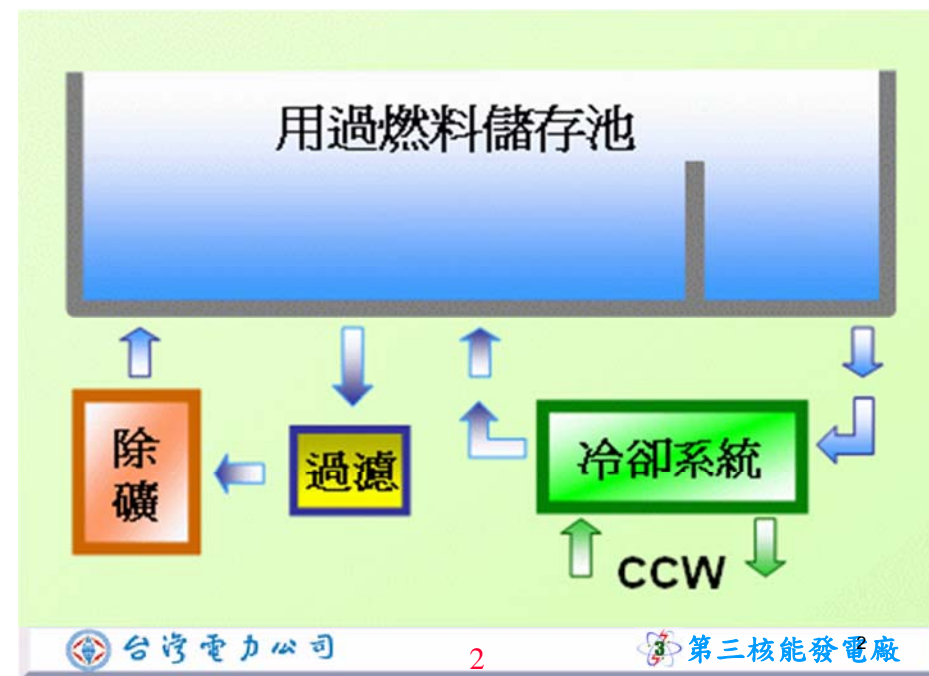


第十七章 用過燃料池冷卻與淨化(EC)

- 壹、系統功能
- 貳、設計準則
- 參、系統敘述
- 肆、系統元件
- 伍、系統運轉
- 陸、自動動作
- 柒、運轉規範限制條件



壹、系統功能

- 移除儲存用過燃料元件所產生的衰變熱，以維持用過燃料池水溫在規定限值下 65.5°C (150°F)。
- 從用過燃料池、燃料傳送渠道、燃料更換池和桶裝填池移除不潔雜物，保持水質純淨，同時減低水中的放射性強度。

貳、設計準則

- 用過燃料冷卻系統之設計能承受安全停機之地震 (SSE) 時仍能正常運轉。
- 用過燃料池冷卻系統在正常運轉時，能移除全爐心在停機後150小時的熱負載，加上先前移出已冷卻一年之72根燃料元件的熱負載，再加上先前燃料更換共2160根燃料元件的熱負載，並能維持池水溫度低於 60°C (140°F)。
- 本系統最大設計容量能移除全爐心在停機後150小時的餘熱，加上72根燃料元件在停機後36天的餘熱，再加上先前燃料更換共2160根燃料元件的餘熱，並能維持池水溫度低於 65.5°C (150°F)。

貳、設計準則

- 用過燃料池冷卻系統的設計，能使該系統承受任何組件單獨失靈，在失去外來電源的情況下，不損害冷卻系統的能力。
- 任單一元件失能將不會造成池水水位低於用過燃料元件頂端之上2.74米(9呎)的位置。
- 兩個防震等級第 I 級的補充水來源補水至用過燃料池。

參、系統敘述---系統元件

- 用過燃料池冷卻水泵 (A-Po32 & B-Po33)
- 用過燃料池淨化水泵 (N-P102)
- 用過燃料池熱交換器 (A-Xo60和B-Xo61)
- 用過燃料池淨化過濾器 (N-Zo41)
- 用過燃料池淨化除礦器 (N-Do17)
- 燃料更換儲存水槽淨化水泵 (EC-P112)
- 反應器穴過濾水泵 (N-EC-P242)

