



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



The Chinese Academy
of Sciences

多路SIPM测试系统研制

王志刚，钱 森，陈鹏宇

wangzhg@ihep.ac.cn

核探测与核电子学国家重点实验室

中国科学院高能物理研究所

北方工业大学

2019-4-23 安徽合肥

Outline

➤ 1. 概述

1.1 研制背景

1.2 多路SiPM测试系统构成

➤ 2. 各系统性能测试

2.1 光源驱动板多路同步测试

2.2 电源驱动板静态测试

2.3 单通道SiPM性能测试

2.4 软件系统

➤ 3. 多路SiPM联调测试

3.1 级联测试

3.2 短期稳定性测试

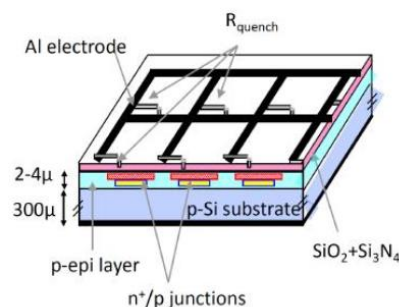
➤ 4. 总结及下一步计划

➤ 1.1 研制背景

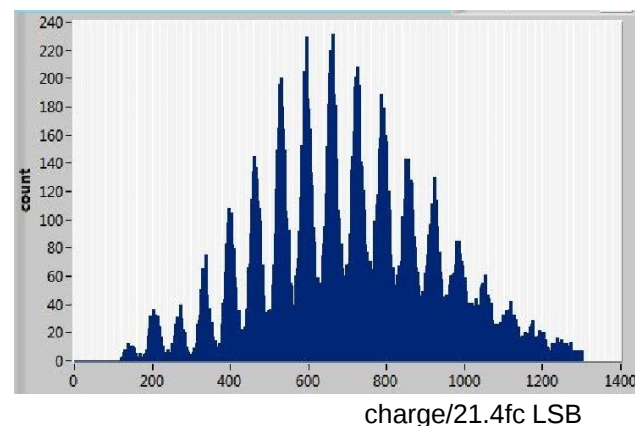
硅光电倍增管 (SiPM/ MPPC)

优点：高增益 ($1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$)、快响应、高时间分辨及高光子探测效率

应用：高能物理、核物理等领域



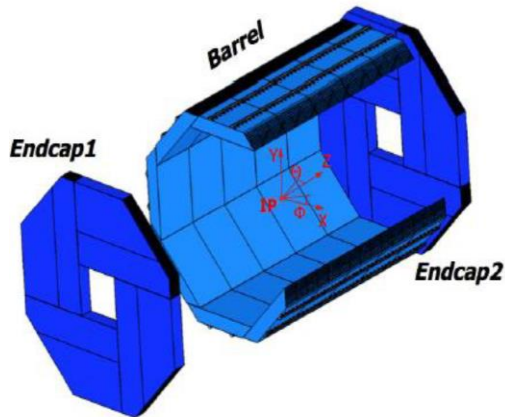
SiPM结构图及实物图



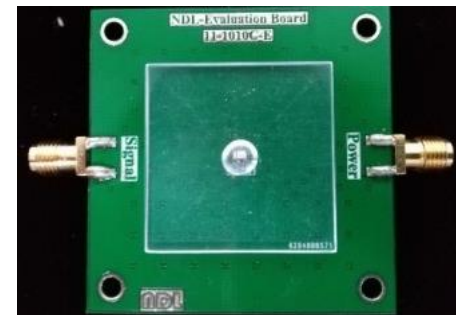
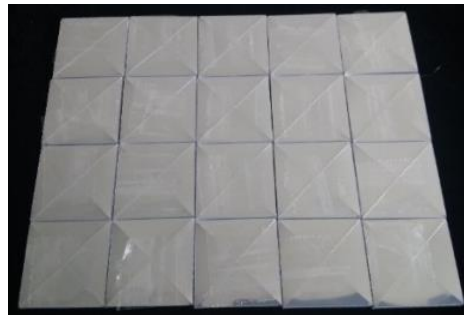
典型SiPM多光子谱图

参数	体积	增益	单光子能量分辨率	多光子分辨能力	暗噪声	温度效应	价格	电源
PMT	大	$>1 \times 10^7$	~30%	差	小	小	高	高压
SiPM	小	$<1 \times 10^6$	~10%	优	大	严重	低	低压

