

# 四位大物理學家眼中高能物理的未來

霍金、格拉肖、溫伯格、韋頓談中國的巨型對撞機計畫

訪談者：何紅建

何紅建是物理學教授，任職於北京清華大學，研究領域為粒子物理學、宇宙學、量子重力論以及他們的交會領域。

## 序言

2012年，大型強子對撞機（LHC）關於希格斯玻色子  $h$ （125GeV）的發現堪稱基礎科學界的重大里程碑，標誌了粒子物理學在 21 世紀發展的轉捩點。

2014年2月23日，丘成桐在北京清華大學主持一場論壇〈希格斯粒子發現之後：基礎物理學向何處發展〉。論壇的與談人包括阿卡尼-哈米德（Nima Arkani-Hamed，基礎物理學突破獎得主）、格羅斯（David Gross，諾貝爾物理獎得主）、胡夫特（Gerard 't Hooft，諾貝爾物理獎得主）、殷坎德拉（Joseph Incandela，基礎物理學突破獎得主）、馬伊安尼（Luciano Maiani，狄拉克獎與歐洲物理學會獎得主，CERN 前主任）、韋頓（Edward Witten，費爾茲獎與基礎物理學突破獎得主）等人。會中這些頂級專家熱烈討論探索宇宙最深層結構令人興奮的前景，這項探索將通過中國科學院高能物理研究所（IHEP）的中國物理學家（本頁 BOX[A]，下同）與歐洲核子研究中心（CERN）的歐洲物理學家提出的下一代環形對撞機計畫進行。2015年10月，丘成桐和納迪斯（Steve Nadis）出版科普著作《從萬里長城到巨型對撞機：中國探索宇宙最深層奧秘的前景》[B]，向公眾說明這個重要主題的背景與意義。同年秋天，格羅斯和韋頓也在《華爾街日報》發表〈中國科學的巨大跨越〉分享他們的見解[C]。2016年8月30日，丘成桐為中國公眾寫了一篇名為〈關於中國建設高能對撞機的幾點意見並回答媒體的問題〉的文章[D]，隨後諾貝爾物理獎得主楊振寧在中國媒體

發表〈中國今天不宜建造超大對撞機〉的反方觀點[E]，中科院高能所所長也是基礎物理學突破獎得主的王貽芳隨即以〈中國建造大型對撞機，今天正是時機〉表明正方的看法[F]。這些意見吸引了公眾的注意力，陸續參與這場關於基礎物理學未來和粒子物理學下一步重大規劃的辯論。

在這個脈絡下，最近丘成桐邀請了一些頂尖的物理學家來與公眾分享他們個人對於高能物理未來走向的看法。底下是我們對於四位偉大物理學家——霍金（Stephan Hawking）、格拉肖（Sheldon Glashow）、溫伯格（Steven Weinberg）、韋頓的訪談翻譯。後續將會再刊出其他的訪談。

## 本文訪談背景資料

[A] 環形正負電子對撞機與超級質子-質子對撞機計畫（CEPC-SPPC）。

[B] Yau, S.T., Nadis, Steve, *From the Great Wall to the Great Collider: China and the Quest to Uncover the Inner Workings of the Universe*(2015), International Press of Boston。中譯本：《從萬里長城到巨型對撞機：中國探索宇宙最深層奧秘的前景》（鮮于中之與何紅建譯，2016），電子工業出版社。

[C] Gross, David & Witten, Edward "China's Great Scientific Leap Forward"(2015/9/24), *WSJ*。

中譯：〈中國科學的巨大跨越〉（江亞歐譯）。

[D] 丘成桐〈關於中國建設高能對撞機的幾點意見並回答媒體的問題〉（2016年8月30日）。

[E] 楊振寧〈中國今天不宜建造超大對撞機〉（2016年9月4日）。

[F] 王貽芳〈建造大型對撞機，今天正是時機〉（2016年9月5日）。

各文之網路連結，請上〈數理人文資料網頁〉<http://yaucenter.nctu.edu.tw/periodical.php>



## 霍金

譯者：何紅建、鮮于中之

霍金為英國著名物理學家與宇宙學家，現任劍橋大學理論宇宙學中心研究主任。霍金在廣義相對論、黑洞結構、黑洞輻射主領域有重大貢獻。

粒子物理學絕不是一個瀕臨死亡的領域，不過它也與 1980 年代的面貌完全不同。80 年代以來，標準模型看似大體上已被證實，給予外界該領域已然完成的印象。然而，這與實情相去甚遠。自然界還存有許多標準模型無法解釋的現象，包括 CP 破壞（CP violation）、微中子振盪（neutrino oscillation）、暗物質（dark matter）等等。在理論方面我們還有大量的難題，尚不知如何將下列課題共冶一爐：重力、量子場論中新近發現的各種對偶、夸克局限（quark confinement）、暗能量、黑洞和早期宇宙學。這是個非同尋常的領域，它對於有志向、有興趣探索我們的宇宙如何運行的年輕人提出了極大的挑戰。這方面，中國有成為世界領導者的絕佳機會——不要錯過了。範例之一就是建造可引領高能物理學半世紀的巨型對撞機。☺