參、系統敘述

一、用過燃料池冷卻系統：

- 用過燃料池冷卻系統係由兩串100%容量的冷卻支系統所組成，移除用過燃料所產生的衰變熱。
- 每串包括一水平離心泵，U型管束熱交換器、濾網、閥組和運轉所需之儀器組成。
- 熱交換器的冷卻水係來自核機冷卻水系統。

一、用過燃料池冷卻系統(續)

- 用過燃料池冷卻系統移除用過燃料池中用過燃料的衰變熱，用過燃料在更換過程中被存放在用過燃料池，直到運出廠外做再處理為止。
- 正常運轉下，用過燃料衰變熱傳到冷卻水中，經由熱交換器傳給核機冷卻水系統。

一、用過燃料池冷卻系統(續)

- 用過燃料池冷卻水泵的進口管路自用過燃料池140.5呎處取水，該點低於正常水位(146.5呎)，冷卻水泵出口回流到池內，經共同集管在127'8"處注入池內，燃料架頂端標高為121'7又3/4"，每一條回流用過燃料池管子，在144.5呎處有逸氣孔，此逸氣孔可破壞虹吸現象，以免低點管路破裂時池水被吸光。

一、用過燃料池冷卻系統(續)

- 用過燃料池的補水來源
《補充燃料池蒸發及系統洩漏》
- ✓ 正常的補水---自除礦水傳送儲存系統，除礦水系統最大的補水能力為500 gpm。
- ✓ 安全相關的緊急補水---
 - A/B串防震一級CST---冷凝水儲存槽最大補水量是150 gpm。
 - RWST---作為硼酸補水的來源，更換燃料水儲存槽最大補水量是150加侖/分。

一、用過燃料池冷卻系統(續)

- 用過燃料池有主控室及現場的液位計監視，另有高低水位警報。
- 低水位警報出現時，採取的行動是打開燃料池正常補水的供給來源，即除礦水儲送系統，或者是後備的兩供水源：CST或RWST。
- 當低水位警報消失時，即可停止對用過燃料池補水，任何異常的水位變化都要調查原因。

二、用過燃料池淨化系統

- 用過燃料池淨化系統由二台離心泵、過濾器、除礦器和Y型濾網所組成；此系統設計流量為18.9 l/sec (300 gpm)。
- 淨化系統連接於冷卻系統熱交換器下游
- 除礦器用以移除離子化不純物和分裂產物。
- 過濾器用以移除微粒
- 濾網用以移除樹脂微粒。

二、用過燃料池淨化系統(續)

- 淨化系統用來淨化用過燃料池、燃料更換池、燃料傳送渠道、桶裝填池和燃料更換儲存水槽的水質，使用過燃料池、燃料更換池上的劑量小於 2.5 mrem/hr(0.025 mSv/hr)。

二、用過燃料池淨化系統(續)

- 用過燃料池和燃料更換池表面上的灰塵雜物，由位於水面下的溢流口 (Skimmer Weir) 送至淨化系統淨化。
註：進行用過燃料池溢流口淨化循環時，維持水位在85%以上。
- 當燃料傳送渠道使用時，由淨化水泵打水經由過濾器、除礦器淨化後再送至燃料傳送渠道。

三、燃料更換池過濾系統

- 使用於更換燃料操作過程，以減低放射性強度和雜物，同時保持燃料更換水池水的清潔，此系統包括一台18.9 l/sec (300 gpm) 傳送泵、四個過濾器和相關閥組成。
- 過濾器可使用四個並聯，或各兩個串聯後再兩串並聯使用。過濾器裝置於廢料廠房兩部機共同使用，每一機組各有一台傳送泵裝於圍阻體內。

四、用過燃料池洩漏偵測系統

- 提供用過燃料池、燃料傳送通道和燃料桶裝填池各不鏽鋼襯板的洩漏指示，測漏系統包括介於襯板和池牆間的垂直通道，任何襯板和牆穴間或襯板和底板間的滲漏，均導致通道並洩至一收集水槽，再洩至放射性洩水系統。
- 每一通道有正常關閉的手動操作閥裝於末端和測試接管，若當閥開啟而有水流出，表示有洩漏存在。將壓縮空氣灌入測試接管，再由襯板觀看是否有水泡冒出，以找出洩漏之處。(圖17-2)

