



世界上最大的高海拔实验基地

——羊八井宇宙线观测站

谭有恒*

(高能物理研究所 北京 100039)

关键词 宇宙线,广延大气簇射, γ 天文

宇宙射线是来自宇宙的高能粒子流,自动送上门来的宇宙深处的物质样品。它联系于宇宙的历史、天体的演化、空间的环境和许多未解的科学之谜。在地球上对原初宇宙线的探测是通过其与大气原子核相互作用产生的次级粒子群——广延大气簇射(EAS)来进行的。EAS在大气中有其发生、发展和消亡(对小EAS而言)的过程。测量只能在它们尚未消亡之前进行,最精确的测量则是在它的发展极大处。为此,我们必须向约5 000m的高山进发去寻找一个高海拔观测站。

在拉萨市西北念青唐古拉山主峰脚下,有一片长约70km、宽约7—15km、海拔约4 300m的山间平地,叫羊八井,它是藏民传统的牧场,近30年来更以地热资源的开发闻名于世。这里有数百平方公里的山间平地,气候相对温和(虽然日夜温差很大),冬天几乎无积雪,有地热电厂在旁,有数千居民为邻,有青藏、中尼公路和兰青拉光缆过境,更将有青藏铁路羊八井火车站在旁,距拉萨又仅90km的车程。羊八井独特的自然地理和后勤保障条件,给我国的宇宙线观测研究预置了一种优势。我们决

定开发这种优势,为破解宇宙线起源之谜,膝区物理之谜和尝试用宇宙线监测太阳活动变化及其对地球环境的影响做出贡献。经过近20年的努力,羊八井宇宙线观测站业已建成并逐年得以发展,本世纪伊始,这里又建起了一座万平方米的现代化实验室,中外学者络绎不绝来此工作。现正开展着中日合作AS γ 和中意合作ARGO(Astroparticle Physics Research at Ground Based Observatory YangBaJing)两个大型国际合作实验,成为了国际上规模最大的、最具前景的高海拔实验基地。

一 滚动发展的羊八井

“西藏计划”自1984年选点羊八井,1986年提议国际合作,1990年1月宣布建站,1990年10月由45个0.5m²闪烁探测器组成的中日合作一期阵列投入观测。此后两年一扩展:1994年扩建AS γ 二期阵列,野外探测器增至221个,覆盖36 900m²;1996年又在其中的约5 000m²地面增加了77个探测器,使这里的探测器间距缩小至7.5m,从而将探测阈能降至国际同类设备的最低值3TeV(1TeV=10¹²eV),导致了对蟹状星云 ≥ 3 TeV γ 射线

* 高能物理研究所研究员

收稿日期:2003年8月28日

的正探测;1999 年又增加了 255 个野外探测器,将阵列做了全面加密,2000 年和 2002 年又分别增加了 133 个测定粒子密度的探头和 180 个快时间探测器,使得 AS γ 三期阵列拥有了 733 个野外探测器,加密区的面积达到 32 500m²。

其间,为了测定超高能宇宙线的成分,1996 年在阵列中心建造了 80m² 的高山乳胶室及配套的地方簇射探测器;1998 年还分别自日本理化所和名古屋大学引进了一组太阳中子监测器和中子望远镜以监测宇宙线的太阳调制和捕捉太阳耀斑爆发中可能出现的高能粒子事件并研究其产生加速过程。在空间 γ 天文实验大丰收(1991 年搭载 CGRO 卫星上天的美国 EGRET 在数年间发现 270 个高能 γ 源)的启发下,面对当时危机和机遇并存的形势,及时提出了将传统的取样型 EAS 阵列发展为全覆盖(“地毯”式)阵列,以充分调动羊八井高海拔的物理潜能去进一步降低阈能并大幅度地提高探测灵敏度的中意合作 ARGO 计划。1994 年,此计划被列为中国科学院“九五”基础研究发展规划(草案)的建议项目,开始了它的筹建历程。1998 年底,与意大利国际核科学院(INFN)签订了正式的项目合作协议;2001 年,万平方米 ARGO 实验大厅在羊八井宣告落成。现在大规模的 RPC(高阻平板室)粒子探测器的安装调试工作正在展开。

二 通过国际合作,尽快占领前沿制高点

羊八井的迅速发展与开展国际合作和及时提出新思路保持不断进取分不开。为准备“西藏计划”,1983—1989 年间,我们曾在北京几乎完全靠自力更生的方式建成了一个由 53 个 0.25m² 闪烁探测器组成的 EAS 阵列,并培养了队伍,取得了对 EAS 阵列技术和 EAS 现象本身的具体认识。当这个从元

器件开始的设备建设完成后,发现其技术已沦为国际三流。这使我们认识到,要利用自己国家的高海拔站址优势去及时实现任何有创意的物理目标,通过国际合作及时获取资金和高技术设备是一条捷径。最初,我们对国际合作伙伴的选择范围有限(如日本东京大学原先并无 EAS 经验的乳胶组),随后则有了更大的空间(如意大利的 RPC,德国的大型契仑可夫成像望远镜都是国际最高水平)。但是任何国际合作的可行和成功所必具的三个条件是共同的,即共同的兴趣和思路;互补的优势;领头人或主要成员间的个人默契和友谊。