本文出處

原稿見 <http://intlpress.sinaapp.com/blog/essay.php?id=15>。



## 格拉肖

訪談者：何紅建 譯者：鮮于中之

格拉肖曾擔任哈佛大學希金斯物理學講座教授，目前為波士頓大學梅特卡夫數學與物理學講座教授。格拉肖是粒子物理學標準模型的主要創建者。1979 年，他與薩拉姆（Abdus Salam）、溫伯格（Steven Weinberg）共同獲得諾貝爾物理獎。

**問 |** 格拉肖教授，非常高興採訪您，並與您討論粒子物理的未來發展計畫。關於中國建造 CEPC/SPPC 對撞機的提議以及相關的公開爭論，您應有所聽聞。可否和中國讀者分享您的看法？

**答 |** 中國計畫啟動的 CEPC/SPPC 計畫極富雄心，也令人振奮。而我們十分尊重的同僚楊振寧居然出乎意料地公開反對，我對此感到震驚。普朗克（Max Planck）曾說：「科學的每一次進步都伴隨著反對者的凋零」（〈數理人文資料網頁〉的 [1]，下同），或許是對的。

**問 |** 最近我重讀您的大作〈關於美國粒子物理學的个人看法〉[2]。文章探討美國高能物理的前景，深具洞見。您談到，希望貴國（以及貴校）能繼續積極參與歐洲核子研究中心的大型強子對撞機



2008 年的 SSC 原址。(維基)

實驗。這也是我們中國的計畫。LHC 的第二輪運行以 13TeV 的能量進行質子-質子對撞，目前進展順利。它的每個探測器至今已收集到積分亮度 (integrated luminosity) 達 28/fb 的資料，將近第二輪計畫預定資料量的 10%。雖然 2016 年 8 月召開的國際高能物理會議 (ICHEP) 上並沒有發佈新物理發現，可否談談您如何看待正在運行的大型強子對撞機 LHC 可能出現 (或不出現) 的新發現？

**答 |** LHC 目前尚未找到任何超出標準模型新物理的跡象，這很令人失望，且大出我的意料。不過，高能物理實驗學家和理論家的熱情與專注仍然絲毫未受影響。目前 LHC 只獲得第二輪運行資料量的 10%，我們仍然可以期待未來會出現令人驚喜的新發現，即使不在 LHC 第二輪運行，也可能在日後更高亮度或更高能量的升級階段。對於中國、美國以及其他 CERN 成員國的物理學家而言，今後一、二十年內，LHC 仍是粒子物理

潛在新發現的前線。真正的大問題是，再往後怎麼辦。

**問 |** 您在大作 [2] 中強調了精確測量的重要性。文中提及：「雖然全球下一代巨型對撞機不太可能在美國建造，但我希望我們會熱切參與任何明智的未來國際合作計畫。」由於 LHC 上的質子對撞無法精確測量希格斯玻色子 (Higgs boson) 的性質，依您所見，建造中國提議的 CEPC 這類希格斯工廠 (Higgs factory, 正負電子對撞機) [3] 是否至關重要？您曾數次訪問中國，包括 2016 年秋天。您如何看待中國的 CEPC 計畫？

**答 |** 我造訪過中國數次，感受到中國的極速發展。上個月我到成都一遊。25 年前我的孩子看見它時，還只是個宜人的小城。如今，成都已經是擁有 1,400 萬人口的大都市了。我很高興參觀了貓熊培育中心，不過那時我還不知道大有可為的 PandaX 計畫。如果知道，我一定會去參觀。

是的！我們需要一座希格斯工廠，來確認 LHC 發現的那個粒子是否具有單希格斯標準模型所預期的性質。中國主持的 CEPC 與日本主持的國際線性對撞機（International Linear Collider，ILC）具有相近的能量與亮度。為了粒子物理學的健康發展，這兩項計畫至少必須實現其中一項。這兩台機器還能提供 Z 粒子衰變模式，以及更高能量上關於 W/Z 粒子耦合常數的精確資料，甚至還有可能發現逃出 LHC 搜尋的新粒子。但最重要的是，CEPC 是通向宏偉的 SPPC 計畫的必經之路。

