

# 行政院屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：實習)

## 至日本京都大學原子爐研究所實習

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所

出國人職稱：薦任助理研究員

姓名：詹益光

出國地區：日本大阪府

出國期間：90年7月18日至90年8月31日

報告日期：90年10月31日

## 摘 要

為配合核能研究所 TRR-II 專案計畫『冷中子源設計與建立』之工作需要，至日本京都大學原子爐研究所(簡稱 KURRI)之中子科學研究部門實習一個半月。京都大學之研究用反應器(簡稱 KUR)裝設有日本最早建立之冷中子源設施，其冷中子源設施考慮了非常嚴密的安全防護措施，並且系統非常堅固可靠。經十餘年來的使用經驗，累積了相當豐富的設計、運轉及維護技術，非常值得參考。在實習期間，除了實地瞭解 KUR 冷中子源設施之系統架構與組件配置外，並與 KURRI 專家討論其冷中子源設施之基本概念、安全設計理念、儀控系統設計及運轉與維護等相關技術，期能應用於核能研究所執行 TRR-II 冷中子源設施之設計與建造工作。

# 目 錄

頁次

摘

要.....i

目 錄.....ii

一、目的.....1

二、過程.....2

三、心得.....3

四、建議.....25

五、附 錄(蒐集資料).....26

## 一、目的

日本京都大學原子爐研究所(簡稱 KURRI)之研究用反應器(簡稱 KUR)裝設有日本最早建立之冷中子源設施，其冷中子源設施考慮了非常嚴密的安全防護措施，經十餘年來的運轉，非常堅固可靠。河合武教授(Prof. Takeshi KAWAI)為 KUR 冷中子源設施之設計者，在冷中子源設施之研究、運轉與維護等相關技術方面，有 30 餘年的工作經驗，為國際上知名的學者專家。至日本京都大學原子爐研究所之中子科學研究部門實習的目的，除了請河合武教授指導冷中子源設施之設計工作外，亦實地瞭解 KUR 冷中子源設施之系統架構與組件配置。此外，並與 KURRI 之專家討論冷中子源設施之基本概念、安全設計理念、儀控系統設計及運轉與維護等相關技術，期能應用於核能研究所執行 TRR-II 冷中子源設施之設計與建造工作。

## 二、過程

時 間	工作內容	說 明
90年7月18日	去程	搭乘 9：30 之長榮班機前往日本
90年7月19日 至 90年8月30日	日本京都大學原子爐研究所(簡稱 KURRI)之中子科學研究部門實習	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 瞭解冷中子源設施之系統架構與組件配置</li> <li>2. 瞭解冷中子源設施主要組件之功能與規格</li> <li>3. 瞭解冷中子源設施之安全設計理念</li> <li>4. 瞭解冷中子源設施之儀控系統設計</li> <li>5. 瞭解冷中子源設施之警報系統</li> <li>6. 瞭解冷中子源設施之安全分析</li> <li>7. 瞭解冷中子源設施之運轉與維護技術</li> </ol>
90年8月31日	回程	搭乘 13：55 之長榮班機返國

### 三、心得

#### (一)冷中子源設施之設計

##### 1.原子爐與冷中子源

日本京都大學原子爐研究所之研究用反應器，為一水池式反應器，其額定運轉功率為 5 MW，反應器每週運轉一次(週二 12:00 啟動反應器，週五 16:00 停機)。反應器安裝有重水熱中子設備、石墨熱中子設備、壓氣輸送管、水壓輸送管、傾斜照射孔、精密控制照射管及長時間照射裝置等實驗設施與照射設備。可提供基礎科學研究、核燃料及材料性質研究、同位素生產及醫學生物等相關研究。

冷中子源設施安裝於反應器外之石墨熱中子柱中，使用液態氘(deuterium)為緩速劑，其傳輸管(transfer tube)為一弧型狀、向上傾斜  $14^{\circ}$  之結構，可避免從氣隙與設施之輻射屏蔽間直接引入輻射劑量。冷中子源設施每月運轉一次，於週一 10:00 啟動，週五 16:00 執行冷中子源設施之停機程序，其停機程序持續至週六。因此，在反應器啟動前一日啟動冷中子源設施，在反應器啟動前，冷中子源設施已進入備用狀態。

##### 2.冷中子源設施(Cold Neutron Source, CNS)

京都大學研究用反應器之冷中子源設施(KUR-CNS)係自行設計，委託日本酸素株式會社(NIPPON SANSO)製造。其主要設備包括維持低溫緩速劑腔體內固定液態氘含量的自然循環氘環路(natural circulation deuterium loop)，將氘環路的熱量移除的氦氣冷凍環路(helium refrigerator loop)，以及提供冷中子源設施正常運轉的輔助系統(auxiliary systems)。其中，輔助系統包括了儀控系統、真空系統、氣體供應系統(氘氣、氦氣、氮氣及氦氣-氘氣)、

氘氣注入儲槽、輔助氘氣注入儲槽、緊急氘氣排放系統、氘氣預備儲槽、不斷電電源供應器及緊急柴油發電機。

冷中子源設施的組件分別安裝在反應器廠房、氘氣壓縮機廠房、CNS 控制室、氣體分析室、幫浦移送室及戶外。圖 1 所示為反應器廠房內 CNS 的組件，表一則為 KUR-CNS 之運轉參數。

## 2.1 氘環路

氘環路是將氘氣冷凝成液態氘的自然循環環路，氘環路包括了緩速劑腔體(moderator cell)，雙層管結構的氘傳輸管(transfer tube)、冷凝器(condenser)及緩衝槽(buffer tank)等組件。在冷中子源設施運轉時，由緩速劑腔體、雙層管之氘傳輸管及冷凝器所構成的低溫氘環路，必須有一真空層，以隔絕外界的熱傳遞，以降低其熱負載。同時為了使系統具有雙重的安全設計理念，尚需使用氘氣-氘氣圍阻氣體，以杜絕氘氣與空氣的接觸。在正常操作時，氘環路的運轉壓力為  $1.95 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，而常溫時之氘氣環路的壓力約為  $3.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 。

### 2.1.1 緩速劑腔體

緩速劑腔體為一深皿型鏡板溶接式之單層結構體，其直徑為 225 mm，高度為 154 mm，而平均厚度為 2.0 mm，容積約 4.18 liters。正常運轉時，儲存在緩速劑腔體內的液態氘含量約為 602 g。緩速劑腔體使用的材質為 Al-5052 鋁合金，5000 系鋁合金之含鎂量約 2.5%，較 6000 系鋁合金之含鎂量高，因而比較容易銲接。緩速劑腔體的設計內壓力為  $6 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，設計外壓力為  $2 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，設計溫度為  $-258^{\circ}\text{C}$  至  $125^{\circ}\text{C}$ 。

球殼狀的真空耐壓容器包覆緩速劑腔體，在真空耐壓容器

與緩速劑腔體間，維持一真空層，用以隔絕熱傳遞，以降低氬環路的熱負載。真空耐壓容器之材質為 Al-5052 鋁合金，其外徑為 316 mm，厚度為 8.0 mm，設計內壓力為  $6 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，外壓力為  $0.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，使用溫度為  $-258^{\circ}\text{C}$  至  $100^{\circ}\text{C}$ 。而真空耐壓容器的外層為球殼狀的氣體圍阻容器，在真空耐壓容器與氣體圍阻容器間的環狀空間中，填充氬氣-氖氣(氬氣佔 2%)，做為圍阻氣體。氬氣-氖氣的填充壓力約  $0.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，以避免空氣滲入至氣體圍阻層。氣體圍阻容器之材質為 Al-5052 鋁合金，外徑為 359 mm，厚度 4.5 mm，設計內壓力為  $0.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，最高使用溫度為  $100^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.1.2 傳輸管

傳輸管用以連接緩速劑腔體與冷凝器，其中低溫之氬傳輸管是雙層同心套管結構(內層管與外層管)。當緩速劑腔體受到爐心的熱負載時，緩速劑腔體內的液態氬變成氣態氬，氬氣便沿著低溫氬傳輸管的內層管與外層管間的環狀空間流向冷凝器，進入冷凝器的氬氣被冷凝成液態氬，液態氬便沿著內層傳輸管流回緩速劑腔體；這種用以維持緩速劑腔體內穩定液態氬容量的環路，是利用熱虹吸原理(thermosiphon)所建構的自然循環環路。

