LACT项目及相关物理

张寿山

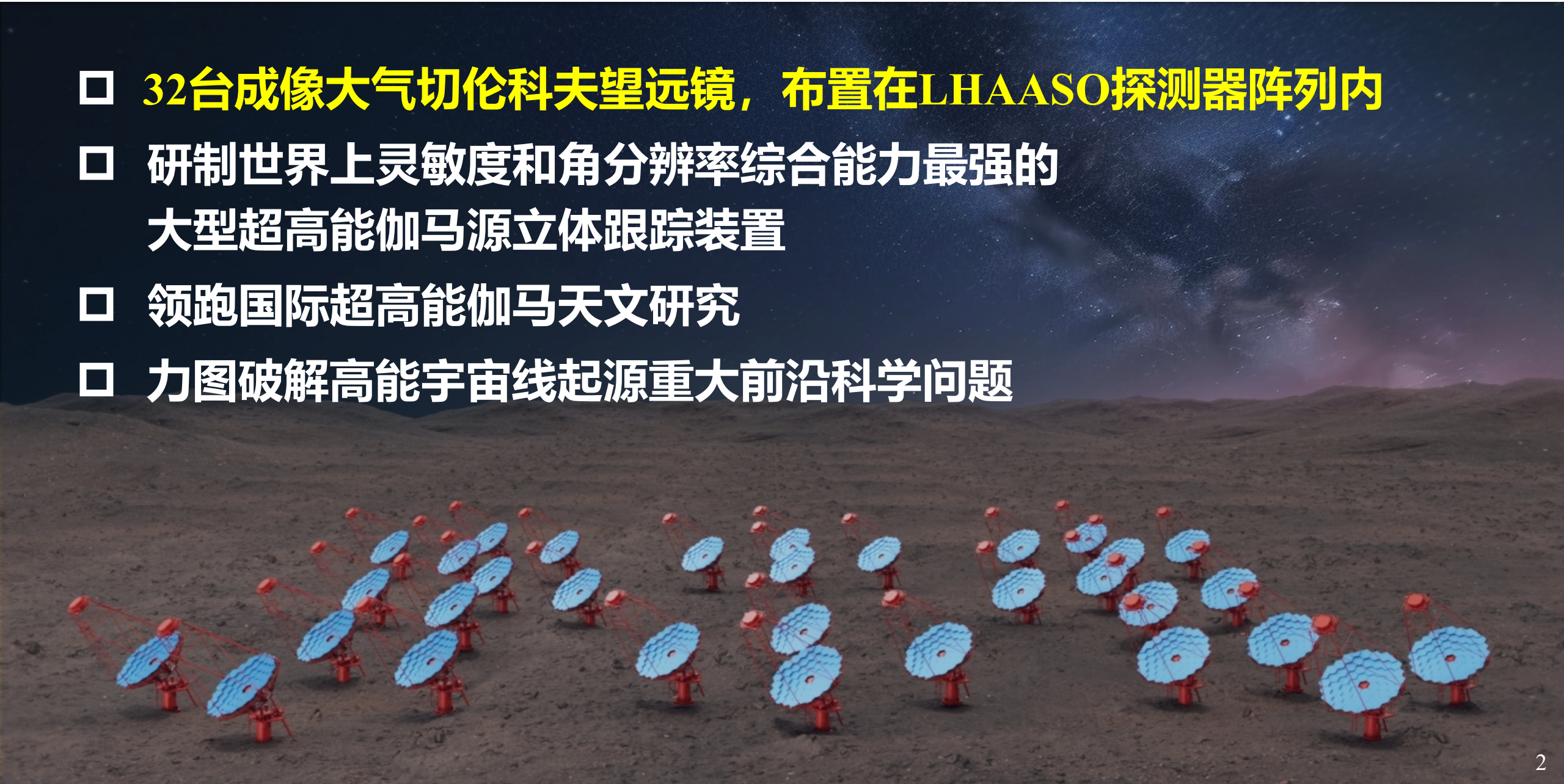
中国科学院高能物理研究所

LHAASO Summer School

2024/08/05-11，昆明

大型超高能伽马源立体跟踪装置（LACT）

- 32台成像大气切伦科夫望远镜，布置在LHAASO探测器阵列内
- 研制世界上灵敏度和角分辨率综合能力最强的大型超高能伽马源立体跟踪装置
- 领跑国际超高能伽马天文研究
- 力图破解高能宇宙线起源重大前沿科学问题



基本信息

项目中文名称	全称	大型超高能伽马源立体跟踪装置
项目英文名称	全称	Large Array of imaging atmospheric Cherenkov Telescope
	缩写	LACT
项目法人单位		四川天府宇宙线研究中心
项目承担单位		中国科学院高能物理研究所
项目性质		新建
建设地点		四川省稻城县
建设投资及来源		项目总投资15380万元。 其中：11380万元来自于四川省财政资金，4000万由共建单位自筹
建设周期		4年（48个月）

报告内容

Contents

1 引言

2 LACT项目建设的必要性

3 设计方案与性能指标

4 建设计划

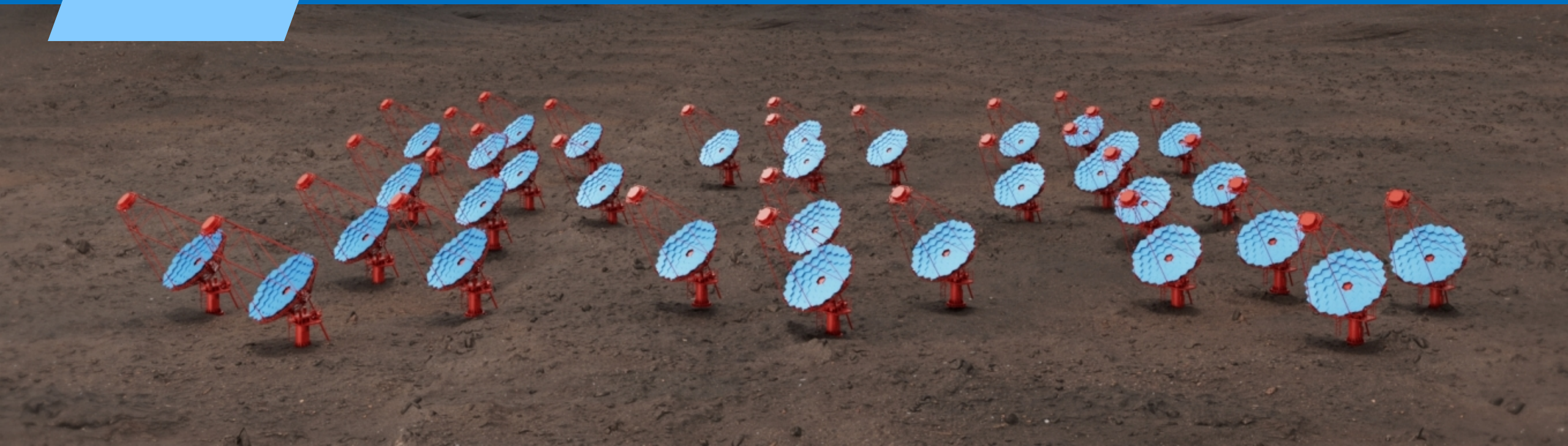
5 组织管理

6 运行与开放共享

7 总结

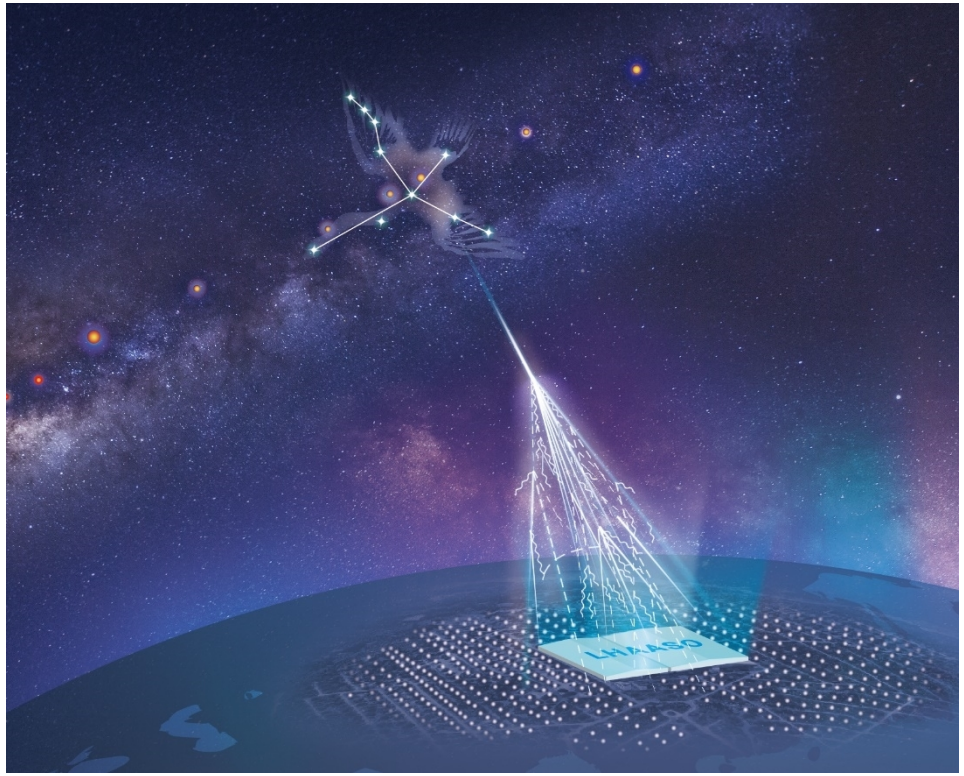
01

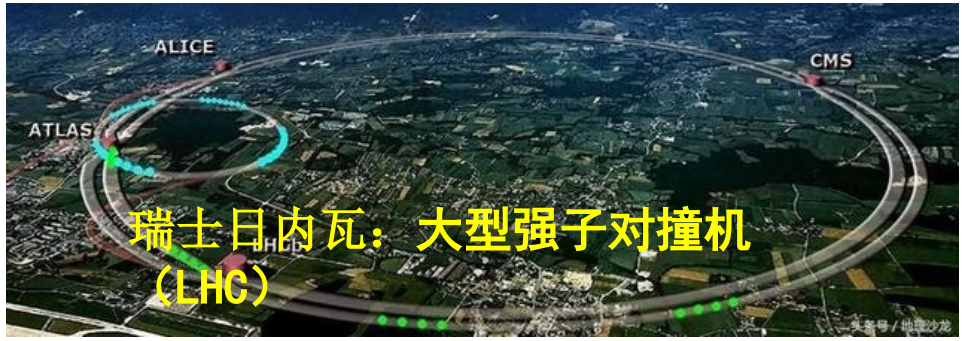
引言



什么是宇宙线?

- **宇宙线**
  - **来自外太空：**于1912年由奥地利裔美国物理学家**维克多·弗朗西斯·赫斯（Victor F. Hess）**发现了宇宙线来着外太空
  - **是高能带电粒子：如氢、氦、铁等原子核，还包含少量电子**
  - **宇宙线最高能量超过10^{20}电子伏特（eV）**
    - ✓ **宇宙线能量是人造加速器（如LHC）所能产生粒子能量的一千万倍**
    - ✓ **可见光：**
      - **波长: 780 ~ 400 nm**
      - **频率: 3.8~7.5 ×10^{14} Hz**
      - **能量: 1.6 eV – 3.1 eV**





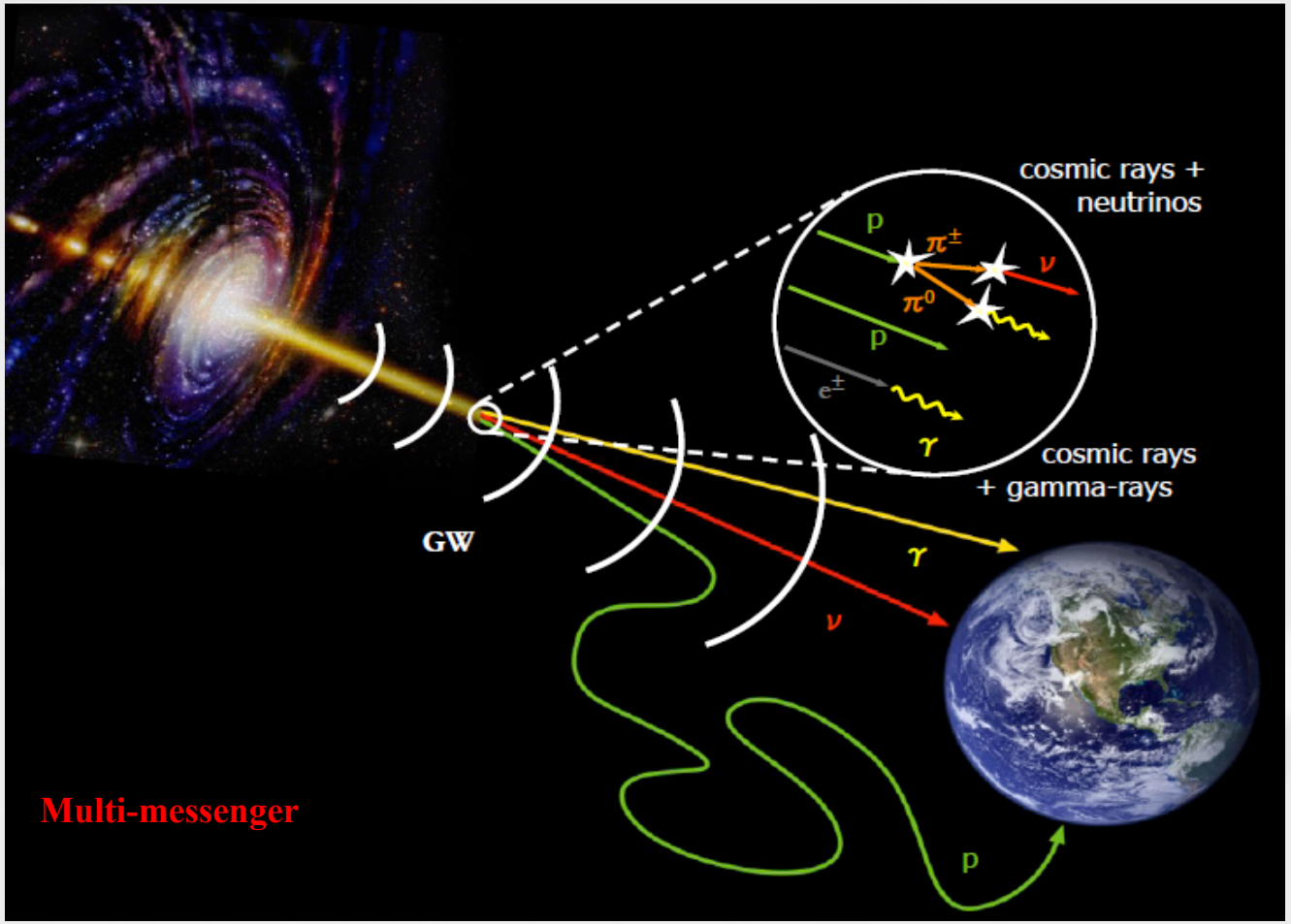
瑞士日内瓦：大型强子对撞机（LHC）

宇宙线的发现

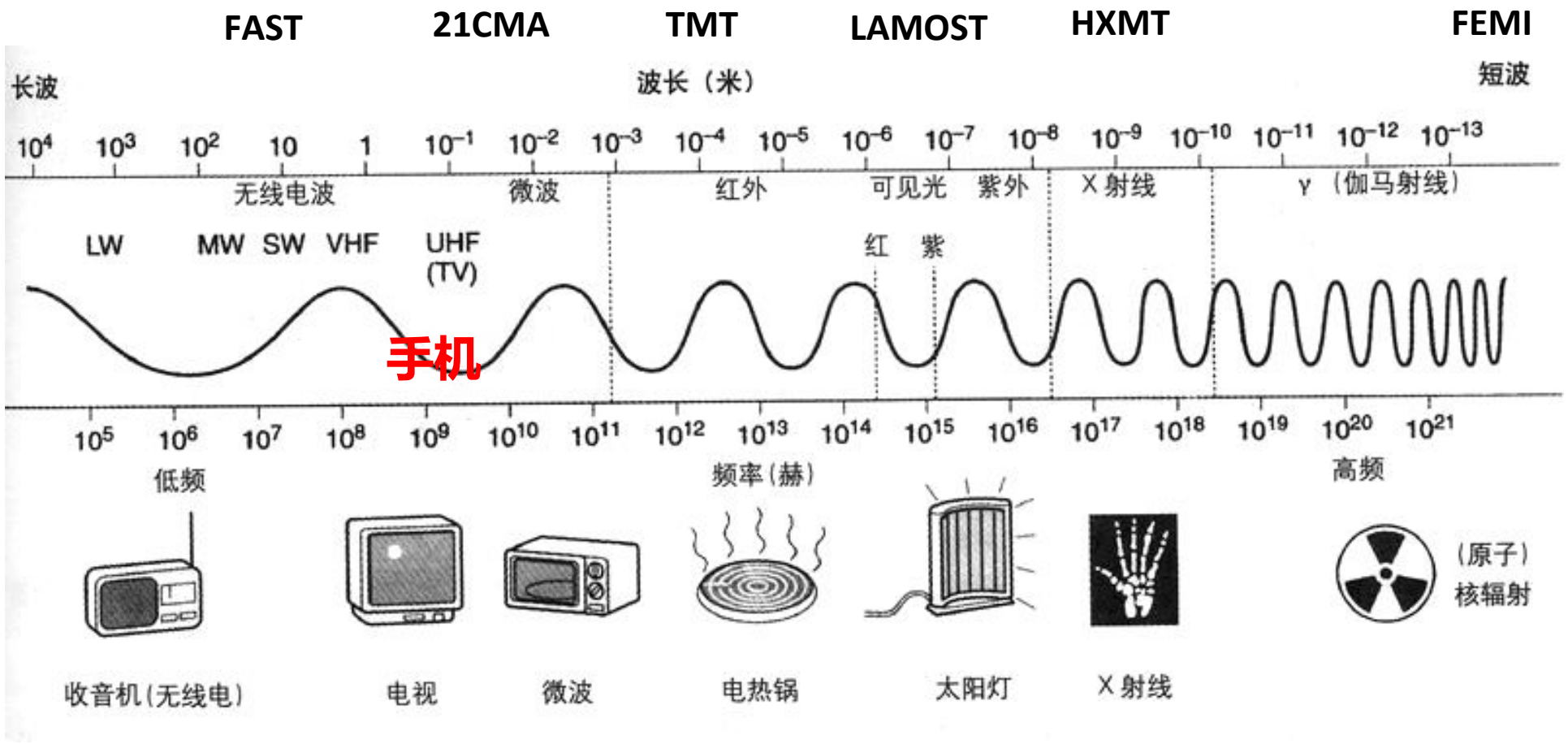
赫斯
(Hess)

1912年

- 宇宙线是来自外太空的高能带电粒子
  - 氢、氦、锂、…铁等原子核



宇宙线的能量有多高



宇宙线的最高能量超过10^{20}电子伏特（eV）：频率 ~10^{34} Hz

高能宇宙线起源是世纪之谜

- 高能宇宙线的起源仍未确定：
  - 《Science》发布的125个**重大科学问题之一**
  - 美国国家研究委员会发布的21世纪“从夸克到宇宙”所列11个**基本科学问题之一**
- 破解途径：**伽马天文**、中微子天文、极高能粒子天文
  - 伽马天文是最活跃的领域，产生成果最多、**近期有望取得重大突破成果**

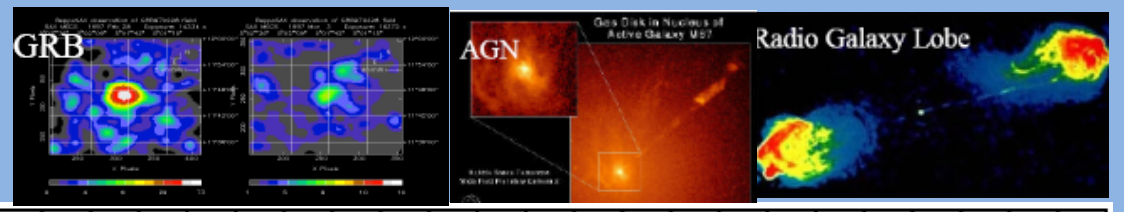
2021年Science杂志

《125个科学问题：探索与发现》

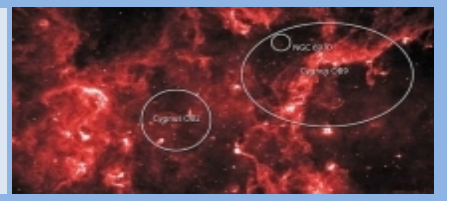
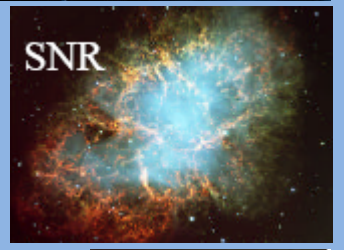
宇宙线的可能起源天体

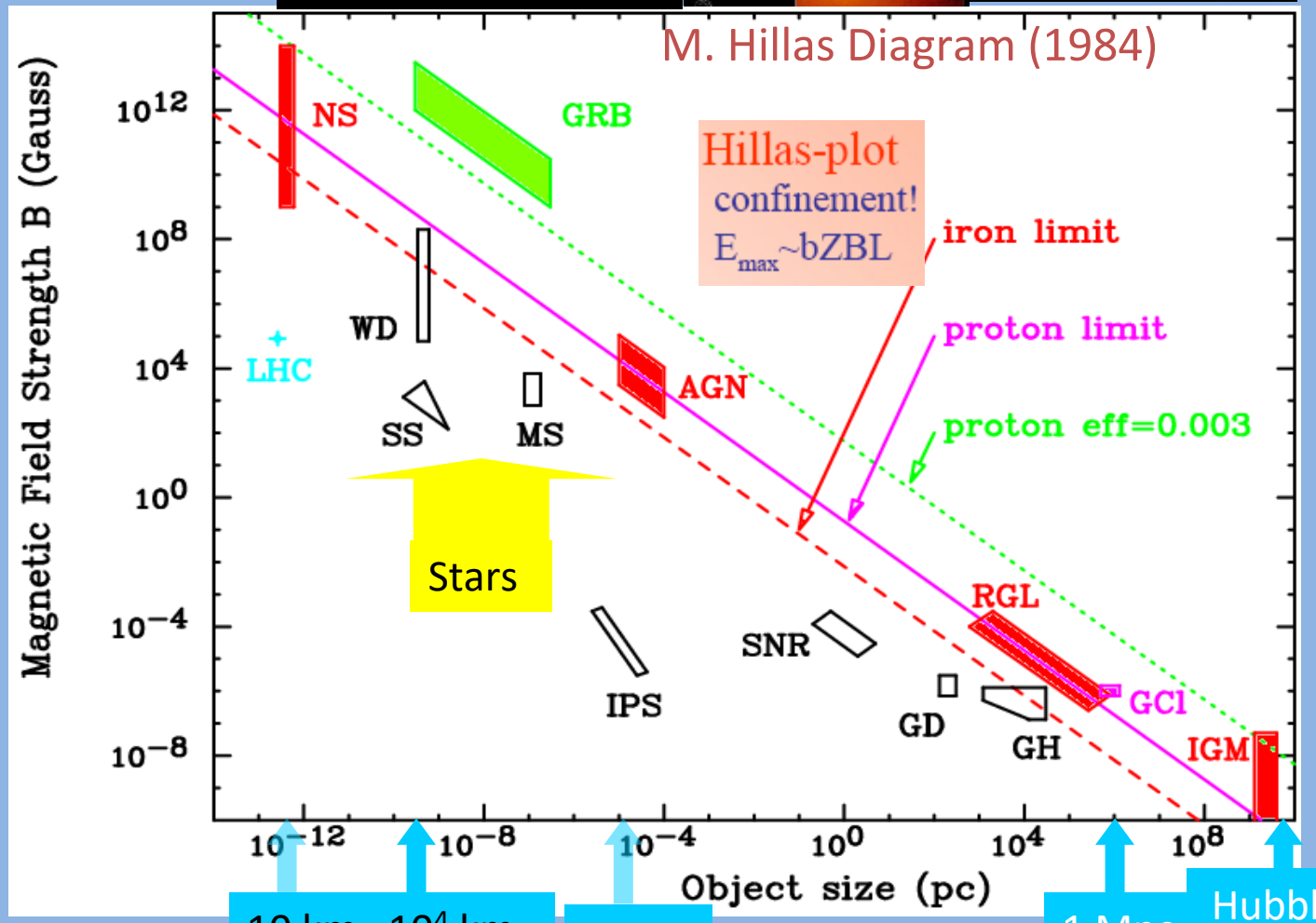
$$E_{max} = \beta Z e B L$$

银河系外

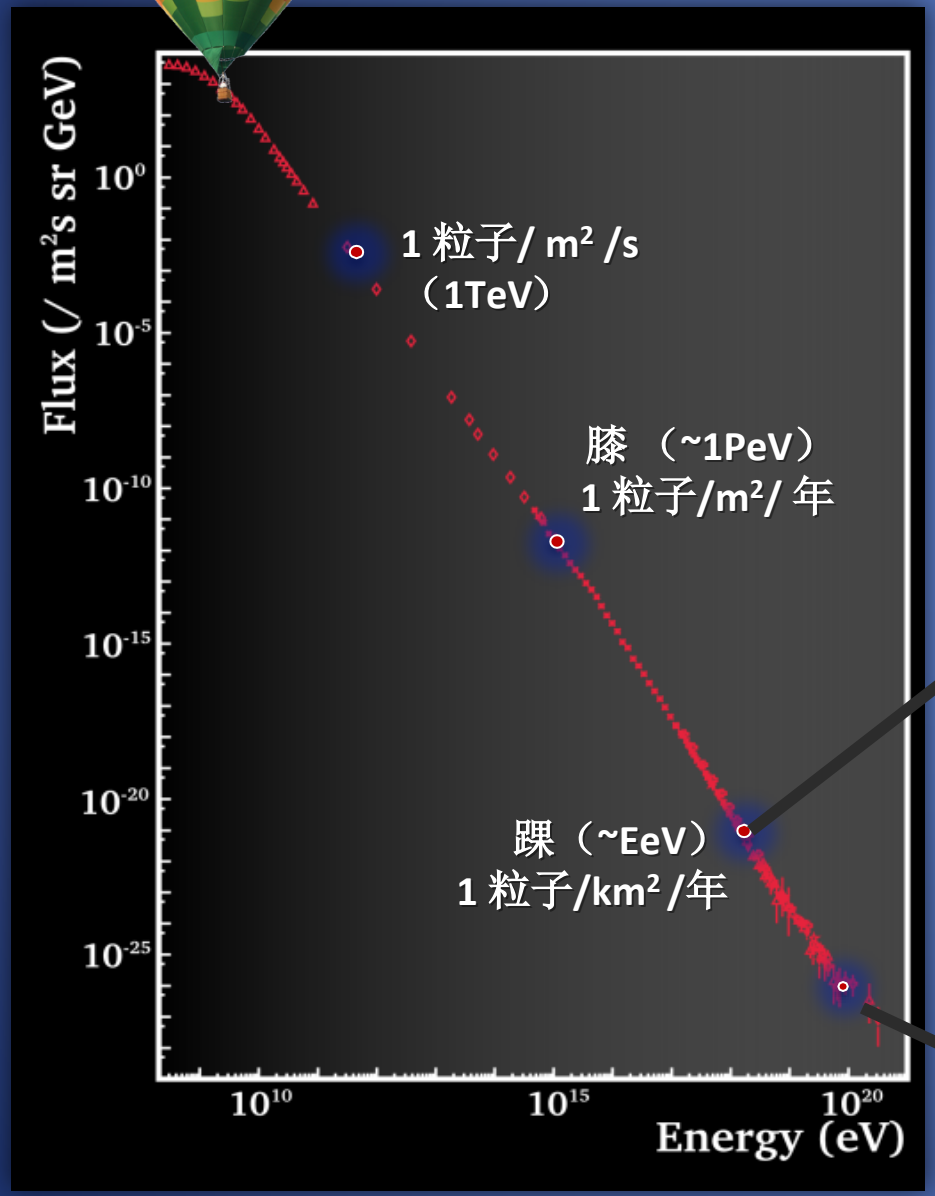


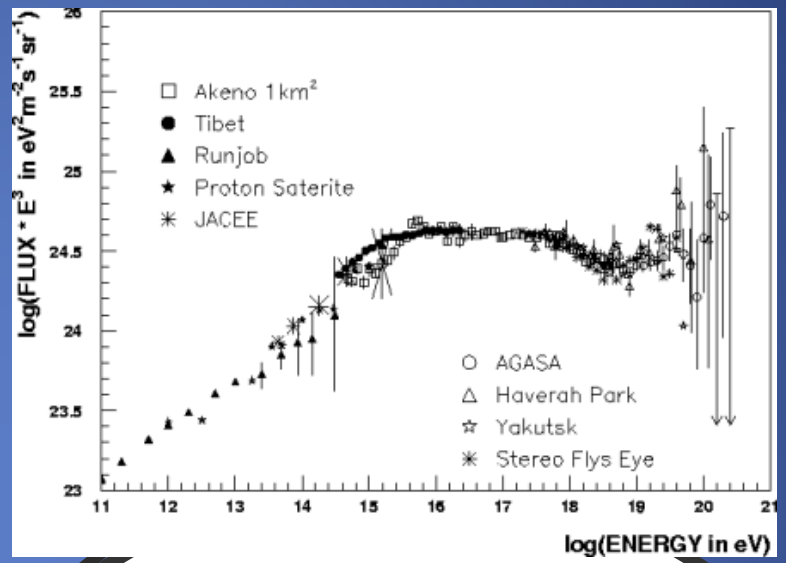
银河系内

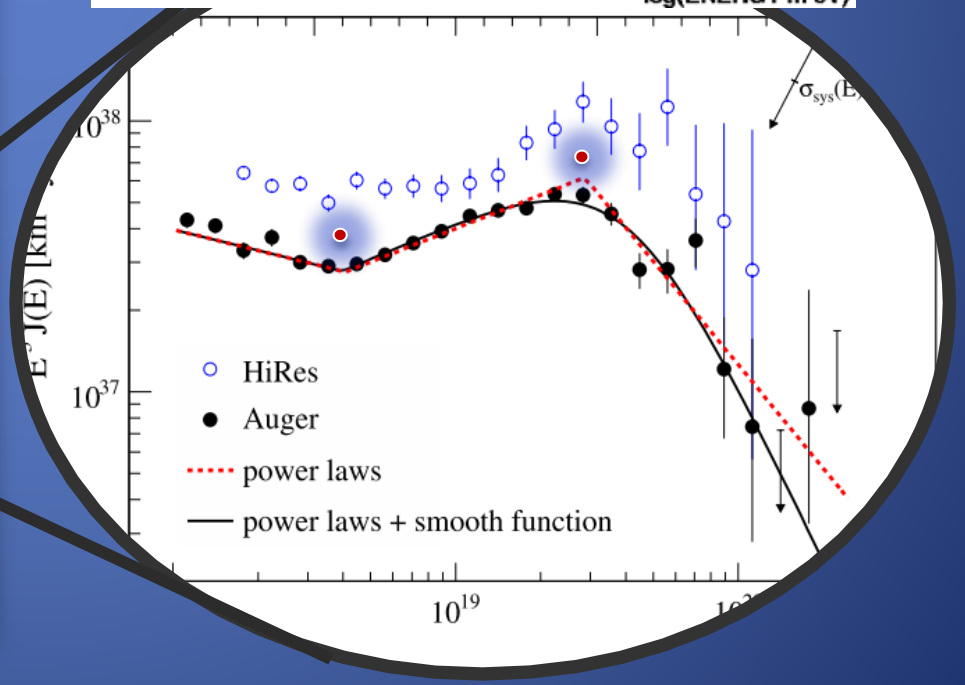
年轻大质量星团	
微类星体	
超新星遗迹	
脉冲星风云	



宇宙线能谱特征


Flux (/ m²s sr GeV)
10⁰
10⁻⁵
10⁻¹⁰
10⁻¹⁵
10⁻²⁰
10⁻²⁵
10¹⁰
10¹⁵
10²⁰
Energy (eV)
1 粒子/ m² /s
（1TeV）
膝 （~1PeV）
1 粒子/m²/ 年
踝（~EeV）
1 粒子/km² /年


log(FLUX * E³ in eV²m⁻²s⁻¹sr⁻¹)
Akeno 1 km²
Tibet
Runjob
Proton Saterite
JACEE
AGASA
Haverah Park
Yakutsk
Stereo Flys Eye
log(ENERGY in eV)


HiRes
Auger
power laws
power laws + smooth function

国内外宇宙线实验

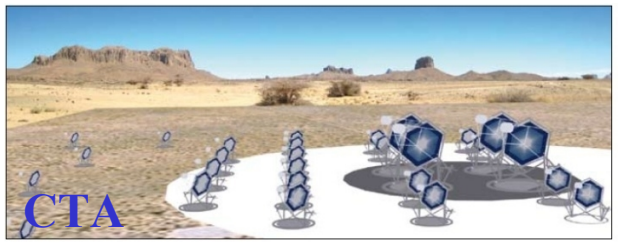
高能伽马射线实验

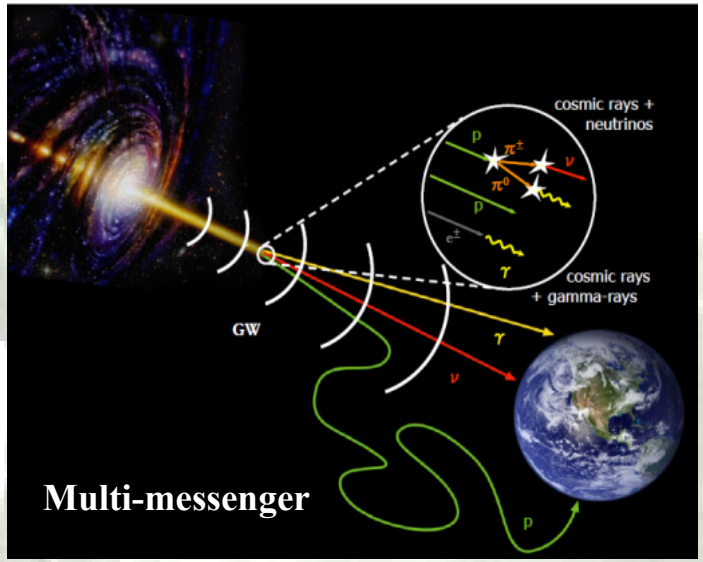
地面簇射阵列实验

LHAASO、HAWC、ASγ…

成像大气切伦科夫望远镜

HESS、MAGIC、
VERITAS、 CTA …

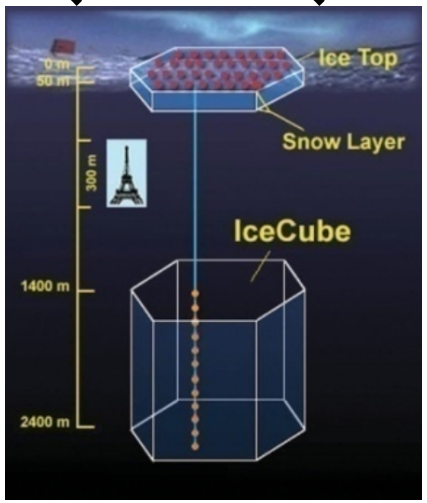




Origin of CRs
A century-old mystery

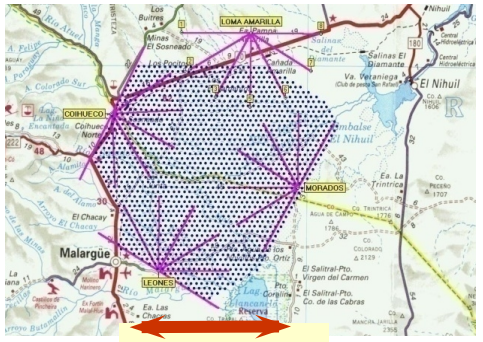
高能中微子实验

IceCube、KM3net、GVD …



极高能宇宙线实验

AUGER 、TA …



02

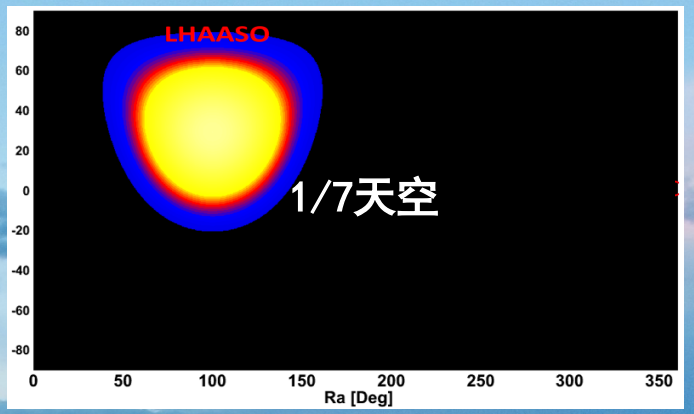
LACT项目建设的必要性

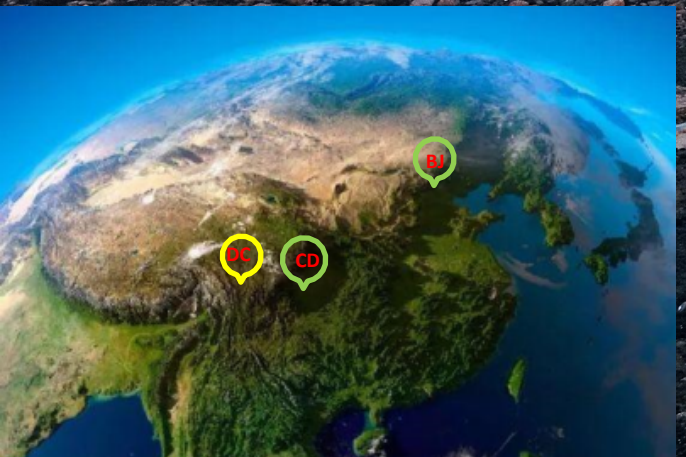
高海拔宇宙线观测站（LHAASO）航拍

地点：四川甘孜州稻城海子山

海拔: 4410 m

全阵列运行时间：2021年7月





国际上正在运行的

伽马源全天普查观测设备

大视场(100°)

