

# 追寻希格斯玻色子（上帝粒子）

全球最大的真空系统依赖于普发真空提供的真空解决方案



## 普发真空为CERN的大型强子对撞机(LHC)提供了关键的真空组件。

总部设在瑞士的欧洲粒子物理实验室--CERN（欧洲核子研究中心，以下简称CERN），是世界上最大的粒子物理研究中心。公司成立于1954年，有2,500名员工和来自世界各地的10,000多名客座科学家。CERN的主要任务是了解宇宙的构造及其运行。这样做旨在完成基本粒子物理学的标准模型，该模型描述了物质的基本组成部分以及它们之间的作用力。该模型缺少一个还未被实验证明的重要组成部分：希格斯玻色子。

为开展研究，CERN运行了若干台粒子加速器。其中最特别要数LHC（大型强子对撞机），安装在一个地下隧道中。其周长26.7 km，使其成为全球最大的粒子加速器。在LHC内，两束相对粒子束加速至接近光速并在大型探测器内的指定位置进行碰撞。在碰撞过程中会产生新粒子。探测器的记录提供和碰撞特性以及新产生粒子相关的结论。科学家希望通过这种方式证明希格斯玻色子。2012年7月4日，ATLAS和CMS探测器研究组报告他们发现了一种新粒子。该粒子是否就是标准模型所描述的希格斯玻色子，仍需通过进一步确定它们的特性来证明。



LHC加速器工程 (由CERN提供)

### 1 电子束真空

为防止粒子在通过加速器的路径中与气体分子发生碰撞，光束线必须处在  $10^{-11}$  hPa 的超高真空下。这种被称为电子束真空的状态是在多级泵过程中形成的。首先，光束线需要使用普发真空HiPace 300涡轮分子泵抽空至  $10^{-8}$  hPa。这些泵的优点是它们具有非常高的轻质气体压缩比。这一点非常重要，因为氮气(空气中最轻的气体)决定着超高真空领域内的极限压力。在预先抽空后，CERN开发的一种NEG (非蒸散型吸气剂)涂层在光束线内被热激活。这种涂层具有额外吸附真空的作用。它会吸收剩余的气体分子，从而达到所需的  $10^{-11}$  hPa 的极限压力。

### 2 隔离真空

在液氮的冷却作用下，极其强大的超导磁体能达到1.9 K (约-271 °C)的温度，从而确保LHC中的粒子保持在自己的轨道上。为确保磁体可以维持在低温状态，整个冷却系统必需具有良好的隔热功能。为此，和保温瓶的原理一样，在磁体的四周创造了一个真空隔离的环境，尽可能防止热量进入低温系统。这种真空环境必须长期保持在  $10^{-6}$  hPa 以下。由于冷却系统不可避免会出现泄漏情况，超流氦可能泄漏到隔离真空中，因此普发真空的HiPace 300涡轮分子泵必须保持持续运转状态，以维持隔离真空。由于其具有强大的抽吸能力和高轻质气体压缩比，HiPace涡轮泵系列尤其适用于氦气抽吸。

### 真空的重要性

粒子加速器运行的一个重要因素是可靠且强大的真空系统。而像LHC这样非同寻常的机器对内置真空技术有着非常特殊的要求。微小误差可能导致整个加速器停止运行数小时。因此，整套真空系统必须是非常可靠的。此外，加速器中使用的所有设备必须能够承受高达1,000 Gy/a的辐射水平。而进行这些复杂测量的设备不能离开加速器的辐射区。因此，能在现场进行设备维护显得至关重要。

为满足这些高要求，普发真空与CERN合作，对真空获得、真空测量和真空分析研发并实践了一套定制的真空解决方案。

### 真空获得

LHC分两种真空系统: 电子束真空和隔离真空。两种应用中都用到了普发真空的涡轮分子泵。这些泵经改进后都可以满足LHC的特殊要求。为了能在辐射环境中运行，泵体中都不能使用电子元件。为满足这些要求，普发真空研发了无传感器驱动概念，实现了泵的机械部件与电子部件的隔离。采用这一概念，电子部件可以放置在离真空泵1,000 m以外的地方，并定位在一个保护区域内。

