

开展国际合作 促进大科学工程建设

詹文龙* 谢 铭

(近代物理研究所 兰州 730000)

关键词 大科学工程, 国际合作, 科技创新, 重离子加速器冷却储存环(CSR)

近代物理研究所主要从事原子核物理及相关交叉学科研究, 相应发展加速器及核技术, 近年来取得了以在世界上首次合成二十几种新核素为代表的一批重大科技成果, 在国际核物理前沿领域占有了一席之地, 成为国际上较高知名度的核物理研究中心之一, 目前正在建设国家“九五”重大科学工程兰州重离子加速器冷却储存环(CSR)。所有这些成就的取得离不开国际合作与交流, 其中 CSR 大科学工程建设是开展国际合作促进科技创新的突出事例之一。

一 围绕 CSR 工程开展国际合作的成效

CSR 是国家“九五”计划期间批准的投资最多, 建设规模最大的重大科学工程, 2000 年正式开工, 计划于 2005 年建成。据统计, 自 20 世纪 90 年代以来, 围绕工程建设出国人员达 112 人次, 邀请外宾 158 人次, 来华工作外国专家小组 18 个, 召开国际学术会议 11 个, 与国外科研中心签订长期科技合作协议 3 个, 正式聘请国际顾问专家 7 人。国际合作与交流对于吸收融合先进的学术思想、解决大科学工程部分关键技术问题、集成优势实现科技创新和培养科技骨干人才发挥了极其重要的作用。

(一) 催生先进的科技思想

1 形成了发展重离子冷却储存环大科学装置的思想

20 世纪 90 年代中期, 兰州重离子加速器

和放射性束流装置先后建成, 并取得了一系列重大科技成果后, 兰州重离子加速器(HIRFL)国家实验室即开始着手考虑下一步如何发展。围绕这一主题, 主要是通过国际交流与合作进行广泛的调研, 派专业人员有选择地参加重要的国际学术会议, 了解同领域国际前沿的最新发展。重点派青年科技骨干出国留学, 派科学家小组到诸如德国重离子研究中心(GSI)和 Juelich 研究中心、日本理化学研究所、意大利核物理研究院南方实验室(LNS)和美国 BNL、MSU、印第安那大学等国外著名的研究中心, 结合参加大科学工程国际合作, 系统地学习先进的物理思想以及大工程建设的经验和最新技术, 在 HIRFL 国家实验室的统一领导和协调下, 经过反复研讨形成共识, 明确发展目标, 最后慎重地提出了续建 CSR 大科学工程计划。

2 完善了 CSR 工程设计, 以先进性和科学性掌握立项竞争的主动权

CSR 工程初步设计完成后, 通过国际合作确定关键的电子冷却系统方案是 CSR 预研阶段开展国际合作的典型事例之一。

国际先进的电子冷却技术是俄罗斯科学家发明的, 俄罗斯科学院院士 Budker、Meshkov 和 Parkhomchuk Vasily 等人在世界上最先提出了带电粒子束的电子冷却思想, 并成功地进行了电子冷却实验。由于这项技术的成功应用, 使得重离子冷却储存环成为了国际重离子加速器发展的重要前沿。在中国科学院、国家

* 近代物理研究所所长, 研究员
收稿日期: 2005 年 2 月 23 日

外国专家局和我国驻莫斯科使馆的帮助下,由“双引”项目资助特邀 Meshkov 教授来华为我们审核理论设计,凭他丰富的实践经验对主要物理参数逐个核算,对一些部件的设计和加工工艺给予指导。在此之后,我们又派骨干科研人员成组配套去俄罗斯留学,利用俄方现有的条件进行了两轮电子冷却模拟实验,这些交流和研究使科技人员对电子冷却技术有了进一步的理解和感性认识,其结果对确定 CSR 大科学工程方案和立项论证都起了关键的作用。

为了进一步优化 CSR 工程方案,我们特邀德国、美国、荷兰、日本、加拿大等国的 10 位国际著名物理学家来华了解兰州重离子加速器的基础条件,评议 CSR 方案,专家们提出了很好的建设性意见,进一步完善了初步设计,总结了设计方案的优势,充分肯定了 CSR 工程明确的科学目标、先进的技术指标和可行的技术路线,做出了具有很强说服力的书面评价,有利地支持了项目论证,为 CSR 工程最终获得正式批准起到了重要作用。

3 引进、消化、吸收、创新,确保工程各系统的设计建立在科学的基础上

为确保 CSR 工程质量和实现其先进的技术指标,我们在发展创新性的电子冷却、内靶等技术的同时,对原 HIRFL 离子源、束运、磁场、诊断、真空、注入引出等设备进行升级改造,国际合作为各系统提供了强大的智力支持。研制全新的大科学工程自动控制系统是一个典型事例。

