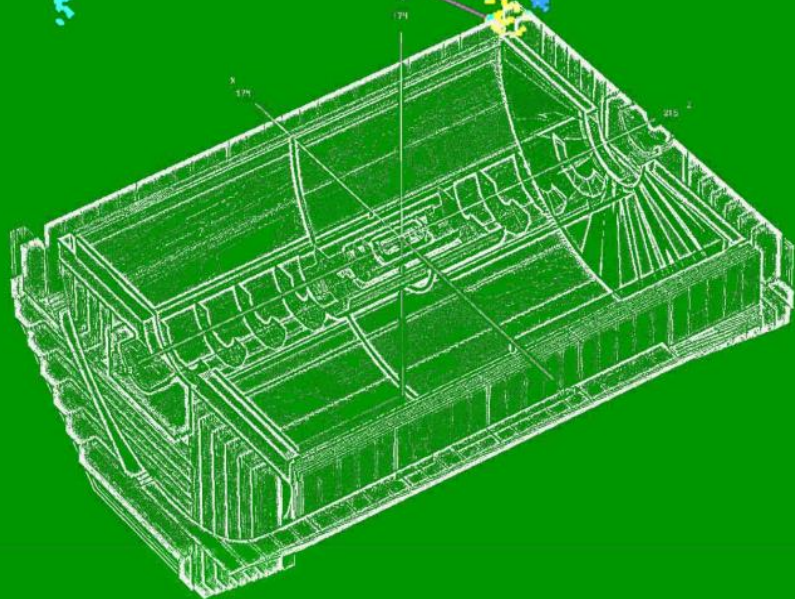




承载梦想 引领未来的 CEPC



中国科学院高能物理研究所

目 录

0 一个内涵丰富的缩略语——CEPC.....	1
I. CEPC 概貌	1
1.1 参照物——LHC.....	1
1.2 超级巨无霸——CEPC.....	4
II. 中国为何要建 CEPC?	5
2.1 粒子物理的重要地位.....	5
2.2 粒子物理与加速器.....	6
2.3 标准模型与希格斯粒子.....	7
2.4 难逢的机遇.....	8
2.5 国际反响巨大.....	10
2.6 实现“四个率先”的强力支撑.....	12
III. 中国能否建成 CEPC?	13
3.1 政治家与科学家的决策.....	13
3.2 国际其他未来高能对撞机方案.....	16
1. 国际直线对撞机 ILC	16
2. 紧凑型直线对撞机 CLIC	17
3. 大型正负电子对撞机 LEP3	18
4. 极高能大型正负电子对撞机 TLEP	19
5. 未来环形对撞机 FCC.....	19
6. 超大型强子对撞机 VLHC.....	19
7. 缪子对撞机 MC	19
3.3 巨大的挑战.....	20
3.4 中国建 CEPC 的优势.....	21
1. 赶上了中国发展的好时机.....	21
2. BEPC 奠定了坚实的基础.....	22
3.5 投资从哪里来?	24
3.6 CEPC 的计划进度.....	25
IV. CEPC 建成后会发生什么?	26
4.1 世界的聚焦点.....	26
4.2 科学技术的跨越发展.....	28
4.3 创新人才的高地.....	29
4.4 国际一流的科研机构.....	30
V. 结语	31
参考文献.....	32

承载梦想、引领未来的 CEPC

0 一个内涵丰富的缩略语——CEPC

近来,有个英文缩略语 CEPC 频频出现在各类媒体上并引起人们的广泛关注,中国物理界称它能够“承载梦想、引领未来”,世界一流的物理学家称它为“中国的伟大加速器”,“会和万里长城一样引人瞩目,会比万里长城的作用更大,会在科学和技术的各个领域实现突破和发现。”

CEPC 究竟代表什么呢? CEPC 是“环形正负电子及质子对撞机”的英文缩略语,是由中国高能物理学界 2012 年 9 月提出的,在中国建造大型粒子对撞机的建议方案,其中包括了未来可根据科技发展选择采用的方案:环形正负电子对撞机(Circular Electron Positron Collider)、环形电子质子对撞机(Circular Electron Proton Collider)、环形正负电子或质子质子对撞机(Circular Electron-positron or Proton-proton Collider)。短短一个缩略语竟具有如此丰富的内涵,充分显示了中国科学家的睿智。

建国 65 年来,随着经济的发展和科学技术的需求,国家对重大科技基础设施建设的投资越来越大,在建及运行的重大设施已有几十个,科学界建议国家未来投资建造一个大型粒子对撞机应该不足为奇,为何 CEPC 的建议会引起如此大的波澜?其原因就是 CEPC 不是一般意义上的重大设施,它是一个规模巨大、技术顶尖、造价高昂、建设周期长,但对国家科技发展具有重要意义的超级巨无霸。

CEPC 的规模到底有多大?中国为何考虑建 CEPC?为何国际反响这么强烈?中国有没有实力建 CEPC?CEPC 将面临什么样的挑战与竞争?CEPC 建成后会发生什么?.....众多的问题亟待解惑。盛名之下的 CEPC 能否起到承载梦想、引领未来的作用呢?科学家与政治家都在对此进行深层次的思考。

I. CEPC 概貌

CEPC 的设计规模数倍于目前世界上最大、能量最高的粒子对撞机——建于欧洲核子研究中心(CERN)的大型强子对撞机 LHC(Large Hadron Collider)。

1.1 参照物——LHC

作为比对参照物的 LHC 位于日内瓦附近瑞士、法国边境地区的侏罗山地下 100 米深的环形隧道中。由于 LHC 造价高昂,为节约成本,科学家们没有开凿新的隧道来容纳 LHC,而是拆掉原来隧道中的正负电子加速器 LEP 来安置 LHC。

LHC 将两束反方向质子分别加速到 7 TeV (7×10^{12} eV, eV 为电子伏特)的极高能量状态,并使之对撞,其能量状态可与宇宙大爆炸后不久的状态相比。粒

子物理学家利用质子碰撞后的产物探索物理现象，例如，寻找标准模型预言的希格斯粒子，探索超对称、额外维等超出标准模型的新物理。LHC 的实验目的史无前例，在这个过程中，它也创造了诸多的世界之最¹。

世界上最大的机器：LHC 不仅是世界最大的粒子加速器，同时也是世界上最大的机器²。环形隧道周长 26.659 公里（半径约 4.3 公里），主隧道孔径 3.76 米，如果步行走完隧道全程大约要花 4 个多小时。LHC 内部共有 9300 个磁铁，其中包括 1232 个长 15 米的二极磁铁（用于弯转粒子束）和 392 个长 5-7 米的四极磁铁（用于聚焦粒子束）。由于粒子非常小，让它们相撞，如同让从相距 10 公里的两地发射出来的两根针相撞。LHC 利用另一种类型磁铁在粒子碰撞之前，“挤压”粒子，让它们彼此靠得更近，以增加它们成功相撞的机会。LHC 每年的耗电量约 80 万兆瓦小时（MWh），年度电费开支约 3 千万美元。

世界上最快的跑道：LHC 功率达到最大时，数万亿个质子将在加速器环内以每秒 1.1245 万次的频率急速穿行，它们的速度约是光速的 99.99 %。每秒总共能发生大约 6 亿次撞击。

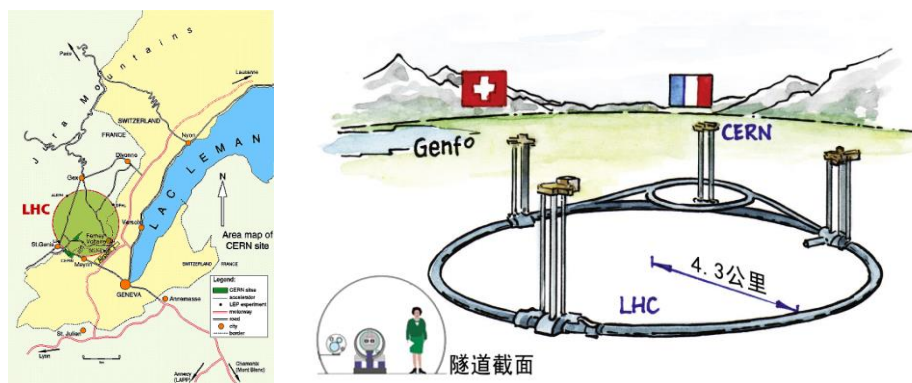
太阳系最空的空间：为避免加速器中的粒子束与空气分子相撞，这些粒子束需要在像行星间的空间一样空荡的超真空环境中穿行。LHC 的内压是 $10^{-12}\sim 10^{-14}$ 个大气压，比月球上的压力至少小 10 倍。

银河系最热的热点：LHC 还是一个极热的机器，当两束质子束相撞时，它们将在一个极小的空间内产生比太阳中心热 10 万倍的高温。

宇宙的最低温：LHC 制造了宇宙中最冷的地方，它将温度降低到 1.9 绝对温标（零下 271.25 摄氏度/ 零下 456.25 华氏度），其制冷分配系统的八分之一就可堪称世界上最大的制冷机。

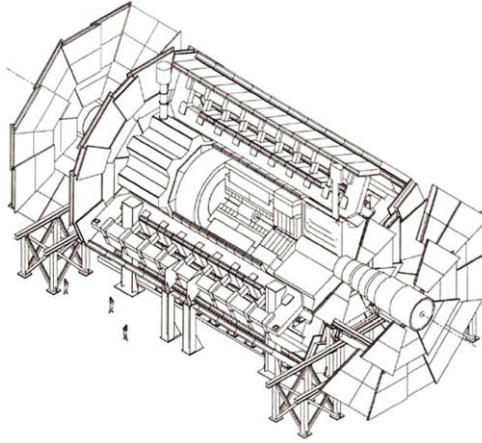
世界最大探测器：LHC 的探测器规模巨大并拥有先进的电子触发系统，它测量粒子经过时所用时间的精确度为十亿分之一秒，其触发系统在确定粒子位置时，精确度可达百万分之一米。

世界最强的超级计算机系统：记录 LHC 大型实验的数据每年足以刻 10 亿张双面 DVD 光盘，需要利用分布在全球的数万台电脑构成的网络进行分析。



LHC 位置及主隧道示意图（图片来源：CERN 网）

LHC 主要进行 ATLAS(超环面仪器实验)、CMS(紧凑缪子线圈实验)、ALICE(大型离子对撞实验)、LHCb(LHC 底夸克实验)四项大型实验以及 TOTEM(全截面弹性散射探测器实验)和 LHCf(LHC 前行粒子实验)两项较小型实验¹。



ATLAS 探测器 (图片来源: CERN 网)

ATLAS 和 CMS 是多用途的大型探测器,用于分析在加速器中撞击时产生的数量庞大的粒子。两项实验的研究规模和研究层面均达到前所未有的程度。ATLAS 探测器长 46 米,宽 25 米,高 25 米(几乎相当于半个法国的巴黎圣母院),总重量约为 7000 吨,是迄今为止世界上规模最大的粒子探测器。ATLAS 相当于一个巨型的数码照相机,每秒钟能拍摄质子间 6 亿次碰撞的照片并记录下与撞击时产生粒子有关的路径、能量以及特性等数据。CMS 探测器长 21 米,宽 15 米,高 15 米,大小是 ATLAS 的六分之一,但重量却是 ATLAS 的 1.8 倍,约 12500 吨(它使用的铁比埃菲尔铁塔还多)。它采用圆柱形超导电缆线圈,产生 4 万高斯的磁场,相当于地球磁场的 10 万倍。

ALICE 和 LHCb 属于特殊的中型探测器,分析与特殊现象有关的粒子撞击。ALICE 在实验室条件下重建“大爆炸”之后极度高温的宇宙初期形态,获得夸克-胶子等离子体的性质和状态数据进行分析。ALICE 探测器长 26 米,高 16 米,宽 16 米,总重量约 10000 吨。LHCb 探测器长 21 米,高 10 米,宽 13 米,总重量约为 5600 吨,用于测量质子质子对撞过程产生的粒子能。质子、电子和正电子穿过探测器时将它们的能量堆积在探测器中,所获数据用于研究人类为何生活在一个几乎完全由物质而非反物质构成的宇宙。

TOTEM 和 LHCf 属于较小规模实验。TOTEM 长 440 米,高 5 米,宽 5 米,总重量约 20 吨,它用于测量质子的大小并准确监控 LHC 的光度。LHCf 由两个探测器组成,每个长 30 厘米,高 80 厘米,宽 13 厘米,每个重 40 公斤,用于研究 LHC 内部产生的前行粒子,作为在实验室环境下模拟宇宙射线的来源。