高灵敏度

前沿学科领域：超高能伽马天文学现状

揭示迄今最亮伽马暴的秘密《Science》

Science 380, 1390 (2023)

我国自主研制的大科学装置
被美国天文十年规划评价为
国际领先的伽马天文观测装置

高海拔宇宙线观测站（LHAASO）

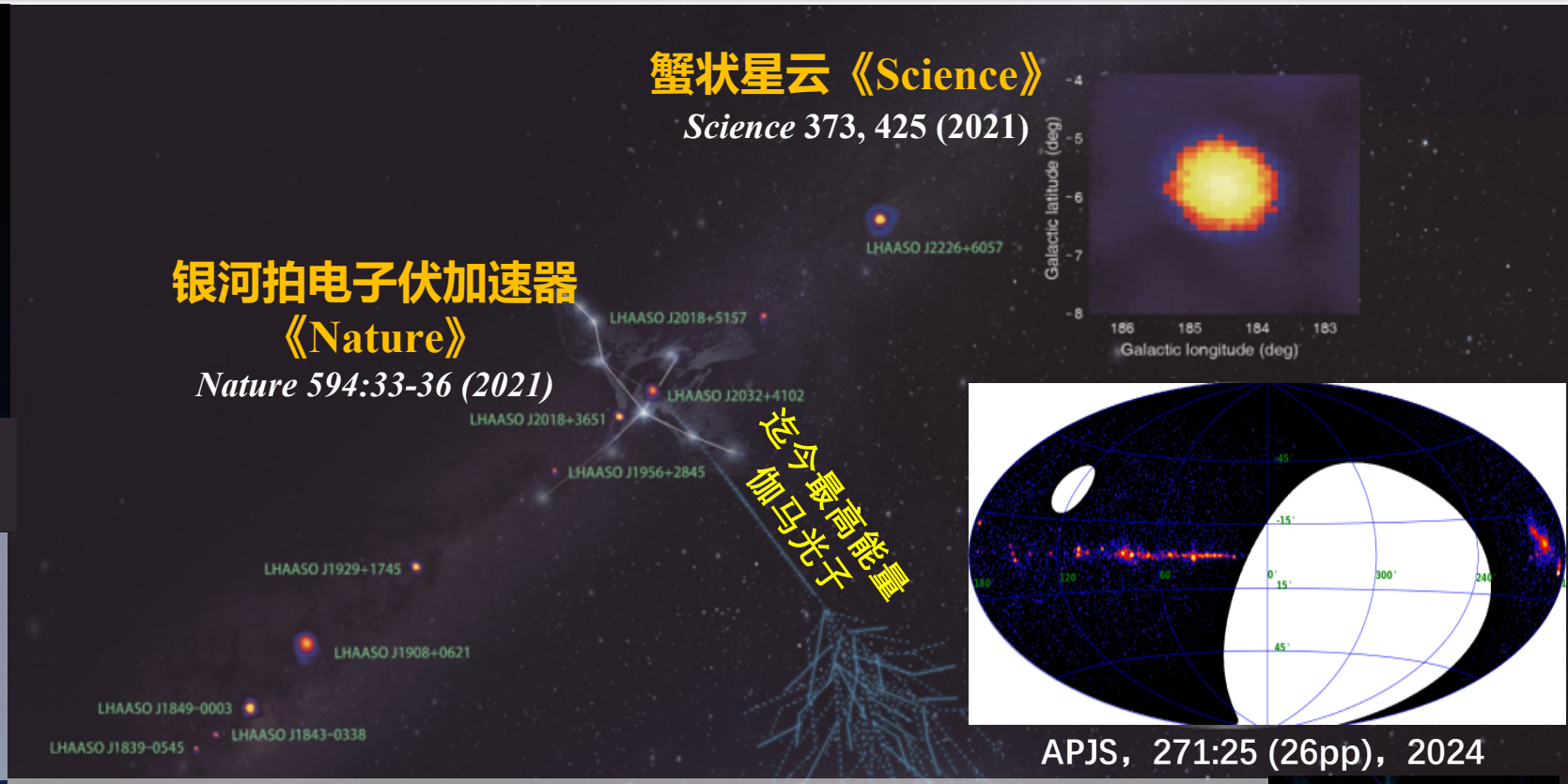
Nature Astron. 5, 8, 849 (2021)

蟹状星云《Science》

Science 373, 425 (2021)

银河拍电子伏加速器
《Nature》

Nature 594:33-36 (2021)

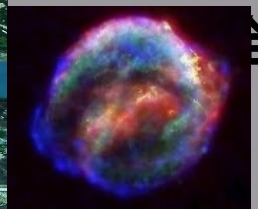


APJS，271:25 (26pp)，2024

➢ **LHAASO打开了前沿学科“超高能伽马天文学”**

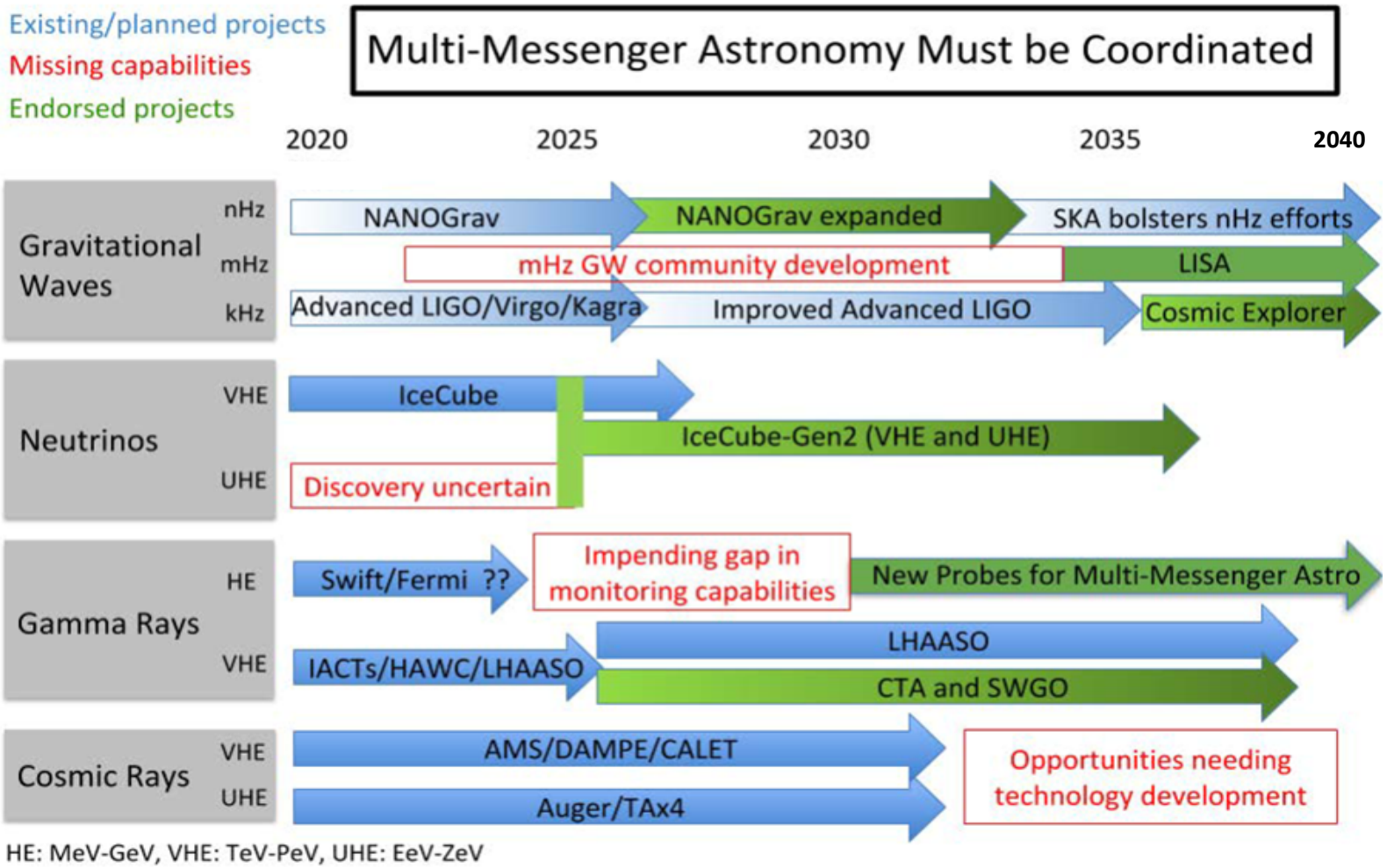
- 发现43个超高能伽马射线源
- 全新的非热宇宙探索热潮：新现象爆发式出现
- 几乎涵盖所有的高能天体：

  超新星遗迹、脉冲星脉、脉冲星风云、大质量星团



国际宇宙线未来大科学装置规划

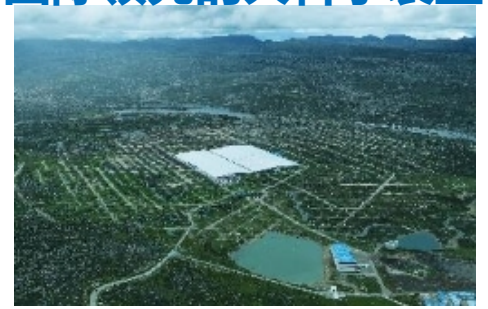
2021年美国发布了天文和天体物理十年规划 (Astro2020)



- LHAASO被美国Astro2020规划列为伽马射线和宇宙线研究领域的国际领先的实验装置，成为该规划中未来追赶的目标。
- 伽马天文未来布局
  - SWGO计划：南天区宽视场伽马射线天文台
  - CTA计划：南半球计划和北半球球计划

我国地面宇宙线实验历程与展望

国际领先的大科学装置

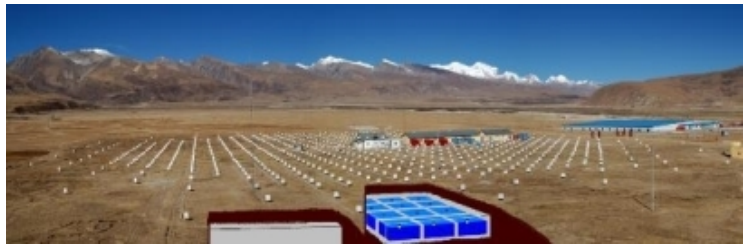


■ 2019 –：稻城海子山，LHAASO

下一代?

需要多项关键技术攻关

目标：破解宇宙线起源

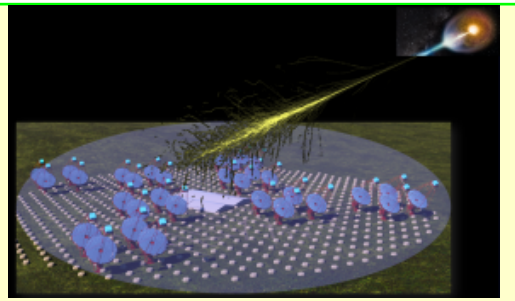


■ 1980s –：羊八井，Tibet ASγ、ARGO-YBJ

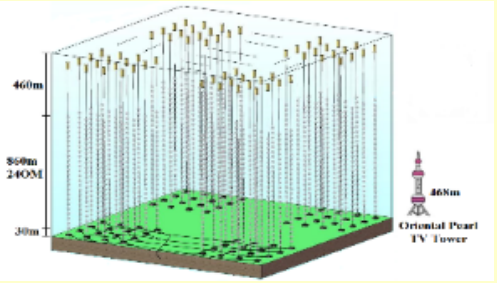
■ 1970s – 1980s：甘巴拉山，乳胶室

■ 1960s – 1970s：云南落雪山，大型云雾室

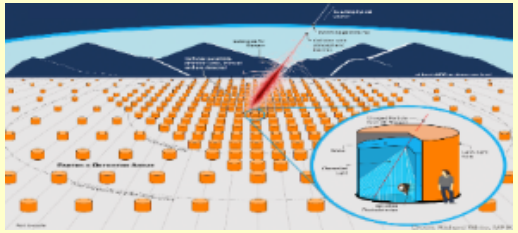
宇宙线实验仍需要发展



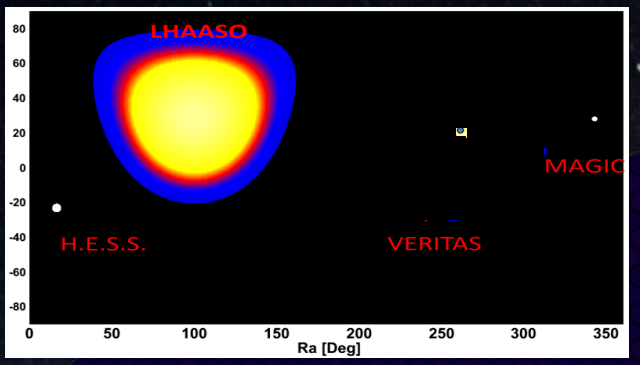
■ LACT：大型超高能伽马源立体跟踪观测设备



■ HUNT：高能中微子望远镜



■ SWGO：南方宽视场伽马天文台

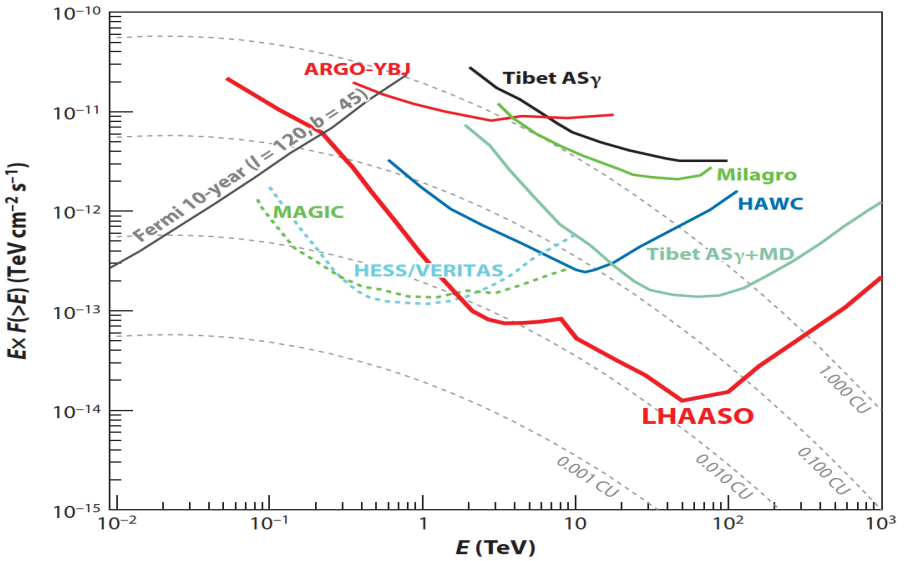


国际上正在运行的
伽马源跟踪观测设备
窄视场（<10°）
高角分辨

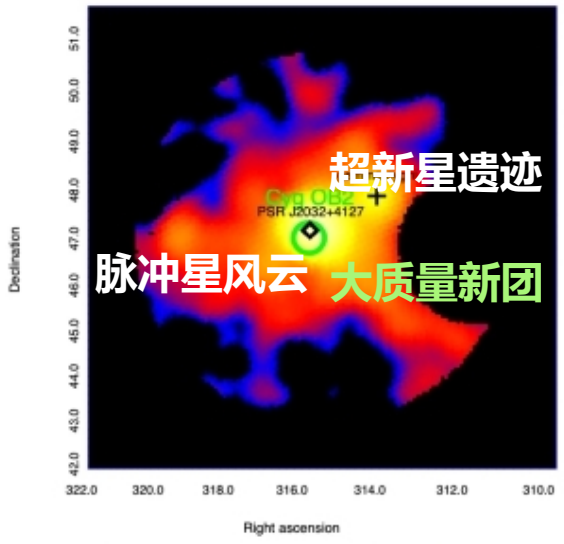
300 m ⌀ “light pool”, 10^5 m^2

国际上没有同时具备高角分辨、高灵敏度的观测设备

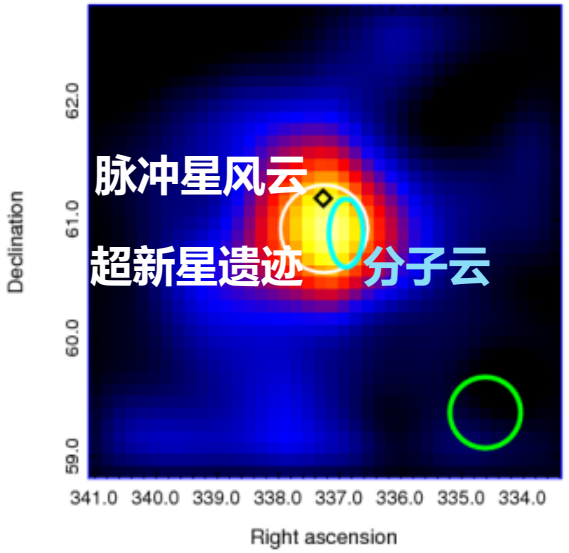
- 全天普查观测设备LHAASO：
  - 有足够的灵敏度发现超高能伽马源
  - 但角分辨（~0.3°）制约其精确测量源的内部精细结构
- 已有的伽马源跟踪观测设备：
  - 角分辨（~0.05°）
  - 但灵敏度不足以观测到超高能伽马源



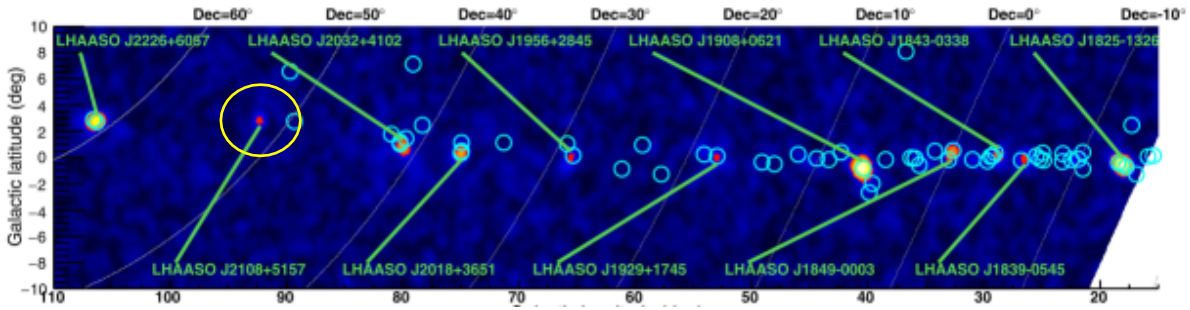
天鹅座宇宙线候选源天体



G106宇宙线候选源天体



CTA-LST、VERITAS、MAGIC 等跟踪观测设备均得到负结果：灵敏度不足！



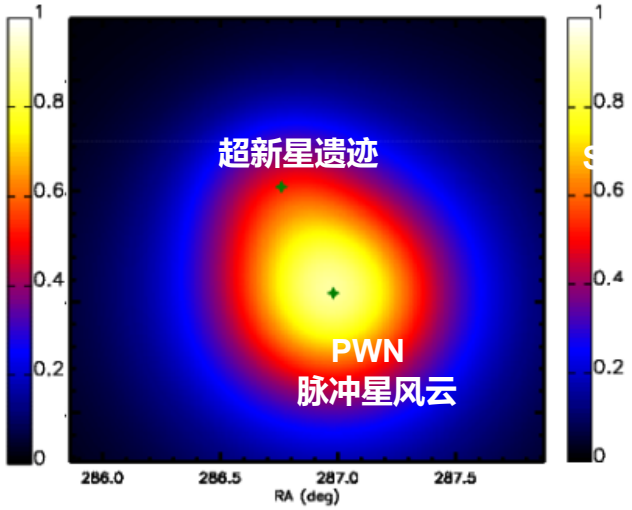
LHAASO, Nature, 594, 33-36, 2021

提出高角分辨、高灵敏度LACT计划

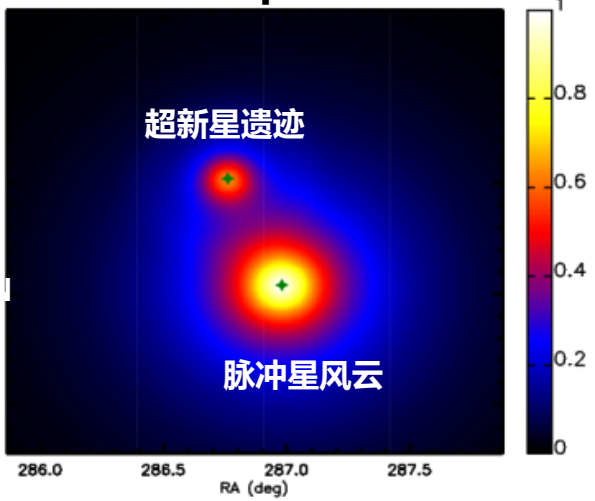
- LHAASO发现的超高能伽马源大部分都有结构（LHAASO, Nature, 594, 33-36, 2021）
- 需要**高角分辨、高灵敏度**的超高能伽马射线源跟踪观测设备
  - 定位超高能伽马光子**辐射位置，确定**超高能伽马射线**起源天体**
  - 测量源天体的内部结构及其**光谱精细特征**
- **核心科学目标：破解拍电子伏宇宙线起源世纪之谜，领跑宇宙线起源研究**

宇宙线候选源天体（J1908）

LHAASO measurement

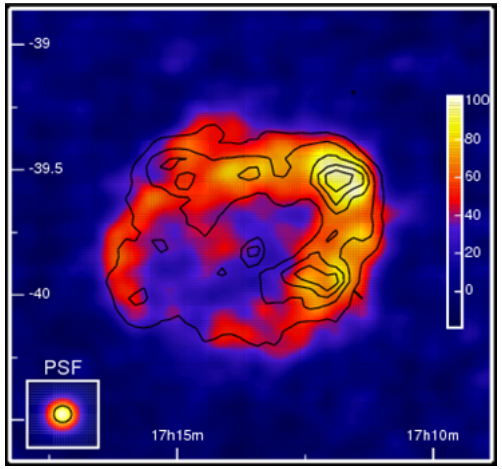


LACT expectation

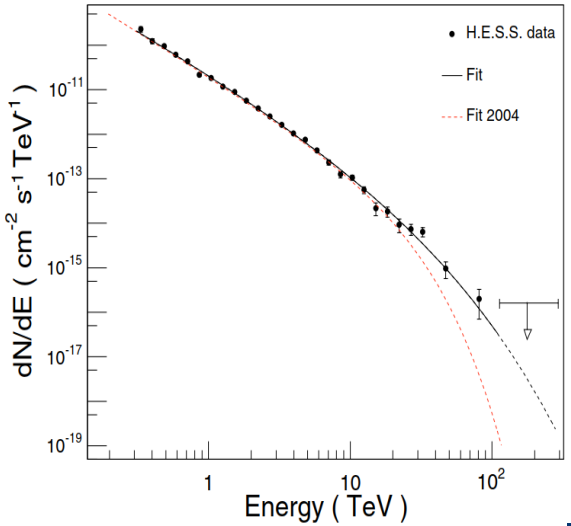


HESS，Aharonian et al., 2006 (astro-ph/0611813)

天体源内部细致结构



天体源的光谱特征



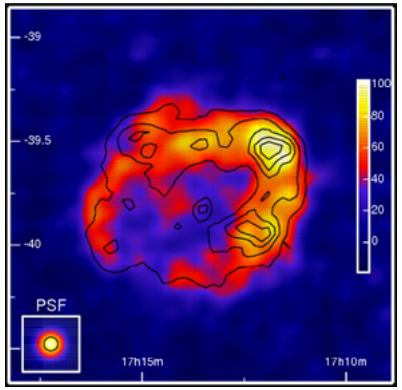
03

设计方案与性能指标

- 总体设计
- 单台望远镜设计

设计思想和总体结构

- LACT: 32台望远镜有机组成的空间立体成像观测装置
  - 至少4台望远镜组成立体观测：实现高角分辨
  - 实现和LHAASO相当的灵敏度@100TeV



Aharonian et al., 2006 (astro-ph/0611813)

灵敏度所及：< 0.07 PeV

三大关键技术

- 空间立体成像测量技术
- 同步跟踪观测技术
- 月夜观测技术

→ 伽马天体源高分辨率成像

有效观测面积最大

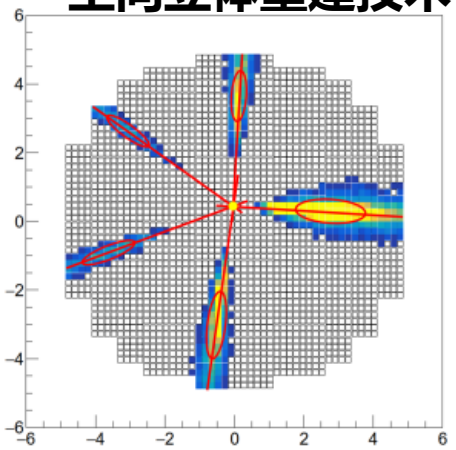
有效观测时间成倍增长

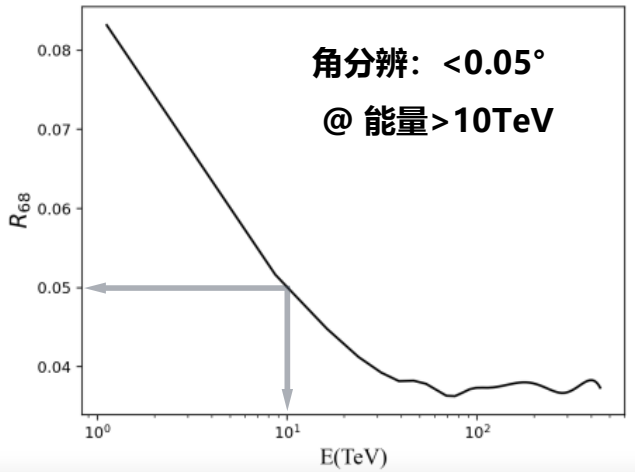
→ 超高能伽马射线最高探测灵敏度

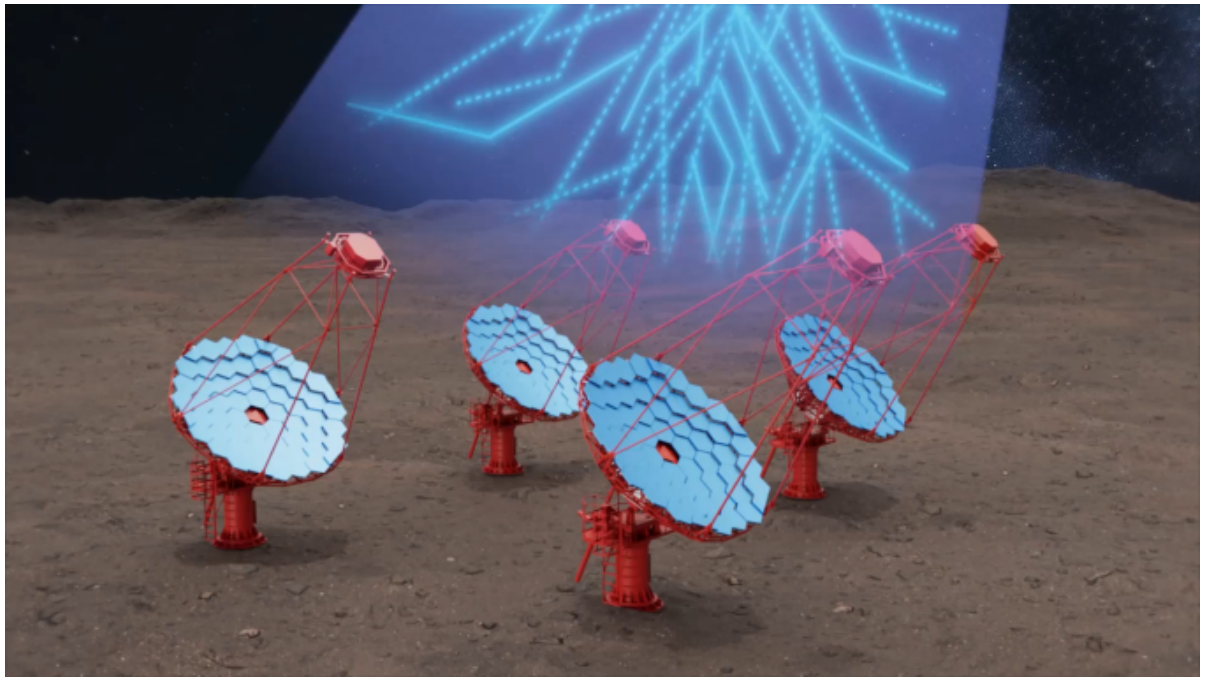
关键技术-1： 伽马射线空间立体成像测量技术

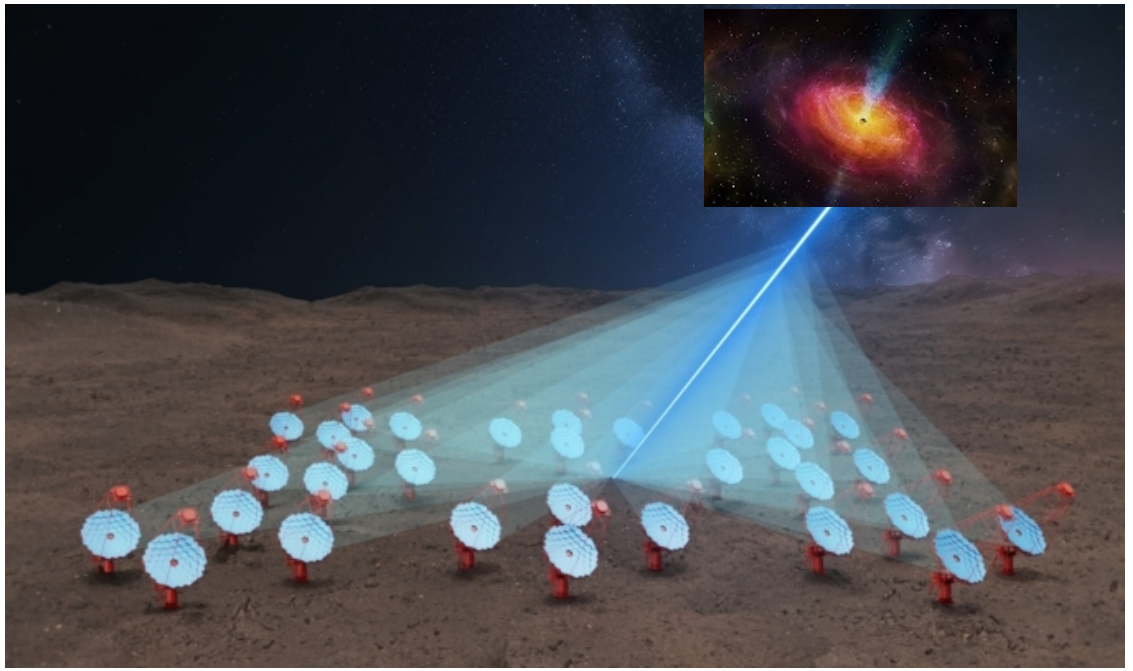
- **空间立体成像测量系统**
  - 每个伽马光子事例至少被4台望远镜**同时**测量
- **空间立体重建技术**
  - 角分辨达到 <**0.05°** @能量>10 TeV（国际先进水平）

