

李政道先生与中国 高能物理发展

王贻芳

(中国科学院高能物理研究所 100049)

“物之道：道生物，物生道，道为物之行，物为道之成，天地之艺物之道。”

在高能所大院门口矗立着一座名为“物之道”的雕塑，雕塑正面镌刻着这首诗，作者是李政道先生。李先生为推动中国高能物理的发展以及我国第一台大科学装置——北京正负电子对撞机的建设呕心沥血、竭智尽力，陪伴和见证了我国高能物理事业艰难而又成功的步伐，为中国的高能物理发展做出了无人可以替代的巨大贡献。半个世纪以来，我国高能物理研究蓬勃发展，取得了令世界瞩目的成就，这一切与李先生几十年来的大力支持与帮助是分不开的。

一、中国高能物理的起步

建国伊始，我国高能物理实验研究一片空白。建立于1950年的中国科学院近代物理研究所（高能所前身，1953年更名为物理研究所，1958年再更名为原子能研究所）是新中国亚原子物理研究的发源地。1956年，我国制定的第一个科学发展十二年远景规划首次提出了建造一台高能加速器的设想，此时国际高能物理研究也刚刚进入第一代大型加速器实验阶段。但中国的高能加速器计划却经过二十多年“七上七下”的曲折，直到1984年北京正负电子对撞机和北京谱仪开工建设才真正起步。李先生在这其中起到了关键作用。

1972年美国总统访华，中美关系改善。9月，先生和夫人回到了阔别已久的祖国，受到了周恩来总理的接见。在与周总理及张文裕先生讨论云南站

的宇宙线研究成果中，李先生首次提出了中国应考虑建造一个小型正负电子对撞机的建议。中国领导人认真考虑了李先生的建议，支持了中国学者提出的发展高能物理实验的愿望。不久，周总理在给张文裕等18位科学家的回信中说：“这件事不能再延迟了……。”1973年2月1日，中国科学院高能物理研究所成立，中国的高能物理研究开始走上正轨。

1975年，中国政府批准建造一台400亿电子伏特(40 GeV)的质子同步加速器(BPS)。这就是“七五三”工程。虽然李先生在物理上不赞成这个方案，也担心这个计划困难太多。除去经济能力和政治决心之外，还要得到国外特别是美国各大加速器实验室的技术帮助。但他还是亲自与美国能源部和布鲁克海文国家实验室(BNL)联系，邀请中国考察团去BNL访问。那时候中美还没有正式建交，他花费了大量的时间和精力与美国政府和能源部沟通协调，并安排培养加速器和实验物理方面的人才。

1979年1月李政道先生写信给方毅副总理，提出了《关于培养高能实验物理学者的一些建议》。在写信之前，他与美国二十多所大学和三大国家高能实验室，即BNL、费米国家加速器实验室(FNAL)和SLAC国家加速器实验室(SLAC)进行了联系，希望接收来自中国的访问学者。他的请求获得了这些大学和实验室的同意。很快我国政府也接受了李先生的建议，并立即开始了派遣学者的选拔工作。到该年7月，以高能所为主的研究单位向美国五大国家实验室和部分大学以及欧洲核子中心派出了近40名学者，即“李政道学者”。这一举措，为

后来的北京正负电子对撞机和中国高能物理研究培养了关键人才。

1979年1月29日,邓小平访问美国,翻开了中美两国关系的新篇章。在小平同志到访前一周,李先生与以林宗棠为首的赴美考察团讨论、落实了美国高能物理相关的国家实验室与中国合作的具体项目,并积极推动两国政府签订一个正式的合作协定。在很短的时间内,李先生协调了中美两国政府,在邓小平与卡特签订了中美科技和文化合作协议的同时,由方毅副总理和美国能源部部长施莱辛格签订了《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协议》,这是中美科技合作协定下的第一份执行协议,为中美之间高能物理的40年成功合作奠定了基础。

在协议的框架下,李先生建议成立了中美高能物理联合委员会。第一次会议于1979年6月在北京饭店召开。更是在李先生的积极争取下,6月12日中国国家科学技术委员会和美国能源部正式签订了《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协议的附件》和《一九七九年六月至一九八零年六月中美高能物理技术合作项目》两个协议。中美在高能物理领域的合作正式开始,这也是中美科技合作的最早项目。

