

中科院大科学装置系列报道①

北京正负电子对撞机

对撞之后 收获硕果

■本报记者 沈春蕾

2014年11月,中国科学院高能物理研究所(以下简称高能所)北京正负电子对撞机的调整和运行人员在新的一轮的机器研究中,不断创造了对撞亮度的新高,超越原先的 $8.0 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$,达到了 $8.04 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$ 。北京正负电子对撞机是我国第一个大科学装置,

如今也是国际粒子物理研究的一个重要组成部分。中国科学院院士、北京正负电子对撞机国家实验室主任陈和生告诉《中国科学报》记者:“北京正负电子对撞机自建成以来,对社会高度开放,为多学科的研究提供服务,收获了丰硕的科研成果。”



北京同位素辐射实验室

从建成到改造

一个发展迅速的研究机构(基地),往往拥有众多科学研究平台,而围绕一个大型科研装置,会自然而然成为一个小型科学研究中心。

高能所就是一个以大科学实验装置为依托的研究所,建有北京正负电子对撞机、北京谱仪、北京同步辐射装置、西藏羊八井国际宇宙线观测站以及大亚湾中微子实验等大型装置。

1988年10月,北京正负电子对撞机(BEPC)成功实现对撞,这是我国继原子弹、氢弹爆炸成功和人造卫星上天,在高科技领域又一重大突破性成就。高能所原副所长张闯回忆道:“这项工程耗时4年,创造了国际同类工程中建设速度快、投资省、质量好、水平高的奇迹,在国际高能物理领域占据了一席之地。”

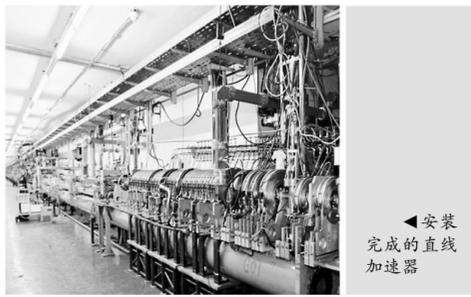
上世纪90年代以来,通过在对撞机上开展的高水平研究工作,我国培养了大批科研人才,提高了我国在相关领域的工业技术水平,并为今后的大科学工程的建设打下了坚实的基础。

2000年7月,国家科教领导小组批准对BEPC进行重大改造的BEPCII方案。“最初,我们的计划是采用单环方案,使用麻线轨道实现多束团对撞,可使亮度提高一个数量级左右。”陈和生指出,“这样的设想还没实施,就迎来美国康奈尔大学的竞争。”

2001年,陈和生等人访问康奈尔大学期间获知,康奈尔大学看到我国对撞机取得了大量成果,也计划把束流的能量降低到当年 BEPC 的能区工作(称为 CESR-c),“他们的主要设计指标对撞亮度超过了 BEPC 性能,与当时我们的改进项目的指标相同”。

面对国际知名实验室和曾经创造亮度世界纪录对撞机的挑战,我国科学家提出了新的改造方案,采用最先进的双环交叉对撞技术改造对撞机,设计对撞亮度比原来的对撞机高30~100倍,性能远高于康奈尔大学的对撞机。

该方案在当年得到了科学界的支持和国家的批准,于2004年初开工建设,称为北京正负电子对撞机重大改造工程,即 BEPCII。张闯指出:“与 BEPC 相比, BEPCII 的指标更高、难度更大。随着改造的进行,我国科技能力和工业水平也有了长足的进步。”



安装完成的直线加速器



对撞机正负电子输运线分岔处

坚持“一机两用”

高能所粒子加速器与技术院实验室学术委员陈黎明指出,在 BEPC 建造设计时,提出了两种运行模式设计:一是兼用模式,于高能物理对撞实验,以开展 τ 、 ρ 物理研究;二是专用模式,专门用于同步辐射光,开展多学科的应用研究。通过以上两种模式,实现我国高能加速器的“一机两用”。

陈黎明说:“从最初设计来说,这个‘一机两用’的任务,主要是通过循环实现的。”