假如在低溫的氬傳輸管中發生氣水阻塞(flooding)的現象，亦即緩速劑腔體內的液態氬持續氣化，而冷凝的液態氬無法流回緩速劑腔體，最後會使得緩速劑腔體內的液態氬全部氣化，造成緩速劑腔體發生過熱的情況。因此，如何控制緩速劑腔體內液態氬的液位為定值，是非常重要的課題。在其氬傳輸管之內層管上有細槽的開口設計，可以平衡內、外層管間之壓差，以避免發生氣水阻塞的現象。

低溫氙傳輸管之材質為 Al-5052 鋁合金，傳輸管為一弧狀並且向上傾斜  $14^{\circ}$  仰角，長度約為 3.5 m，其內層傳輸管的管徑為 20 mm，厚度 2 mm，長度 3500 mm；外層傳輸管的管徑為 48.6 mm，厚度 2.8 mm，長度 3500 mm；外層管的設計內壓力為  $6 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，外壓力為  $2 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，傳輸管的設計溫度為  $-258^{\circ}\text{C}$  至  $125^{\circ}\text{C}$ 。

真空耐壓管包覆低溫氙傳輸管，在真空耐壓管與低溫氙傳輸之外層管間的環狀空間中，維持一真空層，用以隔絕熱的傳遞，而降低氙環路的熱負載。真空耐壓管之材質為 Al-5052 鋁合金，管徑為 89.1 mm，厚度 4 mm，長度 3500 mm，設計內壓力為  $6 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，外壓力為  $0.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，使用溫度為  $-258^{\circ}\text{C}$  至  $100^{\circ}\text{C}$ 。而真空耐壓管的外層為氣體圍阻套管，在真空耐壓管與氣體圍阻套管間的環狀空間中，填充氦氣-氬氣(氬氣佔 2%)，做為圍阻氣體。氦氣-氬氣的填充壓力約  $0.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，可避免空氣滲入至氣體圍阻層。氣體圍阻套管之材質為 Al-5052 鋁合金，管徑為 139.8 mm，厚度 4.5 mm，長度 3500 mm，設計內壓力為  $0.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，最高使用溫度為  $100^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.1.3 冷凝器

冷凝器為一多管式熱交換器，其材質為 Al-5052 鋁合金。沿著傳輸管的內層管與外層管間的環狀空間，流向冷凝器之氣態氙，會被冷凝器二次側之工作流體(低溫的氦氣)冷凝成液態氙，冷凝的液態氙便順著內層傳輸管流回緩速劑腔體。雖然平板式的熱交換器具有體積小與效率高的優點，但多管式的熱交換器具有較堅固的結構，因此可以承受較高的壓力，亦即抗爆性較佳。因此 KUR-CNS 採用多管式的熱交換器。在冷凝器一次側之氬氣部份，其設計內壓力為  $6 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 、外壓力為  $2 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ；在氦氣側部份，其設計內壓力為  $10 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 、外壓力為  $6 \text{ kg/cm}^2$

G，而冷凝器的使用溫度為 $-258^{\circ}\text{C}$ 至 $100^{\circ}\text{C}$ ，其長度為 778 mm，外徑為 270 mm，厚度為 10 mm，而傳熱管部份，其長度為 500 mm，管徑為 12 mm，厚度為 2 mm。

真空耐壓容器為圓筒式構造，其材質為 Al-5052 鋁合金，其長度為 1300 mm，外徑為 630 mm，厚度 15 mm。設計內壓力為  $6\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ ，外壓力為  $0.5\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ ，而使用溫度為 $-258^{\circ}\text{C}$ 至 $65^{\circ}\text{C}$ 。至於氣體圍阻容器同樣是圓筒式構造，容器的長度為 1900 mm，外徑為 816 mm，厚度 8 mm。其設計內壓為  $0.5\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ ，最高使用溫度為 $65^{\circ}\text{C}$ 。真空耐壓容器與氦氣圍阻容器間注入壓力約  $0.2\text{ kg/cm}^2\text{ G}$  之氮氣-氬氣(氬氣佔 2%)，做為圍阻氣體。

#### 2.1.4 氬氣緩衝槽

氬氣緩衝槽為雙層容器之立式圓筒狀結構，內槽為容積約 2.74 立方公尺之常溫氬氣容器。在其內、外槽的空間中注入壓力約  $0.2\text{ kg/cm}^2\text{ G}$  之氮氣，做為圍阻氣體，以避免空氣滲入至內層的氬氣容器中。內、外槽的材質皆為 SUS 304。其中內槽的高度為 1816 mm，外徑為 1516 mm，厚度 8 mm。其設計壓力為  $6\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ ，而使用溫度為 $-100^{\circ}\text{C}$ 至 $75^{\circ}\text{C}$ 。外槽的高度約 2116 mm，外徑為 1716 mm，厚度 8 mm。設計壓力為  $0.5\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ 。氬氣緩衝槽安裝於反應器廠房外，靠近冷中子源控制室之牆邊，如圖 2 所示。

在連接氬氣緩衝槽與冷凝器的管線上安裝有一手動操作之閘閥，此閘閥裝設在氮氣腔體內，其操作手把則穿過 CNS 控制室牆面。因此，必須在 CNS 控制室內才可以操作此一閘閥。除了 CNS 在維修期間，有需要關閉此閘閥，以隔離絕低溫氬環路與氬氣緩衝槽外。在其它情況下，此閘閥永遠是開啟的，每次操作 CNS 都要確認此閘閥是開啟的。

在緩衝槽下方的氦氣容器內，安裝有 3 具壓力感測器，用以量測緩衝槽內層之氦氣壓力。壓力感測器的輸出信號送至 CNS 控制室，當 3 個壓力感測器中的任 2 個壓力感測器之壓力信號，達到氦環路之壓力上限或下限設定值時，會輸出一反應器降載信號至反應器控制室。另外有一具壓力感測器，用以量測緩衝槽之氦氣壓力，壓力感測器之輸出信號輸出至壓力控制器，並與溫度控制器組成一串級控制器，以控制安裝於冷凍箱內的電熱器之輸出功率，使 CNS 在運轉時穩定氦環路的壓力在  $1.95 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 。

直接與液態氦或氣態氦接觸的管件，如緩速劑腔體、雙層管之低溫氦傳輸管、冷凝器及氦器緩衝槽之內層容器，以及這些管件間的連接皆是採用焊接的方式加以連接，以防止洩漏的情形發生。

## 2.2 氦氣冷凍環路

氦氣冷凍環路包括一台油式螺旋氦氣壓縮機(oil screw helium compressor)、氦氣冷凍機(helium refrigerator)、氦氣儲槽(helium tank)、以及連接這些組件的管線與維持氦氣冷凍環路正常運轉的輔助裝置。而輔助裝置則有電源控制箱、冷卻水系統、冰水機、空壓機及真空幫浦等。其中氦氣壓縮機、電源控制箱、冰水機及空壓機安裝在氦氣廠房，氦氣冷凍機與真空幫浦則安裝在 CNS 控制室，而低溫之氦氣管線則經由反應器穿牆管以架空方式連接至冷凝器。

### 2.2.1 氦氣壓縮機

氦氣壓縮機為前川製作所株式會社(MYCOM)所製造之二段式壓縮機，其長度約 315 公分，寬約 218 公分，高約 180 公分。

氦氣壓縮機使用三相 60 Hz, 440 V 電源, 額定功率為 120 kW, 其移熱能力為 450 W。氦氣壓縮機的主要組件包括 4 個濾油器模組、2 台水冷式熱交換器、1 台油循環幫浦、油過濾器及濾除氦氣雜質的濾網、以及壓力、溫度、流量、液位等量測儀具。其中 4 個除油器模組經由管線串連組成, 氦氣經 4 級的濾油器模組除油後, 氦氣的油污染量低於 0.1 ppm, 可控制壓縮機的負荷以調節其輸出功率, 因此具有節省電力之功能。氦氣壓縮機之主要規格如表二所示, 其外觀如圖 3 所示。

在氦氣壓縮機旁有一冷中子源設施反應器廠房外的配電箱, 氦氣壓縮機的總電源開關安裝在此配電箱內。在氦氣壓縮機機體上之控制面板, 裝設有一些溫度計、壓力計及信號指示燈, 以顯示壓縮機的運轉參數及運轉狀況。此外, 在控制盤面上亦裝設有控制開關, 以控制冷卻水系統、油循環幫浦、氦氣壓縮機的運轉, 以及氦氣壓縮機的容量控制。除了可以在其控制盤面上操作按鈕開關, 直接控制壓縮機的啟動與停機外, 亦可經由安裝在 CNS 控制室內之冷凍機控制面板上的開關, 以遠端控制的方式控制氦氣壓縮機之運轉及其容量控制。

