

課程內容

圍阻體特殊安全設施、噴灑系統 (PH-2 CH.19.22) INER PWR

- 壹、圍阻體特殊安全設施
 - 一、系統功能
 - 二、特殊安全設施之設計基準
 - 三、圍阻體
 - 四、圍阻體除熱系統
 - 五、圍阻體隔離系統
 - 六、相關之運轉規範

課程內容

- 貳、圍阻體噴灑系統
 - 一、系統功能
 - 二、設計基準
 - 三、系統概述
 - 四、系統組件
 - 五、系統運轉
 - 六、圍阻噴灑系統有關之運轉規範

課程目標

- 瞭解特殊安全設施與圍阻體噴灑系統功能。
- 瞭解特殊安全設施由那些系統組成。
- 瞭解特殊安全設施以那些事故而設計。
- 瞭解圍阻體的設計基準與結構。
- 瞭解圍阻體隔離系統與圍阻體噴灑系統設計基準。
- 瞭解圍阻體噴灑系統組件。
- 瞭解特殊安全設施與圍阻體噴灑系統動作信號。
- 瞭解運轉規範的要求。

壹、特殊安全設施 Engineered Safety Feature (ESF)



壹、系統功能

- 一、特殊安全設施 (Engineered Safety Feature, ESF) 係指系統或組件在核能事故時防止爐心熔燬或防止輻射外洩，以保障公眾的健康與安全，維持電廠本身的完整。

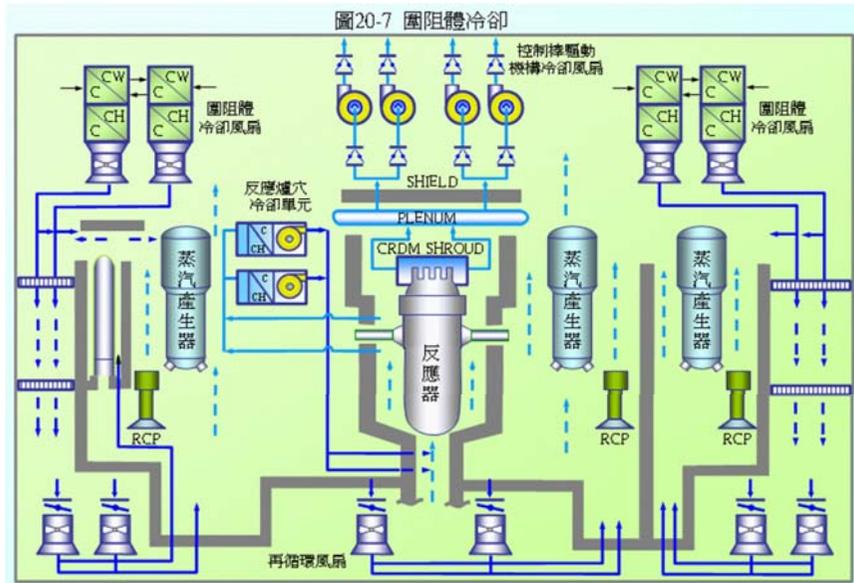
二、特殊安全設施由下列各系統組成

1. 圍阻體。
2. 圍阻體除熱系統。
3. 圍阻體空氣淨化系統。
4. 圍阻體隔離系統。
5. 圍阻體可燃氣體控制系統。
6. 緊急爐心冷卻系統。
7. 適居系統。
8. 輔助飼水系統。

二、特殊安全設施各系統的功能：

1. 圍阻體 (Containment)

圍阻體將所有自RCS洩出的輻射物質，包封在其建築架構內，以免外洩。

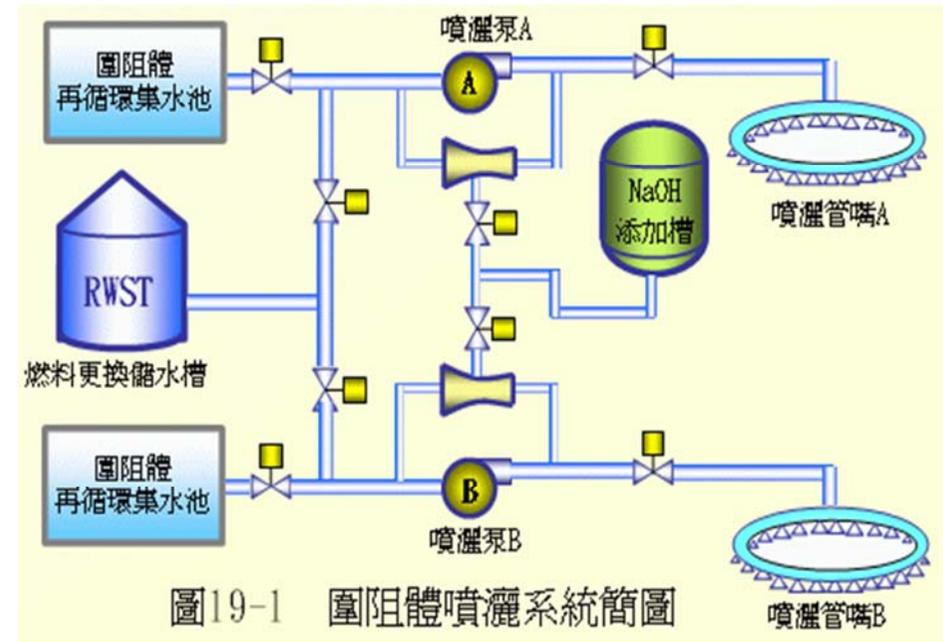


2. 圍阻體除熱系統 (Containment Heat Removal System)

- 圍阻體內部因爐水流失事故 (LOCA) 或主蒸汽管破裂事故 (MSLB) 等而釋出的熱量，可由：

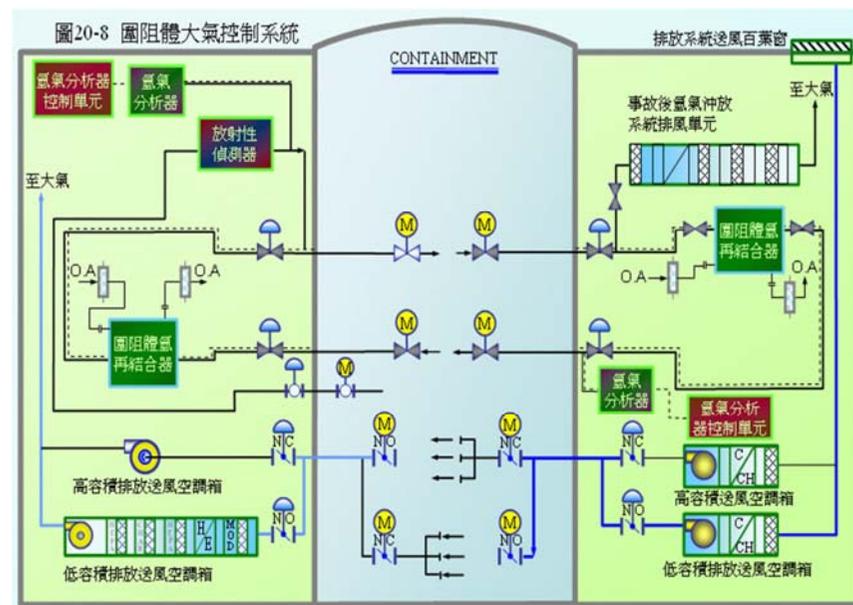
1. 圍阻體噴灑系統 (Containment Spray sys)
2. 餘熱移除系統 (RHR)
3. 圍阻體 passive 熱沉
4. 風扇冷卻器 (Fan Cooler)

來移除，以降低圍阻體之溫度與壓力，降低輻射外洩的機會，並將圍阻體空氣中的輻射物質吸收下來。



3. 圍阻體空氣淨化系統 (Containment Air Purification and Clean up System)

本系統屬於圍阻體空調系統 (Containment HVAC) 的一部份，能將圍阻體空氣中所含輻射物質過濾淨化後，排至大氣。詳見第廿章暖房通風及空氣調節系統。



4. 圍阻體隔離系統 (Containment Isolation System)

- 由於圍阻體與輔助廠房及汽機廠房間之連通管路，有許多管路必須穿越圍阻體，一旦發生事故，必須將這些管路全部隔離，以防輻射物質外洩。
- 本系統包括圍阻體隔離訊號 (Containment Isolation Signal, CIS) 控道，以及相關的管閥。

5. 圍阻體可燃氣體控制系統 (Containment Combustible Gas Control System)

- 氫氣再結合器 (Hydrogen Recombiner) 及後備之氫氣排除系統 (Hydrogen Purge System) 能將圍阻體內之可燃氣體氫控制在4%之體積濃度以下，以免產生氫爆事故，詳見第廿章通風系統。

6. 緊急爐心冷卻系統 (Emergency Core Cooling System, ECCS)

- 此系統在事故發生後，能提供大量的含硼冷卻水，以冷卻爐心，並增加停機餘裕。(圖19-2)
- 本系統又稱安全注水系統 (Safety Injection System)，包括高壓注水系統 (CCP)，低壓注水系統 (RHR)，以及蓄壓槽 (Accumulator)。詳見第廿一章緊急爐心冷卻系統。

