



国产质子治疗示范装置的旋转治疗头

10年里，方守贤经常奔波于北京和上海之间，一旦得知项目遇到困难，他不顾年迈体弱，总是在

第一时间赶到现场了解情况，亲自指导工作，提出解决问题的办法。可谁又知道，他承受了多大压力，克服了多少困难。方守贤的妻子常年患病，不但不能内助，还需要别人照顾，他常常光顾家政市场，为请不到合适的保姆而苦恼。2019年春节前夕，方守贤前往上海协调项目中的技术问题，却在完成任务返京后不久病倒，再也没能回到上海瑞金医院质子加速器治癌中心，亲眼看看首台国产质子治疗装置医治病人的情景，永远离开了他所钟爱的粒子加速器战斗岗位。

粒子加速，国之贤。方守贤先生把毕生的精力奉献给祖国的粒子加速器事业，他的崇高精神和卓越人生激励我们砥砺前行，继续为实现中华民族伟大复兴的中国梦而努力奋斗。

饮流怀源

——记方守贤先生二三事

秦庆[†]

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

2020-03-30收到

[†] email: qinq@ihep.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20200503

方守贤先生离开我们已经两月有余。入师门三十余载，导师对我的影响，融入在涓埃之中，流淌于岁月之间，体现在方方面面，又岂是平凡文字能够表达。从研究生导师开始，到工作中的领导，在我心目中，导师永远是我遇到困难，能够给我帮助，给我力量，给我影响——哪怕是片言只语的可敬可亲的长者。

学习

师者，所以传道授业解惑也。方先生之于学生，开始时总会因其院士的光环和加速器界巨大的影响而使学生不敢面对老师，不敢质疑老师，我也同样经历了这样的阶段。

1988年9月，我来到中国科学院高能物理研究所，开始自己的研究生生涯。80年代中后期，

虽然已经是改革开放快10年了，当时的通讯条件及传媒信息等，都远远落后于现在。研究生招生手册上也没有标明导师的职务及其开展的工作，只有姓名、招生人数和考试科目。在这样的情况下，我到了所里，才知道导师是当时的高能所所长，兼北京正负电子对撞机(BEPC)项目经理。研究生开学典礼上，看着台上导师高大挺拔的身形，听到他洪亮的嗓音，我不禁向旁边新生同学低声但透着得意和自豪地说，“看，那就是我导师！”接下来跟导师的互动，包括在一起商量选课，导师带我去储存环室物理组介绍工作环境及认识组里其他老师，到BEPC中央控制室(当时没曾想到的是，这个控制室成为我后来30年去的最多的地方)，等等，让我跟他有了很多的接触，也从各种角度初步了解了方守贤先生的工作情况。

方先生时任高能所所长，但他当时主要工作

是负责BEPC的建设。BEPC是我国第一台高能物理装置，而且可以兼作同步辐射光源，故“寄生”在BEPC上的北京同步辐射装置(BSRF)也是国内第一台用户装置。1984年，BEPC开始建设，1988年10月16日，BEPC完成建设任务，实现了首次对撞。所以我到所里开始读硕士研究生的时候，恰逢BEPC开始调束，也即从首次对撞开始，通过对束流的调试，逐步将对撞机中束流强度提高，将各种束流和机器参数尽可能调到接近理论设计值，并提高加速器的运行效率，为使用装置的各类用户提供稳定的加速器运行状态。因此我也非常荣幸地参加了BEPC作为对撞机和同步辐射光源的初期调试、供束运行，以及为理解加速器而进行的各种束流实验和后来所有的对撞机改进和提高。学完基础课后，我就被方先生安排在储存环室的物理组，跟随其他老师在对撞机上参加运行值班，并开展硕士论文的研究工作。物理组的老师们都对我关怀备至，从学业到生活，张闯、黄楠、国智元等老师，给予我非常大的帮助，并把我培养成一个合格的对撞机储存环值班长。作为所长，方先生日理万机，虽无暇经常顾及我的学习和研究工作，但只要他有时间，就把我叫到办公室，让我汇报学习和工作的进展，跟我讨论遇到的问题，并指出下一步的研究方向。这样的指导方法，对于刚上研究生没有经过系统科研训练的我，肯定是跟不上导师的思路的。郁闷了很长一段时间后，我才逐步会“对付”方先生那跳跃和发散型的思维，同时也锻炼了我的独立思考和解决问题的能力，对后来自己的科研工作起到了重要作用。

