

回忆难忘的高能所岁月

赵振堂

(中国科学院上海高等研究院 201204)

斗转星移,中国科学院高能物理研究所迎来了50周年华诞。今天的高能所,已从当初专注于高能物理研究的学术机构,成为了包括高能物理、粒子天体物理、同步辐射、中子科学、粒子加速器与核科学技术应用等多学科的综合性研究所。高能所不仅完成了让中国高能物理在国际上占有一席之地的使命,还成为了国际上为数不多的高能物理研究中心;不仅研制成功了北京正负电子对撞机(BEPC)/北京谱仪/北京同步辐射装置—中国第一台大科学装置,还建成或正在建设大亚湾中微子实验装置、硬X射线调制望远镜卫星、中国散裂中子源、高海拔宇宙线观测站、江门中微子实验设施、高能同步辐射光源等一批重大科技基础设施。高能所50年所走过的发展道路,凝结了几代高能所人的智慧和拼搏精神,也从一个侧面反映了中国改革开放在科技领域取得的辉煌成就。

我1978年进入清华大学加速器专业学习,1990年博士毕业后来到高能所工作。在随后的10年里,我有幸在北京正负电子对撞机科研一线摸爬滚打、刻苦磨练,从一名博士后,逐渐成长为BEPC高频专业组负责人、储存环研究室主任和高能所所长助理。在这里,我收获了许多人生中的“第一次”:第一次登上国际研讨会的讲台崭露头角;第一次作为公派学者出国拓展视野;第一次接触互联网技术,用E-mail与世界相通……可以这么说,高能所就是我加速器大科学装置科研事业开始的地方。回忆那时的我,参加对撞机的运行工作,常常是春节都坚守在工作岗位上;发挥所学专长,在理论组和高频组之间架起沟通的桥梁;针对高频相关的束流不稳定问题,开展了富有成效的课题研究;两次远赴

欧洲核子研究中心(CERN),完成高频腔改频及引进任务;参与和负责高频系统改造,满足对撞机亮度提高要求;参加加速器新装置设计研究,为未来发展做准备……十年的努力,我为高能所那个阶段的发展和进步贡献了自己的一份力量,同时,我也在日复一日、年复一年的工作中得到锻炼,增长了才干,为后来主持建造上海光源加速器打下了坚实的专业基础。高能所的10年令人难忘,给我留下最深印象的是开放、宽松的科研环境,还有高能所人立志报国、追求卓越的坚定信念。虽然离开已超过20年,我依然会想念那个地方,想念那里的人。

我到高能所工作时,北京正负电子对撞机刚刚建成,它在这一能区实现了世界最高的对撞亮度。为保证和提高高能物理实验每日的积分亮度,BEPC一边在稳定运行上下功夫,一边在进一步提高对撞亮度上做努力。为此,我一入所就参加了两方面的相关工作,第一方面工作是研究BEPC储存环中与高频相关的束流不稳定性问题,以保证对撞机高效稳定运行。当时,BEPC储存环在运行中存在无规律的注入困难、束流振荡和未知原因的丢束等现象,有时会严重影响运行效率。运行中发现,这些现象似乎与高频系统的工作状态有关,比如:高频腔调谐器位置、高频馈入的驻波比、低电平控制、高频发射机状态等,但又不能准确地追根溯源。为研究这一问题,我和同事们对储存环中高频相关的束流不稳定性的物理机制和可能原因进行了深入分析,在保证高频系统日常运行的前提下,努力利用有限的机器研究时间(特别是夜里的时间)进行束流不稳定性的实验研究,先后尝试了包括调变相关工作参数、改变功率源等效阻抗和增加

零模束流反馈环路等多种手段,加深了对该束流不稳定性机理的理解。在此基础上,我们全面研究了储存环中阻抗和束流不稳定性问题的成因以及控制不稳定性的具体措施,从这一方面不断深化对束流阻抗、束腔相互作用、多束团耦合不稳定性等问题的认识,提高了抑制和应对高频相关的束流不稳定性能力。我们还由此切入到储存环束流集体效应这一关乎加速器性能的关键问题,了解了其中的基本问题和发展动态以及解决方案,为日后研制高性能储存环及把握相关技术决策奠定了基础、积累了经验。

我参加的第二方面工作是 BEPC 高频系统改造,其中包括改频和引进 CERN 超级质子同步加速器(SPS)上的 200 MHz 高频腔并安装在 BEPC 储存环上使用。高频系统改造是当时 BEPC 亮度提高改进项目的一个重要组成部分,其目的是通过提高高频加速电压来压缩储存环中的正负电子束团长度,进而在对撞区采用 mini-beta 模式进行对撞,将对撞亮度提高 2~4 倍,达到 10^{31} 的更高水平。BEPC 储存环最初装有 2 台自主研发的国产高频腔,每腔的加速电压为 400~500 kV,这一改进方案要求在储存环上再增加两台高频腔,并将高频发射机系统由 4 机并机改为 2 机并机来向 4 台高频腔提供高频功率,最终实现 2.0~2.4 MV 的总加速电压。最初建设的 BEPC 高频系统,包括高频腔、功率源和低电平控

