

大型强子对撞机

张 闯

瑞士，日内瓦，欧洲核子研究中心（*CERN*），2008年9月10日10时38分（北京时间15时38分），第一束质子流注入大型强子对撞机（*LHC*），这标志着这台人类建造的最大科学研究装置正式启动。



图1 人们在控制室注视着质子束注入 *LHC*

全世界为之倾倒，人们用“质子的一小段行进，人类的一大步跳跃”高度评价它的意义。这是一个起点，在今后的几个月里，*LHC* 的研究人员将进一步地调试这台超大型的机器，注入更多的质子束流、把束流的能量从 4500 亿电子伏（ 0.45TeV ）的注入能量加速到 7 万亿电子伏（ 7TeV ）工作能量、优化加速器的各种参量并使两束质子束流在 *LHC* 的四个对撞点对撞。在实现束流对撞后，科学家将利用在对撞点附近安装的 *ATLAS*、*CMS*、*LHCb* 和 *ALICE* 四个各有特点又相互补充的大型探测器和两个小型的探测器 *TOTEM* 和 *LHCf* 来研究电弱相互作用中的对称性破缺和质量起源，寻找在理论模型中形成物质质量的希格斯玻色子，重现宇宙大爆炸之后的瞬间状况，研究新的物理现象、探索宇宙中正反物质的不对称的物理机制等重大科学问题，揭开一系列科学谜团。来自世界数十个国家的 5000 名科学家、工程师和技术人员参加了这个总造价约 40 亿欧元工程的研究和建设。中国是 *LHC* 研究项目的参与国之一。数百位中国工程师和科学家参与 *LHC* 对撞机和探测器的设计建造，并将参加物理实验的数据获取物理分析和研究。在科技部、自然科学基金委和中国科学院的支持下，我国物理学家参加了 *LHC* 上的 *ATLAS*、*CMS* 和 *LHCb* 等实验的国际合作，

在探测器研制和物理分析等方面做出了许多贡献，并初步建立了网格计算平台。随着探测器研制任务的完成，我方研究工作的重点也逐步过渡到物理分析方面，要争取在探索电弱相互作用中的对称性破缺和质量起源的机制、寻找 *Higgs* 粒子和超出标准模型的新粒子与新的物理现象，以及 *B* 物理与 *CP* 破坏现象的研究和探索宇宙中正反物质的不对称的物理机制等方面发挥重要作用。读者一定很关心，为什么要选择大型强子对撞机的方案？它是怎样工作的？其中有哪些技术挑战？它的运行是否安全？现在，就让我们来谈谈这些问题。

1. 大型强子对撞机的方案选择

大型强子对撞机的名称由有三个关键词组成：大型、强子和对撞机。“大型”是指尺寸，它的周长达 27 公里；“强子”是因为它加速质子或重离子，这些都是参与强相互作用的粒子；“对撞机”是由于它要把两束强子加速到很高的能量并且在其中对撞。那么，*LHC* 为什么要选择这样的方案呢？

让我们先从对撞机谈起。*LHC* 的科学目标是研究宇宙早期的物理现象，因此需要很高的相互作用能量。著名物理学家费米在 1954 年曾提出一个质心系能量为 3TeV 的加速器设想。那时候，还没有对撞机的概念，下面我们将看到，为了得到 $E_{CM}=3\text{TeV}$ 需要用 $E=5000\text{TeV}$ 的束流与静止靶中的质子相互作用，如采用 2T 的主导磁场， 5000TeV 的同步加速器的偏转半径约为 8000km ，比地球还要大。当时估算这台“地球加速器”的造价为 1700 亿美元，需要 40 年建成。显然，这只是一个梦想。

对撞机能够使费米之梦成真。高能物理需要寻找新粒子，研究新反应，就要尽可能把粒子打碎，因而关心的是质心系能量或有效作用能。在打静止靶情况下，有效作用能

$$E_{CM} \approx \sqrt{2E_0E},$$

即大部分能量浪费在对撞粒子及其产物的动能上。这里， E_0 为粒子的静止能量。对撞机则可使束流的能量得以充分利用：

$$E_{CM}=2E$$

在 高能加速器中， E 远大于 E_0 （对于质子， E_0

约为 10 亿电子伏), 因此对撞机可以大大提高有效作用能量。让我们再回到“地球加速器”的例子。美国费米加速器实验室 (FNAL) 的 *TEVATRON* 已经实现了 0.9TeV 的质子和 0.9TeV 的反质子对撞, 把质心系能量推进到 1.8TeV , 离费米之梦已近在咫尺。而 *LHC* 则能把质子加速到 7TeV 并进行对撞, 质心系能量达 14GeV , 对撞机的周长约为 27km , 远小于“地球加速器”的周长, 总造价约 40 亿欧元。