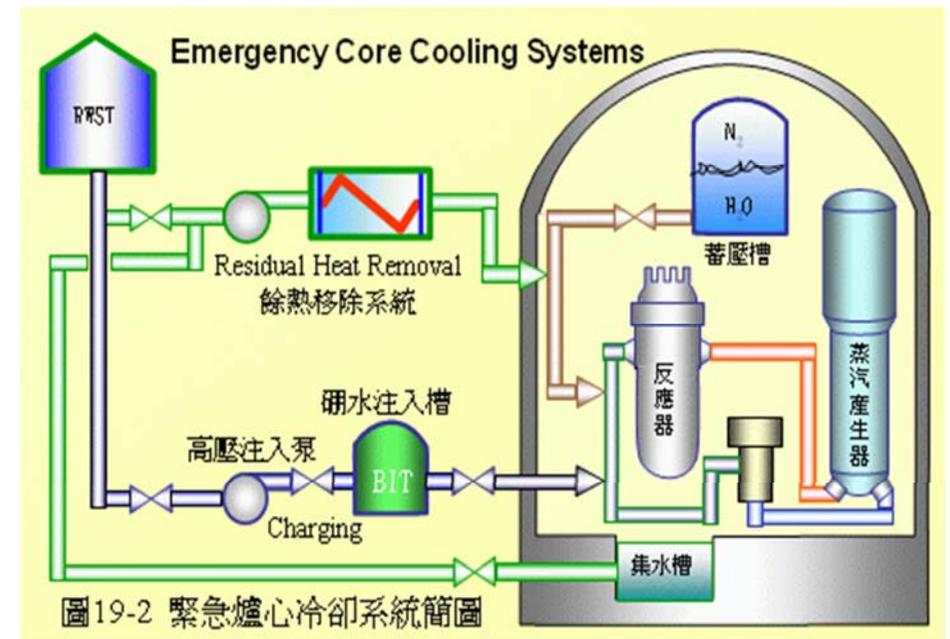


圖19-2 緊急爐心冷卻系統簡圖

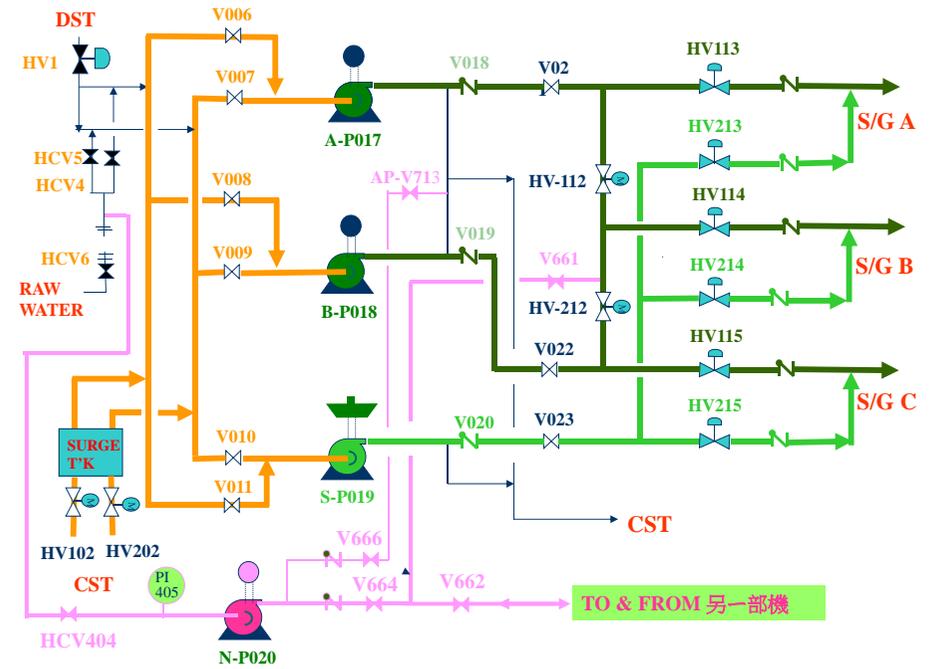
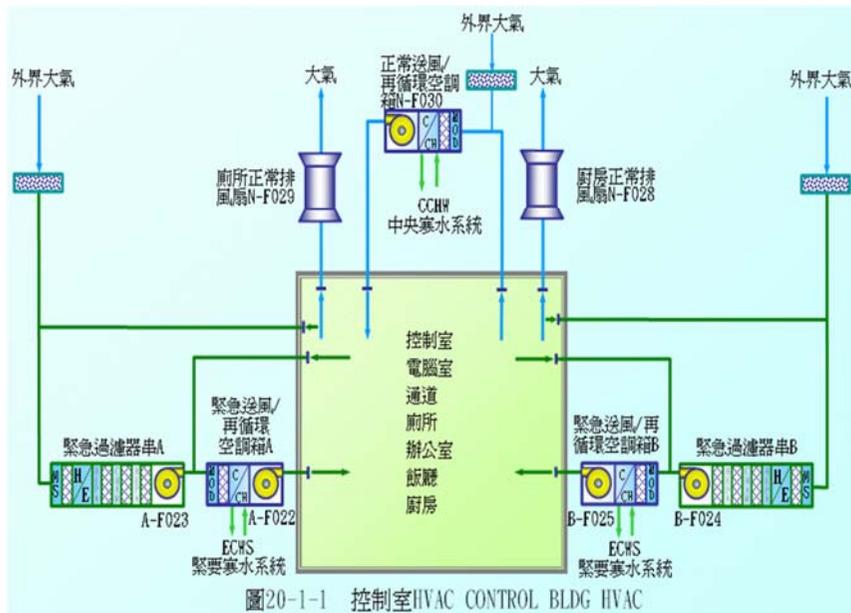


7. 適居系統 (Habitability System)

- 控制室適居系統包括飛射物防護、輻射屏蔽、輻射偵檢、煙霧偵測、控制室過濾、空調、燈光及一般消防設施等，在正常及緊急情況下，都能使值班人員長期留駐於控制室內。詳見第廿章通風系統。

8. 輔助飼水系統 (Auxiliary Feedwater System)

- 本系統於事故或起動、停機時，提供飼水，以便經由蒸汽產生器移除一次系統的熱量。詳見第廿七章蒸汽產生器。



三、特殊安全設施係以下列事故設計：

1. 爐水流失事故 (Loss of Coolant Accident, LOCA)
2. 蒸汽管路斷裂事故 (Steamline Rupture)。
3. 蒸汽產生器管束破裂事故 (Steam Generator Tube Rupture)
4. 燃料儲運事故 (Fuel Handling Accident)。

四、特殊安全設施功能：

1. 保障燃料護套的完整。
2. 保障圍阻體的完整。
3. 將輻射物質外洩的程度限制在10CFR 100規定之下。

貳、特殊安全設施之設計基準

一、特殊安全設施之設計，使其能夠在單一故障（Single Failure）的情況下，仍能完成其保護功能。

所謂單一故障係指短期注水階段的單一主動元件故障(Active Failure)或長期再循環階段單一主動元件故障或單一被動元件故障（Passive Failure）而言。詳細定義請參閱第廿一章緊急爐心冷卻系統。

二、為符合上項單一故障的基準，所有主動元件均有雙重設計。

- 凡是事故時必須開啟的閥類均為兩閥並聯排列，因此只要任一閥打開管路就可接通。
- 凡是事故時必須關閉的閥類均為兩閥串聯排列，因此只要任一閥關閉，管路就封閉。
- 重要的泵均有兩個以上並聯排列，任何一泵起動就可提供足夠的水量來冷卻爐心。

三、緊急爐心冷卻系統須符合下列最終設計標準：

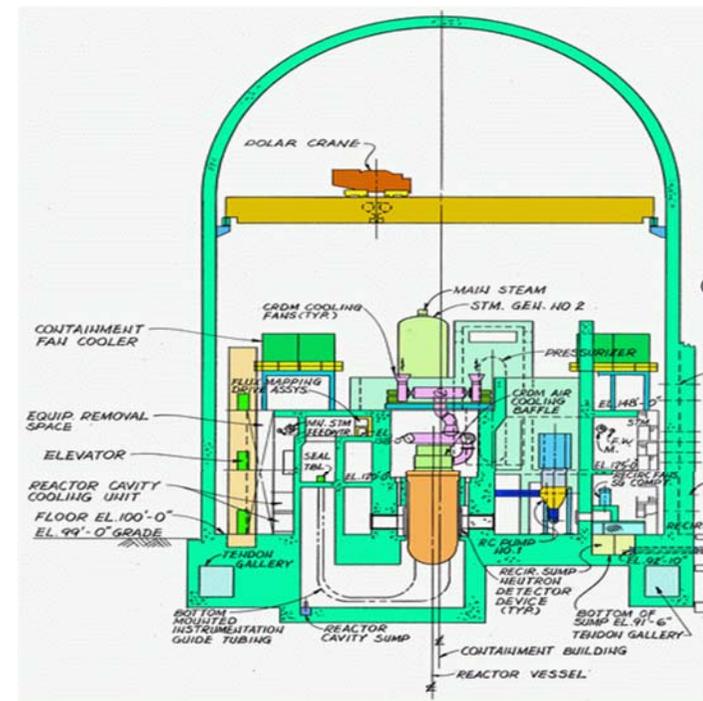
1. ESF須能使最高燃料護套之溫度不超過2200°F（1200°C）。
2. ESF須能使最大護套全氧化度不超過未氧化前護套厚度17%。此處全氧化度（Total Oxidation）係指所有氧氣皆與燃料護套作用產生ZrO₂時，所有氧化燃料護套之厚度。

三、緊急爐心冷卻系統須符合下列最終設計標準：(續)

3. ESF須能使燃料護套與水或蒸汽產生化學反應而釋出之最高氫氣產生量，不超過下面假設數值之1%。假設數值為倘若所有燃料護套（包圍燃料丸的部份，其餘不計）鍍金屬全部與水或蒸汽起反應。
4. ESF須能使爐心保持其可冷卻結構（Coolable Geometry），而在事故後之變形不得嚴重至影響其冷卻能力。
5. ECCS初期運作之後，仍能供長期冷卻（Long Term Cooling），使爐心溫度維持在可接受之低溫，在最長壽命的放射性物質仍留在爐心內，爐心衰變熱須能不斷的由ECCS移除。

