

IHEP ML Workshop

LHAASO AI 需求和进展

张笑鹏

粒子天体中心

2024-10-16

Outline

- LHAASO 简介
- AI在LHAASO中的应用：
 - ◆ 需求分析
 - ◆ 目前进展
 - ◆ 未来规划
- 总结

LHAASO简介

- ◆ 灵敏度最高的甚高能伽马巡天望远镜
- ◆ 灵敏度最高的超高能伽马天文探测器
- ◆ 测量精度最高的膝区宇宙线探测器



位于四川稻城海子山，海拔4410 m

2021年7月 全面建成并投入运行

2023年5月 通过国家验收

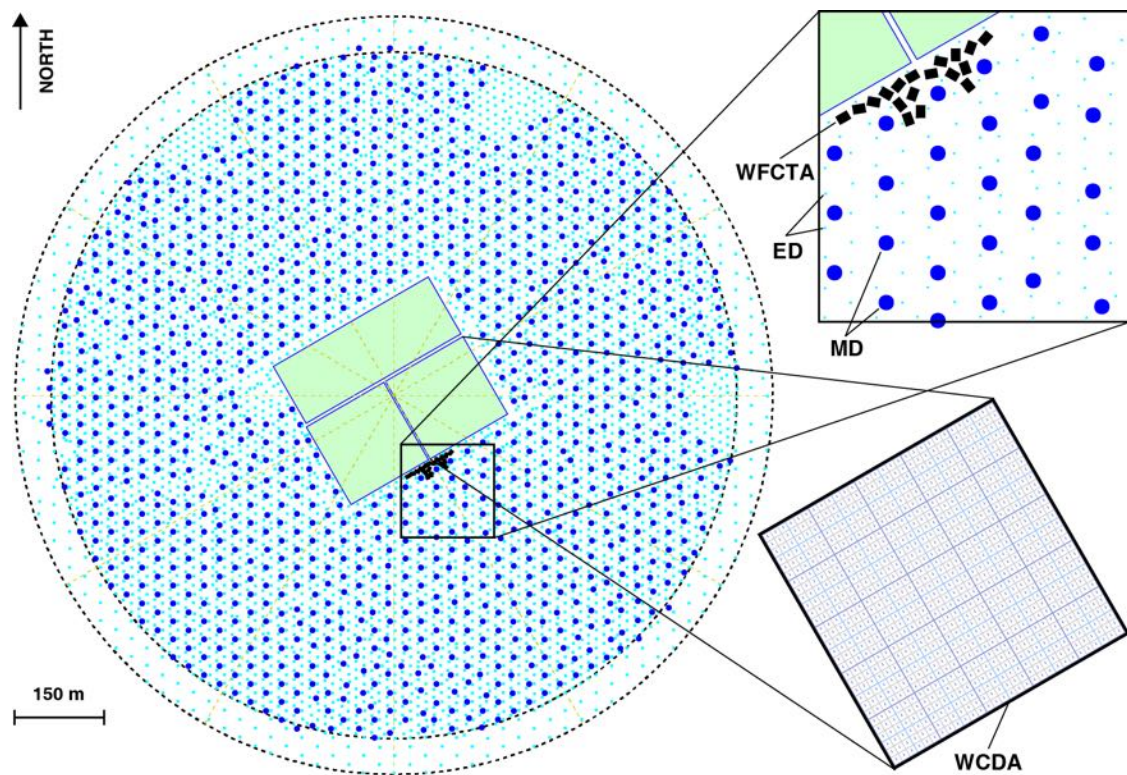
科学目标：

寻找宇宙线起源——核心目标

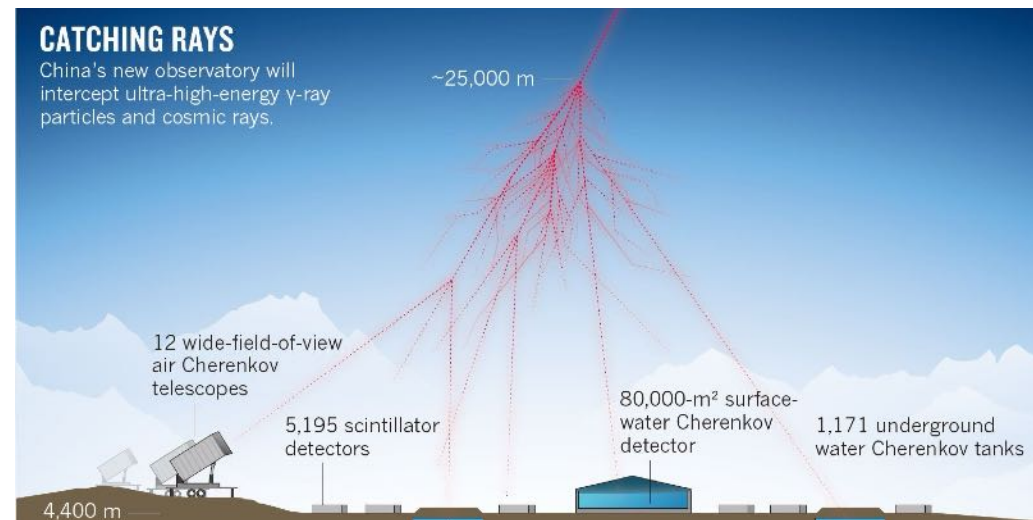
伽马射线源的巡天普查

探索新物理前沿

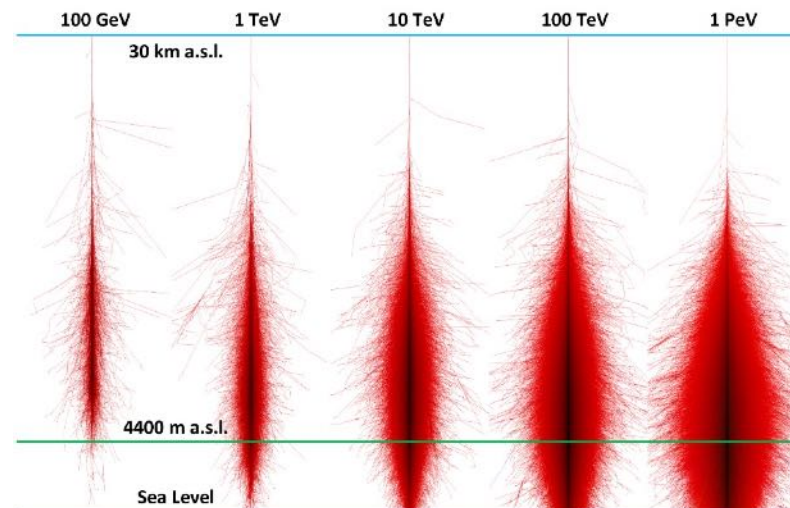
阵列布局



四种类型探测器，构成三大阵列
占地面积：1.3 km²
每年产生数据量：~10 PB



不同能量空气簇射的纵向与横向发展 (伽马)



