

羊八井的回想——中国 宇宙线研究转型侧记

谭有恒

(中国科学院高能物理研究所 100049)

光阴荏苒,转瞬即将迎来我所“知天命”大庆。50年来,高能所从无到有,已在加速器建造和粒子物理上大放异彩,昂然于国际舞台;非加速器的宇宙线研究也经历了从云南站到羊八井的生死蝶变,完成了它从学科方向到实验手段的历史性转型,如今又移师四川稻城以空前规模和亮眼的初期结果而声名远播。高能所的这五十年是丰盈的、充实的、亮丽的五十年,托起这份靓丽的是众多高能人伴随四十年改革开放春风前赴后继的艰辛付出。此刻,当年许许多多、大大小小、几乎淡忘了的往事竟不时从脑海深处泛起。那此文就以它们为素材,从一个亲历者、过来人的个人视角,给年轻人讲点有现场感的老故事。

一、云南站生不逢时,中国宇宙线研究路在何方?

1. 人工加速器的追逼

在我国宇宙线实验于云南落雪实验室以两台小云室起步并在电磁级联和奇异粒子上收获颇丰的1954—1957年,世界上还只有两台人工加速器刚刚踏入可作为粒子炮弹窥视基本粒子世界的门槛。它们是美国BNL的Cosmotron和Bevatron,最高可把质子分别加速到3 GeV和6.2 GeV,比当时我们小云室的工作能区还低一个量级。当我国1958大跃进启动大云雾室计划(二机部311工程)时,国际最高能加速器还是刚运行一年的苏联杜布

纳的10 GeV同步稳相质子加速器,而“311”的目标是以上云室分辨初粒子,中磁云室(以最大可测动量100 GeV的能力)测次粒子动量,下多板云室显示次粒子后续效应分辨其类型,从而在高于那时加速器两个量级的TeV能区开展高能核作用研究。然而,因遇三年困难时期,工程打打停停,拖到1965年秋我们才在肖先生亲自带领下把大云室的径迹调出来,导致钱三强所长一行上山宣布云南站的成立。不料云南站刚开始观测,史无前例的“文化大革命”又起,肖健先生在北京、站长霍安详在山上都大受冲击,直到1971年,大云室才在“抓革命促生产”口号下得以断续恢复工作。可这时抬头一望,西欧中心的PP对撞机ISR已以单束32 GeV开始运行,其有效碰撞能折合到实验室系,相当于近2 TeV的质子打静止靶,覆盖到了云南站的工作能区。而它的 $P\bar{P}$ 对撞机SP $\bar{P}R$ 计划(单束270 GeV,等效于140 TeV质子打反质子静止靶,1981开始运行)一下又把有效碰撞能提高近百倍,接近了当时宇宙线实验中只有高山乳胶室和EAS才能占领的超高能区,从而把云南站逼到了墙角。

按惯例,当加速器能量提高到哪里,宇宙线的粒子物理研究就应让出那里而迁移到更高能区,去探索粒子在此未知能区的相互作用特征或新粒子新现象存在的迹象,留待后来的加速器实验去证实和细究。要不然,你就干脆放弃以宇宙线作粒子炮弹的微观类研究而专注于与宇宙线的宇观或环境属性相关的课题。然而,当时的云南站根本没有这样的思想准备,在肖先生因文革痛苦遭遇而决绝地



图1 1973年春,张文裕先生陪袁家骝去云南站视察时与“原三室”(亦即原子能所“高能连”奉命派往云南站协助寻找“一个可能的重粒子事件”下文特遣队人员和站上常驻职工合影。照片中的原三室(当时是为加速器物理准备的,在原子能所里与云南站是互不从属的并列次级单位)任务队人员有:左起1谭有恒,5“高能连”支书孙广昌,7张文裕先生,8袁家骝,9领队吴应荣,12王世伟;后排左起1童国梁,2王廷友,6李云山,7王德武,9李成泽,10李如柏,11郎鹏飞(领队)

离开奉献了半生的宇宙线研究后,我们这批年轻人顿感无助和茫然。

有幸,1972年,谭伦昌在山上看云室片子时偶然看到了一个罕见的事例,这就是后来被称为“一个可能的重粒子”的著名事例,受到高层领导的高度重视,也助长了云南站可能因此而幸存的念想。为此,从原子能所未期到高能所成立初期,一共组织了三次上山分队专为寻找“一个可能的重粒子事件”的下文。作者有幸参加了由在中关村的原子能所“高能筹”(俗称“高能连”)组织的1972—1973年分队和后来回归宇宙线后由云南站组织的1977年的任务分队,不幸,都未找到什么“下文”。不过,虽然主要任务未果,我们好些同志都利用山上图书室里的影印文献,趁机作了些调研。随着对国际宇宙线研究的状况和各种研究手段了解的增加,我也逐渐把目光锁定到了EAS研究上。然而,对国际现状和学科发展形势的了解越多,越发强化了对云南站科研前景的悲观心结。有没有什么药方能挽救云南站生不逢时、揭幕即谢幕的命运呢?