參、圍阻體

- 一、圍阻體之功能在於控制LOCA後之輻射物質外洩，故圍阻體應完全包容所有的反應爐冷卻水系統（RCS）管路和組件。
- 圍阻體亦作為正常及事故時之生物輻射屏蔽（Biological Shield）。
- 圍阻體之設計及建造使其能承受LOCA及蒸汽管路斷裂事故，而不致危及大眾的安全。
- 圍阻體可承受60 psig之內部壓力，也就是發生設計基準事故（Design Basis Accident）時所產生的最高壓力，而其洩漏在最初24小時內不超過其體積之0.1W/O，其後不超過0.5W/O。
- LOCA事故後之輻射外洩量不得超過10 CFR 100之規定。



參、圍阻體(續)

- 二、圍阻體係一圓柱形建築，上有半球形圓頂，中央有反應爐穴（Reactor Cavity）如圖19-3、19-4所示。
- 圍阻體係以預力鋼筋混凝土（Prestressed Concrete）構成，混凝土能承受巨大的壓縮力（Compression），但對於張力（Tension）卻相當脆弱。
- 為了使圍阻體能夠承受相當的內部壓力（張力），就採用加壓鋼纜，使圍阻體在事故最大壓力時，其淨負荷仍為壓縮力。

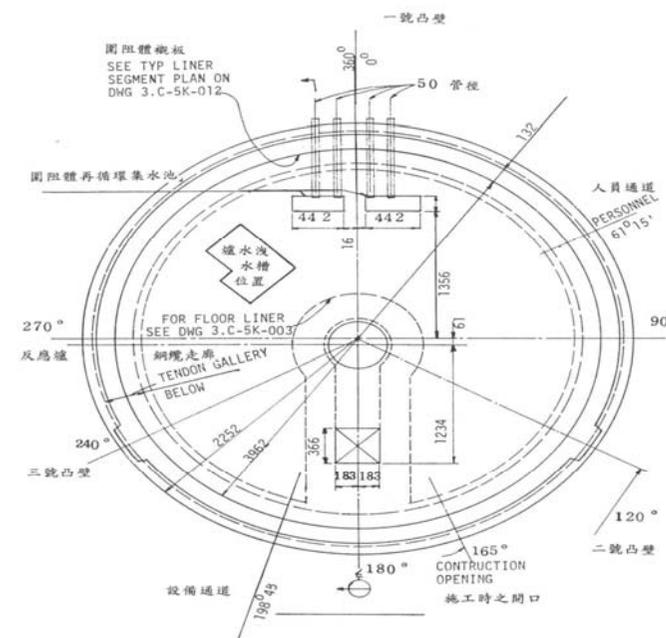


圖19-3 圍阻體平面圖

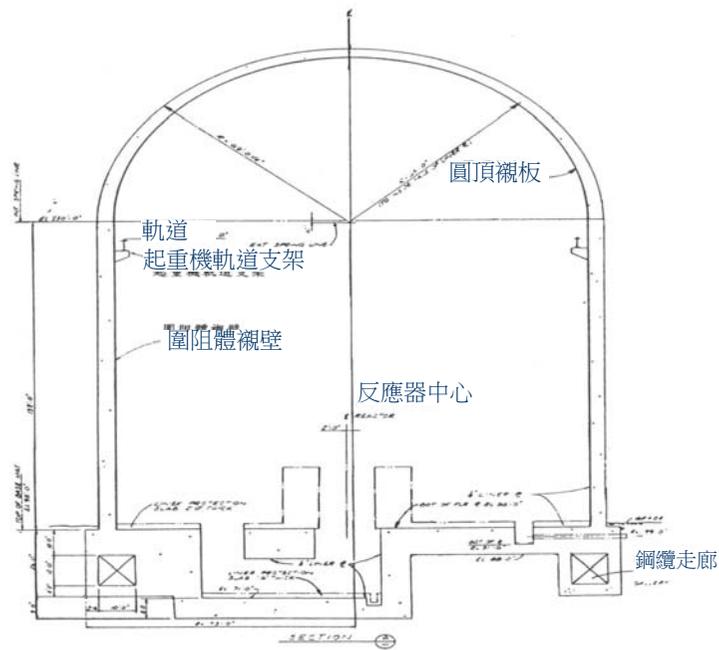


圖19-4 圍阻體剖面圖

參、圍阻體(續)

- 圍阻體在澆灌水泥之前，先在水平圓周方向及頂部垂直方向埋下許多導管，待水泥乾燥後，在導管（Conduit）內通以鋼纜，將鋼纜以水力機具伸張，使其力量超過1000噸以上。導管內再充以油脂，以防鋼纜生銹。鋼纜的張力須定期檢驗。
- 圓周方向的鋼纜定位於圍阻體外圍三條凸壁（Buttress）上。
- 垂直方向的鋼纜則經過圓頂，形成倒U字形，兩端分別定位於圍阻體地基之鋼纜走廊（Tendon Access Gallery），詳見圖19-5。

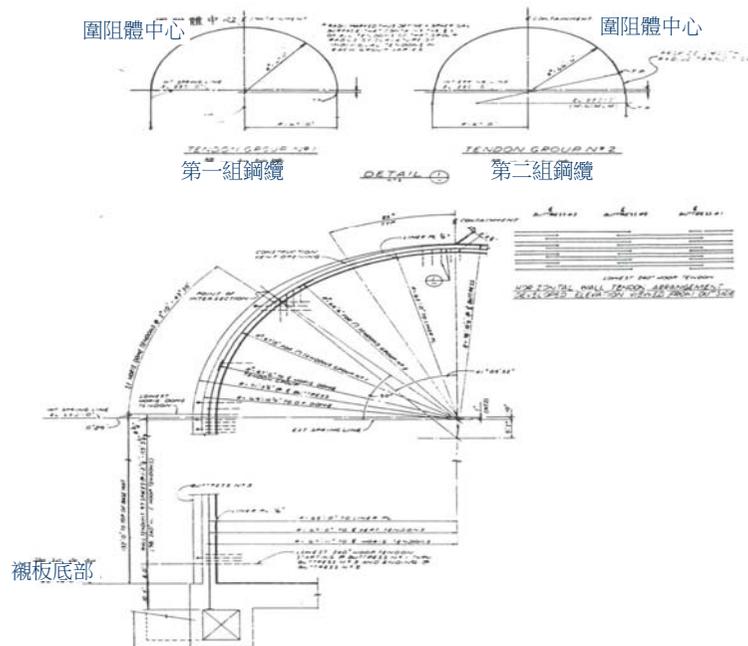


圖19-5 圍阻體拉力鋼纜配置圖

參、圍阻體(續)

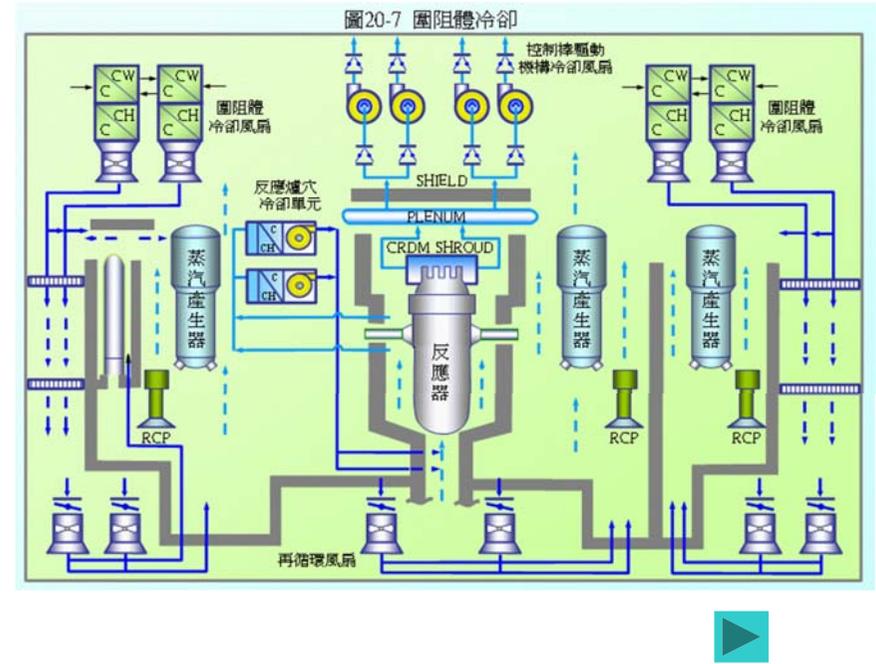
三、圍阻體的大小由LOCA時之能量釋放量決定。

- 本廠圍阻體內徑39.6公尺(130呎)。
- 高59.4公尺(195呎)。
- 全部體積為 2.3×10^6 立方英尺。
- 壁有1.2公尺（4呎）厚。
- 地基水泥有3公尺（10呎）厚。
- 圍阻體內層襯以鋼板。

參、圍阻體(續)

四、圍阻體內部反應爐及RCS各迴路，均由預力鋼筋混凝土圍至超過蒸汽產生器管束的高度。這是為防止事故時飛射物 (Missile) 或管路揮動現象 (Pipe Whip)，尤其是反應爐冷卻水泵 (RCP) 的飛輪，造成RCS多重損壞，並避免損及圍阻體的完整。

反應爐槽的上頭放有一塊厚重的水泥塊，以防發生射棒事故 (Rod Eject Accident) 時，損及圍阻體或其他組件。



參、圍阻體(續)

五、圍阻體穿越管道包括：

- 設備通道 (Equipment Hatch)
- 人員通道 (Personnel Access)
- 燃料運送道 (Fuel Transfer Penetration)
- 各種管路和電纜穿越器都是以鋼鐵製成，焊於圍阻體內襯鋼板，並以錨塊埋於水泥中，如圖19-6所示。

