

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別： 考察)

研究用反應器實驗設施相關技術考察出國報告

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所

出國人職稱/姓名：簡任副研究員 藍國琪

薦任助理研究員 熊惟甲

出國地區：法國、德國

出國期間：九十年九月十五日至九十年九月三十日

報告日期：九十年十一月二十六日

摘 要

本出國報告係針對 TRR-II 各項實驗設施之設計、製作及檢測等相關技術赴法國及德國作一了解，同時對國外在清除拆解核設施所用的工具、設備、及方法上作資訊之收集。

此行訪問法國的 Cybernetix 公司、Cogema 公司、Framatome-ANP (CERCA) 公司及德國的 Walischmiller - Markdorf 公司、FRM-II 反應器、Walischmiller-Dresden 公司、Julich 的研究中心的 FRJ-1 反應器及 FRJ-2 反應器。

在 Cybernetix 公司主要考察項目為機械手；在 Cogema 公司討論去污及拆解問題；在 Framatome-ANP (CERCA) 公司主要討論製作加工問題；在 Walischmiller-Markdorf 公司討論機械手、鉛室、水送氣送設備之設計、製作；在 FRM-II 研究用反應器主要參觀已建好之實驗設備；在 Walischmiller-Dresden 公司討論同位素生產設備；在 Julich 研究中心的 FRJ-1 參觀該反應器的拆除狀況；在 FRJ-2 反應器討論研究用反應器實驗設備之設計及運轉等相關的經驗。

本次出國時間雖有限，但獲益良多，不僅獲得所需資訊，吸收甚多經驗，同時更建立本所設計各項實驗設施之信心。整體而言，此番出國實地考察確實極具意義，絕非在國內自行摸索所能比擬。

關鍵字：反應器實驗設施，機械手，去污，拆除，水送氣送設備，同位素生產

目 次

摘 要

一、目的	1
二、過程	2
三、心得	8
四、建議	9
五、附 錄	10

I. Cybernetix Co.-Nuclear Activity介紹手冊

II. Cybernetix Co.-Telerobotics Systems 簡介光碟

III. CERCA - Manufacturing for High Energy Physics
Technology介紹手冊

IV. Walischmiller - Dresden 簡介資料

V. Walischmiller - Dresden 簡介光碟

VI. Julich Research Center - Neutron Experiment at FRJ-2
介紹手冊

(以上資料皆存於工程組圖書館)

一、目的

本次出國係針對 TRR-II 各項實驗設施之設計、製作及檢測等相關技術赴法國及德國作一番瞭解，並提出我們自己的構想與作法與國外專家討論，吸取國外的經驗，加強我們實驗設施的完整性及同時對國外在清除、拆解核能設施所用的工具、設備及方法作資訊的收集，以協助舊 TRR 爐體的拆解工作。

TRR-II 實驗設施的項目甚多，包含：冷中子源設施、同位素生產設施、中子活化分析設施、燃材照射設施、中子導管設施、矽晶植磷設施，工作池及公用設施等。由於各實驗反應器的基本結構差異頗大，所以各反應器的實驗設施結構亦有頗大的差異。故本次訪問考察並不是僅做資料收集，加以比照設計，而是要瞭解其設計的精髓，設計的原理，進而形成我們自己的設計。

此行訪問的地點包括法國的 Cybernetix 公司、Cogema 公司 Framatome-ANP (CERCA)公司及德國的 Walischmiller-Markdorf 公司、FRM-II 反應器、Walischmiller-Dresden 公司、Julich 的研究中心的 FRJ-1 反應器及 FRJ-2 反應器。

本報告以下的部份將依考察的順序加以介紹。各場所之主要考察項目如下：在 Cybernetix 公司主要考察項目為水中用機械手，該機械手可用於工作水池中物料的操作、運搬等工作，加上一些附屬的工具亦可用於設備的除污及拆解工作。在 Marcoule 研究中心訪問 Cogema 公司，該部門主要工作為去污及拆解工作，他們使用機械手做全無人之操作，對一大型貯存用水池做清潔及除役工作，值得參考。在 Framatome-ANP (CERCA)公司，主要討論實驗設備的加工、製作、品保及驗證等工作，在德國的 Walischmiller-Markdorf 公司，討論機械手、鉛室、水送氣送設備之設計、製作，以供將來 TRR-II 實驗設施中建立水送氣送設備時採購之參考。在 FRM-II 研究用反應器主要參觀已建好之實驗設備，瞭解水送氣送設備之安裝情形。在 Walischmiller-Dresden 公司瞭解同位素生產設備，供將來採購之參考；在 Julich 研究中心的 FRJ-1 反應器參觀該反應器的水池設備拆除狀況；在 FRJ-2 反應器討論研究用反應器實驗設備之設計及運轉等經

