

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

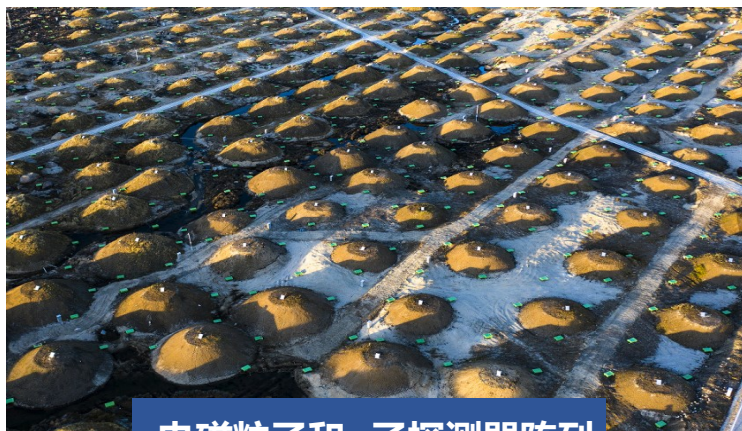
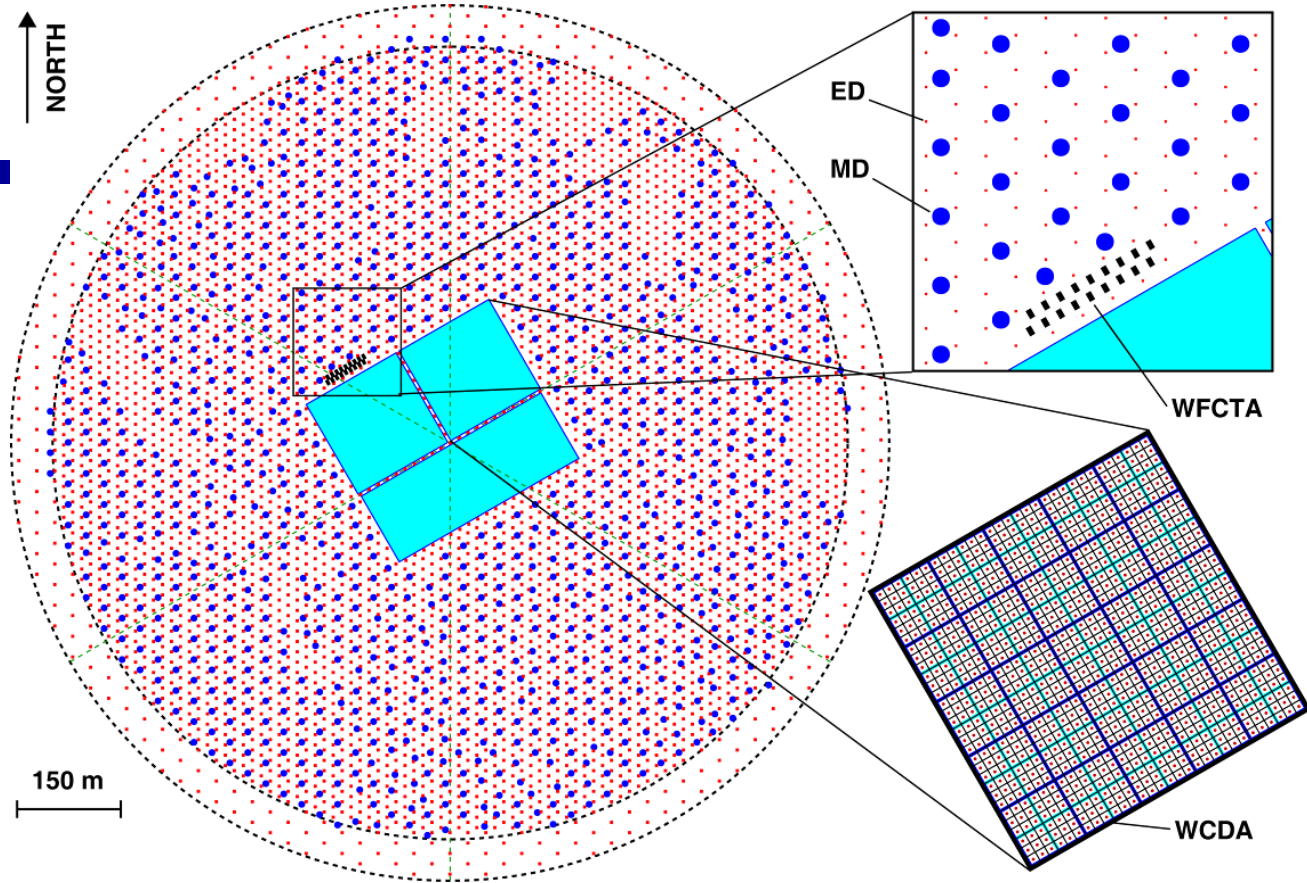
LHAASO数据获取系统

顾旻皓 LHAASO数据获取组

中国科学院高能物理研究所 实验物理中心数据获取组
2022年8月

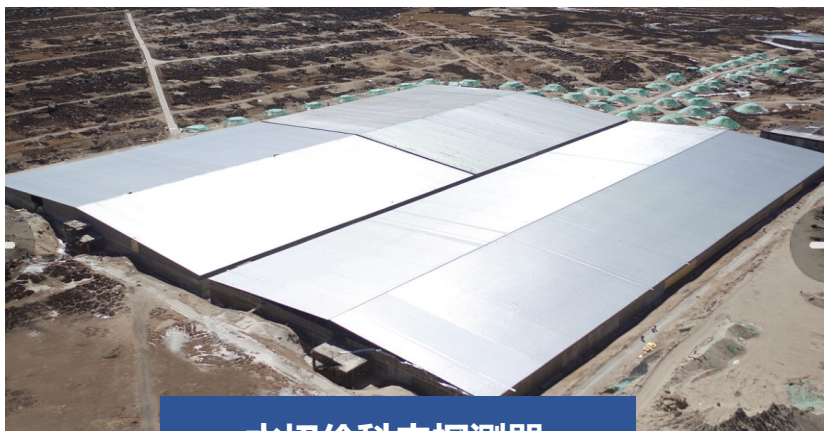


LHAASO



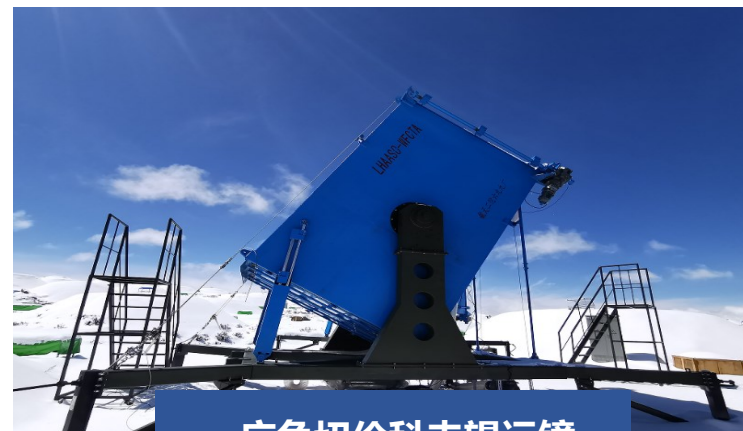
电磁粒子和 μ 子探测器阵列

5216个/1188个单元



水切伦科夫探测器

3120个单元



广角切伦科夫望远镜

18台



目录

1

LHAASO数据获取需求

2

读出网络和在线计算硬件

3

数据获取与触发软件

4

总结



LHAASO数据获取需求

读出、触发与存储

	KM2A-ED	KM2A-MD	WCDA	WFCTA
Num. detectors	5252	1188	3120	18
Hit rate(Hz)	2K	10K	50K	-
Input volume rate (MB/s)	546		2400	240
Trigger type	L1/L3		L1/L3/L4	L1/L2
Storage volume rate (MB/s)	≈20 after L3		≈430 after L3 ≈ 150 after L4	≈15

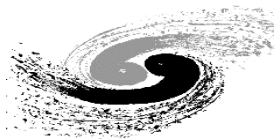
- DAQ读出与在线处理 3GB/s； 存储 500MB/s

Trigger

- L1: electronic threshold
- L2: single telescope hardware trigger(WFCTA only)
- L3: hit stream --> events
- L4: noise hits filter, file based(WCDA only)