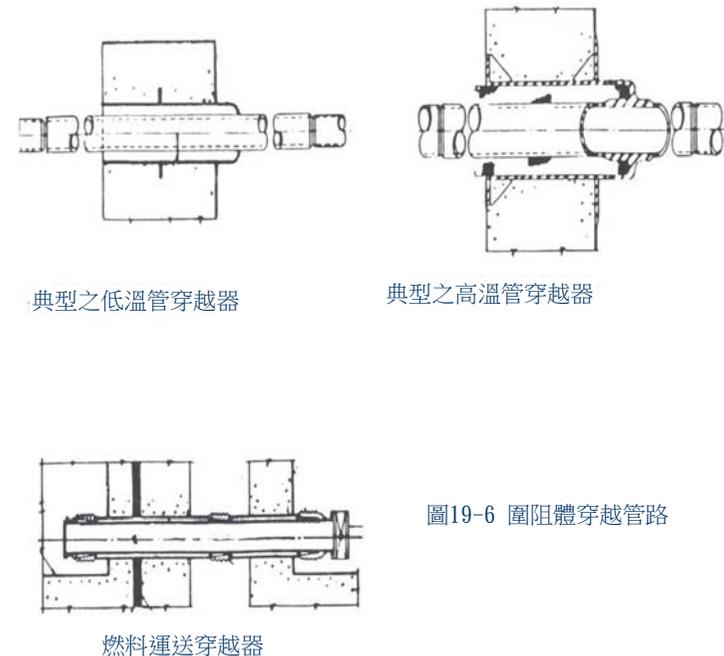


圖19-6 圍阻體穿越管路

參、圍阻體(續)

1. 設備通道門之邊緣有兩封閉襯墊 (Gasket) , 並加以螺鎖以防洩漏。
比反應爐槽O形封環小的設備都可通過此門。
封閉襯墊與門緣間以N₂加壓。
2. 人員通道有兩個門, 分設在通道兩端稱為雙層氣鎖門。如圖19-7所示。每次僅能開啟一個門, 此門關閉後才能再開另一個門。

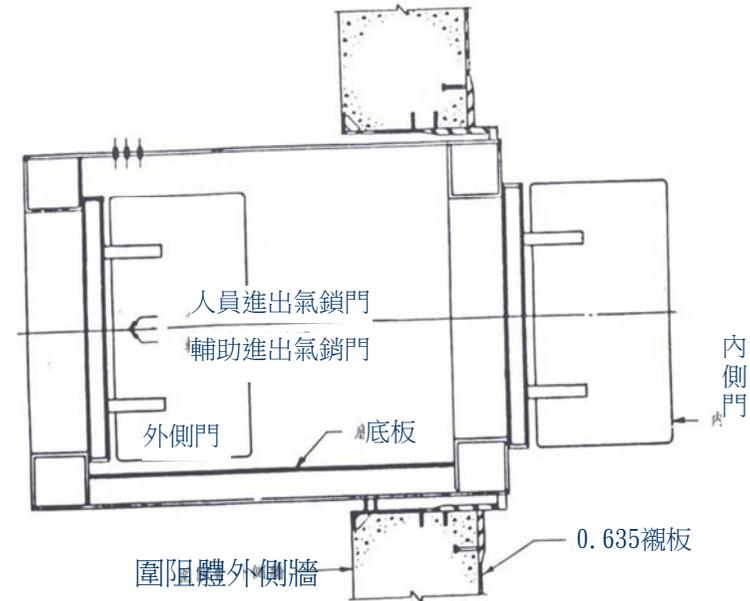


圖19-7 圍阻體人員通道雙層氣鎖門



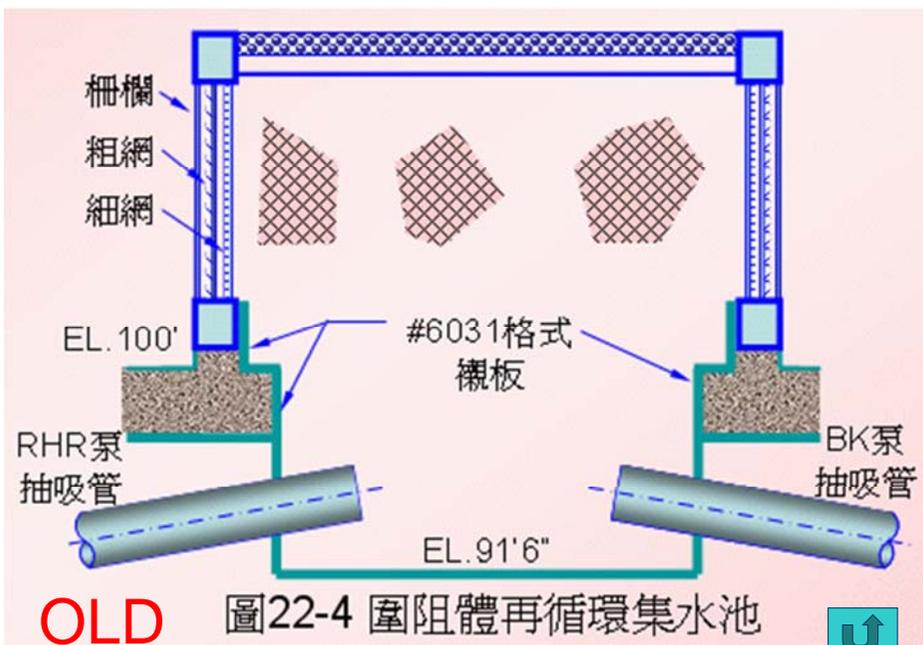
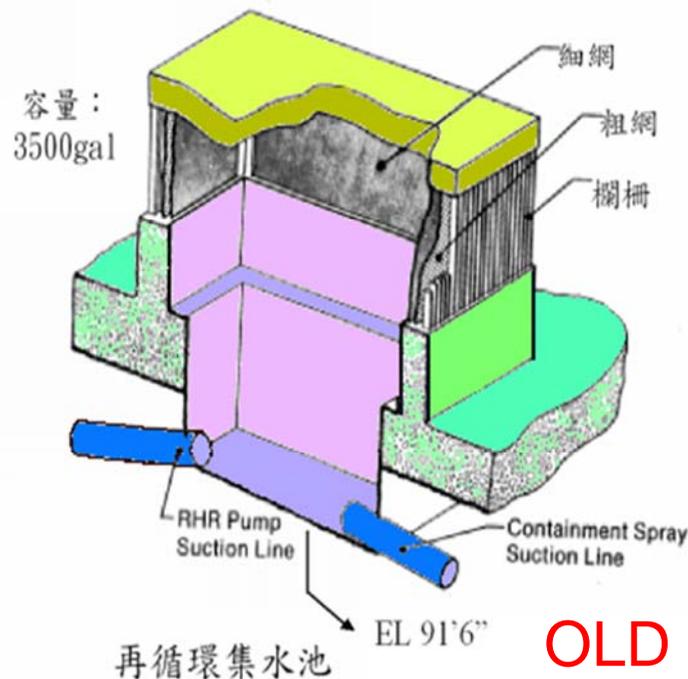
參、圍阻體(續)

3. 燃料運送道在圍阻體和燃料廠房間, 內徑20吋, 外有24吋之襯管 (Sleeve) 。內管作為燃料運送通道, 其圍阻體側以盲管蓋 (Blind Flange) 封閉。盲管蓋邊緣有雙封閉襯墊, 以免洩漏。
4. 管路及電纜經穿越器通過圍阻體。流程管路上均有隔離閥, 與管路及圍阻體內襯鋼板焊在一起。高溫管有絕熱襯管。

參、圍阻體(續)

5.圍阻體再循環集水池 (Recirculation Sump) 位於圍阻體底部，其管路穿過地基至RHR及CS系統。

- 管路外有襯管，兩者皆埋於地基水泥塊中。
- 在集水池端，襯管與管路及集水池內襯鋼板焊在一起。
- 管路延伸至圍阻體外，有一隔離閥，隔離閥完全封閉在一包封槽中，襯管一端就焊在此槽上。
- 隔離閥下游的管路和包封槽以一伸縮接頭焊在一起。



新濾網設計

- 本廠的圍阻體再循環集水池濾網改善案，經過分析濾網需求面積約為900m²，考量有限的安裝空間下，須採用兩串集水池共用濾網的設計。類似的設計理念在美國有許多電廠採用。
- NRC同意下列情況下可採共用濾網的設計：濾網若在適當的保護下不受高能管路影響，確定沒有射流衝擊(jet impingement)及管路揮擊(pipe whip)的風險，則不會發生單一失效就導致濾網喪失安全功能的狀況。