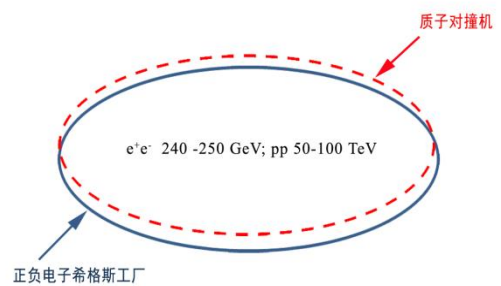
ATLAS、CMS、ALICE 和 LHCb 探测器安装在 LHC 隧道的 4 个地下巨大的实验大厅中(ATLAS 实验大厅的尺度为 35×55×40 米)。TOTEM 实验探测器位于 CMS 探测器附近,LHCf 实验探测器则位于 ATLAS 探测器附近。地下实验大厅有大型竖井与地面建筑相连。

LHC 隧道本身位于地面下 100 米左右的深处，但地面建有冷却压缩机、通风设备、控制电机设备、大型冷冻槽等大量配套设施。

LHC 的最初构想在 1980 年提出，1994 年正式立项并开始设计、建造，2008 年建成。由全球 85 个国家的多个大学与研究机构，超过 8000 位科学家合作兴建，总耗资约 100 亿美元（由 40 个国家共同出资），估计 LHC 的寿命为 20 年左右。2012 年 7 月 4 日，CERN 宣布 LHC 取得了震动世界的研究成果：发现了特性类似于粒子物理学界一直致力于寻找的“希格斯玻色子”的新粒子，人类理解自然世界的历程进入了一个极为重要的崭新阶段。

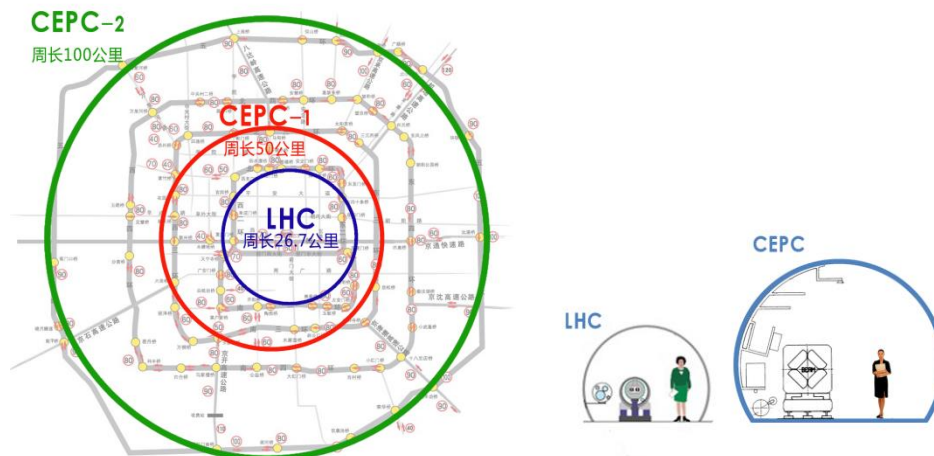
1.2 超级巨无霸——CEPC

CEPC 是中国学者提出的未来在中国建设的环形正负电子及质子对撞机，按照目前的方案考虑，将其置于一个周长为 50-100 公里、地表深度约为 100 米的圆环隧道中，正负电子对撞的质心系能量为 240-250 GeV (240×10^9 eV)。CEPC 在很多方面对希格斯粒子研究的精细程度将远远超过 LHC 的水平。在完成希格斯粒子研究之后，CEPC 可以在同一个隧道内被升级为 50-100 TeV (50×10^{12} eV) 质心系能量的超级质子对撞机，实现高能量的质子对撞，为推动中国走向世界高能物理研究最前沿提供丰富的新物理发现潜力。



安装在同一隧道里的环形希格斯工厂（首期）+超级质子对撞机（二期）

将 LHC 作为参照物，CEPC 的规模比 LHC 要大将近一倍。



CEPC 地下隧道周长及隧道孔径与 LHC 对比。左图的背景是北京环路，仅用于说明尺寸的对比，CEPC 并不建在北京。（参考数据：北京二环路周长 32.7 公里，三环路周长 48 公里，四环路周长 65.3 公里，五环路周长 99 公里）

CEPC 隧道沿线将建造 2-4 个 10 万立方米量级的实验大厅及若干伺服大厅。地上项目的建设包括一个面积约为 5000 亩的现代化实验园区，以及若干个百亩量级的实验分部。地下实验大厅和地表部分将通过若干直径为 20 米左右的大型垂直孔道相连，以运送对撞机和探测器部件在隧道里安装。同时，隧道沿线也将建造若干垂直管道，以安装相应伺服设备。

CEPC 地表部分包括实验区、工作区及伺服区。CEPC 的日常能耗为百兆瓦量级，因此，伺服区的重要功能即是保证 CEPC 项目的供电、冷却以及通风。同时，CEPC 建设需要调用大型工程设备，需考虑物流和道路的建设。将有数千名科学家和工作人员常驻在 CEPC 实验园区，因此，需建造相应工作、生活和服务设施（办公、会议场所，食堂、招待所、医疗急救、消防抢险设施等）。

CEPC 建成后将作为加速器技术、探测技术和粒子物理的国际研究中心，形成一批多学科交叉研究的创新平台，聚集一批国内外高新技术企业。CEPC 研究中心将容纳上万名国内外研究人员及工程人员来工作，并成为培养高水平研究生与博士后教育的基地。CEPC 研究中心采用国际一流科研机构的运作模式，与世界各国在科技合作、人才培养、科技交流、联合建立科研机构等方面展开实质性合作，最终成为一个国际科学城。

II. 中国为何要建 CEPC?

LHC 于 2008 年 9 月 10 日开始运行，预计可以运行至 2025-2030 年。中国参与了 LHC 四个大型探测器的建造和实验并作出了重要贡献。中国科学院高能物理研究所、北京大学、清华大学、中国原子能科学研究院、中国科技大学、南京大学、山东大学、上海交通大学、华中师范大学和华中科技大学等科研院所和高校的科研人员参加了 LHC 实验。中国科学家可以平等地享用 LHC 对撞实验产生的 100% 的数据。

国际未来加速器委员会（ICFA）发起的另一个大规模国际合作计划项目是国际直线对撞机 ILC（International Linear Collider），预计耗资约 70-80 亿美元，建造地址的第一站选在日本。ILC 作为 LHC 研究目标的补充，将在 LHC 研究成果的基础之上以更高的精度在这一新领域进行探索，揭示其丰富的内涵和新的精细层次。首期目标是分别将正负电子加速到 250 GeV 的能量，质心系能量达到 500 GeV，计划未来将能量提高到 1 TeV。ILC 最快将在 2-3 年后开工，按建设周期为 8-10 年计算，ILC 预计在本世纪 20 年代中期开始运行。

在这种情况下为何中国科学家还要提出建设 CEPC 呢？这与粒子物理的重要地位、一个难得的机遇以及科学家们的历史使命有着密切的关系。

2.1 粒子物理的重要地位

粒子物理是研究物质结构的最小单元及其相互作用规律的最前沿学科，并在宇宙的起源和进化、天体的形成和演化的研究中起着重要的作用。美国 2008 年的高能物理战略规划就明确指出：粒子物理在物理科学中处于关键优先地位³。

人类赖以生存的物质世界，其尺度大可以大到无垠的宇宙，小可以小到肉眼不能分辨的微观粒子，物质构成的最基本单元是什么呢？一代又一代的科学家锲而不舍地研究着这个千古谜题。

19 世纪初，英国科学家道尔顿（John Dalton）在化学实验的基础上将原子学说第一次从推测转变为科学概念。他认为：物质是由具有一定质量的原子构成的。到 19 世纪末，英国物理学家汤姆逊（Joseph John Thomson）在真空管阴极射线实验中发现原子中有电子的存在，证明原子内部还有结构。电子是第一个被发现的“基本粒子”。

20 世纪初，英国科学家卢瑟福（Ernest Rutherford）用天然放射源中能量为几个 MeV、速度为米/秒的高速阿尔法粒子束（即氦核）作为“炮弹”，轰击厚度仅为 0.0004 厘米的金属箔的“靶”，靶后的硫化锌荧光屏上测得了粒子散射的分布，证明原子中除了电子还有一个很小的致密核，称为原子核，原子核内部有带正电的质子存在，并猜测可能还有一种电中性的粒子存在。1932 年，英国科学家查德威克（James Chadwick）通过实验证实了原子核中的确还有中性的粒子存在，这种中性粒子被命名为中子，与质子一起组成原子核。科学家们的研究逐步深入原子的内部世界，经典的原子结构图被勾画出来了。为了开展有预期目标的实验研究，激发了人们寻求更高能量的粒子来作为“炮弹”的愿望。

2.2 粒子物理与加速器

研究物质组成的微观结构，研究的尺度越小，所需“炮弹”的能量就越大，并且需要作为“炮弹”的粒子达到一定的流强。天然放射性提供的粒子能量有限，只有几个兆电子伏特（MeV）；天然宇宙射线中粒子的能量虽然很高，但是粒子流极为微弱，例如能量为 10^{14} eV 的粒子每小时在 1 平方米的面积上平均只降临一个，而且人类无法支配宇宙射线中粒子的种类、数量和能量，难于开展精确定量的研究。

用人工的方法产生高速带电粒子的装置称为粒子加速器，粒子加速器利用电场推动带电粒子使之获得高能量，成为探索原子核和粒子性质、内部结构和相互作用的最重要的工具。20 世纪 30 年代世界上研制出第一台加速器以来，研制和建造了多种类型的粒子加速器，加速器的能量大致提高了 9 个数量级。被加速粒子的种类有正负电子、正反质子、重离子等，粒子能量达到几十亿甚至几万亿电子伏特。高能的粒子积累到一定的流强，就可以用来“轰击”待研究的粒子，再利用精细的探测仪器来搜集碰撞后的产物，科学家们就能够获得微小尺度上的信息。

如果采取两束加速粒子对撞的方式，可以使加速的粒子能量更充分地用于高能反应或新粒子的产生。1962 年，世界上第一台正负电子对撞机 AdA（能量为 2×250 MeV，直径约 1 米）在意大利弗拉斯卡蒂国家实验室（LNF, Frascati National Laboratory）建成，开辟了加速器发展的新纪元。现代高能加速器基本都以对撞机的形式出现，对撞机能将产生高能反应的等效能量从 1 TeV 提高到 10~1000 TeV，使加速器能量的发展又有了根本性的飞跃。直线对撞机要将粒子从静止状态加速到对撞能量必须一次成功，不能像环形加速器那样让粒子一圈一圈逐渐累

加能量。环形加速器的半径越大，所用磁铁的磁场越强，带电粒子的能量就越大。2008年建成的LHC直径为8.6公里，质子碰撞的质心系能量设计指标为14 TeV。

2.3 标准模型与希格斯粒子

随着加速器能量的不断提高，人类对微观物质世界的认识得以逐步深入，粒子物理研究取得了巨大的成就，越来越多的“基本粒子”被科学家们陆续发现：质子、中子、介子、超子、中微子……，质子与中子又由更小的粒子——夸克组成……，相关的理论也逐步被构建起来。在德国物理学家普朗克（Max Planck）的能量子假说、瑞士籍德国物理学家爱因斯坦（Albert Einstein）的光量子假说，以及丹麦物理学家玻尔（David Bohr）的玻尔模型的基础上，量子力学理论在20世纪20年代建立，之后，又一步步建立起量子场论，为描述微观粒子提供了有力的理论工具⁴。

20世纪六七十年代，描述物质组成的粒子物理“标准模型(Standard Model)”初步建立，这是一个描述物质世界的基本构成（基本粒子）及其相互作用的理论模型。该模型把基本粒子分为夸克、轻子和玻色子3大类别，根据标准模型的计算预言了62种基本粒子的存在。但此时的标准模型有一个致命缺陷——它所演绎出的粒子世界里没有质量。

直到1964年，英国理论物理学家希格斯（Peter Higgs）提出了希格斯场的存在，并假设希格斯玻色子是物质的质量之源，标准模型才得以自圆其说。正因为希格斯玻色子极端的重要性，它又被称作“上帝粒子”。随着加速器的规模越来越大，标准模型预言的未知基本粒子陆续被实验以极为精确的精度证实。只有最重要的希格斯玻色子仍然“在逃”⁵。为何标准模型预言的希格斯玻色子让粒子物理学家们感到如此棘手呢？一是希格斯玻色子太重，是一个质子重量的上百倍，需要极高的能量才能撞出来，另一是希格斯玻色子存在时间太短，会在碰撞后十亿分之一秒内衰变，极难探测⁶。

