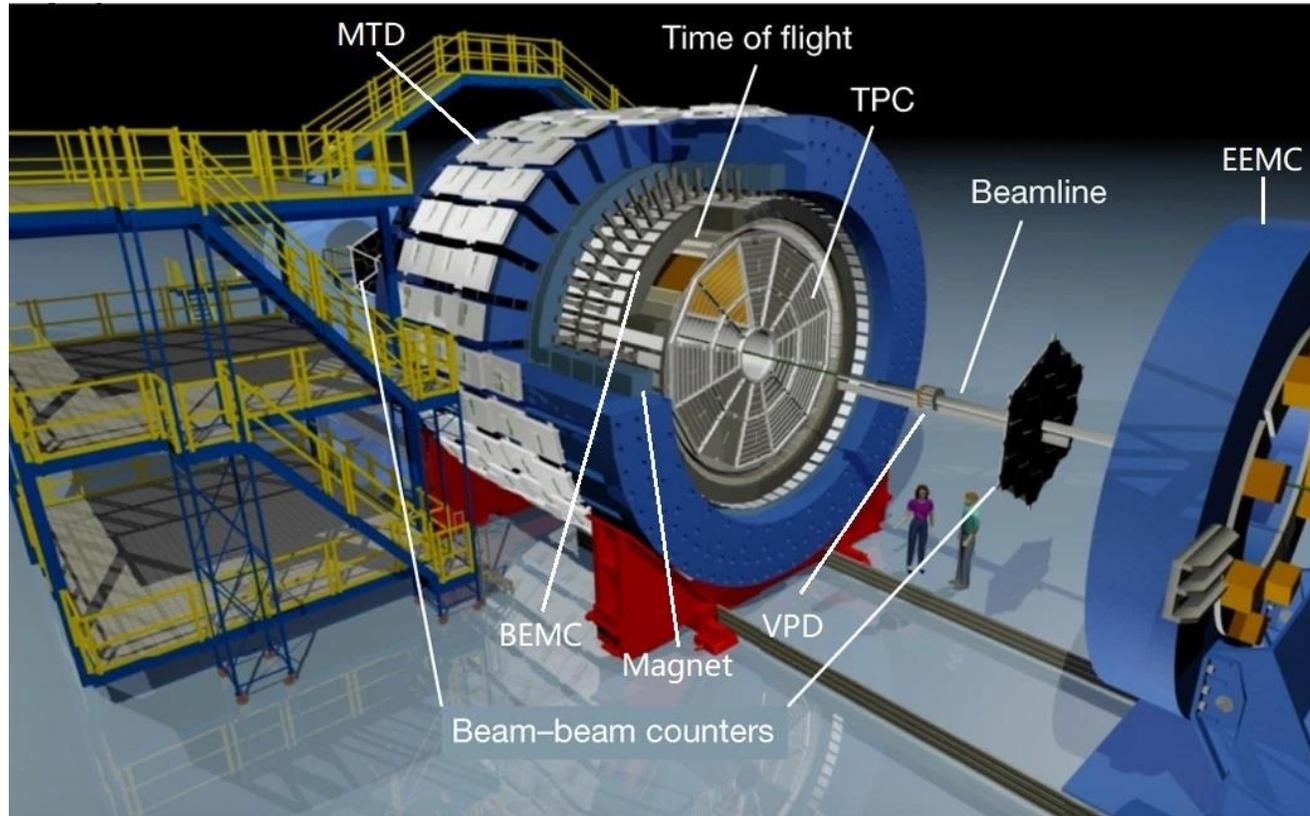




STAR sTGC探测器前端读出电子学系统研究

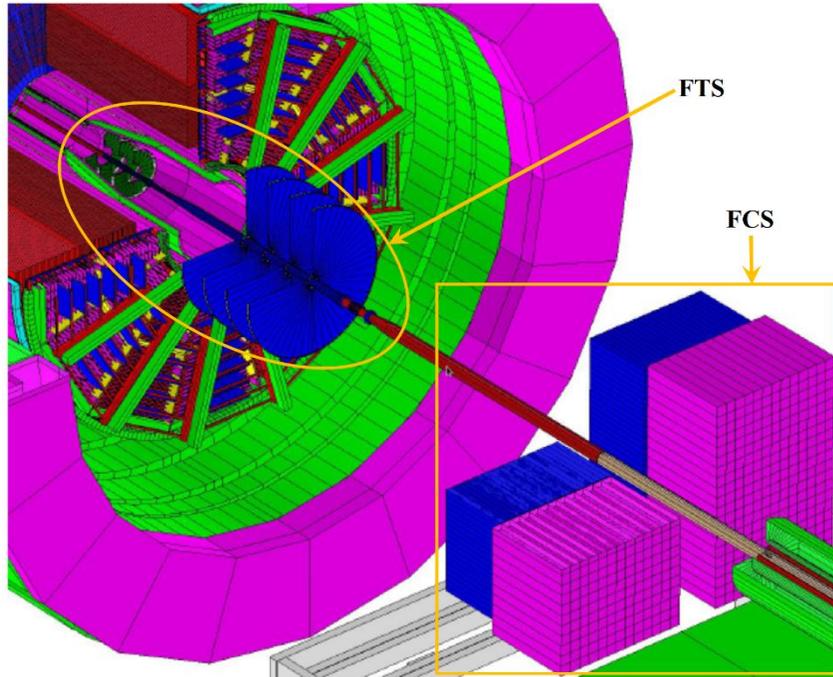
李颖杰

中国科学技术大学
核探测与核电子学国家重点实验室

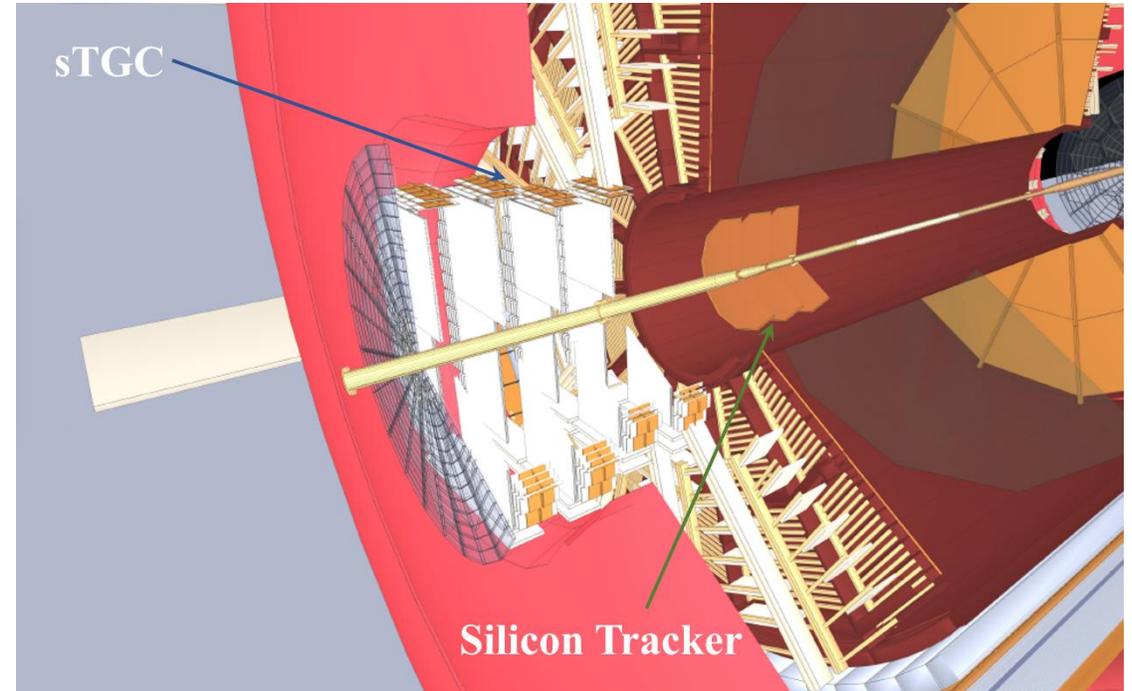


- 时间投影室 (TPC)
- 飞行时间探测器 (TOF)
- 桶形电磁量能器 (BEMC)
- 端盖电磁量能器 (EEMC)
- 束流计数器 (BBC)
- 顶点位置探测器 (VPD)
- μ 子望远镜探测器 (MTD)