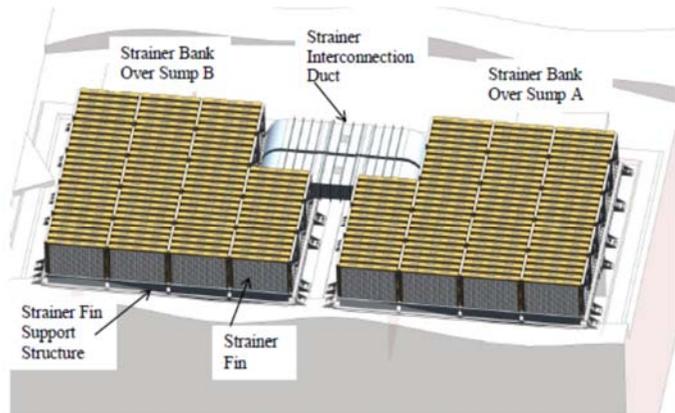


Figure 2-1 Strainer Assembly

- 將細網改為上圖Strainer型式
- Strainer包容在原有頂板及攔汙柵內
- 保留粗網及漩渦破壞器

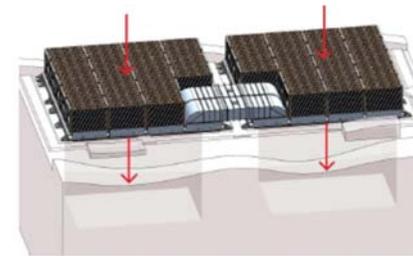


Figure 3-1 Dual Train ECC and CS Systems Flow Path

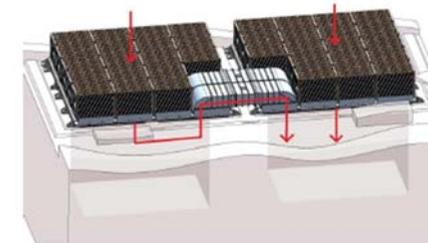
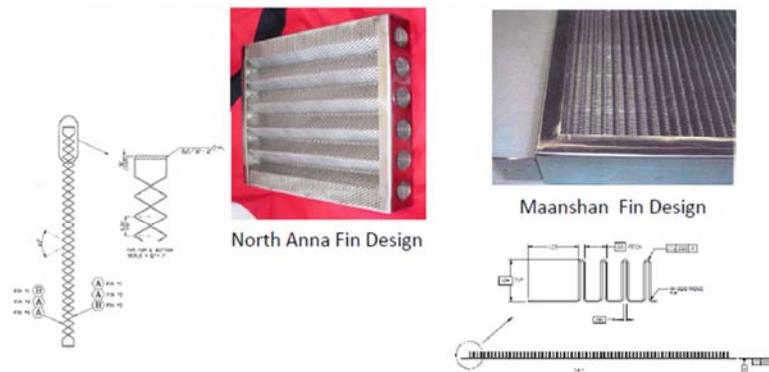


Figure 3-2 Single Train ECC and CS Systems Flow Path

CANDU波紋狀鰭板濾網



The corrugated fin surface adds an extra level of surface convolution, which increases the fin filtering surface by about 4 times.

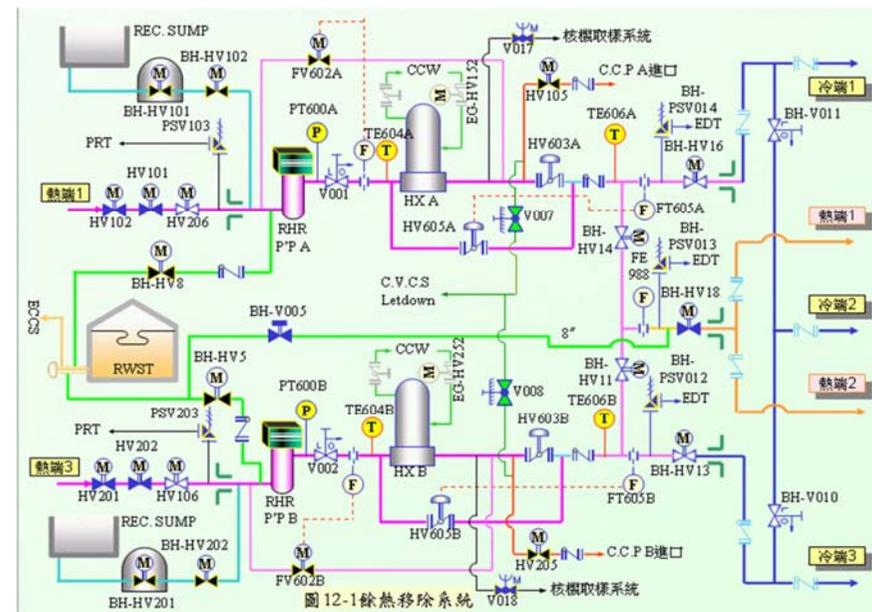
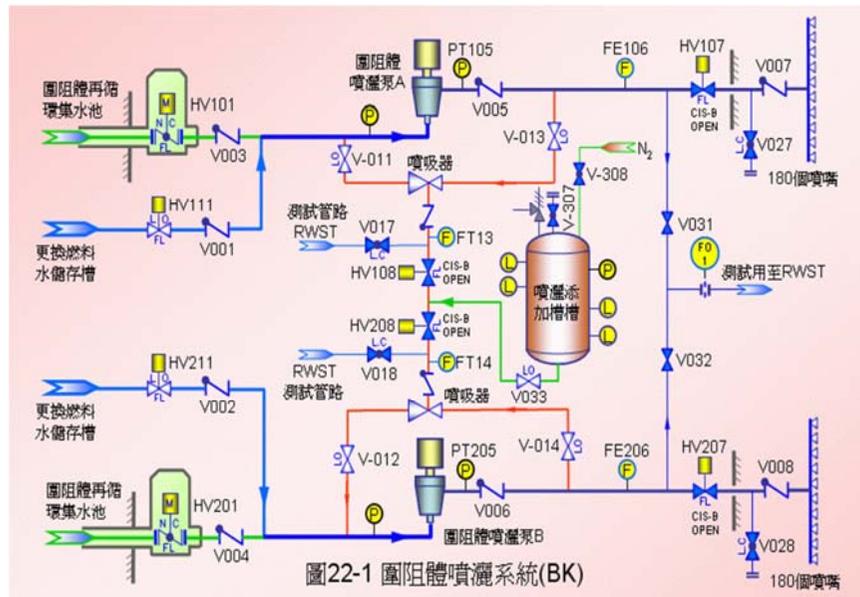


圖 12-1 餘熱移除系統



六、圍阻體須能將其內部空氣和外界環境完全隔離。運轉規範所規定之圍阻體完整性 (Containment Integrity) (參考運轉規範 BASES B 3.6.1 Background及 LCO) 如下：

1. 所有圍阻體穿越器之密封裝置必須可用。
2. 事故發生時，所有穿越管必須以下列方式關閉。
 - (1) 所有圍阻體自動隔離系統關閉。
 - (2) 利用手動閥或盲管蓋關閉，或把電動閥置於關閉位置，且操作電（氣）源切斷。
3. 設備通道必須關閉密封。
4. 人員通道雙層氣鎖門至少須保持一層門關閉密封。
5. 圍阻體洩漏率須在限定值內。

肆、圍阻體除熱系統

- 本系統包括圍阻體噴灑系統 (CS) 及風扇冷卻器 (Fan Cooler) 詳見第廿章 HVAC 系統，及第廿二章圍阻體噴灑系統。

伍、圍阻體隔離系統 (Containment Isolation System)

- 本系統包括穿越圍阻體之管閥以及動作線路等，於發生 LOCA，蒸汽管路斷裂或圍阻體內燃料儲運事故時，將圍阻體隔離起來。

伍、圍阻體隔離系統 (Containment Isolation System)

一、設計基準

1. 本系統須能承受颱風、洪水、飛射物及地震，而不影響其功能。
2. 在發生LOCA後，本系統將所有非ESF系統運作所必須之穿越管路隔離，以防輻射物質外洩。
3. 在發生蒸汽管路斷裂事故時，本系統須能將圍阻體及蒸汽產生器隔離，以防一次系統溫降過速，且避免圍阻體過壓。
4. 在圍阻體內發生燃料儲運事故時，本系統須能將圍阻體與外界大氣隔離，以防輻射外洩。

伍、圍阻體隔離系統 (Containment Isolation System)

二、系統組件

各管閥分屬各獨立系統，詳見各系統說明。

三、系統運轉

1. 圍阻體隔離分為兩階段，A階段及B階段。

A階段(CIS-A)之圍阻體隔離訊號由手動 (Manual) 或安全注水訊號 (Safety Injection Signal, SIS) 來動作。

SIS為下列兩個狀況之一：

- (1) 調壓槽低壓力 129.7Kg/cm^2 (1845 psig)
- (2) 第一階高圍阻體壓力 0.22Kg/cm^2 (3.1 psig)
- (3) 手動

伍、圍阻體隔離系統 (Containment Isolation System)

- A階段隔離將所有非ESF運轉所需管路隔離，但RCP之軸封及冷卻水除外，同時緊急柴油機，ECCS系統起動，控制室空調系統，亦轉至緊急狀態 (Emergency Mode) 運轉。
- B階段隔離(CIS-B)則在感測到第三階高圍阻體壓力 1.27Kg/cm^2 (18.1 psig) 後動作，此隔離訊號將A階段未隔離且不為ESF運作所需的管路隔離，如RCP軸封及冷卻水。
- B階段隔離同時產生CSAS，B階段隔離訊號亦可手動動作，其過程和CSAS完全相同。

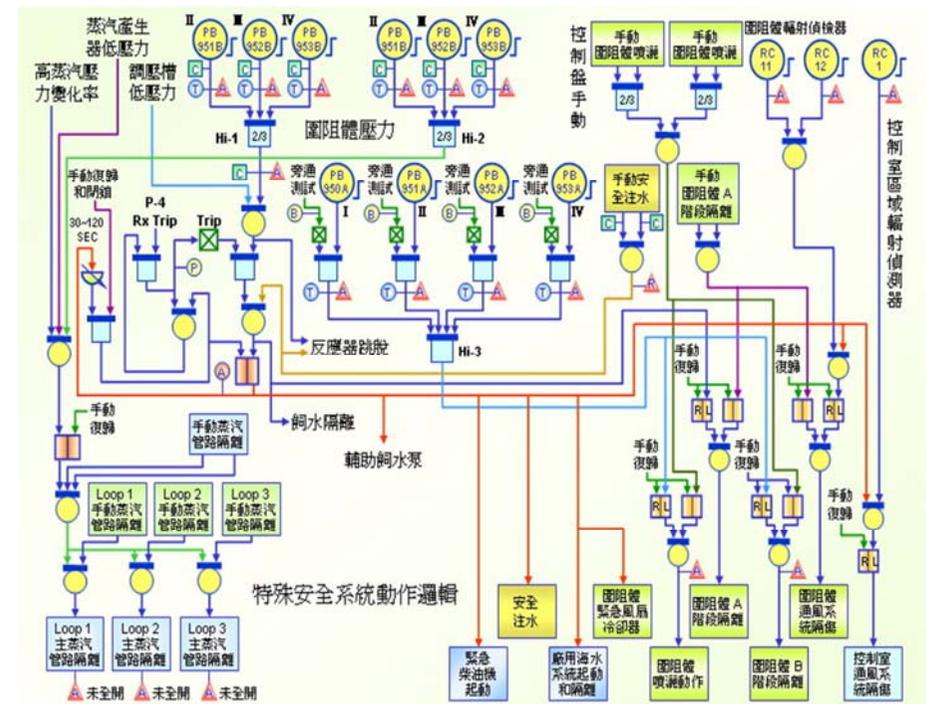
伍、圍阻體隔離系統 (Containment Isolation System)

