

核二廠二號機第十五次大修管制報告

(異物進入 ECW 系統安全管制報告)

壹、事件緣起

核二廠二號機於 91 年 12 月 23 日執行 B 串（即 DIV-II）緊急寒水機（2VC13B）偵測試驗時，因寒水機冷凝器之進出口差壓低，造成該寒水機無法起動（起動條件差壓須大於 $1.1\text{m H}_2\text{O}$ ），經查修發現供應寒水機冷凝器之緊急循環水系統（ECW），在通過冷凝器進口前之限流孔處，有塑膠袋異物（如圖一）將之堵塞，而堵塞的原因，研判可能是在執行清理 ECW 泵出口濾網作業時，不慎將異物掉入濾網座而流入系統。

ECW 系統主要功能為在萬一發生爐心冷卻水流失事故（LOCA）時，於機組緊急停機後，供給冷卻水至其必須運轉之安全設備。基於此系統在安全上之重要性，因此，本會核管處隨即在起動申請及併聯申請分別設下管制點，要求台電公司澄清相關之安全疑慮。

貳、系統與相關組件說明

核二廠每部機 ECW 系統分成三串（DIV I/II/III），每串各有一台泵（分別為 P-4A、P-4B、P-116），一、二號機共用一個海水入口渠道，兩部機共六台泵之海水進水口各自獨立，每台泵之進口處配有固

定攔污柵及迴轉攔污柵來過濾海水中雜物，每台泵之出口處再配置濾網，以確保無異物流入各冷卻水管路與設備當中，詳如圖二所示。在三串 ECW 當中，DIV-I 及 DIV-II 所冷卻之設備相同，各供應相對應 DIV 之緊急爐心冷卻系統（ECCS）所屬設備，兩 DIV 所冷卻之設備除緊急寒水系統外，尚有 RHR 熱交換器及緊急柴油發電機之引擎水套冷卻器，詳如圖三所示；DIV-III 則是供應冷卻水至高壓爐心噴灑系統（HPCS）所屬之緊急柴油發電機引擎水套冷卻器，以及 HPCS 相關房間緊急空調冷卻器，詳如圖四所示。以 DIV-I 之 ECW 而言，其在緊急冷凍水系統子迴路及 RHR 熱交換器子迴路上，各有一個 2.7 吋及 8.9 吋直徑之限流孔，DIV-II 設計相同，而 DIV-III 則在 HPCS 所屬緊急柴油發電機之冷卻子迴路，以及 HPCS 房間空調冷卻子迴路上，各有 2.58 吋及 1.38 吋直徑之限流孔，詳如圖三與圖四所示。

參、肇因分析

有關 ECW 系統之堵塞原因，可從 ECW 之海水入口至出口渠道，逐次評估該異物進入之可能性。在 ECW 之海水入口處，詳如圖二，是由消波塊圍築而成之封閉集水池，海水藉由消波塊間之間隙進入，再加上各泵之吸水口，低於海平面甚多，此已足以阻絕大型雜物，海水再流入各自獨立之六台泵進口處，而 ECW 之海水入口渠道為一般設施，大修時無維修項目，因此，因大修作業導致發生堵塞之發生機

率非常低。

從各泵進口處直到會合流出大海之前，正常狀況下，ECW 各 DIV 是在備用狀態，且管路係封閉系統並無開口，因此，堵塞現象在大修維修期間較有發生之可能。而各 DIV 之大修項目，除管路不拆外，其他設備依據本次核二廠之大修作業排程，是先維修 ECW DIV-II，在 DIV-II 維修測試完成之後再維修 DIV-I，而 DIV-III 則安排在 DIV-II 與 DIV-I 之間進行。檢視本次 ECW 各 DIV 之大修維修內容，其中泵閥與欄污柵相關設備之拆修作業，是以專屬之維護程序書，分別依據上述各 DIV 排程原則，安排在不同的時機進行維護，由於這些設備均為位於泵出口之前，維修時若有異物進入，當維修完成進行測試時，異物不是擋在欄污柵之前，就是進入泵之出口濾網，前者有沖洗泵可將異物沖走，後者如果堵塞嚴重，勢必影響其流量測試數據，進而發現堵塞；至於泵出口濾網之清理部份，核二廠則無相關維護程序書，維修作業時機也未列入大修排程當中，維修時若有異物進入，在維修後之測試時，會將異物傳送至各冷卻設備中，此異物除非已卡在狹窄之管徑處，否則對流量測試數據影響不大，較難立即發現；因此，有關核二廠之評估結論：可能為 DIV-II 濾網維護而造成之異物堵塞，核管處同意其說明。此外，依據 DIVI/II/III 之濾網實際清理濾網之時間（DIV-II 於 11 月 20 日清理；DIV-III 於 11 月 25 日清理；DIV-I