PeV最佳观测高度！

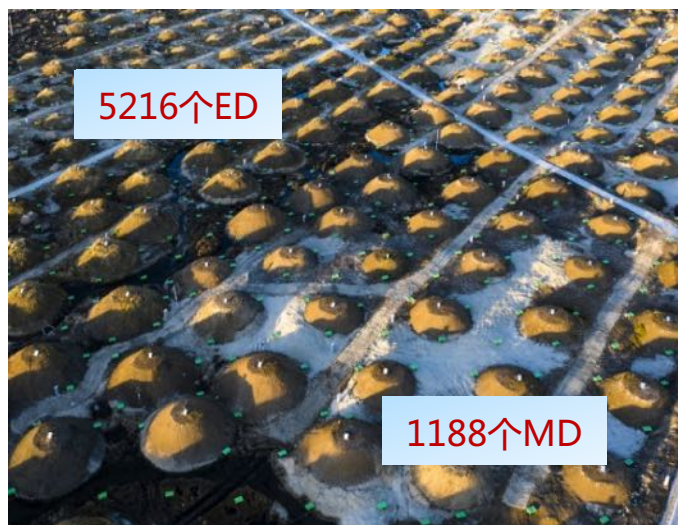
最灵敏的超高能伽马探测装置

地面粒子探测器阵列

KM2A

电磁粒子探测器阵列

缪子探测器阵列



时钟分配系统

数据获取系统

数据处理平台

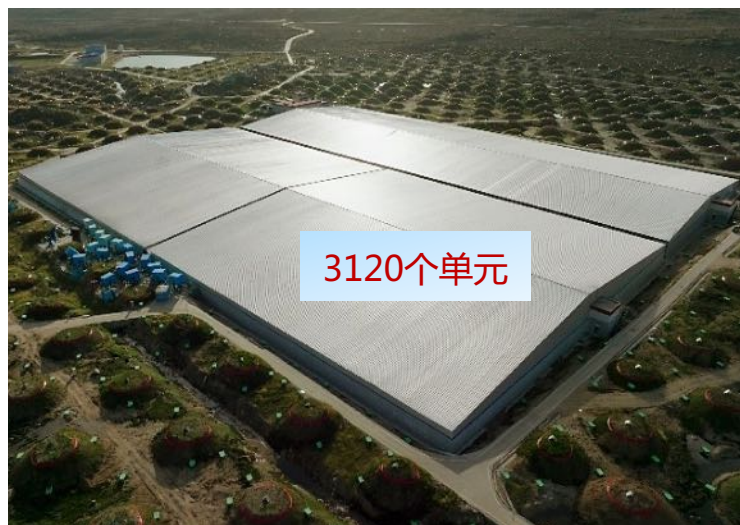
离线软件系统

通用系统

最灵敏度的甚高能伽马巡天望远镜

水切伦科夫探测器阵列

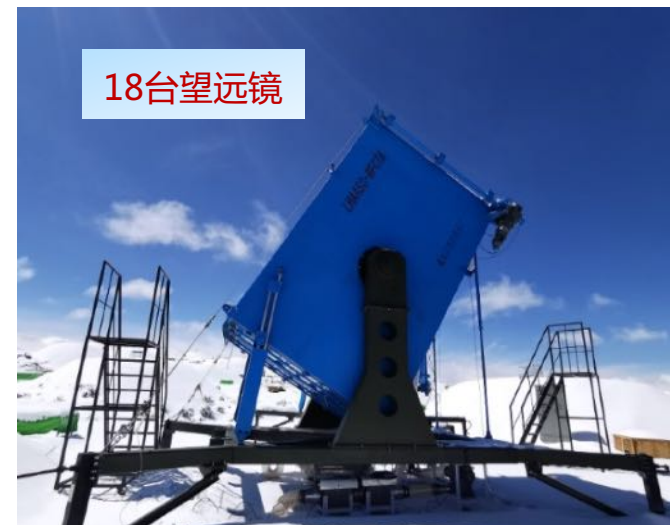
WCDA



能区最宽的高能宇宙线探测装置

广角切伦科夫望远镜阵列

WFCTA



四项技术突破：新型时钟分配系统、超大型光电倍增管、新型硅光电管相机、海量数据获取及数据传输系统

LHAASO的AI需求

- 背景事例排除

质子-伽马区分

- 宇宙线成分鉴别

H, He, CNO, MgAlSi, Fe

- 事例重建

芯位、方向、能量

- 天体源分析

位置、能谱、扩展度、多源解析、多
波段多信使分析、时变分析、各向异性分析

- 噪声过滤

- 快速模拟

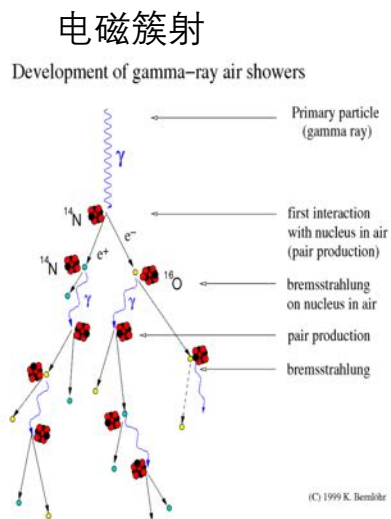
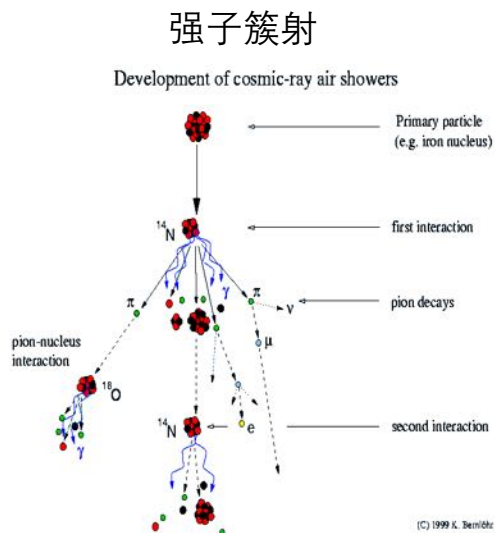
- 探测器标定

- 智能运维

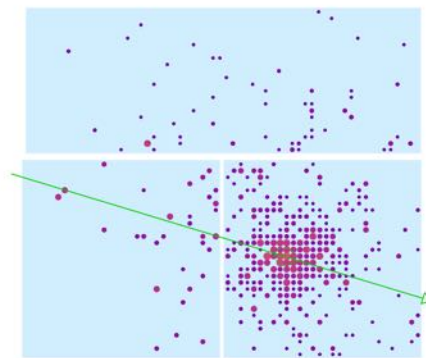
-

背景排除

- 根据原初粒子种类的不同，地面阵列观测到的大气簇射分为强子簇射和电磁簇射两类
- 伽马天文是寻找宇宙线起源问题的重要手段，有效鉴别伽马射线和强子背景是伽马天文学的前提和基础
- 利用AI技术提高宇宙线背景排除能力，对于LHAASO提高灵敏度，增强对伽马源的观测能力至关重要

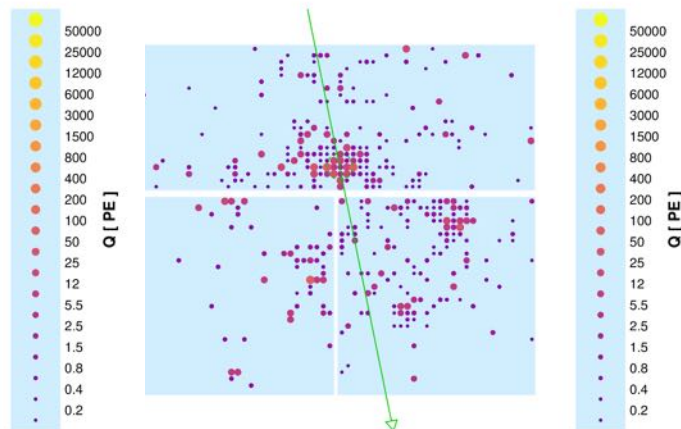


20221009/132204/0.886943440: $\theta=29.01\pm0.13^\circ$, $\phi=163.20\pm0.26^\circ$