### 真空测量

普发真空专门研发了特殊的测量设备，用来测量获得的真空。这些使用的设备是改进的皮拉尼和冷阴极真空计。它们用来长期监测加速器内的压力，并确保当压力增加时可以采取适当的行动。由于真空计同样暴露于高水平辐射中，它们被制造成无源传感器，没有集成的电子设备。所有电子设备都被安置在一个辐射安全区域内，并且经由长电缆连接至无源传感器。这些电缆通过精确的指令与CERN密切连接。这使冷阴极真空计可以测量达10-11 hPa的压力。通过一种特殊的点火过程，冷阴极真空计即使在压力非常低的情况下，也可以轻易打开。由于加速器的寿命约为30到40年，因此，只有采用寿命长的电子元件。



利用HiPace300涡轮分子泵获得电子束真空



利用HiPace300涡轮泵获得隔离真空



使用PKR 261 真空计进行真空测量



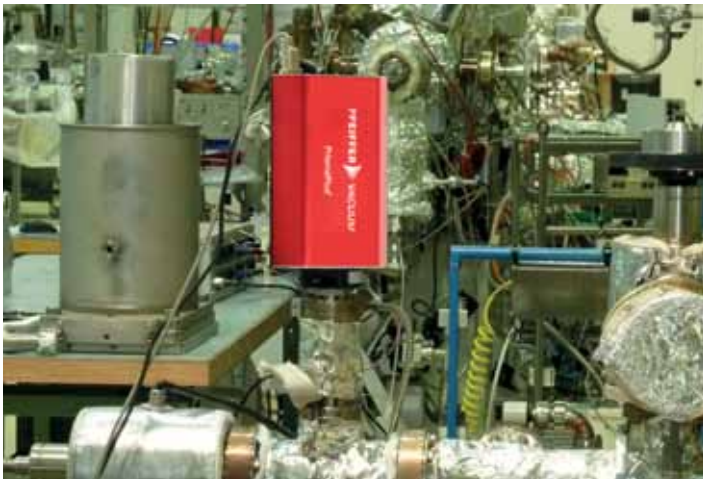
为LHC组件配置的ASM Graph系列检漏系统

### 氦检漏

对LHC要求的超高真空压力，加速器使用的部件必须确保极低的漏率。因此，在安装部件之前，必须进行全方位的检漏。针对检漏，CERN采用了ASM系列检漏仪。使用这些设备，即使是细微到的 $10^{-13} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$  的泄漏也可以有效地被检测出来。

### 真空分析

除压力外，残余气体的组成也是加速器正常运行的一个重要因素。使用残余气体光谱仪，可以得出加速器内使用材料脱气相关的结论。为获得残余气体光谱，CERN采用了普发真空的质谱仪。对于超高真空中的残余气体测量，质谱仪分析仪本身具有较低的脱气率是非常重要的。除了真空退火离子源外，CERN使用的普发分析仪也拥有真空退火棒系统。使用这一方法，分析仪将产生一个极低的背景信号，尤其方便记录加速器内实际残余气体的比例。



为LHC组件配置的PrismaPlus系列脱气检测系统

## CERN 中的普发真空产品实例



真空获得  
HiPace 300



真空测量  
ModulLine



氦检漏  
ASM 310



真空分析  
PrismaPlus



来自普发真空的André Kägi (左)和Florian Henss (右), 以及José Miguel Jimenez博士

### 在CERN的采访 与CERN技术部的真空、表面和镀膜小组的主管José Miguel Jimenez博士的交谈

**Jimenez博士, 您对就职于全球最大最权威的科研中心有何感受?**  
在CERN工作我感到非常自豪和高兴。从旁人来看, 主要了解到CERN在基础物理学领域发起的挑战和更新, 但在背后, 技术进步与国际合作却提供了至关重要的动力。作为一名工程师, 我非常重视建筑和加速器所带来的各种技术上的辉煌前景。

**目前在CERN似乎发现了长久以来一直寻找的希格斯玻色子, 总体来说, 真空技术在研究工作中扮演了什么样的角色?**  
更确切地说, 发现了一种新粒子, 我们仍然需要累积碰撞次数并研究数据以确认我们发现的是希格斯玻色子。

关于真空技术在我们研究中的作用, 如果没有一个非常完美的超高真空, 加速器和探测器都将无法运行。

**真空技术在LHC加速环中有什么作用?**  
真空技术被应用于电子束真空和隔离真空中。电子束真空尤为重要, 特别是对于高能加速器。光束线内, 光束需要在 $10^{-10}$  hPa 的压力环境下, 或在静态模式中的 $10^{-12}$  hPa 压力。实验区域及探测器上下游几百米的范围均需要这种超高真空环境, 以保证探测器内的本底保持在低水平并保护相关的电子设备。实际情况中, 主要质

