

一个迷人的故事，着重探讨超越希格斯玻色子发现的新物理，
以及能够引领我们实现这个目标的巨型粒子加速器。

从万里长城到 巨型对撞机

中国探索宇宙最深层奥秘的前景

★★★
获2016年
美国PROSE奖
(物理/化学类)
★★★

[美] 丘成桐 史蒂夫·纳迪斯 著
鲜于中之 何红建 译

一个迷人的故事，着重探讨超越希格斯玻色子发现的新物理，
以及能够引领我们实现这个目标的巨型粒子加速器。

从万里长城到 巨型对撞机

中国探索宇宙最深层奥秘的前景



[美] 丘成桐 史蒂夫·纳迪斯 著

鲜于中之 何红建 译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

对粒子物理标准模型中最后要素长达 48 年的搜寻，终以 2012 年希格斯玻色子的发现而告登峰造极。当人们还在欢庆这一巨大胜利之时，中国科学家已经开始了新的征程，他们将继续人类对自然界基本组元长达几个世纪的探索。具体而言，他们开始为建造一台巨型加速器做基本准备。这台机器周长可达 100 千米，足以将物理学带入一片前所未及的高能领域，在这里将有可能发现大量新粒子及新的重要对称性。

建造这样一台设备势在必行：即使标准模型能以惊人的精度描写基本粒子的行为，也仍然不完整，因为该理论无法解释宇宙大爆炸、万有引力、暗物质、暗能量等影响深远的现象。

本书将向读者介绍，像中国提出的“巨型对撞机”这样一台具有雄心的机器如何能够提供关于宇宙及其基本组元之起源的更加完整透彻的理解。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

从万里长城到巨型对撞机：中国探索宇宙最深层奥秘的前景 / (美) 丘成桐，
(美) 纳迪斯著；鲜于中之，何红建译. —北京：电子工业出版社，2016.4

ISBN 978-7-121-28176-1

I. ①从… II. ①丘… ②纳… ③鲜… ④何… III. ①对撞机 - 普及读物
IV. ①O572.21-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 029884 号

责任编辑：白 涛

印 刷：中国电影出版社印刷厂

装 订：三河市皇庄路通装订厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：720×1000 1/16 印张：15.25 字数：200 千字

版 次：2016 年 4 月第 1 版

印 次：2016 年 4 月第 1 次印刷

定 价：89.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

推荐序 1

巨型对撞机

自 2012 年在 CERN 发现希格斯玻色子以来，一批中国科学家就开始努力说服中国政府与公众在中国建造下一代高能对撞机。这批科学家由中国科学院高能物理研究所所长王贻芳领导，并得到菲尔兹奖得主丘成桐的支持。

丘成桐与纳迪斯在本书中详尽阐述了，这些科学家怎样下定决心，他们现有的基础如何，以及他们取得政府支持并在万里长城东端与太平洋海岸毗邻区域实现这一梦想的机会如何。

希格斯玻色子的发现是粒子物理学的转折点。它一方面完成了对标准理论的粒子谱的发现，使之成为迄今为止描述自然现象最为成功的理论。另一方面，它留下了一些有待回答的问题，比如：中微子质量的起源、在引力作用下聚集在星系周围的不发光物质（即“暗物质”），还有希格斯玻色子质量与量子引力尺度（即所谓普朗克质量）之间 17 个数量级的悬殊差异。本书详细阐述了我们缘何确信标准理论只是一个更为完整结构的近似。这一结构将在更高的能量尺度以新粒子与新相互作用的形式展现出来，正如标准模型是法拉第与麦克斯韦的电力学在更高能量尺度的完备实现。因此，我们需要将 CERN 的机器推向其高能极限，同时开始规划新机器和探索新的能量区域。