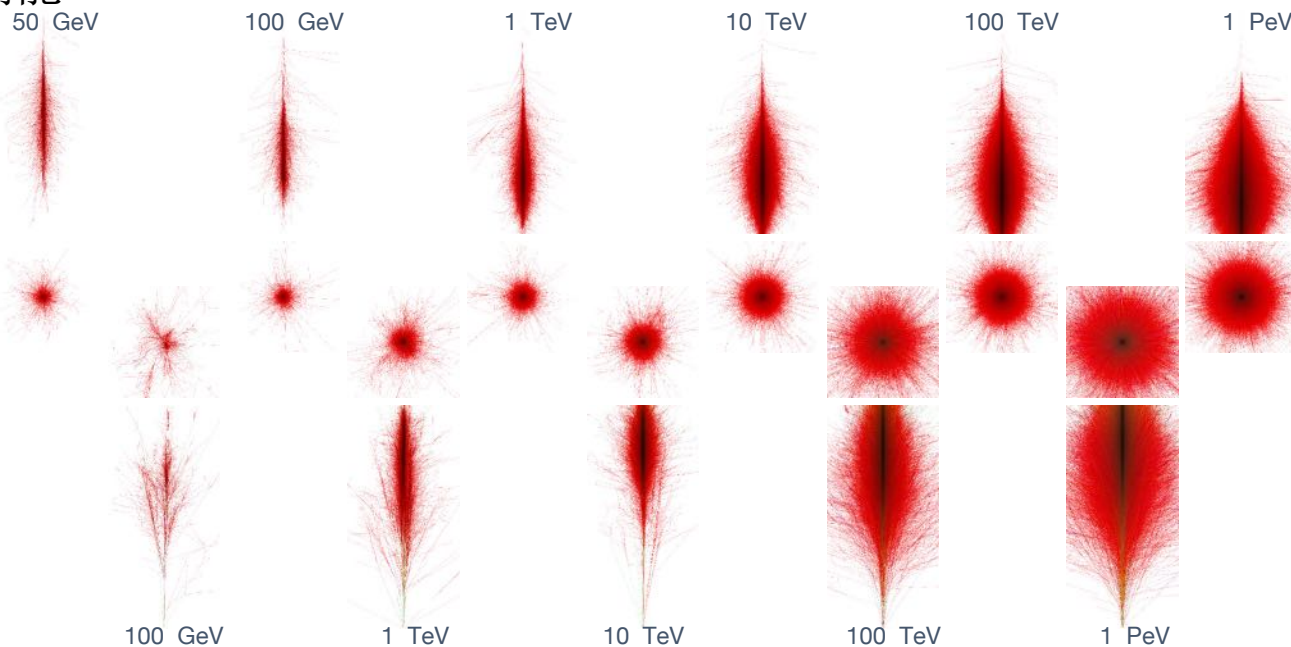


伽马事例

09/132155/0.522393328: $\theta=3.78\pm0.09^\circ$, $\phi=101.53\pm1.4^\circ$



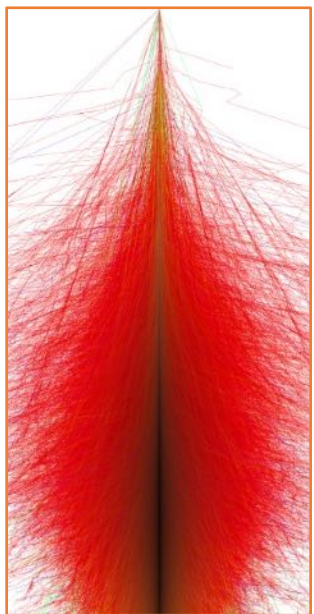
宇宙线事例



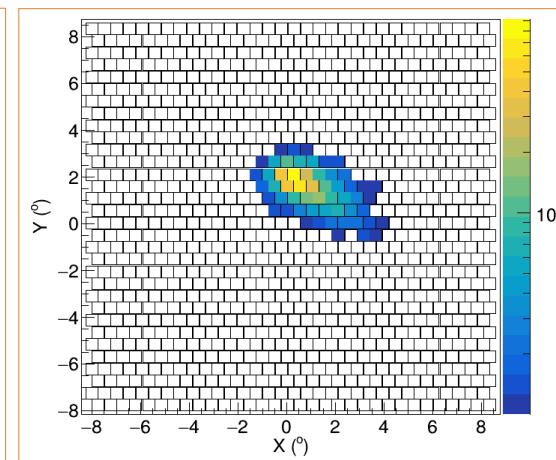
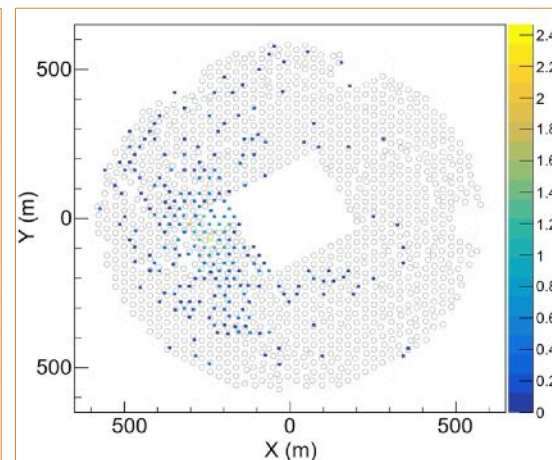
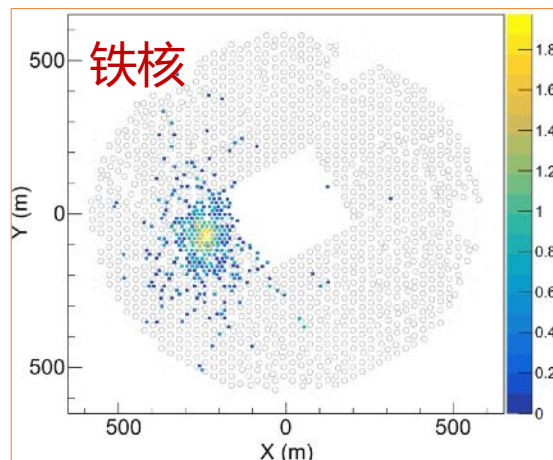
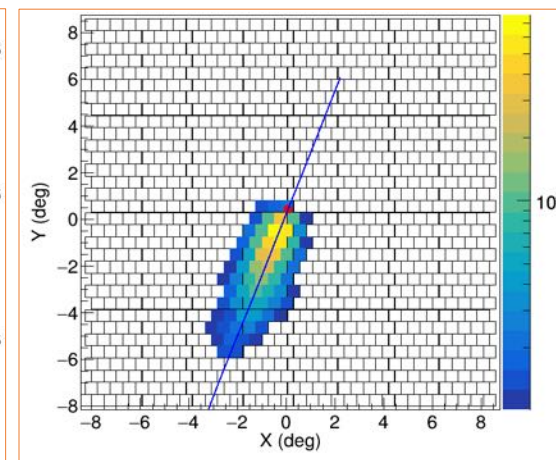
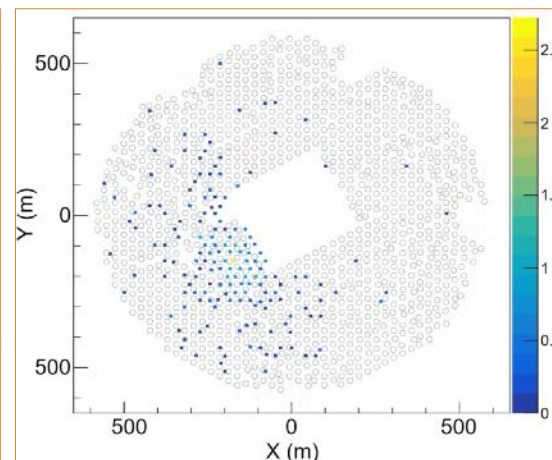
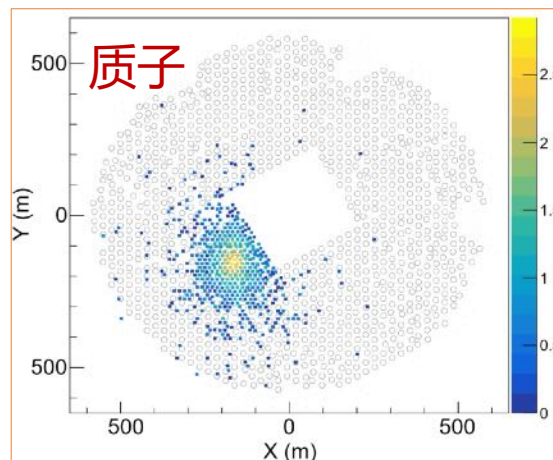
宇宙线成分鉴别