为了给云南站延寿,室里也曾推动与大连电子所的合作为云室组加了一套Hodoscope似的数字化新设备。由于未触及根本问题,自然无力回天。不过,那时院所领导层似乎也存有变相复活云南站的想法,在推动一个在昆明建立宇宙线研究所的计划,并派所核心组成员张庆国去昆明主持筹建。地址都确定了,在黄土坡,可遭到了三室广大成员的软抵制。是呀,国家出钱出编制新建一个研究所,却没人说明其具体任务和学科方向,要不是为云南站的复活,就重在顺理成章地解决云南站下来的近30位人员(工人、行政人员及家在昆明的部分科研人员)的安置问题。无论哪个,建所理由都不充分。记得在一次由钱三强、何泽慧先生出面召集部分科研人员听取意见之后,此事就没人再提而不了了之,云南站处于了既没有正式撤销也没正常运行的闲置状态。直至80年代后期高能所出资在云南站昆明翠湖看美巷招待所建一临街新楼后,留昆人员才被云南科委-科学院接纳,物资处刘向东同志奉命于1987和1988年两次上山盘点和处理云南站

剩余物资并运回大云室之时,才实际上为云南站时代画上了句号。(不幸,这复杂而高昂的“善后”代价,也成了院所职能部门同志当年普遍对我的进藏持负面看法的依据。)

2. 中国宇宙线研究前途大辩论和百花齐放局面的出现

云南站在加速器挑战面前一筹莫展,中国宇宙线还搞不搞、怎么搞成了紧迫问题。没人拿主意,霍安祥出了个高招:发起了一个充分发扬民主、人人畅所欲言的中国宇宙线研究前途大讨论。不仅在室内,而且在物理楼阶梯教室开大会吸引他室人员参加。此举激发起广泛的积极性,带出了一个近十年的众多宇宙线自主课题并存的百花竞放大好局面。除李惕培等经深思熟虑选择以气球为运载工具的硬 X-Ray 天文而脱离宇宙线领域另辟蹊径外,宇宙线方面,陆续有任敬儒、陆穗苓、霍安祥、况浩怀等的甘巴拉高山乳胶室,姜印琳、徐春娴等的密云水库水声实验和其后的大气契仑可夫望远镜甚高能 Gamma 天文,任国孝、陈鸣远、荆桂茹等以多种运载工具搭载无源固体径迹探测器测定宇宙线重核成分等实验陆续开展。谭有恒等也于 1983 年正式开始了怀柔 EAS 阵列的建造和《西藏计划》的准备。这样的大讨论、大放手,在我国宇宙线研究史上还是第一次,也是值得铭记的一件大事。它打破了自上而下的决策传统,允许百家争鸣百花竞艳,为中国宇宙线研究探寻与学科发展趋势及当时国情相吻合之路,打开了一道希望之门。

二、百花竞开,为何仅剩一支?

生动活泼的百花盛开局面维持了十年左右,到 90 年代初,这些自发生长的花朵中的多数已自然萎缩或自动退出,仅剩下以羊八井为基地的 EAS 阵列和在北京的 EAS 切仑可夫望远镜实验这两家。分析起来,羊八井的未遭淘汰绝非偶然,主要原因有:

1. 一开始就有战略谋划并得到肖健先生的首肯和支持

它的原始动因源自因云南站困境引起的中国宇宙线研究必须转型的长期思考,因而一开始就知道这是一项打基础的长线工程,有长期奋斗的充分思想准备。事前,我认真比较了当时工作能量最高的三种宇宙线实验方法(高山乳胶室,地面 EAS 阵列,地下磁谱仪)的优劣利弊。缪子谱仪提高可测能量的空间有限,且能作的课题不多;当时国际国内正干得风生水起的高山乳胶室,虽具有不用电、不需值守、成本低廉等优点,但这种被动式无源探测器没有时间信息,完全与天文绝缘,且其后期处理、事例拼接和测量分析的手工化特点不仅限制了它的规模和效率,更要命的是不会受年轻人青睐,在电子技术飞速发展的时代,它的衰落之期必定不远。EAS 实验占有有人工加速器很难达到的超高能和极高能区,技术上,又可使用与加速器实验相通的多通道、多种类粒子探测器和现代电子学实现阵列运行的自动控制及数据的自动采集。它布置灵活、扩展方便、接收度大、死时间少,可实现风雨无阻日夜不停的常年观测。原则上,它所记录的每个 EAS 事例的粒子团在观测面的时空分布样式,都联系着在高空引发此 EAS 的原初宇宙线粒子的种类和它的首次核作用特征面貌(通过 Monte-Carlo 模拟计算反演),它的方向和时间信息又使我们能跟踪视场内任何高能天体,从而有着更宽阔的研究领域,是个大有前途的实验手段。至于宇宙线探测的空间、地下、水下等手段,在日本时也有意从旁做了些了解,结合当时国情,认为我国的宇宙线研究仍应以地面实验为首选。

