



2025年12月考核报告

报告人：李灿明

导师：赵京周

专业：核技术的应用

时间：2025.12.25

报告主要内容：CMS二期升级中的iRPC项目



■ iRPC Point 5 系统首次完整搭建：

- RE 3/1 iRPC探测器
- 硬上电与sitcp初始化
- AMC13时钟与触发信号

■ iRPC ATCA系统固件开发全链路搭建：

- Serenity板卡与DTH板卡
- 远程加载调试平台搭建
- Serenity远程加载调试平台搭建
- ATCA固件开发

■ iRPC宇宙线实验后端系统全流程验证：

- 探测器数据模拟
- 慢控读回检查
- 数据分析脚本开发

■ 其他工作：

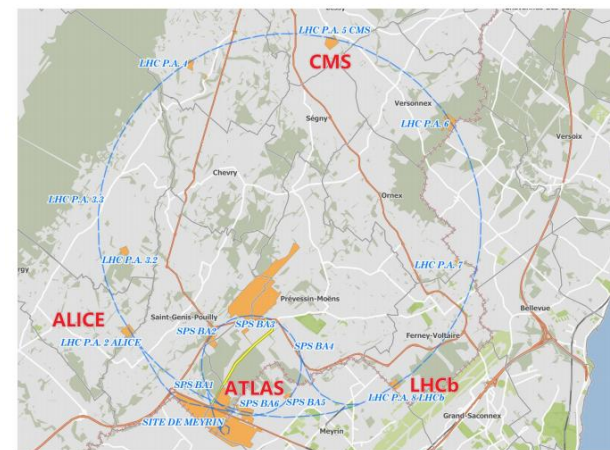
- CPPF与EMTF联调测试
- QC测试/束流测试
- 系统维护

iRPC Point 5 完整系统搭建

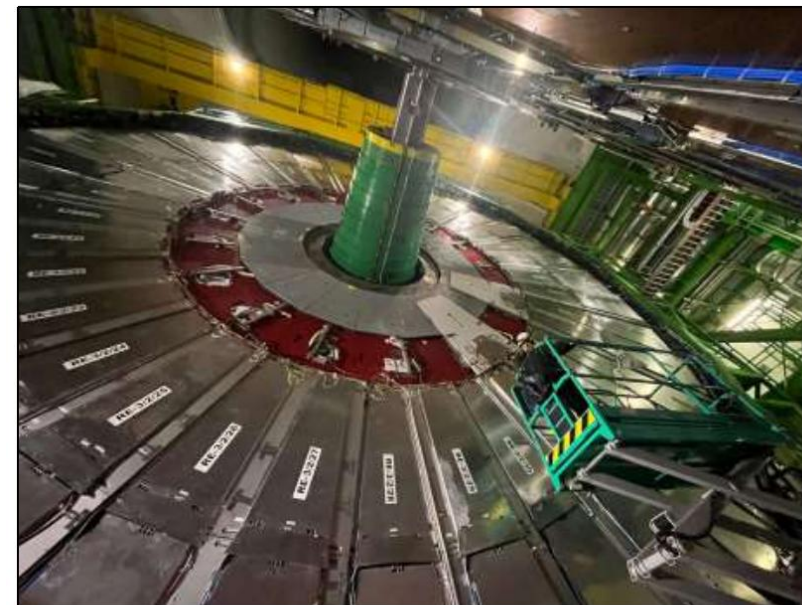


iRPC项目背景

- CMS 探测器计划进行二期升级，以应对HL-LHC更高的亮度、事例堆积、事例重建复杂度以及本底噪声的增加。CMS Muon 探测器也需要进行对应的升级。
- iRPC (improved RPC) 探测器安装目的:
 1. 为了提高端盖区Muon触发效率
 2. 为了完成对物理过程的更精确测量
 3. 提高端盖区域Muon探测器冗余性
- iRPC 探测器已于2023年末开始在CMS对撞点point5逐步进行安装。