二、北京正负电子对撞机

北京正负电子对撞机是我国第一台高能加速器,1988年10月,实现第一次正负电子对撞,《人民日报》称“这是我国继原子弹、氢弹爆炸成功、人造卫星上天之后,在高科技领域又一重大突破性成就”,“它的建成和对撞成功,为我国粒子物理和同步辐射应用开辟了广阔的前景,揭开了我国高能物理研究的新篇章”。从物理目标的选择到加速器方案的确定,从人才培养到工程管理,从物理研究到国际合作,没有李先生殚思竭虑和全力以赴,就不会有北京正负电子对撞机的建设和成功。

1981年3月,在中国高能物理方案经过“七上

七下”,大家一筹莫展时,李先生召集中美科学家一同研讨,以防中国高能物理又会错过发展时机,再遭严重挫折。会上,他和美国SLAC时任所长潘诺夫斯基正式提出建造44亿电子伏($2 \times 2.2 \text{ GeV}$)质心能量的正负电子对撞机,研究粲物理。他们认为这样一台对撞机作为中国高能加速器的起步,在技术上是先进的,可以带动中国的高科技;物理窗口是广阔的,有丰富的研究课题;同时可以产生同步辐射,有极大的应用价值。这个建议得到中国高能物理学家的广泛支持。1981年底,李先生亲自向小平同志介绍了这一方案,获得了支持。小平同志认为,这是中国科技界与国外交流的一个重要方向,尽管花了一些钱,但是却改善了国外科技界跟我们的关系,建立了各种学术联系。在李先生的帮助下,高能物理所开始进行设计和预制研究工作。1983年4月,国务院正式批准BEPC工程立项。

李先生支持北京正负电子对撞机,承担了巨大的压力和风险,倾注了全部心血和智慧。在几乎没有基础的中国高能物理和加速器界,建设亮度比SPEAR高一个量级的正负电子对撞机(SPEAR是发现了tau和charm,获得两个诺贝尔奖的加速器),在许多人看来简直是天方夜谭。但李先生押上了自己的声誉,全力投入到这项事业中。他仔细分析了利弊和成败因素,利用自己的影响,创造各种渠道,花了很大精力推动和组织美国能源部所属的五个国家实验室在物理、技术、工程、人才上支持和帮助中国建造加速器和探测器,并亲自参与各种讨论,协助发现和解决大大小小的各种问题,促进了中国高能物理和加速器队伍的成长。

1984年10月,小平同志来到高能所为对撞机工程奠基,他听了汇报,明确地说:“我相信这件事不会错!”。他还特地感谢李先生为中国高能物理发展做出的努力。1988年10月,在中外科学家的共同努力下,BEPC和北京谱仪(BES)高质量完成了建设,实现了对撞。在庆祝典礼上,党和国家领导人在李先生的陪同下参观了对撞机,小平同志发表了“中国必须在世界高科技领域占有一席之地”的著名讲话。

BEPC只用了4年就完成建设,即使在有对撞机基础的国家,也几乎是前所未有的。其建造成功,使中国人掌握了高能加速器、探测器技术,以及同步辐射的应用技术,对国内相关产业发展起到了巨大的推动作用。投入运行后,迅速达到了设计指标,取得许多重大物理成果,在粲物理研究方面处于国际领先,成为世界八大高能加速器中心之一,在世界高能物理领域占有了一席之地。北京同步辐射装置成为我国主要的广谱同步光源,为多学科交叉前沿研究提供了大型平台。

回过头来看,建设北京正负电子对撞机是一个无比正确的决定,是当时所能做的一个最好的决定。首先科学意义重大,建成以后一直在出重要成果,BES国际合作组,发表重要物理文章167篇,包括 τ 轻子质量的精确测量、R值测量、6夸克态的发现等,使粲物理研究成为国际粒子物理研究的热点之一。最近我们论证这台在2008年改造完成的机器,还能运行10年,加起来一共有超过40年的科学寿命,成为世界上少有的长寿加速器。中国的高能物理学界十分幸运地获得了长达四十年发展空间。其次造价低,比原来的50GeV质子加速器方案便宜很多,包括初期建设和后来的改造,一共花了8.8亿。这样的一台8.8亿的设备让全国的高能物理学者近千人用40年,是极为划算的。第三是技术含量高,能支撑同步辐射应用,我国的北京同步辐射光源、上海光源、散裂中子源和现在正在怀柔建设的高能同步辐射光源的建设队伍,都来源于高能所的这支队伍。

三、北京正负电子对撞机重大改造工程(BEPCII)

20世纪末,中国的高能物理发展路线曾有过一次大讨论,从1994年起,在李先生和潘诺夫斯基教授支持及国内同行的积极参与下,我国高能物理界开始了“ τ -粲工厂”的预制研究,由于各种原因这一方案最终没有获得国家支持,但依旧锻炼了队伍,为以后的BEPCII/BESIII的建造打下了坚实的基

