

CEPC 上的物理和探测器

阮曼奇 李 刚 王悦心

(中国科学院高能物理研究所 100049)

经过近半个世纪的寻找,2012年,物理学家在欧洲核子中心的大型强子对撞机(LHC)上发现了希格斯玻色子(Higgs Boson),补全了粒子物理标准模型粒子谱的最后一块拼图(图1)。粒子物理标准模型是人类迄今为止构建的最为成功的物理模型之一,它以简洁优美的数学形式和令人惊叹的精确水平预言和诠释了几乎所有在对撞机实验中观测到的现象^①(图2)。自20世纪后半叶起,粒子物理发展的主旋律就是标准模型的建立和验证;希格斯玻色子的发现无疑把标准模型的成功推向了高潮。

标准模型认为世界由自旋为1/2的费米子、自

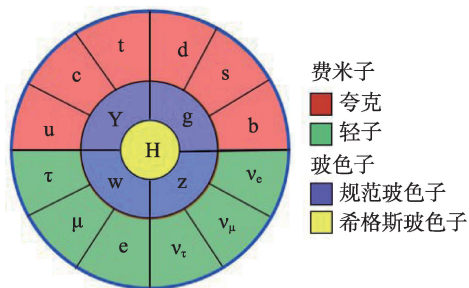


图1 标准模型粒子谱。包括了48种自旋为1/2的费米子(其中夸克36种、轻子12种)。由于夸克参与强相互作用,可携带三种不同的色荷,其粒子数目是轻子数目的3倍,12种自旋为1的规范玻色子(传递电磁相互作用的光子,传递弱相互作用的W⁺、W⁻和Z粒子,以及传递强相互作用的8种胶子),以及唯一的自旋为0的希格斯玻色子

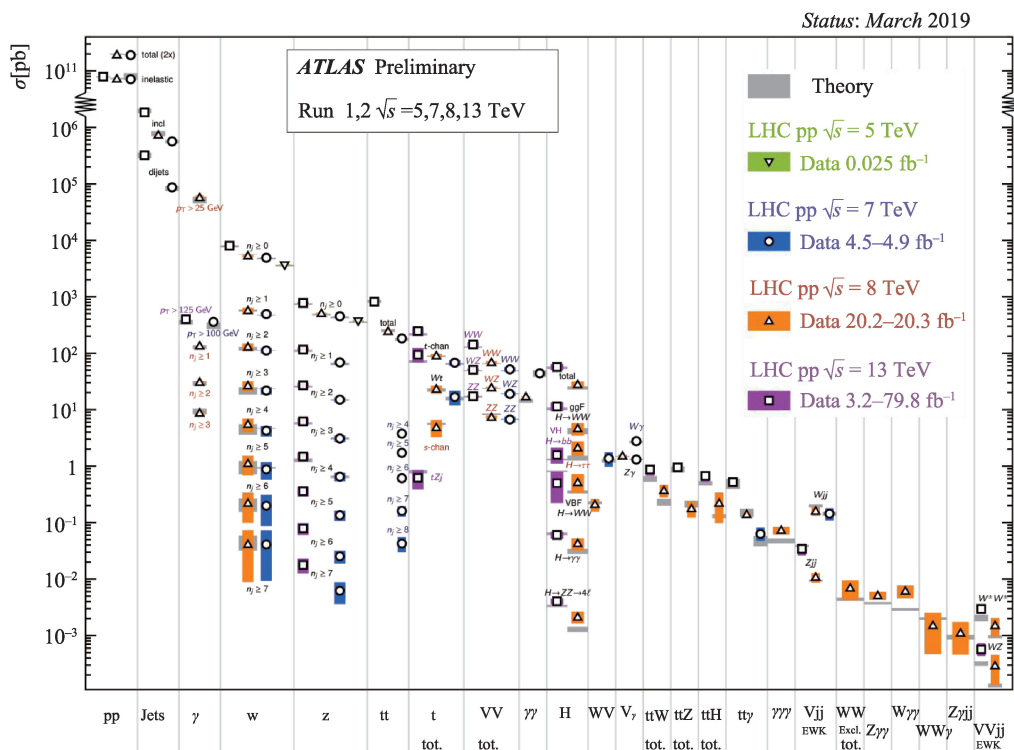


图2 标准模型预言和ATLAS实验就不同物理过程截面的直接对比。横轴表征了不同的物理过程,按截面大小降序排列。图中可见,在近15个量级的巨大范围内,标准模型预言的截面大小同实验实测的截面大小在误差范围内吻合的很好^①

旋为1的规范玻色子和自旋为0的希格斯玻色子组成,粒子通过交换玻色子来改变运动状态、进行相互作用。这些相互作用包括规范相互作用和希格斯场参与的相互作用:标准模型统一描述了电磁、弱、强三种基本规范相互作用;希格斯场是标准模型中的质量之源、赋予粒子质量。因此,规范相互作用和希格斯场也被称之为标准模型的两大支柱。

虽然标准模型取得了巨大成功,它本身却很难被视作一个终极理论。标准模型面临大量问题:它存在大量令人费解的性质,也无法解释一系列观测到的、或预测到的基本物理现象。举例来说:

1. 为何标准模型中粒子质量、特别是费米子质量的差别如此之大?

标准模型预言所有的费米子质量都由同样的机制产生。同时,最重的带电粒子(顶夸克)和最轻的带电粒子(电子)间的质量差别高达5个量级;如果考虑到中微子,这个差别将达到15个量级。同样的机制为何会产生差异如此之大的质量?

2. 为何标准模型拥有约20个自由参数?这对于一个基础理论而言未免太多了一些。

3. 为何标准模型中只有一个标量粒子(希格斯玻色子):它是一个基本粒子,还是一个由更基本的组分组成的粒子?如果存在更基本的组分,那么这些组分是什么?