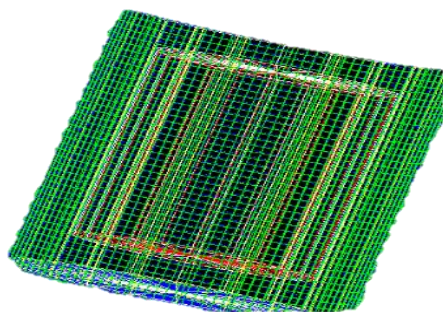
➤ 1.1 研制背景



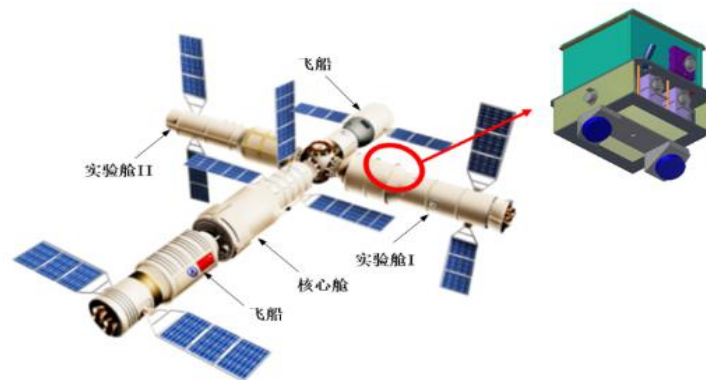
CEPC电磁量能器：
大约1000万路SiPM



CEPC强子量能器：
大约700万路SiPM



江门中微子实验
近点探测器：
10万路SiPM

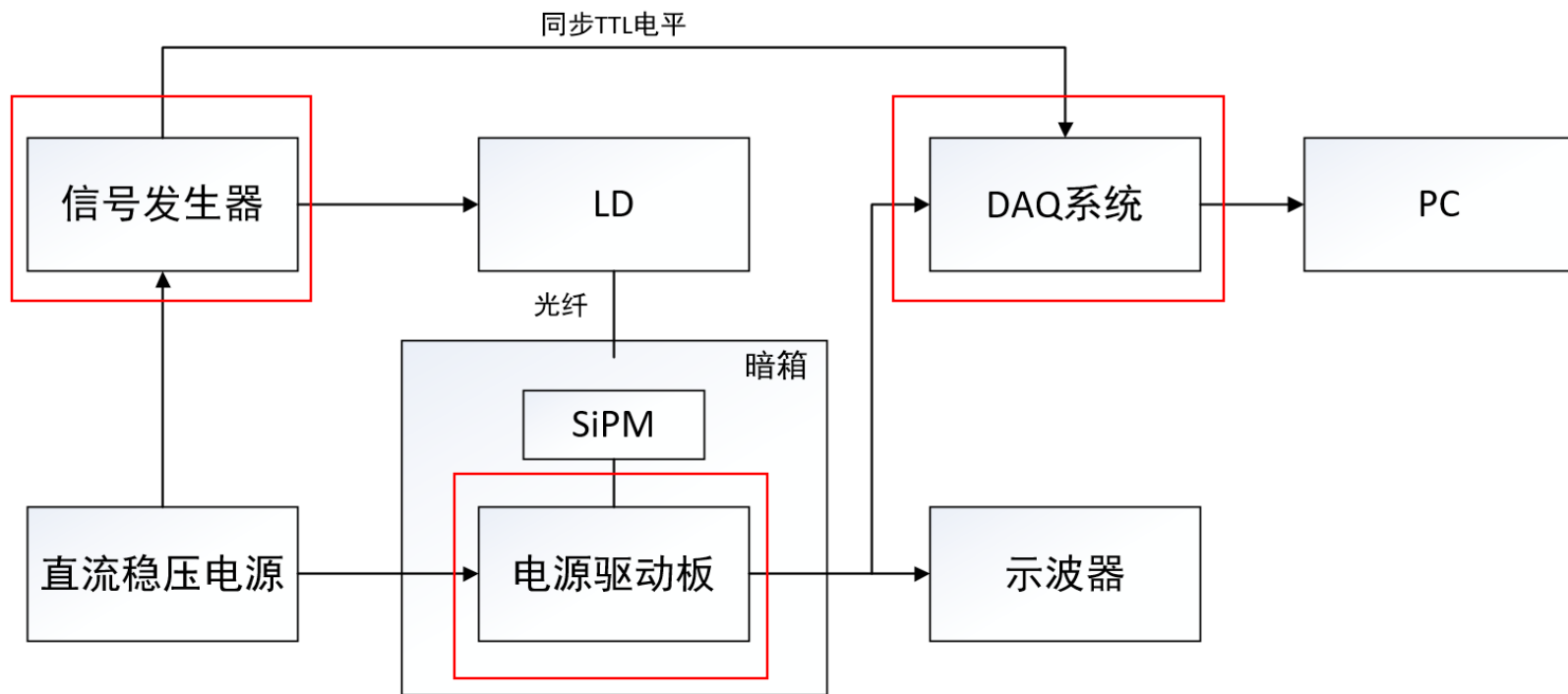


中国空间站高能宇宙
辐射探测设施：
2500路SiPM

➤ 使用量大 ➡ 测试需求量高 ← ➤ 广泛应用

➤ 1.2多路SiPM测试系统构成

➤ 单路SiPM测试系统原理图



①光源系统

阵列式输出频率、占空比可调，电压幅度为0-3 V的脉冲信号。

②电源系统（驱动板）

由直流线性电源供电，负责输出30-90 V工作电压、提供温度补偿及信号的放大输出。

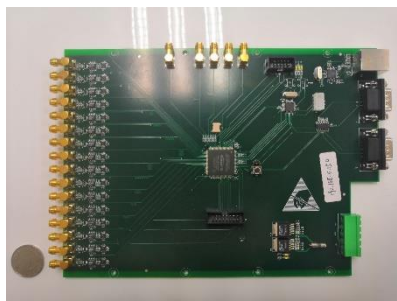
③电子学读出

