

事故後取樣系統 (Post Accident Sampling System)

一、由來：

一九七九年三月美國三哩島電廠由於一次側冷卻水的流失而且無法立即補充冷卻水的情況下，致使爐心上部沒有水淹蓋，造成燃料棒受損。而依據事故後爐心檢查結果爐心內構造物約有百分之四十七發生熔毀並沉積在反應爐內，但反應爐依然完整無缺。在系統穩定後，估計事故後在高溫環境下，燃料銻管與水產生氫氣約2000 cc/kg以及燃料管破損導致爐水升高約14000R/hr，為迅速了解爐心內部損害的情形以便進行相關對策，暴露出正常的取樣設備不能符合在此高劑量環境下需求之問題。美國核管處遂要求各電廠，須設計一事故後廠區可取樣分析的能力，並將之設立在緊急計劃小組管制之下。

二、要求：

依據NRC Regulatory Guide 1.97 及Nureg 0737的要求如下：

Regulatory Guide 1.97

* PASS 在事故後須一直能保持使用

* 事故後廠區取樣分析能力如下：

反應爐冷卻水 (RCS)：

項目	範圍	項目	範圍
總活性	10uCi到 10Ci/cc	能譜	同位素分析
硼濃度	60-6000 ppm	氯離子	0-20 ppm
溶氫	0-2000cc/kg (STP)	溶氧	0-20 ppm
酸鹼度	1-13		

反應爐氣體 (CTMT)：

項目	範圍	項目	範圍
氫氣含量	0-10%	氧氣含量	0-30%
能譜	同位素分析		

* 樣品須具有代表性

* 須符合 ALARA 精神

Nureg 0737

* 一小時內取樣，全身劑量 $\leq 5\text{Rem}$ ，個別器官 $\leq 75\text{Rem}$

* 須能分析1uCi到10Ci/g之鈾氣，碘，銻等能譜設備

* 可執行硼分析(只限於PWR)

* 能決定CTMT氣體氫氣含量

* 能度量冷卻劑中溶解氣體

* 取樣分析3小時內完成

* 需能每值分析氯離子

* 事故後第一星期每天至少取樣一次

* 取樣通風須使用活性炭及HEPA過濾

依據緊急計畫的要求，本系統係在事故後且正常取樣口無法取樣時作為爐心及圍阻體取樣用，而其執行的順序為：

1. 化學課先自行取樣(GRAB & ON-LINE)分析(三小時內)。
2. 若廠內化學實驗室無法使用，且樣品活性 $< 100\text{mCi}$ 取稀釋或未稀釋樣品送放射實驗室分析(三小時內)。
3. 若放射實驗室無法使用或樣品活性 $> 100\text{mCi}$ 則取未稀釋樣品送核研所。

三、設計基準：

本廠事故後取樣系統是由美國 SENTRY 公司設計提供，其主要設計除了可提供事故發生時於法規時限內(3小時)完成取樣分析之外，並可使操作者接受到較低之輻射曝露劑量。而本系統不僅適用於事故後之取樣，亦可適用於平時取樣操作，藉以使操作者於平時訓練熟悉此系統。為符合NRC的要求，在PASS的設計基準方向如下：

A. 控制輻射背景及人員曝露劑量：

1. 使用細管及短流程減少取樣體積。
2. 自動稀釋反應器冷卻水及氣體樣品。
3. 完整以鉛屏蔽包封取樣管徑，抑低操作者曝露劑量。
4. 以氫氣及除礦水沖淨取樣後殘留之樣品。
5. 取樣盤面密封抽氣，使液體或氣體洩漏至廢料系統管理。

B. 快速取樣及分析：

1. 可遙控操作取樣，亦可手動操作取樣。
2. 人體功學原理設計操作開關。
3. 於遙控盤直接顯示操作流程及功能。

C. 未稀釋樣品取樣及運送：

1. 包含平時取樣及事故後取樣能力。
2. 全尺度模擬及系統測試。

D. 為達到 NRC 的最低要求，PASS 系統亦預先修正了下列步驟：

1. 在正常或事故後狀態下可取得未稀釋爐水樣品，並移至其它實驗室做獨立分析。
2. 線上儀器可測量酸鹼度、導電度、硼酸、氯離子及溶氧。
3. 在選擇樣本上更具彈性，有各種不同的來源。
4. 對氣體或液體的樣品預先冷卻及降壓。
5. 特殊設計的取樣器使樣品在低曝露率下移至設計位置。