迄今所有讨论过的方案都基于一种“原子粉碎机”的现代版，即由奥地利物理学家布鲁诺·陶舍克（Bruno Touschek）于 20 世纪 60 年代在意大利首先研发的“对撞机”。两束粒子在一根高度真空的管道中被加速到很高能量后对头碰撞。这些粒子束可以是正负电子，如同陶舍克最初的设计；也可以是正反质子，这种方案由 CERN 最先设计出来，并被应用于费米实验室的 Tevatron；还可以完全是质子，就像 CERN 的大型强子对撞机那样。根据爱因斯坦的公式 $m=E/c^2$ ，我们给予粒子束的所有能量在对撞过程中都可用来产生新粒子，从而使对撞机比老式的原子粉碎机强大得多。因为后者仅仅将高能粒子束射向固定靶，故而所产生粒子的质量仅仅正比于束流能量的平方根。

这本书展望了建造一条大型环形隧道的设想。这条隧道将安装一台正负电子对撞机，之后再置入一台质子对撞机。至于其他项目，在日本建造一台正负电子直线对撞机（国际直线对撞机，ILC）的计划已经拿上台面。大约在高能所提出方案的同一时期，CERN 也开始研究未来环形对撞机（FCC）的可能性，其隧道将在日内瓦湖下面穿过，并延伸到日内瓦与阿尔卑斯山之间的区域。

巨型对撞机的计划并非无中生有。过去 50 年里，在杰出华人物理学家、诺贝尔奖得主李政道、杨振宁和丁肇中的激励下，中国物理学取得巨大进步。本书对此做了引人入胜的记述。

如今，中国粒子物理的中心位于北京的高能物理研究所。它最初由张文裕创建于 1973 年，目前由王贻芳领导，而且实现了与国际接轨。一支茁壮成长的团队已经形成。过去十年中，在中国开展的粒子物理实验在中微子振荡和强作用介子物理方面做出了世界一流的结果。高能所也参与了大科学装置的建造。其中，高能所前所长陈和生领导了北京正负电子对撞机的升级、散裂中子源以及随后的基于加速器的核裂变等雄心勃勃的项目。

本书有力论证了，中国物理学家与工程师已做好建造大型科学装置的准备，并与欧洲和美国一同参与高能竞赛。高能所创始人张文裕在 20 世纪 70 年代就提议建造一台可与 SLAC 和 CERN 的机器相竞争的 50GeV 质子加速器，而这条道路如今对于中国愈加光明。

高能物理的大事业需要国际合作（不过天文学、宇宙学，以及如今的生物科学都莫不如此），本书很好地阐明了其中的理由。我想在此以我个人的观点作结，它们来自我关于 CERN 大型强子对撞机（LHC）以及相关探测器的工作经验。

我们需要国际合作，至少有两个原因：其一是财政资源，其二是人力资源，或者更一般地说，实践经验。当然，这两者关系密切。对于对撞机的非东道主国家，他们的财政贡献决定了该国有多少科学家与工程师参与到该项目，也决定了在多大程度上可以将其认为是属于他们、让他们投入精力和职业生涯从事研究的项目。

由于此类项目的规模巨大，即使像中国这样的大国也很难独立资助，因此，整合国外资源实际上是必需的。此外，资源共享也有助于降低建造这样一台高级复杂设备的风险，同时也保证了，在建设过程遇到困难时可以得到国际支持（在此进程中肯定会遇到困难）。国际资源也将帮助解决另一个问题，即其他科学领域会感到政府将注意力完全集中于一个项目而产生反对意见。如丘成桐和纳迪斯所言，“水涨船高”，政府对科学的关注从长远来看对所有领域都有好处。不过，科学界内部的反对意见对这一事业可能会是致命的，如同美国取消超导超级对撞机（SSC）那样。

仅从建设、操作该设备与探测器所需的劳动力来看，人力资源的共享不可或缺。因为所需人力显然超过了即使是中国这样一个大国的召集能力，不仅从人数上，更重要地，从该事业所需的人才、技能和创新能力来看，都是如此。