由于希格斯玻色子是标准模型的基石，如果它被证明不存在，标准模型理论将面临倾覆。因此，过去的30多年，全球粒子物理学家都在努力追寻“上帝粒子”的踪迹，LHC更是肩负重担，它的每个实验步骤，它的每个实验结果都能引起全世界的高度关注。

三代费米子				
	I	II	III	
质量→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
电荷→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
自旋→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
名字→	u 上夸克	c 粲夸克	t 顶夸克	γ 光子
	d 下夸克	s 奇夸克	b 底夸克	g 胶子
夸克				
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e 电子中微子	ν_μ μ 子中微子	ν_τ τ 子中微子	Z ⁰ Z玻色子
轻子				
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e 电子	μ μ 子	τ τ 子	W [±] W玻色子
				玻色子

标准模型中的粒子有六种是夸克（紫色表示）。左边的三列中，每一列构成物质的一代（图片来源：维基百科）

2.4 难逢的机遇

2012年7月4日是个不平常的日子，CERN在这一天举行了全球新闻发布会，宣布LHC的ATLAS和CMS两个通用大型实验的结果显示，在125 GeV质量附近发现了新粒子，其特性类似于粒子物理学界一直致力于寻找的，被称为“上帝粒子”的“希格斯玻色子”⁴。这正是50年来全球数千名科学家艰辛努力所等待的结果，这一重大新闻立即赢得现场及全球观看直播的所有人员的热烈掌声和欢呼。对“上帝粒子”作出预言的英国理论物理学家希格斯也出现在新闻发布会现场，这位83岁高龄的老人喜极而泣。他说，“这一切竟然发生在我的有生之年，真是难以置信。”CERN的总主任罗夫·赫尔（Rolf Heuer）称：**人类在理解自然世界上跨越了一个崭新阶段。**



2012年7月4日，CERN举行全球新闻发布会（图片来源：CERN网）

希格斯粒子的发现填补了标准模型最后也是最重要的一个缺口，从某种意义上完备了标准模型，成为粒子物理学研究史上的一个重大里程碑。但这并不是人类探索基本粒子的终结，而只是一个新的开端。希格斯粒子的发现为下一步粒子物理理论和实验的发展指明了新的路标。探索超越标准模型的新粒子和新的物理现象，成为当前国际粒子物理实验研究的最前沿。

发现了希格斯粒子可以解释为什么有些基本粒子具有质量，但现有理论并未预言希格斯粒子确切的质量，因此需要一个新的更基本的理论来解释这一质量，挖掘出标准模型背后的物理规律（又被称为新物理），这已成为粒子物理乃至整个物理学研究的核心问题。科学家们认定的新物理的能量标度应在 ~ 100 GeV的附近，但 ~ 100 GeV的空间已基本被LHC 2011年、2012年所获的数据覆盖。因此，TeV（ $1 \text{ TeV} = 1000 \text{ GeV}$ ）区域的物理就成为科学家们最为期待的，极可能有超出标准模型的新物理的最近区域。

由于LHC计划进行的运行能量无法覆盖TeV物理的整个区域，科学家们需要考虑“后LHC时代”。科学家们非常希望下一代对撞机——能够大量产生希格斯粒子的“希格斯工厂”采用正负电子的对撞来产生希格斯粒子，那是因为质子

的对撞过程中产生非常多的本底，希格斯粒子的产生伴随着大量无用本底，所获的信号有非常大的噪音，致使粒子探测器的负荷极大。如果采用正负电子对碰撞则本底非常低，有利于对希格斯粒子的性质进行更精确的测量。而新物理的区域应该在一个更高能级的质心系能量（50-100 TeV），更为大型的质子对撞机上来实现，这也应该是未来新一代加速器设计的终极目的。

日本正在积极争取承建的国际直线对撞机（ILC）以探索希格斯粒子和其它粒子的耦合参数带来的微妙变化，从而寻找新物理的存在机理为目的。ILC是采用正负电子直线对撞的希格斯工厂。由于直线对撞机技术复杂，未来的升级有较大的局限性，基于环形正负电子对撞机的希格斯工厂就成为极具竞争力的选择，全球粒子物理界都在探讨采用环形正负电子对撞建立“希格斯工厂”的可能性，期待更快能有更为激动人心的发现。

希格斯粒子的发现也极大振奋了中国的物理学界，分析国际上高能量粒子物理领域的发展形势，美国因政府削减经费已失去在这个领域的领先地位，欧洲借此机会一举超越美国成为这一领域的佼佼者，但2030年之前欧洲主要精力仍在LHC的运行及其升级，日本则忙于ILC的承建。中国有了一个**难逢的机遇**，利用中国的优势，利用成熟的环形加速器技术，在中国建造下一代基于环形正负电子对撞机的希格斯工厂，从而使中国的科技技术实现大幅度的跨越发展，引领国际粒子物理实验研究的最前沿。

2012年9月13-14日，中国高能物理学会主办的“第二届中国高能加速器物理战略发展研讨会”在北京召开。来自中科院高能所、中国科学院大学、北京大学、中国科学技术大学、清华大学、南京大学、山东大学、上海交通大学、复旦大学、河南师范大学、广西大学等单位的40余名专家学者参加了会议。研讨会就我国未来高能加速器物理的战略发展进行了热烈讨论，包括各种类型高能加速器及其物理在中国发展的可能性等。与会者畅所欲言，积极为我国高能物理事业的发展建言献策。此次会上中科院高能所学者**首次提出了在中国建造 CEPC 的设想**，即先建一个周长为50-100公里、能量为240 GeV的环形正负电子对撞机，未来可在同一隧道内将其改造为能量50-100 TeV的超级质子对撞机，能量比正在运行的LHC大约6倍——以实现未来加速器的终极目的。CEPC瞄准的是希格斯粒子发现后对撞机实验的核心前沿物理问题，其科学目标是精确测量希格斯粒子的性质以及探索标准模型背后更基础的物理规律。

2012年11月14-16日，在美国费米实验室召开的HF2012（Accelerators for a Higgs Factory: Linear vs. Circular）国际会议上，高能所学者首次向国际同行正式介绍了中国关于建造环形希格斯工厂的物理动机及技术参数。

2013年6月12-14日，中科院召开了以“下一代高能正负电子对撞机：现状与对策”为主题的香山科学会议（第464次），来自全国11个单位的粒子物理与加速器领域的专家学者对就中国将建造希格斯工厂CEPC作为粒子物理发展的重要选项和机遇达成基本共识。

2013年9月13-14日，“环形正负电子及质子对撞机（CEPC）”启动会在北京召开，会议讨论了CEPC的科学目标和该项目对中国粒子物理科学发展意义，确

定了 CEPC 合作组的组织结构，成立了指导委员会等管理机构。CEPC 积极扩展理论研究队伍，组织加速器、探测器方面的关键人才，开展初步研究和方案设计。

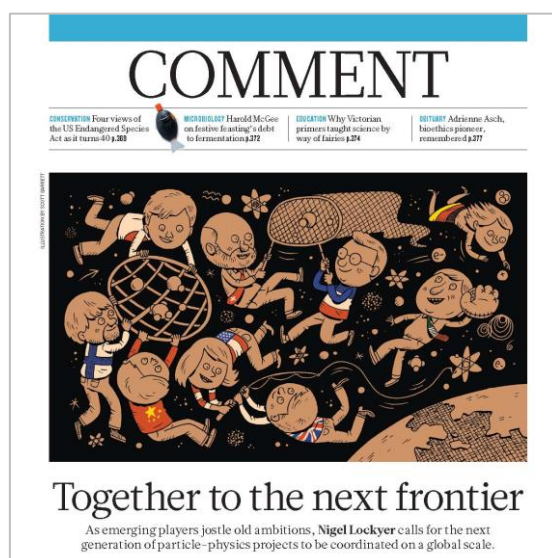
2.5 国际反响巨大

中国提出的 CEPC 异军突起，在国际上引起了巨大反响。

2012 年 10 月，CEPC 方案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国际粒子物理界讨论的焦点，并成为未来发展的一个重要方向。欧洲于 2013 年初将大型环形质子对撞机纳入粒子物理发展路线图的范围，CERN 组织了对未来环形对撞机 FCC（Future Circular Collider）的设计研究。

2013 年 12 月 16-17 日，“未来高能物理环形对撞机国际研讨会（International Workshop on Future High Energy Circular Colliders）”在高能所召开。2004 年诺贝尔奖得主 David Gross 教授及来自世界各地的 120 多位科研人员参加了研讨会。会议认为，未来高能环形对撞机将在 21 世纪的物理中起到至关重要的作用。David Gross 教授做了大会特邀报告，他高度评价了中国的 CEPC，认为这将毫无疑问地把中国高能物理研究推动到世界的领袖位置。

2013 年 12 月的《自然（Nature）》杂志 2013 年度回顾专刊发表了以“粒子物理：共同走向下一个前沿（Particle physics: Together to the next frontier）”为题的评论文章。文中指出：“中国角色的改变增加悬念。中国在粒子物理学历史上是个小角色，它 2012 年在反应堆中微子物理学方面以令人印象深刻的成果走上了世界舞台……。令人鼓舞的是，中国可能通过承建 100 TeV 的机器超越世界吗？机器建设在中国是便宜的，尽管中国需要世界其他国家帮助设计和建造。**如果中国真跑到了前头，随着新兴经济瞄准竞争，这将会改变世界科学的格局。**讨论全球粒子物理学的进展，除了北美、欧洲和日本的国家元首，明确需要包括来自中国和印度的国家元首⁷。”



《Particle physics: Together to the next frontier》（图片来源：Nature 网）

2014年2月,CERN召开了FCC研究启动会。国际未来加速器委员会(ICFA)2014年2月21日正式宣布支持这样的研究并鼓励全球合作⁸。

2014年2月23日,“希格斯粒子发现之后,基础物理学向何处发展论坛(After the Higgs discovery: Where is the Fundamental Physics going)”在清华大学举办,有600多人参加。菲尔兹奖获得者、清华大学教授丘成桐主持论坛,诺贝尔物理学奖获得者 David Gross、诺贝尔物理学奖获得者 Gerard't Hooft、菲尔兹奖和基础物理学奖获得者 Edward Witten、基础物理学奖获得者 Nima Arkani-Hamed、基础物理学奖获得者 Joseph Incandela、狄拉克奖和樱井奖获得者 Luciano Maiani、日本东京大学卡弗里宇宙物理学与数学研究所所长 Hitoshi Murayama、潘诺夫斯基实验粒子物理学奖获得者王贻芳等八位世界一流的物理学家作为论坛嘉宾,他们发表了对基础物理学未来发展的看法。

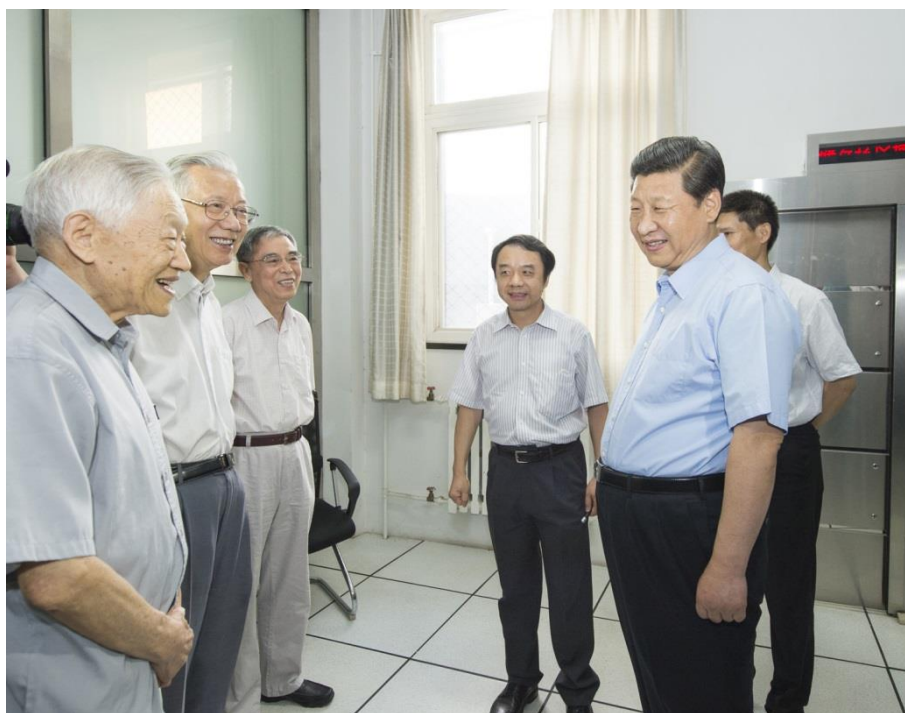


“希格斯粒子发现之后:基础物理学向何处发展”论坛(图片来源:高能所网)