进藏之想,可能始于一次在日本物理学会广岛会议上,菅浩一(Suga)先生报告的 Chacaltaya(南美,5200 米海拔)EAS 纵向发展曲线与我报告的日本明野(Akeno)阵列结果明显差异引起的疑惑,碰巧又从访问甘巴拉山回来的汤田那里得知拉萨附近有个十分开阔的地热基地羊八井,由此萌生了自己作个阵列从海平面、中高度、最后在西藏落户的统一观测想法,想闹清那差异究竟是各家实验布局和数据处理上的差异所致还真的是在高空出现了

什么新物理。然而,虽然那时我已年届“不惑”,可在科学上还是个“菜鸟”,回国后急切想听听肖先生的看法而几乎忘记了他文革后发誓不再沾宇宙线的事。当时肖先生耐心倾听了我的困惑,与我讨论宇宙线实验结果解释二义性的根源和各家数据拼接的“归一化困难”(肖先生语)。对我的建阵进藏计划他未直接说支持,却一再问我“有没有铁杆”,并告诉我:在“311”时期他也曾想过搞EAS,幸好没搞,不然文革更过不了关;还提醒我:以那时“311”那么大的队伍和名头,设备运输等都曾遇到很大困难,进藏的困难必定更多。这次谈话使我意识到文革后的肖先生虽然在行动上与宇宙线划清了界限,可在内心里还在关心着我国宇宙线研究的前途和命运;肖先生对我的破例接待,对进藏的担心和提醒,正显露了他对此举的科学认同。这就巩固和加强了自信,也感到了一种从未有过的责任,成了以后直面困难、坚守初心的精神力量。(以后我在戴义方、董玉璐协助下在六楼一角开始预研时,肖先生还与所办的季承、杨百熙来看过几次,这不仅是无言的鼓励,而且对我通过他们二位向所里借点小钱很有帮助。)随后,肖先生推动了费时一年多的所学术委员会物理委员会的去外国委员改革(才开成评审会),在他主持下我得到了一笔所内基金,不久,又在他和张文裕先生推荐下申请到一笔院内基金(我当时只是个小助研,靠了二位老先生的推荐申请才被接受。张先生的推荐信是我写他签字,肖先生的则是亲笔信),怀柔阵列建造才得以开始。因此我要说,中国EAS实验的开局是在肖先生的科学首肯下起的步,又蒙他送了一程。

2. 依靠我国独有的高山优势

按20世纪六七十年代我国的经济实力、工业基础和技术水平,全靠自力更生,用百分之二百的努力也只能建成个二、三流水平的有规模的科研设备,能起到“参与”和“练兵”的作用,却很难在国际较量中立足标名。很有幸,宇宙线普天同降而各国地理环境却大有不同。羊八井高山站址的发现,给了我们开发高海拔EAS观测天然物理好处的独特

优势。因为这些高海拔物理潜力的开发,需要有一定规模的高精设备及其高质量、风雨无阻、日夜不停地常年运行,从而需要专业人员的驻守维护。这就要求这里不仅要有宽阔平坦的地形,还得有充足的电力、常年畅达的交通、冬无积雪的气候、就近的支援基地、最好站区有近邻(人是群居动物,孤独山头索居,久之连语言功能都会渐失)等条件来保障。而具有这些理想条件的站址,还没有在别的国家找到过。

羊八井在拉萨市西北90千米处,青藏公路旁,是念青唐古拉山脚下的一个平坦的断陷小盆地。它长约30千米宽约10千米,是印度洋暖流通过雅鲁藏布江-拉萨河-堆龙曲能到达的末梢,因而气候温和、冬无积雪、道路畅通。内有数百藏民祖居此地以放牧和种植为业(现有青稞、豌豆地)。因发现此地地热资源丰富,有地热研究所、地热电厂及其数百职工常年居此。这里有常年畅通的青藏公路(现在更有青藏铁路,羊八井火车站正好就在观测站的对面)通过,有地热电厂就地供电,有邮局、银行、小店,及仅距1千米的解放军羊八井兵站及其旁边的加油站、商店、饭馆等民用设施。说明这是个优于藏北高原及世界上四千米以上的高海拔地区的十分难得的宜居之地,为低成本建设和长期维持一个有规模的高海拔观测站提供了几乎全部必要条件。事实上,后来我们把站址定在了地热公司生活区近旁后,供电就直接从他们大院拉线,供水就直接从他们水塔接水管。只有通讯是个弱点,在兰青光缆开通前,我们长期主要靠在近旁的邮局发电报来与北京、东京等地联系。