而 BEPCII 采用“内外桥”连接两个正负电子外半环,形成同步辐射环和大交叉角正负电子双环的“三环方案”,坚持了“一机两用”,即包括北京谱仪(BESIII)和北京同步辐射装置(BSRF)两部分。

其中, BESIII 是以我为主的大型国际合作组,成员包括来自 11 个国家和地区、50 多个研究机构的约 300 名科学家。 BESIII 合作组利用在 BEPCII 取得的数据开展高能物理研究,在轻子谱、 ρ 介子的衰变等方面取得重要进展,完成和发表了一大批重要的物理成果。

BSRF 作为我国众多学科的大型公共实验平台,每年向来自全国数百个研究所和高等院校用户开放,取得了包括许多重要蛋白质结构测定在内的许多重要结果,有 60 多个蛋白质结构为国际蛋白质数据库收录。

因此,改造后的 BEPCII 既要在物质结构最前沿的研究中,发现国际领先的物理成果,又要发挥同步辐射装置作为多学科交叉前沿研究平台的作用,在诸多学科领域争取创新成果。

引入先进技术

高新技术储备。

在 BEPCII 建设中发展了若干系统及设备,如高产额正电子源、束流反馈系统、氨基小单元高性能漂移室、无隔板支撑结构的晶体量能器和射频超导系统等,均达到了国际先进水平,也为后续的大科学装置如大亚湾反应堆中微子实验、中国散裂中子源、加速器驱动次临界系统等奠定了技术和人才基础。

来自 BEPCII 的部分工程科技成果已经实现产业化,产生了良好的社会效益和经济效益,为相关领域的可持续发展创造了有利条件。

陈和生指出,随着 BEPCII 在粒子物理和多学科交叉领域的研究不断深入,还会将更多先进的新技术引入国内,推动国内相关领域高新技术产业发展。

太湖站小记

从地图上看,太湖像一位将军,而太湖站在扼咽喉处,走水路离鼋头渚不远。太湖站新站址梅梁湾东山上,在湖边,沿着湖岸线蜿蜒成瘦长型月牙形概貌,与往常所见的四四方方的野外台站概貌不同。太湖站里的公寓、会议室和餐厅在一个连体的两栋楼里,实验楼则在院子的最深处。湖风湿气厚重,公寓的墙皮掉了多半,没掉的也泛着黄黑的霉斑。

太湖站副站长季江是南京人,黑瘦黑瘦,一口南京片儿。他是站里的常务副站长,工作内容之一是负责科研之外的一切杂事,他也是站里野外实验的“船老大”,由于长年在水里作业,他的开船水平很高。他很自豪曾经在海拔 200 多米的地方也开过船,他早年作湖泊调查,他随队跑遍了大江南北。每天早晨吃饭的时候,季江已经一身薄汗坐在桌边喝粥,他定是早晨寻湖回来。有时他不在,可能是围着湖作大圈巡视。季江的宿舍里放了不下十个雀巢速溶咖啡的透明玻璃瓶,他说这是近两年养成的习惯,开车开船都带着,累了来一口提神。他把自己证书的复印件拷贝给记者,他说,最自豪的事情是江苏省长居然记得他的名字。为了太湖站的工作,平时他很少回到南京,很少顾及家里的事,即使回来,也是来去匆匆。就是女儿考大学,他也只请假 10 天。妻子生病他也只是抽空回家看看,安慰几句而已。

研究人员经常一大早就开始下湖忙活。许海博士是其中之一,湖地作业使得他的脸和胳膊被晒得黑亮。他长期在野外发现很多自然现象,回去做机理,不断验证。这次他在太湖边布置大桶实验,起初设想很好。第一次做实验时,风平浪静,大桶摆得整齐又好看。他发现