**問 |** 說到美國超導體超級對撞機（Superconducting Super Collier，SSC）的歷史教訓，您想必讀過溫伯格在 2012 年為《紐約書評雜誌》撰寫的文章〈大科學的危機〉[4]。這個月初（2016 年 9 月），我們向中國讀者引介了該文中譯版 [4]。美國國會於 1993 年終止 SSC 計畫，對於美國以及國際高能物理學界是巨大的損失，儘管同樣由德州提議的太空站計畫在此期間獲得了資助（費用幾乎是 SSC 計畫的 10 倍）[4]。這似乎對美國乃至全球高能物理界產生了嚴重的負面影響。一方面，SSC 設計在 40TeV 的質心系能量進行質子-質子對撞，是位於日內瓦的 CERN 目前 LHC 第二輪運行能量（13TeV）的三倍。所以，LHC 第二輪運行迄今未發現任何超出標準模型的新物理，也並不意外，因為我們都知道，具有 40TeV 對撞能量的 SSC 正是被設計成更能確保在 TeV 能區發現新物理的機器。許多物理學家認為，如果 SSC 沒有在 1993 年終止，它很可能已經擁有革命性的新發現，從而

為 21 世紀基礎物理學指明了發展的新方向。您親身見證了 SSC 及後來 LHC 發展的歷程，可否與中國學界和民眾分享關於 SSC 與 LHC 的歷史經驗和教訓？

**答 |** SSC 的對撞能量是經過許多傑出物理學家（包括實驗家和理論家）慎重考慮的。大家一致同意，其質心系能量至少要達到 40TeV，以確保超出標準模型的新發現。就我記憶所及，當美國國會終止 SSC 後，CERN 迅速且非常幸運地提出了 20TeV LHC 的最初計畫，但後來逐漸從 SSC 理想能量的 1/2 降到 1/3。CERN 發現希格斯粒子的輝煌成就自然不容否認，但是新物理至今仍未在 LHC 現身也絲毫不奇怪：這台機器的目的本來就不是為了超越標準模型。SSC 的終止對美國高能物理學的影響是災難性的。自 1953 年 Cosmotron 對撞機開始運行以來，直到 2011 年 Tevatron 加速器結束運行為止，我們國家一直主導著高能物理學的發展。然而在可見的未來，我們沒有任何建造尖端粒子加速器的計畫。我希望我們國會變幻無常、難以預料的行事風格，不會阻絕了美國參與長期大型國際科學計畫的機會，包括眾所期待的 CEPC 和 SPPC。

**問 |** 您或許已聽聞中國建造「巨型對撞機」的計畫 [3]。它的第一階段稱為 CEPC，是一台周長約 100 公里、能量為 250GeV 的正負電子對撞機。其後，可能開展的第二階段將是一台能量可達 100TeV 的質子對撞機。在此欣然與您分享，中國高能物理學會於 2016 年 8 月 20 至 21 日舉行的「高能物理

戰略研討會」上，這項提議已被正式列為「高能物理第一優先計畫」。事實上，儘管 CERN 在今後 15 至 20 年內主要將致力於 LHC 的第二輪運行及後續的升級，該中心同時也積極研究類似的對撞機方案，即未來環形對撞機（Future Circular Colliders, FCC）。全球絕大多數同僚都認為，這是高能物理下一階段極具希望的發展方向。可否和中文讀者分享您對 CEPC 計畫的看法？此外，也請您談談中國高能物理學發展的狀況與成就，包括過去與當前的主要實驗，比如 BEPC 正負電子對撞機、大亞灣與江門微中子實驗，以及錦屏極深地下實驗室的 PandaX 暗物質實驗等等。

**答 |** 我對中國巨型對撞機計畫相當了解，很高興該計畫已成為中國粒子物理學家的優先計畫。我強烈支持第一階段的 CEPC 計畫，更加支持下一步 SPPC 巨型對撞機這個集大成的計畫。我知道 CERN 也在考慮未來環形對撞機，但對於啟動此類計畫，我相信中國的財政狀況比歐洲好得多。我希望包括歐盟和美國在內的許多國家，能夠與中國一同參與 CEPC 和 SPPC 的建設與運行。