LHC示意图



首批 iRPC 探测器的安装 (2023年12月)

iRPC Point 5 完整系统搭建



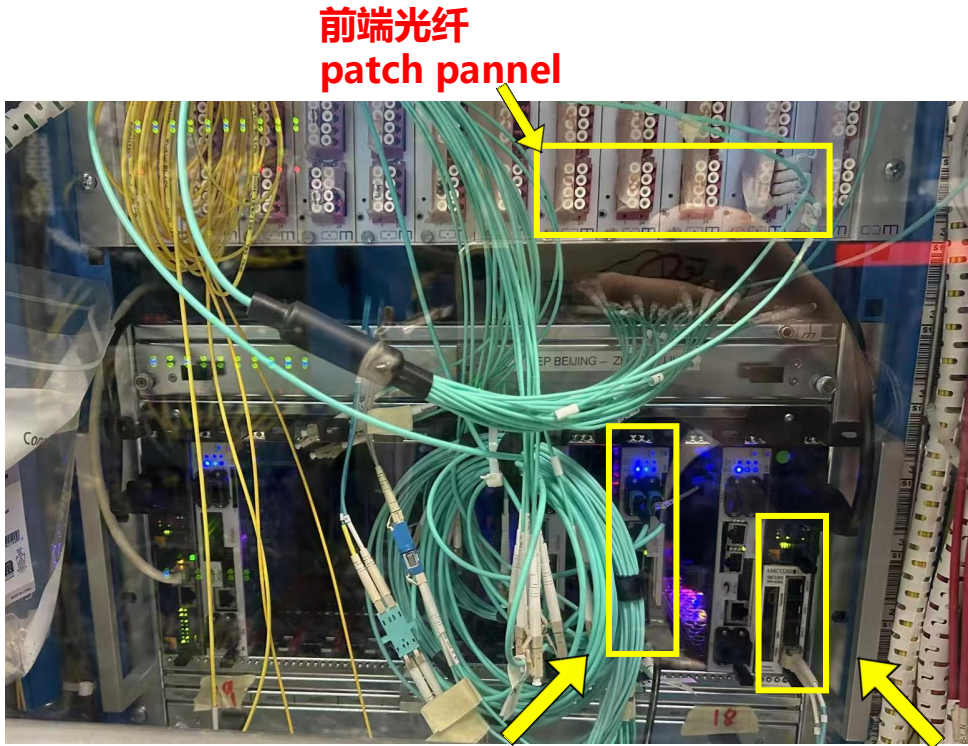
完整系统搭建

- 首次在P5搭建了探测器——前端电子学——后端电子学——上位机
DAQ与慢控的**完整系统链路**
- 首次使用来自**AMC13**（MTCA系统中的数据汇总与TTC分发板卡）分发的系统40M时钟，以及Trigger/bc0信号接入后端板，替换本地晶振时钟与固件自触发信号，进行**系统级验证开发**。
- 对18块iRPC探测器上的36块前端板进行了**上电测试与初始化测试**，发现了前端板存在的上电不稳定以及慢控脚本存在上电异常问题，在合作组提出。

Endcap disk 4, ring 1

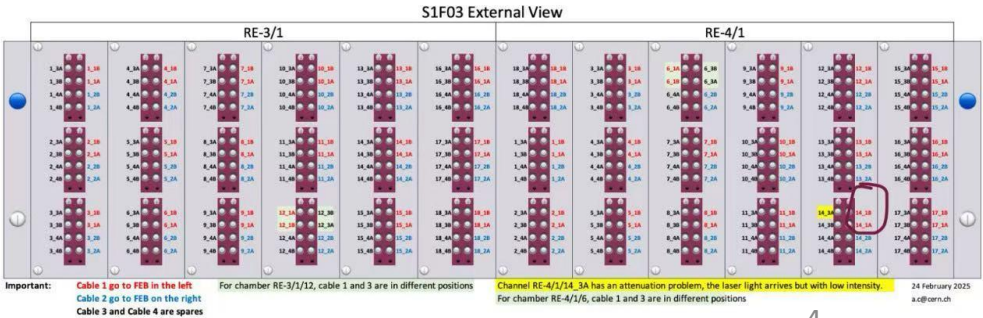
High Voltage	Low Voltage	LBB LV	FEB THR	Global Settings			
nnel	Status	VMon	iMon (A)	y0	i0	On/Off	Details
_EN4_R1_C13_A_LV	OK	0	0	2.0	8	OFF	...
_EN4_R1_C13_B_LV	OK	0	0	4.0	6	OFF	...
_EN4_R1_C13_C_LV	OK	0	0	2.0	8	OFF	...
_EN4_R1_C14_A_LV	OK	0	0	2.1	8	OFF	...
_EN4_R1_C14_B_LV	OK	0	0	4.2	6	OFF	...
_EN4_R1_C14_C_LV	OK	0	0	2.1	8	OFF	...
_EN4_R1_C15_A_LV	OK	2.0	0.4	2.0	8	ON	...
_EN4_R1_C15_B_LV	OK	4.0	0.3	4.0	6	ON	...
_EN4_R1_C15_C_LV	OK	0.0	0.7	0.0	0	ON	...
_EN4_R1_C16_A_LV	OK	0	0	2.0	8	OFF	...
_EN4_R1_C16_B_LV	OK	0	0	4.0	6	OFF	...
_EN4_R1_C16_C_LV	OK	0	0	2.0	8	OFF	...

