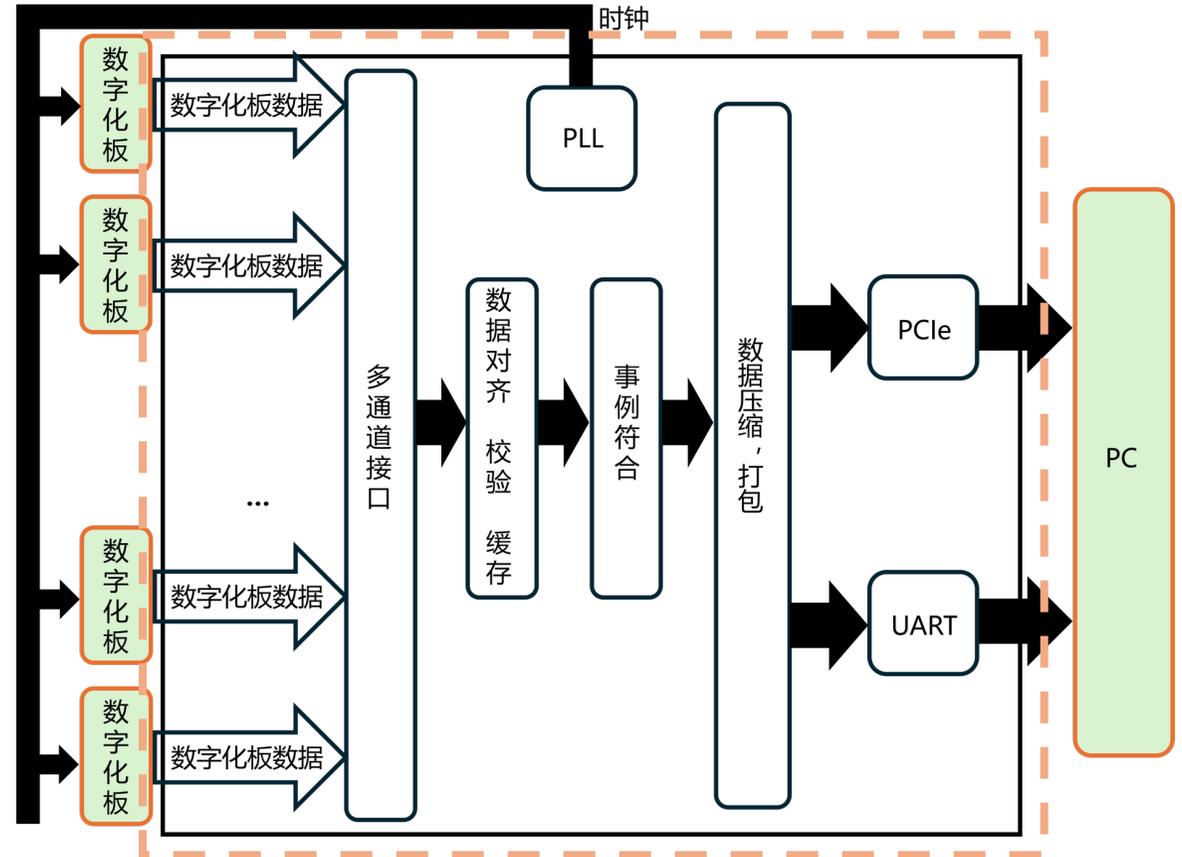




模拟前端板原理图

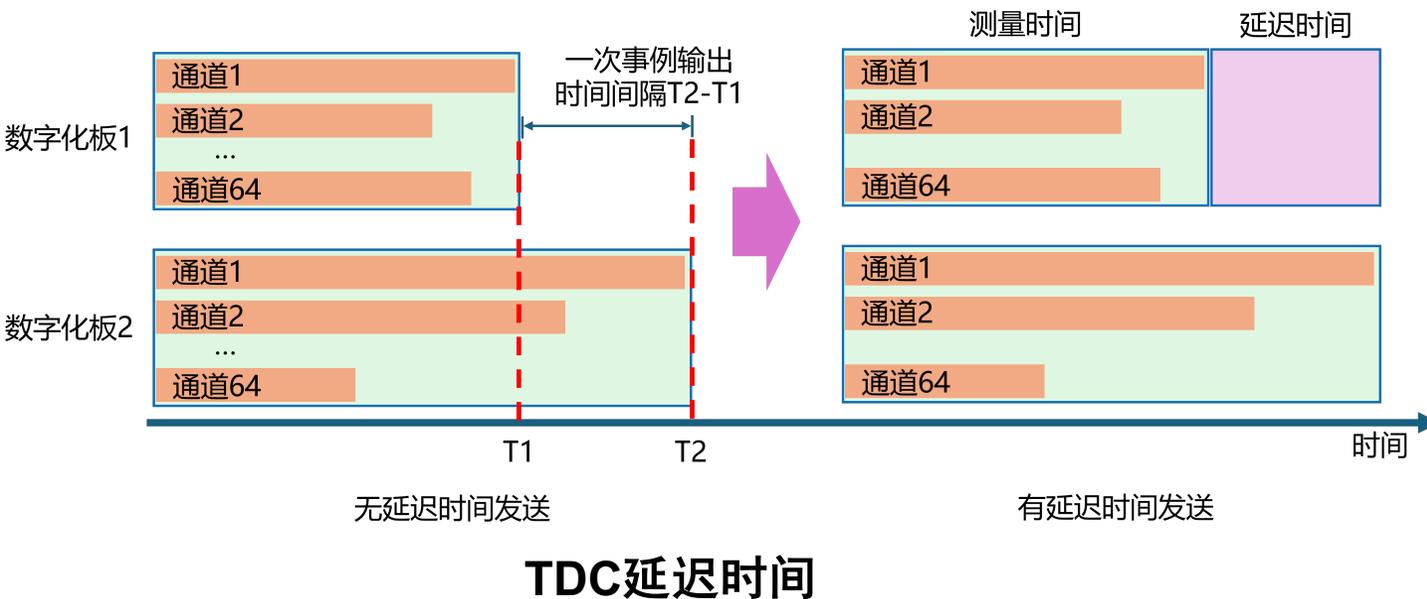