记得30年前的科学研究，最费时间甚至最难的在于文献调研。虽然高能所是中国第一个国际互联网出口，且早在1986年就建立了与欧洲核子研究中心的网络连接，并发出了国内的第一封电子邮件，但国际上的研究文献，学术期刊出版都在几个月到一年的时间，大型国际会议文集都要一年以后才能看到，而且限于经济条件，国内图书馆也都是非常有选择性地购买一些重要的国际期刊和会议文集，这就使得加速器研究相关的文献

资料很难在第一时间看到。往往拿到手的，都已经过了2、3年了。而我研究的这个课题，当时国内没有其他人做过，因为BEPC是中国第一台对撞机，所以只能将调研方向投向几个拥有对撞机的其他国家实验室。当时方先生利用出国或者其他同事出国开会的机会，自己或者请别的老师给我带些比较新的国外的文献资料，特别是会议文章，而我自己，通过方先生提供的一些国外对撞机束束相互作用研究领域的专家名单，给他们写信要资料，寻求帮助。这种信函的联系方式，通常也需要1、2个月，才能获得一些有用的资料。这样的文献调研方式，让我间接与国际同行建立了一些联系，同时也锻炼了与外国同行打交道的能力。

回想这段研究生时光，方先生的安排确实确实是我真正受益于他注重实践和理论的相结合，注重解决实际问题的理念，同时，他给我安排的研究课题——BEPC束束相互作用研究，也让我在理论研究、实验观测、数据分析和模拟计算等方面的能力，以及担任BEPC运行值班长的责任感和团队协作精神，得到了全面的锻炼和培养，为我日后能够深入开展研究工作，打下了坚实的基础。

北京正负电子对撞机的改进与提高

BEPC当之无愧是方守贤先生学术生涯中最得意和最成功之作。记得他曾对我说过，大型加速器装置是一个国家科技和工业实力的综合体现，而对撞机则是现代大型加速器中的“皇冠”，其难度也因两个束流相向运动且需要精确对撞而比一般的加速器成倍增加。通常，一台对撞机建成之时，就是其改进提高开始之日。BEPC从1989年9月和12月起，分别开始开展高能物理和同步辐射用户实验，方先生则从成功建设BEPC的经理，到担任首任北京正负电子对撞机国家实验室主任，并成为提出改进提高BEPC性能的第一人。其领导下的电子直线室和储存环室，成为改进提高对撞机性能的主力。先是利用中国科学院支持的3500万元人民币，通过调整对撞点旁聚焦四极磁铁的强度与位置，将对撞点的垂直包络函数从8.5 cm压缩到5.0 cm，并经过各种实验调

试, 控制束流引起的本底, 在不间断高能物理和同步辐射实验的情况下, 成功地将对撞亮度(主要是在 J/ψ 能量和 ψ' 能量上)提高为原最高亮度的两倍, 达到 $4.89 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 高能物理取数效率也随之提高了两倍。这个亮度提高的改进过程, 也让我从最基本的了解 BEPC 各方面开始, 到运用理论知识和模拟研究结果, 最终通过艰难的束流调试而真正实现, 有了深入的认识, 也正应了研究生阶段完成学位课时方先生对我所说的, “我不喜欢听课, 因为实践中的认识老师在课上是不会讲的。” 加速器这样的大装置需要的实践对于理论知识的深刻认识所起的作用, 无疑是对方先生这句平常之语最好的诠释。多年后, 当我在课堂上给研究生讲授加速器物理时, 也常常对学生灌输这样的观点, 即加速器物理必须与实践(硬件相关的技术及束流调试)相结合, 才是真正的物理。

从满足于现状的方先生, 在敏锐地了解到国际正负电子对撞机的发展趋势及高能物理的需求情况下, 1993 年率先提出了利用已有隧道及设备, 最大限度提高 BEPC 对撞亮度的想法。这个想法经过不断论证, 并结合已经在 BEPC 上获得的高能物理成果, 形成了提交给中科院的高能物理及加速器发展战略, 并最终在 2000 年 7 月获得当时国家科教领导小组的认可, 原则同意进行 BEPC 的升级。成立于 1998 年 10 月的高能所加速器中心, 具体负责北京正负电子对撞机重大改造项目(即 BEPCII)的设计研究及建设。