於 11 月 28 日清理) , 三串維護時間相當接近 , 且在無程序書狀況下執行 , 有造成共因堵塞之可能性。

肆、安全影響評估

就小件異物之堵塞(如塑膠袋)而言 , 圖一及圖二所示之限流孔 , 為管路中口徑最小且最可能發生堵塞之處 , 其中 RHR 热交換器限流孔約 8 吋 , 應不致於堵塞 , DIV-I/II 之緊急柴油發電機沒有限流孔 , 也不會堵塞 , 因此 , 可能發生堵塞的設備有 : DIV-I/II 緊急冷凍水之冷凝器 (限流孔 2.7 吋) , DIV-III 之 HPCS 所屬緊急柴油發電機冷卻器 (限流孔 2.58 吋) 以及 HPCS 房間空調冷卻器 (限流孔 1.38 吋) ; 其所造成之影響最壞的狀況為喪失 HPCS 及各 ECCS 泵房間之空調冷卻 (喪失緊急寒水系統之間接效應 , 會使該泵無法長期運轉)

本事件發生後 , 本會同時要求核能研究所 , 就安全度評估 (PRA) 的觀點進行分析 , 分析假設大修期間沒有發現異物進入 , 因尚未造成堵塞 , 而當機組升載至 100 % 功率運轉時 , 却發生堵塞事件之模擬分析 ; 以下分成三種事故狀況 , 分別評估其爐心熔損頻率 (CDF) 及早期大量輻射外釋頻率 (LERF) 之風險變化值。此三種狀況之類別說明如下表所示。

狀況類別	不可用系統	備 註
狀況一	DIV-II 緊急冷凍水系統不可用	單串失效
狀況二	DIV-I/II 緊急冷凍水系統不可用	兩串共因失效
狀況三	DIV-I/II 緊急冷凍水系統不可用、 DIV-III 之 HPCS 不可用	三串共因失效

經核能研究所 PRA 模式之分析結果，詳如附件一所示，其分析之考量，除原三種狀況外，另加入共因失效機率及設備修復機率等接近實際應變狀況，因此，共分析了六種狀況。若以 100 % 功率正常運轉狀況為基準（ CDF_{BASE} 值為 $2.85E-05/\text{年}$ 、 $LERF_{BASE}$ 值為 $2.97E-06/\text{年}$ ），六種狀況之風險變化值如表一所示。

依據 PRA 模式之分析結論可知，本堵塞事件屬長期效應，對於短期（或早期）之 LERF 指標影響甚微；有關 CDF 之風險變化部份則較為顯著，以狀況一為例，DIV-II 緊急冷凍水系統不可用，所造成的風險變化，約為基準值的 4.5 倍，因此在安全管制上，格外引起核管處重視。

伍、安全管制作業

核二廠於 12 月 26 日通知核管處有關 ECW 管路異物堵塞事件，有鑑於 ECW 系統在安全上之重要性，因此核管處隨即進行一系列之

安全管制措施，並將此部份工作列為核二廠二號機起動併聯之管制要求事項，相關管制之活動，是以三個備忘錄與併聯申請文件來進行，詳如附件二所示；管制作業內容可概分為可能影響範圍評估、肇因分析與因應措施、系統功能測試查證及後續管制措施等。