宇宙线成分鉴别对宇宙线成分能谱、各向异性等研究十分重要，传统方法鉴别能力的提升已达瓶颈。

质子/1 PeV



铁核/1 PeV

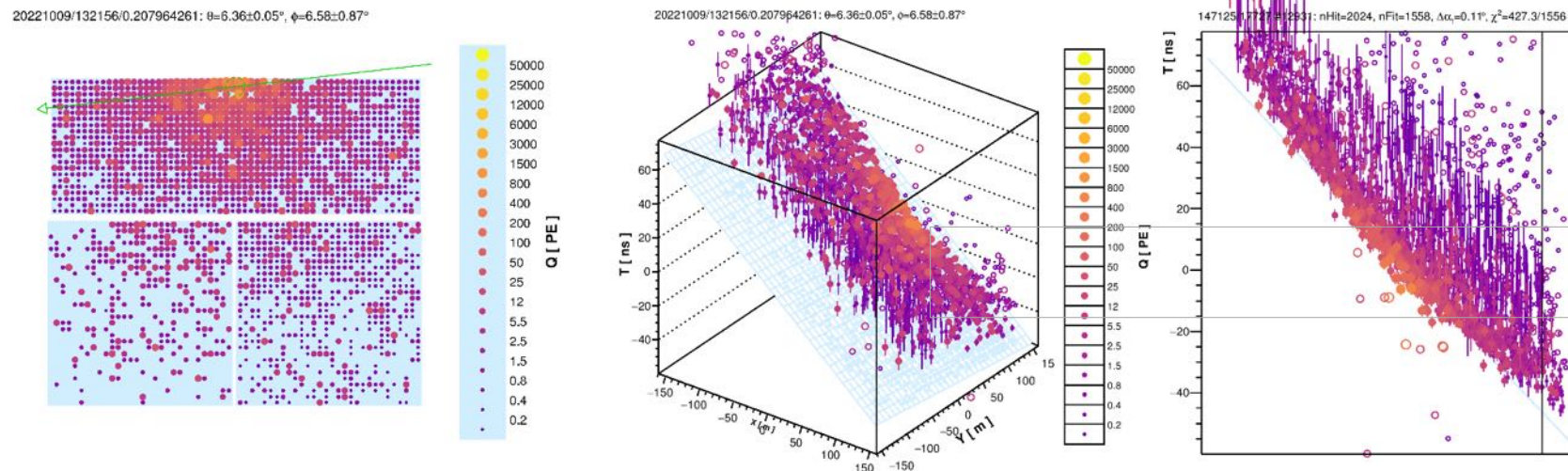


事例重建

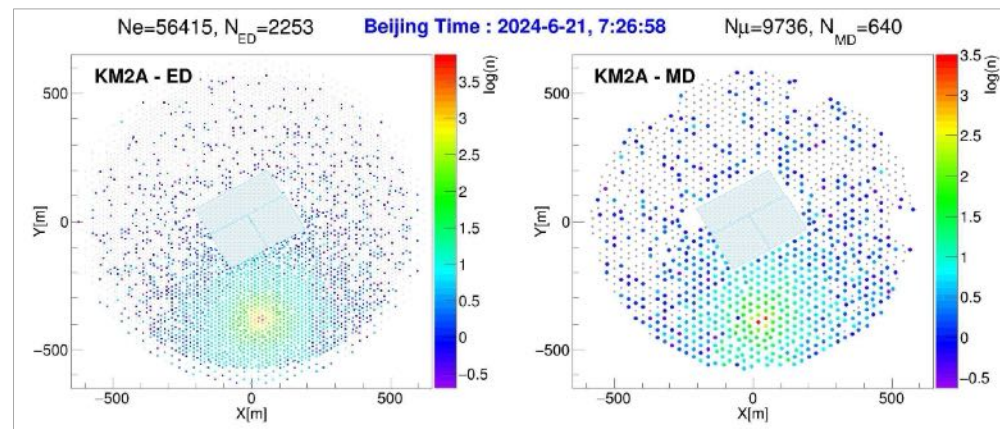
事例重建是为了通过次级粒子的信息反推原初粒子的信息（能量、芯位、方向等）。

簇射前锋面近似一个抛物面。通过重建的芯位进行曲面修正，可以得到准确的方向重建。

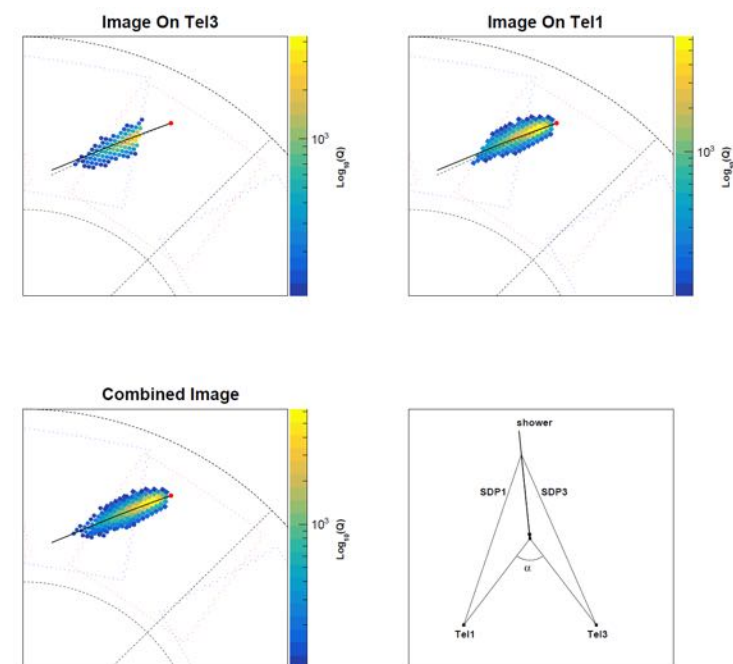
方向重建精度直接影响阵列的观测性能，能量较低或芯位落在阵列之外事例的方向重建精度较差。



