

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實 習)

核四廠放射性廢料處理及運轉維護管理技術訓練

服務機關：台灣電力公司

出國人 職 稱：機械工程師  
姓 名：葉建宏、洪源水  
職 稱：儀電工程師  
姓 名：張享源  
職 稱：核能工程師  
姓 名：王富民

出國地區：日本

出國日期：91.11.17

報告日期：92.03.10

93 / C09105726

行政院及所屬各機關出國報告提要 C09105726

出國報告名稱:核四廠放射性廢料處理及運轉維護管理技術訓練

頁數 46 含附件: 是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/葉建宏/(02)24902401-2502

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

葉建宏 /龍門施工處 /機械工程師/(02)24902401-2502

洪源水 /龍門施工處 /機械工程師/(02)24902401-2268

張享源 /龍門施工處 /儀電工程師/(02)24902401-2372

王富民 /第四核能發電廠 /核能工程師/(02)24902401-2911

出國類別: 1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間:91.11.17~92.01.15

出國地區:日本

報告日期:92.03.10

分類號/目

內容摘要:

核四廠係採用進步型沸水式(ABWR)核子反應爐發電機組。其放射性廢料處理系統係由日立公司(Hitachi)設計、製造。本次訓練分為教室授課及電廠及日立製造廠現場訓練兩部份。教室授課包括氣體、液體、固體三種放射性廢料處理系統之基本處理流程解說及其各支系統設備介紹。電廠及日立製造廠現場訓練兩部份包括設備解說、工地管理、進度管制、工安維護、營運管理等。

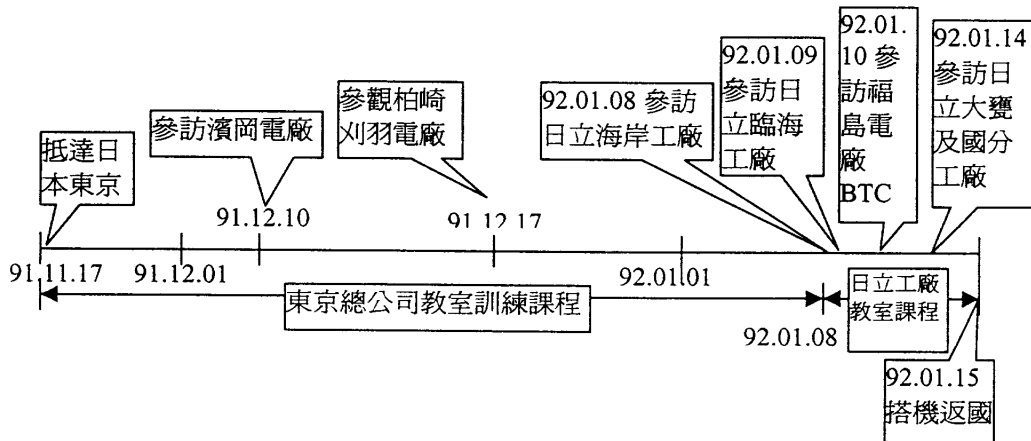
本文電子檔已上傳至出國報告資訊網(<http://report.gsn.gov.tw>)

## 目 錄

壹、國外公務之內容與過程 .....	1
1.實際課程及行程.....	1
2.訓練內容摘要.....	1
貳、國外公務之心得與感想 .....	3
1.前言.....	3
2.氣體放射性廢料處理系統(GRWPS) .....	4
3.液體放射性廢料處理系統(LRWPS).....	18
4.固體放射性廢料處理系統(SRWPS).....	23
5.廢液集水坑(Sump).....	27
6.廢料廠房通風系統(RBHV) .....	32
7.電廠參訪紀要.....	36
參、出國期間所遭遇之困難與特殊事項.....	43
肆、對本公司之具體建議 .....	44

## 壹.國外公務之內容與過程

### 1.實際課程及行程:見下圖



### 2.訓練內容摘要:

本次放射性廢料處理設備技術訓練，分為教室授課及電廠及日立製造廠現場訓練部份。

#### 2.1 教室授課為放射性廢料處理系統解說,包括:

- 氣體放射性廢料處理系統(GRWPS)
- 液體放射性廢料處理系統(LRWPS)
- 固體放射性廢料處理系統(SRWPS)
- 其它相關之支系統介紹:

如用過廢樹脂/污泥之處理系統、濕式廢料減容系統、乾式

廢料處理系統、焚化系統、超高壓壓縮系統、固化系統、廢料廠房通風系統、人機界面等。

## 2.2 電廠及日立製造廠現場訓練:

此部分包括設備解說、工地管理、進度管制、工安維護、營運管理等。

### 2.2.1 所參訪之電廠計有:

- (1)濱岡電廠
- (2)柏崎刈羽電廠
- (3)志賀電廠
- (4)福島電廠(BTC)。

### 2.2.2 所參訪之日立公司製造廠包括:

- (1)海岸工廠
- (2)臨海工廠
- (3)大甕/國分工廠。

## 貳、國外公務之心得與感想

### 1. 前言

- 1.1. 放射性廢料處理的目標在於減少放射性核種排放到大氣中，以降低民眾因而可能接受的輻射劑量及法定的目標值。核能電廠所產生之廢水廢氣，可能含有放射性核種，故在回收再利用或排放至環境前，必須加以處理，以減輕對環境的衝擊。
- 1.2. 核四廠採用日立公司(Hitachi)設計、製造之放射性廢料處理系統，其包括氣體、液體放射性廢料處理系統及固體放射性廢料減容系統和固化系統。

## 2.氣體放射性廢料處理系統(GRWPS)

### 2.1 GRWPS 之設計目的

2.1.1 GRWPS 主要目的在處理電廠產生的放射性氣體廢料。

#### 2.1.2 主要作用方式

其處理的主要作用在滯留及分離放射性核種，即儘量延長放射性氣體在廠內的停留時間，去除廢氣中所含的放射性惰氣(Noble gas)，而放射性碘及微粒，經由適當的再結合反應、除溼、吸附等單元操作，使放射性氣體在排放至大氣前有足夠的衰變時間，以減少從核能設施外釋到大氣的放射強度(Activity)，而微粒則藉各種技術給予捕獲，藉以減低和控制含放射性的微粒排放，俾使放射性進一步衰減。

#### 2.1.3 氣體來源:

電廠放射性氣體廢料的主要來源包括主冷凝器蒸汽抽氣器廢氣(SJAE Off Gas)，汽機汽封冷凝器廢氣(Gland Seal Off Gas)和機械真空泵廢氣，這些廢氣都是直接來自一次系統，含有大量高放射性活化氣體和分裂氣體。其中主冷凝器蒸汽抽氣器廢氣由 GRWPS 處理，其餘放射性氣體廢料則由汽輪機廠房空調系統(TBHV)處理。

2.1.4 GRWPS 爲非安全等級之系統。

#### 2.1.5 GRWPS 之設計原則

- (1)重要組件均須有重複(Redundancy)的考慮，或加大處理量，以確保系統正常運轉。
- (2)兩部機組有兩套獨立的放射性廢料處理系統，各機組兩套處理系統可互相切換，萬一套失效，另一套可立即起動。而當萬一套亦無法使用，則應能自動切斷廢氣來源(意謂停止反

應爐運轉)。

(3)系統在設計時應考慮耐爆性及安裝減壓設備。

(4)應將金屬內部表面磨光滑、使用不起火花的材質做閥門、慎防洩漏等，以防止氫爆。

## 2.2 GRWPS 之設備功能概述

GRWPS 主要由氫氧再結合、除溼、吸附、排放及乾燥器再生等子系統組合而成。

### 2.2.1 氫氧再結合子系統:

使 SJAE 排放氣體中的氫氣與氧結合成水，以限制排放氣體中氫氣濃度，防止爆炸。同時降低排放氣體體積，減少設備的處理量。

(1)蒸汽抽氣器(Steam Jet Air Ejector, SJAE):

提供主冷凝器負壓條件及排放氣體通過 GRWPS 所需之背壓。依規範要求，以第二段 SJAE 出口做為 GRWPS 與 NSSS 的介面。

(2)排放氣體預熱器(Off-Gas Preheater):

a.提供觸媒再結合器所必需的反應溫度(150°C)，並防止水份進入再結合器影響反應效率。

b.由於氫氧再結合器之效能深受水分的影響，故常須將廢氣流之溫度加熱至飽和溫度以上，以提高氫氧再結合之效率。

c.利用主蒸氣為熱源，由廢氣溫度控制閥調整主蒸氣之流量,當預熱器入口溫度為 125°C，經加熱後出口溫度為 155°C。

d.數量：2/Unit

e.形式：TEMA AEU

f.容量：97.2kw

g.材質：SA240 Type316L



(3) 氫氧再結合器(Recombiner):

- a. 經觸媒的催化，使氫氣與氧氣發生再結合反應生成水，降低排放氣體中氫氣濃度至 1vol% 以下。
- b. 水經輻射分解產生的氫氧可在鉑/鈀金屬之催化下，燃燒結合成水，經此可抑制氫氣濃度於燃燒界限濃度之下，以免發生爆炸。
- c. 去除大量不凝結氣體，以降低廢氣冷凝器之處理負荷。
- d. 使用金屬形態之催化劑。
- e. 結合器本體以電熱器加熱保溫，以保持催化劑之乾燥。
- f. 數量：2/Unit
- g. 形式：Vertical Packed Vessel
- h. 容量：5770kg/h
- i. 材質：SA240 Type316L