基于可编程门阵列（FPGA）的桌面化数字仪（DT5751），以保证测量精度。

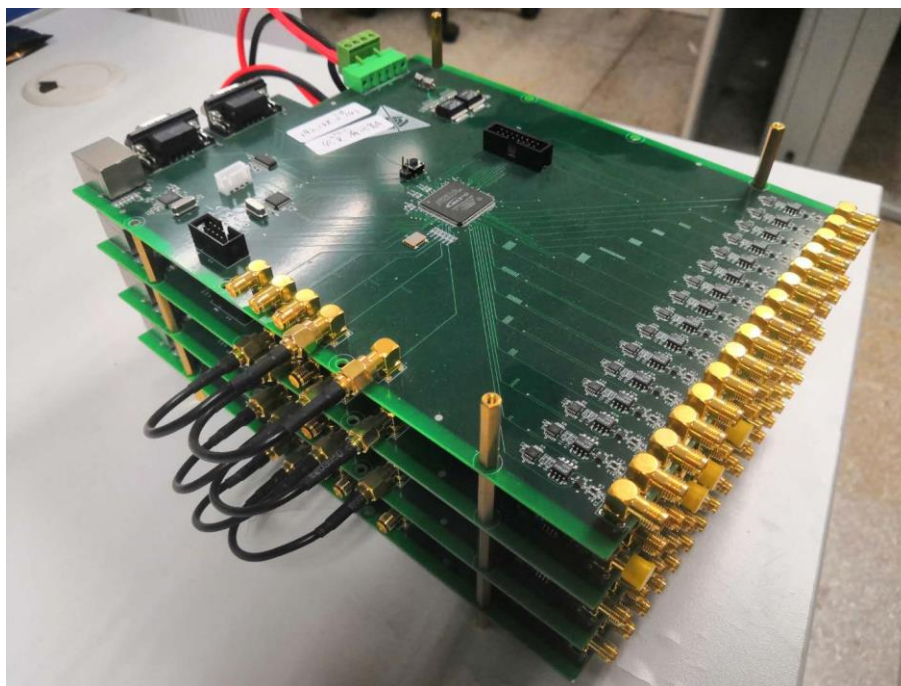
④软件系统

为实现自动化批量测试，利用LabVIEW对多个系统间进行整合。

➤ 1.2.1 光源驱动板及光源



阵列式脉冲发生驱动板



LD



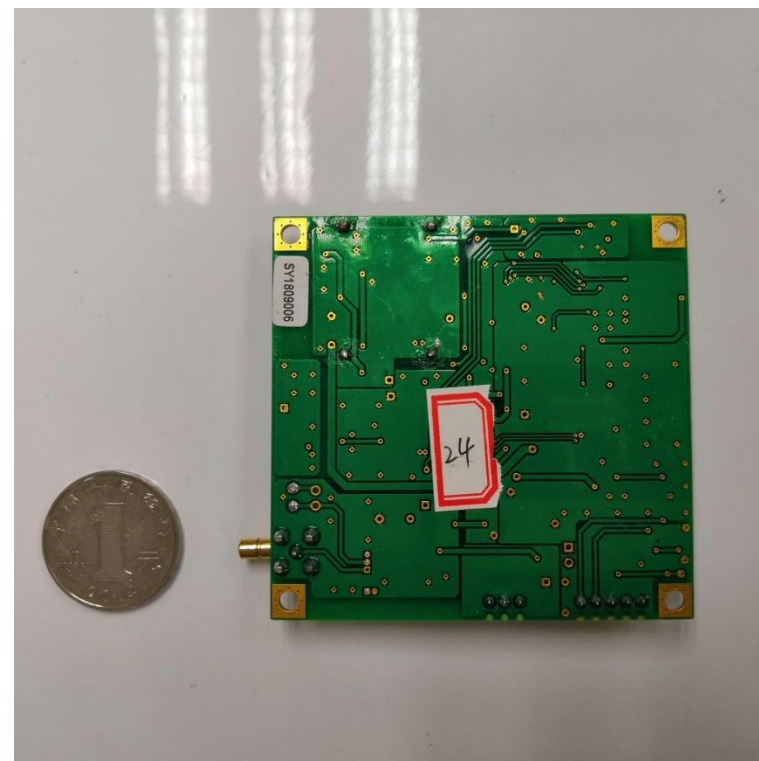
光纤

- 同时同步驱动多路光源（LD或LED）发光，并分别由光纤导入暗箱，入射至各块驱动板上的待测SiPM。
- 产生同步的TTL电平，作为DAQ系统的触发信号。
- 通过共享时钟，使得多板通道间的同步成为可能。

➤ 1.2.2 电源驱动板



驱动板正面



驱动板背面

- 为SiPM提供30-90V的电压，设定电压误差小于 ± 10 mV。
- 由电源板引入的偏置小于 ± 1 mV，引入纹波小于1 mV。
- 测试SiPM的多光子谱分辨率达到参考电源板(滨松公司产品)水平。
- 使用RS422协议级联控制，支持多块驱动板的级联。

