

让粒子加速器服务国家 发展、造福人民大众

赵振堂

(中国科学院上海高等研究院 201210)

方守贤院士是著名的加速器物理学家,是我国高能加速器事业的开拓者,更是一位富有激情和奋斗精神的战略科学家,他的一生与我国的粒子加速器发展紧密相连,为祖国的加速器科技做出了重大贡献。方守贤院士是我博士后工作的合作导师,30年来我目睹了他深谋远虑,不断地进行战略谋划并付诸具体行动的工作历程。他立足科技发展前沿,推动了我国高能物理对撞机、同步辐射光源、散裂中子源和核能加速器驱动装置等大型粒子加速器的发展,一批国家项目,如北京正负电子对撞机(BEPC)重大升级改造工程、上海光源(SSRF)、中国散裂中子源和加速器驱动次临界系统核能先导专项相继完成;他致力于加速器科技造福大众健康,促进了我国质子放疗加速器的研发,国产首台质子治疗装置也已进入治疗系统调试和装置注册检测阶段。他的家国情怀、大家风范和对事业的追求,他的眼界和毅力、严谨和学识、创新和勇气不断地感染和激励着他的同行者。

第一次见到方先生是在1983年秋在杭州召开的中国高能加速器技术研讨交流会上,那时他刚从欧洲核子中心(CERN)回国参加BEPC建设不久,他敏捷的思维、渊博的知识和迸发出的豪情与干劲,给我和参会的研究生们留下了深刻的印象。正是像他这样的科学家与BEPC这类大型加速器装置的神奇,深深地吸引着这些初入加速器领域的年轻人。BEPC是中国加速器大科学装置走向世界前沿的先行者,经过了“七下八上”的跌宕发展历程,

中国第一台高能加速器装置BEPC终于在1988年10月建成,对撞亮度超过美国同能区装置SPEAR的4倍,中国从此跻身于国际高能加速器俱乐部。BEPC在设计之初还将发展同步辐射融入到了建设方案中,形成了“一机两用”的模式,使得这台正负对撞机兼具专用同步辐射光源的特性,对中国的同步辐射装置发展发挥了特殊和重要的作用。

1990年11月,我来到中国科学院高能物理研究所,跟随方先生做博士后研究工作。当时方先生一边领导BEPC进行高效的运行取数,一边谋划通过减小对撞点的包络函数和缩短束团长度(即mini-beta对撞模式)来进一步提高对撞亮度的改进。这项改进中的一个关键措施是通过在BEPC储存环上安装CERN超级质子同步加速器退役的两个200 MHz高频腔来压缩束团长度。我工作的一项重要任务就是进行BEPC高频系统改进,包括负责与CERN的技术人员一起按照BEPC所需要的工作参数对这两个高频腔进行改造,并在CERN完成高功率老练,获取所有相关的工作接口要求,最后分两次运回和安装在BEPC储存环上。方先生不仅提出并与CERN的主管领导谈定了合作方案,还亲自带着我于1991年的12月在日内瓦与对方签订了高频腔借用协议。他特别嘱咐我:这一高频腔改造很重要,既要高质量完成好这项工作,又要努力发展好与CERN有关部门和专家的合作关系,提高国际合作的能力,促进BEPC高频系统的性能水平不断提升。3年后我们按照方先生的要求圆满完成了

BEPC 储存环的高频系统改造,为提高 BEPC 亮度奠定了基础。

BEPC 建成后,很快就在高能物理实验上取得了令人瞩目的成就,同时在同步辐射应用上也开展了卓有成效的工作,但不久这台寄生在对撞机上的同步辐射实验装置在性能与专用机上和用户需求的矛盾就逐步显现出来了,难以满足国内日益增长的科研需求。方先生在 BEPC 即将建成时就敏锐地看到了这个问题,他准确地把握了当时正在兴起的第三代同步辐射光源发展动向,及时部署力量向这一领域进行前瞻性探索。为了根本改变我国同步辐射装置在性能及应用范围上的差距和局限性,他从 1990 年起就通过会议和报告的形式进行呼吁和建议,并在 1993 年第 5 期的《科技导报》上发表了《建设一台第三代同步辐射储存环的建议》。这期间,结合 BEPC 的改进提高和后续发展,他还对高能物理研究所的加速器装置发展提出了大中小三策的建议,即建造亮度更高的 τ - τ 对撞机,或进行 BEPC 亮度提升重大改造,或建设中等规模的第三代同步辐射光源。1993 年 11 月,他与丁大钊和冼鼎昌两位院士共同在中国科学院数理学部会议上正式提出了在北京建设一台性能先进、规模中等的第三代同步辐射光源的建议,继合肥第二代光源建成后,拉开了中国大陆发展新一代同步辐射光源的序幕。