空间立体重建技术



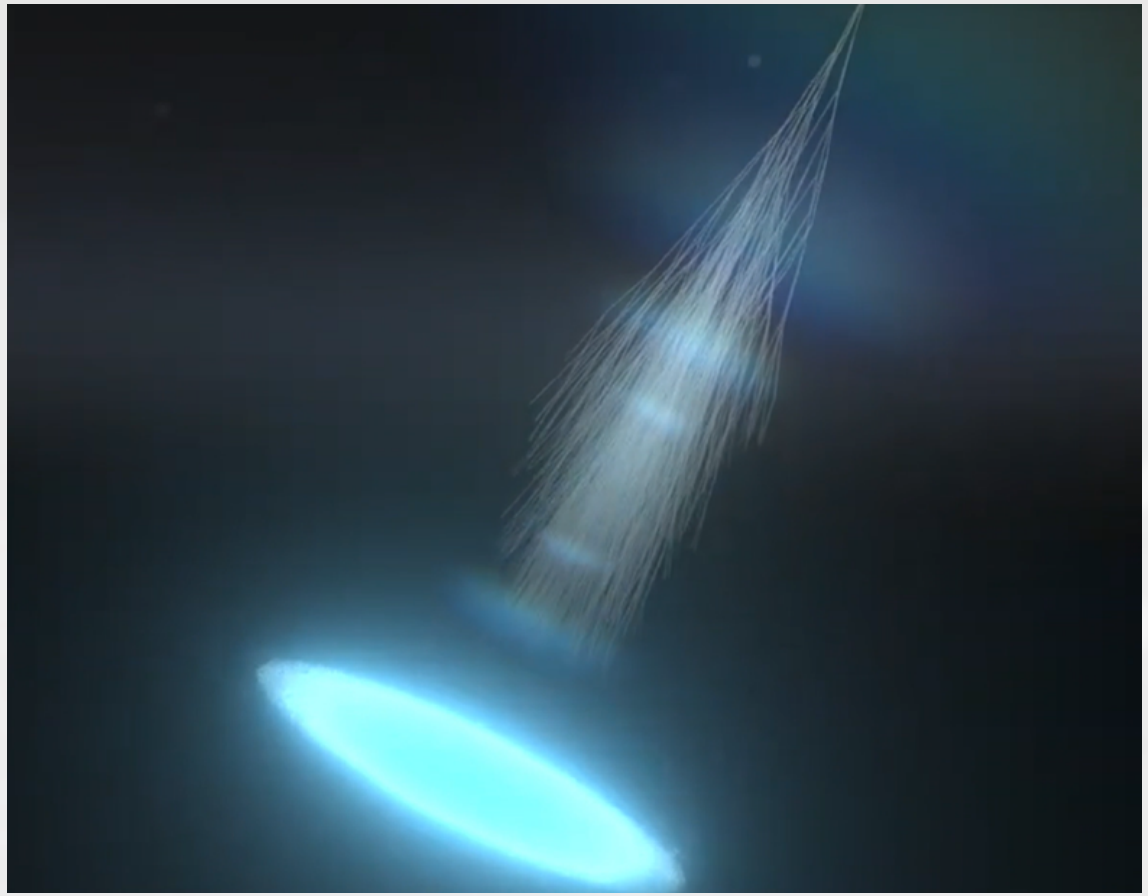






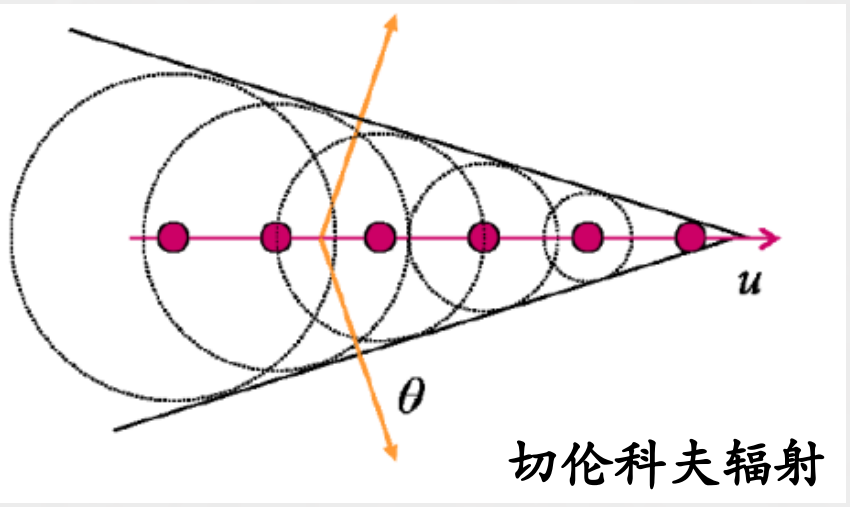
神秘蓝光----切伦科夫光

- 宇宙线及其产生的次级粒子能量非常高，速度非常快，超过该介质中的光速时，便会发出切伦科夫辐射。



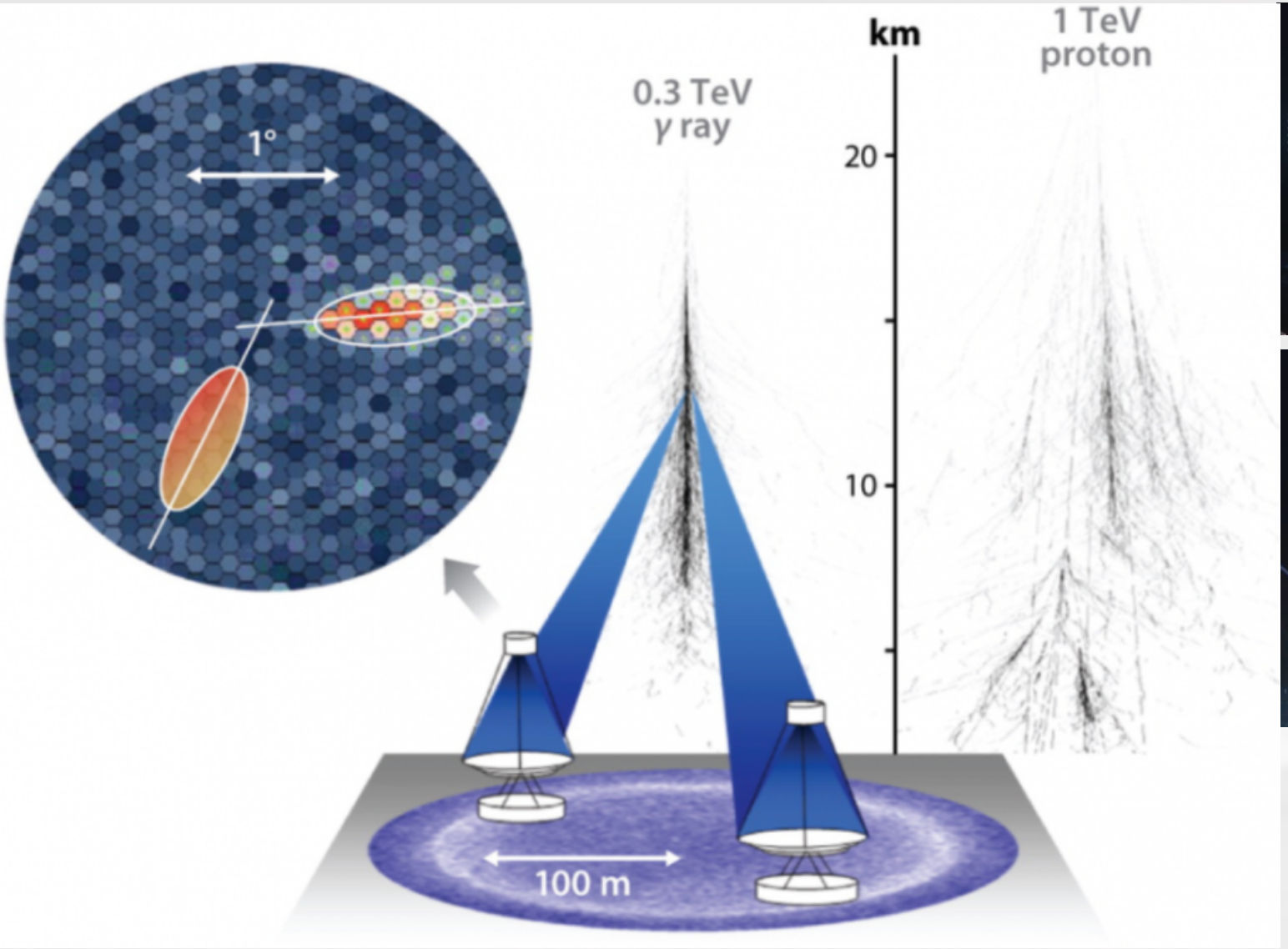
- 1934年由前苏联物理学家帕维尔·阿列克谢耶维奇·**契伦科夫发现了切伦科夫辐射**
- 1937年**另外两名俄国物理学**家伊利亚·弗兰克和伊戈尔·塔姆**成功地解释了**契伦科夫辐射的成因
- 1956年，三人共同获得诺贝尔奖

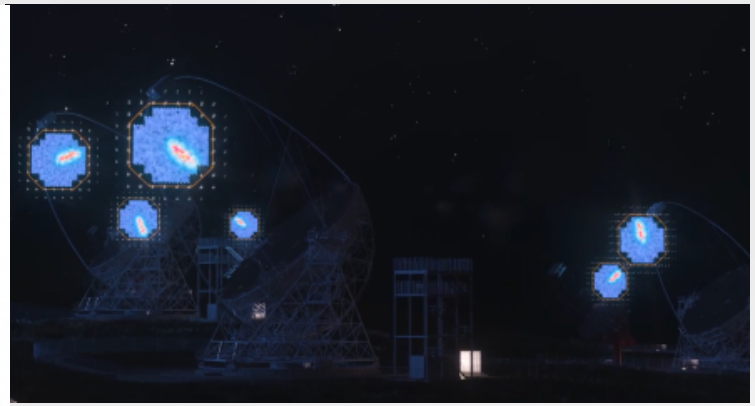
切伦科夫

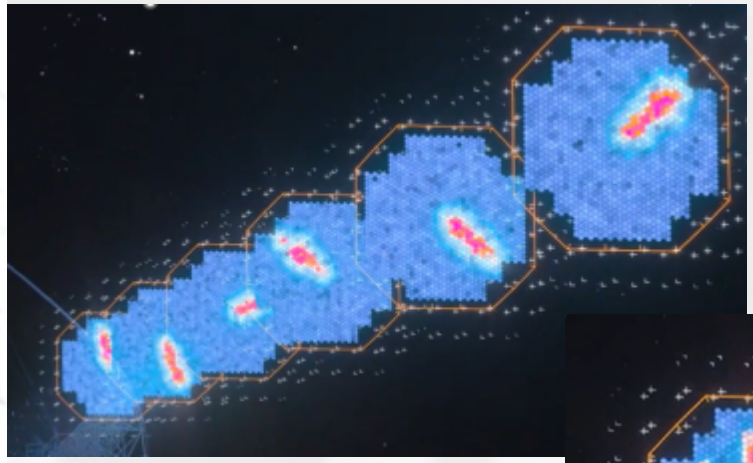


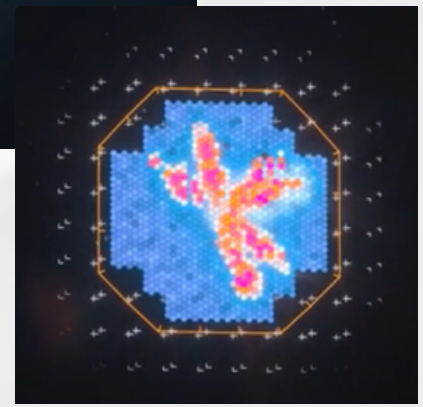
切伦科夫辐射

独特的成像技术----空间立体重建





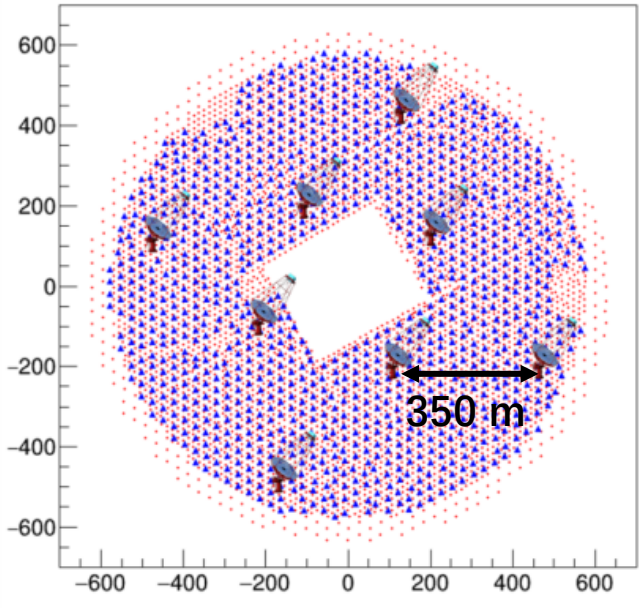




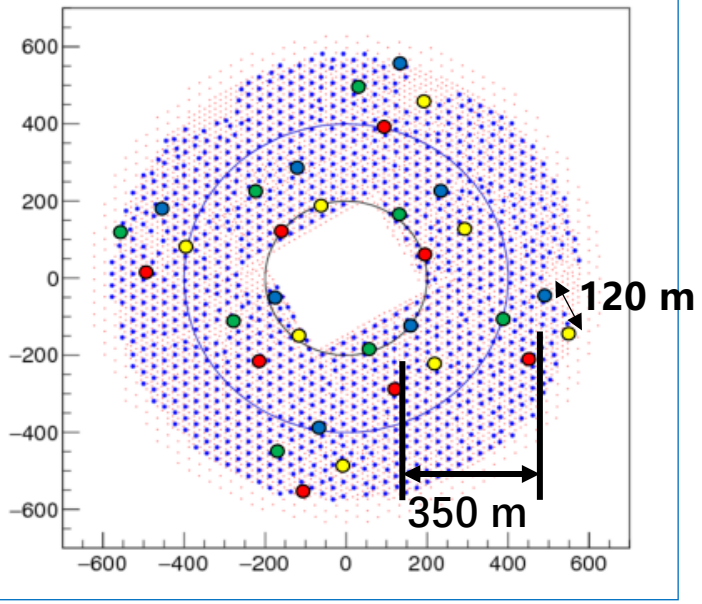
关键技术-2：32个成像单元同步跟踪观测技术（1）

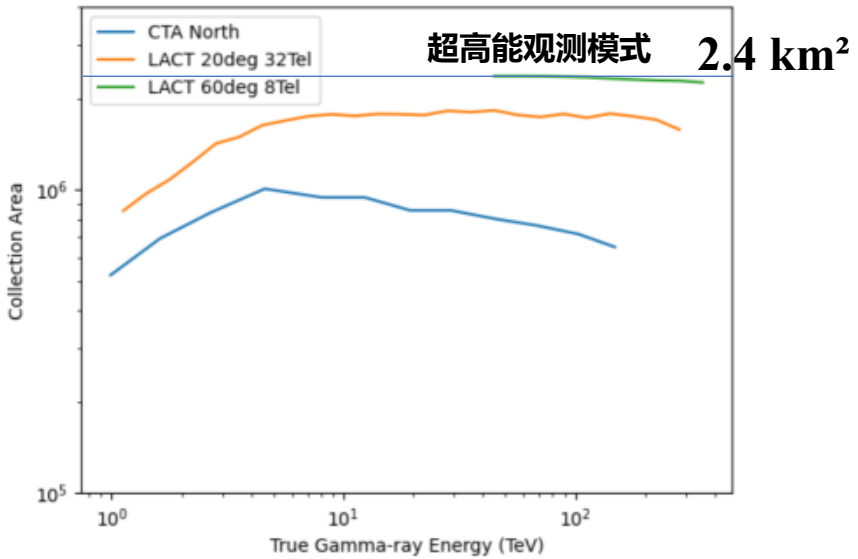
- 观测模式1：超高能观测模式（大天顶角：θ>50°）
- 8台望远镜同时跟踪一个源
  - 能量：50 TeV – 1 PeV
  - 角分辨：< 0.06° @ E>50 TeV
  - 32台分成4组，同时跟踪观测4个源

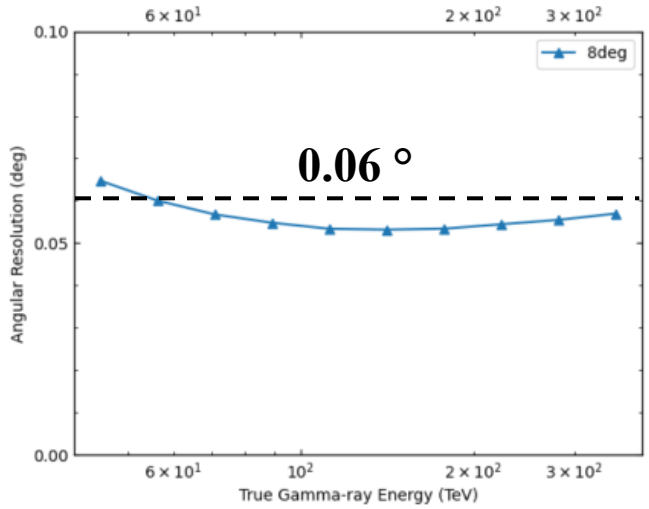
8 台望远镜



32 台望远镜

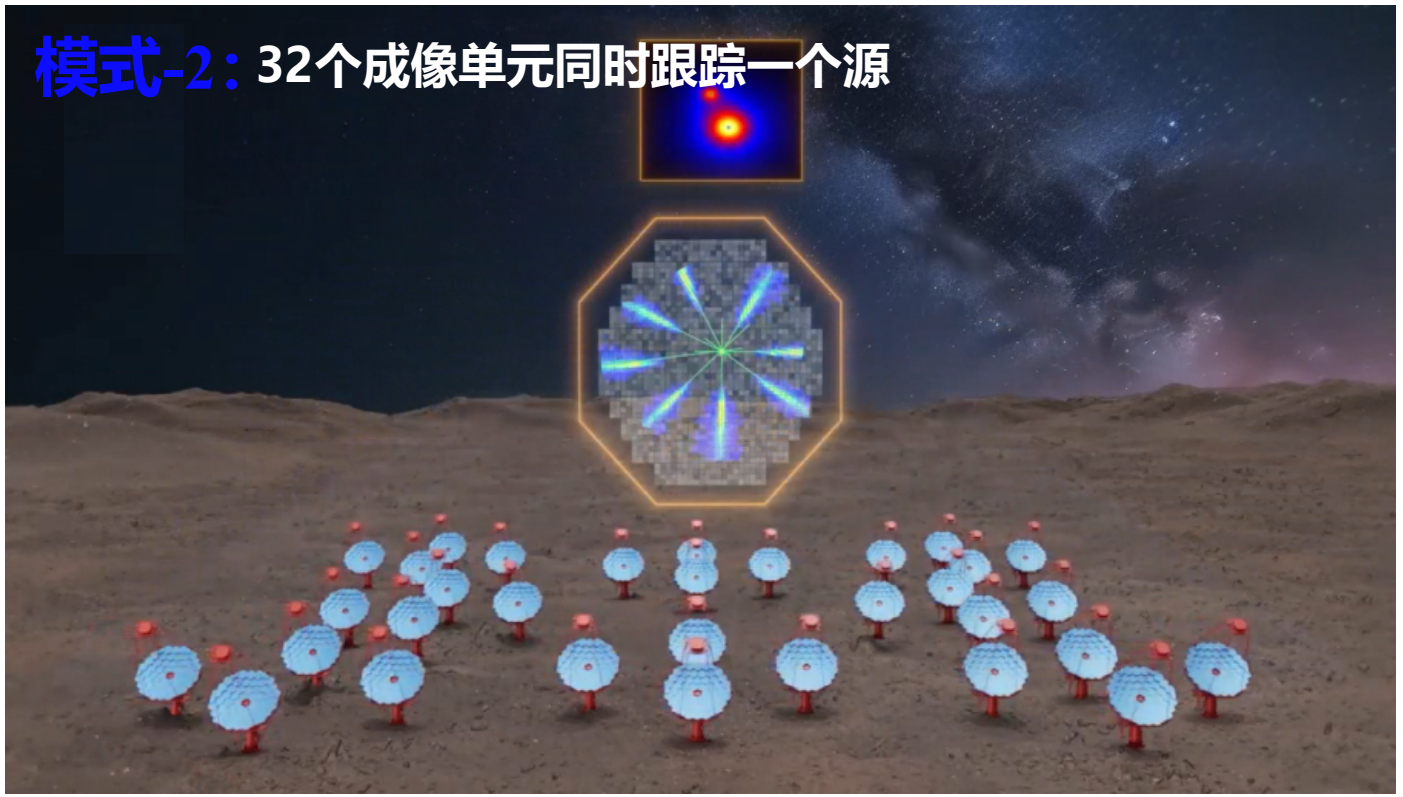


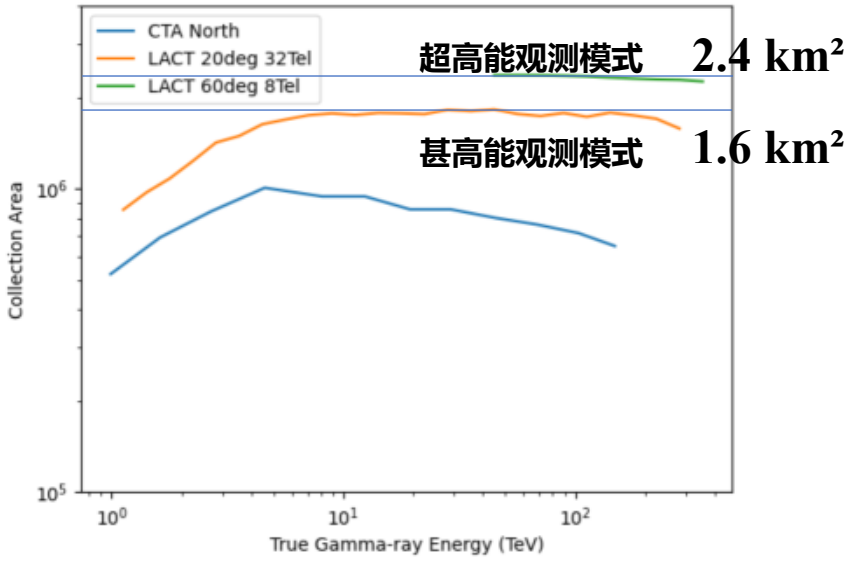


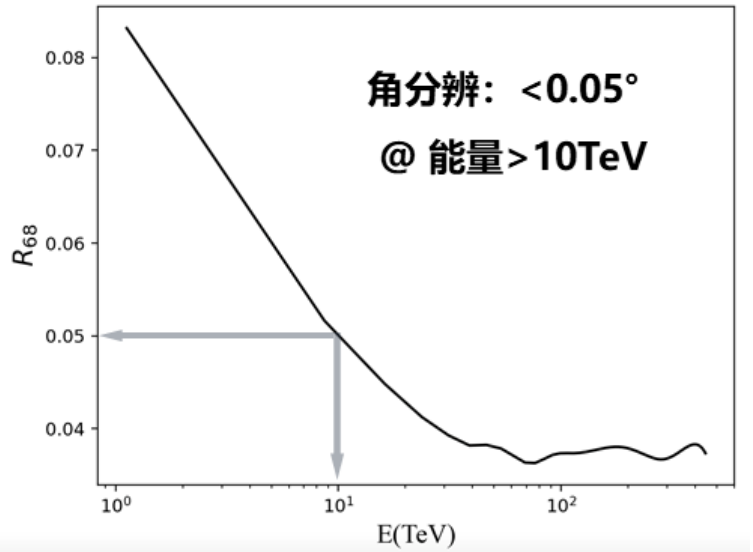


关键技术-2：32台望远镜同步跟踪观测技术（2）

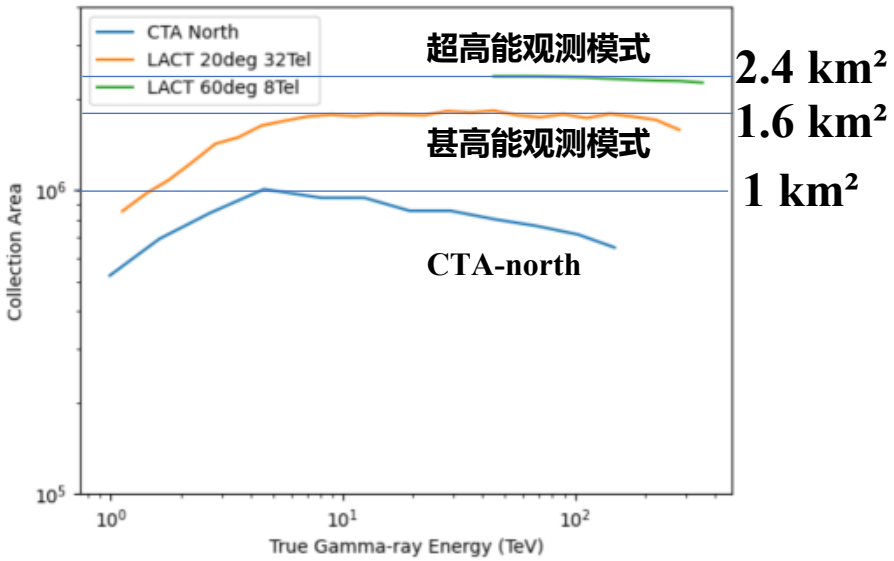
- 观测模式2：甚高能观测模式（小天顶角：θ <50°）
- 32台望远镜同时跟踪一个源
  - 能量：1 TeV – 50 TeV
  - 角分辨：< 0.05° @ E>10 TeV

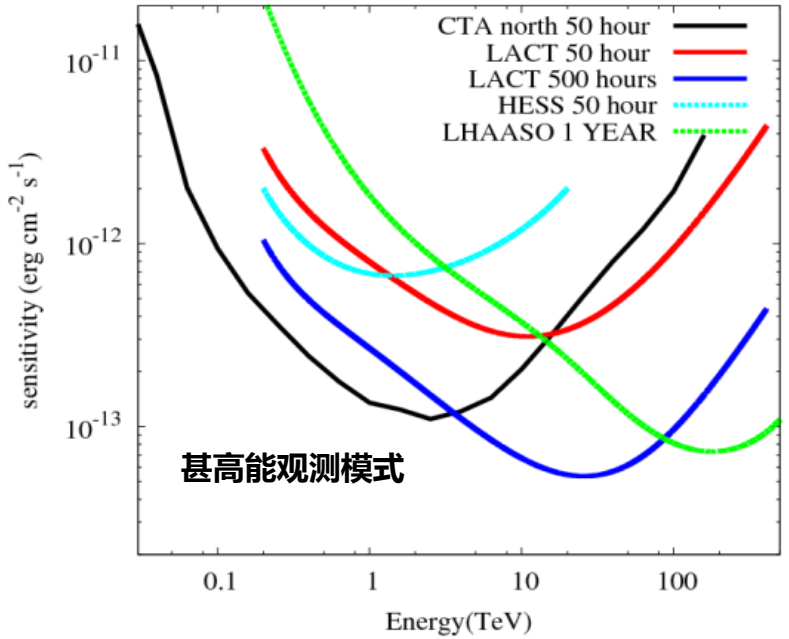


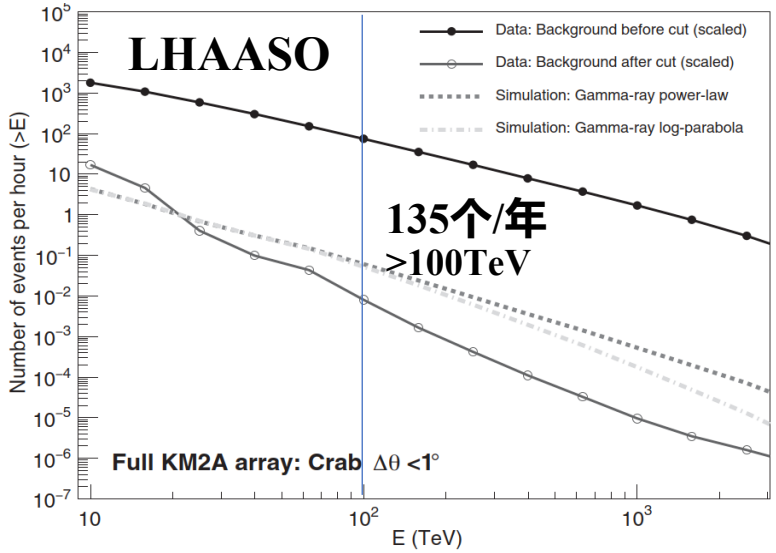




关键技术-2：32个成像单元同步跟踪观测技术（3）







- LACT超高能伽马光子估计：来自Crab的超高能伽马光子（>100TeV），~1000 小时
  - 甚高能观测模式：25个/年
  - 超高能观测模式（32台分4组观测）：37个/年/组×4组=148个/年，和LHAASO相当

Table 2: **Observation times for specific sources by LACT between October 1, 2024, and April 1, 2025, categorized by zenith angles below 50° and between 50-70°. This calculation does not take weather conditions into account and represents an ideal scenario.**

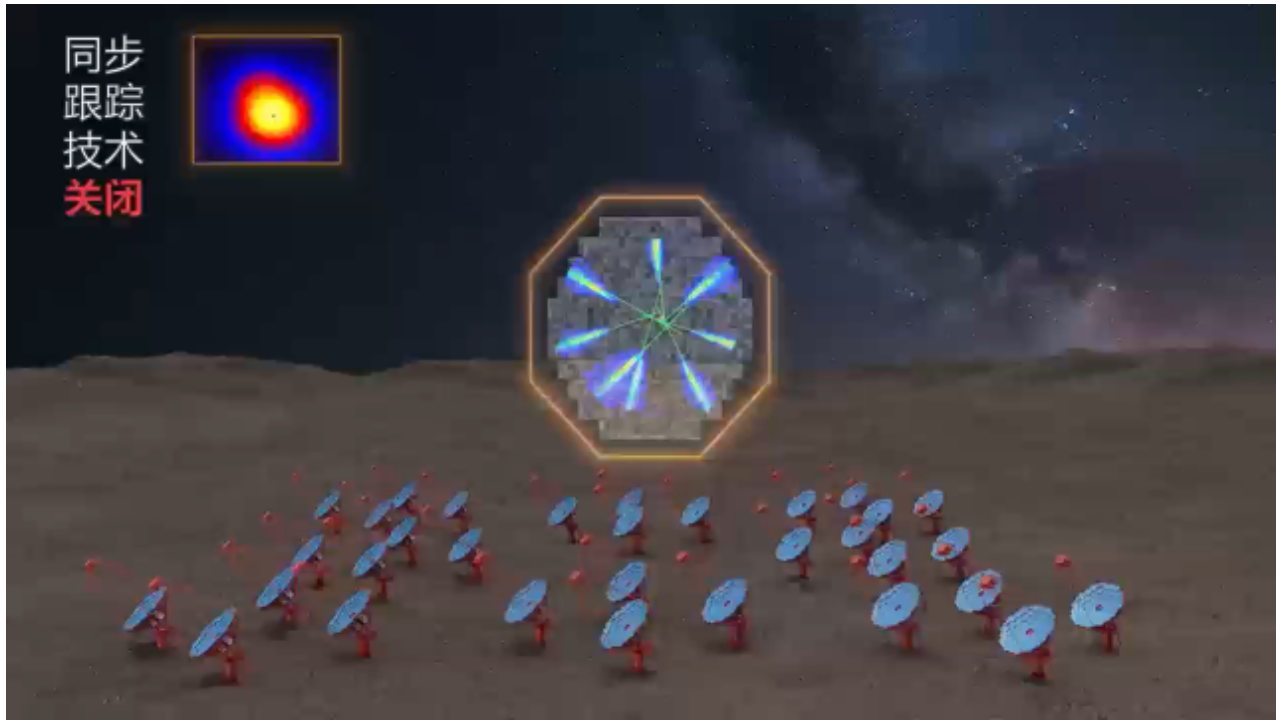
Source	RA	DEC	0–50°	50–70°
SS433	19h10m37s	+05d02m13s	75h	152h
J1908+0621	19h08m12s	+06d21m0s	76.25h	154.75h
Galactic center	17h45m39.6s	-29d0m22s	0h	37h
J1825-134	18h25m49s	-13d46m35s	2.5h	99h
J2226+6057	22h27m0s	+60d57m	386h	371h
cygnus	20h31m33s	+41d34m38s	217h	233h

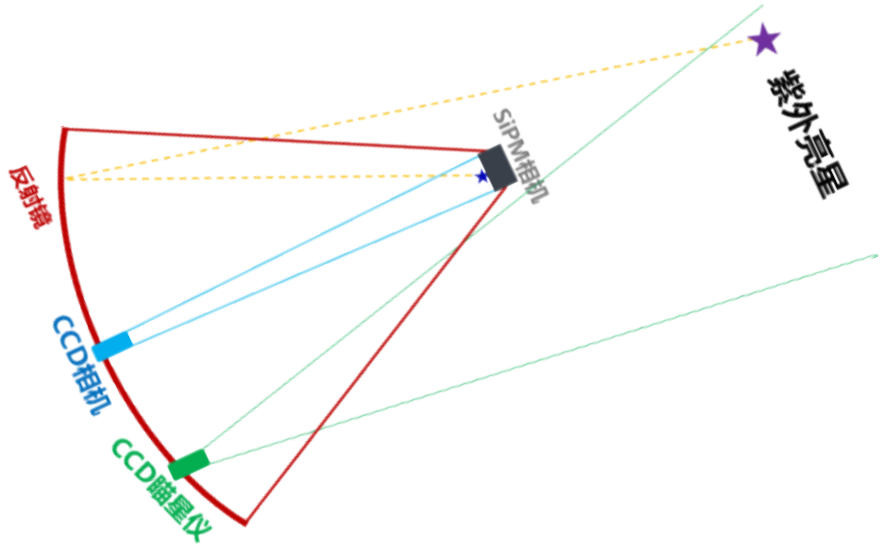
关键技术-2：32个成像单元同步跟踪观测技术（4）

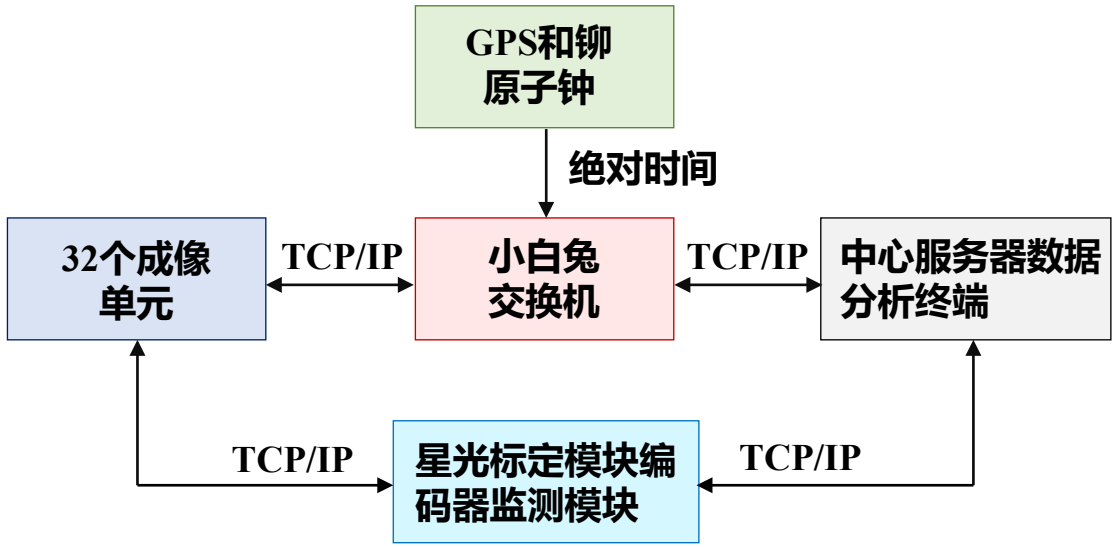
➢ **同步跟踪观测技术路线和指标**

三个技术诀窍：

- **指令响应同步：**同步转动时间 < 0.1 s
- **指向绝对标定：**望远镜指向精度 < 36 角秒（0.01°）
- **指向高精度实时监测：**监测精度 < 10 角秒（0.003°）





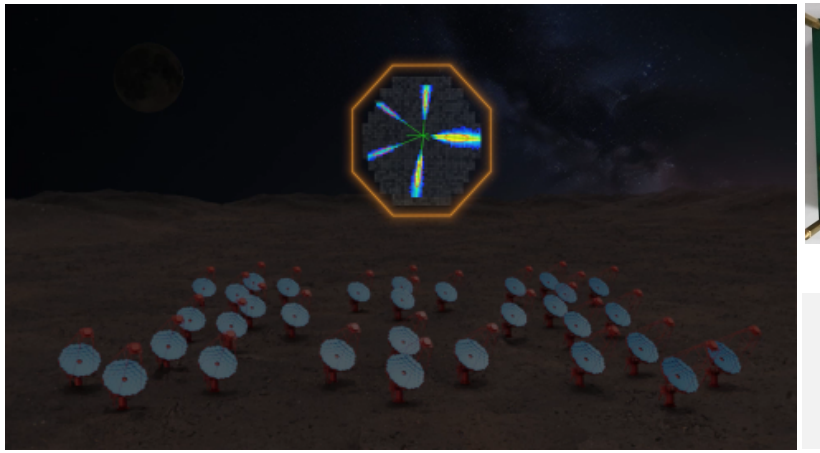


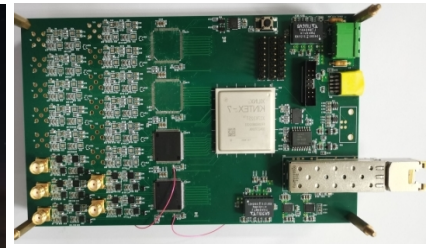
关键技术-3：月夜观测技术——观测时间增加2倍

➢ 技术路线

- **采用耐强光的先进硅光电管（SiPM）**
  - 遇强光照射不老化
  - **满月下可正常观测**
- **采用夜空背景光压低技术，提高信噪比**
  - 紫外带通滤波片：过滤长波段夜空背景光或月光
  - 缩小积分窗口：窄脉冲输出
- **采用高速专用集成芯片（ASIC）**
- **实现高集成低功耗读出电子学系统**

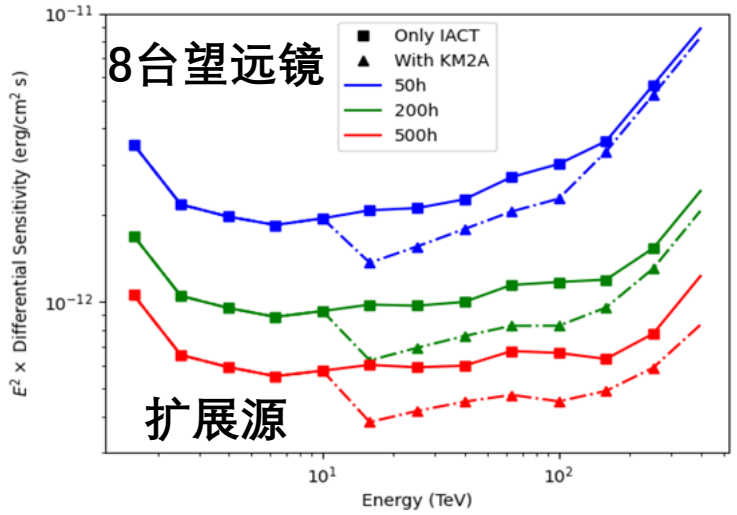
参数	指标要求
SiPM相机总像素	1616
像素大小	~ 0.2°
视场范围	~ 8°
SiPM 输出脉宽	FWHM < 30 ns
动态范围	3.2量级
电荷测量分辨率	< 5% @ > 1000 P.E.

