

# 核一廠高壓爐心注水系統常溫快速起動 測試失敗管制報告

核能管制處  
行政院原子能委員會  
九十二年三月二十六日

# 目 錄

壹、背景說明.....	1
貳、現場查證結果.....	2
參、一號機 HPCI 常溫快速起動測試失敗肇因查證 ....	6
肆、異常事件對機組之影響.....	8
伍、結論與建議.....	8
圖一 HPCI 系統流程圖 .....	10
附件一 核一廠違規案件 EF-CS-89-001 .....	11
附件二 HPCI 系統績效值 .....	12
附件三 本會備忘錄 CS-會核-92-4-0 .....	14
附件四 核一廠注意改進事項 AN-CS-92-003.....	15

# 核一廠高壓爐心注水系統常溫快速起動

## 測試失敗管制報告

核能管制處

九十二年三月二十六日

### 壹、背景說明

核一廠一號機於 92 年 01 月 21 日 09:43 執行程序書編號 606.4.5 高壓爐心注水 (HPCI) 系統常溫快速起動測試，起動不久高壓爐心注水泵之驅動汽機隨即因超速而跳脫，機組因此宣佈 HPCI 系統不可用，並進入限制運轉狀態 (LCO)，依運轉規範規定機組必須於 14 天內恢復 HPCI 系統可用，否則必須冷爐停機。同時由於 HPCI 系統為安全系統，因此安全系統不可用，依規定本次事件為異常事件，電廠必須通報原能會。

原本核一廠係根據程序書 606.4.1 高壓爐心注水系統流量測試，來認定 HPCI 系統之可用性，其執行頻率為每月一次。核一廠於 90 年 1 月開始實施改良型運轉規範 (ITS) 後，高壓爐心注水系統之可用性認定，由原程序書 606.4.1 (高壓爐心注水系統流量測試)，更改為目前之程序書 606.4.5 (高壓爐心注水系統常溫快速起動測試)，且執行頻率由每個月一次延長為三個月一次。

核一廠之 HPCI 系統係屬高壓安全注水系統，系統主要設備係由

一部蒸汽帶動之汽機，以及一台主泵與一台增壓泵所組成（參見附圖一），系統水源正常是由冷凝水槽（Condensate Water Tank）提供，必要時亦可由抑壓池（Suppression Pool）提供水源，再經由飼水管路 B 串進入爐心，因此是重要的安全系統，與機組運轉安全息息相關，本次視察目的主要是查證核一廠一號機高壓爐心注水系統常溫快速起動測試失敗之肇因，並確認 HPCI 系統之安全功能是否受到影響。視察時間為 91 年 1 月 20 日至 1 月 30 日，於核一廠駐廠視察期間執行。

## 貳、現場查證結果

本次視察除為確認 HPCI 常溫快速起動測試失敗之肇因外，並針對核一廠 HPCI 系統測試紀錄及相關文件與圖面進行現場查證，以瞭解核一廠 HPCI 系統的可靠度狀況，相關視察結果如下：

### 一、HPCI 常溫快速起動測試程序書執行紀錄查證

核一廠為因應 GE 公司 SIL-336 之建議，將 HPCI 系統可用性認定由原本使用之程序書 606.4.1（高壓爐心注水系統流量測試），更改為程序書 606.4.5（高壓爐心注水系統常溫快速起動測試）。GE 公司 SIL-336 報告中，說明原 HPCI 可用性測試程序書 606.4.1（高壓爐心注水系統流量測試），其測試步驟係將 HPCI 汽機之斷止閥（Stop

Valve ) 較上游蒸汽供應閥要提早開啟，因此無法證明 HPCI 汽機斷止閥於接受自動起動訊號時，該閥能夠在與反應爐爐壓相同之高蒸汽壓力下順利開啟，同時該測試並未涵蓋 HPCI 系統之流量自動控制系統部分。核一廠基於上述原因以及為配合該廠於 90 年 1 月開始實施改良型運轉規範 ( ITS )，經數次運轉安全會議 ( SORC ) 詳細討論後，正式決定將 HPCI 系統可用性認定測試，更改為 HPCI 系統常溫快速起動測試。