1995 年 3 月,中国科学院和上海市决定共同向国家建议,由国家和地方联合出资在上海建设我国的第三代同步辐射光源。这一光源项目从动议到 15 年后建成开放,一直得到方先生的全力支持和帮助,这期间他作为上海光源预研和建设阶段的科技委主任,为装置研制出谋划策,对重大技术和工程问题决策提出咨询意见和建议,全过程指导装置的设计、建设和调试。他主持进行了上海光源的项目建议书、可行性研究报告和初步设计的历次技术评审,主持了上海光源预研和建设期间的历次科技委年度和专题会议(图 1),审定了上海光源的科学目标、总体设计和技术路线等,对上海光源的方案设



图1 方先生主持上海光源科技委会

计、技术研制和工程建设严格把关。

2004 年 12 月 25 日,上海光源破土动工,方先生作为科学家代表在开工典礼上发言,对这台第三代光源的建设寄予厚望;2009 年 4 月 29 日,上海光源竣工并于 5 月 6 日正式向用户开放(图 2),从此我国平台型大科学装置揭开了新的篇章;2010 年 1 月 19 日,上海光源通过国家验收,方先生作为工艺鉴定验收专家委员会主任,对上海光源建设及其所达到的性能水平予以高度肯定(图 3)。运行开放 10 年来,上海光源已成为我国用户和成果产出最多的科学装置,已服务了来自全国各省直辖市 550 多家单位 2800 多个研究组的 26000 多名用户,用户利用上海光源在前沿研究、应用研究、产业技术研发和国家重大科技攻关中取得了一系列重大重要和有影响力的成果。每每听到上海光源的进展和成绩,方先生都是由衷地感到欣慰,他和老一辈科学家当年



图2 2009年建成的上海光源



图3 方先生作为专家组长在工艺鉴定验收意见书上签字

绘制的蓝图已变成现实。我有幸参与了上海光源的预研、建设、开放运行和二期工程建设，一路走来，亲身感受到了方先生的远见和坚韧。1998年8月在我即将担任上海光源工程指挥部副总经理时，他鼓励我担起这份历史责任，在建设我国第一台第三代同步辐射光源发挥作用。2001年3月上海光源没有如期立项，他再次鼓励我坚定信心，利用立项前的这段时间和团队一起继续优化设计、积累技术，为建设这个国家不可或缺的科研平台做好扎实的准备工作。在上海光源的建设过程中，他还一再要求我们要不断创新，要在新的发展中勇于争先。他身体力行，不仅多次组织和参与有关我国未来同步辐射光源和自由电子激光发展的香山会议，谋划未来发展，而且还亲自上阵，为北京同步辐射装置升级构想了一种双环同步辐射光源方案，带领高能物理研究所的年轻人进行创新探索。

方先生努力探索的步伐并没有止步于科研类加速器大科学装置建设，他心里还有一个强烈的愿望，那就是要利用已经积累的加速器技术造福于广大民众。他在多个场合说过，“我一生做了好几个大科学装置，最后一定要做一台能为老百姓服务的加速器。”质子和重离子治疗装置就是这样一种加速器，自从20世纪80年代末美国建成第一个医院专用的质子治疗装置以来，这种装置已经发展成为世界上最先进的放射治疗装备。质子治疗装置是一种规模大、投资大、技术复杂的高端医疗装备，目