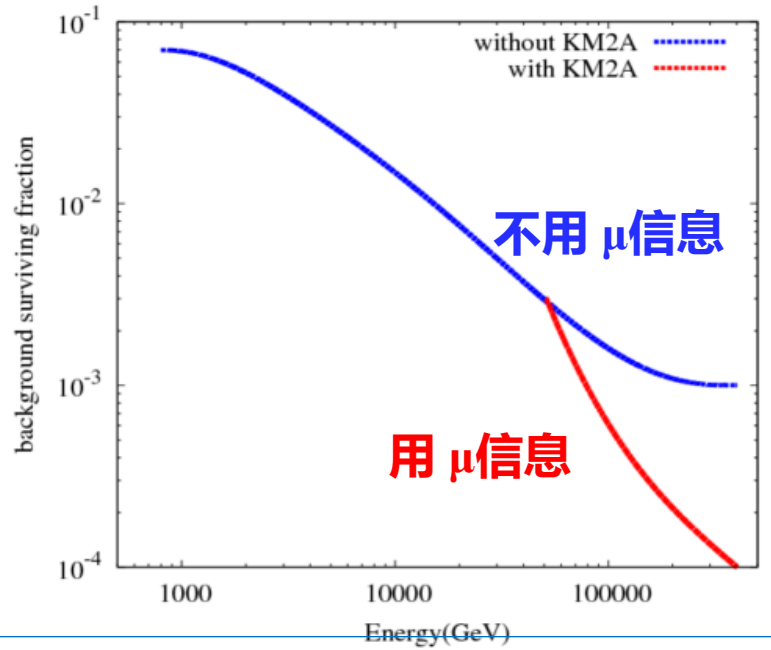




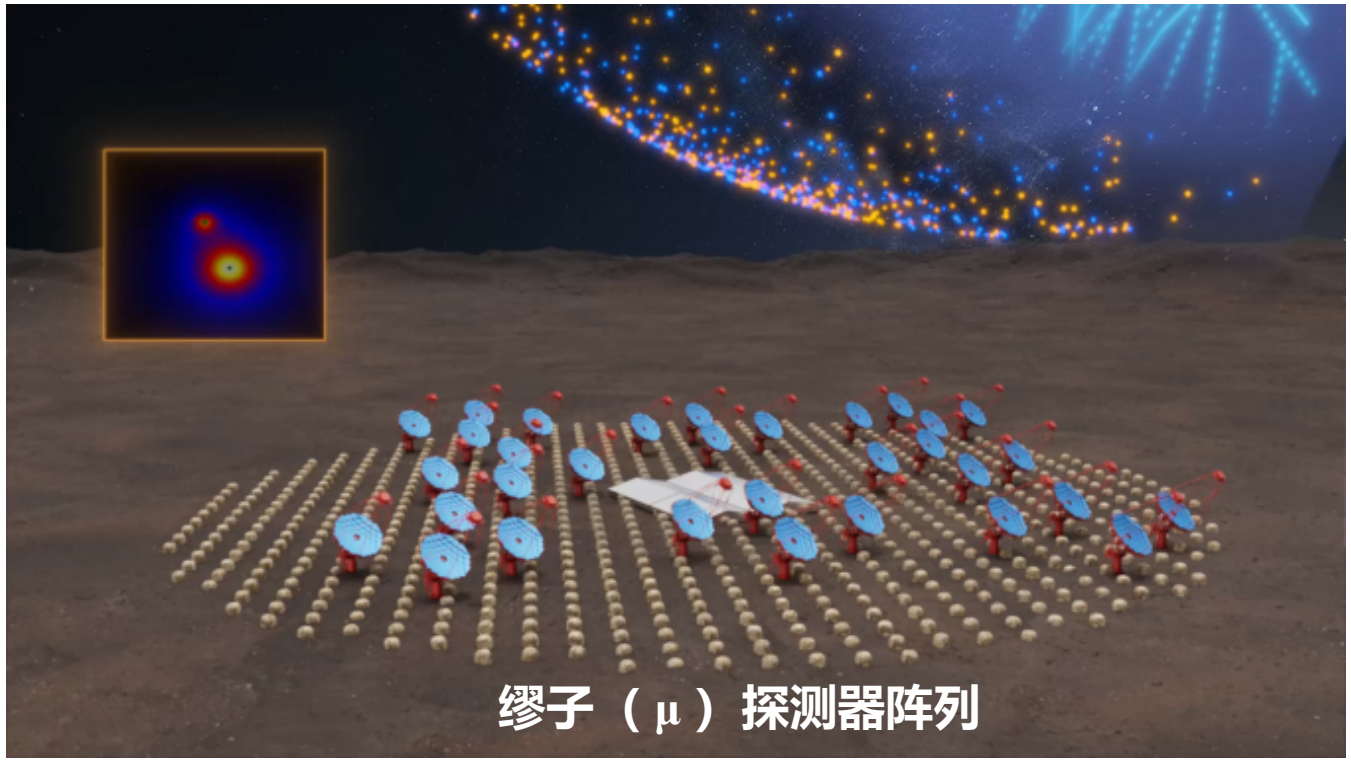
自研高速专用集成芯片
样片评估板
(1GSPS, 10-bit, 16通道)

LACT站址：LHAASO站点，现成的缪子测量信息

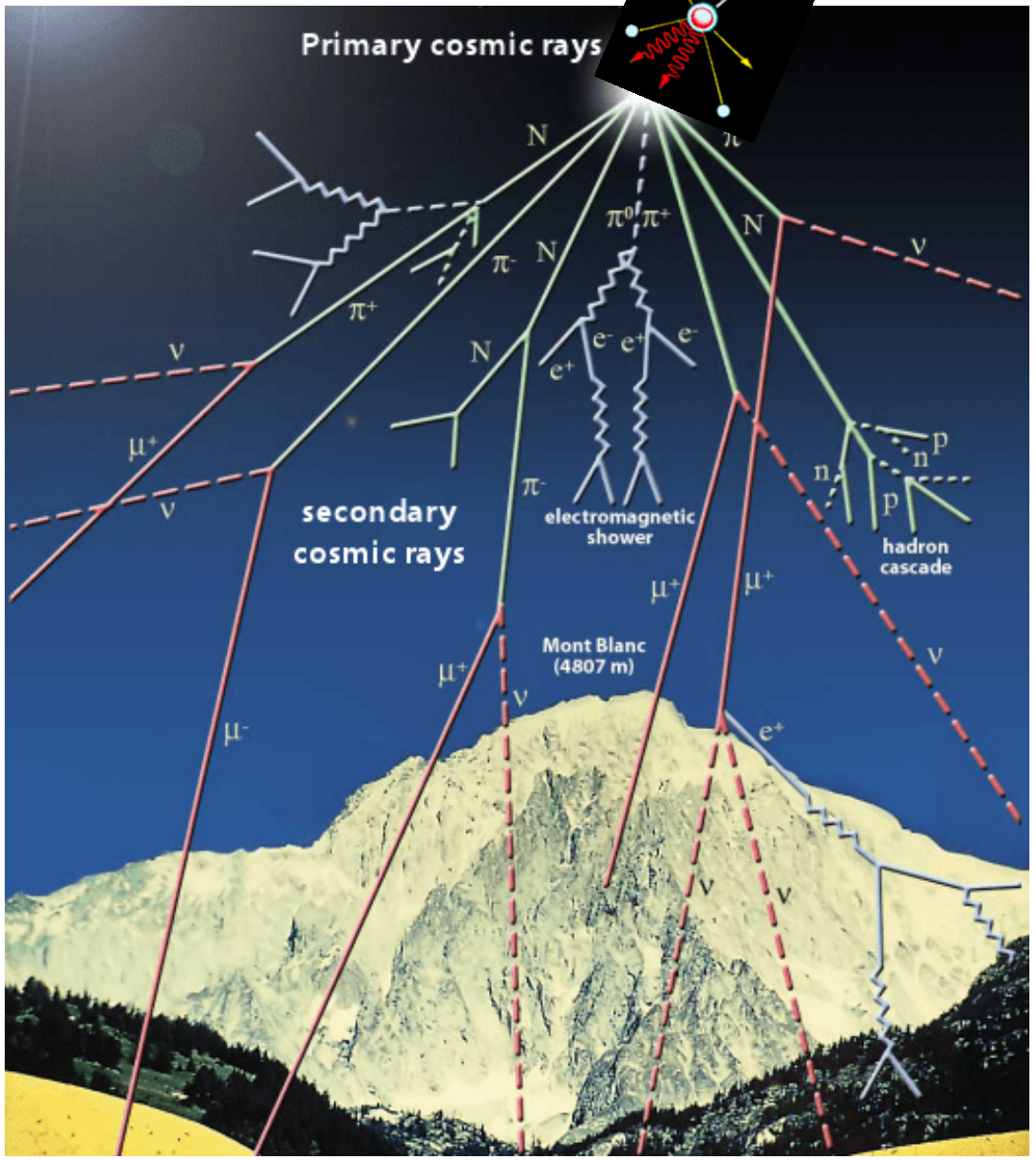


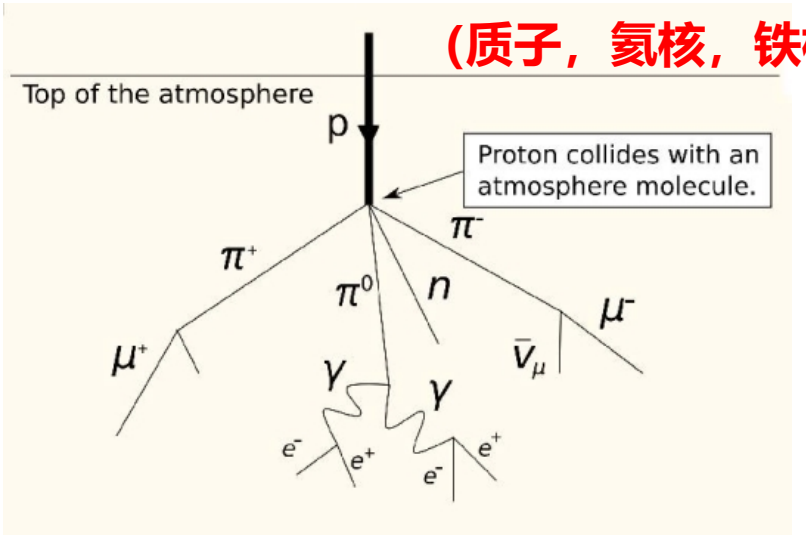


- LHAASO缪子（μ）探测器阵列
- 世界上面积最大的缪子探测器阵列
- 具有**国际领先**的超强背景噪声能力



如何探测宇宙线线?

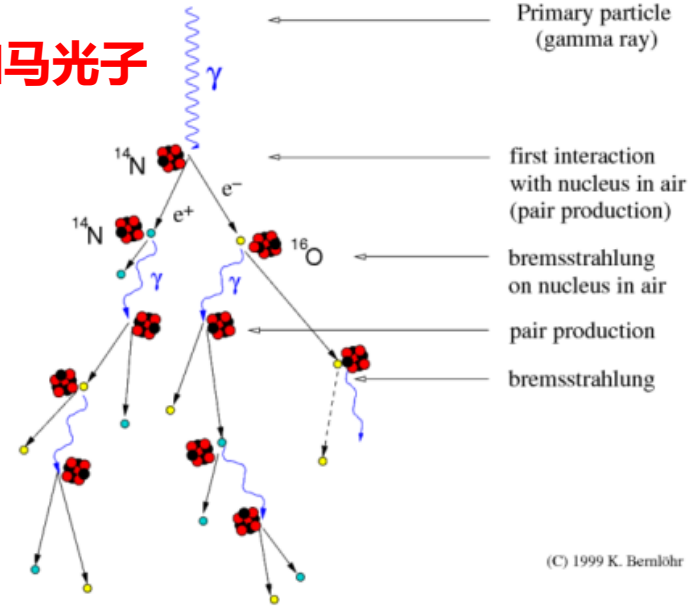




（质子，氦核，铁核等核子）

Development of gamma–ray air showers

伽马光子



次级粒子：

正负电子、

伽马光子、

强子、

μ子、

中微子、

荧光、

Cherenkov光。

Table 1. LHAASO vs other EAS arrays

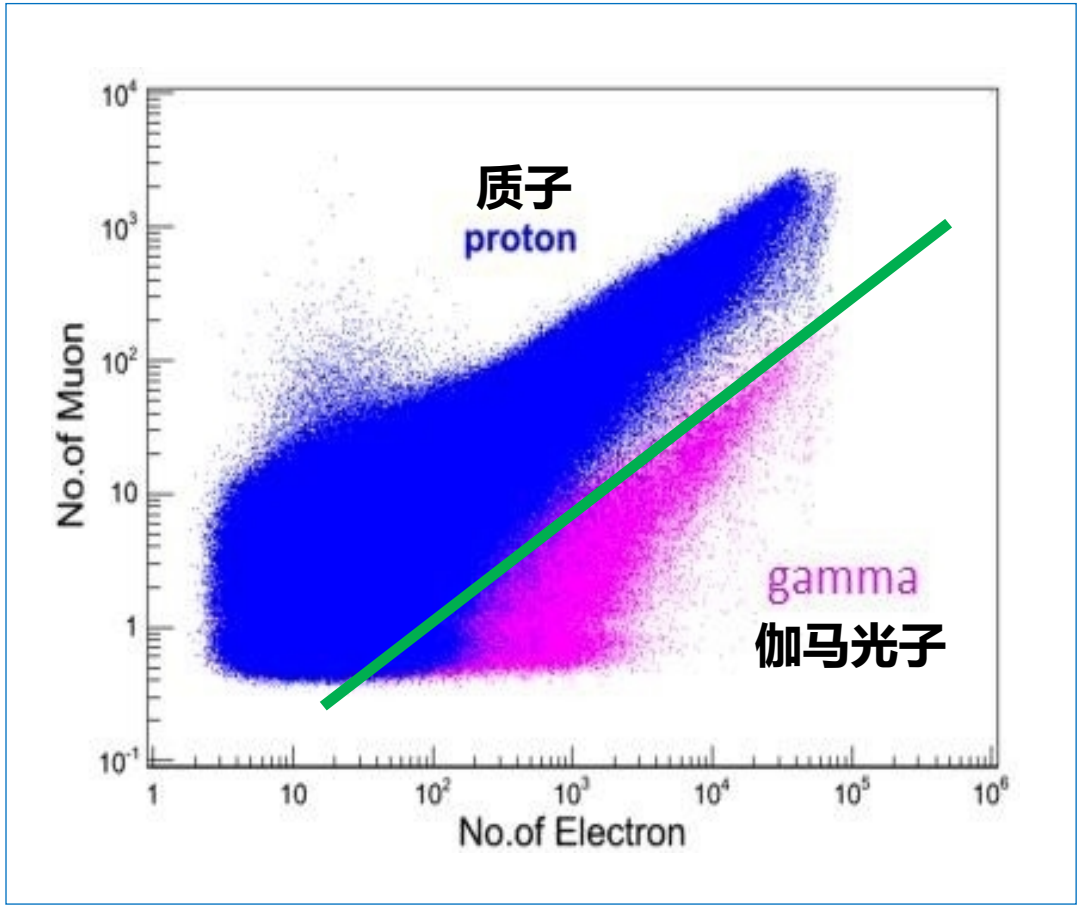
Experiment	depth g/cm^2	Detector	ΔE (eV)	e.m. Sensitive Area (m^2)	Instrumented Area (m^2)	Coverage
ARGO-YBJ	606	RPC/hybrid	$3\times10^{11}-10^{16}$	6700	11,000	0.93 (central carpet)
BASJE-MAS	550	scint./muon	$6\cdot10^{12}-3.5\cdot10^{16}$		10^4	
TIBET ASγ	606	scint./burst det.	$5\times10^{13}-10^{17}$	380	3.7×10^4	10^{-2}
CASA-MIA	860	scint./muon	$10^{14}-3.5\cdot10^{16}$	1.6×10^3	2.3×10^5	7×10^{-3}
KASCADE	1020	scint./mu/had	$10^{15}-10^{17}$	5×10^2	4×10^4	
KASCADE -Grande	1020	scint./mu/had	$10^{16}-10^{18}$	370	5×10^5	7×10^{-4}
Tunka	900	open Cher.det.	$3\cdot10^{15}-3\cdot10^{18}$	-	10^6	-
IceTop	680	ice Cher.det.	$10^{15}-10^{18}$	4.2×10^2	10^6	4×10^{-4}
LHAASO	600	Water C scint./mu/had Wide FoV Cher.Tel	$3\times10^{11}-10^{18}$	5.2×10^3	1.3×10^6	4×10^{-3} [KM2A]

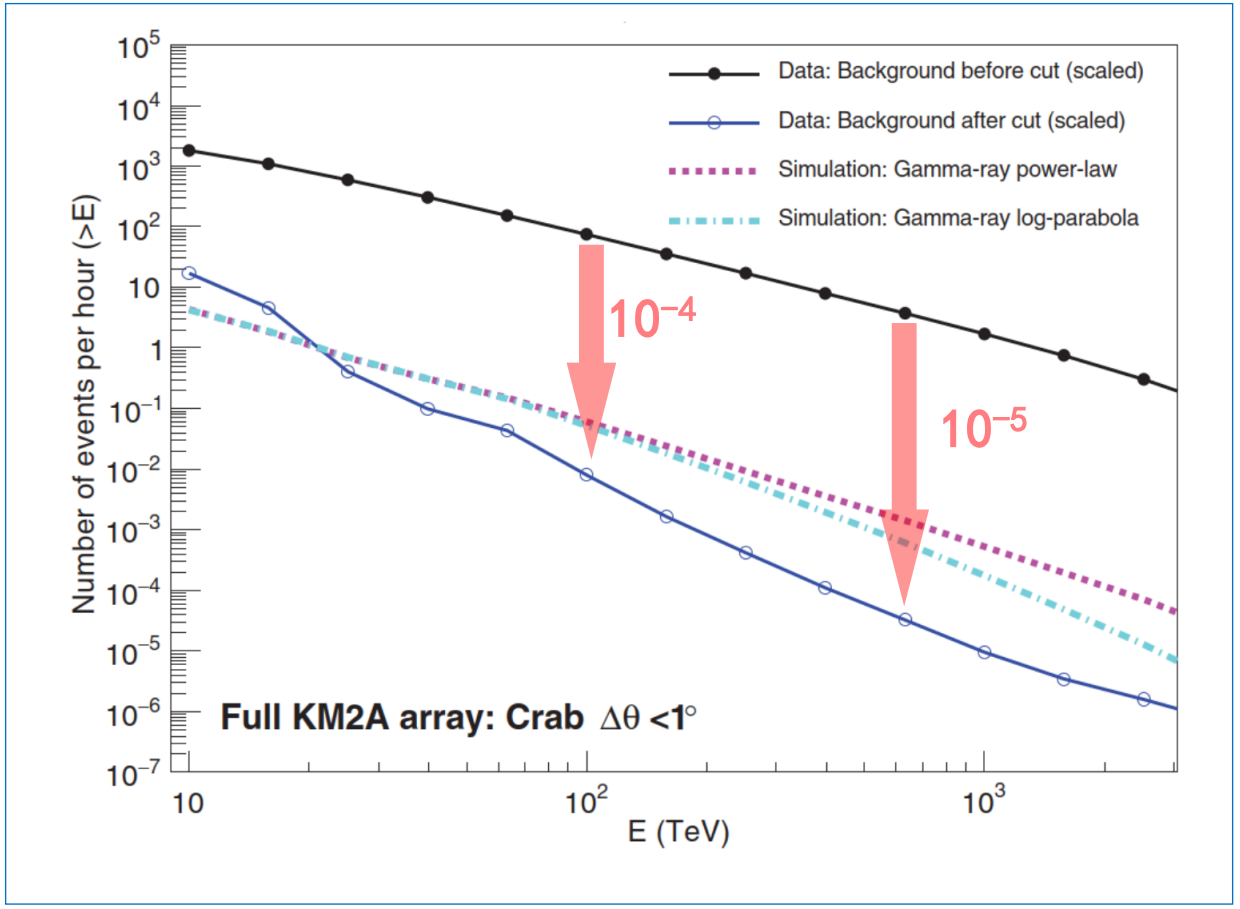
Muon detectors

Experiment	m asl	μ Sensitive Area [m^2]	Instrumented Area [m^2]	Coverage
LHAASO	4410	4.2×10^4	10^6	4.4×10^{-2}
TIBET ASγ	4300	4.5×10^3	3.7×10^4	1.2×10^{-1}
KASCADE	110	6×10^2	4×10^4	1.5×10^{-2}
CASA-MIA	1450	2.5×10^3	2.3×10^5	1.1×10^{-2}

LHAASO science book

缪子个数的宇宙线排除能力



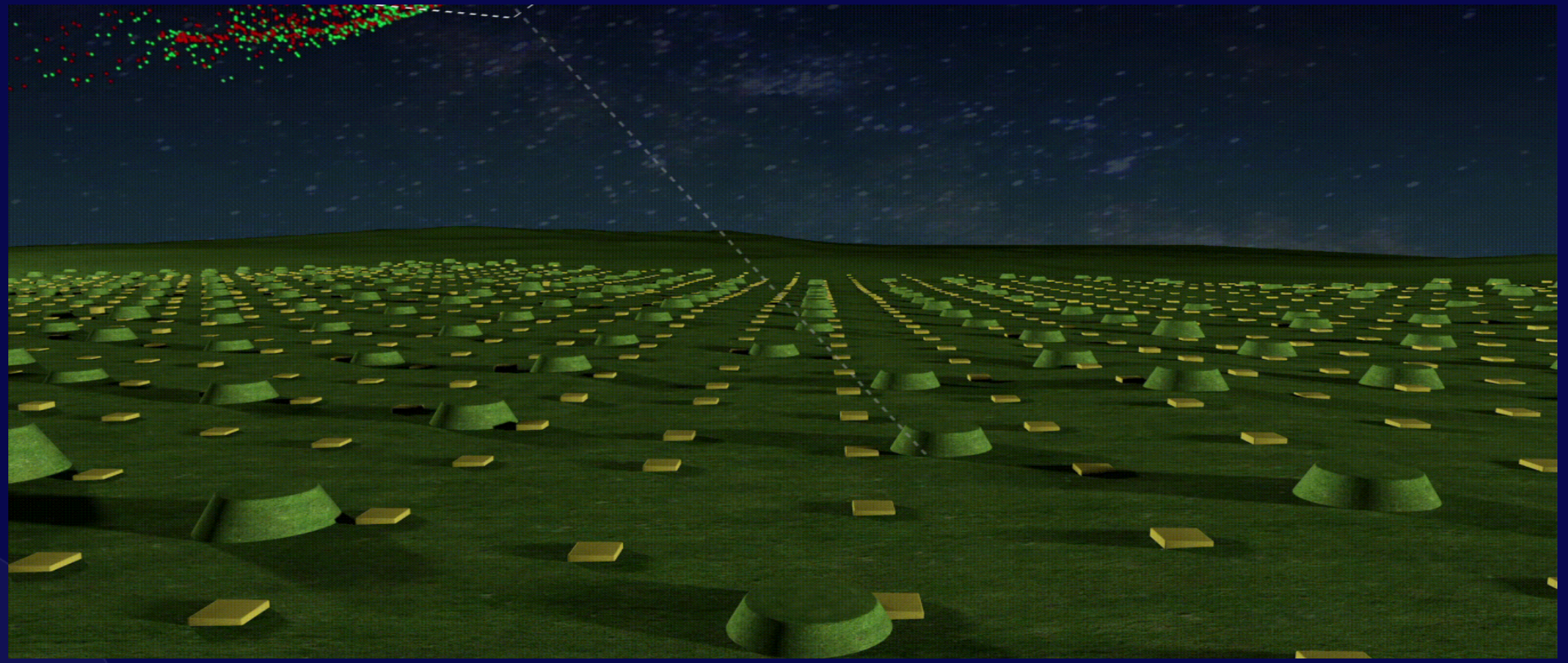


蟹状星云《Science》

***Science* 373, 425 (2021)**

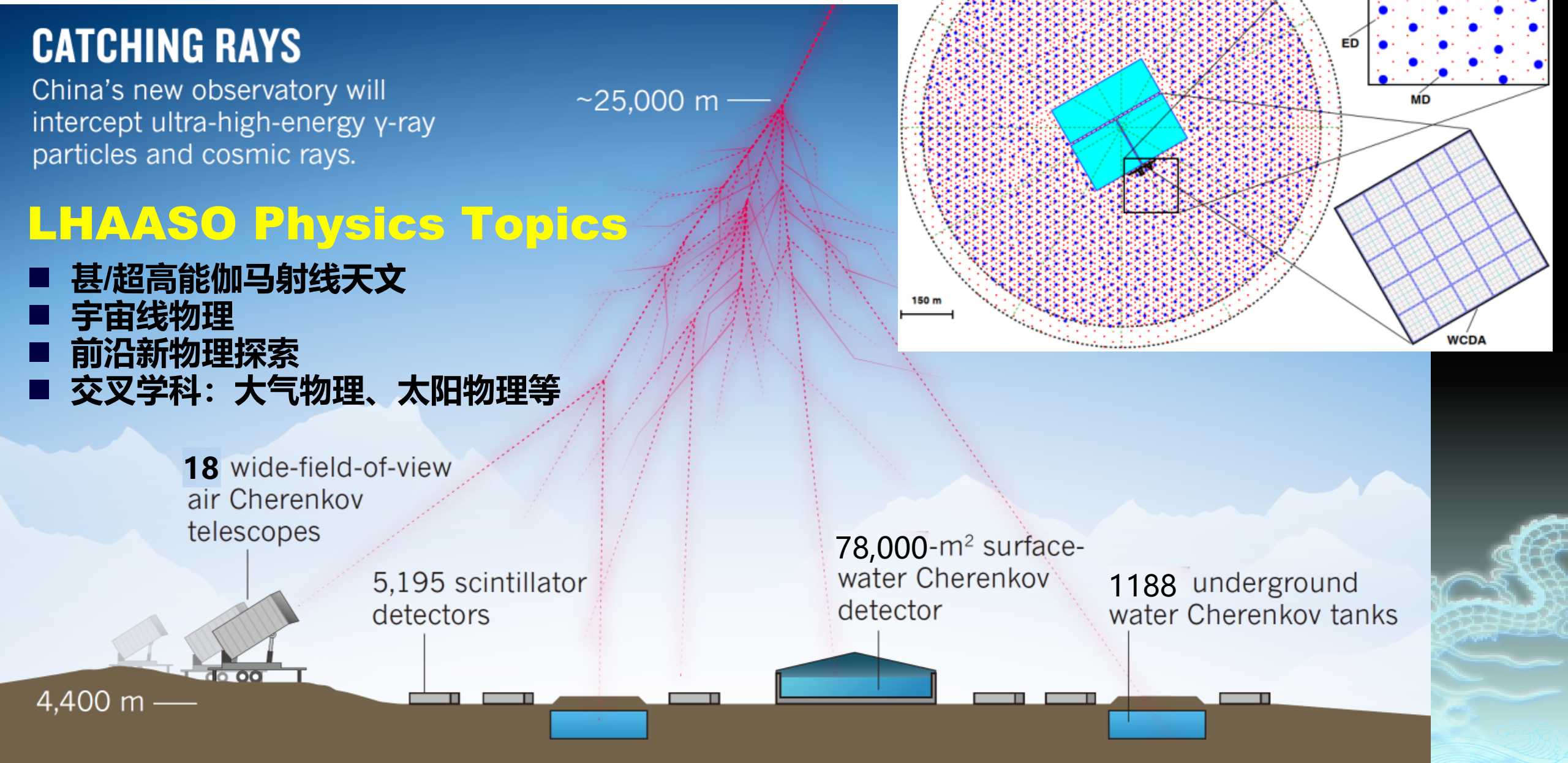
如何探测宇宙线线?

每天收集10多亿高能宇宙线/伽马射线引发粒子“阵雨”



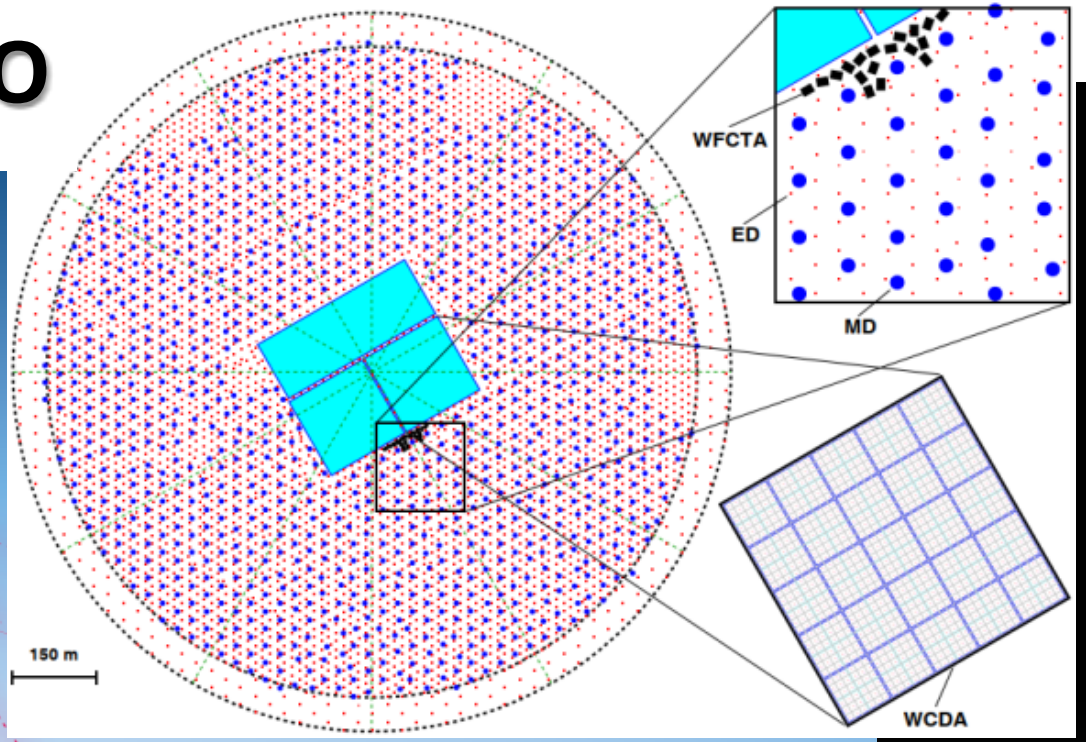
“阵雨”洒落在“拉索”阵列上，一场“雨”持续的时间只有几微秒

Hybrid Detection of EASs by LHAASO

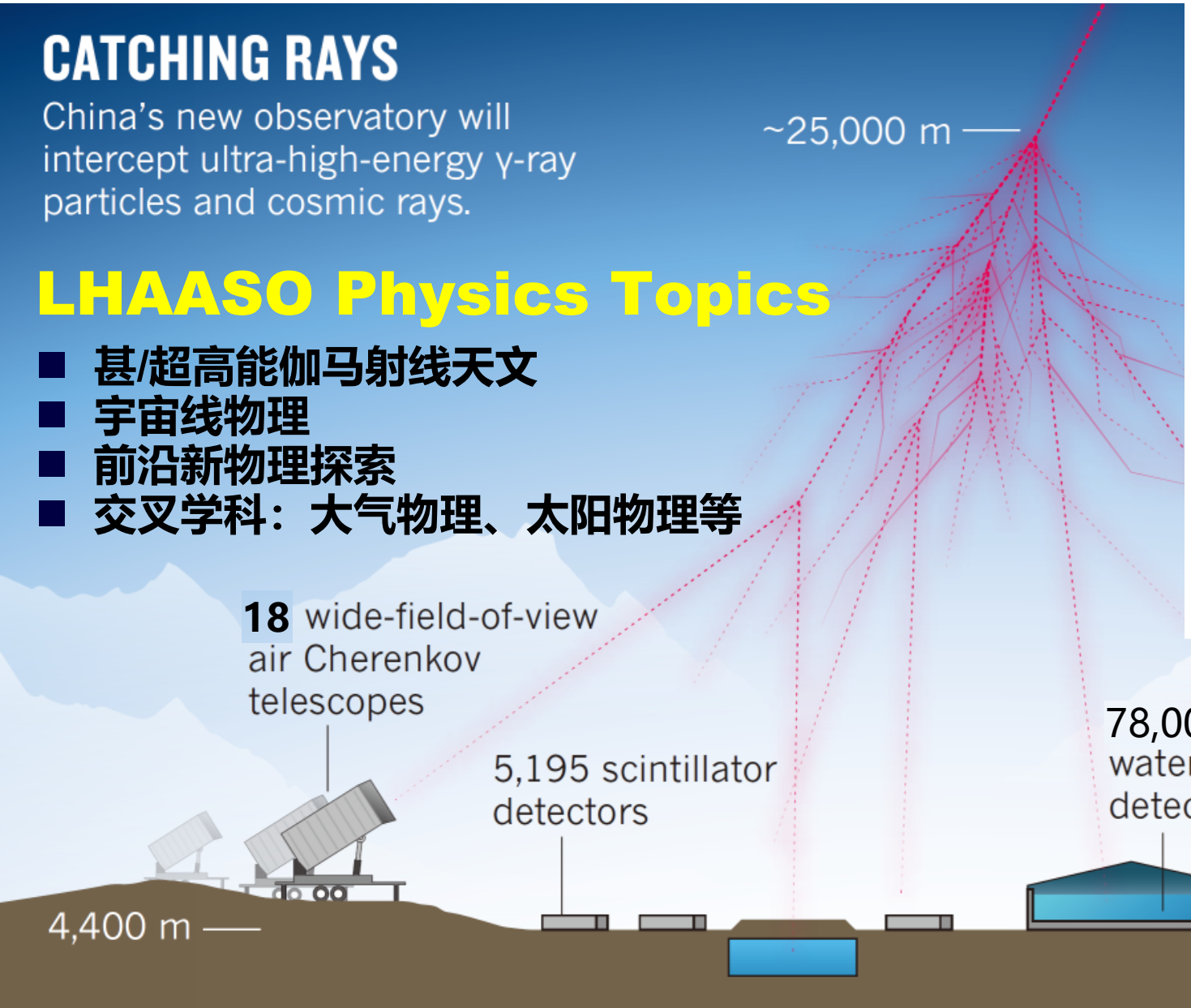


LHAASO Physics Topics

- 甚/超高能伽马射线天文
- 宇宙线物理
- 前沿新物理探索
- 交叉学科：大气物理、太阳物理等

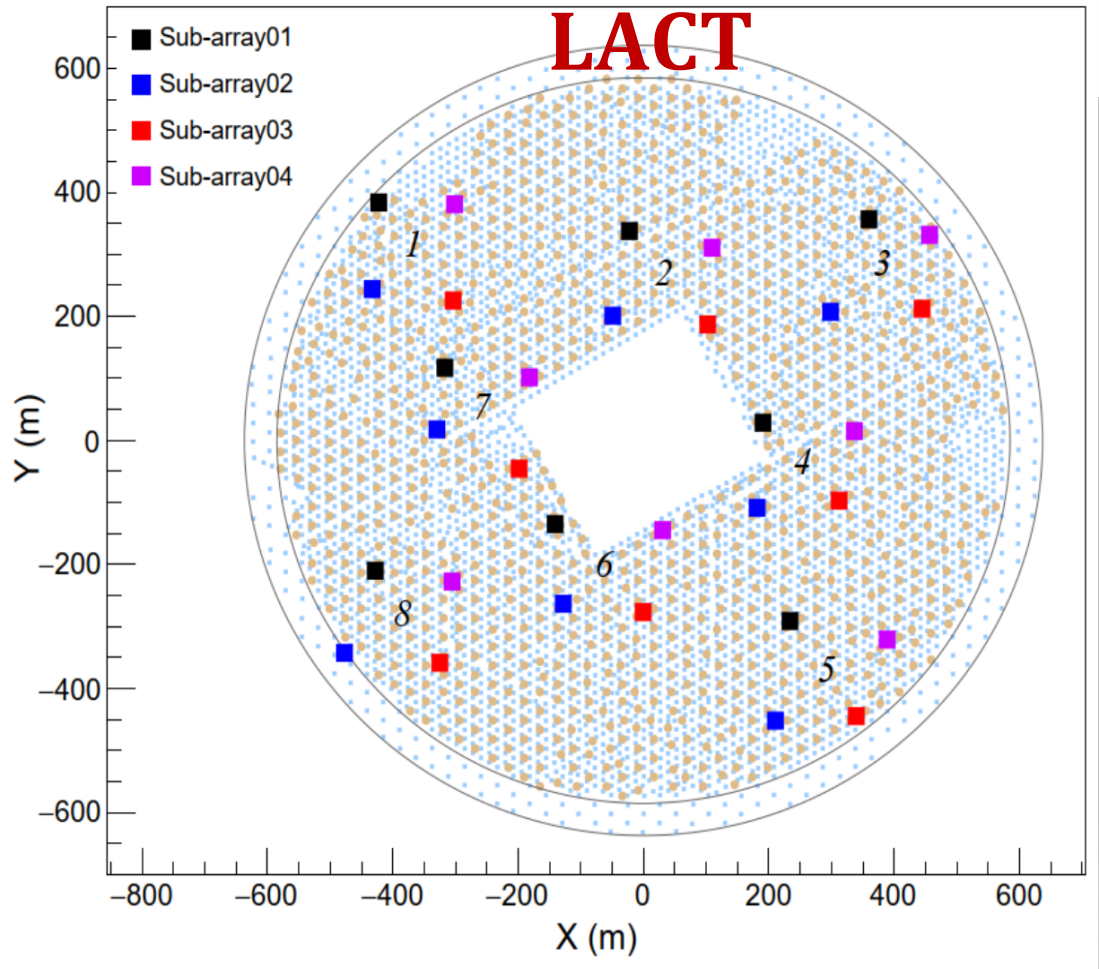


Hybrid Detection of EASs by LHAAS(



LHAASO Physics Topics

- 甚/超高能伽马射线天文
- 宇宙线物理
- 前沿新物理探索
- 交叉学科：大气物理、太阳物理等



LACT性能指标

➢ 总体性能指标

	角分辨率	灵敏度	能量分辨率@30TeV
32台望远镜同时跟踪 一个源观测模式	<0.05° @ 30TeV	<110 mCrabUnit @ 30 TeV @ 50 h	~15%
8台望远镜同时跟踪 一个源观测模式	<0.06° @ 100TeV	<100 mCrabUnit @ 100TeV @ 500 h	~15%