一、 可能影響範圍評估

依據 ECW 之現場與圖面的查證結果，認為管路中有 1 吋或 2 吋左右直徑之限流孔，為較易堵塞之部份，據此評估本次堵塞事件之影響範圍有兩種可能：其一為單一堵塞事件，即只影響 DIV-II 緊急冷凍水功能；另一則是共因堵塞事件，其可能發生堵塞的最壞狀況是影響 DIV-I/II 緊急冷凍水，DIV-III 之 HPCS 所屬緊急柴油發電機冷卻以及 HPCS 房間空調冷卻等安全系統功能。由於其有安全上之顧慮，因此，在後續之審查過程中，本會特別注意核二廠有無對上述設備的安全疑慮，提出驗證或澄清。

二、 肇因分析與因應措施

核管處於 12 月 26 至 30 日期間，數次以備忘錄要求核二廠儘速查明異物進入之肇因及提報後續處理與因應措施。核二廠回復其評估結論，認為堵塞肇因應為泵出口濾網吊起清理時，該濾網管路敞開，而此開口僅以木板遮蓋，因未完全密封，使得異物掉入濾網座而流入

系統；而其處理與因應措施計有（1）往後清理濾網時，開口處加裝異物袋（2）進行 ECW 三串濾網之再拆檢，並確認無異物堵塞（3）基於安全上之考量，將 ECW 及其所冷卻之安全設備，再執行一次功能測試，以確認其安全功能為可用狀態。

本會經查證整個 ECW 系統設備，以及大修期間之維修測試作業狀況，同意核二廠有關肇因之說明，惟對於清理作業前後之現場雜物管制狀況、無相關作業程序書之處理、以及清理濾網之頻率等重要事項，核二廠均未作澄清，因此，要求作進一步之說明；同時核管處為此事件，邀集台電公司核安處吳副處長等四位到會討論，要求核安處對異物進入 ECW 案，將核二廠所做之處理評估連同有關共因故障問題，在併聯申請前提出總評。次日，核二廠答覆本會意見，承諾建立清理濾網之程序書，清理頻率為每次大修時執行；而現場雜物管制部份，核二廠說明該區屬日常走動管理之範圍，平日即維持於清潔狀態；至於有無共因現象部份，核安處提出海水進口渠道防範共因設計之說明、大修期間 ECW 各串運轉時間（如表二至表四所示），配合三串 ECW 濾網之再拆檢結果，以及 ECW 及其所冷卻設備之功能測試結果，據以佐証無共因現象發生，並以此提出併聯申請；核管處核二廠專案小組也在同時進行整體詳細查證，包含事件發生肇因分析、核二廠因應措施及事件相關之維修、測試內容結果與測試時間點（如

表五所示），經審查後，同意其併聯申請，惟提出三項之後續管制措施，以確保運轉期間，無潛在之安全顧慮。

三、 系統功能測試查證

在審查 ECW 及其所冷卻設備之功能測試結果時，為佐証資料數據為無異常情況，要求核二廠再提供前幾次 ECW 及緊急冷凍水 DIV-I/II 定期測試資料，以進行比對驗證；核二廠隨即以傳真文件，將前兩次測試數據送會，經比對後，並未發現其測試結果有異常狀況。

四、 後續管制措施

在本次大修完成之後，為確認 ECW 系統是否仍有潛在之安全顧慮，因此，核管處在同意核二廠併聯申請的同時，提出後續三項管制要求：

- (1) 二號機 EOC-16 運轉期間，執行 ECW 相關定期測試後，必須將結果送交駐廠視察員。
- (2) ECW 系統若於機組運轉期間，有異於以往運轉經驗之情形，應立即通知核管處核二廠專案小組。
- (3) 要求建立 ECW 異物管理及清理專屬作業程序書。並於機組 90 % 功率運轉申請前完成。

其中第(3)項之專屬作業程序書，核二廠已於 92 年 1 月 10 日

申請機組 90 % 以上功率運轉時提出，詳如附件三所示。

陸、結論

本次異物進入 ECW 管路事件，核管處除要求台電說明本事件之肇因外，並要求台電公司澄清有無共因問題，和確認該系統的三個迴路無其他異物殘存，此外，核管處亦同時查核相關設備之測試紀錄及清理 ECW 泵出口濾網之工作依據。

共因部份已於核二廠機組臨界申請之報告中提出說明，另由於濾網清理工作並無明確之程序依據，台電公司承諾將增列異物處理程序書，惟後續核管處要求建立專屬之作業程序書，其目的就是強調此作業之重要性及避免不必要其他工作之相互干擾。