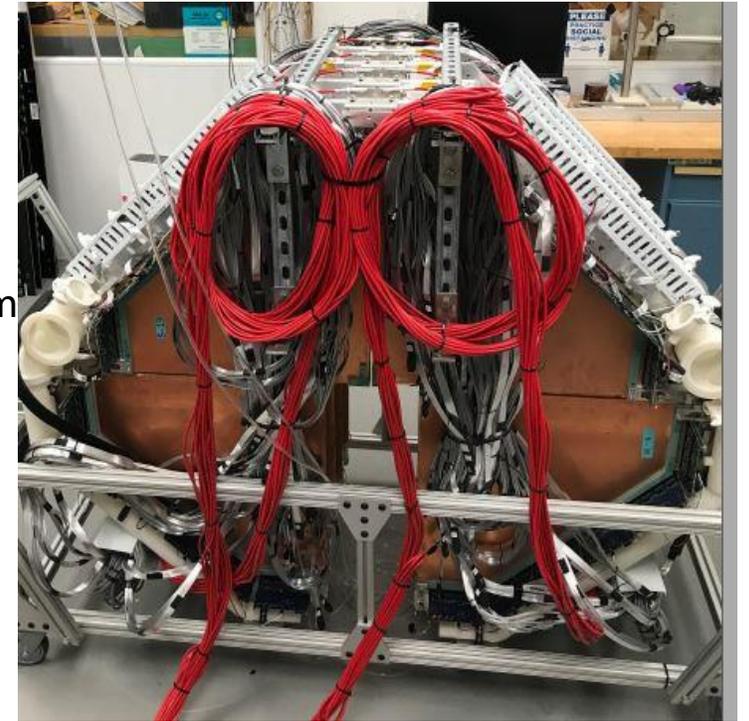
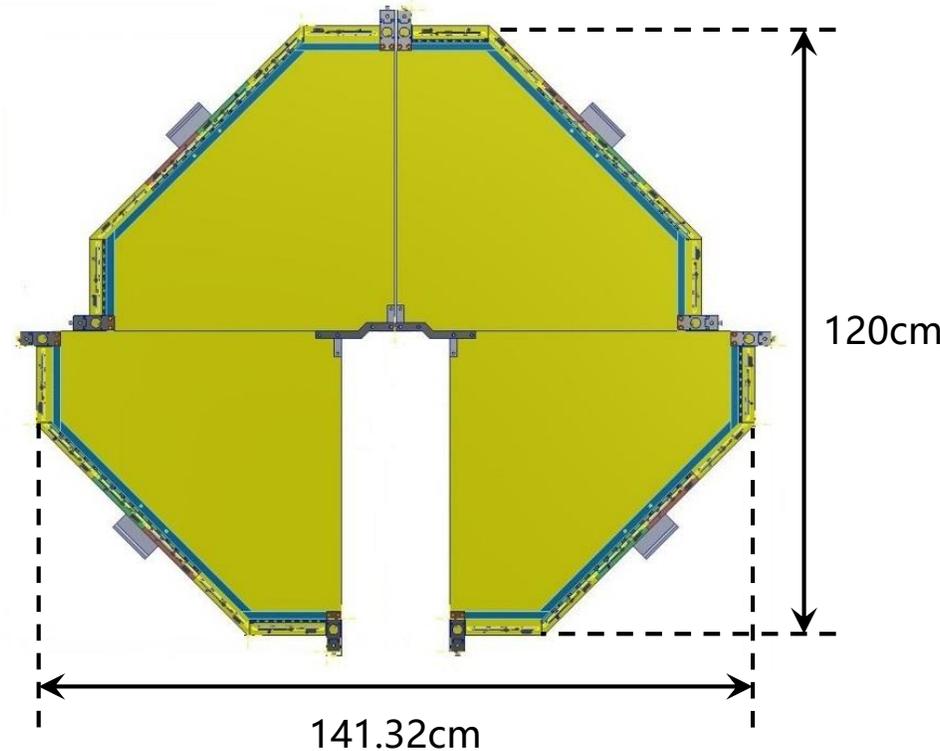
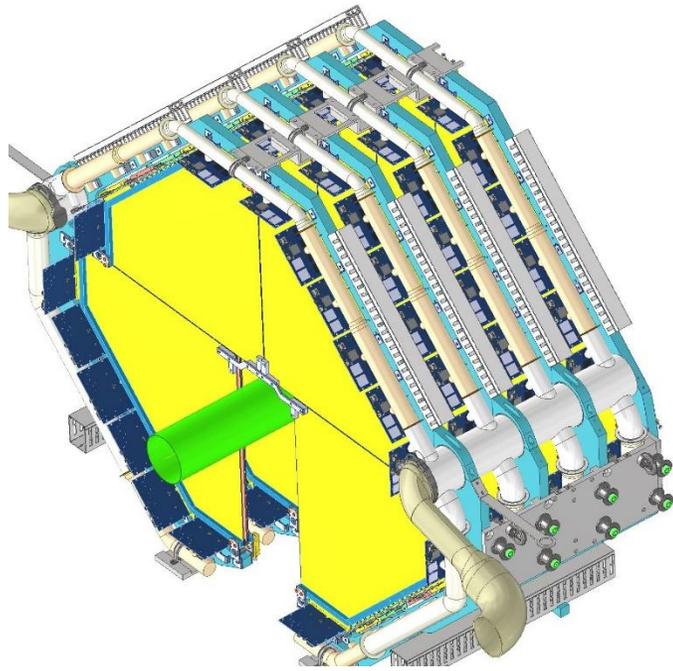
螺旋径迹探测器 (the Solenoidal Tracker at RHIC, STAR) 是RHIC的主要探测器之一。STAR探测器需要在大立体角范围内实现对大量初级粒子与次级粒子的种类分辨、轨迹测量和动量测量



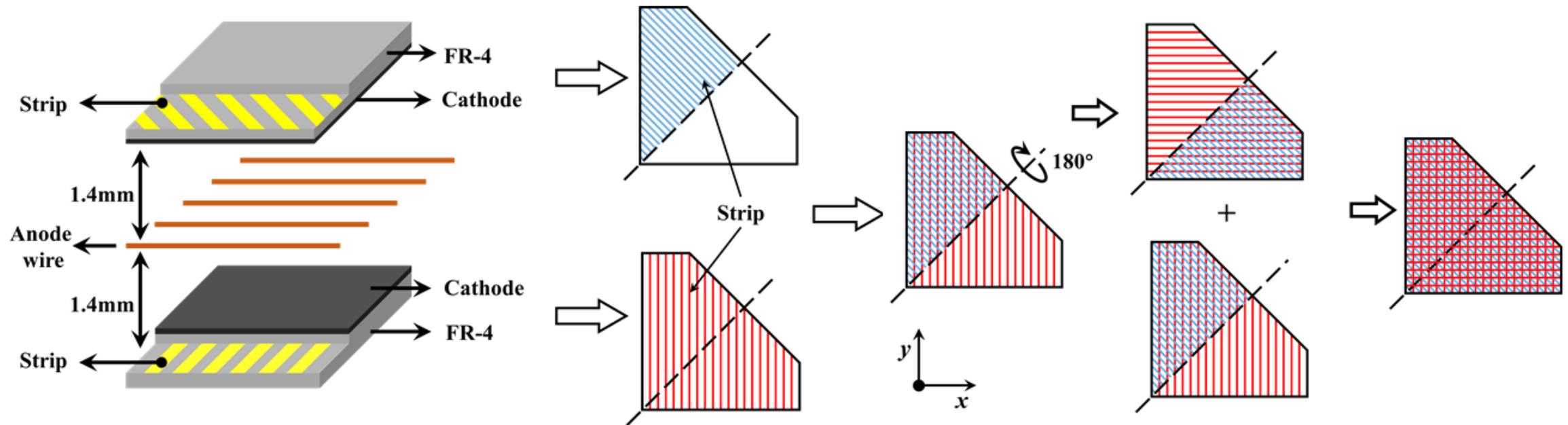
FTS: 前向量能系统, 对电子、带电强子、光子、
和中性介子等的探测
FCS: 前向径迹系统, 电荷种类分辨、粒子横向
动量测量和堆积事例抑制



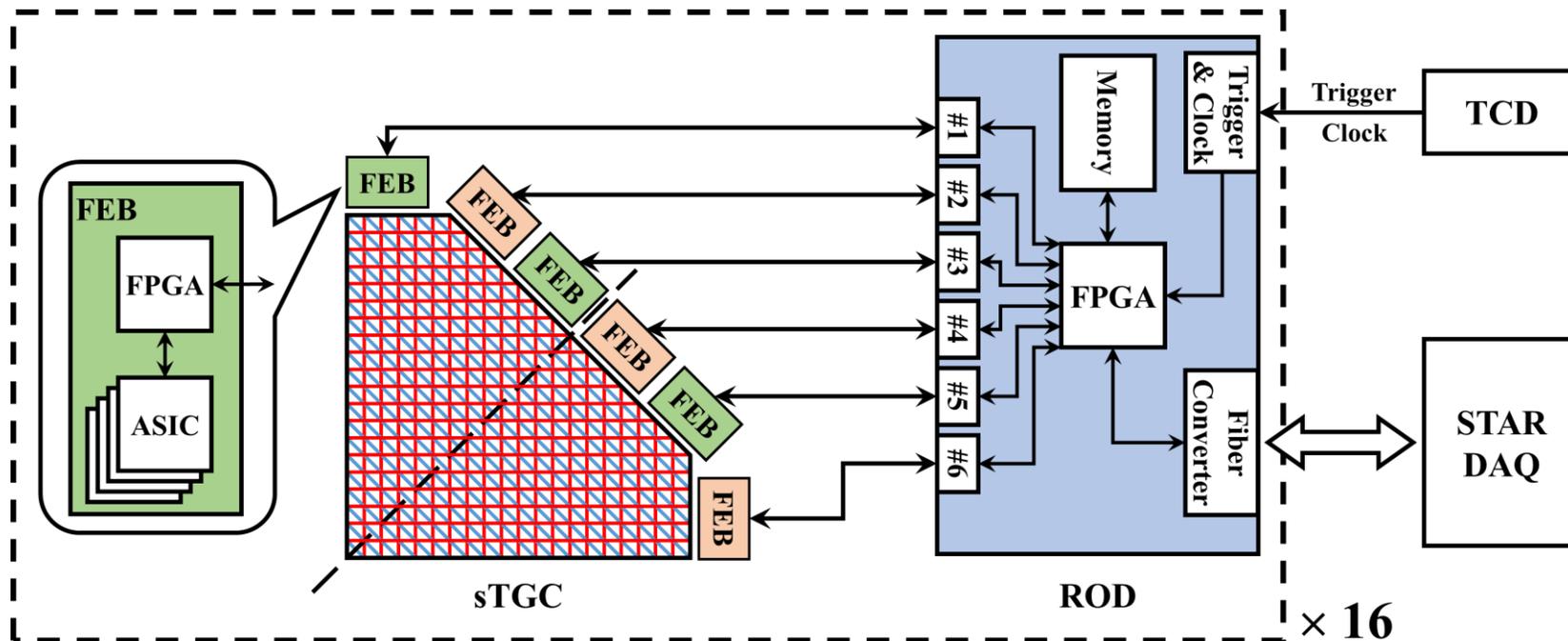
前向径迹系统由硅探测器 (Silicon Tracker, ST)
和细条窄间隙室 (small-strip Thin Gap
Chamber, sTGC) 组成