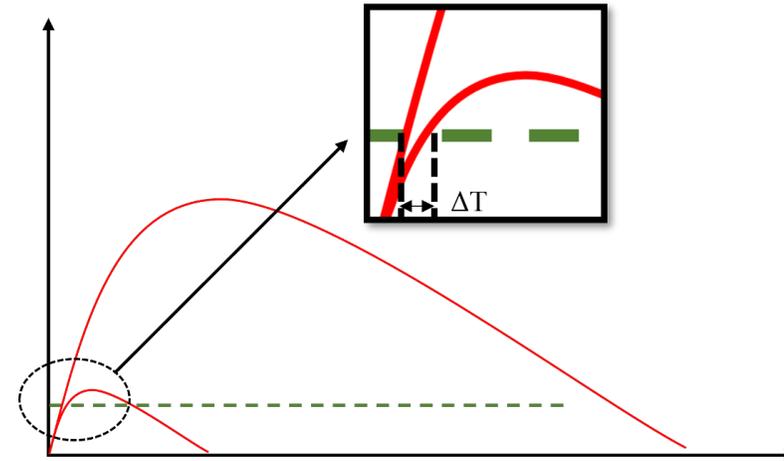
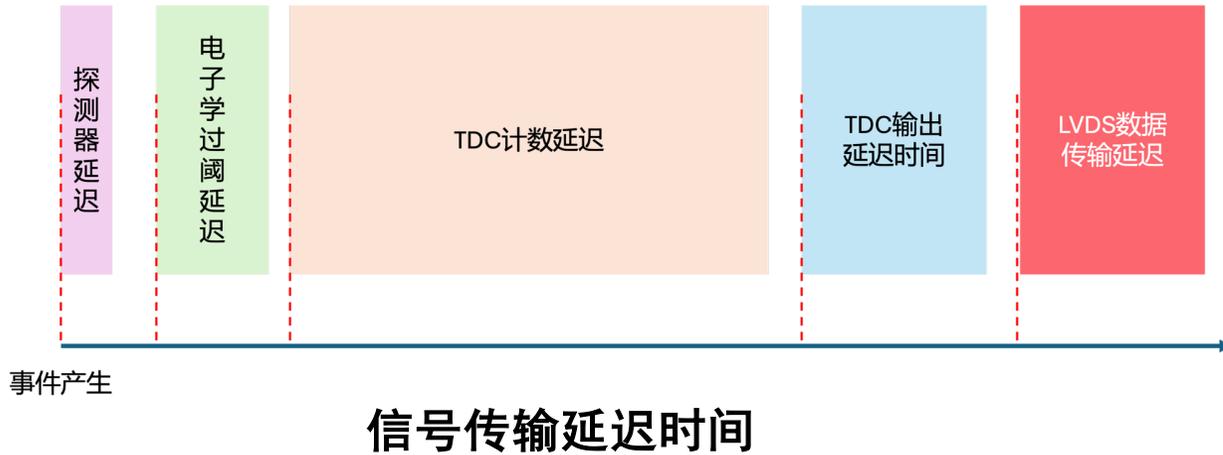