可以说,要是没有羊八井这样优越的地理和社会条件,我也不会有足够的勇气在1984年4月的20天西藏考察后,硬顶着室领导的反对和室委会的决议非要进藏不可,不惜在6月份向室里做出“责任自负、经费自筹”的保证换取对进藏的默许。以致后来我们真的在没有一个行政人员(站上财务会记委托地热公司财务科代理)、没有任何车辆的情况下,仅用课题费雇佣了两三个临时工,靠合作委调度、



图2 1990年元月10日,羊八井一期阵列开始试运行并宣布羊八井宇宙线观测站成立时,中日双方建站人员与前来祝贺的自治区和羊八井当地嘉宾合影。中间着棕色外套者为自治区副主席次道多吉,其左右为谭有恒和斋藤敏治

各合作单位轮流派人的方式,维持了羊八井观测站这多年的成功运作。

3. 开展国际合作,调动国际资源

文革的结束解放了手脚,自由大讨论解放了思想,但局限于当时微弱的国家经济实力和落后的工业技术条件,敢想敢做的空间是十分局限的。八十年代初,乘着改革开放的东风,科研人员陆续走出国门,放眼世界。才使我们切身感受到在我们埋头“闹革命”这些年,科技上我们已落在别人后头很远。为迅速缩短差距必须考虑通过国际合作获取先进设备技术,才能在同水平的硬件平台上参与国际较量。

此前,我国长期被美西方制裁封锁,一切靠自力更生是我们求生存、展骨气的法宝。但都改革开放了,在高科技领域仍固执全自力更生、排斥外援,就是自甘落后了。以怀柔阵列为例,我们再想方设法自力更生也没法达到百分之百:动力电器、闪烁体、光电倍增管、光导箱、NIM及CAMAC机箱、各

种电缆、接插件、线路板倒都是国内产品或自行研制之物,而数以百计的电子学线路虽然均是自制,但除分离器件外,集成电路块都是我从日本自费买回来的。还有一个用作数据采集的微机(现在叫电脑)和一台2500V直流稳压电源必须进口。即使我们自制的50个闪烁探测器的性能指标都好于明野,但整个阵列集成后的调试和运行中却并不那么很顺畅,经常性的麻烦多出在国产电子接插件的接触不良上,因为数量众多,查找起来特别头疼。小小一个阵列竟费了我五年时间(1983—1987)才得建成,水平也只能算作国际三流。人到中年,有多少个五年任它蹉跎?好在它还算个功能较全的阵列,首次能让中国人在自己国土上看到一个个EAS粒子团在观测面的具体模样(从哪个方向来,轴心落在何处,有多少荷电粒子,它们在观测面的具体分布是啥样子……),从而起到了为西藏计划准备技术、培训人才和取信合作伙伴的作用。试想,如果1986年没有主楼顶上的16个探测器组成的EAS试

验阵列给来宾看,仅凭我对高海拔物理潜力和羊八井地理优势的鼓吹,未见得立即就有(日、意、美)学者表达参加羊八井阵列共建的意愿。

那是在1986年10月,由于西藏甘巴拉高山乳胶室实验的国际声名,我国赢得了一次“宇宙线超高能作用国际研讨会”的主办权。借丁林垵同志担任组委会学术秘书之机,我们越界特邀了日本EAS元老菅浩一、美国马里兰大学的Yodh、Michigan大学资深教授L.W.Jones和W.Hazen、Utah大学的E.C.Loh(陆震)、意大利INFN的D'ettore Piazzoli等国际EAS界知名人士与会,在会议期间插入一个《Tibet project workshop》,我并在会场(北京丰台京丰宾馆)门口等待国内参会的知名学者,散发《建立西藏超高能宇宙线观测站的建议》等油印资料。这次,不仅汤田为首的日本乳胶室学者积极参加了这EAS的Workshop,而且日方还来了一批以亲华著称的岬晓夫(日本的造反派,1976年日本宇宙线研究者代表团访华的促成者)为首的非主流派成员,竞相要求加入,而两派又势同水火,弄得我十分为难。岬甚至对我说:谭San,我可以不反对他们参加,但要是你不让我们也参加,我让你的西藏计划搞不成。他的造反派性格我是早已闻名的,于是我把俣野(Matano, 埼玉大学教授,岬是他组里一名助教)先生单独请到家里品五粮液。老先生很帮忙,临行对我说:I'll let him be quiet. 真的,此后岬未对我与汤田的合作找过麻烦;不过有一次在国际会议上遇着,他追着我:谭San,最初是我把你带上国际舞台的,怎么你倒不理我了?我只能支吾其词,总不能直接说那是因为你不能从东大和文部省拿到我要的资源吧!扯远了,说回那次Workshop吧。立足高海拔在临近簇射发展极大处作膝区物理的好处是所有了解EAS在大气中纵向发展过程的人都认同的,大家主要关心的是羊八井的种种独特之处和对寻找超高能Gamma源(1983年西德