WCDA



KM2A



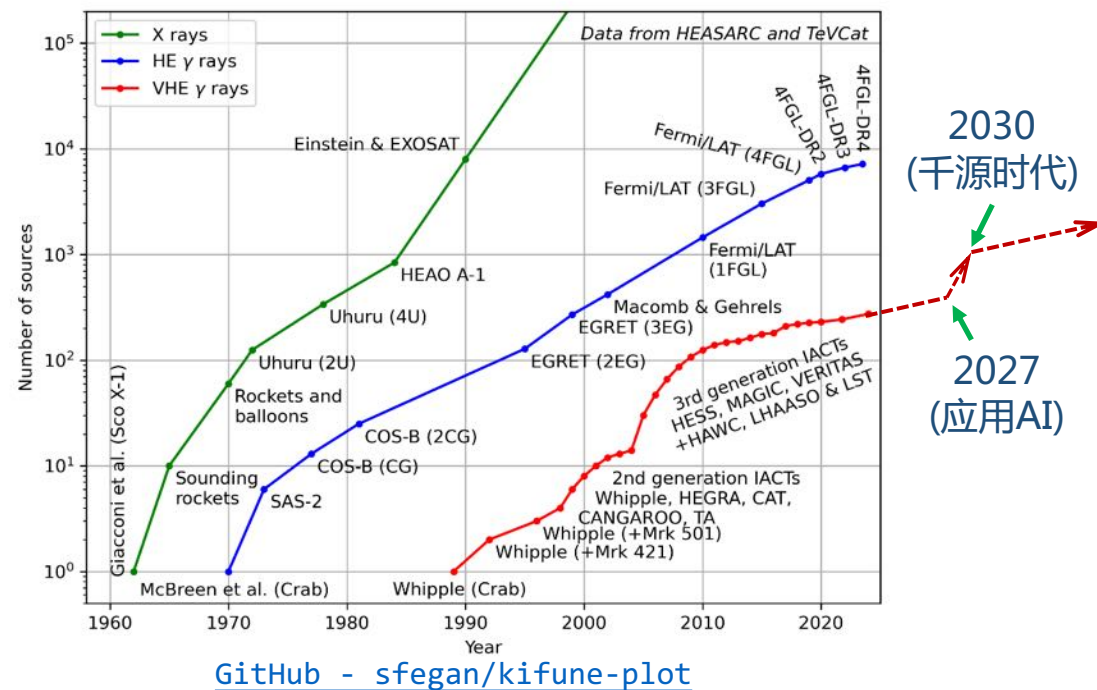
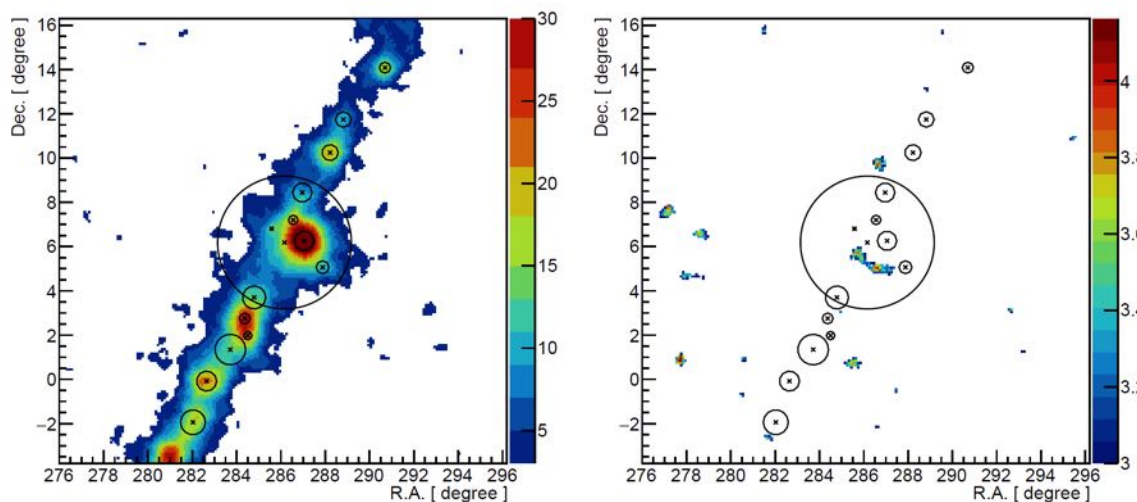
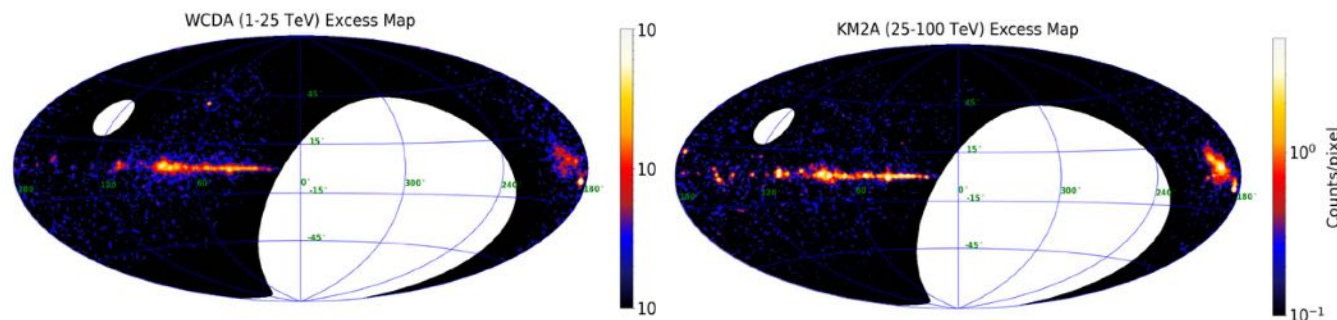
WFCTA

天体源分析

目前LHAASO已经发布了第一期伽马射线源表，发现了大量新的甚/超高能伽马射线源

AI在多个重叠源+泡状结构+弥散辐射的解析方面具有优势

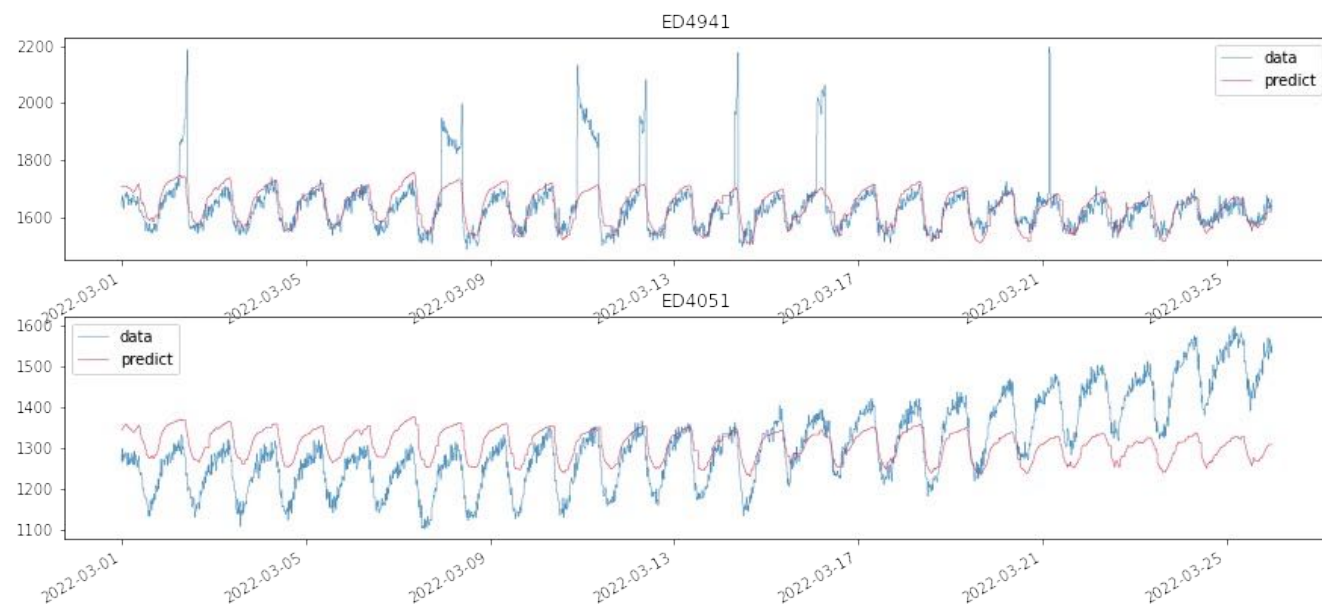
随着数据累积，加持AI技术，甚/超高能伽马天文有机会在2030年跨入“千源时代”