} Hardware

} Software



LHAASO数据获取需求

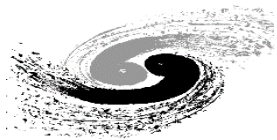
GRB取数模式

- 接收GRB Alert信号（来自GCN，延迟分钟量级）
- 保存WCDA原始数据（GRB前30分钟，后60分钟数据）

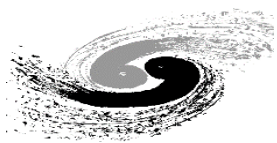


无人值守运行

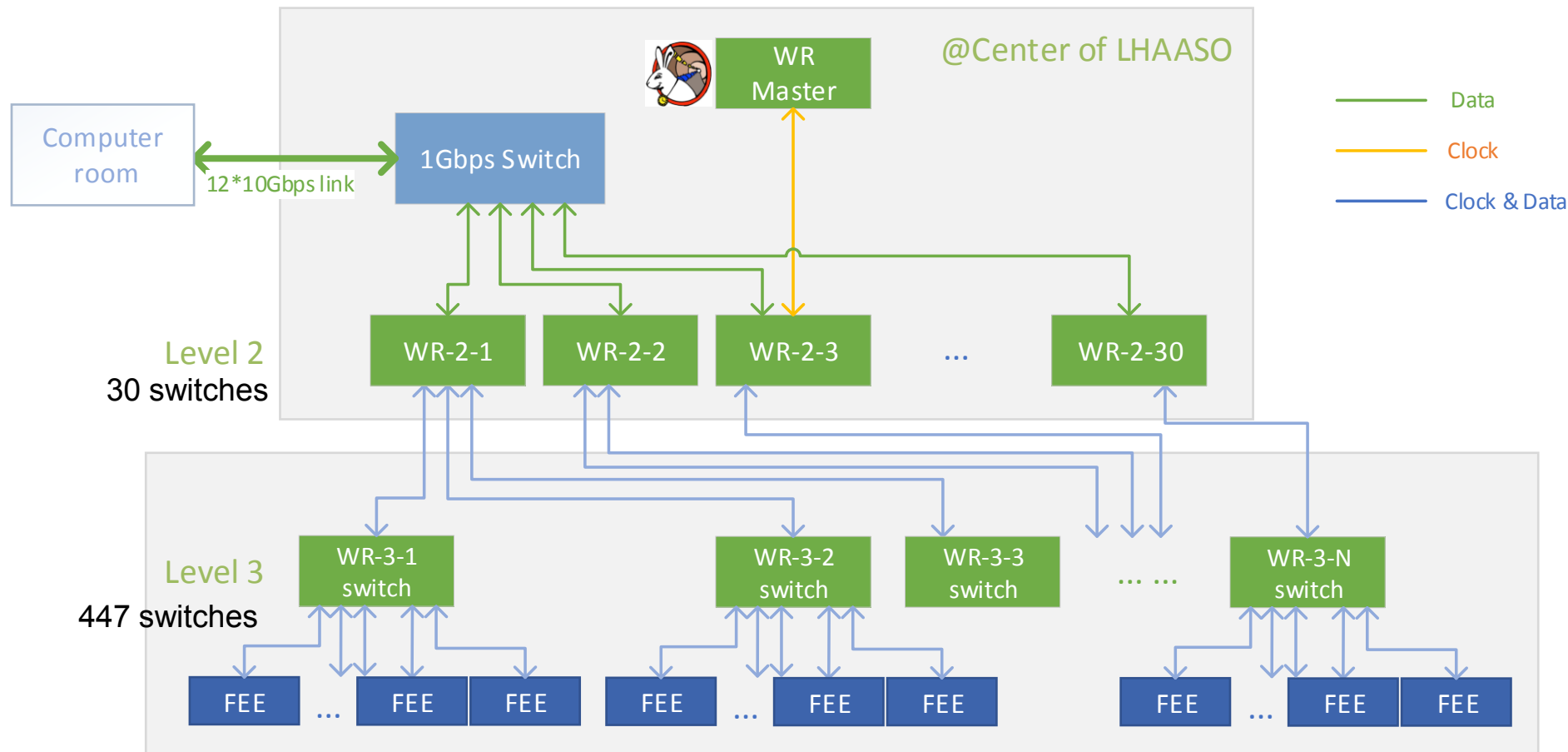
- 连续运行
- 运行状态监测
- 常见故障自动恢复



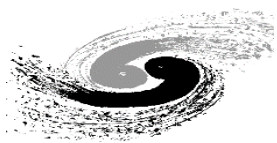
2. 读出网络与在线计算平台



KM2A时钟与数据传输网络



- 同步精度高: $<250\text{ps}$
- 部署范围广: 1km^2
- 运行环境恶劣
 - 野外温差大: $\pm 30^\circ\text{C}$
 - 散热难: 高原低气压