4. 为何可见宇宙中物质的量远远多于反物质?

5. 中微子的质量。标准模型预言中微子质量为零,和目前的实验观测矛盾。

6. 暗物质和暗能量:按照目前的观测,宇宙学判断宇宙中68%的物质以暗能量形式存在,27%以暗物质形式存在,而标准模型粒子只占宇宙中所有物质的5%^②。

7. 宇宙暴胀。宇宙学预言在宇宙的极早期,宇宙的尺度经历过非常迅速的、指数型的增长:在大爆炸之后大约 10^{-35} 秒到 10^{-33} 秒,宇宙尺度迅速增加了 10^{26} 倍。标准模型无法解释这一过程^③。

8. 引力。标准模型无法解释引力,也无法解释电弱能标(246 GeV)和普朗克能标(10^{19} GeV)之间高

达17个量级的巨大差异。

上述问题中的1~4是目前人们无法理解的、标准模型核心性质;而5~8则是标准模型无法解释的基本现象。这些问题是极为基础的重大问题,很难在标准模型框架内通过简单的修修补补得以完全解决。粒子物理学界普遍认为,自然界必然存在超出标准模型的、更为基础的物理规律(新物理规律);而标准模型则是这些新物理规律的低能有效理论(比如,牛顿力学就是相对论的低能有效理论)。预言新物理存在的能标、发现新物理规律,是当今粒子物理学学科的核心任务之一。

质量是物质的基本属性,也是理解上述重大问题的关键。作为标准模型的质量之源,希格斯场和上述问题紧密相关。举例来说,标准模型的绝大部分自由参数——事实上除了三个规范耦合常数之外的所有自由参数——都和希格斯场有着直接联系。希格斯场可能对暗物质的质量有所贡献。电弱能标和希格斯场的真空期望值一致。理论学家们也在猜测暗能量、暴胀和希格斯场有着微妙的联系。因此,希格斯玻色子(希格斯场激发态)的发现,为这些问题的研究和新物理规律的探索提供了全新的、有效的探针。希格斯玻色子的性质(宽度,主要衰变模式的分支比,同其他粒子的耦合常数,等等)同标准模型预言的偏离,反映了新物理规律存在的能标;而物理学家相信的自然性原理预言新物理能标不会远超电弱能标。

在希格斯玻色子被发现后,我国科学家提出了环形正负电子对撞机(Circular Electron Positron Collider,简称CEPC)方案,其亮度超过上一代的、大型正负电子对撞机(LEP)达2~4个量级;在240 GeV的质心能量下,CEPC能在7年的运行中积累 5.6 ab^{-1} (ab^{-1} ,对撞机的积分亮度单位, $1 \text{ ab}^{-1}=10^{18} \text{ b}^{-1}$)的数据,产生一百万个干净的希格斯事例,可将希格斯粒子性质测量至1%的精度,可以对10 TeV能标下的新物理原理进行扫描。这一精度和可探索的能标超出大型强子对撞机一个数量级。CEPC能为上述问题的探索提供关键线索,极有可能发现新物理

能标,甚至直接发现新物理规律。特别是,CEPC能够在其精度范围内回答:

1. 希格斯粒子是否是一个复合型的粒子:如果希格斯是由能标在 10 TeV 以下的新粒子组成的复合粒子,那么 CEPC 可以确认这一信息;

2. 希格斯场是否对暗物质粒子的质量有所贡献:如果希格斯粒子衰变为暗物质粒子的分支比大于 0.1%,那么 CEPC 将可以确定这一信息;

3. 希格斯场能否支持宇宙产生足够的物质:物质的产生需要 Higgs 场在早期宇宙出现一阶相变;CEPC 可以对 Higgs 场的相变性质进行测量,进而对此进行检验。

退一步说,如果 CEPC 的全部观测和标准模型完全吻合,则意味着在 10 TeV 能标范围下不存在新物理规律、自然性原理出现了重大偏差,意味着我们对标准模型、甚至对时空的认识存在巨大问题,需要作出深刻的改变,这也是有重大意义的成果。CEPC 对希格斯玻色子性质以及标准模型的精确测量将在探索新物理原理上发挥巨大作用,有可能发现新的微观结构,寻找暗物质,揭示宇宙演化的奥秘,甚至带来对真空和时空的全新认识。

CEPC 上还将产生近万亿 Z 粒子和上亿 W 粒子,可对标准模型、味物理、量子色动力学(QCD)等等展开精确测量,具有巨大的物理潜力。本文将对 CEPC 的物理目标、探测器需求和设计进行简单介绍。

一、CEPC 的物理潜力

希格斯玻色子是粒子物理未来最重要的观测窗口之一,为了利用好这个窗口,人类需要高精度的希格斯工厂。

大型强子对撞机本身就是强有力的希格斯工厂。事实上,在发现希格斯玻色子后,大型强子对撞机立刻对希格斯玻色子性质展开了测量,其测量的精度随着数据量的积累而不断提高,目前其测量结果表明希格斯玻色子的性质大约在 10% 的相对精度上和标准模型预言相吻合;在未来,通过亮度升级,大型强子对撞机对希格斯玻色子性质的测量

精度,可以在这一基础上成倍提高。另外,大型强子对撞机在希格斯玻色子性质测量方面也有明显不足:首先,大型强子对撞机上存在巨大的本底,平均每 100 亿次质子对撞才能产生一个希格斯玻色子;其次,质子不是基本粒子,我们无法准确确定每一个物理事例的初态信息。大型强子对撞机的这些不足对希格斯玻色子的观测手段和观测精度构成了很大限制。