中国科学家提出的 CEPC 引起嘉宾们的热评。嘉宾们坚信下一代的粒子加速器将会为人类认识世界带来重要的突破,并认为 CEPC 将为中国开启成为粒子与加速器物理领域世界领导者的机遇。David Gross 认为,中国提出建设的下一代加速器将使中国在基础科学领域处于中心位置。他说:“我把这个梦想叫做‘中国的伟大加速器(The Great Accelerator)’,这会和万里长城(The Great Wall)一样引人注目。它会比万里长城的作用更大,会在科学技术各领域有突破和发现。” Luciano Maiani 说:“美国建造了 Tevatron 对撞机,欧洲建造了 LHC 对撞机,中国现在有机会建造 CEPC,这是中国高能物理发展的机遇。” Joseph Incandela 表示:“建造新的高能加速器对深入理解我们赖以生存的宇宙非常重要,在国际高能物理学界的下一步发展计划中,期待中国扮演一个举足轻重的角色。”

2.6 实现“四个率先”的强力支撑

2013年7月17日，习近平总书记到中科院考察工作，首站视察了高能所。习近平仔细察看了我国第一个大科学装置——北京正负电子对撞机 BEPC（Beijing Electron Positron Collider）的模型，了解 BEPC 建成后在粒子物理、先进加速器技术、先进射线技术领域的发展成就和建设世界级科研中心的计划，还特别询问了粒子物理大型装备的投资、效益、国际水平等相关情况，对我国粒子物理研究的发展寄予厚望。



习近平视察高能所时与当年参与北京正负电子对撞机建设的三位院士交谈（图片来源：新华网）

习近平在中科院发表重要讲话时指出，“科学技术是世界性的、时代性的，发展科学技术必须具有全球视野、把握时代脉搏。当今世界，一些重要的科学问题和关键核心技术已经呈现出革命性突破的先兆。我们必须树立雄心、奋起直追，推动我国科技事业加快发展……。”习近平强调，“我们要引进和学习世界先进科技成果，更要走前人没有走过的路。科技界要共同努力，树立强烈的创新自信，敢于质疑现有理论，勇于开拓新的方向，不断在攻坚克难中追求卓越。”习近平指出，“党中央对我国科技界寄予厚望。中国科学院要牢记责任，**率先实现科学技术跨越发展，率先建成国家创新人才高地，率先建成国家高水平科技智库，率先建设国际一流科研机构。**”

“四个率先”的核心是重大产出，要产出有影响的重大科研成果，要培养出能担当重大创新任务的杰出人才，要在重大决策中发挥重要支撑作用，要打造卓越的科技创新平台。“四个率先”对科技工作者来说是热情的鼓励，也是巨大的鼓舞，更是有力的鞭策。看清世界科技发展大势，高度关注有可能产生重大突破

的科技领域，为率先实现科学技术跨越发展找准突破口、抢占制高点不仅要在国内绝对领先、不可替代，而且在国际上也要有重要影响。要有能力产出有重要影响的成果、有重要影响的科学家。

作为正在崛起的大国，中国应该拥有世界顶级的大型科学研究中心并引领世界科技的发展。CEPC 方案涉及国际最前沿的研究领域，将使用和发展世界上最先进的加速器及探测器等相关技术，如高功率微波、高性能磁铁、高稳定电源、高精密机械、超高真空、束流测量、自动控制、粒子探测、快电子学、数据在线获取和离线处理、辐射防护、精密加工、新型工艺等，可大大推动相关领域技术的跨越发展，带动国家整体科技水平的提升。CEPC 的建设运行和相关研究需用国际化的方式运作、管理，将吸引国内外上万名科学家与工程师参加，形成一个国际化的大型科学研究中心。该研究中心还将聚集一批高新技术企业，进而形成国际科学城，并最终发展成为世界顶级的大型科学研究中心之一。CEPC 建设方案的实现，将使我国的基础物理学研究在未来 30 年中成为世界第一，并极大提升国家科技创新能力和国际竞争力等软实力，大大提高我国的国际地位。

建设 CEPC 的机遇是历史对中国的青睐，如果 CEPC 能在 2021 年左右动工，建设周期需 7-8 年，2028 年开始运行，几乎可以与 ILC 同步开展正负电子对撞的实验研究。以 CEPC 的优势，很有可能在超出标准模型的新物理搜索，以及标准模型的精确测量方面抢得先手，取得国际瞩目的具有重大突破意义的成果。

CEPC 有重大的科学价值，符合习近平总书记提出的“四个率先”精神，符合中央对我国科技发展的目标和期望，对推动我国的科学研究进入世界前列具有重要的示范作用，可成为“四个率先”的强力支撑。CEPC 也可以说是中国粒子物理界对习近平总书记问题的一个回答。

III. 中国能否建成 CEPC?

中国能不能建成 CEPC 有几大关键因素：中国政府是否支持？国际形势如何发展？中国有没有能力建？

3.1 政治家与科学家的决策

世界进入 20 世纪后，由于科学技术的迅速发展，国家重大科技工程除了对科技发展的重要贡献，其对国家产生的重大政治影响也逐渐显现。以重大科技工程、超大型工程带动国家的经济、科技、军事以及社会的全面发展成为国际发达国家普遍采用的模式。重大科技工程成为一个国家政治活动的重要组成部分⁹。

对于国家重大科技工程，政治家要在对国际形势和国家综合实力现状的认识以及对未来预测的基础上作出决策，承担调动国家资源支持科学家实现决策目标的责任。科学家提出建议、进行可行性论证以及在决策后负责实现决策目标。政治家的决策包含了风险，科学家必须以科学的精神保证决策的实施取得成功。历史的经验证明，科学的重大突破与政治家的高瞻远瞩是分不开的。美国的曼哈顿工程、阿波罗工程、星球大战计划，原苏联的第一颗人造卫星上天和载人太空飞行，中国的两弹一星工程，欧洲的尤里卡计划等都是很典型的事例¹⁰。

美国在国家重大科技工程的决策方面既有成功的辉煌又有惨痛的教训。1957年10月,经济技术实力远不如美国的苏联抢先发射了第一颗人造地球卫星,1961年4月苏联又实现了第一次载人太空飞行。面对苏联的挑战成功,美国蒙受了极大的耻辱,甚至影响美国在西方的领导地位。当时的美国政府作出了出人意料的决策:10年内美国要达到将人送上月球并使其安全返回的目标,称为“阿波罗”计划。这个决策冒了极大的风险,当时美国的登月连初步的方案都没有,美国运载火箭的推力只有170吨,是登月运载火箭所需推力的1/20~1/40。美国科学家为实现政治家的这项决策作出了伟大贡献,经过充分论证,攻破了无数技术难关,终于在1969年7月实现了人类登月的梦想⁹。“阿波罗”计划作为美国四任总统一致确认的政治目标,对这一超大型科技工程的支持从未中断。“阿波罗”计划耗资255亿美元,“阿波罗”计划的成功使其他国家对其实力望而生畏,美国重拾“霸主”的自信,也使美国的科技产业得以突飞猛进。

美国的一贯理念是只有科技领先才能称霸世界,第二次世界大战后美国一直是世界基础科学研究领域的领导者,为何在半个多世纪之后却失去了原有的辉煌?如今,欧洲LHC的成就让世界瞩目,但人们还记得的是:20世纪80年代,与LHC几乎同时开始预研的美国的超导超级对撞机SSC(Superconducting Super Collider)其实比LHC大得多。1982年,美国科学家提出了建设SSC的设想,SSC的环形隧道长87公里,能产生的质子碰撞能量为40 TeV,是LHC的3倍以上,最初的建设预算约为44亿美元¹¹。1983年美国能源部批准了SSC的预制研究,1987年1月SSC工程启动,1988年11月确定选址美国得克萨斯州,1991年开始施工建设,此时估计造价升至82.5亿美元,预计1999年投入运行。但仅在两年后,美国国家审计总署审计后认为SSC费用超支、进展滞后¹²。美国政府预算赤字问题严重,在众议院投票时部分议员认为国际空间站比SSC更适合形势的需要,有限的资金应投入国际空间站的建设。最终,1993年10月美国参众两院联席会议表决决定中止SSC的建设。SSC的停建挫伤了美国科学家们追求梦想、探索未知世界的信心,美国失去了保持粒子物理领域领先地位的机会,SSC成为美国科学家心中永远的痛。

此后,美国粒子物理实验的主要基地是费米国家实验室(FNAL),那里建有周长6.3公里的正负质子对撞机Tevatron。在LHC建成之前Tevatron是世界上运行能量最高的粒子对撞机,质子能量可达到1 TeV。由于美国能源部提供经费的缩减(美国能源部划拨到粒子物理研究的预算为7.52亿美元,与过去10年相比缩水15%)以及随着LHC的运行,Tevatron于2011年9月30日关闭。今天,美国虽然仍是世界上经济和科学最发达的国家,但在粒子物理领域,美国的地位已经显著削弱并陷入困境,越来越多的美国粒子物理研究人员选择到海外工作。而欧洲却以坚定的行动显示了支持基础研究的决心,CERN 1989年建成周长27公里的大型正负电子对撞机LEP以及随后的成功运行,欧洲逐渐成为世界粒子物理研究的前沿阵地。LHC建成后,欧洲成为世界粒子物理研究的中心。美国不得不接受这个结果,在一定程度上,可以说这是美国当年中止SSC的后果延续,是美国的悲哀。

中国的政治家在国家重大科技工程的决策方面显出了超人的智慧与胆识。20世纪60年代,在经济基础和技术基础都非常薄弱的条件下,中国领导人决定完

全依靠自己的力量研制原子弹、导弹和人造卫星。中国的科学家在较短时间就突破了前沿技术的瓶颈，取得了举世闻名的成就。“两弹一星”工程的成功给当时的中国带来了国家安全与国际地位，也使中国的科技发展实现了跨越，带动了相关基础和战略产业的成长，也培养并产生了一批世界级的战略科学家和关键领军人物，为中国跻身于世界大国行列作出了重要贡献¹¹。



1984年10月7日，邓小平为BEPC工程奠基（图片来源：高能所网）

建设中国自己的粒子加速器是中国科学家梦寐以求的理想，几代科学家为此付出了几十年不懈的努力，但始终未能顺利实施。20世纪70年代初，中国科学家提出了建造正负电子对撞机的建议。1979年1月，在国内百废待兴、多方寻求国际合作的历史关头，邓小平踏上了美国国土，实现了新中国领导人的首次访美。此行他首先促成的是中美两国在高能物理领域合作协议的签订¹³。在邓小平的决策下，国家投资2.4亿元，北京正负电子对撞机（BEPC）于1984年10月动工兴建。80高龄的邓小平来到工地，挥锹铲土，亲自为对撞机工程奠基。他坚定地说：“我相信，这件事不会错。”

经过四年的艰苦奋斗，BEPC首次实现正负电子成功对撞。1988年10月24日，邓小平亲临对撞机工地视察并发表了重要讲话，他说：“我先讲个故事。有一位欧洲朋友，是位科学家，向我提了一个问题：你们目前经济并不发达，为什么要搞这个东西？我就回答他，这是从长远发展的利益着眼，不能只看到眼前。”接着，邓小平谈道：“过去也好，今天也好，将来也好，中国必须发展自己的高科技，在世界高科技领域占有一席之地。如果六十年代以来中国没有原子弹、氢弹，没有发射卫星，中国就不能叫有重大影响的大国，就没有现在这样的国际地位。这些东西反映一个民族的能力，也是一个民族、一个国家兴旺发达的标志。”邓小平以一个伟大政治家的高瞻远瞩和洞察能力从国际政治的角度回答了我们为什么要建对撞机”的问题¹²。

BEPC 在 20 世纪 80 年代被称为是中国继“两弹一星”后最重大的科技工程，中国的高能粒子加速器技术由此跨越了 30 年，直接进入了国际先进水平。中国科学家不负众望，BEPC 稳定运行，取得了一系列重要成果，中国科学家从此拥有了自己的粒子物理研究基地，从此跻身世界知名的高能物理研究中心之列。2009 年它完成了重大升级改造，主要性能、对撞亮度比改造前提高了几十倍。它使中国的加速器、探测器技术实现了又一次跨越，为中国继续保持和发展在粲物理实验研究领域的国际领先地位奠定了基础。同时，它也成为开展多学科交叉前沿研究的大科学平台，使我国多项重大前沿技术有了重要突破、提高和发展。

