

## 发现：

“拉索”揭秘宇宙线“膝”

11月16日从中国科学院获悉，位于四川省稻城县的高海拔宇宙线观测站(LHAASO，简称“拉索”)首次系统性探测到五个由黑洞和伴星相互作用形成的微类星体的超高能伽马射线信号，产生这些辐射的粒子能量处于宇宙线能谱的“膝”区。

高能伽马射线源，被认为是宇宙线起源的线索。“膝”是宇宙线的能谱(宇宙线数量在粒子能量上的分布)在3千万亿电子伏附近呈现出的一个拐折结构，形状类似人体膝关节。“膝”及以上能量更高的宇宙线数量急剧减少。这项发现表明，微类星体是强大的“粒子加速器”，可将宇宙线加速至“膝”及以上的高能量，为破解困扰学界多年的宇宙线“膝”形成之谜提供了关键的观测证据，并为最终解决这一难题指出了新的突破方向。

## 望宇：

在高原之上“追光”

肉眼看不见的宇宙线是来自外太空的高能粒子流，它与电磁波、引力波并称为观测宇宙的三大“信使”。自100多年前宇宙线被发现以来，相关研究不断取得新突破，但宇宙线起源和加速机制的问题一直是待解之谜。

解答这道世纪谜题，需要性能更强大的探测器。“拉索”正是瞄准这一重大科学难题而建。从2009年在北京香山科学会议提出建设构想，到2015年定址海子山，再到2023年“拉索”通过国家验收，高海拔宇宙线观测站首席科学家、中国科学院高能物理研究所曹臻院士带领团队历时14年，建成了我国自主设计建造的世界海拔最高、规模最大、灵敏度最强的伽马射线探测装置。

从高处俯瞰，“拉索”这张圆形大网，由诸多看似土堆的节点等组成。网内汇聚了捕捉宇宙线粒子的高手——采用4种先进探测技术的探测器近万个，组成大型复合探测阵列。

当宇宙线粒子来访地球，大网便开始精密捕捉。位于大网中心的三个密闭“大水池”，是水切伦科夫探测器阵列，专伺捕捉宇宙线与大气层作用产生的“粒子雨”信息。18个“蓝箱子”位于“大水池”外一侧，箱子里装着广角切伦科夫望远镜，捕捉宇宙线与大气作用产生的微光来探测宇宙线。5216个电磁粒子探测器与1188个缪子探测器散布在“大水池”四周，如同撒在大饼上的芝麻，组成地面簇射粒子探测器阵列，能寻找和筛选伽马光子。

这张大网的面积还在拓展。“蓝箱子”旁，科研人员和工人裹着棉衣正抓紧装调和检测成像大汽切伦科夫望远镜，直径6米的圆盘上，54片反射镜闪闪发亮——这就是曹臻牵挂的大型超高能伽马源立体跟踪装置。

这样的望远镜在“拉索”大网内将陆续布局32台。凭借“拉索”这一观天利器，中国科学家已率先触摸到宇宙线起源的答案轮廓，而新装备要让答案更加清晰。

“相当于给‘拉索’增加了一双火眼金睛，使其空间分辨率提



10月28日在四川省稻城县拍摄的子午工程二期标志性设备圆环阵太阳射电成像望远镜(无人机照片)。新华社发

# 观天逐日 探秘四川稻城大科学装置

平均海拔超过4400米的稻城海子山上，高海拔宇宙线观测站(LHAASO，简称“拉索”)犹如一张大网，覆盖面积1.36平方公里，静静铺在稻城海子山上，昼夜不停地捕捉“天外来客”宇宙线的踪迹。

**11月16日，这张大网向世界发布重大发现：困扰学界多年的宇宙线“膝”形成之谜，首次获得了关键性观测证据。**

离稻城县城不远的傍河边，目前全球规模最大的综合孔径射电望远镜——直径1公里、313个6米口径天线组成的“圆环阵”逐日而动，为提升空间天气精准预报能力提供重要支撑……

地处青藏高原东南麓的四川甘孜藏族自治州稻城县，平均海拔约3750米。凭借得天独厚的自然观测条件，这一人口仅约3万人的高原小县已成为中国深空探测的重镇，众多“追光”“问天”的科技工作者聚首于此。大国重器眺望深空探寻宇宙奥秘，不断拓展人类认知“视界”。



位于稻城县海子山上的高海拔宇宙线观测站(无人机照片)。新华社发

升5倍以上。这将助力“拉索”看得更清楚。”曹臻说。

稻城因高海拔、地面平整、交通便利、地方支持等诸多有利条件，得到了越来越多科学家的青睐。在“拉索”建成后，稻城又接连迎来新的重量级科学装置。

从“拉索”装置向东南一个多小时的车程、稻城县城旁边的一块四面环山的草场上，安置着由中国科学院国家空间科学中心牵头建设的“十三五”国家重大科技基础设施子午工程二期的标志性设备圆环阵太阳射电成像望远镜(简称“圆环阵”)。313部直径6米的抛物面天线，犹如散开的蒲公英，它们以一座百米高的定标塔为圆心，均匀分布在1公里直径的圆环上，像向日葵般跟随太阳转动。