中國在粒子物理學已有長足進步，包括多國參與的大亞灣實驗首次測量到  $\theta_{13}$  混合角，這是真正重要的發現，之前許多國家（比如法國）均未有所得。江門實驗將很快對微中子振盪進行進一步的精確研究，預期將解決微中子質量排序的重大問題。中國在世界上最深的地下實驗室建造一系列靈敏度不斷提高的 PandaX 液氙探測器，由此加入了尋找暗物質的全球競賽。時至今年（2016），PandaX-II 已經取得了世界上最強的

暗物質探測限制 [5]。PandaX 的未來計畫將大大提高探測靈敏度。還有，BEPC II 最近已經創造了 2-4 GeV 能區正負電子對撞亮度的世界紀錄。它的新探測器 BES III 已經獲得多項激動人心的實驗結果，包括發現新粒子  $Z_c(3900)$ ，預計將繼續發現更多新粒子態。總之，中國的粒子物理學領域經歷了一段非凡的迅猛進步，這對於中國主持巨型對撞機計畫是極為適合且必要的。

**問 |** 您很可能已知悉，中國對於是否建造巨型對撞機刻正進行公開辯論 [6]。這場爭議是 94 歲的美籍華裔理論物理學家楊振寧（1957 年諾貝爾獎得主之一，1997 年退休）於 2016 年 9 月初挑起的。他歷來強烈反對中國的任何對撞機計畫，包括目前由高能所所長王貽芳領導的 CEPC-SPPC 計畫 [3]。很顯然，楊的反對主要在於這項計畫對中國而言花費過高。（據中國高能所團隊估計，CEPC 在為期 10 年的建造中，總花費大約 60 億美元）。楊的誤解之一在於，他所強調的經費是第二階段質子對撞，預計在 2040 年代建造的預算。（大家應該還記得，位於 CERN 同一隧道的 LEP 和 LHC 是先後分別獲得審核與批准的。）對中國而言，您以國際性立場提出的觀點和建議將有十足助益。您認為對 CEPC 投資值得嗎？這種國際合作計畫對全世界和對中國社會將有何貢獻呢？

**答 |** 不用說，我不同意楊振寧：

1. 中國完全有能力承擔這項設備的建設和運行。
2. 中國僅僅獲得過一次諾貝爾科學獎，中國

想要更多。過去許多諾貝爾獎頒發給粒子物理學家，未來還會如此。CEPC 和 SPPC 將會使中國成為粒子物理學的世界中心。

3. 了解我們俯仰其中的周遭世界是我們的責任。既然其他國家難以做到，那麼對中國人來說此刻即是接受這項挑戰的機會和責任。

4. 基礎物理學影響並改變社會：全球 GDP 的三分之一都要依靠量子力學：網際網路是由粒子物理學家為自己研發的。在醫學掃描方面：電腦斷層掃描（computed axial tomography，CAT）為兩位粒子物理學家贏得了諾貝爾獎；核磁共振造影（magnetic resonance imaging，MRI）以及其所依賴的核能，則是核子物理的副產品；正電子放射電腦斷層掃描（positron emission tomography，PET）需要正電子。而工業與醫用加速器都是價值億萬美元的產業……還需要我繼續說下去嗎？

5. 科學向來是國際化的。正如 LHC、LIGO、HUBBLE 等等計畫一樣，CEPC 和 SPPC 兩者都會經由中國主導和國際力量的參與，將這種國際合作的傳統繼續下去。☺

#### 本文出處

原採訪稿，可見 <http://intpress.sinaapp.com/blog/essay.php?id=9>



## 溫伯格

訪談者：何紅建 譯者：王雨晨·鮮于中之

溫伯格是德州大學奧斯汀分校物理與天文系的喬西講座科學教授。他是粒子物理學標準模型的主要創建者，與格拉肖和薩拉姆同時獲得 1979 年諾貝爾物理學獎。溫伯格曾出版多本科普著作，是科學知識的重要推手。

**問 |** 溫伯格教授，非常高興採訪您。最近我重讀您在《今日物理》（*Physics Today*）的大作〈粒子物理：從拉塞福到 LHC〉[7]，身為基本粒子標準模型的主要奠基人，您在其中解釋了為什麼需要新物理來超越標準模型：「超越標準模型顯然是必需的。夸克和輕子的質量譜與混合角（mixing angle）神祕莫測，就彷彿記錄某種未知語言的符號。我們盯著它們看了幾十年，但就是無法解釋。此外，我們還需要某種超越標準模型的要素解釋暗物質。」這些的確是過去 30 年來粒子物理學界藉由美國的 Tevatron 與歐洲的 LEP 和 LHC 等高能對撞機實驗，一直努力探索的目標。大型強子對撞機 LHC 的第二輪運行以 13TeV 的能量進行質子-質子對撞，目前進展非常順利。它的探測器迄今已收集到第二輪運行預期資料量的 10%。雖然