Outline

➤ 1. 概述

1.1 研制背景

1.2 多路SiPM测试系统构成

➤ 2. 各系统性能测试

2.1 光源驱动板多路同步测试

2.2 电源驱动板静态测试

2.3 单通道SiPM性能测试

2.4 软件系统

➤ 3. 多路SiPM联调测试

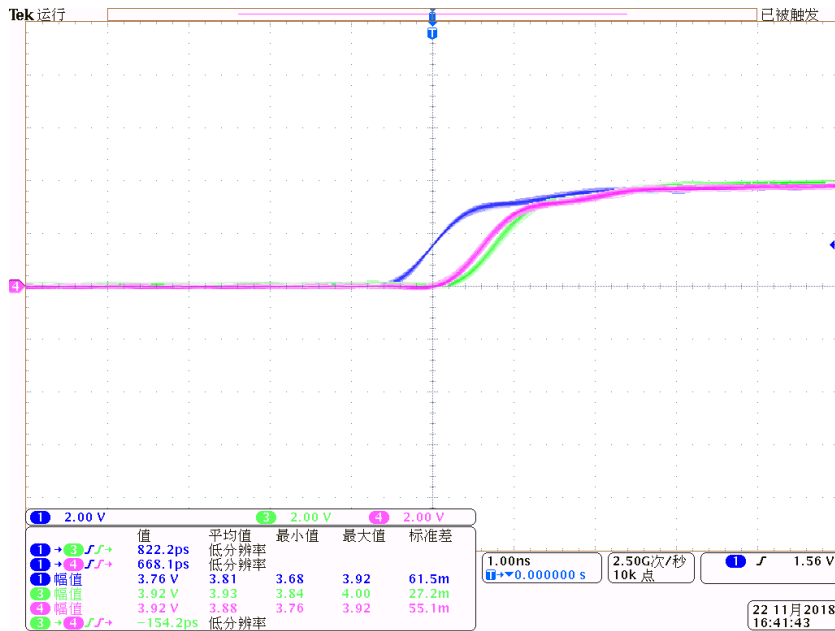
3.1 级联测试

3.2 短期稳定性测试

➤ 4. 总结及下一步计划

➤ 2.1 光源驱动板多路同步测试

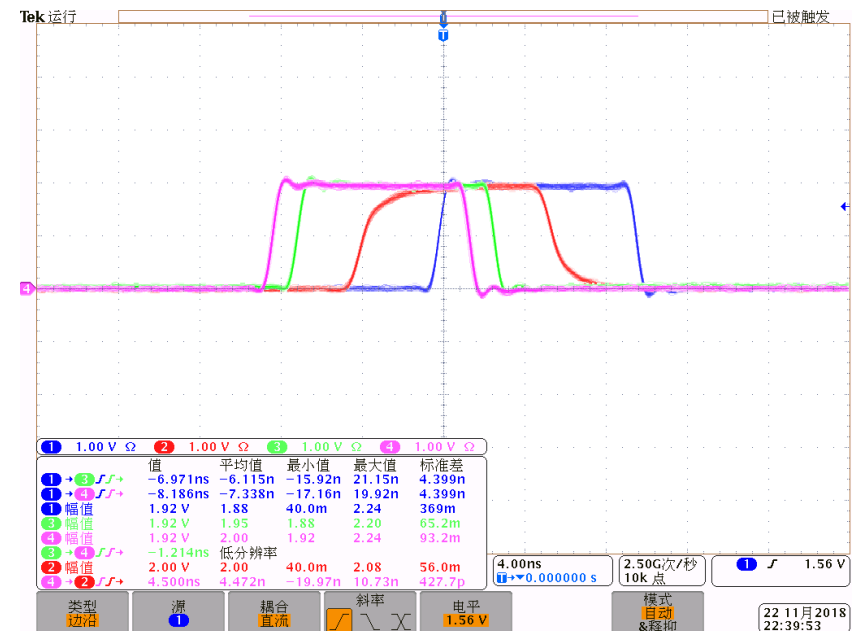
➤ 单板多通道间同步



X轴Scale:1 ns/格 Y轴Scale:1 V/格

延时	
CH 1->CH 2	-0.668 ns
CH 1->CH 3	0.154 ns
CH 2->CH 3	0.822 ns

➤ 多板多通道间同步



X轴Scale:4 ns/格 Y轴Scale:1 V/格

延时	
板1->板2	-3.686 ns
板1->板3	-6.971 ns
板1->板4	-8.186 ns

➤ 经过多次测试验证，单块光源驱动板内多个通道间延时误差可以控制在2 ns内，多块板间延时可控制在10 ns内，满足测试需要。

➤ 2.2电源驱动板静态测试

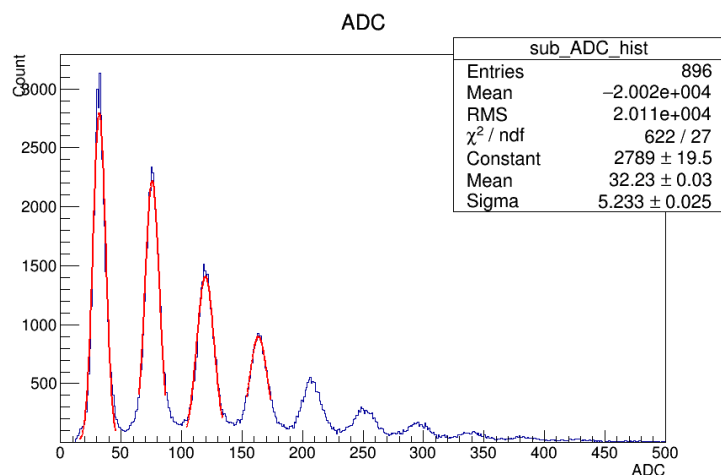
SiPM记录单

测试记录:			2019年2月18日										测试环境:		16.5℃
序号	板号	地址号	90V	80V	70V	60V	50V	40V	30V	放大器静态 电压mV	静态电流 mA	90V动态 电流mA	纹波mV	温度℃	备注
1	SY1902001	7	89.99	79.99	70.00	60.00	50.00	40.00	30.01	0.063	0.00	0.89	0.93	16.4	