➢ 单台成像大气切伦科夫望远镜性能指标

反射镜口径	相机总像素	像素大小	视场大小	指向精度	动态范围
~6米	1616	~0.2°	~8°	<40 角秒	3.2量级

与国际上同类装置对比

➢ LACT建成将是世界上灵敏度最高的超高能伽马源跟踪观测设备

	LACT	H.E.S.S	CTA-北（建设中）	ASTRI（建设中）	CTA-南 （未建）
设备承担国家	中国	欧洲	欧洲	意大利	欧洲（南美）
有效面积(>30TeV, km^2)	~1.6	0.13	<1	<1	4
望远镜口径（米）	6	12	24，12	4	12，4
望远镜台数	32	4	4，9	9	14，37
背景排除率	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1
月夜观测能力	是	否	否	是	是
灵敏度(@30TeV，mCU)	<110	~820	~180	~200	45
角分辨(@30TeV)	~0.05°	~0.05°	~0.05°	~0.06°	~0.05°
视场角直径（°）	8	5	4.3，7	10	7，8.8

注：灵敏度数值越低表明设备的探测能力越强，LACT的灵敏度是32台同时跟踪观测一个伽马源时的灵敏度

四代成像大气切伦科夫望远镜

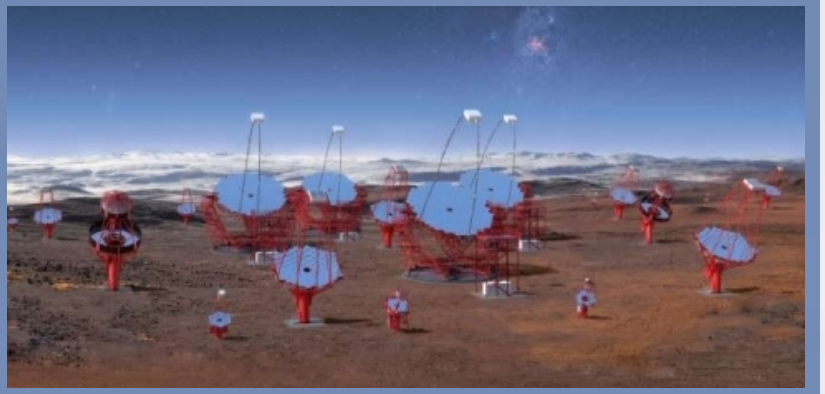
1959—1964
Chudakov et al:
First stereo Cherenkov telescope

Whipple 10m Telescope (1968)

MAGIC: 1 telescope in 2004, 2 in 2009

H.E.S.S.: 4 telescopes in 2003, 5 in 2012

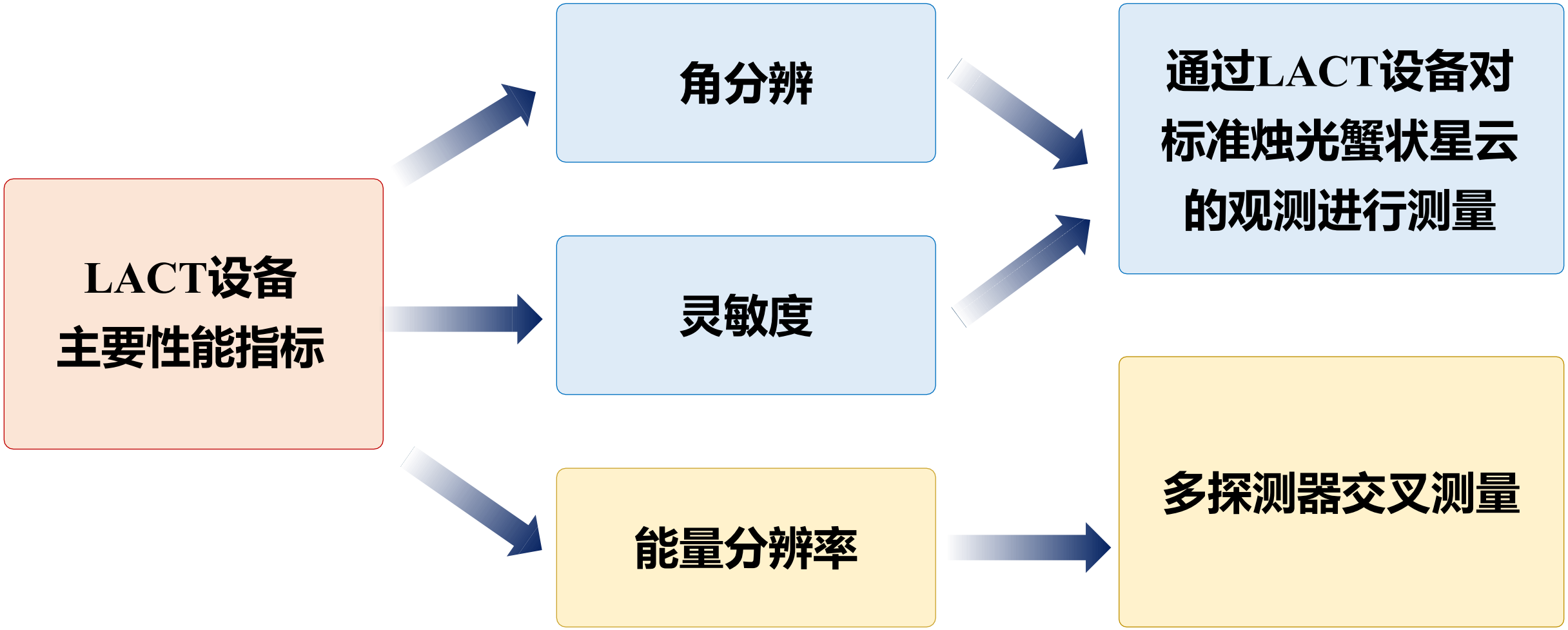
VERITAS: 2 telescopes in 2006, 4 in 2008



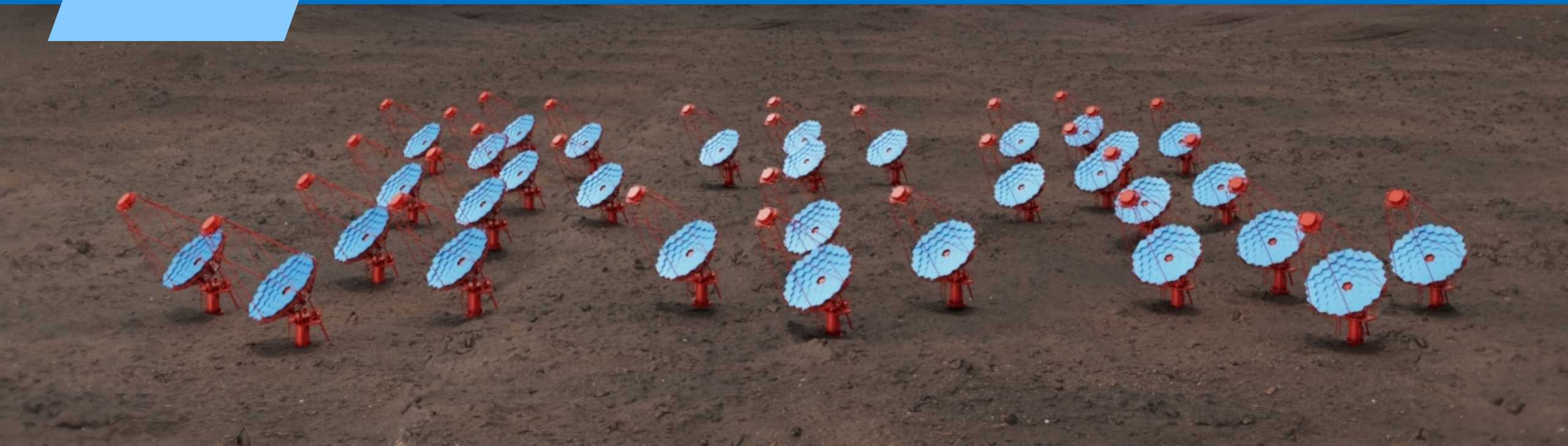
CTAO在建

LACT在建(中国)

装置指标的可考核性


LACT设备
主要性能指标
角分辨
灵敏度
能量分辨率
通过LACT设备对
标准烛光蟹状星云
的观测进行测量
多探测器交叉测量

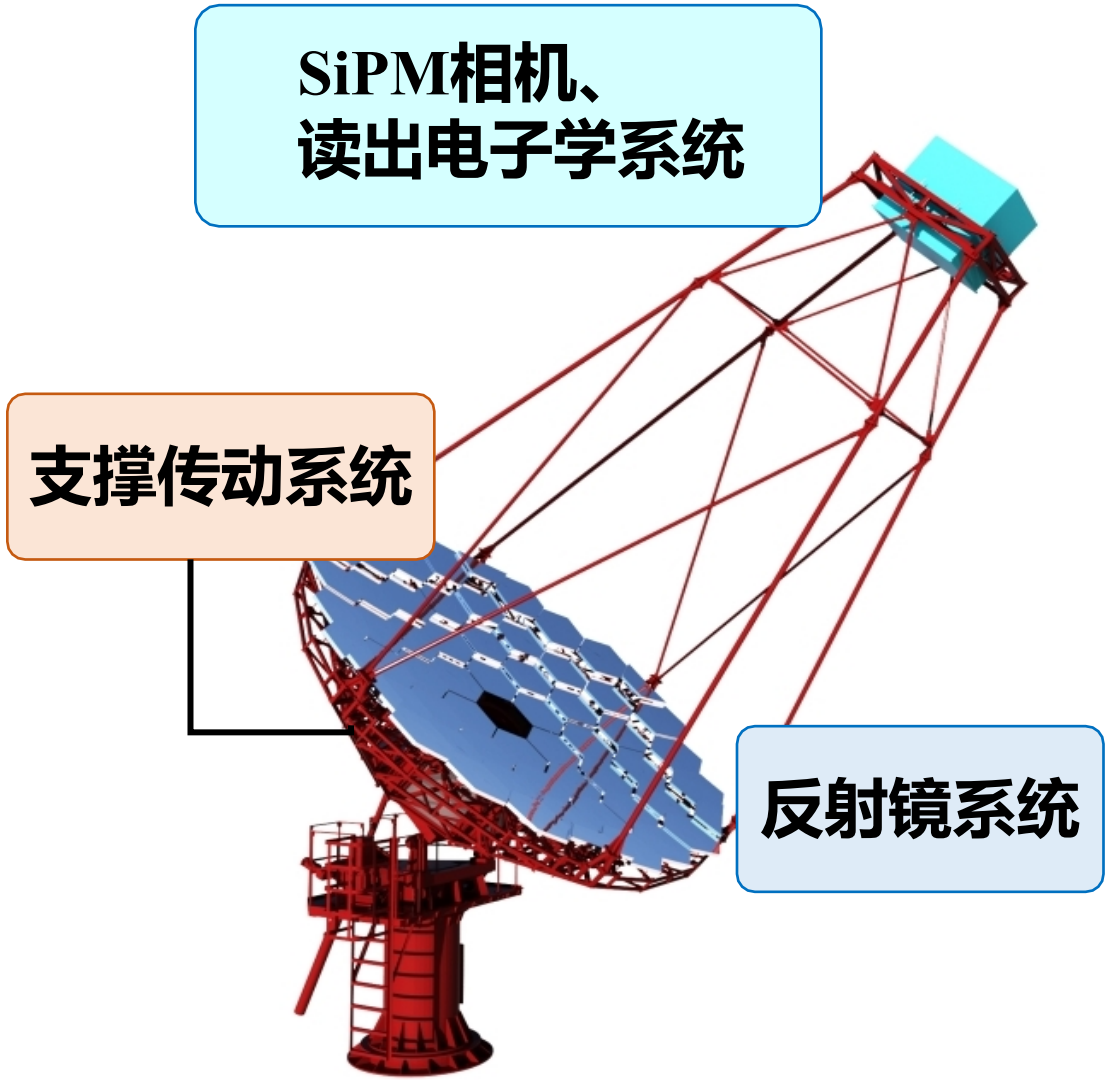
3.2 单台望远镜设计方案



LACT-望远镜：成像大气切伦科夫望远镜

➢成像大气切伦科夫望远镜

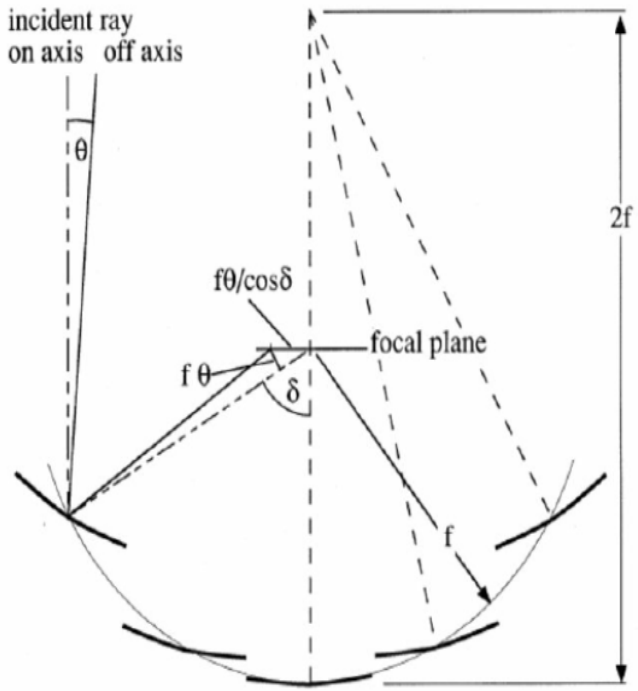
- Davies-Cotton 反射镜系统
- 支撑传动系统
- 硅光电倍增管（SiPM）相机
- 读出电子学系统
- 慢控制与数据获取系统
- 望远镜标定系统



反射镜系统研制方案

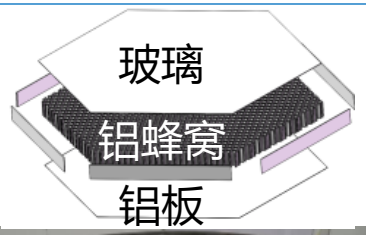
- 采用类抛物面设计方案： Davies-Cotton设计方案
  - 由54面六边形球面反射镜拼接而成
  - 子镜：可批量生产，成本低
  - 应用例子：国际同类实验HESS，CTA
- 反射镜系统设计指标

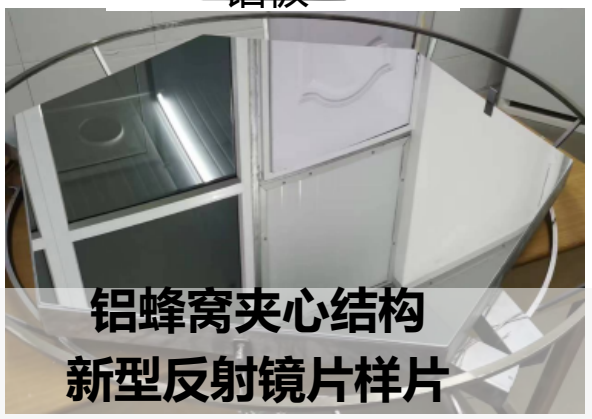
参数	指标要求
反射镜直径	~6 m
光斑尺寸（80%能量）	<25.8 mm
有效面积	~24 ㎡
子镜曲率半径	16 m
主镜曲率半径	8 m



研制新型反射镜片（国际先进）：降低自重

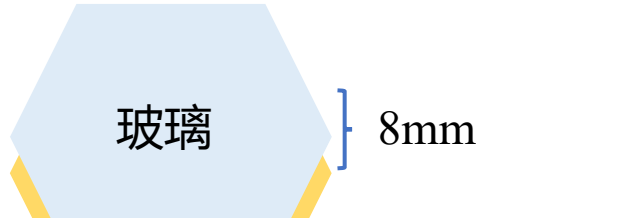
反射镜片类型	重量	成本	生产效率	工艺成熟度
传统玻璃反射镜片	~23kg	高	低	LHAASO望远镜已采用此工艺
蜂窝夹心结构 新型反射镜片	~ 8kg	低	高	国际：MAGIC，CTA-LST已使用 本项目已研制等尺寸样片
陶瓷玻璃复合结构 新型反射镜片	~10kg	低	高	国内外首次研制 本项目已研制小型尺寸样片





