

# 大国重器

## 庆祝中国共产党成立100周年特别策划 1921

The 100th Anniversary of the Founding of The Communist Party of China

# 北京正负电子对撞机： 撞出高能物理领域丰富“矿藏”



今天看来,建造 BEPC 是当时所能做的最好选择,它让中国在国际高能物理领域占领一席之地,培养了一支具有国际水平的队伍,也推动了国内其他大科学装置的建设。

**王贻芳**  
中国科学院高能物理研究所所长、中国科学院院士

◎本报记者 崔爽

4月18日,北京正负电子对撞机(BEPC)重大改造工程超超控系统鉴定会在中国科学院高能物理研究所(以下简称高能所)召开。来自北京大学、中国科学技术大学、清华大学等单位的专家组成的鉴定专家组对超超控系统这一关键设备进行了鉴定。

这只是它每年无数大小改造中的一次。毕竟,作为共和国第一大科学装置,BEPC已经超过了30岁。用现任高能所所长、中国科学院院士王贻芳的话来说,当年大概做梦也没想到它可以运行这么久。

“今天看来,建造 BEPC 是当时所能做的最好选择,它让中国在国际高能物理领域占领一席之地,培养了一支具有国际水平的队伍,也推动了国内其他大科学装置的建设。”他曾如此感慨。未来,BEPC还会有10年预期寿命,继续它的科学探索。

### “七下八上”终上马

走进高能所大厅,左手墙上一行大字:这件事不能再延迟了。字是周恩来总理亲笔,落款显示1972年9月11日。

这是北京正负电子对撞机“七下八上”史上决定性的一笔。在那之前的8月18日,中国科学院原子能研究所原所长张文裕等18人写信给周恩来总理,提出发展高能物理必须建造高能加速器,建议建立我国自己的粒子物理实验基地。

9月11日,周恩来总理复信,对高能物理研究和高能加速器的研制研究工作作出指示:“这件事不能再延迟了……高能物理研究和高能加速器的研制研究,应该成为科学院要抓的主要项目之一。”

这一天来得殊为不易。曾获国家最高科技奖的高能所研究员谢家麟曾撰文回忆:从50年代后期,就曾几度筹划、酝酿。

早在1956年,我国就提出过建造高能加速器的计划。在北京正负电子对撞机正式动工之前,高能加速器项目更是经历了“七上七下”——一次次做出计划、提上日程,一次次因为各种原因下马。

在那个年代的中国,要不要建加速器、建什么样的加速器、建成之后要用来做什么,很少有人有清晰的认识。

直到上世纪80年代初,邓小平指示方毅副总理就建造高能加速器问题,广泛征求国内外科学家的意见,充分论证,提出方案。方毅组织了全国十几个研究和工业部门的60多位专家进行反复论证。

“综合各方面意见,大家大体都赞成李政道、吴健雄、袁家骝及美国斯坦福直线加速器中心主任潘诺夫斯基等人的建议——先建造一台2×22亿电子伏特的正负电子对撞机。”谢家麟写道,方案提出后,邓小平亲自批示:



BEPC 鸟瞰图 受访单位供图

“我赞成加以批准,不再犹豫。”

靴子落地。1988年10月16日,北京正负电子对撞机实现正负电子对撞,在其覆盖的能量区间内,有大量物理前沿研究工作可做。

### 撞出物理学领域30年领先

北京正负电子对撞机位于天安门广场向西约15公里,形似一只羽毛球拍,它由北向南卧在地下,由一台长202米的直线加速器、一组共200米长的束流输运线、一台周长240米的储存环加速器、一座高6米重700吨的大型探测器“北京谱仪”和14个同步辐射实验站等组成。

除了2004年至2008年进行的重大改造工程以及每年大约2个月的检修时间,正负电子几乎一刻不停地在此对撞,产生各种粒子事例,由布设在对撞区周围的谱仪捕捉,科学家分析这些事例,寻求科学发现。

为什么要对撞?通常的解释是,世界由一些基本粒子组成,加速器和探测器就是最常见的新粒子抓捕工具。通过它们把某粒子加速到高能,轰击一个固定的靶或粒子对撞,就可能发现新的基本粒子。

高能所研究员张闻曾展示过一幅形象的漫画,两只小松鼠站在机器的两头,手中各拿着一个核桃。“把核桃往地上扔可能打不开,但让两个核桃高速对撞可能就能撞开。我们实际上就是把粒子对撞打开,看里面是什么东西。速度越快、撞得越碎,越可能有所发现。”

成果说明一切。物理学领域的绝大多数精确测量,都是BEPC的功劳:1988年10月北京正负电子对撞机建造成功,成为国际上τ-τ+架物理能区性能最好的对撞机,先后获得1990年国家科技进步特等奖、2016年国家科技进步一等奖。对τ轻子的质量进行的精确测量,把原来的国际平均值修正了3倍的标准偏差,挽救了存在争议的轻子普适性原理。2013年3月,该装置发现四夸克物质,入选美国物理学会年度重要成果,并位列榜首。