DCS 上电



前端光纤
patch panel

后端电子学板卡

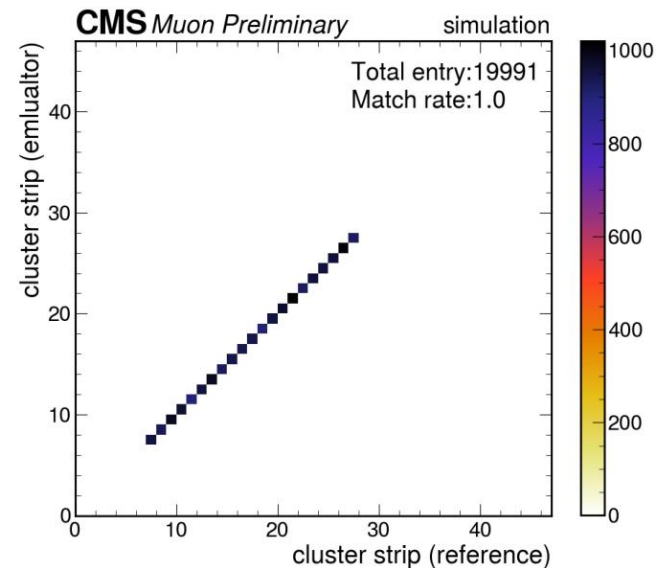
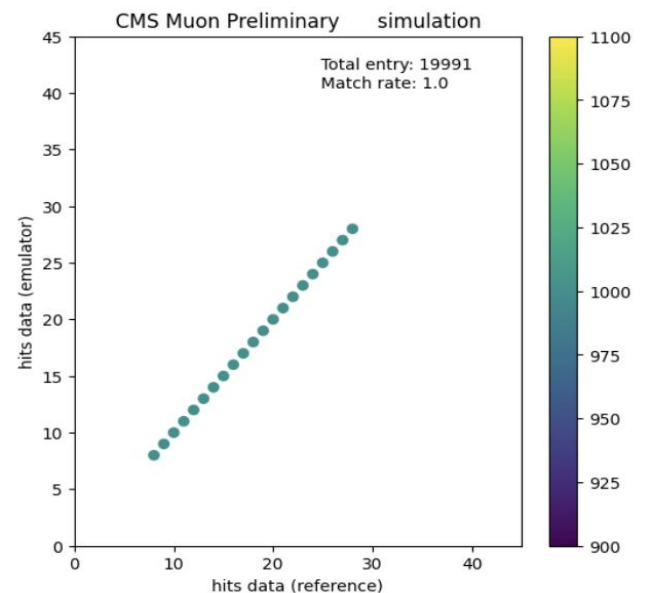


iRPC宇宙线实验后端系统全流程验证



北京实验室模拟数据验证系统：

- 使用模拟探测器击中数据，触发率可配置，簇团大小及位置可配置，主要验证内容包括：
 - 高事例率下系统功能验证
 - 簇查找算法正确性
 - DAQ打包机制是否合理，高触发率下数据打包是否完整
 - 当前系统的Busy反馈机制是否有效
- DAQ链路采用商用万兆网ip，在100kHz触发率测试下，将上位机获得的数据包中的探测器原始击中数据 (hits data) 以及经过后端算法处理后的簇团信息 (cluster data) 与参考的模拟数据进行比较，**匹配度均100%**。