2. 主蒸汽管隔離 (Steamline Isolation Signal) 由下列訊號動作(MSIS)：

- (1) 高蒸汽壓力降低率 7Kg/sec (100 psig/sec) (P-11以下)
- (2) 主蒸汽管低壓力 41.14Kg/cm^2 (585 psig) (P-11以上)
- (3) 第二階高圍阻體壓力 0.92Kg/cm^2 (13.1 psig)
- (4) 手動 (快速關閉三條主蒸汽管)
- (5) 手動 (慢速關閉任一主蒸汽管)

伍、圍阻體隔離系統 (Containment Isolation System)

- 主蒸汽管隔離訊號關閉主蒸汽隔離閥 (MSIV) 及其旁通閥，以免RCS降溫過速。
- MSIV之設計可避免一個以上的蒸汽產生器過度蒸騰。當主蒸汽管在MSIV下游斷裂時，三個MSIV關閉即可將蒸騰現象完全停止。
- 3. 一旦偵測到高輻射劑量時，圍阻體空氣淨化系統 (Containment Air Purification System) 以及可燃氣體控制系統之隔離閥自動關閉，以免輻射外洩(CPIS)。



陸、相關之運轉規範

一、3.6.1 圍阻體 (Containment)

- 運轉條件：圍阻體必須可用。
- 適用範圍：模式1、2、3、4
- 採取措施：圍阻體不可用時，必須設法在一小時之內恢復可用，否則在6小時內，必須將機組置於熱待機，36小時內將機組冷停機。

二、3.6.2 圍阻體氣鎖門。

- 運轉條件：每個圍阻體氣鎖門必須可操作，
即(參考BASES B3.6.2)：
 - (1)兩個氣鎖門的連鎖裝置必須可用。
 - (2)兩個氣鎖門必須關閉，但在正常進出圍阻體的瞬間允許開啟一個氣鎖門（至少有一個氣鎖門是關閉的）。
 - (2)洩漏率符合Type B洩漏率測試之規定。即在 P_a （49 psig）時，總氣鎖洩漏率不得超過 $0.05L_a$ （ L_a 即每24小時0.1W/O圍阻體空氣）。
- 適用範圍：模式1、2、3、4

三、3.6.3 圍阻體各隔離閥

- 運轉條件：各圍阻體隔離閥必須可用。
（隔離時間規定參考技術手冊表13.6.2-1）
- 適用範圍：模式1、2、3、4
- 採取措施：
 - (1)任一穿越管隔離閥不可用，於4小時內以至少一個關閉的失能自動閥、手動閥或盲板封閉該穿越管。
 - (2)若同一穿越管兩個隔離閥均不可用，於1小時內以至少一個關閉的失能自動閥、手動閥或盲板封閉該穿越管。
 - (3)若圍阻體排風閥洩漏率超過限值，於24小時內以至少一個關閉的失能自動閥、手動閥或盲板封閉該穿越管。
 - (4)若未依時限完成措施，在6小時內將機組置於熱待機，36小時內將機組置於冷停機。

四、3.6.4 圍阻體壓力 (Containment Pressure)

- 運轉條件：圍阻體內壓必須維持在-0.4到3.0 psig間。
適用範圍：模式1、2、3、4
- 採取措施：當圍阻體內壓在上述限值之外時，必須在1小時之內恢復到限值內，否則6小時之內把機組置於熱待機，36小時之內將機組冷停機。
- BASE：
 - 高壓力限值：保證LOCA及SLB時圍阻體內部的最大壓力不會超過圍阻體的設計值（60 Psig）。
 - 低壓力限值：保證圍阻體噴灑系統意外動作時，圍阻體內部壓力下降，使圍阻體外加壓力仍低於設計值（-3 Psig）。

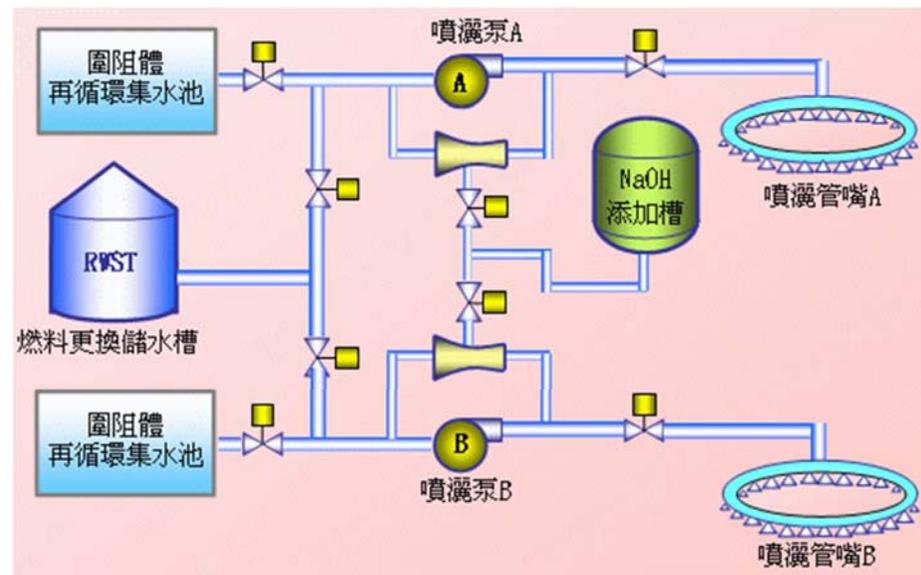
五、3.6.5 圍阻體溫度

- 運轉條件：圍阻體內空氣平均溫度不得超過 48.89°C （ 120°F ）
- 適用範圍：模式1、2、3、4
- 採取措施：當溫度大於 120°F 時必須在8小時內將溫度降到限值內，否則在6小時內將機組置於熱待機，36小時內將機組置於冷停機。

貳、圍阻體噴灑系統 (BK)

BK System

系統功能 設計基準 系統概述
系統組件 系統運轉 運轉規範



一、圍阻體噴灑系統(BK)功能：

圍阻體噴灑系統屬ESF之功能有下列兩點：

1. 於LOCA或圍阻體內主蒸汽管線破裂時，可降低圍阻體內大氣溫度及壓力，以減小事故後輻射外洩之可能性。
2. 當LOCA事故後，能限制放射性物質外釋量，因圍阻體噴灑含有氫氧化鈉 (NaOH) 的水，可提高空浮分裂產物的吸收量，以減少圍阻體內大氣的放射性濃度。

二、設計基準

1. 無論發生LOCA或蒸汽管路斷裂事故時，圍阻體噴灑 (BK) 系統和圍阻體風扇冷卻器、RHR系統等須能移除足夠的熱量，並可將圍阻體壓力、溫度限制在可接受的程度下。(根據10CFR50之設計基準)。
2. BK系統能自圍阻體大氣移除碘 (Iodine) 及微粒狀分裂產物，以降低LOCA後圍阻體大氣之分裂產物至10CFR100限制值之下。

二、設計基準(續)

3. BK系統設計在LOCA或主蒸汽管線破裂後之注水階段能允許單一主動元件故障存在，再循環階段允許單一主動元件或被動元件故障，而不影響系統之功能。
4. BK系統設計能承受颱風、洪水、飛射物和地震，而仍能執行其功能。
5. BK系統設計在LOCA或圍阻體內之主蒸汽管斷裂事故後自動起動。

二、設計基準(續)

9. 再循環集水池須有濾網，以免顆粒雜質塞住噴灑噴嘴。
10. BK之主動元件須能在正常運轉期間試驗。
11. BK之水不得含不穩定之物質，以免造成腐蝕並增加可燃氣體濃度。
12. BK和風扇冷卻器，須能在LOCA後防止局部可燃氣體濃度增加，以減低爆炸的可能性。

二、設計基準(續)

6. 圍阻體噴灑經由獨立、多重的噴灑頭的排列，能提供95%的噴灑面積，並能均勻的吸收及移除圍阻體內之熱量及分裂產物，即使只起動一串也能達成這項功能。
7. BK系統在噴灑之初，其pH值在9.0到11.0之間，到最後再循環時，其pH值至少應在8.5。
8. BK系列之設計，BK泵在任一階段均有足夠的淨正吸水頭（NPSH）。

二、設計基準(續)

13. 噴灑噴嘴儘可能裝置在圍阻體越高的位置，儘量增加噴灑水滴掉落之距離。
14. BK泵房間內有水位計，當BK系統有洩漏現象時，通知控制室操作員隔離洩漏串，以免洩漏增大。如洩漏發生在再循環階段時，由於水源來自集水池，故可能已被輻射污染，隔離洩漏串可免污染擴大到輔助廠房，此時可藉另外一串繼續噴灑。

二、設計基準(續)