2016年8月召開的國際高能物理會議（ICHEP）尚未公佈新物理發現，您願意和我們分享您如何看待運行中的LHC可能出現（或不出現）的新發現嗎？

**答 |** LHC在其能力範圍之內是否還會出現新的重大發現，誰都無法預知。從一開始，我們就有充分的理由預測LHC能發現電弱對稱性破缺的機制——不論是原始電弱理論所預言的基本純量場（scalar field），或是人工色理論（technicolor theory）所預言的新強作用力。無論是哪種情形，根據當時已觀測到的弱相互作用強度，一切都強烈暗示著這個新的純量粒子或新的強作用力會在LHC上出現，而事實也的確如此<sup>①</sup>。這無疑為LHC的規劃指明了方向。

不過，雖然在LHC上還有可能發現另一些極為重要的現象，比如暗物質粒子和已知粒子的超伴子（superpartner）。但即使這些粒子真的存在，我們也沒有強力的理由假定LHC能發現它們。所以我們只能觀望。

**問 |** 我們知道您是SSC計畫的主要支持者[8]。上個月初，我們在中國媒體上引介了您的大作〈大科學的危機〉的中譯版[4]。美國國會於1993年終止SSC計畫，對於美國及國際高能物理學界都是巨大的損失，而且對美國乃至全球高能物理界都造成了嚴重的負面影響。一方面，SSC設計在40TeV的質心系能量進行質子對撞，是CERN的大型強子對撞機LHC目前第二輪運行能量（13TeV）的三倍。所以，LHC第二輪運行尚未發

現任何超出標準模型的新物理，也並不意外，因為我們都知道，具有40TeV對撞能量的SSC正是被設計成更能確保在TeV能區發現新物理的機器。許多物理學家認為，如果SSC沒有在1993年終止，它很可能已經擁有革命性的新發現，從而為21世紀基礎物理學的發展指出新方向。您親身見證了SSC及後來LHC發展的歷程，可否與中國學界和民眾分享關於SSC與LHC的歷史經驗與教訓？

**答 |** 即使在美國政府批准通過了SSC計畫之後，各方的反對意見仍然持續不斷。部分反對意見來自鼓吹小政府與低稅收的人士，他們傾向於反對所有大型政府計畫，尤其是無法立即使大多數人受益的大計畫。雖然SSC計畫可以明確為周邊帶來經濟利益，但受益人數有限。當時一位參議員告訴我，在SSC的選址決定前，參議院全部100名成員都對其青睞有加；然而一旦選址確定，贊成的人數迅即銳減至兩人——即選址所在地的兩名參議員。甚至在最終選址尚未確定時，就有一位支持SSC的眾議院成員因為自己的州被排除在外，就立刻反轉立場。這些都是典型的政治行為，大概也不是美國獨有的。

來自科學界內部的反對聲音則更令人不安。沒有人聲稱SSC的科學探索不夠重要，但有些人極力主張SSC的經費更應該投向其他領域，比如他們自己的研究方向。（可是終止SSC計畫並沒有為這些人帶來多少好處，因為省下來的經費並沒有投入其他科學領域。）

LHC的擁護者對SSC也造成無形的負面影響，他們指出LHC可以利用現成的環形隧道節省開



LHC 的主要元件偶極超導磁鐵組裝照片，磁鐵每節長 14.2 公尺，總共用了 1,232 節磁鐵。(維基)

支。然而該環形隧道的周長較小，限制了 LHC 的對撞能量，只能達到 SSC 的三分之一。LHC 的支持者認為可以利用提高亮度的方法，彌補其能量上的不足。然而提高亮度顯然有其自身的困難，因為質子束在每次交會時會發生多次碰撞。

關於 SSC 計畫終止的原因，常見的解釋是因為開銷不斷增長。反對者當然拿此事大做文章，但我認為這個批評不盡公平。這項計畫實際的超支大約只有 10%，來自對 SSC 粒子束孔徑的計算，這部分超支是必須的。除此之外的其他超支都是因為國會延遲核準經費，導致工期拖延，產生額外的人力費用。

扼殺 SSC 計畫的主要原因，來自喬裝成科學的國際太空站的競爭。這項計畫由德州休士頓的詹森太空中心 (Johnson Manned Space Flight Center) 主持。在德州同時開展兩個大型科技計畫，從政治角度來看是不可能的。最終，太空站計畫獲選了，結果太空站花費了 SSC 預算的十倍，卻沒有做出任何重要的科學研究。可能的例外是反物質太空磁譜儀 (Alpha Magnetic

