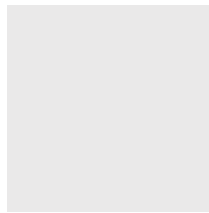
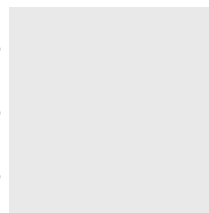
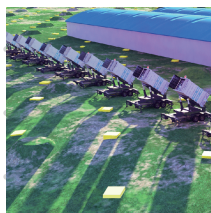
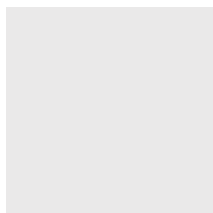
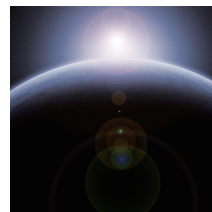
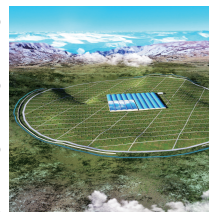
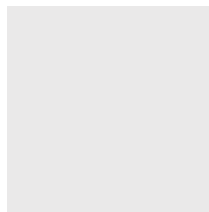
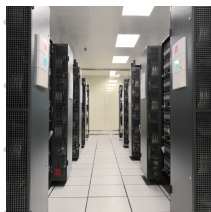


国家重大科技基础设施

# 高海拔宇宙线观测站

Large High Altitude Air Shower Observatory







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

LHAASO工程办制作

地址：北京市石景山区玉泉路19号乙

电话：010-88235181



高能物理研究所



LHAASO



## 高海拔宇宙线观测站项目简介

高海拔宇宙线观测站是“十二五”期间启动的国家重大科技基础设施项目，以探索高能宇宙线起源并开展相关的高能辐射、天体演化以及暗物质分布等基础科学研究为核心目标。项目于2015年12月获得国家发改委批准立项，项目总投资约12亿元，建设周期四年，建设站址位于四川稻城海子山，平均海拔4410米。高海拔宇宙线观测站由中国科学院与四川省人民政府共建，由中国科学院成都分院和中国科学院高能物理研究所承担建设。

高海拔宇宙线观测站由电磁粒子探测器阵列、缪子探测器阵列、水切伦科夫探测器阵列和广角切伦科夫望远镜阵列组成。通过4种探测器阵列的复合测量，高海拔宇宙线观测站在超高能伽马射线探测灵敏度、甚高能伽马射线巡天普查灵敏度、宇宙线能谱覆盖范围和宇宙线成份识别精确度等方面均达到国际领先水平。

位于稻城海子山建设中的LHAASO

2019年12月24日航拍



# 01

## 宇宙线是什么？

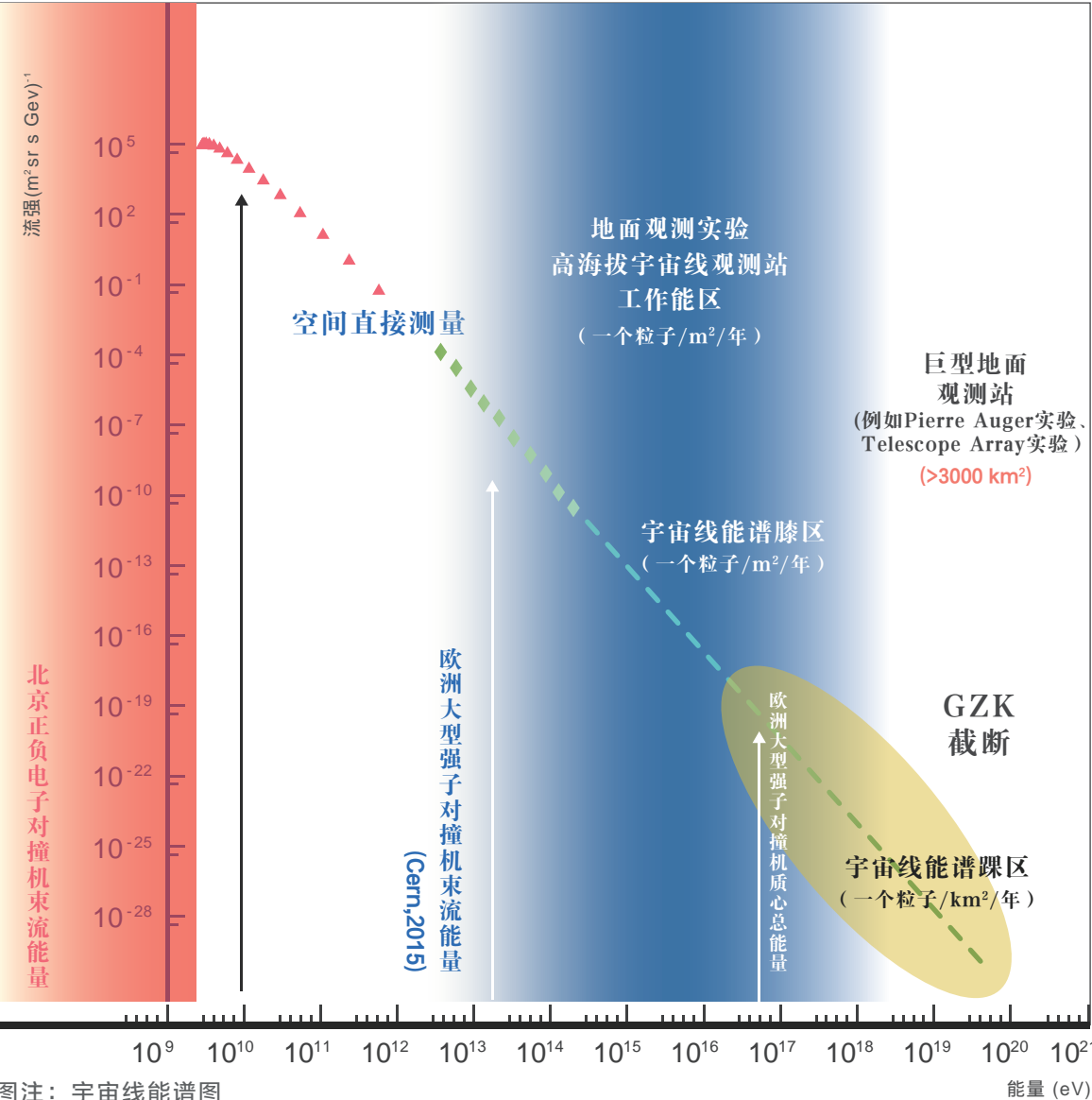
- 宇宙线是来自宇宙空间的高能粒子，主要由质子和多种元素的原子核组成，并包括少量电子和光子。它们时刻造访于我们的星球。1912年，被奥地利科学家赫斯发现。
- 高能宇宙线的能量跨度为 $10^9 \sim 10^{20}$  电子伏特，能量越高则越稀少，需要越大规模的探测器来探测。