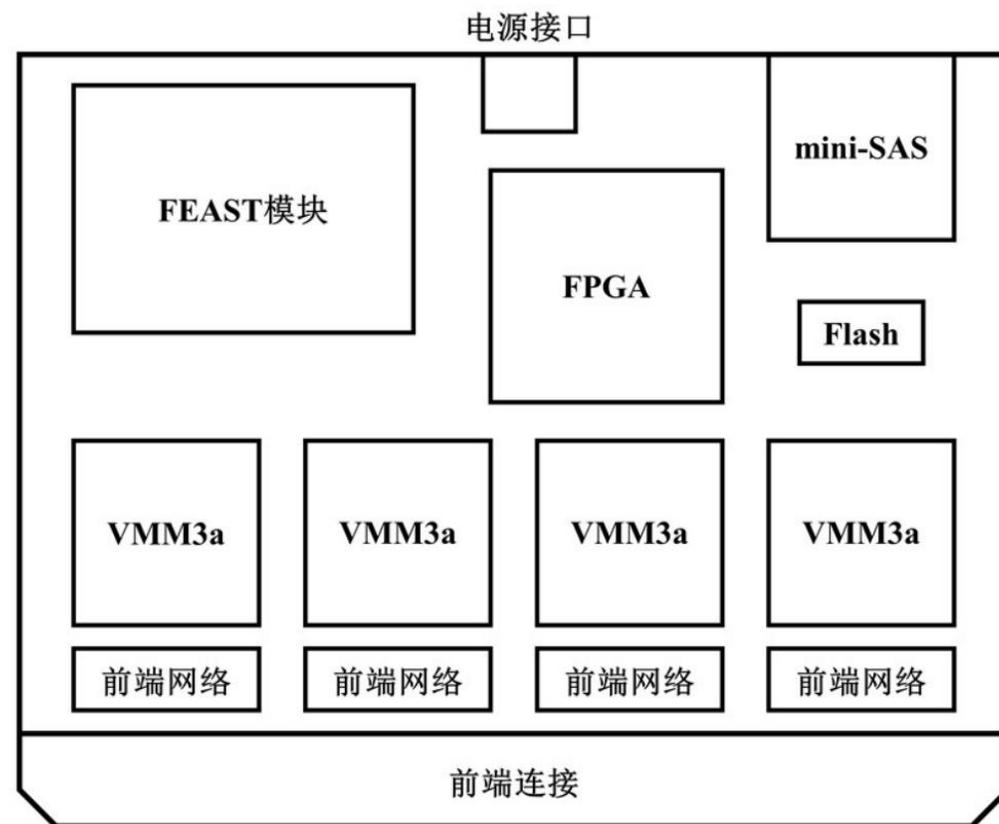
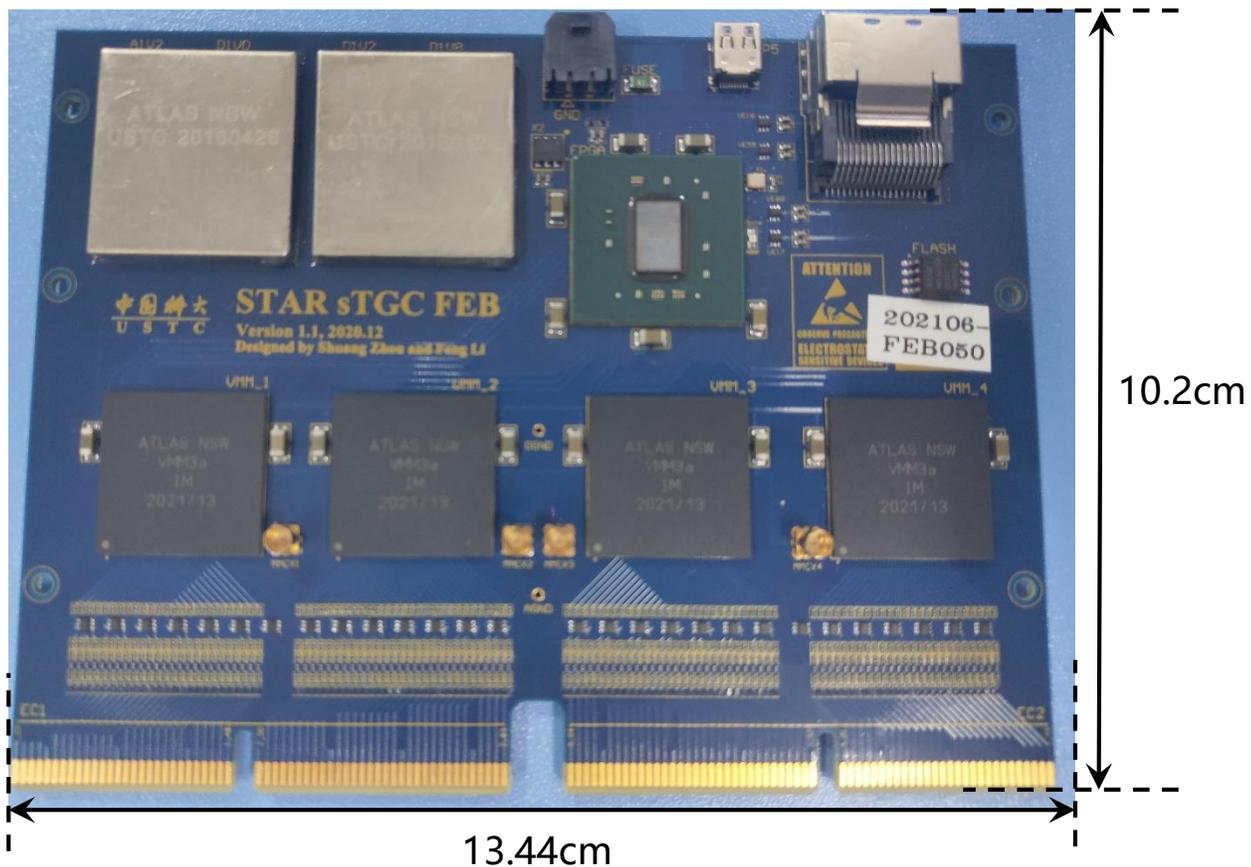
- STAR sTGC探测器共有4层，每层由4个相同的五边形station组成。探测器的基本结构是基于ATLAS sTGC探测器改进而来的。
- 考虑到安装空间、散热、供电、探测器制作与安装难度等因素，单层sTGC探测器分成了4个完全相同的五边形sTGC探测器。4个五边形sTGC探测器拼接时留出的间隙是为束流管道经过而设计。