有關「三個迴路無其他異物殘存」部份，核二廠在核管處逐步的要求下，由「已將異物清除」到後續的「執行 ECW 共同管路所有設備之功能測試」，逐漸澄清異物殘存管路疑慮；在要求台電的同時，核管處核二廠專案小組也一併進行查證，由核二廠事後檢查清理濾網、功能測試，加上運轉時間之推估（概略狀況如圖五所示），已於 12/31 日研判異物殘存之機會甚低，但在台電的評估報告中，認為只要執行一小時之流量測試成功，即可證明無異物殘存，其說法卻值得商榷；核管處基於上述評估、查核與研判，認為可以接受無其他異物殘存於管路之結論，惟為確保機組安全運轉，仍加強該部機組本週期

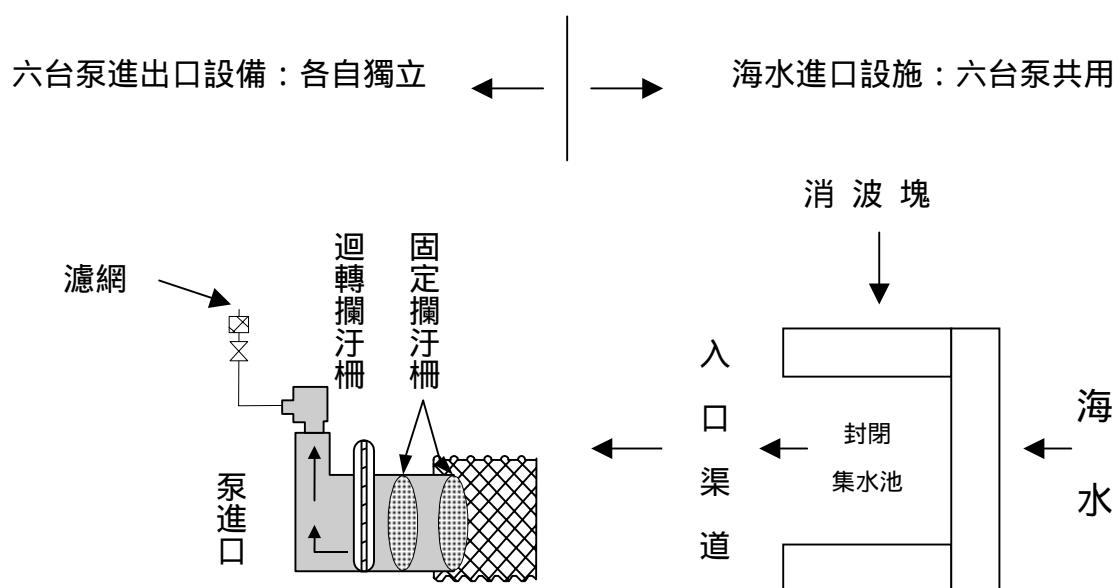
運轉期間 ECW 相關定期測試之管制工作，目前已要求核二廠提出最近一次 ECW 相關定期測試之時間表，如表六所示，將由核二廠駐廠人員進行後續必要之現場查證。