BEPCII 的设计方案, 跨越了从单环到双环对撞机即粒子工厂的飞跃。1988 年建成的 BEPC 是个单环对撞机(图 1)。在常规条件下, 单环对撞机通常以每个束流一个束团进行对撞, 提高对撞亮度只能依靠提高单束团流强和减小对撞点束团截面尺寸来实现。美国 Cornell 大学的 CESR 对撞机早就实现了麻花轨道(pretzel orbit)的束流运行方式, 在一个环里可以实现多达 45×45 个束团的对撞。这项加速器物理与技术的成果, 虽然可以大幅提高单环对撞机的效率, 但环越小, 采用麻花轨道而获得的收益就越小。BEPCII 如果仍然维持单环, 并采用麻花轨道进行多束团对撞, 则最多可以实现 6×6 束团对撞(图 2), 对撞亮度较原 BEPC 单

束团对撞, 最多提高 10 倍。与此同时, CESR 因在 B 夸克能区无法同 1999 年底正式运行的日本 KEKB 和美国 PEP-II 两台 B 粒子工厂(都是双环对撞机)竞争, 打算降低束流能量进行改造(即 CESRc), 到粲- τ 领域来与 BEPCII 一争高下。我受当时 BEPCII 工程经理陈和生院士的委托, 对 CESRc 可能的对撞亮度进行了预估, 发现 BEPCII 采用麻花轨道的改造设计, 将只有 CESRc 在同样能量下设计亮度的 1/3, 而且 BEPCII 的建设和调束将落后 CESRc 三到四年, 这样就永远无法赶上 CESRc。

鉴于此, BEPCII 工程经理部决定大胆尝试国

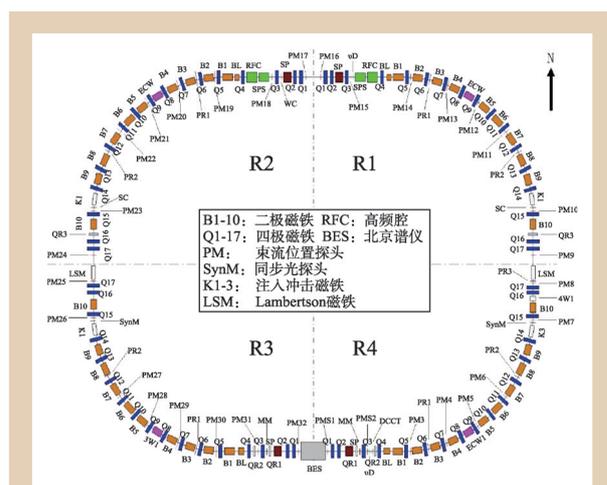


图 1 BEPC 储存环及沿环主要磁铁、束测、高频腔等部件

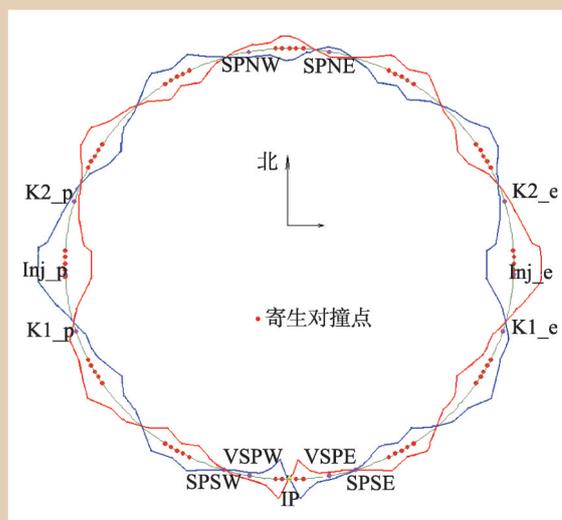


图 2 采用麻花轨道的 BEPC 单环改造方案(红色为正电子束流轨道, 蓝色为电子束流轨道。红点为寄生对撞点, 束流必须在这些点处分离, 只在 IP 即安装谱仪探测器的对撞点处进行对撞)

