

打造中国人自己的同步辐射光源

在中国科学技术大学(以下简称中国科大)西区的西南角,一幢状如飞碟的巨大建筑物格外引人注目。我国第一台专用同步辐射光源就诞生于此,科研人员亲切地称之为“合肥光源”。

从20世纪70年代起,中国科学家就希望拥有自己的光源。一代代“追光者”数十年来勇担国家使命,白手起家,攻坚克难,矢志不渝,实现了我国同步辐射光源从无到有、从有到优、从优到强的梦想。

现如今,合肥光源的运行开放达到国际同类装置的先进水平,每年运行时间超过7000小时,开机率优于99%,每年为国内外用户提供优质实验机时40000小时以上。

这是一段成长的历史,也是一个奋斗的故事。

1 为国铸器

1970年,中国科大南迁合肥后,“闲不住”的裴元吉到处去找项目。他于1964年从中国科大近代物理系毕业后,就留校从事加速器研究和教学工作。

“我们这一代人是国家培养出来的,总想通过个人努力做出些成绩,为国家作贡献。”裴元吉说,但究竟做什么才能对国家的科学发展更有好处,起初他并没有答案。

于是,中国科大近代物理系加速器教研室的几位年轻教师开始查找国内外文献,分头开展调研。

“我们注意到,为了开展研究,国外正在起步建造同步辐射光源。美国、日本已经有建成的同步辐射光源,德国、英国等国家正在建设或计划建设中。”裴元吉回忆。

我国一些科学家也表示:“我们要做自己的同步辐射光源。”

这些信息给几位年轻教师带来了启发、注入了信心:就做同步辐射光源!中国科大也支持他们这一大胆的想法。

同步辐射和光一样,是一种电磁波。1947年,美国科学家首次在电子同步加速器上观测到这种电磁波辐射现象,并称之为同步加速器辐射,简称同步辐射。产生和利用同步辐射的科学装置被称为同步辐射光源。

裴元吉介绍,同步辐射集诸多优点于一身。它比传统实验室的光源亮上亿倍,就像赋予科学家一双“慧眼”,能把以前无法探测的物质微观结构“看”得一清二楚。原本使用传统X光机需要几个月才能完成的实验,利用同步辐射光源只需要几分钟就能获取数据。

就像拧紧不同大小的螺母需要不同扳手一样,不同类型的科学观测研究也需要不同波长的光。原来实验室里的光源都是有线谱的,且只能适用于某一类实验。而同步辐射光源产生的波谱是连续谱,覆盖范围大,包括远红外、可见光、紫外、真空紫外(极紫外)、软X射线至硬X射线。科学家可以根据需要,从中选取特定波长的单色光,研究特定的科学问题。

正是基于这些特性,同步辐射光源引起了全球物理、化学、生物、材料、医学、农业等诸多领域科学家的兴趣,各国竞相研发这一重要的科学装置。

1977年底,全国自然科学学科规划会议在北京召开。中国科大加速器教研室金玉明代表学校在会上提交了建造“合肥同步辐射加速器”建议书。

2 “追光”之路

很快,1978年2月,中国科学院正式批准在合肥建设电子同步辐射加速器预研项目,随即召开第一次筹备工作会议,成立筹备组,讨论了建造电子同步辐射加速器的初步方案。

时任中国科大党委书记武汝扬任筹备组组长,科研处处长包惠谋任副组长,拉起一支以何多慧、裴元吉、金玉明、张玉、张武等教研室教师为主要成员、平均年龄不到35岁的年轻队伍,开启了曲折而艰辛的“追光”之路。

项目定下,大家都很高兴。冷静下来之后,他们又有些担忧,“国内从来没有建造过同步辐射加速器,我们能行吗?”

但是,开弓没有回头箭。当时,加速器教研室总共20多人,成立了以何多慧为组长的总体组,全面负责技术工作;同时组建了

多个专业组,分别承担各项具体任务。

每个人几乎都是从头学、拼命学、拼命干,不懂就问。不仅学习书本上的知识,还请国外专家来校作报告,反复讨论、集思广益后,再确定方案。

“关键技术靠别人是解决不了问题的。”在预研项目中,裴元吉主要负责直线加速器的研制。

直线加速器的加速管是核心部件,当时我国还没有相关加工和制造的单位。

“我们曾希望,美国把不用的加速管赠送或低价卖给我们。但就一根3米长的旧加速管,美国都要价8万美元。”裴元吉说。

于是,他们决定自力更生。为了节省项目经费,他们从济南购买了4台超精密车床,在学校精密仪器器的主持和协助下,搭建恒温车间、培训工人,自主设计、加工制造了直线加速器的加速管。