那么, 为什么 *LHC* 采用强子而不用我们熟悉的正负电子来对撞呢? 实际上, *LHC* 安装在原来 *CERN* 的大型正负电子对撞机 *LEP* 的隧道中。*LEP* 可以把正负电子加速到 1000 亿电子伏 (即 $100\text{GeV}=0.1\text{TeV}$) 并进行对撞。细心的读者可能会问, 在同样的隧道里, *LEP* 中加速的正负电子的能量怎么比在 *LHC* 里加速的质子能量小那么多呢? 这是因为相对论性的带电粒子在环形加速器里拐弯时会沿轨道切线方向发出很强的光, 称为同步辐射。同步辐射的功率与粒子的相对论能量 ($\gamma=E/E_0$) 的 4 次方成正比。由于电子的静止能量 E_0 约为质子的 $1/2000$, 在同样的能量 E 和轨道半径时发出的同步辐射功率就比质子高 1.6×10^{13} 倍。在 *LEP* 中, 能量为 100GeV 的正负电子旋转一圈大约要辐射掉 $1/3$ 的能量, 这就要靠数十台昂贵的超导高频腔来补充能量。因此, *LEP* 的能量很难再提高, 也很不划算。所以, 更高能量的正负电子对撞机, 就要采用束流在直线轨道上加速的直线对撞的方案, 例如, 斯坦福直线加速器中心的能量为 $2 \times 50\text{GeV}$ 的正负电子直线对撞机 *SLC* 和正在计划中的能量为 $2 \times 250\text{GeV}$ 的国际直线对撞机 *ILC*。而 *LHC* 就不一样, 它加速的是质子和重离子 (为了叙述方便, 下面主要讨论加速质子的情况, 重离子是类似的), 即使在 7TeV 高能质子的情况下, 同步辐射引起的束流能量损失仍然是微不足道的, 因此可以采用比直线加速器效率更高的环形加速器的方案。让束流在环形轨道上周而复始地运动, 在高频腔增益能量, 不断得到加速。

但是, 要把 7TeV 的超高能质子束流偏转到环形轨道上, 需要很高的磁场。即使用超导磁铁产生 8.33 万高斯的强磁场, 偏转半径仍达到 2.8 公里, 总的偏转磁铁长度 17.6 公里, 需要采用 1232 块长度为 14.3 米的超导偏转磁铁, 再加上聚焦段、直线段和对撞区等, 整个加速器的周长就达到 27 公里。图 2

给出了 *LHC* 和现有最大的质子对撞机 *Tevatron*、最大的直线对撞机 *SLC* 以及我国的周长为 240 米的北京正负电子对撞机 *BEPC* 尺度的比较 (顺便说一下, *BEPC* 虽然很小, 但很有用, 它是一台粲- t 能区国际领先的对撞机, 处在高亮度的前沿), 可见其之大型。

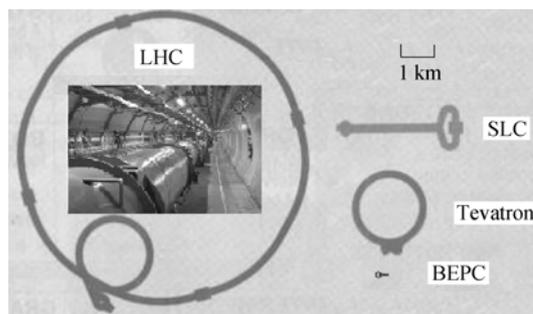


图 2 *LHC* 的尺度

表 1 给出了 *LHC* 的主要参数, 其中除了上面已经谈过的周长的磁场强度等, 还有每个束团中的质子数、全环束团数目和对撞亮度。在下面的讨论中我们将会看到, 为了使对撞亮度达到 $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的设计指标以产生更多的实验事例, 要在全环注入 2800 多个包含 1.1×10^{11} 个质子的束团, 将给加速器物理和技术带来什么样的挑战。