# 02

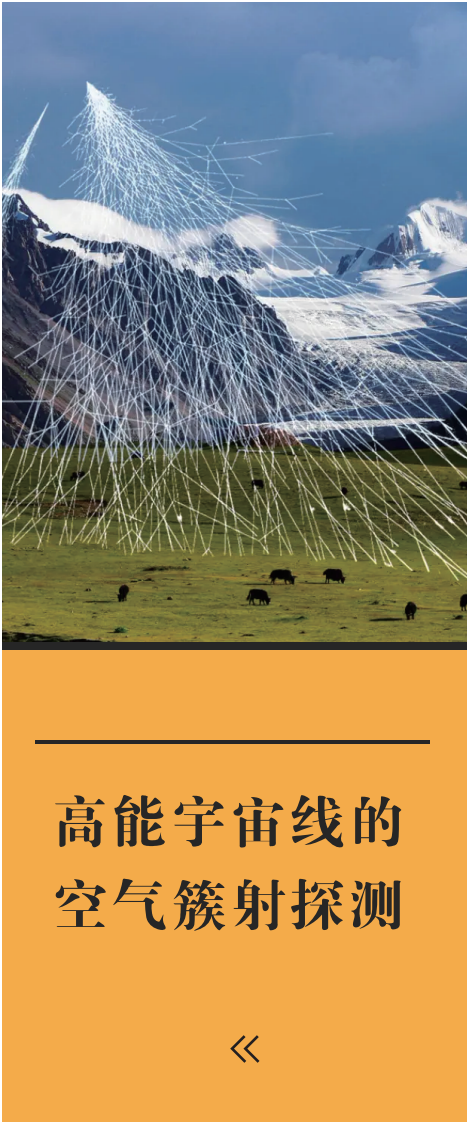
## 宇宙线起源 —— 世纪之谜

- 因绝大多数宇宙线为带电粒子，在传播过程中会在星际磁场中发生偏转，到达地球时失去了原初的方向信息，无法反推源的方向。至今人类仍未找到高能宇宙线起源，无法证实其产生机制及加速原理。
- 宇宙线携带着宇宙起源、天体演化、太阳活动及地球空间环境等重要科学信息，研究宇宙线及其起源是人类探索宇宙的重要途径。
- 宇宙线起源这一“世纪之谜”被国际物理学界列为“新世纪11个科学问题”之一。

# 宇宙线全粒子能谱

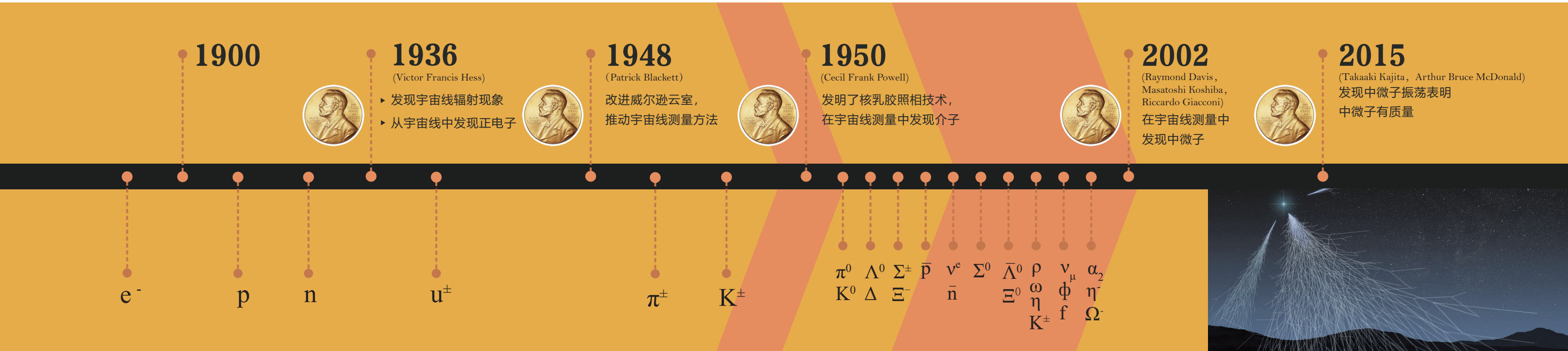


- 宇宙线粒子进入到大气层后，和大气中的原子核发生相互作用产生许多次级粒子，次级粒子仍然携带着较高的能量，继续与大气中的原子核发生相互作用产生新的次级粒子，如此重复十几次，最终次级粒子数最高可达百亿，在空气中像一场粒子“阵雨”瞬间散布在数平方公里的面积上。这个过程称为广延空气簇射（EAS）。
- 通过建造地基探测器，实现对EAS次级粒子的探测，可以分析探测EAS中的次级粒子，分析原初宇宙线与大气的相互作用反推原初粒子的性质，开展相关物理研究。
- EAS探测有三种方式：地面（及地下）粒子阵列、切伦科夫望远镜、荧光望远镜。





# 宇宙线研究的辉煌历史



■ 通过宇宙线的研究，发现了大量的基本粒子，人类重新认识身边的物质世界，新的发现催生新的学科，开创了粒子物理学，也称为高能物理。关于宇宙线的研究至今产生了5枚诺贝尔奖。