裴元吉记得,那时他们在学校东区西门南侧的一栋小楼里工作,每天从早上8点到晚上12点连轴转,但大家从没有抱怨过,都觉得投身火热的科研攻关是最大的幸福。

就这样,3年时间,380万元经费,他们创造了中国加速器的4个第一:建成我国当时最高能量30MeV(百万电子伏特)的电子直线加速器;造出国内第一块超高精度大型弯转磁铁;造出国内第一块聚焦四极磁铁;建成国内第一段近存储环十分之一的超高真空系统。同时,他们还完成了800MeV同步辐射加速器的物理设计。

1981年10月24日,中国科学院在合肥召开“合肥同步辐射装置预研及物理设计审定会”。会议认为:“合肥同步辐射装置已基本具备进入工程的条件。”

预研项目的完成在国际上引发很大反响,国内外媒体争相报道。

做完预研,每位小组成员心里都有了底。“干任何项目,如果科研人员信心不足,是绝对做不好的。通过预研,大家建立了信心,弄清楚很多关键技术难点,获得了第一手经验。同时训练出一支过硬的科研队伍,为后期工程打下了坚实基础。”裴元吉说。

3 抓主要矛盾

1983年4月8日,国家计划委员会发文正式批准“合肥同步辐射实验室”项目上马,并直接将它命名为“国家同步辐射实验室”工程。

1984年11月20日,国家同步辐射实验室工程破土动工,合肥光源一期工程正式启动。



国家同步辐射实验室原址是一片藕塘和菜地。



1984年11月20日,中国科大合肥国家同步辐射实验室奠基典礼合影。

同步辐射光源包括加速器、电子枪、调制器、加速管、输运线、注入、磁铁、束测、准直、电源、光束线及实验站等系统,是高度复杂的大型高科技设备,建造难度不言而喻。

“就拿直线加速器来说,我们在预研时已经将能量做到了30MeV,仅从技术指标来看,扩大器件规模后应该能达到要求。但在实际建造中,束流参数性能、功率匹配、频率稳定等方面还有很多问题需要解决。”裴元吉坦言。

此外,把以上诸多分部件组织在一起,如何协同工作保障运行也是新问题。

合肥光源一期工程最初设计的物理指

标,是将直线加速器产生的能量为400MeV的电子束注入400MeV的存储环中。但项目总经理包惠谋、一期总工程师何多慧、副总工程师裴元吉和金玉明先后出国考察发现,400MeV的存储环能量太低,必须提到800MeV以上。



国家同步辐射实验室工程副经理、总工程师何多慧(中),副总工程师姚志远(左一)、裴元吉(左二)、金玉明(右二)和张武(右一)共同商讨解决技术难题。

他们与相关专家商量后,在经费有限的情况下,决定抓主要矛盾,优先保障“出光”。他们调整了光源设计指标,将存储环能量提高到800MeV,将直线加速器输出电子束能量降低到200MeV。

然而,在实际建造中,新的问题出现了。裴元吉介绍,电子束从电子枪发射出来,经过数十米长的直线加速器加速,提高到上亿电子伏特,再注入存储环,在存储环超高真空系统中以接近光速运行,最后在设计好的弯转磁铁区域放出同步辐射。

直线加速器是超高真空系统,而存储环是超高真空系统,两个真空空间差两个数量级,一般不能直接连通。国际上的常用方法是将两个真空空间用一个薄膜隔开。

但由于降低了注入能量,电子穿过薄膜后能量损失比较大,存储环只能捕获一部分,很难累积到足够的电子束流。

研究团队提出一种设想,将两个真空空间的一块脉冲磁铁直接放到超高真空系统内,去掉膜。但问题是磁铁的砂钢片表面涂了一层漆,会产生大量气体,破坏超高真空系统。

于是,裴元吉想了个办法,用三氧化二铝陶瓷粉代替漆,并采用等离子体喷涂的方法,将其喷在磁铁上,形成薄薄的一层膜。经过尝试,他惊喜地发现,喷涂有陶瓷粉的砂钢片经烘烤后不但不放气,反而能吸气。这样一来,磁铁就可以直接放到存储环超高真空系统中了。该方法不仅解决了问题,而且属于世界首创。

就这样,他们群策群力,攻克了一个又一个难题,自主研制出一系列关键部件。但即便如此,他们离最终成功仍有距离。

4 与时间赛跑

另一个难题是紧迫的时间——1987年初,他们收到信息,如果1987年底直线加速器不能建成出束,工程就有可能下马。

包惠谋马上组织总工程师、总经济师、总工师、办公室主任召开紧急会议。

当时,裴元吉分管直线加速器。所有人都在会上问他:“你表态,直线加速器年底能不能建成?”

