**第四十三章 流程放射偵測和區域放射偵測**

1. 流程放射偵測系統

(Process Radiation Monitoring System)

**1-1概述**

流程放射偵測系統，偵測核能電廠內各種流動液體與氣體之放射性，藉以控制放射性物質外洩不超過規定值，也提供警報，保護人員和設備安全。本系統包括下列各主要系統

* + 1. 主蒸汽管路放射偵測系統(Main Steam Line Radiation Monitoring System)。
    2. 抽氣器廢氣放射偵測系統(Air Ejector Off Gas Radiation Monitoring System)。
    3. 廢氣通風道放射偵測系統(Off Gas Vent Radiation Monitoring System)。
    4. 流程液體放射偵測器(Process Liquid Radiation Monitors)。
    5. 廠房排氣管放射偵測系統 (Containment Ventilation Exhaust Plenum Radiation Monitoring System)。
    6. 廠房通風道放射偵測系統(Containment Ventilation Discharge Monitoring System)。
    7. 炭床室偵測支系統(Carbon Bed Vault Monitoring Subsystem)。

**1-2系統說明**

**A.主蒸汽管放射偵測系統**

（1）目的

偵測由燃料護套破裂引起大量分裂產物的逸出，並採取適當保護措施，防止燃料繼續損壞，限制分裂產物外洩。

（2）安全設計基準

1. 須能迅速指示自燃料棒釋出的大量分裂產物。
2. 引發隔離動作，包封由燃料釋出之分裂產物。

（3）說明

1. 四組加馬感測儀器控道，偵測四條主蒸汽管路之總加馬射線。
2. 四個加馬感測偵檢器，裝置於主蒸汽管路外隔離閥之下游處。
3. 偵檢器裝置位置，應能偵測到各主蒸汽管路放射性大量增 加為原則。
4. 兩個控道由RPS匯流排A供電，另兩個控道由RPS匯流排

B供電。

1. 偵測到主蒸汽管路高輻射量時，提供跳脫信號至包封容器隔離控制系統等。
2. 適當選擇高輻射跳脫設定值，萬一控制棒掉落事故發生，分裂產物逸出時，即產生高輻射跳脫。

（a）高輻射跳脫之設定，應高於額定功率運轉時主蒸汽管路附近的輻射背景值，以免發生誤動作。

（b）高輻射跳脫之設定，應低於萬一在低蒸汽流量時發生控制棒掉落事故所逸出放射性物質之輻射強度。

1. 主蒸汽管路放射偵測器之跳脫設定值，為正常輻射背景值的3倍。
2. 警報設定值，通常為滿載功率時正常輻射背景值的2倍。
3. 正常輻射背景值視偵檢器與主蒸汽管路相關位置而定，此值與主蒸汽管流量/負載出力成正比。
4. 各偵測器安裝完成後，應予各項性能試驗，機組初期起動試驗時，跳脫值須配合校正，以確定在規定範圍內的直線性。
5. 每一偵測控道，包括一個加馬感測離子腔與一個對數放射偵

測器。

1. 各偵測控道之功能。
2. 每個對數放射偵測器，有兩個高高指示(Upscale)跳脫電路及一個低指示(Downscale)跳脫電路。
3. 低指示跳脫用來提供儀器故障警報。
4. 每一對數放射偵測器輸出，顯示在控制室內指示儀表上。

f.跳脫電路正常時加壓，故障時中斷電源產生跳脫信號。

（4）檢查與試驗

a.有可調電流裝置，供作對數放射偵測器之測試。

b.系統使用時，應比較所有控道的輸出，方能確實各控道之工作能力。

**B.抽氣器廢氣放射偵測系統**

**(Air Ejector Off Gas Rad. Mon. sys)**

1.目的

1. 指示和記錄廢氣活性炭再結合系統上、下游的加馬輻射強度。
2. 提供廢氣活性炭再結合系統之上、下游取樣設備。
3. 提供指令信號，以隔離廢氣出口控制閥及洩放閥，使排出廠外廢氣符合政府規定。
4. 提供沖淨空氣，避免取樣腔壁污染。