Spectrometer, AMS)，但它也可以經由無人衛星來運行，甚至更佳，而且便宜很多。

LHC 發現希格斯玻色子，是一項巨大的成就。但很顯然的，無論 LHC 將來有多少機會獲得進一步重要發現，具有更高對撞能量的 SSC 原本應可提供更好的未來。

**問 |** 也許您已聽說中國目前的「大型對撞機」方案 [3]，其第一階段 CEPC 是一台電子 - 正電子對撞機，在周長 100 公里的環形隧道中運行，其對撞能量可達 250 GeV。該計畫還允許未來潛在的第二階段 SPPC 計畫，即對撞能量可達 100TeV 的質子 - 質子對撞機。今 (2016) 年 8 月 20 至 21 日，在中國高能物理學會主辦的「高能物理戰略研討會」上，這項計畫被正式列為「高能物理第一優先計畫」。計畫提出以來，得到了國際高能界的普遍支持 [9]。您可能也聽聞，中國正針對是否建

---

① 譯注：這是指 2012 年 LHC 發現了質量為 125GeV 的希格斯玻色子。



造對撞機進行公開辯論 [10,11,12]。這場爭論是美籍華裔理論物理學者楊振寧於 9 月初挑起的。他歷來強烈反對中國的任何對撞機計畫，包括目前由高能物理研究所所長王貽芳領導的 CEPC-SPPC 計畫。很顯然，楊反對的主要理由是這項計畫對中國來說花費太高，他的誤解在於強調潛在的第二階段質子對撞機的造價。（據高能所團隊估計 [8]，CEPC 的總造價約為 60 億美元，分 10 年完成，其中 25% 來自國際合作。在技術條件成熟後，SPPC 預計在 2040 年代建造。）人們應該還記得，位於 CERN 同一隧道的 LEP 和 LHC 是先後分別獲得審核與批准的。您的獨立觀點和來自國際的建議，對於中國將非常有幫助。您認為對 CEPC 投資值得嗎？這種國際合作計畫對於全世界和中國社會將有何貢獻呢？

**答 |** 我對楊振寧的研究工作很尊重，但是我不同意他反對 CEPC 計畫的論點。其中某些論點非常眼熟，它們被一再用來反對各種大型科學計畫。

是的，我們有許多其他社會需求，包括環境、健康、教育等等。這些需求一直存在。但是，我們也需要藝術和科學，這些使我們的文明值得尊重。

是的，粒子加速器上的發現不會帶來直接的實際應用，但這些計畫的科技副產品能帶來重要的實用成果。常被提及的例子包括用來研究材料性質的同步輻射（synchrotron radiation），以及國際網路。

較少被提到的附帶效果是人才培養。基本粒子物理學因其獨特的基礎性而吸引了許多聰明的年

輕人，他們將形成一股擁有豐富技術經驗的骨幹力量，能解決許多社會問題。在二戰期間發展微波雷達、破譯密碼的電腦，以及核武器等技術的科學家，戰前所關心的都是具基礎科學重要性的問題，而非軍用價值。曾有一名優秀的研究生，最初跟我學習基本粒子理論，後來轉而研究更實際的問題，並發展出一套領先世界的同位素分離方法。如果一個國家只追求有直接應用價值的研究，最終可能既無法獲得基礎性的重要發現，也做不出有應用價值的研究。

楊教授的論點之一是，物理學可以藉由尋找漂亮的幾何結構來取得進展，而無需建造加速器。這讓我想起另一位理論物理學家海森堡（Werner Heisenberg）在二戰後的立場：他反對德國在粒子加速器上投資，理由是物理學可以藉由研究某些場論的理論即可取得進步<sup>②</sup>。為了嘗試理解強作用力，楊和米爾斯（Robert Mills）在沒有新實驗結果指導的情況下發展了一類場論，後來得到了實現。但只有在加速器實驗揭示了強作用力在高能量尺度下減弱的事實之後，人們才有可能猜測到能正確描述強作用力的楊-米爾斯場論的形式。而且，楊-米爾斯場論與電弱相互作用的相關，也只有在加速器實驗發現弱中性流之後才能被確認。離開了實驗，理論走不了多遠。<sup>∞</sup>

