

大碰撞中的大写人生

张 闯

(中国科学院高能物理研究所 100049)

2019年6月11日下午,中国科学院、中国作协、中国科协召开“创新报国70年”报告文学项目审读定稿会。我和作家叶梅相邻而坐,会间我们谈论她悉心采写的报告文学《大碰撞》,也谈到她采访过的专家,“方守贤院士在三个月前从上海参加质子治疗加速器的研讨会返京后突发肺炎,正在北医三院的重症病房住院”。听闻此讯,叶梅不禁“啊”了一声,沉默良久。在会上发言时,她动情地说:三年前接受《大碰撞》写作任务时,曾打算采访谢家麟院士,但不久得知谢先生不幸逝世。刚才又听到方守贤院士正重病住院的消息。这些都在我的心中产生深沉的责任感和紧迫感……会后,我把一本《大碰撞》的样书带到医院,交给守护在重症监护病房外方先生的女儿方敏。每次有同事来看望,方敏都会请他们在书的扉页签上名字,当方先生清醒的时候,还为父亲朗读书中的相关章节,回顾大碰撞中的大写人生。

一、北京正负电子对撞机

“为祖国建造世界一流的高能加速器”是方守贤先生毕生的愿望和实践,愈久弥坚。他1955年从复旦大学毕业,来到原子能所的前身中国科学院物理研究所从事高能加速器的设计及研究,1957年春赴前苏联列别捷夫物理研究所和杜布纳联合核子研究所实习和工作,1960年底回到原子能所,继续从事加速器理论研究,1973年从原子能所的一部转入高能物理所,亲身经历了高能加速器“七上七下”的曲折过程,终于迎来了“第八上”:北京正负电子对撞机(BEPC)。

1982年的一天,方守贤正在欧洲核子中心(CERN)合作研究的时候,接到高能所张文裕所长的来信,告诉他国家批准北京正负电子对撞机项目

的好消息,希望他提前回国。喜讯传来,他毅然决定结束在CERN的工作,立即准备回国参加BEPC的建设,并回信对张文裕所长说:“建造高能加速器是我国几代科学家梦寐以求的项目,也是我一生的追求,是千年难逢的机遇。”回国后,方守贤被任命为BEPC工程副经理,分工负责加速器储存环的物理设计并协助谢家麟经理工作。

按照国际上高能加速器的发展过程,都是先建造打静止靶加速器,后建设对撞机。当时就有人提出,中国连打静止靶加速器都没有做过,一步就要造对撞机,相当于“一步登顶”,风险太大。在我们的队伍中也有这样的担心,觉得BEPC作为一台对撞机,其中包含许多顶尖技术,难度比一般加速器大得多,我们能造出来吗?方守贤认真地分析了我国科技和工业的状况,表示:研制对撞机的设备,虽然存在很大的挑战,但我们完全可以充分发挥我们社会主义制度的优越性,坚持改革开放下的自力更生,在集中统一的领导下,调动全国各方面的力量,协力创新,逐项攻关,有能力主要依靠自己的力量完成对撞机的建设,实现在高能加速器领域的“一步登顶”。指挥员的信心,增添了工程团队必胜的决心。

磁聚焦结构是储存环设计的基础。环形对撞机需要在正负电子对撞位置点上的包络函数尽可能小,而且在整个对撞区段消色散。在大型对撞机中,通常采用“弧区标准周期-消色散节-最终聚焦插入节”的模式,但BEPC的规模小,如果采用这样的方案,势必会加大环的周长。方守贤根据他在CERN参加反质子储存环设计时提出的准周期概念和消色散方法,提出在BEPC采用“基体-最终聚焦插入节”的方案。他所说的“基体”,是指聚焦磁铁的位置保持周期性,而强度可以调整,从而既保持