实际上最新的双环对撞机方案，即在原 BEPC 隧道中，平行安放两个同样周长的储存环，分别储存正、负电子，真正实现多束团对撞，大幅提高对撞亮度，设计指标提高到原 BEPC 对撞亮度的 100 倍，CESRc 设计指标的 3 倍多。经过严密计算与论证，包括做木模在 BEPC 隧道里摆放以确定横向空间的冗余量，我们确认了可以安排下两个平行



图3 BEPC隧道里为平行放置两个储存环而进行的木模实验

摆放的储存环，并满足安装、运输和维修的条件。各硬件设备的大致空间尺寸及相互间隔也都相继被确定，余下的就是储存环磁聚焦结构的具体设计，也即如何安排全环的磁铁，包括磁铁的强度和长度，来实现对撞亮度提高 100 倍的设计目标。图 3 为当时在隧道里进行的木模实验。

磁聚焦结构(Lattice)的设计是储存环设计的关键及重中之重。一个好的磁聚焦结构，是束流稳定和实现大流强运行的基础，同时也是进一步改进的基础。储存环 Lattice 设计，需要同时兼顾物理目标的实现和硬件各系统实现的难易，还要保证能够顺利进行建成后的束流调试及运行中性能不断提高，在经费限制的情况下，一个完美的 Lattice 设计，还会带来经费的节约及未来发展和提高的可能性。2002 年中，在方先生的提议下，我开始按照他的思路，设计 BEPCII 双环的磁聚焦结构，以满足对撞亮度和同步辐射光源两方面的高要求。为了做出最好的方案，当时的加速器物理组分为若干小组，每个小组 2—3 人，着重一个方案的设计，然后大家竞争，将每个方案都做到能满足所有要求，再相互比较如零部件加工、硬件设计难度及安装、经费、调束可行性等。方先生和我研究的方案是保留部分 BEPC 二极磁铁的位置不变，重新排列其他磁铁，找到合适的满足对撞区和弧区、注入区

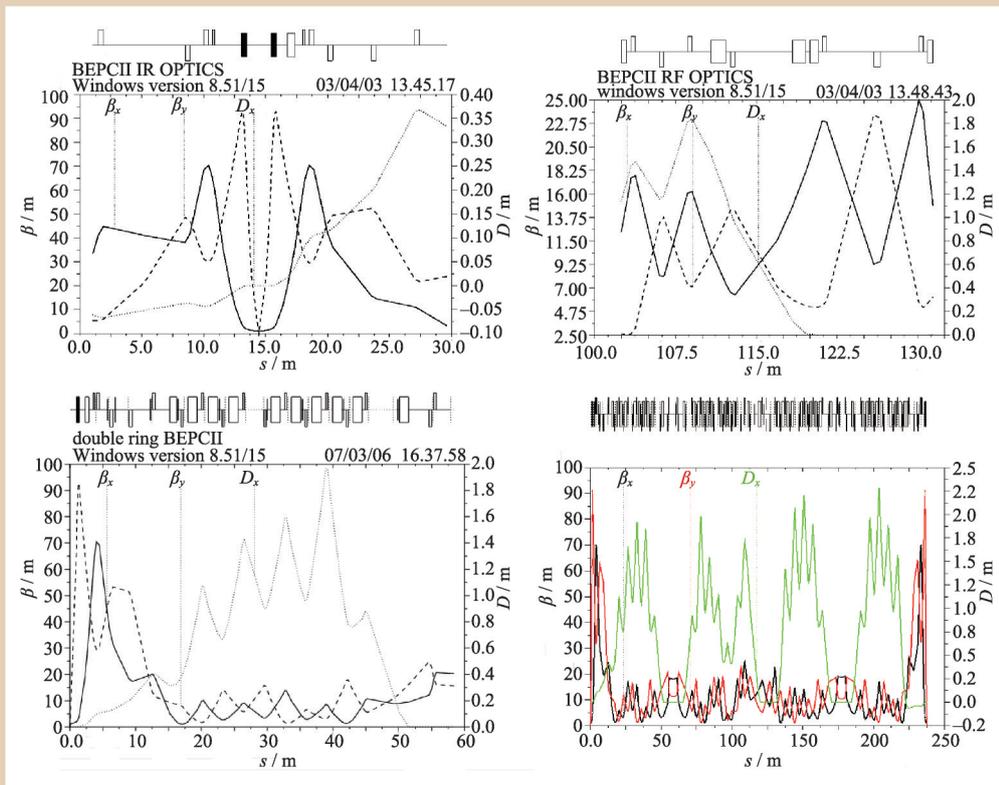


图4 最终被采纳的 BEPCII 储存环设计方案的束流光学参数分布(左上:对撞区;右上:高频区;左下:一半对撞区+弧区和注入区,即 1/4 环;右下:全环)