数字化板原理图

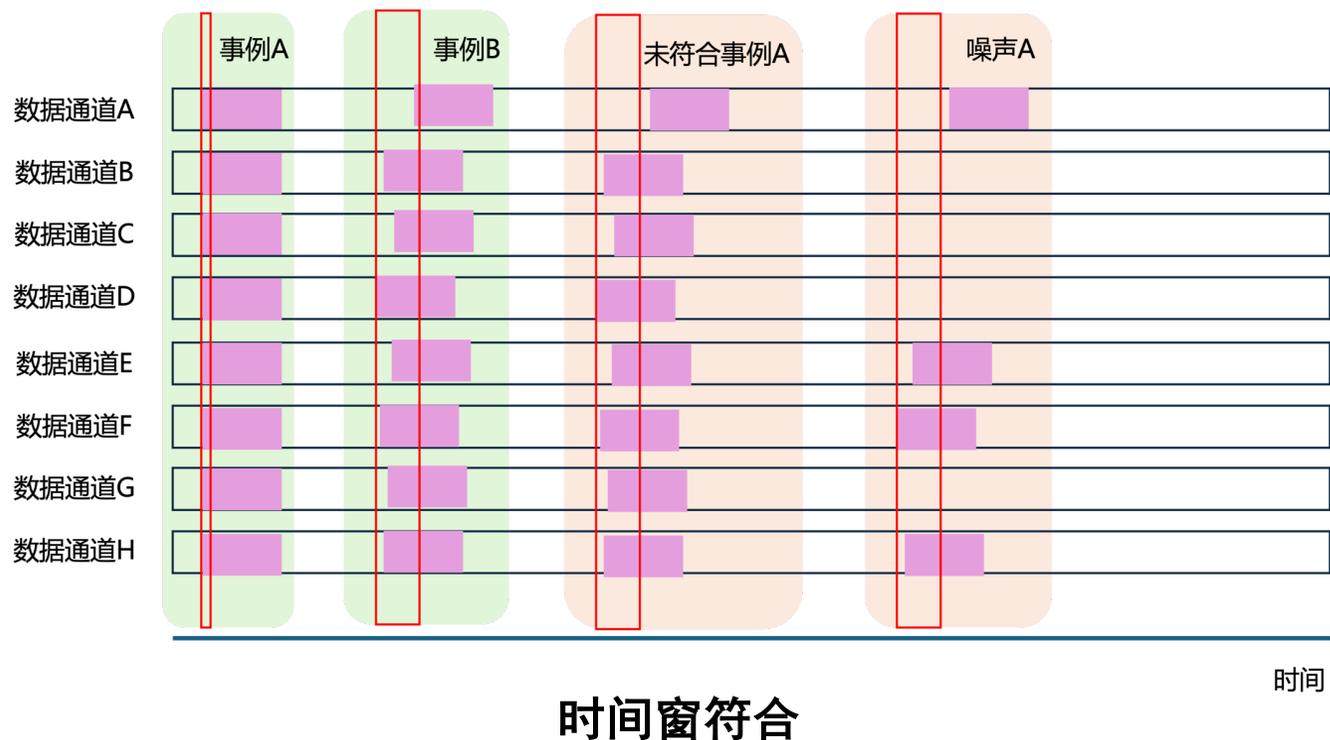


数据汇总板原理图

- 一个模拟前端板和一个数字化板可以采集64个探测器通道的数据
- 数据汇总板可以采集16个数字化板的数据
- 系统最高可以采集1024个探测器通道的数据



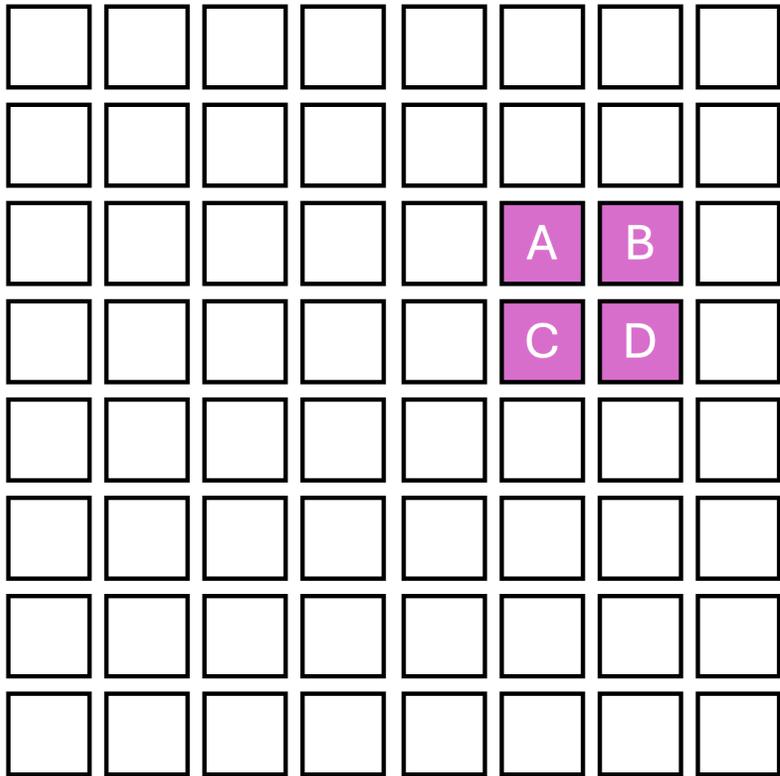
- 采用无时间戳的符合方式时，信号传输延迟时间对齐十分重要，整个延迟过程中，**TDC延迟为主要成分**
- 在数字化板上，主动为TDC添加延迟时间，使得不同大小信号在TDC的延迟时间相同



