

# 台灣加速器 光源的故事

■ 潘冠宇、李宛萍

加速器中的「環」並不像魔戒中蠱惑人心的指環，而比較像是所羅門王的指環，運用它就能在不同的科學領域建立起相互了解的關係。

2013 年諾貝爾物理學獎頒給了比利時布魯塞爾自由大學的 Francois Englert 與英國愛丁堡大學的 Peter Higgs 兩位教授，以彰顯他們提出希格斯機制的貢獻。而驗證希格斯波色子（俗稱「上帝的粒子」）存在的神兵利器，就是位在歐洲核子研究中心的大型強子對撞機，它是全世界最昂貴、最複雜的實驗設施之一。

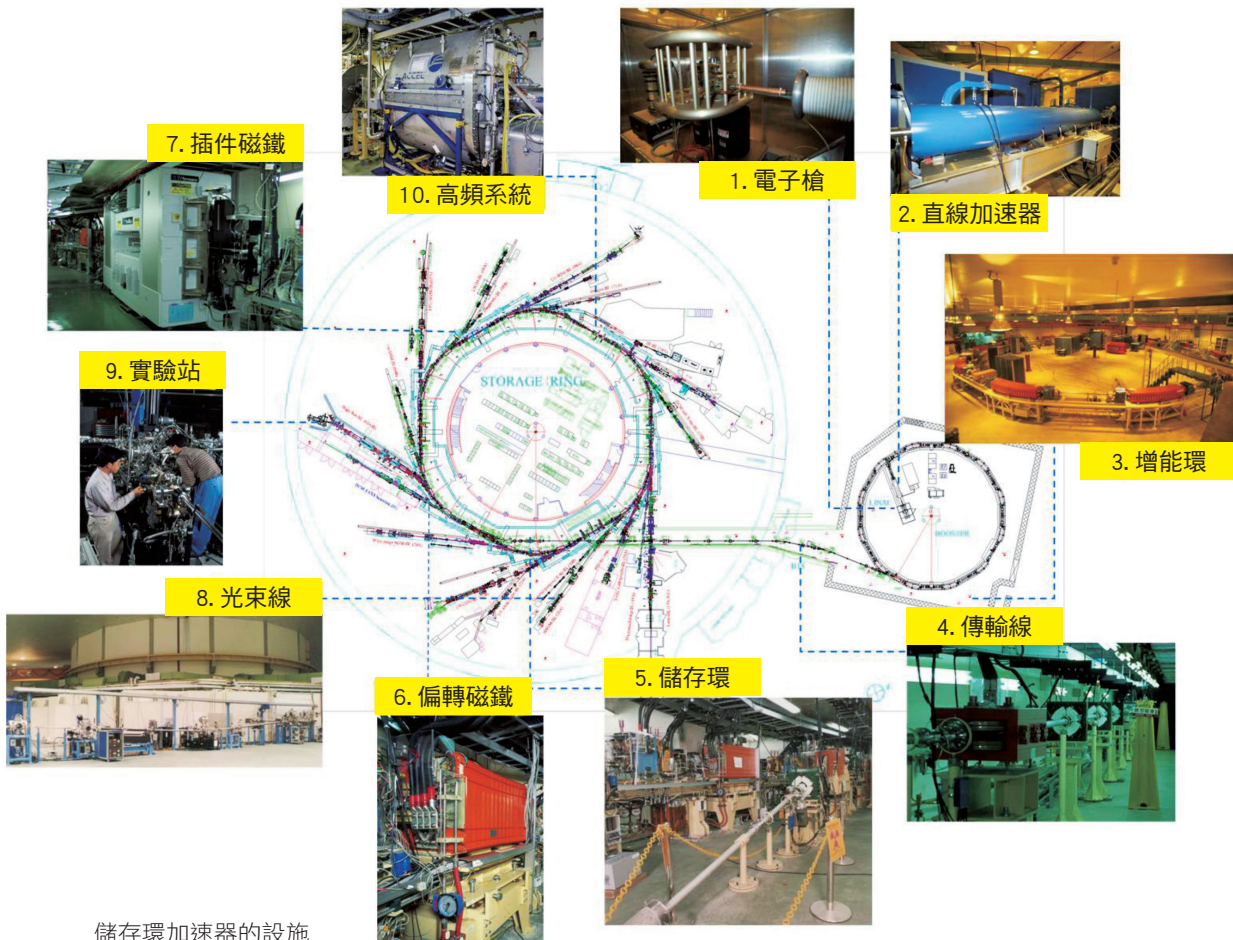
顧名思義，對撞機是一個可以讓物質在其中對撞的機器，且對撞物質在對撞機中可加速到接近光速。因此，對撞機就是可以加速帶電粒子並使其對撞的加速器。