iRPC宇宙线实验后端系统全流程验证



■ CERN 904实验室宇宙线系统搭建：

- 使用四块iRPC探测器以及两块闪烁体符合探测器搭建了四路实验系统，进行宇宙线取数验证。

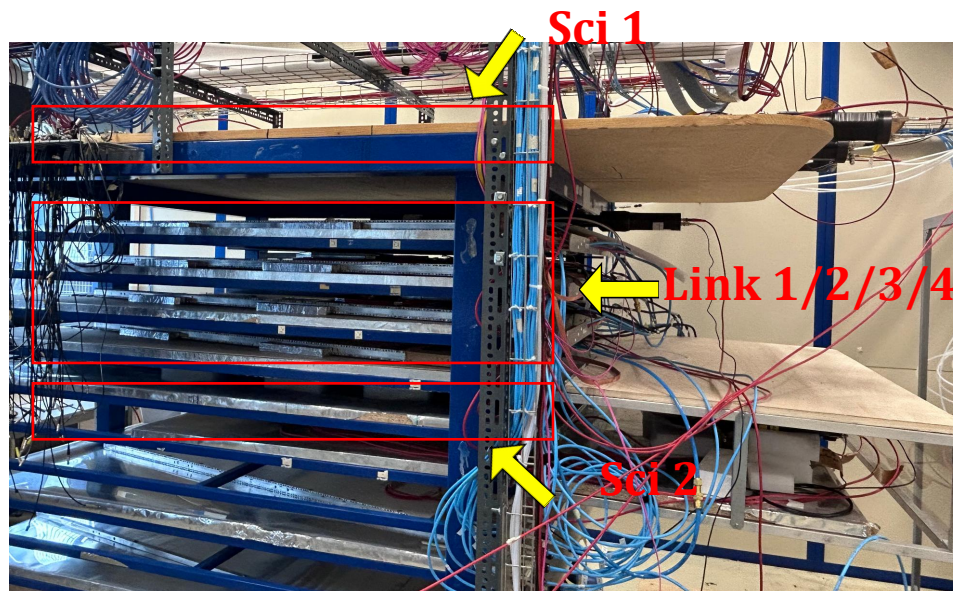
■ 慢控读回测试：

- 编写自动化脚本，首次针对后端sitcp慢控链路配置的前端寄存器进行读回测试，发现并解决了因时序有误导致的读回问题并修改。

■ 数据分析脚本修改：

- 发现了合作组使用的数据分析脚本中对探测器几何尺寸参数传入有误的问题，找到了存在已久的效率虚高的原因
- 与合作组讨论并修改了探测器曲线的拟合函数，达到pleatu之后的效率点不参与曲线拟合（已进入饱和区，电压不敏感）

■ 完成了mTCA系统固件验证工作，结果获合作组认可



```
SC-iRPCBEE_v1.51$ load readback_test_link4.txt  
  
[0x18102800] 0c 5c 00 00 - 11 5f 00 00  
[0x18102808] 10 e4 00 00 - 11 38 00 00  
[0x18102810] 12 7f 00 00 - 10 ef 00 00  
[0x18102818] 11 4e 00 00 - 11 48 00 00
```

慢控读回

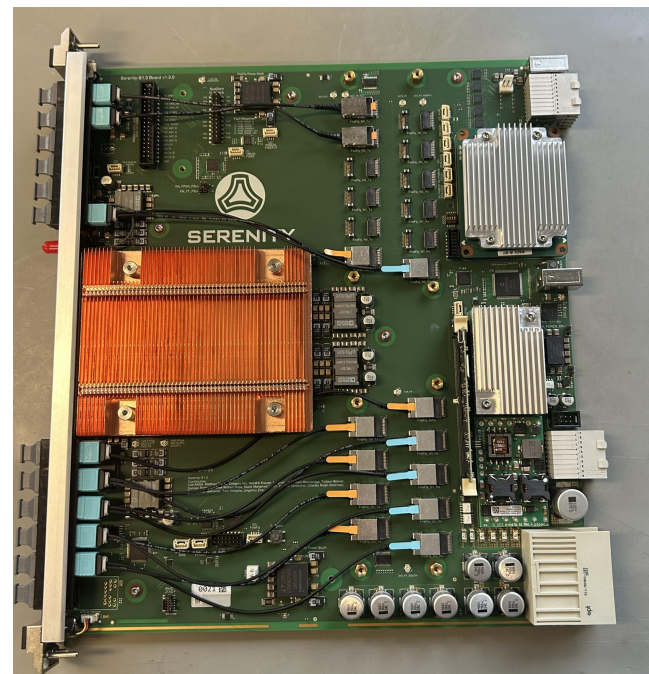
```
102800 0x115c0x000x115f0x000x10e40x000x11380;
```