子束粒子以及残余真空的分子之间碰撞越多, “噪音”就越多, 对探测器的损坏就越大。

对于LHC内的真空隔离, 我们使用涡轮分子泵来抽氦气。即使磁体在1.9 K (-273°C) 的温度下运行, 只有少量氦气在表面凝结, 因为氦气的凝结温度很低。假如在这又长又复杂的液态氦回路中必定会出现泄漏, 那么我们需要一些抽吸余地保证加速器的持续运转。为此, 我们需要在隧道中安装涡轮分子泵。

CERN所需的大多数真空技术都能从市场上获得, 但问题是如何将所有这些技术整合到加速器的特定环境当中。因此需要为LHC和其他所有CERN加速器定制相应的真空解决方案。

#### 泵组需要满足哪些特殊要求?

粒子加速器成功运行的一个重要因素是一套的高性能的真空系统。它需要可靠性高、电磁兼容、耐辐射, 且易于维护。

#### 这里采用了普发真空的哪些产品/系统/组件?

LHC采用了普发真空生产的真空仪表和残余气体分析仪。所有仪表、仪表控制器及残余气体分析仪都由普发真空提供。另外也有大量的HiPace涡轮分子泵长期安装在隧道内, 或者作为移动泵组, 用于隧道或实验室内的介入。

### 您如何评价普发真空的产品？是什么因素促使CERN决定大量采用普发真空提供的真空解决方案？

与普发真空的合作并不是从LHC才开始。早在30多年前，在全球首个大型超高真空加速器-交叉碰撞储存环(ISR)以及大型电子-正电子对撞机(LEP) 项目中，已开始与普发真空的合作。

普发真空的产品质量、可靠性以及性能符合我们粒子加速器的要求。我们了解如何在我们复杂的配置中使用这些产品。

CERN与普发真空保持着长久良好的关系。这对我们来说至关重要，因为我们的加速器需要运行长达数十年。

### 涡轮泵的哪些独特优势会在这一应用中体现？

在LHC中，涡轮分子泵需要具备较高的氦气和氢气压缩比以实现非常低的极限真空。真空泵必须电磁兼容、耐辐射且可靠性高，尽可能地降低LHC的故障时间。其中一些泵还需要能承受较长的烘烤周期，250°C下超过24小时，以进一步降低极限真空。

### 请简述加速环内的特殊环境，及为何需要对涡轮分子泵进行更改？

例如，我们拿超导磁体和液氦低温传输线路的低温恒温器上的真空泵作为例子。需要知道的是，即使在1.9 K (ca. -271°C)时，也只有很少的氦气冷凝。这些复杂的低温回路一旦发生轻微泄漏，长期安装的涡轮泵将保证LHC的持续运行。因此，这些泵需要配备很长的电缆，能适应磁体及隧道内因局部束流损失引起的电磁干扰。

为适应LHC的运行，涡轮分子泵必须承受高达1.000 Gy/a的辐射剂量。这种高水平的辐射阻止了任何半导体组件在泵内的运行。为克服该问题，我们与普发真空共同开发合作，采用了新的无传感器驱动概念。

这样，泵的主体完全不含任何电子设备，且能在管道外的防辐射服务区进行安装。

虽然电子设备安装在泵的远端，它们仍可以告知用户涡轮分子泵的所有重要的状态参数。

### 目前在CERN大约有多少正在使用的普发真空产品？

普发真空产品的安装量非常大。

在加速器内，我们总共有89km的电子束真空系统。如果算上液氦传输线以及LHC绝缘真空的话，那我们则有128km的真空系统。

对真空获得、真空测量和分压分析，需要使用大量的真空设备，而其中很大一部分都来自普发真空。

例如在LHC中，有将近95%仪表和仪表控制器、70%的涡轮泵、65%的检漏仪、50%的粗真空泵以及大量的残余气体分析仪 (RGA)、阀门和接头组件都来自普发真空。