和弧区、注入区要求的解，并要求最优化的动力

学孔径，满足束流注入要求，磁场误差可以校正，当时BEPC的所有同步辐射光束线站仍然可用。因为BEPC储存环周长不大，而需要满足高能对撞和同步辐射专用模式运行的二极磁铁相对同样能量下的其他环形加速器来讲要大许多，所有沿环排列的各种磁铁、束测及真空元件，占用的空间都非常苛刻，元件长度及相隔距离甚至考虑到了1毫米的精度。

得益于方先生对BEPC储存环磁聚焦结构的透彻理解和对物理概念的深刻认识，在他的指导下，经过几个月的奋战，我们终于找到了满足对撞点及对撞亮度要求、束流注入要求、弧区两端能够严格消色散、BEPC当时的10条光束线发光点完全不用移动的对撞模式和同步辐射专用模式的解，并且采用了超周期数为1这样在对撞机中比较罕见，属于没有任何对称性的Lattice。此外，束流的横向振荡波数(ν_x, ν_y)在对撞模式中，能够在(6.5, 5.5)、(6.5, 7.5)和(7.5, 6.5)三个工作区域内大幅度调节且仍然满足上述条件，也即Lattice具有非常好的灵活性，为未来储存环调试和运行的稳定性及灵活性奠定了坚实的基础。图4为对撞模式弧区、对撞区、高频区及全环Twiss参数沿环变化曲线。非线性Lattice也即六极磁铁的排列及强度优化，我采用了9组六极磁铁分组方式，校正自然色品的同时，同极性的六极磁铁分组满足一定的相位关系，以使整个Lattice的非线性项最小，因而得到在水平及垂直方向校正色品均为1的情况下，动力学孔径在所有磁铁磁场误差、安装和准直误差情况下，满足束流注入的孔径要求，以及束流托歇克寿命的要求。同步辐射专用环则将正负电子环的两个“半环”（均为外环）相连，在高频区和对撞区分别通过“桥”状真空管道和超导二极磁铁引导电子走入正电子环的外半环而形成一个周长比对撞环大3.6 m的环，其Lattice设计用了对撞环外环上的所有磁铁，完全满足了同步辐射专用模式束流及光束线引出处束流光斑的要求。BEPCII采用了这样一种绝无仅有的方式，诞生了世界上唯一的

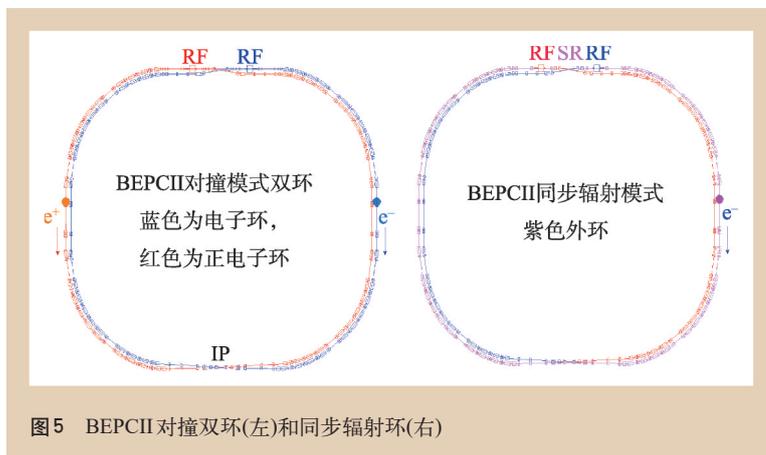


图5 BEPCII对撞双环(左)和同步辐射环(右)