經查證核一廠 90 年 1 月以後，兩部機組採行新制之 HPCI 系統可用性認定測試之紀錄，一號機共測試九次，只有這次測試失敗，二號機共測試七次亦只有一次 ( 91 年 11 月 11 日 ) 於測試完成後，因泵出口壓力傳送器 ( Transmitter ) 故障，使得 HPCI 汽機於降速時，其壓力指示不穩定，但由於測試已完成，因此該次測試並不算 HPCI 測試失敗。由此也顯示核一廠以往因 HPCI 系統執行常溫快速起動測試，容易造成管路過壓或管路水槌等問題，經歷年來多項設計修改案 ( DCR ) 之改善後已獲致良好成果。此外，依 GE 公司 SIL-336 之說明， HPCI 系統常溫快速起動測試更貼近真實之 HPCI 自動起動狀況，因此核一廠將 HPCI 可用性認定測試方法，更改為 HPCI 系統常溫快速起動測試，應值得肯定。

## 二、FSAR 與運轉規範對於 HPCI 系統可用性認定查證

核一廠改良型運轉規範 ( ITS ) 有關 HPCI 可用性之規定條文為 SR3.5.1.6, 要求當反應器於壓力足夠時, 電廠應於 12 小時內驗證 HPCI 系統之可用性, 測試接受條件為反應器壓力介於 920psig 與 1020psig 時, HPCI 泵要能產生大於 268LPS ( 4250gpm ) 之流量, 而終期安全分析報告 ( FSAR ) 內有關 HPCI 系統之條文係記載於 7.3.1.1.1.3 及 7.3.2.1.1.3.20 內, 其中 7.3.1.1.1.3 規定, HPCI 系統於接受自動起動信號後, 應於 30 秒內達到額定壓力與流量。

88 年 12 月核一廠曾因為 HPCI 系統常溫快速起動測試時, 由於 HPCI 汽機斷止閥開啟時間超過 40 秒, 不符 FSAR 要求之 30 秒內達到額定壓力與流量之規定, 但核一廠未即時宣佈 HPCI 系統不可用, 本會於是開立違規予以糾正 ( 參見附件一 )。由於 HPCI 系統常溫快速起動測試時, 最後步驟需微調流量控制閥與汽機轉速, 以確認 HPCI 泵出口壓力與流量合乎規定, 運轉員因此無法於測試時量測真正反應時間。之後, 核一廠以全系統開啟時間最慢之 HPCI 汽機斷止閥之開啟全程時間不得超過 30 秒, 來確認其可於規定時間內達到額定壓力與流量之要求。由以往之測試數據得知, HPCI 汽機斷止閥未達全開時, HPCI 系統即已達到額定壓力與流量, 因此核一廠此項做法可接

受，且亦合乎 GE 公司 SIL336 之精神。

### 三、電廠宣佈 HPCI 系統可用時機之查證

核一廠一號機於 1 月 21 日 09：43 執行程序書 606.4.5 高壓爐心注水系統常溫快速起動測試時，高壓注水泵之驅動汽機因超速而跳脫，機組因此而宣佈 HPCI 系統不可用，而進入限制運轉狀態( LCO )，依運轉規範規定，電廠應於一小時內查證爐心隔離冷卻 ( RCIC ) 系統處於可用狀態。經查證電廠確依規定執行，未違反運轉規範規定。但程序書規定當測試失敗時，下次測試應待 72 小時以後，於確定系統管路溫度回到常溫後，才可再度執行測試，但此項規定也衍生下列問題：

(一) 1 月 21 日高壓爐心注水系統常溫快速起動測試失敗後，依規定 HPCI 系統要 72 小時後才能再測試，如此則 HPCI 系統不可用時間將延長三天，對於電廠的營運指標將有負面影響。

(二) 電廠於測試失敗時，即認定肇因可能與人為操作有關，而不是系統設備故障所引起，因為如果測試失敗肇因是設備故障所造成，依規定 HPCI 系統不可用時間，將由測試日期再往前推半個測試週期，亦即 45 日，如此將使得電廠有關安全系統可用性之營運指標遠落在全世界機組之後。

因此電廠於 1 月 22 日執行原使用之高壓爐心注水系統流量測試，代替現行之高壓爐心注水系統常溫快速起動測試，並於測試成功後逕行認定 HPCI 系統可用，然而此兩份程序書之測試步驟不同，測試的完整性亦不同，因此雖然運轉規範與 FSAR 條文中，並未明確規定 HPCI 可用性測試的方法，但電廠改以舊有之程序書 606.4.1 ( 高壓爐心注水系統流量測試 ) 來認定 HPCI 系統可用，是存有爭議的。依 SIL336 之精神，現行使用之程序書 606.4.5 ( 高壓爐心注水系統常溫快速起動測試 )，才是比較符合驗證 HPCI 功能之測試方法。