泵很小抽不上来水,就去市场买菜。很快他就接到电话,说大桶都被打翻了。他又花了 5000 元买了绳子,将大桶五花大绑。结果第二天一场大风浪还是将桶打翻了。

“我们的桶是在造船厂造的,湖浪把固定绳子打掉了,柱子也打弯了。”谁能想到平均深度才两米的太湖居然有这么大的威力。

许海叹了口气,说自己最近比较倒霉。“我的采泥器掉到水里,没法干活,第二天又请人寄了过来。结果有个盆又被我掉到湖里去了。第二天桶翻了,重新借了一个;瓢、梯子又掉了,借了个钩子结果钩子又掉下去了。第二天一看,桶少了一个,盖子也掉了一个。遇上了一场风浪,所有的盖子都掉下去了。我还是请了一个渔民帮我打捞。”本来只是个小实验,现在却做成一个大工程了。

太湖站人渐渐多起来。有位女老师吸引了我的注意。她瘦高个儿又清秀,坐在角落里安静地吃饭,有时会和身边的学生交流几句。她叫史小丽,在这边布置实验藻类观测。每个月她会来这边看看实验进展。不过在她走后的第二天,太湖又起了风浪,她的实验被打坏了 4 个有机玻璃桶。学生站在堤坝上大吼:“老天呀,别刮了!”随后几天,他们撤走了所有实验设备,因为要拿回去重新改造。(王晨绯)



太湖站第一套无线自动观测系统

中科院野外台站系列报道②

问道太湖 ——记中科院太湖湖泊生态系统研究站

■本报记者 王晨绯

太湖的冬季阴冷而潮湿,却挡不住络绎不绝的学习、考察团。江苏省江都水利工程管理处就湖泊水生态系统的观测及研究专程赴中国科学院太湖湖泊生态系统研究站(以下简称太湖站)取经。

扬帆起航

太湖位于世界著名湖群之一——长江中下游湖群的下游,是我国第三大淡水湖泊。流域面积 3.7 万平方公里,人口密度集中。这里河网密布,有 140 多条河流出入,水滞留时间 300 天左右。随着全球气候变化和区域经济发展,水域生态环境急剧变化,已成为社会发展的严重问题。

隶属于中国科学院南京地理与湖泊研究所(以下简称南京地湖所)的太湖站 1987 年建立。创建时,太湖站一无土地,二无资金;此外太湖已经有了一个位于苏州东山镇的东太湖水体农业试验站。时任南京地湖所所长屠清瑛执意坚持筹建太湖站新站址。原因有二:第一,湖泊学的基础理论研究需要更加深入、扎实,需要长期的定位研究提供系统的科学数据支撑和环境演变规律的观测;第二,所内的学科发展需要一个新的生长空间,为培养青年人才创建一个基地;同时为开展国际合作搭建一个更好的活动平台。

为了选择一个能够容纳湖泊水文气象、水生生态系统和湖泊沉积过程规律试验等研究的生态站的站址,在围绕太湖周边一共进行了八九次实地考察后,太湖站最终定在了无锡市滨湖区吴塘村。太湖站就这样扬帆起航了。

高南新自 1988 年在吴塘村开始任村长,他见证了太湖站的成长。

“他们来了以后,对我们太湖水的研究,对无锡市贡献很大。”每天都看见科研人员下湖采样的高南新打心里敬佩。

“这里的人员素质很高。我和季江接触最多,他既开车又开船,一点架子也没有,什么东西都和村里商量着办。”高南新所说的季江是太湖站常务副站长。作为副站长,他不仅承担了繁重的监测采样任务,还担负着多项后勤工作,保障了太湖站的正常运行。

虽然当地老百姓已经满意太湖站所做的工作,但从最初建站的屠清瑛到太湖站站长秦伯强都一致认同太湖站的生命力在于在太湖站发展中有一席之地——即

在基础研究和理论方面有所建树。太湖站从 1990 年开始基础数据的观测,确立了以湖泊生态环境为主的研究方向,真正进入湖泊研究基础零积累阶段。

“那时他们还是很有眼光的,给太湖站定位就是长期定位研究,以机理与过程为主。”秦伯强说。当时,我国正处于改革开放初期,长江三角洲地区经济活跃,但污染严重,水体逐渐开始出现富营养化。在相关部门还未意识到问题的时候,太湖站已经开始积累资料,走在了前面。