我所在电子学和计算机的一些方面有较强的技术优势,但如何将这些先进的 IT 技术与大科学工程的控制系统结合起来,发展适合实际需要和自己特色的大科学装置的控制技术是一个新问题。德国 GSI 在大科学装置的控制方面积累了丰富的经验,我们先后两次邀请 GSI 加速器控制系统的总设计者来我所交流,之后派骨干去 GSI 留学,有针对性地了解 GSI

控制系统的特色和解决故障的技术措施等,借鉴国外的经验调整我们的控制系统设计方案。到目前,这一工作已取得了阶段性成果,解决了一部分长时间困扰我们的问题。

(二) 解决了大科学工程关键技术问题

CSR 是一项技术复杂的系统工程,涉及几十个专业,其中一些技术在我国尚没有成熟的经验,国际合作是解决关键技术难题的有效途径,对确保工程质量和水平,技术上避免走弯路,争取工程建设时间,节省大量经费都是十分重要的。

俄罗斯科学院新西伯利亚核物理研究所(BINP)在电子冷却装置的设计和制造技术方面居世界先进水平,德国、美国、加拿大等国纷纷从 BINP 引进电子冷却技术,有的根据各自不同的实际情况直接委托为其研制电子冷却装置。除电子冷却技术外,俄科学家在加速器和储存环的高频、磁场、电源、束流堆积和注入引出及内靶等各方面都有其优势和特点。为此,我们把 BINP 作为重要的国际合作伙伴之一,通过开展科技合作解决 CSR 工程部分关键技术问题。我们于 1999 年 9 月与 BINP 正式签订了长期科学合作议定书,围绕 CSR 大科学工程有关技术进行了卓有成效的合作。

在合作议定书框架下,我所与俄 BINP 正式签署技术合同,为 CSR 联合设计建造两代新一代的电子冷却装置、两套宽频带高频加速腔。在合作研制 CSR 电子冷却装置项目中,双方设计人员采用了全新的设计思路,在世界上首次实现了空心离子束,其特点是在不降低电子冷却能力的情况下产生离子束,减少了离子损失,提高了束流强度,取得了有重大技术创新性的研究成果,在 CSR 上实现了一项国际先进的技术指标。通过与俄罗斯专家就电子冷却装置的一些特殊磁铁的研制问题开展交流,并一起进行实验分析,我们的科技人员还掌握了如磁铁线圈真空环浇注和高精度螺线管制造等方面的关键技术。到 2004 年 5 月,两台

电子冷却和两台高频装置均已安装到位,调试检测结果证明达到设计指标,尤其是中俄双方科学家参加的整机联合测试电子冷却装置结果十分令人鼓舞,俄罗斯科学院院士 Parkhomchuk Vasily 教授称其为全新一代国际先进的电子冷却装置。这一最新成果引起了欧洲核子中心(CERN)等世界著名实验室的关注,在此基础上,CERN 已正式委托 BINP 研制电子冷却装置。

围绕与 BINP 合作研制电子冷却装置、宽频带高频机和先进的内靶装置等,自 2000 年我们的科技人员去俄罗斯 26 人次,BINP 专家小组来华 77 人次,包括国际电子冷却技术主要发明人之一 Parkhomchuk Vasily 教授来华 9 次,平均每年两次,每次工作 1—2 个月。

除此之外,我们还从德国 GSI 引进了高稳定度电源和磁铁设计与制造及测量技术、从美国引进准直技术,从 CERN 和日本学习引进超高真空技术,通过国际合作加技术创新,基本解决了工程主要的技术难题。到目前,CSR 两个环形加速器的主要设备已安装到位,并于 2005 年 2 月成功地进行了主环首次第一圈调束,标志着工程建设取得了极其重要的进展。

(三) 有利于发挥集成优势实现科技创新

重视有针对性地选择有不同特点和优势的科研中心发展交流与合作,把国外不同科研中心的经验根据我们自己的实际需要集成优化,效果显著。

根据国际惯例和大科学工程的实际需要,经正式批准,2000 年成立了 CSR 大科学工程国际顾问委员会,路甬祥院长代表 CSR 项目委员会向来自俄罗斯、德国、日本、瑞典等国的 7 位国际著名核物理和加速器专家颁发了聘书。国际顾问委员会专家跟踪工程进展,随时就工程有关问题进行讨论,每年在工程现场集中召开一次会议,审议计划落实情况和下一步工作方案,提出解决关键技术问题的建议。与来自不同国度的科学家讨论切磋,实际上成