氦氣壓縮機啟動前, 需先將潤滑冷卻油加溫, 並檢查油面液位在適當位置, 然後啟動油循環幫浦, 使壓縮機在啟動前達到充分潤滑與熱機, 然後檢查冷卻水系統供水正常, 之後才可以啟動壓縮機。氦氣經過濾網過濾後從低壓端吸入, 經壓縮後由高壓端流出, 之後流經第一級的濾油器, 再流經水冷式熱交換器, 之後依序流經第二、三、四級的濾油器, 再輸出至冷凍機的入口端。

### 2.2.2 氦氣冷凍機

由 SULZER 公司所製造之直立式氦氣冷凍機, 長 185 公分、

高 192 公分、寬 61 公分，安裝在 CNS 控制室內。氦氣冷凍機的主要組件包括兩台動態軸承式氣體膨脹機(dynamic gas bearing expander)、熱交換器、控制閥門、控制箱、電熱器、真空系統及控制盤面等。當氦氣溫度為 20K 時，冷凍機之冷卻能力為 450 W。圖 4 為氦氣冷凍機之外觀。

氦氣冷凍機由一真空絕熱外殼包覆，藉由真空絕熱層以降低氦氣迴路的熱負載，氦氣冷凍機的熱損失約 50 W，而氦氣冷凍機出口端至冷凝器入口端之低溫氦氣管線，其熱損失約 40 W，而氦環路的熱負載約 190 W。因此，氦氣冷凍系統約有 170 W 的備用容量。冷凝器入口端的低溫氦氣約為 23 K，此低溫氦氣將氦環路所產生的 190 W 熱負載移除，而冷凝器出口端之氦氣溫度約為 23 K。

氦氣冷凍環路為了線上響應氦環路之熱負載變化，在氦氣冷凍機的低溫輸出管線上，安裝了最大輸出功率為 1000 W 的電熱器。當氦環路的熱負載變動時，藉由量測緩衝槽上的氦氣壓力變化，經壓力控制器輸出一控制信號至溫度控制器，以控制安裝於氦氣冷凍機內之電熱器的輸出功率，溫度控制器自動控制電熱器的輸出功率，以補償熱負載的變化，使氦環路的壓力穩定在設定值，因此，穩定緩速劑腔體內之液態氦含量為定值。

氦氣冷凍機裝設有液氮預冷器，使用時需填充液態氮，可加速氦氣冷凍至低溫的時間，目前因限於人力與節省經費，KUR-CNS 並沒有使用預冷器。因此，將氦氣冷凍至 23 K 的低溫約需 17 小時。在氦氣冷凍機的控制面板上，裝設有一些壓力指示計、真空計、溫度計、閥門的控制開關、氣體膨脹機的轉速控制器、信號指示燈及氦氣壓縮機的遠端控制操作開關等。在氦氣回路上使用 LakeShore 公司所生產之 DT-471 系列的矽二極

體溫度偵測器，以偵測低溫管線中的氦氣溫度。冷凍機的控制盤面上裝設有遠端控制開關以控制氦氣冷凍機的啟動與停機及其負荷控制，在正常的操作情況下，都在冷中子源控制室內操控氦氣壓縮機的運轉。

### 2.2.3 氦氣傳輸管線

連接氦氣壓縮機與冷凍機的氦氣管線，其材質為 SUS 304，管線上並不需要使用絕熱層。而連接氦氣冷凍機與冷凝器的低溫氦氣管線，其材質為 SUS 304，則需要使用真空絕熱層，以降低熱損失，因此其包覆在一較大的管件中，以形成真空層。低溫的氦氣管線其熱損失每公尺約 1 W，在冷中源設施操作時，真空層之真空度約  $1.33 \times 10^{-5}$  毫巴(mbar)。

### 2.2.4 氦氣儲槽

安裝在戶外的氦氣儲槽為立式圓桶型，其材質為 SS 41，容積為  $5 \text{ m}^3$ ，如圖 5 所示。氦氣儲槽除了供應氦氣冷凍環路所需的氦氣外，並且補充氦氣至定容積氦氣儲槽與輔助氦氣儲槽。而當氦氣儲槽的壓力低於下限值時，並須補充氦氣，並且執行氦氣的純度分析。氦氣儲槽的壓力維持在  $3.6 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，在氦氣儲槽上裝設有壓力計及設定壓力為  $9.9 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$  之安全釋壓閥。

### 2.2.5 輔助裝置

氦氣冷凍環路的輔助裝置則有電源控制箱、冷卻水系統、冰水機、真空幫浦及空壓機等，以維持氦氣冷凍環路正常運轉。其中冷卻水系統為一般商用之冷卻水塔，供給氦氣壓縮機之冷卻水。冷卻水塔安裝於戶外，其值徑為 1620 mm，高度 2170 mm，乾重量 172 kg，運轉重量 342 kg。其設計條件為：水量 22 T/h，入口水溫  $32^{\circ}\text{C}$ ，出口水溫  $37^{\circ}\text{C}$ ，溼球溫度  $27^{\circ}\text{C}$ 。而送風電動機

為三相 440 V、60Hz、額定功率為 0.75 kW。

冰水機安裝在氬氣壓縮機廠房，供給冷凍機中兩台軸承式氣體膨脹機之冷卻水，以及冷凍機真空層排氣用之擴散幫浦的冷卻水。其冷卻能力(液溫 20<sup>0</sup>C)為 3800/4000 kcal/h，使用液體溫度範圍為 10~15<sup>0</sup>C，使用環境溫度範圍為 30~35<sup>0</sup>C，消耗電力為 2600/3200 W，壓縮機消耗電力為 1500 W，而冰水機的控制則在其控制面板上操作，圖 6 所示為冰水機之外觀。

冷凍機內部的低溫組件由一個大的真空容器包覆，藉由真空層絕熱以降低其熱損失，擴散幫浦(diffusion pump)與機械迴轉式幫浦(rotary pump)所組成的真空系統用以維持真空層之真空度，其真空度約 10<sup>-5</sup> 毫巴(mbar)，在 CNS 運轉期間，真空幫浦持續運轉。而另外一組擴散幫浦與機械迴轉式幫浦，則用以維持由冷凍機連接至冷凝器之低溫氬氣管線真空層之真空度，其真空度約 1.33×10<sup>-5</sup> 毫巴(mbar)，在 CNS 運轉期間，此組真空幫浦並不需要持續運轉，只有當真空層之真空度低於設定值時才需要啟動。而空氣壓縮機則用以控制氬氣壓縮機、冷凍機及氬氣冷凍環路管線上的閥門，以及控制氣體膨脹機的轉速。

### 3.輔助系統

輔助系統係維持冷中子源設施正常運轉之設備，輔助系統包括了儀控系統、真空系統、氣體供應系統、定容積氬氣儲槽、輔助氬氣儲槽、緊急氬氣排放系統、氬氣預備儲槽、不斷電電源供應器及緊急柴油發電機等。

#### 3.1 儀控系統

圖 7 所示為 KUR-CNS 的程序流程圖，由圖中可以瞭解其冷中子源設施的安全設計理念。儀控系統的安全設計理念包括多

層圍阻氬氣外漏、失效安全設計及多重安全考慮等，如下所述：

- 多層圍阻氬氣與空氣接觸，任何單一失效不會造成氬氣接觸空氣
  - (1)低溫冷凍氬環路之內層圍阻為真空層，外層圍阻氣體為氮氣-氬氣
  - (2)氬氣緩衝槽之圍阻氣體為氮氣，並長期偵測氮氣壓力
  - (3)真空層壓力及氮氣壓力均有儀器長期偵測
- 多重安全考慮  
有關安全相關之設備及儀器均多重設計，以增進冷中子源運轉及安全之可靠性

圖 8 所示為 KUR-CNS 的安全控制系統，其安全控制信號包括：

- 不斷電電源供應器故障
- 真空絕熱層真空度異常：低真空度異常及高真空度異常
- 氬氣儲槽壓力異常：下限設定值及上限設定值
- 真空絕熱層注入氮氣壓力異常：下限設定值及上限設定值
- 冷凝器入口溫度低於設定值：低於氬氣之三重點(18.6 K)
- 氮氣冷凍機異常：氣體膨脹機之轉速過高或制動器溫度過高
- 氮氣壓縮機故障：出口端壓力過高、冷卻水流量太低或冷卻潤滑油溫度過高

為了緩和事故的處理，有些信號達到設定值時，並不會直接輸出一反應器降載信號至反應器控制室。而是將信號先輸出至限時電驛(timer relay)延遲一段時間，以緩和事故的處理。在限時電驛達到設定的動作時間前，若能採取必要的措施使系統回復至設定的運轉參數，則會重置反應器的降載信號，使得反應器不須降載。表三所示為控制及警報之設定值，而表四所示則為限時電驛設定之動作時間。