# 高海拔宇宙线观测站

LHAASO

## 科学目标

### 探索宇宙线起源

精确测量候选天体（超新星遗迹、黑洞等）的伽马射线宽范围能谱，寻找宇宙线源存在的证据

精确测量宇宙线能谱和成分，研究宇宙线加速和传播机制

### 伽马射线源的巡天普查

大量发现伽马射线源，揭示新现象、发现新规律

### 新物理前沿研究

开展暗物质研究，超越加速器物理能标之上的新物理问题，量子引力效应或 Lorentz 对称性破缺效应等研究

## 设施设计指标

对 2 TeV 的伽马射线源，年灵敏度达到  $<1.3\%$  蟹状星云流强

对 50 TeV 的伽马射线源，年灵敏度也达到  $<1.2\%$  蟹状星云流强

对 100 TeV 的宇宙线，有效孔径  $>4,000 \text{ m}^2 \text{ sr}$

## 国际领先地位

最高的高能伽马射线探测灵敏度

最灵敏的甚高能伽马射线巡天探测

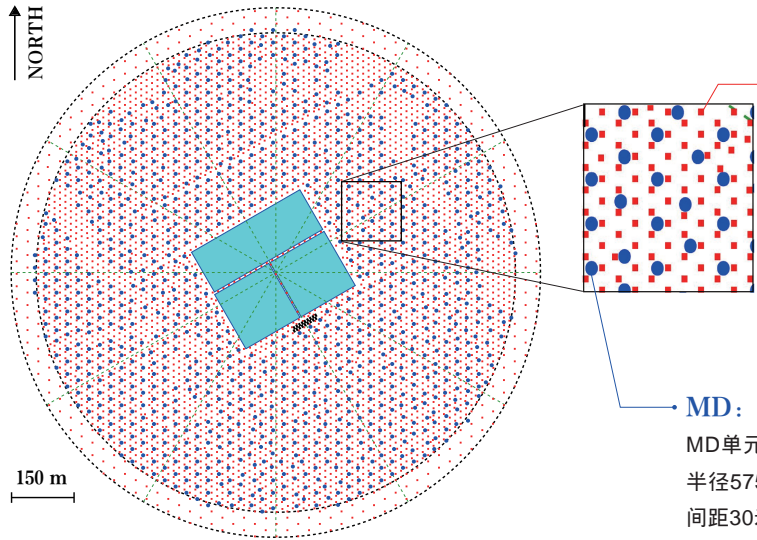
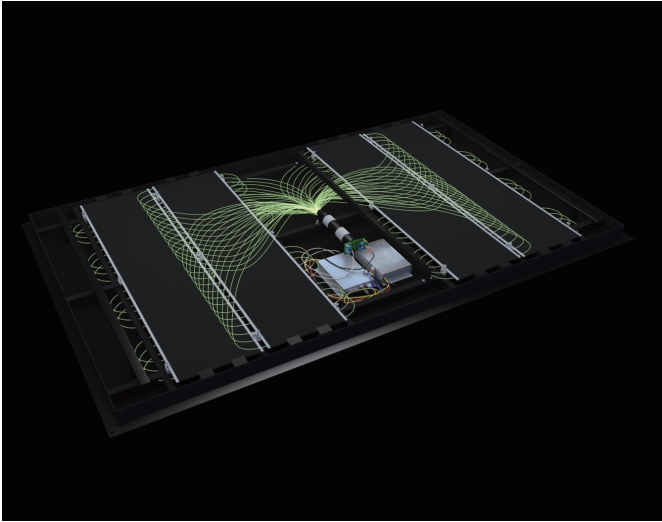
最宽广的宇宙线能量测量范围上的能谱精确测量

# 高海拔宇宙线观测站探测器阵列组成

- 电磁粒子探测器阵列（ED）：由5195个电磁粒子探测器组成。
- 缪子探测器阵列（MD）：由1171个缪子探测器组成。
- 水切伦科夫探测器阵列（WCDA）：由3000路探测单元组成，探测面积为78000平方米。
- 广角切伦科夫望远镜阵列（WFCTA）：由12台望远镜组成，覆盖3072平方度的天区范围。

## 电磁粒子探测器（ED）阵列

用于测量广延空气簇射（EAS）中的次级电磁粒子。探测介质为塑料闪烁体，通过波长位移光纤收集带电粒子在闪烁体内产生的闪烁光，并传导到光电倍增管（PMT），转换为电信号进行测量。

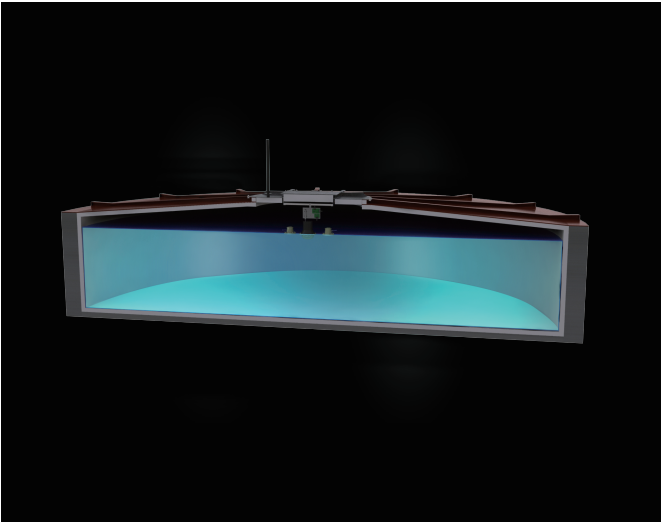


**ED:**  
每个ED的面积为1m<sup>2</sup>，阵列可以分为中心区和外围区两个部分。其中，中心区的半径为575m，探测器总数量达到4901个，每相邻的3个ED以15m间距呈品字形均匀排布。外围区是一个半径处于575-635m之间的环形区域，相邻的ED之间的距离增大到30m，共布设了294个探测器。

**MD:**  
MD单元为一个直径6.8m、高1.2m的混凝土罐体，阵列设计方案为在半径575米的圆形区域呈品字形均匀排布1171个面积36平方米的MD，间距30米。

## 缪子探测器（MD）阵列

用于测量广延空气簇射（EAS）中的缪子含量。基本构造是在结构体体内放置高反射率水袋，水袋内装超纯水，水袋顶部中心安装光电倍增管，收集进入水体的缪子在水中产生的切伦科夫光，转换为电信号进行测量。