然而PASS系統所能取得到的樣品有稀釋及未稀釋的高壓反應爐冷卻水、低壓餘熱移除系統冷卻水、圍阻體內氣體及爐水的剝離氣體。其中稀釋樣品可於本廠實驗室內析，而未稀釋樣品則送到後備實驗室（桃園龍潭核能研究所）來作分析的工作。

四、系統功能概述：

本廠PASS系統設置位置依需求分為兩部分，一在輔助廠房115呎即是在西側輔助飼水泵上方，包括樣品冷卻、取樣、分析及電源與訊號的仲介盤，另一在汽機廠房74呎東側包含閘的控制與監測。

以下將分別對各盤功能作簡單的敘述

(一) 樣品取樣盤：GSP (GRAB SAMPLE PANEL)

- A. 範圍：取樣盤可分為兩部分，上半部吸收氣體的洩漏排放至機組廢氣處理系統，下半部則收集任何可能的液態洩漏，再經由馬達排至集水槽，本盤主要接受從樣品冷卻盤 (SCR) 出口之高壓，低溫水樣，及圍阻體氣體樣品。
- B. 功能：
1. 稀釋之反應器冷卻水液體樣品。
 2. 未稀釋之反應器冷卻水液體樣品。
 3. 反應器冷卻水溶解氣體樣品。
 4. 反應器冷卻水溶解氫氣樣品。
 5. 稀釋之圍阻體氣體樣品。
 6. 未稀釋之圍阻體氣體樣品。
 7. 圍阻體之氫氣濃度。
 8. 圍阻體之氧氣濃度。
- C. 設計能力：
1. 溫度控制：在水樣流速為200ml/min時，SCR出口比冷卻水進口溫度大1°F。當SCR出口超過 10°F時，自動關閉AV-1及觸發警報。
 2. 壓力控制：在VREL之前容許樣品壓力達到2500psig，下游設定70psig的壓力釋放閘來保護。
 3. 圍阻體氣體的氫氣與氧氣濃度測量範圍為50-2000 H₂ (STP) /kg ±10%。
 4. 溶解氧可由線上溶氧電極監測範圍分別為0-0.02、0-0.2、0-2、0-20 ppm可供選擇，溫度範圍0-45°C，誤差濃度為±5%，溫度誤差±0.2°C。
 5. 加馬輻射偵測器：系統管件沖洗之程序。
 6. 區域輻射偵測器：提供取樣或檢修背景資料。
 7. 最大劑量率為360mrem/hr，個人劑量每次取樣小於100mrem(距盤面一米處)。

(二) 化學分析盤：(CHEMICAL ANALYSIS PANEL)

- A. 範圍：
- 本盤面物理結構類似GSP盤(除長寬深稍有不同)包括酸鹼度、氯離子、導電度及硼酸等分析。
- B. 功能：
- 分析液體樣品，可於線上直接測量：a.酸鹼度 b.氯離子 c.導電度 d.硼酸濃度。
- C. 設計能力：
- 線上分析儀器是設計為平時狀況或事故狀況時現場分析。
1. 線上分析：
- 樣品經由purge，降壓閘(VREL)而通過探極，導電度計的量測必需是流動的樣品，但酸鹼度計則在流量停止時較為正確值，

氯離子的量測則由可動式離子層析儀吸取 200ul 樣品，硼酸分析由吸取屏蔽後 75ml 容器中的樣品來分析。

- 導電度範圍為 0.1-100 uS/cm，自動溫度補償，誤差值±5%。
- pH 值範圍為 1-13，自動溫度補償，誤差值±0.3。
- 氯離子由移動式離子層析儀進行分析，分析範圍 100ppb-20ppm，誤差值±20%。
- SEC 硼分析儀包括：
 - a. 中央處理器控制流程及資料分析，輸入及輸出。
 - b. 計步器由計步馬達控制，調整打入分析盤的量。
 - c. RS232C 列印界面作為輸入及輸出的控制。
 - d. pH 電極及旋轉分析盤。

2. 線上校正：

其中 pH 計及導電度計可進行線外校正，CAP 盤提供 3 個儲存容器其中兩個裝 pH=4、pH=10 的緩衝溶液用來校正 pH 電極，另外一個則作為 IC 的標準溶液，若導電度計須校正時則將裝緩衝液的容器改裝已知導電度的氯化鉀溶液。

3. 沖洗：

CAP 盤可利用除礦水，氮氣進行沖洗。

4. 最大劑量率為 140mrem/hr，個人劑量每次取樣小於 84mrem(距盤面一米處)

(三) 控制監測盤(CONTROL MONITOR PANEL)