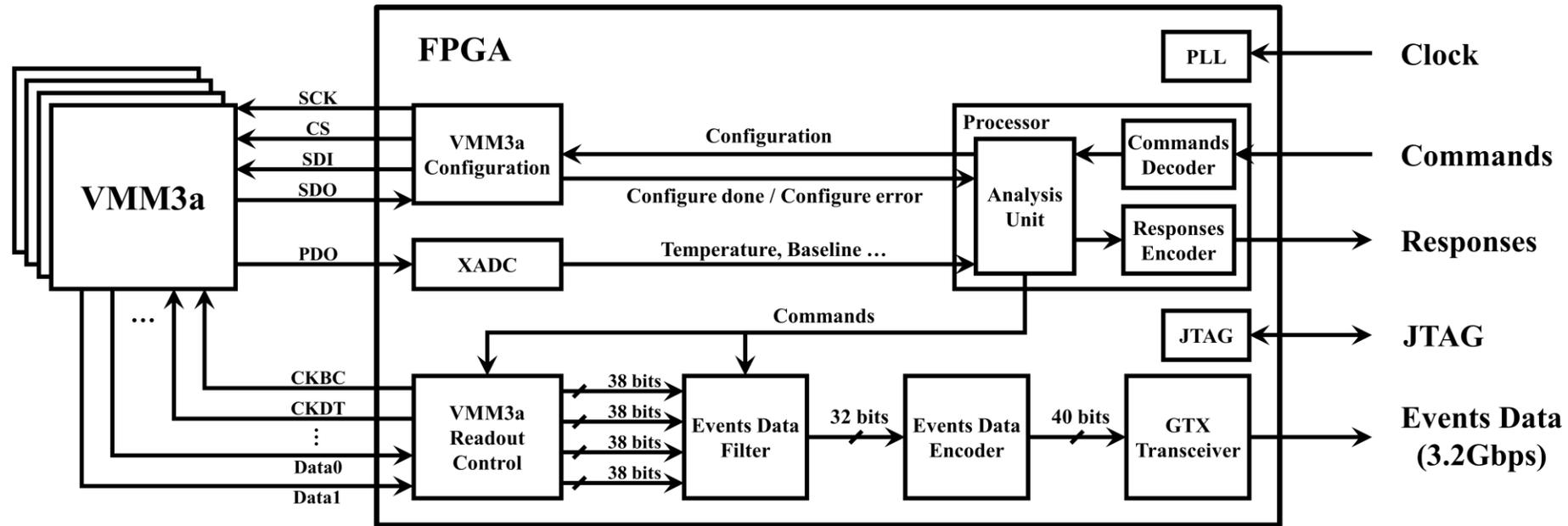


- 探测器中间的阳极丝采用镀金钨丝制成，阳极丝上下有两层25 μm 厚的石墨层作为阴极，在阴极基板内部有细长的覆铜条作为电极，室内使用55%的二氧化碳与45%的正戊烷的混合气体作为工作气体。
- 两层strip读出条采用了不同走向设计，一层沿y方向排布，布满整个五边形室，另一层则是斜向45°排布，在半个五边形室中排布。
- 将其中一层翻转180度和另外一层粘合，中间用5mm厚的蜂巢板隔开，最终得到一层完整的station。



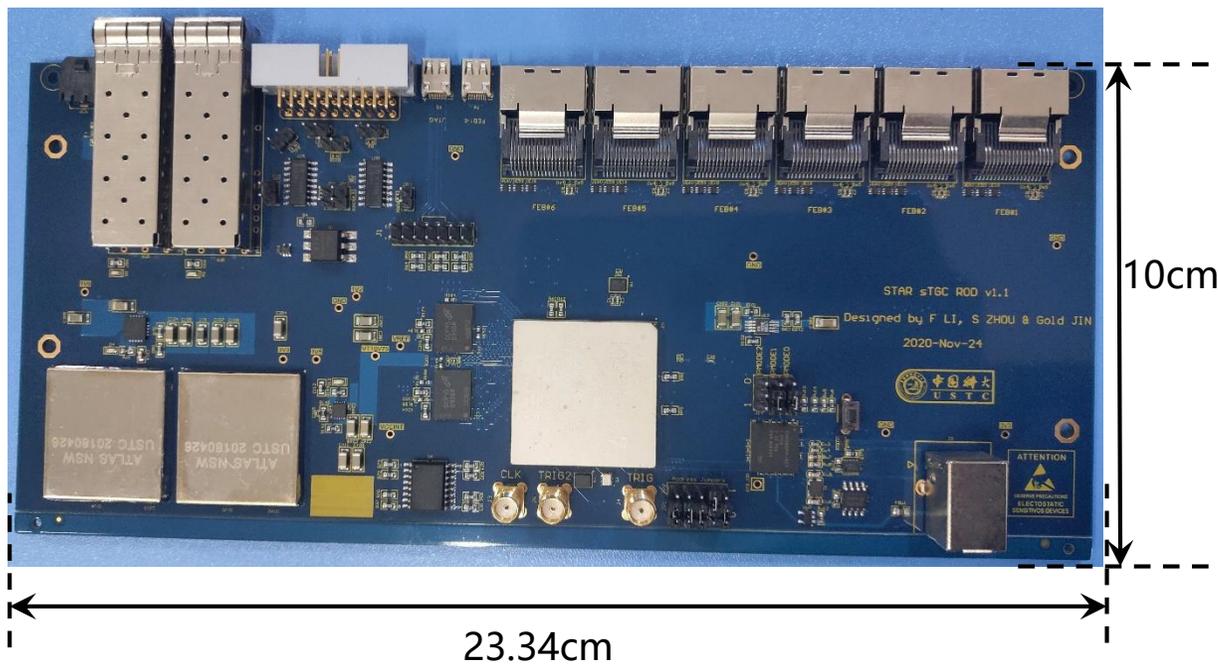
- 考虑到每个station有4层strip读出条，两层45°方向的strip，各211根；一层 x 方向和一层 y 方向的strip，各414根。因此采用6块FEB读出sTGC的信号。
- 整个STAR sTGC系统共有96块FEB和16块ROD。TCD为16块ROD提供同步的触发与时钟信号，每块ROD都通过一根10G光纤与STAR DAQ系统进行数据通信。



