

## · 科学家在想什么 ·

“科学家在想什么”是本刊在专家的建议下开辟的新栏目，将不定期刊出。本栏目试图通过介绍科学家对自身研究领域的关注热点、研究计划、研究目标及其对研究前景的展望，来提升读者对相关科学领域的认知高度和深度。希望有关专家、学者踊跃投稿，以保证此栏目繁荣。

# 建设大型加速器 实现科学梦

王贻芳

(中国科学院高能物理研究所 100049)

在 2012 年欧洲核子中心发现希格斯粒子以后，基础物理学的发展面临一个转折点和一个难得的机遇。我们建议建设一个世界上最大的加速器基地，研究希格斯粒子及相关的科学问题，并寻找未来发展的突破口。该项研究将需要使用和发展世界上最先进的加速器、机械、电子、微波、低温超导、计算机及网络等技术，可以大大推动相关领域的发展。该研究将有国内外上万名科学家与工程师直接参与，要用国际化的方式运作、管理，因此需要建设一个国际化的大型科学研究中心。建议以国家、地方、企业与个人捐赠的方式筹集经费，并吸引相关设备服务企业及国内外大型研究机构进驻，建设一个大型国际研究中心、地下加速器设施及配套的国际科学城，发展成为一个世界科学中心。在未来 20 年内，随着中国经济实力的发展，中国应该拥有这样世界顶级水平的大型科学研究中心并引领世界科技的发展。

## 大型环形加速器的设想

2012 年 7 月 4 日，欧洲核子中心 (CERN) 宣布大型强子对撞机 (LHC) 上的实验发现了人们期待已久的希格斯粒子，这是人类对物质世界认识的一个里程碑：一方面标准模型里的基本粒子全都找到了，我们似乎完成了对物质结构的理论描述；另一方面一个超出标准模型的新时代开始了。

科学家们都认为标准模型并非终极理论，在某种程度上类似于有效理论，因为标准模型有许多令人困惑的地方。比如为什么基本粒子从中微子到顶夸克的质量相差如此之大（等级性问题）？希格斯粒子的质

量来自于辐射修正的大数相消，为什么这么巧（自然性问题）？从实验数据上看，弱电和强相互作用为什么在高能下不能统一一致？暗物质粒子都是些什么样的粒子？为什么这些问题在超对称理论模型中似乎都能得到解决？是偶然的吗？否则，为什么我们在欧洲大型强子对撞机 (LHC) 上没有发现？是能量和亮度太低吗？

科学家们自然开始讨论：基础物理学将向何处发展？许多人集中在讨论大型强子对撞机 (LHC) 及其升级版和国际直线对撞机 (ILC) LHC 能做什么，另一些人提出建造一个环形正负电子对撞机 (Higgs 工厂)。国内的科学家们还讨论了北京正负电子对撞机 (BEPC II) 在 2020 年完成其科学使命之后，我们的发展目标是什么？许多人认为，LHC 和 ILC 可能会给我们一些提示，也可能会发现一些新粒子，但无法给出全部回答。在 2012 年 9 月的一次讨论会上，有人为我国高能物理的发展提出一个新的方案：在我国建设一台周长 50~70 km 的环形正负电子对撞机 (Higgs

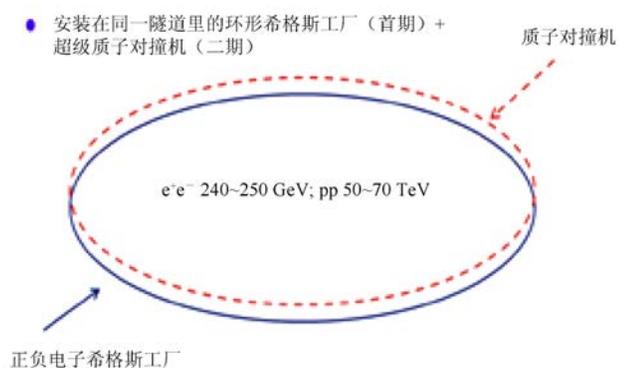


图 1 大型环形加速器的设想

工厂)，如图 1。能量为 240 GeV。这可以大量产生希格斯粒子，精确研究其性质，寻找回答以上科学问题的线索。运行若干年后，在同一隧道内建设一台质子-质子对撞机，能量超过现在 LHC 的 7 倍，以寻找新的物理现象与新粒子，回答以上问题。根据一些与模型无关的分析，如自然性问题等，新物理估计在这个范围内。