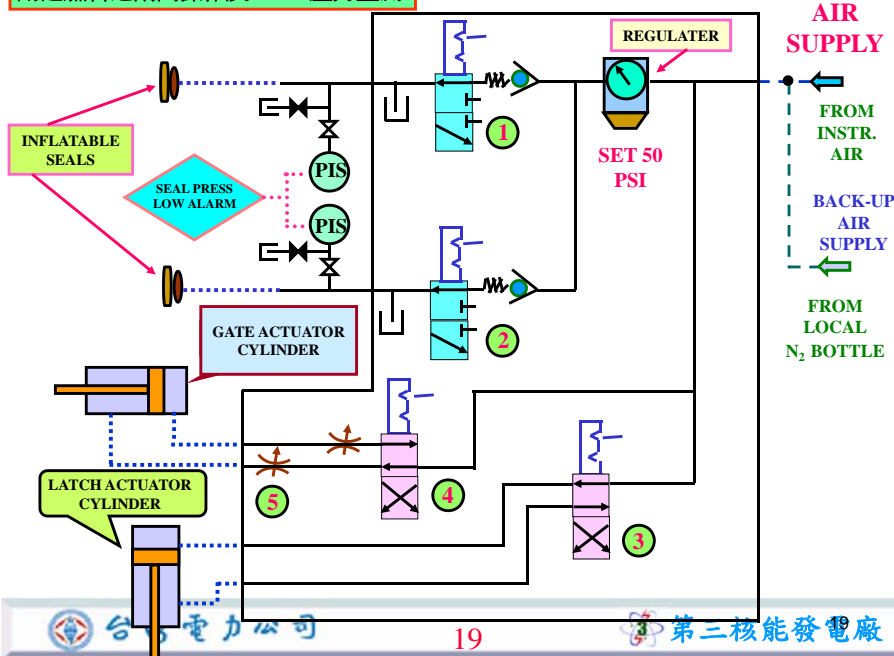
四、用過燃料池洩漏偵測系統(續)

- 洩漏通常發生在襯板焊接的隙縫處，圍阻體內有六個洩漏測試通道沿著燃料更換池裝設，而燃料廠房內沿著燃料池設有八個。
- 另外有一個用過燃料池水洩漏指示裝在用過燃料池和燃料傳送通道間的閘門，與用過燃料池和燃料桶裝填池之間的閘門，這些閘門以加壓膨脹的氣囊予以密封，假如這些氣囊失去壓力，位於 MCB J-Poo6B 上的警報將會作響 "W75- SPENT FUEL POOL GATE SEAL PR LOW" 或 "W74- CASK LD PIT GATE SEAL PRESS LOW"。假如到氣囊的壓力失去，則可能洩出並漏水。

