

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：實習)

瑞士 PSI 與德國 FRM II 等中子應用研究中心實習中子導管  
之設計與安裝活動

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所

出國人職稱：副研究員

姓名：楊村農

出國地點：瑞士、德國

出國期間：89 年 10 月 2 日至 89 年 11 月 30 日

報告日期：90 年 2 月 1 日

行政院研考會/省市研考會 編號欄
G12 / 09000891

# 目 錄

	(頁碼)
一、目 的 . . . . .	1
二、過 程 . . . . .	2
三、心 得 . . . . .	3
四、建 議 . . . . .	14

## 一、目的

此次實習的目的有二

- (一)前往瑞士 Paul Scherrer Institute (PSI)中子應用研究中心及其技轉公司 Swiss Neutronics (1)討論目前 TRR II 中子導管與能譜儀初步規劃之規格與時程, 廠商能否配合。(2)了解其實驗設施。
- (二)前往德國慕尼黑科技大學(TUM)目前進行安裝中的研究用反應器(FRM II)及中子應用研究中心實習, 該研究設施預期將於公元 2001 年底正式運轉, 又其實驗設施與 TRR II 有諸多類似處。配合現階段 TRR II 概念與基本設計工作, 了解與參與其廠房、中子束與中子導管之安裝活動, 是十分重要的。

## 二、過程

時程	工作內容	說 明
89/10/02 - 89/10/03	去程。	搭乘下午 21:10 之華航班機到義大利羅馬達文西機場，轉乘瑞士航空班機，於 89/10/03 上午 11:15 抵達蘇黎士機場。
89/10/04 - 89/10/07	參訪瑞士 Paul Scherrer Institute 中子應用研究中心及中子導管製造商 Swiss Neutronics 公司	(1) 拜訪 Paul Scherrer Institute 中子應用研究中心副主管 Dr. Peter Allenspach 討論中子導管廠房地板結構及小角度中子散射儀(SANS)，三軸能譜儀(TAS)等之設計規格。 (2) 參訪 Paul Scherrer Institute 技轉成立之中子導管製造商 Swiss Neutronics 公司，與該公司主管 Dr. Peter Allenspach 討論 TRR II 中子導管之需求規格與時程配合。
89/10/08	路程。	搭乘上午 09:25 瑞士航空班機前往德國慕尼黑。
89/10/09 - 89/11/28	在慕尼黑科技大學研究用反應器(FRM II)中子應用研究中心進行為期七週的實習。	負責安排在 FRM II 中子應用研究中心實習為 FRM II 中子導管計畫負責人 Dr. Erich Stechele。實習期間與 FRM II 中子導管主要設計人員 Mr. Christian Schanze 一起工作，主要的工作內容是學習了解 FRM II 導管大廳及中子束管、中子導管等之設計與規劃，同時澄清 TRR II 目前在概念與基本設計階段遇到的問題。
89/11/29 - 89/11/30	回程。	搭乘上午 10:10 德航班機到法蘭克福轉機，再搭乘中午 12:05 華航班機於 89/11/30 上午 10:35 抵達中正國際機場。

### 三、心得

#### (一)瑞士 Paul Scherrer Institute 中子應用研究中心與中子導管製造商 Swiss Neutronics 公司

##### 1. 中子導管(neutron Guides)

###### 1.1 Swiss Neutronics 現況(SN)

SN 與 PSI 正式分開為獨立公司, 該公司位於 Oberes Zelgli 6, 5313 Klingnau, Switzerland, 約離 PSI 2 km 處。目前主要的客戶是 FRM II, 它承接 FRM II 大部份 Guides 之製作(小部份 FRM II 自己做)。同時亦準備與英國 ISIS 洽談承接 Guides 之製作, 其他需小量的客戶亦不少。

###### 1.2 對 INER Neutron Guides 之需求

採用 open bid(含資格與價格標), SN 公司主管認為合理可接受。

一年細部設計是必需的, 含不斷與 INER 討論界面。

二年製作是必需的, 因訂購玻璃約需 $\frac{1}{2}$ 年, 生產 Guides 約需 $1\frac{1}{2}$ 年(SN 公司之產能是 200m/年,  $m=2$ , INER 需 Guides 約 160m)