## 參、一號機 HPCI 常溫快速起動測試失敗肇因查證

一號機於 1 月 21 日執行高壓爐心注水系統常溫快速起動測試失敗後，電廠隨即召開系統討論會，研究可能之肇因。初步推論有兩個可能肇因，第一個是當 HPCI 汽機升速時，會有一組慢速升速之控制邏輯 ( RAMPING ) 控制 HPCI 汽機升速速率，當 HPCI 流量大於設定流量值時 ( 268LPS )，則慢速升速之控制邏輯會轉由 HPCI 汽機流量控制器負責，如果流量控制器控制不當，則可能造成 HPCI 汽機超速跳脫。另一個原因是運轉人員操作測試迴路流量控制閥 ( E41-F008 ) 時開啟過速，造成 HPCI 汽機輕載超速跳脫。電廠於是針對上述可能肇因展開確認，第一個可能肇因經維護人員查修 HPCI 汽機流量控制

器後，確認流量控制器功能正常，因此排除其可能性。至於運轉人員操作 E41-F008 開啟過速，造成 HPCI 汽機輕載超速跳脫，原本未在考慮之可能肇因中，因為一、二號機係使用同一份測試程序書，因此兩部機操作程序完全相同，且依以往之經驗均未發生前述類似狀況，但電廠比較兩部機組 HPCI 系統設備差異時，發現二號機 HPCI 系統注入飼水管路之隔離閥 E41-F006 並無洩漏現象，因其 E41-F008 與 E41-F006 間之管路溫度值為 65  $^{\circ}\text{C}$ ，而一號機相同管路溫度則為 135  $^{\circ}\text{C}$ ，顯示一號機 E41-F006 應有些微洩漏。當一號機執行測試時，運轉員於開啟 E41-F008 閥後，由於此段管路溫度大於 100  $^{\circ}\text{C}$  且其壓力比 E41-F008 後端通往冷凝水槽之管路壓力要大，導致 E41-F008 閥後端管路可能會有閃化現象，進而造成局部管路空管，因此 HPCI 汽機流量控制器無法及時偵測到真正而穩定的流量，使得慢速升速之控制邏輯轉由 HPCI 汽機流量控制器控制之時間增長，造成一號機 HPCI 汽機一直升速，並因管路局部空管而輕載超速跳脫。

肇因初步判定後，電廠於 1 月 28 日上午先執行 606.4.1 高壓爐心注水系統流量測試，以確定系統達額定流量時 E41-F008 開度及所需時間，當日下午電廠隨即執行 606.4.5 高壓爐心注水系統常溫快速起動測試，測試結果正常，確認前述判定之肇因，但此項測試並不符程序書規定管路應冷卻 72 小時之規定，因此電廠於 92 年 2 月 6 日確定

HPCI 系統管路冷卻 72 小時以上後，再次執行程序書 606.4.5 高壓爐心注水系統常溫快速起動測試成功，此份程序書才算正式完成。

## 肆、異常事件對機組之影響

此次異常事件電廠雖然宣佈 HPCI 系統不可用，但事件實際之肇因經過查證後，確認是因為 HPCI 系統與飼水管路之隔離閥 E41-F006 輕微洩漏使得測試時管路易產生閃化有關，當機組如果發生事故時，HPCI 系統並不會經過測試管路回到冷凝水槽，而是將 E41-F006 開啟再經由飼水管路進入爐心，由於飼水管路壓力高達  $77\text{kg}/\text{cm}^2$ ，因此 E41-F006 開啟後並不會產生閃化現象，則 HPCI 汽機也不會因流量不穩而超速跳脫，所以如果機組在真實的異常狀況而需啟動此系統時，HPCI 系統之安全功能並不會受到影響，機組之安全亦未下降。

## 伍、結論與建議

核一廠 HPCI 系統係屬反應爐高壓安全注水系統，為電廠重要安全設備，由以往之紀錄顯示其為高可靠度之安全系統（參見附件二）。此次事件歷經十餘天，電廠於此期間努力追求設備故障肇因的精神，值得肯定。但為求慎重，本會已於 92 年 1 月 28 日發備忘錄（參見附件三）要求電廠查明 HPCI 常溫快速起動失敗原因。且此次事件之