15. 噴灑添加劑槽，低水位信號會自動將添加劑與噴灑系統隔離。
16. 噴灑噴嘴設計不為直徑3/8" 以下的顆粒堵塞。

三、系統概述

- BK系統有兩個完全分離的迴路，各有100%的能力，任一迴路皆能完成其特定功能。
- 每一迴路包括一BK泵，噴灑集管 (Spray Header)、噴嘴、添加劑噴吸器 (Additive Eductor) 和相關之管閥。
- 兩迴路共用一氫氧化鈉添加劑槽 (Additive Tank)。

圖22-1

三、系統概述(續)

- 事故發生後之注水階段，BK泵自RWST吸取硼水，泵送至噴灑集管，沿噴嘴自圓頂均勻灑於圍阻體內部。
BK泵出口有一部份水流經噴吸器自添加劑槽吸取氫氧化鈉後回到BK泵進口，使BK系統之pH值升高至9.0~11.0之間。
- 當RWST水位降至過低水位警報點時，BK系統進口取水需手動改自再循環集水池取水，注水階段即轉變至再循環階段。

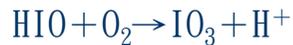
圖22-1

三、系統概述(續)

- BK系統自噴嘴噴出無數小水滴，這些小水滴和空氣的接觸面極廣，故很容易將飄散在圍阻體空中之分裂產物 (大部份是碘) 吸收。
- 當噴灑流量為3000gpm時，大約每75秒即可將碘氣體吸收一半，(參閱圖22-2) 但為達此目的，水之酸鹼度 (pH) 由添加NaOH而調至9.0至11之間。

三、系統概述(續)

- 因鹼性水質能使碘 (I_2) 變成非揮發性而易被水吸收，而與 OH^- 離子反應產生 I^- 離子而溶於水中，如下式：



高輻射量的碘就隨著水滴自圍阻體空氣中移除，集中流入再循環集水池。

四、系統組件—燃料更換水儲存槽

- 在發生事故後，RWST的水量為ECCS及BK系統所共用。RWST容量1,900,600公升(502,100加侖)，槽中最少存有1,759,028公升(464,700加侖，92.5%)之水量，其中大約548,868公升(145,000加侖)可為BK所使用。
- RWST含硼濃度在2400~2500ppm。
- 在注水階段含硼水經兩條12吋管分別飼入BK兩迴路。兩管路上各有HV111及HV211電動閥，此二閥常在開啟位置。

四、系統組件—圍阻體噴灑泵

- BK泵為直立式離心泵
- 注水階段最大流量187.5 l/sec (3000gpm)，水頭146m (480ft)，再循環階段最大流量228.1 l/sec (3650gpm)，水頭131m (430ft)。
- 機械式軸封由CCW來冷卻，冷卻水流約為0.25~0.375 l/sec (4~6gpm)。
- 設計溫度限值為149°C (300°F)，壓力限值31.7 kg/cm^2 (450psig)，可通過1/4吋微粒。

四、系統組件—圍阻體噴灑泵

- BK泵由一600匹馬力、三相、60Hz馬達帶動。馬達係完全密封型，自4.16KV緊急匯流排受電，以一氣水熱交換器冷卻，CCW冷卻水流約0.94 l/sec (15gpm)，可持續以100%負載運轉，馬達可在70%端電壓情況下，於5秒鐘內達到75%負載。
- BK泵可由控制室手動起動。BK泵在過電流及低電壓時會自動跳脫，泵出口壓力在控制室有指示。

四、系統組件—噴灑集管和噴嘴

- 兩串噴灑管路各有一個集管，每個集管有四個圓圈形支管，每個集管有180個錐形噴嘴，如圖22-3。
- 在注水階段，每個集管有169ℓ/sec (2700gpm) 流量之噴灑能力，在再循環階段每個集管有205ℓ/sec (3285gpm) 之能力，所噴灑之水滴約1000微米 (micron) 大小，小於3/8吋的顆粒不致堵塞噴嘴。

四、系統組件—噴灑集管和噴嘴

- 噴灑集管和噴嘴能承受初起動時之水錘現象。
- 集管上噴嘴的角度各有不同，因此能散佈95% 以上的面積。
- 噴灑集管上游有隔離閥HV107及HV207，於接到CSAS時自動開啟。

四、系統組件—圍阻體再循環集水池

- 發生LOCA後，注水階段RWST的水經高壓注水注入反應爐，經過核心由破管處流出變成蒸汽，這些蒸汽被BK系統水滴凝結成水而沉降匯集於再循環集水池，隨著RWST水位下降，再循環集水池水位逐漸上升，俟再循環階段，BK泵手動改自再循環集水池取水。

四、系統組件—圍阻體再循環集水池

- 兩再循環集水池位於圍阻體北側底部，（其底部高度為EL 91' 6"，頂部高度為EL 100'）各有13248公升（3500加侖）之容量，其頂部則較周圍地面（EL 100'）略高。
- 集水池邊圍以柵欄粗網和細網，以免碎片或大顆粒進入，集水池頂部金屬板覆蓋，如圖22-4所示。頂部金屬板係用來防止事故時碎片墮入集水池中。細網最少在圍阻體積水36吋之下並在地板30吋之上，如此集水池不斷的有水流進又不易為雜物堵住。

四、系統組件一圍阻體再循環集水池

- BK泵及RHR泵之取水口管路位於集水池底部且稍為傾斜，這是避免空氣留在管路中。
- 兩個循環集水池分別以14吋管供水至該迴路之BK泵及RHR泵，此段吸水管路包括隔離閥及其驅動馬達皆以導管包封。

四、系統組件一 添加劑槽 (Additive Tank)

- NaOH添加劑槽位於輔助廠房。
- 槽內裝有30 W/O NaOH溶液。取樣接頭可隨時取樣分析。
- 此槽通常以氮氣加壓 0.14 kg/cm^2 (2 psig)，以免長期儲存NaOH濃度化性變化。
- 欲達到理想的圍阻體內噴液pH值，最少須NaOH溶液12112公升 (3200加侖)，此槽最大容積16655公升 (4400加侖)，正常儲水量15141公升 (4000加侖)。
- 內壁經特殊處理，以免強鹼腐蝕。

四、系統組件一 添加劑槽 (Additive Tank)

- 添加劑經HV108及HV208輸至A、B兩迴路之噴吸器 (Eductor)，此二閥常在關閉位置，但CIS-B訊號產生時會自動打開，且除非添加劑槽過低水位，否則無法手動關閉，這是為確保足夠的NaOH加入BK系統水中。一旦添加劑槽過低水位訊號產生時，此二閥自動關閉 (邏輯圖)。

四、系統組件一 添加劑槽 (Additive Tank)

- 添加劑之低水位警報設在66吋，即2270公升 (600加侖) 高度，過低水位警報設在15吋，即757公升 (200加侖) 高度，當添加劑壓力超過 0.35 kg/cm^2 (5 psig) 也會有警報出現。
- 由於添加劑僅在注水階段短期間使用，故不須採用重複設計，添加劑槽只有一個，供A、B兩迴路共用。

四、系統組件—噴吸器 (Eductor)

- BK泵出口流量約有10%經4吋管流至2½" 噴吸器，利用噴吸原理 (Jet Eduction)，吸取NaOH添加劑，均勻混合後再飼回BK泵進口，泵送至噴灑集管，噴吸器設計能力35gpm。

平時試驗

- BK系統可在平時加以試驗。BK泵自RWST取水，在噴灑集管隔離閥HV107、HV207前，有試驗管路回到RWST，添加劑亦可由RWST取代試驗。
- 噴灑集管隔離閥HV107、HV207下游另有試驗管路，可利用有色氣體以試驗噴灑的形狀。

五、系統運轉

1. **起動信號**：手動起動 (僅起動噴灑泵)
 - 兩個迴路之噴灑泵各有一個起動開關，只要按下所屬開關之起動按鈕即可起動。
 - 噴灑泵定期試運轉時才使用。

五、系統運轉(續)

1. **起動信號**：自動起動
 - A. 當有CIS-B信號產生時，兩個迴路之噴灑泵均會自動起動。
 - B. 當有CIS-B信號產生時，若噴灑泵所屬供電匯流排 (4.16KV) 失電且SI時，則須俟其所屬緊急柴油發電機起動並供電至匯流排後，經達第三步依序加載 (Load Seq. Step 3) 時，該噴灑泵才會自動起動。

五、系統運轉(續)

1. 起動信號：自動起動

C. 當有CIS-B信號時，若SI或噴灑泵所屬匯流排失電且SI，於復電後經達第九步驟，延遲5秒後會有自動起動信號，以起動水泵。

註：當有CIS-B信號產生時，BK-HV-107、207、108、208均將自動開啟。

五、系統運轉一

注水階段 (Injection Phase)

- 注水階段起自BK系統起動，至RWST低水位，BK泵改自再循環集水池取水為止。
- CSAS訊號使BK泵起動，噴灑集管隔離閥HV107、HV207打開，添加劑閥HV108、HV208打開，BK泵自RWST取水，混合NaOH後使pH值成為9.0~11後，由噴嘴噴灑出來。
- 當CIS-B信號存在時，HV108、HV208將一直存在開啟指令，直到添加劑槽過低水位時，此閥將自動關閉，之前，操作員無法手動將添加劑閥關閉。

五、系統運轉一

注水階段 (Injection Phase)

- CSAS訊號產生約1900秒（倘若只有一迴路動作，則為3800秒）後，RWST水位逐漸降至過低水位警報點時，操作員須先將再循環集水池進口閥BK-HV101, HV201打開，以免BK泵進口斷水，然後再將RWST進口閥BK-HV111, HV211關閉。
- RWST及再循環集水池管路上均有止逆閥，所以兩者間不致混合。

五、系統運轉一

再循環階段 (Recirculation Phase)

- BK泵自再循環集水池取水，噴灑於圍阻體空間後，水又匯集至集水池，如此不斷循環，維持圍阻體空氣溫度於一平衡值。進一步的除熱則須依賴RHR或風扇冷卻器。
- 再循環階段於重置CSAS訊號，且停止BK泵後結束。