对比于大型强子对撞机,CEPC 对希格斯玻色子性质的测量拥有明显优势。

1. 正负电子是标准模型中的基本粒子,CEPC 对撞机上的初态信息精确可知,且精确可调。

2. CEPC 是一个极为干净的希格斯工厂,在 240 GeV 的质心能量下,大约每几百次正负电子对撞中就能产生一个希格斯玻色子。换言之,对比于大型强子对撞机,CEPC 上希格斯玻色子事例的信噪比高了近一亿倍。几乎所有的希格斯玻色子事例都可以被准确记录下来,而高精度的探测器系统能够区分不同产生初态和衰变末态的希格斯玻色子事例,进而将其性质测量到极高的精度。

3. CEPC 上绝大部分的希格斯玻色子将通过 ZH 过程产生;通过准确测量末态 Z 粒子的四动量信息,加上已知的初态信息,我们可以计算出希格斯玻色子的四动量,进而可以通过其不变质量寻找到希格斯玻色子信号。这一方法(反冲质量方法)原则上不需要对希格斯玻色子的衰变末态进行直接测量,可以对希格斯玻色子性质展开模型无关的精确测量。

因为这些优势,CEPC 可在高亮度大型强子对撞机测量的基础上,将希格斯玻色子性质的测量精度提升 1 个量级左右,对希格斯玻色子主要衰变分支比和耦合常数测量能达到甚至超过 1% 的精度水平。同时,CEPC 在希格斯玻色子的宽度、稀有衰变分支比等测量上,精度将远超过 HL-LHC^{①、②}。

CEPC 同样可对电弱物理进行精确测量。在标准模型中,电弱相互作用由 W、Z 玻色子和光子传递。电弱物理精确测量包括 W、Z 玻色子的质量和

宽度,衰变分支比,弱混合角等等;将主要通过末态产生 W 玻色子或 Z 玻色子的事例进行。CEPC 上将产生上亿 W 玻色子和近万亿 Z 玻色子事例,为这些测量提供了高质量、高统计量的数据。

和希格斯玻色子性质的精确测量一样,干净的对撞环境和精确可知的对撞初态对电弱物理的精确测量至关重要。CEPC 上电弱测量的信噪比将远远高于其上的希格斯玻色子性质的精确测量。在特定的质心能量点——比如说 Z 粒子质量附件,绝大部分事例都是信号事例。另一方面,CEPC 可以通过种种技术手段,将束流的能量测量到好于十万分之一的精确度。物理分析表明,电弱测量在 CEPC 上可达到的精度超过目前的精度水平达至少一个量级。值得一提的是,希格斯玻色子的精确测量和电弱精确测量具有巨大的互补性,两者结合在一起可以显著提高新物理能标的搜索范围。

CEPC 上可产生近万亿的 Z 粒子,后者将通过衰变产生数以百亿—千亿量级的粲夸克对、底夸克对事例,以及 τ 轻子对事例。这些事例为味物理的测量提供了巨大的机遇:CEPC 可进行轻子普适性、强子谱学、CP 破坏相关的大量测量,具有巨大的潜力。值得指出的是,CEPC 上的味物理测量和目前国际上其他味工厂项目(如 LHCb、Bell-II)也存在着明显的互补关系。

作为一台正负电子对撞机,CEPC 为强子末态的研究、以及 QCD 研究提供了非常理想的环境。CEPC 能精确测量强相互作用耦合常数;能对夸克和胶子的强子化过程、色关联、色重联、以及 QCD 真空展开细致研究。另一方面,QCD 微扰计算中的理论不确定性往往是限制高能物理精确测量精度的瓶颈;CEPC 上进行的上述研究,将能够大大加深我们对这一理论不确定性的理解、将能够显著改善相关测量的精度。

CEPC 的物理潜力、可以通过亮度和质心能量的提升得到进一步加强。比如,如果我们将 CEPC 的质心能量从 240 GeV 升级到 360 GeV 附近,CEPC 将可以大量产生顶夸克对、并对顶夸克的性质展开

精确测量。同时,360 GeV 的数据,对于进一步提升希格斯玻色子的性质测量精度,也将起到非常大的作用。在能量升级后,CEPC 将能在极为干净的对撞环境下、大量产生所有的标准模型粒子,可对标准模型进行非常全面的精确测量。

CEPC 拥有重要重要和丰富的物理目标。CEPC 能够在高亮度强子对撞机的基础上、将希格斯玻色子性质的测量精度提升近一个量级;能将目前的电弱测量精度提升至少一个量级;拥有重要的味物理、QCD 方面的潜力。同时,CEPC 也拥有直接发现新物理信号的能力。CEPC 将能够大大加深人类对标准模型的理解、有望发现标准模型背后的、更为基础的物理规律。

二、CEPC 探测器:需求和设计

CEPC 的物理目标和对撞环境对其探测器提出了明确的需求。CEPC 上的物理事例率远低于大型强子对撞机;即使在事例率最高的 Z 玻色子能区,其事例率也在 100 kHz 以下,几乎没有事例堆积效应。这使得 CEPC 探测器记录所有的物理事例原则上成为可能。CEPC 探测器需要有接近全空间角的覆盖能力,以记录尽可能全面的物理事例信息。

CEPC 探测器要能准确甄别物理事例末态中产生的不同的物理标的物,并精确测定其四动量和/或产生位置。这些物理标的物包括轻子、光子、 τ 子、不同种类的带电强子(π 介子, K 介子, 质子)、喷注、丢失能动量、初级-次级顶点,等等。在物理分析中,对相关物理标的物的准确甄别可以有效压低可约本底(末态和信号不一致的本底);而对其动量/位置的精确测量,则是压低不可约本底(末态和信号一致的本底)的主要手段,同时也是提升相关微分测量精度的重要手段。具体来说,CEPC 探测器需要能够:

1. 准确甄别轻子。高能孤立轻子的甄别效率和纯度需达到 99% 以上。喷注中的轻子也需要达到尽可能高的效率和纯度。
2. 准确、高效地重建末态粒子:包括带电粒子、

光子、以及中性强子。对于能量高于 1 GeV 的、在探测器接受度范围内的末态粒子,需达到 99% 以上的重建效率。对于衰变为双 μ 子/双光子末态的希格斯玻色子,探测器需要将其质量测量到优于 0.2%/2% 水平。

3. 甄别带电 K 粒子。

4. 甄别底夸克喷注和粲夸克喷注。在 91.2 GeV 时 Z 玻色子衰变到双喷注的样本上,底夸克喷注的甄别效率和纯度需达到 80% 以上;粲夸克喷注甄别效率和纯度需达到 60% 以上。

5. 准确测量强子系统(多喷注系统)的四动量信息。对于衰变为强子末态的希格斯玻色子,探测器需将其质量测量到 4% 的水平。

对所有物理标的物测量需求的细致介绍已超出了本文的范畴、如读者有兴趣,可参阅 CEPC 的概念设计报告^④。本文就两个关键的物理标的物:喷注和轻子进行简单讨论。

喷注是 CEPC 上的核心物理标的物。由于色禁闭效应,夸克和胶子无法单独稳定存在。在对撞机实验中产生的高能夸克或者胶子会碎裂(强子化)成大量强子,这些强子及其可能的衰变末态的总体被称为喷注。在 CEPC 上,4-费米子末态的 WW、ZZ 事例中有约 90% 的事例中会产生喷注;而末态有喷注的希格斯玻色子事例比例则高达 97%。喷注的精确测量和重建对 CEPC 的物理测量至关重要,是 CEPC 探测器的核心要求之一。

CEPC 上一个典型喷注大致包括了十几个带电粒子(绝大部分是带电 π 介子)、十几个光子,以及可能的中性强子和中微子。图 3 显示了 CEPC 上一个代表性的 4-喷注 Higgs 事例。

CEPC 物理事例中的轻子分为孤立轻子和喷注中产生的轻子(简称喷注轻子)两种。孤立轻子可以从大质量的玻色子衰变而产生,比如 ZZ、WW、ZH 事例中,Z、W 和希格斯玻色子都有可能直接衰变产生轻子。孤立轻子的准确测量对于相关物理测量、如 IIIH 末态下的反冲质量分析非常重要。这一类轻子能动量较高、同时和其他末态粒子在空间上分的

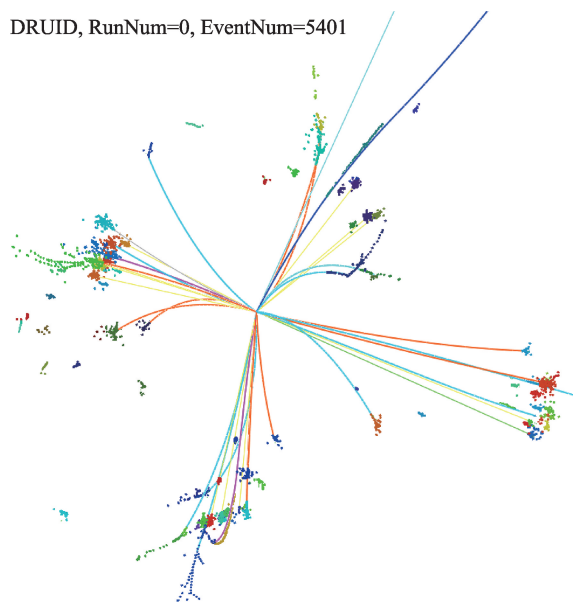


图3 CEPC上通过模拟产生的ZH到qqbb事例,图中可以清晰地看到两个大质量玻色子衰变出的4个喷注。其中指向1点钟和6点钟方向的是衰变自Higgs粒子的b喷注,其余两个喷注来自Z粒子很开,相对容易甄别。

喷注轻子可以从强子的半轻衰变中产生。如b喷注中产生的、带底夸克的强子的半轻衰变,而喷注中数量众多的 π 介子,也有几率在探测器内部衰变为 μ 子和中微子。这些轻子的甄别和测量,对于喷注味道、喷注电性的确定以及味物理的测量非常重要。相对于孤立轻子,喷注轻子的能量一般较低、同时周围一般会有其他的末态粒子,其甄别相对困难。准确甄别和测量喷注轻子,乃至喷注中产生的其他物理标的物(如K介子),是CEPC探测器设计需要考虑的关键问题。

针对上述需求,CEPC工作组参考国际前沿研究进展、设计了CEPC基线探测器,见表1。

CEPC基线探测器强调准确识别、重建出物理事例中的所有末态粒子;并以此为基础甄别和测量所有的物理标的物。由于末态粒子数目较大,以及大量喷注、特别是中性 π 介子衰变出的光子的存在,其末态粒子间的角度可以非常小(千分之五弧度量级)。为了达到这一需求,CEPC基线探测器采用了高颗粒度的量能器系统设计,以准确区分物理事例中、特别是喷注中的不同末态粒子。CEPC基线探

表 1 CEPC 基线探测器主要指标参数

探测器总体高度	14.5 m
探测器总体长度	14.0 m
顶点系统内径	16 mm
径迹系统外径	1.81 m
电磁量能器吸收体/物质量	钨/24 X_0
电磁量能器读出单元大小	10 mm
电磁量能器径向层数	30
强子量能器吸收体/物质量	铁/4.9 λ_I
主螺线管磁场强度	3 Tesla
主螺线管内径	3.2 m
主螺线管长度	7.8 m