2.設計基準

1. 須能提供警報，警告抽氣器廢氣之放射性到達短期限制值(Short Term Limits)。
2. 須能記錄抽氣器排氣的放射性強度。
3. 放射性超過限制值時，能引發適當動作，以防止放射性物質逸出周圍環境。
4. 須能供給實驗室取樣分析。

3.說明

（1）廢氣處理前放射偵測

1. 偵測尚未處理的SJAE廢氣之放射性。
2. 單一儀器控道
3. 加馬感測器與轉換器(即蓋革計數器Geiger-Mueller])，置於垂直取樣腔附近。
4. 指示器、記錄器及跳脫單元。
5. 跳脫單元
6. 兩個高指示(Hi-Hi與Hi)跳脫單元。
7. 一個低指示與不作用(INOP)跳脫單元。
8. 自廢氣管路至廢氣取樣腔的取樣管路，應容許N16與O17兩種同位素蛻變時間二～四分鐘，以減低輻射背景。
9. 流經取樣腔之流量率，祇用作測定延遲時間。
10. 偵測器測定固定體積的樣品，僅能測定其濃度(Ci)。
11. 為了將讀數轉換為釋放率，則必須知曉全部廢氣系統之流量(Total Offgas Flow Rate)。

（2）廢氣處理後放射偵測

1. 自活性炭床上游或下游取樣。
2. 兩個儀器控道，每個控道有：

（a）綜合輻射偵測裝置，包括屏蔽腔、蓋革管(G-M Tube)和校正用放射源(Check Source)。

（b）計數偵測器，附有電源供給與指示儀表。

（c）記錄器。

1. 跳脫單元。

每個控道有一個低指示跳脫單元(表示儀器故障)和三個高指示跳脫單元(表示高輻射，Hi，Hi-Hi，Hi-Hi-Hi)。

1. 跳脫邏輯
2. 任一跳脫單元動作，都會提供控制室警報。
3. 取樣

⮚廢氣處理前或後之取樣管路，各自分離，單獨取樣。

⮚取樣管務須與放射偵測器隔離，以免取樣時影響流至偵測器的氣體流量改變。

⮚一些電磁閥用作遙控取樣、裝瓶及引入沖淨空氣。

1. 校正與試驗

根據以往核能電廠運轉經驗，起動前之校正方法如下：

1. 電廠運轉時，利用實驗室之取樣分析來校正各偵測器。
2. 反應爐初次臨界前，須先行測試各個偵測器，以確定在運用範圍內的直線性。
3. 以手提離子腔(C.P)極易確定電子反應，再核對實驗室取樣分析所驗出的樣品成分。

**C.廢氣通風道放射偵測系統**

1.目的

廢氣通風道放射偵測系統，用來測試廢氣通風道內排往大氣的放射性強度，達到限制值時，發出警報。

2.設計基準

（1）須能連續指示和記錄廢氣通風道內的放射性強度，採用計數率表示。

（2）提供過濾系統，以收集粒子(Particulate)與鹵素(Halogen)樣品。

（3）可調整的取樣流量，應不受過濾器、相關管路閥等壓力降的影響。

3.說明

（1）一個儀器控道，包括：

1. 蓋革(G-M)加馬偵檢器。
2. 對數計數率偵檢器。
3. 指示儀表。
4. 記錄器。

（2）為保證取到代表性樣品，廢氣通風道之取樣，由置於靠近高處通風口的等動能探針(Isokinetic Probe)抽取。

（3）廢氣樣品流經屏蔽腔，其放射性強度，可由腔內加馬偵檢器測得。

（4）在廢氣樣品偵測管路設有過濾器，用來蒐集及測定放射性碘(Iodine)與粒子(Particulate)。

4.跳脫單元

此偵測器的跳脫電路，有兩個高指示跳脫(Hi-Hi 及Hi)單元與一個低指示跳脫單元，任一跳脫單元動作，皆提供控制室警報，高指示警報表示高放射性，低指示警報表示儀器故障。