台灣也有一座這樣的大型加速器設施，不一樣的是這個環型加速器並不是用來對撞產生基本粒子，而是做為科學研究用的「光源」。通常建造複雜的大型科學研究設施需要國家科技政策的支持才有機會推動，當初是什麼樣的因緣才讓我國投入資源建造這座跨領域的科技神器？對我國科學研究有什麼影響？我國加速器光源的現況又是如何呢？

如果你是科技人，就應該知道如何利用這座大型共用設施；如果你對我國的科技發展有興趣，就不應該錯過我國在同步加速器領域締造的傲人成就；如果你關心國家科技政策，就應該了解政府如何藉由規劃、建置大型研究設施促進科技創新與整合；如果你是個納稅人，更應該認識一下政府為何做這樣的投資。

加速器的這個「環」並不像魔戒中蠱惑人心的指環，而比較像是所羅門王的指環，運用它就能在不同的科學領域建立相互了解的關係。適逢 2015 年是國際「光」年，本文正好藉這機會介紹這座環型加速器且名符其實的「台灣之光」。

**台灣也有一座大型加速器設施，不過這個環型加速器並不是用來對撞產生基本粒子，而是做為科學研究用的「光源」。**



儲存環加速器的設施

## 前傳

70年代初期，我國逐漸走出與美國斷交的陰霾，科技發展進入快速成長期，科學界也有共識希望能聚焦於適合台灣發展的重點科技，以因應未來的研究需求及國際競爭。當時海內外學者高瞻遠矚地洞察到同步加速器光源的優點，建議政府在國內建造同步加速器光源，認為這是推動國家長期科學發展，可讓科學在國內扎根，並提升我國科學研究與工業技術水準的機會。

國科會（現為科技部）物理中心便把加速器科技列入研究重點，並參考國外推

動大型計畫的做法，成立了「同步輻射可行性研究小組」，進行為期將近一年的評估。研究報告完成後，於72年7月獲行政院核准成立「同步輻射研究中心」，並設立指導委員會，聘請袁家驍院士擔任主任委員，鄧昌黎博士負責興建，就此開展一波波的籌建工作。75年3月「行政院同步輻射研究中心籌建處」正式成立，同年8月在新竹科學園區舉行建基動土典禮。

在這一系列的策劃推展行動中，有一位關鍵人物—浦大邦教授—特別值得介紹。70年代後因雷射技術與同步輻射光的迅速



民國 75 年 8 月行政院同步輻射研究中心奠基動土典禮



民國 73 年袁家驩院士（前排左）與吳健雄院士（前排中）由浦大邦教授（前排右）陪同回台。

發展，促使原子分子科學成為一新興的研究領域。由於發展這個領域所需的經費較少，又能整合物理界與化學界，還能與工業發展密切結合，以台灣當時的客觀條件，確實是適合發展的選項之一。

只是當年的物理學家多以高能物理的研究為職志，在台灣從事原子分子科學研究的學者實在寥寥無幾。浦教授留美有成，在加州大學河濱分校物理系任教，研究領域涵蓋原子分子科學、高能物理、高能重離子物理和能源科學。此外，他還兼任國內外幾個科學組織的委員代表。浦教授一心想把所學回饋給台灣，於是藉著舉辦研討會的機會，不時邀集一些願意為台灣科技發展付出的科學家回來，共同為這塊土地注入科技活力。