一年的安裝是必需的, 另需一年廠房基礎沈陷穩定期, 及導管支架及屏蔽之安裝。

所以總共四年時間是 SN 廠商認為合理可接受的時程(如 INER 目前之規劃)。因此為了要滿足 INER 的時程, 需在 2001 年底前確定外購案, 屆時 SN 公司將可能承接英國 ISIS 之生意, INER Guide 製作將可能延後。

SN 具備承製 PSI 與 FRM II Neutron Guides 之設計與製作經驗, 延續其人力、技術、經驗, 是 INER 應爭取的廠商。

## 2. 中子導管大廳(Neutron Guide Hall)

### 2.1 廠房設計

Guide Hall 兩邊有試樣準備室與實驗室的設計較佳。PSI 無此設計規劃所以認為他們的空間太擠及許多不方便。

### 2.2 背景值

Gamma radiation :  $\sim 1\mu\text{Sv/hr}$ , neutron;  $\sim 0\mu\text{Sv/hr}$ 。

### 2.3 地板

避免振動源在 Guide Hall 內很重要。

基礎結構 : (a)採 Guide(中子導管)基礎與其他地板分開最佳, 但是造價較高, (b)PSI 與 FRM II 採用一整塊且十分厚的水泥地板( $\sim 50\text{cm}$ )做為 Guide Hall 之基礎, 要傾斜整塊地板傾斜, 不要有局部變形或傾斜狀況出現, 地板太薄或有地下室設計皆有可能產生此現象。

ILL 地質狀況與 INER 類似, 設施亦是在懸崖邊, 懸崖下有一河流, 地下岩層距地表約 50m 左右, 地下水位甚低。

ILL Guide 之基樁是與廠房結構分離, 由於地下岩層很深, Guide 的基樁無法固定在此岩層上, 採用灌漿產生阻泥。

能譜儀工作區之地板 :

在原有之水泥地板上, 用厚約 1"之 granite(花崗岩、質地堅硬耐磨)鋪上, 再磨平, 其水平不準度需求在  $\pm 0.01^\circ$ 。

2.4 輻射管制 : Guide Hall 進出無任何保健物理人員管制, 完全自己攜帶膠片配章自由進出, 出去只要利用手足偵檢器, 自行偵檢即可。

2.5 地板沈陷穩定：廠房結構體完成經一年沈陷穩定再安裝 Guides 經二年後再校正一次，就應穩定。如發現局部區域輻射偏高，Guide 有可能傾斜，就要再校正。

### 3 中子散射能譜儀(Neutron Scattering Spectrometers)

3.1 PSI 接受能譜儀細部設計之意願不高，目前計畫優先度為 synchrotron(同步輻射)第一，所有資源皆必需配合 synchrotron。

3.2 建立第一台能譜儀之做法，找一台全世界最好的儀器，先參考其設計，但同時保持高度之彈性可以改善，亦是不錯可行的做法(PSI 建議)。

3.3 三軸能譜儀(Triple Axis Spectrometer : TAS)：以 PSI 現有累積之經驗技術與人力(2-3 人)，建立一台 TAS 預估 3 年，經費 252 萬瑞士法郎(～5000 萬 NTD)。該儀器設備技術較成熟，PSI 在 monochromator drum(中子單頻儀之鼓形屏蔽室)與 detector drum(中子偵檢器之鼓形屏蔽室)有很好的設計，但不願釋出任何之細部設計文件、圖等，皆以必需獲得其主管之許可才行而婉拒我方提出之需求。

3.4 中子反射儀(Reflectometer : RF)：PSI 之水平反射儀仍在製作安裝，十分複雜、難度高、防振動措施十分講究。在無長期使用與設計製造經驗之累積條件下，第一台反射儀，不宜建水平式(按 TRR-II 規劃之 RF 為垂直式)。

3.5 高解析粉末繞射儀(High Resolution Powder Diffractometer; HRPD)：PSI HRPD 共花九年時間建立完成，此係由於計畫核定之經費和人力無法配合需求而拉長。建議：設計應保持彈性，Intensity(中子強度)比 resolution(中子解析度)重要，resolution  $\sim 8 \times 10^{-4}$  足夠，試樣愈小解析度愈高，採用法國 Cerca