部份有關安全之設備及量測儀具均採用多重防護設計，以增進冷中子源設施運轉及安全之可靠性。在有關安全方面的信號量測方面，則使用了 3 個相同的量測儀器以量測同一量測點之信號，只要其中 2 個量測儀器的輸出信號達到設定值，會產生一觸發信號驅動限時電驛動作，以採取必要的應變措施。

圖 9 所示為冷中子源設施之控制室，在 CNS 控制室內安裝 CNS 儀控系統主機、氬氣冷凍機、兩組擴散幫浦與機械迴轉式幫浦、不斷電電源供應器及氬氣洩漏偵測主機等組件。圖 10 所示為 CNS 控制台，其控制系統由量測儀具、信號轉換與調節模組、電驛、限時電驛、記錄器 (recorder) 及比例 - 積分 - 微分 (proportional-integral-derivative, PID) 控制器、閥門的控制開關所組成，其控制台盤面顯示冷中子源設施所有的運轉參數、顯示環路上重要閥件的狀態。因此，操作者可以掌控系統的狀態。除了 CNS 控制室內的控制主機外，在反應器廠房內冷中子源設施附近，亦安裝有 CNS 有關安全信號方面之控制及顯示器，對冷中子源的運轉而言，這些參數非常重要，其控制盤面如圖 11 所示，假如 CNS 的運轉員需要在反應器廠房處理其運轉與維護，可由此一當地的顯示盤面掌控系統的重要參數。除此之外，在反應器控制室外之通道邊亦安裝有冷中子源設施之動作指示盤，如圖 12 所示。在反應器控制室內，反應器運轉員可以透過觸控式螢幕，清楚看出如圖 13 所示之環路動作指示圖，以及圖 14 所示之環路示意圖。

### 3.1.1 量測儀器

冷中子源設施的量測儀器包括了溫度、壓力、真空度、氬氣檢漏器及氣體分析儀等量測儀器。在量測緩速劑腔體的溫度量測方面，則是使用熱電偶以量測緩速劑腔體的表面溫度，以

避免緩速劑腔體過熱，影響鋁合金之強度，使得緩速劑腔體損壞。使用熱電偶溫度感測器的原因，在於其堅固耐用，並且不須外加工作電源。在壓力量測方面則是使用一般之壓力感測器以量測氬氣緩衝槽的壓力，亦即氬環路的壓力。在低溫氬環路真空層之真空度的量測，則是使用了低真空度壓力計(量測範圍 1.33~1011 毫巴(mbar))及高真空度壓力計( $10^{-2}$ ~ $10^{-9}$  毫巴(mbar))。要使用低、高真空度壓力計的原因，在於當冷中子源設施正常操作的情況下，其真空層之真空度約  $1.33 \times 10^{-7}$  毫巴(mbar)。而在反應器運轉，冷中子源設施停機時，為避免緩速劑腔體的溫度超過設定值，必須在真空層中注入氬氣，將緩速劑腔體所產生的熱量藉由氬氣傳熱，此時真空層的注入壓力約 93~200 毫巴(mbar)。氣體分析儀則用以分析氬氣的純度及檢測是否有氬氣洩漏至真空層。

氬氣偵測系統包括控制主機及 6 具由理研計器株式會社所生產之 GD-A8 型可燃性氣體偵測器，偵測器分別安裝在反應器大廳內的最高點、冷凝器上方、緩衝槽上方、氬氣預備儲槽上方、氬氣移送幫浦室之屋頂內及 KUR 的煙囪內等 6 個地方。

系統上使用氣體層析儀(gas chromatograph)及質譜儀(mass spectrometer)，以非連續性檢測方式檢測氬氣、氬氣及低溫氬氣環路真空層的殘留氣體分析。有關氬氣的純度分析方面，使用氣體層析儀用以分析氬氣的純度，政府要求每年檢測一次，其檢驗的標準為小於 25 ppm；而氬氣的純度分析方面，同樣是使用氣體層析儀用以分析氬氣的純度，其檢測的時機為每次補充氬氣至氬氣儲槽時，至於其檢驗的標準則為小於 10 ppm；真空層的殘留氣體分析，則是使用質譜儀分析，每次冷中子源設施運轉時皆要執行真空層的殘留氣體分析，其檢驗的步驟與合格標準在 CNS 操作手冊上有詳細說明。

### 3.1.2 壓力控制器與溫度控制器

在氬環路的壓力控制方面，則是使用壓力控制器與溫度控制器所組成的串級控制系統，以控制冷凍機內電熱器的輸出功率，進而穩定系統的操作壓力在設定值(1.95 kg/cm<sup>2</sup> G)。其中壓力控制器為一 PID 型式之控制器，壓力感測器量測氬氣緩衝槽上的系統壓力信號，與壓力控制器上的壓力設定值(1.95 kg/cm<sup>2</sup> G)比較後，產生一誤差信號，此誤差信號經 PID 控制器控制後產生一動作信號，再輸入至溫度控制器。而溫度控制器則是量測氬氣冷凍機流至冷凝器之低溫氬氣溫度，根據氬氣溫度感測器之輸出信號與 PID 壓力控制器之輸出信號，動態調整安裝於冷凍機出口端之低溫氬氣環路上之電熱器的輸出功率，使氬環路的壓力穩定在 1.95 kg/cm<sup>2</sup> G。並且此溫度控制器不會使得流進冷凝器的低溫氬氣溫度低於 18.6 K。

### 3.2 真空系統

冷中子源設施將系統區分成若干個真空系統，諸如低溫氬環路之真空層、冷凍機、低溫氬氣傳輸管線及氮氣包封容器與量測儀器換氣用之真空系統等部份，各有專用的真空幫浦。真空系統除了用於維持低溫之氬環路與低溫之氬氣冷凍環路與冷凍機真空層之真空度以絕熱外，亦提供了諸如氬氣系統、圍阻氣體及氮氣包封容器與量測儀器等系統清洗換氣時使用。

維持低溫氬氣環路真空絕熱層真空度之真空幫浦，係由主排氣裝置與輔助排氣裝置所組成，其中主排氣裝置包括了機械迴轉式幫浦 (rotary pump) 與磁浮式之渦輪分子幫浦 (turbo molecular pump)，而輔助排氣裝置則是離子式幫浦 (Ion pump)。

低溫氬氣環路剛開始排氣時由主排氣裝置動作，其可將真

空層之壓力抽至低於  $1 \times 10^{-5}$  毫巴(mbar)，之後使用質譜儀(mass spectrometer)分析真空層內的殘留氣體，藉由分析真空層的殘留氣體，來判斷氙氣環路或真空護套是否有發生洩漏的情況。若沒有發生洩漏的情況，則當氙氣溫度低於 100 K 時，關閉主排氣裝置前端的隔離閥，並且啟動輔助排氣裝置及開啟其前端的電磁閥，使得低溫氙氣環路的真空層由離子式幫浦排氣。此時主排氣裝置並不停機，而是全程運轉，因此主排氣裝置可作為輔助排氣裝置的備用裝置。若輔助排氣裝置發生故障時，可以由主排氣裝置繼續維持真空層之真空度。而離子式真空幫浦為一密閉系統的排氣裝置，因此不需要設計離子式幫浦包封容器之排氣。

而低溫氙氣管路真空層之真空度需求為  $1.33 \times 10^{-5}$  毫巴(mbar)，使用擴散幫浦與機械式迴轉幫浦排氣，在冷中子源運轉前檢查其真空度是否符合需求，若不符合需求則啟動擴散幫浦排氣，只要真空度達到設定值即停止其操作，在冷中子源運轉期間並不持續排氣。而冷凍機機體本身的真空絕熱層，則是使用另外一組擴散幫浦與機械式迴轉幫浦排氣，由於冷凍機之熱損失較大，以及擴散幫浦的容量並不大，因此在冷凍機運轉期間，此組抽氣系統持續排氣。

除了上述的排氣系統外，其針對各個獨立的圍阻氣體容器設計了多組獨立的排氣系統，以避免系統間氣體的污染。例如安裝量測儀器的不鏽鋼容器，其填充的氣體為氮氣，在加入氮氣的過程中，必須重複執行排氣、填入氮氣的清洗步驟，以降低容器內的空氣含量，在排氣的過程中須使用真空幫浦。