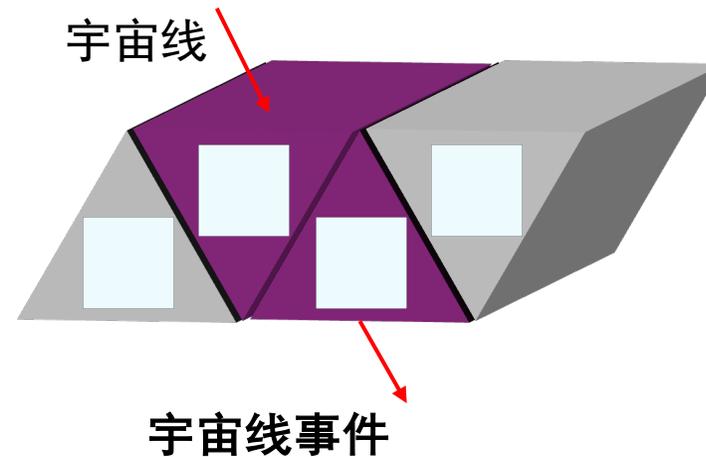
- 在数据汇总板上采用无时间戳的实时符合方式，根据数据到达时间按时间窗进行符合
- 数据汇总板基于FPGA开发板，使用开发板上的开关阵列实现符合时间窗宽度可实时调整的符合模块

稀疏事例下数据存储方式

- 常规固定通道数据存储方式 $\{0,0,0,\dots,A,B,C,D,0,0\dots\}$ 存在大量冗余数据
- AER地址事件表示方式 $\{\text{地址A}, A, \text{地址B}, B, \text{地址C}, C, \text{地址D}, D\}$ 有效数据率更高



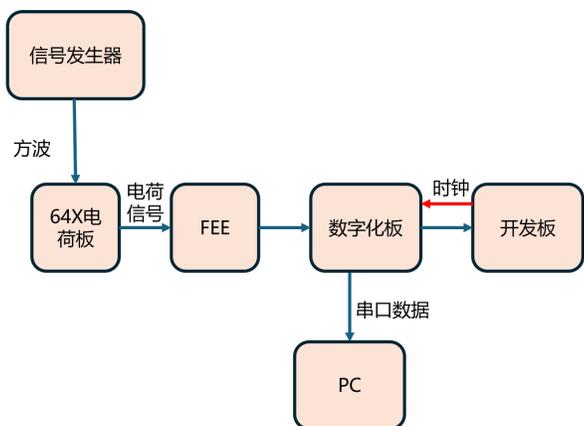
稀疏事例



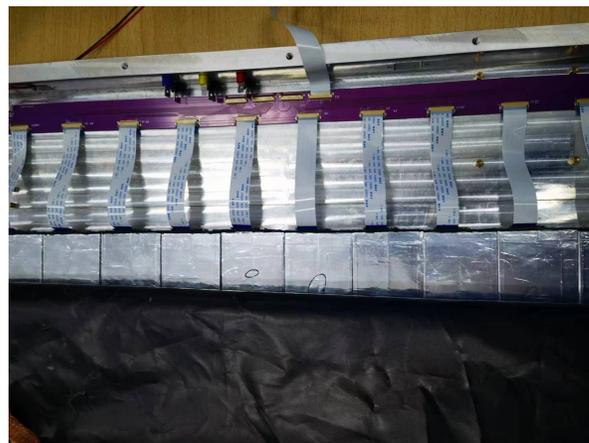
- TDC输出数据格式为常规固定通道数据存储方式
- 为了提高有效带宽，对数据格式进行AER压缩