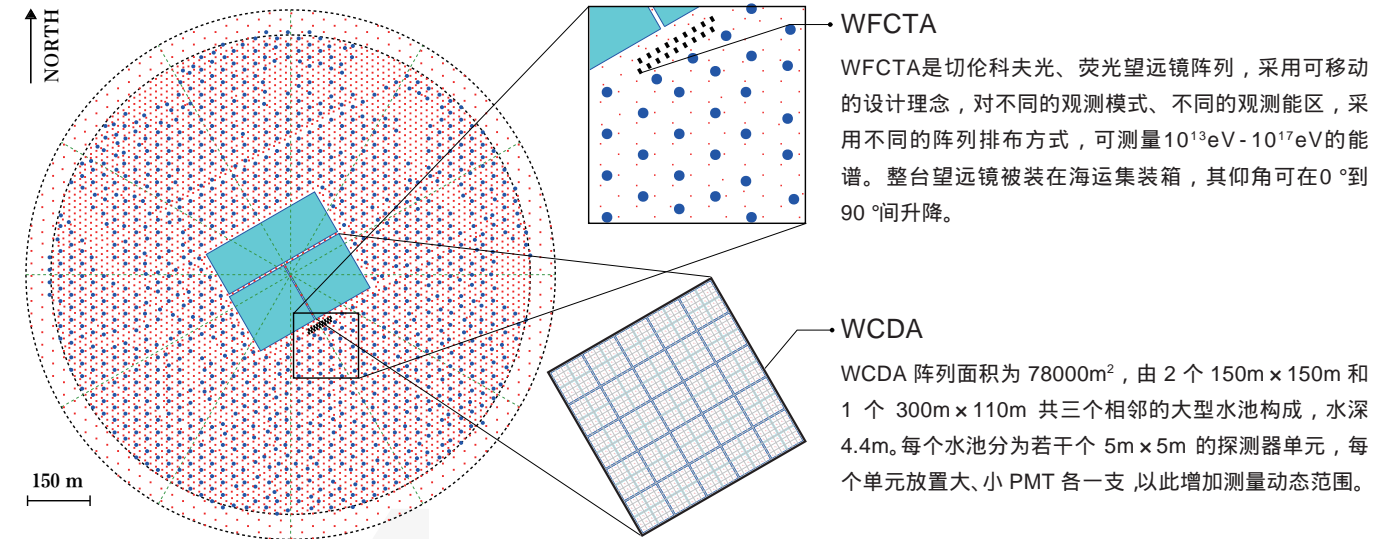
## 高海拔宇宙线观测站探测器阵列组成

电磁粒子探测器阵列（ED）：由5195个电磁粒子探测器组成。

缪子探测器阵列（MD）：由1171个缪子探测器组成。

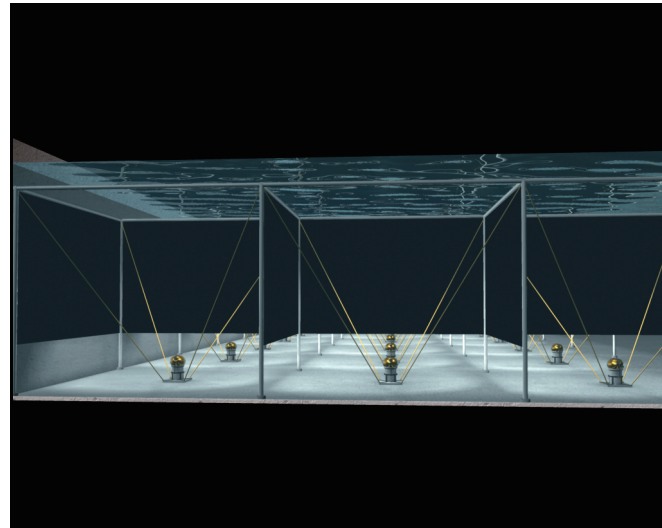
水切伦科夫探测器阵列（WCDA）：由3000路探测单元组成，探测面积为78000平方米。

广角切伦科夫望远镜阵列（WFCTA）：由12台望远镜组成，覆盖3072平方度的天区范围。



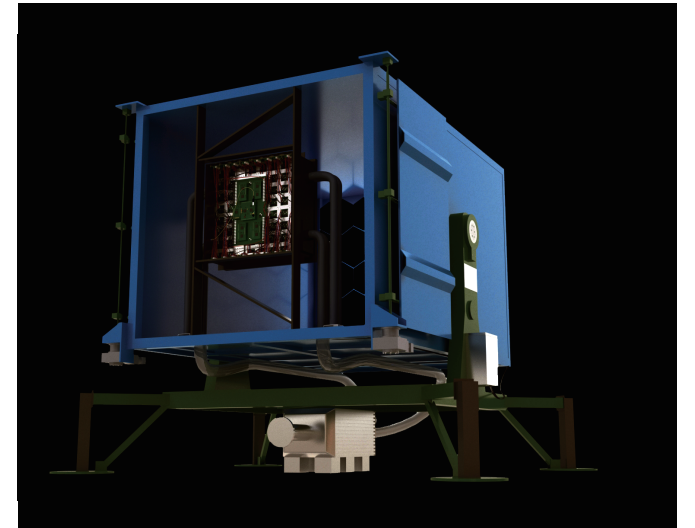
### 水切伦科夫探测器阵列（WCDA）

通过观测EAS中的次级粒子在水中产生的切伦科夫光，达到在甚高能中低能段（ $100\text{GeV} - 30\text{TeV}$ ）对整个北天区伽马源巡天观测的目的，经过数据分析，可以重建出原初伽马射线或宇宙线的到达方向、能量等参数，目标达到此能区世界最佳的巡天灵敏度，发现大量伽马射线源，推动甚高能伽马天文进入“千源”时代。



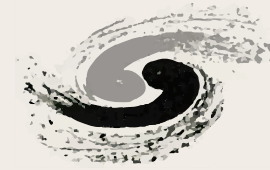
### 广角切伦科夫望远镜阵列（WFCTA）

测量高能宇宙线或高能伽马射线通过簇射在大气中产生的切伦科夫光或荧光。借助望远镜独有的可移动特性，通过阶段性阵列布局调整，联合ED、MD、WCDA，多参数、分能段，精确测量宇宙线成份能谱。采用多块镜片组成的球面反射镜设计方案，反射光由位于焦平面的SiPM阵列来收集。



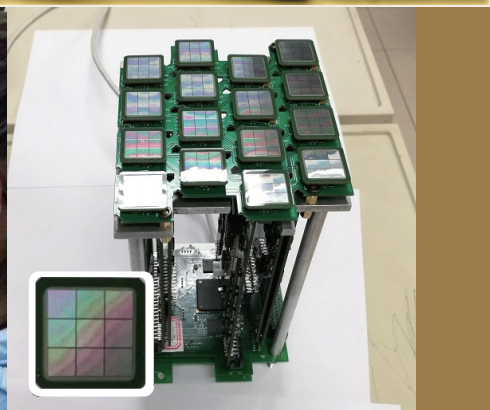
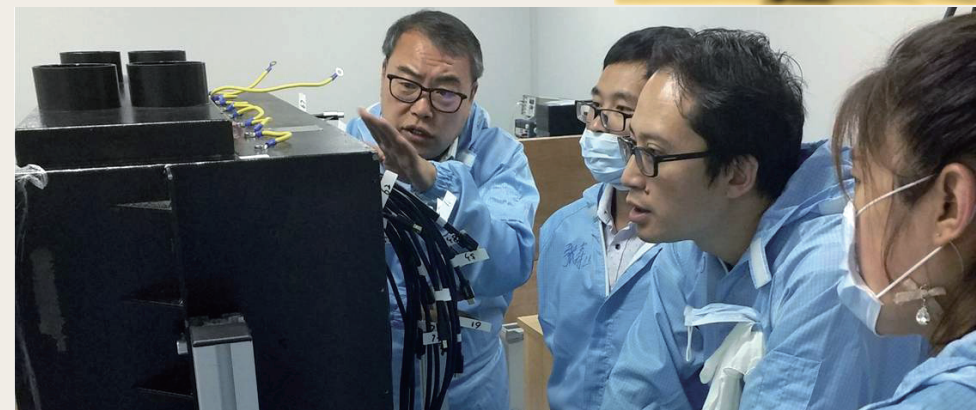
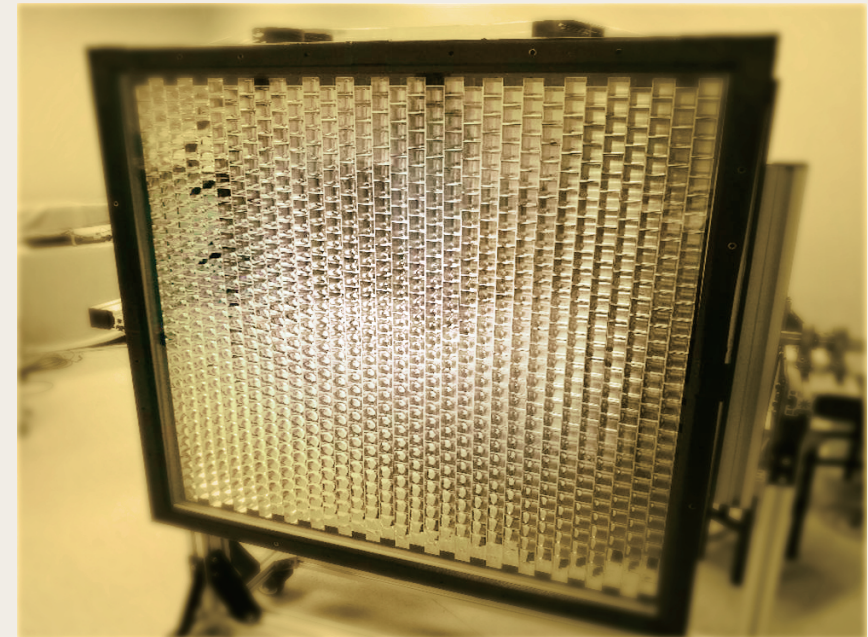
## 技术创新： 广角大气切伦科夫望远镜成像探头