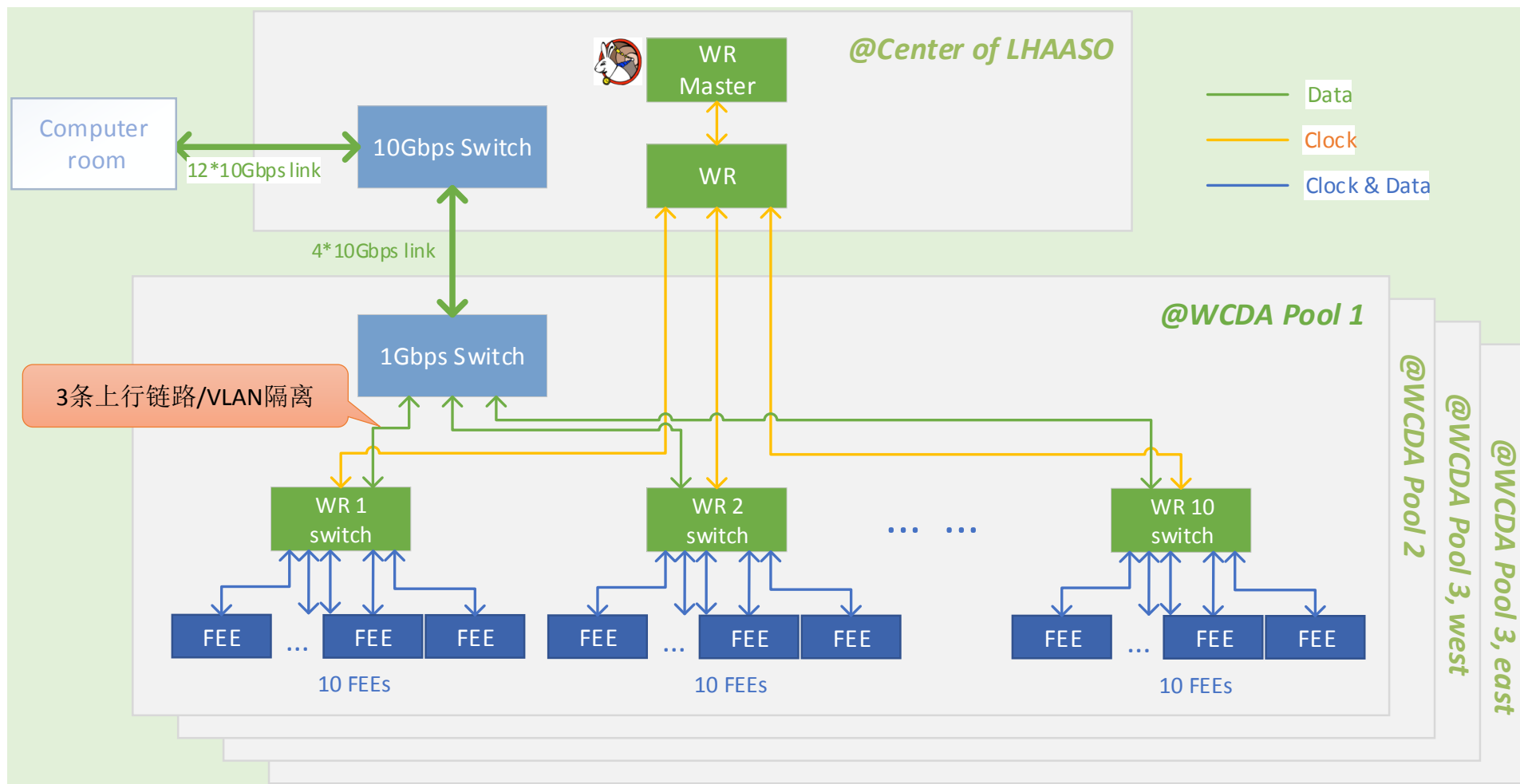


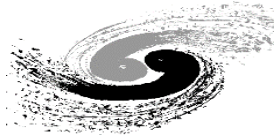
基于WR的时钟同步与数据传输

时钟分配系统
清华大学



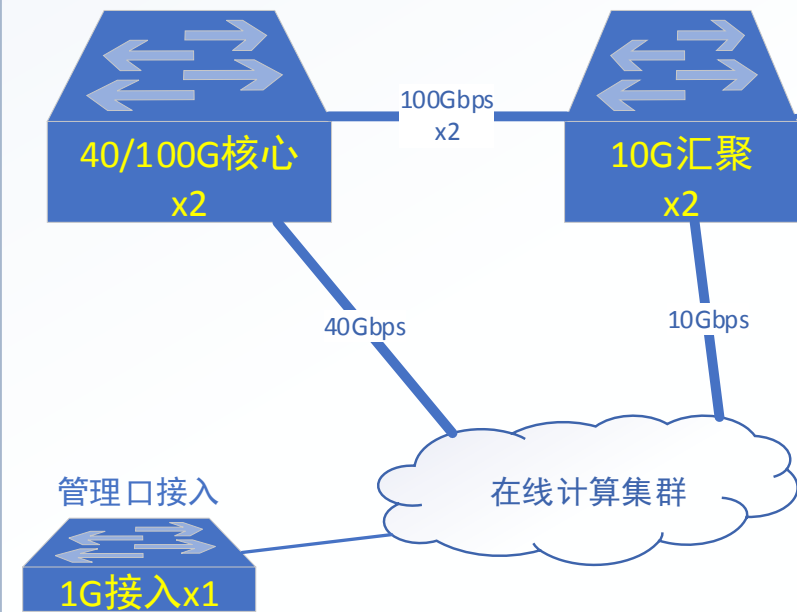
WCDA时钟与数据传输网络





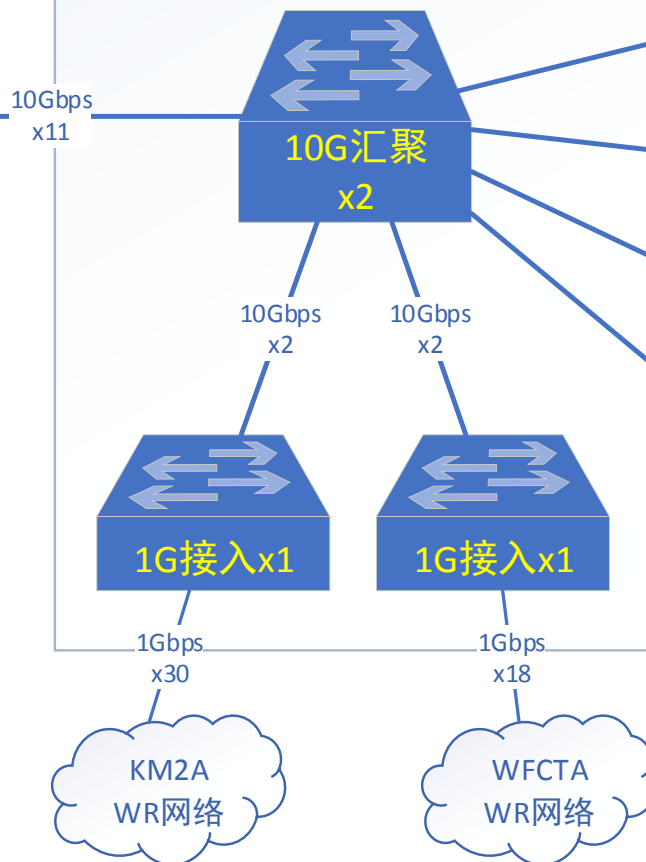
DAQ读出与算计网络

海子山机房



- WR交换机互联: 1Gbps
- 读出节点: 10Gbps
- 计算节点: 10Gbps

一号配电室

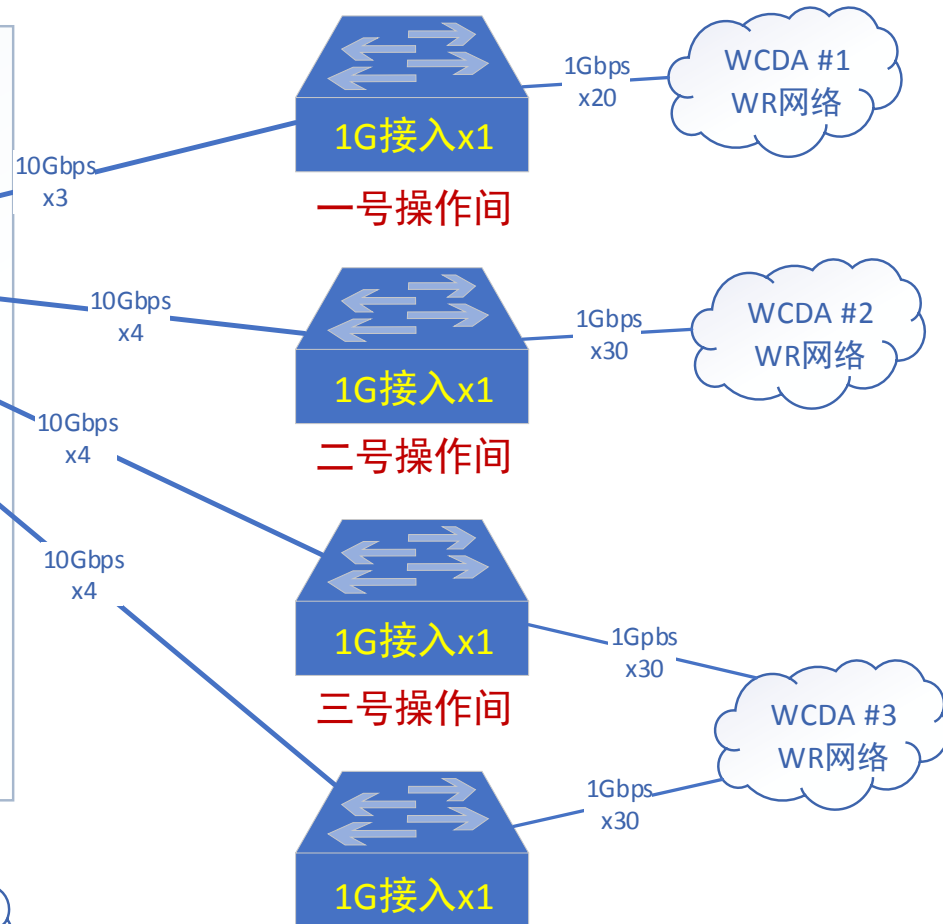


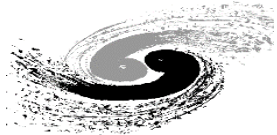
一号操作间

二号操作间

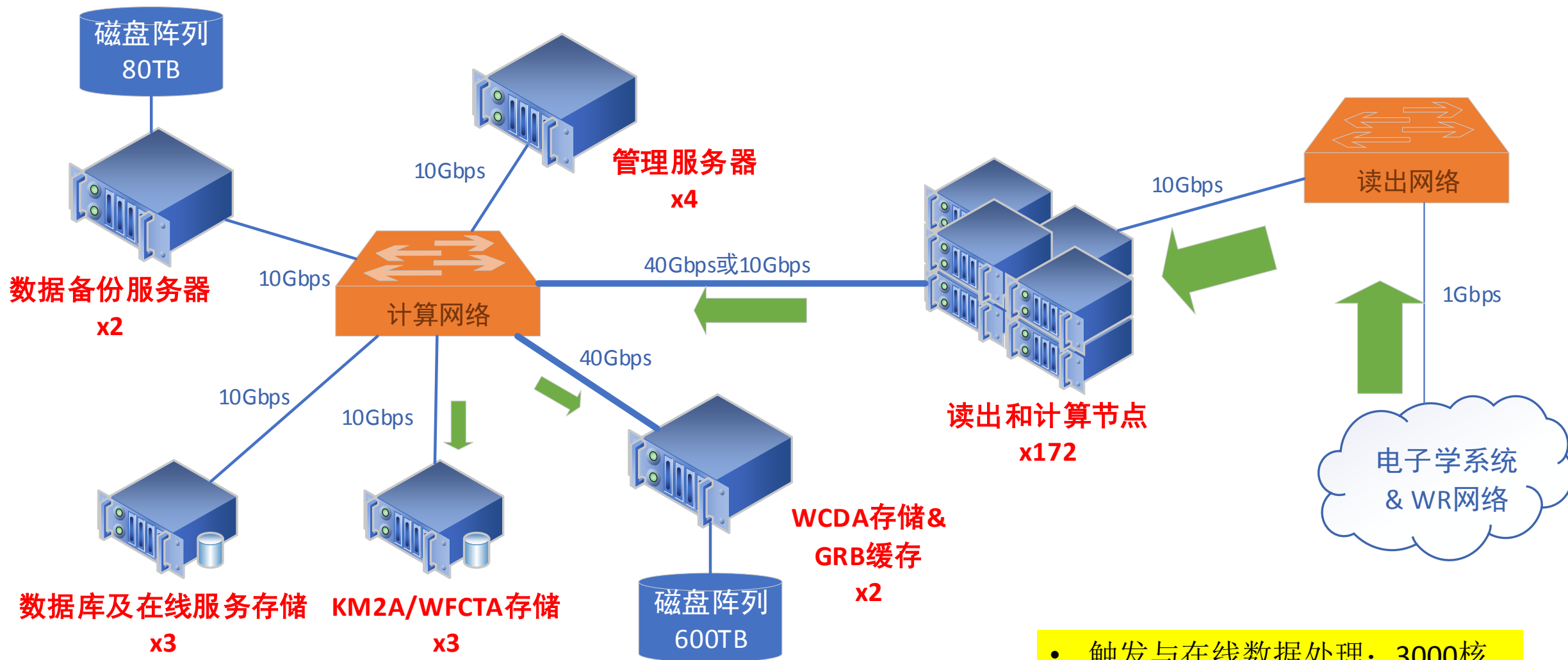
三号操作间

四号操作间

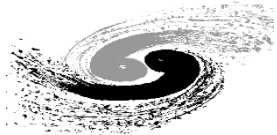




DAQ在线计算平台