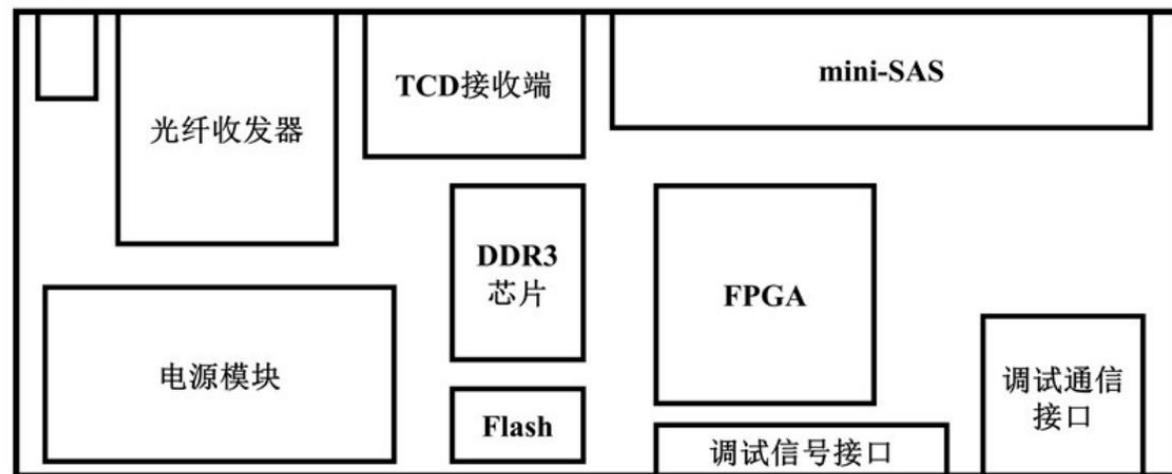


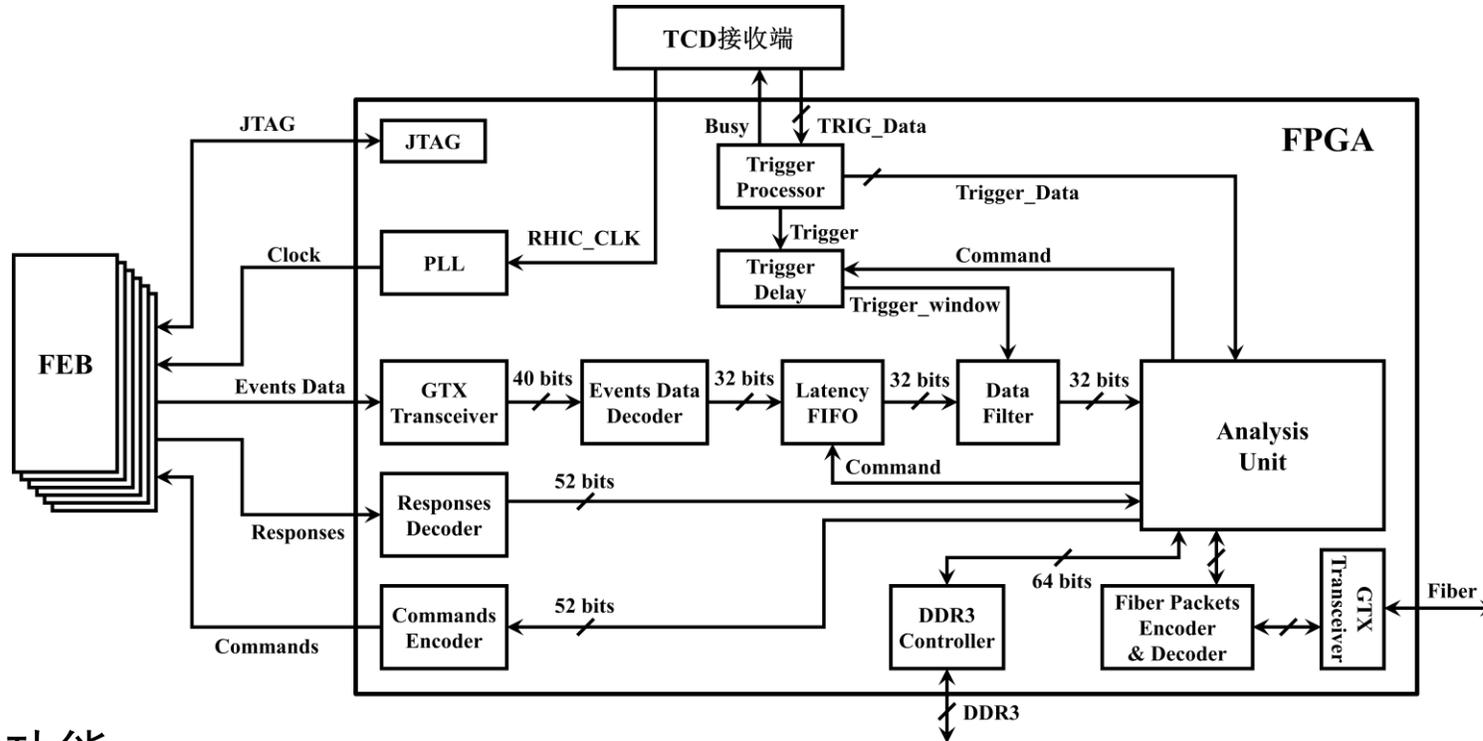
前端读出板FPGA功能：

- 接收来自读出驱动板的系统时钟。该时钟经过FPGA的PLL分发到各个功能模块。
- 配置VMM3a。ROD通过发送命令到FEB的FPGA中，FEB再通过SPI总线发送到VMM3a芯片中
- 读出VMM3a事例数据。FEB提供VMM3a读出所需的信号，通过Data0和Data1读出事例数据，数据经过筛选与编码后通过GTX发送给ROD
- 监测VMM3a。通过VMM3a的PDO管脚监测芯片的温度、阈值、通道基线等。



电源接口





读出驱动板FPGA功能：

- 接收STAR DAQ的配置命令，发送至对应的FEB。
- 接收来自FEB的应答数据，发送至STAR DAQ。
- 采集事例数据，结合触发信号筛选有效数据，将有效数据缓存至DDR3。
- 延迟触发信号和事例数据，实现触发信号和事例数据的同步
- 上传DDR3中的事例数据至STAR DAQ。



The screenshot displays the FEB Controller software interface, divided into several functional areas:

- Configuration:** A table for channel configuration with columns for channel number, status, and various parameters.
- Data Acquisition:** A section for setting acquisition parameters like peaktime and gain.
- Global Configuration:** Checkboxes for enabling various hardware and software features.
- Communication:** Network settings including adapter, device MAC, and host MAC, along with buttons for initialization and port management.
- DAQ Control:** Buttons for starting and stopping data acquisition, and testing pulses.
- Information:** A log window showing file creation and export status for various channels.
- Control:** A section for managing FEB modules (FEB_1 to FEB_6) and VMM modules (VMM_1 to VMM_4).

网络通信控制

数据采集控制

操作信息

VMM3a配置

配置操作

调试命令

通道计数

This screenshot shows the data acquisition results and statistics within the FEB Controller software:

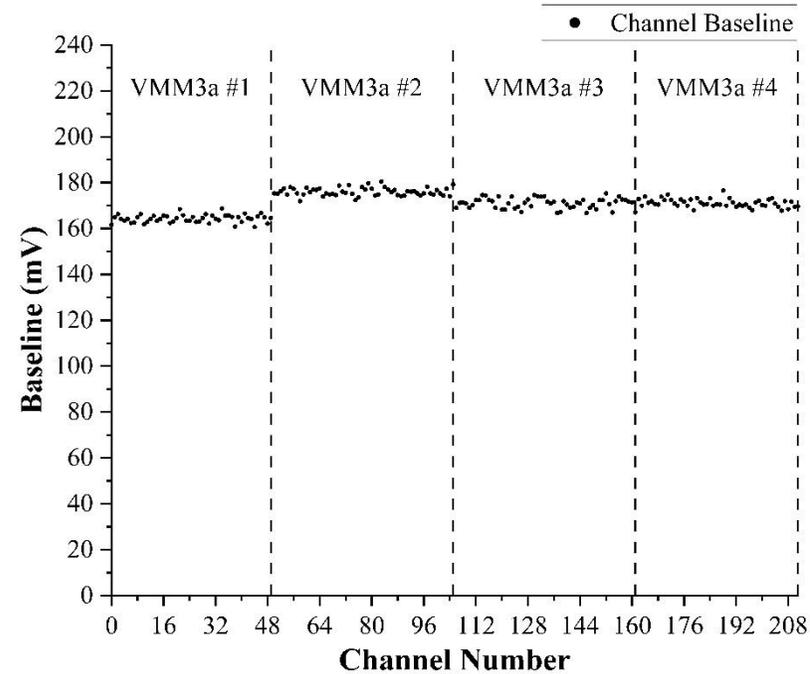
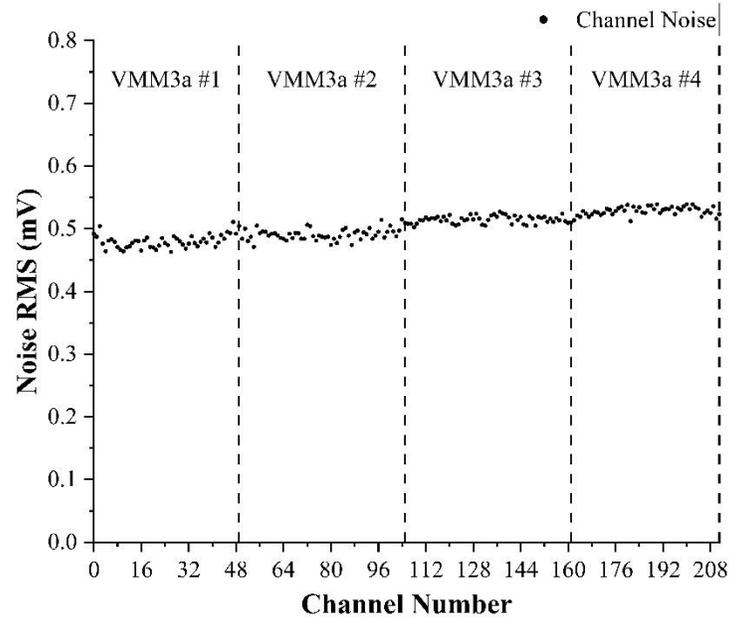
- Channel Counts:** Four histograms showing the distribution of hits for VMM_1, VMM_2, VMM_3, and VMM_4 channels. The y-axis represents the number of hits (0 to 30,000).
- PDO Statistics:** A histogram showing the distribution of hits for a selected channel (Channel 59). The y-axis represents the number of hits (0 to 8,000).
- FEB Selection:** Radio buttons for selecting different FEB modules (FEB_1 to FEB_6).
- Save path:** A text field for specifying the save path for the data, with a 'Load Data' button.
- Clear Graph:** A button to clear the current histogram.

通道PDO统计

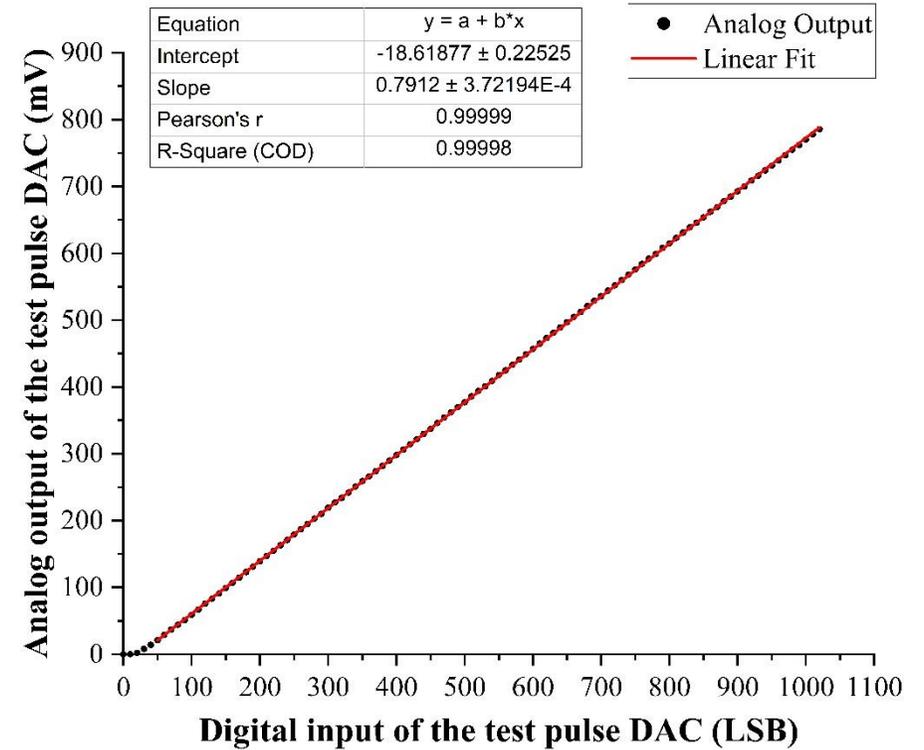
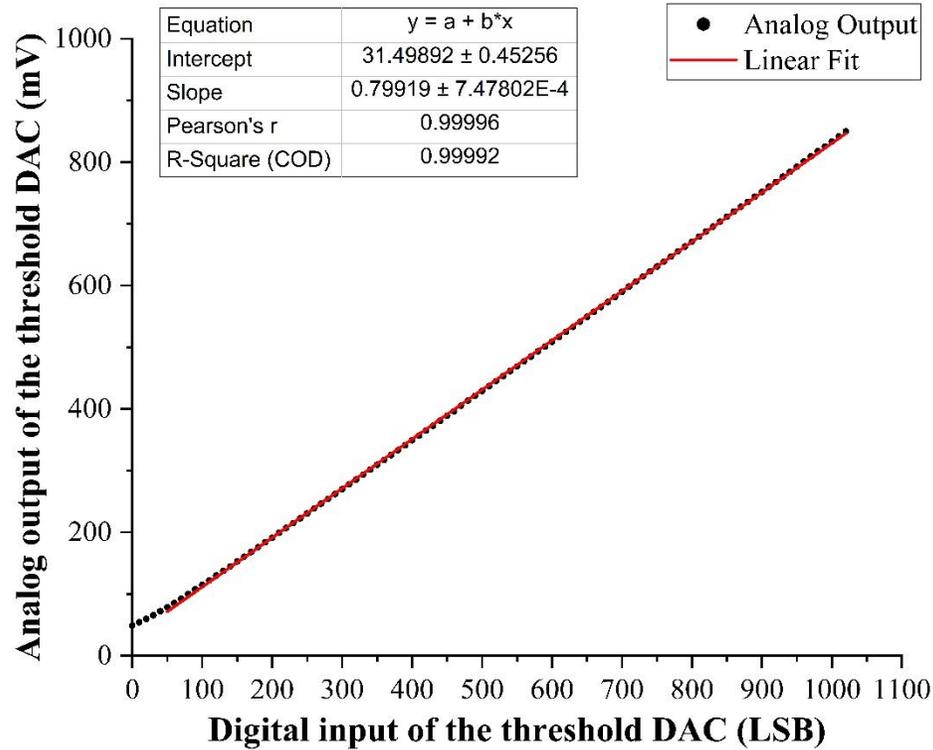
通道选择