公司之 PSD。

3.6 小角度中子散射儀(Small Angle Neutron Scattering Spectrometer : SANS)：負責人 Dr. Kolhbrecker 11 月到台灣 INER 參訪。其 velocity selector(中子速度選擇器)採用德國 Dönie 公司產品，每年需維修更換 Bearing(軸承)，PSI 每年利用冬天停機 3-4 月進行維修，一般最好要有 1 個備品。Velocity selector 是高背景輻射源，需有很好的屏蔽，其位置應置於愈近 Guide Tunnel(導管隧道)邊或在 Guide Tunnel 內。所有 PSD 偵檢器元件、接頭、電纜與電源供應器皆包封在可循環 1 atm air 環境內，否則無法散熱與造成絕緣，使得 SANS 中子偵檢系統無法工作。中子偵檢器移動室(ABT 公司製作)內保持  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  torr，目前 PSI 之抽氣時間需 12 小時，覺得很不方便，放氣時間  $\sim 1/2$  小時，將建議改進抽氣時間 1 小時較合理。中子偵檢器移動室內整個內壁貼上  $\sim 5-6$  厘米厚  $B_4C$ (軟質類似塑膠)，防散射中子與外界之背景，用矽膠黏上，但抽空真時， $B_4C$  板會鼓起來，因裡面有空氣泡累積，需注意。所有電纜皆包封在軟管管內充 1 大氣壓循環空氣，用軟管目的，因中子偵檢系統在運動，但中子偵檢器移動室抽真空時，軟管會 elongation(伸長運動)應注意。SANS 中子穿透窗用 saphie 材料(6 厘米厚  $\times$  120 厘米直徑)和鋁板，PSD 中子偵檢器系統全包封在鋁製腔內。中子偵檢器行走軌道需用雷射校準。中子偵檢器移動室側面設計幾個玻璃視窗可監看內部中子偵檢器運動情形。SANS 中子穿透窗之後有一大型閘門式閥(VAT 廠商)，為更換中子穿透窗用。PSI 導管離地 1535 厘米，SANS 中子偵檢器移動室直徑  $\sim 3$  米，旁邊牆上有校正用高度標幟。使用 Ni-58 之導管就可以，其他角度之中子將成為背景，有聚束導管(convergent guide)但從未使用過。

3.7 每一能譜儀實驗區，皆用圍籬或屏蔽圍起，打開儀



器中子阻斷器之鑰匙與打開圍籬門同一把鑰匙。

3.8 PSI 可以製作摩西式中子單頻儀(mosaic monochromator)需利用 700-900°C 之真空高溫爐(電阻絲), 連絡人為 Dr. Peter Fisher。

## (一)德國慕尼黑科技大學研究用反應器(FRM II)中子應用研究中心

### 1.簡介

1980 年德國慕尼黑科技大學開始進行 FRM II 之概念設計。

1986 年德國科學委員會與德國中子研究協會同意 FRM II 為國家級研究用反應器。

1987 年 FRM II 計畫成立。

1993 年 TUM 與 SIEMENS 公司共同完成安全分析報告, 並申請獲得核子執照(Nuclear license)。

1994 年 SIEMENS 公司被指定為大承包商。

1996 年結構工程開工。

2001 年反應器啟爐和全功率運轉。

2002 年中子散射儀器運轉。

### 2.中子導管大廳之基礎結構與規格

2.1 FRM II 位址之地質條件為礫石層, 同 TRR II 地質條件。在基礎結構上亦無打地樁到岩盤上, 完全是一般建物建造程序, 即約 15 公分厚的不透水水泥層 + 約 50 公分厚第一層商品質鋼筋混凝土 + 15 公分厚第二層鋼筋混凝土 + 塑膠膜 + 15 公分厚水泥漿(cement)。約 15 公分厚的不透水水泥層為墊底用防水層, 50 公分厚第一層高品質鋼筋水泥是主要的基礎結構, 不容許破壞, 15 公分厚第二層鋼筋水泥是因為管溝需 30 公分深度之需