国家重大科技工程的决策，政治家起决定性的作用。政治家与科学家在国家重大科技工程的决策过程中能否达成共识，其关键在于能否从不同的视角将双方的智慧结合。科学家要敏锐而准确地把握国际上的科技发展态势，要向政治家证明哪些重大科技工程的价值能够与国家的巨额投入相匹配。政治家高瞻远瞩作出事关国家和民族命运的重大决策，往往也需要更多的科学家参与其中，提供更多维度和层次的论证和支持¹⁴。

3.2 国际其他未来高能量对撞机方案

LHC 发现希格斯粒子被视为自原子结构揭示以来人类对宇宙认识的最大突破，这一突破开启了粒子物理学的新时代。可是 LHC 找到且只找到了希格斯粒子，它还没有发现任何一个奇异的粒子，比如科学家们猜想的已知粒子的“重量级”伙伴——超对称粒子。这些粒子也许的确存在着，只是因为太重了，以至于 LHC 力不从心。按照预定计划，LHC 可运行到 2025-2030 年，但科学家们已开始对它的升级了。到 2020 年，LHC 升级后对撞质子的能级可达到 30 TeV，为 LHC 目前最大对撞能级（7 TeV）的三倍多。届时，LHC 就成为一个高亮度的大型强子对撞机 HL-LHC（High Luminosity Large Hadron Collider）¹⁵。

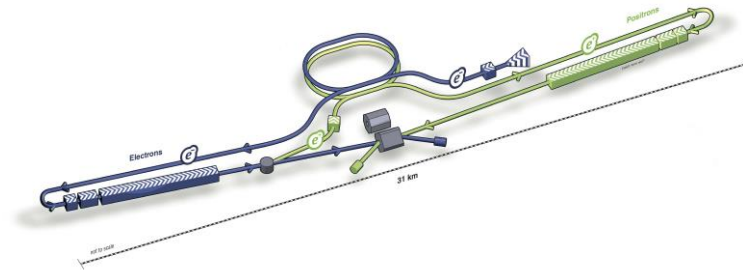
只是 30 TeV 的能量并不能让科学家们满足，高能量是粒子物理领域发展的最前沿。在后 LHC 时代需要更高能量的对撞机已成为粒子物理领域的共识。谁都想引领粒子物理学的新时代，粒子物理领域历来竞争与合作以及互补并存，在竞争中合作，在合作中达到互补，最终实现共同的目标。未来的高能量对撞机有直线对撞机与环形对撞机两种类型。

中国是否能成为“希格斯工厂”的拥有国，这一点目前还是未知数，但必须了解国际上正在酝酿中的其他几个未来高能量对撞机方案。

1. 国际直线对撞机 ILC

国际直线对撞机 ILC（International Linear Collider）被列为后 LHC 时代首选方案。ILC 将建造在总长约 30 公里的地下隧道里，由两个 11.3 公里长的直线加速器分别将正负电子加速到 250 GeV 的能量实行碰撞，质心系能量达到 500 GeV 或者到 1 TeV。ILC 基于已得到认可的超导加速技术，将使大约 100 亿个反方向的电子和正电子接近光速相撞，每秒对撞 14000 次。ILC 的威力将远远超过以往任何一台正负电子对撞机，让物理学家有能力深入研究 LHC 的任何一项新发现。ILC 有望制造出大量的希格斯玻色子，使科学家们能精确确定其属性。它或许也

会揭示另外一些反常的事例，引导科学家们发现其他理论。ILC 的建造涉及大量最先进的加速器技术、探测器技术及其他通用的最前沿高科技技术。



ILC 示意图（图片来源：维基百科）

虽然明知 ILC 造价昂贵且建设过程存有巨大风险，但因 ILC 寻找的答案具有极为重大的意义，承建者很有希望因此成为粒子物理领域的霸主，欧洲 CERN、美国费米国家实验室和日本高能加速器研究机构 KEK 均对建造 ILC 表现出极大兴趣。俄罗斯和英国也跃跃欲试，也曾有中国科学家提议希望 ILC 落户中国。2011 年底，日本政府拨款几百万美元用于在日本进行 ILC 候选地点的地址勘探，并组织 49 位专家专门编写了《ILC—Issues in Construction of the ILC Facility in Japan》。2013 年年初，国际未来加速器委员会 ICFA（International Committee for Future Accelerators）比较了 ILC 在 CERN、美国费米国家实验室和日本的造价，最终选址日本东京以北 400 公里处。日本政府将实施这一计划看作振兴当地经济的一剂强心针，同意负担一半的建造成本，另一半资金将由美国和欧洲提供¹⁴。

来自全世界 300 多个实验室和大学的 1600 多名科学家和工程师，致力于 ILC 的设计及探测器的研发。经过 20 多年的准备，ILC 于 2013 年 6 月正式发布了《技术设计报告（TDR）》。建设前的各项准备工作已基本成熟，ILC 有望于 2018 年左右开始建造，约 10 年后竣工¹⁴。如果进展顺利，ILC 将会在 21 世纪 20 年代“照亮”粒子物理学的最前沿¹⁶。

中国科学家积极参与 ILC 的预研及未来的建设与管理。作为重要参加国的必要条件，中国可能被要求以实物方式贡献约 5% 的建造经费。

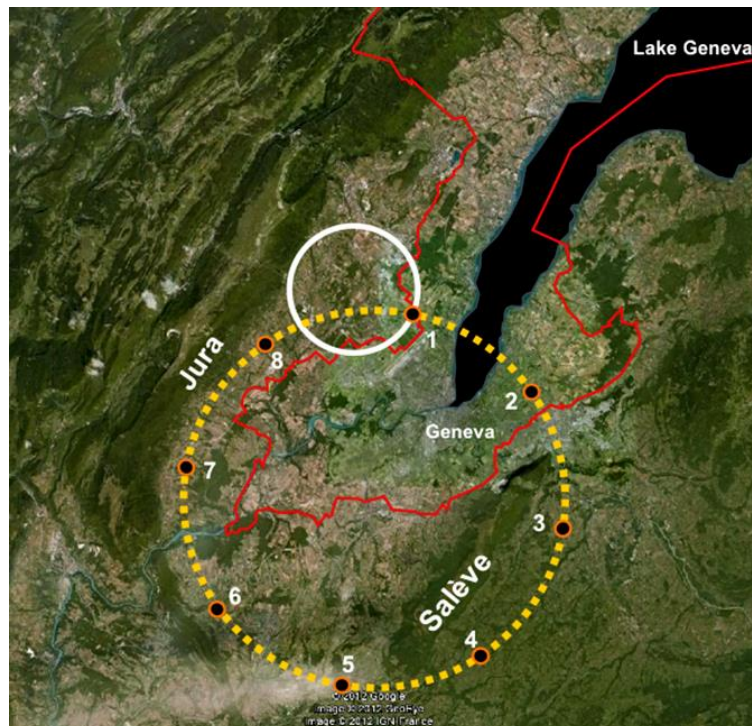
2. 紧凑型直线对撞机 CLIC

CERN 支持的紧凑型直线对撞机 CLIC（Compact Linear Collider）是更富于创新思想的方案，长约 48 公里，设计能量 1 TeV，采用双束加速方法：一个是常温、行波结构的主加速器，另一个是工作于 3 GeV 能量的超导强流电子直线加速器，其电子束转换后产生微波，再输送到主加速器加速电子和正电子。此项新型加速技术可省去几千个速调管、调制器和脉冲压缩装置，费用显然低于 ILC。目前 CLIC 还只有一个概念性设计报告，其更高的能级可能开启发现或精密测量的新领域¹⁷。

3. 大型正负电子对撞机 LEP3

大型正负电子对撞机 LEP (Large Electron Positron Collider) 是 CERN 在 20 世纪 80 年代为了在与美国建造正负电子对撞机的竞争中占上风建造的, 总投资 6 亿美元。LEP 隧道周长 27 公里, 跨越法国和瑞士国界, 占地 36 公顷, 隧道截面为半径 1.9 米的圆。LEP 的主环上有 488 个 36 米长的二极磁铁、776 个四极磁铁、504 个六极磁铁、504 个二极校正磁铁、有 128 个高频腔, 对撞区采用 8 个超导四极磁铁。1989 年 8 月 13 日, LEP 实现首次对撞, 正负电子的能量分别为 50 GeV。在 LEP 的二期工程 (LEP2) 中, 用 256 个超导腔逐步换下了原有的 128 个高频腔, 将正负电子能量分别提高到 100 GeV, 总对撞能量为 200 GeV。2001 年 LEP 停机, 腾出隧道用于 LHC 的建造。

在讨论 LHC 升级方案时, 有人提出在现有隧道中与 LHC 并排架设新的加速器管道, 用来进行电子束与反物质电子 (正电子) 束的碰撞。为了与原先的 LEP 加以区别, 这项提议命名为 LEP3。LEP3 拟用每束 120 GeV 的能量产生希格斯玻色子, 总能量为 240 GeV, 其产出将进一步推动当前关系碰撞率或亮度的技术进步, 约 500 倍于 LEP。此方案可利用 LHC 的一些仪器, 包括粒子探测器, 并能利用现有的电力基础设施以及数据的获取系统, 成本估计在 10-20 亿美元之间, 远低于 LHC 的成本。如果利用现有的基础设施, LEP3 最快将可能于 10 年内建成。在现有隧道中安装新的 LEP3, 不必搬走 LHC。因隧道内可以容纳两种类型的对撞机同时运行^{16, 18}。



LEP3 (白色圆环) 与 TLEP (黄色圆环) 位置示意图 (图片来源 HF2012)

然而, LEP3 不能对任何比希格斯粒子重的东西进行研究, 即使再提高 LEP3 的能量以研究更重的粒子, 来自同步辐射的能耗在 LEP3 中的损失将会十分严重。

4. 极高能大型正负电子对撞机 TLEP

对环形加速器而言，提高能量的唯一途径是增加半径，如果想要超越 LEP3 的能量，就需一条新的隧道。有设想在日内瓦湖的下方开挖更大的，周长 80-100 公里的新隧道，安装一个极高能量的正负电子对撞机，称为极高能大型强子对撞机 TLEP。这台机器的很多关键参数与下面要谈到的 VLHC 类似，对撞能量也将高达 100 TeV，估计造价不会少于 100 亿美元。TLEP 如果能在 2020 年左右开始建造，2035 年左右可竣工^{16、19}。

5. 未来环形对撞机 FCC

LHC 的最初构想早在 20 世纪 80 年代已经成型，但一直等了 25 年才开始起步。要想在 2030 年左右建成未来的环形对撞机，时间可不算富余。

2014 年 2 月 12-15 日，CERN 在日内瓦召开了“未来环形对撞机 FCC (Future Circular Collider) 研究启动会”，标志着这项为期五年的国际研究合作正式开始。研究目标是为后 LHC 时代，未来的质心系能量为 100 TeV，隧道周长 80-100 公里的强子对撞机 (FCC-hh) 选择最佳方案。CERN 一直希望仍在 LHC 附近建造这个设备。90-400 GeV 的轻子对撞机 FCC-ee (即前面所说的极高能大型正负电子对撞机 TLEP) 将作为潜在的中间步骤来研究，期间也将研究轻子强子对撞机的可能方案。中国在此次会议上介绍了 CEPC 方案的进展情况²⁰。

6. 超大型强子对撞机 VLHC

2013 年 11 月 2 日，美国 SLAC 国家加速器实验室的科学家向美国政府顾问委员会提出了建造超大型强子对撞机 VLHC (Very Large Hadron Collider) 的概念。他表示，VLHC 会让其前任“相形见绌”。LHC 最高对撞能级只有 14 TeV，VLHC 的质心系能量能达到 100 TeV，环形隧道周长 80-100 公里^{18、21}。为了制造 VLHC，需要研发出能在更强磁场工作的超导磁铁，候选者包括锡化铌，能承受更高的磁场，但其身价高昂，且必须冷却到零下 255 摄氏度¹⁸。

7. 缪子对撞机 MC

正在探索的方案中还有另一个替代的希格斯工厂的概念——环形缪子对撞机 MC (Muon Collider)，即环形加速器加速的不是电子或质子而是缪子。什么是缪子？构成物质世界的 12 种基本粒子中，有三种是带电轻子：电子、缪子和陶子。缪子的质量是电子的约 207 倍，不稳定，平均寿命仅为 2.2 微秒，但其它性质与电子相似。