2.2.2 除濕系統:

由於再結合器出口的排放氣體溫度高達 450°C，因此須經由冷凝除濕流程，降低排放氣體溫度並除去殘餘水份，以維持碳吸收床(Charcoal Adsorber)的吸附效果。

(1) 排放氣體冷凝器(Off-Gas Condenser):

- a. 以 TBCW 為冷媒，冷凝及移除排放氣體中佔大部份體積的蒸汽，減少排放氣體處理體積。並使排放氣體出口溫度降至 50°C。
- b. 由於抽引蒸汽及再結合之水氣量甚大(約 5700 kg/h)，故為降低後續處理程序之負荷，須先將之冷卻，使之與放射性成分分離。
- c. 由於催化作用係一放熱反應，廢氣溫度達 400°C，經此冷凝之後，其溫度降為約 50°C。冷凝器之冷卻水來自汽機廠房之冷卻水。
- d. 經冷凝器凝結下的水則再打回主冷凝器，補充反應爐循環水之損

失。

e.數量：2/Unit

f.形式：TEMA BEU

g.容量：4.9E + 3KW

h.材質：SA240 Type316L

(2)冷卻冷凝器(Cooler Condenser):

a.以冰水(Chilled Water)為冷媒，進一步冷凝及移除排放氣體中大部份的水份，並使排放氣體出口溫度降至 12°C。

b.冷卻冷凝器的功能則在進一步確保將水份截留，以保護後續處理系統的運作正常。

c.此過程後廢氣溫度進一步降至 12°C，廢氣中大部份水份被移除。以冰水為冷卻媒介物。經冷凝器凝結下的水則再打回主冷凝器。

d.數量：2/Unit

e.形式：TEMA AEU

f.容量：8.88E + 0KW

g.材質：SA312 Type304L

(3)排放氣體乾燥器(Off-Gas Dryer):

a.利用分子篩(Molecular Sieve)吸收排放氣體中剩餘水份，使排放氣體完全乾燥至露點溫度低於-40°C。若廢氣中含有溼氣對活性炭吸附惰性氣體的能力將大打折扣。

b.而乾燥器不但可將濕氣趕走，且可使氣體降溫至攝氏零度以下(活性炭吸附在低溫時效率較高)。

c.數量：2/Unit

d.形式：Vertical Packed Tower

e.容量：49 m<sup>3</sup>/h (normal)

f.材質：SA515 Gr.60

### 2.2.3 吸附系統:

以活性碳吸收床(Charcoal Adsorber)的吸附作用，提供排放氣體所需的滯留及衰變的時間。以延緩放射性核種通過的方式，使放射性氬(Kr)、氙(Xe)及碘同位素在排放至大氣前有足夠的衰變時間。

#### (1)保護床(Guard Bed):

- a.一旦冷凝器失效時，防止排放氣體中未冷凝的水份進入碳吸收床影響其吸附效果。床體容量須提供額定運轉流量(49m<sup>3</sup>/h)條件下稀土族(Rare Earth)同位素、氙及水份 30 分鐘的滯留時間。
- b.活性炭保護床的裝設顧名思義在保護緊接著的吸附床，當萬一有不正常的溼度含量被偵測出，可立即切換廢氣流到另一串氣體乾燥冷卻系統，以防溼氣破壞活性炭床之吸附能力，故保護床體積通常較小，以方便換新活性炭。
- c.數量：2/Unit
- d.形式：Vertical Packed Tower
- e.容量：49 m<sup>3</sup>/h (normal)
- f.材質：SA36
- g.操作壓力：78 KPa (abs)
- h.操作溫度：35 °C
- i.露點： -40 °C

#### (2)活性炭吸收床(Charcoal Adsorber):

- a. 吸附排放氣體中放射性分裂產物(稀土族同位素及氫等)及其微粒，以提供其衰變時間。床體容量及數量須提供額定運轉流量(49m<sup>3</sup>/h)條件下稀土族同位素及氫 60 天的滯留時間。
- b. 活性炭床之設置係爲了使廢氣在外釋前，能再多滯留放射性之氫、氫一段時間，俾其放射性進一步衰變，降低排放的放射性強度。滯留時間自然是越長越好，惟從經濟上及實際操作上的觀點看，也不可能無限制滯留，故通常以能使放射性氣體衰變成固態產物爲度。
- c. 數量：10/Unit
- d. 形式：Vertical Packed Tower
- e. 容量：49 m<sup>3</sup>/h (normal)
- f. 材質：SA36
- g. 操作壓力：78 KPa (abs)
- h. 操作溫度：35 °C
- i. 露點： -40 °C

2.2.4. 排放系統: 將通過碳吸收床(Charcoal Adsorber)的排放氣體排放至大氣。

(1) 排放氣體過濾器(Off-Gas Filter):

- a. 氣體流經活性炭床後，再經 HEPA 型式過濾器，使逃離活性炭床的輻射固體微粒均被濾除。
- b. 一般都使用高效率微粒過濾器(High Efficiency Particulate Filter 簡稱 HEPA 過濾器)將廢氣中的放射性微粒去除。HEPA 過濾器是由玻璃纖維混合粗纖維(以爲支撐)所作成有摺的濾紙過濾器，對顆粒粒徑在 0.3  $\mu$ m 以上者有 99.95% 以上的去除效率，HEPA 過濾器在放射性廢氣處理及廠房通風上使用非常普遍。

- c.數量：1/Unit
- d.形式：Vertical Packed Vessel
- e.容量：49 m<sup>3</sup>/h (normal)
- f.材質：(TBD)

(2)排放氣體鼓風機(Off-Gas Blower):

- a.在反應器起動氣體條件下(100m<sup>3</sup>/h),提供足夠的排放壓力(+19kPaG)將排放氣體排至大氣中。
- b.當電廠啓動,廢氣流量在 100m<sup>3</sup>/h (normal) 時,廢氣鼓風機能使活性炭吸附床保持於負壓狀況下及其出口於 19.6kpa (gage) 。
- c.廢氣鼓風機使用於廢氣抽出器失效時。
- d.數量：1/Unit
- e.形式：Roots (tentative)
- f.容量：100m<sup>3</sup>/h (normal)
- g.材質：(TBD)

(3)排放氣體鼓風機後冷卻器(Off-Gas Blower After Cooler):

- a.將因回流壓縮導至溫度上升的排放氣體冷卻,避免影響鼓風機的操作。
- b.流經廢氣鼓風機之廢氣,因壓力作用,溫度升高,經此冷卻器冷卻,部份回流到廢氣鼓風機之入口,以保持其入口壓力之固定。
- c.冷卻水來自汽機廠房。
- d.數量：1/Unit
- e.形式：Double Pipe
- f.容量：3.19E+00KW
- g.材質：SA106 Gr.B

(4)廢氣抽出器(Off-Gas Ejector):

- a.在電廠額定運轉流量(49m<sup>3</sup>/h)條件下,使用 Service Air 為噴射流體維持碳吸收床負壓條件(-78kPaA),將排放氣體排至大氣中。
- b.廢氣抽出器應能使活性炭吸附床保持於設計壓力,並使廢氣經由煙囪排出。
- c.數量: 1/Unit。
- d.形式: Single pressured air drive
- e.容量: 49m<sup>3</sup>/h (normal)
- f.材質: (TBD)

2.2.5 乾燥器再生系統:

將再生氣體經冷卻器冷卻除濕(40°C),再經加熱器加熱至 320°C 後,回流至排放氣體乾燥器除去分子篩中的水份。持續操作使乾燥器 2 天內再生完成。

(1)再生氣體加熱器(Regeneration Gas Heater)

- a.加熱後再生氣體溫度達 320°C,以保持分子篩(Molecular Sieve)之作用溫度於 320°C 以上。
- b.數量: 1/Unit。
- c.形式: Electric Heating。
- d.容量: 60KW。
- e.材質: SA515 Gr.60。

(2)再生氣體冷卻器(Regeneration Gas Cooler)

- a.冷卻來自分子篩含濕氣之再生氣體至 40°C。冷卻水來自汽機廠房。

- b.數量：1/Unit
- c.形式：TEMA BEU
- d.容量：3.8E+01KW
- d.材質：SA106 Gr.B

### (3)再生氣體鼓風機(Regeneration Gas Blower)

- a.鼓風機之設計流量以再生運轉週期二天為基準。鼓風機之結構設計以不外洩為原則。
- b.數量：1/Unit。
- c.形式：Roots (tentative)。
- e.容量：400m<sup>3</sup>/h (normal)。
- f.材質：(TBD)。

## 2.3 系統流程與操作:

GRWPS 系統設計以不影響反應器及汽機的操作為原則，其包含下列操作模式:

### 2.3.1 暖機運轉模式(Warming-up Mode) (至少加熱 24 小時)

- (1)藉由廢氣送氣器將廠用空氣送入廢氣系統進口，經再結合器加熱器加熱(15 小時後，再結合器外殼溫度大於 140°C，持續加熱並維持於 150~160°C)。
- (2)氣體加熱後經廢氣冷凝器、冷卻冷凝器、乾燥器、保護床、活性炭吸附床、過濾器、廢氣送氣器(入口壓力大約-20kpaG)直到煙囪為止。
- (3)廢氣預熱器至冷卻冷凝器運轉使用二串。
- (4)乾燥器、保護床兩組並聯運轉。

- (5)活性碳床並聯運轉(即第二至第五吸附床與第六至第九吸附床)。
- (6)系統加熱(WARMING)時，廢氣預熱器之出口溫度不可超過 155°C。
- (7)由於排放氣體尚未包含放射性分裂產物，為減少系統流程的壓降，其中 OFF-GAS PREHEATER(A)(B),RECOMBINER(A)(B),OFF-GAS CONDENSER(A)(B),COOLER CONDENSER(A)(B), 乾燥器(A)及(B), 保護床(A)及(B)、#2~#5 碳吸收床及#6~#9 碳吸收床為平行運轉操作。
- (8)此階段啟用 off-gas blower 排氣,且自動控制其進口閥開度以維持 off-gas blower 進口負壓值在-20kPa 以下。

### 2.3.2 起動模式(Start-up Mode):

- (1)由於排放氣體流量超過 100m<sup>3</sup>/h，為限制碳吸收床的入口流量在設計值 100m<sup>3</sup>/h 以下，因此過量排放氣體須回流至 SJAE 入口，排放氣體經由鼓風機作動排釋至大氣。
- (2)此時包括乾燥器、#2~#5 碳吸收床及#6~#9 碳吸收床仍為平行運轉操作。
  - a.模式 1：主冷凝器真空泵起動機械真空泵，抽除主冷凝器空氣至大約 4~5 吋汞柱真空度，並經由格蘭氣封廢氣系統管路送至煙囪排放。
  - b.模式 2：起動機械真空泵切換至 SJAE 反應爐壓力達 1.03MpaG 時起動 SJAE，停止機械真空泵。活性碳吸附床流量率限制 100m<sup>3</sup>/h,過量廢氣經廢氣冷凝器出口再循環管路回流至 SJAE 入口。

### 2.3.3 單串停止運轉模式：

- (1)當廢氣流量率降至小於 49m<sup>3</sup>/h，則起動廢氣抽氣器，停用排放氣體鼓風機 (Off-Gas Blower)。乾燥器改成一組單獨運轉。



- (2)原並聯中之第二至第五與第六至第九活性碳床改為單組第二至第九活性碳床運轉。

#### 2.3.4 流量計交換運轉模式：

- (1)當廢氣流量高於  $20\text{m}^3/\text{h}$ ，不可進行流量計交換(Flow Meter Exchange)。
- (2)開啓乾燥器入口窄幅流量計選定閥(ABV-5005)、入口壓力控制閥(ACV-5007)置於 AUTO。
- (3)關閉乾燥器入口寬幅流量計選定閥(ABV-5004)及入口壓力控制閥(ACV-5006)。
- (4)廢氣流程與額定運轉模式相同。

#### 2.3.5 額定運轉模式(Rated Operation Mode):

- (1)一旦排放氣體流量降低至  $49\text{ m}^3/\text{h}$  時，乾燥器轉成一組運轉/一組備用模式且#2~#9 碳吸收床轉成串連運轉操作。
- (2)此時排放氣體經由噴射器作動排釋至大氣。廢氣經由預熱器、結合器、廢氣冷凝器、乾燥器、活性碳吸附床、過濾器處理後送到廢氣抽氣器及煙囪排放(額定流量約  $10\sim 20\text{m}^3/\text{h}$ )。

#### 2.3.6 停機運轉模式 (Shutdown Mode):

- (1)一旦主蒸汽壓力太低，SJAE 將關閉而隔離 GRWPS，同時 Service Air 將由 GRWPS 入口噴入，清除 GRWPS 流程中殘餘的排放氣體。此時系統流程路徑同額定運轉模式
- (2)當主蒸汽壓力降至  $1.05\text{MpaG}$  時停用 SJAE。
- (3)GPWPS 進口注入廠用空氣(原使用串之沖淨空氣流量為  $45\text{m}^3/\text{h}$ ，備用串之沖淨空氣流量為  $4\text{m}^3/\text{h}$ )，系統至少沖淨超過 24 小時後，

方可進行各設備管閥之關閉。

(4)廢氣流程與額定運轉模式相同，唯停機沖淨過程中，當系統空氣流量超過 20m<sup>3</sup>/h 時，須執行流量計切換程序。

## 2.4 儀控系統:

### 2.4.1 控制系統:

GRWPS 的控制系統將併入廠用電腦系統(PCS)中。即 GRWPS 系統的運轉資訊、輸出/輸入信號，透過遠端多工單元(RMU)送至系統控制器執行運轉邏輯判斷。操作員可經由人機介面(MMI)在主控制室監控 GRWPS 的運轉及資訊顯示。

### 2.4.2 儀器系統:

GRWPS 儀器設備包含下列主要儀器:

- (1)氫氣/氧氣分析儀(H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Analyzer): 安裝於冷卻冷凝器出口監視排放氣體中未結合成水的氫氣濃度是否高於其爆炸低限(4%vol)。同時監測排放氣體中氧氣濃度，以回饋控制氧氣注入量。
- (2)一氧化碳分析儀(CO Analyzer): 分別安裝於防衛床及#10 碳吸收床出口，監視排放氣體中一氧化碳濃度是否過高，做為火災偵測使用。
- (3)輻射監視器(Radiation Monitor): 分別偵測排放氣體位於冷卻冷凝器出口、#1 碳吸收床出口及排放氣體過濾器出口的輻射劑量，判斷系統的運轉情形及進行連鎖控制。
- (4)露點溫度元件(Dew-Point Element): 偵測排放氣體於乾燥器出口的露點溫度，監視排放氣體是否完全乾燥，以符合碳吸收床的要求。
- (5)熱電偶溫度計(Thermocouple): 分別沿著防衛床、#1 及#2 碳吸收床體設置 3 組熱電偶溫度計，其餘碳吸收床(#3~#10)各設置 1 組熱電偶溫度計，除做為火警偵測用途外，並可監視水份進入碳吸收床

的過程。

- (6)此外，依系統的需求，分別於適當位置監測排放氣體、反應氣體(如氧氣)及其它公用氣體(如儀用空氣及 Service Air 等)的流量、溫度、壓力等物理變數，做為系統監視及流程控制的用途。操作員可透過現場儀器架(Instrument Rack)及主控制室的 MMI 監控系統的運轉。

#### 2.4.3 儀控連鎖

- (1)冷卻冷凝器進口壓力控制閥(ACV-5031) :在機組起動廢氣流量最大(100m<sup>3</sup>/h)時，調整其開度維持冷卻冷凝器進口壓力於定值。過量廢氣經廢氣冷凝器出口再循環管路回流至 SJAE 進口。
- (2)廢氣抽氣器:當廢氣抽氣器/廢氣送氣器進口高/低壓力及低廢氣抽氣器壓力，將跳脫廢氣抽氣器，並自動起動廢氣送氣器。

#### 2.4.4 系統連鎖

- (1)當主冷凝器出現主蒸汽高-高輻射及/或真空泵出口出現高-高輻射，真空泵會被自動跳脫及隔離。此外，當電廠運轉超過 5%公稱功率時，真空泵也會跳脫。
- (2)當流過第二級 SJAE 之稀釋蒸汽低於最小限值，SJAE 會被隔離當活性炭吸附床運轉於自動或旁通模式下，且流程輻射監測系統(PRM)之處理後監測器的讀值超過高-高設定值，活性炭吸附床會自動切換到測試模式。
- (3)若流程輻射監測系統(PRM)傳送下列之一的信號，廢氣排放閥將會自動關閉：
  - a.出現二個 High-High-High 設定點信號。
  - b.出現一個不可用(inoperable)及一個 High-High-High 設定點信號

號。

c.出現二個不可用(inoperable)信號。

### 3.液體放射性廢料處理系統(LRWPS)

#### 3.1.概述:

##### 3.1.1 目的:

LRWPS 主要目的在處理電廠產生的放射性液體廢料，為收集、處理、儲存和處置全廠放射性廢水，其設計目的為:

- (1)容納和處理廢水，不使電廠運轉或可用性遭受限制。
- (2)處理各種廢水，使大部分回收再使用。
- (3)減低和控制排釋廢水的放射性，使不超過 10CFR20 規定。
- (4)提供化學廢液，除污或濃縮處理。

##### 3.1.2 液體來源:

電廠放射性液體廢料的主要來源包括:

- (1)地面洩水(Floor Drain)或設備洩水(Equipment Drain)，由反應爐一次系統冷卻水洩出。
- (2)洗衣(輻射防護衣)設備排水。
- (3)凝結水和反應爐給水系統洩水。
- (4)實驗室排水。
- (5)除污作業之排水。
- (6)沖洗或再生離子交換器之排水。
- (7)反應爐水淨化系統或廢水處理系統過濾器逆洗(Back Wash)排水。

