

深度观察

新年伊始,从海子山传来好消息:观测站的水切伦科夫探测器阵列(WCDA)全部建成并投入科学运行。这也是拉索(英文简称LHAASO)4种类型的探测器阵列中最早完成的一个。

说起四川稻城县海子山,大多数人想到的,是壮美的青藏高原风光:高耸入云的雪山、星罗棋布的湖泊、风情独特的高原小镇……

其实,现实中的海子山蛮荒而苍凉。那里平均海拔4410米,区内布满了大大小小的花岗岩漂砾及形态各异的冰蚀岩盆。但这些并不妨碍它成为科学家心中少有的宇宙线观测理想站址。我国最新一代高海拔宇宙线观测站——拉索,就选址在这里。

拉索是目前世界上海拔最高、规模最大、灵敏度最强的宇宙线观测站。从2014年开始小规模预先研究算起,中国科学院高能物理研究所(以下简称高能所)的科研人员已经在这里奋斗了6个春秋。他们辞别妻儿、离开繁华的大都市,在这片人迹罕至的荒原安营扎寨,克服高原缺氧、高寒等困难,只为了一个目标:守候和捕捉被称为“宇宙信使”的高能射线,进而解开宇宙起源、天体演化的秘密。

**宇宙线携带重要信息**  
神秘的“宇宙信使”本身就是组成宇宙天体的物质成分

尽管已是隆冬时节,海子山的工地现场仍是一派繁忙景象。一辆辆挖掘机正在紧张作业,头戴白色安全帽的施工人员穿梭其间,有的在指挥安放设备,有的在测量数据,还有的在调试仪器。运送物资的车辆不时开过,车一过,扬起的尘土扑面而来。

观测站的建设一直在争分夺秒地推进当中。每个星期,交到拉索项目首席科学家、中国科学院高能所研究员曹臻手上的建设进度图文报告,都有新的进展。一年多来,先行投入科学观测的首批探测器获取数据稳定,数据量级和分析结果也令他十分满意。“一切都比预想当中的还要快和好!”

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、中微子,时刻存在于我们的星球之上。

曹臻告诉记者:“宇宙线又被称作‘银河陨石’,或者叫做传递宇宙大事件的‘信使’。它们本身就是组成宇宙天体的物质成分,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。因此,研究宇宙线及其起源是人类探索宇宙的重要途径。”

1912年,奥地利科学家赫斯首次发现宇宙线。此后的100多年里,与之相关的探索与研究已经产生了6项诺贝尔奖,但人类却始终没有发现宇宙线的起源。

宇宙线究竟来自哪里?为何这么难以判断?

首先,捕捉高能宇宙线就极其不易。高能宇宙线的能量跨度从10<sup>7</sup>到10<sup>20</sup>电子伏特,能量越高的宇宙线,代表着越剧烈的宇宙活动。但是,能量越高的宇宙线就越稀少。

曹臻说:“高能粒子的数量通常随着能量的上升急剧下降,粒子能量每上升10倍,数量就会下降1000倍,所以最终能到达地球的高能宇宙线粒子少之又少。”

此外,宇宙线多为带电粒子,会在传播过程中被宇宙中无处不在的星际磁场所偏转,等到到达地球时早已失去了原初的方向信息,所以无法反推它源自何方。

尽管寻找宇宙线来源困难重重,但各国科学家们从未放弃努力,他们想尽各种办法。

“幸好还有一个例外。”曹臻说,“宇宙线中超高能量的伽马射线光子是中性的,不会发生偏转,能直指其产生的源头。所以,只要捕获到它,就有可能寻找到宇宙线来自何方。”