同一隧道里“一机三环”。

这个方案最终在5、6个平行研究的BEPCII储存环方案中胜出，最根本的因素是维持了原BEPC的所有光束线和实验站位置不变，不需要拆卸、重新安装及调试光束线及实验站，节约了1千多万元经费，以及光束线站的安装、准直和调试时间，这些对于当年国家发改委批准的6.4亿元BEPCII的建造经费(含1亿元自筹经费)及4年的建设时间来讲，都是至关重要的。图5给出了BEPCII对撞双环及同步辐射专用环(外环)的磁铁及高频腔的排列。

2006年11月18日，BEPCII同步辐射环在4天半的调束后成功积累束流，同年12月即开始为同步辐射用户供光，为北京谱仪III的建造及对撞模式的调试赢得了时间。2008年1月及3月，BEPCII电子环和正电子环相继积累束流，7月20日，在BEPCII/BESIII上首次观测到对撞产生的强子事例。从开始调束直至给高能物理实验供束运行，方先生与我共同合作这个设计方案，经过了束流，也就是实践的检验，获得了成功。这段科研及工程设计研究，让我充分领略了方先生敏锐的物理感觉及深厚的工程功底，还有不达目的誓不罢休的坚定意志。多少年后回想起这段历史，还是会津津乐道并极其富有成就感。

2009年5月，BEPCII达到验收指标，对撞亮度为 $3.2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，2009年7月17日，BEPCII通过了国家验收；2016年4月，BEPCII在设计能量下达到对撞亮度的设计指标—— $10 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，比同样能量下BEPC的对撞亮度提高了100倍。2018

年10月20日，高能所举办北京正负电子对撞机建成30周年纪念活动，图6为方先生与我在活动现场的照片。

早期的中国散裂中子源

方先生对于中国的加速器事业，特别是大科学装置建设的推动，除了北京正负电子对撞机以外，中国散裂中子源是另一个他倾注了大量心血的国之重器。2000年8月方先生与丁大钊、陈和生及赵志祥等人联合向科技部上报了“多用途中子科学装置——脉冲强中子源”的项目建议书，提出要在我国建造一台散裂中子源，为开展中子散射应用研究提供平台。几乎与此同时，2000年9月，时任中国科学院院长路甬祥批示“要求组织对我国建设散裂中子源的必要性及可行性进行研究”，中科院数理学部成立了由12位院士组



图6 2018年10月20日，作者与方先生在北京正负电子对撞机建成30周年纪念活动现场留念

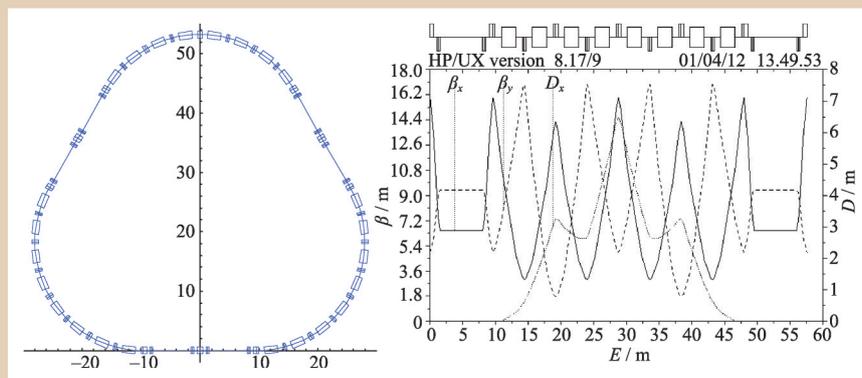


图7 最早的CSNS/RCS环磁铁排列(左)及一个超周期的束流光学参数(右)

成，并由方先生牵头的咨询组，开展散裂中子源研究的咨询工作。方先生在2001年5月和8月召开了2次咨询会，并于同年11月完成咨询报告。报告同意中国科学院物理研究所提出的在中科院第二期知识创新工程中建设一台中等规模的散裂中子源，束功率为100 kW，这在当时位列美国散裂中子源(SNS)和日本散裂中子源(J-PARC，当时称JHF)之后，排名第三。英国散裂中子源(ISIS)当时的束流功率为80 kW，排名第四。因高能所更擅长于建造用户装置型的科学平台，中科院便建议高能所与物理所共同建设中国散裂中子源(CSNS)。方先生当时虽已年近70，但仍然勇于接受新的挑战，着手组织最早的北京散裂中子源队伍并领导设计研究。物理所章综先生和王鼎盛先生也参加进来，壮大了研究队伍。那时，对于没有建造过任何大型质子用户装置的中国加速器界来说，散裂中子源的难度不亚于80年代初期建造正负电子对撞机。更何况，那时高能所的加速器人员基本上都没见过国外已经运行的散裂中子源，其难度可想而知。2001年底，方先生找到我，希望我跟他一起做中国散裂中子源的概念设计研究。作为学生，我义不容辞地接受了这项全新的任务和挑战。由于担心对BEPcII的建设产生影响，方先生除了动员我参加散裂中子源的设计研究外，其他各主要硬件系统都只动用了几位年长或退休返聘人员开展前期的研究工作。我深知加速器物理设计对于一台以加速器为主体的大装置的重要性，同时也非常高兴与导师及其他老师辈的老专家合作。与此同时，我还作为主要人员进行BEPcII的

