

脈衝線磁場量測系統的挑戰

陳智偉博士

國家同步輻射研究中心磁鐵小組

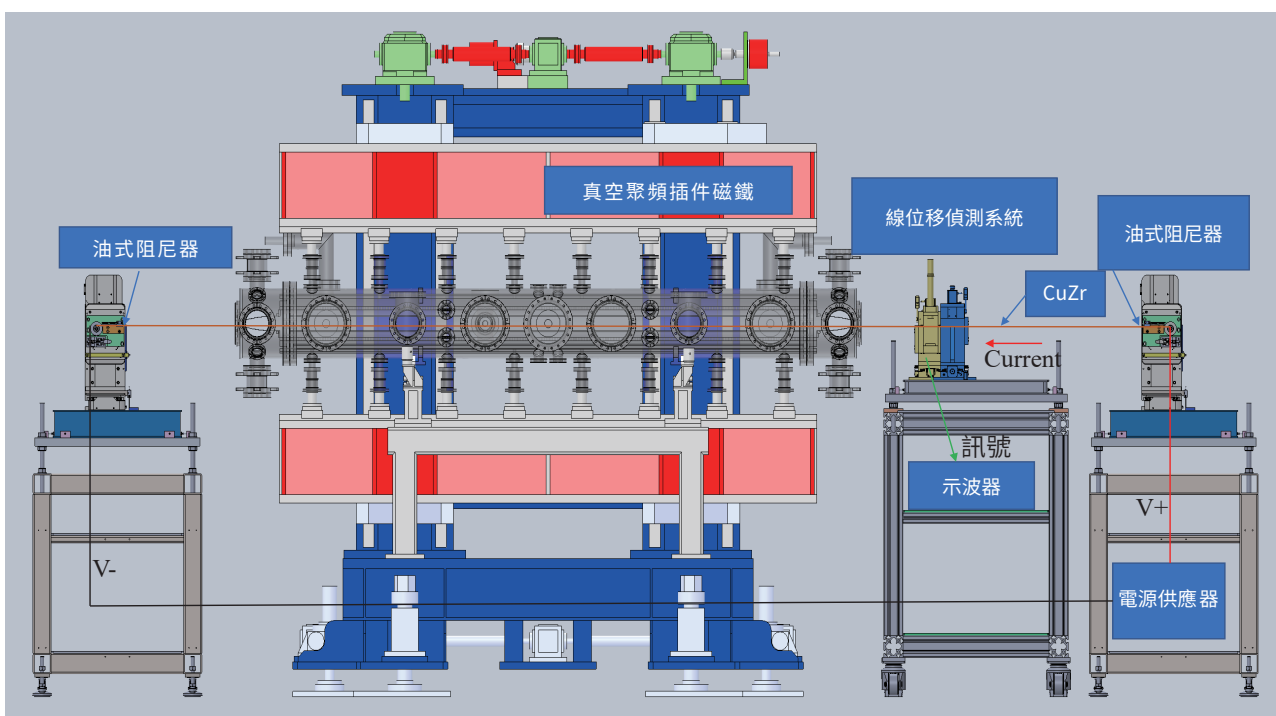
電子束運行於加速器的儲存環中會通過加速器磁鐵和插件磁鐵，隨著加速器科技的進步以追求更亮的光源，電子束橫向的截面積也越做越小，使得磁鐵的磁極可以更加靠近電子束以更有利的運用磁場，然而這也會使得加速器磁鐵的中央孔徑越來越小。由於磁鐵的工作間隙越來越窄，這對於檢測加速器磁鐵和插件磁鐵的製作品質就形成相當大的挑戰。