电子学测试环境：

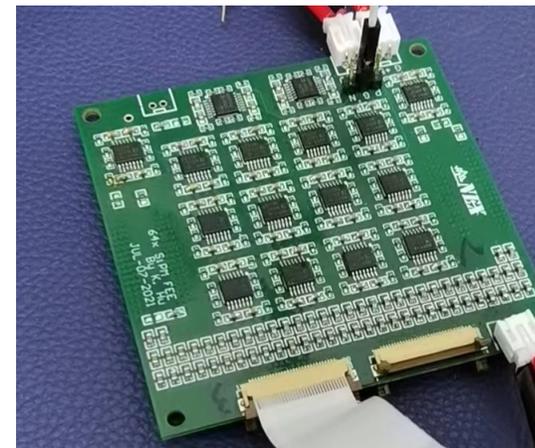
使用信号发生器产生电压方波 $V(t)$ ，方波在电荷板上微分后成为电流脉冲，使用微分后的电流脉冲信号模拟探测器输出的电流信号，对电子学系统进行了测试



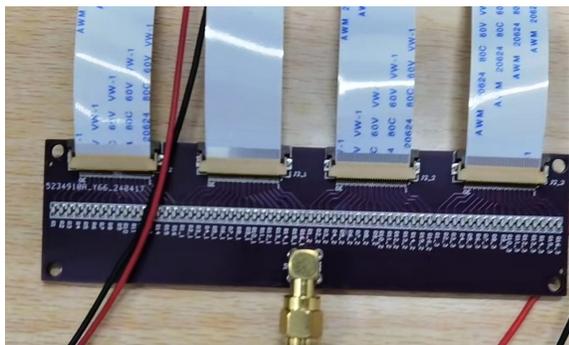