“圆环阵”，其主要任务是监测地球空间天气事件的主要源头——太阳“打喷嚏”(即太阳爆发活动)。“太阳‘打喷嚏’，地球空间天气等可能会‘感冒’，为地球提供监测服务的科学设备也会受到影响。”中国科学院国家空间科学中心研究员、圆环阵太阳射电成像望远镜主任设计师阎敬业解释说，太阳爆发时的高能粒子团辐射出不同频率的电磁波信号，电磁波8分钟能从太阳到达地球，而高能粒子抵达地球需要几十个小时，通过“时间差”就能进行预报和预警。

2023年9月，通过工艺验收的“圆环阵”精准“预报”了一次太阳爆发事件，仅使用圆环阵探测的图像和频谱，就实现了1.5亿公里传播时间预报，误差低于1.16个小时，使空间天气预报更精准。

在海拔4700米的稻城无名山上，“2.5米大视场高分辨率太阳望远镜”配套项目的基建现场正紧锣密鼓施工。目前，望远镜本体即将

建造完毕。望远镜计划在2026年底完成配套项目基建及望远镜总装，并进行整体性能调试，将成为全球最大的轴对称太阳望远镜。

“除了‘拉索’‘圆环阵’，新的大科学装置接踵而至。这里正成为中国深空探测的前沿高地，成为科学的热土。”曹臻说。

## 求索： 挺进科研“无人区”

从捕捉电磁波到观测宇宙线，探测技术的进步不断拓展着人类认识宇宙的边界，雪域高原见证了中国科学家一次次对浩瀚星河的探索。

曹臻说，宇宙线能量跨度极大，能量越高的宇宙线，需要更大的探测器阵列面积，对超高能量宇宙线的观测，“上山”是唯一手段。

观“天”需“地”利。“拉索”选址历时6年，团队成员跑遍青海、四川、云南、西藏等地考察，最终选定四川稻城县。

高海拔为天文观测提供了绝佳环境的同时，也意味着在观测站的生活和工作条件艰苦。在海子山高寒地带，曹臻带领科研团队一待就是4年。“遍地是有整间屋子大小的石头，稍有不慎就会踏入沼泽，一脚下去水没过大腿。”这是“拉索”项目运维负责人吴超勇对海子山的最初印象。

2016年，作为第一批“拓荒者”，吴超勇等人“上山”清理漂砾、平整土地。从一张图纸开始到搭建观测基地，每一个进展都渗透着拓荒艰辛与创新勇气。

“拉索”很多不起眼的“部件”都有极其严苛的基建指标。基地三个“大水池”就是科研建设啃下的“硬骨头”。

“为捕捉粒子在水中发出的微光，水体建筑必须绝对防光；要确保水底探测设备正常工作，需满足冬季水体不能结冰等要求。”吴超勇举例，“拿保温防漏来说，水池中注入35万吨水后，总水量每天变化率控制在3%以内，当室外温度降至-35℃时保证池内不结冰。这一‘小体量’工程采取独特的结构设计，实现了国内高寒地区的诸多创举。”

于“圆环阵”而言，让313台天线一致“对焦”太阳不容易。阎敬业说，科研团队突破了中心定标和单通道多环绝对相位定标等关键技术，能实时监测626条接收链路、近5000个光纤接口，将大规模公里级光电混合复杂链路“跑偏”幅度控制在小于1.5度。

大科学装置运行后，一份份捷报从稻城传来：“圆环阵”发现一颗罕见的长周期脉冲星，有望揭示孤立长周期脉冲星的起源新机制；监测到传播距离达5个太阳半径的射电日冕物质抛射；我国空间天气预报精准度不断提高。

“拉索”推动中国宇宙线研究从“跟跑”到“领跑”的跨越式发展，我国科学家率先触摸到宇宙线起源的答案：观测到最高能量伽马光子，精确测定标准烛光蟹状星云的超高能段亮度，确认首个超级宇宙线源……

最令“拉索”装置团队振奋的是，在“千年一遇”的宇宙最亮“烟花”观测中，“拉索”大放异彩——2022年10月，“拉索”完整记录了迄今最亮伽马暴GRB 221009A的万亿电子伏特伽马射线爆发全过程，“拉索”国际合作组在此基础上取得一系列观测研究成果，刷新了对伽马暴的认知。

## 攀登： 迈向科学更高峰

从荒原无人区到科研无人区，新时代中国科技创新步伐铿锵，生动展现出科研人员加快高水平科技自立自强的精气神。

中国宇宙线实验研究从20世纪50年代起步，“拉索”是继云南东川落雪山宇宙线实验室、西藏羊八井国际宇宙线观测站之后的第三代高山宇宙线观测站。

大科学装置汇聚了国内一大批各行业、各领域的高水平科研人员，他们在高原上跑出了中国速度：“圆环阵”建成时间比预计提早了5个月；“拉索”从2017年主体工程开工建设，到2021年全阵列建成，仅用了4年。

创造工程建设速度奇迹的同时，大国重器实现了多项重大自主创新，新型举国体制正是攻坚克难的底气。在多家单位集智攻关下，“圆环阵”从样机研制到联调联试，突破了数百项技术难题；“拉索”设计和建设期间，50多家科研院所、高校、企业的数百名科研人员协同合作，攻克了硅光倍增管相机技术、无触发数据获取系统等一系列关键核心技术。

如今，“拉索”正以开放共享的科学精神，向国内外高校和科研机构开放科研设施平台与观测数据，已有来自中、法、泰、俄、巴基斯坦等国家的32个天体物理研究机构成为国际合作组成员单位。“拉索”数据通过自动化处理和传输技术从海子山出发，传向世界各地。

据新华社