註：1.本報告之附件，因篇幅過多，故於上網報告中從略。

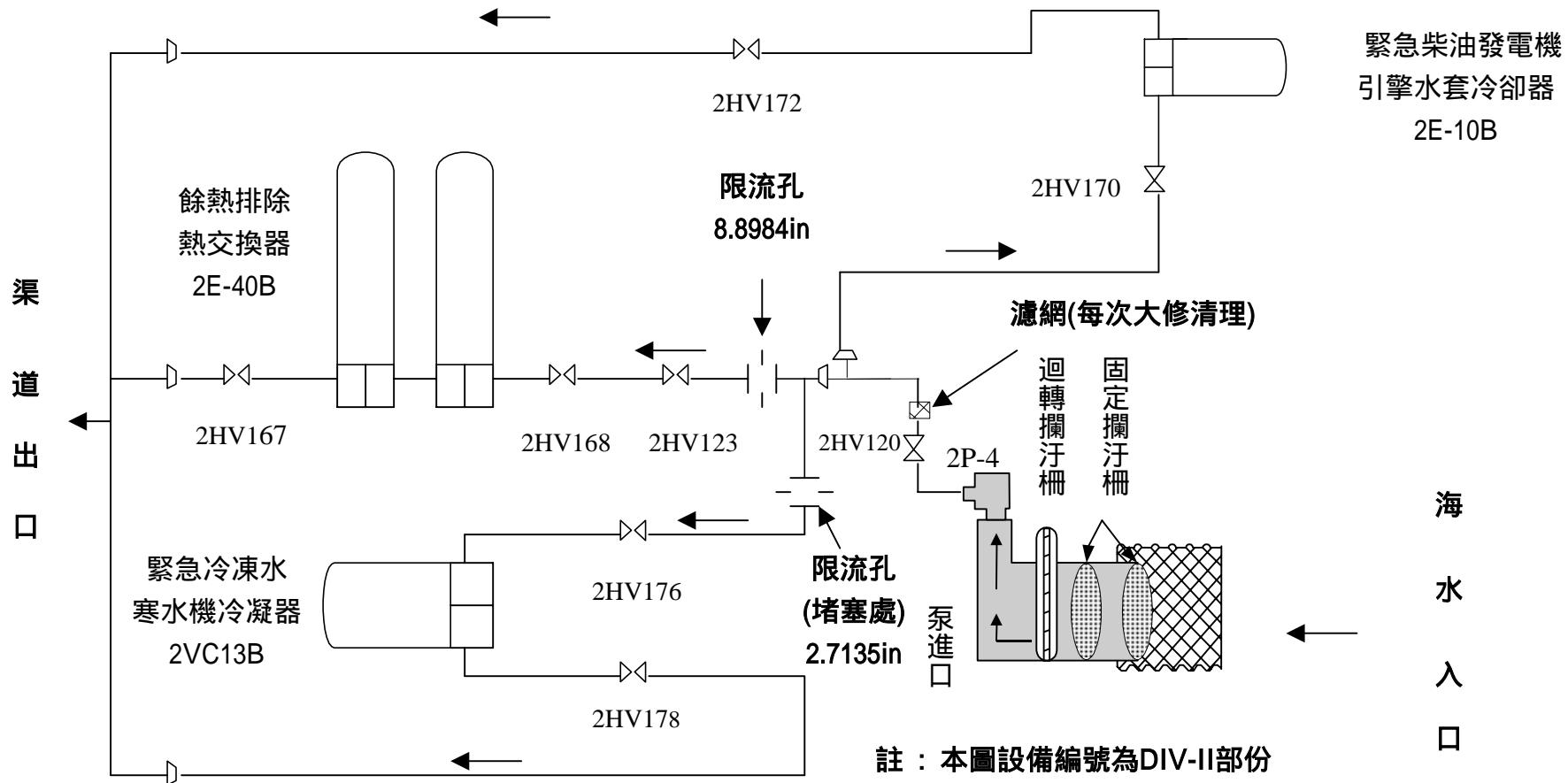
2.本案若有疑問，請洽本會張欣科長，電話：(02) 2232-2136



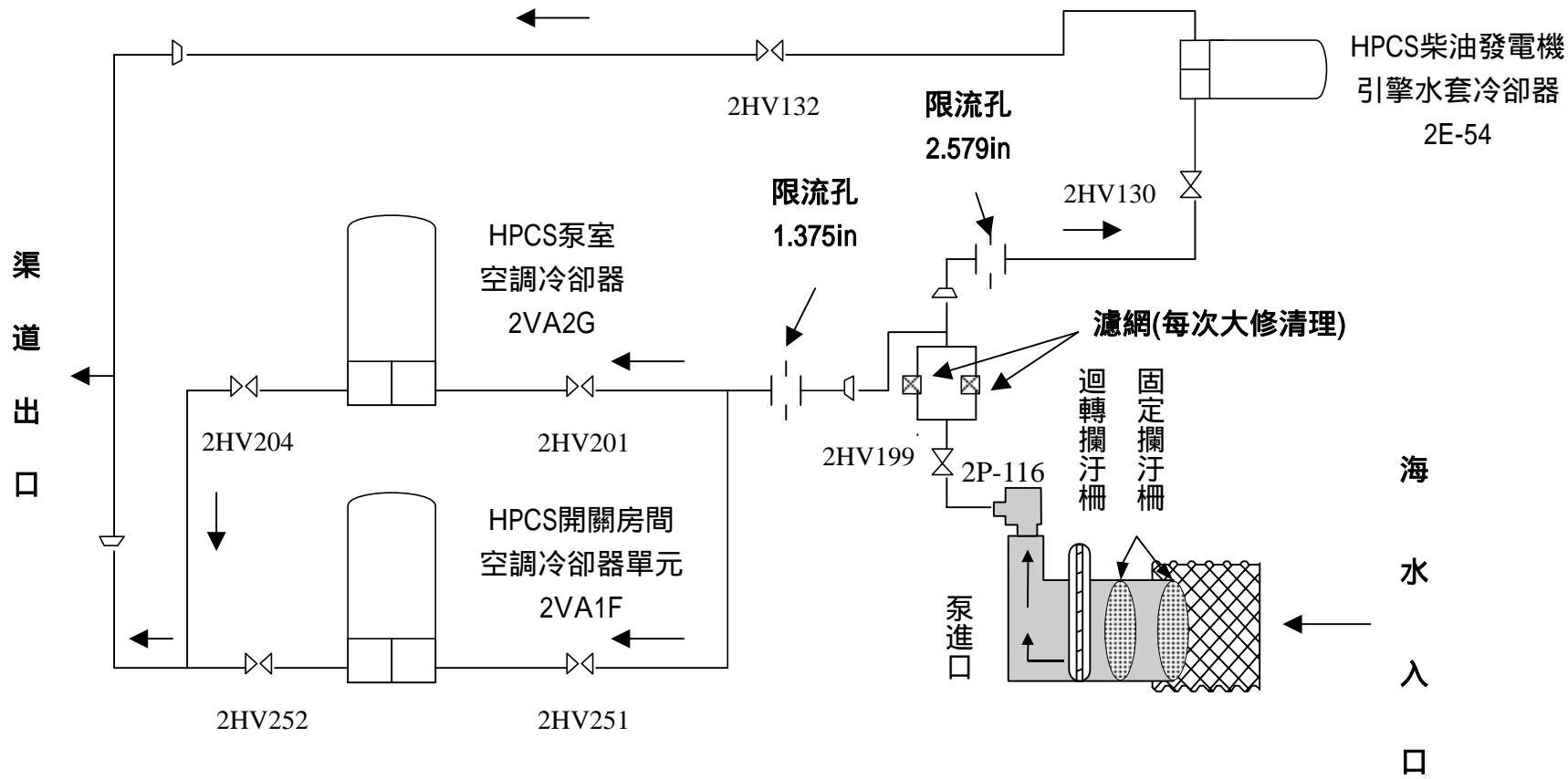
圖一 堵塞管路之塑膠袋異物



圖二 ECW 海水進口簡化圖



圖三 核二廠二號機 DIV-I & II 緊急循環水簡化圖



圖四 核二廠二號機 DIV-III 緊急循環水簡化

DIV-I	91 11 20	91 11 21	91 11 22	91 11 23	91 11 24	91 11 25	91 11 26	91 11 27	91 11 28	91 11 29	91 11 30	91 12 1	91 12 5	91 12 6	91 12 7	91 12 8	91 12 9	91 12 10	91 12 11	91 12 12	91 12 13	91 12 14	91 12 15	91 12 16	91 12 17	91 12 18	91 12 19	91 12 20	91 12 21	91 12 22	91 12 23	91 12 24	91 12 25	91 12 26	91 12 27	91 12 28	91 12 29	91 12 30
ECW										濾網清理																												
	DIV-I SDCM 使用中 (*)												*																									
D/G																																						
EChW																																						
DIV-II																																						
ECW	濾網清理																																					
	DIV-II SDCM 使用中 (**)																		**																			
D/G																																						
EChW																																						
DIV-III																																						
	濾網清理																																					