2	SY1902002	248	90.01	80.00	70.00	60.00	50.00	40.00	29.99	1.024	0.00	0.89	0.56	16.9	
3	SY1902003	1	90.00	80.00	69.99	59.99	50.00	40.00	29.99	0.873	0.00	0.89	0.80	16.5	
4	SY1902004	3	90.00	79.99	70.00	59.99	50.00	39.99	30.00	0.297	0.00	0.89	0.72	16.5	
5	2018Y004	22	90.00	79.99	69.99	59.99	49.99	39.99	29.99	0.108	0.00	0.89	0.87	16.7	
6	SY1809005	251	90.01	79.99	70.00	60.00	50.01	40.01	29.99	0.3141	0.00	0.89	0.64	16.2	

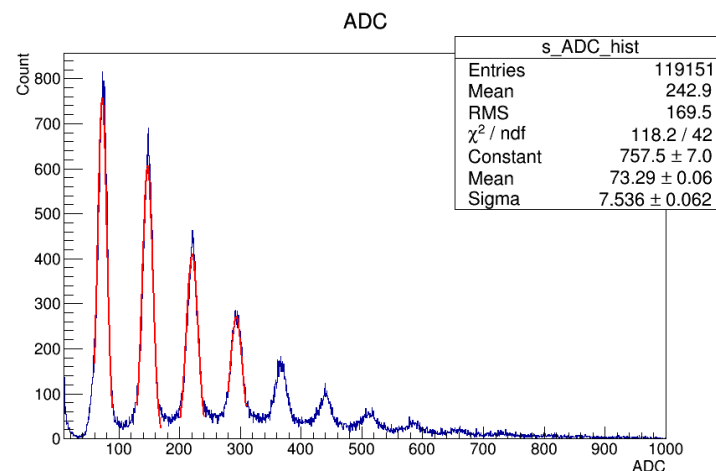
- 设定电压精确度满足误差小于10 mV!
- 无负载情况下偏置及纹波满足小于1 mV!
- 温度反馈精确度满足需求!

➤ 2.3 单通道SiPM性能测试

➤ 参考板-滨松商业产品

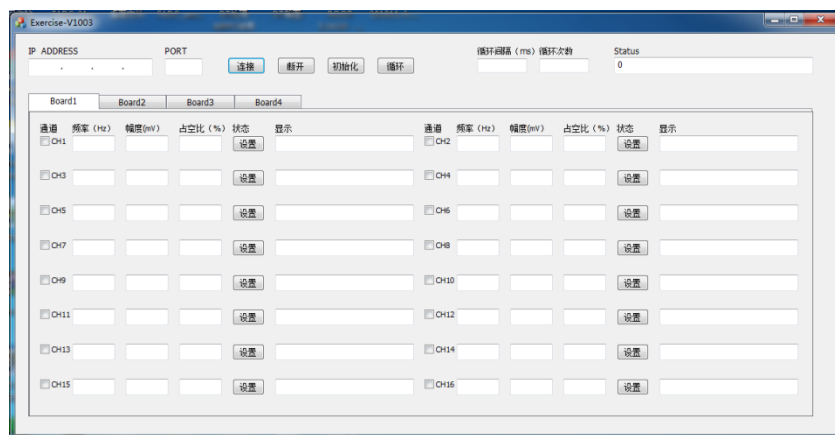


➤ 自研驱动板



地址	Δ Mean1	Δ Mean 2	Δ Mean3	1P.E	2P.E	3P.E
参考板	48.7	49.1	49.3	11.89%	13.69%	15.56%
自研驱动板	72.80	71.50	71.00	13.09%	14.65%	13.17%