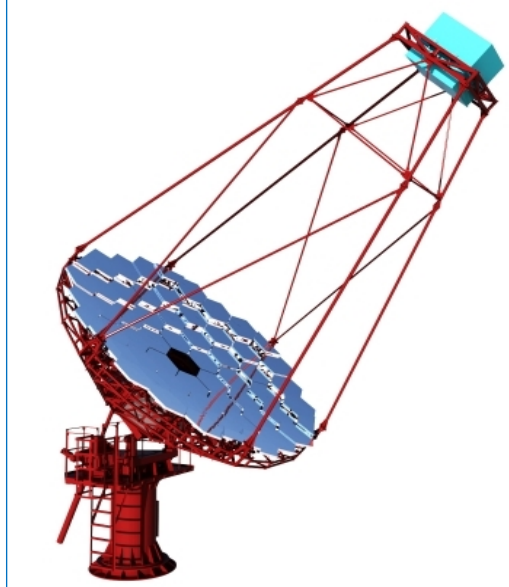
铝蜂窝夹心结构
新型反射镜片样片

高能所和
航天二院
23所，
中电科
54所
合作研发

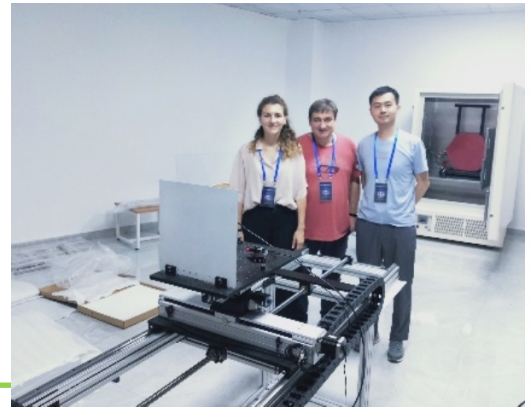


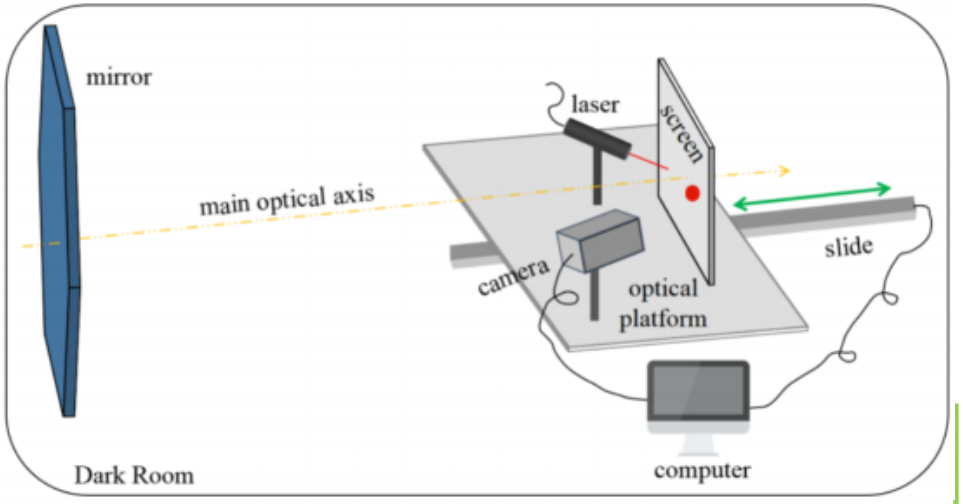
陶瓷玻璃复合结构
新型反射镜片样片

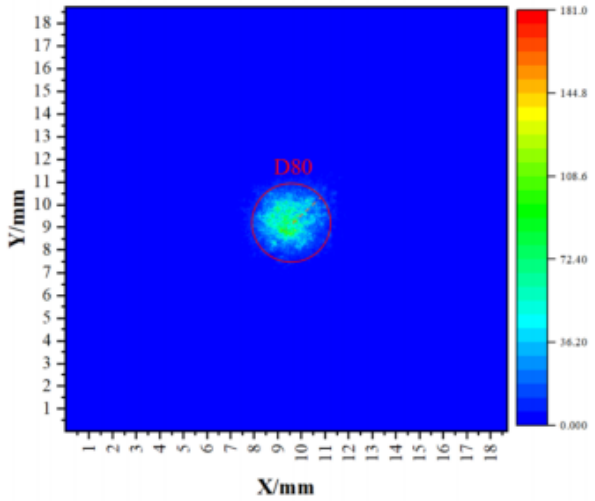
项目组和
云南雷迅
科技公司
合作研制

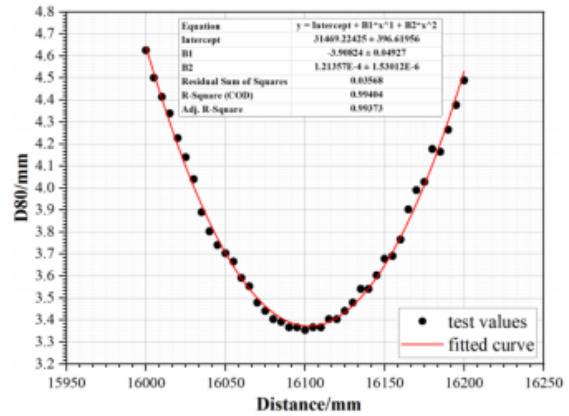


LACT反射镜
自动检测仪器研制







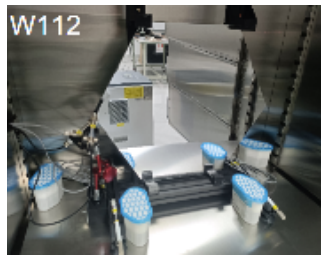


曲率半径精度：优于1.5 *mm*

光斑测量精度：0.03 *mm*

设备应用：

1. 已成二十余片5种不同反射镜的检验，为反射镜研制提供重要数据参考。

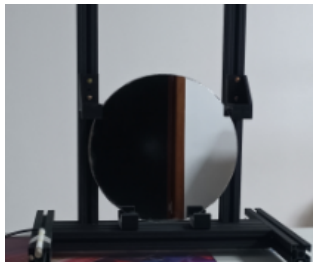


玻璃

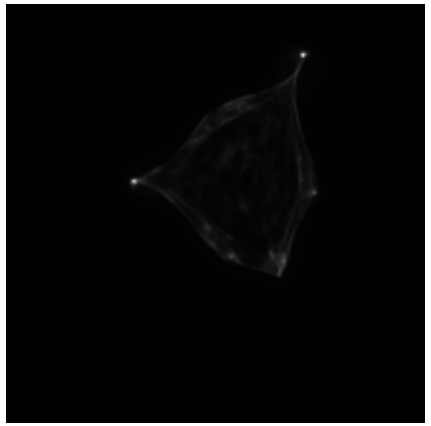
玻璃蜂窝

铝蜂窝

铝泡沫

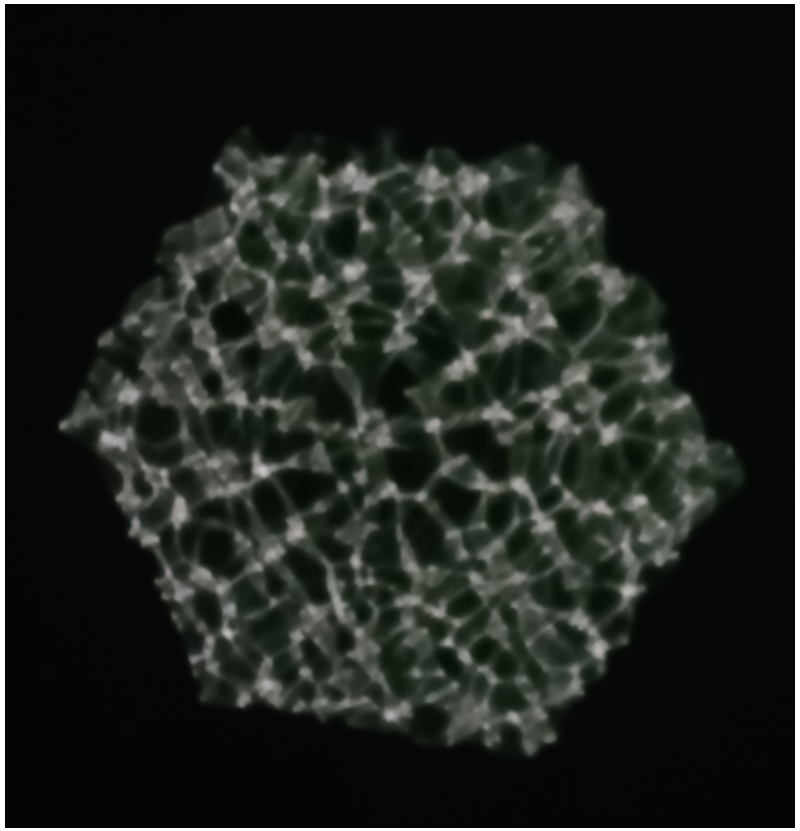


陶瓷



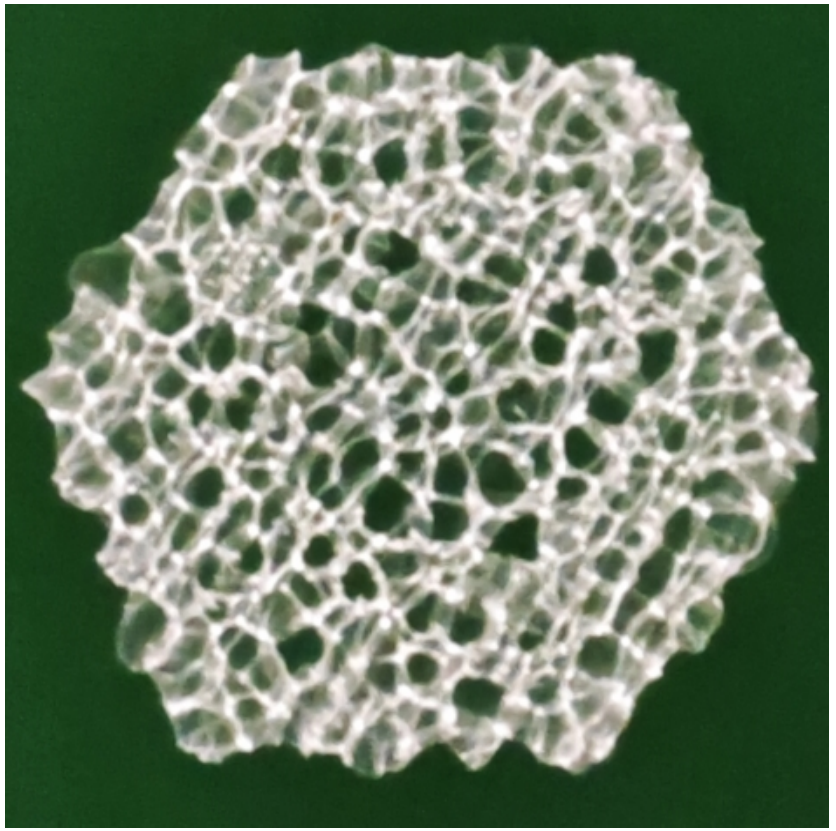
二倍焦距外图像分析

板心结构

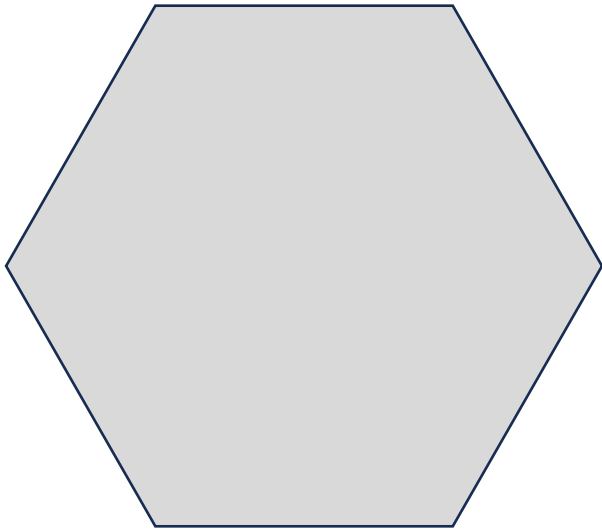


内部分布较差

板板结构



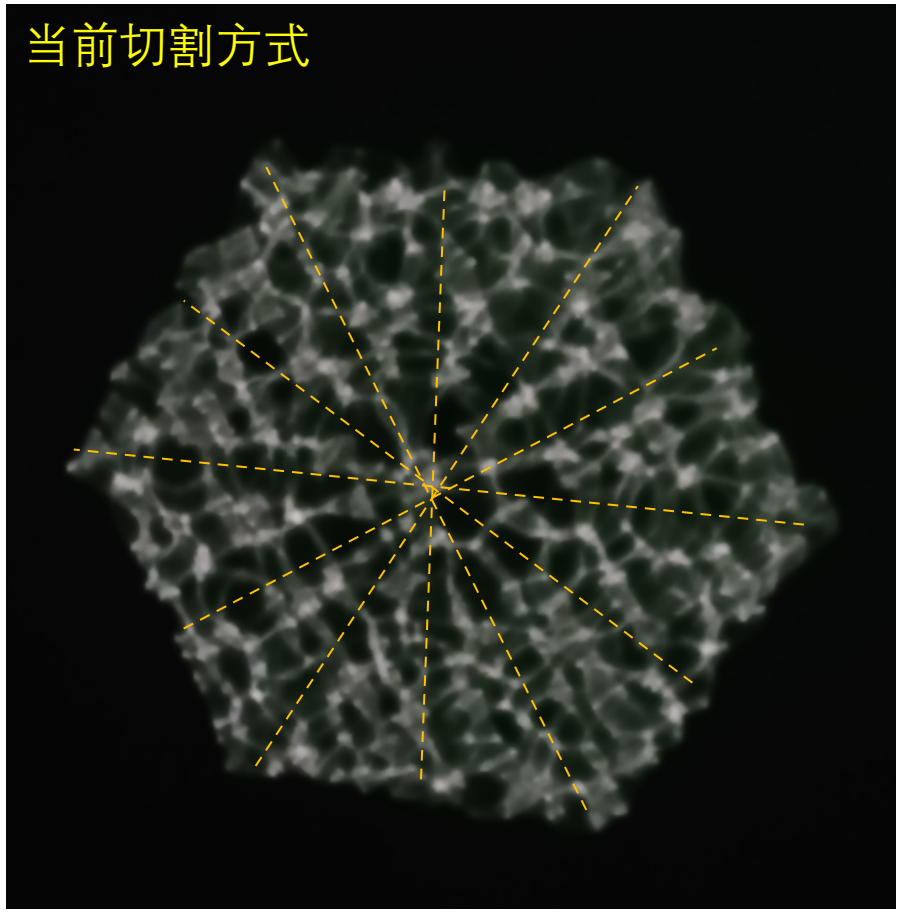
内部分布较好

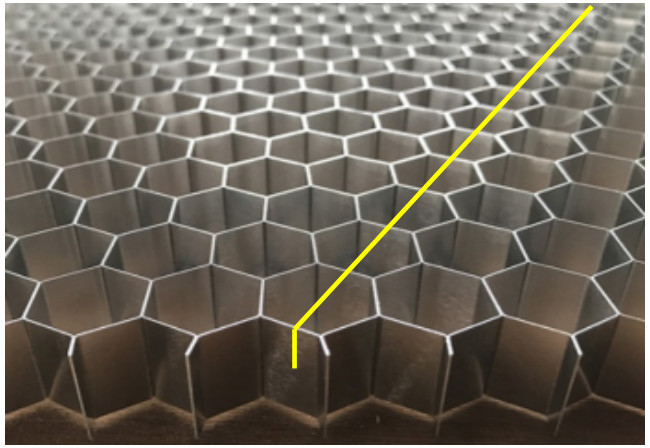


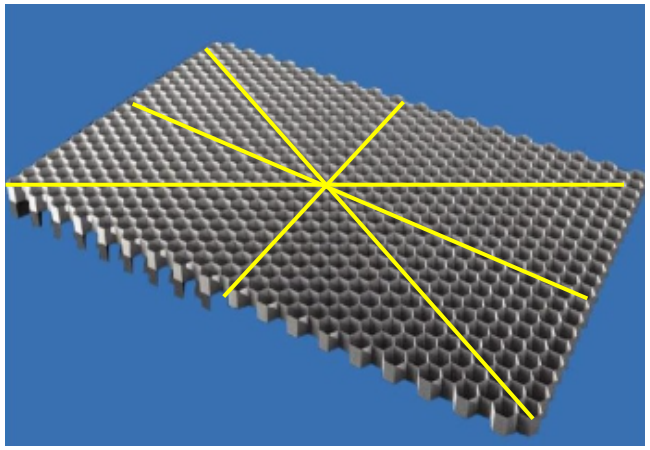
理想情况下是均匀分布

二倍焦距外图像分析

铝蜂窝的切割方式造成局部变形-切割方式需要优化，增强蜂窝支撑，约束变形

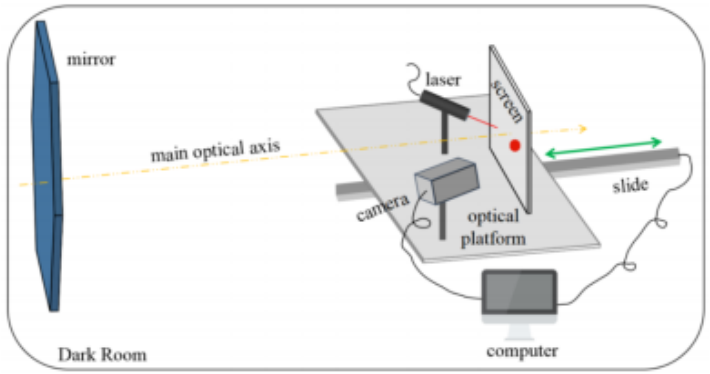






LACT反射镜检验

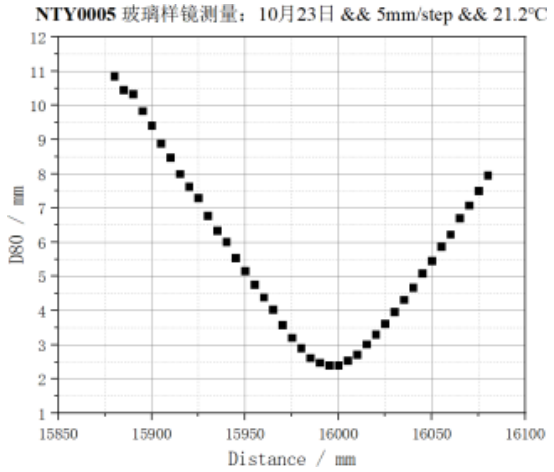
二倍焦距检验方法



传统玻璃反射镜
（已达标）

光斑大小：
2.4mm

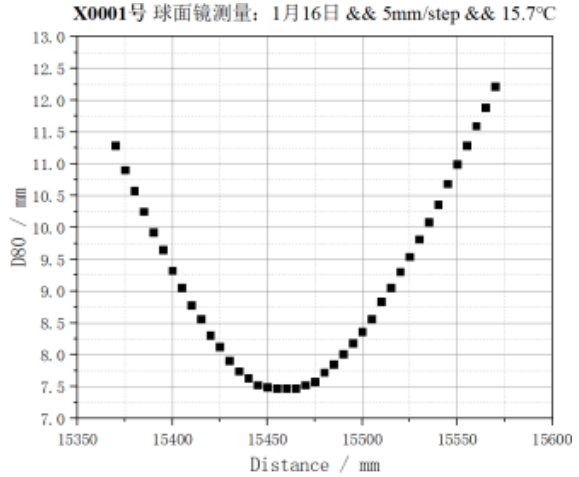
曲率半径：
15997.5mm



蜂窝夹心结构反射镜
（基本已达标）

光斑大小：
7.5mm

曲率半径：
15460mm

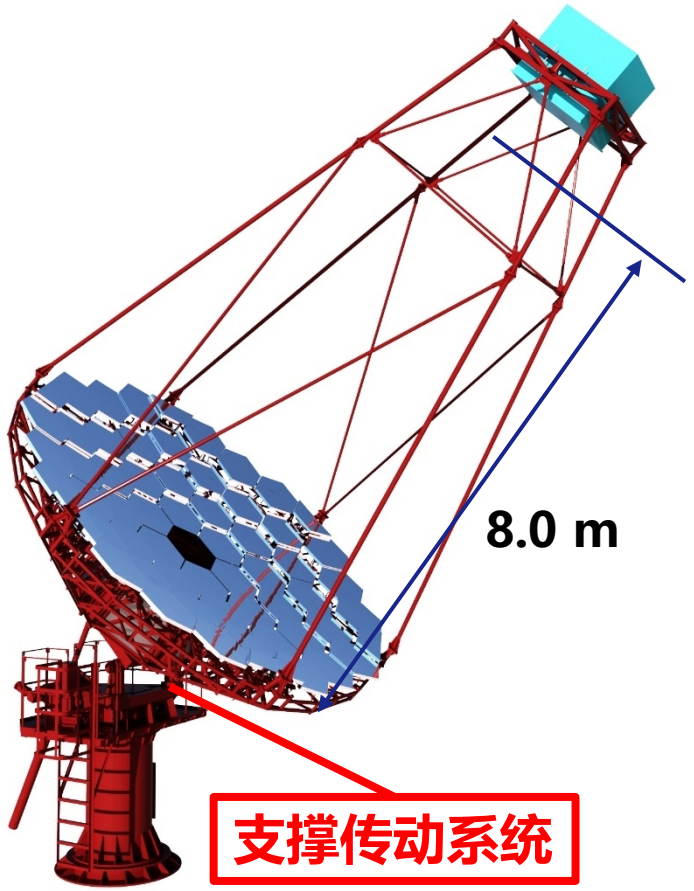


望远镜支撑传动系统

➢ 主要设计要点：

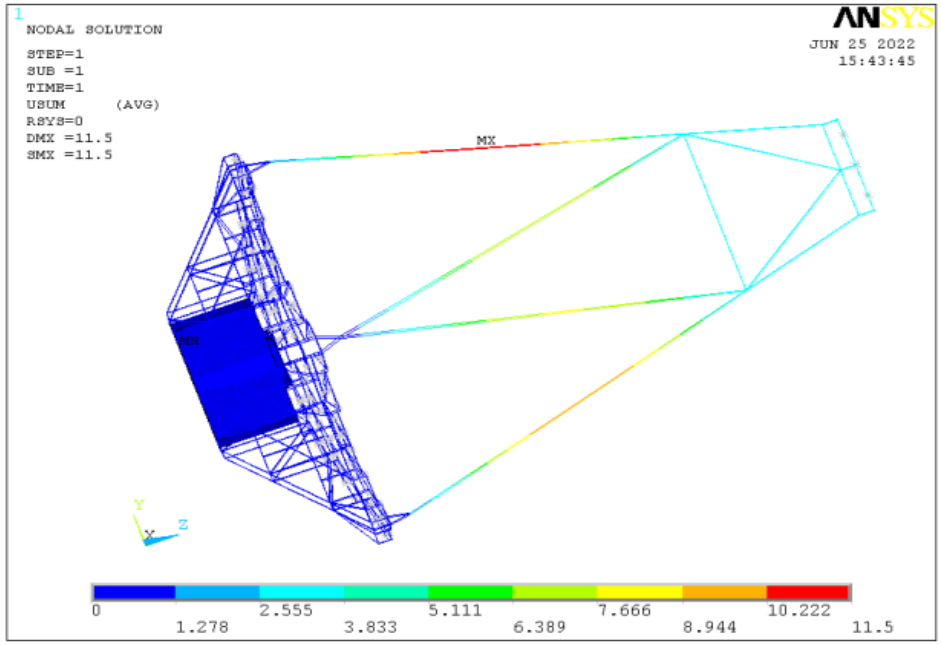
- 焦距较长：8.0 米 （焦比=1.34）
- 相机较重：~1000公斤

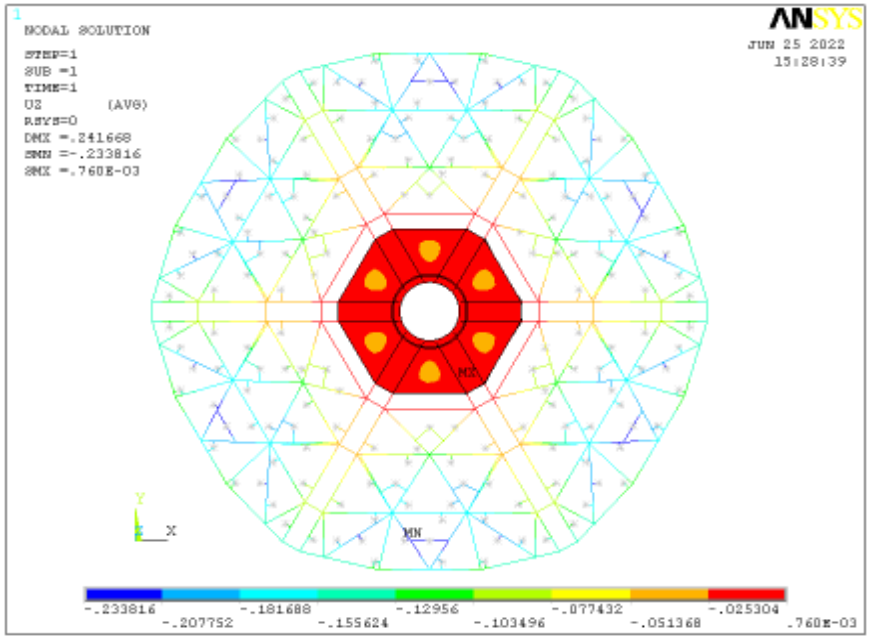
参数	指标要求
望远镜跟踪系统转动性能指标	a) 方位角：±270° b) 仰角：0-90° c) 方位最大速度：1°/s 俯仰最大速度：1°/s
焦距	8.0 米
指向精度	≤0.01°
重复定位精度	≤0.01°
相机支撑变形量	< 4 mm
抗风性能	a) 风力10米/秒正常工作 b) 风力15米/秒可驱动至收藏位置 c) 风力30米/秒在收藏位置不破坏



可行性分析：支撑传动系统和反射镜系统

借鉴国内大型射电望远镜设计经验，汲取国外大口径望远镜成功的设计经验
提出LACT望远镜支撑传动系统设计方案。模拟仿真结果优秀，工程实施风险很低





支撑传动系统优化结果：

- **5级风力（~10m/s），俯仰角度0° - 90°**
- **对焦偏离度小于5.0 mm，镜面最大变形小于1.0 mm**

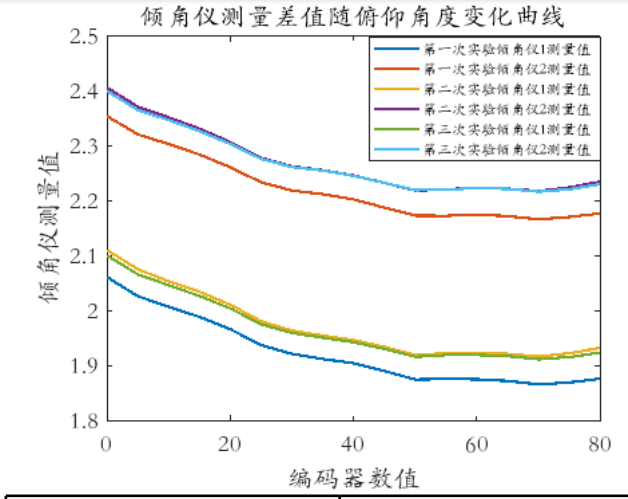
反射镜支撑背架优化结果：

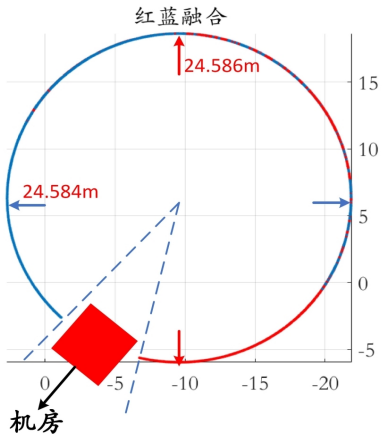
- **俯仰角度：0° - 90°**
- **镜面最大变形小于0.7mm**

一台样机在
天府宇宙线研究中心

一台样机在稻城LHAASO站点

望远镜支撑传动系统

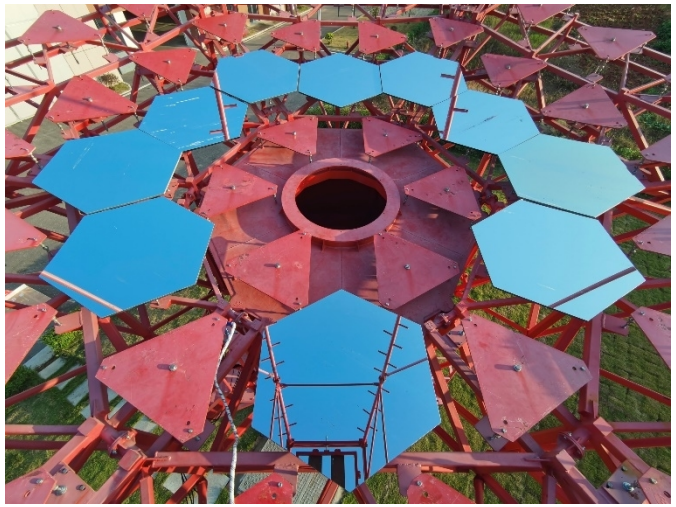




参数	指标要求	可行性分析
望远镜跟踪系统转动性能指标	a) 方位角：±270° b) 仰角：0-90° c) 方位最大速度：1°/s 俯仰最大速度：0.3°/s	样机测试合格
焦距	8.0 米	样机测试合格
指向精度	≤0.1°	样机测试合格
重复定位精度	≤0.1°	样机测试合格
相机支撑变形量	< 1.2 mm	样机测试合格
抗风性能	a) 风力10米/秒正常工作 b) 风力15米/秒可驱动至收藏位置 c) 风力30米/秒在收藏位置不破坏	仿真结果合格

LACT样机反射镜安装、调整和标定

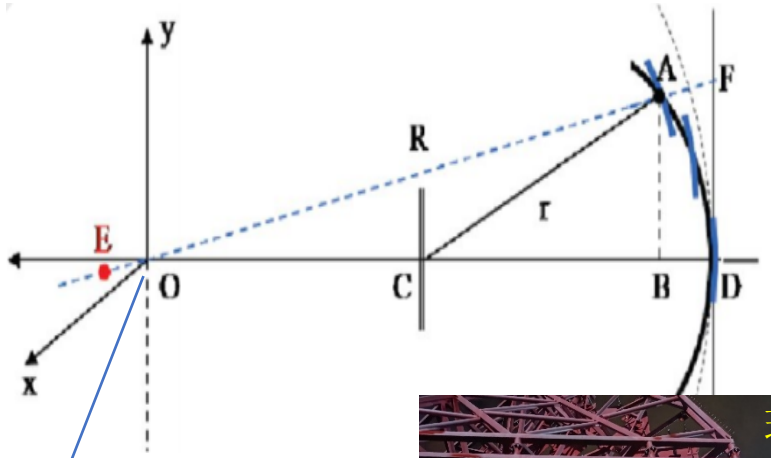
- LACT反射镜安装



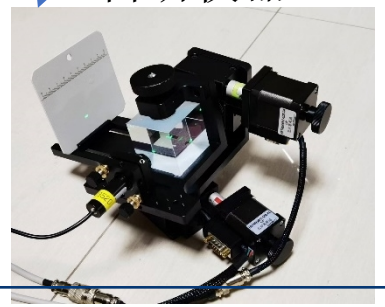
- LACT反射镜调整（Davies-Cotton，无主动光学调节系统）

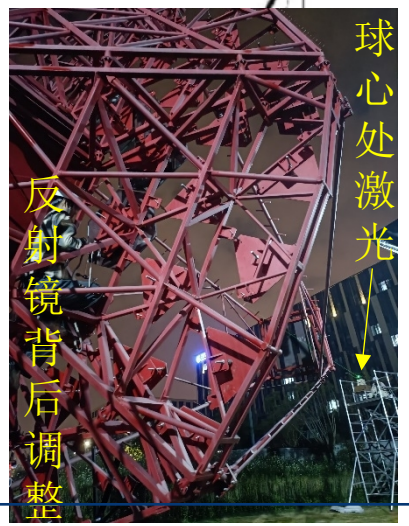
二倍焦距法调整：

借助**自研仪器**，夜晚完成LACT反射镜的调整



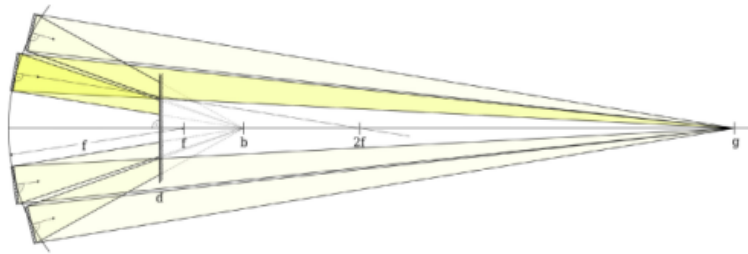
自研仪器



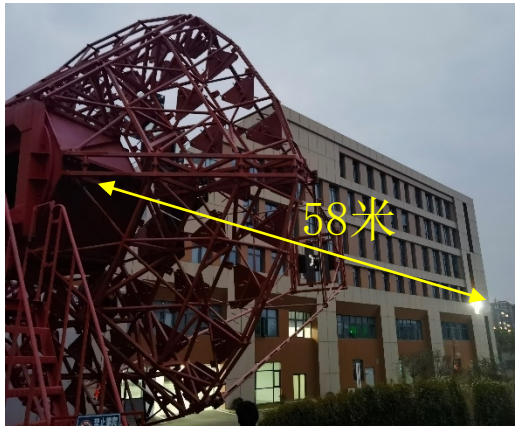


焦外成像法调整：

个别遮挡的反射镜完成调整

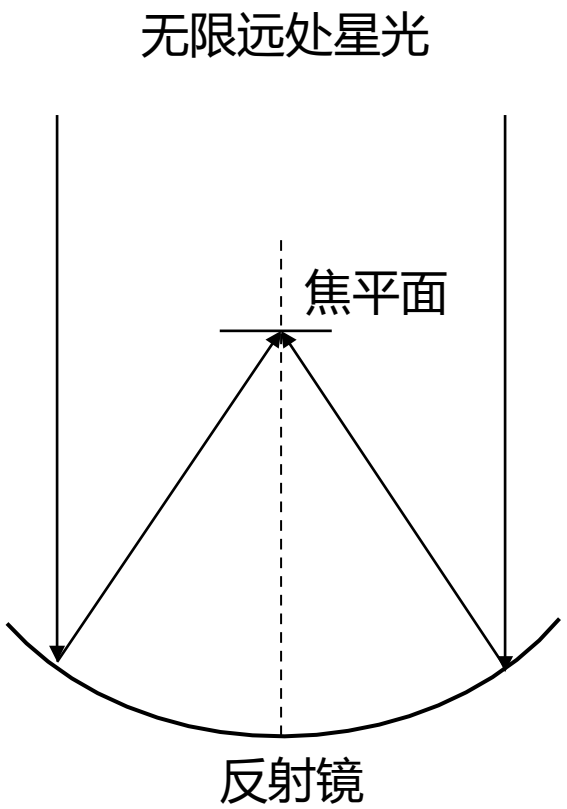


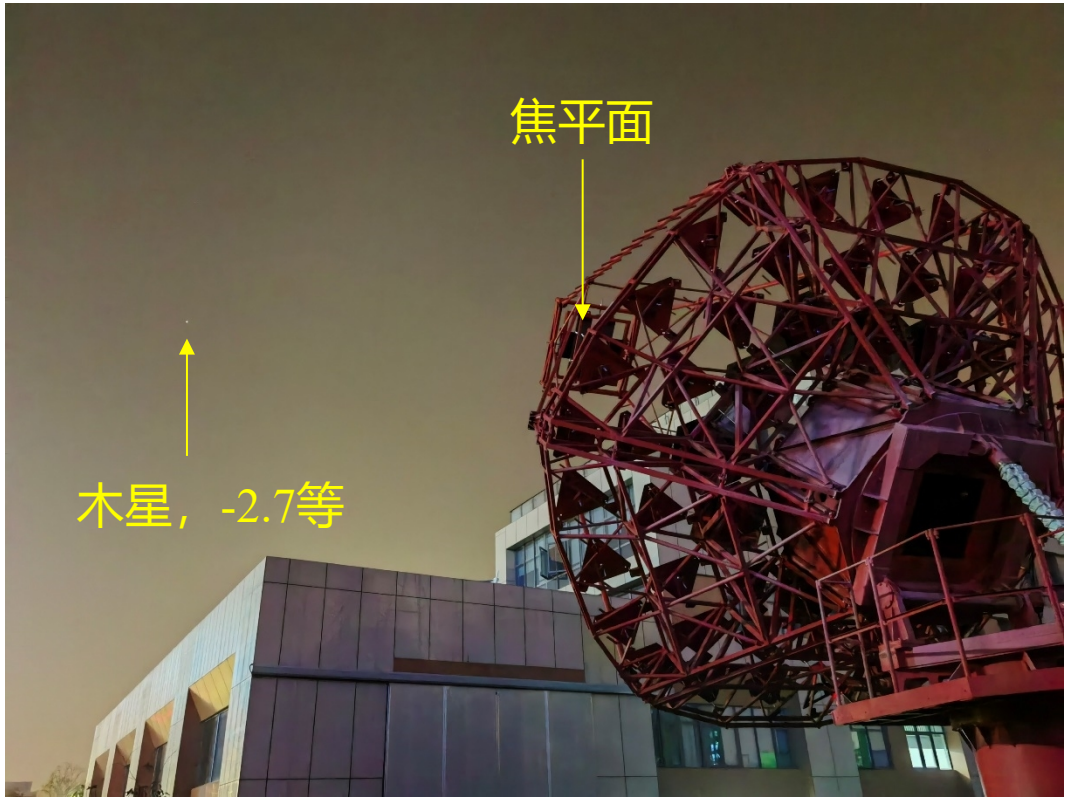
焦外成像法原理



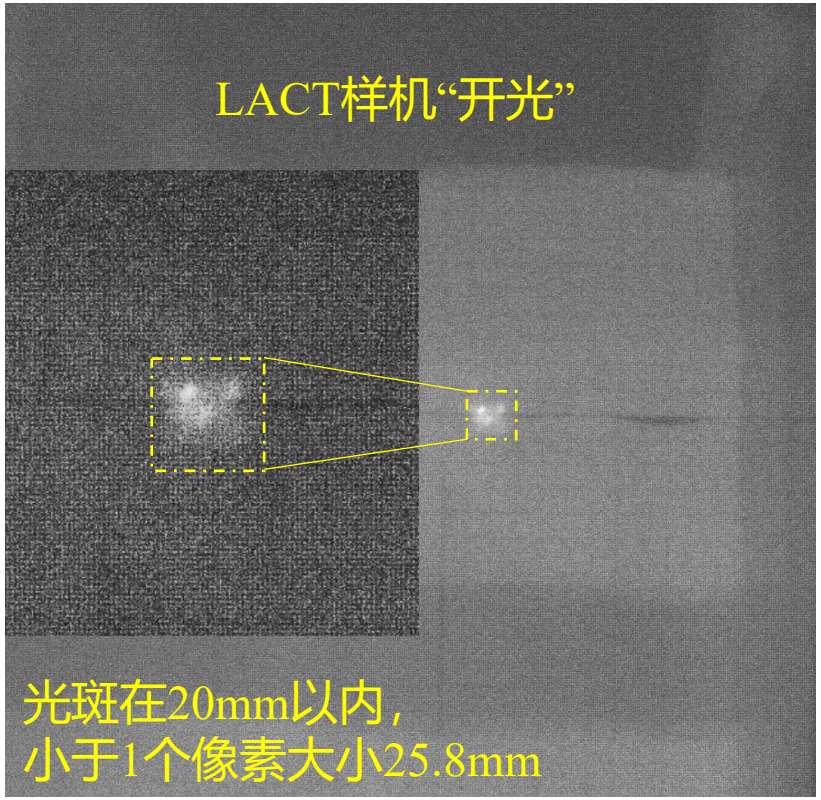
LACT反射镜安装、调整和标定

- 跟踪木星**标定**反射镜布局：**满足测试指标要求**

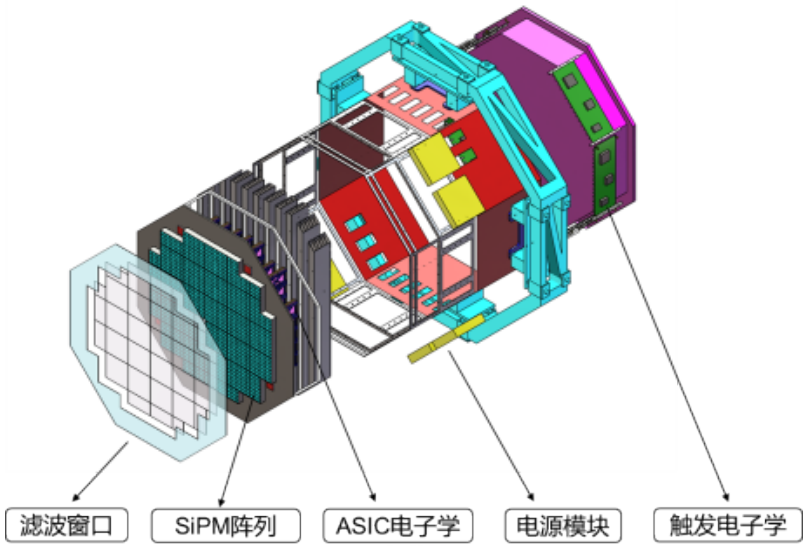




LACT样机首个光斑



硅光电倍增管管（SiPM）相机研制方案



SiPM相机
&
读出电子学系统

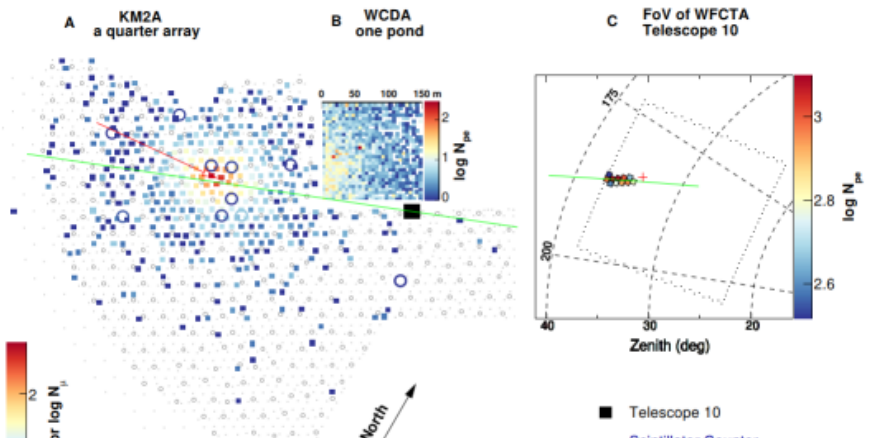
参数	指标要求
SiPM相机总像素	1616
像素大小	~ 0.2°
视场范围	~ 8°
SiPM 输出脉宽	FWHM < 30 ns
动态范围	3.2量级
电荷测量分辨率	< 5% @ > 1000 P.E.

- **借鉴LHAASO 硅光电倍增管相机成熟方案**
- **指标提升方案：SiPM读出采用模拟求和电路，输出脉冲宽度更窄，具有更高的信噪比**

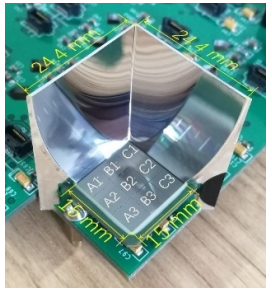
丰富的小型切伦科夫望远镜研制和运行经验

- LHAASO 18台小型广角切伦科夫望远镜稳定运行，并已通过中科院验收
  - 已掌握切伦科夫望远镜技术
  - 已掌握SiPM相机技术

来自Crab的PeV伽马事例



Z.Cao, *et. al*, Science, 373, 425-430, 2021



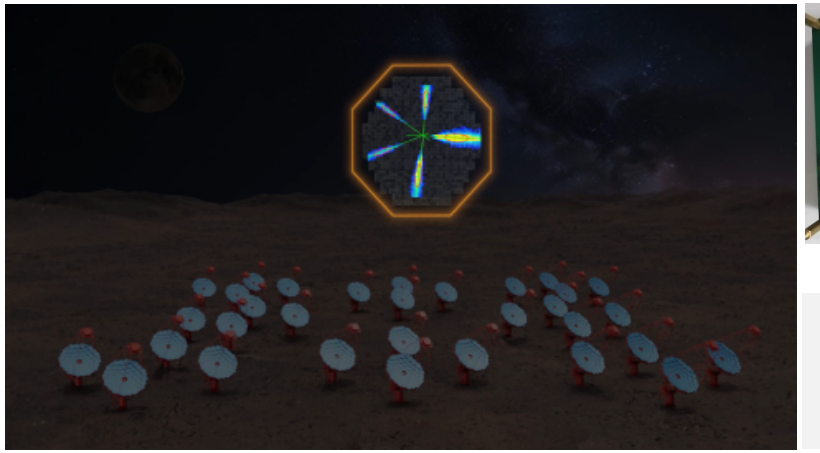
硅光电管像素和相机

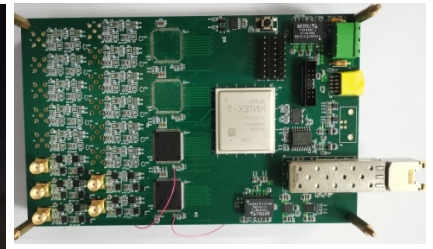
关键技术-3： 月夜观测技术

➢ 技术路线

- **采用耐强光的先进硅光电管（SiPM）**
  - 遇强光照射不老化
  - **满月下可正常观测**
- **采用夜空背景光压低技术，提高信噪比**
  - 紫外带通滤波片：过滤长波长夜空背景光或月光
  - 缩小积分窗口：窄脉冲输出
- **采用高速专用集成芯片（ASIC），实现高集成低功耗读出电子学系统**

参数	指标要求
SiPM相机总像素	2256
像素大小	~ 0.2°
视场范围	~ 9.6°
SiPM 输出脉宽	FWHM < 20 ns
动态范围	3.5量级
电荷测量分辨率	< 5% @ > 1000 P.E.