了系统的对称性,又增加了结构的灵活性。他带领物理组团队,进行具体方案的优化计算,创造性地完成了BEPC磁聚焦结构的设计。

多年来,方守贤从事加速器理论研究,与束流动力学打交道。担任BEPC工程副经理,后来又担任经理,更多地是面对硬件设备,和人打交道。他发挥自己长期从事加速器物理研究和理论设计的优势,深入工程实际,认真听取各种建议,虚心向工程技术人员学习,调动他们的积极性和创造性,并制订了严格的规章制度和质量保证体系,以身作则、严格执行。他不仅自己这样做,还要求每一位加速器的物理设计人员,加入各个硬件系统的研究。有一次,我正在和磁铁组的同事分析四极磁铁的测量数据,他也加入我们一起讨论。按照理论上提出的公差要求,有些高能场是超差的,究竟怎么判断所测量的磁铁是否合格可用呢?他说:理论设计需要在工程实际中检验,要求我们对磁场误差进行模拟研究。根据他的建议,我们修改了计算机程序开展研究,并及时把物理判断反馈到磁铁组,加快了磁铁制造和测量的进度。

方守贤一心扑在BEPC工程上,努力拼搏、无私奉献。他爱人的身体不好,长期需要照顾。有一次,他去医院看望住院动手术的爱人后,急于回所加班,在匆忙追赶一辆进站的公共汽车时,由于天黑,他的视力又不好,被一根拉电线杆的钢丝绊倒,顿时撞昏在人行道上,被两位解放军战士送到医院进行抢救,头部缝了好几针。大家同他开玩笑说:“对撞机还未对撞,你老方的头却先与地球对撞了!”



图1 方守贤在第一根加速管安装前作动员

1988年10月16日, BEPC实现了正负电子对撞,标志着对撞机胜利建成。人民日报在BEPC对撞成功的报道中指出:“这是我国继原子弹、氢弹爆炸成功、人造卫星上天之后,在高科技领域又一重大突破性成就。”

在成就面前,方守贤没有骄傲。他在总结BEPC成功的经验时写道:党中央和国务院的亲切关怀和大力支持是BEPC成功的最大保证;一支优秀的科研工程队伍是BEPC成功的基础;发挥社会主义制度的优越性,实施全国大协作是工程成功的关键;良好的国际合作环境加速了BEPC工程的建设;创新是BEPC争得并保持一席之地的根本。

二、“加速器建成之时,就是性能改进之始”

在成功之后,方守贤没有停止前进的脚步。他经常说,“加速器建成之时,就是性能改进之始”,要在实现高效运行的同时,加紧研究BEPC发展的技术路线。

BEPC建成后,方守贤接任了高能所的所长,他把BEPC的运行和发展作为全所的一项重要任务。在他的领导下,逐步实现了稳定高效的运行,取得了 τ 轻子质量精确测量等重大成果,获得国际高能物理界的高度评价。北京同步辐射装置对用户开放,有力地推动了我国同步辐射的广泛应用。1991年5月,北京正负电子对撞机国家实验室成立,方守贤担任主任。同年6月,他主持召开了“BEPC亮度



图2 方守贤在BEPC工程国家验收会上做报告

提高研讨会”，邀请国际知名的对撞机专家一起开会讨论 BEPC 下一步的发展。在开幕式上致辞中，方守贤豪迈地说：这次会议标志着 BEPC 发展新阶段的起点！经过与会专家深入的研究与讨论，会议确定了发射度控制、单点对撞和小包络函数三大提高 BEPC 亮度的技术措施。当时，我担任会议的学术秘书，在编辑会议文集时，方守贤指示说：要总结好三大技术措施的研究结果，还要看得更远，考虑多束团对撞，进一步提高 BEPC 的亮度。