5.試驗與校正

（1）偵測器控道，附有校正用放射源(Check Source)與沖淨管，沖淨閥和放射源皆可由控制室遙控操作。

（2）起動前此偵測器之校正，可利用液態放射源；運轉中定期校正則由廢氣取樣計算校正之。

**D.流程液體放射偵測器**

1.目的

1. 當流程液體排放至廠外(大海中)時，利用流程液體放射偵測器連續指示及記錄正常排放情形，超過設定值時，發出警報。
2. 在廠內一些系統流程中，也設有流程液體放射偵測器，偵測正常非污染區的放射性物質累積量，超過預定之限制值時，發出警報，表示流程系統故障。

2.說明

（1）典型的流程液體放射偵測器，計有五個獨立支系統：

1. 核機冷卻水(NCCW)放射偵測系統
2. 汽機廠房冷卻水(TPCW)放射偵測系統
3. 放射性液體廢料排洩放射偵測系統
4. 緊急循環水放射偵測系統，包括兩個控道，分別偵測兩個餘

熱移除(RHR)系統迴路熱交換器下游處。

（2）每個支系統，包括一個閃爍偵檢器(Scintillation Detector)和放射偵測器。( 但緊急循環水系統，閃爍偵檢器和放射偵檢器各有兩個)。

1. 閃爍偵檢器，置於屏蔽取樣室內，後者垂直裝置於各流程管

路上，以減低輻射背景。

1. 除了放射性液體廢料系統偵測器和記錄器，在廢料處理控制

室外，其餘各流程偵測器與記錄器皆在主控制室內。

1. 每個流程放射偵測器，有一個高指示跳脫單元(表示高輻射)

與一個低指示跳脫單元(表示儀器故障)，只提供警報，無任何控制動作。

1. 各支系統簡述：

a.核機冷卻水放射偵測系統

核機冷卻水用作冷卻污染區設備，如反應爐屏蔽、再循環水泵等。如果偵測器指示放射性強度增加時，表示污染系統洩漏而流入本系統。

b.汽機廠房冷卻水放射偵測系統

TPCW以冷卻汽機廠房各種輔機設備為主，如汽機飼水泵、汽機油冷卻器等。若偵測器指示放射性增加時，表示其他污染系統洩漏而流入本系統。

c.放射性液體廢料排洩放射偵測系統

本系統用來偵測及指示準備排出廠外液態廢料的放射性強度

，排出液態廢料取自取樣槽，槽內的液體廢料業已經過蒸發、過濾或離子交換等處理。排出之前，經過實驗室取樣分析，確認放射性已在容許範圍內，方予排洩。對高導電率液體廢料，如認回收處理不經濟時，經取樣分析，證明放射性已在容許範圍內，則予直接排放。

d.緊急循環水放射偵測系統

偵測RHR LOOP A與LOOP B熱交換器下游處之放射性強度，能預先知悉RHR熱交換器之漏洩。

3.校正與試驗

1. 各偵測器計數率指示，需予適當校正。
2. 利用試驗信號或可攜帶加馬射線源，可試驗所有偵測器的跳脫電路。

**E.廠房排氣管放射偵測系統**

1.目的

連續指示及記錄廠房排氣管的輻射情形，過量的放射性物質存在時，引發適當動作，以限制放射性物質釋出廠外。

2.安全設計基準：

1. 能夠偵測廠房排氣管的加馬輻射。
2. 超過設定值時，可引發控制信號，隔離包封容器正常通風系統，並起動備用氣體處理系統(Standby Gas Treatment System)，也關閉乾井沖淨閥和通風閥。
3. 放射性強度達到隔離或設定點時，提供各項警報。

3.說明：

1. 計有四個獨立控道，每個控道包括G-M加馬偵檢器、指示儀表及跳脫元件。
2. 四個控道共用一個雙筆記錄器。

4.警報與跳脫：

1. 每個控道有兩個跳脫單元，高指示跳脫單元表示高輻射，低指示跳脫單元表示儀器故障。
2. 任一跳脫單元動作，產生警報於控制室。

5.試驗

各偵測器(指示及跳脫元件)，校正與測試都很簡單，各加馬偵檢器，可藉手提式加馬放射源試驗之。

**F.廠房通風道放射偵測系統**

1.目的

（1）提供廠房通風道放射性強度之連續指示與記錄，以計數率表示之。

（2）提供過濾系統，以蒐集放射性粒子及鹵素，以利取樣分析。

2.設計基準

本系統用作偵測廠房通風排氣管路之輻射情形，若放射性強度達到釋出各限制值(Short Term Limit 或Long Term Limit)時，發出警報。

3.說明

1. 單一控道，包括加馬偵檢器、對數計數率偵測器、指示儀表及記錄器等。
2. 氣體之取樣，經由位於管路高處的等動能探針抽取，以保證取到代表性樣品。
3. 經過屏蔽腔的氣體樣品，由加馬偵檢器測定其放射性強度。