- 触发与在线数据处理：3000核
- 在线数据存储：700TB



机房和网络设备



水池操作间WCDA WR网络接入



WFCTA读出

KM2读出

一号配电室KM2A/WFCTA WR网络接入
&WCDA网络汇聚



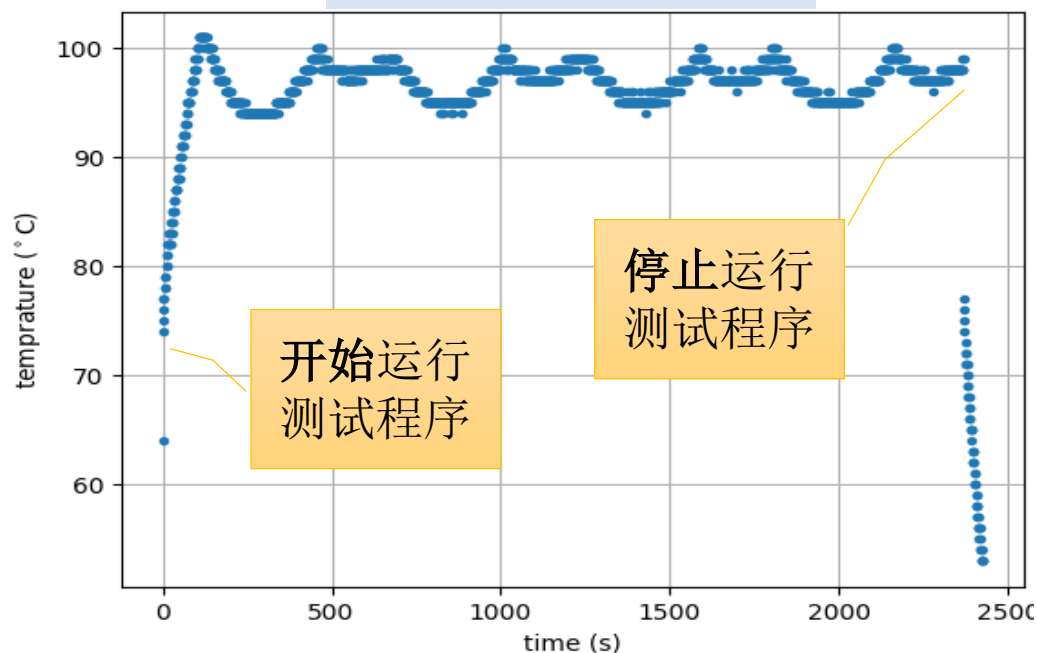
数据获取系统计算设备机柜



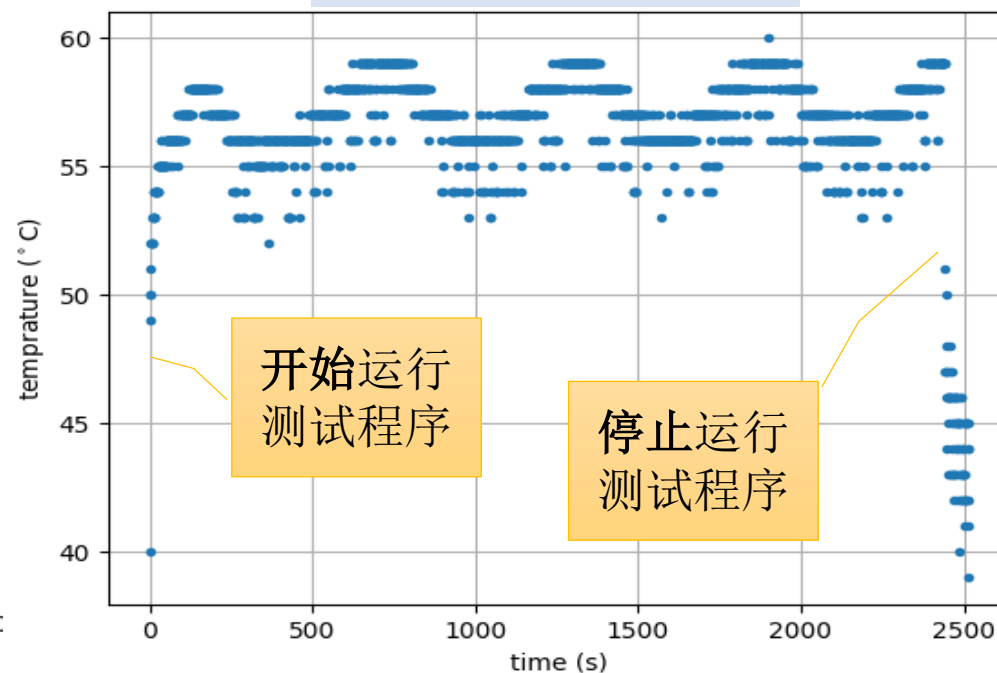
高原地区计算节点散热问题

CPU满负荷温度测试 (@LHAASO海子山机房)

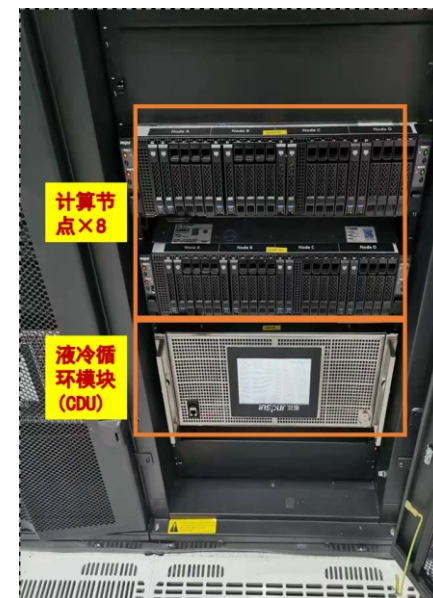
普通刀片服务器 (24核)



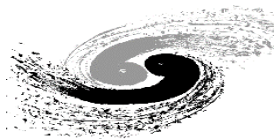
液冷高密服务器 (56核)



8节点液冷高密服务器



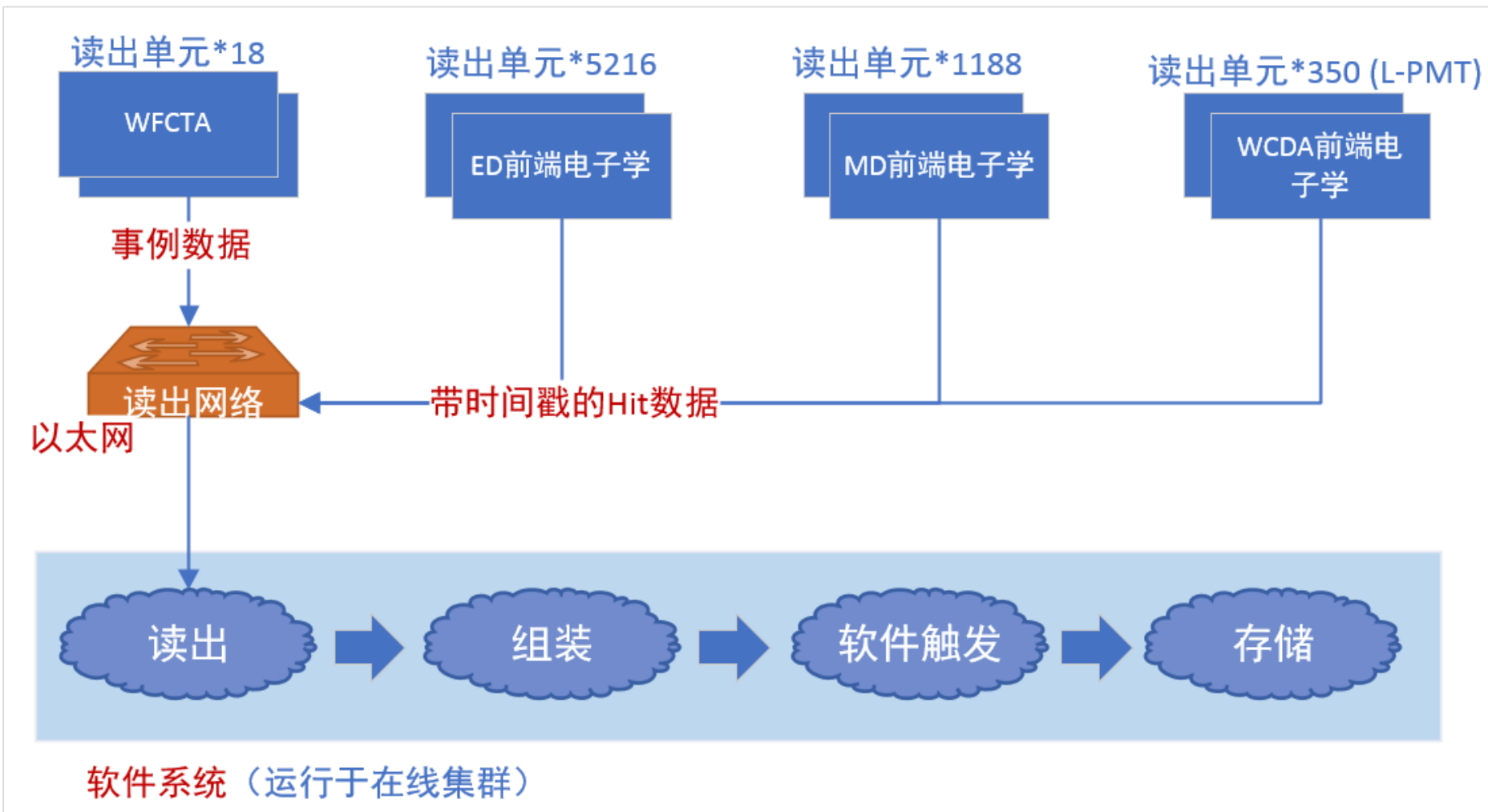
- 普通刀片服务器, CPU满负荷运行温度超过超温保护阈值 [92°C]
- 液冷高密服务器, CPU满负荷运行温度正常 [$<60^{\circ}\text{C}$]