测器中量能器的读出电子学通道数目大约在千万量级。相对于我国正在运行的 BESIII 探测器提高了 3 个量级。图 4 给出了 CEPC 基线探测器的剖视图；其主要子探测器系统的结构、几何大小见图 5~图 8。

为准确测量高能带电粒子的四动量；CEPC 基线探测器装备了大体积、高精度、低物质量的径迹系统。为了能准确测量高能粒子、特别是高能中性强子(如中子和中性 K 介子)的能量，CEPC 基线探测器的量能器系统的总厚度超过 1 米。同时，CEPC 基线探测器装备了大体积、高强度的主螺线管磁

体。相对于 BESIII 探测器，CEPC 基线探测器磁体的有效体积提高了一个量级，磁场强度提高了 3 倍，储存的磁场能量提高了两个量级。

CEPC 基线探测器拥有优异的物理性能，以轻子重建为例，CEPC 的轻子重建效率趋近 99.5%，强子误判率被控制在 1% 水平，较之上—代的 ALEPH

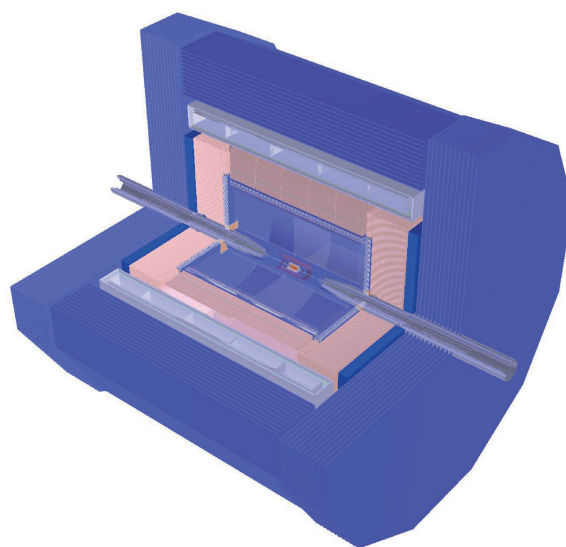


图 4 CEPC 基线探测器的剖视图。从内到外，自对撞点沿径向方向，该探测器由束流管、顶点探测器、硅微条内部探测器、时间投影室、电磁量能器、强子量能器、以及磁铁和轭铁组成