而该事业所需的实践经验和尖端技术则是人力资源共享的另一个方面。这一项目在其所有方面都需要配备最好的技术，单独一个国家无法完全胜任。特别是在巨型对撞机的质子对撞阶段，高场强超导磁铁、质子束流动力学和控制等等技术目前都集中在世界上的两大实验室，即欧洲的 CERN 和美国的费米实验室。如果没有与这两个已有实验室的紧密联系，在一个全新的实验室里重复这些技术将是相当困难的。

丘成桐与纳迪斯描绘了将出现在未来数十年内的情景。中国一旦能够进入高能量前沿的国际竞赛，必将是绝对的、最受欢迎的新鲜事物。

卢查诺·迈安尼

罗马，2015 年 12 月 5 日

卢查诺·迈安尼 (Luciano Maiani)

CERN 理事会总裁 (1997)，CERN 总干事 (1999—2003)，意大利国家研究委员会 CNR 董事长 (2008—至今)，曾获美国物理学会 Sakurai Prize (1987)、意大利国际理论物理中心 Dirac Medal (2007)、欧洲物理学会 EPS Prize (2011)。

巨型对撞机、粒子物理与 中国科学发展

《从万里长城到巨型对撞机》讲述了一个非凡的故事，那就是人类对微观世界从原子到夸克的好奇心如何同时改变了我们对宇宙以及对我们自身存在的理解。这个故事穿越两千年，从古希腊的原子论者出发，在随后的千年中缓慢推进，而从汤姆逊发现电子到近来发现希格斯玻色子这大约 120 年里，则以惊人的步伐加速前进。

2012 年 7 月 4 日在 CERN 宣布发现希格斯玻色子，是整个科学史乃至人类全部历史中的重大里程碑。它向我们揭示了关于宇宙的非凡事实。我们如今知道，我们的宇宙填充着一种量子场，它对于我们自身的存在以及我们所知的一切存在物都至关重要。若不是它，电子就没有质量，原子就不会形成，因而也就没有恒星，没有地球，没有人类！希格斯玻色子的发现完成了粒子物理学的标准模型，这是人类有史以来对自然界在最基本的层次上最全面的描述。但这并不是故事的终结。的确，在一本激动人心的著作中，最好将这看作其中一章的结束。

希格斯玻色子虽然回答了许多重要而深刻的问题，但是它提出的新问题比它解决的问题还要多。在标准模型之外、在我们所能确切解释的事实之外，还有新的奥秘。我们如今知道，宇宙物质中的绝大多数并非我们熟知的物质，而是一种我们看不见且尚无任何理解的暗物

质。不过我们知道，暗物质能够解释宇宙的大尺度结构，还能解释恒星在星系中令人困惑的运动。这种暗物质也许与超对称有关。超对称是一种非常基本的理论，它提出了一系列新的基本粒子。目前 CERN 正在积极搜寻它们。或者，暗物质也可能全然是另一种东西，很可能大大出乎人们的预料。不过大致可以确定的是，无论它是什么，都与希格斯玻色子有着某种联系，所以这种新粒子很可能就是给这段光辉历史进程打开下一篇章大门的钥匙。

正因如此，中国乃至全世界的粒子物理学家，都对在中国建造巨型对撞机的可能性激动不已。中国巨型对撞机的第一阶段将是环形正负电子对撞机（CEPC），它使正负电子在 240GeV 能量尺度发生对撞。这正是产生在 CERN 发现的那种希格斯玻色子所需的能量。这台对撞机将大量产生希格斯玻色子，从而使我们以空前的精度研究其性质。事实上，物理学家可以通过精确测量寻找对粒子物理标准模型预言的细微偏离，从而提供关于新物理领域的无可争辩的证据，并对今后的实验与理论给予重要指引。当然，实验结果对标准模型没有任何偏差也将是同等重要的事实，因为这将为我们提供宝贵线索，帮助我们排除许多假想的新物理模型。无论如何，这台机器将在一个全新的基本层次上观察自然，也会将中国推向基础科学的最前沿。