註：紅綠線均表 ECW 管路中有水流動；12/26~12/28 期間有再將 DIV-I/II/III 泵出口濾網查修清理

圖五 核二廠二號機 EOC-15 DIV-I/II ECW 於 91.11.20 - 91.12.30 之狀況

表一、核二廠二號機 ECW 事件 PRA 模式分析結果

狀況類別	CDF 風險變化	LERF 風險變化	備 註
狀況一	$4.49 \times \text{CDF}_{\text{BASE}}$	$1.03 \times \text{LERF}_{\text{BASE}}$	DIV-II EChW 不可用
狀況二	$47.72 \times \text{CDF}_{\text{BASE}}$	$1.70 \times \text{LERF}_{\text{BASE}}$	DIV-II EChW 不可用 DIV-I EChW 共因機率 = 1
狀況三	$47.72 \times \text{CDF}_{\text{BASE}}$	$1.70 \times \text{LERF}_{\text{BASE}}$	DIV-II EChW 不可用 DIV-I EChW 共因機率 = 1 DIV-III ECW 共因機率 = 1
狀況二 [*]	$8.70 \times \text{CDF}_{\text{BASE}}$	$1.12 \times \text{LERF}_{\text{BASE}}$	DIV-II EChW 不可用 DIV-I EChW 共因機率 = 0.1
狀況三 [*]	$47.72 \times \text{CDF}_{\text{BASE}}$	$1.70 \times \text{LERF}_{\text{BASE}}$	DIV-II EChW 不可用 DIV-I EChW 共因機率 = 1 DIV-III ECW 共因機率 = 0.01
狀況三 ^{**}	$47.72 \times \text{CDF}_{\text{BASE}}$	$1.70 \times \text{LERF}_{\text{BASE}}$	DIV-II EChW 不可用 DIV-I EChW 共因機率 = 1 DIV-III ECW 共因機率 = 0.01 DIV-III ECW 修復機率 = 0.1

狀況一：DIV-II 緊急冷凍水（EChW）不可用

狀況二：狀況一情形下，DIV-I EChW 同時不可用

狀況三：狀況二情形下，DIV-III 緊急循環水（ECW）同時不可用

狀況二^{*}：狀況一的情形下，考量 DIV-I EChW 同時不可用之機率

狀況三^{*}：狀況二的情形下，考量 DIV-III ECW 同時不可用之機率

狀況三^{**}：狀況三^{*}情形下，考量 DIV-III ECW 設備修復機率

表二、DIVI 2EH-2P-4A 運轉情形 (12/06-12/28)

日期	時間	運轉狀態	運轉時間
12/06	13:53	1	
	23:46	0	09:53
12/07	15:27	1	
	15:37	0	00:10
	19:50	1	
12/08	20:06	0	00:16
	13:53	1	
	15:30	0	01:37
12/09	18:14	1	
	20:04	0	01:50
	09:00	1	
12/10	10:25	0	01:25
	13:36	1	
	22:28	0	08:52
12/11	09:58	1	
	13:54	0	03:56
	14:36	1	
12/12	14:59	0	00:23
	09:48	1	
	12:53	0	03:05
12/13	13:59	1	
	19:43	0	05:44
	21:20	1	
12/14	21:47	0	00:27
	22:35	1	
	22:56	0	00:21
12/15	23:17	1	
	23:43	0	00:26
	09:25	1	
12/16	10:52	0	01:27
	11:07	1	
	12:11	0	01:04
	14:38	1	

日期	時間	運轉狀態	運轉時間
	14:53	0	00:15
12/15	09:32	1	
12/17	01:12	0	39:40
	13:37	1	
	14:52	0	01:15
12/23	10:05	1	
	11:26	0	01:21
	15:10	1	
	15:13	0	0:03
12/24	18:54	1	
	18:58	0	0:04
12/25	15:51	1	
12/26	11:36	0	19:45
	14:41	1	
	15:21	0	00:40
12/28	02:19	1	
	22:39	0	20:20

註：1. 運轉狀態之「0」代表停止、「1」代表啟動

2.DIV I 2P-4A 自 12/06 至 12/28 共運轉約 124 小時 19 分。

表三、 DIVII 2EH-2P-4B 運轉情形 (11/23-12/28)