驗，收集對拆除 TRR 及將來運轉 TRR-II 時有所幫助的資訊。

二、過程

民國 90 年 9 月 15 日（週六）由台北出發，於 9 月 16 日（週日）晚上抵達法國馬賽，第二天 9 月 17 日（週一）即前往 Cybernetix 公司進行兩天的考察，首先聽取該公司簡報，如附錄 I，接著由筆者介紹 TRR-II 實驗及拆除工作的需求，然後赴現場實地考察其設備並試操作機械手。該公司主要分為三部門：核能設備、微電子、為軍用及精密加工。其中有關核能設備之項目主要為可移式機械人及水中用機械手。可移式機械人可用於警政、消防、及高輻射區之遙控觀測，亦可應用於高輻射區之操作工作以減少人員所受之輻射劑量。該公司發展之水中用機械手可用於一般之水下工作、海洋工程，又由於該機械手採用水壓式的伺服馬達，故不虞有漏洩及油污染的問題，特別適合在核污染的水池中工作，該水壓式的伺服馬達是該公司自行設計研發的，可算是一項重要突破，其使用之控制器為 Delta Ton 公司之 Pmac，該控制器功能極強，適合於高性能機械手使用，其人機介面為搖桿及 Master 操作器，對於單動功能應可達成，對於多軸同動、座標系統轉換、力回授及碰撞防止等功能，據該公司之工程師表示均可依需求加入設計。依筆者實際操作之感覺其鋼性應屬良好，如以遙控操作，則尚需使用立體視訊系統加以輔助。但該公司建議可加入電腦 3D 模擬系統，事先規劃運動路徑，該公司亦可提供該套軟體，唯熟悉該套軟體之應用亦需花費相當多的人力。

Cybernetix 的機械手已建立部份周邊的工具，包括：圓鋸、油壓剪、水刀轉接頭及電漿槍轉接頭等。該機械手可用於 TRR-II 之工作水池中，操作同位素生產等有關之設備，亦可用於切割除役等工作。整體而言，該機械手為一發展相當優良的機械手，同時亦可彈性訂做，選擇不同的臂長及選用鈦金屬以加強其鋼性及負荷能力。完成機械手之考察後繼續前往其分公司參觀加工技術，該公司為法國軍方製作一些高精度及光學儀具，在微機電方面亦製作各式各樣的微機電加工機台。自外形觀之，其機台佈置之密度甚高，顯然其動態特性及生產率將會相當好。

9月18日(週二)赴 Cogema 在 Marcoule 研究中心的除污部門，Marcoule 是一個管制非常嚴格的中心，照相機完全不得攜入，有三重鐵絲網圍著，他們有一個大型的廢料貯存庫要清理及拆除。使用的方法為全遙控無人式的處理方式，由於商業的關係，他們無法供應我們可攜回的資料，但該部門非常友善的將他們內部用的錄影帶播放給我們，同時做詳細而不保留的說明，對於技術上遭遇的困難及努力克服的情況，均一一主動加以說明，錄影帶共播放 5 卷，其發展過程分為概念動畫、機具選擇、模擬測試等，繼而討論一些處理程序的問題，並赴現場參觀機具，他們還非常友善的贈送筆者一個過濾器的內網，製作非常精良。如前所述，他們採用的是全遙控無人式的處理方式，這是一種趨勢，尤其在先進的國家，人員的安全為第一考量，遙控機具的研發雖然曠日費時，但仍是不得不走的路。至於純技術方面的問題由於過於瑣碎，筆者不擬在此贅述，僅舉一例以說明：遙控機具需使用電力、高壓水、氣管、信號線等一堆的管線，為使操作運動方便，需採用「集束」方式，亦即將很多條的管子集成一束，使得運動方便，不致於造成機具的運動將管線拉扯到，Cogema 委託一家美國公司為其製作、試用後發現信號線有斷線問題，於是改良其驅動絞盤及盤繞方式，這種過程均需投入相當多的人力和時間，也因此累積出一些寶貴經驗，由此觀之，高污染設備的清理拆除的確是相當困難的事。