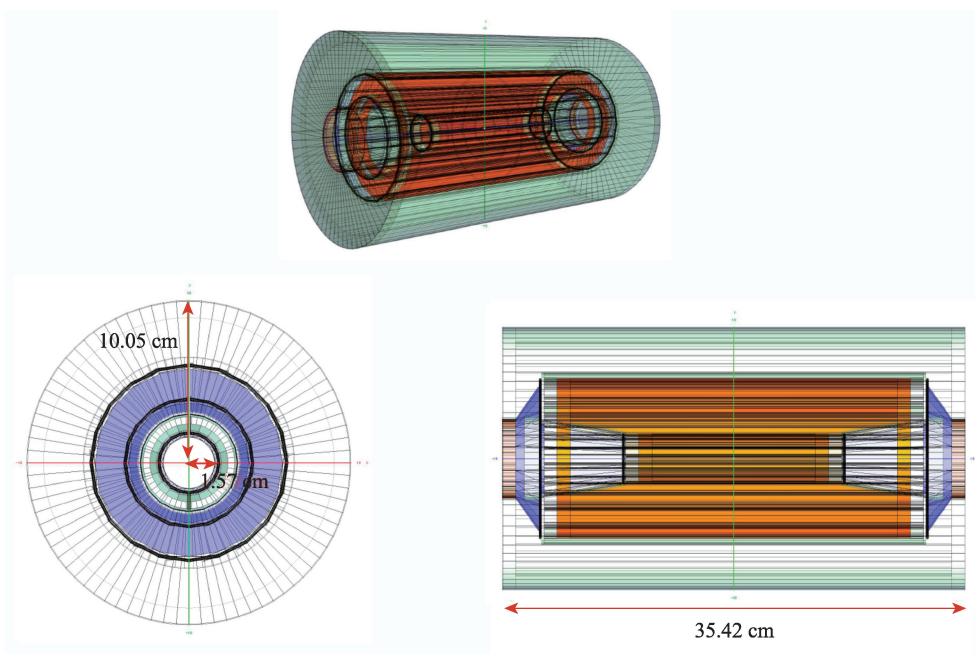


图 5 基于硅像素技术的顶点探测器，重量 3.2 千克

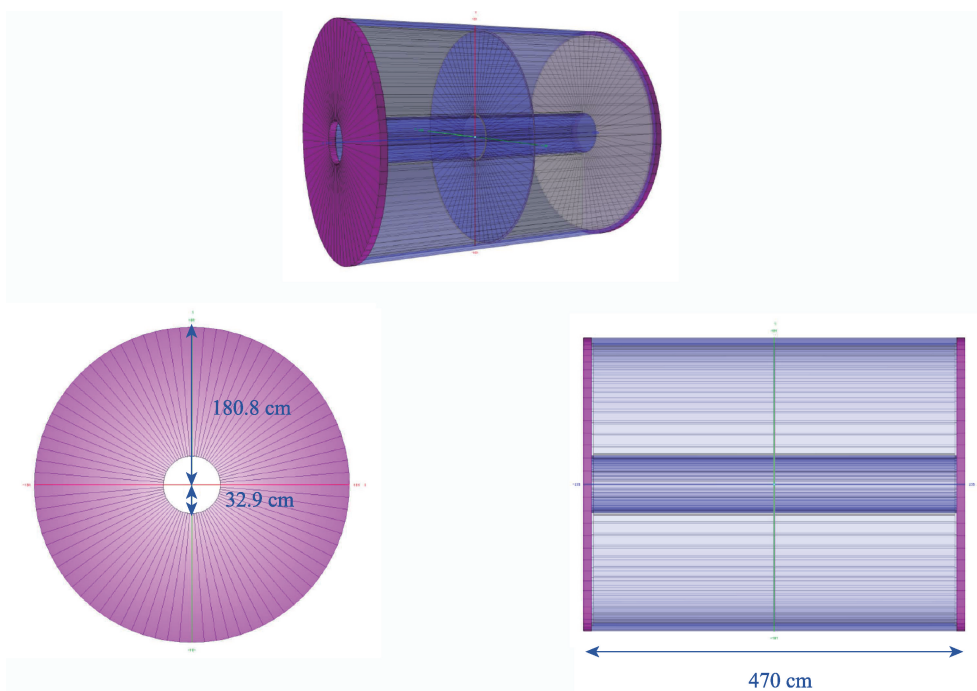


图6 基于时间投影室的主径迹测量系统:重量 1.75 吨

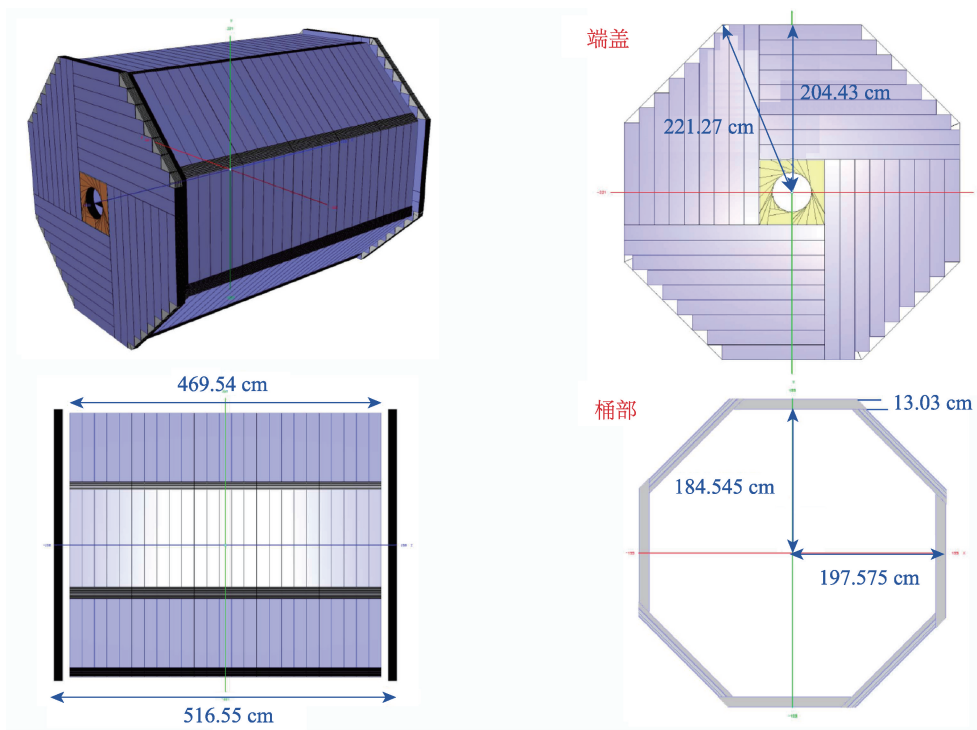


图7 硅-钨取样型高颗粒度电磁量能器,重量为 160 吨

实验压低了 3 倍^⑤; CEPC 基线探测器的喷注能量重建精度相对于 LEP 和 LHC 实验提高了 3~5 倍, 可将全强末态的希格斯玻色子质量测量到 3.8% 的相对

精度。CEPC 基线探测器可以准确重建所有的物理标物和标准模型 Higgs 粒子信号(图 9), 为 CEPC 上物理潜力的量化分析提供了坚实的基础^{⑥, ⑦}。

