

中美科技合作的经验研究

——以高能物理合作为例

金 炬

(科学技术部, 北京 100862)

摘 要: 本文介绍了中美高能物理合作的历史沿革和当前的主要合作项目, 分析了合作成功的原因, 并揭示了从合作经验中得到的启示。

关键词: 国际经济合作; 科技合作; 高能物理; 中美关系

中图分类号: F41/17; F124.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2010.07.009

一、中美高能物理领域的科技合作是中美科技合作的成功范例

2009年是中美高能物理合作30周年。1979年1月31日,邓小平同志访美期间,中国国家科委主任方毅和美国能源部部长施莱辛格在美国首都华盛顿签订《中华人民共和国国家科学技术委员会和美利坚合众国能源部在高能物理领域进行合作的执行议定书》(以下简称《执行议定书》)。

自《执行议定书》签订以来,中美高能物理联合委员会先后共召开了30次会议,签订了30个中美高能物理合作计划,合作项目累计达到约700项,根据实际工作发展的需要,共执行了350余项。其中前11个中美高能物理合作计划基本上是围绕北京正负电子对撞机(BEPC)、北京谱仪(BES)、北京同步辐射装置的建造进行的;1990年以后的中美高能物理合作计划基本上是围绕机器建成后的运行、改进,以及物理实验进行的;2000年以后的合作是围绕BEPC重大改造和物理实验进行的。中美高能物理合作议定书是中美政府间第一个学科领域内的合作议定书,多年富有成效的合作使中美双方都认为中美高能物理合作是两国签订的中美政府间科技合作协定中的一个典范。

1. 北京正负电子对撞机和北京谱仪

中美高能物理合作促进了500亿电子伏特级(50GeV)北京正负电子对撞机的建设。特别是在人才培养方面尤其突出。20世纪50年代初期,一些在海外学习高能物理的学子回国,着手组建了我国高能物理队伍,但十年动乱,进一步加大了我国与国外的差距。为圆满完成BEPC这一国家重点建设项目,急需培养高能物理人才。在中美合作建设BEPC过程中,中方先后派出100余名科技人员到美国斯坦福直线加速器中心(SLAC)、阿贡实验室(ANL)、布鲁克海文实验室(BNL)、费米实验室(FNAL)、劳伦斯伯克利实验室(LBL)这五个著名高能物理实验室学习和工作。为培养高能物理实验人员,在对撞机建成后马上开展物理实验,30余位高能物理学家被派往美国十几所大学进修,他们都圆满完成了各自承担的任务。这些早期赴美学习和工作的科学家和工程师日后都成为了中国高能物理界的骨干。

在北京正负电子对撞机计划被政府批准后,由21人组成的总体设计考察组在SLAC工作了3个月,短短3个月,考察组就完成了BEPC和BES的初步设计。1984年开始动工,1988年BEPC/BES建成并随即开始进行实验。中国高能物理事业取得的成就,吸引了一批在国外留学和工作的优秀人才回国,成为高能物理事业各学科的骨干。BEPC所造就

作者简介: 金炬(1959-),男,公共管理硕士,科学技术部 副司长;研究方向:国际科技合作。

收稿日期: 2010年1月30日

的这支科技骨干队伍,将迎接21世纪高科技的挑战,肩负起建造 BEPCII, BESIII 和第三代上海同步辐射光源预制研究的任务。

BEPC 1984 年动工,1988 年竣工。为圆满完成这一国家重点建设项目,根据中美高能物理合作协议,中美双方在人才培养、技术转让、设备加工和出口、大型实验室管理等多方面进行了富有成效的合作,为 BEPC 的顺利建成奠定了基础。

BEPC 建造成功,极大地提高了我国在国际加速器界的地位和声望。

北京正负电子对撞机成功建成后,中国科学院高能物理所与美国的六所研究机构和大学签订理解备忘录成立了北京谱仪国际合作实验组,合作组成员同意利用北京正负电子对撞机和北京谱仪进行 J/ψ 、charm、 τ 物理实验。北京谱仪国际合作组成立以后,取得了一系列令人瞩目的研究成果,如: τ 轻子质量的精确测量、2-5 GeV 能区 R 值精确测量、北京谱仪上的系列新发现等。