#### 本文出處

原採訪稿，見 <http://intlpress.sinaapp.com/blog/essay.php?id=13>



## 韋頓

訪談者：何紅建 譯者：鮮于中之

韋頓現任職於普林斯頓高等研究院，專長領域為弦論、量子重力、超對稱量子場論。除了在理論物理學界獲獎無數外，他在 1990 年獲頒費爾茲獎，迄今是唯一一位物理學家得主。

**問 |** 韋頓教授，2016 年 8 月我們在北京清華大學舉行的弦論會議上曾會面，非常高興有機會採訪您。我們的第一個問題是想了解您如何看待物理與數學交匯的重要性，這種交匯過去曾導致物理學的多次革命性進步，包括牛頓力學、狹義與廣義相對論、量子力學、量子場論與規範理論。您曾獲牛頓獎與龐卡赫獎，有趣的是，牛頓因提出物理學中的牛頓定律而享有盛名，同時為了解決物理問題又發明了微積分。另一方面，龐卡赫是數學家出身，但他對物理學也有基礎性貢獻（希爾伯特應當是龐卡赫之後另一個同等重要的人物）。您是否可以根據自身經驗，對兩者稍事評論？

**答 |** 人們經過很長的時間才認識到，要理解自然世界，就需要對基本現象作精確的數學描述。比方說，古希臘人對數學與自然界都至感興趣，但他

們對自然界的研究主要致力於對所有事物作定性描述，而不是對特定的東西作精確的數學描述。

我的同僚溫伯格最近寫了一本出色的科學史著作，他在書中描述了人類歷經漫長過程，才逐漸學會對簡單現象作精確的數學解釋，而不僅僅是對一切事物作定性描述。牛頓定律就是其中重要的里程碑。

不過，數學為什麼對於理解物理世界如此有威力？這點仍然顯得有點神祕。我所能說的是，當我們更加了解物理定律，它們就顯得微妙而優雅。數學即是對微妙而優雅之物的研究，且不倚仗任何特定的文化脈絡。我們或可認為，這點局部解釋了數學的用處。順道一提，另一種解釋是，或許宇宙是由數學家——或者至少是數學愛好者所創造的。

**問 |** 關於美國超導體超級對撞機（SSC）的歷史教訓，您應該讀過溫伯格 2012 年發表在《紐約書評》的文章〈大科學的危機〉[4]。最近我們在中國媒體引介了該文的中譯版。1993 年美國國會決定取消 SSC 計畫，是美國乃至國際高能物理學界的極大損失。它似乎對美國高能物理學界乃至整個基礎科學研究造成了嚴重的負面影響。另一方面，SSC 的設計是將兩束質子以高達 40TeV 質心能量進行對撞，幾乎是歐洲核子中心（CERN）在日內瓦的大型強子對撞機（LHC）目前第二輪運行能

② 譯注：這是指二戰之後，海森堡自 1953 年後的 20 年中致力於某種基本粒子統一場論的研究。眾所周知，他試圖推導的「世界方程式」以失敗告終，隨後被物理學界所遺忘 [13]。

量（13TeV）的三倍。LHC 的能量（最終可望達到 14TeV）僅僅是 SSC 的三分之一。在設計 LHC 時，歐洲人試圖設計高亮度的升級版，以彌補其較低能量的不足，這是到目前為止唯一可以這樣運行的機器。

由於您親身經歷了 SSC 的終止及此後 LHC 的發展，希望您能和中國民眾分享您如何看待 SSC 與 LHC 的經驗與教訓。

**答 |** 沒能在美國完成 SSC 的建造真是一大憾事。如果當初完成了，我們對基礎物理學的理解也許會比目前的水準深入許多。若能成功建造 SSC，美國必然能繼續保持在高能物理的領導地位。

我認為從 SSC 計畫的失敗與 LHC 的成功當中可學得的教訓是，此類計畫要能成功開展，長遠規劃的能力極為寶貴。歐洲國家可以對 CERN 進行長年的投資，在此基礎上才有實施 LHC 計畫的可能。不幸的是，美國國會每年都要重新審核計畫預算，即使某個計畫已通過並取得一年甚至多年經費的情況下，最後還是可能被終止。

美國這種行事方式有個優點。在這個國家，大型計畫對於預算外的花費會提供某種酌情增加的補貼。在歐洲，建造 LHC 是多年度的規劃，但即使是小額的超支，也沒有任何補救計畫。因此當 LHC 真的超支時，就造成了政治上的困難，並導致該計畫延宕數年之久，儘管超支的額度其實很小（以 CERN 投入該計畫的總體資源來看，超支部分還不到計畫費用的 10%）。

