超導高頻在國家同步輻射研究中心

起因於一個前瞻的想法，歷經了五年的艱辛努力，去年（2004）底我們換下了工作了12年的常溫高頻加速腔，將超導高頻共振模組成功地運用在台灣的同步光源上，讓我們的光源用戶們得以使用前所未有的穩定光源。回顧1999年時，在諸多遲疑及怯步徘迴裡的一個果決的信念，如今已成了世界上大多數正在新建或提議中的新一代同步光源的最佳選擇。笨鳥已然過河，前面又是一片寬闊的荒原尚待開墾。本文將回顧超導高頻計畫的過往執行，標明我們未來努力的方向。

王兆恩（光源組）

前言

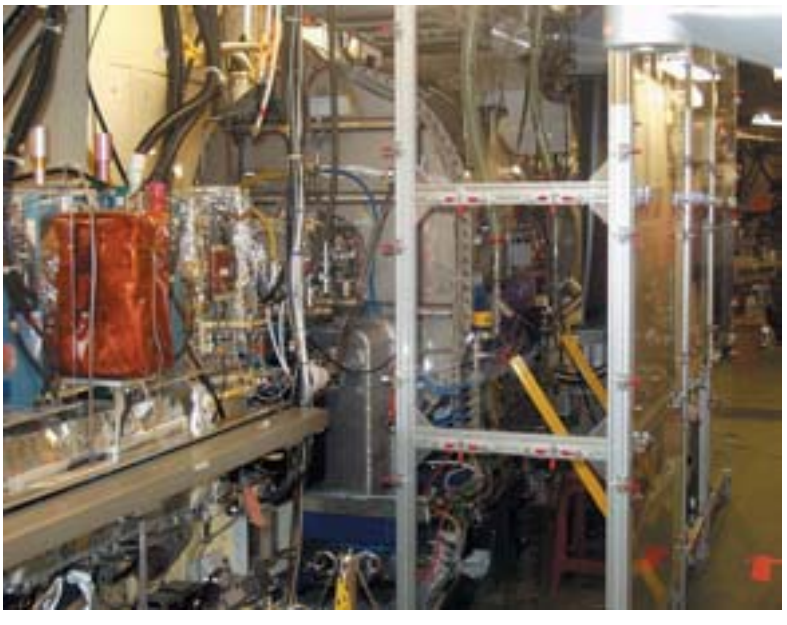
在高能對撞機的世界裡，一直企求將粒子的能量最有效地加速到工藝的極致，超導高頻是個理想的選項。歷經數十年來的努力，克服了工藝上重重的挑戰，超導高頻的實踐性能極其緩慢地改進，一步一步地趨向其理論的極限。在過去五六年裡，超導高頻終於在高能對撞機的應用上得到了前所未有的進展。然而在同步輻射光源的應用上，超導高頻是陌生的。

另一方面，同步輻射光源隨著研究課題的深入，也在挑戰其機器物理的性能極致：盡量大的光源亮度（brightness），盡量大的光源強度(flux)。這也驅使同步輻射加速器必須具有盡量小的電子束團束散度（emittance），操作在盡量高的工作電流。這樣的設計也趨使電子束團更不穩定；而高頻共振腔高次模的存在，往往是造成電子束團不穩定的首要原因。傳統上，同步輻射光源使用常溫高頻共振腔；基於有效加速電子的考量，在設計上局限了高頻共振腔高次模的有效衰減。當同步輻射加速器操作在高工作電流、小電子束團發射度時，全靠主動式迴授系統來壓抑電子束團不穩定性是有其極限的。

由於超導的物理特性，超導高頻共振腔相對於常溫高頻共振腔有極小的共振腔表面歐姆損失，使其得以寬裕地經由犧牲共振腔加速電壓來有效地衰減高頻共振腔高次模的加速阻抗。由於這樣的優越性，超導高頻模組的使用就關鍵性地解決了同步輻射加速器操作在高工作電流、小電子束團散度時的困境。然而相對於常溫高頻共振腔，超導高頻模組的工藝難度是數量級的複雜，其工藝在當今是不成熟的。然而長時間不當機的運轉，卻是成功操作同步輻射光源的首要條件。這樣的考量遲疑了超導高頻在同步輻射光源的應用。

挑戰及克服

超導高頻計畫[1]是國家同步輻射研究中心1993年試車成功以後最重大的加速器性能提昇計畫。目地是（1）本質上解決起因於常溫高頻共振腔高次模的電子束團的耦合不穩定；（2）提昇最高工作電流由200 mA到500 mA。2004年起，由於配合儲存環Top-up操作模式，在考量安全輻射計量的限制下，