设计研究，故那时基本上是工作时间做BEPcII的“硬”任务，业余时间做中国散裂中子源的“软”任务。所谓“软”任务，即没有像BEPcII那样必须在指定时间内完成已确定的工作任务。

2002年2月，在方先生的悉心指导下，我提交了第一版中国散裂中子源快循环同步加速器(RCS)的设计参数及初步设计方案，这版

中，我们将CSNS的RCS环设计成一个三角形的环(图7)。环的周长172.8 m，比现在已经建成的中国散裂中子源快循环同步加速器小了50多米。

2004年3月，作为CSNS加速器物理系统负责人，我与其他各硬件系统负责人在方先生的率领下，前往日本东海县日本原子能研究所(当时叫JAERI，后改名为JAEA)参观正在建设中的日本质子加速器装置(JHF，后改名为J-PARC)。代表团一行7人，包括加速器物理、磁铁、电源、高频、真空、注入与引出等方面的专家。JHF是由日本高能加速器研究机构KEK和日本原子能研究所JAERI联合建造，坐落在东海县的JAERI内，建成后的3 GeV快循环同步加速器即为日本散裂中子源，此外还要建一台50 GeV的质子同步加速器。这次访问，主要是学习日本的设计和研究经验，同时与日本方面交流了我们的设计初稿，请日本专家提出改进意见和建议。图8的照片为代表团全体成员及日方陪同的专家。照片里的KEK专家木代纯逸、高能所蒋延龄、赵升初和方先生都已仙逝，木代纯逸教授是JHF的3 GeV环的负责人，于2005年5月也就是我们访问后的一年去世，时年56岁。这张照片因此已成为绝唱。

此次访问，极大地推动了中国散裂中子源最初的设计研究，为随后完成CSNS概念设计报告、争取预研经费等，打下了良好的基础。2006年，我被任命为高能所加速器中心加速器物理组组长，并从11月中旬开始BEPCII储存环调束。由于对撞机调束和验收任务的繁重，到2009年，我逐步淡出CSNS的设计团队。2011年9月，CSNS在广东东莞正式开工建设。2018年3月，CSNS达到验收指标，束流功率为10 kW，2018年9月正式通过国家验收。2020年2月，CSNS束流功率达到设计指标100 kW，实现了方先生20年前在中国建造第一台散裂中子源的夙愿。

其他

中国散裂中子源还在建设中时，方先生即又转向加速器在国民经济和民生方面的应用——质子治疗。2007年起，他就开始与国内多家医院和研究所合作，从无到有，在国内开辟这片新领



图8 高能所代表团访问JAERI，在JHF建设工地(左2起：木代纯逸(KEK)、方守贤、沈宝华、石才土、蒋延龄、赵升初、徐忠雄、秦庆)

域，力争将科学实验装置转化为成熟可靠的医疗设备。方先生带领一支精干的队伍，通过严谨设计、结合实际，合理避免了国外发展过程中遇到的问题，并创造性地提出了今后第二代国产质子治疗装置小型化的方案。经过10多年的努力，最终在上海瑞金医院建成了国内第一台质子治癌装置。在整个项目建设过程中，特别是质子治疗项目立项阶段，方先生不顾80高龄，频繁往返于北京和上海之间，为中国的癌症病人能尽快用上国产的、代表世界最先进水平的质子治疗设备而奔忙着。方先生甚至在2018年3月开始常驻上海，现场参与讨论，解决后期的安装与调试中遇到的大量问题。该质子治疗项目在上海交通大学附属瑞金医院肿瘤质子中心于2018年8月通过专家测试及鉴定，目前正在临床试验的最后阶段，即将正式投入临床应用。