表 1 *LHC* 的主要参数

参量	单位	数值
工作能量	TeV	7
注入能量	TeV	0.45
偏转磁场强度	万高斯	8.33
偏转半径	公里	2.8
加速器周长	公里	26.659
偏转磁铁数目		1232
聚焦磁铁数目		392
磁铁总数		9593
高频加速腔数目		16
每个束团中的质子数		1.1×10^{11}
全环束团数目		2808
束流流强	mA	530
对撞亮度	$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	10^{34}
总造价	欧元	40 亿

2. 大型强子对撞机的工作过程

把质子加速到 7TeV 高能量, 不可能一蹴而就, 需要逐级加速提升能量, 就像接力赛跑那样。如果注入能量太低, 和束流能量同步的磁场就很低, 其性能不易达到要求, 加速过程中磁场变化范围也太

大，而束流在低能量时容易发生不稳定性，难以积累很高的流强。因此，通常工作能量是注入能量的几倍到十几倍。在 *LHC* 里，注入的 0.45TeV 的质子束加速到 7TeV ，能量约增加了 15 倍。从图 1 中我们看到，在 *LHC* 主环的右下方有一个小环和其它细微结构，这就是 *LHC* 的注入器系统。图 3 展示了 *CERN* 加速器复合体的组成结构。由图可见，为了在 *LHC* 里实现两束 7TeV 的质子对撞，动用了 *CERN* 几乎所有的加速器。

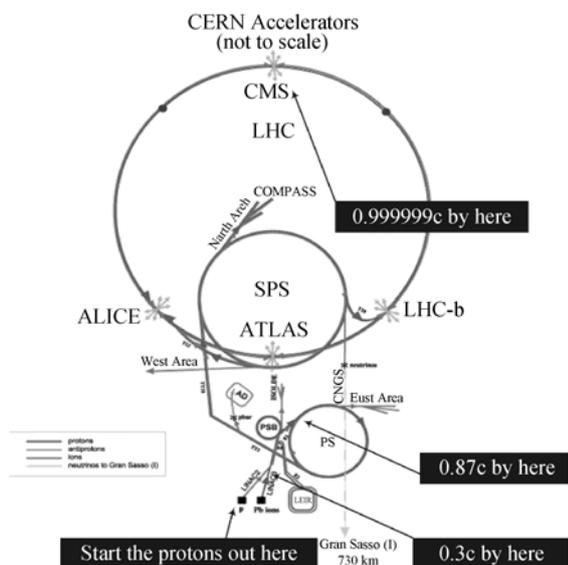


图 3 *CERN* 加速器复合体

质子和重离子是在离子源中产生的。在质子源中，氢原子中的一个电子在电磁场的作用下被剥离而得到带一个正电荷的质子，质子束被送到一台直线加速器 (*LINAC2*) 中，加速到 50MeV ，这时质子束的运动速度约为光速的 30% ($0.3c$)，再通过束流传输线注入同步增强器 *PSB* 中，在其中能量和速度分别达到 1.4GeV 和 $0.87c$ 。质子束从 *PSB* 中引出后，又注入到质子同步加速 *PS* 中，并加速到 26GeV 的能量。这时，质子的速度已经接近光速 c ，在加速器里的加速主要是增加束流的能量。最后，超级质子同步加速器 *SPS* 把来自 *PS* 的质子束流能量提升到 450GeV ，并从两个位置引出，通过两条束流传输线送到 *LHC* 的两个环中，注入、加速和对撞。当加速到 7TeV 时，质子束的速度已经达到 $0.99999999c$ 。重离子的情况与质子类似。所不同的是重离子来自另一台离子源，并在直线加速器 *LINAC3* 中加速，再送到一台低能量离子环 *LEIR* 中加速，以后的加速路径与质子相同，即 $PSB \rightarrow PS \rightarrow$

$SPS \rightarrow LHC$ 。*LHC* 可以把来自 *SPS* 的两束铅离子从每核子 0.177TeV 加速到每个核子 2.76TeV 的高能量，并进行对撞。图 3 是 *LHC* 布局的示意图。