方守贤把 BEPC 的运行和发展作为全所的一项重要任务，大力推动 BEPC 发展战略的研究，先后提出了建造专用同步辐射光源和 τ -粲粒子工厂等方案。在 1993 年 7 月 τ -粲工厂第三次工作会议上，方先生做了一个题为“BEPC 的下一步”的报告，提出：视国家投资的强度，有大、中、小三种可能性。他根据当时的国情，主张采用“中”方案，即在 BEPC 原有的隧道内，对有关设备加以改造，使其亮度提高 10 倍左右，达到 $10^{32} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这样，可节省投资，总共只要花费约 5 亿~8 亿元。虽然这一方案在物理上不如 τ -粲工厂有更强的竞争力，但是，可以在相当一段时期内保持世界领先地位。经过深入的研究和讨论，高能所确定了对 BEPC 进行改造的方案上报科学院，得到院领导的支持并正式报送国家计委。2000 年 7 月 27 日，国家科教领导小组第七次会议原则同意对 BEPC 进行重大改造。

三、北京正负电子对撞机重大改造

BEPC 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 CESR，原先在 $2 \times 5.6 \text{ GeV}$ 的高能区工作，他们看到粲能区丰富的物理“矿藏”，决定把束流的能量降低到粲物理能区（称为 CESR-c）与高能所竞争，其设计亮度与 BEPC 改造的单环方案相同。为了继续保持在国际高能物理研究上的优势，中国科学家接受了挑战，迎难而上，提出了双环改造方案，设计对撞亮度比原来的对撞机高 100 倍，是 CESR-c 的 3~7 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 年初开工建设，称为北京正负电子对撞机重大改造工程，即 BEPCII。

2004 年初，BEPCII 开工建设。工程建设者们继续发扬在对撞机建设中形成的“团结、唯实、创新、奉献”的精神，依靠改革开放带来的社会发展和科技进步，圆满完成了各项重大改造工程的建设工程，于 2009 年 7 月通过了国家竣工验收。BEPCII 建设期间，方守贤先生应聘担任工程的顾问，在方案设计、工程管理和调束运行等方面发挥了重要的作用。

BEPCII 要在狭小的隧道空间内安装正负电子两个储存环，既要实现大流强、高亮度对撞，还要保持“一机两用”兼顾同步辐射实验，对加速器的设计布局、设备建造和隧道安装提出了很大的挑战。方守贤身体力行，和物理组的年轻人一起工作，经过近一个月的努力，终于找到了性能良好的磁聚焦方案。这个方案的既能满足高亮度的要求，还能保持原有的同步辐射光束线站的位置不变，节约了工程资金、加快了进度，走出了自主创新的道路。

2005 年 7 月 4 日，在结束最后一轮同步辐射实验后，BEPC 完成了历史使命，终止了历时 17 年的运行，即将开始设备的改造。在中控室，方守贤拔下 BEPC 开机的钥匙交给我。我双手接过这把在控制台上插了 17 年的钥匙，感觉有千斤重。是啊，凝聚着几代人心血的这台机器，在运行的那么好的情况下，交到我们一代人的手上，我们能把它改造好吗？我向方先生倾述了自己的心绪。他用力握着我的手说：依靠大家，要有信心，你们一定行！

2006 年 9 月，储存环的主体设备安装完毕，但由于低温杜瓦的漏热过大，系统不能有效地为对撞



图3 方守贤在 BEPCII 开工建设前关断 BEPC

区的超导磁铁制冷降温。怎么办?当时,我们提出采用常规磁铁代替超导磁铁的 BEPCII 备用方案,抢先进行束流调试,但也有人担心这样做会增加工作量,影响工程进度。方先生了解了这个情况后对我说,工程中难免会出现各种波折,作为指挥员一定要沉着应对,采取积极的措施。他举出了 1987 年 BEPC 储存环中除高频以外的各系统安装完成,在没有高频腔的情况下进行调束的例子,鼓励和支持我们实施备用方案进行调束。就这样,我们把 BEPC 的聚焦和偏转磁铁安装在 BEPCII 的对撞区,在 2007 年 3 月实现了正负电子对撞,利用低温闸箱改造的几个月中,完成了对储存环主体的束流检验,为工程的按期完成争取了宝贵的时间。