他藉由一次次主持研討會的機會，逐漸凝聚出「以台灣的人力、物力應適合發展原子分子科學」的共識。而籌建同步加速器光源也成為具體的方向，因為它不僅是科學活動的焦點，可以提供理論與實驗研究兩者之用，更重要的是可以藉這一科學利器促進國內科學界的合作，倡導科學

團隊進行有組織的研究，而不再局限於個人獨立研究單打獨鬥的落伍方式。

當方向具體明朗後，他邀請了國外吳健雄和袁家驩兩位院士共同向政府與學界提出在國內建造同步輻射設施的建議書，之後還積極協助「同步輻射可行性研究小組」進行美國訪問、學者聯繫、研討會籌辦等工作。民國 72 年更促成顧問委員會的 6 位成員（包括吳健雄、袁家驩、丁肇中、鄧昌黎、李遠哲及浦大邦）在紐約開會，完成評估報告並具體建議台灣應興建一座同步加速器。

袁家驩院士為此也頻於奔走美國與台灣兩地，每次回台都積極拜訪當時的行政院長孫運璿，讓孫院長了解台灣科學發展的需要，以及同步光源對台灣社會能做的貢獻。然而可行性報告出爐後，竟未受到當時主持科技大政的李國鼎認可。

浦大邦鏗而不捨地又促成吳健雄與袁家驩兩位院士回國當面向當局說明，有一次還在吳大猷先生主持的早餐會報上，親自向科學發展指導委員會委員簡報，獲得共識後再向蔣經國總統提出建言。終於在





座落於新竹的同步輻射研究中心的鳥瞰圖，攝於民國 81 年 3 月。

72 年底經行政院核定，先後成立「策畫興建小組」與「用戶培育小組」，開始了籌建的工作。

民國 73 年 12 月，在同步輻射籌畫興建小組的一次會議上，這位嫻熟科技事務且全力投入台灣基礎科學推動及人才培訓的科學家，因工作辛勞引發心肌梗塞而與世長辭，壯志未酬，好友閻愛德忍著悲痛肩負起繼續推動建造同步加速器的任務。

民國 82 年 4 月 13 日建造於新竹的同步輻射研究中心加速器終於試車成功，成為亞洲第一座最先進的第三代輻射設施時，投入十載心力的閻愛德旋即辭去主任一職。他對記者說：「73 年 12 月 15 日，前同步輻射中心用戶部主任浦大邦先生於籌備會議現場心臟病發，我親眼看著浦大邦先生倒下來，深怕沒有人繼續推動浦大邦的遺願才接下這個工作。我的志趣在教書，而

不是行政工作……」又過了 20 年，在同步輻射研究中心慶祝出光 20 周年的會場上他重提往事，仍流露出難掩的激動。

就在諸賢前輩的全力推動之下，我國相關領域的科學家終於把全亞洲第一座第三代同步加速器從無到有接生出來，這個筆路藍縷，披荊斬棘的故事就從開始執行建造起揭開了序幕。

## 環光初現

在缺乏人才的环境中能完成這樣艱鉅的加速器建造，實在是令人驕傲的事。回顧在計畫籌備初期就讓硬體建設及人員培育兩個計畫並行，不但是高明的決定，也奠定了長遠發展的基礎。畢竟，硬體終究會老舊、過時，但只要優秀的人才傳承知識與技術，就有能力把硬體更新、升級，





台灣光源注射器與增能環系統

歷久彌新，於是參與計畫的學者堅持務必建立自主研發、製作與維修的能力。而年輕的科學家面對先進技術的挑戰，心情難免忐忑惶恐，卻也咬著牙撐過難關，完成一項又一項不可能的任務，終於達成預期的目標。