从图 4 中可以看出，*LHC* 有两个相同的环，其中准圆形轨道由 8 个弧段和连接它们的直线段组成。在每个弧区安放了 154 台偏转磁铁和周期性排列的聚焦磁铁及校正磁铁，把束流限制在轨道中心附近。两束质子或重离子在 27 公里的环形真空室里以接近光速的速度相向运动，并在四个对撞点交叉对撞。分布在 *LHC* 的储存环上数以千计的真空泵可以把总容积约 6500 立方米的真空室内抽到 10^{-13} 大气压的超高真空，使束流在环里运动时与残余气体分子碰撞而损失的机会非常小。在真空盒上，安装了各种各样的探头，可以自动、准确、快速的测量束流的位置、强度和截面等参量，提供工作人员分析和控制。每个环上各安装了 8 台工作频率为 400 兆赫兹的超导高频加速腔，放置在两个 4.5K (摄氏零下 268.7 度) 的低温恒温器里，可以提供 2 兆伏特的加速电压。束团在 *LHC* 里以接近光速运动，每秒钟旋转 11245 圈，每转一圈就在高频腔里得到一次加速，并补充由于同步辐射引起的能量损失。在加速过程，所有磁铁的磁场也按能量的增加同步提高，使束流始终保持在真空盒的中心附近。束流在 *LHC* 里大约需要 20 分钟才能加速到工作能量 7TeV 。加速过程结束后，还要对聚焦磁铁的磁场做一些调整，以便把对撞点的束流截面调得更小，最后还要调整束流轨道，使两束粒子在对撞点的轨道从注入和加速阶段分开的状态，改变为对撞状态。

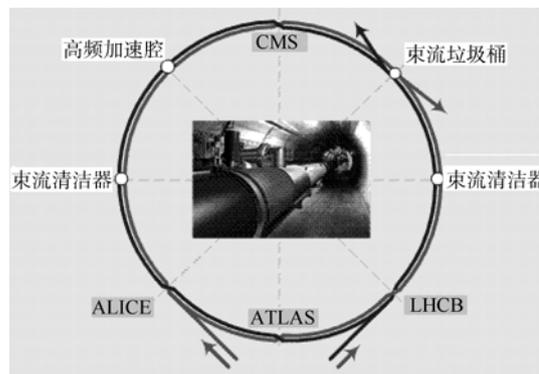


图 4 *LHC* 布局示意图

这时，安放在 *LHC* 的四个对撞区的探测器就开始工作，获取数据。其中超环面探测器 *ATLAS* 和紧凑型 μ 子螺线管探测器 *CMS* 是大型通用型的粒子探

测器，涉及从寻找希格斯到超对称性粒子，从暗物质到额外时空维度等方面的实验研究。*LHCb* 是 *LHC* 上的底夸克实验装置，而 *ALICE* 是专门用来研究重离子对撞的装置，研究在相当于宇宙形成早期的高温、高密度下夸克-胶子等离子体的性质。全截面弹性散射探测器 *TOTEM* 和 *LHC* 前向探测器 *LHCf* 分别安装在 *CMS* 和 *ATLAS* 探测器附近，各自测量 *LHC* 上质子对撞的有效截面和靠近质子对撞方向产生的粒子。大型强子对撞机上的探测器也是大型的。其中 *ATLAS* 是迄今世界上最大的粒子探测器（见图 5），它长 46 米、宽和高各 25 米，总重量达 7000 吨，来自世界 37 个国家 159 个实验室的 1700 多位科学家参加了合作，是名副其实的大型国际合作组。我国也是 *ATLAS*、*CMS* 和 *LHCb* 合作组的成员。