由于宇宙线能量越高就越稀少,需要更大规模的探测器才有可能把它“捕获”。这让科学家把目光转向高山实

验。高山实验能够充分利用大气作为探测介质在地面上进行观测,对于超高能量的宇宙线观测,目前这是唯一手段。

曹臻告诉记者,目前在建的拉索,属于中国第三代高山宇宙线实验室。

空中俯瞰,占地2040亩的高海拔宇宙线观测站犹如一枚铜钱,坐落在海子山上。观测站共有4种探测器阵列:5195个电磁粒子探测器、1188个缪子探测器、3000路水切伦科夫探测器单元,以及18台广角切伦科夫望远镜。

据曹臻介绍,宇宙线中的伽马射线是由高能光子组成的粒子流,它进入地球大气后会与大气中的原子核发生碰撞,形成一系列新粒子,纷纷落到地面。拉索的这4种探测器阵列,就分别对这些从天而降的粒子进行探测。

比如,水切伦科夫探测器阵列专门用来探测能量较低的宇宙线,电磁粒子探测器阵列和缪子探测器阵列主要用于探测能量稍高的宇宙线,广角切伦科夫望远镜阵列将对宇宙线能谱进行高精度测量。

“四大阵列互相配合,对于宇宙线特征、起源等进行精密分析和研究,最终有望破解宇宙线起源难题。”曹臻说。

从陪跑到主导

几代人30年接力奋斗,为中国宇宙线研究打下坚实基础

作为拉索项目首席科学家,曹臻只要不用辗转于各种研讨和会议,就回到海子山工地现场,和同事们一起参与建设。大到整个工程的进度,小到地下管道埋放的深浅,每个细节都会一一把控。

自1987年到高能所攻读研究生起,曹臻便与宇宙线结下了不解之缘。此后的几十年里,他参与和见证了我国宇宙线研究领域的许多重要历史时刻。上世纪50年代,我国开始了在宇宙线领域的探索。

1951年,首个宇宙线研究组在中科院成立。随后,第一代研究者张文裕、王淦昌、肖健等人便开始着手筹建高山宇宙线实验室。3年后,在海拔3200米的云南东川落雪山上,中国第一个高山宇宙线实验室——落雪站如期建成。实验室使用传统的云雾式探测器进行研究,当时算得上是世界上规模最大、水平最先进的同类装置之一。

遗憾的是,由于种种原因,落雪站直到上世纪70年代才真正投入运行使用,那时国外已有更先进的探测装置。

眼见与国际水平差距日渐加大,科研人员意识到,想要迎头赶上,就必须充分了解学科的国际发展态势和技术进步状况,找到新的主攻方向和实验手段。

改革开放后,时为高能所研究员的谭有恒到日本留学。日本先进的综合性空气簇射阵列让他眼前一亮,产生了在中国做类似实验的想法。回国后,他立即申请经费,希望能在国内建设世界级宇宙线观测基地。

在谭有恒等人的积极倡导和努力下,1989年,西藏羊八井宇宙线国际观测站获准开始建设,计划开展中日合作的ASgamma实验和中意合作的ARGO-YBJ实验。

“ASgamma实验时期,我们经验很少,经费也不足,能提供的就是地方和人力。”曹臻印象中,中方负责羊八井基地建设,日方提供阵列设备。

1990年1月,拥有45个探测器的羊八井一期小阵列和羊八井宇宙线观测站初步建成。不久后,还是高能所研究生的曹臻,进入羊八井当上了值班观测人员。“我在那里的工作很简单,就是负责录取观测数据。根据数据写成并拿到国际上发表的文章,都是由日方主导。”

但不得不承认,那段时期对于中国宇宙线研究的发展促进不小。

“在合作过程中,我们学习到很多东西,同时也培养和锻炼了一批优秀的青年人才。”曹臻说。

经过前期的学习和成长,到了2000年,在中意合作的实验项目当中,中国的实力明显增强。

“从建设到研究,双方无论是在经费,还是研发人力的投入,以及最后科

科研人员在我国最新一代高海拔宇宙线观测站探测捕捉高能粒子

守候神秘的「宇宙信使」

本报记者 吴月辉



图①:雪后的广角切伦科夫望远镜。  
图②:水切伦科夫探测器内部的光电倍增管阵列。  
图③:科研人员正在验收电磁粒子探测器。  
图④:宇宙线观测站拉索全景。

中科院高能所供图

本版责编:刘诗瑶 版式设计:汪哲平

学论文的完成发表上,都是按照1:1的比例合作分配。”曹臻说,“而且,最终我们也做出了非常好的成果。”