求。15公分水泥漿(cement)厚的目的是為了固定導管基座與鋪設特殊地板(TANZ BODEN)時，需挖除一定面積與深度的水泥，而不需敲擊和破壞主地板鋼筋混凝土結構。15公分水泥漿層與下層鋼筋混凝土間的塑膠膜是為了使挖除的水泥塊更易於剝除。這個厚度與結構的設計是為了能承受最大平均戴重10噸每米平方及最大可容許地板偏斜量 $<1 \times 10^{-4}$  徑(radian)。這樣的設計與考慮，應能符合 TRR II 的需求。

2.2 FRM II 反應器廠房亦是新建廠房，其一樓地板近表面層之結構是 5-12 公分厚的跳舞地板 (TANZBODEN) + 3-10 公分水泥漿層(cement)，TANZBODEN 地板是為了中子儀器與中子束管安裝機具之運動而鋪設，水泥漿層亦是為固定中子束管校準基樁等目的。由於 FRM II 是新建物，一開始就預留 15 公分高度來安裝 TANZBODEN 地板和水泥漿層，但是 TRR II 反應器廠房是舊建物，不論上加或下挖 15 公分都有困難，可行的做法是在儀器運動區內在舊地板上鋪 5 公分厚 TANZBODEN 地板，如經費許可一樓中子實驗區之地板全部鋪設最佳。

2.3 目前市場上供應精密中子儀器組件的支撐腳皆利用壓力足(air pad)來移動。實驗過程中量測角度變換頻繁，每次變換角很小約 $\leq 0.1$ 度，由於精度要求高，必需在堅硬光滑的地板上做微小的運動，只有跳舞用地板(TANZBODEN)例如：花崗岩石材，才能符合需求。該石材主要產地是南非洲大陸，每平方米約 5 萬新台幣。大部份國外中子應用研究中心皆採用局部鋪設此地板，即所謂“島式”，較為省錢。FRM II 在反應器大廳所規劃的儀器十分密集，因此採用全面鋪設此地板，優點是沒有高高低低的問題。

### 3. 導管隧道的設計

- 3.1 導管隧道建立的目的是為了屏蔽中子導管過濾不需要的快中子和加馬射線，避免對工作人員與實驗造成影響，這是必需的結構體。
- 3.2 FRM II 有二個導管隧道，分別為反應器大廳隧道(Rx Hall Tunnel)和導管大廳隧道(Guide Hall Tunnel)。前者為反應器運轉時高輻射背景區，除了中子導管外，主要的機械設備是旋轉式中子阻斷器(Rotating Shutter)，只有在停爐期間及保健物理人員管制下，才可進入。後者為反應器運轉時低輻射背景區，除了中子導管外，主要的機械設備有導管中子阻斷器(Guide Shuter)，真空邦浦與中子速度選擇器等，可在保健物理人員的管制下定期或不定期進入檢修。
- 3.3 TRR II 原設計一導管隧道，內加二道活動屏蔽，如此未來進入隧道內更換導管與檢修旋轉式中子阻斷器等設備時，困難度較高。FRM II 的設計有值得 TRR II 借鏡之處，已建議修正並獲採納施行。
- 3.4 為便於中子束管與導管安裝機具，及重型旋轉式中子阻斷器進出所需，反應器隧道至少需有一面牆應採活動式設計，平時工作人員只要有一 1 米寬的屏蔽門進出即可。FRM II 反應器隧道兩邊靠近爐體之 6 米寬牆面採活動式。經建議 TRR II 反應器隧道南邊靠近爐體之 4.5 米寬牆面採活動式，可符合未來安裝與維修機具進出的需求。
4. 中子導管之屏蔽設計
- 4.1 中子導管之屏蔽可分割成四個段落 (1)反應器爐體生物屏蔽段 (2)生物屏蔽外，旋轉式中子阻斷器 (3)導管隧道間 (4)導管大廳段中子導管屏蔽等，其設計十分重要。尤其在導管大廳，當進行實驗時，對中子背景輻射之要求十分嚴格，一般國外實驗室皆

