

·学术聚焦·

# 欧洲核子中心汇聚全球的努力筹划 未来的巨大环型对撞机

钱思进

北京大学物理学院,北京 100871

**摘要** 结合2014年2月参加“对未来环型对撞机研究的启动会议”的见闻,介绍了全球高能物理界正在讨论如何通过广泛国际合作、在欧洲核子中心(CERN)建造未来环形高能加速器和粒子对撞机的新动态,简要回顾了历史上高能加速器和对撞机建设的经验和教训,摘编了与会者提出的相关见解和建议,希望中国高能物理的长远发展可从中借鉴和参考。

**关键词** 欧洲核子中心(CERN);未来环型对撞机(FCC)研究;大型强子对撞机(LHC);超级超导对撞机(SSC)

**中图分类号** N20

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.17.013

## CERN Promote the Wide International Collaboration for Building a Huge Future Circular Collider

QIAN Sijin

School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China

**Abstract** From the observation and discussion during the participation in the “Future Circular Collider Study Kickoff Meeting” held in February, 2014 at University of Geneva, this article has introduced the new development in the world high energy physics community which is discussing to design and build a future circular high energy accelerator and collider at CERN through the wide international collaboration; it has briefly retrospected the experiences and lessons of building the high energy accelerators and colliders in the past decades, it has also extracted some view points and suggestions given by the meeting participants. Hope that the long-term development of Chinese high energy physics research can use it for references.

**Keywords** CERN; future circular collider (FCC) study; large hadron collider (LHC); superconducting super collider (SSC)

2014年2月12—15日,为了对巨大的未来环型对撞机(future circular collider, FCC)展开研究,350多位加速器和粒子物理的世界级专家(包括世界上若干高能物理实验室的负责人)汇聚在日内瓦大学,参加“对未来环型对撞机研究的启动会议”<sup>[1]</sup>。笔者有幸参加本次会议,现将所见所闻记录下来,介绍给国内的同事和关心此领域长远发展的读者。

### 1 对未来环型对撞机研究的启动会议

未来环型对撞机研究将检验在一条80~100 km长的未来环型地下隧道里打造一台世界上最高能量的粒子对撞机的各种可能性,包括一台对撞能量约为100万亿电子伏特(比当今世界最高能量的大型强子对撞机(LHC)<sup>[2]</sup>高7倍多)的质

子-质子(或重离子-重离子)对撞机,一台高亮度的正负电子对撞机(作为有潜力的中间步骤)用作W、Z和Higgs玻色子、顶夸克对的工厂,也包括质子-电子对撞的可能性。此研究将以全世界范围内的国际合作的形式组织开展,其目标是,2018年提交一份概念设计报告连同一份造价评估,报告将汇集物理、探测器、加速器、基础设施4个方面的研究结果。

选在2018年提交相关报告,是因为那时恰逢“欧洲粒子物理战略”将做下一次更新;此项对巨大未来环型对撞机的设计研究,也正是为了响应“欧洲粒子物理战略”在2013年的更新中提出的最高优先等级的要求,即“应该对在欧洲核子中心(CERN)建造一台LHC之后的未来世界最高能量环型对撞机(图1)展开概念设计研究”。

收稿日期:2014-05-27

作者简介:钱思进,教授,研究方向为实验高能粒子物理、网格计算在高能物理中的应用等。

引用格式:钱思进. 欧洲核子中心汇聚全球的努力筹划未来的巨大环型对撞机[J]. 科技导报, 2014, 32(17): 81-83.

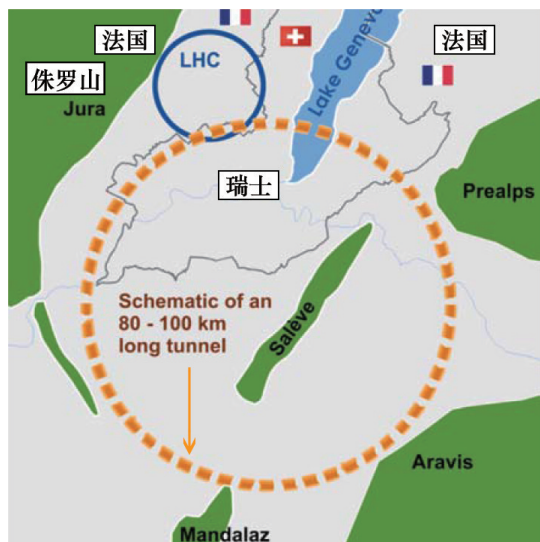


图1 在瑞士日内瓦区域钻凿一条周长80~100 km的未来环型(橙色粗虚线)地下隧道的草图。它可容纳一台100万亿电子伏特的世界最高能量的质子-质子对撞机,也可以(作为有潜力的中间步骤)安装一台高亮度的正负电子对撞机,用作W、Z和Higgs玻色子、和顶夸克对的工厂<sup>[1]</sup>。图上部靠右的蓝色区域是日内瓦湖,围绕该湖的深灰弯曲线是瑞士、法国边界线,靠左的深蓝环是正在运行的周长27 km的大型强子对撞机(图及相关说明摘自 CERN Courier 期刊2014年第54卷第3期)