数据存储

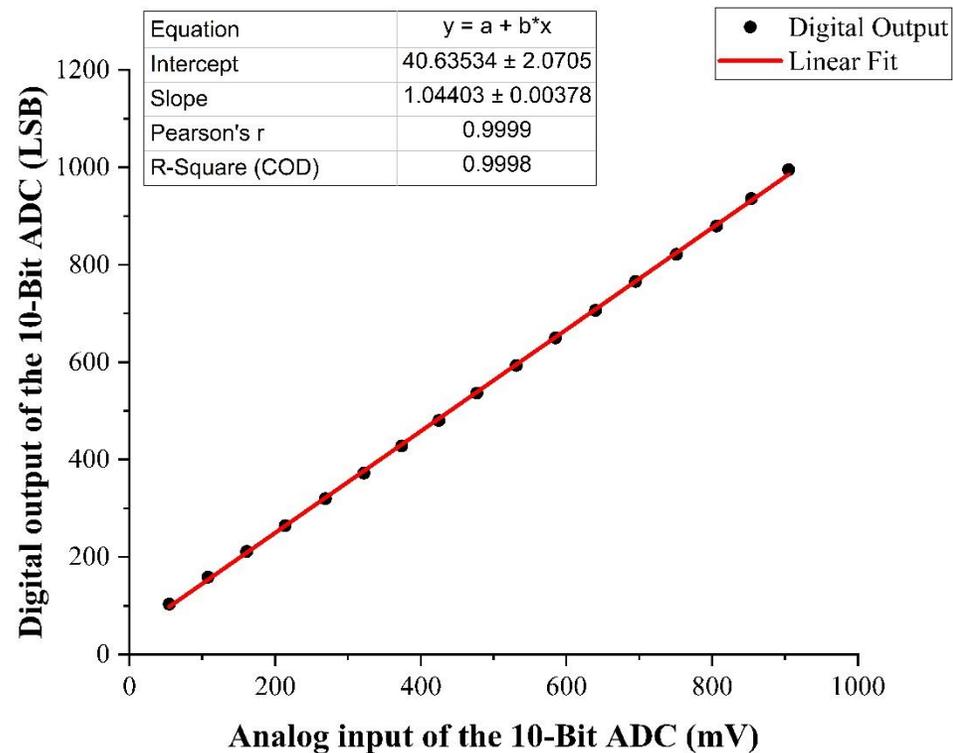
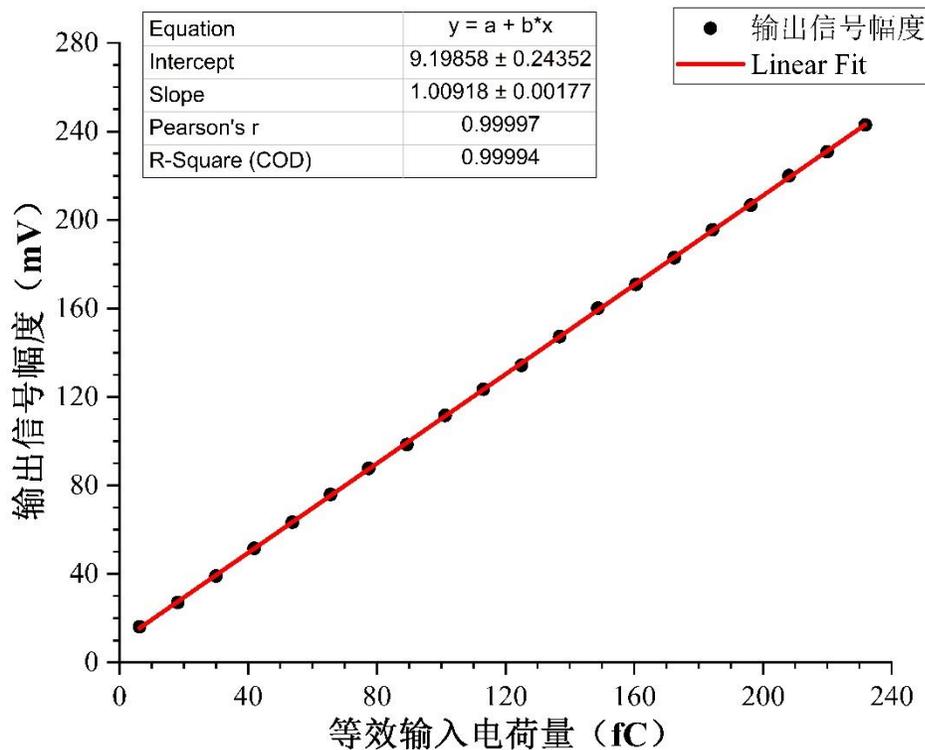
- 数据采集软件基于Qt开发，设计有配置界面和数据采集界面。
- 配置FEB；控制电子学系统的数据采集；存储事例数据，分析事例数据。