3. 数据获取与触发软件



LHAASO硬件与软件数据流模型

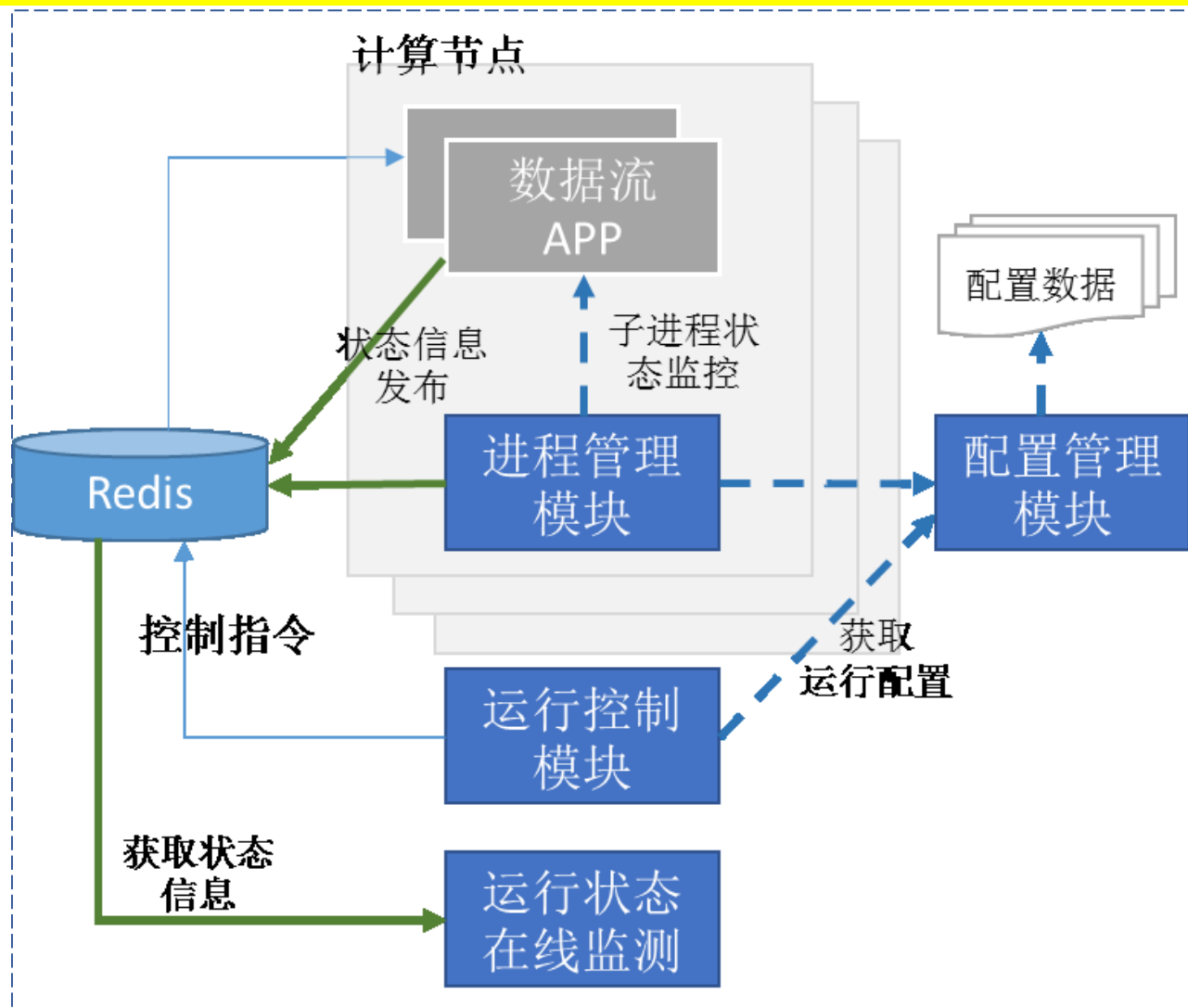


- 6800个读出单元
- 读出单元与软件系统通信采用TCP/IP协议
- 数据获取与触发软件运行于在线集群中，多级、流水线方式处理数据



公用分布式流处理框架

Python库和后台服务：用于数据流APP运行部署与控制

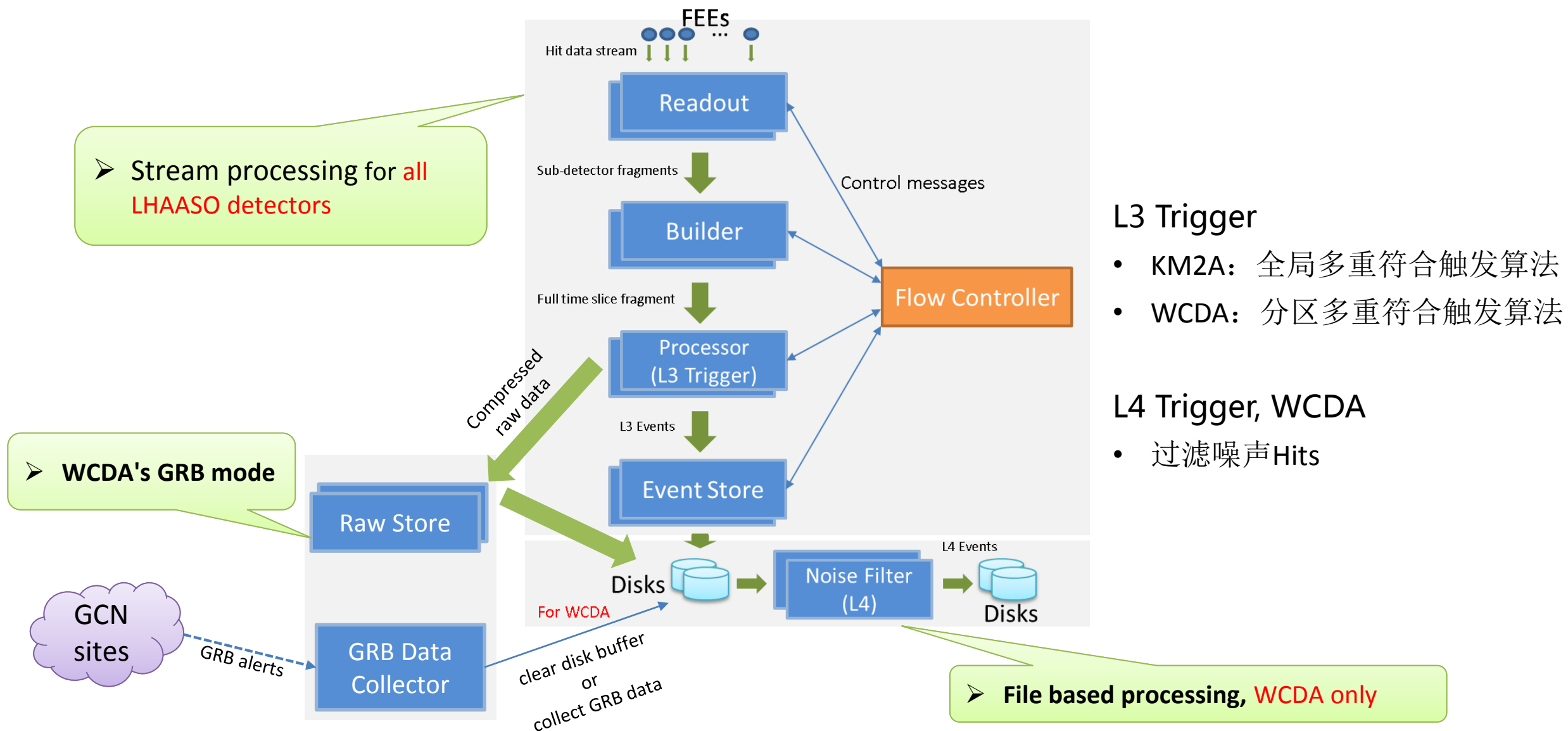


C++库：作为数据流软件开发的公用软件库

- 状态信息订阅与发布
 - Parameter
 - CounterRate
 - ROOT对象
- 通信层
 - 位置无关消息发送
 - 单线程消息接收与处理
- 日志
 - To Kafka
 - To File
- 内存申请管理
 - 预分配内存空间，避免频繁系统调用
- 队列
 - 可用于进程内缓存消息或数据片段