安裝加速器磁鐵與插件磁鐵前，必須經過精準的磁場量測與磁場調整，因此磁場量測系統的準確性是非常重要的。傳統的磁場量測系統包含霍爾探棒 (Hall Probe)、旋轉線圈 (rotating coil) 和拉伸線 (stretch-wire) 量測系統等，其中霍爾探棒量測系統是一種精準的磁場量測方式，但其缺點在於系統安裝複雜，以及霍爾探棒的尺寸大小難以在小間隙下量測磁場；旋轉線圈量測系統則比較適用於量測加速器磁鐵之多極諧和項，但其缺點為旋轉線圈的尺寸過大難以量測小孔徑之加速器磁鐵；而拉伸線量測系統則用於量測磁場的空間積分，其優點在於量測速度快，安裝容易，原理是利用金屬導線快速切割磁場並積分其感應電壓，缺點在於需要精準地控制切割面積以及平移台的速度，以避免較大的誤差發

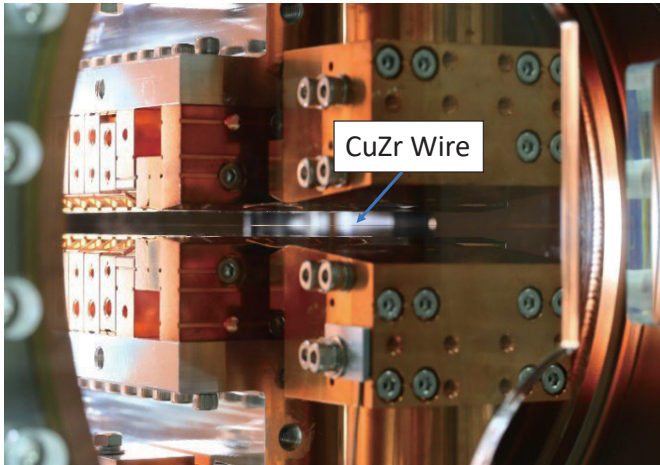
生，因此也難以量測極小間隙之各式磁鐵。綜合以上問題，研發適用於極小間隙之磁場量測系統就顯得相當重要。脈衝線磁場量測系統 (pulsed wire measurement) 就是一種可用於極小間隙的磁場量測系統，其具有量測速度快且可以直接量測空間磁場分布和積分場等優點，但是缺點則有量測結果的不準確和不穩定等，因此尚未被廣泛使用。但隨著小孔徑磁鐵的發展趨勢，脈衝線磁場量測系統仍引起世界許多實驗室的積極投入研發，而本中心近年來的發展目標也著重在開發具有更高可靠度的脈衝線磁場量測系統。

脈衝線磁場量測系統其原理為利用一小直徑金屬導線安裝於待量測的磁鐵中，並提供脈衝電流於金屬導線上，藉此模擬電子束行走於插件磁鐵的間隙中。利用勞倫茲力 (Lorentz Force) 原理，觀察金屬導線受力的偏擺，即可估計出磁鐵的磁場分布與積分場。如圖一所示，我們利用這樣的觀念設計系統架構，其中關鍵元件包含 (I) 線位移偵測系統與 (II) 油式阻尼器：