➤ 2.4 实验软件 —— 电源及光源驱动板控制软件



光源驱动板UI控制界面

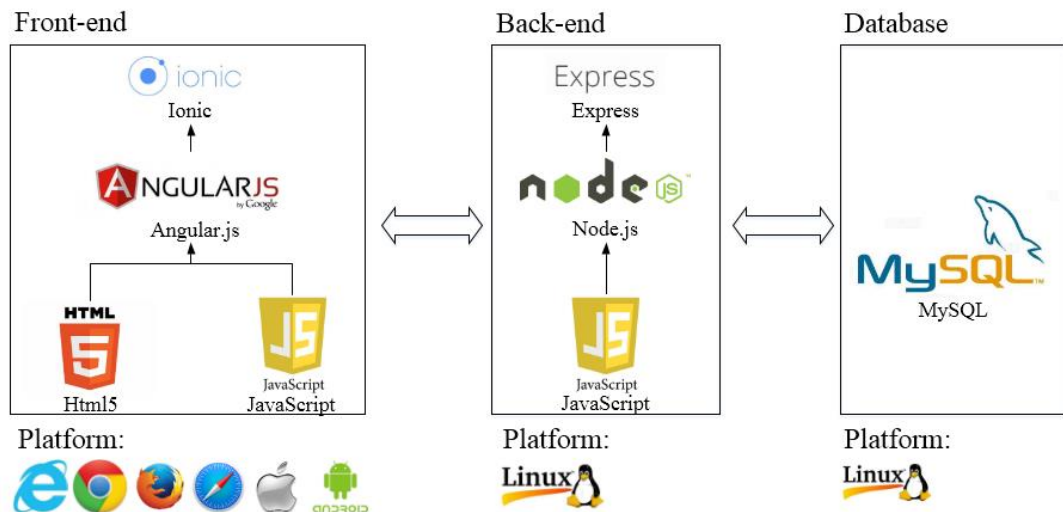
- 通过以太网可以控制单个IP下多块板共64通道独立输出。
- 实现读取配置文件并循环设置输出。



电源驱动板UI控制界面

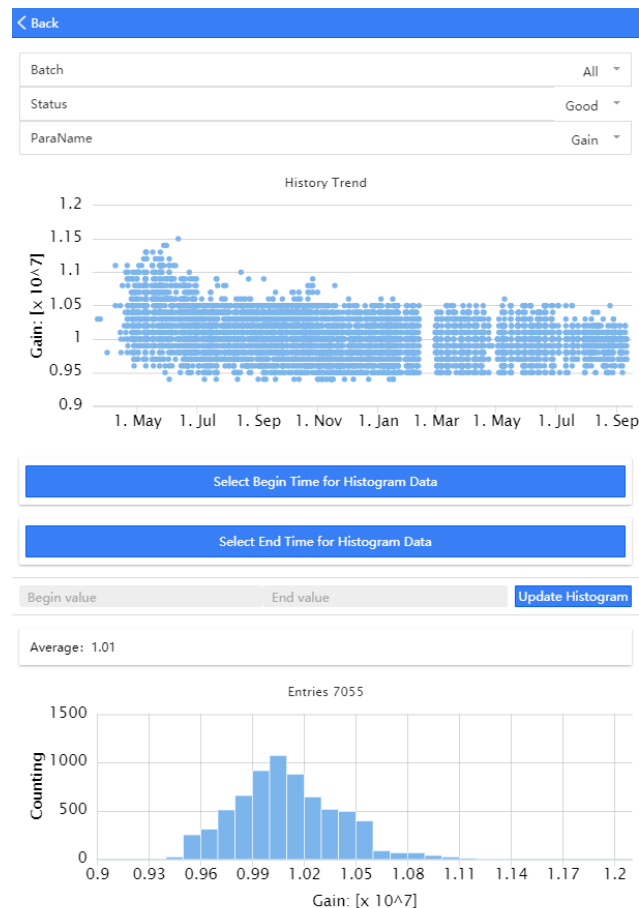
- 支持同时控制多个串口下多块板的数值设定及启停，目前最多支持48块驱动板的控制；
- 增加权限管理功能，保证了安全性；
- 日志文件自动存储，方便随时查看；

➤ 2.4 实验软件 —— 数据库软件



基于Ionic的质量控制数据库架构

- 基于Ionic开发的数据库，已用于PMT的批量测试质量控制。
- 为批量测试后大量测试数据的回溯及分析提供支持。
- 利用厂家提供的接口，计划通过与LabVIEW的接口接入整个系统。