在粒子物理学家看来，中国巨型对撞机所能取得的潜在突破非常清楚，并且意义重大。而中国从中所能取得的收益也同样清楚和引人注目。粒子物理学既有许多实在的益处，又有一些巨大而无形的效益。首先，从最基本的层面研究宇宙如何运转的传统历史悠久，对这一领域的贡献将是永恒的。因而这在文化层面上就极端重要。它能带来声誉、承载历史意义并鼓舞人心。我想指出，物理学经常是通过关于我们在宇宙中的位置这样的大问题吸引年轻人，然而一旦他们进入物理学领域，就还会看到像拓扑绝缘体这样美妙的东西，他们从前肯定想象不到会对之发生兴趣，而且这些东西还有巨大的实用价值。粒子物理俘

获想象力，并极大地推动了科学进步，这对所有科学领域都大有裨益。此外，我们还有像万维网这样的意外收获。粒子物理领域还创造了超导线与超导强场磁铁，同时为医学诊断研发了加速器、将辐射探测器应用到了医学影像学中。

《从万里长城到巨型对撞机》一书讲述了粒子物理学如何改变了我们日常生存的精彩故事，尽管在任何时候，粒子物理看上去似乎都与我们的日常生活毫无关系。本书还讲述了粒子物理学怎样为了一个更伟大的目标，而成就了迄今为止全球和平与合作的最佳典范。而这一点将是未来世界所愈加需要的。最后，此书描述了一台位于中国的巨型对撞机的激动人心的可能性，它将成为通往下一个重大突破和进入粒子物理学新篇章的桥梁。

中国是当今世界上最伟大的民族之一，因此，在人类对宇宙最为古老、最为基础、最为深刻的研究进行到最为激动人心的关头，中国完全适合成为其新的领导者。

乔·因坎德拉

2015 年 11 月 23 日于加州圣巴巴拉

乔·因坎德拉 (Joe Incandela)

CMS 实验前发言人，基础物理学突破奖得主，美国科学院院士。

推荐序 3

《从万里长城到巨型对撞机》 读后有感

我读了丘成桐和史蒂夫·纳迪斯的新作《从万里长城到巨型对撞机》之后非常激动，该书讲述了中国提出建造环形正负电子对撞机“希格斯工厂”的计划。我目前正在哈佛大学讲授一门粒子物理课程，与学生们分享了这个巨型希格斯玻色子工厂的提议。他们正在做一项小组作业：以这台巨型对撞机的提议方案为基础，探讨有可能揭示出哪些超越标准模型的新物理。就实验粒子物理的前景与未来而言，这项关于 CEPC / 巨型对撞机的提议对于学生、博士后与教授们都极具吸引力。特别是学生们对于在中国参与物理研究尤感兴奋。我热切希望中国政府继续支持这个精彩项目，它将使中国居于未来国际粒子物理领域的中心。

梅丽莎·富兰克林

2015 年 11 月于麻省剑桥

梅丽莎·富兰克林 (Melissa Franklin)

ATLAS 实验家，哈佛大学物理系马林克罗特讲席教授，哈佛大学前物理系主任。

粒子物理学发展的绝妙契机

丘成桐教授一直是我敬佩的英雄，他在数学及几何学的成就早获肯定。我多年来就花了不少时间钻研他那被广泛应用于粒子物理学中弦论的“卡拉比-丘空间”的数学结构。至于史蒂夫·纳迪斯（Steve Nadis），我认识他已有十年之久。作为一位专业科普作家，他一直将天文学、物理学及数学中一些艰深的技术概念以轻松手法，言简意赅地于其著作中与普罗大众分享，将前瞻性的科学研究成果普及。

本书的两位作者早年并非出道于物理专业。有趣的是，正因如此，他们比行内的人更能以浅白的写作手法，演说基本物理的历史演化，并从客观角度探讨我国建造巨型粒子对撞机的可能性和重要性；以崭新的角度，为粒子物理（高能物理）研究发展带来冲击与反思。

某次当我在跟朋友分享我们怎样利用粒子对撞机了解物质的基本结构时，她突然问道：“这实验如何能促进经济发展呢？”显然我不会有答案，因为在得出任何研究结果前，我们难以掌握应用范畴。