### 3.3 氣體供應系統

氣體供應系統供應了包括氙氣、氫氣、氮氣、氫氣-氙氣及

標準氣體等多種氣體，這些氣體由工業用的鋼瓶所儲存，圖 15 所示為氣體供應系統的操作台。第一次使用冷中子源設施時，係使用氘氣鋼瓶將氘氣供應至氘環路內，其冷中子源設施經十餘年來的使用，不曾將氘氣自環路中移出。

氮氣則是供應至氘氣緩衝槽之圍阻氣體層、量測儀器之包封容器、低溫氘氣環路之真空幫浦包封容器及電磁閥之包封容器。使用氮氣圍阻氣體之容器內，氮氣的注入壓力約  $0.3 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 。氦氣-氘氣(氘氣約佔 2%)則供應至低溫氘氣環路之圍阻氣體層，其注入壓力約  $0.3 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，使用 2%氘氣的目的是在於萬一發生氦氣-氘氣圍阻氣體洩漏至真空層時，可以使用質譜儀檢測是冷凍系統的低溫氦氣或是低溫氘環路的圍阻氣體洩漏至真空層。而氦氣鋼瓶供應氦氣至氦氣儲槽，至於標準氣體則是提供校驗環路內氘氣純度所需之工作氣體。

### 3.4 定容積氦氣儲槽

當反應器運轉而冷中子源設施停機時(氦氣冷凍機停機)，為了避免緩速劑腔體過熱造成其結構的破壞，必須在真空層中注入氦氣，以便將其熱負載帶走，使緩速劑腔體的溫度低於  $125^{\circ}\text{C}$ 。定容積氦氣儲槽的功能係注入氦氣至低溫氘環路之真空層，每次冷中子源設施於執行停機程序，當低溫的液態氘全部氣化成氣態時，裝設於 CNS 控制室內之 CNS 控制盤面上的氣化指示燈亮起，此時須在真空層中注入氦氣，其注入壓力約 93~200 毫巴(mbar)。若在液態氘未全部氣化成氣態時，而注入氦氣，會造成氘氣環路的壓力變化過大，為了避免此一情況的發生，要等全部的液態氘完成氣化後，再注入氦氣。此外，當不斷電系統失效時，為了確保冷中子源設施在更安全的狀態，須根據其安全設計理念，在真空層中注入氦氣。定容積氦氣儲槽的壓力

設定在 950~1150 毫巴(mbar)，當壓力低於下限設定值時，須由氦氣儲槽補充氦氣。定容積氦氣儲槽如圖 16 所示。

### 3.5 輔助氦氣儲槽

輔助氦氣儲槽為定容積氦氣儲槽的備用裝置，當氦氣儲槽注入氦氣至真空層失效時，必須使用輔助氦氣儲槽將氦氣注入至低溫氬環路之真空層。輔助氦氣儲槽的設定壓力大於  $0.35 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，當壓力低於下限設定值時，須由氦氣儲槽補充氦氣。輔助氦氣儲槽如圖 17 所示。

### 3.6 緊急氦氣排放系統

冷中子源設施上共裝設有 3 只安全破裂板，分別安裝於冷凝器之真空容器、氬氣緩衝槽及氬氣預備儲槽上，其破裂壓力為  $7 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ，而安全破裂板的後端管線則連接至反應器的煙囪。裝設安全破裂板的位置，裝設有偵測安全破裂板破裂之感測器。

緊急氦氣排放系統有 2 組，各由 30 個氦氣鋼瓶所組成，其中 1 組為備用，如圖 18 所示。若系統壓力超過安全破裂板所能承受之壓力，而造成安全破裂板破裂時，感測器會偵測到安全破裂板破裂，並輸出一控制信號用以自動開啟緊急氦氣排放系統，用以稀釋氬氣的濃度。此外，安全破裂板的後端管線則維持低流量的氦氣(約 5~10 liter/hr)排放，以避免空氣進入此一管線。使用氦氣的原因在於氦氣比氮氣輕並且很容易地與氬氣混合。

### 3.7 氬氣預備儲槽

氬氣預備儲槽為雙層壁容器之立式圓筒狀結構，內槽為可容納容量約 2.74 立方公尺之常溫氬氣容器，外槽為氮氣容器，

平時內槽注入氘氣，而在內、外槽的空間中注入氘氣圍阻氣體。內、外槽的材質皆為 SUS 304 不鏽鋼，而使用溫度為 75<sup>0</sup>C。氘氣預備儲槽位於反應器廠房外，如圖 19 所示。

氘氣預備儲槽與氘氣緩衝槽間的連接管線為雙層管結構，其材質為 SUS 304 不鏽鋼。內層管的管徑為 35 mm，厚度為 1 mm，設計壓力為 6 kg/cm<sup>2</sup> G。外層管的管徑為 62 mm，厚度為 2 mm，設計壓力為 0.5 kg/cm<sup>2</sup> G。內、外層管的空間填充氘氣圍阻氣體，在其管線上配置有一組氘氣移送幫浦。氘氣預備儲槽的主要功能為當低溫的氘氣環路與氘氣緩衝槽需要維修時，可使用氘氣移送幫浦將其氘氣儲存至氘氣預備儲槽，KUR-CNS 自運轉以來，未曾使用氘氣移送幫浦將氘氣儲存至氘氣預備儲槽。

### 3.8 不斷電電源供應器及緊急柴油發電機

冷中子源設施有 2 具不斷電電源供應器，當發生停電意外事故時，此系統及時供應安全系統所需之電力(大約可供電約 10 分鐘)。而其冷中子源設施亦備有緊急柴油發電機，可在 30 秒內啟動以供應真空系統、電磁閥及安全系統所需的電力。

#### (二)冷中子源設施之運轉與維護

京都大學的研究用反應器於每年二月與八月間進行年度維修保養工作，在反應器的維修保養期間，冷中子源設施亦進行相關的維護與保養等相關工作。目前其冷中子源設施只有氘氣壓縮機、氘氣偵測器、氣體層析儀及冷卻系統等相關部份委請廠商進行年度的維修保養工作。除了廠商的維護保養工作外，KUR-CNS 亦於 8 月 20 至 24 日進行更換偵測低溫氘環路真空層之低真空度壓力計、將冷凍機真空系統中的擴散幫浦更換為渦輪分子幫浦、檢測溫度控制器及試運轉等相關工作。

在冷中子源設施的維護與運轉方面，其設計有冷中子源設施操作前的檢查表、操作手冊、停機後的檢查表及冷中子源設施非操作時的檢查表。操作員須依循操作手冊所撰寫的步驟操作冷中子源設施，並且根據上述檢查表之內容詳實記錄量測儀器之指示值，並判斷量測數據是否正確以確定系統是否正常。

### 1.冷中子源設施非操作時的檢查表

為了確保冷中子源設施是在正常的狀態，在冷中子源設施非操作時，每週的週初與週末須詳細記錄量測儀具的輸出值，若量測數據不在正常範圍內，須進行必要的處理。表五所示為冷中子源設施非操作時的檢查表，檢查者須將冷中子源設施之重要量測數據及氬氣偵測器的狀況詳實記錄在空白欄內。檢查表的設計非常詳細，檢查的範圍包括了反應器大廳、CNS 控制室、氬氣壓縮機廠房、氣體分析室，以及反應器大廳外，在氣體控制台、緊急氬氣排放系統、氬氣儲槽上的量測儀具之輸出值等，以確保系統是在正常狀態下。

筆者於實習期間曾多次在操作員的指導下，執行冷中子源設施非操作時的檢查表上所規定之相關工作，在記錄好相關量測儀具的輸出值時，也就檢查了所有冷中子源設施的組件，以及檢查了安裝冷中子源設施組件的各館舍是否有異常狀況。

### 2.冷中子源設施操作前檢查表

冷中子源設施於啟動前必須檢查 CNS 冷中子源控制室、氬氣壓縮機、冷凍機及反應器廠房內重要量測儀具之輸出信號，以及閘門的狀態，確認後才可以啟動冷中子源設施。表六所示為冷中子源設施操作前的檢查表。

### 3.冷中子源設施操作手冊

在 KUR-CNS 的運轉操作方面，只要依循操作手冊上的步驟，即可操作冷中子源設施。其操作手冊說明冷中子源設施的啟動程序、停機程序，包括氬氣環路、氦氣冷凍環路及所有輔助系統的操作，內容詳實非常值得參考。

#### 4.冷中子源設施停機後檢查表

冷中子源設施根據操作手冊上所記載之停機程序步驟依序執行，最後必須根據表七所示之冷中子源設施停機後檢查表，再次確認重要量測儀具的輸出信號，以確保冷中子源設施已完成停機程序。