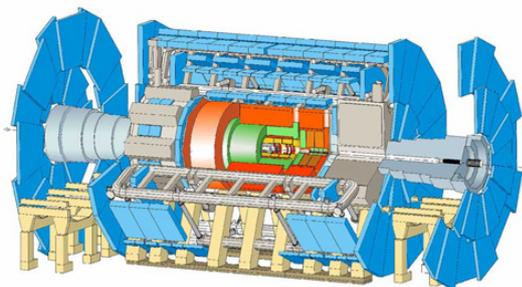


图 5 *LHC* 上的 *ATLAS* 探测器

束流在 *LHC* 中要连续对撞约 10 个小时，直到由于束流流强逐渐减小而需要重新注入为止。上面已经谈到，束流在 *LHC* 长 27 公里真空室里每秒钟旋转 11245 圈，可以算出在连续对撞的 10 个小时里，束流共飞行了 $27 \times 11245 \times 10 \times 3600 = 1093140000$ 公里，相当于从地球到海王星来回的距离。这也是为什么要求 *LHC* 真空室里的这么高的真空度的原因。这里还要说明的是，两束粒子流对撞和两个固体小球相撞不同，由于粒子太微小，束流中的粒子的密度比普通气体的密度低许多数量级，当束流在对撞点交叉通过时，只有很小一部分发生粒子反应，绝大部分粒子都是擦肩而过。在 *LHC* 里，两个各包含 1.1×10^{11} （1 万 1 千亿）质子的束团交叉，只能发生约 20 次粒子反应。但粒子的“擦肩而过”受到迎面而来束流的电场力还是很强的，这种电场力会造成束流截面的增大和粒子的丢失，从而限制了束流的寿命和对撞的亮度。由于束团每秒钟交叉约 3 千万次，每秒钟就可以有 6 亿次有效的对撞，探测器可以获取大量的粒子进行分析研究。

为了避免在束流运行过程中由于对撞和其它原因引起的粒子丢失造成超导磁铁的失超，在 *LHC* 上安放了各两组束流清洁器，把束流边缘的粒子档掉。如果整个束流发生不稳定，安放在环上的快冲击磁铁就会立即起动，把束流偏转到束流垃圾桶里。

LHC 的所有信息和设备都在操作人员的掌控之中，实现这个功能的地点就是控制室。为了更好地做到这一点，在 *LHC* 建设时，把 *CERN* 所有八台加速器的测控和操作都集中到同一个控制室，包括前面提到的 *LINAC1*、*LINAC2*、的 *LEIR*、*PSB*、*PS*、*SPS*、*LHC* 以及用于合成反物质研究的一台反质子减速器 *AD*（见图 3）。图 6 是 *CERN* 新建的这个加速器控制室的照片。在这个控制室里分了四个区，即 *LHC*、*SPS*、其它注入器复合体和低温与技术支持。在这个控制室里，绝大部分数据采集和设备控制都是自动的，操作人员可以发出指令，使各台加速器按照事先编写好的程序工作。



图 6 新建的 *CERN* 加速器控制室

3. 大型强子对撞机的技术挑战

不难想象，*LHC* 的大型性和复杂性必然带来大量的技术挑战。*LHC* 是世界上最大的机器，安装在 27 公里的隧道里的设备总重量达 37600 吨，其中有 9300 块磁铁。*LHC* 又是地球上最快速的“跑道”，能量为 7TeV 的质子束以 99.999999% 的光速每秒钟在 27 公里长的跑道里转 11245 圈。它拥有太阳系最空的地方，在 *LHC* 的真空室里的压强只有 10^{-13} 大气压，是月球上气体密度的十分之一。在 *LHC* 中两束 7TeV 的质子对撞的相互作用能量 14TeV 相当于太阳中心温度的 10 万倍，成为银河系最热的点，而超导磁铁工作温度 1.9 K 则比外层空间还要冷。为了获取和分析 *LHC* 中每秒产生的 6 亿个质子对撞事例，需要世界上最大、最复杂的探测器和数据处理能力最强的超级计算机。*LHC* 安装在平均深约 100 米的地下，最浅处 50 米，最深 175 米，给设备的运