3.1.3. LRWPS 為非安全等級之系統。

3.1.4. 液體廢料處理系統的設計原則

儘可能回收的廢液及減少需排放的廢液。其中:

(1)排放標準: TOC < 5ppm

(2)回收標準: TOC < 400ppb

3.1.5. LRWPS 收集廠區內產生的放射性液體及清潔劑廢水並集中於廢料廠房(Radwaste Building)內處理。

### 3.2. 系統設備與功能:

LRWPS 可分類、收集、儲存和處理機組產生的放射性液體。除清潔劑廢水處理子系統為兩部機組共用外，每一機組有其個別完整的系統，兩套系統間有管路連結，以供系統異常時，另一系統後備使用，增加操作彈性。其主要子系統為：

#### 3.2.1. 廢料集水坑(Radwaste Sump):

利用重力方式收集及分類廢料處理廠房產生的各式放射性液體廢料，並泵送至各廢水處理子系統的收集槽處理。另可做為各收集槽溢流液體的備用儲存容器。

(1)設備洩水(Equipment Drain)集水坑及泵浦

(2)低純度地面洩水(Floor Drain)集水坑及泵浦

(3)化學洩水(Chemical Drain)集水坑及泵浦

(4)清潔劑廢水(Detergent Waste)集水坑及泵

#### 3.2.2. 高純度廢水處理子系統(High Purity Waste Processing Subsystem, HPW):

廢水特性為懸浮固體 < 20 ppm 且導電度 < 50  $\mu$  mho/cm，適合過濾及離子交換等單元操作。處理後依廢水水質回收至冷凝水槽或排放至外界。

其主要設備包含:

- (1)設備洩水收集槽(EDCT)及泵浦: 收集 R/B 及 T/B 等廠房之設備洩水並泵送至 HPW 處理。
- (2)乾井(Drywell)地面洩水收集槽(DFDT)及泵浦: 收集 R/B 廠房乾井(Drywell)地面洩水。處理前先取樣檢驗是否符合 HPW 處理標準, 否則泵送至 LPW 處理
- (3)高純度廢水取樣槽及泵浦: 取樣檢驗經處理後的 HPW 是否符合回收標準。
- (4)可逆洗過濾器: 除去懸浮顆粒。同時使用 Service Air 回沖過濾器上附著的懸浮顆粒至 SRWPS 處理。
- (5)前置處理除礦器及淨化除礦器: 除去溶解性的不純物及放射性核種。
- (6)碳過濾器: 除去液體中剩餘的有機物質。

### 3.2.3.低純度廢水處理子系統(Low Purity Waste Processing Subsystem, LPW):

廢水特性:導電度:樓層洩水 $< 50 \mu \text{ mho/cm}$ ; 化學洩水 $< 10,000 \mu \text{ mho/cm}$ 。懸浮固體 $< 100 \text{ ppm}$ 。

其主要設備包含:

- (1)低純度地面洩水收集槽(LPFDCT)及泵浦: 收集 R/B 及 T/B 等廠房地面洩水並泵送至 LPW 處理。
- (2)化學洩水收集槽(CDCT)及泵浦: 收集 R/B 及 T/B 等廠房及實驗室產生的化學洩水並泵送至 LPW 處理。
- (3)油水分離器: 進行油水分離, 並將經分離後的油脂泵送至 SRWPS 處理。
- (4)蒸發器(含加熱蒸發器、再循環泵浦、除霧器、冷凝器): 低純度

廢水先經 pH 調整後泵送至蒸發器，進行液體廢料濃縮處理。經濃縮後的濃縮廢液泵送至 SRWP 處理，而上層蒸發氣體經冷凝後泵送至 HPW 處理。

#### 3.2.4. 清潔劑廢水處理子系統(Detergent Waste Processing Subsystem, DW):

包含洗衣設備(Laundry)、熱浴間(Hot Shower)及使用清潔劑除污設備產生的廢水。

- (1)清潔劑廢水收集槽(DWCT)及泵浦: 收集 R/B 及 T/B 及修配廠房產生的清潔劑廢水並泵送至 DW 處理。
- (2)清潔劑廢水取樣槽及泵浦: 取樣檢驗經處理後的DW 是否符合排放標準。
- (3)清潔劑廢水過濾器(DWF)：除去棉絨、毛髮及其他固體物質。
- (4)清潔劑廢水活性炭過濾器(DWCF)：除去有機物質。
- (5)過濾器及總有機碳(TOC)紫外線(UV)分解器(Disassembler)：除去液體中剩餘有機物質，以符合 TOC 排放標準。

#### 3.3. 系統流程與操作:

LRWPS 及其相關設備的設計允許電廠在任何運轉模式下(含起機、功率運轉、熱停機、冷停機及燃料重填模式)，維持系統的連續運轉操作。

#### 3.4. 儀控系統:

##### 3.4.1 控制系統:

LRWPS 的控制系統為一套獨立的分散式控制系統(DCIS)。即 LRWPS 系統的運轉資訊、輸出/輸入信號，透過適當的 RTB(Remote



Terminal Block)I/O 模組送至廢料處理系統控制器執行運轉邏輯判斷。操作員可經由人機介面(如 CRT 等)及控制盤上的主開關(Master Switch)，在廢料廠房的主控制室監控 LRWPS 的運轉及資訊顯示。

LRWPS 系統運轉的重要資訊及參數亦連線至 NSSS 廠家提供的 DCIS 上，以允許電廠主控制室人員監視 LRWPS 重要資訊及提供警報功能。廢液控制室亦可接受由固廢控制盤傳送之資訊，用以監視部份固廢設備之運轉狀態。

3.4.1 儀器系統: LRWPS 儀器設備包含下列主要儀器:

(1)液位計: 包含下列 3 種型式:

- a. 超音波(Ultrasonic)液位計: 供大部份桶槽(Tank)使用。
- b. 浮球式(Buoyancy)液位計: 供污水坑(Sump)使用。
- c. 導電式(Electrical Conductance)液位計: 供污水坑偵漏使用。

(2)流量計: 包含變面積(Variable Area)式及薄膜差壓感測元件(Diaphragm Difference Pressure Sensor)等 2 種型式。

(3)壓力計: 包含薄膜壓力感測元件(Diaphragm Pressure Sensor)及 Bourdon 壓力感測元件等 2 種型式。

(4)差壓計: 使用薄膜差壓感測元件(Diaphragm Difference Pressure Sensor)，用於過濾器、除礦器、蒸發器及除霧器的差壓顯示。

(5)熱電偶溫度計(Thermocouple): 用於監測蒸發器及其冷凝器的出口溫度。

此外，依規範的要求，分別於流程的適當位置監測液體廢料及其流程的濁度(Turbidity)、電導(Conductivity)度、pH 值、放射性計量及總有機碳(TOC)等物理變數，做為系統監視及流程控制的用途。操作員可透過現場儀器架(Instrument Rack)及控制室的 MMI 監控系統的運轉情形。

## 4.固體放射性廢料處理系統(SRWPS)

### 4.1 概述:

#### 4.1.1 目的:

SRWPS 主要目的在負責處理電廠運轉過程中產生的各式放射性固體廢料。

#### 4.1.2 固體來源: 電廠放射性固體廢料的主要來源包括:

(1)蒸發器底部濃縮廢液。

(2)RWCU、FPCU 及 AFPC 產生的廢棄樹脂/污泥。

(3)過濾渣。

(4)冷凝除礦器產生的廢棄樹脂。

(5)乾式活性固體廢料(DAW)。依廢料特性概分為”可燃”、”不可燃但可壓縮”及”不可燃不可壓縮”，分別處理。

#### 4.1.3. SRWPS 為非安全等級之系統。

#### 4.1.4 設計原則:

固體廢料處理系統的設計原則為達到最大的固體廢料減容比，降低處理的廢棄物容積，以利固化處理及減少桶裝固化廢棄物量。經處理完畢的桶裝固化廢棄物，將存放於暫時儲存場存放或至永久儲存地點掩埋。

### 4.2 系統設備與功能:

SRWPS 依固體放射性廢棄物的特性以不同的流程分別處理，兩部機組共用一套處理流程。其主要由下列系統組成：

#### 4.2.1 棄置樹脂/污泥儲存系統(Spent Resin/Sludge Storage System):

提供棄置樹脂/污泥儲存空間並利用重力沈降方式進行相分離

的程序。其包含下列設備:

- (1)高活性相分離器(High Activity Phase Separator): 上層溢流液泵送至高純度設備洩水蒐集槽(EDCT) 收集,底層樹脂/污泥則直接泵送至固化系統進行除水及固化處理。
- (2)低活性相分離器(Low Activity Phase Separator): 上層溢流液依其電導度泵送至高純度設備洩水蒐集槽(EDCT)或低純度樓層洩水蒐集槽(LPFDCT)收集,底層樹脂/污泥則依其物理特性泵送至減容系統進行減容處理。
- (3)冷凝樹脂滯留槽(Condensate Resin Holdup Tank): 處理方式同低活性相分離器。
- (4)棄置樹脂儲存槽(Spent Resin Storage Tank): 處理方式同低活性相分離器。