“对未来环型对撞机研究的启动会议”由一项欧盟第7框架的研发项目和日内瓦大学联合主办,出席者来自全球,包括中、日、俄、美等国家的高级别代表,及众多遍布欧洲的实验室和大学的代表(图2)。



图2 2014年2月在日内瓦大学参加“未来环形对撞机研究启动会议”的与会者(Michael Hoch/CERN 摄)

启动会开始2天的大会报告评估了未来环型对撞机的规模、计划、国际形势等;随后2天的7个分组会议使与会者有机会做更多的报告和展开热烈的讨论。大多数与会者达成共识:全球范围内在各个相关领域(物理、实验、加速器等)的国际合作是在2018年完成值得信赖的概念设计报告的基本重要因素。很多参会者及其所在研究单位表达了加入此国际合作的强烈兴趣。现在各个国家的研究所、大学、实验室都收到邀请,参加到这项建造未来环型对撞机的全球努力中

来,受邀者将在2014年5月底前书面提交在具体领域中愿意做出贡献的“意向书”。

会间和会后,在针对未来巨大环型对撞机的热烈讨论中,人们不由自主地回顾了圆形(或环形)高能粒子加速器83年的发展史和重要的经验教训。

## 2 圆形和环形加速器的历史回顾和发展

自从美国物理学家欧内斯特·劳伦斯(Ernest O. Lawrence, 1901—1958年)于1931年制造出世界上第一台圆形回旋加速器<sup>[2]</sup>(他由此荣获1939年诺贝尔物理学奖)以来,高能粒子加速器发生了天翻地覆的变化,例如:

1) 加速器的尺寸,从1931年的一个巴掌大小(直径约11 cm),发展到现在世界上最大的周长27 km的大型强子对撞机(LHC),增大了约8万倍;

2) 加速器的束流能量,从劳伦斯第一台圆形回旋加速器的8万电子伏特,到LHC的7万亿电子伏特,提高了近9000万倍;

3) 加速器的造价,从劳伦斯的原型机只价值约25美元(按现在的汇率约合160元人民币),到LHC超过50亿瑞士法郎(约合350亿元人民币)(只包括LHC的主环和相应设施的新建费用,不包括已经存在的27 km隧道和所有的预加速系统),增长了至少2亿多倍;

4) 建造加速器的科研人员,从劳伦斯及其个别学生和同事,到参加LHC项目的数千人,增加了约上千倍;

5) 建造加速器的时间,从劳伦斯的第一台机器的设计至建成经历不足1年,到LHC的“从1984年提出设想到2009年底实现束流对撞”历时25年,相差近30倍。

由此,早在十几年前,全世界高能物理界就一致达成共识,LHC之后的下一台更高能量的粒子对撞机很可能将更复杂、更艰难、更昂贵,只有利用全球的国际努力才可能实现。

这也是汲取了20~30年前曾在美国建造的另一台比LHC更大的超级超导对撞机(superconducting super collider, SSC)的惨痛教训<sup>[3]</sup>而得出的结论。

## 3 美国取消SSC的教训

SSC是1984—1993年美国投资兴建的1台周长为87 km(比LHC大3倍多),质子束流能量为20万亿电子伏特的对撞机。SSC的预加速系统包括1台直线加速器和3台周长依次递增的环形加速器(最后一级预加速器周长约11 km),然后质子束流被注入到SSC的87 km长的主环内。它于1984年开始设计,1991年开始兴建和开凿地下隧道,1993年10月美国国会停止拨款,被迫下马,已完工的长度>20 km、直径3.7 m的庞大地下隧道以回填或另作他用为结局。

在SSC被取消的一系列原因中,两个比较主要的原因是:

1) 它始终没有得到实质性的国际支持。尽管美国做了很多努力,包括美国总统亲自出面,只是在最后1~2年才勉强得到日本政府意向性的有限支持,但为时已晚,无法挽回美国国内(特别是美国国会里)日益增强的反对声浪造成的颓势;

2) SSC项目节节攀升的超预算支出。1990年,一次独立的财政审计得出结论,SSC的造价将由初期批准的40亿美元升至93亿美元,猛增1倍多。由此遭到各界(不仅来自其他物理学领域,也包括很多非物理的科学领域)的强烈质疑。

#### 4 欧洲建造LHC的经验

LHC在与SSC的竞争中胜出,反映欧洲核子中心(CERN)在上述这2个方面具有明显优势。

1) CERN从诞生开始,本质上就是一个国际性的科研组织(其正式名称是European Organization for Nuclear Research),即它不是属于某一个国家,而是由12个欧洲成员国于1954年共同创立、共同管理的。经过60年的发展,CERN现已扩展为拥有21个成员国(CERN于2013年12月接纳以色列成为第21个成员国,这是第一个且是至今唯一一个非欧洲的成员国);印度、巴西等为了成为CERN成员国而正处在不同的申请阶段。