输和安装带了极大的挑战。图 7 给出了 *LHC* 在地面和地下的布局示意图。

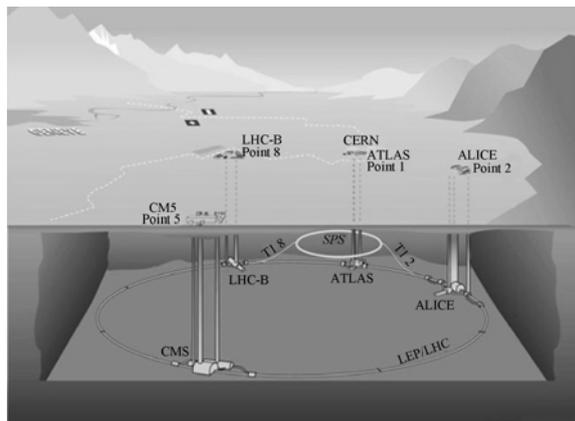


图 7 *LHC* 在地面和地下布局示意图

其中, *LHC* 的高精度的 1232 块超导偏转磁铁是最大的技术挑战。在上面已经谈到, 环形加速器的能量正比于磁场强度, *LHC* 要达到 7TeV 的超高能量, 需要偏转磁铁提供高达 8.3 万高斯的强磁场。这么高的磁场, 用常规的磁铁是不可能实现的, 只能采用超导技术。*LHC* 的超导磁铁采用铌钛超导线材, 温度在 10K (-263.2°C) 以下时进入超导态电阻变为零, 而在 4.5K (-268.7°C) 时磁场可以加到 6.8 万高斯, 但这还不够高。*LHC* 的磁铁必须在更低的温度 1.9K (-271.3°C) 下运行, 要求电源提供高达 11700 安培的励磁电流, 才能产生 8.3 万高斯的磁场。这个电流比通常一个家庭的用的电流高好几百倍。每块偏转磁铁长 15 米, 重约 35 吨, 为了通过如此高的电流而达到超高磁场, 它的线圈要用特殊的铌钛线缆来绕制。这种线缆采用 36 股粗 15 毫米的铌钛线扭卷而成, 而每一股线中包含 6400 根直径为 7 微米的细丝组成。*LHC* 的磁铁总共共使用了长达 7600 公里的超导线缆, 共有 27000 公里的股线, 足够绕地球 6 圈。如果把所有的细丝拆开, 一根接一根地连起来, 足够从地球到太阳打一个来回。把 *LHC* 的超导磁铁从室温降低到零下 271.3°C , 需要分几步完成。先要用 10080 吨的液态氮把磁铁冷却到 80K , 然后用大型制冷机产生的液态氮把磁铁温度降低到 4.5K , 再用 1.8K 的超低温单元把温度进一步下降到 1.9K , 整个过程至少需要几个星期的时间, 总共要用大约 120 吨的液氮。整个系统必须密封, 不允许氦气或氮气泄漏, 否则会造成在隧道里工作的人员窒息。在隧道各处安放了氧含量检测