研制单位：中国科学院高能物理研究所、云南大学、四川大学



如果把广角切伦科夫望远镜（WFCTA）比作眼睛，那么成像探头就是“视网膜”，这个接近1平方米的“视网膜”上有1024个像素，是目前世界上分辨率最高的广角切伦科夫望远镜成像探头。

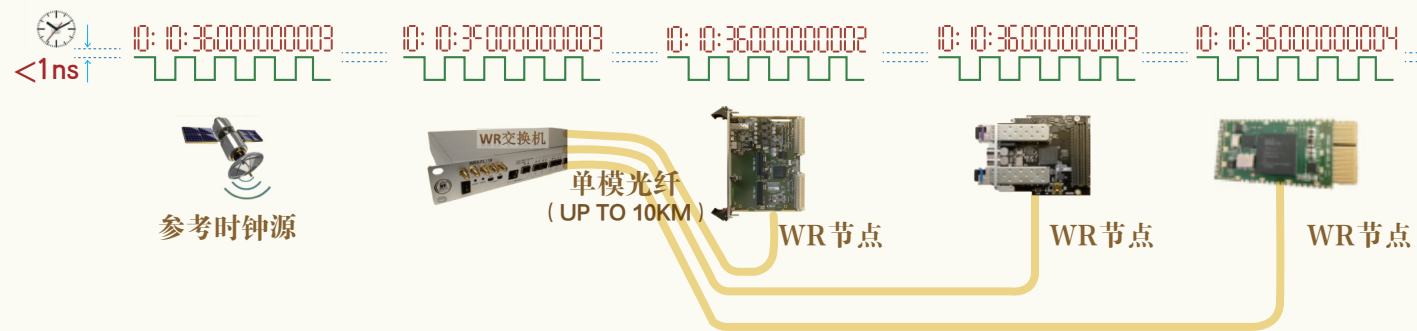
它的每个像素都是一片定制的硅光电倍增管（SiPM），SiPM有效观测时间比传统的光电倍增管（PMT）成像探头增加2倍，大规模地应用这种性能优异的光电探测器，在世界范围内尚属首次。





## 技术创新： 高精度多节点时钟分配系统

研制单位：中国科学院高能物理研究所、清华大学



- WR (White Rabbit) 是基于以太网技术而改进的全数字频率分布和时间同步技术，提供任何数量节点间频率锁相及亚纳秒级时间同步，保证全局同步数据获取及控制过程的实现。
- WR 在同步以太网和精密时间同步协议的基础上，采用相位返回和全数字鉴相实现主从节点的频率锁定和时间戳同步，解决大范围温度变化环境下链路延时的自动补偿和校准。
- WR 兼容以太网协议，以数据传输网络作为定时控制的媒介，节点逻辑仅需单片可编程器件即可实现，结构简单灵活，易于集成和升级。



## 实现大范围多节点



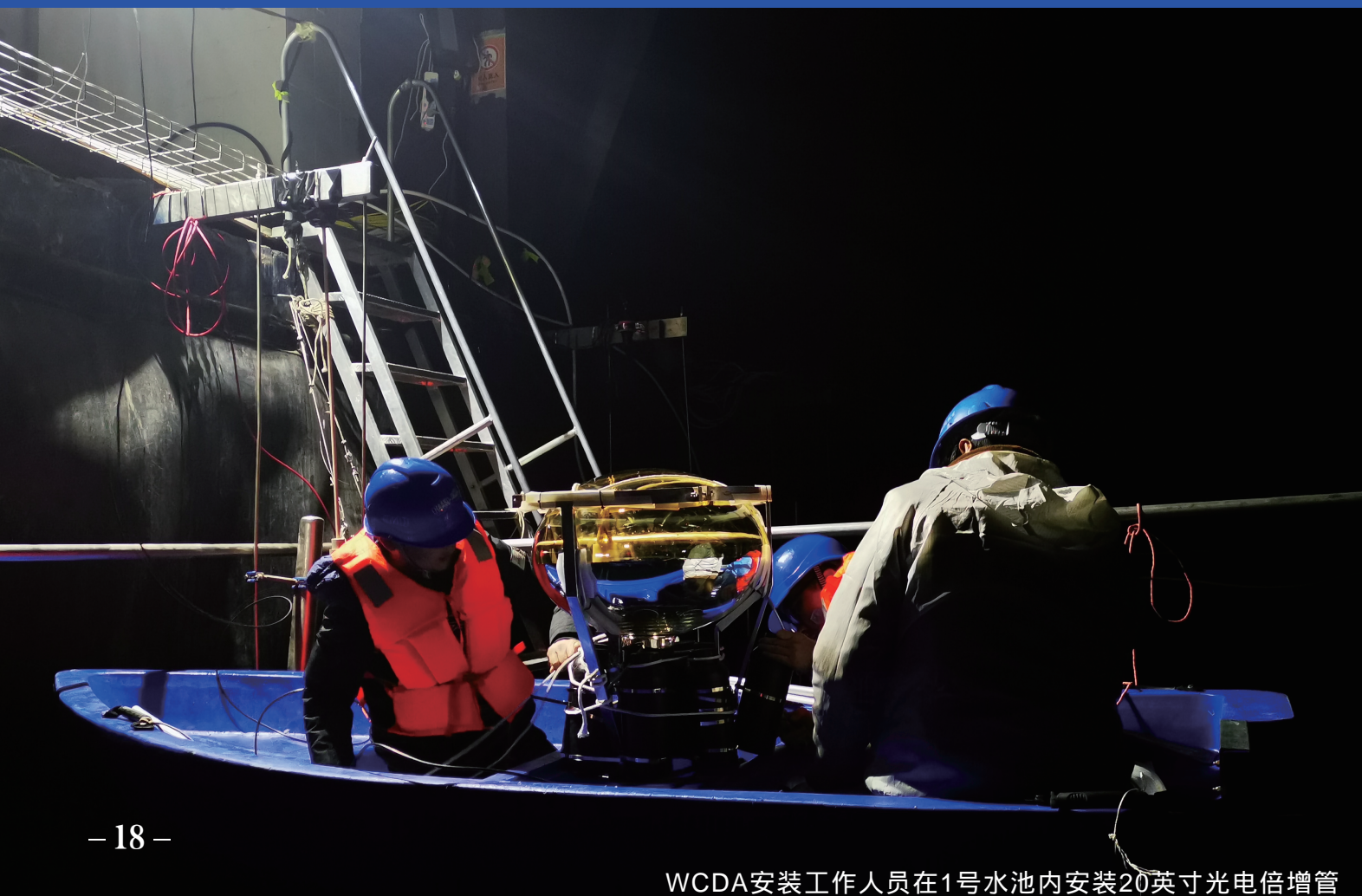
- 为近万个探测器节点提供统一的参考频率和时间，节点之间的时间偏差小于 0.5 纳秒 ( $10^{-9}$  秒，十亿分之一秒)
- 不受光纤长度和温度变化的影响，自动校正和补偿线路延迟
- 可以传输以太网数据包，读取探测器的数据和状态
- 稳定可靠，易维护，造价低，适应野外工作环境





