

重器铸梦：中国散裂中子源

陈延伟

(中国科学院高能物理研究所 100049)

2023年,中国科学院高能物理研究所迎来建所50周年华诞,在历史的长河中,逾半世纪的岁月只是匆匆的一瞬间,但对于我国高能物理各学科以及大科学装置的发展,却是在不断书写着传奇、发展和创新的重要时期。

一、集大成者成大器

中国的大科学装置在新中国成立以后从零开始,随着祖国的强盛、随着改革开放而逐渐发展起来。高能所建设的北京正负电子对撞机开启了我国建设大科学装置的序幕,我有幸见证并参与了高能所两个大科学装置的建设。栉风沐雨五十载,今天,当我们看到高能所的多个大科学装置屹立在祖国的南北西东,中国因此在多个世界前沿科学领域有了重要的地位,科技竞争力大大增强,自豪感不禁油然而生。

与我结缘最深的中国散裂中子源,是我国迄今为止已建成的单项投资规模最大的大科学装置。2006年,我参与到这项工程的筹建工作中,被任命为工程办公室主任。为什么要建设散裂中子源?简单来说,散裂中子源就是一台“超级显微镜”,其产生的中子如同“探针”,可以清晰检测物质的内部结构,因此被认为是当今人类深度探索微观世界的有力工具。它广泛应用于新材料研发、关键零部件的性能检测等热门领域,为材料科学技术、物理学、化学化工、生命科学、新能源等基础研究和应用研究提供了先进的科研平台,对解决国家重大战略需求和前沿科学诸多领域的瓶颈问题具有重要意义,是当之无愧的“国之重器”。

散裂中子源造价高,技术复杂,中子探测起来

也非常困难,实验的难度非常高,因此在中国散裂中子源建成之前,全世界只有三台,即英国卢瑟福国家实验室的ISIS、美国橡树岭国家实验室的SNS和日本原子能研究所的J-PARC。建设中国散裂中子源的建议,起源于上世纪九十年代末期关于中国高能物理发展战略的研究。2000年8月,中国原子能科学研究院与高能物理研究所提出国家重大科学工程项目建议书——“多用途中子科学装置脉冲强中子源”。

经过国内相关领域科学家的深入讨论和研究,中国散裂中子源被列入国家“十一五”的大科学装置建设计划。

二、直面挑战攻坚克难

2007年2月,中科院与广东省人民政府签订了合作协议,双方共同向国家申请在广东省东莞市建设我国首台散裂中子源装置。彼时,中国的大科学装置主要集中在北京和上海,而广东是改革开放的先行区,经济发展迅速,也迫切需要提升科技创新和产业升级的能力。建设地址选在广东有利于我国大科学装置区域布局的进一步优化,促进我国科学技术与社会经济更加和谐、协调地发展。

作为项目最早的参与者之一,我从项目选址、立项、工程建设到建成后开放运行的十几年间,克服异地建设的重重困难,放弃几乎所有职工年假,与家人长期聚少离多,始终扎根东莞多年,坚守在工程建设现场。前期的工作条件其实非常艰苦,我们几位先行的同志频繁上山考察选址,因为经费限制,租了辆拉鱼车每天在工地上穿梭,大家下班后身上都有一股鱼腥味。

散裂中子源装置不仅造价高,而且技术复杂,是各种高、精、尖设备组成的整体。在工程经理部的带领下,整个团队不畏艰难,致力于推动关键技术和设备的自主研发和国产化。2011年10月,总投资23亿元的中国散裂中子源装置终于在广东东莞奠基。装置建设内容包括一台8千万电子伏特的直线加速器、一台16亿电子伏特的快循环同步加速器、一个靶站,以及一期三台供科学实验用的中子散射谱仪。其工作原理是将质子加速到16亿电子伏特,速度相当于0.9倍光速,把质子束当成“子弹”,去轰击原子序数很高的重金属靶,靶的原子核被撞击出质子和中子,科学家通过特殊的装置“收集”中子,开展各种实验。装置各项设备的批量生产在全国近百家合作单位完成,许多设备的研制达到国内外先进水平,设备国产化率达到90%以上,有力地促进了我国相关领域高技术的发展。

工程建设过程中遇到了极大的挑战,由于地质原因,加速器隧道等土建工程延误了1年多,大大压缩了设备安装和调试的时间。整个工程能否按原定工期竣工验收成为一个严峻的挑战。工程领导决心“后墙不倒”,对国家承诺的竣工时间不能推迟,必须千方百计抢时间。采取的主要措施包括:将原定在隧道里测试老练的设备先在地面大厅安装调试和老练,将通用设施的安装与隧道土建施工交叉并行,这样做大大增加了工作量和工程调度的难度。建设人员经过几百个日日夜夜的奋斗,终于赶回了工期。在中国散裂中子源国际顾问委员会年度会议时,外国专家感叹中国散裂中子源工程建设的“中国速度”：“难以想象你们在短短的一年完成了如此大量的工作”。