础。2000年,高能所提出了我国的高能物理和先进加速器发展目标,提议对BEPC进行重大改造,李先生本着有利于我国高能物理发展的初衷,一如既往地支持BEPCII的改造方案。终于BEPCII及相关的中国高能物理发展战略获得了中央的原则同意。其后,高能所的科学家们考虑到国际竞争态势的变化和国际高能加速器的最新发展,提出了在原有隧道中的双环方案,这就集合了 τ -粲工厂方案的高指标和原BEPCII方案利用原有隧道的低成本这两个优点,使对撞亮度提高到100倍。但问题是中央已经原则批准的方案还能改吗?经费从4亿涨到6.4亿能得到批准吗?在此关键时刻,李先生对这个新方案表达了坚定的支持立场,出面与各方面沟通并写信给中央领导,解释了方案改变的原因与理由,希望能得到支持。最终,在各方面的努力与支持下,新的BEPCII方案得到国家发改委的批复同意,于2004年正式开工建设。这时离大家开始讨论 τ -粲工厂,已过去了10年。

前文中提到李先生在1979年设计成立了中美高能物理联合委员会,由美国能源部负责高能物理的最高官员及国家实验室的高能物理负责人参加。李先生每年都会亲自参加,从不间断直至2011年。早年这个委员会实际上就是BEPC和高能所的国际顾问委员会,它组织了美方单位帮助BEPC开展设计与研制,大力推动了BEPC的建设和高能所的发展。随后在李先生的建议下,美方一些单位正式参加了BES合作组,参与物理分析,推动BES走向国际化。在20世纪90年代初,美方还贡献了几百万美元参与BES的升级改造。由于中方的技术与能力进步,除了个别的特殊技术与一般的方案与技术评审之外,BEPCII的设计与研制基本上不需要美方参与。但李先生仍然十分关心BEPCII的研制工作进展,在每年的中美高能物理联合会上,他不厌其烦,询问细节,安排各种所需要的帮助,并组织评审和技术交流。

我亲身经历的一个感人场面是有关新的北京谱仪(BESIII)超导磁铁。这台磁铁长3.5米,直径3

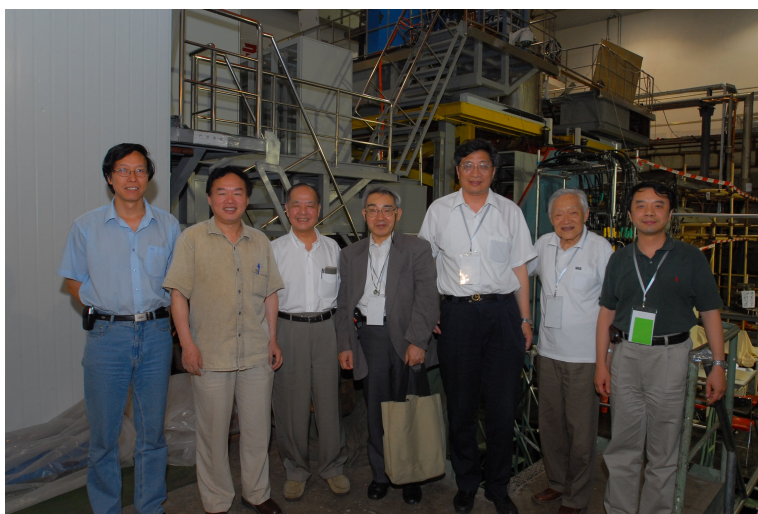


图1 2007年6月11日晚,李政道先生(左3)亲临超导磁体研制现场

米,磁场强度1特斯拉,是当时国内最大的单体超导磁体。研制大型超导磁体的难处在于无法分步测试并做修改,只能在全部制造完成后才能测试,这时如果有问题也无法修改了。这是BEPCH II 风险最大、价格最高的单体设备,2007年6月在“Workshop on Possible Parity Restoration at High Energy”的晚宴上,我们告知李先生,一小时前超导磁体励磁成功。他非常激动和高兴,当场表示要去看看大家。晚宴结束之后,81岁高龄的李先生深夜11点来到现场,慰问课题组成员,祝贺并感谢大家的努力,给大家莫大的鼓舞。