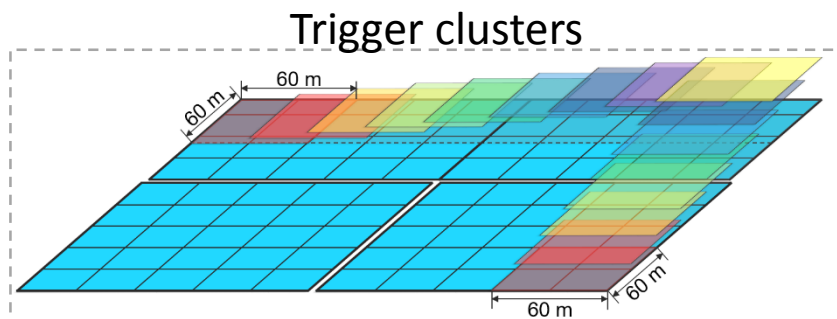
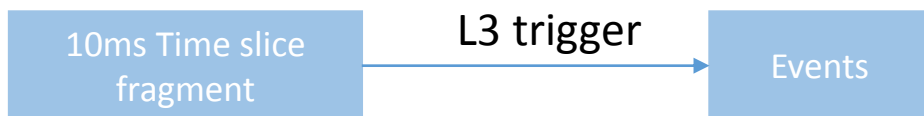


LHAASO DAQ数据流软件



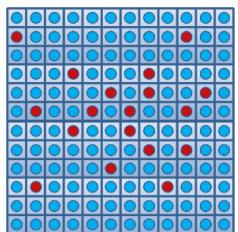


L3 分区多重符合触发算法 (WCDA)



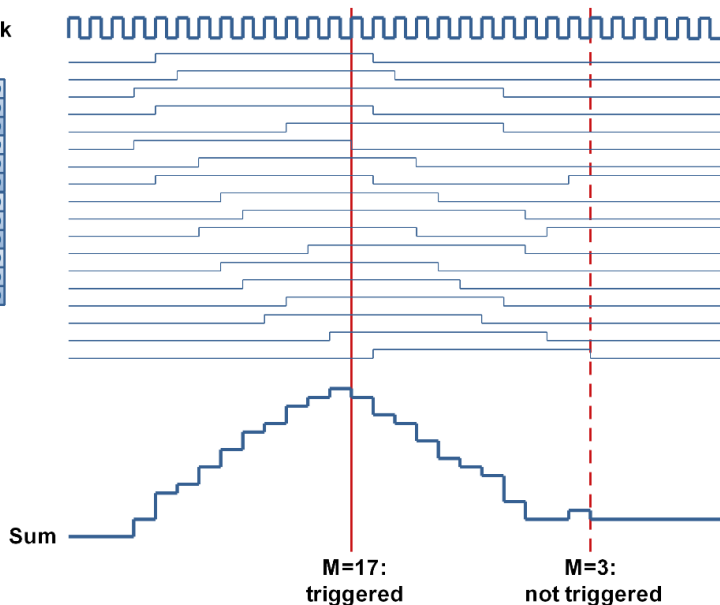
Trigger logic of single cluster

Mimic Pipe Line Clock



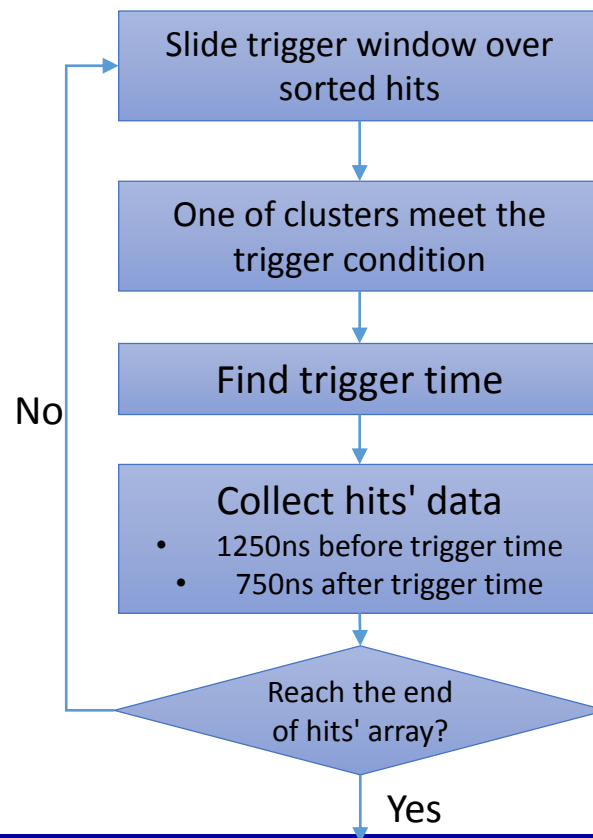
A trigger cluster consists of 144 detector cells

Evaluate at the falling edge next to a rising one



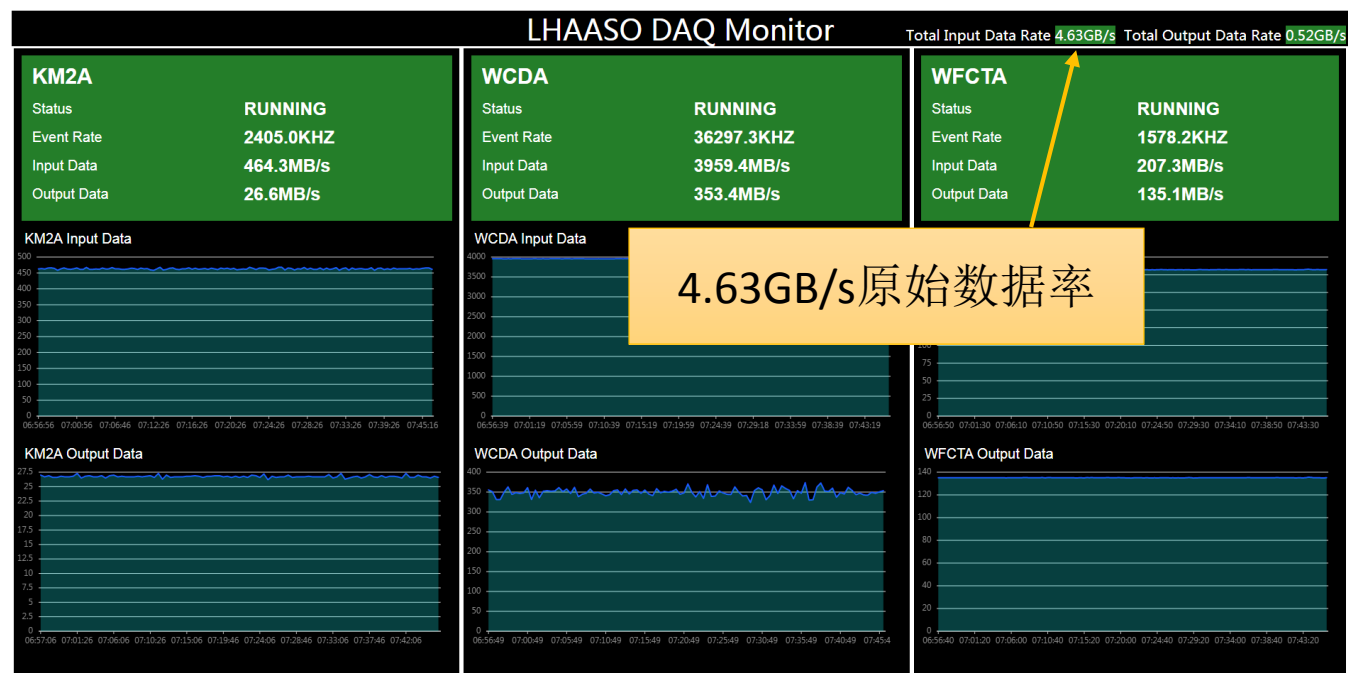
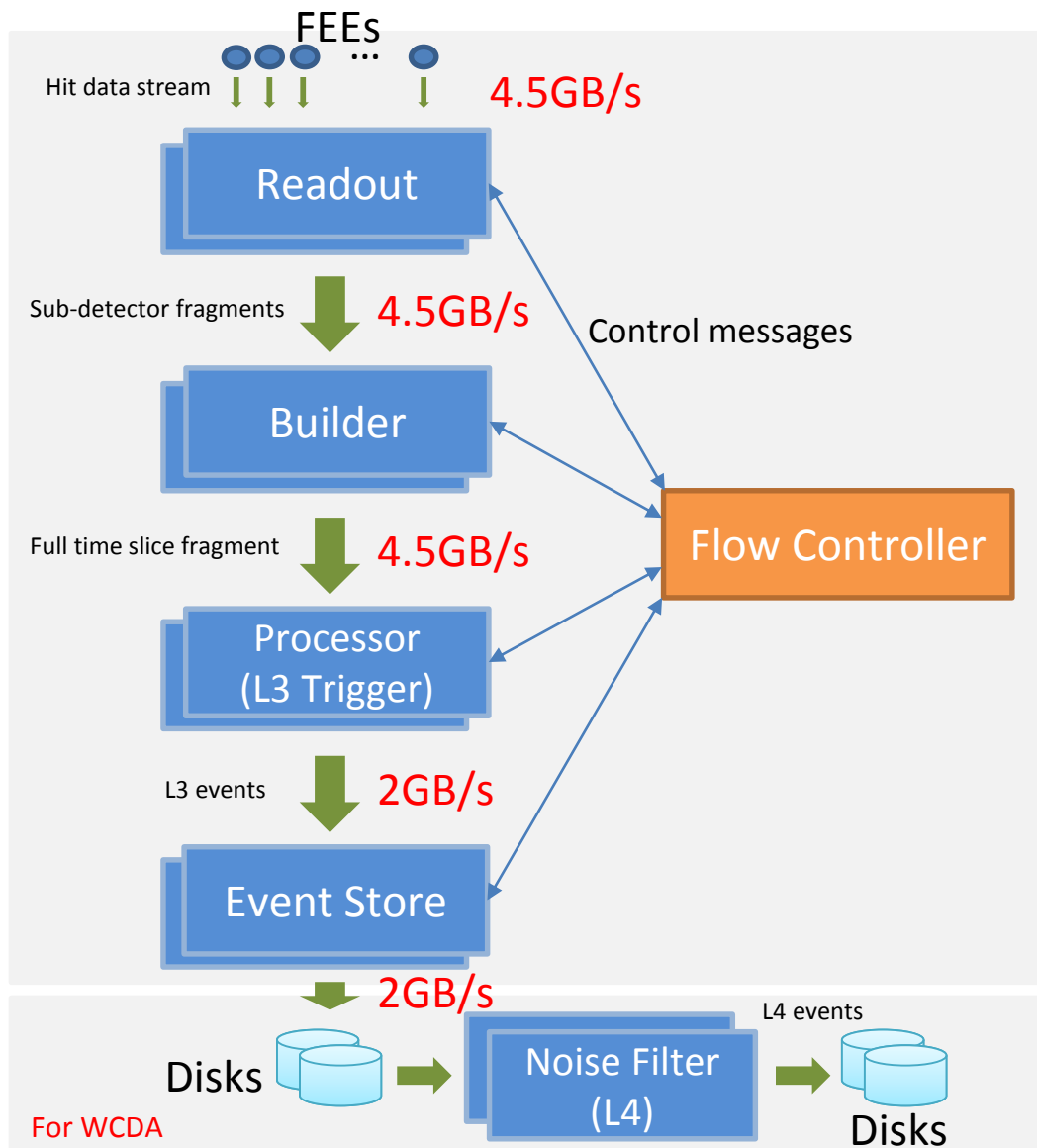
Partitioned N-Hit trigger