BEPC 和 BES 建成后,中美双方继续紧密合作,确保了物理实验的顺利开展,取得了一系列令人瞩目的研究成果,后又重点围绕对设备的改造和加强设备的利用而合作,同时将大亚湾核电站中微子实验、散裂中子源项目和上海同步辐射实验装置等内容纳入该渠道的交流与合作中。

2. 大亚湾反应堆中微子实验

中微子研究是当代高能物理学科的一项热门研究,为中美高能物理合作提供了新的机会。中美两国科学家对中微子研究都有浓厚的兴趣,双方通过大亚湾项目共同抓住了这个机会。大亚湾核电站提供了独特的研究环境。中方提出合作研究建议,美方积极响应。美国能源部支持中微子探测器建设的一半费用,约 1000 万美元,占工程总造价的 1/3,其他费用由中方承担,广东核电集团也积极支持这一项目。

大亚湾反应堆中微子实验计划最初是在 2003 年提出的。2004 年 9 月,广东核电集团通过了在核电站现场进行中微子实验的可行性研究,由高能所与中国科学院地质与地球物理所对大亚湾进行现场地质勘测。2005 年 10 月,中国科学院对外宣布大亚湾为实验首选地,并在 11 月的第 26 次中美高

能物理合作联合委员会会议中,邀请到美国专家参与合作。2006 年 4 月,大亚湾的实验现场地质勘探通过专家评审后,中国科学院随即批准数达 5000 万元的实验资金,标志该计划正式“上马”。目前,大亚湾反应堆中微子实验项目已成为中美高能合作的重点领域、中美科技合作的一个新亮点。

3. 北京正负电子对撞机重大改造工程

2003 年,我国政府正式批准了北京正负电子对撞机重大改造工程(BEPCII),双方合作的重心转向了工程改造方面。从 2003 年起,中美双方签定了三个年度高能物理合作计划,包括 87 个合作项目,涉及加速器和北京谱仪改造及其他新的合作领域。

中方投入 6.4 亿元;美方主要是以人员和技术咨询的方式投入。

通过中美合作,2008 年,BEPC 和 BES 的改造工程顺利完成。改造后的设施性能有很大提高,预期可在 charm 和 τ 物理研究领域做出具有世界水平的工作。

4. 同步辐射光源、散裂中子源、自由电子激光

中美高能物理领域的合作还在向更广阔的领域扩展,如同步辐射光源、散裂中子源、自由电子激光。上海同步辐射光源已在 2008 年建成并投入运行,中国散裂中子源在 2008 年开始建设,这些大型科学装置的规划、设计和建造工作都得到了美国科技界同行的技术支持。

二、中美高能物理合作的成功原因

中美高能物理合作的成功要素主要是两国政府的重视和支持,科技界杰出人物的领导,世界高能物理学科发展的需要,互利双赢。

1. 两国政府的重视和支持

中美高能物理合作是 1979 年初邓小平同志与时任美国总统卡特先生亲自开拓的,是中美政府间第一个学科领域的合作协议。30 年来,中美高能物理合作取得了丰硕的成果,并带动了中美在许多其他学科领域的合作。

30 年中美高能物理合作开了 30 次高能物理联委会,这在中美科技合作协定的 30 多个领域议定书中是绝无仅有的。美方的协调单位是美国政府能源部科学局,中方协调单位是中国科学院国际合作

局和中国科学院基础科学局。该联委会在两国政府的领导下,成为两国高能物理领域合作的计划交流平台。

大亚湾反应堆中微子项目的经费落实体现了两国政府的支持。

从科研经费角度说,两国政府都为高能物理的研究提供了经费。美国能源部科学办公室为高能物理研究(HEP)每年提供7亿~8亿美元的研究经费,具体而言,2007~2009年的经费分别为7.52亿、6.89亿、7.98亿美元^①,这些经费为中美高能物理合作提供了一定的经费保障。