2019年3月11日，方先生因肺部严重感染住进医院，一下就住进了ICU。两天前，他才为质子治疗装置的事情从上海出差回到北京。一直到9月份，方先生肺部感染基本消失，才由ICU搬到普通病房，而且有部分时间可以不用呼吸机了。9月到11月那段在普通病房的时间，我只要去医院看望方先生，就给他讲讲高能所的新闻，他一直关心的高能同步辐射光源的进展情况和我国散裂中子源的成果，等等，方先生都能听懂，脸上会露出笑容。但是他说不出话来，只能跟我

点点头，有时则紧抓着我的手，看着我，像是希望我一直给他讲下去……

2020年1月19日，在与病魔斗争了10个多月后，方先生永远地离开了我们。回顾30多年来与导师一同工作的时时刻刻，深感方先生学识之渊博，认识之深刻，胸怀之宽广，精神之永恒。作

为他的学生，能够追随他的足迹，并肩为心中理想奋斗，沿着所指方向前行，实属荣幸。我仍需尽全身之力，毕一生努力来追赶，回报国家和社会，以告慰先生在天之灵。

落其实者思其树，饮其流者怀其源。谨以此文纪念我的导师——方守贤先生。

方守贤先生与洁净核能研发的往事片段

傅世年[†]

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

2020-03-26收到

[†] email: fusun@ihep.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20200504

2020年1月19日敬爱的老师方守贤院士永远地离开了我们，大家再也听不到他洪钟般爽朗的笑声。由他开拓的加速器驱动洁净核能系统(ADS)研发事业，正在我国有声有色地强劲发展。作为学生，我以此短文，追忆方先生当年指导我们开展ADS研究的一些往事，以此缅怀先生对我国科技事业的杰出贡献。

众所周知，以中国首台大科学装置BEPC为标志，方守贤是我国高能加速器的主要奠基人之一，为高能物理的研究作出了卓越贡献。但其实，除了高能物理外，方先生还非常重视粒子加速器的其他各种应用。如同步辐射、质子治疗，散裂中子源和ADS等，他在推动这些重大应用项目在我国落地开花、繁荣发展上，起到了举足轻重的引领作用。

1999年，在科技部“973计划”的支持下，启动了加速器驱动洁净核能系统的基础研究项目。在此之前，从1995年开始，由于受到诺贝尔奖得主C. Rubbia提出的“能量放大器”概念的激励，我国科学家们就在酝酿这件大事。方守贤先生与复旦大学同班学友丁大钊院士一起，同国内众多核科技界的专家们多次召开裂变核能战略研讨会，商讨我国开展ADS研究的战略共识和规划部署。当时正在参加“863计划”自由电子激光项目的我，被丁先生调来参加这些会议，与专家

们研讨学习。由此机会，我有幸与方先生相识。

再后来，我成为方守贤先生的在职博士研究生，在他的指导下，开展强流质子加速器的研究。由于当时我国在强流质子加速器领域的研究基础还比较薄弱，方先生推荐我去日本高能物理研究所(KEK)工作，参加了日本大型强子装置J-PARC加速器的物理设计和技术研究。在日本两年的研究工作很快接近尾声，正值美国散裂中子源开工正缺人员，橡树林实验室的朋友要我从日本赴美。我将此事告诉方先生，他狠狠地批评了我一顿，他说：“科学无国界，科学家有祖国，你必须把在国外学到的知识回报祖国。”不久，他又告诉我一个好消息：研究ADS的“973计划”项目成功获得科技部批准，并说，我回国可以承担加速器的研发重任，比在国外为老板打工强得多，建设我国自己的强流质子加速器，比为美国服务更有自豪感。他的谆谆教导和严厉批评触动了我，我和家人从日本直接回到了国内，从中国原子能科学研究院，调入方先生所在的中国科学院高能物理研究所，并在他的指导下，全身心投入到ADS的研究中。

为了我国核电的大发展，亟待解决裂变核能可持续发展中的3个瓶颈问题：(1)提高核燃料的资源利用度；(2)高放废物的最终处理；(3)进一步提高核电的安全性。ADS系统是集成20世纪核