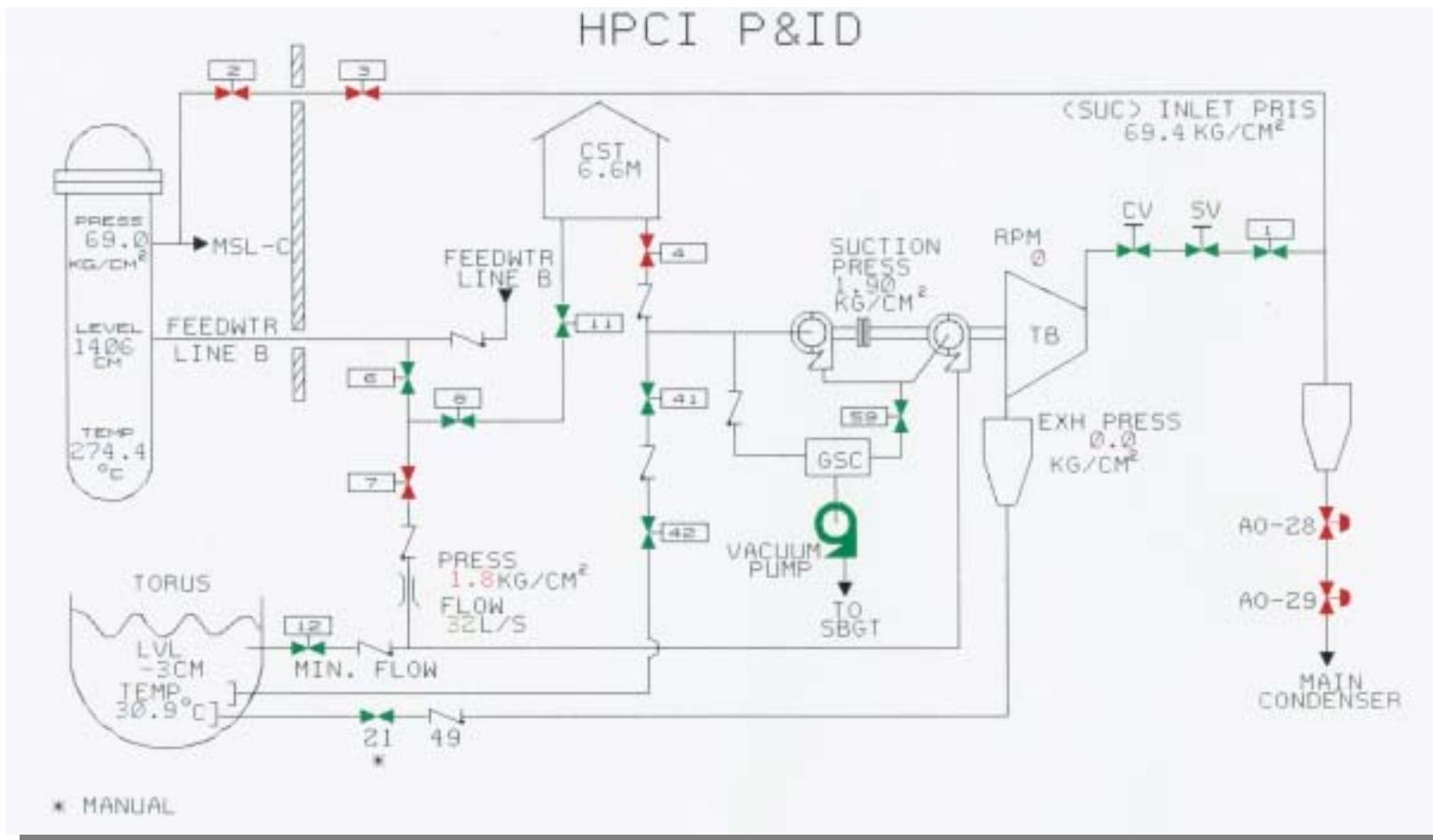
肇因核一廠雖已順利找出並予以改善，並證明電廠所推測之肇因是正確的，此次 HPCI 系統測試失敗並不會影響 HPCI 系統的安全功能，惟此次事件仍有下列事項待改進：