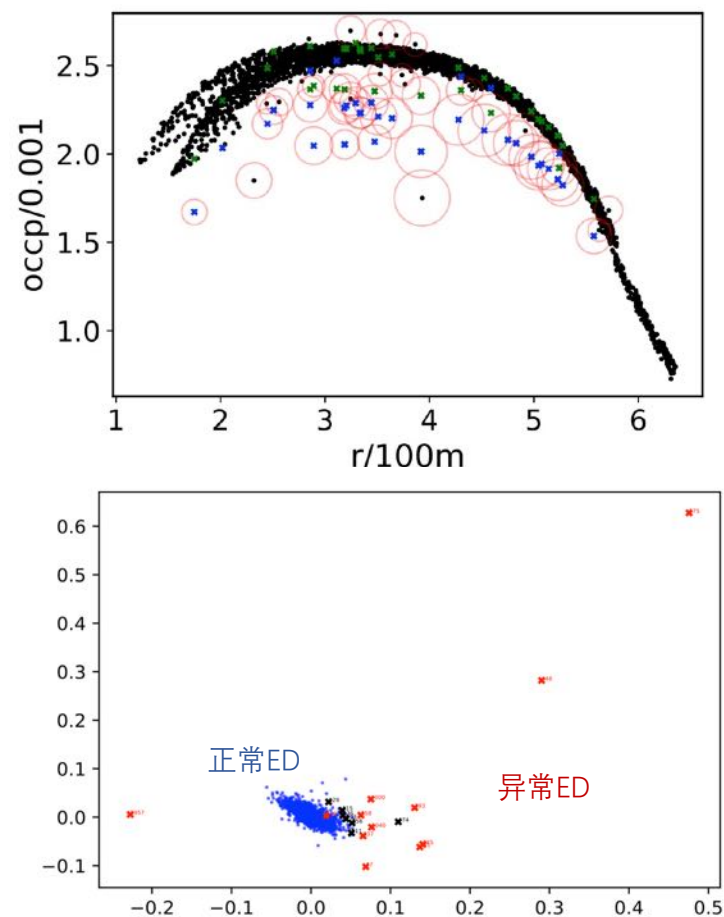
应用举例

- 电磁粒子探测器运行维护

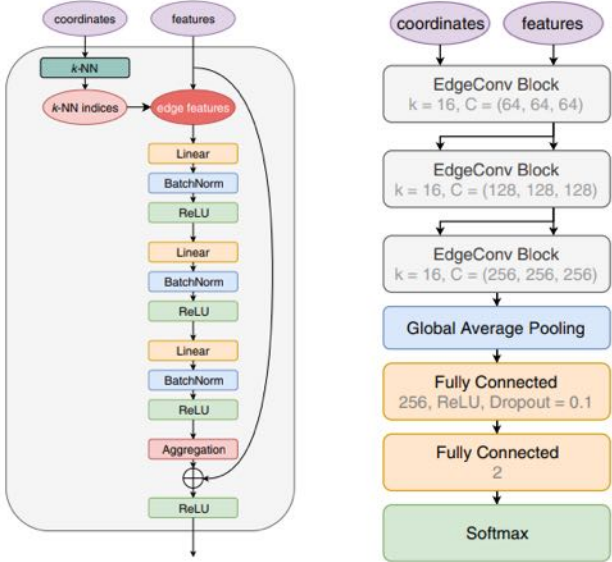
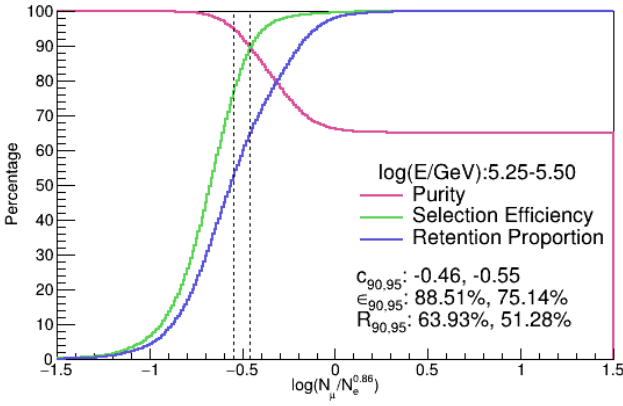
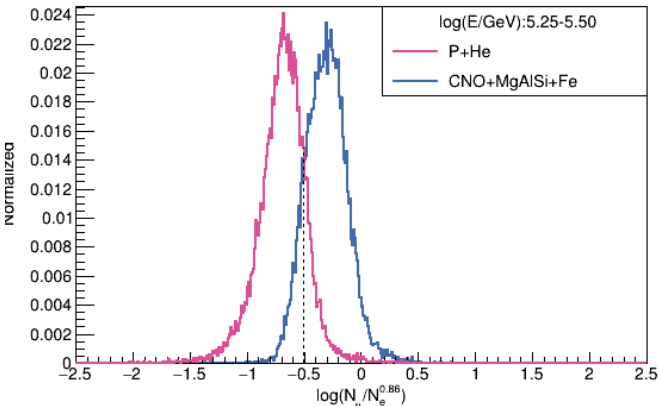
利用LSTM预测探测器计数率变化



利用PCA进行异常值检测，
及时发现和处理故障探测器

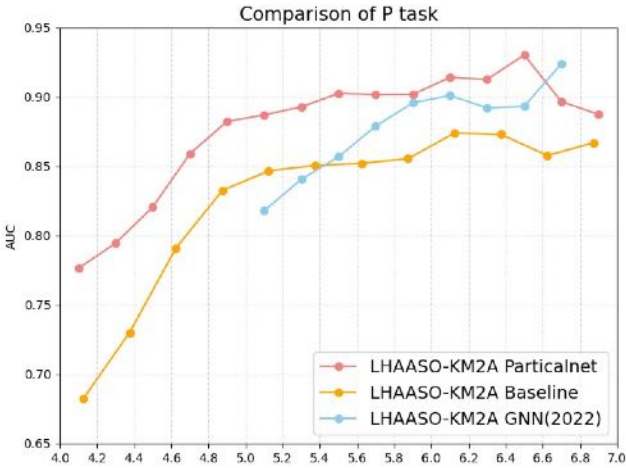


• 利用ParticleNet鉴别KM2A宇宙线成分

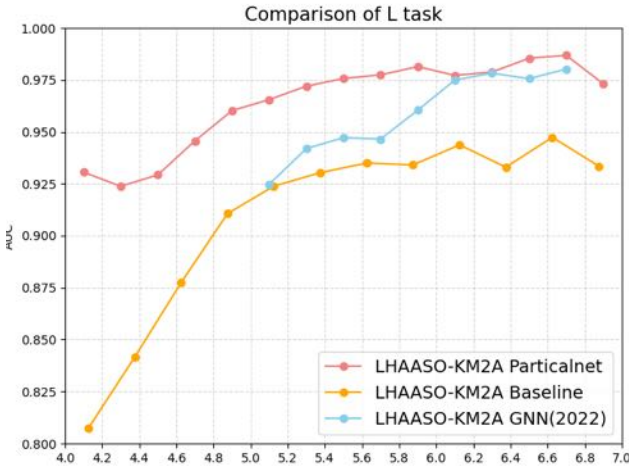


ParticleNet 网络结构
H. Qu and L. Gouskos, PRD **101**, 056019 (2020)