由于CERN固有的国际性特点,它的所有科研计划、战略制定等都要经过其21个成员国的协商,达成一致才行。所以它的计划的审定和批准,都要经过各成员国的反复审议和讨论,非常严密,从而也在全世界高能物理界赢得了信誉和尊重。这与由美国一方主持的SSC,在吸引其他国家参与的过程中遇到的严重困难,形成了鲜明对比。

国际合作的另一个重要经验是它的互利性。如果某些国家为了主持建造未来庞大的科学项目,希望其他国家合作参与,那么这些国家若能尽力支持现在正在运行中或建造中的(特别是本学科领域的)国际合作项目,它们将更容易得到其他国家在未来的新国际合作项目中的支持。

就LHC这个迄今为止世界上最大的国际合作科学研究项目来说,它在运行的头3年(即2010—2012年)里取得的成就(特别是2012年7月ATLAS和CMS两大国际合作实验组同时宣布在实验上发现了希格斯玻色子<sup>[5,6]</sup>,被普遍认为是物理学近50年来最重大的发现之一,并促使希格斯(P.Higgs)和恩格勒(F.Englert)荣获2013年诺贝尔物理学奖),是几十个国家数百个单位近万名科研人员(包括中国的十余个单位约100位科研人员及学生)齐心协力共同奋斗了20多年的结果。但这仅仅是刚起步,在LHC历时2年的停机大检修之后,于2015年春重新运转时,它才有望实现设计的对撞能量(2010—2012年只是运行在设计能量的50%左右)。今后15年,LHC还计划进行2次重大升级。参加此次“未来环形对撞机启动会议”的一位当今大型国际合作实验组的负责人明确指出,LHC及其各个大型探测器在今后十几年中的升级改造,期待着各参与国的大力支持和共同努力(包括人力和物力等);中国是新兴崛起的大国,经济发展取得举世瞩目的成就,CERN的科研设施和机遇平等地展现给全世界的参加者,CERN欢迎和期盼中国能在LHC的参与中发挥更积极的作用,做出更大的贡献。对任何一个国家来说,如果现在全力支持现有的国际合作项目,其他国家在将来也一定会对新的

国际合作项目给予支持;反之亦然。国际合作总是双向的、互利的,而不是相反。他的这些建议很中肯,值得我们注意和认真思考。

2) 在有效地充分利用现有仪器设备,最大程度地节省开支方面,CERN也是世界高能物理研究领域很好的范例。CERN成立60年来建设了一整套高能物理研究的基础设施和一支强大的技术专家队伍。从建造经费角度出发,这些价值上百亿瑞士法郎(合近上千亿元人民币)的基础设施,完全可以继续用在未来环形对撞机的项目中,从而节省相当大一部分(可能高达百分之几十)的未来环形对撞机的建造费用。这是因为,环状对撞机不是仅仅建造一条近100 km长的主隧道,而且还需要建造若干台预加速器与之配套,就像LHC和SSC那样(它们都是由“1台直线加速器加上3台周长依次递增的环形加速器”作为预加速器,最后才将束流注入LHC或SSC的主环)。对巨大的未来环形对撞机,CERN这些现存的5台加速器(即1台直线加速器加上4台环形加速器(包括LHC))都可以直接用做未来环形对撞机的预加速系统。从而免除了从零开始的局面,节省了大量资金、人力和时间。

当初LHC与SSC的对比中,LHC的预加速器都是直接使用过去几十年内建成并成功运行的较小的加速器。这就突显了它与SSC的重大差别。后者必须在德克萨斯州内凭空建造出从小到大的所有预加速器,这无疑是在与LHC的竞争中,在经济上和进度上的重大劣势。

#### 5 结论

纵观世界高能粒子对撞机近几十年来发展的风风雨雨,从成功案例中展示出的丰富经验、失败案例中暴露出的惨痛教训中,希望各国(包括中国)能摸索出在未来比大型强子对撞机(LHC)更庞大的国际合作科学项目中发挥各自才干的最好方案,大家一起在人类探索物理未知世界的共同努力下不懈地奋斗,争取获得类似发现希格斯玻色子那样的或更重大的研究成果。

#### 参考文献(References)

- [1] Benedikt M, Zimmermann F. The future circular collider study[J]. CERN Courier, 2014, 54(3): 16.
- [2] Evans L, Bryant P. LHC machine[J]. Journal of Instruments, 2008(3): S08001. doi: 10.1088/1748-5320/2008/S08001.
- [3] Yarris L. Ernest Lawrence's cyclotron: Invention for the Ages[EB/OL]. Berkeley National Lab Science Articles Archive. <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/early-years.html>.
- [4] Riordan M. The demise of the superconducting super collider[J]. Physics in Perspective, 2000(2): 411.
- [5] ATLAS Collaboration. Observation of a new particle in the search for the standard model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC[J]. Physics Letters B, 2012, 716: 1.
- [6] CMS Collaboration. Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC[J]. Physics Letters B, 2012: 716: 30.

(责任编辑 陈广仁)