为了世界上不同实验室物理思想和工程经验的融合集成,十分有利于我们综合借鉴各种先进的思想和技术,科学地制定计划,确保 CSR 工程质量和水平。

(四) 培养了一支高素质的工程建设队伍

自 80 年代初以来,我所积极开展对外交流,主要发展了与法国国家大加速器实验室(GANIL)、德国 GSI 和日本理化学研究所长期系统深入的科技合作,通过派出留学和开展合作研究培养了一批科研和工程各专业方面的学术带头人,对于在 80 年代成功地建造具有当时国际先进水平的兰州重离子加速器(HIRFL)和后来取得一系列重大科研成果起到了非常重要的作用。成功地研制具有国际先进水平的 ECR 离子源和建成具有国际先进技术指标和创新设计特色的兰州放射性束流线(RIBLL)都是通过国际交流与合作培养 1—2 名有创新意识和创新能力的学术尖子,带起一支科技队伍,开辟一个创新的领域,实现科学技术创新的典型事例。

CSR 工程建设需要许多年轻一代的专门技术人才,这些方面很难直接引进专业完全合适的科研骨干,我们是通过国际交流与合作培养有创新能力的年轻专家,解决了工程建设的科技骨干人才问题。我们一方面邀请和聘用外国专家来华参加国际合作,另一方面分两类派科技人员出国,一是为解决大工程遇到的技术问题及时派人到国外实验室和公司进行合作研究;二是派年轻优秀的科技人员长期出国,为今后在 CSR 上开展物理及相关交叉学科基础和应用研究培养学术带头人。

德国 GSI 几年前成功地建造了第一代电子冷却储存环,在各方面积累了丰富的经验。近几年,我们围绕 CSR 工程着力加强与德国 GSI 的国际合作。1999 年以来,我所邀请了 26 人次 GSI 专家来我所研究讨论工程方案和技术问题,有的在我所参加数周的合作工作;共派出 36 人次专业人员去 GSI 留学,配套培养

CSR 总体设计、磁铁、自控、电源、束诊和注入引出、真空、高频以及准直定位等方面的专业骨干。平时 CSR 国际顾问委员与各系统负责人保持通讯联系,不断进行技术交流,为我们的年轻科技骨干作参谋。通过这些国际合作与交流,我们的学术带头人进步很快。他们遇到问题就及时向专家请教,在国外留学期间,随外国专家到设备加工企业现场调研,针对关键难题,甚至请德国、俄罗斯等国的专家到国内加工厂家进行现场考察和指导,进行联合技术攻关。

我们的工程专业人员在学习国外经验基础上加以集成创新,研制成功的 C 型 60°弯曲磁铁是首台由我国自行研制的大型矽钢片叠装型弯曲磁铁,其难度到目前在世界上当属首屈一指;四极透镜的励磁线圈在国内首次成功地采用了真空环氧浇注工艺,产品质量得到了国际上有丰富经验的磁铁专家的好评,认为其加工工艺已达到了国际水平。

研制成功的 2000A / 125V (可控硅调压、晶体管调流) 和 650A / 120V (全可控硅) 磁铁电源样机,稳定度 (8 小时) 分别达到了 3×10^{-6} 和 5×10^{-6} (额定值时),达到了国际同类电源的先进水平。

研制完成了二极铁真空室。经过电解抛光、高温除气、清洗和现场烘烤等一系列工艺处理后,其内表面出气率达到了 7×10^{-13} mbar·l / s·cm²; 抽空形变量小于计算值;二极铁真空室采用由国内自行设计和研制的钛升华泵,真空度达到 1.1×10^{-11} mbar (泵端) 和 4.5×10^{-11} mbar (远端), 这是我国在大型系统中真空度达到的最高水平,它标志着我们已经全面掌握了获得超高真空的关键技术,具备了超高真空系统的设计和制造能力。

据统计,CSR 工程主要负责人和各分系统骨干都有参加国际合作与交流的能力和经历,除少数资深科学家作为后盾,平均年龄 40 岁左右,是一支充满朝气和活力、有很强的创新意识的科技队伍。他们有的已成为很受国外实

验室青睐的专业技术人才。

考虑到 CSR 建成后在新一代大科学装置上开展前沿研究工作的需要,自 90 年代我们就着手通过国际交流与合作培养年轻的学术带头人。一方面积极争取国内外资助,分别派出了 11 名 45 岁以下,具有硕士以上学历或副研以上职称的年轻科技骨干长期去德国 GSI、瑞典 Uppsala 大学加速器实验室、日本 HIMAC 等国际著名的科研中心留学,参加原子物理、放射性束物理、辐射生物、重离子在材料和生命科学中的应用研究,另一方面有针对性地邀请外国专家来华交流。

围绕 CSR 工程建设和今后将在 CSR 大装置上开展创新性前沿研究的需要,通过开展国际合作培养专业齐全的人才队伍的特点是,除少数科学家个人行为 and 课题组组织的交流与合作外,主要是研究所层面统一目标、统一规划、统一管理,以研究所名义与国外科研中心协调组织开展全方位、分层次、经费多元化、专业配套化、形式多样化、年龄梯队化、按照工程进展序列化的大合作。