测试平台示意图



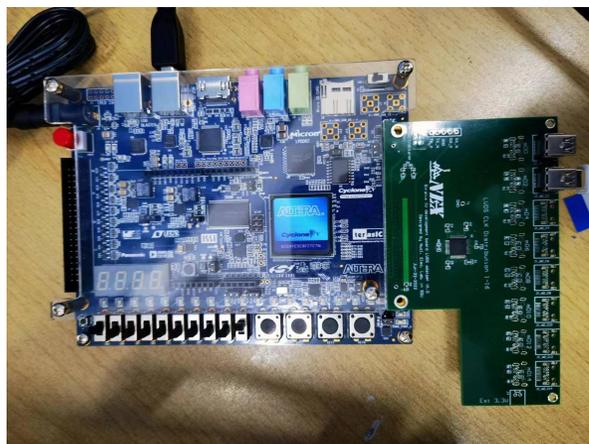
塑料闪烁体阵列和转接板



电荷数字化板模拟部分



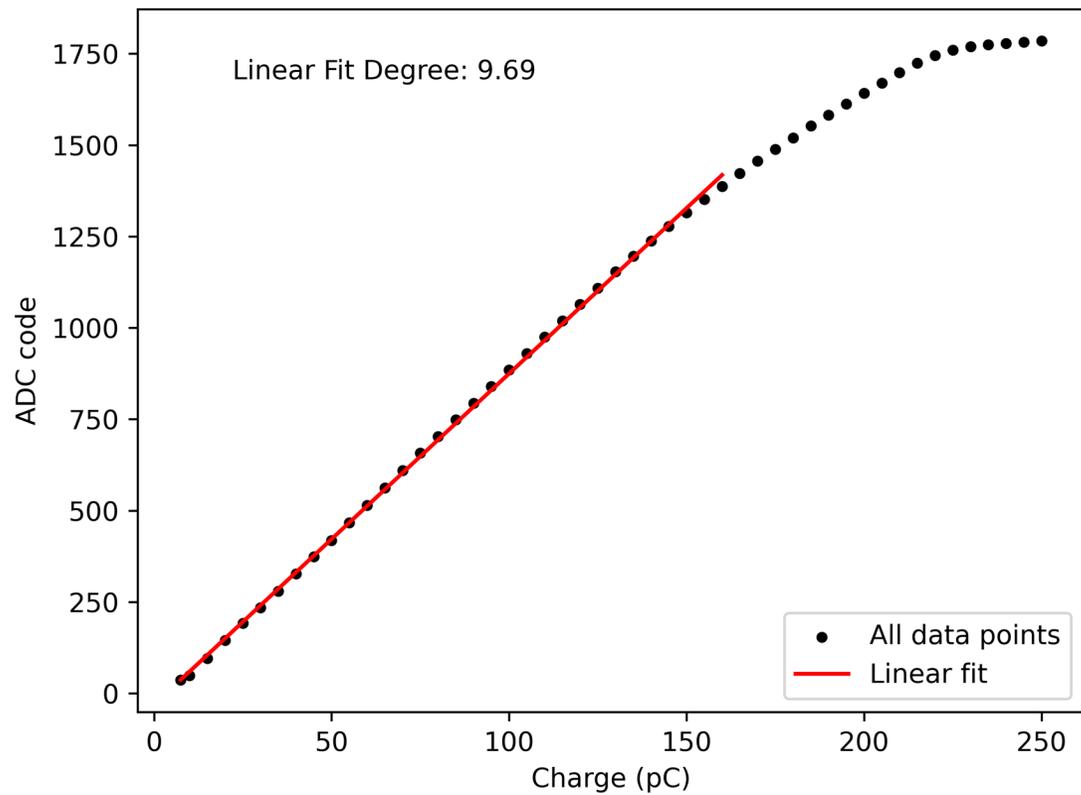
64x电荷板