- 81 clusters with overlap
- Each trigger cluster contains 144 cells (large PMTs)





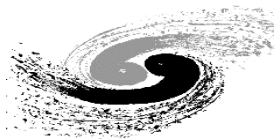
LHAASO DAQ性能



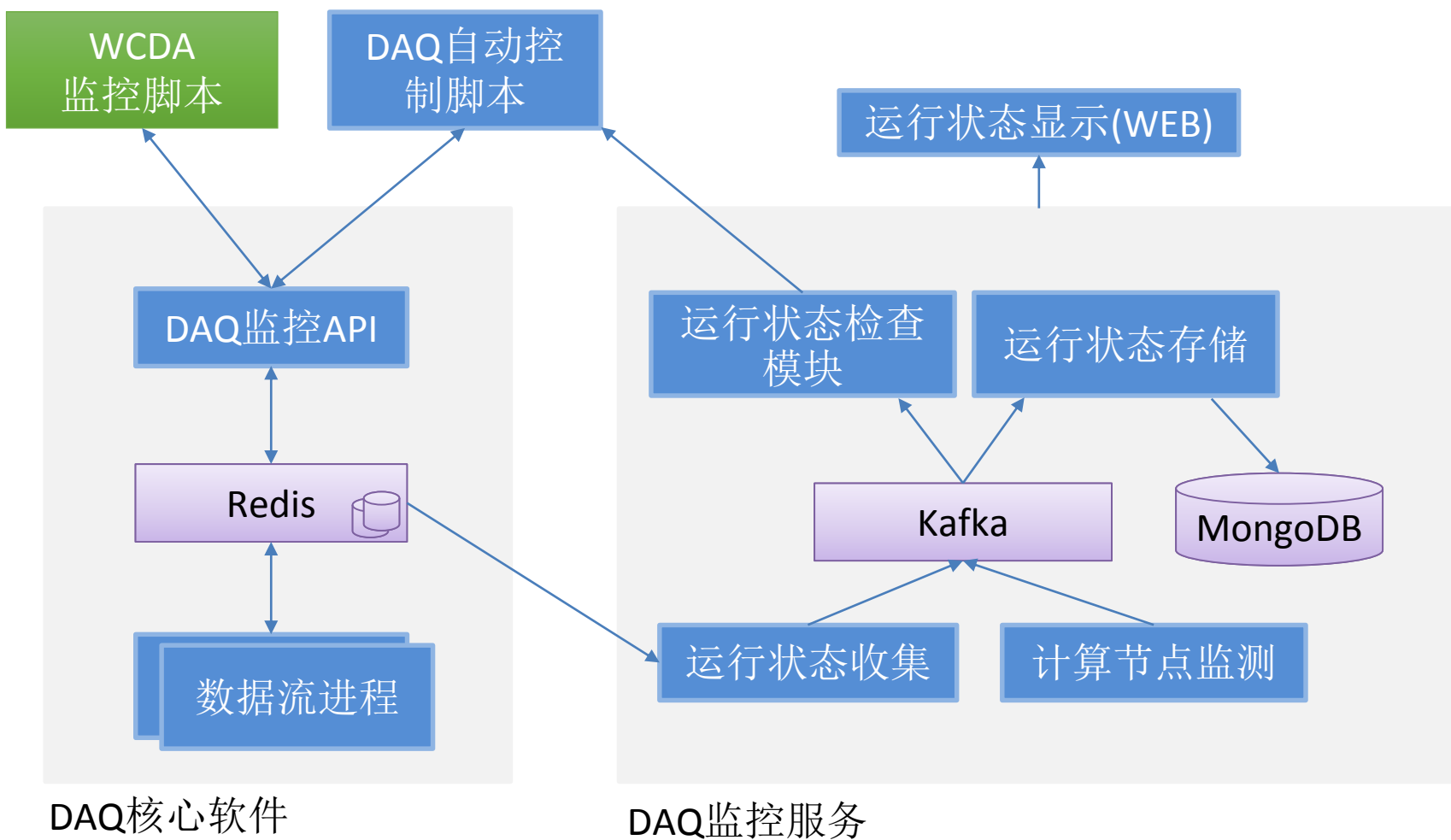
测试方法:

- 降阈值
- 打开标定LED光源

提高读出数据率



运行控制与在线监测



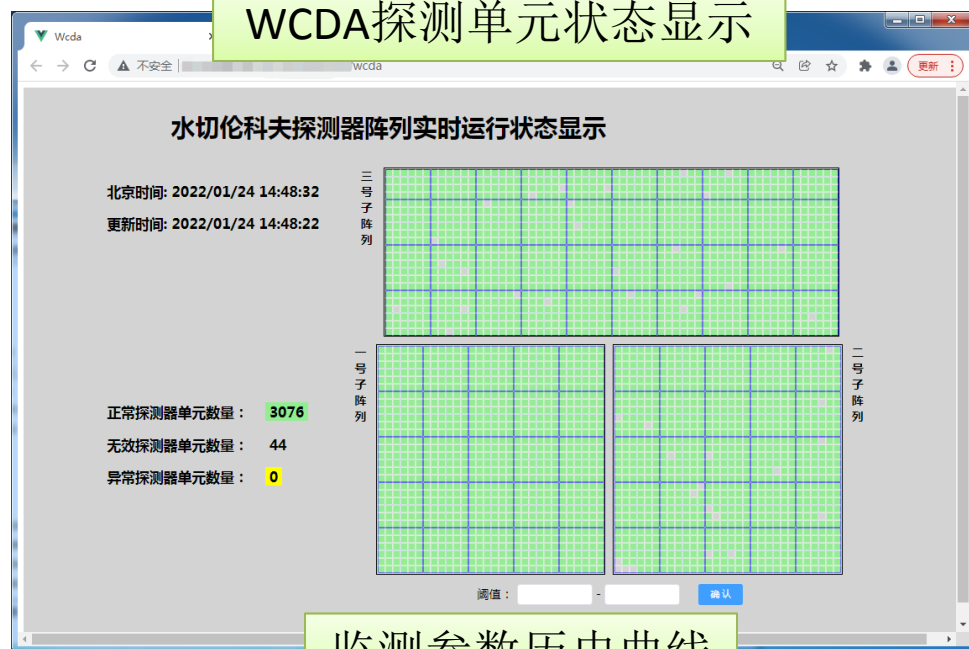
- 开放的运行控制接口
- 自动运行控制
- 故障自动恢复
 - 单元探测器读出异常
 - 软件故障
 - 计算节点故障

