

* 国际交流与合作 *

中日宇宙线观测研究成果举世瞩目

张春生*

(高能物理研究所 北京 100039)

关键词 宇宙线, 合作研究, 中国, 日本

宇宙线和超高能天体物理是当代基础科学的重要前沿学科。我国和日本在西藏进行的宇宙线合作研究, 是当前我国宇宙线研究的重要组成部分。由于在高海拔的地面可以观测到更多的宇宙线高能粒子, 宇宙线研究最好能在数千米高山上进行, 而日本没有 4 000 米以上的高山。中日两国的合作研究酝酿于 1978 年, 正式合作从 1980 年开始。实验基地设在拉萨附近的曲水县甘巴拉山(海拔 5 500 米)上, 探测手段是由铅板和 X 光片组成的量能器, 主要记录超高能宇宙线粒子在大气中产生的空气簇射的轴心附近的高能粒子束, 进而研究粒子核作用特性和原初宇宙线粒子成分。中方参加合作研究的单位除高能所外, 还有山东大学、郑州大学、云南大学和重庆建工学院, 日方参加单位有东京大学等 7 所大学。该实验一直进行到 1988 年, 获得了共 1 000 平方米年的曝光量, 居世界同类实验第二位, 实验站高度居世界第一。中日学者共同撰文在国际一类杂志上发表 5 篇, 国内杂志上发表 30 余篇, 国际会议交流 40 余篇, 在国际同行中有相当影响。合作研究成果获 1987 年中国科学院科技进步奖二等奖, 1988 年国家自然科学奖三等奖。

80 年代中期, 国际上兴起了超高能天文学的研究热潮, 这是用粒子物理和宇宙线的实验手段来研究发生在宇宙空间的超高能天文现象, 即粒子天文学。中日双方的学者很快就加入了这个潮流。这类实验最好也在高山上进行, 而且要求实验站址有充分和不间断的电力供应, 较好的生活后勤设施, 地势平坦、开阔, 道路常年畅通。距拉萨 90 公里的羊八井(海拔 4 300 米)是满足上述条件的最佳候选者。中日学者 1990 年初在羊八井建立实验站, 装备 65 个塑料闪烁体探测器及其配套电子学系统, 组成空气簇射阵列。高海拔运行的空气簇射阵列可以有效地降低探测能量。羊八井一期阵列以 0.8 度的方向测量精度记录峰值能量为 7TeV 的宇宙线粒子, 在国际上首次在 10TeV 能区给粒子天文学研究提供了实验数据。数据采集率为每秒 20—30 个大气簇射, 运行至 1994 年, 共记录 10TeV 附近事例约 16 亿个, 与耗资为羊八井试验站数倍多的美国 CASA 阵列总数据量相当, 这主要得益于羊八井的高海拔优势。通过分析这些数据, 中日学者深入广泛地研究了 10TeV 能区粒子天文学的多个课题, 其中包括: 国际上首次在

* 高能物理研究所宇宙线室副主任, 副研究员

收稿日期: 1998 年 5 月 25 日

10TeV 能区测出蟹状星云、MARK 421 等几十个高能天体的 γ 射线流强上限;给出了存在 10TeV γ 暴的线索;测出了超高能宇宙线能谱的平滑过渡型“膝”结构;特别是在国际上独家观测到宇宙线太阳阴影对太阳几何位置的偏移,并证明了它可成为监测太阳活动的一种新型的有效手段。这些结果引起了国际同行们的广泛关注。因而,羊八井在国际宇宙线界迅速出了名。我们于 1994 年 8 月在拉萨成功地主办了“国际宇宙线物理讨论会”,有 50 多位国际同行参加了会议。

1994—1995 年底,中日双方合作将一期阵列扩大了 4 倍,使阵列的有效面积增加了 8 倍,事例率达到每秒 230 个,为美国 CASA 阵列的 8 倍,为其它空气簇射阵列的数十倍。在 1995 年 9 月于罗马召开的第 24 届国际宇宙线会议上,诺贝尔奖得主、美国芝加哥大学 J. W. Cronin 教授在总结报告中大赞羊八井,将其“综合品质指标”列为国际同类实验第一。同年 11 月,美国《Science》在“中国之科学”专刊中,将羊八井站列为“中国科学地理图”中 25 个中国科研基地之一。1996 年,中日双方合作在羊八井阵列中心部位组入了 80 平方米高的乳胶室和触发探测器,并以 77 个闪烁体探测器对阵列做了试验性的局部加密。加入乳胶室和地方性簇射(Burst)探测器,可以为阵列数据有效地选出原初宇宙线质子引起的簇射,进而推导出 $>500\text{TeV}$ 的原初质子能谱,这将是国际上首次给出的结果。加密阵列可将探测的峰值能量降低至 2TeV ,与大气契伦可夫光实验能段相联接,进而完全填补粒子天文学中这两类实验的能量空档。羊八井二期实验已于 1996 年正式投入观测,获取了 $>2\text{TeV}$ 宇宙线事例约 100 亿个,为国际同类实验之最。中日学者正在深入分析这些数据,力争尽快在粒子天文学的诸多领域给出国际一类水平的结果。

国际上粒子天文学的实验正在飞速发展,羊八井二期实验的国际优势面临着去年建成的德国 CASCADE(投资近 1 000 万美元)和今明年全部建成的美国 MILAGRO 水池契伦可夫光探测器的挑战。中日学者正计划开展第三期羊八井合作项目。日方年初已申请到 200 万美元,中方也在筹集经费,准备今明两年增加 250 个新闪烁体探测器,将二期阵列全部加密,使观测峰值能量由 $>7\text{TeV}$ 全面降至 2TeV ,从而可观测到比 MARK 501 更远的高能天体的超高能 γ 信号。中日双方还将合作建造 9 平方米的太阳中子望远镜,可以有效地观测低能中子的流强和能量,并估计其方向,用来监测太阳活动。

羊八井一期、二期实验的成功,引起了国际同行的广泛关注,不少实验小组希望参加羊八井的实验。高能所去年与日本理化学研究所和意大利的几所大学正式签署了合作协议。日本理化所今年将提供价值 5 000 万日元的 24 支超级中子管及相配套的电子学设备,在羊八井站安装、运行。这批仪器与二期、三期阵列以及中子望远镜相配合,可以提供全面监测太阳活动和日-地空间环境变化的手段,为迎接太阳黑子峰年的到来(约 2000 年),捕捉太阳耀斑暴发中的中子事件以研究太阳高能粒子的产生、加速机制做好准备。中意合作的 50 平方米“地毯”式 RPC 探测器已于去冬今春在羊八井完成了现场试验,5 000 平方米 RPC 地毯式阵列的大型合作实验正在酝酿之中。

中日羊八井合作实验的高显示性,正把越来越多的学者吸引到西藏来。截至今年初,到羊八井观测站短期工作的外国学者已有 20 批 80 多人;到羊八井参观过的外国学者有近 20 个国家 60 多人。可以相信,随着中日学者在羊八井合作研究的广泛深入,中意学者合作实验项目的逐步开展,羊八井实验站将成为一个事实上的国际宇宙线地面实验中心。