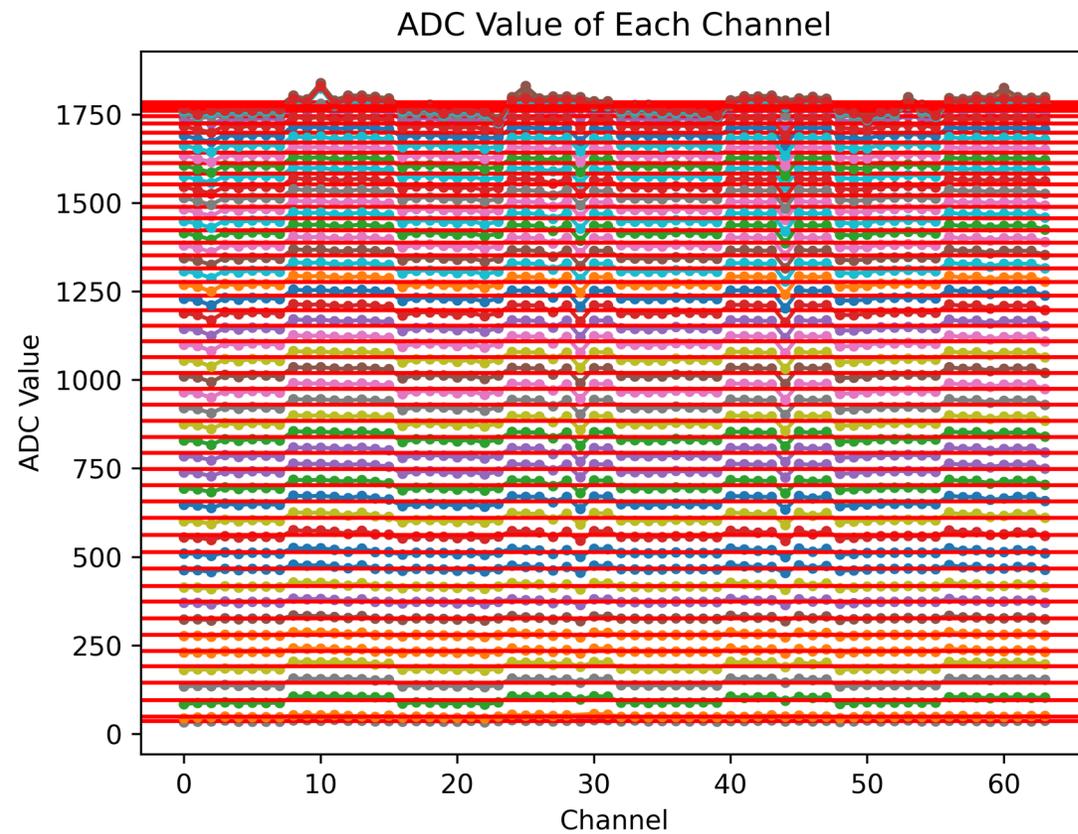
C5G数据汇总板和时钟板



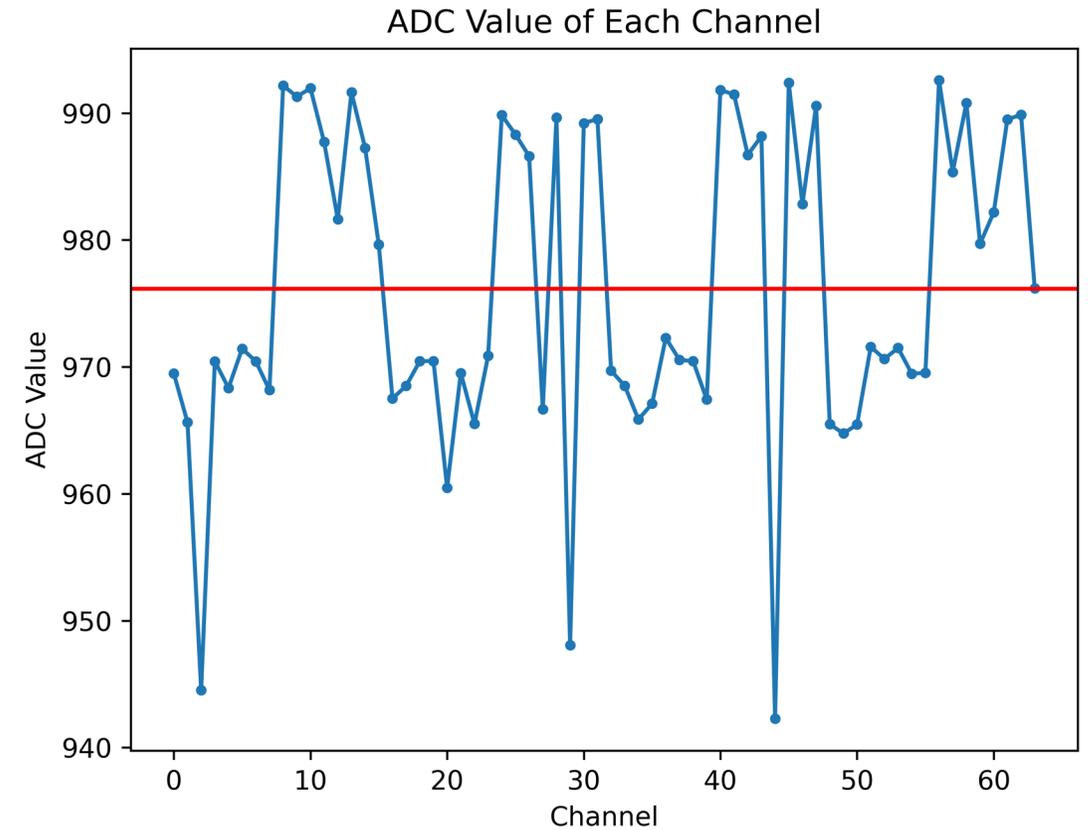
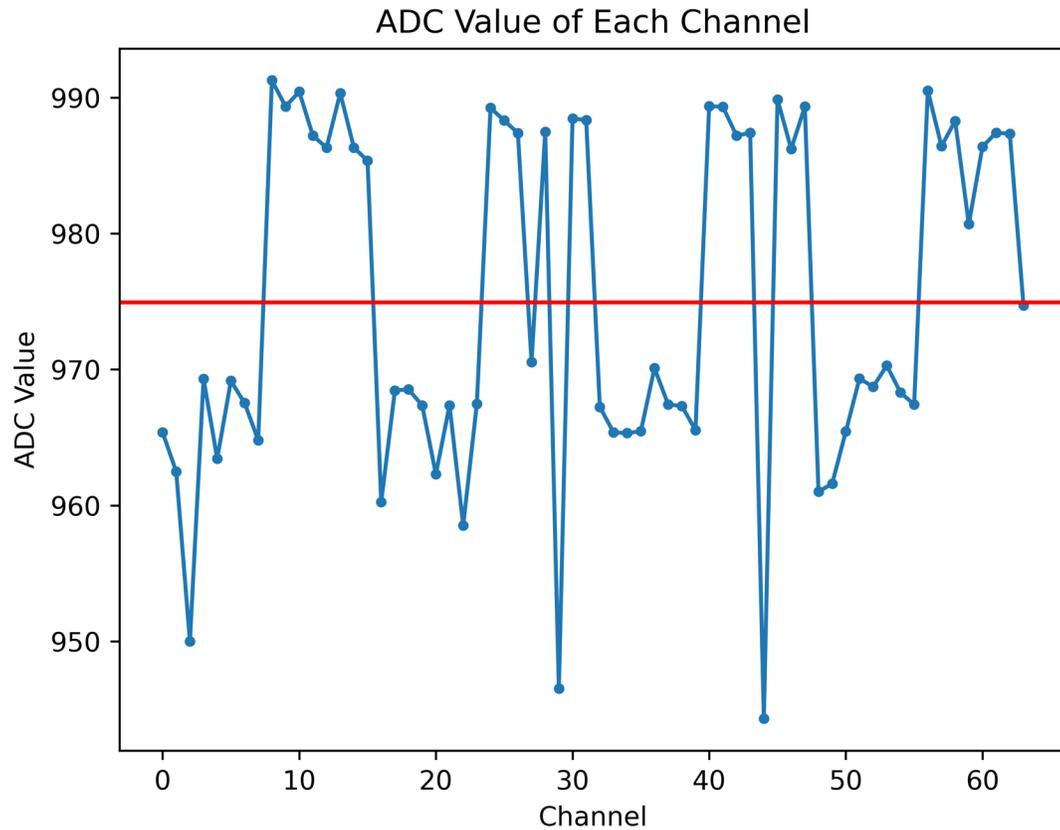
电荷数字化板数字部分