### 您如何评价与普发真空的合作？

我们使用了大量普发真空产品，而且大部分真空解决方案都是根据具体需求定制的。普发真空是我们强有力的合作伙伴，致力于帮助我们解决发展中的问题。



José Miguel Jimenez博士描述加速器的特殊环境及真空系统的相应调整。

**在您看来，对真空组件的技术支持，有怎样的重要意义？**

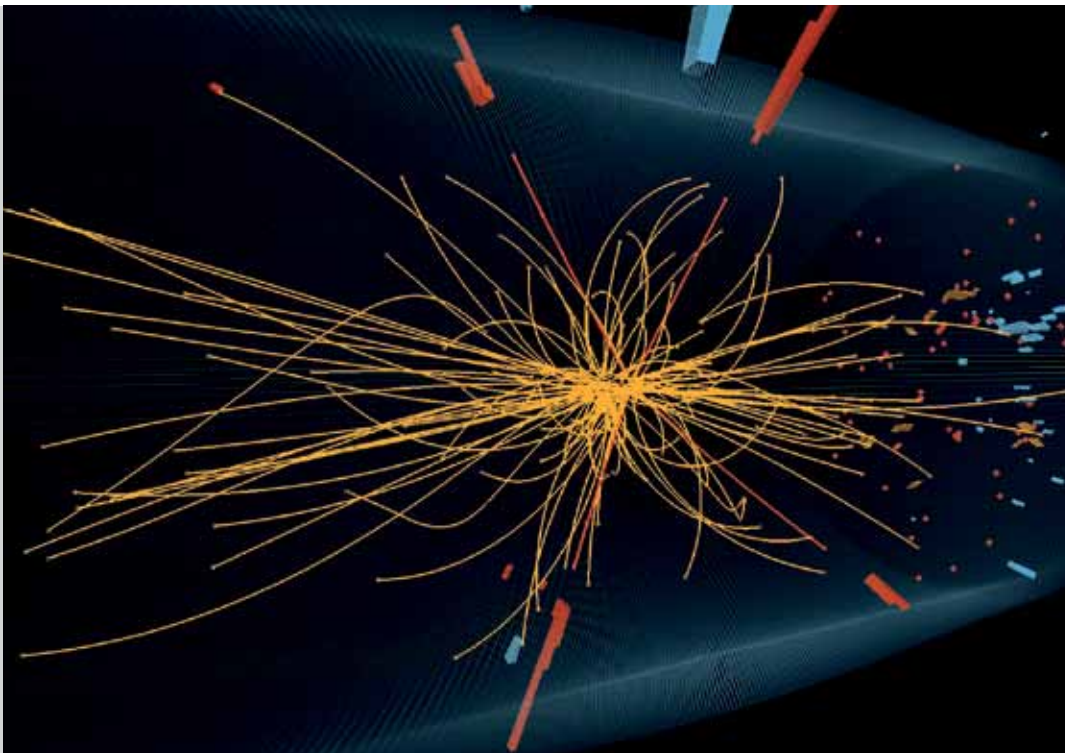
对所有已安装且接触电子束真空的产品来说，如涡轮分子泵或前级泵，尽管组件没有被辐射激活，也没有受到污染，但对产品进行解密并运送出去的流程是非常复杂的。因为该流程是在核设施内的，装运流程非常严格。所以我们尽量避免将这些产品运送出去。这也是为什么当地的服务工程师对我们来说至关重要的原因。

**目前似乎已经发现了希格斯玻色子，这对LHC的研究工作来说有何意义？**

目前研究是否已经完成，下一步将会发生什么？当前我们发现的可能是希格斯玻色子粒子，这将会是对我们全球众多科学家和技术人员努力工作的极大回报。

LHC项目启动于20世纪80年代，项目于1994年得到批准，1998年开始建设，2008年完成安装，在2012年我们发现了这种新粒子。虽然道路漫长，却取得了卓越的成就。

未来，我们将继续运行LHC，以进一步确定我们发现的是希格斯玻色子，并研究该粒子的其他所有特性。这意味着LHC将以更高能量和强度运行，并将这一了不起的加速器作用推至极限。我们都有信心在标准模型领域获得更多发现，其中包括对“暗物质”有进一步的了解。



真实CMS质子-质子碰撞事件中，观察到4种高能电子(红塔状)(由CERN提供)

**我们提供一站式真空解决方案**

普发真空代表着为客户在世界范围内提供创新的、定制化的真空解决方案，完美的技术，全方位的支持和可靠的服务。

**完整的产品线**

从一个配件到一套复杂的真空系统：我们是唯一能提供完整的产品线和技术服务的供应商。

**理论与实践的完美结合**

得益于我们的专业技术和完善的培训体系！我们提供给您完整的生产技术提升方案和全球统一的一流的现场服务。

您是否正在寻找  
完美的真空解决方案？  
请联系我们：

普发真空技术（上海）有限公司  
Pfeiffer Vacuum  
(Shanghai) Co., Ltd.  
T +86 (21) 3393 3940  
info@pfeiffer-vacuum.cn