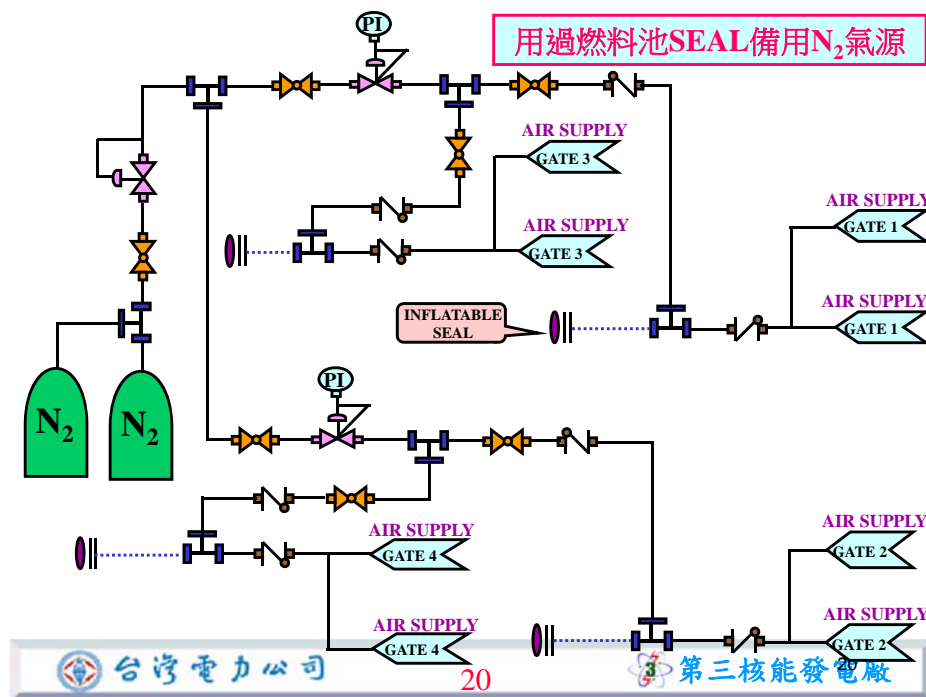
五、閘門密封系統

- 用過燃料池閘門操作及 SEAL 壓力監測
- 用過燃料池 SEAL 備用 N_2 氣源

用過燃料池閘門操作及 SEAL 壓力監測



用過燃料池 SEAL 備用 N_2 氣源



用過燃料池增設水位與溫度儀器

- DCR M1-4589:增設符合NEI 12-01 Rev1規定之水位感測儀器，與原能會要求增加溫度感測儀器，若發生全黑事故時，可從控制室監控用過燃料池關鍵參數(水位與溫度)，並可排除單一供電系統或單一儀器失效無法監控水位或溫度之狀況。儀器使用分離式，即感測器(Sensor)與處理器(含指示錶與傳送器)分離，感測器安裝於用過燃料池內，處理器分別安裝於CCW廠房100呎與控制廠房148呎。

用過燃料池增設水位與溫度儀器

- 兩套儀器分別為A串之LE-121/TE-121，B串之LE-122/TE-122，A串儀錶位於JP018盤，B串儀錶位於JP017盤，儀錶顯示單位為呎，A串信號處理於7300之JP050盤，B串信號處理於7300之JP055盤，本水位儀器偵測範圍自122呎4吋到147呎6吋，JP006盤之LI-109偵測範圍自140呎4吋到147呎6吋，故以目前LI-109指示78%為例，相當於LI-121/122指示145呎11吋(145.9呎)。依據NEI 12-01 Rev1規定，本廠LEVEL 1為146呎6吋(146.5呎)，LEVEL 2為132呎7吋(132.58呎)，LEVEL 3為122呎7吋(122.58呎)。現場儀器電源來自NH-E23-H2，且儀器本身有至少72小時的儲能設備(電池充電器)。

肆、系統元件

一、用過燃料池冷卻水泵 (Spent Fuel Pool Cooling Pump) ([A-P032](#)和[B-P033](#))

- 每台泵有100%容量
- 在28公尺 (92 ft) 水頭時，泵容量為220.5 l/sec (3500 gpm)
- 各由一個125馬力，1780rpm，460V，三相，60Hz之馬達帶動。



肆、系統元件

二、用過燃料池淨化水泵 (Spent Fuel Pool Clean-up Pump) ([N-P102](#))

- 水平離心式
- 在85.34米 (280 ft) 水頭時，泵容量為19.85 l/sec (315 gpm)
- 由一個40馬力，3560rpm，460V，三相，60Hz的馬達帶動。



肆、系統元件

三、用過燃料池熱交換器 ([A-X060](#)和[B-X 061](#))

- 兩個100%能力的熱交換器為水平殼和U型管束型式，用以移走衰變熱，核機冷卻水經殼側，燃料池水經過管側。



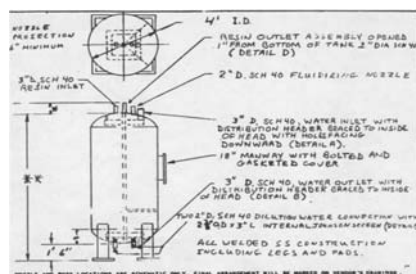
肆、系統元件

四、用過燃料池淨化過濾器 ([N-Zo41](#))

一個18.9 l/sec (300 gpm) 容量的過濾器，用來過濾硼水中98%大於5 microns的微粒。

肆、系統元件

五、用過燃料池淨化除礦器 ([N-D017](#))



- 混合床樹脂除礦器
- 18.9 l/sec (300 gpm)
- 樹脂容積為50ft³。
- 用來淨化硼水

肆、系統元件

六、反應器穴過濾水泵 (Rx Cavity Filtration Pump) ([N-P242](#))

- 水平離心式
- 51.81米 (170 ft) 水頭時，容量為18.9 l/sec (300 gpm)
- 位於圍阻體內
- 由一個25HP，460V，三相，60Hz的馬達帶動。



肆、系統元件

七、燃料更換儲存水槽淨化水泵（RWST Clean-up Pump）（[EC-P112](#)）

- 水平離心式
- 在60.96米（200 ft）水頭時，泵容量為6.3 l/sec（100gpm）
- 由一個15馬力，3500rpm，460V，三相，60Hz的馬達帶動。