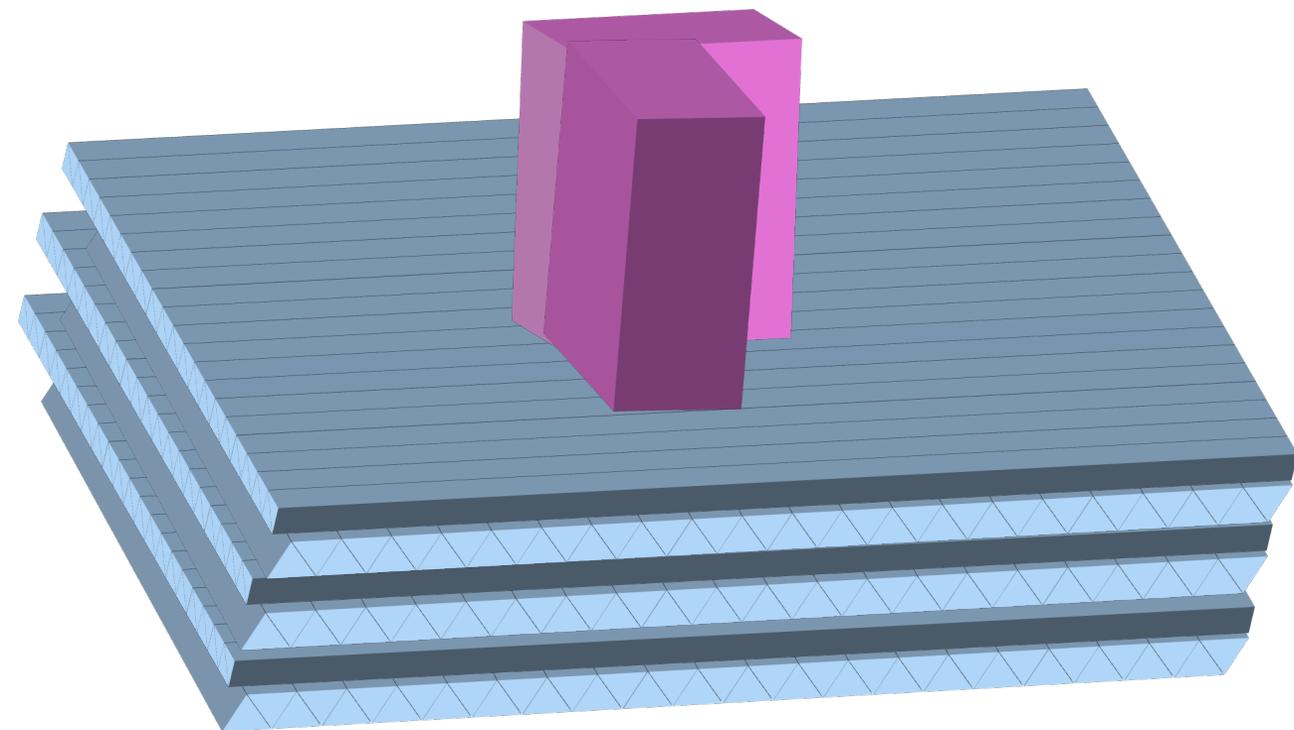
线性度测试



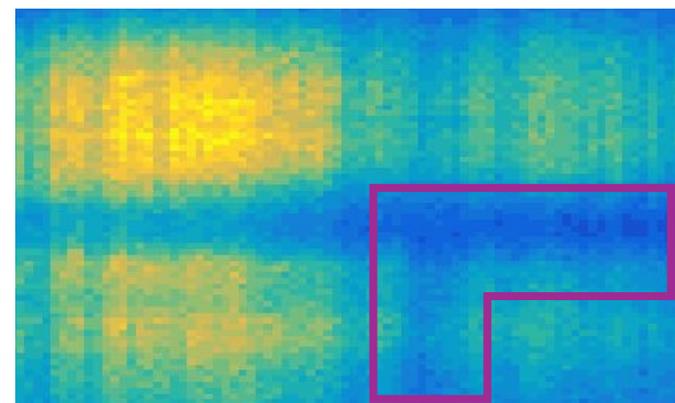
通道均一性测试



不同数字化板均一性测试（左右为不同的数字化板在相同能量下的测试结果）



探测器联合成像测试



二维成像结果（蓝色表示低击中区域）

谢谢！