- 一、雖然核一廠運轉規範與 FSAR 條文內並未明確規定 HPCI 可用性測試的方法，但電廠逕行以程序書 606.4.1 高壓爐心注水系統流量測試，取代原有之 606.4.5 高壓爐心注水系統常溫快速起動測試，並認定 HPCI 系統可用，此項做法並不適當。
- 二、此次事件之肇因與 E41-F006 有些微洩漏有關，電廠應加強該閥之檢修品質，並應將此次事件作成經驗回饋。

針對以上所述之電廠待改進事項，原能會已開立注意改進事項請電廠改進（參見附件四）。

註：以上內容若有疑問可電洽黃智宗科長，電話：(02) 22322160

HPCI P&ID

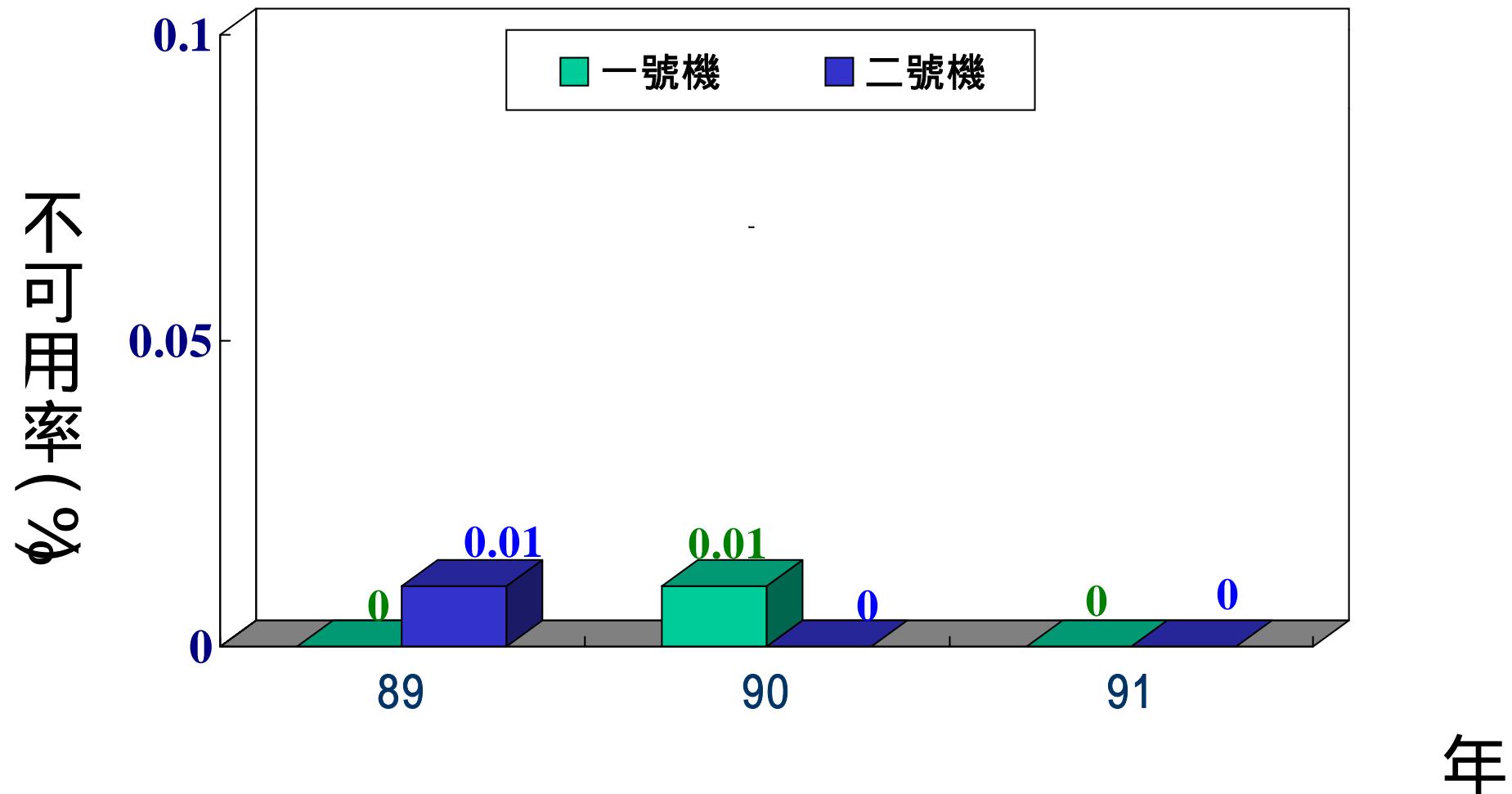


## 圖一 HPCI P&ID 圖

## 核能電廠違規事項處理表

編號	EF-CS-89-001	廠別	核一廠	日期	89年01月24日
違規事項：機組 HPCI 設備故障，電廠未及時宣布機組進入 L.C.O.，且未採取相關必要措施。					
法規要求：品保準則第 11 條及 FSAR 第六章第三節。					
違規條款：違規事項一、(四)、3。					
違規內容：					
88 年 11 月 12 日核一廠一號機執行程序書 606.4.5 HPCI 常溫快速起動模擬測試，經查有下列缺失：					
<p>一、11 月 12 日 00:56 執行測試時就已失敗，但電廠並未宣布機組進入 L.C.O.，另依據 11 月 12 日測試記錄顯示當天第二次測試時 HPCI stop valve 開啟時間約 40 餘秒，並不能符合 FSAR 第六章第三節 HPCI 為於自動起動訊號 30 秒內注入爐心並達到額定流量之規定，但核一廠亦未宣布 HPCI 不可用，機組進入 L.C.O.，且未依規定陳報異常事件立即通報。</p> <p>二、核一廠程序書 606.4.5 無測試接受標準，以致無法發揮早期發現設備異常之功能，請檢討改進。</p> <p>三、11 月 15 日 02:45 執行 HPCI 常溫快速起動測試，發現 stop valve 無法開啟但遲至當日 04:25 才宣布 HPCI 不可用，請核一廠檢討改進。</p>					
參考文件：FSAR 第六章。					