实际上,最初的中日合作规模虽然很小,但上得很快,高海拔的优势立即得以显示,因而刺激了双方的兴趣,促成了良性循环和滚动发展。AS γ 一期阵列在当时的国际 γ 天文阵列中是最小的一个,却取得了阈能最低(10TeV)、事例率次高(10Hz)的声誉。以后的发展所提高的观测能力,促成了一系列重要成果的产生:在国际 EAS 阵列实验中首先观测到蟹状星云的 Multi-TeV γ 射线,活动星系核 Mrk 501 在 1997 年、Mrk 421 在 2001 年 Multi-TeV γ 射线强爆发,独家测出了太阳和行星际磁场引起的宇宙线太阳阴影的偏移,并将之用于对太阳活动变化的监测、超高能宇宙线的能谱和成分测量等。这些成果证明了高海拔的确具有巨大的科学潜能,这种潜在在羊八井是可以得到低成本的有效开发的,条件是要有成规模的高技术设备和一支相对稳定的科研队伍。这个认识促成了中意合作 RPC 全覆盖式阵列(ARGO 计划)项目的最终立项。

ARGO 本是希腊神话中的一个巨怪,他周身都是眼睛,从不休息。我们用此形象地表征我们的观测设备是宽视场全天候持续运行的。它由一个安装



自 ARGO 屋顶鸟瞰羊八井宇宙线观测站

在万平方米实验厅内的 $5\,000\text{m}^2$ 的中心“地毯”和一个外围保护圈组成,共用 $1\,848$ 个 3.5m^2 的 RPC 探测器。拥有 $18\,480$ 个快时间和粒子数信号通道,近 $2\,000$ 个微电子学插件, 154 个电子学子站和 1 个数据采集中心站。全部运行时,其 EAS 触发率可达 26.4Hz ,日产原始数据约 630GB ,是迄今非加速器物理实验中数据量最高的一家。利用这套设备,我们可以进入约 100GeV ($1\text{GeV}=10^9\text{eV}$) 空白能区,同时对数百个河内外的高能天体进行长期持续的监测和寻找新的 γ 源;可把对宇宙 γ 爆的观测扩充至

多年的不断建设,百余名中外学者的共同努力,才有今天的基础和前景。应作为我国特有一种科学资源来继续利用和进一步开发羊八井,使之成为国家野外实验的亮点,国际高海拔相关实验的中心。

实际上,宇宙线本身就是一种天然的科学资源,一种地球不能摆脱的空间环境,我们有义务长期持续地记录它,提供给多种学科,留传给子孙后代作为研究资料。对任何 γ 源、宇宙线源(“宇宙中的高能加速器”)须长期持续的予以监测;这赋予羊八井站一般天文台的性质和长期存在的必要。而针

对具体的学科前沿问题的创新性科研项目和多学科交叉融合的创意又将推动着它向更强大的复合型实验基地发展。

仅就 γ 天文和宇宙线研究而言,我们已有把 ARGO 地毯式阵列扩到万平方米



羊八井 ARGO 实验室的 PRC

整个 10GeV — $1\,000\text{GeV}$ 能区;可在此前缺乏数据的 100GeV — 500GeV 能区测定河内弥散 γ 射线的强度和能谱,后者有可能显示冷暗物质后选者超对称粒子 Neutralino 的湮灭信号;可利用月球与地磁场组成的天然巨型空间磁谱仪,以宇宙线“月亮阴影”法在模型灵敏且最少污染(指暗物质和原始小黑洞蒸发等在一般空间实验覆盖的低能区造成的复杂的背景)的 300GeV —数 TeV 能区测定宇宙线中的反质子丰度;可依据“地毯”获取的 EAS 粒子时空分布的完整信息,逐事例地分辨 EAS 原初粒子的成分,测定甚高能和超高能宇宙线的成分和能谱,为下期主攻“膝区物理”开路;还能用多能段的大计数率的宇宙线随时间变化数据和(在数 TeV 而非原先的 $\geq 10\text{TeV}$)利用宇宙线的太阳阴影,监测太阳活动的变化,研究其对地球环境变化的影响。目前,逾千平米的 RPC 已安装到位,人们正期待着两年后它的全部建成并服务于科学。

三 利用后发优势 打造强大的复合型实验基地

羊八井宇宙线观测站是经过 20 年的筹划,10

,并扩向室外,建造包括地面取样和地下 μ 子探测器的超级复合阵列的计划,并在进行技术和物质上的准备。还有与德国合作建造世界上海拔最高、尺度最大、灵敏度空前的巨型大气契仑可夫光成像望远镜阵列的建议,使之能与美国将发射升空的下一代最大空间 γ 探测器 GLAST 一道成为今后十年国际上紧密配合又互相竞争的两大 γ 天文主力探测器,完全改写人类关于 γ 星空的知识画图。

路甬祥院长、陈宜瑜副院长等近期视察了羊八井观测站,并题词“立足高原雪域,登攀科学高峰”,这充分肯定了我们开发高原地理优势、建设羊八井实验基地的长期努力。羊八井有着多年积累的基础,又具有后发优势和国际合作发展计划,在院领导院和主管部门的支持一下,正在促进多学科交流合作。只要我们能真正立足高原雪域,坚持团结奋斗,一个国际最大的、具有广泛吸引力的、充满活力、不断进取的高海拔复合型的实验基地必能在世界屋脊、雪域高原之上成长起来。