2. 两国科技界杰出人物的贡献

关键人物的支持与参与是中美高能物理合作成功的要素。邓小平是中美高能物理合作的首倡导和领导者。周光召、路甬祥作为中国科学院院长参加了多次中美高能物理联委会,周光召自1986~1997年作为中方主席参加了共12次高能物理联委会^②,陈和生长期担任中国科学院高能物理所所长,参加了几乎所有的中美高能物理联委会,为组织、协调和实施中美高能物理合作计划做出了巨大的努力和贡献。中国科学院基础科学局的历任局长也对该合作给与了长期的支持。

美方为Robin Staffin、李政道、帕诺夫斯基。Robin Staffin博士是美国能源部基础科学局副局长,长期作为中美高能物理联委会美方主席,为推动中美高能物理合作做出了贡献。

李政道先生对世界高能物理的发展做出了巨大贡献。他一直热心中国高能物理事业的发展,并为此做出了不懈努力。在70年代末,他回国系统讲学,把国际高能物理研究的最新进展带给国内同行。1981年年底,他向邓小平同志建议建造北京正负电子碰撞机,他强调,高能物理是一门极为重要的学科,其所用到的技术都是当前先进的,因此,发展高能物理同时可以引进高技术。后来的实践证明:建立BEPC为一个发展中国家提供了高能物理前沿发展的可行途径。

李先生亲自促成了中美高能物理方面长期的合作。从1979年开始30年来,他一直作为中美高能物理联委会的美方成员,大力争取美方高能物理学界的帮助,来解决我国在设计和建造BEPC中遇到的种种技术问题。^③李政道多年来为中美高能物理合作献计献策,发挥了纽带的作用,为推动这一合作做出了杰出贡献。

美国斯坦福直线加速器中心(SLAC)前所长潘诺夫斯基教授在中美高能物理合作中扮演了关键的角色。他积极帮助中国选定了北京正负电子对撞机方案,并亲自安排接待中方的设计考察团。为保证BEPC建造成功,他派专家来华工作,并安排中方BEPC部件采购人员常驻SLAC,解决在采购中遇到的各种问题,他本人也积极疏通美国有关部门帮助解决了BEPC的采购问题。他还每年来华访问一到两次,帮助解决出现的重大技术和管理问题。BEPC建成后,他在各种场合高度称赞中国科学家所取得的成就,在国际上产生了重大影响。^④在他的建议下,中方一方面着手工程建造,另一方面着手进行物理实验的准备工作,先后召开了对撞束物理、Charm物理和同步辐射应用方面的工作讨论会,为后来BEPC建成后取得的丰硕物理成果打下了坚实的基础。

3. 世界高能物理学科发展的需要

中美高能物理合作的成功与世界高能物理学科发展的需要紧密相关。高能物理是人类探索自然的一门重要学科,高能物理领域大科学的发展为双方的深化合作带来了新的机遇。

美国能源部支持高能物理研究的基本目的是探索宇宙本质的基本问题,包括该领域科学发现的3个目标:在能源前沿方面,探索宇宙的构成和结构;在粒子强度前沿方面,探索自然界稀有事件;在宇宙前沿方面,通过了解太空粒子的自然来源揭示宇宙的本质。美国能源部将为完成这些目标开发新技术,包括高能物理的大型科研装置,并培养下一代科学家^⑤。

① High Energy Physics Budget & Process. http://www.science.doe.gov/hep/hep_budget/index.shtml. 2009-12-5

② 中美高能物理联合委员会历次会议简介. <http://www.ihep.cas.cn/zl/huitan/huitan.htm>. 2009-12-5

③ 李政道. 国家科技合作奖风采. 中国科学技术部国际合作司等编. 五洲传播出版社. 2007.12. 第12页

④ 沃尔夫冈·帕诺夫斯基. 国家科技合作奖风采. 中国科学技术部国际合作司等编. 五洲传播出版社. 2007.12. 第94页

⑤ Office of High Energy Physics. <http://www.science.doe.gov/hep/index.shtml>. 2009-12-6