事項分類	<input checked="" type="checkbox"/> 反應器運轉 <input type="checkbox"/> 設施建造 <input type="checkbox"/> 核子保防 <input type="checkbox"/> 輻射防護 <input type="checkbox"/> 放射性物質運儲 <input type="checkbox"/> 緊急計畫 <input type="checkbox"/> 其他事項				
	<input type="checkbox"/> 一級違規 <input type="checkbox"/> 二級違規 <input type="checkbox"/> 三級違規 <input checked="" type="checkbox"/> 四級違規 <input type="checkbox"/> 五級違規				
承辦人	宋清泉				
	電話：23634180-362				

## 安全系統績效值(HPCI/RCIC)



## 行政院原子能委員會 視察備忘錄

編號 CS - 會核 - 92 - 4 - 0  
日期 92年 1月 28日

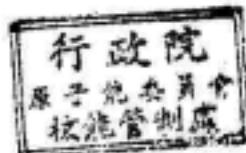
受文者：核一廠、駐核一廠安全小組

發文者：原能會視察員 宋清泉

副本抄送：核安處

事由：請 貴廠針對反應爐高壓爐心注水系統(HPCI)跳脫事件，進行檢討並查明肇因。

說明： 貴廠於一月二十一日九時四十五分執行一號機HPCI常溫快速起動定期測試時，HPCI汽機因超速而跳脫，請檢討該系統可用性相關測試之合理性，並查明肇因，以防止類似事件再度發生。



## 核能電廠注意改進事項

編號	AN-CS-92-003	日期	92年3月4日
廠別	核一廠	承辦人	宋清泉

注意改進事項：請 貴廠注意改善 HPCI 系統可用性認定測試方法的替代性。

## 注意改進內容：

貴廠一號機於 92 年 1 月 21 日執行 HPCI 常溫快速起動測試，結果測試失敗，電廠處理相關事件過程中，經查下列事項待改進：

1. 雖然 貴廠運轉規範與 FSAR 條文內並未明確規定 HPCI 可用性測試的方法，但 貴廠逕行以程序書 606.4.1 高壓爐心注水系統流量測試，取代原有之 606.4.5 高壓爐心注水系統常溫快速起動測試，並認定 HPCI 系統可用，此項做法並不適當。
2. 此次事件之肇因應與 E41-F006 有些微洩漏有關，貴廠應加強該閥之檢修品質，並應將此次事件作成經驗回饋。

參考文件：