MC 的设想方案是通过 125 GeV 的总碰撞能量的缪子束对撞产生数以万计的希格斯粒子来进行研究。它或许圆周只需 1.5 ~ 3 公里，比 LEP3 要小得多。或许它还能达到更高得多的能量，用于研究更重的粒子¹⁶。但 MC 因缪子寿命短和束流冷却困难等原因面临的一系列的技术难点，这些问题还需继续攻关。

除了上述这几种方案，世界粒子物理界还有更多的设想在酝酿之中，但目标基本是一致的，即最终建成高能量对撞机。中国的 CEPC 设想于 2012 年 9 月就提出了，初步的概念设计已在进行中。由于各种客观因素的制约，特别是要筹集高昂的建设经费，国际上无论哪个未来对撞机方案要想从设想进展到真正实施都不会是容易的事。ILC 经过多年研究，技术较为成熟，相比之下 CEPC 的提出时间还较短，还需要做更多的研究。ILC 与 CEPC 技术难点各有不同，CEPC 突出的优点是建成的隧道可以用于后续的大型质子对撞机，但也应看到 CEPC 与 ILC 相比的局限性，环形对撞机的周长决定了其最高质心系能量。CEPC 与 ILC 的物理成果可相互检验，具有重要的互补性。对中国来说，如果 CEPC 想得到国际支持，中国也需支持 ILC。中国通过参与 ILC 的预研以掌握最前沿技术，通过参与 ILC 的建设以取得国际粒子物理领域相应的话语权。

3.3 巨大的挑战

CEPC 是我国粒子物理界的一个梦想，如果这一宏伟设想能付诸实施，中国无疑将跻身高能对撞机物理尖端领域世界领先的行列，将对人类探索未知世界作出非常重要的贡献²²。中国的粒子物理实验研究也将实现具有重要历史意义的跨越，特别是未来的质子对撞机，将使我国的粒子物理研究地位远超国际上任何其他国家。由于 CEPC 的规模巨大，要实现这个梦想，在争取获得国家高层领导的决策批准、突破多项最前沿技术的难点、多方及多种形式筹集资金、管理组织庞大的研制队伍、组织大型国际合作、建设大型国际研究中心等方面均面临着巨大的挑战。

未来让人振奋人心，但科学研究是理性和严谨的。一个超大型粒子对撞机的预研、建造、运行、升级以及实验数据的分析等，周期一般都在二三十年左右。因建设、运行耗资巨大，不仅需要得到国家层面的经费支持，还需争取到国际合作和民间资本的资助。这样大的工程，需要几代人坚持不懈的努力才有可能获得成功²¹。

从总体上看，虽然 CEPC 相对 ILC 有很多优点，面临的技术难度与造价均比 ILC 低，但目前 CEPC 正在进行的是初步概念设计（Pre-CDR），完成技术设计（TDR）尚需要相当长的时间，需要充分估计和进一步暴露它的物理问题和技术难度，它可能涉及的大量最先进的加速器技术、探测器技术及其他通用高科技技术均需充分考虑技术的可行性，对 CEPC 造价和运行费的估计也需进一步细化。

未来高能量粒子加速器的前沿装置无论建造地在国内还是在海外，其技术水平和难度都具有国际高度，国际合作不可避免。只有积极参与到国际高能物理加速器国际合作，并作出应有的贡献，以我为主的先进加速器项目才能得到国际粒子物理界的全力配合与支持，我国粒子物理研究队伍的水平才能真正提高和不断壮大，中国粒子物理研究的未来之路才能越走越宽²³。

重大科技工程的决策引起争论是难免的。由于专家学者的专业背景、历史与现实背景等方面存在的差异，意见不一致是正常的。国内也有专家认为，近期我国物理研究作出的一些很好的工作并不是在高能物理领域，国家不一定非要投几百个亿建对撞机发现一个新粒子拿一个诺贝尔奖，别的大型国际合作的科学意义也不一定比高能对撞机小等等²²。

关于重大科技工程的决策可以有意见分歧与争论，但不能久拖不决。历史经验和教训表明，机遇稍纵即逝，再过几年，即使各方面意见趋于一致，也就是机遇消失之时。只有从战略的高度、全球的视野，用发展的思维通过理性的分析果断决策，才能把握机遇，赢得先机和主动¹²。

3.4 中国建 CEPC 的优势

中国提出的建造 CEPC 环形希格斯工厂及后续的超级质子对撞机的科学目标是精确测量希格斯粒子的性质以及探索标准模型背后更基础的物理规律。这个目标是世界粒子物理研究的制高点，非常重要，中国的粒子物理研究将由此打开一个全新的局面。CEPC 是中国未来粒子物理研究发展的极好选择和重大的历史机遇，相对别的选项意义更为重大²²。

CEPC 能量可达到 240 GeV (240×10^9 eV)，成为产生上百万个希格斯粒子的希格斯粒子工厂（与 ILC 一样），胜任对希格斯粒子大部分重要性质的研究。且 CEPC 发展潜力巨大，可以进一步改造为 50-100 TeV 高能量的质子对撞机，其性能在寻找新的重粒子方面优于升级以后的 LHC，能提供极好的粒子物理研究机会，使中国在未来的几十年内，在探索新物理的最前沿研究中保持领先，成为国际主要的粒子物理研究中心之一，这是 CEPC 的重要优势²²。除了方案的战略优势，中国建 CEPC 的优势还表现在：CEPC 赶上了中国发展的好时机、中国有建设 CEPC 的扎实基础及能力。

1. 赶上了中国发展的好时机

2012 年 11 月 29 日，习近平总书记带领新一届中央领导集体参观中国国家博物馆“复兴之路”展览时定义了“中国梦”：“实现伟大复兴就是中华民族近代以来最伟大梦想。”“这个梦想一定能实现。”

2013 年 4 月 8 日，习近平在博鳌亚洲论坛年会的中外企业家代表座谈会上强调：“我们确定了‘两个一百年’的奋斗目标，提出了实现中华民族伟大复兴的中国梦，实现这些目标必将给中国经济源源不断注入新的活力和动力。经过我们努力，经济增速完全有可能继续保持较高水平。”“中国的发展将为世界作出更大贡献。”

2014 年 1 月 6 日，习近平在北京人民大会堂会见探月工程嫦娥三号任务参研参试人员代表时指出：“科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑，必须把科技创新摆在国家发展全局的核心位置，坚持走中国特色自主创新道路，敢于走别人没有走过的路，不断在攻坚克难中追求卓越，加快向创新驱动发展转变²⁴。”“中国是一个大国，必须成为科技创新大国。”

2014年6月3日，习近平出席2014年国际工程科技大会并发表主旨演讲，强调“工程科技是改变世界的重要力量，发展科学技术是人类应对全球挑战、实现可持续发展的战略选择。”“一项工程科技创新，可以催生一个产业，可以影响乃至改变世界。”“任何一个领域的重大工程科技突破，都可能为世界发展注入新的活力，引发新的产业变革和社会变革。”

2014年6月6日，习近平在会见第七届世界华侨华人社团联谊大会代表时发表重要讲话，他强调，中国人民正在为实现“两个一百年”奋斗目标、实现中华民族伟大复兴的中国梦而奋斗。

“两个一百年”，第一个是指：到2020年，即中国共产党成立100年时，国内生产总值和城乡居民人均收入在2010年的基础上翻一番，全面建成惠及十几亿人口的小康社会；第二个是指：到本世纪中叶，即中华人民共和国成立100周年时，建成富强民主文明和谐的社会主义现代化国家。

国家领导人的高瞻远瞩使“中国梦”成为一个凝聚共识、激励人心的词汇，实现中华民族伟大复兴的中国梦，是中国各族人民的共同愿景，中国科学界要实现中国梦提供有力的科技支撑。希格斯粒子发现后，建造CEPC成为一代中国物理学家愿意用一生努力来实现的梦想。

新中国经过60多年的发展，国家的经济实力大大增强，一些科技领域已从跟跑者向并行者转变，完全有能力在新的起点上实现跨越发展。中国科技的发展勇于走前人没有走过的路，面向世界科技前沿和国家战略需求，找准科技突破的新方向，作出基础性、战略性、原创性的重大贡献。CEPC赶上了中国发展的好机会，令人十分欣慰。

2. BEPC 奠定了坚实的基础

CEPC还有一个含义，可以说CEPC是中国第一台高能加速器——北京正负电子对撞机BEPC的后续。

20世纪50年代初，国外已经有了相当先进的高能粒子加速器，而我国则处于零起点上。在中国自己的高能粒子加速器上开展高能物理实验研究，是中国物理学家梦寐以求的理想。从50年代中期开始，中国科学家陆续建造了一些小型的加速器，如赵忠尧先生主持建造的质子静电加速器（700 keV），用于低能核物理实验。谢家麟先生主持建造的我国第一台能量为30 MeV的高能量电子直线加速器，它的第一个应用就是模拟原子弹爆炸时的辐射效应，为中国第一颗原子弹爆炸提供了检测手段。从20世纪50年代后期起，建造中国高能粒子加速器的事情就几度筹划、酝酿。几代科学家经过近30年的“七下八上”的曲折经历，终于在20世纪80年代实现了这个理想，建成了中国的高能粒子加速器BEPC²⁵。

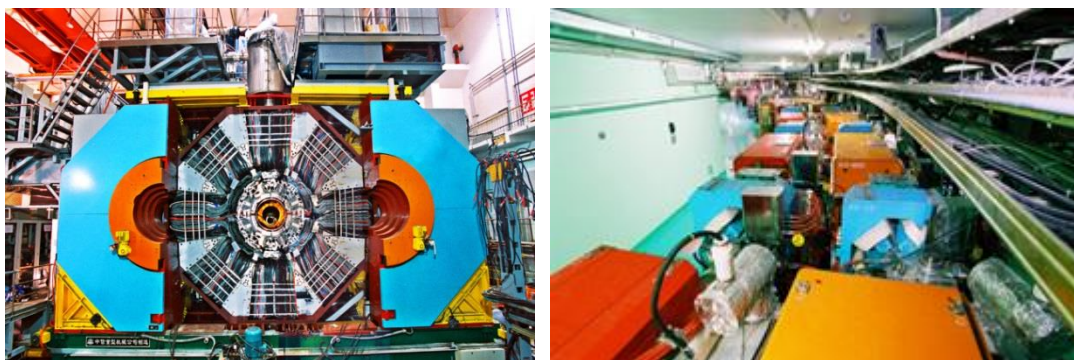


1988年建成的北京正负电子对撞机及北京谱仪（图片来源：高能所网）

BEPC 承载了中国几代科学家的期盼和梦想，当时被称为中国继“两弹一星”后最重大的科学工程。它仅用 4 年时间、2.4 亿人民币，创造了国际同类工程中建设速度快、投资省、质量好、水平高的奇迹。它的性能优异，对撞亮度是美国同类加速器 SPEAR 的 4 倍。中国的高能粒子加速器技术由此跨越了 30 年，直接进入了 20 世纪 80 年代的国际先进水平。BEPC 稳定、高效运行了 17 年，取得了一系列重要成果。中国科学家从此拥有了自己的高能物理研究基地，北京正负电子对撞机国家实验室也因此跻身世界知名的高能物理研究中心之列²⁴。

2003-2009 年，BEPC 进行重大升级改造，按进度、按指标、按预算、高质量地完成了建设任务。加速器主环由单环变为双环，其主要性能、对撞亮度比改造前提高了 70 多倍，是同一能量区域里美国康奈尔大学对撞机 CESRc 的 4 倍以上；它使中国的加速器、探测器技术实现了又一次跨越，为中国继续保持和发展在粲物理实验研究领域的国际领先地位奠定了基础。

由 7 个国家和地区，49 个成员单位，300 多位科学家组成的北京谱仪(BESIII)国际合作组在 τ -粲物理领域占国际领先地位，发表了“首次发现带电类粲偶素 $Z_c(3900)$ ”、“证实 $X(1835)$ 并首次观测到 $X(2120)$ 和 $X(2370)$ ”等一批国际上有显示度的重要物理成果，受到国际高能物理界和科学期刊的高度关注。



重大改造后的北京正负电子对撞机及北京谱仪（图片来源：高能所网）

BEPC “一机两用”，既是高能粒子物理研究的重要实验工具，又是用于多学科研究的同步辐射装置，成为开展凝聚态物理、材料科学、生命科学、资源环境及微电子技术等多学科交叉前沿研究的大科学平台，使我国在快电子学、微波和高频、超高真空、高精度磁铁及大功率高稳定度电源制造等重大技术方面有了重要突破、提高和发展。