4.跳脫單元

1. 偵測器有兩個高指示跳脫單元(Hi,Hi-Hi)與一個低指示跳脫單元，高指示跳脫單元動作表示高輻射，低指示跳脫單元動作表示儀器故障。
2. 任一跳脫單元動作，引發警報於控制室。

5.試驗：

包括校正用放射源與沖淨管路，皆由控制室遙控操作。

**G.炭床室偵測支系統**

1.安全設計基準

提供控制室與現場的炭床室放射性指示。

2.說明

單一控道，包括加馬感測偵檢源與轉換器、指示與跳脫單元，以及現場輔助元件等。電源供給與廠房排氣管偵測系統A控道併用。

3.跳脫

偵測器有一個高指示跳脫單元與一個低指示跳脫單元。高指示跳脫單元動作表示高輻射，低指示跳脫單元動作表示儀器故障。任一跳脫單元動作，引發警報於控制室。

4.試驗

利用手提式加馬放射源試驗。

1. 區域放射偵測系統

(Area Radiation Monitoring System)

**2-1設置目的**

區域放射偵測系統(ARM)之目的，乃是警告廠內各選定區域的不正常輻射。這些區域可能出現，或儲藏有放射性物質，如果放射性強度超過設定值時，主控制室和現場皆可獲得警報。

**2-2設計基準**

供核燃料裝換與儲運區，加馬輻射超過限制值的警告。

1.提供廠區內各選定地點之加馬輻射之記錄與指示。

2.區域輻射突然增加時，須能供給控制室監視能力，以便採取正確的處理措施。

3.協助偵測廠區內放射性物質和廢料之動態。

4.輔助偵測廠內其他系統，如流程放射偵測系統、洩漏偵測系統(Leak Detection System)等，流程管路中放射性物質不正常集結情形。

5.現場工作人員經常出入地區，輻射超過設定值時，發出警報。

**2-3概述**

1.設計功能

將感測元件設置地區的加馬輻射劑量率，指示於控制室及現場。

2.基本控道

1. 感測元件與轉換器(Sensor and Converter)
2. 六種刻度範圍，在0.01mR/hr與1000R/hr之間。
3. 電源供給
4. 指示器與跳脫單元
5. 高指示跳脫單元與低指示跳脫單元的設定點，可

連續地調整。

1. 發生故障時，依故障形式動作跳脫單元。
2. 除了上述基本控道各元件外，視需要增加現場輔助元件和現場警報音響。
3. 區域放射偵測系統儀器指示盤，在控制室背後盤。

**2-4元件敘述**

1.感測元件與轉換器

（1）感測加馬射線之G-M管

1. 密封與外界隔離。
2. 輸出一系列大小脈波至直流放大器與雙穩定多諧振動器(Bi-Stable Multi-Vibrator)。

（2）雙穩定多諧振動器

1. 輸入為來自G-M管的不規則脈波。
2. 輸出均勻脈波至脈波積分器。

（3）直流放大器(D.C. Amplifier)

1. 輸出電流與G-M管之直流成分成比例。
2. 輸出電流與脈波積分器(Pulse Intergrator)的輸出匯合。
3. 對脈波積分器在高脈波重複率的非線性輸出電流之補償：
4. 在有限度的分解時間(Resolving Time,G-M管發生一次游離後，所需恢復之時間內，G-M管可能達到飽和，使輸出計數率之直線性發生偏差。
5. 線路設計為：G-M管達到飽和時，儀表指示並不降至零刻度，而停留在滿刻度(Full-Scale)上。