圖一 安裝在儲存環裡的超導高頻模組

暫時下修為350 mA。在性能上，超導高頻模組本身操作在500 mA是極為寬容的。

超導高頻計畫的工作執行可以主要劃分為下列五項：（1）超導高頻模組製造的外包；（2）低溫液氦液氮系統的設計及外包；（3）獨立高頻系統的建立；

（4）超導高頻技術的建立；（5）系統整合、試車、有效運轉。首先經由Cornell大學的技術轉移，我們得以按原設計圖及我們的特殊需求，外包德國加速器製造大廠ACCEL製造組裝。由於超導高頻模組的組裝有其高度的複雜度，第一個模組延遲了約一年交貨，第二個模組則正在測試驗收過程中；至於低溫液氦液氮系統，在試車階段也遇到了一些困難[2]，歷經約一年多的努力，也都一一解決了。原先我們的設計期望，大都實現。我們的設計佈局，也為其他實驗室採用。獨立高頻系統的建立[3]主要是參考原先60 kW的設計加以改良，在實驗室內組裝一100 kW的高頻發射機，並使調速管得以操作在較高的工作電壓及電流，得到90 kW的高頻輸出功率。更進而經由我們的操作經驗，商請廠商改良原先調速管的高壓絕緣不足及使其新的改良型得以產生100 kW的高頻功率。此一組裝的高頻發射機及其他低階高頻控制線路與高頻高功率傳輸線形成一獨立的高頻系統，得以在試車前完成極大部分的系統整合、測試及改良的工作。此一努力對後來的安裝及試車的順利是有極大的幫助，也大幅度縮短了試車的時間。至於我們在超導高頻技術建立的努力，則反映在我們對系統整合的順利與試車後合理穩定度的快速達成。圖一所示為安裝在儲存環裡的超導高頻模組。

方向與遠景

長時間穩定操作超導高頻模組是我們努力的首要方向，平均故障間隔時間及平均修復時間是其指標。過去使用常溫高頻共振腔，經由多年豐富操作經驗的累積與努力，在維持高頻系統長時間不當機運轉上，獲得了極為傲人的成果。以2004年為例，兩套常溫高頻系統每月平均當機次數低於1.5次。改用超導高頻共振腔模組，迄今運轉不久，開放給用戶時段（user shifts）的整體（僅剩一套）高頻系統當機率就已降到約略高於每週一次。希冀在持續改善後，在持續增加儲存環工作電流的挑戰下，在兩年內可達到每月平均當機次數不高於1次，為我們在超導高頻運轉上的首要努力方向。

唯有我們對超導高頻的工藝有所深耕，才有機會在本質上提高超導高頻模組的操作穩定度。我們將以發展超導高頻模組的組裝能力為技術深耕的下一個里程碑：這將考驗我們在超導潔淨度上的工作紀律與低溫高真空的工藝成熟度。經由這樣的技術建立，我們將可以脫離對超導高頻模組製造廠商的高度依賴。另一方面，我們將可以基於運轉上的需要，自主地優化並改進現有的超導高頻模組的性能不足，使其更適合在我們新近提議的台灣光子源上的應用。

參考文獻

[1] Ch. Wang, *et al.*, 10th SRF Workshop, Tsukuba Japan, 34 (2001).
[2] Ch. Wang, *et al.*, NSRRC Activity Report 2003/2004, 80(2004).
[3] Ch. Wang, *et al.*, Proceeding of EPAC, 769 (2002).

專利簡介

國家同步輻射研究中心改制財團法人後，研發成果之推廣亦益形重要。本簡訊將定期簡介報導本中心研發成果技巧與成品，以期與國內各界技術媒合、知識互惠。

磁鐵電源供應器改良結構

（中華民國發明第00590332號專利）

創作摘要

修正磁鐵電源供應器性能的提升主要是著重在輸出電流長時間漂移的減小。此專利結果是根基於本人前專利之延伸，以提升次性能由1000 ppm到200 ppm的努力。比較兩者的程序工程，本專利比前次顯著簡易的多，最主要是在元件的選用上下功夫而並不需對機構與線路做大幅度的更改。改良的過程需更換數個元件以達到最佳之結果，這些更換的標準只有一個，就是用溫度漂移係數較低的元件來替代原先溫度漂移係數較高的元件；有時要確切地了解某顆元件對整個電源供應器電流輸出特性之影響是需要重複性的工作才能得到，而在重複性的工作中可了解每更換一個元件就相對的提高了輸出電流長時間的穩定度。研發此專利的實驗中所可達到之成果為50 ppm 以下。

■ 創作者：劉國賓/NSRRC光源組