在  $< 1\mu\text{Sv}$  之標準。

- 4.2 FRM II 導管隧道屏蔽設計為 1 米厚之  $4.0\text{ g/cm}^3$  密度之重水泥 + 鐵板組成，愈近爐體屏蔽牆內含鐵板層數愈多，愈遠離則愈少，如此設計避免爐邊屏蔽太厚，因為有更多空間給實驗設備是十分重要的。TRR II 導管隧道屏蔽設計，於近爐體屏蔽牆採用  $5.0\text{ g/cm}^3$  重水泥，以減少屏蔽厚，遠離爐體則採用  $3.0\text{ g/cm}^3$  重水泥。那一種設計較佳，正請 TRR-II 屏蔽設計人員進一步評估中。
- 4.3 FRM II 6 條導管旋轉式中子阻斷器設計放置在生物屏蔽外的目的是安裝與維修較容易。這點十分重要，TRR II 正參考 FRM II 設計，變更原設計放置在生物屏蔽內為放置在生物屏蔽外。
- 4.4 FRM II 導管隧道在反應器大廳段，兩側屏蔽牆設計成可移動式屏蔽塊組成，其目的是為了大型拆裝機具之進出用。這點 TRR II 當初設計時沒有注意到，現在已修正在 1 號隧道之南邊屏蔽牆約 4.5 米寬設計成可移動式屏蔽塊。
- 4.5 在導管大廳中子導管之屏蔽，FRM II 中子管採用含  $\sim 12\%$  硼(B)之 Borofloat 玻璃，因此幾乎所有洩漏之冷中子都被硼(Boron)吸收而放射出加馬射線，所以主要屏蔽的對象是加馬射線，FRM II 設計一半圓型的鉛板，將中子導管包覆，其厚度需設計屏蔽人員計算之。TRR II 目前尚未設計到這一段，不過 FRM II 的設計將值得我們參考採用。

## 5. 中子束管的設計

- 5.1 FRM II 研究用反應器之熱中子通量約為  $5\text{-}6 \times 10^{14}$   $\text{n/cm}^2\text{-sec}$  (perturbed)，為西門子(SIEMENS)公司設計建造，其評估中子束管之端有輻射損傷問題，因此

必需定期更換，為了降低更換工程的難度，採用自生物屏蔽外更換的方式設計其中子束管。此種設計，在生物屏蔽段所需孔徑尺寸較大，因此每一射束孔(Beam Port)規劃放置二條中子束管(Beam Tubes)。TRR II 研究用反應器之熱中子通量約為  $1-2 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>·sec (perturbed)，中子束管鼻端處輻射損傷問題較低，目前中子束管之設計是由水池內更換方式，即預期可與重水槽同使用壽命。由於 TRR II 重水槽尺寸較小，爐內照射孔多，此種設計之優點是在生物屏蔽內所需空間尺寸較小，但 BT8 除外。TRR II BT8 有較大的射束孔，而且是唯一提供冷中子束之中子束管，依其重要性應採由生物屏蔽外拆裝之設計。

5.2 在中子束管之安全設計方面，FRM II 的中子束管有一道水封板，一漏水偵測器及一排水口，可排水到地下室，一旦偵測有漏水，檢查或停爐更換組件。FRM II 的設計是一偵測有漏水就必需做更換動作，所以一道水封板就足夠。TRR II 中子束管之安全設計，由於預期中子束管將與重水槽同使用年限，設計採由水池內更換方式，但基本上儘量避免去更換它，因為自水池內更換是大工程且難度高，所以在安全設計上，我們是採用二道水封板，一漏水偵測器及一排水口，可排到地下室。同樣地，一旦偵測到有漏水訊號，立即發出一警告信號(alarm)給反應器運轉員，立即降載檢查及執行必要的監控和安全措施。

## 6. 廠房系統之設計

6.1 FRM II 的反應器和導管廠房是由西門子公司(SIEMENS)負責設計建造，這些廠房之電力、冷卻水、壓縮空氣和空調等系統之設計參數，已提供 TRR II 廠房小組參考。

6.2 反應器廠房是屬於輻射管制區其通風空調系統需有負壓的設計，而導管廠房在輻射管制區之規劃上是屬於白區，其通風空調系統是不需管制的。FRM II 的設計理念將為 TRR II 設計之參考。