数据库前端界面

Outline

➤ 1. 概述

1.1 研制背景

1.2 多路SiPM测试系统构成

➤ 2. 各系统性能测试

2.1 光源驱动板多路同步测试

2.2 电源驱动板静态测试

2.3 单通道SiPM性能测试

2.4 软件系统

➤ 3. 多路SiPM联调测试

3.1 级联测试

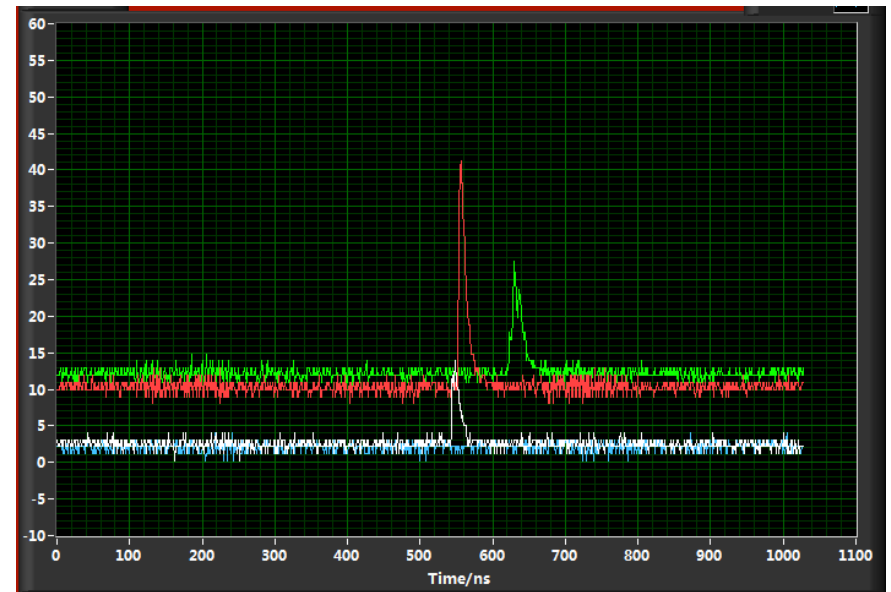
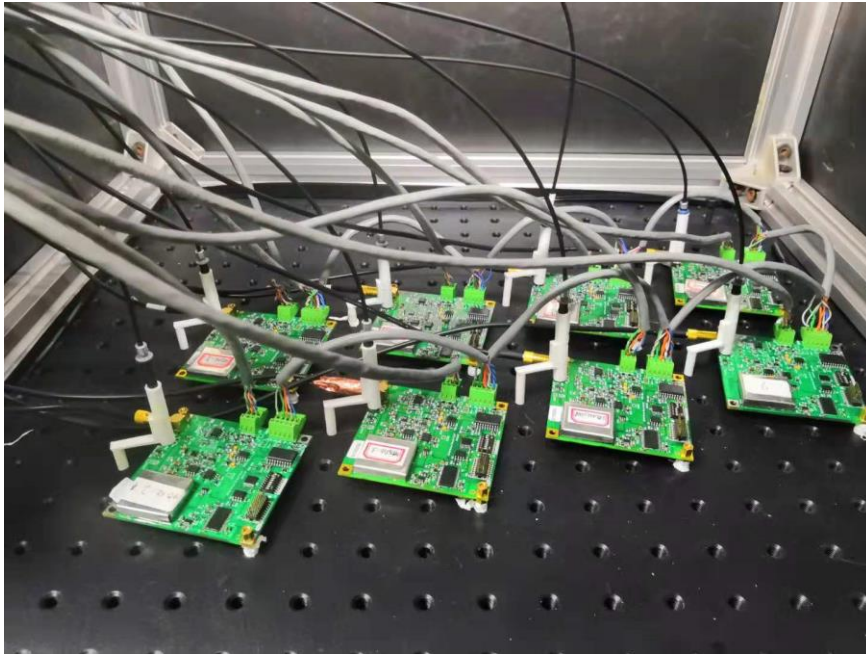
3.2 短期稳定性测试

➤ 4. 总结及下一步计划

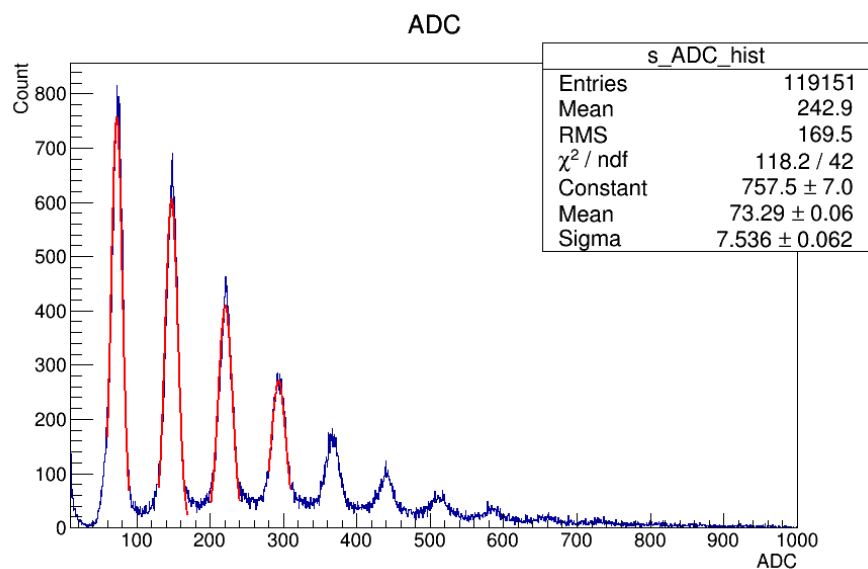
➤ 3.1 级联测试

实验方法：

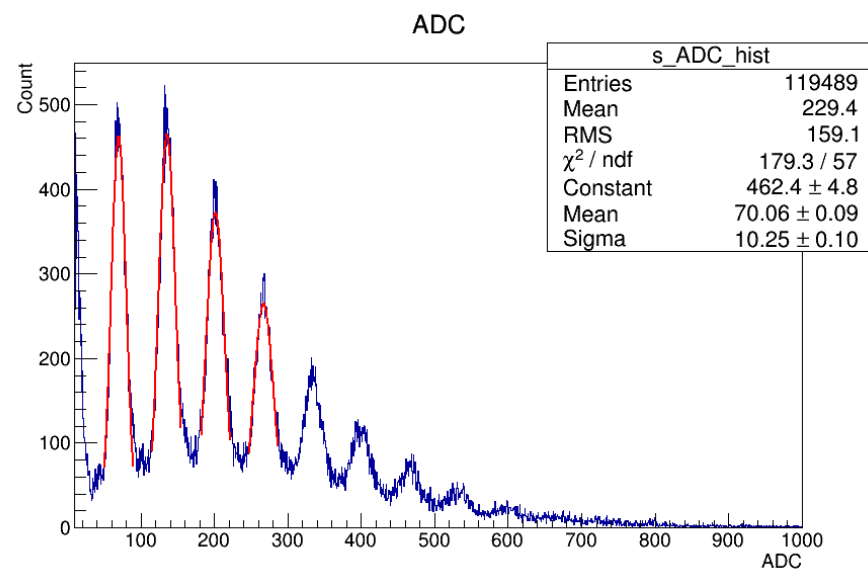
在单板测试的基础上，同时级联八块电源驱动板。每块SiPM驱动板用星形连接的方式独立供电。驱动板间使用一个RS422-USB串口并联接入PC进行级联控制，以达到批量测试的目的。