#### 5.冷中子源設施之維護

KUR-CNS 原預定在反應器維修運轉期間，進行更換由 Leybold-Heraeus 公司所製造之低真空度壓力計及其顯示器。此低真空度壓力計用以量測低溫氬環路真空層之真空度。據 KUR-CNS 之運轉人員表示，在去年運轉時其低真空度壓力計之輸出信號曾出現不正常的信號，並且此量測儀具已使用十餘年。其低真空度壓力計，安裝於反應器廠房內之不鏽鋼容器內，此不鏽鋼容器內注入約  $0.2 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$  之氮氣。圖 20 所示為在不鏽鋼容器內所裝設之量測低溫氬氣環路真空層之 3 具低真空度壓力計及 3 具高真空度壓力計，圖 21 所示則為安裝在真空壓力計前端之電磁閥及氣動控制閥。

因目前 Leybold-Heraeus 公司所生產之低真空度壓力計，其接頭型式稍有改變，因而與不鏽鋼容器接合之法蘭板尺寸不能匹配。故有關更換量測儀具之工作，將延至明年二月份反應器維修期間再做更換。因此，只好將裝設量測儀具之不鏽鋼容器閉合，但此容器必須經過下列清洗程序，冷中子源設施才可以再

次使用：

- 使用真空幫浦將不鏽鋼容器抽真空，其真空度需低於 1.3 Pa
- 注入氮氣圍阻氣體至不鏽鋼容器內，其注入壓力約  $5 \times 10^{-4}$  至  $7 \times 10^{-4}$  Pa

重複上述步驟 3 次，經過 3 次的清洗程序後，可降低空氣污染不鏽鋼容器。在冷中子源設施中諸如氘氣環路、氦氣環路、氮氣圍阻體、氦氣-氘氣圍阻體等系統，在第一次注入氣體至容器內或裝設這些氣體的容器或管線經過維修後，必須執行至少 3 次的清洗程序。

除了更換低真空度壓力計外，亦執行將冷凍機真空系統中的擴散幫浦更換為渦輪分子幫浦，以增加真空系統的操作效率，以及檢測冷凍機內電熱器之溫度控制器等相關工作。

## 6.冷中子源設施之試運轉經驗

冷中子源設施較反應器提早一日啟動，以便在反應器啟動前冷中子源設施已進入備用狀態。主要的原因在於氦氣冷凍系統要將氦氣冷凍至低溫，相當費時間，約需 17 小時(不使用液氮預冷器)。因 KUR 於八月份進行年度的維修工作，於九月份再次運轉，因此，冷中子源設施亦進行冷中子源設施的維護與試運轉相關工作，以確認當反應器再次運轉時，冷中子源可以正常運轉。雖然沒有機會目睹在反應器運轉下，冷中子源設施的運轉。但冷中子源試運轉的步驟與反應器啟動時的步驟完全相同，是一次難得的機會。

### 6.1 冷中子源設施的啟動程序

- 依照冷中子源設施操作前檢查表，確認冷中子源可以啟動
- 與中央管理室聯絡"啟動 CNS"

- 依序啟動空壓機、冰水機及冷卻水塔等氦氣冷凍系統之輔助設施
- 將氦氣冷凍機之真空層抽真空，冷中子源設施運轉期間，真空系統之機械迴轉式幫浦與擴散幫浦持續運轉
- 檢查冷中子源設施上所有閥門的狀態，是否與操作手冊所記載之狀態一致
- 啟動主排氣裝置，將低溫氦氣環路之真空層排氣，冷中子源設施運轉期間，主排氣裝置持續運轉
- 執行真空層內的殘留氣體分析(當低溫氦環路真空層之真空度  $\leq 1 \times 10^{-5}$  毫巴(mbar)時，使用質譜儀以分析真空層內的殘留氣體)
- 啟動氦氣壓縮機
- 啟動冷凍機
- 啟動輔助排氣裝置(當冷凍環路之氦氣溫度  $< 100$  K時，啟動離子式幫浦)
- CNS 冷凍操作(當冷凍環路之氦氣溫度  $\cong 30$  K，turbine 全速運轉)
- CNS 系統壓力穩定在  $1.95 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$  (當系統壓力降至約  $1.95 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$  時，將壓力與溫度控制器由手動操作切換至自動控制)
- 完成冷中子源設施啟動程序

## 6.2 冷中子源設施的停機程序

- 關閉冷凍機
- 關閉氦氣壓縮機
- 關閉輔助排氣裝置
- 在真空層中注入氦氣(因下週反應器運轉，而冷中子源設施不運轉，因而必須在真空層中注入氦氣，將氦環路之熱負載帶走)
- 關閉主排氣裝置之渦輪分子幫浦
- 關閉冷凍機真空系統之擴散幫浦
- 關閉主排氣裝置之機械迴轉式幫浦
- 關閉氦氣冷凍系統之冷卻水塔

- 關閉氦氣冷凍系統之空壓機
- 關閉冷凍機真空系統之機械迴轉式幫浦
- 關閉氦氣冷凍系統之冰水機
- 停機後檢查表(依照冷中子源設施停機後檢查表,確認冷中子源完成停機程序)

#### 四、建議事項

- (一)至日本京都大學原子爐研究所之中子科學研究部門實習一個半月，對其冷中子源設施之系統配置、安全設計理念、系統維護與運轉，獲得具體概念，並實地與其設計與運轉人員討論，獲益良多。其安全設計理念可供我們設計 TRR-II 冷中子源設施時參考。
- (二)TRR-II 冷中子源設施之真空系統可考慮區分成若干個獨立系統，諸如區分成低溫氫環路之真空系統、低溫氫氣管線之真空系統、氣體圍阻層之真空系統、量測儀器包封容器之真空系統及冷凍機之真空系統等部份。使用獨立的真空幫浦，可以避免空氣污染氫環路及各種不同氣體間的污染。
- (三)TRR-II 冷中子源設施中，直接與氫接觸的管件，如緩速劑腔體、低溫傳輸管、冷凝器、緩衝槽，以及這些管件間的連接，建議採用焊接的方式組合。以焊接的方式連接，可使氫環路有較佳的抗漏性及結構的完整性。

## 五、附錄

### 蒐集資料(存核工組熱流實驗分組)

- 1.KUR-CNS 程序儀控圖
- 2.KUR-CNS 操作手冊
- 3.KUR-CNS 安全分析報告
- 4.JRR-3 原子爐設施與照射設備契約書
- 5.JRR-3 原子爐設施與冷中子源設施契約書
- 6.JRR-3 冷中子源設施爐外測試報告

表一 KUR-CNS 之運轉參數

Parameter	Value
1. Deuterium loop	
Nominal reactor power	5 MW
Neutron flux in CNS	$1.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Size of moderator cell	225 mm $\times$ 154 mm (elliptical shape)
Material of moderator cell	Aluminum alloys (Al-5052)
Moderator cell: mean wall thickness	2.0 mm
Volume of moderator cell	4.18 liters
Mass of D <sub>2</sub> in moderator cell	602 g
Total deuterium mass	6.3 kg
Temperature of moderator cell	27 K
Pressure in moderator cell	1.95 kg/cm <sup>2</sup> G
Pressure in warm D <sub>2</sub> system	3.8 kg/cm <sup>2</sup> G
Volume of buffer tank	~2.74 m <sup>3</sup>
Heat load	190 W
2. Helium refrigeration loop	
Refrigeration capacity	450 W at 20 K
Supply helium(99.995%)	
• Pressure	10 kg/cm <sup>2</sup> G
• Temperature	23 K
Return helium	
• Pressure	0.3~0.4 kg/cm <sup>2</sup> G
• Temperature	26 K

表二 氦氣壓縮機之主要規格

型式	MYCOM 1612C 二段式壓縮機
處理流體	氦氣
吐出風量	625(N m <sup>3</sup> /h)
使用條件	吐出壓 14.46 (kg/cm <sup>2</sup> abs) 吸入壓 1.27 (kg/cm <sup>2</sup> abs) 吸入溫度 29 ( )以下 吐出溫度 38 ( ) 吸入溼度 0 (RH%) 設計點大氣壓 760 (mm Hg)
容許洩漏量	6.65×10 <sup>-3</sup> (mbar(毫巴)×ℓ/sec)
油循環幫浦	120 kW , 440 V , 60Hz , 2P
補機用電動機	2.2 kW , 220 V , 60Hz , 4P , 三相
控制電源	100 V , 60Hz , 單相
壓縮機連續運轉時間	8000 hr
油污染量	0.1 ppm (vol)以下
潤滑油	MYCOM 指定油
噪音	86 dB(A)以下(製造商出廠前測試)
冷卻水	工廠用循環水 入口壓力 3.0 (kg/cm <sup>2</sup> G) 入口溫度 32 ( ) 出口溫度 37 ( )
設置場所	屋內
操作場所	機側 , 遠端操作
操作盤	機側之控制盤
總重量	運轉重量 約 4.8 噸 乾燥重量 約 4.3 噸