Kiel组宣布测得Cygnus-X1为超高能Gamma源已引起一股找源的国际热潮)的独特优点。记得还在我与谢一岗去机场迎接意大利代表来宾馆的车上,D'ettore就迫不及待地追问我这个问题,我因此还临时准备了一张透明片,显示羊八井因高度高(因而簇射大、有效天顶角大)和纬度低(甚至能观测到南天-10度的候选天体)而拥有的对那时北半球主要阵列的比较优势。在会上,似乎未遇什么大的困难就形成了共识,日本和意大利方面明确表示了参加意向,美方是在会后Yodh顺访高能所时才找我单独表达的(说等他的CYGNUS阵列工作告一段落就全力参加,还问了我一些那时中国有没有材料和工厂可承接大批玻璃钢光导箱生产等情况,给我的印象他是认真的)。然而,那时肖健先生已因胰腺癌病逝,张文裕先生又患梅里尔斯病坐上轮椅、双耳失聪;我的立项申请附上霍秉泉、王绶琯两位老前辈的热情亲笔信越级投递孙鸿烈副院长及经叶铭汉所长逐级上报,均无下文。此期间,美国Yodh结束了CYGNUS又启动了MILAGRO计划,意大利的D'ettore等在如约作了一段不流气SQS管试验(为羊八井阵列贡献缪子探测器)后,等不来我的消息也投入了在Grans Saso地下实验室山顶上的“EAS-TOP”实验。在有些无奈的等待中,我把精力放回到怀柔阵列的完成上。1987年阵列设备全部制作完毕,1988年终于解决了怀柔站址的钉子户问题建成怀柔观测站,让包括研究生戴宏跃、孙新新、曹臻、罗光宣等十多位参与者受到EAS的洗礼。

西藏计划的转机也在这年到来:1988年春,来京参加甘巴拉乳胶片前期处理的鸟居祥二,带来了汤田申请到了几千万日元科学基金愿投入羊八井合作的口信。对我,这自然是西藏计划得以启动的良机;而对汤田来说,更是他及他的乳胶室团队跳出即将衰落的乳胶室实验手段而转投EAS的最好口实(甘巴拉、羊八井均在西藏,都与中国人合作,

这对东大、文部省和日本EAS界都好交代),我们各有需要、心照不宣。室里则立刻宣布成立由霍安详、丁林垠、任敬儒、谭有恒组成的“筹备小组”;我即带着戴宏跃进藏,于4月12—24日实施了第二次羊八井考察。为节省成本,我把站址选定在了紧靠地热开发公司的马路北边,并与该公司和西藏大学草签了“协助建站意向书”,在回程中又在成都与西南交大签了合作意向书。5月9日向所里呈交了《西藏计划选点报告》,叶铭汉所长欣然决定将处理云南站剩余物资所得的20万元作为所长基金拨给我组以为建站基金。7月,日方坂田通德(甲南大学教授,有乘鞍山EAS经历)来访,我们在怀柔站充分交流,敲定了起始方案。1989年春,派力京同志到羊八井现场筹备施工事宜;5月,控制室破土动工。此后,我们经历并撑过了“天安门事件”“拉萨动乱”及国际制裁禁运等惊心动魄事件的干扰,坚持于当年深秋完成了首批设备的海陆运输,中日建站团队冒着高原严寒实施冬季野外作业,终于在1990年元月10日开始了羊八井初期阵列的试运行并宣布羊八井EAS观测站问世。此后,我们就再没有向院、所递过工程立项申请,而是把一个本系学科建设的战略性工程化作一个个短期课题向国家自然科学基金委及科技部、中科院的某些临时专项申请课题费。每次申请到一笔钱都能撬动外方的更大投入,从而使羊八井阵列犹如穷人家小孩的衣裳那样又接上一截。

由此总结出一个公理:国际合作的“一拍即合”其实都是互相需要。而互利共赢必须以优势互补作前提。你若连一点人家缺乏的相对优势都没有,即使你们个人关系再好也难以达成稳定的合作。我们当时拿得出叫得响的独特优势就是羊八井这个优秀的高山站址,它就是我方天然的科学资源,它就能为我们调动外方积极性提供最新的高技术设备,如当时严格限制的磁带记录仪。试想,要是没有这些磁带记录仪,用当时普遍采用的软盘、光

盘作记录存储介质的话,怎么能应付羊八井AS-Gamma阵列每天10GB(2000—2003年)到100GB以上(2009—)的海量原始数据?记得怀柔阵列数据量达到每天兆Byte时,我们就感到软盘、硬盘都不够用了。此外,国际合作对人员培训也是非常有利的。参与羊八井工作的中方人员,不仅限于研究生,多数都有机会出国到对方实验室与外方人员短期共事,这不仅是接触现代化的机会,也是养成国际视野、增强自我信心,有利人才成长的有效途径。