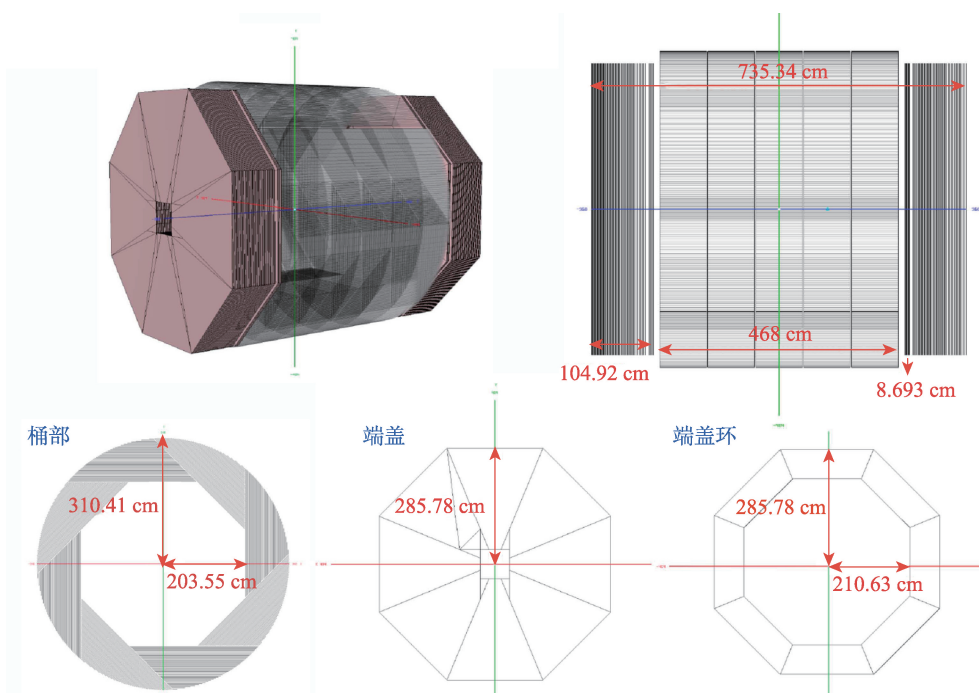


图8 铁-阻性板取样型高颗粒度强子量能器,重量约900吨

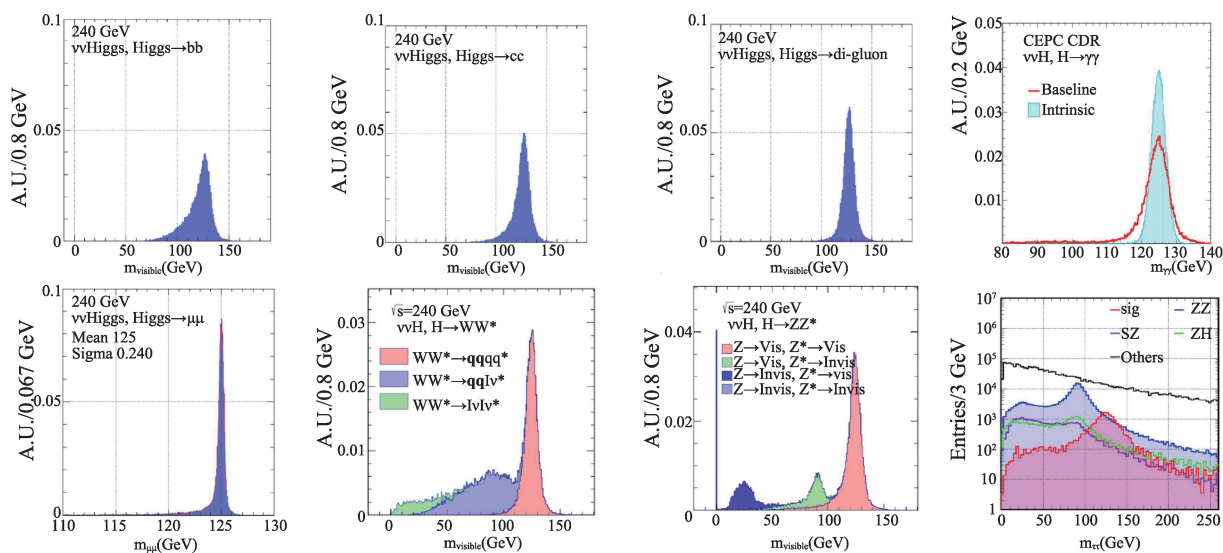


图9 模拟的CEPC基线探测器上重建出的希格斯玻色子信号,按不同衰变末态区分[®]

(纵坐标A.U. 指任意单位,实际每张图的面积被归一化到1)

三、CEPC 探测器的关键技术研究

围绕CEPC可能采用的探测器技术,CEPC工作组进行了大量的关键技术预研,取得了一系列进展。

1. 硅像素顶点探测器。CEPC上为了重建 τ 轻子和鉴别b-喷注、c-喷注和其他类型的喷注,对顶点探

测器的冲击参数(impact parameter)测量精度提出了超高的要求——好于5微米;同时精确测量带电粒子则要求探测器带来的物质尽可能少,从而减少多次散射的影响。能满足如此高的精度的技术只有采用硅像素探测器技术,而物质的要求则要求探测器灵敏层、读出电路、冷却系统和机械支撑则尽可能

的轻薄。目前中国还没有完全掌握相关技术,针对这一需求,科技部重点研发计划分别于2016和2018年支持多个研究所和高校联合起来进行攻关,有望在2023年前制作出第一个在精度、物质、功耗等各方面能满足CEPC实验需求的硅像素探测器样机。

2. 时间投影室。国内的探测器专家已经成功的建造了时间投影室样机,经过束流测试,掌握了关键技术。而CEPC对于时间投影室的特殊要求则来自于高事例率——在Z玻色子能区的物理事例率能达到数十千赫兹,考虑到本底的要求,则需要探测器能承受近一百千赫兹的事例率。在这种情况下,阳离子回流效应对探测器电场的影响必须考虑。CEPC已经针对这一可能在探测器设计和物理上做了针对性的考虑,就降低阳离子回流效应的压低提出了若干实验方法,预期可以有效控制其影响,满足实验的要求,其中部分硬件设备见图10。

3. 量能器系统。高粒度的量能器系统是CEPC基线探测器上最具特点的子探测器系统。高粒度的量能器系统不仅能准确区分不同的末态粒子、特别是喷注内不同粒子产生的簇射,同时也记录了大量的簇射空间发展的信息,为粒子甄别和能量测量提供了大量信息。能确保CEPC物理目标的实现。

另一方面,高粒度的设计意味着巨大的读出电子学通道数,这对探测器的功耗和造价构成了相当

的压力,对量能器系统的读出系统和冷却系统的设计也提出了相当的要求。为了应对这些挑战,CEPC工作组在科技部重点项目的支持下,展开了量能器系统优化、以及原型样机的建造工作,见图11;我们预计在不久的将来,可以进行样机的束流测试工作、逐步解决上述问题。

CEPC拥有多个对撞点;其上将至少能安装两台大型探测器进行物理实验。这些探测器的设计和制造将吸引大量国际合作。于此同时,CEPC的探测器设计、软件系统设计必需要有足够的前瞻性。CEPC基线探测器的设计,主要是应用于现阶段的物理潜力研究、探测器关键技术研发和探测器优化研究;而最终CEPC上使用的探测器设计,预期会在CEPC基线探测器设计的基础上,充分考虑国际合作以及技术进步的因素,预期会有更为显著的进步和优化。