BEPC 建设也曾有一些争议，但小平同志高瞻远瞩，拍板决定了这项重大工程。BEPC 的建设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，中国在国际粒子物理领域占有了重要地位。在技术上，使中国具备了建造大型加速器的能力，有能力完成同步辐射及散裂中子源等为社会服务的重大科技基础设施的建设，大大提高了国家整体科学水平。BEPC 也是技术引进的窗口，引领了网络及 WWW 等技术在中国的普及与发展。BEPC 培育、吸引了一大批尖端领域的高水平技术骨干，在我国重大科技基础设施的建设中发挥着重要作用。BEPC 与国际接轨的重大科技工程的管理方式推广到国家其他重大科技项目，起到了重大示范作用。BEPC 积累的经验和高素质的骨干队伍为 CEPC 的建设奠定了坚实的基础。

3.5 投资从哪里来？

CEPC 一期所需总投资估算为 200 亿人民币，每年的运行经费约 10%，国家是否有能力承担如此巨大的投资？

基础科研对一个一等强国是不可或缺的。如果想争第一强国，基础科研的投资必须是世界第一，这是必要条件。大型加速器的建设均需投入巨资，下表列出了各国对大型加速器的投入。

装置名称	装置造价	启动建造年度	建造周期
中国 BEPC	2.4 亿 CNY	1984 年	4 年
美国 SSC	120 亿 USD	1987 年	10 年
欧洲 LEP	13 亿 CHF	1984 年	8 年
欧洲 LHC	40 亿 Euro	2000 年	10 年
日本 ILC	100 亿 USD	计划 2018 年	8 年
中国 CEPC	200 亿 CNY	计划 2021 年	8 年

世界各国建造大型加速器的投入一般占国家 GDP 的 0.1~0.3%。20 世纪 80 年代，BEPC 的建设投资约占当时国家 GDP 的 0.1%。20 年之后，中国将成为世界最大的经济体，随着综合国力的上升，中国有实力可以考虑在粒子物理领域发挥出与国力相称的影响力，CEPC 预计 200 亿元（CNY）建设投资占国家 GDP 的比例应该不会高于 0.1%，中国应有能力建造世界最大的加速器。

CEPC 虽然投资巨大但回报明确，包括：确定的世界领先科学成果；关键技术的研发、进步和推广，推动高端产业的聚集，加快社会与经济的发展；科学思

想及理念的普及推广；高端人才的聚集与引进；青年人才的培养和教育质量的提升；管理方式的国际化及其推广；地方社会与经济的发展；国际合作及科技外交；提高中国的国际威望，加强软实力等⁸。重大科技工程的投入需要以国家意志作为顶层意识形态，集中国家资源与力量于主要目标达到最终目的¹¹。随着新的加速原理和技术的进步，未来高能对撞机的造价的性价比还可能会提高很多，可操作性会更好²²。

CEPC 的投资规模大、时间长，且牵涉地方建设与发展，除了国家的投资，CEPC 还可用多种方法、多种途径、多种形式筹集资金。建议采用国家、地方、企业、个人捐助、捐赠及国际合作共同支持的经费筹措方案，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，同时吸引相关设备服务企业及国内外大型研究机构进驻⁸。

国家主要投入实验设施的建设，地方主要投入科学城及研究中心建设，企业及个人捐赠用于提高设施性能，同时国家及地方政府可以考虑在税收、科学城开发等方面以不同形式给提供捐赠的企业以一定程度的优惠和补偿。CEPC 是大型国际合作项目，各国科学家均会以各种方式参加。估计会有约 20 %来自国际合作的贡献。

3.6 CEPC 的计划进度

CEPC 方案分为两个建设阶段。首期建造一个周长 50-100 公里的正负电子对撞机，设计质心系能量为 240-250 GeV，亮度为 $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。加速器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⁸。粒子探测器方面虽已具有较强的研发能力但还缺少一些先进探测器的关键技术，包括抗辐照半导体径迹探测器和相关的电子学、数字化径迹量能器、智能触发器等。CEPC 预期安装 2 个大型探测器，可通过国际合作获得所需的前沿技术。CEPC 将能产生大量干净的希格斯粒子，成为名副其实的希格斯工厂，从而实现对希格斯粒子属性进行精确测量，同时可进行其它标准模型精确测量。为节约用地并屏蔽辐射，建设周长达 50-100 公里的环形对撞机，首先需要建造洞径宽约 7 米的地下隧道，埋深约 50-100 米左右，不影响地面的建筑。为降低隧道成本，减少建造风险，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，造价也应是全世界最低的。

CEPC 二期建设将在已建成的隧道中升级建造质心系能量为 50-100 TeV 的质子对撞以及电子质子对撞机，从而实现直接在 50 TeV 或更高的能区寻找新物理。二期建设需要制造大量的超高场强超导磁铁，技术难度较大。但由于中国参加了国际热核聚变实验堆（ITER）项目（目前世界上规模最大、影响最深远的国际科研合作项目之一），超导导线方面并不是完全空白，高能物理研究所也有较强的大型螺线管超导磁铁的研制基础。相信通过 20 年左右的努力和国际合作的帮助，届时应该可以掌握⁸。

完成重大改造后的 BEPC 还有 8-10 年的运行使命，考虑到高能量粒子对撞机的建造，一般都需要 5-10 年的准备时间，目前开始着手规划 CEPC 的设计建造正是时候。

CEPC 设计、研制的计划进度

正负电子对撞机	质子对撞机
2014 年末：初步概念设计报告 (Pre-CDR)	
2015 年末：项目黄皮书 (CDR)	
2016-2020 年：正负电子对撞机 R&D	
2020 年：技术设计报告 (TDR)	2020 年开始预研
2021 年：开始 CEPC 工程建设	2020 年至 2030 年具体 R&D
2028 年：开始 CEPC 运行取数	2035 年以前完成工程设计
2035 年：CEPC 运行结束	2035 年开始建设
	2042 年开始取数
	2055 年升级改进

CEPC 地点的选择正在积极考察之中。按照国际惯例，CEPC 应建设在环境优美、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，有利于将来发展为一个国际著名的科学城。

IV. CEPC 建成后会发生什么？

LHC 的成就对全世界产生了重大影响。可以预见，CEPC 建成后将对中国及世界的未来进步和发展产生重大的影响，为实现中华民族伟大复兴的中国梦——建成富强民主文明和谐的社会主义现代化国家，为实现习近平总书记提出的“四个率先”起到独特的重要作用。

4.1 世界的聚焦点

目前世界上最大的粒子对撞机 LHC 自 1994 年开始建设以来就始终吸引着全世界的目光。这个巨无霸原计划于 2008 年 8 月份启动，由于北京奥运会开幕占用了全世界所有的电视频道，而 LHC 要向全世界现场直播启动仪式，以展现现代物理学对当代社会的重要作用，只得推迟到 9 月 10 日。这一天 LHC 通过网络向全世界现场直播了第一束质子束在数千个冷却到零下 271 摄氏度的大型超导磁铁中被加速到 99.9998 % 的光速，在全长 27 公里的环形隧道中以每秒 11245 圈的速度狂飙，全世界见证了这个具有里程碑意义的历史时刻。从这一天起，全世界的媒体关注着它的一举一动，大量报道了与 LHC 相关的信息，包括它发生故障停机、调查分析原因、维护修复后重新启动、7 TeV 质子束流首次对撞成功、粒子束流亮度创造新的世界记录、宣布发现希格斯粒子、以后的实验计划与预期成果等等。

在 LHC 发现希格斯粒子一年多之后，提出希格斯理论的比利时科学家恩格勒和英国科学家希格斯一起分享了 2013 年度的诺贝尔物理学奖，表彰他们“发现了一个理论机制，对人类理解基本粒子的质量起源作出了贡献；这个机制预言的粒子最近被 CERN 的大型强子对撞机 (LHC) 上的 ATLAS 和 CMS 实验发现所证实”。这一诺贝尔物理学奖是众望所归，全世界物理同行为之庆贺²⁶。世界

科学界盼望近半个世纪的希格斯粒子终于被发现，从而找到了所有基本粒子质量起源的线索，加之 LHC 两个国际实验合作组 6000 余人多年的辛勤工作，其科学意义和影响早已大大超出了一个普通诺贝尔奖所能褒奖的范畴²⁵。历史更能说明问题，基于加速器的高能粒子物理研究引领了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，人类对物质结构的认识有了巨大进展。20 世纪 40 年代以来，超过三分之一的诺贝尔物理学奖与加速器技术有直接关系⁸。



2013 年诺贝尔物理学奖获得者恩格勒和希格斯（图片来源：CERN 网）

为何一个大型科技基础设施的建设能引起全世界如此的高度关注？正是因为大型加速器技术对科学、社会发展的深远影响，因为它集聚多项世界最前沿的高新技术于一身，代表了这个时代最强的国家竞争力并充分显示出一个国家跻身于世界科技强国的实力。

CEPC 建成后将无可争议地成为国际高能粒子物理研究的最前沿阵地，成为全世界新的聚焦点，很有可能在超出标准模型的新物理探索，以及标准模型的精确测量方面抢得先手，取得国际瞩目的具有重大突破意义的物理成果，有助于大大提升中国在国际上的地位，提升中国基础科研领域的整体水平，取得更多原创性、突破性和关键性的重大研究成果。它所带来的技术创新将在国家产业升级和全民科学素养的提高中发挥积极作用，增强中国的国家竞争力。

4.2 科学技术的跨越发展

实现科学技术跨越发展不仅要在关系国家全局和长远发展的高端科技领域率先实现重大突破，产出有国际影响的重大科研成果，而且要对国家经济及社会发展产生巨大的带动作用。

大型加速器建造以及高精度粒子物理实验在超高压、超高真空、大型超导磁铁、超高精度位置测量、超快时间测量、超大量数据快速远距离传输和处理、高性能计算等方面，集中了大量世界最前沿的高新技术，同时也对工业制造、工艺新技术的发展起到了巨大的推动作用。彻底改变人类生活的互联网技术、医学中超导核磁共振设备、工业上的射线无损探测以及海关集装箱的检测装置等先进设施的核心技术均来自大型粒子加速器²⁷。以先进加速器技术为基础的同步辐射、散裂中子源、自由电子激光等大型研究平台成为多学科交叉研究的前沿研究强有力的研究手段。

在加速器技术本身飞速发展的基础上，大批前沿技术在医疗、工业、科研、安全检查等方面有了实际的应用。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。CERN 在设计 LHC 期间，为解决大量数据的传输发明了 World-Wide-Web（即 3W 网页技术），并无偿在全球范围推广。这项技术已从根本上改变了全人类的生活，其贡献早已无法用金钱衡量⁸。

大型加速器的建造除了将中国的加速器与谱仪技术推进到国际前沿，并获取一系列重要科研成果外，还有力地推动了国内相关高技术领域的发展，推动了企业的技术进步。以北京正负电子对撞机（BEPC）为例，在 BEPC 重大改造工程中，自主研发的设备超过 85%，并最终都在国内加工完成，有力地推动了国内相关高技术领域的发展，相关工业领域的技术水平实现了跨越式发展²⁸。

全国最大的重型机械制造企业之一——中信重工机械股份有限公司负责加工大型谱仪的主体机械结构（外型尺寸为 11 米×6.2 米×6 米，重 650 吨），不仅加工工艺复杂，且精度要求极高。接任务时就有不少技术人员认为完成的可能性只有 30%。零件加工比较顺利，但部件的装配却一直未能达标。高能物理所带去了国外先进的激光测量仪，能精准地测量部件的三维尺寸。在此基础上，经过对每一道工序的严格管理，最终达到了装配要求的精度。中信重工立即引进了这种先进仪器直接用于生产，并在企业生产中推广这种现代化的管理方法，企业的产品质量得到了明显的提高。国内知名企业——成都飞机工业集团有限责任公司负责加工谱仪的漂移室室体。其端面板上需要打出直径 3.2 毫米的细长丝孔 3 万多个，组装精度要求也极高，属国内首例。第一个漂移室体报废了，又生产了两个仍不合格。请来会诊的国内多名加工制造专家均认为目前中国企业干不了这个活儿。成飞集团组织力量经过半年多艰苦努力，终于找到了机床、刀具随温度变化的规律，克服了罕见的加工热变形，圆满完成了任务。成飞集团的加工、管理水平有了跨越的提高。

BEPC 建设采用的很多关键核心技术，已陆续应用到国内的相关领域，许多已经实现了规模产业化。例如，小型正电子发射断层扫描仪（Micro-PET）、核素与荧光双模小动物成像系统、小型 SPECT/CT 扫描仪、小型 PET/CT 扫描仪、乳