#### 4.2.2 減容系統(Volume Redundion System):

減少固體廢棄物容積,以利儲存及固化作業之進行。依固體廢棄物特性,分成下列方式進行減容工作:

- (1)濕廢料減容子系統(Wet Waste Volume Redundion Sub-system): 執行從濃縮廢液槽收集的蒸發器底部濃縮廢液及上述低活性相分離器底層樹脂/污泥的減容工作,包含濃縮廢液槽/泵浦、乾燥機進料槽/泵浦及薄膜離心式乾燥機(Dryer)等設備。
- (2)焚化爐子系統(Incinerator Sub-system): 執行可燃性固體廢棄物的減容工作,包含焚化爐、底灰收集裝置及空氣污染控制等設備。
- (3)超高壓壓縮機子系統(Supercompactor Sub-system): 執行不可燃但可壓縮的固體廢棄物的減容及填裝工作,包含分類桌、壓實機及 Overpack 填裝等設備。經壓縮後的固體廢料至置於 55 加侖的儲存桶內。

#### 4.2.3 固化系統:

利用水泥固封經減容系統處理後的固體廢料系統並予以裝桶，以方便運輸、暫存及長期儲存。其包含下列設備:

- (1)高活性廢料固化子系統(High Activity Waste Solidification Sub-system): 執行高活性相分離器底層樹脂/污泥的固化作業，包含高活性污泥除水設備、高活性污泥儲存/量測槽、高活性內桶混合器(In-Drum Mixer)。
- (2)低活性廢料固化子系統(Low Activity Waste Solidification Sub-system): 執行經乾燥機處理後產生乾燥粉末及經焚化爐燃燒後產生底灰的固化作業，包含濃縮乾粉儲存/量測槽、底灰儲存/量測槽及低活性內桶混合器(In-Drum Mixer)。
- (3)其它固化水泥充填裝置及外桶混合器(Out-Drum Mixer): 先將水泥填入外桶中，再裝入經高活性及低活性廢料固化子系統處理後的內桶，固化封裝在 55 加侖的儲存桶內。

#### 4.3 系統流程與操作:

SRWPS 及其相關設備的設計為批式操作，不同的子系統間於個別的操控盤及 CRT 人機界面上操作。

#### 4.4 儀控系統:

##### 4.4.1 控制系統:

SRWPS 與 LRWPS 共用一套獨立的分散式控制系統(DCIS)。即 SRWPS 系統的運轉資訊、輸出/輸入信號，透過適當的 I/O 模組送至控制器上執行運轉邏輯判斷。

操作員可經由人機介面(如 CRT 等)、控制盤上的主開關(Master Switch)及 Overview/Mimic 盤，在位於 SRWPS 設備附近的固體廢料控

制室，監控 SRWPS 的運轉及資訊顯示。

此外，經由廢料控制系統的 Data Highway，操作員亦可從廢料廠房監控 SRWPS 的運轉。同時透過 Gateway 將 SRWPS 系統運轉的重要資訊及參數須連線至 NSSS 廠家提供的 DCIS 上，以允許電廠主控制室人員監視 SRWPS 重要資訊及提供警報功能。

#### 4.4.2 儀器系統:

SRWPS 儀器設備包含下列主要儀器:

- (1) 液位計: 使用超音波(Ultrasonic)液位計量測桶槽液位及污泥(Sludge)位面，並用於輸送泵浦的連鎖起停控制。
- (2) 壓力計: 包含薄膜壓力感測元件(Diaphragm Pressure Sensor)及 Bourdon 壓力感測元件等 2 種型式。用於泵浦出口、乾燥機 Heat Steam 及蒸汽壓的壓力量測。
- (3) 差壓計: 使用薄膜差壓感測元件(Diaphragm Diff. Pressure Sensor)，用於過濾器、的差壓顯示。
- (4) 熱電偶溫度計(Thermocouple): 用於監測蒸發器及其冷凝器的出口溫度
- (5) 重量計: Load Cell 型式，用於固化系統的量測槽及儲存桶(Drum)的裝填控制。
- (6) 高度計: 非接觸式，用於壓實機子系統中 Overpack 裝填設備的最適化控制。
- (7) 流量計: 包含變面積(Variable Area)式及薄膜差壓感測元件(Diaphragm Difference Pressure Sensor)及質量流量計等 3 種型式。
- (8) 此外，各子系統的設備本體於適當位置設置 pH 計、電流計、溫度計、壓力計及儲存桶表面輻射量測等儀器，做為設備及系統的監控用途。操作員可透過現場儀器架(Instrument Rack)及控制室的

MMI 監控系統的運轉情形。

## 5.廢液集水坑(Sump)

### 5.1 概述:

#### 5.1.1 目的:

收集電廠運轉過程中各廠房產生的液體廢料，並視廢料之特性泵送至廢料廠房的液體廢料處理系統(LRW)或直接排放至環境中。

#### 5.1.2 工作範圍:

龍門計劃廢液集水坑工程包含三個範圍：

##### (1)核島區(NI)範圍:

由 GE 設計，範圍包含反應器廠房(RB)、控制廠房(CB)、熱修配廠(MCH)、輔助燃料廠房(AFB)及廢料坑道(RT)等部份。

##### (2)汽輪機廠房範圍:

由 S&W 設計，主要範圍在汽輪機廠房(TB)。

##### (3)廢料廠房範圍:

由 Hitachi 設計，主要範圍在廢料廠房(RWB)。

#### 5.1.3 功能:

##### (1)安全相關功能:

- a.接受來自洩漏與隔離系統(LDI)連動信號及手動開關動作信號，執行主圍阻體的隔離功能。
- b.接受來自安全相關等級房間((如反應器廠房冷卻水系統(RBCW)熱交換器(HX)房間))的高液位偵測信號，執行反應器廠房廠用水系統的隔離功能。

(2)非安全相關功能:

- a.收集電廠運轉產生的液體廢料，並泵送至廢料廠房的液體廢料處理系統(LRW)處理。
- b.依液體廢料特性分類為低電導廢液(LCW)、高電導廢液(HCW)、清潔劑廢液(DW)及 Storm Drain (SD)，於各廠房內分類收集。
- c.提供所有廢料坑的取樣功能。
- d.經由廢液集水坑泵浦運轉定時器的使用，提供廢料坑過量洩漏的偵測功能。

5.1.4 本系統為非安全等級系統。

5.2 系統設備與功能:

廢液集水坑位於各廠房的最底層，以重力方式收集廠房內各樓層及設備產生的液體廢料，並依廢料特性區分成低電導廢液、高電導廢液、清潔劑廢液及 Storm Drain 排放至各相對廢液集水坑。

5.2.1 液體廢料分類標準如下：

- (1)低導電度廢液(Low Conductivity Waste, LCW): 主要為電廠設備的循環洩水。其比導電度小於  $50 \mu \text{ mho/cm}$ ，懸浮固體濃度小於 20ppm。此類廢液處理後若符合冷凝水標準則泵至冷凝水儲存槽再使用，否則可泵回收槽再處理或排放。
- (2)高導電度廢液(High Conductivity Waste, HCW): 包含來自各廠房、廢料坑道及乾井的樓板洩水、泵浦床台洩水及流程產生的洩水。其比導電度大於  $50 \mu \text{ mho/cm}$ ，懸浮固體濃度介於 20 ppm 至 500 ppm 之間。此類廢液經由 HCW 收集槽收集後泵送至 LRW,以蒸發器處

理,其蒸餾液送至 HPW 進行處理。

(3)清潔劑廢液(Detergent Waste, DW): 包含洗衣間及個人除污站等場所產生的廢水，經收集後泵送至 LRW 進行處理。

(4)雜項廢液(Miscellaneous Drain): 收集控制廠房輻射控制區域(RCA)內及潔淨區域 Hard-Pipe 設備所產生的液體廢料，包含 SAIR 冷凝洩水及 RCA 內無放射性的設備洩水等。MD 經取樣分析後，若符合排放標準則直接排放至環境中，否則泵送至 LRW 進行處理。至於 RBCW 產生的液體廢料則經手動操作回收利用或泵送至 LRW 進行處理。

5.2.2 典型的廢液集水坑則包含下列設備:

(1)通氣口及管路連接至各相關通風空調系統:以控制空浮污染 (Airborne Contamination)事件的發生。

(2)混合器(Mixing Educator): 利用泵浦出口水壓推動水力動力的混合器，使廢液集水坑內固體粒子充分混合並懸浮，確保採樣的代表性及輸送過程的一致性。

(3)集水坑泵浦(Sump Pump): 每個廢液集水坑配備 2 台各 100%容量的垂直離心式廢液集水坑泵浦。平日維持 1 台泵浦交替運轉，一旦不正常情況發生致大量廢水流入時，則第 2 台泵浦會自動啟動並聯運轉。

(4)廢液集水坑冷卻器(Sump Cooler): 為提供泵浦足夠的淨正吸引揚程(NPSH)，必須避免廢液集水坑內的廢水溫度過高。因此位於乾井(Drywell)內及反應器廠房 A 區內的低導電度廢液(LCW)集水坑須配備管殼式冷卻器，以確保廢水溫度低於 60°C。

5.3 系統操作及儀器設備:



### 5.3.1 系統操作: SUMP 系統的主要操作包括:

- (1)廢液集水坑泵浦的控制採交替運轉方式。即廢液集水坑液位超過 High 液位時，啓動第 1 台泵浦，一旦液位超過 High-High 液位時則啓動第 2 台泵浦，液位直降至 Low 時方停止所有泵浦的運轉。泵浦啓動的順序由泵浦運轉定時器控制，互相交替運轉。
- (2)若位於乾井(Drywell)內及反應器廠房 A 區內的低導電度廢液廢液集水坑，廢水溫度超過 60°C 時或該廢液集水坑在蓄積廢水時，則關閉該泵浦出口閥並開啓廢液集水坑冷卻器入口閥，以冷卻廢液。
- (3)一旦發生冷卻水流失事件(LOCA)時，則位於乾井廢液集水坑排放管線上的圍阻體隔離閥將接受洩漏與隔離系統(LDI)的運動信號而關閉。
- (4)若反應器冷卻水維修或洩漏時，則大量的 LCW 將被收集至乾井的 HCW 廢液集水坑內。因此須設置一組 3 向閥於 HCW 泵浦出口處供操作員切換排放方向至 LCW 廢液集水坑內。
- (5)提供沖洗設備於反應器廠房、控制廠房、熱修配廠及輔助燃料廠房內的 HCW 廢液集水坑，以減少傳輸管線上固體物資的滯留情形。沖洗水源來自於冷凝水儲存及輸送系統(CSTF)，並隨著高液位泵浦啓動而動作。沖洗水量相當於管線體積的 2 倍。

### 5.3.2 儀器設備: SUMP 設備包含下列主要儀器:

- (1)液位計: 每個廢液集水坑裝置 2 組液位偵測及傳送器，提供平均液位高度供泵浦起停控制及警報使用。
- (2)壓力計及傳送器: 除了乾井區域內的 LCW 及 HCW 廢液集水坑

泵浦出口裝置壓力傳送器外，其他廢液集水坑泵浦出口則裝置壓力計。將泵浦出口壓力與其流量比較，做為泵浦運轉狀態的判斷依據。

(3)差壓傳送器: 提供廢液集水坑冷卻器的差壓顯示，做為冷卻器管側效率(如是否阻塞)的判斷依據。

(4)比導電度計(Conductivity Meter): 設置於廢液集水坑泵浦的共同排放管線上，做為廢水分類的判斷依據。

(5)泵浦運轉定時器: 提供廢液集水坑泵浦運轉頻率及時間的量測。透過此量測與廢液集水坑液位高度變化的監測，可做為乾井及反應器廠房內過量反應器冷卻水壓力邊界洩漏的警報顯示。

(6)溫度量測元件: 量測乾井及反應器廠房 A 區的廢液集水坑內廢水溫度，以輔助操作員判斷廢液集水坑內廢水的來源是否發生不明的洩漏狀況。

(7)其他: 於反應器廠房冷卻水系統(RBCW)熱交換器(HX)房間(No. 111、121 及 131)各裝置 4 組高液位開關及液位傳送器，經由 4 選 2 的邏輯運算提供警報顯示並執行反應器廠房廠用水系統(RBSW)的隔離功能，避免損害安全等級電器設備。

1. 廢液集水坑清單如下表所示:

Building	Waste Type	Quantity	Sump ID	Sump Type	Capacity (M <sup>3</sup> )	Note
RB	LCW	2 (per unit)	2A	Cylindrical	3.25	With Cooler
			2B		3.25	
	HCW	5 (per unit)	4A	Cylindrical	3.25	
			4B		3.25	
			4C		3.25	
					3.25	

			4D		3.25	
			4E		3.25	
	SD	1 (per unit)	5	Cylindrical	3.25	
Drywell	LCW	1 (per unit)	1	Rectangular	3.85	With Cooler
	HCW	1 (per unit)	3	Rectangular	3.85	
AFB	LCW	1	2	Cylindrical	3.25	
	HCW	1	1	Cylindrical	3.25	
RT	HCW	1	3	Cylindrical	3.25	
MCH	HCW	1 (per unit)	8	Cylindrical	3.25	
	DW	1 (per unit)	7	Cylindrical	3.25	
CB	SD	3 (per unit)	6A	Cylindrical	3.25	
			6B	Cylindrical	3.25	
			6C	Cylindrical	3.25	
TB	LCW	2 (per unit)	5002,5003	Rectangular	6	
	HCW	4 (per unit)	5001,5004, 5005,5006	Rectangular	6	
RWB	LCW	1	-	-	3	
	HCW	1	-	-	3	
	DW	1	-	-	3	
	Chem. Drain	1	-	-	3	

## 6.廢料廠房通風系統(RBHV)

### 6.1.概述:

6.1.1 目的：核廢料廠房空調系統(RWHV)主要目的在負責提供核廢料廠房的通風及溫/濕度控制，維持廠房內適當的作業環境，並且避免核廢料處理流程及其設備運轉過程中空浮(Airborne)事件的發生。

6.1.2 RWHV 為非安全等級之系統。

6.1.3 系統設計目標：

(1)核廢料廠房內溫/濕度控制目標：

a. 控制室：22.2°C ~ 25.6°C

35% ~ 50% (RH)

b. 電子設備區域：18.3°C ~ 29.4°C

10% ~ 100% (RH)

c. 其他區域：10°C ~ 40°C

(2)核廢料廠房換氣速率(換氣次數/小時):依輻射區域(Radiation Zone)

劃分

輻射區域	換氣次數/小時
I	6
II~IV	4
V	1

## 6.2 系統設備與功能:

核廢料廠房空調系統依廠房的特性設計，可概分成下列四個子系統：

6.2.1. 清潔區域空調系統：清潔區域係指包括核廢料廠房控制室、電子室、會議室、管制站及保健物理室等區域。系統設計概念係以內部空氣循環利用為主，再輔以外界的新鮮空氣補充。即室內空氣經空氣處理單元(Air Handling Unit, AHU)的過濾、溫/濕度調整後再循環利用，同時經由風扇設備自外部補充適量的新鮮空氣，並且維持此區域的正壓狀態。室壓的設計原則係依人員滯留時間的長短決定，人員滯留時間較長的區域/房間則設定較高的正壓狀態，以降低空污事件發生時對人員造成的影響。其包含下列主要設備：

(1)空氣處理單元(Air Handling Unit, AHU)：包含兩組 AHU 分別供控制室及電子室等區域使用，每組 AHU 另各設置一組 100%容量的 AHU 備用。每組 AHU 內包含低效率過濾器、高效率(80%)過濾器、Cooling Coil 及風扇，提供空氣過濾及溫/濕度的調整。

(2)外部抽氣風扇(Fan)：設置一組外部抽氣風扇設備供清潔區域空調系統共同使用，以提供外部新鮮空氣的補充。每組外部抽氣風扇內包含低效率過濾器、高效率(80%)過濾器及風扇設備。

(3)加熱器(Heater)：於控制室送風風道上設置一組電熱式加熱器，經由設於室內的溫度量測元件控制送風溫度。

6.2.2. 一般區域空調系統：一般區域係指包括除核廢料廠房控制室、電子室、會議室、管制站及物理保健室等以外之區域。系統設計概念係以室外空氣抽氣利用為主。即室外空氣經 4 組(各 33%容量，其中 3 組正常使用，另一組備用)空氣處理單元(Air Handling Unit, AHU)的過濾、溫/濕度調整後送至一般區域後，再經由 6 組(各 20%容量，其中 5 組正常使用，另一組備用)空氣清淨單元(Air Cleaning Unit, ACU) 過濾後至屋頂煙囪排放。區域壓力的設計原則係依輻射區域的等級決定，即等級越低的區域設定較高的正壓狀態，以降低空污事件影響的範圍。系統架構圖如圖二所示，其包含下列主要設備：

(1)空氣處理單元(Air Handling Unit, AHU)：共設置四組 AHU。每組 AHU 內包含低效率過濾器、高效率(80%)過濾器、Cooling Coil 及風扇，提供空氣過濾及溫/濕度的調整。

(2)空氣清淨單元(Air Cleaning Unit, ACU)：共設置六組 ACU。每組 ACU 內包含高效率(80%)過濾器、HEPA 過濾器及風扇，提供空氣排放及過濾的功能。其處理容量除一般區域空調系統所需的空氣量外，尚須包含下述桶槽排氣過濾系統必需的處理量。

6.2.3 桶槽排氣過濾系統：設置兩組各 100%容量(其中一組備用)的桶槽排氣過濾器，以過濾廢料處理系統內各桶槽的排放氣體，並送至一般區域空調系統的空氣清淨單元(Air Cleaning Unit, ACU)及過濾後從屋頂煙囪排放。桶槽排氣過濾器內包含中級效率及 HEPA

過濾器。

6.2.4 冰水系統(Chilled Water System)：提供空氣處理單元內 Cooling Coil 必需的冷媒，冰水則來自一般冰水系統(Normal Chilled Water System, P24)。其中主冰水的提供及回流水溫分別為 8.4°C 及 14.4°C，另第二冰水(主要供一般區域空調系統的 AHU 使用)的提供及回流水溫分別為 15.6°C 及 28.9°C。冰水系統包含下列主要設備：