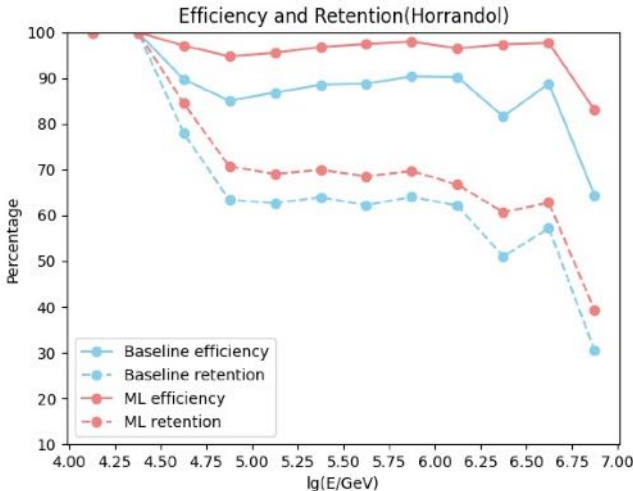
在10TeV-1PeV整个能段内对质子和轻成分的鉴别能力显著优于传统方法以及GNN方法



质子鉴别：AUC值



质子鉴别：AUC值



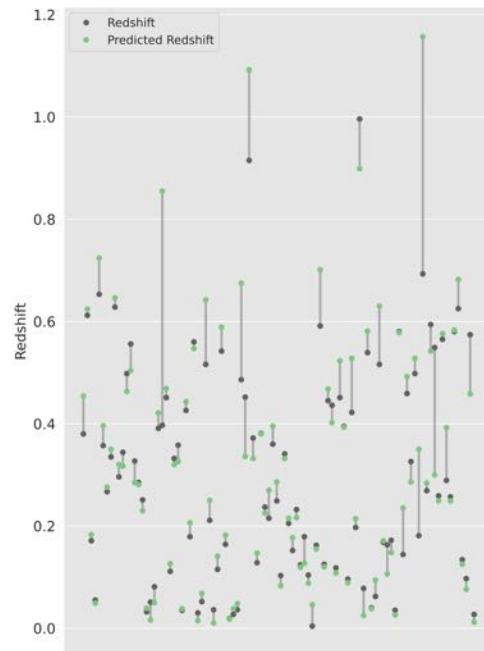
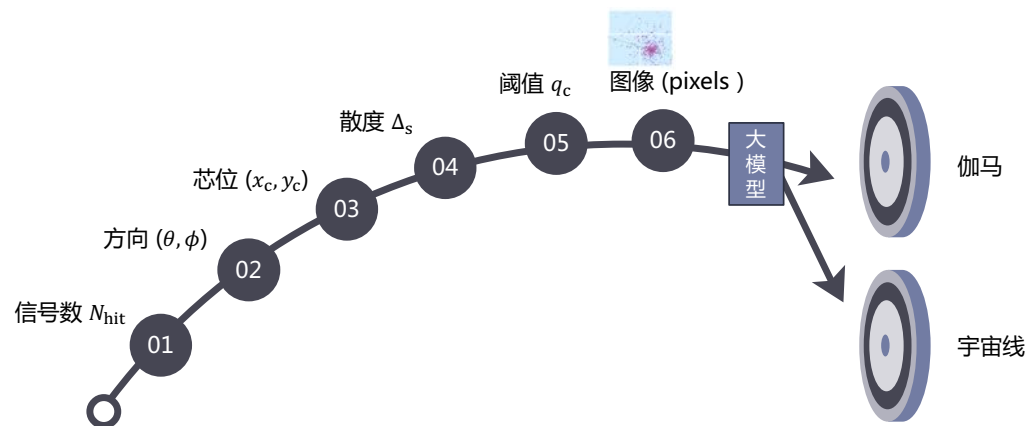
质子鉴别：90%纯度下的筛选效率和保留比

大模型—未来方向

LLM快速发展，出现了一大批应用，
天体物理领域也已开始尝试

目前有研究表明，LLM可以得到比传统ML更好的效果

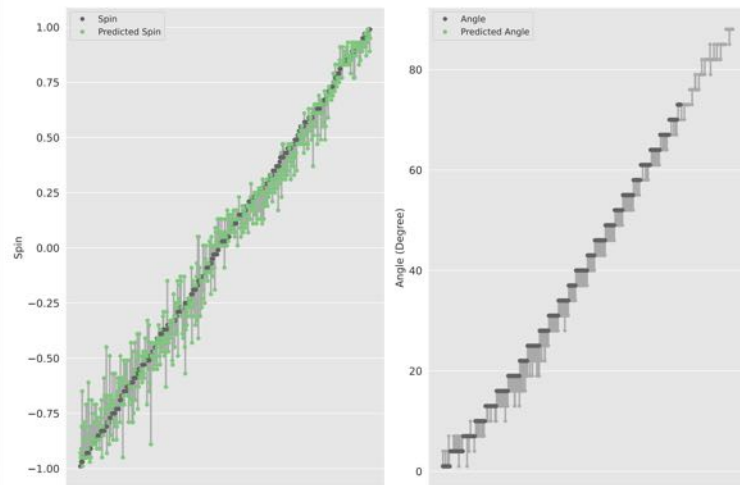
大模型可以轻易适应多种物理数据分析需求，有“一统天下”之势！



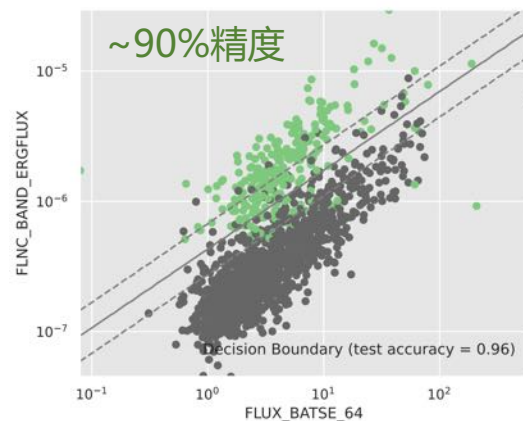
类星体红移测量
(Sloan数字巡天光谱)



星体分类
(Sloan数字巡天光谱)