制,是由自主研发的国产设备构成的,而此次改造则相当于利用已有的部分国内外设备重新研制一台新的高频系统。这一高频系统的重大改进推动了 BEPC 高频技术能力跨上新的台阶,经过几年的努力最终实现了改进要求的性能目标,保证了 BEPC 达到亮度提高的效果,改进后的高频系统稳定运行至 BEPC 完成历史使命。在这一改进中,我作为高频系统改造子项目的负责人之一,和同事们一起完成了设计、改造和联调与带束调试等任务,我们还基于这一过程所积累的相关技术,为合肥光源二期工程设计了目前还在运行的 200 MHz 高频腔。高频系统改造工作使我和同事们提高了科研工程能力、拓宽了专业视野,切身体会了“高能加速器建成之日,就是升级改造开始之时”这一高能物

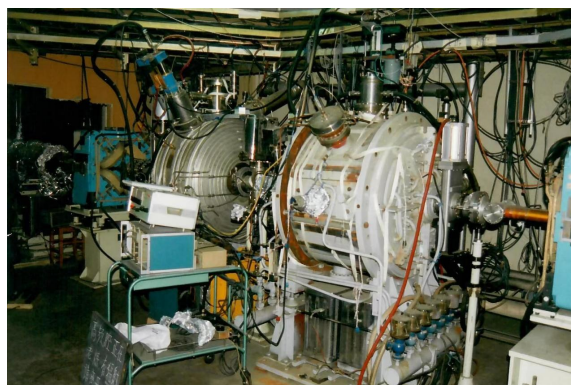


图1 改造后 BEPC 储存环上的两台高频腔(左腔来自 CERN, 右腔为国产腔)



图2 BEPC亮度提高研讨会

理加速器的发展要求,也认识到了做对撞机就要做性能最好的,而且还要不停的升级改造、不断地自我超越。几年后,我高能所的高频同事们又从常温高频系统进入到了超导高频系统的研制进程中,截至目前他们已研制了500 MHz、1.3 GHz、166 MHz、325 MHz和650 MHz等多个频段的单腔和多腔超导腔模组,并与固态高频功率源和数字化高频低电平集成了多个新一代超导高频系统,标志着我国加速器高频技术能力和水平跃上了新台阶。

在上述两方面对撞机相关的工作以外,这10年中我还经历了高能所研讨未来发展项目的过程。BEPC作为我国第一台真正意义上的大科学装置,一机两用,不仅是一台陶聚能区的粒子对撞机,也是一台部分时间专用于同步辐射实验的同步辐射装置(BSRF),它开启了我国专用型和平台型大科学装置起步发展的阶段。站在这个新的起点上,高能所1990年代初提出了下一步发展的“上”、“中”、“下”三策,其中包括在BEPC的基础上再新建一个亮度更高的正负电子对撞机—北京陶聚工厂和原地升级改造BEPC提升亮度建议,也包括建设一台第三代同步辐射光源以更好地开展同步辐射应用研究的设想。在这期间,我参与了新建陶聚正负电子对撞机和原地升级改造BEPC的方案讨论和研究以及相关的关键技术研讨,我还深度参与了同步辐射光源加速器方案的设计研究工作。当时,高能所受中科院基础局的委托开展了“第三代同步辐射光源可行性初步研究”,并于1995年完成了《中国光源》可行性初步研究报告,建议建设一台高性能、中规模、宽波段的2.0~2.5 GeV先进光源。面向国家需求和世界前沿发展趋势,高能所不断地谋划未来发展并及时地提出具体项目建议。在过去的30年里,除了高能物理如粒子对撞机、中微子和宇宙线设施项目外,高能所还率先提出了一系列加速器相关的项目建议,例如:上世纪90年代初的建设第三代同步辐射光源的建议、90年代中期的建设质子治疗装置的建议、90年代末的建设散裂中子源的建议、2000年初的建设X射线自由电子激光的建议、