- (1)冰水泵浦：設置 2 台各 100%容量的離心式泵浦，其中一台為備用泵浦，用來提供冰水通過一般區域空調系統 AHU 的 Cooling Coil 所需的背壓。
- (2)化學進料桶(Chemical Feeding Tank)：維持密閉循環式冰水的水質，避免菌類的生長。
- (3)膨脹桶(Expansion Tank)：為一開放式桶槽，係供系統停機導至水溫上升膨脹時的緩衝儲存槽使用。
- (4)熱交換器：維持一般區域空調系統 AHU 使用的冰水的水溫在其設定值。

### 6.3 儀控系統:

6.3.1 控制系統: RWHV 的控制系統係採用一套獨立的可程式邏輯控制器系統(Programmable Logic Controller, PLC)。即 RWHV 系統的運轉資訊、輸出/輸入信號，均透過適當的 I/O 模組送至控制器上執行運轉邏輯判斷。操作員可經由 CRT 人機介面及現場控制盤，於廢料廠房控制室內，監控 RWHV 系統的運轉及警報顯示。此外，RWHV 的控制系統亦將提供一共用警報信號至控制廠房主控制室顯示。

- (1)儀器系統: RWHV 系統的儀器設備包含下列主要儀器:
- (2)流量傳送器：監測 RWHV 系統的空气流量、廢料廠房煙囪的排

放流量及冰水流量。

- (3)壓力傳送器：監測外部抽氣風扇、空氣處理單元及空氣清淨單元的風扇排放壓力，以及冰水泵浦入、出口端的壓力。
- (4)差壓傳送器：監測控制室與鄰近區域的壓差，以維持控制室正壓狀態。同時監測廢料處理廠房與戶外的壓差，以維持廢料處理廠房負壓狀態。另於各 AHU 及 ACU 內部過濾器設置差壓傳送器，做為濾網更換的參考。
- (5)溫度傳送器：監測 AHU 排放及回流的空氣溫度。另監測冰水熱交換器出入口的溫度。
- (6)偵煙式探測器：分別設置於 AHU 及 ACU 的排放及回流風道內，偵測是否發生火警狀態。
- (7)流程輻射監視器：設置於 ACU 排放口至煙囪間的煙道上，監視 RWHV 系統的排放是否符合標準。

## 7.電廠參訪紀要：

### 7.1 濱岡電廠：

日立公司安排訪問委由日立增建中的濱岡電廠第 5 部機組汽機廠房設備，由日立公司濱岡施工處副主任(宮原積 先生)接待，說明目前工程進度及相關安裝狀況，但本次參訪未安排電廠運轉中的機組，濱岡電廠增建第 5 號機組，屬 ABWR 機組，功率為 1570 Mwe，於 1999 / 9 開挖，預計 2004 / 3 填放燃料(其中已包含 6 個月的 Floating month)，2004 / 12 正式運轉，總工程期限 64 個月，但實際上可能提前，相較之下核四廠進度將落後甚多。

汽機廠房設備安裝由日立公司承建，目前汽機、發電機已吊入正進行安裝中，開關場 6.9kv 預計於本月份受電，本機組反應器廠房設備係由 TOSHIBA 得標，廢料廠房亦涵於 TOSHIBA 承建範圍，

但汽機廠房內的廢氣系統則涵於日立範圍，此做法與核四廠略有不同。

此機組日立公司廣汎採用模組化施工方式，儘量將管路設備利用工廠內組裝成模組後運至工地，此優點為工廠中有良好的室內空間環境（含溫、濕度、空氣品質），吊裝、加工製造、檢驗機具亦極齊全方便，故製造品質較佳，工期縮短，人力成本降低（賓岡第 4 機組尖峰施工期間為 1200 人，而第 5 機組則僅 650 人），另外由於工地吊車配置僅至約 200 噸，故其模組化開頂式（Open top method）則以此為極限，而超過此吊裝負荷的設備如發電機轉子、汽機、MSR---等，則從設備房側牆開孔，採用門型油壓起重機，將設備升至開口高度後，以軌道運至定位。

## 7.2 柏崎刈羽電廠：

日立公司安排參訪東京電力公司柏崎刈羽(kashiwazaki)電廠，電廠由其公關主任（AKIHIKO FUKADA 先生）接待，此電廠共有 7 部機組，位於新潟縣靠近日本海，冬季下雪氣候較寒冷，為目前世界上出力最大的電廠，其中第 6/7 部機屬 ABWR 機組，額定功率為 1356MWe，與核四廠同型，功率亦相當參觀範圍主要為 K6 /K7 機組之主控室、汽機廠房、燃料更換樓層，及電廠低階廢料儲存倉庫、展示館。K6/7 兩部機共用一間控制室，盤面則左右兩側各自機組獨立，值班採 6 班制，每班值班人員共 10 人，與其他每機組獨立控制室值班人員 6 人相較減少 2 人，值工師須取得相當於國家級協會（National Board）運轉執照，其他值班員則須取得電力公司運轉執照。其中 K6 機組曾於 2001/6 月間由於一次圍組體內反應器輔助冷卻系統洩漏造成手動停機，於 2001/9/28~ 2001/12/2 間進行第 4 次大修（共 66 天），下列係 ABWR K6 / 7 機組自商業運轉以來累



續至 2001 年運轉績效說明：

K6 / 7 ABWR 運轉績效 ( 累績至 2001 年 )

	設計 目標	UNIT 6 / 7 運轉績效						
可用率	> 80 %	UNIT 6 : 86.8% UNIT 7 : 88.1%						
大修天數	< 55 天		1 <sup>ST</sup> 大修	2 <sup>ND</sup> 大修	3 <sup>RD</sup> 大修	4 <sup>TH</sup> 大修		
		UNIT 6	61	44	53	66		
		UNIT 7	55	45	50			
劑量 ( Man Sv/ year )	< 0.5		1 <sup>ST</sup> 大修	2 <sup>ND</sup> 大修	3 <sup>RD</sup> 大修	4 <sup>TH</sup> 大修		
		UNIT 6	0.3	0.33	0.34	1.2		
		UNIT 7	0.15	0.30	0.42			
低放射性廢 料產量 ( drum/ year )	< 100		Fy 96	Fy 97	Fy 98	Fy 99	Fy100	Fy101
		UNIT 6	25	69	26	106	106	98
		UNIT 7		37	62	71	64	15

以前項資料顯示 K6 / 7 ABWR 機組的運轉績效平均值已可符合設計目標，依該電廠說明，較其他該電廠傳統 BWR 機組（第 3 / 4 號機）亦有較佳的運轉經濟績效。K6/7 機組廢液、固化廢料系統的運轉維護作業係外包由包商負責，電廠人員僅監督作業。本電廠 7 部機組，輸出功率 820 Mwe，電廠人員約 950 人詳後表，常駐包商（如 Hitachi、Toshiba 等大包商）則依電廠各情況（如大修）約 3~4 千人，而台電三個核電廠 6 機組，輸出功率 500 Mwe，總共約 2000 人，若粗略估計巡迴大修支援人員 500 人，則共 2500 人，柏崎刈羽電廠人員配置方式與國內各核電廠相較，表面看來似乎我國核電廠人員多出甚高，唯實際上若把柏崎刈羽電廠包商人員約 4 千人計入則我國各核電廠人員反而較少，此資訊似亦可作為電

廠人員配置合理性的對外說明參考。

柏崎刈羽電廠人員的配置情形

部門	人數
廠長室	17
行政	136
公共資訊 (public information)	54
運轉	412
維護	144
維護訓練中心	11
工程部門 (engineering)	152
其它	22
共計	約 950 人

柏崎刈羽核電廠運轉週期為 13 個月，大修則約 40~60 天，電廠採用下列方式以縮短大修期間：

- (1) 整體性的設備更換方式：如控制棒係以整組方式更換，而於機組運轉後才進行細部檢修。
- (2) 兼採用「預防保養」(preventive) 及「時間基準」(time-based) 保養方式。
- (3) 查驗 (inspection) 策略。
- (4) 精心的預先規劃。
- (5) 雙重系統/設備採用線上維修。

7.3 志賀電廠：

訪問北陸電力志賀二號機工地，由日立駐工地辦公室副總務課長 Katsumi Kobayashi 先生接待，該電廠位於日本西岸石川縣羽咋郡臨近日本海，冬季下雪寒冷，部份施工仍於帆布遮雨棚下進行。

本電廠一號機已運轉約 10 年，該機組整部機組（含 NSSS、BOP）均為日立承建完成，甚至目前機組之維護亦由日立承包。二號機為 ABWR 機組，發電輸出為 135.8 Mw，整部機組之設計、製造、安裝亦均由日立承包，電廠屬 Turn key 移交，工程進度預計於 2003 年 RPV 吊裝、2005/3 填放燃料、2006/3 運轉，目前工程進度約 50%，反應器廠房 RCCV 已安裝至最頂層凸出地面約 20M，土木工程灌漿則已到地面層。施工採用模組化安裝，於反應器廠房現場正進行乾井支撐（DSSPS）模組安裝，整座模組安裝完成達 650 噸重，利用工地大型吊車（容量達約 1000 噸）吊入 RCCV 後再吊放反應爐槽，由於模組係在反應器廠房外進行，空間寬敞，環境較佳，對於施工、檢驗的品質、精確度、成本、工期均較易掌控管理，核四廠由於土木、機械分屬不同安裝承包商（新亞/中鼎），合約中未要求承包商模組化安裝方式，另此法亦須大型吊車配合。