曾听说过一个传言，讲述在 19 世纪中叶，时任英国财政大臣的威廉·格拉德斯通（Sir William Gladstone）在预备财政预算时，物理学家迈克尔·法拉第（Michael Faraday）向他解释推动电磁学研究的重要性。当时格拉德斯通问法拉第：“发展电磁有什么用处？”法拉第毫不犹豫地回答：“这项研究将会为国家带来大量的税收！”时至今日，我

们的日常生活已经广泛应用电磁学，但科学家最初对电磁学的研究并不是因为他们觊觎着研究成果的实际用途，而是单纯源于人类与生俱来的求知欲和认识世界的渴求。

粒子对撞机是一种崭新的加速器，在过去一个世纪的基础物理研究上扮演着举足轻重的角色。除此以外，加速器亦在医学、生命科学和材料科技等各范畴中大放异彩。作为一个粒子物理学研究者，我认为建造巨型对撞机将是人类文明发展的一个重要里程碑。它将现存各种高科技，包括材料技术、磁铁技术、低温技术及真空技术等，推向极致。不论此机器在世界任何一个角落建造，都必定会引来成千上万全球顶尖科学家，使其跨越肤色、种族、宗教、国籍及文化背景的界限，云集于这旷古烁今的机器前，投身于物理研究中。这种尖端科技带来的提升是我本人乃至国际高能物理界同人所乐于见到的。

在 2012 年，由王贻芳及陆锦标领导，美国、中国、俄罗斯和捷克等世界各地 30 多所大学及国家实验室研究人员参与的大亚湾中微子实验国际合作组宣布发现一种新的中微子振荡模式，并测量到其振荡几率——中微子混合角 θ_{13} 。这是最新的一个物理学基本参数（其他参数包括牛顿的万有引力常数、真空光速、元电荷、电子质量等）。这一发现更被美国权威杂志《科学》评选为年度十大科学突破之一。此外，更获得 2016 年度基础物理学突破奖。由此可见，中国在国际大型科研合作舞台上已经具备扮演领导角色的能力。

倘若最终我国能承担起建造这台巨型粒子对撞机的历史使命，这不仅表明中国对发展科研当仁不让的决心，更能引进世界顶尖科研人才汇聚长城之都，极大推进我国尚未领先世界的高能物理学发展，振兴高科技与产业，为国家科研发展打下良好基础，并为国内许多摩拳擦掌的青年科研人员打一支强心针，修直年轻学人探究科学之路。

本著作《从万里长城到巨型对撞机》先以英语起稿，邀请高能物理界国际专家们参与商榷和提供建议，取得国际上公认后才翻译成中

文发行，这反映出丘成桐先生推动国家科研发展的认真和执着。他多年来锲而不舍地推动国家数学及科学发展的精神令我极其欣赏。盼望本书为当今物理学界带来一番讨论之余，让普罗大众对粒子物理有更深认识，刺激更多科研之星投身相关研究之中，把国家乃至世界的粒子物理研究推向一个新高峰。

戴自海

2015 年于香港

戴自海 (S.-H. Henry Tye)

香港科技大学赛马会高等研究院院长，康奈尔大学讲座教授。

中文版序言

我首先得感谢何红建教授和鲜于中之博士，他们花了很多功夫，用美妙的文字在很短的时间翻译了我和 Steve Nadis 这部关于高能物理和探索在中国建立大型粒子加速器可能性的著作。

在这本书英文版刚完成，而译本即将完成的时候，我们听到了好几件令人振奋的事情：第一件是屠呦呦获得诺贝尔奖，第二件是王贻芳领导的团队在大亚湾研究中微子的实验成果得到国际物理学界的肯定，和美日科学家共享国际有名的突破大奖。这些都是中国科学家在中国本土做出的世界第一流的成果，实实在在地证明了中国科学家的能力！中华儿女多奇志，我希望我们在这个基础上，更进一步，在科学最前沿的高能物理的研究和实验上，与全球科学家合作，更进一步揭示出构造宇宙大自然的奥秘！这不单是中国两百年来学者所期待的，也是全球科学家的愿望，希望我们通过浅易的文笔，能够向中国普罗大众阐明这项科学工作的重要性。