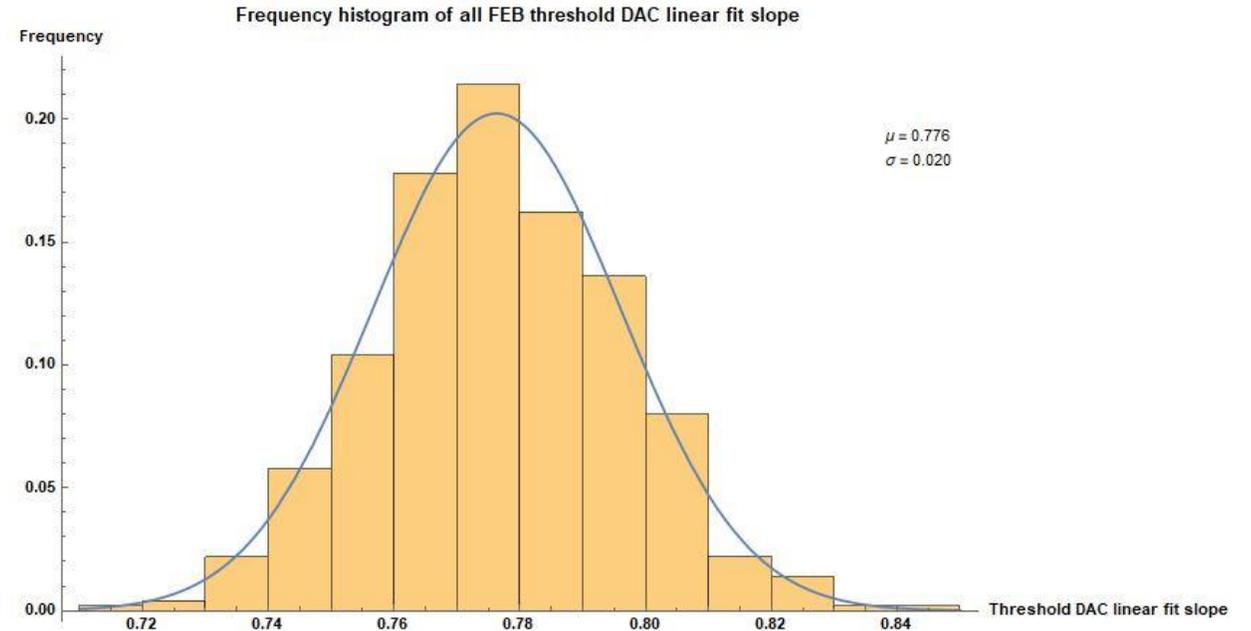
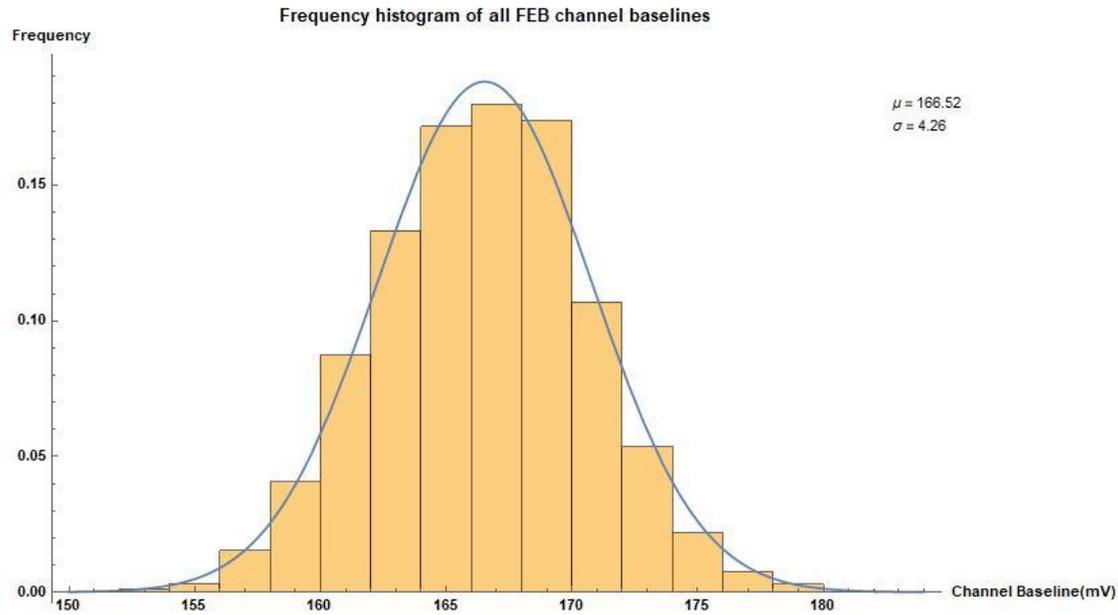
- 通道噪声(图左): 在1mV/fC的增益下测试。噪声RMS分布在0.46mV (ENC 0.46fC) 到0.54mV (ENC 0.54fC) 之间, 平均值为0.50mV (ENC 0.50fC), 低于通道等效噪声1fC的需求。
- 通道基线(图右): 基线在160.68mV到180.46mV之间, 基线平均值为170.80mV, 均方根值为4.55mV。同一片VMM3a的通道间基线相差较小, 不超过10mV; 不同VMM3a芯片间通道基线相差相对有所增大, 但不超过20mV。不同VMM3a芯片间的基线差别主要是芯片本身性能差别所导致的。



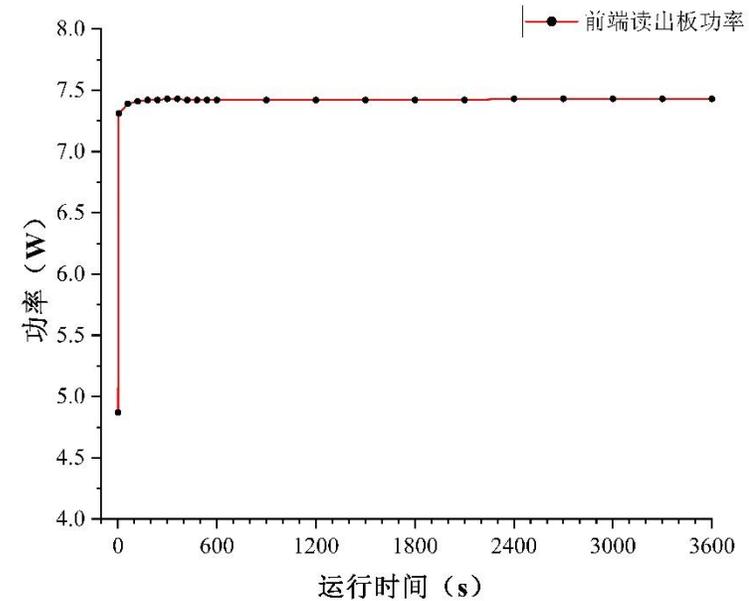
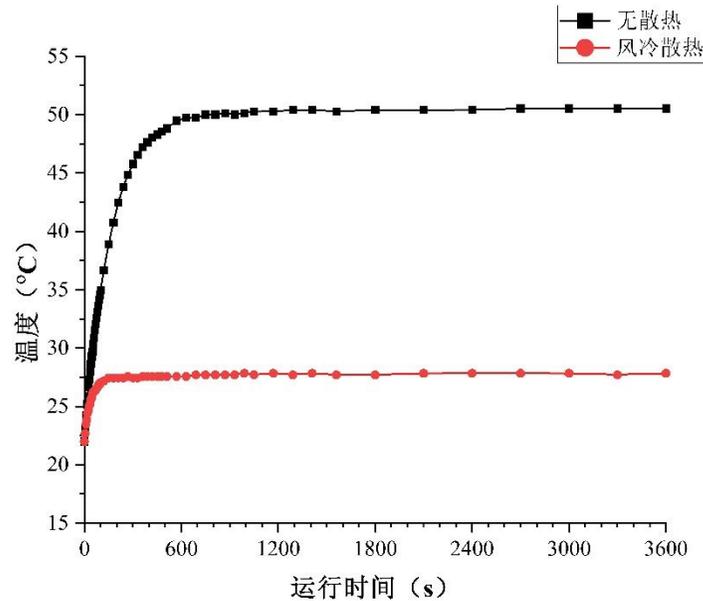
- 阈值DAC(图左): 在模拟输出范围71.46mV到849.08mV具有很好的线性。
- 测试脉冲DAC(图右): 在模拟输出范围是20.96mV到790.80mV具有很好的线性。



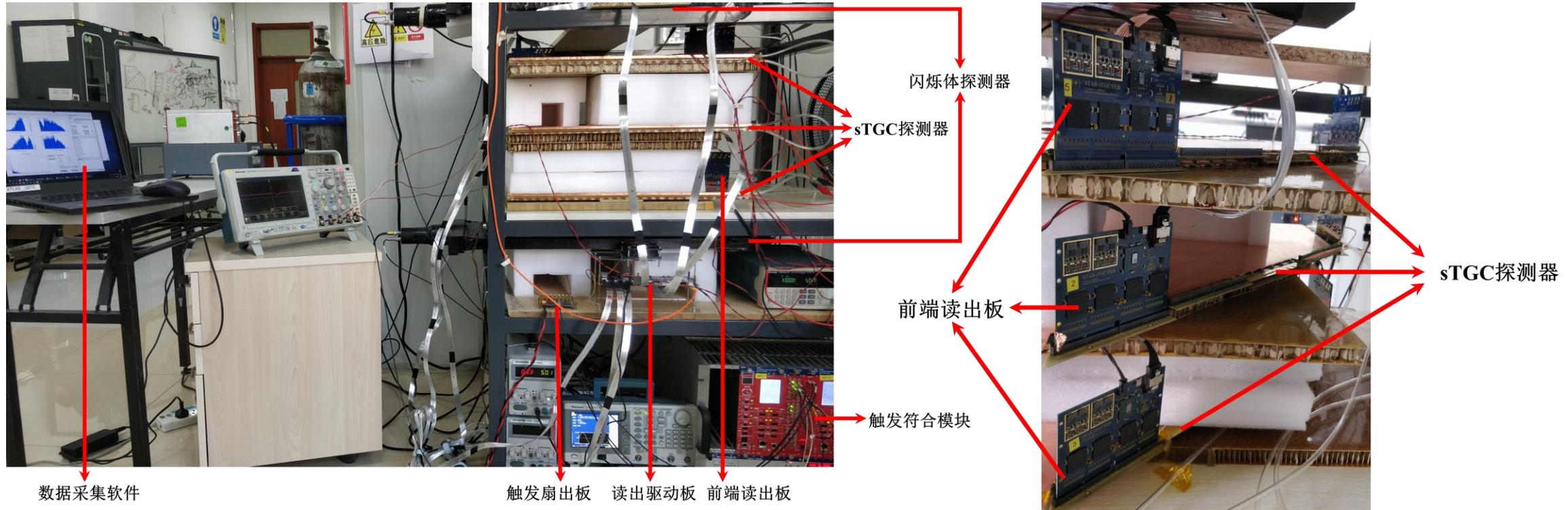
- 通道增益(图左): 在1mV/fC的增益下测试。实际增益与设定增益相差不超过1%。
- 10-bitADC(图右): 在50~1000mV的输入范围内, 该ADC具有很好的线性。