王贻芳坦陈,BEPC的学术成果是国际学术界公认的热点,但对社会大众来说,似乎相隔甚远,但是,“科学的发展都是在科学界自身进化、解决了一个一个问题之后到来的。每一个设备,每一代人,每一个实验都作出了自己的贡献。”

### “确切无疑的收获”

如谢家麟所写:“BEPC成功的一个重要作用是它使我们加强了进行大科学工程建设的信心……同样,我们的工厂也能做出世界水平的部件。BEPC储存环的四极磁铁用的冲模,最初为了赶进度,我们在国外定制,同时也在所内试制,后来发现我们自己的产品在对称性和精度上都优于国外的。BEPC直线加速器的加速管,对加工精度和制

造工艺要求极高,而我们的产品性能如此优越,它已出口到好几个国家,美国的几个大实验室都使用了我们制造的加速管,为国家创造了可观的外汇。”

王贻芳同样强调了这点,如果把 BEPC 的成果集成册,科学成果只是其中一个章节,因其而来的中国第一个电子邮件系统、制造企业技术水平的提升、人才队伍的培养、国际化科研环境的建设等,都是值得大书特书的一笔。

“除了科学本身的意义之外,BEPC把大家的思想打开了,让大家能够走出去,看到外面的世界,跟国际一流的科学家沟通交流。过程中,我们也有了一支在国际上叫得响的加速器建设队伍。”王贻芳说,“科学的探索很多时候机遇不可求,但这些都是确切无疑的收获。”

他算了一笔账,BEPC建设费用2.4亿,重大改造6.4亿,加在一起8.8亿,但全中国的高能物理学家已经利用它工作了30年,迄今保持1年三四十篇论文的产出,树立了国际大科学合作的典范。

### 迎接高能物理的“超级对撞机”时代

只是时代在变,高能物理研究的科学目标也在变。对这个以长远规划为特点的学科来说,是时候思考下一个30年甚至50年的问题了。

在王贻芳看来,2019年,我国基础研究经费为1335.6亿元,占研究与发展(R&D)经费比重达到6.03%,是历史上首次突破6%,而欧美国家的比例多年来保持在15%—20%。

以他为代表的这批科学家,正在为高能物理的“超级对撞机”时代努力。

2012年7月4日,希格斯玻色子被探测。当年9月,高能所提出建造超环正负电子对撞机—超级质子对撞机(CEPC-SppC)。

2018年11月14日,CEPC《概念设计报告》两卷正式发布,报告包括《加速器卷》和《探测器卷》。根据设计,“超级对撞机”的第一阶段大型环正负电子对撞机(即CEPC)是一个周长100多公里的“圈”,预计需要300多亿元投资。有了这个能量更高、亮度大幅提升的对撞机,可以对希格斯粒子进行精确的研究。

这是国际高能物理学界的普遍共识。2020年6月,欧洲核子中心(CERN)全票通过了《欧洲粒子物理2020战略》,提出基于正负电子对撞机的“希格斯工厂”是“优先级最高的未来对撞机项目”,并期望建设能量尽可能高的质子对撞机。

王贻芳直言,经过8年讨论,CERN定下来的环正负电子对撞机方案和CEPC几乎完全一样,两者之间有点“君子之约”的意味,只要一方便,另一方自然放弃。放弃的一方只能在

未来几十年去参加对方的研究计划。

这是一个艰难而又必须做的决定。用王贻芳的话说,一个勇敢的决定。

“高能物理研究就是用大装置、做大计划,世界各地科学家一起做研究、发文章。所以一定要想好将来要什么、提前规划,一般都是10年准备10年建设,再加二三十年的运行。”王贻芳说,“欧核中心的大型强子对撞机是上世纪70年代规划的产物,规划对了,高高兴兴用60年。”

在高能所大厅,与周恩来总理手迹相对的另一面墙上,挂着邓小平的一句话:在过去也好,今天也好,将来也好,中国必须发展自己的高科技,在世界高科技领域占有一席之地。那是1988年10月24日,其来视察 BEPC 时说的。

王贻芳看来,这正是 CEPC 的价值。“如果让别人去建对撞机,那么拓展人类对自然认知范围的技术就要永远用别人的。我们自己不可能诞生真正原创的世界级成果。”他说,要在世界高科技领域占有一席之地,CEPC 提供了一个标杆式的机遇。

在这位高能物理学家的设想中,CERN计划2028年开工,如果CEPC能在2025年得到政府的明确支持,提前对方两三年,未来,全世界的高能物理学家就将到中国的装置上做实验。

他透露,CEPC目前已经完成了初步的概念设计,也在一些地方做了选址和地质勘探。“因为最终结论还未明确,所以不能全力推进,但是目前在做技术准备。总体来说,我们证明没有不可克服的困难,都是可以实现的。”