表三 控制及警報之設定值

控制、警報項目		設定值			
真空絕熱層 真空度低下	預知警報(1/3)	上限	$0.665 \times 10^{-4}$ mbar	$6.7 \times 10^{-5}$ mbar	
	高真空異常(2/3)	上限	$1.33 \times 10^{-4}$ mbar	$1.3 \times 10^{-4}$ mbar	
	低真空異常(2/3)	上限	13.3 mbar		
氬氣緩衝槽 內壓異常	內壓低下預知(1/3)	下限	1 kg/cm <sup>2</sup> G	2.00 V	
	內壓低下(2/3)	下限	0.5 kg/cm <sup>2</sup> G	1.75 V	
	內壓上昇(2/3)	上限	4.7 kg/cm <sup>2</sup> G	3.85 V	
真空絕熱層 注入氬氣壓力異常，『停止』時	氬氣壓力上昇 氬氣壓力低下	上限	0.0 kg/cm <sup>2</sup> G	1.40 V	
		下限	32 mbar	3.27 V	
冷凝器入口 溫度低下	冷凍氬氣溫度低下	下限	18.6 K	1.26 V	
氬氣冷凍機 嚴重故障	氣體膨脹機 No.1 回轉數異常 同預知警報	上限	4900 rps		
		上限	4700 rps		
	氣體膨脹機 No.2 回轉數異常 同預知警報	上限	4900 rps		
		上限	4700 rps		
	氣體膨脹機 No.1 制動器異常	上限	100		
		氣體膨脹機 No.2 制動器異常	上限	100	
	氬氣壓縮機 嚴重故障		吐出壓力上昇	上限	15.5 kg/cm <sup>2</sup>
		冷卻水量低下	下限	105 ℓ/min	
油溫度上昇		上限	55		
冷凝器圍阻 氣體 He-Ne 壓力異常	充填壓異常 (常用 0.2 kg/cm <sup>2</sup> G)	上限 下限	0.4 kg/cm <sup>2</sup> G 0.1 kg/cm <sup>2</sup> G		

表三 控制及警報之設定值(續)

控制、警報項目		設定值		
反應器廠房內圍 阻氣體 N <sub>2</sub>	充填壓力異常 (常用 0.2 kg/cm <sup>2</sup> G)	上限	0.4 kg/cm <sup>2</sup> G	
		下限	0.1 kg/cm <sup>2</sup> G	
反應器廠房外圍 阻氣體 N <sub>2</sub>	充填壓力異常 (常用 0.2 kg/cm <sup>2</sup> G)	上限	0.4 kg/cm <sup>2</sup> G	
		下限	0.1 kg/cm <sup>2</sup> G	
反應器廠房內閥 驅動 N <sub>2</sub> 壓力	(常用 6 kg/cm <sup>2</sup> G)	下限	5 kg/cm <sup>2</sup> G	
反應器廠房外閥 驅動 N <sub>2</sub> 壓力	(常用 6 kg/cm <sup>2</sup> G)	下限	5 kg/cm <sup>2</sup> G	
閥控制空氣壓力	(常用 7 kg/cm <sup>2</sup> G)	下限	5 kg/cm <sup>2</sup> G	
注入氦氣貯槽壓力	低下	下限	0.1 kg/cm <sup>2</sup> G	
定容積氦氣貯槽 壓力	充填壓力異常 (常用 0.1 kg/cm <sup>2</sup> G)	上限	1397 mbar	3.1
		下限	1264 mbar	2.9
定容積氦氣注入	注入壓力異常	上限	333 mbar	1.50 V
		下限	33 mbar	1.05 V
緩速劑腔體內氬 氣氣化	全量氣化 (充填壓×0.9)	上限	2.61 kg/cm <sup>2</sup> G	2.81 V
氦氣冷凍機低溫 作動中	He 冷凝器入口溫度	上限	30K	5.00 V
緩速劑腔體溫度	異常警報 注入停止	上限	160	4.36 V
		下限	-183	1.62 V
真空絕熱層 低真空計 高真空計	故障 (1/3) 低真空	上限		5.00 V
		上限	1.33 mbar	1.20 V
主排氣裝置 高真空計	低真空	上限	1.0×10 <sup>-3</sup> mabr	
緩速劑腔體液態 氬液位控制	氬氣緩衝槽壓力 (SV 值) 比例帶(P) 積分時間(I) 微分時間(D)		1.950 kg/cm <sup>2</sup> G 50.0 % 50.0 秒 3.0 秒	

表四 限時電驛設定之動作時間

控制、連動動作項目		設定值	
真空絕熱層 高真空異常(2/3)	He 注入/冷凍機停止	時間 30 分	秒
	反應器/冷凍機停止	時間 20 分	秒
氬氣緩衝槽壓力上限(2/3)	反應器/冷凍機停止	時間 3 分	秒
氬氣緩衝槽壓力下限(2/3)	反應器/冷凍機停止	時間 3 分	秒
真空斷熱層 注入氬氣壓力下限	反應器控制警報	時間 3 分	秒
冷凝器入口溫度下限	冷凍機停止	時間 20 分	秒
氬氣注入	定容積 He 注入 輔助 He 注入	時間 3 分	秒
	輔助 He 注入[手動 自動]	時間 5 分	秒
	He 注入異常	時間 10 分	秒
	He 注入壓力異常判斷	時間 1 分	秒
	反應器高出力運轉信號遲延	時間 24 分	秒
	停電信號遲延		
	常用 3f AC 220V	時間	分 10 秒
	無停電 1f AC 220/100V	時間	分 10 秒
常用 3f AC 440V	時間	分 10 秒	
常用 3f AC 440V	時間	分 10 秒	
無停電 3f AC 220V	時間	分 10 秒	
無停電 1f AC 100V	時間	分 10 秒	
常用 3f AC 220V	時間	分 10 秒	

表五 KUR-CNS 非操作時檢查表

週初：平成 年 月 日 時 分

週末：平成 年 月 日 時 分

1. 反應器大廳內

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
1	定容積氬氣貯槽壓力計(PIH116)	> 0.1 kg/cm <sup>2</sup> G		
2	蒸氣壓溫度計(PIH102/103)	> 11 kg/cm <sup>2</sup> G		
3	輔助氬氣貯槽(PIA-H108)	> 0.35 kg/cm <sup>2</sup> G		
4	CNS 動作指示盤	測試後，正常		
5	火氣或其他異常狀況	無		

2. CNS 控制室

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
6	氬氣偵測設備	綠燈亮(7個指示燈)		
		0 ppm 指示		
7	攜帶式警報器之發信器	電源=ON		
		無異常警示燈		

2.1 CNS 控制盤面

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
8	警報燈及蜂鳴器	與操作計畫書一致		
9	真空絕熱層計裝遮斷閥(XV-V101)	開		
10	主排氣遮斷閥(XV-E101)	閉		
11	真空絕熱層低真空計(PR-V102)	氬氣注入狀態 93~200 mbar		
12	冷凝器圍阻氣體壓力計(PR-B101)	0.15~0.25 kg/cm <sup>2</sup> G		
13	氬氣貯槽壓力計(PR-D201)	3.2~3.8 kg/cm <sup>2</sup> G		

14	氬氣預備貯槽壓力計(PR-D401)	> 0.3kg/cm <sup>2</sup> G		
----	--------------------	---------------------------	--	--

表五 KUR-CNS 非操作時檢查表(續)

2.1 CNS 控制盤面(續)

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
15	定容積氬氣貯槽壓力計(PIA-H115)	950~1150 毫巴 (mbar)		
16	緩速劑腔體溫度計(TIA-H105)	<125		
17	CNS 操作模式	與計畫書一致		
18	氬氣氣化	[氣化]指示燈 on		
19	控制盤面之連鎖開關	與計畫書一致		

2.2 冷凍機控制盤面

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
20	冷凍機氬氣壓力計(PI-H302)	>3 kg/cm <sup>2</sup> G		

2.3 控制閥操作台

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
21	冷凝器氬氣壓力計(PI-H304)	> 3kg/cm <sup>2</sup> G		
22	氬氣遮斷閥(V210)	開		