三、羊八井的历史功绩和遗憾

我国宇宙线研究何处去之问,经过20世纪70年代的酝酿,80年代的广泛探索,最后以EAS实验在羊八井站稳脚跟和逐年壮大而有了结论,并标志着我国宇宙线研究在学科方向上从寻找新粒子、研究TeV以下高能作用特征向超高能区迁移并往宇宙线天文方向拓展,在实验手段上从手工化的云雾室径迹探测器向现代化的大型计数器实验的转型的完成。而羊八井就是完成这种转型的福地和标志。在十年超高能Gamma天文热潮驱动下,那时我们的注意力主要集中在易出轰动性成果的Gamma天文上,但也没有忘记我们还肩负有整体学科建设的长远任务(膝区物理、Gamma天文和日地空间环境)。虽然也为此留了点心眼、作了些准备,但都成效不彰。如此种种,留下了不少遗憾:

1. 对Gamma天文以外的学科建设着力不足

在接近簇射发展极大的高度作膝区物理本来是西藏计划的最早动因。随着1983年后就连诺贝尔奖得主J.W.Cronin都被卷入的全球性超高能Gamma源寻找热潮,以其紧迫性和简易性(如果Kiel大学真能在海平面就以一简单的EAS阵列发现Cygnus_X3为超高能Gamma源,我们在YBJ就应该轻松地发现一批;何况找源不需要细致测量每个EAS的粒子分布结构,只需其精确的到达方向、

时间和大致的总粒子数信息,相对简单)压倒了所有传统的EAS研究课题,我们也不例外。而且,国际合作需要协调,加上民间项目经费筹措上的小额、多次的特点,都使得阵列的建造不可能一张总图纸干到底,只能多次拼接,难以兼顾到挑战膝区物理的长远要求。直到中意羊八井ARGO合作启动,才动了点心思:虽然ARGO地毯的预期任务是以其全天候、宽视场(赤纬 -10° — $+70^{\circ}$)方式覆盖甚高能 and 亚甚高能能区,在直到红移 $Z=1$ 的宇宙深空去寻找Gamma源、Gamma暴,但应照顾到今后可以把它用作一个精致的复合阵列的大面积、全覆盖式的簇射芯探测器的可能性(以逐一对每个EAS粒子团的芯区粒子的时空分布作精细测量,并配合外围多种探测器对簇射粒子性质的识别,摸索分辨簇射祖粒子成分之法。从而经长期积累,不仅测出最可靠的总粒子谱而且可能获得几种单一成分谱,为宇宙线原初能谱膝结构之成因研究提供坚实实验基础)。故在世纪之交开建ARGO大厅之际,虽无力在大厅下为强子探测和种种奇思妙想预留下一个同等大小的地下室和以大厅为交点的8条放射型缪子探测隧道,却也按整体预想特地以大厅为中心圈了一块 $300\text{ m}\times 300\text{ m}$ 的土地,还从GRAN SASO地下实验室要来了几集装箱的退役SQS管以备将来外围缪子探测器之用。其实膝区实验并不会影响地毯的Gamma源寻找和日影月影等观测的进行,因为膝区位于 PeV 以上,事例相对稀少,即使给它的触发以优先权也不会压制 TeV 级事例的触发记录。不幸由于一次大簇射中心击中并烧毁大片已就位的RPC的前端电子学的大返工和“非典”疫情导致的耽延,我的973项目被迫延期结题,压上了我的退休红线,失去了再申请一笔千万级经费的时间和功能,甚至也没来得及安排人力作详细的阵列设计模拟计算,只好在威海举行的一次国际会议上留下了一篇粗浅的报告文稿。

在日地环境监测方面,除了试图利用ARGO地毯的低阈能在 TeV 附近缩短月影日影图产出周期监测太阳活动的短期变化外,1998年始,陆续分别从日本理化所(Riken)和名古屋大学引进了一套由28支NM-64型超级中子管构成的太阳中子监测器及一套9平米中子望远镜。这方面的最大收获是成长了几位专业人才,后来还用氦3中子管和怀柔退役闪烁探测器成功自制复合的中子缪子望远镜,把数据实时通往空间中心,并将设备远布南极等不同地理纬度站址,为空间天气的预报研究服务。这对我国宇宙线研究的多面布局可以算是件大好事。2003年7月,路甬详院长偕陈宜瑜(国家自然科学基金委)主任和西藏自治区书记杨传堂等来羊八井站视察时,我们的环境监测引起了他们的特别注意,指示我们注意多学科交叉研究并决定以院长基金支持我每两年组织一次高海拔多学科交叉研讨会,希望终能碰撞出某种学科生长点来。为抓住这次发展机遇,次年5月我们在北京CCAST平台邀请了80多位各界学者开了几天预先讨论会;7月,《首届基于羊八井平台的交叉学科研讨会》在拉萨成功举行。来自国内宇宙线、天体物理、粒子物理、空间、大气、地震、医学、新能源界27个单位的50多位学界代表与会,白春礼副院长、张杰基础局局长等嘉宾出席了开闭幕式并参观羊八井观测站。代表们在宇观和微观基础研究、重大灾害与大气空间环境、地震预报、人类健康和传染疾病、太阳能氢能开发利用等方面提出了一批与羊八井相结合交叉学科课题及加快羊八井平台及其运行机制建设的具体建议。可惜,因故,这热闹的首次竟成了末次。但也促使我们完成了羊八井太阳监测数据自动处理和远程传输系统的研制及天文台、大气所某些项目向羊八井靠拢。甚至也曾有日本岐阜大学的人来商量以可测定方向的雷暴探测器与羊八井EAS阵列相结合研究EAS密集粒子群与闪电、雷暴触发间的联系。我知道羊八井雷暴不多(西昌多),