伍、系統運轉

- 相關程序書
 - SOP 366.1 用過燃料池的充水、洩水與過濾
 - SOP 366.2 反應爐燃料更換池補水、過濾及洩水操作
 - SOP 366.3 燃料池過濾組件更換

一、正常運轉--- 用過燃料池冷卻系統

- 在控制室起動和停止，保持水溫低於49°C（120°F）的需求，正常只需一冷卻串運轉。
- 當兩台水泵都停止時，用過燃料池的溫升率最高可達5.93°C/hr（10.7°F/hr）。
- 燃料更換期間，反應爐爐心由RHR冷卻，燃料池冷卻系統僅用來移除儲存於用過燃料池經照射過燃料的衰變熱。
- 另外反應爐冷卻水洩水槽(RCDT)泵可連通到燃料更換池，利用RCDT熱交換器加以冷卻，其流量率大約4.731 l/s（75gpm）。[P&ID HG-002](#)

二、正常運轉---燃料池水淨化系統

- 正常運轉是手動且間歇性的，在現場起動和停止，依保持池水清晰可見度和限制碘腐蝕，及用過燃料池與燃料更換池的分裂產物要求而運轉，化學要求如[表17-1](#)所列。
- 用過燃料池冷卻系統的部份水流由熱交換器出口引出，與溢流管來的水流，一起供給到淨化水泵的入口。
- 淨化迴路週期性取樣，以決定池水的水質，倘若水質化學要求合乎表17-1所列要求，且輻射劑量率對運轉人員（由爐水所引起）小於2.5 mrem/hr，則水泵可停止運轉。

二、正常運轉---燃料池水淨化系統

- 當燃料池冷卻熱交換器出口溫度超過57°C (135°F) 時，為保護淨化系統除礦器內的樹脂不被高溫破壞。燃料池水淨化系統便以手動隔離。

二、正常運轉---燃料池水淨化系統

- 燃料更換期間，燃料更換池從RWST充以含硼水之後，燃料池水淨化泵從燃料更換池取水，將水傳送經過過濾器 and 除礦器，然後回到燃料更換池或流到用過燃料池，將水導向用過燃料池的結果水會從燃料傳送通道流回燃料更換池，在此模式運轉期間，燃料傳送通道和介於用過燃料儲存池和燃料傳送通道間的滑動閘門必須開啟。
- 在燃料填換完成之後，燃料更換池的溢流孔到淨化管路必須手動隔離，燃料更換池過濾系統要停用，而用過燃料池淨化要啟動，這個切換運轉也可在燃料更換期間，視用過燃料池和燃料更換池的情況而定。

二、正常運轉---燃料池水淨化系統

- ◆ 燃料更換池要充水時，將反應爐槽頂蓋吊離爐槽法蘭面上約1~2呎位置，以RHR系統充水到希望的水位。[P&ID BH-001](#) [EC-001](#)

二、正常運轉---燃料池水淨化系統

- 燃料更換池從降水量水位(119'8")起靠RHR系統充水到所希望的水位，其路徑如下，從RWST取水，經BH-HV5和BH-HV8，RHR水泵，經由馬達操作閘BH-HV14，BH-HV11和BH-HV18，水流從RCS熱端1和熱端2進入反應爐壓力槽，此時反應爐壓力槽頂蓋已經吊起，水溢流進入燃料更換池。
[P&ID BH-001](#)

二、正常運轉---燃料池水淨化系統

- 燃料更換完成後，燃料更換池上池之水由RHR系統抽空，其餘由燃料池淨化水泵及反應爐冷卻水洩水槽泵完成抽水。
- 初期洩水流程如下，RHR水泵從RCS熱端1和3抽水，經閥門BH-HV14，BH-HV11，和BH-VO05排出，從此處水流可導引到RWST，而下池洩水經由反應爐冷卻水洩水槽泵、用過燃料池水淨化泵、用過燃料池水淨化系統過濾之後，由EC-VO66進入RWST。P&ID BH-001 P&ID EC-001
- 燃料更換池的水可經由EC-VO61送到放射廢料洩水系統，經RCDT泵和熱交換器到用過燃料池水淨化系統，再送到RWST。流量率大約4.73 l/sec