大亚湾中微子项目就是来自学科前沿发展的需要。全世界的物质由 12 种基本粒子组成,其中 3 种是中微子。科学界一直对中微子了解甚少,只知它不带电荷,也几乎不与任何物质发生相互作用,所以研究起来十分困难。直到 1998 年才出现转机,日本的超级神冈实验发现中微子存在振荡现象,即一种中微子在飞行中可以变成另一种中微子,合理解释了令人困惑几十年的太阳中微子失踪之谜和大气中微子的反常现象。其后,加拿大的 Sudbury Neutrino Observatory(SNO)实验在 2001 年证实了消失的太阳中微子变成了其它种类的中微子,而 3 种中微子的总数并没有减少。

自 2002 年瑞典皇家科学院把诺贝尔物理学奖颁予两位研究太阳中微子的科学家(日本的小柴昌俊和美国的雷蒙德·戴维斯)后,中微子研究成为高能物理学科内一股新的热潮,中美大亚湾中微子实验合作正是在这一背景下展开的。

中美联合建设的中微子实验室虽然建于核电站附近,但内容却与核能发电无关。研究是利用核分裂生成的大量电子反中微子来测定一个具有重大物理意义的参数——中微子混合角 θ_{13} 。 θ_{13} 的数值极细,但它对宇宙起源、粒子物理大统一理论、以及未来中微子物理的发展方向等均有极为重要的意义。大亚湾实验的目标希望把 θ_{13} 所测得数值的灵敏度比现在提高一个量级以上。 θ_{13} 的探测将有助于解释宇宙之谜。

4. 互利双赢

中美高能物理合作是一项富有成效、对双方都有好处的合作,30 年来,年年都有高能物理联委会,年年都有学术研讨会,特别是有科学家之间的十分具体的合作与交流。延续如此之久,而不断有新的内容增加,说明它是互利双赢的合作。

以大亚湾反应堆中微子实验为例,大亚湾核电站提供了独特的地理位置和环境,使中微子实验降低了成本。大亚湾地区的大亚湾核电站与岭澳核电站相距约 1 公里,当前共有 4 个反应堆,每个核电站各两个,总热功率为 11.6 吉瓦。岭澳二期的两个反应堆将分别在 2010 年与 2011 年开始发电,届时将成为世界第二大的反应堆群。距反应堆 300~500 米外是高达 100 米以上的排牙山。山体由整体的花

岗石构成,适合开凿隧道,并建立较大的地下实验室。其它地方的核电厂反应堆与反应堆之间距离较远,能源分散,而且附近不适宜建实验室。大亚湾能提供强大的中微子源,而且比邻高山,便于建设地下实验室,阻挡宇宙射线对实验的干扰。在全世界的核电厂中,同时具备这两项优势的可谓绝无仅有,大亚湾反应堆的地点优势独一无二。

当前的中微子实验来源可分为两大类,一种是来自太阳内部核聚变生成的中微子,其来源的优势是恒常稳定,但由于距离地球遥远,所需的探测器亦异常巨大,位于日本中部神冈的 Super-Kamiokande 实验设备是在一个地下 1000 米的巨大水槽内放置 50 000 吨的极纯重水。

另一种就是大亚湾的类型,利用核子反应堆内核分裂所生成的中微子作实验源。由于离中微子源较近,所需探测器的体积可以大大缩小。而在大亚湾的实验设计中,分布于反应堆四周的探测器可利用路轨相互交换位置,以修正误差。

美方在这项合作中借助了中方的地点优势,节省了研究经费。中方在这项合作中借助了美方先进的研究设备,也节省了项目经费。中美双方商定了该项目的合作经费分担方式,美方承担探测器 50% 的建造费用,中方负责探测器另一半的建造费用和地下实验室的工程建设费用。此外,中方学习了美方大科学装置的发展规划和多学科实验室的管理模式,提高了中方规划和管理水平。中国科学院高能物理研究所还借鉴美国国家实验室的管理经验,顺利地解决了从建造向运行和物理实验的过渡,成功地开展了物理实验以及对撞机和探测器的性能改进。到目前为止,BEPC 的亮度比最初增加了 2 倍因子,建成用于同步辐射实验的 11 条光束线。综上所述,双方实现了互利共赢的紧密合作。