探头, 一旦空气里的氧含量低于正常值, 就会发出报警信号。图 8 和图 9 分别是 *LHC* 超导磁铁的结构和在隧道里安装的情况。

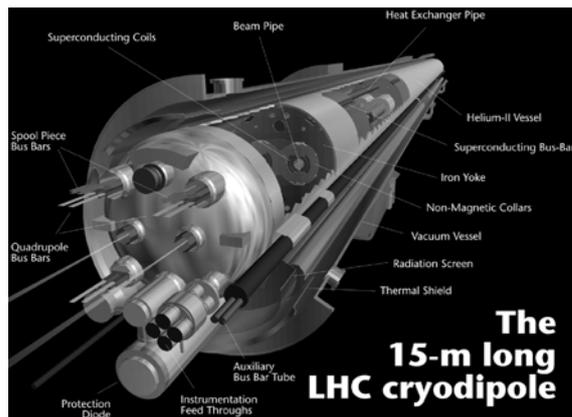


图 8 *LHC* 超导磁铁的结构

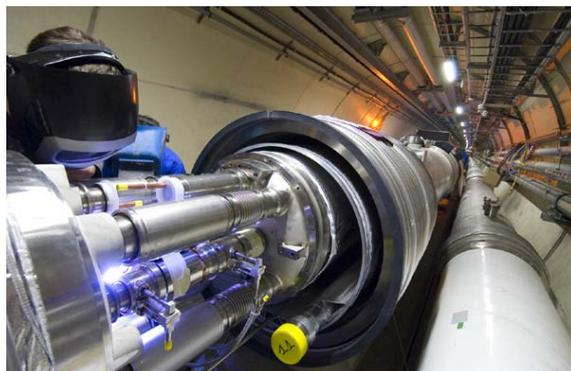


图 9 *LHC* 超导磁铁在隧道里安装的情况

从图中可以看出, *LHC* 的超导磁铁非常精密而复杂。这是一种“二合一”的磁铁, 也就是说在一块磁铁里有两个束流孔径, 这样可以大大节省空间、降低造价, 但也给设计和制造带来很大挑战, 必须保证两个孔径上的磁场质量都满足高精度的要求, 而且不能互相干扰。在磁铁外面是常温, 而超导线圈处又要保持 1.9K , 所以整块磁铁必须安放在低温容器里, 而且要有真空隔层和各种隔热层, 就像保温瓶那样, 只是它的隔热要求高得多。超流态的液氮从低温输管送到超导线圈进行冷却, 强大的电流通过接线排送到磁铁的线圈进行励磁。安放在真空室中的各种束流探测器的信号也要从低温容器的穿墙件与外部连接。在磁铁通电励磁时会产生很强的电磁力, 线圈和铁轭必须牢固地固定在磁铁上。在 *LHC* 对撞区附近有 24 块磁铁, 在设计时只考虑了径向的受力, 误以为轴向的力很小而忽略了轴向的固定, 结果其中一块在隧道通电测试时磁铁里的支

架被撑开，并把这块 20 吨的磁铁掀下基座。这就是被媒体报道为“大型强子对撞机发生爆炸”的事故。经过研究人员的分析研究，设计安装了轴向支架，花了几个月的时间才把这 24 块超导磁铁改造完毕。

然而，设备建造和安装调试只是技术挑战的一部分，要达到设计的束流性能指标还有很大的挑战。在 *LHC* 中束流对撞的有效能量高达 14TeV ，是目前世界上能量最高的质子对撞机 *TEVATRON* 的 7 倍。由于对撞产生新粒子的反应截面与能量的平方成反比，为了达到同样的物理目标要求对撞亮度（与每秒钟发生粒子对撞的次数成正比）随束流能量的平方增加，这也是为什么 *LHC* 的设计亮度高达 $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，比 *TEVATRON* 高两个数量级。这就要靠增加 *LHC* 中有更多束团（2835 个）和每个束团中粒子的数目更多（ 1.1×10^{11} ），相应于每一个环里束流的流度高达 0.53 安培。束团中粒子的数目愈多，粒子受到对方束团的电磁力就愈强， 1.1×10^{11} 个质子产生的电磁力差不多是这种相互作用的允许的极限，需要优化各种参量才有可能达到。而 2835 个束团在 *LHC* 的真空室里运动，前面的束团在金属真空室中激起的电磁场将干扰后面的束团的运动，引起各种各样的不稳定性，甚至造成束流丢失。在 *LHC* 里安装了十分复杂的束流反馈装置来抑制这些不稳定性。

束流在 *LHC* 里要连续对撞 10 小时以上，旋转 $11245\times 10\times 3600=404820000\approx 4$ 亿圈。在理想情况下，这应当没有问题。但在实际中，束流是在有误差的非理想场中运动的。*LHC* 的偏转磁铁做得再好，也不是只有线性的二极磁场，还包含高极的磁场误差，其它磁铁情况也类似。束流在经过这些磁铁时，越是偏离中心轨道远的粒子受到的扰动就大一些，这么转来转去，在几百万、几千万圈时就可能离散到束流管附近而丢失，这就是所谓的混沌现象。这类类似于地球绕太阳旋转，科学家正在研究几百万、几千万年里由于微小的扰动引起地球轨道的变化。*CERN* 的科学家用高速的计算机逐块磁铁地跟踪粒子在 *LHC* 中运动，进而确定所允许的磁场误差。但计算毕竟是计算，最终还是要到实际加速器的调束和运行中检验。