从 BEPC 到 BEPCII,方守贤倾注了宝贵的精力和心血。在 2018 年 10 月 20 日召开的 BEPC 建成 30 周年研讨会上,方守贤做了题为“北京正负电子对撞机”的报告。在发言的结尾,他不无动情地讲了这样四句话:回忆过去,值得我们怀念和自豪;保持和发展一席之地,十分不易;在 BEPC 的基础上不断创新,把高能物理、同步辐射和加速器推向新的高峰;衷心希望年轻一代发扬 BEPC 的实事求是、无私奉献、顽强拼搏的精神,在未来的岁月中取得更加辉煌的成就。

写这篇短文的时候,正值 2020 庚子正月初一。6 天前,在与病魔顽强地抗争了 10 个月后,方守贤先生在医院平静地离去。在前天的告别仪式后,我在“BEPC 运行团队”的微信群中,转发了方守贤在 2013 年纪念高能所成立 40 周年之际发表在《现代物理知识》上的文章“我的高能加速器梦”,并写道:



图4 方守贤在 BEPC 建成 30 周年研讨会上发言

“音容宛在,精神永存,鼓励我们继续前行!”

就在这个春节,北京正负电子对撞机继续高效运行。从当天的运行状态图中看到,束流对撞的能量是 $2 \times 2.32 \text{ GeV}$,比设计的最高能量 $2 \times 2.1 \text{ GeV}$ 高约 10%,而且实现了 425 mA 的恒流运行(Top-up)。所谓“恒流”,就是束流损失一点,就补充注入一点,保持正电子束流(红色)和负电子流强(蓝色)曲线近乎为直线(细齿形),这样就能持续在峰值亮度下进行高能物理实验取数。“恒流运行”,也是方先生挂念的一件事,他曾多次问过我:BEPCII 什么时候能实现 Top-up?

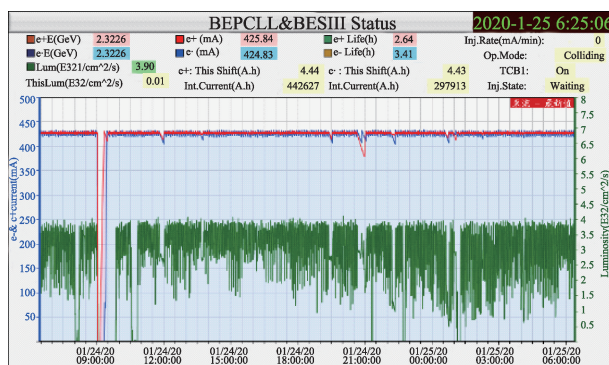


图5 2020 庚子年新春第一天 BEPCII 运行状态

图中还有一处正负电子束流丢失的显示,这是由于在高能量下需要补充的同步辐射损失超过了所设置 160kW 的高频功率源上限所致。下一步,我们计划增加高频腔的数量和高频功率,将束流的强度和对撞的亮度进一步提高。

庚子春节运行,遭遇新型冠状病毒疫情。这不禁使人想起 17 年前成功抗击“非典”的情形,对于战胜“新冠”的充满信心。当时,方守贤担任北京正负电子对撞机国家实验室主任。高能所和国家实验室带领对撞机团队,坚持 BEPC 稳定高效运行,扎实开展成 BEPCII 的设计研究,实现防疫和科研双胜利,获取了积分亮度 35.5 pb^{-1} 的 $\Psi(3770)$ 数据,破解非典病毒主蛋白酶的晶体结构,并在 2003 一年里完成了 BEPCII 从立项、可行性研究、初步设计和开工建设的四大步,为对撞机的发展奠定了基础。

方守贤先生虽然离开了我们,他的精神长在,他大写的人生像一座明灯,引领我们不忘初心、砥砺前行,继续为祖国高能物理和高能加速器的发展努力奋斗。