9月19日(週三)赴 Framatome-ANP (CERCA)公司，首先聽取 Mr. Nadal 簡報，如附錄 III，由於法國的核能公司大多為國營企業，隨合併風氣的漫延，CERCA 公司亦併入 Framatome 公司，使業務的範圍更具彈性。該公司的精密製造能力及其品質管制的優異性成為其特色，僅電子束及雷射焊機方面就超過 10 台，加工件的表面處理亦有一完整的處理廠負責，最重要的是該公司的成員，由於其主要產品為核燃料，所以長期養成的品質概念已深入員工心中，加工成品品質精良可靠，然該點亦使得該公司在一些競標的過程中，失去得標的機會。但該公司仍然很驕傲的等著低價搶標的公司失敗後，業主又會自動的再找他們做。筆者考察的那段時間他們正忙著製作各式各樣的加速器振盪腔，加工確實精良，當討論到 TRR-II 實驗設備時他們對我

們的設計都給予高度的評價，引用 Mr. Nadal 的話：「你們似乎都用了很簡單的設計方式將問題解決。」他們也很有信心的表示可以幫我們製作冷中子源的緩速劑腔體以及 S 型雙套管，同時表示他們曾經做過的雙套彎管尺寸及曲率均非常精準，至於水送氣送等照射系統，他們也都認為委託他們製作沒問題，可以達到我們的要求。

9 月 20 日(週四) 由法國搭機前往德國。

9 月 21 日(週五) 拜訪 Hans Walischmiller GmbH 於德國 Markdorf 的公司總部。由該公司總經理 Mr. Wolfgang Walischmiller(即創始人 Mr. Hans Walischmiller 之子)介紹公司沿革、目前產品及使用該公司產品之客戶，並實地參觀工廠。該公司以生產、設計機械手、鉛室、水送氣送設備為主，國外的客戶在俄羅斯、中亞、中國大陸、東南亞皆有，德國的 FRM-II 的水送氣送系統及矽晶植磷均是他們設計製造的。之後再赴距該公司不遠之另一機械工廠參觀，該機械工廠專門為 Walischmiller 公司作精密機械加工，兩家公司已有兩代淵源。下午至該公司位於 Meersburg 的分公司，實地參觀一個展示用的機械手，與其中一位工程人員詳細討論控制程序、機械手特性，並實地操作使用該設備。基本上機械手的設計皆是組合一些標準組件配合客戶的實際需要作長度等的彈性設計，並未有一標準規格的產品。

9 月 24 日(週一) 前往慕尼黑大學(Technische Universität München)，參觀位於校園內之 FRM-II 研究用反應器。由 Dr. Heiko Gerstenberg 接待並導覽廠區。FRM-II 許多實驗設備尚未裝妥，主要重點在於參觀由 Walischmiller 公司設計之水送氣送設備 矽晶植磷及鉛室等設備。水送氣送設備並未完全裝妥，除參觀已安裝的部份管線及鉛室外，其餘則藉由圖面說明。矽晶植磷設備由於其場所到達不易，粗略看來亦採移動? 車式，與 TRR-II 之設計接近。

9 月 25 日(週二) 清晨自慕尼黑搭機前往 Dresden，拜訪 Walischmiller 公司於 Dresden 的分公司，由該分公司總經理 Mr. Dieter Novotny 接待。Dresden 原為東德的城市，兩德統一後積極發展工業，公司位於一新興的科學園區內，園區內尚未進駐許多廠家，大部份仍為空地。Mr. Novotny 原為東德一核能研究機構同位素生產部門主

任，曾與 Walischmiller 公司有業務上的接觸。1990 年東西德統一後研究機構解體，Mr. Novotny 於 1991 年加入 Walischmiller 公司，成為在 Dresden 分公司負責人，負責業務往來國家包括俄羅斯、東歐、中國大陸、孟加拉、泰國等亞洲國家。Mr. Novotny 為我們詳細介紹該分公司之產品，並引導參觀各部門辦公室及工廠，並提供一些設計圖面及公司簡介資料及電腦光碟，如附錄 IV、V。該公司有一完整的同位素生產設備，其套手箱、運送罐、操作?、分裝設備與同位素治療用的機台均製作精良，足可提供採購同位素設備之參考。

9 月 26 日(週三)約近中午由 Dresden 搭機前往科隆(Cologne)，抵達科隆後約一小時車程到達 Julich 研究中心(Forschungszentrum Julich, FZJ)並住宿於 Julich 研究中心附近。