有鑒於此，奉勸有鴻鵠之志的國家：重要的是制定多年度計畫，同時對合理的特殊情況提供切

實可行的補貼。

**問 |** 您知道中國目前的「巨型對撞機」計畫，第一階段叫作 CEPC，是一個周長約 100 公里、能量為 250GeV 的環形正負電子對撞機。它可能在第二階段升級為能量高達 100TeV 的質子對撞機。很高興能與您分享：在中國物理學會高能物理分會於 2016 年 8 月 20 至 21 日在合肥舉行的「高能物理戰略研討會」上，這項提議已被正式列為「高能物理第一優先計畫」。事實上，儘管 CERN 在今後 15 至 20 年內主要將致力於 LHC 的第二輪運行及後續的升級，該中心同時也積極研究類似的對撞機方案，即未來環形對撞機。許多國際同僚認為這是高能物理下一階段極具希望的發展方向。我們還記得，為了支援這一計畫，2015 年 9 月您與格羅斯教授（2004 年諾貝爾物理獎得主）在《華爾街日報》聯合發表了一篇文章〈中國科學的巨大跨越〉[9]。可否與中國民眾分享您對這一計畫的看法？此外，也請您談談中國高能物理學界的狀況與成就，包括過去與當前的主要實驗，比如 BEPC 正負電子對撞機、大亞灣與江門微中子實驗，以及錦屏地下實驗室的 PandaX 暗物質實驗等等。

**答 |** 首先，我想感謝中國對基礎物理學發展的貢獻，特別是大亞灣的開創性發現，讓我們對微中子的理解增添了關鍵要素。微中子是一種神祕的基本粒子，對它的研究引發了許多驚奇發現。BEPC 的工作也非常值得欣賞，我們很期待正在進行和即將進行的其他實驗能獲致新成果。

在我訪華期間（我曾五次訪問貴國，包括近幾年的三次到訪），我發現這個國家在許多領域都有極速發展。就我所見到的變化，相信過不了多久，中國就能在許多理論和實驗科學領域領先群倫。

CEPC 與 100TeV 對撞機是非常令人振奮的計畫，這對於渴望成為領導者的國家確實值得。就物理學未來的發展來說，深入研究希格斯粒子、探索電弱尺度以上的能量區域都至關重要，而這兩者正是 CEPC 和 100TeV 對撞機可以分別做到的。

**問 |** 中國刻正因為是否建造巨型對撞機掀起了公開辯論，對此您應有所聞。這場爭論是 94 歲的理論物理學家楊振寧於 2016 年 9 月初挑起的。他歷來反對中國的任何對撞機計畫，包括目前由高能所所長王貽芳領導的 CEPC-SPPC 計畫。以下附上楊的公開文章英譯版，以及王貽芳的答覆，您或許早已知悉。很顯然，楊的反對主要在於這項計畫對中國來說成本過高，而且他強調的是第二階段預計在 2040 年代建造的質子對撞機的花費。對中國來講，您的獨立觀點和來自國際的建議將有十足助益。我們記得，您在 2015 年秋天與格羅斯合著的文章 [2] 中論述過這個問題，在最近北京清華大學主辦的 2016 弦論國際會議接受採訪時也談過這個問題。遺憾的是，這些觀點很少為中國民眾所知，現在幾乎快被遺忘了。您和您的同僚認為對 CEPC 投入經費值得嗎？這對全世界和對中國社會將有何貢獻呢？

**答 |** 最終，中國須得決定你們想在世界上和在國際科學界達到什麼樣的地位。

是的，中國必須繼續發展經濟。中國將億萬人口成功脫貧，這是我畢生所見相當激勵人心的成就。這項進程還有很長的路要走。

此外，中國經濟持續增長，的確是在 21 世紀 20 年代建造 CEPC、從 40 年代開始建造 100TeV 對撞機的先決條件。

在發展的過程中，中國必須決定其優先目標與抱負。提及價值，個人認為中國完全有能力在許多科學領域獲得領導地位，而且這個目標也符合你們的文化傳統，同時有助於你們的社會發展。我也相信，經過持續發展，中國在高能物理與其他領域都足以擔負起領導地位。

話雖如此，你們的抱負有多遠大，最終必須由中國人自己來決定。☺

#### 本文出處

原採訪稿，見 <http://intlpress.sinaapp.com/blog/essay.php?id=6>

全文參考資料請見〈數理人文資料網頁〉

<http://yaucenter.nctu.edu.tw/periodical.php>

#### 譯者簡介

鮮于中之畢業於北京清華大學高能物理研究中心，現在哈佛大學從事博士後研究工作。

王雨晨是北京清華大學博士研究生。