➤ 3.1 级联测试结果



单板测试



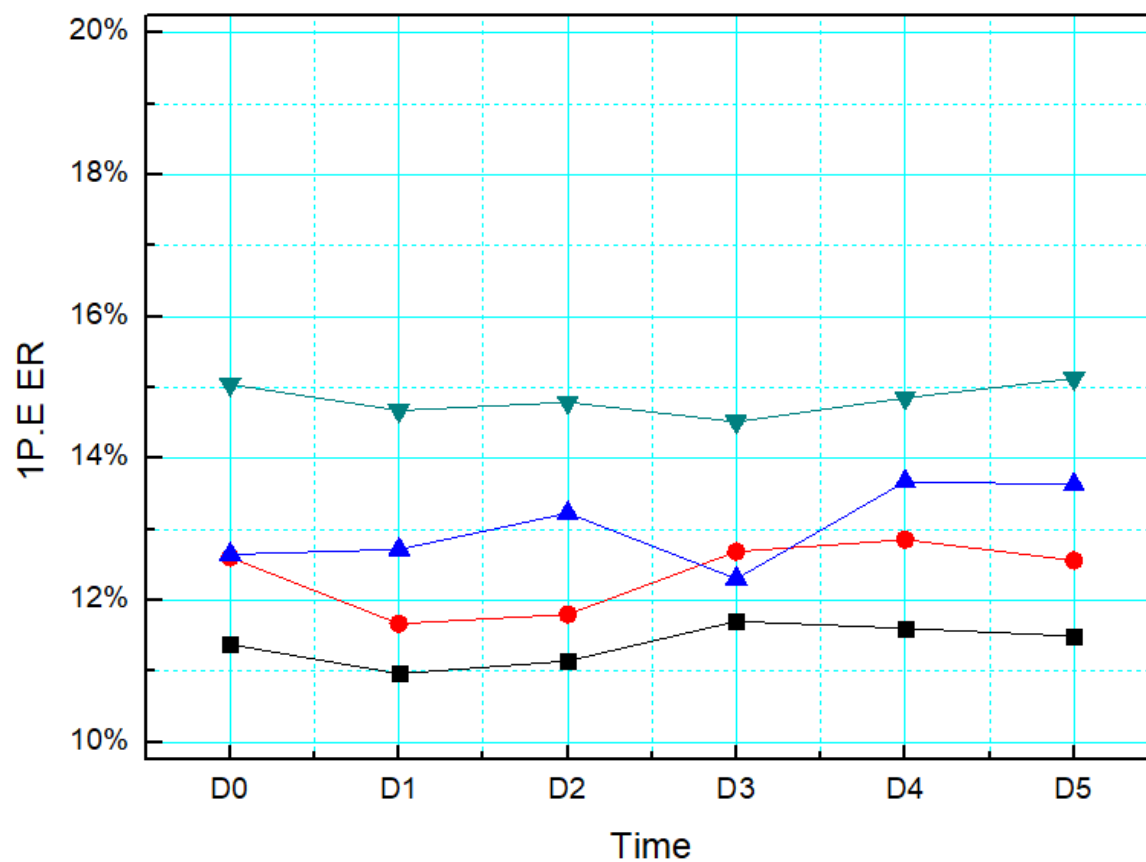
级联测试

地址		ΔMean1	ΔMean2	ΔMean3	1P.E	2P.E	3P.E
3	单板测试	72.80	71.50	71.00	13.09%	14.65%	13.17%
	级联测试	65.80	65.90	65.60	17.33%	18.82%	20.73%

➤ 3.2 稳定性

实验方法：

保持整套系统稳定不变，连续5天测试，得到短时间内的稳定性数据。



Outline

➤ 1. 概述

1.1 研制背景

1.2 多路SiPM测试系统构成

➤ 2. 各系统性能测试

2.1 光源驱动板多路同步测试

2.2 电源驱动板静态测试

2.3 单通道SiPM性能测试

2.4 软件系统

➤ 3. 多路SiPM联调测试

3.1 级联测试

3.2 短期稳定性测试

➤ 4. 总结及下一步计划

测试结果:

- 批量测试系统中使用的光源及电源驱动板各项性能良好，单板测试效果优异。
- 实现小规模8路级联测试，级联测试中测试到清晰的多光子谱。

下一步计划:

- SiPM驱动板目前只能实现30V-90V输出，改进计划：实现20V-90V输出，适应多家SiPM使用要求。
- SiPM驱动板通讯接口改进，更方便的实现多板连接。

Thanks! 谢谢!

感谢各位专家学者的聆听。
感谢核探测与核电子学国家重点实验室经费支持