## 技术创新： 大面积微通道板型光电倍增管

研制单位：中国科学院高能物理研究所、北方夜视技术股份有限公司



WCDA安装工作人员在1号水池内安装20英寸光电倍增管



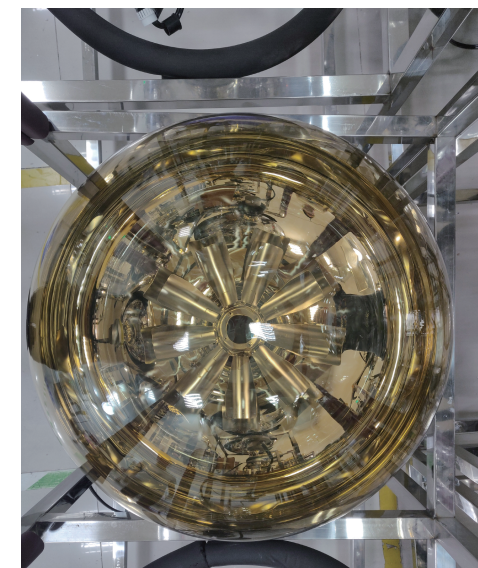
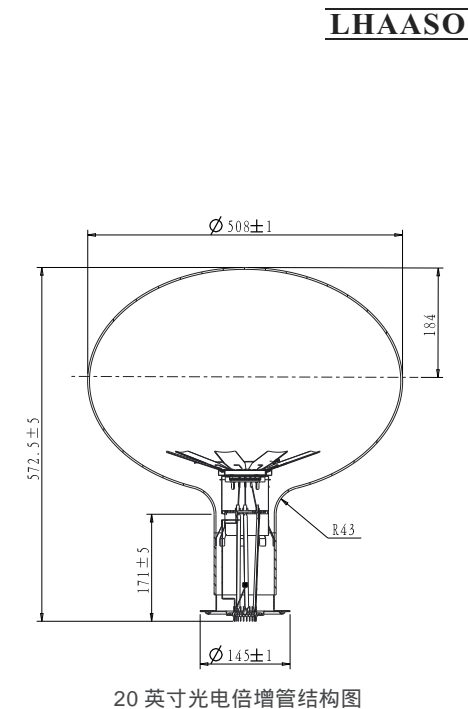
微通道板结构的大面积光电倍增管 (MCP-PMT), 首次采用了微通道板替代传统的金属打拿极技术, 具有单光电子谱峰谷比好、收集效率高、时间响应快等优点, 在世界上属于首创。

本产品采用微通道板作为电子倍增系统, 两片微通道板叠加可以达到  $10^7 \sim 10^8$  电子增益, 微通道板的倍增距离短, 因而具有优越的时间响应, 同时还使用 Sb-K-Cs 阴极作为光电阴极, 该阴极对 350~450nm 波段的量子效率高。

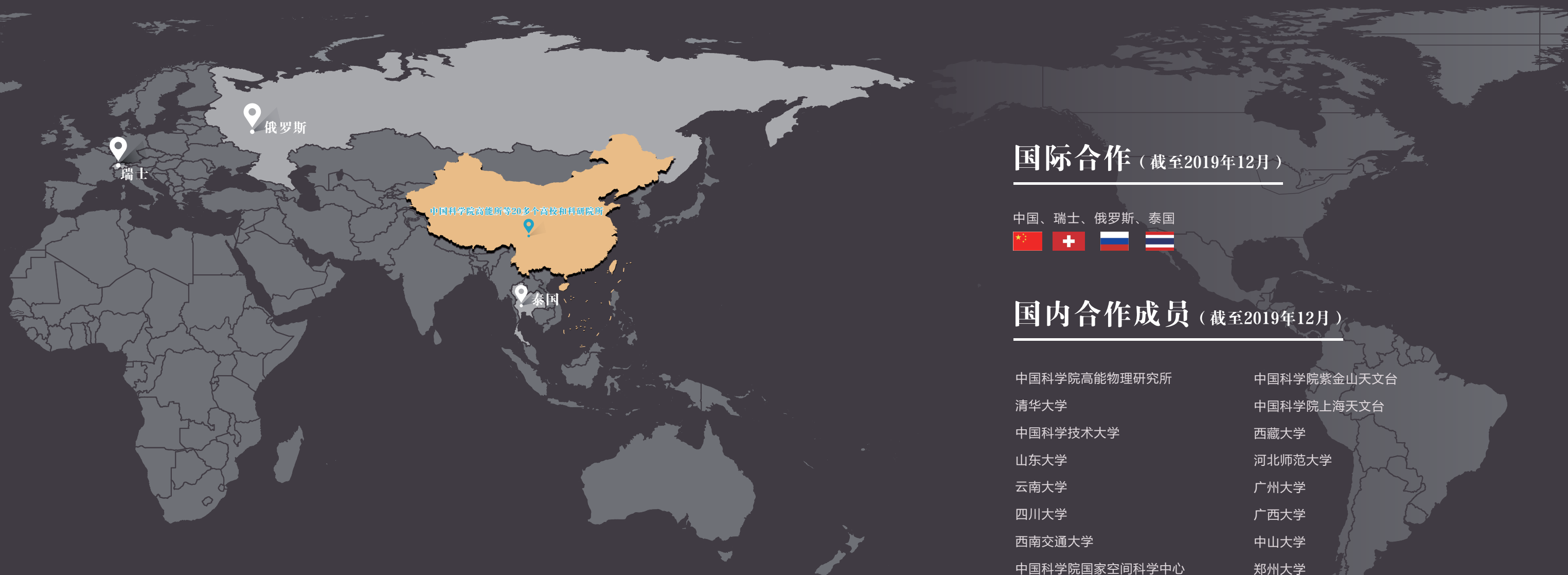
高海拔宇宙线观测站水切伦科夫探测阵列将有接近 3/4 的面积使用 20 英寸光电倍增管, 目前在国际上仅有两家企业具有大规模生产此类大型光电倍增管的能力, 我国北方夜视公司的研发生产彻底改变了国际上被单一供应商垄断的局面。



WCDA 阵列已安装完成的光电倍增管



光电倍增管俯视图



## 国际合作（截至2019年12月）

中国、瑞士、俄罗斯、泰国



## 国内合作成员（截至2019年12月）

中国科学院高能物理研究所  
清华大学  
中国科学技术大学  
山东大学  
云南大学  
四川大学  
西南交通大学  
中国科学院国家空间科学中心  
中国科学院云南天文台  
南京大学  
北京大学  
中国科学院国家天文台