“科学院的重大转型项目给了我们 2000 万元,我们围绕四个方向做:一是从历史的角度探寻太湖富营养化背景;二是太湖底泥搅动是太湖的内源污染;三是蓝藻水华问题;四是怎么实现控制生态恢复。”作为项目主管的秦伯强和武汉水生植物研究所研究员谢平就这四个方向还组织了专题、出版了相关文集,对太湖水污染问题做了系统性总结。

2007 年太湖水危机爆发,积累的材料被大量引用,并且在太湖生态恢复上又得以施展拳脚,太湖站在国内慢慢有了影响。

“无论是管理部门还是科研单位都知道我们,无论是学科建设还是生产应用,我们都有了一定基础。”秦伯强高兴地说。

给太湖治“病”

2007 年 5 月底,太湖无锡流域爆发的蓝藻水华,导致近百万市民家中自来水无法饮用。成为 2007 年影响民生的十件大事之一,太湖水环境问题被推至焦点。

太湖站组织了物理、水生生物、地球化学、环境方面的专家深入到湖里面进行野外大尺度的探索性研究。

“我们每年的大事就是联合观测。物理学、化学、生物专业的人员一起工作,多学科交叉也成了我们主要的工作特色。”南京地湖所研究员朱广伟主攻营养盐的化学过程,他希望和秦伯强的水动力物理过程结合起来。

“国外理论没有可以拿来用的。我们主要用物理、地球化学等方法。如果我们努力下去,应该能作出一些贡献。”秦伯强非常肯定。

目前,太湖站构建了遥感、自动监测和人工巡测空地一体化的监测网络,为太湖蓝藻水华的预测预警提供了技术支撑,牢牢将蓝藻的生长态势掌握,并通过数据中心平台,每周两次向江苏省太湖水污染防治办公

室提交《太湖水污染及蓝藻预警半月报》。

目前,太湖站正在四个方面开展研究工作。在物理湖泊学领域主要从事太湖平原河网地区的大型浅水湖泊的潮流、波浪等水动力过程的数值模拟,浅水湖泊的水下光场特征研究以及风对浪、流的影响,水下光场受风、浪、流、水华等的影响机制研究。

在湖泊界面环境化学领域,主要开展湖泊沉积的环境记录、沉积物内源污染规律、生态疏浚等工作;进行大气污染对湖泊的贡献、浅水湖泊对全球碳循环的贡献等研究。

在湖泊生物生态学方向,主要从事大型浅水湖泊的生态系统演替规律研究、蓝藻水华暴发机制研究、生态渔业研究、湖泊健康生态系统的评估与保护理论等研究。

在湖泊生态修复的理论与技术研究主要从事湖泊富营养化控制、蓝藻水华防治、生态修复等方面的理论和技术研究。

湖泊科研的“服务区”

在太湖站的来访登记本上,先后有北京大学、河海大学、南京大学、东南大学 40 多家研究机构、大学的有关专家在太湖站从事科研考察和学术活动。太湖站也与 20 多个国家和地区的学者建立了合作关系。为什么太湖站吸引了众多相关领域的专家来呢?

在秦伯强看来,太湖站像个“服务区”,“只要是作太湖研究的,想来都可以来,我们给科研人员提供服务和便利,现在我们的床位也比以往多了”。

近两年,太湖站多的不仅是床位,太湖站还拥有了一艘价值 300 万元的科考船。“我们提出需要一艘船作为科研设施,3 个月中科院就批准了,最近已验收完毕。”秦伯强说,这艘船让科研人员“下湖”的安全指数提高了不少。

目前,太湖站拥有 4000 平方米的实验室、生活和会议用房,建有标准气象观测站、3D 高精度观测铁塔和 2.7 万平方米的生态围栏实验区,配备了水化学实验室、生物培养室、水动力—生态模拟实验室,还有多普勒三维流速仪、凯氏定氮仪等各类仪器设备。

科学家们在太湖站开展水体生境试验、大水面生态渔业试验、生态修复试验、气象与小气候观测。作为国际湖泊生态观测网络的成员,太湖站已经初步实现了无线、自动、高频率水质自动观测。