——丘成桐，2015 年 11 月于麻省剑桥

行走于数学 - 物理之间

许多人认为我是纯数学家，他们大概会感到吃惊的是我在积极推动中国建造一台大装置。同事们和我有时称这台大装置为“巨型对撞机”，这原本是诺贝尔物理学奖得主戴维·格罗斯（David Gross）建议的名字。这台考虑中的设备可能成为人类有史以来最强大的粒子加速器，不过也要取决于世界各地类似计划的进展。这项任务的关键绝不在于建造足以夸耀为“世界最大”的机器，而是要修建一台能够开辟基础物理学新领域的设备，以揭示我们目前仍无法企及的宇宙奥秘。

我对这项事业发生兴趣的原因很多，其中不少都会在本书中详细阐述。我的合著者与我本人的首要动机是想弄明白，是否有充分的理由来实施如此庞大而极具挑战的项目。与该领域的许多同事们一样，我们确认这种规模的机器对于基础物理学的进步极为关键。或许更重要的是，它将满足人类理解周遭世界的永恒渴望。

代之以总结这些理由，我想在此谈几点个人的动机。首先应当指出，虽然我的多数研究工作或许要归属“数学”名下，但我在物理学期刊上也发表过很多文章。我还同时在哈佛大学数学系和物理系任职。这种交叠其实出自个人爱好：我喜欢在这两个充满活力的领域的交界线上工作。我觉得身居此地令人激动。不过除此以外，我还意识到，由观察和理解自然界所启发得到的物理观念，能够大大激发数学的发展。

当然这种影响是相互的。在很多层面上数学对于物理学至关重要。我不只是在说物理定律本质上就是数学公式这个事实。数学进展时常强烈地影响着物理学，有时甚至会在自然界中具体地呈现出来。这两种学问的交缠如此紧密，以至于通常很难说（而且这样说也没有多少意义）数学在哪里终止、物理学从何处接管。

或许讲一段故事可以解释得更清楚。1970年，我来到美国伯克利念数学研究生。从那时开始我就对爱因斯坦的广义相对论很着迷，只是以前尚未深入学习过。我当时的专业与今天一样，是几何学。而爱因斯坦提供了某种新东西：引力的几何表述。与其将引力描写成两个重物间的吸引力，他说，不如将引力设想成重物的存在导致了时空曲率。爱因斯坦提到的时空扭曲与所谓的“里奇曲率”有关。这使我想到了：如果时空处于真空状态，其中空无一物，那会怎样呢？在没有质量的情况下是否还可能有（诸如里奇曲率之类的）曲率呢？

让我惊喜的是，我很快发现几何学家尤吉尼奥·卡拉比（Eugenio Calabi）在20多年前就已提出了几乎完全一样的问题，只不过用相当抽象的数学语言表达成了一种面目全非的形式。这就是卡拉比猜想。不过卡拉比在1953年提出这一猜想时却坚持说“这与物理毫无关系”，至少在他看来，“这完全是几何”。

卡拉比猜想要求存在一种偶数维的几何对象，或者说“空间”，它有很多特性，尤其具有一种奇怪的对称性。很多几何学家认为这种东西“过于美好”，他们认为满足卡拉比所提条件的空间在数学上是不可能的。虽然我最初对此也颇有怀疑，但经过对卡拉比猜想的多年研究，我终于在1976年证明了它实际上是对的。这类由卡拉比引入而我最终证明其存在性的空间于是被称为卡拉比-丘空间或卡拉比-丘流形。我强烈地感到我的工作物理中会很重，而且不仅限于我最初起步的广义相对论问题。但这一重要性将在何处出现，以及怎样出现，我还不完全清楚。