中国科学院紫金山天文台  
中国科学院上海天文台  
西藏大学  
河北师范大学  
广州大学  
广西大学  
中山大学  
郑州大学  
南开大学  
武汉大学





# 观测基地

LHAASO观测基地位于四川省稻城县海子山，占地面积达1.36平方公里（2040亩），海拔为4410米，距稻城亚丁机场10公里，成都708公里。观测基地由整个探测器阵列以及变配电站、水处理机房、装配大厅、标定室等公用配套设施组成。



# 测控基地

LHAASO测控基地位于四川省稻城县北部滨河路附近，占地20亩，海拔3750米，距观测基地60公里。测控基地建有测控楼、辅助楼、宿舍、食堂等科研与生活设施，是研究人员对观测基地运行状态进行实时监控、完成探测器检测与维护、保障观测站科学运行、实现数据处理与分析、开展学术交流和科普教育活动的基地。





## 社会影响

### 双高引进：高端人才，高新技术

建设宇宙线科学中心，提升综合创新能力

- 以宇宙线研究为核心开展相关学科交叉研究：高能物理、天文学、宇宙学、空间环境和大气等
- 依托重大科技基础设施，打造一流科学团队，取得重大科学突破

### 双赢发展：提升科技，助力经济

促进地方科技发展

- 引进和聚焦高端人才，尤其是全国和国际大科学装置建设人才
- 带动四川高校和研究机构直接参与前沿性课题的研究，推动其跻身世界舞台
- 促进成果转化，具有产业化应用前景的成果优先在四川应用建设科普教育基地，促进旅游经济
- 设计、规划和建设天文与高能物理主题公园、民族天文博物馆等，激发青少年的科学热情，提高公众的科学素质

### “绿色”建设高原科学基地

- 观测站建设充分考虑环境影响，因地制宜，采用多项植被恢复措施，将施工对原有植被的破坏降到最低，实现“绿色”施工
- 观测站采用被动式的接收技术，无辐射，无排放，实现“绿色”观测运行
- 观测站建成运行后，将开展高原生态、生物等相关的交叉研究，推动生态恢复重建科学等相关“绿色”研究发展



LHAASO稻城测控基地周边夜景



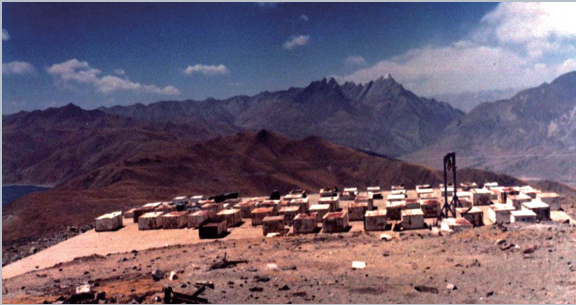
四川稻城星空特色小镇效果设计图



# 我国的高海拔宇宙线科学研究



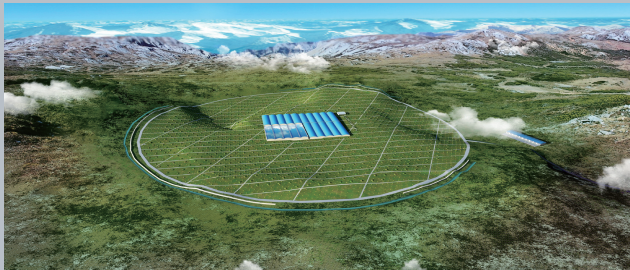
1954年，在海拔3180米的云南落雪山建立我国第一个高山宇宙线实验室。



20世纪70年代末，在海拔5500米的西藏甘巴拉山建造高山乳胶室。



1987年，在海拔4300米的西藏羊八井开始建设羊八井国际宇宙线观测站，开展中日合作广延大气簇射阵列实验。2000年在此观测站开展中意合作全覆盖探测阵列实验，于2013年结束。

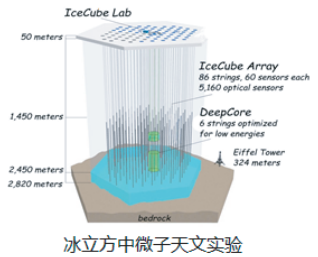
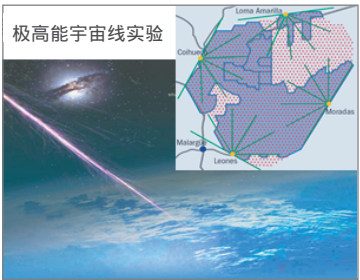


2015年，高海拔宇宙线观测站项目启动立项。2019年，观测站开始科学运行。

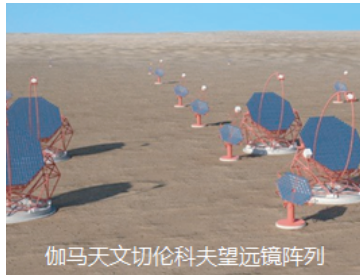
# 国际宇宙线研究现状

通过对来自源区的极高能宇宙线粒子、超高能中微子或甚高能伽马射线的测量来寻找高能宇宙线起源，成为国际宇宙线研究的支柱，形成了现有或在建的国际四大宇宙线研究中心。

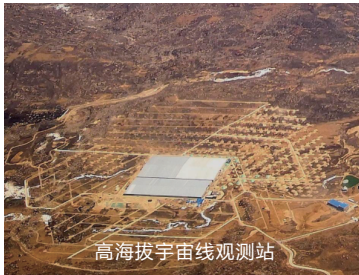
限于极为稀少的事例数，极高能宇宙线物理和超高能中微子天文仍处于起步阶段，而甚高能伽马天文学已经探测到200多个伽马射线源，其中只有少数为宇宙线源候选天体，但尚未确认。为了解开宇宙线起源之谜，需要发现足够多的甚高能伽马源样本，并精确测量其能谱尤其是高端能谱。