满足LHAASO无人值守运行需求

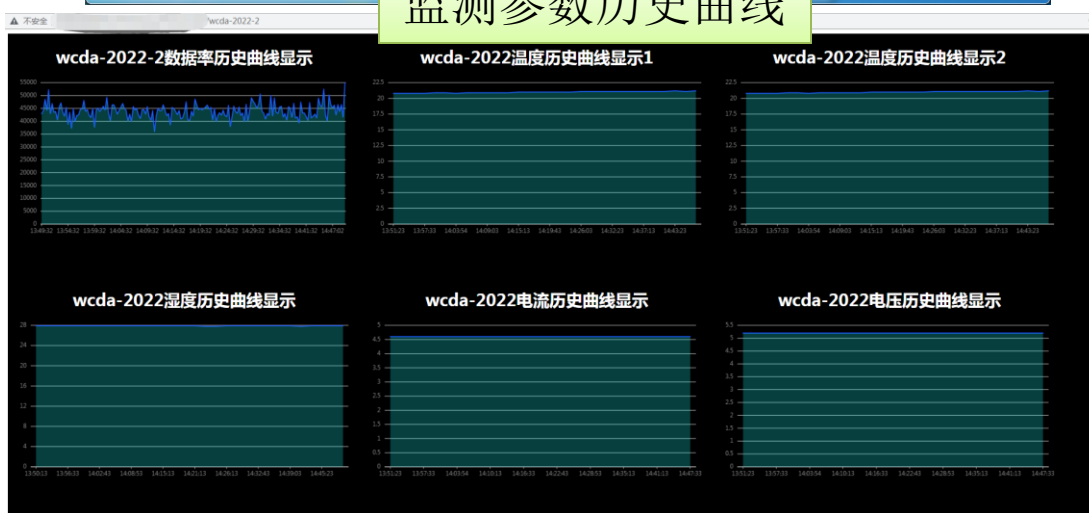


DAQ在线运行状态监测

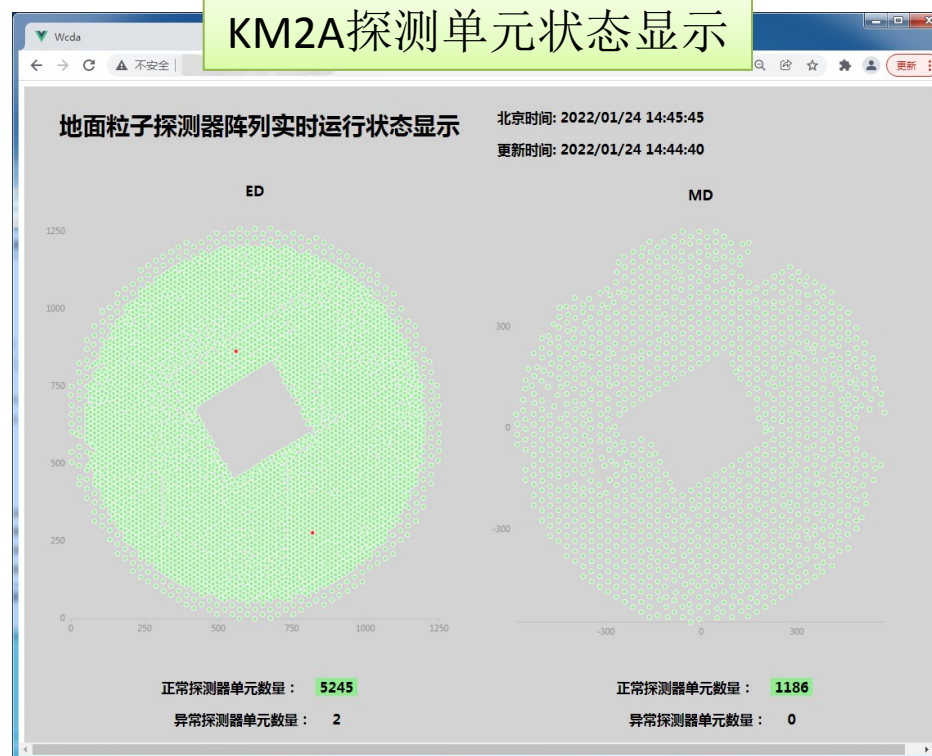
WCDA探测单元状态显示



监测参数历史曲线



KM2A探测单元状态显示

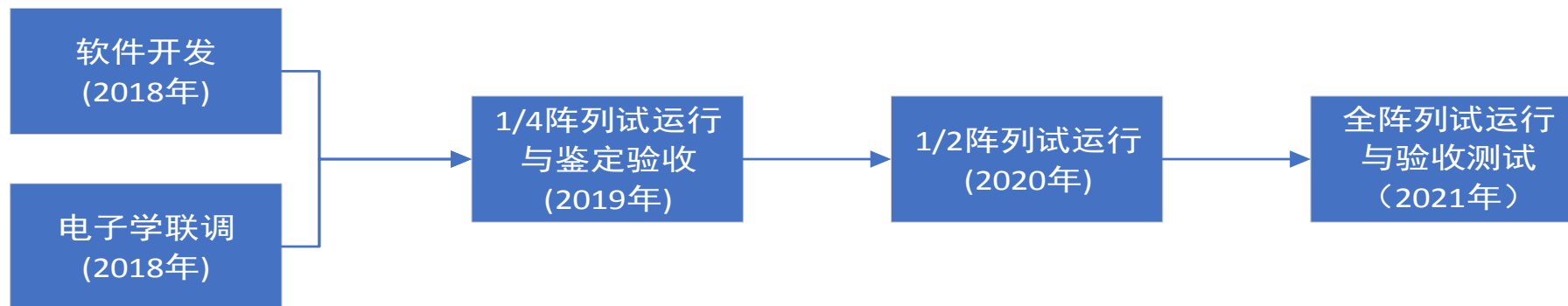


监测参数

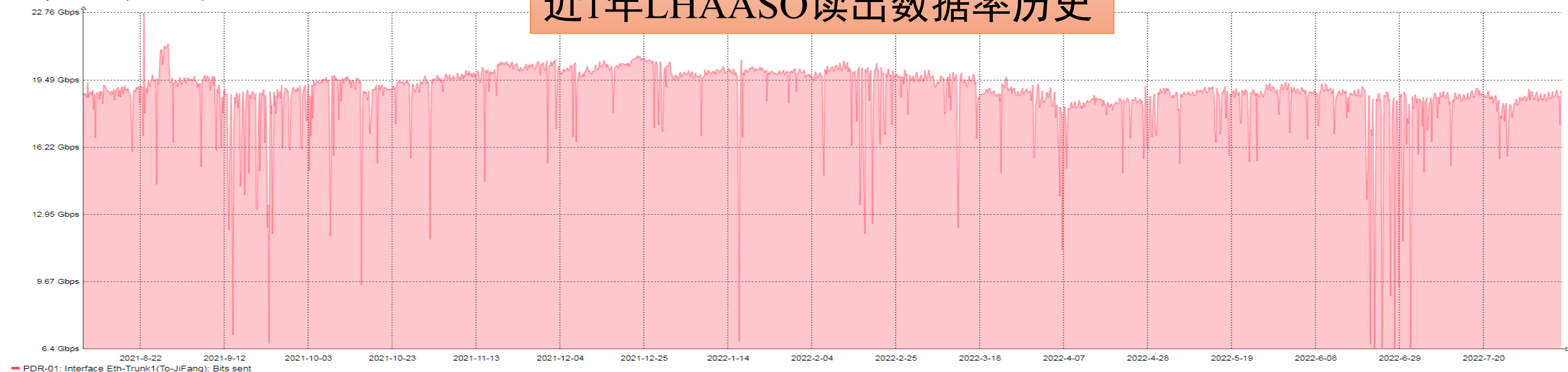
- 单道计数率
- 数据流参数（触发率、数据率等）
- 环境参数（温湿度等）



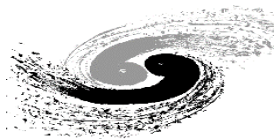
LHAASO DAQ系统建设总结



Raw Input Data Rate (All Detectors)



2021年7月，开始**全阵列**科学运行，近1年运行稳定



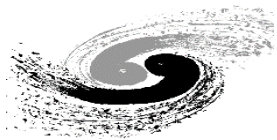
总结

- 自主研发了分布式流处理框架，并在LHAASO实验中成功应用

LHAASO DAQ系统实现

- 超过4.5GB/s读出和在线计算能力
- Triggerless读出和L3软件触发
- 无人值守运行方案

- 完成建设任务，运行稳定



Thank you for your attention!