该方案立刻传布到国外，并于 2012 年 10 月首次在国际会议上报告，产生了重大影响。大型环形质子对撞机成为大家讨论的焦点，并成为未来发展的一个重要方向。欧洲于 2013 年初将其纳入粒子物理发展路线图的范围，欧洲核子中心 (CERN) 组织了对未来环形对撞机 (FCC) 的设计研究。2014 年 2 月召开了首次项目启动会。国际未来加速器委员会 (ICFA) 2014 年 2 月 21 日正式宣布将支持这样的研究并鼓励全球合作。

### 建设方案

经过多次研讨，特别是在 2013 年 6 月香山会议上，这个设想得到了国内高能物理学界的支持。我们组织队伍，开始了方案设计、初步寻址、造价估计等工作，也启动了国际合作的相关工作。

为建设周长达 50 ~ 70 km 的环形对撞机，首先需要建造一条宽约 7 m 的地下隧道，以节约用地并屏蔽辐射。隧道埋深大约在地下 50 ~ 100 m 左右，以不影响地面建筑。为节约造价，减低建造风险，提高建设速度，一般要求地质条件为花岗岩。目前在中国建造这样的隧道没有技术难度，造价大概也是全世界最低的。

该项建设应当选择环境优美、旅游资源丰富、人文条件好、国际化基础好、地质条件好、交通方便、地方政府支持且有未来发展潜力的地区，以发展出国际科学城。

首期正负电子对撞机 (CEPC) 的设备主要包含超导高频加速系统、普通常温磁铁、真空、电源、束侧等，大部分技术我们基本掌握，总体上没有大的技术困难。初步的设计参数如下：

参量	单位	数值	参量	单位	数值
束流能量	GeV	120	周长	km	50
对撞点数目		2	每个对撞点的亮度 ( $10^{34}$ )	$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	2.62
每个对撞点每年产生的希格斯粒子数		$1\text{E}+05$ $1 \times 10^5$	总功耗	MW	200
偏转半径	km	6.2	每束团中的粒子数	$1\text{E}10$ $1 \times 10^{10}$	35.2
每圈同步辐射能量损失	(GeV/turn)	2.96	每束同步辐射功率	MW	50
束-束频移(水平/垂直)		0.1/0.1	同步振荡频数		0.13
高频电压 $V_{\text{rf}}$	GV	4.2	动量压缩因子	$1\text{E}-4$ $1 \times 10^{-4}$	0.4

二期质子对撞机 (SppC) 需要制造大量的超高强度超导磁铁，技术难度较大。但由于我国参加了 ITER 项目，超导导线方面还不是完全空白，高能所也有大型螺线管超导磁铁的基础。相信通过 20 年左右的努力和国际合作的帮助，应该可以掌握。初步的设计参数如下：

参量	SppC-1	SppC-2
束流能量 (TeV)	25	45
周长 (km)	49.78	69.88
对撞点数	2	2
每圈同步辐射能量损失 (keV)	440	4090
每束团粒子数 ( $10^{11}$ )	1.3	0.98
每束流束团数	3000	6000
束流流强 (mA)	0.5	0.405
最高磁场强度 (T)	12	19.24
对撞点水平/垂直包络函数 (m)	0.1/0.1	0.1/0.1
每对撞点水平/垂直束-束作用因子	0.004	0.004
几何亮度下降因子	0.8	0.9
每对撞点对撞亮度 ( $10^{35}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	2.15	2.85

我们也制定了一个设计、研制的时间计划，如下表所示。

时间	主要工作内容
2015 ~ 2020	CEPC 设计、预研
2021 ~ 2027	CEPC 建造
2027 ~ 2035	CEPC 运行
2015 ~ 2030	SppC 设计、预研
2030 ~ 2040	SppC 建造
2040 ~ 2050	SppC 运行

在中国建设这样一台加速器，将引领国际高能物理及相关技术的发展，使我们确定无疑地全面领先国际，成为国际研究中心。这是近代以来国人梦寐以求的事，也可以成为中华民族全面复兴的标志。该建设与科学研究将需要国内外上万名科学家与工程师，用国际化的方式运作、管理，因此需要建设一个国际化