9 月 27 日(週四)早上至 FZJ 之研究用反應器組(Central Research Reactors Division)拜訪。組長 Dr. Wolters 正值休假期間，指派兩位分組長 Dr. Gunter Damm 及 Mr. Gregor Stollwerk 負責接待我們。Mr. Stollwerk 偕負責反應器運轉的 Mr. Reinhard Storz，首先帶我們參觀正在運轉之 FRJ-2 反應器，並詳細說明 FRJ-2 之構造。FRJ-2 使用重水作緩速劑及主冷卻水，稱為 DIDO 型反應器。於 1962 年開始運轉，使用 80%-93%高濃縮度鈾為燃料，功率 23MW，平常以 20MW 運轉，最大熱中子通量 2×10^{14} n/cm²sec，有 30 支水平中子束管，但因反應器大廳之空間限制，在同一時段只有約 10 支可同時使用，主要提供作中子散射實驗；另外有 28 支垂直照射管作同位素生產及作中子活化分析，反應器運轉周期為一個月。FRJ-2 雖運轉已近四十年，其壽命經檢測足以再維持五十年亦無問題，然而政府當局已決定在 2006 年將其停爐(shutdown)，也決定至 2021 年關閉國內所有核電廠。反應器人員表示正在積極爭取延後停爐時間，俟歐洲各國共同興建的 spallation source 完成後(約 2014 年)再停爐，以使國內的中子用戶能不間斷的有中子源可用，最後結果尚不清楚。德國境內並無最終核廢料貯存廠，除用過核燃料運回美國外，其他核廢料皆暫存於研究中心內。全組約 100 名工作人員，其他則是國內外各大學來作實驗的研究人員。FRJ-2 的冷中子源有 2 條導管引出，屬於水平式，冷卻中

子亦以液態氫作為緩速劑，筆者參觀時正有一群國際學生進行實驗。

下午由我們簡報 TRR-II 現況及實驗設施設計現況並請他們給我們提供建議。對方亦提供水送管、氣送管及照射梭 (rabbit) 之設計圖樣供我們參考，其氣送管為水平輸送式，末端共有 8 個轉輪排列於同一軸心上，每個轉輪有 7 個照射位置及 1 個空位作為通道。傳輸氣體為 CO_2 ，傳輸管內徑為 1 英吋，自起點至照射位置約有 40 公尺，傳送時間 25 秒，沿管線外圍並無屏蔽。水送管為垂直輸送式，樣品進出爐心不走同一管線，所以在爐心內是 U 型管結構，有兩套獨立的冷卻水系統，當反應器運轉時，不論是否有樣品照射，都有一套冷卻水系統在運作。照射梭材質為 PE。此外又展示生產 Mo-99 之照射罐 1:1 的設計圖。一個照射罐含下段 4 個照射靶位及上段 8 個空位供照射完之靶衰變用。產量為 1000 Ci/week·target，照射罐發熱量為 100kW，照射時間至少 150 小時，照射完畢 36 小時內需送到客戶手中，目前客戶位於比利時。生產時程為：週一上午 7 時至週日下午 9 時(共 158 小時)照射；週日下午 9 時至週一上午 7 時(共 10 小時)衰變；週一上午 7 時至下午 6 時期間取出照射靶、清洗、裝車；週一下午 6 時運送，週二上午 6 時送達比利時。整個過程環環相扣，十分緊湊。最後由 Mr. Pfalz 帶我們參觀中子活化分析室，看到氣送管及鉛室、機械手，皆是 Walischmiller 公司的產品。

9 月 28 日(週五)繼續至 FZJ 之研究用反應器組拜訪 由 Mr. Pfalz 帶我們至導管大廳參觀中子散射儀器。導管隧道牆壁是 30 公分厚的混凝土，導管大廳內有兩部 2 噸環型吊車，2 條環型軌道如 S 型的上半圓及下半圓，但未相接，分別服務導管大廳的前半及後半部。包括反應器大廳及導管大廳共 16 部中子散射儀，其中 6 部是由其他的大學或研究機構認養。各儀器的詳細介紹可參閱帶回的手冊(如附錄 VI)。

接著再到處理用過燃料之水池參觀，由 Mr. Thome 為我們詳細解說用過燃料如何切割、貯存和運送。每個反應器運轉周期會產生 5-6 根用過燃料，燃料以向英國 GNS 公司租用的鉛罐運送，水池深 6 公尺，有水下切割電鋸，兩片同一軸心，距離 63 公分，轉速 4800rpm，

將燃料棒中段 60 公分含燃料部份切開，經由水下通道移到另外一水池暫存 2 年，暫存架是單層 6×6 架子，為何使用 6×6 架子並無特殊原因。池水十分清澈，但通常會有的污染源是 Zn-65 和 Cs-137，池水經常過濾，過濾器包括離子交換樹脂及 25 μ m 的濾心，濾心每年更換兩次，池水導電度維持在 10 μ S/cm 以下。Mr. Thome 並提供我們鉛罐的設計圖面，如有需要，鉛罐運送各步驟所拍攝的照片也可提供給我們。