在羊八井参与实验期间,曹臻和同事们开始酝酿和谋划建设新一代宇宙线观测基地。这一次他们瞄准的是国际最先进的观测技术手段,并且完全由中国主导。

经过“陪跑”到“平等”参与的这30年,曹臻认为中国宇宙线的研究已经有了坚实的基础,“再加上国家对科技的重视和投入,我觉得是时候该研发我们自己的探测器了。”

为了让计划更周密完善和切实可行,曹臻和同事还进行了各种小规模的前期试验。等待一切成熟之后,2009年,他们正式向国家提出拉索项目计划。

随后的5年里,曹臻带领团队跑遍了西藏、青海、云南和四川等地选址,最终选择了四川稻城的海子山。

曹臻说:“稻城海拔高,又有机场和稳定的电力、通信条件,水资源也很充足。再加上当地政府大力支持,这里无疑是最为理想的站址。”

**从传承到创新**  
必须依靠自主创新,在前瞻性基础研究领域掌握主动权

冬季的海子山,气温非常低,时常下雪,寒风凛冽。

今年已经是曹臻和同事们在这里奋战的第三个冬天了。从基地施工现场到稻城县城来回有120公里的路程,他们每天都要往返其间,早出晚归。白天在山上干活,晚上回到县城睡觉,中午就在山上“野餐”。

早些时候,大家的午饭基本就是一碗泡面,后来位于县城的宿舍区建好之后,保障条件好了很多。现在,食堂每天都会提前做好午饭,开车送上山。

高海拔宇宙线观测站属于异地建设,又在高原上,环境艰苦,资源和人力也要比平原上匮乏很多。科研人员依据不同的探测器系统分成几个小组,每个小组再分别进行轮岗。

29岁的李聪是缪子探测器系统现场安装负责人,中等个儿,说话办事都透着一股子聪明劲儿。2012年,当他还在本科就读时,就参与到羊八井实验当中。如今,在拉索项目建设中,李聪已经能够独当一面了。

跟随李聪行走在观测基地,放眼望去,周边均匀分布着许多个大小一样的土堆。

“这些土堆就是缪子探测器。”李聪说,“每个土堆大概有36平方米大小,土堆下是一个直径6.8米、高1.2米的混凝土罐体,罐体中放置了装有超纯水的高反射率水袋。”

李聪告诉记者,缪子探测器主要用于测量粒子“阵雨”中的缪子含量。土堆最上面盖的土层用来屏蔽次级粒子中的电磁成分。当缪子进入下面罐体的水中时,产生切伦科夫光,水袋顶部中心的光电倍增管将接收的光信号放大,再转化为电信号进行测量。

从2018年缪子探测器阵列开始铺设,李聪每年大约有100天的时间在海子山上度过。

缪子探测器所处区域的地形地貌十分复杂,给设计施工增添了很大的难

度。为了解决各种难题,李聪和同事们每天都要在一个个土堆上爬上爬下,弄得灰头土脸。有时还要加班到深夜,基地人手少,没有专职司机接送,他们只能自己开车下山。

“山上路况复杂,天气也变化多端,遇到雨雪冰雹天气,路面湿滑,常常发生山体滑坡,开车时要特别小心。”李聪说。

比李聪年纪稍长的李会财,是水切伦科夫探测系统安装现场的负责人。记者见到他时,他刚从4米多深的地下上来,工作服外套着一条黑色的橡胶下水裤,脚上穿着一双高筒雨靴。若不是事先知道身份,你很难将眼前的这个人