除了基建,研究团队在设备的研制和安装过程中更是克服了重重困难。例如快循环同步加速器的25Hz交流磁铁在我国属首次研制,其间遇到了超乎想象的技术挑战,铁芯和线圈的振动开裂、涡流发热等都是以前经验之外的新问题。关键技术掌握在国外大公司手中,不可能对华交流。我们的科研人员与合作单位联合攻关,经过6年时间,改方

案、换厂家,逐一攻破技术难关,终于靠自己的力量研制出合格的磁铁。针对磁铁磁场饱和,科研人员还创新性地提出了谐振电源的谐波补偿方法,解决了多台磁铁之间的磁场同步问题,其效果优于国外散裂中子源。

2017年秋天,中国散裂中子源首次打靶成功获得中子束流(图1),为党的十九大献礼。中国散裂中子源的束流调试速度为国际同类装置中 fastest,连国外专家都赞叹我们调试的“中国速度”。

三、异地建设从无到有

中国散裂中子源建设地在距离高能所北京本部两千公里外的广东省,要面对异地建设带来的巨大挑战。

一是人才队伍的组建。人才是大科学装置建设运行的关键因素,中国散裂中子源的人才梯队建设成为重点工作之一。建设初期,团队中有100多名家在北京的科研人员,在长达六七年的时间里,他们都过着北京、东莞“两头跑”的生活,其中很多人员每年在莞时间多达300多天。然而,东莞研究部作为高能所异地的分支机构,还面临在东莞建设一支以青年人为主的专业齐全、高水平的科学技术和队伍的关键任务。中国散裂中子源从2009年立项前后在北京就开始了人才队伍的组建工作,通过校园招聘和网络招聘等方式“招兵买马”,来自全国各地的东莞户籍年轻人在北京经历了长达数年的时光,面临工作、生活及婚恋等方面的诸多困难。多年来,通过“传帮带”和精神传承,中国散裂中子源培养了一支年轻的加速器和中子散射队伍,目前,500多名科研工程人员平均年龄36岁,超过80%的课题负责人由40岁以下青年骨干担任,在东莞形成了一支高水平的科研、工程、技术和管理队伍,这支队伍将为粤港澳大湾区未来大科学装置建设提供基础和保障。

二是争取地方政府的大力支持。广东省和东莞市对大科学装置的落户亦是求贤若渴,在土地和



图1 2017年8月30日,首次打靶成功后,在靶站控制室讨论调试(后排左二为作者)

经费上都给予了充分支持。为中国散裂中子源项目一期工程规划了400亩地,并预留了600亩地,以布局更多重大科技基础设施。除了实现基本的“七通一平”配套设施之外,地方政府还修建了一条连接高速的公路,让中国散裂中子源与全国路网融通。此外,因为稳定供电是散裂中子源正常运行的“生命源”,南方电网为此专门配建了专用变电站。

三是高能所分支机构的建设。随着项目的不断推进,高能所长期在东莞工作的职工人员有数百人,围绕装置建设和运行,高能所在东莞设立了分支机构——东莞研究部,并成立了党组织,从上而下建立了一整套组织管理系统,如设立机构部门、招聘专职人员、制定有关章程、建立工作流程等,从而形成一个综合科研、管理、技术支撑的有机体。东莞研究部在制度、队伍、创新文化和园区环境建设等方面做了大量工作,例如通过落实职工子女入托、入学、上下班交通等,解决职工面临的实际困难;通过举办丰富多彩的文体活动,缓解长期异地带来的情绪问题。东莞研究部成为装置建设和运行的坚实基础和强大后盾。

四、顺利验收填补空白

“散裂中子源等一批具有国际一流水平的重大

科技基础设施通过验收。”在中国科学院第二十次院士大会、中国工程院第十五次院士大会和中国科协第十次全国代表大会上,习近平总书记的重要讲话,让中国散裂中子源团队感到无比的振奋。

对中国散裂中子源来说,2018年8月23日是个难忘的日子,经过十余年的筹备和六年半的建设,当天中国散裂中子源项目顺利通过国家验收(图2),按指标、按工期、高质量地完成了工程建设任务,建成了我国首台、世界第四台散裂中子源,填补了国内脉冲中子源及应用领域的空白。

验收委员会专家认为,中国散裂中子源的各项指标均达到或优于批复的验收指标,技术和综合性能进入国际同类装置先进行列。装置整体设计先进,研制设备质量精良,靶站最高中子效率和3台谱仪综合性能达到国际先进水平。