同步加速器是座複雜的設施，為了方便後面故事的介紹，這裡先簡單解釋一些名詞。「第三代同步加速器」與前兩代的差別在於插件磁鐵的安裝，光源主要是利用加速到接近光速的電子，在通過磁鐵偏轉時所輻射出來的光：由「注射器」中的電子槍產生的電子束在經過直線加速器後進入「增能環」中被加速到接近光速，再被「踢」到「儲存環」中繞行。電子經過環中的轉彎磁鐵所產生的光，經由「光束線」的設施引導並調整成實驗所需的光，再引入「實驗站」供研究人員進行實驗。

一座同步加速器基本上需要完成上述 5 個單元的建置，其中涉及磁鐵、超高真空、低溫、精密機械定位、光學等專業知識與工藝技術。



台灣光源儲存環

同步輻射研究中心定址於新竹科學園區後，民國 77 年進行第一期行政大樓、機械工廠及各實驗室的土木施工，完工後接著進行第二期新建增能環館、儲存環館、機電館的工程建築，民國 81 年初完成土建工程。接著是重頭戲，開始建置加速器系統，而全世界都在看台灣是不是真能耐讓自己建造的加速器發光。

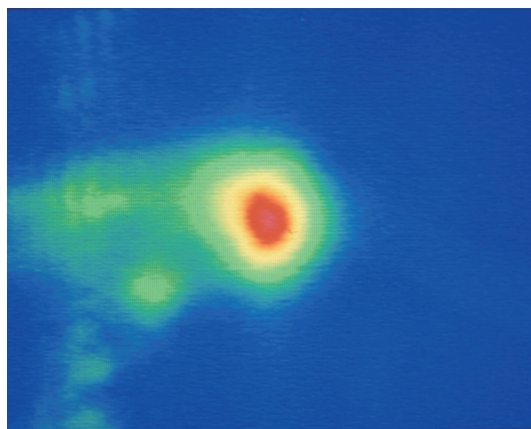
來自國內外的團隊利用「台灣光源」從事跨領域基礎與應用科學研究及國際合作，成果豐碩，並且締造了許多重要世界紀錄。

土建工程完工那年的6月和12月分別完成注射器系統安裝與儲存環安裝工程，每個系統陸續進入試車階段，民國82年4月13日凌晨2點完成電子束儲存，全世界第三座、亞洲第一座第三代同步加速器「台灣光源」終於試車成功。電子束電流在8月達到設計規格的200毫安，而且一路勢如破竹，9月達到303毫安，次年3月更超過400毫安。這不僅證實儲存環是全體參與人員的完美傑作，所有在實驗室中苦熬的艱辛也在瞬間化為激動的喜悅。

民國82年10月16日李登輝總統蒞臨主持同步輻射研究光源啟用典禮，全國共同見證了台灣的重大科技成就。接著民國83年4月光束線正式運轉，開放3座光束線供外界使用，之後一連串光束線與實驗站的興建，發展至今「台灣光源」已經有25座科研專用光束線。另在日本SPring-8也建立了2座台灣專屬光束線，每年的用戶有近萬人次，進行實驗計畫1,300件次以上，服務3,600餘的用戶群，光源品質與科學成果可媲美世界上其他的同步加速器設施。

來自國內外的團隊利用這光源從事跨領域基礎與應用科學研究及國際合作，成果豐碩，並且締造了許多重要世界紀錄。例如：亞洲第一座第三代同步加速器光源設施；全球第二座使用超導高頻腔同步加速器光源設施；全球第三座全時恆定電流運轉設施；插件磁鐵安裝密度最高的同步加速器光源設施。