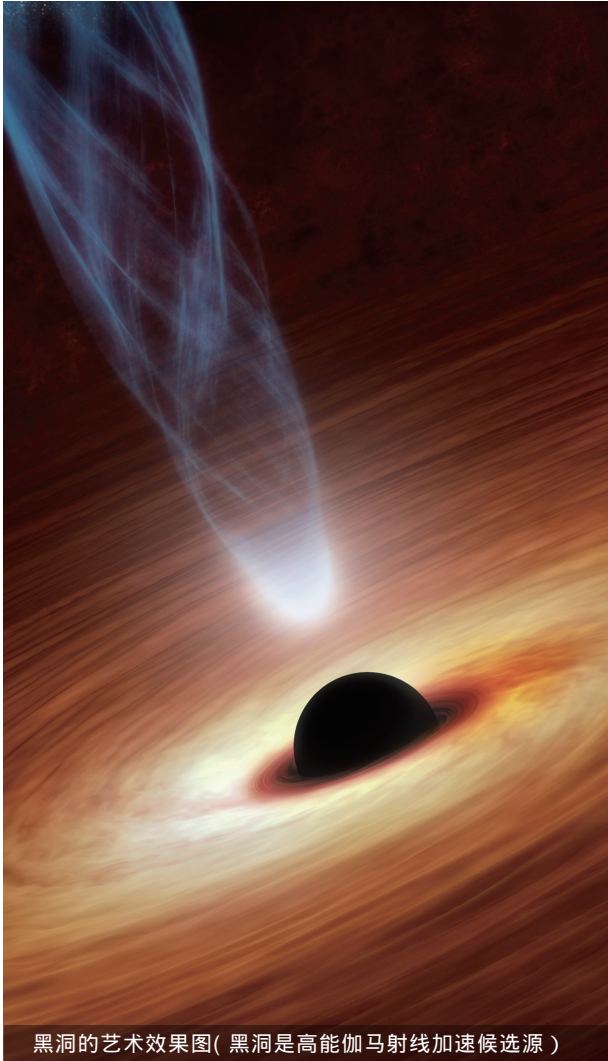
冰立方中微子天文实验



伽马天文切伦科夫望远镜阵列



高海拔宇宙线观测站



黑洞的艺术效果图(黑洞是高能伽马射线加速候选源)



## 2009

2009年2月18-19日，香山科学会议第342次学术讨论会在北京召开，中科院高能物理所曹臻研究员作了题为“宇宙线物理的若干前沿问题和我国的发展战略”的主题评述报告，向大会提出LHAASO计划的完整构思。与会专家认为，应尽快启动项目的全面论证和预先研究工作，并向国家提出立项建议。

## 2013

2013年1月16日，国务院总理温家宝主持召开国务院常务会议，讨论通过了《国家重大科技基础设施建设中长期规划（2012-2030年）》，规划中明确的包括了LHAASO在内16项优先安排的重大科技基础设施建设。

## 2014

在2008年4月-2014年3月期间，通过对我国高海拔地区的广泛选址和实地踏勘调研，LHAASO项目最终选定位于四川稻城海子山平均海拔为4410米的高地作为观测基地，并在海拔较低的稻城县城区建立测控基地。

2014年8月，中科院和四川省签署了《中国科学院与四川省人民政府关于高海拔宇宙线观测站共建框架协议书》。

## 2015

2015年12月31日，LHAASO项目建议书获得国家发改委批复。

## 2016

2016年4月27日，LHAASO地方配套建设项目可行性研究报告（代项目建议书）获得四川省发改委批复。

2016年12月10日，LHAASO地方配套建设项目初步设计获得四川省发改委批复。

## 2017

2017年3月28日，LHAASO项目可行性研究报告获得国家发改委批复。

2017年6月22日，LHAASO项目主体建设工程破土动工。

2017年10月31日，LHAASO项目初步设计概算获得国家发改委批复。

## 2018

2018年2月1日，高海拔宇宙线观测站水切伦科夫探测阵列一号水池封顶。

2018年10月22日，LHAASO水切伦科夫探测器（WCDA）工艺安装团队将第一支光电倍增管安装到预定位置，标志着WCDA进入工艺安装阶段。

2018年11月，电磁粒子探测器和缪子探测器完成2018年安装任务。

## 2019

2019年4月24日-27日，LHAASO科学观测启动暨多信使天文国际研讨会在成都、稻城召开。会上宣布LHAASO首批探测器正式投入科学观测。

2019年12月，LHAASO 1/2规模探测器阵列完成建设。

## 中国科学院成都分院

中国科学院成都分院（以下简称成都分院）前身系1958年3月成立的中国科学院四川分院，1962年机构调整更名为西南分院，1970年下放四川省管理，1978年1月恢复重建后使用现名。经过几代人辛勤耕耘、60年开拓进取，成都分院已发展成为西南地区综合性的科学研究基地、高级人才培养基地和高新技术产业化基地。

成都分院是中国科学院派出机构，负责联系中国科学院在川、渝的研究所和公司。近五年来，成都分院系统各单位紧紧立足“三个面向”，围绕中国科学院“率先行动”计划、“创新2020”等重大部署，在服务探月工程和载人空间交会对接、服务“长征七号”火箭和量子通讯卫星发射、神州十一号与天宫二号交会对接、服务全国“两会”会议系统、参与“一带一路”防灾减灾、技术支撑西藏生态安全屏障保护与建设工程规划及评估、治理西藏樟木口岸滑坡、开发空间在轨3D打印实验样机、中医药现代化和石墨烯产业化等方面取得了令人振奋的成绩，有力支撑了国家和区域经济社会发展。

### 中国科学院成都分院

Chengdu Branch, Chinese Academy of Sciences (CAS)



## 中国科学院高能物理研究所

中国科学院高能物理研究所是我国从事高能物理研究、先进加速器物理与技术研究及开发利用、先进射线技术与应用的综合性研究基地。高能所下设实验物理中心、粒子天体物理中心、理论物理室、计算中心、加速器中心、多学科研究中心、核技术应用研究中心等 7 个研究单位，并在广东东莞设有分部。高能所玉泉路园区占地 460 多亩。

高能所是我国大科学装置的骨干力量，拥有一系列大科学装置，其中包括正在运行的北京正负电子对撞机、北京谱仪、北京同步辐射装置、西藏羊八井国际宇宙线观测站、大亚湾中微子实验装置、硬 X 射线调制望远镜卫星、中国散裂中子源，正在建设的江门中微子实验装置、高海拔宇宙线观测站、阿里原初引力波探测实验、高能同步辐射光源等。正在规划、预研中的项目有增强型 X 射线时变与偏振空间天文台、空间高能宇宙辐射探测设施、未来大型环形正负电子对撞机等。

展望未来，高能所将始终坚持面向世界科技前沿和国家战略需求，紧密围绕研究所战略定位，努力提升自主创新能力，朝着“国际一流的高能物理研究中心和大型综合性多学科研究基地”的目标不断迈进。

## 中国科学院高能物理研究所

Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences



## 中国科学院高能物理研究所 天府宇宙线研究中心

中国科学院高能物理研究所天府宇宙线研究中心（以下简称：研究中心）由中国科学院高能物理研究所在天府新区设立，成立于2019年1月，是天府新区成都管委会科技创新和新经济局举办的独立法人事业单位。

研究中心将开展宇宙线物理及其相关探测技术的研究，建立相应的宇宙线研究实验室、探测技术研发实验室。充分依托国家重大基础设施高海拔宇宙线观测站（LHAASO）的实验数据，吸引国际、国内专家深入开展宇宙线物理相关研究，掌握、开发先进的探测和快电子学技术，建成探测器设计和关键器件研发基地。研究中心坚持以基础科学研究为主旨方向，科研与教育并举，出成果与出人才并重，紧密结合科研工作，培养高级科技创新人才，成为具有重要国际影响的专业科研机构和对全球科学家开放的研究基地。



### 中国科学院高能物理研究所天府宇宙线研究中心

Tianfu Cosmic Rays Research Center, Institute of High Energy Physics, CAS