前主要由国外少数几家公司所垄断。我国肿瘤病人数量大，对先进治疗装置有持续的迫切需求，如果全依赖进口，昂贵的费用将会严重阻碍中国肿瘤患者使用这一先进治疗手段。为此，高能物理研究所的研究人员在20世纪90年代就提出了开展质子治疗装置研究的建议并进行了可行性研究和多方面尝试，但因种种原因和条件限制而未能真正起步。进入21世纪后，方先生察觉到国际上粒子治疗的强劲发展趋势和国内经济腾飞带来的机遇，认为发展质子治疗装置的时机已到，他下决心组织和推动国内加速器力量向这一目标进发。他先是组织和领导高能物理研究所的研究人员进行质子治疗加速器装置的设计研究，同时多方争取支持，还在2006年10月向中国科学院提交了《关于在我国发展质子治疗装备的意见》。这个时期高能物理研究所正在进行中国散裂中子源(CSNS)的研究和设计，因此所设计的质子治疗装置也采用了与CSNS类似的快循环同步加速器方案，方先生领导设计人员于2007年完成了初步方案的设计并在广东省发改委的支持下完成了《广东质子治疗装置可行性评估报告》。经过一段时间的优化研究，又将设计方案调整为采用三阶共振慢引出的慢同步加速器方案，2009年1月完成了阶段性工作，形成了《先进质子治疗装置概念设计》。质子治疗装置研制难度大、周期长，需要一支由多领域专业技术骨干组成的研制队伍集中攻关，加上业内对研制这种以放疗应用为导向的医疗装备有多种不同的思路和技术路线，从而导致实质性的装备研制迟迟无法在国内正式立项。为把我国质子治疗装置的研制启动起来，方先生一直坚韧地努力着，他始终坚信这件事利国利民，一定要为之。

2008年底，上海光源建设接近尾声，即将进入用户开放阶段。方先生认为光源这支技术队伍经过10多年的技术积累和工程锻炼，出色地完成了上海光源工程的建设任务，接下来应该做一件对社会和大众健康有重要意义的事，为此他强烈呼吁和建议上海应用物理研究所和上海光源团队组织一部

分力量开展质子治疗装置研制。他的建议得到了中国科学院与上海市有关领导及部门的高度重视和大力支持,随后的几年里,质子治疗装置项目作为上海市战略性新兴产业项目从立项建议到可行性研究与初步设计不断地推进和落实,上海市发改委于2012年正式批准了《首台国产质子治疗示范装置研制项目的资金申请报告》,研制工作正式启动。2016年,这一项目的增强版又得到了科技部国家重点研发计划的支持,成为我国自主发展质子治疗装置的一个代表。

方先生是这台质子治疗装置(图4)建设的倡导者,项目伊始他组织高能物理研究所和上海应用物理研究所的研究人员进行专题交流,促使上海的研制团队尽快在高起点上开始工作。他是项目的总

顾问,为推进项目呕心沥血,不辞辛劳,耄耋之年还经常奔波于京沪两地。他瞄准发展前沿,要求团队始终将目标锁定在建成时质子治疗装置处于国际先进的水准上。在装置方案设计和工程建设的过程中,他力主有所创新,强调方案的先进性,不仅在装置的总体方案和技术路线上,而且在具体技术和参数指标上都引领着设计团队按高标准不断优化,他提出采用高饱和弯转磁铁来减小同步加速器周长并提高束流性能的设计思路,提出发展具有大治疗室空间的180度旋转束治疗系统,并亲自参与装置指标、物理方案设计和相关技术研究,解决研制中的技术难题,在确定重大技术方案和关键技术路线上发挥了重要作用(图6、图7)。他密切关注着领域发展动态,在察觉到质子治疗装置的小型化发展和