与科研人员联系在一起。

“3号水池刚刚注完水,这几天我们每天都要下去好几趟,进行一些维修和维护工作。”李会财说,“因为下面全都是水,我们必须划着小船。”

这些天,随着水切伦科夫探测器阵列的建成和投入运行,李会财和团队成员们的心情也变得轻松起来。

“现在回头看,那些真都不算什么。”说起以前经历的各种困难,李会财显得云淡风轻,“我们之所以能在这样高寒、缺氧的恶劣环境中坚持下来,是前辈们在云南、西藏吃苦耐劳的精神一直在激励着大家。”

和前辈们相比,新一代科研人员还肩负着开拓和创新的使命。

曹臻说:“总是跟着别人走,永远不可能有自己的核心技术。”

曹臻认为,拉索项目最大的创新之处,就是把好几种探测技术结合在一起。“此前,在宇宙线研究领域里,一般都是一项探测技术的实验。这种单一探测技术的弊端是只能测一种东西。在拉索实验里,我们把4种探测器放在一起,共同来测量同一个事例,测完之后把所有的变量都叠加起来,就可以做出非常精细的测量。”

除了设计理念和技术路线方面的创新之外,在预防和建设过程中还需要突破很多新技术。

在水切伦科夫探测器阵列中,收集宇宙线信息主要靠一种看上去像灯泡的光电倍增管,它们被固定“悬”在水下,接收“散落”水中且产生切伦科夫光的宇宙线。纳秒之间,接收到光信号的“灯泡”会产生一个脉冲,并将其转化为电信号,传输给终端的研究人员。

在修建1号水池时,使用的都还是日本产的20英寸大型光电倍增管,价格非常昂贵。后来曹臻琢磨:为什么我们自己去研发?这样就能省掉大量成本。

有了想法之后,大家说干就干。经过夜以继日的奋战,科研人员们不负重托,成功自主研发出了符合探测器参数要求的大型光电倍增管,摆脱了技术依赖。

“后来的2号、3号水池里使用的20英寸大型光电倍增管都是我们自主研发的,性能相比同类有大幅提升,成本也降低了很多。”说到这里,曹臻难掩自豪。

技术创新之外,拉索项目的建设速度也令国际同行赞叹不已。

曹臻说,除了水切伦科夫探测器阵列建设完成之外,其它的几个观测阵列也正在加紧建设,预计在2021年底就能够全部建成并投入运行,项目二期也在计划当中。“目前,项目已获得国际同行高度关注和认可,俄罗斯、瑞士、波兰等国科学家希望把设备搬到这里,一些国际上代表性实验组也表达了合作及联合观测的愿望。拉索建成后,中国有望在宇宙线研究领域实现全球领跑。”

记者手记

坚持的力量

记得2017年第一次去海子山采访,目光所及都是大大小小的黑色砾石,没有树木、河流,就连野草也只是偶有丛生。当时,曹臻站在一块高高的砾石上,兴奋地跟我们比划和描述着拉索建成后的模样。如今,3年过去,再访海子山,这里的砾石已被一台台探测器所取代,几代人追求的大科学装置已梦想成真。

高原建设异常艰辛,在高寒缺氧、气候恶劣、物资匮乏等极端条件下,工程建设人员和科研人员们迎难而上,坚持不懈,勇于创新,攻克一个又一个难关,创造一个又一个奇迹。

拉索项目可以说是凝结了我国三代宇宙线研究者的努力和智慧。60多年来,他们前赴后继,深耕高原,接续奋斗,让我国的宇宙线研究不断发展,跻身国际宇宙线研究领域的第一梯队。他们的事迹生动诠释了“爱国、创新、求实、奉献、协同、育人”的科学家精神。当前,加快实现科技自立自强,更加需要这种精神的坚持与传承。