2.4 不斷電電源供應器

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
23	無停電電源(CVCF : No 1)	ALARM=OFF		
		綠色指示燈 on		
24	無停電電源(CVCF : No 2)	ALARM=OFF		
		綠色指示燈 on		
25	火氣或其他異常狀況	無		



表五 KUR-CNS 非操作時檢查表(續)

3.氣體供應操作台

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
26	環境溫度	記錄溫度		
27	驅動反應器廠房內氣動控制閥之氮氣壓力	原壓計(PI-N702)	>30 kg/cm <sup>2</sup> G	
		送壓計(PI-N703)	5.5~6.5 kg/cm <sup>2</sup> G	
28	供應反應器廠房內氮氣圍阻氣體之壓力計(PIA-B701)	0.15~0.25 kg/cm <sup>2</sup> G		
29	供應氬氣貯槽計裝壓力計之圍阻氮氣	0.15~0.25 kg/cm <sup>2</sup> G		
30	沖洩用之氮氣供應系統	元壓計(PI-H706)	>10 kg/cm <sup>2</sup> G	
		送壓計(PI-H707)	>0 kg/cm <sup>2</sup> G	
		二次壓	>0.1 kg/cm <sup>2</sup> G	
		流量	5~10 liter/hr	
31	驅動反應器廠房外氣動控制閥之氮氣壓力	元壓計(PI-N704)	>30 kg/cm <sup>2</sup> G	
		送壓計(PIA-N705)	5.5~6.5 kg/cm <sup>2</sup> G	
32	供應反應器廠房外氮氣圍阻氣體之壓力計(PIA-B702)	0.15~0.25 kg/cm <sup>2</sup> G		
33	緊急氬氣排放系統	元壓計(PI-H703)	>90 kg/cm <sup>2</sup> G	
		送壓計(PI-H704)	6~7 kg/cm <sup>2</sup> G	
34	緊急用氬氣混合閥(V835)	與計畫書一致		
35	火氣或其他異常狀況	無		

表五 KUR-CNS 非操作時檢查表(續)

4. 氦氣壓縮機廠房

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
36	氦氣壓縮機吸入氣體壓力(PI-H501)	3.0~3.6 kg/cm <sup>2</sup> G		
37	氦氣壓縮機最終氣體壓力(PI-H504)	3.0~3.6 kg/cm <sup>2</sup> G		
38	計裝空氣設備	與計畫書一致		
39	室溫(壓縮機室)	紀錄溫度		

5. 氣體分析室

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
40	氣體層析儀所使用之氦氣鋼瓶壓力(3系統)	>30 kg/cm <sup>2</sup> G		
		>30 kg/cm <sup>2</sup> G		
		>30 kg/cm <sup>2</sup> G		

6. 屋外

	檢查、確認事項及對象	確認內容及狀態	週初	週末
41	氦氣貯槽壓力(PIH513)	3.0~3.6 kg/cm <sup>2</sup> G		

特殊記錄事項：

表六 冷中子源設施操作前檢查表

1. CNS 操作室

	檢查、確認事項及對象	確認內容或狀態	記錄
1	非操作時檢查表確認	無異常情況	
2	CNS 操作記錄資料的確認	無異常情況	
3	操作計畫書的確認	內容確認	
4	氬氣貯槽內氣體純度確認	≤25 ppm 記錄確認	
5	氬氣冷凍環路之氬氣純度確認	≤10 ppm 記錄確認	
6	CNS 控制盤面上之警報指示燈	計畫書確認	
7	CNS 控制盤面上之連鎖控制	計畫書確認	
8	CNS 控制盤面上之氬氣緩衝槽壓力 (PRD201)	記錄壓力值 (3.2~3.8 kg/cm <sup>2</sup> G)	
9	機器操作盤, 定容積氬氣貯槽壓力 (PIAH115)	壓力值紀錄 (1264~1530 mbar)	
10	不斷電電源供應器 (CVCF : No 1, No 2)	ALARM=OFF	
11	攜帶式警報器之發信器	電源=ON	
12	氬氣偵測警報設備	電源=ON 0 ppm 指示	
13	氬氣遮斷閥(V210)	開	
14	火氣或其他異常狀況	無	

2. 屋外

15	氬氣貯槽壓力(PIH513)	記錄壓力值 (3.3~3.7 kg/cm <sup>2</sup> G)	
16	緊急用氬氣排放系統壓力 (PIH703, 鋼瓶壓力)	記錄壓力值紀錄 (>100 kg/cm <sup>2</sup> G)	
17	緊急用氬氣排放系統壓力 (PIH704, 排放壓力)	記錄壓力值 (6~7 kg/cm <sup>2</sup> G)	



表六 冷中子源設施操作前檢查表(續)

2. 屋外(續)

18	緊急用氦氣混合閥(V835)	開	
19	火氣或其他異常狀況	無	
20	室外氣溫	記錄溫度值	
21	室溫(壓縮機室)	記錄溫度值	

3. 反應器廠房內

22	蒸汽壓溫度計(PI-H102)	記錄壓力值 ( $> 11 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ )	
23	蒸汽壓溫度計(PI-H103)	記錄壓力值 ( $> 11 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ )	
24	氦氣注入閥(V190)	調整開度	
25	輔助氦氣注入貯槽	記錄壓力值 ( $0.35 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ )	
26	火氣或其他異常狀況	無	
27	動作顯示盤面	無異常指示	

4. 警報

28	反應器廠房內警報動作	無異常	
29	冷中子實驗室警報動作	無異常	

表七 冷中子源設施停機後檢查表

1. CNS 控制室內之 CNS 控制台

	點檢，確認事項及對象	確認內容狀態	
1	反應器實驗記錄操作終了確認	反應器運轉主任	
		中央管理室提出	
2	控制盤面上的連鎖控制開關	鎖錠	
3	警報指示燈及蜂鳴器	與操作計畫書一致	
4	CNS 操作選擇模式	停止	
5	氬氣貯槽壓力(PRD201)	記錄壓力值 (3.0~3.8kg/cm <sup>2</sup> G)	
6	真空絕熱層真空度(低真空度壓力計) (PRV102)	67~133 mbar (氬氣注入狀態)	
7	真空絕熱層計裝遮斷閥(XVV101)	開	
8	液態氬氣化	[氣化]指示燈 on	
9	緩速劑腔體溫度(TIA-H105)	<125	
10	液態氬液位控制器(PIC-D201)	manual mode	
11	定容積氬氣貯槽壓力(PIA-H115)	記錄壓力值 (1130~1197 mbar)	

2. CNS 控制室之氬氣冷凍機控制盤面

12	冷凍機氬氣壓力計(PIH302)	3~5 kg/cm <sup>2</sup> G	
13	T1 入口閥(HCVH301)	閉	
14	冷凝器移送閥(XCVH302)	閉	
15	冷凝器回流閥(XVH303)	開	
16	冷凍機旁通閥(HCVH304)	開	
17	冷凍機出口溫度控制器(TICH301)	manual mode Y%=99	
18	冷凍機入口閥(V301)	閉	

19	冷凍機出口閥(V302)	閉	
----	--------------	---	--

表七 冷中子源設施停機後檢查表(續)

2. CNS 控制室之氦氣冷凍機控制盤面(續)

20	冷凝器氦氣壓力計(PIH304)	3.2~3.8 kg/cm <sup>2</sup> G	
21	火氣或其他異常狀況	無	

3. 氦氣壓縮機廠房

22	壓縮機出口閥(V503)	閉	
23	壓縮機入口閥(V501)	閉	
24	計裝空氣設備	OFF	
25	冷水設備:送水、循環	OFF	

4. 反應器廠房

26	蒸汽壓溫度計(冷凝器入口) (PI-H102)	12.0~13.0 kg/cm <sup>2</sup> G	
27	蒸汽壓溫度計(冷凝器出口) (PI-H103)	12.0~13.0 kg/cm <sup>2</sup> G	
28	輔助氦氣注入貯槽	記錄壓力值 0.2~0.4 kg/cm <sup>2</sup> G	
29	CNS 週邊異常狀況	無	
30	CNS 動作指示盤	指示燈測試	

5. 屋外

31	冷卻水設備(氦氣壓縮機停機後 2 小時以上, 才可停止運轉)	ON	
32	CNS 周邊異常狀況	無	

表七 冷中子源設施停機後檢查表(續)

6. CNS 控制室

33	操作時檢查表異常確認	無	
34	無停電電源(CVCF: No. 1、No. 2)	ALARM=OFF	
		指示燈=ON	
35	攜帶式警報器之發信器	電源=ON	
36	氬氣洩漏檢測設備	電源=ON	
		0 ppm 指示	