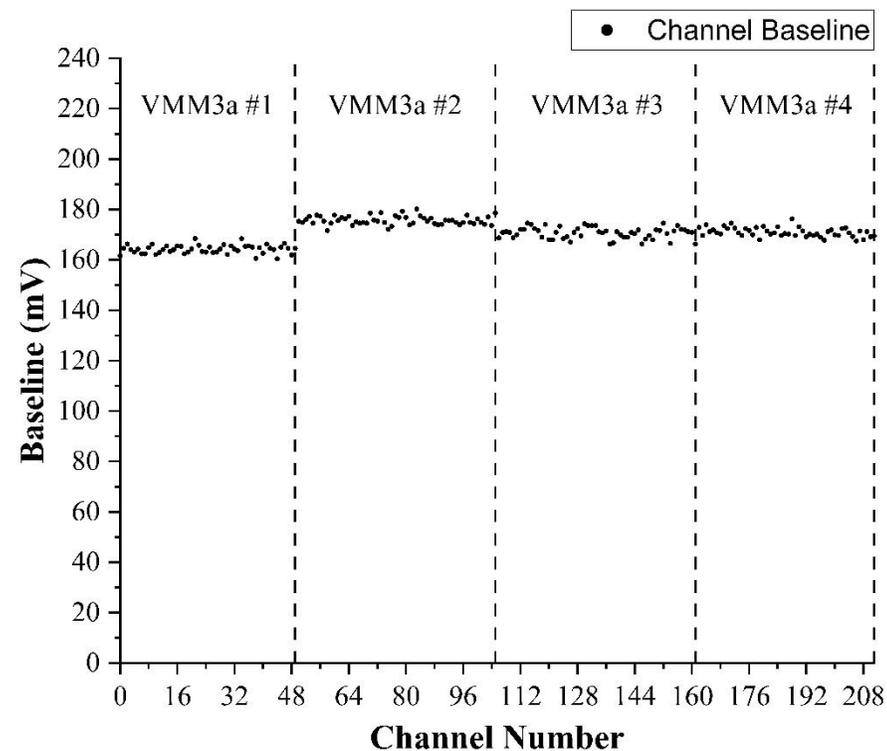
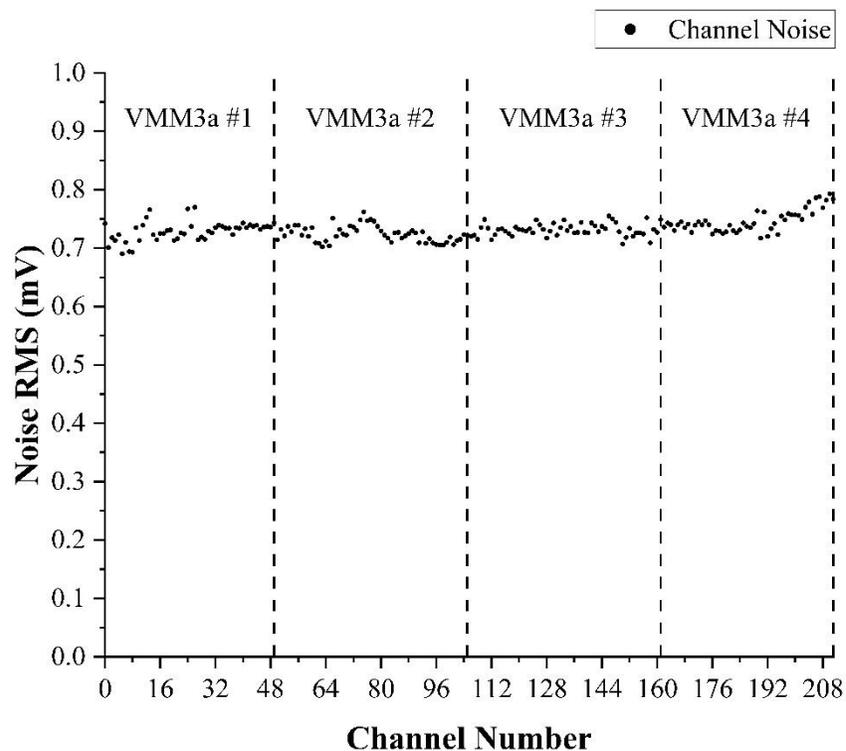
- 所有FEB通道基线(图左): 平均值为166.52mV, 标准差为4.26mV, 在P=95%的情况下, 基线分布在158.00mV到175.04mV之间。
- 所有FEB阈值DAC线性拟合斜率(图右): 平均值为0.776, 标准差为0.02, 在P=95%的情况下, 斜率分布在0.736到0.816之间。



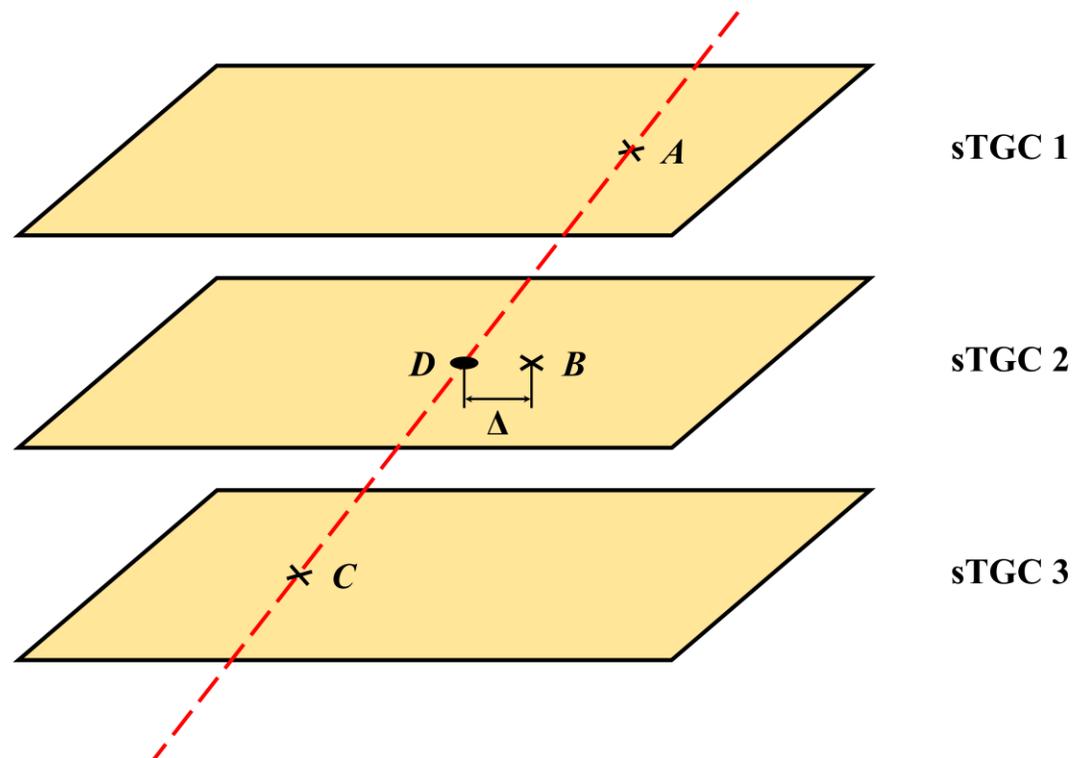
- 温度测试(图左): 无散热情况下, 大约在前10分钟内, 芯片温度急剧上升, 从 22°C 上升到 50°C 左右, 之后温度上升十分缓慢, 最终稳定在 50.5°C 。在风冷散热情况下, 大约在前150秒, 温度上升比较剧烈, 从 22°C 上升到 27.5°C , 之后温度上升十分缓慢, 最终稳定在 27.8°C 。
- 功耗测试(图右): 未配置时, FEB功耗为 4.87W , 配置完成后功耗为 7.3W 。在风冷散热下, 功耗保持在 7.4W 左右。



探测器工作电压为2900V，VMM3a增益为1mV/fC，达峰时间为25ns。



- 通道噪声 (图左): 在1mV/fC的增益下测试。噪声RMS分布在0.69mV (ENC 0.69fC) 到0.80mV (ENC 0.80fC) 之间, 平均值为0.73mV (ENC 0.73fC), 低于通道等效噪声1fC的需求。
- 通道基线 (图右): 基线在160.44mV到180.22mV之间, 基线平均值为170.56mV, 均方根值为4.48mV。与电子学测试结果一致。



- 位置分辨测量：通过统计实际击中点与预期击中点的位置差计算得出位置分辨。实际测得原型系统的位置分辨为 $157 \mu\text{m}$ ，优于位置分辨需求的 $200 \mu\text{m}$ 。
- 探测效率：根据探测器对宇宙线的事例计数得出探测效率，实际测得原型系统的探测效率在99%以上，优于探测效率95%的需求。



总结:

- 基于STAR前向径迹系统的物理需求，提出了一套完整的STAR sTGC探测器读出电子学系统的设计方案。
- 基于sTGC原型探测器，搭建了一套STAR sTGC原型系统，并在电子学测试平台和宇宙线测试平台对原型系统的性能进行了测试。
- 测试结果表明，原型系统的通道性能满足探测需求，探测效率与位置分辨均达到了设计目标。
- 目前前端读出电子学系统已经完成了批量生产和安装阶段，等待后续的联合调试。



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

谢谢大家!