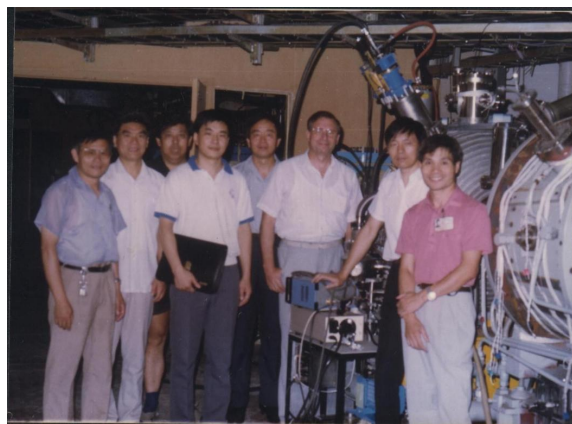


图3 CERN高频专家H.P. Kinderman来所技术交流



图4 与美国康奈尔大学M.Tigner教授一起在BEPC上进行高频相关的束流不稳定性机器研究

2010年前后的建设高能同步辐射光源的建议,等等。值得高兴的是,如今这些当初高能所建议的装置或已建成或正在建设,其中:上海光源已成为我国同步辐射研究的主力装置,中国散裂中子源也已开始发挥重大作用,国产质子治疗装置完成了临床试验和产品注册并已获批上市,软X射线自由电子激光即将向用户开放,硬X射线自由电子激光装置和高能同步辐射光源在建设中,它们已成为了我国重大科技基础设施的重要组成部分。我本人亲历这一过程并参与了其中4个项目的建设。

在高能所的10年工作,令我特别受益的还有其国际合作和开放交流。高能所是中国改革开放前后最早开展深度国际合作的典范,在上世纪80-90年代,高能所是我国少有的国际科技交流与合作的平台,以高能物理合作为牵引,打通了我国与欧美

日主要粒子物理研究机构的交流合作渠道,频繁的科学家互访、学术会议和参观学习,这一平台成为了我国高能加速器科技人员学习和参加这一领域国际前沿发展的窗口。我参加的第一个国际研讨会是1991年6月在高能所召开的BEPC亮度提升国际研讨会(Workshop on BEPC Luminosity Upgrades, June 3-7, 1991),我在会上报告了BEPC储存环中与高频相关的不稳定性问题。我作的一个国际会议大会报告是在日本召开的第一届亚洲粒子加速器大会(The First Asian Particle Accelerator Conference, APAC98, Tsukuba, Japan, March 23-27, 1998)的邀请报告,代表高能所报告了BEPC现状和未来发展计划。1997年,我还作为高能所代表团成员第一次参加了中美高能物理合作会议,开始深度参与这一历时近40年的具有重大历史意义且成果丰盈的国际合作。1991至1993年期间,我负责到CERN改造和引进两套200 MHz高频腔,从拟定技术要求、落实双方所长签订专门协议,再到现场厘清该腔系统的各种接口工艺要求,在CERN进行机械改频和功率老练并完成国际运输和国内通关,直至在BEPC隧道安装调试投入使用,圆满完成了任务。这一任务让我第一次走出国门并有机会在CERN这样的国际顶级核科技研究机构工作和训练,利用那里的便利条件,掌握当时最新的加速器技术进展,参加学术报告会,实地体验其研究设施水平和科研条件,打开了了解世界粒子加速器发展的一扇窗户。那个阶段,除了上述这种短期(几个月)到国外相关研究机构工作学习外,高能所还为科技骨干创造了到国外长期工作1—2年的机会。我在1995年春至1996年秋再次来到CERN参加LHC加速器方面的研究工作,在那一年多的时间里,我专注于所承担的LHC项目相关的研究任务,利用CERN的优良科研环境开展分析、模拟和实验工作,我和我

的研究合作者如愿取得了一些有意义的结果。有意思的是,最近发现德国科学家在他们20多年后的工作还引用了我当年在CERN工作时写的一篇技术报告。此外,高能所还经常邀请一些国外高水平科学家来所短期访问和长期工作,使我们有机会结合BEPC的发展需要进行交流研讨或一起开展研究工作。通过高能所的国际合作交流,我结识了一大批本领域的世界级专家,这些专家们日后在多方面为我国的加速器大科学装置发展提供了指导和帮助。也许,这个经历在某种程度上也是高能所一部分科研人员在开放的国际环境中锻炼成长的一个真实写照,它帮助科研人员培养了专业领域的世界眼光,掌握了国际发展动态,提高了工作能力和水平,拓宽了合作渠道。

在高能所的岁月紧张而充实,那十年里,我耳濡目染着高能所团结、唯实、创新和奉献的精神,高能所人严谨扎实、求真求精的学风,在加速器大科学装置运行、改进和关键技术研制任务中历练,在国际交流合作中提高,受益终身。在我眼里高能所是青年科技人员迅速成长、全面发展的一个难得的舞台,高能所始终瞄准世界一流目标、追求卓越、开放包容,始终立足发展前沿不停息,在创造一个又一个辉煌的同时锻炼和成就了一代又一代高能所人。高能所还产生了强大的辐射和溢出效应,从中国走向世界,从北京到兰州、合肥、上海、东莞、大亚湾和江门等,要特别感谢和致敬的是高能所给予国内外其他大科学装置的支持和帮助,特别是利用自身的科研力量、技术积累及大科学装置管理经验给与上海光源等装置的建设以无私帮助,为其起步和高水平建成提供了不可或缺的有力支撑,为国家的大科学装置发展做出了特殊的贡献。在开启下一个50年的特别时刻,衷心祝愿高能所继续奋发求索,取得更大发展,从辉煌走向新的辉煌!