他再次“摊开账簿”,建设CEPC需要300亿元投入,如果按设计运行30年来计算,就算只有3000名高能物理学家使用,每人每年的成本是30万,加上运行费和人员费,也不高于国内任何主要研究领域的科研投入基本水平。

更重要的是,获得一个大型科学装置的主导权,和在别人的设备上做实验完全不同,“你来主导,就说明你要做所有的决定,这个决定的风险都由你来承担。所以你必须知道这件事情的利弊,技术方案选择的优劣、风险,如果没有经历过,你根本学不到这些。”王贻芳说。

他希望中国科学家通过CEPC学到这一课,他也在为那个还未到来的“勇敢的决定”,时刻准备着。



扫一扫  
看看新中国第一台  
大科学装置长啥样

## 美国对撞机曾因我们调整工作指标

### 亲历者说

◎张 闯 中国科学院高能物理研究所研究员

建设中国的高能加速器是几代科学家的梦想。1977年提出的北京质子同步加速器的计划,由于规模太大,在1980年下马。就在这“山重水复疑无路”的时候,1981年1月,邓小平同志指示,请方毅同志广泛听取国内外有关专家的意见,对高能加速器的方案进行论证。经过科学家反复讨论,中国科学院提出了在北京建造2×22亿电子伏特正负电子对撞机的方案,得到了国家的批准。

当时有人担心,中国连打靶加速器都没有做过,一步登天造对撞机,风险太大。的确,对撞机涉及诸多高端技术,许多指标都是当时技术的极限,难度极大。面对这样的情况,数以万计的科研人员、工人和干部大力协同、顽强拼搏,在充分吸收、消化国外先进技术的同时,主要依靠我们自己的力量,按计划、按预算、按指标圆满建成了我国第一台高能加速器——北京正负电子对撞机。

北京正负电子对撞机建成后迅速达到设计指标,成为一台在τ-τ+架物理能区国际领先的高能加速器和高性能的同步辐射装置。1992年8月,我荣幸地代表对撞机团队在国际高能加速器会议上做特邀报告,在报告的结尾不无动情地说:“北京正负电子对撞机的成功,表明有着古代四大发明的民族,有能力建造诸如加速器和探测器这样的高技术装置。”会后,许多国外科学家前来表示祝贺,使我深深感受到祖国的强盛和科技发展的巨大影响。

北京正负电子对撞机上取得的丰硕成果,在国际高能物理界引起了高度重视和激烈竞争。美国康奈尔大学有一台正负电子对撞机,原先在2×56亿电子伏特高能区工作,看到物理能区丰富的物理“矿藏”,决定把束流的能量降低到物理能区与我们竞争,其主要设计指标超过了我们的对撞机。为了继续保持在国际高能物理研究上的优势,我们接受挑战,迎难而上,提出了双环改造方案,设计对撞亮度比改造前高100倍,从而大大提高了竞争力。这个方案得到了科学界的支持和国家的批准,并在2004年开工建设,被称为北京正负电子对撞机重大改造工程,并于2009年7月通过了国家竣工验收。

自2009年以来,北京谱仪国际合作组在高亮度的北京正负电子对撞机上,获取了物理能区共振峰上世界最大的数据样本,取得许多重要的物理成果。其中四夸克粒子的发现,被美国《物理》杂志评选为2013年国际物理领域11项重要成果之首。

展望未来,对撞机将同其它大科学装置一起,为人类认识物质世界的规律,为我国科学技术的发展,为实现中华民族伟大复兴的中国梦作出更大的贡献。



受访者供图

### 大事记

1984年10月7日

北京正负电子对撞机工程破土动工,邓小平等党和国家领导人为工程奠基。

1988年10月16日

北京正负电子对撞机实现正负电子对撞。

1990年7月21日

北京正负电子对撞机工程通过国家验收,获得1990年度国家科技进步奖特等奖。

2003年3月12日

原国家计委向中国科学院下达了《印发国家计委关于审批中国科学院北京正负电子对撞机重大改造工程(BEPC II)项目建议书的请示的通知》。

2004年初

BEPC II 开工建设。工程根据“一机两用”的设计原则,采用了独特的三环结构,满足了高能物理实验和同步辐射应用的要求。

2005年7月

北京正负电子对撞机一期完成历史使命,停止运行,二期工程开始储存环升级改造。

2008年7月19日

BEPC II 加速器与北京谱仪联合调试对撞成功,观测到了正负电子对撞产生的物理事例,标志着 BEPC II 建设任务圆满完成。

2009年7月17日

BEPC II 工程通过国家验收。验收委员会认为, BEPC II 是我国大科学工程建设的一个成功范例。

2013年3月

北京谱仪三代发现四夸克物质,入选美国物理学会年度重要成果,并位列榜首。

2016年4月5日

北京正负电子对撞机对撞亮度达到 $1 \times 10^{31}/\text{cm}^2/\text{s}$ ,标志着对撞机的性能达到改造前的100倍。