二 主要体会、经验和建议

国际合作与交流对于大科学工程建设发挥了重要的作用。为此,CSR 工程国际顾问委员会主任德国 N.Angert 博士荣获 2002 年度国家国际科技合作奖; 俄罗斯 Parkhomchuk Vasily 教授获 2004 年度国家外国专家“友谊奖”; Parkhomchuk Vasily 教授和德国 Otto Klepper 博士分获 2002 和 2004 年度甘肃省人民政府颁发的外国专家“敦煌奖”,他们是参加 CSR 工程建设外国专家的杰出代表。

通过开展国际科技合作有效地促进大科学工程建设,我们切身感受到: (1) 开展科技合作与交流把握国际发展前沿,在此基础上集成发展创新思想,起点高,收效大。(2) 通过国际合作与交流解决工程关键技术问题,走引进、消化、吸收、创新之路,投资少,见效快。(3) 国际合作与交流是培养科技创新人才的

重要途径。

总结多年开展国际合作的经验,我们认为:(1)围绕大科学工程和重点项目成套整系统地引进智力和技术比简单引进设备成效更加显著。(2)有针对性地选好国外合作单位,尤其是关键领衔科学家至关重要。(3)互利互惠,促进共同发展是高层次国际合作的基础。

对于国际合作管理工作的几点建议:(1)建议探索更加灵活务实的“双引”工作的途径。在以往只是提供外国专家旅费和生活费资助的基础上,探索以适当形式提供部分合作研究项目资助。除经费资助外,还应更加重视让外国专家增强荣誉感。例如对获得地方政府和国家外国专家奖的发给护照样荣誉证书,作为在华旅行、医疗等享受优待的凭证。对于一些外国专家,荣誉甚至比经费作用更大。(2)管理部门应重视与研究所形成互动,以提高工作效率和管理水平。建议管理部门对一些有代表性的项目跟踪调研,评估效益,总结经验,推广典型。成效好的多支持,管理规范、针对性强、显示度高的优先支持。(3)建议把国际合作列入对研究所的评价内容之一。

三 下一步工作设想

根据中长期发展规划,我所将以大科学工程为重要依托,发挥重离子核物理研究基地和国家公共研究平台的优势,发挥国家实验室的辐射带动作用,在重离子核物理、强子物理、高电荷原子与材料辐照效应、重离子驱动高密度物质、离子束辐照生物,如离子束治癌、强流离子加速器与大功率电子加速器等形成国家级创新研究中心,在相关研究领域跻身国际前列。国际合作与交流无疑仍将是我们的科技创新实践的重要组成部分。

另外,作为欧盟第六框架计划项目之一的国际反质子与离子加速器大科学工程(FAIR)于2003年获得正式批准,计划建设期为10年,总投资为9.89亿欧元。这一重大科学工程科学目标明确,技术领先,引起了国际

同行的广泛关注,已有德国、法国、英国等欧盟有关国家和俄罗斯共10个国家已正式签署合作谅解备忘录决定参加合作。FAIR已正式邀请中国、美国和印度作为观察员参加。

中国参加FAIR国际大科学工程科技合作意义重大。正如国际评审专家所指出的,FAIR将为放射性束物理、核-核碰撞、强子物理和重离子驱动的高能量密度物理研究提供在世界范围内独一无二的研究平台,使一些最前沿领域的研究成为可能,将成为开展物质基本结构研究的中心。这一大科学工程发展的加速器和探测器系统在世界上是独特的,技术先进,且极具创新性,对于相应发展应用研究和实现技术创新也将产生深远的影响。中国参加这一大科学工程的国际合作有以下四个方面的意义:(1)可以以平等身份参加国际最先进的科学装置之一的科技合作,为发展创新性的公共研究平台做出我们的贡献,分享其科学和技术发展研究成果,如先进能源的惯性核聚变前期研究。(2)学习和掌握先进的科学思想和技术,为今后我国在相关领域实现跨越发展进行人才和技术储备。(3)争取在国内承担其部分研制任务,将有助于带动提高国内相关工业技术水平,且其中一些技术有潜在的应用前景。(4)承担合作研制任务有助于改善我们自己实验室基础设施条件,促进我们实验室装备的改进和升级。

从专业领域和学科方向讲,我所将是中方参加FAIR国际合作的主要单位之一,参加合作主要方式一是派科技人员出国参加工程建设,二是联合国内有关单位承担系统研制任务。近年我们通过开展国际合作促进CSR工程建设,在创新思想、工艺技术和骨干人才等方面积累形成了优势,得到了国际同行专家的认可,为我们参与国际大科学工程建设的科技合作奠定了基础,参与国际大科学工程前沿研究的科技合作反过来必将进一步促进提升我们的创新发展的能力。