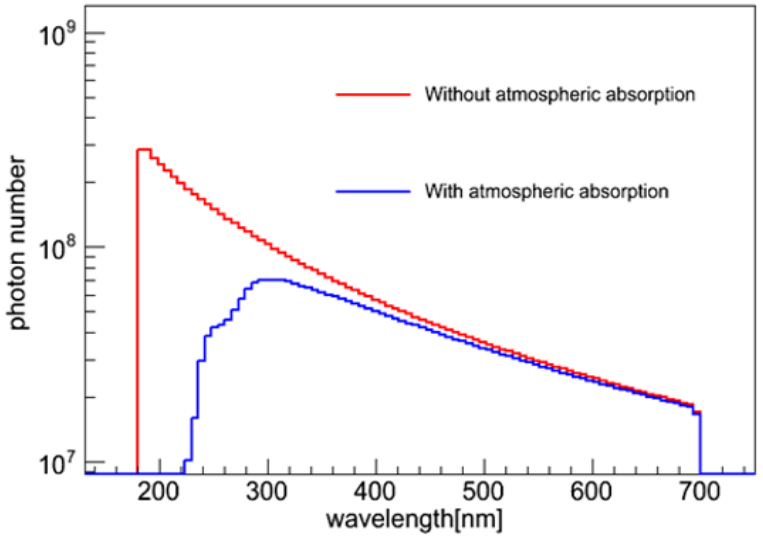




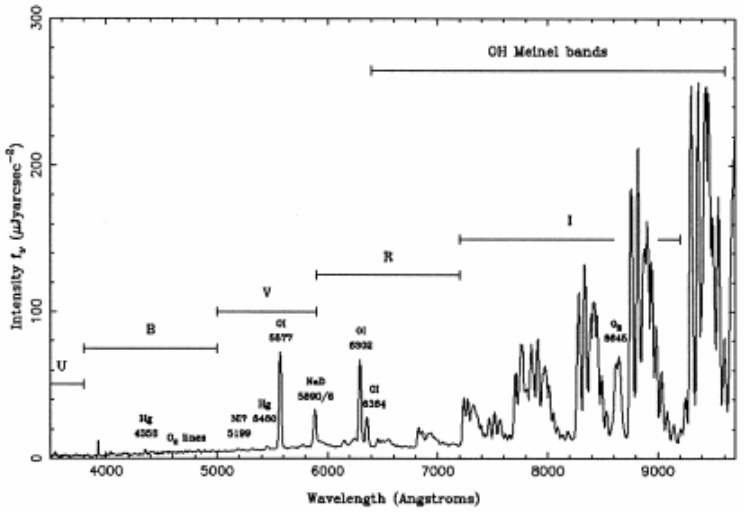
自研高速专用集成芯片样片评估板
(1GSPS, 10-bit, 16通道)

夜空背景光影响抑制方案

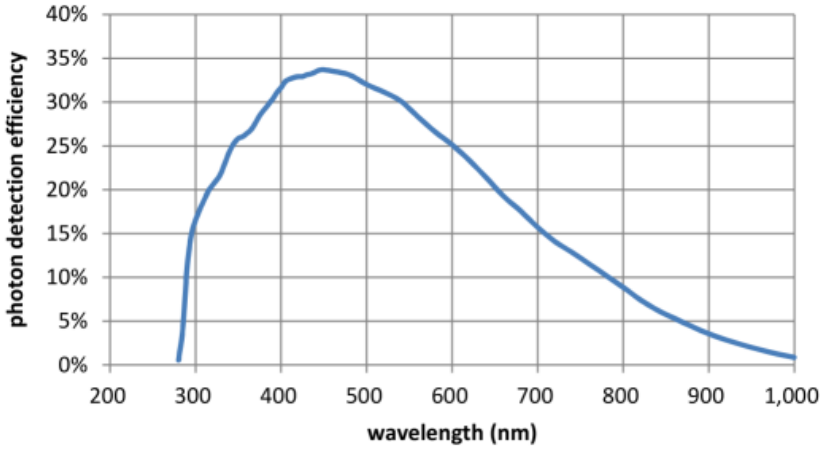
1. 相机光学窗：滤波片、背景光光谱过滤
2. SiPM光谱响应范围选择：从光谱角度提升信噪比
3. SiPM窄脉冲读出：时间上降低背景光干扰
4. 高速采样电子学：提升模拟信号测量精度
5. 触发逻辑：单道过阈触发+pattern符合触发



Cherenkov光谱



夜空背景光光谱



SiPM PDE光谱响应范围

（WFCTA HAMAMATSU-

天府宇宙线研究中心光学实验室建设

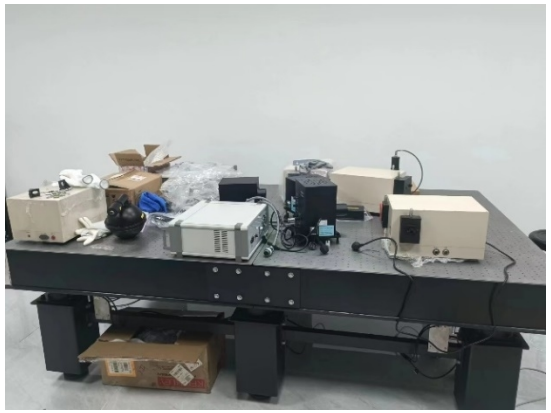
- 建立大口径滤光片测量系统

1. 宇宙线研究中心光学实验室建立大口径滤光片测量系统（该系统是上个年度SCI论文内容）：

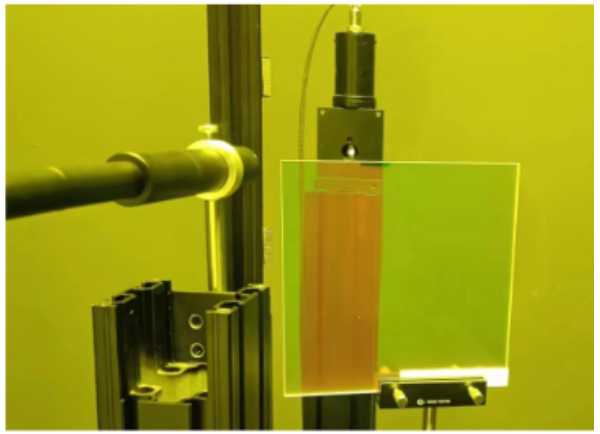
   LACT望远镜相机窗口需要大口径滤光片，**为确保滤光片光谱透过率和均匀性满足要求**。

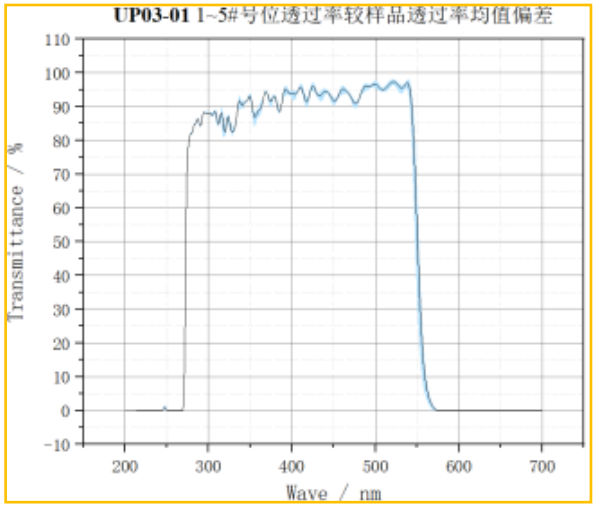
2. 完成多种不同规格紫外带通滤光片测试：

   推动望远镜滤光片国产化替代研制。



反射镜反射率和曲率半径测量系统

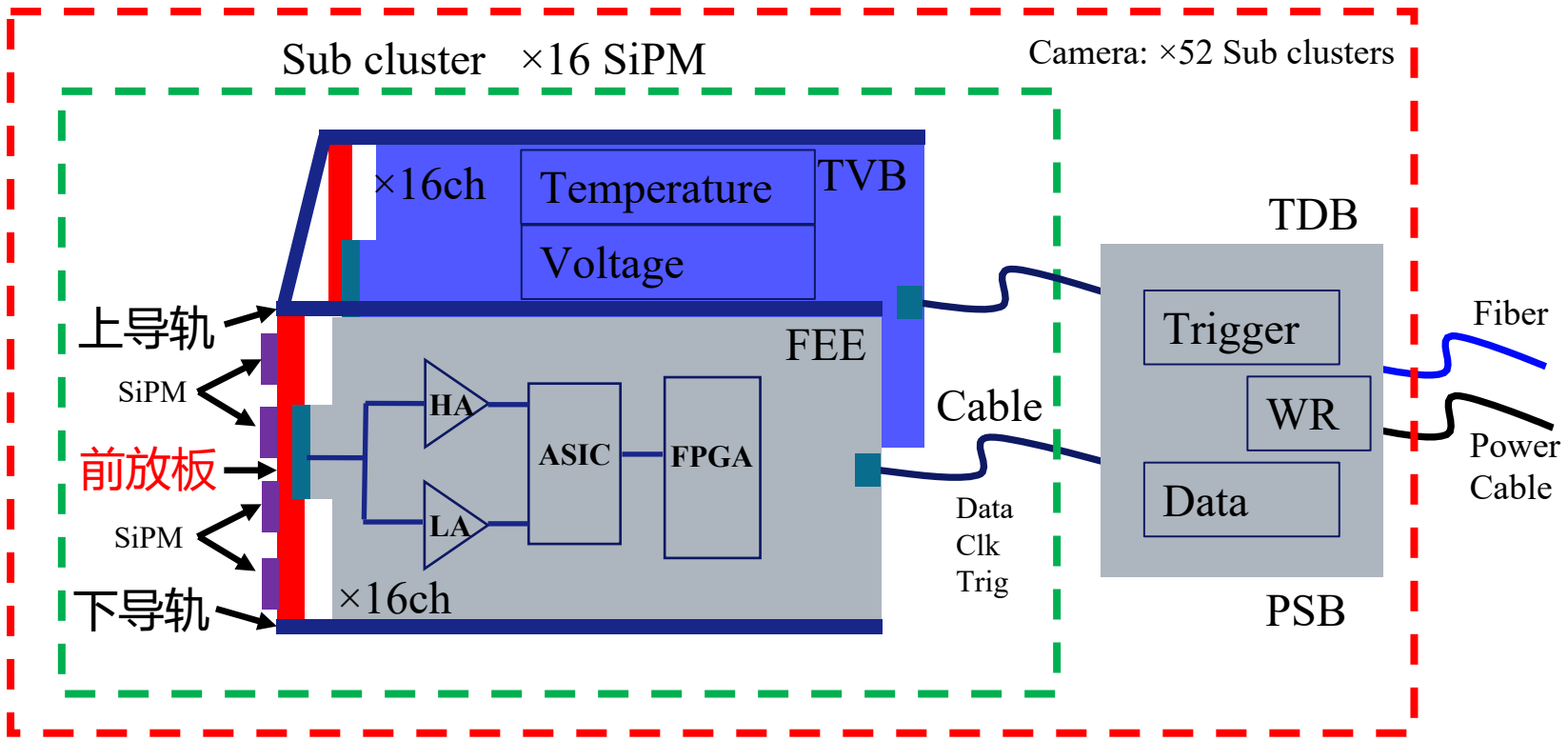


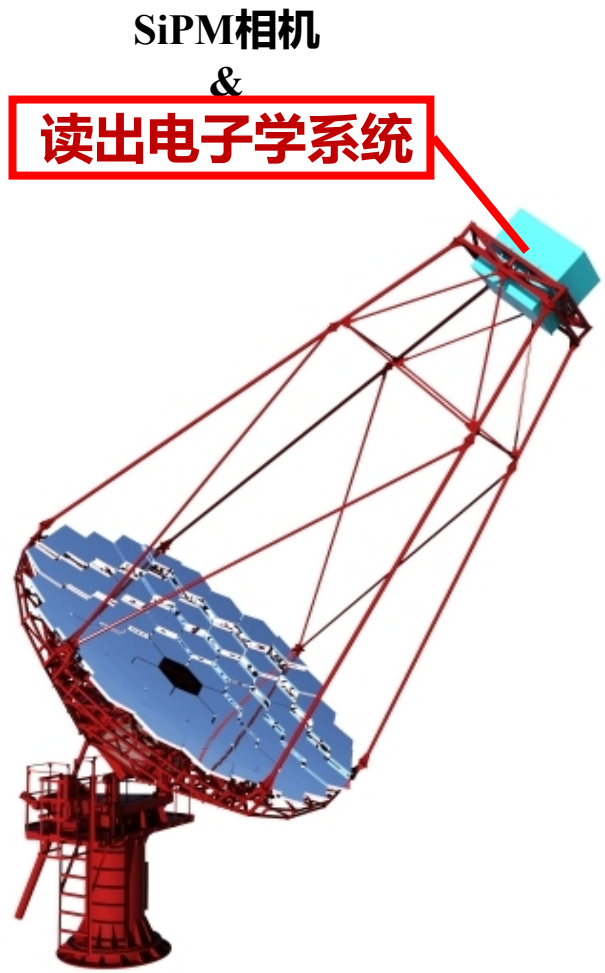


大口径滤光片测量系统建设

读出电子学系统研制方案

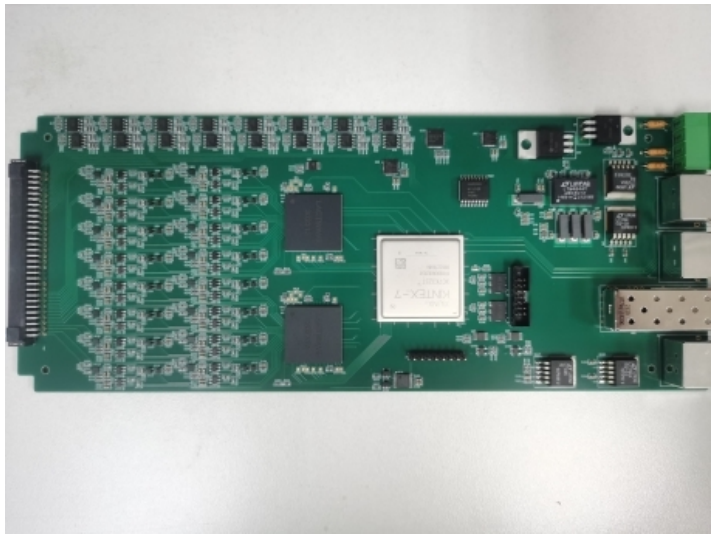
- **前置的波形数字化方案：基于开关电容阵列专用集成芯片（ASIC）**
  - **优点：功耗低，前端数字化**
- **大动态范围：采用双量程波形数字化设计**



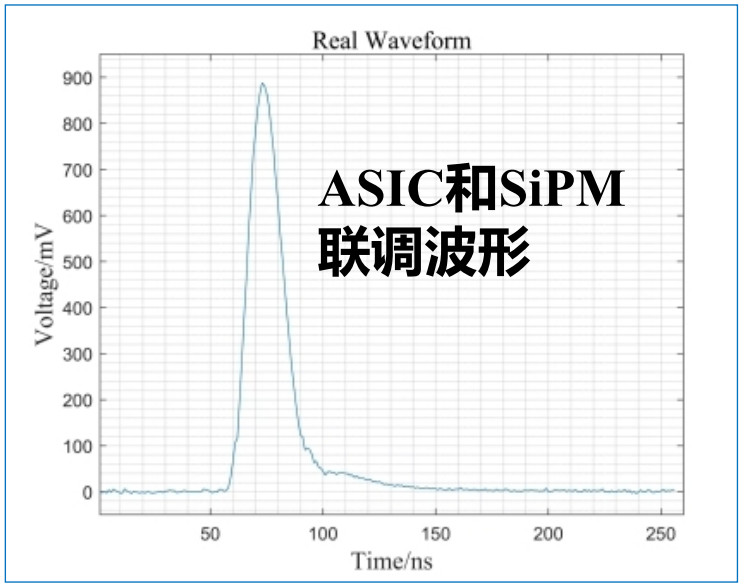


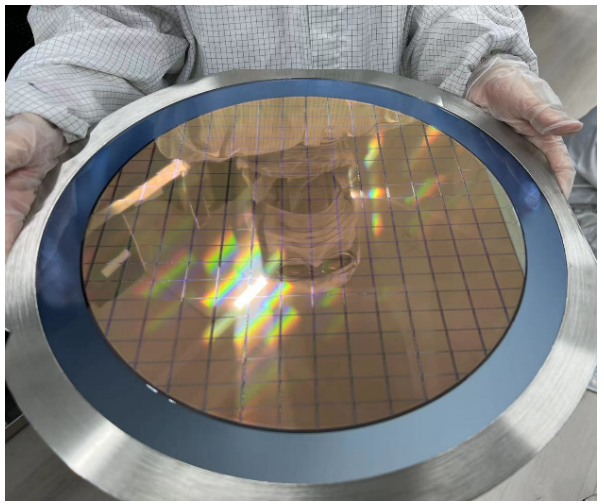
核心部件国产化

- 自研核心专用集成芯片（ASIC），突破美国禁运**应对复杂国际形势，规避不可预测风险**
  - 1GHz采样频率，10 bits ADC
  - 测试结果满足要求，但性能指标仍有提升空间
  - 等待批量生产



基于自研ASIC的前端电子学板





高能所自主研发的专用集成芯片样片

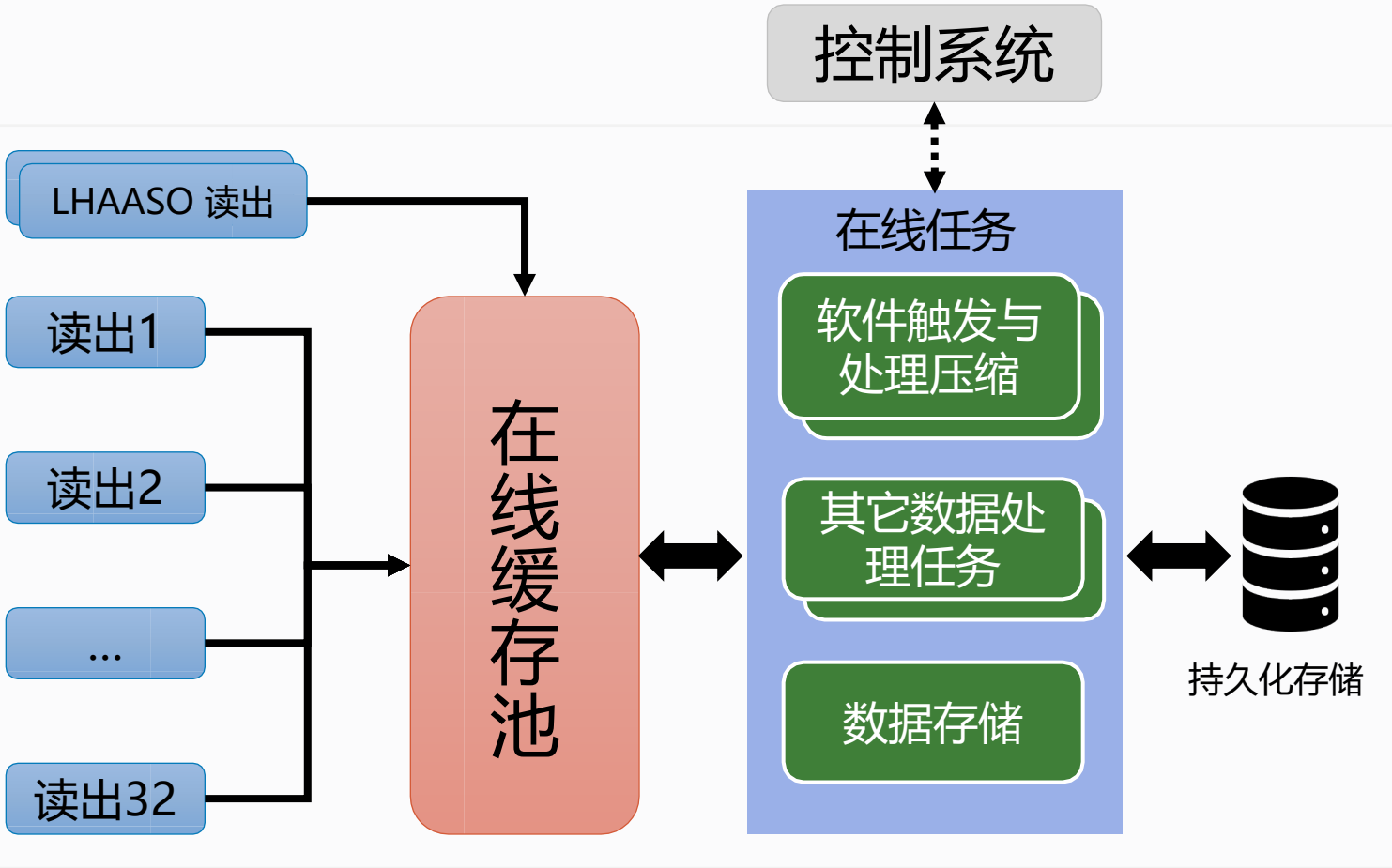
数据获取与在线数据处理

核心需求

- **LACT与 LHAASO-KM2A联合触发**
- 数据压缩
- 数据质量监测、探测器自检等

性能指标

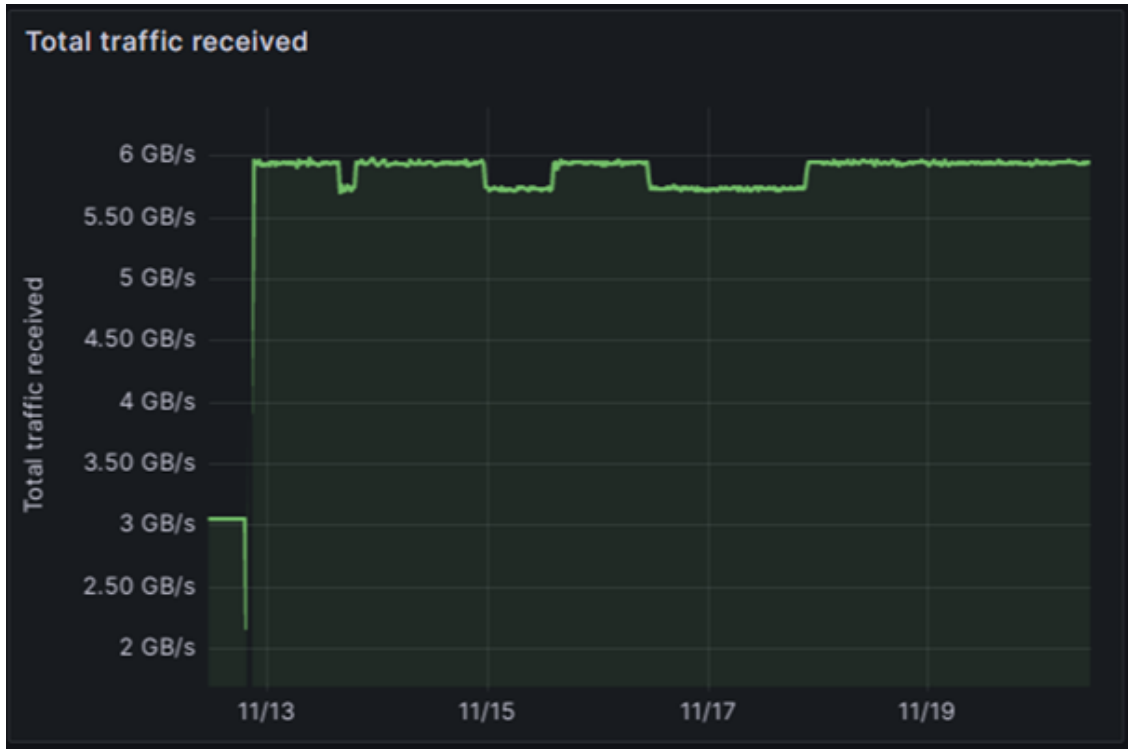
- 读出数据率：280MB/s
- 存储数据率：6MB/s



- 基于缓存池的流处理方案：实时任务调度，并为用户提供在线算法开发、调试与集成运行平台
- 缓存池：采用分布式内存方案，是数据交换中心，具备**高吞吐能力和高可靠性**

分布式内存缓存池技术验证

性能和稳定性测试（@6GB/s）



实际应用测试：缓存LHAASO WCDA数据

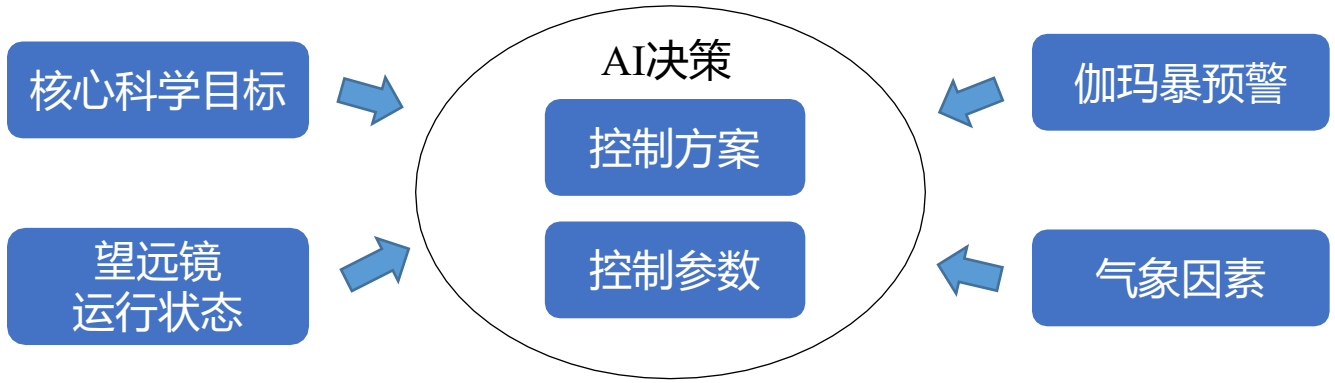
- LHAASO网络环境中（10GbE），单节点吞吐能力接近网络上限
- 应用于LHAASO数据量最大的WCDA实验，长时间稳定运行

完成基于内存缓存在线计算系统关键技术验证，满足LACT和LHAASO数据缓存需求

控制系统

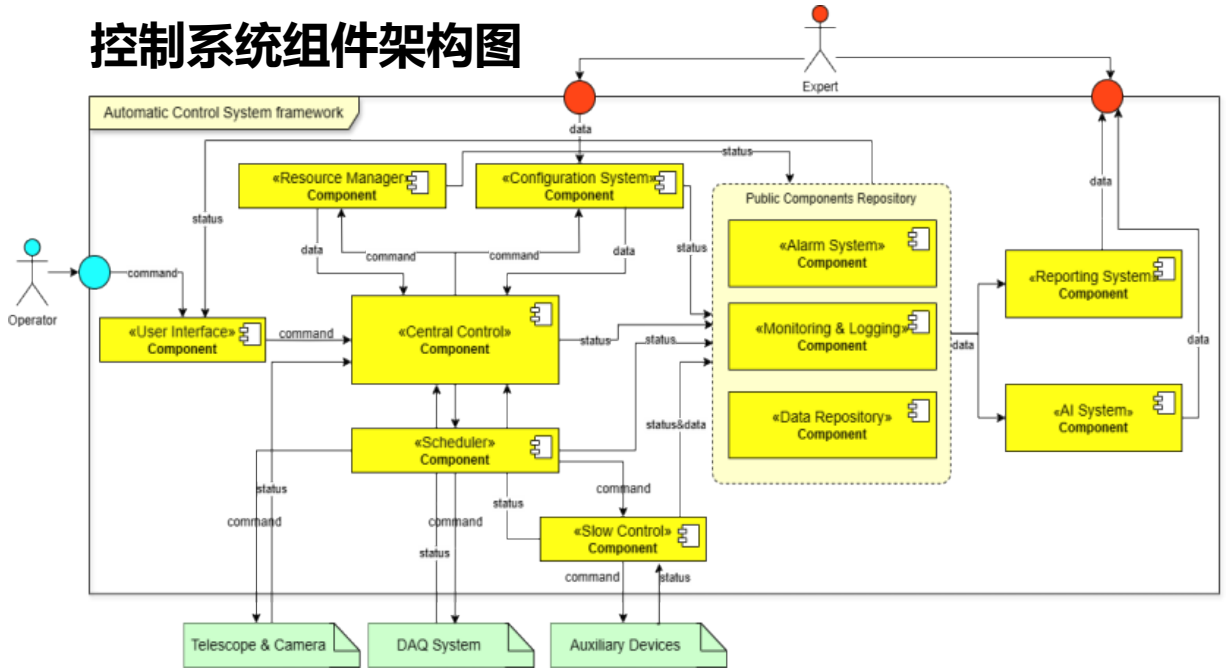
核心需求

- **多数据源整合**
  - 望远镜系统
  - DAQ与在线数据处理系统
  - 刻度系统
  - 辅助观测系统
  - …
- **自动化 & 智能运行观测**



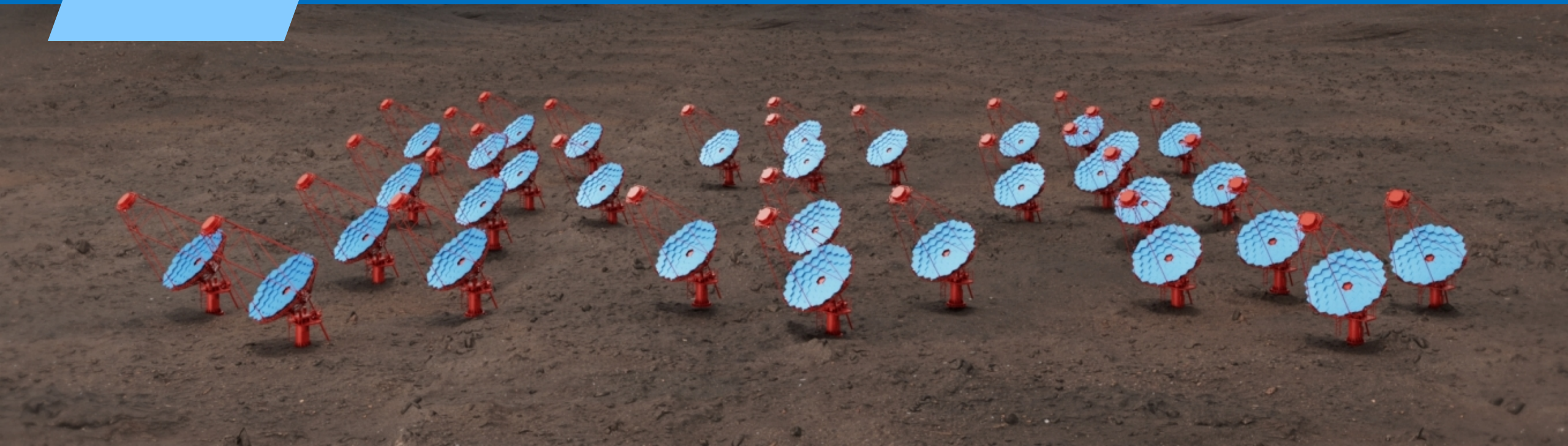
综合多种因素，智能调整运行控制方案和参数

控制系统组件架构图



04

建设计划和站点简要介绍



- **2016年启动我国大口径切伦科夫望远镜方案论证**
- **2020年1月国际研讨会，提出LACT初步方案**
- **2020秋季成立攻关小组**
  - 主结构
  - 主反射面
  - 核心专用集成芯片及其读出电路

- **参与攻关的研究单位：**

高能物理研究所	中国科学技术大学
南京大学	云南大学
空间科学中心	云南天文台
四川大学	中山大学
南昌大学	西南交通大学
成都理工大学	天府宇宙线研究中心

大气切伦科夫成像单元研发平台

项目实施进度计划-LACT研制周期（2024-2028）

（一）LACT可研和初步设计编制和申报计划如下：

1、2024年1月-2024年9月：可研报告编制、评审及批复

2、2024年9月-2024年12月：初步设计编制、上报、评审和批复

（二）LACT项目工程建设计划如下：

1、2024年9月-2025年5月：第1台望远镜制作、安装调试分项鉴定验收

2、2025年6月：首台望远镜整体验收

3、2025年7月-2026年9月：第2-8台望远镜的制作与安装调试、测试

4、2026年10月-2028年9月：第9台-32台望远镜批量生产、安装、测试

5、2028年10月-2028年11月：全阵列试运行

6、2028年12月-2028年12月：竣工验收

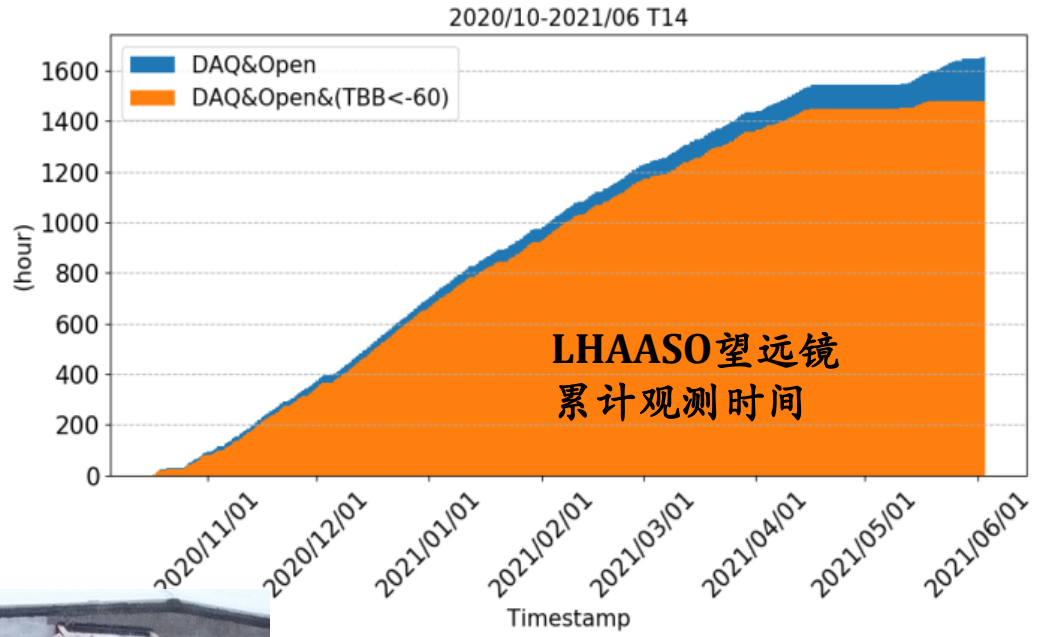
项目实施进度计划-自初设批复日期起

建设周期4年：2024.9 – 2028.8

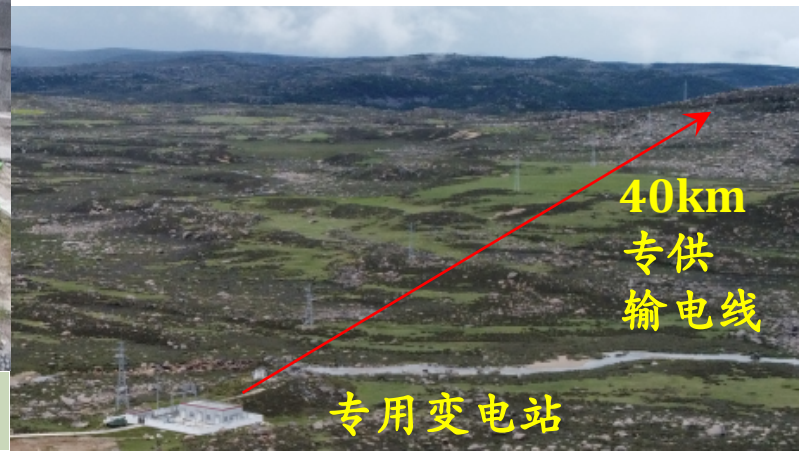
序号	阶段名称	2024年			2025年			2026年		2027年	2028年		
		1-3	4-8	9-12	1-5	6	7-12	1-9	10-12	1-12	1-9	10-11	12
1	第1台望远镜制作、安装调试分项鉴定验收												
2	第1台望远镜整体验收												
3	第2-8台望远镜的制作与安装调试、测试												
4	第9台-32台望远镜批量生产、安装、测试												
5	全阵列试运行												
6	竣工验收												

优秀的观测台址：LHAASO站点

- 地理位置：四川稻城海子山（海拔4410米）
- 优质空气质量和低背景光
- 海子山观测基地已具备：
  - 供电、网络、计算、技术支撑等
  - 数据获取系统（DAQ）
  - 现代化数据中心：暂存和中转



全功率备用电源



- 稻城基地提供良好后勤保障
- 交通便利：距亚丁机场15公里

LACT供配电方案

室外配电平面图

配电、通讯方案：

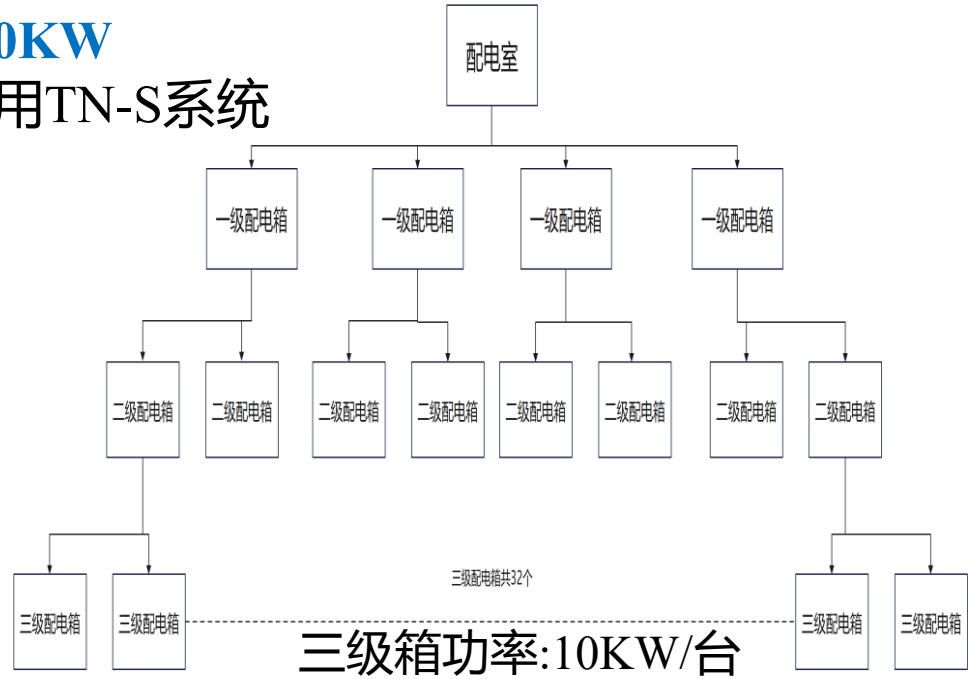
共计扩容320KW

低压配电采用TN-S系统

一级箱：4台

二级箱：8台

三级箱：32台



三级箱功率:10KW/台

1） 线路按原电缆沟敷设与新开挖电缆沟穿管直埋方式。

2） 通讯光缆与配电线缆的走向相同。

3） 户外配电箱内置WR交换机，使用铠装光缆连通。

用地申请

本项目的选址经稻城县自然资源局同意，无需另外办理手续，**符合当地的规划要求**

稻城县自然资源局

稻自然资函〔2023〕278号

稻城县自然资源局
《关于在LHAASO观测基地内建设大型超高能伽马源立体跟踪装置》的复函

四川天府新区宇宙线研究中心：

今收悉贵中心《关于在LHAASO观测基地内建设大型超高能伽马源立体跟踪装置的函》，经核实LACT项目用地为存量用地，不涉及新增建设用地，根据相关政策，无需办理《建设项目用地预审与选址意见书》。