優異的研發成就讓我國在國際上扮演了光源與加速器科技輸出國的角色，協助



民國82年4月台灣光源試車成功的電子束圖

東南亞及中東地區國家相關科技的發展。這些成就憑藉的就是「人才」，而且是一群既努力又合作的人才。

接著，就來說說當年建造增頻磁鐵X光光束線，以及在日本SPring-8建造台灣專屬光束線人才勇於攻頂的故事。

民國78年海外同步輻射研究學者王惠鈞、梁耕三、程海東及黃念祖建議在台灣光源加裝增頻磁鐵，以拓展X光領域的科學研究，並成立專案執行委員會指導台灣光源從事同步輻射X光研究。吳成文院士向李登輝總統提出建議，希望增建增頻磁鐵X光光束線，從事蛋白質結晶學的研究，讓我們有能力發展生物醫學領域的尖端研發。

然而，因為當時加速器建造趕工及3座紫外光光束線的建置工作極為忙碌，中心的人力吃緊，X光實驗室的成員得獨立負擔起建造增頻磁鐵X光光束線的重責大任，在缺乏技術人員支援的情況下，算是吃足了苦頭。民國80到83年的3年間，





民國 94 年 11 月同步輻射蛋白質結構鑑定核心設施啟用典禮（基因體醫學國家型科技計畫）。

增頻磁鐵 X 光光束線專案大大小小的採購案共辦理了五百多件，而且採購案件的規格必須嚴謹而清楚，因此投入計畫的年輕科學家們個個忙得焦頭爛額。

每當到了驗收時，還有多項測試的結果在規格邊緣上下，必須進行許多的談判及合約修改，和廠商你來我往的討價還價，折衝樽俎間終於完成計畫。民國 84 年 2 月 27 日增頻磁鐵（編號 W20）成功發出第一道硬 X 光，這是世界上第一座試車成功的第三代長波段同步輻射加速器的高磁場強度增頻磁鐵，使台灣光源除了真空紫外光及軟 X 光外，也能提供 X 光使用群一流的 X 光光源。經歷了這麼多的努力，團隊們終於嘗到了甜美的成果。

同年 10 月 25 日，國人首次自行設計製造的 2 公尺長聚頻磁鐵系統（編號 U10）也成功安裝入儲存環，並完成試車。因為這樣的基礎，讓中心有能力在民國 91 年執行基因體醫學國家型計畫核心設施「同步輻射蛋白質晶體設施之興建與使用計畫」，國內最大的生命科學實驗設施也在民國 94 年建置完成並啟用。

在台灣光源的光束線建造期間，同步輻射研究中心很幸運有機會與全世界能量最高的日本 SPring-8 光源共同進行合作計畫，建造了兩座台灣專屬硬 X 光光束線。這項重大國際合作計畫由我國於 APEC 科技部長會議中提出，並獲得日方同意，其間經多方努力突破外交困境，終於在同步

輻射中心簽訂合作備忘錄與合約。這是我國第一次在國外建造大型的實驗設施，預算龐大，參與計畫的科學家有著只許成功、不許失敗的壓力。

經過兩年在異國的投入與拚搏，大夥兒終究不辱使命，如期達成這艱難的任務。民國 89 年 10 月 13 日第一道同步輻射光通過了「台灣專屬光束線」，12 月舉辦 SPring-8 台灣專屬光束線啟用典禮。這項計畫不僅拓展中心的光源涵蓋到硬 X 光光譜，也是我國與日本有史以來規模最大的科學合作計畫，為兩國未來學術交流立下典範，更是我國科技外交的一大成就。

多年以後，雙方合作過程所建立的穩固情誼，可以從日本發生 311 地震後的一則小故事看出來：當時高能加速器研究機構所屬的同步輻射設施 Photon Factory 因強烈地震而遭受損害，以致無法運轉，中心全力支援並實質提供光束線時間，協助日本的光源用戶繼續執行原定的實驗計畫。為此日本東京理科學大學安藤正海教授利用前來我國進行實驗的機會，特別在民國 100 年 7 月 29 日舉辦感恩茶會，感謝中心鼎力支援光源時間並致贈禮物。



民國 89 年 12 月舉行日本 SPring-8 台灣專屬光束線啟用典禮，國科會翁政義主委主持剪綵典禮。

---

潘冠宇、李宛萍  
國家同步輻射研究中心

---