慢控写入

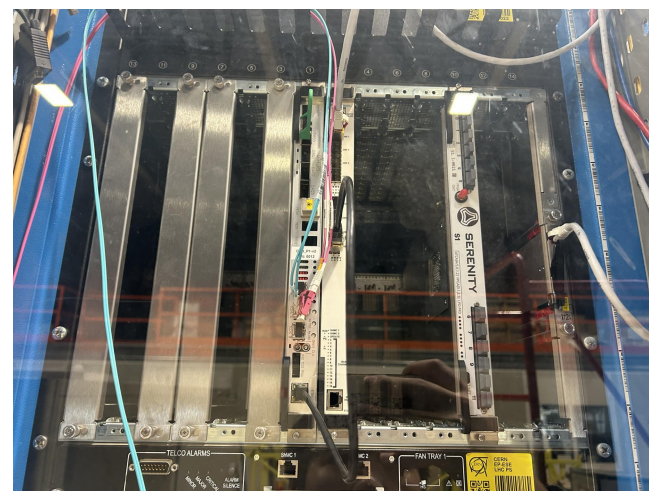
ATCA系统固件开发全链路搭建:



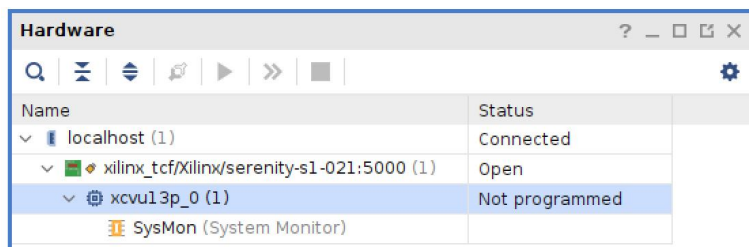
- **Serenity板卡配置:** 获得首批CMS二期升级后端通用ATCA板卡serenity, 在 cern 904实验室搭建开发系统, 在单板上对应安装了前端链路/触发链路/DAQ链路光模块
- **测试平台搭建:** 使用xilinx xvc服务器对板卡进行远程固件烧写与调试; 板卡搭载zynq芯片, 部署了Almalinux系统, 通过基于ipbus的智能化硬件管理平台SMASH对板上FPGA/FIREFLY光模块/可配置时钟芯片等进行上电/复位等控制
- **固件开发:** 目前, 在MTCA固件基础上进行ATCA系统固件的重新开发, 主要模块包括前端GBT模块, 后端算法模块, 针对高触发率下18路 (当前四路) 数据的打包模块, DAQ数据发送模块 (SLINK协议), 触发数据发送模块 (CSP协议), 当前针对SLINK协议已完成了单板自回环工程测试



serenity板卡



ATCA机箱



vivado XVC 虚拟远程服务器

其他工作及后续计划



■ EMTF联调:

- 推进CPPF与EMTF（端盖循迹插件）的触发链路联调，搭建了测试系统，已在CPPF板卡上完成了CSP协议的自回环测试，EMTF固件准备就绪后即可开始联调

■ 参与RPC合作组904实验室的探测器质量测试与GIF实验室的束流测试，进行系统debug与维护



■ 后续计划:

1. 继续ATCA系统的全面开发
2. 在P5将后端接入cms系统触发，进行数据读出与分析
3. 针对高触发率下的数据打包机制，以及多板系统同步进行相关研究开发

请各位老师批评指正！