二、正常運轉---燃料池水淨化系統

- 燃料更換池將水洩至RWST之後，燃料池水淨化系統便從用過燃料池隔離開來，而RWST手動連通到燃料池水淨化系統過濾器 and 除礦器將其淨化。
- 燃料池水淨化系統亦用以燃料桶裝填池的充水和洩水，充水管路從淨化系統Y型濾網下游經一10公分（4吋）的管路通到燃料桶裝填池，管路上有一通氣孔在水面下61公分（24吋）處以防虹吸現象，裝填池的洩水連接到燃料池水淨化泵的入口處。

二、正常運轉---燃料池水淨化系統

- 在用過燃料池淨化系統使用時，可以選擇用過燃料池淨化水泵（EC-P102）或燃料更換儲存水槽淨化水泵（EC-P112），因EC-P102在運轉時，若出口高流量大於20.19 l/sec（320gpm）或小於8.20 l/sec（130gpm），延時5秒水泵會自動跳脫，而EC-P112限制出口流量在6.3 l/sec（100gpm）以內運轉，因此在RWST淨化過程盡量以EC-P112運轉。

三、不正常運轉--- 用過燃料池冷卻系統

- 當整個核心燃料儲放於用過燃料池時，本系統須置於正常運轉，二組冷卻系統運轉，其水溫最高不超過48.9°C（120°F），如果一組冷卻系統因故障而不能使用時，另一組將維持水溫最高不超過65.5°C（150°F）。
- 當熱交換器之出口水溫超過57°C（135°F）時，須把此系統和用過燃料池隔離，以保護除礦器之樹脂。水溫低於57°C，則置於正常運轉模式。

四、緊急運轉--- 用過燃料池冷卻系統

- 用過燃料池冷卻水泵（EC-A-Po32或B-Po33）運轉中，若因A-PB-So1，B-PB-So1喪失廠外電源LOV訊號動作，冷卻水泵會自動棄載停止運轉。需等A-PB-So1或B-PB-So1由緊急柴油發電機自動起動併聯供電後，可重新在主控制室起動或由輔助停機盤起動。
- 如兩組冷卻水泵皆無法運轉時，用過燃料池水失去冷卻，其最大溫升率為 5.93°C/hr （ 10.7°F/hr ）池水的溫度將在6.7小時內由 60°C （ 140°F ）上升至 100°C （ 212°F ），這期間池水的蒸發損失需予補充，隨時保持用過燃料池水在運轉規範限值以上，並注意燃料廠房的空浮濃度。

四、緊急運轉--- 用過燃料池冷卻系統

- 用過燃料池水緊急補充水源可由下列提供：
 - 除礦水：手動開啟EC-Vo76
 - CST：手動開啟EC-Vo11或EC-Vo12，並手動起動CST傳送泵AP-A-P100或AP-B-P101。
 - RWST：手動開啟BH-HV-3，BH-HV-4，EC-Vo24，利用淨化水泵補水至用過燃料池。

◆ 補水注意事項

- ❖ 用過燃料池的硼酸濃度大於2100 ppm，且補水量小於EC-LI 109之15%，則可由除礦水補水。若硼酸濃度小於2100 ppm，則必須使用RWST的水做補水來源。
- ❖ 補水或加硼後，須循環至少4小時，且24小時內請化學課取樣分析，確認硼濃度大於 2000 ppm。

四、緊急運轉---用過燃料池淨化系統

- 緊急情況時，此系統予以手動隔離。

陸、自動動作

- 用過燃料池冷卻泵 (CLD：[EC-201](#) [EC-202](#))
 - A-P032或B-P033在啟動後5秒，如出口流量小於900 gpm，則會"低出口流量"跳脫，且控制室JP006 B-W81/83出現警報"SPENT FUEL COOLING PUMP (A or B) FLOW LOW."
 - A-P032或B-P033在供電斷路器"過電流"或"接地偵測電驛 50GS"動作時會跳脫，同時控制室JP006A-W94/W95出現警報"SYSTEM EC (TRAIN A OR TRAIN B) TROUBLE/DISABLE"，電腦點ECBD01或ECBD02亦出現警報。
 - 喪失廠外電源卸載時，會把運轉中的冷卻水泵跳脫。

陸、自動動作

- 燃料池淨化泵 (CLD：[EC-201](#))
 - N-P102啟動後5秒，如出口流量小於20 LPS (320 gpm)，則會"低出口流量"跳脫，在控制室JP006B出現警報"SPENT FUEL CLEANUP P'P FLOW HI/LO"
 - N-P102若出口流量大於320 gpm，則於啟動5秒會"高出口流量跳脫"，且於控制室JP006B出現警報"SPENT FUEL CLEANUP PUMP FLOW HI/LO"。
 - N-P102在供電斷路器"過電流"或"接地電驛 50GS"動作時跳脫。

