行政院原子能委員會核能研究所

委託研究計畫研究報告

中子動態影像技術開發

Development of dynamic image technology on neutron radiography

計畫編號:NL1100118

受委託機關(構):國立清華大學

計畫主持人: 裴晉哲

聯絡電話:03-5742860

E-mail address : jjpeir@mx.nthu.edu.tw

核研所聯絡人員:鄭勝隆博士

報告日期:110年10月31日

目 錄

4	13	て摘	要	
建	Ę 3	て摘	要	1
曺		计	畫	緣起與目的2
貢	Ĵ,	研	·究	方法與過程6
Ż	<u>لم</u> ,	・主	要	發現與結論14
县	ŧ,	參	考	文獻22

圖目錄

圖	1. THOR W1 中子照相系統 (a)示意圖、(b)屏蔽保護暗箱結構、
	(c) SBIG 的 CCD 相機4
圖	2. 本研究中子照相系統使用的鏡頭、CCD 相機及解析度測試片5
圖	3. 中子動態照相成像系統的架設7
圖	4.
圖	5. 對 PSI 標準片曝光 20 秒所取得的中子影像及解析度分析10
圖	6.1 ICCD 動態影像擷取時間、增益參數與空間解析的探討11
圖	6.2 ICCD 動態影像擷取時間與增益參數的探討12
圖	6.3 ICCD 動態影像擷取時間與增益參數的探討13
圖	7. 冷卻風扇靜態、動態影像擷取時間與增益參數的探討14
圖	8. 静態、動態影像擷取鏡頭與對焦的探討15
圖	9.1 PSI 中子影像標準試片、鬧鐘、散熱風扇、小電扇的中子照
	相16
圖	9.2 各型熱管的中子照相17
圖	9.3 各型熱管、冷卻風扇的中子照相18
圖	10. 鬧鐘、小電扇的動態中子照相 19
圖	11. 散熱風扇、小電扇、CPU 散熱管中子照相的原始影像與處理
	後影像

中文摘要

本研究目標為先期探討影響動態影像擷取的參數、擷取速率及 影像品質,藉此建立中子動態影像擷取程序,最終並以市售 3C 冷卻 風扇或時鐘進行測試驗證,經執行後,已建立中子動態影像的分析檢 測能力。

英文摘要

This project is to develop the dynamic image technology of neutron radiography. To establish the capture procedure of the dynamic images, this work will preliminarily start on the parameter's study on the image resolution, frame rate, and quality improvement of the image system. Furthermore, a commercial 3C cooling fan or alarm clock will be investigated by using the of neutron radiography and thus establishes the dynamic image technology on neutron radiography after the study.

壹、計畫緣起與目的

為配合「創新原子能科技跨域研發產業關鍵術」施政目標,執行 「原子物理新穎技術開發與應用」計畫,發展中子影像技術以協助國 內產業開發新材料及元件並提昇競爭力。未來 5G 設備的高效率散 熱與輕量化需求下,3C 產品中散熱模組關鍵管件開發為可能應用的 領域之一,由中子影像探測實際得知其填充物及制冷劑(含氫流體, 如水)分佈以改善效能。藉現有的清華水池式反應器(以下簡稱 THOR) 中子源及已架設影像量測系統,及非破壞性的材料檢測,進行中子動 態影像技術開發,除有助中子影像設施與技術的建立,縮短研發時程 並提昇效率,更可進一步在相關軟硬體設備及動態影像應用領域的 需求上,作先期評估。

因此本計畫希望利用 THOR 的中子射源,藉中子照相技術來進行動態影像擷取程序的相關研究,以建立中子影像分析研究能力。

X 光是德人倫琴(Roentgen)於 1895 年,藉由照射他妻子的手, 得到第一張人類的 X 光照相影像,發現了高穿透性的 X 光,隨後 X 光即成為檢視物體內部的特殊透視技術,連同後來發現的 γ 射線, 二者已成為工業上不可或缺的非破壞性透視檢測技術,並被廣泛應 用在海關通關物件的檢查、人體的檢查、以及貨櫃檢查等。

中子與物質的作用方式和 X 光不同,前者主要與原子核作用, 後者則與物質軌道電子作用,故 X 光對於元素的散射截面大小,與

2

作用元素的原子序大小成正比關係,以致其對於鄰近元素及同位素 不容易分辨,特別是對氫、氧、碳、及鋰等較輕元素,X光更是無法 加以有效的辨識。另一方面,質子與電子分別帶有正負電,穿透力極 低,僅適合進行物質表面的研究。而中子對於不同元素及同位素的散 射截面成不規則變化,所以對於不同的元素或同位素的鑑別力相當 強。且中子相較於X光而言,對於樣品的穿透力較強,可以深入塊 材內部。故中子照相在分析上有其獨特性,不僅可用來進行許多物 理、生物、考古、及工程等多方面的研究外,也常應用於X光所不 能檢測的物件上,如海關常無法利用X光檢測出旅客攜帶的毒品以 及爆炸物品,為一極重要的非破壞檢測技術^(1.4)。