## 7. 中子導管供應商技術能力之評估

7.1 除了美國地區唯一一家導管供應商 Osmic 公司外，其餘至少有 5 年以上導管製作經驗之供應商皆在歐洲地區。法國 Cilas 公司，已有 10 多年的歷史，近年有製作成本太高，競爭下降，人才流失，效率不佳等問題。匈牙利 Mirrotron 公司，為從匈牙利國家物理研究所分離獨立的公司，技術與品管技術風評不佳。瑞士 Swiss Neutronics 公司，為去年自瑞士 Paul Scherrer 研究所分離獨立的公司，號稱自設計至安裝皆可承包，技術與品管能力風評不錯。德國 NTK 公司，為自慕尼黑科技大學(TUM)分離獨立的公司，是世界上唯一有能力製作曲狀形玻璃導管的公司。德國 S-DH 公司，是海德堡大學分離獨立的公司，其產品較為奇特，尚待驗證其可行性。

7.2 TRR II 與法 Cilas 公司有去函但是皆無回應，甚至透過台灣代理商，亦是一樣，FRM II 與 Cilas 連繫亦有同樣問題。TRR II 曾派人前往匈牙利 Mirrotron 與瑞士 Swiss Neutronics 公司訪問，評估結果對匈牙利 Mirrotron 公司之技術與品管能力，及產能等方面較無信心。對瑞士 Swiss Neutronics 公司之技術、品管與產能等方面有較高的評價，此點同 FRM II 對 Swiss Neutronics 的看法。

## 8. 中子導管的獲得

8.1 FRM II 有一強有力的機械小組(約 5 人)直接支援中子導管的機械設計與製作等工作。除了導管玻璃部份分別委託給瑞士 Swiss Neutronics 和德國 NTK 等兩

家公司設計製作外，其他如生物屏蔽內的導管放置盒(guide box)，旋轉式中子阻斷器(rotating shutter)，導管真空盒(guide vacuum case)，真空系統、導管位置調整系統、導管支架、導管中子遮斷器和導管屏蔽等項目，皆由該機械小組完成。導管玻璃同時委託 Swiss Neutronics 和 NTK 兩家公司的理由是每家公司產能皆很小，例如 Swiss Neutronics 公司每個工作天約生產 1 米超鏡片(SM) 之能量。

8.2 依目前 TRR II 參與人力現況，初步規劃整個導管系統之工程設計和導管玻璃之設計製作，將委外執行。關於導管系統委外工程設計所包含的工作項目，預期於今年 3 月底將前完成初步評估。

## 9. 中子導管的校準技術

9.1 FRM II 隸屬於慕尼黑科技大學，它有充分的學校人力與技術支援。例如：中子導管的校準工具和程序，就是該校物理系光學組負責設計規劃與提供。校準的步驟主要包括 (1)水平方向 (2)垂直方向和 (3)旋轉角度等三項。

9.2 光學校正工具與程序步驟，對 TRR II 現階段雖尚無迫切的需求，但仍需確實的了解，因相關的機械設計要能配合未來光學校準的需求。很可惜的是，由於 FRM II 安裝導管的時程因供應廠商的延遲交貨而落後數個月，所以無機會實際參與校準工作，但亦收集足夠的資訊，供未來設計的考慮。

#### 四. 建議

- (一)中子導管大廳無地下室需求，地板結構可參考 FRM II，其特點就是一 50 公分厚主要鋼筋混凝土層，為了配合管溝與導管基座安裝等需求，再加上 15 公分厚第二鋼筋混凝土層及一層塑膠膜，最上層為 15 公分厚水泥漿層。
- (二)為了安裝維修中子束管所需大型機具進出導管隧道，建議在 1 號隧道之南邊屏蔽牆採活動式，寬度至少 4 米。
- (三)中子導管大廳之空調並無特別管制上的需求。
- (四)提供 FRM II 中子導管、實驗及反應器等大廳之電力、空調、冷卻水和壓縮空氣等需求，供計畫設計參考。
- (五)為配合人員進出導管隧道執行維修之需求，建議將原設計修正為 1 號與 2 號兩個獨立分隔之隧道間。
- (六)為簡化中子導管及旋轉式中子阻斷器之安裝維修，建議將旋轉式中子阻斷器移至生物屏蔽外。
- (七)1 至 6 號中子束管，有雙重水封板，採與重水槽一起更換設計。8 號中子束管是唯一提供冷中子束，採生物屏蔽外更換設計。同時請國外西門子公司進行評估確認。
- (八)德國 FRM II 目前進行安裝階段，機會難得，建議 TRR II 繼續派人前往觀摩實習。