图4 2017年建成的上海质子治疗同步加速器



图5 方先生在检查质子治疗装置固定束治疗头系统



图6 方先生在上海质子治疗装置旋转机架预装现场

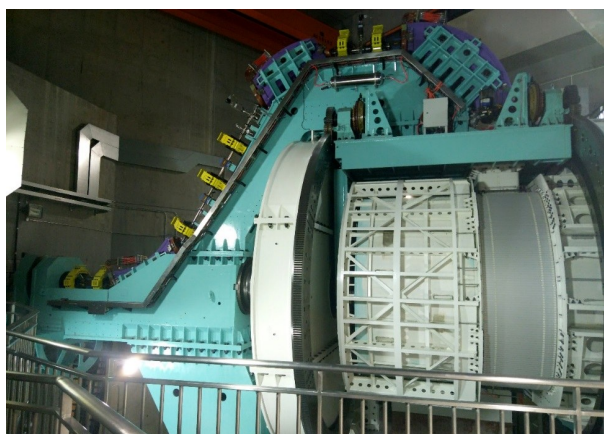


图7 在方先生建议下研制的180°旋转机架

Flash技术正在走向应用的动向后,迅速组织和带领年轻人着手进行探索,进而形成了基于同步加速器的单治疗室小型治疗装置概念设计,目前已完成紧凑型360°旋转束治疗室的工程设计,关键技术设备也已在研发之中。在这台质子治疗装置研发过程中,方先生特别关注关键路线和核心技术,每次到上海他都深入到第一线,详细了解项目进展和遇到的问题,指导并与团队一起落实应对技术和工程挑战的具体措施。他鼓励我投身到这一研制工作中来并把我推到项目实施的最前线,多次跟我强调项目的重大意义和研制的紧迫性,不断在安全可靠和创新有特色上下功夫。过去的10年中,方先生常常在清晨就给我打电话询问进展和问题,讨论对策和解决办法,确定工作重点。他还多次跟我深入讨论队伍的组织问题,他强烈建议要在国立研究机构的框架下组建长期专注于这一方向的精干技术团队,借鉴日本放射线综合医学研究所的经验,积累技术、建立学科,持续不断与创新加速发展加速器放疗装置。

在推动我国发展质子治疗装置的进程中,方先生不仅聚焦技术研发中的关键问题,还非常关注医疗装备研发的规范和注册检测等重要环节,努力加快从技术研发到形成符合法规和标准要求的医疗器械的进程。他带头研究质子治疗装置的临床要

求,参与国家医疗器械相关指导原则的制定,呼吁有关管理部门制定科学的检测标准,努力促进我国粒子治疗装置跨越发展。他还多次和项目组成员前往国家食品药品监督管理局医疗器械技术审评中心、北京市医疗器械检验所等相关单位,与医疗器械领域的专家和领导交流讨论,详细了解医疗器械的注册检测和临床试验要求,为首台国产质子治疗装置顺利完成检测和注册审批进行充分的准备。2019年春节后不久,方先生来上海组织和参加了“质子放疗系统性能、安全评价方法研讨会”,与来自国家食品药品监督管理局医疗器械技术审评中心、北京医疗器械检验所、上海质子重离子医院和中国医学科学院附属肿瘤医院等12家单位的专家交流、探讨检测与审评质子治疗装置的性能和安全评价方法和要求,以推动上海质子治疗装置尽快获得上市许可、开始治疗患者。所有人都没想到,这竟然是方先生最后一次与大家在一起工作……

斯人已去犹忆影,海棠花开魂依旧。张江高科技园区里,上海光源一如既往地高效运行着,支撑着我国科学家解决重大科技问题。2019年又有两项用户成果入选中国科学十大进展。2020年春节期间,上海光源为满足抗疫科研攻关需求紧急恢复运行,支持用户开展病毒蛋白结构和药物分子与靶点结合的复合物晶体结构等专项研究,为理解病毒在人体内的复制机制,以及为筛选潜在药物和抗体提供了分子层面的实验依据。瑞金质子治疗中心的建设现场,上海质子治疗装置正在紧张、有序地进行治疗系统调试和装置的注册检测,将于2021年进行临床试验。回首过往、展望未来,方先生的光源和放疗加速器梦想已经和正在变成现实,他倡导的科研方向充满着生机和机遇,他未尽的事业正在蓬勃发展,他推动的加速器项目正在加紧实施……他诠释的锐意进取精神永远激励着年轻一代科技工作者为祖国的加速器事业努力奋斗!