緊接著 Mr. Stollwerk 帶我們到固態研究所拜會一位設計能譜儀供 FRM-II 使用的先生，並很快地參觀了繪圖室，知道了他們使用的 3D 繪圖軟體稱為 CATIA，是一家法國公司的產品。又很快參觀了機械工廠，該工廠的一大特色是能將不同類金屬焊接在一起，並有雷射焊接機及電子束焊接機，設備十分齊全。

下午由 Mr. Burkhard Stahn 帶我們參觀正在拆除的 FRJ-1 研究用反應器，他是整個拆除工作的總負責人。該反應器於 1985 年停爐，當初以為會有新 spallation source 很快建立起來，而停止了 FRJ-1 的運轉，但事實並非如此，但 FRJ-1 也未再重新運轉。FRJ-1 是以輕水作緩速及冷卻，功率 10MW。拆除工程由一家德國廠商 SINA 公司得標，燃料運走後，自 1997 年起開始拆除冷卻水管線，2000 年起開始拆除爐內組件，未來六個月內將拆除混凝土部份。拆除下來的廢棄物，若屬於高度污染者，將送到研究中心的除污部門進行除污及存放。在反應器廠房內我們發現有一刮除水泥的機器，是由一家德國公司 Sanierungstechnik GmbH 提供。整個拆除工作將於 2003-2004 年左右完成，最終原廠區變成為一片平地，不留下任何原來的建築物。目前只有 3、4 位研究中心人員負責與廠商接洽，絕大部份工作都交由廠商進行。Mr. Stahn 表示很願意提供我們需要的相關資訊。

三、心得

1. 此行看過一些核設備廠商及反應器以及其相關的實驗設施，覺得 TRR-II 實驗設施的設計並不遜於國外，我們遭遇的問題，如照射梭 (rabbit) 在輸送管內為求輸送壓力的降低以免造成熱室負壓的問題，以及如何避免在管線內卡住的問題，國外也有同樣問題，但並未發現有更高明的解決方法。在我們向參訪單位提出 TRR-II 實驗設施的說明時，他們均是給以肯定的認同，因此對於我們設計的信心提昇不少。

2. Walischmiller 公司利用協力廠商，將部份工作委外，因此不必持續維持一筆龐大的人事費用。德國人的敬業精神及職業道德頗高，不會敷衍了事或得過且過，因此產品品質良好。規定一週上班時數 36 小時，但並不需刷卡，也無人檢查，只要個人把工作做好即可，無形中省下人事方面的開支，值得我國公司效法。

3. Julich 研究中心由原有的以核能為主要的研究機構改名、轉型、擴充為一綜合研究機構(包括能源、環境、材料、生命科學、基本物理五大領域)。目前全中心有約 4200 名員工，其中研究用反應器組約有 100 人。4200 名員工中，約 2200 名是正式員工，2000 名是契約式員工，包括了教授、研究生、訪問學者、其他研究機構人員等。員工年齡 58 以上可以退休，屆齡 63 歲則強制退休。全中心年度預算 4 億 5 千萬馬克(約合新台幣 72 億)，其中 3 千萬馬克(約新台幣 4 億 8 千萬)用於反應器運轉相關工作。FZJ 屬於公家研究單位，不得從事商業性質的活動，但仍可提出計畫尋找財源，維持各部門的財政狀況，各部門的財政是獨立的。大致說來，FZJ 的狀況與我們的有許多類似之處，有關的各項資訊似可供核能研究所將來發展之參考。

四、建議

(一)有關未來 TRR-II 的建造應與政府長遠政策密切配合。FRM-II 目前面臨的處境是運轉執照申請及後續預算來源的問題，據 Dr. Gerstenberg 表示，他們的問題不在技術層面，而在政治層面。看到 FRM-II 廠房與爐體皆已大致興建完成，只缺運轉執照，如反應器不能如期發揮功能，將是十分遺憾的事情，此點亦值得我們重視。

(二)德國 Julich 研究中心人員對我們十分友好，也很願意提供各樣資訊給我們，尤其是他們已有拆除 FRJ-I 的經驗，他們面對的情況亦與我們面對的情況有類似之處，建議可以多與其交流，相互借鏡。

(三)經出國訪問考察，親睹國外公司加工製造技術精良，從很多細微的地方反應出其具有深遠的工業基礎及技術之傳承所以致之，平均水準遠遠超過國內一般之小公司。TRR-II 之實驗設備即使有良好的設計，也需要有良好的加工製造，應在未來製造時將國外公司納入考慮。

附 錄