其他方面的技术设计预研仍在逐渐深入的开展当中,未来可能还会发现或者碰到技术问题,但还未发现不可克服的技术困难。CEPC工作组已经掌握了CEPC探测器建造所需的一系列关键技术。在进一步的研发努力下,我们可为CEPC实验建造合适的、优化的探测器系统,取得物理结果。

感谢姜辛丑研究员等同事的讨论。

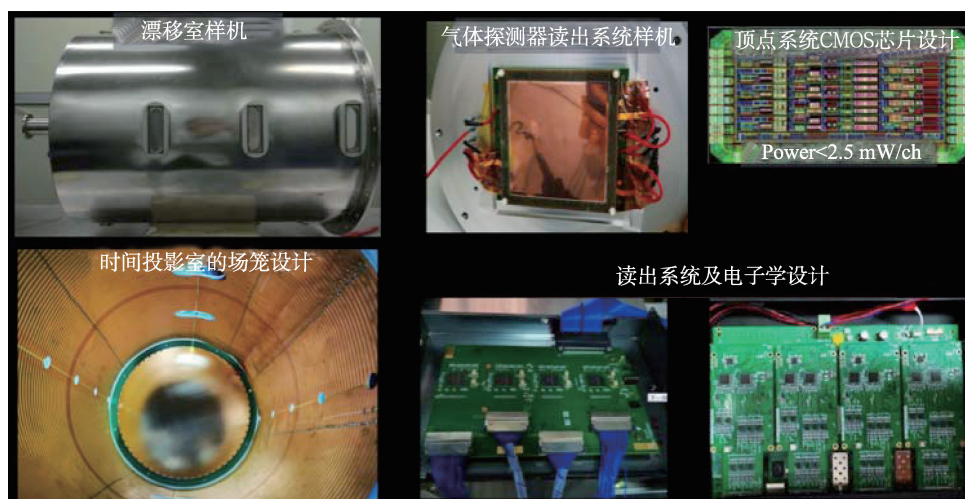
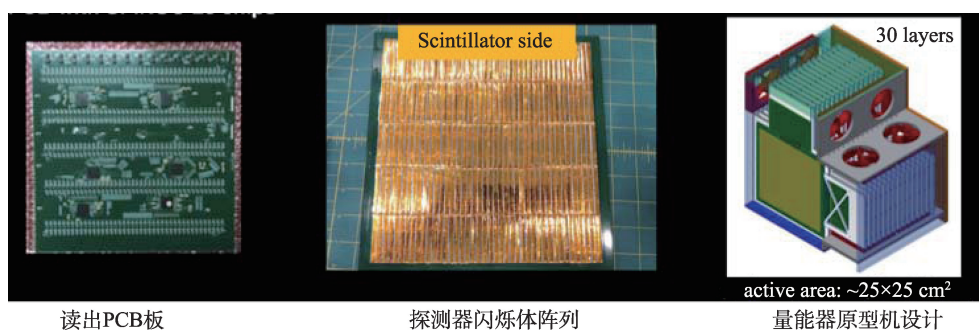


图10 CEPC径迹探测器系统的关键技术研究

图11 CEPC电磁量能器系统的关键技术研究^⑨

参考文献

- ① <https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/PUBNOTES/ATL-PHYS-PUB-2019-024/>
- ② <https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy>
- ③ https://www.physicsoftheuniverse.com/topics_bigbang_inflation.html
- ④ The CEPC Study Group, CEPC Conceptual Design Report Volume II - Physics & Detector, 2018, IHEP-CEPC-DR-2018-02
- ⑤ Dan Yu et al., Lepton identification at particle flow oriented detector for the future electron positron Higgs factories, *Eur. Phys. J. C* (2017) 77:591
- ⑥ Fenfen An et al., Precision Higgs Physics at the CEPC, *Chinese Physics C* Vol. 43, No. 4 (2019) 043002
- ⑦ Manqi Ruan et al., Reconstruction of physics object at the CEPC with Arbor, *Eur. Phys. J. C* (2018) 78:426
- ⑧ Hang Zhao et al., The Higgs signature at the CEPC CDR baseline, *Chinese Physics C* Vol. 43, No. 2 (2019) 023001
- ⑨ Joao Guimaraes Costa, Preparing for the detector TDR phase, Presentation at 2019 November CEPC Workshop at Beijing

科苑快讯

鼯鼠独特的移动方式将为机器人设计提供灵感

鼯鼠的走路方式与其他动物迥然不同。一项新的研究发现,这些被天鹅绒覆盖的小动物,步态类似于拄着拐杖快速行走的人。

为了这一发现,研究人员在X光机上安装了高速摄像机,在美洲鼯鼠通过一条塑料管道时仔细观察它的行为。任何其他脊椎四足动物,比如猫或狗,在行走时会把四肢置于身体下方。但是这些录像却显示,美洲鼯鼠行走时,一直将胳膊向前伸,身体的其他部分则拖在后面。

科学家在《生物学快报》(*Biology Letters*)上报告,为了迈进一步,鼯鼠用每只手的第六根手指(也就是它们的假手指)抠住地面,拉动后面的身体向前移动,

就像人类用拐杖和助行器来拉动自己一样。这就意味着,鼯鼠的手在移动时只与地面发生短暂接触,就像一个快速步行者,他的脚刹那间接触地面后,随即又抬起。

这种独特的移动方式让鼯鼠在快速通过它们的地下走廊时,手臂一直伸到身体前面。在行走时伸开四肢可能会保护它们煞费苦心建造的隧道,防止因蜷缩身体穿过狭窄的过道时,弯曲的四肢会撞到墙壁、破坏土壤。研究人员说,理解鼯鼠这类地下动物移动的机制可以为救援和康复机器人的设计带来灵感。

(高凌云编译自2019年10月29日 www.sciencemag.org)