裴元吉拿着小本子,不停计算到底还有多大工作量。最后,他说,按照常理,安装直线加速器需要1年,调试加速器至少需要3个月,也就是出束时间要到1988年6月份。

紧接着,他又说:“按时建成也有可能,前提是满足3个条件。一是调整领导管理机构,一切为实现年底直线加速器出束‘开绿灯’,加快采购手续、饭送到现场,唯一一辆吉普车专用;二是成立专门队伍,统一管理,严格培训安装技术人员;三是加班加点,周末不停工。”

实验室对裴元吉的建议照单全收。会后,他与技术人员加班加点,每天忙到深夜,有的人干脆抱被子住在现场,硬是把时间“抢”了回来。

1987年10月20日,直线加速器安装提前完成,11月1日开始调试,11月9日束流全部达到要求。他们用9个月时间完成了原本需要15个月才能完成的任务。

1989年4月26日,合肥光源迎来最后考验——各系统配合的总调光时刻:从第一

次向存储环注入电子束流到获得存储束流,产生很强的同步辐射,仅仅用时23小时,创造了世界同步辐射加速器调试出光最快纪录。



1989年4月26日,国家同步辐射装置“出光”。

“在场的人看见第一束璀璨的同步辐射光,热泪盈眶。”何多慧回忆。

裴元吉说:“那种心情无法用言语表达。多年的奋斗,再辛苦再累也值得。”

1991年12月26日,国家同步辐射实验室项目迎来国家鉴定和验收。最终鉴定意见认为:“合肥同步辐射光源达到国际同类装置先进水平。”

我国第一台专用同步辐射光源自此诞生。其超过95%的关键部件为国产,并获得1992年中国科学院科技进步一等奖等奖和1995年国家科技进步一等奖。

5 占有宝贵的一席之地

国家同步辐射实验室是国家级公用实验室,由全国诸多力量共同建成,也为全国诸多单位所用。但建造时由于经费紧张,合肥光源只有5条光束线和5个实验站,不能满足我国科学界的应用需求。

1994年2月,由钱临照、唐孝威两位院士发起,王淦昌、谢希德、谢家麟、冯端、卢嘉锡等34位院士联合提出《关于集中力量全面建设、充分利用合肥国家同步辐射光源的建议》。他们呼吁:“国家应集中财力、物力,全面建设、充分利用已运行并投入使用的合肥同步辐射光源。”

1998年至2004年,合肥光源实施了二期工程建设,增建了8条光束线、实验站,自行研制了我国第一个插入元件。2010年后,又进行了新一轮重大升级改造。

升级改造后的合肥光源,性能参数和运行稳定性得到大幅提升。包信和、谢毅、陈旭辉、杨学明、俞书宏等科学家利用它做出一系列重大原创成果,解决了先进功能材料、能源与环境、生命科学等领域一系列重要科学问题,并在航空发动机燃烧、煤化工能源转化、先进薄膜材料、大光栅技术、标准探测器等领域产出诸多开创性研究成果。

例如,包信和团队利用合肥光源探测到煤基合成气制烯烃关键中间产物,打破理论费托极限,实现煤转烷领域重大突破,为未来煤化工产业提供了卓越竞争力。该成果入选科技部基础研究中心等组织评选的“2016年度中国科学十大进展”,并获得2020年度国家自然科学奖一等奖。

近年来,科学的前途,未来产业的研发对合肥光源提出更高要求,历史的接力棒传到新一代“追光人”手中。

目前,国家同步辐射实验室正在建设低能区的衍射极限光源——合肥先进光源。它是世界上时间和空间分辨率最先进的第四代光源,能帮助科学家将微观世界看得更清晰。

从同步辐射光源到合肥光源,再到如今的合肥先进光源,回顾数十年的建设历程,裴元吉感慨地说:“能干成这个事儿,体现了社会主义制度集中力量办大事的优越性,也体现了中国科学院对前沿科技的前瞻性部署。”

除了国家和中国科学院的支持,裴元吉还谈了几点体会。“要树立雄心,为祖国科学事业作贡献。这是一名科学工作者最基本的素养。”“要齐心协力、集思广益,善于调动一切积极因素,开展国内外合作。”“要敢于攻坚克难,抓主要矛盾,再逐个击破。”“要注重老中青相结合。”“大科学工程必须要有研发、有创新”……

令裴元吉最高兴的是,通过一代又一代“追光者”的不懈奋斗,我国在世界同步辐射光源建设和应用领域占据了宝贵的一席之地。

(本文原载《中国科学报》2024年7月3日第4版,记者王敬)