特此回函。

稻城县自然资源局

2023年12月25日

中国科学院成都分院

科成发函字〔2023〕39号

中国科学院成都分院关于同意
高海拔宇宙线观测站提升计划用地的复函

四川天府新区宇宙线研究中心：

你中心《关于申请高海拔宇宙线观测站提升计划用地的函》已收悉。

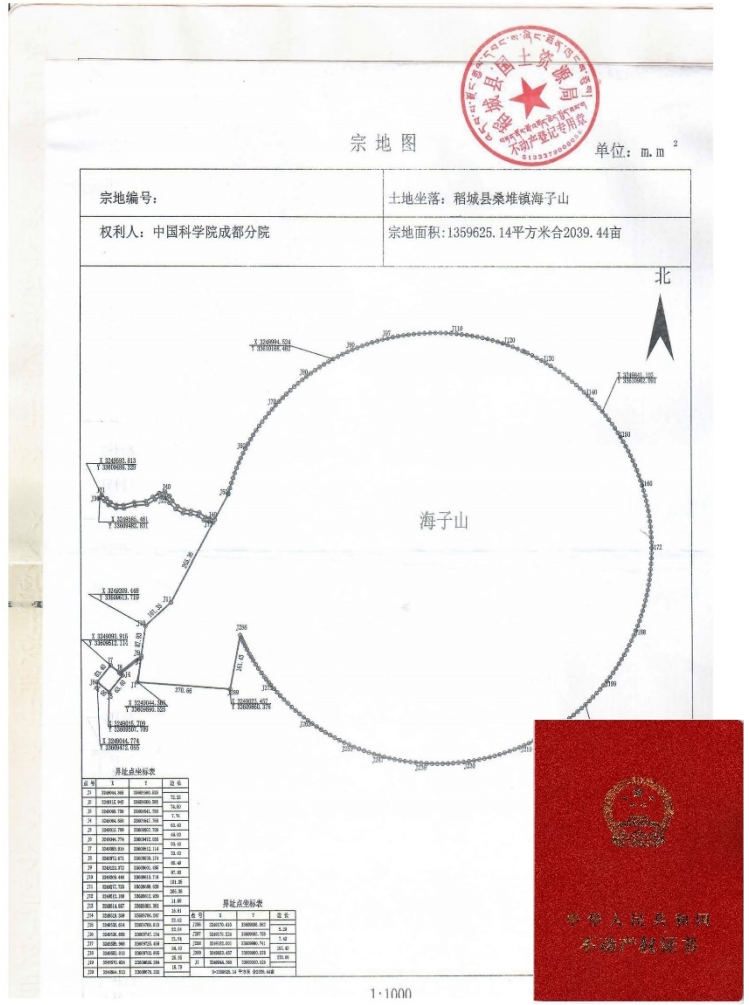
经研究，同意LACT项目无偿使用LHAASO观测站土地。

专此函复。

中国科学院成都分院

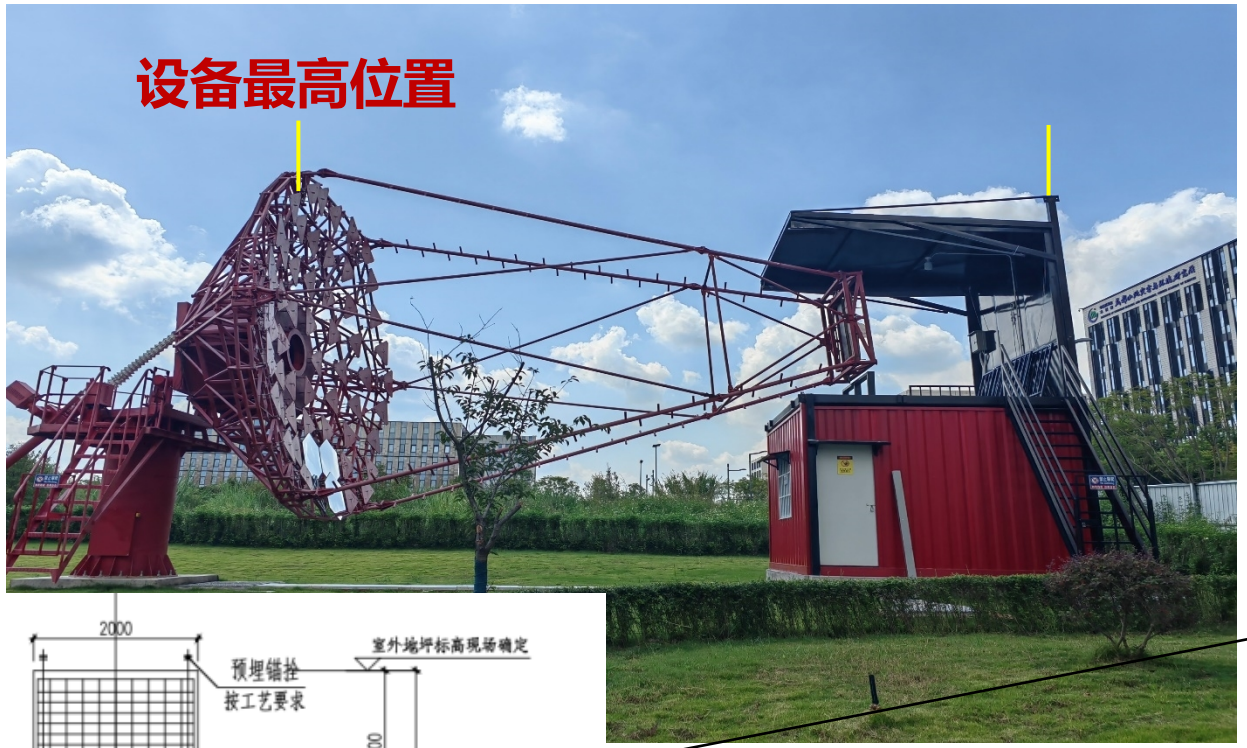
2023年12月14日

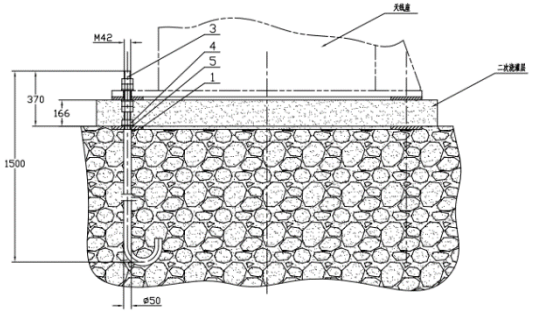
（联系人：牛亚伟　联系电话：13730865651）

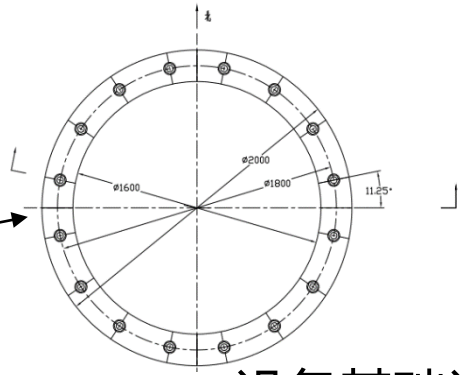


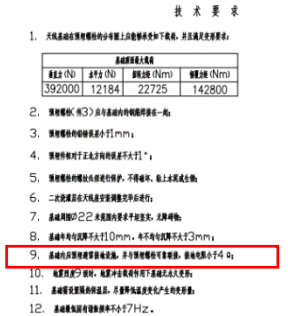
LACT设备防雷

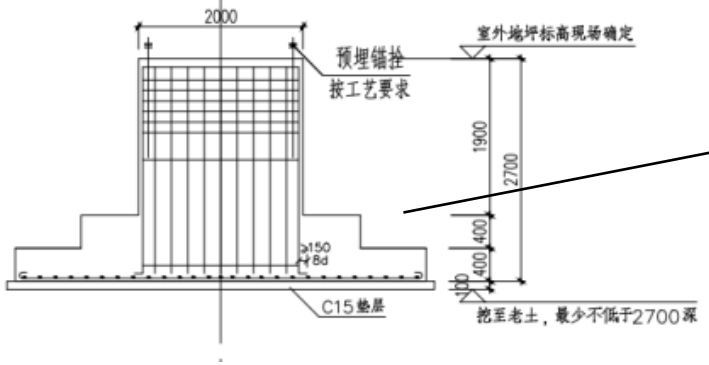
防雷目的：防护设备运行、回收状态直击雷











设备基础设计图

- **基础内预埋避雷接地设施，并与预埋螺栓可靠连接；**
- **基础内钢筋笼网与地下水连通，使防雷接地电阻≤4Ω**

05

组织管理

组织管理-项目法人单位四川天府宇宙线研究中心

宇宙线物理研究的综合性科技创新平台

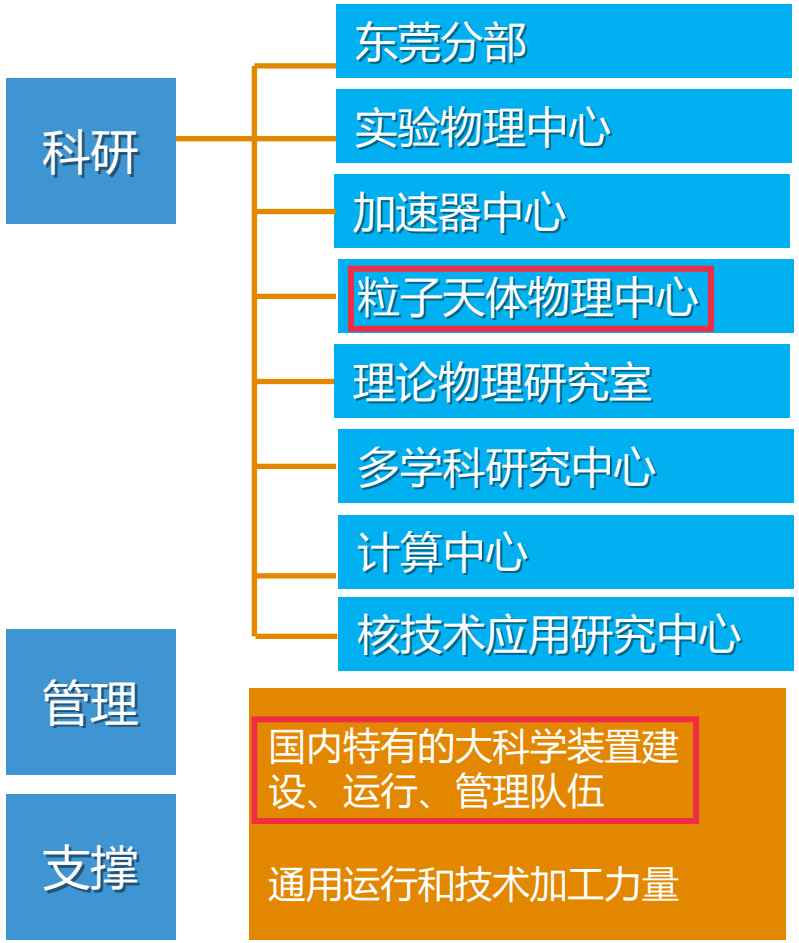
十二五国家重大科技基础设施

十三五科教基础设施

- **中心定位**
  - **提供技术支撑，保障LHAASO稳定运行**
  - **集聚尖端人才，支撑高质量科学产出**
  - **发展新型探测技术，培育未来大科学装置**
  - **开展多层次科普教育，服务地方经济社会**

组织管理-项目共建单位高能物理研究所

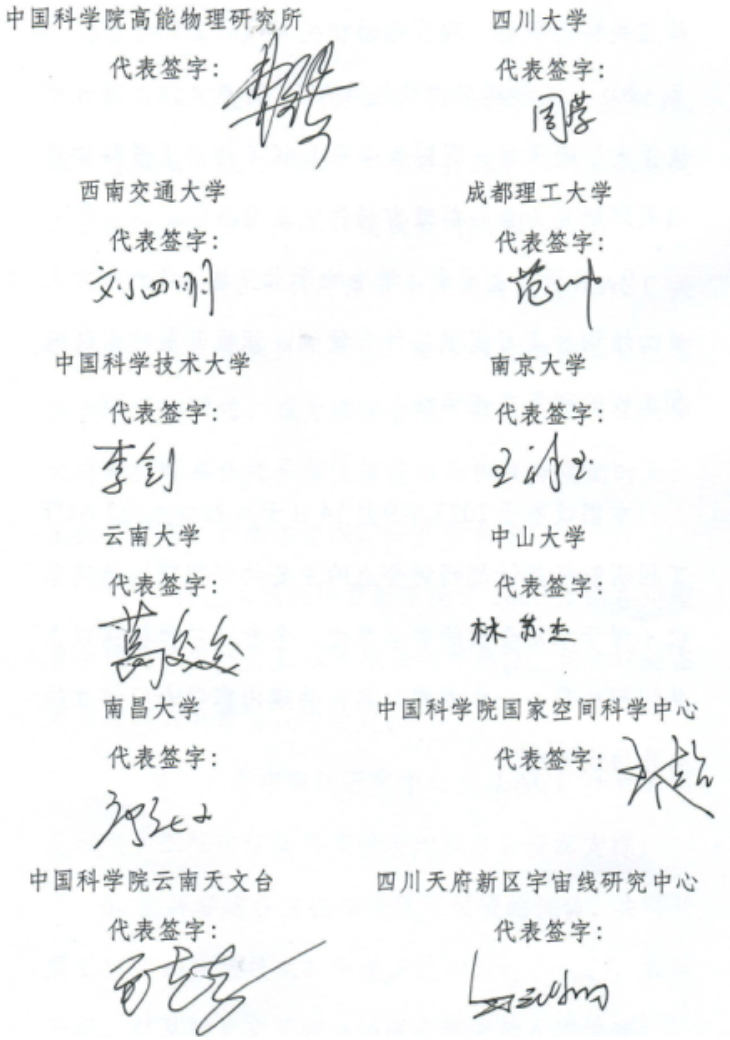
- 具有依托大科学装置、多学科交叉的综合优势，成为具有国际影响的大型研究基地，在国家创新体系中占有重要地位。
- 粒子天体物理重点实验室(2023年1月启动全国重点实验室建设，建设期2年)



组织管理-参建单位（11家）

1. 成都理工大学
2. 南京大学
3. 南昌大学
4. 清华大学
5. 四川大学
6. 西南交通大学
7. 云南大学
8. 中国科学技术大学
9. 中国科学院国家空间科学中心
10. 中国科学院云南天文台
11. 中山大学

创新性的大科学工程建设方式



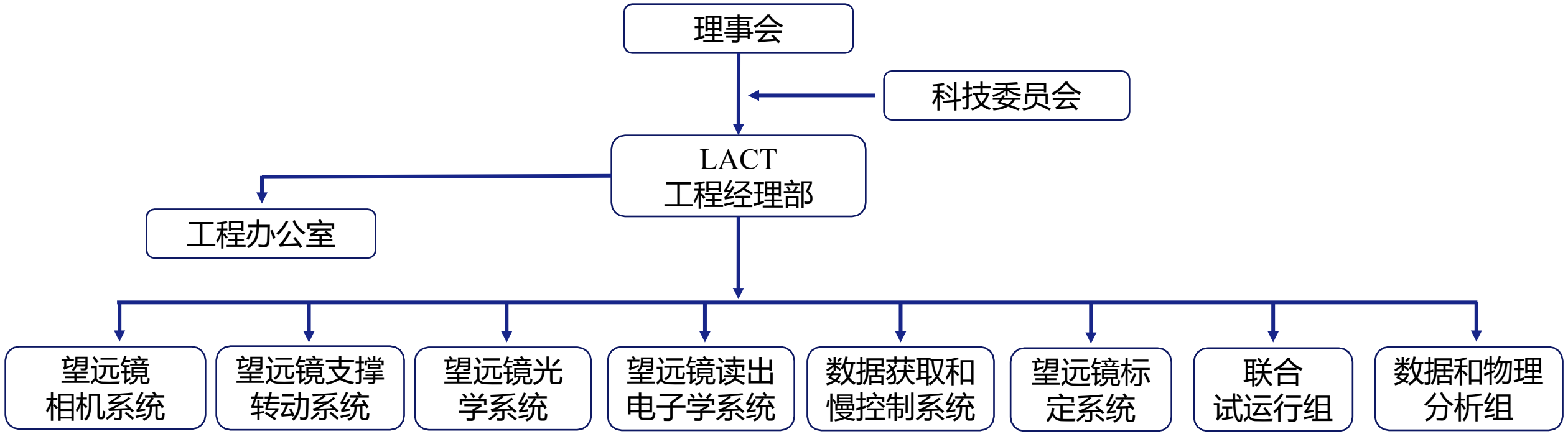
基于国家重大科技基础设施高海拔宇宙线观测站，共建大型超高能伽马源立体跟踪观测设备，绘制精细高能宇宙画卷

联合倡议

天府宇宙线研究中心

2023 年 9 月 14 日　成都

组织管理-LACT工程组织管理架构



项目组成立“工程经理部”：由总经理、总工程师、总工艺师、总经济师构成，负责项目建设过程中的统筹和重大问题决策工作。

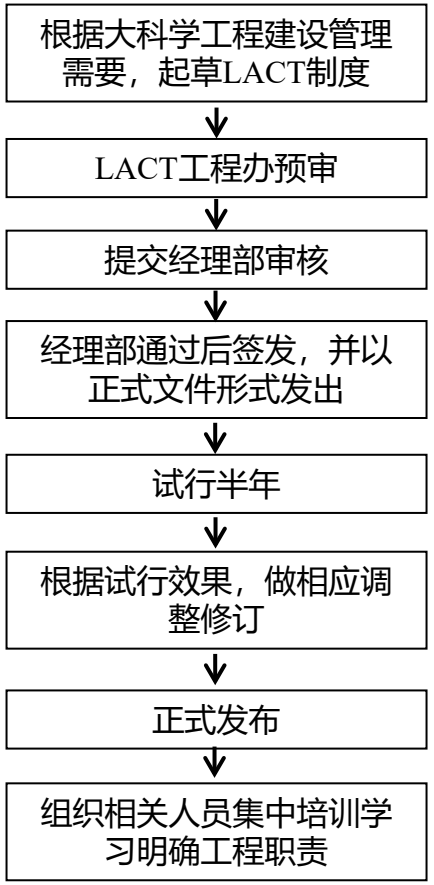
工程LACT经理部下设：工程办公室、相机系统、支撑转动系统、光学系统、读出电子学系统、数据获取和慢控制系统、标定系统、联合试运行组、数据和物理分析组，负责具体建设工作开展。

组织管理-LACT工程组织管理架构

依据 《中国科学院重大科技基础设施建设管理办法》、高能所资产、财务、档案、人事等相关管理制度

LACT工程建设相关管理制度

图 LACT管理制度制定及发布流程



1. LACT工程组织机构职责
2. 技术文件和图纸代号规定
3. 工程图样、技术文件签署规则及责任制
4. LACT项目高原作业安全规范
5. LACT工程设计质量保证程序
6. LACT工程设备鉴定及验收程序
7. LACT会议管理制度
8. 国内采购与合同审批程序
9. 档案管理办法及兼职档案员职责
10. 工程财务报销管理办法
11. 车辆管理规定
12. 其他工程管理制度

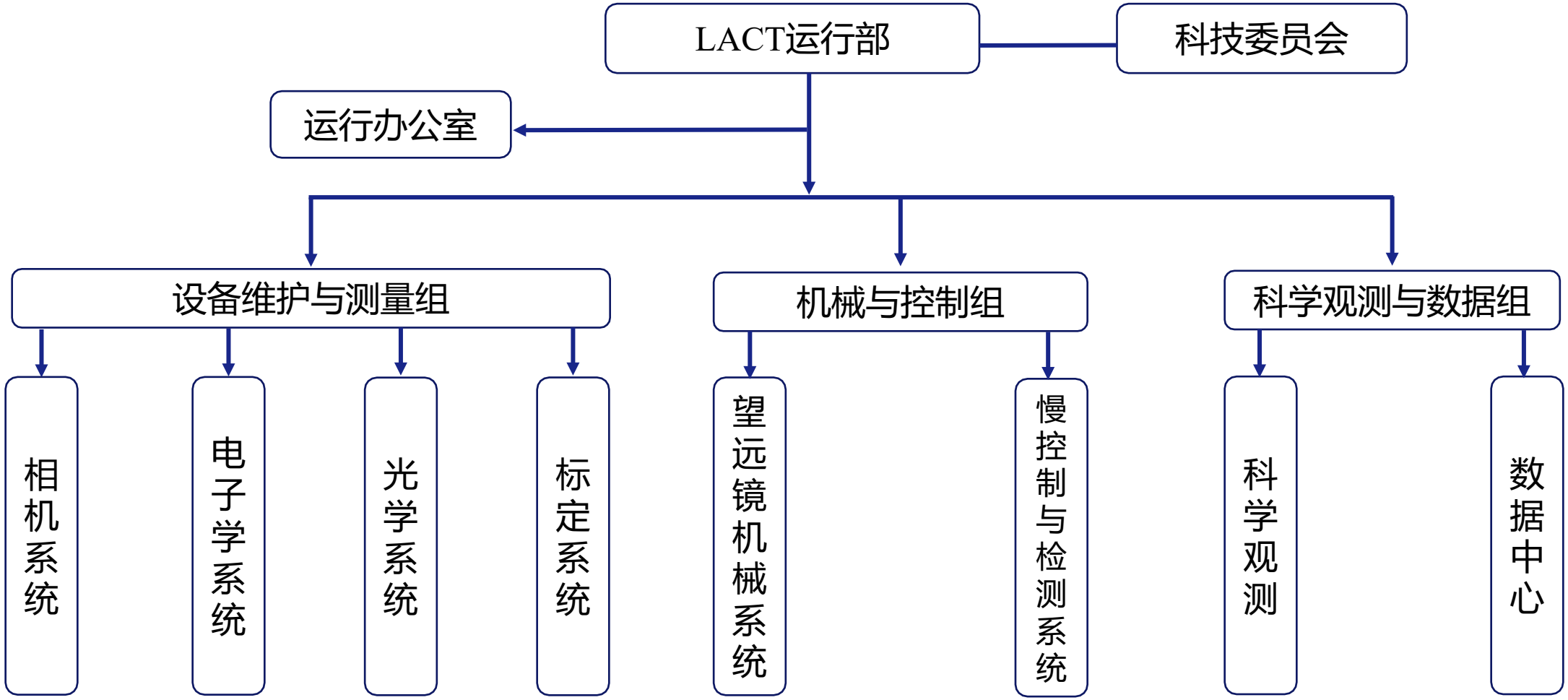
适时组织管理制度培训

06

运行与开放共享

组织管理-LACT运行组织管理架构

- LACT全阵列建成后，将统一纳入LHAASO的运行管理模式；
- 由高能所负责LACT的运行管理，天府宇宙线研究中心承担运行经费申请。



人才队伍建设

➢ 工程建设团队建设

- 依托LHAASO建设的核心人员，构建合理的建设团队框架，形成更合理的人才梯队结构；
- 充分依托各参建单位核心人员，筛选得力人才填充到建设管理框架内，保持建设队伍的持续性和稳定性；

➢ 青年科学家培养计划

- 加强青年人才（科学研究和技术研发）培养，支持他们挑大梁，形成更合理的人才梯队结构
- 将继续支持青年科学家牵头承担重要课题与项目，充分开展科学研究与技术研发

➢ 研究生培养

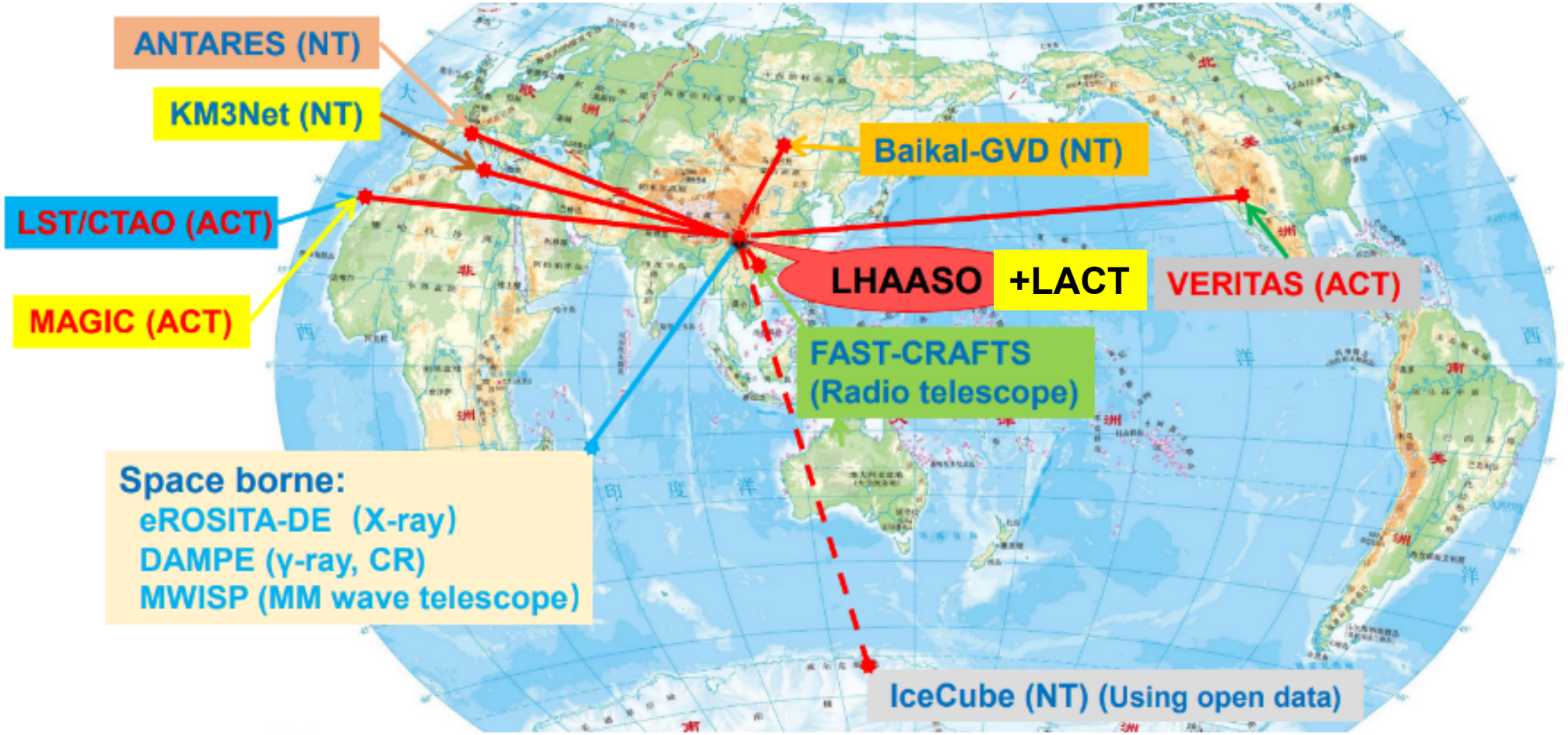
- 培养国科大博士生15名，联合培养各高校硕士、博士生40名

开放共享

- LHAASO合作组成员国
  - 来自法国、泰国、俄罗斯、巴基斯坦、中国，32家研究机构，300位科学家
- LACT建成后，将继续沿用LHAASO合作组管理模式，作为开放实验平台，向其国内外研究机构开放，带动伽马天文学科的发展
  - 将采取“合作组”方式分级管理
  - 原始数据、重建数据、模拟数据、数据产品向合作组成员开放
  - 计算资源、存储资源、各类软件向合作组用户开放
  - 继续扩大国内国际合作组成员单位和成员

开放共享：与国内外装置联合观测

- LACT建成后，将在LHAASO合作组的基础上，延续并加强与国内外大型实验组的合作，深入开展超高能伽马源的多波段、多信使观测研究，实现破解拍电子伏宇宙线起源世纪之谜的科学目标



12 总 结

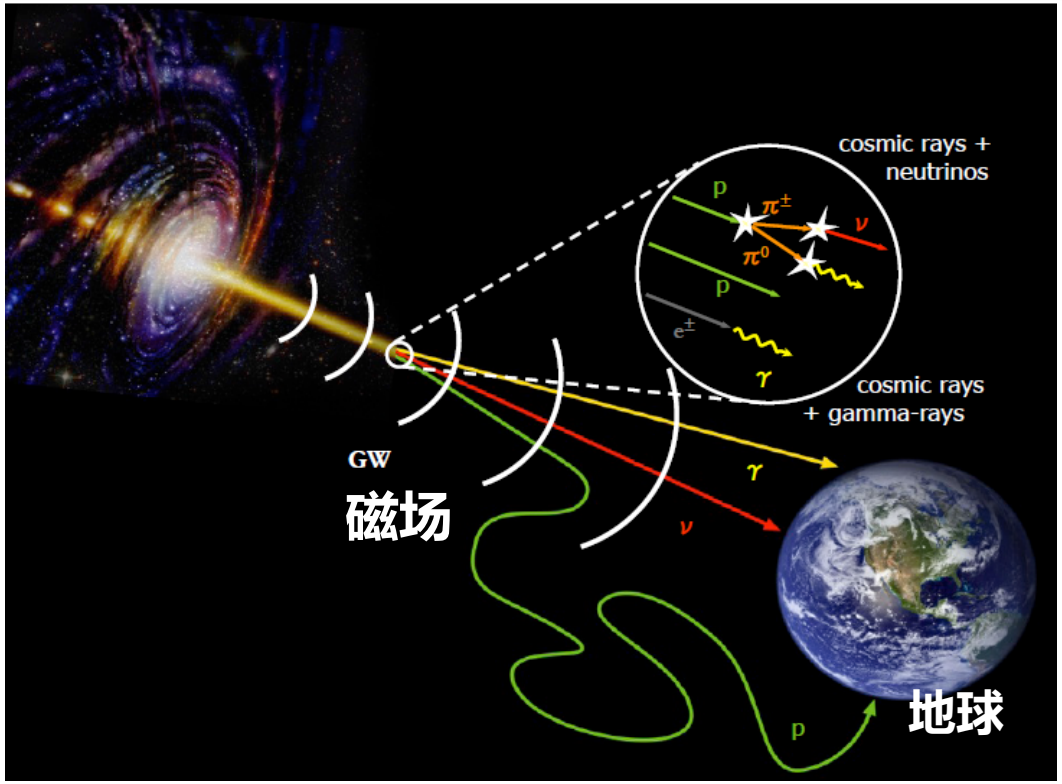
LACT项目总结

- 通过自主创新设计，研制世界上灵敏度和角分辨率综合探测能力最强的大型超高能伽马源立体跟踪装置——LACT
  - 采用多项国际先进技术，研制32台联动伽马源跟踪观测设备
  - 填补我国伽马天文高角分辨率伽马源跟踪观测设备的空白，培养高水平人才队伍
- LACT选址LHAASO站点
  - 与国际上独一无二的μ子探测器阵列联合，实现背景的高排除率
- LACT核心科学目标
  - 精细测量超高能伽马源空间形态及其能谱分布，领跑超高能伽马天文学研究
  - 揭示超高能伽马光子的辐射机制，破解拍电子伏宇宙加速器的加速机制
  - 探索高能宇宙线起源“世纪之谜”，领跑宇宙线起源研究
- 首台望远镜2025年投入运行，8台望远镜2026年投入运行，2028年全阵列（32台）投入运行

谢谢！

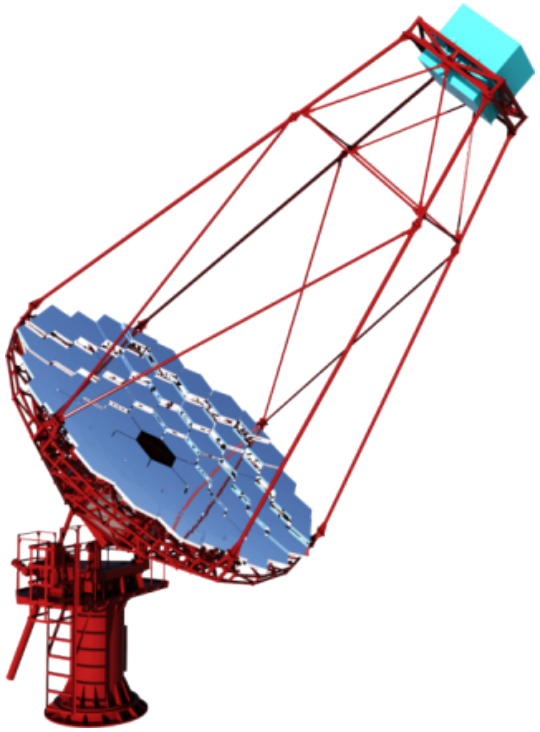
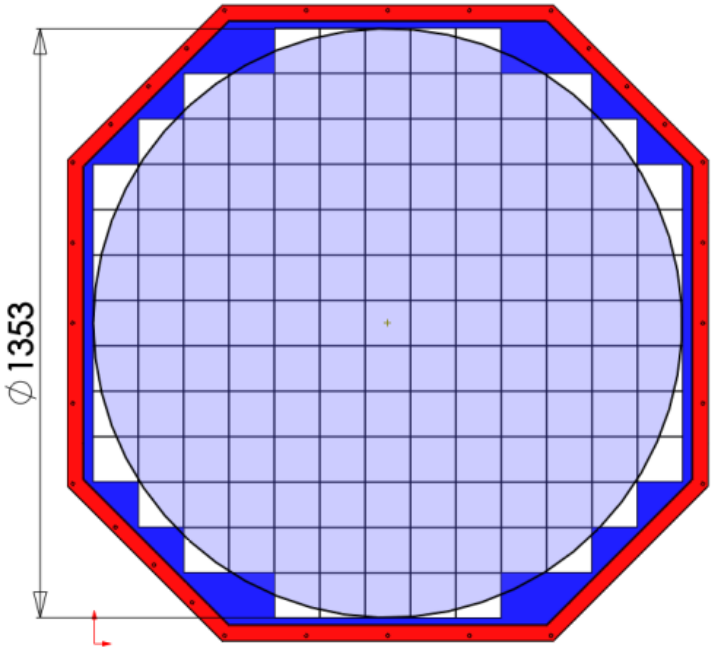
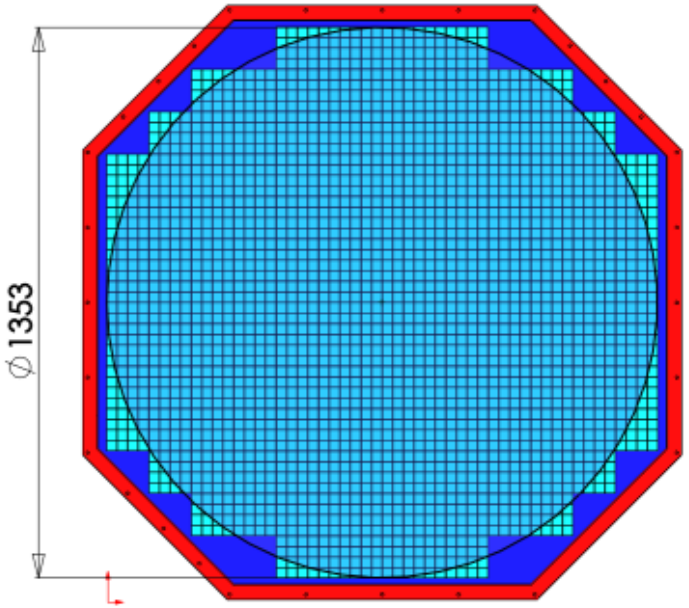
世纪难题：高能宇宙线起源与加速机制

- **宇宙线是来自外太空的高能带电粒子**
  - 氢、氦、锂、…铁等原子核
- **最高能量超过10^{20}电子伏特**
  - 人造加速器（LHC）粒子能量的**一千万倍**
- **高能宇宙线的起源仍未确定：**
  - 《Science》发布的125个**重大科学问题之一**



- **破解途径：伽马天文学、中微子天文学、极高能粒子天文学**
  - **伽马天文学是**最活跃的领域，产生成果最多

近期有望取得重大突破性成果

相机设计指标

- 焦距: 8000.00mm
- 像素尺寸: 25.80mm ×25.80mm （0.185°/pixel）
- 相机尺寸：1570.00mm ×1472.00mm （9.6°/camera）
- 相机布局：141 SubCluster，2256pixels，4×4pixels/SubCluster
- 动态范围：5~8000 pe