五、系統運轉—系統測試

- 600-O-024A/B: BK泵每三個月執行一次的Group A測試，每兩年執行一次的能力驗證測試，由JP004盤上起動BK泵（A-P028、B-P029）開啟測試管路上手動閥V031、V032。RWST之水經由測試管路回到RWST（SR3.6.6.4）。
- 兩串BK之測試總流量由位於V031、V032下游之限流孔FO001限制在18.75ℓ/sec（300gpm）左右。

五、系統運轉—系統測試

- 600-O-096.1: 每五年執行噴吸管路流量測試：BK泵出口端約10%，經由噴吸器回流至泵進口當做噴吸器吸取之驅動力(SR3.6.7.5)。
- 600-M-022: 每十年執行圍阻體內噴灑環之噴嘴未被阻塞(SR3.6.6.8)。
- 600-O-023: 確認圍阻體噴灑及噴灑加藥系統管路上的每一個未被扣鎖、密封或其他被鎖狀態之管閥均在其正確位置狀態。此試驗依運轉規範SR 3.6.6.1及SR 3.6.7.1規定至少31天做一次

五、系統運轉—系統測試

- 600-O-095: 本定期測試符合於運轉規範SR3.3.2.8、SR3.6.6.5、SR3.6.6.6及SR3.6.7.4之監視要求，當機組在於模式5或6時，本定期測試每18個月最少執行一次，也可和另一定定期測試600-O-033同時執行
- 600-O-033: 這份定期測試文件是使用在冷停機或燃料更換期間至少每18個月，驗證在運轉規範SR 3.6.3.7內的B相圍阻體隔離閥之操作是否適當

六、圍阻體噴灑系統有關之運轉規範

LCO 3.6.6:

兩串圍阻體噴灑系統及兩串圍阻體風扇冷卻器必須可用。

適用範圍：模式1、2、3、4

執行：

- 任一圍阻體噴灑系統不可用時，必須在72小時內修復至可運轉狀態。否則在6小時內必須把機組置於熱待機，在84小時內將機組置於冷停機。
- 兩串圍阻體噴灑系統不可用，或兩串圍阻體噴灑系統及兩串圍阻體風扇冷卻器中有3串不可用，進入LCO 3.0.3【於1小時內開始停機，7小時內需達熱待機，13小時內達熱停機，37小時內達冷停機。】

六、圍阻噴灑系統有關之運轉規範

LCO 3.6.7:

噴灑添加系統必須可用：

- 添加槽NaOH溶液必須在3200至4000加侖（72.7至90.9%）。
- NaOH溶液濃度須在27~33W/0之間。
- 噴吸器（EDUCTOR）必須能將NaOH溶液從化學劑槽吸送到圍阻體噴灑系統的噴灑水中。

適用範圍：模式1、2、3、4

執行：

當噴灑添加系統不可用時，必須在72小時內修復至可用狀態。否則在6小時內必須把機組置於熱待機，在84小時內將機組置於冷停機狀態。

自我評量(一)

1.特殊安全設施功能為何？

答：(1)保障燃料護套的完整。
(2)保障圍阻體的完整。
(3)將輻射物質外洩的程度限制在10CFR 100規定之下。

自我評量(二)

2.特殊安全設施係以那些事故設計？

答：(1)爐水流失事故（Loss of Coolant Accident, LOCA）
(2)蒸汽管路斷裂事故（Steamline Rupture）。
(3)蒸汽產生器管束破裂事故（Steam Generator Tube Rupture）
(4)燃料儲運事故（Fuel Handling Accident）

自我評量(三)

3.圍阻體之功能為何？

答：(1)控制LOCA後之輻射物質外洩。
(2)圍阻體亦作為正常及事故時之生物輻射屏蔽。

4.運轉規範要求「圍阻體必須可用」的適用時機為何？

答：運轉模式1234圍阻體必須可用。

自我評量(四)

5. 圍阻體噴灑系統之功能為何？

答 (1) 於LOCA或圍阻體內主蒸汽管線破裂時，可降低圍阻體內大氣溫度及壓力，以減小事故後輻射外洩之可能性。
(2) 當LOCA事故後，能限制放射性物質外釋量，因圍阻體噴灑含有氫氧化鈉 (NaOH) 的水，可提高空浮分裂產物的吸收量，以減少圍阻體內大氣的放射性濃度。

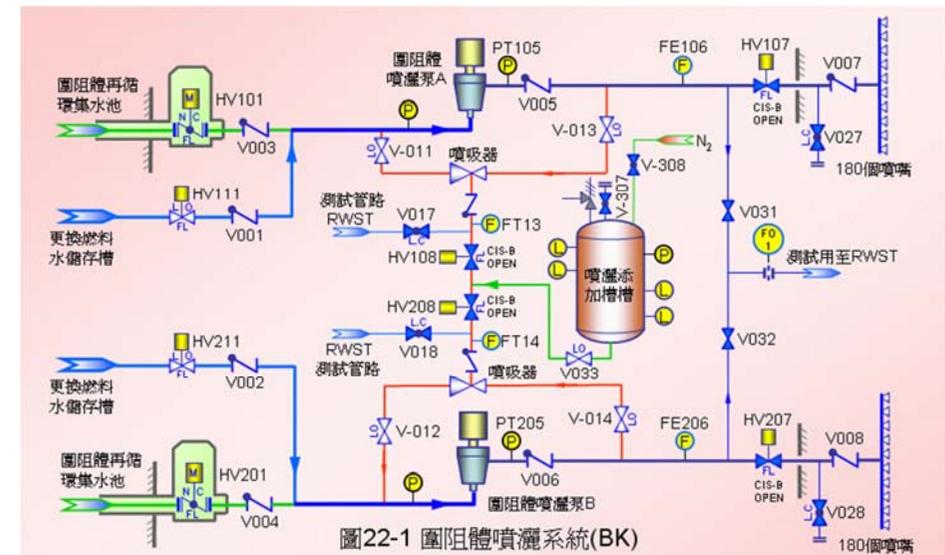


謝謝大家
敬請指教

自我評量(五)

6. 圍阻體噴系統水中加入NaOH之目的為何？
3%

答：(1) 控制水之酸鹼值 (PH) 在9.0~11之間
(2) 能使碘變成非揮發性而易被水吸收，高輻射量的碘將隨著水滴自圍阻體空氣中移除。



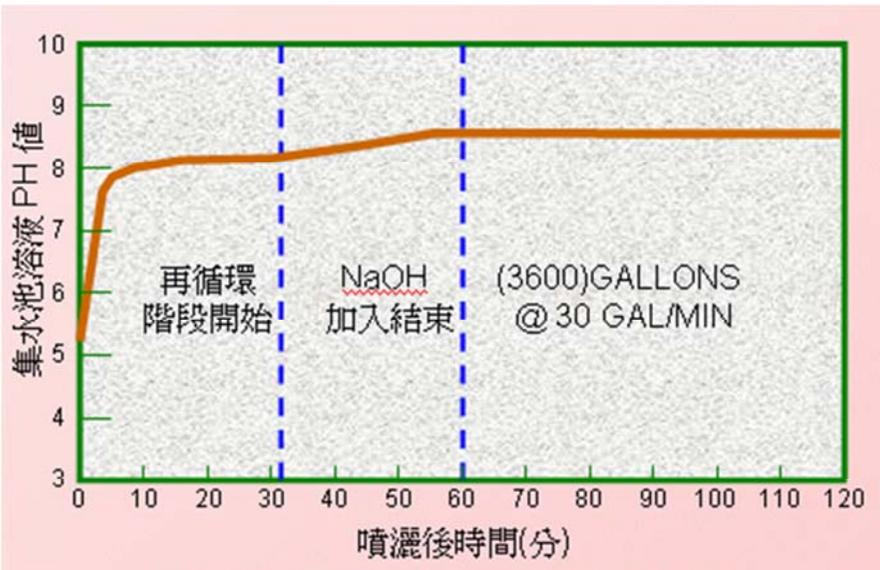


圖22-2 圍阻體集水池pH值之變化

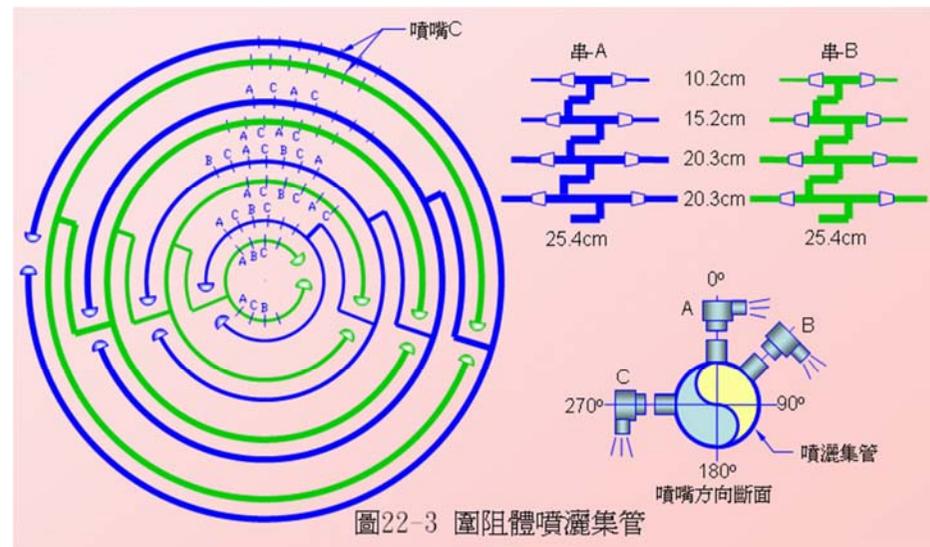


圖22-3 圍阻體噴灑集管