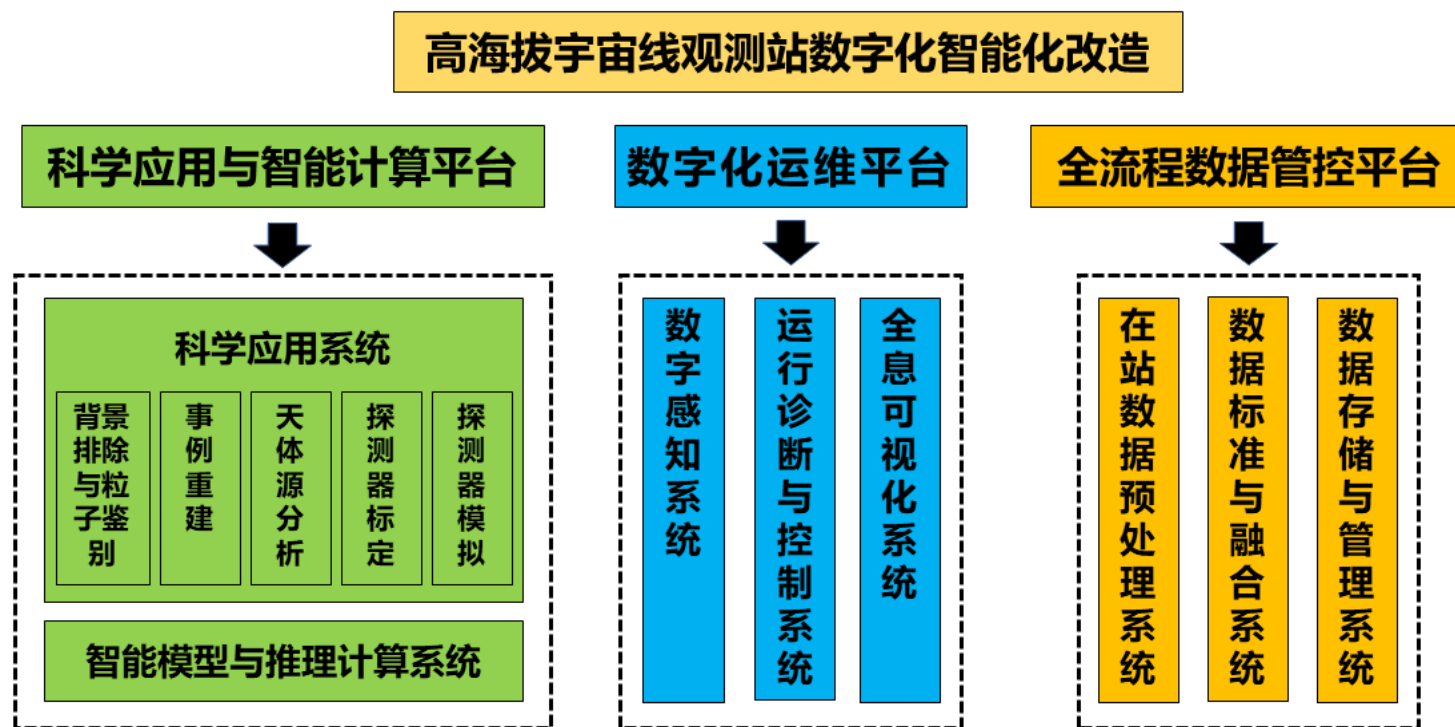


黑洞参数估计
(Fe K α 发射谱)



伽马暴分类
(Fermi GBM, ~25个参数)

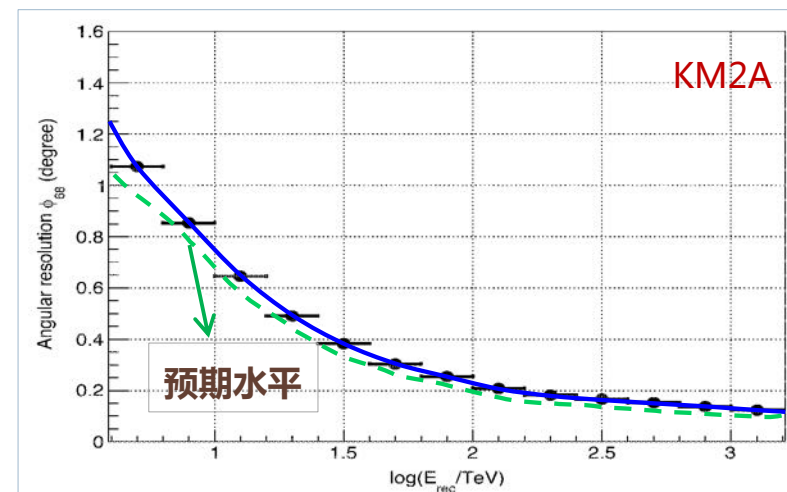
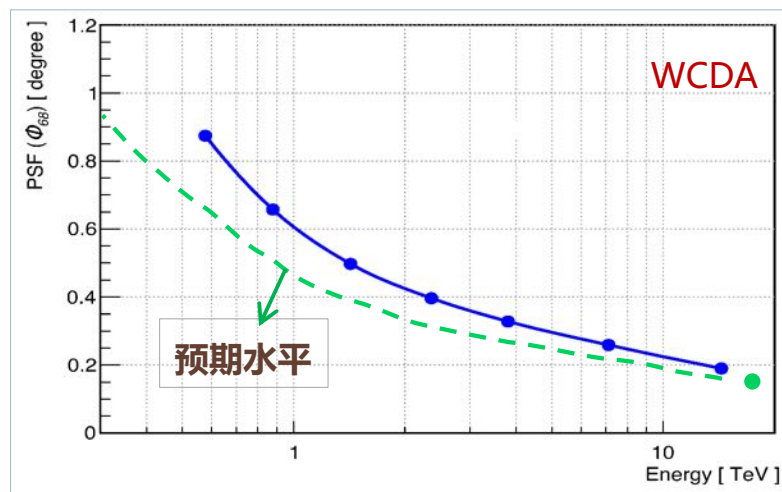
LHAASO数字化智能化改造项目



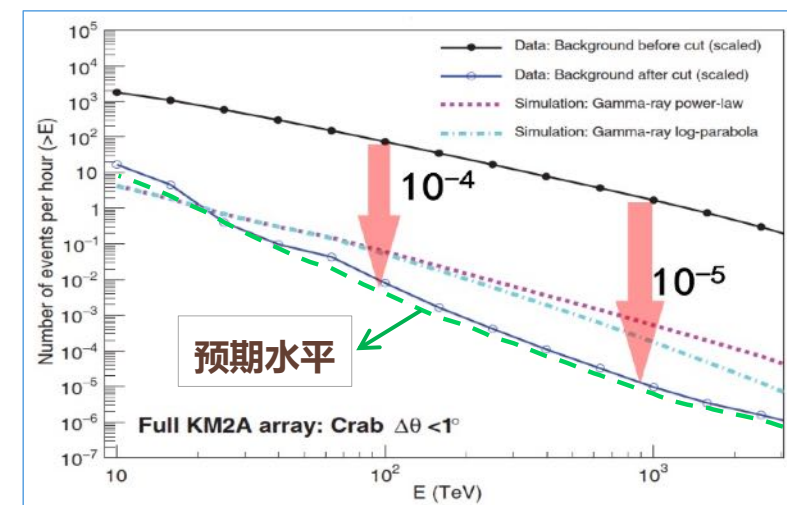
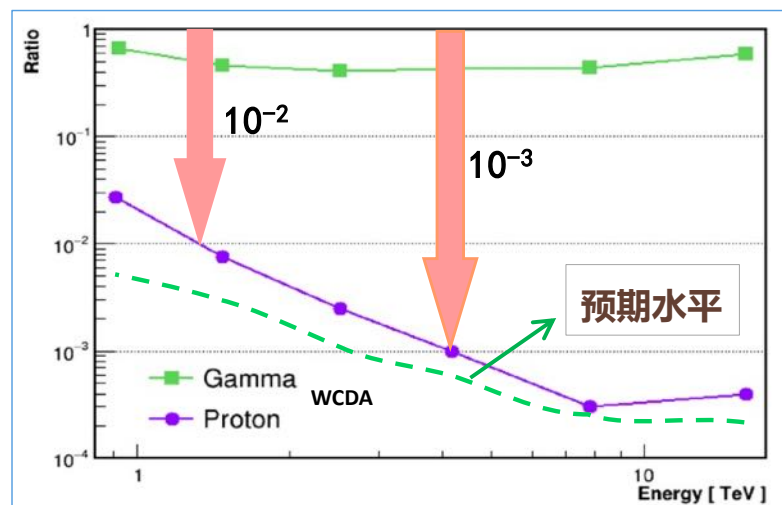
已完成可研报告，正在等待批复

预期目标（部分）

角分辨
提高1.1 – 1.5倍



背景水平
降低2 – 5倍



总结

- LHAASO探测器数量多，数据量大，对AI助力数据分析和科学产出有迫切需求
- 前期已经利用小规模模型实现了一些应用
- 未来重点采用大模型技术，预期将显著提高观测能力，确保LHAASO在未来30年内保持国际领先

谢谢！