4. 大型强子对撞机的安全问题

加速器的安全问题通常是指加速器运行过程中的环境、人身和设备安全。*LHC* 安装在平均 100 米

深的地下，主要是为了避免使用昂贵的土地，同时也有效地屏蔽了加速器束流运行时产生的放射性。在 *LHC* 对应的地面上，有 *CERN* 的办公楼、实验室，也有居民区，都非常安全。工作人员进入加速器隧道和其它辐射控制区，都装备有自动安全门，确保加速器运行时人员不会误入辐射区。在设备安全方面，在 *LHC* 中的 2808 个包含的 1.1×10^{11} 个能量 7TeV 的质子束团总能量为 $2808\times 1.1\times 10^{11}\times 7\times 10^{12}\times 1.6\times 10^{-19}=3.5\times 10^8$ 焦耳，相当于一列重 400 吨的火车以每小时 150 公里的速度行进的动量。如果这些束团都打在加速器的真空室的某个位置，足以把那儿的真空室打穿。而为了避免这样的严重事故，在 *LHC* 里安放了快速打掉束流的系统，包括束流检测装置和束流垃圾桶（见图 4），一旦发现束流有丢失的迹象，就在束流旋转三圈之内（约 0.3 毫秒）把束流偏转到垃圾桶里。即使只是一小部分粒子离散到真空盒上丢失（例如由于上面谈到的混沌现象），粒子动能转化成的热能也可能使磁铁温度提高而引起失超。磁铁的每一次失超都需要几个小时才能恢复。为了避免磁铁频繁地失超，在 *LHC* 的每一个环上对称地安放了两个束流清洁剂（见图 4），在粒子打到磁铁的真空室以前把这些“不听话”的粒子档掉。

不过，现在人们谈论的安全问题并不是这些，而是欧洲和美国的反对人士分别向当地法院提出起诉，要求叫停或推迟 *LHC*，他们的理由是，*LHC* 能产生微型黑洞或者危险的粒子，从而毁灭整个地球。启动 *LHC* 果真会有如此危险吗？实际上，早在 2003 年一个由独立科学家组成的 *LHC* 安全评估组经过仔细的研究，已经提出了关于 *LHC* 安全性的报告，认为 *LHC* “没有导致任何可能的威胁出现的基础”。

黑洞是大家十分感兴趣的科学问题。在宇宙中，当一个恒星寿终正寝时，会发生坍塌而把大量的物质聚集在很小的空间里而形成黑洞。在 *LHC* 里，虽然整个束流的能量很大（但比起天体的能量是微不足道的），每个 7TeV 的质子的能量却是非常小的，只有百万分之一焦耳，相当于一只蚊子飞行的能量。这样微小的能量怎么可能毁灭地球呢？按照目前基于爱因斯坦相对论的引力理论，用 *LHC* 是无法产生黑洞的。但也有一部分理论物理学家猜想，万有引力在 *LHC* 中 TeV 能量尺度上可能发生改变，如果这样的话，有可能在 *LHC* 上产生微型黑洞。即便如此，产生的黑洞也非常微小，将通过霍金辐射的机制很

快就蒸发消失，不会造成任何危险。

还有一个观点认为，*LHC* 中束流的对撞有可能产生某些奇异子，有可能“吃”普通物质的核子，并将其转变为奇异物质并通过一系列危险的连锁反应毁灭地球。奇异粒子真的是那么危险吗？按照物理学的理论，各种奇异粒子的寿命都很短，一般会在几十亿分之一秒的时间内转化为普通粒子。其实，早在 2000 年当美国的相对论性重离子对撞机 *RHIC* 开始运行前，正是这次向法院提出诉讼的两位人士就已经提出过类似的质疑。现在，*RHIC* 已经运行了八年，并没有发现奇异子，更没有发生任何危险。*LHC* 的束流能量比 *RHIC* 高几十倍，在这样高的能量下奇异物质更不容易形成。

LHC 在这些方面的安全性的最有力的论据在于一个简单的事实：包括地球在内的太阳系星体从形成到现在几十亿年来，都不断地被宇宙射线轰击。这些粒子能量甚至可能高于 *LHC* 所产生的粒子能

量，结果怎么样？既没有产生出黑洞或奇异物质，太阳、地球和月球也都没有因此而被摧毁。由此可见，那些关于 *LHC* 安全性的质疑是没有科学根据的，他们毫无道理的诉讼也理所当然地被法院驳回。

粒子加速器作为一种采用电磁场将带电粒子加速到高能器的机器，自 20 世纪 30 年代问世以来，就在不断向更高的能量攀登，成为探索微观世界的“显微镜”。*LHC* 代表着 21 世纪初高能量的前沿，科学家将用以寻找新粒子、探索新现象、研究新物理，但无论是希格斯粒子还是超对称粒子，它们产生的几率都很小，需要在高亮度下工作许多年才有可能找到，而探索和研究超出标准模型的现象和反物质、暗物质、暗能量等方面，也要从对撞后产生事例的蛛丝马迹中一步一步地前进。因此，*LHC* 是强大的，又是安全的，它将极大地深化人类对于物质微观结构的认识。

（中国科学院高能物理所 100049）