1. 線位移偵測系統於脈衝線量測系統中，包括垂直和水平的光學偵測器並安裝於插件磁鐵的一側。光學偵測器組



圖一 脈衝線量測系統。

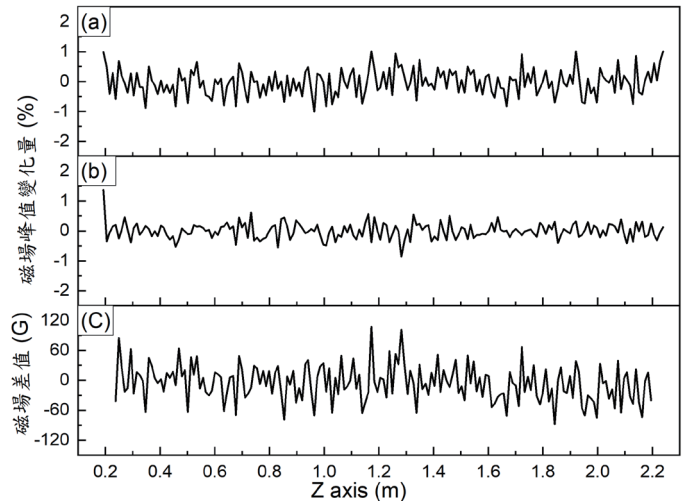


圖二 銅鋯導線安裝於插件磁鐵。

成為雷射與感光元件並安裝於電動平移台上。偵測方法是利用雷射光點聚焦在導線上，並由安裝於另一側的感光元件偵測未被導線阻擋的光強度，當導線擺盪即可偵測不同之光強度。

- II. 油式阻尼器於脈衝線量測系統中是一個非常重要的元件，其功能用來降低傳遞波的色散效應以及反射波的干擾。兩側的油式阻尼器安裝於導線固定點前方，實驗結果很明顯的可以發現干擾訊號皆被抑制。此關鍵元件可使脈衝線量測系統形成一高可靠度的量測方式。

以脈衝線量測系統用於量測真空型插件磁鐵的磁場為例 [1]，我們採用一條 4 m 長，直徑 100 μm 的銅鋯 (CuZr) 導線，安裝於插件磁鐵中，如圖二所示。利用脈衝電源供應器提供脈衝電流於銅鋯導線上，銅鋯導線所產生的擺盪由示波器擷取數據後，並對其數值微分即可得到磁場強度。為了



圖三 脈衝線量測系統與霍爾探棒量測系統量測結果比較圖：(a) 脈衝線量測結果；(b) 霍爾探棒量測結果；(c) 兩種量測結果的差異。

說明現階段發展的脈衝線量測系統磁場量測結果的準確性，我們也以霍爾探棒量測系統進行磁場量測，實驗結果如圖三所示。我們可以觀察，圖三 (a) 脈衝線量測系統於真空型插件磁鐵中的每一半周期其磁場峰值對峰值的變化量與圖三 (b) 霍爾探棒量測系統所得之結果皆小於 1%，而兩種量測系統間其磁場絕對值誤差小於 60 高斯，如圖三 (c) 所示。脈衝線量測系統的開發，將可以改變未來的磁場量測方式。雖然現階段本中心所開發的脈衝線量測系統仍有很大的改善空間，然而相信在同仁的努力之下，未來必定能夠達到更高精準度與全自動化的目標。

參考文獻

1. C. W. Chen, H. Chen, J. C. Huang, C.-S. Hwang, Phys. Open **11**, 100108 (2022).

用戶資訊

1. 實驗計畫申請

2024-1 期實驗計畫申請目前審核中

2024 年第一期 (2024 年 1-6 月) 實驗計畫申請目前正陸續進行初複審中，核定的光束線排程後續將於 12 月初公告於用戶入口網頁。

2024-2 期實驗申請預告

2024 年第二期 (2024 年 7 - 12 月) 光束線使用預計 2024 年 1 月初開放申請，截止日期為 2024 年 2 月 15 日 (四)，歡迎計畫主持人踴躍上網 (<http://tpsportal.nsrrc.org.tw/>) 提出計畫申請 (新用戶須先完成註冊)。

2. 自 2023-2 期起試行「學生用戶人才培育暨實習獎勵方案」

本中心為促進同步輻射相關領域之人才培育，自 2023-2 期起試行「學生用戶人才培育暨實習獎勵方案」，以鼓勵國內大專院校具正式學籍之在學學生用戶，使用「台灣光源」或「台灣光子源」光束線進行學術研究實驗。歡迎國內外單位計畫主持人之實驗計畫加入此試行方案，符合人培獎勵規定的學生用戶，將可申請獲得獎勵金與免費住宿 NSRRC 招待所。用戶入口網之人培獎勵相關服務已於 7 月上線，如有任何問題，請洽用戶行政與推廣室 (03-578-0281 分機 8205、8207、8215)。