在BEPCH II 完成建设任务于2008年开始运行时,李先生发来贺信。2016年,BEPCH II 的峰值亮度达到了 $1 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 的设计目标,李先生又一次发来了贺信。BESIII 实验获取了大量的实验数据,在粲物理、粲偶素、轻强子、量子色动力学等方面取得了大量成果,其中 $Z_c(3900)$ 的发现被美国《物理》杂志评为2013年全球最重要的物理成果,至2020年底,共发表文章300余篇,其中*Physical Review Letter* 64篇,在 τ -粲物理领域继续保持国际领先地位。

四、大亚湾反应堆中微子实验

2003年,高能所提出在大亚湾建造一个中微子探测装置,寻找一种新的中微子振荡,并测量其振

幅($\sin^2 2\theta_{13}$)。李先生知道了以后并未立刻表态。回美国以后,他花了相当多的时间阅读文献,找国际上的相关专家研讨,并与美国能源部科学局高能物理办公室沟通,了解他们的态度。最终他在2004年表态支持这个项目,并强烈支持中美合作开展这个项目。几十年来,李先生对高能物理的支持从来都不是口头上的,都会投入大量精力,付诸实际行动。由于他在国内外的地位和影响,他的作用有时是具有决定性的。

当时,美国也有两个类似的反应堆中微子实验方案,分别在东西海岸。事实上,当时国际上还有好几个方案,显然不可能都得到支持。大家都在组建国际合作团队,设法合并别人,以壮大自己的声势,提高获得各自政府支持的可能。由于历史上的原因,高能所跟美国伯克利国家实验室领导的西海岸团队达成了合作意向,实际上是各自希望对方参加自己的项目。在这个过程中,双方都想争取主动,采用自己的方案。在复杂的竞争中,李先生出面积沟通协调,支持了中方的努力,最终推动了中美合作的大亚湾中微子实验合作组的成立。这是中美两国首次有这样规模的大型基础科学合作,有八所美国大学和国家实验室的科学家参加,得到美国能源部的大力支持,提供建造探测器一半的经费。另一方面,针对中方经费与立项的困难,李先



Workshop on
“Neutrino Physics in the Daya Bay Era”

“大亚湾时代的中微子物理”研讨会


2010年11月4—5日

清华大学高能物理研究中心, 北京大学高能物理研究中心
中国科学院高能物理研究所, 中国高等科学技术中心 联合举办

2010年11月4日上午9:00—12:00 — 首场学术报告会

演讲题目: 主持人: 叶铭汉
李政道(哥大): Deviation of Lepton Mapping Matrix from the Harrison-Perkins-Scott Form
王贻芳(高能所): Overview of the Present and Future Neutrino Experiments
何红建(清华): Prediction of θ_{13} from Common Origin of Mu-Tau and CP Symmetry Breaking
廖益(南开): Cascade Seesaw for Tiny Neutrino Mass
刘纯(理论所): Supersymmetry Theory of Fermion Masses and its θ_{13} Prediction
马伯强(北大): Unified Parametrization of Quark and Lepton Mixing Matrices

特别邀请诺贝尔奖获得者、哥伦比亚大学教授、
中国高等科学技术中心主任李政道先生作开幕报告。
欢迎参加。



地点: 中关村东路55号, 中科院基础园区报告厅
联系电话: 62568350, 62617857

图2 “大亚湾时代的中微子实验”讨论会海报

生积极与有关部门沟通,并两次给中央领导写信,陈述大亚湾实验的重要意义,推动有关部门的立项准备工作。在科技部的协调下,在各方人士及有关领导机关的大力支持与创新性的努力之下,主要由科技部、科学院、基金委、广东省、深圳市、中广核集团及美国能源部联合支持的大亚湾实验终于在2007年正式启动了,并得到中国香港和台湾地区、捷克、俄罗斯等国家和地区的支持。这样的国际、国内合作项目在当时的国内是前所未有的。

李先生的支持,使大亚湾实验的准备工作,无论是在国内还是国外,都顺利推进了。在建设过程

中,我们也多次遇到各种困难。李先生经常过问,并主动提出帮助协调。同时他还积极组织科学研究的准备工作。2010年11月,在他的提议下,我们组织了“大亚湾时代的中微子实验”研讨会,李先生亲自参加,并报告了他自己关于中微子振荡研究的新成果。为支持国内科学期刊的发展,李先生还同意将自己的文章发表在《中国物理C》上。

2012年3月,大亚湾实验组获得了首批数据,准备发布重大结果。经过讨论,合作组同意把即将投稿的文章发给李先生过目,以表达我们对他最大的敬意及感谢。他是合作组外看到文章的第一