的大型科学研究中心。依托该研究中心，还会有许多相关设备及服务企业，围绕该中心可以建设一个国际科学城，并发展成为一个世界科学中心。

#### 投入产出分析

虽然该项目投资巨大，但回报明确，包括：（1）确定的世界领先科学成果；（2）关键技术的研发、进步和推广，带动中国高端制造业发展，加快社会与经济的发展；（3）科学思想及理念的普及推广；（4）高端人才的聚集与引进；（5）青年人才的培养和受教育质量的提升；（6）管理方式的国际化及其推广；（7）地方社会与经济的发展；（8）国际合作及科技外交；（9）提高中国的国际威望，加强软实力。

基于加速器的高能物理研究引领了战后对物质根本结构的研究。美国、欧洲、日本等科技发达国家在过去 60 多年里，均投入巨资，不断建造各种大型加速器，使我们对物质结构的认识有了巨大的发展，先后有几十位科学家因此获得诺贝尔奖。加速器技术本身也得到了飞速发展，并在医疗、工业、科研、安全检查等方面有了大量的应用。相关的探测器、机械、电子、微波、低温超导、计算机及网络等技术也得到巨大发展。比如欧洲核子中心（CERN）在设计大型强子对撞机（LHC）期间，为解决大量数据的传输问题，发明了 World-Wide-Web，即一般所说的 3W 网页技术，根本改变了人类生活，其贡献已无法用金钱衡量。

这样的投资实际上也是我国未来能够承受的。过去几十年，各国对大型加速器建设均投入巨资。下表列出了过去各国对大型装置的投入占当年 GDP 的比例。

- BEPC 投入 /4 年 / 中国 1984 年 GDP  $\approx 0.0001$
- SSC 投入 /10 年 / 美国 1992 年 GDP  $\approx 0.0001$
- LEP 投入 /8 年 / 欧盟 1984 年 GDP  $\approx 0.0002$
- LHC 投入 /10 年 / 欧盟 2004 年 GDP  $\approx 0.0003$
- ILC 投入 /8 年 / 日本 2018 年 GDP  $\approx 0.0002$
- CEPC 投入 /6 年 / 中国 2020 年 GDP  $\approx 0.00005$
- SPPC 投入 /6 年 / 中国 2036 年 GDP  $\approx 0.0001$

由表可见，CEPC 及 SppC 的建设投资占 GDP 的比例低于或等于当年建设 BEPC 时的比例。世界各国

当年的投入一般也高于此比例。表明我们有能力建设该项目。

当年北京正负电子对撞机（BEPC）建设时也有许多争议。但小平同志高瞻远瞩，拍板决定了这项建设，现在看来由于 BEPC 的建设，我们在科学上获得了丰厚的回报，取得了一系列具有重大国际影响的成果。在技术上，BEPC 使我们具备了建造大型加速器的能力，完成了同步辐射及散裂中子源等为社会服务的大科学装置建设，并成为技术引进的窗口，引领了网络及 WWW 等技术在中国的普及与发展。在管理上，BEPC 及高能所的国际化管理模式推广到科学院其他院所及其他重大项目，起到了重大作用。

当前，我国的科研工作有许多瓶颈，实施体制改革，实行更大范围、更深程度上的国际化是解决办法之一。建设一个真正国际化的科学研究中心，是引入国外智力，推动我国科研体制改革的一条路径。

#### 小结

科学研究是国家发展的根本动力。我国的基础科学研究长期跟踪国外，迄今难有根本扭转，也没有一个重大领域能全面领先国际，或成为国际研究中心。

另一方面，对物质根本结构的好奇与研究引领了数百年来科学的发展，造就了化学、物理、原子核物理、粒子物理等新兴学科，对人类社会的发展及现代生活方式的建立做出了巨大的贡献。

在 10 年内建设一个以大型加速器为龙头的国际科学中心和国际科学城，使我国的基础物理学成为世界第一，且能维持 30 年以上，这是国家发展的一个难得机遇。由于国际竞争，该机遇的时间窗口只有 10 年。失去这个机会，以后何时再有，恐怕谁也无法预料。我们希望能抓紧时间，得到各方支持，尽快启动设计和预研工作。

#### 致谢

该文是国内高能物理学界一年多来大家讨论的结果，采用了许多人的观点，不能一一列名，特别是秦庆、高杰、周为仁等领导了加速器的设计，提供了文章中的参数。谨此致谢。