三、中美高能物理合作的启示

中美高能物理合作非常具体、非常务实,是中美两国政府科研机构之间实质性合作的范例。该领域中美科学家形成了紧密的合作关系,这是其他合作领域所不多见的。中美科技合作要成功需要很多相关因素的配合,合适的时间、地点和人物,有共同愿望和各自的经费,做共同感兴趣而且互利双赢的

事情,这其中哪个因素缺乏都可能使合作落空。但中美高能物理合作的经验表明任何成功的合作都离不开两国政府及行政主管部门的支持、离不开两国科技界领导人的支持、离不开学科或领域发展的客观需要、离不开合作双方互利共赢的基础。这些都是中美高能物理合作取得成功、成为中美科技合作典范的原因。

中美高能物理合作如此成功,与该领域的基础研究特点相关,因此,美方态度比较积极,积极参与了 BEPC 和 BES 的建造、改造和建成后的实验,积极协助了同步辐射光源、散裂中子源、自由电子激光的规划、设计和建造工作。目前,美方正在积极参与大亚湾反应堆中微子实验的合作。美方愿意看到中国在国际直线对撞机国际合作中扮演重要的角色,接受中国在世界高能物理领域有一席之地。

30 年来中美高能物理合作的参与者队伍也在不断扩大。在美国,除了美国政府能源部下属国立实验室外,有越来越多的大学参与该合作,如哥伦比亚大学、明尼苏达大学、卡内基梅隆大学、佛罗里达大学、罗切斯特大学、伦斯勒理工学院以及康乃尔大学等,美方各大学的代表已参加中美高能物理联委会多年。在中方,也有越来越多的大学参与该合作,但尚未有中国其它大学的代表参加该联委会。美方的国立实验室和大学接收越来越多的来自中国各个大学的科学家,而不像过去主要集中在中

科院系统。中科院参与中美高能物理合作的单位主要是高能所(负责北京正负电子对撞机、北京谱仪、中国散裂中子源、大亚湾反应堆中微子实验)、上海应用物理所(负责上海同步辐射装置)。

目前,中美高能物理合作的气氛是热情、友好的,合作局面可以说是“天时、地利、人和”。双方现在都有在相关领域如超导高频系统、国际直线对撞机研发和洁净能源装置等方面进一步加强合作的共同愿望。双方一直共同努力吸引和鼓励更多的美方物理学家和实验组参加北京谱仪国际合作、宣传国际直线对撞机对发展高能物理学的重要作用,特别是让舆论和政府部门理解它的重要作用。在双方共同努力下,这一合作有望推向新的高潮。■

参考文献:

- [1] High Energy Physics Budget & Process. http://www.science.doe.gov/hep/hep_budget/index.shtml. 2009-12-5
- [2] 中美高能物理联合委员会历次会议简介. <http://www.ihep.cas.cn/zt/huitan/huitan.htm>. 2009-12-5
- [3] 李政道. 国家科技合作奖风采. 中国科学技术部国际合作司等编. 五洲传播出版社. 2007.12.第一版. 第 12 页
- [4] 沃尔夫冈·帕诺夫斯基. 国家科技合作奖风采. 中国科学技术部国际合作司等编. 五洲传播出版社. 2007.12.第一版. 第 94 页
- [5] Office of High Energy Physics. <http://www.science.doe.gov/hep/index.shtml>. 2009-12-6

Empirical Study on China

——U.S.Cooperation in Science and Technology with a Case of the Collaboration in High Energy Physics

JIN Ju

(Department Of International Cooperation, Ministry of Science and Technology, Beijing 100862)

Abstract: This paper summarizes the history of China-U.S. collaboration experience in high energy physics including its present projects and analyzes the factors for the success of this collaboration as well as reveals the enlightenment drawn from the experience.

Key words: China-U.S. cooperation in science and technology; high energy physics