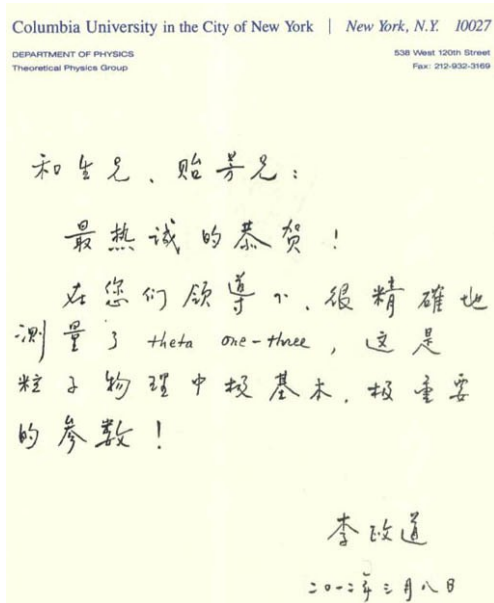


图3 大亚湾实验成果公布时,李先生的贺信

人。李先生看完文章后立即发来了贺信,并以让人极度不安的方式对我们这些晚辈表达了鼓励。从中我们也看到了李先生的人品、修养和气度。

大亚湾反应堆中微子实验发表了精确测量 $\sin^2 2\theta_{13}$ 的结果,首次以5倍的标准差排除了 $\sin^2 2\theta_{13}$ 为0的可能性,确认了第三种中微子振荡模式的存在,得到了国际粒子物理学界的高度评价。这项成果被美国《科学》杂志评为2012年十大科学突破之一。大亚湾中微子实验成功打开了未来中微子物理研究的大门,使国际上一系列新的中微子实验得以实施,使我国的中微子实验研究从无到有并走到了世界前列。没有李先生的帮助,我们也许不会这么快取得成果,或在时间上失去先机而成为后来者。

五、从 BEPC 到 CEPC, 中国高能物理面临的重大机遇

BEPC 对发展我国科学技术的战略意义重大。从1988到今天,我国高能物理实验领域以北京正负电子对撞机的建成为基础和起点,取得了令世界瞩目的进展:我们能独立设计建造加速器、探测器并开展物理研究;在2~5 GeV能区的 τ 物理、粲物理、粲偶素、量子色动力学检验等方面走到了世界前

列;开拓了中微子研究领域,利用大亚湾反应堆中微子实验发现了中微子新的振荡模式,精确测量了其振荡幅度,并开始了江门中微子实验的建设。同时,我们在高海拔和空间宇宙线实验、暗物质探测、X射线天体物理研究等方面也取得了长足的进步,“慧眼”卫星正遨游太空,LHAASO高海拔宇宙线探测设施建设完成并已经取得重大成果,未来的空间探测卫星和空间站实验正在准备中。在此基础上,北京高能同步辐射光源、东莞散裂中子源等大型多学科交叉研究平台的建设和应用也从无到有,迅速发展,成为国家科技创新体系的重要单元,也逐步成为国际领先的实验基地。在科技创新和成果转化、人才培养方面,高能所也取得了一系列骄人成绩。

三十多年来,在李先生的帮助和支持下,中国的高能物理取得了巨大的进步。而未来30年,将是中国科技发展的另一个关键期,我们要从“追赶”成为“领跑”。自希格斯粒子的发现后,国际高能物理学界普遍认为对它的深入研究极为重要和迫切,是探索标准模型新物理的最好窗口。我们在国际上首先提出了建造质心能量为90~240 GeV的高能环形正负电子对撞机(CEPC)的设想,并在同一隧道中适时建设超级质子对撞机。作为北京正负电子对撞机以后的下一代中国高能加速器,这一项目给我国的高能物理发展提供了一个追赶、领跑的绝佳机遇,将使我们从占有国际上的“一席之地”,到成为“国际中心和引领”。我想李先生四十年的心血与努力,就是为了看到这一天。这是我们中国高能物理学家的梦想,也是我们的中国梦。CEPC在提出后便在质疑和争议中前行,参与CEPC的科学家、工程师们百折不挠,预研工作正如火如荼进行着,一批关键技术取得了卓有成效的进展。相信在未来的30年中,在李先生为我们奠定的基础上,我国高能物理和先进加速器发展会再上一个台阶,我国的基础科学研究将迎来又一个辉煌时期。

作者简介:王贻芳,中国科学院高能物理研究所所长,中国科学院院士,俄罗斯科学院外籍院士,第三世界科学院院士。