腺癌早期诊断扫描仪（PEM）、乳腺专用 SPECT 扫描仪、高性能工业 CT 系列产品等一系列具有自主知识产权的高性能射线成像装备。基于北京谱仪超导磁铁先进低温超导技术，研制成功场强为 1.5 特斯拉的人体核磁共振成像超导磁铁，突破了核磁共振成像设备的关键部件技术，促进国内核磁共振成像整机产业提升；与企业合作开发中国第一台低温超导除铁器已通过产品鉴定，磁场强度达到国际领先水平；研制成功的世界首台 5.5 特斯拉零挥发低温超导磁选机性能优异，已通过技术鉴定。

CEPC 建设将涉及众多国际最前沿技术。关键技术上的突破将填补国家的战略空白，并实现以科技发展的局部跃升带动国家整体生产力的跨越发展¹²。

4.3 创新人才的高地

2014 年 2 月 23 日，在清华大学举办的“希格斯粒子发现之后，基础物理学向何处发展”论坛请来八位世界一流的物理学家作为论坛嘉宾，他们发表了对基础物理学未来发展的看法，对中国科学家提出的 CEPC 进行了热评。会后，嘉宾们在休息室又发表了非常有趣的谈话：“建大加速器可以让更多年轻人爱上基础物理学。世界第一流的项目使年轻人能够走到世界最前沿。”“建立 CERN 的目的之一，就是要与美国和前苏联竞争人力，现在他们取得了成功。”“基础物理学这个领域是由大加速器项目驱动的，过去的 50 年都是如此。世界任何地方如果建起了大加速器，那里就会成为基础物理学的中心。LHC 吸引了五六千科学家和工程师聚集²⁹。”

北京正负电子对撞机（BEPC）建设本身也是凝聚人才最好的证明。BEPC 建成后，中国有了自己的高能粒子物理实验基地。在美国、欧洲工作、学习的一些中国学者和留学生纷纷回国。他们中有许多人在国外已经取得或正在攻读博士后、博士和硕士学位，有的已经有了很好的工作和物质条件，甚至取得了永久居住权。但是，他们认为自己的事业在中国，宁愿放弃良好的工作条件和优厚的生活待遇回国，报效生养他们的祖国。20 多年来，他们中的大多数人已经成为各个学科的骨干力量，为中国高能物理事业的发展贡献了自己的青春。BEPC 造就了一支高素质的科技队伍，这支队伍在科学研究、国际合作、技术开发中发挥着不可替代的作用。BEPC 还为上海光源、散裂中子源等多项国家重大科技基础设施的建设输送了一批技术及管理的高端人才。

科学发展以人为本。CEPC 是世界最前沿的项目，是吸引世界顶尖科学家以及海内外高水平人才的“磁铁”。CEPC 的建设与运行将吸引、凝聚、培养与造就一批具有国际重要影响的学术带头人以及能担当重大创新任务的杰出人才。CEPC 建成后形成多个世界最前沿的科学研究平台，将成为名副其实的大师云集、英才辈出的国家创新人才高地。



高能物理前沿研究中心揭牌

2013年12月17日，由“基础物理学奖”获得者 Nima Arkani-Hamed 教授担任主任的“高能物理前沿研究中心（Center for Future High Energy Physics (CFHEP)）”在中科院高能物理所举行了揭牌仪式。中心的主要任务是推动中国希格斯粒子和 TeV 高能粒子物理研究，作出有国际影响的工作。中心主要采取兼职和客座专家的方式邀请国内外知名学者来所短期工作（每年引进约 50 人次），针对中国高能物理的未来发展开展前瞻性的研究。中心的成立对于推动 CEPC 的建设具有重要作用。可以说，CEPC 的创新人才高地建设已经迈出了第一步。

4.4 国际一流的科研机构

西方发达国家的科学技术水平和强大的国际竞争能力相当大的程度上是通过像欧洲 CERN、美国的 BNL 及 ORNL、德国的 DESY、英国的 RAL、法国的 PSB、日本的 KEK 等这样高水平的大型研究中心体现的。这些世界一流的大型研究中心已成为世界科学前沿研究和发展的基地、世界重大科学成果和科学突破的发源地以及科学创新的源泉、科技进步的开发区。这些中心的特点是：科研力量集中、科研任务集中、国家投资集中、科学技术成果累累；学科多样、学科交叉、发展新型、边缘科学和突破重大新技术的能力强；人才济济，能云集世界顶尖科学家、大批高端人才以及青年学者、学生。最根本的是这些研究中心都拥有先进的大型加速器及加速器群（或类似的超大型科技设施）作为支撑其强大科技竞争力的基本条件。

科学技术是国家经济发展的根本与永久动力。中国的基础科学研究长期跟踪国外，迄今还没有一个重大领域能全面领先国际，目前还少有能与西方发达国家匹敌的大型研究中心⁸。CEPC 建成后将形成规模是欧洲 CERN 两到三倍的世界级加速器技术、探测技术和高能物理研究中心，形成一批多学科交叉研究的创新平台，能充分显示出中国在国际上的重要学术影响力、吸引力和竞争力。这是近代以来中国人梦寐以求的事，也可成为中华民族全面复兴的一个标志。

CEPC 中心将引进国际一流科研机构的运作模式和管理机制，深入推动与世界各国在科技合作、人才培养、科技交流、联合建立科研机构等方面的实质性合作，营造有利于科研探索的学术环境。中心将容纳上万名国内外研究人员及工程人员来工作，并成为大批高水平的研究生与博士后教育的成长基地。中心将建立高水平的国际化科技成果转化与交流平台。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⁸。

CERN 的相关数字可作为参考。LHC 安装在周长 27 公里，地表深度约 100 米的地下隧道中，几乎完全埋没于瑞士与法国的农田之下，地面并不留太多痕迹，只在某几个地点建有地面站或与实验有关的大楼，以及 LHC 运行的配套设施，如低温冷却站、通风井、设备运输通道井等。大型实验室位于这些站点下面，与隧道的深度一样。CERN 总部位于瑞士日内瓦近郊的梅兰（Meyrin）地区，那里是主要的办公区域。CERN 聘用的全职员工有 3000 余名，另有来自 80 个国家的大约 6500 位科学家和工程师，代表 500 余所大学机构在 CERN 进行研究工作。

CEPC 是绿色、无污染的超大型科技基础设施。CEPC 的主隧道周长 50-100 公里，地表深度约 100 米，某几个地点需建设实验楼、办公楼，以及 CEPC 的配套设施。依托 CEPC 中心将建设一个国际科学城，规模将超过 CERN。CEPC 总部所在地要能容纳上万人员常驻，并驻有众多的研究部门及服务企业，要有现代化的国际学术交流环境。CEPC 不可能靠近繁华都市，选址要以战略发展的视角留有充分发展的余地。CEPC 建设地一旦确定，对当地的经济、社会、文化的发展将起到巨大的推动作用⁸。

V. 结语

李政道教授在给北京大学物理学科 100 周年庆典大会(2013 年 10 月 19 日)的贺信中写道：“今后的一百年物理学还会有巨大的发展，有更多的自然界的重要规律等待发现，有很多的机会让物理学家们对人类社会的进步，对广大人民的福利作出重大的贡献。今后一百年，中华民族将成为一个无愧于占世界人口六分之一以上的伟大优秀民族：中华民族一定会对包括物理学在内的世界科学文化继续作出极重大、极优秀的成就³⁰。”

21 世纪的中国应该是世界上举足轻重的重要国家。建设一个以 CEPC 为龙头的国际科学城，使中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的历史机遇。其科学意义、在国际上将产生的重大影响以及对未来发展的推动作用其它大型科技基础设施建设不可替代的。CEPC 赶上了中国发展的好时机，赶上了难逢的好机遇。由于激烈的国际竞争，这个机遇的时间窗口不到十年。如果中国不能在 2025 年之前启动项目，机遇就将错失，以后何时再有这样的机遇，谁也无法预料。

CEPC 承载了中国一代物理学家的期盼与梦想，也是实现中华民族伟大复兴“中国梦”的重要组成部分。一批深感历史重任的科学工作者愿意为实现这个梦想燃烧自己。衷心期待这个梦想能够成真，让这个“中国的伟大加速器”和万里长城一样引人瞩目，在新中国建国 100 周年之际真正起到引领未来的作用。

参考文献

- ¹ 大型强子对撞机六大实验
<http://tech.sina.com.cn/d/2008-09-03/13242432697.shtml>
- ² 揭秘世界最大的机器：大型强子对撞机
<http://tech.sina.com.cn/d/2008-08-12/10462386127.shtml>
- ³ “US Particle Physics: Scientific Opportunities” A strategic plan for the next ten years. Report of the Particle Physics Project Prioritization Panel. P.14
<http://www.fnal.gov/pub/forphysicists/hepbook/index.html>
- ⁴ 标准模型：世界的本源是什么？
<http://blog.sciencenet.cn/blog-576779-563524.html>
- ⁵ 希格斯玻色子：粒子物理学中的“上帝”
http://www.chinadaily.com.cn/hqgj/jryw/2012-07-04/content_6348116.html
- ⁶ 我猜我们发现它了 - 一个疑似希格斯玻色子诞生记
<http://www.duob.cn/cont/813/159370.html>
- ⁷ Particle physics: Together to the next frontier
<http://www.nature.com/news/particle-physics-together-to-the-next-frontier-1.14364>
- ⁸ 建设大型加速器 实现科学梦，王贻芳，《现代物理知识》26卷（2014）第2期
- ⁹ 关于科技决策与科技管理的几点思考
http://www.dss.gov.cn/Article_Print.asp?ArticleID=50361
- ¹⁰ 政治家与科学家在重大科技工程决策中的互补
http://wenku.baidu.com/link?url=LlaGs0A2vbplO4NKbTTRwHABz4yh_7bQTrv6G0vXR89WiMkNxaktF_q_5CoeDvJ5_MRNfBSZLMoUr0BIUaDBfyNcoEk8-b9hgcobFs37ZW_
- ¹¹ 百度百科“超导超级对撞机”
http://baike.baidu.com/link?url=C6SsEor2POEG5fw4_6czIFTG-Kctr13LUgqeQqcOLnsbphrQ7XVAvJFATgVLjSbLUfWXOH5a_SljNY-sfuW5pa
- ¹² 美国超导超级对撞机案例研究，高原、王大明，《工程研究 - 跨学科视野中的工程》2011年第3卷第1期
- ¹³ 正确认识和充分发挥科学家及各方面专家在科技决策与管理中的重要作用
http://www.sgst.cn/xwdt/shsd/200705/t20070518_68041.html
- ¹⁴ 科学家和政治家的合作：“863计划”制定过程研究
<http://www.docin.com/p-733222295.html&isPay=1>
- ¹⁵ 最有可能撼动物理学未来的实验
http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2014-01/05/content_241442.htm?div=-1
- ¹⁶ 国际直线对撞机（ILC）简介
<http://wenku.baidu.com/view/824e8b2ce2bd960590c677a1.html>

- 17 希格斯之后的新粒子景观 - 后 LHC 时代的“希格斯工厂”探究, 冯诗齐, 《世界科学》2012.10
- 18 科学家计划建造新型对撞机取代大型强子对撞机
<http://www.cnbeta.com/articles/200967.htm>
- 19 科学家望建超大型强子对撞机 造价或超百亿美元
<http://www.chinanews.com/gj/2013/11-15/5507055.shtml>
- 20 费加罗报: 中国欲建最大粒子加速器
<http://zhongguo.oushinet.com/fmsc/20140411/108882.html>
- 21 粒子物理学家们想要个更大的对撞机
<http://www.guokr.com/article/437596/?baiducustom=y>
- 22 寻找“上帝粒子”的中国身影
<http://scitech.people.com.cn/n/2013/1025/c1007-23323375.html>
- 23 下一代高能正负电子对撞机: 现状与对策 - 香山科学会议第 464 次学术讨论会综述
<http://www.xssc.ac.cn/ReadBrief.aspx?ItemID=1055>
- 24 习近平谈科技创新: 敢走别人没有走过的路
http://www.qstheory.cn/zs/xjp/201401/t20140108_310566.htm
- 25 两次创造跨越奇迹的北京正负电子对撞机, 中国科学院大科学装置办公室宣传册
- 26 探索上帝粒子与质量起源, 何红建、邝宇平, 《物理》43 卷 (2014) 1 期
- 27 CERN 粒子物理的“51 区”, 《微型计算机》第 26 期 (2010)
- 28 北京正负电子对撞机改造工程提升相关企业技术水平
<http://www.shkp.org.cn/shkp/182/74469.html>
- 29 中国建大加速器将激励一代人
http://news.xinhuanet.com/tech/2014-02/26/c_126191092.htm
- 30 杨振宁、李政道畅谈中国物理百年
http://news.ifeng.com/gundong/detail_2013_10/20/30478801_0.shtml