（4）脈波積分器

1. 產生與輻射強度成比例的輸出電流。
2. 輸出電流與直流放大器之輸出電流匯合。

（5）加馬放射源

1. 以大於或等於0.1mR/hr的加馬放射源，裝置於所有感側元件與轉換器內。
2. 使指示儀錶任何時間都有少許讀數，是為刻度校正零點(Live Zero)。
3. 低指示警報表示儀器故障。
4. 加馬放射源為鍶-90(Sr90)，只有少許微居里(μci)。
5. 輻射背景作為感測元件與轉換器的"Live Zero"指示。

（6）感測元件與轉換器標準刻度範圍

a. G1 0.01mR/hr至100mR/hr

b. G2 0.1 mR/hr至 1 R/hr

c. G3 1.0 mR/hr至 10 R/hr

d. G4 10 mR/hr至1000R/hr

e. G5 0.01mR/hr至 10R/hr

f. G6 1.0 mR/hr至1000R/hr

g. G7 100 mR/hr至1000R/hr

2.指示器與跳脫單元

1. 裝置在控制室背後盤。
2. 指示現場輻射強度。
3. 跳脫單元。

a.高指示跳脫單元

動作時表示高輻射，引發控制室警報，指示器下面琥珀燈亮。

b.低指示跳脫單元

動作時表示儀器故障，指示器正面白色燈亮，也引發控制室警報。

c.跳脫單元動作原因消失時，指示器正面指示燈，因係Seal In，須利用元件上的復歸鈕復歸。

1. 作用
2. 感測元件與轉換器的直流輸出，供作指示器與跳脫元件的輸入。
3. 輸入電流，經由直流放大器(裝於指示器與跳脫元件內)轉換為電壓信號，供作兩個跳脫電路和指示儀錶的輸入信號。
4. 指示儀錶以mR/hr為單位，指示現場地區的輻射強度。
5. 跳脫電路也供給警報電路之輸入。
6. 直流放大器輸出，也供作驅動多點記錄器與遙控指示之用。
7. 跳脫單元
8. 跳脫動作發生時，電驛在失磁(De-energized)狀態。
9. 跳脫設定點能設定在任一輸入電壓值。
10. 跳脫設定值，可由調整模組(Module)上方可調電阻調整之。
11. 試驗

經由"跳脫核對按鈕"(TRIP CHECK Button)可提供直流放大器與跳脫電路之試驗輸入信號。

（5）輔助元件

1. 輔助元件裝置位置，與感測元件與轉換器比鄰。
2. 作為現場警報與指示高輻射跳脫。
3. 輔助元件盤面上指示表，指示感測元件測定的輻射強度。
4. 高輻射時發出警報。

⮚元件上琥珀燈亮。

⮚發出警報音響。

⮚動作後，須由控制室內指示器的復歸按鈕復歸之。

（6）電源供給

1. 供給動作ARMs所需之可調電壓，一個電源供給最多可供給十個測定點。
2. "指示器與跳脫元件"裝在一起(控制室背後盤)
3. 電源供給盤上有儀表指示供給G-M管的高壓電源。
4. 提供可調整的試驗電流輸出，作為試驗"指示器與跳脫元件"用(即跳脫核對調整)。
5. 電源供給盤上有"Power On"指示燈。
6. 本身所需之電源，由120V AC儀器用匯流排供電。

（7）手提式校正元件

1. 用作調整ARMs之感測元件與轉換器。
2. 提供五種加馬輻射強度，介於1mR/hr至125mR/hr之間。
3. 校正用放射源約為80微居里的鈷-60(Co60)。

**2-5儀器**

* + 1. 多點記錄器，記錄所有的ARMs。
    2. 控制室警報：

1. 燃料添換層(Refueling Floor)高輻射
2. 廢料處理廠房高輻射
3. 新燃料儲存庫高輻射
4. 反應爐廠房高輻射
5. 汽機廠房高輻射
6. 燃料廠房高輻射
7. 輔助廠房高輻射
8. 乾井高輻射
9. ARM低指示

**2-6**與安全有關(Safety - related)之ARM

**1.**燃料池區域放射偵測器，裝置在用過燃料池(Spent Fuel Pool)地區，並提供燃料廠房緊急通風之控制信號。

2.包封容器排管輻射偵測器，屬於流程輻射偵測系統ARM類型之輻射偵測器。