国家验收委员会专家还认为,中国散裂中子源通过自主创新和集成创新,在加速器、靶站、谱仪方面取得了一系列重大技术成果,显著提升了我国在磁铁、电源、探测器及电子学等领域相关产业的技术水平和自主创新能力,使我国在强流质子加速器和中子散射领域实现了重大跨越。

诺贝尔奖获得者、著名美籍华裔物理学家李政道获悉中国散裂中子源通过国家验收的消息后,发来亲笔信表示祝贺,希望祖国科学家利用散裂中子



图2 十年(右一为作者)

源作出世界一流实验成果。

验收通过后,我们的科研人员并没有停下奋斗的脚步,而是朝着更高的目标前进。

根据国际同类装置的调试运行经验,中国散裂中子源最初考虑在项目验收之后3年内,即至2021年8月束流功率达到100千瓦设计指标。铆足劲的科研人员一心想着通过努力,把时间往前赶。2020年2月28日,打靶束流功率比原计划提前一年半达到100千瓦的设计指标。2022年2月,打靶束流功率又提高到125千瓦,超过设计指标25%,并实现稳定供束运行。

五、用户成果遍地开花

中国散裂中子源开放运行后,大科学装置的综

合效应开始逐步显现。从2018年9月至今,中国散裂中子源已完成六轮运行,注册用户超3800人,完成实验课题800余项,在多个领域开展重大创新研究,包括深海潜水器等大型工程部件残余应力和服役性能检测等,为国家急需的许多高性能结构材料攻关提供了关键技术平台(图3)。此外,中国散裂中子源在磁性材料、纳米功能材料、高效催化剂、自旋电子学、有机太阳能薄膜电池、金属玻璃、高分子聚合物、生物大分子等国际科技前沿研究中也取得了一批成果。中国散裂中子源取得的科学成果远远超过美国和日本散裂中子源在建成后同样阶段的成果。

中子有几种特点,决定了它在微观研究领域的不可替代性。例如中子是电中性的,但它本身带有



图3 全家福

磁矩,能帮助我们研究各种磁性材料;中子对碳、氢、氧、氮等这些能源和生命科学领域极为重要的轻元素很敏感;中子的穿透力很强,能够原位地研究大的工程部件的残余应力和金属疲劳,为高端制造保驾护航。

随着研究推进,中国散裂中子源的关键核心技术成果产业化已开花结果。2020年8月,研究团队建成我国首台具有完全自主知识产权的基于加速器的硼中子俘获治疗(BNCT)实验装置,为我国医用BNCT治疗装置整机国产化和产业化奠定了技术基础,有望为我国肿瘤治疗带来重要技术革新。目前,研究团队正在与南方医科大学附属东莞医院(东莞市人民医院)共同推进临床试验相关工作。

六、为粤港澳大湾区科技创新插上翅膀

中国散裂中子源是粤港澳大湾区首个重大科技基础设施,它的建成最直接的效益就是为国内科技工作者带来研究物质的“利器”,特别是为港澳科学家使用散裂中子源提供了前所未有的便利。大湾区是国内先进制造业基地,对材料科学技术有着迫切的需求。中国散裂中子源的成功建设助推松山湖成为粤港澳大湾区综合性国家科学中心的先行启动区。中国散裂中子源吸引了很多先进科研机构和高科技人才落户东莞,并使之成为国家创新发展的重要引擎。

中国散裂中子源共设计预留20条中子通道,可建设20台左右中子谱仪,一期工程已建成并对用户开放3台,正在与粤港澳大湾区的高校、研究机构积极开展合作,共同建设8台合作谱仪,包括东莞理工学院(联合香港城市大学)、工信部电子第五研究所、中山大学、南方科技大学、东莞材料基因高等理工研究院、北京大学深圳研究生院等,另外,广东省科技厅直接支持建设两台谱仪。

随着中国散裂中子源二期工程建设即将启动,未来的谱仪数量将增加到20台,覆盖广大用户各方面的研究领域,加速器打靶和靶站设计功率从100千瓦提升到500千瓦,设备研究能力将大幅度提升,大大提高实验的精度和速度,能够测量更小的样品,研究更快的动态过程,满足国内外更多用户需求,为前沿科学研究、国家重大需求和国民经济发展提供更先进的研究平台。

回首中国散裂中子源项目,从筹备至今已经走过了20多年的历程,期间经历过无数的困难和挑战,最终走向成功,这是几百名科研、工程建设和管理人员继承和发扬高能物理研究所的优良传统,矢志不渝、协同努力、共同奋斗的成果。不忘初心,方得始终;回首来路,可知未来。中国散裂中子源将肩负发展中国中子散射研究和应用的重任,担当粤港澳大湾区综合性国家科学中心的核心装置重托,打造国家创新发展的重要引擎,为实现我国高水平科技自立自强贡献力量。