图3 2003年7月路甬祥院长一行到羊八井视察。在ARGO地毯大厅,前3杨传堂自治区书记,前4路院长,右一陈瑜宜国家基金委主任

自己又退休了,没有促成此事。

2. 争取天文台式待遇让羊八井长寿的努力落空

相较于建设云南站的311工程时的国家体制(二级部工号,国家预算、上有副部级的副所长力一为首的领导班子,具体工作有肖先生、陈美乾为首

霍安详、郑民、秦荣先为骨干的工程处和三室一组全体人员,工程技术、设计安装均由在房山坨里的401所总部总揽,工种齐全的安装队伍也由他们组织和派遣),在学科形势逼迫下探索我国宇宙线转型之路的羊八井观测站创建,则是个初期不被看



图4 从ARGO地毯大厅屋顶上西望AS_Gamma取样阵列和5公里处的地热电厂

好、从民间自发生长出来的一朵野花。明明是个学科建设的长线工程,也只能适应国内基金项目设置现状,把一个本应有总体设计的战略性工程作成了一件“穷人家小孩的衣裳”。但毕竟,这件拼凑而成的小孩衣里包裹着的是中国宇宙线研究的未来。1989年的“天安门事件”和“拉萨动乱”没能吓阻我们,严酷的高山环境和经费的拮据没能动摇我们,就连席卷内地的出国大潮也没能冲垮我们前赴后继的队伍。然而最让人放心不下的隐忧是:随着目前课题的结题,羊八井观测站会有口粮断绝被迫关门危险。于是,一有机会我与卢红就向有关领导宣讲宇宙线的三大属性,其宇观性质和与日地环境的天然联系决定了羊八井观测站具有天文台式的永久存在价值。宣传也有了些效果,促使院资环局把羊八井站列入了他们的固定野外台站之列,每年都拨给30万元台站费直到院里收到高能所撤销羊八井站正式申请的2024年为止。但是我们试图把羊八井基地向多学科共同利用或国际开放平台方向引导的努力(如《建设YBJ国际开放宇宙线实验中心的建议》等)都没有结果。生怕我973项目结题后羊八井站遭遇生存问题,2002年9月,急忙去了一趟德国海德堡核物理所,与其所长J.H.Volk、HESS IACT实验领军人W.Hofmann和在前苏联时期有过接触的IACT界著名学者F.A.Aharonian讨论在羊八井搞“第四代IACT”的计划。羊八井的高海拔,有比海平面高3-5倍的EAS切伦科夫光光强的优势及其已有的国际级实验基础,是吸引他们来此共建一个由3台口径20-25米的巨型IACT以约百米间距布成的符合阵列的我方优势,建成后能在下一代空间探测器GLAST的导航下以10-50 GeV的地面实验极限低阈能和约0.05Crab的空前灵敏度,深入红移达 $Z=3$ 的深空去落实大批源天体并重点跟踪一批,记录他们的长期和爆发式时变;也能在国际预警系统发出预警一分钟后迅速完成定向,观

测Gamma暴的余晖。此事较不平常,若能引起主管部门的重视得到一笔投入,对羊八井观测站的长存必有助益。可惜动手晚了,谈得虽很投机,终成黄粱一梦。

要是羊八井站真成了天文台那样的半永久性国家级台站(而不光是科技部发个牌子),如今稻城的LAHSSO巨型阵列也会有个兄弟台站并存。它们的一些实验结果可以相互衔接、交叉检验;它们的竞争可以增强我国宇宙线研究的活力及多样性,壮大我国宇宙线研究的队伍。这种布局,因当时我们工作的迟缓和不到位而失之交臂,留下深深内疚。