陸、自動動作

- 燃料水儲存槽出口集管至燃料池淨化泵的隔離閥(BH-HV3或BH-HV4)在串A或串B SIS觸發時，自動關閉。
- RWST淨化泵N-P112，在供電斷路器"過電流 49"或"接地電驛 50GS"動作時跳脫。

柒、運轉規範限制條件

- TR13.1.6 & TS3.5.4更換燃料水儲存槽
在運轉模式1, 2, 3和4時，RWST須為可用，其硼酸水存量至少要有464,700加侖(92.5%)，硼濃度介於2400 ppm到2500 ppm之間，水溫至少要大於9.4°C (49°F)。
- TS3.7.15用過燃料池水位高度 ([圖17-5](#))
不管何時，只要有照射過燃料置於用過燃料池時，池水水位必須維持在照射過燃料元件頂部之上至少7.01公尺(23呎)。(142呎10吋)

柴、運轉規範限制條件

- TS3.7.13 燃料廠房緊急排氣系統
不管何時，只要有照射過燃料存放在用過燃料池內，兩串獨立的燃料廠房緊急排氣系統須為可用。
- TS3.7.16 用過燃料池硼酸濃度
不管何時，當有燃料元件置於用過燃料池時，用過燃料池硼酸濃度須維持不小於 2000 ppm。