在過去,由於半導體技術的快速擴張與成熟,使得中子照相的成 像技術不斷的改進,位於 THOR W-1 中子束的中子照相實驗室,已 將過去傳統的 X 光底片加上轉換屏的成像方式,改變為具有旋轉平 台及 CCD 攝影機的成像方式,並配合電腦系統,可大幅降低照相成 像的時間,並擴大研究應用的範圍,該系統如圖 1.所示。當入射中子 穿透物質後,藉由與物質的核反應、彈性散射、與非彈性散射後,造 成出射中子的強度與入射中子不同,再將出射中子信號轉換為所要 的影像。由於中子不帶電,將中子信號轉換為可見光,是中子照相重 要的關鍵步驟,可藉由中子閃爍體作轉換屏,將中子轉換為可見光, 再利用 CCD 攝影機系統裝置拍攝影像⁽⁵⁻⁷⁾,中子照相實驗系統可有

3

效作為相關科學研究與應用的探究利器。圖 2.為在本研究所使用的 中子照相鏡頭、CCD 相機及解析度測試片。







圖 1. THOR W1 中子照相系統 (a)示意圖、(b)屏蔽保護暗箱結構、 (c) SBIG 的 CCD 相機



圖 2. 本研究中子照相系統使用的鏡頭、CCD 相機及解析度測試片

貳、研究方法與過程

一、研究方法

THOR 係一多用途且與生俱有安全特性之研究用反應器,核心 高於地面並具有可移動核心,使用美國 GA 公司的 TRIGA 核燃料, 以銘架懸吊深浸在 33 英呎的開放水池中。池水周圍為水泥屏蔽牆, 池中高度清潔過濾的水,不僅作為冷卻劑,中子緩和劑及透明的輻射 屏蔽,亦使池中之設備常年清晰可見。THOR 建造於民國 48 年,於 民國 50 年 4 月 13 日完成初次臨界,原額定功率為 1 MW,為首座 安裝於中華民國的核反應器。

THOR 提供足夠的功率及中子通率,對於許多研究領域的瞭解 及工作成效有相當大的助益,這些領域包括物理、化學、工程、醫 學及材料科學等方面之研究,目前 THOR 額定功率為2 MW,足以 對相關研究領域的進行檢測。

(二) 主要程序的建立

以下項目為本研究主要建立的程序:

1. 完成中子動態照相成像系統的架設。

項目依序主要是(如圖 3.):儀器連接、對焦測試、對焦後取影像。

6



圖 3. 中子動態照相成像系統的架設

2. 完成中子動態影像擷取程序建立。

主要有以下程序:

- (1). 安裝鏡頭於 CCD 的轉接環上。
- (2). 連接導線及電源線於 ICCD 上。
- (3). 開啟控制程式,並確認 ICCD 與電腦完成連接。
- (4). 依據所需長度進行對焦測試。
- (5). 將 ICCD、鏡頭...等設備裝設於中子照相箱上。
- (6). 依據設定好條件(曝光時間、像素大小)開始影像擷取。
- 進行中子動態影像擷取參數及影像品質探討。

靜態影像部分,先以 PSI 解析度標準片進行擷取測試,動靜態影像部分則以電子鬧鐘進行測試,之後再進行參數調整,以提升影像擷取品質。鬧鐘係經去掉外殼,加裝 Cd 指針的改裝,以取得較清晰的中子動態影像。

初步影像擷取結果如圖 4.。而以微距鏡搭配 CCD 相機,對 PSI 標準片曝光 20 秒所取得的中子影像如圖 5.,分析其空間解析 度,可達 0.2 mm 的程度。





圖 5. 對 PSI 標準片曝光 20 秒所取得的中子影像及解析度分析 4. 完成中子動態影像擷取參數及影像品質探討

由於中子影像的信號極為微弱,一般型的 CCD 適合於靜態影像的 擷取,動態影像需藉增強型 CCD(即 ICCD)來進行,藉由改變 ICCD 的影像增益可以減短曝光時間,其與空間解析度之間需作一權衡, 曝光時間長,可取得較清晰的影像,但將無法執行動態觀察,曝光 時間短,可調高 ICCD 的增益,以取得較清晰影像。經變動參數並 多次擷取靜態影像,結果如圖 6.1~6.3,可依據實際需要調校並選 擇曝光時間及影像增益,以取得成像最佳的參數。



圖 6.1 ICCD 動態影像擷取時間、增益參數與空間解析的探討



圖 6.2 ICCD 動態影像擷取時間與增益參數的探討



圖 6.3 ICCD 動態影像擷取時間與增益參數的探討

參、主要發現與結論

一、執行項目結果

相關項目執行結果如下:

(一)進行 3C 產品如(1)冷卻風扇、(2) PSI 中子影像標準試片、鬧鐘、散熱風扇、小電扇、綁上硼酸之小電扇、各型熱管、冷卻風扇之中子動態影像案例探討。

(1) 案例:冷卻風扇,如圖 7.。



圖 7. 冷卻風扇靜態、動態影像擷取時間與增益參數的探討

(2)案例: PSI 中子影像標準試片、鬧鐘、散熱風扇、小電扇、綁上

硼酸之小電扇,如圖 8~10。

-微距鏡頭(60mm)+SBIG 相機(CCD), 焦距條件:接近 0.5 光圈 2.8, 測試物: 依序為(1) PSI 中子影像標準試片、(2) 鬧鐘、(3) 散熱風扇、(4) 小電扇、
(5) 綁上硼酸之小電扇、(6) 不同類型熱管、(7) 冷卻風扇



圖 8. 靜態、動態影像擷取鏡頭與對焦的探討



圖 9.1 PSI 中子影像標準試片、鬧鐘、散熱風扇、小電扇的中子照相



圖 9.2 各型熱管的中子照相



圖 9.3 各型熱管、冷卻風扇的中子照相

(12)動態:廣角鏡頭(35mm)+PCO 相機(sCMOS),焦距條件:0.7(在左側 紅色與藍色指標間)光圈 1.4,測試物:依序為轉動鬧鐘、綁上硼酸之 小電扇(轉動)



轉動鬧鐘:2FPS,曝光時間:0.5秒



圖 10. 鬧鐘、小電扇的動態中子照相

(二) 影像處理與分析

由以上利用中子進行照相, 擷取後之影像中發現:(1)中子照相 的影像極微弱,(2)因中子及加馬射線影響, 原始影像中(Raw)或有軌 跡、黑點、白點等雜訊,因此, 需要利用影像處理程式(如 ImageJ), 對原始影像進行處理, 主要程序包括:增加亮度與對比、去背景、去 雜訊等步驟,以取得清晰的影像,並分辨出其中的結構,如圖 11 中 的散熱風扇、小電扇和 CPU 散熱管, 右圖為晶處理後的影像,對比 紅框處,可以發現許多 Raw 影像未顯示的地方,經影像處理後,可 以明顯分辨其中的結構,特別是廣泛應用於個人電腦貨幣記型電腦 的 CPU 熱管, 原始影像中, 散熱鰭片附近的幾乎無法分辨其內部構 造, 但經影像處理後, 其中的管道及流體清晰可見, 明顯可見, 中子 照相可以應用於熱管的相關產品觀察分析, 應可對其散熱機制及過 程, 有進一步的了解。



圖 11. 散熱風扇、小電扇、CPU 散熱管中子照相的原始影像與處理 後影像

二、結論

本研究經執行後,有以下摘要結論:

- 在短曝光時間下,提高增益可以提升影像清晰度,但過度增益
 反會增加雜訊。
- 散熱風扇的靜態影像尚可在50ms的曝光時間下取得,但相同條件下,無法獲得清晰風扇葉片的動態影像。需增強對比,方能 取得較清晰動態影像。
- 鬧鐘的指針較薄/細,無法獲得明顯對比,須強化顯示以利觀 測。經指針後經黏貼Cd片,增加對比度後,並使用sCMOS攝 影機,已可以獲得Frame Rate>2 FPS的動態影像。
- 已建立中子照相的鏡頭聚焦、光圈設定、影像擷取、成像時間等 程序,影像處理程序也已完成,建議未來可發展中子斷層影像 (NCT)研究,以首度建立國內中子斷層掃描影像的分析能力。

肆、參考文獻

- (1) Lehmann EH, Vontobel P, Kardjilov N, "Hydrogen distribution measurements by neutrons," *Applied Radiation and Isotopes* 61 (4): 503-509 (2004).
- (2) Lehmann E, Vontobel P, "The use of amorphous Silicon flat panels as detector in neutron imaging," *Applied Radiation and Isotopes* 61 (4): 567-571 (2004).
- (3) Lehmann E, Vontobel P, Estermann M, "Study of material changes of SINQ target rods after long-term exposure by neutron radiography methods," *Applied Radiation and Isotopes* 61 (4): 603-607 (2004).

- (4) Birjukovs M, Dzelme V, Jakovics A, Thomsen K, Trtik P, "Phase boundary dynamics of bubble flow in a thick liquid metal layer under an applied magnetic field", *Physical Review Fluids*. 2020; 5(7): 061601(R).
- (5) 裴晉哲,"中子照相於直接甲醇燃料電池行為機制之研究,"國立 清華大學原科中心反應器組(2005)。
- (6) 裴晉哲,"中子照相原理與應用發展,"國立清華大學原科中心反應器組(2005)。
- (7) 陳忠生,"微功率反應器中子照相設施及應用,"核能研究所(2005)。
- (8) https://www.psi.ch/en/niag
- (9) Kaestner, A. P.; Kis, Z.; Radebe, M. J.; Mannes, D.; Hovind, J.; Grunzweig, C.; Kardjilov, N.; Lehmann, E. H., "Samples to determine the resolution of neutron radiography and tomography" Neutron Imaging for Applications in Industry and Science, 88, 258-265(2017).