四、结束语

羊八井观测站自1990年成立到2022年正式撤销,走完了它32年的生命历程;要从《西藏计划》的前期准备(包括怀柔站)算起是41年;而要把它漫长的孕育阵痛期都算上的话,那得追溯到文革后期那个从迷茫到思索的年代,则占据了一代人的整个科研究生命期。为着我国宇宙线事业的复兴,漫长征途上,人们迈过了沟沟坎坎、历经了起起伏伏,终于完成了我国宇宙线研究的正确转型并站上了国际舞台的前列。不完全统计,从1981年算起,先后有48位员工和51位研究生(含5所大学的32位)参加过相关工作;其中戴宏跃、孙新新、罗光宣还曾短期在我组入职。他们的前赴后继,从整体上、动态地构成了怀柔-羊八井从未断流的建设大军,共同书写了《西藏计划》40年、羊八井实验30年的奋斗史。特别不应忘记的是几位长期驻站的“临时工”,他们没有“身份”,却起着值班工程师的作用;从怀柔时期就跟着我的陈文一,后期实际起着羊八井驻站高工、副站长的作用。文章发表没有他们的名字,我们心里却不能忘了他们的功德,让我在这里表达心中的歉意,也纪念那段共同度过的峥嵘岁月。

以上讲的只是些零碎往事的回忆。局限于个人的经历、水平和视角,难免会与别人的叙事有些出入。这很正常,也不打紧。不管我讲的故事是否主流和片面,只要它真实,多少能让年轻一代对我国宇宙线研究历史上的苦难与辉煌有所听闻,有所感悟,从而有助于他们主动性、责任感、事业心的形成,有利于我国宇宙线研究队伍人才素质的提高。随着祖国的强大,国际合作已不是必须之选而是锦上添花;大家不必再为明天会不会“断粮”而担心,独立大科学工程已得实现,国家实验室地位也非梦想,中国宇宙线研究和青年一代成长的大好机遇期就在眼前。

LAHSSO有了很好开局,一批PeV Gamma源天体的发现,为宇宙线起源之谜的破解投射出希望之光,赢得世界的瞩目。但同时这也意味着责任更重大,更须谨慎前行。一般规律,名声越大人们对你的期望值就越高,越不能出错。特别是现在没有了羊八井,成了一花独放、孤独一枝。世界上没有阵列比你高,没有阵列比你大,你的数据就是唯一。唯一的优势是无人能及;但也必然引来一个坏处,就是容易遭到别人的质疑——我当年还是个“菜鸟”的时候都敢质疑前辈权威的、全球最高(Chacaltaya)阵列的结果,也定会有业内高手不知在什么时候质疑我们的独家报道。当然也不是不可以对付(例如,用两组不同的人独立处理分析同一批数据作同一个课题;严格对探测器的定期标定,控制和及时修正各探测器的漂移。最好是要保留好这些标定记录),但总觉得要是羊八井还在会少去许多这类麻烦。

还有一点感想:这些年来,国际和我国宇宙线研究的多样性似乎都在趋于缩小,直觉这不是什么繁荣的信号。是加速器强大了宇宙线无用了吗?

非也! LHC之后世界上还有哪个国家有钱造更大的加速器呢? 何况这种来自宇宙的粒子流、是上天恩赐的“天然资源”,它所携带的多样信息是你我难以取尽也是加速器所完全没有的。就说超高能核作用吧,在高空形成的高于加速器能量的EAS的初期核作用中,原则上什么新粒子新现象(如果有的话)都可能出现,只不过粒子增殖传播到低空时其特征被稀释了,纵然如此,宇宙线作为“粒子炮弹”和微观世界探针的地位,在PeV以上能区和可预见的将来还是没法替代的。现今,我国作为一个有实力、负责任大国,在基础研究上有义务也有能力去维持必要的多样性,给学科发展营造良好生态、注入持久活力。你看,人类在地球上横行霸道多年,到最后不也认识到生物多样性对人类生存的重要,连濒于灭绝的动植物都要去抢救吗? 我国宇宙线研究既已摆脱了生存之虞,就应心存忧患意识,在集中力量办大事的同时,主动为生态的多样性提供空间、营造环境。

回首往事,总忘不了张文裕先生在云南站(文革)时期为国际上某些唱衰我国宇宙线研究言论气得通红的面孔,和急得口吃的(“我们中国宇宙线研究怎么会是零呢?”)重复质问;总忘不了肖健先生因故毅然决然脱离宇宙线后,还一次次亲临六楼西头关心我们初步试验的身影,及默默帮助我们取得中国EAS事业起步的第一桶金的殷殷之情。现在,已经不会再有人说中国宇宙线研究为零了,羊八井已完成了它的历史使命,中国宇宙线研究又在四川稻城迈开了它新的步伐。这些足以告慰二位老前辈,他们开创的新中国宇宙线研究事业,文脉得以延续,并在发扬光大。让我们怀着虔诚的心,感谢先辈们的信托,记住过往的苦难,期待未来的辉煌!