#### 7.4 福島電廠 BWR 訓練中心（BTC）：

BTC（BWR Operator Training Center Corp.）為於福島縣接近日本東北海岸，與福島核電廠相臨，該中心由社長 Noboru Nakao 先生簡報接待，其訓練中心有兩地點，分別為：

- (1).福島（Fukushima）模擬器訓練中心：BWR-4 模擬器 2 套（780MWe）、BWR-5 模擬器 1 套（1100MWe）。
- (2).Niigata 模擬器訓練中心：BWR-5 模擬器 1 套（1100MWe）、ABWR 模擬器 1 套（1350MWe）。

此公司設立於 1971 年，主要分屬 Toshiba、Hitachi、Tokyo electric、及其它 9 家電力公司共同擁有，其中 Toshiba、Hitachi 分別佔有 1/3 股權，Tokyo electric 佔 16%。訓練中心有一特別的輔助訓練設備（training replay system），亦即利用 5 台攝影機，將訓練學員的聲

音、影相完全記錄，並將所有模擬器操作信號同步接至輔助訓練設備室，講師可於之後完全回朔學員操作狀況，做為檢討評估依據，使用成效良好。

BTC 僅提供電力公司學員訓練成果，不參與運轉員之執照核發，而由電力公司自行判斷發照作業。其 BTC 講師的組成為：

- (1)電力公司：具有良好運轉經驗，3 年一輪。
- (2)製造廠家：如日立、東芝設計或研發部門工程師，3 年一輪。
- (3)BTC：訓練中心招募的永久性講師。

對於運轉員的新進、養成、培訓 BTC 電力公司有一套獨特作法，新進運轉員係以招考方式引進高中畢業的優良青年，年齡約 18~20 歲，對於為何僅招考高中畢業青年，表示主要考慮為運轉員須長期培養，從年輕即引進，待成為成熟運轉員後，正值人生壯年期 30~50 歲，對公司有較佳貢獻績效，而且高中畢業待遇成本較低。另外運轉員於運轉團隊中係採家庭責任式的訓練方式，責任中隱含情感，是一種特殊的團隊訓練。

運轉員訓練程序大致如下：

- (1)新進員工：電力公司招考高中畢業的優良青年，年齡約 18~20 歲，施以啓始訓練。
- (2)輔助系統運轉員（auxiliary system operator）：年齡約 22~26 歲，施以啓始訓練。
- (3)主要設備運轉員（main equipment operator）：年齡約 30~40 歲，施以中階訓練。
- (4)高級運轉員（senior operator）：年齡約 30~40 歲，施以中階訓練。
- (5)助理值工師（assistant shift supervisor）：年齡約 40~50 歲，施以高

階訓練。

(6)值工師 (shift engineer)：年齡約 40~50 歲，施以高階訓練。

### 參、出國期間所遭遇之困難與特殊事項

此次放射性廢料處理系統之訓練為依合約執行的第二梯次訓練，日立公司非常重視本項訓練，對於課程的安排、時間的掌控、教材的內容均作了周延的計劃，完整的授課團隊，周全的講義資料，以及嚴密的時間掌控，展現令人欽佩的服務態度。上上下下動員了三十幾位專案經理與工程師授課，遇有語言障礙時，即指派專人擔任傳譯工作，讓訓練工作得以順利進行，未曾遇到任何困難。

生活方面，日方也派出一位專案經理高村則之先生，提供參訓人員在東京及日立生活及住宿之協助。在此一併感謝。

#### 肆、對本公司之具體建議

日立公司屬於日本國際級大企業之一，屬於日本第七大企業，世界第三十二大(2002年統計)企業，其規模僅次於豐田汽車，三菱集團，三井集團，伊藤忠商事，住友商事，日本電話電報公司之後。

其事業體系涵蓋機電、交通、家電、電子、情報通訊等方面，子公司遍佈全球，旗下員工近三十萬人，其年盈收總額約 639 億美元(22,045 億新台幣)，平均每位員工年產值 21.3 萬美元(734.8 萬新台幣)。

其工業產品在一般大眾心目中，未必如一般新力、國際等家電廠牌知名度高，唯其營收仍大於這些知名企業，應歸功於該公司先進技術之穩固根基，及跨領域技術之整合能力。由 ABWR 整廠承造之實績(濱岡第 5 號機，志賀第 2 號機，及柏崎刈羽第 6 及 7 號機)，可驗證該公司在電力事業之關鍵技術掌握能力已達世界一流水準。

日立與台電公司相較，其人數約 10 倍，每位員工產值約為 7 至 8 倍，由於日本平均國民所得原本就約為台灣三倍，且臺電公司屬國營企業，並非以營利為唯一目的，故以帳面上產值來作比較並不適切。即使如此，在參觀該公司創建者小平先生之紀念館之後，得知該公司由 40 坪大、約 5 馬力之馬達修理工廠開始，在短短不到一百年間，發展成如今之規模，確有值得借鏡之處。

藉著此次訓練與該公司從業人員深入的接觸，得以略窺該公司成功茁壯之堂奧，確為個人難能可貴的經驗，日立公司及日本電廠對現場管理，非常重視，以下幾點建議提供給公司作參考。

一. 重視時間管理—計劃規劃，進度追蹤，工作執行，一切以守時為基本共識。守時提昇了效率，也表現了團體成員間的彼此尊重，

也是整合團隊步調的第一步。

- 二. 重視清潔,養成從細節開始要求的習慣,塑造日本產品及工程優異的品質,即使是小至工作現場衛浴間洗手設備,最微小的邊緣縫隙也看不到任何污垢,幾近完美的清潔要求背後,代表的是一絲不苟,永不妥協對品質的要求。
- 三. 隨處可見的標示牌,提醒賦予領導者肩上所背負的責任,每一處工作現場,每一項設備,皆有所謂「責任者」(即負責人)的標示。
- 四. 團體的榮譽感有助於大型工程建設及運轉的順利成功:日本企業不斷加諸於工作團隊每一位成員團體意識,從全體一致穿著工作服,到朝會時全員參與精神講話、每個成員皆把團隊的成功視為個人工作的成就,公司內外部競爭雖激烈,唯沒有任何人能獨立於團體的失敗之外而獨享個人光彩。
- 五. TEAM WORK 的觀念已內化為做事的模式,由日本電廠運轉員的培訓是以家族式的師徒式訓練可見一斑,個別新進運轉員培訓的成敗悠關該運轉團隊(小組)的榮譽,甚至連測試運轉員的考試也以整個運轉小組的隨機應變整體評量,任何一位個別運轉員之失誤都將視為整個小組表現的失誤,個別運轉員的優異考試成績並不代表運轉團隊必然成功,還要加上該運轉員與上級、下級、同儕成員的溝通能力,經年累月培養出的合作默契,才能在團隊測試中奪得好成績。
- 六. 重視團隊整體成績而非個人成績的思考邏輯,巧妙地將個人之間的內耗競爭轉化為較良性的團隊部門間的競爭,故每位成員必須關心的是如何扮演好自己在團隊中最適當的角色,也替日本電廠運轉績效創造另一項令人刮目相看的成績。
- 七. 領導者的使命感與願景宏大且方向正確,從百年前創辦人立志,



要不靠外國作出日本人自製的馬達起，過去的發電機、壓縮機，到今天的電漿電視技術，未來的燃料電池開發，領導者正確的眼光，堅持自有技術獨立研發，要研發出日本第一的產品，甚至領先世界的技術的使命感，至今仍趨策其公司不斷自我超越，也帶給其公司豐厚的利潤。

- 八. 從最高領導者以身作則開始的無私奉獻精神，強化了員工奉獻犧牲的動機，日立集團之總裁職位，繼原創辦人小平之後，至今天的 Etsushiko Shoyama 為止，都不是原創辦人小平之子孫或親戚，而是以公司內部公開制度擢昇之優秀專業管理人，日本企業與臺灣的家族式企業內舉不避親的傳統明顯不同，員工的忠誠度與向心力顯著的表現在企業競爭力上。
- 九. 工作成員與企業的依存關係強烈，塑造永續經營所必需之凝聚力；個人不吝惜的為企業犧牲奉獻，企業也不時的表彰有供獻者，例如立紀念碑(紀念曾為該公司犧牲的人)，紀念館等，加重了榮辱相連，休戚與共的觀念，亦為其敬業態度之原動力。
- 十. 團隊的目標明確：重大工程建設的工地或計劃預定地上，隨處可見大型的標語上，展示著未來具體夢想與明確的目標，隨時激勵每一位工作者，展現日本企業追求一致前進的決心。

結語：守時、重視細節、責任分明、團體榮譽感、TEAMWORK 之習慣、使命感與正確的領導、與公司之同舟共濟之想法、明確的夢想，造就了日本在超大型建設工程的整合能力的優勢，也值得我們深思與學習。