A. 範圍：

由遙控或指示 SCR，GSP，CAP，GC 及各閥狀態、流量、壓力、溫度及各種參數。

B. 功能：

1. 導電度及 pH 值監測。
2. 圍阻體氣體樣品氫及氧監測。
3. 反應器冷卻水溶氫及溶氧監測。
4. 硼酸濃度監測。
5. 數位式壓力顯示包括：
 - a. 圍阻體空氣壓力、b. off-gas 管路內壓力、c. 液體樣品進口壓力、d. 液體樣品出口壓力、e. 液體樣品過濾器差壓。
6. 圍阻體氣體樣品加熱元件控制器 (7) 液體取樣容器內溫度指示。
7. 液體樣品進口溫度指示。
8. 警示燈號包括：
 - a. 樣品高溫度 b. 冷卻水高溫度 c. 冷卻水低流量 d. 冷卻水低壓力 f. 集水池高水位 g. 過濾器堵塞 h. 圍阻體氣體低溫度 i. 高輻射劑量 j. 高-高輻射劑量。
9. 盤面前後之加馬偵測器。
10. 記錄各分析儀之讀數：
 - a. pH b. 導電度 c. 溶氧 d. 圍阻體氣體氧含量 e. 圍阻體氣體氫含量 f. off-gas 氫含量。

(四) 閥控制盤(VAVLE CONTROL PANEL)

A. 範圍：VCP 可依選擇鈕及指示燈指引操作人員遙控閥的位置來選擇樣品，液體有 RCS 及 RHR，氣體為圍阻體內之空氣。

B. 功能：VCP 可提供操作者遙控操作。

(五) 電源仲介盤(POWER INTERMEDIATE PANEL)

A. 範圍：PIP 盤提供 GSP 與 CAP 所有電氣線路與氣動裝置，組件等的端點結連接。

B. 功能：提供電源及空氣，使 GSP 與 CAP 的閥件動作及進行現場未稀釋樣品的取樣。

(六) 信號仲介盤(SIGNAL INTERMEDIATE PANEL)

A. 範圍：提供由 GSP、CAP 盤所有的信號聯接。

B. 功能：提供由 GSP 與 CAP 傳送而來的信號接點。

(七) 樣品冷卻盤(SAMPLE COOLER RACK)

A. 範圍：提供反應器冷卻水的一些訊息，包括；冷卻水低流量，低壓力，高水溫，以及反應器冷卻水高溫，過濾器阻塞等。

B. 功能：使樣品在進入 GSP 前冷卻，當樣品溫度超過設定點時，自動關閉 AV-1，並觸發 CMP 盤上的警報。

(八) 氣體層析儀(GAS CHROMATOGRAPH)

A. 範圍：主要分析圍阻體氣體中的氫，氧以及反應器冷卻水氫氣含量。

B. 功能：可遙控操作分析，氣體樣品自 GSP 盤導入 GC。

C. 設計能力：氫濃度範圍 5-2000cc/kg，誤差為±10%，圍阻體樣品±0.3vol%。

(九) 離子層析儀(ION CHROMATOGRAPHY)

- A. 範圍：在CAP截取0.2ml樣品後，送至偵檢器偵測氯離子濃度。
- B. 功能：分析反應器冷卻水中氯離子的含量，其設計為可動式，可移至PASS及實驗室使用。
- C. 理論介紹：
層析儀：
 1. 樣品注入儀器導管中隨儀器載體移動。
 2. 經過管柱內的填充物，將樣品中的物質依物性分離。
 3. 經過偵測器(導電度計)量得訊號再依滯留時間及訊號大小作定性及定量的分析。

(十) 顆粒、碘及氣體分離取樣器

- A. 範圍：將圍阻體氣體樣品分隔成顆粒，碘及惰性氣體等放射性進一步的分析。
- B. 功能：圍阻體氣體樣品先通過顆粒過濾器，再通過碘吸附匣，最後樣品進入一氣體樣瓶，碘吸附匣與氣體樣瓶可以取下攜至實驗室作進一步分析。

五、PASS系統操作程序：

(一) 準備條件：

1. 操作前必須經值工師許可後才可進行。
2. 操作前必須先填寫輻射工作許可證(RWP)，並請保健物理課人員配合偵察工作區的輻射劑量強度。
3. 嚴守廠內及廠外輻射防護規則，確保人員安全。
4. 遇有緊急事件，立即中止有關取樣操作，並將系統復原至原備用狀態，並立即報告有關工程師處理，必要時請通知保健物理管制站。

(二) 啟動準備程序：依電廠作業程序書SOP865序列執行。