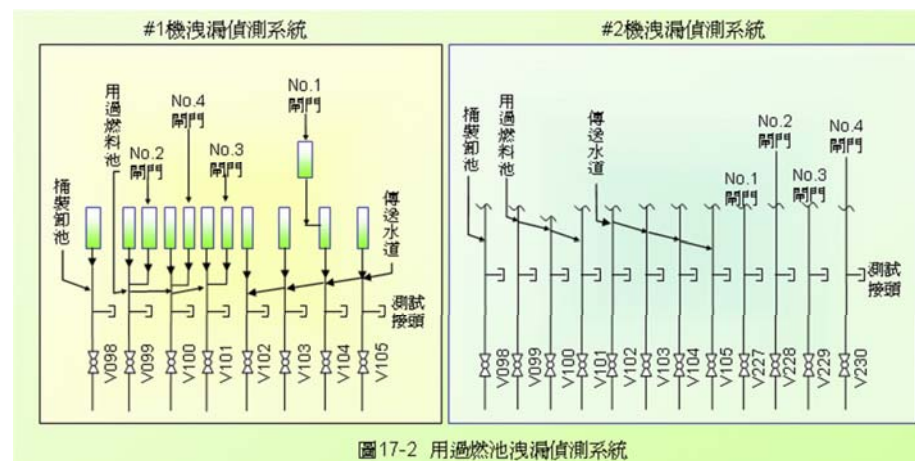
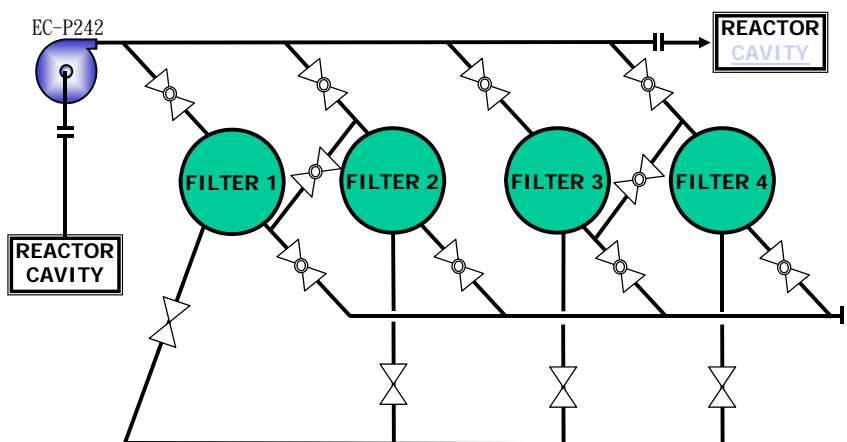
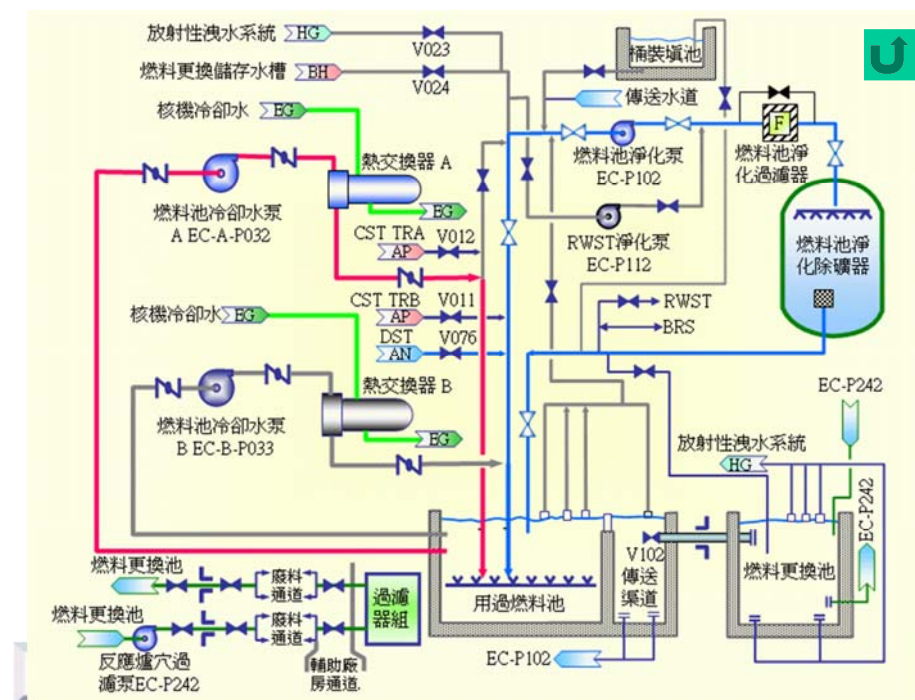
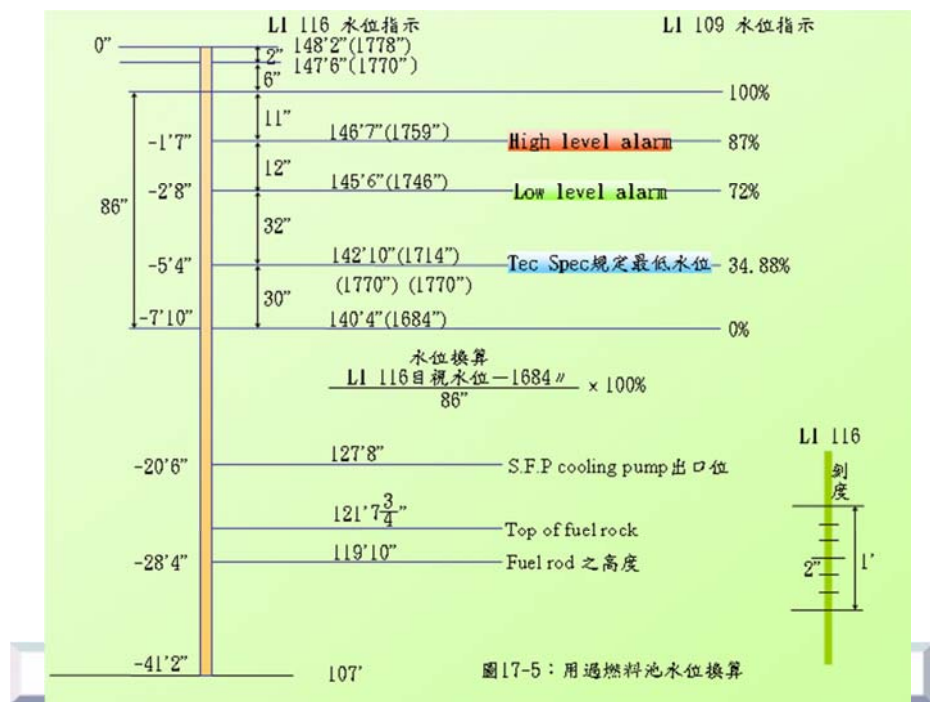


圖 17-2 用過燃料池洩漏偵測系統



項 目	數 據
1.溶液,pH值	由硼酸溶液的濃度決定， 從4.0至8.0
2.硼酸 ppm,硼	2000±50
3.氯, ppm最大	0.15
4.氟, ppm最大	0.15