日期	時間	運轉狀態	運轉時間
11/23	15:54	1	
11/24	08:08	0	16:14
	17:11	1	
	18:50	0	01:40
	23:06	1	
11/25	02:27	0	03:11
	02:29	1	
	02:53	0	00:24
	03:19	1	
	03:43	0	00:24
	04:08	1	
	04:32	0	00:24
	09:22	1	
	10:20	0	00:58
	10:35	1	
	11:50	0	01:15
	14:44	1	
12/15	09:25	0	474:41
12/17	01:29	1	
12/18	14:16	0	36:47
12/19	15:51	1	
12/25	02:55	0	131:04
	05:04	1	
	15:52	0	10:48
12/26	05:28	1	
	07:13	0	01:45
	09:31	1	
	10:40	0	01:09
	11:24	1	
12/28	02:03	0	38:49
	13:55	1	
	14:18	0	00:23

註：1. 運轉狀態之「0」代表停止、「1」代表啟動

2. DIV II 2P-4B 自 11/23 至 12/28 共運轉約 719 小時 56 分。

表四、DIVIII 2EH-2P-116 運轉情形 (11/30-12/28)

日期	時間	運轉狀態
12/02	15:10	1
	16:11	0
12/03	09:36	1
12/04	12:00	0
12/19	15:54	1
	19:23	0
12/27	09:31	1
	10:38	0

註：1. 運轉狀態之「0」代表停止、「1」代表啟動

2. DIV III 2P-116 自 11/30 至 12/28 共運轉約 32 小時。

表五、緊急冷凍水系統 DIV-II 迴路起動測試記錄

日期	起動測試項目與結果
11月23日	執行 617.1.3『緊急冷凍水系統』--成功 (11/23 21:00 ~ 23:25)
11月24日	執行 617.1.3.1『緊急冷凍水可用性測試』--成功 (11/24 20:00 ~ 22:25)
11月25日	執行 618.2.4.2『備用柴油發電機 DIV-II 停機及可靠性試驗』--成功。 (11/25 未明 ~ 10:20)
12月06日	執行 617.6.2『開關設備室緊急冷卻系統運轉能力試驗』--成功。 (12/6 09:00 ~ 11:05)
12月23日	執行 617.6.2『開關設備室緊急冷卻系統運轉能力試驗』--失敗。 發現緊急寒水機冷凝器海水差壓低
12月26日	執行 617.1.1『緊急循環水系統』、617.1.3『緊急冷凍水系統』--成功
12月28日	配合量取緊急冷凍水系統相關數據起動 ECW DIV-II 泵

註：(1) 11/20 清洗 ECW DIV-II 泵出口濾網

(2) 11/25 清洗 ECW DIV-III 泵出口濾網

(3) 11/28 清洗 ECW DIV-I 泵出口濾網

表六、核二廠二號機 EOC-16 運轉期間

ECW 最近一次相關測試時間表

程序書 編號	程序書名稱	週期	預定下次 執行日期
616.4.2.2	RHR 抑壓池冷卻模式的流量率試驗 (LOOP A)	3M	92.03.26
616.4.2.2	RHR 抑壓池冷卻模式的流量率試驗 (LOOP B)	3M	92.03.26
617.1.1	緊急循環水系統 (DIV I)	3M	92.03.6
617.1.1	緊急循環水系統 (DIV II)	3M	92.02.23
618.2.1	備用柴油發電機運轉性能測試 (DIV I)	1M	92.02.07
618.2.1	備用柴油發電機運轉性能測試 (DIV II)	1M	92.02.17
617.6.2	開關設備室緊急冷卻系統運轉能力試驗 (A&B)	1M	92.01.23
617.1.3	緊急冷凍水系統 (A&B)	3M	92.02.23
615.1.3	高壓噴水泵額定流量試驗	3M	92.03.03
617.6.1	緊急爐心冷卻系統泵室通風系統運轉能力試驗.(配合 615.1.3 執行)	3M	92.03.03
617.1.2	HPCS 廠用冷卻水系統	3M	92.03.03
618.2.2	高壓爐心噴洒柴油發電機運轉性能測試	1M	92.02.27

備註: 1. 預定執行日期因狀況將有所調整.(例如:假期.工作量)

2. 619.6(RHR 停機冷卻模式能力試驗)遇停機時執行.